



การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ
ของหมึกกล้วยแปรรูป
Development of an Image Processing System in
Splendid Squid Quality Classification

นียดา มะสุณี

Niyada Masunee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ
ของหมึกกล้วยแปรรูป
Development of an Image Processing System in
Splendid Squid Quality Classification

นียดา มะสุนี
Niyada Masunee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ ของหมึกกล้วยแปรรูป
ชื่อผู้เขียน	นางสาวนิตดา มะสุณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์)ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ สมชาย ชูโณม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์)
..... (ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์)กรรมการ (ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์)
กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล)
กรรมการ (ดร.นวกัก เอื้ออนันต์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคล
ที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวนิตดา มะสุนี)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวนิตดา มะสุณี)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป
ผู้เขียน	นางสาวนิตดา มะสุณี
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแปรรูปหมึกเป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารทะเลที่มีความสำคัญกับระบบเศรษฐกิจของไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งหมึกแช่แข็งซึ่งมีปริมาณ และมูลค่าในการส่งออกสูงกว่าหมึกแปรรูปชนิดอื่นๆ การตรวจสอบคุณภาพหมึกเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการแปรรูปหมึก ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกหมึกตามระดับคุณภาพโดยอาศัยประสาทสัมผัสของผู้ปฏิบัติงาน จากการศึกษาพบว่า ปัญหาของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยผู้ปฏิบัติงานมีสองประเด็นหลักคือ การขาดแคลนแรงงานเนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีการใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวนมาก อีกประเด็นคือความสม่ำเสมอ และความถูกต้องในการปฏิบัติงาน ซึ่งจากการทวนสอบความสามารถของผู้ปฏิบัติงานเบื้องต้นของแพปลากรณีศึกษา พบว่ามีความถูกต้องในการปฏิบัติงานเพียง 61% ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด โดยจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อ และตำหนิบนลำตัวของหมึกออกเป็น 4 ระดับคุณภาพประกอบด้วย คุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสีย ซึ่งจะใช้ลักษณะความแตกต่างของปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นลักษณะเด่นในการจำแนกได้แก่ สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ โดยปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกถูกคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกได้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการจำแนกของเสียออกจากหมึกทั้งหมด โดยพิจารณาจากปริมาณของพื้นที่สีดำ โปรแกรมจะทำการจำแนกคุณภาพหมึกเป็นของเสียเมื่อค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำมากกว่า 0.65% ของพื้นที่ทั้งหมด แต่หากตรวจสอบพบค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำน้อยกว่า 0.65% เทคนิคฟัซซีลอจิกจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกระดับคุณภาพหมึก โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกกับระดับคุณภาพ ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นผลจากการรวบรวมข้อมูลภาพหมึกแต่ละระดับคุณภาพจากการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ผลลัพธ์จากการตรวจสอบคุณภาพหมึกด้วยเทคนิคนี้พบว่ามีความถูกต้อง 96.15% เมื่อเทียบกับการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีความถูกต้องกว่าการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นสามารถนำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นข้อมูลสำหรับพัฒนาเป็นระบบการตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติทดแทนการตรวจสอบคุณภาพด้วยผู้ปฏิบัติงานได้

Thesis Title	Development of an image processing system in splendid squid quality classification
Author	Miss Niyada Masunee
Major Program	Industrial and Systems Engineering
Academic Year	2013

ABSTRACT

Squid processing industry is one of major seafood industries of Thailand. Especially frozen squid, its export volume and value are higher than other processed-squid products. Quality inspection is a process to classify the squids into different quality grades. This labor-intensive process is affected by labor shortage and performance deterioration over time. A preliminary study indicated an accuracy of human visual inspection of only 61 percent at a case study factory. As a result, this research is aimed at developing a technique for external quality inspection of a tube squid. Squids were classified into four quality levels, namely A grade, B grade, C grade, and defective, based on their surface color (white, red, pink, and black). Difference in percentages by area of such colors appeared on the squid's body was a dominant feature used for classification. Quality classification was consisted of two stages: defect identification and quality grading. In the first stage, defectives were identified when the percentage of black feature was more than 0.65% of the entire area. Otherwise, fuzzy logic was used in classification of non-defectives into such aforementioned grades. Fuzzy rules were established as a relationship between range of color percentage and quality grade determined by an expert. Using this technique, classification accuracy of 96.15% could be obtained. Results from a Measurement System Analysis (MSA) indicated that accuracy and repeatability of the proposed technique greatly outperform performance of workers. Future research could be in the direction of implementing this technique in development of an automated inspection system in order to alleviate labor-related problems.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณยิ่ง ผศ.ดร.สุภาพรพรณ ไชยประพัทธ์ และดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.ดร.สุทนต์วัฒน์ เบญจกุล รศ.สมชาย ชูโณม รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ ไพศาล ผศ.ดร.พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์ ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ ดร.นวกัก เอื้ออนันต์ และคณาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ผู้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำ วิทยานิพนธ์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ทูบบัณฑิตศึกษาภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) สัญญาเลขที่ AGR540556m ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและค่าใช้จ่ายการเดินทางไปนำเสนอผลงานวิจัย

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะ อุตสาหกรรมเกษตร ที่อนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณสุดาวรรณ แซ่ซื่อ ผู้จัดการสาขาสงขลา และคุณวรรณทร์ แก้วขาว ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ และควบคุมคุณภาพสาขาสงขลาที่อนุเคราะห์ข้อมูล และสถานที่ในการ ดำเนินงานวิจัยฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ให้การเลี้ยงดูเป็นอย่างดี อีกทั้งบุคลากรภายในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ที่คอย ช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

นียดา มะสุณี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจสอบเอกสาร	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	10
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 หมึก	12
2.2 การประมวลผลภาพ (image processing)	19
2.3 รูปแบบสี (color model)	25
2.4 ระบบฟuzzyลอจิก	29
2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัดความสามารถสำหรับข้อมูลแอดทริบิวต์	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	43
3.1 แนวคิดการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพ	43
3.2 วัสดุอุปกรณ์	47
3.3 การสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพ	48
3.4 การพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึก	49
3.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงาน	61
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	63
4.1 ผลการเก็บบันทึกข้อมูลภาพหมึก	63
4.2 ผลการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึก	64
4.3 ผลการกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก	86
4.5 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงาน	88
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	93
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	93
5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย	95
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก ข้อมูลค่าสี และคุณลักษณะของภาพ	102
ภาคผนวก ข การใช้ LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011	124
ในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพ	
ภาคผนวก ค การใช้ MATLAB ในการออกแบบ Fuzzy Logic Toolbox	129
ภาคผนวก ง ผลการจำแนกระดับคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงาน	153
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์	162
ประวัติผู้เขียน	171

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 มูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปตั้งแต่ปี 2551-2554	1
ตารางที่ 1.2 มูลค่าการส่งออกสินค้าหมักสดแช่เย็นและแช่แข็งตั้งแต่ปี 2551-2554	2
ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของหมักกล้วยแปรรูป	15
ตารางที่ 2.2 รูปแบบของหมักกล้วยแปรรูปสดตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	18
ตารางที่ 2.3 ค่า chromaticity coordinate ของสีขาว่าแต่ละแหล่งกำเนิดแสง	29
ตารางที่ 2.4 ขนาดสิ่งตัวอย่างที่แนะนำสำหรับการประเมินระบบการวัดสำหรับข้อมูลนับ	39
ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องวิดีโอถ่ายภาพก่อนทำการถ่ายภาพ	51
ตารางที่ 3.2 ลักษณะของข้อมูลปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมัก	55
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ One-way ANOVA	56
ตารางที่ 3.4 Multiple Comparisons	57
ตารางที่ 3.5 Homogeneous Subsets ของปริมาณพื้นที่สีขาว่า	58
ตารางที่ 3.6 Homogeneous Subsets ของปริมาณพื้นที่สีชมพู	58
ตารางที่ 3.7 Homogeneous Subsets ของปริมาณพื้นที่สีแดง	59
ตารางที่ 4.1 ค่าสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงินของตัวจำแนกแต่ละประเภทสี	65
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างแนวคิดของตัวจำแนก	66
ตารางที่ 4.3 ค่าคะแนนประจำตัว และค่าคะแนนการจำแนกค่าสี	67
ตารางที่ 4.4 ปริมาณพื้นที่แต่ละประเภทสีในแต่ละระดับคุณภาพ	72
ตารางที่ 4.5 กฎฟuzzyในการจำแนกระดับคุณภาพของหมักกล้วยแปรรูป	82
ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินความถูกต้องของเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพหมักที่พัฒนาขึ้น	87
ตารางที่ 4.7 ผลการจำแนกระดับคุณภาพของหมักด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น	88
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน	89
ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงาน	90
ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน	91
ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน	92

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างระบบดึงข้อมูลภาพ	5
รูปที่ 1.2 สีของมันฝรั่งทอดในระบบสี $L^* a^* b^*$	6
รูปที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงสีและจุดสีน้ำตาลบนเปลือกกล้วยในแต่ละระยะการสุกของกล้วย	7
รูปที่ 1.4 ตัวอย่างพื้นที่ที่สนใจของมะพร้าวทั้ง 3 ประเภทชั้นเนื้อ	8
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกกล้วย	13
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกกระดอง	13
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกสาย	14
รูปที่ 2.4 กระบวนการแปรรูปเบื้องต้นของหมึก	16
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกกล้วยแปรรูป	17
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกกระดองแปรรูป	19
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกสายแปรรูป	19
รูปที่ 2.8 หลักการมองเห็นของสายตามนุษย์	20
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบการมองเห็นของเครื่องจักร	21
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์รับภาพ	22
รูปที่ 2.11 ลูกบาศก์รูปแบบสี RGB	25
รูปที่ 2.12 ลูกบาศก์รูปแบบสี CMY	26
รูปที่ 2.13 พีระมิดฐานหกเหลี่ยมรูปแบบสี HSV	27
รูปที่ 2.14 ลักษณะสีของรูปแบบสี CIE $L^*a^*b^*$	28
รูปที่ 2.15 แนวคิดแบบจริงเท็จ และแนวคิดฟัซซี	30
รูปที่ 2.16 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม	31
รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	31
รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปเกาส์เซียน	32
รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปประฆังคว่ำ	33
รูปที่ 2.20 การยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B	33
รูปที่ 2.21 การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B	34
รูปที่ 2.22 การคอมพลีเมนต์ของฟัซซีเซต A	34
รูปที่ 2.23 ขั้นตอนของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.24 การอนุमानแบบ Mamdani	37
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตแบบ Sugeno	37
รูปที่ 3.1 ปริมาณความถี่ที่พบคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์	46
รูปที่ 3.2 ระบบดึงข้อมูลภาพ	48
รูปที่ 3.3 แผ่นสีสำหรับสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพ (ก) แผ่นสีดำ (black sheet) (ข) แผ่นสีเทา (gray sheet) และ (ค) แผ่นสีขาว (white sheet)	49
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึก	50
รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันหน้ากากของภาพ	52
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก	54
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก	60
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัดความสามารถ	61
รูปที่ 4.1 ภาพหมึกแต่ละระดับคุณภาพที่ได้จากการถ่ายภาพในชุดควบคุมแสง (ก) คุณภาพระดับที่ 1 (ข) คุณภาพระดับที่ 2 (ค) คุณภาพระดับที่ 3 และ (ง) ของเสีย	63
รูปที่ 4.2 ผลการแยกบริเวณ (ก) ภาพสี RGB ของหมึก (ข) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการแยกบริเวณ โดยใช้วิธีการระบุบริเวณที่สนใจ (region of interest)	64
รูปที่ 4.3 ผลการจำแนกสี (ก) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการแยกบริเวณ (ข) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการจำแนกสี	67
รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายของข้อมูลแบบ 3 มิติของปริมาณพื้นที่สีแต่ละระดับคุณภาพ	68
รูปที่ 4.5 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีขาว	69
รูปที่ 4.6 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีชมพู	69
รูปที่ 4.7 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีแดง	69
รูปที่ 4.8 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีดำ	70
รูปที่ 4.9 กราฟแบบกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดง	71
รูปที่ 4.10 ฟัซซีเซตของปริมาณพื้นที่สีขาวระดับน้อย	71
รูปที่ 4.11 ฟัซซีเซตของปริมาณพื้นที่สีขาวระดับปานกลาง	73
รูปที่ 4.12 ฟัซซีเซตของปริมาณพื้นที่สีขาวระดับมาก	74
รูปที่ 4.13 ฟัซซีเซตของปริมาณพื้นที่สีขาวระดับน้อย ปานกลางและมาก	74

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย	75
รูปที่ 4.15 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับปานกลาง	76
รูปที่ 4.16 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมาก	76
รูปที่ 4.17 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย ปานกลาง และมาก	77
รูปที่ 4.18 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย	78
รูปที่ 4.19 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมาก	79
รูปที่ 4.20 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย และมาก	79
รูปที่ 4.21 ฟัชซีเซตของระดับคุณภาพของหมึก (output)	80
รูปที่ 4.22 ผลการจำแนกสีของตัวอย่างหมึก	85
รูปที่ 4.23 การอนุมานกฎฟัชซี	86
รูปที่ 4.24 การหาค่าฟัชซีให้เป็นค่าปกติ	86
รูปที่ 4.25 ค่าประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นของความสามารถในการวัดซ้ำของผู้ปฏิบัติงาน	90
รูปที่ 4.26 ค่าประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นของความสามารถของผู้ปฏิบัติงานกับมาตรฐาน	91
รูปที่ 5.1 แนวคิดการพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพหมึกอัตโนมัติ	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญ เนื่องจากอุดมไปด้วยผลิตผลทางการเกษตรและการประมงมากมายหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็น ผัก ผลไม้ ธัญพืช เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก สัตว์น้ำและอื่นๆ รัฐบาลได้เล็งเห็นถึงศักยภาพด้านนี้ของประเทศจึงมีนโยบายที่จะผลักดันให้ประเทศไทยเป็นครัวของโลก โดยต้องการให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกสินค้าอาหารรายใหญ่ 1 ใน 5 ของโลก จากการสำรวจข้อมูลสินค้าที่ส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ พบว่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลกระป๋อง อาหารทะเลแปรรูปและสินค้าประมงมีมูลค่าสูงมาก โดยสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรประเภทอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปเป็นหนึ่งในสินค้าส่งออกสำคัญ 20 รายการแรกของประเทศไทย มียอดการส่งออกดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 มูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปตั้งแต่ปี 2551-2554

ปี	มูลค่า (ล้านบาท)
2551	128,923.9
2552	126,692.3
2553	130,086.0
2554	135,792.7

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์[1]

จากตารางที่ 1.1 พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2553 มูลค่าการส่งออกสินค้าอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี และจะเห็นว่าปี พ.ศ. 2554 มีมูลค่าการส่งออก 135,792.7 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีก่อน ซึ่งมีมูลค่า 130,086 ล้านบาท [1] สำหรับสินค้าประมงประเภทหมึก มีผลิตภัณฑ์ส่งออกแบ่งเป็นหมึกแช่แข็ง 91% ที่เหลือ 9% เป็นหมึกกระป๋อง หมึกปรุงแต่งและหมึกแห้ง [2] ซึ่งหมึกสดแช่เย็นและแช่แข็ง มียอดการส่งออกดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 มูลค่าการส่งออกสินค้าหมักสดแช่เย็นและแช่แข็งตั้งแต่ปี 2551-2554

ปี	มูลค่า (ล้านบาท)
2551	12,531.9
2552	11,187.0
2553	11,115.8
2554	12,286.0

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ [1]

จากตารางที่ 1.2 พบว่าในปี พ.ศ. 2551-2553 มูลค่าการส่งออกลดลง ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการแข่งขันที่รุนแรงมากขึ้นระหว่างผู้ผลิตของประเทศผู้ส่งออกสำคัญๆ เช่น อินเดีย เวียดนาม และสเปน เป็นต้น ประกอบกับทรัพยากรหมักในประเทศมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณความต้องการบริโภคในประเทศเพิ่มขึ้น [2] สำหรับปี พ.ศ. 2554 มีมูลค่าการส่งออก 12,286 ล้านบาท ซึ่งมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นจากปี 2553 คิดเป็นร้อยละ 11 เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจของตลาดหลักเช่น สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และอเมริกา ดีขึ้นส่งผลให้มีความต้องการหมัก และผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสหภาพยุโรปเป็นตลาดที่สำคัญที่สุด มีปริมาณการส่งออก คิดเป็นร้อยละ 27 ของปริมาณการส่งออกทั้งหมด [1] จากข้อมูลดังกล่าวนี้ หมักนั้นว่าเป็นสินค้าอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีความสำคัญและตลาดมีการแข่งขันสูง ดังนั้นการที่จะเพิ่มมูลค่าการจำหน่ายให้สูงขึ้น จำเป็นต้องทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและความปลอดภัยสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐาน และข้อกำหนดต่างๆในการส่งออกหรือจำหน่ายสินค้าทางการเกษตรและอาหาร อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความต้องการของลูกค้าเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความพึงพอใจของลูกค้าหรือผู้บริโภคได้อย่างสูงสุด

การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคุณภาพและความปลอดภัย สำหรับหมักกล้วยสดที่มีคุณภาพได้ถูกกำหนดไว้ว่า เป็นหมักที่มีลักษณะสมบูรณ์ มีสีปกติตามธรรมชาติ มีกลิ่นควาเล็กน้อย แต่ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย ในการตรวจสอบคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [3] จะแบ่งระดับคุณภาพออกเป็น 3 ระดับ คือ คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 และคุณภาพระดับที่ 3 โดยคุณลักษณะที่ใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย สีเนื้อ กลิ่นและลักษณะเนื้อ โดยสรุปแล้วการแยกแยะระดับคุณภาพของหมักเป็นการพิจารณาความแตกต่างบนพื้นฐานสีและคุณลักษณะภายนอกอื่นๆ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ และทักษะของผู้ปฏิบัติงาน ด้วยเหตุนี้ในอุตสาหกรรมแปรรูปหมักจึงอาศัยผู้ปฏิบัติงานเพื่อตัดสินใจในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยผู้ปฏิบัติงานมีสองประเด็นหลักคือ การขาดแคลนแรงงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงงานที่มีทักษะ

ความชำนาญสูง เนื่องจากในการตรวจสอบคุณภาพของอุตสาหกรรมแปรรูปหมึกเป็นการตรวจสอบแบบ 100%ซึ่งอาศัยประสาทสัมผัสของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก ผู้ปฏิบัติงานที่สามารถปฏิบัติงานในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพจะต้องได้รับการฝึกฝนเป็นระยะเวลาหนึ่งเพื่อเพิ่มทักษะก่อนปฏิบัติงานได้จริง ดังนั้นหากองค์กรต้องสูญเสียผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้ว จึงนับว่าเป็นการเสียเวลาค่าใช้จ่ายและโอกาสในการเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนาขององค์กร อีกประเด็นที่สำคัญคือความสม่ำเสมอและความถูกต้องในการปฏิบัติงาน โดยการศึกษาเบื้องต้นในแพลตฟอร์มศึกษา พบว่าความถูกต้องในการจำแนกคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงานมีค่าเพียง 60.94% โดยพบว่าในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพนั้นผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้สายตาและประสาทสัมผัสในการประเมินเพื่อแยกแยะและตัดสินใจ การทำงานช่วงแรกจะมีประสิทธิภาพสูงและประสิทธิภาพจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านมา ซึ่งอาจเกิดจากความเมื่อยล้าและข้อจำกัดอื่นๆ ทางด้านร่างกาย จากสาเหตุดังกล่าวนี้ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานเช่น ไม่สามารถตรวจพบของเสียหรือไม่สามารถจำแนกระดับคุณภาพของสินค้าที่มีลักษณะตามต้องการได้ ซึ่งย่อมจะก่อให้เกิดผลเสียตามมาในภายหลังเช่น ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (finished product) ที่ไม่มีคุณภาพ จนกระทั่งลูกค้าขาดความเชื่อถือในตัวสินค้า

ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อช่วยในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้า ระบบอัตโนมัติมีข้อได้เปรียบในด้านความสามารถในการทำซ้ำ ความถูกต้องสูง ความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงข้อกำหนดและเงื่อนไขในการตัดสินใจ และสามารถทำงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จากการสำรวจพบว่าระบบอัตโนมัติได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการตรวจสอบในหลายขั้นตอนด้วยกันเช่น การพัฒนาเครื่องคัดแยกเนื้อหัตถ์อัตโนมัติโดยประยุกต์ใช้ระบบประมวลผลคอมพิวเตอร์ [4] การประเมินคุณภาพของแอปเปิลโดยอาศัยพื้นฐานของการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่พื้นผิว [5] การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพสำหรับการจำแนกประเภทของระดับความสุกอมของกล้วย [6] และประยุกต์ใช้ในการนับจำนวนประชากรสาหร่าย *Chlorella* sp. [7] เป็นต้น ระบบอัตโนมัติที่กล่าวถึงต้องมีส่วนประกอบในการรับข้อมูลคุณลักษณะของสินค้า ซึ่งอาจจะเป็นข้อมูลด้านน้ำหนัก พื้นที่ เส้นรอบรูป รูปร่างลักษณะหรือคุณสมบัติของสีที่ปรากฏ การรับข้อมูลดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจจู้เช่น การใช้ไหลตเซลล์ในการรับน้ำหนัก การใช้กล้องดิจิทัลหรือกล้องวิดีโอในการรับภาพของสินค้า เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ การจำแนกระดับคุณภาพของหมึกเป็นการพิจารณาความแตกต่างบนพื้นฐานสีและคุณลักษณะภายนอกอื่นๆ ดังนั้นในการรับข้อมูลคุณลักษณะต่างๆ จะใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลหรือกล้องวิดีโอในการรับภาพแทนการมองเห็นของสายตามนุษย์ เมื่อระบบอัตโนมัติรับข้อมูลภาพแล้วจะต้องผ่านขั้นตอนการประมวลผลภาพ (image processing) ซึ่งจะเป็นขั้นตอนที่แปลงข้อมูลภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อให้

คอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ และประมวลผล รวมทั้งสามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆ ได้ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีความสามารถเทียบเท่ากับระบบการมองเห็นของมนุษย์

แม้ว่าปัจจุบันมีผู้วิจัยด้านประมวลผลภาพอย่างกว้างขวางและมีโปรแกรมสำเร็จรูปให้เลือกใช้ แต่ยังไม่มียานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพในหมึกกล้วยแปรรูป เนื่องจากหมึกมีความหลากหลาย ซับซ้อนและมีความไม่แน่นอนทั้งด้านสี ขนาดและรูปร่าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบอัตโนมัติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ เน้นการแก้ปัญหาการตรวจสอบคุณภาพภายนอกเช่น สีผิว ซึ่งเมื่อผลการวิจัยสำเร็จคาดว่าจะสามารถนำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูปทดแทนกระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยผู้ปฏิบัติงาน เพื่อความสม่ำเสมอและความถูกต้องในการปฏิบัติงาน อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านการตรวจสอบคุณภาพกับสินค้าเกษตรอื่นๆ ได้อีกด้วย

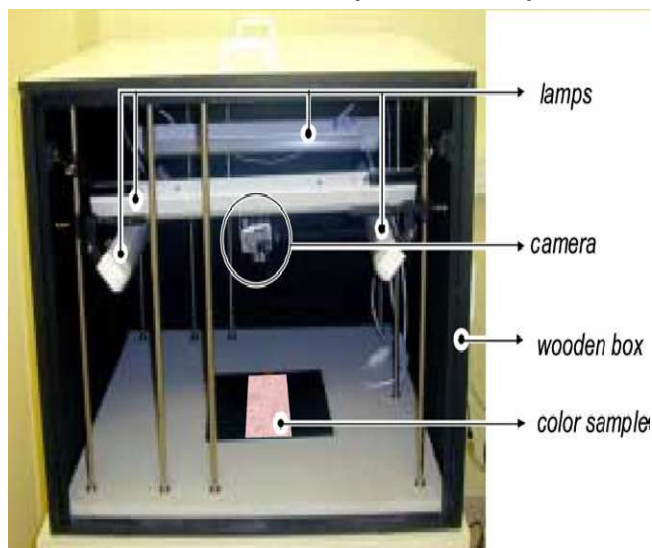
1.2 การตรวจสอบเอกสาร

การตรวจสอบเอกสารที่ผ่านมาพบว่า การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพอย่างกว้างขวางหลากหลายสาขาเช่น ทางด้านชีววิทยา ทางด้านเกษตรกรรม โดยเฉพาะกับสินค้าเกษตรและอาหารเช่น การตรวจสอบคุณภาพได้แก่ แอปเปิ้ล[5] แผ่นทอทิลลาข้าวโพด [8]แผ่นมันฝรั่งทอด [9] ผลไม้ชนิด barberry [10] และเนื้อสัตว์ [11] เป็นต้น การคัดแยกขนาดส้ม [12] และการจำแนกประเภทได้แก่ แผ่นทอทิลลาข้าวโพด [8] ปลาขนาดเล็ก [13] แฮมที่ผลิตจากหมูและไก่วง [14] เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพจำเป็นต้องมีข้อมูลคุณลักษณะของสินค้า ซึ่งอาจจะเป็นข้อมูลด้านน้ำหนัก พื้นที่ [5], [15] เส้นรอบรูป [12], [16] และคุณสมบัติของสีที่ปรากฏ [6], [8-11], [18] เป็นต้น เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ในการจำแนกและตัดสินใจของระบบ สำหรับการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกหรือคัตของเสียออกเป็นการพิจารณาความแตกต่างบนพื้นฐานสีและคุณลักษณะภายนอกอื่นๆ ดังมีรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.2.1 ระบบดึงข้อมูลภาพ

การจำแนกระดับคุณภาพของหมึกหรือคัตของเสียออกเป็นการพิจารณาความแตกต่างบนพื้นฐานสีและคุณลักษณะภายนอกอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยระบบประมวลผลภาพจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับระบบดึงข้อมูลภาพ ซึ่งในขั้นตอนการเก็บรวบรวมภาพจะต้องกำหนดและออกแบบชุดควบคุมแสง เนื่องจากเป็นส่วนที่สำคัญที่ส่งผลต่อสีที่ปรากฏของวัตถุ ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบดึงข้อมูลภาพประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง กล้องดิจิทัลหรือ

กล้องวิดีโอและซอฟต์แวร์ในการประมวลผลหรือการจำแนก สำหรับแหล่งกำเนิดแสงนั้น จาก การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แหล่งกำเนิดแสงของระบบ Commission Internationale De L'Eclairage (CIE) แบ่งเป็น Illuminant A, Illuminant B, Illuminant C และ Illuminant D โดย แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมมากที่สุดสำหรับการประมวลผลของสินค้าเกษตรและอาหารคือ Illuminant D [6], [8-9], [19] โดยมีอุณหภูมิสี (color temperature) ที่แตกต่างกันเช่น D₆₅ และ D₇₅ ซึ่ง อุณหภูมิสี D₆₅ จะให้ค่าสีที่ได้ใกล้เคียงค่าสีที่รับรู้โดยมนุษย์มากที่สุด โดยติดตั้งภายในกล่องที่มีผนังสี ดำ ส่วนกล้องดิจิทัลหรือกล้องวิดีโอจะใช้สำหรับการรับข้อมูลภาพเข้าสู่ระบบประมวลผล โดยจะ ติดตั้งสูงจากตัวอย่างประมาณ 20-25 ซม.และ ทำมุม 0 องศากับตัวอย่าง [6], [8-9], [19] องค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นเดียวกันคือ ซอฟต์แวร์ที่ช่วยในการประมวลผลภาพ จาก การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ซอฟต์แวร์ที่นิยมมากที่สุดในการประมวลผล ได้แก่ MATLAB [6], [9], [18-20] และ imageJ [21] ตัวอย่างระบบดึงข้อมูลภาพแสดงดังรูปที่ 1.1

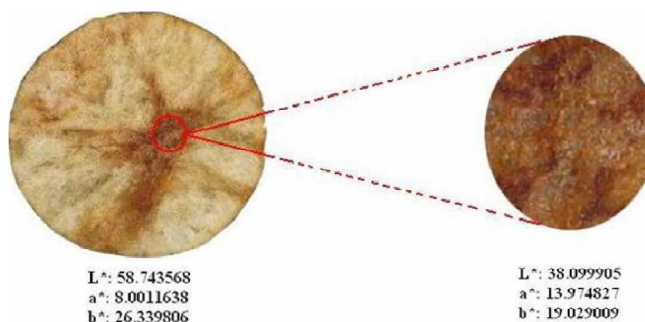


รูปที่ 1.1 ตัวอย่างระบบดึงข้อมูลภาพ [9]

1.2.2 คุณลักษณะเด่นในการจำแนก

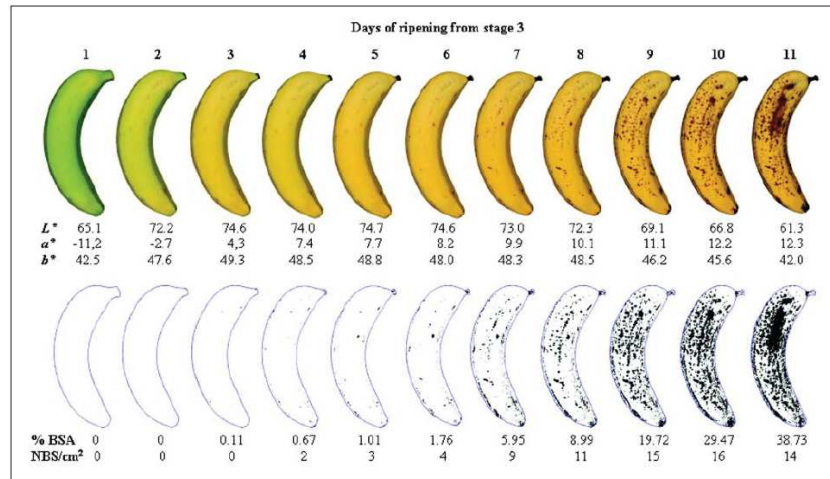
โดยส่วนใหญ่การประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบหรือจำแนก คุณภาพของสินค้าเกษตรและอาหาร ใช้คุณลักษณะของสีที่ปรากฏและคุณลักษณะภายนอกอื่นๆ เป็น พารามิเตอร์ในการจำแนก คุณลักษณะสีที่ปรากฏถือเป็นคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานของสินค้า เกษตรและอาหารเนื่องจากผู้บริโภคใช้พิจารณาเป็นปัจจัยแรกในการตัดสินใจยอมรับ และเลือกซื้อ ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้คุณลักษณะสียังมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีและทางชีววิทยาของ ผลิตภัณฑ์ [6] ดังนั้นคุณลักษณะสีจึงมีบทบาทสำคัญในการประเมินคุณภาพในอุตสาหกรรมสินค้า เกษตรและอาหาร จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบสีที่ใช้กับสินค้าเกษตรและอาหาร ได้แก่ RGB,

HSV และ $L^*a^*b^*$ [6] ซึ่งจากการศึกษาของ F. Mendoza และคณะ [6] พบว่าระบบสี $L^*a^*b^*$ เป็นระบบสีที่ดีที่สุดสำหรับการวัดคุณลักษณะสีในวัตถุดิบและอาหารที่มีพื้นผิวโค้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Leon และคณะ [19] ที่กล่าวว่าระบบการวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ เป็นระบบการวัดสีที่เหมาะสมและใช้กันมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าสีใกล้เคียงกับการรับรู้สีของมนุษย์ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในหลากหลายผลิตภัณฑ์เช่น M. Mohebbi และคณะ [18] ได้พัฒนาระบบเพื่อใช้ในการประมาณค่าความชื้นในกึ่งแห้งซึ่งประเมินจากคุณสมบัติทางสี $L^*a^*b^*$ โดยทำการวิเคราะห์สีระหว่างกระบวนการอบแห้งเพื่อจำแนกปริมาณความชื้นออกเป็น 4 ระดับ คือ ปริมาณความชื้นระดับต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง และสูง ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ระบบอัตโนมัติที่ใช้มีความได้เปรียบกว่าวิธีการแบบเดิม เนื่องจากมีความรวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ และราคาไม่แพง และการศึกษาของ F. Pedreschi และคณะ [9] ได้พัฒนาระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) ในการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของมันฝรั่งทอดระหว่างการทอดที่อุณหภูมิ 120 °C, 140 °C, 160 °C และ 180 °C โดยใช้ระบบสี $L^*a^*b^*$ แสดงดังรูปที่ 1.2 เพื่อที่จะประเมินผลกระทบของอุณหภูมิน้ำมันต่อการเกิดสีน้ำตาลในมันฝรั่งทอดซึ่งจากการศึกษาพบว่าระบบสี $L^*a^*b^*$ สามารถให้ค่าสีที่เที่ยงตรงและเป็นตัวแทนของสีจริง



รูปที่ 1.2 สีของมันฝรั่งทอดในระบบสี $L^*a^*b^*$ [9]

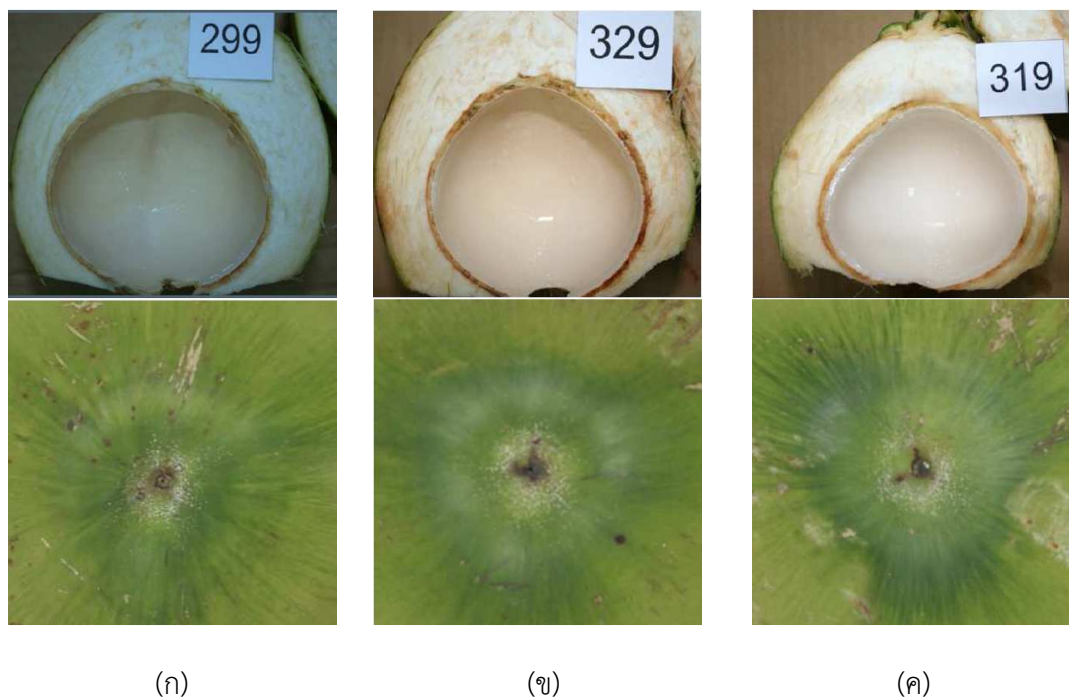
นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ F. Mendoza และ J.M. Aguilera [6] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพสำหรับการจำแนกระดับความสุกงอมของกล้วยโดยอาศัยพื้นฐานคุณลักษณะของสีที่ปรากฏบนเปลือก โดยการจำแนกระดับความสุกงอมของกล้วยจะศึกษาคุณลักษณะที่ปรากฏ 9 ลักษณะเช่น ค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* เพอร์เซ็นต์พื้นที่สีน้ำตาล จำนวนจุดสีน้ำตาลต่อพื้นที่ตารางเซนติเมตร ความสม่ำเสมอของเนื้อ ความคมชัด สหสัมพันธ์ของแต่ละคุณลักษณะ และเอนโทรปีของพื้นผิวภาพ การศึกษาพบว่าค่าสี L^* a^* และ b^* จะสามารถใช้ระบุระยะการสุกของกล้วย 6 ระยะคือ ระยะที่ 1 สีเขียวระยะที่ 2 สีเขียวปนเหลืองเล็กน้อยระยะที่ 3 สีเขียวปนเหลืองระยะที่ 4 สีเหลืองปนเขียวระยะที่ 5 สีเหลืองปนเขียวเล็กน้อยที่ปลาย และระยะที่ 6 มีสีเหลืองทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 1.3 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกกล้วยจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองเกิดจากการสังเคราะห์เม็ดสีเช่น คาโรทีนอยด์ (carotenoids) และการสลายของเม็ดสีคลอโรฟิลล์



รูปที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงสีและจุดสีน้ำตาลบนเปลือกกล้วยในแต่ละระยะการสุกของกล้วย [6]

ในการระบุการสุกของกล้วยระยะ 7 ถึง 11 พบว่าไม่สามารถใช้ค่าสี $L^*a^*b^*$ เป็นคุณลักษณะในจำแนกระยะการสุกของกล้วยได้ เนื่องจากการวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ มีข้อจำกัดคือพื้นผิวของวัตถุต้องมีสีสม่ำเสมอ หรือเป็นสีเดียวกันทุกตำแหน่งบนวัตถุที่วัด ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวจึงใช้คุณลักษณะเปอร์เซ็นต์พื้นที่สีน้ำตาลและจำนวนจุดสีน้ำตาลต่อพื้นที่ตารางเซนติเมตรเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนกร่วมกับการวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสามารถจำแนกระดับการสุกของกล้วยได้ถูกต้องสูงถึง 98%

จะเห็นได้ว่าหากวัสดุมีสีบนพื้นผิวไม่สม่ำเสมอคุณลักษณะเด่นในการจำแนกจะไม่นิยมใช้ค่าสีในระบบต่างๆเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนก แต่จะใช้คุณลักษณะเด่นอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณพื้นที่ของสีที่ปรากฏบนพื้นผิววัสดุ เช่น การศึกษาของ S. Madue [22] การจำแนกประเภทชั้นเนื้อของมะพร้าว น้ำหอมอ่อนด้วยการประมวลผลภาพถ่ายบริเวณก้นของผลมะพร้าว น้ำหอมอ่อน โดยการคำนวณหาปริมาณร้อยละของพื้นที่สีเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนก ซึ่งผลจากการจำแนกพบว่าสามารถจำแนกมะพร้าว น้ำหอมอ่อนออกเป็น 3 ประเภทคือ มะพร้าว น้ำหอมอ่อนประเภทเนื้อชั้นเดียว เนื้อชั้นครึ่ง และเนื้อสองชั้น แสดงดังรูปที่ 1.4 โดยสามารถจำแนกประเภทชั้นเนื้อของมะพร้าว น้ำหอมอ่อนได้ถูกต้องร้อยละ 97.15, 82.85 และ 71.42 ตามลำดับ



รูปที่ 1.4 ตัวอย่างพื้นที่ที่สนใจของมะพร้าวทั้ง 3 ประเภทชั้นเนื้อ (ก) เนื้อชั้นเดียว (ข) เนื้อชั้นครึ่ง และ (ค) เนื้อสองชั้น [22]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาคุณลักษณะเด่นในการจำแนกประเภทและตรวจสอบคุณภาพของสินค้าเกษตรและอาหาร จะใช้หลักการการวิเคราะห์คุณลักษณะสับสนพื้นผิว ระบบสีที่ใช้โดยมากคือระบบสี L^*a^*b เพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ และสำหรับสินค้าเกษตรและอาหารที่มีสับสนพื้นผิวไม่สม่ำเสมอจะใช้ปริมาณพื้นที่สีเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนก โดยระบบการจำแนกประเภทและตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นมีข้อได้เปรียบในเรื่องของความเร็ว ราคาไม่แพงและมีความถูกต้องแม่นยำสูง เมื่อเทียบกับการดำเนินการด้วยผู้ปฏิบัติงาน

1.2.3 การจำแนก

การจำแนกเป็นกระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุที่กำลังพิจารณา โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณคุณลักษณะเด่นของวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น M. Mohebbi และคณะ [18] ได้ใช้สีเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนกปริมาณความชื้นของกุ้งแห้งระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยใช้สมการเชิงเส้น (Multiple Linear Regression: MLR) และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) เป็นเทคนิคในการจำแนก สมการเชิงเส้นเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะสีและปริมาณความชื้นในรูปแบบเชิงเส้น ในขณะที่โครงข่ายประสาทเทียมจะเป็นแบบจำลองที่ไม่ใช่เชิงเส้น(non-linear) ข้อมูลจะถูกแบ่งเป็นสองชุด ซึ่งข้อมูลในชุดฝึกอบรวม

(training) จะใช้เพื่อกำหนดสมการเชิงเส้นและโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับข้อมูลในชุดทดสอบจะใช้ในการเปรียบเทียบการคาดการณ์ปริมาณความชื้น ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากสมการเชิงเส้น และโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับ 0.80 และ 0.86 ตามลำดับ โดยความแตกต่างระหว่าง 2 โมเดลมีค่าน้อยกว่า 0.05 ($p < 0.05$) นั้นหมายความว่า การจำแนกปริมาณความชื้นของกึ่งแห้งระหว่างกระบวนการอบแห้งโดยใช้สมการเชิงเส้น และโครงข่ายประสาทเทียมแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญ H.Shirgahi และ N.Danesh [10] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) เพื่อกำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์ barberry อาศัยพื้นฐานของค่าสี่สเปกตรัมเฉลี่ย โดยการประมวลผลภาพ เป็นการศึกษาในการแยกความแตกต่างของสิ่งปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ barberry ออกจากผลิตภัณฑ์ barberry ที่มีคุณภาพ สำหรับสิ่งปนเปื้อนที่ตรวจสอบได้แก่หนาม ใบกรวด และ barberry ที่มีอายุไม่เหมาะสมหรือยังไม่สุก เป็นต้น โดยในการศึกษาจะนำค่าเฉลี่ยของสีเป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดเขตของฟัซซีและกฎของฟัซซีเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบคุณภาพจากการศึกษาพบว่ามีความถูกต้องในการกำหนดคุณภาพของ barberry ถึง 98.6% ซึ่งมากกว่าวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส และงานวิจัยของ Y. Al Ohali [17] ในการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Back Propagation Neural Networks: BPNN) เป็นเทคนิคในการแยกคุณลักษณะต่างๆ เพื่อคัดแยกผลไม้ออกเป็น 3 เกรด R. Furferi และคณะ [23] ได้นำเสนอแบบจำลองในการคาดคะเนระดับการสุกของมะกอกอย่างรวดเร็ว เพื่อคาดคะเนปริมาณน้ำมันภายในผลมะกอก โดยพิจารณาคูณลักษณะที่ได้จากระบบประมวลผลภาพ จากการศึกษาพบว่าระบบประมวลผลภาพสามารถวิเคราะห์คุณลักษณะสีผิว และสีเนื้อของมะกอก ดังนั้นคุณลักษณะดังกล่าวจึงถูกใช้เป็นพารามิเตอร์ในการคาดคะเนระดับการสุกของมะกอก ซึ่งเทคนิคที่ถูกนำมาใช้จะเป็นโครงข่ายประสาทเทียม โดยคุณลักษณะสีผิว และสีเนื้อของมะกอกเป็นอินพุต และระดับการสุกของมะกอกเป็นเอาต์พุตสำหรับโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพ

จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่ใช้ในการจำแนกที่ใช้สินค้าเกษตรและอาหารได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียม สมการเชิงเส้น และฟัซซีลอจิก สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมและฟัซซีลอจิก เป็นเทคนิคหลักและนิยมใช้สำหรับการประเมินคุณภาพของอาหาร [24] โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะเหมาะกับการจำแนกที่ใช้พารามิเตอร์มากกว่าหนึ่งพารามิเตอร์ และสามารถเรียนรู้ระบบได้เอง ในกรณีที่ข้อมูลขาดหาย ส่วนฟัซซีลอจิกจะเหมาะสมกับการจำแนกพารามิเตอร์เชิงคุณภาพ [24] และมีความไม่แน่นอน จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าและสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งสามารถประมวลผลได้เร็วกว่าโครงข่ายประสาทเทียม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า วัตถุประสงค์ของการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการจำแนกและตรวจสอบคุณภาพสินค้าเกษตรและอาหารคือ เพื่อเพิ่มความรวดเร็วและความถูกต้องแม่นยำในการทำงาน เนื่องจากในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพนั้นผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้สายตาและประสาทสัมผัสในการประเมินเพื่อแยกแยะและตัดสินใจ การทำงานช่วงแรกจะมีประสิทธิภาพสูงและประสิทธิภาพจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านมา เนื่องจากความเมื่อยล้าและข้อจำกัดอื่นๆ ทางด้านร่างกาย ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบการประมวลผลภาพสำหรับการกระบวนการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกกล้วยแปรรูป ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นประโยชน์และมีความเป็นไปได้หากมีการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพหมึกกล้วยแปรรูปโดยการพิจารณาความแตกต่างบนพื้นฐานสีและคุณลักษณะภายนอกอื่นๆ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกกล้วยแปรรูปโดยประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพ ซึ่งเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นจะมีความถูกต้องในการตรวจสอบอย่างน้อย 95% โดยเปรียบเทียบกับการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

(1) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะยังไม่เป็นระบบอัตโนมัติ เป็นเพียงระบบเพื่อทำการทดลองในการประเมินเปรียบเทียบความถูกต้อง (accuracy) ของเทคนิค (algorithm) ที่จะถูกพัฒนาขึ้น

(2) เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพในการวิจัยนี้ จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพภายนอก โดยจะจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อและดำหนิบนลำตัวหมึก ไม่รวมไปถึงคุณลักษณะคุณภาพอื่นๆ คุณภาพทางเคมี จุลชีววิทยา และสิ่งที่อยู่ภายในตัวหมึก คือ ไข่และกระดองใส

(3) กำหนดให้การตัดสินใจ และการจำแนกของผู้เชี่ยวชาญมีความถูกต้อง 100% เนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพของหมึกเป็นการตัดสินใจเชิงคุณภาพ ซึ่งไม่มีเกณฑ์จำแนกที่ชัดเจน ดังนั้นจึงกำหนดให้การตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญเป็นเกณฑ์ และเป็นตัวอย่างมาตรฐานเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- (1) เทคนิคที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาสร้างเครื่องตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปหมึกกล้วย
- (2) สามารถลดความแปรปรวนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกกล้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหมึกซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการศึกษา ได้แก่ ชีววิทยาของหมึก กระบวนการแปรรูปหมึก เภณศาสตร์การตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป ชนิด และรูปแบบของหมึกแปรรูป ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ ได้แก่ หลักการมองเห็นของมนุษย์กับการประมวลผลภาพ ระบบการมองเห็นของเครื่องจักร ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบสี ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบฟuzzyลอจิก นอกจากนี้ยังศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ระบบการวัดความสามารถสำหรับข้อมูลแบบแอตทริบิวต์ (attribute) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของเทคนิคที่พัฒนากับความสามารถของผู้ปฏิบัติงานในการตรวจสอบคุณภาพหมึก โดยแต่ละประเด็นข้างต้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 หมึก

หมึกหมายถึงสัตว์ที่อยู่ในชั้นเซฟาโลพอดา (cephalopoda) และมีชื่อสามัญว่า เซฟาโลพอดส์ (cephalopods) หรืออิงค์ฟิช (Ink fish) สำหรับทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหมึกมีดังนี้

