



การจำแนกชนิดของพลอยอัญมณีด้วยคุณลักษณะสี

โดย

นางสาวปัทมพร เก่งการรบ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การจำแนกชนิดของพलयัตโนมัตต์ด้วยคุณลักษณะสี

โดย

นางสาวปัทมพร เก่งการรบ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Automatic Gem Classification Using Color-based Features

BY

MISS PATTAMAPORN KENGKARNROB



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (COMPUTER SCIENCE)

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2016

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวปัทมพร เก่งการรบ

เรื่อง

การจำแนกชนิดของพอลอยอต์โนไมต์ด้วยคุณลักษณะสี

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)

เมื่อ วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณิชฐนนท์ หงส์วริทธิ์ธร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



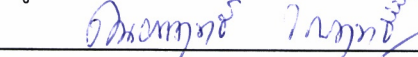
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสาวลักษณ์ วรรณานา)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิรัตน์ จาริวงศ์ไพบูลย์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. ดนยพฤกษ์ ไกรฤทธิ)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำแนกชนิดของพลอยอต์โนมิตีด้วยคุณลักษณะสี
ชื่อผู้เขียน	นางสาวปัทมพร เก่งการรบ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. เสาวลักษณ์ วรรณนาภา
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจำแนกชนิดของพลอยอต์โนมิตีด้วยคุณลักษณะสี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ซื้อที่ขาดความรู้และความชำนาญในการจำแนกชนิดของพลอยเพื่อเลือกซื้อพลอยเบื้องต้น โดยงานวิจัยนี้ได้ทดลองสกัดคุณลักษณะสีที่เหมาะสมร่วมกับการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) สองเทคนิคเปรียบเทียบผล ได้แก่ วิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) และวิธีการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด k ตัว (K-Nearest Neighbors : KNN) ซึ่งแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบจากภาพถ่ายกล้อง DSLR แบบที่ 2 ชุดฝึกสอนระบบภาพจากกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบภาพจากกล้องมือถือ และแบบที่ 3 ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบจากภาพถ่ายกล้องมือถือ จากการทดลองทั้ง 3 แบบพบว่าวิธีการจำแนกชนิดโดยวิธีการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด k ตัว ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากที่สุดเท่ากับ 97.43% ในผลการทดลองชุดที่ 1 และ 79.43% ในผลการทดลองชุดที่ 2 และผลการทดลองชุดที่ 3 ระบบมีความถูกต้อง 95.71%

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, จำแนกชนิดของอัญมณี, คุณลักษณะของสี

Thesis Title	Automatic Gem Classification Using Color-based Features
Author	Miss Pattamaporn Kengkarnrob
Degree	Master of Science (Computer Science) Computer Science
Major Field/Faculty/University	Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Ast. Prof. Dr. Saowaluk Watanapa
Academic Years	2016

ABSTRACT

This research proposes an approach to the gem classification using color-based features and can be highly advantageous for customers interested in jewelry markets in Thailand particularly preliminary decisions to purchase properly. We also adopt interdisciplinary techniques such as Minimum Distance and K-nearest Neighbor to an automated tool for the classification. Our experimental results can be split into three things as follows. The first, training and test sets of pictures derived from a DSLR camera, demonstrates the most accurate result of the categorization at 97.43%, while the second, training set derived from the DSLR camera as well as test set derived from a mobile phone, has a 79.43 percent accuracy. The final, using the mobile phone for training and test sets, is 95.71% accurate.

Keywords: Image Processing, Classification gems, Color Models

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวลักษณ์ วรรณภา ผู้ที่ให้โอกาสสละเวลาให้คำปรึกษาและตรวจสอบ เนื้อหาความถูกต้องในการใช้ภาษาและลำดับชั้นการเขียนเนื้อหาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา รวมถึง ประธานและคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์เล่มนี้ที่ให้โอกาสสละเวลาในการให้คำแนะนำในการ สอบของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอการขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของอาจารย์ทุกท่านไว้ ณ ที่นี้ ด้วย และขอขอบคุณอาจารย์สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชียที่ให้ความรู้เกี่ยวกับอัญมณีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บุคคลากรของภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ ช่วยแจ้งข้อมูลข่าวสาร รวมถึงประสานงานในต่างๆ และอำนวยความสะดวกในทุกด้านของการทำ วิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณนายธรรณภ สายหรั่ง เพื่อนรหัส 55 ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือข้าพเจ้าเวลามีปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชาย ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้า ทั้งใน ด้านทุนการศึกษา คำปรึกษา และกำลังใจ ตลอดการทำงานวิจัยของข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถ ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีในทุกด้าน

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง และไม่ได้กล่าวถึงทุกท่าน ขอให้มีความเจริญรุ่งเรือง มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง และมีความสุขตลอดไป

นางสาวปัทมพร เก่งการรบ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 คำจำกัดความของคำศัพท์	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลอย	8
2.1.1 การประเมินคุณภาพพลอย	10
2.1.1.1 สีของพลอย (Color)	10
2.1.1.2 รูปแบบการเจียรระโน (Cut)	11
(1) แบบเหลี่ยมเกสร (Brilliant Cut)	12
(2) แบบขั้นบันได (Step Cut)	12

(3) แบบผสม (Mixed Cut)	13
(4) แบบหลังเบี้ย (Cabochon)	14
2.1.1.3 ความสะอาดของพลอย (Clarity)	15
2.1.1.4 น้ำหนักต่อกะรัต (Carat Weight)	16
2.1.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของพลอย	18
2.1.3 หลักการทั่วไปในการพิจารณาพลอย	19
2.1.3.1 เฉดสี (Hue)	19
2.1.3.2 ความสดของสี (Saturation)	22
2.1.3.3 โทนสี (Tone)	22
2.1.4 การจำแนกชนิดของพลอย	25
2.1.4.1 การตรวจด้วยเครื่องมือการตรวจสอบอัญมณีพื้นฐาน (Basic Gemological Instrument)	26
(1) การหาค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index : RI)	26
(2) คุณลักษณะทางแสง (Optical Character)	26
(3) การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	27
2.1.4.2 การตรวจด้วยเครื่องมือการตรวจสอบอัญมณีขั้นสูง (Advanced Analytical Technique)	27
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ	28
2.2.1 แบบจำลองสี (Color Models)	30
2.2.1.1 ระบบสีของแมนเชล	30
2.2.1.2 แบบจำลอง RGB	31
2.2.1.3 แบบจำลองสี HSV	32
2.2.1.4 แบบจำลองสี YCbCr	33
2.2.2 การแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation)	34
2.2.2.1 การทำเทรชโฮลด์ (Threshold)	34
(1) การกำหนดค่าเทรชโฮลด์หนึ่งระดับ (Single Threshold)	35
(2) การกำหนดค่าเทรชโฮลด์หลายระดับ (Multiple Threshold)	36

2.2.2.2 การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีมอร์โฟโลยี (Morphological Image Segmentation)	37
(1) การทำ Erosion	37
(2) การทำ Dilation	37
(3) การทำ Opening และ Closing	38
2.2.3 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image Classification)	39
2.2.3.1 การจำแนกประเภทโดยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance)	39
2.2.3.2 การจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbor)	40
2.2.3.3 การจำแนกประเภทแบบ Nearest Neighbor	41
2.2.3.4 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines: SVM)	42
2.2.4 การตัดสินใจคุณภาพของระบบการจำแนกคลาส	44
2.2.5 ความสามารถในการคาดการณ์ของตัวจำแนกคลาส	45
2.2.6 ความถูกต้องของการจำแนกคลาส	45
2.2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	45
 บทที่ 3 วิธีการวิจัย	 48
3.1 ขอบเขตในการทดลอง	49
3.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลการทดลอง	49
3.2.1 ชุดข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง DSLR	49
3.2.2 ชุดข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้องมือถือ	51
3.3 ขั้นตอนการสมมุติฐาน	51
3.3.1 การใช้คุณลักษณะของสีที่เหมาะสม	51
3.3.2 การใช้เทคนิคทางการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)	51
3.3.3 การใช้ความละเอียดของกล้องที่เหมาะสม	52
3.3.4 การใช้ตัวแสงที่เหมาะสม	52

3.4	ขั้นตอนการทดลอง	52
3.4.1	ขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น	53
3.4.2	การทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์	60
3.4.3	การขั้นตอนการดำเนินงาน	63
3.4.3.1	การรับภาพเข้าระบบ (Input)	63
3.4.3.2	การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation)	63
3.4.3.3	การสกัดคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction)	65
3.4.3.4	การจำแนกประเภท (Classification)	65
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	67
4.1	ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัย	67
4.1.1	ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท	67
4.1.1.1	ข้อมูลภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล	67
4.1.1.2	ข้อมูลภาพที่ถ่ายด้วยกล้องมือถือ	67
4.2	กลุ่มข้อมูลภาพที่ใช้ในการจำแนก	67
4.2.1	งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด	68
4.2.1.1	ในการทดลองชุดที่ 1	68
4.2.1.2	ในการทดลองชุดที่ 2	68
4.2.1.3	ในการทดลองชุดที่ 3	68
4.3	การจำแนกชนิดของพลอย	68
4.3.1	คุณลักษณะสำคัญที่ใช้ในการจำแนก (Feature Extraction)	68
4.3.2	วิธีการที่ใช้ในการจำแนก (Classification)	70
4.4	วิธีการวัดผล	70
4.5	สรุปผลการทดลอง	71
4.5.1	ผลการทดลองเบื้องต้น	71
4.5.1.1	ผลการทดลองด้วยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย	71
4.5.1.2	ผลการทดลองด้วยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	72

4.5.2 ผลการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์	73
4.5.2.1 การทดลองชุดที่ 1	73
4.5.2.2 การทดลองชุดที่ 2	75
4.5.2.3 การทดลองชุดที่ 3	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปงานวิจัย	82
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	82
5.2.1 ความละเอียดของภาพถ่าย	84
5.2.2 ความสามารถที่แสงเดินทางผ่านเนื้อพลอย	84
5.2.3 การแบ่งส่วนภาพที่ไม่สมบูรณ์	85
5.3 ข้อเสนอแนะ	87
รายการอ้างอิง	88
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	91
ภาคผนวก ข	98
ประวัติผู้เขียน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สเกลโมธของความแข็งสัมพันธ์และความแข็งชุดซีตสัมบูรณ์	2
2.1 แสดงระดับความแข็งของโมหส์	9
2.2 แสดงระดับการเกรดความสะอาดของพลอย โดยสถาบันเอไอจีเอส	16
2.3 แสดงความหมายและตัวย่อระดับสี 31 ระดับ	21
2.4 แสดงตัวอย่างตารางการกระจายการจำแนก	44
2.5 แสดงความถูกต้องในการคำนวณของแต่ละอัลกอริทึม	47
3.1 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ของกลุ่มที่ 1 พลอยสีเหลืองส้ม	54
3.2 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ของกลุ่มที่ 2 พลอยสีแดงชมพู	55
3.3 ผลการทดลองครั้งที่ 1 ของกลุ่มที่ 3 พลอยสีเขียว	56
3.4 ผลการทดลองทั้งสามกลุ่มพลอย โดยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย	57
3.5 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ของกลุ่มที่ 1 พลอยสีเหลืองส้ม	58
3.6 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ของกลุ่มที่ 2 พลอยสีแดงชมพู	58
3.7 ผลการทดลองครั้งที่ 2 ของกลุ่มที่ 3 พลอยสีเขียว	59
3.8 ผลการทดลองเบื้องต้นทั้งสองกลุ่มการทดลอง	60
3.9 แสดงตัวอย่างภาพพลอยถ่ายด้วยกล้อง DSLR โดยถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสง	61
3.10 แสดงตัวอย่างภาพพลอยถ่ายด้วยกล้องมือถือ โดยถ่ายในสภาพแวดล้อมจริงที่ไม่ได้ควบคุมแสง	62
4.1 การแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 5 ชุด สำหรับชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ	67
4.2 ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีในแต่ละชนิดพลอยที่มาจากภาพถ่ายด้วยกล้อง DSLR	69
4.3 ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีในแต่ละชนิดพลอยของภาพถ่ายด้วยกล้องมือถือ	69
4.4 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลลงในตาราง Confusion Matrix	71
4.5 สรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย	72
4.6 ผลการทดลองเบื้องต้นโดยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	73
4.7 ผลการทดลองของชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนกแบบวัตรยะทางน้อยที่สุด โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr	74
4.8 ผลการทดลองของชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนกแบบวัตรยะทางใกล้ที่สุด k ตัว ซึ่งกำหนดให้ $K = 3$ โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr	74

4.9	สรุปเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกประเภท	75
4.10	ผลการทดลองของชุดที่ 2 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr	76
4.11	ผลการทดลองของชุดที่ 2 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 1$ โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr	77
4.12	สรุปเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกประเภท	78
4.13	ผลการทดลองของชุดที่ 3 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B และ H S V	79
4.14	ผลการทดลองของชุดที่ 3 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 3$ โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr	79
4.15	สรุปเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกประเภท	80
4.16	สรุปผลการทดลองทั้งสามชุดการทดลอง	81



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงวัฏจักรของหิน	7
2.2 แสดงตัวอย่างแร่เพอริโดทที่เกิดจากภูเขาไฟลาวา	8
2.3 แสดงสีที่ซึมเข้าไปในรอยร้าว	11
2.4 แสดงการเจียรระไนแบบเหลี่ยมเกสร	12
2.5 แสดงการเจียรระไนแบบขั้นบันได	12
2.6 แสดงการเจียรระไนแบบผสม	13
2.7 แสดงการเจียรระไนแบบหลังเบี้ย	13
2.8 แสดงการเจียรระไนพลอยในรูปแบบการแกะสลักนูน (Cameo) และรูปสมเด็จจพระราชินีเอลิซาเบจ (Queen Elizabeth)	14
2.9 แสดงการเจียรระไนพลอยในรูปแบบการสลัก (Carved)	14
2.10 แสดงการเจียรระไนแบบก้อนมน (Tumbled)	15
2.11 แสดงตัวอย่างกล่องกำลังขยาย 10 เท่า	17
2.12 แสดงใบรับรองคุณภาพของพลอยสถาบันเอไอจีเอส	18
2.13 ส่วนประกอบต่างๆของพลอย	19
2.14 แสดงค่าสีพลอย 31 เฉดสี (Gemstone Hue Chart)	20
2.15 แสดงความสดของสี (Gemstone Saturation Chart)	23
2.16 แสดงระดับโทนสี (Gemstone Tone Chart)	23
2.17 แสดงลักษณะพลอยทึบแสง (Opaque)	24
2.18 แสดงลักษณะพลอยกึ่งโปร่งแสง (Semi-translucent)	24
2.19 แสดงลักษณะรอยแตกแบบขรุขระ (Granular)	25
2.20 แสดงลักษณะรอยแตกแบบเสี้ยนไม้ (Splintery)	25
2.21 แสดงลักษณะรอยแยกแนวเรียบแบบขั้นบันได (Cleavage)	25
2.22 แสดงเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer)	27
2.23 แสดงเครื่องโพลาริสโคป (Polariscope)	27
2.24 แสดง FTIR Spectra ของพลอยแท้และพลอยสังเคราะห์	28
2.25 แสดงภาพความเข้มของแสง	29

2.26 แสดงภาพต้นฉบับ (ก) ภาพขยายแบบบิตแมป (ข) และภาพขยายแบบเวกเตอร์ (ค)	29
2.27 แสดงระบบสีของมันเซล	31
2.28 แสดงระบบสี RGB	32
2.29 แสดงแบบจำลองสี HSV	33
2.30 แสดงฮิสโทแกรมของภาพ	35
2.31 แสดงการกำหนดค่าเทรชโฮลด์	36
2.32 แสดงฮิสโทแกรมของภาพที่กำหนดค่าเทรชโฮลด์หลายระดับ	36
2.33 แสดงให้เห็นตัวอย่างผลการทำ Erosion และ Dilation โดยภาพ (a) ภาพต้นฉบับ, (b) ภาพที่ผ่านการทำ Erosion และ (c) ภาพที่ผ่านการทำ Dilation	38
2.34 แสดงการทำ Opening และ Closing โดยใช้หน้าต่างที่มีขนาดและรูปร่างที่ต่างกัน	39
2.35 แสดงการทำงานของวิธีการจำแนกประเภทแบบ K Nearest Neighbor	41
2.36 แสดงตัวอย่างกรณีทีเวคเตอร์พีเจอร์ของตัวอย่างวัตถุของคลาส ไม่ได้เกาะกลุ่มเป็นกลุ่มเดียวกัน	42
2.37 แสดงการทำงานของวิธีซัพพอร์ตเวคเตอร์แมชชีน	43
3.1 ขั้นตอนภาพรวมการทำงานของระบบ	48
3.2 แสดงกล้องนิคกอน รุ่น V1 และเลนส์ความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล	50
3.3 แสดงตู้แสงมาตรฐาน และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	50
3.4 แสดงการจัดวางกล้องกับพลอย	50
3.5 ผังแสดงการใช้ค่าสกัดคุณลักษณะสี เพื่อจำแนกชนิดของพลอย	51
3.6 พลอยกลุ่มที่ 1 ที่มีสีเหลืองส้ม ได้แก่ ซิทรินและบุษราคัม	54
3.7 พลอยกลุ่มที่ 2 ที่มีสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล	55
3.8 พลอยกลุ่มที่ 3 ที่มีสีเขียว ได้แก่ กรีนทัวมาลีนและมรกต	56
3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานในส่วนการแบ่งส่วนภาพ	64
3.10 แสดงภาพรวมการทำงานของขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะสี	66
3.11 แสดงขั้นตอนการจำแนกประเภท	66
5.1 พลอยที่แสงเดินทางผ่านได้น้อย (Semi-translucent)	85
5.2 ข้อมูลภาพที่มีพื้นหลังแปรปรวน (ก) ผลลัพธ์การแบ่งส่วนภาพที่คลาดเคลื่อน (ข) และส่วนภาพที่นำค่าแต่ละคุณลักษณะของสีมาทำการทดลอง (ค)	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

อัญมณี (Gemstones) คือ แร่ต่างๆ (Minerals) ที่มีความสวยงาม (Beautiful) หายาก (rare) และคงทน (durable) สามารถเจียรระไน ขัดมัน หรือแกะสลักได้ จึงถูกนำมาใช้ทำเป็นเครื่องประดับ แร่จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ สารอนินทรีย์ (Inorganic) และสารอินทรีย์ (Organic) โดยอัญมณีที่เกิดจากสารอนินทรีย์ เป็นอัญมณีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้ทั่วโลก เช่น เพชร (Diamond) ทับทิม (Ruby) ไพลิน (Blue Sapphire) บุษราคัม (Yellow Sapphire) เป็นต้น ส่วนสารอินทรีย์ (Organic) เป็นอัญมณีที่เกิดจากพืชหรือสัตว์ มีความคงทนน้อยกว่า เช่น อำพัน (Amber) ไข่มุก (Pearl) ปาการัง (Coral) และงาช้าง เป็นต้น (Cally Hall, 1994)

สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (Gemological Institute of America.GIA) ได้แบ่งอัญมณีออกเป็นสองประเภทใหญ่ คือ เพชร (Diamond) และพลอย (Gemstones) เพชรเป็นอัญมณีที่เกิดจากแร่ชนิดเดียว ซึ่งมีคุณสมบัติโดดเด่นที่สุดคือ มีความแข็ง (Hardness) มาก ความแข็งหมายถึง ความทนทานต่อการขีดขูดของแร่ประเภทต่างๆ ในการเปรียบเทียบความแข็งแรงของแร่จะใช้ตารางสเกลของโมห์ (Mohs scale) ซึ่งบอกความสามารถของแร่ชนิดหนึ่งในการขีดแร่อีกชนิดให้เป็นรอย หรือเป็นเพียงสเกลสัมพัทธ์ ที่ให้ข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบระหว่างแร่สองชนิด ดังแสดงในตาราง 1.1 มีระดับความแข็งจาก 1-10 โดยสเกล 10 แทนแร่ที่มีความแข็งมากที่สุดคือเพชร นอกจากนี้ยังมีสเกลสัมบูรณ์ซึ่งสามารถบอกในเชิงปริมาณว่าแร่ชนิดหนึ่งแข็งกว่าแร่อีกชนิดหนึ่งมากเท่าไร ซึ่งการวัดค่าความแข็งขูดขีดสัมบูรณ์คือการใช้ สเคลอโรมิเตอร์ (Scelrometer) ประกอบด้วยหัวเพชรลักษณะแหลมตรึงที่ปลายของด้ามจับ จากนั้นค่อยๆเพิ่มน้ำหนักในขณะที่ลากหัวเพชรผ่านพื้นผิวจนเกิดรอยขีด ปริมาณน้ำหนักที่ทำให้เกิดรอยขีดเป็นค่าบ่งชี้ถึงความแข็งขูดขีดสัมบูรณ์ เช่น แร่ทาลก์ มีค่าความแข็งขูดขีดสัมบูรณ์เพียง 1.13 ในขณะที่เพียงมีค่าความขูดขีดสัมบูรณ์มากถึง 140,000 แสดงดังตารางที่ 1.1 (สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย, 2549)

เพชรเกิดจากรแห่ชนิดเดียว มีราคาที่ยาวตัว อ้างอิงราคาจากราพพอร์ท(Rapaport) ซึ่งเป็นราคากลางของการซื้อขายเพชร เพชรมีคุณลักษณะสี่ที่ใกล้เคียงกัน และเคยมีงานวิจัยที่จำแนกระดับสีเพชรโดยภาพถ่ายอัตโนมัติ (อรรถัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) มาแล้ว ส่วนพลอยเป็นอัญมณีที่เกิดจากรแห่หลายตระกูล (Group) มีหลายสี และบางชนิดมีสีที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีราคาที่แตกต่างกันออกไป พลอยบางชนิดเป็นที่นิยมซื้อขายกันในตลาดประเทศไทย เช่น ทับทิม ไพลิน และบุษราคัม เป็นต้น จะมีราคาไม่แน่นอน ราคาขายขึ้นอยู่กับความพอใจของผู้จำหน่ายพลอยว่าต้องการซื้อขายในราคาเท่าใด จึงมักมีปัญหาการหลอกขายพลอยผิดชนิด ในการวิจัยนี้จึงนำพลอยมาทำการวิจัย

ตารางที่ 1.1

สเกลโมธของความแข็งสัมพัทธ์และความแข็งชุดซีดลัมบูร์น

อันดับความแข็ง	ค่าความแข็ง	ชื่อแร่
1	1.13	ทัลก์
2	12.03	ยิปซัม
3	15.3	แคลไซต์
4	37.03	ฟลูออไรท์
5	53.5	อะพาไทท์
6	191	ออร์โธเคลส
7	245	ควอทซ์
8	459	โทปาซ
9	1,000	คอร์รัมดัม
10	140,000	เพชร

แร่ควรมีคุณสมบัติที่จำเป็นสามประการถึงจะนำมาเจาะระไนเป็นพลอยได้ ได้แก่ ความสวยงาม (Beauty) ความคงทน (Durability) และความยากในการค้นพบ (Rarity)

หลักทั่วไปในการแยกชนิดของพลอยด้วยสายตาโดยพิจารณาจากสี มีสามคุณลักษณะ ได้แก่ (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551)

1. สี (Hue) การกำหนดสีของพลอย จะมีสีหลักๆอยู่ 6 สี คือ แดง ส้ม เหลือง เขียว ม่วง และน้ำเงิน เราจะเรียงจากสีของพลอยที่เห็นลำดับแรก ถ้าเห็นสีแดงสีเดียว ก็เรียกว่าพลอยเป็นสีแดง แต่ถ้าพลอยมีสีที่กำกวม เช่น มีทั้งสีแดงและสีม่วงเล็กน้อย ก็จะเรียกว่าสีแดงอมม่วง

2. ความสดของสี (Saturation) คือค่าความสดของสีพลอยนั้นๆ ว่ามีมากน้อยเพียงใด ความสดเป็นปัจจัยหนึ่งที่แสดงถึงคุณภาพของสีพลอยโดยสามารถแบ่งเป็นระดับต่างๆ

3. โทนสี (Tone) เพื่อบ่งบอกถึงความสว่างและความมืดของสีนั้นๆ ดังนั้นพลอยที่มีสีใส หรือสีขาวจะมีระดับของโทนสีเป็นไร้สีและในขณะที่พลอยที่มีสีดำจะมีโทนสีเป็นสีมืด เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น หลักการทั่วไปในการพิจารณาแยกชนิดของพลอย มีสามคุณลักษณะของสี โดยในการแยกชนิดของพลอยด้วยสายตานั้น ต้องอาศัยความชำนาญในการแยกชนิดของพลอย รวมถึงประสบการณ์ความรู้และสายตากรมของแต่ละบุคคล ในท้องตลาดการซื้อขายพลอยจะมีพลอยบางชนิดมีคุณลักษณะต่างๆ ที่ใกล้เคียงกันเมื่อมองด้วยตาเปล่า ทั้งสี ความสด และโทนสี จึงทำให้เกิดปัญหาในการแยกชนิดของพลอยที่มีคุณลักษณะข้างต้นที่ใกล้เคียงกันผิดชนิดและอาจนำไปสู่การหลอกลวงของผู้จำหน่ายพลอยบางรายที่ฉวยโอกาสในความใกล้เคียงของคุณลักษณะดังกล่าว ทำให้ผู้ซื้อที่ไม่มีความรู้และความชำนาญในการแยกชนิดของพลอยโดนหลอกให้ซื้อพลอยผิดชนิดจากที่เข้าใจ ดังนั้นหากมีการพัฒนาระบบการแยกชนิดของพลอยด้วย สี ความสด และโทนสีจะช่วยให้เป็นประโยชน์สำหรับผู้ซื้อและปัญหาการสับเปลี่ยนชนิดพลอยก็จะลดลง และช่วยลดการหลอกลวงในการซื้อขายพลอยของผู้ซื้อที่ไม่มีความรู้ความชำนาญอีกด้วย

Cally Hall (1994) กล่าวว่า “พลอยเกิดจากแร่ชนิดต่างๆ ซึ่งแร่ทุกชนิดไม่สามารถทำเป็นอัญมณีได้ทั้งหมด จากที่กล่าวมาข้างต้น อัญมณีต้องเป็นวัตถุที่สวยงาม หายาก และคงทน ด้วยเหตุนี้แร่ที่มีอยู่จำนวนกว่า 3,000 ชนิด มีเพียง 50 ชนิดเท่านั้นที่ถูกจัดเป็นอัญมณี” ในงานวิจัยนี้จะนำพลอย 12 ชนิด ที่เป็นที่ยอมรับซื้อขายกันตามท้องตลาด อ้างอิงจากอาจารย์สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย ได้แก่ ทับทิม (Ruby) ไพลิน (Blue sapphire) บุษราคัม (Yellow sapphire) มรกต (Emerald) ชีทรีน (Citrine) เพอริโดท (Peridot) อเมทิสต์ (Amethyst) โรโดไลท์ (Rhodolite) สปิเนล (Spinel) อควอมารีน (Aquamarine) กรีนทัวมาลีน (Greentourmaline) และเทอร์คอยส์ (Turquoise) ซึ่งพลอยแต่ละชนิดมีราคาแตกต่างกันตั้งแต่ราคาแพงไปจนถึงราคาถูกและในพลอย 12 ชนิดนี้ มีพลอยเจ็ดชนิด ที่เป็นปัญหาในการแยกชนิดของพลอย เนื่องจากพลอยมีสีและคุณลักษณะภายนอกที่คล้ายคลึงกันแต่แตกต่างกันที่ราคา ซึ่งแบ่งเป็นสามกลุ่มใหญ่ ได้แก่ (1) กลุ่มพลอยที่มีสีเหลืองส้ม ได้แก่ พลอยบุษราคัมและชีทรีน (2) กลุ่มพลอยที่มีสีเขียว ได้แก่ พลอยมรกตและพลอยกรีนทัวมาลีน (3) กลุ่มพลอยที่มีสีแดงชมพู ได้แก่ พลอยทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล เป็นต้น (มณีขจิต , 2554)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะของปัจจัยหรือคุณสมบัติของภาพที่ใช้ในการจำแนกชนิดของพลอยร่วงโดยอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่าย

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบในการจำแนกชนิดของพลอยโดยใช้ภาพถ่ายพลอย

1.3 คำจำกัดความของคำศัพท์

1.3.1 **ภาพถ่ายพลอย** หมายถึง ภาพที่เป็นภาพถ่ายพลอยร่วงที่ผ่านการเจียรระไนเรียบร้อยแล้ว

1.3.2 **พลอยร่วง (Loose gemstones)** หมายถึง พลอยที่เป็นเม็ดยังไม่ได้เข้าตัวเรือนและผ่านการเจียรระไนแล้ว ในรูปทรงต่างๆ

1.3.3 **ความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น** หมายถึง นักเรียนที่ศึกษาคอร์สเรียนวิชาความรู้ัญมณีเบื้องต้น และนักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาคณะอัญมณีศาสตร์

1.3.4 **ผู้เชี่ยวชาญด้านพลอย** หมายถึง อาจารย์ที่สอนวิชาเกี่ยวกับอัญมณีศาสตร์

1.3.5 **ชื่อเรียกทางการค้าของไทย (Trade name)** หมายถึง ชื่อพลอยชนิดต่างๆ ที่ใช้ในประเทศไทย ซึ่งพลอยบางชนิด จะใช้ทับศัพท์ภาษาอังกฤษ ส่วนบางชนิดจะใช้ชื่อภาษาไทยจากชื่อภาษาอังกฤษ เช่น พลอยที่ต่างประเทศ เรียกว่า รูบี้ (Ruby) มีชื่อเรียกทางการค้าว่า ทับทิม เยลโลแซฟไฟร์ (Yellow sapphire) มีชื่อเรียกทางการค้าว่า บุษราคัม และเอมเมอร์เรล (Emerald) มีชื่อเรียกทางการค้าว่า มรกต เป็นต้น ส่วนชื่อพลอยที่ใช้ทับศัพท์ภาษาอังกฤษ เช่น โรโดไลท์ (Rhodolite) กรีนทัวร์มาลีน (GreenTourmaline) สปิเนล (Spinel) และซิทริน (Citrine) เป็นต้น

1.3.6 **การจำแนก (Classification)** หมายถึง การแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ การจำแนกประเภทหรือการจัดหมวดหมู่

