รหัสโครงการ: 345495

รหัสข้อเสนอการวิจัย: 2560A11802059

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดพ่วงขนส่งทางราง เพื่อตรวจสอบสภาพของระบบขนส่งทางราง แบบประมวลผลและส่งข้อมูลออนไลน์

Development of Towing System for Rail Transportation to Detect Rail Tracking Status using Data Processing and Online Transmission

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น
ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รหัสโครงการ: 345495

รหัสข้อเสนอการวิจัย: 2560A11802059

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดพ่วงขนส่งทางราง เพื่อตรวจสอบสภาพของระบบขนส่งทางราง แบบประมวลผลและส่งข้อมูลออนไลน์

Development of Towing System for Rail Transportation to Detect Rail Tracking Status using Data Processing and Online Transmission

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น
ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายละเอียดโครงการ

ชื่อโครงการ (ไทย) การพัฒนาชุดพ่วงขนส่งทางราง เพื่อตรวจสอบสภาพของระบบขนส่งทางราง แบบประมวลผลและส่งข้อมูลออนไลน์

ชื่อโครงการ (อังกฤษ) Development of Towing System for Rail Transportation to Detect Rail Tracking Status using Data Processing and Online Transmission

หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

สังกัด สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาชุดพ่วงขนส่งทางราง เพื่อตรวจสอบสภาพของระบบขนส่งทางราง แบบประมวลผลและส่งข้อมูลออนไลน์

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น

หน่วยงานต้นสังกัด สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยฉบับนี้นำเสนอการการพัฒนาชุดพ่วงขนส่งทางราง เพื่อตรวจสอบสภาพของระบบขนส่งทางราง แบบประมวลผลและส่งข้อมูลออนไลน์ เพื่อใช้ในการตรวจสอบระบบราง เพื่อรองรับกับแผนการพัฒนาแห่งชาติ 20 ปี ที่ส่งเสริมระบบการขนส่งทางราง ซึ่งกระบวนการในการตรวจสอบระบบรางนั้นมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการตรวจระวังการเสียหายจากอุบัติเหตุทางราง โดยในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบการตรวจวัด ระยะของรางด้วยเซนเซอร์อัลตร้าโซนิค จำนวน 2 ชุด เพื่อทำการวัดระยะของรางจากกึ่งกลางของรถทดสอบระบบราง ด้านซ้ายและด้านขวา เพื่อเปรียบเทียบระยะห่างของรางทั้งสองด้าน และทำการตรวจสอบการนำไฟฟ้า และ การสึกหรอ จากการเสียดสี และการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าไปที่รางรถไฟ หรือที่บาร์แรงดันไฟสูงด้านบน เพื่อดูความผิดปกติของการนำกระแสไฟฟ้า โดยทำการวัดในรูปของภาพถ่ายความร้อน โดยเครื่องต้นแบบทำการตรวจวัดและการเก็บตำแหน่งพิกัด ด้วย GPS ในการบันทึกข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่1 เป็นส่วนของ off-line จะทำการบันทึกลำดับพิกัด และไฟล์ภาพความร้อน ในเมมโมรี่การ์ด เพื่อที่จะนำปประมวลผลในภายหลัง และส่วนที่ 2 จะทำการระบุค่าตำแหน่งพิกัด และลำดับพิกัดตำแหน่ง GPS และค่าระยะห่างของราง ด้านซ้ายและขวา เพื่อใช้ในการตรวจสอบแบบออนไลน์ โดยทำการส่งผ่านสัญญาณไร้สายด้วย NB-IOT เป็นการตรวจสอบระบบรางแบบออนไลน์

คำสำคัญ : รถไฟฟ้าความเร็วสูง, รถตรวจระบบราง

Research Title: Development of Towing System for Rail Transportation to Detect Rail Tracking Status using Data Processing and Online Transmission
Researcher: Asst.Prof.Dr. Suapan Tungjitkusolmun
Faculty: Engineering
Department: Electronics Engineering

ABSTRACT

This research project presents the development of rail transport trailers. To check the condition of the rail transport system online data processing and delivery for use in the inspection of rail systems. To support the 20-year national development plan that promotes the rail transport system The process of checking the rail system is very necessary. Because it is a careful examination of damage from rail accidents in this research, we will design the measurement. Trough distance with 2 sets of ultrasonic sensors to measure the distance of the rail from the center of the vehicle. Test the rail system left and right, to compare the distance of the rails on both sides And conducting electrical conductivity and abrasion wear And transmission of electrical energy to the railway tracks Or at the top high pressure bar To see the electrical conductivity disorder By measuring in the form of thermal images The prototype is measured and GPS coordinates are stored. The data is divided into 2 parts. Part 1 is off-line. The coordinates are recorded. And thermal image files in the memory card in order to be processed later and part 2 will specify the coordinates position And GPS coordinates and rail distance Left and right. For use in online auditing by transmitting via wireless signal with NB-IOT to check the rail system online.

Keywords : : Hi-speed Train , Railway inspector

สารบัญ

รายละเอียดโครงการ i
บทคัดย่อ ii
ABSTRACT iii
สารบัญ iv
สารบัญภาพ vi
สารบัญตาราง viii
กิตติกรรมประกาศ ix
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 2
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย 3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 อัลตราโซนิค 4
2.2 อัลตราโซนิคเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor) 4
2.2.1 หลักการตรวจจับของอัลตราโซนิคเซนเซอร์ 6
2.2.2 หลักการทำงานของอัลตราโซนิคเซนเซอร์ 8
2.2.3 การจัดวางตำแหน่งของเซนเซอร์ 10
2.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน 12
2.3.1 รังสีอินฟราเรด (Infrared ray) 13
2.3.2 กฎของพลังค์ (Plank’s Law) 13
2.3.3 กฎของสเตฟาน-โบลท์ซมันน์ (Stefan-Boltzman's Law) 14
2.3.4 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน 15
2.3.5 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ 16
2.4 การถ่ายภาพความร้อนในสายส่งไฟฟ้า 18
2.4.1 พารามิเตอร์สายส่งที่ขึ้นกับอุณหภูมิ 18
2.4.2 ประโยชน์ในการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในระบบสายส่งไฟฟ้า 19

2.4.3 การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจสอบสายส่ง 21
2.5 การสื่อสารไร้สายแบบ IOT 23
2.6 ความร้อนจากการนำกระแสไฟฟ้า 27
2.6.1 วัสดุกำเนิดความร้อน 28
2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง 29
บทที่ 3 33
การดำเนินการ 33
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 43
4.1 ผลการทดลองด้านแบบจำลอง 43
4.2 ผลการทดลองด้านการตรวจสอบความร้อน 44
4.3 ผลการทดลองด้านการวัดการขยายตัวของราง 52
บทที่ 6 55
สรุปผลการดำเนินการโครงการวิจัย 55

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 แสดงรถไฟฟ้า สำหรับตรวจสอบระบบทางรางในประเทศญี่ปุ่น Dr. Yellow 2
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างอุปกรณ์อัลตราโซนิคเซนเซอร์ 5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการดูค่า Dead zone ในคู่มือของอัลตราโซนิคเซนเซอร์ 6
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิคในแต่ละช่วงความถี่ 8
รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมภายในอัลตราโซนิคเซนเซอร์ 9
รูปที่ 2.6 การเว้นระยะห่างของอัลตราโซนิคเซนเซอร์ 10
รูปที่ 2.6 มุมในการตกกระทบของคลื่นกับชิ้นงาน (Target Angle) 11
รูปที่ 2.7 การติดตั้งอัลตราโซนิคเซนเซอร์ที่ถูกต้องที่วัตถุดิบเป็นของแข็ง 11
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกล้องถ่ายภาพความร้อน 12
รูปที่ 2.10 การถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุในรูปแบบรังสีอินฟราเรด 15
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน 16
รูปที่ 2.11 แสดงค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุชนิดต่างๆ 17
รูปที่ 2.12 การถ่ายภาพความร้อนจากการจับรังสีอินฟราเรด 18
รูปที่ 2.14 การปรับโหมดสีแสดงอุณหภูมิของผลภาพถ่ายความร้อน 21
รูปที่ 2.15 ข้อโดดเด่นของ NB-IOT 23
รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของ LORA ที่เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อการส่งข้อมูล 24
รูปที่ 2.17 รูปสเปกตรัมทางความถี่ของการสื่อสาร LORa 25
รูปที่ 2.18 ระดับความแรงสัญญาณ LoRa และเทคนิคในการมอดูเลชั่น 25
รูปที่ 2.19 เทคนิคในการมอดูเลชั่น Modulation Setting 26
รูปที่ 2.20 แสดงการนำความร้อนจากการเดินกระแสไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้าแรงสูง 29
รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบของการสร้างชุดตรวจระบบราง 33
รูปที่ 3.2 แสดงรูปผังการทำงานของงานวิจัยที่ใช้ในการตรวจระบบราง 34
รูปที่ 3.3 แสดงรถตรวจรางต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนา 34
รูปที่ 3.4 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดตรวจระยะห่างของรางรถไฟ 35
รูปที่ 3.5 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดตรวจระยะห่างของรางรถไฟ(ต่อ) 36
รูปที่ 3.6 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดระบุตำแหน่งและ NB-IOT 37

รูปที่ 3.7 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดประมวลผลหลัก..... 38
รูปที่ 3.8 แสดงการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ(ด้านหน้า) 39
รูปที่ 3.9 แสดงการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ(ด้านหลัง)..... 40
รูปที่ 3.10 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดวัดระยะทางอัลตร้าโซนิค..... 41
รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนในการทำวิจัย..... 42
รูปที่ 4.1 แสดงแบบจำลองรถรางสำหรับตรวจสอบรางรถไฟ..... 43
รูปที่ 4.2 แสดงการตรวจจับความร้อนที่รางในตำแหน่งที่ไม่เกิดการสัมผัส..... 44
รูปที่ 4.3 แสดงผลความร้อนที่เกิดบริเวณพื้นผิวของราง 44
รูปที่ 4.4 แสดงการตรวจจับความร้อนที่รางในตำแหน่งเกิดการสัมผัส 45
รูปที่ 4.5 แสดงผลความร้อนที่เกิดบริเวณพื้นผิวของราง 46
รูปที่ 4.6 แสดงเซนเซอร์การตรวจวัดความร้อนของราง..... 47
รูปที่ 4.7 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ผิดปกติ)..... 48
รูปที่ 4.8 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ปกติ) 49
รูปที่ 4.9 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ผิดปกติ)..... 50
รูปที่ 4.10 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ผิดปกติ) 51
รูปที่ 4.11 แสดงการวัดระยะระหว่างรางรถไฟจากจุดศูนย์กลางรถราง 52
รูปที่ 4.12 แอปพลิเคชั่นแสดงการวัดระยะผ่านเครือข่าย NBIoT..... 52
รูปที่ 4.14 แสดงการระบุตำแหน่งของรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดระยะราง..... 53
รูปที่ 4.15 แสดงการระบุตำแหน่งในการวัดระยะรางตำแหน่งแผนที่..... 54

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบภาคสนาม 54

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเงินทุนในการพัฒนางานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

บทที่ 1
บทนำ

ในอนาคตของประเทศไทย ระบบขนส่งทางรางได้ถูกวางแผนในการเพิ่มศักยภาพในการขนส่งประชากร และ สินค้า จากภูมิภาค เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายในภูมิภาคอาเซียน ระบบขนส่งทางรางได้เป็นที่ยอมรับแล้วว่า เป็นระบบทีมีค่าใช้จ่ายต่อการขนส่งที่ต่ำที่สุด และเป็นระบบการขนส่งหลักในการนำพาความเจริญสู่ภูมิภาค สามารถลดปัญหา ในการเข้ามาอยู่ในเมืองของผู้คน และยังกระจายความเจริญสู่ภูมิภาค ในประเทศญี่ปุ่น หลังจากสงครามโลกครั้งที่สอง ประเทศญี่ปุ่นได้ตัดสินใจในการพัฒนาระบบขนส่งทางราง โดยคิดว่าเป็นวิธีการที่จะทำให้ประเทศฟื้นตัวเร็วที่สุดหลังสงคราม ในปัจจุบัน เราคงได้เห็นแล้วว่า ประเทศญี่ปุ่นถึงแม้จะมีภูมิประเทศ ที่ไม่เอื้อความสะดวกให้กับการเดินทาง คือ ประเทศญี่ป่นมีลักษณะประเทศ ที่มีภูเขาและ ทะเล ทะเลสาบ เป็นส่วนใหญ่ ถ้าไม่นำเอาระบบการขนส่งทางรางมาเป็นตัวเชื่อม แต่ละภูมิภาคเข้าด้วยกัน ก็จะไม่สามารถนำพาการพัฒนาประเทศได้เพียงนี้ เช่นเดียวกัน กับประเทศเพื่อนบ้านเรา สิงค์โปร ถึงแม้ประเทศจะมีขนาดเล็ก ก็นำเอาระบบขนส่งทางรางมาใช้ ลดการใช้รถยนต์ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการใช้พลังงาน และ ต้องคำนึงถึงสถานที่จอด ทำให้ประเทศที่มีความเจริญ ทุกประเทศ ระบบขนส่งทางรางจะเป็นระบบขนส่งหลัก ของประเทศ ในประเทศไทย ได้มีการวางโครงสร้างของประเทศในอนาคต จะนำเอาระบบขนส่งทางรางมาใช้ ในการเชื่อมต่อภูมิภาค เข้าด้วยกัน ระบบขนส่งทางราง สิ่งที่ตามมาคือ ระบบการตรวจสอบและบำรุงรักษา มีความจำเป็นอย่างมาก ถึงแม้หลังจากที่มีการติดตั้งระบบขนส่งทางรางแล้ว จะมีการประกันในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แต่หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาในการรับประกัน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาหลังประกันจะมีมูลค่าที่สูงมากๆ งานวิจัยชุดนี้ เป็นการพัฒนาระบบตรวจสอบ ระบบขนส่งทางราง เช่นเดียวกับประเทศญี่ปุ่น ที่มีรถไฟฟ้า หรือ รถไฟ ที่ทำหน้าที่วิ่งตรวจสอบ รถไฟดังกล่าวมีชื่อว่า ‘ Dr. Yellow” จะทำการวิ่งตรวจสภาพของราง ต่างๆ โดยใช้เครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ในการตรวจสอบ ทางทีมผู้วิจัย จะสร้างชุดตรจสอบระบบทางราง ตามมาตรฐานที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น โดย จะสร้างนวัตกรรมที่แตกต่างกัน ไม่ใช่การคัดลอก จะสร้างชุดระบบพ่วง เพื่อพ่วงไปกับรถไฟ เพื่อตรวจสภาพระบบราง แล้วมีการเก็บผลข้อมูลแบบออนไลน์ และออฟไลน์ ระบบสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อช่วยในการบำรุงรักษาและ ซ่อมแซมได้ เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหาย จากสภาพรางไม่พร้อมใช้งาน ดังที่เราได้พบเห็นข่าวสารว่า เมื่อเกิดรถไฟ ตกราง จะทำให้เกิดความสูญเสียชีวิตร และ ทรัพย์สิน และเวลาในการแก้ปัญหา ต้องใช้ระยะเวลา ฉะนั้น เมื่อเกิดปัญหาจะทำให้ระบบขนส่งทางรางในสายนั้น เกิดการหยุดทั้งสาย เนื่องมาจากในประเทศไทยในปัจจุบัน ยังไม่ได้มีการวางระบบแบบรางคู่ ถึงแม้ในอนาคตจะมีการวางระบบแบบรางคู่ ถ้าเกิดการตกราง ก็จะต้องหยุดให้บริการ ในเส้นทิศทางที่เกิดตกรางเช่นกัน ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องมีระบบที่คอยตรวจสอบอยู่สม่ำเสมอ โดยระบบจะถูกต่อพ่วงไปกับขบวนรถไฟ สายต่างๆ แล้วมีการเก็บข้อมูลหรือ ส่งข้อมูลมาตลอดยังศูนย์บันทึกและประมวลผล ในพื้นที่ ที่ไม่สามารถส่งข้อมูลมาได้ ก็จะมีการบันทึกข้อมูลไว้ตลอดทุกตำแหน่งพิกัด เมื่อมาถึงสถานีปลายทางระบบจะมีการอัพโหลดข้อมูลอัตโนมัติ ไปยัง

ศูนย์กลาง ระบบที่ทำการพัฒนามีความเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย เนื่องจากใช้บุคคลกรน้อย ระบบสามารถประมวลผลพร้อมทั้งแจ้งเตือนอัตโนมัติ ทำให้ระบบการขนส่งทางรางมีประสิทธิภาพ และปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 1 แสดงรถไฟฟ้า สำหรับตรวจสอบระบบทางรางในประเทศญี่ปุ่น Dr. Yellow

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- โครงการวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา อุปกรณ์ขั้นสูง ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

สร้างรถพ่วงราง เพื่อใช้พ่วงในการตรวจสอบระบบขนส่งทางราง ซึ่งประกอบด้วย

1. ชุดตรวจสอบระยะราง
2. ชุดตรวจสอบความผิดปกติของราง
3. ชุดตรวจสอบระบบความผิดปกติในการใช้งานไฟฟ้า
4. ระบบประมวลผลความเร็วสูง
5. ระบบบันทึกฐานข้อมูล
6. ระบบการส่งข้อมูลแบบไร้สายระยะไกล
7. ระบบการระบุพิกัดของตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

สร้างชุดระบบตรวจสอบทางราง โดยในระบบจะประกอบไปด้วยชุดตรวจสอบที่มีความแม่นยำถูกต้องสูง โดยทางทีมผู้วิจัยจะพัฒนา เป็นชุดพ่วงท้ายขบวนรถไฟที่จะทำการตรวจสอบ ระบบจะทำการตรวจสอบ สภาพราง การนำไฟฟ้า ความผิดปกติ ของสภาพราง ระบบจะทำการเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ส่งข้อมูลมาเก็บยังศูนย์กลาง เพื่อช่วยในการประมวลผลแบบ Real Time พร้อมทั้งมีการเก็บข้อมูลลงแบบออฟไลน์ด้วย ข้อมูลที่เก็บประกอบด้วย ตำแหน่ง GPS ระยะห่างราง สภาพการนำไฟฟ้า สภาพของราง

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อัลตราโซนิค

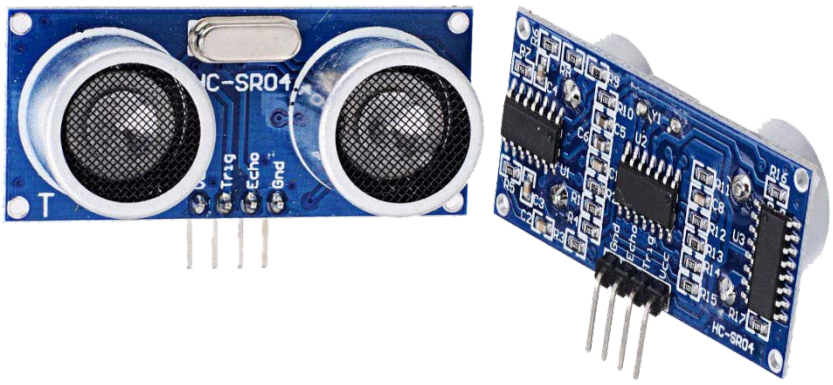
อัลตราโซนิค (Ultrasonic) หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อย ๆอาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตร้าโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตร้าโซนิคมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นทีมีทิศทางทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยมีทิศทางที่แน่นอนและเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมายคลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้น มาอยู่ในย่านอัลตร้าโซนิค อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มากคลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็น ลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า“มีทิศทาง”

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตร้าโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยสังเกตระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (109 Hz) ก็มีใช้กันในหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางคลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

2.2 อัลตราโซนิคเซนเซอร์ (Ultrasonic Sensor)

อัลตราโซนิคเซนเซอร์ คือ เซ็นเซอร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับวัดวัตถุต่างๆ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นความถี่เสียง และ คำนวณหาค่าระยะทางได้จากการเดินทางของคลื่นและนำมาเทียบกับเวลา ด้วยกลไกดังกล่าวทำให้เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่างๆได้อย่างมากมาย เช่น งานวัดระดับน้ำ งานตรวจจับชิ้นงาน งานตรวจจับความหนาของวัตถุ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างอุปกรณ์อัลตราโซนิคเซนเซอร์

ที่มา : http://www.robotwinner.com/product/44/hc-sr04-ultrasonic-distance-sensor

คลื่นความถี่ที่ใช้ในตัว อัลตราโซนิคเซนเซอร์ คือ คลื่นความถี่เสียงในช่วง Ultrasound ซึ่งเป็นคลื่นความถี่เสียงที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน โดยมีย่านความถี่ตั้งแต่ 20 KHz ขึ้นไป ซึ่งข้อดีของการใช้อัลตราโซนิคเซนเซอร์ ในการตรวจจับวัตถุนั้น คือ เรื่องของการเดินทางของคลื่น Ultrasound ทีสามารถเดินทางผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ แก๊ส ของเหลว หรือ ของแข็งได้ ยกเว้นในสภาวะสุญญากาศ ทำให้สามารถใช้งานตรวจจับวัตถุได้หลากหลายและสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี

ทั่วไปนิยมใช้อัลตราโซนิคเซนเซอร์สำหรับการวัดระยะทาง (distance measurement) ของวัตถุหรือการวัดระดับ (level measurement) ของเหลว สามารถใช้งานกับวัตถุทั้งชนิดโลหะและอโลหะทุกเฉดสี โปร่งใส โปร่งแสงหรือทึบแสง ตรวจจับวัตถุได้หลายขนาด ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีคุณสมบัติการยืดหยุ่นหรือคุณสมบัติการดูดซับเสียง เช่น ผ้า ฝุ่นผง โฟมหรือฟองน้ำ ซึ่งจะดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้สะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ และเนื่องจากลักษณะการสะท้อนกลับของเสียงขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบที่ทำให้เสียงกระจายไปในทิศทางต่าง ๆ จึงไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นก้อนๆไม่สม่ำเสมอ ผลที่ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตราโซนิกที่ใช้กับวัตถุลักษณะนี้จะมีความเที่ยงตรง (precision) ต่ำ สำหรับวัตถุที่มีผิวเรียบคลื่นเสียงที่มาตกกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากพื้นผิวนั้นอย่างมีระเบียบ ค่าความเที่ยงตรงที่ได้จากการวัดจะมีค่าสูงมากกว่า โดยตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุจะให้ประสิทธิภาพในการสะท้อนคลื่นกลับมายังตัวรับมากที่สุด

ในสภาวะแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองหรือมีไอน้ำในอากาศ เสียงอาจถูกดูดซึมไปบ้างและสูญเสียพลังงานไปในรูปของพลังงานความร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ชนิดแสง (optical sensor/photo sensor) เซนเซอร์ชนิดนี้ได้รับผลกระทบจากละอองไอน้ำที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัตถุ พบว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิ (temperature) สูงจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของ

การวัดขึ้น โดยทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง ผลที่ได้จะไม่แน่นอน เนื่องจากเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความเร็วสูงกว่าเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

การติดตั้งเซนเซอร์ชนิดใช้เสียงตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต้องระวังการสอดแทรกหรือการกวนกันของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัว โดยระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์พิจารณาจากรัศมีของการแผ่กระจายคลื่นความถี่ที่ส่งออกไป และในการติดตั้งเซนเซอร์ต้องระวังมุมอับที่สัญญาณเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือเรียกว่า บริเวณ "blind zone หรือ dead zone" โดย dead zone นี้ เกิดจากระยะที่รอการเดินทางของคลื่นที่ส่งออกไป เพื่อที่จะให้ตัวเซ็นเซอร์สามารถรับคลื่นเสียงได้อย่างถูกต้อง เราสามารถดูค่า Dead Band ของเซ็นเซอร์ได้จากคู่มือของตัวเซ็นเซอร์