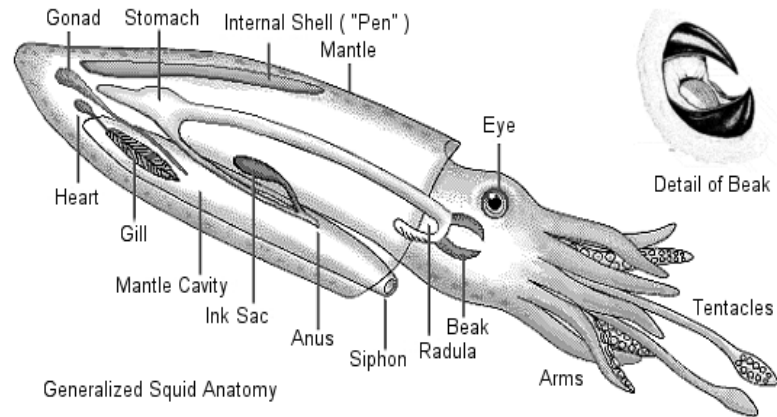
2.1.1 ชีววิทยาของหมึก

หมึกเป็นสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับสัตว์น้ำจำพวกหอย ลักษณะโครงสร้างของหมึกแบ่งเป็นส่วนหัว และลำตัวที่ไม่มีเปลือกหุ้มภายนอก ส่วนหัวมีตาขนาดใหญ่ มีระยะง่ากรอบปากเรียกกันว่า หนวด (arm) มีหน้าที่จับเหยื่อป้อนเข้าปาก และช่วยในการผสมพันธุ์ หมึกมีมากกว่า 700 ชนิดแตกต่างกันไป พบอยู่ในบริเวณน่านน้ำของไทยมีประมาณ 6 วงศ์ 11 สกุล 20 ชนิด [25] โดยหมึกที่สำคัญสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ หมึกกล้วย (squid) หมึกกระดอง (cuttle fish) และหมึกสาย (octopus) [26] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) หมึกกล้วย

หมึกกล้วยมีรูปร่างเรียวยาว ลำตัวกลม มีครีบเป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ทางด้านซ้ายและขวา มีหนวด (arm) ทั้งหมด 10 เส้น และจะมีอยู่คู่หนึ่งที่ยาวกว่าหนวดอื่นๆ ใช้สำหรับหยิบจับอาหาร เรียกว่า เทนทาเคิล (tentacles) ภายในลำตัวมีแคลเซียมแข็งลักษณะโปร่งใสเรียกว่า เพน (pen) บริเวณผิวหนังมีเซลล์เรียกว่าโครมาโตฟอร์ (chromatophore) ซึ่งภายในเซลล์มีเม็ดสี (pigment) จะพบกระจายอยู่บริเวณด้านบนลำตัวมากกว่าด้านล่าง ซึ่งขยายใหญ่หรือหดเล็กได้โดยการควบคุมของระบบประสาทตามสภาพสิ่งแวดล้อม ภายในลำตัวมีท่อทางเดินอาหารระบบขับถ่าย และระบบสืบพันธุ์ ส่วนปลายสุดของท่อทางเดินอาหารมีถุงบรรจุน้ำสีดำอยู่เรียกว่า ถุงหมึก (ink sac) ซึ่งจะถู

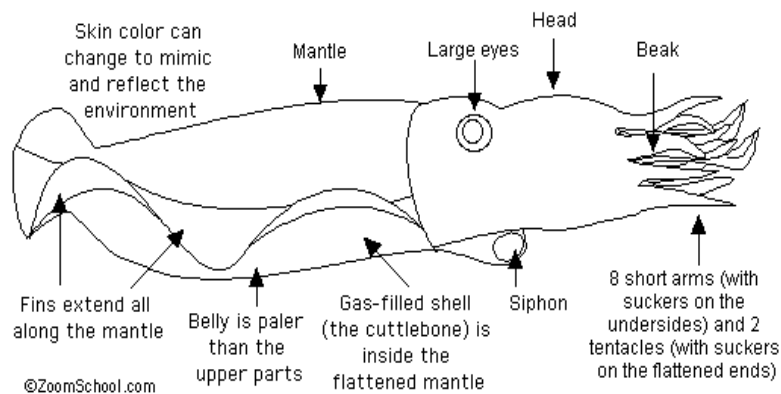
พ่นออกมาทางท่อน้ำเมื่อถูกรบกวนหรือต้องการหลบหลีกศัตรู โดยโครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกกล้วยแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกกล้วย [27]

(2) หมึกกระดอง

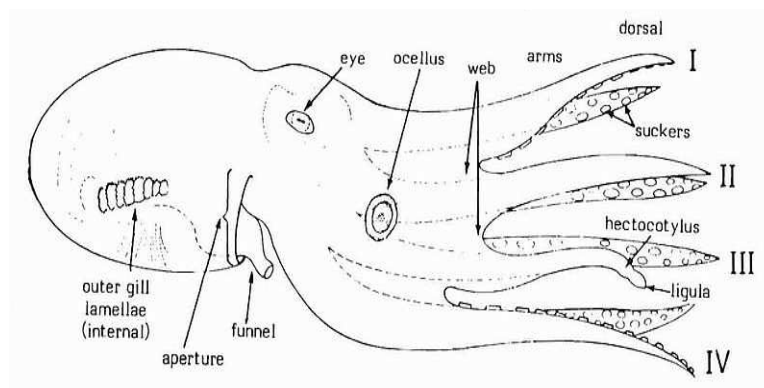
หมึกกระดองมีรูปร่างแบน ยาวรี มีแผ่นกล้ามเนื้อคลุมลำตัวเกือบทั้งหมด บริเวณภายในแกนกลางลำตัวจะมีแผ่นหินปูนแคลเซียมคาบอเนตเรียกว่า ลิ่นทะเลหรือกระดอง มีลักษณะตรงและเป็นชั้นซ้อนกัน ที่หัวมีนัยน์ตาขนาดใหญ่ มีหนวดสั้น 4 คู่ โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 15-25 เซนติเมตร บริเวณผิวหนังมีเซลล์เรียกว่าโครมาโตฟอร์ (chromatophore) ซึ่งเซลล์นี้เป็นถุงแบนๆ ภายในเซลล์มีเม็ดสี (pigment) จะพบบริเวณด้านบนบนลำตัวมากกว่าด้านล่าง ซึ่งสามารถขยายและหดได้ตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยโครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกกระดองแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกกระดอง [27]

(3) หมึกสาย

หมึกสายมีลำตัวกลมคล้ายลูกโป่ง ไม่มีครีบ ไม่มีกระดอง มีหนวด 4 คู่หรือ 8 เส้นแต่ละเส้นมีความยาวใกล้เคียงกัน โคนหนวดแต่ละเส้นมีแผ่นหนังเชื่อมติดกัน ด้านในของหนวดทุกเส้นมีปุ่มดูดเรียงกันเป็นสองแถวสำหรับจับสัตว์กินเป็นอาหาร ลำตัวสีเทาอมดำหรือสีน้ำตาลอ่อน โดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 6-12 เซนติเมตร ลำตัวของหมึกสายมีความยืดหยุ่นสูงจึงทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องแคล่ว โดยโครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกสายแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางชีววิทยาของหมึกสาย [27]

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาหมึกกล้วย เนื่องจากเป็นหมึกที่พบมากที่สุดในน่านน้ำไทย อีกทั้งมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกมากที่สุด จากการศึกษาพบว่า ปริมาณและมูลค่าการส่งออกหมึกกล้วยเป็น 59% หมึกกระดองเป็น 20% และหมึกสายเป็น 9.9% ของผลิตภัณฑ์หมึกสดแช่เย็นและแช่แข็งทั้งหมด [2]

2.1.2 เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

การตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) [3] หมึกกล้วยทุกชนิด และทุกรูปแบบต้องมีคุณภาพดังต่อไปนี้

- (1) เป็นหมึกที่สด มีลักษณะสมบูรณ์ตามชนิด และแบบ
- (2) มีสีปกติตามธรรมชาติ
- (3) ไม่มีตำหนิที่เห็นได้ชัดเจน
- (4) มีกลิ่นคาวเล็กน้อย แต่ไม่มีกลิ่นจากการเน่าเสีย หรือมีกลิ่นไม่พึงประสงค์
- (5) ไม่มีสิ่งแปลกปลอมซึ่งไม่ใช่ส่วนของหมึก เมื่อตรวจสอบด้วยสายตา

จากเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) [3] สามารถแบ่งระดับคุณภาพของหมึกสดได้เป็น 3 ระดับคือ คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 และคุณภาพระดับที่ 3 ซึ่งพิจารณาจากคุณลักษณะที่สำคัญได้แก่ สีเนื้อ ลักษณะเนื้อ และกลิ่น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

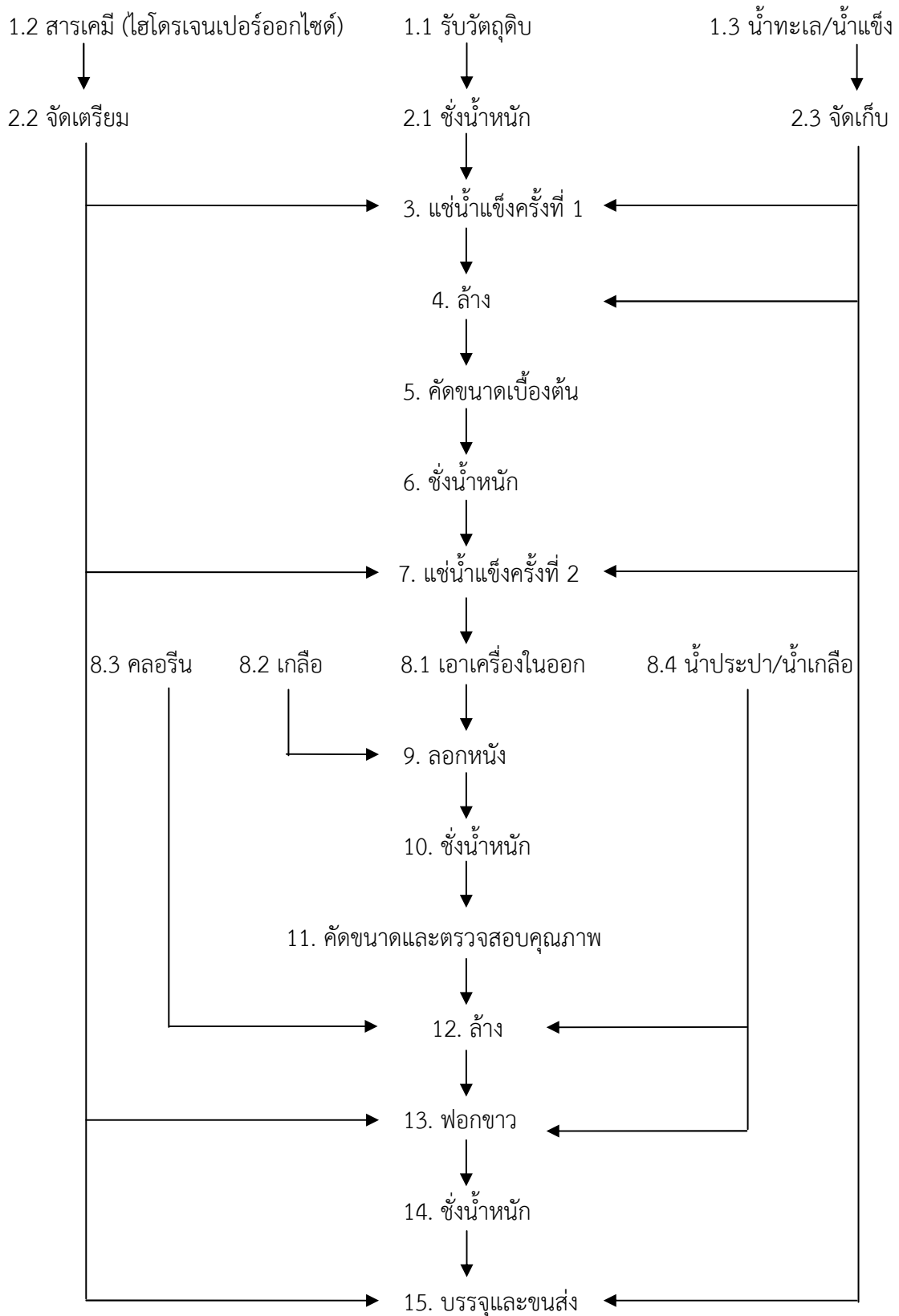
ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป [3]

ลักษณะสำคัญ	คุณภาพระดับที่ 1	คุณภาพระดับที่ 2	คุณภาพระดับที่ 3
สีเนื้อ	สีขาวจนถึงสีเหลืองอ่อน ธรรมชาติ	สีชมพูเรื่อๆ	สีแดงหรือสีส้มทั้งตัว
ลักษณะเนื้อ	เนื้อแน่น, มีความ ยืดหยุ่นปานกลาง	เนื้อไม่แน่น, มีความ ยืดหยุ่นน้อย	เนื้อนิ่ม
กลิ่น	มีกลิ่นธรรมชาติของหมึก สดจางลงจนไม่มีกลิ่น	มีกลิ่นคาวเล็กน้อย แต่ไม่มีกลิ่นเน่าเสีย	มีกลิ่นคาวจัด กลิ่นเน่า เสีย

2.1.3 กระบวนการแปรรูปเบื้องต้นหมึก

กระบวนการแปรรูปหมึกกล้วยในระดับอุตสาหกรรมมีขั้นตอนการดำเนินการเริ่มจากการรับวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปหมึกประกอบด้วย หมึกสด น้ำทะเลหรือน้ำแข็ง และสารเคมีได้แก่ คลอรีนซึ่งใช้ในการปรับคุณภาพของน้ำ และสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใช้ในขั้นตอนการฟอกขาวหมึก เมื่อรับหมึกสดจากผู้ส่งมอบ หมึกจะถูกชั่งน้ำหนัก และจัดเก็บในน้ำทะเลผสมน้ำแข็งเพื่อรักษาคุณภาพ จากนั้นจะถูกล้างทำความสะอาดและคัดขนาดเบื้องต้น และถูกส่งเข้าขั้นตอนการแปรรูปเบื้องต้นเพื่อลอกหนังและเอาอวัยวะภายในออกทั้งหมด ล้างทำความสะอาดอีกครั้งแล้วเข้าขั้นตอนการคัดขนาดและตรวจสอบคุณภาพ หากหมึกที่มีคุณภาพสีเนื้อไม่ตรงตามความต้องการจะถูกส่งเข้าสู่ขั้นตอนการฟอกขาว จากนั้นทำการชั่งน้ำหนัก บรรจุ และขนส่งไปยังโรงงานแปรรูป ดังรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการแปรรูปเบื้องต้นของหมึก โดยวัตถุประสงค์หลักในการตรวจสอบคุณภาพหมึกเพื่อจำแนกหมึกตามระดับคุณภาพ โดยหมึกที่มีคุณภาพไม่ตรงตามคุณลักษณะที่กำหนดจะถูกปรับสภาพในขั้นตอนการฟอกขาว โดยที่ขั้นตอนการฟอกขาวจำเป็นต้องดำเนินการในสภาวะที่เหมาะสมทั้งความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นของเกลือ และระยะเวลาในการฟอกขาวซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละระดับคุณภาพ



รูปที่ 2.4 กระบวนการแปรรูปเบื้องต้นของหมึก [28]

2.1.4 ชนิดและรูปแบบของหมึกแปรรูป

หมึกที่พบมากในบริเวณน่านน้ำของไทยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ได้แก่ หมึกกล้วย หมึกกระดอง และหมึกสาย โดยหมึกแต่ละกลุ่มสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

(1) หมึกกล้วย

หมึกกล้วยสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบได้แก่ หมึกกล้วยทั้งตัว (whole round) หมึกลอกขาว (whole cleaned) หมึกหลอด (tube) หมึกกล้วยหั่นวงแหวน (squid ring skin on) และหมึกกล้วยลอกขาวหั่นวงแหวน (squid ring skin off) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.5 ทั้งนี้รูปแบบการแปรรูปหมึกกล้วยจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าเป็นสำคัญ



(ก) หมึกกล้วยทั้งตัว

(ข) หมึกลอกขาว

(ค) หมึกหลอด



(ง) หมึกกล้วยหั่นวงแหวน



(จ) หมึกกล้วยลอกขาวหั่นวงแหวน

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกกล้วยแปรรูป (ก) หมึกทั้งตัว (ข) หมึกลอกขาว (ค) หมึกหลอด (ง) หมึกกล้วยหั่นวงแหวน และ (จ) หมึกกล้วยลอกขาวหั่นวงแหวน [3]

ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) สามารถแบ่งรูปแบบการแปรรูปหมึกกล้วยเป็น 6 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบมีลักษณะแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รูปแบบของหมึกกล้วยแปรรูปสดตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548)
[3]

รูปแบบ	ลักษณะ	ภาพประกอบ
1.หมึกทั้งตัว (whole round)	หมึกที่มีอวัยวะครบตามธรรมชาติ	
2.หมึกลอกขาว (whole cleaned)	หมึกทั้งตัวที่ลอกหนัง เอาส่วนตา ปากและอวัยวะภายในออกทั้งหมด	
3.หมึกหลอด (tube)	หมึกที่ลอกหนัง ชักไส้ เอาหัวและกระดองออกเอาปีกออก	
4.หมึกแผ่น (fillet)	หมึกที่ลอกหนัง ชักไส้ เอาหัวและกระดองออกเอาปีกออกและผ่าตามความยาวตลอดลำตัว	
5.หัวหมึก (head)	ส่วนหัวที่มีหนวดของหมึกที่เอาตา ปากและถุงหมึกออก	
6.ปีกหมึก (wing)	อวัยวะส่วนนอกมีลักษณะเป็นแผ่น 2 ข้างอยู่ติดกับด้านปลายของตัวหมึก	

(2) หมึกกระดอง

หมึกกระดองถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปแบบ รูปแบบของหมึกกระดองแปรรูปในอุตสาหกรรมได้แก่ หมึกเนื้อหั่นบั้ง (cut cuttlefish) หมึกเสียบไม้ (skewer cuttlefish) และหมึกแล่บาง (sliced fillet cuttlefish) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.6



(ก) หมึกเนื้อหั่นบั้ง

(ข) หมึกเสียบไม้

(ค) หมึกแล่บาง

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกกระดองแปรรูป (ก) หมึกเนื้อหั่นบั้ง

(ข) หมึกเสียบไม้ และ (ค) หมึกแล่บาง [3]

(3) หมึกสาย

หมึกสายสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าได้หลากหลายรูปแบบได้แก่ หมึกสายทั้งตัว (whole round octopus) และหมึกสายลอกขาว (clean octopus) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.7



(ก) หมึกสายทั้งตัว

(ข) หมึกสายลอกขาว

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกสายแปรรูป (ก) หมึกสายทั้งตัว และ (ข) หมึกสายลอกขาว [3]

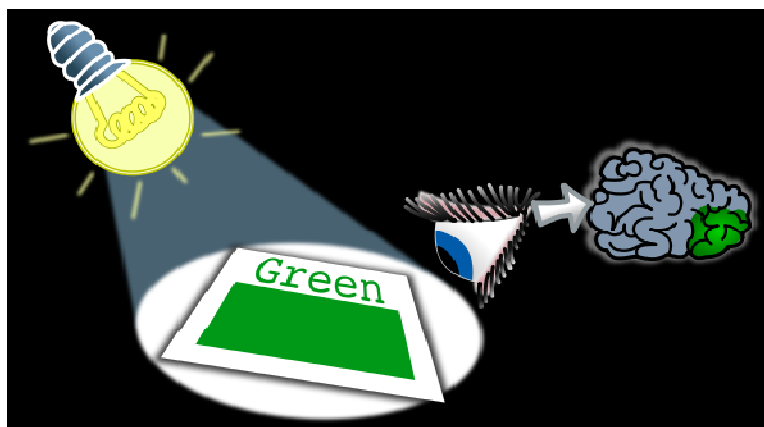
2.2 การประมวลผลภาพ (image processing)

การประมวลผลภาพหมายถึงการนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ที่สำคัญได้แก่ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกจากภาพ เพื่อนำภาพส่วนของวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณเช่น ขนาด

รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในภาพ เป็นต้น จากนั้นสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลจำนวนมากและเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะนี้หากให้มนุษย์วิเคราะห์หรือประมวลผลมักต้องใช้เวลามาก และใช้แรงงานสูง อาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์

2.2.1 หลักการมองเห็นของมนุษย์กับการประมวลผลภาพ

การมองเห็นของมนุษย์มีหลักการคือ แสงจะกระทบวัตถุและสะท้อนเข้าสู่ดวงตามนุษย์ จากนั้นจะส่งข้อมูลไปสู่สมอง สมองจะประมวลผลภาพนั้นๆ เพื่อสามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งในระบบประมวลผลภาพกล้องถ่ายภาพหรือกล้องวิดีโอเปรียบเสมือนดวงตาของมนุษย์ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อส่งเป็นข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลภาพนั้นๆ

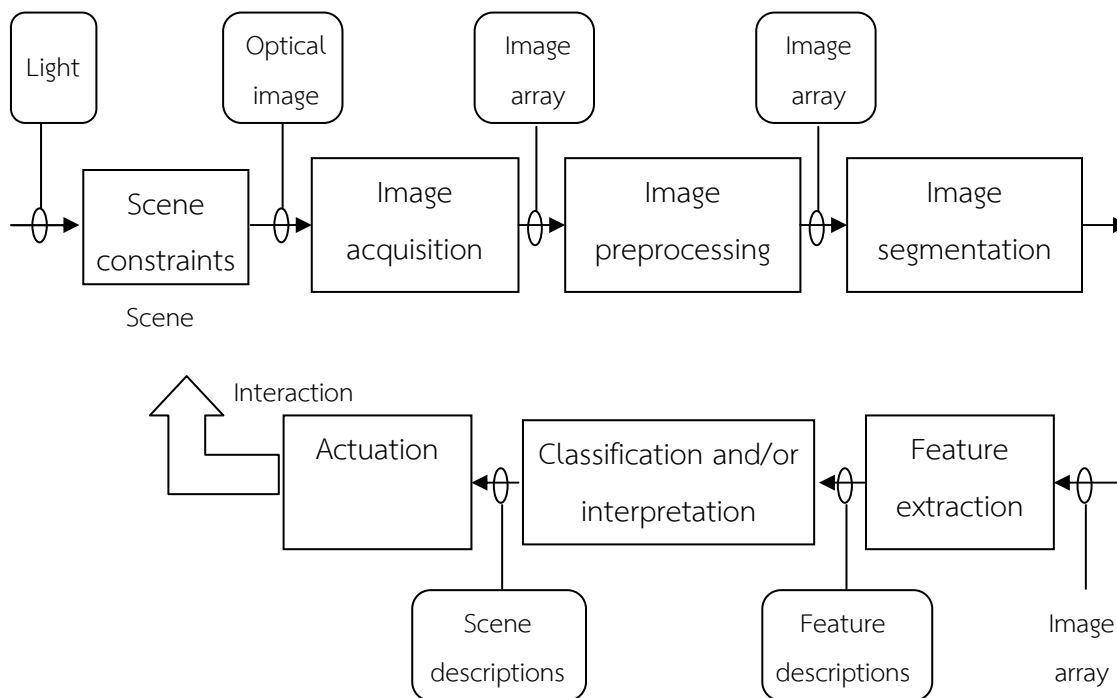


รูปที่ 2.8 หลักการมองเห็นของสายตามนุษย์ [29]

2.2.2 ระบบการมองเห็นของเครื่องจักร (machine vision)

ระบบการมองเห็นของเครื่องจักรหรือหุ่นยนต์จะใช้ระบบมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (computer vision) ในการประมวลผลภาพ (image processing) จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลหรือกล้องวิดีโอที่ส่งไปยังวัตถุหรือชิ้นงาน และทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อให้เครื่องจักรหรือหุ่นยนต์สามารถมองเห็น รับรู้ และเข้าใจผ่านทางโปรแกรม ทำให้เครื่องจักรหรือหุ่นยนต์สามารถตัดสินใจทำงานตามคำสั่งได้ เช่น หยิบ จับ และวาง เป็นต้น จุดมุ่งหมายสูงสุดของการประมวลผลภาพของเครื่องจักรคือ ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถเทียบเท่ากับระบบ

การมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบการประมวลผลภาพของเครื่องจักรแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบการมองเห็นของเครื่องจักร [30]

จากรูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบการประมวลผลภาพของเครื่องจักร โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

2.2.2.1 การจัดการสภาพแวดล้อม (scene constraint)

กระบวนการจัดการสภาพแวดล้อมของระบบการประมวลผลภาพของเครื่องจักรมีจุดมุ่งหมายหลัก เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการมองเห็นและรับรู้ของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัดและไม่เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ ดังนั้นจึงต้องลดความยุ่งยากของการประมวลผล เพื่อให้อุปกรณ์ประมวลผลใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับงานที่ไม่ซับซ้อนและที่มีความจำเป็นเท่านั้น

2.2.2.2 การเก็บข้อมูลภาพ (image acquisition)

กระบวนการเก็บข้อมูลภาพเป็นกระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้องจนถึงการดึงภาพซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผล เพื่อที่จะประมวลผลและตัดสินใจสั่งงานในกระบวนการถัดไป กระบวนการดังกล่าวมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

(1) อุปกรณ์การรับภาพ

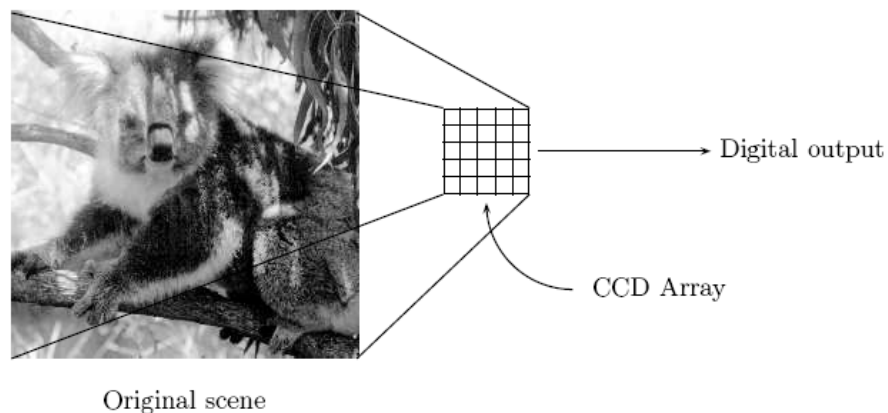
อุปกรณ์การรับภาพเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แทนสายตาของมนุษย์เพื่อให้สามารถรับข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผล โดยอุปกรณ์การรับภาพที่นิยมใช้ได้แก่ กล้องดิจิทัล และกล้องวิดีโอ มีรายละเอียดดังนี้

ก. กล้องวิดีโอ

กล้องวิดีโอที่ถูกพัฒนาเพื่อใช้ในเชิงอุตสาหกรรมมีทั้งกล้องวิดีโอแบบขาวดำ และกล้องวิดีโอแบบสี โดยภาพจะถูกบันทึกเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์หรือสัญญาณอนาล็อก ประกอบด้วยข้อมูลสี 3 ชนิดคือ แดง (red) เขียว (green) น้ำเงิน (blue) และสัญญาณสำหรับเชื่อมความสัมพันธ์ของข้อมูล (synchronization plus) สัญญาณวิดีโอจะถูกส่งไปบันทึกยังตลับวิดีโอ โดยการแปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์เป็นสัญญาณดิจิทัลและบันทึกลงบนอุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้วยหลักการของสนามแม่เหล็ก

ข. กล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัลที่ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรมจะเป็นกล้องดิจิทัลซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า เซ็นเซอร์รับภาพ (image sensor) เพื่อใช้ในการรับภาพ เซ็นเซอร์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมาก ประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมากและในทันทีที่แสงตกกระทบไดโอดเหล่านี้ ไดโอดแต่ละตัวจะจดจำความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบไดโอดแต่ละตัวไว้ โดยปริมาณประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวไดโอดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ โดยความเข้มแสงนั้นจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลที่เป็นดิจิทัลและเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในตัวกล้อง เพื่อรอส่งต่อให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกกล้องต่อไป แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเซ็นเซอร์รับภาพ [31]

(2) ระบบแสงสว่าง

ในกระบวนการเก็บข้อมูลภาพ การส่องสว่างให้กับชิ้นงานจะช่วยให้กล้องมองเห็นวัตถุได้ชัดเจน เพื่อให้กล้องสามารถจับภาพให้มีคุณภาพที่เหมาะสม โดยปกติจะใช้หลอดไฟเป็นระบบแสงสว่างมากกว่าการใช้ระบบแสงสว่างธรรมชาติ เนื่องจากสามารถควบคุมแสงให้มีความสม่ำเสมอและปริมาณตามต้องการได้ สำหรับการติดตั้งหลอดไฟของระบบการเก็บข้อมูลภาพมี 3 ลักษณะ [30] ดังนี้

ก. หลอดไฟติดตั้งด้านหน้า

หลอดไฟจะถูกติดตั้งอยู่ด้านเดียวกับกล้อง และส่องสว่างไปยังวัตถุ ทำให้เกิดการสะท้อนแสงจากวัตถุเข้าหากล้อง การติดตั้งหลอดไฟลักษณะนี้ใช้กับงานที่เป็นการตรวจสอบคุณลักษณะต่างๆ บนผิวของวัตถุ

ข. หลอดไฟติดตั้งด้านหลัง

หลอดไฟจะถูกติดตั้งอยู่ด้านหลังของวัตถุ ดังนั้นวัตถุจะอยู่ระหว่างกล้องและหลอดไฟ จะเกิดภาพเงาเมื่อของวัตถุที่มีความคมชัดมากเป็นพิเศษ การติดตั้งหลอดไฟลักษณะนี้ใช้กับงานที่ต้องการระบบการมองเห็นแบบไบนารีเพื่อตรวจสอบมิติของวัตถุ

ค. หลอดไฟติดตั้งด้านข้าง

หลอดไฟจะถูกติดตั้งอยู่ด้านข้างของวัตถุ และทำมุมเอียงกับกล้องทำให้เกิดเงาความขรุขระหรือไม่ราบเรียบในผิวหน้าของวัตถุ การติดตั้งหลอดไฟลักษณะนี้ใช้กับงานที่ต้องการระบุเอกลักษณ์ด้วยระบบการมองเห็นเช่น การตรวจจ็บรอยตำหนิ และรอยร้าวที่ผิวหน้าของวัตถุ เป็นต้น การเก็บข้อมูลภาพแต่ละภาพจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุปกรณ์การรับภาพ และระบบแสงสว่างที่ใช้ โดยการเลือกอุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับหลายด้านเช่น คุณภาพและความคมชัดของภาพที่ได้ ต้นทุนในการใช้อุปกรณ์ และการนำเอาภาพนั้นๆ ไปใช้งาน เป็นต้น

2.2.2.3 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (pre-processing)

กระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้นมีด้วยกันหลากหลายขั้นตอนเช่น การลดทอนสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในภาพ การตรวจจับขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพ การแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของภาพเช่น การหมุน การเลื่อน การย่อและขยายภาพ การวิเคราะห์ภาพในเชิงความถี่ การบีบอัดข้อมูลภาพ เป็นต้น

2.2.2.4 การแยกบริเวณภาพ (image segmentation)

กระบวนการนี้เป็นการแยกบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมุ่งเน้นว่าจะใช้วิธีใดหรือเงื่อนไขใดในการแยกวัตถุที่สนใจออกจากฉากหลัง นอกจากนั้นต้องคำนึงถึง

การเก็บข้อมูลของวัตถุที่แยกออกมาให้ในรูปแบบใดจึงจะเหมาะสม สำหรับกระบวนการแยกบริเวณ [30] ได้แก่

(1) การแยกบริเวณโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์ (threshold) ซึ่งเป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพสีเทา สำหรับการแยกบริเวณโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์นั้นจะเป็นการแปลงภาพสีเทาให้เปลี่ยนเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับ โดยมีเงื่อนไขว่าถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับเทรชโฮลด์ ให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นดำมืดไปและถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ ให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 255 หรือเปลี่ยนเป็นดำสว่างไป

(2) การแยกบริเวณโดยการใช้ขอบของวัตถุ (edge base segmentation) สำหรับการแยกบริเวณวิธีนี้ ต้องคำนวณหาขอบของวัตถุเสียก่อน ซึ่งขอบในความหมายของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลคือ พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนด ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยการใช้ตัวตรวจจับขอบ ซึ่งคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งจุดภาพที่ใกล้เคียงกัน

2.2.2.4 การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (feature extraction)

หลังจากกระบวนการแยกบริเวณในภาพออกเป็นส่วนๆ ที่แต่ละส่วนมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน และทำการจัดเก็บพิกัดของพิกเซลที่เป็นบริเวณเดียวกันด้วยรูปแบบการเก็บที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นจะทำการคำนวณหาหรือวัดคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุแต่ละบริเวณในภาพ ผลที่ได้จากกระบวนการนี้คือ ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุในภาพ ซึ่งถ้าหากนำมาจัดวางในรูปแบบเวกเตอร์จะได้เวกเตอร์คุณสมบัติ (feature vector) เช่น ค่าสี ความยาว ความกว้าง และพื้นที่ เป็นต้น

2.2.2.5 การจำแนกวัตถุ (classification)

กระบวนการการจำแนก (classification) เป็นกระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นว่าเป็นวัตถุที่อยู่ในกลุ่มที่ 1, 2 หรือกลุ่มอื่นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของวัตถุที่ถูกวัดหรือคำนวณเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในกลุ่มแต่ละกลุ่ม ผลลัพธ์จากการจำแนกทำให้กลไกเคลื่อนไหวต่างๆ สามารถตัดสินใจ และตีความหมายได้

2.2.2.6 กลไกเคลื่อนไหว (actuation)

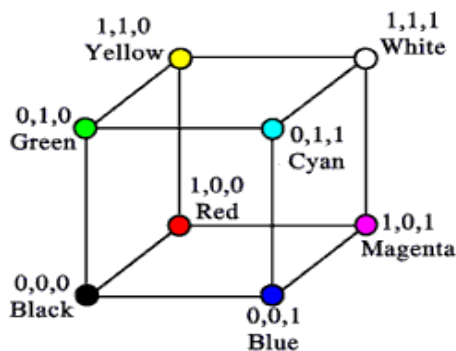
กระบวนการนี้ส่วนกลไกเคลื่อนไหวต่างๆ จะถูกโปรแกรมสั่งการให้กระทำการบางอย่างกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการก่อนหน้า ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการติดต่อและสั่งงานระหว่างอุปกรณ์ประมวลผลและโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Control: PLC) ที่สามารถใช้สั่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ เช่น มอเตอร์ และแขนหุ่นยนต์ เป็นต้น

2.3 รูปแบบสี (color model)

รูปแบบสีหรือพื้นที่สี (color space) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยปกติเป็นองค์ประกอบของสี 3 หรือ 4 ค่า ผลลัพธ์ทางการรวมกันขององค์ประกอบสีเรียกว่าพื้นที่สี รูปแบบสีมีอยู่หลากหลายระบบ แต่โดยทั่วไปแล้วรูปแบบสีจะมีหลักการที่เหมือนกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในพื้นที่ 3 มิติ และจะมีแกนที่ใช้อ้างอิงถึงจุดสีในพื้นที่ของแต่ละแกน ซึ่งจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งรูปแบบสีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย [32] ได้แก่

2.3.1 รูปแบบสี RGB

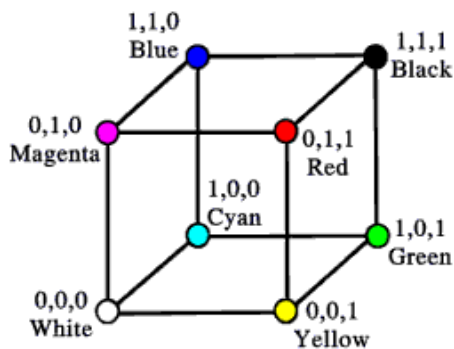
รูปแบบสี RGB คือรูปแบบสีพื้นฐานที่เกิดจากการรวมตัวกันของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในพิกเซลภาพ โดยในพิกเซลหนึ่งๆจะประกอบด้วยอัตราส่วนของสีทั้ง 3 สี (R, G, B) อยู่ในช่วง 0 ถึง 255 ซึ่งถ้าพิกเซลมีค่า (0, 0, 0) คือสีดำ และค่า (255, 255, 255) คือสีขาว โดยแต่ละค่าสีมีจำนวนสีเท่ากับ 256 สี ดังนั้นสามารถแสดงสีได้มากถึง 16 ล้านสี เนื่องจากจำนวนสีที่แสดงเกิดจากผลคูณของจำนวนแต่ละค่าสี ($R \times G \times B$) จะได้ $256 \times 256 \times 256$ เท่ากับ 16,777,216 สี เป็นรูปแบบสีที่ถูกใช้สำหรับการส่องแสงทั้งบนจอภาพทีวี และจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.11 ลูกบาศก์รูปแบบสี RGB [32]

2.3.2 รูปแบบสี CMY

รูปแบบสี CMY เกิดจากการรวมตัวกันขององค์ประกอบ 3 ค่าคือ Cyan Magenta และ Yellow ซึ่งรูปแบบสี CMY จะใช้หลักการเช่นเดียวกับ RGB ดังรูปที่ 2.12 แต่ค่าสีของรูปแบบสี CMY จะถูกตัดค่าสีที่ตามนุษย์มองไม่เห็นหรือไม่สามารถแยกแยะสีที่มีความใกล้เคียงกันมากได้ โดยรูปแบบสี CMY เป็นรูปแบบสีที่ถูกใช้สำหรับการดูซึมหมึกพิมพ์บนกระดาษของเครื่องพิมพ์



รูปที่ 2.12 ลูกบาศก์รูปแบบสี CMY [32]

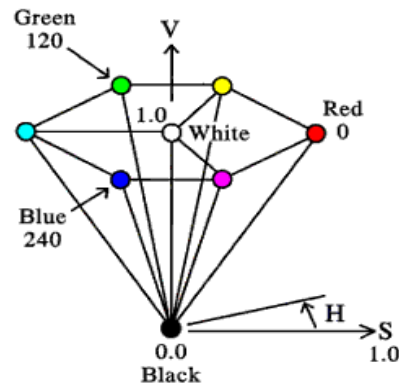
การแปลงภาพสี RGB เป็นรูปแบบสี CMY เป็นดังสมการ (2.1) โดยที่ค่าสี RGB จะถูก normalized ให้อยู่ในช่วง $[0, 1]$ ด้วยสมการ (2.2)

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{[0,255]} \\ G_{[0,255]} \\ B_{[0,255]} \end{pmatrix} \div \begin{pmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

2.3.3 รูปแบบสี HSV

รูปแบบสี HSV เกิดจากการรวมตัวกันของค่าสี 3 ค่าได้แก่ ค่า Hue (H) คือค่าสีบริสุทธิ์ ค่า Saturation (S) คือค่าแสงผสมกับค่าสีบริสุทธิ์ และค่า Value (V) คือค่าความสว่างของภาพ ซึ่งรูปแบบสี HSV มีลักษณะเป็นพีระมิดฐานหกเหลี่ยมดังรูปที่ 2.13 โดยพีระมิดนี้แปลงมาจากลูกบาศก์ระบบสี RGB แบบไม่เชิงเส้น รูปแบบสี HSV จะใช้ค่าในพิสัยเชิงมุม โดยค่า H เป็นค่ามุมรอบแกนตั้งจะถูกระบุเป็นองศา มีค่าระหว่าง 0 ถึง 360 องศา ค่า S เป็นค่าอัตราส่วนมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 วัดจากแกนตั้ง (V-axis) ไปยังพื้นผิวของพีระมิด และค่า V เป็นค่าความสูงของพีระมิด



รูปที่ 2.13 พีระมิดฐานหกเหลี่ยมรูปแบบสี HSV [32]

การแปลงภาพสี RGB เป็นรูปแบบสี HSV เป็นดังสมการ (2.3) (2.4) และ (2.5)

$$\text{Value} = \max(R, G, B) \quad (2.3)$$

$$\text{Saturation} = \min(R, G, B) \quad (2.4)$$

$$\text{Hue} = \begin{cases} 60(C_b - C_g) & \text{if Value} = R \\ 60(2 + C_r - C_b) & \text{if Value} = G \\ 60(4 + C_g - C_r) & \text{if Value} = B \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\text{โดยที่ } C_r = (\text{Value} - R) / (\text{Value} - \text{Saturation})$$

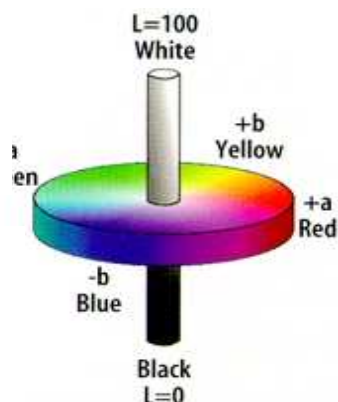
$$C_g = (\text{Value} - G) / (\text{Value} - \text{Saturation})$$

$$C_b = (\text{Value} - B) / (\text{Value} - \text{Saturation})$$

2.3.4 รูปแบบสี CIE L*a*b*

รูปแบบสี CIE L*a*b* เป็นรูปแบบสีที่ถูกเสนอโดยหน่วยงาน Commission Internationale d'Eclairage (CIE) ในปี 1939 รูปแบบสี L*a*b* เป็นระบบการแสดงสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L* จะแสดงถึงความสว่างของสี (lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) ถึง 100 (สีขาว) แกน a* จะบ่งถึงสีแดงและสีเขียว โดยค่าเป็นบวก (+a*) จะมีความเป็นสีแดงมากขึ้น และถ้าค่าเป็นลบ (-a*) จะมีความเป็นสีเขียวมากขึ้น ส่วนแกน b* จะบ่งถึงสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยค่าเป็นบวก (+b*) จะมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้น และค่าเป็นลบ (-b*) จะมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้น แสดงได้ดังรูป 2.14

ในการวัดสีให้มีความถูกต้องแม่นยำ CIE ได้กำหนดมาตรฐานของการวัด เพื่อกำจัดตัวแปรที่มีผลต่อความผิดพลาดในการวัดสีได้แก่ กำหนดแหล่งกำเนิดแสง (illuminant) สภาพะของการวัดโดยกำหนดให้มีมุมการมองที่ 2° เป็นต้น



รูปที่ 2.14 ลักษณะสีของรูปแบบสี CIE L*a*b* [32]

การแปลงภาพสี RGB เป็นรูปแบบสี CIE L*a*b* ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน [32] คือ ขั้นตอนแรกเป็นการแปลงภาพสี RGB เป็นค่าสี X, Y, Z ในรูปแบบสี CIE XYZ ซึ่งเป็นรูปแบบสีที่เกิดจากการผสมแม่สีสเปกตรัม 3 สีเข้าด้วยกันคือ สเปกตรัมสีแดง (X) สเปกตรัมสีเขียว (Y) และสเปกตรัมสีน้ำเงิน (Z) โดยใช้สมการ (2.6) (2.7) และ (2.8) ขั้นตอนที่สองเป็นการแปลงค่าสี X, Y, Z เป็นรูปแบบสี CIE L*a*b* จากสมการ (2.9) (2.10) และ (2.11)

$$X = 0.412453 * R + 0.35758 * G + 0.180423 * B \quad (2.6)$$

$$Y = 0.212671 * R + 0.71516 * G + 0.072169 * B \quad (2.7)$$

$$Z = 0.019334 * R + 0.119193 * G + 0.950227 * B \quad (2.8)$$

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (2.9)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (2.10)$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (2.11)$$

โดยที่สมการ (2.9) (2.10) และ (2.11) มีข้อจำกัดที่ค่าสี X, Y, Z ที่คำนวณได้จากสมการ (2.6) (2.7) และ (2.8) ต้องมีค่าน้อยมากๆ

และ X_n , Y_n , Z_n คือ ค่า chromaticity coordinate ของสีขาว ดังในตารางที่ 2.3 ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสงที่เลือกใช้ สำหรับแหล่งกำเนิดแสงตามมาตรฐานที่ CIE กำหนดประกอบด้วย แหล่งกำเนิดมาตรฐาน A (standard illuminant A) แหล่งกำเนิดมาตรฐาน B (standard illuminant B) แหล่งกำเนิดมาตรฐาน C (standard illuminant C) และแหล่งกำเนิดมาตรฐาน D (standard illuminant D)

ตารางที่ 2.3 ค่า chromaticity coordinate ของสีขาว่าแต่ละแหล่งกำเนิดแสง [32]

CIE standard illuminant	chromaticity coordinate		
	X_n	Y_n	Z_n
A	0.4476	0.4074	0.1450
B	0.3484	0.3516	0.3000
C	0.3101	0.3516	0.3383
D ₅₅	0.3324	0.3475	0.3201
D ₆₅	0.3127	0.3290	0.3587
D ₇₅	0.2990	0.3150	0.3860

2.4 ระบบฟัซซีลอจิก

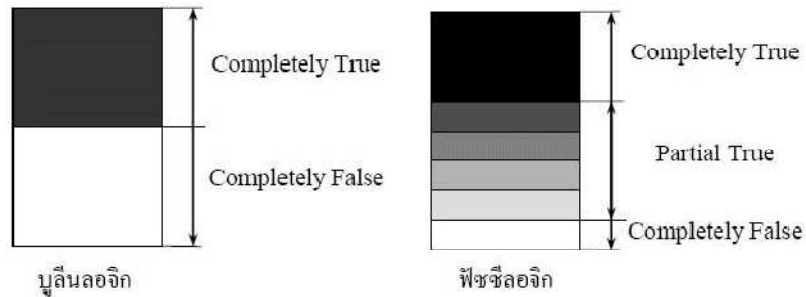
ฟัซซีลอจิกเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล ถูกคิดค้นขึ้นโดย L.A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 โดยอาศัยแนวคิดบนพื้นฐานความเป็นจริงที่กล่าวถึงเหตุการณ์ที่มีความไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป โดยเซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนนี้ถูกเรียกว่าฟัซซีเซต (fuzzy set)

2.4.1 พื้นฐานของฟัซซีลอจิก

ทฤษฎีพื้นฐานของฟัซซีลอจิกที่ควรศึกษาในการออกแบบระบบฟัซซีลอจิก ประกอบด้วย แนวคิดแบบฟัซซี การดำเนินการทางฟัซซีเซต ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ตัวแปรภาษา และกฎฟัซซี โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1.1 แนวคิดแบบฟัซซี

แนวคิดแบบฟัซซีเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการเลียนแบบแนวคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ (completely false) ซึ่งมีลักษณะที่พิเศษกว่าแนวคิดแบบจริงเท็จ (boolean logic) ที่จะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แนวคิดแบบจริงแท้ และแนวคิดฟัซซี [33]

แนวคิดฟัซซีสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของแนวคิดแบบจริงแท้ได้ โดยยอมให้มีค่าหรือระดับความเป็นสมาชิก (degree of membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 โดยค่า 0 หมายถึงไม่เป็นสมาชิกในเซต ค่า 1 หมายถึงเป็นสมาชิกในเซต และค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต ทำให้เกิดความราบเรียบในการเปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซตไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่างๆ โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นฟังก์ชันจัดเทียบ

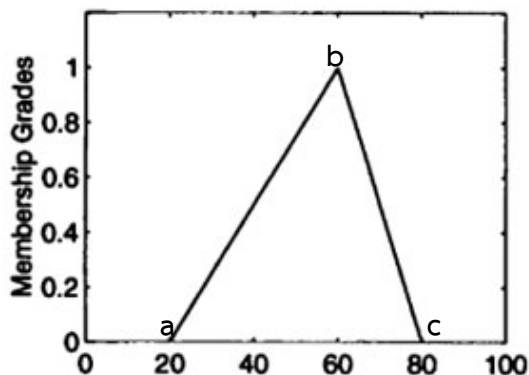
2.4.1.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน เป็นการแทนที่ตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือให้เป็นข้อมูลเชิงฟัซซี ดังนั้นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจึงเป็นส่วนที่สำคัญของการดำเนินการทางฟัซซี โดยเฉพาะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะสมมาตรกันหรือไม่สมมาตรกันทุกประการก็ได้ สำหรับรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้แก่