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาและทดลองกับพลอย 7 ชนิด ได้แก่ พลอยบุษราคัม พลอยชิทรีน พลอยทับทิม พลอยโรโดไลท์ พลอยสปิเนล พลอยมรกต และพลอยกรีนทัวมาลีน ที่นิยมซื้อขายกัน และมีปัญหาในการสับเปลี่ยนพลอยหรือซื้อพลอยผิดชนิด ในตลาดอัญมณีของประเทศไทย โดยอ้างอิงจากผู้เชี่ยวชาญ สถาบันเอไอจีเอส (Asian Institute of Gemological Sciences : AIGS) ซึ่งเป็นสถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชียและถือเป็นโรงเรียนที่คั่นคว่ำและสอนดูเพชรพลอย และได้ระดับมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับทั่วโลก

1.4.2 พิจารณาระบบจำแนกชนิดของพลอยจากภาพถ่ายซึ่งมีฉากหลังเป็นพื้นสีขาว เนื่องจากการศึกษาพบงานวิจัยหนึ่งได้ทำการทดลองเบื้องต้นพบว่าการดูสีอัญมณีที่ดีที่สุดคือพื้นสีขาว (อรรถัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) โดยพิจารณาจากภาพถ่ายพลอย ซึ่งเป็นภาพถ่ายที่ถ่ายจากด้านหน้า (Table) ของพลอย โดยวางพลอยโดยมีระยะห่างจากกล้อง 6 นิ้ว (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551) โดยใช้กล้อง DSLR ความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล ซึ่งเป็นกล้องที่ใช้ในด้านการถ่ายภาพอัญมณีที่ใช้ในงานโฆษณา โดยถ่ายภาพภายในตู้แสงมาตรฐาน ใช้อุณหภูมิแสง 5,000 เคลวิน ซึ่งเป็นการให้แสงที่ใกล้เคียงแสงตอนกลางวัน (ศักดิ์ดา ศิริพันธุ์, 2546) และใช้ภาพถ่ายพลอยจากกล้องมือถือ ซึ่งถ่ายจากสภาพแวดล้อมจริง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อประโยชน์ต่อผู้ซื้อในการเลือกซื้อพลอยให้ตรงตามชนิดของพลอยและตรงตามราคาที่เสียไป

1.5.2 สามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบจำแนกชนิดของพลอยชนิดอื่นๆ นอกเหนือจาก 7 ชนิด ที่ใช้ในการทดลองนี้

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งเป็นห้าบท ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

บทที่ 1 บทนำประกอบด้วยการกำหนดปัญหาการวิจัย (Problem definition) ซึ่งจะครอบคลุมถึง ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย คำจำกัดความของศัพท์เฉพาะ ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่จะได้รับ

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้ในงานวิจัย การแยกคุณลักษณะที่ใช้ในงานวิจัย การฝึกระบบและทดสอบระบบ การจำแนกเครื่องมือที่ใช้และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย

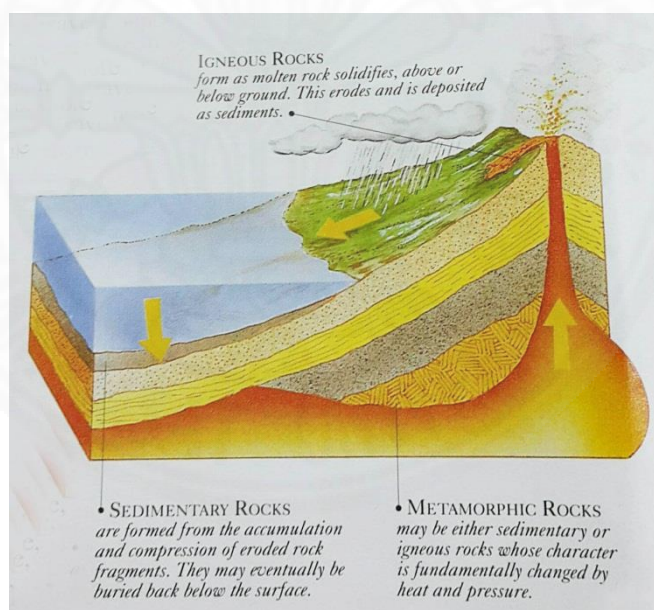
บทที่ 4 การทดลอง ประกอบด้วยการเตรียมข้อมูลการทดลอง วิธีการวัดผล ผลของการจำแนกและการวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

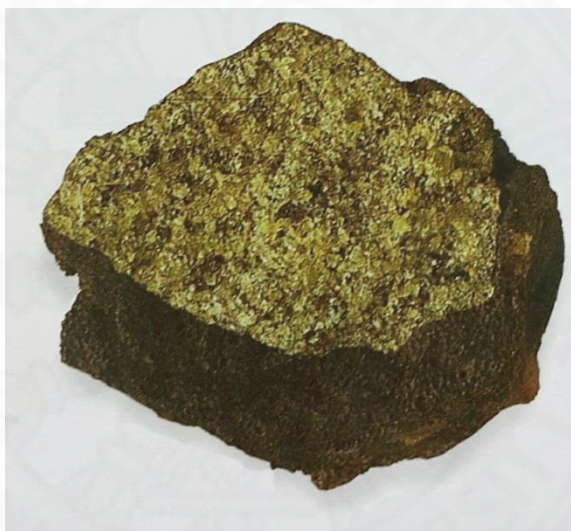
ในโลกนี้มีพลอยเป็นอัญมณีล้ำค่าอยู่มากมาย หลากหลายสีล้วน หลากหลายชนิด ได้รับความนิยมในระดับสากลตลอดทุกยุคทุกสมัย (มณีขจิต, 2554) เนื่องจากความสวยงามของพลอยชนิดนั้นๆ เป็นหลักสำคัญ พลอยบางชนิดมีคุณลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน แต่ต่างกันตรงชนิดของพลอย ถ้าเปรียบเทียบราคากันเม็ดหนึ่งราคาสูงมาก ส่วนอีกเม็ดราคาต่ำกว่ามาก จึงทำให้ผู้จำหน่ายพลอยบางราย ฉวยโอกาสจำหน่ายพลอยให้ผู้ซื้อผิดชนิดจากที่เข้าใจ ด้วยเหตุนี้หากมีการนำเอาวิทยาการด้านการวิเคราะห์ภาพอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์สีของพลอย เพื่อบอกชนิดของพลอย จะช่วยให้ผู้ซื้อที่ไม่มีความชำนาญสามารถที่จะตัดสินใจในการเลือกซื้อพลอยเบื้องต้นได้ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลอย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ



ภาพที่ 2.1 แสดงวัฏจักรของหิน

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลอย

พลอยเป็นอัญมณีที่เกิดจากแร่หลากหลายประเภท พบอยู่ในหินภายใต้พื้นผิวโลก ซึ่งเกิดจากวัฏจักรของหิน (Rock cycle) ดังภาพที่ 2.1 สามารถแบ่งออกเป็นสามประเภท ได้แก่ ชั้นหินอัคนี (Igneous Rocks) เกิดจากการหลอมเหลวออกมาเป็นลาวาของภูเขาไฟ ภูเขาไฟระเบิด หรือถ้าผ่านการประทุของภูเขาไฟ ดังภาพที่ 2.2 แร่เพอริโดท ที่เกิดจากลาวาที่เย็นตัวลงแล้ว ส่วนต่อมาคือชั้นหินตะกอน (Sedimentary Rocks) เกิดจากการสะสมของเศษหินมาจากสภาพดินฟ้าอากาศ และชั้นหินแปร (Metamorphic Rocks) เกิดจากเปลี่ยนแปลงจากความร้อนและแรงดันภายใต้ผิวโลก ทำให้เกิดหินและแร่ธาตุใหม่ (Cally Hall, 1994)



ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างแร่เพอริโดทที่เกิดจากภูเขาไฟลาวา

พลอยยังเป็นอัญมณีประจำราศี เช่น อเมทิสต์ (Amethyst) เชื่อกันว่าจะปกป้องผู้สวมใส่ที่เกิดในราศีมีน แซฟไฟร์ (Sapphire) เชื่อกันว่าปกป้องและรักษาความผิดปกติทางจิตได้สำหรับผู้สวมใส่ที่เกิดราศีพฤษภ โมรา (Agate) เชื่อกันว่าทำให้ชีวิตยืนยาว สุขภาพแข็งแรง และร่ำรวย สำหรับผู้สวมใส่ที่เกิดราศีเมถุน เป็นต้น นอกจากนี้พลอยยังเป็นอัญมณีประจำเดือนเกิด ประจำวันเกิด ประจำเวลาเกิด หรือแม้กระทั่งประจำวันครบรอบ (Antoinette Matlins, 2010)

แร่ทุกชนิดมิใช่จะทำให้เป็นพลอยได้ เพราะพลอยจะต้องเป็นวัตถุที่สวยงาม หายาก มีความคงทนและเหมาะสำหรับทำเป็นเครื่องประดับ สามารถนำมาเจียรไนและขัดมันหรือแกะสลักเพื่อใช้เป็นเครื่องประดับได้ คุณสมบัติของพลอยจะต้องประกอบด้วยสามประการ ดังนี้ (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551)

1. ความสวยงาม (Beauty) หมายถึง การพิจารณาจากสี การกระจายแสง การหักเหแสง ความเป็นประกาย ความสามารถในการให้แสงผ่าน และรูปแบบของการเจียรระไน

2. ความหายาก (Rarity) หมายถึง การใช้เวลาหรือการมีต้นทุนในการแสวงหายิ่งหายาก ยิ่งมีค่ามาก ซึ่งอาจจะมาจากระดับลึกของโลกตามสายแร่

3. ความคงทน (Durability) ซึ่งเป็นออกเป็นสามประการ ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) ความเหนียว (Toughness) และความทนทาน (Stability)

(ก) ความแข็ง (Hardness) หมายถึง ความทนทานของแร่ต่อการขีดข่วนให้เป็นรอย จะวัดความแตกต่างความแข็งของเพชรพลอยและแร่ต่างๆ โดยใช้มาตรฐานการวัดของโมห์ส (Moh's Scale) ผู้ค้นพบ คือ "เฟร德里ชโมห์ส" (Friedrich Mohs) ชาวออสเตรเลียน โดยเริ่มนับจากหน่วย 10 ถึง 1 ซึ่งหมายถึงความแข็งมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุดดังนี้ พลอยที่มีความแข็งมากกว่า จะสามารถขีดพลอยที่มีความแข็งน้อยกว่าให้เป็นรอยได้ แต่พลอยที่มีความแข็งน้อยกว่า จะขีดพลอยที่มีความแข็งมากกว่าไม่ได้ ส่วนพลอยที่มีความแข็งเท่ากันอาจขีดกันเองให้เป็นรอยได้

ตารางที่ 2.1

แสดงระดับความแข็งของโมห์ส

ความแข็ง	แร่
1	ทัลด์(Talc)
2	ยิปซัม (Gypsum)
3	คาลไซต์ (Calcite)
4	ฟลูออไรท์(Fluorite)
5	อะพาไทท์(Apatite)
6	ออร์โธเคลส(Orthoclase)
7	ควอทซ์ (Quartz)
8	โทแพส(Topaz)
9	คอรันดัม(Corundum)
10	เพชร (Diamond)

(ข) ความเหนียว (Toughness) หมายถึง ความคงทนต่อการแตกหรือแยกออกเมื่อถูกความกดดันหรือการกระแทก ซึ่งคุณลักษณะความเหนียวกับความแข็งจะไม่เหมือนกัน เพราะพลอยบางชนิดที่มีความแข็งมากไม่จำเป็นต้องมีความแข็งสูง และพลอยที่มีความเหนียวน้อยไม่จำเป็นต้องมีความแข็งต่ำ เช่น ทับทิมมีความแข็งระดับ 9 ส่วนหยกมีความแข็งระดับ 6.5-7 แต่ทับทิมมีความเหนียวน้อยกว่าหยก โดยสถาบันเอไอจีเอส ได้แบ่งประเภทของความเหนียวไว้หกประเภท ได้แก่ ดีที่สุด (Exceptional) ดีเลิศ (Excellent) ดีมาก (Very good) ดี (Good) พอใช้ (Fair) และแย้ (Poor) ซึ่งพลอยที่มีความเหนียวดีที่สุด เหมาะกับการนำมาแกะสลัก

(ค) ความทนทาน (Stability) หมายถึง ความคงทนต่อการกระทำทางฟิสิกส์และสารเคมี ที่สามารถทำให้พลอยเปลี่ยนแปลงและทำให้โครงสร้างของพลอยเกิดการชำรุด แตกสลายหรือหม่นหมอง เช่น กรด แอลกอฮอล์ น้ำหอม เป็นต้น เช่น พลอยอเมทิสต์ (Amethyst) มีลักษณะเป็นพลอยสีม่วงสวยงาม ควรหลีกเลี่ยงจากการโดนแสงแดดเป็นระยะเวลานาน เพราะพลอยชนิดนี้สีจะจืดจางหายไป พลอยเพอริโดท (Peridot) มีลักษณะเป็นพลอยสีเขียว ไม่ทนทานต่อความแตกต่างสุดขั้วของอุณหภูมิ (Thermal shock) เช่น เมื่อเราใส่พลอยเพอริโดทในบ้านที่มีอุณหภูมิ 25 องศา จากนั้นออกจากบ้านมีอุณหภูมิ -10 องศา ความแตกต่างสุดขั้วของอุณหภูมิทำให้พลอยเพอริโดทอาจแตกได้ หรือเพชรและพลอยจำพวกทับทิม ไพลิน บุษราคัมและสปิเนล เป็นต้น พลอยชนิดนี้จะไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีใดๆ แตกต่างจากไข่มุกที่ไม่ควรโดนสารเคมีทุกประเภท แม้เครื่องตีที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น มะนาวหรือน้ำส้ม เพราะจะทำให้ไข่มุกเสียความแวววาว

2.1.1 การประเมินคุณภาพพลอย

การประเมินคุณภาพพลอยประกอบด้วยสี่ซี (The Four Cs of Colored Gems) ได้แก่ สี (Color) การเจียรไน (Cutting) ความสะอาดของเนื้อพลอย (Clarity) และน้ำหนัก (Carat)

2.1.1.1 สีของพลอย (Color)

สีเป็นปัจจัยสำคัญในการตีราคา ดังนั้นจึงควรดูสีพลอย ภายใต้แสงที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากที่สุดเพราะฉะนั้นการพิจารณาดูสีของพลอย ควรใช้ไฟสีขาวของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) เพราะเป็นแสงที่ให้ความสว่างใกล้เคียงกับแสงแดด (Day light) และควรดูจากด้านหน้าของพลอย (Face up or Table) จะทำให้มองเห็นสีของพลอยชัดเจน โดยพื้นหลังควรเป็นสีขาว (Back Ground) ถือพลอยห่างจากไฟสีขาวประมาณ 6 นิ้ว (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551)

พลอยในท้องตลาดมีหลายสี พลอยชนิดเดียวกัน ถ้ามีสีเข้มจะมีราคาดีกว่าสีอ่อน จึงเป็นสาเหตุให้มนุษย์คิดค้นการปรับปรุงคุณภาพสีของพลอยให้ดีขึ้น ซึ่งพลอยที่สีไม่สวย จะถูกปรับปรุงคุณภาพสี (Enhancement) ด้วยวิธีต่างๆ เพื่อให้พลอยมีสีที่สวยงามยิ่งขึ้น เช่น การเผาด้วย

ความร้อน (Heat Treatment) ซึ่งการเผาด้วยวิธีนี้ทำได้ทั้งพลอยที่เป็นก้อนและพลอยที่ถูกเจียรระไนแล้ว โดยการเผาด้วยความร้อนที่ถูกต้อง โดยใช้เตาไฟฟ้าหรือแก๊ส อาจทำที่ละเม็ด หรือหลายเม็ดรวมกัน การซ่านสีพลอย (Diffusion) สีที่ซ่านเข้าไปในเนื้อผิวของพลอยจะแทรกเข้าไปได้ผิวของพลอย ส่วนพลอยที่มีแผลหลุมลึก รอยแตก และรอยกระแทก จะเห็นสีที่ซ่านติดตามรอยแผลชัดเจน ดังภาพที่ 2.3 พลอยในเมืองไทยที่นิยมเผากันมากคือ ทับทิม (Ruby) ไพลิน (Blue Sapphire) บุษราคัม (Yellow Sapphire) และเขียวส่อง (Green Sapphire) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเผาพลอยอีกหลายวิธีแต่ส่วนมากจะไม่ค่อยเปิดเผยให้เป็นที่รู้จัก



ภาพที่ 2.3 แสดงสีที่ซึมเข้าไปในรอยร้าว

เหตุของการปรับปรุงคุณภาพสีพลอยก็เพราะว่าพลอยดิบที่ขุดขึ้นมาจากใต้ดินส่วนมากจะเป็นพลอยที่มีตำหนิ เนื้อพลอยไม่สะอาด สีสั่นไม่สวยงาม ขาดความใสแวววาว แม้กระทั่งเป็นพลอยที่ทับแสงดูคล้ายก้อนหินก็มีเป็นจำนวนมากมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นและหายากที่สุด ที่มีสีสั่นสวยงาม มีความใส เพียงแค่นำมาเจียรระไน ก็เป็นประกายแวววาว พลอยพวกนี้จะเรียกว่าพลอยสด ดังนั้นพลอยสดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของพลอยจึงมีราคาแพงกว่าพลอยที่ถูกปรับปรุงคุณภาพ ส่วนราคาเท่าไรนั้น จะขึ้นอยู่กับขนาด สี ความมีประกายแวววาวเหลือมการเจียรระไนและความสะอาดของเนื้อพลอย ด้วยเหตุนี้คนทำพลอยจึงคิดค้นวิธีปรับปรุงคุณภาพพลอยให้มีค่าราคาสูงขึ้น

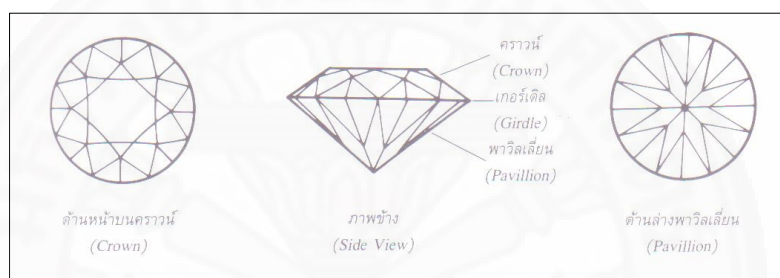
2.1.1.2 รูปแบบการเจียรระไนของพลอย (Cut)

การเจียรระไน ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อราคา (สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย, 2549) พลอยที่ถูกเจียรระไนไม่ได้สัดส่วน เช่น การเจียรระไนตื้นหรือลึกเกินไป หรือการเจียรระไนผิดรูปร่าง จะมีราคาต่ำกว่าพลอยที่เจียรระไนที่ได้สัดส่วน โดยคุณภาพของการเจียรระไนขึ้นอยู่กับความสวยงาม หมายถึง ความสมดุลของรูปร่างและความกว้างยาวของสัดส่วน ความเหมาะสมในการใช้งาน หมายถึง ความง่ายต่อการนำไปทำเครื่องประดับ และความทนทานต่อแรงกระแทกกับวัตถุ

อื่นๆ และความประณีต หมายถึง ช่างเจียรระไนต้องเจียรระไนให้มีเหลี่ยมที่สวยงาม ชัดเจน ข้อบกพร่อง ความประณีต เช่น เหลี่ยมบริเวณขอบหรือเกอร์เดิลทยาบ แนวเส้นเจียรระไนไม่ตรง มีรอยขีดข่วน เป็นต้น

การเจียรระไนของพลอยเป็นการเจียรระไนจากก้อนพลอยดิบเป็นกระบวนการที่สำคัญมาก การเจียรระไนมีหลายรูปแบบดังนี้

(1) แบบเหลี่ยมเกสร (Brilliant Cut) มี 57-58 เหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งปัจจุบันเป็นที่นิยมมากกับการเจียรระไนเพชร ซึ่งการเจียรระไนแบบนี้จะทำให้อัญมณีมีประกาย มีความระยิบระยับมากที่สุด แต่จะไม่รักษาน้ำหนักของอัญมณี



ภาพที่ 2.4 แสดงการเจียรระไนแบบเหลี่ยมเกสร

(2) แบบขั้นบันได (Step Cut) เป็นการเจียรระไนแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียงกันเป็นขั้นบันได ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ส่วนมากจะนิยมใช้กับการเจียรระไนกับมรกต การเจียรระไนแบบนี้จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการเจียรระไนแบบมรกต (Emerald Cut) วัตถุประสงค์หลักของการเจียรระไนแบบนี้คือต้องการอวดสีของพลอยให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ และเพื่อให้พลอยมีสีที่ดูเข้มขึ้น เหมาะกับพลอยที่มีเนื้อสะอาด



ภาพที่ 2.5 แสดงการเจียรระไนแบบขั้นบันได

(3) **แบบผสม (Mixed Cut)** เป็นการเจียรไนผสมระหว่างเหลี่ยมเกสร ซึ่งอยู่บนด้านบนของพลอยและด้านล่างเป็นแบบชั้นบันได ดังแสดงในภาพที่ 2.6 การเจียรไนแบบนี้เป็นการรักษาเนื้อพลอยได้ดีมาก



ภาพที่ 2.6 แสดงการเจียรไนแบบผสม

(4) **แบบหลังเบี้ย (Cabochon)** เป็นการเจียรไนแบบดั้งเดิม มีลักษณะเป็นโดมโค้งเรียบและขัดเงา โคมอาจจะสูงหรือเกือบแบนก็ได้ แสดงดังภาพที่ 2.7 ซึ่งเหมาะสำหรับพลอยที่มีการผ่านแสงน้อยและมีตำหนิมาก เช่น มรกต (Emerald) ทับทิม (Ruby) และเทอร์ควอยซ์ (Turquoise)



ภาพที่ 2.7 แสดงการเจียรไนแบบหลังเบี้ย

การเจียรระโนพลอยยังมีอีกหลายแบบ เช่น การเจียรระโนแบบแกะสลักนูน (Cameo) และแกะสลักจม (Intaglio) เป็นรูปคนหรือรูปดอกไม้ แสดงดังภาพที่ 2.8 และ 2.9 การเจียรระโนแบบก้อนมน (Tumbled) มักเจียรระโนกับพลอยที่มีราคาค่อนข้างต่ำ มีรูปร่างไม่แน่นอนและก้อนพลอยมีผิวเรียบ แสดงดังภาพที่ 2.10 ซึ่งการเจียรระโนพลอย เป็นการเจียรระโนที่มนุษย์เป็นคนคิดค้นขึ้นมาเพื่อให้พลอยเม็ดนั้นมีความสวยงามมากขึ้นเพื่อขจัดและปกปิดตำหนิภายในเนื้อพลอยได้ ยิ่งพลอยมีเนื้อสะอาดและมีขนาดใหญ่ ก็จะทำให้พลอยมีราคาสูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่างเจียรระโนพลอยที่ต้องเจียรระโนพลอยเม็ดนั้นให้มีเนื้อสะอาดที่สุดและไม่เสียน้ำหนักของพลอย



ภาพที่ 2.8 แสดงการเจียรระโนพลอยในรูปแบบการแกะสลักนูน (Cameo) และรูปสมเด็จพระราชินีเอลิซาเบจ (Queen Elizabeth)



ภาพที่ 2.9 แสดงการเจียรระโนพลอยในรูปแบบการสลัก (Carved)



ภาพที่ 2.10 แสดงการเจียรระโนแบบก้อนมน (Tumbled)

2.1.1.3 ความสะอาดของพลอย (Clarity)

ความสะอาดของพลอย หมายถึง การวัดระดับความสะอาดของเนื้อพลอย ถ้าพลอยมีตำหนิภายในมากราคาก็จะลดลงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลอยด้วย ตำหนิมีทั้งตำหนิภายนอก (Blemishes) หมายถึง ตำหนิที่อยู่บนพื้นผิวพลอยเช่น ตำหนิจากรอยขีดข่วน หลุมเล็กๆ มักเกิดตามขอบพลอย และตำหนิภายใน (Inclusions) หมายถึง สิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปอยู่ภายในเนื้อพลอย อาจเป็นผลึกของแข็ง ของเหลว รอยแตก ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือใช้เครื่องมือในการส่องดูภายในเนื้อพลอย เช่น กล้องกำลังขยาย 10เท่า (Loupe) แสดงดังภาพที่ 2.11 เหตุผลที่สำคัญที่เลือกใช้กล้องขยาย 10เท่า เพราะถ้าใช้กำลังขยายที่น้อยกว่า 10เท่า จะทำให้ไม่สามารถมองเห็นตำหนิภายในที่มีขนาดเล็กได้ และถ้าใช้กำลังขยายที่มากกว่า 10เท่าส่วนใหญ่จะมีขนาดของเลนส์ที่เล็กและมีระยะโฟกัส (Focus) ที่สั้นทำให้ยากต่อการปรับหาตำแหน่งที่สั้นที่สุด (สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย, 2549)

การวัดระดับความสะอาดของพลอย (Clarity Grading) ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานการวัดระดับความสะอาดของพลอย (Clarity Scale) เนื่องจากพลอยมีหลากหลายชนิด มีมากมายทั่วโลก และพลอยแต่ละชนิดก็มีตำหนิภายในที่ไม่เหมือนกัน เช่น ความสะอาดของพลอยที่ดีที่สุดของพลอยแต่ละประเภทก็ไม่เท่ากัน ซึ่งสถาบันเอไอจีเอสได้จัดระดับความสะอาดไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

แสดงระดับการเกรดความสะอาดของพลอย โดยสถาบันเอไอจีเอส

AIGS Clarity Scale				
Clean (C)	Lightly included (LI1-LI2)	Moderately included (MI1-MI2)	Visibly included (VI1-VI2)	Heavily included (HI)
คุณภาพดีเยี่ยม ไม่มีตำหนิ เมื่อ ส่องด้วยกล้อง กำลังขยาย 10 เท่า	คุณภาพดีเยี่ยม มี ตำหนิเล็กน้อยที่ ไม่ชัดเจน เมื่อ ส่องด้วยกล้อง กำลังขยาย 10 เท่า	คุณภาพดี ไม่ สามารถมองเห็น ตำหนิได้ด้วยตา เปล่า หรือเมื่อส่อง ด้วยกล้อง กำลังขยายน้อย กว่า 10 เท่า ก็ยัง ยากที่จะมองเห็น ตำหนิที่ชัดเจน	คุณภาพปาน มี ตำหนิเล็กน้อย มองตำหนิได้ไม่ ชัดด้วยตาเปล่า เมื่อส่องด้วยกล้อง กำลังขยายน้อย กว่า 10 เท่า ก็ยัง ยากที่จะมองเห็น ตำหนิที่ชัดเจน	คุณภาพต่ำ สามารถ มองเห็นตำหนิ ชัดเจนได้ด้วย ตาเปล่า เนื้อ พลอยมีความ ขุ่น จนแสงไม่ สามารถรอด ผ่านเนื้อพลอย ได้




2.1.1.4 น้ำหนักต่อกะรัต (Carat Weight)

พลอยจะจำหน่ายตามน้ำหนักเป็นกะรัต (Carat) ไม่ได้จำหน่ายตามขนาด (size) โดยน้ำหนักพลอยใช้หน่วยวัดเป็นเมตริกกะรัต (metric carat) โดยหนึ่งกะรัต เท่ากับ 0.2 กรัม และในหนึ่งกะรัต จะเท่ากับ 100 สตางค์ (point) พลอยที่มีขนาดใหญ่จะมีราคาต่อกะรัตสูงกว่าพลอยที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากพลอยขนาดใหญ่จะหาได้ยากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับพลอยที่มีขนาดเกิน 40 กะรัตขึ้นไป บางครั้งราคาต่อกะรัตอาจไม่สูงมาก เนื่องจากขนาดที่ใหญ่เกินไป จึงไม่เหมาะแก่การนำไปทำเครื่องประดับและยังทำให้ราคาทั้งหมดสูงมากเกินไปสำหรับพลอยชนิดที่มีราคาไม่แพง (สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย, 2549)



ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างก๊อ่งกำลังขยาย 10เท่า

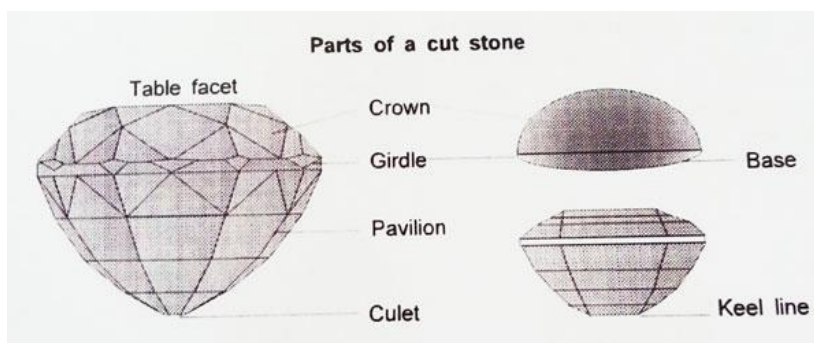
พลอยแต่ละประเภทน้ำหนักต่อกะรัตเท่ากัน แต่ขนาดอาจไม่เท่ากัน เช่น หนึ่งกะรัตของมรกต และหนึ่งกะรัตของทับทิมมีน้ำหนักเท่ากัน แต่ขนาดจะไม่เท่ากัน เพราะพลอยแต่ละประเภทก็มาจากหลายแร่ธาตุ แต่ละแร่ธาตุก็มีความหนาแน่น (density) ที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้ซื้อที่ขาดความชำนาญอาจซื้อพลอยที่มีใบรับรองจากสถาบันตรวจสอบอัญมณี เพื่อป้องกันการถูกเอาเปรียบจากผู้ขาย ตัวอย่างใบรับรองแสดงดังภาพที่ 2.12

		 GE1003658	
<small>ASIAN INSTITUTE OF GEMOLOGICAL SCIENCES</small>		<small>918/1 Silom Rd, Jewelry Trade Center 6th Fl, Bangkok 10500 Thailand Tel: 662-267-4323 Fax: 662-267-4327 E-mail: info@aigslaboratory.com</small>	
<h3>Gemstone Identification e-Report</h3>			
			18 Mar 2010
Weight	: 1.16 Carats	 <small>Photograph of item(s) tested - not actual size</small>	
Shape	: Cushion		
Cut	: Faceted		
Measurements	: 6.95 x 5.81 x 3.43 mm		
Color	: Red		
Mounted	: No		
Result(s) : Natural Spinel			
<small>Payment of the testing fee constitutes an acceptance of the following Terms and Limitations: The item(s) described above has/have been examined by at least two qualified AIGS gemologists and the result (s) describe(s) the nature of the material at the time of the identification. It does not take into account of any possible subsequent modifications. This electronic report (e-Report) is not an appraisal or valuation and may be used for identification purposes only. Reproduction or marketing of this e-Report in any form is strictly forbidden. If you have any doubt of the validity of this e-Report, please check directly on our website: www.aigslaboratory.com.</small>			
<small>Copyright © 2008 Asian Institute of Gemological Sciences</small>		<small>www.aigslaboratory.com</small>	

