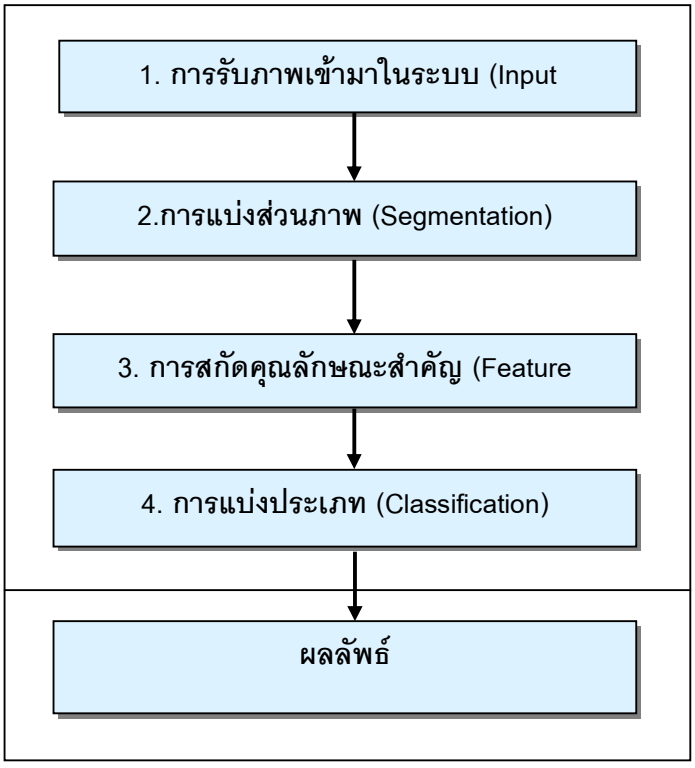
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างระบบตรวจสอบสีของเพชรโดยอัตโนมัติ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงปัญหาของการวิเคราะห์สีของเพชร รวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ของการวิเคราะห์สีของเพชร ในส่วนนี้จะเป็นส่วนนำเสนอวิธีการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการระบุสีของเพชรโดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

วิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็นสี่ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรับภาพเข้ามาในระบบ (Image Acquisition) การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) การสกัดคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) และการจำแนกประเภท (Classification) เพื่อให้ระบบสามารถระบุได้ว่าภาพต้นฉบับนั้นอยู่ในคลาสใดดังภาพแผนภูมิที่ 3.1

ภาพแผนภูมิที่ 3.1
แสดงภาพรวมการดำเนินงาน



3.1 ขอบเขตในการทดลอง

โดยจะทำการทดลองกับเพชรต้นแบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบสีในห้องวิจัยไอจีไอ (ดูอ้างอิงหน้า 5) กับเพชรทั่วไป โดยในที่นี้จะทำการทดลองเฉพาะกับในเพชรรูปทรงกลมเท่านั้น เนื่องจากว่าเพชรรูปทรงกลมมีรูปแบบที่แน่นอน และมีตำแหน่งที่ใช้พิจารณาสีในบริเวณเดียวกัน แตกต่างจากเพชรในรูปทรงอื่นๆ ที่การดูสีจะต้องพิจารณาจากในหลายๆ ส่วนจากที่กล่าวในบทที่ 2 (หัวข้อ 2.1.2.2) โดยเพชรที่นำมาทดลองเป็นเพชรที่มีสีเดียวกันตลอดทั้งเม็ดจำนวนเพชรที่ใช้ในการทดลอง 50 เม็ด ครอบคลุมเพชรทั้งห้าระดับ (ใช้เพชรในการทดลองเพียงห้าระดับเนื่องจากเพชรในระดับที่หกนั้นเพชรทั่วไปมีจำนวนน้อยมากจึงไม่สามารถหาตัวอย่างเพชรดังกล่าวได้มากพอ) แบ่งเป็นระดับสีเพชรหกระดับขั้นต้น (Gemological Institute of America, 1989) ที่ใช้ในการทดลองดังนี้

- colorless (C)
  แบ่งเป็นสี D E และ F
- near colorless (NC)
  แบ่งเป็นสี G H I และ J
- faint yellow or brown (FYB)
  แบ่งเป็นสี K L M และ N
- very light yellow or brown (VLYB)
  แบ่งเป็นสี O P Q R และ S
- light yellow or brown (LYB)
  แบ่งเป็นสี X และ Y
- fancy light yellow (FLY)
  แบ่งเป็นสี Z

อย่างไรก็ดี ในงานวิจัยนี้จะไม่ได้ทำการทดลองเพชรในระดับ Fancy Light Yellow (สี Z) เนื่องจากเป็นเพชรที่หายากจึงตัวอย่างมีไม่เพียงพอที่จะใช้ทำการทดลอง โดยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 จากตารางอธิบายรายละเอียดสี่หัวข้อหลักๆ ต่อไปนี้

1. ระดับของเพชรต้นแบบของไอจีไอ แสดงระดับของเพชรที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีด้วยกันทั้งสิ้น 13 ระดับ โดยควรจะมีเพชรในช่วงระยะแรกให้ครบทั้งทุกระดับคือตั้งแต่ระดับสี D จนถึง ระดับสี K ส่วนในระดับสีตั้งแต่ L เป็นต้นไปจนถึงระดับ