(1) ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$ สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ได้ดังสมการ (2.12) โดยรูปร่าง และตำแหน่งของพารามิเตอร์ดังรูปที่ 2.16

$$\text{triangular}(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (2.12)$$

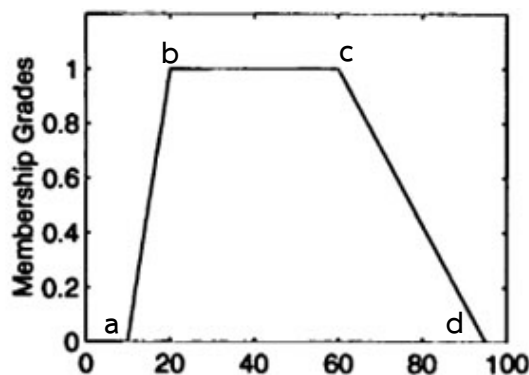


รูปที่ 2.16 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม [33]

(2) ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ได้ตั้งสมการ (2.13) โดยรูปร่าง และตำแหน่งของพารามิเตอร์ดังรูปที่ 2.17

$$\text{trapezoidal}(x: a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d - x)/(d - c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \quad (2.13)$$

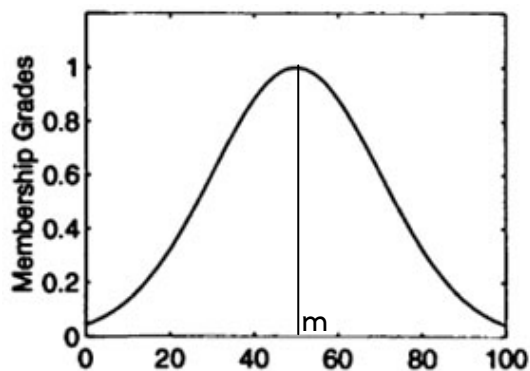


รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู [33]

(3) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และค่า σ หมายถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ได้ตั้งสมการ (2.14) โดยรูปร่าง และตำแหน่งของพารามิเตอร์ดังรูปที่ 2.18

$$\text{Gaussian}(x: m, \sigma) = \exp(-(x - m)^2 / \sigma^2) \quad (2.14)$$

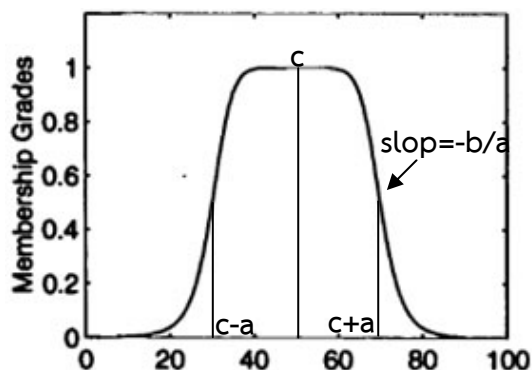


รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปเกาส์เซียน [33]

(4) ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$ สามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ได้ดังสมการ (2.15) โดยรูปร่าง และตำแหน่งของพารามิเตอร์ดังรูปที่ 2.19

$$\text{Bell-shaped } (x: a, b, c) = 1/(1+|x - c/a|^{2b}) \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูประฆังคว่ำ [33]

การเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามารถเลือกตามความเหมาะสมและความครอบคลุมข้อมูลขาเข้า (input) โดยสามารถที่จะทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานหรือตามความต้องการ

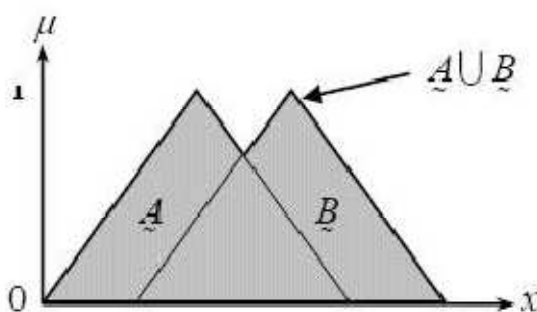
2.4.1.3 การดำเนินการทางฟัซซีเซต (fuzzy set operation)

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไปมีด้วยกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ การยูเนียน (union) การอินเตอร์เซกชัน (intersection) และการคอมพลิเมนต์ (complement) ดังนี้

(1) การยูเนียน

การยูเนียนของฟัซซีเซตเป็นการดำเนินการโดยใช้คำสั่งหรือ (OR) สามารถดำเนินการได้ดังสมการ (2.16) ซึ่งผลการดำเนินการจะได้ระดับความเป็นสมาชิกทั้งหมดเป็นฟังก์ชันสมาชิกของทั้งเซต A และเซต B แสดงดังรูปที่ 2.20

$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (2.16)$$

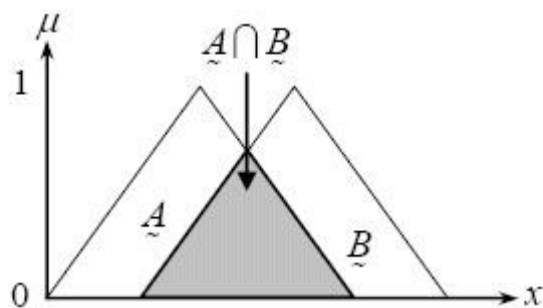


รูปที่ 2.20 การยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B [33]

(2) การอินเตอร์เซกชัน

การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซตเป็นการดำเนินการโดยใช้คำสั่งและ (AND) สามารถดำเนินการได้ดังสมการ (2.17) ซึ่งผลการดำเนินการจะได้ระดับความเป็นสมาชิกทั้งหมดเป็นฟังก์ชันสมาชิกที่อยู่ทั้งเซต A และเซต B แสดงดังรูปที่ 2.21

$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (2.17)$$

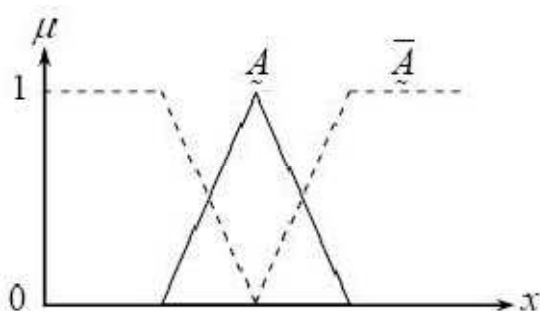


รูปที่ 2.21 การอินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B [33]

(3) การคอมพลิเมนต์

การดำเนินการคอมพลิเมนต์เป็นการดำเนินการโดยใช้คำสั่งไม่ (NOT) สามารถดำเนินการได้ดังสมการ (2.18) ซึ่งผลการดำเนินการจะได้ระดับความเป็นสมาชิกทั้งหมดเป็นฟังก์ชันสมาชิกอื่นที่ไม่อยู่ในเซต A แสดงดังรูปที่ 2.22

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.22 การคอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซต A [33]

2.4.1.4 ตัวแปรภาษา (linguistic variable)

ระบบฟัซซีลอจิกจะใช้ฟัซซีเซตในการระบุค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปรภายในระบบ โดยฟัซซีเซตจะประกอบด้วยตัวแปรภาษาหรือตัวแปรฟัซซี ซึ่งจะเป็นค่าเชิงภาษาเช่น ร้อน กำลังดีหรือเย็น เป็นต้น โดยค่าของตัวแปรเหล่านี้ถูกนำไปแปลเป็นค่าเชิงตัวเลขโดยอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเพื่อใช้ในการประมวลผลต่อไปเช่น กำหนดให้ X เป็นค่าของอุณหภูมิภายในห้องประโยค “อุณหภูมิร้อน” จึงประกอบไปด้วยตัวแปรฟัซซี “x เท่ากับอุณหภูมิ” และค่าของตัวแปร “x เท่ากับร้อน” เป็นต้น

2.4.1.5 กฎฟัซซี (fuzzy rule)

กฎของฟัซซีเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฟัซซี โดยปกติการออกแบบกฎดังกล่าวจะทำโดยผู้เชี่ยวชาญที่รู้ความสัมพันธ์ภายในของระบบเป็นอย่างดี และทำให้สามารถสรุปเป็นกฎความสัมพันธ์นั้นๆ ออกมาได้ถูกต้อง โดยกฎของฟัซซีคือกลุ่มของประโยคเงื่อนไข If-Then (ถ้า-แล้ว) ในรูปแบบต่อไปนี้

If x is A

Then y is B

หรือ

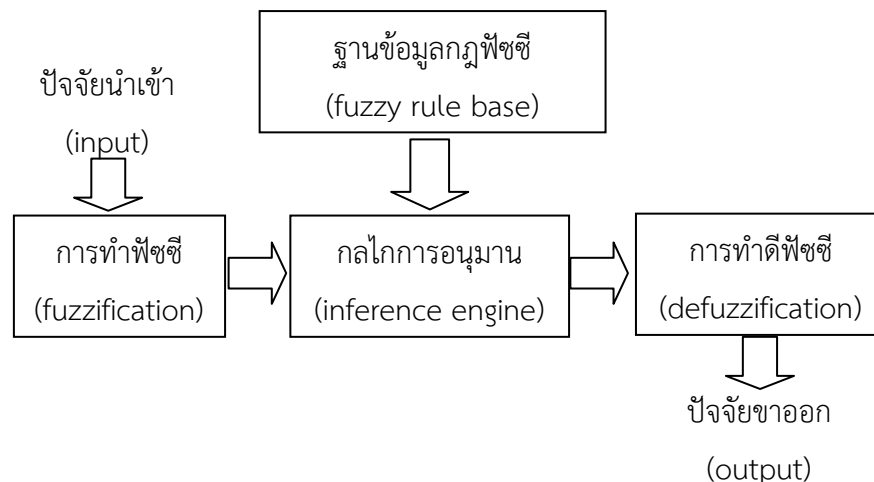
ถ้า x เท่ากับ A

แล้ว y เท่ากับ B

โดยที่ x และ y เป็นตัวแปรภาษา ส่วน A และ B เป็นค่าเชิงภาษา เป็นต้น ค่าเงื่อนไขใน If จะมีความเป็นฟัซซีในระดับหนึ่ง ส่วน Then จะถูกประเมินด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิก ซึ่งจะให้ค่าที่สัมพันธ์ในระดับนั้นๆ โดยทุกเงื่อนไขในส่วน If จะถูกประเมินพร้อมๆ กัน และรวมกันด้วยการดำเนินการทางฟัซซีเซตในหัวข้อ 2.4.1.3 เช่น And หรือ Or สำหรับจำนวนของกฎควรเลือกใช้กฎที่จำเป็นเท่านั้น เนื่องจากจะส่งผลต่อความยุ่งยากในการออกแบบระบบของฟัซซี

2.4.2 ขั้นตอนของการประมวลผลแบบฟัซซี

ขั้นตอนการประมวลผลของฟัซซีลอจิกประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังรูปที่ 2.23 ได้แก่ การทำฟัซซี การสร้างฐานกฎฟัซซี การอนุมาน และการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติหรือการทำดีฟัซซี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก [33]

2.4.2.1 การทำฟัซซี (fuzzification)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการแปลงอินพุตทั่วไป (crisp input) ที่ใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและการสื่อสารของมนุษย์เป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (fuzzy input) หรือฟัซซีเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ในการจัดการกับอินพุตให้เป็นข้อมูลเชิงฟัซซี ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ระบบฟัซซีลอจิกสามารถจำลองความรู้จากผู้เชี่ยวชาญเข้าสู่ระบบได้ การออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาได้แก่ ความสูง ความกว้างของเซตซึ่งแสดงถึงช่วงความเป็นสมาชิกของเซตนั้นๆ ความชันของเส้นขอบซึ่งแสดงถึงความเป็นฟัซซี โดยองค์ประกอบเหล่านี้ได้จากการออกแบบของผู้เชี่ยวชาญที่สามารถระบุความถูกต้องของตัวแปรได้เช่น ผู้เชี่ยวชาญสามารถบอกได้ว่าพื้นที่สีขาวย ชมพู และแดงที่ปรากฏบนตัวหมึกว่าอยู่ในระดับ “น้อย” “ปานกลาง” หรือ “มาก” เป็นต้น อีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกคือ รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้แก่ แบบสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู ระวังคว่ำ และเกาส์เซียน เป็นต้น การเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามารถเลือกตามความเหมาะสมและสามารถครอบคลุมข้อมูลอินพุตได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้รูปร่างฟังก์ชันสมาชิกเป็นแบบสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีเส้นขอบเขตเป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถจำลองความสัมพันธ์ของขอบเขตได้ง่ายกว่ารูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบอื่นๆ อีกทั้งครอบคลุมข้อมูลอินพุตทั้งหมด

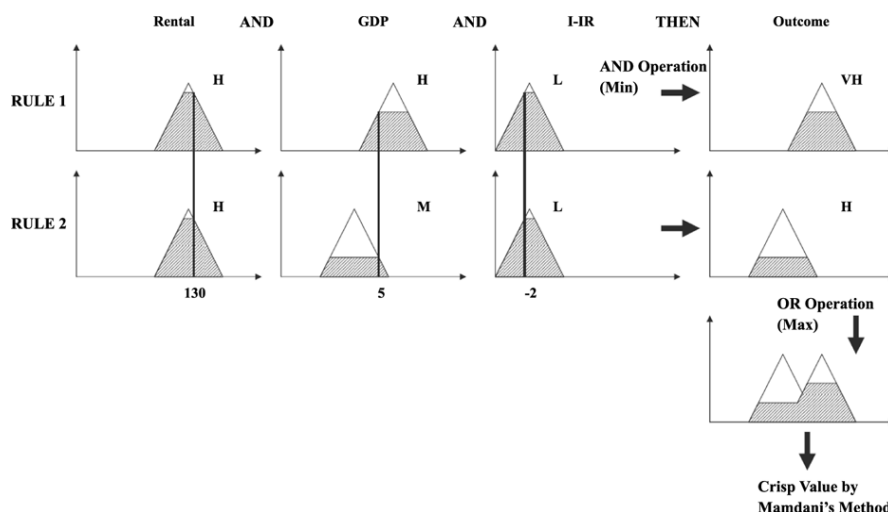
2.4.2.2 การสร้างฐานกฎฟัซซี (fuzzy rule base)

ขั้นตอนนี้เป็น การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุต โดยอาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างจากการเก็บข้อมูล การตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปของ If-Then โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยรูปแบบหรือสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน

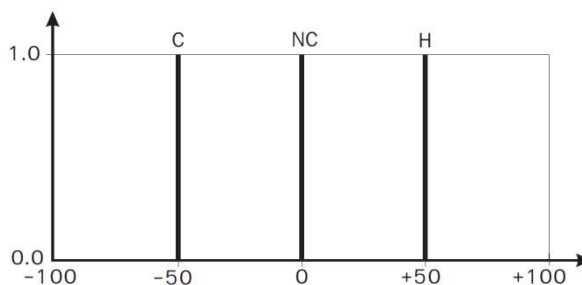
2.4.2.3 กลไกการอนุมาน (inference engine)

ขั้นตอนนี้เป็น การส่งค่าจากค่าอินพุตของระบบไปยังเอาต์พุต โดยใช้หลักการของทฤษฎีเซต การอนุมานฟัซซีมีอยู่ 2 วิธีใหญ่ๆ คือแบบ Mamdani และแบบ Sugeno [33] โดยการอนุมานแบบ Mamdani เป็นการอนุมานโดยใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด (minimum operator) สำหรับการเชื่อมโยงแบบ “and” และใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุด (maximum operator) สำหรับการเชื่อมโยงแบบ “or” ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งมีข้อดีได้แก่ ตรงไปตรงมา และง่ายต่อความเข้าใจ เป็นที่ยอมรับนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง อีกทั้งสะดวกต่อระบบที่มีการป้อนอินพุตโดยตรงจากมนุษย์ ส่วนการอนุมานแบบ Sugeno จะแตกต่างจากแบบ Mamdani ในส่วนของเอาต์พุต โดยเอาต์พุตของ

แต่ละกฎจะเป็นเส้นตรงโทนดังรูปที่ 2.25 ซึ่งมีข้อดีได้แก่ มีประสิทธิภาพเชิงการคำนวณ มีค่าเอาต์พุตที่ต่อเนื่อง และเหมาะสมในการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์



รูปที่ 2.24 การอนุมานแบบ Mamdani [33]



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุตแบบ Sugeno [33]

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani จากนั้นผลลัพธ์จากการประมวลผลจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนที่ 2.4.2.4 เพื่อแปลงค่าเอาต์พุตที่ได้ในรูปค่าเชิงฟัซซีให้เป็นค่าเอาต์พุตที่ชัดเจน (crisp value) หรือค่าปกติในขั้นตอนถัดไป

2.4.2.4 การทำดีฟัซซี (defuzzification)

ขั้นตอนนี้เป็นการแปลงค่าเอาต์พุตเชิงฟัซซีจากการรวมกฎเป็นค่าเอาต์พุตที่ชัดเจน (crisp value) หรือค่าปกติ วิธีการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติมีหลายแบบ วิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้งานอย่างแพร่หลายคือ วิธีหาจุดศูนย์กลาง (centroid) หรือ Center of Gravity (COG) โดยค่า COG ของฟัซซีเซต A ในช่วง [a, b] สามารถหาได้จากสมการ (2.19)

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx} \quad (2.19)$$

ในทางปฏิบัติการคำนวณ COG สามารถหาได้จากข้อมูลการชักตัวอย่างพื้นที่ใต้กราฟของผลลัพธ์จากการอนุมาน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (2.20)

$$COG = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x) x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)} \quad (2.20)$$

ผลลัพธ์จากการคำนวณจากสมการ (2.20) ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจหรือการจำแนกต่อไป

2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัดความสามารถสำหรับข้อมูลแบบแอตทริบิวต์

ระบบการวัดความสามารถสำหรับข้อมูลแบบแอตทริบิวต์ (attribute) เป็นการวัดผลในเชิงคุณภาพเช่น การตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน การตรวจวัดผลการปฏิบัติงาน เป็นต้น โดยในการตรวจสอบจะเป็นการจำแนกข้อมูลออกเป็น 2 ประเภทหรือมากกว่าเช่น ผ่าน-ไม่ผ่าน ดี-ปานกลาง-แย่ ผิด-เรียบร้อย-ชรุขระ สวย-ไม่สวย หลังจากนั้นจะทำการนับจำนวนข้อมูลในแต่ละประเภทเพื่อหาปริมาณที่เกิดขึ้น ซึ่งการประเมินผลมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ [34]

2.5.1 การกำหนดบุคลากรที่มีความชำนาญ

บุคลากรที่มีความชำนาญในการจำแนกระดับคุณภาพหรือเรียกว่า “ผู้เชี่ยวชาญ” ในงานวิจัยนี้ผู้เชี่ยวชาญถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติดังนี้

- (1) เป็นผู้ที่สามารถแยกแยะระดับคุณภาพของหมึกได้ถูกต้อง
- (2) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์และเชี่ยวชาญในด้านการตรวจสอบคุณภาพหมึกกล้วยแปรรูป โดยมีระยะเวลาในการปฏิบัติงานด้านการตรวจสอบคุณภาพหมึกกล้วยแปรรูปอย่างน้อย 5 ปี
- (3) เป็นผู้ที่มีความรู้ในด้านเกณฑ์ ข้อกำหนดและพารามิเตอร์ในการตรวจสอบคุณภาพหมึกกล้วยแปรรูป

โดยจำนวนของผู้เชี่ยวชาญยังไม่มีเกณฑ์กำหนดไว้อย่างแน่นอน ส่วนมากนิยมเป็นจำนวน 3, 5 และ 7 คน สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 คน และมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.5.2 การกำหนดชิ้นงานที่มีคุณภาพตามที่กำหนด

ขั้นตอนนี้ผู้เชี่ยวชาญที่มีคุณสมบัติตาม 2.5.1 ทำการกำหนดหมีกที่มีคุณภาพตามที่กำหนดให้เป็น “ตัวอย่างมาตรฐาน” โดยกำหนดเป็น 4 ระดับคุณภาพ ประกอบด้วยคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสีย เพื่อใช้เป็นชิ้นงานมาตรฐานในการศึกษา

2.5.3 การกำหนดผู้ปฏิบัติที่ต้องการประเมินความสามารถในการวัด

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดคุณสมบัติของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องการประเมินความสามารถเป็นดังนี้

- (1) เป็นผู้ปฏิบัติงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ
- (2) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการตรวจสอบคุณภาพหมีกกล้วยแปรรูปอย่างน้อย 1 ปี
- (3) เป็นผู้ผ่านการฝึกอบรมอย่างน้อย 3 เดือน พร้อมทั้งผ่านการประเมินความสามารถมาแล้ว

2.5.4 การกำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ

การกำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำจะขึ้นอยู่กับจำนวนของผู้ปฏิบัติงานในการทดสอบ โดย Fasser และ Brettner [34] ได้แนะนำจำนวนที่เหมาะสมดังในตารางที่ 2.4 ซึ่งในการศึกษาของงานวิจัยนี้จะใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 3 คน ดังนั้นจำนวนชิ้นตัวอย่างอย่างน้อย 12 ตัวอย่าง และจำนวนทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

ตารางที่ 2.4 ขนาดสิ่งตัวอย่างที่แนะนำสำหรับการประเมินระบบการวัดสำหรับข้อมูลแบบแอตทริบิวต์ [34]

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างน้อยที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

2.5.5 การสุ่มผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานในการตรวจสอบคุณภาพหมีกถูกสุ่มมาจำนวน 3 คน เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างหมีก แต่ละคนทำการตรวจสอบคุณภาพซ้ำ 3 ครั้งโดยทำการตรวจสอบแบบสุ่ม พร้อมทั้งบันทึกผลในตาราง

2.5.6 การประเมินผล

ขั้นตอนการประเมินผลจะทำการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงาน และ ประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.6.1 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดในด้านความเห็นพ้องกัน จำแนกออกเป็นการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน และการวิเคราะห์ความเห็นพ้อง ระหว่างผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน (within appraiser)

ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาความสามารถในการวัดซ้ำของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน โดย พิจารณาค่าความสามารถในการทำซ้ำ (%repeatability) หรือเรียกว่าเปอร์เซ็นต์คะแนนของ ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน (%appraiser) โดยคำนวณจากสมการ (2.21)

$$\% \text{ความสามารถในการทำซ้ำ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.21)$$

โดยผลที่ต้องการคือ ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนควรมีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำหรือเปอร์เซ็นต์คะแนนของผู้ปฏิบัติงานเท่ากับ 100%

(2) การวิเคราะห์ความเห็นพ้องระหว่างผู้ปฏิบัติงาน (between appraiser)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงระดับของความเห็นพ้อง (level of agreement) ระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคู่ โดยในการวิเคราะห์จะใช้สัมประสิทธิ์คัปปา (Kappa; K) ของ Cohen [34] ซึ่งนิยามได้ดังสมการ (2.22)

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (2.22)$$

โดยที่ K = สัมประสิทธิ์คัปปาของ Cohen

P_0 = ผลงานของสัดส่วนที่เห็นพ้องกันจากค่าสังเกต

P_e = ผลงานของสัดส่วนที่เห็นพ้องกันจากค่าคาดหวัง

ค่าสัมประสิทธิ์ K ที่ได้จะเป็นค่าประมาณ (estimate value) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ แสดงว่ามีความแตกต่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานหรือไม่ โดย AIAG [33] ได้แนะนำว่าสัมประสิทธิ์ K ควร มีค่ามากกว่า 0.75 จึงถือว่าเหมาะสม และถ้า $K = 0.90$ ขึ้นไป แสดงว่ามีความพ้องกันของการ

ตรวจสอบระหว่างผู้ปฏิบัติงานดีมาก แต่ถ้าค่า x มีค่าต่ำกว่า 0.40 แสดงว่ามีความพ้องกันของการตรวจสอบระหว่างผู้ปฏิบัติงานต่ำมาก

2.5.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบ

ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินถึงประสิทธิผลในการตรวจสอบของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งขั้นตอนนี้จำเป็นต้องทราบถึงระดับคุณภาพที่แท้จริงของหมึกตัวอย่างที่ทำการศึกษาหรือเรียกว่า “มาตรฐาน” โดยการวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบจะจำแนกออกเป็นการวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน (each appraiser vs standard)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน โดยการประเมินผลคะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (%attribute score) ซึ่งเป็นการประเมินถึงความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.23)

$$\% \text{คะแนนค่าแอตทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.23)$$

(2) การวิเคราะห์ความพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน (all appraisers vs standard)

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความพ้องกันของพนักงานทุกคนกับมาตรฐาน โดยสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ (%attribute screen effective score) ที่แสดงถึงประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ คำนวณได้จากสมการ (2.24)

$$\% \text{คะแนนประสิทธิผล} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผู้ปฏิบัติงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.24)$$

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้จะให้ความสำคัญกับขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพหมึก โดยจะทำการศึกษามึกกล้วย ซึ่งเป็นหมึกที่มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกหมึกกล้วยมากที่สุด ซึ่งจากเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [3] สามารถแบ่งระดับคุณภาพของหมึกกล้วยได้เป็น 3 ระดับคือ คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 และคุณภาพระดับที่ 3 โดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่สำคัญได้แก่ สีเนื้อ ลักษณะเนื้อ และกลิ่น ซึ่งในการพัฒนา

เทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยจะประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณลักษณะเด่นหรือพารามิเตอร์ในการจำแนก โดยที่ฟuzzyลอจิกถูกนำมาเป็นเครื่องมือในการจำแนกระดับคุณภาพหมึก เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมกับข้อมูลเชิงคุณภาพ และใช้หลักการเลียนแบบแนวความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความสามารถของผู้ปฏิบัติงานซึ่งมีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเทคนิคที่พัฒนาขึ้น โดยรายละเอียดของวิธีดำเนินการแสดงในบทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วย โดยจำแนกระดับคุณภาพของหมึกออกเป็น 3 ระดับคือ คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 และคุณภาพระดับที่ 3 ตามเกณฑ์ของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร [3] อีกทั้งยังจำแนกของเสีย (defect) ออกจากระดับคุณภาพอื่นๆ โดยของเสียเป็นหมึกที่มีตำหนิบนลำตัว ดังนั้นการดำเนินการวิจัยจึงประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ การออกแบบระบบดึงข้อมูลภาพตลอดจนถึงแนวคิดการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วย ซึ่งได้นำเอาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 แนวคิดการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพ

จากการศึกษากระบวนการแปรรูปหมึกกล้วยในระดับอุตสาหกรรมพบว่า หมึกกล้วยถูกแปรรูปเป็นหลากหลายรูปแบบ โดยรูปแบบการแปรรูปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548) สามารถแบ่งได้เป็น 6 รูปแบบดังตารางที่ 2.2 จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นพบว่ารูปแบบหมึกที่มีการแปรรูปมากที่สุดคือ หมึกหลอด ซึ่งเป็นหมึกที่ถูกลอกหนัง ชักไส้ เอาหัวและเอาปีกออก เป็นรูปแบบหมึกที่สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้หลากหลาย รวมทั้งสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลาช้านาน เนื่องจากการลอกหนังออกจะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อของหมึก จากการศึกษาของนที รักษ์ร่วม [28] พบว่าการเก็บรักษาหมึกกล้วยที่ลอกหนังในน้ำแข็งนาน 16 วัน จะไม่ทำให้เนื้อหมึกเปลี่ยนแปลงเป็นสีแดง แต่หมึกที่ไม่ทำการลอกหนังจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีแดง สีเหลืองสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การชะลอกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสามารถทำได้โดยการเอาอวัยวะภายในออก เนื่องจากเอนไซม์ที่อยู่ในอวัยวะภายในเหล่านั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายกล้ามเนื้อของหมึก [28] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจและศึกษาหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด

การตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ สามารถแบ่งระดับคุณภาพของหมึกสดได้เป็น 3 ระดับ [3] คือ คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 และคุณภาพระดับที่ 3 แสดงดังตารางที่ 2.1 โดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่สำคัญได้แก่ สี

เนื้อ ลักษณะเนื้อ และกลิ่น สำหรับในระดับอุตสาหกรรมจะพิจารณาคุณลักษณะอื่นๆ ด้วย ได้แก่ การปะปนของสิ่งแปลกปลอม ความสมบูรณ์ของลำตัว และตำหนิบนลำตัวหมึก ซึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้ [28]

(1) การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ

การเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อ มีสาเหตุจากการย้อมติดสีที่แตกออกจากเม็ดสีที่บริเวณผิวหนังของหมึก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรับแรงกดทับมากระหว่างการจัดเก็บบนเรือหรือการเก็บรักษา ก่อนการลอกหนังออก ซึ่งจากการศึกษาของ Lapa-Guimaraes และคณะ [35] พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีผิวหนังและเนื้อของหมึกระหว่างการเก็บรักษา อาจใช้เป็นดัชนีคุณภาพเบื้องต้นของหมึกได้ โดยค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ค่าสี a^* และค่าสี b^* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับคุณลักษณะที่ปรากฏที่พบว่าค่าความสว่างลดลง และมีการย้อมติดสีแดงเพิ่มขึ้นบนตัวหมึก เช่นเดียวกับการศึกษาของอดิศรา ต้นตสุทธิกุล [36] พบว่าเมื่อเก็บรักษาหมึกกล้วยในน้ำแข็งเป็นเวลา 16 วัน ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง ค่าสี a^* เพิ่มขึ้นนั้นแสดงว่ามีความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเกิดจากการย้อมติดสีแดงเพิ่มขึ้นบนเนื้อหมึก แต่ค่าสี b^* ลดลงแสดงว่ามีความเป็นสีเหลืองลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสีและอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเก็บรักษาและวิธีการเก็บรักษา โดยหมึกที่เก็บรักษาแบบไม่สัมผัสน้ำแข็งโดยตรงมีการเปลี่ยนแปลงสีรวดเร็วกว่าการเก็บรักษาแบบสัมผัสน้ำแข็ง [36]

(2) การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

โดยส่วนใหญ่การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเกิดในขั้นตอนการจัดเก็บระหว่างการขนส่ง ทำให้หมึกเกิดบอบช้ำจากการทับถมกันภายในอวนลาก และในภาชนะบรรจุ เกิดเป็นแผลกดทับ ส่งผลให้เอนไซม์จากอวัยวะภายในตัวหมึกถูกปลดปล่อยเข้าไปปะปนในเนื้อเยื่อ ทำให้เนื้อสัมผัสนิ่มลง จากการศึกษานี้ของ Lapa-Guimaraes และคณะ [35] ยังพบอีกว่าในการเก็บรักษาหมึกกล้วยที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่งผลให้โปรตีนกล้ามเนื้อของหมึกเกิดการย่อยสลายโดยเอนไซม์ภายในกล้ามเนื้อ ซึ่งจากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายโปรตีนโดยกิจกรรมเอนไซม์ดังกล่าวมีผลให้โครงสร้างของกล้ามเนื้อเกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ส่งผลให้หมึกมีเนื้อสัมผัสนิ่มลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอดิศรา ต้นตสุทธิกุล [36]

(3) ความไม่สมบูรณ์ของลำตัว

ความไม่สมบูรณ์ของลำตัว มีสาเหตุมาจากเครื่องมือทำประมงหรือเกิดจากการปฏิบัติงานของพนักงานในขั้นตอนการแปรรูปเบื้องต้นโดยการลอกหนัง เอาอวัยวะภายในออก และทำความสะอาด ทำให้หมึกเกิดการฉีกขาด และมีลำตัวไม่สมบูรณ์

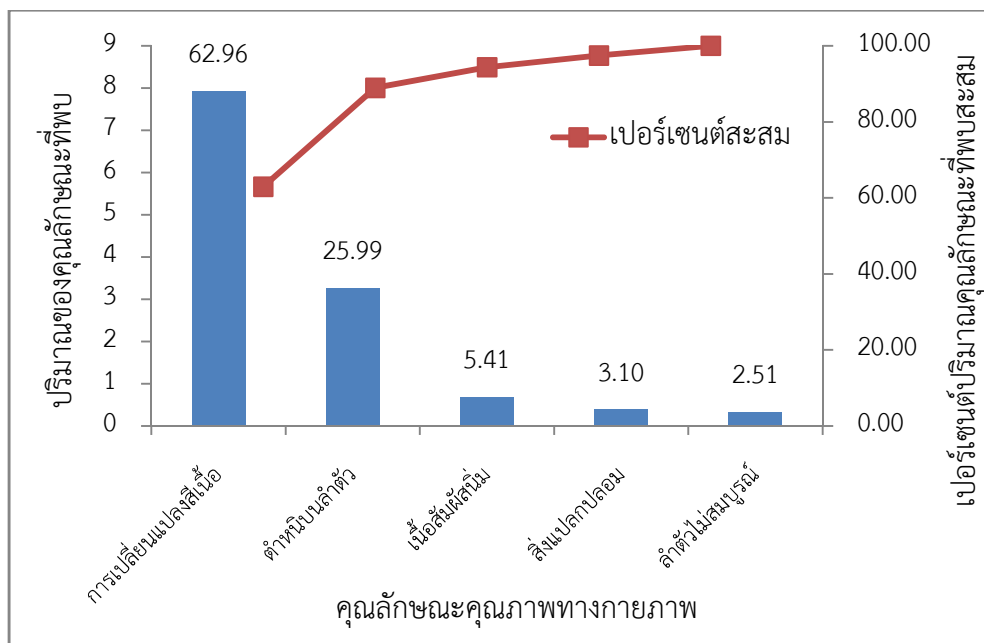
(4) การปะปนของสิ่งแปลกปลอม

สิ่งแปลกปลอมที่ปะปนกับหมึกได้แก่ เครื่องใน เขี้ยว กระดอง ตา และหนัง โดยส่วนใหญ่การปะปนของสิ่งแปลกปลอมมีสาเหตุสำคัญเนื่องจากความบกพร่องในการปฏิบัติงานของพนักงานในขั้นตอนการล้างทำความสะอาด

(5) ตำหนิบนลำตัวหมึก

ตำหนิบนลำตัวจะมีลักษณะเป็นเส้นหรือจุดสีดำบนลำตัวหมึก ซึ่งเป็นรอยแผลเกิดจากหนามของหอยเม่นเข้าไปในเนื้อหมึก อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการลอกอวนจนถึงหน้าดินทำให้หอยเม่นปะปนกับหมึกและเกิดการทับถมกันระหว่างการขนส่ง ซึ่งเมื่อนำหมึกที่มีตำหนิบนลำตัวเข้าสู่ขั้นตอนการฟอกขาว พบว่าไม่สามารถกำจัดคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์นี้ได้

จากการศึกษาของนที รักร่วม [28] ในการประเมินคุณภาพทางกายภาพตามเกณฑ์มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ [3] โดยสุ่มตัวอย่างร้อยละ 5 ของวัตถุดิบเริ่มต้นน้ำหนัก 1,098 กิโลกรัม แล้วทำการตรวจสอบลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของตัวอย่างหมึกในทุกขั้นตอนกระบวนการแปรรูปหมึกกล้วย เริ่มตั้งแต่รับวัตถุดิบจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการฟอกขาว โดยการตรวจสอบลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพภายหลังกระบวนการแปรรูปหมึกจะเป็นขั้นตอนก่อนนำหมึกเข้าสู่ขั้นตอนการคัดขนาดและการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าคุณลักษณะที่ตรวจพบได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อ เนื้อสัมผัสนิ่ม ความไม่สมบูรณ์ของลำตัว การปะปนของสิ่งแปลกปลอม และตำหนิบนลำตัวหมึก ซึ่งปริมาณความถี่ที่พบคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์เหล่านี้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ปริมาณความถี่ที่พบคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์

จากรูปที่ 3.1 พบว่าคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการแปรรูปมากที่สุดคือ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะสีเนื้อซึ่งพบถึงร้อยละ 62.96 ของน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด รองลงมาคือดำหนิบนลำตัวร้อยละ 25.99 แสดงให้เห็นว่าในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพมีโอกาสพบคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะสีเนื้อและดำหนิบนลำตัวมากที่สุด โดยที่การเปลี่ยนแปลงสีเนื้อมีสาเหตุหลักเกิดจากการย้อมติดสีที่แตกออกจากเม็ดสีบริเวณผิวหนังของหมึก ทำให้เนื้อหมึกถูกย้อมติดสีแดงเพิ่มขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี b^* เกิดขึ้น ขณะที่ดำหนิบนลำตัวมีสาเหตุหลักเกิดจากรอยแผลจากหนามของหอยเม่นทำให้มีลักษณะเป็นเส้นหรือจุดสีดำบนลำตัวหมึก จะเห็นได้ว่าคุณลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ดังกล่าวสามารถขจัดได้จากคุณลักษณะสีที่ปรากฏบนตัวหมึก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำแนกคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อและดำหนิบนลำตัวของหมึกตามระดับคุณภาพของหมึก โดยจะอาศัยความแตกต่างของคุณลักษณะสีที่ปรากฏบนตัวหมึก ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าวจะถูกวิเคราะห์ดังขั้นตอนต่อไปนี้

3.2 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาเป็นหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด ซึ่งตัวอย่างถูกเก็บรวบรวมจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลในจังหวัดสงขลา เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลภาพหมึก และโปรแกรมที่ใช้สำหรับพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) กล้องวิดีโอยี่ห้อ Basler รุ่น scA640-70gc ความละเอียด 659 x 490 พิกเซล

(2) โปรแกรมเชื่อมต่อระหว่างกล้องวิดีโอเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ (โปรแกรม Pylon Camera Software Suite)

(3) โปรแกรมสำหรับพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพ (โปรแกรม LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011 และเครื่องมือ fuzzy logic toolbox ในโปรแกรม MATLAB R2007b สำหรับพัฒนาการจำแนกระดับคุณภาพหมึกโดยประยุกต์ใช้ระบบฟัซซีลอจิก)

(4) ระบบดึงข้อมูลภาพสำหรับควบคุมสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพหมึก โดยรายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 3.2.2

3.2.2 ระบบดึงข้อมูลภาพ

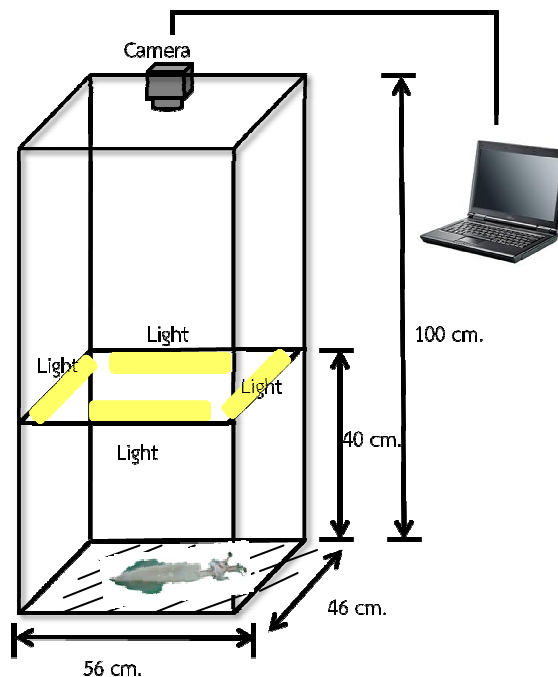
ระบบดึงข้อมูลภาพถูกสร้างขึ้นเพื่อควบคุมสภาพแสง และสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพตัวอย่างหมึกให้เหมาะสม เพื่อลดสัญญาณรบกวน และป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

(1) โครงสร้างของระบบดึงข้อมูลภาพมีขนาดกว้าง 46 เซนติเมตร ยาว 56 เซนติเมตร และสูง 100 เซนติเมตร โดยการออกแบบให้รองรับขนาดของสายพานลำเลียงซึ่งมีความกว้าง 40 เซนติเมตร และสามารถรองรับการวางหมึกขนาดใหญ่ที่สุดได้

(2) แหล่งของแสงสว่าง งานวิจัยนี้จะใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 4 หลอด ขนาดความยาว 30 ซม.ชนิด D65 มี color temperature เท่ากับ 6500 K โดยติดตั้งตามแนวความยาวของโครงสร้างชุดควบคุมแสงทั้ง 4 ด้าน ซึ่งติดตั้งด้านเดียวกับกล้อง และส่องสว่างไปยังวัตถุ จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิด Illuminant D (D65) เป็นหลอดไฟที่

นิยมมากที่สุดสำหรับใช้เป็นแหล่งของแสงสว่างในการประมวลผลภาพของสินค้าเกษตรและอาหาร [6], [8-9], [19] เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวัน จึงทำให้ค่าสีที่ได้ใกล้เคียงค่าสีที่รับรู้โดยมนุษย์มากที่สุด

(3) กล้องวิดีโอ จะใช้กล้องยี่ห้อ Basler รุ่น scA640-70gc มีความละเอียด 659 x 490 พิกเซล ขนาดรูรับแสง 1/4” เลนส์ทำมุม 0 องศาด้วยตัวอย่าง ซึ่งกล้องวิดีโอถูกติดตั้งในแนวตั้งเหนือพื้นหลังที่เป็นกระจกฝ้าซึ่งวางทับวัสดุปูพื้นสีดำเพื่อป้องกันการสะท้อนของแสงดังรูปที่ 3.2

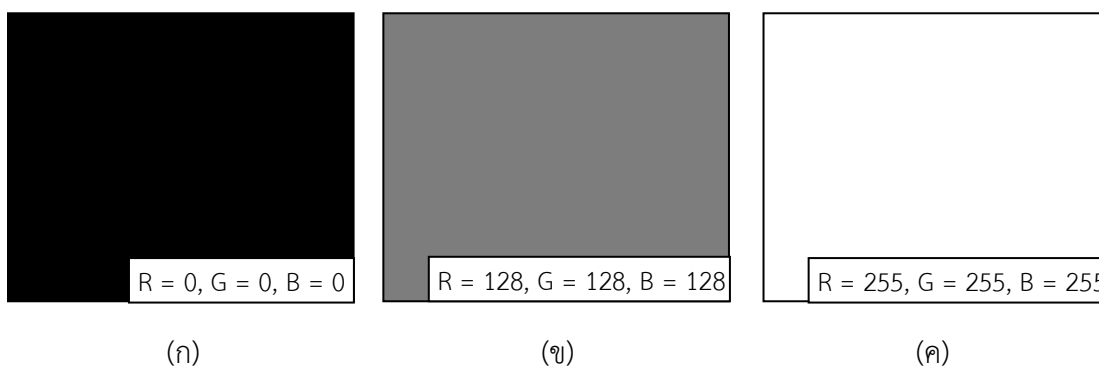


รูปที่ 3.2 ระบบดึงข้อมูลภาพ

3.3 การสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพ

การสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพเป็นการปรับปริมาณแสงที่ผ่านเลนส์ของกล้อง ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของภาพที่ได้ รวมทั้งค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพ เนื่องจากภาพของวัตถุเกิดจากการสะท้อนแสงของวัตถุเข้าสู่กล้อง ซึ่งถ้าปริมาณแสงที่ผ่านเลนส์กล้องไม่เท่ากันในการถ่ายภาพแต่ละครั้ง การสะท้อนแสงของวัตถุก็ย่อมจะไม่เท่ากันไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ภาพหมึกถูกถ่ายขณะที่หลอดไฟเสียจำนวน 1 หลอด ด้วยการตั้งค่ากล้องเช่นเดิมกับการถ่ายภาพทุกๆ ครั้ง ภาพหมึกที่ได้จะมีดีกว่าภาพที่ได้ในกรณีที่หลอดไฟไม่เสีย เพราะปริมาณแสงที่ผ่านเข้าเลนส์กล้องน้อยกว่า ดังนั้น

ขั้นตอนการสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพจึงเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยขั้นตอนการสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพเป็นขั้นตอนที่จะต้องดำเนินการก่อนการเก็บรวบรวมภาพหมึกทุกครั้ง เพื่อให้สภาพแวดล้อมในการเก็บรวบรวมภาพหมึกแต่ละครั้งเหมือนกัน โดยก่อนการเก็บรวบรวมภาพหมึกจะทำการถ่ายภาพแผ่นสีดำ (100% black sheet) แผ่นสีขาว (100% white sheet) และแผ่นสีเทากลาง 18% (18% gray sheet) ดังรูปที่ 3.3 ภายในระบบดึงข้อมูลภาพ แล้วทำการวัดค่าสีของแผ่นสีดังกล่าว จากการวัดค่าสีจะได้ว่าแผ่นสีดำมีค่าสีแดง (R) สีเขียว(G) และสีน้ำเงิน (B) เท่ากับ 0, 0 และ 0 ตามลำดับ ภาพสีขาวมีค่าสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) เท่ากับ 255, 255 และ 255 ตามลำดับ ส่วนภาพสีเทากลาง 18% มีค่าสีแดง (R) สีเขียว(G) และสีน้ำเงิน (B) เท่ากับ 128, 128 และ 128 ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 แผ่นสีสำหรับสอบเทียบระบบดึงข้อมูลภาพ

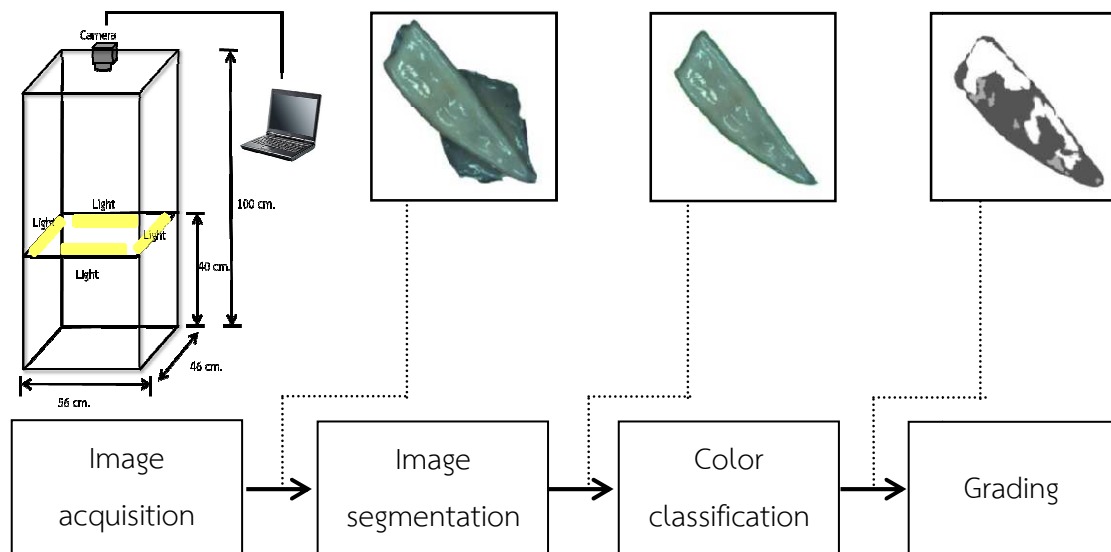
(ก) แผ่นสีดำ (black sheet) (ข) แผ่นสีเทา (gray sheet) และ (ค) แผ่นสีขาว (white sheet)

