



## การพัฒนาอัลกอริทึมแปลงอุณหภูมิจากกล้องความร้อนด้วยการประมวลผลภาพ

วิทยา บุญสุข\*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนครพนม

วัฒน์ชัย บุญสุข

สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสมุทรปราการ

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 3563 2476 อีเมล: wittaya5773@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.03.005

รับเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2561 แก้ไขเมื่อ 21 ธันวาคม 2561 ตอรับเมื่อ 24 ธันวาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 14 มีนาคม 2562

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ในการวิจัยนี้เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมของกระบวนการแปลงอุณหภูมิจากสีสเปกตรัมของภาพความร้อน ซึ่งกระบวนการนี้ใช้การวิเคราะห์ระดับความเข้มของสีจากสเปกตรัมความร้อนในการวิเคราะห์หาค่าระดับความเข้มของค่าเฉลี่ยสีสเปกตรัมโดยเน้นระดับค่าเฉลี่ยความเข้มของสีแดงและเขียวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อุณหภูมิจากกล้องความร้อน ผลการประเมินประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ที่ได้จากการทดสอบและวัดการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาใหม่ จากกลุ่มภาพตัวอย่าง 9 กลุ่มช่วงข้อมูล กลุ่มละ 10 ภาพ รวม 90 ภาพ ผลการทดสอบกลุ่มที่ 1 ที่อุณหภูมิ 60°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 2 ที่อุณหภูมิ 55°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 3 ที่อุณหภูมิ 50°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 4 ที่อุณหภูมิ 45°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 5 ที่อุณหภูมิ 40°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 6 ที่อุณหภูมิ 35°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 7 ที่อุณหภูมิ 30°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 8 ที่อุณหภูมิ 25°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% กลุ่มที่ 9 ที่อุณหภูมิ 20°C ความแม่นยำมีค่าเฉลี่ย 90% และความแม่นยำที่ทดสอบได้มีค่าเฉลี่ยรวม 90% ภาพรวมระบบที่พัฒนาถือว่า มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี แสดงว่าคุณภาพในการเปรียบเทียบระดับกลุ่มสีของสเปกตรัมในระดับที่ค่อนข้างเที่ยงตรง และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในการประมวลผล

**คำสำคัญ:** สเปกตรัมของแสง รังสีความร้อน กล้องความร้อน การตัดภาพ การแผ่รังสี

## Development of Temperature Convert Algorithms by Image Processing

Witthaya Boonsuk\*

Department of Information Technology, Faculty of Management Sciences and Information Technology, Nakhon Phanom University, Nakhon Pathom, Thailand

Watthanachai Boonsuk

Department of Electronics, Samutprakan Technical College, Samut Prakan, Thailand

\* Corresponding Author, Tel. 08 3563 2476, E-mail: witthaya5773@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.03.005

Received 9 February 2018; Revised 21 December 2018; Accepted 24 December 2018; Published online: 14 March 2019

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

### Abstract

The objective of this research was to develop algorithmic software to convert thermal image spectrum from a thermography into temperature. This process used an analysis of intensity of spectral colors from the thermography emphasizing the average amount of redness and greenness intensity to identify the temperature. To test the effectiveness of the newly developed software performance, data ranges from 9 groups of thermal image samples classified by their quality were used. Each of the 9 groups comprised 10 different image files creating 90 images in total. The results showed that the software could perform very well in term of accuracy and precision. For all 9 groups; the temperature of every individual group, i.e. group 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9 was at 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, and 20 deg C respectively; each group showed an average accuracy of 90%. As a consequence, the total average accuracy for all 9 groups was 90%. Overall, the newly developed software is an efficient tool for spectral colors analysis at high accuracy and precision and suitable for application processing.

**Keywords:** Spectral Colors, Infrared, Thermography, Image Capture, Thermal Radiation

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เข้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงานในองค์กรมากขึ้น รวมทั้งมีบทบาทค่อนข้างสูงและมีความจำเป็นอย่างมาก ในการดำเนินชีวิต ในปัจจุบันตลอดจนการประยุกต์ในงานขององค์กร โดยเฉพาะกล้องความร้อนที่ใช้รังสีอินฟราเรด ช่วงแรกมีการนำมาประยุกต์การนำไปใช้ในในกลุ่มเป้าหมายจำกัด และต่อมากล้องความร้อนอินฟราเรด ถูกนำมาใช้มากในวงการทางทหาร ในช่วงเวลาครึ่งหลังของศตวรรษที่ 20 [1] และเริ่มมีการนำระบบกล้องความร้อนมาใช้ในทางการแพทย์เฉพาะการสแกนตรวจจับภาพความร้อน ที่มีอัตราความเร็วเฉลี่ย 1 ถึง 16 เฟรมต่อวินาที และความละเอียดเชิงพื้นที่มีขนาดต่ำ [2] ดังนั้นในปัจจุบันมีการนำระบบกล้องความร้อนมาประยุกต์ใช้หลากหลาย ทั้งในทางอุตสาหกรรมและทางการแพทย์แม้จะใช้ต้นทุนสูงในระยะแรก แต่ระยะยาวก็ถือว่ามีความคุ้มค่า ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านไอทีได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ทำให้ราคาต้นทุนการผลิตต่ำลง ทำให้องค์กรหรือคนที่มีรายได้ระดับล่างสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ที่เป็นระบบสารสนเทศ ที่มีคุณภาพสูงแต่ราคาปานกลาง และความแม่นยำสูงได้ง่ายขึ้น ซึ่งทางการแพทย์มีการนำมาใช้คัดกรองผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจเฉียบพลัน (ซาร์ส) และระบาดอย่างรุนแรงช่วยในการตรวจสอบระยะไกล มีการตรวจจับความร้อนอินฟราเรด (IRT) ซึ่งได้รับการสนับสนุนให้นำมาใช้ ในการคัดกรองคนไข้ในสนามบินสำหรับผู้เดินทางข้ามพรมแดน [3] ในการรักษาทางการแพทย์ภาพความร้อน แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวของเยื่อหุ้มสมองที่เกิดจากการไหลเวียนของเลือด ซึ่งให้สีของสเปกตรัมต่างกันตามระดับของอุณหภูมิผ่านทางกล้องความร้อน จะเป็นประโยชน์ในการแสดงให้เห็นถึงการกระจายของการไหลของเลือด ทำให้การประเมินผลและวิเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ ในด้านการผ่าตัด[4]