ภาพที่ 2.12 แสดงใบรับรองคุณภาพของพลอยสถาบันเอไอจีเอส

2.1.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของพลอย

การเจียรระไนรูปร่างของพลอยเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะจะเป็นขั้นตอนที่จะแสดงความสวยงามของพลอยและความน่าดึงดูดใจในพลอยเม็ดนั้นๆ ได้มากน้อยเพียงใด แสดงดังภาพที่ 2.13 เป็นการแสดงส่วนต่างๆของการเจียรระไนพลอย (สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย, 2549)

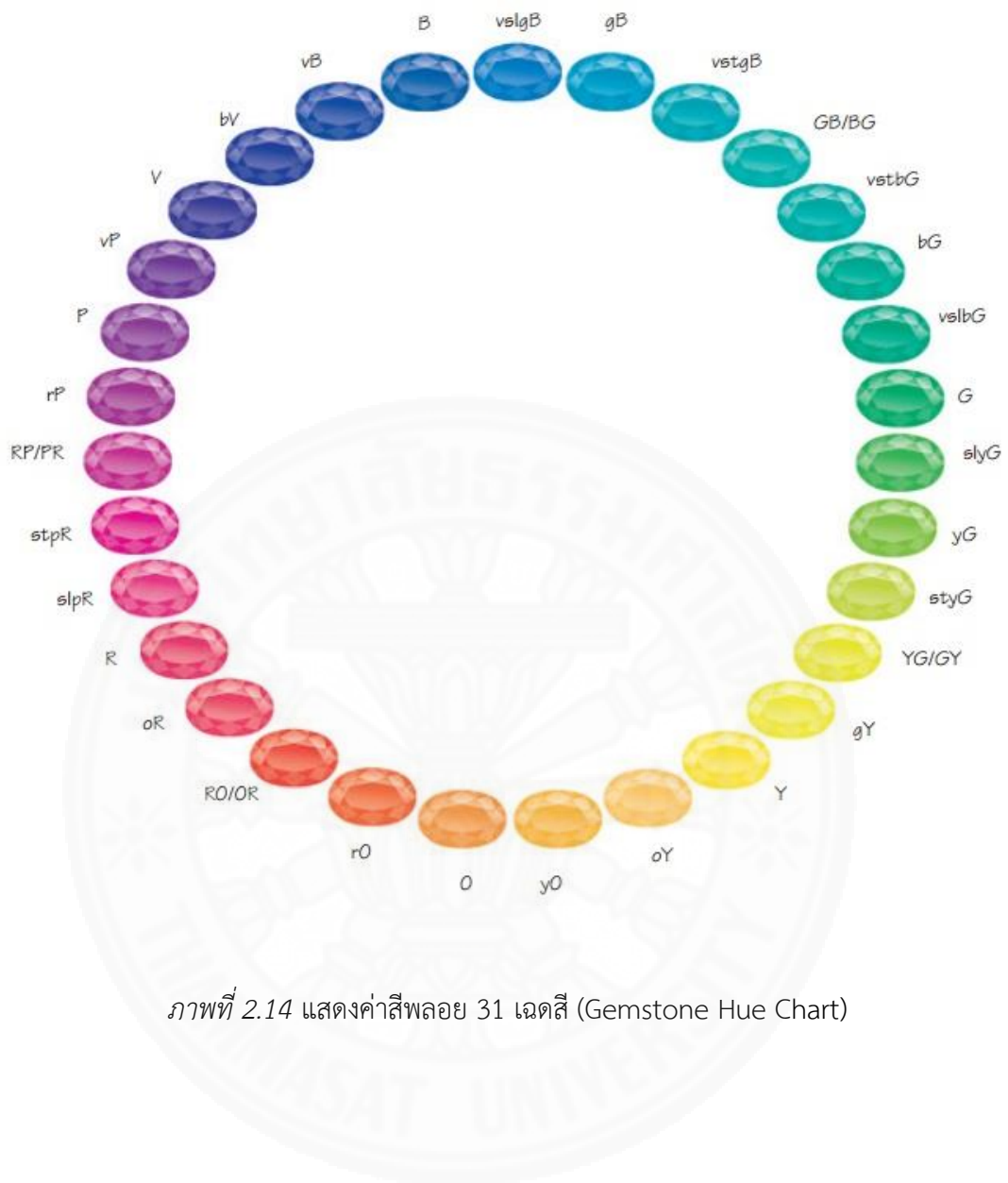


ภาพที่ 2.13 ส่วนประกอบต่างๆของพลอย

พลอยจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ ส่วนหน้าของพลอย (Table facet) หมายถึง ส่วนที่ใหญ่ที่สุด มีลักษณะเป็นระนาบบนสุดของพลอย ที่ใช้บอกรายละเอียดความกว้างของหน้าพลอย คราวน์ หมายถึง ส่วนที่อยู่ด้านบนของพลอยเหมือนกัน และอยู่เหนือกว่า Girdle ในส่วน Crown และ pavilion จะเจียรระโนรูปว่าว (kite) ส่วนของ Girdle หมายถึง เหลี่ยมที่อยู่บริเวณขอบพลอยที่เจียรระโนแบบขั้นบันได (step cut) หรือแบบผสม (mixed) มักมีการเจียรระโนขอบเป็นหน้าเหลี่ยมด้วย ซึ่งในการเจียรระโนแบบ brilliant มักไม่นิยม เจียรระโนเหลี่ยมที่ขอบ ส่วนสุดท้ายคือ ส่วน Culet หมายถึง เป็นเหลี่ยมปลายแหลมสุดบริเวณ pavilion เป็นบริเวณที่เหลี่ยมต่างๆมาบรรจบกัน การเจียรระโน บางครั้งเป็นจุดแหลม แต่หากมีเหลี่ยมเล็กๆ บริเวณ culet จะเรียกว่า Culet facets ซึ่งจะช่วยลดการแตกหักของปลายแหลม

2.1.3 หลักการทั่วไปในการพิจารณาพลอย มีดังนี้

2.1.3.1. เฉดสี (Hue) สีหลักมีอยู่หกสี คือ แดง ส้ม เหลือง เขียว ม่วง น้ำเงิน การกำหนดสีของพลอย เราจะเรียกจากสีของพลอยที่เห็น แต่ในกรณีที่มีสีของพลอยมีความกำกวม เช่น มีทั้งสีแดงและสีม่วงเล็กน้อย ก็จะเรียกว่าสีแดงอมม่วง ถ้าม่วงมากกว่าก็จะเรียกว่าสีม่วงอมแดง เป็นต้น ส่วนตาของมนุษย์สามารถมองแยกความแตกต่างของสีได้ถึง 150 เฉดสี แต่เพียง 31 เฉดสีที่ถูกนำมาใช้แยกสีพลอย อ้างอิงโดยสถาบันจีไอเอ (Gemological Institute of America : GIA) ซึ่งเป็นสถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกา ทำการค้นคว้าวิจัยและศึกษาทางด้านอัญมณีศาสตร์ และให้บริการการตรวจสอบวิเคราะห์และออกใบรายงานผล (Certificate) ของเพชรและพลอย เป็นที่ยอมรับทั่วโลก ซึ่งได้กำหนดค่าสีในการพิจารณาสีของพลอยไว้ 31 เฉดสี แสดงดังภาพที่ 2.14 และอธิบายด้วยย่อของแต่ละสี แสดงดังตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.14 แสดงค่าสีพลอย 31 เฉดสี (Gemstone Hue Chart)

ตารางที่ 2.3

แสดงความหมายและตัวย่อระดับสี 31 ระดับ

สี (HUES)	ตัวย่อ (ABBREVIATION)
สีม่วง (Purple) สีม่วงค่อนข้างแดง (reddish Purple) สีแดงม่วง หรือ สีม่วงแดง (Red-Purple or Purple-Red) สีแดงม่วงเข้ม (strongly purplish Red) สีแดงม่วงเล็กน้อย (slightly purplish Red)	P rP RP/PR stpR slpR
สีแดง (Red) สีส้มแดง (orangy Red) สีแดงส้ม หรือ สีส้มแดง (Red-Orange or Orange-Red) สีส้มค่อนข้างแดง (reddish Orange)	R oR RO/OR rO
สีส้ม (Orange) สีส้มค่อนข้างเหลือง (yellowish Orange) สีเหลืองส้ม (orangy Yellow)	O yO oY
สีเหลือง (Yellow) สีเหลืองค่อนข้างเขียว (greenish Yellow) สีเหลืองเขียว หรือ สีเขียวเหลือง (Yellow-Green or Green-Yellow) สีเขียวเหลืองเข้ม (strongly yellowish Green) สีเขียวก่อนข้างเหลือง (yellowish Green) สีเขียวเหลืองเล็กน้อย (slightly yellowish Green)	Y gY YG/GY styG yG slyG

สี (HUES)	ตัวย่อ (ABBREVIATION)
สีเขียว (Green) สีเขียวอมฟ้าเล็กน้อย (very slightly bluish Green) สีเขียวค่อนข้างฟ้า (bluish Green) สีเขียวอมฟ้าเข้ม (very strongly bluish Green) สีเขียวฟ้า หรือ สีฟ้าเขียว (Green-Blue or Blue-Green) สีฟ้าอมเขียวเข้ม (very strongly greenish Blue) สีฟ้าค่อนข้างเขียว (greenish Blue) สีฟ้าอมเขียวเล็กน้อย (very slightly greenish Blue)	G vslbG bG vstbG GB/BG vstgB gB vslgB
สีฟ้า (Blue) สีฟ้าค่อนข้างม่วง (violetish Blue) สีม่วงค่อนข้างฟ้า (bluish Violet)	B vB bV
สีม่วง (Violet) violetish Purple	V vP

2.1.3.2. ความสดของสี (Saturation) หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของสี โดยสถาบันจีไอเอได้แบ่งระดับความสดของสีเป็น 6 ระดับสี แสดงดังภาพที่ 2.15 โดยทั่วไปพลอยจะอยู่ในส่วนระดับ 4 5 และ 6 เช่น หากพลอยมีสีน้ำตาลหรือเทาปรากฏชัดเจน จะจัดอยู่ในระดับ 1 และ 2 หากพลอยมีสีแดงอมน้ำตาลหรือสีน้ำเงินอมเทา จะจัดอยู่ไม่เกินในระดับ 3 ส่วนระดับ 4 ขึ้นไป จะเป็นพลอยที่น่าสนใจ เป็นต้น

2.1.3.3. โทนสี (Tone) เพื่ออธิบายความมืดหรือความสว่างของพลอย โดยสถาบันจีไอเอ ได้แบ่งระดับโทนสีเป็น 11 ระดับ ได้แก่ ไร้สีหรือสีขาว (very light) ไปจนถึงระดับสีมืด (very dark) แต่ในทางปฏิบัติในสายตามนุษย์ที่จะตรวจจับได้ จะเริ่มจากระดับ 2 คือไร้สีหรือสีขาว ไปจนถึงระดับ 8 คือ มีดมาก แสดงดังภาพที่ 2.16 โดยสามระดับหลักที่ต้องจำได้แก่ ระดับ 3 สว่าง ระดับ 5 สว่างปานกลาง และระดับ 7มืด เช่น สีเขียวสว่างหรือสีเขียวมืด เป็นต้น

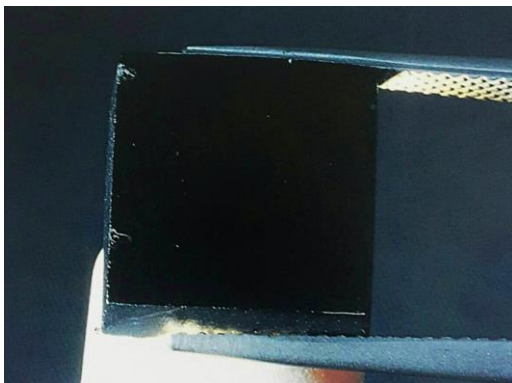


ภาพที่ 2.15 แสดงความสดของสี (Gemstone Saturation Chart)



ภาพที่ 2.16 แสดงระดับโทนสี (Gemstone Tone Chart)

นอกจากพิจารณาสี โทนสีและความสดของสีพลอยแล้ว ยังต้องพิจารณาความโปร่งใสของพลอย (Transparency) หมายถึง ความสามารถของแสงที่ผ่านเข้าไปในพลอย แสงจะผ่านเข้าไปในพลอยมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลอย ซึ่งสามารถแบ่งได้หลายระดับ เช่น พลอยทึบแสง (Opaque) หมายถึง พลอยที่แสงไม่สามารถผ่านพลอยได้ แสดงดังภาพที่ 2.17 และพลอยกึ่งโปร่งแสง (Semi-translucent) หมายถึง พลอยที่แสงผ่านได้น้อย ทำให้เห็นแสงเฉพาะบริเวณขอบๆ ของพลอยเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.18 เป็นต้น



ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะพลอยทึบแสง (Opaque)

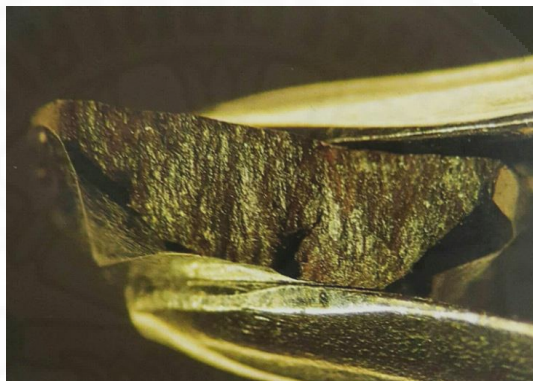


ภาพที่ 2.18 แสดงลักษณะพลอยกึ่งโปร่งแสง (Semi-translucent)

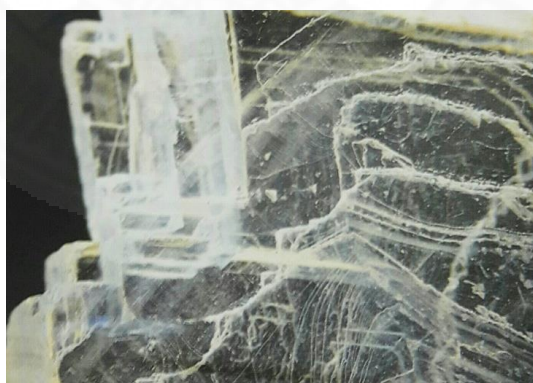
การพิจารณาจากการแตกของพลอย ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รอยแตก (Fractures) และรอยแยกแนวเรียบแบบชั้นบันได (Cleavage) รอยแตก หมายถึง การแตกของพลอย ซึ่งมีหลายลักษณะ เช่น รอยแตกแบบขรุขระ (Granular) มีลักษณะขรุขระ ผิวไม่เรียบ แสดงดังภาพที่ 2.19 และรอยแตกแบบเสี้ยนไม้ (Splintery) มีลักษณะเส้นๆ แบบกากไม้ แสดงภาพที่ 2.20 เป็นต้น ส่วนรอยแยกแนวเรียบแบบชั้นบันได หมายถึง การแตกของพลอยตามแนวระนาบของผลึกพลอย จะเกิดขึ้นกับผลึกเสมอและเกิดจากแรงที่ตกผลึกเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2.21 (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551)



ภาพที่ 2.19 แสดงลักษณะรอยแตกแบบขรุขระ (Granular)



ภาพที่ 2.20 แสดงลักษณะรอยแตกแบบเสี้ยนไม้ (Splintery)



ภาพที่ 2.21 แสดงลักษณะรอยแยกแนวเรียบแบบชั้นบันได (Cleavage)

2.1.4 การจำแนกชนิดของพลอย

โดยทั่วไปผู้ค้าพลอยจะจำแนกชนิดของพลอย โดยอาศัยประสบการณ์ส่วนตัวหรือความชำนาญ วิเคราะห์พลอยจากสี ความโปร่งใส หรือการแตกของพลอย เป็นต้น โดยใช้ตาเปล่าหรือ

ใช้กล้องกำลังขยาย 10 เท่า (10x Loupe) เมื่อมีพลอยชนิดที่ไม่คุ้นเคยหรือมีพลอยชนิดใหม่ เข้ามาในตลาด อาจขาดความรู้ในการจำแนกชนิดของพลอยชนิดที่ไม่คุ้นเคย จึงต้องนำพลอยส่งตรวจในห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี (Gemological Laboratory : Gems Lab) โดยมีวิธีการตรวจสอบประเภทพลอยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (บุญนาค นันทรัตน์, 2559) ดังนี้

2.1.4.1 การตรวจสอบด้วยเครื่องมือการตรวจสอบอัญมณีพื้นฐาน (Basic Gemological Instruments) ซึ่งการตรวจสอบอัญมณีในระดับนี้สามารถทราบชนิดของพลอยได้ โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณีจะมีเครื่องมือในการตรวจสอบพื้นฐานที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางแสง ซึ่งอัญมณีแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่เป็นค่าคงที่ มีความเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ตามองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติเหล่านี้ ได้แก่

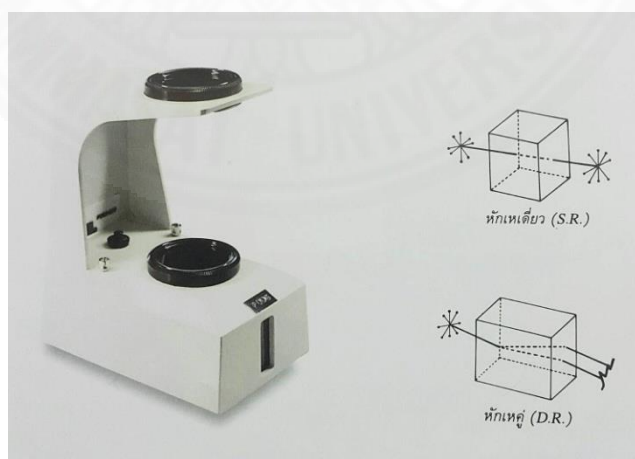
(1) การหาค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index : RI) โดยค่าดัชนีหักเหของแสงแบ่งเป็นหักเหเดี่ยวและหักเหคู่ หักเหเดี่ยว คือ ลำแสงเดินทางผ่านพลอยออกมาเป็นลำแสงเดี่ยว ส่วนหักเหคู่ คือ ลำแสงเดินทางผ่านพลอยแล้วแตกเป็น 2 ลำแสง โดยใช้เครื่องมือรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้หาค่าหักเหของแสงในพลอยแต่ละชนิด และค่าที่อ่านได้อาจเป็นตัวบ่งบอกชนิดของพลอย แสดงดังภาพที่ 2.22 ในการอ่านค่าดัชนีหักเหของแสงออกมาเป็นตัวเลข เช่น พลอยมรกต มีค่าอาร์ไอเท่ากับ 1.577 - 1.83 พลอยบุษราคัม มีค่าอาร์ไอเท่ากับ 1.762 - 1.773 พลอยแอมethyst มีค่าอาร์ไอเท่ากับ 1.533 - 1.554 และพลอยโกเมน มีค่าอาร์ไอเท่ากับ 1.720 - 1.888 เป็นต้น (ศักดา ศิริพันธุ์, 2546)

(2) คุณลักษณะทางแสง (Optical Character) หมายถึง การแยกคุณลักษณะทางแสงว่าเป็นหักเหเดี่ยว (Single Refractive Index : SR) หรือหักเหคู่ (Double Refractive Index) : DR) โดยใช้เครื่องโพลาริสโคป (Polariscope) แสดงผล แสดงดังภาพที่ 2.23 เช่น ทับทิมมีคุณลักษณะทางแสง คือพลอยหักเหคู่ เพอริโดท คือพลอยหักเหคู่ และพลอยโกเมน คือพลอยหักเหเดี่ยว เป็นต้น



ภาพที่ 2.22 แสดงเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer)

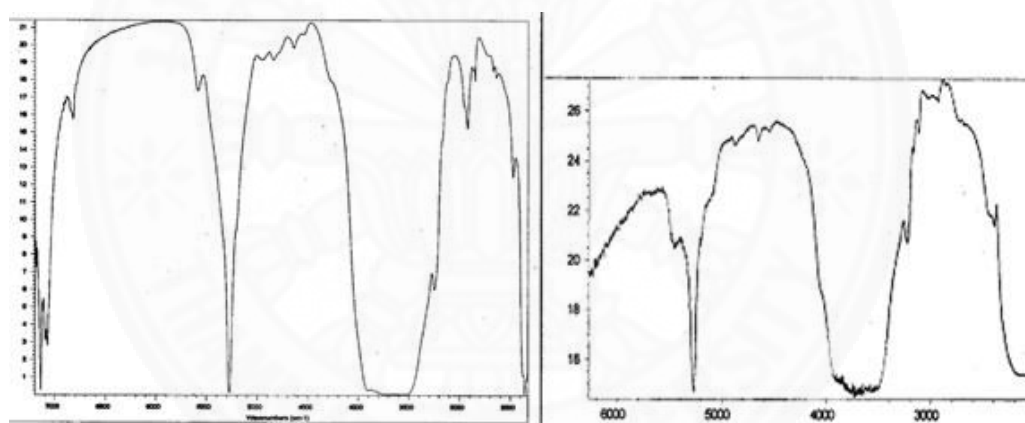
(3) การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) หมายถึง อัตราส่วนของน้ำหนักของสารต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากันที่ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งการถ่วงจำเพาะเป็นวิธีที่สำคัญอีกวิธีหนึ่งในการตรวจสอบเพชรพลอย โดยใช้เครื่องชั่งแบบไฮโดรสแตติก (Hydrostatic Balance) ชั่งพลอยในอากาศและในน้ำ เช่น พลอยมรกต มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.67 - 2.78 พลอยบุษราคัม มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.98 - 4.10 พลอยแอมethyst มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.63 - 2.65 และพลอยโกเมน มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.95 - 4.32 เป็นต้น



ภาพที่ 2.23 แสดงเครื่องโพลาริสโคป (Polariscope)

2.1.4.2. การตรวจสอบด้วยเครื่องมือการตรวจสอบอัญมณีขั้นสูง (Advanced Analytical Technique) โดยทั่วไปการตรวจสอบชนิดของอัญมณีธรรมชาติด้วยเครื่องมือพื้นฐาน

สามารถจำแนกชนิดของอัญมณีได้แล้ว การใช้เครื่องมือขั้นสูง มักใช้ในการตรวจสอบอัญมณีสังเคราะห์ (Synthetic Gemstone) โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition) ของพลอยเมื่อนั้นว่ามีองค์ประกอบทางเคมีที่ค่อนข้างบริสุทธิ์หรือพบการเจือปนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์พลอย อย่างไรก็ตามการจำแนกอัญมณีสังเคราะห์ก็ต้องใช้คุณสมบัติอื่นๆด้วย เช่น การวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy) ซึ่งเครื่องมือทางสเปกโตรสโกปีมีหลายชนิด โดยชนิดที่ใช้กันมากคือ UV-Vis-NIR Spectrophotometer เป็นการดูผลการดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มีความยาวคลื่น ตั้งแต่ 250 - 2500 NM และ Fourier Transform Infrared Spectrophotometer : FTIR Spectrometer ใช้ตรวจสอบชนิดของพลอย โดยดูจากการดูดกลืนหรือการผ่านคลื่นแสงอินฟราเรด เป็นต้น ซึ่งภาพที่ 2.24 แสดง FTIR Spectra ของพลอยแท้และพลอยสังเคราะห์

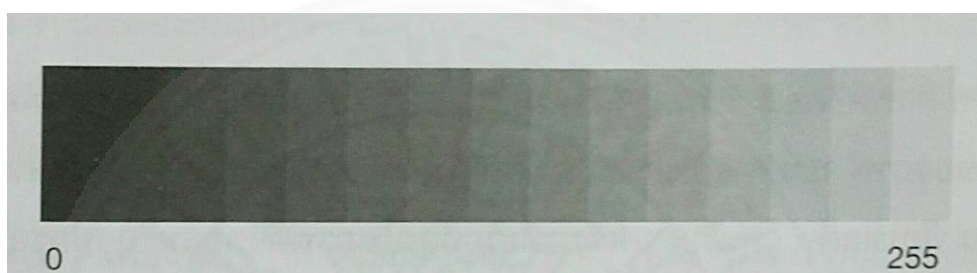


ภาพที่ 2.24 แสดง FTIR Spectra ของพลอยแท้และพลอยสังเคราะห์

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และประมวลผลภาพ

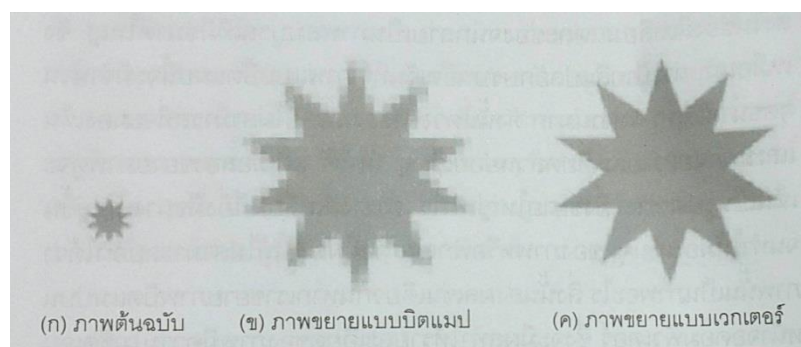
โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งภาพที่ใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รูปภาพแบบบิตแมป (Bitmap Image) และรูปภาพแบบเวกเตอร์ (Vector Image) (สมเกียรติ อุดมธรรษากุล, 2554) โดยภาพแบบบิตแมป จะประกอบด้วยจุดขนาดเล็กๆ (Pixels) จำนวนมากที่เรียงต่อกันจนเป็นภาพหนึ่ง ในลักษณะแนวนอนคูณแนวตั้ง ($x * y$) เช่น $1,366 * 768$ พิกเซลเท่ากับ $1,049,088$ พิกเซล ดังนั้นแต่ละพิกเซลเป็นได้ทั้งค่า 0 มีความเข้มแสงต่ำสุด หมายถึง ดำมืด หรือมีค่า 1 มีความเข้มแสงสูงสุด หมายถึง ด้านสว่าง ซึ่งภาพ 8 บิตต่อพิกเซล คือ 2^8 เท่ากับ

256 สี คือค่าระดับความเข้มของจุดภาพในช่วง [0 - 255] แสดงดังภาพที่ 2.25 โดยจะใช้เนื้อที่ในการเก็บจำนวนแปดบิต (Bit) หรือขนาดหนึ่งไบต์ (Byte) ในกรณีต้องการเพิ่มจำนวนสีของภาพ แต่ละบิตจะเพิ่มค่าเป็นสองเท่า ดังนั้นภาพที่มีสองบิตต่อพิกเซลสามารถมีสีสี่ และภาพที่มีสามบิตสามารถมีแปดสี เช่น 2^1 เท่ากับ 2 สี (ขาวดำ) 2^2 เท่ากับ 4 สี 2^6 เท่ากับ 65,536 สี ซึ่งมีความเป็นภาพสีจริงสูง และ 2^4 เท่ากับ 16,800,000 สี (บุญธรรม ภัทรจารุกุล, 2556) ซึ่งเป็นภาพสีจริงสูงมาก โดยทั่วไปภาพแบบบิตแมปจะนิยมใช้กันมากในงานภาพถ่าย หรือภาพวาด เนื่องจากสามารถไล่โทนสี และแสงเงาได้เหมือนจริงมากที่สุด ซึ่งภาพที่ 2.25 แสดงภาพความเข้มของแสง



ภาพที่ 2.25 แสดงภาพความเข้มของแสง

ส่วนภาพแบบเวกเตอร์จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากภาพแบบบิตแมป คือภาพประเภทนี้ เมื่อนำมาขยายให้ใหญ่เท่าไหน รายละเอียดของภาพและความคมชัดก็ยังมีเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากภาพแบบนี้ประกอบด้วยเส้นตรง เส้นโค้ง และรูปทรงต่างๆ โดยภาพจะสร้างขึ้นจากคำสั่งที่บอกถึงลักษณะของภาพในรูปแบบทางเรขาคณิตด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นโปรแกรมที่ต้องการเปิดรูปภาพจะต้องนำสมการ ที่บันทึกไว้มาคำนวณและสร้างรูปทรงของภาพขึ้นมาใหม่ทุกครั้ง ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัด ดังภาพที่ 2.26 แสดงภาพต้นฉบับ (ก) ภาพขยายแบบบิตแมป (ข) และภาพขยายแบบเวกเตอร์ (ค)



ภาพที่ 2.26 แสดงภาพต้นฉบับ (ก) ภาพขยายแบบบิตแมป (ข) และภาพขยายแบบเวกเตอร์ (ค)

ดังนั้นภาพแบบเวกเตอร์จึงเหมาะกับงานที่มีความแม่นยำและต้องการความละเอียดสูง เช่น การสร้างภาพโลโก้ การสร้างภาพสามมิติ การสร้างร่างทางวิศวกรรม เป็นต้น

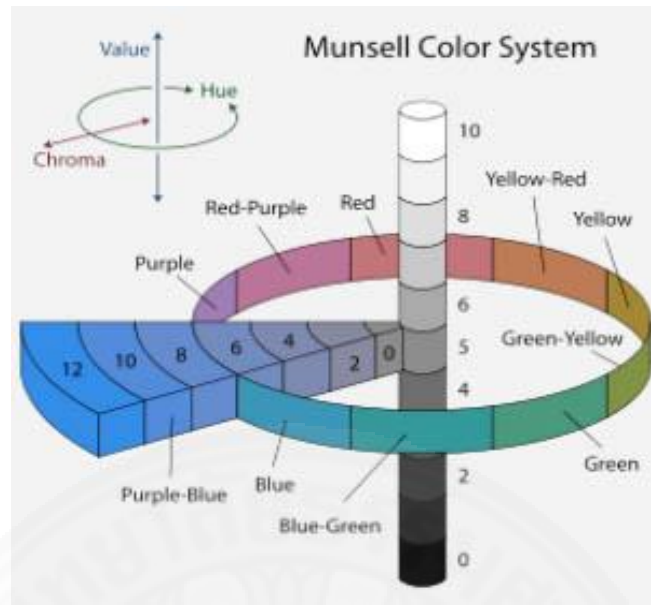
2.2.1 แบบจำลองสี (Color Models)

