



การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของ
หมึกกล้วยแปรรูป

Development of an Image Processing System for Splendid Squid Sizing and
Specie Classification

นุชรี ธรรมโชติ

NOOTCHAREE THAMMACHOT

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



การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของ
หมึกกล้วยแปรรูป

Development of an Image Processing System for Splendid Squid Sizing and
Specie Classification

นุชรี ธรรมโชติ

NOOTCHAREE THAMMACHOT

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

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป
ผู้เขียน	นางสาวนุชรี ธรรมโชติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์)ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ สมชาย ชูโณม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์)
..... (ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์)กรรมการ (ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์)
กรรมการ (ศาสตราจารย์ ดร.สุทนต์วัฒน์ เบญจกุล)
กรรมการ (ดร.นวกค์ เอื้ออนันต์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา
วิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

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

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวนุชรี ธรรมโชติ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวนุชรี ธรรมโชติ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการประมวลผลภาพสำหรับกระบวนการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป
ผู้เขียน	นางสาวนุชรี ธรรมโชติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระเบียบวิธีในการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูปโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการจำแนกขนาดของหมึกกล้วยแปรรูปออกเป็น 4 ขนาดตามช่วงน้ำหนักของหมึก มีชื่อเรียกตามขนาดดังนี้ ขนาด U/5 ขนาด U/10 ขนาด U11/20 และขนาด U21/40 ตามลำดับจากขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็ก และได้ทำการจำแนกสายพันธุ์หมึกกล้วยออกเป็น 2 สายพันธุ์ ตามจำนวนสายพันธุ์หมึกกล้วยที่มีการนำมาแปรรูปได้แก่ หมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* และ สายพันธุ์ *L.chinensis* พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ได้มาจากการวิเคราะห์คุณลักษณะของภาพถ่ายตัวอย่างหมึก ซึ่งประกอบไปด้วย พื้นที่เส้นรอบรูป ความยาว ความกว้าง อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง ความยาวเส้นที่ 1 ความยาวเส้นที่ 2 และ ความยาวเส้นที่ 3 ในการพัฒนาระเบียบวิธีที่ใช้ในการคัดแยกนี้พิจารณา 2 ส่วนหลักๆ คือการคัดแยกขนาดและการคัดแยกสายพันธุ์ สำหรับการคัดแยกขนาดเป็นการใช้พารามิเตอร์ประมาณค่าน้ำหนัก ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานสากลที่ใช้ในการคัดแยกขนาด โดยนำเสนอ 2 วิธี คือการใช้สมการถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียม ผลจากการทดลองพบว่าสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 88.00% ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกประมาณ 89.00-90.00% ซึ่งไม่แตกต่างกัน ในงานนี้เลือกใช้การคัดแยกด้วยสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองเนื่องจากใช้งานง่ายและรวดเร็วกว่า สำหรับการคัดแยกสายพันธุ์ พารามิเตอร์ที่สามารถอธิบายความแตกต่างของหมึกทั้ง 2 สายพันธุ์ได้ดีคือ ความยาวและความกว้าง ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการคัดแยกสายพันธุ์หมึกไว้ 2 วิธีคือการใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 เป็นตัวแยกสองสายพันธุ์ออกจากกัน และการใช้สมการจำแนกกลุ่ม ซึ่งให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกเท่ากับ 93.08% และ 92.31% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 วิธีให้ค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง 2 วิธี ซึ่งระเบียบวิธีสำหรับการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูปที่ได้นำเสนอไว้สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติได้ต่อไปในอนาคต

Thesis Title Development of an Image Processing System for Splendid Squid Sizing and Specie Classification

Author Miss Nootcharee Thammachot

Major Program Industrial and Systems Engineering

Academic Year 2014

ABSTRACT

This research presents development of an algorithm for sizing and species classifying of splendid squids using image processing techniques. According to National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards (ACFS), squids can be graded into 4 sizes based on their weight (size U/5, size U/10, size U11/20, and size U21/40). Among commercial squids, there are two famous species caught in the Gulf of Thailand: *L.duvauceli* and *L.chinensis*. Distinction must also be made between both species. In this research, classification parameters are extracted from samples of squid images including area, perimeter, length, width, ratio of length to width, and distance 1-3. These parameters altogether were used to estimate weight of the squids for size classification. The estimation was carried out through multiple regression analyses and a neural network. Accuracy of size classification using polynomial regression (2nd order) and ANN were not significantly different (88.00%, and 89.00-90.00%, respectively). In this study, the polynomial regression (2nd order) is recommended, as it is simpler and faster. For species classification, an accuracy of using a ratio of length to width at 3.4 was slightly higher (93.08%), as compared to that when using a discriminant equation (92.31%). An algorithm developed herein can be further integrated in a computer vision system for an automated sizing and classifying machine.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยการให้ความช่วยเหลือจากผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ทั้งที่ได้ออกนามและมีได้ออกนาม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการดำเนินการวิจัย ตลอดจนสละเวลาในการตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศาสตราจารย์ ดร.สุทนต์ เบญจกุล อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ดร.นวกัก เอื้ออนันต์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และให้ความกรุณาในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และมีความถูกต้องมากขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภททุนบัณฑิตศึกษาภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ และคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณแพปลาเอกชน จังหวัดสงขลา และพนักงานทุกคนที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานเพื่อการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คุณค่าและประโยชน์อันใดที่พึงจะเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูต่อบิดา มารดา ตลอดจนบูรพาจารย์ของผู้วิจัย และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	9
1.4 ขอบเขตการวิจัย	10
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	10
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	11
2.1 ข้อมูลหมึกกล้วย	11
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing)	17
2.3 ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)	25
2.4 ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	36
2.5 ทฤษฎีการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis	41
2.6 การศึกษาความสามารถในการวัดของพนักงาน	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	47
3.1 ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์เกณฑ์การคัดแยก	48
3.2 ออกแบบอุปกรณ์การเก็บข้อมูลสำหรับการพัฒนาเทคนิคการคัดแยก	48
3.3 พัฒนาเทคนิคการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูป	50
3.4 ศึกษาความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน	61
บทที่ 4 การวิเคราะห์และการอภิปรายผลการวิจัย	64
4.1 ผลการวิเคราะห์เกณฑ์ในการคัดแยก	64
4.2 ผลการหาคุณลักษณะของรูปภาพโดยการประมวลผลภาพ	68
4.3 ผลการคัดแยกขนาด	77

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการคัดแยกสายพันธุ์	96
4.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน	103
4.6 ผลการคัดแยกของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบความสามารถของพนักงาน	108
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	110
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	110
5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย	111
5.3 แนวทางการนำผลจากการศึกษาไปสู่การประยุกต์ใช้	111
บรรณานุกรม	114
ภาคผนวก	118
ภาคผนวก ก ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพ	119
ภาคผนวก ข ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอย	134
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (max_fail)	139
ภาคผนวก ง ผลการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยลอกขาวของพนักงาน	144
ภาคผนวก จ การตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยลอกขาวของพนักงานโดยโปรแกรม Minitab 16	150
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพ	155
ประวัติผู้เขียน	161

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ผลการสำรวจของการประมงอวนลากพาณิชย์ในปี พ.ศ. 2538 ทั้งสองสายพันธุ์ที่พบ ในบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง	13
2.2 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและ อาหารแห่งชาติ (2548)	16
2.3 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวแพปลาเอกชน (สงขลา)	16
2.4 อัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ	31
2.5 ความผิดพลาดจากการวัดของพนักงานวัดและแนวทางแก้ไขสาเหตุความผิดพลาด แต่ละประเภท	44
3.1 รายละเอียดจำนวนข้อมูลตัวอย่างหมึกในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่าย ประสาทเทียม	56
3.2 ค่าเป้าหมายของอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainscg	59
3.3 ขนาดสิ่งตัวอย่างที่แนะนำสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ	62
4.1 เกณฑ์การคัดแยกขนาดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (%wt)	65
4.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในแต่ละจุดแบ่งขนาดระหว่าง 2 ขนาดที่ติดกัน	66
4.3 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวสำหรับพัฒนาโปรแกรม	66
4.4 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาว (90%wt)	67
4.5 ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักจริงที่ได้จากการวัดและคุณลักษณะของภาพจำนวน 285 ตัวอย่าง	77
4.6 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (correlations)	78
4.7 ANOVA ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง	80
4.8 Coefficients ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง	80
4.9 Model Summary ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง	80
4.10 ANOVA ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง	81
4.11 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง	82
4.12 Model Summary ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง	82
4.13 ANOVA ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม	83
4.14 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม	84
4.15 Model Summary ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม	84

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.16 ผลการตัดแยกโดยใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้นตรง สมการ (4.1)	85
4.17 ผลการตัดแยกโดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามกำลังสอง สมการ (4.2)	85
4.18 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากการประมาณค่าน้ำหนักของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin และ logsig-purelin (285 ตัวอย่าง)	87
4.19 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากการประมาณค่าน้ำหนักของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin และ logsig-purelin (150 ตัวอย่าง)	88
4.20 ผลการตัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin (150 ตัวอย่าง)	89
4.21 ผลการตัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin (150 ตัวอย่าง)	91
4.22 ผลการตัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-tansig (150 ตัวอย่าง)	93
4.23 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตัดแยกของโครงข่ายทั้ง 3 โมเดล (150 ตัวอย่าง)	95
4.24 ผลการตัดแยกหมึกกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์	97
4.25 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	98
4.26 Test Results	98
4.27 Correlations	99
4.28 Tests of Equality of Group Means	99
4.29 Eigenvalues	100
4.30 Wilks' Lambda	100
4.31 Canonical Discriminant Function Coefficients	101
4.32 Functions at Group Centroids	101
4.33 Classification Function Coefficients	102
4.34 Classification Results(a)	102

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.35	ผลการตัดแยกโดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 (130 ตัวอย่าง)	103
4.36	ผลการตัดแยกโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม (130 ตัวอย่าง)	103
4.37	จำนวนการตัดแยกเหมือนกันทั้ง 3 ครั้งของพนักงานแต่ละคน	104
4.38	คะแนนความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคน	105
4.39	ค่าพิสัยช่วงความสามารถในการทำซ้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของพนักงานแต่ละคน	106
4.40	ค่าประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน	106
4.41	จำนวนการตรวจสอบที่ตัดแยกเหมือนกันและถูกต้องทั้ง 3 ครั้งของพนักงานแต่ละคน	107
4.42	คะแนนของค่าแอดทริบิวต์ของพนักงานแต่ละคน	107
4.43	ค่าพิสัยช่วงคะแนนแอดทริบิวต์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของพนักงานแต่ละคน	107
4.44	ค่าประสิทธิภาพด้านคะแนนแอดทริบิวต์ระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน	108
4.45	ผลการตัดแยกขนาดโดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง (48 ตัวอย่าง)	108
4.46	ผลการตัดแยกสายพันธุ์โดยใช้ค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 3.4 (48 ตัวอย่าง)	109
4.47	ผลการตัดแยกสายพันธุ์โดยใช้โดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม (48 ตัวอย่าง)	109

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	มูลค่าการส่งออกอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2555	1
1.2	มูลค่าการส่งออกหมึกสดแช่เย็นแช่แข็งปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2555	2
1.3	การแบ่งคุณลักษณะด้วยเส้นตรงของผลสตรอเบอร์รี่	4
1.4	การตัดแยกเกรดด้วยอัตราส่วนพื้นที่ (Ra) สำหรับรูปร่างเกรด A, B และ C ของสตรอเบอร์รี่	5
1.5	การประมวลผลภาพสำหรับการตัดแยกรูปร่างของผลสตรอเบอร์รี่	6
1.6	การหาความยาวของฝักมะขาม	7
2.1	โครงสร้างพื้นฐานภายนอกของหมึกกล้วย	12
2.2	รูปร่างหมึกกล้วย (ก) สายพันธุ์ <i>L.duvauceli</i> และ (ข) สายพันธุ์ <i>L.chinensis</i>	12
2.3	กระบวนการแปรรูปเบื้องต้นหมึกกล้วย	14
2.4	ชนิดและแบบของหมึกกล้วย	15
2.5	สายพันธุ์หมึกจากแพแอกชน (ก) สายพันธุ์ <i>L.duvauceli</i> และ (ข) สายพันธุ์ <i>L.chinensis</i>	17
2.6	จุดพิกัดบนภาพดิจิทัล	18
2.7	ภาพไบนารี (binary image)	18
2.8	ภาพระดับเทา (gray scale image)	19
2.9	ภาพสี (color image)	19
2.10	ภาพเมสிடซ์ขาว	21
2.11	ความเข้มแสงเทียบกับค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพ	21
2.12	การกำจัดสัญญาณรบกวน	22
2.13	การหาขอบภาพ	22
2.14	การแยกทั้งสองวิธี	24
2.15	แบบจำลองนิเวรอนอินพุตเดียว	26
2.16	แบบจำลองนิเวรอนหลายอินพุต	26
2.17	ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอกซิกมอยด์ และสัญลักษณ์	27
2.18	ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไฮเปอร์บอลิกแทนเจนต์ซิกมอยด์ และสัญลักษณ์	27
2.19	ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (linear) และสัญลักษณ์	28
2.20	โครงสร้างของโครงข่ายแบบชั้นเดียว	28

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
2.21	โครงสร้างของโครงข่ายแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น	29
2.22	ตัวอย่างการจดจำรูปแบบ (ก) การจำแนกสัญญาณคลื่นหัวใจ (ข) การจดจำลายมือตัวอักษร (ค) การจดจำรูปแบบ	32
2.23	ตัวอย่างการจับกลุ่ม	32
2.24	ตัวอย่างการประมาณค่าฟังก์ชัน	33
2.25	ตัวอย่างการทำนายราคาหุ้น	33
2.26	ตัวอย่างปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา TSP	34
2.27	ตัวอย่างหน่วยความจำอ้างอิงด้วยเนื้อหา หรือหน่วยความจำสัมพันธ์	34
2.28	ตัวอย่างระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์	35
2.29	กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย	39
3.1	วิธีดำเนินงานวิจัยและผลที่ได้แต่ละขั้นตอน	47
3.2	อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ	48
3.3	กล่องเก็บข้อมูลภาพ รุ่น scA640-70gc	49
3.4	หลอดฟลูออเรสเซนต์	49
3.5	คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก	50
3.6	แผนผังของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์	51
3.7	(ก) ภาพสี RGB และ (ข) ภาพระดับเทา (grayscale)	52
3.8	(ก) ภาพระดับเทา (grayscale) และ (ข) กราฟฮิสโตแกรม (T=130)	52
3.9	(ก) การแยกวัตถุจากพื้นหลัง (segmentation) และ (ข) การหาขอบภาพ (edge detection)	53
3.10	การกำหนดความยาวและความกว้างของวัตถุ	53
3.11	การกำหนดความยาวเส้น	53
3.12	รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (MLP) มี 1 เอาต์พุต	56
3.13	รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (MLP) มี 4 เอาต์พุต	57
3.14	ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-1) และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin	57
3.15	ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-1) และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin	57
3.16	ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-4) และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig- tansig	58
3.17	ค่าเป้าหมายของอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainlm	59

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
3.18	แผนผังจำนวนตัวอย่างที่ใช้ศึกษาความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน	63
3.19	แผนผังจำนวนตัวอย่างที่ใช้ศึกษาความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน จริง	63
4.1	การกำหนดเกณฑ์ตามช่วงน้ำหนักแต่ละขนาด	65
4.2	ความกว้างและความยาวของหมึกสายพันธุ์ <i>L. duvauceli</i>	67
4.3	ความกว้างและความยาวของหมึกสายพันธุ์ <i>L. chinensis</i>	68
4.4	การรับภาพถ่ายเข้าสู่โปรแกรม	69
4.5	การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทาของโปรแกรม	70
4.6	การแยกพิกเซลที่สนใจในภาพโดยใช้ค่าเทรสโฮลด์อัตโนมัติ	70
4.7	การปรับปรุงภาพ (morphology) เป็นแบบ proper close	71
4.8	การกรองความถี่ภาพแบบการแปลงฟูรีเยอย่างรวดเร็ว	71
4.9	การแปลงเป็นภาพไบนารี	72
4.10	การตรวจจับวัตถุที่สนใจภายในภาพ (detect objects)	72
4.11	การกำหนดพิกัดและทิศทางของระบบ (set coordinate system)	73
4.12	การหาความยาวของเส้นรอบรูปวัตถุที่สนใจในภาพ	74
4.13	จุดที่มีค่า curvature ของเส้นรอบรูปสูงสุด	74
4.14	การวัดความยาวของวัตถุ	75
4.15	การวัดความกว้างของวัตถุ	75
4.16	การแสดงผลทั้ง 8 คุณลักษณะในหน้าโปรแกรม	76
4.17	กราฟกระจาย (scatter plot) ระหว่างน้ำหนักกับพื้นที่	79
4.18	การกระจายข้อมูลและเส้นกราฟถดถอยเชิงเส้นตรง	81
4.19	การกระจายข้อมูลและเส้นกราฟถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง	83
4.20	โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (MLP) 8 อินพุต 1 เอาต์พุต	87
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนกับค่าความ คลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin ของข้อมูลชุด ฝึกสอน (285 ตัวอย่าง)	88

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

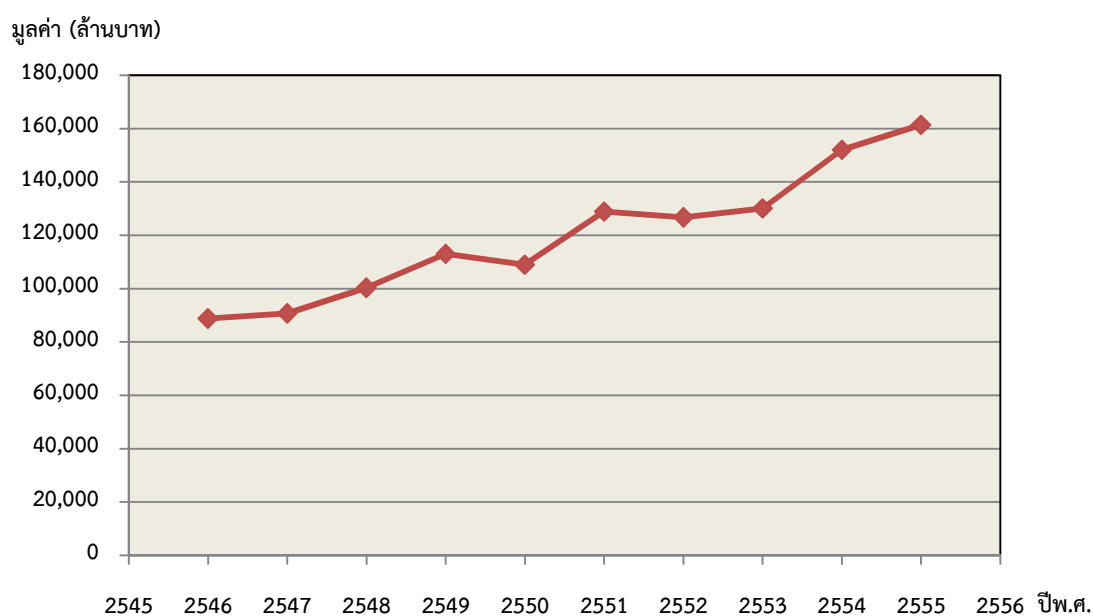
ภาพประกอบ		หน้า
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนกับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin ของข้อมูลชุดทดสอบ (150 ตัวอย่าง)	89
4.23	การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วน (aspect ratio) ทั้งสองสายพันธุ์	97
5.1	แผนผังอัลกอริทึมการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

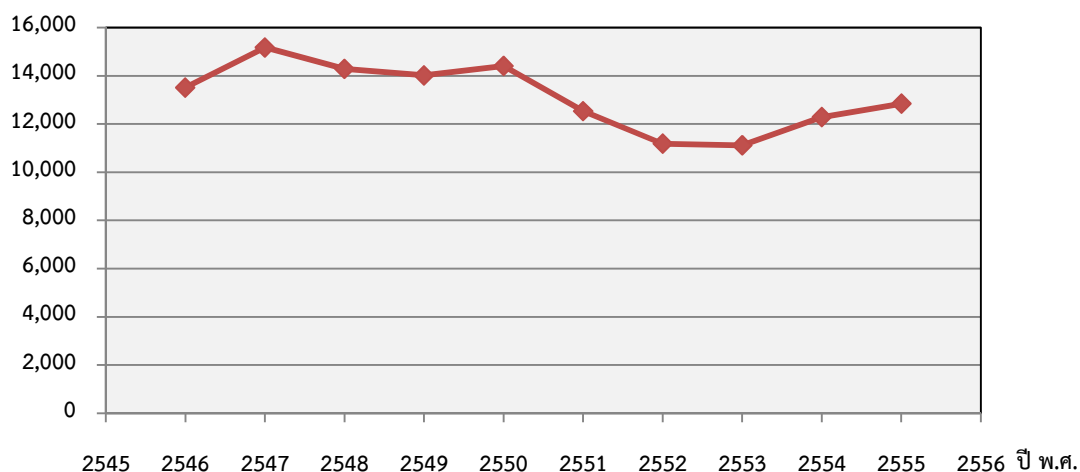
ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรด้วยกันหลายประเภท จากสถิติการส่งออกในปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2555 ระบุว่ามูลค่าการส่งออกอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปมีมูลค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรประเภทอื่น และมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ แสดงมูลค่าการส่งออกอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปดังภาพประกอบ 1.1 และเมื่อพิจารณาไปถึงสินค้าเกษตรกรรม พบว่ามูลค่าการส่งออกหมึกสดแช่เย็นแช่แข็งในปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2555 สูงติดอันดับหนึ่งในสิบโดยเรียงตามมูลค่าการส่งออกของสินค้าเกษตรกรรม (กลีกระม าศุสัตว์ และประมง) หมึกจึงเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญอย่างหนึ่งของไทยที่นำเงินตราต่างประเทศเข้าสู่ประเทศไทยปีละกว่าหมื่นล้านบาทในรูปหมึกสดแช่เย็นแช่แข็งแสดงมูลค่าดังภาพประกอบ 1.2



ภาพประกอบ 1.1 มูลค่าการส่งออกอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2555
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือ

จากกรมศุลกากร[1]

มูลค่า (ล้านบาท)



ภาพประกอบ 1.2 มูลค่าการส่งออกหมีกสดแช่เย็นแช่แข็งปี พ.ศ. 2546 ถึง พ.ศ. 2555

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร[1]

ผลกระทบที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ของการเพิ่มมูลค่าการส่งออกคือ ความต้องการแรงงานที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากการสำรวจข้อมูลจากทุกประเภทอุตสาหกรรม พบว่าปริมาณความต้องการแรงงานในปี พ.ศ. 2554 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ร้อยละ 70.27 โดยความต้องการแรงงานในด้านอุตสาหกรรมการผลิตมีมากที่สุด[2] ด้วยปริมาณแรงงานในประเทศมีไม่เพียงพอกับความต้องการ โรงงานส่วนใหญ่จึงต้องจ้างแรงงานต่างด้าวมาทดแทน โรงงานแปรรูปหมีกก็ได้รับผลกระทบในส่วนนี้เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะแรงงานที่มีความชำนาญ

ด้วยธรรมชาติของสินค้าเกษตรที่มีรูปร่างไม่แน่นอน หลากหลายและเป็นอิสระแตกต่างจากสินค้าอุตสาหกรรมโดยทั่วไป การตรวจสอบคุณภาพมักจะเป็นขั้นตอนที่สร้างความลำบากใจให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดเกณฑ์เพื่อบ่งชี้ระดับคุณภาพของสินค้า หรือโดยเฉพาะอย่างยิ่งการคัดขนาดเพื่อให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด จากการสำรวจพบว่าปัจจุบันมีวิธีการคัดขนาดด้วยกันหลายวิธี เช่น การคัดแยกด้วยพนักงานชำนาญการซึ่งเป็นผู้ที่สามารถคัดแยกสินค้าตามเกณฑ์และลูกค้ายอมรับผลการคัดแยก การคัดโดยโต๊ะคัดขนาดที่วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และเครื่องชั่งน้ำหนัก สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปหมีกกล้วยในปัจจุบันมีการตรวจสอบคุณภาพและคัดแยกขนาดด้วยพนักงานเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่าจากการตรวจวัดความสามารถในการคัดแยกของพนักงานแต่ละคนของแพปลาเอกชนแห่งหนึ่งมีค่าความถูกต้องในการคัดแยกขนาดอยู่ระหว่าง 29.48-58.82% และค่าความถูกต้องในการคัดแยกสายพันธุ์อยู่ระหว่าง 51.59-79.60% จากช่วงค่าความถูกต้องที่กว้างแสดงว่ามีความแปรปรวนค่อนข้างสูงค่าความสามารถในการทำซ้ำต่ำ ซึ่งมีความถูกต้องเฉลี่ย

ในการคัดแยกขนาด และสายพันธุ์เท่ากับ 43.75% และ 66.67% อาจเป็นผลเนื่องมาจากความเมื่อยล้า ความเบื่อที่ต้องทำงานซ้ำๆ ตลอดเวลาส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานลดลง จากข้อจำกัดในการทำงานของพนักงานผู้ชำนาญการดังกล่าว การนำเครื่องจักรมาใช้ทดแทนแรงงานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ อย่างไรก็ตามการพัฒนาเครื่องจักรให้สามารถทำงานในกระบวนการที่ต้องอาศัยการตัดสินใจจากประสบการณ์และความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานยังเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยและวิศวกร

เทคนิคในการคัดขนาดและสายพันธุ์ที่น่าสนใจและมีบทบาทมากขึ้นในอุตสาหกรรมสินค้าเกษตรคือการใช้ภาพถ่ายวัตถุเป็นข้อมูลในการตัดสินใจ ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทำให้ระบบอัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (image processing) มีความถูกต้องและรวดเร็วมากขึ้น จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ถึงแม้จะมีการนำเทคนิคนี้มาใช้ในกระบวนการคัดขนาดสินค้าเกษตรหลายชนิดด้วยกัน เช่น การประเมินคุณภาพสตรอเบอร์รี่[3-4] การคัดแยกขนาดมะละกอ[5] การคัดแยกพริกเขียว[6] การคัดแยกฝักมะขามหวาน[7] และการคัดแยกสับปะรด[8] เป็นต้น แต่ยังไม่ปรากฏว่าได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในกระบวนการคัดขนาดและสายพันธุ์หมึกมาก่อน ด้วยลักษณะที่ไม่แน่นอนตามธรรมชาติของหมึกที่มีความแตกต่างจากสินค้าเกษตรชนิดอื่น และเงื่อนไขในการคัดขนาดและสายพันธุ์ที่ต้องอาศัยการประมวลผลขั้นสูง จึงเกิดเป็นแนวคิดในงานวิจัยที่จะพัฒนากระบวนการคัดขนาดหมึกด้วยการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยใช้หมึกกล้วยเป็นกรณีศึกษา ผู้วิจัยคาดว่าผลจากการวิจัยนี้จะสามารถพัฒนาต่อไปเป็นระบบอัตโนมัติสำหรับการคัดขนาดและสายพันธุ์หมึก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิตของอุตสาหกรรมหมึกและหมึกแปรรูปต่อไปในอนาคต

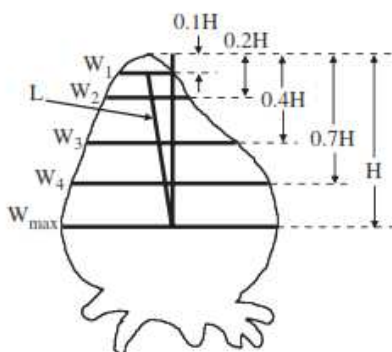
1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในการประเมินคุณภาพสินค้าเกษตรอย่างแพร่หลาย ทั้งในส่วนการตรวจสอบคุณภาพการคัดแยก การระบุประเภทและสายพันธุ์ ในการประเมินมาตรฐานด้านคุณภาพต้องกำหนดเกณฑ์ในการประเมิน ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้คุณลักษณะภายนอกของสินค้าเป็นตัวชี้วัด เช่น ขนาด[3], [5-7] รูปร่าง[4-5], [7-8] สี[9] และข้อบกพร่องภายนอก[7], [10-11] ด้วยลักษณะของสินค้าเกษตรที่มีความหลากหลายและความไม่แน่นอน แต่ละงานวิจัยจึงมีการกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการประมวลผลที่แตกต่างกัน พารามิเตอร์ในที่นี้คือข้อมูลเชิงตัวเลขที่อ้างอิงถึงคุณลักษณะของสินค้า ซึ่งบางงานวิจัยใช้เพียงพารามิเตอร์เดียวในการจำแนกคุณลักษณะ[4], [10], [12-13] แต่บางงานวิจัยอาจใช้ 2 ถึง 3 พารามิเตอร์[6-7], [14-15] เพื่อให้เกิดความถูกต้องแม่นยำในการคัดแยกมากที่สุด พารามิเตอร์ส่วน

ใหญ่ที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพได้แก่ พื้นที่[10-11], [16] อัตราส่วนพื้นที่[4-5], [17] เส้นรอบรูปหรือขอบภาพ[5], [15], [17] เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย[5] ความเข้มของสี[18] ความกว้าง[18] และความยาว[6-7], [18] เป็นต้น แต่ละงานวิจัยเมื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วจะทำการประเมินค่าของพารามิเตอร์แล้วใช้ค่าเหล่านี้ในการจำแนกหรือจัดกลุ่มข้อมูล ซึ่งระบบจะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม จากการสำรวจมีการจำแนกหลายวิธี เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)[4-5], [15], [18-19] วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีน (K-means clustering algorithm)[3] ตรรกะคลุมเครือ (fuzzy logic)[17] และการเรียนรู้เชิงสถิติ (statistical learning)[7-8] เป็นต้น เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะงานวิจัยที่จะดำเนินการ จึงนำเสนอผลการสำรวจงานวิจัยในส่วนการกำหนดพารามิเตอร์ และกระบวนการจำแนก (classification) สำหรับการคัดแยกขนาด และรูปร่าง ซึ่งแยกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

1.2.1 คุณลักษณะ

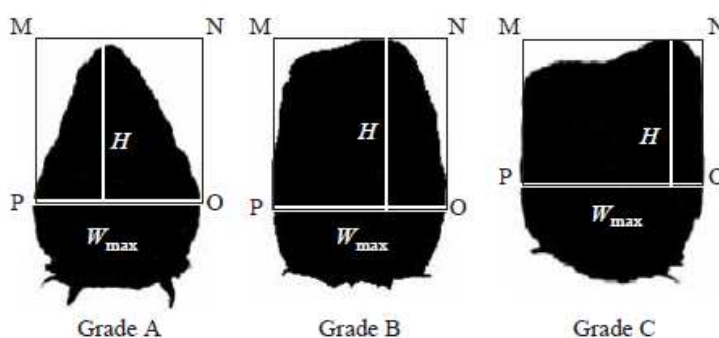
แต่ละงานวิจัยจะพิจารณาคูณลักษณะที่ต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการประเมิน ในที่นี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่พิจารณาเฉพาะคุณลักษณะด้านขนาด และรูปร่าง สิ่งที่จะใช้ในการบ่งชี้ขนาดและรูปร่างจะเป็นสิ่งที่ต้องกำหนดขึ้นมาให้สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ ที่เรียกว่า พารามิเตอร์งานวิจัยที่น่าสนใจประกอบด้วย Nagata และ Tallada[4] ได้รวบรวมระบบการคัดแยกสตรอเบอร์รี่ ประกอบด้วยงานวิจัยในปี ค.ศ. 1996 Nagata และคณะ[20] ได้สร้างระบบการคัดแยกขนาดและรูปร่างของสตรอเบอร์รี่ ซึ่งแบ่งรูปร่างออกเป็น 3 เกรด คือเกรด A, B และ C ขั้นตอนในการกำหนดพารามิเตอร์ เริ่มจากการประมวลผลภาพเบื้องต้นเพื่อหาขอบภาพ แล้วแบ่งคุณลักษณะด้วยเส้นตรงดังภาพประกอบ 1.3



ภาพประกอบ 1.3 การแบ่งคุณลักษณะด้วยเส้นตรงของผลสตรอเบอร์รี่[4]

ขนาดของเส้นตรงดังกล่าวจะถูกนำมาคำนวณค่าพารามิเตอร์ K เพื่อใช้สำหรับการคัดแยก สำหรับการคัดแยกขนาดได้จากการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายของความสัมพันธ์เชิงเส้น

ระหว่างพื้นที่ที่เป็นผลสตรอเบอร์รี่ของภาพใบนารีและมวลของผลสตรอเบอร์รี่ที่วัดได้ และในปี ค.ศ. 2000 มีการพัฒนาเทคนิคเพิ่มเติมในการตัดแยกขนาดและรูปร่างสตรอเบอร์รี่โดย Bato และคณะ[21] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งได้พัฒนาระบบอย่างง่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการตัดแยกขนาดและรูปร่าง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดแยกรูปร่างคืออัตราส่วนพื้นที่โดยอัตราส่วนดังกล่าวคิดจากพื้นที่ที่คาดว่าป็นสตรอเบอร์รี่ที่อยู่ในภาพใบนารีเหนือ W_{max} ต่อพื้นที่ทั้งหมดภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้า MNOP ดังภาพประกอบ 1.4 ส่วนพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดแยกขนาดคือขนาดพื้นที่ที่เป็นเฉพาะผลสตรอเบอร์รี่



ภาพประกอบ 1.4 การตัดแยกเกรดด้วยอัตราส่วนพื้นที่ (Ra) สำหรับรูปร่างเกรด A, B และ C ของสตรอเบอร์รี่[4]

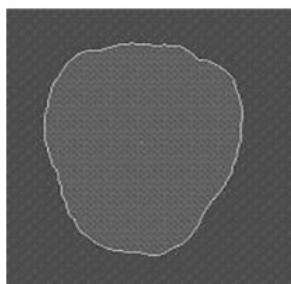
ต่อมาในปี ค.ศ.2010 Liming และ Yanchao[3] ได้สร้างระบบการตัดแยกสตรอเบอร์รี่โดยใช้การประมวลผลภาพสำหรับการตัดแยกรูปร่าง ซึ่งแบ่งรูปร่างสตรอเบอร์รี่เป็น 4 แบบได้แก่ เรียวยาว (long-taper) สี่เหลี่ยม (square) เรียว (taper) และอ้วนกลม (rotundity) เริ่มกระบวนการจากการประมวลผลภาพเบื้องต้น แปลงเป็นภาพระดับเทา แล้วแปลงเป็นภาพใบนารีเพื่อกำจัดส่วนที่เป็นกลิบเกลี้ยงออกจากภาพ หลังจากนั้นแยกวัตถุที่สนใจออกจากพื้นหลัง ตามด้วยการหาขอบของภาพ แล้วแบ่งส่วนของผลสตรอเบอร์รี่โดยลากเส้นทั้งแนวตั้งและแนวนอนที่เรียกว่า sharing line method ดังแสดงในภาพประกอบ 1.5 แล้วคำนวณอัตราส่วนของเส้นเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการตัดแยกรูปร่าง และใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดในแนวนอนของสตรอเบอร์รี่เป็นพารามิเตอร์สำหรับการตัดแยกขนาด จากงานวิจัยการตัดแยกสตรอเบอร์รี่มีการกำหนดพารามิเตอร์ในการตัดแยกรูปร่างที่คล้ายๆ กัน คือการแบ่งผลสตรอเบอร์รี่โดยใช้เส้นตรงทั้งแนวตั้งและแนวนอน จะเห็นได้ว่างานวิจัยของ Liming และ Yanchao[3] จะให้ค่าที่แม่นยำกว่าเมื่อนำไปคำนวณอัตราส่วนเนื่องจากการแบ่งเส้นตรงจับคุณลักษณะครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของผลสตรอเบอร์รี่ ส่วนการตัดขนาด การใช้พื้นที่เป็นพารามิเตอร์จะให้ค่าที่น่าเชื่อถือมากกว่า



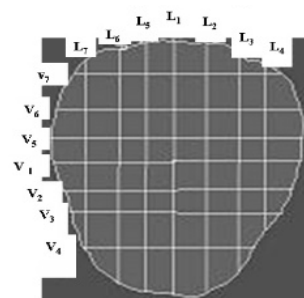
(a) ภาพสตรอเบอร์รี่เริ่มต้น



(b) ภาพที่แยกพื้นหลังออกจากวัตถุ



(c) การหาขอบภาพ (edge detection)

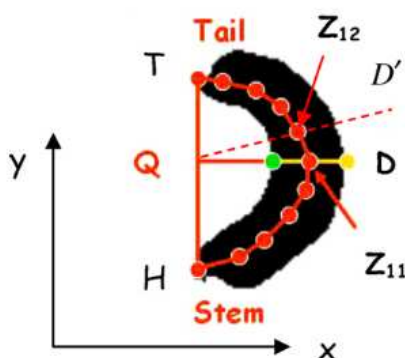


(d) การหาคุณลักษณะด้วยวิธี sharing line

ภาพประกอบ 1.5 การประมวลผลภาพสำหรับการตัดแยกรูปร่างของผลสตรอเบอร์รี่[3]

นอกจากงานวิจัยเกี่ยวกับสตรอเบอร์รี่แล้วยังมีงานวิจัยอื่นๆ เช่นงานวิจัยของ Nam-Hong[6] ได้ทำการพัฒนาระบบการคัดแยกพริกเขียวอัตโนมัติโดยต้องการคัดแยกเป็น 4 ลักษณะประกอบด้วย 3 ขนาด (ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่) และรูปร่างโค้งสูง ด้วยการใช้ 2 พารามิเตอร์ คือความยาว และรัศมีความโค้ง ผลจากการทดสอบพบว่าเครื่องคัดแยกต้นแบบมีความถูกต้องในการคัดแยกสำหรับพริกขนาดใหญ่ กลาง และเล็ก เท่ากับ 86.0%, 81.3% และ 90.6 % ตามลำดับ สมรรถนะการทำงานของระบบเท่ากับ 121 กก./ชั่วโมง ซึ่งประมาณ 5 เท่าของการคัดแยกโดยคน และสามารถลดต้นทุนได้ถึง 40% Riyadi และคณะ[5] ได้ทดลองระบบการคัดแยกขนาดมะละกอสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขนาดตามช่วงน้ำหนัก คือขนาด S, M, L และ XL เริ่มจากการรับภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้วทำการประมวลผลภาพเบื้องต้นด้วยการลดขนาดภาพเพื่อการประมวลผลที่เร็วขึ้น หลังจากนั้นทำการแปลงภาพ RGB เป็นภาพระดับเทา แล้วแยกพื้นหลังออกจากวัตถุโดยหาค่าเทรสโฮลด์อัตโนมัติรวมทั้งกำจัดสัญญาณรบกวนภายในภาพ สำหรับพารามิเตอร์ที่ได้จากการประมวลผลประกอบด้วยพื้นที่ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และเส้นรอบรูป Jarimopas และ Jaisin[7] ได้พัฒนาเครื่องคัดแยกฝักมะขามหวานพันธุ์สีทอง และศรีชมพูด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยพิจารณาทั้งขนาด และรูปร่าง การคัดแยกขนาดใช้ความยาวของฝักมะขามซึ่งวัดจากพิกัดหัวท้ายของฝักมะขามเพื่อใช้ในการประเมินค่าความยาวของฝักดังแสดงในภาพประกอบ 1.6 ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งรูปร่างฝักมะขามออกเป็นฝักตรง (straight) โค้งเล็กน้อย (slightly curved) และโค้ง (curved) สำหรับการคัดแยกรูปร่างกระทำโดยการหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางภาพตามแนวแกน X และ Y แล้วคำนวณหาค่าดัชนี

รูปร่างจากมุมที่เปลี่ยนไป ต่อมาวิชิต นางแล และนิติพงษ์ ใจสิน[8] สร้างเครื่องคัดแยกสับปะรดเพื่อทำการแยกสับปะรดออกเป็น 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยใช้พื้นที่เป็นเกณฑ์ในการคัดแยก หลังจากรับภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ แปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับเทา แล้วแปลงเป็นภาพไบนารีหรือภาพขาวดำ เพื่อคำนวณพื้นที่จากพิกเซลที่เป็นสีดำ



ภาพประกอบ 1.6 การหาความยาวของฝักมะขาม[7]

จากงานวิจัยที่กล่าวมาในส่วนการพิจารณาขนาดและรูปร่าง พบว่าเป้าหมายของแต่ละงานวิจัยคือการคัดแยกสินค้าให้ได้มาตรฐานตามความต้องการ แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือข้อกำหนดพารามิเตอร์ที่ได้จากการประมวลผลภาพซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับสินค้านั้นๆ เนื่องจากความอิสระไม่แน่นอนของรูปร่างสินค้าเกษตร การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จะช่วยลดเวลา และเพิ่มความถูกต้องแม่นยำในการคัดแยก

1.2.2 การจำแนก (classification)

การจำแนกหรือการจัดกลุ่มวัตถุที่กำลังพิจารณาอยู่มีด้วยกันหลายวิธี จากการสำรวจงานวิจัยส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การเรียนรู้เชิงสถิติ (statistical learning)[7-8] ตรรกะคลุมเครือ (fuzzy logic)[17] และโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)[4-5], [15], [18-19] พบว่ามีการใช้แล้วประสบความสำเร็จเป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) สามารถเลียนแบบสติปัญญาของมนุษย์ในการเรียนรู้ สามารถอธิบายการนำวิธีการจำแนกไปใช้งานของแต่ละงานวิจัยดังนี้

Jarimopas และ Jaisin[7] ใช้สมการทางสถิติในการคัดแยกขนาดฝักมะขาม เพื่อคำนวณค่าช่วงความยาวของฝักมะขามเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนก ส่วนรูปร่างฝักมะขามทำการแยกโดยการคำนวณหาค่าดัชนีรูปร่างจากการสแกนองศาเพื่อเป็นเกณฑ์ในการจำแนก ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพการคัดแยกโดยเฉลี่ยประมาณ 90 % ในขณะระบบการคัดแยกมีสมรรถนะเฉลี่ยประมาณ 1,500 ฝัก/ชั่วโมง Bato และคณะ[21] ได้พัฒนาการคัดแยกขนาดและรูปร่างสตรอเบอร์รี่

โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องคำนวณค่าพารามิเตอร์ในการแบ่งช่วงแต่ละขนาดและรูปร่าง ป้อนเข้าโปรแกรม ผลจากการทดลองทั้งการคัดแยกขนาดและรูปร่างพบว่ามีความถูกต้องแม่นยำ เกือบสมบูรณ์แบบ (near-perfect) ต่อมาในปี ค.ศ. 2010 Liming และ Yanchao[3] ได้พัฒนา อัลกอริทึมอื่นสำหรับการจำแนกสตรอเบอร์รี่โดยการคัดแยกรูปร่างจะใช้ K-means clustering method ให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกรูปร่างมากกว่า 90% ส่วนการระบุขนาดพิจารณาจาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่คำนวณได้จากสูตรแล้วแบ่งกลุ่มตามช่วงที่ต้องการแยกได้ผลที่ผิดพลาดน้อยกว่า 5% และใช้เวลาในการคัดแยกสตรอเบอร์รี่ 1 ผล น้อยกว่า 3 วินาที ส่วนวิชิต นางแล และ นิติพงษ์ ใจสิน[8] ใช้การหาช่วงในการแบ่งขนาดเพื่อเป็นเกณฑ์สำหรับการคัดแยกขนาดของผล สับปะรด โดยสมการทางสถิติเช่นเดียวกับการคัดแยกขนาดมะขาม[7] ผลการทดสอบพบว่า มีประสิทธิภาพในการคัดแยก ค่าความผิดพลาด และสมรรถนะเท่ากับ 92.6%, 7.4% และ 3296.8 ผล/ชั่วโมง ตามลำดับ

นอกจากนี้การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการตรวจสอบคุณภาพประสบความสำเร็จ และมีความแพร่หลายมาก เนื่องจากหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถ เลียนแบบการคิดของมนุษย์[22] และจากการเปรียบเทียบผลการคัดแยกหลายๆ เทคนิคได้แก่ กฎการ ตัดสินใจ (decision rule) โครงข่ายประสาทเทียม 1 ชั้น 2 ชั้น การตัดสินใจแบบต้นไม้ (decision tree) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (multi-layer perceptron: MLP) พบว่า MLP ให้ผลการคัดแยกที่ถูกต้องมากกว่า 90% ตัวอย่างการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นตัว คัดแยกเช่น Kiliç และคณะ[18] ได้พัฒนาระบบการประมวลผลภาพร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมใน Matlab โดยมีจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุต และชั้นฮอน เท่ากับ 12 นิวรอน ส่วนในชั้นเอาต์พุตมี 2 นิวรอน ใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-sigmoid) กับแบบเชิงเส้น (linear) เพื่อ ตรวจสอบคุณลักษณะเมล็ดถั่วทั้งขนาดและสี ผลการจำแนกโดยรวมถูกต้อง 90.6% Riyadi และ คณะ[5] ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP โดยใช้อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm) ในการคัดแยกขนาดมะละกอ ซึ่งผลการคัดแยกมีความถูกต้องแม่นยำ มากกว่า 94 % Nagata และ Tallada[4] ได้กล่าวถึงการคัดแยกสตรอเบอร์รี่ทั้งรูปร่างและขนาดในปี ค.ศ. 1996 Nagata และคณะ[20] ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ MLP ในการคัดแยกรูปร่าง ผลการ ทดลองพบว่ามีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในช่วง 94-98% ส่วนการคัดแยกขนาดด้วยการวิเคราะห์การ ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ผลการทดลองพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สูงอยู่ในช่วง 93-97% Youseff[15] ได้ พัฒนาระบบการคัดแยกผลไม้ออกเป็น 3 เกรด ซึ่งจะพิจารณาสีและขนาดโดยใช้โครงข่าย ประสาทเทียมที่มีอัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับมี 3 ชั้น (layer) เป็นตัวคัดแยก โดยทำการ เปรียบเทียบผลการคัดแยกของ 2 กรณี ที่มีจำนวนอินพุตต่างกันคือ 2 และ 5 อินพุต โดยที่จำนวน นิวรอนในชั้นฮอน และชั้นเอาต์พุตเท่ากันกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นแบบแทนซิกมอยด์ กับแบบ

เชิงเส้นเหมือนกัน ผลการตัดแยกในโครงข่ายที่มี 2 อินพุตให้ค่าความถูกต้องมากกว่า คือ 80% Chen และคณะ[19] ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีอัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับมี 3 ชั้น (layer) โดยมี 10 อินพุต 8 นิวรอนในชั้นซ่อน และ 3 เอาต์พุตเพื่อระบุความแตกต่างของเมล็ดข้าวโพดได้ผลการตัดแยกถูกต้องมากกว่า 90%

งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกกลุ่มวัตถุ อาจเนื่องมาจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถจำลองการทำงานของมนุษย์ได้ ซึ่งเมื่อฝึกฝนแล้วระบบจะสามารถเรียนรู้และนำทักษะไปแก้ปัญหาต่างๆ ได้ และการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมทำได้รวดเร็ว แต่มีจุดด้อยเรื่องการตีความหาเหตุผล ซึ่งหมายความว่าไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังปรากฏ ส่วนระบบฟuzzyสามารถตัดสินใจเหตุการณ์ที่คลุมเครือได้ แต่ไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในการปรับแต่งโครงสร้างเหมือนกับโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้นหากต้องการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เป็นตัวจำแนกต้องเลือกรูปแบบของโครงข่าย จำนวนชั้น (layer) และการกำหนดจำนวนนิวรอนให้เหมาะสม รวมถึงชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน เพราะการกำหนดค่าที่เหมาะสมจะให้ความถูกต้องที่สูงขึ้น

จากการสำรวจงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่าในการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเนื่องจากผลผลิตที่ทำการตรวจสอบมีปริมาณมาก การตรวจสอบโดยพนักงานเกิดความผิดพลาดบ่อยเนื่องจากความเมื่อยล้า และความเบื่อของพนักงาน เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการตรวจสอบ การประมวลผลภาพจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมและประสบความสำเร็จในด้านการประเมินคุณภาพและการตัดแยกแบบไม่ทำลาย และจากการสำรวจงานวิจัยมีไม่มากนักในการนำการประมวลผลภาพมาใช้ในการตัดแยกอาหารทะเล และยังไม่พบการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการตัดแยกหมึกกล้วยลอกขาว ดังนั้นผู้วิจัยเล็งเห็นถึงประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม หากมีการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการตัดแยกหมึกกล้วยลอกขาวเนื่องจากหมึกเป็นสินค้าส่งออกในลำดับต้นๆ ของอาหารทะเลแปรรูป

1.3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิค (algorithm) การตัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยลอกขาว โดยใช้การประมวลผลภาพ ซึ่งเทคนิคที่พัฒนาขึ้นต้องมีประสิทธิภาพสูงกว่าการทำงานในปัจจุบันของพนักงาน

1.4. ขอบเขตการวิจัย

- 1) เครื่องมืออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะยังไม่เป็นระบบอัตโนมัติ เป็นเพียงระบบเพื่อทำการทดลองในการประเมินเปรียบเทียบความแม่นยำ (accuracy) ของเทคนิค (algorithm) ที่จะถูกพัฒนาขึ้น
- 2) ขอบเขตของการแก้ปัญหาในงานวิจัยจะเน้นที่การพัฒนาเทคนิคในกระบวนการวิเคราะห์การประมวลผลภาพเพื่อคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูป
- 3) การคัดขนาดของหมึกกล้วยแปรรูปพิจารณาตามช่วงน้ำหนัก ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขนาดเกณฑ์การคัดแยกจะพิจารณาตามช่วงน้ำหนักของแต่ละขนาด
- 4) การคัดแยกสายพันธุ์ พิจารณาจากลักษณะรูปร่างของตัวหมึกที่แตกต่างกันทั้งความกว้างและความยาว แบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ เกณฑ์การคัดแยกจะพิจารณาตามการระบุของผู้เชี่ยวชาญ

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เทคนิคใหม่ๆ ในการคัดขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยลอกขาว ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านความแม่นยำในการคัดแยกทั้งขนาดและสายพันธุ์ เพื่อพัฒนาเป็นระบบชาญฉลาดอัตโนมัติในอนาคต

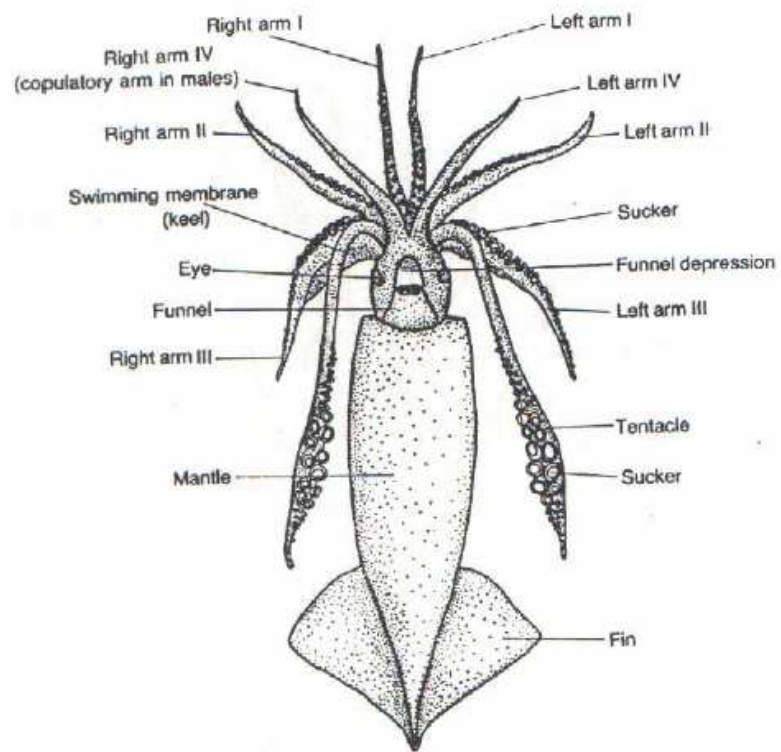
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

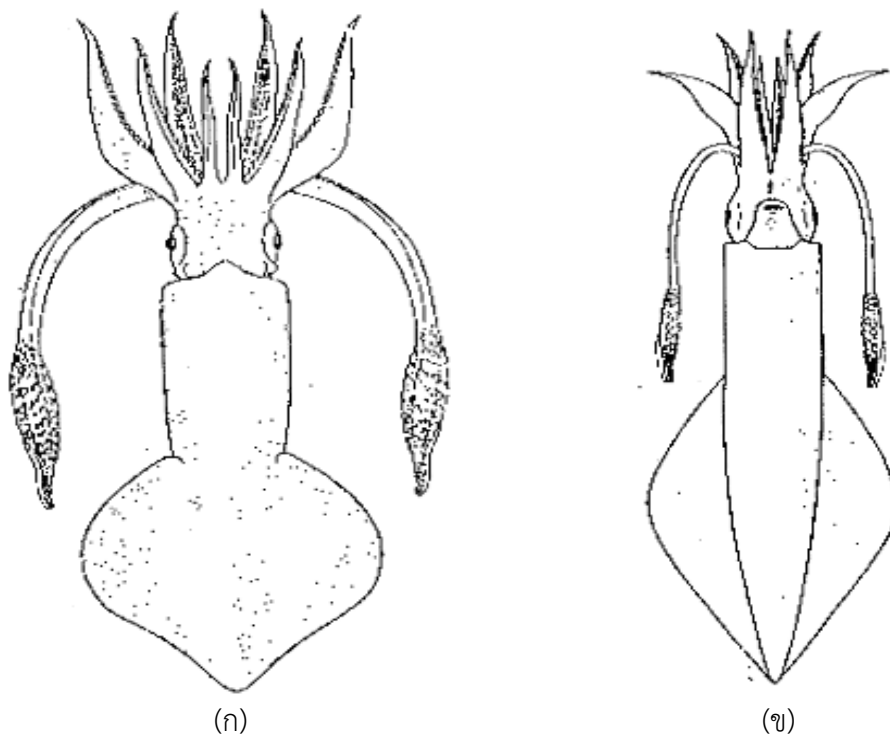
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยสำหรับการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูป ประกอบด้วย ข้อมูลหมึกกล้วย ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอย ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม และการศึกษาความสามารถวัดของพนักงาน ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1. ข้อมูลหมึกกล้วย

หมึกเป็นสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังจัดอยู่ในไฟลัม mollusca คลาส cephalopod และซับคลาส coleodides มีทั้งหมด 3 ชนิด ประกอบด้วยหมึกกล้วย (squid) หมึกกระดอง (cuttlefish) และหมึกสาย (octopus) ในการทำวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะหมึกกล้วยเนื่องจากเป็นหมึกชนิดหลักที่มีการแปรรูปในอุตสาหกรรม โครงสร้างพื้นฐานภายนอกของหมึกกล้วย โดยทั่วไปมีองค์ประกอบคือ ลำตัว (mantle) ซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปกรวย และบริเวณส่วนท้ายมีครีบ (fin) ผิวหนังบริเวณหลังมีเม็ดสี (chromatophores) มากกว่าส่วนท้อง หมึกกล้วยมีหนวดทั้งหมด 5 คู่ โดยบนหนวดจะมีปุ่มที่เรียกว่า sucker หนวดบริเวณหลังมี 1 คู่ คือหนวดคู่ที่ 1 ด้านซ้ายและขวา (left arm I and right arm I) ถัดมาเป็นหนวดที่อยู่ส่วนท้องเรียงตามลำดับ คือหนวดคู่ที่ 2 (left-right arm II) คู่ที่ 3 (arm III) และหนวดคู่ที่ 4 (arm IV) หนวดที่ยาวที่สุดเรียกว่า tentacle บริเวณใต้หนวดคู่ที่ 4 จะมีช่องว่างที่เรียกว่า funnel แสดงดังภาพประกอบ 2.1[23] และจากผลการสำรวจของการประมงอวนลากพาณิชย์ในปี พ.ศ. 2538 บริเวณอ่าวไทยตอนล่างพบหมึกกล้วย 2 สายพันธุ์เท่านั้นที่จับมาแปรรูปในอุตสาหกรรม ประกอบด้วยหมึกกล้วยสายพันธุ์ *Loligo duvauceli* (*L.duvauceli*) คิดเป็น 76.8 เปอร์เซ็นต์ของหมึกกล้วยทั้งหมดที่จับได้ในปี พ.ศ. 2538 ขนาดความยาว 4.5-22.5 เซนติเมตร มีความยาวเฉลี่ย 8.9 เซนติเมตร ส่วนอีก 23.2 เปอร์เซ็นต์เป็นหมึกกล้วยสายพันธุ์ *Loligo chinensis* (*L.chinensis*) มีขนาดความยาว 5.5-33.5 เซนติเมตร มีความยาวเฉลี่ย 12.1 เซนติเมตร (ตาราง 2.1)[24] แสดงรูปหมึกทั้งสองสายพันธุ์ดังภาพประกอบ 2.2(ก) และ (ข)