Type	STD-34J SBD-34J	STD-33J SBD-33J	STD-31J SBD-31J
Maximum measuring distance* (X_M) m/feet	15/49	30/98	60/196
Minimum measuring distance* (X_m) m/feet	Dead Band 0.6/2	0.6/2	1/3,33
Total beam angle (at -3dB)	5°		
Measuring frequency	30 kHz		15 kHz
Weight	7 kg		10 kg

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการดูค่า Dead zone ในคู่มือของอัลตราโซนิคเซนเซอร์

ที่มา : https://www.factomart.com/th/factomartblog/how-to-setup-a-ultrasonic-sensor/

2.2.1 หลักการตรวจจับของอัลตราโซนิคเซนเซอร์

จากที่ทราบกันว่าอัลตราโซนิคเซนเซอร์ทำงานโดยใช้หลักการสะท้อนคลื่นเสียงในช่วง Ultrasound เราจึงจำเป็นต้องทราบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตรวจจับเพื่อให้สามารถใช้งานเซ็นเซอร์ชนิดนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของคลื่นชนิดนี้ก่อน โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

1. ความยาวคลื่นและการแพร่ของการกระจายคลื่น (Wavelength and Radiation)
   ความเร็วในการเดินทางของคลื่นนั้นขึ้นอยู่กับความความถี่ และความยาวคลื่น โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะมีความเร็วอยู่ที่ $3x10^8$m/s แต่สำหรับคลื่นเสียงนั้น จะช้ากว่าของคลื่นแม่เล็กไฟฟ้ามาก โดยในอากาศจะมีความเร็วอยู่ที่ประมาณ 344 m/s ที่อุณหภูมิ 20°C โดยที่อ้างอิงเรื่องอุณหภูมินั้น เนื่องจากว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเดินทางของคลื่นเสียงด้วย โดยที่ความเร็วต่ำๆ นี้ ความยาวคลื่นจะสั้น ซึ่งหมายความว่าจะมีความละเอียดในการวัดค่าระยะทาง และการกำหนดทิศทาง เพราะว่าที่ความละเอียดสูง สามารถวัดค่าได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น
2. การสะท้อนของคลื่น (Reflection)
   เป็นการพูดถึงการตรวจจับการมีหรือไม่มีของวัตถุที่ถูกคลื่นสะท้อนกลับมา สำหรับวัตถุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก ไม้ ปูน แก้ว ยาง หรือกระดาษ จะมีความสามารถในการสะท้อนคลื่น 100% ดังนั้น การตรวจจับวัตถุประเภทนี้จึงเป็นเรื่องง่ายสำหรับการใช้ Ultrasonic Sensor ในการตรวจจับ แต่สำหรับ สำลี ขนสัตว์ หรือใยแก้วนั้น ยากที่จะใช้เซ็นเซอร์

ประเภทนี้ในการตรวจจับเพราะว่ามีการดูดกลืนคลื่น ซึ่งจะเกิดขึ้นอยู่บ่อยๆ กับการตรวจจับชิ้นงานที่มีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ และไม่เรียบ

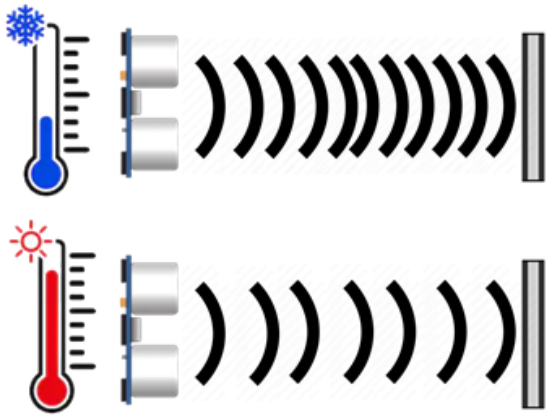
3. ผลกระทบทางด้านอุณหภูมิ (Effects of Temperature)

ในการใช้งานตัวเซ็นเซอร์วัดระยะทางแบบ Ultrasonic Sensor ควรจะต้องพิจารณาเรื่องผลกระทบทางด้านอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของเซ็นเซอร์ โดยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการ

$$c = 311.6 + 0.607t\ (m/s) \qquad \text{(สมการที่ 1)}$$

โดยที่ c คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเสียง

t คือ ค่าอุณหภูมิ ณ ขณะนั้น °c

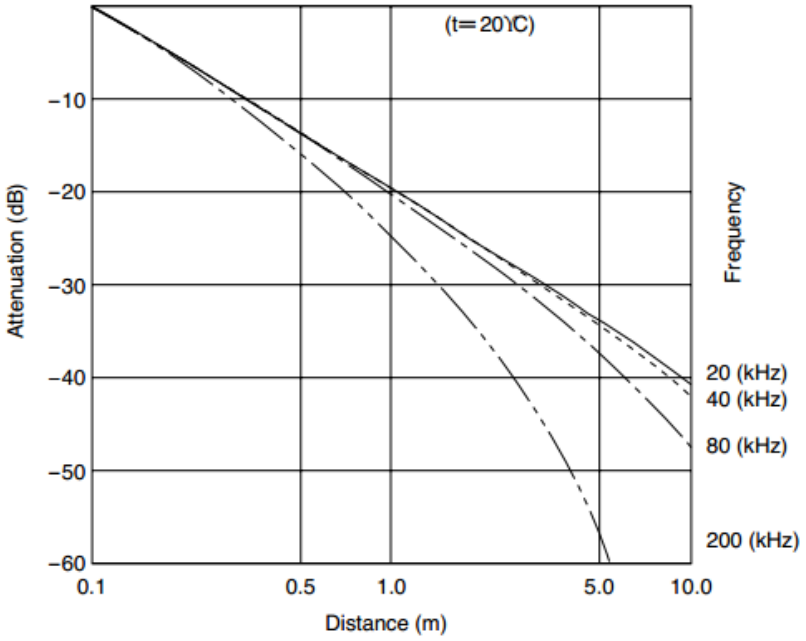


รูปที่ 2.3 ผลกระทบทางด้านอุณหภูมิและความชื้น

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเสียงนั้น จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งอัลตร้าโซนิคเซ็นเซอร์นั้นจะใช้หลักการการสะท้อนของคลื่นเสียงกับวัดถุ แล้วหาค่าเวลา ซึ่งถ้าความเร็วคลื่นเสียงไม่คงที่แล้วอาจทำให้การวัดค่ามีความคลาดเคลื่อนได้

4. การลดทอนของคลื่น (Attenuation)

สามารถเกิดขึ้นได้ทุกเวลา ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม รวมถึงชนิดและพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งการส่งคลื่นอัลตร้าโซนิคแบบเส้นตรงไปในอากาศ จะมีการลดทอนที่เกิดจากระยะทางในการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง นอกจากนี้โครงสร้างและลักษณะของชิ้นงาน หรือวัตถุที่ต้องการตรวจจับก็มีผล เช่น วัสดุพื้นผิวโค้ง จะทำให้การสะท้อนกลับของคลื่นเป็นแบบกระจัดกระจายยากต่อการทำงานของตัวรับ หรือเกิดการดูดกลืนคลื่นจากชิ้นงาน นอกจากนี้ความถี่ที่ใช้งานก็มีผลต่อการลดทอนเช่นกัน โดยความถี่สูงอาจทำให้เกิดการลดทอนได้มากกว่าความถี่ต่ำ



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงการลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิคในแต่ละช่วงความถี่

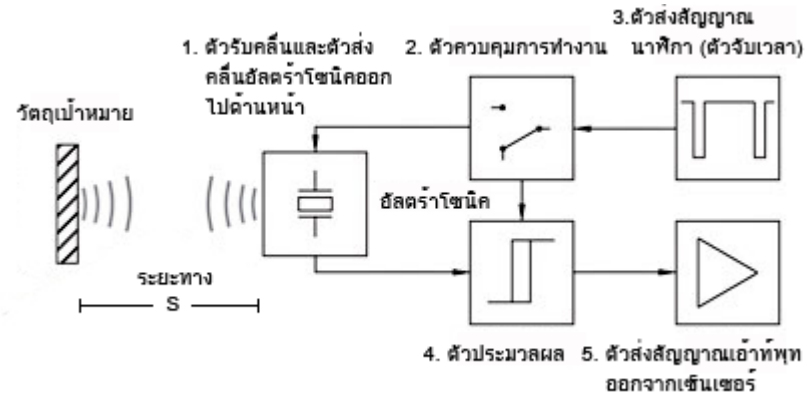
ที่มา : https://www.murata.com/

5. ความถี่ของอัลตราโซนิคเซนเซอร์ (Frequency of Ultrasonic Sensor)
   คือ ความถี่ที่เกิดจากการสั่นของ Piezoelectric Ceramics หลังจากที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าไปที่ตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งความถี่ที่นิยมนำมาใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้งาน โดยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับระยะทางที่ต้องการตรวจจับ กับความละเอียดในการวัด เช่น ในงานอุตสาหกรรม จะนิยมใช้อัลตร้าโซนิคแบบความถี่สูงตั้งแต่ 70kHz ขึ้นไป เนื่องจากมีความเที่ยงตรงกว่าแบบความถี่ต่ำ แต่จะมีข้อเสียตรงที่ระยะทางที่ได้จะใกล้กว่า ซึ่งปัจจุบันมี Ultrasonics ของ Banner สามารถทำความละเอียดได้สูงถึง 0.5 mm.

2.2.2 หลักการทำงานของอัลตราโซนิคเซนเซอร์

อัลตราโซนิคเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้คลื่นเสียงในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ โดยส่วนประกอบของตัวเซนเซอร์จะประกอบด้วย

1. ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิคและตัวรับคลื่นอัลตราโซนิค (ทรานสดิวเซอร์)
2. ตัวควบคุมการทำงาน
3. ตัวส่งสัญญาณนาฬิกา
4. ตัวประมวลผล
5. ตัวส่งสัญญาณเอ้าท์พุท



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมภายในอัลตราโซนิคเซนเซอร์

ตัวเซนเซอร์จะทำงานโดย ตัวส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณนาฬิกาไปที่ตัวคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมการแปลงสัญญาณ แล้วส่งไปต่อที่ตัวอัลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนคือ ตัวส่งและตัวรับ ตัวส่งจะสร้างคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค จากสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งคลื่นเสียงความถี่สูงหรืออัลตร้าโซนิคออกไปเป็นแนวตรง และเมื่อคลื่นเสียงอัลต้าโซนิคไปกระทบกับวัตถุใดๆ ตามหลักการของคลื่นเสียง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน คลื่นเสียงจะถูกสะท้อนกลับมาที่ตัวรับคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิค เมื่อตัวรับได้รับคลื่นเสียงที่ถูกสะท้อนกลับมาแล้ว ตัวรับจะแปลงคลื่นเสียงอัลตร้าโซนิคนั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งต่อ ให้ตัวประมวลผล ตัวประมวลผลจะทำการคำนวนค่าระยะห่างจากระยะทางที่คลื่นเสียงเดินทางไปและเดินทางกลับอย่างแม่นยำ และส่งค่าที่คำนวนได้ไปให้ตัวส่งสัญญาณเอ้าท์พุท เพื่อส่งสัญญาณเอ้าท์พุทไปให้อุปกรณ์อื่นต่อไป ซึ่งหลักการคำนวณจะเป็นดังสมการ

$$s = vt \qquad \text{(สมการที่ 2)}$$

โดยที่ s คือ ระยะทาง
v คือ ความเร็วของคลื่นเสียง
t คือ ระยะเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางทั้งหมด

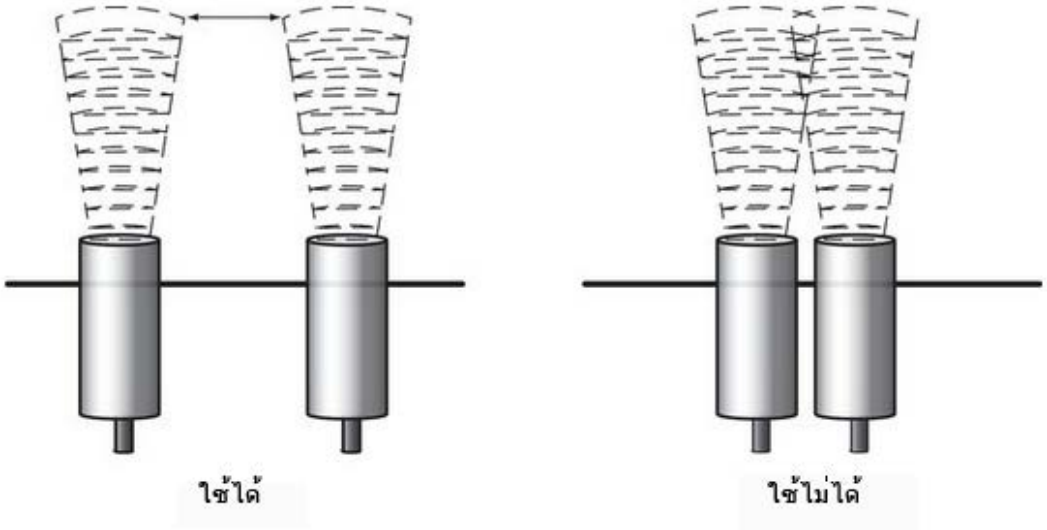
ซึ่งหลักการวัดระยะห่างของเซนเซอร์ชนิดอัลตร้าโซนิคนี้ มีประโยชน์เป็นอย่างมากเนื่องจากสามารถนำไปตรวจจับวัตถุได้เกือบทุกประเภท เหมาะสำหรับการวัดระยะสิ่งของที่อยู่ระยะไกลมากๆ ในสภาวะอากาศที่เลวร้าย มีความสกปรกมากหรือมีฝุ่นมาก และยังสามารถใช้กับวัตถุที่เป็นของเหลว วัตถุที่มีพื้นผิววัตถุเป็นแบบมันวาว โปร่งแสงหรือโปร่งใส ซึ่งเซนเซอร์ชนิดอื่นจะทำได้ไม่ดีเทียบเท่ากับอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ เนื่องจากการใช้คลื่นเสียงในการทำงาน ทำให้ไม่ถูกรบกวนด้วยสิ่งต่างๆ ที่กล่าวมากข้างต้น แต่ก็มีวัตถุบางประเภทที่ไม่เหมาะจะนำอัลตร้าโซนิคเซนเซอร์ไปใช้จับระยะทาง เช่น

1. วัตถุที่สามารถดูดซับเสียงได้เช่น ผ้า หรือโฟมต่างๆที่มีคุณสมบัติสามารถดูดซับเสียงได้เป็นอย่างดี

2. ไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับวัตถุขนาดเล็กมากจนเกินไปเนื่องจากหน้าสัมผัสของวัตถุที่มีน้อยจึงสะท้อนคลื่นเสียงกลับมาได้น้อย ทำให้การคำนวนระยะทางหรือตำแหน่งอาจจะไม่แม่นยำเท่าที่ควร ซึ่งวัตถุที่มีขนาดเล็กนั้นแนะนำให้ใช้ โฟโต้อิเล็ก ทริกเซนเซอร์ (Photoelectric Sensors)

2.2.3 การจัดวางตำแหน่งของเซนเซอร์

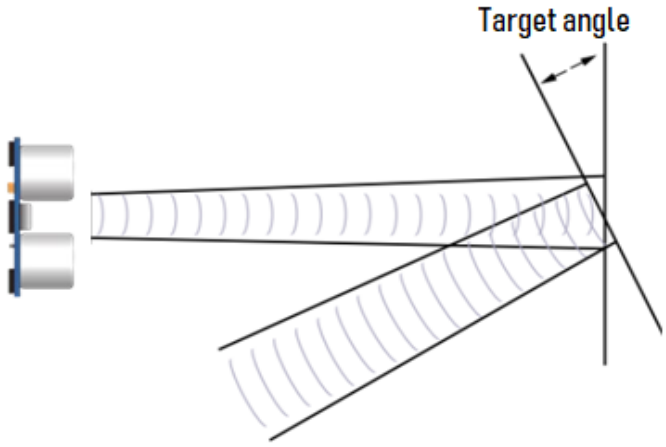
การเว้นระยะห่างของตัวเซนเซอร์ อัลตร้าโซนิคเซนเซอร์เป็นเซนเซอร์ที่ใช้การส่งคลื่นเสียงในการทำงานทำให้ต้องมีการเว้นระยะห่างของตัวเซนเซอร์ ดังรูป ที่ 2.5



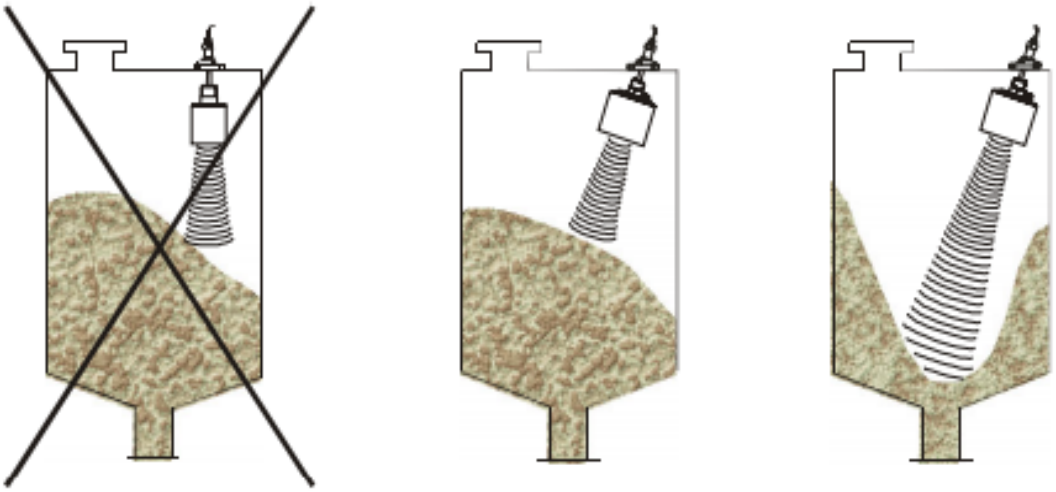
รูปที่ 2.6 การเว้นระยะห่างของอัลตราโซนิคเซนเซอร์

ที่มา : https://www.supremelines.co.th

จะเห็นว่าเราควรเว้นระยะห่างของเซนเซอร์ เพื่อไม่ให้คลื่นเสียงที่ส่งออกไปมีการรบกวนกัน เพื่อประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจจับของตัวเซนเซอร์ การวางสิ่งของที่จะทำการตรวจจับนั้นมีความสำคัญมากเนื่องจากถ้าติดตั้งไม่ดี หรือ ไม่ถูกต้องอาจจะทำให้เกิดมุมกระทบกับวัตถุที่เกินกว่าคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ที่จะสามารถรับและทำงานได้ โดยสามารถดูตัวอย่างการติดตั้งได้ให้มีระนาบที่จะสามารถสะท้อนคลื่นเสียงที่ส่งไปกลับมาได้ ตามคุณสมบัติของคลื่นเสียงที่ว่า มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ซึ่งวัตถุหรือชิ้นงานที่มีลักษณะแบนและทำมุมที่ตั้งฉากกับแกนของคลื่น จะทำให้การสะท้อนพลังงานเสียงไปยังเซ็นเซอร์เกิดขึ้นได้มากที่สุด ดังนั้นถ้ามุมของวัตถุเพิ่มมากขึ้น พลังงานโดยรวมจะส่งกลับไปยังเซ็นเซอร์ได้น้อยลง สำหรับ Ultrasonic Sensor ส่วนใหญ่มุมของวัตถุควรจะน้อยกว่า 10 องศา



รูปที่ 2.6 มุมในการตกกระทบของคลื่นกับชิ้นงาน (Target Angle)



รูปที่ 2.7 การติดตั้งอัลตราโซนิคเซนเซอร์ที่ถูกต้องที่วัตถุดิบเป็นของแข็ง

ที่มา : https://www.factomart.com/factomartblog/how-to-setup-a-ultrasonic-sensor/

2.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกล้องถ่ายภาพความร้อน
ที่มา: https://www.amazon.com/Pyle-Infrared-Thermal-Temperature-Measurement/dp/B018KG5OYW?ref_=fsclp_pl_dp_2

กล้องส่องความร้อนหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเทอร์โมกราฟฟี่ (Thermography) หรือกล้องถ่ายภาพด้วยแสงอินฟราเรด กล้องถ่ายภาพนี้สามารถสร้างภาพจากการแผ่รังสีอินฟราเรด ซึ่งเปรียบเทียบได้กับกล้องถ่ายภาพธรรมดา แตกต่างกันที่กล้องถ่ายภาพธรรมดาใช้การสร้างภาพจากแสงที่มองเห็นได้ซึ่งมีความยาวคลื่น อยู่ใน ช่วง 450 – 750 นาโนเมตร แต่กล้องถ่ายภาพความร้อนทำงานกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นประมาณ 14000 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ารังสีอินฟราเรดหรือเรียกว่าคลื่นรังสีความร้อน

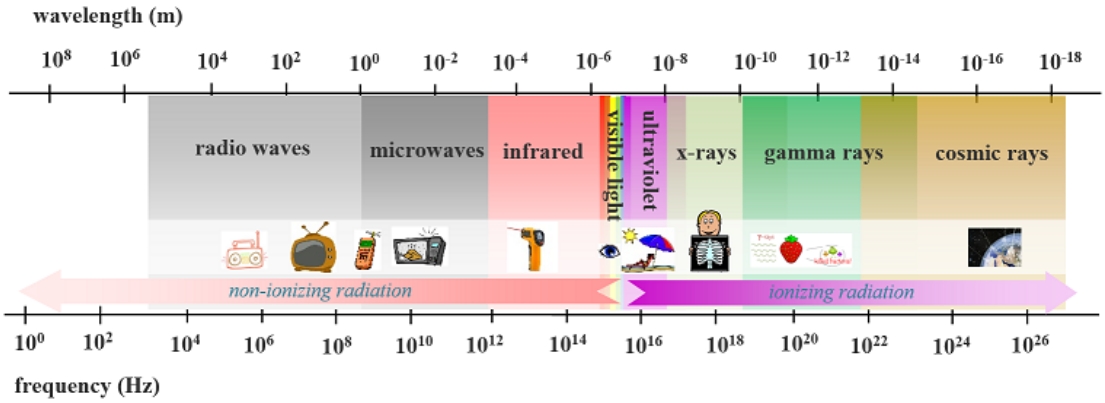
คลื่นรังสีอินฟราเรดหรือคลื่นรังสีความร้อนนั้น ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ คือ เซอร์วิลเลี่ยม เฮอเชล (Sir William Herschel) ซึ่งได้ค้นพบ รังสีอินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Ray) ในปี ค.ศ. 1800 ขณะที่ เฮอเชล กำลังติดตามศึกษาดวงอาทิตย์อยู่ ในกล้องดูดาว ต้องมีการใช้เลนส์กรองแสง ซึ่งทำเป็นสีต่างๆ เฮอเชล ต้องการทราบว่า ในเลนส์แต่ละสี จะเปลี่ยนค่าแสดงความร้อนของดวงอาทิตย์หรือไม่ ท่านจึงประดิษฐ์อุปกรณ์การทดลองอย่างง่ายๆ เพื่อหาคำตอบ ซึ่งใช้วิธีทดลองโดยใช้ปริซึมแยกแสง แล้วให้แสงต่างๆมาตกที่เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งทาสีดำที่กะเปาะ เพื่อให้ดูดความร้อนดียิ่งขึ้น และเฮอร์เชลได้ทำการตั้งเทอร์โมมิเตอร์ตัวหนึ่งนอกเหนือจากแสงสีต่าง ๆ นั้น เพื่อเป็นตัวควบคุมการทดลอง ปรากฏว่า แสงสีต่างมีอุณหภูมิสูงกว่าแสงสีขาวและอุณหภูมิสูงขึ้นจาก สีม่วง ไปหาสีแดง เฮอเชล จึงทำการวัดแถบเหนือแสงสีแดงขึ้นไปที่ไม่ปรากฏสี ซึ่งดูเหมือนแสงอาทิตย์ธรรมดา ปรากฏว่า เทอร์โมมิเตอร์ ตัวที่อยู่นอกเหนือจากแสงสีแดงนั้น กลับวัดได้อุณหภูมิสูงกว่าทุกตัว เฮอเชลจึงทำการทดลองต่อไป ก็พบว่า ส่วนของแสงที่มองไม่เห็นแต่ร้อนกว่าสีแดงนี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับคลื่นแสงที่มองเห็นได้ทุกประการ เช่น การหักเห ดูดซับ ส่องผ่านหรือไม่ผ่านตัวกลาง ฯลฯ

