



กทปส

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง
กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัด
ชายแดนภาคใต้

Development of Radar Detecting the Landmine under the
Railway for Security in Southern Border Provinces

เอกวิทย์ บุญญา และคณะ

พฤษภาคม พ.ศ. 2564

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

แบบ กทปส. ME-003

รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
สัญญารับทุนเลขที่ BT2 - 16/1 - 61

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้
Development of Radar Detecting the Landmine under the Railway for Security
in Southern Border Provinces

คณะนักวิจัย

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. รศ.ดร.เอกรัฐ บุญญา | นักวิจัยหัวหน้าโครงการ |
| 2. พล.ท. ยอดชัย ยั่งยืน | ที่ปรึกษาโครงการ |
| 3. นายประเสริฐ สุวรรณโณ | ที่ปรึกษาโครงการ |
| 4. ผศ.ดร.วันวิสาข์ ไทยวิโรจน์ | นักวิจัยร่วม |
| 5. พ.อ.ดร.สันทนะ บุรินทรามาตย์ | นักวิจัยร่วม |
| 6. ผศ.ดร.ลักขณา บรรณวัฒน์ | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 7. นางสาวเพ็ญญา เขียวแพร | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 8. นายเพชร ศรีมุกข์ | ผู้ช่วยนักวิจัย |
| 9. ดร.ณัฐวัฒน์ จันทะแสน | ผู้ช่วยนักวิจัย |

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

พฤษภาคม พ.ศ. 2564

บทสรุปผู้บริหาร

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้
พฤษภาคม พ.ศ. 2564

การลอบวางระเบิดใต้ทางรถไฟในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ยังคงเป็นเครื่องมือหนึ่งของกลุ่มผู้ก่อความไม่สงบ ในการสร้างสถานการณ์ความวุ่นวายให้เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเดินทางของประชาชน ส่งผลการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และในหลายๆ ครั้ง ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนไทยด้วยกัน การลอบวางระเบิดทางรถไฟมีตั้งแต่ การลอบวางระเบิดขนาดเล็กเพื่อสร้างสถานการณ์ การลอบวางระเบิด เจ้าหน้าที่ความมั่นคงในระหว่างการลาดตระเวนตรวจความปลอดภัยของเส้นทางเดินรถไฟ ไปจนถึงการลอบวางระเบิดขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำหนักวัตถุระเบิดมากถึง 100 กิโลกรัม โดยมีมุ่งหวังเพื่อก่อให้เกิดความเสียหายต่อขบวนรถและผู้โดยสารที่เดินทางมากับขบวนรถ ปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เจ้าหน้าที่ด้านความมั่นคงยังไม่มีเครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกในการตรวจหาการวางระเบิด ซึ่งใช้รูปแบบการฝังใต้พื้นดิน วิธีการวางระเบิดดังกล่าว เป็นวิธีที่ยากต่อการตรวจพบโดยเจ้าหน้าที่และเอื้ออำนวยต่อการวางระเบิดขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถซ่อนพรางได้อย่างแนบเนียน อีกทั้งผู้ก่อเหตุยังสามารถเตรียมการฝังระเบิดไว้ล่วงหน้าได้เป็นเวลานาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะพัฒนาต้นแบบและสาธิตระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับการป้องกันภารกิจตีด้วยระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ โดยได้ร่วมมือกับการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยออกแบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถใช้งานได้กับการป้องกันปรามการวางระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ตั้งแต่เขตของ จังหวัดสงขลา ไปตามแนวของชายแดนภายใต้ประเทศไทย โดยเฉพาะ โดยออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น สายอากาศ ตัวกำหนดคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า กำลังงานของคลื่น เป็นต้น ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ภูมิประเทศและพื้นดินของภาคใต้ ทำการทดสอบว่าคลื่นที่ใช้สามารถทะลุผ่านชั้นดินไปยังวัตถุหรือโพรงใต้พื้นดินได้จริง และจะออกแบบส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อการตีความข้อมูลที่ได้อย่างอัตโนมัติ และจะทำให้ระบบเรดาร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินได้อัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตีความ โดยพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินนี้ให้เหมาะแก่ผู้ใช้งาน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

รศ.ดร.เอกรัฐ บุญญา

พฤษภาคม พ.ศ. 2564

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถใช้งานได้กับการป้องปรามการวางระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ไปตามแนวของชายแดนภาคใต้ของไทยโดยเฉพาะ ซึ่งออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ทั้ง สายอากาศ อุปกรณ์กำหนดคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และอุปกรณ์ปรับกำลังงานของคลื่น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ภูมิประเทศและพื้นดินของภาคใต้ มีการทดสอบระบบเพื่อยืนยันว่าคลื่นที่ใช้สามารถทะลุผ่านผิวทางรถไฟไปยังวัตถุหรือโพรงใต้พื้นดินได้ และออกแบบส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อการตีความข้อมูลที่ได้แบบอัตโนมัติ ระบบเรดาร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินได้อัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตีความ ทำการทดสอบด้วยการฝังวัตถุเล็ก 20 เซนติเมตร และติดตั้งสายอากาศสูงจากระดับทางรถไฟ 30 เซนติเมตร พบว่าสามารถตรวจจับวัตถุและแสดงเป็นสัญญาณพาราโบลาได้ชัดเจน นอกเหนือจากนี้ระบบยังสามารถส่งภาพถ่ายและระบุพิกัด GPS ผ่านเครือข่าย 3G/4G ได้อีกด้วย

(บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ จำนวน 1 หน้ากระดาษ)

Development of Radar Detecting the Landmine Under the Railway for Security
in Southern Border Provinces

Assoc. Prof. Dr. Akkarat Boonpoonga

May 2021

This research proposes to design a ground penetrating radar. The designed system can be used for explosive detection following a railway along the border of southern Thailand. The hardware design includes an antenna, electromagnetic frequency determination and wave power devices, in order to provide the suitable system for terrain and soli of the South. The system is tested to confirm that the wave can penetrate the rail surface to the subfloor object or cavity. The signal processing is designed for automatic interpretation of the data. The developed radar system can automatically detect objects below the ground which does not require expert analysis. For the test condition, the object was buried 20 cm deep and an antenna was installed 30 cm above the rail level. The test results were found to be able to detect the object and show it clearly as a parabolic signal. In addition, the system can also send photos and GPS coordinates via 3 G / 4 G communication networks.

สารบัญ

| เรื่อง | หน้า |
|--|------|
| บทสรุปผู้บริหาร | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ข |
| บทคัดย่ออังกฤษ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญรูปภาพ | ช |
| บทที่ 1. บทนำ | 1 |
| 1.1. ที่มาและความสำคัญของโครงการ | 1 |
| 1.2. วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ | 9 |
| 1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 10 |
| บทที่ 2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 11 |
| 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุ | 11 |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศสำหรับระบบเรดาร์ | 13 |
| 2.3 ลักษณะของวัตถุระเบิดและการวางระเบิดในพื้นที่ทางรถไฟ | 17 |
| บทที่ 3. ระเบียบวิธีวิจัย | 31 |
| 3.1 ระบบเรดาร์ทะเลพื้นดิน | 31 |
| 3.2 การตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินด้วยเรดาร์ทะเลพื้นดิน | 34 |
| 3.3 การจำลองการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตรวจวัตถุใต้พื้นดิน | 40 |
| -การจำลองตรวจวัตถุใต้พื้นดินและถนน | 40 |
| 3.4 การจำลองตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 48 |
| 3.5 การออกแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 51 |
| -ระบบเรดาร์ทะเลพื้นดินตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟ | 51 |
| 3.6 ออกแบบสายอากาศสำหรับระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 56 |
| 3.7 ออกแบบภาคส่งและภาครับของระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 59 |
| 1. ชุดอุปกรณ์ภาครับ – ส่งสัญญาณเรดาร์ | 60 |
| 2. ชุดอุปกรณ์ควบคุมการรับ – ส่งสัญญาณเรดาร์ | 61 |
| 3. โครงสร้างตัวจับยึดและชั้นวางชุดอุปกรณ์เรดาร์ | 62 |
| 3.8 การพัฒนาชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ | 64 |
| 1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว (Monocycle pulse generator) | 64 |
| 2) วงจรรับสัญญาณเรดาร์ (ADC12D1800RFRB) | 65 |
| 3) วงจรประมวลผลและรับ – ส่งข้อมูล (ML-605) | 71 |
| 4) วงจรสร้างสัญญาณเก็บข้อมูล | 73 |
| 5) วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์ | 75 |

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| | |
|---|------------|
| 6) ระบบระบายความร้อน | 77 |
| 7) ระบบการจ่ายไฟ | 77 |
| 8) การทดสอบชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูล สัญญาณเรดาร์ที่ออกแบบ | 78 |
| 3.9 การออกแบบซอฟต์แวร์การตรวจวัตถุใต้พื้นดิน | 80 |
| 1) ส่วนของการแสดงผล | 81 |
| 2) ส่วนของการเก็บข้อมูลและการประมวลผล | 82 |
| 3.10 การออกแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 85 |
| -การสำรวจสถานที่ทดสอบ | 85 |
| -การออกแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 87 |
| 3.11 ทดสอบการตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินในพื้นที่จำลอง | 91 |
| -การวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้นในการตรวจจับวัตถุใต้ดิน ของเรดาร์ทะเลพื้นดิน | 91 |
| -การวิเคราะห์ผลการทดสอบเรดาร์ทะเลพื้นดินในพื้นที่ถนนลาดยาง | 95 |
| บทที่ 4. ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล | 102 |
| 4.1 ทดสอบการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ที่พัฒนา | 102 |
| -สถานีรถไฟบางซื่อ | 102 |
| -สถานีรถไฟหาดใหญ่ | 110 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ | 121 |
| สรุปผลการวิจัย | 121 |
| ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ | 121 |
| -ความเร็วของรถต้นแบบ | 121 |
| -ขนาดวัตถุเล็กที่สุดในการตรวจจับได้ | 121 |
| -รูปร่างการสะท้อนของคลื่นหากมีวัตถุทรงอื่น | 121 |
| -ความลึกที่สามารถตรวจจับได้มากที่สุด | 122 |
| -ไม่หมอน กรวดหินขนาดใหญ่ ที่ปักติอยู่ใต้รางรถไฟ มีผลหรือไม่อย่างไร | 122 |
| บรรณานุกรม | 123 |
| ภาคผนวก ก | 126 |
| ประวัตินักวิจัย | 128 |

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

สารบัญตาราง

| | |
|--|----|
| ตารางที่ 1 ตัวอย่างแสดงลำดับเหตุการณ์วางระเบิดที่บริเวณทางรถไฟ | 3 |
| ตารางที่ 2 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศชนิดหุกระต่ายที่มีมาก่อน | 16 |
| ตารางที่ 3 รูปแบบการประมาณไฮเพอร์โบลิกและเปอร์เซ็นต์ความเหมือนไฮเพอร์โบลิก | 38 |
| ตารางที่ 4 เงื่อนไขการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีวิเคราะห์พื้นที่กับวิเคราะห์ความชัน | 40 |
| ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของการเลือกค่าขีดแบ่งในชุดดินบาเจาะโดยมีวัตถุระเบิดฝังดิน | 45 |
| ตารางที่ 6 ค่าของพื้นที่และค่าผลต่างของสเกลในชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก | 45 |
| ตารางที่ 7 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ | 56 |
| ตารางที่ 8 คุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว | 65 |
| ตารางที่ 9 คุณสมบัติของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB | 66 |

สารบัญญรูปภาพ

| | |
|---|----|
| รูปที่ 1 หลุมระเบิดที่เกิดจากการวางระเบิด นน. 100 กก. ใต้รางรถไฟ | 1 |
| รูปที่ 2 ภาพความเสียหายจากการระเบิดเมื่อ 18 พ.ย.55..... | 2 |
| รูปที่ 3 การทดสอบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ในห้องไร้คลื่นสะท้อนศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ PTEC | 4 |
| รูปที่ 4 การขอความร่วมมือทดสอบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จปร. | 5 |
| รูปที่ 5 หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 46 จ. สุราษฎร์ธานี..... | 5 |
| รูปที่ 6 การขอความร่วมมือทดสอบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ณ ถนนในกองบิน 7 จ. สุราษฎร์ธานี | 6 |
| รูปที่ 7 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 1 | 7 |
| รูปที่ 8 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 2 | 7 |
| รูปที่ 9 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 3 | 7 |
| รูปที่ 10 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 4 | 8 |
| รูปที่ 11 ตัวอย่างผลที่ได้จากการตรวจหาวัตถุใต้ดินโดยใช้ GPR [5] | 9 |
| รูปที่ 12 ตำแหน่งของไฮเพอร์โบลิกของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการรู้จำรูปแบบ..... | 11 |
| รูปที่ 13 ตำแหน่งของไฮเพอร์โบลิกของเทคนิควิธีการตรวจจับเส้นโค้ง [10]..... | 12 |
| รูปที่ 14 ตำแหน่งของไฮเพอร์โบลิกของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการตรวจจับเส้นโค้ง | 12 |
| รูปที่ 15 สายอากาศประเภทต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเรดาร์ทะลุพื้นดิน | 14 |
| รูปที่ 16 สภาพของบริเวณที่เกิดเหตุระเบิด | 18 |
| รูปที่ 17 ชิ้นส่วนของส่วนประกอบของระเบิดแสวงเครื่องที่ใช้ในการก่อเหตุ..... | 18 |
| รูปที่ 18 สภาพของบริเวณที่เกิดเหตุระเบิดรางรถไฟ..... | 19 |
| รูปที่ 19 หลักฐานของส่วนประกอบที่ใช้ทำวัตถุระเบิด..... | 20 |
| รูปที่ 20 สภาพของบริเวณที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด | 21 |
| รูปที่ 21 ส่วนประกอบของระเบิด..... | 22 |
| รูปที่ 22 สภาพสถานที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด..... | 23 |
| รูปที่ 23 สภาพสถานที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด..... | 24 |
| รูปที่ 24 สภาพสถานที่เกิดเหตุและความเสียหายต่อขบวนรถไฟ | 24 |
| รูปที่ 25 บริเวณที่เกิดเหตุจุดที่ 1..... | 25 |
| รูปที่ 26 บริเวณที่เกิดเหตุที่อยู่ใกล้กับจุดที่ 1 | 26 |
| รูปที่ 27 บริเวณที่เกิดเหตุจุดที่ 2..... | 26 |
| รูปที่ 28 บริเวณที่เกิดเหตุที่อยู่ใกล้กับจุดที่ 2 | 27 |
| รูปที่ 29 สถานที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด..... | 28 |
| รูปที่ 30 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของการทำงานของเรดาร์ภาคพื้นดินพื้นดิน..... | 31 |
| รูปที่ 31 การเก็บข้อมูล (ก) A-scan (ข) สัญญาณของ A-scan | 31 |
| รูปที่ 32 การเก็บข้อมูล (ก) B-scan (ข) สัญญาณของ B-scan..... | 32 |
| รูปที่ 33 การเก็บข้อมูล (ก) C-scan (ข) สัญญาณของ C-scan | 32 |
| รูปที่ 34 ขั้นตอนการประมวลผล..... | 34 |