ภาพประกอบ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานภายนอกของหมึกกล้วย[23]



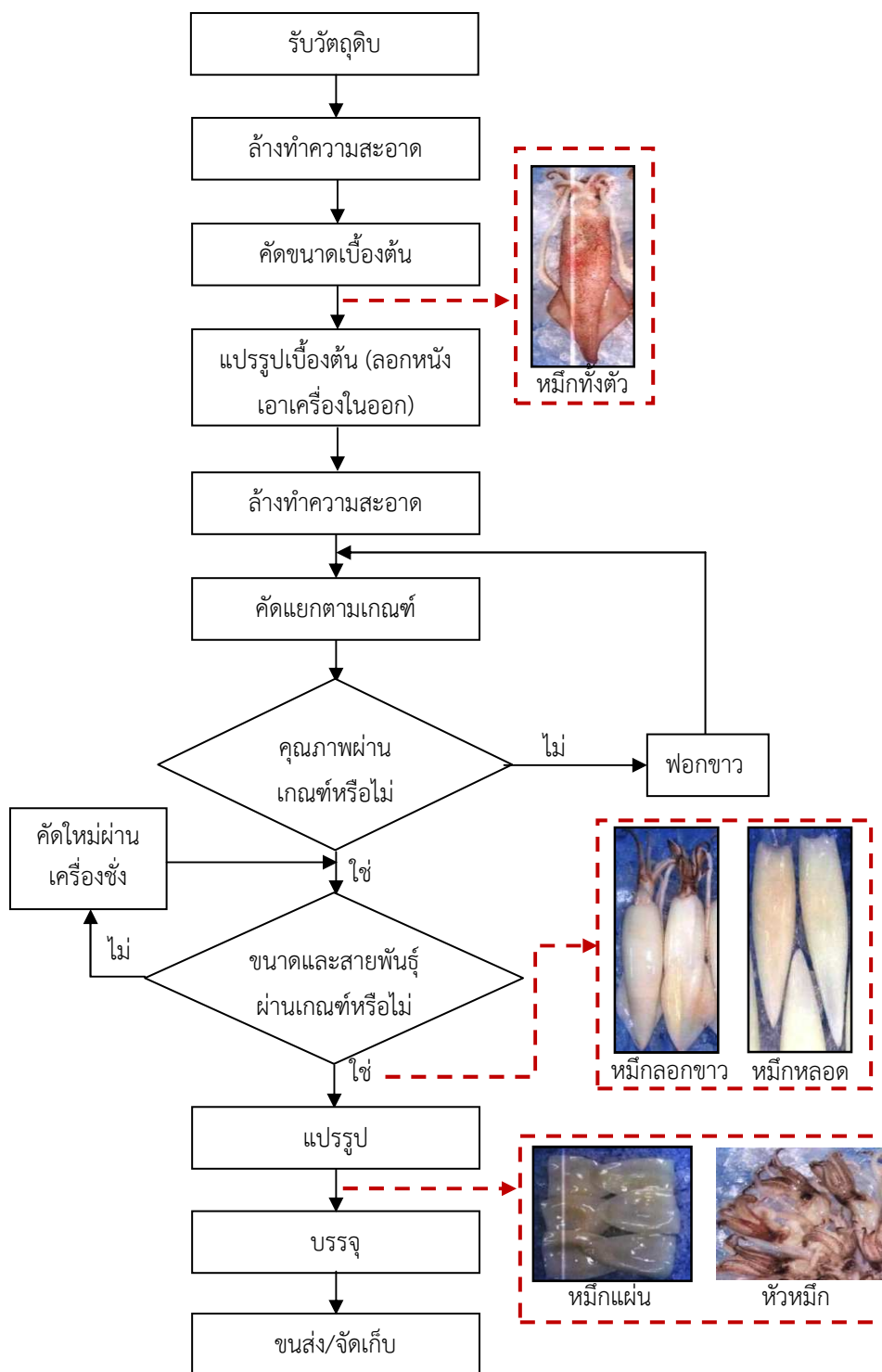
ภาพประกอบ 2.2 รูปร่างหมึกกล้วย (ก) สายพันธุ์ *L. duvauceli* และ (ข) สายพันธุ์ *L. chinensis*

ตาราง 2.1 ผลการสำรวจของการประมงอวนลากพาณิชย์ในปี พ.ศ.2538 ทั้งสองสายพันธุ์ที่พบในบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง

สายพันธุ์	ความยาว (ซม.)	ความยาวเฉลี่ย (ซม.)	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
<i>L.duvauceli</i>	4.5-22.5	8.9	181,456,352	76.8
<i>L.chinensis</i>	5.5-33.5	12.1	54,778,819	23.2

กระบวนการแปรรูปหมึกกล้วยส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการรับวัตถุดิบ ล้างทำความสะอาด คัดแยกขนาดเบื้องต้น ลอกหนังและเอาเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง แล้วผ่านกระบวนการคัดตามเกณฑ์ที่ตกลงไว้กับลูกค้า หมึกที่ผ่านเกณฑ์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นหมึกลอกขาว และหมึกหลอด หากนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปอื่นๆ จะได้เป็นหมึกแผ่น หมึกแหวน หรือหัวหมึกตามความต้องการ ในขั้นตอนสุดท้ายเข้าสู่กระบวนการบรรจุ และจัดเก็บหรือส่งมอบแก่ลูกค้าตามลำดับ สามารถแสดงกระบวนการแปรรูปหมึกด้วยผังกระบวนการ (flowchart) ดังภาพประกอบ 2.3 โดยในทางอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์หมึกกล้วยสดแช่แข็งแบ่งออกเป็น 6 แบบ ดังนี้

- 1) หมึกทั้งตัว (whole round) ได้แก่ หมึกที่มีอวัยวะครบตามธรรมชาติแสดงดังภาพประกอบ 2.4(ก)
- 2) หมึกลอกขาว (whole cleaned) ได้แก่ หมึกทั้งตัวที่ลอกหนัง นำส่วนตา ปาก และอวัยวะภายในออกทั้งหมดแสดงดังภาพประกอบ 2.4(ข)
- 3) หมึกหลอด (tube) ได้แก่ หมึกที่ลอกหนัง ชักไส้ นำส่วนหัว และกระดองหรือแผ่นไคติน (chitin) ออก นำส่วนครีบอกหรือไม้ก้ามได้แสดงดังภาพประกอบ 2.4(ค)
- 4) หมึกแผ่น (fillet) ได้แก่ หมึกตามข้อ 3) นำส่วนครีบอกหรือไม้ก้ามได้ ผ่าตามความยาวตลอดลำตัว แสดงดังภาพประกอบ 2.4(ง)
- 5) หัวหมึก (head) ได้แก่ ส่วนหัวที่มีหนวดของหมึกที่นำส่วนตา ปาก และถุงหมึก (ink sac) ออกแสดงดังภาพประกอบ 2.4(จ)
- 6) ปีกหมึก หรือครีบอก (fin) ได้แก่ อวัยวะส่วนนอก มีลักษณะเป็นแผ่น 2 ข้าง อยู่ติดกับด้านปลายแหลมของตัวหมึกแสดงปีกหมึกภายในวงกลมภาพประกอบ 2.4(ก)



ภาพประกอบ 2.3 กระบวนการแปรรูปเบื้องต้นหมึกกล้วย



(ก) หมึกกล้วยทั้งตัว



(ข) หมึกลอกขาว



(ค) หมึกหลอด



(ง) หมึกแผ่น



(จ) หัวหมึก

ภาพประกอบ 2.4 ชนิดและแบบของหมึกกล้วย [25]

ขั้นตอนที่มีความสำคัญมากของกระบวนการแปรรูปหมึกกล้วย คือการตัดแยกตามเกณฑ์ขนาด สายพันธุ์ และคุณภาพ จากผังกระบวนการจะเห็นได้ว่า หากวัตถุดิบผ่านการตัดแยกขนาด สายพันธุ์ และคุณภาพอย่างถูกต้องแล้ว จะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หมึกเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด สามารถตอบสนองต่อความต้องการและสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้า

จากข้อมูลข้างต้นการตัดแยกขนาดและสายพันธุ์มีความสำคัญต่อลูกค้าและอุตสาหกรรม หากผิดพลาดจะเกิดผลเสียทั้งสองฝ่าย ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาการตัดแยกขนาดและสายพันธุ์เป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยโดยพิจารณาเฉพาะหมึกกล้วยลอกขาว ซึ่งสามารถสรุปเกณฑ์ในการตัดแยกได้ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.1.1. เกณฑ์ในการตัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูป

เกณฑ์ในการตัดแยกหมึกกล้วยแปรรูปแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยเกณฑ์ในการตัดแยกขนาด และเกณฑ์ในการตัดแยกสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูปมีรายละเอียดดังนี้

1) เกณฑ์ในการคัดแยกขนาดแบ่งตามช่วงน้ำหนัก พิจารณาตามเกณฑ์การคัดแยกของแพปลาเอกชน (สงขลา) ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับเกณฑ์การคัดแยกขนาดของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ[25] โดยพิจารณาจากจำนวนหมึกต่อกิโลกรัม และขนาดความยาวหมึกแต่ละตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.2 แพปลาเอกชนจะใช้ชื่อเรียกขนาดเป็น U/5, U/10, U11/20 และ U21/40 ตามขนาดใหญ่ถึงขนาดเล็ก แสดงช่วงน้ำหนักแต่ละขนาดดังตาราง 2.3

ตาราง 2.2 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2548)

จำนวน/น้ำหนัก (ตัว/กก.)	ความยาว (ซม.)
ไม่เกิน 5	มากกว่า 30
5 ถึง 10	มากกว่า 20 ถึง 30
11 ถึง 20	มากกว่า 12.5 ถึง 20
21 ถึง 40	มากกว่า 7.5 ถึง 12.5

ตาราง 2.3 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวแพปลาเอกชน (สงขลา)

ขนาด (size)	น้ำหนักต่อตัว (กรัม)
U/5	มากกว่า 200
U/10	มากกว่า 100 ถึง 200
U11/20	มากกว่า 50 ถึง 100
U21/40	มากกว่า 25 ถึง 50

2) เกณฑ์ในการคัดแยกสายพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ พิจารณาตามลักษณะรูปร่างสำหรับการคัดแยกของแพปลาเอกชน (สงขลา) ซึ่งพบว่าเกณฑ์ดังกล่าวสอดคล้องกับผลที่ได้จากการสำรวจของการประมงอวนลากพาณิชย์ในปี พ.ศ. 2538 บริเวณอ่าวไทยตอนล่างคือมีเพียง 2 สายพันธุ์ (species) ของหมึกกล้วย คือสายพันธุ์ *L.duvauceli* และสายพันธุ์ *L.chinensis* ที่นำมาแปรรูปในอุตสาหกรรม จะเห็นได้ว่าหมึกทั้ง 2 สายพันธุ์มีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน โดยที่หมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* มีรูปร่างสั้นและกว้างมากกว่าหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* ในงานวิจัยนี้จึงใช้ความแตกต่างของความยาวและความกว้างของหมึกในการระบุสายพันธุ์ แสดงดังภาพประกอบ 2.5



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 2.5 สายพันธุ์หมึกจากแพแอกชน

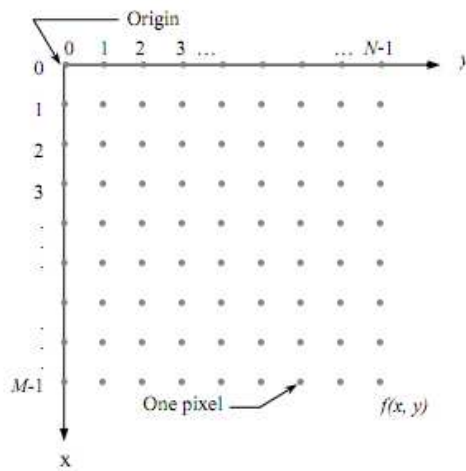
(ก) สายพันธุ์ *L. duvauceli* และ (ข) สายพันธุ์ *L. chinensis*

2.2. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing)

การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (digital format) หรือข้อมูลเชิงตัวเลข โดยวัตถุประสงค์ของการประมวลผลภาพแบ่งเป็นสองประเภท คือการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อให้มนุษย์สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจนมากขึ้น และเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถแปลความหมายภาพได้ (computer interpretation) ซึ่งจะกล่าวถึง ทฤษฎีและรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1. ภาพดิจิทัล (digital Image)

ภาพดิจิทัล คือภาพที่แสดงเป็นแอเรย์ (array) หลายมิติ หรือเป็นเมทริกซ์ (matrix) เชิงตัวเลข ภาพดิจิทัลจะแสดงในลักษณะสองมิติ จะมีขนาดความกว้างและความสูงของภาพบนแนวแกน X และแกน Y ส่วนจุดใดๆ ที่อยู่บนระนาบ XY จะเรียกแทนจุดนั้นว่า พิกเซล (pixel) แต่ละพิกเซลจะแสดงค่าความเข้มแสงของภาพเป็นฟังก์ชัน (x,y) หรือ $f(x,y)$ ตัวอย่างดังภาพประกอบ 2.6 แสดงจุดพิกัดบนภาพดิจิทัลที่มี M แถว และ N คอลัมน์ มีจุดกำเนิดคือ $(x,y) = (0,0)$



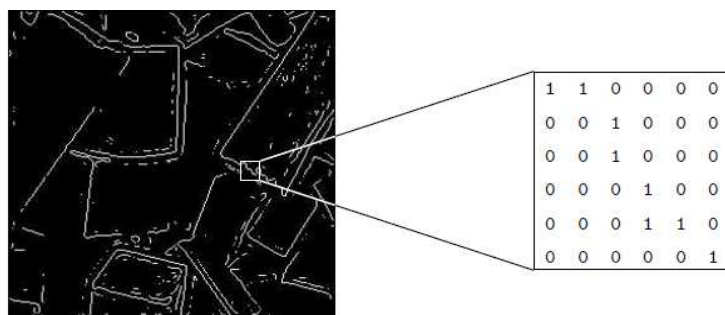
ภาพประกอบ 2.6 จุดพิกัดบนภาพดิจิทัล[26]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงภาพดิจิทัลขนาด $M \times N$ ให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$f(x,y) \equiv \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

2.2.2. ประเภทของภาพ (types of digital images) มีการจำแนกภาพออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ภาพขาวดำ (black and white image (B/W)) หรือภาพไบนารี (binary) ที่แต่ละพิกเซลมีค่าหนึ่งบิต สามารถแสดงได้เพียงสองสี คือสีขาวแทนด้วย 1 และสีดำแทนด้วย 0 แสดงดังภาพประกอบ 2.7



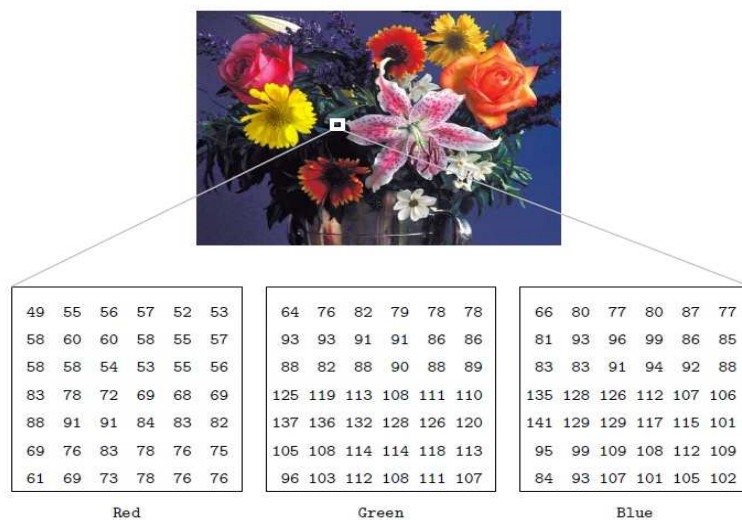
ภาพประกอบ 2.7 ภาพไบนารี (binary image)[27]

2) ภาพระดับเทา (gray scale image) คือภาพที่มีระดับความเข้มแต่ละพิกเซล สอดคล้องกับความเข้มแสงปกติแสดงในระดับสีเทา ซึ่งแต่ละพิกเซลสามารถแสดงเฉดสีจาก 0 (สีดำ) ถึง 255 (สีขาว) มีขนาด 8 บิต หรือ 1 ไบต์ แสดงดังภาพประกอบ 2.8



ภาพประกอบ 2.8 ภาพระดับเทา (gray scale image)[27]

3) ภาพสี (color image) หรือภาพสี RGB (RGB image) คือภาพสีที่แต่ละพิกเซลมีส่วนประกอบของเวกเตอร์แทนสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) แต่ละสีสามารถแสดงค่าความเข้มแสงได้ในช่วง 0-255 ทำให้แต่ละพิกเซลสามารถแสดงสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 256^3 เท่ากับ 16,777,216 สี และแต่ละพิกเซลมีขนาด 24 บิต แสดงดังภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 ภาพสี (color image)[27]

2.2.3. การประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing)

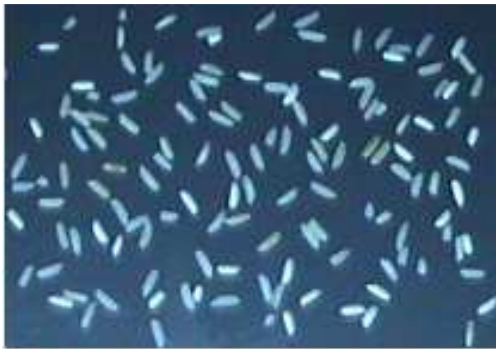
การประมวลผลภาพดิจิทัลเป็นการนำข้อมูลดิจิทัลผ่านขั้นตอนต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ เช่นการทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกมาจากภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ซึ่งจะเห็นได้ว่าขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัลมีหลายขั้นตอน แต่ในการทำงานแต่ละงานไม่จำเป็นต้องทำทุกขั้นตอนขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานนั้นๆ และสามารถอธิบายขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ได้ดังต่อไปนี้

1) การจัดสภาพแวดล้อม (scene constraint) เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลภาพให้มากที่สุด เนื่องจากความสามารถในการมองเห็นและรับรู้ของอุปกรณ์ประมวลผลมีจำกัดและไม่เทียบเท่ามนุษย์ จึงต้องช่วยลดความยุ่งยากของการประมวลผล ได้แก่

ก) การจัดการกับวัตถุ ซึ่งหากไม่จัดการกับการวางตัวของวัตถุ อุปกรณ์ประมวลผลต้องหาทิศทางของวัตถุเอง

ข) ระยะระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ ตัวแปรเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของวัตถุที่ระบบมองเห็น

ค) การจัดการเรื่องแสง แสงเป็นองค์ประกอบสำคัญมาก เนื่องจากการมองเห็นภาพของระบบอัตโนมัติเกิดจากการที่แสงตกกระทบวัตถุ แล้วสะท้อนผ่านเลนส์เข้าตัวเซนเซอร์รับภาพของกล้อง ซึ่งการจัดการเกี่ยวกับแสงนั้นจำเป็นต้องพิจารณาเรื่องการใช้แหล่งกำเนิดแสง ตัวอย่างเช่นงานวิจัยการจำแนกคุณภาพของแผ่น tortilla ข้าวโพด[14] ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เนื่องจากให้แสงที่เป็นธรรมชาติของตอนกลางวันขนาด 18 วัตต์ มีอุณหภูมิสีประมาณ 6500 เคลวิน หรือ D65 เป็นมาตรฐานของแสงที่ใช้ทั่วไปในงานวิจัยเกี่ยวกับอาหาร และให้ค่าสีที่เหมือนค่าสีจริง 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการตรวจสอบคุณภาพโดยทั่วไปจะทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงไว้ด้านเดียวกับกล้อง ส่องไปยังวัตถุที่ต้องการจับภาพ เรียกว่า front lighting เพื่อดูเฉพาะความสมบูรณ์ของวัตถุในภาพดังภาพประกอบ 2.10(ก) แต่ก็มีบางงานวิจัยมีความจำเป็นจะต้องใช้แสงมาจากด้านหลังของวัตถุ เรียกว่า back lighting เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของวัตถุในภาพ ดังภาพประกอบ 2.10(ข) ตัวอย่างเช่นงานวิจัยการประเมินคุณภาพเมล็ดข้าว[17]



(ก) ภาพที่มีแหล่งกำเนิดแสงจากด้านหน้า

(front lighting)



(ข) ภาพที่มีแหล่งกำเนิดแสงจากด้านหลัง

(back lighting)

ภาพประกอบ 2.10 ภาพเมล็ดข้าว[17]

นอกจากการจัดสภาพแวดล้อมในการถ่ายภาพแล้ว งานบางงานอาจต้องการใช้ภาพจากกล้องหลายๆ ตัวเพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานหลายๆ มุมมอง เช่นระบบการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวแอปเปิล[10] ใช้กล้อง 2 ตัวติดตั้งด้านบนกับด้านล่างสายพาน

2) การดึงข้อมูลภาพ (image acquisition) เป็นกระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้อง ตลอดจนถึงการดึงข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลผล กระบวนการนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือกล้องที่ใช้ในงานตรวจสอบวัตถุปัจจุบัน เป็นกล้องดิจิทัลซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า เซ็นเซอร์รับภาพ (image sensor) ซึ่งจะประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก และในทันทีที่แสงมีการตกกระทบบไดโอดเหล่านี้ ไดโอดแต่ละตัวจะทำการจดจำความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบบไดโอดแต่ละตัวไว้ ไดโอดนี้เรียกกันว่าเซลล์รับภาพพิกเซล (pixel) ซึ่งหนึ่งเซลล์รับภาพจะให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบเพียงค่าหนึ่งเท่านั้นโดยทั่วไปค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพจะมีค่าระหว่าง 0-255 เท่านั้น (ช่วงข้อมูลดังกล่าวสามารถแทนด้วยข้อมูลขนาด 1 byte หรือ 8 บิตที่จะให้ความละเอียด 2^8 หรือ 256 ระดับ จะมีกล้องบางประเภทที่ให้ค่าความเข้มแสงที่มีความละเอียดสูงถึง 16 บิต) โดยหากค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าที่เซลล์รับภาพนั้นมีความเข้มแสงต่ำสุดหรือเป็นด้านมืด และหากมีค่าเท่ากับ 255 ก็แสดงว่าที่เซลล์รับภาพที่ตำแหน่งนั้นมีความเข้มแสงสูงสุดหรือเป็นด้านสว่างดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 2.11



ภาพประกอบ 2.11 ความเข้มแสงเทียบกับค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพ

3) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (pre-processing) มีด้วยกันหลากหลายกระบวนการ ตัวอย่างเช่นการลดสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในภาพแสดงดังภาพประกอบ 2.12 การตรวจจับขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพแสดงดังภาพประกอบ 2.13 การแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การหมุน การเลื่อน การย่อ และการขยาย เป็นต้น การแปลงสี การวิเคราะห์ภาพในเชิงความถี่ การบีบอัดภาพ และอื่นๆ

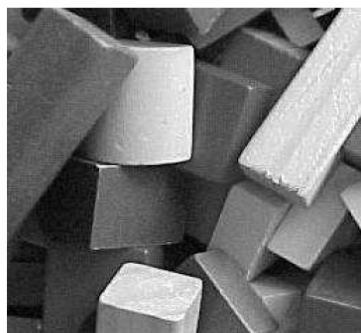


(ก) ภาพต้นฉบับ

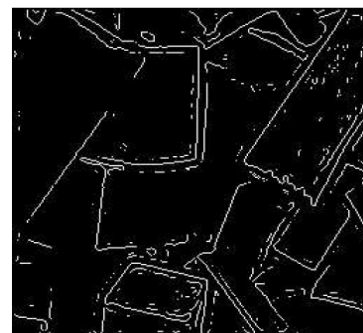


(ข) ภาพหลังกำจัดสัญญาณรบกวน

ภาพประกอบ 2.12 การกำจัดสัญญาณรบกวน[27]



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพหลังการแยกขอบภาพ

ภาพประกอบ 2.13 การหาขอบภาพ[27]

4) การแยกบริเวณ (segmentation) เป็นกระบวนการแยกบริเวณภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมุ่งเน้นในการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง สำหรับกระบวนการแยกมีด้วยกัน 2 วิธี คือ

ก) การแยกบริเวณโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์ (threshold) ค่าเทรชโฮลด์เป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพระดับเทา (gray scale) สำหรับการแยกบริเวณโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์ กระทำโดยการแปลงภาพระดับเทาเป็นภาพไบนารี (binary image) โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลด์ จะกำหนดให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นด้านมืดไป และ

ถ้าพิกเซลใดมีค่าสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์แล้วให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็น 255 หรือเปลี่ยนเป็นค่าสว่างไป ผลการแยกบริเวณของวัตถุภายในภาพโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์แสดงดังภาพประกอบ 2.14(ข) และ (ค)

ข) การแยกบริเวณโดยใช้ขอบของวัตถุ (edge based segmentation) สำหรับวิธีนี้ต้องคำนวณหาขอบภาพของวัตถุเสียก่อน ซึ่งขอบในความหมายของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลคือพิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนด ผลการแยกบริเวณของวัตถุภายในภาพโดยการใช้ขอบของวัตถุแสดงดังภาพประกอบ 2.14(ง)

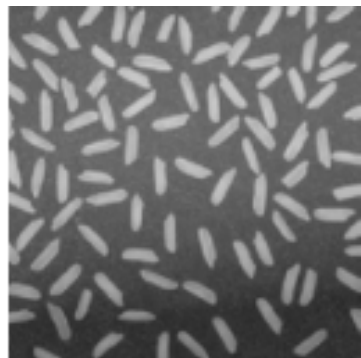
5) การคำนวณหาคุณลักษณะของวัตถุ (feature extraction) เป็นการคำนวณหาหรือวัดคุณลักษณะต่างๆ ของแต่ละบริเวณหรือของวัตถุแต่ละชั้นที่อยู่ในภาพ เช่นการคำนวณหาพื้นที่ ซึ่งเป็นเพียงการนับจำนวนพิกเซลของบริเวณหรือพื้นที่นั้นๆ หรือการหาเส้นรอบวงของวัตถุ ผลที่ได้ของกระบวนการนี้ คือค่าคุณลักษณะต่างๆ ของวัตถุแต่ละชั้นที่อยู่ในภาพ คุณลักษณะเหล่านี้จะจัดวางอยู่ในรูปเวกเตอร์เช่นวัตถุชั้นที่หนึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 120 พิกเซล และเส้นรอบวงยาว 50 พิกเซล และวัตถุชั้นที่สองที่ปรากฏในภาพมีพื้นที่เท่ากับ 200 พิกเซล และเส้นรอบวงยาว 30 พิกเซล สามารถเขียนเวกเตอร์คุณลักษณะ (feature vector) ของวัตถุชั้นแรก (Obj1) และของวัตถุชั้นที่สอง (Obj2) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ขนาด 2 มิติได้ดังนี้

$$Obj1 = \begin{bmatrix} 120 \\ 50 \end{bmatrix} \quad Obj2 = \begin{bmatrix} 200 \\ 30 \end{bmatrix}$$

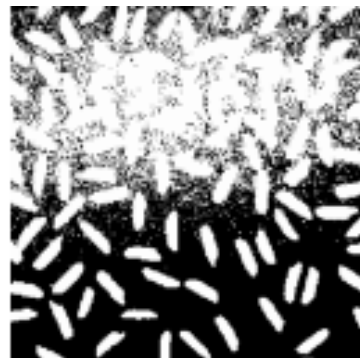
เมื่อ ตำแหน่งแรก คือพื้นที่ของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

ตำแหน่งที่สอง คือความยาวรอบรูปของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

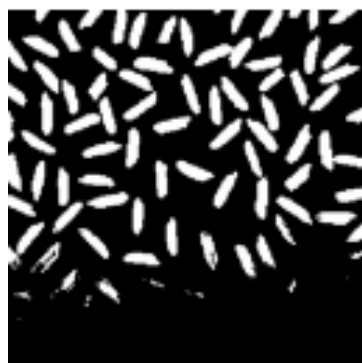
6) การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย (classification and interpretation) การจำแนกวัตถุ คือกระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นว่าเป็นวัตถุที่อยู่ในกลุ่มใด โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ เปรียบเทียบกับวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม ก่อนที่ระบบจะสามารถตัดสินใจดังกล่าวได้ ระบบจะต้องมีตัวอย่างของวัตถุในแต่ละกลุ่ม สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกขนาดมีการจำแนกด้วยกันหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น ระเบียบวิธีของ k-Nearest Neighbor classifier (k-NN) เป็นตัวจำแนกที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างเวกเตอร์คุณสมบัติของวัตถุกับกลุ่มตัวอย่าง และจำแนกวัตถุนั้นๆ เข้ากับกลุ่มที่มีระยะใกล้ที่สุด เช่นการคัดเกรดแอปเปิล[16] โดยใช้ฟัซซี (fuzzy) ร่วมกับ k-NN ในการจำแนกเกรดแอปเปิล ส่วนการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งเป็นวิธีการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ เช่นระบบการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวแอปเปิล[10] การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดถั่ว[18] การวิเคราะห์สีและลักษณะผิวในการตรวจสอบและคัดแยกขนาดชา[28]



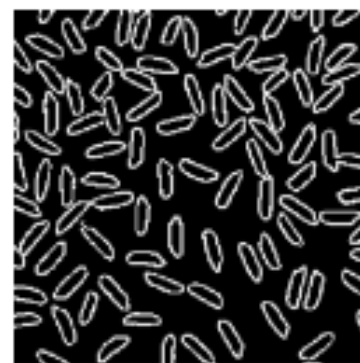
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 2.14 การแยกทั้งสองวิธี

(ก) ภาพระดับเทา (gray scale) ดั้งเดิม

(ข) ภาพไบนารีโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 100

(ค) ภาพไบนารีโดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 153

(ง) ภาพไบนารีที่เกิดการใช้ตัวตรวจจับขอบ โดยใช้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 153

การจำแนกด้วยกระบวนการทางสถิติ (statistical pattern classification) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ผลของการทำงานของการทำงานจำแนกวัตถุ จะทำให้สามารถทราบได้ว่าบริเวณที่แยกออกนั้นเป็นวัตถุชนิดใด ทำให้สามารถตีความหมายภาพ และสามารถส่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ เช่นการสั่งให้สายพานเลื่อนชิ้นงานขึ้นไปเข้ามาหรือการสั่งให้แขนหุ่นยนต์ทำการหยิบจับชิ้นงานที่ผ่านตรวจสอบแล้วไปวางไว้ในที่ๆ จัดไว้เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าตัวจำแนกแต่ละตัวมีลักษณะที่ต่างกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการจำแนก และความถูกต้องแม่นยำเพื่อให้เหมาะสมและตรงกับวัตถุประสงค์ของงานมากที่สุด ซึ่งตัวจำแนกแต่ละตัวมีลักษณะที่ต่างกัันดังนี้ โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการเลียนแบบการทำงานของระบบประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งจะต้องผ่านการฝึกฝน (train) ข้อมูลก่อน แล้วระบบจะสามารถเรียนรู้และนำทักษะไปแก้ปัญหาต่างๆได้ ผลที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำมาก แต่ต้องใช้เวลาในการฝึกฝนค่อนข้างนาน ระบบฟัซซี่สามารถตัดสินใจเหตุการณ์ที่

คลุมเครือได้ แต่ไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในการปรับแต่งโครงสร้างเหมือนกับโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องด้วยสินค้าเกษตรมีรูปร่างที่ซับซ้อน และหลากหลาย โครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นเครื่องมือจำแนกที่น่าสนใจ

2.3. ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโครงข่ายที่มีรูปแบบโครงสร้างและการประมวลผลเหมือนกับสมองมนุษย์ ที่มีการปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองของอินพุตตามกฎการเรียนรู้หรืออาจกล่าวได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้หลายวิธี เช่นพิจารณาตามวิธีการเรียนรู้ ได้แก่ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) การแบ่งชนิดโครงข่ายประสาทเทียมอีกอย่างหนึ่ง คือการแบ่งตามสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (architecture) แบ่งได้ 2 ประเภท คือโครงข่ายไปข้างหน้า (feed-forward network) เป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อเป็นแบบทิศทางเดียวจากอินพุตไปยังเอาต์พุต และโครงข่ายป้อนกลับ (recurrent network) เป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อภายในระหว่างนิวรอนในรูปแบบป้อนกลับหรือวงรอบ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมไปข้างหน้า (feed-forward network) แบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (multi-layer perceptron) โดยใช้อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm) เนื่องจากเป็นที่รู้จักและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมทั่วไปประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือแบบจำลองของนิวรอน (neuron) และสถาปัตยกรรมของโครงข่าย (network architecture) นอกจากนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ANN และจุดเด่นของ ANN ซึ่งมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไปนี้

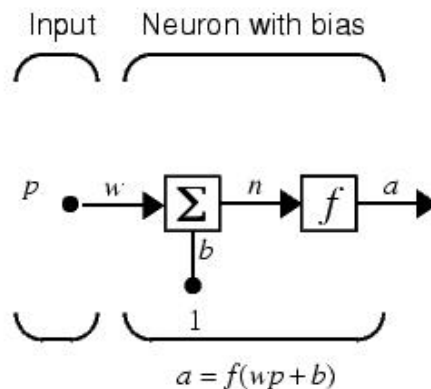
2.3.1. แบบจำลองของนิวรอน (neuron)

แบบจำลองของนิวรอน มีโครงสร้างพื้นฐาน 2 แบบดังนี้

1) นิวรอนแบบอินพุตเดี่ยว แสดงโครงสร้างดังภาพประกอบ 2.15 โดยค่าอินพุต p ถูกป้อนเข้าไปคูณกับค่าน้ำหนักประสาท (weight: w) ได้ผลคูณเป็น wp รวมกับค่าไบอัส (bias: b) ได้เป็น n หรือเรียกว่า เน็ตอินพุต (net input) ซึ่งจะเป็นอินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function หรือ activation function) และได้เอาต์พุตของนิวรอน คือ a สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1)

$$a = f(wp + b) \quad (2.1)$$

โดยที่ f เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ทำหน้าที่เปลี่ยนค่า n เป็นค่า a หรือเอาต์พุตตั้งสมการ (2.1) สำหรับค่า w และค่า b สามารถปรับค่าได้ตามต้องการ โดยปกติฟังก์ชันถ่ายโอนจะออกแบบได้โดยผู้ใช้ และพารามิเตอร์ w และ b จะถูกปรับค่าจากกฎการเรียนรู้ หรือโครงข่ายประสาทเทียมทำการสุ่มค่าเริ่มต้นแล้วปรับค่าพารามิเตอร์ให้ได้ตามค่าคาดหวังโดยอัตโนมัติ



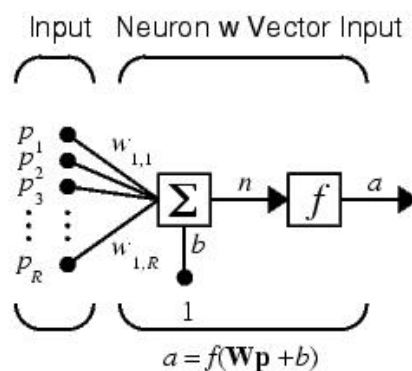
ภาพประกอบ 2.15 แบบจำลองนิวรอนอินพุตเดี่ยว[29]

2) นิวรอนแบบหลายอินพุตแสดงโครงสร้างดังภาพประกอบ 2.16 ซึ่งมี R อินพุต ประกอบด้วยอินพุตย่อย p_1, p_2, \dots, p_R แต่ละตัวคูณด้วยค่าน้ำหนักประสาทเทียมของตัวเอง คือ $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1R}$ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์เรียกว่า เมตริกซ์น้ำหนักประสาท (weight matrix) มีสัญลักษณ์คือ W แล้วรวมกับค่าไบอัส (bias) ได้เป็นค่าเน็ตอินพุต n ได้ตั้งสมการ (2.2) ค่า n ถูกป้อนผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน f ได้เป็นเอาต์พุต a ตั้งสมการ (2.3) หรือ (2.4)

$$n = Wp + b \quad (2.2)$$

$$a = f(Wp + b) \quad (2.3)$$

$$a = f(w_{11}p_1 + w_{12}p_2 + \dots + w_{1R}p_R + b) \quad (2.4)$$

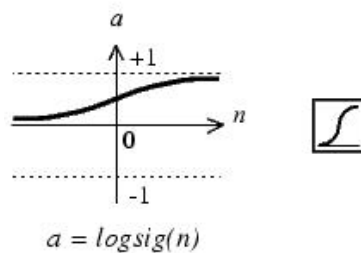


ภาพประกอบ 2.16 แบบจำลองนิวรอนหลายอินพุต[29]

ชนิดฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) มีด้วยกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นประกอบด้วย ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอการิทึมซิกมอยด์ (logarithmic sigmoid) หรือลอกลอกซิกมอยด์ (log-sigmoid) ฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น (linear) และฟังก์ชันถ่ายโอนไฮเพอร์บอริกแทนเจนต์ซิกมอยด์ (hyperbolic tangent sigmoid) หรือแทนซิกมอยด์ (tan-sigmoid) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอการิทึมซิกมอยด์ (logarithmic sigmoid) หรือลอกลอกซิกมอยด์ (log-sigmoid) เป็นฟังก์ชันแปลงค่าอินพุตที่มีค่าช่วงไม่จำกัดให้เป็นค่าเอาต์พุตที่มีช่วงจำกัดระหว่าง 0 ถึง +1 ฟังก์ชันประเภทซิกมอยด์เหมาะสำหรับปัญหาการจดจำรูปแบบที่ใช้แปลงค่าในชั้นเอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.5) และมีสัญลักษณ์แสดงดังภาพประกอบ 2.17

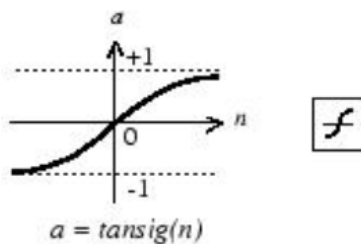
$$f(n) = \frac{1}{1+\exp(-n)} \quad (2.5)$$



ภาพประกอบ 2.17 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอกลอกซิกมอยด์ และสัญลักษณ์[29]

2) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไฮเพอร์บอริกแทนเจนต์ซิกมอยด์ (hyperbolic tangent sigmoid) หรือแทนซิกมอยด์ (tan-sigmoid) เป็นฟังก์ชันแปลงค่าอินพุตที่มีค่าช่วงไม่จำกัดให้เป็นค่าเอาต์พุตที่มีช่วงจำกัดระหว่าง -1 ถึง +1 เหมาะสำหรับปัญหาการจดจำรูปแบบที่ใช้แปลงค่าในชั้นเอาต์พุตเช่นเดียวกับฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอกลอกซิกมอยด์ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.6) และมีสัญลักษณ์แสดงดังภาพประกอบ 2.18

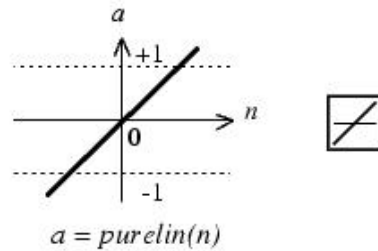
$$f(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \quad (2.6)$$



ภาพประกอบ 2.18 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบไฮเพอร์บอริกแทนเจนต์ซิกมอยด์ และสัญลักษณ์[29]

3) ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (linear) เป็นฟังก์ชันที่แปลงค่าเอาต์พุตเท่ากับค่า n ซึ่งเท่ากับค่าอินพุต เหมาะสำหรับปัญหาสมรูป (fitting problems) ที่แปลงค่าในชั้นเอาต์พุต สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.7) และมีสัญลักษณ์แสดงดังภาพประกอบ 2.19

$$f(n) = n \tag{2.7}$$

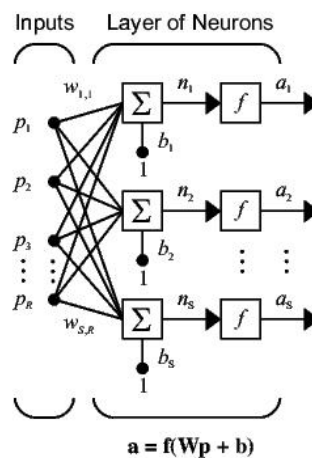


ภาพประกอบ 2.19 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (linear) และสัญลักษณ์[29]

2.3.2.สถาปัตยกรรมของโครงข่าย (Network Architecture)

รูปแบบการเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียม หรือที่เรียกว่าสถาปัตยกรรมของโครงข่าย สถาปัตยกรรมของโครงข่ายที่แตกต่างกันมีผลให้พฤติกรรมของโครงข่ายแตกต่างกันด้วย สำหรับสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบไปข้างหน้า ซึ่งมีการไหลของอินพุตไปยังเอาต์พุต และไม่มีการป้อนกลับมีด้วยกัน 2 แบบคือ

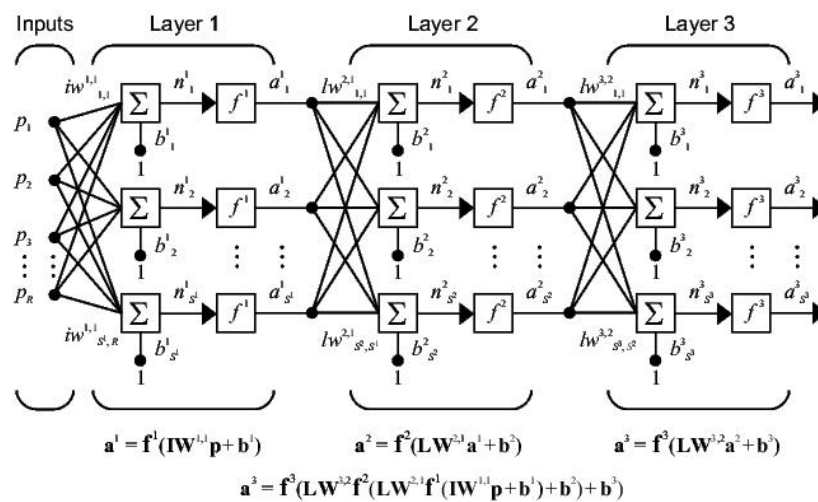
1) โครงสร้างของโครงข่ายแบบชั้นเดียว (single layer) โครงข่าย แสดงดังภาพประกอบ 2.20 มี R อินพุต และค่าน้ำหนักประสาทเทียม S ค่าต่อเข้าสู่แต่ละนิวรอน ซึ่งแต่ละนิวรอนทำหน้าที่รวม Wp และค่าไบอัส (b) ได้เป็นค่า n ผ่านเข้าสู่ฟังก์ชันถ่ายโอน (f) ออกเป็นค่าเอาต์พุต a



ภาพประกอบ 2.20 โครงสร้างของโครงข่ายแบบชั้นเดียว[29]

2) โครงสร้างของโครงข่ายแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron: MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถทำงานที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานทุกประเภท โดยมีข้อแม้ว่าต้องมีจำนวนชั้น และจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม โครงสร้างของโครงข่ายแสดงดังภาพประกอบ 2.21

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยตัวประมวลผลเรียกว่า นิวรอน ซึ่งเชื่อมต่อถึงกัน และนิวรอนแต่ละตัวจะส่งผ่านสัญญาณไปยังนิวรอนอื่นๆ ต่างชั้น (layer) ผ่านจุดเชื่อมต่อที่เรียกว่า weight โดยที่นิวรอนที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะมีหน้าที่เหมือนกันซึ่งแต่ละนิวรอนจะรับค่าสัญญาณอินพุตที่เชื่อมต่อกับตัวเองทั้งหมดมาประมวลผล และจะให้สัญญาณออกมาที่เอาต์พุตเพียงหนึ่งค่าเท่านั้น โดยที่สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละชั้นจะถูกส่งไปยังนิวรอนในชั้นปลายทางต่อไป



ภาพประกอบ 2.21 โครงสร้างของโครงข่ายแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น[30]

การเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นเป็นการหาค่า น้ำหนัก (weight) ที่ทำให้โครงข่ายส่งค่าเอาต์พุตมีค่าตรงกับค่าเป้าหมาย (target) ในการสอน โครงข่ายให้รู้จักข้อมูลจะต้องมีตัวอย่างคู่ข้อมูลอินพุตและเป้าหมายในการสอน เรียกว่าชุดฝึกสอน (training set)

การเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น เพื่อแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก เช่น ปัญหาที่ข้อมูลมีการซ้อนทับกัน ปัญหาการแยกที่ไม่เป็นเชิงเส้น เป็นต้น ซึ่งเป็นปัญหาที่โครงข่ายเปอร์เซ็ปตรอนแบบหนึ่งชั้นไม่สามารถแก้ได้ สำหรับการสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น จะใช้วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (back propagation learning)

โครงข่ายประสาทเทียมนอกจากจะสามารถทำหน้าที่เป็นตัวแยกข้อมูล (classification) แล้วยังสามารถใช้ในการประมาณค่า (function approximation) โดยการเปลี่ยน

ฟังก์ชันถ่ายโอน และกำหนดโครงสร้างเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น

การคำนวณค่าที่เอาต์พุต โดยการป้อนอินพุตเข้าชั้นที่หนึ่งและคำนวณไปข้างหน้า (feedforward) เอาต์พุตชั้นก่อนจะเป็นอินพุตป้อนเข้าสู่ชั้นถัดไปเรื่อยๆ จนถึงชั้นเอาต์พุตสุดท้าย และฟังก์ชันถ่ายโอนจะเป็นแบบใดก็ได้ ซึ่งในแต่ละชั้นสามารถกำหนดให้เป็นต่างชนิดกันแต่ในชั้นเดียวกันมักกำหนดให้เป็นฟังก์ชันชนิดเดียวกัน

โครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น จะใช้วิธีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ โดยมีตัวชี้การบรรลุผลสำเร็จของการเรียนรู้เช่นเดียวกับวิธีการสอนแบบค่าผิดพลาดกำลังสองน้อยสุด คือการใช้ค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (mean square error: MSE) โดยอัลกอริทึมจะปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสเพื่อลดค่าผิดพลาด

ขั้นตอนการเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นแบบค่าผิดพลาดกำลังสองต่ำสุด โดยกำหนดให้ข้อมูลชุดฝึกสอนเป็นคู่อินพุตและเอาต์พุต มีขั้นตอนดังนี้

ก) กำหนดโครงสร้างโครงข่าย เลือกอัตราการเรียนรู้ (learning rate: η) คือค่าเล็กๆ ไกล่ศูนย์ กำหนดค่าผิดพลาดต่ำสุดที่ยอมรับได้ (error threshold: E_{th}) และกำหนดจำนวนรอบการเรียนรู้สูงสุด (maximum epoch: L_{max})

ข) สุ่มค่าน้ำหนัก (W) และ ค่าไบอัส (b) จากค่าเล็กๆ กำหนดค่า $m=1, k=1$

ค) รับข้อมูลคู่อินพุตเอาต์พุตที่เป็นชุดฝึกสอนเข้าโครงข่าย ทำการคำนวณค่าเอาต์พุต a และค่าความผิดพลาด e

ง) ปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสย้อนกลับจากชั้นเอาต์พุตไปยังชั้นซ่อนที่หนึ่ง คำนวณค่าความลาดชันของค่าผิดพลาด ปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสชั้นเอาต์พุต และคำนวณค่าความลาดชันของค่าผิดพลาด ปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัสชั้นซ่อนที่หนึ่ง

จ) ถ้า $k=1 < K$ ให้ $k = k+1$ ทำการคำนวณซ้ำจากขั้นตอน ค) ถ้า $k = K$ ไปทำขั้นตอน ฉ)

ฉ) คำนวณค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ระหว่างค่าเอาต์พุตกับค่าเป้าหมาย

ช) ถ้า $MSE > E_{th}$ และจำนวนรอบ $m < L_{max}$ กำหนด $k=1, m=m+1$ เริ่มรอบการฝึกฝนใหม่จากขั้นตอน ค)

ซ) $MSE \leq E_{th}$ หรือจำนวนรอบ $m \geq L_{max}$ จบการฝึกสอน

เพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นค่าที่ต่ำที่สุดแบบทุกพื้นที่ (global minimum) ต้องทำการทดลองซ้ำหลายครั้งเพื่อให้การสุ่มค่าเริ่มต้นที่ใกล้ค่าต่ำสุดแบบทุกพื้นที่ อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับจะสามารถลู่เข้าสู่คำตอบที่เป็นค่าต่ำสุดแบบทุกพื้นที่ได้

อัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ มีด้วยกันหลายชนิดแสดงดังตาราง 2.4 สำหรับอัลกอริทึมที่นำมาสอนโครงข่ายแล้วทำให้ค่าผิดพลาด (error) ต่ำ ลู่เข้าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วกว่าทุกอัลกอริทึม และมีคุณลักษณะในการลดการใช้หน่วยความจำ คืออัลกอริทึม Levenberg-Marquardt นอกจากนี้ยังมีการนำอัลกอริทึม Scaled Conjugate Gradient มาสอนโครงข่าย เนื่องจากสามารถลู่เข้าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน (เมื่อกำหนดจำนวนรอบในการทดสอบเท่ากัน) ส่วนอัลกอริทึมอื่นๆ ลู่เข้าเป้าหมายได้ช้า และยากกว่า แต่อย่างไรก็ตามควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม

ตาราง 2.4 อัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ[30]

ชนิดของอัลกอริทึม	สัญลักษณ์	คุณลักษณะ
Gradient Descent (GD)	Traingd	เป็นแบบดั้งเดิม ทำงานช้า
GD with momentum	Traingdm	เร็วกว่า traingd
GD with adaptive α	Traingda	เร็วกว่า traingd แต่สามารถใช้ได้แต่กับ batch model เท่านั้น
Gd with adaptive α and with momentum	Traingdx	
Resilient Backpropagation	Trainrp	เร็วสำหรับการปรับค่าเข้าหากัน
Fletcher-Reeves Update	Traincfp	อัลกอริทึม Conjugate Gradient ซึ่งเร็วสำหรับการปรับค่าเข้าหากัน
Polak-ribiere Update	Traincgp	
Powell-Beale Restart	Traincgb	
Scaled Conjugate Gradient	Trainscg	
One Step Secant algorithm	Trainoss	อัลกอริทึม Quasi-Newton ซึ่งเร็วสำหรับการปรับค่าเข้าหากัน
BFGS algorithm	Trainbfg	
Levenberg-Marquardt	Trainlm	เร็วในการเรียนรู้ มีคุณลักษณะในการลดการใช้งานหน่วยความจำ
Bayesian regularization	Trainbr	ปรับปรุงความสามารถโดยทั่วไปให้ดีขึ้น

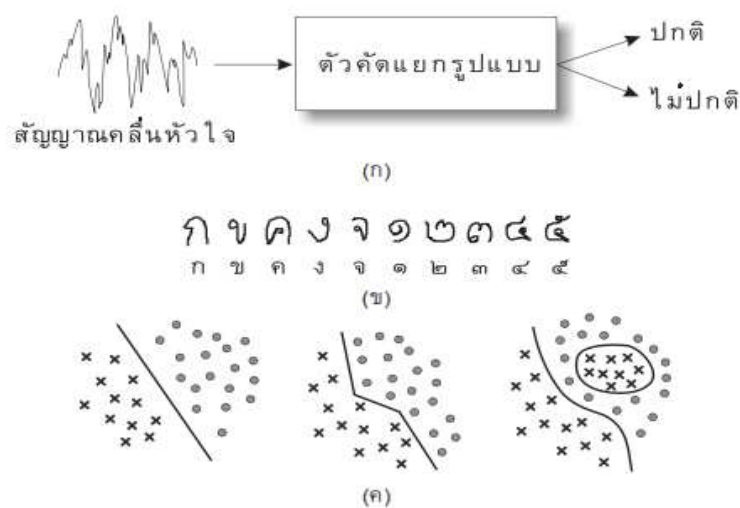
2.3.3. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน ANN

ส่วนนี้เป็นการยกตัวอย่างการนำ ANN ไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี

1) การจดจำรูปแบบ (pattern recognition) การจดจำรูปแบบ คือการกำหนดรูปแบบอินพุต (เช่น คลื่นเสียงพูดหรือลายมือเขียนตัวอักษร) ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์คุณลักษณะ

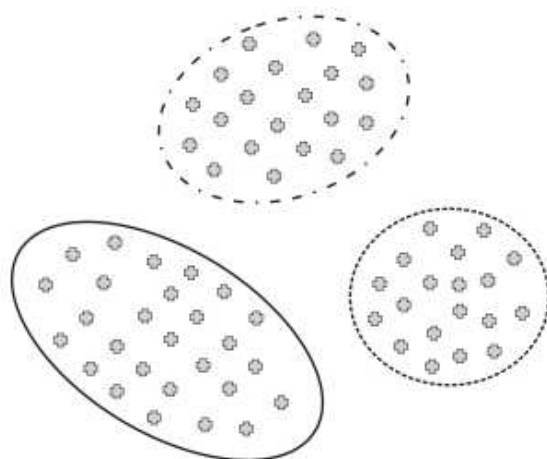
(feature vector) ที่ใช้แทนคลาสต่างๆ ดังภาพประกอบ 2.22 การประยุกต์ใช้งาน เช่นการจดจำลายมือตัวอักษร การจดจำเสียง การจดจำรูปคลื่นสมอง (Electro Encephalograph: EEG) และคลื่นหัวใจ (Electro Cardiograph: ECG) การจำแนกเซลล์เม็ดเลือด และการตรวจสอบลายวงจร

2) การจับกลุ่ม (clustering/ categorization) โดยปกติแล้วในงานการจับกลุ่มจะไม่มีข้อมูลล่วงหน้าให้สำหรับการฝึกสอน อัลกอริทึมการจับกลุ่มจะทำการค้นหาสภาวะคล้าย (similarity) ระหว่างข้อมูลรูปแบบ และการจับกลุ่มที่รูปแบบคล้ายกันไว้ด้วยกันดังภาพประกอบ 2.23 การจับกลุ่มนี้สามารถเรียกได้ว่าเป็นการจำแนกแบบไม่มีผู้สอน (unsupervised pattern classification) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจับกลุ่ม เช่นการทำเหมืองข้อมูล (data mining) การบีบอัดข้อมูล (data compression) และการวิเคราะห์หาข้อมูล



ภาพประกอบ 2.22 ตัวอย่างการจดจำรูปแบบ

(ก) การจำแนกสัญญาณคลื่นหัวใจ (ข) การจดจำลายมือตัวอักษร (ค) การจดจำรูปแบบ[31]