ในตอนแรก เฮอเชล เรียกแสงนี้ว่ารังสีความร้อน (Calorific rays) และในภายหลังได้เปลี่ยนชื่อเป็น " รังสีอินฟราเรด "

2.3.1 รังสีอินฟราเรด (Infrared ray)

สายตาของมนุษย์นั้นธรรมชาติได้ออกแบบให้สามารถมองเห็นคลื่นได้ในระดับหนึ่งหรือเรียกว่า "รังสีการมองเห็น" (Visible Light) โดยจะอยู่ในรูปของความสว่าง เราสามารถมองเห็นรังสีในย่านแคบ ๆ เท่านั้น หรือเรียกว่าย่านสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถ้ามองด้านซ้ายของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ก็จะติดกับย่านรังสีอุลตร้าไวโอเล็ต ซึ่งมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นในย่านนี้และส่วนด้านขวาของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) ก็จะติดกับย่านรังสีอินฟราเรด (Infrared Ray) ซึ่งเรามองไม่เห็น

รังสีอินฟราเรด (Infrared, IR) มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า รังสีใต้แดงหรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงมีความถี่ในช่วง 1.011 – 1.014 กิกะเฮิร์ตซ์ มีความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200 องศาเซลเซียสถึง 4,000 องศาเซลเซียส จะปล่อยรังสีอินฟาเรดออกมา คุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แตกต่างกันก็คือ คุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่ คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็สูงขึ้นด้วย ดังนั้น ปัจจุบันมีการนำคลื่นรังสีอินฟราเรดมาใช้ประโยชน์ในการสร้างกล้องอินฟราเรดที่สามารถมองเห็นวัตถุในความมืดได้ เช่น อเมริกาสามารถใช้กล้องอินฟราเรดมองเห็นเวียดกงได้ตั้งแต่สมัยสงครามเวียดนาม และสัตว์หลายชนิดมีนัยน์ตารับรู้รังสีชนิดนี้ได้ ทำให้มองเห็นหรือล่าเหยื่อได้ในเวลากลางคืน หน่วยของความยาวคลื่นโดยปกติจะมีหน่วยเป็นไมโครเมตร (um)



รูปที่ 2.9 ช่วงความยาวคลื่นของรังสีแต่ละประเภท

ที่มา: https://sites.google.com/site/nuclearremotelaboratoryth/kar-khn-phb-rangsi-xeks?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1

2.3.2 กฎของพลังค์ (Plank's Law)

ในปี 1900 แมกซ์ พลังค์ (Max Planck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้เสนอทฤษฎีเพื่ออธิบายการแผ่รังสีจากการทดลองเพื่อพิสูจน์การแผ่รังสีของวัตถุดำ โดยคิดว่ารังสีที่แผ่ออกมาเกิดจากตัวแผ่รังสีระดับจุลภาคที่เหมือนประจุแกว่งกวัดอยู่ในวัตถุ ซึ่งสั่นด้วยความถี่ f ที่ขึ้นกับพลังงานของวัตถุโดยพลังงานในการสั่นจะเป็นค่าไม่ต่อเนื่องและมีค่า เป็นเป็นขั้น ๆ (quantum) ซึ่งการพิจารณานี้เสมือน

ว่าภายในวัตถุจะมีการสั่นเป็นค่าเฉพาะคล้าย กับคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่การสั่นจะเป็นจำนวนเท่า n ของความถี่ฐาน ดังสมการที่ 2.1

$$E_n = nhf \tag{2.1}$$

โดย h คือ ค่าคงตัวของพลังค์ มีค่า 6.626×10^{-34} จูลส์วินาที

n คือ เลขควอนตัม (quantum number) เป็นจำนวนเต็มบวก

พลังงานของตัวแผ่รังสีจะมีค่าเป็นขั้น ๆ เนื่องจาก n ที่เป็นจำนวนเต็ม แต่ละค่าของ n จะแทนสถานะทางควอนตัม (quantum state) ต่าง ๆ ของตัวแผ่รังสี เช่น สถานะที่ n=1 ตัวแผ่รังสีจะมีพลังงานเป็น hf ถ้าตัวแผ่รังสีมีพลังงานสูงขึ้นไปหนึ่งขั้นเป็น สถานะที่ n = 2 ตัวแผ่รังสีจะมีพลังงานเป็น 2hf หลักสำคัญของทฤษฎีของพลังค์ คือ การตั้งสมมติฐานของพลังงานที่เป็นลำดับขั้นในช่วงแรกเริ่มที่เสนอทฤษฎีนี้นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ไม่เชื่อมั่นในทฤษฎีว่าจะเป็นจริง ต่อมาภายหลังเมื่อมีการทดลองต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ในระดับอะตอม พบว่าทฤษฎีที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของความเป็นขั้น ๆ (quantum) เปรียบเทียบสเปกตรัมจากทฤษฎีแบบเดิมกับการทดลองอธิบายผลได้เป็นอย่างดี ยกตัวอย่างเช่น การอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก การเกิดรังสีเอกซ์การกระเจิงคอมป์ตัน เมื่อตัวแผ่รังสีปลดปล่อยพลังงานออกมามีการเปลี่ยนขั้นของสถานะทำให้ระดับพลังงานลดลงและในทางกลับกันเมื่อตัวแผ่รังสีดูดกลืนพลังงานเข้าไประดับพลังงานจะสูงขึ้น การที่พลังงานมีค่าต่างกันเป็นขั้น ๆ เรียกว่า ควอนไตเซชัน (quantization) และค่าพลังงานที่ตัวแผ่รังสีปล่อยหรือดูดกลืนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า โฟตอน (photon) ดังนั้นอาจพิจารณาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใดใดที่มีความถี่ f เป็นโฟตอนที่มีพลังงาน E=hf

2.3.3 กฎของสเตฟาน-โบลท์ซมันน์ (Stefan-Boltzman's Law)

ในปี ค.ศ.1884 โจเซฟ สเตฟาน (Stefan) และ ลุดวิก โบลทซ์มานน์ (Boltzmann) นักฟิสิกส์ชาวออสเตรีย ได้คำนวณหาค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) ของวัตถุดำ (blackbody) ที่อุณหภูมิ (temperature) ใด ๆ ตลอดช่วงความยาวคลื่นในย่านรังสีความร้อนโดยใช้การกระจายของพลังค์ (Planck distribution) ซึ่งได้จากกฎของพลังค์ (Planck's law) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อน (emissive power) ของวัตถุในอุดมคติหรือวัตถุดำที่อุณหภูมิใด ๆ ค้นพบว่า ความเข้มของพลังงาน (Energy Flux) แปรผันตามค่ายกกำลังสี่ของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น จูล / ตารางเมตร วินาที หรือ วัตต์ / ตารางเมตร ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3

$$E_b = \int_0^{\lambda} \frac{C_1}{\lambda^5[\exp(\frac{C_2}{\lambda T}) - 1]} d\lambda \tag{2.2}$$

$$E_b = \sigma T^4 \tag{2.3}$$

โดย σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลท์สมานน์ มีค่าเท่ากับ $5.67\text{x}10^{-8}$ $W/m^2.K^4$

สำหรับพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุใด ๆ หรือวัตถุจริงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$E(T) = \varepsilon \sigma T^4 \qquad (2.4)$$

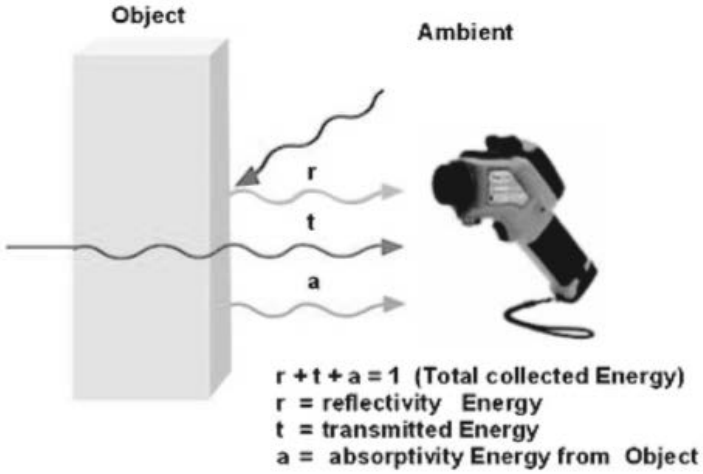
โดย $E(T)$ คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนที่อุณหภูมิใด ๆ ของวัตถุจริง (W/m^2)

ε คือ ค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (emissivity) ของวัตถุใดๆ

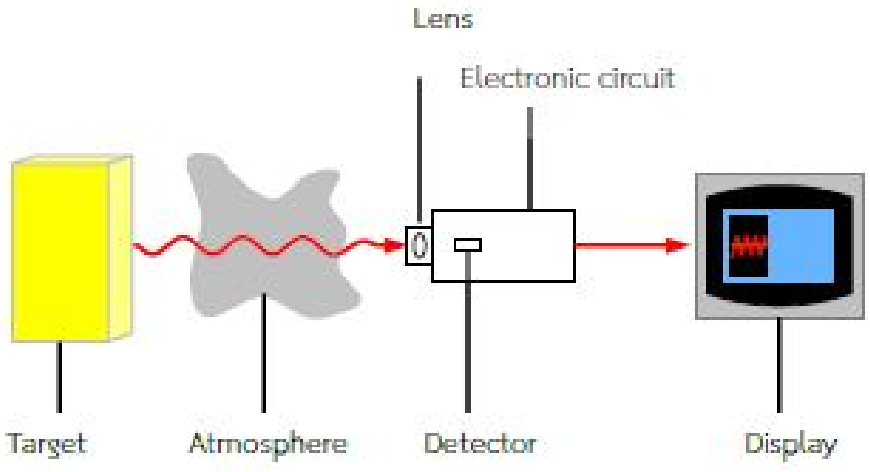
2.3.4 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Image camera, TI - camera หรือ Thermography) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุและเป็นการวัดอุณหภูมิแบบพื้นที่ส่วนประกอบสำคัญของกล้องถ่ายภาพความร้อน ประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (Infrared detector) หรือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared sensor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic circuit) และส่วนแสดงผล (Display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (Target) ผ่านเลนส์ของเครื่องมือวัด แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยรังสีอินฟาเรดที่ตัวตรวจจับรับไปนั้นประกอบด้วยรังสีที่วัตถุเป้าหมายแผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย (ตามทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน: Theory of thermal radiation) จากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับและนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล ซึ่งอาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข สี หรือกราฟ หรือทั้ง 3 รูปแบบ

สำหรับกล้องถ่ายภาพความร้อนประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไป สีแดงแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า "ภาพถ่ายความร้อน (Thermal Image) " ซึ่งการแปลงรังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิอาศัยกฎของแพล็ค (Planck's Law) และ กฎของสตีเฟน (Stefan-Boltzman's Law)



รูปที่ 2.10 การถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุในรูปแบบรังสีอินฟราเรด
ที่มา: https://www.supremelines.co.th/%.html



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
ที่มา : http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=73

2.3.5 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ

ในทางทฤษฎีกล้องถ่ายภาพความร้อนมีย่านการวัดอุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติช่วงการใช้งานของเครื่องมือวัดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ รวมถึงช่วงความยาวคลื่นที่ผู้ผลิตเลือกใช้ ปัจจุบันกล้องถ่ายภาพความร้อนบางรุ่นสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -20°C

ค่าความถูกต้องของอุณหภูมิที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายหรือวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ ระยะห่างระหว่างเครื่องมือวัดและวัตถุเป้าหมาย และคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือวัดนั้น ๆ รายละเอียดของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความถูกต้อง มีดังนี้

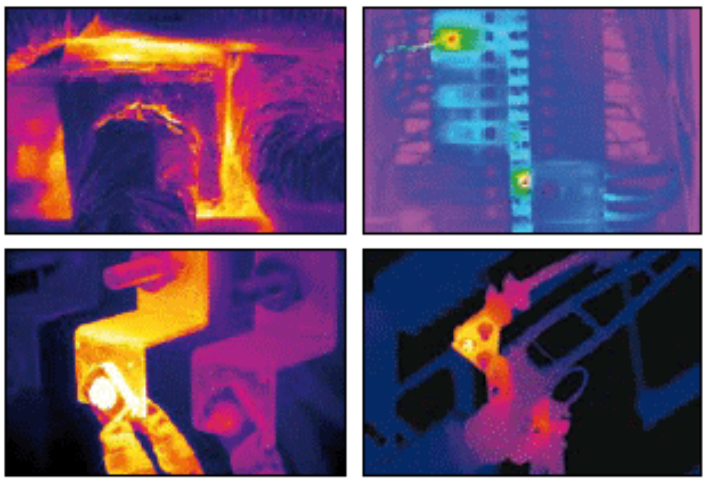
1. ค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุ (Emissivity, **ε**) การแปลผลพลังงานความร้อนที่ได้จากการตรวจจับการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุเป็นอุณหภูมิที่ถูกต้อง จำเป็นต้องกำหนดค่า **ε** ของวัตถุที่เหมาะสม เพื่อให้ค่าอุณหภูมิของวัตถุที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง นอกจากนี้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดอินฟราเรดที่ดีควรมีฟังก์ชั่นใช้งานที่สามารถปรับค่า **ε** ให้เหมาะสมกับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุได้ โดยในรูปที่ 2.12 แสดงค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุชนิดต่างๆ

วัสดุ	ค่า Emissivity
ยางมะตอย	0.93-0.95
เซรามิก	0.80-0.95
ผ้า	0.95
คอนกรีต	0.94-0.95
แก้ว	0.76-0.85
สี	0.74-0.96
กระดาษ	0.50-0.95
ยาง	0.95
ดิน	0.9
หิมะ	0.82-0.89
ทราย	0.90-0.98
เหล็ก(Oxidized)	0.65-0.95
สแตนเลส	0.10-0.80
น้ำ	0.93
ไม้	0.89-0.94

รูปที่ 2.11 แสดงค่าความสามารถในการแผ่รังสีของวัตถุชนิดต่างๆ
ที่มา : http://www.tic.co.th/index.php?op=tips-detail&id=73

2. ค่าการสะท้อนรังสีของผิววัตถุ (Reflection, G_{ref}) เนื่องจากตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดที่ติดตั้งภายในเครื่องมือวัดไม่ได้รับเฉพาะรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากตัววัตถุเป้าหมายเท่านั้น แต่ยังรับรังสีที่สะท้อนมาจากวัตถุอื่นด้วย ทำให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นเพื่อให้รังสีอินฟราเรดที่เซ็นเซอร์รับไปเป็นรังสีที่เกิดจากวัตถุจริงเท่านั้น จึงต้องป้อนค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นที่แผ่รังสีมากระทบกับวัตถุเป้าหมายให้กับเครื่องมือวัดด้วย เพื่อนำอุณหภูมิดังกล่าวไปใช้ในการชดเชยค่าการสะท้อน ซึ่งค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. ระยะห่างระหว่างวัตถุกับเครื่องมือวัดค่าความผิดพลาดของไพโรมิเตอร์ชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีของวัตถุ อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่มี ไอควัน ก๊าซหรือฝุ่นละอองกระจายอยู่ เป็นต้น



รูปที่ 2.12 การถ่ายภาพความร้อนจากการจับรังสีอินฟราเรด
ที่มา: http://www.thermoscan.co.th/Thermal%20Imaging.html

2.4 การถ่ายภาพความร้อนในสายส่งไฟฟ้า

การศึกษาการไหลกำลังในระบบไฟฟ้ากำลังมักกำหนดให้อุณหภูมิของตัวนำสายส่งมีค่าคงที่ พารามิเตอร์สายส่งที่อุณหภูมิคงที่นั้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณการไหลกำลังซึ่งใช้กระบวนการของนิวตันราฟสัน (Newton Raphson) ในทางปฏิบัติตัวนำสายส่งจะมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขึ้นกับสภาพแวดล้อมรอบตัวนำและปริมาณกระแสที่ไหลผ่านตัวนำสายส่ง การวิเคราะห์การไหลกำลังที่ใช้อุณหภูมิคงที่ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิจริงของตัวนำจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่สอดคล้องกับสภาพจริงของระบบไฟฟ้ากำลังและกำลังผลิตที่ได้จากการวิเคราะห์อาจจะเกินพอหรือไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลดไฟฟ้า กำลังสูญเสียในสายส่งอาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปมากจากกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลกระทบต่อการวางแผนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสมและปลอดภัย

2.4.1 พารามิเตอร์สายส่งที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

ปกติแล้วผู้ผลิตตัวนำของสายส่งจะให้ข้อมูลตัวนำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยข้อมูลตัวนำและข้อมูลการติดตั้งสายส่งบนเสาไฟฟ้าถูกนำไปใช้ในการคำนวณความต้านทานรีแอกแตนซ์อนุกรม และคาปาซิแตนซ์ขนานของวงจรสมมูลสายส่ง ในทางปฏิบัตินั้นความต้านทานรีแอกแตนซ์ของสายส่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวนำสายส่ง เราสามารถประมาณความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของสายส่งและอุณหภูมิของตัวนำได้จากสมการที่ 2.5

$$R_l = R_0(1+\tau_r(T_c - T_0)) \qquad (2.5)$$

โดย T_c คือ อุณหภูมิของตัวนำ หน่วยองศาเซลเซียส (°C)

R_0 คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ T_0 หน่วยโอห์ม (Ω)

R_l คือ ความต้านทานที่อุณหภูมิ T_c หน่วยโอห์ม (Ω)

τ_r คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน หน่วยต่อองศาเซลเซียส (/°C)

ความสัมพันธ์ระหว่างรีแอกแตนซ์ของสายส่งและอุณหภูมิของตัวนำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$X_l = X_0(1+\tau_x(T_c - T_0)) \qquad (2.6)$$

โดย X_0 คือ รีแอกแตนซ์ที่อุณหภูมิ T_0 หน่วยโอห์ม (Ω)

X_l คือ รีแอกแตนซ์ที่อุณหภูมิ T_c หน่วยโอห์ม (Ω)

τ_x คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของรีแอกแตนซ์หน่วยต่อองศาเซลเซียส (/°C)

จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 จะเห็นได้ว่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อสายส่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันความต้านทานและรีแอกแตนซ์จะลดลงเมื่อสายส่งมีอุณหภูมิลดลง แม้ว่าความสูงเฉลี่ยของสายส่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของตัวนำส่งผลให้คาปาซิแตนซ์ของสายส่งมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าคาปาซิแตนซ์จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในที่นี้จะสมมติให้ค่าคาปาซิแตนซ์ของสายส่งมีค่าคงที่

2.4.2 ประโยชน์ในการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในระบบสายส่งไฟฟ้า

กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้นมีไว้ตรวจอุณหภูมิที่เกิดจากความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องจักรเท่านั้น แต่ที่จริงแล้วกล้องถ่ายภาพความร้อนยังสามารถนำมาใช้ในการวางแผนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตลดระยะเวลา Down Time ของเครื่องจักรลงได้ ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหลักในการลดต้นทุนเพื่อเพิ่มผลกำไรนั่นเอง

1. ลดปัญหาเครื่องจักรหยุดทำงาน หากมีการตรวจเช็คอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอก็สามารถหาทางแก้ไขได้ล่วงหน้าลดความเสี่ยงโดยไม่ต้องรอให้เครื่องจักรเสียก่อนจึงค่อยแก้ไข

2. ช่วยประหยัดพลังงาน ปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นเพราะใช้งานเกินกำลังที่อุปรณ์ไฟฟ้า หรือเครื่องจักรจะสามารถรับไหวนั้น นอกจากจะเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยแล้ว ยังก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยใช่เหตุด้วย เพราะเครื่องต้องทำงานหนักทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

3. วางแผนการเก็บสต๊อกอะไหล่ กล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถช่วยให้เห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าหรือเครื่องจักรในด้านอุณหภูมิ ทำให้ท่านสามารถเฝ้าระวังได้ถูกจุดว่าควรจะเก็บสต๊อกอะไหล่ตัวใดที่มักจะเกิดปัญหาบ่อยครั้ง สามารถซ่อมแซมได้ทันที ไม่ต้องรอให้เกิด Down Time เสียก่อน

4. ช่วยในการวางแผนซ่อมบำรุง สามารถนำข้อมูลไปเป็นส่วนพิจารณาในการวางแผนซ่อมบำรุงเพื่อกำหนดช่วงระยะเวลาในการซ่อมบำรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นงานที่มีความสำคัญมาก เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าเปรียบเสมือนหัวใจหลักของโรงงาน / อาคาร ช่วยจัดลำดับความเร่งด่วนในการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

5. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ย้อนหลังได้ โดยทั่วไปกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมี Software สำหรับใช้เก็บบันทึกข้อมูลในการวัด ซึ่งทำให้สะดวกแกผู้ใช้งานในการนำข้อมูลที่ได้กลับมาวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดและหาทางป้องกัน

6. ยืดอายุการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักร หมั่นตรวจเช็คโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนของอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้ท่านหาจุดปกพร่องได้ตรงจุดเช่นขั้วต่อ

สายไม่เน้น, ใช้สายไฟขนาดเล็กเกินไป หรืออายุการใช้งานของเบรกเกอร์ถึงระยะเวลาต้องเปลี่ยนใหม่แล้ว ซึ่งส่วนย่อยๆเหล่านี้ก็มีผลทำให้เกิดการเสียหายลุกลามไปถึงตัวเครื่องจักร หรือระบบไฟฟ้าที่มีราคาสูงได้

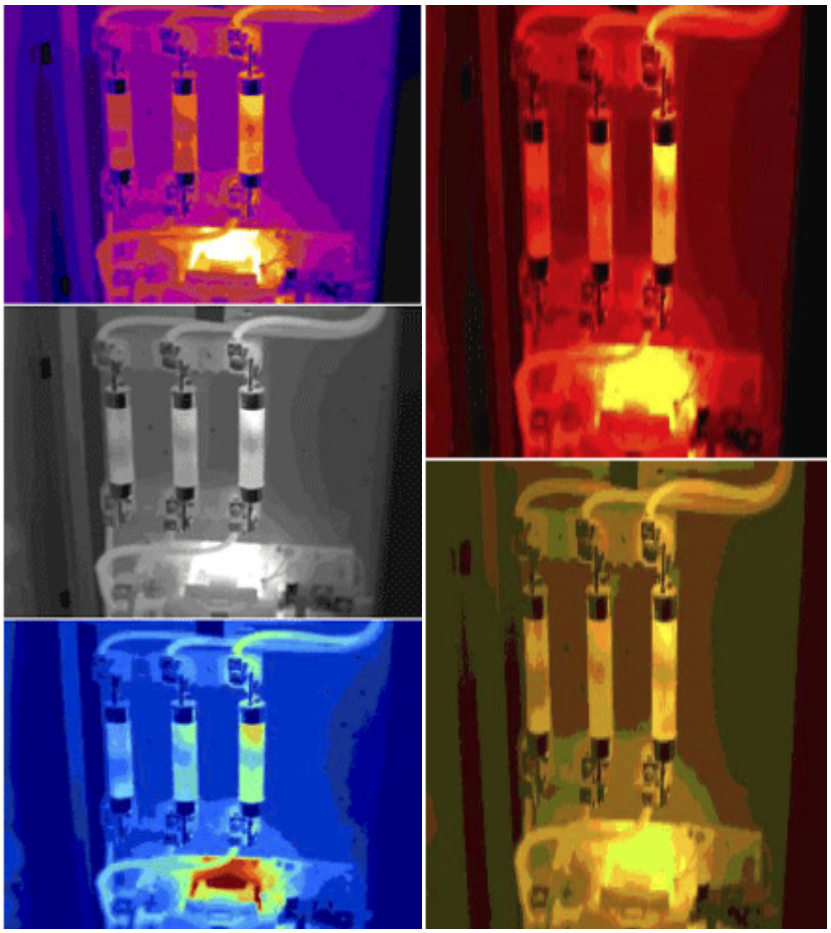
7. เพิ่มประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุง เนื่องมาจากการวางแผนซ่อมบำรุงที่ดี
8. ป้องกันการเกิดอัคคีภัย ช่วยลดความเสี่ยงการเกิดอัคคีภัยอันเนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจร

รูปที่ 2.13 การตรวจสอบระบบไฟฟ้าด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน
ที่มา: http://www.thermoscan.co.th/Thermal%20Imaging.html

2.4.3 การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจสอบสายส่ง

กล้องถ่ายภาพความร้อนมีความสามารถในการเก็บภาพความร้อนทั้งในหน่วยความจำภายในหรือในการ์ดความจำขึ้นอยู่กับความสามารถของกล้องถ่ายภาพ เมื่อผู้ใช้ถ่ายภาพเสร็จสามารถมองเห็นภาพ หรือแก้ไข หรือดาวน์โหลดลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถนำภาพมาใช้ในรายงานและมีซอฟท์แวร์ในการใช้งานรวมอยู่ด้วย สามารถซื้อกล้องถ่ายภาพความร้อนโดยที่เลือกความสามารถน้อยลงได้ซึ่งสามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งจุดตัดของเส้นกลางจอแสดงภาพ ขณะที่กล้องถ่ายภาพแบบอื่นๆ สามารถให้ผู้ใช้เลือกตำแหน่งของจุดตัดในจอภาพให้เคลื่อนที่ได้และเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างบริเวณสองพื้นที่ได้ กล้องถ่ายภาพความร้อนมีสีหลายสีเช่น ขาว/ดำ , สีเหล็ก หรือสีรุ้งซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้ สีแบบเหล็กมักจะใช้ในการตรวจสอบบ้าน, สีขาว/ดำจะช่วยในการตรวจหารายละเอียดในรูปภาพ และสีรุ้งจะเป็นสีที่ดีที่สุดที่สามารถบอกความแตกต่างของอุณหภูมิได้ สามารถสังเกตได้จากรูปที่ 2.14 นี้สำหรับสีตัวอย่าง

รูปที่ 2.14 การปรับโหมดสีแสดงอุณหภูมิของผลภาพถ่ายความร้อน
ที่มา: HTTP://WWW.THAI-SAFETYWIKI.COM/DETECTOR-IMAGER/65-THERMAL-IMAGER



ภาพผลที่ดีควรมีลักษณะเช่นไร?

การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนมีความง่าย แต่การแปลความหมายของภาพจะต้องใช้ความรู้และประสบการณ์ ในการช่วยให้ผู้ใช้ได้ภาพที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ มีการปรับค่าสี่แบบที่สามารถทำได้คือ การโฟกัส, การตั้งค่าการแผ่ความร้อน, การเปลี่ยนอุณหภูมิที่สะท้อน และการปรับความร้อน

- เลนส์ของกล้องถ่ายภาพความร้อนจะเหมือนกับกล้องทั่วๆไป ที่จะต้องมีการปรับโฟกัสเพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพ กล้องส่วนใหญ่สามารถปรับได้โดยการหมุนเลนส์ และบางรุ่นที่ซับซ้อนกว่าทำได้โดยการกดปุ่ม
- การแผ่รังสี คือปริมาณของรังสีที่แผ่ออกมาจากวัตถุ เปรียบเทียบกับการแผ่รังสีที่ดีที่สุดเมื่ออยู่ในอุณหภูมิเดียวกัน การตั้งค่าการแผ่รังสีที่น้อยกว่าจะใช้สำหรับวัตถุที่สะท้อนแสงได้มากกว่า และการตั้งการแผ่รังสีที่มากจะใช้สำหรับวัตถุที่สะท้อนแสงได้น้อย วัตถุที่ไม่ใช่โลหะ หรือมีผิวขรุขระจะมีการแผ่รังสีมากกว่า การปรับค่าการแผ่รังสีมีความสำคัญเมื่อทำการวัดอุณหภูมิ หรือเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของวัตถุสองชิ้น การตั้งค่าที่ไม่ถูกต้องจะทำให้วัตถุแสดงอุณหภูมิที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่าความเป็นจริง มีกล้องถ่ายภาพเพียงบางรุ่นเท่านั้นที่สามารถตั้งค่าการแผ่รังสีได้ ส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าที่ตั้งไว้แล้วกับวัสดุประเภทไม้ หรือผนัง

- การตั้งค่าการสะท้อนอุณหภูมิ ผู้ใช้สามารถชดเชยอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรืออุณหภูมิของวัตถุรอบๆ ได้ ถ้าสงสัยว่ามีการสะท้อนของอุณหภูมิวัตถุโดยรอบ ให้ขยับกล้องถ่ายภาพรอบพื้นที่เป้าหมาย ถ้าจุดที่ร้อนหรือเย็นเปลี่ยนตามกล้อง แสดงว่ามีการสะท้อนจากวัตถุอื่น ถ้าไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าเป็นจุดที่ร้อนหรือเย็นจริง ในการหาว่าอุณหภูมิที่สะท้อนเป็นเท่าไหร่นั้น ผู้ใช้จะต้องปรับค่าการแผ่รังสีของกล้องเป็น 1.0 หลังจากนั้น วางแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ย่นลงบนกระดาษแข็ง จับฟอยล์ระหว่างกล้องกับวัตถุที่ต้องการจะมอง และสังเกตค่าอุณหภูมิของฟอยล์ หลังจากนั้น ใส่ค่าอุณหภูมิของฟอยล์ลงในค่าอุณหภูมิสะท้อนของกล้อง อุณหภูมิสะท้อนมีความสำคัญ เหมือนกับค่าการแผ่รังสีเมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิเปรียบเทียบของสองวัตถุ มีกล้องบางชนิดเท่านั้นที่สามารถให้ผู้ใช้ใส่ค่าอุณหภูมิสะท้อน

- การปรับความร้อนของกล้องเกี่ยวข้องกับการปรับช่วงของอุณหภูมิที่กล้องจะมองเห็นเมื่ออยู่ในโหมดทำงานด้วยมือ กล้องถ่ายภาพความร้อนจะมีโหมดมองภาพอัตโนมัติและโหมดปรับตั้งด้วยมือ เมื่อกล้องอยู่ในโหมดอัตโนมัติ กล้องจะปรับสเกลอุณหภูมิตามสิ่งที่มองซึ่งทำให้สีเปลี่ยนไปเมื่อเคลื่อนกล้อง ส่วนโหมดปรับตั้งด้วยมือสามารถให้ผู้ใช้ปรับช่วงอุณหภูมิได้เองตามที่ต้องการ และกล้องจะแสดงค่าตามช่วงอุณหภูมินั้นเสมอ การใช้โหมดปรับตั้งด้วยมือ จะดีที่สุดเมื่อต้องการหาค่าอุณหภูมิที่แตกต่างของวัตถุที่กำลังมอง

2.5 การสื่อสารไร้สายแบบ IOT

รูปที่ 2.15 ข้อโดดเด่นของ NB-IOT

เอ็นบีไอโอที (Narrow Band Internet of Things, NB-IoT) ถูกนำเสนอโดย 3GPP ผู้กำกับดูแลมาตรฐานด้านการสื่อสารบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยถูกออกแบบให้ใช้กำลังงานต่ำ ความเร็วในการสื่อสารและความถี่ในการส่งข้อมูลต่ำ อุปกรณ์เอ็นบีไอโอทีทำงานบนย่านความถี่เดียวกันกับที่ GSM, 3G หรือ LTE (Wang et. al, 2016) ซึ่งเป็นย่านความถี่ Licensed Band ที่ต้องได้รับการอนุญาตใช้งานจากหน่วยงานที่กำกับดูแลทอพอลอจี การเชื่อมต่อใช้ทอพอลอจีสตาร์ ส่งและรับข้อมูลจากสถานีฐานของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ให้บริการ เอ็นบีไอโอทีใช้แถบความถี่อย่างน้อย 180 kHz ซึ่งสามารถทำได้สามลักษณะคือ ใช้อยู่บนคลื่นความถี่หนึ่งช่องของ GSM ใช้อยู่บนแถบความถี่คุมของ LTE หรือใช้อยู่บนคลื่นความถี่เดียวกันกับ LTE โดยให้ใช้บนแถบความถี่หนึ่งบล็อก มีความเร็วในการสื่อสาร 250 kbps และมีความไวการรับสัญญาณได้ ในระดับมากกว่า -150 dBm จึงมีระยะทางการสื่อสารที่ไกลมาก โดยมีความไวของการรับสัญญาณดีกว่า GSM และ LTE ที่ใช้อยู่เดิมประมาณ 20 dB ด้วย การที่ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นผู้ดำเนินการ สื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์เอ็นบีไอโอทีจึงไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อินเทอร์เน็ตเกตเวย์ ข้อมูลจะถูกส่งจาก อุปกรณ์เอ็นบีไอโอทีผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ได้โดยตรง

นอกจากนี้ในชั้นกายภาพยังต้องพิจารณาถึงแถบความถี่ที่จะใช้งานในการส่งสัญญาณแบบไร้สายด้วย โดยแบ่งแถบความถี่ออกเป็นสองประเภท คือ 1) Unlicensed Band และ 2) Licensed Band ซึ่งถูกกำหนด การใช้งานในประเทศไทยโดยคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม แห่งชาติ หรือ กสทช. แถบความถี่ย่าน Unlicensed Band ในประเทศไทยมีการกำหนดให้สามารถใช้งานได้ โดยมีค่ากำลังส่งสูงสุดไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 นอกจากนี้ที่ประชุม กสทช. มีมติเห็นชอบให้ใช้ คลื่นความถี่ย่าน 920-925 MHz เพื่อรองรับเทคโนโลยีไอโอที ตาม (ร่าง) ประกาศ กสทช. เรื่อง มาตรฐาน ทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมที่ไม่ใช่ประเภท Radio Frequency Identification: RFID ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน 920-925 MHz

LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) หรือเครือข่ายสื่อสารแบบกว้างที่เน้นใช้พลังงานต่ำ เป็นเทคโนโลยีที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับงานทางด้าน Internet of Things

จุดเด่นของ LPWAN เทคโนโลยีได้แก่

Secure — Bidirectional Communication

Simple Star Network Topology (ไม่จำเป็นต้องมี network ที่ซับซ้อนเช่น Mesh หรือ Repeater)

-Low data rate

-Low cost

-Long battery life

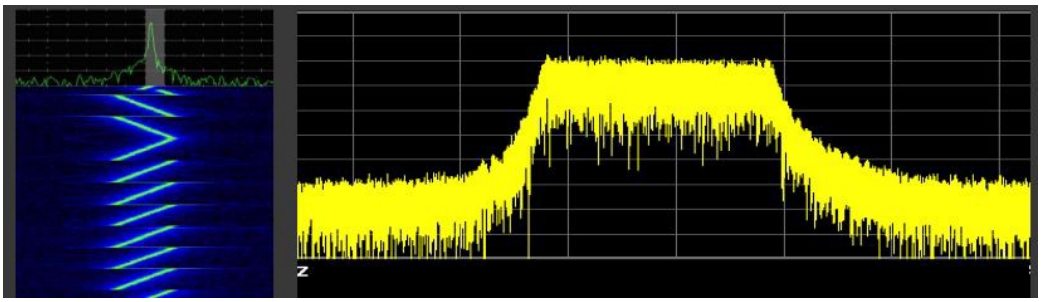
เทคโนโลยีทางด้าน LPWAN มีหลากหลายมากเช่น NB-IoT, SigFox และ LoRA แต่ในบล๊อกนี้เราจะมาพูดถึง LoRa กัน

รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของ LORA ที่เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อการส่งข้อมูล

LoRa, LoRaWAN คืออะไร ?

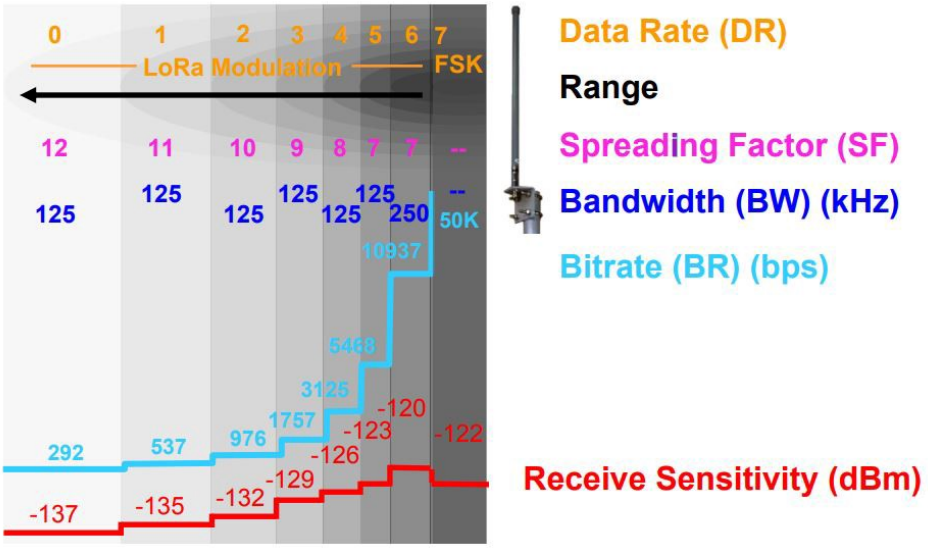
ก่อนจะพูดถึง LoRa ต้องแนะนำกลุ่มพันธมิตรสำคัญที่เรียกได้ว่าเป็นผู้กำหนด มาตรฐาน LoRaWAN Protocol ซึ่งก็คือ LoRa Alliance นั่นเอง หน้าที่หลักๆ ของ LoRA Alliance คือเป็นผู้ออกมาตรฐาน LoRaWAN โดยใช้ความสามารถของ LoRA นั่นเอง

แล้ว LoRa คืออะไร



รูปที่ 2.17 รูปสเปกตรัมทางความถี่ของการสื่อสาร LORa

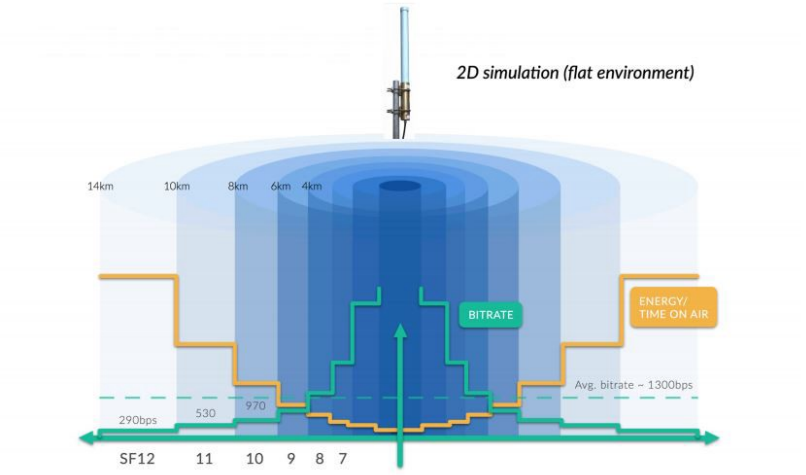
LoRa เป็นเทคโนโลยีสัญญาณการสื่อสารอยู่โดยใช้เทคนิค Proprietary Spread Spectrum technology ซึ่งรูปแบบถูกพัฒนาโดย Semtech Corporation เอง



รูปที่ 2.18 ระดับความแรงสัญญาณ LoRa และเทคนิคในการมอดูเลชั่น

ตัวอย่างค่า Data Rate (DR) สังเกตจากรูป จะเห็นว่า DR เป็น 0 อุปกรณ์จะสามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยสามารถส่งด้วย Bitrate ที่ต่ำที่สุดโดยการกำหนด Data Rate จะถูกกำหนดจาก Spreading Factor (SF) ตั้งแต่ 7– 12

โดยที่แบนวิธ ช่องสัญญาณ และค่า SF ที่ปรับได้อาจจะเปลี่ยนแปลงตาม Frequency plan ของแต่ละโซน



รูปที่ 2.19 เทคนิคในการมอดูเลชั่น **Modulation Setting**

ถ้าดูจากรูปด้านบนเพิ่มเติมจะเห็นว่าเมื่ออุปกรณ์เข้าใกล้ gateway มากก็จะสามารถที่จะส่งข้อมูลด้วย BITRATE ที่สูงขึ้นได้ และการส่งข้อมูลจะเร็วขึ้นอีกด้วย รวมถึงพลังงานที่ใช้ในการส่งถ้าเทียบต่อขนาดของแพ็กเกจก็จะน้อยกว่าอุปกรณ์ที่อยู่ไกล Gateway อีกด้วย

ซึ่งในระดับ LoRaWAN จะมีโหมด ADR (Adaptive Data Rate) ที่เซตในแพ็กเกจการส่งข้อมูลเพื่อให้การเชื่อมต่อระหว่าง Gateway และ Device สามารถปรับ Spreading Factor แบบอัตโนมัติเพื่อประสิทธิภาพในการส่งโดยดูจากระยะการเชื่อมต่อระหว่าง Gateway และ Device โดยสามารถเลือกได้ว่าต้องที่จะ ปรับเพื่อส่งข้อมูลได้เร็วที่สุด หรือ ปรับเพื่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานที่สุดเป็นต้น

คือพูดง่ายๆ เทคโนโลยี LoRa เป็นส่วนของ RF PHYSICAL Layer ในการสื่อสารที่เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Semtech นั่นเอง

เทคโนโลยี 4จี เป็นเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงชนิดพิเศษ หรือเป็นเส้นทางด่วนสำหรับข้อมูลที่ไม่ต้องอาศัยการลากสายเคเบิล โดยระบบเครือข่ายใหม่นี้ จะสามารถใช้งานได้แบบไร้สาย รวมถึงคุณสมบัติการเชื่อมต่อเสมือนจริงในรูปแบบสามมิติ (three-dimensional) ระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์ด้วยกันเอง นอกจากนั้น สถานีฐาน ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งผ่านสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเครื่องหนึ่งไปยังอีก เครื่องหนึ่ง และมีต้นทุนการติดตั้งที่แพงลิ่วในขณะนี้ จะมีให้เห็นกันอย่างแพร่หลายเช่นเดียวกับหลอดไฟฟ้าตามบ้านเลยทีเดียว สำหรับ 4จี จะสามารถส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สายด้วยระดับความเร็วสูงที่เพิ่มขึ้นถึง 100 เมกะไบต์ต่อวินาที ซึ่งห่างจากความเร็วของชุดอุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ที่ระดับ 10 กิโลบิตต่อวินาที

ลักษณะเด่นของ 4G

4G คือ Forth Generation ซึ่งในบ้านเรายังไม่มีให้เห็นกัน เมื่อพูดถึงเทคโนโลยีสื่อสารในยุค 4G เรื่องความเร็วนั้นเหนือกว่า 3G มาก คือทำความเร็วในการสื่อสารได้ถึงระดับ 20-40 Mbps เมื่อเทียบกับความเร็วที่ได้จาก 3G นั้นคนละเรื่องกันเลย ที่ญี่ปุ่นนั้นเครือข่ายโทรศัพท์ที่ใช้เทคโนโลยี 4G สามารถให้บริการรับชมรายการโทรทัศน์ผ่านมือถือได้แล้ว หรือจะโหลดตัวอย่างภาพยนตร์มาชมบนโทรศัพท์มือถือก็มีให้เห็นเช่นกัน ทำไมญี่ปุ่นถึงรีบกระโดดไปสู่ยุค 4G กันเร็วเหลือเกิน คำตอบง่าย ๆ ก็คือ ?ดิจิตอลคอนเทนต์? เป็นตัวผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นนั่นเอง เมื่อผู้ให้บริการหลายหลายรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยจำเป็นต้องอาศัยเครือข่ายที่มีความเร็วสูง สามารถรับส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก ๆ ดังนั้น การผลักดันตัวเองให้เข้าสู่ยุค 4G ที่ใช้เทคโนโลยีที่เหนือกว่า 3G ก่อนคู่แข่งน่าจะเป็นการตัดสินใจที่ถูกต้องที่สุด

ความ โดดเด่นของ 4G คือ ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานบนเครือข่ายที่กินพื้นที่กว้างก็ได้หรือจะทำเป็น เครือข่ายขนาดย่อม ๆ แบบ WLAN ได้อีกด้วย นั่นจึงทำให้หลายคนมองว่า 4G จะมาเบียดเทคโนโลยีของ Wi-Fi หรือไม่ เพราะสามารถใช้งานได้ทั้งสองแบบ

5G

5G คือ การที่จะค้นพบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่ประจำได้นั้นก่อนอื่นต้องเข้าใจให้ถ่องแท้ถึงสภาพปรกติในการปฏิบัติงานประจำให้ได้เสียก่อน และสิ่งสำคัญที่สุดคือ สภาพเหล่านั้นจะต้องเกิดขึ้นในพื้นที่จริง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบพื้นที่จริง เพื่อค้นหาการเปลี่ยนแปลง อาจสรุปได้ว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ควบคุมสายงานจะต้องเรียนรู้ และนำเอาหลัก 5G ไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้

2.6 ความร้อนจากการนำกระแสไฟฟ้า

การนำความร้อน (อังกฤษ: heat conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

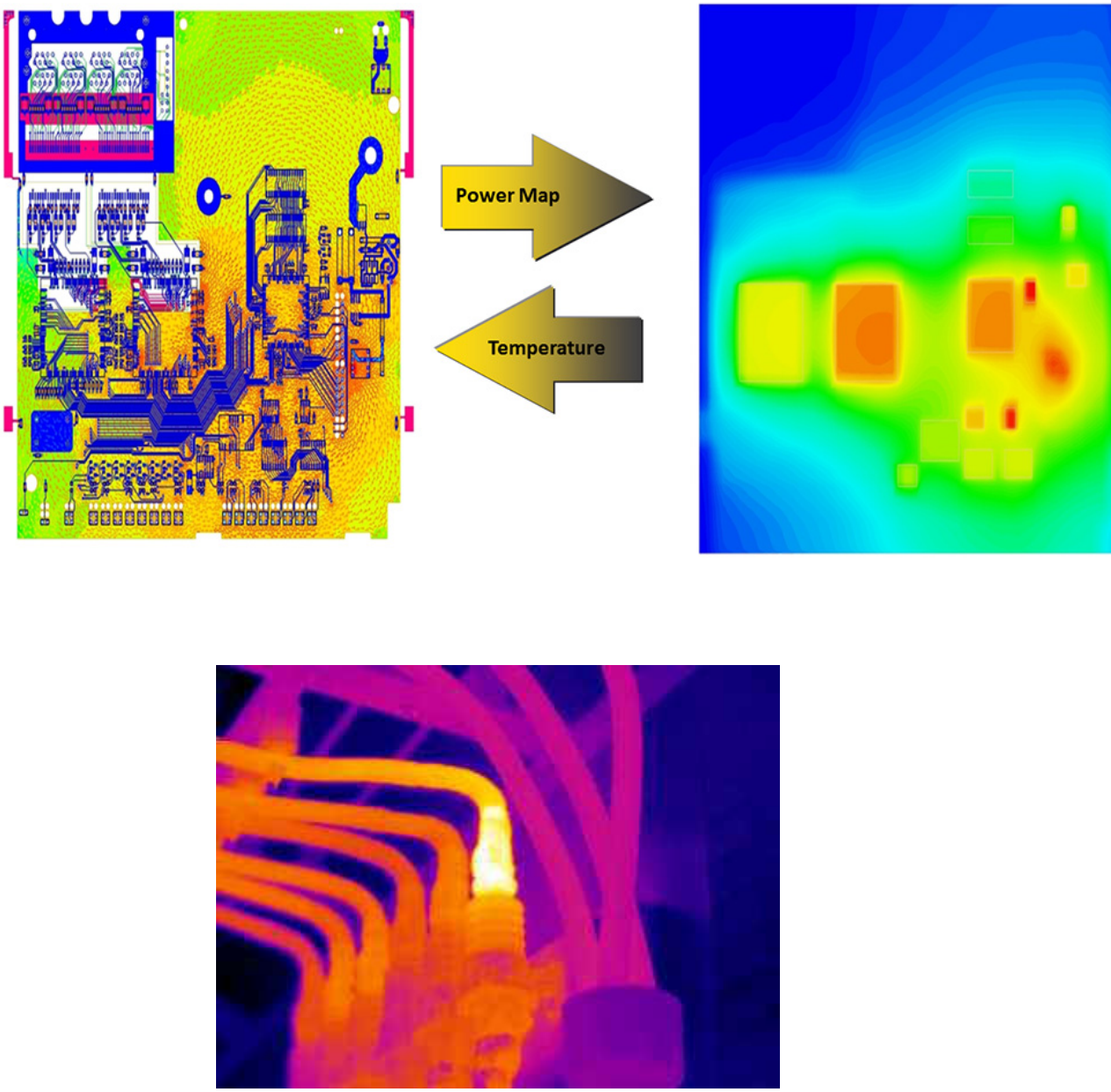
การนำความร้อนเป็นกระบวนการชีววิทยา ที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน ในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุล หรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือจึงทำให้รู้สึกร้อนเป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