จากประโยชน์ที่พบดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษา และออกแบบทำการพัฒนาระบบในการแปลงค่าสเปกตรัมจากภาพความร้อนออกมาเป็นค่าตัวเลขของอุณหภูมิ ด้วยการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสีของสเปกตรัมของภาพจาก

กล้องความร้อน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงานต่างๆ ได้

ผู้พัฒนาได้มองเห็นความจำเป็นในงานด้านที่กล่าวมา จึงได้ทำการศึกษาและออกแบบ และทำการพัฒนาระบบวิเคราะห์อุณหภูมิ ซึ่งคัดแยกด้วยการประมวลผลด้วยภาพจากกล้องความร้อน นำมาประยุกต์ใช้และศึกษาเพื่อปรับใช้ในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมในกระบวนการแปลงอุณหภูมิจากสีสเปกตรัมของภาพจากกล้องความร้อน

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

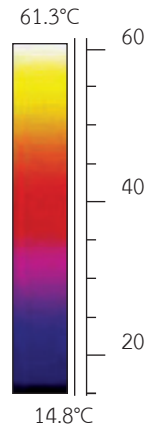
### 2.1 การศึกษาปัญหา (Exploring and Analyzing the System)

ในปัจจุบันงานทางด้าน การตรวจสอบ และบำรุงรักษามีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและสังคมที่ช่วยลดค่าใช้จ่าย ลดปัญหาต่างๆ เพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิผลทางการผลิตได้อีก ซึ่งเทคโนโลยีที่สามารถนำมาตอบสนองงานทางด้านนี้ได้ดีคือเทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งใช้หลักการตรวจวัดรังสีอินฟราเรด ช่วยวิเคราะห์สิ่งผิดปกติเนื่องจากวัตถุทุกอย่างจะมีค่าการถ่ายเทพลังงานออกมาไม่เท่ากัน ความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดอยู่ในช่วง 0.78-1,000 ไมโครเมตร แบ่งออกเป็นความยาวคลื่นขนาดต่ำ (0.75-3 ไมโครเมตร) ความยาวคลื่นขนาดกลาง (3-6 ไมโครเมตร) ความยาวคลื่นขนาดสูง (6-15 ไมโครเมตร) และอุปกรณ์การถ่ายภาพความร้อนส่วนใหญ่สแกนด้วยความเร็ว 30 ครั้งต่อวินาที และสามารถตรวจจับอุณหภูมิตั้งแต่ -20 ถึง 1,500°ซ [5] จึงทำให้มีการนำกล้องถ่ายภาพความร้อนนี้ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย เช่น งานซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม และงานทางด้านสาธารณสุข เช่น งานคัดกรองผู้ป่วย งานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ งานด้านประหยัดพลังงาน เป็นต้น จำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาพัฒนาระบบดังกล่าว ด้วยอาศัยอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นประยุกต์ใช้งาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดเวลาการทำงานให้สั้นลง



The new generation of thermal imagers:  
testo 885 and testo 890

รูปที่ 1 กล้องอินฟราเรด [6]



รูปที่ 2 ช่วงความร้อนที่ทำการวิจัย [9]

## 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น testo 890 ผลิตกันซ์จากประเทศเยอรมนี ช่วงการวัดอุณหภูมิ  $-20$  ถึง  $350^{\circ}\text{C}$  (ออฟเกรดสูงสุดถึง  $1200^{\circ}\text{C}$ ) ค่าความถูกต้อง  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  หรือ  $\pm 2\%$  ของมิลลิโวลต์ จำนวนเซ็นเซอร์  $640 \times 480$  พิกเซล มุมมองภาพความร้อน  $42^{\circ} \times 32^{\circ}$  ความไวในการตอบสนองต่อความร้อนดีกว่า  $0.05^{\circ}\text{C}$  ที่  $30^{\circ}\text{C}$  ดังรูปที่ 1 และโปรแกรมที่ใช้พัฒนาและออกแบบ Visual Studio c#

เครื่องตรวจจับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบการถ่ายภาพความร้อน ซึ่งจะแปลงพลังงานที่แผ่รังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่ตกลงบนมีเครื่องตรวจจับสองแบบคือเครื่องตรวจจับความร้อน และโฟตอน ในเครื่องตรวจจับความร้อน การแผ่รังสีอินฟราเรด จะทำให้ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นตัววัดรังสีที่ตกลงบนวัตถุ ในเครื่องตรวจจับโฟตอนรังสีที่เกิดขึ้นจะมีปฏิสัมพันธ์กันที่ระดับอะตอม หรือโมเลกุลกับวัสดุของเครื่องตรวจจับเพื่อผลิตสายชาร์จ ที่สร้างแรงดันไฟฟ้าทั่วทั้งส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับหรือการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า เครื่องตรวจจับโฟตอนแบบต่างๆ ที่ใช้แคดเมียมปรอทเทลลูไรด์ (CMT) แอนไทด์อินเดียม ซิลิไซด์ทองคำขาวและอุปกรณ์ควอนตัมดีเซล ในบรรดาสองประเภทเครื่องตรวจจับโฟตอนให้ความไวมากกว่าเครื่องตรวจจับด้วยความร้อน [7], [8]

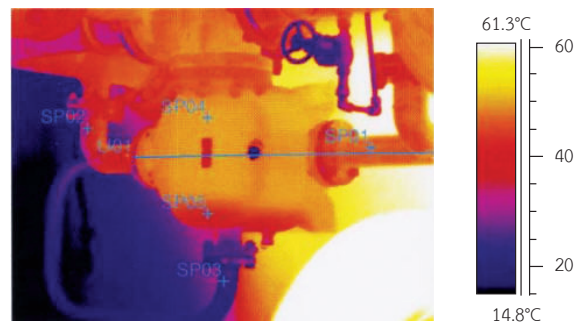
## 2.3 ขอบเขตการวิจัย

2.3.1 กำหนดช่วงอุณหภูมิที่ทำการพัฒนากระบวนการแปลงอุณหภูมิจากสีสเปกตรัมของภาพความร้อน ซึ่งกระบวนการนี้ใช้หลักการวิเคราะห์ระดับความเข้มของสีจากสเปกตรัมภาพความร้อน ช่วงที่อุณหภูมิที่ใช้ทำการวิจัยคือค่าอุณหภูมิระหว่าง ( $20 - 60^{\circ}\text{C}$ ) [10] ดังรูปที่ 2