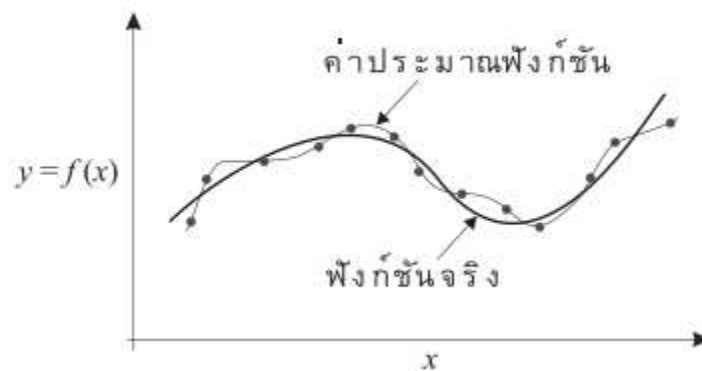


ภาพประกอบ 2.23 ตัวอย่างการจับกลุ่ม[31]

3) การประมาณค่าฟังก์ชัน (function approximation) พิจารณาข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ N ชุด ในรูป {เวกเตอร์อินพุต, เวกเตอร์เป้าหมาย} ดังต่อไปนี้

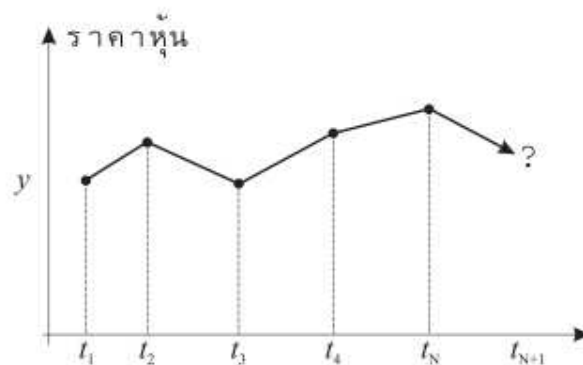
$$\{X_1, Y_1\} \{X_2, Y_2\} \dots \{X_N, Y_N\}$$

ข้อมูลดังกล่าวที่ได้มาจากฟังก์ชัน $y=f(x)$ ที่ไม่ทราบค่า การประมาณค่าฟังก์ชันคือการหาค่าประมาณ $\hat{y} = \hat{f}(x)$ ของฟังก์ชัน $f(x)$ ที่ให้เอาต์พุตตามข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้ แสดงดังภาพประกอบ 2.24 ซึ่งจุดในรูป คือข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้ในการสร้างแบบจำลองของหลายๆ ระบบในงานทางด้านวิศวกรรมจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าฟังก์ชัน



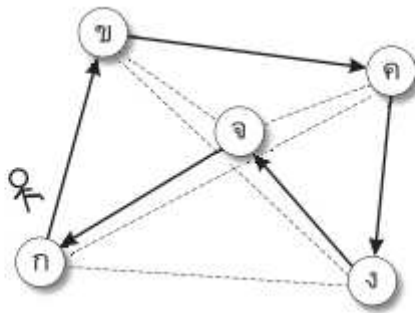
ภาพประกอบ 2.24 ตัวอย่างการประมาณค่าฟังก์ชัน[31]

4) การทำนาย (prediction/ forecasting) กำหนดเซตค่าตัวอย่าง N ค่าคือ $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_N)\}$ เป็นค่า ณ เวลา t_1, t_2, \dots, t_N ตามลำดับ การทำนายผลล่วงหน้า คือการทำนายค่าของ $y(t_{N+1})$ ซึ่งเป็นค่า ณ เวลา t_{N+1} ในอนาคต การทำนายผลมีการนำไปใช้กันมากในงานการตัดสินใจ ทางธุรกิจ วิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่นการทำนายผลดัชนีตลาดหุ้น หรือการพยากรณ์อากาศล่วงหน้าดังภาพประกอบ 2.25



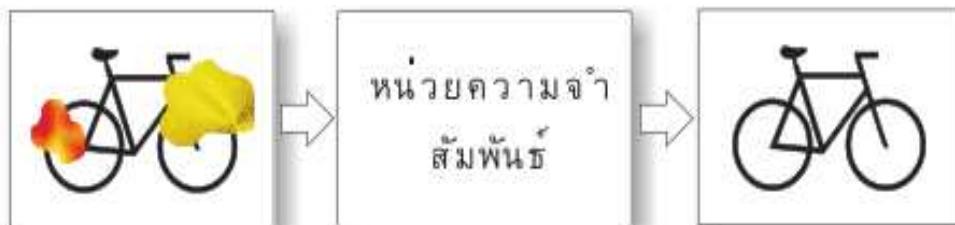
ภาพประกอบ 2.25 ตัวอย่างการทำนายราคาหุ้น[31]

5) การหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization) ปัญหาหลายๆ อย่างทางด้านคณิตศาสตร์ สถิติ วิศวกรรม วิทยาศาสตร์ การแพทย์ และเศรษฐกิจ สามารถพิจารณาเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ เป้าหมายของอัลกอริทึมการหาค่าเหมาะสมที่สุด (สูงสุดหรือต่ำสุด) คือการหาคำตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขข้อบังคับ และให้ค่าการประเมินจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ตัวอย่างปัญหา ได้แก่ปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน (traveling salesman problem หรือ TSP) ซึ่งถือเป็นปัญหา NP-complete (Non-deterministic Polynomial time: NP) ดังภาพประกอบ 2.26



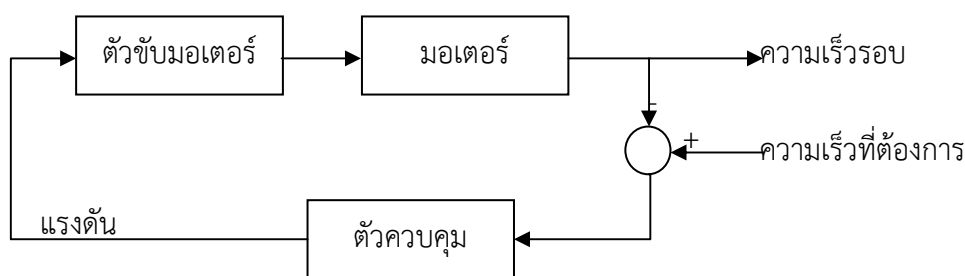
ภาพประกอบ 2.26 ตัวอย่างปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา TSP[31]

6) หน่วยความจำอ้างอิงด้วยเนื้อหา (content-addressable memory) ในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป ข้อมูลในหน่วยความจำถูกอ้างอิงด้วยเลขที่อยู่ (address) ที่ซึ่งไม่ได้มีความสัมพันธ์กับเนื้อหาของข้อมูลในหน่วยความจำแต่อย่างใด นอกไปจากนั้นแล้ว ถ้ามีการคำนวณเลขที่อยู่ผิดพลาด แม้เพียงเล็กน้อยข้อมูลที่ได้จากเลขที่อยู่นั้นจะแตกต่างไปจากข้อมูลที่ต้องการอย่างสิ้นเชิงหน่วยความจำสัมพันธ์ (associative memory หรือ content-addressable memory) สามารถอ้างอิงที่อยู่ด้วยเนื้อหาของข้อมูล ถึงแม้ว่าการอ้างอิงจะใช้ข้อมูลผิดพลาดเพียงบางส่วน (ไม่สมบูรณ์) หรือมีความผิดเพี้ยน เนื้อหาในหน่วยความจำจะยังคงสามารถถูกเรียกใช้ได้อย่างถูกต้อง ดังภาพประกอบ 2.27 หน่วยความจำอ้างอิงมีประโยชน์มากในงานด้านฐานข้อมูลแบบสื่อผสม (multimedia database)



ภาพประกอบ 2.27 ตัวอย่างหน่วยความจำอ้างอิงด้วยเนื้อหา หรือหน่วยความจำสัมพันธ์[31]

7) ระบบควบคุม (control system) ระบบควบคุมถือเป็นงานที่นำเอา ANN มาประยุกต์ใช้งานมากที่สุดงานหนึ่ง พิจารณาระบบพลวัตที่ซึ่งกำหนดคู่ผลตอบสนองเป็น $\{u(t), y(t)\}$ โดยที่ $u(t)$ เป็นสัญญาณอินพุตสำหรับควบคุมระบบ และ $y(t)$ เป็นสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากระบบ ณ เวลา t ในระบบควบคุมแบบปรับตัวได้ชนิดอ้างอิงแบบจำลอง (model-reference adaptive control) เป้าหมายของระบบคือ สร้างสัญญาณควบคุม $u(t)$ ป้อนให้กับระบบ ที่ซึ่งทำให้ระบบมีผลตอบสนองตามแบบจำลองที่อ้างอิง ตัวอย่างเช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์ดังแสดงในภาพประกอบ 2.28



ภาพประกอบ 2.28 ตัวอย่างระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์[31]

สำหรับงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ ANN ในการจำแนกขนาดด้วยการจัดจํารูปแบบ และการประมาณค่าฟังก์ชันโดยมีข้อมูลพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพเป็นเวกเตอร์อินพุต และข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการวัดจริงเป็นเวกเตอร์เป้าหมาย เพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้ของ ANN ในการสร้างแบบจำลองฟังก์ชันที่ใช้ประมาณค่าน้ำหนักสำหรับข้อมูลชุดใหม่ที่ไม่ทราบค่าน้ำหนักจริงได้

2.3.4. จุดเด่นของโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1) การเชื่อมต่อแบบขนานเป็นจำนวนมาก (massive parallel) โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยหน่วยประมวลผลย่อยๆ จำนวนมากมาย เชื่อมต่อกันแบบขนานหลายรูปแบบ

2) ข้อมูลและการคำนวณแบบกระจาย (distributed data and computation) หน่วยประมวลผลย่อยแต่ละหน่วยมีโครงสร้างที่ง่าย ๆ มีความสามารถไม่มากนัก ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมได้จากการทำงานร่วมกันแบบกระจายของหน่วยประมวลผลย่อยๆ เหล่านี้เป็นจำนวนมาก

3) ความสามารถในการเรียนรู้ (learning) คุณสมบัติที่เด่นที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียม คือความสามารถในการเรียนรู้ กระบวนการดังกล่าวทำให้การแก้ปัญหาหลายๆ อย่างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แตกต่างไปจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแบบดั้งเดิมอย่างสิ้นเชิง

4) ความสามารถในการทำให้เป็นทั่วไป (generalization) เป็นผลพลอยได้จากความสามารถในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ด้วยข้อมูลอินพุต/เอาต์พุต ตัวอย่าง

บางส่วนนำไปสู่ความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลอินพุตทั้งหมดได้ แน่ใจว่าความสามารถในการทำให้เป็นทั่วไปย่อมขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลสำหรับฝึกสอนด้วย

5) การปรับตัว (adaptation) การเรียนรู้ของโครงข่ายนำไปสู่ความสามารถในการปรับตัวได้ คุณสมบัตินี้ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการทำงานที่น่าสนใจ ในการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง (dynamic) ได้เป็นอย่างดี

6) การประมวลผลข้อมูลเชิงเนื้อหา (content-based processing) รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ในรูปเชิงเนื้อหา ไม่ใช่เชิงตัวเลขเหมือนระบบดั้งเดิมต่อไป การประมวลผลข้อมูลเชิงเนื้อหาดังกล่าวจึงทำให้โครงข่ายประสาทเทียม มีการทำงานใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ

7) การทนต่อความพร่อง (fault tolerance) การเชื่อมต่อดังหน่วยประมวลผลย่อยๆ จำนวนมากทำให้เกิดการทนต่อความพร่อง เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งของโครงข่ายเสียหาย ระบบโดยรวมจะยังคงทำงานต่อไปได้

2.4. ทฤษฎีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามจากตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.4.1. ประเภทการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยมีด้วยกันหลายประเภท ขึ้นกับลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ ซึ่งโดยทั่วไปการวิเคราะห์การถดถอยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่มีลักษณะความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามเป็นแบบเส้นตรง การวิเคราะห์เชิงเส้นแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

ก) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว ประกอบด้วยตัวแปรตาม Y จำนวนหนึ่งตัว และตัวแปรอิสระ X จำนวนหนึ่งตัวแปร และสร้างรูปแบบสมการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามด้วยตัวแปรอิสระสามารถเขียนแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นได้ดังสมการ (2.8)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.8)$$

โดยที่	Y	คือ ตัวแปรตาม (dependent variable)
	X	คือ ตัวแปรอิสระ (independent variable)
	β_0	คือ เป็นระยะตัดแกน y หรือค่าเริ่มต้นของเส้นสมการถดถอย
	β_1	คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient)
	ε	คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

ข) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regressions) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y จำนวนหนึ่งตัวแปร และตัวแปรอิสระ X จำนวนสองตัวแปรขึ้นไป และสร้างรูปแบบสมการพยากรณ์ค่าตัวแปรตามด้วยตัวแปรอิสระ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณสามารถเขียนแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นได้ดังสมการ (2.9)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.9)$$

โดยที่	Y	คือ ตัวแปรตาม (dependent variable)
	X	คือ ตัวแปรอิสระ (independent variable)
	β_0	คือ เป็นระยะตัดแกน y หรือค่าเริ่มต้นของเส้นสมการถดถอย
	$\beta_1 - \beta_n$	คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ n
	ε	คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

โดยที่ค่า β_i เป็นค่าที่แสดงว่าเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนไป 1 หน่วยจะทำให้ตัวแปรตามเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด ขณะที่ตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ มีค่าคงที่

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระหลายๆ ตัวแปร กับตัวแปรตาม ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองสมการพยากรณ์จะพิจารณาจากการมีตัวแปรอยู่ในระบบสมการ ซึ่งเรียกว่า การนำตัวแปรเข้าระบบสมการที่นิยมมีด้วยกัน 4 วิธีดังนี้

ก) การคัดเลือกเข้าทั้งหมด (all enter) ถือว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม จึงนำตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าระบบสมการพร้อมๆ กัน

ข) การคัดเลือกเพิ่มแบบเดินหน้า (forward) กำหนดให้เริ่มต้นสร้างสมการยังไม่มีตัวแปรใดอยู่ในระบบสมการ โดยนำตัวแปรอิสระที่มีขนาดของอิทธิพลสูงสุด (โดยพิจารณาจากค่า Partial F ไม่ได้ดูจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) เข้าไปสร้างสมการกับตัวแปรตามก่อน จากนั้นนำตัวแปรอิสระที่เหลือที่มีขนาดของอิทธิพลรองลงไปเข้าทีละตัว และจะหยุดการนำตัวแปรอิสระเข้าระบบสมการ หากพบว่าตัวแปรนั้นมีขนาดของอิทธิพลน้อย (ไม่มีนัยสำคัญ) หรือไม่มีอิทธิพลเลย

ค) การคัดเลือกถอยหลัง (backward) กำหนดให้เมื่อเริ่มสร้างสมการมีตัวแปรอิสระทุกตัวอยู่ครบในระบบสมการจากนั้นให้ทำการดึงตัวแปรอิสระที่มีขนาดของอิทธิพลน้อยที่สุด (ไม่มีนัยสำคัญ) ออกจากสมการทีละตัว (โดยพิจารณาจากค่า Partial F) จนกระทั่งเหลือตัวแปรในระบบสมการเฉพาะที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม

ง) การคัดเลือกแบบขั้นตอน (stepwise) เป็นวิธีการที่นำตัวแปรอิสระเข้าสมการทีละตัวเช่นเดียวกับ forward และเมื่อตัวแปรนั้นเข้าไปอยู่ในระบบสมการแล้ว จะทำการตรวจสอบย้อนกลับโดยวิธี backward อีกทีหนึ่ง ในทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระเข้าสมการ[32]

ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยตัวแปรอิสระ ต้องพิจารณาข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นดังนี้

ก) ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (X) และตัวแปรตาม (Y) มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น (linearity)

ข) ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์ต้องมีความแปรปรวนคงที่ (homogeneity of variance) พิจารณาจากแผนภาพการกระจาย (scatter plot) ซึ่งต้องมีการกระจายของข้อมูลใกล้เคียงกันอยู่เหนือและใต้ระดับ 0.0 และเป็นแนวสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ค) ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน (independent) หรือหมายถึงข้อมูลจะต้องไม่มีความสัมพันธ์ภายในตัวเอง ซึ่งการที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์ภายในตัวเอง เรียกว่าการเกิด autocorrelation การตรวจสอบความเป็นอิสระของ error จะใช้ค่า Durbin-Watson โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ไม่เกิด autocorrelation

H_1 : เกิด autocorrelation

ง) ตัวแปรที่นำมาใช้พยากรณ์ต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง (multicollinearity) หมายถึงการเกิดความสัมพันธ์กันเองของตัวแปรอิสระ หรือมีความสัมพันธ์กันสูงเกินไป (จะมีเฉพาะในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ) จะใช้ค่า Variance Inflation Factor (VIF) หรือค่า tolerance หรือค่า eigenvalue ตัวใดตัวหนึ่งก็ได้ โดยมีเกณฑ์การตรวจสอบดังนี้

- ค่า VIF ที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10 หากเกินกว่านี้แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเอง หรือแสดงว่าเกิด multicollinearity

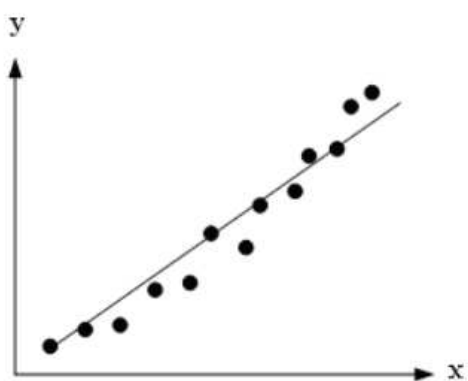
- ค่า tolerance หากน้อยกว่า 0.1 แสดงว่าเกิด multicollinearity

- ค่า eigenvalue หาก eigenvalue ตัวที่มากที่สุดมีค่าไม่เท่ากับ 10 แสดงว่าเกิด multicollinearity

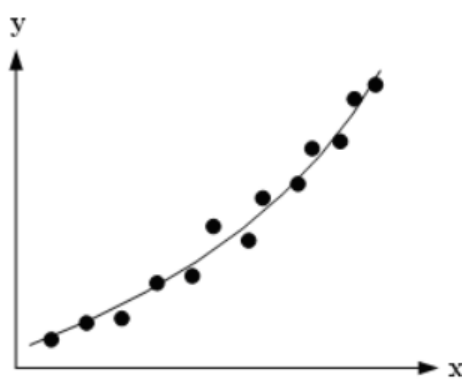
2) การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non linear regression analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่มีลักษณะความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามไม่เป็นเชิงเส้น หรือเป็นแบบเส้นโค้ง ซึ่งการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม จะเริ่มจากการสร้างแผนภาพการกระจาย (scatter plot) เพราะแผนภาพการกระจายจะเป็นแนวทางให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง เป็นแบบเส้นตรงหรือเส้นโค้ง กรณีที่ความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงจะวิเคราะห์แบบการถดถอยเชิงเส้นตรงดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x กับตัวแปร y ดังภาพประกอบ 2.29 ก) ส่วนกรณีที่ความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นโค้ง จะวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง ดังภาพประกอบ 2.29 ข) ซึ่งการถดถอยแบบเส้นโค้งอาจแบ่งออกเป็นหลายรูปแบบ สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมทั่วไปจะพิจารณารูปแบบการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล (polynomial regression) ลำดับที่ p ซึ่งมีรูปแบบสมการดังสมการ (2.10)

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \dots + \beta_px^p + \varepsilon \quad (2.10)$$

โดยที่	Y	คือ ตัวแปรตาม (dependent variable)
	X	คือ ตัวแปรอิสระ (independent variable)
	β_0	คือ เป็นระยะตัดแกน y หรือค่าเริ่มต้นของเส้นสมการถดถอย
	$\beta_1 - \beta_p$	คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ p
	p	คือ เลขชี้กำลังสูงสุดของสมการโพลีโนเมียล
	ε	คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม



ก) รูปแบบการถดถอยแบบเชิงเส้น



ข) รูปแบบการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล

ภาพประกอบ 2.29 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย

กรณีรูปแบบการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัวสามารถแสดงรูปแบบทั่วไปที่เป็นสมการกำลังสอง (quadratic model) มีรูปแบบดังสมการ (2.11) และสมการกำลังสาม (cubic model) มีรูปแบบดังสมการ (2.12)

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \varepsilon \quad (2.11)$$

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \varepsilon \quad (2.12)$$

2.4.2. การทดสอบทางสถิติที่อธิบายความสอดคล้องและความเหมาะสมกับข้อมูลของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมีดังนี้

- 1) การทดสอบความเหมาะสมของโมเดล เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันหรือไม่ จะใช้สถิติทดสอบ ANOVA
- 2) การทดสอบค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอยทีละตัวโดยใช้สถิติทดสอบ t
- 3) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (standard error of estimate)

2.4.3. การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

งานวิจัยนี้มีการพัฒนาแบบจำลองในการคัดแยกรูปร่างและขนาดหมึก สำหรับการคัดแยกขนาดมีการใช้แบบจำลองในการประมาณน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักที่ประมาณได้มีความแตกต่างจากค่าจริง จึงต้องมีการทดสอบความสามารถของแบบจำลองนั้นๆ สำหรับการวัดความแม่นยำมีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

- 1) วิธี Mean Error (ME) เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของค่าที่ทำนายกับค่าที่วัดได้จริง ซึ่งถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อย แสดงว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อย สามารถคำนวณได้จากสมการ 2.13)

$$ME = \frac{\sum_{n=1}^N Y^s - Y^a}{N} \quad (2.13)$$

โดยที่ Y^s คือ ค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง
 Y^a คือ ค่าที่แท้จริง
 N คือ จำนวนตัวอย่าง

- 2) วิธี Mean Square Error (MSE) เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนของค่าที่ทำนายกับค่าที่วัดได้จริงกำลังสองเฉลี่ย ซึ่งถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อย แสดงว่าการทำนายมีความแม่นยำ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.14)

$$MSE = \frac{\sum_{n=1}^N (Y^s - Y^a)^2}{N} \quad (2.14)$$

โดยที่ Y^s คือ ค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง
 Y^a คือ ค่าที่แท้จริง
 N คือ จำนวนตัวอย่าง

3) วิธี Root Mean Square Error (RMSE) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง ซึ่งถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.15)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (Y^s - Y^a)^2}{N}} \quad (2.15)$$

โดยที่ Y^s คือ ค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง
 Y^a คือ ค่าที่แท้จริง
 N คือ จำนวนตัวอย่าง

4) วิธี Mean Absolute Percent Error (MAPE) เป็นค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน ถ้าวิธีใดให้ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนน้อย แสดงว่าการพยากรณ์ยังมีความแม่นยำ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.16)

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^n \left| \frac{T_t - Y_t}{T_t} \right| \times 100 \quad (2.16)$$

โดยที่ T_t คือ ค่าจริงของผลลัพธ์ที่ต้องการในช่วงเวลา
 Y_t คือ ค่าที่พยากรณ์ในช่วงเวลา t
 N คือ จำนวนช่วงเวลาของข้อมูลที่พยากรณ์

2.5. ทฤษฎีการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis

การจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์จำแนกกลุ่มตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดยมีตัวแปรตาม 1 ตัวแปร และตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรต้นตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไป การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเป็นการใช้ตัวแปรอิสระพยากรณ์ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่คล้ายกับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) โดยกัลยา วาณิชย์บัญชา[33] ได้กล่าวถึงวัตถุประสงค์การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มไว้ 3 ประการดังนี้ 1) เพื่อหาสาเหตุหรือปัจจัยที่ควรใช้ในการแบ่งกลุ่ม 2) เพื่อสร้างสมการจำแนกกลุ่มที่ดีที่สุดจากข้อมูล และ 3) เพื่อนำสมการจำแนกกลุ่มมาใช้พยากรณ์หน่วยวิเคราะห์ใหม่ว่าสมควรจัดให้อยู่ในกลุ่มใด

2.5.1. วิธีการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม

การสร้างสมการจำแนกกลุ่ม มี 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีตรง (direct method) เป็นวิธีการที่ผู้วิจัยต้องการตัวแปรทุกตัวตามที่ระบุไว้ ด้วยเหตุผลทางทฤษฎีว่าจะแบ่งแยกได้ก็สมการ มีลักษณะอย่างไร เพื่อพิสูจน์ตัวแปรที่คิดว่ามีความสำคัญต่อการจำแนกที่ระบุไว้ตามทฤษฎีนั้นแท้จริงแล้วมีความสำคัญหรือไม่

2) วิธีแบบขั้นตอน (stepwise method) เป็นวิธีการที่เลือกตัวแปรทีละตัวมาเข้าสมการโดยหาตัวแปรที่ดีที่สุดในการจำแนกมาเข้าสมการเป็นตัวแรก จากนั้นก็จะหาตัวแปรที่ดีที่สุดตัวที่สองมาเข้าสมการเพื่อปรับปรุงแก้ไขทำให้สมการจำแนกกลุ่มดีขึ้น และในขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นการนำตัวแปรที่ดีที่สุดแต่ละตัวที่เหลื้อมาเข้าสมการต่อไปเพื่อจะได้สมการจำแนกกลุ่มที่ดีที่สุด

2.5.2. สถิติสำคัญของการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

1) ค่าไอแก้น (eigenvalue) เป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนการผันแปรระหว่างกลุ่มต่อการผันแปรภายในกลุ่ม ถ้าค่าไอแก้นมีค่าสูงก็แสดงว่าสมการดีหรือมีค่าจำแนกสูงหรือกล่าวได้ว่า eigenvalue ก็คือ variance ของคะแนนแปลงรูป Y ที่แปลงมาจาก $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$ [34]

2) ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอล (canonical correlation) เป็นสถิติซึ่งสามารถใช้ในการตัดสินความสำคัญของสมการจำแนก เป็นมาตรวัดความสัมพันธ์ของสมการกับกลุ่มของตัวแปรซึ่งระบุการเป็นสมาชิกของกลุ่มนั้นๆ ของตัวแปรตาม ดังนั้นถ้าค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอลมีค่าสูง แสดงว่าการเป็นสมาชิกของกลุ่มสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรกับสมการจำแนกได้มาก [34]

3) ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' Lambda) เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม [35] และเป็นมาตรวัดอำนาจในการจำแนกกลุ่มของตัวแปรด้วย ถ้าค่าวิลค์แลมบ์ดามีค่ามากตัวแปรจะอธิบายการเป็นสมาชิกของกลุ่มได้น้อย ถ้าค่าวิลค์แลมบ์ดามีค่าน้อย ตัวแปรจะอธิบายการเป็นสมาชิกของกลุ่มได้มาก [34]

2.5.3. ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

ก่อนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มจะต้องทำการพิจารณาข้อมูลตามข้อตกลงเบื้องต้นทั้ง 4 ประการดังนี้

1) ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (normality of independent variables) แยกทำการตรวจสอบตัวแปรอิสระทีละตัว โดยการตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบตัวแปรเดียว (univariate normal distribution) หากพบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีการแจกแจงปกติก็มีความน่าจะเป็นสูงที่จะมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรด้วย หรืออาจจะตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรด้วยข้อมูลสุดโต่งแบบหลายตัวแปร (multivariate outliers) จากการ

วิเคราะห์ Mahalanobis distances และถ้าพบว่าไม่มีข้อมูลสุดโต่งแบบหลายตัวแปร ก็มีความน่าจะเป็นสูงที่จะมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรด้วย[35]

2) เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่างต้องเท่ากัน (equal dispersion matrices) ตรวจสอบได้ด้วยสถิติ Box's M[35]

3) มีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linearity of relationships) ตรวจสอบได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของเพียร์สัน (Pearson product moment correlation: r)

4) ตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (multicollinearity) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น ตรวจสอบได้จากวิธีใช้สถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน หรือใช้วิธีตรวจสอบโดยใช้สถิติ collinearity โดยดูจากค่า tolerance และ VIF หากค่า tolerance เข้าใกล้ 0 มากเท่าใดก็แสดงว่าระดับความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรมีปัญหา มาก ส่วนค่า VIF หากมีค่าเข้าใกล้ 10 มากเท่าใดก็แสดงว่าระดับความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรมีปัญหา[35]

2.5.4. การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสามารถทำได้ด้วยวิธีการคำนวณเอง และวิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยคำนวณ เนื่องจากวิธีการคำนวณเองค่อนข้างซับซ้อน ใช้เวลานาน และมีโอกาสผิดพลาดสูง ดังนั้นงานนี้จึงคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มดังนี้

1) แบ่งกลุ่มประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มอย่างน้อย 2 กลุ่ม ซึ่งต้องทราบมาก่อนการวิเคราะห์ว่าจะแบ่งเป็นกี่กลุ่ม

2) กำหนดตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลหรืออิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่ม ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ตัวแปรอิสระ เป็นตัวแปรที่ใช้ในการจำแนกหรือตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย

3) กำหนดตัวแปรตาม เป็นตัวแปรที่ถูกจำแนกหรือถูกทำนาย แบ่งเป็นกลุ่มๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ถ้าหากมีข้อมูลอยู่ในระดับอื่นให้แปลงข้อมูลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์

4) สร้างเกณฑ์หรือสมการจำแนกกลุ่ม โดยนำข้อมูลข้างต้นมาวิเคราะห์ด้วยหลักการของการวิเคราะห์ความถดถอย และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยการสร้างสมการเชิงเส้นที่เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแบ่งกลุ่ม (D) กับตัวแปรอิสระหรือประมาณค่า β ที่ทำให้อัตราส่วนระหว่างค่าความผันแปรระหว่างกลุ่ม (between groups sum square) กับความผันแปรภายในกลุ่ม (within groups sum square) มีค่าสูงสุด หรือทำให้มีเปอร์เซ็นต์การจัดกลุ่มผิดน้อยที่สุดสำหรับฟังก์ชันการจำแนกกลุ่มจะอยู่ในรูปเชิงเส้นดังสมการ (2.17)[36]

$$D = v_1X_1 + v_2X_2 + v_3X_3 + \dots + v_iX_i + a \quad (2.17)$$

โดยที่	D	คือ ตัวแปรตามหรือเรียกว่า discriminant score
	v	คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรจำแนกกลุ่ม
	X	คือ ตัวแปรต้นหรือเรียกว่า ตัวแปรจำแนกกลุ่ม (discriminator variable)
	a	คือ ค่าคงที่
	i	คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

กรณีที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มจะมีสมการจำแนกกลุ่มเพียง 1 สมการ

5) นำเกณฑ์หรือฟังก์ชันจำแนกกลุ่มที่ได้จากขั้นที่ 4 มาพยากรณ์กลุ่มของตัวอย่างชุดใหม่ที่ไว้สำหรับทดสอบ

2.6. การศึกษาความสามารถในการวัดของพนักงาน

การศึกษาความสามารถในการวัดของพนักงาน เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน เนื่องจากปัจจุบันการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ในอุตสาหกรรมใช้เพียงแรงงานคนเท่านั้น สิ่งที่จะวิเคราะห์ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัด การทดสอบความขึ้นต่อกันของพนักงานวัด และการวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบการวัด

2.6.1. การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัด

การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานวัดอาจมีการประเมินผลที่ตัวพนักงานเอง (within appraisers) หรือการประเมินผลระหว่างพนักงานแต่ละคู่ (between appraisers) เพื่อพิจารณาว่าพนักงานคนใดมีความสามารถไม่เข้าเกณฑ์ มีความจำเป็นต้องดำเนินการเพิ่มความสามารถให้กับพนักงานดังกล่าว โดยที่ความผิดพลาดจากการวัดของพนักงานวัดมีสาเหตุหลักมาจาก 4 ประการ และอาจสรุปถึงแนวทางแก้ไขสาเหตุความผิดพลาดแต่ละประเภทดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ความผิดพลาดจากการวัดของพนักงานวัดและแนวทางแก้ไขสาเหตุความผิดพลาดแต่ละประเภท[37]

ประเภทของความผิดพลาด	รายละเอียดความผิดพลาด	แนวทางการแก้ไข
(1)การแปลความหมายผิดพลาด (misinterpretation)	ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และความเข้าใจของพนักงานวัดที่สามารถแปลความหมายได้หลากหลาย	-การกำหนดนิยามของคำศัพท์เฉพาะ -การกำหนดนิยาม -การใช้ใบตรวจสอบ (checklist) -การใช้ตัวอย่างของงาน

ตาราง 2.5 (ต่อ) ความผิดพลาดจากการวัดของพนักงานวัดและแนวทางแก้ไขสาเหตุความผิดพลาดแต่ละประเภท[37]

ประเภทของความผิดพลาด	รายละเอียดความผิดพลาด	แนวทางการแก้ไข
(2)การขาดเทคนิคที่ดี (technique error)	เช่น ตาบอดสี การขาดความรู้ เนื่องจากได้รับการศึกษาไม่เพียงพอหรือการฝึกอบรมงานที่ไม่เพียงพอ รวมทั้งขาดทักษะในการดำเนินงาน	-การค้นหาวิธีที่ดีที่สุด (best practice) -การทบทวนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับความรู้ที่ใช้ในการวัด -การจัดฝึกอบรมใหม่ (retraining)
(3)ความไม่ตั้งใจ (inadvertent error)	มาจากความเผลอเรอ ความรู้เท่าไม่ถึงการณ์	-การป้องกันความเผลอเรอ (poka-yoke)
(4)ความตั้งใจ (conscious error)	เกิดจากพนักงานวัดมีความจงใจในการกระทำความผิดพลาดดังกล่าว	-การทบทวนวิธีการเก็บข้อมูล -การสร้างบรรยากาศการทำงานที่ไม่กดดันและไม่น่าเบื่อ -การทำให้งานที่ทำมีความสามารถตรวจสอบได้ (accountability) -การตรวจติดตามด้านคุณภาพ (audit) -การสร้างแรงจูงใจในการตรวจสอบ

ในการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดด้านความเห็นป้องกันจำแนกออกเป็นการวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน และการวิเคราะห์ความสามารถระหว่างพนักงานดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (within appraiser) จะพิจารณาถึงค่าความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคน หรืออาจเรียกว่า % คะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน (% appraiser score) ก็ได้ โดยคำนวณจากสมการ (2.18)

$$\text{ค่าความสามารถในการทำซ้ำ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน (m)}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ (N)}} \quad (2.18)$$

ดังนั้นอาจกำหนดพิสัยความเชื่อมั่น (confidence interval limit) ได้จากการแจกแจงแบบ F ดังสมการ (2.19) และสมการ (2.20)

$$LCI = \frac{v_1 \times F_{v_1; v_2; 1-\alpha/2}}{v_2 + (v_1 \times F_{v_1; v_2; 1-\alpha/2})} \quad (2.19)$$

เมื่อ $v_1 = 2m$ และ $v_2 = 2(N-m+1)$
 m คือ จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน
 N คือ จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ

$$UC I = \frac{v_1 \times F_{v_1; v_2; \alpha/2}}{v_2 + (v_1 \times F_{v_1; v_2; \alpha/2})} \quad (2.20)$$

เมื่อ $v_1 = 2(m+1)$ และ $v_2 = 2(N-m)$

2) การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (between appraiser) การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน สามารถประเมินผลด้วย % ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score) โดยสมการ (2.21)

$$\% \text{ ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.21)$$

2.6.2. การวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบการวัด

การวิเคราะห์ประสิทธิผล (effectiveness) ของระบบการวัด มีความจำเป็นที่ผู้ศึกษาจะต้องทราบถึงมาตรฐาน หรือคุณภาพที่แท้จริงของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการวัด จากนั้นจะทำการศึกษาถึงความพ้องกันระหว่างพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน ด้วยการประเมินผลคะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (% attribute score) ที่หมายถึงความไม่เฮอร์สของการตรวจสอบโดยสมการ (2.22)

$$\% \text{ คะแนนของค่าแอตทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.22)$$

การประเมินประสิทธิผลโดยรวมของระบบสามารถคำนวณได้จาก % คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ (% attribute screen effective score) ที่แสดงถึงประสิทธิผลด้านความไม่เฮอร์สของการตรวจสอบโดยสมการ (2.23)

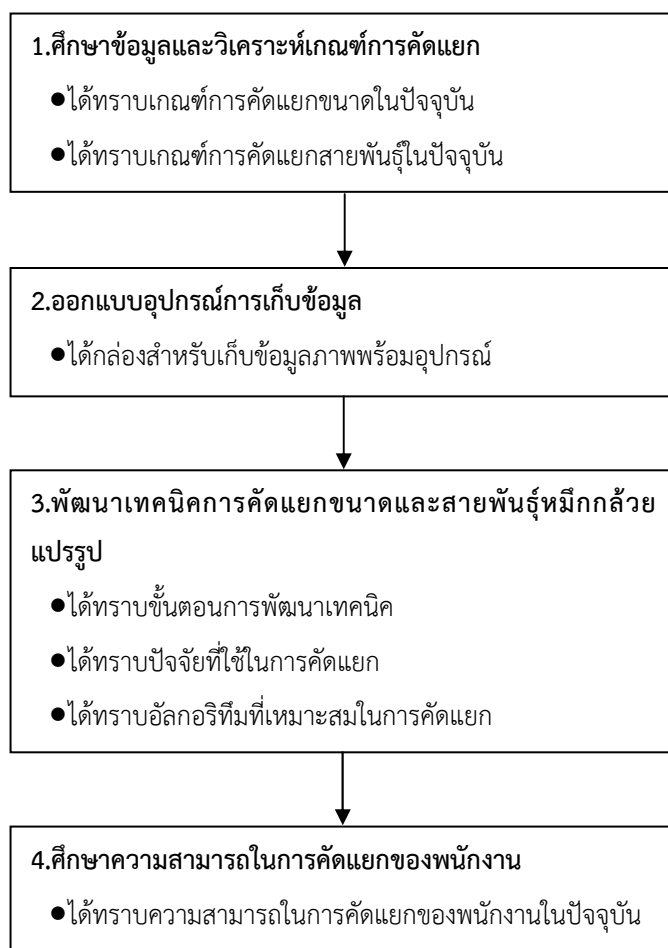
$$\% \text{ คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (2.23)$$

การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดของพนักงานทำให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานในปัจจุบัน หากพบว่าประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ ควรจะต้องมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่อาจเกิดจากคนทั้งจำนวนแรงงานที่ไม่เพียงพอ ความล้าที่เกิดจากการคัดแยกเป็นเวลานาน ความแปรปรวนด้านอารมณ์ และอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการคัดแยกผิดพลาด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูป โดยรูปแบบการวิจัยเป็นการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะจากภาพถ่ายที่มีนัยสำคัญต่อการประมาณค่าน้ำหนักเพื่อใช้ในการจำแนกขนาด และคุณลักษณะที่สามารถใช้อธิบายรูปร่างที่แตกต่างกันของหมึกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ได้ โดยมีวิธีดำเนินงานวิจัยและผลที่ได้แต่ละขั้นตอนดังแผนผังภาพประกอบ 3.1 และมีรายละเอียดวิธีดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้



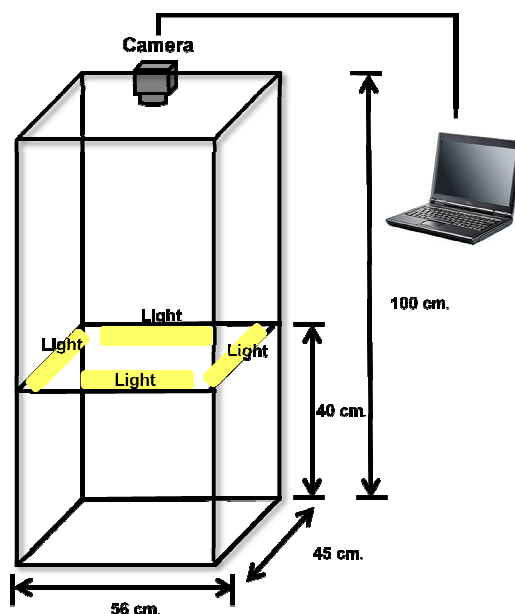
ภาพประกอบ 3.1 วิธีดำเนินงานวิจัยและผลที่ได้แต่ละขั้นตอน

3.1. ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์เกณฑ์การคัดแยก

จากการสำรวจเกณฑ์ในการคัดแยกขนาดหมึกกล้วยลอกขาว พบว่าสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ[12] ได้ระบุขนาดของหมึกกล้วยไว้ 4 ขนาดโดยพิจารณาตามจำนวนตัวต่อกิโลกรัม (ตาราง 2.2 ในบทที่ 2) เกณฑ์นี้ยังใช้เป็นพื้นฐานสำหรับแปลลาเอกชน (สงขลา) ซึ่งระบุไว้ทั้งจำนวนตัวต่อกิโลกรัม และช่วงน้ำหนักต่อตัวของทั้ง 4 ขนาด โดยที่น้ำหนักหมึกต่อตัวสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามที่ลูกค้ากำหนด นอกจากนี้ลูกค้าบางรายพิจารณาสายพันธุ์หมึกที่ต้องการด้วย ถึงแม้จะเป็นส่วนน้อยแต่เพื่อให้ครอบคลุมความต้องการของลูกค้า งานวิจัยนี้จึงพิจารณาการคัดแยกทั้งขนาดและสายพันธุ์ ดังนั้นขั้นตอนนี้จะทำการสรุปเกณฑ์การคัดแยกสำหรับใช้ในการวิจัยเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมมาทดแทนการทำงานของพนักงานในปัจจุบัน

3.2. ออกแบบอุปกรณ์การเก็บข้อมูลสำหรับการพัฒนาเทคนิคการคัดแยก

การออกแบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลเพื่อให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลภาพลดปัญหาสัญญาณรบกวนที่จะปรากฏบนภาพถ่าย เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล โดยที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ กล้องควบคุมแสง แหล่งกำเนิดแสง และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก มีรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้ (ภาพประกอบ 3.2)



ภาพประกอบ 3.2 อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพ

3.2.1. กล้องเก็บข้อมูลภาพ

กล้องเก็บข้อมูลภาพเป็นกล้อง Basler Scout Series for GigE Vision รุ่น scA640-70gc (ภาพประกอบ 3.3) ขนาด 16 มม. F1.4, 2/3 นิ้ว เนื่องด้วยข้อจำกัดของกล้องที่ผู้วิจัยใช้ในการเก็บข้อมูล จึงต้องติดตั้งกล้องที่ระดับความสูง 100 เซนติเมตรเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาด 21.5 เซนติเมตร และยาว 30 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 3.3 กล้องเก็บข้อมูลภาพ รุ่น scA640-70gc

3.2.2. กล้องควบคุมแสง

กล้องควบคุมแสงมีขนาดความกว้าง 45 เซนติเมตร ความยาว 56 เซนติเมตร และความสูง 100 เซนติเมตร ขนาดของกล้องสามารถรองรับการวางหมึกขนาดใหญ่ที่สุดได้ตามแนวความกว้าง ติดตั้งตัวกำเนิดแสงภายในกล้องทั้ง 4 ด้าน เพื่อให้แสงสว่างกระจายทั่วกล้อง และใช้กระจกฝ้าเป็นพื้นหลังในการถ่ายภาพ เนื่องจากกระจกฝ้าไม่ทำให้เกิดการสะท้อนของแสง และช่วยลดสัญญาณรบกวนภายในภาพถ่าย

3.2.3. แหล่งกำเนิดแสง

เนื่องจากงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับอาหาร และต้องการแสงที่เป็นธรรมชาติที่มีสภาวะเดียวกับในโรงงาน จึงเลือกใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 10 วัตต์ ประเภทสีเดย์ไลท์ (daylight) จำนวนทั้งหมด 4 หลอด ซึ่งเป็นชนิด Illuminant D 65 เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีอุณหภูมิสี (color temperature) ประมาณ 6500 เคลวิน ให้ค่าสีที่เหมือนค่าสีจริง 95 เปอร์เซนต์ (ภาพประกอบ 3.4)



ภาพประกอบ 3.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์

3.2.4. คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Intel® Core™2 Duo ขนาดหน่วยความจำ (RAM) 2.00 GB ใช้ระบบปฏิบัติการ Window 7 และโปรแกรม National Instruments Vision Builder AI 2011 ในการประมวลผลภาพ (ภาพประกอบ 3.5)



ภาพประกอบ 3.5 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

3.3. พัฒนาเทคนิคการตัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูป

การพัฒนาเทคนิคการตัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วย ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ (image analysis) เพื่อหาคุณลักษณะที่สำคัญภายในภาพที่มีผลในการตัดแยก ส่วนที่สองเป็นการตัดแยก (classification) ขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูปโดยใช้คุณลักษณะดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ป้อนเข้า แสดงภาพพร้อมด้วยแผนผังภาพประกอบ 3.6 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

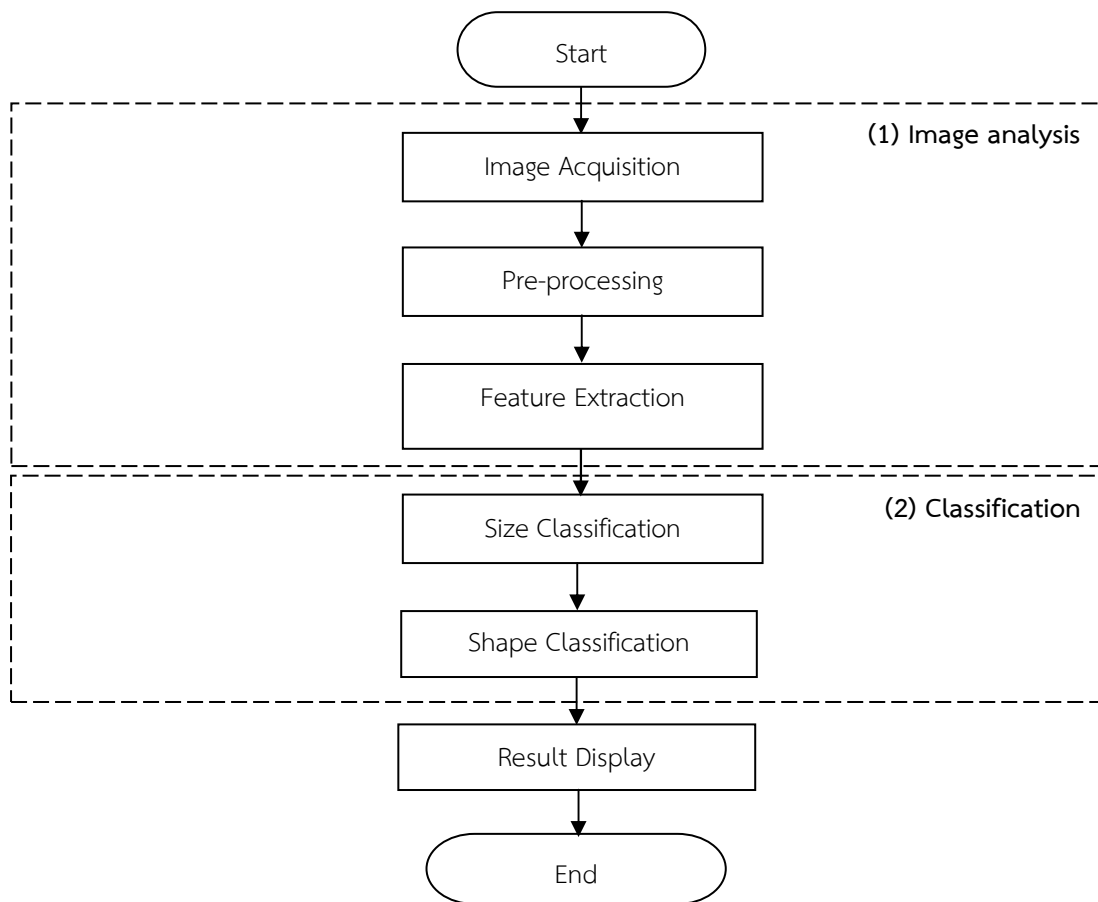
3.3.1. วิเคราะห์ข้อมูลภาพ (image analysis)

การวิเคราะห์ข้อมูลภาพเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาคุณลักษณะภายในภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดแยกซึ่งมีด้วยกัน 3 ขั้นตอน ได้แก่การรับข้อมูลภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ การประมวลผลภาพเบื้องต้น และการคำนวณหาคุณลักษณะของภาพดังต่อไปนี้

1) รับข้อมูลภาพ (data acquisition) เริ่มจากการนำข้อมูลภาพที่ถ่ายภายใต้กล่องควบคุมแสง เพื่อให้ได้ภาพที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ และมีสัญญาณรบกวนภายในภาพน้อยที่สุด ขั้นตอนนี้ได้ภาพสี RGB แสดงดังภาพประกอบ 3.7(ก) และมีความละเอียดภาพ 659 x 490 พิกเซล

2) ประมวลผลภาพเบื้องต้น (pre-processing) ถือเป็นขั้นตอนแรกในการประมวลผลภาพ โดยเริ่มต้นจากการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา (grayscale) ดังภาพประกอบ 3.7(ข) และแสดงค่าการกระจายของความเข้มแสงด้วยกราฟฮิสโตแกรมของภาพระดับเทาดังภาพประกอบ 3.8(ข) ซึ่งจะใช้ค่าเทรสโพลด์อัตโนมัติเท่ากับ 130 ในการแยกพื้นหลังของภาพ

ออกจากวัตถุ โดยมีเงื่อนไขว่าถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใด มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลด์ ให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นสีดำ และถ้าพิกเซลใดมีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์แล้วให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็น 255 หรือเปลี่ยนเป็นสีขาว ซึ่งจะกลายเป็นภาพไบนารีที่มีเพียง 2 ค่าสี คือสีขาวกับสีดำดังภาพประกอบ 3.9(ก) นอกจากนี้มีการลบสัญญาณรบกวนที่เป็นวัตถุเล็กๆ และเติมเต็มส่วนที่เป็นช่องว่างภายในภาพให้สมบูรณ์ และสามารถหาขอบวัตถุที่สนใจได้ดังภาพประกอบ 3.9(ข)



ภาพประกอบ 3.6 แผนผังของการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3) คำนวณหาคุณลักษณะของวัตถุ (feature extraction) เป็นวัตถุประสงค์ของระบบการประมวลผลภาพ เพื่อนำคุณลักษณะที่ได้ไปใช้ในการตัดแยกขนาด และตัดแยกสายพันธุ์หมึกกล้วย โดยคุณลักษณะที่คาดว่าจะมีผลในการตัดแยกที่หาได้จากพื้นที่ที่สนใจภายในภาพประกอบด้วย 7 คุณลักษณะ ซึ่งคุณลักษณะเหล่านี้จะถูกปรับให้มีขนาดจริงตามการติดตั้งของกล้อง สามารถหาค่าขนาดความกว้างและความยาวของพิกเซลประมาณ 0.457 มิลลิเมตร คุณลักษณะดังกล่าวประกอบด้วย

ก) พื้นที่ (area) ได้จากการรวมพื้นที่ของแต่ละพิกเซลในบริเวณที่สนใจดังแสดงในภาพประกอบ 3.9 (ก)

ข) เส้นรอบรูป (perimeter) เป็นระยะทางรอบบริเวณที่สนใจ หรือเรียกว่าขอบของวัตถุดังแสดงในภาพประกอบ 3.9 (ข)

ค) ความยาว (length: L) สามารถวัดจากความยาวที่มากที่สุดตามแนวนอนของตัวหมึก ดังแสดงในภาพประกอบ 3.10

ง) ความกว้าง (width: W) สามารถวัดจากความกว้างสูงสุดในแนวดิ่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.10

จ) ความยาวเส้นที่ 1 (D1) เป็นความยาวระยะจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 2 ภาพประกอบ 3.11

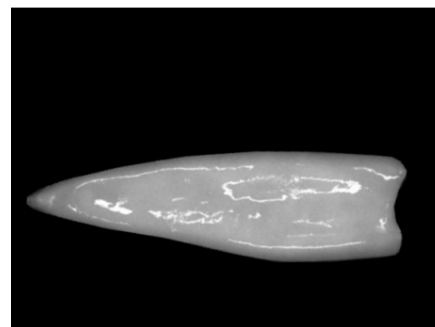
ฉ) ความยาวเส้นที่ 2 (D2) เป็นความยาวระยะจากจุดที่ 1 ไปจุดที่ 3 ภาพประกอบ 3.11

ช) ความยาวเส้นที่ 3 (D3) เป็นความยาวระยะจากจุดที่ 2 ไปจุดที่ 3 ภาพประกอบ 3.11

สำหรับจุดที่ 1, 2 และ 3 ในภาพประกอบ 3.11 หมายถึงจุดที่มีค่า curvature ของเส้นรอบรูปสูงสุด โดยจุดแรกอยู่ตรงบริเวณปลายสุดของตัวหมึก และอีกสองจุดอยู่บริเวณส่วนตัวลำที่ติดกับหัว

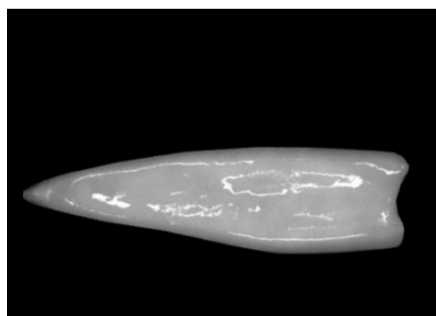


(ก)

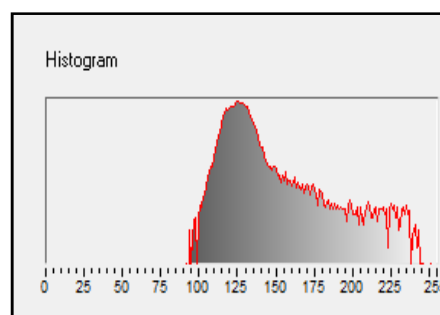


(ข)

ภาพประกอบ 3.7 (ก) ภาพสี RGB และ (ข) ภาพระดับเทา (grayscale)

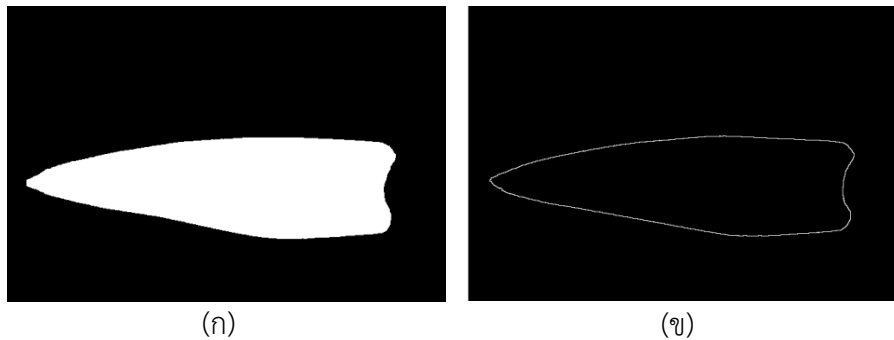


(ก)



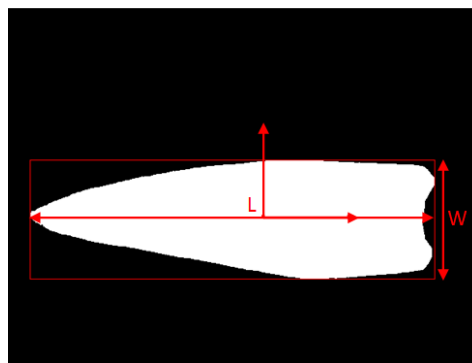
(ข)

ภาพประกอบ 3.8 (ก) ภาพระดับเทา (grayscale) และ (ข) กราฟฮิสโตแกรม (T=130)

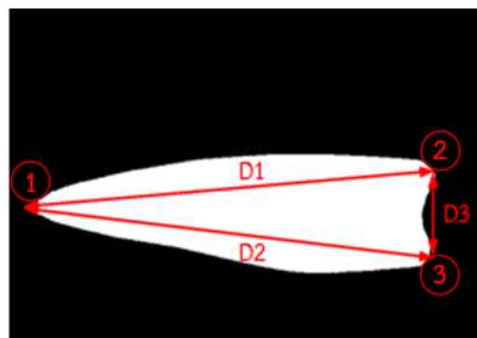


ภาพประกอบ 3.9 (ก) การแยกวัตถุจากพื้นหลัง (segmentation)