3.4 การพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึก

ในงานวิจัยนี้ทำการจำแนกคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีเนื้อและตำหนิบนลำตัวของหมึกตามระดับคุณภาพของหมึก โดยจะอาศัยความแตกต่างของคุณลักษณะสีที่ปรากฏบนตัวหมึก การวิเคราะห์คุณลักษณะสีโดยทั่วไปจะนิยมวัดค่าสี RGB, XYZ และ $L^*a^*b^*$ สำหรับการวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์เกษตร และอาหารพบว่า ระบบสี $L^*a^*b^*$ หรือ CIELAB เป็นระบบสีที่เหมาะสมและใช้กันมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าสีใกล้เคียงกับการรับรู้สีของมนุษย์ ซึ่งเครื่องมือวัดค่าสีที่นิยมใช้ได้แก่ Minolta chroma meter, Hunter Lab colorimeter และ Dr. Lange colorimeter [14] แต่การวัดค่าสีด้วยเครื่องมือวัดค่าสีจะมีข้อด้อยคือ สีของพื้นผิวของวัสดุที่วัดต้องสม่ำเสมอ และเป็นวัสดุขนาดเล็ก (พื้นที่ประมาณ 2 ตารางเซนติเมตร) นอกจากนี้วิธีการวัดค่าสีด้วยเทคนิคประมวลผลภาพยังเป็นอีกวิธี

หนึ่งที่มีความนิยม เนื่องจากวิธีนี้สามารถวัดค่าสีได้ทั่วทุกตำแหน่งบนวัสดุ โดยการวัดค่าสีจะเป็นการหาค่าเฉลี่ยสีต่อพื้นที่ที่ทำกรวัด ดังนั้นเทคนิคประมวลผลภาพจึงเป็นเทคนิคที่สามารถเข้าถึงภาพรวมทั้งหมดของตัวหมึก และสามารถวัดค่าสีได้ทั่วทั้งตัวหมึก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย A. Iqbal และคณะ [14] ที่พบว่าการใช้ระบบประมวลผลภาพในการวิเคราะห์สีของเนื้อสัตว์ จะสามารถวิเคราะห์ได้ดีกว่าการใช้วิธีการวัดของเครื่องวัดค่าสี

จากการพิจารณาคุณลักษณะสีที่ปรากฏบนตัวหมึกจะพบว่า การกระจายตัวของสีบนผิวหมึกไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งตัวหมึก หมึกโดยทั่วไปเป็นหมึกคุณภาพระดับที่ 1 จะมีสีขาวซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ในขณะที่หมึกคุณภาพระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสียจะมีคุณลักษณะสีอื่นปะปนอยู่บนผิวหมึกได้แก่ สีชมพู สีแดง และสีดำ โดยปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกในแต่ละระดับคุณภาพจะแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าเป็นลักษณะความแตกต่างดังกล่าวใช้เป็นคุณลักษณะเด่นในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก จากการศึกษาของ F. Mendoza และคณะ [6] ที่พบว่าการจำแนกกระยะการสุกของกล้วยด้วยระบบสี $L^*a^*b^*$ สามารถจำแนกได้ถูกต้องเฉพาะในช่วงที่สีเปลือกกล้วยมีความสม่ำเสมอเท่านั้น เมื่อกล้วยเข้าสู่ระยะการเกิดจุดดำบนบนผิวเปลือกกล้วยพบว่า การจำแนกกระยะการสุกโดยใช้ระบบสี $L^*a^*b^*$ ไม่เหมาะสม เนื่องจากการตรวจสอบด้วยระบบสี $L^*a^*b^*$ หรือระบบสีอื่นๆ จำเป็นต้องให้สีของพื้นผิววัสดุมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูปจะใช้คุณลักษณะปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นลักษณะเด่นในการจำแนก โดยภาพรวมของการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึก

ในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูปจะเริ่มจากการนำข้อมูลภาพหมึกที่ถูกถ่ายภายในระบบดึงข้อมูลภาพเข้ากระบวนการแยกบริเวณ (image segmentation) เพื่อแยกภาพตัวหมึกออกจากพื้นหลัง ทำให้สามารถวิเคราะห์เฉพาะบริเวณตัวหมึกที่สนใจเท่านั้น ทำการหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก (color classification) แล้วนำค่าปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกที่ได้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก (grading squid quality) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การเก็บรวบรวมภาพหมึก (image acquisition)

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์หมึกหลอดจะถูกถ่ายภาพภายในระบบดึงข้อมูลภาพที่ออกแบบไว้ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2.2 พร้อมทั้งระบุหมายเลขตัวอย่างให้ชัดเจน ซึ่งมีการกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพดังตารางที่ 3.1 โดยทำการเก็บตัวอย่างหมึกแต่ละระดับคุณภาพตามการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ ข้อมูลภาพจากการถ่ายถูกจัดเก็บเป็นภาพสี RGB รูปแบบไฟล์ภาพ JPEG

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องวิดีโอถ่ายภาพก่อนทำการถ่ายภาพ

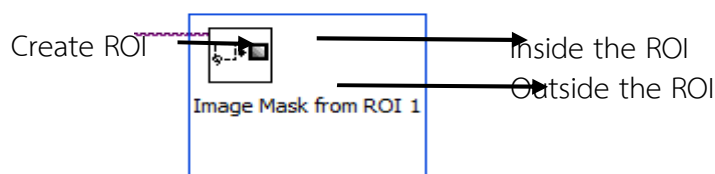
รายละเอียด	สถานะ
ระยะทางโฟกัสของเลนส์	38 มิลลิเมตร
ระยะโฟกัส	100 เซนติเมตร
ขนาดภาพ	658×492 pixels
แฟลช	ไม่ใช้
สมดุลแสงสีขาว	Daylight
ความเร็วชัตเตอร์	1/50 วินาที
วิธีการถ่ายภาพ	ควบคุมจากคอมพิวเตอร์
ขนาดรูรับแสง	1/3"

3.4.2 การแยกบริเวณ (image segmentation)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการแยกบริเวณของภาพเพื่อแยกตัวหมึกที่สนใจออกจากพื้นหลัง โดยจะใช้วิธีการเลือกบริเวณที่สนใจ (region of interest) เนื่องจากต้องการเก็บคุณลักษณะค่าสีของหมึกไว้จึงใช้วิธีหน้ากากของภาพ (image mask) ในการแยกบริเวณตัวหมึกที่สนใจ เป้าหมายของการสร้างหน้ากากของภาพก็คือทำให้การประมวลผลเกิดขึ้นในส่วนหรือบริเวณที่สนใจเท่านั้น โดย

พิกเซลในภาพจะถูกกำหนดว่าจะได้รับการประมวลผลหรือไม่ หากพิกเซลที่มีค่าเท่ากับศูนย์จะแสดงเป็นสีดำ และพิกเซลที่อยู่ในภาพนั้นจะไม่ถูกการประมวลผล แต่ถ้าค่าของพิกเซลในหน้ากากของภาพมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ (มีค่าเป็น 1) แสดงว่าพิกเซลตำแหน่งนั้นในภาพจะได้รับการประมวลผล ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้จะทำให้บริเวณตัวหมึกถูกแยกออกจากพื้นหลังโดยยังคงเก็บคุณลักษณะสีจริงของภาพหมึกเพื่อใช้ในการหาคุณลักษณะในขั้นตอนต่อไป

การสร้างหน้ากากของภาพโดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW ร่วมกับโมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011 มีฟังก์ชันที่สำคัญในการวิเคราะห์ และการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันหน้ากากของภาพ (image mask)

จากรูปที่ 3.5 ฟังก์ชันหน้ากากของภาพดังกล่าวสามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลได้ดังนี้

(1) Create from ROI ใช้ในการกำหนดพื้นที่ที่สนใจหรือ Region of Interest (ROI) ภายในภาพต้นฉบับที่ต้องการที่จะสร้างเป็นหน้ากากของภาพขึ้นมา

(2) Inside the ROI กำหนดพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ภายในพื้นที่ที่สนใจให้เป็น 0

(3) Outside the ROI กำหนดพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ภายนอกพื้นที่ที่สนใจให้เป็น 0

โดยที่ฟังก์ชัน (2) และ (3) เป็นฟังก์ชันที่สามารถเลือกใช้ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานต้องการพิจารณาหรือการประมวลผลส่วนใดในภาพ หากต้องการประมวลผลพิกเซลที่อยู่ภายในพื้นที่ที่สนใจให้เลือกฟังก์ชัน Outside the ROI เพื่อให้พิกเซลภายนอกพื้นที่ที่สนใจถูกกำหนดค่าให้เป็น 0 แต่หากต้องการประมวลผลพิกเซลที่อยู่ภายนอกพื้นที่ที่สนใจให้เลือกฟังก์ชัน Inside the ROI เพื่อให้พิกเซลภายในพื้นที่ที่สนใจถูกกำหนดค่าให้เป็น 0 สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ฟังก์ชัน Outside the ROI เนื่องจากต้องการประมวลผลบริเวณภาพของตัวหมึกซึ่งเป็นพิกเซลที่อยู่ภายในพื้นที่ที่สนใจ

3.4.3 การหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก (color classification)

ขั้นตอนนี้เป็น การหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกของภาพหมึกที่ถูกแยกบริเวณออกจากพื้นหลัง โดยในการจำแนกค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพจะใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้เคียง

ที่สุุด (nearest neighbor) ซึ่งเป็นวิธีการจำแนกโดยตรง โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของข้อมูลที่สนใจกับข้อมูลอ้างอิง หากข้อมูลที่กำลังสนใจมีความคล้ายคลึงกับข้อมูลอ้างอิงกลุ่มใดมากที่สุด โปรแกรมจะจำแนกเป็นกลุ่มของข้อมูลอ้างอิงที่ใกล้ที่สุดนั้น [31] ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเรียนรู้ (training phase) และขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการจำแนกค่าสี (classifying phase) แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.4.3.1 ขั้นตอนการเรียนรู้ (training phase)

ขั้นตอนนี้โปรแกรมจะถูกสอนให้รู้จักคุณลักษณะสีที่ต้องการจำแนก โดยทำการสร้างตัวจำแนก (classifier) ในแต่ละคุณลักษณะสี เพื่อให้โปรแกรมสามารถจัดหมวดหมู่ของค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) กำหนดประเภทสีที่ใช้ในการจำแนก

งานวิจัยนี้กำหนดประเภทสีที่ใช้จำแนกเป็น 4 สี ได้แก่ สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ ซึ่งประเภทคุณลักษณะสีดังกล่าวที่กำหนดถูกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาหรืออ้างอิงถึงคุณลักษณะสีที่ปรากฏบนตัวหมึกโดยการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

(2) สร้างตัวจำแนกสำหรับสีแต่ละประเภท

ข้อมูลของประเภทสีจากภาพตัวอย่างหมึกถูกจัดเก็บในรูปแบบค่าสี RGB ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกนำมาสร้างเป็นตัวจำแนก (Classifier) โดยแต่ละประเภทสีสามารถกำหนดตัวอย่างสีได้หลายระดับหรือหลายเฉดสี

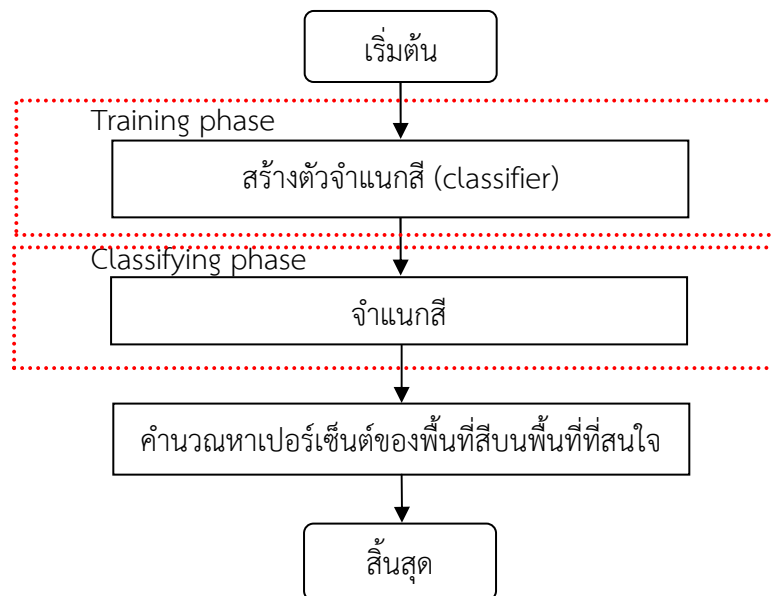
3.4.3.2 ขั้นตอนการจำแนกค่าสี (classifying phase)

ขั้นตอนนี้พิกเซลของภาพจะถูกกำหนดค่าสี ซึ่งเป็นการจำแนกพื้นที่สีในภาพโดยอาศัยข้อมูลจากตัวจำแนกสีในขั้นตอนการเรียนรู้ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบค่าสีในพิกเซลของภาพ จากนั้นข้อมูลสีที่อ่านได้จะถูกเปรียบเทียบกับค่าสีในตัวจำแนกสี โดยการคำนวณหาระยะทางระหว่างตัวจำแนกสีทุกสีกับค่าสีของพิกเซลนั้นจากสมการ (3.1) ซึ่งเป็นการพิจารณาจากระดับของความคล้ายคลึงกันระหว่างตัวจำแนกกับพิกเซลนั้นๆ หากระยะทางของค่าสีในพิกเซลกับตัวจำแนกกลุ่มใดมีค่าน้อยที่สุดนั้นหมายความว่าค่าสีในพิกเซลนั้นมีความคล้ายคลึงกับตัวจำแนกสีนั้นมากที่สุด ดังนั้นจึงถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของสีนั้น

$$\text{distance} = \sqrt{(R - R_c)^2 + (G - G_c)^2 + (B - B_c)^2} \quad (3.1)$$

- เมื่อ R_c แทน ค่าสีแดงที่เก็บไว้เป็นตัวจำแนก
 G_c แทน ค่าสีเขียวที่เก็บไว้เป็นตัวจำแนก
 B_c แทน ค่าสีน้ำเงินที่เก็บไว้เป็นตัวจำแนก

ความถูกต้องในการจำแนกค่าสีของโปรแกรมสามารถพิจารณาได้จากค่าคะแนนประจำตัว (identification score) ซึ่งเป็นระดับความคล้ายคลึงกันระหว่างค่าสีที่อ่านได้กับกลุ่มตัวอย่างในตัวจำแนกที่สร้างขึ้น โดยสีที่อ่านได้จะถูกเปรียบเทียบกับตัวอย่างทุกตัวอย่างที่ถูกสอนให้โปรแกรมรู้จัก นอกจากนี้ยังพิจารณาค่าคะแนนการจำแนก (classification score) อีกด้วย ซึ่งค่าคะแนนการจำแนก เป็นค่าที่แสดงระดับของความเชื่อมั่นหรือความคล้ายคลึงของตัวจำแนก โดยค่าสีที่อ่านได้จะถูกเปรียบเทียบกับค่าสีเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างในตัวจำแนกแต่ละประเภทสี หากค่าทั้งสองมีค่าใกล้เคียง 1000 แสดงว่าค่าสีที่ถูกจำแนกมีความคล้ายคลึงกับตัวจำแนกสูง



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก

3.4.4 การกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป (grading squid quality)

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดกลุ่มหมึกว่าเป็นหมึกที่มีคุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 คุณภาพระดับที่ 3 และของเสีย โดยใช้ข้อมูลปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนกได้แก่ ปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ ซึ่งลักษณะของข้อมูลปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.5 แสดงดังตารางที่ 3.2

จากตารางที่ 3.2 ลักษณะของข้อมูลปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกได้แก่ พื้นที่สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำของแต่ละระดับคุณภาพของหมึก โดยในการศึกษาจะใช้ตัวอย่างหมึกจำนวน 135 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหมึกคุณภาพระดับที่ 1 (1) จำนวน 37 ตัวอย่าง คุณภาพระดับที่ 2 (2) จำนวน 35 ตัวอย่าง คุณภาพระดับที่ 3 (3) จำนวน 33 ตัวอย่าง และของเสีย (4) จำนวน 30 ตัวอย่าง ซึ่งค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีขาวที่ปรากฏบนผิวหมึกคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสียมีค่าเท่ากับ 82.65, 30.45, 2.03 และ 27.69 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีชมพูที่ปรากฏบนผิวหมึกคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสียมีค่าเท่ากับ 9.22, 59.11, 41.25 และ 53.71 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีแดงของหมึกคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสียมีค่าเท่ากับ 8.14, 9.58, 56.77 และ 14.34 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีดำที่ปรากฏบนผิวหมึกคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.00 นั่นคือไม่พบบริเวณสีดำหรือสัดส่วนสีดำปรากฏบนผิวหมึก ในขณะที่ค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีดำของเสีย มีค่าเป็น 6.15 ดังนั้นในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีกับระดับคุณภาพหมึกโดยใช้การทดสอบ One-way ANOVA จะทดสอบเฉพาะค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงกับระดับคุณภาพหมึก ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.3 โดยตั้งสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) ดังนี้

H_0 : ปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทสีไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทสีแตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งคู่

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ One-way ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
White	Between Groups	125030.91	2	62515.454	357.924	0.000
	Within Groups	17815.45	102	174.661		
	Total	142846.36	104			
Pink	Between Groups	46168.23	2	23084.114	128.486	0.000
	Within Groups	18325.58	102	179.663		
	Total	64493.81	104			
Red	Between Groups	53943.64	2	26971.818	209.261	0.000
	Within Groups	13146.85	102	128.891		
	Total	67090.48	104			

จากตารางที่ 3.3 พบว่า ค่า Sig. ของปริมาณพื้นที่สีทุกประเภทมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) ดังนั้นจึงสรุปว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีทุกประเภทแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบพหุคูณ (multiple comparisons test) เพื่อตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีคู่ที่แตกต่างกัน โดยจะใช้วิธีของเชฟเฟ (Scheffe's method) เนื่องจากความแปรปรวนของของปริมาณพื้นที่สีไม่แตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษาดังแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 Multiple Comparisons

Dependent Variable	(I) Grade	(J) Grade	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
White	1	2	52.8551(*)	3.11623	.000	45.1140	60.5963
		3	83.1812(*)	3.16439	.000	75.3204	91.0419
	2	1	-52.8551(*)	3.11623	.000	-60.5963	-45.1140
		3	30.3261(*)	3.20673	.000	22.3601	38.2920
	3	1	-83.1812(*)	3.16439	.000	-91.0419	-75.3204
		2	-30.3261(*)	3.20673	.000	-38.2920	-22.3601
Pink	1	2	-49.7067(*)	3.16053	.000	-57.5579	-41.8555
		3	-32.9039(*)	3.20937	.000	-40.8764	-24.9314
	2	1	49.7067(*)	3.16053	.000	41.8555	57.5579
		3	16.8028(*)	3.25231	.000	8.7236	24.8820
	3	1	32.9039(*)	3.20937	.000	24.9314	40.8764
		2	-16.8028(*)	3.25231	.000	-24.8820	-8.7236
Red	1	2	-3.1480	2.67696	.503	-9.7979	3.5020
		3	-50.2744(*)	2.71833	.000	-57.0271	-43.5218
	2	1	3.1480	2.67696	.503	-3.5020	9.7979
		3	-47.1265(*)	2.75470	.000	-53.9695	-40.2834
	3	1	50.2744(*)	2.71833	.000	43.5218	57.0271
		2	47.1265(*)	2.75470	.000	40.2834	53.9695

จากตารางที่ 3.4 พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีขา และพื้นที่สีชมพูแต่ละคู่ระดับคุณภาพ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 (sig.< 0.05) 5 คู่คือ ระดับที่ 1 กับ 2 ระดับที่ 1 กับ 3 ระดับที่ 1 กับ 4 ระดับที่ 2 กับ 3 และระดับที่ 3 กับ 4 ในขณะที่คุณภาพระดับที่ 2 และระดับที่ 4 ไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณพื้นที่สีแดงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 (sig.<0.05) 3 คู่คือระดับที่ 1 กับ 3 ระดับที่ 2 กับ 3 และระดับที่ 3 กับ 4 ในขณะที่คุณภาพระดับที่ 1 กับ 2 ระดับที่ 1 กับ 4 และระดับที่ 2 กับ 4 ไม่แตกต่างกัน จากนั้นค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทสีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์จะได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีขา และสีชมพูแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยดังตารางที่ 3.5 และ 3.6 ในขณะที่ค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 Homogeneous Subsets ของปริมาณพื้นที่สีขา

Scheffe				
Subset for alpha = .05				
Grade	N	1	2	3
3	33	2.6291		
2	35		32.9551	
1	37			85.8103
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed

ตารางที่ 3.6 Homogeneous Subsets ของปริมาณพื้นที่สีชมพู

Scheffe				
Subset for alpha = .05				
Grade	N	1	2	3
1	37	7.3924		
3	33		40.2964	
2	35			57.0991
Sig.		1.000	1.000	1.000

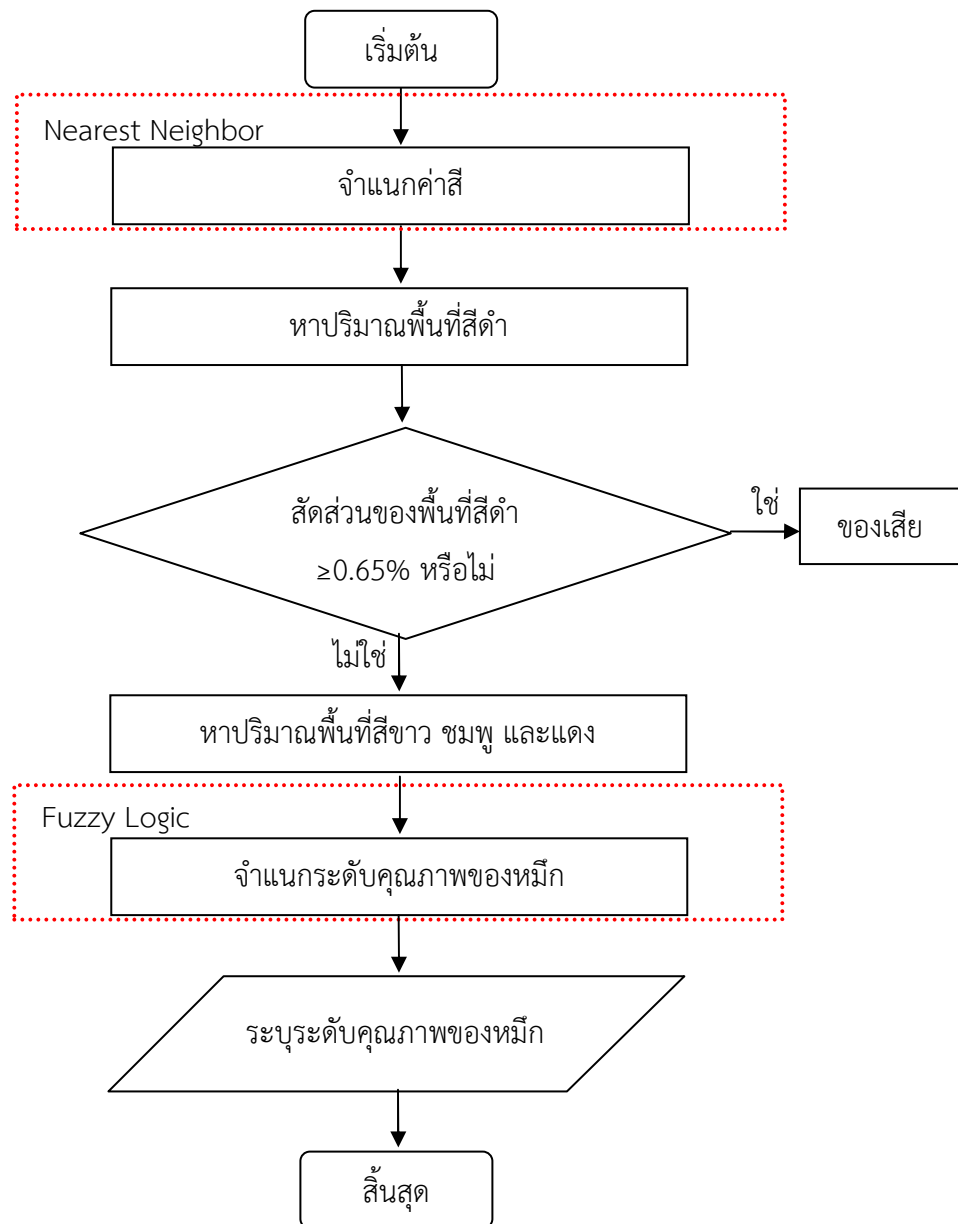
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางที่ 3.7 Homogeneous Subsets ของปริมาณพื้นที่สีแดง

Scheffe			
Grade	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	37	6.7992	
2	35	9.9471	
3	33		57.0736
Sig.		.513	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

นอกจากนี้จากตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกแต่ละประเภทสีของคุณภาพระดับที่ 4 หรือของเสียไม่สามารถแยกออกจากระดับคุณภาพอื่นได้ และในตารางที่ 3.2 พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีดำจะพบเฉพาะหมึกคุณภาพระดับที่ 4 หรือของเสีย ซึ่งมีค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำอย่างน้อย 0.65% ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่หมึกระดับคุณภาพอื่นไม่พบบริเวณสีดำหรือสัดส่วนสีดำ ดังนั้นการจำแนกระดับคุณภาพหมึกจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนแรกเป็นการจำแนกของเสียออกจากหมึกทั้งหมด ซึ่งปริมาณพื้นที่สีดำถูกใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนก โดยโปรแกรมจะทำการจำแนกคุณภาพหมึกเป็นของเสียเมื่อค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำมากกว่า 0.65% ของพื้นที่ทั้งหมด แต่หากตรวจสอบไม่พบบริเวณสีดำหรือค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำน้อยกว่า 0.65% หมึกจะถูกนำไปจำแนกระดับคุณภาพ เนื่องจากการจำแนกคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูปเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ การจะพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถือเป็นเรื่องยากและไม่มีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่ชัดเจนหรือความสัมพันธ์อาจมีรูปแบบที่ซับซ้อนเกินไป ดังนั้นเทคนิคฟัซซีลอจิกจึงเป็นระบบที่เหมาะสมที่ใช้ในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป G. Tsekouras และคณะ [37] กล่าวว่าระบบฟัซซีลอจิกเหมาะสมกับการทำนายพารามิเตอร์เชิงคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยใช้หลักเหตุผลคล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์

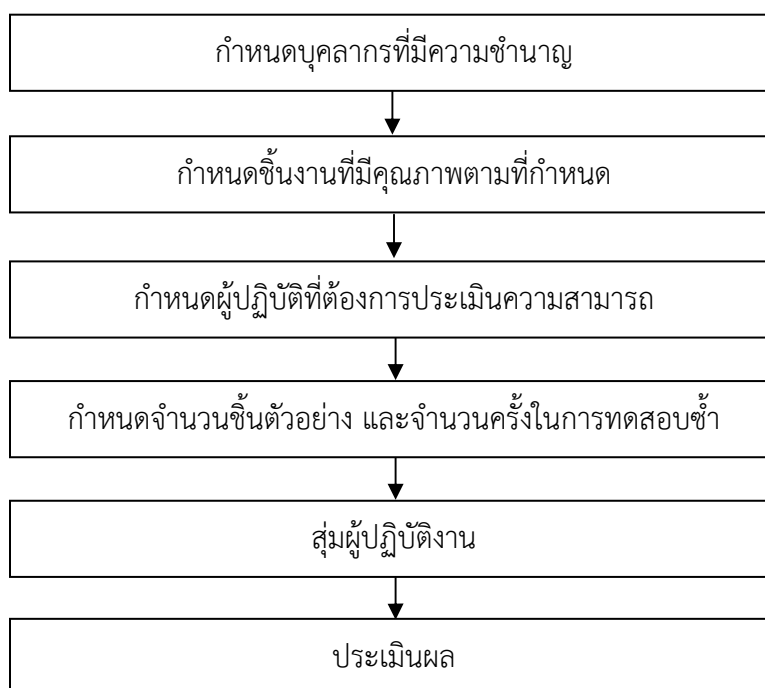


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก

หมึกที่ไม่ถูกจำแนกเป็นของเสียจะถูกจำแนกระดับคุณภาพด้วยเทคนิคฟัซซีลอจิก โดยอินพุตเป็นปริมาณพื้นที่สีขาวย ชมพูและแดงที่ปรากฏบนตัวหมึก และเอาต์พุตเป็นระดับคุณภาพของหมึก แบ่งได้เป็นคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 โดยรายละเอียดการประมวลผลของฟัซซีลอจิกแสดงในหัวข้อที่ 2.4

3.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงาน

ปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพหมึกกล้วยในอุตสาหกรรมแปรรูปจะอาศัยผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก โดยการพิจารณาคูณลักษณะสีที่ปรากฏบนผิวหมึกเพื่อจำแนกระดับคุณภาพของหมึก ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบจึงเป็นข้อมูลแบบแอตทริบิวต์ (attribute) นั่นคือคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 ระดับที่ 3 และของเสีย หรือเป็นผลลัพธ์การตรวจสอบถูกต้องหรือผิดเมื่อเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ โดยแหล่งความผันแปรที่มีความสำคัญคือ ความสามารถและทักษะของผู้ปฏิบัติงาน การประเมินความสามารถของผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้ทราบความสามารถของผู้ปฏิบัติงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยการวิเคราะห์ประกอบด้วย การวิเคราะห์การเห็นพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการวัดซ้ำของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนและการเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงาน เป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผู้ปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับมาตรฐาน และความพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน เพื่อประเมินถึงประสิทธิผลในการตรวจสอบของผู้ปฏิบัติงาน สำหรับขั้นตอนการศึกษามีรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.5 สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3.8 จากนั้นผลจากการศึกษาความสามารถในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานจะถูกเปรียบเทียบกับความสามารถของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัดความสามารถ

ในการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยโดยประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลภาพ มีขั้นตอนการดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆ ข้างต้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังทำการประเมินความสามารถของผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้ทราบความสามารถของผู้ปฏิบัติงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน หากนำเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพที่พัฒนาขึ้นไปใช้แทนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานจะให้ความสามารถมากกว่า น้อยกว่าหรือเทียบเท่ากับความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน โดยผลการดำเนินการวิจัยดังกล่าวสามารถอธิบายรายละเอียดไว้ในบทที่ 4

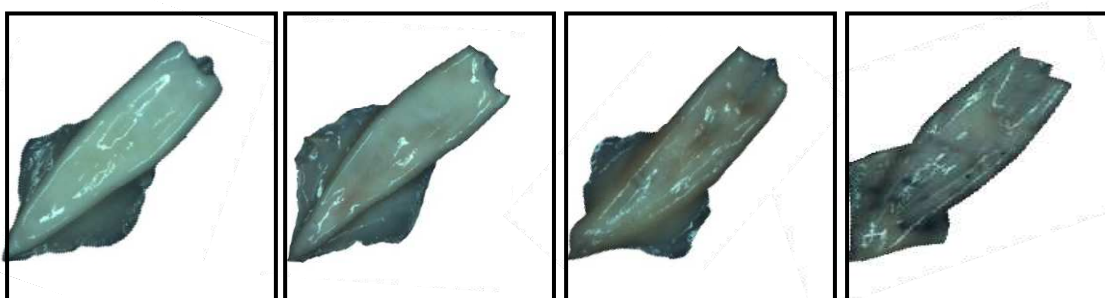
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาวิธีการสำหรับการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วย ในบทที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นจะประยุกต์ใช้กับหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด โดยจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อและตำหนิบนลำตัวหมึกออกเป็น 4 ระดับคือ คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 และคุณภาพระดับที่ 3 ตามเกณฑ์ของมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร [3] และของเสีย (defect) ออกจากระดับคุณภาพอื่นๆ โดยผลการดำเนินการตามขั้นตอนวิธีการในการพัฒนาเทคนิค สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

4.1 ผลการเก็บบันทึกข้อมูลภาพหมึก

หมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอดจะถูกถ่ายภาพภายในระบบดึงข้อมูลภาพที่ ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สำหรับค่าเริ่มต้นของกล้องวิดีโอในการถ่ายภาพเป็นดังตารางที่ 3.2 โดยเก็บตัวอย่างหมึกแต่ละระดับคุณภาพจากการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งระดับคุณภาพของหมึกถูกแบ่งไว้ 4 ระดับ ประกอบด้วย คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 คุณภาพระดับที่ 3 และของเสีย ตัวอย่างภาพหมึกได้แสดงดังรูปที่ 4.1



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 4.1 ภาพหมึกแต่ละระดับคุณภาพที่ได้จากการถ่ายภาพในระบบดึงข้อมูลภาพ
(ก) คุณภาพระดับที่ 1 (ข) คุณภาพระดับที่ 2 (ค) คุณภาพระดับที่ 3 และ (ง) ของเสีย

จากภาพหมึกในแต่ละระดับคุณภาพ จะพบว่าหมึกมีสีไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งตัว หมึก โดยทั่วไปจะมีสีขาว แต่หากเก็บรักษาเป็นระยะเวลาและเกิดการก่อกำเนิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลานานจะส่งผลให้สีบนตัวหมึกเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสีจากเม็ดสีแตกออก และย้อมติดบริเวณผิวหนังของหมึก จากการพิจารณาลักษณะสีของหมึกจะพบว่าพื้นที่สีแต่ละสีมี

ปริมาณแตกต่างกันไปตามระดับคุณภาพกล่าวคือ หมึกคุณภาพระดับที่ 1 จะปรากฏพื้นที่สีขาวมากที่สุด หมึกคุณภาพระดับที่ 2 จะปรากฏพื้นที่สีชมพูปะปนอยู่ หมึกคุณภาพระดับที่ 3 จะปรากฏพื้นที่สีแดงปะปนเป็นปริมาณมาก และสำหรับหมึกที่จัดว่าเป็นของเสียจะปรากฏพื้นที่สีดำอยู่ด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ลักษณะความแตกต่างของปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นลักษณะเด่นในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก

4.2 ผลการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึก

จากรายละเอียดในบทที่ 3 ซึ่งได้กล่าวถึงการพัฒนากระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพโดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011 ขั้นตอนการประมวลผลภาพจะเป็นขั้นตอนหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายหมึกภายในระบบดึงข้อมูลภาพประกอบด้วย การแยกบริเวณ การหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก และการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก ผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ผลการแยกบริเวณ (image segmentation)

ในขั้นตอนการแยกบริเวณ ผู้วิจัยได้กำหนดบริเวณที่สนใจ (region of interest) เป็นลำตัวหมึก บริเวณดังกล่าวได้ถูกแยกออกจากพื้นหลังด้วยวิธีหน้ากากของภาพ (image mask) สำหรับการสร้างหน้ากากของภาพโดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW โมดูล NIVision สามารถเลือกได้ว่าต้องการพิจารณาหรือประมวลผลที่ส่วนใดของภาพซึ่งผู้วิจัยต้องการการประมวลผลพิกเซลที่อยู่ภายในพื้นที่ที่สนใจจึงเลือกใช้ฟังก์ชัน outside the ROI จึงทำให้ภาพหมึกถูกแยกบริเวณลำตัวหมึกออกจากพื้นหลังได้ พร้อมทั้งคุณลักษณะของสีหมึกยังคงไว้ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ผลการแยกบริเวณ (ก) ภาพสี RGB ของหมึก (ข) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการแยกบริเวณ โดยใช้วิธีการระบุบริเวณที่สนใจ (region of interest)

4.2.2 ผลการหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก (color classification)

หลังจากทำการแยกบริเวณลำตัวหมึกออกจากพื้นหลังแล้ว บริเวณลำตัวหมึกจะถูกจำแนกออกเป็นพื้นที่ตามประเภทของสีที่ปรากฏ โดยจะใช้วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (nearest neighbor) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการเรียนรู้ (training phase) และ ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนการจำแนกประเภทสี (classifying phase) โดยผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

4.2.2.1 ขั้นตอนการเรียนรู้ (training phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการสอนให้โปรแกรมรู้จักคุณลักษณะสีที่จะนำมาสร้างเป็นตัวจำแนก (classifier) ของสีแต่ละประเภทเพื่อให้โปรแกรมสามารถจัดหมวดหมู่ของสีในแต่ละพิกเซลของภาพได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

(1) กำหนดประเภทสีที่ใช้ในการจำแนก

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้กำหนดตัวจำแนกออกเป็น 4 ประเภทได้แก่ สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ เพื่อให้ครอบคลุมและสอดคล้องกับลักษณะที่ปรากฏของหมึกโดยการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

(2) สร้างตัวจำแนกสำหรับสีแต่ละประเภท

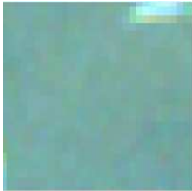
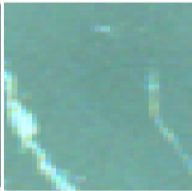










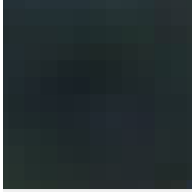
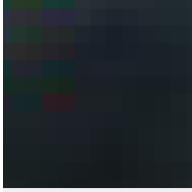

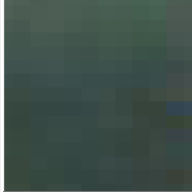
ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยใช้หมึกจำนวน 100 ภาพ โดยกำหนดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างตัวจำแนกประเภทสีละ 50 ตัวอย่าง โดยที่ในภาพหมึก 1 ภาพสามารถเรียนรู้ประเภทสีได้มากกว่า 1 สีข้อมูลของแต่ละประเภทสีจากภาพตัวอย่างถูกจัดเก็บในรูปแบบค่าสี RGB ซึ่งประกอบไปด้วยค่าสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ข้อมูลนี้จะถูกนำมาสร้างเป็นตัวจำแนก (classifier) โดยแยกเป็นแต่ละประเภทสี ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าสีแดงสีเขียวและสีน้ำเงินของตัวจำแนกแต่ละประเภทสี

ตัว จำแนก	สีแดง (R)		สีเขียว (G)		สีน้ำเงิน (B)	
	Mean	95% CI	Mean	95% CI	Mean	95% CI
สีขาว	119.2	(114.1, 124.2)	168.8	(162.6, 175.0)	160.8	(156.5, 165.1)
สีชมพู	95.6	(90.6, 100.6)	118.0	(112.1, 123.9)	108.5	(102.4, 114.6)
สีแดง	87.4	(85.0, 89.8)	93.3	(89.2, 97.4)	82.7	(79.0, 86.3)
สีดำ	39.8	(34.1, 45.4)	51.6	(44.9, 58.3)	48.8	(43.3, 54.3)

จากข้อมูลค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในตารางที่ 4.1 พบว่าตัวจำแนกแต่ละประเภทสีได้แก่ สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำมีเฉดสีแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างเฉดสีของตัวจำแนก

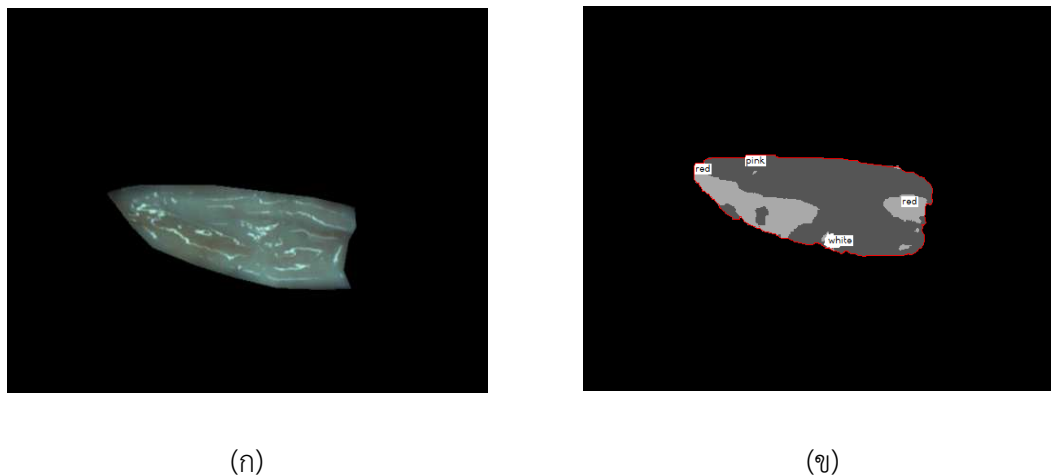
ตัวจำแนก	ตัวอย่างตัวจำแนก			
สีขาว				
สีชมพู				
สีแดง				
สีดำ				

ตัวจำแนกแต่ละสีจะถูกทวนสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าตัวจำแนกที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นตัวจำแนกดังกล่าวจะถูกใช้ในขั้นตอนการจำแนกประเภทสีในภาพหมึก เพื่อจำแนกพื้นที่ของแต่ละประเภทสีที่ปรากฏในภาพ

4.2.2.2 ขั้นตอนการจำแนกประเภทสี (classifying phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการจำแนกพื้นที่ของแต่ละประเภทสีที่ปรากฏในภาพ โดยอาศัยข้อมูลจากตัวจำแนกประเภทสีในขั้นตอนการเรียนรู้ การจำแนกประเภทสีของโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างค่าสีในพิกเซลของภาพกับตัวจำแนกทุกสีที่คำนวณได้จากสมการ (3.1) โดย

โปรแกรมจะจำแนกเป็นประเภทสีที่มีระยะทางน้อยที่สุดกับตัวจำแนก ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้จะ เป็นพื้นที่ของแต่ละประเภทสีที่ปรากฏในภาพหมึกแสดงดังรูปที่ 4.3



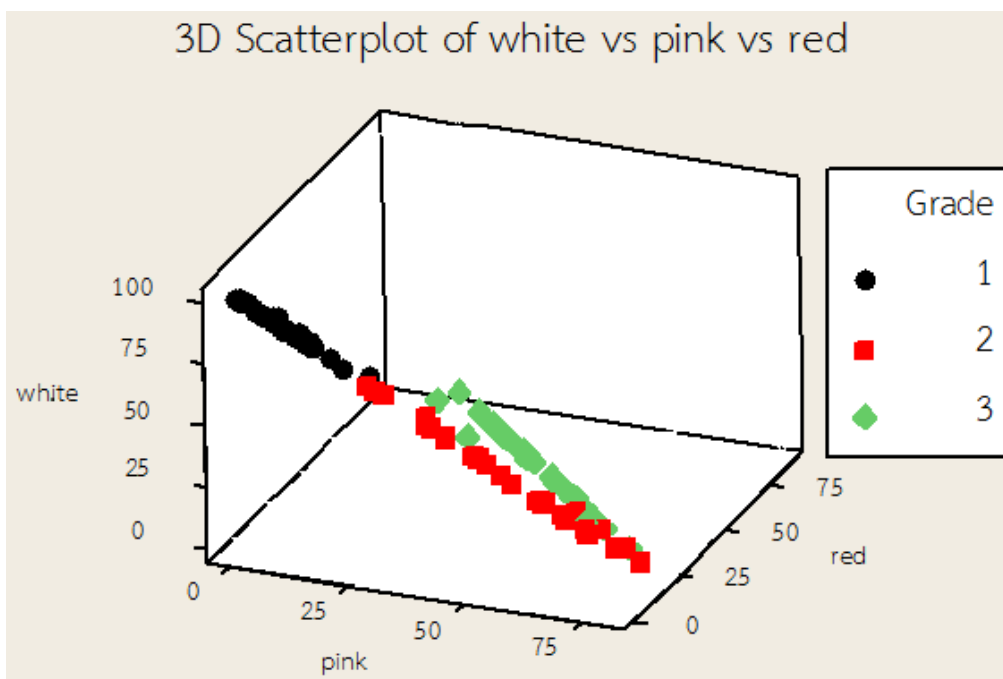
รูปที่ 4.3 ผลการจำแนกสี (ก) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการแยกบริเวณ
(ข) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

การพิจารณาความถูกต้องในการจำแนกค่าสีของโปรแกรมสามารถพิจารณาได้จาก ค่าคะแนนประจำตัว (identification score) ซึ่งเป็นระดับความคล้ายคลึงกันระหว่างค่าสีที่อ่านได้กับ กลุ่มตัวอย่างในตัวจำแนกที่สร้างขึ้น โดยค่าสีที่อ่านได้จะถูกเปรียบเทียบกับประเภทสีทุกเฉดในตัว จำแนกนอกจากนี้ยังพิจารณาค่าคะแนนการจำแนก (classification score) อีกด้วย ซึ่งค่าคะแนน การจำแนก เป็นค่าที่แสดงระดับของความเชื่อมั่นหรือความคล้ายคลึงของตัวจำแนก โดยค่าสีที่อ่านได้ จะถูกเปรียบเทียบกับค่าสีเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างในตัวจำแนกแต่ละประเภทสี เมื่อทำการทดสอบโดย นำภาพหมึกจำนวน 100 ภาพ ซึ่งเป็นภาพหมึกที่ไม่ผ่านขั้นตอนการเรียนรู้ เข้าขั้นตอนการจำแนก ประเภทสีพบว่าค่าคะแนนประจำตัวและค่าคะแนนการจำแนกแสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งหากค่าทั้งสอง มีค่าใกล้เคียง 1000 แสดงว่าค่าสีที่ถูกจำแนกมีความคล้ายคลึงกับตัวจำแนกสูง

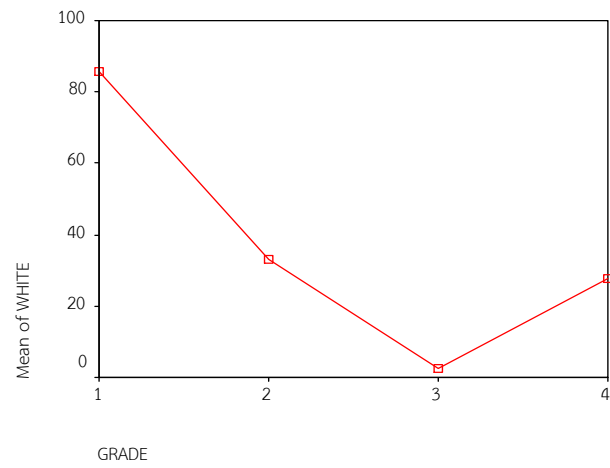
ตารางที่ 4.3 ค่าคะแนนประจำตัว และค่าคะแนนการจำแนกค่าสี

ค่าคะแนน	คะแนนต่ำสุด	คะแนนสูงสุด	คะแนนเฉลี่ย
คะแนนการจำแนก (classification score)	660.1	838.4	730.4
คะแนนประจำตัว (identification score)	817.5	921.7	868.7