X – Y จะมีการแบ่งเป็นช่วง เนื่องจากว่าเพชรในระดับที่ต่ำกว่าระดับสี K เป็นต้นไปจะสังเกตเห็นสีได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับเพชรในระดับ D จนถึง J

2. ชื่อ แสดงการเรียกขานแต่ละระดับสี
3. เปอร์เซ็นต์จากร้อย แสดงค่าระดับสีของเพชรเทียบเป็นระดับเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่นิยมเรียกใช้ในตลาดการซื้อขายเพชร

ตารางที่ 3.1

แสดงระดับสีในห้องวิจัยไอจีไอ

ระดับของเพชรต้นแบบของไอจีไอ	ชื่อ	เปอร์เซ็นต์จากร้อย
D	colorless	100
E	colorless	99
F	colorless	98
G	near colorless	97
H	near colorless	96
I	near colorless	95
J	near colorless	94
K	faint yellow or brown	93
M	faint yellow or brown	91
O	very light yellow or brown	89
R	very light yellow or brown	86
X – Y	light yellow or brown	80 – 79
*Z	Fancy Light Yellow	$\leq$ 78

* หมายเหตุ ระดับสีนี้ไม่ได้ทำการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้ใช้กล้องที่ประกอบขึ้นเองเนื่องจากต้องการภาพที่ถ่ายวัตถุระยะใกล้ เพราะวัตถุที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กมาก ดังภาพที่ 3.2 แสดงกล้องที่ประกอบขึ้น (ดูรายละเอียดที่หัวข้อ 3.3.1)

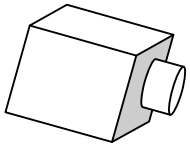
ภาพที่ 3.2
แสดงกล้องที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การจัดอุปกรณ์การถ่ายภาพ

การจัดอุปกรณ์ถ่ายภาพในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

ทำการยึดตัวกล้องกับแท่นถ่ายภาพ โดยทำมุม 45 องศากับแท่นถ่ายภาพ อุปกรณ์ให้แสงติดตั้งโดยทำมุม 45 องศากับแท่นถ่ายภาพ เพชรที่ใช้ในการทดลองวางในมุมฉากกับกล้อง โดยระยะห่างจากกล้องถึงเพชรเท่ากับห้าเซนติเมตร ดังแสดงที่ภาพ 3.3

จากภาพ 3.3 กำหนดให้สัญลักษณ์ต่อไปนี้

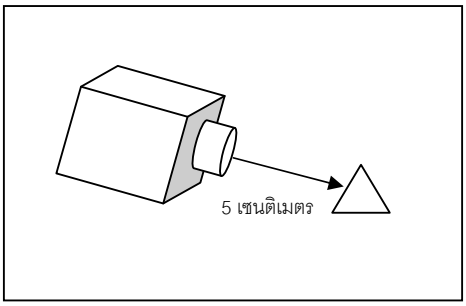


แทนกล้องถ่ายภาพ

แทนเพชร

ภาพที่ 3.3

แสดงการจัดวางกล้องกับเพชร



ไฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้ค่าความสว่าง 300 แรงเทียน การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพดังแสดงที่ภาพ 3.4

ภาพที่ 3.4

แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 **การทดลองเบื้องต้น** (Preliminary Experiment)

โดยในเบื้องต้นได้ทดลองทำการถ่ายภาพเพชรในสี่รูปแบบเพื่อทำการเปรียบเทียบว่ารูปแบบใดจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการระบุสีของเพชรได้ดีกว่ากัน ซึ่งในการทดลองขั้นต้นใช้เพชรจำนวน 23 เม็ด แบ่งเป็นเพชรต้นแบบหกระดับ จำนวน 13 เม็ด เพชรทั่วไป 10 เม็ด รวมทั้งสิ้น

414 ภาพ โดยแบ่งรูปแบบภาพที่ถ่ายเป็น ภาพถ่ายเพชรบนพื้นขาว ถ่ายจากด้านข้างของเพชร เม็ดละแปดภาพ

- ภาพถ่ายเพชรบนพื้นขาว ถ่ายจากด้านบนของเพชร เม็ดละหนึ่งภาพ
- ภาพถ่ายเพชรบนพื้นดำ ถ่ายจากด้านข้างของเพชร เม็ดละแปดภาพ
- ภาพถ่ายเพชรบนพื้นดำ ถ่ายจากด้านบนของเพชร เม็ดละหนึ่งภาพ

โดยในแบบที่ถ่ายจากด้านข้างจะทำการหมุนเพชรแต่ละเม็ด ครั้งละ 45 องศาเพื่อให้ครอบคลุมทั้งเม็ดรวมทั้งสิ้นแปดมุม (ภาพที่ 3.5 แสดงรูปแบบภาพที่ถ่ายทั้งสี่รูปแบบ)