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| | | |
|-----------|---|----|
| รูปที่ 35 | ผังการทำงานของการทำงานวิเคราะห์ความชื้น | 35 |
| รูปที่ 36 | รูปแบบของไฮเพอร์โบลิกของแต่ละตำแหน่ง | 36 |
| รูปที่ 37 | ผลการวิเคราะห์ความชื้นของโดยจำลองวัตถุต่างชนิดฝังคือถังแก๊สเล็กและสามเหลี่ยม ในชุดดินบาเจาะ | 39 |
| รูปที่ 38 | การจำลองวัตถุหนึ่งวัตถุ | 41 |
| รูปที่ 39 | การจำลองวัตถุสองชนิดต่างกัน | 41 |
| รูปที่ 40 | ผลการจำลองที่ได้จากชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก | 42 |
| รูปที่ 41 | ชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยผ่านกระบวนการการกำจัดผิวดิน และลดความชื้นของข้อมูล | 42 |
| รูปที่ 42 | ความแตกต่างของค่าขีดแบ่งของชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยมีค่าดังนี้ (ก) 0.5 (ข) 0.6 (ค) 0.7 (ง) 0.8 (จ) 0.9 (ฉ) 1.0 | 43 |
| รูปที่ 43 | ชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นระเบิดฝังดิน (ก) ค่าผลต่างของสเกลมากกว่า 100 (ข) ค่าผลต่างของสเกลน้อยกว่า 100 | 46 |
| รูปที่ 44 | การวิเคราะห์พื้นที่โดยจำลองชุดดินบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก (ก) ภาพผล การจำลอง (ข) การกำจัดผิวดินและลดความชื้นของข้อมูล (ค) การกำจัดพื้นหลัง (ง) การย่อขนาด รูปภาพให้เป็น เส้น (จ) การตรวจสอบพื้นที่ และ (ฉ) การระบุไฮเพอร์โบลิก | 47 |
| รูปที่ 45 | ร่างตามมาตรฐานหน้าตัดร่าง UIC 60 | 48 |
| รูปที่ 46 | รูปแบบการจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก | 49 |
| รูปที่ 47 | ผลการจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก | 49 |
| รูปที่ 48 | ผลการจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยผ่านกระบวนการ การกำจัดผิวดิน | 50 |
| รูปที่ 49 | ภาพเชิงแนวคิดการทำงานระบบตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัด ชายแดนภาคใต้ | 51 |
| รูปที่ 50 | หลักการการทำงานของระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน | 52 |
| รูปที่ 51 | ตัวอย่างภาพสัญญาณเรดาร์เมื่อมีวัตถุฝังใต้พื้นดิน | 52 |
| รูปที่ 52 | ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการตัดสินใจในการตรวจหาวัตถุเป้าหมายของ ระบบเรดาร์ | 53 |
| รูปที่ 53 | การพัฒนากระบวนการพร้อมส่วนประมวลผลสัญญาณเรดาร์เฉพาะทาง | 53 |
| รูปที่ 54 | แนวความคิดในการพัฒนาส่วนประมวลผลสัญญาณเรดาร์เฉพาะทางบนชิพ FPGA | 53 |
| รูปที่ 55 | ตัวอย่างการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจสอบสภาพรางรถไฟ | 54 |
| รูปที่ 56 | เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุบริเวณกลางรางรถไฟ | 55 |
| รูปที่ 57 | เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุบริเวณใต้รางรถไฟและด้านข้าง | 55 |
| รูปที่ 58 | ตัวอย่างการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุใต้บริเวณรางรถไฟทั้งหมด | 55 |
| รูปที่ 59 | โครงสร้างของสายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ | 56 |
| รูปที่ 60 | สายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ต้นแบบ | 57 |

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| | | |
|-----------|---|----|
| รูปที่ 61 | เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการวัดทดสอบ $ S_{11} $ เทียบกับความถี่..... | 58 |
| รูปที่ 62 | แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (ก) 460 MHz (ข) 710 MHz (ค) 960 MHz..... | 59 |
| รูปที่ 63 | อัตรายายของสายอากาศเทียบกับความถี่..... | 59 |
| รูปที่ 64 | ต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัดได้ทางรถไฟ..... | 60 |
| รูปที่ 65 | ชุดอุปกรณ์ภาครับ – ส่งสัญญาณเรดาร์และสายอากาศที่พัฒนา..... | 61 |
| รูปที่ 66 | ตัวเข้ารหัส..... | 62 |
| รูปที่ 67 | โครงสร้างตัวจับยึดและชั้นวางชุดอุปกรณ์เรดาร์..... | 63 |
| รูปที่ 68 | จุดยึดนอต 2 ตัวระหว่างโครงสร้างตัวจับยึดกับชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์..... | 63 |
| รูปที่ 69 | ชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถเข็นต้นแบบ..... | 64 |
| รูปที่ 70 | ชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์..... | 64 |
| รูปที่ 71 | วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว..... | 65 |
| รูปที่ 72 | วงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB..... | 66 |
| รูปที่ 73 | ไฟสัญญาณสถานะการทำงานของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB..... | 67 |
| รูปที่ 74 | บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB..... | 68 |
| รูปที่ 75 | บอร์ดของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB..... | 68 |
| รูปที่ 76 | วงจรเชื่อมต่อทรานซิสเตอร์..... | 69 |
| รูปที่ 77 | บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อและการกำหนดจัมป์เปอร์สำหรับการใช้งานพอร์ต FMC..... | 70 |
| รูปที่ 78 | แสดงตำแหน่งพอร์ต FMC ด้านหลังวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB..... | 70 |
| รูปที่ 79 | วงจรประมวลผลและรับ – ส่งข้อมูล (ML-605)..... | 71 |
| รูปที่ 80 | วงจรสร้างสัญญาณเก็บข้อมูลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino uno..... | 74 |
| รูปที่ 81 | พอร์ต J57 บนบอร์ด ML605..... | 74 |
| รูปที่ 82 | ไทม์มิงไดอะแกรมของวงจรทรานซิสเตอร์..... | 75 |
| รูปที่ 83 | ดิฟเฟอเรนเชียลขนาด 8 บิต..... | 75 |
| รูปที่ 84 | วงจรสร้างสัญญาณทรานซิสเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino mega ADK..... | 76 |
| รูปที่ 85 | พอร์ต TRIG ของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว..... | 76 |
| รูปที่ 86 | พอร์ต J56 บนบอร์ด ML605..... | 76 |
| รูปที่ 87 | ไทม์มิงไดอะแกรมของวงจรสร้างสัญญาณทรานซิสเตอร์..... | 77 |
| รูปที่ 88 | ลักษณะของพัลส์ระบายความร้อน..... | 77 |
| รูปที่ 89 | บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อของแหล่งจ่ายไฟกับอุปกรณ์ต่าง ๆ..... | 78 |
| รูปที่ 90 | สัญญาณทรานซิสเตอร์ที่ได้จากวงจรควบคุม..... | 79 |
| รูปที่ 91 | ส่วนวงจรมีกำเนิดสัญญาณที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว..... | 79 |
| รูปที่ 92 | สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรมีกำเนิดสัญญาณ..... | 80 |
| รูปที่ 93 | ซอฟต์แวร์การเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณเรดาร์..... | 81 |
| รูปที่ 94 | ส่วนของการแสดงผลแบบตั้งค่าเริ่มต้น..... | 81 |

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 95 ส่วนของการประมวลผล..... | 83 |
| รูปที่ 96 ฟังก์ชัน Linear หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น | 83 |
| รูปที่ 97 ฟังก์ชัน Exponential หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง | 84 |
| รูปที่ 98 ก) ข้อมูล B-SCAN เรดาร์ที่ยังไม่ผ่านการประมวลผล | 84 |
| รูปที่ 99 โพลชาร์ตแสดงขั้นตอนการประมวลผล | 85 |
| รูปที่ 100 การแวะเยี่ยมชมสถานที่ทำการทดสอบระบบเรดาร์ | 86 |
| รูปที่ 101 รถซ่อมบำรุงทางรถไฟ..... | 86 |
| รูปที่ 102 รถซ่อมบำรุงทางรถไฟขนาดเล็ก | 87 |
| รูปที่ 103 โครงสร้างรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 88 |
| รูปที่ 104 ภาพรวมระบบต้นแบบเรดาร์..... | 89 |
| รูปที่ 105 ต้นแบบระบบเรดาร์ | 89 |
| รูปที่ 106 ชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ | 90 |
| รูปที่ 107 การจำลองจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดสำหรับการเก็บข้อมูล | 90 |
| รูปที่ 108 การทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดิน | 92 |
| รูปที่ 109 ผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดิน (ก) ภาพ B-scan และ (ข) ภาพ A-scan | 93 |
| รูปที่ 110 ผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดินหลังผ่านกระบวนการ | 94 |
| รูปที่ 111 ผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดินโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมา..... | 94 |
| รูปที่ 112 ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินที่ติดตั้งกับรถเข็น | 96 |
| รูปที่ 113 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-scan ของสัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศใต้พื้นถนน | 97 |
| รูปที่ 114 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-scan ของสัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สใต้พื้นถนน | 97 |
| รูปที่ 115 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-scan ของสัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศใต้พื้นถนน หลังการประมวลผลสัญญาณ..... | 98 |
| รูปที่ 116 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-scan ของสัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สใต้พื้นถนน หลังการประมวลผลสัญญาณ | 99 |
| รูปที่ 117 หน้าตัดของชั้นถนน | 99 |
| รูปที่ 118 (ก) ค่าอัตราขยาย (ข) สัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศใต้พื้นถนน (ค) สัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สใต้พื้นถนน หลังการขยายสัญญาณตามเวลา | 101 |
| รูปที่ 119 ลักษณะการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข (ก) วางวัตถุไว้ในรางรถไฟ และ (ข) วางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ..... | 102 |
| รูปที่ 120 การทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง..... | 103 |
| รูปที่ 121 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง..... | 103 |
| รูปที่ 122 การทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง | 104 |
| รูปที่ 123 ภาพ B – scan ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ | 104 |
| รูปที่ 124 การทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ | 105 |
| รูปที่ 125 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ | 105 |

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 126 การวางถังดับเพลิงไว้ในหลุม ในรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ | 106 |
| รูปที่ 127 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ..... | 106 |
| รูปที่ 128 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟที่มีการฝังกลบเรียบร้อยแล้ว..... | 107 |
| รูปที่ 129 การทดสอบการวางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ | 107 |
| รูปที่ 130 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ..... | 108 |
| รูปที่ 131 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนข้างรางรถไฟ | 109 |
| รูปที่ 132 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมข้างรางรถไฟ..... | 109 |
| รูปที่ 133 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการฝังถังดับเพลิงไว้ในหลุมข้างรางรถไฟ | 110 |
| รูปที่ 134 การเตรียมการและลงพื้นที่ทดสอบ สถานีรถไฟหาดใหญ่..... | 111 |
| รูปที่ 135 ตำแหน่งจีพีเอสบนพื้นที่ใช้ในการทดสอบ อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย 3G/4G ของโทรศัพท์ได้ | 112 |
| รูปที่ 136 รูปจากกล้อง webcam ที่ติดตั้งในระบบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์พื้นที่ในการทดสอบสถานีรถไฟหาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา | 112 |
| รูปที่ 137 ลักษณะการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข (ก) วางวัตถุไว้ในรางรถไฟ..... | 113 |
| รูปที่ 138 การทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง..... | 114 |
| รูปที่ 139 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง..... | 114 |
| รูปที่ 140 การทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง | 114 |
| รูปที่ 141 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ..... | 115 |
| รูปที่ 142 การทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ | 115 |
| รูปที่ 143 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ | 116 |
| รูปที่ 144 การวางถังดับเพลิงไว้ในกลางหลุมรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ | 116 |
| รูปที่ 145 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในกลางหลุมรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ..... | 117 |
| รูปที่ 146 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้กลางหลุมในรางรถไฟที่มีการฝังกลบเรียบร้อยแล้ว | 117 |
| รูปที่ 147 การทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ใต้รางรถไฟ | 118 |
| รูปที่ 148 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ..... | 118 |
| รูปที่ 149 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมเปล่าระหว่างไม้หมอนด้านข้างรางรถไฟ..... | 119 |
| รูปที่ 150 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมใต้รางรถไฟ | 119 |
| รูปที่ 151 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการฝังถังดับเพลิงไว้ในหลุมใต้รางรถไฟ..... | 120 |

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การลอบวางระเบิดใต้รางรถไฟในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ยังคงเป็นเครื่องมือหนึ่งของกลุ่มผู้ก่อความไม่สงบ ในการสร้างสถานการณ์ความวุ่นวายให้เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเดินทางของประชาชน ส่งผลต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และในหลาย ๆ ครั้ง ส่งผลต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนไทยด้วยกัน การลอบวางระเบิดรางรถไฟมีตั้งแต่ การลอบวางระเบิดขนาดเล็กเพื่อสร้างสถานการณ์ การลอบวางระเบิด เจ้าหน้าที่ความมั่นคงในระหว่างการลาดตระเวนตรวจความปลอดภัยของเส้นทางเดินรถไฟ ไปจนถึงการลอบวางระเบิดขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำหนัวัตถุระเบิดมากถึง 100 กิโลกรัม ดังรูปที่ 1 โดยมุ่งหวังเพื่อก่อให้เกิดความเสียหายต่อขบวนรถและผู้โดยสารที่เดินทางมากับขบวนรถ ดังเช่นในกรณีการวางระเบิดฝั่งใต้รางรถไฟ เส้นทางสายยะลา-สุโขทัย บริเวณ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส เมื่อ 18 พ.ย.55 ซึ่งจากเหตุการณ์ดังกล่าว มีผู้เสียชีวิตถึง 3 ราย และได้รับบาดเจ็บถึง 36 ราย (ในจำนวนนี้บาดเจ็บสาหัส 16 ราย) ดังรูปที่ 2 รวมไปถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับขบวนรถไฟ และความเสียหายทางเศรษฐกิจที่ตามมา จากการปิดเส้นทางเพื่อซ่อมบำรุง นับเป็นความเสียหายที่ยากจะประเมินได้