และ (ข) การหาขอบภาพ (edge detection)



ภาพประกอบ 3.10 การกำหนดความยาวและความกว้างของวัตถุ



ภาพประกอบ 3.11 การกำหนดความยาวเส้น

โดยมี ความยาวเส้นที่ 1 (D1) ความยาวเส้นที่ 2 (D2) และความยาวเส้นที่ 3 (D3)

3.3.2. คัดแยกขนาด (size classification)

การคัดแยกขนาด (size classification) จากเกณฑ์การคัดแยกขนาดหมึกกล้วยแปรรูปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ พิจารณาตามช่วงน้ำหนัก แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาจากภาพถ่ายจึงไม่สามารถระบุน้ำหนักได้โดยตรง ต้องใช้คุณลักษณะที่ได้จากข้อมูลภาพใน

การประมาณค่าน้ำหนัก โดยจะเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังนี้

3.3.2.1. การวิเคราะห์ทางสถิติ เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดแยก และหาสมการในการประมาณค่าน้ำหนัก โดยนำคุณลักษณะที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ ใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการตัดแยกขนาดตามเกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการตัดแยกหมึกกล้วย ต้องทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการประมาณค่าน้ำหนักสำหรับใช้ในการตัดแยกขนาด โดยการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เริ่มจากการพิจารณาค่าความสัมพันธ์ (correlation) ทั้งตัวแปรต้นและตัวแปรตามทั้งหมด แล้วพิจารณาว่าควรวิเคราะห์การถดถอยแบบใดเพื่อให้ได้สมการในการประมาณค่าน้ำหนัก สำหรับการตัดแยกขนาดต่อไป

3.3.2.2. โครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีกลไกเหมือนสมองมนุษย์ และขั้นตอนแรกต้องออกแบบโครงข่ายให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการจำแนก โดยเฉพาะชนิดของโครงข่าย (architecture) จำนวนชั้น (layer) จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน และการเลือกชนิดของฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) มีรายละเอียด ดังนี้

1) การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) งานวิจัยนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นด้วยเทคนิคการป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feed Forward Neural Network) และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบการแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm) โดยกำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีเพียง 3 ชั้นประกอบด้วยชั้นอินพุต (input layer) ชั้นซ่อน (hidden layer) และชั้นเอาต์พุต (output layer) โดยที่โครงข่ายมีอินพุตเป็น $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ ซึ่งเป็นค่าคุณลักษณะที่ได้จากการประมวลผลภาพ และทางผู้วิจัยได้นำเสนอโครงข่ายที่มี 1 เอาต์พุต และ 4 เอาต์พุตดังภาพประกอบ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของโครงข่ายดังนี้

ก) ชั้นอินพุต (input layer) เป็นชั้นที่นำข้อมูลภาพหรือพารามิเตอร์เข้าสู่โครงข่ายได้ตามจำนวนที่เหมาะสม ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ (area) เส้นรอบรูป (perimeter) ความยาว (length) และความกว้าง (width) เป็นต้น ซึ่งถ้าเป็นสินค้าประเภทอื่นจะมีคุณลักษณะที่ต่างกันไป

ข) ชั้นซ่อน (hidden layer) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและเอาต์พุต มีการปรับค่าเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสม โดยจะใช้สมการ (3.1)[19] เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้น

$$h = (m+n)^{1/2} + a \quad (3.1)$$

เมื่อ h = จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน
 m = จำนวนนิวรอนในชั้นเอาต์พุต
 n = จำนวนนิวรอนในชั้นอินพุต
 a = ค่าความเป็นสมาชิกจาก 1 ถึง 10

ค) ชั้นเอาต์พุต (output layer) เป็นชั้นที่นำข้อมูลออก มีการเปรียบเทียบผลของโครงข่ายระหว่างโครงข่ายที่แสดงผลเป็นการประมาณค่าน้ำหนัก มีจำนวน 1 นิวรอน คือค่าน้ำหนัก (weight) และโครงข่ายที่แสดงผลเป็น 4 ขนาด คือ มี 4 นิวรอน

2) ทดลองหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมกับการคัดแยกขนาดหมึกกล้วยแปรรูป กระทำโดยการทดลองปรับค่าจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน เพื่อให้ได้โครงข่ายที่เหมาะสมกับสินค้าประเภทหมึกกล้วยลอกขาว โดยที่จำนวนนิวรอนในชั้นอินพุตไม่เปลี่ยนแปลง และชั้นเอาต์พุตมี 1 และ 4 นิวรอน การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทดลองบนโปรแกรมแมทแลป (MATLAB Toolbox) มีการทดลองดังนี้

ก) กำหนดจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่เหมาะสม จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสำหรับการกำหนดจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเป็นเรื่องที่ยาก จึงใช้สมการ (3.1) คำนวณหาจำนวนนิวรอนเริ่มต้น แล้วปรับค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1 นิวรอนจนถึง 10 ค่าเช่นเดียวกับการใช้วิธีการลองผิดลองถูกตัวอย่างการคำนวณจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนกรณีมี 8 อินพุต (n) กับ 1 เอาต์พุต (m) และ 8 อินพุต (n) กับ 4 เอาต์พุต (m) ดังนี้

จากสมการ $h = (m+n)^{1/2} + a$
 กรณีที่ 1 $m = 1, n = 8, a = 1$ ถึง 10
 จะได้ $h = (1+8)^{1/2} + 1 = 4$ นิวรอน

กรณีที่ 2 $m = 4, n = 8, a = 1$ ถึง 10
 จะได้ $h = (4+8)^{1/2} + 1 = 4.46$ นิวรอน

จากการคำนวณจะได้ค่าจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเริ่มต้นกรณีที่ 1 และ 2 เท่ากับ 4 และ 4.46 นิวรอนตามลำดับ เพื่อใช้สำหรับการเปรียบเทียบในการทดลองจะกำหนดค่าจำนวนนิวรอนเริ่มต้นทั้ง 2 กรณีเท่ากับ 4 นิวรอนปรับเพิ่มขึ้นทีละ 1 นิวรอนทั้งหมด 10 ค่าจนมีค่า 13 นิวรอน

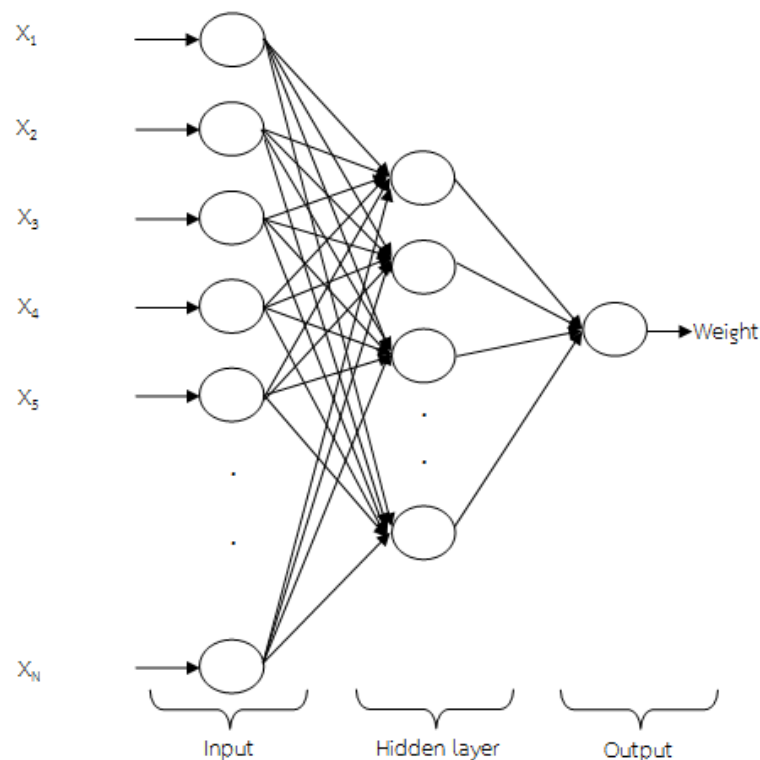
ข) กำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนของโครงข่าย มีการกำหนดเพียง 2 ชั้นคือในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต สำหรับงานวิจัยนี้แบ่งเป็นโครงข่ายที่ใช้สำหรับประมาณค่าน้ำหนัก คือเอาต์พุตเป็นน้ำหนักหมึก กำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นชนิด tansig กับ purelin และ logsig กับ purelin ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด purelin ในชั้นเอาต์พุตเหมาะสมกับการแก้ปัญหาคัดแยกขนาดหมึกกล้วยลอกขาว แสดงตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-1) ซึ่งหมายความว่า มี 8 นิวรอนในชั้นอินพุต 4 นิวรอนในชั้นซ่อน และ 1 นิวรอนในชั้นเอาต์พุต ฟังก์ชันถ่ายโอนทั้ง 2 แบบแสดงดังภาพประกอบ 3.14 และ ภาพประกอบ 3.15 และโครงข่ายที่ทำ

หน้าที่เป็นตัวแยกข้อมูล คือเอาต์พุตเป็นขนาดหมึก 4 ขนาด กำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นชนิด tansig ทั้งในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตซึ่งเป็นชนิดที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการรู้จำรูปแบบดังกล่าวประกอบ 3.16

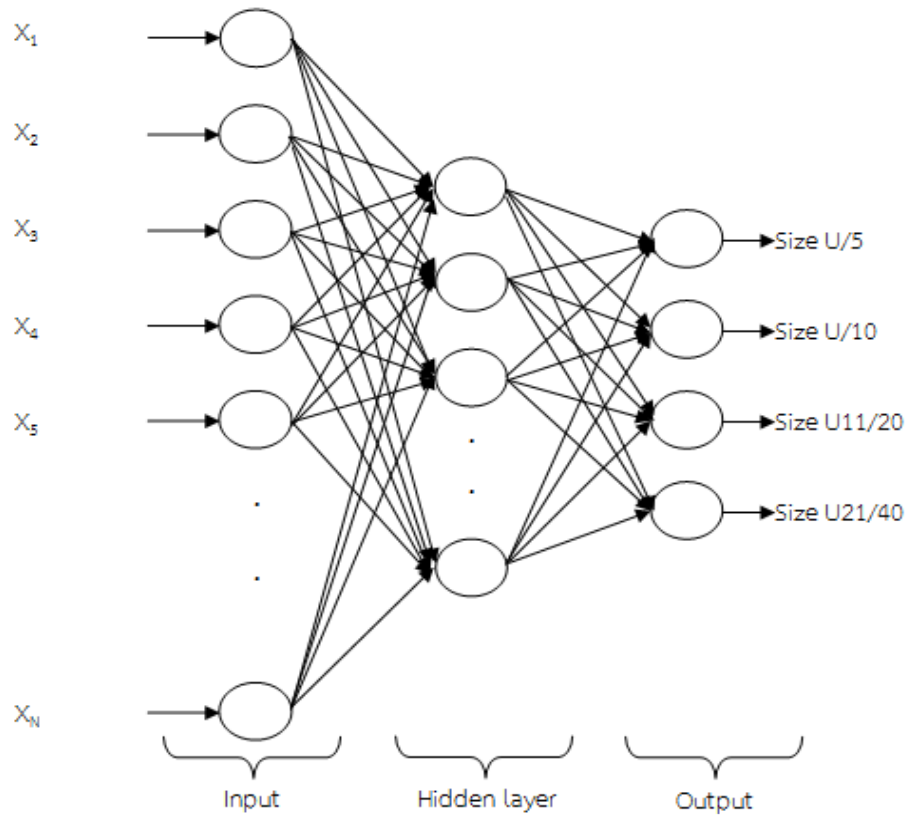
ค) การกำหนดชุดข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการสร้างและทดสอบโครงข่ายประกอบด้วย 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลชุดฝึกสอน (train) เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้จำนวนทั้งหมด 285 ชุดข้อมูล และข้อมูลชุดทดสอบ (test) เพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องในการตัดแยกของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไว้ จำนวนทั้งหมด 150 ชุดข้อมูล แสดงรายละเอียดดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 รายละเอียดจำนวนข้อมูลตัวอย่างหมึกในการฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

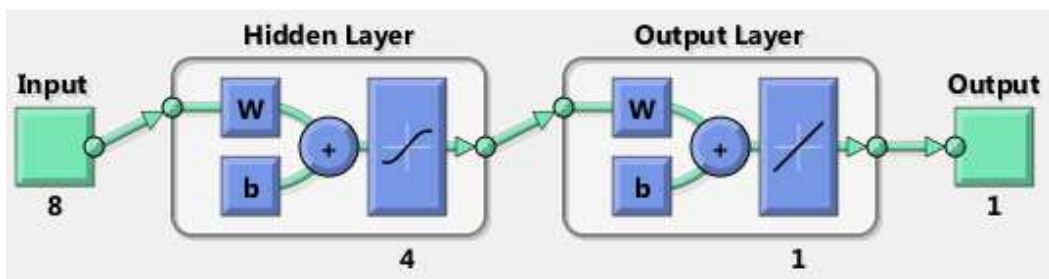
ชื่อเรียกขนาด (size)	จำนวนข้อมูลตัวอย่างหมึก (ตัว)	
	ฝึกสอน (training)	ทดสอบ (testing)
U21/40	68	35
U11/20	88	34
U/10	93	42
U/5	36	39
รวมทั้งหมด	285	150



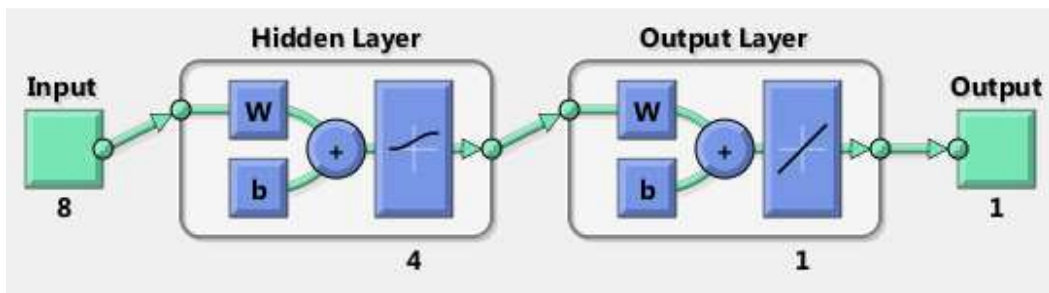
ภาพประกอบ 3.12 รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (MLP) มี 1 เอาต์พุต



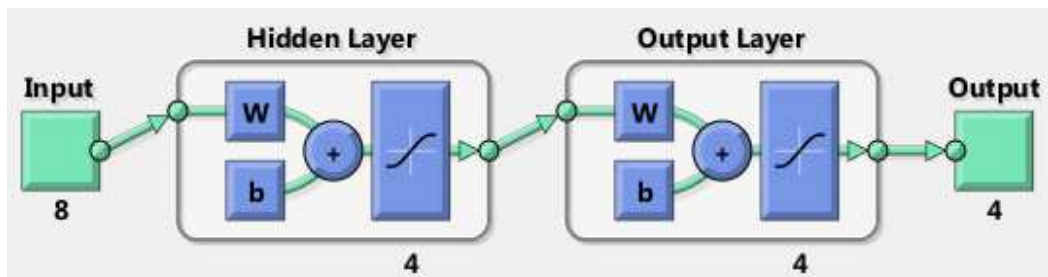
ภาพประกอบ 3.13 รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (MLP) มี 4 เอ้าตพุต



ภาพประกอบ 3.14 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-1) และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tan-sig-purelin



ภาพประกอบ 3.15 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-1) และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด log-sig-purelin



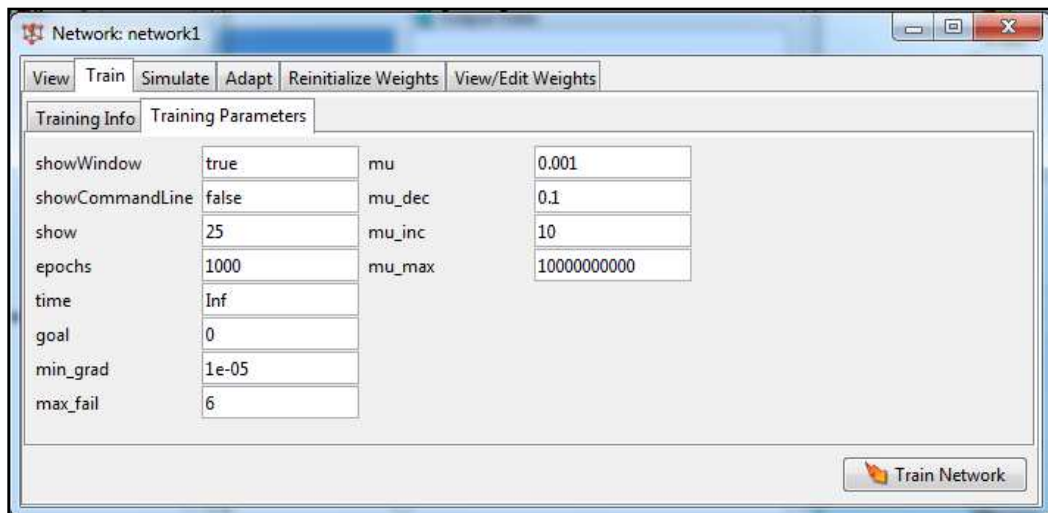
ภาพประกอบ 3.16 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม (8-4-4)
และฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-tansig

ง) กำหนดค่าเป้าหมายประสิทธิภาพของข้อมูล เนื่องจากงานวิจัยนี้กำหนดโครงข่ายประสาทเทียมแบบเปอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น มีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการประมาณค่าน้ำหนักจะใช้ neural network tool ในการฝึกสอน ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการจำแนกขนาดจะใช้ neural network pattern recognition tool เป็นเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (pattern recognition) ทั้งสองเป็นซอฟต์แวร์ Neural Network Toolbox ในโปรแกรม MATLAB

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการประมาณค่าน้ำหนักโดย neural network tool เลือกใช้อัลกอริทึมสำหรับเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainlm หรือ Levenberg-Marquardt ซึ่งเป็นฟังก์ชันแรกๆที่ควรเลือกมาฝึกสอนโครงข่ายเพราะสามารถลู่เข้าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วโดยทำการปรับค่า weight และ bias อัตโนมัติโดยมีค่าเริ่มต้นเป็นค่าสุ่ม เพื่อลดค่าความผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าเอาต์พุต อัลกอริทึมสำหรับเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainlm มีพารามิเตอร์การฝึกสอนค่าเริ่มต้น (default) แสดงดังภาพประกอบ 3.17 ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายที่หยุดการฝึกสอนโครงข่าย เช่น จำนวนรอบสูงสุดเท่ากับ 1000 รอบ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (goal) เท่ากับ 0 และค่าอื่นๆ

โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการจำแนกเป็นขนาดโดย neural network pattern recognition tool มีอัลกอริทึมสำหรับเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainscg หรือ Scaled conjugate gradient backpropagation ซึ่งเป็นฟังก์ชันการปรับค่า weight และ bias อัตโนมัติโดยมีค่าเริ่มต้นเป็นค่าสุ่มด้วยวิธี scaled conjugate gradient เพื่อลดค่าความผิดพลาดระหว่างค่าเป้าหมายกับค่าเอาต์พุต อัลกอริทึมสำหรับเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainscg มีพารามิเตอร์การฝึกสอนค่าเริ่มต้น (default) แสดงดังตาราง 3.2

สำหรับค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) เริ่มต้นเท่ากับ 0.01 และจะถูกปรับเมื่อ weight เปลี่ยนไป



ภาพประกอบ 3.17 ค่าเป้าหมายของอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainlm

ตาราง 3.2 ค่าเป้าหมายของอัลกอริทึมสำหรับการเรียนรู้โครงข่ายชนิด trainscg[29]

รายการ	ค่าเป้าหมาย	รายละเอียด
epochs	100	Maximum number of epochs to train
show	25	Epochs between displays (NaN for no displays)
showCommandLine	0	Generate command-line output
showWindow	1	Show training GUI
goal	0	Performance goal
time	Inf	Maximum time to train in seconds
min_grad	1e-6	Minimum performance gradient
max_fail	5	Maximum validation failures
sigma	5.0e-5	Determine change in weight for second derivative approximation
lambda	5.0e-7	Parameter for regulating the indefiniteness of the Hessian

3) เลือกโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าว (2.14) ในบทที่ 2 และพิจารณาค่าความถูกต้องในการคัดแยก

3.3.3. คัดแยกสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูป

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หมึกกล้วยแบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ ซึ่งมีคุณลักษณะทางรูปร่างที่แตกต่างกันโดยที่หมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* มีความกว้าง และสั้นกว่าสายพันธุ์ *L.chinensis* ดังนั้นพารามิเตอร์จากภาพที่ควรใช้ในการคัดแยกสายพันธุ์หมึกที่สามารถใช้อธิบายคุณลักษณะเชิงรูปร่างที่สำคัญได้ก็คือ ความกว้างและความยาวของหมึก โดยความยาว (L) สามารถวัดได้ตามแนวนอนของตัวหมึก และความกว้าง (W) สามารถวัดจากความกว้างสูงสุดในแนวดิ่ง โดยใช้อัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของหมึกดังสมการ (3.2)

$$\text{Shape aspect ratio} = L/W \quad (3.2)$$

ทำการสุ่มกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยหมึกทั้ง 2 สายพันธุ์ ประกอบด้วยหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* จำนวน 160 ตัวอย่าง และหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* จำนวน 70 ตัวอย่าง ตามการระบุของผู้เชี่ยวชาญ มาใช้เป็นตัวอย่างในการหาเกณฑ์การคัดแยกซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอ 2 วิธีดังนี้

1) วิธีการใช้ค่าอัตราส่วนเป็นเกณฑ์ในการคัดแยก ซึ่งจะดำเนินการโดยการนำข้อมูลอัตราส่วน (aspect ratio) ทั้งหมดมาพล็อตแผนภาพการกระจาย (scatter plot) เพื่อหาค่าอัตราส่วนค่าหนึ่งเป็นเกณฑ์ในการคัดแยกสายพันธุ์

2) วิธีการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม โดยทำการตรวจสอบข้อมูลก่อนว่าเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นหรือไม่ แล้วจึงทำการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

ก) ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูลประกอบด้วย 4 ประการ คือ 1.1) ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรเดียว (univariate normal distribution) เนื่องจากมีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียว ด้วยวิธีการทางสถิติคือใช้ Kolmogorov-Smirnov Test 1.2) ตรวจสอบความเท่าเทียมกันของเมตริกซ์ความแปรปรวน ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่าง (equal dispersion matrices) ตรวจสอบได้ด้วยสถิติ Box's M 1.3) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity of relationships) ตรวจสอบได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของเพียร์สัน 1.4) ตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (multicollinearity) ไม่ทำการตรวจสอบเนื่องจากมีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียว รายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

ข) แบ่งกลุ่มประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มอย่างน้อย 2 กลุ่ม ซึ่งในงานนี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามสายพันธุ์หมึกกล้วยดังนี้ หมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* แทนด้วยกลุ่มที่ 1 และ หมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* แทนด้วยกลุ่มที่ 2

ค) กำหนดตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลหรืออิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่ม ซึ่งที่กล่าวมาแล้วข้างต้นหมึกกล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีลักษณะรูปร่างที่ต่างกันทั้งความยาวและความกว้าง ดังนั้นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการคัดแยกหมึกทั้งสองออกจากกันคือ อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง (aspect ratio) ให้เป็นตัวแปรอิสระ

ง) กำหนดตัวแปรตาม เป็นตัวแปรที่ถูกจำแนกหรือถูกทำนาย แบ่งเป็นกลุ่มๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งในงานนี้ต้องการแยกหมึกออกตามสายพันธุ์ คือแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนั้นกำหนดให้ตัวแปรตามคือ “1” คือหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* และ “2” คือหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli*

จ) สร้างเกณฑ์หรือสมการจำแนกกลุ่มโดยการสร้างสมการเชิงเส้นที่เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแบ่งกลุ่ม (D) กับตัวแปรอิสระ ในงานวิจัยนี้จะสร้างสมการจำแนกกลุ่มซึ่งจะอยู่ในรูปเชิงเส้นดังสมการ (2.17)

เมื่อได้เกณฑ์การคัดแยกสายพันธุ์จากทั้ง 2 วิธีแล้วจะใช้ตัวอย่างอีกหนึ่งชุดสำหรับทดสอบความถูกต้องในการคัดแยกจำนวน 130 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* จำนวน 100 ตัวอย่าง และหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* จำนวน 30 ตัวอย่าง

3.4. ศึกษาความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน

ผู้วิจัยทำการศึกษาความสามารถของพนักงานที่มีหน้าที่คัดแยกขนาดและสายพันธุ์ในปัจจุบันของแพเอกชน (สงขลา) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับเทคนิคที่พัฒนาขึ้น โดยเลือกพนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและคัดแยกที่ผ่านการฝึกฝนมาก่อนอย่างน้อย 3 เดือน เพื่อให้เกิดความชำนาญก่อนการปฏิบัติงานจริง โดยปกติพนักงานจะทำการคัดแยกแบบไม่ใช้เครื่องชั่ง แต่จะใช้ความชำนาญและประสบการณ์ที่มีอยู่ดังนั้นข้อมูลการคัดแยกที่ได้มาจึงเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ หรือที่เรียกว่าข้อมูลนับ สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนการทดสอบจะกล่าวดังต่อไปนี้

3.4.1. ขั้นตอนการทดสอบข้อมูลการคัดแยก

1) กำหนดบุคลากรที่มีความชำนาญการ (expert) ในการคัดแยก ซึ่งต้องเป็นบุคคลที่สามารถแยกแยะคุณภาพสินค้า และลูกค้าให้การยอมรับผลการตรวจสอบดังกล่าว

2) ให้ผู้ชำนาญการกำหนดเกณฑ์ในการคัดแยก ทั้งขนาดและสายพันธุ์เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการประเมินความสามารถของระบบการคัดแยก

3) กำหนดพนักงานในการวิเคราะห์ระบบการคัดแยก โดยสุ่มพนักงานมา 3 คน เป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการคัดแยกหมึก ที่ได้ผ่านการประเมินความสามารถมาแล้ว

4) กำหนดจำนวนตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวขึ้นอยู่กับจำนวนพนักงานทดสอบ ในการศึกษานี้ได้กำหนดแผนการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างทั้งหมด 48 ตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 สายพันธุ์ และ 4 ขนาด ดังแผนผังภาพประกอบ 3.18 และทำการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แต่ในการเก็บข้อมูลจริงประกอบด้วยตัวอย่างหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* 33 ตัวอย่าง และสายพันธุ์ *L.chinensis* 15 ตัวอย่าง และประกอบด้วยขนาด U21/40, U11/20, U/10 และ U/5 จำนวน 10, 14, 12 และ 12 ตัวอย่างตามลำดับ ตัวอย่างหมึกจริงไม่เป็นตามแผนที่กำหนดเนื่องจากธรรมชาติของวัตถุที่ ซึ่งไม่สามารถหาตัวอย่างได้ครบทุกขนาดสอดคล้องตามแผนดังกล่าวแสดงดังแผนผังภาพประกอบ 3.19 ในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง จำนวนพนักงาน และจำนวนซ้ำ อ้างอิงจากตาราง 3.3

5) สุ่มพนักงานมาทีละคนทำการตัดแยกตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อการตัดแยกตัวอย่างพร้อมกับบันทึกผลในตารางทดสอบ

6) ดำเนินการเช่นเดียวกับขั้นตอนในข้อ 5) จนครบตามจำนวนที่ออกแบบไว้

7) ทำการประเมินผล ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ความเห็นพ้องกันของพนักงานแต่ละคน และการประเมินประสิทธิผลในการตัดแยกของพนักงาน ดังหัวข้อต่อไป

ตาราง 3.3 ขนาดสิ่งตัวอย่างที่แนะนำสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ[37]

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

หมายเหตุ ในการทดลองนี้เลือกจำนวนการทำซ้ำที่ต่ำที่สุด คือ 3 เนื่องจากมีการสุ่มพนักงานตรวจสอบมาจำนวน 3 คน

3.4.2. การวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานตัดแยก

การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการตัดแยกด้านความเห็นพ้องกัน โดยมีการวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน และการวิเคราะห์ความสามารถระหว่างพนักงานดังต่อไปนี้

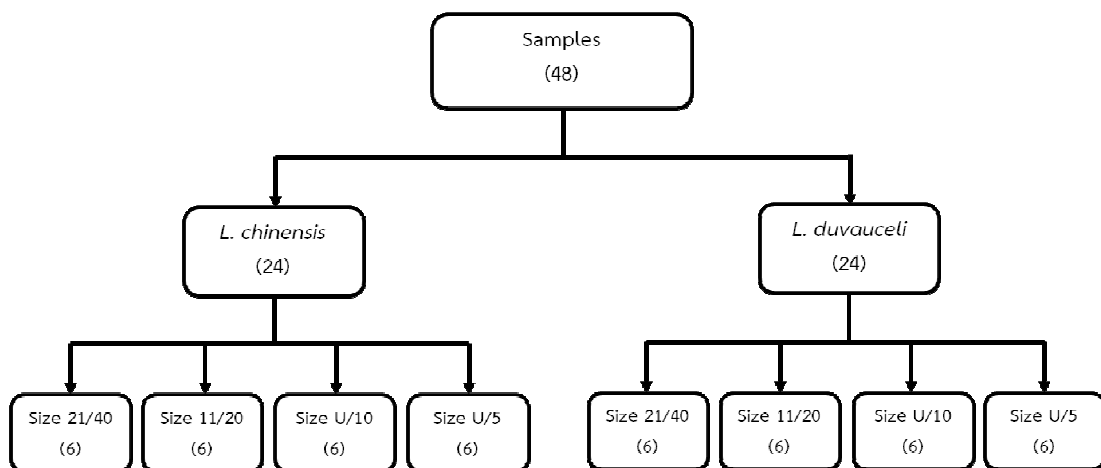
1) การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (within appraiser) จากที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งจะพิจารณาทั้งความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคน หรือ % คะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน (% appraiser score) ของพนักงานทั้ง 3 คนที่ถูกสุ่มมาโดยคำนวณจากสมการ (2.18) และหาค่าช่วงคะแนนความสามารถในการทำซ้ำโดยสมการ (2.19) และ (2.20)

2) การวิเคราะห์ความสามารถระหว่างพนักงาน (between appraiser) เป็นการวิเคราะห์ผลการตัดแยกที่ได้ผลเหมือนกันทั้ง 3 ครั้งของพนักงานทั้ง 3 คน สามารถประเมินผล

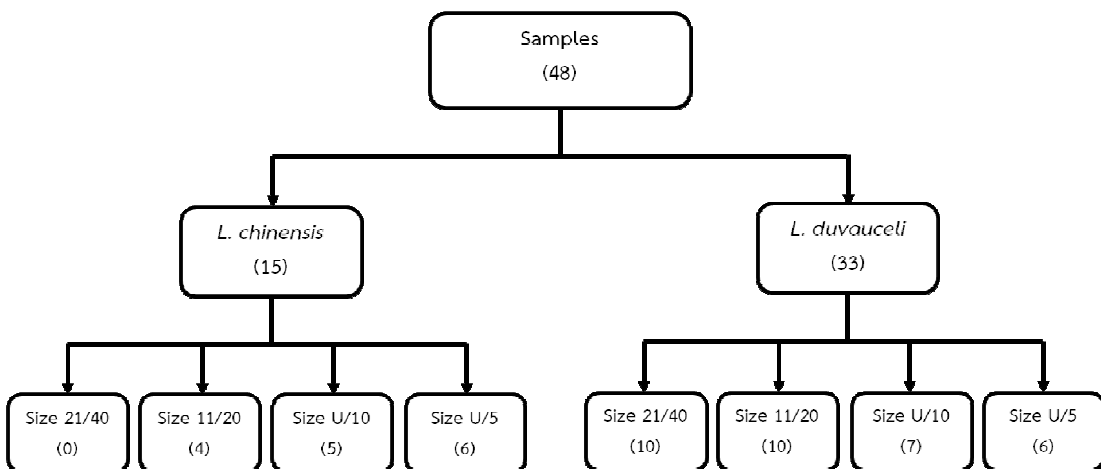
ด้วย % ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำของการคัดแยก (% screen effective score) โดยสมการ (2.21) ในบทที่ 2

3.4.3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการวัด

การวิเคราะห์ความมีประสิทธิภาพ (effectiveness) ของระบบการคัดแยก ผู้ศึกษา จำเป็นจะต้องทราบคุณภาพที่แท้จริงของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการคัดแยก แล้วทำการศึกษาถึงความพ้องกันระหว่างพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน ด้วยการประเมินผลคะแนนของค่าแอดทริบิวต์ (% attribute score) ที่หมายถึงความไม่ไปอัสของการคัดแยกโดยสมการ (2.22) ในบทที่ 2 และประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจาก % คะแนนของประสิทธิภาพของค่าแอดทริบิวต์ (% attribute screen effective score) ที่แสดงถึงประสิทธิภาพด้านความไม่ไปอัสของการคัดแยก โดยสมการ (2.23) ในบทที่ 2



ภาพประกอบ 3.18 แผนผังจำนวนตัวอย่างที่ใช้ศึกษาความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน



ภาพประกอบ 3.19 แผนผังจำนวนตัวอย่างที่ใช้ศึกษาความสามารถในการคัดแยกของพนักงานจริง

บทที่ 4

การวิเคราะห์และการอภิปรายผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยตามวิธีการที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ผลการวิเคราะห์ และผลการอภิปรายการวิจัย ประกอบด้วยผลการวิเคราะห์เกณฑ์ในการคัดแยกทั้งขนาดและสายพันธุ์ ผลการหาคุณลักษณะของรูปภาพโดยการประมวลผลภาพเพื่อนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์ในการประมาณค่าน้ำหนัก อธิบายความแตกต่างของหมึกทั้งสองสายพันธุ์ แสดงผลการจำแนกขนาดและสายพันธุ์ ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน และอภิปรายผลการเปรียบเทียบการคัดแยกตัวอย่างของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบความสามารถในการวัดพนักงานระหว่างอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับพนักงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1. ผลการวิเคราะห์เกณฑ์ในการคัดแยก

จากการวิเคราะห์เกณฑ์การคัดแยกขนาดและสายพันธุ์ของหมึกกล้วยแปรรูปที่ใช้จริงในปัจจุบันของอุตสาหกรรมแปรรูป เพื่อนำไปใช้เป็นเกณฑ์สำหรับพัฒนาอัลกอริทึมของโปรแกรมสามารถสรุปเกณฑ์การคัดแยกได้ดังนี้

4.1.1. เกณฑ์การคัดแยกขนาด

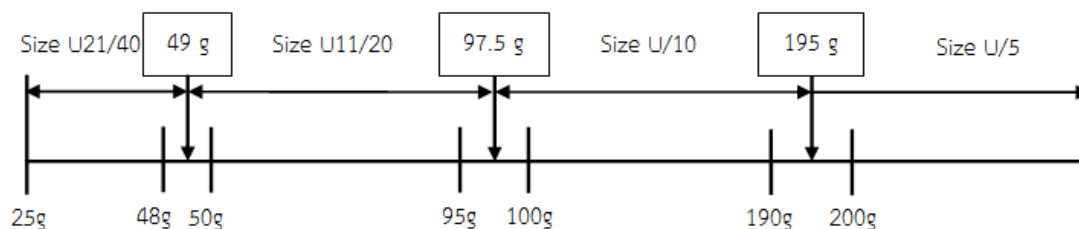
สำหรับเกณฑ์การคัดแยกขนาดจากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าการคัดแยกขนาดจะใช้ชวงน้ำหนักเป็นเกณฑ์ โดยชวงน้ำหนักของแต่ละขนาดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามข้อตกลงของลูกค้าแต่ละราย โดยจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (%wt) ในงานวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (%wt) สำหรับการคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวแปรรูปแช่แข็ง (frozen whole cleaned squid) ของทั้ง 4 ขนาดโดยที่ wt ย่อมาจาก weight แปลว่าน้ำหนัก ดังนั้น %wt หมายถึง เปอร์เซ็นต์ตามน้ำหนัก เช่น 100 กรัมเป็น 10% ตามน้ำหนักของ 1 กิโลกรัม รายละเอียดเกณฑ์การคัดแยกขนาดที่ 100%wt ดังตาราง 4.1 ซึ่งมีการปรับมาจากเกณฑ์มาตรฐานของตาราง 2.3

ตาราง 4.1 เกณฑ์การคัดแยกขนาดที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก (%wt)

ชื่อเรียกขนาด (size)	จำนวนตัวต่อกิโลกรัม	นน/ตัว (กรัม)
U/5	ไม่เกิน 5	มากกว่า 200
U/10	ไม่เกิน 10	100 ถึง 190
U11/20	11 ถึง 20	50 ถึง 95
U21/40	21 ถึง 40	25 ถึง 48

จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักของ 2 ขนาดที่อยู่ติดกันมีช่วงน้ำหนักที่ไม่ต่อเนื่องกัน ช่วงน้ำหนักที่ไม่ต่อเนื่องกันนี้เป็นค่าที่ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ ยกตัวอย่างเช่น ขนาด U21/40 กับ U11/20 มีช่วงที่ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ 2 กรัม คือช่วงน้ำหนัก 48-50 กรัม ส่วนช่วงน้ำหนักที่ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ระหว่างขนาด U11/20 กับ U/10 และ U/10 กับ U/5 เท่ากับ 5 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ หากหมึกตัวใดมีน้ำหนักอยู่ในช่วงคลาดเคลื่อนนี้จะยอมให้จำแนกเป็นขนาดใดก็ได้ระหว่าง 2 ขนาดที่อยู่ติดกัน ดังนั้นการคัดแยกหมึกออกเป็น 4 ขนาด แสดงว่าต้องมีการกำหนดจุดแบ่งระหว่าง 2 ขนาดที่อยู่ติดกันเป็นจำนวน 3 จุด ดังภาพประกอบ 4.1 ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจุดแบ่งที่กึ่งกลางช่วงความคลาดเคลื่อน ซึ่งจุดแบ่งแรกระหว่างขนาด U21/40 กับขนาด U11/20 จะอยู่ที่ 49 กรัม ส่วนจุดแบ่งระหว่างขนาด U11/20 กับขนาด U/10 จะอยู่ที่ 97.5 กรัม และจุดแบ่งระหว่างขนาด U/10 กับขนาด U/5 จะอยู่ที่ 195 กรัม

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำหนักในช่วง 48-50 กรัม สามารถตัดสินใจเป็นขนาด U21/40 หรือ ขนาด U11/20 ถ้าว่าน้ำหนักในช่วง 95-100 กรัม สามารถตัดสินใจเป็นขนาด U11/20 หรือ ขนาด U/10 และน้ำหนักในช่วง 190-200 กรัม สามารถตัดสินใจเป็นขนาด U/10 หรือ ขนาด U/5 ก็ถือว่าไม่ผิดเช่นกัน ดังตาราง 4.2 และเพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ผลิตมากที่สุดจึงทำการกำหนดค่าช่วงที่นำไปใช้เป็นเกณฑ์ของโปรแกรมการคัดแยกออกเป็น 4 ขนาดดังตาราง 4.3



ภาพประกอบ 4.1 การกำหนดเกณฑ์ตามช่วงน้ำหนักแต่ละขนาด

ตาราง 4.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในแต่ละจุดแบ่งขนาดระหว่าง 2 ขนาดที่ติดกัน

จุดแบ่งที่	แบ่งระหว่างขนาด		จุดแบ่ง (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) (กรัม)	ค่าน้ำหนักของช่วงแบ่ง (กรัม)	
					ต่ำที่สุด (lower)	มากที่สุด (upper)
1	U21/40	U11/20	49	±1	48	50
2	U11/20	U/10	97.5	±2.5	95	100
3	U/10	U/5	195	±5	190	200

ตาราง 4.3 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาวสำหรับพัฒนาโปรแกรม

ชื่อเรียกขนาด (size)	เกณฑ์ในการคัดแยกขนาด (กรัม)
U/5	มากกว่า 195
U/10	มากกว่า 97.5 ถึง 195
U11/20	มากกว่า 49 ถึง 97.5
U21/40	25 ถึง 49

จากตาราง 4.3 เกณฑ์คัดแยกขนาดสามารถสรุปได้ว่าถ้าน้ำหนักมากกว่าหรือเท่ากับ 25 กรัม ถึง 49 กรัมให้เป็นขนาด U21/40 ถ้าน้ำหนักอยู่ในช่วงมากกว่า 49 กรัม ถึง 97.5 กรัมให้เป็นขนาด U11/20 ถ้าน้ำหนักอยู่ในช่วงมากกว่า 97.5 กรัม ถึง 195 กรัมให้เป็นขนาด U/10 ถ้าน้ำหนักอยู่ในช่วงมากกว่า 195 กรัมให้เป็นขนาด U/5

เกณฑ์ที่สรุปไว้ข้างต้นเป็นเกณฑ์ที่มีการใช้จริงในอุตสาหกรรมแปรรูปหมึกแช่แข็ง และนอกจากเกณฑ์การคัดแยกขนาดที่ 100%wt แล้วยังสามารถปรับเปลี่ยนข้อตกลงได้ตามความต้องการของลูกค้า เช่นเปลี่ยนเป็น 90%wt, 80%wt หรือ 70%wt ช่วงน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตาม %wt ที่ลูกค้าต้องการ ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงเมื่อค่า %wt เปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของลูกค้า เช่นที่ 90%wt หมายความว่า ถ้าน้ำหนักสินค้า 1000 กรัมข้อตกลงที่ลูกค้ายอมรับได้อยู่ที่ 900 กรัมซึ่งน้ำหนักขาดได้ 100 กรัม หรือคิดเป็น 10 % โดยสามารถอธิบายวิธีการคำนวณดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ ขนาด U/5 (ขนาด U/5 กำหนดให้มีมาตรฐานไม่เกิน 5 ตัวต่อ 1 กิโลกรัม หรือ 1000 กรัม)

$$\text{น้ำหนัก } 100 \%wt = 1000 \text{ กรัม} \times 100\% = 1000 \text{ กรัม}$$

$$\text{แสดงว่า โดยเฉลี่ยแต่ละตัวมีน้ำหนัก} = 1000 \text{ กรัม} / 5 \text{ ตัว} = 200 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนัก } 90\%wt = 1000 \text{ กรัม} \times 90\% = 900 \text{ กรัม}$$

$$\text{แสดงว่า โดยเฉลี่ยแต่ละตัวมีน้ำหนัก} = 900 \text{ กรัม} / 5 \text{ ตัว} = 180 \text{ กรัม}$$

ถ้ากำหนดให้น้ำหนักหมึกแต่ละตัวขาดได้ 10% หมายความว่าหมึกแต่ละตัวมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 180 กรัม และถ้าต้องการน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัมหรือ 1000 กรัม สามารถคำนวณจำนวนหมึกจาก $1000 \text{ กรัม} / 180 \text{ กรัม} = 5.56$ ตัว หรือประมาณ 6 ตัว และสรุปผลการคำนวณดังตาราง 4.4 ซึ่งหมายความว่าช่วงน้ำหนักในการคัดแยกขนาดหมึกสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของลูกค้าแต่ละรายได้

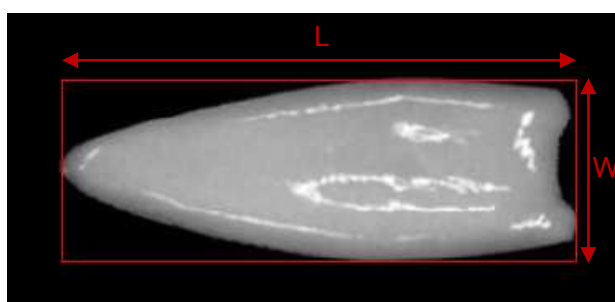
ตาราง 4.4 เกณฑ์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาว (90%wt)

ชื่อเรียกขนาด (size)	จำนวนตัวต่อน้ำหนัก (ไม่เกิน)		น้ำหนัก/ตัว (กรัม)
	900 กรัม	1 กิโลกรัม	
U/5	5	6	มากกว่า 180
U/10	10	12	90 ถึง 176
11/20	20	23	45 ถึง 89
21/40	40	45	22 ถึง 44

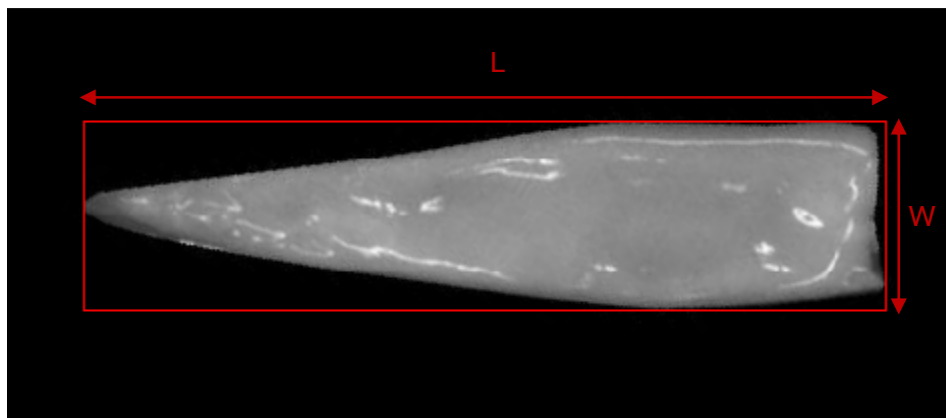
ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพัฒนาอัลกอริทึมในการคัดแยกเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน และสามารถปรับช่วงน้ำหนักในการคัดแยกได้ง่ายขึ้น โดยการประมาณค่าผลลัพธ์ออกมาเป็นน้ำหนัก

4.1.2. เกณฑ์การคัดแยกสายพันธุ์

จากรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 เกณฑ์การคัดแยกสายพันธุ์แบ่งตามลักษณะรูปร่างของหมึกกล้วยที่มีการนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมซึ่งมีเพียง 2 สายพันธุ์ โดยจะใช้ชื่อเรียกตามชื่อของสายพันธุ์ดังนี้ สายพันธุ์ *L.duvauceli* และสายพันธุ์ *L.chinensis* ข้อมูลการสำรวจของการประมงอวนลากพาณิชย์ในปี 2538 ที่พบในบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง พบหมึกกล้วยที่จับมาแปรรูปเพียง 2 สายพันธุ์เช่นกัน และยังพบว่าหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* มีจำนวนมากกว่าเป็น 3 เท่าของสายพันธุ์ *L.chinensis* และจากการพิจารณารูปร่างของหมึกทั้งสองสายพันธุ์พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกันทั้งขนาดความกว้างและความยาวโดยที่หมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* มีขนาดกว้างแต่สั้นกว่าหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* ดังภาพประกอบ 4.2 และ 4.3



ภาพประกอบ 4.2 ความกว้างและความยาวของหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli*



ภาพประกอบ 4.3 ความกว้างและความยาวของหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis*

4.2. ผลการหาคุณลักษณะของรูปภาพโดยการประมวลผลภาพ

จากการประมวลผลภาพสามารถคำนวณหาคุณลักษณะของพื้นที่ที่สนใจภายในภาพได้ 7 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย พื้นที่ เส้นรอบรูป ความยาว ความกว้าง ความยาวเส้นที่ 1 ความยาวเส้นที่ 2 และความยาวเส้นที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดการหาคุณลักษณะทั้ง 7 พารามิเตอร์พร้อมภาพประกอบดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 แต่จะแปลงพารามิเตอร์เพิ่มอีก 1 พารามิเตอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง ดังนั้นพารามิเตอร์ที่มีการนำมาใช้ในกระบวนการคัดแยกทั้งหมด 8 พารามิเตอร์ซึ่งจะยกตัวอย่างการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้คุณลักษณะทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม National Instruments Vision Builder AI 2011 มีรายละเอียดดังนี้

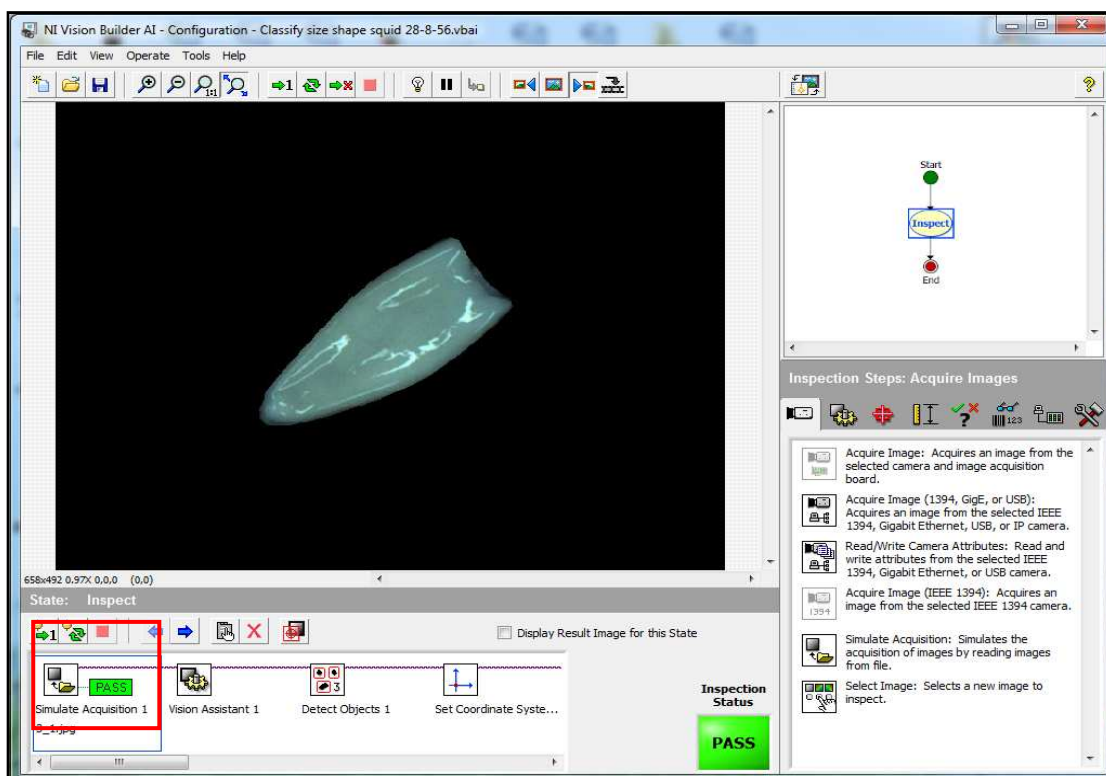
1) การรับข้อมูลภาพถ่าย (image acquisition) เข้าสู่โปรแกรมสำหรับตัวอย่างการประมวลผลภาพนี้เป็นการดึงข้อมูลภาพมาจากไฟล์ แต่ในการพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติจะรับภาพจากกล้องถ่ายภาพผ่านทาง gigabit ethernet port (LAN) แสดงผลดังภาพประกอบ 4.4

2) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (image processing) เป็นการแปลงจากภาพสี RGB เป็นภาพไบนารีก่อนการคำนวณหาคุณลักษณะภาพที่ต้องการ เริ่มจากการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทา โดยเลือกระนาบสีแดง (red plane) ดังภาพประกอบ 4.5 หลังจากนั้นทำการแยกวัตถุออกจากพื้นหลังโดยใช้ค่าเทรสโฮลด์อัตโนมัติ โดยกำหนดให้โปรแกรมหาวัตถุที่มีความสว่าง (bright object) คือพิกเซลที่มีค่าความเข้มแสงจากค่าเทรสโฮลด์ถึง 255 ให้เป็นวัตถุดังภาพประกอบ 4.6 บริเวณที่เป็นสีแดงในภาพ นอกจากนี้ทำการปรับปรุงภาพ (morphology) เป็นแบบ proper close จะทำการเติมเต็มช่องว่างขนาดเล็กและทำให้วัตถุเรียบขึ้นภายในเส้นรอบรูปของวัตถุดังภาพประกอบ 4.7 และจะเห็นว่าภาพที่ได้ขอขบยังไม่เรียบพอจึงทำการกรองความถี่ภาพเป็นการแปลงฟูรีเยอย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) ของภาพที่มีความซับซ้อนแล้วตัวกรองตัด

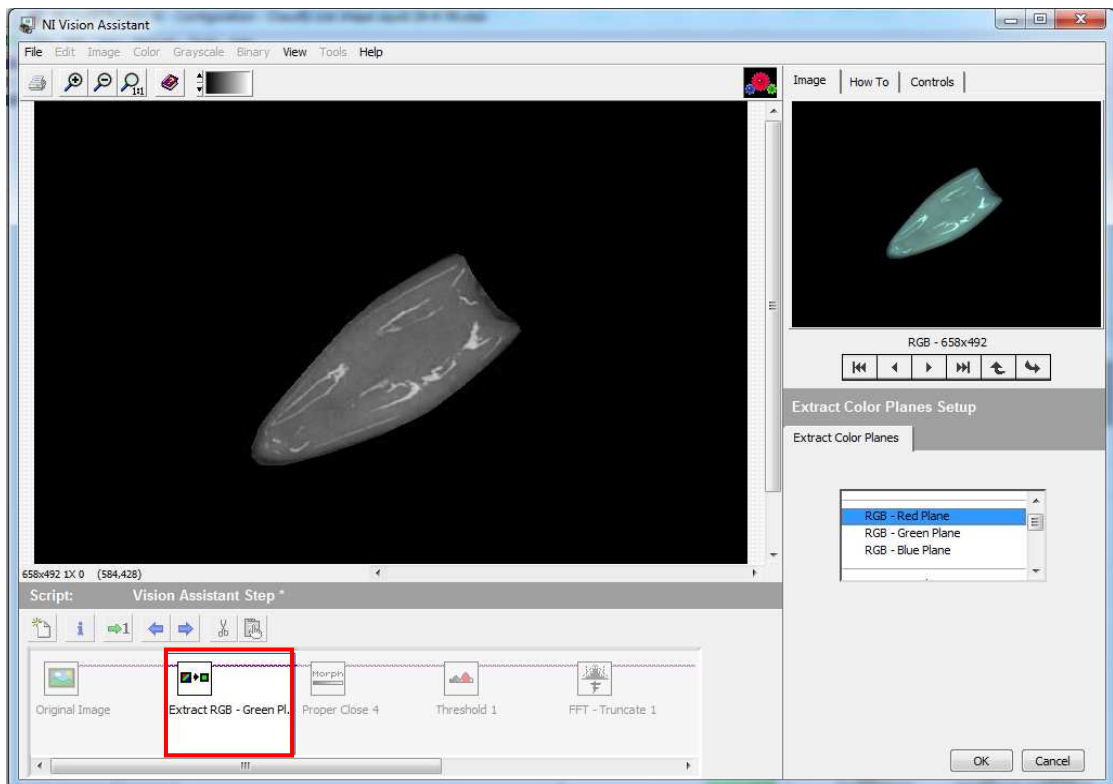
ทอนหรือลดทอนส่วนที่มีความถี่สูงออกโดยกำหนดให้ลดทอน 10% จะได้ขอบของวัตถุที่เรียบและคมชัดดังภาพประกอบ 4.8 ขั้นตอนสุดท้ายของการประมวลผลภาพเบื้องต้นคือการแปลงเป็นภาพไบนารีหรือภาพขาวดำ โดยเปลี่ยนพิกเซลที่เป็นวัตถุให้เป็นสีขาว ส่วนพิกเซลอื่นให้เป็นพื้นหลังคือเปลี่ยนเป็นสีดำดังภาพประกอบ 4.9

3) การตรวจจับวัตถุที่สนใจภายในภาพ (detect objects) กำหนดให้ตรวจจับวัตถุที่มีความสว่าง (bright object) หรือมีค่าความเข้มแสง 255 (สีขาว) จะปรากฏกรอบสีแดงล้อมรอบวัตถุที่สนใจดังภาพประกอบ 4.10