2.3.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ทดลองจำนวน 90 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 2 ชุดข้อมูล ชุดละ 45 ตัวอย่าง มาทำการทดลองกับต้นแบบซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาความเที่ยงตรงของซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนา

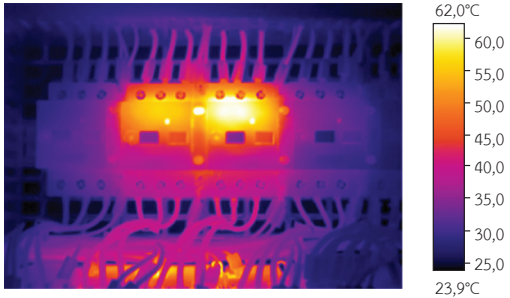
## 2.4. ฐานข้อมูลภาพหลักที่ใช้เป็นต้นแบบการทดลองเพื่อนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างทั้ง 90 ตัวอย่าง

### 2.4.1 ต้นแบบที่ 1



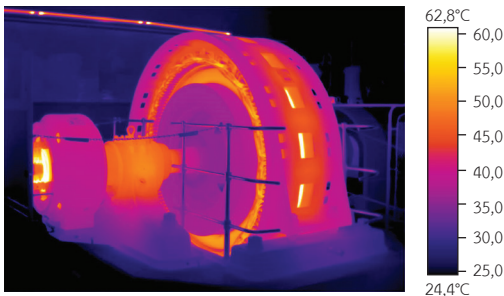
รูปที่ 3 ภาพความร้อนต้นแบบที่ 1 [9]

### 2.4.2 ต้นแบบที่ 2



รูปที่ 4 ภาพความร้อนต้นแบบที่ 2 [10]

### 2.4.3 ต้นแบบที่ 3

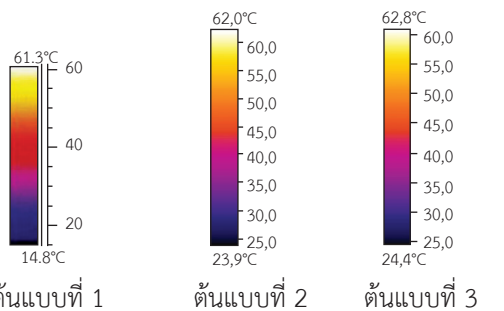


รูปที่ 5 ภาพความร้อนต้นแบบที่ 3 [11]

เนื่องจากภาพความร้อนมีสีสเปกตรัมค่อนข้างต่างกัน ขึ้นอยู่กับบริษัทที่ผลิต จึงขอใช้ต้นแบบเพียง 3 ต้นแบบเพื่อเป็นแม่แบบในการเปรียบเทียบและนำมาวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3-5

## 2.5 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยกลางจากต้นแบบภาพความร้อนทั้ง 3 ต้นแบบ

### 2.5.1 กราฟแสดงค่าความร้อนทั้ง 3 ของต้นแบบ



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าความร้อนทั้ง 3 ต้นแบบและสีสเปกตรัม

2.5.2 การคำนวณและวิเคราะห์หาระดับความเข้มของค่าสีสเปกตรัมของต้นแบบในแต่ละช่วงองศา ดังรูปที่ 6 ซึ่งในการทำงานของกล้องจะแสดงค่าที่ทำกรถ่ายภาพความร้อนค่าที่วัดได้จะเป็นช่วงของอุณหภูมิเท่านั้น และมีแถบสีพร้อมค่าตัวเลขอธิบายให้ผู้ดูและวิเคราะห์เอง จากเลขกำกับของแท่งกราฟ แสดงสถานะของแถบสี [12]-[15]

จากช่วงความร้อน และสีสเปกตรัมดังกล่าวเรานำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับความเข้มของสี ในแต่ละช่วงของแท่งกราฟที่แสดงค่าอุณหภูมิของต้นแบบทั้ง 3 แบบ ในแต่ละอุณหภูมิทั้ง 9 ช่วงอุณหภูมิได้ดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มเฉลี่ยของของสเปกตรัมในแต่ละช่วงองศาของต้นแบบที่ 1

ภาพความร้อน (Thermal Image)	อุณหภูมิ °C	ระดับความเข้มสีของ Pixel		
		Red	Green	Blue
	60	230	232	223
	55	232	222	65
	50	210	158	47
	45	205	93	45
	40	192	47	30
	35	180	30	78
	30	160	25	130
	25	88	17	119
	20	29	16	108

ตารางที่ 2 ระดับความเข้มเฉลี่ยของของสเปกตรัมในแต่ละช่วงองศาของต้นแบบที่ 2

ภาพความร้อน (Thermal Image)	อุณหภูมิ °C	ระดับความเข้มสีของ Pixel		
		Red	Green	Blue
	60	254	245	170
	55	253	200	0
	50	247	133	0
	45	229	72	21
	40	199	15	137
	35	144	0	157
	30	58	0	146
	25	0	0	67
	20	0	0	2

**ตารางที่ 3** ระดับความเข้มเฉลี่ยของของสเปกตรัมในแต่ละช่วงองศาของต้นแบบที่ 3

ภาพความร้อน (Thermal Image)	อุณหภูมิ °C	ระดับความเข้มสีของ Pixel		
		Red	Green	Blue
	60	254	250	212
	55	253	212	10
	50	246	141	0
	45	234	80	10
	40	201	18	132
	35	148	0	156
	30	59	0	146
	25	2	0	50
	20	1	0	6

เพื่อให้การทดลองครั้งนี้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ ได้ทำการกำหนดขอบเขตการทดสอบ ในช่วงของอุณหภูมิที่มีค่าระหว่าง 20 ถึง 60°ซ และแบ่งเป็น 9 ช่วงอุณหภูมิ ช่วงละ 5°ซ

2.5.3 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าสี จากต้นแบบทั้ง 3 จากตารางที่ 3 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่ของปริมาณสัดส่วนความเข้มของสเปกตรัมของสีต่ออุณหภูมิ ดังตารางที่ 4 และทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟของการเปลี่ยนแปลงของกราฟเฉลี่ยต้นแบบทั้ง 3 เพื่อคัดเลือกสเปกตรัมสีที่คงที่และนำไปเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบต่อไป [12]-[15]