รูปที่ 1 หลุมระเบิดที่เกิดจากการวางระเบิด นน. 100 กก. ใต้รางรถไฟ
(ภาพจาก www.ASTVsouth.com)

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดระยะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 2 ภาพความเสียหายจากการระเบิดเมื่อ 18 พ.ย.55

ปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เจ้าหน้าที่ด้านความมั่นคงยังไม่มีเครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกในการตรวจหาการวางระเบิด ซึ่งใช้รูปแบบการฝังใต้พื้นดิน วิธีการวางระเบิดดังกล่าว เป็นวิธีที่ยากต่อการตรวจพบโดยเจ้าหน้าที่และเจ้าหน้าที่อำนวยต่อการวางระเบิดขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถซ่อนพรางได้อย่างแนบเนียน อีกทั้งผู้ก่อเหตุยังสามารถเตรียมการฝังระเบิดไว้ล่วงหน้าได้เป็นเวลานาน การพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถช่วยเจ้าหน้าที่ในการตรวจหาการลอบวางระเบิดแสวงเครื่องดังกล่าว ซึ่งหนึ่งในเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบขนส่งมวลชน เช่น การลอบวางระเบิดบริเวณใต้ทางรถไฟนั้น จะทำให้เกิดความเสียหายต่อทั้งในด้านความปลอดภัยของพนักงานและผู้โดยสารที่ใช้บริการรถไฟและด้านทรัพย์สินของการรถไฟได้ ดังเหตุการณ์ที่ได้เคยเกิดขึ้นแล้วตามตารางที่ 1 ดังนั้นหากมีระบบที่สามารถตรวจจับหรือแจ้งเตือนการตรวจพบความผิดปกติใต้ทางรถไฟได้ ย่อมมีส่วนสำคัญในการลดความเสี่ยงต่อการสูญเสียทั้งในด้านชีวิตและทรัพย์สิน รวมถึงด้านเศรษฐกิจและสังคมจิตวิทยา

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดฐานะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแสดงลำดับเหตุการณ์วางระเบิดที่บริเวณรางรถไฟ

| วันเดือนปี | เหตุการณ์ | ผลกระทบ |
|------------|--|--|
| 12 ก.ย.57 | ระเบิดรางรถไฟ อ.ระแงะ จ.นราธิวาส | รางรถไฟได้รับความเสียหาย |
| 14 พ.ค.57 | วางระเบิดใต้หมอนรางรถไฟ อ.ระแงะ จ.นราธิวาส | รางรถไฟได้รับความเสียหาย |
| 18 พ.ย.55 | วางระเบิด 100 กก. ฝังใต้รางรถไฟ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส | รถไฟตกราง เสียชีวิต 3 ราย และได้รับบาดเจ็บ 36 ราย (สาหัส 16 ราย) |
| 27 ต.ค.52 | ระเบิดชุดลาดตระเวนเส้นทางรถไฟ อ.รามัน จ.ยะลา (วางระเบิดใต้หมอนรถไฟ) | จนท. ได้รับบาดเจ็บ 1 นาย |
| 8 ม.ค.52 | วางระเบิดรถ รบน. ขณะซ่อมแซมเส้นทาง อ.ระแงะ จ.นราธิวาส | จนท. ได้รับบาดเจ็บ 2 ราย |
| 8 ก.ค.49 | วางระเบิดรางรถไฟ อ.เทพา จ.สงขลา | รถไฟได้รับความเสียหายเล็กน้อย |
| 19 พ.ย.48 | วางระเบิดเส้นทางรถไฟ อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส | เก็บกู้ได้ทัน ระเบิดแสวงเครื่องในถังดับเพลิง 2 ลูกฝังใต้รางรถไฟ |
| 27 ต.ค.48 | วางระเบิดรถไฟสุไหงโก-ลก-ยะลา | หัวรถจักรและตู้โดยสาร 3 โบกี้ตกราง ได้รับบาดเจ็บ 1 คน |
| 27 มี.ค.48 | วางระเบิดรถ รบน. ขณะลาดตระเวนเส้นทาง อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส | จนท. ได้รับบาดเจ็บ 22 ราย (สาหัส 5 ราย), รางขาดสองท่อน |
| 11 ธ.ค.47 | รถตรวจรางถูกวางระเบิด อ.จะนะ จ.สงขลา | รางเสียหายเล็กน้อย |
| 9 ธ.ค.47 | ระเบิดรางรถไฟ 3 แห่งในเวลาไล่เลี่ยกัน อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี อ.รามัน จ.ยะลา และ อ.จะนะ จ.สงขลา | รางเสียหายเล็กน้อย |
| 4 ส.ค.45 | วางระเบิดใต้หมอนรางรถไฟระหว่างสถานีไม้แก่น กับสถานียะลา อ.รามัน จ.ยะลา | รางรถไฟและหัวรถจักรเสียหาย |

เพื่อป้องกันเหตุร้ายที่อาจเกิดขึ้นอีกในอนาคต การประยุกต์ใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับงานด้านความมั่นคง ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้นั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองและทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้สามารถแจ้งให้หยุดการเดินทางที่กำลังมุ่งหน้าไปยังพื้นที่ที่ตรวจพบสิ่งผิดปกติที่ถูกฝังอยู่ใต้รางรถไฟได้อย่างทันท่วงที และให้เจ้าหน้าที่ด้านความมั่นคงเข้าสำรวจพื้นที่เพื่อตรวจสอบและเก็บกู้วัตถุระเบิดต่อไป

จากความไม่สงบดังกล่าว มีความพยายามของเจ้าหน้าที่ภาครัฐที่จะลดความสูญเสียและความรุนแรงของเหตุการณ์ลง ทั้งในแง่การข่าวและการเฝ้าระวังโดยให้เจ้าหน้าที่ลาดตระเวนเป็นระยะ แต่ความรุนแรงก็ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ภาครัฐควรจะหาเครื่องมือหรือเทคโนโลยีเพื่อช่วยในการตรวจค้นหาความผิดปกติใต้พื้นถนน และส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยัง

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

เจ้าหน้าที่ให้มีการเตรียมพร้อมหรือหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่ผ่านเส้นทาง ดังนั้นเรดาร์ทะลุพื้นดินหรือเรดาร์จีพีอาร์ (Ground Penetrating Radar หรือ GPR) จึงเป็นหนึ่งในตัวเลือกของการใช้เทคโนโลยีเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติใต้พื้นดิน

เรดาร์ทะลุพื้นดินนั้น เป็นเครื่องมือสำรวจธรณีฟิสิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถสำรวจใต้พื้นดินได้โดยไม่ต้องทำการขุดถนนในการสำรวจ และสามารถทำการสำรวจได้บ่อยครั้งโดยไม่ส่งผลกระทบต่อ ใดๆ ต่อโครงสร้างของพื้นถนน นอกจากนี้ยังสามารถสำรวจตรวจวัตถุหรือสิ่งผิดปกติใต้พื้นดินที่ไม่ใช่วัตถุที่มีองค์ประกอบของเหล็ก เช่น โพรงอากาศที่ถูกขุด เป็นต้น ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการตรวจโพรงใต้พื้นถนนที่ถูกขุดเพื่อเตรียมการติดตั้งหรือติดตั้งระเบิดแล้ว สำหรับเรดาร์ที่ใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟนั้นมีหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับเรดาร์สำรวจใต้พื้นถนน แต่เนื่องจากถนนและทางรถไฟมีลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการพิจารณาการประมวลผลสัญญาณตามโครงสร้างที่นำเรดาร์ทะลุพื้นดินไปประยุกต์ใช้งาน การใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินในงานด้านความมั่นคงของประเทศไทย เช่น การตรวจหาวัตถุระเบิด (Landmine Detection) ใต้พื้นดิน [1] เริ่มต้นได้ไม่นานมากนัก ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร กรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สกว. โดยมีกลุ่มนักวิจัยนักวิจัย (ดร.เอกรัฐ บุญญา มจพ.) ได้เข้าร่วมทำเนิการวิจัย ได้นำเรดาร์ทะลุพื้นดินที่ผลิตในต่างประเทศเข้ามาทดสอบ โดยการทดสอบมีทั้งทดสอบประสิทธิภาพการค้นหาระเบิดในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบภาคสนาม ตัวอย่างพื้นที่ที่ทำการทดสอบ เช่น 1) ถนนในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จปร. 2) ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ PTEC 3) ดินเปียกในโรงเรียนนายร้อย จปร. 4) ถนนในกองบิน 7 จ. สุราษฎร์ธานี และ 5) หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 46 จ. สุราษฎร์ธานี ดังแสดงบรรยายภาพการทดสอบและความร่วมมือระหว่างนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ทหาร ดังแสดงในรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 6



รูปที่ 3 การทดสอบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ในห้องไร้คลื่นสะท้อนศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ PTEC

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 4 การขอความร่วมมือทดสอบเรดาร์ทะเลคู่พื้นดิน ณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จปร.



รูปที่ 5 หน่วยพัฒนาการเคลื่อนที่ 46 จ. สุราษฎร์ธานี

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 6 การขอความร่วมมือทดสอบเรดาร์ทะเลพื้นดิน ณ ถนนในกองบิน 7 จ. สุราษฎร์ธานี

ถึงแม้นักวิจัยได้ทำวิจัยในด้านนี้อย่างต่อเนื่องแต่ยังขาดการใช้งานจริงในภาคปฏิบัติ จึงได้เชิญผู้เชี่ยวชาญในต่างประเทศมาถ่ายทอดการใช้งานเรดาร์ทะเลพื้นดิน ดังแสดงบรรยากาศในรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 10

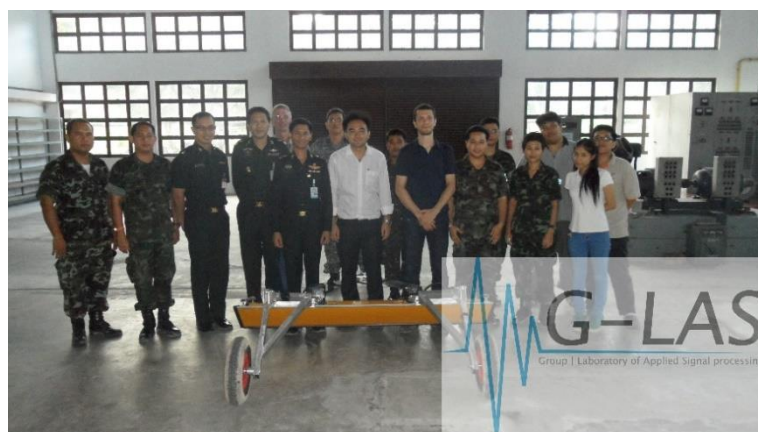
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 7 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 1



รูปที่ 8 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 2



รูปที่ 9 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 3



รูปที่ 10 การถ่ายทอดองค์ความรู้เรื่องการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน 4

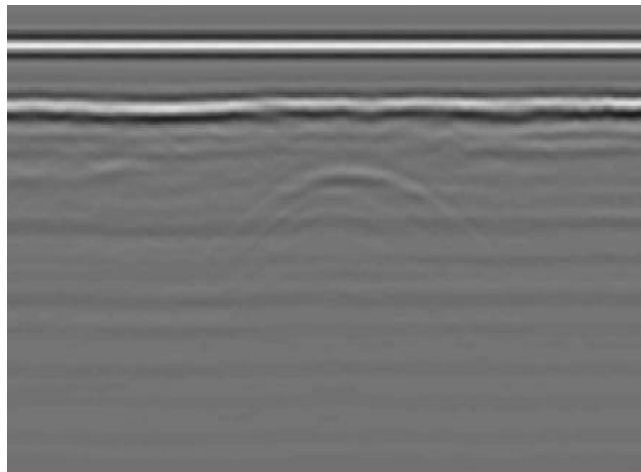
จากผลการทดสอบนั้นทำให้นักวิจัยได้ศึกษาและนำเสนอผลบทความวิจัยที่ใช้เรดาร์ทะลุพื้นดิน เพื่อค้นหาวัตถุระเบิดที่ฝังใต้ดิน ดังแสดงตัวอย่างงานวิจัยใน [2]-[8] ถึงแม้ว่าในต่างประเทศจะมีงานวิจัยและการประยุกต์ใช้งานเรดาร์ทะลุพื้นดินเป็นจำนวนมากตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินใช้งานในประเทศไทยเองนั้นยังมีความจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาสำหรับการป้องกันการโจมตีด้วยระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ในพื้นที่เสี่ยงสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ด้วยเหตุผลที่สำคัญหลายประการ เช่น

- (1) การทำงานของเรดาร์ทะลุพื้นดินที่ผลิตในต่างประเทศเป็นลักษณะ offline (เนื่องจากไม่ได้ผลิตมาใช้งานด้านความมั่นคงของประเทศไทยโดยเฉพาะ) ลักษณะการใช้งานเป็นการสำรวจพื้นที่เป้าหมายเสร็จแล้วนำผลที่ได้จากการสำรวจไว้ในหน่วยความจำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในลำดับถัดไป ไม่สามารถตรวจและแจ้งเตือนได้อัตโนมัติทันที
- (2) ผลที่ได้จากการสำรวจเป็นผลที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตีความ ดังตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจวัตถุใต้ดิน แสดงในรูปที่ 11 ซึ่งเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถตีความเองได้ ยุ่งยากแก่การใช้งาน จำเป็นต้องพัฒนาส่วนประมวลผลอัตโนมัติที่สามารถตรวจจับวัตถุต้องสงสัยตามบริบทการใช้งานของพื้นที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้โดยเฉพาะ
- (3) เรดาร์ทะลุพื้นดินที่มีขายในท้องตลาดถูกออกแบบและพัฒนาที่ต่างประเทศ ให้ใช้สำหรับงานหลาย ๆ ด้าน ซึ่งไม่เหมาะกับงานเฉพาะด้านโดยเฉพาะงานด้านความมั่นคงที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำสูง นอกจากนี้การพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินจากต่างประเทศนั้นไม่เหมาะสมกับพื้นที่ ภูมิประเทศในไทยมากนัก เนื่องจากด้วยข้อจำกัดทางด้าน กำลังงาน และความถี่ที่ใช้งานที่ไม่เหมาะสมกับพื้นดินในประเทศ (ประเภทของดินที่ต่างกันมีผลต่อการทะลุของคลื่นแต่ละย่านความถี่ไม่เหมือนกัน) เป็นต้น จึงจำเป็นต้องพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์และส่วนประมวลผลสัญญาณขึ้นมาใช้โดยเฉพาะสำหรับงานด้านความมั่นคงของประเทศไทย