2.6.1 วัสดุกำเนิดความร้อน

ทุกวันนี้เราต่างคุ้นเคยกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้า กระติกต้มน้ำ กระทะไฟฟ้า เป็นอย่างดีแล้ว ส่วนประกอบสำคัญอย่างยิ่งของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้ก็คือ วัสดุกำเนิดความร้อน (heating element) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นความร้อนนั่นเอง ซึ่งหากปราศจากชิ้นส่วนชิ้นนี้ เครื่องใช้ไฟฟ้าดังกล่าวก็ไม่สามารถทำงานได้ นอกจากเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนดังกล่าวแล้ว ก็ยังมีอุปกรณ์เครื่องใช้ในอุตสาหกรรมอีกหลายชนิดที่มีวัสดุให้กำเนิดความร้อนเป็นส่วนประกอบ เช่น เตาหลอมโลหะ เตาเผาเซรามิก เป็นต้น

วัสดุกำเนิดความร้อนทำงานได้อย่างไร? ตามหลักการทางฟิสิกส์แล้ว เมื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุใดก็ตาม จะมีการสูญเสียพลังงานไป เนื่องจากความต้านทานของวัสดุนั้นเสมอ พลังงานที่สูญเสียไปนี้อาจเปลี่ยนไปอยู่ในรูปต่างๆ เช่น พลังงานกล พลังงานแสง พลังงานความร้อน หรือหลายๆ รูปพร้อมกัน วัสดุยิ่งมีความต้านทานสูงเพียงใด พลังงานที่สูญเสียไปก็จะมากขึ้นตามไปด้วย สำหรับวัสดุกำเนิดความร้อนนอกจากต้องมีความต้านทานสูง (แต่ต้องไม่ถึงกับเป็นฉนวนไฟฟ้า มิฉะนั้นกระแสไฟฟ้าจะไม่สามารถไหลผ่านและทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้) แล้ว สมบัติสำคัญอีกหนึ่งคือต้องทนต่อความร้อนสูงที่เกิดขึ้นโดยไม่เกิดการหลอมหรืออ่อนตัวเสียรูป ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อการใช้งานได้

วัสดุกำเนิดความร้อนที่ใช้กันทั่วไปสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้แก่ ลวดนิโครม (Nichrom) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างนิกเกิล เหล็กและโครเมียม ซึ่งมีราคาถูก และสามารถใช้งานถึงอุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส แต่สำหรับในเตาที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น เตาหลอมโลหะและเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก จำเป็นต้องใช้วัสดุชนิดอื่น ที่ให้ความร้อนสูง และทนอุณหภูมิสูงกว่าลวดนิโครม อาทิ วัสดุให้กำเนิดความร้อนชนิดเหล็ก-โครเมียม-อลูมินัม (Fe-Cr-Al) วัสดุจำพวกเซรามิก เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) โมลิบดินัมไดซิลิไซด์ (MoSi2) และเซอร์โคเนีย (ZrO2) เป็นต้น การเลือกใช้วัสดุให้กำเนิดความร้อนนั้น นอกจากขึ้นอยู่กับราคาและอุณหภูมิที่ต้องการแล้ว ยังต้องคำนึงถึงสภาพการใช้งานอีกด้วย วัสดุให้กำเนิดความร้อนบางชนิด เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ เมื่อใช้ในสภาพบรรยากาศปกติแล้วจะเกิดการออกซิไดซ์เป็นซิลิกอนออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องใช้ร่วมอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าชนิดพิเศษ ที่สามารถปรับอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ หรือวัสดุให้กำเนิดความร้อนชนิดเหล็ก-โครเมียม-อลูมินัม เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงจะมีความแข็งแรงต่ำ เปราะแตกง่าย เป็นต้น



รูปที่ 2.20 แสดงการนำความร้อนจากการเดินกระแสไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้าแรงสูง

2.7 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

สิทธิบัตร Device for securing railway lines **หมายเลขสิทธิบัตร** US 20120211711 A1 **ลงวันที่** 23 ส.ค. 2012

ทำการออกแบบระบบความปลอดภัยของรางรถไฟ ซึ่งจะป้องกันการลื่นไถลของรถไฟออกนอกราง ซึ่งโดยปกติรางรถไฟ จะต้องขนานกันตลอดเมื่อรถไฟวิ่งรางจะต้องถูกขนานกันตลอด โดยเมื่อคำนึงถึงชนิดของรถไฟ รถไฟในเมืองจะมีน้ำนักเบากว่า ซึ่งมีความเสี่ยงในการลื่นไถลออกนอกรางสูง ตัวอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบนี้จะสามารถป้องกันสัตว์ หรือมนุษย์ได้ โดยในระบบประกอบด้วย

ส่วนของการวัดแรงตึงของราง ระหว่างรางที่ขนานกัน โดยจะทำการติดตั้งไปกับตัวรางรถไฟ เมื่อเกิดการลื่นไถล ตัวอุปกรณ์จะทำการตรวจจับจากระยะความห่างระหว่างรางทั้งสอง เมื่อทำการตีดตั้งอุปกรณ์ จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้แก่สัตว์หรือมนุษย์ที่เดินผ่านทางรถไฟได้

สิทธิบัตร On-line fault diagnosis device for railwaylocomotives **หมายเลขสิทธิบัตร** CN 202041849 U**ลงวันที่**16 พ.ย. 2011

ระบบการตรวจสอบรางรถไฟแบบออนไลน์ โดยทำการแก้ปัญหาโดยทำการออกแบบระบบให้มีความฉลาด สามารถทำการตรวจสอบตำแหน่งผิดพลาดของรางรถไฟ แบบออนไลน์ โดยจะทำการรับสัญญาณอนาล็อก แล้วทำการเปลี่ยนเป็นข้อมูลดิจิตอล เพื่อส่งเข้ากับชุดควบคุม และส่งข้อมูลออกในรูปแบบสัญยาณดิจิตอล และมีการแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก โดยสัญญาณจะมีการเชื่อมต่อในรูปแบบ RS-485 ส่วนสำคัญของระบบนี้ก็คือสามารถทำการตรวจสอบตำแหน่งผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการบำรุงรักษา และรถการเสียหายลง

สิทธิบัตร **Diagnostic system and method for monitoring a rail system****หมายเลขสิทธิบัตร** US 20100204857 A1 **ลงวันที่** 12 ส.ค. 2010

ระบบตรวจสอบนี้จะประกอบไปด้วยเซนต์เซอร์ ที่ทำการตรวจสอบตำแหน่งของราง โดยจะทำการติดตั้งตำแหน่งเซนเซอร์ โดยตัวเซ็นเซอร์จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของรางรถไฟ โดยข้อมูลจะถูกส่งออกมากตัวเซนเซอร์ที่ทำการติดตั้งไว้ที่รางรถไฟ โดยที่ข้อมูลที่ส่งออกมาจากตัวเซนเซอร์นั้นจะมีรูปแบบที่โดยจัดเป็นหมวดหมู่ ซึ่งจะทำให้สามารถแยกแยะ และเปรียบเทียบความแตกต่างของสภาพรางได้ โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ แล้วจะแปลความหมายตามที่ข้อมูลตรงกันกับที่ได้ทำการจัดเก็บไว้ ซึ่งจะเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบสภาพของราง สรุปคือ จะมีการจัดเก็บข้อมูลรางรถไฟไว้ก่อน โดยจะทำการอ้างอิงกับตำแหน่งที่อยู่ หลังจากนั้นจะมาทำการตรวจสอบอีกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกัน ในกรณีที่ปกติ แต่ถ้าออกมาไม่ตรงกันก็จะแสดงให้เห็นว่ามีการผิดเพี้ยนไป

- **สิทธิบัตร** Inspecting apparatus for measuring sensors mounted on train **หมายเลขสิทธิบัตร** US 4817019 A **ลงวันที่** 28 มี.ค. 1989

ระบบการตรวจสอบรถไฟ โดยจะทำการติดตั้งเซนเซอร์ไว้กับรถไฟ โดยในระบบจะมีชุดหน่วยความจำและชุดประมวลผลทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ ที่ทำการติดตั้งไว้กับรถไฟ โดยชุดเซนเซอร์จะถูกตั้งตั้งไว้ยังตู้รถไฟขบวนแรก ข้อมูลที่ทำการวัดได้จากแต่ละเซนเซอร์นั้นจะถูกส่งผ่านไปยังศูนย์กลาง และทำการเก็บลงในหน่วยความจำ หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ทำการจัดเก็บไว้ในครั้งแรก ถ้ามระบบไม่มีความผิดปกติจะต้องมีค่าที่

เหมือนกัน ระบบที่นำเสนอนี้ไม่จำเป็นต้องถอดออก เมื่อใช้งานเสร็จสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องถอดออกมา

- **สิทธิบัตร** Railroad surveying and monitoring system **หมายเลขสิทธิบัตร** US 8180590 B2 **ลงวันที่** 15 พ.ค. 2012

ระบบการสำรวจรถไฟ โดบสามารถทำการแสดงสถานะบนโทรศัพท์มือถือได้ ใช้ในการตรวจสอบตู้โดยสารขบวนรถไฟ และสามารถทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของราง โครงสร้างของราง สภาพของรางที่แตกต่าง โดยในระบบจะทำการติดตั้งระบบตรวจสอบตำแหน่งความแม่นยำสูง สองชุดหรือมากกว่า และใช้ระบบนำร่องเรดาห์ภาคพื้น เพื่อทำการตรวจสอบสภาพความนำไฟฟ้าของรถไฟโดยใช้ระบบการตรวจด้วยกล้อง ข้อมูลจะทำการส่งไปยังชุดประมวลผล ซึ่งจะสามารถแสดงผลหรือเก็บบันทึกไว้ ความถูกต้องของระบบระบุตำแหน่งนั้นะมีความถูกต้องสูง เพื่อช่วยในการระบุตำแหน่งของเส้นทางรถไฟ ได้อย่างถูกต้องและเรียลไทม์

- **สิทธิบัตร** Apparatus and method for microwave imaging and excavation of objects **หมายเลขสิทธิบัตร** US 6377872 B1 **ลงวันที่** 23 เม.ย. 2002

ระบบการแสดงผลภาพด้วยการใช้ข้อมูลทางคลื่นไมโครเวฟสำหรับในการตรวจสอบ การขึ้นภาพของวัตถุนั้นจะทำการขึ้นภาพพื้นผิวของวัตถุต่างๆ และในวัตถุที่เป็นชนิดที่มีการสื่อนำไฟฟ้า โดยจะทำการส่งคลื่นความถี่แบบต่อเนื่อง แพร่กระจายออกไปตามพื้นดิน โดยที่คลื่นต่อเนื่องที่ถูกส่งออกไปนี้คือคลื่นเรดาห์ โดยจะถูกส่งออกไปจากท่อนำคลื่นที่ติดอยู่กับสายอากาศ พลังงานคลื่นไมโครเวฟจะถูกส่งผ่านไปยังวัตถุ แล้วจะเกิดการสะท้อนกลับเมื่อไปปะทะกับพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งจะใช้สายอากาศแบบมีทิศทางในย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นตัวรับในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับวัตถุที่สะท้อน สเปรกตรัมของคลื่นไมโรเวฟจะมีความแตกต่างกันตามวัตถุที่สะท้อนคลื่น โดยจะมีความสัมพันธ์กับการเรโซแนนท์ตามธรรมชาติของแม่เหล็กไฟฟ้า ระบบนี้สามารถตรวจสอบวัตถุได้โดยการนำเอาหลักการเรดาห์เข้ามาประยุกต์ใช้

- **สิทธิบัตร**Apparatus and method for rail track inspection **หมายเลขสิทธิบัตร** US 6570497 B2 **ลงวันที่** 27 พ.ค. 2003

ระบบการตรวจสอบสภาพทางรางโดยใช้สายอากาศส่งผ่านคลื่นเรดาห์ไปยังรางรถไฟฟ แล้ว ทำการวัดสัญญาณด้วยสายอากาศอีกชุด ที่มีการสะท้อนกลับมาจากรางรถไฟ ตัวชุดส่งสัญยาณเรดาห์จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับสายอากาศและทำการส่งสัญญาณเรดาห์ไปยังสายอากาศ ชุดรับสัญยาณเรดาห์นั้นจะเชื่อมต่อกับสายอากาศ ทำการวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับมา และจะมีชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม เชื่อมต่อกับชุดส่งเรดาห์เพื่อทำการควบคุมการส่งสัญญาณเรดาห์ จากชุดกำเนิด ในกระบวนการประมวลสัญญาณนั้นจะมีขั้นตอนที่ไม่มาก โดยจะทำการประมวลข้อมูลอินพุทจากเรดาห์ที่สะท้อนกลับมาจากชุดรับสัญญาณเรดาห์ เพื่อทำการแยกแยะสภาพของรางรถไฟ

สิทธิบัตร Intelligent residential district electricity meter system

หมายเลขสิทธิบัตร CN206442401U ลงวันที่ 2017.08.25

สิ่งอำนวยความสะดวกนี้เกี่ยวข้องกับระบบมิเตอร์ไฟฟ้าโดยเฉพาะคือระบบมิเตอร์ไฟฟ้าในย่านที่อยู่อาศัยแบบอัจฉริยะประกอบด้วยเครือข่ายแอมป์มิเตอร์ เครือข่ายเราเตอร์ เครือข่ายผู้ประสานงาน ศูนย์เฝ้าระวังและเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งระบบเครือข่ายแอมป์มิเตอร์ เราเตอร์และระบบเครือข่ายผู้ประสานงานจะใช้เทคนิค zigbee เพื่อดำเนินการติดตั้งเครือข่าย การติดต่อสื่อสารและการส่งข้อมูล การตรวจจับและการเชื่อมต่อศูนย์ข้อมูลและการส่งข้อมูลกับผู้ประสานงานกับเซิร์ฟเวอร์ตามลำดับผ่านพอร์ตอนุกรม ประโยชน์ที่ได้ของแบบจำลองนี้คือ การวัดที่แม่นยำและสถิติ สามารถทำได้กับขนาดการใช้พลังงานของระบบเครือข่ายแอมป์มิเตอร์ และยังคงมีฟังก์ชั่นการสื่อสารทางวิทยุพร้อมกันกับเครือข่ายแอมป์มิเตอร์ เครือข่าย GPRS การตรวจจับการสื่อสารด้วยตัวอักษรและการส่งข้อมูล ระบบยังสามารถทำงานในระยะยาวที่จะอ่านแต่ละเครือข่ายแอมป์มิเตอร์โดยอัตโนมัติ การปรับค่าไฟฟ้าของแต่ละเครือข่ายแอมป์มิเตอร์ผู้ใช้สามารถเข้าสู่บริการข้อมูลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์และสามารถดูค่าของแอมป์มิเตอร์และค่าไฟฟ้าได้

สิทธิบัตร Intelligent residential district integrated management system

หมายเลขสิทธิบัตร CN202735829U ลงวันที่ 2013.02.13

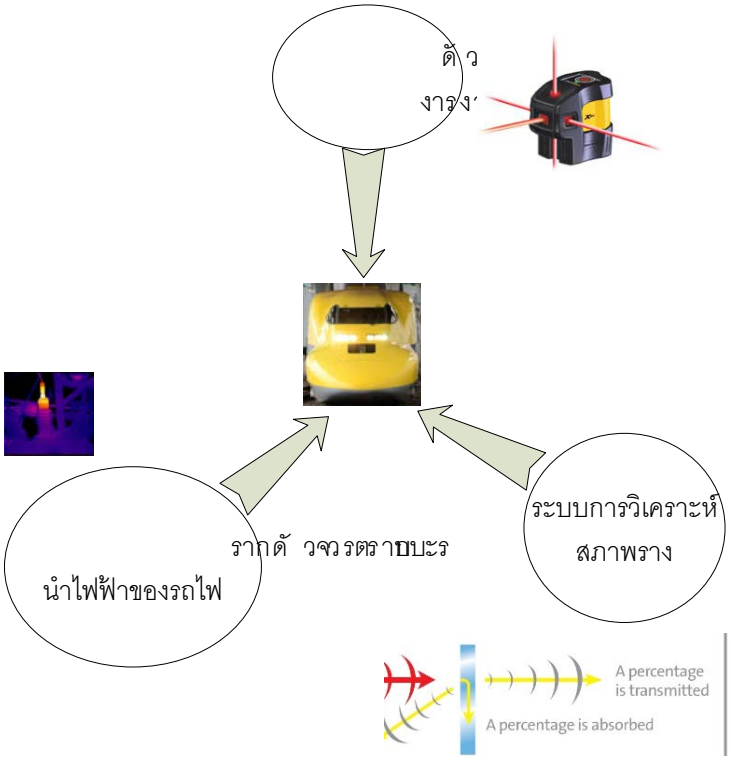
สิ่งอำนวยความสะดวกนี้เกี่ยวกับระบบการจัดการแบบรวมของที่อยู่อาศัยแบบอัจฉริยะ ผ่านเส้นใยแก้วผสมสายไฟและเทคโนโลยี EPON ระบบใช้เครือข่ายใยแก้วของ EPON เพื่อให้เกิดการรวมบริการของเครือข่ายทั้งสามได้แก่ โทรทัศน์ โทรศัพท์และอินเทอร์เน็ต ระบบช่วยให้ฟังก์ชั่นของการกระจายอัตโนมัติ การกระจายกำลังและการใช้งานแบบบูรณาการ การกำกับดูแลการเข้าถึง การสร้างและการกระจาย การกระจายการบริการเครือข่าย การรวบรวมข้อมูล การใช้พลังงาน การเรียกเก็บเงิน การสั่งซื้อ electromobile ความปลอดภัยของเขตที่อยู่อาศัยได้รับการปรับปรุงอย่างมีประสิทธิภาพและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน ระบบจะตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบสาธารณูปโภคเพื่อให้มั่นใจว่าการทำงานของระบบสาธารณูปโภคเป็นไปตามปกติและปรับปรุงระดับการจัดการทรัพย์สิน ระบบรับรู้มิเตอร์อ่านมิเตอร์น้ำมิเตอร์ก๊าซ ฯลฯ จากระยะไกลเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการและการใช้งานนั้นง่าย ปลอดภัยและเชื่อถือได้ ระบบที่อยู่อาศัยที่ชาญฉลาดใช้อุปกรณ์อัจฉริยะที่ตรงตามมาตรฐานของ Internet of Things เพื่อให้ได้การควบคุมบ้านอัจฉริยะและให้ความปลอดภัย ความสะดวกสบายและสภาพแวดล้อมที่สะดวกสบายสำหรับเขตที่อยู่อาศัยและแต่ละครอบครัว

บทที่ 3
การดำเนินการ

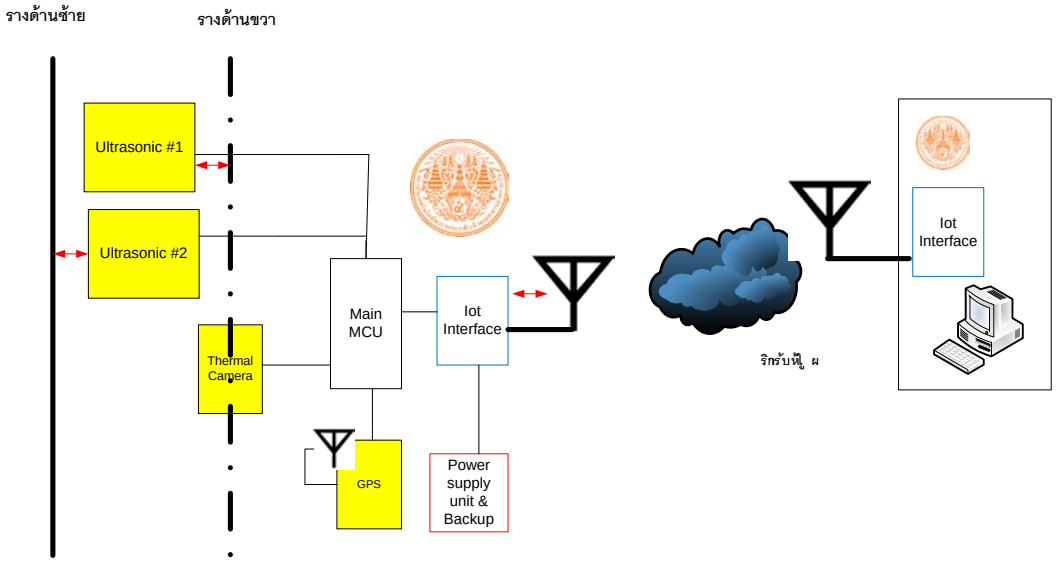
ในบทนี้จะกล่าวถึงผังการทำงานระบบ จะเริ่มต้นจากการทำส่วนของการตรวจวัดส่วนใหญ่ๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การตรวจวัดระยะรางด้วยอัลตร้าโซนิคความแม่นยำสูง
2. ตรวจตรวจวัดสภาพการนำไฟฟ้า ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน
3. ชุดตรวจวัดสภาพรางด้วยหลักการอคลูสติก

ทั้งสามส่วนทำการทดสอบแยกกัน โดยทางทีมงานจะจัดแบ่งทีมทำงานแบบคู่ขนาน เพื่อทำการทดสอบ หลังจากนั้นอินเทอร์เฟสแต่ละส่วนเข้ากับหน่วยประมวลผลแต่ละชุด สาเหตุที่ต้องแยกการประมวลผลแต่ละการตรวจวัดออกเป็นชุดๆ เนื่องมาจากใช้ความละเอียดในการวัดที่สูง โดยแต่ละชุดจากผ่านชุดแผงวงจร I/O ความเร็วสูง เช่น FPGA หรือ GPU เพื่อให้สามารถทำการประมวลผลข้อมูลได้ทัน หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลเข้ามายังชุดประมวลผลกลางทำการสำรองข้อมูลพร้อมทั้งส่งผ่านข้อมูลที่พิกัดตำแหน่งต่างๆ ผ่านระบบโทรศัพท์มือถือ ส่งข้อมูลไปยังส่วนซ่อมบำรุงเพื่อแจ้ง ความผิดปกติเบื้องต้นของสภาพราง กับหน่วยซ่อมบำรุงเพื่อทำการตรวจบำรุงรักษาก่อนการชำรุดหนัก และส่งข้อมูลทั้งหมดไปสำรองแบบออนไลน์ที่ห้องวิจัยเพื่อทำการมอนิเตอร์ระบบการตรวจวัดตลอดเส้นทาง