แบบจำลองสีหรือโมเดลของสีที่ใช้กำหนดสีต่างๆ ในการอ้างอิงให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยแต่ละโมเดลสีก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยโมเดลสีจะใช้สีหลักๆ ในการผสมผสานกัน เพื่อใช้ในการแสดงค่าสีอื่นๆ ซึ่งแต่ละโมเดลสี จะมีแม่สีหลักที่แตกต่างกันไป โดยในที่นี้จะกล่าวถึงแบบจำลองสี ได้แก่ ระบบสีของมันเชล (Munsell) แบบจำลองสี RGB แบบจำลองสี YCbCr และแบบจำลองสี HSV เป็นต้น

2.2.1.1 ระบบสีของมันเชล

เป็นทฤษฎีสีที่มีอิทธิพลและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในวงการสี ผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ก็คือ อัลเบิร์ต เฮนรี มันเชล (Albert Henry Munsell) จิตรกรชาวอเมริกัน เมื่อปี ค.ศ. 1898 เขาได้ออกแบบผังของสีเป็นลักษณะรูปทรงกลม หรือผังที่มีการแผ่กระจายของสีออกจากศูนย์กลางเหมือนต้นไม้ และกำหนดชื่อ และตำแหน่งของสีที่ผสมกันอย่างหลากหลาย มันเชลตีพิมพ์ผลงานค้นคว้านี้ ในชื่อว่า Color Notation ในปี ค.ศ. 1905 และได้ถูกพิมพ์ซ้ำ ทำให้ทฤษฎีสีของมันเชลได้เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง และยังถูกนำมาใช้ในงานวิจัย เช่น งานวิจัยโครงการพัฒนาระบบการสื่อสารเรื่องสี เพื่อการประเมินคุณภาพของอัญมณี (ศักดิ์ ศิริพันธุ์, 2546)

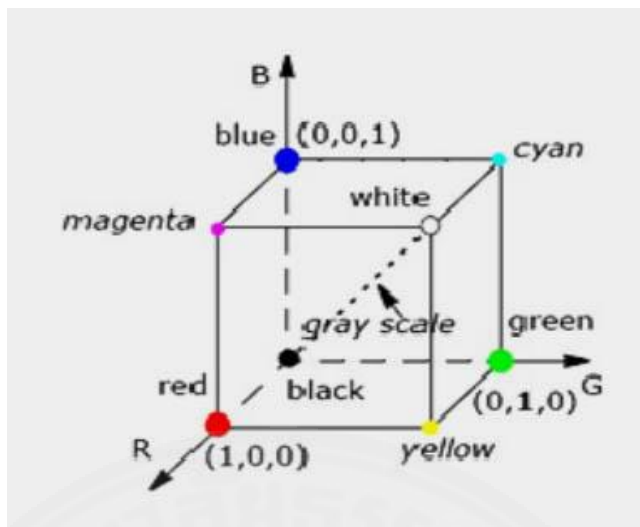
ทฤษฎีของมันเชลประกอบด้วยองค์ประกอบสามมิติ (Three dimensions) ประกอบด้วย สี (Hue) ค่าความสว่าง (Value) และค่าความอิ่มตัวของสี (Chroma) โดยสีประกอบด้วยสีหลักและสีรองแทรกระหว่างสีหลัก รวมทั้งหมด 10 สี เรียงอยู่ในวงล้อสี ได้แก่ สีแดง (Red : R) สีแดงแกมเหลือง (Yellow and Red : YR) สีเหลือง (Yellow : Y) สีเหลืองแกมเขียว (Green and Yellow : GY) สีเขียว (Green : G) สีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue and Green : BG) สีน้ำเงิน (Blue : B) สีน้ำเงินแกมม่วง (Purple and Blue : PB) สีม่วง (Purple : P) และสีม่วงแกมแดง (Red and Purple : RP) ค่าความสว่างแสดงถึงระดับความสว่างหรือระดับความมืดของสี โดยค่าพารามิเตอร์จะอยู่ในช่วง $[0, 10]$ โดยค่า 0 หมายถึงค่าระดับความมืด และค่า 10 หมายถึงค่าระดับความสว่าง และค่าความอิ่มตัวของสีหมายถึงขอบเขตของระยะห่างของสีจากตำแหน่งสีเทา โดยค่าพารามิเตอร์จะอยู่ในช่วง $[0, 12]$ โดยค่าความอิ่มตัวที่ 0 หมายถึง สีเทา ดังภาพที่ 2.27 แสดงระบบสีของมันเชล (Ibraheem, Hasan, Khan, & Mishra, 2012)



ภาพที่ 2.27 แสดงระบบสีของมันเซล

2.2.1.2 แบบจำลองสี RGB

เป็นแบบจำลองของแม่สีหลักสามสี ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความเข้มข้นของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ที่นำมาผสมกันในแต่ละจุดสีเป็นค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 โดยแต่ละจุดภาพจะทำการเก็บข้อมูลแบบ 24 บิต เมื่อนำมาผสมกันเป็นเฉดสีต่างๆ ได้ถึง 16.7 ล้านสี (อรรถัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) ซึ่งถ้านำระบบสี RGB มาวางลงบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate system) แสดงดังภาพที่ 2.28 โดยแบบจำลองนี้จะแทนด้วยลูกบาศก์ (Cube) ซึ่งมีจุดกำเนิด (0,0,0) คือค่าสีดำ และ (1,1,1) คือค่าสีขาว ซึ่งการแสดงระดับสีเทา (Gray Scale) จะสามารถแสดงได้ในเส้นทแยงมุมจากจุดกำเนิดสีดำมาที่ตำแหน่งจุดกำเนิดสีขาว (Ibraheem, Hasan, Khan, & Mishra, 2012) โดยแบบจำลองนี้ใช้กันอย่างทั่วโลกในงานด้านโทรทัศน์และหน้าจอคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.28 แสดงระบบสี RGB

2.2.1.3 แบบจำลองสี HSV

เป็นแบบจำลองสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งอยู่บนพื้นฐานความคิดของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์วิทัศน์และการวิเคราะห์ภาพสำหรับขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ (Ibraheem, Hasan, Khan, & Mishra, 2012) โดยระบบสี HSV ประกอบด้วยค่าสี (Hue : H) ค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation : S) และค่าความสว่างของสี (Value : V) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ (สมเกียรติ อุดมหารธกุล, 2554)

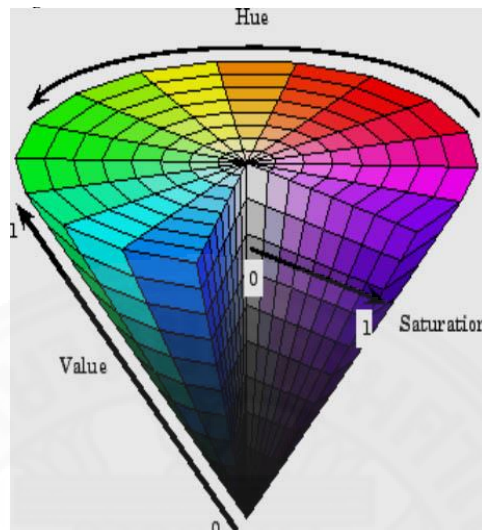
ค่า Hue หมายถึง ค่าสีหลัก ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่างค่า 0 ถึง 1 โดยถ้าค่า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะหมายถึงสีแดง และถ้าค่า Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึงค่า 1 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง

ค่า Saturation หมายถึง ความอิ่มตัวของสี ซึ่งถ้าค่า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 สีที่ได้จะไม่มีสี ซึ่งหมายถึงสีขาวล้วน ยิ่งถ้ามีปริมาณสีขาวมากขึ้นเท่าใด ความอิ่มตัวของสียิ่งมีน้อย ตัวอย่างเช่น สีแดงมีความอิ่มตัวสูงกว่าสีชมพู

ค่า Value หมายถึง ค่าความสว่างของสี ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าความเข้มของความสว่างของแต่ละสีที่ประกอบกัน

แบบจำลองนี้มีความเป็นไปได้กับความเป็นจริงมากกว่าแบบจำลองอื่น เพราะค่าความเข้มของสีนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวเนื้อสีอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับแสงสว่างของสีด้วย ซึ่งแบบจำลองนี้ค่อนข้างมีประโยชน์สำหรับการประมวลผลภาพเป็นอย่างมาก เพราะมีความผันแปรต่อแสงน้อย และใกล้เคียงกับรูปแบบการรับรู้ภาพสีของมนุษย์ จึงเหมาะในงานภาพถ่ายอัตโนมัติ เพราะ

เป็นภาพถ่ายที่ต้องถ่ายจากแหล่งแสงที่ควบคุมแสงได้ยาก เนื่องจากความวาวและความสะท้อนแสงของอัญมณี (อรทัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) โดยแบบจำลองนี้ แสดงดังภาพที่ 2.29



ภาพที่ 2.29 แสดงแบบจำลองสี HSV

2.2.1.4 แบบจำลองสี YCbCr

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับงานด้านวิดีโอและถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน ITU-R BT.601-5 และ ITU-R BT.709-5 ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในสัญญาณที่วียุโรป (Ibraheem, Hasan, Khan, & Mishra, 2012) ซึ่งองค์ประกอบของแบบจำลองสี YCbCr นี้ ค่า Y หมายถึงค่าที่ใช้เก็บข้อมูลค่าความเข้มของแสง (Luminance) ส่วนค่า Cb และ Cr หมายถึง ค่าที่ใช้เก็บข้อมูลของแสงสีน้ำเงินและสีแดง แบบจำลองนี้มีการแปลงจาก RGB ไปยัง YCbCr แสดงสมการดังสมการที่ 2.1 ซึ่งเป็นสมการมาตรฐาน ITU-R BT.601 โดยที่ค่าสีของ RGB ถูกกระทำการด้วยวิธีการนอร์มอลไลซ์ให้มีค่าอยู่ในช่วง [0,1] ซึ่งแบบจำลองนี้จะใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของสายตามนุษย์ซึ่งจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสง (light intensity) แต่จะไม่มี ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสี (Hue)

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

2.2.2 การแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation)

การแยกส่วนของภาพ เป็นเทคนิคหรือวิธีการประมวลผลภาพ โดยมีวัตถุประสงค์ในการแยกวัตถุ (Object) หรือสิ่งที่เราสนใจในข้อมูลภาพออกมาจากพื้นหลัง (Background) ของภาพ โดยวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 2 วิธี (สมเกียรติ อุดมธรรษากุล, 2554) ได้แก่ การหาขอบภาพ (Edge Detection) เทคนิคการทำเทรชโฮลด์ (Threshold) และการใช้วิธีการทางมอร์โฟโลยี (Morphological segmentation) เนื่องจากการวิเคราะห์ภาพหรือการประมวลผลภาพจำเป็นต้องแยกเอาเฉพาะส่วนที่เราสนใจออกมาจากพื้นหลัง เช่น การจำแนกคุณภาพของเพชร ในงานด้านจิวเวลรี่ (Hurtik, Burda, & Perfilieva, 2013) และ (Perfilieva, Hodakava, Vajgl, & Dankova, 2013) การจำแนกดอกไม้ เช่น การจำแนกดอกกล้วยไม้รองเท้านารี (บุญวิภา ราศรีสุทธิ และ เสาวลักษณ์ วรรณภา, 2553) การจำแนกสายพันธุ์บอนสีโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (บุญคง ศรีตา และ สุพจน์ นิตยส์วัฒน์, 2012) และการตรวจจับโรคในใบพืช (Rathod, Tanawal, & Shah, 2013) ซึ่งจะเห็นว่าสามารถนำเอาวิธีการไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นงานด้านการรู้จำใบหน้า (Face recognition) (หนึ่งฤทัย สามารถ และ สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา, 2011) หรือการแยกตัวอักษรสีดำออกจากพื้นหลังสีขาวในงานด้านการรู้จำตัวอักษร (Character Recognition) โดยวิธีการแบ่งส่วนภาพสามารถพิจารณาจาก Image amplitude ได้แก่ การพิจารณาค่าความสว่างของภาพแบบภาพชนิด Gray scale และความแตกต่างของสีในแบบภาพชนิดสี นอกจากพิจารณาเรื่องของสีแล้ว การพิจารณาลักษณะของพื้นผิว (Texture) ยังเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งในการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งการแบ่งส่วนภาพ สามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งงานวิจัยหนึ่ง ได้ทำการเปรียบเทียบการแบ่งส่วนภาพด้วยหลากหลายวิธี โดยผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า วิธีการทำเทรชโฮลด์ เป็นวิธีง่ายและรวดเร็ว (Yogamangalam & Karthikeyan, 2013) ซึ่งในงานวิจัยนี้ สนใจเกี่ยวกับการพิจารณาเรื่องสีเป็นหลัก โดยจะทำการแบ่งส่วนภาพด้วยการทำเทรชโฮลด์ พิจารณาค่า Saturation เพื่อแยกเม็ดพลอยออกจากพื้นหลัง โดยการทำเทรชโฮลด์ สามารถให้รายละเอียดดังนี้

2.2.2.1 การทำเทรชโฮลด์ (Threshold)

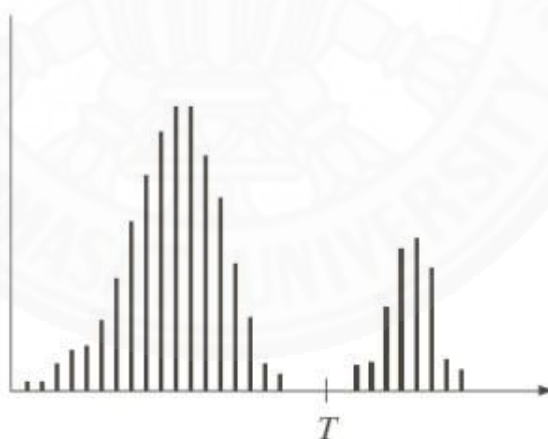
เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดในการแบ่งแยกส่วนของข้อมูลภาพ โดยการแยกวัตถุ (Object) หรือพื้นหน้า (Foreground) ออกจากพื้นหลัง (Background) โดยพิจารณาจากฮิสโทแกรม (Histogram) ของภาพ โดยการนำภาพสีมาทำการแปลงให้เป็นภาพสีเทาและนำมาแปลงภาพเป็นภาพไบนารี (Binary) ที่มีค่าระดับความเข้มเทาเพียงสองระดับ ได้แก่ ขาวและดำ (Yogamangalam & Karthikeyan, 2013) และ (Haitao & Shengpu, 2016) ซึ่งจะช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูล โดยใช้ค่าระดับเทรชโฮลด์ (T) หรือค่าระดับความเข้มเทาคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งการกำหนดค่าเทรชโฮลด์วิธีง่ายๆ คือ การเลือกค่าเฉลี่ยหรือค่ากลาง 128 แต่หากพิกเซลของวัตถุมีความสว่างกว่าพื้นหลัง พื้น

หลังสม่ำเสมอและไม่มีสัญญาณรบกวน (Noise) เป็นค่าเฉลี่ยหรือค่ากลางจะทำงานได้ดี (บุญธรรม ภัทรจารุกุล, 2556) สามารถอธิบายได้ดังนี้

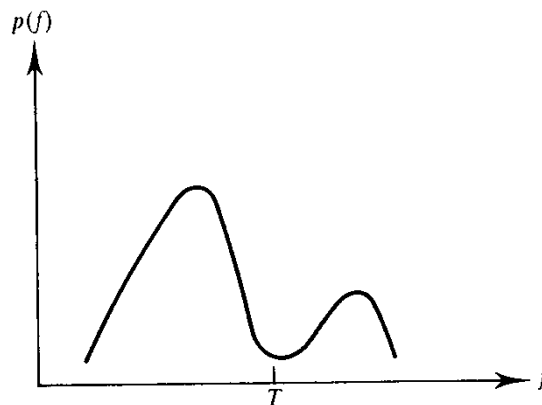
(1) การกำหนดค่าเทรชโฮลด์หนึ่งระดับ (Single Threshold) เป็นการแบ่งแยกภาพในทั่วโลก ซึ่งเป็นการกำหนดค่าความเข้มให้มีค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังได้ เช่น ภาพของตัวอักษรที่มีความความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำ) และมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) ดังนั้นค่าเทรชโฮลด์จึงควรมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้ โดยปกติแล้วการเลือกค่าเทรชโฮลด์ จะขึ้นอยู่กับ ฮิสโทแกรมของภาพ แสดงดังภาพที่ 2.30 ซึ่งการหาค่าเทรชโฮลด์ ควรเลือกค่าฮิสโทแกรมที่จุดต่ำสุดที่อยู่ระหว่างจุดสูงสุด (peaks) แสดงดังภาพที่ 2.31 และสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 2.2 (Ferrari, 2011-12)

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(x,y) > T \\ 0, & \text{if } f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (2.2)$$

เมื่อ $g(x,y)$ เป็นข้อมูลภาพ ณ ตำแหน่งที่ x,y
 T เป็นค่าเทรชโฮลด์



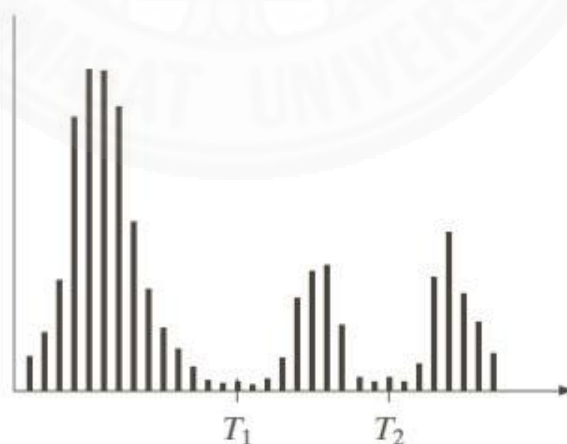
ภาพที่ 2.30 แสดงฮิสโทแกรมของภาพ



ภาพที่ 2.31 แสดงการกำหนดค่าเทรชโฮลด์

(2) การกำหนดค่าเทรชโฮลด์หลายระดับ (Multiple thresholding) เป็นการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ (T) ให้มีค่ามากกว่าหนึ่งค่าขึ้นไป ในกรณีที่วัตถุของภาพอาจมีค่าระดับความเข้มเทาที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้แยกวัตถุภาพให้มีสีทึบภาพ โดยการกำหนดค่าเทรชโฮลด์สองค่า ได้แก่ ค่า T_1 และ T_2 ซึ่งค่าเทรชโฮลด์สามารถหาได้จากฮิสโทแกรมของภาพ แสดงดังภาพที่ 2.32 สามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ 2.3 (Ferrari, 2011-12)

$$g(x, y) = \begin{cases} a, & \text{if } f(x, y) > T_2 \\ b, & \text{if } T_1 < f(x, y) \leq T_2 \\ c, & \text{if } f(x, y) \leq T_1 \end{cases} \quad (2.3)$$



ภาพที่ 2.32 แสดงฮิสโทแกรมของภาพที่กำหนดค่าเทรชโฮลด์หลายระดับ

2.2.2.2 การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการมอร์โฟโลยี (Morphological image segmentation)

การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการมอร์โฟโลยีนั้น หมายถึง การปรับปรุงการแบ่งส่วนภาพให้ดีขึ้น เนื่องการแบ่งส่วนภาพโดยการเทรชโฮลด์ ภาพที่ได้อาจจะไม่ดี ซึ่งบางครั้งภาพต้นฉบับอาจมีการสะท้อนของแสงและเงาของวัตถุ หรือวัตถุมีความสัมพันธ์กันและมีพื้นที่ทับซ้อนกัน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีจากการทำเทรชโฮลด์ภาพ ซึ่งปัญหาเหล่านี้การแบ่งส่วนภาพด้วยวิธีการมอร์โฟโลยีมักให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งมักจะถูกใช้ในการแยกหรือเปลี่ยนแปลงรูปทรงของพาร์ติเคิล (Particle) โดยการแปลงภาพส่วนของวัตถุที่เราสนใจในภาพเป็นสองระดับ ซึ่งกำหนดให้ค่าพิกเซลเป็น 1 ในส่วนที่เราสนใจ และค่าพิกเซลเป็น 0 ในส่วนที่เราไม่สนใจ โดยภาพสองระดับนี้ จะได้มาจากการทำเทรชโฮลด์ (Image thresholding) โดยกระบวนการเหล่านี้อาจมีส่วนของวัตถุที่เราไม่สนใจ หรือสัญญาณรบกวน (Noise) รวมถึงรูปทรงในการแบ่งส่วนภาพที่ขรุขระหรือไม่ราบเรียบในภาพ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานค่าที่ใช้วัดในการแบ่งแยกชนิดของวัตถุ โดยกระบวนการมอร์โฟโลยีมีหลายวิธี เช่น การทำ Erosion และการทำ Dilation การทำ Opening และ Closing การทำ Inner gradient การทำ Outer gradient การทำ Hit-miss การทำ Thinning และการทำ Thickening เป็นต้น โดยในส่วนวิธีการนี้ผู้วิจัยสนใจในส่วนการทำ Opening ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ (ปกรณ แก้วตระกูลพงษ์, 2559)

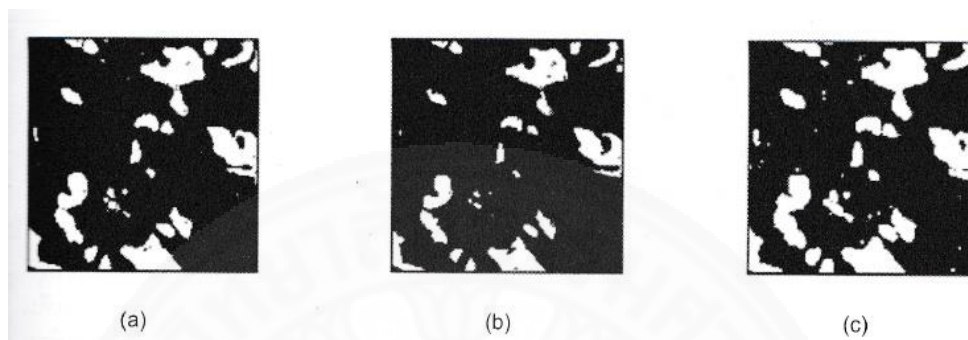
(1) การทำ Erosion เป็นการกำจัดจุดพิกเซลขนาดเล็กที่เป็นพื้นหลังของภาพและเพื่อลดขนาด particle ให้เล็กลง โดยการแสกนค่าองค์ประกอบโครงสร้างของแต่ละพิกเซล ซึ่งการทำงานของฟังก์ชัน Erosion ถ้ากำหนดให้พิกเซลบริเวณใกล้เคียงกับพิกเซล P_0 ในภาพต้นฉบับ

$$\begin{pmatrix} P_8 & P_1 & P_2 \\ P_7 & P_0 & P_3 \\ P_6 & P_5 & P_4 \end{pmatrix}$$

ถ้าให้ Q_0 คือ ค่าพิกเซลของภาพผลลัพธ์ในตำแหน่งที่ตรงกับพิกเซล P_0 ค่า Q_0 นั้นจะพิจารณาจากพิกเซลใกล้เคียงใดๆ ในภาพต้นฉบับ P_i ที่ถูกมาสกโดยหน้าต่างโครงสร้าง ตามค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากับ 1 โดยถ้าค่าพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งของ P_i มีค่าเท่ากับ 0 จะทำให้ Q_0 มีค่าเท่ากับ 0 ไปด้วย ซึ่งนอกเหนือจากนั้น Q_0 จะมีค่าเท่ากับ 1

(2) การทำ Dilation เป็นการกำจัดจุดพิกเซลของพื้นหลังหรือรูขนาดเล็กลง particle และเพื่อขยายให้ particle มีขนาดใหญ่ขึ้นตามลักษณะของหน้าต่างโครงสร้าง ซึ่งฟังก์ชันนี้จะทำงานตรงกันข้ามกับฟังก์ชัน Erosion เนื่องจากฟังก์ชัน Dilation อาจกล่าวได้ว่าเป็นการกร่อนพื้นหลัง โดยถ้า Q_0 คือ ค่าพิกเซลของภาพผลลัพธ์ในตำแหน่งที่ตรงกับพิกเซล P_0 ค่า Q_0 นั้นจะพิจารณา

จากพิกเซลใกล้เคียงใดๆ ในภาพต้นฉบับ P_i ที่ถูกมาส์กโดยหน้าต่างโครงสร้าง ตามค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากับ 1 โดยถ้าค่าพิกเซลใดพิกเซลหนึ่งของ P_i มีค่าเท่ากับ 1 จะให้ Q_0 มีค่าเป็น 1 ด้วย แต่ถ้า นอกเหนือจากนั้น Q_0 จะเป็นค่า 0 ซึ่งภาพที่ 2.33 แสดงให้เห็นตัวอย่างผลการทำ Erosion และ Dilation โดยใช้หน้าต่าง 3×3 ซึ่งทุกตำแหน่งมีค่าพิกเซลเป็น 1



ภาพที่ 2.33 แสดงให้เห็นตัวอย่างผลการทำ Erosion และ Dilation โดยภาพ (a) ภาพต้นฉบับ, (b) ภาพที่ผ่านการทำ Erosion และ (c) ภาพที่ผ่านการทำ Dilation

(3) การทำ Opening เป็นการนำ Erosion และตามด้วยการทำ Dilation ซึ่งทำให้กำจัดจุดเล็กๆ ออกจากภาพได้ และยังทำให้ขอบของภาพที่ขรุขระ เรียบเนียนขึ้น โดยรูปทรงของวัตถุไม่เสียหาย ซึ่งการทำ Opening สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.4 ส่วนการทำ Closing จะเป็นการทำงานตรงข้ามกับการทำ Opening โดยจะทำการ Dilation ก่อน แล้วจึงตามด้วยการทำ Erosion ซึ่งตัวอย่างการทำ Opening และ Closing แสดงดังภาพที่ 2.34

$$\text{opening}(I) = (\text{dilation}(\text{erosion}(I))) \quad (2.4)$$

เมื่อกำหนดให้ I เป็นภาพต้นฉบับ



ภาพที่ 2.34 แสดงการทำ Opening และ Closing โดยใช้หน้าตาที่มีขนาดและรูปร่างที่ต่างกัน

2.2.3 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image Classification)

การจำแนกประเภทของข้อมูลภาพ หมายถึง การนำภาพที่เก็บรวบรวมมาได้ มาผ่านขบวนการแยกประเภทของข้อมูล โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่ม (Classes) ได้แก่ กลุ่มที่เกี่ยวข้อง และกลุ่มที่ไม่เกี่ยวข้อง ซึ่งการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการปรับแต่งเครื่องจักรหรือคอมพิวเตอร์ให้มีพฤติกรรมเฉพาะตัวที่สนับสนุนการเรียนรู้ โดยจะมีเทคนิคหลากหลายวิธี ได้แก่ การจำแนกประเภทโดยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) การจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors : KNN) การจำแนกประเภทแบบ Nearest Neighbor ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines : SVM) การจำแนกประเภทแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural network) และการจำแนกข้อมูลแบบเบย์ (Bayes Classifiers) เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจเทคนิคการจำแนกประเภทโดยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) และการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors : KNN) เนื่องจากการศึกษาพบว่า เป็นวิธีที่รวดเร็วต่อการฝึกระบบ ง่าย และสะดวกในการเรียนรู้ มีประสิทธิภาพสูงในกรณีที่มีข้อมูลมีขนาดใหญ่และมีสัญญาณรบกวน ซึ่งหากข้อมูลการตัดสินใจมีความซับซ้อนวิธีนี้สามารถสร้างโมเดลที่มีประสิทธิภาพ (Bhatia & V., 2010), (Heinle, Macke, & Srivastav, 2010)

2.2.3.1 การจำแนกประเภทโดยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance)

การจำแนกประเภทโดยวิธีการนี้จะมีโมเดลแต่ละคลาสเป็นเวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยกลางของเซตของเวกเตอร์พีเจอร์รี่ในแต่ละคลาส โดยจะทำการตัดสินใจว่าวัตถุที่กำลังพิจารณา

ซึ่งมีเวกเตอร์พีเจอร์ X เป็นคลาสใดจากโมเดลของคลาสที่อยู่ใกล้เคียงกับตัวมันมากที่สุด โดยสามารถกำหนดให้ $\{x_1^j, x_2^j, \dots, x_{n_j}^j\}$ แทนเวกเตอร์พีเจอร์จำนวน n_j ตัวของคลาส c_j ใดๆ ดังนั้นค่ากลางของแต่ละสมาชิกเวกเตอร์ของคลาส c_j สามารถคำนวณได้จากสมการดังสมการที่ 2.5 โดยวัตถุที่มีค่าเวกเตอร์พีเจอร์ใกล้เคียงกับเวกเตอร์ของค่ากลางของคลาสใดที่สุดก็จะถูกพิจารณาว่าเป็นวัตถุของคลาสนั้น ซึ่งการจำแนกประเภทนี้เป็นอัลกอริทึมที่มีการประมวลผลน้อยและเหมาะกับกรณีที่มีค่าพีเจอร์ของวัตถุมีสัญญาณรบกวนในปริมาณมาก และแต่ละคลาสข้อมูลควรจะถูกเกาะกลุ่มกัน (ปกรณ แก้วตระกูลพงษ์, 2559)

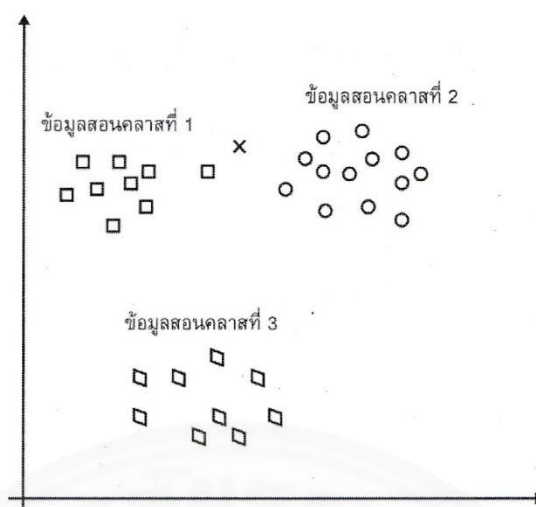
$$m_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_i^j \quad (2.5)$$

2.2.3.2 การจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้เคียงที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbors : KNN)

อัลกอริทึมการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้เคียงที่สุด K ตัว จะพิจารณาตัวที่ใกล้เคียงที่สุดโดยการโหวตของเวกเตอร์พีเจอร์เหล่านั้น ซึ่งหมายถึงถ้าในจำนวน K ตัวนั้นเป็นเวกเตอร์พีเจอร์ของคลาสใดมากที่สุด วัตถุทดสอบก็จะถูกจำแนกว่าเป็นคลาสนั้น แสดงดังภาพที่ 2.35