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

- (4) เรดาร์ทะลุพื้นดินที่มีขายในท้องตลาดเพื่อการตรวจหาวัตถุระเบิดที่ฝังใต้พื้นดินนั้น (ขายเฉพาะในต่างประเทศ) มีราคาค่อนข้างสูง โดยทั่วไปแล้วเจ้าหน้าที่ภาครัฐในพื้นที่แต่ละส่วนควรจะมิไว้ใช้งาน การใช้งานเป็นลักษณะการใช้งานประจำ เมื่อมีการเดินทางหรือลาดตระเวน ด้วยข้อจำกัดด้านราคาที่สูงมาก ภาครัฐไม่สามารถจัดสรรงบประมาณเพื่อจัดทำให้ครบถ้วนได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถผลิตซ้ำเองได้ในราคาไม่แพงมากนัก (โดยเฉพาะซอฟต์แวร์การประมวลผลการผลิตซ้ำไม่มีต้นทุนเมื่อเทียบกับการซื้อใช้)

โครงการวิจัยนี้จะพัฒนาต้นแบบและสาธิตระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับการป้องกันการโจมตีด้วยระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ โดยการพัฒนาระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินจะสามารถแก้ปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ โครงการวิจัยนี้จะออกแบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถใช้งานได้กับการป้องปรามการวางระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ตั้งแต่เขตของ จังหวัดสงขลา ไปตามแนวของชายแดนภาคใต้ประเทศไทยโดยเฉพาะ โดยออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น สายอากาศ ตัวกำหนดคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า กำลังงานของคลื่น เป็นต้น ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ภูมิประเทศและพื้นดินของภาคใต้ ทำการทดสอบว่าคลื่นที่ใช้สามารถทะลุผ่านชั้นดินไปยังวัตถุหรือโพรงใต้พื้นดินได้จริง และจะออกแบบส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อการตีความข้อมูลที่ได้อย่างอัตโนมัติ และจะทำให้ระบบเรดาร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินได้อัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตีความ โดยพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินนี้ให้เหมาะแก่ผู้ใช้งาน



รูปที่ 11 ตัวอย่างผลที่ได้จากการตรวจหาวัตถุใต้ดินโดยใช้ GPR [5]

1.2. วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับตรวจความผิดปกติใต้รางรถไฟ
2. เพื่อออกแบบระบบการประมวลผลสัญญาณเรดาร์สำหรับการตรวจหาความผิดปกติจากการตรวจสอบวางระเบิดในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

3. เพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ประมวลผลเฉพาะทางสำหรับประมวลสัญญาณเรดาร์
4. เพื่อพัฒนาศูนย์เฝ้าระวังความผิดปกติใต้ทางรถไฟผ่านระบบการสื่อสารเพื่อรับข้อมูลจากจากเรดาร์ที่ติดตั้งบนรถไฟ

1.3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สำหรับประมวลผลการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟ
2. ได้ต้นแบบระบบเรดาร์สำหรับติดตั้งทดลองใช้งานจริง
3. ได้องค์ความรู้ด้านการประมวลผลสัญญาณสำหรับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย
4. สามารถใช้ระบบเรดาร์ที่พัฒนาในการหาวัตถุใต้รางเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากการลอบวางระเบิดในจังหวัดชายแดนใต้ได้
5. ได้ศูนย์เฝ้าระวังความผิดปกติใต้ทางรถไฟโดยอาศัยระบบการสื่อสารในการรับข้อมูลจากเรดาร์ที่ติดตั้งบนรถไฟ

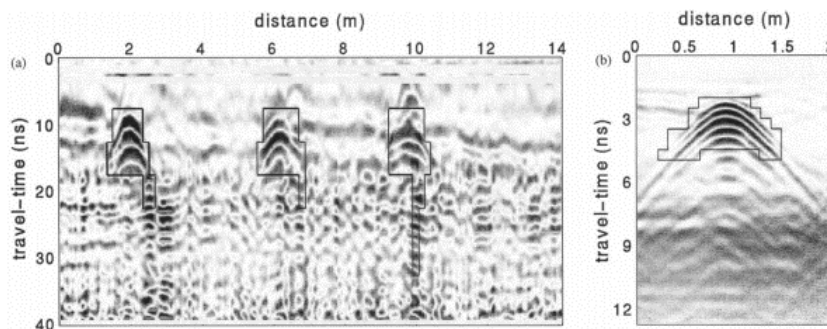
บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุด้วยเรดาร์ทะลุพื้นดินมีทั้งหมด 3 เทคนิคโดยเทคนิคแรกใช้เทคนิคการตรวจจับด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และการรู้จำรูปแบบ (Pattern Recognition) [9] เทคนิคที่สองเป็นการใช้วิธีการตรวจจับเส้นโค้ง (Curve Fitting) [10] และเทคนิคสุดท้ายเป็นการใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการตรวจจับเส้นโค้ง [11] ซึ่งแต่ละเทคนิคมีรายละเอียดดังนี้

- (1) โครงข่ายประสาทเทียมเป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบการเชื่อมโยง (Connectionism) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์
- (2) การตรวจจับเส้นโค้งเป็นหนึ่งในเทคนิคในหาไฮเพอร์โบลิกโดยจะทำการหาความเป็นเส้นโค้งแล้วทำการหาจุดกึ่งกลางของเส้นโค้งแล้วทำการหาความสมมาตรของเส้นโค้งเพื่อระบุว่าข้อมูลนั้นเป็นเส้นโค้ง
- (3) การรู้จำรูปแบบเป็นกระบวนการตัดสินใจที่เกี่ยวกับการจำแนกกลุ่ม (Classification) การจัดกลุ่ม (Clustering) การรู้จำ (Recognition) ศึกษาถึงความแนวคิดต่าง ๆ ให้คอมพิวเตอร์สามารถทำงานเหล่านี้ได้โดยใช้เหตุผลหรือคณิตศาสตร์เพื่อหารูปแบบ (Pattern) ซึ่งอาจได้แก่เขตของการวัด ข้อสังเกต หรือคำอธิบายของวัตถุใด ๆ



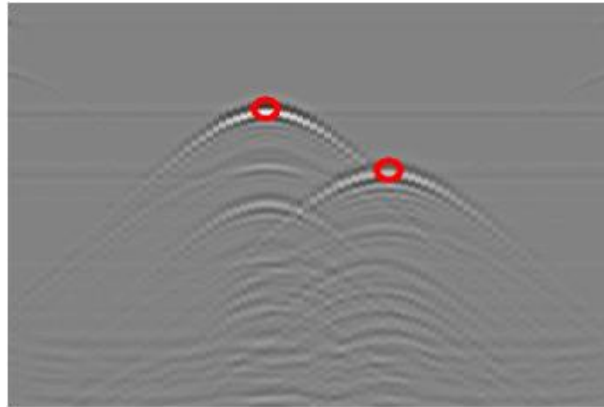
รูปที่ 12 ตำแหน่งของไฮเพอร์โบลิกของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการรู้จำรูปแบบ [9]

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นถึงเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการรู้จำรูปแบบทำการจำลองทอ 3 อันและระเบิดฝังดินแล้วใช้เทคนิคดังกล่าวทำการหาไฮเพอร์โบลิกภายในภาพพบว่ามีความแม่นยำในการค้นหาไฮเพอร์โบลิกภายในภาพแต่ข้อเสียคือใช้เวลาในการประมวลผลนาน

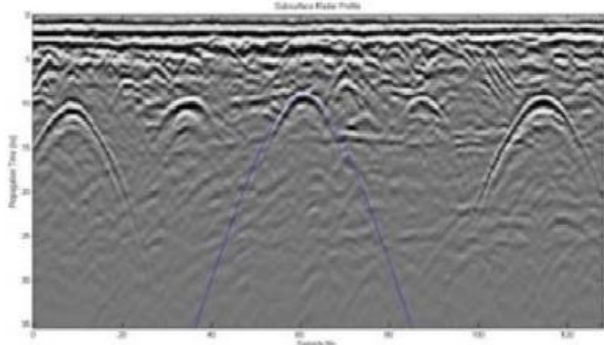
จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นถึงเทคนิคการตรวจจับเส้นโค้งโดยใช้แบบจำลองเป็นทอ 2 อันโดยใช้เทคนิคดังกล่าวในการหาไฮเพอร์โบลิกภายในภาพพบว่าจะสามารถหาไฮเพอร์โบลิกได้อย่างแม่นยำแต่ถ้าภายในภาพมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่ฝังกระจายอยู่ในดินที่สามารถสะท้อนคลื่น

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

แม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการระบุไฮเพอร์โบลิกและใช้เวลาในการประมวลผลนาน



รูปที่ 13 ตำแหน่งของไฮเพอร์โบลิกของเทคนิควิธีการตรวจจับเส้นโค้ง [10]



รูปที่ 14 ตำแหน่งของไฮเพอร์โบลิกของเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการตรวจจับเส้นโค้ง [11]

จากรูปที่ 14 แสดงให้เห็นถึงเทคนิคการตรวจจับเส้นโค้งโดยใช้แบบจำลองจากผลการทดสอบของเรดาร์ทะลุพื้นดินเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและการตรวจจับเส้นโค้งโดยใช้เทคนิคดังกล่าวในการหาไฮเพอร์โบลิกภายในภาพพบว่าสามารถหาไฮเพอร์โบลิกได้อย่างแม่นยำ (75%) แต่เทคนิคนี้ใช้เวลาในการประมวลผล 42 นาทีต่อ 1 รูปภาพ

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีการจำลองโดยใช้เป็นถนนจำลองทั้งหมด 2 รูปแบบการจำลองประกอบด้วย วัตถุฝังในพื้นที่สองชั้น วัตถุชนิดเดียวกันฝังเพียงวัตถุเดียว และวัตถุต่างชนิดฝังในพื้นที่ พื้นดินในรูปแบบการจำลองคือชุดดินในภาคใต้ของประเทศไทย [12] มีลักษณะ 5 ชุดดินประกอบด้วย ชุดดินบาเจาะ ชุดดินนาทวี ชุดดินระแงะ ชุดดินสายบุรี และชุดดินตรัง ปัจจัยในการเลือกชุดดินดังกล่าวมาจากพื้นที่ความไม่สงบใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ โดยขนาดวัตถุที่ใช้ในการฝังนั้นมี 2 ขนาดประกอบด้วยถังแก๊สเล็ก และวัตถุทรงสามเหลี่ยม ปัจจัยในการเลือกวัตถุดังกล่าวเนื่องจากเป็นลักษณะของระเบิดที่ใช้ในการก่อความไม่สงบในพื้นที่ดังกล่าว แต่ละครูปแบบการจำลองจะทำการฝังวัตถุแตกต่างกันตามกรณีเนื่องต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของรูปแบบการจำลอง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศสำหรับระบบเรดาร์

ปัจจุบันสายอากาศที่มีแถบความถี่กว้างมากหรือที่เรียกว่าสายอากาศอัลตราไวด์แบนด์ (Ultra-wideband Antenna) ที่ได้ถูกนำมาใช้กับเทคโนโลยีเรดาร์ทะเลพื้นดินมีหลากหลายประเภทด้วยกัน โดยสายอากาศแต่ละประเภทย่อมมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น สายอากาศฮอร์น (Horn Antenna) และสายอากาศแบบวิวอลดี (Vivaldi Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 15(ก) และ 15(ข) ตามลำดับ ถึงแม้ว่าสายอากาศสองประเภทยังมีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีเรดาร์ทะเลพื้นดิน อย่างไรก็ตามสายอากาศจะมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักสูง และติดตั้งกับระบบเรดาร์ทะเลพื้นดินได้ลำบาก สายอากาศรูปหูกระต่าย (Bowtie Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 15(ค) เป็นสายอากาศอีกประเภทหนึ่งที่ยิมนำมาใช้อย่างมากในระบบเรดาร์ทะเลพื้นดิน เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อน และการผลิตเพียงของสัญญาณต่ำ อย่างไรก็ตามสายอากาศประเภทนี้จะมีอัตราขยายที่ค่อนข้างต่ำ โดยปกติอัตราขยายจะต่ำกว่า 4 dBi ซึ่งมีค่าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสายอากาศแบบฮอร์น สายอากาศที่มีรูปก้นหอย (Spiral antenna) ดังแสดงในรูปที่ 15(ง) เป็นสายอากาศประเภทหนึ่งที่สามารถออกแบบให้มีแถบความถี่กว้างมากได้แบบไม่จำกัด แต่สายอากาศประเภทนี้จะมีการถ่างออกหรือการบิดเบี้ยวของสัญญาณสูง จึงทำให้ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการรับ-ส่งสัญญาณในรูปแบบพัลส์ นอกจากนี้ยังมีสายอากาศโมโนโพล (Monopole Antenna) และสายอากาศแบบร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Slot Antenna) ที่ได้ถูกพัฒนาสำหรับใช้กับเทคโนโลยีเรดาร์ทะเลพื้นดินดังแสดงในรูปที่ 15(จ) และ 15(ฉ) ตามลำดับ เนื่องจากสายอากาศโมโนโพลและสายอากาศร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์มีน้ำหนักเบา ลักษณะแบนราบ และสามารถออกแบบให้สายอากาศมีขนาดที่เล็กกะทัดรัด จึงทำให้สะดวกต่อการนำเอาสายอากาศไปติดตั้งกับระบบเรดาร์ทะเลพื้นดิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายอากาศโมโนโพลกับสายอากาศร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์พบว่า สายอากาศโมโนโพลจะมีคุณลักษณะการแผ่พลังงานที่น้อยลงเมื่อความถี่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีอัตราขยายที่ต่ำกว่าสายอากาศแบบร่อง โดยมีอัตราขยายเฉลี่ยประมาณ 4 - 5 dBi

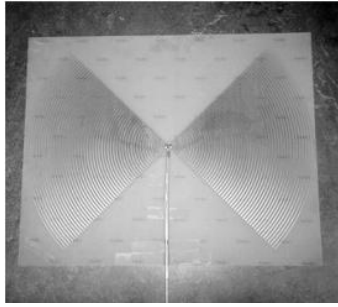


(ก)

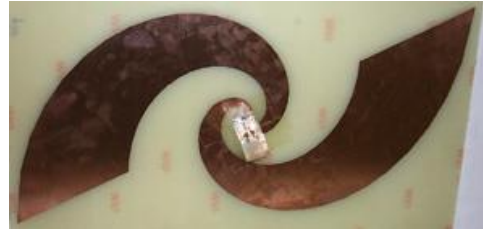


(ข)

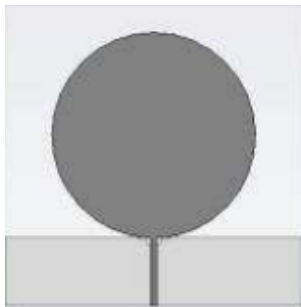
การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