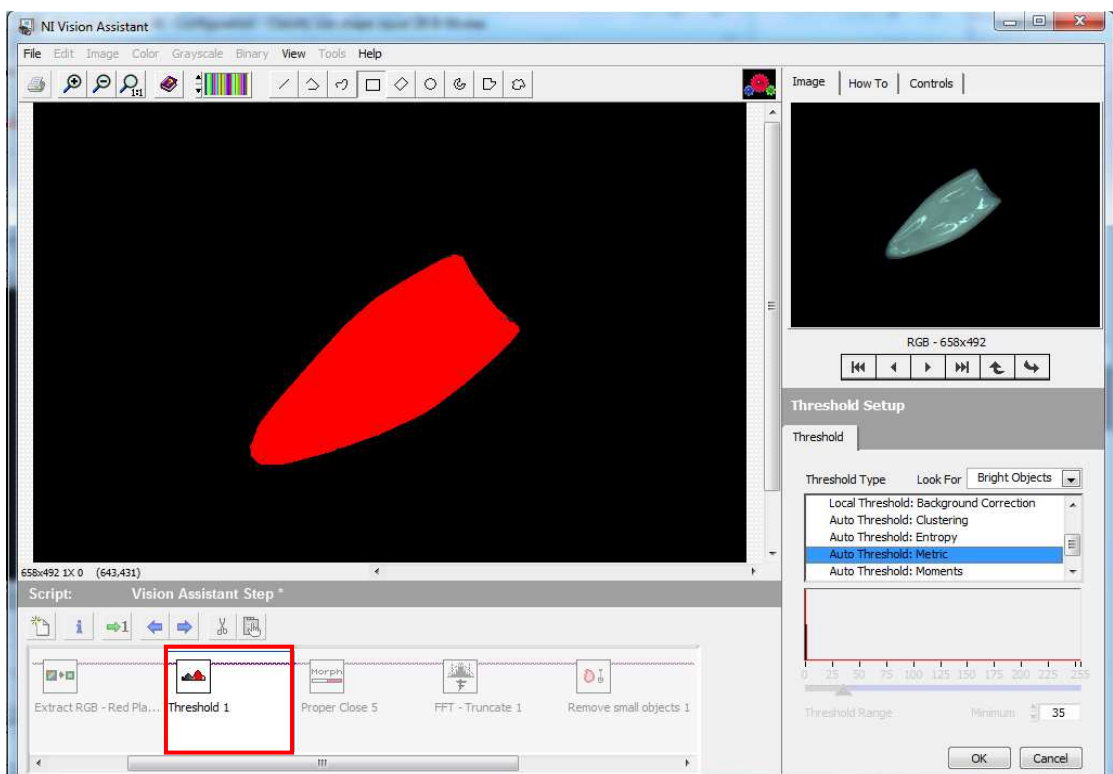
4) การกำหนดพิกัดและทิศทางของระบบ (set coordinate system) โดยเลือกโหมดที่ควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งแนวนอน แนวตั้ง และการเคลื่อนที่เชิงมุม (horizontal, vertical, and angular motion) เมื่อตำแหน่งของวัตถุภายใต้การตรวจสอบไม่ได้คงที่ จะสามารถระบุพิกัดของวัตถุในภาพเทียบกับพิกัดของระบบได้ดังภาพประกอบ 4.11



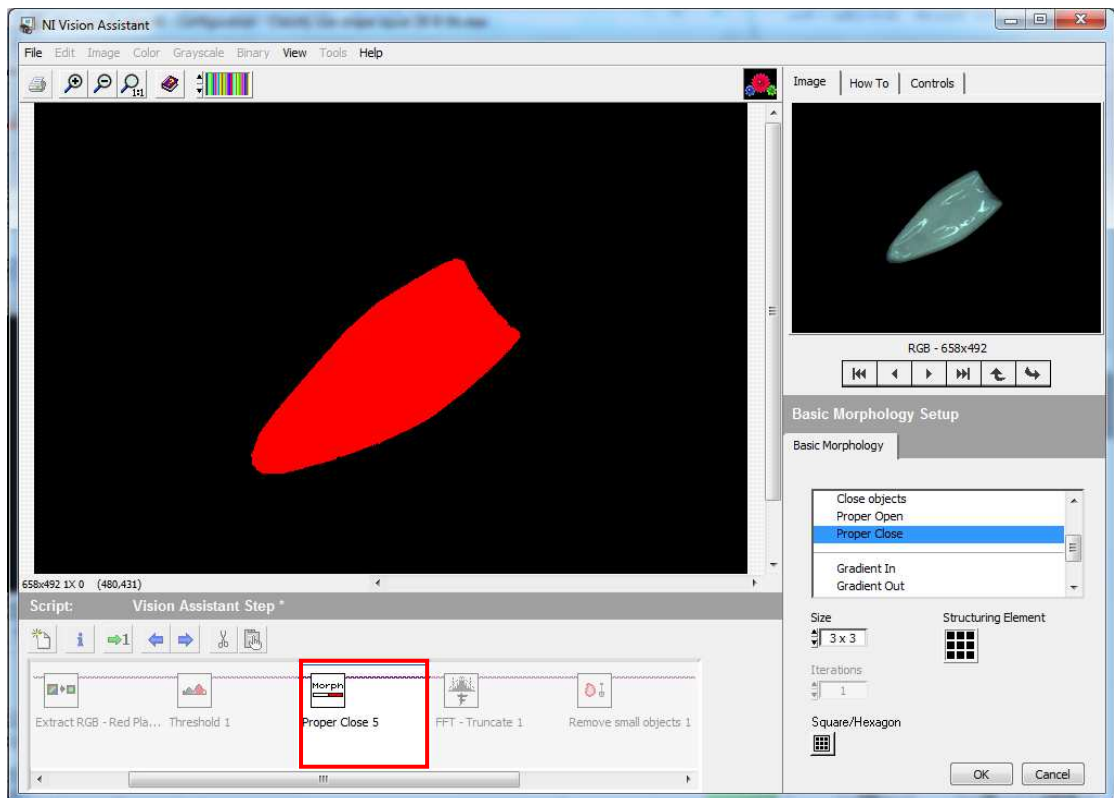
ภาพประกอบ 4.4 การรับภาพถ่ายเข้าสู่โปรแกรม



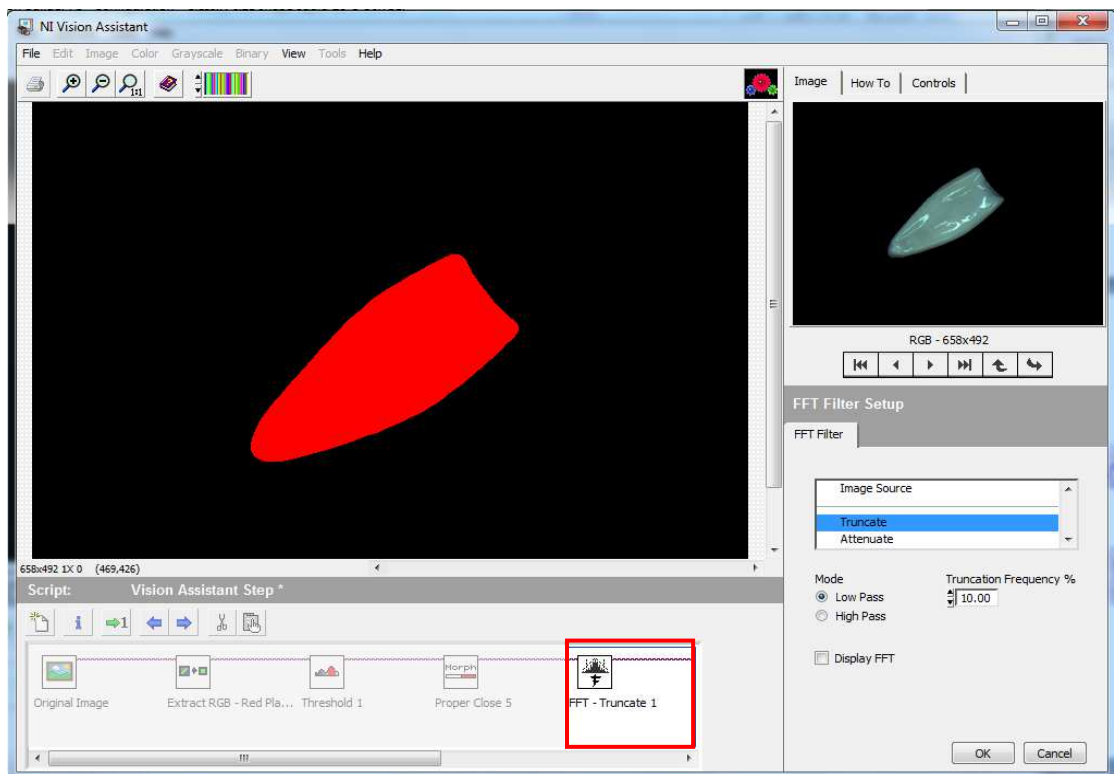
ภาพประกอบ 4.5 การแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับเทาของโปรแกรม



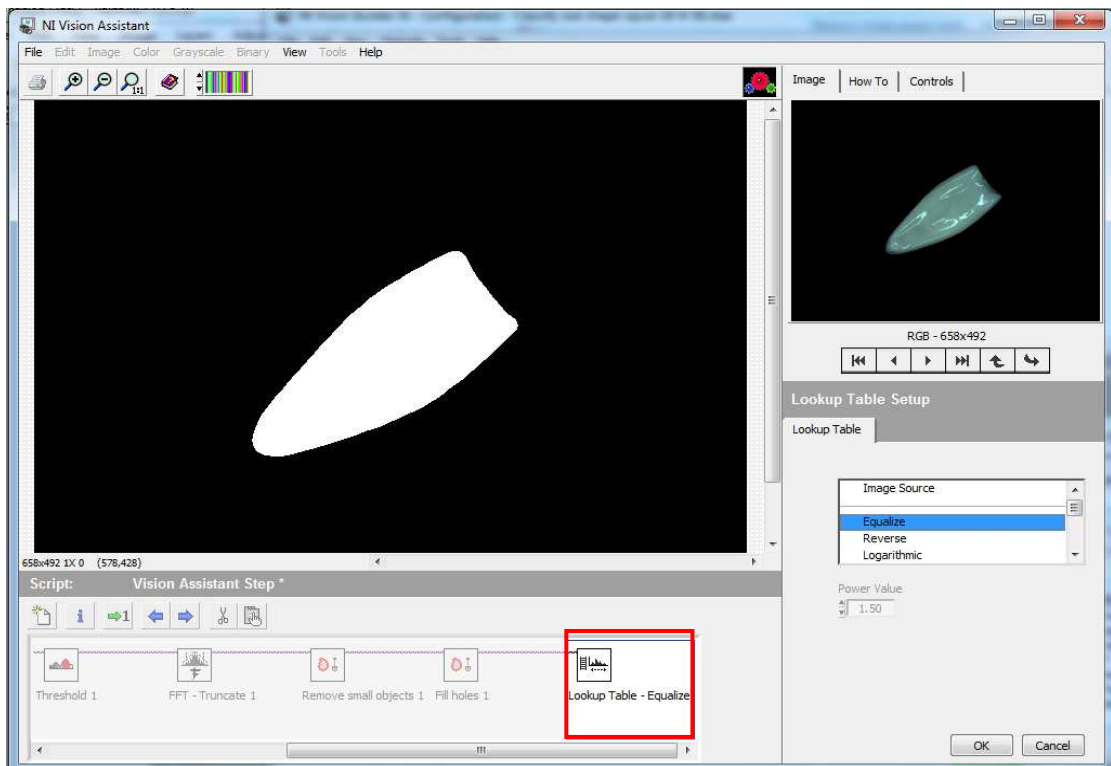
ภาพประกอบ 4.6 การแยกพิกเซลที่สนใจในภาพโดยใช้ค่าเทรชโฮลด์อัตโนมัติ



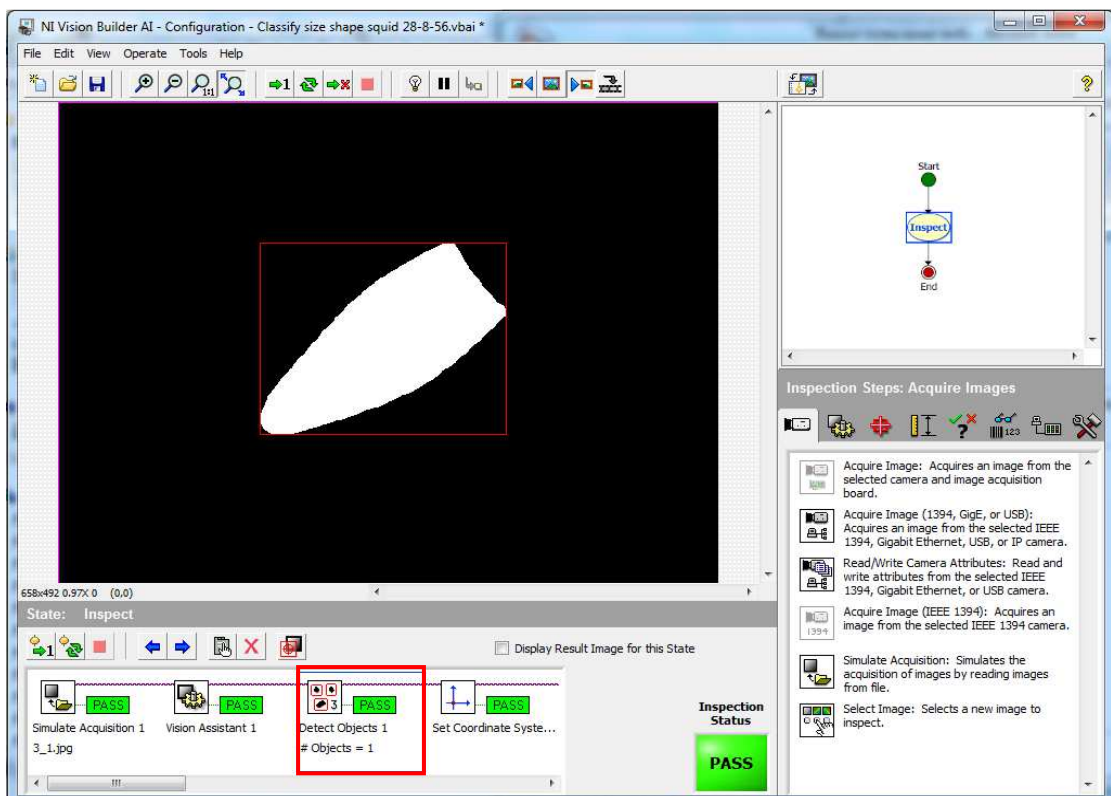
ภาพประกอบ 4.7 การปรับปรุงภาพ (morphology) เป็นแบบ proper close



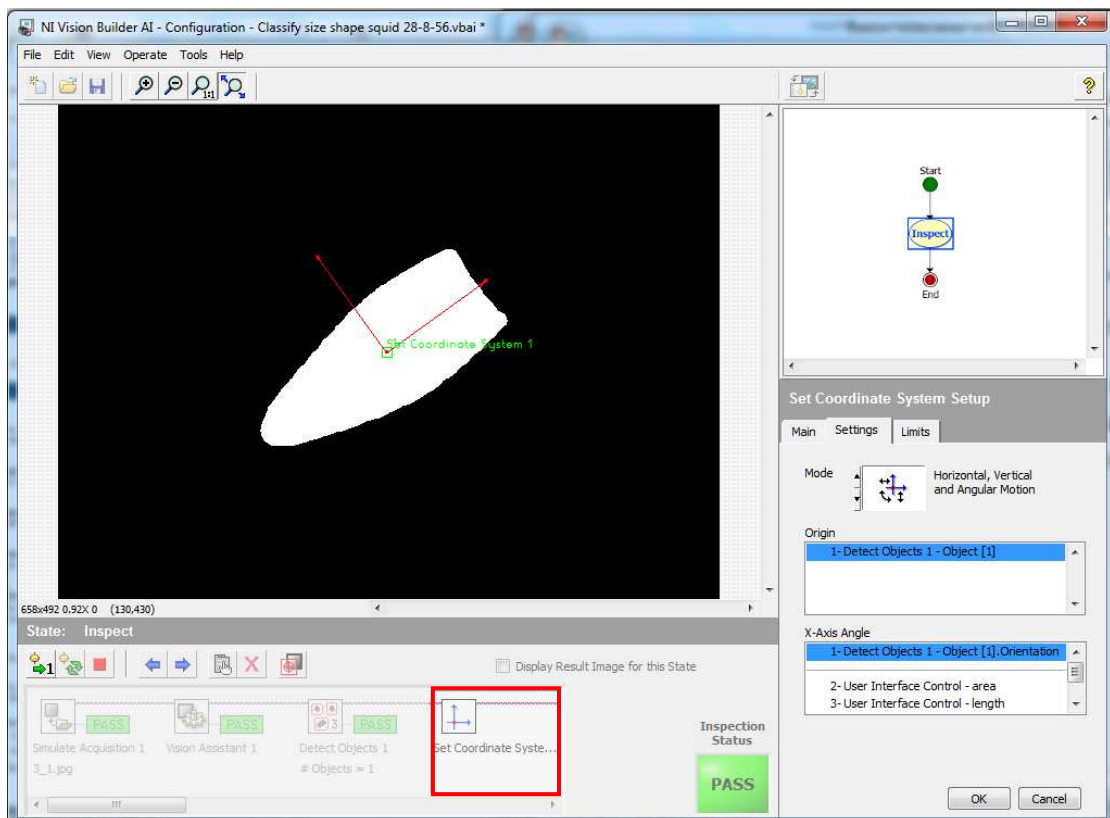
ภาพประกอบ 4.8 การกรองความถี่ภาพแบบการแปลงฟูรีเยอย่างรวดเร็ว



ภาพประกอบ 4.9 การแปลงเป็นภาพไบนารี

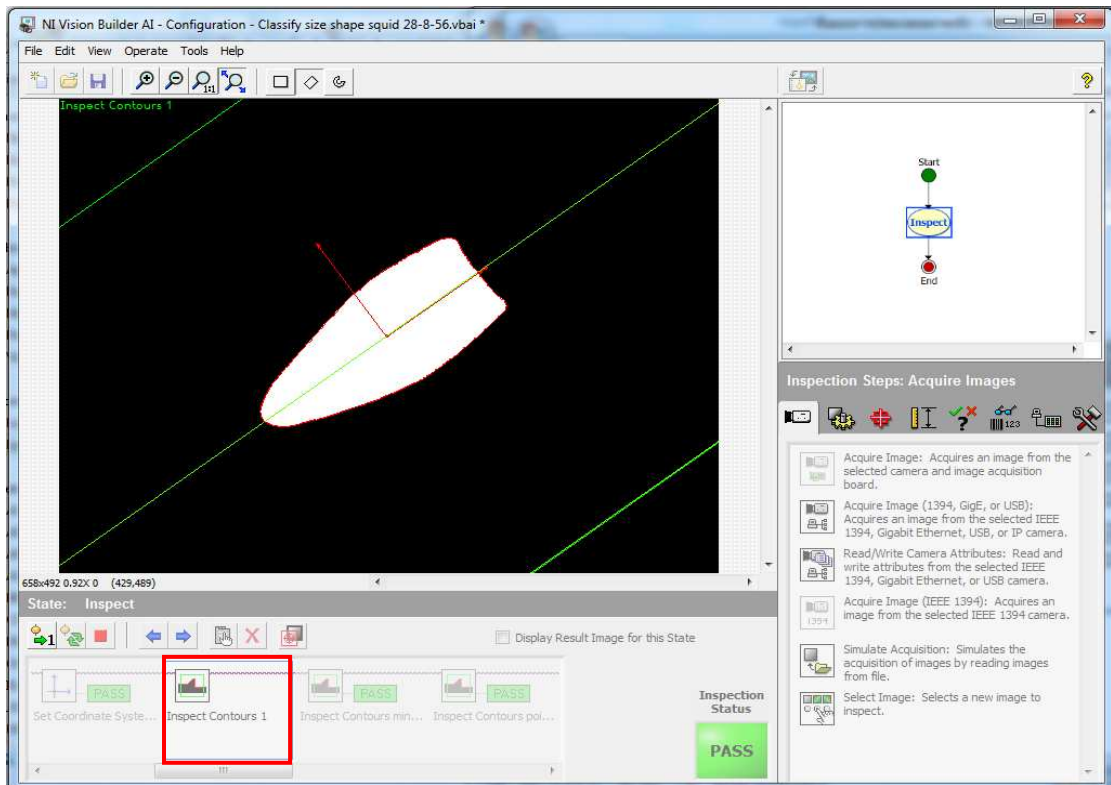


ภาพประกอบ 4.10 การตรวจจับวัตถุที่สนใจภายในภาพ (detect objects)

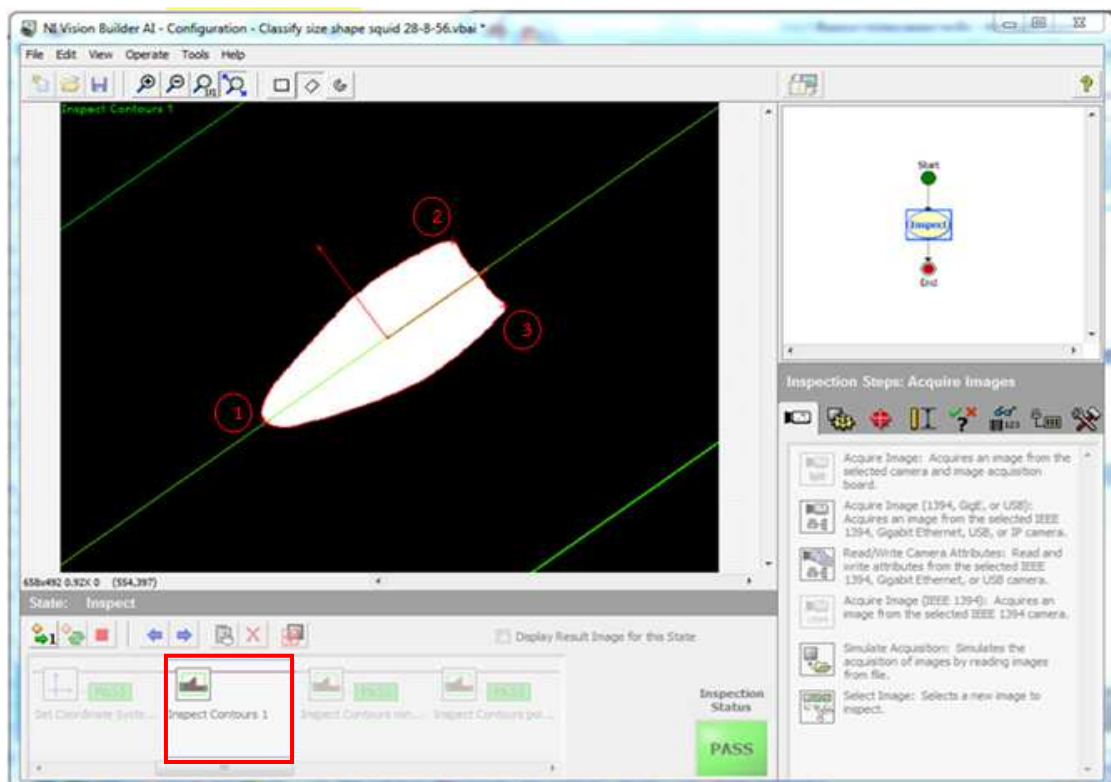


ภาพประกอบ 4.11 การกำหนดพิกัดและทิศทางของระบบ (set coordinate system)

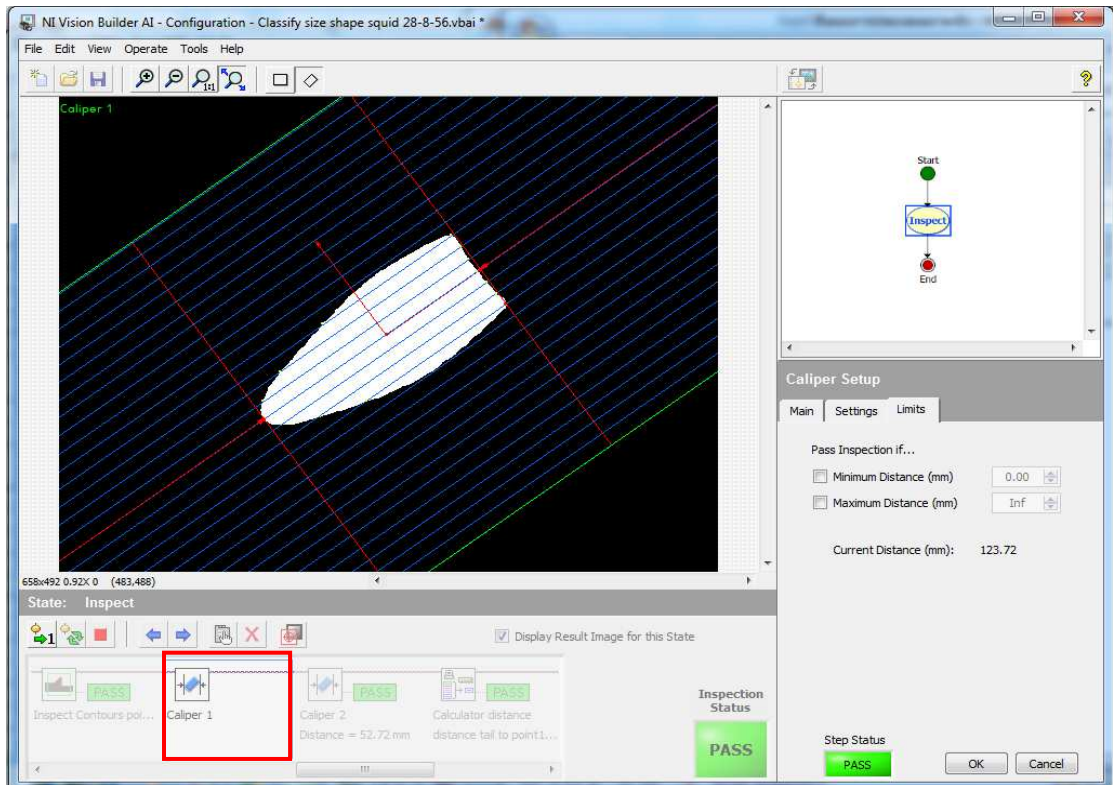
5) การหาคุณลักษณะจากภาพไบนารี ทั้ง 8 คุณลักษณะสามารถคำนวณหาได้ดังนี้ พื้นที่ของวัตถุที่สนใจในภาพได้จากผลรวมของจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาว การหาความยาวของเส้นรอบรูปวัตถุที่สนใจโดยเลือกการตรวจสอบเส้นรอบรูป (inspect contours) ดังภาพประกอบ 4.12 และในขั้นตอนการตรวจสอบเส้นรอบรูปสามารถระบุจุดที่มีค่า curvature ของเส้นรอบรูปสูงสุด 3 จุดโดยให้จุดที่ 1 เป็นจุดที่อยู่ส่วนปลายสุดของหมึก ส่วนจุด 2 และ 3 อยู่บริเวณส่วนลำตัวที่ติดกับหัวดิ่งแสดงในภาพประกอบ 4.13 สำหรับการคำนวณค่าความยาวเส้นที่ 1 เป็นความยาวระหว่างจุดที่ 1 กับ จุดที่ 2 ค่าความยาวเส้นที่ 2 เป็นความยาวระหว่างจุดที่ 1 กับ จุดที่ 3 และค่าความยาวเส้นที่ 3 เป็นความยาวระหว่างจุดที่ 2 กับ จุดที่ 3 การวัดความยาวของวัตถุ วัดจากความยาวที่มากที่สุดตามแนวนอนของตัวหมึกจากส่วนที่ติดกับหัวถึงปลายสุดของหมึก ดังภาพประกอบ 4.14 การวัดความกว้างของวัตถุ วัดจากความกว้างสูงสุดในแนวดิ่งตามแนวความกว้างของตัวหมึกดังภาพประกอบ 4.15 และสุดท้าย คำนวณค่าอัตราส่วนจากความยาวกับความกว้าง และการแสดงผลทั้ง 8 คุณลักษณะในหน้าโปรแกรมแสดงดังภาพประกอบ 4.16



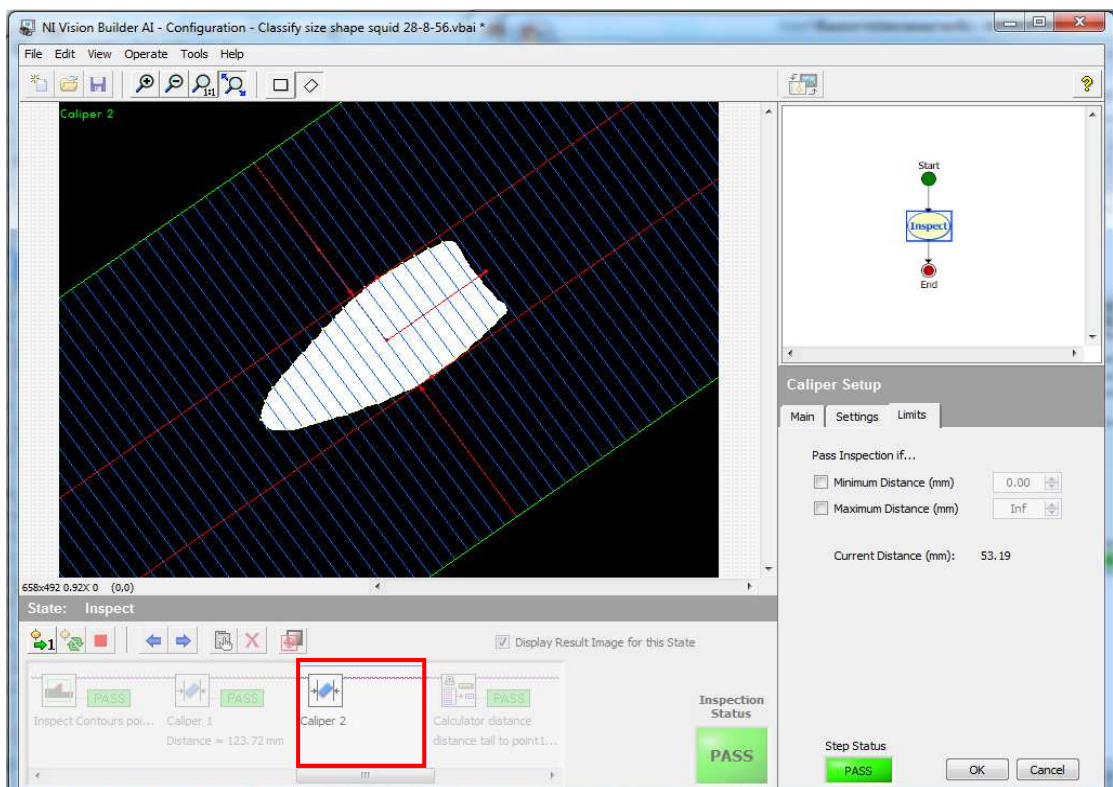
ภาพประกอบ 4.12 การหาความยาวของเส้นรอบรูปวัตถุที่สนใจในภาพ



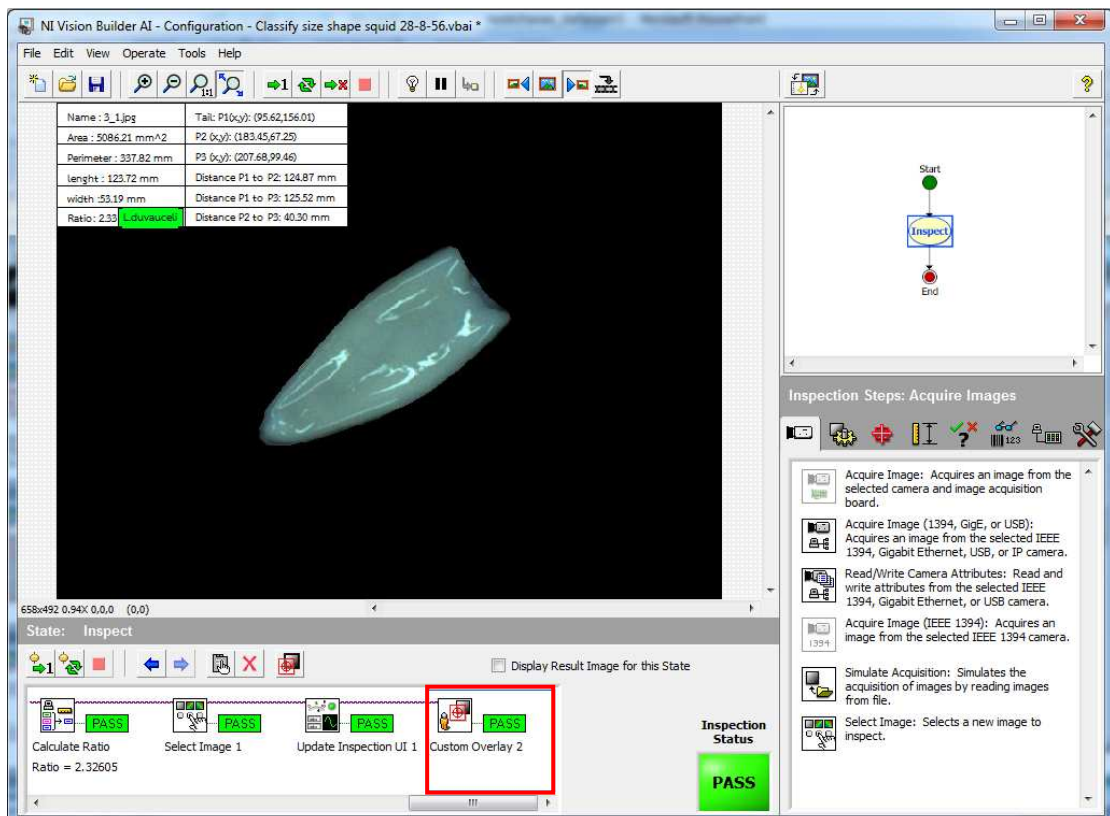
ภาพประกอบ 4.13 จุดที่มีค่า curvature ของเส้นรอบรูปสูงสุด



ภาพประกอบ 4.14 การวัดความยาวของวัตถุ



ภาพประกอบ 4.15 การวัดความกว้างของวัตถุ



ภาพประกอบ 4.16 การแสดงผลทั้ง 8 คุณลักษณะในหน้าโปรแกรม

จากขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อหาคุณลักษณะของภาพทั้ง 8 คุณลักษณะที่กล่าวข้างต้น สามารถแสดงตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะที่ได้ดังแสดงในตาราง 4.5 ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักจริงที่ได้จากการวัดและคุณลักษณะของภาพจำนวน 285 ตัวอย่าง (รายละเอียดทั้ง 285 ข้อมูลแสดงในตาราง ก-1 ภาคผนวก ก) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ และฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม และตาราง ก-2 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและสมการถดถอย ภาคผนวก ก จำนวน 150 ข้อมูลเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้ในการทดสอบสำหรับการคัดแยกขนาด

ตาราง 4.5 ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักจริงที่ได้จากการวัดและคุณลักษณะของภาพจำนวน 285 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้นที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้นที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้นที่ 3 (มม.)
1	37.50	2821.42	267.8	101.69	36.47	2.79	101.28	101.08	31.54
2	28.50	2337.91	234.55	85.33	35.96	2.37	85.47	83.79	31.00
3	33.00	2719.96	249.66	89.14	40.57	2.20	89.19	88.94	34.46
4	34.50	2752.62	252.65	92.5	38.69	2.39	93.16	91.20	33.03
5	46.00	2909.46	258.24	94.62	38.48	2.46	94.95	93.92	32.89
6	46.50	3368.74	278.85	103.56	44.15	2.35	102.55	104.07	34.50
7	48.00	3288.26	285.31	105.51	42.18	2.50	104.84	106.10	33.22
8	28.50	2399.78	231.22	81.64	37.49	2.18	83.54	83.72	32.52
9	40.50	2873.77	257.48	96.25	38.62	2.49	95.75	96.74	32.65
10	30.00	2936.94	259.55	95.18	41.8	2.28	95.16	96.35	33.41
11	31.00	2441.75	244.99	89.54	35.85	2.50	89.97	88.75	31.24
12	40.50	3586.59	324.94	122.69	38.73	3.17	123.33	124.23	31.31
13	48.00	3244.78	283.57	103.67	41.65	2.49	101.49	104.84	33.50
.
.
.
284	262.5	9280.04	561.88	219.64	57.79	3.80	211.48	208.92	52.29
285	237.00	11338.67	705.84	278.51	56.71	4.91	277.21	281.38	49.75

4.3. ผลการคัดแยกขนาด

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นเกณฑ์การคัดแยกขนาดจะแบ่งตามช่วงน้ำหนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้การประมาณค่าน้ำหนักด้วยการวิเคราะห์สถิติและโครงข่ายประสาทเทียม ได้ผลดังต่อไปนี้

4.3.1. ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ

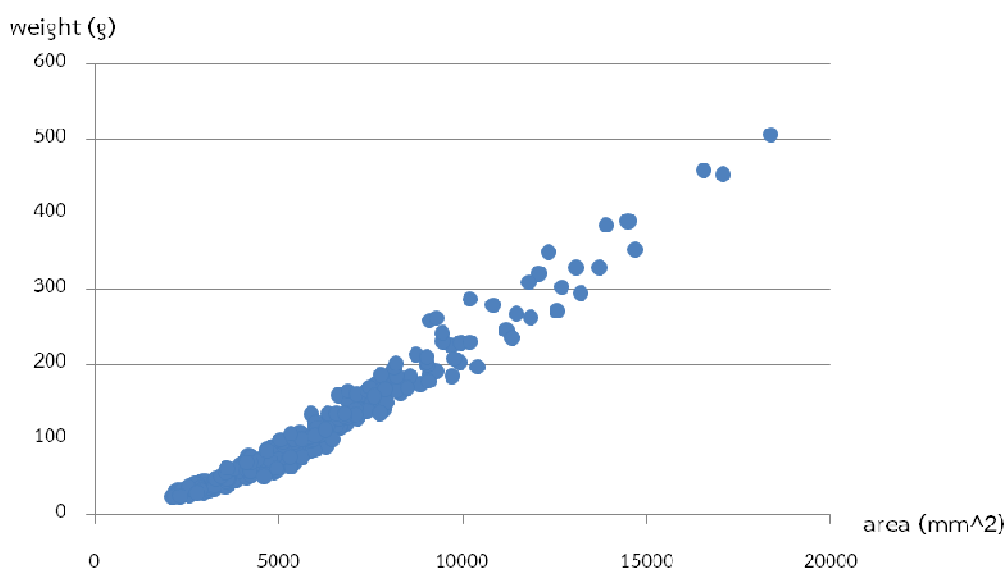
จากขั้นตอนการประมวลผลภาพมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 8 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย พื้นที่ (area) เส้นรอบรูป (perimeter) ความยาว (length) ความกว้าง (width) อัตราส่วน (aspect ratio) ระหว่างความยาวกับความกว้าง ความยาวเส้นที่ 1 (D1) ความยาวเส้นที่ 2 (D2) และความยาวเส้นที่ 3 (D3) ที่สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่าน้ำหนัก ซึ่งเริ่มต้นต้องหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทั้งหมดกับน้ำหนัก และภายในพารามิเตอร์ทั้งหมดด้วยค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้แสดงดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น (correlations)

		weight	area	perimeter	length	width	aspect ratio	D1	D2	D3
weight	Pearson Correlation	1	.981(**)	.944(**)	.938(**)	.898(**)	.678(**)	.937(**)	.936(**)	.885(**)
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
area	Pearson Correlation	.981(**)	1	.978(**)	.974(**)	.926(**)	.729(**)	.974(**)	.973(**)	.902(**)
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
perimeter	Pearson Correlation	.944(**)	.978(**)	1	.998(**)	.868(**)	.842(**)	.998(**)	.998(**)	.860(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000	.000
length	Pearson Correlation	.938(**)	.974(**)	.998(**)	1	.856(**)	.856(**)	.999(**)	.999(**)	.849(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000	.000
width	Pearson Correlation	.898(**)	.926(**)	.868(**)	.856(**)	1	.487(**)	.858(**)	.855(**)	.914(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000	.000
aspect ratio	Pearson Correlation	.678(**)	.729(**)	.842(**)	.856(**)	.487(**)	1	.853(**)	.858(**)	.541(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000	.000
D1	Pearson Correlation	.937(**)	.974(**)	.998(**)	.999(**)	.858(**)	.853(**)	1	.999(**)	.847(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000	.000
D2	Pearson Correlation	.936(**)	.973(**)	.998(**)	.999(**)	.855(**)	.858(**)	.999(**)	1	.847(**)
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000		.000
D3	Pearson Correlation	.885(**)	.902(**)	.860(**)	.849(**)	.914(**)	.541(**)	.847(**)	.847(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

จากตาราง 4.6 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของพื้นที่กับน้ำหนักมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นกับน้ำหนัก และพารามิเตอร์ที่ได้จากการประมวลผลภาพทั้งหมดมีความสัมพันธ์กันเองสูงด้วย จากผลดังกล่าวสามารถใช้พื้นที่เพียงพารามิเตอร์เดียวเป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น โดยมีตัวแปรตามคือน้ำหนักที่ได้จากการวัด สำหรับใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยทั้งที่เป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้น ดังแสดงในกราฟกระจาย (scatter plot) ภาพประกอบ 4.17 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย ทางผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์การถดถอยทั้งเชิงเส้นตรงเส้นโค้งแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง และเส้นโค้งแบบโพลีโนเมียลกำลังสาม ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 4.17 กราฟกระจาย (scatter plot) ระหว่างน้ำหนักกับพื้นที่

1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง จากการวิเคราะห์การถดถอยได้ผลดังนี้ ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม

H_1 : ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม

จากตาราง 4.7 ANOVA ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสถิติทดสอบ F (F-test) พบว่าค่า sig = .000 มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตาม

จากตาราง 4.8 Coefficients ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ค่า B แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการ และค่า Std.Error แสดงค่าความคลาดเคลื่อน

มาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยบอกถึงการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์ หากมีการกระจายมาก แสดงว่ามีความแม่นยำหรือเชื่อถือได้น้อย ส่วนค่า Beta เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการที่อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐาน แสดงถึงขนาดของตัวแปรอิสระ จากการวิเคราะห์ค่าสถิติ t (t-test) พบว่าค่า sig ของตัวแปรอิสระในตารางค่า sig ของตัวแปร area มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าตัวแปรนี้มีผลต่อการประมาณค่าน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 4.7 ANOVA ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1860462.273	1	1860462.273	7152.746	.000
Residual	73609.610	283	260.105		
Total	1934071.883	284			

The independent variable is area.

ตาราง 4.8 Coefficients ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
area	.028	.000	.981	84.574	.000
(Constant)	-54.108	2.182		-24.800	.000

ตาราง 4.9 Model Summary ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.981	.962	.962	16.128

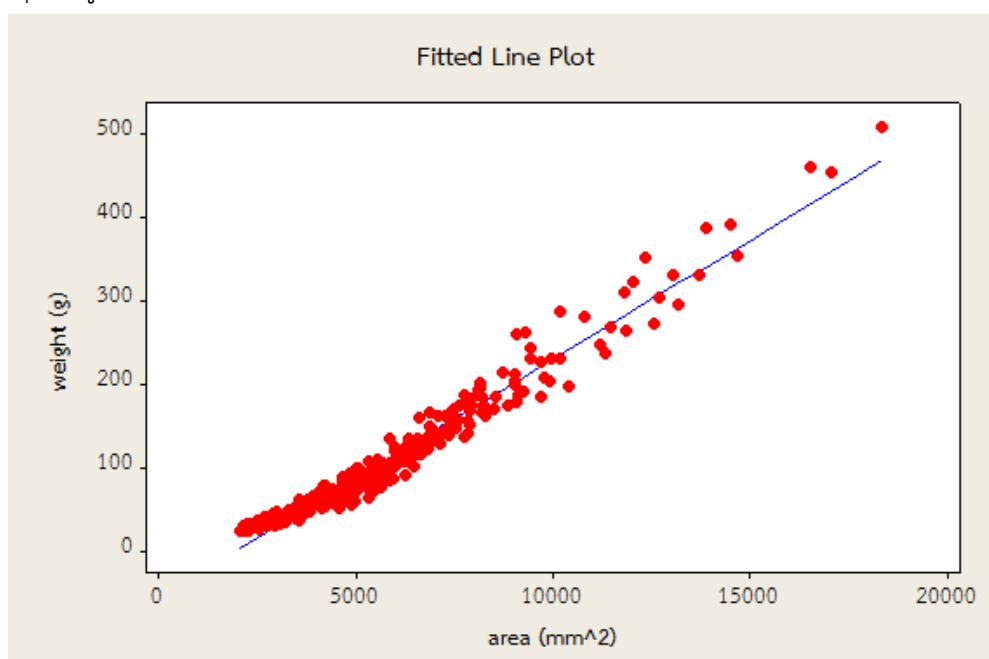
The independent variable is area.

และสามารถสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตาราง 4.8 Coefficients ของสมการถดถอยเชิงเส้นตรง จะได้สมการสำหรับประมาณค่าน้ำหนักดังสมการ (4.1)

$$\text{weight} = -54.108 + 0.028 \text{ area} \quad (4.1)$$

จากการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการ (4.1) สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .981 และสมการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากขึ้นกับค่า R^2 ซึ่งค่า $R^2 = 96.2\%$ หมายความว่าค่าน้ำหนัก

(weight) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระประมาณ 96.2% และอีก 3.8% ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้ศึกษา หรืออาจกล่าวได้ว่าสมการถดถอยสามารถพยากรณ์น้ำหนักได้ถูกต้อง 96.2% โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 16.128 (ตาราง 4.9) และเมื่อนำค่าพื้นที่และน้ำหนักทั้งหมดมาพล็อตกราฟแล้วลากเส้นกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของพื้นที่กับน้ำหนักจะได้เป็นเส้นกราฟถดถอยเชิงเส้นตรง ซึ่งบริเวณที่พื้นที่น้อยหรือเป็นหมึกขนาดเล็กเส้นกราฟประเมินค่าออกนอกกลุ่มข้อมูลดังภาพประกอบ 4.18



ภาพประกอบ 4.18 การกระจายข้อมูลและเส้นกราฟถดถอยเชิงเส้นตรง

2) การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง จากการวิเคราะห์การถดถอยได้ผลดังนี้

จากตาราง 4.10 ANOVA ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสถิติทดสอบ F (F-test) พบว่าค่า sig = .000 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับตัวแปรตาม

ตาราง 4.10 ANOVA ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1874402.593	2	937201.297	4429.259	.000
Residual	59669.290	282	211.593		
Total	1934071.883	284			

The independent variable is area.

จากตาราง 4.11 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามกำลังสองกำลังสอง ค่า B แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการ และค่า Std. Error แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยบอกถึงการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์ ส่วนค่า Beta เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการที่อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐาน แสดงถึงขนาดของตัวแปรอิสระ จากการวิเคราะห์ค่าสถิติ t (t-test) พบว่าค่า sig ของตัวแปรอิสระในตารางค่า sig ของตัวแปร area กำลังหนึ่ง และ area กำลังสองมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าตัวแปร area กำลังหนึ่ง และ area กำลังสองมีผลต่อการประมาณค่าน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 4.11 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามกำลังสอง

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
area	.020	.001	.691	18.532	.000
area ** 2	5.38E-007	.000	.302	8.117	.000
(Constant)	-27.672	3.805		-7.272	.000

ตาราง 4.12 Model Summary ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามกำลังสอง

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.984	.969	.969	14.546

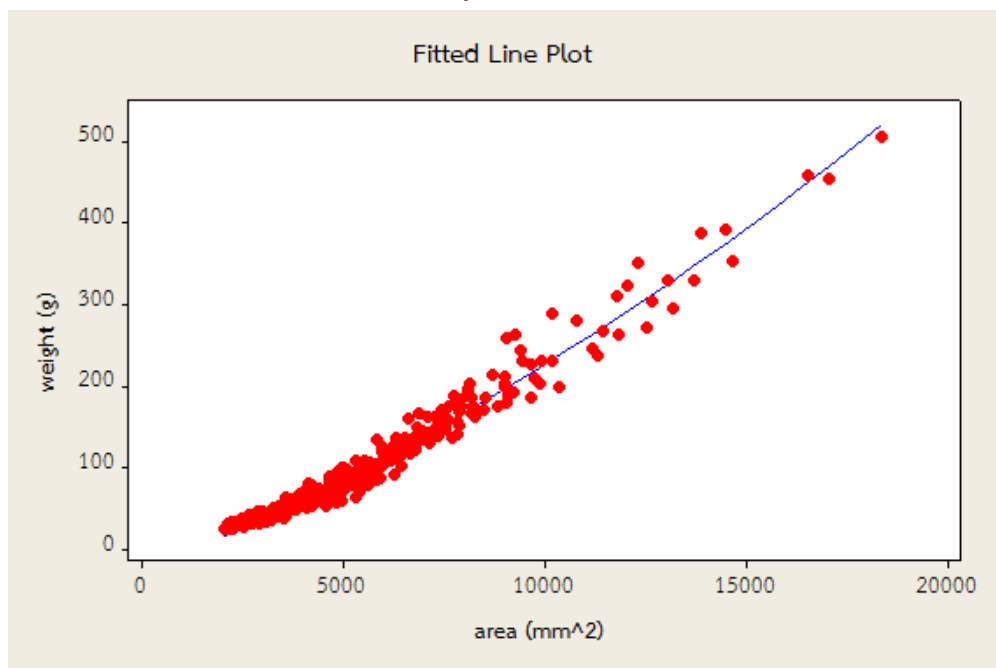
The independent variable is area.

และสามารถสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตาราง 4.11 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามกำลังสอง จะได้สมการเส้นโค้งพหุนามกำลังสองสำหรับประมาณค่าน้ำหนักดังสมการ (4.2)

$$\text{weight} = -27.672 + 0.02(\text{area}) + 5.38 \times 10^{-7} (\text{area}^2) \quad (4.2)$$

จากการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการ (4.2) สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .984 และสมการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากขึ้นกับค่า R^2 ซึ่งค่า $R^2 = 96.9\%$ หมายความว่าค่าน้ำหนัก (weight) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระประมาณ 96.9% และอีก 3.1% ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้ศึกษา หรืออาจกล่าวได้ว่าสมการถดถอยสามารถพยากรณ์น้ำหนักได้ถูกต้อง 96.9% โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 14.546 (ตาราง 4.12) และเมื่อนำค่าพื้นที่และน้ำหนักทั้งหมดมา

พล็อตกราฟแล้วลากเส้นกราฟถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองผ่านจุดข้อมูลหรือเป็นการ fitted curve เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลจะได้เป็นเส้นกราฟดังภาพประกอบ 4.19



ภาพประกอบ 4.19 การกระจายข้อมูลและเส้นกราฟถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง

3) การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม จากการวิเคราะห์การถดถอยได้ผลดังนี้

จากตาราง 4.13 ANOVA ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม แสดงผลวิเคราะห์ค่าสถิติทดสอบ F (F-test) พบว่าค่า sig=.000 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับตัวแปรตาม

ตาราง 4.13 ANOVA ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	1877130.323	3	625710.108	3087.807	.000
Residual	56941.560	281	202.639		
Total	1934071.883	284			

The independent variable is area.

จากตาราง 4.14 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสาม ค่า B แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการ และค่า Std. Error แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยบอกถึงการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์ ส่วนค่า Beta เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการที่อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐาน แสดง

ถึงขนาดของตัวแปรอิสระ จากการวิเคราะห์ค่าสถิติ t (t-test) พบว่าค่า sig ของตัวแปรอิสระในตารางค่า sig ของตัวแปร area กำลังหนึ่ง และ area กำลังสองมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าตัวแปร area กำลังหนึ่ง และ area กำลังสองมีผลต่อการประมาณค่าน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนตัวแปร area กำลังสามมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยน้อยมาก จนไม่ปรากฏค่า sig และค่าคงที่ในสมการไม่มีผลต่อการประมาณค่าน้ำหนัก เนื่องจากค่า sig มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$)

ตาราง 4.14 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามสาม

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
area	.009	.003	.318	2.954	.003
area ** 2	1.98E-006	.000	1.113	4.970	.000
area ** 3	-5.45E-011	.000	-.467	.	.
(Constant)	-5.252	7.156		-.734	.464

ตาราง 4.15 Model Summary ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามสาม

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.985	.971	.970	14.235

The independent variable is area.