ในการที่จะหาความเหมือนกัน ต่างกัน หรือค่าความใกล้เคียงกันระหว่างเวกเตอร์พีเจอร์ จะสามารถประยุกต์ใช้มาตรวัดความแตกต่าง เช่น การวัดระยะทางที่ใกล้เคียงที่สุดแบบยูคลิเดียน (Euclidean distance) ซึ่งจะพิจารณาสองเวกเตอร์ $X_1 = X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$ และ $X_2 = X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}$ โดยพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าที่ปรากฏขึ้นในแต่ละแอทริบิวของทั้งสองเวกเตอร์ จากนั้นนำมารวมเป็นค่าความแตกต่าง สามารถคำนวณดังสมการที่ 2.6 ดังนี้ (ปกรณ แก้วตระกูลพงษ์, 2559)

$$\text{dist}(X_1, X_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{1i} - X_{2i})^2} \quad (2.6)$$



ภาพที่ 2.35 แสดงการทำงานของวิธีการจำแนกประเภทแบบ K Nearest Neighbor

2.2.3.3 การจำแนกประเภทแบบ Nearest Neighbors

เป็นอัลกอริทึมการจำแนกคลาสในกลุ่มที่อิงกับตัวอย่างที่ใช้สอน (Instance-based classifier) โดยมีโมเดลของคลาสเป็นเซตของเวกเตอร์ฟีเจอร์ที่แต่ละสมาชิกเป็นเวกเตอร์ฟีเจอร์ของภาพตัวอย่างชิ้นงานชนิดเดียวกันกับที่เราใช้สอนโมเดล โดยจะตัดสินใจว่าวัตถุที่กำลังพิจารณาซึ่งมีเวกเตอร์ x เป็นคลาสใด จากเวกเตอร์ฟีเจอร์ของคลาสที่อยู่ใกล้มากที่สุด สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.7

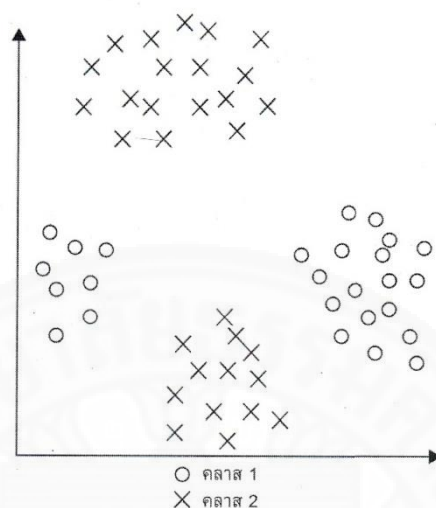
$$c_x = \operatorname{argmin}_{c_k} d(x, c_k) \quad (2.7)$$

เมื่อ c_j และ c_x คือคลาส j และคลาสของวัตถุที่กำลังพิจารณาตามลำดับ และระยะห่างระหว่าง x และ c_j คือระยะทางระหว่างสมาชิกที่ใกล้ที่สุดของคลาส c_j กับ x โดยสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.8 โดย x_j^i หมายถึง เวกเตอร์ฟีเจอร์ของสมาชิกตัวที่ i ของคลาสที่ j และ $d(x, x_j^i)$ เป็นค่าระยะทางระหว่าง x และ x_j^i

$$d(x, c_j) = \min_i d(x, x_j^i) \quad (2.8)$$

อัลกอริทึม Nearest Neighbor เป็นอัลกอริทึมที่ง่ายและใช้งานได้ดีในการประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่ รวมทั้งคลาสของวัตถุที่มีเวกเตอร์ฟีเจอร์ที่ไม่เกาะกลุ่มกัน แสดงดังภาพที่

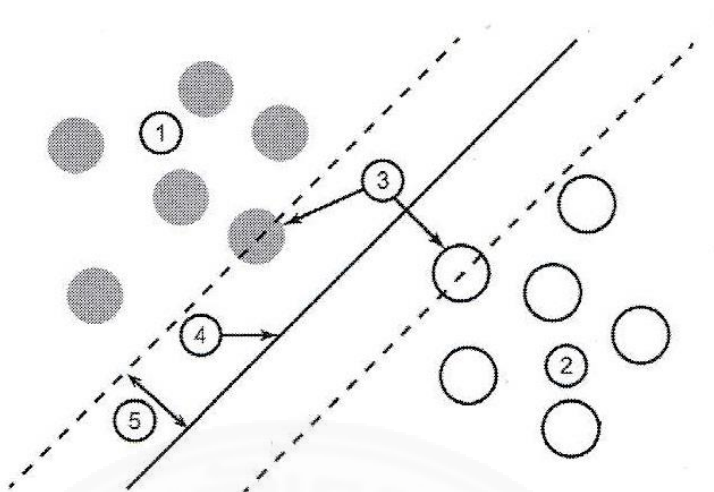
2.36 แสดงกรณีที่เวกเตอร์พีเจอร์ของตัวอย่างวัตถุของคลาสไม่ได้เกาะกลุ่มกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า แต่ละคลาสของทั้ง 2 คลาสมีเวกเตอร์พีเจอร์แบ่งเป็น 2 กลุ่ม



ภาพที่ 2.36 แสดงตัวอย่างกรณีที่เวกเตอร์พีเจอร์ของตัวอย่างวัตถุของคลาส ไม่ได้เกาะกลุ่มเป็นกลุ่มเดียวกัน

2.2.3.4 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines : SVM)

อัลกอริทึมการจำแนกคลาสแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning method) ซึ่งใช้ชุดข้อมูลเวกเตอร์พีเจอร์และฉลากของมันในการสร้างโมเดลสำหรับการรู้จำหรือการจำแนกคลาส โดยโมเดลของ SVM จะเป็นซัพเซตของชุดเวกเตอร์พีเจอร์ที่ใช้ในการสอนและชุดของค่าพารามิเตอร์ จากนั้นใช้ค่าระยะห่างระหว่างเวกเตอร์พีเจอร์ในการตัดสินใจการจำแนก โดยซัพเซตของชุดเวกเตอร์พีเจอร์จะถูกเรียกว่า Support Vector ซึ่งการจำแนกแบบ SVM จะเป็นวิธีการที่ซับซ้อนและมีการประมวลผลที่ช้า เนื่องจากอัลกอริทึมนี้จะคำนวณค่าระยะห่างจากเวกเตอร์พีเจอร์ของวัตถุทดสอบกับ Support Vector โดยอัลกอริทึม SVM จะสร้างโมเดลซึ่งเป็นชุดของเวกเตอร์พีเจอร์ในมิติที่สูง (Multi-dimensional space) เพราะจากชุดเวกเตอร์พีเจอร์ของวัตถุในมิติเดิม ซึ่งมีมิติที่ต่ำกว่า อาจจะไม่สามารถแบ่งออกเป็นคลาสแต่ละคลาสโดยสิ้นเชิงด้วยระนาบเชิงเส้นในปริภูมิพีเจอร์เดิมได้ โดยชุดของเวกเตอร์พีเจอร์จะเป็นชุดของเวกเตอร์ที่อยู่ขอบของกลุ่มของคลาสเดียวกัน และอยู่ห่างจากชุดของเวกเตอร์พีเจอร์ตัวอื่นของคลาสที่ต่างกันด้วยระยะห่างมากที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งระยะห่างที่มากที่สุดจะเรียกว่า ช่วงมาร์จิน (Margin) ของการตัดสินใจ แสดงดังภาพที่ 2.37 คือตัวอย่างการทำงานของวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน



ภาพที่ 2.37 แสดงการทำงานของวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

โดยหมายเลข 1 คือตัวอย่างของคลาส A หมายเลขที่ 2 คือตัวอย่างของคลาส B หมายเลขที่ 3 คือ Support Vectors หมายเลขที่ 4 คือพื้นผิวการตัดสินใจ และหมายเลขที่ 5 คือช่วงมาร์จินการตัดสินใจ

อัลกอริทึม SVM จะสร้างโมเดลจำแนกเป็น Support Vector และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับแต่ละคลาส ซึ่งทำให้ได้พื้นผิวการตัดสินใจ (Decision hyperplane) โดยในการจำแนกคลาส จะใช้วิธีการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างเวกเตอร์ฟีเจอร์ในมิติที่สูงขึ้น เพื่อจำแนกคลาส โดยถ้าเวกเตอร์ฟีเจอร์ของวัตถุคือ x จะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.9

$$\text{sgn}(\sum v_i y_i \alpha_i K(x_i, x) + b) \quad (2.9)$$

เมื่อ x_i คือ เวกเตอร์ฟีเจอร์ตัวที่ i ในชุดเวกเตอร์ฟีเจอร์ที่ใช้ในการสอน

y_i คือ ค่าที่สัมพันธ์กับคลาส (Class association) โดยสามารถมีค่าเป็นได้เพียง -1 หรือ +1 ขึ้นอยู่กับคลาสของ x_i

α_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนัก (Weight coefficient) ของ x_i

K คือ ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel function) ที่ใช้ในการแปลงเวกเตอร์ฟีเจอร์ของวัตถุไปเป็นเวกเตอร์ฟีเจอร์ในมิติที่สูงขึ้น

b คือ ระยะทางตั้งฉากของระนาบเชิงเส้นในมิติที่สูงขึ้น (Hyperplane) จากจุดกำเนิด

โดยสมการที่ 2.9 ให้ค่าออกมาเป็น -1 หรือ +1 โดย +1 หมายถึง x ถูกจำแนกเป็นคลาสเดียวกับ x_i ที่ y_i เป็น +1 ในขณะที่ $\{\alpha_i\}$ และ b ได้มาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดย

ค่า α_i ไม่เท่ากับ 0 เวกเตอร์พีเจอร์ตัวนี้จะถือว่าเป็น Support Vector นอกจากนี้ความเร็วในการจำแนกของอัลกอริทึม SVM จะขึ้นอยู่กับจำนวน Support Vector ที่หาได้และฟังก์ชันเคอร์เนลที่เลือกใช้

2.2.4 การตัดสินคุณภาพของระบบการจำแนกคลาส

การตัดสินคุณภาพของระบบการจำแนกจะใช้ Confusion matrix ในการบันทึกข้อมูลการกระจายการจำแนก ซึ่งตารางที่ 2.4 แสดงดังอย่างตารางกระจายการจำแนก

ตารางที่ 2.4

แสดงตัวอย่างตารางการกระจายการจำแนก

	c_1	c_2	c_3	รวม (Total)	ความถูกต้อง (Accuracy)
ตัวอย่างทดสอบของคลาส c_1	10	0	0	10	10/10 = 100%
ตัวอย่างทดสอบของคลาส c_2	0	8	2	10	8/10 = 80%
ตัวอย่างทดสอบของคลาส c_3	4	0	6	10	6/10 = 60%
	c_1	c_2	c_3	รวม (Total)	ความถูกต้อง (Accuracy)
รวม (Total)	14	8	8	30	24/30 = 80%
ค่าการทำนาย (Predictive Value)	10/14 = 71%	8/8 = 100%	6/8 = 75%		

จากตารางที่ 2.4 ตัวจำแนกคลาสทำการจำแนกวัตถุทดสอบ 30 ชิ้น โดยเป็นวัตถุของคลาส c_1 c_2 และ c_3 อย่างละ 10 ชิ้น ซึ่งเราจะได้ค่าตัวชี้วัดต่อไป

2.2.5 ความสามารถในการคาดการณ์ของตัวจำแนกคลาส

ความสามารถในการคาดการณ์ของตัวจำแนกคลาส (Classifier predictability) หมายถึงความน่าจะเป็นเมื่อวัตถุใดที่ถูกจำแนกให้อยู่ในคลาสหนึ่งแล้ว วัตถุนั้นจะเป็นคลาสนั้นจริงๆ ซึ่งแสดงค่า Classification Predictive Value โดยคำนวณได้จากค่าในแต่ละคอลัมน์ของตารางการกระจายการจำแนกดังวิธีที่ 2.11

$$\frac{\text{จำนวนวัตถุของคลาสที่ถูกรับจำแนกได้อย่างถูกต้อง}}{\text{จำนวนวัตถุทั้งหมดที่ถูกรับจำแนกเป็นของคลาสที่}} \quad (2.11)$$

2.2.6 ความถูกต้องของการจำแนกคลาส

ความถูกต้องของการจำแนกคลาส (Classifier accuracy) แสดงถึงความน่าจะเป็นที่วัตถุของคลาสใดๆ จะถูกจำแนกให้อยู่ในคลาสเดียวกัน ซึ่งแสดงเป็นค่าความถูกต้อง (Classification Accuracy Value) โดยสามารถคำนวณได้จากค่าในแต่ละแถวของตารางการกระจายการจำแนก ดังวิธีที่ 2.12

$$\frac{\text{จำนวนวัตถุของคลาสที่ถูกรับจำแนกได้อย่างถูกต้อง}}{\text{จำนวนวัตถุของคลาสนั้นทั้งหมด}} \quad (2.12)$$

2.2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่างานวิจัยทางการประมวลผลและการจำแนกของข้อมูลต่างๆ มีมากมาย แต่ยังไม่มียงานวิจัยใดที่เกี่ยวข้องโดยตรงในการจำแนกชนิดของพลาจจากภาพถ่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยที่ใกล้เคียงทั้งในและนอกประเทศหลายงานวิจัยด้วยกัน ได้แก่ งานวิจัยหนึ่งที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบตรวจสอบสีเพชรจากภาพถ่าย โดยใช้อัลกอริทึมโซเบล (Sobel) ในการตรวจจับขอบของเพชร (อรทัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) และใช้ค่า Saturation จากโมเดล HSV ในการแบ่งระดับสีเพชร จากนั้นจำแนกสีของเพชรโดยใช้วิธีวัดค่าระยะทางที่ใกล้ที่สุด (Euclidean distance) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว (Talikota & Panchal, 2015) ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจวิธีการสกัดคุณลักษณะสำคัญของภาพและการจำแนกประเภท จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยอีกชิ้นหนึ่ง พบว่ามีงานวิจัยเกี่ยวกับการจำแนกประเภทอัญมณีที่มีข้อบกพร่อง (Hurtik, Burda, & Perfilieva, 2013) โดยจะใช้การจำแนกชนิดของข้อมูลโดยใช้ อัลกอริทึม decision trees และ decision thresholds สำหรับการฝึกระบบและใช้เทคนิคทางการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) หลายเทคนิคเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงดังตารางที่ 2.5 โดยชุดข้อมูล D1 ซึ่งจะแบ่งตัวอย่างอัญมณี 60 เม็ดที่มีขนาดไซส์เดียวกัน และชุดข้อมูล D2 จะแบ่งเป็นอัญมณี 177 เม็ด ที่มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยจากตารางที่ 2.5 จะเห็นการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด (KNN) มีความถูกต้องสูงและมีการประมวลผลของข้อมูลที่รวดเร็ว ต่างจากการจำแนกประเภทโดยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อน ทำให้มีการประมวลผลที่ช้าที่สุด

งานวิจัยต่อมาที่ผู้วิจัยสนใจเกี่ยวกับระบบสีต่างๆ ได้แก่ งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบการสื่อสารเรื่องสี เพื่อประเมินคุณภาพของอำถุณณิ ในการออกใบรับรองคุณภาพอำถุณณิ ของสถาบันวิจัยและพัฒนาอำถุณณิและเครื่องประดับแห่งชาติ (ศักดา ศิริพันธุ์, 2546) ซึ่งเป็นวิจัยเกี่ยวกับเรื่องสีเป็นหลัก โดยอาศัยระบบสีของมันเซลล์ ซึ่งจะบอกถึงลักษณะสีสัน (Hue) ความสว่างของสี (Value) และความอิมตัวของสี (Chroma) โดยจะแปลงค่ารหัสสีที่ได้เป็นชื่อสีสากลในระบบสี ISCC-NBS ซึ่งเป็นรหัสและชื่อสีสากลในการสื่อสารเรื่องสีของอำถุณณิ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำงานศึกษางานวิจัยที่ทำการจำแนกดอกไม้ ได้แก่ งานวิจัยที่จำแนกดอกไม้จาก 25 ชนิดทั่วโลก โดยใช้ อัลกอริทึม K Nearest neighbor : KNN ในการจำแนกดอกไม้ (Guru, Sharath, & Manjunath, 2010) ซึ่งผลลัพธ์มีความถูกต้อง 98.88% โดยมีงานวิจัยอื่นที่นำเสนอวิธีที่แตกต่างกันออกไป แสดงดังตารางที่ 2.5 เช่น Nearest Neighbor Support Vector Machine Multiple Kernel และ Probabilistic Neural Network พบว่าวิธีการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด k ตัว ยังคงเป็นวิธีที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในงานวิจัยที่จำแนกประเภท โดยสนใจคุณลักษณะด้านสีเป็นหลัก

งานวิจัยต่อมา ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยหนึ่ง ซึ่งเป็นงานวิจัยที่จำแนกชนิดของพลอย 12 ชนิด (ปัทมพร เก่งการรบ และ เสาวลักษณ์ วรรณภา, 2017) โดยสนใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของสีเป็นหลัก โดยผู้วิจัยได้ศึกษาถึงกระบวนการขั้นตอนของงานวิจัยนี้พบว่างานวิจัยนี้ได้นำค่าความอิมตัวของสี (Saturation) จากโมเดล HSV มาใช้ในการตรวจจับตัวเม็ดพลอย และใช้ค่าคุณลักษณะของสีทั้งเก้าคุณลักษณะ ได้แก่ R G B H S V และ YCbCr โดยใช้วิธีการจำแนกชนิดด้วยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) และการจำแนกชนิดโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbor) ซึ่งผลการทดลองพบว่าการจำแนกชนิดโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด K ตัว โดยให้ K=3 ให้ผลการทดลองถูกต้อง 96.33% จากนั้นผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่า ถ้าลดจำนวนคุณลักษณะของสีที่ใช้ลง อาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น จึงสนใจนำมาใช้กับงานวิจัยครั้งนี้

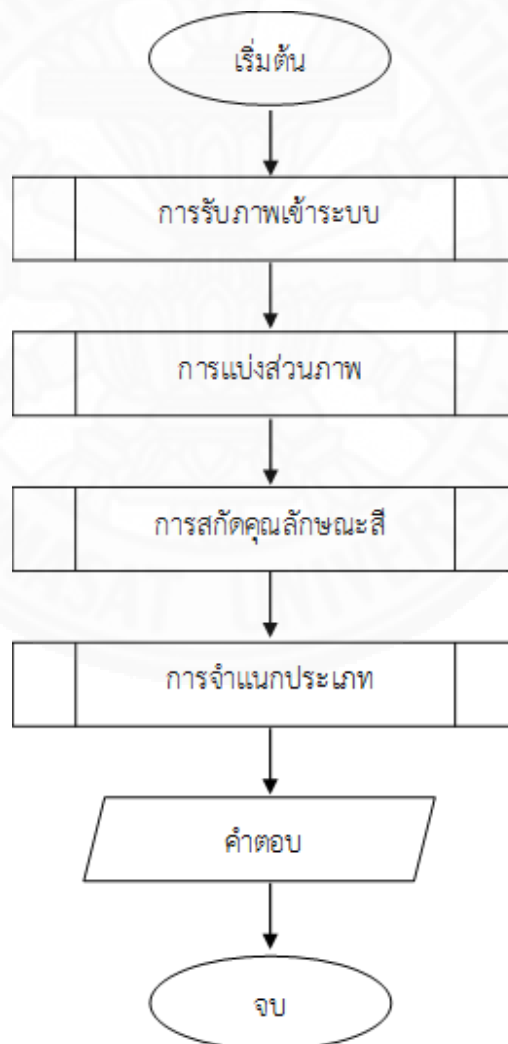
ตารางที่ 2.5

แสดงความถูกต้องในการคำนวณของแต่ละอัลกอริทึม

method	D_1		D_2	
	6 classes	2 classes	6 classes	2 classes
<i>proposed</i>	0.862	0.983	0.674	0.943
rf	0.833	0.983	0.740	0.960
parRF	0.833	0.983	0.734	0.960
RRFglobal	0.833	0.983	0.723	0.960
nnet	0.367	0.850	0.441	0.955
gbm	—	0.956	—	0.951
cforest	0.817	0.933	0.706	0.944
blackboost	—	0.950	—	0.944
gamSpline	—	0.833	—	0.944
ctree2	0.467	0.883	0.531	0.938
avNNet	0.417	0.900	0.514	0.938
svmRadial	0.767	0.950	0.508	0.938
pls	0.533	0.817	0.503	0.938
svmRadialCost	0.767	0.967	0.497	0.938
bstLs	—	0.817	—	0.938
bstSm	—	0.817	—	0.938
bstTree	—	0.817	—	0.938
glmboost	—	0.950	—	0.938
knn	0.583	0.933	0.508	0.932
glm	—	0.833	—	0.927
rpart	0.667	0.983	0.633	0.870
rpart2	0.667	0.983	0.718	0.864
svmLinear	0.833	0.950	0.480	0.802

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่สร้างระบบจำแนกชนิดของพลอยโดยอัตโนมัติจากภาพถ่าย โดยใช้คุณลักษณะของสีเป็นหลัก และใช้เทคนิคทางการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) สองวิธีมาเปรียบเทียบกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดี ซึ่งวิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็นสี่ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรับภาพเข้ามาในระบบ (Image Acquisition) การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) การสกัดคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) และการจำแนกประเภท (Classification) เพื่อให้ระบุได้ว่า ข้อมูลที่รับเข้าระบบนั้นอยู่ในประเภทใด แสดงภาพรวมขั้นตอนการดำเนินงาน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนภาพรวมการทำงานของระบบ

3.1 ขอบเขตในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการถ่ายภาพและวิธีการวิเคราะห์พลอย โดยจากการศึกษาพบว่า มีงานวิจัยหนึ่งซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินระดับสีของเพชร ได้ทำการทดลองเบื้องต้นว่า การถ่ายภาพอัญมณีบนพื้นขาว ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าถ่ายบนพื้นดำ ผู้วิจัยจึงถ่ายภาพอัญมณีบนพื้นขาว (อรรถัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) และจากการศึกษาหลักการวิเคราะห์พลอยพบว่า ควรดูในแสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเป็นแสงที่ใกล้เคียงกับแสงแดดธรรมชาติ (Day light) โดยถ่ายภาพพลอยจากด้านหน้าของพลอย (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551)

จากนั้นเมื่อรับภาพเข้ามาในระบบ ผู้วิจัยจะทำการตรวจจับส่วนที่เราสนใจจากภาพ และทำการสกัดคุณลักษณะสี เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการจำแนกคลาสด้วยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) และวิธีการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด k ตัว (K-Nearest Neighbors : KNN)

3.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลภาพในการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมภาพถ่ายพลอยในสองส่วน ได้แก่ ภาพถ่ายพลอยด้วยกล้อง DSLR ซึ่งถ่ายภายในตู้แสงที่ควบคุมอุณหภูมิแสง และภาพถ่ายพลอยจากกล้องมือถือ ซึ่งถ่ายในสภาพแวดล้อมจริงในตู้จิวเวลรี่ทั่วไป โดยถ่ายภาพทั้งหมด 7 ชนิด แบ่งเป็นสามกลุ่มสี ได้แก่ (1) กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม คือ ซิทรีน (Citrine) และบุษราคัม (Yellow Sapphire) (2) กลุ่มพลอยสีแดงชมพู คือ ทับทิม (Ruby) โรโดไลท์ (Rhodolite) และสปิเนล (Spinel) (3) กลุ่มพลอยสีเขียว คือ กรีนทัวร์มาลีน (GreenTourmaline) และมรกต (Emerald) ในส่วนการถ่ายภาพและการจัดวางอุปกรณ์ภาพ สามารถอธิบายรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ชุดข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้อง DSLR

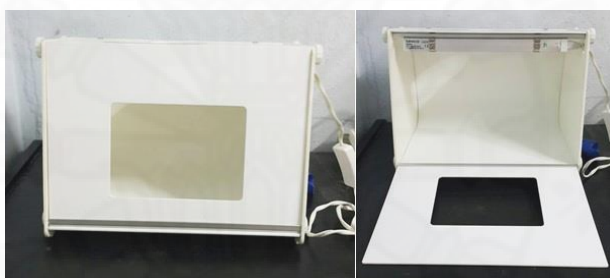
ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมกล้องและตู้แสง ที่ใช้ในการถ่ายภาพ และถ่ายภาพพลอยด้วยกล้อง DSLR ที่มีความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล แสดงดังภาพที่ 3.2 โดยจะถ่ายภาพพลอยจากด้านหน้าของพลอย ทั้งหมด 7 ชนิด ซึ่งจะแบ่งเป็นชนิดละ 10 เม็ด รวมชนิดละ 50 ภาพ รวม 350 ภาพ จัดเก็บไฟล์ภาพด้วยรูปแบบ JPEG

รายละเอียดของตู้แสงมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมพื้นภาพ วัสดุพลาสติกสีขาว มีพื้นภายในเป็นสีขาว ขนาดของตู้แสงจะมีขนาดความยาว 31 ซม. ความสูง 21 ซม. และความกว้าง 17 ซม. ซึ่งจะมีช่องถ่ายภาพด้านบนและด้านหน้า ซึ่งช่องถ่ายภาพด้านบนจะมีลักษณะเป็นทรงกลม

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 ซม. และช่องถ่ายภาพด้านหน้า ขนาดความสูง 13 ซม. และขนาดความยาว 18 ซม. และภายในตู้แสงจะประกอบด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ที่ให้อุณหภูมิแสง 5,000 เคลวิน ซึ่งเป็นแสงที่ใกล้เคียงแสงตอนกลางวัน (ศักดิ์ ศิริพันธ์, 2546) ดังภาพที่ 3.3 แสดงตู้แสงมาตรฐาน และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์



ภาพที่ 3.2 แสดงกล้องนิ๊กอน รุ่น V1 และเลนส์ (DSLR) ความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล



ภาพที่ 3.3 แสดงตู้แสงมาตรฐาน และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

การจัดอุปกรณ์ในการถ่ายภาพในงานวิจัยนี้ จะทำการถ่ายภาพจากด้านบนของตู้แสง โดยมีระยะห่าง 6 นิ้ว จากกล้องถึงฟลวย (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551) แสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงการจัดวางกล้องกับฟลวย

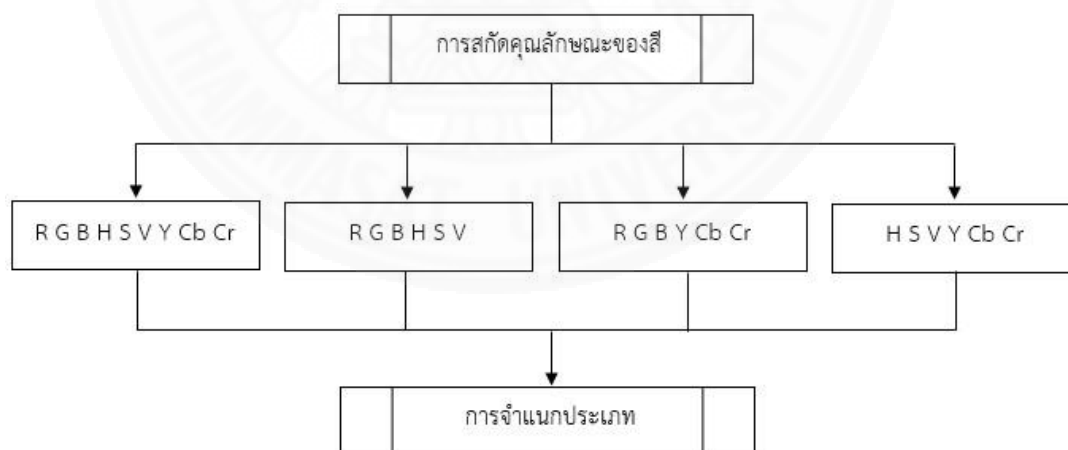
3.2.2 ชุดข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยกล้องมือถือ

ผู้วิจัยนำภาพพลอยที่ถ่ายด้วยกล้องมือถือ ยี่ห้อซัมซุง (Samsung) รุ่นกาแลคซีโน้ตสี่ (Galaxy Note4) โดยใช้กล้องด้านหลัง ซึ่งมีความละเอียด 3.7 ล้านพิกเซล โดยถ่ายภาพจากด้านหน้าของพลอยและถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุมแสง ทั้งหมด 7 ชนิด ซึ่งแบ่งเป็นชนิดละ 10 เม็ด ชนิดละ 50 ภาพ รวม 350 ภาพ โดยจัดเก็บไฟล์ภาพด้วยรูปแบบ JPEG

3.3 ขั้นตอนการสมมติฐาน

3.3.1 การใช้คุณลักษณะของสีที่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr เพื่อใช้เป็นค่าในการจำแนกชนิดของพลอย โดยผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็นสี่รอบ ได้แก่ (1) การทดลองโดยสกัดคุณลักษณะของสี คือ R G B H S V และ Y Cb Cr (2) การทดลองโดยสกัดคุณลักษณะของสี คือ R G B และ H S V (3) การทดลองโดยใช้ค่าคุณลักษณะสี คือ R G B และ Y Cb Cr และ (4) การทดลองโดยใช้ค่าคุณลักษณะสี คือ H S V และ Y Cb Cr ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองสี่รอบนี้เนื่องจากได้ตั้งสมมติฐานว่า ถ้าใช้คุณลักษณะสีที่เหมาะสม อาจส่งผลให้การจำแนกประเภท มีผลการทดลองที่ถูกต้องมากขึ้น แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ผังแสดงการใช้ค่าสกัดคุณลักษณะสี เพื่อจำแนกชนิดของพลอย

3.3.2 การใช้เทคนิคทางการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)

ผู้วิจัยจะทดลองการจำแนกคลาส โดยใช้วิธีการจำแนกข้อมูลแบบ Minimum Distance เปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกข้อมูลแบบ K-Nearest Neighbor โดยจะกำหนดให้ $K = 1$ 3 และ 5 ตามลำดับ

3.3.3 การใช้ความละเอียดของกล้องที่เหมาะสม

ผู้วิจัยจะทำการถ่ายภาพพลอย โดยใช้กล้อง DSLR ที่มีความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล ซึ่งเป็นกล้องที่ใช้ในงานด้านการถ่ายภาพอัญมณี เพื่อใช้ในการโฆษณาและในส่วนต่อมา ผู้วิจัยจะทำการถ่ายภาพพลอย โดยใช้กล้องมือถือ ซึ่งสมมุติฐานในส่วนของทดลองในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะทำการทดลอง เพื่อดูว่าถ้าลดความละเอียดของกล้องต่ำลงและถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุมแสง ระบบยังคงสามารถจำแนกประเภทได้อย่างถูกต้องจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับผู้มาใช้ระบบ