ภาพที่ 3.5

แสดงตัวอย่างภาพถ่ายเพชรในแบบต่างๆ

(ก) ภาพถ่ายเพชรบนพื้นขาว ถ่ายจากด้านข้างของเพชร

(ข) ภาพถ่ายเพชรบนพื้นขาว ถ่ายจากด้านบนของเพชร

(ค) ภาพถ่ายเพชรบนพื้นดำ ถ่ายจากด้านข้างของเพชร

(ง) ภาพถ่ายเพชรบนพื้นดำ ถ่ายจากด้านบนของเพชร

(ก)

(ข)

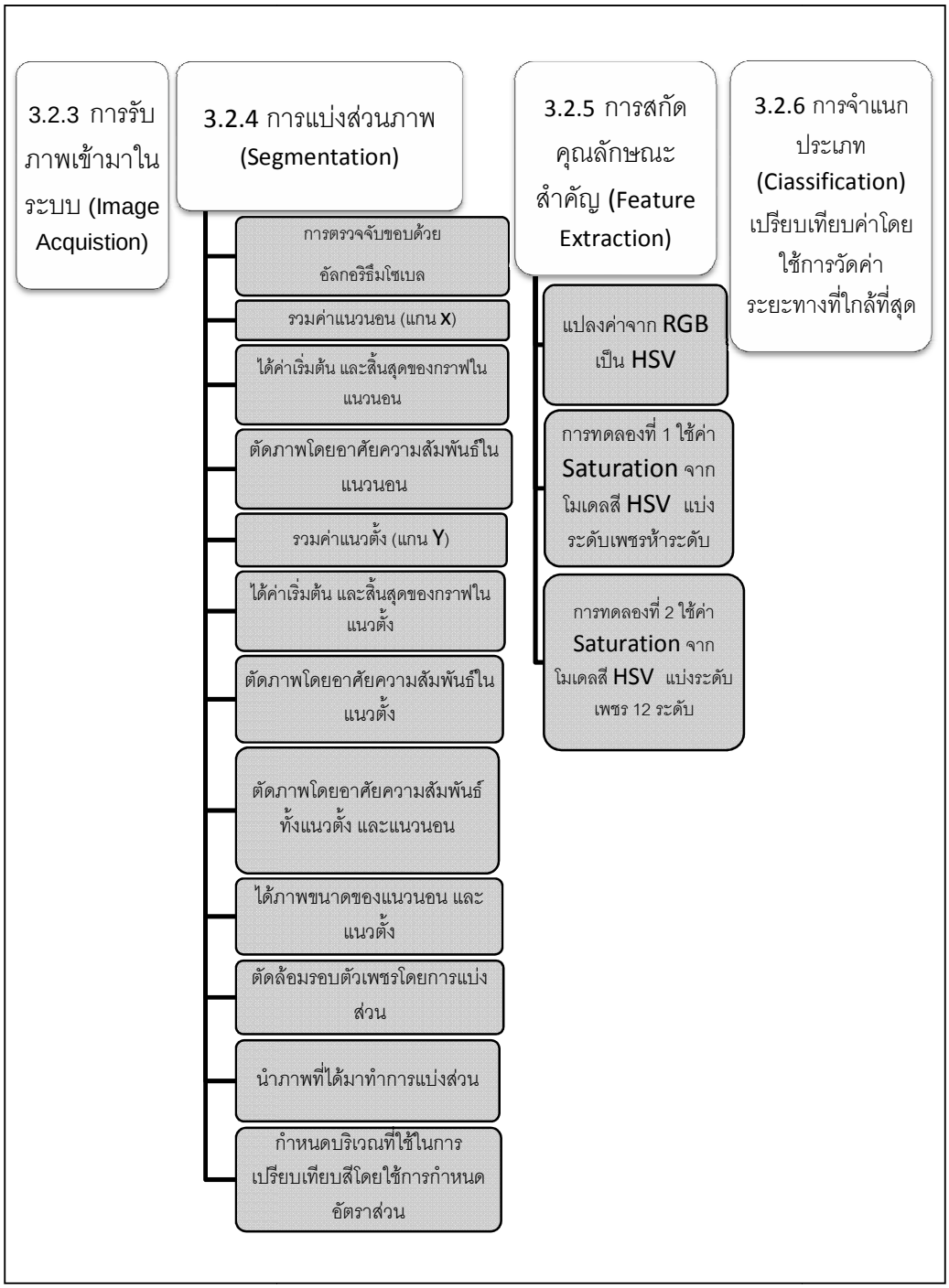
(ค)

(ง)

พบว่าภาพถ่ายเพชรบนพื้นขาว ถ่ายจากด้านข้างของเพชรให้ผลที่สามารถนำมาในการระบุสีของเพชรได้ดีที่สุดจากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญในการดูเพชรจำนวนสี่คน โดยที่มุมที่ต่างกันไม่มีผลต่อการระบุสีของเพชร จากนั้นทำการเก็บค่า HSV ของเพชรต้นแบบที่ถ่ายจากด้านข้างบนพื้นขาวของทั้งห้าระดับของเพชรต้นแบบเพื่อนำไปตั้งค่าในการเปรียบเทียบสีต่อไป

ในหัวข้อต่อไป จะแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งสรุปไว้ในภาพที่ 3.6