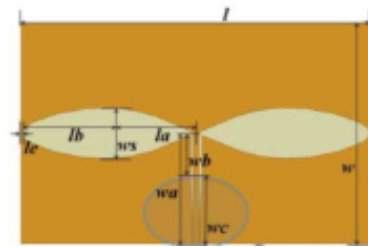
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 15 สายอากาศประเภทต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเรดาร์ทะลุพื้นดิน (ก)

สายอากาศฮอร์น (ข) สายอากาศวิวลิต(ค) สายอากาศรูปหูกกระต่าย (ง) สายอากาศรูปก้นหอย

(จ) สายอากาศโมนโพล (ฉ) สายอากาศแบบร่องบนแผ่นวงจรมิมพ์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้เลือกใช้สายอากาศสองรูปแบบสำหรับประยุกต์ใช้กับเรดาร์ทะลุพื้นดินเพื่อค้นหาวัตถุและโพรงใต้พื้นดิน ได้แก่ สายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ (Scutcheon Antenna) [13] โดยสายอากาศนี้เป็นสายอากาศประเภทโมนโพล ซึ่งสามารถปรับปรุงแถบความถี่ได้โดยให้สายอากาศโมนโพลมีรูปร่างคล้ายโล่วางบนระนาบกราวนด์ และได้ใช้แผ่นสะท้อนเพื่อปรับปรุงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ ให้มีทิศทางที่เจาะจงเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับสายอากาศรูปแบบที่สองคือ สายอากาศแบบร่องบนแผ่นวงจรมิมพ์ เนื่องจากสายอากาศแบบร่องมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด ลักษณะแบนราบจึงติดตั้งกับระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินเพื่อค้นหาวัตถุและโพรงใต้พื้นดินได้ง่าย และสามารถพัฒนาให้สายอากาศมีคุณลักษณะที่เหมาะสมได้โดยการปรับปรุงโครงสร้างของสายอากาศ เช่น ปรับปรุงรูปร่างของร่อง การเพิ่มเส้นสตริป และการปรับแต่งส่วนป้อนสัญญาณของสายอากาศ เป็นต้น

เนื่องจากส่วนการออกแบบสายอากาศนี้นำเสนอการศึกษา ออกแบบ และทดสอบสายอากาศส่งและรับสัญญาณเพื่อให้เหมาะสมสำหรับระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินเพื่อค้นหาวัตถุและโพรงใต้พื้นดิน ซึ่งโดยปกติแล้ว สายอากาศสำหรับระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินเพื่อค้นหาวัตถุและโพรงใต้พื้นดิน จะต้องมีความถี่ที่กว้างมาก ดังนั้นโครงสร้างที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบจะต้องมีคุณสมบัติที่มีแถบความถี่ที่กว้างด้วย ซึ่งในปัจจุบัน มีสายอากาศแถบความถี่ที่กว้างมากมายในงานวิจัยถูกนำเสนอและตีพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ โดยเฉพาะสายอากาศไดโพลหูกกระต่าย (Bowtie-shaped dipole) ซึ่งเป็น

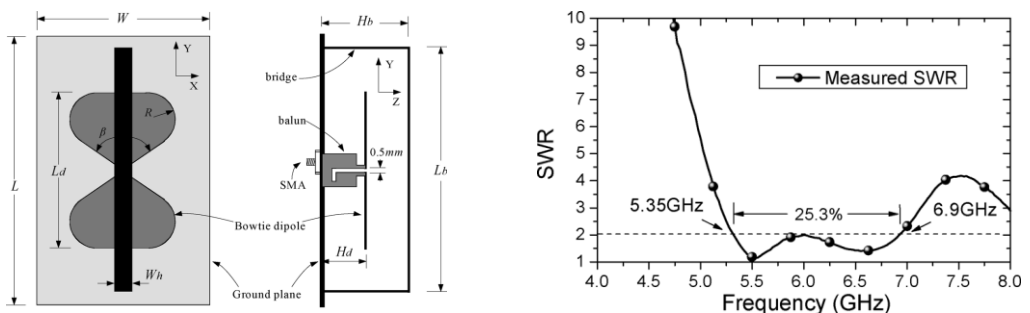
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

โครงสร้างที่ทราบกันดีและมีการยอมรับในวงการวิจัยสายอากาศ ถึงคุณสมบัติที่มีแถบความถี่กว้างและถูกนำมาใช้ในระบบสื่อสารไร้สายต่าง ๆ เช่น ประยุกต์ใช้กับระบบความถี่กว้างยิ่งยวด (Ultra wideband) ระบบสื่อสารไร้สายภายในอาคาร (Wireless indoor communications) ระบบเรดาร์ทะลุผ่านดิน (Ground penetrating radar) ระบบเรดาร์และประมวลผลภาพแถบความถี่กว้าง (Wide band radar and imaging) เป็นต้น

- งานวิจัยสายอากาศชนิดสามเหลี่ยมที่มีมาก่อน

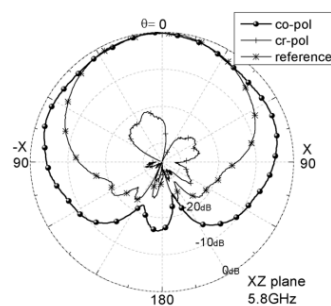
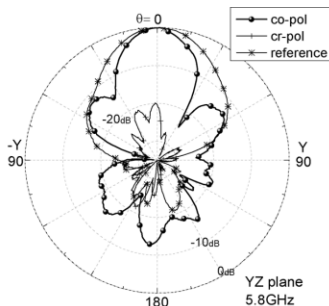
สำหรับงานวิจัยที่มีมาก่อนจากเอกสารอ้างอิงที่ [14, 19] ซึ่งเป็นสายอากาศชนิดสามเหลี่ยมที่มีรูปแบบแตกต่างกัน แต่มีคุณสมบัติแถบความถี่กว้างเหมือนกัน ตัวอย่างเช่น สายอากาศหุกระต่ายระนาบร่วม (Coplanar-waveguide bowtie) จากเอกสารอ้างอิงที่ [18] สายอากาศหุกระต่ายแบบปรับได้โดยใช้ช่องเปิดที่แขนสายอากาศ (Adaptive bowtie using slots in antenna flares) ในเอกสารอ้างอิงที่ [15] สายอากาศหุกระต่ายเหนือระนาบกราวด์และตัวเชื่อมโลหะ (A bowtie dipole element above the ground plane and a metallic bridge) ตามเอกสารอ้างอิงที่ [16] สายอากาศหุกระต่ายเรียวแบบมีช่องเปิด (Tapered bowtie slot antenna) ตามเอกสารอ้างอิงที่ [17] สายอากาศหุกระต่ายเจาะบนคาวิตี (Cavity-backed antenna) ในเอกสารอ้างอิงที่ [18, 19] ซึ่งแต่ละงานวิจัยมีโครงสร้างและคุณลักษณะดังต่อไปนี้

(1) สายอากาศหุกระต่ายเหนือระนาบกราวด์และตัวเชื่อมโลหะจากเอกสารอ้างอิงที่ [16]



(ก) โครงสร้างของสายอากาศ

(ข) SWR



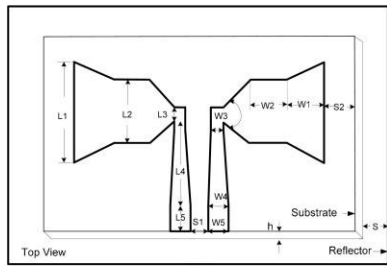
(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ YZ

(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ XZ

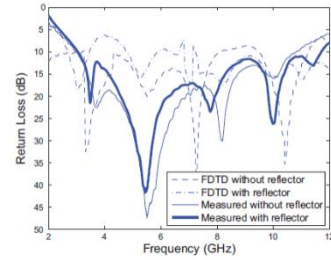
รูปที่ 15(ข) สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [16]

(2) สายอากาศหุกระต่ายเรียวแบบมีช่องเปิด จากเอกสารอ้างอิงที่ [17]

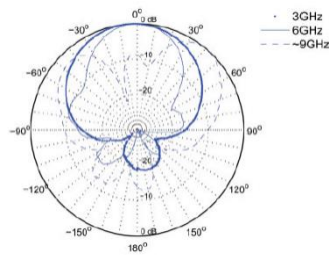
การพัฒนาแบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



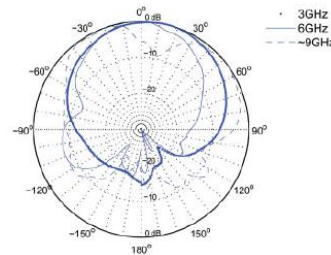
(ก) โครงสร้างของสายอากาศ



(ข) $|S_{11}|$



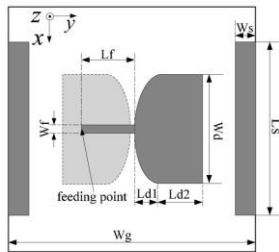
(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใน E-plane



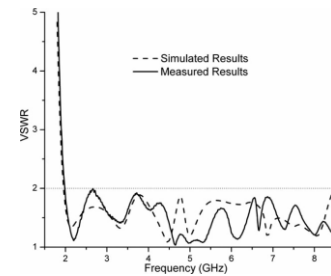
(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นใน H-plane

รูปที่ 15(ข) สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [17]

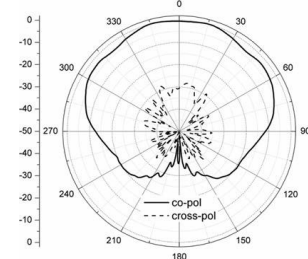
(3) สายอากาศหุกระต่ายเจาะบนควาวิตี้ จากเอกสารอ้างอิงที่ [18]



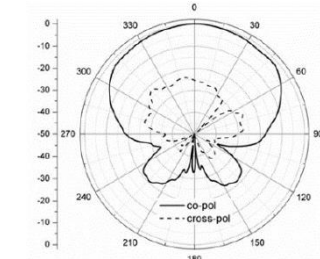
(ก) โครงสร้างสายอากาศ



(ข) VSWR



(ค) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ YZ



(ง) แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ XY

รูปที่ 15(ฉ) สายอากาศจากเอกสารอ้างอิง [18]

สรุปคุณสมบัติของสายอากาศชนิดหุกระต่ายจากงานวิจัยที่มีมาก่อน ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปคุณสมบัติของสายอากาศชนิดหุกระต่ายที่มีมาก่อน

[สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| เอกสารอ้างอิง | โครงสร้างสายอากาศ | ความถี่ (GHz) | การประยุกต์ใช้งาน | แบบรูปการแพร่กระจายคลื่น | วัสดุที่ใช้ |
|---------------|---|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| [18] | หุกระต่ายแบบระนาบร่วม | 5-12 | สื่อสารไร้สายภายในอาคาร | ทิศทางเดียว | PCB |
| [19] | หุกระต่ายแบบปรับได้โดยใช้ช่องเปิดที่แขนสายอากาศ | - | เรดาร์ทะลุผ่านดิน | ทิศทางเดียว | PCB |
| [16] | หุกระต่ายเหนือระนาบกราวนด์และตัวเชื่อมโลหะ | 5.35-6 | สถานีฐาน | ทิศทางเดียว | PCB |
| [17] | หุกระต่ายเรียวแบบมีช่องเปิด | 3-11.7 | เรดาร์และประมวลผลภาพ | ทิศทางเดียว | PCB |
| [18] | หุกระต่ายเจาะบนควार्टซ์ | 1.97-8.5 | เทคโนโลยีแถบความถี่กว้าง | ทิศทางเดียว | PCB |
| [19] | หุกระต่ายเจาะบนควार्टซ์ | 9.98-10.6 | เทคโนโลยีแถบความถี่กว้าง | ทิศทางเดียว | PCB |

2.3 ลักษณะของวัตถุระเบิดและการวางระเบิดในพื้นที่ทางรถไฟ

การลอบวางระเบิดใต้รางรถไฟในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ยังคงเป็นเครื่องมือหนึ่งของกลุ่มผู้ก่อความไม่สงบ ในการสร้างสถานการณ์ความวุ่นวายให้เกิดขึ้นในพื้นที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเดินทางของประชาชน ส่งผลต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และในหลาย ๆ ครั้ง ส่งผลต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนไทยด้วยกัน การลอบวางระเบิดรางรถไฟมีตั้งแต่ การลอบวางระเบิดขนาดเล็กเพื่อสร้างสถานการณ์ การลอบวางระเบิด เจ้าหน้าที่ความมั่นคงในระหว่างการลาดตระเวนตรวจความปลอดภัยของเส้นทางเดินรถไฟ ไปจนถึงการลอบวางระเบิดขนาดใหญ่ โดยมุ่งหวังเพื่อก่อให้เกิดความเสียหายต่อขบวนรถและผู้โดยสารที่เดินทางมากับขบวนรถอย่างมาก คณะนักวิจัยได้รวบรวมตัวอย่างของเหตุการณ์การลอบวางระเบิดทางรถไฟที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาตลอด 10 ปีที่ผ่านมา จากข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลจากเว็บไซต์ <https://wbns.oas.psu.ac.th/> และข้อมูลจากการรวบรวมของที่ปรึกษาโครงการ พล.ท. ยอดชัย ยังยืนสามารถสรุปเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรางรถไฟ อ.เรือเสาะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 29 ธันวาคม 2561

คนร้ายลอบวางระเบิดแสวงเครื่องบริเวณรางรถไฟ พื้นที่ บ.ตะโล๊ะตอแล ต.เรือเสาะ อ.เรือเสาะ จ.นราธิวาส ดังรูปที่ 16 ส่งผลให้รางรถไฟได้รับความเสียหาย ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดฐานะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 16 สภาพของบริเวณที่เกิดเหตุระเบิด

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดแสวงเครื่อง จำนวน 1 ลูก เกิดการระเบิดแล้ว โดยใช้ภาชนะบรรจุเป็นท่อเหล็ก ซึ่งมีองค์ประกอบของระเบิดแสวงเครื่องที่ตรวจพบได้แก่ ชิ้นส่วนถังดับเพลิง ชิ้นส่วนกล่องพลาสติกใส่แผงวงจร และเหล็กเส้นตัดท่อน ดังรูปที่ 17(ก) ถึงรูปที่ 17(ค) ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 17 ชิ้นส่วนของส่วนประกอบของระเบิดแสวงเครื่องที่ใช้ในการก่อเหตุ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

เป็นการติดตั้งระเบิดบริเวณรางรถไฟ และจากการตรวจสอบไม่พบระบบการจุดระเบิดซึ่งคาดการณ์ได้ว่าจะใช้ระบบการจุดระเบิดแบบตั้งเวลาโดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมักจะใช้ในการสร้างสถานการณ์เพราะไม่สามารถกำหนดเวลาที่ต้องการให้ระเบิดได้อย่างแน่นอน

เหตุลอบวางระเบิดบริเวณรางรถไฟ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี เมื่อวันที่ 3 กันยายน 2559