3.3.4 การใช้ตู้แสงที่เหมาะสม

ผู้วิจัยจะทำการถ่ายภาพพลอย โดยใช้ตู้แสงมาตรฐานในการถ่ายภาพวัตถุที่มีขนาดเล็ก เพื่อควบคุมสภาพแสง และอีกส่วนหนึ่งทำการถ่ายภาพพลอย โดยถ่ายจากสภาพแวดล้อมธรรมชาติที่ไม่ได้ควบคุมแสง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็นการทดลองเบื้องต้นโดยให้มนุษย์เป็นผู้จำแนกชนิดของพลอย และการทดลองจำแนกชนิดของพลอยด้วยระบบ โดยระบบในที่นี้หมายถึง การวิเคราะห์ภาพอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า ระบบ ซึ่งการทดลองจำแนกชนิดของพลอยด้วยมนุษย์ สามารถแบ่งการทดลองได้ดังนี้

- (1) การทดลองด้วยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย
- (2) การทดลองด้วยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น

ในส่วนการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยจะแบ่งการทดลองออกเป็นสามชุดการทดลอง สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

- (1) การทดลองชุดที่ 1 คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR โดยถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสงได้ดี และถ่ายภายในตู้แสง ซึ่งการทดลองชุดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองขึ้นเพื่อพิสูจน์ว่า ระบบสามารถช่วยจำแนกชนิดของพลอยได้ดีกว่ามนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยและมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น

(2) การทดลองชุดที่ 2 คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนระบบด้วยภาพจากกล้อง DSLR ที่ถ่ายจากสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสง และถ่ายภายในตู้แสง และชุดทดสอบระบบด้วยภาพจากกล้องมือถือที่ถ่ายจากสภาพแวดล้อมจริง โดยการทดลองชุดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มขึ้น เพื่อสะท้อนถึงสถานการณ์จริง ซึ่งเป็นไปได้ยากที่บุคคลทั่วไปนำกล้อง DSLR ไปเวลาซื้อขายพลอย ในขณะที่กล้องมือถือนั้น นิยมใช้การแพร่หลาย ผู้วิจัยจึงทำการทดลองกับภาพถ่ายพลอยที่ได้จากกล้องมือถือ

(3) การทดลองชุดที่ 3 คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยกล้องมือถือ ซึ่งเป็นการทดลองที่ผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานว่า เมื่อชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบถ่ายในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน อาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนและทำให้ได้ผลการทดลองที่ลดลง ดังนั้นผู้วิจัยเลยได้ทำการทดลองชุดนี้ขึ้นมา และตั้งสมมุติฐานว่า ระบบสามารถให้ผลการทดลองการจำแนกชนิดของพลอยที่มีความถูกต้องสูงกว่าระบบในการทดลองชุดที่ 2

3.4.1 ขั้นตอนการทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองขั้นนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับมนุษย์ โดยให้มนุษย์ทำการจำแนกชนิดของพลอย ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองการทดลอง ได้แก่ การทดลองครั้งที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองด้วยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย และการทดลองครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลองด้วยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น สามารถอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการทำการทดลองดังนี้

การทดลองครั้งที่ 1

เป็นการทดลองเบื้องต้นกับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย โดยการให้มนุษย์จำนวน 10 คน ซึ่งไม่ได้อยู่ในวงการอัญมณี จำแนกชนิดของพลอยทั้งหมดสามกลุ่มพลอย สามารถแบ่งได้ดังนี้ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มพลอยที่มีสีเหลืองส้ม ได้แก่ ชิทรินและบุษราคัม กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มพลอยที่มีสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์ และสปิเนล ซึ่งพลอยสองกลุ่มแรกนี้ผู้วิจัยทำการปนพลอยในแต่ละกลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 20 เม็ด และกลุ่มที่ 2 จำนวน 30 เม็ด นำมาปนรวมกันของแต่ละกลุ่ม แล้วให้มนุษย์ทำการจำแนกชนิดของพลอย หลังจากนั้นพลอยกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มพลอยสีเขียว ได้แก่ กรีนทิวมาลีนและมรกต โดยพลอยกลุ่มนี้ผู้วิจัยได้ให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอย โดยให้มนุษย์ทำนายจากภาพถ่าย จำนวนอย่างละ 10 ภาพ รวม 20 ภาพ เนื่องจากพลอยกลุ่มนี้มีขนาดไม่เท่ากัน โดยพลอยมรกตจะมีขนาดเล็กและมีราคาค่อนข้างสูง ต่างจากกรีนทิวมาลีนที่มีลักษณะเม็ดใหญ่ จึงง่ายต่อการคาดการณ์ ดังนั้นจึงไม่สามารถจำแนกจากของจริงได้ โดยในการทดลองเบื้องต้นของทั้งสามกลุ่ม สามารถอธิบายการทดลองได้ดังนี้

(1) การทดลองโดยนำพลอยกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม ได้แก่ ชิทรินและบุษราคัม จำนวนอย่างละ 10 เม็ด รวม 20 เม็ด นำมาปนรวมกัน แสดงดังภาพที่ 3.6 จากนั้นให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอย โดยผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยสามารถจำแนกชนิดของพลอยคิดเป็น 52.50% แสดงดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.6 พลอยกลุ่มที่ 1 ที่มีสีเหลืองส้ม ได้แก่ ชิทรินและบุษราคัม

ตารางที่ 3.1

ผลการทดลองครั้งที่ 1 ของกลุ่มที่ 1 พลอยสีเหลืองส้ม ได้แก่ บุษราคัมและชิทริน

Confusion Matrix for Citrine and Yellow Sapphire					
Actual Class	Predicted Class				
	n=200	ชิทริน (CIT)	บุษราคัม (YSP)	Total	Accuracy
	ชิทริน (CIT)	53	48	101	52.48%
	บุษราคัม (YSP)	47	52	99	52.53%
Average Accuracy				200	52.50%

(2) การทดลองโดยนำพลอยกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มพลอยสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์ และสปิเนล จำนวนอย่างละ 10 เม็ด รวม 30 เม็ด นำมาปนรวมกัน แสดงดังภาพที่ 3.7 จากนั้นให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอย โดยผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยสามารถจำแนกชนิดของพลอยคิดเป็น 37.14% แสดงดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.7 พลอยกลุ่มที่ 2 ที่มีสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล

ตารางที่ 3.2

ผลการทดลองครั้ง 1 ของกลุ่มที่ 2 พลอยสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล

Confusion Matrix for Ruby Rhodolite and Spinel						
Actual Class	Predicted Class					
	n=300	ทับทิม (RUB)	โรโดไลท์ (RHO)	สปิเนล (SPN)	Total	Accuracy
	ทับทิม (RUB)	43	42	26	111	38.74%
	โรโดไลท์ (RHO)	28	29	34	91	31.87%
	สปิเนล (SPN)	29	29	40	98	40.82%
Average Accuracy					300	37.14%

(3) การทดลองโดยนำพลอยกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มพลอยสีเขียว ได้แก่ กรีนทิวมาลีนและมรกต จำนวนอย่างละ 10 ภาพ รวม 20 ภาพ แสดงดังภาพที่ 3.8 จากนั้นให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอย จากภาพถ่าย โดยทำนายที่ละภาพว่าเป็นพลอยชนิดใด เนื่องจากกมรกตมีราคาค่อนข้างสูง โดยผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย สามารถจำแนกชนิดของพลอยคิดเป็น 45.03% แสดงดังตารางที่ 3.3



ภาพที่ 3.8 พลอยกลุ่มที่ 3 ที่มีสีเขียว ได้แก่ กรีนทัวร์มาลีนและมรกต

ตารางที่ 3.3

ผลการทดลองครั้งที่ 1 ของกลุ่มที่ 3 พลอยสีเขียว ได้แก่ มรกตและกรีนทัวร์มาลีน

Confusion Matrix for GreenTourmaline and Emerald					
Actual Class	Predicted Class				
	n=200	กรีนทัวร์มาลีน (GTM)	มรกต (EMR)	Total	Accuracy
	กรีนทัวร์มาลีน (GTM)	44	52	96	45.83%
มรกต (EMR)	58	46	104	44.23%	
Average Accuracy				200	45.03%

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย สามารถจำแนกพลอยได้ถูกต้อง เฉลี่ยรวมสามกลุ่ม คือ 44.89% ซึ่งผลการทดลองรวมของทั้งสามกลุ่มพลอย แสดงดังตารางที่ 3.4 ดังนั้นระบบจำแนกชนิดของพลอยจึงเป็นประโยชน์อย่างมาก เพื่อช่วยให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย สามารถจำแนกพลอยเบื้องต้นได้ และเพื่อเป็นการตัดสินใจเบื้องต้นในการเลือกซื้อพลอยที่ถูกต้องจากที่เข้าใจและตรงต่อราคาที่เสียไป

ตารางที่ 3.4

ผลการทดลองทั้งสามกลุ่มพลอย โดยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย

		ประเภทที่ทดสอบระบบ
		มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย
ชุดข้อมูลในการทดลอง	กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม	52.50%
	กลุ่มพลอยสีแดงชมพู	37.14%
	กลุ่มพลอยสีเขียว	45.03%
รวม		44.89%

การทดลองครั้งที่ 2

เป็นการทดลองเบื้องต้นกับมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ซึ่งเป็นผู้สำเร็จการศึกษาคอร์สเรียนความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอัญมณี โดยให้มนุษย์จำนวน 10 คน จำแนกชนิดของพลอยทั้งหมดสามกลุ่มพลอย โดยแบ่งพลอยออกเป็นสามกลุ่มสี ได้แก่ กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม กลุ่มพลอยสีแดงชมพู และกลุ่มพลอยสีเขียว ซึ่งทำการทดลองเหมือนกับขั้นตอนในการทดลองครั้งที่ 1 ที่จำแนกชนิดของพลอยโดยให้มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย ซึ่งผลการทดลองครั้งที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้

(1) การทดลองโดยนำพลอยกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม ได้แก่ ชิทรินและบุษราคัม จำนวนอย่างละ 10 เม็ด รวม 20 เม็ด นำมาปนรวมกัน จากนั้นให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอย โดยผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น สามารถจำแนกชนิดของพลอยคิดเป็น 70.07% แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

ผลการทดลองครั้งที่ 2 ของกลุ่มที่ 1 พลอยสีเหลืองส้ม ได้แก่ บุษราคัมและซิทริน

Confusion Matrix for Citrine and Yellow Sapphire					
Actual Class	Predicted Class				
	n=200	ซิทริน (CIT)	บุษราคัม (YSP)	Total	Accuracy
	ซิทริน (CIT)	67	27	94	71.28%
	บุษราคัม (YSP)	33	73	106	68.87%
Average Accuracy				200	70.07%

(2) การทดลองโดยนำพลอยกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มพลอยสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล จำนวนอย่างละ 10 เม็ด รวม 30 เม็ด นำมาปนรวมกัน จากนั้นให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอย โดยผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น สามารถจำแนกชนิดของพลอยคิดเป็น 74.01% แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

ผลการทดลองครั้งที่ 2 ของกลุ่มที่ 2 พลอยสีแดงชมพู ได้แก่ ทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล

Confusion Matrix for Ruby Rhodolite and Spinel						
Actual Class	Predicted Class					
	n=300	ทับทิม (RUB)	โรโดไลท์ (RHO)	สปิเนล (SPN)	Total	Accuracy
	ทับทิม (RUB)	85	35	12	132	64.39%
	โรโดไลท์ (RHO)	11	59	16	86	68.60%
สปิเนล (SPN)	4	5	73	82	89.02%	
Average Accuracy				300	74.01%	

(3) การทดลองโดยนำพลอยกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มพลอยสีเขียว ได้แก่ กรีนทัวร์มาลีนและมรกต จำนวนอย่างละ 10 ภาพ รวม 20 ภาพ จากนั้นให้มนุษย์จำแนกชนิดของพลอยจากภาพถ่ายด้วยกล้อง DSLR โดยทำนายที่ละภาพว่าเป็นพลอยชนิดใด ซึ่งผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น สามารถจำแนกชนิดของพลอยคิดเป็น 82.44% แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7

ผลการทดลองครั้งที่ 2 ของกลุ่มที่ 3 พลอยสีเขียว ได้แก่ มรกตและกรีนทัวร์มาลีน

Confusion Matrix for GreenTourmaline and Emerald					
Actual Class	Predicted Class				
	n=200	กรีนทัวร์มาลีน (GTM)	มรกต (EMR)	Total	Accuracy
	กรีนทัวร์มาลีน (GTM)	73	10	83	87.95%
	มรกต (EMR)	27	90	117	76.92%
Average Accuracy				200	82.44%

จากการทดลองเบื้องต้นในส่วนการทดลองโดยให้มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยสามารถจำแนกพลอยได้ถูกต้อง เฉลี่ยรวมสามกลุ่ม คือ 75.51% ซึ่งมีผลการทดลองที่สูงกว่าการทดลองโดยให้มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยเป็นผู้จำแนกชนิดของพลอย

สรุปผลการทดลองเบื้องต้น โดยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย สามารถจำแนกชนิดของพลอยได้ใกล้เคียงกับอัตราสุ่ม ซึ่งเฉลี่ยผลการทดลองไม่ถึง 50% และในส่วนการทดลองโดยให้มนุษย์ที่มีความรู้เบื้องต้นในการจำแนกชนิดของพลอย มีผลการทดลอง คือ 75.51% และเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น สามารถจำแนกชนิดของพลอยได้สูงกว่ามนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย 30.62% ซึ่งผลการทดลองเบื้องต้นของทั้งสองการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8

ผลการทดลองเบื้องต้นทั้งสองกลุ่มการทดลอง ได้แก่ การทดลองโดยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย และการทดลองโดยมนุษย์ที่มีความรู้เบื้องต้นด้านพลอย

		ประเภทที่ทดสอบระบบ	
		มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย	มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอย
ชุดข้อมูลในการทดลอง	กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม	52.50%	70.07%
	กลุ่มพลอยสีแดงชมพู	37.14%	74.01%
	กลุ่มพลอยสีเขียว	45.03%	82.44%
รวม		44.89%	75.51%

3.4.2 การทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์

การทดลองในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้นำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจำแนกชนิดของพลอย เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยและมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ในการจำแนกชนิดของพลอย เพื่อการตัดสินใจเลือกซื้อพลอยเบื้องต้น โดยผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานงานวิจัยว่า ระบบน่าจะมีผลการจำแนกชนิดของพลอยที่ถูกต้องสูงกว่ามนุษย์ทั้งที่มีความรู้ด้านพลอยและไม่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น


สรุปงานวิจัยในการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยจะทำการแบ่งการทดลองออกเป็นสามกลุ่มพลอยสี ได้แก่ กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม คือ ชิทรินและบุษราคัม กลุ่มพลอยสีแดงชมพู คือ ทับทิม โรโดไลท์และสปิเนล และกลุ่มพลอยสีเขียว คือ กรีนทิวมาลีนและมรกต โดยถ่ายภาพพลอยด้วยกล้อง DSLR จำนวน 7 ชนิด ชนิดละ 50 ภาพ รวม 350 ภาพ และถ่ายภาพพลอยด้วยกล้องมือถือ จำนวน 7 ชนิด ชนิดละ 50 ภาพ รวม 350 ภาพ

การทดลองชุดที่ 1

คือชุดการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายพลอยด้วยกล้อง DSLR โดยแบ่งเป็นชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ จำนวน 350 ภาพ โดยการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 5 ชุด (5-Fold Cross-Validation) ซึ่งภาพตัวอย่างพลอยด้วยกล้อง DSLR แสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9

แสดงตัวอย่างภาพพลอยถ่ายด้วยกล้อง DSLR โดยถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสง



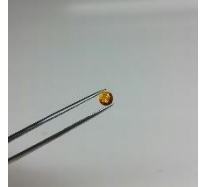
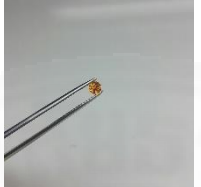

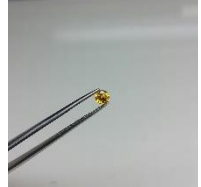
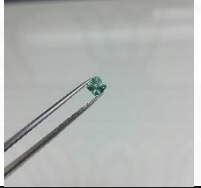
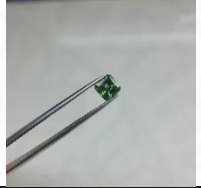
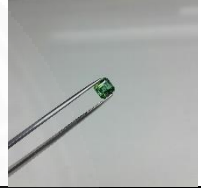
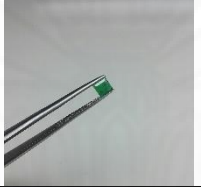
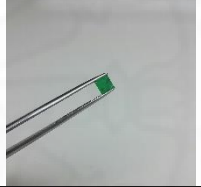
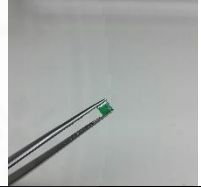
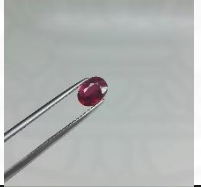
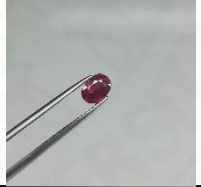
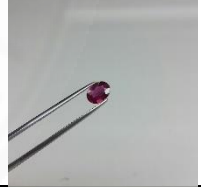
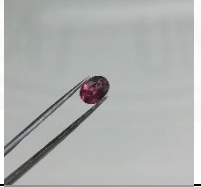
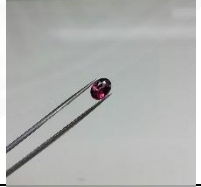
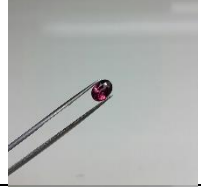
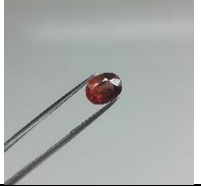
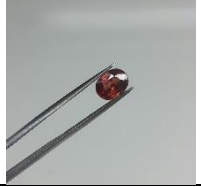
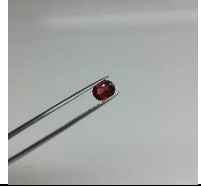
ซิทริน (Citrine)			
บุษราคัม (Yellow Sapphire)			
กรีนทัวร์มาลีน (Green Tourmaline)			
มรกต (Emerald)			
ทับทิม (Ruby)			
โรโดไลท์ (Rhodolite)			
สปิเนล (Spinel)			

การทดลองชุดที่ 2

คือชุดการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายพลอยด้วยกล้อง DSLR เป็นชุดฝึกสอนระบบจำนวน 350 ภาพ และชุดทดสอบระบบด้วยกล้องมือถือ จำนวน 350 ภาพ ซึ่งตัวอย่างภาพถ่ายพลอยด้วยกล้องมือถือ แสดงดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10

แสดงตัวอย่างภาพพลอยถ่ายด้วยกล้องมือถือ โดยถ่ายในสภาพแวดล้อมจริงที่ไม่ได้ควบคุมแสง

ซิทริน (Citrine)			
บุษราคัม (Yellow Sapphire)			
กรีนทัวร์มาลีน (Green Tourmaline)			
มรกต (Emerald)			
ทับทิม (Ruby)			
โรโดไลท์ (Rhodolite)			
สปิเนล (Spinel)			

การทดลองชุดที่ 3

คือชุดการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายพลอยที่ถ่ายด้วยกล้องมือถือ ซึ่งแบ่งเป็นชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ จำนวน 350 ภาพ โดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 5 ชุด (5-Fold Cross-Validation)

3.4.3 การขั้นตอนการดำเนินงาน

ในขั้นตอนการดำเนินงานหลังจากเก็บข้อมูลภาพเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งออกเป็นสี่ขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพเข้าระบบ (Input) การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) การสกัดคุณลักษณะของสี (Feature Extraction) และการจำแนกประเภท (Classification) สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบด้วยคอมพิวเตอร์ดังนี้

3.4.3.1 การรับภาพเข้าระบบ (Input)

โดยรับภาพถ่ายพลอย จำนวน 7 ชนิด ได้แก่ ซิทรีน (Citrine) บุษราคัม (Yellow Sapphire) กรีนทัวร์มาลีน (GreenTourmaline) มรกต (Emerald) ทับทิม (Ruby) โรโดไลต์ (Rhodolite) และสปิเนล (Spinel) เข้ามาในระบบชนิดละ 50 ภาพ รวมทั้งหมด 350 ภาพ ซึ่งแบ่งชุดการทดลองออกเป็นสามชุด ได้แก่

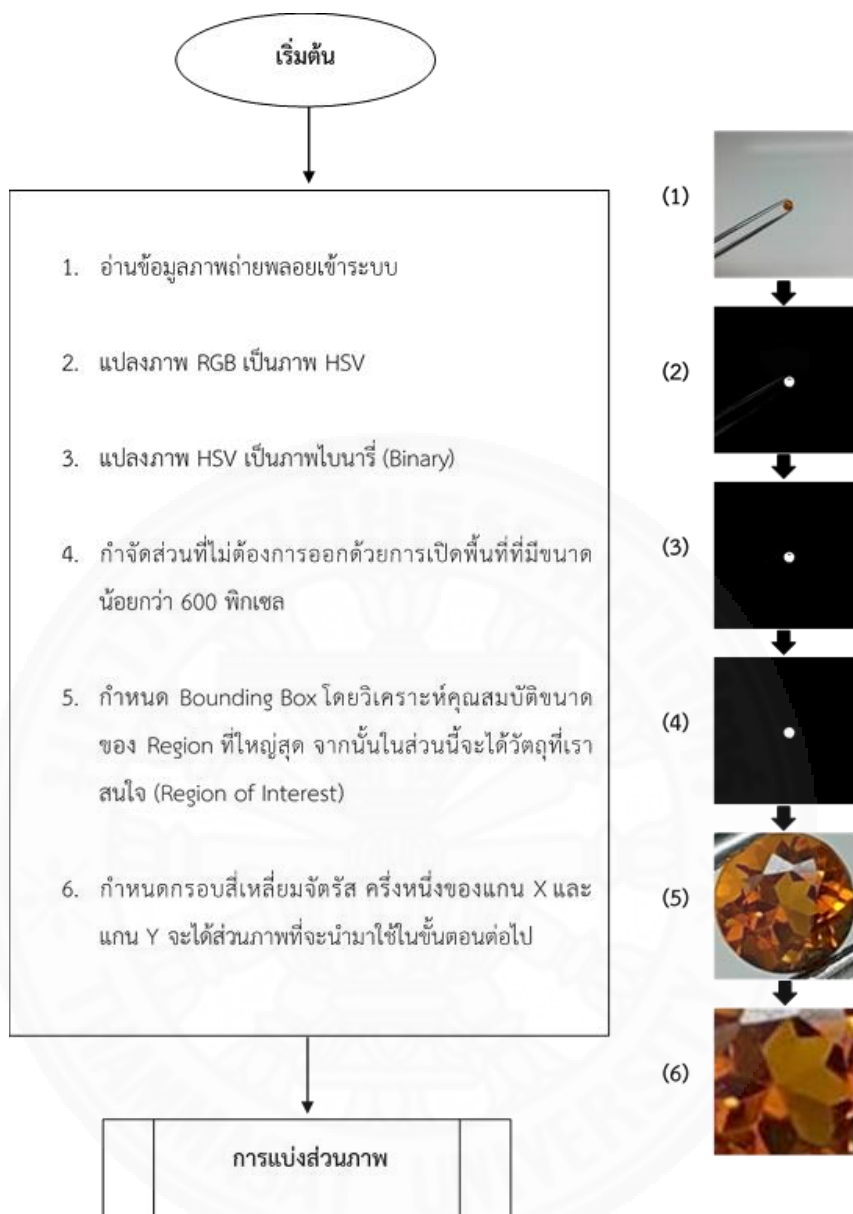
ชุดที่ 1 คือ ชุดการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายพลอยด้วยกล้อง DSLR แบ่งเป็นชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ จำนวน 350 ภาพ โดยแบ่งเป็น 5 ชุด (5-fold Cross-Validation) ซึ่งเป็นไฟล์ภาพ JPEG ขนาด 3872 x 2592 พิกเซล

ชุดที่ 2 คือ ชุดการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายพลอยด้วยกล้อง DSLR เป็นชุดฝึกสอนระบบ จำนวน 350 ภาพ ซึ่งเป็นไฟล์ภาพ JPEG ขนาด 3872 x 2592 พิกเซล และชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ จำนวน 350 ภาพ ซึ่งเป็นไฟล์ภาพ JPEG ขนาด 3264 x 1836 พิกเซล

ชุดที่ 3 คือ ชุดการทดลองโดยใช้ภาพถ่ายพลอยด้วยกล้องมือถือ แบ่งเป็นชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ จำนวน 350 ภาพ โดยแบ่งเป็น 5 ชุด (5-fold Cross-Validation) ซึ่งเป็นไฟล์ภาพ JPEG ขนาด 3264 x 1836 พิกเซล

3.4.3.2 การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation)

ในขั้นตอนนี้จะเลือกเฉพาะส่วนของวัตถุที่สนใจ โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานในส่วนการแบ่งส่วนภาพ

โดยวิเคราะห์จากค่า Saturation จากโมเดลสี HSV โดยการแปลงภาพจากโมเดล RGB เป็นโมเดล HSV หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า Saturation ดังนั้นเมื่อรับภาพเข้าระบบ ภาพในส่วนพื้นหลัง ค่า Saturation จะเข้าใกล้ 0 หมายถึง ค่าต่ำ ส่วนภาพตรงพลอย ค่า Saturation จะมีค่าสูง หมายถึง ค่าสว่าง โดยนำเอาภาพ RGB ที่รับเข้าระบบแปลงเป็นภาพ HSV หลังจากนั้นทำการแปลงภาพเป็นภาพไบนารี (Binary) ซึ่งหมายถึงภาพที่มีค่าความเข้มเทาเพียงสองระดับ คือ ขาวดำ โดยกำหนดค่าเทรชโฮลด์ หลังจากนั้นทำการเปิดพื้นที่ที่มีขนาดเล็กกว่า 600 พิกเซล เพื่อกำจัด

รายละเอียดขนาดเล็กของภาพออก จากนั้นกำหนด Bounding Box โดยวิเคราะห์คุณสมบัติขนาดของแต่ละ Region โดยเลือก Region ที่ใหญ่ที่สุด หลังจากได้ส่วนของวัตถุที่เราสนใจแล้ว จะทำการกำหนดกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จากจุดศูนย์กลางของภาพ โดยการวัดระยะความกว้างครึ่งหนึ่ง จากแกน X และวัดระยะทางความสูงครึ่งหนึ่งของแกน Y จากนั้นจะได้ส่วนของภาพที่จะนำมาใช้ในส่วนการสกัดคุณลักษณะสีในขั้นต่อไป

3.4.3.3 การสกัดคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction)

หลังจากได้ข้อมูลส่วนที่เฉพาะส่วนของวัตถุในภาพที่สนใจแล้ว จากนั้นจะทำการหาคุณลักษณะพิเศษ (Features) โดยในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะคุณลักษณะสีเป็นหลัก ซึ่งจะทำการวิเคราะห์แก้คุณลักษณะ ที่ได้จากโมเดลสีแบบ RGB HSV และ YCbCr ซึ่งในส่วนนี้จะทำการทดลองทั้งสี่ชุดการทดลอง ได้แก่

การทดลองชุดที่ 1 โดยใช้แก้คุณลักษณะสี คือ R G B H S V Y Cb Cr

การทดลองชุดที่ 2 โดยใช้หกคุณลักษณะสี คือ R G B H S V

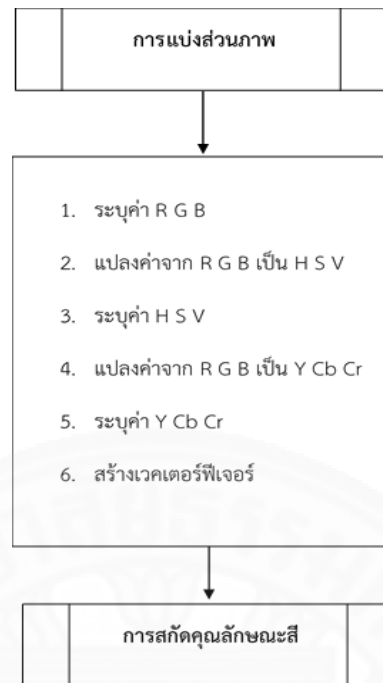
การทดลองชุดที่ 3 โดยใช้หกคุณลักษณะสี คือ R G B Y Cb Cr

การทดลองชุดที่ 4 โดยใช้หกคุณลักษณะสี คือ H S V Y Cb Cr

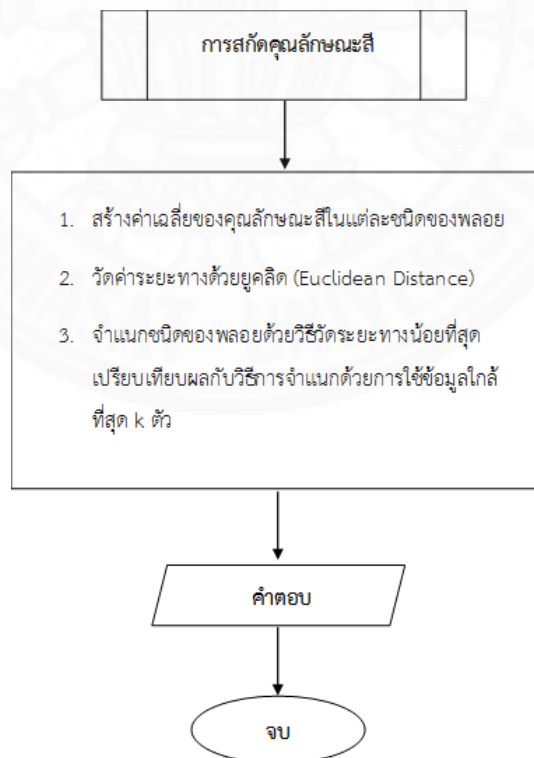
โดยทำการแปลงโมเดลสี RGB เป็นโมเดลสี HSV และแปลงโมเดลสี RGB เป็นโมเดลสี YCbCr สามารถอธิบายภาพรวมการทำงานของขั้นตอนนี้ ดังภาพที่ 3.10 ซึ่งในส่วนของขั้นตอนนี้จะได้ค่าของแต่ละคุณลักษณะสี โดยค่าแต่ละคุณลักษณะสีมาจากส่วนของภาพจากการแบ่งส่วนภาพ ซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยในทุกพิกเซลของแต่ละคุณลักษณะสี หลังจากนั้นนำค่าแต่ละคุณลักษณะสีที่ได้ในแต่ละชนิดของพลาอย มาวิเคราะห์ในขั้นต่อไป คือ ขั้นตอนการจำแนกประเภทโดยใช้ค่าคุณลักษณะสีซึ่งจะแบ่งเป็นการทดลองสี่ชุด ตามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