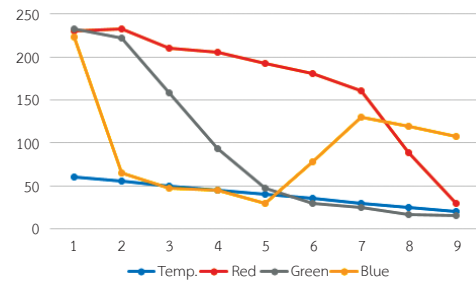
**ตารางที่ 4** ระดับความเข้มเฉลี่ยของของสเปกตรัมในแต่ละช่วงอุณหภูมิของต้นแบบทั้ง 3 แบบ

อุณหภูมิ °C	ระดับความเข้มเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ต้นแบบของ Pixel		
	Red	Green	Blue
60	246	242	201
55	246	211	25
50	234	144	16
45	233	82	25
40	197	27	100
35	157	10	130
30	92	8	141
25	30	6	79
20	10	2	39

2.5.4 การวิเคราะห์หาแนวโน้มของค่าสีที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่คงที่ ของปริมาณสัดส่วนความเข้มของ

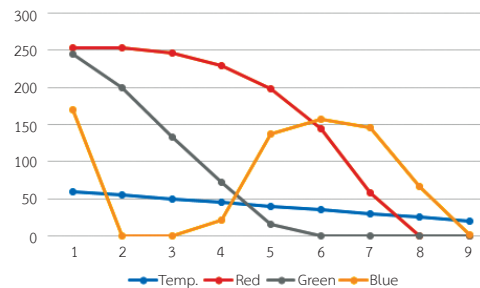
สเปกตรัมของสีต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นแบบทั้ง 3 เพื่อนำไปเป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบต่อไป [10], [11]

1) กราฟต้นแบบที่ 1



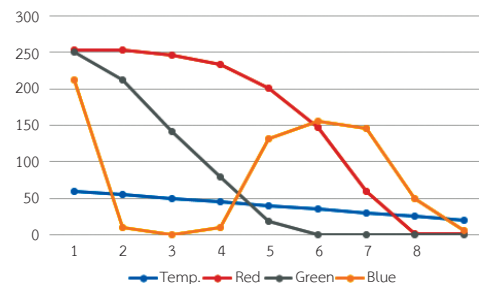
**รูปที่ 7** กราฟแสดงความเข้มของสีต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของต้นแบบที่ 1

2) กราฟต้นแบบที่ 2



**รูปที่ 8** กราฟแสดงความเข้มของสีต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของต้นแบบที่ 2

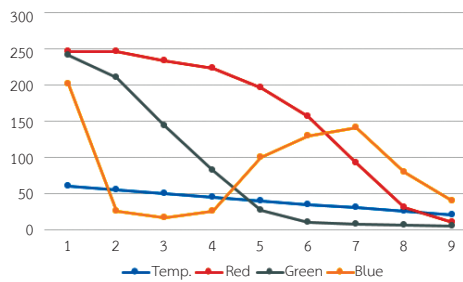
3) กราฟต้นแบบที่ 3



**รูปที่ 9** กราฟแสดงความเข้มของสีต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของต้นแบบที่ 3



4) กราฟค่าเฉลี่ยรวมของต้นแบบทั้ง 3 แบบ



รูปที่ 10 กราฟแสดงความเข้มของสีต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยรวมของต้นแบบทั้ง 3

จากกราฟดังรูปที่ 7-10 ที่ได้จากการวิเคราะห์ของแม่สีหลักทั้ง 3 สี ได้แก่ แดง เขียว น้ำเงิน จากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 20°ซ ถึง 60°ซ จะเห็นว่ากราฟที่มีแนวโน้มค่าคงที่คือสีแดงกับสีเขียว ซึ่งสรุปได้ว่าจะจะเป็นค่าที่จะนำไปใช้ในการเป็นค่าหลักในการใช้เป็นข้อมูลต้นแบบเปรียบเทียบต่อไป

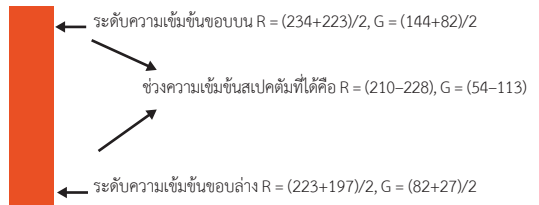
ตารางที่ 5 ระดับความเข้มเฉลี่ยของของสเปกตรัมในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่ได้จากการวิเคราะห์จะได้ค่าสีที่เหมาะสมนำไปเป็นต้นแบบคือสีแดงกับสีเขียว ดังตาราง

อุณหภูมิ °C	ระดับความเข้มสีของ Pixel	
	Red	Green
60	246	242
55	246	211
50	234	144
45	233	82
40	197	27
35	157	10
30	92	8
25	30	6
20	10	2

### 2.5.5 การหารูปแบบของช่วงอุณหภูมิ

เนื่องจากค่าระดับความเข้มของสีสเปกตรัม ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยของต้นแบบทั้งสาม และกราฟที่มีแนวโน้มค่าคงที่คือสีแดงกับสีเขียว ค่าออกมาจะมีค่าโดยประมาณจึงได้ทำการนำค่าระดับความเข้มสีมาหาช่วงค่าใหม่ เพื่อให้มีความเที่ยงตรง

สเปกตรัมที่อุณหภูมิ 20°ซ



รูปที่ 11 หลักการวิเคราะห์หาค่าความเข้มของขอบบน-ล่างของสเปกตรัมความร้อน

มากขึ้นโดยเพิ่มขอบเขต ของช่วงองศาเพื่อให้มีความเที่ยงมากขึ้น ดังรูปที่ 11

ตารางที่ 6 ช่วงค่าความเข้มของอุณหภูมิของระดับค่าสีสเปกตรัมที่ใช้ฐานข้อมูลหลักในการวัดคำนวณความเข้มของขอบบน-ล่างของการคำนวณ ดังตารางที่ 5