และสามารถสร้างสมการจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตาราง 4.14 Coefficients ของสมการถดถอยแบบเส้นโค้งพหุนามสาม จะได้สมการเส้นโค้งพหุนามสามสำหรับประมาณค่าน้ำหนักดังสมการ (4.3)

$$\text{Weight} = -5.252 + 0.009(\text{area}) + 1.98 \times 10^{-6}(\text{area}^2) - 5.45 \times 10^{-11}(\text{area}^3) \quad (4.3)$$

จากการวิเคราะห์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการ (4.3) สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับน้ำหนัก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ .985 และสมการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากขึ้นกับค่า R^2 ซึ่งค่า $R^2 = 97.1\%$ หมายความว่าค่าน้ำหนัก (weight) ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระประมาณ 97.0% และอีก 3.1% ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้ศึกษา หรืออาจกล่าวได้ว่าสมการถดถอยสามารถพยากรณ์น้ำหนักได้ถูกต้อง 96.9% โดยมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ ± 14.235 (ตาราง 4.15) แต่จากที่กล่าวไว้ข้างต้นค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร area กำลังสามในสมการไม่มีผลต่อการประมาณค่าน้ำหนัก สมการนี้จึงไม่ควรนำไปพิจารณาในการใช้ประมาณค่าน้ำหนัก

จากการวิเคราะห์การถดถอยทั้งแบบเชิงเส้นตรง และแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียล พบว่าสมการเส้นตรง และสมการเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองสามารถนำมาใช้ประมาณค่าน้ำหนักได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลการตัดแยกขนาดของหมึกกล้วยโดยการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรง กับสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง ด้วยตัวอย่างข้อมูล 150 ตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองให้ผลการประมาณค่าน้ำหนักใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง ซึ่งถ้าพิจารณาจากเส้นกราฟถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง (ภาพประกอบ 4.19) จะเห็นได้ว่าการปรับเส้นโค้ง (fitted curve) ผ่านจุดข้อมูลมากกว่าเส้นกราฟถดถอยเชิงเส้นตรง (ภาพประกอบ 4.18) ผลการประมาณค่าน้ำหนักแสดงตาราง ข-1 และ ตาราง ข-2 ภาคผนวก ข และสามารถสรุปค่าความถูกต้องในการตัดแยกโดยใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้นตรงประมาณค่าน้ำหนักเฉลี่ย 81.33% และใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง ได้ค่าความถูกต้องในการตัดแยกขนาดเฉลี่ย 88.00% ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการตัดแยกขนาดที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองของขนาด U21/40 ให้ค่าใกล้เคียงค่าจริงมากกว่าการใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้นตรงแสดงรายละเอียดดังตาราง 4.16 และตาราง 4.17 ตามลำดับ ซึ่งใช้เกณฑ์การตัดแยกจากตาราง 4.3 เป็นตัวแบ่งขนาด

ตาราง 4.16 ผลการตัดแยกโดยใช้สมการถดถอยแบบเชิงเส้นตรง สมการ (4.1)

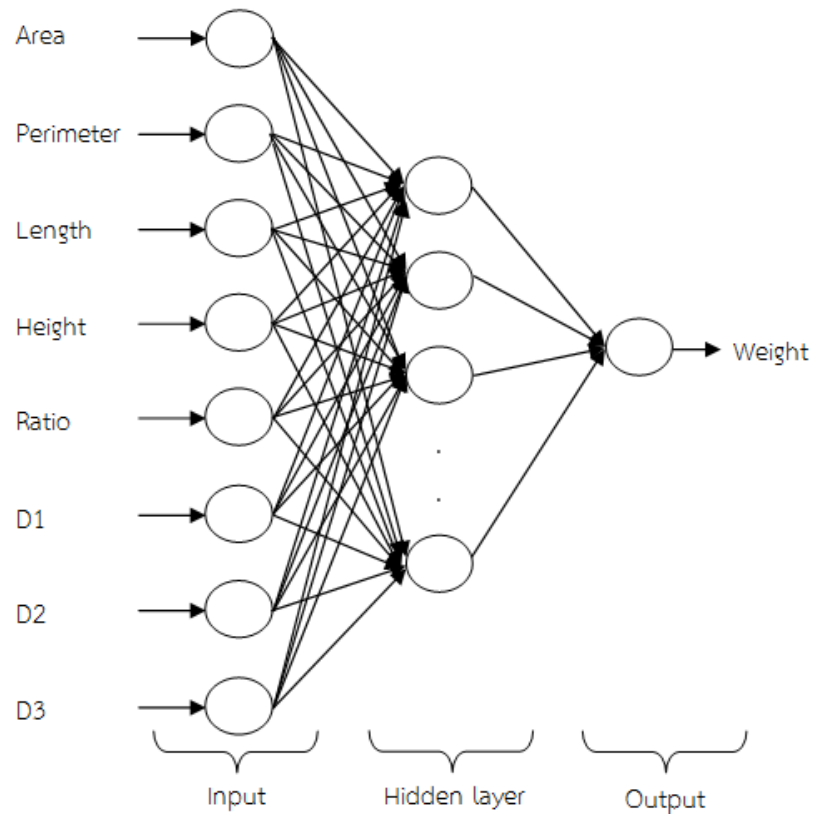
ขนาด (150)	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง(%)
U21/40(35)	15	18	2	0	0	51.43
U11/20(34)	0	2	29	3	0	85.29
U/10 (42)	0	0	1	38	3	90.48
U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87
ความถูกต้องเฉลี่ย(%)						81.33

ตาราง 4.17 ผลการตัดแยกโดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง สมการ (4.2)

ขนาด (150)	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง(%)
U21/40(35)	3	28	4	0	0	80.00
U11/20(34)	0	2	29	3	0	85.29
U/10 (42)	0	0	1	38	3	90.48
U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87
ความถูกต้องเฉลี่ย(%)						88.00

4.3.2. ผลการคัดแยกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

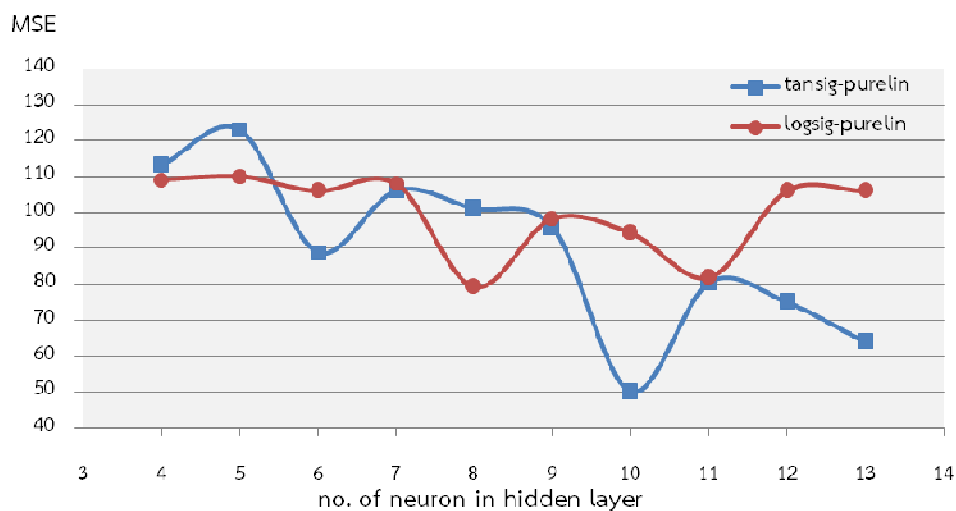
จากที่กล่าวมาข้างต้นสำหรับการคัดแยกขนาดโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการเปรียบเทียบโครงข่ายด้วยกัน 3 แบบ ประกอบด้วยโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตโดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig กับ purelin และ logsig กับ purelin ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตตามลำดับ และโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตโดยมีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig ทั้งในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต ซึ่งทั้ง 3 โครงข่ายมี 8 อินพุตประกอบด้วย พื้นที่ เส้นรอบรูป ความยาว ความกว้าง อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง ความยาวเส้นที่ 1 ความยาวเส้นที่ 2 และความยาวเส้นที่ 3 ที่ได้จากขั้นตอนการประมวลผลภาพ และทุกโครงข่ายจะมีการปรับจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนตั้งแต่ 4 ถึง 13 นิรอน จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนคำนวณมาจากสมการ (3.4) ตัวอย่างการคำนวณได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ลักษณะโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 8 อินพุตและ 1 เอาต์พุตแสดงดังภาพประกอบ 4.20 ซึ่งได้ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 285 ข้อมูล (รายละเอียดดังตาราง ก-1 ภาคผนวก ก) และทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 150 ข้อมูล (รายละเอียดดังตาราง ก-2 ภาคผนวก ก) ผลลัพธ์ที่ได้ คือค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของการฝึกสอนทั้งสองโครงข่าย ประกอบด้วยโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนต่างกัน (285 ตัวอย่าง) ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันมีค่าอยู่ในช่วง 50 ถึง 123 แสดงผลดังตาราง 4.18 และเมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟ (ภาพประกอบ 4.21) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่เปลี่ยนไปกับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของทั้งสองโครงข่าย จะเห็นได้ว่าทั้งสองโครงข่ายมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่แกว่งไม่เป็นเทรนขณะที่มีการปรับจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนเพิ่มขึ้น แสดงว่าจำนวนนิรอนในชั้นซ่อนไม่มีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ในกรณีที่มีการกำหนดพารามิเตอร์ฝึกสอนโครงข่าย (training parameters) เป็นค่าเริ่มต้น (default) ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้โครงข่ายหยุดการฝึกสอนเมื่อถึงเป้าหมายค่าใดค่าหนึ่ง จากการฝึกสอนทุกโครงข่ายจะหยุดเมื่อมีค่า max_fail เท่ากับ 6 ซึ่งเป็นค่าการตรวจสอบสูงสุด (maximum validation checks) ที่จะหยุดการฝึกสอนโครงข่ายเมื่อประสิทธิภาพ (performance) หรือค่า MSE ไม่มีการปรับปรุงต่อหรือคงค่าเดิมไว้ ให้นับเป็นครั้งที่มีการตรวจสอบล้มเหลว (fail) และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่า max_fails ที่ตั้งค่าไว้เท่ากับ 6 จึงหยุดการฝึกสอนโครงข่าย แต่อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้นำทุกโครงข่ายไปทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบ 150 ตัวอย่างอีกครั้งพบว่าทั้งสองโครงข่ายให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 414.95 ถึง 1526.63 แสดงดังตาราง 4.19 และภาพประกอบ 4.22 นอกจากการหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยแล้วยังมีการหาค่าความถูกต้องในการคัดแยกร่วมด้วย



ภาพประกอบ 4.20 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (MLP) 8 อินพุต 1 เอาต์พุต

ตาราง 4.18 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากการประมาณค่าน้ำหนักของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin และ logsig-purelin (285 ตัวอย่าง)

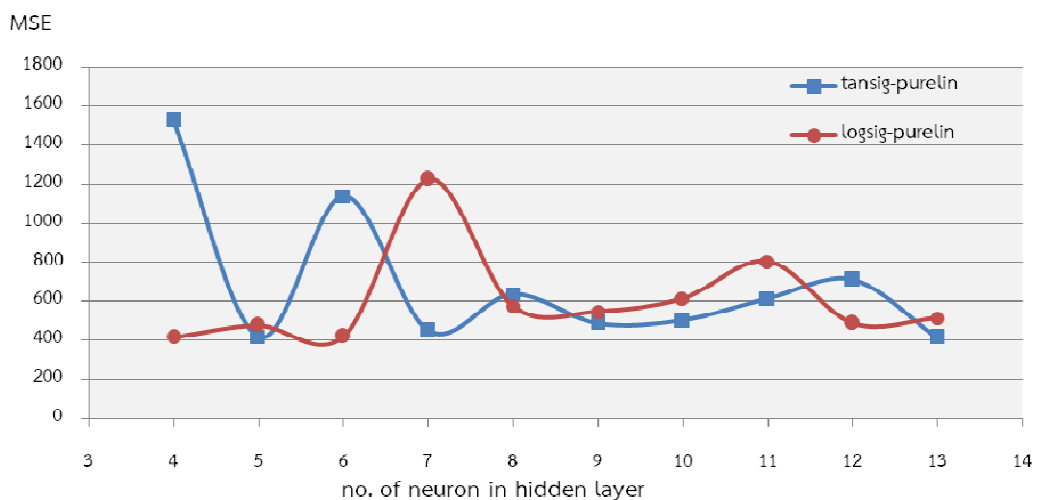
จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	ค่า MSE โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต	
	ฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin	ฟังก์ชันถ่ายโอน logsig-purelin
4	113.0	109.0
5	123.0	110.0
6	88.8	106.0
7	106.0	108.0
8	101.0	79.3
9	95.7	98.3
10	50.0	94.2
11	80.4	81.8
12	75.0	106.0
13	64.0	106.0



ภาพประกอบ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนกับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin ของข้อมูลชุดฝึกสอน (285 ตัวอย่าง)

ตาราง 4.19 ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) จากการประมาณค่าน้ำหนักของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin และ logsig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน	ค่า MSE โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต	
	ฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin	ฟังก์ชันถ่ายโอน logsig-purelin
4	1526.63	416.38
5	417.22	477.01
6	1139.44	422.20
7	450.29	1224.46
8	636.87	574.58
9	488.02	546.51
10	503.11	612.96
11	612.24	803.71
12	711.66	487.22
13	414.95	512.11



ภาพประกอบ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนกับค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต ที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin ของข้อมูลชุดทดสอบ (150 ตัวอย่าง)

เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องของ 2 โมเดล คือโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin พบว่าค่าความถูกต้องในการคัดแยกด้วยโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต มีฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin ให้ค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 84.00% และค่ามากที่สุดเท่ากับ 91.33% ดังตาราง 4.20 ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin ให้ค่าความถูกต้องต่ำที่สุดเท่ากับ 86.00% และค่ามากที่สุดเท่ากับ 92.67% ดังตาราง 4.21

ส่วนอีกหนึ่งโมเดล คือโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-tansig ให้ค่าความถูกต้องต่ำที่สุดเท่ากับ 88.00% และค่ามากที่สุดเท่ากับ 90.00% ดังตาราง 4.22

ตาราง 4.20 ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวนนิวรอน	ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง (%)	ความถูกต้องเฉลี่ย (%)
4	U21/40(35)	0	31	4	0	0	88.57	90.00
	U11/20(34)	0	3	30	1	0	88.24	
	U/10 (42)	0	0	2	37	3	88.10	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	

ตาราง 4.20 (ต่อ) ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิเวรอน	ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
5	U21/40(35)	1	32	2	0	0	91.43	91.33
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	2	36	4	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
6	U21/40(35)	0	32	3	0	0	91.43	90.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	
7	U21/40(35)	0	29	6	0	0	82.86	84.00
	U11/20(34)	0	4	28	2	0	82.35	
	U/10 (42)	0	0	3	32	7	76.19	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
8	U21/40(35)	1	30	4	0	0	85.71	86.67
	U11/20(34)	0	3	30	1	0	88.24	
	U/10 (42)	0	0	2	34	6	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	
9	U21/40(35)	0	31	4	0	0	88.57	90.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	1	36	5	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	
10	U21/40(35)	0	30	5	0	0	85.71	90.00
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	

ตาราง 4.20 (ต่อ) ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิเวรอน	ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
11	U21/40(35)	3	30	2	0	0	85.71	88.67
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	3	34	5	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
12	U21/40(35)	1	32	2	0	0	91.43	88.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	2	32	8	76.19	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	
13	U21/40(35)	1	30	4	0	0	85.71	90.00
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	

ตาราง 4.21 ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิเวรอน	ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
4	U21/40(35)	0	32	3	0	0	91.43	90.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	2	36	4	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
5	U21/40(35)	0	24	11	0	0	68.57	90.00
	U11/20(34)	0	0	33	1	0	97.06	
	U/10 (42)	0	0	0	42	0	100.00	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	

ตาราง 4.21 (ต่อ) ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิรอรอน	ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
6	U21/40(35)	1	31	3	0	0	88.57	90.00
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	
7	U21/40(35)	0	33	2	0	0	94.29	90.00
	U11/20(34)	0	3	31	0	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	4	35	3	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	
8	U21/40(35)	0	28	7	0	0	80.00	86.00
	U11/20(34)	0	1	32	1	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	2	32	8	76.19	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
9	U21/40(35)	0	30	5	0	0	85.71	91.33
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	1	38	3	90.48	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
10	U21/40(35)	0	33	2	0	0	94.29	92.67
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	1	37	4	88.10	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
11	U21/40(35)	1	32	2	0	0	91.43	88.00
	U11/20(34)	0	2	30	2	0	88.24	
	U/10 (42)	0	0	2	32	8	76.19	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	

ตาราง 4.21 (ต่อ) ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิรอรอน	ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
12	U21/40(35)	0	30	5	0	0	85.71	90.67
	U11/20(34)	0	1	32	1	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	3	37	2	88.10	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
13	U21/40(35)	0	32	3	0	0	91.43	91.33
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	3	36	3	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	

ตาราง 4.22 ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-tansig (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิรอรอน	ขนาด	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง (%)	ความถูกต้อง เฉลี่ย (%)
4	U21/40(35)	34	1	0	0	97.10	89.30
	U11/20(34)	4	29	1	0	85.30	
	U/10 (42)	0	4	35	3	83.30	
	U/5(39)	0	0	3	36	92.30	
5	U21/40(35)	31	4	0	0	88.60	89.30
	U11/20(34)	2	31	1	0	91.20	
	U/10 (42)	0	2	36	4	85.70	
	U/5(39)	0	0	3	36	92.30	
6	U21/40(35)	33	2	0	0	94.30	89.30
	U11/20(34)	3	29	2	0	85.30	
	U/10 (42)	0	3	35	4	83.30	
	U/5(39)	0	0	2	37	94.90	

ตาราง 4.22 (ต่อ) ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-tansig (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิรอน	ขนาด	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง (%)	ความถูกต้อง เฉลี่ย (%)
7	U21/40(35)	32	3	0	0	91.40	90.00
	U11/20(34)	3	31	0	0	91.20	
	U/10 (42)	0	4	36	2	85.70	
	U/5(39)	0	0	3	36	92.30	
8	U21/40(35)	33	2	0	0	94.30	89.30
	U11/20(34)	3	31	0	0	91.20	
	U/10 (42)	0	4	34	4	81.00	
	U/5(39)	0	0	3	36	92.30	
9	U21/40(35)	34	1	0	0	97.10	90.00
	U11/20(34)	4	30	0	0	88.20	
	U/10 (42)	0	4	34	4	81.00	
	U/5(39)	0	0	2	37	94.90	
10	U21/40(35)	33	2	0	0	94.30	88.70
	U11/20(34)	3	30	1	0	88.20	
	U/10 (42)	0	4	34	4	81.00	
	U/5(39)	0	0	3	36	92.30	
11	U21/40(35)	33	2	0	0	94.30	88.00
	U11/20(34)	5	28	1	0	82.40	
	U/10 (42)	0	4	34	4	81.00	
	U/5(39)	0	0	2	37	94.90	
12	U21/40(35)	32	3	0	0	91.40	90.00
	U11/20(34)	2	31	1	0	91.20	
	U/10 (42)	0	4	37	1	88.10	
	U/5(39)	0	0	4	35	89.70	

ตาราง 4.22 (ต่อ) ผลการคัดแยกโดยใช้โครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-tansig (150 ตัวอย่าง)

จำนวน นิเวรอน	ขนาด	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง (%)	ความถูกต้อง เฉลี่ย (%)
13	U21/40(35)	34	1	0	0	97.10	89.30
	U11/20(34)	4	30	0	0	88.20	
	U/10 (42)	0	4	34	4	81.00	
	U/5(39)	0	0	3	36	92.30	

เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกของทั้ง 3 โครงข่ายที่มีการปรับจำนวนนิเวรอนทั้งหมด 10 ค่าพบว่ามีความใกล้เคียงกันแสดงดังตาราง 4.23 ซึ่ง 2 โมเดลที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตแต่มีฟังก์ชันถ่ายโอนต่างกัน คือชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ย 89.07% และ 90.07% ตามลำดับ ส่วนโมเดลที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุตมีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig- tansig ให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยประมาณ 89.32%

ตาราง 4.23 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกของโครงข่ายทั้ง 3 โมเดล (150 ตัวอย่าง)

จำนวนนิเวรอน ในชั้นซ่อน	ค่าความถูกต้องเฉลี่ยโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต (%)		ค่าความถูกต้องเฉลี่ยโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 4 เอาต์พุต (%)
	ฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin	ฟังก์ชันถ่ายโอน logsig-purelin	ฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-tansig
4	90.00	90.67	89.30
5	91.33	90.00	89.30
6	90.67	90.00	89.30
7	84.00	90.00	90.00
8	86.67	86.00	89.30
9	90.67	91.33	90.00
10	90.00	92.67	88.70
11	88.67	88.00	88.00
12	88.67	90.67	90.00
13	90.00	91.33	89.30
เฉลี่ย (%)	89.07	90.07	89.32

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับค่า max_fail เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นของโปรแกรม (default) ซึ่งเป็นค่าที่หยุดการฝึกสอนโครงข่าย โดยการเพิ่มค่า max_fails เป็น 10, 20, 100, 1,000, 2,000, 5,000 และ 10,000 ส่งผลให้ระยะเวลาในการฝึกสอนนานขึ้นด้วย และจากผลการทดสอบด้วยข้อมูลชุดตัวอย่างพบว่าค่าความถูกต้องในการตัดแยกที่ค่า max_fail เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากค่า max_fail เริ่มต้น (default) ของโปรแกรม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ฝึกสอนที่ค่าเริ่มต้น (default) ของโปรแกรมของงานวิจัยนี้มีการเรียนรู้ของโครงข่ายที่เพียงพอและเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ดังแสดงผลในภาคผนวก ค

สำหรับการตัดแยกขนาดพบว่าค่าความถูกต้องในการตัดแยกด้วยสมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง และโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตัดแยกขนาดมากที่สุดคือ พื้นที่ (area) ซึ่งผลที่ได้จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถยืนยันได้ว่าการใช้พารามิเตอร์ทั้งหมดไม่ได้ทำให้ค่าความถูกต้องแตกต่างไปจากการใช้สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสอง แสดงว่าความสัมพันธ์ภายในพารามิเตอร์อื่นไม่มีความซับซ้อน ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการสอนโปรแกรมลงจึงความใช้สมการถดถอยแบบโพลีโนเมียลกำลังสองในการประมาณค่าน้ำหนักสำหรับการตัดแยกขนาด

4.4. ผลการตัดแยกสายพันธุ์

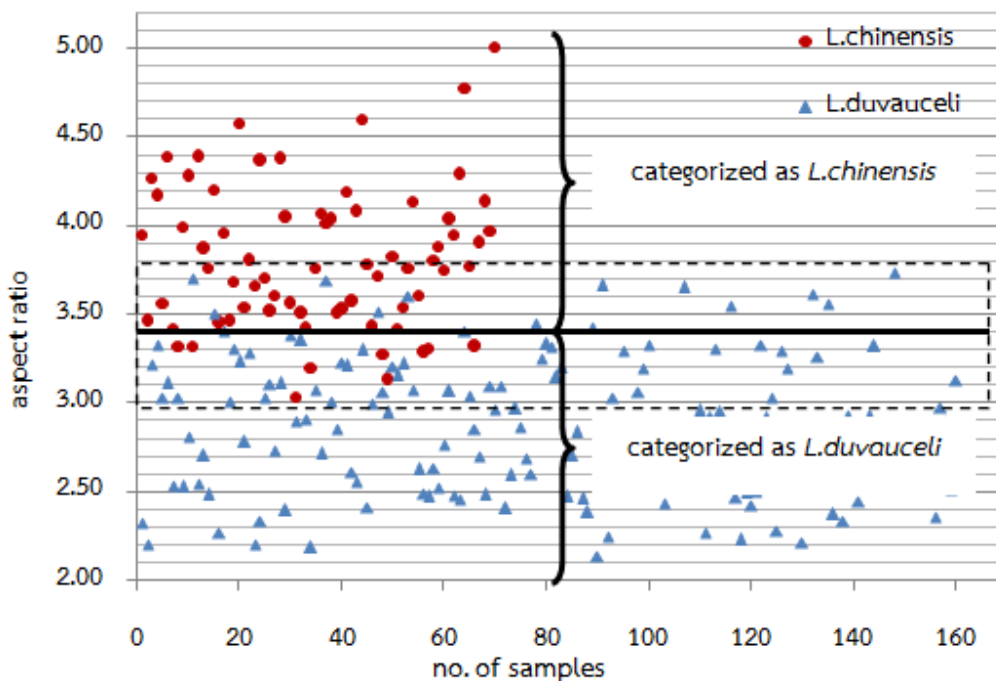
จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 สำหรับการตัดแยกสายพันธุ์ตามลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกันโดยใช้อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างในการตัดแยกสายพันธุ์ทั้ง 2 วิธีได้ผลดังนี้

4.4.1. ผลการตัดแยกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง

จากการนำข้อมูลตัวอย่างอัตราส่วน (aspect ratio) ระหว่างความยาวกับความกว้างทั้งหมด 230 ตัวอย่างมาพล็อตกราฟกระจาย (scatter plot) ได้ผลดังภาพประกอบ 4.23 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 3.4 เป็นค่าที่ใช้แบ่งระหว่างหมึก 2 สายพันธุ์ได้ดีที่สุดพิจารณาจากจำนวนการตัดแยกได้ถูกต้อง ดังนั้นสรุปได้ว่าถ้าอัตราส่วน (aspect ratio) ระหว่างความยาวกับความกว้างน้อยกว่า 3.4 แสดงผลการตัดแยกเป็นหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* นอกเหนือจากนี้แสดงผลการตัดแยกเป็นหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis*

จำนวนหมึกกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลองตัดแยกทั้งหมด 230 ตัวอย่าง ประกอบด้วยหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* 160 ตัวอย่าง และ *L.chinensis* 70 ตัวอย่าง (รายละเอียดดังตาราง ฉ-1 ภาคผนวก ฉ) จะเห็นได้ว่าจำนวนหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* น้อยมาก เนื่องจากปริมาณในธรรมชาติมีน้อยกว่าหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* และความต้องการของลูกค้าสำหรับ

หมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* ในการแปรรูปน้อยด้วย ผลจากการใช้อัตราส่วน (aspect ratio) ระหว่างความยาวกับความกว้างในการตัดแยกพบว่าค่าความถูกต้องในการคัดแยกหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* และหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* เท่ากับ 91.25% และ 87.14% ตามลำดับ และค่าความถูกต้องเฉลี่ยสำหรับการคัดแยกเท่ากับ 90% เปรียบเทียบกับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญแสดงดังตาราง 4.24



ภาพประกอบ 4.23 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วน (aspect ratio) ทั้งสองสายพันธุ์

ตาราง 4.24 ผลการคัดแยกหมึกกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์

รายการ	สายพันธุ์ (specie)	
	<i>L.duvauceli</i>	<i>L.chinensis</i>
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	160	70
จำนวนที่คัดแยกถูกต้องตามสายพันธุ์	146	61
ความถูกต้อง (%)	91.25	87.14

4.4.2. ผลการคัดแยกโดยการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิค Discriminant Analysis

4.4.2.1. ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น

1) ผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลตัวแปรอิสระด้วยสถิติทดสอบ KS (Kolmogorov-Smirnov Test) ดังตาราง 4.25 โดยตั้งสมมติฐานการทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($\alpha=0.05$) ดังนี้

H_0 : ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ตัวแปรอิสระไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง 4.25 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		aspect ratio
N		230
Normal Parameters(a,b)	Mean	3.1496
	Std. Deviation	.58717
Most Extreme Differences	Absolute	.063
	Positive	.063
	Negative	-.045
Kolmogorov-Smirnov Z		.962
Asymp. Sig. (2-tailed)		.313

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

จากผลการวิเคราะห์ในตาราง 4.25 พิจารณาค่าทดสอบทางสถิติ (ค่า sig) มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าพารามิเตอร์มีการแจกแจงแบบปกติ

2) ตรวจสอบความเท่าเทียมกันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่าง (equal dispersion matrices) ตรวจสอบได้ด้วยสถิติ Box's M ดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 Test Results

Box's M		.251
F	Approx.	.250
	df1	1
	df2	100434.5
Sig.		.617

Tests null hypothesis of equal population covariance matrices.

จากตาราง 4.26 ผลการทดสอบความเท่าเทียมกันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่าง โดยดูจากค่า sig. = 0.617 มีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ (0.05) จึงสรุปว่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่างมีความเท่าเทียมกัน (เป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น)

3) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity of relationships) ตรวจสอบได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของเพียร์สัน ดังตาราง 4.27

ตาราง 4.27 Correlations

		aspect ratio	species
aspect ratio	Pearson Correlation	1	-.745(**)
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	230	230
species	Pearson Correlation	-.745(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	230	230

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ พบว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรงโดยดูจากค่าในสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามไม่มีค่าเป็น 0 (species กับ aspect ratio)

4) ตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (multicollinearity) ไม่ทำการตรวจสอบเนื่องจากมีตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียว

4.4.2.2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดเงื่อนไขของการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นแล้ว นำข้อมูลตัวอย่างที่ใช้สร้างเกณฑ์จำนวน 230 ตัวอย่างทำการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดเงื่อนไขของการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มได้ผลดังนี้ ตาราง 4.28 Test of Equality Group Means เป็นผลการวิเคราะห์ที่ได้จากคำสั่ง univariate ANOVAs ใน statistics option เป็นการนำเสนอผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแต่ละกลุ่มในการทดสอบนั้น โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และให้ค่าวิคัลแลมบ์ดา ซึ่งทั้งสองการทดสอบต้องอาศัยสถิติ F ทดสอบเช่นเดียวกัน และการพิจารณาตารางจากค่านัยสำคัญ (sig.) ของค่า F ถ้าค่า sig. มีค่าต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่เราตั้งไว้ แสดงว่ากลุ่ม 2 กลุ่มนั้นมีค่าเฉลี่ยในตัวแปรนั้นๆ แตกต่างกัน จากตาราง 4.28 Tests of Equality of Group Means พบว่ามีค่าเฉลี่ย aspect ratio ใน 2 กลุ่ม แตกต่างกัน (sig.= .000)

ตาราง 4.28 Tests of Equality of Group Means

	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
aspect ratio	.446	283.750	1	228	.000

การนำเสนอค่า eigenvalue และ canonical correlation ดังตาราง 4.29 Eigenvalues เนื่องจากข้อมูลที่กำหนดให้มี 2 กลุ่ม จึงมีเพียงสมการเดียว และมี eigenvalue เพียงค่าเดียว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.245 และมีค่าความสัมพันธ์คาโนนิกอล (canonical correlation) เท่ากับ 0.745 เมื่อนำค่า canonical correlation มายกกำลังสองจะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าตัวแปรในสมการจำแนกกลุ่มสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ร้อยละเท่าไร ซึ่งกรณีนี้อธิบายได้ $(.745)^2$ เท่ากับ 55.50%

ตาราง 4.29 Eigenvalues

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	1.245(a)	100.0	100.0	0.745

a First 1 canonical discriminant functions were used in the analysis.

จากตาราง 4.30 Wilks' Lambda เป็นการนำเสนอสถิติที่ใช้ทดสอบสมการจำแนกกลุ่มที่วิเคราะห์ได้ว่ามีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่โดยพิจารณาที่ค่าความมีนัยสำคัญ (sig.) ถ้าค่า sig. น้อยกว่านัยสำคัญที่กำหนดไว้ แสดงว่าสมการจำแนกกลุ่มสามารถจำแนกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากการวิเคราะห์เห็นได้ว่าสมการมีนัยสำคัญ ($0.000 < 0.05$) นั้นแสดงว่าสมการที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มได้

ตาราง 4.30 Wilks' Lambda

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Chi-square	df	Sig.
1	.446	183.932	1	.000

จากตาราง 4.31 Canonical Discriminant Function Coefficients แสดงค่าเป็นสัมประสิทธิ์ของตัวแปรจำแนกในสมการจำแนกกลุ่ม ซึ่งเป็นสมการในรูปคะแนนดิบ ค่าน้ำหนักที่ได้จึงไม่อยู่ในรูปมาตรฐาน (unstandardized coefficients) เป็นผลจากการเลือก unstandardized ใน statistics option ผลที่ได้มีทั้งค่าน้ำหนักในแต่ละตัวแปร และค่าคงที่ (constant) จากผลการวิเคราะห์สามารถนำมาเขียนเป็นสมการในรูปคะแนนดิบได้ดังสมการ (4.4)

$$D = -8.019 + 2.546 \text{ ratio} \quad (4.4)$$

ตาราง 4.31 Canonical Discriminant Function Coefficients

	Function
aspect ratio	2.546
(Constant)	-8.019

Unstandardized coefficients

จากตาราง 4.32 Function at Group Centroids ให้ค่ากลางของกลุ่ม (group centroids) เป็นค่าที่สามารถใช้ประเมินสมการจำแนกคาโนนิคอลลด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม (canonical discriminant functions evaluated at group means) ผลการวิเคราะห์เป็นคะแนนดิบ (unstandardized) ซึ่งค่ากลางหาได้จากการหาคะแนนจำแนกของแต่ละหน่วยวิเคราะห์ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรคูณกับค่าของตัวแปรของแต่ละหน่วยวิเคราะห์ เมื่อได้คะแนนของแต่ละหน่วยจากสมการแล้วก็หาค่าเฉลี่ยหรือค่ากลางของแต่ละกลุ่มได้ โดยเอาผลรวมของค่าคะแนนจำแนกของแต่ละหน่วยในกลุ่มนั้นหารด้วยจำนวนหน่วยในกลุ่มนั้น จากตารางพบว่ากลุ่ม 1 มีค่ากลางของกลุ่ม (group centroids) เท่ากับ 1.679 ส่วนกลุ่ม 2 มีค่า -0.735 ซึ่งแตกต่างกันมากแสดงว่าสมการดังกล่าวสามารถจำแนกได้ดี ในกรณีที่มีหน่วยวิเคราะห์ใหม่ก็สามารถคำนวณหาคะแนนจำแนกแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม ถ้ามีแนวโน้มเข้าใกล้ค่ากลางกลุ่มใดก็มีโอกาสในการเป็นสมาชิกกลุ่มนั้น

ตาราง 4.32 Functions at Group Centroids

species	Function
1.00	1.679
2.00	-0.735

Unstandardized canonical discriminant functions evaluated at group means

จากตาราง 4.33 Classification Function Coefficients ผลการวิเคราะห์นำเสนอค่าสัมประสิทธิ์ (ค่าน้ำหนัก) และค่าคงที่ของสมการจำแนกโดยแยกเป็นกลุ่มตามวิธีของ Fisher's (Fisher's linear discrimination function) จำนวนสมการจะมีเท่ากับจำนวนกลุ่ม (ในกรณีนี้มี 2 สมการ) จากผลการวิเคราะห์จะได้สมการดังนี้

$$\text{สมการของกลุ่ม 1} \quad y'_1 = -47.718 + 24.690 \text{ ratio}$$

$$\text{สมการของกลุ่ม 2} \quad y'_2 = -27.221 + 18.545 \text{ ratio}$$

จากผลการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยการพยากรณ์หน่วยวิเคราะห์ ว่าควรจัดให้อยู่กลุ่มใด โดยการแทนค่าตัวแปรอิสระ (aspect ratio) ของหน่วยวิเคราะห์นั้นๆ ลงใน ทั้ง 2 สมการ ถ้าสมการใดมีค่ามากกว่าก็จัดอยู่ในกลุ่มนั้น

ตาราง 4.33 Classification Function Coefficients

	species	
	1.00	2.00
aspect ratio	24.690	18.545
(Constant)	-47.718	-27.221

Fisher's linear discriminant functions

จากตาราง 4.34 Classification Results แสดงผลการตรวจสอบและพิจารณาความน่าเชื่อถือของสมการจำแนกกลุ่ม ผลการวิเคราะห์เป็นการบอกถึงประสิทธิภาพของสมการ จำแนกว่าสามารถจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยเปรียบเทียบกลุ่มที่แบ่งไว้เดิม (original) กับการแบ่งกลุ่มที่ได้จากการทำนายจากสมการ (predicted group membership) พบว่าในกลุ่มที่ 1 เดิมมี 70 ตัวอย่าง แต่จากการทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มพบว่าทำนายได้ถูกต้อง 61 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 87.1 (61 ใน 70) ส่วนในกลุ่ม 2 เดิมมี 160 ตัวอย่าง แต่ทำนายโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้อง 143 ตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 89.4 (143 ใน 160) เมื่อคิดรวมทั้งหมด (230 ตัวอย่าง) พบว่าสมการจำแนกกลุ่มได้ถูกต้องร้อยละ 88.7 (61+143 =204 ใน 230)

ตาราง 4.34 Classification Results(a)

		species		Predicted Group Membership		Total
				1.00	2.00	1.00
Original	Count	1.00		61	9	70
		2.00		17	143	160
	%	1.00		87.1	12.9	100.0
		2.00		10.6	89.4	100.0

a 88.7% of original grouped cases correctly classified.

เมื่อได้เกณฑ์การคัดแยกสายพันธุ์จากทั้ง 2 วิธี แล้วทำการทดสอบความถูกต้องในการคัดแยกด้วยชุดข้อมูลตัวอย่างสำหรับการทดสอบจำนวน 130 ตัวอย่าง (รายละเอียดดังตาราง ฉ-2 ภาคผนวก ฉ) ได้ผลดังนี้ ผลการคัดแยกโดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 เป็นค่าในการคัดแยกหมึกทั้งสองสายพันธุ์ออกจากกันได้ผลดังตาราง 4.35 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องในการคัดแยกหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* และหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* เท่ากับ 90% และ

94% ตามลำดับ และค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกเท่ากับ 93.08% เปรียบเทียบกับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 4.35 ผลการคัดแยกโดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 (130 ตัวอย่าง)

	<i>L.chinensis</i> (1)	<i>L.duvauceli</i> (2)	%correct
<i>L.chinensis</i> (1)	27	3	90
<i>L.duvauceli</i> (2)	6	94	94.00
total (130)			93.08

ผลการคัดแยกโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม (สมการ (4.4)) ซึ่งจะทำการพิจารณาค่าคะแนนจำแนกหรือค่า D ถ้าค่า D ที่ได้มีค่าเข้าใกล้ค่ากลาง (group centroids) ของกลุ่มใดก็แสดงว่าเป็นสมาชิกของกลุ่มนั้น ได้ผลการคัดแยกดังตาราง 4.36 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องในการคัดแยกหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* และหมึกสายพันธุ์ *L.duvauceli* เท่ากับ 93.33% และ 92% ตามลำดับ และค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกเท่ากับ 92.31% เปรียบเทียบกับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตาราง 4.36 ผลการคัดแยกโดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม (130 ตัวอย่าง)

	<i>L.chinensis</i> (1)	<i>L.duvauceli</i> (2)	%correct
<i>L.chinensis</i> (1)	28	2	93.33
<i>L.duvauceli</i> (2)	8	92	92.00
total (130)			92.31

จากผลการคัดแยกทั้ง 2 วิธีจะเห็นได้ว่าความสามารถในการคัดแยกสายพันธุ์หมึกทั้ง 2 สายพันธุ์ออกจากกันมีค่าความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าสามารถนำทั้ง 2 วิธีไปใช้ในการคัดแยกสายพันธุ์หมึกกล้วยได้

4.5. ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน

จากแผนการประเมินความสามารถในการเห็นพ้องกันของพนักงานใช้ตัวอย่างทั้งหมด 48 ตัวอย่างทำการทดสอบพนักงาน 3 คน และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งได้ผลการคัดแยกของพนักงานสำหรับการคัดแยกสายพันธุ์และขนาดดังตาราง ง-1 และตาราง ง-2 (ภาคผนวก ง) ตามลำดับ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเห็นพ้องกันของพนักงาน และประสิทธิภาพของระบบการคัดแยก ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.5.1. ผลการวิเคราะห์ความเห็นพ้องของพนักงานในการคัดแยก

1) ผลการวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (within appraiser) ในการคัดแยกสายพันธุ์ และขนาดหมึกกล้วยลอกขาวที่ทำการคัดแยกตัวอย่างเดียวกันทั้ง 3 ครั้งได้ผลเหมือนกันสรุปดังตาราง 4.37 สามารถดูรายละเอียดการวิเคราะห์ได้จากตาราง ง-3 และตาราง ง-4 (ภาคผนวก ง) โดยกำหนดให้การคัดแยกที่ได้ผลเหมือนกันทั้ง 3 ครั้งใช้แทนด้วย Y-Yes และการคัดแยกที่ให้ผลไม่เหมือนกันใช้แทนด้วย N-No ผลการคัดแยกนี้จะนำมาคำนวณหาความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคน และค่าพิสัยของช่วงความเชื่อมั่น 95% ของค่าคะแนนการคัดแยกของพนักงานแต่ละคน ยกตัวอย่างวิธีการคำนวณค่าดังกล่าวสำหรับการพิจารณาสายพันธุ์ตามขั้นตอนได้ผลดังต่อไปนี้

ก) ตัวอย่างการคำนวณค่าความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคนสำหรับการคัดแยกสายพันธุ์คำนวณโดยสมการ (2.18) ได้ผลดังนี้

$$\text{ค่าความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 1} = \frac{36}{48} \times 100\% = 75\%$$

$$\text{ค่าความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 2} = \frac{43}{48} \times 100\% = 89.58\%$$

$$\text{ค่าความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 3} = \frac{47}{48} \times 100\% = 97.92\%$$

จากการคำนวณค่าความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานแต่ละคน ซึ่งแสดงค่าความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 1 มีค่า 75% แสดงว่าในการคัดแยกหมึกกล้วย 100 ตัวอย่างให้ผลการคัดแยกของพนักงานคนที่ 1 ทั้ง 3 ครั้งเหมือนกัน 75 ตัวอย่าง อีก 25 ตัวอย่าง จะได้ผลการคัดแยกทั้ง 3 ครั้งที่แตกต่างกัน พนักงานคนที่ 2 และ 3 มีค่าความสามารถในการทำซ้ำเท่ากับ 89.58% และ 97.92% ตามลำดับดังตาราง 4.38

ตาราง 4.37 จำนวนการคัดแยกเหมือนกันทั้ง 3 ครั้งของพนักงานแต่ละคน

พนักงานคนที่	จำนวนทั้งหมด (ตัว)	จำนวนที่คัดแยกเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง (ตัว)	
		สายพันธุ์	ขนาด
1	48	36	28
2	48	43	32
3	48	48	30

ตาราง 4.38 คะแนนความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability) ของพนักงานแต่ละคน

พนักงานคนที่	คะแนนความสามารถในการทำซ้ำ (% repeatability)	
	สายพันธุ์	ขนาด
1	75.00	58.33
2	89.58	66.67
3	97.92	62.50

ข) ตัวอย่างการคำนวณค่าพิสัยช่วงความสามารถในการทำซ้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสมการ (2.19) และ (2.20) สำหรับพนักงานคนที่ 1 คำนวณได้ดังนี้

$$LCI = \frac{72 \times F_{72; 26; 0.975}}{26 + (72 \times F_{72; 26; 0.975})}$$

$$LCI = \frac{72 \times 0.545}{26 + (72 \times 0.545)}$$

$$LCI = 0.6040 = 60.40\%$$

และ

$$UCI = \frac{74 \times F_{74; 24; 0.025}}{24 + (74 \times F_{74; 24; 0.025})}$$

$$UCI = \frac{74 \times 2.06}{24 + (74 \times 2.06)}$$

$$UCI = 0.8636 = 86.36\%$$

จากการคำนวณจะได้ค่าพิสัยช่วงความสามารถในการทำซ้ำสำหรับพนักงานคนที่ 1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อยู่ระหว่าง 60.14% ถึง 86.40% และเช่นเดียวกับค่าพิสัยช่วงความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานคนที่ 2 และ 3 อยู่ระหว่าง [77.34; 96.53] และ [88.93; 99.95] ตามลำดับดังแสดงในตาราง 4.39

ตาราง 4.39 ค่าพิสัยช่วงความสามารถในการทำซ้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของพนักงานแต่ละคน

พนักงานคนที่	ค่าพิสัยช่วงความสามารถในการทำซ้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
	สายพันธุ์		ขนาด	
	LCI (%)	UCI (%)	LCI (%)	UCI (%)
1	60.40	86.36	43.21	72.39
2	77.34	96.53	51.59	79.60
3	88.93	99.95	47.35	76.05

2) ผลการวิเคราะห์ความสามารถระหว่างพนักงาน (between appraiser)

วิเคราะห์ความสามารถระหว่างพนักงานทั้ง 3 คนด้วยการประเมินผล % ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำ (% screen effective score) ยกตัวอย่างการคำนวณกรณีการคัดแยกสายพันธุ์โดยใช้สมการ (2.21) ได้ดังนี้

$$\% \text{ ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำ} = \frac{35}{48} \times 100\% = 72.92\%$$

จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำระหว่างพนักงานทั้ง 3 คนสำหรับกรณีการคัดแยกสายพันธุ์ ซึ่งแสดงผลประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำเท่ากับ 72.92% แสดงว่าในการคัดแยก 100 ตัวอย่างพนักงานทั้ง 3 คนสามารถคัดแยกได้ผลเหมือนกัน 72.92 ตัวอย่าง อีก 27.08 ตัวอย่างจะได้ผลที่แตกต่างกันและค่าประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำระหว่างพนักงานทั้ง 3 คนสำหรับกรณีการคัดแยกขนาดเท่ากับ 43.75% และจากการคำนวณจะได้ค่าพิสัยของช่วงประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการคัดแยกสายพันธุ์คำนวณได้จากสมการ (2.19) และ (2.20) ได้ผลลัพธ์อยู่ระหว่าง [58.15; 84.72] และเช่นเดียวกับค่าพิสัยของช่วงประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับการคัดแยกขนาดอยู่ระหว่าง [29.48; 58.82] ดังตาราง 4.40

ตาราง 4.40 ค่าประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำซ้ำระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน

จำนวนทั้งหมด (ตัว)	จำนวนที่คัดแยกเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง (ตัว)		คะแนนความสามารถในการทำซ้ำ (%)		ช่วงคะแนนความสามารถในการทำซ้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
	สายพันธุ์	ขนาด	สายพันธุ์	ขนาด	สายพันธุ์		ขนาด	
48	35	21	72.92	43.75	58.15	84.72	29.48	58.82

4.5.2. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการคัดแยก

จากผลการคัดแยกของพนักงานแต่ละคนเปรียบเทียบกับผลการคัดแยกจากผู้เชี่ยวชาญในตาราง ง-5 (ภาคผนวก ง) ที่คัดแยกเหมือนกันและถูกต้องของพนักงานแต่ละคนแสดงจำนวนครั้งที่คัดแยกเหมือนกันและถูกต้องดังตาราง 4.41

ตาราง 4.41 จำนวนการตรวจสอบที่คัดแยกเหมือนกันและถูกต้องทั้ง 3 ครั้งของพนักงานแต่ละคน

พนักงานคนที่	จำนวนทั้งหมด	สายพันธุ์	ขนาด
1	48	33	28
2	48	38	31
3	48	42	30

จากผลการวิเคราะห์ดังตาราง 4.41 สามารถนำมาคำนวณคะแนนของค่าแอดทริบิวต์ของพนักงานแต่ละคนโดยสมการ (2.22) แสดงผลดังตาราง 4.42 หาค่าพิสัยช่วงคะแนนแอดทริบิวต์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของพนักงานแต่ละคนด้วยสมการ (2.19) และ (2.20) ได้ผลแสดงดังตาราง 4.43 และคะแนนของประสิทธิภาพของค่าแอดทริบิวต์ด้วยสมการ (2.23) แสดงผลดังตาราง 4.44 และจากผลลัพธ์สรุปได้ว่าพนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการคัดแยกสายพันธุ์ได้ผลเหมือนกันและถูกต้องมากกว่าเมื่อเทียบกับการคัดแยกขนาดผลลัพธ์ทุกค่าได้ทวนสอบด้วยโปรแกรม Minitab 16 ภาคผนวก จ

ตาราง 4.42 คะแนนของค่าแอดทริบิวต์ของพนักงานแต่ละคน

พนักงานคนที่	% ค่าแอดทริบิวต์	
	สายพันธุ์	ขนาด
1	68.75	58.33
2	79.17	64.58
3	87.50	62.50

ตาราง 4.43 ค่าพิสัยช่วงคะแนนแอดทริบิวต์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของพนักงานแต่ละคน

พนักงานคนที่	ค่าพิสัยช่วงคะแนนแอดทริบิวต์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
	สายพันธุ์		ขนาด	
	LCI (%)	UCI (%)	LCI (%)	UCI (%)
1	53.75	81.34	43.21	72.39
2	65.01	89.53	49.46	77.84
3	74.75	95.27	47.35	76.05

ตาราง 4.44 ค่าประสิทธิผลด้านคะแนนแอตทริบิวต์ระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน

จำนวนทั้งหมด (ตัว)	จำนวนที่คัดแยกเหมือนกัน และถูกต้องทั้ง 3 ครั้งของพนักงาน 3 คน (ตัว)		คะแนนของค่าแอตทริบิวต์(%)		ค่าพิกัดช่วงคะแนนแอตทริบิวต์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
	สายพันธุ์	ขนาด	สายพันธุ์	ขนาด	สายพันธุ์	ขนาด	สายพันธุ์	ขนาด
48	32	21	66.67	43.75	51.59	79.60	29.48	58.82

4.6. ผลการคัดแยกของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบความสามารถของพนักงาน

ในการคัดแยกแบ่งเป็นการคัดแยกขนาดและการคัดแยกสายพันธุ์ สำหรับการคัดแยกขนาดในหัวข้อ 4.3 พบว่าค่าความถูกต้องในการแยกด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง และโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง ส่วนการคัดแยกสายพันธุ์ ทั้งสองวิธีให้ค่าไม่ต่างกันสามารถเลือกใช้ได้ทั้งสองวิธี เพื่อเป็นการตรวจสอบความสามารถในการคัดแยกของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับความสามารถในการคัดแยกของพนักงานจึงได้ทดสอบหาค่าความถูกต้องในการคัดแยกโดยชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบความสามารถในการคัดแยกของพนักงาน

ตาราง 4.45 แสดงผลค่าความถูกต้องในการคัดแยกขนาดโดยการประมาณค่าน้ำหนักทั้งหมด 48 ตัวอย่างด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 85.42% สำหรับผลการคัดแยกสายพันธุ์มี 2 วิธีคือการคัดแยกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 ได้ผลการคัดถูกต้องเฉลี่ย 89.58% คำนวณมาจาก $((33+10)/48) \times 100\%$ ซึ่งจากการคัดแยกสายพันธุ์ *L.duvauceli* ถูกต้อง 100% และคัดแยกสายพันธุ์ *L.chinensis* 66.67% ดังตาราง 4.46 และการคัดแยกโดยใช้สมการจำแนกกลุ่มได้ผลการคัดถูกต้องเฉลี่ย 93.75% คำนวณมาจาก $((33+12)/48) \times 100\%$ ซึ่งจากการคัดแยกสายพันธุ์ *L.duvauceli* ถูกต้อง 100% และคัดแยกสายพันธุ์ *L.chinensis* 80% ดังตาราง 4.47

ตาราง 4.45 ผลการคัดแยกขนาดโดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง (48 ตัวอย่าง)

ขนาด	< 25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความถูกต้อง (%)
U21/40(10)	1	6	3	0	0	60.00
U11/20(14)	0	0	13	1	0	92.86
U/10 (12)	0	0	0	12	0	100.00
U/5(12)	0	0	0	2	10	83.33
ความถูกต้องเฉลี่ย (%)						85.42

ตาราง 4.46 ผลการคัดแยกสายพันธุ์โดยใช้ค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเท่ากับ 3.4 (48 ตัวอย่าง)

รายการ	สายพันธุ์ (specie)	
	<i>L.duvauceli</i>	<i>L.chinensis</i>
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	33	15
จำนวนที่คัดแยกถูกต้อง	33	10
ความถูกต้อง (%)	100.00	66.67

ตาราง 4.47 ผลการคัดแยกสายพันธุ์โดยใช้โดยใช้สมการจำแนกกลุ่ม (48 ตัวอย่าง)

รายการ	สายพันธุ์ (specie)	
	<i>L.duvauceli</i>	<i>L.chinensis</i>
จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	33	15
จำนวนที่คัดแยกถูกต้อง	33	12
ความถูกต้อง (%)	100.00	80.00

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ในปัจจุบันการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมักกล้วยแปรรูปแช่แข็งจะพิจารณาโดยคนเพียงอย่างเดียว ทางผู้วิจัยจึงทำการวัดประสิทธิภาพพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการคัดแยกพบว่าประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ประกอบกับปัจจุบันมีปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงาน ทางผู้วิจัยจึงเสนอการนำเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการบวกรับการคัดแยก เนื่องจากสามารถทดแทนการมองเห็นของพนักงานได้โดยการใช้กล้องเก็บภาพ ซึ่งในการวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกจากเดิม โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การคัดแยกขนาดเป็น 4 ขนาดตามช่วงน้ำหนัก และการคัดแยกสายพันธุ์เป็น 2 สายพันธุ์ตามลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน สำหรับการคัดแยกขนาดจะพิจารณาจากช่วงน้ำหนัก โดยจะเปรียบเทียบผลการคัดแยกระหว่างการใส่สมการถดถอยจากการวิเคราะห์สถิติ กับการใช้โครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการวิเคราะห์สถิติเริ่มจากหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กับน้ำหนักที่ได้จากการวัด จากทั้งหมด 8 พารามิเตอร์ (พื้นที่ เส้นรอบรูป ความยาว ความกว้าง อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง ความยาวเส้นที่ 1 ความยาวเส้นที่ 2 และ ความยาวเส้นที่ 3) พบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับน้ำหนักมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.981 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จะได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง และสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองเพื่อใช้ในการประมาณค่าน้ำหนัก แต่การใส่สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองประมาณค่าน้ำหนักได้ใกล้เคียงค่าน้ำหนักจริงมากกว่าการใส่สมการถดถอยเชิงเส้นตรง ส่วนโครงข่ายประสาทเทียมได้ใช้ทั้ง 8 พารามิเตอร์เป็นอินพุตในการประมาณค่าน้ำหนัก การใส่สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง และโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกขนาดไม่แตกต่างกัน เพื่อลดเวลาในการทดสอบ (train) โครงข่ายประสาทเทียม ควรเลือกใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองในการประมาณค่าน้ำหนัก และผลการคัดแยกขนาดด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสองให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 88.00% ส่วนการใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยประมาณ 89.00% ถึง 90.00% สำหรับการคัดแยกสายพันธุ์ พารามิเตอร์ที่สามารถอธิบายความแตกต่างของรูปร่างแต่ละสายพันธุ์ได้ คืออัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างที่ได้จากการประมวลผลภาพ ซึ่งนำเสนอวิธีการคัดแยกสายพันธุ์หมักไว้ 2 วิธีโดยใช้จำนวนตัวอย่างชุดทดสอบ 130 ตัวอย่าง ได้ค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกหมัก

สายพันธุ์ *L.duvauceli* และหมึกสายพันธุ์ *L.chinensis* โดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 และใช้สมการจำแนกกลุ่มเท่ากับ 93.08% และ 92.31% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จาก 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก และเมื่อนำชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบความสามารถในการคัดแยกของพนักงานจำนวน 48 ตัวอย่าง สำหรับการคัดแยกขนาดโดยการประมาณค่าด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง ให้ผลการคัดแยกถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 85.42% และการคัดแยกสายพันธุ์โดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 และใช้สมการจำแนกกลุ่ม ได้ผลการคัดแยกถูกต้องเฉลี่ยเท่ากับ 89.58% และ 93.75% ตามลำดับ ซึ่งอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกมากกว่าการคัดแยกโดยพนักงานในปัจจุบัน ดังนั้นจากการทดลองหารูปแบบการคัดแยกขนาดที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าน้ำหนัก คือการใช้สมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง และการคัดแยกสายพันธุ์โดยใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเท่ากับ 3.4 หรือใช้สมการจำแนกกลุ่มก็ได้เนื่องจากได้ผลการคัดแยกไม่แตกต่างกัน

5.2. ข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย

เนื่องด้วยข้อจำกัดของความยาวโฟกัสของเลนส์กล้องที่ใช้ถ่ายภาพที่มีอยู่แล้วของหน่วยวิจัย ทำให้การออกแบบกล้องเก็บภาพสูงถึง 100 เซนติเมตรเพื่อติดตั้งกล้องที่ด้านบนของกล่องถึงจะครอบคลุมพื้นที่ในการถ่ายภาพหมึกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดขนาดความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร แต่หากต้องการปรับลดความสูงของกล่องลงจะต้องทำการเปลี่ยนเลนส์กล้องใหม่ และคำนวณระยะความสูงที่เหมาะสมให้ครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจ เพราะตำแหน่งกล้องถ่ายภาพมีสำคัญมากต่อการคำนวณขนาดของวัตถุที่สนใจภายในภาพ

5.3. แนวทางการนำผลจากการศึกษาไปสู่การประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบวิธีการที่ได้มาซึ่งพารามิเตอร์ ทราบว่าพารามิเตอร์ใดเหมาะที่จะนำมาใช้ในการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์หมึกกล้วยแปรรูปแช่แข็งรวมทั้งวิธีการและรูปแบบการคัดแยกที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปสร้างเป็นระบบอัตโนมัติเพื่อใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปหมึกกล้วยต่อไป โดยมีข้อจำกัดดังนี้

- 1) ควรมีการสร้างกล่องเก็บภาพไว้บนสายพานเพื่อควบคุมแสงสว่างภายในกล่องให้มีสภาวะคงที่ที่จะช่วยลดสัญญาณรบกวนที่จะเกิดกับภาพถ่ายทำให้ง่ายแก่การประมวลผลภาพมากขึ้น

และลดเวลาการประมวลผลภาพลง นอกจากนี้ยังทำให้ตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพอยู่ในระยะสูงจากวัตถุเท่าเดิมเสมอ

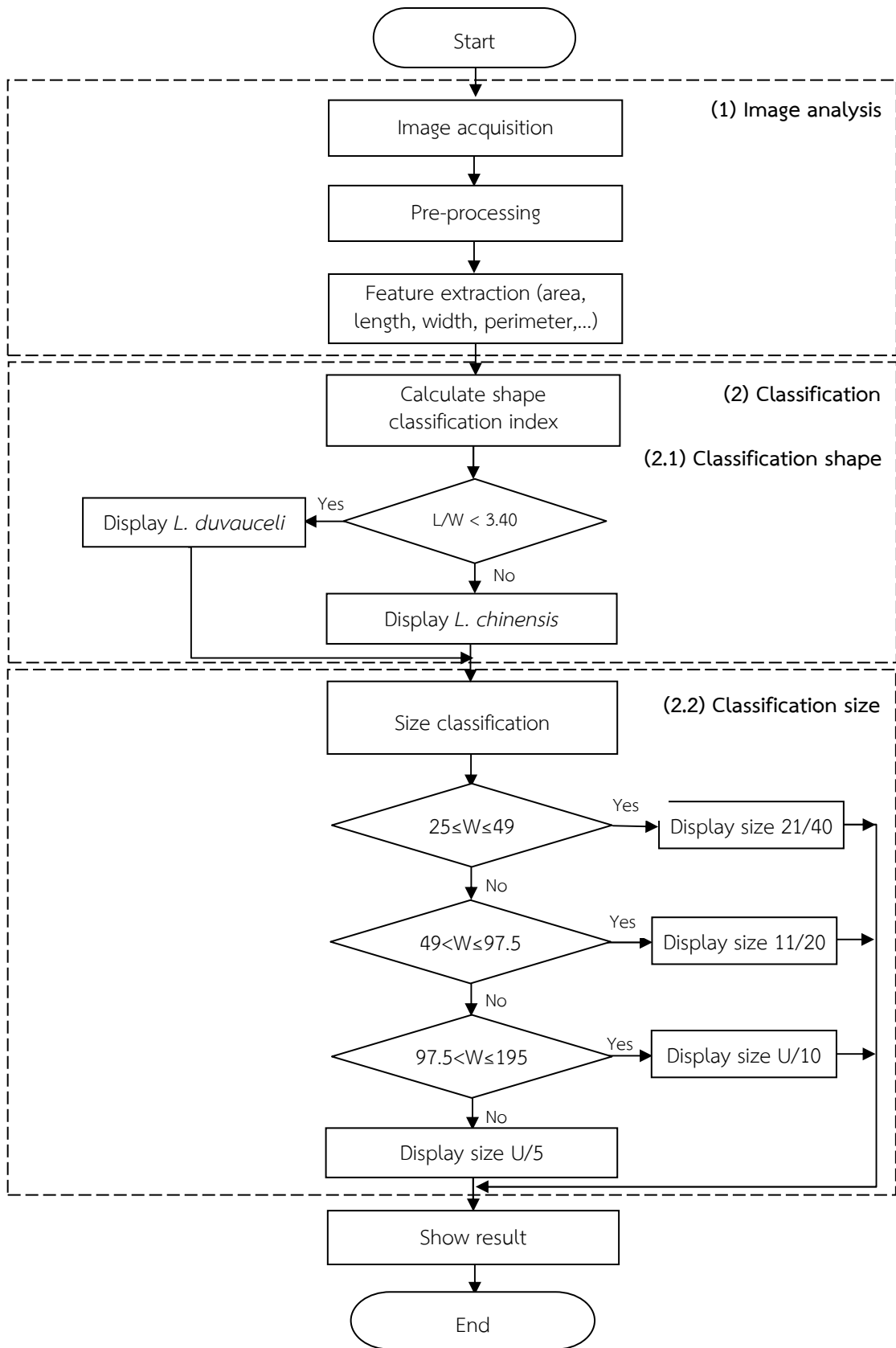
2) การป้อนหมึกกล้วยแปรรูปเข้าระบบคัดแยกต้องป้อนครั้งละ 1 ตัว และวางในลักษณะแบนราบกับสายพาน ซึ่งต้องใช้พนักงานในการจัดวางอย่างน้อย 1 คน ก่อนให้วัตถุไหลไปตามสายพานผ่านกล้องเก็บภาพ

3) ส่วนของอัลกอริทึมตั้งแต่เริ่มรับภาพจนถึงการแสดงผลการคัดแยกแสดงดังแผนผังภาพประกอบ 5.1 สำหรับการคัดแยกขนาดเมื่อทราบค่าน้ำหนักจากการประมาณด้วยสมการถดถอยแล้ว ค่าจะส่งผ่านมาตัดสินใจตามเงื่อนไขที่กำหนดช่วงน้ำหนักในการคัดแยกไว้ ซึ่งส่วนนี้สามารถปรับช่วงน้ำหนักได้ง่ายตามข้อตกลงของลูกค้า

4) หากมีการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติมจากเดิม สิ่งที่ต้องศึกษาคือพารามิเตอร์สำหรับการคัดแยกสายพันธุ์ที่มีผลต่อการคัดแยกนอกเหนือจากอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง ได้แก่ การใช้ค่าความโค้งของหมึก หรือค่า compactness ซึ่งเป็นค่าที่ใช้อธิบายลักษณะรูปร่างของวัตถุเพื่อใช้แยกวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้ สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วน $perimeter^2$ กับ area ดังสมการ (5.1)

$$compactness = \frac{perimeter^2}{area} \quad (5.1)$$

งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางสำหรับการนำไปปรับใช้กับสินค้าประเภทที่ใกล้เคียงหรือที่สนใจได้ แต่ต้องทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการคัดแยกสินค้าประเภทนั้นๆ ใหม่ และเลือกใช้ตัวคัดแยกที่เหมาะสม เพราะจะส่งผลกระทบต่อค่าความถูกต้องต่อการคัดแยก



ภาพประกอบ 5.1 แผนผังอัลกอริทึมการคัดแยกขนาดและสายพันธุ์

บรรณานุกรม

- [1] การค้าไทย, "สินค้าอุตสาหกรรมการเกษตร," สืบค้นจาก (ออนไลน์) <http://www2.ops3.moc.go.th/>. [25 พฤศจิกายน 2554].
- [2] “วารสารสถานการณ์ตลาดแรงงาน”, กองวิจัยตลาดแรงงาน กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน, 2554.
- [3] X. Liming and Z. Yanchao, “Automated strawberry grading system based on image processing,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 71, Supplement 1, p. S32-S39, Apr. 2010.
- [4] M. Nagata and J. G. Tallada, “11 - Quality Evaluation of Strawberries,” in *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation*, Amsterdam: Academic Press, 2008, pp. 265-287.
- [5] S. Riyadi, A. A. . Rahni, M. M. Mustafa, and A. Hussain, “Shape Characteristics Analysis for Papaya Size Classification,” in *5th Student Conference on Research and Development, 2007. SCOReD 2007*, 2007, pp. 1-5.
- [6] C. Nam-Hong, “Development of Automatic Sorting System for Green Pepper Using Machine Vision,” Minneapolis Convention Center Minneapolis, Minnesota, 17-Jun-2007.
- [7] B. Jarimopas and N. Jaisin, “An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind,” *Journal of Food Engineering*, vol. 89, no. 3, pp. 291-297, Dec. 2008.
- [8] วิชิต นางแล และนิติพงษ์ ใจสิน, “การสร้างเครื่องมือคัดแยกผลสับปะรดโดยวิธีการคัดแยกด้วยภาพ”, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2552.
- [9] B. Zion, V. Alchanatis, V. Ostrovsky, A. Barki, and I. Karplus, “Classification of guppies’ (*Poecilia reticulata*) gender by computer vision,” *Aquacultural Engineering*, vol. 38, no. 2, pp. 97-104, Apr. 2008.
- [10] Q. Li, M. Wang, and W. Gu, “Computer vision based system for apple surface defect detection,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 36, pp. 215-223, 2002.