3.4.3.4 การจำแนกประเภท (Classification)

หลังจากที่ทำการสกัดคุณลักษณะทั้งแก้คุณลักษณะแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการจำแนกชนิดของพลาอย โดยเลือกใช้วิธีการวัดระยะทางแบบยูคลิเดียน โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้สองเทคนิคเปรียบเทียบกัน ได้แก่ การวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) และการวัดระยะทางใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor) โดยกำหนดให้ $K = 1, 3$ และ 5 สามารถแสดงภาพรวมการทำงานของขั้นตอนการจำแนกประเภทดังภาพที่ 3.11 หลังจากที่ได้คำตอบ ผู้วิจัยจะบันทึกข้อมูลในรูปแบบ Confusion Matrix เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของระบบ



ภาพที่ 3.10 แสดงภาพรวมการทำงานของขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะสี



ภาพที่ 3.11 แสดงขั้นตอนการจำแนกประเภท

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัย

4.1.1 ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

4.1.1.1 ข้อมูลภาพที่ถ่ายด้วยกล้อง DSLR ยี่ห้อนิคอน (Nikon) รุ่น V1 ซึ่งมีความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล จำนวน 350 ภาพ โดยแบ่งเป็นพลอยทั้งหมด 7 ชนิด ชนิดละ 50 ภาพ ซึ่งเป็นไฟล์ JPEG ขนาด 3872 x 2592 พิกเซล

4.1.1.2 ข้อมูลภาพที่ถ่ายด้วยกล้องมือถือ ยี่ห้อซัมซุง (Samsung) รุ่นกาแล็กซี่ โน้ตสี่ (Galaxy Note 4) โดยถ่ายจากกล้องด้านหลัง ซึ่งกล้องมีความละเอียด 3.7 ล้านพิกเซล จำนวน 350 ภาพ โดยแบ่งเป็นพลอยทั้งหมด 7 ชนิด ชนิดละ 50 ภาพ ซึ่งเป็นไฟล์ JPEG ขนาด 3264 x 1836 พิกเซล

4.2 กลุ่มข้อมูลภาพที่ใช้ในการจำแนก

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็นสามชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 ชุดข้อมูลฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR ชุดที่ 2 ชุดฝึกสอนระบบด้วยกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยกล้องมือถือ และชุดที่ 3 ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ โดยชุดการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 3 จะแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบออกเป็น 5 ชุด (5-Fold Cross-Validation) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

การแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 5 ชุด สำหรับชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ

	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5
ชุดที่ 1	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดทดสอบระบบ
ชุดที่ 2	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดทดสอบระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ
ชุดที่ 3	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดทดสอบระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ
ชุดที่ 4	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดทดสอบระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ
ชุดที่ 5	ชุดทดสอบระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ	ชุดฝึกสอนระบบ

4.2.1 งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุด ดังนี้

4.2.1.1 ในการทดลองชุดที่ 1 ผู้วิจัยได้นำภาพจากกล้อง DSLR (ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.1.1.1) จำนวนทั้งหมด 350 ภาพ จากทั้งหมด 7 กลุ่มพลอยที่ใช้ในการทดลอง โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนระบบ (Training Set) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบระบบ (Test set) จำนวน 5 ชุด (5-Fold Cross - Validation)

- ชุดสำหรับฝึกสอนระบบ (Training Set) จำนวน 280 ภาพ
- ชุดสำหรับทดสอบระบบ (Test Set) จำนวน 70 ภาพ

4.2.1.2 ในการทดลองชุดที่ 2 ผู้วิจัยได้นำภาพจากกล้อง DSLR จำนวนทั้งหมด 350 ภาพ จากทั้งหมด 7 กลุ่มพลอยที่ใช้ในการทดลอง เป็นชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนระบบ (Training Set) และภาพจากกล้องมือถือ (ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.1.1.2) จำนวนทั้งหมด 350 ภาพ จากทั้งหมด 7 กลุ่มพลอย แบ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบระบบ (Test set)

- ชุดสำหรับฝึกสอนระบบ (Training Set) จำนวน 350 ภาพ
- ชุดสำหรับทดสอบระบบ (Test Set) จำนวน 350 ภาพ

4.2.1.3 ในการทดลองชุดที่ 3 ผู้วิจัยได้นำภาพจากกล้องมือถือ จำนวนทั้งหมด 350 ภาพ จากทั้งหมด 7 กลุ่มพลอยที่ใช้ในการทดลอง โดยแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนระบบ (Training Set) และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบระบบ (Test set) จำนวน 5 ชุด (5-Fold Cross - Validation)

- ชุดสำหรับฝึกสอนระบบ (Training Set) จำนวน 280 ภาพ
- ชุดสำหรับทดสอบระบบ (Test Set) จำนวน 70 ภาพ

4.3 การจำแนกชนิดของพลอย

4.3.1 คุณลักษณะสำคัญที่ใช้ในการจำแนก (Feature Extraction)

รายละเอียดของคุณลักษณะที่สำคัญที่ใช้ในการจำแนกชนิดของพลอย โดยจะพิจารณาจากคุณลักษณะของสี (Color-based) ซึ่งมาจากค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะสีของพลอย 7 ชนิด จำนวน 50 ภาพ โดยในแต่ละคุณลักษณะสี มาจากค่าเฉลี่ยทั้ง 50 ภาพ แต่ละชนิดของพลอย โดยค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะสีของภาพที่มาจากกล้อง DSLR แสดงดังตารางที่ 4.2 และค่าเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะสีของภาพที่มาจากกล้องมือถือ แสดงดังตารางที่ 4.3 เพื่อใช้เป็นชุดฝึกสอนระบบ (Training Set) สำหรับวิธีจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance)

ตารางที่ 4.2

ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีในแต่ละชนิดพลอยที่มาจากภาพถ่ายด้วยกล้อง DSLR

		ชนิดของพลอยทั้ง 7 ชนิด						
		บุษราคัม (YSP)	จิทริน (CIT)	มรกต (EMR)	กรีนทิวมาลีน (GTM)	โรโดไลท์ (RHO)	ทับทิม (RUB)	สปิเนล (SPN)
คุณลักษณะเกี่ยวกับสี (Color-based Features)	R	145.53	127.35	31.32	65.97	62.13	69.19	96.59
	G	92.86	61.84	103.01	100.34	32.73	30.81	49.18
	B	17.15	8.14	65.71	72.38	40.72	51.24	40.19
	H	9.72	7.28	41.26	36	81.62	90.52	3.35
	S	88.08	92.79	71.06	41.69	46.52	56.19	57.42
	V	57.07	49.94	40.39	39.37	24.4	27.17	37.88
	Y	101.86	80.67	82.4	90.61	52.44	54.31	69.53
	Cb	86.9	94.69	122.26	120.86	127.13	131.24	117.09
	Cr	156.54	160.59	99.19	114.88	140.37	143.41	149.48

ตารางที่ 4.3

ค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสีในแต่ละชนิดพลอยของภาพถ่ายด้วยกล้องมือถือ

		ชนิดของพลอยทั้ง 7 ชนิด						
		บุษราคัม (YSP)	จิทริน (CIT)	มรกต (EMR)	กรีนทิวมาลีน (GTM)	โรโดไลท์ (RHO)	ทับทิม (RUB)	สปิเนล (SPN)
คุณลักษณะเกี่ยวกับสี (Color-based Features)	R	145.74	122.47	31.41	61.09	87.96	94.22	92.69
	G	106.55	70.76	126.04	93.41	42.70	39.05	40.51
	B	19.01	10.85	83.62	76.68	62.01	61.63	36.76
	H	11.10	8.11	42.54	41.27	90.60	92.33	42.90
	S	89.11	92.52	77.07	45.67	54.96	62.93	63.94
	V	57.16	48.03	49.43	36.74	34.58	36.98	36.37
	Y	109.00	84.18	95.79	86.29	66.19	65.92	63.82
	Cb	83.73	94.02	123.44	125.46	129.77	129.73	118.68
	Cr	151.47	155.00	89.47	114.99	146.51	150.63	151.19

4.3.2 วิธีการที่ใช้ในการจำแนก (Classification)

งานวิจัยนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะของสีทั้งหมดแก้คุณลักษณะของสี ในการจำแนกชนิดของพลอยในแต่ละกลุ่มพลอย โดยได้แบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็นสี่ชุด สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ชุดที่ 1 การทดลองระบบโดยใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr เพื่อใช้ในการจำแนกประเภท
- ชุดที่ 2 การทดลองระบบโดยใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งหกคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V เพื่อใช้ในการจำแนกประเภท
- ชุดที่ 3 การทดลองระบบโดยใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งหกคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr เพื่อใช้ในการจำแนกประเภท
- ชุดที่ 4 การทดลองระบบโดยใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งหกคุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr เพื่อใช้ในการจำแนกประเภท

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยใช้การเรียนรู้ทางเครื่องจักรมาช่วยในการจำแนกชนิด ซึ่งในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวจำแนก 2 ชนิด ได้แก่ (1) ตัวจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) และ (2) ตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 1, 3$ และ 5 ซึ่งทั้งสองตัวจำแนกนี้ จะวัดค่าระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance)

4.4 วิธีการวัดผล

วิธีการวัดผลจะบันทึกค่าลงในตาราง Confusion Matrix เพื่อประเมินค่าความถูกต้องของระบบและค่าความผิดพลาดในการจำแนกชนิดของพลอยแต่ละชนิด แสดงดังตารางที่ 4.4 เป็นตัวอย่างตาราง Confusion Matrix ที่บันทึกผลการทดลองของระบบ โดยพลอยซีทรินจะใช้ตัวย่อว่า CIT พลอยบุษราคัมจะใช้ตัวย่อว่า YSP พลอยมรกตจะใช้ตัวย่อว่า EMR พลอยกรีนทิวมาลีนจะใช้ตัวย่อว่า GTM พลอยโรโดไลท์จะใช้ตัวย่อว่า RHO พลอยทับทิมจะใช้ตัวย่อว่า RUB และพลอยสปิเนลจะใช้ตัวย่อว่า SPN

โดยค่าความถูกต้องในแต่ละชนิด สามารถคำนวณได้จากการนำผลการทดลองการจำแนกชนิดที่ถูกต้องหารด้วยจำนวนชนิดพลอยทั้งหมด และการหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ถูกต้องทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากการนำผลการทดลองการจำแนกชนิดที่ถูกต้องของแต่ละชนิดพลอยหารด้วยจำนวนชนิดพลอยทั้งหมด

ตารางที่ 4.4

ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลลงในตาราง Confusion Matrix

Confusion Matrix										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	50							50	100%
	YSP		50						50	100%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO						50		50	100%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	100.00%

4.5 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยแบ่งเป็นการทดลองเบื้องต้นและการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทดลองเบื้องต้น สามารถแบ่งเป็นสองชุดการทดลอง ได้แก่ การทดลองด้วยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย และการทดลองด้วยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น และการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สามารถแบ่งการทดลองออกเป็นสามชุด ได้แก่ การทดลองชุดที่ 1 คือ ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบจากกล้อง DSLR การทดลองชุดที่ 2 คือ ชุดฝึกสอนระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ และการทดลองชุดที่ 3 คือ ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

4.5.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

4.5.1.1 ผลการทดลองด้วยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย สามารถสรุปได้ว่ามนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย สามารถจำแนกชนิดของพลอยด้วยอัตราการสุ่ม ซึ่งผลการทดลองมีความถูกต้องเฉลี่ยของทั้งสามกลุ่มพลอยที่สีใกล้เคียงกัน คือ 44.89% แสดงดังตารางที่ 4.5 โดยแบ่งเป็นกลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม ได้แก่ พลอยชิทรินและบุษราคัม มีผลการทดลอง 52.50% กลุ่มพลอย

สีแดงชมพู ได้แก่ พลอยทับทิม โรโดไลท์ และสปิเนล มีผลการทดลอง 37.14% และกลุ่มพลอยสีเขียว ได้แก่ พลอยกรีนทัวมาลีนและมรกต มีผลการทดลอง 45.03%

ตารางที่ 4.5

สรุปผลการทดลองเบื้องต้นโดยมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย

		ประเภทที่ทดสอบระบบ
		มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย
ชุดข้อมูลในการทดลอง	กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม	52.50%
	กลุ่มพลอยสีแดงชมพู	37.14%
	กลุ่มพลอยสีเขียว	45.03%
รวม		44.89%

4.5.1.2 ผลการทดลองด้วยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น มีความถูกต้องเฉลี่ยของทั้งสามกลุ่มพลอยที่สีใกล้เคียงกัน คือ 75.51% โดยแบ่งเป็นกลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม ได้แก่ พลอยซิทรินและบุษราคัม มีผลการทดลอง 70.07% กลุ่มพลอยสีแดงชมพู ได้แก่ พลอยทับทิม โรโดไลท์ และสปิเนล มีผลการทดลอง 74.01% และกลุ่มพลอยสีเขียว ได้แก่ พลอยกรีนทัวมาลีนและมรกต มีผลการทดลอง 82.44% โดยแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ผลการทดลองเบื้องต้นโดยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น

		ประเภทที่ทดสอบระบบ
		มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอย
ชุดข้อมูลในการทดลอง	กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม	70.07%
	กลุ่มพลอยสีแดงชมพู	74.01%
	กลุ่มพลอยสีเขียว	82.44%
รวม		75.51%

สรุปผลการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยพบว่ามนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย จำแนกชนิดของพลอยด้วยอัตราส่วนเล็กน้อย ซึ่งมีผลการทดลองเฉลี่ยไม่ถึง 50% และเมื่อนำชุดข้อมูลให้มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้นจำแนกชนิดของพลอย ซึ่งผลการทดลองพบว่า มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยสามารถจำแนกได้ถูกต้องสูงกว่ามนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย คือ 30.62% โดยจากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอย ผลการทดลองที่ถูกต้องไม่ถึง 80% ผู้วิจัยจึงคิดว่าถ้าระบบจำแนกด้วยคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องมากกว่าน่าจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการตัดสินใจเลือกซื้อพลอยเบื้องต้น

4.5.2 ผลการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์

4.5.2.1 การทดลองชุดที่ 1 คือ ภาพถ่ายพลอยด้วยถ่ายจากกล้อง DSLR จำนวน 350 ภาพ ซึ่งแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 5 ชุด (5-Fold Validation) เป็นชุดฝึกสอนระบบ 280 ภาพ และชุดทดสอบระบบ 70 ภาพ โดยการทดลองชุดนี้ผู้วิจัยทำการทดลองขึ้นเพื่อพิสูจน์ว่า ระบบการจำแนกชนิดของพลอยให้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากกว่ามนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยและมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น

ผลการทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนกประเภทแบบการวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) ระบบมีความถูกต้องมากที่สุด 90.86% แสดงดังตารางที่ 4.7 โดยใช้คุณลักษณะของสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr เป็นค่าที่นำไปจำแนกประเภท ซึ่งผลการทดลองด้วยการใช้ค่าคุณลักษณะสีอื่นของตัวจำแนกประเภทนี้ จะแสดงดังภาคผนวก ก และในส่วนตัวจำแนก

ประเภทแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว ผู้วิจัยพบว่า กำหนดให้ $K = 3$ โดยใช้ค่าคุณลักษณะเก้าคุณลักษณะ ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr มีผลการทดลองมากที่สุด คือ 97.43% แสดงดังตารางที่ 4.8 และการทดลองโดยใช้ค่าคุณลักษณะสี่อื่นของตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว จะแสดงผลการทดลองในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.7

ผลการทดลองของชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด

โดยใช้คุณลักษณะสี่ ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	1	49						50	98%
	GTM			42	4			4	50	84%
	EMR			4	46				50	92%
	RUB					45	5		50	90%
	RHO					10	40		50	80%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	90.86%

ตารางที่ 4.8

ผลการทดลองของชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว ซึ่งกำหนดให้ $K = 3$

โดยใช้คุณลักษณะสี่ ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	49	1						50	98%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					49	1		50	98%
	RHO					3	47		50	94%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	97.43%

สรุปผลการทดลองชุดที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบตัวจำแนกประเภท ผู้วิจัยพบว่าการจำแนกประเภทด้วยวิธีวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยให้ $K = 3$ และใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าตัวจำแนกแบบวัดระยะน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้และมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ระบบจำแนกชนิดของพลอยยังคงให้ผลการทดลองที่สูงกว่า แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

สรุปเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกประเภท

ประเภทการจำแนกชนิดของพลอย	Accuracy
มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	44.89%
มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	75.51%
การทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนก Minimum Distance	90.86%
การทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนก K-Nearest Neighbors (K = 3)	97.43%

4.5.2.2 การทดลองชุดที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มขึ้น เพื่ออ้างอิงกับสภาพแวดล้อมจริงในตลาดซื้อขายพลอย และเพื่อเป็นประโยชน์มากขึ้นสำหรับผู้ที่ใช้ระบบ โดยชุดที่ใช้ในการฝึกสอนระบบมาจากภาพถ่ายจากกล้อง DSLR ซึ่งถ่ายจากสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสงและถ่ายในตู้แสง ส่วนชุดทดสอบระบบจะถ่ายจากสภาพแวดล้อมจริง ในตู้จิวเวลรี่ทั่วไป โดยถ่ายจากกล้องมือถือ และได้แบ่งชุดฝึกสอนระบบด้วยภาพจาก DSLR จำนวน 350 ภาพ และชุดทดสอบระบบด้วยภาพจากกล้องมือถือ จำนวน 350 ภาพ ซึ่งในส่วนการใช้คุณลักษณะที่สำคัญ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เก้าคุณลักษณะของสี และจากนั้นจะลดค่าคุณลักษณะของสีลง เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองในชุดนี้ ร่วมกับการใช้วิธีการจำแนกชนิดของพลอยด้วยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance) เปรียบเทียบกับการจำแนกชนิดด้วยวิธีวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยให้ $K = 1, 3,$ และ 5

ผลการทดลองชุดที่ 1 ด้วยวิธีจำแนกแบบวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุด ระบบมีผลการทดลองที่ถูกต้องมากที่สุด 74.00% โดยใช้ค่าคุณลักษณะสี H S V และ Y Cb Cr ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.10 และการจำแนกด้วยวิธีวัดระยะทางน้อยที่สุดโดยใช้คุณลักษณะสีอื่นๆ แสดงดังภาคผนวก ก และการจำแนกด้วยวิธีจำแนกประเภทแบบการวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยให้ $K = 1$ โดยใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr ระบบมีความถูกต้องมากที่สุด 79.43% ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.11 และการจำแนกด้วยวิธีวัดระยะทางใกล้ที่สุด โดยกำหนด k อื่นๆ และใช้คุณลักษณะสีอื่นๆ แสดงดังภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.10

ผลการทดลองของชุดที่ 2 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			41	9				50	82%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					49	1		50	2%
	SPN			4		7	10	29	50	58%
Average Accuracy									350	74.00%

ตารางที่ 4.11

ผลการทดลองของชุดที่ 2 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 1$ โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					44	6		50	88%
	RHO					40	10		50	20%
	SPN					10	5	35	50	70%
Average Accuracy									350	79.43%

สรุปผลการทดลองชุดนี้ ผู้วิจัยได้พบว่าวิธีการจำแนกด้วยวิธีการวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 1$ และใช้ค่าคุณลักษณะสีเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr ระบบตัวจำแนกนี้ยังคงมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการจำแนกด้วยการวัดระยะทางน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยและมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ระบบยังคงให้ผลการทดลองที่สูงกว่า โดยสรุปค่าเฉลี่ยของผลการทดลองแต่ละตัวจำแนก ดังตารางที่ 4.12

หลังจากทำการทดลองชุดที่ 2 เสร็จแล้ว ผู้วิจัยได้เห็นว่า ผลการทดลองให้ผลความถูกต้องลดลงจากการทดลองชุดที่ 1 คิดเป็น 18% ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า เมื่อชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ โดยมาจากภาพพลอยซึ่งถ่ายในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อค่าคุณลักษณะของสีที่นำไปฝึกสอนระบบ ทำให้การจำแนกประเภทมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองวิจัยในส่วนการทดลองชุดที่ 3 เพิ่มขึ้น โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนระบบและชุดข้อมูลทดสอบระบบตัวเดียวกันจากภาพถ่ายพลอยด้วยกล้องมือถือและถ่ายพลอยจากสภาพแวดล้อมจริงที่ไม่ได้ถูกควบคุมแสง สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 4.12

สรุปเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกประเภท

ประเภทการจำแนกชนิดของพลอย	Accuracy
มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	44.89%
มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	75.51%
การทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนก Minimum Distance	74.00%
การทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนก K-Nearest Neighbors (K = 1)	79.43%

4.5.2.3 การทดลองชุดที่ 3 คือ การทดลองที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองขึ้นเพื่อพิสูจน์ตามสมมุติฐานในส่วนของทดลองชุดที่ 2 ว่าถ้าชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ ซึ่งถ่ายจากสภาพแวดล้อมเดียวกัน มีความเป็นไปได้ที่ผลการทดลองจะเพิ่มขึ้นกว่าผลการทดลองชุดที่ 2 โดยในชุดการทดลองชุดที่ 3 ใช้ภาพถ่ายพลอยจากกล้องมือถือ จำนวน 350 ภาพ ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุด (5-Fold Validation) ได้แก่ ชุดฝึกสอนระบบจำนวน 280 ภาพ และชุดทดสอบระบบจำนวน 70 ภาพ

ผลการทดลองชุดที่ 3 ผู้วิจัยพบว่าสมมุติฐานที่ว่า ถ้าชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ ถ่ายจากสภาพแวดล้อมเดียวกันจะทำให้ผลการทดลองเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดการทดลองที่ 2 นั้นเป็นจริง โดยสรุปได้ว่า วิธีการจำแนกด้วยวิธีการวัดระยะทางน้อยที่สุด ระบบมีความถูกต้อง 84.00% โดยใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B และ H S V แสดงดังตารางที่ 4.13 ส่วนการจำแนกแบบด้วยวิธีนี้ โดยใช้ค่าคุณลักษณะอื่น จะแสดงดังภาคผนวก ก และวิธีการจำแนกด้วยการวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ K = 3 โดยใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr ระบบมีผลการทดลองที่ถูกต้องมากที่สุด คือ 95.71% แสดงดังตารางที่ 4.14 และในส่วนของจำแนกประเภทด้วยวิธีการวัดระยะทางใกล้ที่ k ตัว โดยใช้ค่าคุณลักษณะสีอื่นๆ แสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.13

ผลการทดลองของชุดที่ 3 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางน้อยที่สุด

โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ RGB และ HSV

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	45	5						50	90%
	YSP	6	44						50	88%
	GTM			43				7	50	86%
	EMR				50				50	100%
	RUB					42	8		50	84%
	RHO					11	39		50	78%
	SPN	3				5		42	50	84%
Average Accuracy									350	84.00%

ตารางที่ 4.14

ผลการทดลองของชุดที่ 3 ด้วยตัวจำแนกแบบวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 3$

โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ HSV และ YCbCr

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	50							50	100%
	YSP		50						50	100%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					43	7		50	86%
	RHO					6	44		50	88%
	SPN					2		48	50	96%
Average Accuracy									350	95.71%

ผลการทดลองชุดนี้ ผู้วิจัยได้พบว่าวิธีการจำแนกด้วยวิธีการวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยกำหนดให้ $K = 3$ และใช้ค่าคุณลักษณะสีเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr ระบบตัวจำแนกนี้ยังคงมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการจำแนกด้วยการวัดระยะทางน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยและมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ระบบยังคงให้ผลการทดลองที่สูงกว่า โดยสรุปค่าเฉลี่ยของผลการทดลองแต่ละตัวจำแนก ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15

สรุปเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแต่ละตัวจำแนกประเภท

ประเภทการจำแนกชนิดของพลอย	Accuracy
มนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	44.89%
มนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น	75.51%
การทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนก Minimum Distance	84.00%
การทดลองชุดที่ 1 ด้วยตัวจำแนก K-Nearest Neighbors (K = 1)	95.71%

สรุปผลการทดลองของงานวิจัยทั้งสามชุดการทดลอง ผู้วิจัยพบว่า ผลการจำแนกประเภทด้วยวิธีการใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด k ตัว มีประสิทธิภาพมากกว่าการจำแนกประเภทด้วยวิธีการวัดระยะทางน้อยที่สุดของทั้งสามชุดการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอยและมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ระบบการทดลองทั้งสามชุดนี้ได้ให้ผลการทดลองที่สูงกว่า โดยส่วนของคุณลักษณะสีที่ใช้ในการจำแนกประเภทเมื่อใช้ทั้งเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb และ Cr จะทำให้ผลการทดลองดีที่สุดในส่วนของการทดลองชุดที่ 1 คือ ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR และถ่ายในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสง และส่วนของการทดลองชุดที่ 2 คือ ชุดฝึกสอนระบบด้วยกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยกล้องมือถือ และการทดลองชุดสุดท้ายคือชุดที่ 3 คือ ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ โดยถ่ายจากสภาพแวดล้อมจริง มีผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยใช้ค่า

คุณลักษณะของสีหกคุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb และ Cr ร่วมกับการจำแนกประเภทโดยใช้วิธีวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว โดยให้ $K = 3$ ซึ่งผลการทดลองทั้งสามชุดนี้แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16

สรุปผลการทดลองทั้งสามชุดการทดลอง

ประเภทชุดทดลอง	ชุดที่ 1				ชุดที่ 2				ชุดที่ 3				
	ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพจากกล้อง DSLR				ชุดฝึกสอนระบบด้วยกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยภาพจากกล้องมือถือ				ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพจากกล้องมือถือ				
วิธีการจำแนกคลาส	Minimum	KNN1	KNN3	KNN5	Minimum	KNN1	KNN3	KNN5	Minimum	KNN1	KNN3	KNN5	
พีเจอร์	RGBHSYCbCr	88.29%	96.86%	97.43%	95.43%	70.29%	79.43%	79.14%	78.57%	82.57%	90.29%	91.14%	90.86%
	RGBYCbCr	78.57%	94.57%	93.71%	92.57%	60.86%	78.00%	77.71%	77.14%	76.00%	88.57%	90.29%	90.29%
	RGBHSV	88.57%	96.00%	96.29%	94.29%	60.86%	78.00%	77.71%	77.14%	84.00%	90.57%	92.00%	90.00%
	HSYCbCr	90.86%	95.71%	96.00%	94.86%	74.00%	77.43%	77.71%	78.00%	82.00%	95.14%	95.71%	93.71%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

พลอย เป็นอัญมณีที่มีหลากหลายชนิด หลากหลายสีสันทัน ซึ่งพลอยบางชนิดเท่านั้น ที่เป็นที่นิยมนำมาเป็นเครื่องประดับ เนื่องจากเรื่องปัจจัยคุณภาพความสวยงาม ความแข็งแรงและความทนทาน ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ในหัวข้อที่ 2.1 โดยพลอยบางชนิดมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันมาก แต่ราคาแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ผู้จำหน่ายพลอยบางรายฉวยโอกาสตรงนี้ในการหลอกลวงผู้บริโภค เช่น การซื้อขายพลอยผิดชนิดจากที่แจ้งให้ผู้บริโภคทราบ หรือการซื้อขายพลอยที่เป็นพลอยสังเคราะห์แต่แจ้งให้ผู้บริโภคว่าเป็นพลอยแท้ เป็นต้น แต่ปัญหาการจำแนกพลอยสังเคราะห์และพลอยแท้ การประมวลผลภาพไม่สามารถที่จะจำแนกพลอยสังเคราะห์และพลอยแท้ได้ เนื่องจากต้องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Compositio) หรือการวิเคราะห์ทางสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy) เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำปัญหาเฉพาะที่การประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) พอลจะช่วยแก้ปัญหาได้ กล่าวคือถ้านำการประมวลผลภาพดิจิทัลมาช่วยในการจำแนกชนิดของพลอยจากภาพถ่ายโดยวิเคราะห์จากคุณลักษณะของสีรวมไปถึงความอึมตัวของสีและปริมาณแสง จะทำให้สามารถจำแนกชนิดของพลอยได้ และทำให้ประโยชน์สำหรับผู้บริโภคเพื่อเป็นการตัดสินใจเลือกซื้อพลอยเบื้องต้น

5.1 สรุปงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยในการจำแนกชนิดของพลอยและการถ่ายภาพพลอย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าควรดูพลอยให้ห่างประมาณ 6 นิ้ว (สุมาลี เทพโสพรรณ, 2551) และถ่ายภาพพลอยด้วยพื้นหลังสีขาว (อรทัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการทดลองเบื้องต้นพบว่า การถ่ายภาพอัญมณีโดยมีพื้นหลังเป็นสีขาว ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากกว่าการถ่ายภาพอัญมณีบนพื้นหลังสีดำ งานวิจัยนี้จึงทำการทดลอง โดยถ่ายภาพพลอยบนพื้นหลังสีขาว ซึ่งทำการทดลองกับพลอย 7 ชนิด แบ่งออกเป็นสามกลุ่มพลอยสี ที่มีสีใกล้เคียงกัน ได้แก่

- **พลอยกลุ่มสีเหลืองส้ม** ได้แก่ พลอยบุษราคัม (Yellow sapphire) และพลอยซิทริน (Citrine)
- **พลอยกลุ่มสีเขียว** ได้แก่ พลอยมรกต (Emerald) และพลอยกีนัวมาลีน (GreenTourmaline)

- **พลอยกลุ่มสีแดงชมพู** ได้แก่ พลอยโรโดไลท์ (Rhodolite) พลอยทับทิม (Ruby) และพลอยสปิเนล (Spinel)