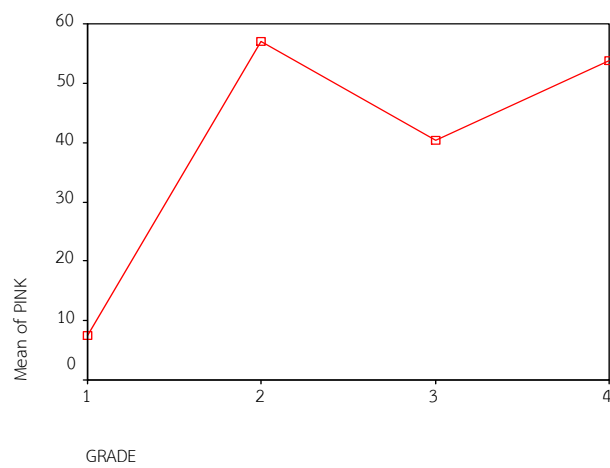
จากผลการหาปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทที่ปรากฏบนตัวหมึกแสดงดังตารางที่ 3.2 เมื่อนำปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีที่ปรากฏบนตัวหมึกแต่ละระดับคุณภาพมาพล็อตกราฟการกระจายของข้อมูลแบบ 3 มิติ (3D scatter plot) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดง กับระดับคุณภาพของหมึก ดังรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าหมึกคุณภาพระดับที่ 1 มีปริมาณพื้นที่สีขาวมากกว่าหมึกคุณภาพระดับที่ 2 และระดับที่ 3 แต่กลับมีปริมาณพื้นที่สีชมพู และสีแดงน้อยกว่า ส่วนหมึกคุณภาพระดับที่ 2 มีปริมาณพื้นที่สีชมพูมากกว่าหมึกคุณภาพอื่นๆ ในขณะที่หมึกคุณภาพระดับที่ 3 พบว่ามีทั้งพื้นที่สีชมพู และสีแดงปริมาณมาก และเมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงที่ปรากฏบนตัวหมึกมาพล็อตกราฟ Means Plots แสดงดังรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7 และ 4.8 พบว่าปริมาณพื้นที่สีขาวเฉลี่ยพบในหมึกคุณภาพระดับที่ 1 มากที่สุด ปริมาณพื้นที่สีชมพูเฉลี่ยพบในหมึกคุณภาพระดับที่ 2 มากที่สุด ปริมาณพื้นที่สีแดงเฉลี่ยพบในหมึกคุณภาพระดับที่ 3 มากที่สุด และปริมาณพื้นที่สีดำเฉลี่ยพบเฉพาะในหมึกคุณภาพระดับที่ 4 หรือของเสีย ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้คือ หมึกคุณภาพระดับที่ 1 จะปรากฏพื้นที่สีขาวมากที่สุด หมึกคุณภาพระดับที่ 2 จะปรากฏพื้นที่สีชมพู หมึกคุณภาพระดับที่ 3 จะปรากฏพื้นที่สีแดงปะปนเป็นปริมาณมาก และสำหรับหมึกที่จัดว่าเป็นของเสียจะปรากฏพื้นที่สีดำอยู่ด้วย



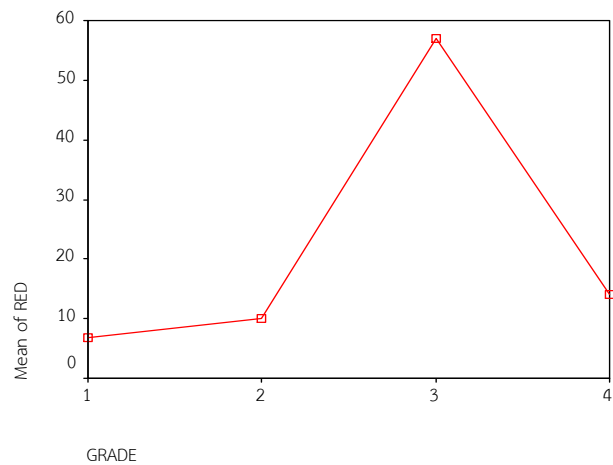
รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายของข้อมูลแบบ 3 มิติของปริมาณพื้นที่สีแต่ละระดับคุณภาพ



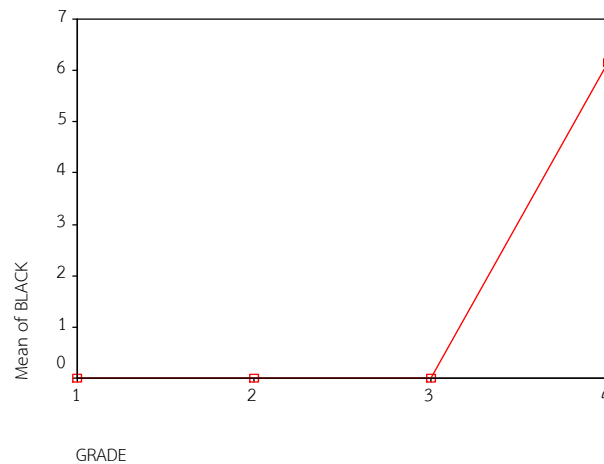
รูปที่ 4.5 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีขาว



รูปที่ 4.6 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีชมพู



รูปที่ 4.7 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีแดง



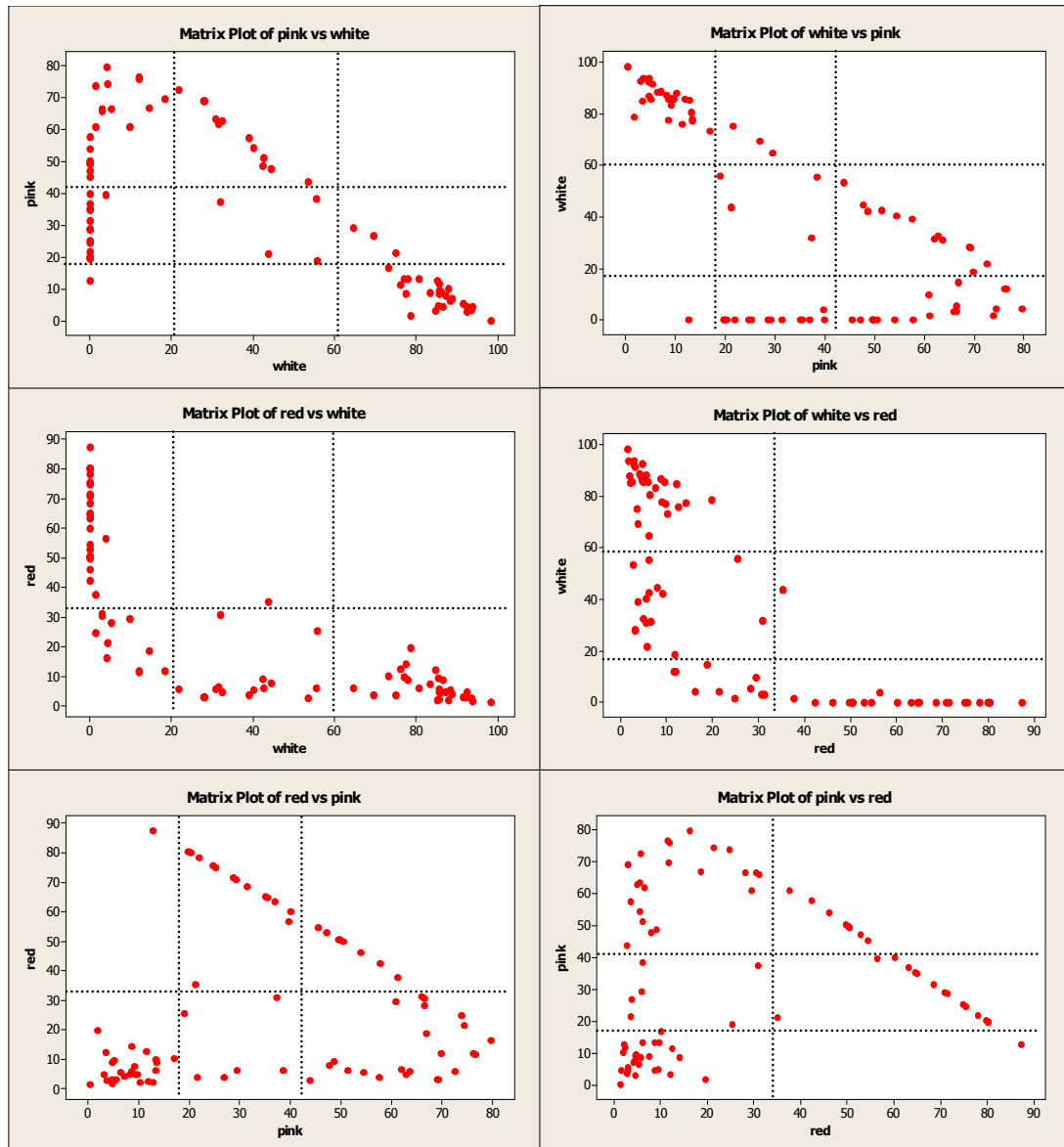
รูปที่ 4.8 กราฟ Means Plots ของปริมาณพื้นที่สีดำ

4.3 ผลการกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ขั้นตอนนี้เป็นกำแนกภาพหมึกออกเป็นหมึกที่มีคุณภาพระดับที่ 1 หรือคุณภาพระดับที่ 2 หรือคุณภาพระดับที่ 3 หรือของเสีย โดยการจำแนกถูกแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังในรูปที่ 3.11 คือ หมึกจะถูกจำแนกเป็นของเสียออกจากหมึกทั้งหมดก่อนโดยพิจารณาจากปริมาณของพื้นที่หรือสัดส่วนสีดำ สำหรับหมึกที่ไม่ถูกจำแนกเป็นของเสียจะถูกจำแนกระดับคุณภาพด้วยเทคนิคฟัซซีลอจิก โดยอินพุตเป็นปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพูและสีแดงที่ปรากฏบนตัวหมึกและเอาต์พุตเป็นระดับคุณภาพของหมึกแบ่งได้เป็นคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 โดยขั้นตอนการประมวลผลของฟัซซีลอจิกแสดงดังรูปที่ 3.12 ซึ่งผลจากการศึกษามีดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทำฟัซซี (fuzzification)

ขั้นตอนนี้เป็นกำแปลงอินพุตทั่วไป (crisp input) ซึ่งในงานวิจัยนี้คือปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงที่ปรากฏบนตัวหมึกให้เป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (fuzzy input) หรือฟัซซีเซต โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) เริ่มจากนำข้อมูลปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทมาพล็อตแบบกระจาย (scatter plot) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.8 จากการพิจารณารูปที่ 4.8 สามารถลากเส้นประแสดงการแบ่งส่วนแยกตามกลุ่มข้อมูลปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทได้ โดยทำการลากเส้นประเพื่อให้สามารถแบ่งแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ ซึ่งจากเส้นประพบว่า ปริมาณพื้นที่สีขาว ควรแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซตคือ ปริมาณน้อย (low_w) ปานกลาง ($medium_w$) และมาก ($high_w$) ปริมาณพื้นที่สีชมพูควรแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซตคือ ปริมาณน้อย (low_p) ปานกลาง ($medium_p$) และมาก ($high_p$) ปริมาณพื้นที่สีแดงควรแบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซตคือ ปริมาณน้อย (low_r) และมาก ($high_r$)



รูปที่ 4.9 กราฟแบบกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดง

จากการพิจารณารูปภาพลือตแบบกระจาย ในการวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล จะได้ว่าปริมาณพื้นที่สีขาว และสีชมพูควรแบ่งเป็น 3 ฟัชซี ปริมาณพื้นที่สีแดงควรแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสถิติดังตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 ที่พบว่าปริมาณพื้นที่สีขาว และสีชมพูสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มย่อย ขณะที่ปริมาณพื้นที่สีแดงสามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มย่อย

จากนั้นปริมาณพื้นที่แต่ละประเภทสีถูกแบ่งส่วนข้อมูลเพื่อกำหนดฟัชซีเซต โดยการคำนวณหาค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละระดับคุณภาพแสดงดังตารางที่ 4.4 ค่าที่ได้ดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของฟัชซีเซต

ตารางที่ 4.4 ปริมาณพื้นที่แต่ละประเภทสีในแต่ละระดับคุณภาพ

ประเภท	ข้อมูลทั้งหมด			คุณภาพระดับที่ 1			คุณภาพระดับที่ 2			คุณภาพระดับที่ 3		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
สีขาว	0.00	98.29	39.31	43.75	98.29	82.65	4.16	69.42	30.44	0.00	31.82	2.03
สีชมพู	0.29	79.63	34.53	0.29	21.46	9.22	26.80	79.63	59.11	12.68	73.83	41.20
สีแดง	1.43	87.32	26.16	1.14	35.16	8.14	2.73	29.47	9.58	18.67	87.32	56.77

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละระดับคุณภาพจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบค่าพารามิเตอร์ของฟัชซีเซต โดยปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต รวมถึงมีการทดลองแบ่งด้วยสัดส่วนอื่นๆ และการทวนสอบความถูกต้องตลอดกระบวนการของการออกแบบฟัชซี ซึ่งแสดงผลเปรียบเทียบความถูกต้องดังตารางที่ ค-6 ในภาคผนวก ซึ่งการออกแบบฟัชซีเซตแสดงได้ดังต่อไปนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{low_w, medium_w, high_w\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{‘low_w’, ‘medium_w’, ‘high_w’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{‘trapmf’, ‘trimf’, ‘trapmf’\}$

$X = 0.00:98.29\%$ ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีขาวจาก

ตารางที่ 4.4

โดยที่ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สีขาวระดับน้อย (low_w) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ แสดงดังรูปที่ 4.10 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

$alow_w = 0.00\%$ ค่าต่ำสุดของคุณลักษณะสีขาว

$blow_w = 0.00\%$ ค่าต่ำสุดของคุณลักษณะสีขาว

$clow_w = 2.03\%$ ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี

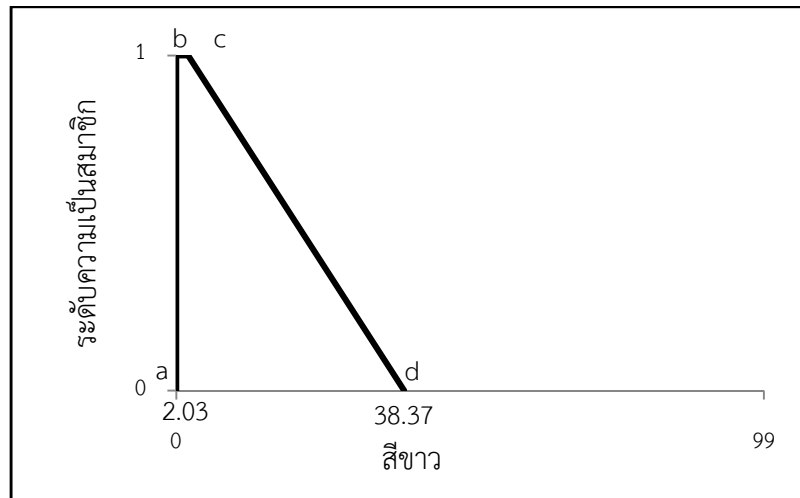
ขาว

$dlow_w = 38.37\%$ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี

ขาว

ดังนั้นฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาระดับน้อยจะได้ดังรูปที่ 4.10

$$\text{low}_w = \text{trapezmf}(x, [\text{alow}_w, \text{blow}_w, \text{clow}_w, \text{dlow}_w])$$



รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาระดับน้อย

สำหรับฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาระดับปานกลาง (medium_w) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$ แสดงดังรูปที่ 4.11 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

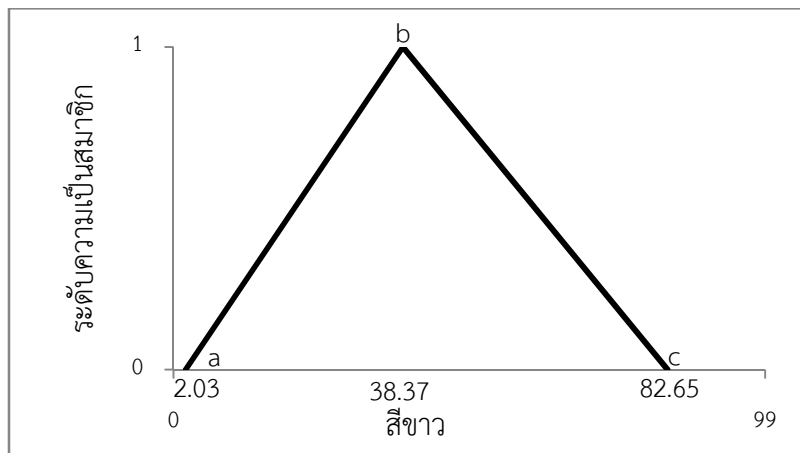
$\text{amedium}_w = 2.03\%$ ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยสูงสุดของคุณลักษณะสีขา

$\text{bmedium}_w = 38.37\%$ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีขา

$\text{cmedium}_w = 82.65\%$ ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีขา

ดังนั้นฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาระดับปานกลางจะได้ดังรูปที่ 4.11

$$\text{medium}_w = \text{trimf}(x, [\text{amedium}_w, \text{bmedium}_w, \text{cmedium}_w])$$



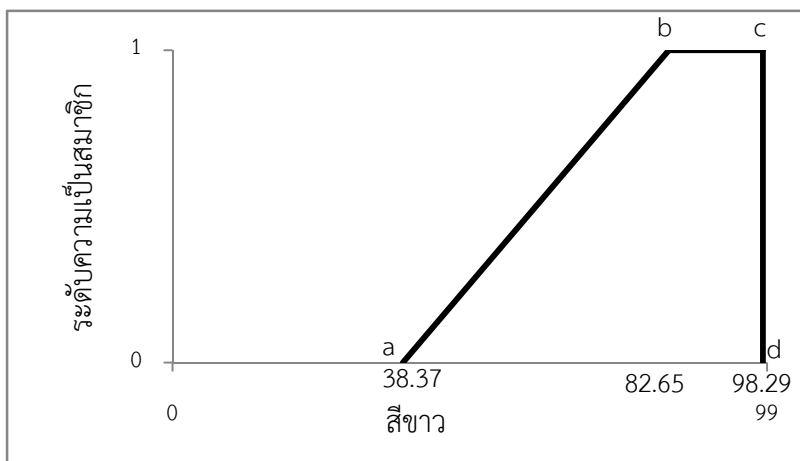
รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาในระดับปานกลาง

สำหรับฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาในระดับมาก ($high_w$) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

	$a_{high_w} = 38.37\%$	ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี
ขาว	$b_{high_w} = 82.65\%$	ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี
ขาว	$c_{high_w} = 98.29\%$	ค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีขา
	$d_{high_w} = 98.29\%$	ค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีขา

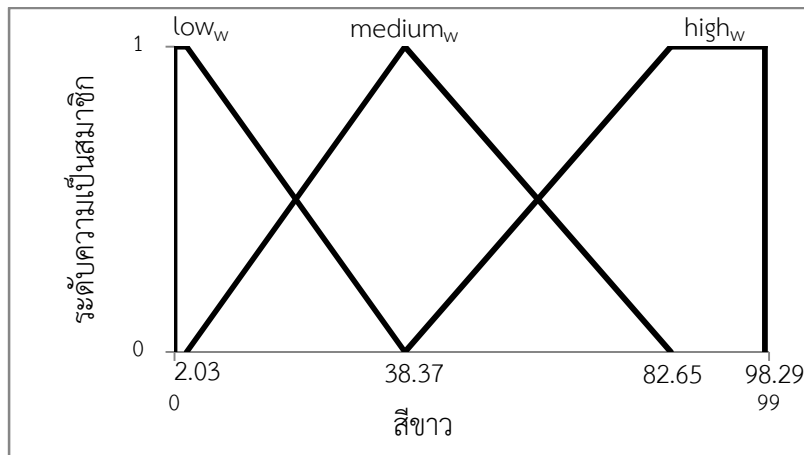
ดังนั้นฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาในระดับมากจะได้ดังรูปที่ 4.12

$$high1 = \text{trapmf}(x, [a_{high_w}, b_{high_w}, c_{high_w}, d_{high_w}])$$



รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีขาในระดับมาก

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นพล็อตกราฟฟuzzyเซตของคุณลักษณะสีขาแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ฟuzzyเซตของปริมาณพื้นที่สีขาในระดับน้อย ปานกลางและมาก

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) ควรแบ่งเป็น 3 ฟuzzyเซต คือ $\{low_p, medium_p, high_p\}$ ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{low_p, medium_p, high_p\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{trapmf, trimf, trapmf\}$

$X = 0.29:79.63\%$ ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีชมพู

จากตารางที่ 4.4

โดยที่ฟuzzyเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย (low_p) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ แสดงดังรูปที่ 4.14 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

$alow_p = 0.29\%$	ค่าต่ำสุดของคุณลักษณะสีชมพู
$blow_p = 0.29\%$	ค่าต่ำสุดของคุณลักษณะสีชมพู
$clow_p = 9.22\%$	ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี

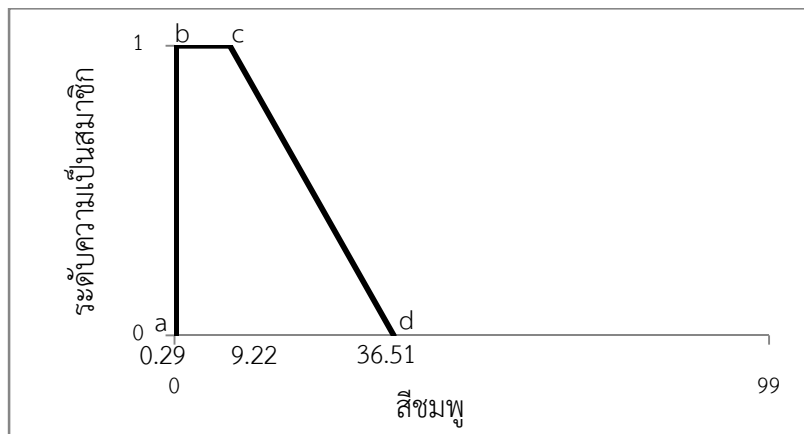
ชมพู

$dlow_p = 36.51\%$	ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี
--------------------	-------------------------------------

ชมพู

ดังนั้นฟuzzyเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อยจะได้ดังรูปที่ 4.14

$$low_p = trapmf(x, [alow_p, blow_p, clow_p, dlow_p])$$



รูปที่ 4.14 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สี่ชมพูระดับน้อย

สำหรับฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สี่ชมพูระดับปานกลาง ($medium_p$) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$ แสดงดังรูปที่ 4.15 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

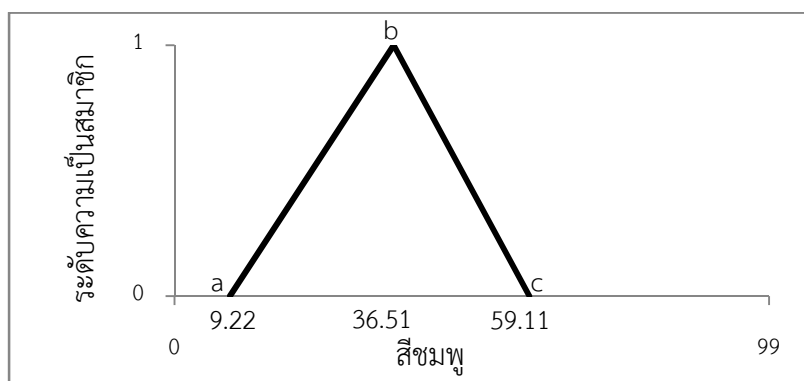
$a_{medium_p} = 9.22\%$ ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยสูงสุดของคุณลักษณะสี่ชมพู

$b_{medium_p} = 36.51\%$ ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี่ชมพู

$c_{medium_p} = 59.11\%$ ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี่ชมพู

ดังนั้นฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สี่ชมพูระดับปานกลางจะได้ดังรูปที่ 4.14

$$medium_p = \text{trimf}(x, [a_{medium_p}, b_{medium_p}, c_{medium_p}])$$



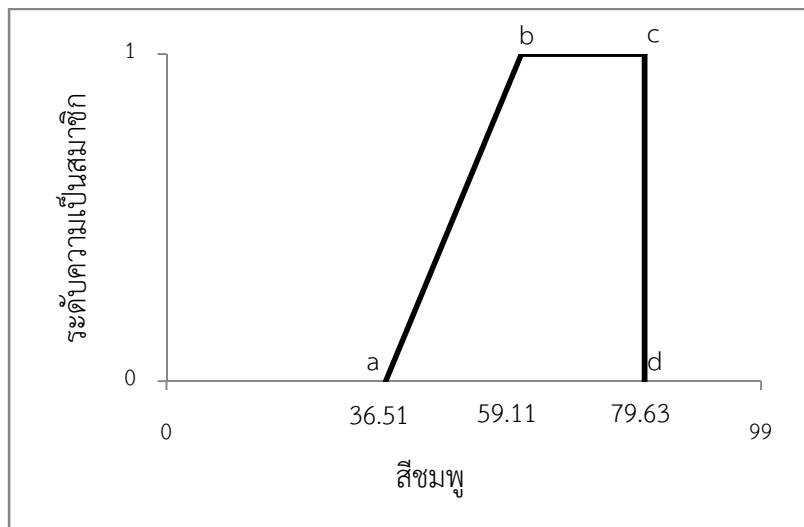
รูปที่ 4.15 ฟัชซีเซตของปริมาณพื้นที่สี่ชมพูระดับปานกลาง

สำหรับฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมาก ($high_p$) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$ แสดงดังรูปที่ 4.16 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

ชมพู	$a_{high_p} = 36.51\%$	ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีชมพู
ชมพู	$b_{high_p} = 59.11\%$	ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีชมพู
	$c_{high_p} = 79.63\%$	ค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีชมพู
	$d_{high_p} = 79.63\%$	ค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีชมพู

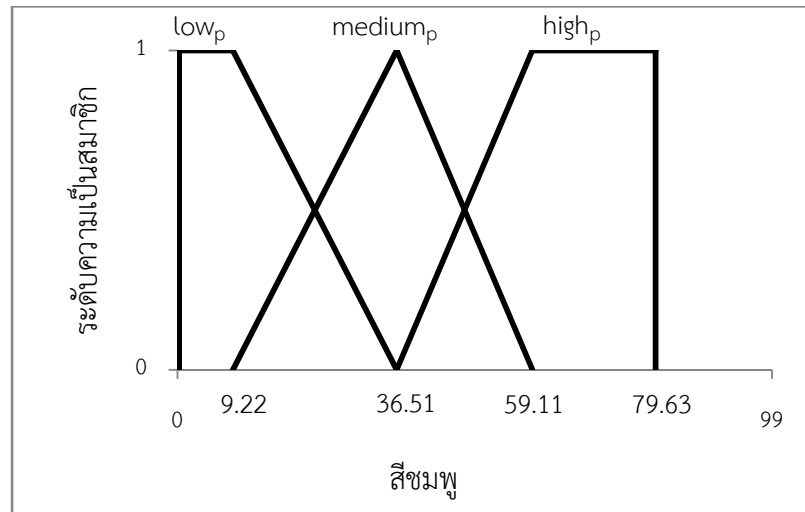
ดังนั้นฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมากจะได้แสดงดังรูปที่ 4.16

$$high_p = \text{trapmf}(x, [a_{high_p}, b_{high_p}, c_{high_p}, d_{high_p}])$$



รูปที่ 4.16 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมาก

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นมาพล็อตกราฟฟังก์ชันเซตของคุณลักษณะสีชมพูแสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย ปานกลางและมาก

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) ควรแบ่งเป็น 2 ฟังก์ชันเซต คือ {low_r, high_r}

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{low_r, high_r\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{trapmf, trapmf\}$

$X = 1.43:87.32\%$ ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีแดง จาก

ตารางที่ 4.4

โดยที่ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย (low_r) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ {a, b, c, d} แสดงดังรูปที่ 4.18 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

$alow_r = 1.43\%$	ค่าต่ำสุดของคุณลักษณะสีแดง
$blow_r = 1.43\%$	ค่าต่ำสุดของคุณลักษณะสีแดง
$clow_r = 8.14\%$	ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีแดง

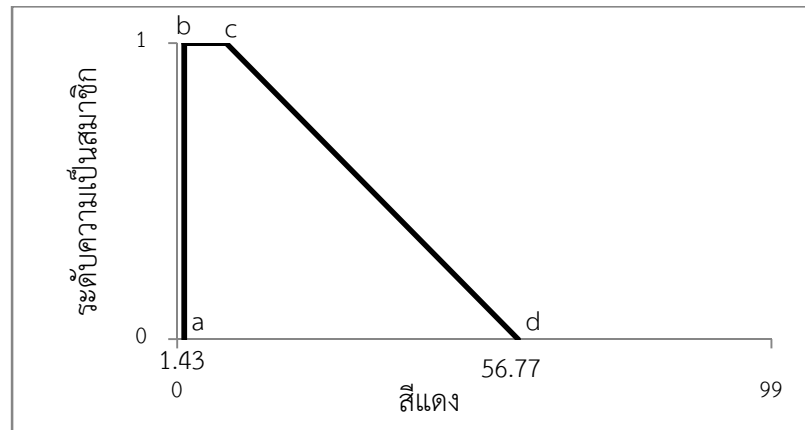
แดง

$dlow_r = 56.77\%$	ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีแดง
--------------------	--

แดง

ดังนั้นฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อยจะดังรูปที่ 4.18

$low_r = trapmf(x, [alow_r, blow_r, clow_r, dlow_r])$



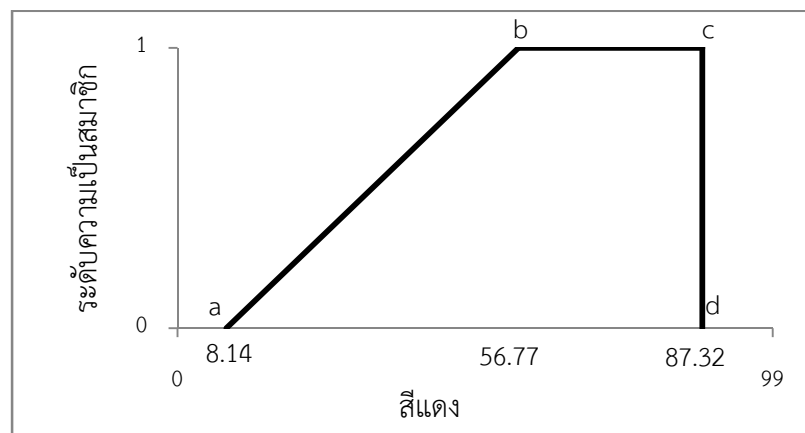
รูปที่ 4.18 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

สำหรับฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมาก (high_r) มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ {a, b, c, d} แสดงดังรูปที่ 4.19 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

แดง	$a_{high_r} = 8.14\%$	ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี
แดง	$b_{high_r} = 56.77\%$	ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสี
	$c_{high_r} = 87.32\%$	ค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีแดง
	$d_{high_r} = 87.32\%$	ค่าสูงสุดของคุณลักษณะสีแดง

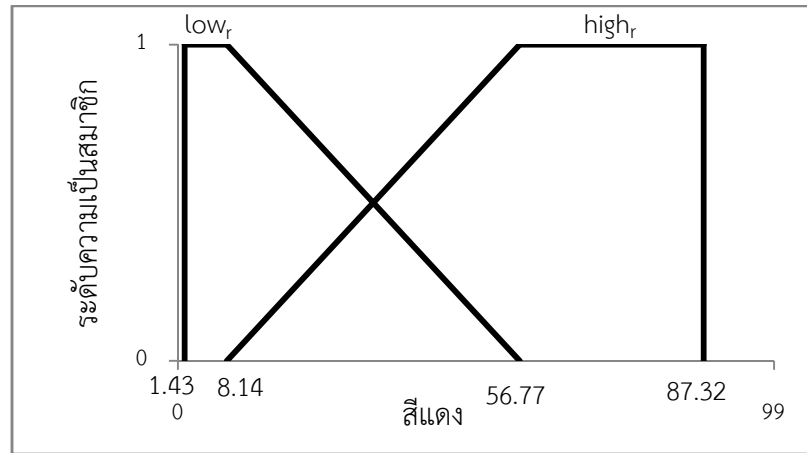
ดังนั้นฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมากจะได้ดังรูปที่ 4.19

$$high_r = \text{trapmf}(x, [a_{high_r}, b_{high_r}, c_{high_r}, d_{high_r}])$$



รูปที่ 4.19 ฟังก์ชันเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมาก

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นมาพล็อตกราฟฟuzzyเซตของคุณลักษณะสีแดงแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ฟuzzyเซตของปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อยและมาก

(4) ผลลัพธ์ระดับคุณภาพของหมึก (grade)

ผลลัพธ์หรือข้อมูลขาออก (output) คือระดับคุณภาพของหมึกถูกแบ่งเป็น 3 ฟuzzyเซต คือ {A, B, C} โดยทั้ง 3 ฟuzzyเซตมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a_i, b_i, c_i\}$ โดยที่ i คือเซตแต่ละระดับคุณภาพ แสดงดังรูปที่ 4.21 โดยแต่ละพารามิเตอร์มีค่าดังนี้

ซึ่งเซตของระดับคุณภาพกำหนดได้ดังนี้ $\text{Grade} = \{ 'A', 'B', 'C' \}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\text{Grademf} = \{ \text{'trimf'}, \text{'trimf'}, \text{'trimf'} \}$

$X = 0:6$ ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของระดับคุณภาพ ซึ่งช่วงค่าดังกล่าวได้จากการลองผิดลองถูก (trial and error) และทำการทวนสอบโดยการนำข้อมูลปริมาณพื้นที่สีที่ใช้ในการสร้างฐานกฎฟuzzyเข้าประมวลผลด้วยกฎที่มีช่วงค่าระดับคุณภาพดังกล่าวพบว่า ค่าดีฟuzzyไฟของหมึกคุณภาพระดับที่ 1 อยู่ในช่วง $[0, 2]$ ค่าดีฟuzzyไฟของหมึกคุณภาพระดับที่ 2 อยู่ในช่วง $[2, 4]$ และค่าดีฟuzzyไฟของหมึกคุณภาพระดับที่ 3 อยู่ในช่วง $[4, 6]$ ดังนั้นจึงทำการออกแบบผลลัพธ์ของระดับคุณภาพหมึกในช่วงดังกล่าว

โดยที่ฟuzzyเซตของคุณภาพระดับที่ 1 (A) หาได้จาก

$$a_{\text{GradeA}} = 0$$

$$b_{\text{GradeA}} = 1$$

$$c_{\text{GradeA}} = 2$$

ดังนั้นฟuzzyเซตของคุณภาพระดับที่ 1 (A) จะได้

$$\text{GradeA} = \text{trimf}(x, [a_A, b_A, c_A])$$

สำหรับฟังก์ชันเซตของคุณภาพระดับที่ 2 (B) หาได้จาก

$$a_B = 2$$

$$b_B = 3$$

$$c_B = 4$$

ดังนั้นฟังก์ชันเซตของของคุณภาพระดับที่ 2 (B) จะได้

$$\text{GradeB} = \text{trimf}(x, [a_B, b_B, c_B])$$

สำหรับฟังก์ชันเซตของคุณภาพระดับที่ 3 (C) หาได้จาก

$$a_C = 4$$

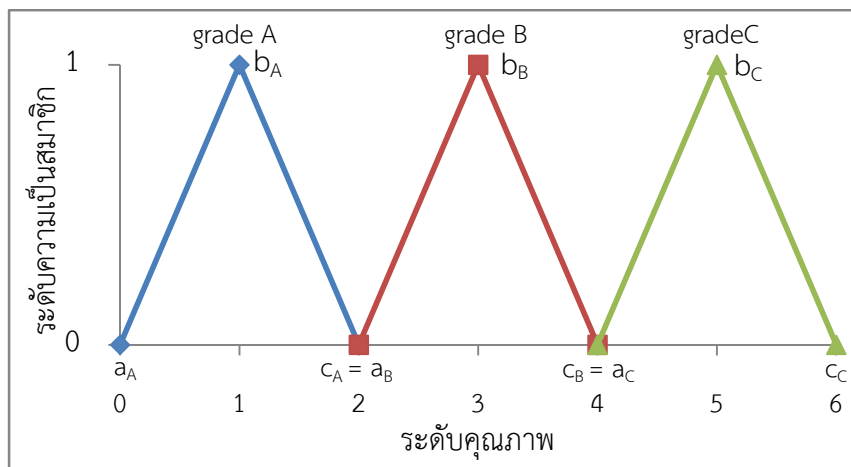
$$b_C = 5$$

$$c_C = 6$$

ดังนั้นฟังก์ชันเซตของของคุณภาพระดับที่ 3 (C) จะได้

$$\text{GradeC} = \text{trimf}(x, [a_C, b_C, c_C])$$

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นมาพล็อตกราฟฟังก์ชันเซตของระดับคุณภาพของหมึก แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ฟังก์ชันเซตของระดับคุณภาพของหมึก (output)

เมื่อกำหนดฟังก์ชันเซตแล้ว ต่อไปทำการจัดเทียบข้อมูลปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทสีให้เป็นข้อมูลเชิงฟังก์ชันเซต โดยพิจารณาว่าปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทอยู่ในระดับสมาชิกใดของแต่ละคุณลักษณะสี พร้อมทั้งพิจารณา และจัดเทียบความสัมพันธ์ของอินพุตซึ่งเป็นปริมาณพื้นที่สีขาว สี

ชมพู และสีแดงกับเอาท์พุทซึ่งเป็นระดับคุณภาพของหมึก เมื่อทำการจัดข้อมูลความสัมพันธ์ที่ซ้ำกัน จะได้ผลลัพธ์เป็นกฎของฟัซซี

4.3.2 ผลการสร้างฐานกฎฟัซซี (fuzzy rule base)

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดเทียบข้อมูลในรูปฟัซซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุททั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุทโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัซซีทั้งหมด 9 กฎ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 กฎฟัซซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
	2	medium	low	low
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	3	medium	high	low
	4	low	high	low
	5	high	medium	low
	6	medium	medium	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	7	low	medium	high
	8	low	high	high
	9	low	low	high

จากตารางที่ 4.5 สามารถแสดงกฎในรูปของประโยคภาษาได้ดังนี้

- Rule1: If white is $high_w$ and pink is low_p and red is low_r , Then grade is **A** grade
- Rule2: If white is $medium_w$ and pink is low_p and red is low_r , Then grade is **A** grade
- Rule3: If white is $medium_w$ and pink is $high_p$ and red is low_r , Then grade is **B** grade
- Rule4: If white is low_w and pink is $high_p$ and red is low_r , Then grade is **B** grade

- Rule5: If white is $high_w$ and pink is $medium_p$ and red is low_r , Then grade is **B** grade
- Rule6: If white is $medium_w$ and pink is $medium_p$ and red is low_r , Then grade is **B** grade
- Rule7: If white is low_w and pink is $medium_p$ and red is $high_r$, Then grade is **C** grade
- Rule8: If white is low_w and pink is $high_p$ and red is $high_r$, Then grade is **C** grade
- Rule9: If white is low_w and pink is low_p and red is $high_r$, Then grade is **C** grade

4.3.3 ผลการอนุมาน (inference engine)

ขั้นตอนนี้เป็นากำหนดส่วนผลลัพธ์ในกฎของฟัซซีโดยใช้หลักการของทฤษฎีเซตสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้การอนุมานฟัซซีแบบ Mamdani โดยเป็นวิธีการอนุมานแบบค่าสูงสุด - ต่ำสุด (max - min inference) เป็นการอนุมานโดยใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด (minimum operator) ซึ่งเชื่อมประโยคแบบ “and” โดยใช้หลักการอินเตอร์เซกชันของทฤษฎีเซต และใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุด (maximum operator) ซึ่งเชื่อมประโยคแบบ “or” โดยใช้หลักการยูเนียนของทฤษฎีเซต สำหรับข้อดีการอนุมานฟัซซีแบบแมมดานิได้แก่ ตรงไปตรงมาง่ายต่อความเข้าใจ เป็นที่ยอมรับนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง และสะดวกต่อระบบที่มีการป้อนอินพุตโดยตรงจากมนุษย์ ซึ่งผลการอนุมานแสดงดังรูปที่ 4.21 มี 5 ขั้นตอนโดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) พิจารณาเลือกกฎฟัซซีจากข้อ 4.3.2 ที่ตรงกับข้อมูลนำเข้า โดยพิจารณาจากฟัซซีเซตของข้อมูลนำเข้าที่สร้างขึ้น

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหมึกผ่านกระบวนการประมวลผลภาพตามขั้นตอนที่ 4.2 พบว่าสามารถคำนวณปริมาณพื้นที่สีขาวเท่ากับ 8.43% ปริมาณพื้นที่สีชมพูเท่ากับ 71.98% และปริมาณพื้นที่สีแดงเท่ากับ 19.60% แสดงดังรูปที่ 4.22 เมื่อพิจารณาจัดเทียบกับรูปที่ 4.13, 4.17 และ 4.20 จะได้ว่า ปริมาณพื้นที่สีขาวอยู่ในเซต “น้อย” และ “ปานกลาง” ปริมาณพื้นที่สีชมพูอยู่ในเซต “มาก” และปริมาณพื้นที่สีแดงอยู่ในเซต “น้อย” และ “มาก” พร้อมทั้งพิจารณาความสัมพันธ์กับระดับคุณภาพของหมึก พบว่าจะได้ผลลัพธ์กฎของฟัซซีที่เป็นไปได้ 3 กฎ ได้แก่

- กฎข้อที่ 3 นั่นคือถ้าปริมาณพื้นที่สีขาวอยู่ในระดับ “ปานกลาง” ปริมาณพื้นที่สีชมพูอยู่ในระดับ “มาก” และปริมาณพื้นที่สีแดงอยู่ในระดับ “น้อย” ดังนั้นระดับคุณภาพหมึกเป็น “คุณภาพระดับที่ 2”

- กฎข้อที่ 4 ถ้าปริมาณพื้นที่สีขาวยู่ในระดับ “น้อย” ปริมาณพื้นที่สีชมพูอยู่ในระดับ “มาก” และปริมาณพื้นที่สีแดงอยู่ในระดับ “น้อย” ดังนั้นระดับคุณภาพหมึกเป็น “คุณภาพระดับที่ 2”

- กฎข้อที่ 8 ถ้าปริมาณพื้นที่สีขาวยู่ในระดับ “น้อย” ปริมาณพื้นที่สีชมพูอยู่ในระดับ “มาก” และปริมาณพื้นที่สีแดงอยู่ในระดับ “มาก” ดังนั้นระดับคุณภาพหมึกเป็น “คุณภาพระดับที่ 3”

(2) พิจารณาระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลนำเข้าหรืออินพุต

โดยค่าระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลนำเข้าของปริมาณพื้นที่สีขาวย สีชมพู และสีแดง แสดงดังรูปที่ 4.23

(3) อนุมานระดับความเป็นสมาชิกโดยใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด

ขั้นตอนนี้เป็น การพิจารณา ระดับความเป็นสมาชิก โดยพิจารณาจากระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลนำเข้าในแต่ละกฎฟัซซีโดยเชื่อมระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละข้อมูลนำเข้าด้วยคำสั่ง “and” ซึ่งใช้หลักการอินเตอร์เซกชันของทฤษฎีเซตหรือเลือกระดับความเป็นสมาชิกที่ค่าต่ำที่สุด โดยผลจากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.23 ซึ่งจากรูปจะได้ว่า

- กฎข้อที่ 3 ระดับความเป็นสมาชิกที่น้อยที่สุดคือค่าระดับความเป็นสมาชิกของปริมาณพื้นที่สีขาวย

- กฎข้อที่ 4 ระดับความเป็นสมาชิกที่น้อยที่สุดคือค่าระดับความเป็นสมาชิกของปริมาณพื้นที่สีแดง

- กฎข้อที่ 8 ระดับความเป็นสมาชิกภาพที่น้อยที่สุดคือค่าระดับความเป็นสมาชิกของปริมาณพื้นที่สีแดง

(4) กำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกของคำตอบ

ขั้นตอนนี้เป็น การกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกของคำตอบ โดยการนำค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลนำเข้าต่ำสุดในแต่ละกฎฟัซซี จากขั้นตอนที่ (3) ข้างต้น ใช้ในการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกของคำตอบ ทำให้เหลือเซตคำตอบเฉพาะส่วนค่าความเป็นสมาชิกต่ำสุด ผลจากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.23 ซึ่งจากรูปจะได้ว่า

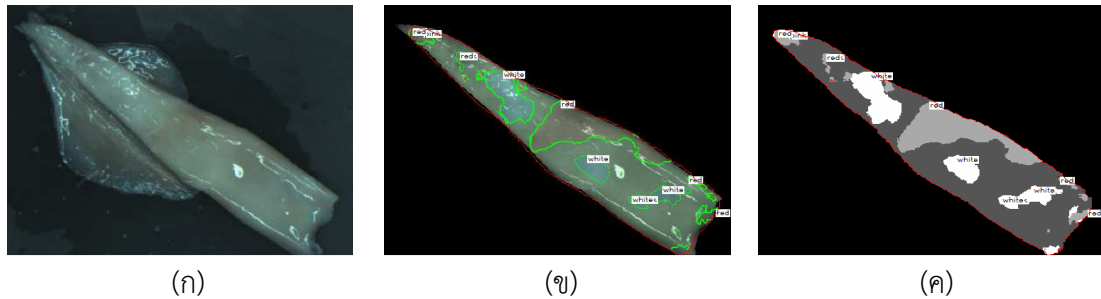
- กฎข้อที่ 3 ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตถูกตัดยอดตามค่าระดับความเป็นสมาชิกของปริมาณพื้นที่สีขาวย

- กฎข้อที่ 4 ระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตถูกตัดยอดตามค่าระดับความเป็นสมาชิกของปริมาณพื้นที่สีแดง

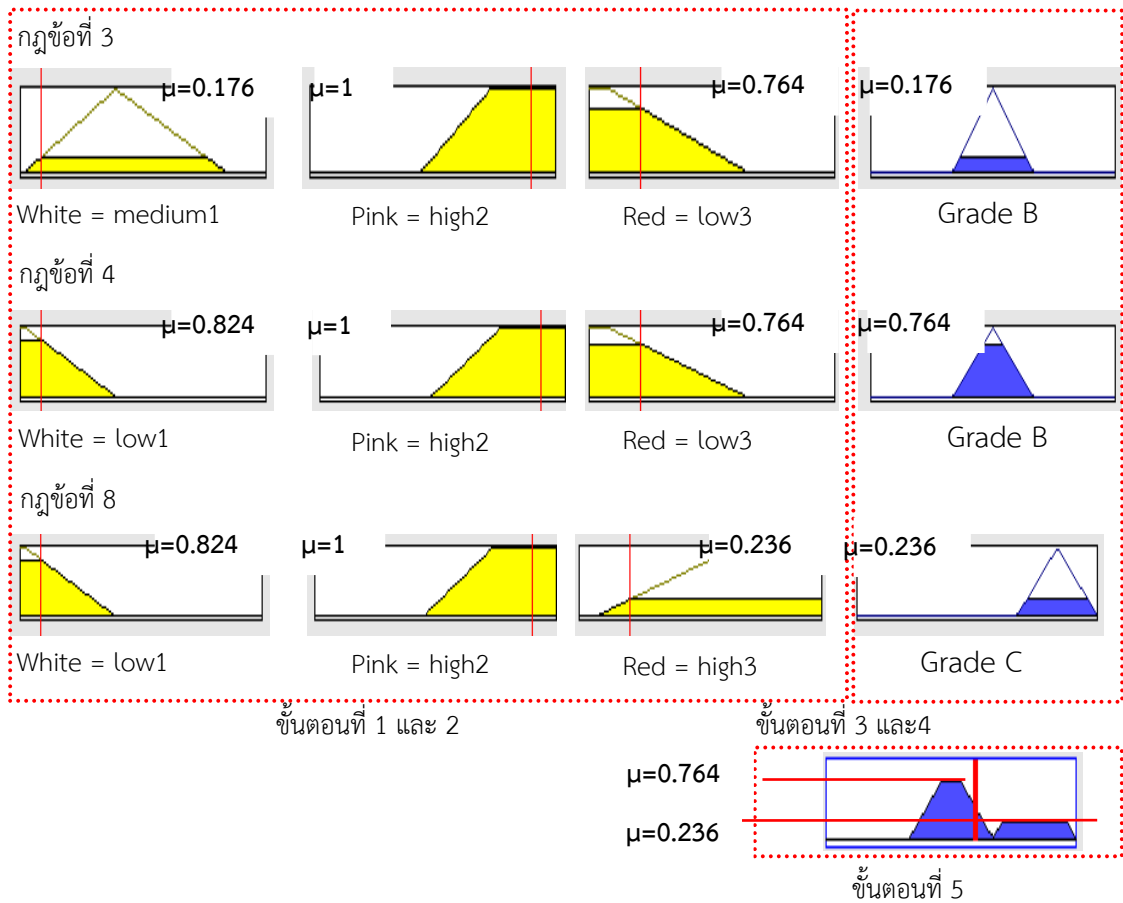
- กฎข้อที่ 8 ระดับความเป็นสมาชิกภาพของเอาต์พุตถูกตัดยอดตามค่าระดับความเป็นสมาชิกของปริมาณพื้นที่สีแดง