- [11] J. Blasco, N. Aleixos, and E. Moltó, "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, Aug. 2007.
- [12] J. Blasco, S. Cubero, J. Gómez-Sanchís, P. Mira, and E. Moltó, "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, Jan. 2009.
- [13] J. Blasco, N. Aleixos, S. Cubero, J. Gómez-Sanchís, and E. Moltó, "Automatic sorting of satsuma (*Citrus unshiu*) segments using computer vision and morphological features," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 66, no. 1, pp. 1-8, Apr. 2009.
- [14] D. Mery, J. J. Chanona-Pérez, A. Soto, J. M. Aguilera, A. Cipriano, N. Veléz-Rivera, I. Arzate-Vázquez, and G. F. Gutiérrez-López, "Quality classification of corn tortillas using computer vision," *Journal of Food Engineering*, vol. 101, no. 4, pp. 357-364, Dec. 2010.
- [15] A. O. Yousef, "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, Jan. 2011.
- [16] D. Unay, B. Gosselin, O. Kleylen, V. Leemans, M.-F. Destain, and O. Debeir, "Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 75, no. 1, pp. 204-212, Jan. 2011.
- [17] S. and N. Afzulpurkar, "Machine vision for Rice Quality Evaluation," presented at the Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD2008), Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand, 2008.
- [18] K. Kılıç, İ. H. Boyacı, H. Köksel, and İ. Küsmenoğlu, "A classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks," *Journal of Food Engineering*, vol. 78, no. 3, pp. 897-904, Feb. 2007.
- [19] X. Chen, Y. Xun, W. Li and J. Zhang, "Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 71, pp. S48-S53, 2010.

- [20] Nagata M, Cao Q, Mitarai M, Fujiki T, Kinoshita O, “Study on grade judgment of fruit vegetables using machine vision (part 1): the development of sorting system and software for shape judgment on multiple-layer neural network [In Japanese],” *Journal of Science and High Technology in Agriculture*, vol. 8(4), pp. 217–227, 1996.
- [21] Bato PM, Nagata M, Mitarai M, Cao Q, Kitahara T, “Study on sorting system for strawberry using machine vision (part 2): development of sorting system with direction and judgment functions for strawberry (Akihime variety),” *Journal of Japan Society of Agricultural Machinery*, vol. 62(2), pp. 101–110, 2000.
- [22] W. Lou and S. Nakai, “Application of artificial neural networks for predicting the thermal inactivation of bacteria: a combined effect of temperature, pH and water activity,” *Food Research International*, vol. 34, no. 7, pp. 573-579, 2001.
- [23] อติศรา ตันตสุทธิกุล, “การศึกษาดัชนีคุณภาพของหมึกกล้วย และหมึกกระดองระหว่างการเก็บรักษา โดยการแช่ในน้ำแข็ง และการแช่เยือกแข็ง”, วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.
- [24] ทวีป บุญวานิช, สุวรรณทนา ทศพรพิทักษ์กุล และอุทิศ โชติธรรมโม, “ชีววิทยาการแพร่ขยายพันธุ์ของหมึกกล้วย *Loligo duvauceli* และ *Loligo chinensis* บริเวณอ่าวไทยตอนล่าง”, 2541.
- [25] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, “มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ”. 2548.
- [26] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Second ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: , 2002.
- [27] McAndrew Alasdair, “An Introduction to Digital Image Processing with Matlab,” School of Computer Science and Mathematics Victoria University of Technology: , 2004.
- [28] G. S. Gill, A. Kumar, and R. Agarwal, “Monitoring and grading of tea by computer vision – A review,” *Journal of Food Engineering*, vol. 106, no. 1, pp. 13-19, Sep. 2011.
- [29] M. H. Beale, M. T. Hagan and H. B. Demuth, *Neural Network ToolboxTM User's Guide*. 2012.

- [30] พยุง มีสัจ, ระบบพีซี และโครงข่ายประสาทเทียม, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549.
- [31] ผศ.ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว, ปัญญาเชิงคำนวณ, พิมพ์ครั้งที่ 1, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552.
- [32] สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสุขภาพ, "บทที่ 8 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)," สืบค้นจาก (ออนไลน์) http://intraserver.nurse.cmu.ac.th/mis/download/course/lec_567730_lesson_08.pdf. [5 กรกฎาคม 2555].
- [33] กัลยา วานิชย์บัญชา, *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows*, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [34] สมบัติ ท้ายเรือคำ, เอกสารประกอบคำสอนวิชาสถิติขั้นสูงสำหรับการวิจัยทางการศึกษา, กาลสินธุ์: ประสานการพิมพ์, 2552.
- [35] ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน, *การประยุกต์ใช้ SPSS วิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย*, กาลสินธุ์: ประสานการพิมพ์, 2551.
- [36] EXTENSION CHAPTERS ON ADVANCED TECHNIQUES, "Chapter 25 Discriminant Analysis," สืบค้นจาก (ออนไลน์) <http://www.uk.sagepub.com/bums/website%20material/Chapter%2025%20-%20Discriminant%20Analysis.pdf>, [17 ตุลาคม 2556].
- [37] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15, พิมพ์ครั้งที่ 7 (ฉบับปรับปรุง). สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพ

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
1	37.5	2821.42	267.8	101.69	36.47	2.79	101.28	101.08	31.54
2	28.5	2337.91	234.55	85.33	35.96	2.37	85.47	83.79	31
3	33	2719.96	249.66	89.14	40.57	2.20	89.19	88.94	34.46
4	34.5	2752.62	252.65	92.5	38.69	2.39	93.16	91.2	33.03
5	46	2909.46	258.24	94.62	38.48	2.46	94.95	93.92	32.89
6	46.5	3368.74	278.85	103.56	44.15	2.35	102.55	104.07	34.5
7	48	3288.26	285.31	105.51	42.18	2.50	104.84	106.1	33.22
8	28.5	2399.78	231.22	81.64	37.49	2.18	83.54	83.72	32.52
9	40.5	2873.77	257.48	96.25	38.62	2.49	95.75	96.74	32.65
10	30	2936.94	259.55	95.18	41.8	2.28	95.16	96.35	33.41
11	31	2441.75	244.99	89.54	35.85	2.50	89.97	88.75	31.24
12	40.5	3586.59	324.94	122.69	38.73	3.17	123.33	124.23	31.31
13	48	3244.78	283.57	103.67	41.65	2.49	101.49	104.84	33.5
14	35.25	3223.58	273.23	100.93	44.31	2.28	95.19	101.55	35.62
15	30	2197.08	227.09	79.88	36.04	2.22	79.3	81.89	31.73
16	30	2617.85	245.14	89.06	38.7	2.30	88.72	88.69	32.38
17	46.5	3290.64	303.54	113.11	37.7	3.00	111.08	113.11	31.61
18	25.95	2265.22	223.2	77.82	37.69	2.06	79.03	79.06	31.98
19	36	2832.67	270.96	96.08	38.21	2.51	98.41	98.26	33.28
20	46.5	3497.24	296.29	107.99	42.25	2.56	108.92	108.27	36.85
21	34	2252.89	237.89	86.98	33.41	2.60	85	86.94	30.17
22	42	3390.59	280.34	102.44	45.41	2.26	103.76	102.92	35.13
23	31.5	2567.66	247.53	90.22	37.36	2.41	90.03	91.3	31.64
24	33	2671.93	256.47	92.79	37.68	2.46	93.36	91.96	34.03
25	40.8	3514.76	292.74	110.33	41.52	2.66	112.04	109.3	35.06
26	47	3002.92	263.68	99.09	38.71	2.56	95.97	97.87	30.26
27	42	2745.27	255.52	92.35	38.4	2.40	92.29	92.48	32.11
28	30	2132.4	226.51	83.13	33.82	2.46	80.71	80.83	29.55
29	42	2710.22	259.59	93.01	37.92	2.45	93.43	96.45	32.11

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
30	27	2549.27	243.24	90.21	37.69	2.39	88.1	89.35	32.43
31	34.5	2544.08	242.98	89.35	36.63	2.44	84.67	88.11	30.92
32	39	2908.17	261.03	96.43	39.29	2.45	94.27	96.91	32.66
33	40.2	3567.55	291.14	110.22	42.79	2.58	108.05	111.55	33.99
34	25	2075.07	220.37	81.41	34.21	2.38	78.37	78.44	30.22
35	40.5	2998.81	271.63	98.62	40.39	2.44	97.47	97.96	33.83
36	48	3574.47	292.97	110.36	43.34	2.55	108.68	110.29	33.85
37	39.9	3478.2	286.18	104.61	46.52	2.25	104.78	105.57	33.67
38	33.45	3091.62	267.79	96.99	42.69	2.27	98.46	93.53	35.78
39	39	2876.37	251.2	92.47	39.65	2.33	89.82	93.01	34.23
40	45.6	3434.29	285.69	105.87	43.55	2.43	103.79	106.28	34.26
41	25	2291.62	227.88	82.26	36.48	2.25	80.91	81.2	32
42	29	2206.6	229.48	83.34	33.66	2.48	82.52	83	30.94
43	25.5	2136.72	228.56	82.12	33.68	2.44	80.57	82.44	30.32
44	45	3306.22	289.57	104.84	42.25	2.48	107.38	106.19	34.64
45	40	2791.78	260.34	95.92	39.15	2.45	95.77	95.45	32.86
46	46.5	3515.41	345.47	133.4	36.89	3.62	131.32	135.39	33.15
47	45	3256.68	288.78	105.92	41.14	2.57	107.3	107.36	33.24
48	48	3834.72	317.5	115.77	44.59	2.60	116.76	117.21	35.3
49	37.05	3539.21	296.98	110.19	45.6	2.42	110.97	106.9	32.96
50	34.5	2796.76	254.5	90.71	38.86	2.33	92.94	93.16	32.93
51	40.5	3194.16	274.76	100.59	40.82	2.46	100.37	100.83	34.2
52	42.15	3505.9	275.91	102.37	44.36	2.31	101.42	100.01	38.47
53	36	3101.35	279.53	102.71	39.64	2.59	102.58	104.17	34.75
54	36	2888.48	259.55	97.37	38.05	2.56	97.4	97.84	33.15
55	37.35	3203.03	265.24	98.61	43.78	2.25	94	98.97	35.28
56	39	3227.47	290.4	104.05	40.28	2.58	105.59	107.52	35.6
57	42	2695.51	262.38	95.7	35.49	2.70	95.05	95.24	31.51
58	30	2359.98	229.82	80.78	37.1	2.18	80.54	81.39	32.68
59	34.5	2787.89	257.4	94.52	39.86	2.37	93.03	94.42	33.99
60	37.5	2845.21	267.22	97.82	37.92	2.58	96.44	98.5	32.6
61	34.5	2885.67	259.01	94.41	41.51	2.27	95.17	93.86	36.65
62	33	2357.82	237.18	88.24	34.41	2.56	85	87.92	32.03
63	46.5	3522.77	293.78	105.47	42.77	2.47	106.37	106.09	34.86
64	38	2513.36	251.94	93.45	34.52	2.71	92.38	93.74	31.51

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
65	48	3767.66	344.53	128.53	38.77	3.32	130.73	131.2	33.55
66	45	3553.70	276.93	102.18	46.47	2.20	102	101.54	35.26
67	26	2305.46	225.1	82.27	36.94	2.23	81.48	80.53	31.3
68	30	2767.12	249.29	90.27	41.92	2.15	91.26	90.64	34.11
69	49.5	3621.85	287.88	108	43.99	2.46	107.7	108.29	32.5
70	49.5	3270.96	281.02	103.76	41.81	2.48	103.98	103.82	31.93
71	49.5	3580.92	302.92	112.65	40.44	2.79	114.42	114.41	32.9
72	70.5	4465.12	345.25	129.95	45.74	2.84	128.34	130.27	35.84
73	91.5	5644.13	379.32	144.25	55.19	2.61	145.72	142.04	42.33
74	52.5	3416.12	296.67	107.2	42.88	2.50	109.14	108.51	33.98
75	94.5	5311.41	366.54	139.87	51.23	2.73	140.1	139.41	39.14
76	85.5	4961.17	365.88	137.83	47.54	2.90	138.4	137.83	37.37
77	75	4613.74	338.39	126.78	48.39	2.62	124.97	128.84	40.77
78	73.5	5005.95	406.95	154.83	45.73	3.39	157.66	155.8	37.31
79	63	3567.55	309.4	115.18	41.74	2.76	116.15	114.37	31.95
80	75	4413.85	324.39	122.48	48.02	2.55	121.29	123.2	33.91
81	70	5395.35	424.31	162.92	42.78	3.81	164.56	162.99	34.94
82	70.5	4056.68	316.37	115.21	47.81	2.41	112.58	117.07	40.99
83	97.5	5765.93	376.15	139.94	55.08	2.54	143.18	140.05	40.81
84	82.5	4813.2	352.62	131.06	49.16	2.67	130.51	131.1	40.96
85	64.5	4041.1	325.7	122.02	44.75	2.73	123.85	123.15	35.23
86	96	5387.99	378.79	139.83	50.35	2.78	139.92	134.12	38.72
87	60	4365.82	343.43	127.54	47.09	2.71	125.53	128.91	39.05
88	73.5	4681.23	349.19	132.38	48.24	2.74	133.97	130.03	36.45
89	75	4127.64	317.86	118.52	46.39	2.55	117	119.17	36.51
90	92	6264.79	468.49	183.67	47.11	3.90	183.47	184.46	33.73
91	90	4813.2	351.17	131.63	47.55	2.77	133.71	130.92	38.3
92	66	4805.62	390.57	149.33	44.09	3.39	150.08	151.29	36.47
93	72	5031.26	405.37	156.67	44.78	3.50	159.58	159.2	36.96
94	72	4598.81	374.48	147.25	41.64	3.54	149.23	148.93	36.26
95	83	5721.8	456.65	177.68	41.29	4.30	174.02	177.4	33.62
96	56	4859.49	413.95	159.11	40.98	3.88	159.68	159.29	35.7
97	64	5306.44	435.13	174	43.45	4.00	171.26	174.47	34.94
98	90	4948.62	370.95	134.4	49.15	2.73	137.61	139.01	40.69
99	73.5	4888.05	347.2	128.48	51.26	2.51	129.08	130.25	40.5

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
100	63	4164.41	350.34	130.24	42.44	3.07	129.75	132.43	35.94
101	57	4266.09	357.6	137.14	44.36	3.09	136.99	134.66	36.89
102	51	4115.95	365.71	139.61	41.54	3.36	142.28	142.07	32.79
103	58	4377.5	361.71	137.74	43.63	3.16	140.41	140.7	33.93
104	85	5388.43	374.47	138.22	52.48	2.63	139.46	140.62	40.57
105	75	4965.93	405.72	151.16	45.18	3.35	154.41	154.6	38.88
106	62.1	4547.32	329.81	123.17	48.75	2.53	124.32	122.47	37.64
107	93	5616.44	386.83	146.99	51.36	2.86	144.45	144.22	44.81
108	63	3993.08	313.58	116.26	45.16	2.57	117.01	115.45	36.96
109	60.15	4806.27	349.61	132.25	49.02	2.70	133.73	133.51	37.16
110	75	4658.09	351.18	129.14	49.03	2.63	131.45	129.84	38.95
111	57	3536.4	344.27	129.95	37.75	3.44	129.77	130.01	33.15
112	69	4901.89	339.88	121.93	51.74	2.36	126.51	121.2	40.09
113	79.5	4162.47	314.43	113.91	47.5	2.40	116.04	114.73	36.57
114	73.5	4830.07	348.53	131.43	47.76	2.75	131.35	132.58	41.99
115	67	3928.39	315.83	115.41	43.83	2.63	116.26	118.45	37.22
116	60	4365.6	321.76	121.26	47.36	2.56	117.36	120.11	41.23
117	77.1	5103.73	362.51	142.68	48.06	2.97	141.13	138.46	37.02
118	59.7	4622.39	326.24	118.99	51.92	2.29	118.12	121.25	36.96
119	78	4230.83	322.98	120.35	46.65	2.58	120.65	119.87	37.28
120	85.5	4970.9	366.53	140.95	47.44	2.97	140.52	140.7	37.48
121	85.5	5008.76	367.41	140.29	47.13	2.98	141.4	140.33	38.37
122	79.5	4887.62	385.59	147.46	46.38	3.18	147.73	147.48	34.89
123	88.5	4666.74	346.89	130.39	47.15	2.77	130.09	133.12	30.72
124	93	5484.05	448.7	179.25	43.05	4.16	176.68	180.85	35.31
125	75	4587.13	390.79	150.25	42.79	3.51	150.29	149.11	35.26
126	78	5274.42	414.66	166.54	42.56	3.91	164.78	168.28	35.96
127	53	4230.61	361.73	138.72	39.52	3.51	136.2	139.3	32.81
128	83.25	5731.75	429.35	173.04	46.56	3.72	172.42	172.65	41.95
129	52.5	4589.51	381.91	145.88	44.33	3.29	146.14	143.12	38.96
130	67.5	4300.27	329.01	119.96	46.2	2.60	121.86	122.4	33.42
131	58.35	4190.59	319.94	119.05	47.92	2.48	121.11	120.69	36.95
132	74.25	4743.32	350.96	135.33	47.72	2.84	136.73	133.83	33.43
133	89	5504.81	433.71	165.85	43.85	3.78	166.13	166.64	37.06
134	64.5	3968.42	314.73	114.4	45.82	2.50	115.25	117.16	35.89

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
135	58.5	3914.12	325.74	121.48	45.81	2.65	120.5	121.67	36.87
136	60	4958.57	385.35	143.73	43.58	3.30	145.79	144.3	34.24
137	61.5	3768.09	321.04	117.91	43.4	2.72	117.93	119.15	35.16
138	60	4122.01	319.95	118.63	45.12	2.63	118.19	119.57	37.5
139	80.25	5269.01	400.03	148.09	48.22	3.07	153.38	151.57	40.88
140	84	5456.79	435.09	172.55	43.89	3.93	175.42	175.01	33.65
141	89.1	4969.17	348.94	131.03	47.76	2.74	129.9	129.99	38.02
142	66	4175.45	328	123.52	44.52	2.77	123.67	123.8	34.5
143	85	5860.68	475.75	181.91	45.12	4.03	179.8	184.53	38.14
144	62.55	4931.1	348.36	132.46	48.84	2.71	131.11	132.97	37.51
145	73.5	4404.54	334.29	122.62	46.51	2.64	122.77	126.55	38.27
146	77.85	5613.41	375.47	138.5	54.75	2.53	139.54	140.89	43.95
147	58.5	4202.7	376.62	142.93	39.64	3.61	143.05	143.93	34.61
148	70.5	4154.68	320.87	119.41	46.26	2.58	120.96	119.59	34.81
149	93	4847.59	353.84	133.21	48.39	2.75	137.11	136.13	34.24
150	63	3578.58	299.02	113.96	41.83	2.72	113.8	113.7	32.89
151	93	5139.64	367.7	137.97	50.29	2.74	139.19	137.88	38.71
152	86.4	5954.79	402.61	151.55	51.82	2.92	151.98	151.52	38.65
153	77.55	5290.21	363.39	133.76	50.54	2.65	133.85	136.04	37.64
154	85.5	4667.82	357.19	133.3	46.44	2.87	132.31	135.45	38.43
155	71	4224.34	325.32	123.43	45.09	2.74	125.68	123.16	40.27
156	70.5	4115.74	321.52	119.38	47.5	2.51	118.55	119.69	36.9
157	99	4999.89	352.32	129.83	52.09	2.49	129.53	131.77	43.73
158	98.4	5103.52	359.42	132.14	49.27	2.68	132.87	134.6	35.69
159	98.55	5430.18	365.52	140.95	51.11	2.76	142.03	138.31	33.74
160	114	6454.52	426.02	159.01	55.4	2.87	159.25	161.15	44.51
161	135.75	6881.99	421.42	160.44	58.39	2.75	159.64	158.59	45.1
162	122	6819.9	435.97	168.54	55.59	3.03	166.53	171.24	46.01
163	175.5	7612.12	476.1	183.11	54.46	3.36	183.33	182.51	46.47
164	108	6205.52	401.97	149.86	56.62	2.65	148.01	152.01	49.54
165	138	7063.93	444.89	164.46	58.07	2.83	169.88	167.48	44.32
166	147	7288.7	428.42	160.42	60.47	2.65	162.95	162.98	49.22
167	103	5598.49	374.51	143.09	50.52	2.83	143.16	145.27	43.4
168	100	5866.31	378.43	143.08	54.2	2.64	143.7	145.28	41.14
169	156	7442.73	481.18	184.37	55.34	3.33	183.53	185.64	42.06

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
170	115.5	6165.06	443.95	169.17	50.97	3.32	172.07	167.75	38.57
171	183	7943.75	473.22	172.5	59.61	2.89	173.36	171.87	50.94
172	122	6512.28	440.05	165.41	51.65	3.20	168.36	169.04	39.58
173	105.3	5693.24	386.59	149.08	51.79	2.88	148.8	149.55	36.36
174	106.5	6003.03	385.22	147.14	53.36	2.76	147.27	147.29	36.05
175	193.5	8122.23	484.26	181.47	60.19	3.01	185.15	181.23	48.17
176	135	5865.87	404.57	152.3	53.03	2.87	149.64	152.33	39.72
177	174.45	8835.48	476.2	184.14	62.34	2.95	185.43	186.73	39.59
178	108	5994.59	395.26	146.8	55.19	2.66	145.35	146.17	44.22
179	116.4	6653.11	402.25	150.61	60.33	2.50	153.54	153.66	37.07
180	162.15	7276.37	437.53	167.33	56.7	2.95	169.19	165.87	45.7
181	160	6614.17	446.77	169.49	53.19	3.19	171.93	171.22	43.88
182	175.5	7931.21	472.06	182.08	58.83	3.10	177.5	180.94	49.17
183	101	5701.03	368.27	138.1	53.18	2.60	139.95	135.96	37.88
184	129	7137.48	465.79	173.33	52.8	3.28	175.64	175.36	44.13
185	175.2	8253.11	470.45	179.41	60.04	2.99	179.36	180.15	39.32
186	100.5	5922.77	398.99	153.84	52.12	2.95	152.77	151.28	42.12
187	144	6984.97	458.45	173.89	54.15	3.21	174.48	174.86	43.21
188	127.5	6278.42	448.71	170.25	52.2	3.26	172.75	171.58	37.15
189	186	8554.68	488.38	185.26	62.49	2.96	185.8	188.32	53.57
190	163	8291.62	515.08	196.43	59.21	3.32	198.12	198.72	48.32
191	156	7856.36	496.5	186.67	57.41	3.25	184.82	187.75	49.92
192	139	6857.33	469.98	176.85	52.26	3.38	179.46	180.9	40.73
193	149	6864.47	442.09	167.29	54.62	3.06	168.53	165.98	47.27
194	133.5	7015.04	456.33	170.23	55.83	3.05	173.29	172.93	41.7
195	141	7833.42	461.25	176.99	60.85	2.91	177.65	175.82	53.88
196	119	6663.06	439.03	163.03	54.56	2.99	167.23	165.67	45.81
197	133	6388.75	425.6	156.63	51.86	3.02	158.21	160.98	42.23
198	126	6366.69	412.35	158.97	54.24	2.93	155.45	160.62	39.78
199	130	6581.5	442.09	167.81	52.53	3.19	167.22	167.76	44.46
200	109.5	5558.68	385.87	144.92	51.31	2.82	146.86	147.47	39.2
201	119.55	5962.57	401.08	153.05	53.35	2.87	154.96	153.56	37.08
202	118.5	6233.64	404.08	150.76	57.07	2.64	151.36	152.8	39.06
203	166	6871.17	463.56	176.84	51.28	3.45	177.72	178.45	42.35
204	142.5	7198.27	451.67	176.54	59.76	2.95	177.07	170.49	47.69

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
205	108	6353.06	408.04	153.11	58.22	2.63	152.1	151.96	43.46
206	105	5848.13	401.03	151.43	53.26	2.84	152.59	153.02	40.08
207	183	7828.66	493.04	192.01	54.27	3.54	193.62	192.77	43.61
208	112.5	6264.58	415.47	155.17	52.29	2.97	155.77	156.16	44.03
209	106.5	6074.64	415.63	157.73	52.27	3.02	155.95	160.2	40.81
210	100.5	5038.83	387.78	149.17	45.54	3.28	147.38	150.15	33.9
211	187	9098.76	538.8	210.64	59.86	3.52	208.74	213.29	42.84
212	162	7096.38	466.72	175.04	53.62	3.26	176.38	177.67	42.5
213	166.5	8190.59	479.53	184.73	60.26	3.07	182.91	187.5	47.8
214	186	8193.19	494.89	188.78	57.67	3.27	190.85	186.96	42.23
215	147	7541.81	477	187.92	56.79	3.31	188.8	190.08	46.16
216	192	9257.76	552.7	219.01	58.45	3.75	213.42	219.34	49.47
217	121	6558.14	404.17	153.88	55.87	2.75	157.9	154.31	41.58
218	187	7766.58	465.62	176.01	55.67	3.16	173.68	177.19	45.15
219	178.5	9056.14	511.9	200.34	61.69	3.25	199.44	200.52	47.03
220	151.5	7542.67	472.52	179.63	58.21	3.09	182.09	178.28	46.88
221	102	5392.32	371.27	138.36	51.4	2.69	136.84	136.9	42.94
222	150.9	7902.87	451.67	172.09	61.94	2.78	173.88	171.85	42.06
223	102	5605.84	383.48	143.38	53.85	2.66	144.38	143.74	42.27
224	126	6449.76	422.91	157.65	53.6	2.94	161.53	161.82	42.21
225	170	8485.67	488.86	186.04	61.83	3.01	184.82	186.64	44.08
226	101.55	6453.65	437.71	166.57	55.12	3.02	167.08	163.58	41.01
227	130.5	6830.29	427.24	163.77	57.23	2.86	164.33	161.97	47.84
228	129	6462.09	421.57	162.49	53.22	3.05	166.9	165.66	41.69
229	139.5	7368.31	466.45	175.17	56.32	3.11	177.23	176.07	42.88
230	185.85	9690.43	495.99	196.35	63.72	3.08	195.64	193.19	46.49
231	168	7871.07	486.06	185.22	57.71	3.21	187.38	183.3	46.31
232	118.5	6327.1	422.88	160.64	52.9	3.04	162.24	158.29	38.3
233	166.5	7404.22	452.98	168.52	57.99	2.91	167.51	172.1	46.28
234	142	7077.99	462.91	174.47	52.9	3.30	177.87	174.98	43.76
235	136	6321.69	444.37	171.01	48.8	3.50	168.55	171.18	43.18
236	128	6631.69	424.98	165.96	54.55	3.04	163.49	163.74	45.64
237	125	5994.38	386.59	146.02	56.28	2.59	147.59	147.47	42.67
238	109	5313.14	387.62	144.49	51.2	2.82	146.07	147.59	41.29
239	108	6002.38	399.01	149	54.76	2.72	151.41	151.41	38.46

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม
(285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
240	117	6039.81	401.11	149.93	52.49	2.86	146.82	151.02	43.83
241	106.5	5985.07	403.45	152.79	52.24	2.92	151.17	154.18	43.21
242	171	7462.63	459.88	173.14	56.34	3.07	173.45	173.45	43.64
243	134	7074.31	432.25	168.45	57.43	2.93	167.45	168.72	44.77
244	132	6749.59	454.18	169.36	52.51	3.23	167.9	174.24	44.62
245	136	6552.95	411.47	153.58	56.7	2.71	152.51	156.12	45.55
246	159	7588.53	540.59	211.19	51.45	4.10	211.37	209.5	37.6
247	136.95	7737.8	429.83	162.76	62.14	2.62	162.78	162.8	45.26
248	136	6778.58	433.83	167.14	53.9	3.10	159.19	168.3	48.81
249	114	6258.3	402.21	154.05	53.57	2.88	155.33	153.62	45.16
250	199	9033.64	525.05	202.14	61.56	3.28	200.55	202.24	47.6
251	198	10386.37	636.3	247.55	60.33	4.10	252.32	249.1	45.67
252	196.5	8125.26	507.56	198.68	56.17	3.54	201.26	201.1	43.58
253	454.5	17064.79	759.35	301.73	78.16	3.86	300.68	301.67	63.04
254	214.5	8727.75	507.02	190.77	62.89	3.03	192.16	191.2	49.95
255	268.5	11446.19	705.01	276.11	57.73	4.78	273.97	276.91	50.49
256	354	14671.5	773.43	305.01	72.04	4.23	307.11	297.8	63.56
257	296	13196.32	775.06	308.44	64.88	4.75	308.31	308.38	51.76
258	330	13062.85	725.43	287.27	67.71	4.24	289.74	281.34	49.2
259	204	9012.01	537.91	216.68	57.31	3.78	217.82	213.26	45.69
260	330	13709.03	752.13	300.79	65.96	4.56	298.18	299.48	48.15
261	260	9074.53	526.1	198.06	60.53	3.27	199.17	201.1	45.91
262	304.5	12675.61	672.72	262.55	66.26	3.96	258.92	263.29	48.36
263	387	13877.34	700.84	272.06	70.2	3.88	275.79	273.7	58.83
264	226.5	9672.69	553.53	217.38	61.68	3.52	218.56	218.45	47.18
265	211.5	9010.06	499.64	187.75	63.51	2.96	189.2	189.92	46.17
266	280	10808.65	577.41	221.02	65.74	3.36	221.63	225.64	53.77
267	272	12549.49	736.52	293.16	57.98	5.06	293.13	293.93	48.96
268	230.1	9942.89	506.19	192.44	67.01	2.87	194.62	191.64	42.85
269	392	14488.91	714.93	276.62	71.08	3.89	279.56	274.09	59.43
270	232	9443.16	526.74	200.99	60.73	3.31	199.69	200.41	47.86
271	351	12325.15	665.85	260.28	66.23	3.93	262.08	257.95	49.84
272	507	18352.62	831.72	334.17	76.56	4.36	330.31	331.85	62.04
273	243	9429.53	511.29	195	64.17	3.04	193.64	191.88	53.91
274	202.5	8166.79	458.54	174.84	61.54	2.84	174.19	176.4	47.99

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (285 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
275	204	9902.65	594.49	227.4	61.81	3.68	227.51	224.35	55.47
276	208.5	9766.36	519.77	201.64	65.33	3.09	198.85	202.69	50.09
277	288	10181.07	539.03	203.28	65.89	3.09	204.29	202.49	51.72
278	322.5	12049.54	654.9	249.23	67	3.72	252.71	251.91	50.49
279	460	16546.68	832.7	325.82	75.9	4.29	327.91	321.75	60.37
280	247	11176.2	571.46	224.24	69.87	3.21	225.55	219.37	57.16
281	264	11841.43	688.58	266.17	61.17	4.35	269.21	266.79	50.81
282	231	10175.01	577.46	225.06	60.58	3.72	222.45	224.72	55.22
283	310.65	11792.97	571.99	219.37	74.78	2.93	218.43	221.01	52
284	262.5	9280.04	561.88	219.64	57.79	3.80	211.48	208.92	52.29
285	237	11338.67	705.84	278.51	56.71	4.91	277.21	281.38	49.75

ตาราง ก-2 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและ
สมการถดถอย (150 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
1	48	3514.33	283.97	101.72	45.36	2.24	103.37	102.58	34.14
2	36	2742.24	263.19	97.25	37.51	2.59	96.67	96.44	32.41
3	46	2977.83	269.37	99.91	39.56	2.53	98.89	101.17	33.16
4	33	2578.04	242.62	89.11	39.58	2.25	88.54	88.16	31.73
5	37.5	2974.58	270.59	100.06	38.55	2.60	99.69	97.05	32
6	44	2710.44	260.14	94.11	36.02	2.61	92.69	94.12	31.83
7	36	2546.89	249.41	93.5	35.42	2.64	91.48	93.28	31.89
8	35.25	3138.56	262.26	94.69	43.26	2.19	89.45	95.11	36.9
9	28.5	2680.58	245	87.72	40.03	2.19	86.21	87.16	34.32
10	34.65	3045.11	286.56	106.86	39.75	2.69	102.94	107.91	29.68
11	43.5	3241.54	295.36	108.5	41.12	2.64	109.25	109.44	36.38
12	28.5	2628.66	252.35	93.79	36.75	2.55	92.94	91.72	33.74
13	41.1	3468.9	296.13	105.47	42.83	2.46	106.07	103.94	37.81
14	26	2261.55	223.61	79.4	36.89	2.15	66.99	81.13	38.96
15	34.5	2413.2	244.01	87.81	37.03	2.37	86.96	87.85	31.92
16	30	2573.5	239.65	85.86	38.03	2.26	83.55	86.14	32.63

ตาราง ก-2 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและ
สมการถดถอย (150 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
17	48	3840.78	327.34	120.45	41.99	2.87	121.98	121.57	36.49
18	42	3327.85	271.46	99.28	43.16	2.30	98.13	100.35	32.98
19	39	3275.07	287.74	105.48	42.34	2.49	106.08	104.45	34.94
20	34.5	2648.35	251.57	91.17	38.44	2.37	91.19	91.76	32.99
21	49	2903.19	264.46	94.55	38.81	2.44	94.43	95.81	34.47
22	41.4	3297.13	272.49	100.78	43.31	2.33	97.88	101.66	36.29
23	45	3062.2	270.88	101.58	39.05	2.60	101.88	101.01	32.49
24	48	3197.62	301.42	114.82	39.15	2.93	114.4	114.48	31.84
25	33	2787.45	252.56	91.32	39.68	2.30	92.61	92.78	33.09
26	27	2506.44	248.48	89.17	36.93	2.41	90.87	91.49	32.44
27	39	2974.36	267.52	99.57	39.76	2.50	99.7	101.01	33.8
28	39	2944.08	257.01	94.36	41.97	2.25	94.77	94.93	32.8
29	42	2943.86	265.49	95.27	39.78	2.39	94.53	96.75	33.47
30	33	2525.69	251.83	91.76	36.11	2.54	91.54	92.29	31.66
31	33	2495.84	245.09	89.7	34.69	2.59	87.88	88.76	31.27
32	34.65	3186.59	261.51	94.39	45.26	2.09	92.18	93.66	31.86
33	34.5	2442.62	242.04	90.29	34.31	2.63	88.23	88.47	30.82
34	46.5	3680.48	304.78	112.55	42.55	2.65	113.76	114.05	32.86
35	46.5	3792.32	349.69	134.72	36.25	3.72	134.14	136.05	30.26
36	50	3941.37	341.95	127.71	42.44	3.01	129.35	130.89	35.04
37	49.5	3700.81	307.29	113.83	42.77	2.66	113.66	115.02	35.51
38	50	3698.22	334.99	124.64	41.89	2.98	125.36	126.33	34.68
39	57	3360.09	291.96	108	41.65	2.59	108.32	108.04	35.23
40	70.5	4913.58	416.55	161.73	41.38	3.91	158.48	160.32	35.86
41	57.15	4247.49	304.99	108.94	48.23	2.26	109.82	109.64	34.81
42	60	4250.51	337.88	126.4	44.99	2.81	127.23	127.26	38.14
43	51	3444.02	287.19	106.81	42.78	2.50	106.76	104.62	34.65
44	81	5702.76	446.35	171.77	45.39	3.78	172.21	170.73	38.2
45	73.5	4936.72	357.44	134.05	49.65	2.70	133.93	131.7	39.64
46	64.5	3787.99	313.49	117.47	41.85	2.81	118.06	119.01	34.65
47	54	4085.88	332.77	123.02	44.34	2.77	123.67	123.65	37.33
48	70.5	4635.15	345.69	130.23	47.54	2.74	131.16	133.53	35.86
49	67.5	5220.77	410.67	158.66	45.69	3.47	157.15	157.44	35.17
50	64.5	4968.52	419.25	160.36	42.29	3.79	161.98	162.06	35.96
51	75	4737.91	354.25	136.41	45.81	2.98	136.73	139.01	36.89

ตาราง ก-2 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและ
สมการถดถอย (150 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
52	85.5	4795.89	348.87	131.01	49.2	2.66	129.73	131.1	38.97
53	96	5664.04	431.39	164.67	47.2	3.49	166.74	167.66	32.68
54	87	5470.2	424.55	163.97	46.83	3.50	161.18	163.75	36.25
55	91.5	5361.82	359.11	134.36	51.71	2.60	136.5	135.03	42.08
56	72	3850.95	311.65	118.07	43.84	2.69	117.76	119.39	32.82
57	52	4570.04	391.59	150.21	41.73	3.60	150.75	151.35	33.7
58	72	4932.18	358.58	133.89	50.79	2.64	134.79	134.41	40.92
59	76.5	4057.76	322.61	120.52	45.35	2.66	121.99	123.38	37.32
60	70.5	4301.14	324.78	121.3	46.12	2.63	122.42	121.32	36.62
61	78	4977.39	350.62	130.22	48.65	2.68	132.31	130.8	34.49
62	75	4105.57	319.08	117.46	46.13	2.55	118.6	116.95	37.22
63	51.45	4392	322.72	120.9	51.75	2.34	122.12	117.33	35.53
64	69	4918.98	344.21	131.66	48	2.74	131.14	128.99	41.33
65	64.5	4929.8	418.59	162.48	44.75	3.63	161.64	159.75	34.11
66	61.5	4556.41	368.44	144.54	42.78	3.38	145.46	143.8	34.17
67	75	4227.58	329.95	124.47	45.66	2.73	124.8	126.02	34.75
68	63	4697.03	392.63	147.72	42.44	3.48	150.43	151.25	35.4
69	54	3900.7	301.99	112.53	46.53	2.42	114.51	111.38	34.44
70	98.25	5585.29	372.08	135.28	55.44	2.44	136.9	138.44	41.39
71	99	5717.04	398.52	146.32	52.46	2.79	146.24	150.57	45.22
72	172.5	6880.26	430.88	166.79	55.24	3.02	167.51	165.62	43.73
73	139.5	7914.55	473.11	175.91	59.82	2.94	177.9	177.85	51.7
74	120	5972.74	418.86	159.99	51.85	3.09	159.56	161.45	38.63
75	189.6	8608.33	490.44	192.14	54.75	3.51	191.73	192.61	39.5
76	169.5	8720.82	609.35	241.12	54.91	4.39	238.87	230.35	46.12
77	169.5	7769.17	481.75	186.1	58	3.21	185.67	184.73	48.98
78	103.5	5659.71	416.35	149.8	49.6	3.02	150.98	154.71	33.58
79	141	5323.53	369.01	135.82	51.21	2.65	139.11	136.84	39.05
80	165.6	8777.5	463	174.76	64.8	2.70	177.35	170.78	45.73
81	128	7142.02	486.06	183.12	53.29	3.44	184.45	187.29	42.88
82	157	7076.47	452.27	174.78	54.42	3.21	171.8	173.31	46.24
83	109.2	5660.36	383.66	145.28	50.02	2.90	145.63	145.7	34.5
84	118.5	6791.56	458.35	173.71	51.99	3.34	176.19	177.36	43.36
85	162	7595.89	457.49	173.82	56.77	3.06	174.25	171.84	47.34
86	183	8551	503.94	189.72	59.17	3.21	189.91	188.61	45.55

ตาราง ก-2 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและ
สมการถดถอย (150 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
87	116	5916.28	401.84	151.13	53.23	2.84	152.73	152.35	41.46
88	163.05	8285.78	451.16	169.59	65.46	2.59	170.19	172.7	46.25
89	130.5	6749.81	427.86	162.19	56.68	2.86	159.58	163.4	42.28
90	165	8190.16	494.95	186.13	56.07	3.32	189.7	185.49	45.74
91	169.5	9341.7	588.72	241.22	54.22	4.45	239.32	242.48	41.84
92	159	7427.8	461.82	173.36	56.13	3.09	174.65	175.56	43.08
93	120.15	7349.27	471.26	183.01	58.3	3.14	177.73	181.81	44.81
94	170	7565.82	458.04	172.5	57.59	3.00	172.42	173.69	45.82
95	193.5	10039.59	647	261.62	57.18	4.58	257.45	262.13	42.96
96	187.2	8052.57	449.79	174.94	62.19	2.81	173.85	175.64	35.59
97	126.6	6006.92	390.59	146.19	55.57	2.63	146.78	148.71	40.08
98	159	7930.12	485.6	190.79	59.33	3.22	191.65	191.45	47.98
99	127.5	6302	413.73	155.61	53.54	2.91	153.03	155.1	46.86
100	129	6934.34	432.34	167.74	56.41	2.97	162.27	167.82	44.53
101	139.5	6571.34	424.27	159.53	55.74	2.86	165.1	162.47	40.39
102	124.5	5967.33	396.53	148.63	55.48	2.68	150.29	148.57	38.57
103	146	6611.57	427.72	161.95	54.55	2.97	163.56	158.47	42.08
104	194	9212.55	581.34	222.79	58.32	3.82	221.97	221.52	47.95
105	157.5	7684.8	496.72	186.43	57.54	3.24	192.23	189.19	42.7
106	183	8580.42	494.73	183.92	62.47	2.94	186.84	186.02	47.82
107	132	5611.9	384.76	150.21	49.8	3.02	150.79	150.49	35.35
108	118.5	6356.3	443.22	167.77	50.22	3.34	167.49	170.86	43.72
109	106	5744.51	396.41	144.07	51.99	2.77	145.91	146.23	44.75
110	172.5	8026.18	477.34	179.77	59.54	3.02	179.27	178.55	52.21
111	114	5952.41	408.03	150.24	53.65	2.80	152.53	149	43.45
112	237	8717.36	511.75	200.03	58.03	3.45	201.01	201.29	47
113	268.5	10997.3	625.14	247.05	61.25	4.03	244.19	248.21	52.17
114	270	10825.1	629.63	244.54	61.38	3.98	243.05	246.75	54.37
115	340.5	14025.96	745.96	291.09	70.08	4.15	289.59	289.95	54.53
116	277.5	11732.61	577.81	220.02	71.61	3.07	219.86	220.84	57.52
117	250.5	9951.54	556.32	210.16	64.26	3.27	210.64	212.93	57.8
118	244.5	10457.33	609.7	236.89	63.76	3.72	233.62	239.45	50.44
119	267	12572.2	825.1	329.83	56.1	5.88	332.33	323.29	50.45
120	260	12695.73	599.04	237.08	73.47	3.23	236.97	235.39	64.17
121	395	14035.48	674.29	258.6	73.06	3.54	258.55	251.02	52.68

ตาราง ก-2 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพสำหรับทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมและ
สมการถดถอย (150 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาวเส้น ที่ 1 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 2 (มม.)	ความยาวเส้น ที่ 3 (มม.)
122	249	10983.02	600.34	239.71	62.7	3.82	238.09	236.3	50.2
123	204	9183.13	564.43	215.66	58.85	3.66	215.88	216.88	50.36
124	300	12710.87	675.01	265.39	68.27	3.89	257.3	266.55	57.44
125	226.5	10308.49	563.69	212.9	70.14	3.04	212.72	209.92	51.49
126	397.5	15679.83	846.61	340.75	62.44	5.46	343.3	340.28	46.56
127	282	12995.35	684.99	269.83	70.12	3.85	263.41	274.15	52.54
128	288	12007.14	614.64	235.24	69.61	3.38	237.48	233.8	56.76
129	328	13636.56	718.29	284.92	65.94	4.32	288.72	286.53	57.62
130	267	12148.41	671.45	260.4	66.14	3.94	260.5	260.92	53.75
131	223.5	9901.14	592.27	230.93	58.45	3.95	232.77	230.71	45.82
132	231	10513.14	607.43	231.54	64.8	3.57	232.12	235.16	51.93
133	327	12388.97	657.02	258.16	67.61	3.82	260.86	257.07	53.2
134	475.5	18437.21	818.36	324.21	78.48	4.13	319.29	318.78	66.47
135	260	10529.58	609.93	242.57	59.14	4.10	242.21	240.91	47.8
136	334.5	12207.9	710.07	277	67.6	4.10	277.95	273.93	51.87
137	237	11164.52	596.67	239.54	65.53	3.66	238.67	240.85	46.44
138	411	16013.85	771.57	307.19	71.37	4.30	307.93	309.87	53.03
139	256.5	11678.31	665.25	257.38	63.04	4.08	255.53	259.43	48.75
140	343.35	14391.78	678.83	258.91	76.99	3.36	223.55	231.92	57.83
141	204.9	9315.09	490.63	186.65	63.67	2.93	185.66	188.54	40.4
142	252	12290.97	617.42	239.23	65.22	3.67	241.5	240.16	54.45
143	373.5	14204.44	721.38	287.1	71.02	4.04	284.06	287.65	59.15
144	339	13561.49	693.56	273.4	70.32	3.89	273.56	273.83	53.13
145	237	9449.65	587.11	223.1	62.46	3.57	221	221.65	46
146	270	11093.13	598.59	232.18	64.86	3.58	230.57	232.1	54.43
147	210	6731.42	457.79	173.09	52.76	3.28	174.6	173.51	43.43
148	409.5	15953.49	743.57	287.22	73.76	3.89	287.45	282.95	50.54
149	301.5	12198.59	622.54	233.49	69.46	3.36	234.71	230.77	57.78
150	387	13999.35	660.87	253.96	74.5	3.41	251.59	254.08	61.44

ตาราง ก-3 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพชุดทดสอบความสามารถพนักงาน (48 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สายพันธุ์	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาว เส้นที่ 1 (มม.)	ความยาว เส้นที่ 2 (มม.)	ความยาว เส้นที่ 3 (มม.)
1	102	T	5755.54	381.14	143.83	53.48	2.69	143.85	145.35	39.77
2	202	T	8212.87	480.19	181.07	59.61	3.04	184.18	182.23	42.43
3	83	T	5116.06	346.36	124.88	52.86	2.36	122.03	126.35	41.03
4	24	T	2508.82	238.21	83.94	38.03	2.21	81.68	86.09	32.73
5	26	T	2691.40	242.56	86.86	39.84	2.18	86.67	86.81	32.7
6	114	T	5838.40	405.27	152.23	52.29	2.91	151.35	147.67	39.64
7	48	T	3418.50	294.18	109.8	40.69	2.70	109.67	108.71	31.79
8	204	L	10019.90	662.71	257.7	56.4	4.57	260.88	257.85	46.31
9	201	L	10275.61	579.38	227.5	61.32	3.71	229.64	230.54	45.99
10	131	T	7160.84	442.16	168.38	58.77	2.87	167.89	167.61	46.73
11	86	T	5100.49	372.25	135.85	50.58	2.69	137.22	135.75	35.74
12	78	T	5407.90	391.1	142.85	50.1	2.85	145.54	144.58	39.89
13	60	T	4327.96	318.89	118.89	48.98	2.43	119	120.41	35.55
14	288	T	10267.60	522.66	193.62	71.76	2.70	195.49	192.83	50.05
15	263	T	9511.09	506.06	190.31	65.79	2.89	188.19	189.22	52.46
16	345	T	10773.39	543.22	202.41	70.68	2.86	197.81	200.96	49.61
17	51	T	3555.00	285.72	104.01	45.87	2.27	104.16	105.74	33.69
18	26	T	2429.85	236.34	84.51	37.64	2.25	84.32	85.12	31.73
19	24	T	2534.99	232.75	81.52	39.23	2.08	80.83	81.57	32.87
20	125	L	7599.78	509.63	195.57	52.84	3.70	197.31	196.07	33.91
21	104	T	5603.03	386.71	142.19	51.72	2.75	147.13	143.91	38.53
22	162	T	6239.91	402.02	149.96	54.81	2.74	151.76	149.4	41.53
23	85	T	4480.48	334.53	123.04	47.84	2.57	125.75	124.96	38.71
24	41	T	3340.18	285.86	103.46	41.81	2.47	104.94	104.81	34.76
25	90	T	5352.95	362.45	136.85	53.52	2.56	136.57	137.33	38.13
26	150	L	8714.33	540.39	219.25	58.08	3.77	218.76	220.42	48.33
27	221	T	9856.14	504.1	190.19	69.46	2.74	193.21	193.57	52.21
28	161	L	8783.13	527.93	203.9	58.51	3.48	202.37	205.82	40.39
29	72	L	5088.16	395.88	150.64	45.52	3.31	149.32	150.11	34.92
30	210	L	10141.48	553.5	219.79	65.09	3.38	215.21	222.04	49.01
31	60	L	4519.20	372.56	139.52	41.81	3.34	140.46	139.77	35.33
32	218	L	11555.00	620.21	255.42	62.96	4.06	256.71	256.13	47.38
33	205	T	8535.21	495.28	190.76	61.02	3.13	191.07	191.83	48.56
34	42	T	3680.48	294.31	106.35	45.77	2.32	106.43	108.12	35.21
35	219	L	10210.28	580.49	220.61	61.58	3.58	219.49	218.24	50.19
36	153	L	7806.60	526.87	219.75	50.29	4.37	220.32	219.21	42.32