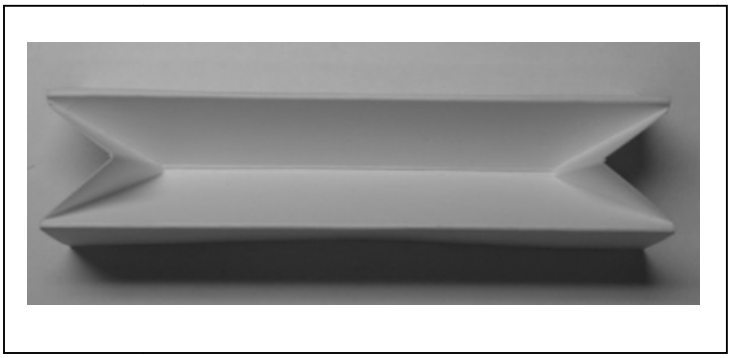
ภาพที่ 3.6
แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทำงาน



3.2.3 **การรับภาพเข้ามาในระบบ** (Image Acquisition)

ในขั้นตอนนี้เริ่มต้นที่การรับภาพอินพุตเข้าโดยถ่ายบนพื้นขาว ถ่ายภาพจากด้านข้างของเพชร ทำการจัดเก็บภาพถ่ายของเพชรแต่ละระดับสี จำนวนระดับสีละ 20 ภาพ แบ่งเป็นระดับละ 10 เม็ด รวมทั้งหมด 100 ภาพ โดยภาพทั้งหมดทำการเก็บรวบรวมมาจากการถ่ายภาพ โดยที่ภาพของเพชรเป็นภาพถ่ายจากด้านข้างของเพชรบนพื้นขาวโดยเก็บไฟล์ภาพในรูปแบบของ JPG มีขนาด 1280 x 1024 จุดภาพ ซึ่งตำแหน่งของกล้องถูกออกแบบให้ถ่ายภาพเพชรจากแนวตั้งฉากกับส่วน Pavilion ของเพชรดูภาพประกอบที่ 2.1 และพื้นหลังเป็นกระดาษขาวพับ 45 องศาดังภาพ 3.7 โดยวางเพชรกลับส่วนล่างขึ้นดังภาพให้แสงสว่างด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดแสงขาวความยาวคลื่นแสง 550 นาโนเมตรภาพที่ โดยจะเป็นภาพของเพชรที่กลับเอาด้านของล่างของเพชรขึ้นดังภาพที่ 3.8 เนื่องจากตำแหน่งที่ใช้ในการดูสีของเพชรที่เหมาะสมจะอยู่ในส่วนล่างของเพชร

ภาพที่ 3.7
แสดงกระดาษดูสีเพชรที่พับ 45 องศา



ภาพที่ 3.8
แสดงตัวอย่างภาพถ่ายเพชรที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4 **การแบ่งส่วนภาพ** (Segmentation)

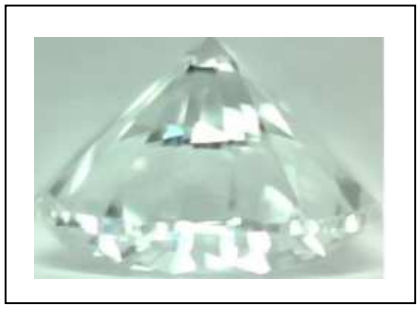
การแบ่งส่วนภาพเป็นปัญหาพื้นฐานของความเข้าใจทางกายภาพรวมถึงไม่มีผลของความสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ที่เจาะลึกลงไป (Pavidis, 1977; Fu & Mui, 1981; Nikhil & Sankar, 1993) โดยในขั้นตอนนี้ทำเพื่อหาเฉพาะส่วนของภาพที่มีความหมายในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป ในงานนี้คือหาบริเวณของเพชรใช้ในการระบุสีที่แท้จริง สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีหาขอบโดยใช้อัลกอริทึมของโซเบลในการหาขอบภาพถ่ายเพชร (Gonzalez & Woods, 2001) เพราะจากเอกลักษณ์ของภาพเพชรที่มีรูปแบบเป็นเอกลักษณ์ชัดเจนทำให้ไม่จำเป็นที่การหาขอบภาพจะต้องได้รายละเอียดของทุกเส้นของขอบให้ครบ แต่จะต้องสามารถหาขอบของภาพได้ผลลัพธ์ในระดับดี ดังนั้นจึงเลือกใช้อัลกอริธึมโซเบลเนื่องจากต้องการเค้าโครงคร่าวๆ เพื่อระบุตำแหน่งเพชรทั้งเม็ดจึงเลือกอัลกอริธึมโซเบลซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีอื่นๆ โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้ ใช้มาสก์ขนาด 3 x 3 พิกเซล และกำหนดค่าเธรชโฮลด์เท่ากับ 0.5 โดยตัวอย่างผลของการหาขอบด้วยอัลกอริธึมโซเบลแสดงในภาพ 3.9