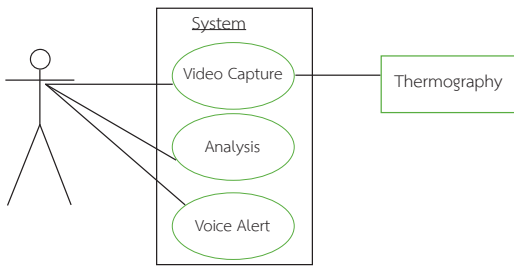
อุณหภูมิ °C	ระดับความเข้มสีของ Pixel	
	Red	Green
60	246-255	226-255
55	240-246	177-226
50	228-240	113-177
45	210-228	54-113
40	177-210	18-54
35	124-177	9-18
30	61-124	7-9
25	20-61	5-7
20	1-10	1-5

ตารางที่ 6 จะใช้เป็นฐานข้อมูลหลักในการเทียบค่าในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของช่วงอุณหภูมิของกลุ่มช่วงความเข้มของสีสเปกตรัมภาพความร้อน และใช้เพียง 2 สีที่มีค่าคงที่ในการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบคือ ค่าสเปกตรัม สีแดงกับสีเขียวในการทดสอบ

### 2.6 การออกแบบระบบ

#### 2.6.1 การออกแบบขั้นตอนการทำงานของระบบ

โดยใช้ UML (Unified Modeling Language) เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 Use-case Diagram ของระบบ

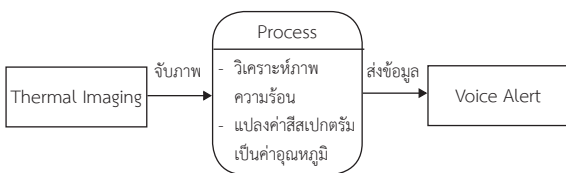
2.6.2 การออกแบบ(Function)การทำงานของขั้นตอนการประมวลผลระบบ (IPO Chart) ดังรูปที่ 13

1. Input	2. Process	3. Output
1.1 ดึงภาพจากกล้อง (Video Load) 1.2 จับภาพจากกล้อง (Video Capture)	2.1 Sectra Colors Analysis 2.2 Thermal Imaging Processing System	3.1 Voice Warning System

รูปที่ 13 ขั้นตอนการประมวลผลระบบ (IPO Chart)

ระบบจะทำการรับภาพที่ได้จาก (Thermal Scan Infrared Camera) ซึ่งจะเป็นภาพที่ทำให้อยู่ในรูปแบบ (Digital Image) และนำมาผ่านการประมวลผลวิเคราะห์ระดับค่าความเข้มและสีของภาพแล้วทำการเทียบค่าอุณหภูมิและแจ้งเตือนด้วยเสียงคนในโปรแกรมที่ได้ออกแบบ ดังรูปที่ 13

2.6.3 Context Diagram ของระบบ ดังรูปที่ 14



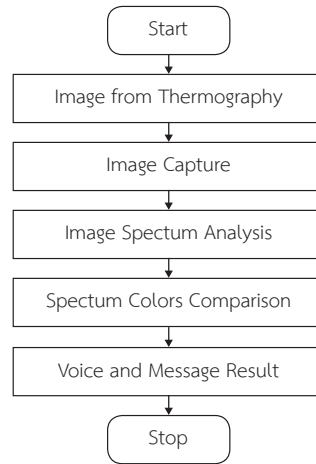
รูปที่ 14 ภาพรวมของ Context Diagram ของระบบ

2.7 ส่วนประกอบของระบบ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ส่วนประกอบระบบ

2.8 ขั้นตอนการทำงานของระบบ ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 การทำงานของระบบ

2.8.1 ขั้นตอนของระบบมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

- 1) การนำเข้าข้อมูลภาพจากกล้องความร้อน
- 2) ทำการตัดภาพนิ่งและนำเข้าประมวลผล
- 3) ทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของสีในระดับพิกเซล

โดยหาจากค่าสี Red และ Green

- 4) ทำการเปรียบเทียบหาระดับความเข้มของสีกับค่าความเข้มของสีต้นแบบที่ใช้เปรียบเทียบตามอัลกอริทึม
- 5) เมื่อทำการเปรียบเทียบและประมวลผลเสร็จระบบจะทำการส่งผลลัพธ์เพื่อให้ทราบว่ามีอุณหภูมิเท่าไร

2.8.2 อัลกอริทึมระบบ

```
imgCapture.Image = imgVideo.Image;
Bitmap bmap = newBitmap(imgCapture.Image);
Color c;
for (int i = 0; i < bmap.Width; i++)
{
    for (int j = 0; j < bmap.Height; j++)
    {
        c = bmap.GetPixel(i, j);
        byte chk_R = (byte)(c.R);
        byte chk_G = (byte)(c.G);
        if ((chk_R >= 246) && (chk_G >= 226))
```



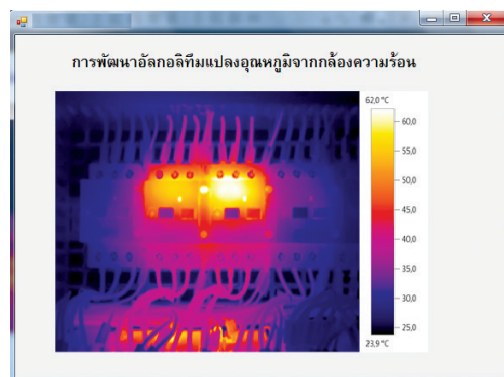
```
{
    Celcias=60;
    text1 = "The temperature is sixty";
}
Else if ((chk_R > =240) && (chk_G > =177))
{
    Celcias=55;
    text1 = " The temperature is fifty five";
}
Else if ((chk_R > =228) && (chk_G > =133))
{
    Celcias=50;
    text1 = " The temperature is fifty";
}
Else if ((chk_R > =210) && (chk_G > =54))
{
    Celcias=45;
    text1 = "The temperature is forty five";
}
Else if ((chk_R > =177) && (chk_G > =18))
{
    Celcias=40;
    text1 = " The temperature is forty";
}
Else if ((chk_R > =124) && (chk_G > =9))
{
    Celcias=35;
    text1 = "The temperature is twenty five";
}
Else if ((chk_R > =61) && (chk_G > =7))
{
    Celcias=30;
    text1 = " The temperature is thirty";
}
Else if ((chk_R > =20) && (chk_G > =5))
```

```
{
    Celcias=25;
    text1 = "The temperature is twenty five";
}
Else if ((chk_R > =1) && (chk_G > =1))
{
    Celcias=20;
    text1 = " The temperature is twenty ";
}
}
SpeechSynthesizer synthesizer = new
SpeechSynthesizer();
synthesizer.Volume = 100;
synthesizer.Rate = 0;
synthesizer.Speak(text1);
```