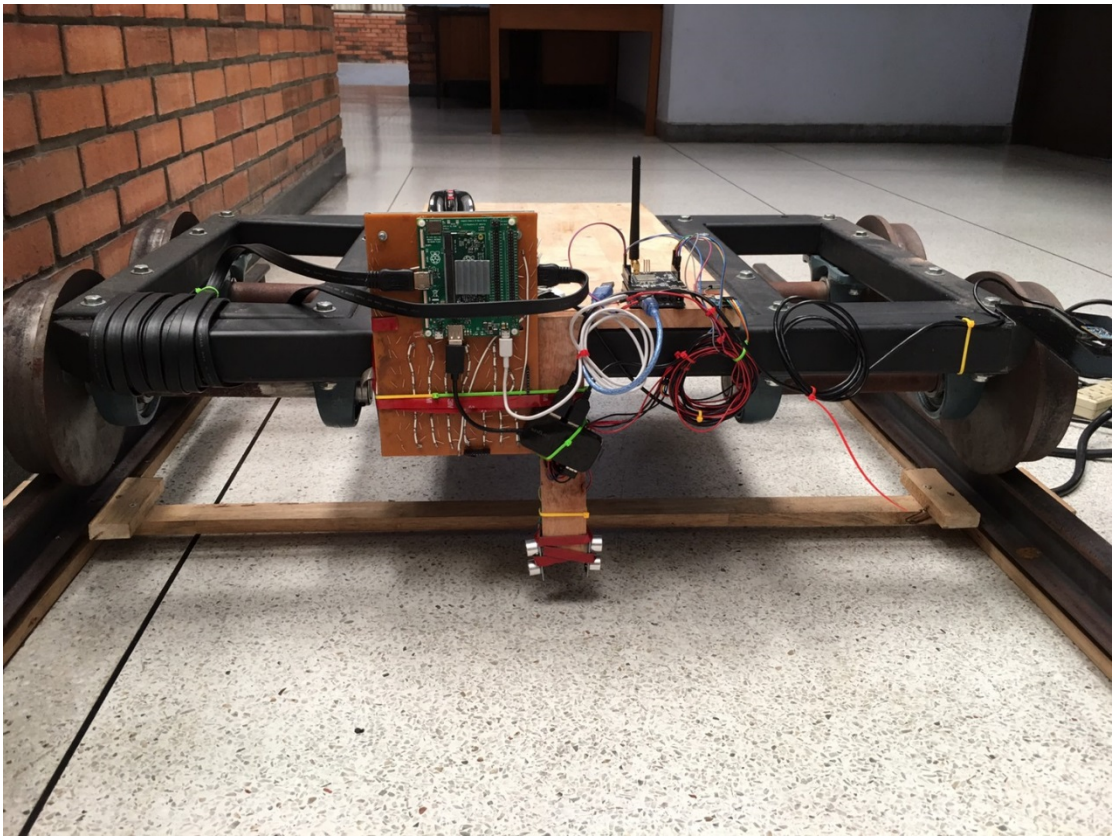


รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบของการสร้างชุดตรวจระบบราง

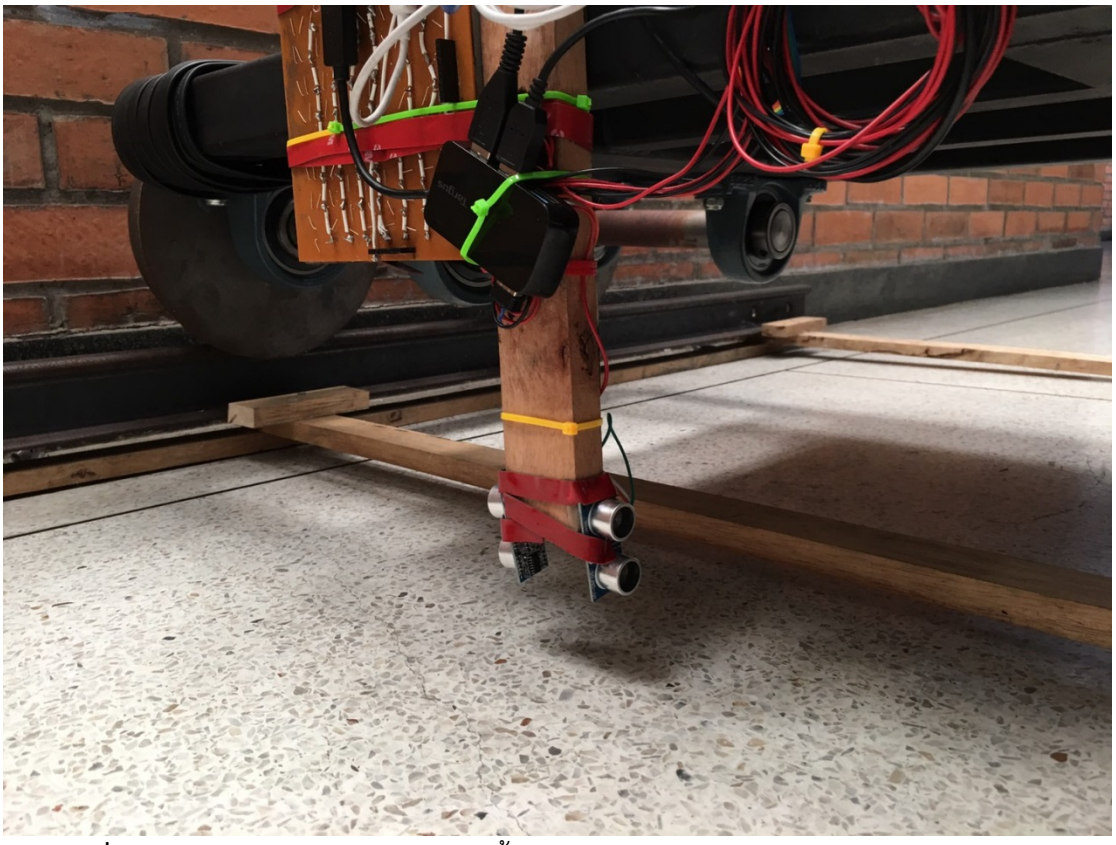


รูปที่ 3.2 แสดงรูปผังการทำงานของงานวิจัยที่ใช้ในการตรวจระบบราง

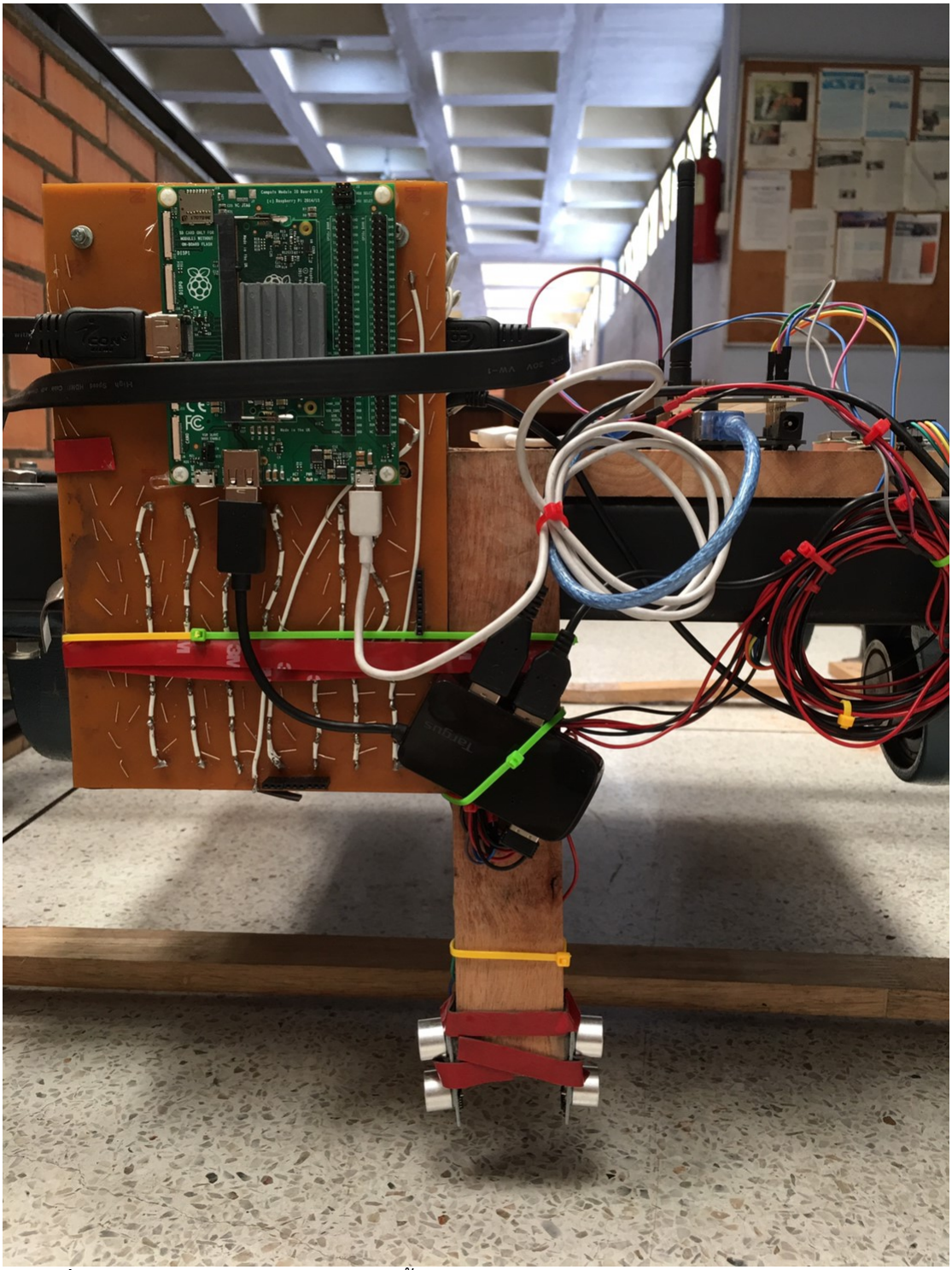
รูปแสดงต้นแบบรถตรวจระบบราง



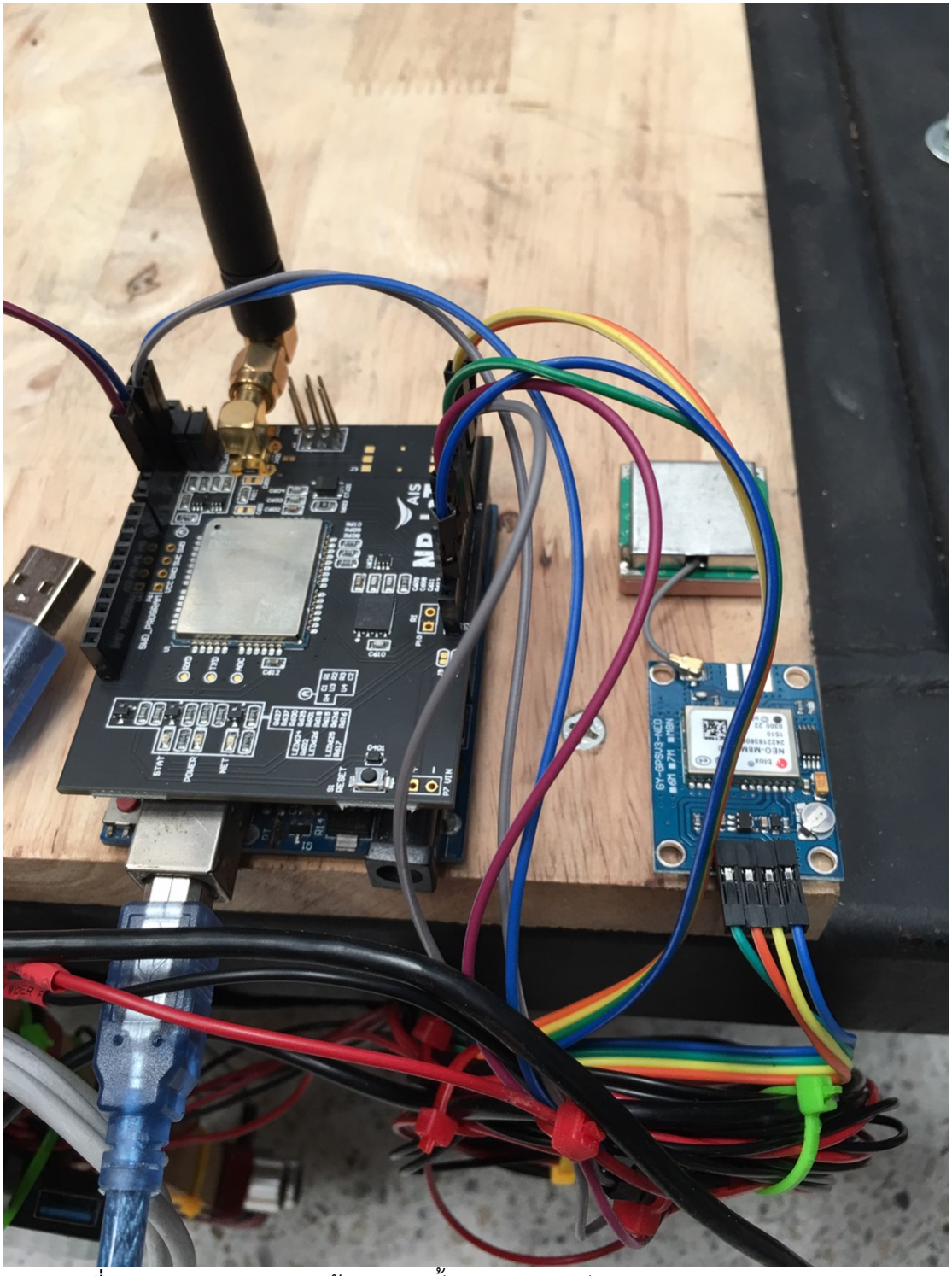
รูปที่ 3.3 แสดงรถตรวจรางต้นแบบที่ได้ทำการพัฒนา



รูปที่ 3.4 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดตรวจระยะห่างของรางรถไฟ

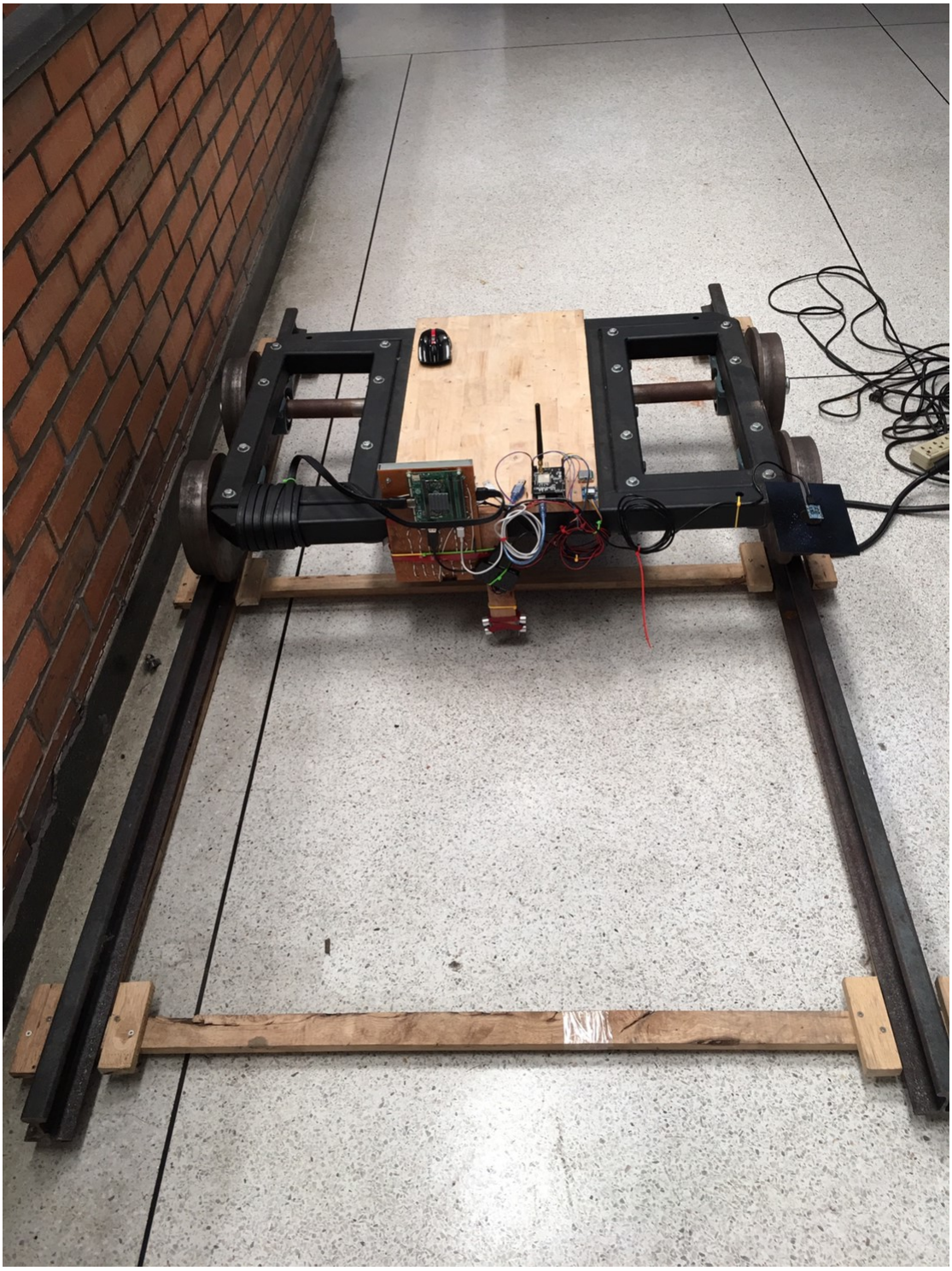


รูปที่ 3.5 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดตรวจระยะห่างของรางรถไฟ(ต่อ)



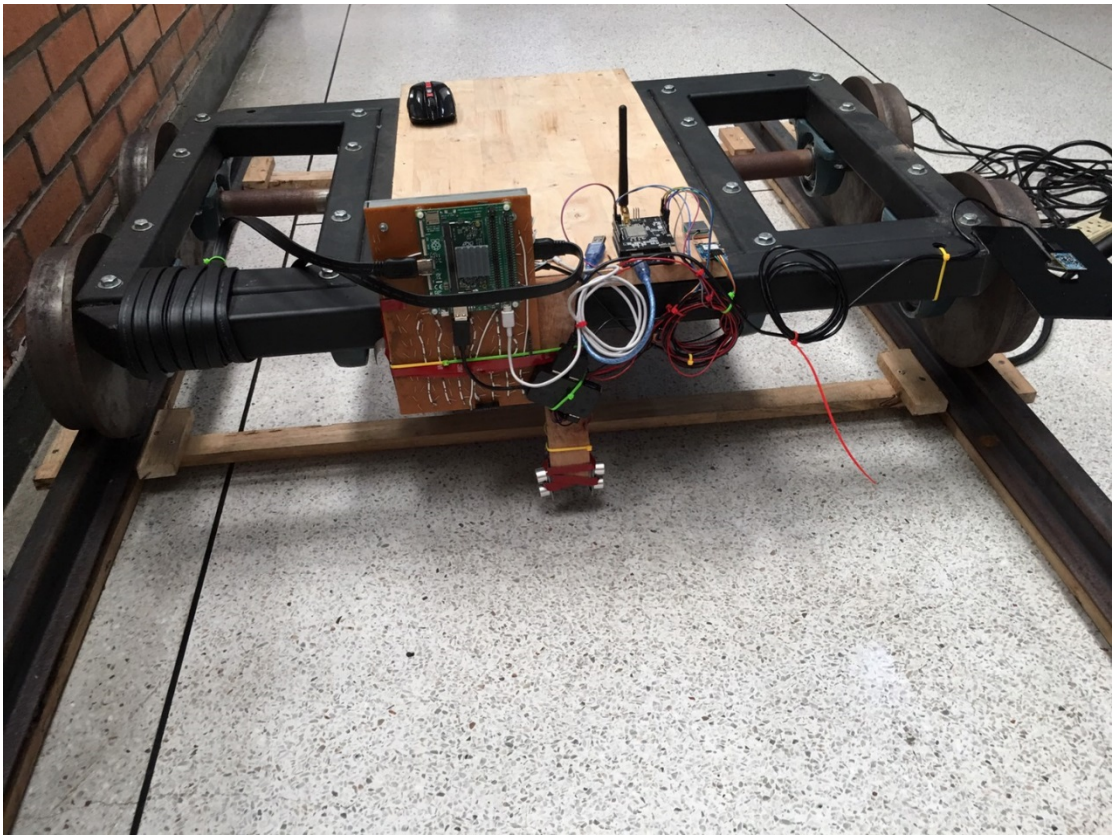
รูปที่ 3.6 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดระบุตำแหน่งและ NB-IOT

รูปที่ 3.7 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดประมวลผลหลัก

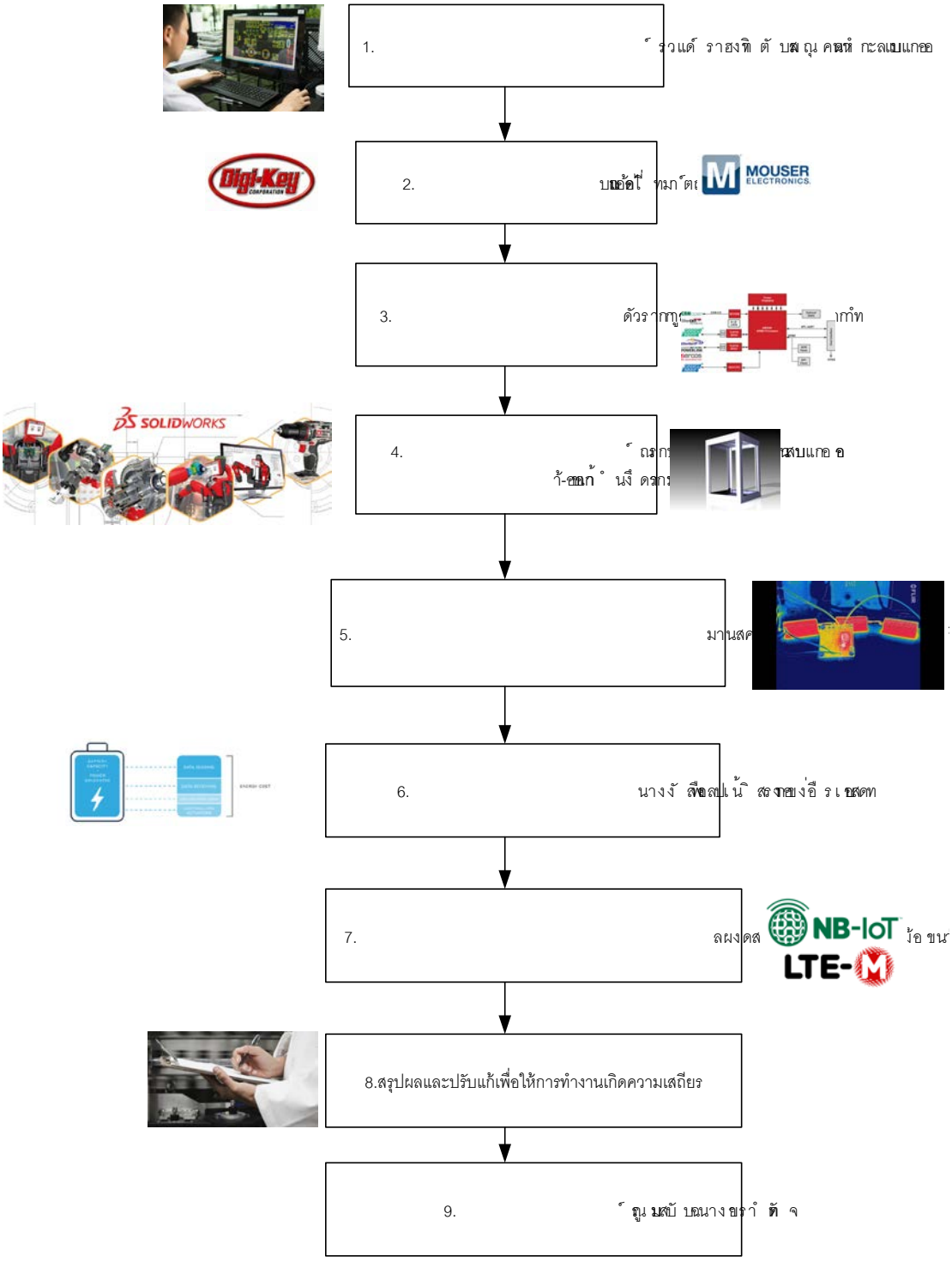


รูปที่ 3.8 แสดงการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ(ด้านหน้า)