เกิดเหตุลอบวางระเบิด บริเวณรางรถไฟ รอยต่อระหว่าง บ.สามยอด ม.8 บ.นิคม ม.9 ต.โคกโพธิ์ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี ดังรูปที่ 18 ผลของการระเบิดทำให้มีผู้เสียชีวิต จำนวน 1 ราย และได้รับบาดเจ็บ จำนวน 3 ราย

ลักษณะของวัตถุระเบิด

พบว่าเป็นระเบิดแสวงเครื่องโดยใช้ภาชนะบรรจุเป็นถังแก๊สหุงต้ม จำนวน 2 ถัง พบหลักฐานในที่เกิดเหตุที่เกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิด ดังรูปที่ 19 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- ชิ้นส่วนถังแก๊สหุงต้ม ขนาด 15 กก. จำนวน 1 ถัง และถังแก๊สปิคนิก จำนวน 1 ถัง (ภาชนะบรรจุ)
- ชุดรีเลย์ จำนวน 1 ชุด (ระบบควบคุมการจุดระเบิด)
- แบตเตอรี่ ขนาด 1.5 โวลต์ ยี่ห้อ Panasonic สีเขียว จำนวน 12 ก้อน (แหล่งจ่ายพลังงาน)
- สายไฟฟ้า แบบอ่อน สีเทาแถบดำ ยาวประมาณ 50 เมตร
- เหล็กเส้นตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 มม. ยาวประมาณ 10-20 มม. (สะเก็ดระเบิดเพิ่มเติม)

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

ระเบิดถูกติดตั้งบริเวณรางรถไฟ ควบคุมการจุดระเบิดด้วยการลากสายไฟบังคับจุดระเบิดจากระยะไกล



รูปที่ 18 สภาพของบริเวณที่เกิดเหตุระเบิดรางรถไฟ



รูปที่ 19 หลักฐานของส่วนประกอบที่ใช้ทำวัตถุระเบิด

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรางรถไฟอ.รือเสาะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2559



รูปที่ 20 สภาพของบริเวณที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด

เกิดเหตุลอบวางระเบิด บริเวณรางรถไฟ เส้นทางระหว่างสถานีบาลอ-สถานีรือเสาะ พื้นที่ บ. ตือแย หมู่ที่ 4 ต.สาวอ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส ดังรูปที่ 20 ผลของการระเบิดไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บหรือเสียชีวิต

ลักษณะของวัตถุระเบิด

จากการตรวจสอบข้อมูลของ ผวค.ทลร.อโณทัย พบว่าเป็นระเบิดแสวงเครื่องโดยใช้ภาชนะบรรจุเป็นถังแก๊สหุงต้ม จำนวน 2 ถัง ควบคุมการจุดระเบิดด้วยวงจรถอดรหัสความถี่ DTMF โดยใช้วิทยุสื่อสาร ยี่ห้อ TYT รุ่น TH-F8 ย่านความถี่ VHF ความถี่ 144.250 เป็นสื่อกลาง พบหลักฐานในที่เกิดเหตุที่เกี่ยวข้องกับวัตถุระเบิดดังรูปที่ 21 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

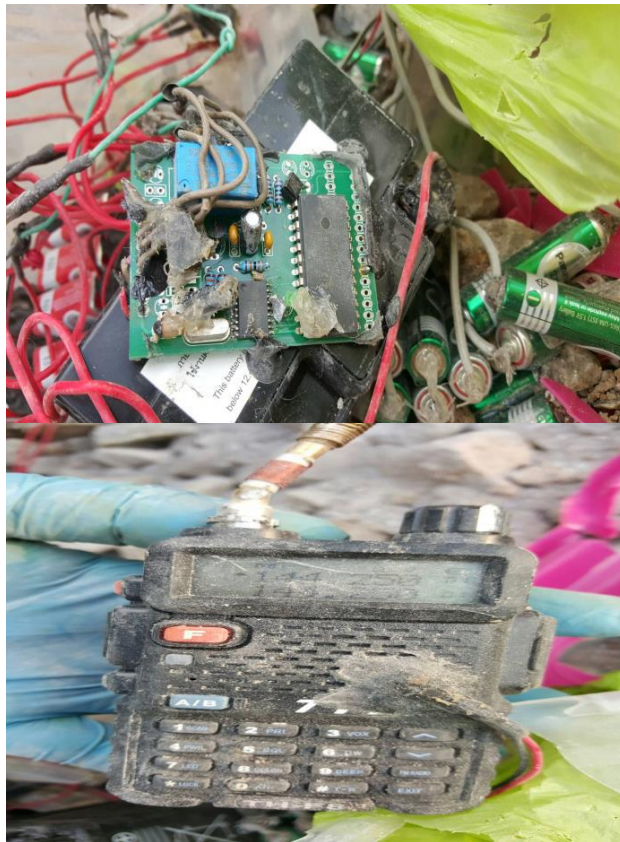
- ชิ้นส่วนถังแก๊สหุงต้ม จำนวน 2 ถัง (ภาชนะบรรจุ)
- ชิ้นส่วนวงจรถอดรหัสความถี่ DTMF วิทยุ ยี่ห้อ TYT รุ่น TH-F8 ย่านความถี่ VHF ความถี่ 144.250 สายไฟแบบอ่อนสีเทาแถบดำ พร้อมปลั๊กตัวผู้ – ตัวเมีย (ระบบควบคุมการจุดระเบิด)

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดฐานะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

- ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ขนาด ๙ โวลต์ ยี่ห้อ Panasonic รุ่น Hi-Top สีแดง จำนวน 2 ก้อน ขนาด 1.5 โวลต์ ยี่ห้อ Panasonic รุ่น Extra จำนวน 15 ก้อนและขนาด 12 โวลต์ ยี่ห้อ YUASA รุ่น YTZ3 จำนวน 1 ลูก (แหล่งจ่ายพลังงาน)
- ชิ้นส่วนเหล็กเส้นตัดความยาวคละขนาด (สะเก็ดระเบิดเพิ่มเติม)

(1.1) ลักษณะการวางและจุดระเบิด

ระเบิดถูกติดตั้งบริเวณรางรถไฟและจุดระเบิดโดยใช้วงจรถอดรหัสความถี่ DTMF วิทยุ ยี่ห้อ TYT รุ่น TH-F8 ย่านความถี่ VHF ความถี่ 144.250



รูปที่ 21 ส่วนประกอบของระเบิด

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรางรถไฟ อ.ระแงะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 12 กันยายน 2557

เกิดเหตุลอบวางระเบิดรางรถไฟในพื้นที่ อ.ระแงะ จ.นราธิวาส ดังรูปที่ 22 ซึ่งแม้จะไม่มีผู้ใดได้รับบาดเจ็บ แต่ก็ส่งผลกระทบต่อการเดินทางของประชาชนในพื้นที่ เจ้าหน้าที่ทำลายวัตถุระเบิดและเจ้าหน้าที่พิสูจน์หลักฐานได้ขอสนับสนุนเฮลิคอปเตอร์จากชุดเฉพาะกิจนราธิวาสและชุดสุนัขดม

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

กลืนมาตรวจสอบบริเวณรอบจุดเกิดเหตุ จากการตรวจสอบพบว่าแรงระเบิดทำให้รางรถไฟและไม้หมอนคอนกรีตเสริมเหล็กเสียหายเป็นระยะทาง 20 เมตร



รูปที่ 22 สภาพสถานที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด

ลักษณะของวัตถุระเบิด

มีชิ้นส่วนระเบิดแสงเครื่องที่ถูกประกอบไว้ในถังแก๊สปิกนิก น้ำหนัก 25 กิโลกรัม

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

จุดชนวนด้วยวิทยุสื่อสารและวางระเบิดบริเวณรางรถไฟ

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดใต้หมอนรางรถไฟ อ.ระแงะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2557

เวลา 04.00 น.คนร้ายได้วางระเบิดบริเวณสะพานรถไฟในพื้นที่ บ.ย่อยของ บ.ตันหยงมัส ม.1 ต.ตันหยงมัส อ.ระแงะ ห่างจากสถานีรถไฟตันหยงมัสประมาณ 2 กิโลเมตร ดังรูปที่ 23 ทำให้รางรถไฟขาดเป็น 2 ท่อน ไม่สามารถใช้งานได้แต่ไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บ

ลักษณะของวัตถุระเบิด

วางระเบิดแสงเครื่องที่ประกอบไว้ในถังแก๊สหุงต้ม หนักประมาณ 50 กิโลกรัม

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

จุดชนวนด้วยวิทยุสื่อสาร ก่อนนำไปวางไว้ที่ต่อม่อใต้สะพานรางรถไฟ

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 23 สภาพสถานที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดใต้รางรถไฟ อ.รีอเสาะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 18 พฤศจิกายน 2555



รูปที่ 24 สภาพสถานที่เกิดเหตุและความเสียหายต่อขบวนรถไฟ

คนร้ายได้วางระเบิดไว้บริเวณรางรถไฟใกล้กับสถานีย่อยบ้านตะโละบูกิตยือแร อ.รีอเสาะ ดังรูปที่ 24 จำนวน 2 ลูก เมื่อรถไฟขบวนที่ 453 ให้บริการระหว่างสถานียะลา-สุโหงโก-ลก แล่นผ่านมา ก็ได้จุดชนวนระเบิดขึ้น แรงระเบิดทำให้รถไฟตกราง จากนั้นคนร้ายได้ใช้อาวุธปืนไม่ทราบชนิดและขนาดยิงใส่ขบวนรถไฟอีกหลายชุด ทำให้เจ้าหน้าที่ อส.รถไฟ ใช้อาวุธปืนประจำกายยิงตอบโต้จนคนร้ายล่าถอยไป

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดชนิดแสวงเครื่อง บรรจุในถังแก๊ส น้ำหนักประมาณ 15 กิโลกรัม 2 ลูก

[สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

จุดชนวนด้วยการลากสายไฟช็อตด้วยไฟฟ้า โดยคนร้ายนำระเบิดไปฝังไว้ใต้รางรถไฟ

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดบริเวณทางรถไฟ อ.ระแงะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 2554



รูปที่ 25 บริเวณที่เกิดเหตุจุดที่ 1

ได้เกิดเหตุระเบิดบริเวณ ทางรถไฟพื้นที่ บ.สะโลว์ตราแต่ะ ม.6 ต.เฉลิม อ.ระแงะ จ.นราธิวาส ในที่เกิดเหตุไม่มีผู้ใดได้รับบาดเจ็บ จากการตรวจสอบบริเวณที่เกิดเหตุพบว่าเกิดการระเบิดบริเวณรางรถไฟ 2 จุด ห่างกันประมาณ 200 เมตร ในบริเวณจุดแรกเป็นระเบิดแสวงเครื่อง ใช้ภาชนะบรรจุเป็นกล่องเหล็กฝังไว้บริเวณใต้รางรถไฟ ดังรูปที่ 25 ในที่เกิดเหตุไม่พบองค์ประกอบของระบบควบคุมการจุดระเบิด

โดยขณะที่ทำการตรวจสอบบริเวณที่เกิดเหตุในจุดแรก จนท.ตร.ชุดเก็บกู้วัตถุระเบิด EOD ภ.จว.นราธิวาส ได้ตรวจพบกับระเบิดแสวงเครื่องแบบเหยียบ โดยฝังไว้ห่างจากจุดที่เกิดการระเบิดประมาณ 5-6 เมตรดังรูปที่ 26 จึงได้ทำการนิรภัยด้วยการยิงทำลาย

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 26 บริเวณที่เกิดเหตุที่อยู่ใกล้กับจุดที่ 1



รูปที่ 27 บริเวณที่เกิดเหตุจุดที่ 2

และจากการตรวจสอบบริเวณที่เกิดเหตุระเบิดบนทางรถไฟในจุดที่ 2 พบว่าเป็นระเบิดแสวงเครื่อง ใช้ภาชนะบรรจุเป็นกล่องเหล็กฝังไว้บริเวณใต้รางรถไฟเหมือนกับจุดแรก ในที่เกิดเหตุไม่พบองค์ประกอบของระบบควบคุมการจุดระเบิดดังรูปที่ 27 โดยในจุดที่ 2 พบว่ามีการฝังกับระเบิดแสวงเครื่องแบบเหยียบไว้ในพื้นที่เช่นเดียวกับจุดแรก โดยฝังไว้ห่างจากจุดที่เกิดการระเบิดประมาณ 2 เมตรดังรูปที่ 28 ซึ่งเป้าหมายของการก่อเหตุเพื่อต้องการลวง จนท.ให้เข้าตรวจสอบพื้นที่เหตุระเบิดรางรถไฟ และเดินเข้าไปเหยียบกับระเบิดที่ฝังไว้



รูปที่ 28 บริเวณที่เกิดเหตุที่อยู่ใกล้กับจุดที่ 2

ลักษณะของวัตถุระเบิด

จุดที่ 1 : ระเบิดแสวงเครื่อง โดยมีส่วนประกอบคือชิ้นส่วนกล่องเหล็ก (ภาชนะบรรจุ)

ถัดจากจุดที่ 1 มาเป็นระยะ 6 เมตร : ระเบิดแสวงเครื่องแบบเหยียบ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

- ชิ้นส่วนท่อ PVC (ภาชนะบรรจุ)
- ชิ้นส่วนสวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ (ระบบจุดระเบิด)
- ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์ สีแดง ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น HI-TOP (แหล่งจ่ายพลังงาน)
- ลูกเหล็กทรงกลม (สะเก็ดระเบิดเพิ่มเติม)

จุดที่ 2 : ระเบิดแสวงเครื่อง โดยมีส่วนประกอบคือชิ้นส่วนกล่องเหล็ก (ภาชนะบรรจุ)

ถัดจากจุดที่ 2 มาเป็นระยะ 2 เมตร : ระเบิดแสวงเครื่องแบบเหยียบ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

- ชิ้นส่วนท่อ PVC (ภาชนะบรรจุ)
- ชิ้นส่วนสวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ (ระบบจุดระเบิด)
- ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์ สีแดง ยี่ห้อ PANASONIC รุ่น HI-TOP (แหล่งจ่ายพลังงาน)
- ลูกเหล็กทรงกลม (สะเก็ดระเบิดเพิ่มเติม)

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

- จุดที่เป็นระเบิดแสวงเครื่องทั้งจุดที่ 1 และ 2 ไม่พบองค์ประกอบของระบบควบคุมการจุดระเบิด ซึ่งคาดว่าจะใช้เป็นระบบแบบตั้งเวลาระเบิด
- จุดที่ถัดมาจากจุดที่ 1 และ 2 เป็นระเบิดแสวงเครื่องแบบเหยียบ โดยใช้สวิทช์แบบกดติดปล่อยดับเป็นระบบจุดระเบิด