## 2.9 การออกแบบและพัฒนาระบบ

งานวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาระบบต้นแบบในการแปลงค่าอุณหภูมิออกมาเป็นค่าตัวเลขของวัตถุใดๆ จากกล้องความร้อนโดยใช้โดยใช้โปรแกรม Visual C# มาเป็นเครื่องมือในการออกแบบต้นแบบ และส่วนติดต่อใช้งาน (User Interface) และกล้อง Webcam เป็นอุปกรณ์รับภาพเข้ามาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล

### 2.9.1 การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI) ของระบบ



รูปที่ 17 ภาพรวมของ GUI ของระบบ

ดังรูปที่ 14 Context Diagram ของระบบจะเป็นภาพรวมของระบบโดยจะรับข้อมูลภาพ เข้ามาจากกล้องความร้อนแล้วทำการแปลงค่าความร้อนจากภาพ และส่งรายงานผลออกทางเสียงเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบผลการวัดอุณหภูมิ

2.9.2) โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 18 โครงสร้างของระบบ

ดังรูปที่ 18 การพัฒนาระบบใช้โปรแกรม Visual C ส่วนอุปกรณ์อื่นมี เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล กล้อง และลำโพงมาเป็นเครื่องมือในการออกแบบต้นแบบระบบซึ่งมีหน้าจอดังรูปที่ 17

2.10 การทดสอบระบบ

การวัดประสิทธิภาพของความแม่นยำ และความเที่ยงตรง (Accuracy and Precision) สามารถทำได้โดยการใช้วิธีวัดค่าความแม่นยำ (Accuracy) ซึ่งเป็นการวัดความแม่นยำในการวิเคราะห์ภาพในฐานข้อมูล โดยพิจารณาจากจำนวนภาพที่วิเคราะห์ได้ถูกต้อง เทียบกับจำนวนกลุ่มตัวอย่างภาพทดลองจากภาพมาตรฐานที่ใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบทั้งหมดนำมาคำนวณ แสดงดังสมการ [16]-[20]

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \text{ โดยที่}$$

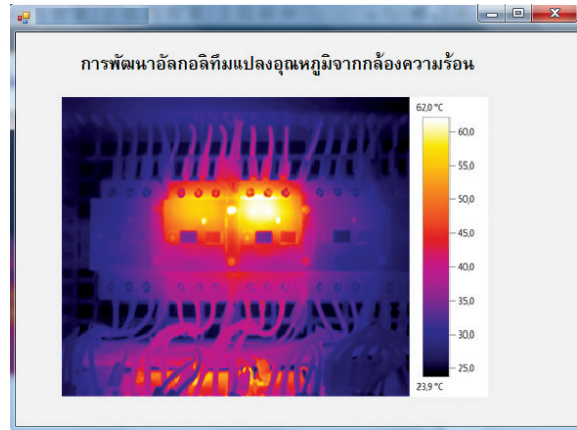
$$Relative \ error = \left| \frac{x_{mea} - x_t}{x_t} \right|$$

$$\%Error = Relative \ error \times 100$$

เมื่อ  $x_{mea}$  คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure Value)

$x_t$  คือ ค่าจริง (True Value)

ISO Definition (ISO 5725)



รูปที่ 19 หน้าจอต้นแบบ

3. ผลการทดลอง

3.1 การพัฒนาระบบ (System Design)

1) หน้าจอการทำงาน (GUI; Graphic User Interface) ดังรูปที่ 19

2) การทดสอบด้วยข้อมูลเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพระบบ (Data Collection and Preparation) ในการวัดอุณหภูมิของซอฟต์แวร์ที่ได้จากกล้องความร้อน กรณีทดสอบจากกลุ่มภาพความร้อนตัวอย่างจากชุดทดลองของภาพ ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยในเชิงปริมาณ และค่าเฉลี่ยในเชิงคุณภาพจากฐานข้อมูลภาพความร้อน 9 กลุ่มตัวอย่างทดลอง กลุ่มละ 10 ภาพ รวมจำนวนตัวอย่างชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบจำนวน 90 ภาพ ต่อไปจะเป็นการนำซอฟต์แวร์นี้ไปวิเคราะห์และประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบ และเป็นการทดสอบเพื่อยอมรับระบบโดยผู้ใช้ (Acceptance Test by User )

ซึ่งกระบวนการประเมินระบบนี้ เป็นการประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพของงานทางระบบสารสนเทศ และซอฟต์แวร์ ซึ่งจะมีการแบ่งการประเมินระบบออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. Function Requirement Test
2. Function Test
3. Usability Test
4. Security Test

แต่ในกรณีนี้ ต้องการทดสอบระบบหาประสิทธิภาพ

กลุ่มชุดข้อมูล	ข้อมูลที่ 1	ข้อมูลที่ 2	ข้อมูลที่ 3	ข้อมูลที่ 4	ข้อมูลที่ 5
1. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C					
2. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C					
3. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C					
4. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 45°C					
5. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C					
6. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 35°C					
7. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 30°C					
8. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 25°C					
9. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 20°C					

รูปที่ 20 ข้อมูลชุดที่ 1 สเปกตรัมความร้อนที่ทดสอบ

ของระบบหรือซอฟต์แวร์อย่างเดี่ยว จึงเลือกใช้การวัดประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยใช้เกณฑ์ทดสอบทางประสิทธิภาพของการทำงานของซอฟต์แวร์คือ แบบทดสอบทาง (Function Test) สำหรับการเตรียมข้อมูลที่ใช้โดยเป็นภาพสเปกตรัมความร้อน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทดสอบข้อมูลภาพจากกล้องเทอร์โมสแกน ซึ่งเป็นภาพที่มีนามสกุล \*.jpg ทั้งหมดจำนวน 90 รูป ขนาด 640 x 480 Pixel แบ่งเป็น 9 กลุ่มตัวอย่างทดลอง กลุ่มละ 10 ภาพ แสดงดังรูปที่ 20-21

- กลุ่มที่ 1 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 2 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 3 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 4 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 5 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 6 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 35°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 7 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 30°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 8 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 25°C 10 ภาพ
- กลุ่มที่ 9 คือภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 20°C 10 ภาพ

### 3.2 การวัดประสิทธิภาพของระบบ (Implementing and Evaluating the System)

ดังตารางที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพ โดยการวัดค่าความแม่นยำ (Precision) ซึ่งเป็นความวัดความแม่นยำใน