(5) รวมฟังก์ชันแสดงระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

ขั้นตอนนี้เป็นารรวมระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตของทั้ง 3 กฎ โดยใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุด (maximum operator) ซึ่งเชื่อมโยงแบบ “or” โดยอาศัยหลักการยูเนียนของทฤษฎีเซตหรือเป็นการเลือกค่าระดับความเป็นสมาชิกสูงสุดในการรวมกฎ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 ผลการจำแนกสีของตัวอย่างหมึก (ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพสีหมึกแสดงบริเวณสี (ค) ภาพสีของหมึกที่ผ่านการจำแนกสี



รูปที่ 4.23 การอนุมานกฎฟัซซี่

4.3.4 ผลการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (defuzzification)

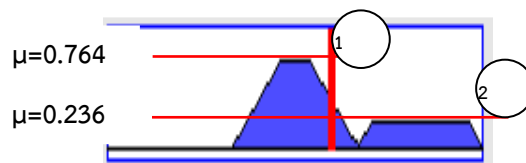
ขั้นตอนนี้เป็น การแปลงฟัซซีเอาต์พุตจากการอนุมานหรือการรวมกฎในขั้นตอนที่ 4.3.3 ให้เป็นค่าเอาต์พุตที่ชัดเจน (crisp value) นั่นคือเป็นระดับคุณภาพของหมึก สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (centroid) หรือ Center of Gravity (COG) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยเป็นการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ใต้กราฟฟัซซีเอาต์พุตที่ได้จากการอนุมาน เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจจำแนกระดับคุณภาพหมึก ซึ่งจากตัวอย่างในหัวข้อที่ 4.3.3 พบว่าจะได้ผลรวมของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตทั้ง 3 กฎ แสดงดังรูปที่ 4.24 จากนั้นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตจะถูกแปลงเป็นค่าเอาต์พุตที่ชัดเจน โดยหาค่าจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวม (COG) ซึ่งผลจากการคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{COG} = ((\text{Area}_1 \times \text{จุดศูนย์กลาง}_1) + (\text{Area}_2 \times \text{จุดศูนย์กลาง}_2)) / (\text{Area}_1 + \text{Area}_2)$$

$$\text{COG} = ((0.955 \times 3) + (0.413 \times 5)) / (0.955 + 0.413)$$

$$\text{COG} = 3.61$$

ผลจากการคำนวณจากสมการข้างต้นได้ค่าจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวม (COG) เท่ากับ 3.61 ซึ่งเท่ากับค่าจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมที่ถูกคำนวณจากโปรแกรม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับฟัซซีเซตของเอาต์พุตหรือระดับคุณภาพของหมึกในรูปที่ 4.21 พบว่า ค่า COG ดังกล่าวอยู่ในช่วง [2, 4] ซึ่งอยู่ช่วงของหมึกคุณภาพพระดัตที่ 2 ดังนั้นหมึกตัวอย่างดังกล่าวถูกจำแนกระดับคุณภาพเป็น “คุณภาพพระดัตที่ 2” ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ



รูปที่ 4.24 การทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ

4.4 ผลการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก

เทคนิคที่พัฒนาขึ้นถูกประเมินผลความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบผลการจำแนกระดับคุณภาพที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับผลการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญ ในการประเมินผลการตรวจสอบตัวอย่างหมึกจำนวน 130 ตัวอย่างโดยกำหนดให้การจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญเป็นระดับคุณภาพมาตรฐานมีความถูกต้อง 100% ซึ่งผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินความถูกต้องของเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพหมึกที่พัฒนาขึ้น

ระดับ คุณภาพ	จำนวนหมึกในการจำแนกระดับคุณภาพ		ตรวจสอบ ผิดพลาด (ตัว)	หมายเหตุ
	ผู้เชี่ยวชาญ	เทคนิคที่พัฒนาขึ้น		
ระดับที่ 1	41	41	0	
ระดับที่ 2	37	32	5	โดยที่ผิดพลาดเป็นระดับที่ 1 และระดับที่ 3 จำนวน 1 และ 4 ตัว ตามลำดับ
ระดับที่ 3	22	22	0	
ของเสีย	30	30	0	
Total	130	125	5	

จากตารางที่ 4.6 จะได้ว่าผลการประเมินความถูกต้องของเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพหมึกที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องจำนวน 125 ตัว จากตัวอย่างหมึก 130 ตัว ซึ่งคิดเป็น 96.15% ของตัวอย่างหมึกทั้งหมด ซึ่งการจำแนกระดับคุณภาพไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ตัว โดยเป็นหมึกที่ผู้เชี่ยวชาญจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 2 ทั้งหมด ขณะที่เทคนิคดังกล่าวจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 1 และระดับที่ 3 จำนวน 1 ตัว และ 4 ตัว ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาหมึกตัวอย่างที่ถูกจำแนกระดับคุณภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญพบว่า หมึกที่ผู้เชี่ยวชาญจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 2 ขณะที่เทคนิคดังกล่าวจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 1 (ตัวอย่างที่ 53 ในภาคผนวก) มีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 69.71%, 22.49% และ 7.80% ตามลำดับ และหมึกที่ผู้เชี่ยวชาญจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 2 ขณะที่เทคนิคดังกล่าวจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 3 จำนวน 4 ตัวอย่าง มีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเป็น 1.23%, 33.25%, 65.52% (ตัวอย่างที่ 56 ในภาคผนวก) 18.29%, 26.07%, 55.64% (ตัวอย่างที่ 63 ในภาคผนวก) 4.66%, 41.37%, 53.97% (ตัวอย่างที่ 64 ในภาคผนวก) และ 14.52%, 47.98%, 37.50% (ตัวอย่างที่ 65 ในภาคผนวก) เมื่อพิจารณาค่าดีฟิซซีไฟกับระดับคุณภาพหมึกพบว่า ค่าดีฟิซซีไฟของตัวอย่างหมึกที่ 53 และ 65 มีค่าเท่ากับ 1.98 และ 4.09 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าดีฟิซซีไฟของช่วงค่าระดับคุณภาพที่กำหนดไว้ แสดงว่าหมึกตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะที่กำกวมระหว่างระดับคุณภาพ จึงทำให้การจำแนกระดับคุณภาพของหมึกตัวอย่างดังกล่าวด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ

4.5 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น โดยการเปรียบเทียบความสามารถในการจำแนกระดับคุณภาพของเทคนิคนี้กับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้กำหนดตัวอย่างมาตรฐานแต่ละระดับคุณภาพ ในการประเมินผลจะใช้หมึกจำนวน 64 ตัวอย่าง แบ่งเป็นระดับคุณภาพละ 16 ตัวอย่าง โดยกลุ่มตัวอย่างจะถูกจำแนก ระดับคุณภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นและผู้ปฏิบัติ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังนี้

4.5.1 ผลการวิเคราะห์การจำแนกระดับคุณภาพของเทคนิค

ผลการประเมินการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งพบว่าเทคนิคนี้สามารถจำแนกระดับคุณภาพได้ถูกต้องจำนวน 62 ตัวอย่าง คิดเป็น 96.88% โดยจำแนกระดับคุณภาพไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 ตัว ซึ่งหมึกดังกล่าวถูกจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 3 ขณะที่ผู้เชี่ยวชาญจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 2

ตารางที่ 4.7 ผลการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น

ระดับ คุณภาพ	จำนวนหมึกในการจำแนกระดับคุณภาพ		ตรวจสอบ ผิดพลาด (ตัว)	หมายเหตุ
	ผู้เชี่ยวชาญ	เทคนิคที่พัฒนาขึ้น		
ระดับที่ 1	16	16	0	
ระดับที่ 2	16	14	2	โดยที่ผิดพลาดเป็นระดับที่ 3
ระดับที่ 3	16	16	0	
ของเสีย	16	16	0	
Total	64	62	2	

เมื่อพิจารณาหมึกตัวอย่างที่ถูกจำแนกระดับคุณภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญพบว่า หมึกที่เทคนิคดังกล่าวจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 3 ขณะที่ผู้เชี่ยวชาญจำแนกเป็นคุณภาพระดับที่ 2 จำนวน 2 ตัว มีปริมาณพื้นที่สีชาวลีชมพู และสีแดงเท่ากับ 0.00%, 50.50%, 49.50% (ตัวอย่างที่ 24 ในภาคผนวก) และ 0.09%, 35.60% 64.31% (ตัวอย่างที่ 29 ในภาคผนวก) เมื่อพิจารณาค่าดีฟิซซีไฟท์กับระดับคุณภาพหมึกพบว่า ค่าดีฟิซซีไฟท์มีค่าเท่ากับ 4.33 และ 4.51 ตามลำดับ โดยหมึกตัวอย่างดังกล่าวที่ถูกจำแนก ระดับคุณภาพไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญอาจเนื่องมาจากการตัดสินใจ จำแนกระดับคุณภาพ ผู้เชี่ยวชาญมีการพิจารณาคุณลักษณะคุณภาพอื่นๆ ร่วมด้วย อาทิเช่น ลักษณะเนื้อสัมผัสของหมึก ซึ่งเทคนิคการจำแนกระดับคุณภาพหมึกในการวิจัยนี้จะเป็นการจำแนกคุณภาพ

ภายนอก โดยจะจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อและตำหนิบนลำตัวหมึกเท่านั้น ไม่ได้รวมไปถึงคุณลักษณะคุณภาพอื่นๆ จึงส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจำแนก

4.5.2 ผลการวิเคราะห์การจำแนกระดับคุณภาพของผู้ปฏิบัติงาน

การวิเคราะห์การจำแนกระดับคุณภาพของผู้ปฏิบัติงานเป็นการประเมินความสามารถในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน โดยในการศึกษาจะสุ่มพนักงานมา 3 คน แต่ละคนตรวจสอบซ้ำ 3 ครั้งในการประเมินผลจะทำการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงาน และประสิทธิภาพของระบบซึ่งวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ด้วยฟังก์ชัน Control Tools > Attribute Agreement Analysis ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังนี้

4.5.2.1 ผลการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงาน

ในการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดในด้านความเห็นพ้องกันจะแบ่งเป็นการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน และการวิเคราะห์ความเห็นพ้องระหว่างผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน (within appraiser)

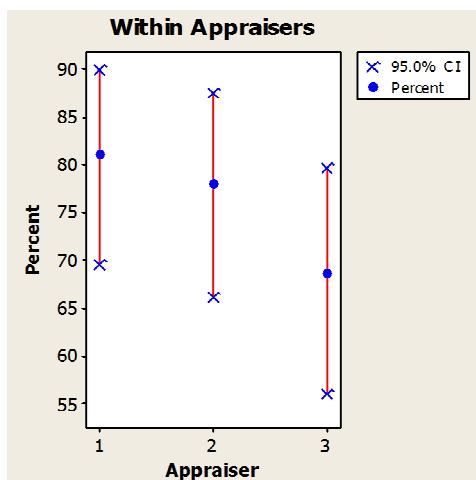
ในการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนจะพิจารณาถึงค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (%repeatability) ของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน เป็นการพิจารณาความเหมือนกันในการตัดสินใจแต่ละครั้งของผู้ปฏิบัติงานซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน

Appraiser	#Inspected	#Matched	Percent
1	64	52	81.25
2	64	50	78.13
3	64	44	68.75

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของผู้ปฏิบัติงานทั้ง 3 คนเท่ากับ 81.25% 78.13% และ 68.75% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผู้ปฏิบัติงานมีความสามารถในการวัดซ้ำแตกต่างกัน ซึ่งความสามารถของการวัดซ้ำของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนจะบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงาน จากการศึกษาพบว่าความสม่ำเสมอในการปฏิบัติของพนักงานค่อนข้างต่ำ โดยที่ค่าความเชื่อมั่นของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนจากการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำ แสดงด้วยกราฟแสดงค่าประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ค่าประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นของความสามารถในการวัดซ้ำของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน

(2) การวิเคราะห์ความเห็นพ้องระหว่างผู้ปฏิบัติงาน (between appraiser)

การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานเพื่อพิจารณาระดับของความเห็นพ้องกัน (level of agreement) หรือการพิจารณาความเหมือนกันในการตัดสินใจแต่ละครั้งระหว่างผู้ปฏิบัติงานซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงาน

#Inspected	#Matched	Percent
64	39	60.94

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

จากตารางที่ 4.9 พบว่าผลการวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานมีค่าเท่ากับ 60.94% ซึ่งหมายความว่า ถ้าให้ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 3 คน จำแนกระดับคุณภาพหมึกจำนวน 100 ตัว โดยทำการจำแนกซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ พบว่าสามารถจำแนกระดับคุณภาพหมึกได้ผลเหมือนกันทุกครั้ง และทุกคนประมาณ 61 ตัว

4.5.2.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบการวัด

การประเมินประสิทธิผลในการวัดของผู้ปฏิบัติงานเป็นการศึกษาความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน และผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน ซึ่งผลจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน (each appraiser vs standard)

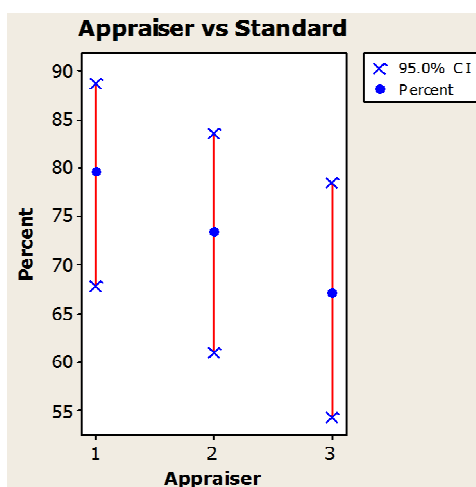
ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน ซึ่งหมายถึงความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (%attribute score) โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน

Appraiser	#Inspected	#Matched	Percent
1	64	51	79.69
2	64	47	73.44
3	64	43	67.19

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1 เท่ากับ 79.69% ซึ่งหมายความว่าถ้าตรวจสอบหมึก 100 ตัวโดยผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1 จะสามารถตรวจสอบคุณภาพได้เหมือนกัน และมีความถูกต้องประมาณ 80 ตัวส่วนอีก 20 ตัวจะตรวจสอบได้ระดับคุณภาพไม่เหมือนกัน หรือให้ผลระดับคุณภาพที่เหมือนกันแต่ไม่ถูกต้อง ส่วนเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของผู้ปฏิบัติงานคนที่ 2 เท่ากับ 73.44% และเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของผู้ปฏิบัติงานคนที่ 3 เท่ากับ 67.19% จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่าเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 มากที่สุด รองลงมาคือคนที่ 2 และคนที่ 3 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ค่าประมาณแบบช่วงความเชื่อมั่นของความสามารถของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนกับมาตรฐาน

(2) การวิเคราะห์ความพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน (all appraisers vs standard)

การวิเคราะห์ความพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐานสามารถแสดงถึงประสิทธิผลด้านความไม่ไว้อัสของการตรวจสอบ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ความพ้องกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐาน

#Inspected	#Matched	Percent
64	39	60.94

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

จากตารางที่ 4.11 พบว่าความพ้องกันของผู้ปฏิบัติงานทุกคนกับมาตรฐานมีค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไว้อัสของการตรวจสอบเท่ากับ 60.94% ซึ่งหมายความว่าถ้าทำการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก 100 ตัว โดยผู้ปฏิบัติงาน 3 คน จะสามารถจำแนกคุณภาพของหมึกได้ผลเหมือนกันทุกคน ทุกครั้ง และมีความถูกต้องประมาณ 61 ตัว

ผลจากการพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด โดยอาศัยความแตกต่างของปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกได้แก่ พื้นที่สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ ปริมาณพื้นที่สีดังกล่าวจะได้จากเทคนิคประมวลผลภาพซึ่งเป็นตัวแทนที่ใช้อ้างอิงถึงคุณลักษณะสีที่ปรากฏบนตัวหมึกจากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ และถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการพัฒนาขั้นตอนการจำแนกระดับคุณภาพ ซึ่งเมื่อใช้เทคนิคนี้ทำการจำแนกระดับคุณภาพหมึกเพื่อเปรียบเทียบกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้ปฏิบัติงาน โดยใช้ตัวอย่างหมึกจำนวน 64 ตัว จะได้ว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกระดับคุณภาพได้ถูกต้อง 96.88% ขณะที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถจำแนกระดับคุณภาพได้ถูกต้อง 60.94% ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้มีความถูกต้องในการจำแนกระดับคุณภาพสูง และผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดความถูกต้องของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพหมึก ($\geq 95\%$) ดังนั้นจึงสามารถนำเทคนิคดังกล่าวไปพัฒนาเป็นระบบการตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติเพื่อทดแทนการตรวจสอบคุณภาพด้วยผู้ปฏิบัติงานได้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกกล้วยแปรรูปชนิดหมึกหลอด โดยจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อและตำหนิบนลำตัวของหมึกออกเป็น 4 ระดับคุณภาพประกอบด้วย คุณภาพระดับที่ 1 คุณภาพระดับที่ 2 คุณภาพระดับที่ 3 และของเสีย ซึ่งใช้ลักษณะความแตกต่างของปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นลักษณะเด่นในการจำแนก โดยเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นต้องมีความถูกต้องในการตรวจสอบอย่างน้อย 95% เมื่อเทียบกับการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ เทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาสร้างเครื่องตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปหมึกซึ่งสามารถทดแทนการตรวจสอบคุณภาพของผู้ปฏิบัติงานได้

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพหมึกโดยใช้ปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นลักษณะเด่นในการจำแนกระดับคุณภาพได้แก่ สีขาว สีชมพู สีแดง และสีดำ ซึ่งปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกถูกคำนวณด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกด้วยการใช้ข้อมูลปริมาณพื้นที่สีจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการจำแนกของเสียออกจากหมึกทั้งหมดโดยพิจารณาจากปริมาณของพื้นที่สีดำ จากขั้นตอนการเรียนรู้ของโปรแกรมพบว่า หมึกที่เป็นของเสียมีค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำมากกว่า 0.65% ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่หมึกระดับคุณภาพอื่นไม่พบบริเวณค่าสีดำหรือสัดส่วนสีดำ ดังนั้นโปรแกรมจะทำการจำแนกคุณภาพหมึกเป็นของเสียเมื่อค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำมากกว่า 0.65% ของพื้นที่ทั้งหมด แต่หากตรวจสอบไม่พบบริเวณค่าสีดำหรือค่าสัดส่วนของพื้นที่สีดำน้อยกว่า 0.65% เทคนิคฟuzzyลอจิกจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกระดับคุณภาพหมึกโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกกับระดับคุณภาพซึ่งผลลัพธ์ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) หมึกคุณภาพระดับที่ 1 เป็นหมึกที่มีคุณลักษณะ 2 ลักษณะคือ

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขาวระดับมาก ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับปานกลาง ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

(2) หมึกคุณภาพระดับที่ 2 เป็นหมึกที่มีคุณลักษณะ 4 ลักษณะคือ

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับมาก ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับปานกลาง และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับปานกลาง ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับปานกลาง และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับปานกลาง ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมาก และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับน้อย ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมาก และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับน้อย

(3) หมึกคุณภาพระดับที่ 3 เป็นหมึกที่มีคุณลักษณะ 3 ลักษณะคือ

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับน้อย ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับน้อย และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมาก

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับน้อย ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับปานกลาง และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมาก

- หมึกมีปริมาณพื้นที่สีขากระดับน้อย ปริมาณพื้นที่สีชมพูระดับมาก และปริมาณพื้นที่สีแดงระดับมาก

ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นผลจากการรวบรวมข้อมูลภาพหมึกแต่ละระดับคุณภาพจากการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ เมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวทำการทวนสอบทวนสอบกับการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีความสอดคล้องกัน ดังนั้นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นจึงใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้นเป็นเกณฑ์ในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก จากนั้นทำการประเมินความถูกต้องของการจำแนกของเทคนิค และการประเมินสมรรถนะโดยเปรียบเทียบกับผู้ปฏิบัติงานซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

5.1.1 การประเมินความถูกต้อง

การประเมินความถูกต้องเป็นการนำผลการจำแนกระดับคุณภาพที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบของผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้ผลการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญเป็นเกณฑ์อ้างอิง จากผลการประเมินภาพหมึกจำนวน 130 ตัวอย่าง พบว่า เทคนิคนี้สามารถจำแนกระดับคุณภาพหมึกได้สอดคล้องกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 125 ตัวอย่าง ซึ่งคิดเป็น 96.15% เมื่อแยก

วิเคราะห์ผลตามระดับคุณภาพพบว่า การจำแนกหมึกคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 3 และของเสียมีความถูกต้อง 100% ในขณะที่ผลการจำแนกคุณภาพระดับที่ 2 มีความไม่ถูกต้องจำนวน 5 ตัวอย่าง จากตัวอย่างหมึกคุณภาพระดับที่ 2 จำนวน 37 ตัว คิดเป็นความถูกต้อง 86.49% เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่าหมึกดังกล่าวถูกจำแนกเป็นหมึกระดับคุณภาพที่ 1 จำนวน 1 ตัวอย่าง และจำแนกเป็นระดับคุณภาพที่ 3 จำนวน 4 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นหมึกที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างสองระดับคุณภาพ จำนวน 2 ตัวอย่างคือ ตัวอย่างหมึกที่ 53 และ 65 ในภาคผนวก จากผลการประเมินความถูกต้องของเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพ จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ทั้งนี้ภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ของชุดควบคุมแสงที่มีรายละเอียดในการออกแบบแสดงดังหัวข้อที่ 3.2.2 และการกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องวิดีโอถ่ายภาพก่อนทำการถ่ายภาพดังตารางที่ 3.1 เนื่องจากหากสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อค่าสีที่ปรากฏ และความถูกต้องในการจำแนกระดับคุณภาพ

5.1.2 การประเมินสมรรถนะ

การประเมินสมรรถนะของเทคนิคเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการจำแนกระดับคุณภาพของเทคนิคนี้กับการจำแนกระดับคุณภาพของพนักงาน โดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้กำหนดตัวอย่างมาตรฐานแต่ละระดับคุณภาพ ในการศึกษาจะใช้ตัวอย่างหมึกจำนวน 64 ตัวอย่าง แบ่งเป็นระดับคุณภาพละ 16 ตัวอย่าง ผลการประเมินพบว่า เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกระดับคุณภาพหมึกได้ถูกต้อง 61 ตัวอย่างคิดเป็น 96.88% ในขณะที่พนักงานสามารถจำแนกระดับคุณภาพหมึกได้ถูกต้องเท่ากับ 60.94% ดังนั้นหากนำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาเป็นระบบการตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติเพื่อใช้ในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกจะสามารถให้ผลความถูกต้องในการจำแนก สามารถทดแทนกระบวนการตรวจสอบคุณภาพด้วยผู้ปฏิบัติงานได้

5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อจำแนกคุณลักษณะสีเนื้อและตำหนิบนลำตัวหมึก โดยใช้ปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกเป็นพารามิเตอร์ในการจำแนกยังมีข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) สามารถพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพเพื่อจำแนกลักษณะคุณภาพอื่นๆ นอกเหนือจากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส

(2) เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหมึกที่มีมาตรฐานคุณภาพที่แตกต่างจากเกณฑ์ที่ผู้วิจัยใช้โดยการปรับเปลี่ยนตัวจำแนกของสีในหัวข้อที่ 4.2.2.1 ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพที่ใช้ในการจำแนก

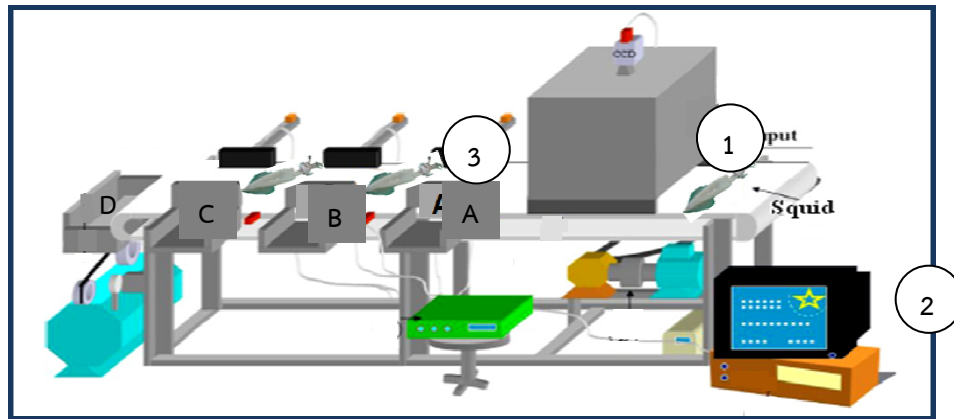
(3) การประยุกต์ใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบคุณภาพของหมึก จำเป็นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องวิดีโอถ่ายภาพ แหล่งของแสงสว่าง ซึ่งต้องคำนึงถึงชนิด จำนวน และการตำแหน่งการติดตั้งของหลอดไฟที่ใช้เป็น แหล่งของแสงสว่าง อีกทั้งการจัดวางตัวหมึกก่อนการถ่ายภาพ ซึ่งหมึกจำเป็นต้องอยู่ในลักษณะแบนราบ เพื่อให้เทคนิคดังกล่าวสามารถตรวจสอบระดับคุณภาพหมึกได้สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ

(4) ข้อควรระวังในขั้นตอนการถ่ายภาพหมึก คือการสะท้อนแสงไฟบนผิวหมึก เนื่องจากหมึกมีลักษณะเนื้อเป็นมันเงา ส่งผลให้อาจเกิดการสะท้อนแสงไฟได้ ซึ่งจะทำให้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์ปริมาณพื้นที่สีไม่ถูกต้อง และทำการจำแนกระดับคุณภาพไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญ วิธีการลดการสะท้อนแสงไฟที่นิยมใช้คือ การติดตั้งฟิลเตอร์บน หน้าเลนส์กล้อง โดยฟิลเตอร์ที่ใช้จะเป็นฟิลเตอร์ประเภท CPL (circular polarize filter) ซึ่งเป็น ฟิลเตอร์สำหรับตัดแสงสะท้อนบนผิววัตถุที่มีความมันเงา ในกรณีที่ต้องการลดการสะท้อนแสงไฟบน ภาพหมึกหลังจากเก็บรวบรวมภาพหมึกแล้ว สามารถทำได้โดยการตัดค่าความเป็นสีขาวหรือบริเวณที่ ค่าสีในพิกเซลสูงกว่าค่าสีในพิกเซลอื่นมากๆ โดยสามารถดูการกระจายตัวของค่าสีในพิกเซลจาก Histogram ของภาพ บริเวณที่เป็นแสงสะท้อนจะมีค่าสีสูงกว่าบริเวณอื่นมาก จึงสามารถเลือกตัด พิกเซลบริเวณนั้น ซึ่งจะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณพื้นที่สี และใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระดับ คุณภาพ

(5) การกำหนดค่าเริ่มต้นของกล้องวิดีโอถ่ายภาพ กรณีข้อแนะนำ เรื่อง การลดการ สะท้อนแสงไฟผิวมันบนตัวหมึกแทนที่จะใช้แนวคิดเดิม คือใช้ Image processing ตัดค่าสีขาวจาก Histogram โดยในการแก้ไขหลังจากเก็บภาพมาแล้ว สรุปแนะนำ ให้ใช้ฟิลเตอร์ตัดหน้ากล้องเพื่อตัด แสงสะท้อนแทนก่อนการถ่ายภาพจะง่ายและสะดวกมากกว่า

(6) สามารถนำเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นข้อมูลสำหรับพัฒนาเป็นระบบการ ตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 5.1 โดยมีหลักการทำงานเริ่มจากหมึกเคลื่อนที่ไปบน สายพานลำเลียงและถูกถ่ายภาพภายในชุดควบคุมแสงหรือควบคุมสภาพแวดล้อม (หมายเลข 1) จากนั้นข้อมูลภาพหมึกจะถูกส่งเข้าขั้นตอนการประมวลผลด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น (หมายเลข 2) ผล จากการจำแนกระดับคุณภาพถูกส่งไปยังฮาร์ดแวร์หรือเครื่องมือในการจำแนกเช่น หุ่นยนต์แขนกล อุตสาหกรรมหรือคนดีด (หมายเลข 3) เพื่อจำแนกหมึกตามระดับคุณภาพ ดังนั้นในการพัฒนาระบบ

การตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเช่น อัตราการไหลของหมึกบนสายพานลำเลียง รูปแบบของฮาร์ดแวร์หรือเครื่องมือในการจำแนกที่ใช้ เป็นต้น รวมทั้งควรให้ความสำคัญกับการเลือกประสิทธิภาพของกล้องและคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล เพื่อใช้เป็นข้อมูลประเมินตัดสินใจทั้งประสิทธิภาพ เวลา ความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์จำแนก รวมถึงค่าใช้จ่ายการลงทุนในการสร้างเครื่องตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพหมึกอัตโนมัติ



รูปที่ 5.1 แนวคิดการพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพหมึกอัตโนมัติ

บรรณานุกรม

- [1] กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, “สถิติการค้า,” สืบค้น (ออนไลน์) <http://www.ditp.go.th.>, [05 พฤษภาคม 2554].
- [2] อัมพร เลาวพงษ์, 2554, “สถานการณ์หมึกและผลิตภัณฑ์ปี 2554,” ส่วนเศรษฐกิจการประมงสำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีประมง กรมประมง.
- [3] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548, “มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ปลาหมึก มกช. เลขที่ 7005-2548,” กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ
- [4] J. Blasco, S. Cubero, J. Gómez-Sanchis, P. Mira and E. Moltó, 2009, “Development of a machine for the automatic sorting of pomegranate (*Punica granatum*) arils based on computer vision,” *Journal of Food Engineering*, vol. 90, no.1, pp. 27–34.
- [5] J. A. Throop, D. J. Aneshansley, W. C. Anger and D. L. Peterson, 2005, “Quality evaluation of apples based on surface defects: development of an automated inspection system,” *Postharvest Biology and Technology*, vol. 36, no. 3, pp. 281–290.
- [6] F. MENDOZA and J. M. Aguilera, 2004, “Application of image analysis for classification of ripening bananas,” *Journal of Food Science*, vol. 69, pp. 471-477.
- [7] A. Chaimanee, J. Chaijaruwanich, Y. Peerapornpisal and N. Tongsir, “Counting of *Chlorella* sp. population using digital image processing,” presented at the The 11th Graduate Research Conference, Khon Kaen University, pp. 744–749.
- [8] D. Mery, J. J. Chanona-Pérez, A. Soto, J. M. Aguilera, A. Cipriano, N. Veléz-Rivera, I. Arzate-Vázquez and G. F. Gutiérrez-López, 2010, “Quality classification of corn tortillas using computer vision,” *Journal of Food Engineering*, vol. 101, no. 4, pp. 357–364.
- [9] F. Pedreschi, J. León, D. Mery and P. Moyano, 2006, “Development of a computer vision system to measure the color of potato chips,” *Food Research International*, vol. 39, no. 10, pp. 1092–1098.
- [10] H. Shirgahi and N. Danesh, 2011, “Presented a fuzzy system to determine barberry product quality based on average color spectra by image processing”, *Journal of King Saud University - Science*, vol. 23, no. 1, pp. 105–109.

- [11] P. Jackman, D. W. Sun and P. Allen, 2011, "Recent advances in the use of computer vision technology in the quality assessment of fresh meats," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, no. 4, pp. 185–197.
- [12] J. Blasco, N. Aleixos, J. Gómez and E. Moltó, 2007, "Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision," *Journal of Food Engineering*, vol. 83, no. 3, pp. 384–393.
- [13] B. Zion, V. Alchanatis, V. Ostrovsky, A. Barki and I. Karplus, 2008, "Classification of guppies' (*Poecilia reticulata*) gender by computer vision," *Aquacultural Engineering*, vol. 38, no. 2, pp. 97–104.
- [14] A. Iqbal, N. A. Valous, F. Mendoza, D. W. Sun and P. Allen, 2010, "Classification of pre-sliced pork and Turkey ham qualities based on image colour and textural features and their relationships with consumer responses," *Meat Science*, vol. 84, no. 3, pp. 455–465.
- [15] J. Blasco, N. Aleixos and E. Moltó, 2007, "Computer vision detection of peel defects in citrus by means of a region oriented segmentation algorithm," *Journal of Food Engineering*, vol. 81, no. 3, pp. 535–543.
- [16] B. Jarimopas and N. Jaisin, 2008, "An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind," *Journal of Food Engineering*, vol. 89, no. 3, pp. 291–297.
- [17] A. O. Yousef, 2011, "Computer vision based date fruit grading system: design and implementation," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 23, no. 1, pp. 29–36.
- [18] M. Mohebbi, M. R. Akbarzadeh, F. Shahidi, M. Moussavi and H. B. Ghoddusi, 2009, "Computer vision systems (CVS) for moisture content estimation in dehydrated shrimp," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 69, no. 2, pp. 128–134.
- [19] K. León, D. Mery, F. Pedreschi and J. León, 2006, "Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images," *Food Research International*, vol. 39, no. 10, pp. 1084–1091.
- [20] F. Mendoza, P. Dejmek and J. M. Aguilera, 2007, "Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips," *Food Research International*, vol. 40, no. 9, pp. 1146–1154.

- [21] Z. Effendi, J. A. Ghani, R. Ramli and Z. Yaakob, 2009, "Development of Jatropha Curcas Color Grading System for Ripeness Evaluation," *European Journal of Scientific Research*, vol. 30, no. 4, pp. 662–669.
- [22] S. Madue, T. Khaorapapong, M. Karnjanadecha and S. Limsiroratana, 2010, "Classification Fresh Aromatic Coconuts by Using Polynomial Regression, presented at the Second International Conference on Digital Processing, Singapore, vol. 7546
- [23] R. Furferi, L. Governi and Y. Volpe, 2010, "ANN-based method for olive Ripening Index automatic prediction," *Journal of Food Engineering*, vol. 101, no. 3, pp. 318–328.
- [24] C. J. Du and D. W. Sun, 2006, "Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review," *Journal of Food Engineering*, vol. 72, no. 1, pp. 39–55.
- [25] มาลา สุพงษ์พันธุ์, 2538, "ทรัพยากรปลาหมึกในอ่าวไทย," เอกสารเผยแพร่ฉบับที่ 17, สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.
- [26] สมนึก ใช้เทียมวงศ์, 2536, "จำแนกชนิดปลาหมึก," รายงานวิชาการที่ 36, กลุ่มชีวประวัติสัตว์ทะเลศูนย์พัฒนาประมงทะเลอ่าวไทยตอนบน กองประมงทะเล.
- [27] ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งตรัง, "หมึก (Squid, Cuttlefish, Octopus)," สืบค้น (ออนไลน์) <http://www.fisheries.go.th/cs-trang> [25 กรกฎาคม 2555].
- [28] นที รักร่วม, 2554, "การจัดการวัตถุดิบเพื่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลาหมึกกล้วยแช่เยือกแข็ง," วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [29] "ทฤษฎีการมองเห็นสีของมนุษย์," สืบค้น (ออนไลน์) <http://www.rmutphysics.com/colour>, [31 มกราคม 2555].
- [30] บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2556, "การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น", พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: ซี-เอ็ดดูเคชั่น.
- [31] A. McAndrew, 2004, "An Introduction to Digital Image Processing with Matlab," School of Computer Science and Mathematics, Victoria University of Technology.
- [32] W. Kanthamoon, "Properties of Bio Material and Food," สืบค้น (ออนไลน์) <http://www.foodnetworksolution.com/color> [24 ธันวาคม 2554].

- [33] อาทิตย์ ศรีแก้ว, “ปัญญาเชิงคำนวณ (computational intelligence),” พิมพ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [34] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553, “การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15,” พิมพ์ครั้งที่ 7 (ฉบับปรับปรุง). สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [35] นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531, “คุณภาพสัตว์น้ำ,” พิมพ์ครั้งที่ 1, ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [35] Lapa-Guimaraes, Eduardo de Felicio and Guzman, 2005, “Chemical and microbial analyses of squid muscle during storage in ice,” Food Chemistry, vol. 91, pp. 477-483.
- [36] อติศรา ตันตสุทธิกุล, 2552, “การศึกษาดัชนีคุณภาพของหมึกกล้วย และหมึกกระดองระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่ในน้ำแข็ง และการแช่เยือกแข็ง,” ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [37] G. Tsekouras, H. Sarimveis, C. Raptis, G. Bafas, 2002, “A fuzzy logic approach for the classification of product qualitative characteristics,” Computer and Chemical Engineering, vol. 26, pp. 429–438

ภาคผนวก ก

ข้อมูลค่าสี และคุณลักษณะของภาพ

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
1	1	79.97	-0.58	2.92	80.04	-0.88	2.57	80.56	-0.82	3.27	81.34	-1.99	1.63	80.38	-2.28	0.04	80.46	-1.31	2.09
2	1	79.11	-0.82	2.85	79.06	-0.56	2.85	77.26	-0.16	3.78	79.37	-1.34	3.48	80.33	-1.59	2.03	79.03	-0.89	3.00
3	1	77.15	-0.73	2.78	77.16	-1.11	2.85	77.7	-0.5	3.93	76.6	0.28	4.21	74.85	-0.38	2.9	76.69	-0.49	3.33
4	1	74.34	-0.42	1.83	71.79	-0.35	1.14	73.9	-0.16	2.89	74.06	-0.39	3.38	75.55	-0.03	2.36	73.93	-0.27	2.32
5	1	80.32	-1.19	2.95	80.55	-1.02	2.54	79.44	-1.06	2.23	79.16	-0.92	2.96	78.99	-1.44	1.82	79.69	-1.13	2.50
6	1	80.52	0.49	6.78	78.69	0.85	7.38	79.25	2.75	6.68	76.2	6.35	4.96	73.6	6.84	7.05	77.65	3.46	6.57
7	1	78.54	-0.33	4.99	78.77	0.52	4.71	78.47	0.18	4.07	80.5	-0.69	2.32	80.16	-0.52	2.45	79.29	-0.17	3.71
8	1	75.42	1.16	5.14	77.79	-0.03	4.08	75.44	1.24	5	73.92	-0.11	2.44	73.53	-0.91	1.61	75.22	0.27	3.65
9	1	81.32	-0.55	3.59	79.05	0.12	5.85	79.72	-0.56	4.15	80.91	-0.62	3.45	80.65	-0.48	2.82	80.33	-0.42	3.97
10	1	72.21	5.86	4.92	74.47	3.56	5.98	76.48	2.39	5.62	76.42	2.01	4.68	74.64	3.57	5.59	74.84	3.48	5.36
11	1	78.99	-0.97	5	78.29	-0.91	5.81	79.97	-1.7	3.46	81.08	-2.52	2.05	82.11	-2.27	2	80.09	-1.67	3.66
12	1	76.15	0.07	4.65	78.16	0.17	6.43	77.46	0.23	6.38	70.17	0.25	2.96	69.31	-0.76	1.64	74.25	-0.01	4.41
13	1	75.11	-1.32	2.64	75.25	-1.59	2.54	75.09	-1.57	3.01	76.11	-1.3	1.7	78.08	-0.54	0.93	75.93	-1.26	2.16

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
14	1	80.7	-0.43	2.89	79.13	-0.56	1.91	80.69	-0.2	3.32	80.34	-0.39	2.73	80.77	0.23	3.4	80.33	-0.27	2.85
15	1	76.68	0.43	4.56	77.28	0.7	4.42	77.02	0.55	5.82	76.2	0.71	5.54	70.18	1.81	5.54	75.47	0.84	5.18
16	1	78.34	0.82	4.61	77.95	0.83	4.77	78.84	-0.29	3.8	79.81	-1.34	3.45	80.24	-1.67	2.65	79.04	-0.33	3.86
17	1	79.6	-0.85	2.52	76.78	0.06	2.92	78.39	-1.03	2.95	79.04	-1.45	3.44	74.58	-0.46	3.12	77.68	-0.75	2.99
18	1	75.8	0.16	5.77	77.68	0.05	4.96	75.78	0.95	4.06	74.38	0.73	4.03	73.96	-0.32	0.72	75.52	0.31	3.91
19	1	80.41	1.74	4.47	80.38	1.68	4.33	78.51	1.45	6.32	79.2	-0.2	4.91	79.21	0.31	3.74	79.54	1.00	4.36
20	1	77.2	-0.68	2.42	78.22	-0.41	2.34	76.89	-0.26	2.25	76.49	-0.59	1.9	76.3	-0.33	1.15	77.02	-0.45	2.01
21	1	75.07	0.74	3.63	71.76	2.5	2.66	74.25	2.63	4.67	73.03	0.85	2.73	74.47	0.45	4.16	73.72	1.43	3.57
22	1	72.23	3.84	10.89	71.83	2.9	10.11	73.78	2.46	8.64	71.4	1.5	5.31	70.88	4.29	6.53	72.02	3.00	8.30
23	1	75.86	0.42	4.25	74.99	1.38	5.18	75.37	1.32	5.5	75.58	-0.21	4.63	77	0.21	4.79	75.76	0.62	4.87
24	1	77.98	-0.46	4.22	77.07	-1	4.45	78.01	-0.45	4.5	79.1	-0.43	4.66	75.59	-0.02	5.27	77.55	-0.47	4.62
25	1	74.45	-1.08	3.46	73.78	-0.57	2.45	76.32	-0.85	4.1	76.38	-0.87	3.24	73.07	-0.36	3.29	74.80	-0.75	3.31
26	1	77.34	2.96	8.23	78.35	1.15	10.17	76.91	2.76	10.71	77.46	1.64	9.22	79.44	0.41	5.54	77.90	1.78	8.77

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
27	1	79.12	-1.94	1.82	78.16	-1.69	1.72	77.97	-1.4	1.69	78.71	-1.8	1.58	79.08	-1.93	1.07	78.61	-1.75	1.58
28	1	77.63	-1.51	3.05	78.37	-2.02	1.69	77.33	-1.18	3.2	77.86	-0.94	3.61	78.77	-1.84	2.34	77.99	-1.50	2.78
29	1	82.31	-0.94	4.17	79.2	-0.42	4.48	81.33	-1.29	4.08	81.93	-0.99	4.63	80.98	-0.59	4.93	81.15	-0.85	4.46
30	1	80.13	1.07	4.88	80.14	0.73	4.11	79.1	1.74	4.83	80.9	-0.25	3.9	80.6	-0.77	3.92	80.17	0.50	4.33
31	1	79.68	-1.56	2.28	77.84	-1.58	0.94	78.32	-1.7	1.76	78.61	-2.09	1.37	78.42	-1.25	2.13	78.57	-1.64	1.70
32	2	73.11	6.91	5.35	76.35	2.75	5.93	72.83	4.87	7.04	74.24	3.94	4.66	74.07	4.55	6.18	74.12	4.60	5.83
33	2	73.36	3.35	6.14	75.01	2.49	7.65	76.98	2.05	6.04	74.97	4.31	4.74	70.34	6.99	6.5	74.13	3.84	6.21
34	2	68.78	6.53	5.99	71.57	3.15	4.12	69.02	5.7	5.88	66.13	5.98	5.61	71.49	4.13	3.53	69.40	5.10	5.03
35	2	67.72	9.77	3.12	68.21	8.16	7.51	69.91	7.74	6.22	69.51	6.57	5.28	71.94	7.05	3.97	69.46	7.86	5.22
36	2	67.91	4.78	3.71	67.57	5.17	5.17	69.12	4.04	5.21	71.2	4.15	3.93	71.49	4.07	1.8	69.46	4.44	3.96
37	2	69.84	4.26	4.56	71.68	5.05	5.08	70.9	4.32	4.38	68.52	4.85	5.3	69.87	5.39	5.84	70.16	4.77	5.03
38	2	73.94	4.22	4.56	72.09	4.19	5.36	72.33	7.54	6.53	73.12	6.58	8.94	73.48	3.3	8.48	72.99	5.17	6.77
39	2	65.87	9.92	2.65	71.27	6.72	2.64	74.15	2.96	4.04	73.04	1.8	3.64	70.42	3.08	4.2	70.95	4.90	3.43

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
40	2	73.25	0.53	0.93	66.37	8.3	4.41	69.46	4.14	3.12	70.96	6.01	5.56	76.24	4.12	3.19	71.26	4.62	3.44
41	2	72.5	7.66	2.59	73.29	4.45	4.15	74.1	4.58	5.73	75.18	5.53	4.41	76.56	6.99	5.45	74.33	5.84	4.47
42	2	74.56	4.31	6.15	77.12	2.19	4.73	76.7	2.82	5.1	71.46	5.83	7.09	67.93	9.41	12.88	73.55	4.91	7.19
43	2	72.29	7.95	3.31	70.76	11.71	2.53	69.7	11.45	2.38	72.57	6.17	3.09	75.78	4.92	2.73	72.22	8.44	2.81
44	2	74.09	7.14	6.39	76.72	3.21	4.97	77.69	2.78	6.09	75.2	7.04	5.91	77.35	4.38	5.33	76.21	4.91	5.74
45	2	62.17	9.27	9.51	64.63	6.63	6.95	66.14	5.09	5.01	65.97	7.79	8.56	68.41	2.19	2.73	65.46	6.19	6.55
46	2	74.48	2.93	6.93	74.75	2.76	6.31	71.71	4.23	5.98	67.77	7.5	6.94	74.88	1.62	2.47	72.72	3.81	5.73
47	2	69.18	3.27	7.33	67.92	3.48	8.81	68.47	3.3	6.91	69.98	2.16	5	70.51	1.32	3.85	69.21	2.71	6.38
48	2	73.75	2.37	5.39	73.78	2.08	6.24	73.31	2.23	5.53	73.69	2.43	5.54	70.71	4.14	2.53	73.05	2.65	5.05
49	2	74.89	3.08	7.15	70.67	3.31	3.09	69.75	5.94	4.47	73.49	0.93	5.26	76.13	1.79	5	72.99	3.01	4.99
50	2	78.83	1.54	4.56	74.7	3.35	4.51	72.48	6.29	6.07	73.63	4.21	6.79	68.72	5.04	6.34	73.67	4.09	5.65
51	2	76.12	4.25	5.34	74.11	2.74	4.03	73.27	1.83	4.57	69.5	2.38	5.68	70.16	1.94	5.5	72.63	2.63	5.02
52	2	77.33	1.9	6.02	72.72	8.32	4.24	76.5	2.1	4.1	77.53	1.54	5.74	78.54	0.46	4.17	76.52	2.86	4.85