รูปที่ 3.9 แสดงการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ(ด้านหลัง)



รูปที่ 3.10 แสดงรถตรวจรางต้นแบบติดตั้งชุดวัดระยะทางอัลตร้าโซนิค

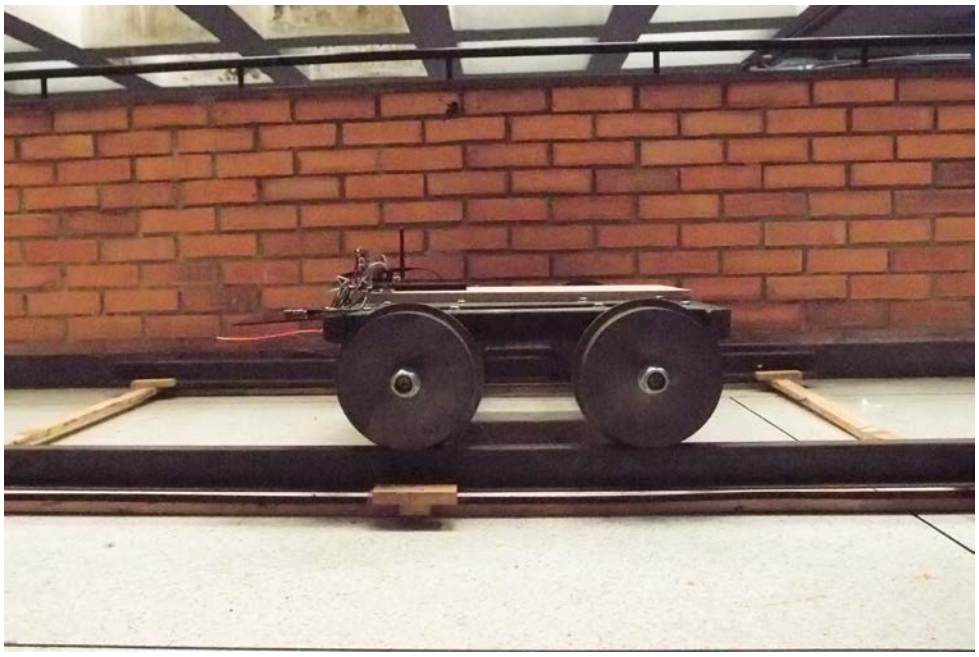


รูปที่ 3.11 แสดงขั้นตอนในการทำวิจัย

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ในโครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจจับความร้อนทีเกิดบนรางและวัดระยะระหว่างรางรถไฟผ่านเครือข่าย NB IoT

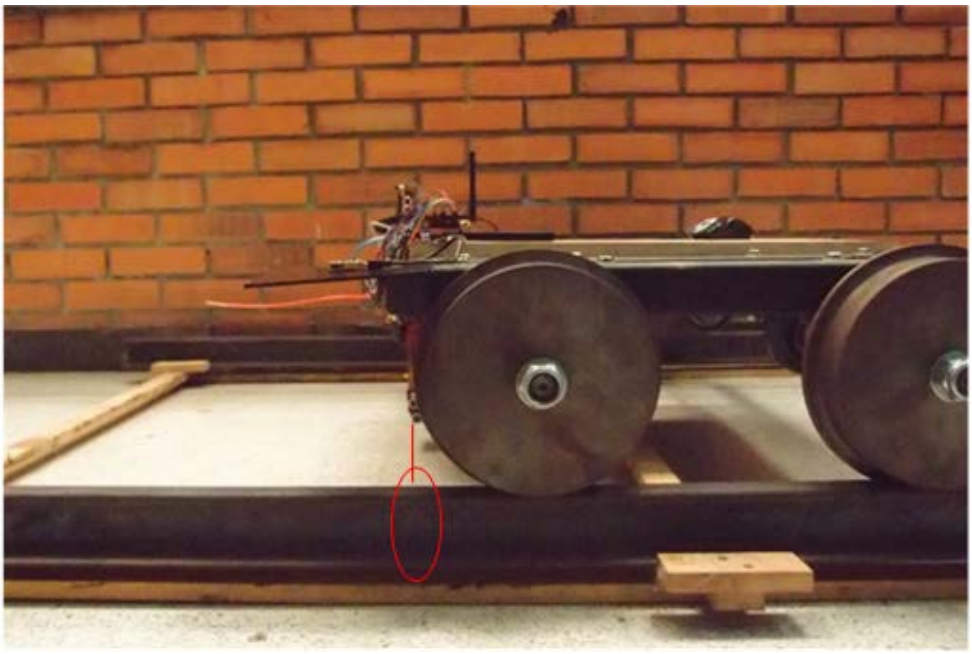
4.1 ผลการทดลองด้านแบบจำลอง



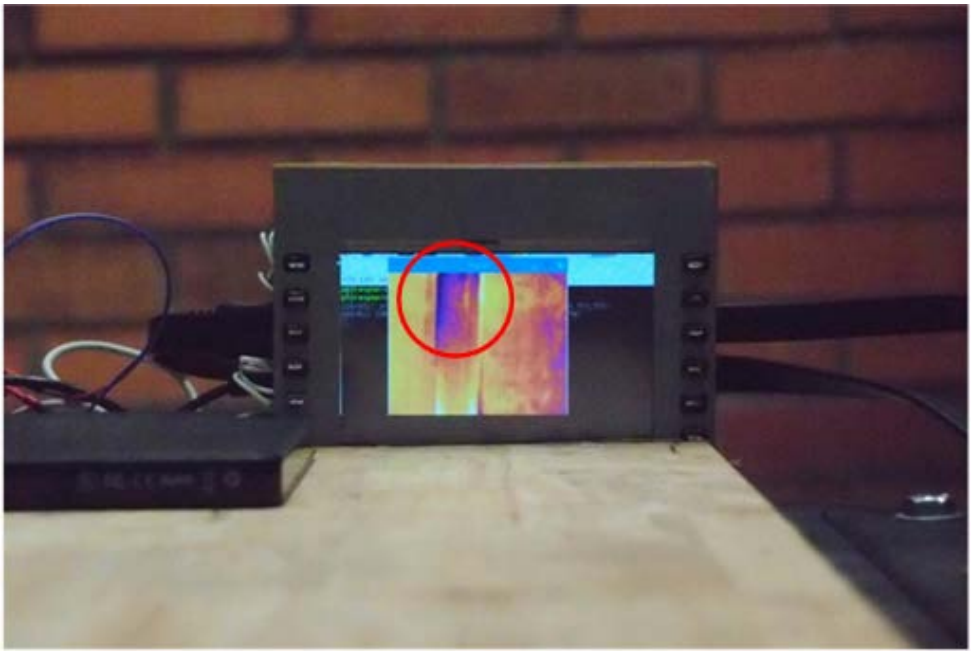
รูปที่ 4.1 แสดงแบบจำลองรถรางสำหรับตรวจสอบรางรถไฟ

จากรูปที่ 4.1 เป็นแบบจำลองรถรางสำหรับการตรวจสอบรางรถไฟแบบเคลื่อนที่ โดยสามารถตรวจสอบความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างตัวรางกับล้อที่เกิดการวิ่งผ่าน โดยใช้ กล้องตรวจจับความร้อน และ ใช้เซนเซอร์วัดระยะระหว่างรางทั้งสองด้าน และมีการติดตั้งระบบ GPS เพื่อระบุตำแหน่งปัจจุบันที่อุปกรณ์ติดตั้งอยู่ ผ่านเครือข่าย NBToT

4.2 ผลการทดลองด้านการตรวจสอบความร้อน

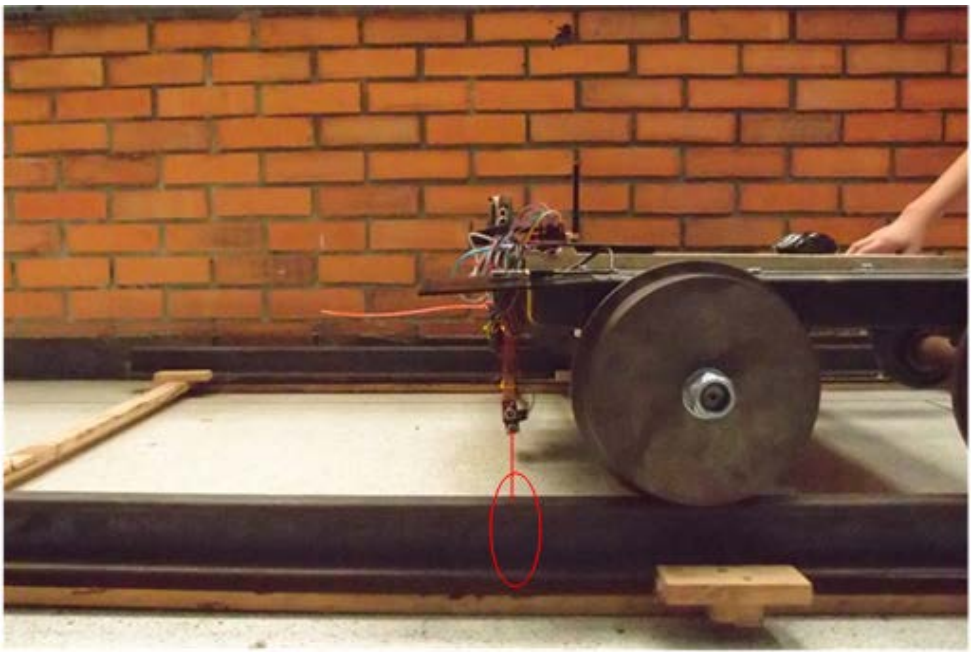


รูปที่ 4.2 แสดงการตรวจจับความร้อนที่รางในตำแหน่งที่ไม่เกิดการสัมผัส

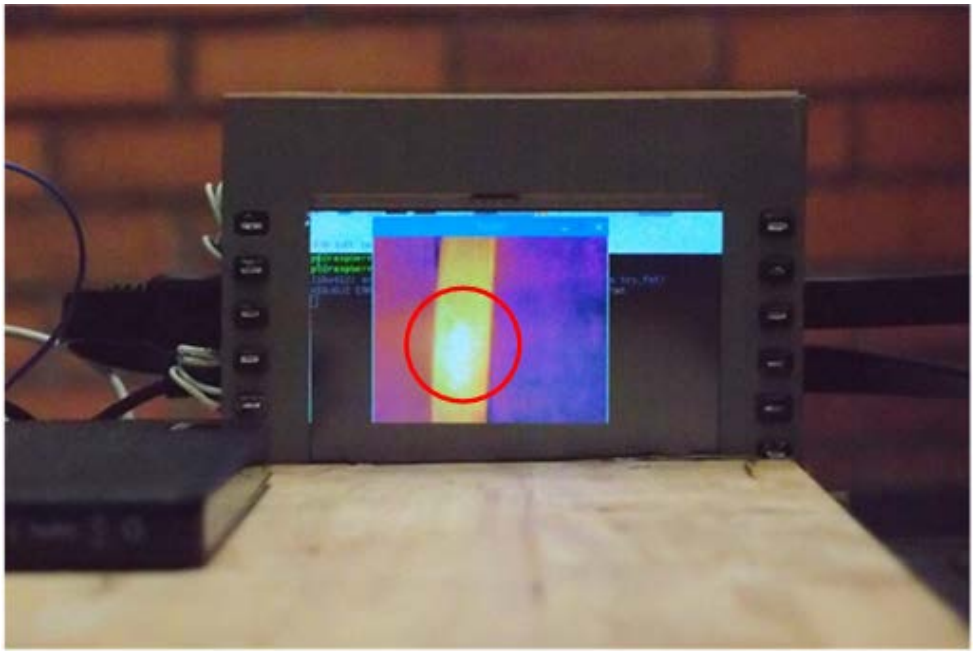


รูปที่ 4.3 แสดงผลความร้อนที่เกิดบริเวณพื้นผิวของราง

จากรูปที่ 4.2 แสดงการตรวจจับความร้อนที่รางในตำแหน่งที่ไม่เกิดการสัมผัส แล้วเมื่อนำกล้องตรวจจับความร้อนจะพบว่าไม่เกิดความร้อนเนื่องจากเป็นบริเวณที่ไม่มีการสัมผัสกับล้อของรถราง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.3

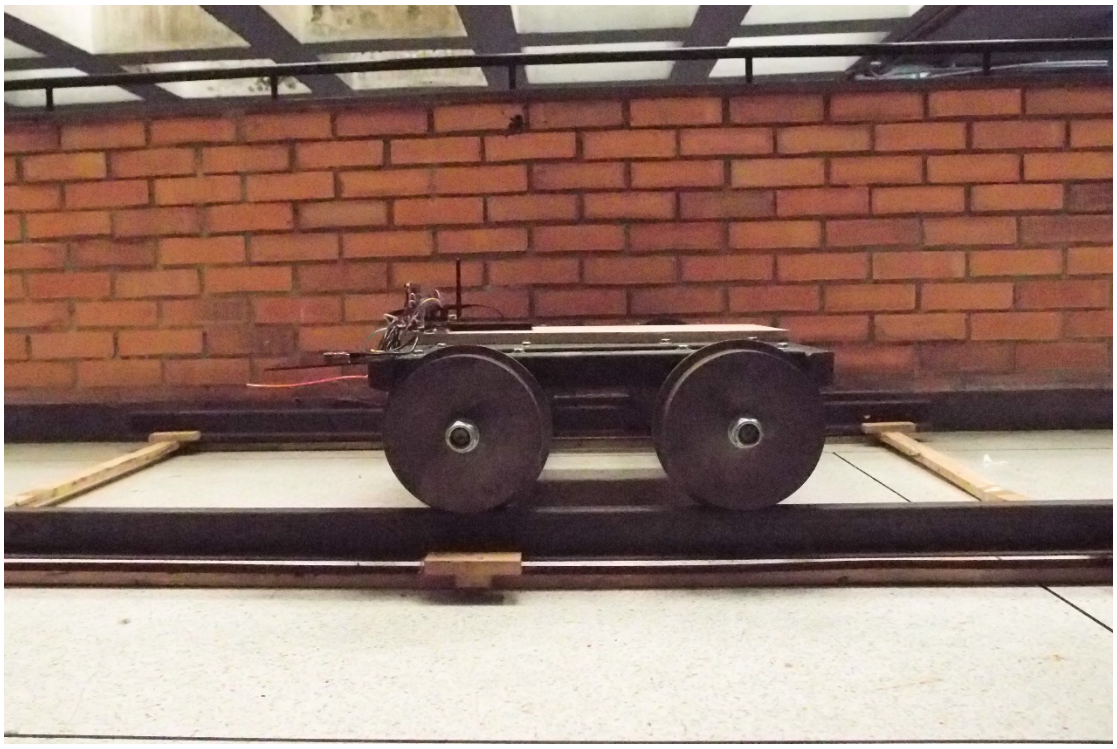


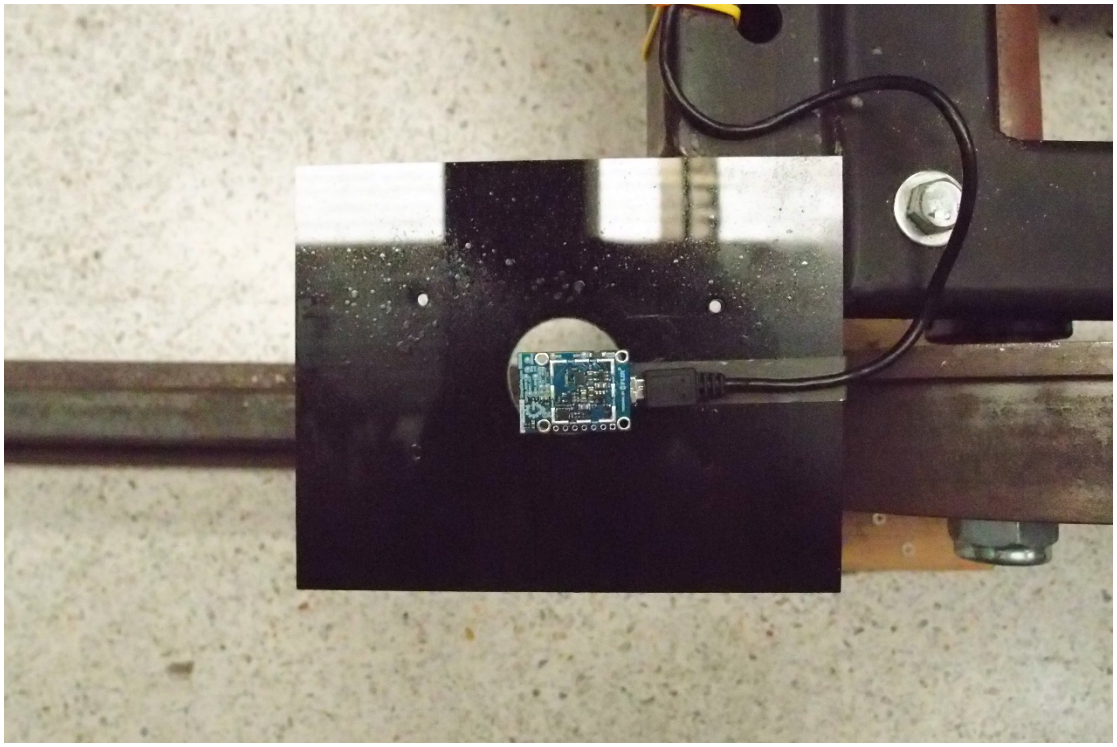
รูปที่ 4.4 แสดงการตรวจจับความร้อนที่รางในตำแหน่งเกิดการสัมผัส



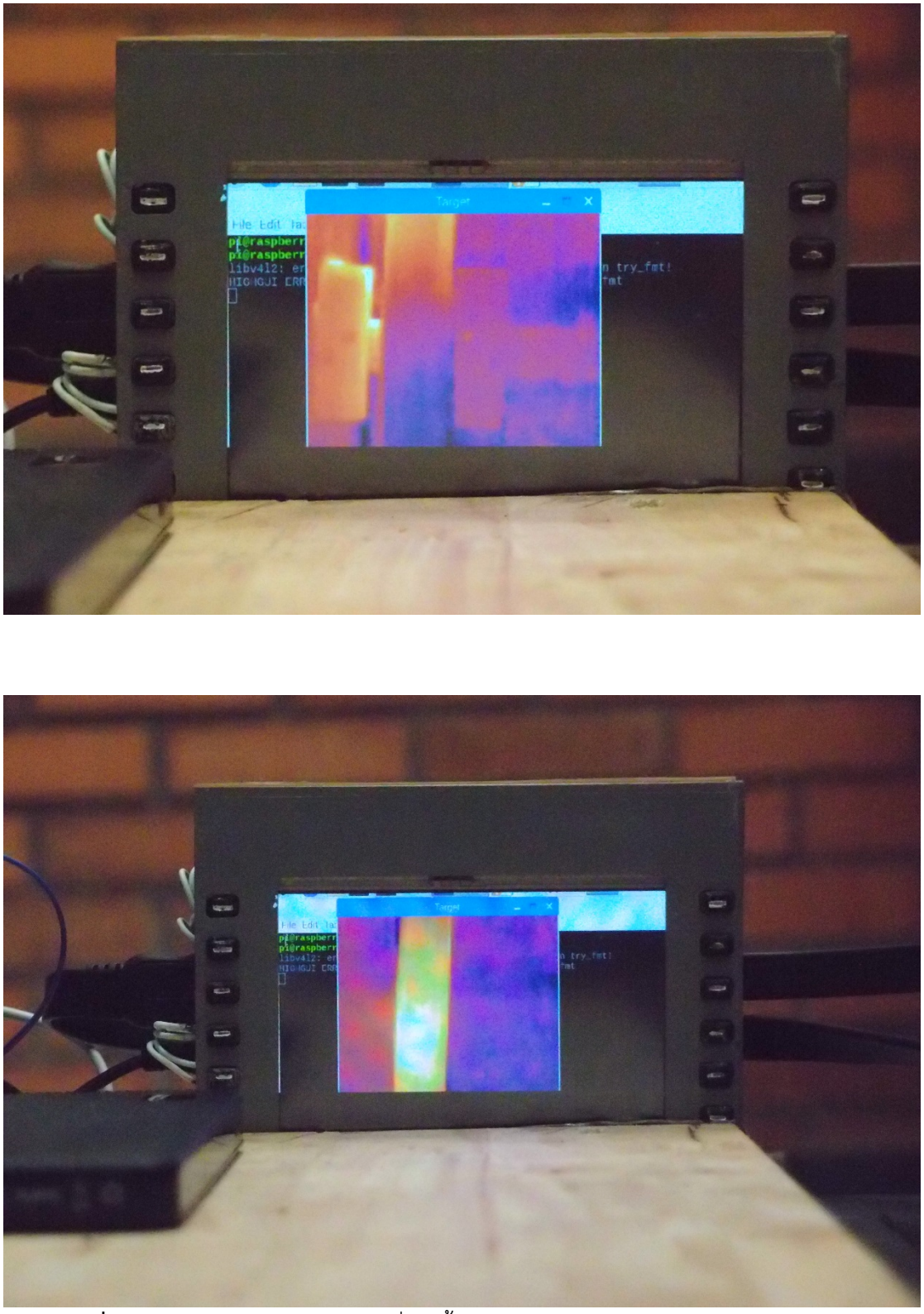
รูปที่ 4.5 แสดงผลความร้อนที่เกิดบริเวณพื้นผิวของราง

จากรูปที่ 4.4 แสดงการตรวจจับความร้อนที่รางในตำแหน่งเกิดการสัมผัส แล้วเมื่อนำกล้องตรวจจับความร้อนจะพบว่าเกิดความร้อนเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกับล้อของรถรางซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.5





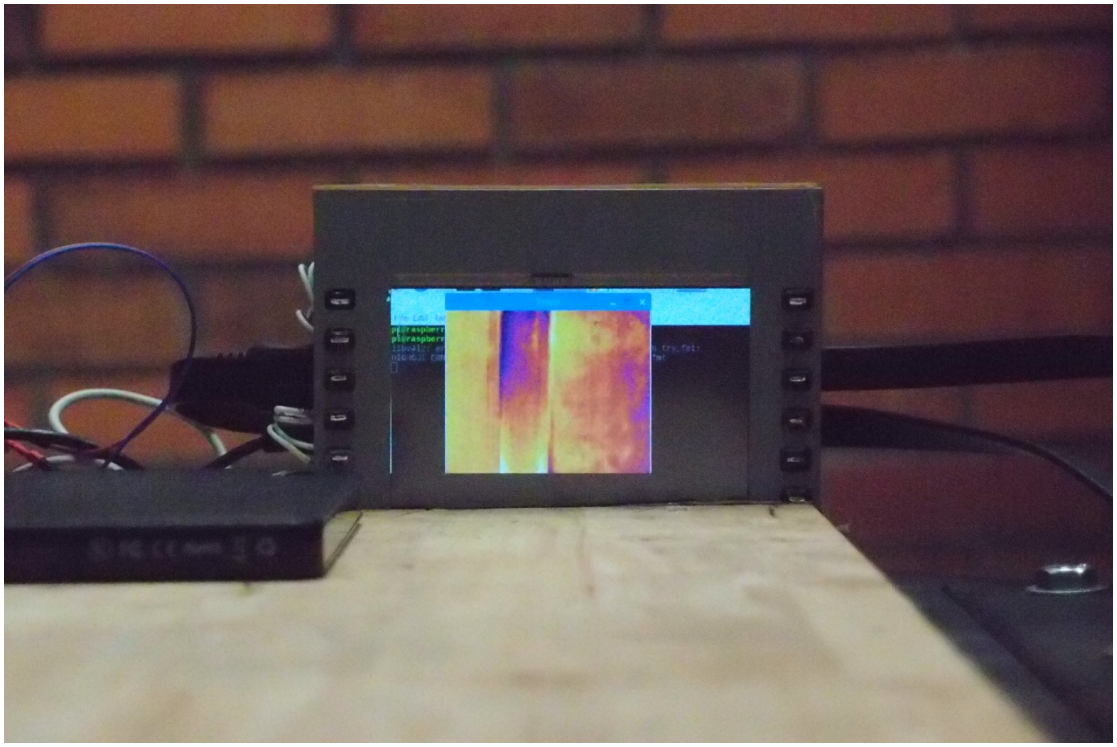
รูปที่ 4.6 แสดงเซนเซอร์การตรวจวัดความร้อนของราง