กลุ่มชุดข้อมูล	ข้อมูลที่ 6	ข้อมูลที่ 7	ข้อมูลที่ 8	ข้อมูลที่ 9	ข้อมูลที่ 10
1. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C					
2. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C					
3. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C					
4. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 45°C					
5. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C					
6. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 35°C					
7. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 30°C					
8. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 25°C					
9. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 20°C					

รูปที่ 21 ข้อมูลชุดที่ 2 สเปกตรัมความร้อนที่ทดสอบ

การวิเคราะห์อุณหภูมิของภาพสเปกตรัมความร้อน โดยใช่วิธีการทดสอบจากข้อมูลชุดที่ 1 ทดสอบ 9 กลุ่มรูปแบบ ตัวอย่างกลุ่มละ 5 ภาพ รวม 45 ภาพ โดยผลการวัดความแม่นยำในการแปลงสีของสเปกตรัมความร้อนเป็นอุณหภูมิ มีดังนี้

- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 6 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 7 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 8 มีค่าเฉลี่ย 100%
- ความแม่นยำของกลุ่มที่ 9 มีค่าเฉลี่ย 100%

จากการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยรวม 100% ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

ดังตารางที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพ โดยการวัดค่าความแม่นยำ ซึ่งเป็นความวัดความแม่นยำในการวิเคราะห์อุณหภูมิของภาพสเปกตรัมความร้อน โดยใช้ตัวอย่างทดสอบจากข้อมูลชุดที่ 2 ทดสอบ 9 กลุ่มรูปแบบ ตัวอย่างกลุ่มละ 5 ภาพ รวม 45 ภาพ โดยผลการวัดความแม่นยำในการแปลงสีของสเปกตรัมความร้อนเป็นอุณหภูมิ มีดังนี้

**ตารางที่ 6** ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาความแม่นยำจากข้อมูลชุดที่ 1 ทดสอบจำนวน 45 ภาพ

กลุ่มชุดข้อมูล ทดลองที่ 1	จำนวน ข้อมูล	จำนวน ข้อมูล ที่อ่านได้ เที่ยงตรง	Relative Error	%Error	%Accuracy
1. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 60°C	5	5	0	0%	100%
2. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 55°C	5	5	0	0%	100%
3. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 50°C	5	5	0	0%	100%
4. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 45°C	5	5	0	0%	100%
5. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 40°C	5	5	0	0%	100%
6. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 35°C	5	5	0	0%	100%
7. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 30°C	5	5	0	0%	100%
8. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 25°C	5	5	0	0%	100%
9. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 20°C	5	5	0	0%	100%
รวม	45	45	0	0%	100%

ความแม่นยำของกลุ่มที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 5 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 6 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 7 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 8 มีค่าเฉลี่ย 80%  
ความแม่นยำของกลุ่มที่ 9 มีค่าเฉลี่ย 80%  
จากการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยรวม 80% ซึ่งถือว่าเป็น  
ประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี

ดังตารางที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นความวัด  
ความแม่นยำ ในการวิเคราะห์อุณหภูมิของภาพสเปคตรัม

**ตารางที่ 7** ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาความแม่นยำจากข้อมูลชุดที่ 2 ทดสอบจำนวน 45 ภาพ

กลุ่มชุดข้อมูล ทดลองที่ 1	จำนวน ข้อมูล	จำนวน ข้อมูล ที่อ่านได้ เที่ยงตรง	Relative Error	%Error	%Accuracy
1. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 60°C	5	4	0.20	20%	80%
2. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 55°C	5	4	0.20	20%	80%
3. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 50°C	5	4	0.20	20%	80%
4. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 45°C	5	4	0.20	20%	80%
5. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 40°C	5	4	0.20	20%	80%
6. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 35°C	5	4	0.20	20%	80%
7. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 30°C	5	4	0.20	20%	80%
8. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 25°C	5	4	0.20	20%	80%
9. ภาพความร้อน ที่อุณหภูมิ 20°C	5	4	0.20	20%	80%
รวม	45	45	0.20	20%	80%

ความร้อน โดยทดลองใช้ภาพตัวอย่างทดสอบ 9 กลุ่มรูปแบบ  
ตัวอย่างกลุ่มละ 10 ภาพ จำนวน 90 ภาพ จากการทดสอบได้  
ค่าเฉลี่ยรวม 90% ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมาก

ข้อเสนอแนะของระบบเพื่อความเที่ยงตรงของการ  
ทำงานของโปรแกรมควรทดสอบในระยะที่ต่ำกว่า 3 เมตร  
ระหว่างตัวกล้องความร้อนกับวัตถุที่จะทำการวัดค่าอุณหภูมิ  
และห้องควรควรเป็นระบบปิดไม่ควรมีลมผ่านได้เพราะ  
จะเป็นการระบายความร้อนออกจากวัตถุทำให้การวัด  
คลาดเคลื่อนและไม่ควรอยู่ในห้องทำความเย็นเพราะจะทำให้  
ค่าความร้อนที่ออกมาจากวัตถุมีการคลาดเคลื่อนได้และ  
ข้อจำกัดอีกอย่างคือควรเลือกใช้เฉพาะกล้องความร้อนที่เป็น  
อุปกรณ์ที่มีความละเอียดที่ได้มาตรฐานเพื่อความเที่ยงตรง  
ในการใช้งาน

**ตารางที่ 8** ตารางความแม่นยำรวมจากข้อมูลชุดที่ 1 และข้อมูลชุดที่ 2 จากตัวอย่างทดสอบทั้ง 2 กลุ่ม จำนวน 90 ภาพ

กลุ่มชุดข้อมูลทดลองที่ 1	จำนวนข้อมูล	จำนวนข้อมูลที่อ่านได้เที่ยงตรง	%Error	%Accuracy
1. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 60°C	10	9	10%	90%
2. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C	10	9	10%	90%
3. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 50°C	10	9	10%	90%
4. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 45°C	10	9	10%	90%
5. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C	10	9	10%	90%
6. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 35°C	10	9	10%	90%
7. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 30°C	10	9	10%	90%
8. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 25°C	10	9	10%	90%
9. ภาพความร้อนที่อุณหภูมิ 20°C	10	9	10%	90%
รวม	90	81	10%	90%