ตาราง ก-3 ข้อมูลน้ำหนักและคุณลักษณะของภาพชุดทดสอบความสามารถพนักงาน (48 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สายพันธุ์	พื้นที่ (ตร.มม.)	เส้นรอบรูป (มม.)	ความยาว (มม.)	ความกว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ความยาว เส้นที่ 1 (มม.)	ความยาว เส้นที่ 2 (มม.)	ความยาว เส้นที่ 3 (มม.)
37	105	T	6306.98	417.24	157.83	54.32	2.91	157.34	157.47	38.84
38	56	L	4449.11	384.89	148.51	41.06	3.62	148.94	150.91	32.9
39	66	L	4563.98	375.17	143.63	44	3.26	143.53	144.37	33.27
40	42	T	3356.19	280.76	103.7	41.72	2.49	104.16	105.11	35.33
41	69	T	4524.18	345.86	126.95	48.56	2.61	128.04	128.44	36.39
42	48	T	3734.56	300.69	106.27	46.43	2.29	108.91	107.07	35.12
43	83	T	5466.09	369.79	139.29	53.14	2.62	138.74	139.43	41.38
44	123	T	6788.53	410.11	152.17	59.12	2.57	155.14	155.83	42.73
45	47	T	3586.37	298.18	106.58	43.95	2.43	106.63	104.31	35.56
46	236	L	9559.98	633.54	251.11	53.54	4.69	248.71	248.48	43.86
47	50	T	3634.18	292.08	106.96	45.01	2.38	106.56	108.41	34.8
48	158	L	8201.84	492.35	182.95	58.9	3.11	184.1	184.59	50.61

หมายเหตุ สัญลักษณ์ T คือหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.duvauceli*

สัญลักษณ์ L คือหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.chinensis*

ภาคผนวก ข

ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอย

ตาราง ข-1 ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรง สมการ (4.1)

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก จริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) กรัม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักจริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่า คลาดเคลื่อน (error) กรัม
1	48.00	44.29	-3.71	32	34.65	35.12	0.47
2	36.00	22.67	-13.33	33	34.50	14.29	-20.21
3	46.00	29.27	-16.73	34	46.50	48.95	2.45
4	33.00	18.08	-14.92	35	46.50	52.08	5.58
5	37.50	29.18	-8.32	36	50.00	56.25	6.25
6	44.00	21.78	-22.22	37	49.50	49.51	0.01
7	36.00	17.20	-18.80	38	50.00	49.44	-0.56
8	35.25	33.77	-1.48	39	57.00	39.97	-17.03
9	28.50	20.95	-7.55	40	70.50	83.47	12.97
10	34.65	31.16	-3.49	41	57.15	64.82	7.67
11	43.50	36.66	-6.84	42	60.00	64.91	4.91
12	28.50	19.49	-9.01	43	51.00	42.32	-8.68
13	41.10	43.02	1.92	44	81.00	105.57	24.57
14	26.00	9.22	-16.78	45	73.50	84.12	10.62
15	34.50	13.46	-21.04	46	64.50	51.96	-12.54
16	30.00	17.95	-12.05	47	54.00	60.30	6.30
17	48.00	53.43	5.43	48	70.50	75.68	5.18
18	42.00	39.07	-2.93	49	67.50	92.07	24.57
19	39.00	37.59	-1.41	50	64.50	85.01	20.51
20	34.50	20.05	-14.45	51	75.00	78.55	3.55
21	49.00	27.18	-21.82	52	85.50	80.18	-5.32
22	41.40	38.21	-3.19	53	96.00	104.49	8.49
23	45.00	31.63	-13.37	54	87.00	99.06	12.06
24	48.00	35.43	-12.57	55	91.50	96.02	4.52
25	33.00	23.94	-9.06	56	72.00	53.72	-18.28
26	27.00	16.07	-10.93	57	52.00	73.85	21.85
27	39.00	29.17	-9.83	58	72.00	83.99	11.99
28	39.00	28.33	-10.67	59	76.50	59.51	-16.99
29	42.00	28.32	-13.68	60	70.50	66.32	-4.18
30	33.00	16.61	-16.39	61	78.00	85.26	7.26
31	33.00	15.78	-17.22	62	75.00	60.85	-14.15

ตาราง ข-1 ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรง สมการ (4.1)

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก จริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) กรัม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักจริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่า คลาดเคลื่อน (error) กรัม
63	51.45	68.87	17.42	99	127.50	122.35	-5.15
64	69.00	83.62	14.62	100	129.00	140.05	11.05
65	64.50	83.93	19.43	101	139.50	129.89	-9.61
66	61.50	73.47	11.97	102	124.50	112.98	-11.52
67	75.00	64.26	-10.74	103	146.00	131.02	-14.98
68	63.00	77.41	14.41	104	194.00	203.84	9.84
69	54.00	55.11	1.11	105	157.50	161.07	3.57
70	98.25	102.28	4.03	106	183.00	186.14	3.14
71	99.00	105.97	6.97	107	132.00	103.03	-28.97
72	172.50	138.54	-33.96	108	118.50	123.87	5.37
73	139.50	167.50	28.00	109	106.00	106.74	0.74
74	120.00	113.13	-6.87	110	172.50	170.63	-1.87
75	189.60	186.93	-2.67	111	114.00	112.56	-1.44
76	169.50	190.07	20.57	112	237.00	189.98	-47.02
77	169.50	163.43	-6.07	113	268.50	253.82	-14.68
78	103.50	104.36	0.86	114	270.00	248.99	-21.01
79	141.00	94.95	-46.05	115	340.50	338.62	-1.88
80	165.60	191.66	26.06	116	277.50	274.41	-3.09
81	128.00	145.87	17.87	117	250.50	224.54	-25.96
82	157.00	144.03	-12.97	118	244.50	238.70	-5.80
83	109.20	104.38	-4.82	119	267.00	297.91	30.91
84	118.50	136.06	17.56	120	260.00	301.37	41.37
85	162.00	158.58	-3.42	121	395.00	338.89	-56.11
86	183.00	185.32	2.32	122	249.00	253.42	4.42
87	116.00	111.55	-4.45	123	204.00	203.02	-0.98
88	163.05	177.89	14.84	124	300.00	301.80	1.80
89	130.50	134.89	4.39	125	226.50	234.53	8.03
90	165.00	175.22	10.22	126	397.50	384.93	-12.57
91	169.50	207.46	37.96	127	282.00	309.76	27.76
92	159.00	153.87	-5.13	128	288.00	282.09	-5.91
93	120.15	151.67	31.52	129	328.00	327.72	-0.28
94	170.00	157.73	-12.27	130	267.00	286.05	19.05
95	193.50	227.00	33.50	131	223.50	223.12	-0.38
96	187.20	171.36	-15.84	132	231.00	240.26	9.26
97	126.60	114.09	-12.51	133	327.00	292.78	-34.22
98	159.00	167.94	8.94	134	475.50	462.13	-13.37

ตาราง ข-1 ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรง สมการ (4.1)

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก จริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) กรัม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักจริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่า คลาดเคลื่อน (error) กรัม
135	260.00	240.72	-19.28	143	373.50	343.62	-29.88
136	334.50	287.71	-46.79	144	339.00	325.61	-13.39
137	237.00	258.50	21.50	145	237.00	210.48	-26.52
138	411.00	394.28	-16.72	146	270.00	256.50	-13.50
139	256.50	272.88	16.38	147	210.00	134.37	-75.63
140	343.35	348.86	5.51	148	409.50	392.59	-16.91
141	204.90	206.71	1.81	149	301.50	287.45	-14.05
142	252.00	290.04	38.04	150	387.00	337.87	-49.13

ตาราง ข-2 ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง สมการ (4.2)

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก จริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) กรัม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักจริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่า คลาดเคลื่อน (error) กรัม
1	48.00	49.26	1.26	23	45.00	38.62	-6.38
2	36.00	31.22	-4.78	24	48.00	41.78	-6.22
3	46.00	36.66	-9.34	25	33.00	32.26	-0.74
4	33.00	27.46	-5.54	26	27.00	25.84	-1.16
5	37.50	36.58	-0.92	27	39.00	36.57	-2.43
6	44.00	30.49	-13.51	28	39.00	35.87	-3.13
7	36.00	26.76	-9.24	29	42.00	35.87	-6.13
8	35.25	40.40	5.15	30	33.00	26.27	-6.73
9	28.50	29.81	1.31	31	33.00	25.60	-7.40
10	34.65	38.22	3.57	32	34.65	41.52	6.87
11	43.50	42.81	-0.69	33	34.50	24.39	-10.11
12	28.50	28.62	0.12	34	46.50	53.23	6.73
13	41.10	48.18	7.08	35	46.50	55.91	9.41
14	26.00	20.31	-5.69	36	50.00	59.51	9.51
15	34.50	23.73	-10.77	37	49.50	53.71	4.21
16	30.00	27.36	-2.64	38	50.00	53.65	3.65
17	48.00	57.08	9.08	39	57.00	45.60	-11.40
18	42.00	44.84	2.84	40	70.50	83.59	13.09
19	39.00	43.60	4.60	41	57.15	66.98	9.83
20	34.50	29.07	-5.43	42	60.00	67.06	7.06
21	49.00	34.93	-14.07	43	51.00	47.59	-3.41
22	41.40	44.12	2.72	44	81.00	103.88	22.88

ตาราง ข-2 ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง สมการ (4.2)

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก จริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) กรัม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักจริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่า คลาดเคลื่อน (error) กรัม
45	73.50	84.17	10.67	81	128.00	142.61	14.61
46	64.50	55.81	-8.69	82	157.00	140.80	-16.20
47	54.00	63.03	9.03	83	109.20	102.77	-6.43
48	70.50	76.59	6.09	84	118.50	132.97	14.47
49	67.50	91.41	23.91	85	162.00	155.29	-6.71
50	64.50	84.98	20.48	86	183.00	182.69	-0.31
51	75.00	79.16	4.16	87	116.00	109.48	-6.52
52	85.50	80.62	-4.88	88	163.05	174.98	11.93
53	96.00	102.87	6.87	89	130.50	131.84	1.34
54	87.00	97.83	10.83	90	165.00	172.22	7.22
55	91.50	95.03	3.53	91	169.50	206.11	36.61
56	72.00	57.33	-14.67	92	159.00	150.57	-8.43
57	52.00	74.97	22.97	93	120.15	148.37	28.22
58	72.00	84.06	12.06	94	170.00	154.44	-15.56
59	76.50	62.34	-14.16	95	193.50	227.35	33.85
60	70.50	68.30	-2.20	96	187.20	168.27	-18.93
61	78.00	85.20	7.20	97	126.60	111.88	-14.72
62	75.00	63.51	-11.49	98	159.00	164.76	5.76
63	51.45	70.55	19.10	99	127.50	119.73	-7.77
64	69.00	83.73	14.73	100	129.00	136.88	7.88
65	64.50	84.00	19.50	101	139.50	126.99	-12.51
66	61.50	74.63	13.13	102	124.50	110.83	-13.67
67	75.00	66.49	-8.51	103	146.00	128.08	-17.92
68	63.00	78.14	15.14	104	194.00	202.24	8.24
69	54.00	58.53	4.53	105	157.50	157.80	0.30
70	98.25	100.82	2.57	106	183.00	183.55	0.55
71	99.00	104.25	5.25	107	132.00	101.51	-30.49
72	172.50	135.40	-37.10	108	118.50	121.19	2.69
73	139.50	164.32	24.82	109	106.00	104.97	-1.03
74	120.00	110.98	-9.02	110	172.50	167.51	-4.99
75	189.60	184.36	-5.24	111	114.00	110.44	-3.56
76	169.50	187.66	18.16	112	237.00	187.56	-49.44
77	169.50	160.19	-9.31	113	268.50	257.34	-11.16
78	103.50	102.76	-0.74	114	270.00	251.87	-18.13
79	141.00	94.05	-46.95	115	340.50	358.69	18.19
80	165.60	189.33	23.73	116	277.50	281.04	3.54

ตาราง ข-2 ผลการประมาณค่าน้ำหนักด้วยสมการถดถอยแบบเส้นโค้งโพลีโนเมียลกำลังสอง สมการ (4.2)

ตัวอย่างที่	น้ำหนัก จริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่าคลาดเคลื่อน (error) กรัม	ตัวอย่างที่	น้ำหนักจริง (กรัม)	น้ำหนัก ประมาณ (กรัม)	ค่า คลาดเคลื่อน (error) กรัม
117	250.50	224.64	-25.86	134	475.50	523.95	48.45
118	244.50	240.31	-4.19	135	260.00	242.57	-17.43
119	267.00	308.81	41.81	136	334.50	296.67	-37.83
120	260.00	312.96	52.96	137	237.00	262.68	25.68
121	395.00	359.02	-35.98	138	411.00	430.57	19.57
122	249.00	256.89	7.89	139	256.50	279.27	22.77
123	204.00	201.36	-2.64	140	343.35	371.60	28.25
124	300.00	313.47	13.47	141	204.90	205.31	0.41
125	226.50	235.67	9.17	142	252.00	299.42	47.42
126	397.50	418.20	20.70	143	373.50	364.97	-8.53
127	282.00	323.09	41.09	144	339.00	342.50	3.50
128	288.00	290.04	2.04	145	237.00	209.36	-27.64
129	328.00	345.10	17.10	146	270.00	260.40	-9.60
130	267.00	294.70	27.70	147	210.00	131.33	-78.67
131	223.50	223.09	-0.41	148	409.50	428.33	18.83
132	231.00	242.05	11.05	149	301.50	296.36	-5.14
133	327.00	302.68	-24.32	150	387.00	357.75	-29.25

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบเมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (max_fail)

จากการทดลองปรับค่า max_fail จากค่าเริ่มต้นเท่ากับ 6 (default) เป็น 10, 20, 100, 1000, 2000, 5000 และ 10000 โดยพิจารณาโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตมีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin และมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเท่ากับ 10 ได้ผลดังตาราง ค-1 จะเห็นว่าค่า performance หรือค่า MSE ลดลงเมื่อดังค่า max_fails สูงขึ้นและเวลาในการฝึกสอนโครงข่ายเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องในการตัดแยกเฉลี่ยพบว่า การกำหนดค่า max_fail มากเกินไปก็ไม่ทำให้ได้ค่าความถูกต้องในการตัดแยกเพิ่มสูงขึ้นแสดงดังตาราง ค-2 และสามารถดูผลการตัดแยกแต่ละขนาดของโครงข่ายที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin และ logsig-purelin ได้ดังตาราง ค-3 และ ค-4 ตามลำดับ

ตาราง ค-1 ผลการฝึกสอนโครงข่าย เวลา ประสิทธิภาพ (หรือ MSE) ของโครงข่ายชนิด 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่ค่า max_fail ต่างกัน (285 ตัวอย่าง)

max_fail	ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin		ฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin		Validation checks
	Time (second)	Performance	Time (second)	Performance	
6	0.02	121	0	94.2	6
10	0.01	63.7	0	82.5	10
20	0.01	55.8	0.01	55.2	20
100	0.04	41.2	0.05	34.5	100
1000	0.37	23.7	0.33	16.1	1000
2000	1.13	25.7	1.18	15.7	2000
5000	3.26	18.9	3.17	16.4	5000
10000	6.33	16.7	5.52	14.9	10000

ตาราง ค-2 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องเฉลี่ยในการคัดแยกของโครงข่ายชนิด 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่ค่า max_fail ต่างกัน (150 ตัวอย่าง)

max_fail	ค่าความถูกต้องเฉลี่ยโครงข่ายที่มี 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุต (%)	
	ฟังก์ชันถ่ายโอน tansig-purelin	ฟังก์ชันถ่ายโอน logsig-purelin
6	88.67	92.67
10	86.67	90.00
20	90.00	90.67
100	90.67	84.00
1000	88.67	90.00
2000	86.67	88.00
5000	90.00	92.00
10000	91.33	90.00

ตาราง ค-3 ผลการคัดแยกโครงข่ายชนิด 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin ที่ค่า max_fail ต่างกัน (150 ตัวอย่าง)

max_fail	ขนาด	<25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
6	U21/40(35)	1	30	4	0	0	85.71	88.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	3	35	4	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
10	U21/40(35)	1	31	3	0	0	88.57	86.67
	U11/20(34)	0	2	29	3	0	85.29	
	U/10 (42)	0	0	2	34	6	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	
20	U21/40(35)	0	31	4	0	0	88.57	90.00
	U11/20(34)	0	1	32	1	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	1	34	7	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	

ตาราง ค-3 ผลการคัดแยกโครงข่ายชนิด 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด tansig-purelin ที่ค่า max_fail ต่างกัน (150 ตัวอย่าง)

100	U21/40(35)	0	30	5	0	0	85.71	90.67
	U11/20(34)	0	1	33	0	0	97.06	
	U/10 (42)	0	0	2	36	4	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
1000	U21/40(35)	1	30	4	0	0	85.71	88.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	3	35	4	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
2000	U21/40(35)	1	31	3	0	0	88.57	86.67
	U11/20(34)	0	2	29	3	0	85.29	
	U/10 (42)	0	0	2	34	6	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	
5000	U21/40(35)	1	31	4	0	0	88.57	90.00
	U11/20(34)	0	1	32	1	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	1	34	7	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	1	38	97.44	
10000	U21/40(35)	1	31	3	0	0	88.57	91.33
	U11/20(34)	0	1	33	0	0	97.06	
	U/10 (42)	0	0	2	36	4	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	

ตาราง ค-4 ผลการคัดแยกโครงข่ายชนิด 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin ที่ค่า max_fail ต่างกัน (150 ตัวอย่าง)

max_fail	ขนาด	<25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
6	U21/40(35)	0	33	2	0	0	94.29	92.67
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	1	37	4	88.10	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
10	U21/40(35)	0	31	4	0	0	88.57	90.00
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
20	U21/40(35)	0	33	2	0	0	94.29	90.67
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
100	U21/40(35)	0	28	4	0	0	80.00	84.00
	U11/20(34)	0	6	28	0	0	82.35	
	U/10 (42)	0	0	3	34	5	80.95	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	
1000	U21/40(35)	1	30	4	0	0	85.71	90.00
	U11/20(34)	0	1	33	0	0	97.06	
	U/10 (42)	0	0	2	36	4	85.71	
	U/5(39)	0	0	0	3	36	92.31	
2000	U21/40(35)	1	31	3	0	0	88.57	88.00
	U11/20(34)	0	2	31	1	0	91.18	
	U/10 (42)	0	0	1	35	6	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	4	35	89.74	

ตาราง ค-4 ผลการคัดแยกโครงข่ายชนิด 8 อินพุต และ 1 เอาต์พุตที่มีฟังก์ชันถ่ายโอนชนิด logsig-purelin ที่ค่า max_fail ต่างกัน (150 ตัวอย่าง)

max_fail	ขนาด	<25 กรัม	U21/40	U11/20	U/10	U/5	ความ ถูกต้อง (%)	ความ ถูกต้อง เฉลี่ย (%)
5000	U21/40(35)	0	32	3	0	0	91.43	92.00
	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	
	U/10 (42)	0	0	3	37	2	88.10	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	
	U21/40(35)	0	31	4	0	0	88.57	
10000	U11/20(34)	0	2	32	0	0	94.12	90.00
	U/10 (42)	0	0	2	35	5	83.33	
	U/5(39)	0	0	0	2	37	94.87	

ภาคผนวก ง

ผลการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยลอกขาวของพนักงาน

ตาราง ง-1 ผลการคัดแยกสายพันธุ์หมึกกล้วยลอกขาว

ตัวอย่างที่	พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			พนักงานคนที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	T	T	T	T	T	T	T	T	T
2	T	T	T	T	T	T	T	T	T
3	T	T	T	T	T	T	T	T	T
4	T	T	T	T	T	T	T	T	T
5	T	T	T	T	T	T	T	T	T
6	T	T	T	T	T	T	T	T	T
7	T	T	T	T	T	T	T	T	T
8	L	T	L	L	T	L	L	L	L
9	L	T	T	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T	T	T	T
11	T	T	T	T	T	T	T	T	T
12	T	T	T	T	T	T	T	T	T
13	T	T	T	T	T	T	T	T	T
14	T	T	T	L	T	T	T	T	T
15	T	T	T	T	T	T	T	T	T
16	T	T	T	T	T	T	T	T	T
17	T	T	T	T	T	T	T	T	T
18	T	T	T	T	T	T	T	T	T
19	T	T	T	T	T	T	T	T	T
20	L	T	L	T	L	L	L	L	L
21	T	T	T	T	T	T	T	T	T
22	T	T	T	T	T	T	T	T	T
23	T	T	T	T	T	T	T	T	T
24	T	L	T	T	T	T	T	T	T
25	T	T	T	T	T	T	T	T	T
26	L	T	L	L	T	L	L	L	L
27	T	T	T	T	T	T	T	T	T
28	T	T	T	T	T	T	T	T	T
29	L	T	L	L	L	L	L	L	L
30	T	T	T	T	T	T	T	T	T
31	L	T	L	L	L	L	L	L	L

ตาราง ง-2 ผลการคัดแยกขนาดหมึกกล้วยลอกขาว

ตัวอย่าง ที่	พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			พนักงานคนที่ 3		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
14	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10	U/5
15	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5
16	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5
17	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
18	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
19	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
20	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10
21	U11/20	U/10	U11/20	U/10	U/10	U11/20	U/10	U/10	U11/20
22	U11/20	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10
23	U11/20	U11/20	U21/40	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20
24	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
25	U11/20	U/10	U11/20	U/10	U11/20	U11/20	U/10	U11/20	U11/20
26	U/10	U/5	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10
27	U/10	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5
28	U/5	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10
29	U/10	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20
30	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5
31	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20
32	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5
33	U/10	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10
34	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U11/20	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
35	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5	U/5
36	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/5
37	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10	U/10
38	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20
39	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20
40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
41	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20	U11/20
42	U21/40	U11/20	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40
43	U11/20	U/10	U11/20	U11/20	U11/20	U/10	U/10	U11/20	U11/20
44	U/10	U/10	U/10	U/5	U/5	U/5	U/10	U/10	U/10
45	U11/20	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U21/40	U11/20	U11/20	U21/40
46	U/10	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10
47	U21/40	U11/20	U21/40	U11/20	U21/40	U21/40	U11/20	U21/40	U21/40
48	U/5	U/5	U/10	U/5	U/5	U/10	U/10	U/5	U/10

ตาราง ง-3 ผลการวิเคราะห์การคัดแยกสายพันธุ์หมึกกล้วยลอกขาว

ตัวอย่างที่	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	โดยรวม	ตัวอย่างที่	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	โดยรวม
1	Y	Y	Y	Y	25	Y	Y	Y	Y
2	Y	Y	Y	Y	26	N	N	Y	N
3	Y	Y	Y	Y	27	Y	Y	Y	Y
4	Y	Y	Y	Y	28	Y	Y	Y	Y
5	Y	Y	Y	Y	29	N	Y	Y	N
6	Y	Y	Y	Y	30	Y	Y	Y	Y
7	Y	Y	Y	Y	31	N	Y	Y	N
8	N	N	Y	N	32	N	N	N	N
9	N	Y	Y	N	33	Y	Y	Y	Y
10	Y	Y	Y	Y	34	Y	Y	Y	Y
11	Y	Y	Y	Y	35	N	Y	Y	N
12	Y	Y	Y	Y	36	N	Y	Y	N
13	Y	Y	Y	Y	37	Y	Y	Y	Y
14	Y	N	Y	N	38	Y	Y	Y	Y
15	Y	Y	Y	Y	39	N	Y	Y	N
16	Y	Y	Y	Y	40	Y	Y	Y	Y
17	Y	Y	Y	Y	41	Y	Y	Y	Y
18	Y	Y	Y	Y	42	Y	Y	Y	Y
19	Y	Y	Y	Y	43	Y	Y	Y	Y
20	N	N	Y	N	44	Y	Y	Y	Y
21	Y	Y	Y	Y	45	Y	Y	Y	Y
22	Y	Y	Y	Y	46	N	Y	Y	N
23	Y	Y	Y	Y	47	Y	Y	Y	Y
24	N	Y	Y	N	48	Y	Y	Y	Y

หมายเหตุ สัญลักษณ์ Y-Yes คือการคัดแยกที่ได้ผลเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง

สัญลักษณ์ N-No คือการคัดแยกที่ให้ผลไม่เหมือนกันเพียง 1 ครั้ง

ตาราง ง-4 ผลการวิเคราะห์การคัดขนาดหมึกกล้วยลอกขาว

ตัวอย่างที่	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	โดยรวม
1	N	N	Y	N
2	N	N	N	N
3	Y	Y	Y	Y
4	Y	Y	Y	Y
5	Y	Y	Y	Y
6	Y	N	N	N
7	Y	Y	N	N
8	N	N	N	N
9	N	N	N	N
10	Y	Y	Y	Y
11	Y	Y	Y	Y
12	Y	N	N	N
13	Y	Y	N	N
14	N	N	N	N
15	Y	Y	Y	Y
16	Y	Y	Y	Y
17	Y	Y	Y	Y
18	Y	Y	Y	Y
19	Y	Y	Y	Y
20	Y	Y	Y	Y
21	N	N	N	N
22	N	Y	Y	N
23	N	Y	Y	N
24	Y	Y	Y	Y

ตัวอย่างที่	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	โดยรวม
25	N	N	N	N
26	N	Y	Y	N
27	N	Y	Y	N
28	N	N	N	N
29	N	Y	Y	N
30	Y	Y	Y	Y
31	Y	Y	Y	Y
32	Y	Y	Y	Y
33	N	N	N	N
34	Y	N	Y	N
35	Y	Y	Y	Y
36	Y	Y	N	N
37	Y	Y	Y	Y
38	Y	Y	Y	Y
39	Y	Y	Y	Y
40	Y	Y	Y	Y
41	Y	Y	Y	Y
42	N	Y	Y	N
43	N	N	N	N
44	Y	Y	Y	N
45	N	Y	N	N
46	N	N	N	N
47	N	N	N	N
48	N	N	N	N

หมายเหตุ สัญลักษณ์ Y-Yes คือการคัดแยกที่ได้ผลเหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง

สัญลักษณ์ N-No คือการคัดแยกที่ให้ผลไม่เหมือนกันเพียง 1 ครั้ง

ตาราง ง-5 ผลการคัดแยกโดยผู้เชี่ยวชาญ (มาตรฐาน)

ตัวอย่างที่	มาตรฐาน	
	shape	size
1	T	U/10
2	T	U/5
3	T	U11/20
4	T	U21/40
5	T	U21/40
6	T	U/10
7	T	U21/40
8	L	U/5
9	L	U/5
10	T	U/10
11	T	U11/20
12	T	U11/20
13	T	U11/20
14	T	U/5
15	T	U/5
16	T	U/5
17	T	U21/40
18	T	U21/40
19	T	U21/40
20	L	U/10
21	T	U/10
22	T	U/10
23	T	U11/20
24	T	U21/40

ตัวอย่างที่	มาตรฐาน	
	shape	size
25	T	U11/20
26	L	U/10
27	T	U/5
28	L	U/10
29	L	U11/20
30	L	U/5
31	L	U11/20
32	L	U/5
33	T	U/5
34	T	U21/40
35	L	U/5
36	L	U/10
37	T	U/10
38	L	U11/20
39	L	U11/20
40	T	U21/40
41	T	U11/20
42	T	U21/40
43	T	U11/20
44	T	U/10
45	T	U21/40
46	L	U/5
47	T	U21/40
48	L	U/10

หมายเหตุ สัญลักษณ์ T คือหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.duvauceli*

สัญลักษณ์ L คือหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.chinensis*

ภาคผนวก จ

ผลการตรวจสอบคุณภาพของหมึกกล้วยลอกขาวของพนักงานโดยโปรแกรม Minitab 16

1. ผลการวิเคราะห์สำหรับการคัดแยกขนาดของพนักงาน

Results for: Worksheet 2**Within Appraisers**

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	48	28	58.33	(43.21, 72.39)
2	48	32	66.67	(51.59, 79.60)
3	48	30	62.50	(47.35, 76.05)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	U/10	0.437363	0.0833333	5.2484	0.0000
	U/5	0.598214	0.0833333	7.1786	0.0000
	U11/20	0.648352	0.0833333	7.7802	0.0000
	U21/40	0.845989	0.0833333	10.1519	0.0000
	Overall	0.628722	0.0482324	13.0353	0.0000
2	U/10	0.490781	0.0833333	5.8894	0.0000
	U/5	0.703704	0.0833333	8.4444	0.0000
	U11/20	0.709017	0.0833333	8.5082	0.0000
	U21/40	0.922995	0.0833333	11.0759	0.0000
	Overall	0.703589	0.0481316	14.6180	0.0000
3	U/10	0.522614	0.0833333	6.2714	0.0000
	U/5	0.646192	0.0833333	7.7543	0.0000
	U11/20	0.678252	0.0833333	8.1390	0.0000
	U21/40	0.839286	0.0833333	10.0714	0.0000
	Overall	0.665505	0.0482774	13.7850	0.0000

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	48	28	58.33	(43.21, 72.39)
2	48	31	64.58	(49.46, 77.84)
3	48	30	62.50	(47.35, 76.05)

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

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	U/10	0.616389	0.0833333	7.3967	0.0000
	U/5	0.730354	0.0833333	8.7642	0.0000
	U11/20	0.803006	0.0833333	9.6361	0.0000
	U21/40	0.923601	0.0833333	11.0832	0.0000
	Overall	0.768075	0.0482171	15.9295	0.0000
2	U/10	0.616254	0.0833333	7.3951	0.0000
	U/5	0.735772	0.0833333	8.8293	0.0000
	U11/20	0.835456	0.0833333	10.0255	0.0000
	U21/40	0.961882	0.0833333	11.5426	0.0000
	Overall	0.786750	0.0481772	16.3303	0.0000
3	U/10	0.697979	0.0833333	8.3757	0.0000
	U/5	0.785090	0.0833333	9.4211	0.0000
	U11/20	0.781522	0.0833333	9.3783	0.0000
	U21/40	0.882952	0.0833333	10.5954	0.0000
	Overall	0.786680	0.0481947	16.3230	0.0000

Between Appraisers

Assessment Agreement

```
# Inspected # Matched Percent 95% CI
          48          21  43.75 (29.48, 58.82)
```

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
U/10	0.536996	0.0240563	22.3225	0.0000
U/5	0.683408	0.0240563	28.4087	0.0000
U11/20	0.699106	0.0240563	29.0613	0.0000
U21/40	0.866627	0.0240563	36.0250	0.0000
Overall	0.692396	0.0139117	49.7707	0.0000

All Appraisers vs Standard

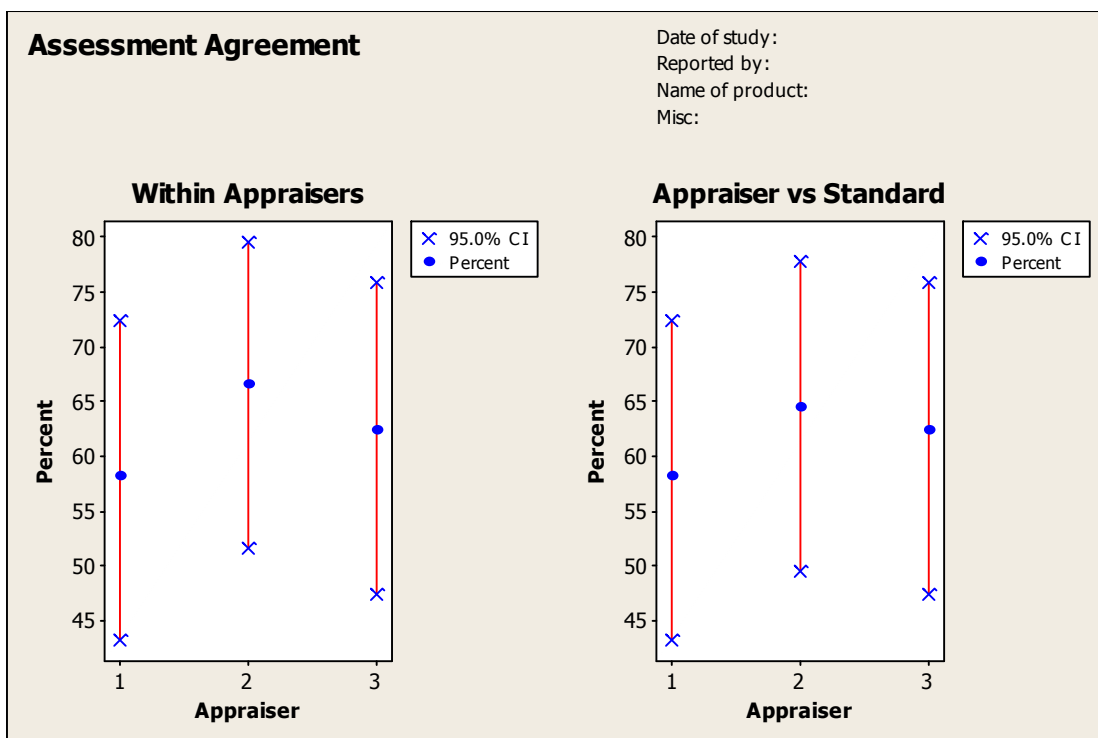
Assessment Agreement

```
# Inspected # Matched Percent 95% CI
          48          21  43.75 (29.48, 58.82)
```

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

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
U/10	0.643541	0.0481125	13.3757	0.0000
U/5	0.750405	0.0481125	15.5969	0.0000
U11/20	0.806661	0.0481125	16.7661	0.0000
U21/40	0.922812	0.0481125	19.1803	0.0000
Overall	0.780502	0.0278262	28.0492	0.0000



2. ผลการวิเคราะห์สำหรับการคัดแยกสายพันธุ์ของพนักงาน

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	48	36	75.00	(60.40, 86.36)
2	48	43	89.58	(77.34, 96.53)
3	48	47	97.92	(88.93, 99.95)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	L	0.379087	0.0833333	4.5490	0.0000
	T	0.379087	0.0833333	4.5490	0.0000
2	L	0.772080	0.0833333	9.2650	0.0000
	T	0.772080	0.0833333	9.2650	0.0000
3	L	0.955665	0.0833333	11.4680	0.0000
	T	0.955665	0.0833333	11.4680	0.0000

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	48	33	68.75	(53.75, 81.34)
2	48	38	79.17	(65.01, 89.53)
3	48	42	87.50	(74.75, 95.27)

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

Assessment Disagreement

Appraiser	# T / L	Percent	# L / T	Percent	# Mixed	Percent
1	3	20.00	0	0.00	12	25.00
2	5	33.33	0	0.00	5	10.42
3	5	33.33	0	0.00	1	2.08

T / L: Assessments across trials = T / standard = L.

L / T: Assessments across trials = L / standard = T.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
1	L	0.479950	0.0833333	5.75940	0.0000
	T	0.479950	0.0833333	5.75940	0.0000
2	L	0.626414	0.0833333	7.51697	0.0000
	T	0.626414	0.0833333	7.51697	0.0000
3	L	0.687637	0.0833333	8.25164	0.0000
	T	0.687637	0.0833333	8.25164	0.0000

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
48	35	72.92	(58.15, 84.72)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
L	0.737940	0.0240563	30.6756	0.0000
T	0.737940	0.0240563	30.6756	0.0000

All Appraisers vs Standard

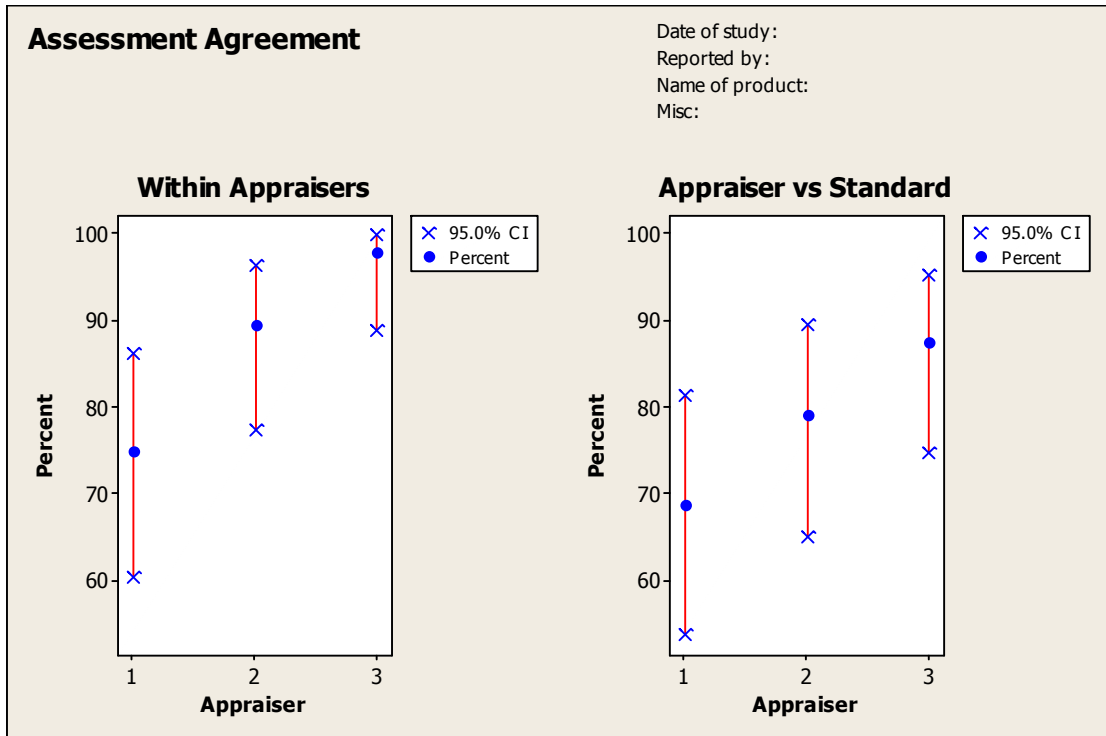
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
48	32	66.67	(51.59, 79.60)

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

Fleiss' Kappa Statistics

Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
L	0.598000	0.0481125	12.4292	0.0000
T	0.598000	0.0481125	12.4292	0.0000



ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพ

ตาราง ฉ-1 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการฝึกสอน (230 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
1	46.50	T	101.76	43.85	2.32	31	138.00	T	165.30	57.20	2.89
2	30.00	T	79.46	36.17	2.20	32	142.00	T	173.64	51.82	3.35
3	122.00	T	164.89	51.30	3.21	33	139.50	T	159.92	55.12	2.90
4	250.50	T	210.51	63.40	3.32	34	45.00	T	100.46	46.03	2.18
5	118.50	T	158.14	52.24	3.03	35	133.50	T	169.59	55.31	3.07
6	237.00	T	174.79	56.24	3.11	36	38.00	T	91.70	33.81	2.71
7	46.00	T	98.45	38.89	2.53	37	252.00	T	236.19	64.02	3.69
8	193.50	T	180.43	59.60	3.03	38	50.00	T	124.15	41.33	3.00
9	31.00	T	90.40	35.84	2.52	39	114.00	T	156.30	54.81	2.85
10	49.50	T	112.93	40.24	2.81	40	144.00	T	171.90	53.31	3.22
11	204.00	T	223.87	60.53	3.70	41	168.00	T	182.45	56.88	3.21
12	33.00	T	88.39	34.81	2.54	42	34.50	T	89.85	34.46	2.61
13	42.00	T	94.46	34.97	2.70	43	63.00	T	107.21	42.06	2.55
14	48.00	T	102.15	41.19	2.48	44	132.00	T	169.81	51.54	3.29
15	226.50	T	213.30	61.00	3.50	45	31.50	T	88.94	36.91	2.41
16	30.00	T	93.15	41.10	2.27	46	146.00	T	159.53	53.38	2.99
17	139.00	T	175.34	51.60	3.40	47	395.00	T	254.39	72.41	3.51
18	119.00	T	162.57	54.13	3.00	48	149.00	T	164.74	53.90	3.06
19	210.00	T	172.39	52.26	3.30	49	186.00	T	183.12	62.22	2.94
20	159.00	T	187.50	58.08	3.23	50	157.00	T	171.32	53.48	3.20
21	54.00	T	122.03	43.93	2.78	51	213.00	T	163.83	51.97	3.15
22	258.00	T	187.54	57.25	3.28	52	260.00	T	233.57	72.61	3.22
23	30.00	T	80.33	36.53	2.20	53	284.00	T	229.73	63.83	3.60
24	42.00	T	102.51	43.99	2.33	54	288.00	T	199.41	64.93	3.07
25	170.00	T	184.12	60.84	3.03	55	60.00	T	116.76	44.50	2.62
26	208.50	T	198.65	64.00	3.10	56	39.00	T	104.09	41.90	2.48
27	60.00	T	126.62	46.46	2.73	57	40.50	T	100.34	40.67	2.47
28	159.00	T	171.62	55.19	3.11	58	34.00	T	86.48	32.90	2.63
29	27.00	T	88.53	37.04	2.39	59	45.00	T	103.56	41.18	2.51
30	301.50	T	230.61	68.32	3.38	60	73.50	T	130.94	47.49	2.76

ตาราง ฉ-1 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการฝึกสอน (230 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
61	120.00	T	157.75	51.49	3.06	97	125.00	T	144.39	55.00	2.63
62	30.00	T	81.55	32.97	2.47	98	243.00	T	193.83	63.34	3.06
63	42.00	T	95.15	38.86	2.45	99	220.50	T	167.91	52.66	3.19
64	288.00	T	231.80	68.24	3.40	100	156.00	T	181.78	54.68	3.32
65	135.00	T	164.08	54.09	3.03	101	33.00	T	91.74	35.68	2.57
66	70.50	T	127.25	44.67	2.85	102	64.50	T	121.15	44.4	2.73
67	136.00	T	151.72	56.25	2.70	103	39.00	T	95.62	39.33	2.43
68	25.50	T	81.64	32.92	2.48	104	36.00	T	96.45	36.63	2.63
69	136.00	T	164.38	53.18	3.09	105	60.00	T	119.61	46.59	2.57
70	126.00	T	157.15	53.14	2.96	106	39.00	T	99.32	38.66	2.57
71	151.50	T	177.94	57.58	3.09	107	237.00	T	235.9	64.69	3.65
72	42.00	T	90.67	37.74	2.40	108	36.00	T	101.16	39.5	2.56
73	44.00	T	93.38	36.07	2.59	109	93.00	T	145.18	50.97	2.85
74	85.50	T	136.77	46.16	2.96	110	106.50	T	151.19	51.22	2.95
75	116.00	T	148.77	52.03	2.86	111	34.50	T	92.7	40.98	2.26
76	46.50	T	112.26	41.80	2.69	112	166.50	T	167.83	57.65	2.91
77	37.50	T	97.37	37.56	2.59	113	129.00	T	171.71	52.03	3.30
78	280.00	T	222.46	64.65	3.44	114	112.50	T	153.51	52.19	2.94
79	160.00	T	169.21	52.15	3.24	115	58.50	T	119.29	44.97	2.65
80	163.00	T	193.35	58.12	3.33	116	196.50	T	196.31	55.39	3.54
81	165.00	T	184.32	55.71	3.31	117	33.00	T	91.84	37.28	2.46
82	187.00	T	173.17	55.16	3.14	118	28.50	T	82.25	36.96	2.23
83	130.00	T	164.90	51.57	3.20	119	51.00	T	105.25	42.28	2.49
84	42.00	T	93.31	37.79	2.47	120	27.00	T	89.8	37.17	2.42
85	94.50	T	137.64	50.97	2.70	121	66.00	T	103.27	41.32	2.50
86	60.00	T	124.66	44.02	2.83	122	162.00	T	173.25	52.11	3.32
87	40.00	T	94.49	38.48	2.46	123	85.50	T	133.15	45.76	2.91
88	25.00	T	80.03	33.60	2.38	124	226.50	T	209.45	69.18	3.03
89	387.00	T	250.56	73.28	3.42	125	30.00	T	88.01	38.69	2.27
90	30.00	T	88.81	41.67	2.13	126	199.00	T	198.8	60.4	3.29
91	204.00	T	212.02	57.94	3.66	127	169.50	T	183.2	57.41	3.19
92	48.00	T	100.29	44.78	2.24	128	49.50	T	107.52	41.34	2.60
93	50.00	T	127.86	42.25	3.03	129	82.50	T	130.14	49.08	2.65
94	72.00	T	131.20	50.15	2.62	130	39.00	T	92.01	41.58	2.21
95	260.00	T	197.88	60.12	3.29	131	39.00	T	104.79	39.56	2.65
96	106.00	T	142.98	50.74	2.82	132	231.00	T	230.35	63.86	3.61

ตาราง ฉ-1 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการฝึกสอน (230 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
133	156.00	T	183.58	56.41	3.25	169	78.00	L	167.28	41.99	3.98
134	57.00	T	106.18	40.71	2.61	170	460.00	L	320.05	74.87	4.27
135	270.00	T	227.82	64.12	3.55	171	60.00	L	133.73	40.35	3.31
136	33.00	T	91.88	38.77	2.37	172	507.00	L	329.61	75.16	4.39
137	64.50	T	116.2	41.55	2.80	173	409.50	L	282.65	73.07	3.87
138	34.50	T	89.08	38.21	2.33	174	89.00	L	163.27	43.50	3.75
139	142.50	T	173.37	59.26	2.93	175	129.00	L	217.48	51.85	4.19
140	66.00	T	124.19	44.45	2.79	176	51.00	L	140.86	40.82	3.45
141	49.50	T	106.44	43.62	2.44	177	351.00	L	256.00	64.82	3.95
142	73.50	T	129.66	46.99	2.76	178	75.00	L	154.60	44.66	3.46
143	183.00	T	170.57	58.44	2.92	179	46.50	L	133.00	36.15	3.68
144	157.50	T	187.33	56.45	3.32	180	330.00	L	296.06	64.77	4.57
145	46.50	T	106.14	41.29	2.57	181	183.00	L	189.86	53.70	3.54
146	67.00	T	115.25	43.18	2.67	182	249.00	L	236.51	62.20	3.80
147	202.50	T	172.75	60.49	2.86	183	64.50	L	160.39	43.92	3.65
148	231.00	T	223.56	59.93	3.73	184	328.00	L	283.34	64.90	4.37
149	70.50	T	117.52	45.51	2.58	185	255.00	L	196.17	53.07	3.70
150	96.00	T	127.32	48.93	2.60	186	63.00	L	147.59	41.96	3.52
151	108.00	T	148.78	53.15	2.80	187	52.00	L	148.46	41.28	3.60
152	63.00	T	113.17	41.22	2.75	188	264.00	L	265.01	60.56	4.38
153	72.00	T	117.68	43.21	2.72	189	85.00	L	180.81	44.68	4.05
154	73.50	T	126.71	50.43	2.51	190	72.00	L	145.44	40.85	3.56
155	156.00	T	171.48	60.08	2.85	191	46.50	L	111.93	36.99	3.03
156	34.50	T	92.46	39.26	2.36	192	53.00	L	136.29	38.87	3.51
157	183.00	T	182.95	61.67	2.97	193	61.50	L	144.23	42.23	3.42
158	129.00	T	162.45	56.17	2.89	194	58.00	L	138.99	43.60	3.19
159	52.50	T	106.66	42.49	2.51	195	70.00	L	161.38	42.98	3.75
160	175.50	T	179.64	57.47	3.13	196	334.50	L	272.41	67.11	4.06
161	92.00	L	182.44	46.28	3.94	197	268.50	L	242.78	60.56	4.01
162	57.00	L	129.03	37.27	3.46	198	64.00	L	171.21	42.44	4.03
163	83.00	L	174.50	40.94	4.26	199	96.00	L	163.77	46.71	3.51
164	450.00	L	301.88	72.44	4.17	200	87.00	L	162.61	46.09	3.53
165	61.50	L	159.92	45.02	3.55	201	198.00	L	247.28	59.07	4.19
166	81.00	L	188.85	43.08	4.38	202	237.00	L	220.91	61.87	3.57
167	75.00	L	143.91	42.21	3.41	203	475.50	L	319.07	78.25	4.08
168	60.00	L	132.07	39.88	3.31	204	231.00	L	272.97	59.45	4.59

ตาราง ฉ-1 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการฝึกสอน (230 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
205	64.50	L	158.28	41.90	3.78	218	52.50	L	143.56	43.51	3.30
206	73.50	L	154.25	45.02	3.43	219	79.00	L	168.73	44.45	3.80
207	58.00	L	166.84	45.02	3.71	220	300.00	L	260.77	67.31	3.87
208	60.00	L	142.66	43.64	3.27	221	192.00	L	214.66	57.33	3.74
209	46.00	L	122.39	39.09	3.13	222	373.50	L	282.87	70.13	4.03
210	56.00	L	156.36	40.97	3.82	223	267.00	L	256.42	65.12	3.94
211	66.00	L	148.02	43.41	3.41	224	411.00	L	302.42	70.53	4.29
212	72.00	L	155.84	44.10	3.53	225	268.50	L	270.76	56.77	4.77
213	81.00	L	169.07	45.04	3.75	226	46.50	L	135.16	35.92	3.76
214	93.00	L	175.91	42.63	4.13	227	127.50	L	170.41	51.38	3.32
215	58.50	L	140.89	39.19	3.60	228	392.00	L	273.19	70.05	3.90
216	62.00	L	145.80	44.40	3.28	229	81.00	L	184.16	44.55	4.13
217	64.50	L	158.28	41.90	3.78	230	270.00	L	240.62	60.76	3.96

ตาราง ฉ-2 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการทดสอบ (130 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
1	48	T	101.72	45.36	2.24	18	42	T	99.28	43.16	2.30
2	36	T	97.25	37.51	2.59	19	39	T	105.48	42.34	2.49
3	46	T	99.91	39.56	2.53	20	34.5	T	91.17	38.44	2.37
4	33	T	89.11	39.58	2.25	21	49	T	94.55	38.81	2.44
5	37.5	T	100.06	38.55	2.60	22	41.4	T	100.78	43.31	2.33
6	44	T	94.11	36.02	2.61	23	45	T	101.58	39.05	2.60
7	36	T	93.5	35.42	2.64	24	48	L	114.82	39.15	2.93
8	35.25	T	94.69	43.26	2.19	25	33	T	91.32	39.68	2.30
9	28.5	T	87.72	40.03	2.19	26	27	T	89.17	36.93	2.41
10	34.65	T	106.86	39.75	2.69	27	39	T	99.57	39.76	2.50
11	43.5	T	108.5	41.12	2.64	28	39	T	94.36	41.97	2.25
12	28.5	T	93.79	36.75	2.55	29	42	T	95.27	39.78	2.39
13	41.1	T	105.47	42.83	2.46	30	33	T	91.76	36.11	2.54
14	26	T	79.4	36.89	2.15	31	33	T	89.7	34.69	2.59
15	34.5	T	87.81	37.03	2.37	32	34.65	T	94.39	45.26	2.09
16	30	T	85.86	38.03	2.26	33	34.5	T	90.29	34.31	2.63
17	48	T	120.45	41.99	2.87	34	46.5	T	112.55	42.55	2.65

ตาราง ฉ-2 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการทดสอบ (130 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
35	46.5	L	134.72	36.25	3.72	71	99	T	146.32	52.46	2.79
36	50	T	127.71	42.44	3.01	72	172.5	T	166.79	55.24	3.02
37	49.5	T	113.83	42.77	2.66	73	139.5	T	175.91	59.82	2.94
38	50	T	124.64	41.89	2.98	74	120	T	159.99	51.85	3.09
39	57	T	108	41.65	2.59	75	189.6	T	192.14	54.75	3.51
40	70.5	L	161.73	41.38	3.91	76	169.5	L	241.12	54.91	4.39
41	57.15	T	108.94	48.23	2.26	77	169.5	T	186.1	58	3.21
42	60	T	126.4	44.99	2.81	78	103.5	T	149.8	49.6	3.02
43	51	T	106.81	42.78	2.50	79	141	T	135.82	51.21	2.65
44	81	L	171.77	45.39	3.78	80	165.6	T	174.76	64.8	2.70
45	73.5	T	134.05	49.65	2.70	81	128	T	183.12	53.29	3.44
46	64.5	T	117.47	41.85	2.81	82	157	T	174.78	54.42	3.21
47	54	T	123.02	44.34	2.77	83	109.2	T	145.28	50.02	2.90
48	70.5	L	130.23	47.54	2.74	84	118.5	T	173.71	51.99	3.34
49	67.5	L	158.66	45.69	3.47	85	162	T	173.82	56.77	3.06
50	64.5	L	160.36	42.29	3.79	86	183	T	189.72	59.17	3.21
51	75	T	136.41	45.81	2.98	87	116	T	151.13	53.23	2.84
52	85.5	T	131.01	49.2	2.66	88	163.05	T	169.59	65.46	2.59
53	96	L	164.67	47.2	3.49	89	130.5	T	162.19	56.68	2.86
54	87	L	163.97	46.83	3.50	90	165	T	186.13	56.07	3.32
55	91.5	T	134.36	51.71	2.60	91	169.5	L	241.22	54.22	4.45
56	72	T	118.07	43.84	2.69	92	159	T	173.36	56.13	3.09
57	52	L	150.21	41.73	3.60	93	120.15	T	183.01	58.3	3.14
58	72	T	133.89	50.79	2.64	94	170	T	172.5	57.59	3.00
59	76.5	T	120.52	45.35	2.66	95	193.5	L	261.62	57.18	4.58
60	70.5	T	121.3	46.12	2.63	96	187.2	T	174.94	62.19	2.81
61	78	T	130.22	48.65	2.68	97	126.6	T	146.19	55.57	2.63
62	75	T	117.46	46.13	2.55	98	159	T	190.79	59.33	3.22
63	51.45	T	120.9	51.75	2.34	99	127.5	T	155.61	53.54	2.91
64	69	T	131.66	48	2.74	100	129	T	167.74	56.41	2.97
65	64.5	L	162.48	44.75	3.63	101	139.5	T	159.53	55.74	2.86
66	61.5	L	144.54	42.78	3.38	102	124.5	T	148.63	55.48	2.68
67	75	T	124.47	45.66	2.73	103	146	T	161.95	54.55	2.97
68	63	L	147.72	42.44	3.48	104	194	T	222.79	58.32	3.82
69	54	T	112.53	46.53	2.42	105	157.5	T	186.43	57.54	3.24
70	98.25	T	135.28	55.44	2.44	106	183	T	183.92	62.47	2.94

ตาราง ฉ-2 ข้อมูลสายพันธุ์และคุณลักษณะของภาพสำหรับการทดสอบ (130 ข้อมูล)

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก (กรัม)	สาย พันธุ์	ความยาว (มม.)	ความ กว้าง (มม.)	อัตราส่วน (ยาว/กว้าง)
107	132	T	150.21	49.8	3.02	119	249	L	239.71	62.7	3.82
108	118.5	T	167.77	50.22	3.34	120	300	L	265.39	68.27	3.89
109	106	T	144.07	51.99	2.77	121	397.5	L	340.75	62.44	5.46
110	172.5	T	179.77	59.54	3.02	122	328	L	284.92	65.94	4.32
111	114	T	150.24	53.65	2.80	123	267	L	260.4	66.14	3.94
112	237	T	200.03	58.03	3.45	124	475.5	L	324.21	78.48	4.13
113	268.5	T	247.05	61.25	4.03	125	260	L	242.57	59.14	4.10
114	270	L	244.54	61.38	3.98	126	334.5	L	277	67.6	4.10
115	340.5	T	291.09	70.08	4.15	127	411	L	307.19	71.37	4.30
116	277.5	T	220.02	71.61	3.07	128	373.5	L	287.1	71.02	4.04
117	250.5	T	210.16	64.26	3.27	129	237	L	223.1	62.46	3.57
118	267	L	329.83	56.1	5.88	130	409.5	L	287.22	73.76	3.89

หมายเหตุ สัญลักษณ์ T คือหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.duvauceli*

สัญลักษณ์ L คือหมึกกล้วยสายพันธุ์ *L.chinensis*

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวนุชรี ธรรมโชติ		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5410120011		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิศวกรรมการผลิต)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนบัณฑิตศึกษาภายใต้โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ประจำปีการศึกษา 2554

ทุนอุดหนุนการทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2554 ได้รับจากคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Nootcharee Thammachot, Supapan Chairapat, and Kriangkrai Waiyakan. 2012. Development of an Image Processing System in Splendid Squid Grading. RGJ Seminar Series XC: Cutting Edge Technologies toward AEC 2015. September 7, 2012. Hatyai, Thailand.

Nootcharee Thammachot, Supapan Chairapat, and Kriangkrai Waiyakan. 2013. Development of an Image Processing System in Splendid Squid Grading. The 9th International Conference on Computing and Information Technology (IC2IT2013). Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 209. May 9-10, 2013. Bangkok, Thailand. pp. 175-183.