ภาพที่ 3.9

แสดงตัวอย่างภาพเพชรในการหาขอบภาพแบบโซเบล

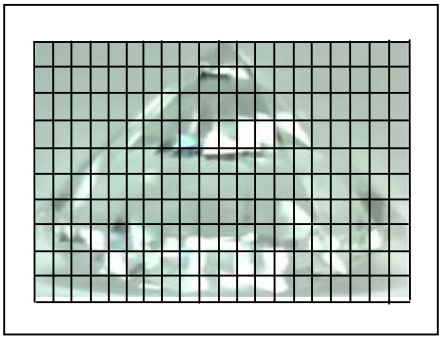
โดยหลังจากที่ได้เฉพาะขอบของเพชรแล้วทำการหลังจากนั้นคำนวณหาอนุพันธ์ย่อย (Partial derivatives) ในแนวแกน X และ Y และทำการรวมค่าในแนวแกน X หลังจากนั้นให้ทำการรวมค่าที่แกน Y จากนั้นนำค่าทั้งสองที่ได้มาทำการกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดในการตัดกรอบภาพของเพชรซึ่งจะทำให้ได้ภาพตัวอย่างดังแสดงที่ภาพที่ 3.10

ภาพที่ 3.10
แสดงตัวอย่างส่วนที่เซกเมนต์



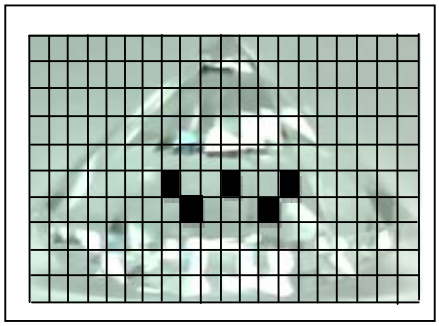
จากนั้นนำภาพที่ได้เฉพาะส่วนของกรอบล้อมรอบเพชรมาทำการกำหนดส่วนที่ใช้ในการระบุสีของเพชรโดยอ้างอิงจากจุดที่ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการวิเคราะห์สีของเพชร (Gemological Institute of America, 1989) โดยทำการแบ่งส่วนภาพในแนวตั้ง 20 ส่วน (แกน x) และในแนวนอน 10 ส่วน (แกน y) จะทำให้ได้ภาพดังแสดงในภาพ 3.11

ภาพที่ 3.11
แสดงตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพ



โดยในงานวิจัยนี้ใช้ทั้งหมดห้าส่วนในการระบุสีของเพชร โดยที่บริเวณที่ใช้ในการระบุสีของเพชรนั้นเป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับบริเวณกึ่งกลางของภาพ โดยที่ทั้งห้าส่วนนั้นทำการเลือกโดยอ้างอิงจากที่ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการระบุสีเพชร โดยทั้งห้าตำแหน่งที่ใช้ในการระบุสี (x, y) นั้นมีดังนี้ ตำแหน่งที่หนึ่ง (8, 5) ตำแหน่งที่สอง (9, 4) ตำแหน่งที่สาม (11, 5) ตำแหน่งที่สี่ (13, 4) ตำแหน่งที่ห้า (14, 5) โดยบริเวณที่เลือกนั้นแสดงเป็นกรอบสี่เหลี่ยมสีดำดังแสดงภาพตัวอย่างที่ 3.12

ภาพที่ 3.12
แสดงตัวอย่างส่วนที่เลือกในการระบุสี



3.2.5 **การสกัดคุณลักษณะสำคัญ** (Feature Extraction)

หลังจากได้ข้อมูลเฉพาะส่วนของวัตถุในภาพที่ต้องการแล้ว จากนั้นจะทำการหาคุณลักษณะพิเศษ (Features) โดยในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะคุณลักษณะเกี่ยวกับสีเป็นหลัก