#### 4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของระบบที่ได้จากการทดสอบด้วยภาพสเปกตรัมความร้อน จากระบบซอฟต์แวร์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น และทดสอบจากกลุ่มภาพความร้อน จากตัวอย่างข้อมูล 90 ชุด ความแม่นยำที่ทดสอบได้มีค่าเฉลี่ยรวม 90% ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี แสดงว่าประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ และแปลงค่าภาพสเปกตรัมความร้อนเทียบกับระดับค่าสีของภาพต้นแบบอยู่ในระดับ ที่ค่อนข้างเที่ยงตรง เนื่องจากข้อมูลชุดที่ 2 มีความหลากหลายของค่าสีจึงทำให้ค่าที่วัดมีค่าเฉลี่ยไม่เที่ยงตรง ต่างกับข้อมูลชุดที่ 1 ที่มีค่าของสีสเปกตรัมคงที่ ค่าที่ได้จึงเที่ยงตรง แต่ค่าที่ได้จากการแปลงค่าสีสเปกตรัมเป็นค่าอุณหภูมิโดยประมาณ อยู่ในค่าของช่วงความร้อนซึ่งค่าที่ได้เป็นค่าโดยเฉลี่ย เป็นค่าความร้อนเฉลี่ยค่าสีของสเปกตรัม

เป็นช่วง ช่วงละ 5°C ดังตารางที่ 6 ที่ใช้เป็นต้นแบบเปรียบเทียบ ทำให้ค่าที่อ่านได้ยังไม่ละเอียดอยู่ในระดับช่วงละ 1°C แม้ว่าตัวระบบที่พัฒนาจะมีความเที่ยงสูงในระดับ 90% ซึ่งผลการทำงานอ่านค่าออกมาได้เป็นช่วงอุณหภูมิช่วงละ 5 องศา ถือว่าเป็นระดับ Scale ที่ยังหยาบไม่ละเอียดถึงระดับ 1°C ในอนาคตควรพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ที่สามารถอ่านหรือวิเคราะห์ค่าที่ได้มีความละเอียดในระดับองศา และควรนำระบบที่พัฒนาไปทดสอบเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาความเที่ยงตรงของระบบที่พัฒนา ซึ่งจะสามารถนำอัลกอริทึมที่พัฒนา ไปประยุกต์ใช้งานด้านการวิเคราะห์และคัดกรองด้วยอุณหภูมิในด้านต่างๆ ต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาการจัดการและเทคโนโลยีสารสนเทศและผู้บริหารทุกท่าน ที่อนุเคราะห์สถานที่อุปกรณ์ ตลอดจนเวลาและงบประมาณในการทำวิจัย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Rogalski, "Recent progress in infrared detector technologies infrared Phys," *Infrared Physics & Technology*, vol. 54, no. 3, pp. 136–154, 2011.
- [2] E. F. J. Ring, "Quality control in infrared thermography," in *Recent Advances in Medical Thermology*, New York: Plenum Press, 1984, pp.185–94.
- [3] L. S. Chan, G. T. Cheung, I. J. Lauder, and C. R. Kumana, "Screening for fever by remote-sensing infrared thermographic camera," *Journal of Travel Medicine*, vol.11 no. 5, pp. 27–39, 2004.
- [4] Y. Okada, T. Kawamata, A. Kawashima, and T. Hori, "Intraoperative application of thermography in extra cranial-intracranial bypass surgery," *Neurosurgery*, vol. 60, no. 2,

- pp. 362, 2007.
- [5] C. Meola and G. M. Carlomagno, "Recent advances in the use of infrared thermography," *Measurement Science and Technology*, vol. 15, no. 9, pp. 27–58, 2004.
- [6] Y. Tuppadung, "Infrared camera technology," Graduate School, Nakhon Ratchasima College, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2011.
- [7] T. L. Willimas, "Thermal imaging cameras and their component parts," in *Thermal Imaging Cameras: Characteristics and Performance*, CRC Press, 2009, pp. 7–33.
- [8] J. K. A. Alderson and E. F. J. Ring, "'Sprite' high resolution thermal imaging system," *Thermology*, vol. 1, pp. 110–114, 1995.
- [9] Jackson Electronics. (2003, December). Thermal Imaging. Jackson Electronics Ltd., Newark, England [Online]. Available: <http://www.jacksonelectronics.co.uk/thermal.htm>
- [10] P. K. Kaiser, "The joy of visual perception," (2016 January), [Online]. Available: <http://www.yorku.ca/eye/spectru.htm>.
- [11] Testo. (2019). Prototype heat image. Testo SE & Co. KGaA, Alton Hampshire, United Kingdom [Online]. Available: <https://www.testo.com/en-UK/>
- [12] J. K. A. Alderson and E. F. J. Ring, "'Sprite' high resolution thermal imaging system," *Thermology*, vol. 1, pp. 110–114, 1985.
- [13] R. C. Simpson, H. C. McEvoy, G. Machin, K. Howell, M. Naeem, P. Plassmann, F. Ring, P. Campbell, C. Song, J. Tavener, and I. Ridley, "In-field-of-view thermal image calibration system for medical thermography applications," *International Journal of Thermophysics*, vol. 29, no. 3, pp. 1123–1130, 2008.
- [14] F. Liebel, S. Kaur, E. Ruvolo, N. Kollias, and M. D. Southall, "Irradiation of skin with visible light induces reactive oxygen species and matrix-degrading enzymes," *Journal of Investigative Dermatology*, vol. 132, no.7, pp. 1901–1907, 2012.
- [15] Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (2016, July). Infrared Thermometer. Technology Promotion Association (Thailand-Japan). Bangkok, Thailand [Online]. Available: [http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?pageid=2&bookID=142&read=true&count=true](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?pageid=2&bookID=142&read=true&count=true).
- [16] P. Pornchaloempong and N. Nunak. (2012, July). Accuracy and Precision. Food Network Solution Co., Ltd. Bangkok Thailand [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4290/precision/>
- [17] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: The an introduction to error analysis the study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2nd edition. University Science Books, 1997, pp. 128– 129.
- [18] *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results--Part 1: General principles and definitions*, ISO 5725-1, 1994.
- [19] *Precision of test methods. Guide for the determination of repeatability and reproducibility for a standard test method*, BS 5497-1, 1979.
- [20] CE. Metz, "Basic principles of ROC analysis," *Semin Nucl Med*, vol.8, no. 4, pp. 283–298, 1978.