ในการทดลองจะแบ่งเป็นการทดลองด้วยการใช้กล้อง DSLR และถ่ายภายในตู้แสง (Studio Box) ซึ่งเป็นตู้แสงที่ใช้ถ่ายสินค้าขนาดเล็กเพื่อการโฆษณา โดยถ่ายจากด้านหน้าของพลอย และการถ่ายภาพพลอยด้วยกล้องมือถือ โดยถ่ายในสภาพแวดล้อมจริงในตู้จิ๋วเวอร์รี่ทั่วไป หลังจากที่มีข้อมูลภาพถ่ายพลอย จะทำการวิเคราะห์หาค่าคุณลักษณะของสีที่เหมาะสมในการจำแนกชนิดของพลอย ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าคุณลักษณะของสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr โดยที่ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B จะใช้เพื่อดูค่าการกระจายตัวของสีพลอยแต่ละชนิด ซึ่งการใช้ค่าคุณลักษณะสีเฉพาะสามค่านี้ไม่สามารถจำแนกชนิดพลอยได้ เนื่องจากสีของเม็ดพลอยแต่ละชนิดมีความครบเกี่ยวกับ ผู้วิจัยจึงใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ H S V เพื่อดูค่าความสว่างของเม็ดพลอย เนื่องจากเม็ดพลอยแต่ละชนิดจะมีค่าความอิ่มตัวของแสงแตกต่างกัน และเพื่อผลลัพธ์ที่ดีขึ้นผู้วิจัยจึงใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ Y Cb Cr เพื่อวิเคราะห์ดูค่าความแวววาวของพลอย เนื่องจากพลอยแต่ละชนิดจะมีค่าความแวววาวที่แตกต่างกัน

ในส่วนการใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสีที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจะทำการทดลอง โดยการใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี และลดค่าคุณลักษณะสีลงเหลือหกคุณลักษณะสี เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของการทดลองแต่ละแบบ การทดลองจะแบ่งเป็นสี่ชุด ได้แก่ การทดลองชุดที่ 1 คือ การใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V และ Y Cb Cr การทดลองชุดที่ 2 คือ การใช้ค่าหกคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B และ H S V การทดลองชุดที่ 3 คือ การใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B และ Y Cb Cr และการทดลองชุดที่ 4 คือ การใช้ค่าคุณลักษณะสี ได้แก่ H S V และ Y Cb Cr โดยการทดลองแต่ละชุดจะเก็บค่าคุณลักษณะสี เพื่อใช้เป็นค่าในการจำแนกชนิดของพลอย

ในส่วนผลลัพธ์ในการจำแนกชนิดของพลอยจะใช้วิธีการวัดค่าระยะทางแบบยูคลิดและใช้วิธีการจำแนกประเภทแบบวัดค่าระยะทางน้อยที่สุด เปรียบเทียบผลกับการจำแนกประเภทด้วยวิธีค่าระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว เนื่องด้วยจากการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยหนึ่งที่ทำการศึกษาจำแนกประเภทสีเพชรจากภาพถ่าย (อรทัย โรจนเจริญวงศ์, 2553) โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการจำแนกประเภทด้วยวิธีการวัดระยะทางน้อยที่สุด และงานวิจัยต่อมาอีกหลายงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจำแนกประเภทโดยใช้คุณลักษณะสีเป็นหลัก ได้แก่ งานวิจัยการจำแนกคุณภาพของอัญมณี (Hurtik, Burda, & Perfilieva, 2013) งานวิจัยการจำแนกดอกไม้ (Guru, Sharath, & Manjunath, 2010) ซึ่งมีการวิจัยที่ใช้วิธีการจำแนกดอกไม้ด้วยอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Nilsback & Zisserman, 2008) แต่ผลการทดลองของงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าวิธีการจำแนกประเภทโดยใช้การจำแนกประเภทแบบการวัดค่าระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว ยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีการ

ประมวลผลของอัลกอริทึมที่ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการจำแนกประเภทสองวิธีนี้ เพื่อเปรียบเทียบผลกัน

สรุปผลการทดลองของงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองแบ่งออกเป็นสามแบบการทดลอง ได้แก่ การทดลองชุดที่ 1 โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR และถ่ายจากสภาพแวดล้อมที่ควบคุมแสง การทดลองชุดที่ 2 โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ และการทดลองที่ 3 โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ และถ่ายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้ควบคุมแสง จากผลการทดลองทั้งสามการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าวิธีการจำแนกประเภทด้วยวิธีการวัดระยะทางใกล้ที่สุด k ตัว เป็นวิธีรวดเร็วและให้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากที่สุด โดยระบบมีความถูกต้องมากที่สุด 97.43% ในผลการทดลองชุดที่ 1 โดยให้ $K = 3$ และใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสี (RGB HSV YCbCr) และผลการทดลองถูกต้องที่สุด 79.43% ในผลการทดลองชุดที่ 2 ร่วมกับการใช้ค่าคุณลักษณะสีทั้งเก้าคุณลักษณะสีในการจำแนกชนิดของพลอย และในสถานการณ์ทดลองสุดท้าย คือการทดลองชุดที่ 3 ระบบมีความถูกต้องมากที่สุด 95.71%

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

ข้อมูลภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็นข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัลและข้อมูลภาพที่ได้จากกล้องมือถือ โดยมีความละเอียดที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบผลการทดลองและหาค่าของคุณลักษณะของสีที่สำคัญ เพื่อให้ระบบมีผลความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปปัญหาแบ่งออกเป็นสามหัวข้อและอีกหนึ่งหัวข้อคือข้อดีของระบบ สามารถอธิบายได้ดังนี้

5.2.1 ความละเอียดของภาพถ่าย

งานวิจัยนี้ได้ทำการถ่ายภาพพลอยจากกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียด 14.2 ล้านพิกเซล และกล้องมือถือที่มีความละเอียด 3.7 ล้านพิกเซล สามารถสรุปได้ว่าเมื่อกล้องมีความละเอียดที่สูง ผลการทดลองของระบบจะสูงขึ้น เมื่อนำภาพพลอยที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง ระบบสามารถจำแนกชนิดของพลอยได้ถูกต้อง 96.29% ส่วนอีกการทดลองหนึ่งที่น่าภาพพลอยที่ถ่ายจากกล้องมือถือ ระบบสามารถจำแนกได้ถูกต้อง 90.57% กล่าวคือเมื่อข้อมูลภาพที่รับเข้ามามีความละเอียดที่ต่ำลงระบบสามารถจำแนกข้อมูลได้ลดลง 5.72%

5.2.2 ความสามารถที่แสงเดินทางผ่านเนื้อพลอย

ความสามารถที่แสงเดินทางผ่านเนื้อพลอยนั้น ได้ให้รายละเอียดไว้ในบทที่ 2 กล่าวคือเมื่อนำพลอยที่มีลักษณะที่แสงเดินทางผ่านได้น้อย (Semi-translucent) แสดงดังภาพที่ 5.1 ทำให้ส่งผลถึงการทดลองที่คลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากการทดลองนี้สนใจคุณลักษณะของสีเป็นหลัก

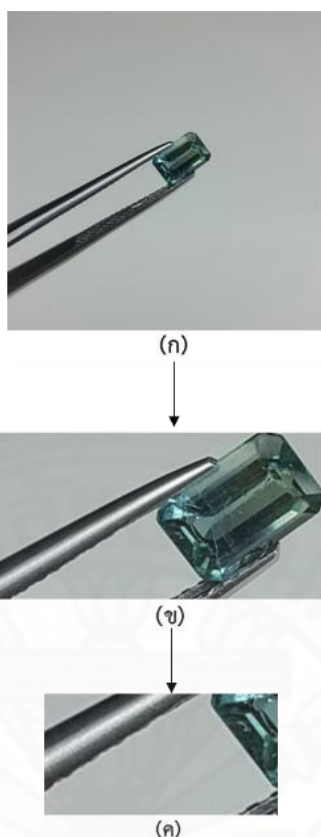


ภาพที่ 5.1 พลอยที่แสงเดินทางผ่านได้น้อย (Semi-translucent)

5.1.3 การแบ่งส่วนภาพที่ไม่สมบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งส่วนภาพ โดยการแปลงภาพจากภาพ RGB เป็น HSV ใช้ค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) จากโมเดล HSV เพื่อหาวัตถุที่เราสนใจ เนื่องจากการศึกษาพบว่า การถ่ายภาพพลอยโดยมีพื้นหลังสีขาวทำให้การจำแนกพลอยได้ดี ซึ่งส่วนตรงเม็ดพลอยกับพื้นหลังสามารถแยกออกจากกันชัดเจน ดังนั้นถ้านำข้อมูลภาพเกิดการสะท้อนของแสง ทำให้ระบบจับส่วนที่เราสนใจไม่พบ อาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้ แสดงดังภาพที่ 5.2 คือการรับข้อมูลภาพที่มีส่วนของที่จับพลอยที่มีค่าใกล้เคียงกับเม็ดพลอย (ก) ทำให้การแบ่งส่วนภาพคลาดเคลื่อน (ข) และส่วนภาพที่นำค่าแต่ละคุณลักษณะของสีมาทำการทดลอง (ค)

จากการทดลองต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการถ่ายภาพพลอย ด้วยตู้แสงที่ควบคุมแสงได้ดีและถ่ายภาพพลอย โดยถ่ายจากสภาพแวดล้อมจริงจากตู้จำหน่ายจิวเวลรี่ทั่วไป ซึ่งจากการทดลองพบว่า ควรถ่ายภาพพลอยในตู้แสงที่ควบคุมแสงได้ดี เพราะถ้าแสงที่ตกกระทบลงบนตัวเม็ดพลอย เกิดการสะท้อนของแสงมาก อาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้ และส่วนวิธีการจำแนกในส่วนของการทดลองที่ 2 คือชุดฝึกสอนระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ ถ้าเปลี่ยนชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบที่ถ่ายจากสภาพแวดล้อมเดียวกัน จะทำให้ผลการทดลองการจำแนกชนิดของพลอยมีผลการทดลองที่ถูกต้องสูงขึ้นดังผลการทดลองในส่วนชุดการทดลองที่ 3 คือชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ ที่ถ่ายในสภาพแวดล้อมเดียวกัน



ภาพที่ 5.2 ข้อมูลภาพที่มีพื้นหลังแปรปรวน (ก) ผลลัพธ์การแบ่งส่วนภาพที่คลาดเคลื่อน (ข) และส่วนภาพที่นำค่าแต่ละคุณลักษณะของสีมาทำการทดลอง (ค)

งานวิจัยนี้เป็นระบบจำแนกชนิดของพลอยจากภาพถ่าย โดยอาศัยคุณลักษณะของสี ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นสามชุด ได้แก่ การทดลองชุดที่ 1 คือ ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบ ด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR การทดลองชุดที่ 2 คือ ชุดฝึกสอนระบบด้วยกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ ซึ่งการทดลองด้วยระบบคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องสูงสุด 97.43% 79.43% และ 95.71% ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสามชุดกับมนุษย์ที่ไม่มีความรู้ด้านพลอย ระบบการจำแนกชนิดของพลอยยังมีผลการทดลองที่ถูกต้องสูงกว่า คือ 52.54% 34.54% และ 50.82% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับมนุษย์ที่มีความรู้ด้านพลอยเบื้องต้น ระบบยังคงมีผลการทดลองสูงกว่า 21.92% 3.92% และ 20.20% ตามลำดับ ดังนั้นทำให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ซื้อที่ไม่มีความรู้ด้านการจำแนกชนิดของพลอยเป็นอย่างมาก และช่วยเป็นการตัดสินใจเบื้องต้นในการเลือกซื้อให้ตรงกับชนิดของพลอยที่เข้าใจและตรงต่อราคาที่เกี่ยวข้อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองจำแนกชนิดของพลอยทั้งหมด 7 ชนิด โดยแบ่งเป็นพลอยเป็นสามกลุ่มพลอยที่สีใกล้เคียงกัน ได้แก่ กลุ่มพลอยสีเหลืองส้ม คือ ซิทรีน (Citrine) บุษราคัม (Yellow Sapphire) กรีนทัวมาลีน (Green Tourmaline) มรกต (Emerald) ทับทิม (Ruby) โรโดไลท์ (Rhodolite) และสปิเนล (Spinel) ซึ่งในอนาคตอาจนำระบบนี้ไปปรับปรุงเพื่อเป็นระบบในการจำแนกชนิดพลอยนอกเหนือ จาก 7 ชนิดที่ทำการทดลองนี้ และในงานวิจัยนี้ได้ใช้คุณลักษณะสีและปริมาณแสงเป็นหลักในการจำแนกประเภท ซึ่งงานในอนาคตอาจดูลักษณะอื่นนอกเหนือจากสีและปริมาณแสงของพลอย เช่น การตรวจจับคุณลักษณะของตำหนิภายในเนื้อพลอย ก็จะช่วยทำให้ระบบการทดลองอาจมีผลความถูกต้องสูงขึ้น



รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- Antoinette Matlins. (2010). COLORED GEMSTONES. In A. Matlins, The Mystery & Magic of Colored Gems (pp. 3-6). USA: Quality Paperback.
- Cally Hall. (1994). GEMSTONES. London: Great Britain.
- Ferrari, S. (2011-12). Image segmentation. In S. Ferrari, Segmentation by thresholding (pp. 1-22). Milan: The University of Milan.
- บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2556). การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น. ไทย: ซีไอเอ็มเคชั่น.
- บุญนาค นันทรัตน์. (2559). การตรวจสอบ-วิเคราะห์อัญมณีของห้องปฏิบัติการตรวจสอบอัญมณี. ไทย: คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี.
- ปกรณ์ แก้วตระกูลพงษ์. (2559). การประยุกต์อัลกอริทึมแมชชีนวิชันโดยใช้ NI VISION. ไทย. มณีขจิต. (2554). เพชรพลอย อัญมณีแห่งความงาม. ไทย: มติชน.
- สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย. (2549). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอัญมณี. ไทย: สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเชีย.
- สมเกียรติ อุดมทรรษากุล. (2554). การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้น. ไทย: สำนักพิมพ์ท็อป.
- สุมาลี เทพโสพรรณ. (2551). วิเคราะห์อัญมณี พิมพ์ครั้งที่ 4. ไทย: ด่านสุทธาการพิมพ์.

บทความวารสาร

- Bhatia, N., & V. (2010). Survey of Nearest Neighbor Techniques. *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 8, No. 2, 302-305.
- Guru, D., Sharath, Y., & Manjunath, S. (2010). Texture Features and KNN in Classification of Flower Images. *IJCA Special Issue on "Recent Trends in Image Processing and Pattern Recognition" (RTIPPR)* (pp. 21-29). Bidar: Foundation of Computer Science.
- Haitao, L., & Shengpu, L. (2016). An Algorithm and Implementation for Image Segmentation. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 125-132.

- Heinle, A., Macke, A., & Srivastav, A. (2010). Automatic cloud classification of whole sky images. *Atmospheric Measurement Techniques*, 557-567.
- Hurtik, P., Burda, M., & Perfilieva, I. (2013). An Image Recognition Approach to Classification of Jewelry Stone Defects. *IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)* (pp. 727-732). Alberta: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Ibraheem, N., Hasan, M., Khan, R., & Mishra, P. (2012). Understanding Color Models: A Review. *ARPJ Journal of Science and Technology*, Vol. 2, No. 3, April, 265-275.
- Nilsback, M., & Zisserman, A. (2008). Automated flower classification over a large number of classes. In *The Proceedings of Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (ICVGIP)* (pp. 722-729). Bhubaneswar: IEEE Computer Society.
- Perfilieva, I., Hodakava, P., Vajgl, M., & Dankova, M. (2013). Classification of Damages on Jewelry Stones: Preprocessing. *IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting ((IFSA/NAFIPS)* (pp. 783-788). Alberta: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Rathod, A., Tanawal, B., & Shah, V. (2013). Image Processing Techniques for Detection of Leaf Disease. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering (IJARCCE)*, 394-399.
- Talikoti, S., & Panchal, P. (2015). Recognition Of Indian Currency Note Using Grid Technique. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, Vol. 4 No. 7, July, 13211-13215.
- Yogamangalam, R., & Karthikeyan, B. (2013). Segmentation Techniques Comparison in Image Processing. *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 1, Feb-Mar, 307-313.

- บุญคง ศวิตา, และ สุพจน์ นิตยส์วัฒน์. (2012). การจำแนกสายพันธุ์บอนสีโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. *The Eighth National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT)*, (หน้า. 923). ชลบุรี.
- บุญวิภา ราศรีสุทธิ์, และ เสาวลักษณ์ วรรณนาภา. (2553). การจำแนกภาพดอกกล้วยไม้รองเท้านารีด้วยเนื้อหาของภาพโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ*, (หน้า.34).
- ปัทมพร เก่งการรบ , และ เสาวลักษณ์ วรรณนาภา. (2017). การจำแนกชนิดของพลอยโดยใช้คุณลักษณะของสี. *The 13th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT)*, (หน้า. 35). กรุงเทพฯ.
- ศักดิ์ดา ศิริพันธุ์. (2546). *โครงการพัฒนาระบบการสื่อสารเรื่องสี เพื่อการประเมินคุณภาพของอัญมณีตามแผนปรับโครงสร้างอุตสาหกรรม ระยะที่ 2*. ไทย.
- หนึ่งฤทัย สามารถ, และ สิริภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา. (2011). การตรวจจับพื้นที่ใบหน้าโดยใช้โมเดลสี RGB-HSV-YCbCr ร่วมกับมอร์โฟโลยี. *The 12th Graduate Research Conference Khon Kaen University* (หน้า. 252-261). ขอนแก่น: สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิทยานิพนธ์

- อรทัย โรจนเจริญวงศ์. (2553). ระบบตรวจสอบสีเพชรจากภาพถ่าย. *International Conference on Knowledge and Smart Technologies*. ไทย: KST2010.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองการจำแนกประเภทด้วยวิธีการวัดระยะทางน้อยที่สุด (Minimum Distance)

งานวิจัยนี้ทำการจำแนกชนิดของพลอยด้วยคุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb และ Cr โดยขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะสีได้แบ่งการทดลองออกเป็นสี่ชุด ได้แก่ การทดลองการสกัดคุณลักษณะสีชุดที่ 1 โดยใช้ค่า R G B H S V Y Cb Cr, ชุดที่ 2 ใช้ค่า R G B H S V, ชุดที่ 3 ใช้ค่า R G B Y Cb Cr, และชุดที่ 4 ใช้ค่า H S V Y Cb Cr เพื่อหาผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) สองเทคนิคมาเปรียบเทียบผลกัน ได้แก่ การวัดระยะทางน้อยที่สุดและการใช้ข้อมูลใกล้เคียงที่สุด k ตัว โดยภาคผนวก ก จะแสดงผลการทดลองการจำแนกประเภทด้วยการวัดระยะทางน้อยที่สุด และภาคผนวก ข จะแสดงผลการทดลองการจำแนกประเภทด้วยการใช้ข้อมูลใกล้เคียงที่สุด k ตัว โดยให้ $K = 1, 3,$ และ 5 ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็นสามชุด ได้แก่ การทดลองชุดที่ 1 ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR, การทดลองชุดที่ 2 ชุดฝึกสอนระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้อง DSLR และชุดทดสอบระบบด้วยภาพถ่ายจากกล้องมือถือ และการทดลองชุดที่ 3 ชุดฝึกสอนระบบและชุดทดสอบระบบด้วยภาพจากกล้องมือถือ ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองระบบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ก.1

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	1	49						50	98%
	GTM			37	7		4	2	50	74%
	EMR			7	43				50	86%
	RUB					38	12		50	76%
	RHO					4	46		50	92%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	88.29%

ตารางที่ ก.2

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	1	49						50	98%
	GTM			37	8		3	2	50	74%
	EMR			6	44				50	88%
	RUB					39	11		50	78%
	RHO					5	45		50	90%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	88.57%

ตารางที่ ก.3

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	45	4					1	50	90%
	YSP	1	49						50	98%
	GTM			35	5		10		50	70%
	EMR			8	42				50	84%
	RUB					22	25	3	50	44%
	RHO					7	42	1	50	84%
	SPN						10	40	50	80%
Average Accuracy									350	78.57%

ตารางที่ ก.4

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance											
		Predicted Class								Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN			
Actual Class	CIT	46	4							50	92%
	YSP	1	49							50	98%
	GTM			42	4				4	50	84%
	EMR			4	46					50	92%
	RUB					45	5			50	90%
	RHO					10	40			50	80%
	SPN							50		50	100%
Average Accuracy									350	90.86%	

ตารางที่ ก.5

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance											
		Predicted Class								Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN			
Actual Class	CIT	39	10						1	50	78%
	YSP	3	47							50	94%
	GTM			33	9		8			50	66%
	EMR			7	43					50	86%
	RUB			1		49				50	98%
	RHO					50	0			50	0%
	SPN					5	10	35		50	70%
Average Accuracy									350	70.29%	

ตารางที่ ก.6

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	40	9					1	50	80%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			34	9		7		50	68%
	EMR			7	43				50	86%
	RUB			1		49			50	98%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN			1		5	11		17	0%
Average Accuracy									317	60.86%

ตารางที่ ก.7

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	40	9					1	50	80%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			34	9		7		50	68%
	EMR			7	43				50	86%
	RUB			1		49			50	98%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN			1		5	11		17	0%
Average Accuracy									317	60.86%

ตารางที่ ก.8

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance											
		Predicted Class								Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN			
Actual Class	CIT	41	9							50	82%
	YSP	3	47							50	94%
	GTM			41	9					50	82%
	EMR				50					50	100%
	RUB					50				50	100%
	RHO					49	1			50	2%
	SPN			4		7	10	29		50	58%
Average Accuracy									350	74.00%	

ตารางที่ ก.9

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance											
		Predicted Class								Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN			
Actual Class	CIT	45	5							50	90%
	YSP	6	44							50	76%
	GTM			43					7	50	82%
	EMR				50					50	100%
	RUB					41	9			50	92%
	RHO					11	39			50	60%
	SPN	3				5		42		50	78%
Average Accuracy									350	82.57%	

ตารางที่ ก.10

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

Confusion Matrix for Minimum Distance											
		Predicted Class								Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN			
Actual Class	CIT	45	5							50	90%
	YSP	6	44							50	88%
	GTM			43					7	50	86%
	EMR				50					50	100%
	RUB					42	8			50	84%
	RHO					11	39			50	78%
	SPN	3				5		42		50	84%
Average Accuracy									350	84.00%	

ตารางที่ ก.11

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance											
		Predicted Class								Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN			
Actual Class	CIT	42	5						3	50	84%
	YSP	6	44							50	88%
	GTM			39	4		1	6		50	78%
	EMR				50					50	100%
	RUB			1		33	6	10		50	66%
	RHO					15	34	1		50	68%
	SPN	3				7	2	38		50	76%
Average Accuracy									350	76.00%	

ตารางที่ ก.12

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

Confusion Matrix for Minimum Distance										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	45	5						50	90%
	YSP	6	44						50	88%
	GTM			43				7	50	86%
	EMR				50				50	100%
	RUB					40	10		50	80%
	RHO					10	40		50	80%
	SPN	4				5		41	50	82%
Average Accuracy									350	82.00%

ภาคผนวก ข
ผลการทดลองการจำแนกประเภทด้วยวิธีการใช้ข้อมูลใกล้ที่สุด k ตัว
(K-Nearest Neighbors : KNN)

ตารางที่ ข.1

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	47	3						50	94%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					48	2		50	96%
	RHO					3	47		50	94%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	96.86%

ตารางที่ ข.2

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	4	46						50	92%
	GTM			50					50	100%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					48	2		50	96%
	RHO					3	47		50	94%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	96.00%

ตารางที่ ข.3

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	47	3						50	94%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			49	1				50	98%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					44	6		50	88%
	RHO					3	45	2	50	90%
	SPN						1	49	50	98%
Average Accuracy									350	94.57%

ตารางที่ ข.4

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					46	4		50	92%
	RHO					3	47		50	94%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	95.71%

ตารางที่ ข.5

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	49	1						50	98%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					49	1		50	98%
	RHO					3	47		50	94%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	97.43%

ตารางที่ ข.6

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			1	49				50	98%
	RUB					49	1		50	98%
	RHO					4	46		50	92%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	96.29%

ตารางที่ ข.7

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	49	1						50	98%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			48	2				50	96%
	EMR			2	48				50	96%
	RUB					44	6		50	88%
	RHO					5	43	2	50	86%
	SPN						1	49	50	98%
Average Accuracy									350	93.71%

ตารางที่ ข.8

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	48	2						50	96%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			2	48				50	96%
	RUB					48	2		50	96%
	RHO					5	45		50	90%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	96.00%

ตารางที่ ข.9

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	49	1						50	98%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			2	48				50	96%
	RUB					46	4		50	92%
	RHO					6	44		50	88%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	95.43%

ตารางที่ ข.10

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	46	4						50	92%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR			3	47				50	94%
	RUB					46	4		50	92%
	RHO					6	44		50	88%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	94.29%

ตารางที่ ข.11

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	48	2						50	96%
	YSP	4	46						50	92%
	GTM			48	2				50	96%
	EMR			2	48				50	96%
	RUB					41	9		50	82%
	RHO					5	44	1	50	88%
	SPN						1	49	50	98%
Average Accuracy									350	92.57%

ตารางที่ ข.12

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 1 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	47	3						50	94%
	YSP	4	46						50	92%
	GTM			50					50	100%
	EMR			2	48				50	96%
	RUB					46	4		50	92%
	RHO					5	45		50	90%
	SPN							50	50	100%
Average Accuracy									350	94.86%

ตารางที่ ข.13

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					44	6		50	88%
	RHO					40	10		50	20%
	SPN					10	5	35	50	70%
Average Accuracy									350	79.43%

ตารางที่ ข.14

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					45	5		50	90%
	RHO					42	8		50	16%
	SPN					10	9	31	50	62%
Average Accuracy									350	78.00%

ตารางที่ ข.15

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					45	5		50	90%
	RHO					42	8		50	16%
	SPN					10	9	31	50	62%
Average Accuracy									350	78.00%

ตารางที่ ข.16

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	42	8						50	84%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			49	1				50	98%
	EMR				50				50	100%
	RUB					44	6		50	88%
	RHO					42	8		50	16%
	SPN					9	11	30	50	60%
Average Accuracy									350	77.43%

ตารางที่ ข.17

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	43	7						50	86%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN					10	4	36	50	72%
Average Accuracy									350	79.14%

ตารางที่ ข.18

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	42	8						50	84%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN					12	6	32	50	64%
Average Accuracy								350	77.71%	

ตารางที่ ข.19

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	42	8						50	84%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN					12	6	32	50	64%
Average Accuracy								350	77.71%	

ตารางที่ ข.20

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	43	7						50	86%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			49	1				50	98%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN					11	7	32	50	64%
Average Accuracy									350	77.71%

ตารางที่ ข.21

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	1	49						50	98%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					49	1		50	2%
	SPN					11	4	35	50	70%
Average Accuracy									350	78.57%

ตารางที่ ข.22

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN					12	6	32	50	64%
Average Accuracy									350	77.14%

ตารางที่ ข.23

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					50	0		50	0%
	SPN					12	6	32	50	64%
Average Accuracy									350	77.14%

ตารางที่ ข.24

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 2 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	42	8						50	84%
	YSP	1	49						50	98%
	GTM			49	1				50	98%
	EMR				50				50	100%
	RUB					50			50	100%
	RHO					49	1		50	2%
	SPN					11	7	32	50	64%
Average Accuracy									350	78.00%

ตารางที่ ข.25

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	4	46						50	92%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					41	9		50	82%
	RHO					7	43		50	86%
	SPN					4		46	50	92%
Average Accuracy									350	90.29%

ตารางที่ ข.26

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	4	46						50	92%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					39	9	2	50	78%
	RHO					5	45		50	90%
	SPN					3		47	50	94%
Average Accuracy									350	90.57%

ตารางที่ ข.27

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class								
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN	Total	Accuracy
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	4	46						50	92%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					37	13		50	74%
	RHO					12	38		50	76%
	SPN					1		49	50	98%
Average Accuracy									350	88.57%

ตารางที่ ข.28

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=1

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 1										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	50							50	100%
	YSP		50						50	100%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					39	10	1	50	78%
	RHO					4	46		50	92%
	SPN					2		48	50	96%
Average Accuracy								350	95.14%	

ตารางที่ ข.29

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	42	8						50	84%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					42			50	84%
	RHO					7	43		50	86%
	SPN					5		45	50	90%
Average Accuracy								350	91.14%	

ตารางที่ ข.30

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	5	45						50	90%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					45	5		50	90%
	RHO					5	45		50	90%
	SPN					4		46	50	92%
Average Accuracy									350	92.00%

ตารางที่ ข.31

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	40	10						50	80%
	YSP	2	48						50	96%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					39	11		50	78%
	RHO					10	40		50	80%
	SPN					1		49	50	98%
Average Accuracy									350	90.29%

ตารางที่ ข.32

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=3

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 3										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	50							50	100%
	YSP		50						50	100%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					43	7		50	86%
	RHO					6	44		50	88%
	SPN					2		48	50	96%
Average Accuracy									350	95.71%

ตารางที่ ข.33

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	42	8						50	84%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					42	8		50	84%
	RHO					9	41		50	82%
	SPN					3	1	46	50	92%
Average Accuracy									350	90.86%

ตารางที่ ข.34

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B H S V

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	41	9						50	82%
	YSP	5	45						50	90%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					42	8		50	84%
	RHO					9	41		50	82%
	SPN					4		46	50	92%
Average Accuracy									350	90.00%

ตารางที่ ข.35

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ R G B Y Cb Cr

โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	43	7						50	86%
	YSP	3	47						50	94%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					36	14		50	72%
	RHO					8	42		50	84%
	SPN					2		48	50	96%
Average Accuracy									350	90.29%

ตารางที่ ข.36

ผลการทดลองระบบในชุดการทดลองที่ 3 โดยใช้คุณลักษณะสี ได้แก่ H S V Y Cb Cr
โดยให้ K=5

Confusion Matrix for K Nearest Neighbor by K = 5										
		Predicted Class							Total	Accuracy
		CIT	YSP	GTM	EMR	RUB	RHO	SPN		
Actual Class	CIT	50							50	100%
	YSP		50						50	100%
	GTM			50					50	100%
	EMR				50				50	100%
	RUB					39	11		50	78%
	RHO					7	43		50	86%
	SPN					4		46	50	92%
Average Accuracy									350	93.71%

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวปัทมพร เก่งการรบ
วันเดือนปีเกิด 08 มีนาคม 2532
วุฒิการศึกษา ปีการศึกษา 2553: บริหารธุรกิจบัณฑิต
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผลงานวิชาการ

ปัทมพร เก่งการรบ และ เสาวลักษณ์ วรรณภา. (กรกฎาคม 2560). การจำแนกชนิดของพลอยโดย
ใช้คุณลักษณะของสี : *Automatic Gem Classification Color-based Features*.
The 13th National Conference on Computing and Information Technology
(NCCIT), กรุงเทพฯ.