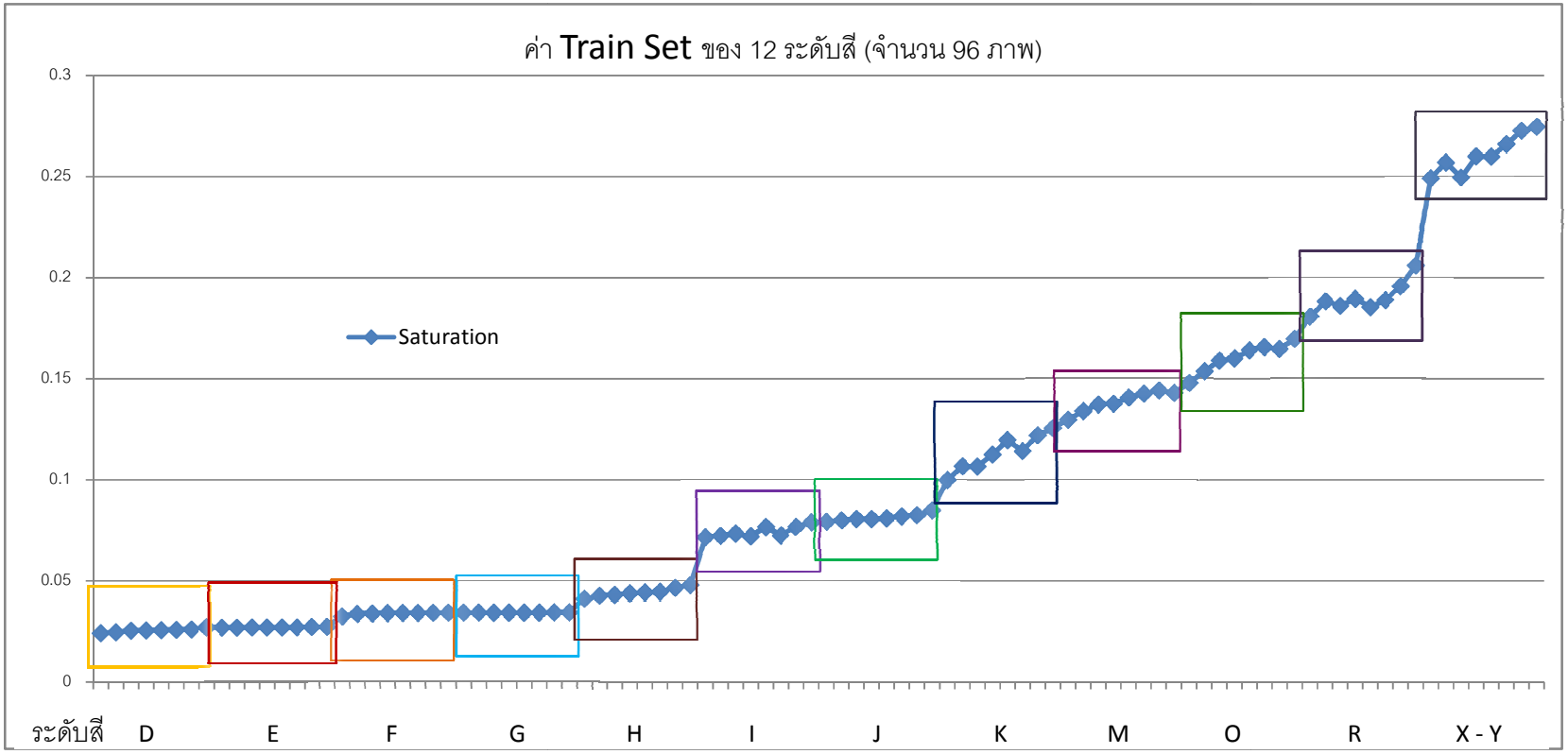
สี จะใช้โมเดลสีแบบ HSV ในการทำงาน โดยคุณลักษณะของสี HSV (HSV color space) คือ การเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้นของรูปแบบสี RGB ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานด้านมุมมองของสี (color vision) แบ่งเป็น Hue Saturation และ value (Yu, Li, Zhang, & Feng, 2002) ซึ่งค่าของ HSV ของพิกเซลนั้นสามารถแปลงได้จาก RGB โดยใช้สมการที่ 3.1

$$H = \arctan\frac{\sqrt{3(G-B)}}{(R-G)+(R-B)}$$
$$S = 1-\frac{\min(R,G,B)}{V}$$
$$V = \frac{(R+G+B)}{3} \qquad (3.1)$$

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โมเดลสีแบบ HSV ทำงาน โดยในงานวิจัยนี้ใช้คอมโพเนนท์ Saturation อย่างเดียวในการพิจารณา เนื่องจากค่าของสีของเพชรที่ใช้ในการทดลองอยู่ในโทนสีเหลือง มีค่าสีระหว่าง 0.1700 ถึง 0.2200 จึงไม่มีความแตกต่างพอที่จะนำมาใช้ในการระบุสีเพชร ในงานวิจัยนี้จึงจัดระดับสีโดยทำการวัดค่าจากภาพถ่ายของเพชรต้นแบบ โดยแต่ละระดับจะมีการเก็บค่าของสี จากการเก็บค่าความอิ่มตัวของสีจากถ่ายภาพเพชรต้นแบบจากด้านข้างของเพชรบน

พื้นขาวเม็ดละแปดค่ารวม 96 ค่า ดังภาพที่ 3.13 และนำมาหาค่าเฉลี่ยว่าอยู่ที่ระดับใด และทำการบันทึกเป็นสีของเพชรต้นแบบ โดยที่ Saturation ของสีทั้งห้าระดับกำหนดได้ตารางที่ 3.2

ภาพที่ 3.13



ตารางที่ 3.2

แสดงค่าของ Saturation ในแต่ละระดับสีจากเพชรต้นแบบหกกลุ่มหลัก

ระดับสี	**ค่าของ Saturation ที่กำหนด**
colorless	0.0230 - 0.0341
near colorless	0.0283 - 0.0825
faint yellow or brown	0.1088 - 0.1420
very light yellow or brown	0.1560 - 0.2050
light yellow or brown	0.2550 - 0.2667
Fancy Light Yellow	0.2924 - 0.3494 *

*ข้อมูลได้จากเพชรต้นแบบ แต่เนื่องจากไม่สามารถหาเพชรทั่วไปมาใช้ในการทดลองได้ เพราะเป็นสีที่หายาก จึงไม่ได้ทำการทดลองในระดับนี้

จากนั้นทำการเก็บข้อมูลโดยแยกเป็นระดับย่อยจำนวน 12 ระดับ โดยบริเวณที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเป็นบริเวณเดียวกับที่ใช้ในการเก็บค่าเพชรในห้ากลุ่มหลัก โดยใช้เพชรที่ถ่ายภาพจากด้านข้างบนพื้นขาว โดยค่าของคอมโพเนนท์ Saturation ดังแสดงที่ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3