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
53	2	70.02	3.94	3.63	67.14	12.82	4.8	65.42	14.86	4.4	68.55	10.28	3.18	71.52	2.95	1.37	68.53	8.97	3.48
54	2	73.71	3.27	6.82	75.75	3.36	5.43	74.33	2.19	6.43	74.59	2.71	6.08	77.11	-0.05	5.16	75.10	2.30	5.98
55	2	76.17	1.87	2.54	74.78	3.1	3.79	71.24	6.71	4.66	70.82	8.72	3.81	70.05	5.87	3.88	72.61	5.25	3.74
56	2	70.45	7.2	7.09	71.3	5.36	4.98	71.58	4.01	7.08	73.71	4.91	4.73	71.94	4.84	5.06	71.80	5.26	5.79
57	2	71.96	2.71	5.7	75.93	1.33	10.73	72.64	8.83	6.13	72.24	7.17	6.29	70.08	8.52	4.67	72.57	5.71	6.70
58	2	76.53	3.18	4.18	73.27	5.46	6.15	74.03	6.22	6.02	76.89	2.59	4.31	80.05	0.08	2.27	76.15	3.51	4.59
59	2	72.47	2.68	3.68	71.05	2.79	2.58	68.77	3.82	3.76	69.32	1.47	2.26	71.03	2.76	5.92	70.53	2.70	3.64
60	2	73.74	3.36	5.3	74.56	2.62	5.12	75.1	1.96	2.06	71.35	3.47	3.31	71.05	3.94	3.28	73.16	3.07	3.81
61	2	68.01	7.99	8.04	69.07	7.41	8.11	73.49	4.55	6.67	73.04	2.91	3.79	74.37	2.22	3.38	71.60	5.02	6.00
62	2	65.18	9.15	6.47	69.06	7.06	7.53	72.17	4.43	7.53	71.2	4.66	6.2	71.9	4.84	6.62	69.90	6.03	6.87
63	2	76.45	4.89	3.91	72.35	6.2	5.84	67.74	9.73	9.38	67.7	11.19	2.31	66.68	11.42	5.05	70.18	8.69	5.30
64	2	66.6	11.7	8.63	70.59	6.35	5.3	68.42	5.6	4.58	67.7	4.56	6.21	69.97	4.8	7.5	68.66	6.60	6.44
65	2	66.95	6.53	7.64	66.62	6.74	8.65	72.23	5.81	3.29	75.09	4.4	3.11	75.45	1.46	3.84	71.27	4.99	5.31

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
66	2	76.08	5.1	7.24	81.25	-0.34	3.11	78.82	1.1	3.71	78.87	1.68	2.41	76.02	3.16	10.19	78.21	2.14	5.33
67	2	75.23	0.19	2.93	73.96	3.98	6.56	72.28	5.25	5.12	74.09	1.53	6.11	76.32	-0.21	2.31	74.38	2.15	4.61
68	2	74.49	4.54	8.61	73.31	5.8	9.05	69.83	6.8	6.51	70.88	5.44	6.18	75.23	3.73	6.5	72.75	5.26	7.37
69	2	74.24	8.18	3.83	71.91	10.49	5.29	73.87	6.9	5.48	73.33	4.82	5.55	72.41	4.23	7.37	73.15	6.92	5.50
70	2	75.73	4.08	4.8	76.86	1.78	5.64	76.34	4.08	7.6	77.41	5.68	6.45	75.52	8.16	7.58	76.37	4.76	6.41
71	2	76	2.71	3.73	78.06	1.82	3.86	73.38	7.6	6.01	76.48	2.61	3.79	71.59	3.76	4.32	75.10	3.70	4.34
72	2	75.89	5.16	5.52	77.69	3.9	7.46	76.01	4.6	5.76	74.52	5.17	6.71	76.07	3.38	5.92	76.04	4.44	6.27
73	2	72.98	4.73	4.27	72.97	5.75	2.31	71.59	5.57	3.85	65.71	7.25	6.52	67.69	4.15	3.87	70.19	5.49	4.16
74	2	67.22	3.02	2.75	65.84	4.85	5.17	70.62	7.49	5.32	63.19	9.86	1.06	62.61	1.04	-3.72	65.90	5.25	2.12
75	2	76.6	2.58	5.34	76.13	2.16	4.64	77.24	2.33	4.88	73.97	7	7.16	71.55	8.88	13.63	75.10	4.59	7.13
76	3	66.98	9.4	6.46	69.05	7.44	5.4	66.04	9.45	4.12	64.37	9.48	7.52	63.63	10.46	9.33	66.01	9.25	6.57
77	3	73.43	5.54	5.56	70.06	4.69	3.72	71.29	6.71	4.32	70.69	4.41	3.9	71.06	3.62	4.97	71.31	4.99	4.49
78	3	69.29	7.15	4.47	70.87	7.82	2.62	69.47	9.46	3.06	68.05	11.27	0.53	75.2	4.39	2.27	70.58	8.02	2.59

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
79	3	70.11	3.39	11.27	66.6	5.96	15.8	69.7	3.76	12.13	63.58	8.83	10.88	65.75	6.69	11.03	67.15	5.73	12.22
80	3	69.95	6.2	6.22	71.21	6.75	7.21	73.17	5.7	4.47	66.37	7.89	4.15	66.43	8.32	4.37	69.43	6.97	5.28
81	3	68.82	10.63	6.79	67.39	11.51	4.34	66.51	12.06	1.8	71.07	8.38	6.72	73.61	5.3	4.71	69.48	9.58	4.87
82	3	71.17	4.78	5.5	70.16	6.66	4.32	63.67	8.06	5.08	67.96	5.47	0.76	65.28	8.52	3.99	67.65	6.70	3.93
83	3	63.22	10.87	7.57	68.09	8.99	7.58	63.17	11.98	7.56	62.99	8.68	9.79	60.13	11.72	13.34	63.52	10.45	9.17
84	3	63.58	1.91	13.62	67.92	6.95	10.13	70.9	1.83	8.39	74.88	2.42	7.11	70.22	6.17	12.15	69.50	3.86	10.28
85	3	71.16	5.92	7.86	69.51	7.18	8.15	66.4	11.1	8.05	68.03	8.68	8.77	68.92	5.98	6.66	68.80	7.77	7.90
86	3	74.34	1.82	17.12	57.56	15.83	13.19	68.45	9.01	7.91	67.77	11.48	7.94	63.29	9.17	6.81	66.28	9.46	10.59
87	3	62.96	3.53	4.08	71.09	6.76	4.91	66.03	3.33	3.46	60.28	6.94	4.21	65.25	5.58	5.8	65.12	5.23	4.49
88	3	71.52	6	4.37	69.68	7.16	4.45	66.77	7.46	5.89	66.06	7.2	5.86	71.78	4.93	5.12	69.16	6.55	5.14
89	3	72.4	6.13	6.86	74.52	3.81	6.17	72.8	2.59	5.52	70.53	4.25	5.51	72.57	4.85	6.61	72.56	4.33	6.13
90	3	61.1	9.86	7.06	66.09	7.07	6.4	68.42	7.8	7.89	65.91	7.5	8.74	65.28	3.6	6.4	65.36	7.17	7.30
91	3	69.61	6.54	7.45	70.3	5.23	4.93	69.5	9.15	4.78	69.47	7.19	4.21	68.97	5.61	5.54	69.57	6.74	5.38

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
92	3	72.58	4.59	8.16	71.88	5.34	8.54	65.73	10.42	7.33	73.36	6.34	5.48	73.99	5.51	3.78	71.51	6.44	6.66
93	3	70.54	4.26	5.4	66.37	8.53	8.43	70.27	6.59	7.42	68.45	9.52	6.01	73.27	1.21	5	69.78	6.02	6.45
94	3	72.09	5.98	5.8	74.08	4.7	5.3	63.6	12.16	9.16	61.95	11.76	8.22	62.25	12.09	6.98	66.79	9.34	7.09
95	3	66.72	12.07	5.51	67.19	11.01	5.85	65.98	9.86	5.45	65.07	8.82	9.77	65.65	9.3	11.16	66.12	10.21	7.55
96	3	65.46	8.4	7.63	66.93	9.83	7.48	69.6	5.77	4.96	69.19	-0.09	1.1	69.08	0.28	3.7	68.05	4.84	4.97
97	3	67.76	5.83	7.81	60.35	9.69	9.66	68.48	5.37	9.53	64.47	4.12	4.31	64.52	3.41	4.85	65.12	5.68	7.23
98	3	72.78	7.74	3.26	69.79	8.2	6.15	72.77	5.63	6.68	72.56	6.91	6.97	69.14	8.19	6.48	71.41	7.33	5.91
99	3	72.43	4.97	6.89	69.72	5.68	7.17	70.05	4.78	7.38	69.78	4.48	7.07	69.58	3.1	4.88	70.31	4.60	6.68
100	3	67.61	11.84	2.08	63.89	14.83	3.3	68.05	10.38	4.89	68.4	13.53	5.22	67.73	13.7	4.39	67.14	12.86	3.98
101	3	69.25	8.78	6.96	66.93	8.88	6.62	69.2	8.7	7.37	68.52	11.02	6.85	65.72	10.46	5.2	67.92	9.57	6.60
102	3	72.5	6.57	5.13	66.66	15.25	5.07	64.91	10.53	1.08	67.73	10.34	1.68	70.45	4.14	2.98	68.45	9.37	3.19
103	3	74.58	4.15	6.58	73.99	6.2	5.7	73.82	8.23	5.28	75.8	5.92	6	77.28	1.9	4.1	75.09	5.28	5.53
104	3	74.81	3.71	5.37	67.86	6.85	7.72	69.46	8.27	5.34	64.94	5.46	5.8	65.44	3.68	4.72	68.50	5.59	5.79

ตาราง ก-1 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเครื่องวัดค่าสี (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ระดับ คุณภาพ	1			2			3			4			5			Average		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
105	3	71.95	6.57	3.6	63.89	8.65	3.48	70.51	6.45	3.88	71.27	6.9	3.88	72.92	6.92	3.83	70.11	7.10	3.73
106	3	74.04	4.99	4.55	69.98	8.21	6.35	69.98	7.15	6.4	66.21	9.59	3.8	64.62	8.54	5.57	68.97	7.70	5.33
107	4	77.33	4.04	8.8	74.55	4.77	6.8	74.07	4.14	8.11	77.27	1.47	8.58	77.24	0.64	5.75	76.09	3.01	7.61
108	4	69.35	10.74	5.17	69.15	9.58	4.82	64.04	13.45	3.5	63.73	11.57	3.68	67.31	10.1	5.06	66.72	11.09	4.45
109	4	67.78	10.33	2.88	69.75	9.05	3.08	67.01	8.84	4.62	70.44	6.27	5.86	62.71	11.6	6.31	67.54	9.22	4.55
110	4	65.51	6.43	4.13	65.22	5.33	2.86	65.86	6.64	4.49	69.38	3.08	4.16	65.88	7.73	3.01	66.37	5.84	3.73
111	4	70.53	3.86	5.83	59.57	9.7	4.22	64.54	8.86	5.21	68.83	4.59	4.71	71.1	2.12	2.67	66.91	5.83	4.53
112	4	69.45	4.63	4.81	72.12	6.11	4.09	71.38	5.19	3.82	63.36	3.15	2.07	61.38	1.97	2.04	67.54	4.21	3.37
113	4	69.49	1.22	5.63	71.75	4.81	5.94	67.32	2.81	5.85	63.7	5.12	5.41	72.73	3.78	2.54	69.00	3.55	5.07
114	4	61.46	7.02	3.06	67.68	6.18	3.2	62.05	6.86	3.18	62.08	10.21	3.96	63.57	4.82	6.26	63.37	7.02	3.93
115	4	72.3	3.19	5.4	65.33	10.48	6.63	70.96	6.58	5.6	57.65	15.67	11.74	58.34	14.78	8.79	64.92	10.14	7.63
116	4	52.11	8.85	2.36	65.53	6.76	9.27	66.23	6.83	7.76	57.76	10.72	7.71	47.34	5.88	1.74	57.79	7.81	5.77
117	4	68.27	7.76	2.07	66.79	7.38	2.29	62.66	6.34	4.29	65.28	4.78	4.16	65.26	4.79	4.12	65.65	6.21	3.39

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเทคนิคประมวลผลภาพ (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพ	R	G	B	L*	a*	b*
1	1	200.0986	203.619	190.033	81.3002	-3.2888	5.5558
2	1	195.8168	197.468	182.5252	79.1902	-2.8794	6.5234
3	1	204.8286	203.3922	184.2606	81.4712	-2.4656	8.9434
4	1	196.958	198.6188	185.0548	79.637	-2.648	5.8156
5	1	206.5102	209.7386	196.8384	83.5388	-3.044	5.1894
6	1	202.8096	193.851	167.1126	78.4512	-0.9512	3.8646
7	1	201.9882	203.4312	188.0802	81.3508	-2.854	6.6934
8	1	197.0258	197.7276	181.2436	79.3198	-2.8096	7.4102
9	1	212.162	211.6952	193.504	84.3954	-2.63	8.2588
10	1	186.3044	179.5008	162.5208	73.2514	-0.1984	8.8218
11	1	216.5644	216.4576	195.453	86.004	-3.1934	9.5662
12	1	186.9006	186.2432	169.4222	75.2338	-2.4228	7.8794
13	1	207.956	207.538	189.8956	82.9156	-2.5734	8.0202
14	1	209.845	210.2878	193.8572	83.8636	-2.6604	7.2828
15	1	199.4314	191.8182	168.7908	77.6854	-0.8734	6.8408
16	1	211.4164	212.7312	198.2358	84.7194	-2.6184	6.1918
17	1	208.7662	207.4738	189.4396	82.9518	-2.3224	8.326
18	1	207.1162	209.2354	195.2102	80.9692	-1.9232	6.5554
19	1	202.6454	201.8404	187.325	85.2004	-2.1938	9.4178
20	1	216.1602	213.6166	193.5558	80.6586	-3.033	4.338
21	1	197.8246	201.7744	190.5242	78.753	-0.9228	7.3372
22	1	198.991	195.0794	179.934	75.716	-0.0752	12.9596
23	1	196.1776	185.8944	161.5472	74.9028	-1.716	9.1562
24	1	188.2806	184.8544	166.244	81.2356	-2.7782	9.5538

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเทคนิคประมวลผลภาพ (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพ	R	G	B	L*	a*	b*
25	1	204.0402	202.8816	182.4818	82.6788	-2.5188	6.9856
26	1	206.589	206.9124	191.1702	81.4302	-1.8458	11.0558
27	1	207.4758	202.792	180.279	81.8996	-2.998	5.3704
28	1	202.1596	205.129	192.018	83.3492	-2.9802	6.0116
29	1	206.766	209.118	194.7996	83.4132	-2.8498	5.8918
30	1	208.9478	209.7978	195.9586	83.7182	-2.3624	5.942
31	1	188.939	191.9412	179.9674	77.1486	-2.8748	4.9024
32	2	195.6808	192.3064	185.2748	77.9012	0.2712	3.1822
33	2	205.3082	205.7844	201.3394	77.9648	-1.5036	0.7938
34	2	190.434	193.6886	189.762	71.0068	0.5026	3.8258
35	2	187.531	180.1236	172.062	76.7092	2.572	3.522
36	2	197.5112	199.3974	194.3908	73.8186	0.7656	3.2348
37	2	177.7426	173.346	165.5992	73.2522	0.4622	2.0548
38	2	194.2438	188.746	179.0512	73.913	0.7232	4.1798
39	2	189.089	179.7618	173.7148	71.6356	0.6004	4.8526
40	2	183.937	179.3042	172.6514	76.4268	-0.3886	0.1294
41	2	186.388	181.0628	172.7144	72.879	2.48	4.5416
42	2	178.0376	175.183	170.436	78.0522	2.3566	6.4822
43	2	187.7952	188.8574	186.8158	74.529	3.552	3.0096
44	2	187.1266	177.2182	169.3804	80.1148	-1.2104	1.4694
45	2	202.5182	191.2596	179.7396	69.2148	-0.0244	3.0066
46	2	192.486	181.1472	176.5856	76.7044	1.4526	5.9364
47	2	171.2144	168.873	162.2878	74.4946	-0.2894	5.7586
48	2	196.7678	188.1338	177.0508	77.708	-1.254	1.7916

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเทคนิคประมวลผลภาพ (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพ	R	G	B	L*	a*	b*
49	2	187.285	183.1272	171.3712	77.1222	-0.3312	4.2158
50	2	191.0716	192.7588	187.2324	72.682	1.3994	3.699
51	2	193.236	190.4446	181.2454	71.7826	1.0758	2.4598
52	2	183.9288	177.3648	170.3172	76.221	-0.7774	0.1722
53	2	179.9228	175.1974	170.1248	69.9106	1.6498	2.0756
54	2	193.1162	188.9576	182.6306	82.6766	-1.0748	1.7514
55	2	186.539	188.5206	186.1728	72.9806	1.4896	3.6416
56	2	175.5974	169.8382	165.8406	73.0646	1.1472	5.206
57	2	205.1096	206.4252	200.9292	75.1732	2.1384	6.1286
58	2	184.8382	178.117	171.2174	74.9466	-0.7658	0.336
59	2	185.646	178.4392	168.6044	72.1476	0.5406	4.5974
60	2	193.9386	183.523	172.6066	76.3788	1.8534	0.4468
61	2	183.1824	185.0058	182.4068	72.8308	2.6214	5.0058
62	2	181.561	176.3548	167.2356	71.1808	1.4172	4.0758
63	2	180.161	173.264	165.6294	68.1868	2.7786	3.078
64	2	192.3564	187.4054	186.1926	73.7418	1.5258	4.302
65	2	187.581	176.953	168.3992	74.5454	1.3386	2.1294
66	2	173.7982	164.4912	159.5242	77.0202	-1.5292	3.182
67	2	189.8138	190.9298	182.8126	80.5202	-1.7458	7.6654
68	2	202.5496	200.4166	184.0664	75.9152	0.6898	5.5154
69	2	192.8388	186.4584	175.6622	71.6754	1.618	1.3896
70	2	179.7952	174.664	171.7798	76.7918	-0.0996	5.6666
71	2	193.9	189.3106	177.7188	72.479	1.568	4.1168
72	2	187.6052	182.569	178.167	73.1832	0.0872	3.281

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเทคนิคประมวลผลภาพ (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพ	R	G	B	L*	a*	b*
73	2	182.4412	179.516	172.3624	74.761	-0.3666	2.3848
74	2	184.0162	176.6804	169.019	69.9994	0.258	1.766
75	2	197.9902	196.5998	190.2128	75.8976	0.957	2.8002
76	3	175.1068	167.7438	166.7544	69.3396	2.772	0.7354
77	3	197.938	191.3608	187.4604	77.8866	1.9494	2.0012
78	3	179.8462	174.2014	172	71.5646	1.926	1.1054
79	3	200.2852	192.5522	182.711	78.2672	1.3466	5.1526
80	3	170.9236	165.9518	164.6826	68.4676	1.8592	0.5786
81	3	196.4418	178.9592	176.278	74.2962	6.1148	2.882
82	3	189.5136	181.1518	175.3904	73.771	1.3304	2.7884
83	3	186.027	180.4042	174.8678	72.0164	3.7208	5.528
84	3	187.7542	174.0698	165.3336	80.2846	0.417	6.28
85	3	205.0068	198.6072	186.096	73.1346	3.9772	4.7952
86	3	190.72	176.9852	169.6486	68.74	2.9452	2.7878
87	3	175.3734	165.9108	161.526	78.4566	2.3468	3.6812
88	3	201.6018	192.5652	185.936	73.4454	2.0764	2.6588
89	3	186.471	179.1088	174.2662	69.9136	2.0106	4.0604
90	3	177.805	169.5034	162.3138	72.6124	1.61	4.625
91	3	184.795	176.9806	168.4678	77.793	-0.4478	0.08
92	3	191.421	192.6466	190.624	74.3544	1.7668	6.0716
93	3	190.9818	181.5214	170.5008	78.8382	3.9486	2.5938
94	3	204.8218	192.7516	189.0552	77.5264	4.9524	4.443
95	3	204.4594	188.3862	182.1254	70.714	3.7122	6.5728
96	3	184.8584	170.4872	160.0088	70.797	4.99	4.6762

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลค่าสีหมึกที่วัดโดยเทคนิคประมวลผลภาพ (117 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพ	R	G	B	L*	a*	b*
97	3	185.9958	170.073	163.6902	76.0884	1.6128	3.4664
98	3	193.4862	186.5244	179.894	81.985	6.8278	1.1398
99	3	217.889	199.7332	200.4168	77.5576	3.2852	1.0844
100	3	198.802	189.709	188.2728	70.7388	2.5368	-0.3302
101	3	177.5972	171.717	172.3862	75.024	0.5652	3.3494
102	3	188.4492	184.2348	177.1904	73.7556	1.4466	6.3144
103	3	212.259	207.2178	204.1832	74.2614	2.2766	3.247
104	3	188.9122	180.0682	168.4544	75.2388	2.9022	0.8724
105	3	191.5268	183.6158	182.3528	69.7896	4.3122	3.6322
106	3	181.3286	167.8366	162.8346	72.8712	2.9932	3.163
107	4	187.394	189.536	181.4136	76.4354	-1.8736	3.0736
108	4	191.7826	176.684	173.6692	73.2468	5.205	2.751
109	4	157.57	146.41	141.37	61.519	3.498	3.513
110	4	174.88	167.79	153.7	69.005	0.376	7.506
111	4	179.92	168.31	161.39	69.752	3.277	4.362
112	4	163.18	146.76	146.68	62.249	6.355	1.607
113	4	197.71	178.01	175.46	74.14	6.943	3.122
114	4	160.17	145.6	143.33	61.59	5.266	2.528
115	4	212.83	185.54	188.53	77.696	10.564	1.292
116	4	164.51	151.89	145.92	63.703	3.872	4.153
117	4	183.46	167.02	165.74	69.831	6.033	2.098

ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
1	1	92.37	3.00	4.63	0.00
2	1	86.61	4.64	8.76	0.00
3	1	88.24	6.34	5.42	0.00
4	1	85.48	5.01	9.51	0.00
5	1	80.57	13.21	6.23	0.00
6	1	77.80	13.36	8.84	0.00
7	1	85.11	12.77	2.13	0.00
8	1	93.61	3.53	2.86	0.00
9	1	85.68	11.88	2.44	0.00
10	1	92.35	4.71	2.94	0.00
11	1	87.26	8.15	4.60	0.00
12	1	77.34	8.53	14.13	0.00
13	1	85.55	9.58	4.87	0.00
14	1	93.70	4.69	1.61	0.00
15	1	76.02	11.38	12.60	0.00
16	1	74.94	21.46	3.59	0.00
17	1	73.04	16.87	10.09	0.00
18	1	86.07	9.27	4.66	0.00
19	1	85.63	8.54	5.84	0.00
20	1	87.94	10.10	1.96	0.00
21	1	88.80	7.04	4.16	0.00
22	1	98.29	0.29	1.43	0.00

ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
23	1	78.55	1.74	19.71	0.00
24	1	83.36	9.11	7.53	0.00
25	1	55.69	18.95	25.36	0.00
26	1	76.95	13.32	9.73	0.00
27	1	91.47	5.44	3.09	0.00
28	1	96.67	0.00	3.33	0.00
29	1	94.49	3.06	2.45	0.00
30	1	78.17	8.63	13.20	0.00
31	1	97.64	1.69	0.68	0.00
32	1	85.79	4.57	9.64	0.00
33	1	95.00	0.00	5.00	0.00
34	1	97.65	0.67	1.68	0.00
35	1	83.86	8.66	7.48	0.00
36	1	92.67	0.00	7.33	0.00
37	1	84.62	3.33	12.06	0.00
38	2	21.70	72.52	5.78	0.00
39	2	32.36	62.74	4.89	0.00
40	2	11.96	76.08	11.96	0.00
41	2	27.80	69.16	3.04	0.00
42	2	30.86	63.53	5.60	0.00
43	2	4.20	74.40	21.40	0.00
44	2	5.29	66.49	28.23	0.00

ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
45	2	42.35	48.58	9.07	0.00
46	2	9.67	60.87	29.47	0.00
47	2	18.37	69.82	11.81	0.00
48	2	53.55	43.72	2.73	0.00
49	2	40.04	54.41	5.56	0.00
50	2	28.02	68.96	3.02	0.00
51	2	69.42	26.80	3.78	0.00
52	2	38.95	57.43	3.63	0.00
53	2	44.39	47.72	7.89	0.00
54	2	31.44	61.98	6.59	0.00
55	2	55.37	38.43	6.20	0.00
56	2	11.94	76.45	11.61	0.00
57	2	64.56	29.40	6.05	0.00
58	2	42.51	51.33	6.16	0.00
59	2	4.16	79.63	16.21	0.00
60	2	11.96	76.08	11.96	0.00
61	2	27.80	69.16	3.04	0.00
62	2	30.86	63.53	5.60	0.00
63	2	4.20	74.40	21.40	0.00
64	2	5.29	66.49	28.23	0.00
65	2	42.35	48.58	9.07	0.00
66	2	50.25	41.73	8.02	0.00

ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
67	2	69.16	27.15	3.69	0.00
68	2	66.09	28.17	5.74	0.00
69	2	48.56	34.13	17.32	0.00
70	2	27.19	62.19	10.61	0.00
71	2	26.44	66.98	6.59	0.00
72	2	54.37	39.43	6.20	0.00
73	3	0.00	21.89	78.11	0.00
74	3	0.00	57.68	42.32	0.00
75	3	0.00	35.41	64.59	0.00
76	3	0.00	24.59	75.41	0.00
77	3	3.91	39.66	56.42	0.00
78	3	0.00	19.73	80.27	0.00
79	3	0.00	53.92	46.08	0.00
80	3	0.00	19.86	80.14	0.00
81	3	0.00	25.20	74.80	0.00
82	3	14.51	66.82	18.67	0.00
83	3	31.82	37.30	30.88	0.00
84	3	2.89	66.49	30.62	0.00
85	3	1.34	73.83	24.83	0.00
86	3	1.32	61.08	37.60	0.00
87	3	0.00	35.03	64.97	0.00
88	3	0.00	31.42	68.58	0.00

ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
89	3	2.93	65.89	31.17	0.00
90	3	0.07	45.37	54.56	0.00
91	3	0.07	47.04	52.89	0.00
92	3	0.00	39.88	60.12	0.00
93	3	0.00	20.20	79.80	0.00
94	3	0.00	12.68	87.32	0.00
95	3	0.00	50.36	49.64	0.00
96	3	0.00	36.82	63.18	0.00
97	3	0.00	49.68	50.32	0.00
98	3	0.00	49.66	50.34	0.00
99	3	0.00	28.54	71.46	0.00
100	3	3.91	39.66	56.42	0.00
101	3	0.00	50.36	49.64	0.00
102	3	0.25	24.12	75.63	0.00
103	3	23.74	20.96	55.30	0.00
104	3	0.00	49.50	50.50	0.00
105	3	0.00	29.15	70.85	0.00
106	4	0.24	62.47	12.00	18.77
107	4	39.35	53.59	2.12	3.24
108	4	12.75	84.42	0.46	2.12
109	4	32.21	53.51	9.95	5.55
110	4	13.22	69.06	8.40	1.71

ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
111	4	40.47	51.01	3.90	3.46
112	4	3.84	69.74	5.04	20.03
113	4	6.01	53.93	22.33	6.58
114	4	79.50	14.38	0.91	4.30
115	4	33.85	53.54	9.42	1.94
116	4	40.80	56.07	2.92	1.09
117	4	21.23	43.22	27.53	7.16
118	4	9.63	58.69	25.68	2.62
119	4	8.89	41.57	67.32	2.54
120	4	34.84	52.46	3.98	6.01
121	4	26.14	62.37	4.30	4.70
122	4	6.34	68.66	11.21	1.83
123	4	31.09	59.97	1.51	5.28
124	4	30.98	60.42	0.68	7.30
125	4	33.46	45.03	6.77	7.17
126	4	4.42	73.60	2.93	15.90
127	4	2.84	77.90	38.00	2.84
128	4	47.86	37.72	14.20	5.69
129	4	69.83	11.98	16.11	8.17
130	4	2.57	69.06	40.81	3.43
131	4	0.00	75.84	52.77	8.14
132	4	52.55	45.13	2.69	0.65

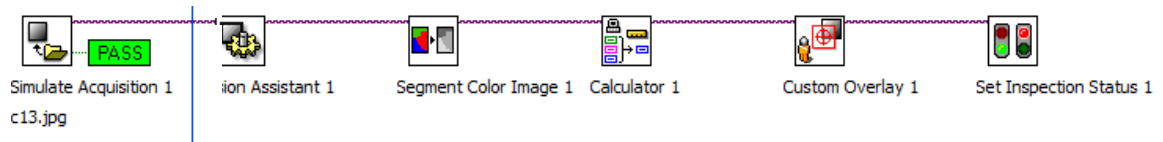
ตารางที่ ก-3 ปริมาณพื้นที่สีแต่ละสีของหมึกแต่ละระดับคุณภาพสำหรับกำหนดหลักการจำแนกระดับคุณภาพ (135 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ระดับคุณภาพที่	ปริมาณพื้นที่			
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ
133	4	92.46	0.85	1.45	5.55
134	4	46.87	30.49	10.60	15.85
135	4	6.57	74.60	16.39	4.98

ภาคผนวก ข
การใช้ LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011
ในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพ

การใช้ LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011 ในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพ

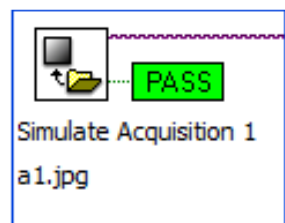
ในขั้นตอนการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพจะพัฒนาโดยใช้โปรแกรม LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011 ซึ่งภาพรวมของการใช้โปรแกรมดังกล่าวในการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพแสดงดังภาพที่ ข-1 โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการรับภาพสีหมึกเข้าขั้นตอนการเลือกบริเวณที่สนใจเพื่อเลือกบริเวณตัวหมึก จากนั้นเป็นขั้นตอนการสร้างตัวจำแนกเพื่อใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทบนภาพหมึก โดยแต่ละขั้นตอนใช้เครื่องมือต่างๆดังนี้



รูปที่ ข-1 ภาพรวมของการใช้ LabVIEW โมดูล NI Vision เวอร์ชัน 2011
ในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การรับภาพสีหมึก

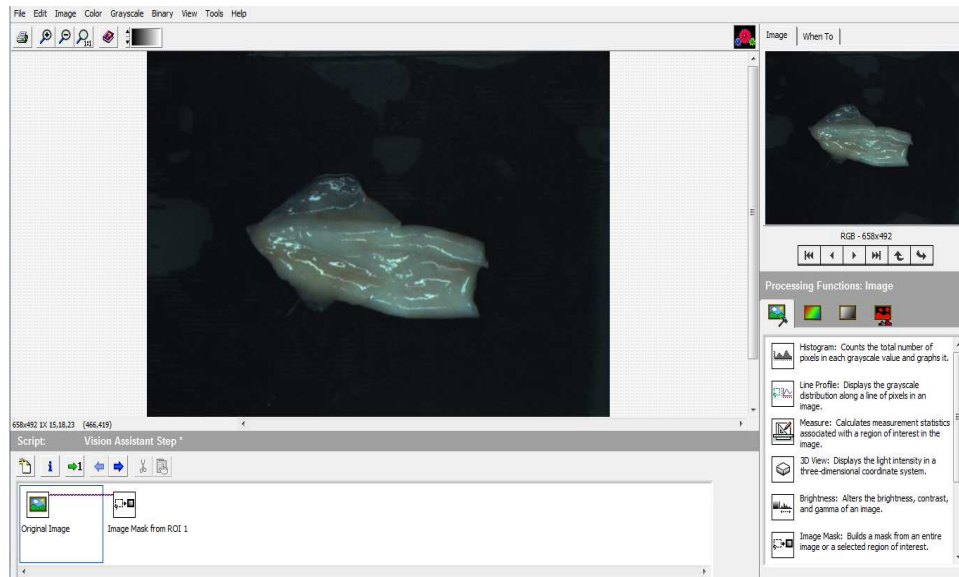
ขั้นตอนการรับภาพสีหมึกจะใช้เครื่องมือ Simulate Acquisition Controls ซึ่งภาพจะถูกโหลดเข้าสู่โปรแกรมเพื่อทำการประมวลผลต่อไป โดยลักษณะของเครื่องมือแสดงดังรูปที่ ข-2



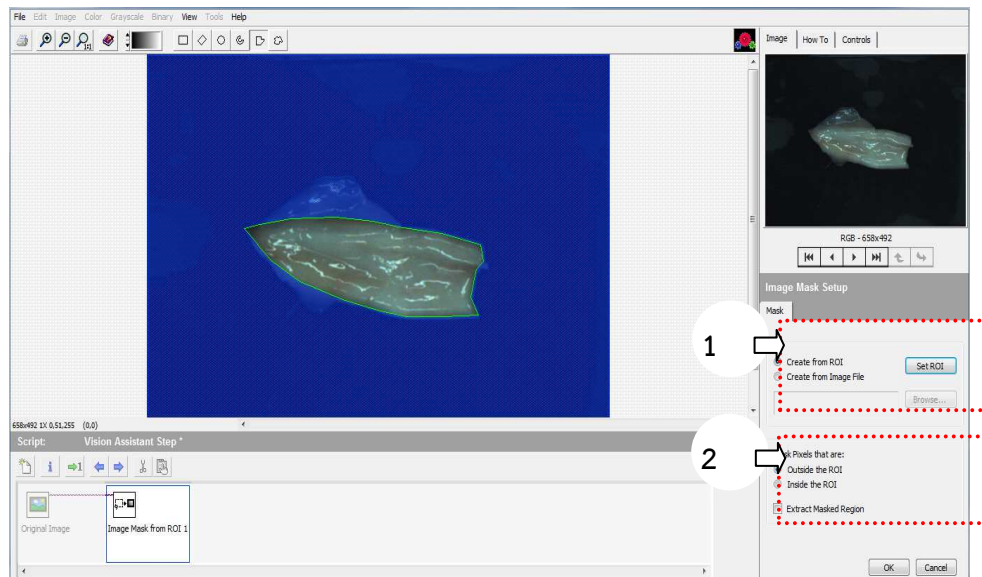
รูปที่ ข-2 เครื่องมือ Simulate Acquisition Controls

ขั้นตอนที่ 2 การเลือกบริเวณตัวหมึกที่สนใจ

ขั้นตอนการเลือกบริเวณตัวหมึกที่สนใจจะใช้เครื่องมือ Image mark โดยทำการสร้างหน้าต่างย่อย NI Vision Assistant ดังรูปที่ ข-3 โดยการใช้เครื่องมือ Image mark สามารถสร้างบริเวณที่สนใจหรือ Region of Interest (หมายเลข 1) พร้อมทั้งกำหนดพิกเซลที่ต้องการประมวลผลได้ (หมายเลข 2) แสดงในรูปที่ ข-4



รูปที่ ข-3 หน้าต่างย่อย NI Vision Assistant

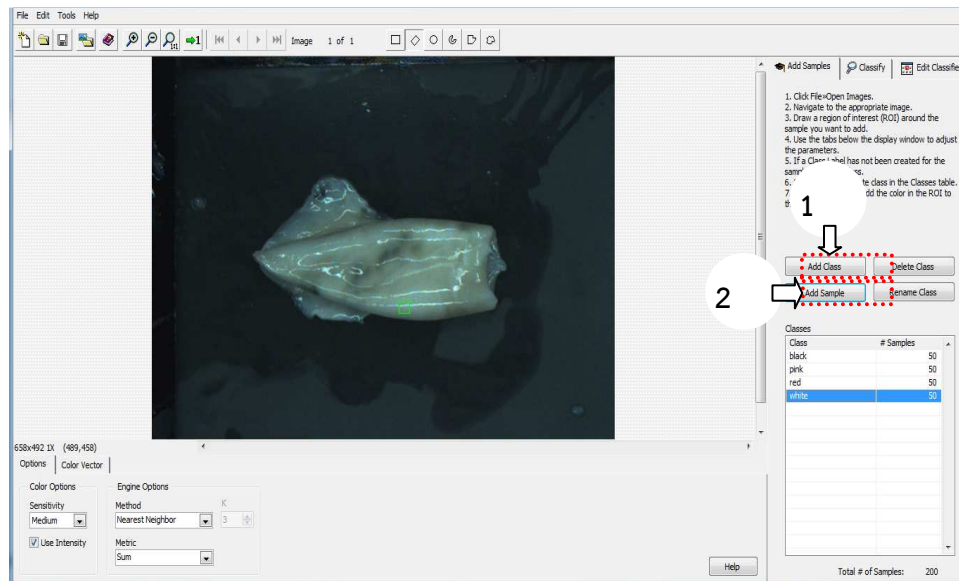


รูปที่ ข-4 เครื่องมือ Image mark

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างตัวจำแนก

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างตัวจำแนกเพื่อใช้ในขั้นตอนการหาปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึก โดยใช้เครื่องมือ NI Color Classification Training Interface ถูกใช้ในการสร้างตัวจำแนกแต่ละประเภทสี (classes of color) โดยสามารถเพิ่มประเภทสีที่ต้องการสร้างเป็นตัวจำแนก (หมายเลข 1 รูปที่ ข-5) ซึ่งตัวอย่างตัวจำแนกสี (samples of each color) จะถูกเก็บอยู่ในแต่ละ

ประเภทสี แสดงดังหมายเลข 2 ในรูปที่ ข-5 โดยตัวจำแนกจะถูกสอนให้โปรแกรมเรียนรู้หรือรู้จัก และถูกจัดเก็บไว้เพื่อใช้ในขั้นตอนจำแนกค่าสี



รูปที่ ข-5 การสร้างตัวจำแนก

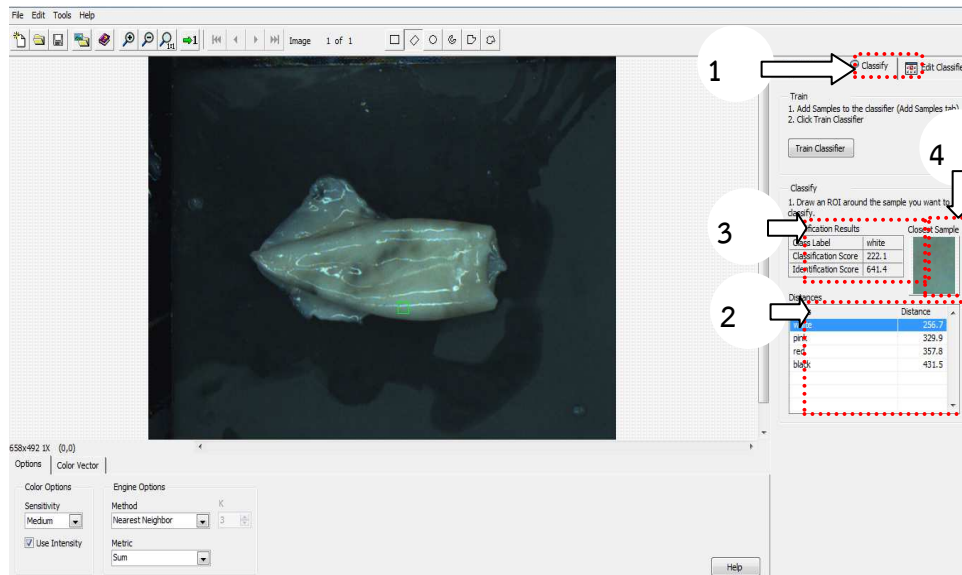
ขั้นตอนที่ 4 การจำแนกค่าสี

ขั้นตอนนี้เป็นการจำแนกค่าสีบนตัวหมึกโดยใช้เครื่องมือ Segment Color Image ในส่วนของแถบเครื่องมือ Classify (หมายเลข 1 รูปที่ ข-6) โดยการจำแนกค่าสีจะอาศัยข้อมูลจากตัวจำแนกสีที่จัดเก็บไว้ในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งขั้นตอนนี้พิกเซลในภาพจะถูกพิจารณาค่าสีแต่ละพิกเซลทั่วทั้งภาพ จากนั้นจะนำข้อมูลค่าสีที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับค่าสีในตัวจำแนกสี โดยในการจำแนกต้องพิจารณาค่าต่อไปนี้

(1) Distances Table ค่าในส่วนนี้เป็นค่าที่แสดงถึงระยะทางระหว่างค่าสีของบริเวณที่สนใจกับค่าสีของตัวจำแนก ซึ่งถ้าตัวเลขมีค่าน้อยที่สุดแสดงว่ามีความใกล้เคียงกันหรือมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด (หมายเลข 2)

(2) Class Label ในส่วนนี้แสดงถึงประเภทสีที่บริเวณที่สนใจถูกจำแนก ซึ่งเป็นผลจากการพิจารณาค่าใน Distances Table (หมายเลข 3) โดยความถูกต้องในการจำแนกถูกพิจารณาจากค่า Classification Score และ Identification Score

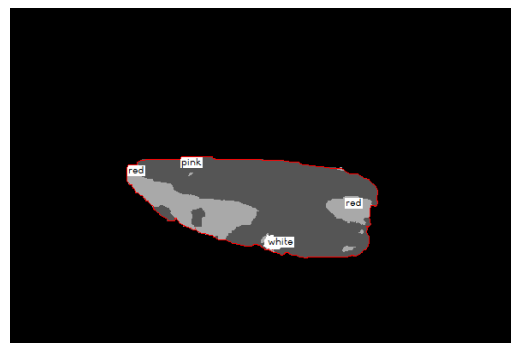
(3) Closest Sample ในส่วนนี้แสดงถึงตัวจำแนกที่ใกล้เคียงหรือมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุดกับบริเวณที่สนใจ (หมายเลข 4)



รูปที่ ข-6 การจำแนกค่าสี

ขั้นตอนที่ 5 การเปรียบเทียบผลการจำแนกค่าสี

ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาและเปรียบเทียบลักษณะภาพหมึกก่อนการจำแนกกับภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกค่าสีโดยจะทำการพิจารณาร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของค่าสีหมึกที่ถูกจำแนก ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการจำแนกค่าสีแสดงดังรูปที่ ข-7 จากนั้นค่าสีที่ถูกจำแนกจะถูกคำนวณเป็นปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทซึ่งเป็นการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าสีแต่ละประเภทต่อพื้นที่หมึกทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้จึงเป็นปริมาณพื้นที่สีแต่ละประเภทบนภาพหมึกซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกต่อไป



(ก) ภาพหมึกก่อนการจำแนก

(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ข-7 ตัวอย่างการพิจารณาผลการจำแนกค่าสี

ภาคผนวก ค

การใช้ MATLAB ในการออกแบบ Fuzzy Logic Toolbox

การใช้ MATLAB ในการออกแบบ Fuzzy Logic Toolbox

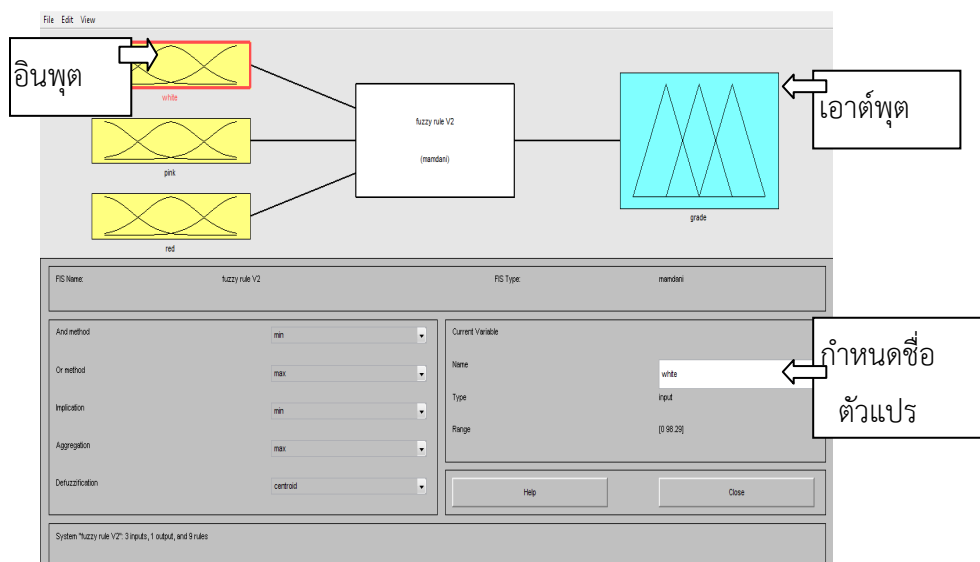
ในขั้นตอนการจำแนกคุณภาพหมึกออกเป็นคุณภาพระดับที่ 1 ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 จะถูกจำแนกด้วยเทคนิคฟัซซีลอจิก โดยผู้วิจัยจะใช้เครื่องมือ fuzzy logic toolbox ในโปรแกรม MATLAB R2007b สำหรับการออกแบบขั้นตอนนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูล

โดยที่อินพุตของฟัซซีเป็นปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงที่ปรากฏบนตัวหมึกจำนวน 105 ตัวอย่าง และเอาต์พุตเป็นระดับคุณภาพของหมึกแสดงดังตารางที่ ก-3 ซึ่งข้อมูลนี้ถูกนำไปพล็อตกราฟการกระจายเพื่อใช้ในการออกแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 การสร้าง membership function

ขั้นตอนนี้ถูกดำเนินการในขั้นตอนการทำฟัซซีเพื่อแปลงอินพุตทั่วไปเป็นข้อมูลเชิงฟัซซีเซต งานวิจัยนี้มีอินพุต 3 ตัวแปรคือ ปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดง และเอาต์พุต 1 ตัวแปรคือ ระดับคุณภาพของหมึก การเพิ่มตัวแปรทำได้จากเมนู Edit คลิกเลือก Add Variable เลือกเพิ่ม Input หรือ Output โดยกำหนดตัวแปรอินพุตจำนวน 3 ตัวแปร และเอาต์พุต 1 ตัวแปร ควรตั้งชื่อให้สื่อความหมายกับหน้าที่ของตัวแปรนั้นๆ แสดงดังรูปที่ ค-1



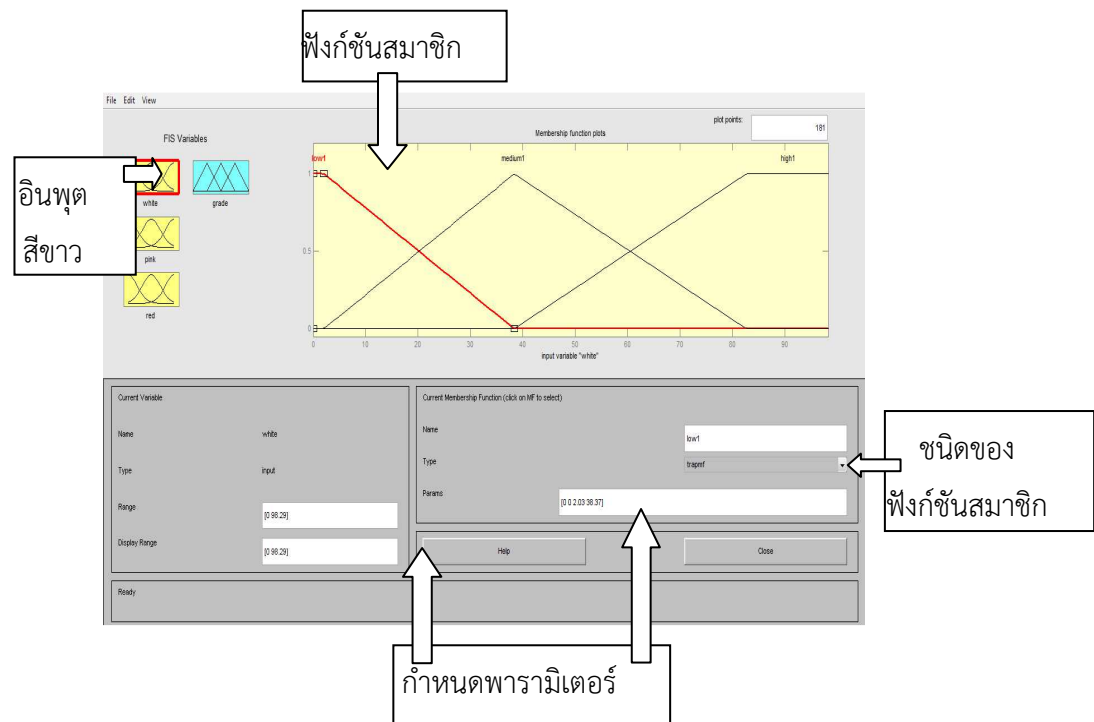
รูปที่ ค-1 กำหนดตัวแปรอินพุต และเอาต์พุต