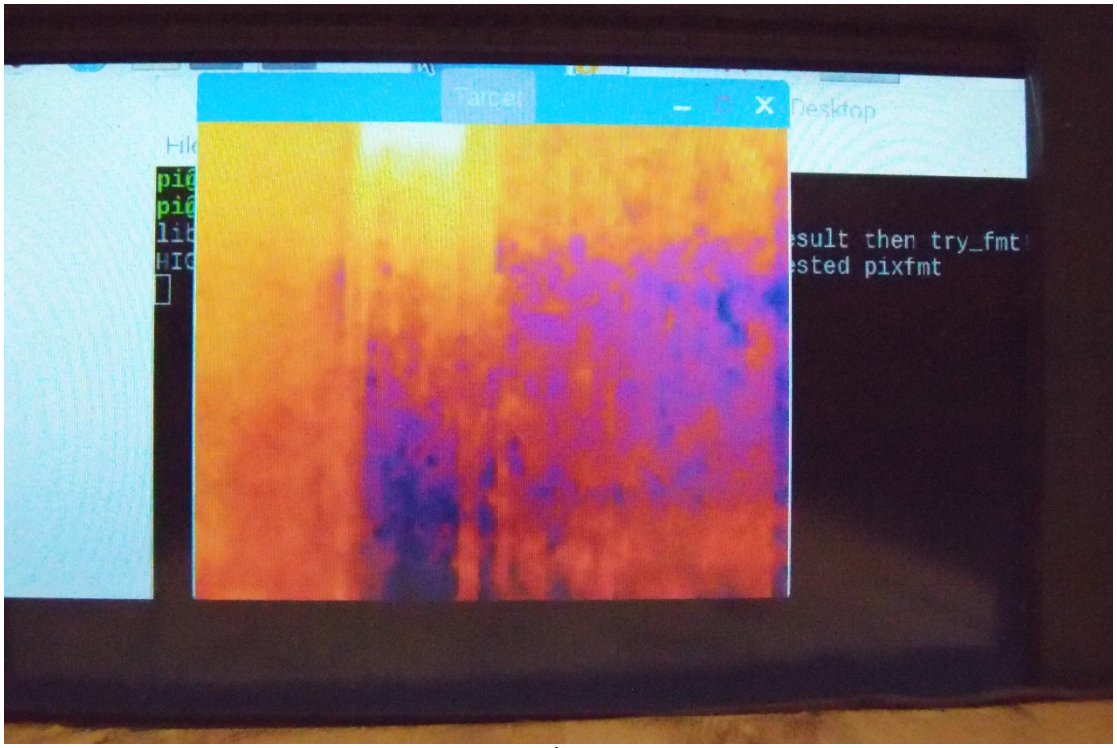


รูปที่ 4.7 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ผิดปกติ)

ในรูปที่ 4.7 ทำการทดลองถ่ายภาพความร้อนเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ โดยทำการให้ความร้อนกับรางด้วยเครื่องเป่าลมร้อน โดยทำการตั้งค่าการแสดงผลในโหมดภาพความร้อน แล้วทำการบัน

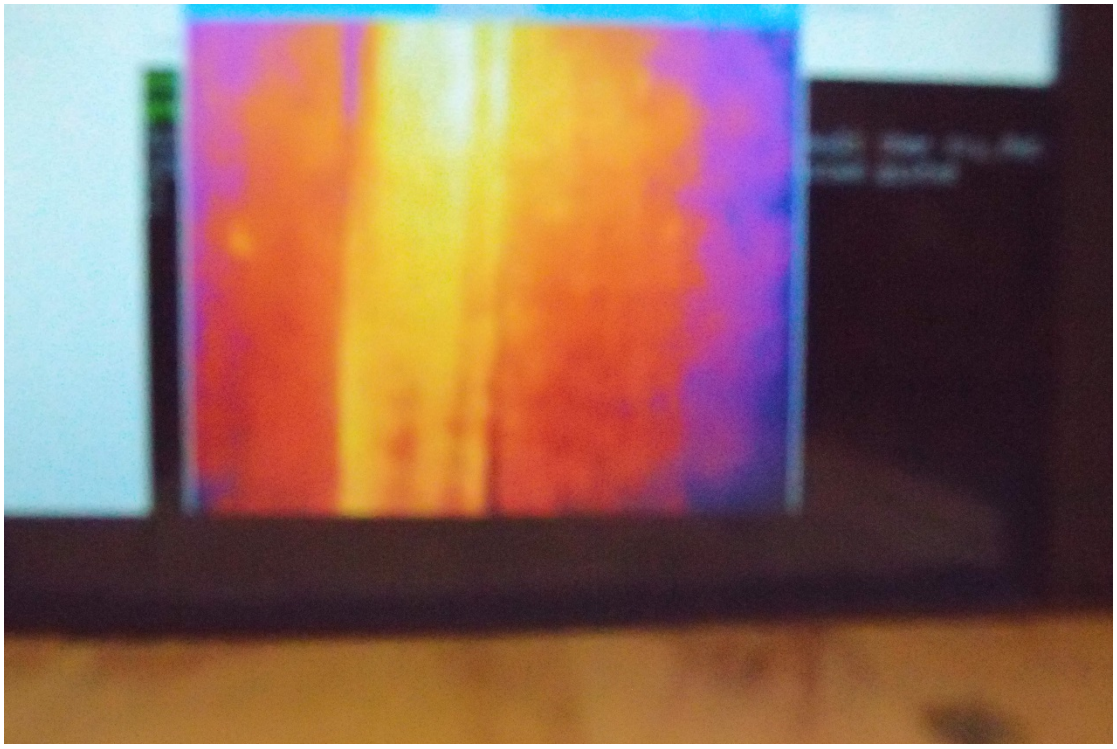
ข้อมูลลงในหน่วยความจำเมมโมรี่การ์ด พร้อมทั้งระบุค่าตัวเลขตำแหน่งเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งพิกัด GPS ที่ไปเก็บยังปลายทางผ่าน NB-IOT





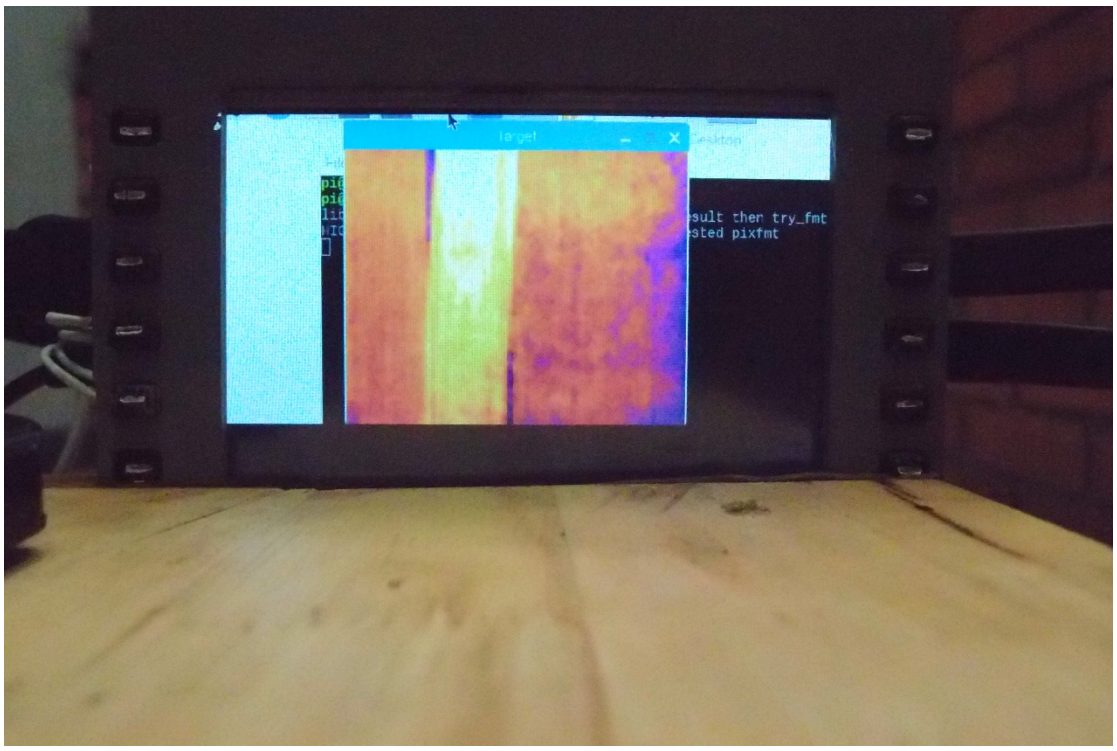
รูปที่ 4.8 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ปกติ)

ในรูปที่ 4.8 ทำการทดลองถ่ายภาพความร้อนเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ โดยทำการให้ความร้อนกับรางด้วยเครื่องเป่าลมร้อน โดยทำการตั้งค่าการแสดงผลในโหมดภาพความร้อน แล้วทำการบันข้อมูลลงในหน่วยความจำเมมโมรี่การ์ด พร้อมทั้งระบุค่าตัวเลขตำแหน่งเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งพิกัด GPS ที่ไปเก็บยังปลายทางผ่าน NB-IOT



รูปที่ 4.9 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ผิดปกติ)

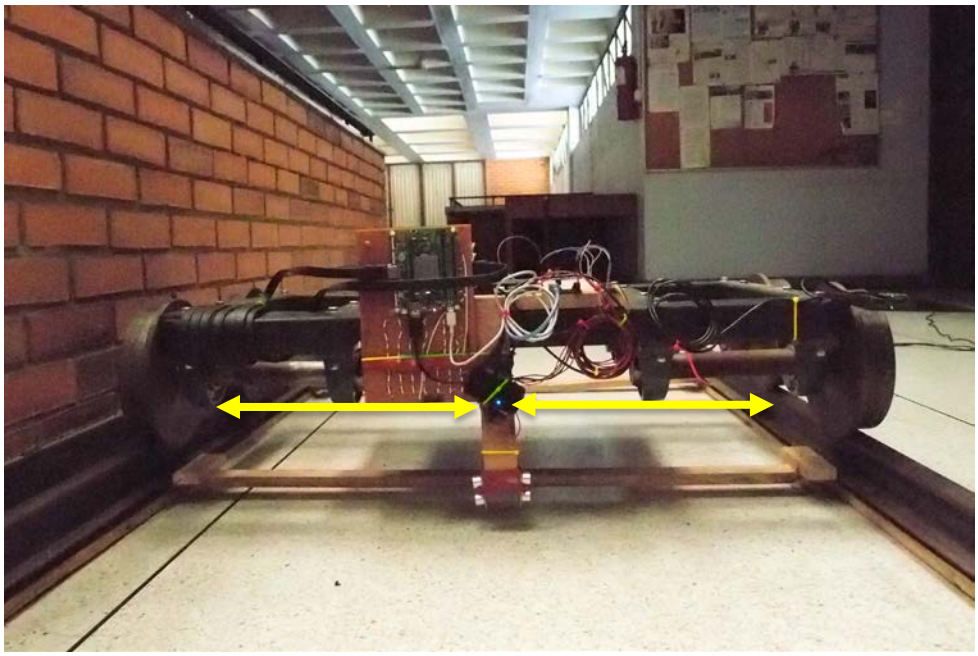
ในรูปที่ 4.9 ทำการทดลองถ่ายภาพความร้อนเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ โดยทำการให้ความร้อนกับรางด้วยเครื่องเป่าลมร้อน โดยทำการตั้งค่าการแสดงผลในโหมดภาพความร้อน แล้วทำการบันข้อมูลลงในหน่วยความจำเมมโมรี่การ์ด พร้อมทั้งระบุค่าตัวเลขตำแหน่งเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งพิกัด GPS ที่ไปเก็บยังปลายทางผ่าน NB-IOT



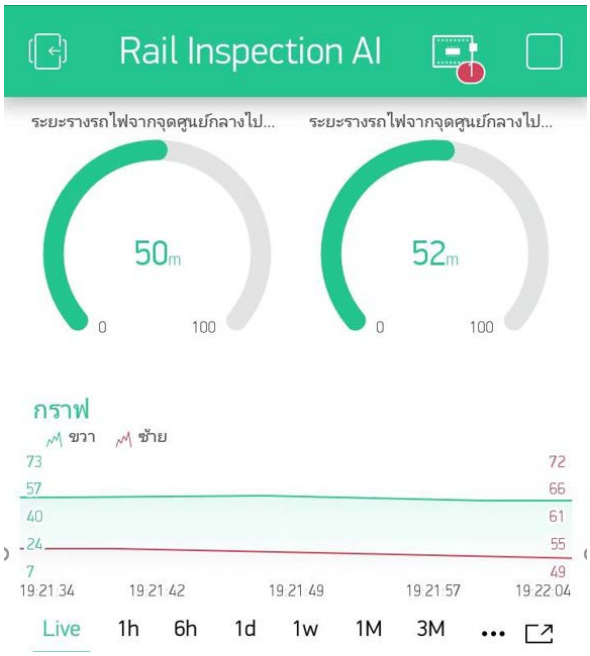
รูปที่ 4.10 ผลการถ่ายภาพความร้อนที่เกิดขึ้นกับรางโดยการให้ความร้อนกับราง(ผิดปกติ)

ในรูปที่ 4.10 ทำการทดลองถ่ายภาพความร้อนเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ โดยทำการให้ความร้อนกับรางด้วยเครื่องเป่าลมร้อน โดยทำการตั้งค่าการแสดงผลในโหมดภาพความร้อน แล้วทำการบันข้อมูลลงในหน่วยความจำเมมโมรี่การ์ด พร้อมทั้งระบุค่าตัวเลขตำแหน่งเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งพิกัด GPS ที่ไปเก็บยังปลายทางผ่าน NB-IOT จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าระบบเซนเซอร์สามารถตรวจสอบความผิดปกติของระบบรางจากการนำความร้อนที่เป็นผลจากกระแสไฟฟ้าได้

4.3 ผลการทดลองด้านการวัดการขยายตัวของราง

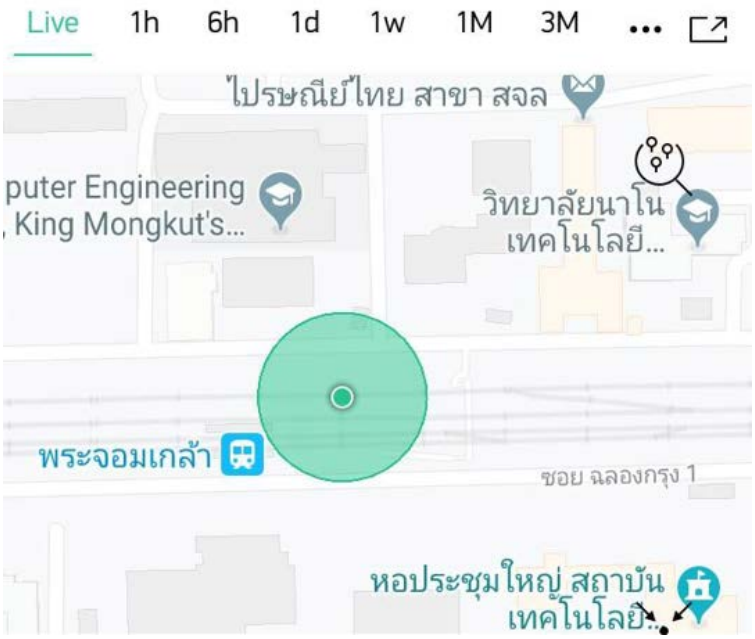


รูปที่ 4.11 แสดงการวัดระยะระหว่างรางรถไฟจากจุดศูนย์กลางรถราง



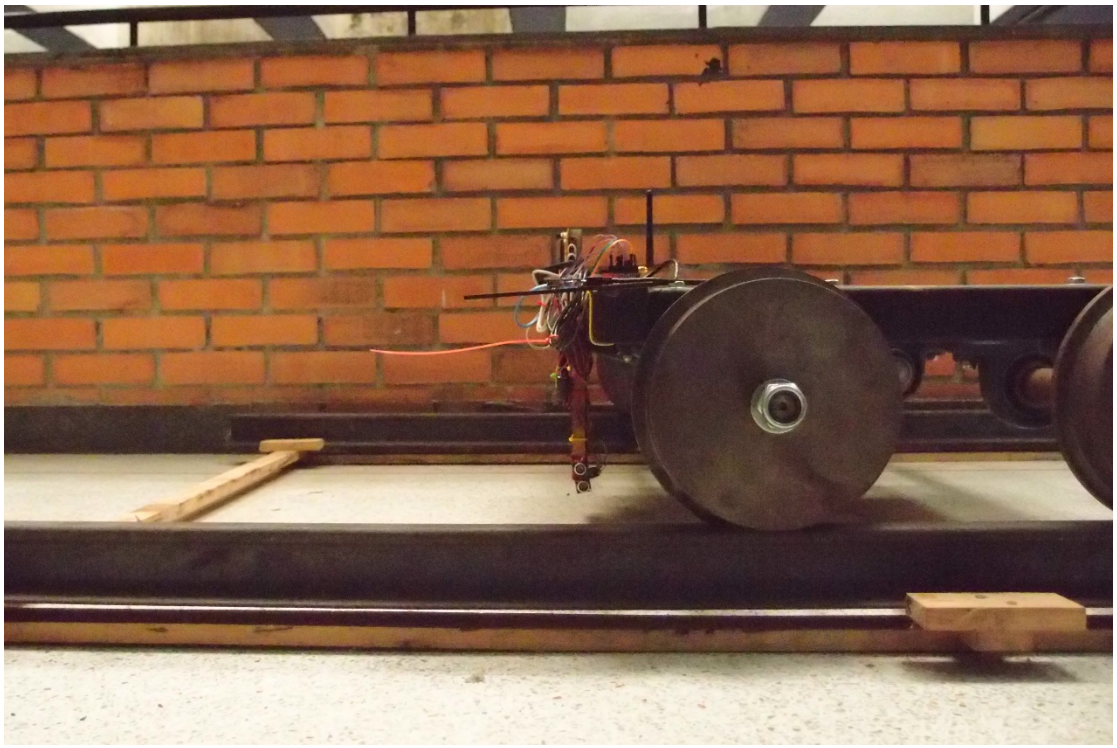
รูปที่ 4.12 แอปพลิเคชั่นแสดงการวัดระยะผ่านเครือข่าย NBIoT

จากรูปที่ 4.11 แสดงการวัดระยะระหว่างรางรถไฟจากจุดศูนย์กลางรถราง ซึ่งสามารถแสดงผลและตรวจสอบย้อนหลังผ่านแอปพลิเคชั่นด้วยเครือข่าย NBIoT ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 แสดงการระบุตำแหน่งของรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์

จากรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงตำแหน่งของรถรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งได้แบบเรียลไทม์



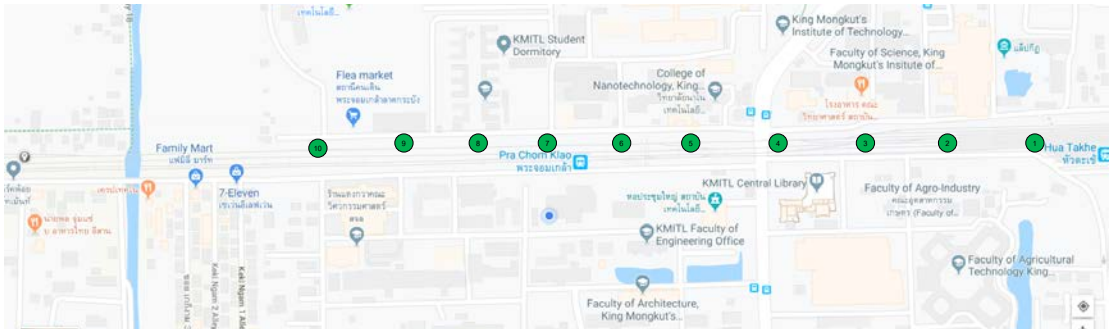
รูปที่ 4.14 แสดงการระบุตำแหน่งของรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดระยะราง

จากรูปที่ 4.14 เป็นการแสดงตำแหน่งของรถรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งและวัดระยะได้แบบเรียลไทม์

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบภาคสนาม

ตำแหน่งที่	Latitude	Longitudes	D1(cm)	D2(cm)	Status*
1	13.728448,	100.782412	50	51	ok
2	13.728448,	100.779858	50	52	ok
3	13.728459,	100.778614	51	50	ok
4	13.728448,	100.776994	50	51	ok
5	13.728500,	100.775170	50	51	ok
6	13.728458,	100.775159	51	52	ok
7	13.728375,	100.772831	52	51	ok
8	13.728260,	100.770718	51	51	ok
9	13.728219,	100.769355	51	52	ok
10	13.728218,	100.767617	52	51	ok

***หมายเหตุ** คือ สถานะความร้อนของรางอยู่ในช่วงไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส (ความร้อนสูงสุด) ซึ่งกำหนดเป็นค่าปกติ



รูปที่ 4.15 แสดงการระบุตำแหน่งในการวัดระยะรางตำแหน่งแผนที่

จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงตำแหน่งของรถรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งและวัดระยะได้แบบเรียลไทม์

บทที่ 6
สรุปผลการดำเนินการโครงการวิจัย

บทสรุปของงานวิจัยนี้ เพื่อสร้างรถตรวจระบบรางหรือ ชุดพ่วงทางรางโดยสามารถติดตั้งไปกับโบกี้ของรถไฟ แต่ต้องมีการตั้งค่าตำแหน่งของการติดตั้ง เพื่อให้ได้สมดุลของการวัดระยะของรางด้านซ้าย-ขวา ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้อย่างนึงของการเกิดความผิดปกติของราง ในโครงการวิจัยนี้ยังตรวจสอบความผิดปกติของการเสียดสีของรางรถไฟกับตัวล้อรถไฟ หรือ การนำไฟฟ้าของรถไฟฟ้าความเร็วสูง ซึ่งจะตรวจสอบในรูปของความต้านทานทางความร้อนที่จะแสดงออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบระบบรางได้ในอนาคต และในโครงการวิจัยนี้ยังมีการส่งผ่านข้อมูลไร้สายไปยังส่วนกลางโดยผ่านทาง NB-IOT ซึ่งในปัจจุบันมีความทันสมัยอย่างมาก อย่างไรก็ตามโครงการวิจัยนี้ยังต้องมีการพัฒนาในส่วนบางส่วนเนื่องจากในขณะที่สิ้นสุดการพัฒนา(พ.ศ 2561)เครื่องต้นแบบนี้ระบบการขนส่งทางรางด้วยรถไฟความเร็วสูงของประเทศไทยยังไม่ได้มีการใช้งาน ซึ่งทางผู้วิจัยคาดหวังว่าในอนาคตจะเป็นประโยชน์ต่อการนำเอาไปตรวจสอบความผิดปกติของระบบราง