แสดงค่าของ Saturation ในแต่ละระดับสีจากเพชรต้นแบบ 12 ระดับ

ระดับสี	**ค่าของ Saturation ที่กำหนด**
D	0.0230 - 0.0280
E	0.0210 - 0.0330
F	0.0283 - 0.0398
G	0.0282 - 0.0402
H	0.0421 - 0.0462

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ระดับสี	ค่าของ Saturation ที่กำหนด
I	0.0686 - 0.0797
J	0.0798 - 0.0825
K	0.1088 - 0.1183
M	0.1350 - 0.1420
O	0.1560 - 0.1650
R	0.1750 - 0.2050
XY	0.2550 - 0.2670

3.2.6 การจำแนกประเภท (Classification)

การจำแนกประเภทในงานนี้แบ่งออกได้ดังนี้

การทดลองชุดที่หนึ่ง เปรียบเทียบเฉพาะค่า Hue ของเพชรต้นแบบกับเพชรทั่วไป ทำการทดลองกับห้าระดับขั้นแรก

- Training set ใช้เพชรต้นแบบจำนวน 13 เม็ด เม็ดละแปดภาพรวม 104 ภาพ
- Test set ใช้เพชรทั่วไปจำนวน 50 เม็ด เม็ดละสองภาพรวม 100 ภาพ

การทดลองชุดที่สอง เปรียบเทียบค่า Hue และ Saturation ของเพชรต้นแบบกับเพชรทั่วไป ทำการทดลองกับ 12 ระดับขั้นที่สอง

- Training set ใช้เพชรต้นแบบจำนวน 13 เม็ด เม็ดละแปดภาพรวม 104 ภาพ
- Test set ใช้เพชรทั่วไปจำนวน 50 เม็ด เม็ดละสองภาพรวม 100 ภาพ

การจำแนกประเภทด้วยวิธีการวัดค่าระยะทางที่ใกล้ที่สุด

ขั้นแรก Train โดยหาข้อมูลจากเพชรต้นแบบ

Test ทดลองจำแนกกับเพชรทั่วไปโดยใช้การจำแนกด้วยการวัดค่าระยะทางที่ใกล้ที่สุด (Minimum Distances)

โดยที่การเปรียบเทียบนั้นจะใช้การเปรียบเทียบจากห้าจุดที่หาได้จากขั้นตอนที่ 3.2.4 นำมาเทียบกับค่าของ Saturation ที่เก็บได้จากภาพของเพชรต้นแบบในบริเวณเดียวกัน โดยการเปรียบเทียบนั้นใช้เกณฑ์ของระบบเสียงข้างมาก โดยหากว่าเสียงส่วนใหญ่ของระบบระบุว่าเป็นสีอะไรก็จะสรุปผลเป็นสีนั้น เช่น สามจุดระบุว่าเป็นคลาส Colorless อีกสองจุดระบุว่าเป็น Near

Colorless จะสรุปว่าเป็นระดับ Colorless ในกรณีที่มีคะแนนเสียงเท่ากันระบบก็จะทำการหาค่าระยะห่างที่ใกล้ที่สุดว่ามีความใกล้เคียงกับระดับใดมากกว่าก็จะสรุปเป็นค่าที่ใกล้มากกว่า

โดยสามารถจำแนกประเภทของสีที่อ้างอิงจากผู้เชี่ยวชาญจากสถาบันวิจัยไอจีไอ จำนวนสี่ท่าน โดยที่ผู้เชี่ยวชาญใช้การพิจารณาสีเทียบกับเพชรต้นแบบ และใช้เสียงข้างมากในการตัดสินว่าเพชรทั่วไปนั้นจะมีสีเท่ากับสีระดับไหน โดยหากผลของการวิเคราะห์ปรากฏคะแนนที่เท่ากันที่สองเสียงต่อสองเสียง ก็จะนำเม็ดนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญคนที่ห้าเป็นคนตัดสินว่า สีของเพชรเม็ดนั้นจะอยู่ในระดับสีใด โดยงานวิจัยนี้แบ่งการทำงานเป็นสองขั้นตอนในการจำแนกสี ดังนี้

ขั้นที่หนึ่ง

เริ่มต้นด้วยการใช้ค่าคุณลักษณะเกี่ยวกับสี (ห้ากลุ่มหลัก) และเลือกใช้เทคนิคการวัดค่าระยะทางที่ใกล้สุดแบบยูคลิเดียนมาใช้ โดยการใช้ระบบเสียงส่วนมากที่เป็นกลุ่มข้อมูลของเพชรทั่วไปของแต่ละระดับไว้ จากนั้นนำค่าคุณลักษณะของกลุ่มข้อมูลสำหรับการทดสอบแต่ละค่ามาหาระยะทางกับค่าเฉลี่ยข้างต้นแล้วบันทึกค่าไว้ แล้วนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาตรวจสอบว่าแต่ละชุดคำตอบของข้อมูลที่ได้นั้น กลุ่มใดมีค่าระยะทางที่สั้นที่สุด ดังสมการที่ 3.2 ทำเช่นนี้จนครบข้อมูลทั้งห้ากลุ่มหลัก และเมื่อทำครบทุกชุดข้อมูลแล้ว จะได้ผลของการจำแนกแต่ละรอบว่าสามารถจำแนกได้ถูกต้องอย่างไร และนำผลที่ได้มารวมกันเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนก

$$D_E = \sqrt{(y2 - y1)^2} \qquad (3.2)$$

กำหนดให้ y1 แทนด้วยค่าของ Saturation ของเพชรต้นแบบ y2 แทนด้วยค่าของ Saturation ของเพชรทั่วไป ของภาพที่ได้จากการฝึกระบบแล้วเก็บค่าไว้ D_E แล้วนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาหาผลรวมของค่าจุดทั้งหมดมาเปรียบเทียบค่า D_E ของแต่ละคลาสว่าผลที่ได้ มีค่าเข้าใกล้คลาสใดจะพิจารณาเลือกคลาสนั้นเป็นคำตอบ

ขั้นที่สอง

จากนั้นทดลองจำแนกด้วยการใช้ค่าคุณลักษณะเกี่ยวกับสี (12 กลุ่ม) และนำผลที่ได้มารวมกันเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนก

การคำนวณหาค่าความถูกต้อง (Accuracy Score)

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลของภาพที่ต้องการทดสอบ (ภาพเพชรทั่วไป) และข้อมูลของภาพในต้นแบบ (Model) ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่ตรงตามเกณฑ์ของจำนวนความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมด ดังสมการที่ 3.3

$$Asc = \frac{SF}{TF} \times 100 \qquad (3.3)$$

เมื่อ *Asc* คือ ค่าความถูกต้อง

TF คือ จำนวนข้อมูลภาพทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

SF คือ จำนวนข้อมูลภาพทดสอบที่ระดับสีได้ถูกต้อง

3.3 เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับพัฒนาระบบ

ระบบในการประเมินสีเพชรโดยใช้ภาพถ่ายเพชร เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้แนวคิดที่ต้องการเป็นตัวช่วยในการระบุสีของเพชรสำหรับผู้ที่ต้องการตัวชี้แนะ เนื่องจากการมีเพชรต้นแบบนั้นจัดเป็นต้นทุนที่สูงมาก โดยสภาพแวดล้อมของระบบมีองค์ประกอบทั้งทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ดังนี้

3.3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย แบ่งเป็น

3.3.1.1 อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ

กล้องดิจิตอลที่ประกอบขึ้นเองความละเอียดสูงสุด 2 ล้านพิกเซล รายละเอียดของกล้อง และวิธีการประกอบกล้องมีดังนี้

3.3.1.1.1 อุปกรณ์สำหรับประกอบกล้อง

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการประกอบกล้องสำหรับถ่ายภาพเพชรในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังแสดงที่ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4

แสดงรายการอุปกรณ์กล้อง และราคาโดยประมาณ

อุปกรณ์	ราคาประมาณหน่วยเป็นบาท
บอร์ดรับภาพ (CMOS Camera Board Usb Interface)	3,200
กล่องเหล็ก สำหรับใส่กล้อง เลนซ์ชนิด C/CS Mount	500
เทปสองหน้า 3M (สีดำ)	40
เลนซ์	6500
โอริง (Extension Mount)	100
กาวแท่ง และปืนกาว	500

3.3.1.1.2 **ขั้นตอนการประกอบกล้อง**

ให้ประกอบโอริง และเลนซ์เข้ากับตัวกล่องเหล็ก จากนั้นเปิดโปรแกรมถ่ายภาพ และนำบอร์ดรับภาพใส่ในกล่องเหล็ก ทำการปรับตำแหน่งบอร์ดรับภาพให้เข้ากลาง และปรับระดับความห่างระหว่างกล่องเหล็กกับบอร์ดรับภาพ และโอริงเพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์ที่สุด จากนั้นติดเทปกาวรองระดับบอร์ดรับภาพ จากนั้นประกอบติดกาวให้เรียบร้อย

3.3.1.1.3 **แท่นสำหรับถ่ายภาพ**

ประกอบด้วยแท่นสำหรับยึดกล้อง และอุปกรณ์ควบคุมกระแสไฟ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ ดังแสดงที่ภาพ 3.14

ภาพที่ 3.14

แสดงอุปกรณ์แท่นยึดกล้อง และอุปกรณ์ควบคุมไฟ

3.3.1.2 **เครื่องคอมพิวเตอร์**

คุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ดังที่ระบุในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

แสดงคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

Hardware	Specification
CPU	Intel Core 2 Duo T7200 2.00 GHz
DDR RAM	1 GB
Hard disk	อย่างน้อย 10 GB.
Monitor	13.3 inch

3.3.2 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

-โปรแกรมระบบปฏิบัติการ Microsoft window XP (Professional)

-โปรแกรม Logitech Webcam Software นำเข้าและจัดการเกี่ยวกับภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิตอล

-โปรแกรม Matlab 7.8 ใช้ในการประมวลผลภาพทั้งหมด ตั้งแต่การหาขอบภาพ การแยกคุณลักษณะ และการจำแนกชนิด

-โปรแกรม Microsoft Access 2007 เป็นฐานข้อมูลเก็บผลของการตรวจสอบ