เมื่อทำการเพิ่มตัวแปร MATLAB จะแสดงหน้าต่างใหม่ขึ้นมาเรียกว่า Membership Function Editor เพื่อสามารถใช้ในการกำหนดรายละเอียดฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรนั้นๆ ดังรูปที่

ค-2 แสดงตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตปริมาณพื้นที่สีขาวระดับน้อย โดยใน Membership Function Editor สามารถกำหนดรายละเอียดต่างๆ ของฟังก์ชันสมาชิกได้อย่างครบถ้วน ยกตัวอย่างเช่น

- ช่วงค่าของฟังก์ชันสมาชิก: [0, 98.29]
- ช่วงค่าที่ต้องการแสดงผล: [0, 98.29]
- ค่าเชิงภาษาของฟังก์ชันสมาชิก: low1
- ชนิดของฟังก์ชันสมาชิก: trapmf (รูปสี่เหลี่ยมคางหมู)
- พารามิเตอร์รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิก: [0, 0, 2.03, 38.37] (จุดยอดของสี่เหลี่ยมคางหมูประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์คือ [a, b, c, d])

คางหมูประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์คือ [a, b, c, d])

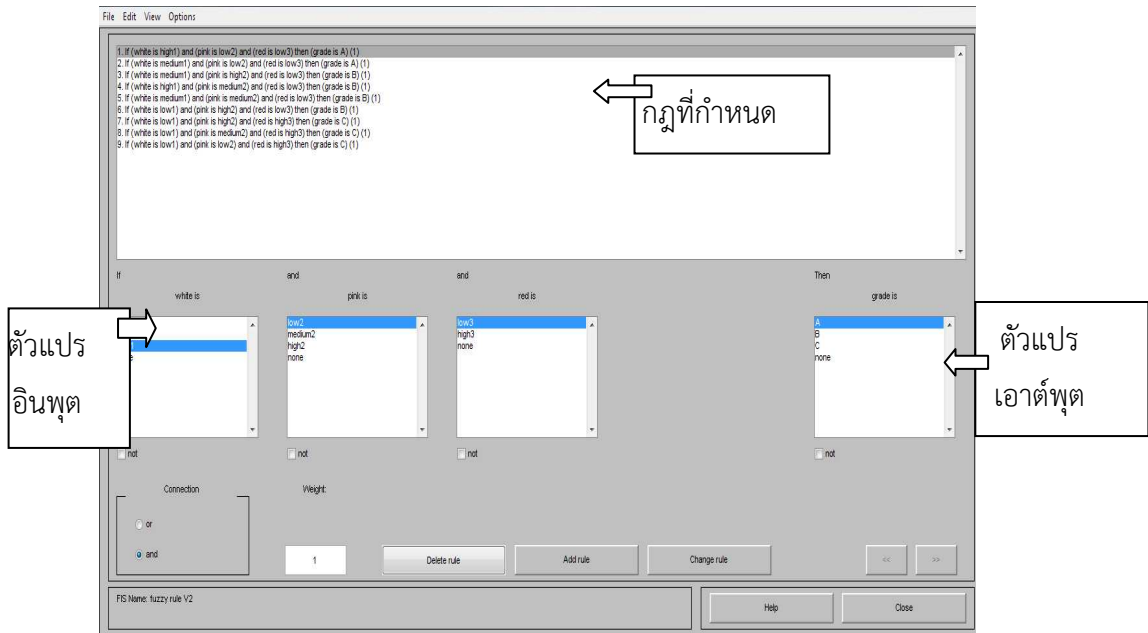


รูปที่ ค-2 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดฟังก์ชันสมาชิกของอินพุตปริมาณพื้นที่สีขาว

หลังจากทำการกำหนดตัวแปรฟัซซีแล้ว ระบบจะถูกออกแบบให้สร้างกฎความสัมพันธ์หรือเรียกว่า กฎฟัซซี

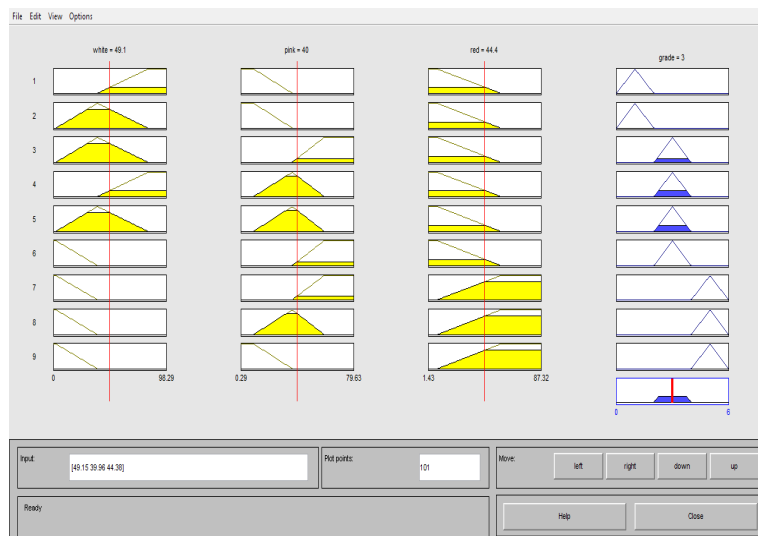
ขั้นตอนที่ 3 การสร้างฐานกฎฟัซซี

เครื่องมือ Rule Editor จะถูกใช้ในการกำหนดรายละเอียดของการอนุมานฟัซซี โดยเลือกการอนุมานแบบ Mamdani ซึ่งสามารถเข้าหน้าต่าง Rule Editor ได้จากเมนู Edit คลิกเลือก Rules โดยรายละเอียดการกำหนดกฎของฟัซซีแสดงดังรูปที่ ค-3 โดยการเลือก Add rule เพื่อทำการเพิ่มกฎตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งสามารถเลือกการรวมเงื่อนไขได้ (or and หรือ not)



รูปที่ ค-3 รายละเอียดกฎของฟัซซี

สำหรับกฎทั้งหมด และผลลัพธ์ของระบบจะถูกแสดงด้วยหน้าต่าง Rule Viewer แสดงดังรูปที่ ค-4 โดยจะแสดงผลว่ากฎใดที่มีผลต่ออินพุตที่ตั้งค่าไว้ นอกจากนี้ Rule Viewer ยังแสดงผลการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติหรือดีฟัซซีเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตอีกด้วย จากการศึกษาหมีก จำนวน 100 ตัวที่ไม่ผ่านขั้นตอนการสร้างกฎจะถูกใช้ในการประเมินความถูกต้องของการจำแนกด้วย เทคนิคฟัซซีลอจิกที่ออกแบบไว้ ซึ่งพบว่าผลค่าดีฟัซซีเพื่อใช้ในการจำแนกแสดงดังตารางที่ ค-2



รูปที่ ค-4 Rule Viewer

ตารางที่ ค-1 ผลการจำแนกคุณภาพหมึกระดับที่ 1, 2 และ 3 และค่าดีพีซีซีที่ได้จากการจำแนกคุณภาพหมึกด้วยพีซีซีลอจิก

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีพีซีซีไฟ
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคพีซีซีลอจิก	
1	100.00	0.00	0.00	1	1	1
2	99.53	0.00	0.47	1	1	1
3	84.66	4.76	10.58	1	1	1
4	79.58	6.25	14.17	1	1	1
5	98.90	0.83	0.28	1	1	1
6	99.14	0.43	0.43	1	1	1
7	95.63	0.44	3.93	1	1	1
8	99.71	0.00	0.29	1	1	1
9	89.41	2.59	8.00	1	1	1
10	97.89	0.00	2.11	1	1	1
11	67.96	4.47	27.57	1	1	1
12	71.18	11.84	16.98	1	1	1.33
13	98.63	0.34	1.03	1	1	1
14	82.37	11.19	6.44	1	1	1.25
15	92.90	0.89	6.21	1	1	1
16	97.45	2.18	0.36	1	1	1
17	96.67	0.00	3.33	1	1	1
18	94.49	3.06	2.45	1	1	1
19	78.17	8.63	13.20	1	1	1
20	97.64	1.69	0.68	1	1	1
21	85.79	4.57	9.64	1	1	1
22	95.00	0.00	5.00	1	1	1

ตารางที่ ค-1 ผลการจำแนกคุณภาพหมึกระดับที่ 1, 2 และ 3 และค่าดีพีซีพีที่ได้จากการจำแนกคุณภาพหมึกด้วยพีซีลोजิก

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีพีซีพี
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคพีซีลोजิก	
11	67.96	4.47	27.57	1	1	1
12	71.18	11.84	16.98	1	1	1.33
13	98.63	0.34	1.03	1	1	1
23	97.65	0.67	1.68	1	1	1
24	83.86	8.66	7.48	1	1	1
25	92.67	0.00	7.33	1	1	1
26	78.90	4.11	16.99	1	1	1
27	98.62	0.00	1.38	1	1	1
28	91.24	4.52	4.24	1	1	1
29	82.43	2.07	15.50	1	1	1
30	66.04	13.81	20.15	1	1	1.53
31	87.68	2.11	10.21	1	1	1
32	86.12	7.83	6.05	1	1	1
33	67.10	12.77	20.13	1	1	1.43
34	57.46	21.82	20.72	1	1	1.95
35	94.35	1.00	4.65	1	1	1
36	72.19	16.01	11.80	1	1	1.63
37	86.94	5.84	7.22	1	1	1
38	83.17	10.74	6.08	1	1	1.2
39	84.70	5.28	10.02	1	1	1
40	77.62	12.53	9.85	1	1	1.38
41	89.74	5.28	4.97	1	1	1

ตารางที่ ค-1 ผลการจำแนกคุณภาพหมึกระดับที่ 1, 2 และ 3 และค่าดีพีซีซีที่ได้จากการจำแนกคุณภาพหมึกด้วยพีซีซีลอจิก

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีพีซีซีไฟ
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคพีซีซีลอจิก	
42	7.24	75.34	17.42	2	2	3.53
43	26.45	66.51	7.05	2	2	3
44	6.05	92.62	1.33	2	2	3
45	9.31	83.13	7.56	2	2	3
46	8.43	71.98	19.60	2	2	3.61
47	38.66	57.18	4.16	2	2	3
48	21.57	52.07	26.36	2	2	3.87
49	15.94	60.97	23.09	2	2	3.76
50	18.98	78.01	3.01	2	2	3
51	0.00	78.36	21.64	2	2	3.68
52	47.56	49.33	3.11	2	2	3
53	69.71	22.49	7.80	2	1	1.98
54	14.96	60.04	25.00	2	2	3.79
55	71.82	25.91	2.27	2	2	2.15
56	1.23	33.25	65.52	2	3	5
57	56.69	25.00	18.31	2	2	2.11
58	3.22	87.13	9.65	2	2	3.11
59	38.31	37.83	23.86	2	2	3.01
60	33.33	58.69	7.98	2	2	3
61	30.64	51.81	17.55	2	2	3.56
62	0.32	96.15	3.53	2	2	2.11
63	18.29	26.07	55.64	2	3	5

ตารางที่ ค-1 ผลการจำแนกคุณภาพหมึกระดับที่ 1, 2 และ 3 และค่าดีพีซีพีที่ได้จากการจำแนกคุณภาพหมึกด้วยพีซีลोजิก

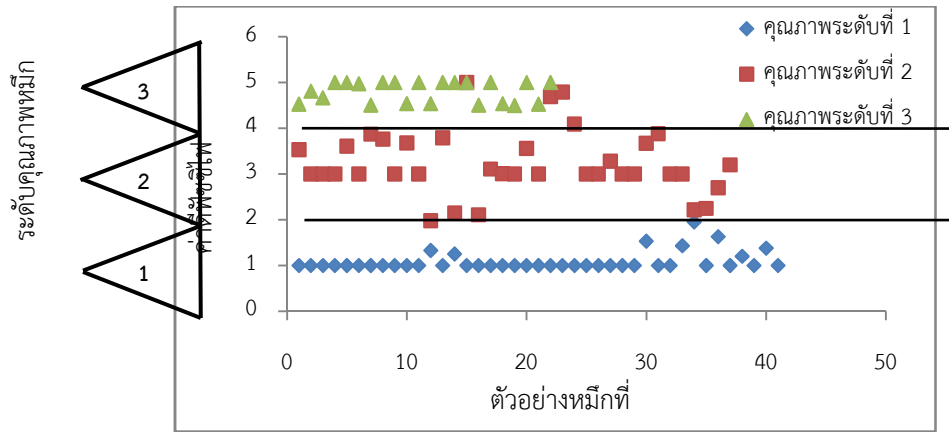
ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีพีซีพี
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคพีซีลोजิก	
64	4.66	41.37	53.97	2	3	4.79
65	14.52	47.98	37.50	2	3	4.09
66	21.70	72.52	5.78	2	2	3
67	32.36	62.74	4.89	2	2	3
68	11.96	76.08	11.96	2	2	3.28
69	27.80	69.16	3.04	2	2	3
70	30.86	63.53	5.60	2	2	3
71	4.20	74.40	21.40	2	2	3.67
72	5.29	66.49	28.23	2	2	3.88
73	42.35	48.58	9.07	2	2	3
74	50.25	41.73	8.02	2	2	3
75	69.16	27.15	3.69	2	2	2.22
76	66.09	28.17	5.74	2	2	2.25
77	48.56	34.13	17.32	2	2	2.7
78	27.19	62.19	10.61	2	2	3.2
79	23.74	20.96	55.30	3	3	4.53
80	0.07	45.37	54.56	3	3	4.81
81	0.07	47.04	52.89	3	3	4.67
82	0.00	39.88	60.12	3	3	5
83	0.00	20.20	79.80	3	3	5
84	3.91	39.66	56.42	3	3	4.97
85	0.00	50.36	49.64	3	3	4.51

ตารางที่ ค-1 ผลการจำแนกคุณภาพหมึกระดับที่ 1, 2 และ 3 และค่าดีพีซีซีที่ได้จากการจำแนกคุณภาพหมึกด้วยพีซีซีลอจิก

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีพีซีซีไฟ
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคพีซีซีลอจิก	
86	0.00	36.82	63.18	3	3	5
87	0.00	31.86	68.14	3	3	5
88	0.00	49.66	50.34	3	3	4.54
89	0.00	28.54	71.46	3	3	5
90	0.00	49.50	50.50	3	3	4.54
91	0.00	39.88	60.12	3	3	5
92	0.00	20.20	79.80	3	3	5
93	0.00	12.68	87.32	3	3	5
94	0.00	50.36	49.64	3	3	4.51
95	0.00	36.82	63.18	3	3	5
96	0.00	49.68	50.32	3	3	4.54
97	1.18	49.07	49.75	3	3	4.5
98	0.00	28.54	71.46	3	3	5
99	0.41	49.29	50.29	3	3	4.53
100	0.00	29.15	70.85	3	3	5

เมื่อนำค่าดีพีซีซีมาพล็อตกราฟกระจายระหว่างค่าดีพีซีซีกับระดับคุณภาพหมึกจะได้

ดังรูปที่ ค-5

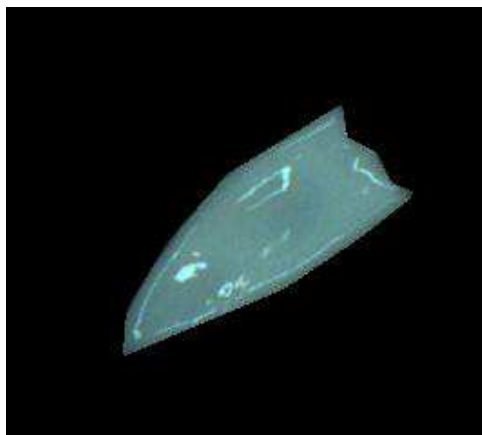


รูปที่ ค-5 กราฟกระจายระหว่างค่าดีฟิซซีไฟกับระดับคุณภาพหมึก
เมื่อพิจารณาหมึกแต่ละระดับคุณภาพ พบว่าปริมาณพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกแต่ละระดับคุณภาพแสดงรูปที่ ค-7, ค-8 และ ค-9

โดยในการจำแนกสีที่ปรากฏบนตัวหมึกกำหนดให้สีที่ถูกจำแนกแสดงดังรูปที่ ค-6



รูปที่ ค-6 สีที่ถูกจำแนกประกบด้วย (ก) สีขาว (ข) สีชมพู และ (ค) สีแดง



(ก) ภาพสีของหมึก

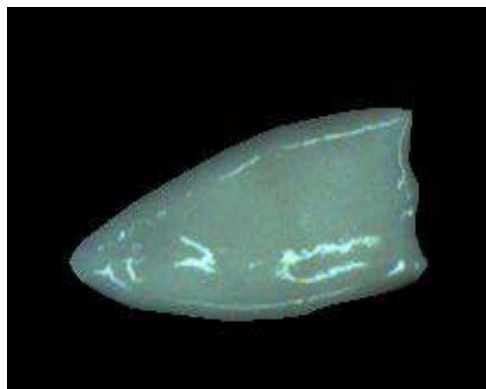


(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ค-7 ผลการจำแนกสีของหมึกคุณภาพระดับที่ 1 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 100.00%, 0.00% และ 0.00% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

ตัวอย่างหมึกทั้ง 5 ตัวอย่างดังกล่าวเมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลภาพตามขั้นตอนที่ 4.2 สามารถจำแนกพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกรูปที่ ค-10, ค-11, ค-12, ค-13 และ ค-14



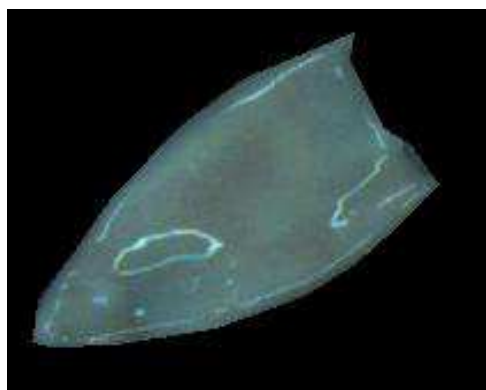
(ก) ภาพสีของหมึก



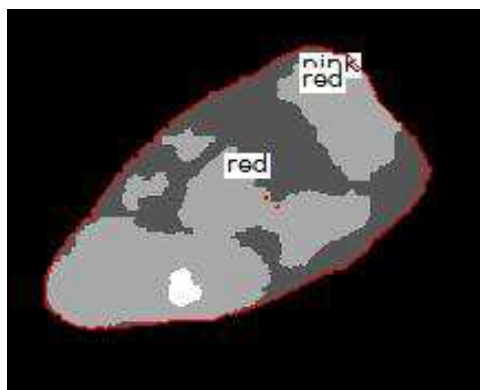
(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ค-10 ผลการจำแนกสีของหมึกตัวอย่างที่ 53 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 69.71%, 22.49% และ 7.80% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี



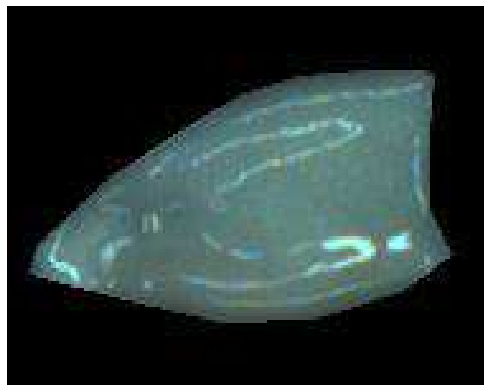
(ก) ภาพสีของหมึก



(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ค-11 ผลการจำแนกสีของหมึกตัวอย่างที่ 56 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 1.23%, 33.25% และ 65.52% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี



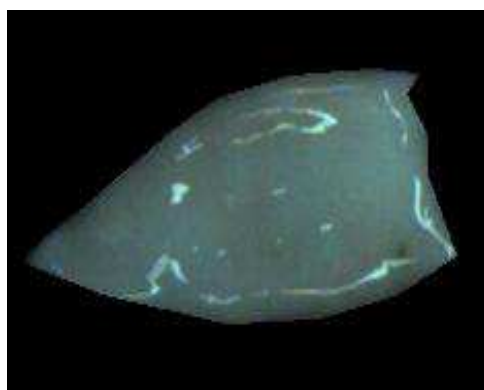
(ก) ภาพสีของหมึก



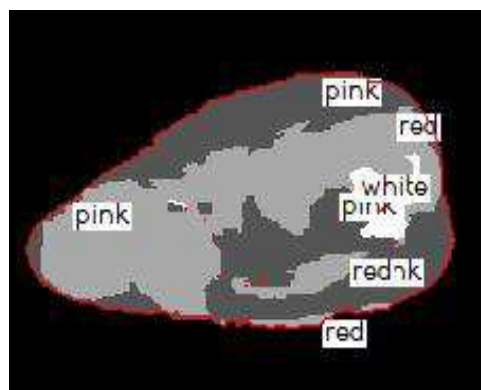
(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ค-12 ผลการจำแนกสีของหมึกตัวอย่างที่ 63 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 18.29%, 26.07% และ 55.64% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี



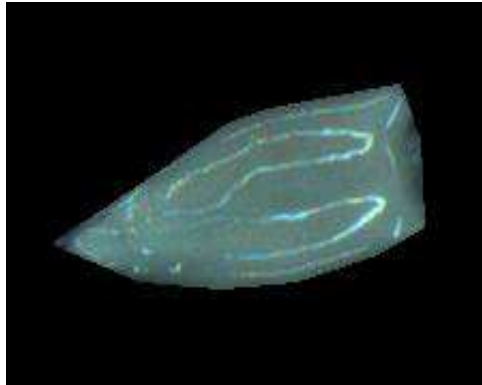
(ก) ภาพสีของหมึก



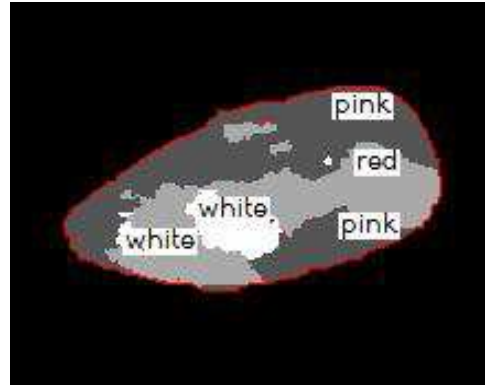
(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ค-13 ผลการจำแนกสีของหมึกตัวอย่างที่ 64 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 4.66%, 41.37% และ 53.97% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี



(ก) ภาพสีของพริก



(ข) ภาพพริกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ค-14 ผลการจำแนกสีของพริกตัวอย่างที่ 65 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 14.52%, 47.98% และ 37.50% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของพริก (ข) ภาพพริกที่ผ่านการจำแนกสี

ตารางที่ ค-2 ผลการจำแนกคุณภาพพริกระดับที่ 4 ด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่				การจำแนกระดับคุณภาพ	
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคฟuzzyลอจิก
1	28.02	25.92	34.97	11.09	4	4
2	49.42	4.84	38.58	7.16	4	4
3	38.95	27.26	31.17	2.62	4	4
4	44.39	18.51	34.56	2.54	4	4
5	31.44	9.66	52.89	6.01	4	4
6	55.37	19.81	20.12	4.70	4	4
7	11.94	6.44	79.80	1.83	4	4
8	10.00	7.40	77.32	5.28	4	4
9	32.21	10.85	49.64	7.30	4	4
10	13.22	78.00	1.61	7.17	4	4
11	40.47	31.03	12.60	15.90	4	4
12	3.84	89.73	3.59	2.84	4	4

ตารางที่ ค-2 ผลการจำแนกคุณภาพหมึกระดับที่ 4 ด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่				การจำแนกระดับคุณภาพ	
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคที่พัฒนา
13	6.01	78.21	10.09	5.69	4	4
14	65.69	21.48	4.66	8.17	4	4
15	76.95	13.79	5.84	3.43	4	4
16	51.47	10.92	29.47	8.14	4	4
17	84.62	2.68	11.81	0.89	4	4
18	21.70	70.02	2.73	5.55	4	4
19	32.36	46.23	5.56	15.85	4	4
20	11.96	80.04	3.02	4.98	4	4
21	2.89	88.05	3.78	5.28	4	4
22	1.34	77.73	3.63	17.30	4	4
23	1.32	67.00	19.51	12.17	4	4
24	0.98	86.90	6.23	5.90	4	4
25	0.00	88.32	8.84	2.84	4	4
26	2.93	85.24	2.13	9.69	4	4
27	79.50	7.09	5.86	7.55	4	4
28	43.85	40.47	12.44	3.24	4	4
29	30.80	54.13	2.94	12.12	4	4
30	24.12	58.73	9.60	7.55	4	4

นอกจากนี้ยังทำการศึกษา และออกแบบจำนวนพีชชีเซตของอินพุตแต่ละปัจจัย ซึ่งกราฟการกระจาย สามารถพิจารณาลักษณะข้อมูลได้หลายกรณี ดังนั้นจึงมีการศึกษาการแบ่งพีชชีเซตเป็นกรณีอื่น โดยเป็นอัตราส่วนของพื้นที่สีขาวต่อพื้นที่สีชมพูต่อพื้นที่สีแดง (สีขาว:สีชมพู:สีแดง) ออกเป็น 8 กรณี ได้แก่ **กรณีที่ 1** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 พีชชีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 พีชชีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 พีชชีเซต (3:3:2) **กรณีที่ 2** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น

3 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (3:3:3) **กรณีที่ 3** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (3:2:3) **กรณีที่ 4** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต (3:2:2) **กรณีที่ 5** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต (2:3:2) **กรณีที่ 6** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (2:3:3) **กรณีที่ 7** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (2:2:3) **กรณีที่ 8** ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต (2:2:2) ซึ่งผลการศึกษาดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต (3:3:2) โดยการออกแบบฟัชซีเซตแสดงในบทที่ 4

กรณีที่ 2 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (3:3:3) โดยสามารถออกแบบฟัชซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_w, Medium_w, High_w\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{‘Low_w’, ‘Medium_w’, ‘High_w’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{‘trapmf’, ‘trimf’, ‘trapmf’\}$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_p, Medium_p, High_p\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{‘Low_p’, ‘Medium_p’, ‘High_p’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{‘trapmf’, ‘trimf’, ‘trapmf’\}$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{‘Low_r’, ‘Medium_r’, ‘High_r’\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{‘Low_r’, ‘Medium_r’, ‘High_r’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{‘trapmf’, ‘trimf’, ‘trapmf’\}$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปฟัชซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการขจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัชซีทั้งหมด 12 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-3

ตารางที่ ค-3 กฎฟัซซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
	2	high	low	medium
	3	medium	low	medium
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	4	medium	high	low
	5	low	high	low
	6	medium	medium	low
	7	high	medium	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	8	low	medium	high
	9	low	high	high
	10	low	high	medium
	11	low	low	high
	12	medium	medium	medium

กรณีที่ 3 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต (3:2:3) โดยสามารถออกแบบฟัซซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต คือ $\{Low_w, Medium_w, High_w\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{‘Low_w’, ‘Medium_w’, ‘High_w’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{‘trapmf’, ‘trimf’, ‘trapmf’\}$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต คือ $\{Low_p, High_p\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{‘Low_p’, ‘High_p’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{‘trapmf’, ‘trapmf’\}$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต คือ $\{‘Low_r’, ‘Medium_r’, ‘High_r’\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{‘Low_r’, ‘Medium_r’, ‘High_r’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\text{Redmf} = \{\text{'trapmf'}, \text{'trimf'}, \text{'trapmf'}\}$$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปฟัซซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการขจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัซซีทั้งหมด 10 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-4

ตารางที่ ค-4 กฎฟัซซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
	2	high	low	low
	3	medium	low	medium
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	4	medium	high	low
	5	low	high	low
	6	high	high	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	7	low	low	high
	8	low	high	high
	9	low	high	medium
	10	medium	high	medium

กรณีที่ 4 ปริมาณพื้นที่สีขาว แบ่งเป็น 3 ฟัซซี ปริมาณพื้นที่สีชมพูควรแบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต (3:2:2) โดยสามารถออกแบบฟัซซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต คือ $\{\text{Low}_w, \text{Medium}_w, \text{High}_w\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $\text{White} = \{\text{'Low}_w', \text{'Medium}_w', \text{'High}_w'\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\text{Whitemf} = \{\text{'trapmf'}, \text{'trimf'}, \text{'trapmf'}\}$$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 2 ฟัซซีเซต คือ $\{\text{Low}_p, \text{High}_p\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $\text{Pink} = \{\text{'Low}_p', \text{'High}_p'\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\text{Pinkmf} = \{\text{'trapmf'}, \text{'trapmf'}\}$$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_r, High_r\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{Low_r, High_r\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{trapmf, trapmf\}$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปแบบฟัชซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัชซีทั้งหมด 8 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-5

ตารางที่ ค-5 กฎฟัชซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
	2	medium	low	low
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	3	medium	high	low
	4	low	high	low
	5	high	high	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	6	low	low	high
	7	low	high	high
	8	medium	high	high

กรณีที่ 5 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต (2:3:2) โดยสามารถออกแบบฟัชซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_w, High_w\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{Low_w, High_w\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{trapmf, trapmf\}$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_p, Medium_p, High_p\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{Low_p, Medium_p, High_p\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{ 'trapmf', 'trimf', 'trapmf' \}$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{ 'Low_r', 'High_r' \}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{ 'Low_r', 'High_r' \}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{ 'trapmf', 'trapmf' \}$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปแบบฟัชซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการขจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัชซีทั้งหมด 8 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-6

ตารางที่ ค-6 กฎฟัชซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	2	low	high	low
	3	high	high	low
	4	high	medium	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	5	low	high	high
	6	low	low	high
	7	low	medium	high
	8	low	medium	low

กรณีที่ 6 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (2:3:3) โดยสามารถออกแบบฟัชซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{ Low_w, High_w \}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{ 'Low_w', 'High_w' \}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{ 'trapmf', 'trapmf' \}$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{ Low_p, Medium_p, High_p \}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{ 'Low_p', 'Medium_p', 'High_p' \}$
และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{ 'trapmf', 'trimf', 'trapmf' \}$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{ Low_r, Medium_r, High_r \}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{ 'Low_r', 'Medium_r', 'High_r' \}$
และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{ 'trapmf', 'trimf', 'trapmf' \}$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปแบบฟัชซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัชซีทั้งหมด 10 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-7

ตารางที่ ค-7 กฎฟัชซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
	2	high	low	medium
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	3	low	high	low
	4	high	high	low
	5	high	medium	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	6	low	low	high
	7	low	medium	high
	8	low	high	high
	9	low	high	medium
	10	low	medium	medium

กรณีที่ 7 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต (2:2:3) โดยสามารถออกแบบฟัชซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{ Low_w, High_w \}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{ 'Low_w', 'High_w' \}$
และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{ 'trapmf', 'trapmf' \}$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_p, High_p\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{‘Low_p’, ‘High_p’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{‘trapmf’, ‘trapmf’\}$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 3 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_r, Medium_r, High_r\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{‘Low_r’, ‘Medium_r’, ‘High_r’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{‘trapmf’, ‘trimf’, ‘trapmf’\}$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปฟัชซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการขจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัชซีทั้งหมด 8 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-8

ตารางที่ ค-8 กฎฟัชซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
	2	high	low	medium
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	3	low	high	low
	4	high	high	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	5	low	low	high
	6	low	high	high
	7	low	high	medium
	8	low	low	medium

กรณีที่ 8 ปริมาณพื้นที่สีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต ปริมาณพื้นที่สีชมพูแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต และปริมาณพื้นที่สีแดงแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต (2:2:2) โดยสามารถออกแบบฟัชซีเซตโดยใช้ข้อมูลค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยแต่ละประเภทสีของแต่ละระดับคุณภาพในตารางที่ 4.4 ได้ดังนี้

(1) คุณลักษณะสีขาว (white)

คุณลักษณะสีขาวแบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_w, High_w\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีขาวกำหนดได้ดังนี้ $White = \{‘Low_w’, ‘High_w’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Whitemf = \{‘trapmf’, ‘trapmf’\}$

(2) คุณลักษณะสีชมพู (pink)

คุณลักษณะสีชมพู (pink) แบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_p, High_p\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีชมพูกำหนดได้ดังนี้ $Pink = \{‘Low_p’, ‘High_p’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Pinkmf = \{‘trapmf’, ‘trapmf’\}$

(3) คุณลักษณะสีแดง (red)

คุณลักษณะสีแดง (red) แบ่งเป็น 2 ฟัชซีเซต คือ $\{Low_r, High_r\}$

ซึ่งเซตของคุณลักษณะสีแดงกำหนดได้ดังนี้ $Red = \{‘Low_r’, ‘High_r’\}$

และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $Redmf = \{‘trapmf’, ‘trapmf’\}$

ทำการจัดเทียบข้อมูลในรูปฟัชซีเซตและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตโดยเขียนเป็นกฎ แล้วทำการขจัดข้อมูลที่ซ้ำกัน ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบของ If-Then จากการวิเคราะห์จะได้ผลลัพธ์กฎของฟัชซีทั้งหมด 6 กฎ แสดงดังตารางที่ ค-9

ตารางที่ ค-9 กฎฟัชซีในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกกล้วยแปรรูป

ระดับคุณภาพ	กฎ	ระดับความเป็นสมาชิก		
		สีขาว	สีชมพู	สีแดง
คุณภาพระดับที่ 1 (grade A)	1	high	low	low
คุณภาพระดับที่ 2 (grade B)	2	low	high	low
	3	high	high	low
คุณภาพระดับที่ 3 (grade C)	4	low	low	low
	5	low	low	high
	6	low	high	high

ผลการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก

เทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ฟัชซีที่ออกแบบแต่ละกรณีถูกประเมินผลความถูกต้องในการจำแนกระดับคุณภาพ โดยการประเมินผลการตรวจสอบตัวอย่างหมึกจำนวน 130 ตัวอย่าง ซึ่งกำหนดให้การจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญเป็นระดับคุณภาพมาตรฐานมีความถูกต้อง 100% โดยผลการจำแนกระดับคุณภาพของหมึกแต่ละกรณีแสดงดังตารางที่ ค-10

ตารางที่ ค-10 ผลการประเมินความถูกต้องของเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพหมึกที่พัฒนาขึ้น

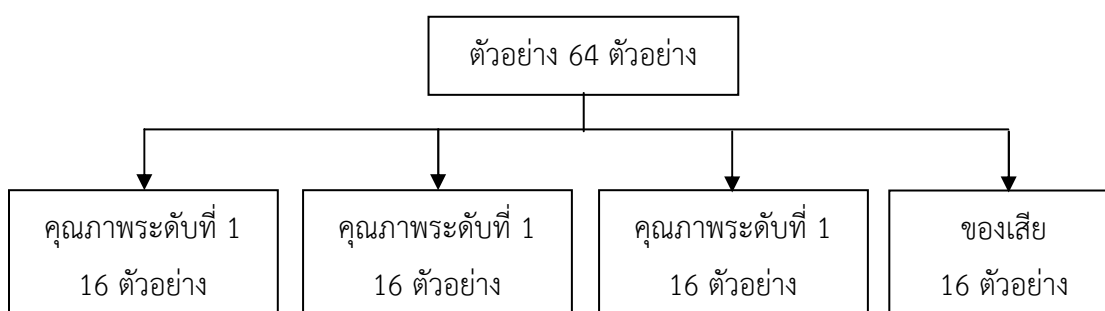
ระดับ คุณภาพ	ผู้เชี่ยวชาญ	ความถูกต้องของการตรวจสอบคุณภาพหมึกโดยเทคนิคที่พัฒนา							
		กรณีที่ 1 (3:3:2)		กรณีที่ 2 (3:3:3)		กรณีที่ 3 (3:2:3)		กรณีที่ 4 (3:2:2)	
ระดับที่ 1	41	41	100%	38	92.68%	40	97.56%	40	97.56%
ระดับที่ 2	37	32	86.49%	25	67.57%	20	54.05%	31	83.78%
ระดับที่ 3	22	22	100%	22	100%	22	100%	22	100%
ของเสีย	30	30	100%	30	100%	30	100%	30	100%
ทั้งหมด	130	125	96.15%	115	88.46%	112	86.15%	123	94.61%
ระดับ คุณภาพ	ผู้เชี่ยวชาญ	ความถูกต้องของการตรวจสอบคุณภาพหมึกโดยเทคนิคที่พัฒนา							
		กรณีที่ 5 (2:3:2)		กรณีที่ 6 (2:3:3)		กรณีที่ 7 (2:2:3)		กรณีที่ 8 (2:2:2)	
ระดับที่ 1	41	35	85.37%	37	90.24%	35	85.37%	37	90.24%
ระดับที่ 2	37	32	86.49%	22	59.46%	22	59.46%	34	91.89%
ระดับที่ 3	22	22	100%	22	100%	22	100%	22	100%
ของเสีย	30	30	100%	30	100%	30	100%	30	100%
ทั้งหมด	130	119	91.54%	111	85.38%	109	83.85%	123	94.62%

ภาคผนวก ง
ผลการจำแนกระดับคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงาน

การศึกษาความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน

1. แผนการเก็บตัวอย่างในการศึกษาความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน

ในการศึกษาจะทำการเก็บ และใช้กลุ่มตัวอย่างร่วมกันเพื่อศึกษาความสามารถของผู้ปฏิบัติงานในการจำแนกขนาด สายพันธุ์ และคุณภาพของหมึก โดยการศึกษาความสามารถในการจำแนกแต่ละด้านจำเป็นต้องมีตัวอย่างอย่างน้อย 12 ตัวอย่าง ในส่วนการศึกษาความสามารถของผู้ปฏิบัติงานในการจำแนกระดับคุณภาพหมึก ทำการกำหนดแผนการเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ ง-1



รูปที่ ง-1 แผนการเก็บตัวอย่างหมึก

จากรูปที่ ง-1 ได้ว่าจะทำการเก็บตัวอย่างหมึกจำนวน 64 ตัวอย่าง ตามแผนภาพข้างต้นเพื่อศึกษาความสามารถของผู้ปฏิบัติงานในการจำแนกระดับคุณภาพของหมึก จะได้ว่าใช้ตัวอย่างหมึกแต่ละระดับคุณภาพจำนวน 16 ตัวอย่าง

2. ผลการจำแนกระดับคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงาน

ในการศึกษาของงานวิจัยนี้จะใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวน 3 คน จำนวนชิ้นตัวอย่าง 64 ตัวอย่าง และจำนวนทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยผลการจำแนกระดับคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงานแสดงดังตารางที่ ง-1

ตารางที่ ง-1 ผลการจำแนกระดับคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงาน (64 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	คุณภาพหมึก ที่แท้จริง	ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 1			ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 2			ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 3		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	C	B	C	B	C	C	C	B	C	B
2	A	A	A	B	B	B	B	B	A	A
3	B	A	A	B	B	B	B	B	B	A

ตารางที่ ง-1 ผลการจำแนกระดับคุณภาพหมึกของผู้ปฏิบัติงาน (64 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	คุณภาพหมึก ที่แท้จริง	ผู้ปฏิบัติงานคนที่1			ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 2			ผู้ปฏิบัติงานคนที่ 3		
		ครั้งที่ ที่ 1	ครั้งที่ ที่ 2	ครั้งที่ ที่ 3	ครั้งที่ ที่ 1	ครั้งที่ ที่ 2	ครั้งที่ ที่ 3	ครั้งที่ ที่ 1	ครั้งที่ ที่ 2	ครั้งที่ ที่ 3
54	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
55	C	C	C	C	C	B	C	C	C	C
56	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
57	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
58	C	C	C	C	B	B	B	C	C	C
59	B	C	B	C	C	C	B	C	C	B
60	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
61	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
62	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
63	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C
64	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

ตารางที่ ง-2 ผลการจำแนกหมึกคุณภาพระดับที่ 1, 2 และ 3 ด้วยเทคนิคที่พีชชีลอจิก (48 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีพีชชีไฟ
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคพีชชีลอจิก	
1	71.28	21.28	7.44	1	1	1.92
2	97.65	0.67	1.68	1	1	1
3	83.86	8.66	7.48	1	1	1
4	92.67	0.00	7.33	1	1	1
5	78.90	4.11	16.99	1	1	1
6	98.62	0.00	1.38	1	1	1
7	91.24	4.52	4.24	1	1	1
8	82.43	2.07	15.50	1	1	1
9	66.04	13.81	20.15	1	1	1.53

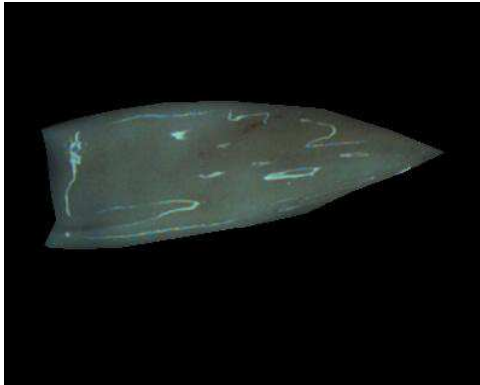
ตารางที่ ง-2 ผลการจำแนกหมึกคุณภาพระดับที่ 1, 2 และ 3 ด้วยเทคนิคที่ฟิชซีลอจิก (48 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีฟิชซีไฟ
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคฟิชซีลอจิก	
10	87.68	2.11	10.21	1	1	1
11	86.12	7.83	6.05	1	1	1
12	67.10	12.77	20.13	1	1	1.43
13	57.46	21.82	20.72	1	1	1.95
14	94.35	1.00	4.65	1	1	1
15	71.12	20.95	7.93	1	1	1.91
16	86.94	5.84	7.22	1	1	1
17	27.13	39.17	33.70	2	2	3.84
18	25.29	43.33	31.37	2	2	3.87
19	46.24	49.70	4.07	2	2	3
20	5.66	64.43	29.92	2	2	3.93
21	11.52	80.76	7.72	2	2	3
22	16.96	64.19	18.86	2	2	3.64
23	20.00	62.33	17.67	2	2	3.64
24	0.00	50.50	49.50	2	3	4.33
25	27.56	53.05	19.39	2	2	3.62
26	29.58	45.24	25.18	2	2	3.67
27	19.85	62.30	17.85	2	2	3.64
28	30.34	50.66	19.00	2	2	3.63
29	0.09	35.60	64.31	2	3	4.51
30	11.07	64.62	24.31	2	2	3.77
31	12.55	69.13	18.33	2	2	3.58
32	23.01	59.00	18.00	2	2	3.61

ตารางที่ ง-2 ผลการจำแนกหมึกคุณภาพระดับที่ 1, 2 และ 3 ด้วยเทคนิคที่ฟิชซีลอจิก (48 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ปริมาณพื้นที่			การจำแนกระดับคุณภาพ		ค่าดีฟิชซีไฟ
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคฟิชซีลอจิก	
33	0.00	20.92	79.08	3	3	5
34	0.00	16.19	83.81	3	3	5
35	0.00	18.58	81.42	3	3	5
36	0.00	6.44	93.56	3	3	5
37	13.12	27.53	59.35	3	3	5
38	13.90	34.69	51.40	3	3	4.24
39	14.17	16.55	69.28	3	3	5
40	0.00	13.71	86.29	3	3	5
41	0.58	19.35	80.07	3	3	5
42	15.99	29.78	54.23	3	3	4.42
43	0.00	16.20	83.80	3	3	5
44	0.00	28.14	71.86	3	3	5
45	4.75	5.74	89.50	3	3	5
46	0.00	38.62	61.38	3	3	5
47	14.25	33.81	51.94	3	3	4.11
48	0.00	22.86	77.14	3	3	5

โดยตัวอย่างหมึกที่ถูกจำแนกระดับคุณภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับการจำแนกระดับคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วย 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างหมึกที่ 24 และ 29 ซึ่งหมึกดังกล่าวเมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลภาพตามขั้นตอนที่ 4.2 สามารถจำแนกพื้นที่สีที่ปรากฏบนตัวหมึกรูปที่ ง-2 และ ง-3



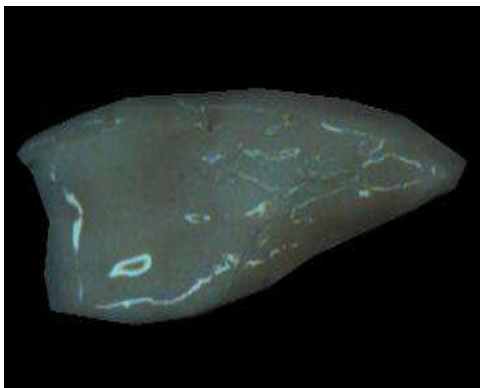
(ก) ภาพสีของหมึก



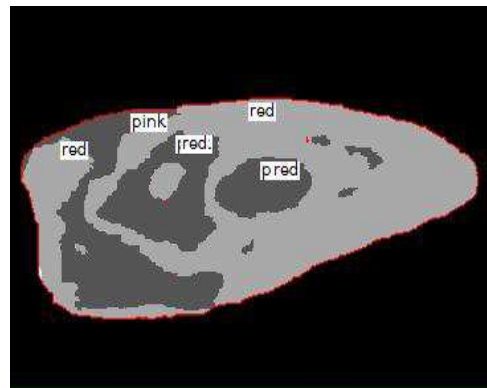
(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ง-2 ผลการจำแนกสีของหมึกตัวอย่างที่ 24 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว
สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 0.00%, 50.50% และ 49.50% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี



(ก) ภาพสีของหมึก



(ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

รูปที่ ง-2 ผลการจำแนกสีของหมึกตัวอย่างที่ 29 โดยมีปริมาณพื้นที่สีขาว
สีชมพู และสีแดงเท่ากับ 0.09%, 35.60% และ 64.31% ตามลำดับ

(ก) ภาพสีของหมึก (ข) ภาพหมึกที่ผ่านการจำแนกสี

ตารางที่ ง-3 ผลการจำแนกหมึกคุณภาพระดับที่ 4 หรือของเสีย (16 ตัวอย่าง)

ตัวอย่าง ที่	ปริมาณพื้นที่				การจำแนกระดับคุณภาพ	
	สีขาว	สีชมพู	สีแดง	สีดำ	โดยผู้เชี่ยวชาญ	โดยเทคนิคที่พัฒนา
1	69.71	3.77	14.97	11.55	4	4
2	14.96	38.75	38.58	7.71	4	4
3	71.82	12.55	11.17	4.46	4	4
4	1.23	44.18	34.56	20.03	4	4
5	25.69	14.84	52.89	6.58	4	4
6	18.29	53.29	20.12	8.30	4	4
7	4.66	13.61	79.80	1.94	4	4
8	56.95	3.64	27.32	12.09	4	4
9	51.47	-8.28	49.64	7.16	4	4
10	38.95	56.83	1.61	2.62	4	4
11	44.39	40.47	12.60	2.54	4	4
12	31.44	59.96	3.59	5.01	4	4
13	56.69	30.53	10.09	2.70	4	4
14	3.22	79.29	4.66	12.83	4	4
15	38.31	40.57	5.84	15.28	4	4
16	24.33	33.96	29.47	12.24	4	4

ภาคผนวก จ
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จากวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวนียดา มะสุณี

รหัสนักศึกษา 5410120036

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

1. ทุนบัณฑิตศึกษาภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (NRU) สัญญาเลขที่ AGR540556m
2. ทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2554 จากคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Niyada Masunee, Supapan Chaiprapat, and Kriangkrai Waiyakan, 2012, “Development of an Image Processing System in Splendid Squid Quality Classification”, RGJ Seminar Series XC: Cutting Edge Technologies toward AEC 2015, September 7, 2012, Hatyai, Thailand

Niyada Masunee, Supapan Chaiprapat and Kriangkrai Waiyagan, 2013, “Development of an Image Processing System in Splendid Squid Quality Classification”, Fifth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2013), April 21-22, 2013, Beijing, China, Vol. 8878, pp 88781E1-8