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดชุดลาดตระเวนเส้นทางรถไฟ อ.รามัน จ.ยะลา เมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2552



รูปที่ 29 สถานที่เกิดเหตุลอบวางระเบิด

เหตุคนร้ายลอบวางระเบิดเจ้าหน้าที่ทหารพราน ร้อย ฉก.ทพ.4108 ขณะออกลาดตระเวนดูแลความปลอดภัยเส้นทางรถไฟ บริเวณหัวสะพานเหล็กคลองบือแนมากอ หมู่ที่ 3 ต.บาลอ อ.รามัน จ.ยะลา ดังรูปที่ 29

ลักษณะของวัตถุระเบิด

เจ้าหน้าที่ตำรวจพบชิ้นส่วนท่อเหล็ก และเศษสะเก็ดระเบิด เป็นชิ้นเล็ก ๆ จำนวนหนึ่งตกอยู่ห่างจากเส้นทางรถไฟประมาณ 30 เมตร

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

จุดชนวนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยวางไว้บริเวณหมอนรองรางรถไฟ

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรถ รบน. อ.ระแงะ จ.นราธิวาส เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2552

ขณะที่เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงรางรถไฟ สังกัดแขวงบำรุงทางตันหยงมัส อ.ระแงะ จ.นราธิวาส จำนวน 20 คน ใช้รถบำรุงทางขนาดหนัก (รบน.) พ่วงรถบรรทุกหินไปด้วย 1 โบกี้ เข้าซ่อมแซมรางรถไฟที่ได้รับความเสียหายจากเหตุน้ำท่วม ที่บ้านสะโลว์ตราเต๊ะ หมู่ 6 ต.เฉลิม อ.ระแงะ เมื่อมาถึงหลักกิโลเมตรรถไฟที่ 109 บ้านสะโลว์ตราเต๊ะ คนร้ายได้จุดระเบิดแสวงเครื่องแต่ระเบิดทำงานไม่สมบูรณ์ ทำให้ล้อเหล็กของรถ รบน.เสียหายเล็กน้อย ไม้หมอนเสียหาย 2 ท่อน และเจ้าหน้าที่หูอื้อ และเจ็บหน้าอก 2 คน

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดแสวงเครื่องที่บรรจุในถังเคมีดับเพลิง

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

ฝังไว้ใต้หมอนรถไฟ แต่ระเบิดทำงานไม่สมบูรณ์ ทำให้ล้อเหล็กของรถ รบน.เสียหายเล็กน้อย

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรางรถไฟ อ.เทพา จ.สงขลา เมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2549

เมื่อเวลา 13.15 น. ตำรวจสภ.อ.เทพา จ.สงขลา รับแจ้งจากเจ้าหน้าที่รถไฟว่า เกิดเหตุระเบิดขึ้นที่บริเวณรางรถไฟ เส้นทางระหว่างสถานีเกาะสะบ้า-ท่าแมงลัก อ.เทพา จ.สงขลา ขณะที่ขบวนรถไฟขบวน 452 สุโขทัย-นครศรีธรรมราช วิ่งผ่าน โดยจุดเกิดเหตุอยู่ใกล้กับโรงเรียนคงคาสวัสดิ์ จากการตรวจสอบพบว่า ที่บริเวณถังน้ำสำรองที่บริเวณห้องพนักงานรถไฟถูกแรงระเบิดได้รับความเสียหายเล็กน้อย เบื้องต้นคาดเป็นฝีมือของกลุ่มแนวร่วมที่ต้องการสร้างความปั่นป่วน โดยนำวัตถุระเบิดชนิดแสวงเครื่องที่มีอำนาจไม่รุนแรง แต่ต้องการให้เสียงดังมาวางไว้ โชคดีที่ไม่มีใครได้รับบาดเจ็บ

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดชนิดแสวงเครื่องที่มีอำนาจไม่รุนแรง แต่ต้องการให้เสียงดัง

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

วางที่บริเวณถังน้ำสำรองที่บริเวณห้องพนักงานรถไฟ ซึ่งถูกแรงระเบิดได้รับความเสียหายเล็กน้อย

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรถ รบ.น. อ.สุโขทัย จ.นครราชสีมา เมื่อวันที่ 27 มีนาคม 2548

พ.ต.อ.เติม อินทะระสะ ผกก.สภ.อ.สุโขทัย นำกำลังเจ้าหน้าที่ตำรวจ-ทหาร และ อส.กว่า 100 นาย เข้าตรวจสอบที่เกิดเหตุ พร้อมกระจายกำลังกันโอบล้อมและไล่ล่ากลุ่มคนร้ายที่ติดอาวุธปืนสงครามครบมือ รวมทั้งประสานยัง ร.ต.อ.ปรีชา กิมเกลี้ยง หน.ชุดเก็บกู้วัตถุระเบิดหน่วย นปพ.จ.นครราชสีมา นำเครื่องมือตัดสัญญาณวงจรโทรศัพท์ก่อนเข้าเคลียร์พื้นที่ เพราะเกรงคนร้ายจะลอบวางระเบิดแสวงเครื่องลูกที่ 2 ซ้ำดักสังหารเจ้าหน้าที่ โดยพบหลุมระเบิดจำนวน 2 จุด ที่คูขนานกับแนวรางรถไฟ ซึ่งห่างกันจุดละ 1.50 เมตร โดยมีหลุมลึกจุดละ 1 ฟุต กว้าง 1.50 เมตร และรางรถไฟขาดเป็น 2 ท่อน โดยมีขบวนรถ (รบ.น.) กับโบกี้บรรทุกที่เจ้าหน้าที่ตำรวจได้นั่งโดยสารมาด้วยอยู่ในสภาพตกรางและหลุดออกจากกัน มีร่องรอยถูกสะเก็ดระเบิดและอาวุธปืนสงครามของคนร้ายบริเวณตัวถังทั้งสองโบกี้เป็นรูปพรุนทั้งซ้ายและขวา นอกจากนี้ ยังพบเศษชิ้นส่วนของสะเก็ดระเบิดกระจายเกลื่อนในรัศมีวงกว้าง 20 เมตร

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดแสวงเครื่อง

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

วางระเบิดไว้ที่แนวรางรถไฟ โดยใช้สายไฟลากยาวเข้าไปในป่ารกที่ประมาณ 100 เมตร เพื่อใช้ควบคุมระเบิด

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดรางรถไฟ 3 แห่งในภาคใต้ เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2547

คนร้ายวางระเบิดรางรถไฟ 3 แห่งในภาคใต้ รางเสียหายเล็กน้อย ไม่มีใครได้รับอันตราย เข้านี้คนร้ายนำระเบิดแสวงเครื่องไปวางที่รางรถไฟระหว่างสถานีปัตตานีกับนาประดู่ อำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี โชคดี เจ้าหน้าที่รถไฟ ใช้รถรางออกตรวจความเรียบร้อยของเส้นทางผ่านมาก่อน แต่ไม่ได้รับอันตราย ในเวลาไล่เลี่ยกัน คนร้ายยังได้วางระเบิดรางรถไฟ บ้านปะปือแก อำเภอรามัน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

จังหวัดยะลา รางรถไฟได้รับความเสียหายเล็กน้อย และอีกแห่งหนึ่ง อยู่ระหว่างสถานีวัดควนมัต กับ อำเภोजะนะ จังหวัดสงขลา

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดแสวงเครื่องผสมปุ๋ยยูเรีย บรรจุท่อพีวีซี

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

ที่บริเวณรางรถไฟ

เหตุการณ์ลอบวางระเบิดใต้หมอนรางรถไฟ อ.รามัน จ.ยะลา เมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2545

คนร้ายได้นำระเบิดไปวางไว้ใต้หมอนรางรถไฟ ระหว่างสถานีไม้แก่น กับสถานียะลาในท้องที่ อำเภอรามัน ซึ่งเป็นเวลาที่ขบวนรถสายสุโขทัย-กรุงเทพฯ แล่นผ่านพอดี ทำให้รางรถไฟและหัวรถจักรเสียหายแต่ยังไม่แล่นเข้า สถานียะลาได้ แต่ก็ต้องหยุดเดินรถขบวนอื่นชั่วคราว

ลักษณะของวัตถุระเบิด

ระเบิดเพาเวอร์เจล ท่อด้วย กระดาษ

ลักษณะการวางและจุดระเบิด

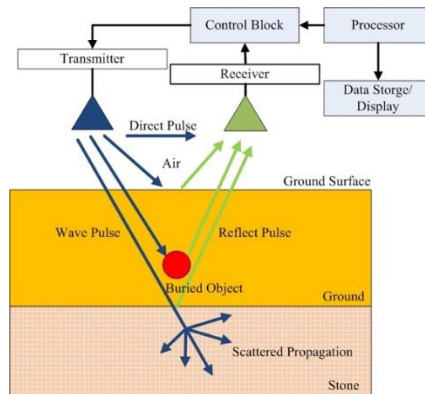
วางไว้ใต้หมอนรางรถไฟ

จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในรอบหลาย ๆ ปีที่ผ่านมาข้างต้น จะพบว่าเป็นการใช้ระเบิดแสวงเครื่องเกือบทั้งหมด :ซึ่งมักจะบรรจุระเบิดไว้ในถังแก๊สหรือท่อ PVC และมักใช้ท่อเหล็กตัดเป็นเส้นเพื่อเป็นสะเก็ดระเบิด โดยสามารถแบ่งระบบการจุดระเบิดออกเป็น 2 ระบบหลัก ๆ คือ แบบตั้งเวลาระเบิดและแบบใช้ระบบควบคุมการระเบิดด้วยเครื่องมือสื่อสารหรือสวิตซ์กด ซึ่งการใช้ระบบการจุดระเบิดแบบตั้งเวลานั้น มักจะใช้เพื่อสำหรับการสร้างสถานการณ์ความวุ่นวายเนื่องจากไม่สามารถกำหนดเวลาระเบิดให้ตรงกับเป้าหมายได้ ในขณะที่แบบใช้ระบบควบคุม คนร้ายจะรอให้มีขบวนรถไฟวิ่งผ่านหรือมีเจ้าหน้าที่อยู่ในบริเวณของระเบิดซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากได้

ในส่วนในพื้นที่ที่มักทำการวางระเบิด มักจะวางที่บริเวณรางรถไฟหรือหมอนรองรางรถไฟ เนื่องจากหากมีรถไฟวิ่งผ่านในขณะที่ระเบิดทำงาน ก็จะสร้างความเสียหายต่อทั้งผู้โดยสารและตัวขบวนรถไฟได้อย่างรุนแรงมากนั่นเอง

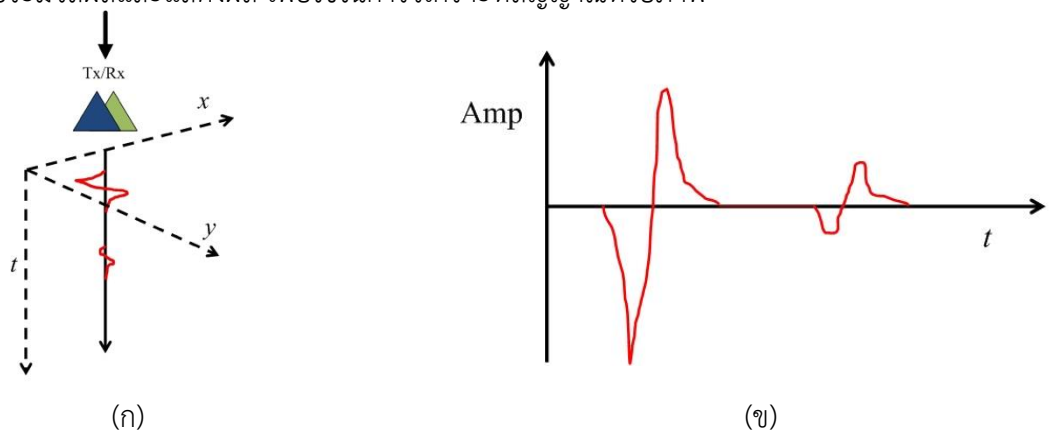
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน



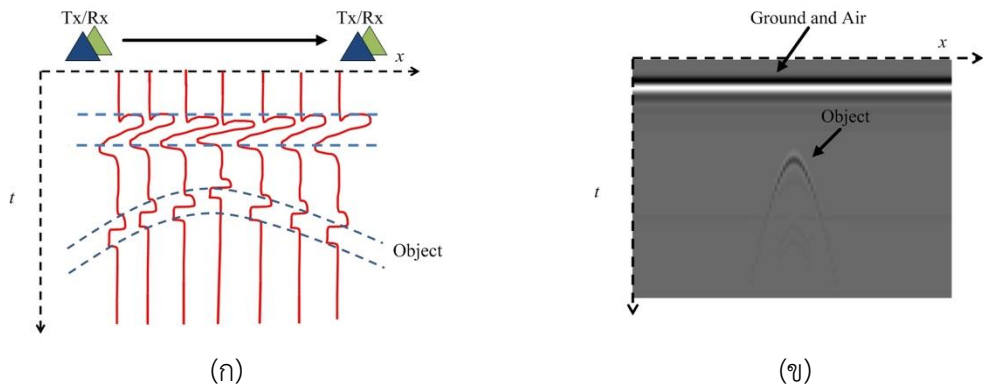
รูปที่ 30 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของการทำงานของเรดาร์ภาคพื้นดิน

รูปที่ 30 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน สัญญาณเรดาร์จะถูกสร้างด้วย วงจรกำเนิด อาจจะเป็นสัญญาณพัลส์หรือสัญญาณความถี่เป็นขั้น ๆ สัญญาณจะถูกส่งผ่านวงจรตัวส่ง (Transmitter) เพื่อแปลงสัญญาณให้เป็นคลื่นความถี่ไมโครเวฟและกำลังงานที่มากเพียงพอให้ สัญญาณที่ส่งผ่านสายอากาศสามารถทะลุลงใต้พื้นดินได้ เมื่อสัญญาณเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ต่างกัน สัญญาณส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านและในขณะที่บางส่วนจะสะท้อนกลับ สัญญาณที่สะท้อนกลับมายัง สายอากาศรับจะผ่านวงจรตัวรับ (Receiver) และถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล สัญญาณดิจิทัลนี้จะถูก ใช้ในการประมวลผลและแสดงผล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณหรือภาพ

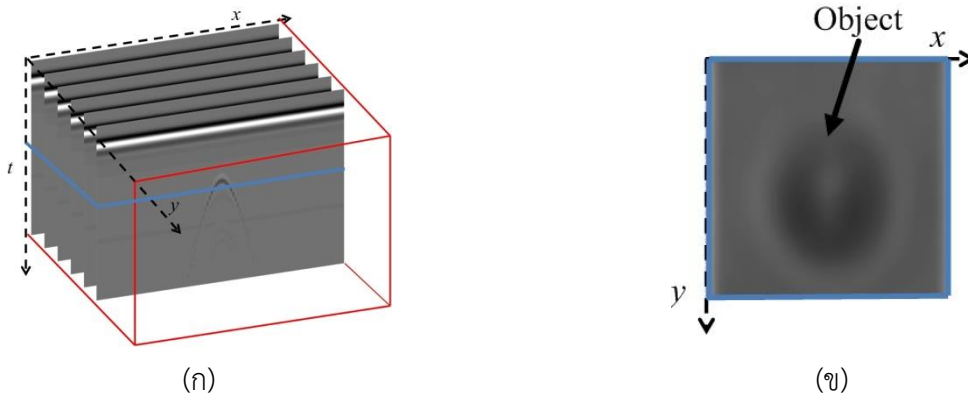


รูปที่ 31 การเก็บข้อมูล (ก) A-SCAN (ข) สัญญาณของ A-SCAN

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



(ก) (ข)
รูปที่ 32 การเก็บข้อมูล (ก) B-SCAN (ข) สัญญาณของ B-SCAN



(ก) (ข)
รูปที่ 33 การเก็บข้อมูล (ก) C-SCAN (ข) สัญญาณของ C-SCAN

การใช้งานเพื่อเก็บข้อมูล GPR นั้นโดยทั่วไป สามารถเก็บข้อมูลได้ 3 รูปแบบได้แก่

- (1) A-scan เป็นการเก็บข้อมูลของสัญญาณเดียวจากสายอากาศรับเพียง 1 ชุดจะถูกเรียกว่า เทรด (Trace) แสดงการเก็บข้อมูลและตัวอย่างของสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 31 (ก) และ (ข) ตามลำดับ
- (2) B-scan เป็นการเก็บข้อมูลแบบ A-scan ที่มีการเคลื่อนที่ของสายอากาศรับในแนวยาว เป็นการนำการเก็บข้อมูลจาก A-scan มาต่อกันเป็น 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 32 ขนาดของสัญญาณถูกแสดงด้วยระดับของสี แกน x แทนตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของสายอากาศ แกน y แทนเวลาของการเคลื่อนที่ของสัญญาณซึ่งเทียบเคียงกับความลึกเสมือน ถ้ามีวัตถุอยู่ใต้พื้นดินจะเกิดการสะท้อนของสัญญาณที่ส่งจากเรดาร์สะท้อนพื้นดิน โดยสัญญาณที่ได้รับจากการสะท้อนจะมีเฟสที่แตกต่างกันตามระยะการเคลื่อนที่ของสายอากาศรับของเรดาร์ ความแตกต่างนี้ส่งผลให้เกิดรูปลักษณะคล้ายไฮเปอร์โบลา ดังแสดงในรูป 32 (ข)
- (3) C-scan เป็นการเก็บข้อมูลโดยเคลื่อนที่เหมือน B-scan โดยมีจำนวนของสายอากาศรับมากกว่า 1 ตัวเป็นสายอากาศแถวลำดับ (Array Antenna) รูปที่ 33 (ก) และ (ข) แสดงการเก็บข้อมูลของ C-scan และตัวอย่างข้อมูลรูปที่ได้ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จาก

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

การเก็บของ C-scan สามารถใช้ค้นหาวัตถุได้ดี แต่ด้วยต้นทุนที่สูงของสายอากาศแถว ลำดับเมื่อเทียบการเก็บข้อมูลแบบ A-scan และ B-scan อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ วัตถุจากข้อมูล A-scan มีความซับซ้อนสูง ดังนั้นจึงนิยมใช้การเก็บข้อมูลแบบ B-scan มากกว่า

รูปร่างของไฮเปอร์โบล่าในการเก็บข้อมูลแบบ B-scan ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับหลัก 2 ประการ คือ 1) ระยะห่างของการทำสแกน ถ้าระยะห่างยิ่งน้อยทำให้ไฮเปอร์โบล่าที่ได้มีขนาดกว้าง และ 2) ความเร็วของสัญญาณ ถ้าพบว่าถ้าพื้นที่มีค่าไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ต่ำ (Relative Permittivity) จะทำให้สัญญาณเคลื่อนที่ได้ไวจะทำให้ไฮเปอร์โบล่ามีขนาดกว้าง

ข้อจำกัดของความสามารถของเรดาร์ทะลุพื้นดินขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ที่ทำการทดสอบ ตัวอย่างของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานเรดาร์ทะลุพื้นดินได้แก่

- (1) สัญญาณรบกวน ในการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินจะมีความอ่อนไหวต่อสิ่งรบกวนจาก สภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก เช่น สัญญาณรบกวนที่เกิดจากเองตามธรรมชาติ หรือ สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ใช้งาน เป็นต้น
- (2) คุณสมบัติของดิน คุณสมบัติของดินมีผลต่อความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นลง ใต้ดิน ถ้าดินมีลักษณะความนำไฟฟ้าสูง เช่น เป็นดินเหนียว คลื่นจะไม่สามารถทะลุผ่าน ชั้นดินเหนียวได้
- (3) ความถี่ที่ใช้ ความถี่ของเรดาร์มีผลต่อการทะลุทะลวง และความแม่นยำ โดยทั่วไปแล้ว เรดาร์ทะลุพื้นดินจะใช้ความถี่ในย่านความถี่ต่ำจนถึงความถี่สูงเช่น ประมาณ 1 – 1000 MHz ถ้าความถี่ต่ำอำนาจในการทะลุทะลวงได้ลึกแต่ความละเอียดที่ได้รับจะน้อยแต่ถ้า ใช้ความถี่สูงอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยจึงไม่ลึกมากแต่ความละเอียดที่ได้รับจะสูง

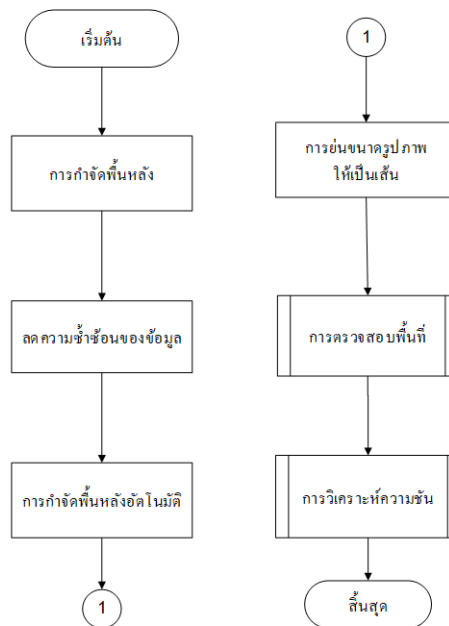
จากระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินที่ได้กล่าวมานั้น จะสามารถแยกเป็นส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ด้วยกัน ได้แก่

- (1) ส่วนซอฟต์แวร์วิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากระบบเรดาร์ และจะแปลงข้อมูลต่าง ๆ ให้เป็นภาพ แสดงผลแผนที่ใต้ดิน
- (2) ส่วนฮาร์ดแวร์หลักของระบบเรดาร์ ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นแบบสามารถแยกเป็นส่วน ๆ (modular) ได้ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ สายอากาศส่งและรับเพื่อใช้ในการ แพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งลงใต้พื้นดิน ส่วนวงจรภาครับและส่งของระบบ เรดาร์ และคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดง ตีความและวิเคราะห์ข้อมูล การออกแบบ ระบบเรดาร์นี้ให้สามารถแยกออกจากกันเป็นส่วน ๆ นั้นเพื่อให้่ายในการติดตั้ง ประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลายได้
- (3) ส่วนวงจรและการประมวลผลของเรดาร์ เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุม ประมวลผล สัญญาณที่รับได้ เพื่อจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงเป็นภาพแผนที่ต่อไป

จากส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นไปที่การประกอบ และทดสอบส่วนฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ของระบบเรดาร์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ระบบเรดาร์สามารถทำงานได้ อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ

3.2 การตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินด้วยเรดาร์ทะลุพื้นดิน

การตรวจจับวัตถุใต้ดินเป็นการนำวิธีการวิเคราะห์พื้นที่ที่พัฒนาขึ้นเนื่องจากวิธีการดังกล่าวต้องทำการเลือกค่าขีดแบ่งและต้องประมาณช่วงของค่าผลต่างของสเกลเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจจับไฮเพอร์โบล่าแต่ค่าดังกล่าวเป็นค่าคงที่จึงทำให้อาจจะไม่สามารถแยกแยะไฮเพอร์โบล่าในกรณีที่มีวัตถุต่างกันสองชนิดแต่ในวิธีการวิเคราะห์ความชันไม่จำเป็นต้องทำการเลือกค่าขีดแบ่งและค่าผลต่างของสเกลเหมือนในวิธีวิเคราะห์พื้นที่ โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 34 เริ่มจากการกำจัดผิวดิน (Ground Surface Elimination) ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (Normalizations) การกำจัดพื้นหลังอัตโนมัติ (Auto Elimination of Background) การย่อรูปภาพให้เป็นเส้น (Thinning) การตรวจสอบพื้นที่ (Regionalization) และการวิเคราะห์ความชันจะแบ่งเป็น 3 วิธีดังรูปที่ 35 ได้แก่ การประมาณพื้นที่ (Region Elimination) การสุ่มจุดในพื้นที่ (Sampling Point) และการประมาณไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic Estimation)



รูปที่ 34 ขั้นตอนการประมวลผล

(1) การกำจัดพื้นหลังอัตโนมัติ

การกำจัดพื้นหลังจะพบว่าต้องทำการเลือกค่าขีดแบ่งที่ต้องเพื่อกำจัดพื้นหลังหรือส่วนประกอบของรูปที่ไม่ต้องการออกไปแต่การเลือกค่าดังกล่าวในข้างต้น ต้องอาศัยการเลือกค่าจากรูปที่ได้จากวิธีการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลเมื่อเลือกส่วนของรูปที่ต้องการ

$$MaxN_c = \max(N_{coloum}) \quad (1)$$

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดถูกระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

$$t = \min(\text{Max}N_c) \quad (2)$$

$$T(x, y) = \begin{cases} 1, N(x, y) \geq t \\ 0, N(x, y) < t \end{cases} \quad (3)$$

กำหนดให้ N = ภาพเรดาร์ทะลุพื้นที่ดินที่ได้จากการจำลองหรือการทดลองจริงแบบปิสแกน

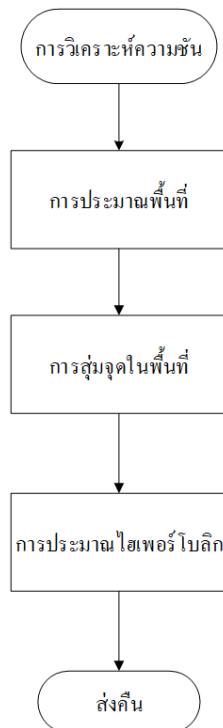
t = ค่าขีดแบ่ง (Threshold)

T = รูปที่ได้จากการวิธีการกำจัดพื้นหลังอัตโนมัติ

N_{Coloum} = ข้อมูลของคอลัมน์ทั้งหมด

$\text{Max}N_c$ = ค่าสูงสุดในแต่ละคอลัมน์

ในการกำจัดพื้นหลังอัตโนมัติใช้วิธีการหาค่าสูงสุดในแต่ละหลักของภาพดังสมการที่ (1) แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าต่ำสุดของค่าในแถวดังสมการที่ (2) แล้วจึงนำค่าที่ได้มาเป็นค่าขีดแบ่งดังสมการที่ (3) โดยแนวคิดนี้เป็นเพียงการประมาณค่าเพื่อหาค่าสูงสุดและต่ำสุดภายในภาพ



รูปที่ 35 ผังการทำงานของกรวิเคราะห์ความชัน

(2) การประมาณพื้นที่

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดถูกระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

การประมาณพื้นที่เป็นขั้นตอนในการพิจารณาพื้นที่ภายในรูปที่ผ่านขั้นตอนการตรวจสอบพื้นที่ โดยมีแนวความคิดคือภาพไฮเพอร์โบล่าจะมีขนาดของแกน x เป็นสองเท่าของแกน y เพื่อให้ครอบคลุมกับภาพไฮเพอร์โบล่าหลายแบบจึงกำหนดค่าความคาดเคลื่อนเป็น 0.5 ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$X_{mi} = 1.5y \quad (4)$$

$$X_{ma} = 2.5y \quad (5)$$

กำหนดให้ y = ขนาดของแกน y

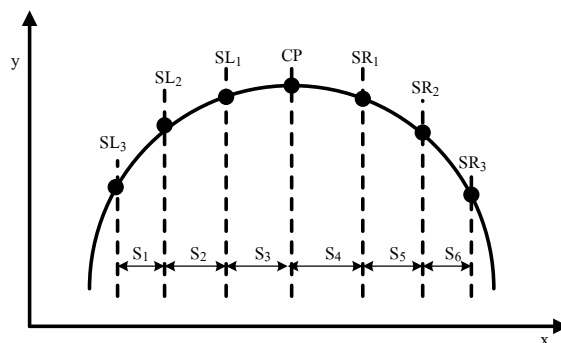
X_{mi} = ขนาดของแกน x เป็น 1.5 เท่า

X_{ma} = ขนาดของแกน x เป็น 2.5 เท่า

x = ขนาดของแกน x ที่ใช้ในการประมาณพื้นที่

(3) การสุ่มจุดในพื้นที่

การเลือกช่วงค่าผลต่างของสเกลทำให้เกิดปัญหาในการตรวจจับไฮเพอร์โบลิกโดยอาจจะได้รูปทรงอื่นมาด้วย ในหลักการการสุ่มจุดในพื้นที่โดยนำข้อมูลที่ได้จากการประมาณพื้นที่ดังรูปที่ 36 โดยจากการทดลองทำการสุ่มจุดในพื้นที่จำนวน 7 จุดเท่า ๆ กันพบว่าสามารถตรวจหาผลไฮเพอร์โบลิกได้โดยการแบ่งครึ่งของพื้นที่คือจุด CP ซึ่งมีข้อมูลในตำแหน่งดังสมการที่ (8) แล้วทำการหาค่าสูงสุดของแกน x และค่าต่ำสุดของแกน x แล้วนำระยะของแกน x ระหว่างค่าต่ำสุดของแกน x กับค่าของจุด CP มาหารสามเพื่อแบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุดจะได้จุด SL_3 SL_2 และ SL_1 แล้วนำระยะของแกน x



รูปที่ 36 รูปแบบของไฮเพอร์โบลิกของแต่ละตำแหน่ง

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ระหว่างค่าสูงสุดของแกน x กับค่าของจุด CP มาหารสามเพื่อแบ่งข้อมูลเป็น 3 ชุดจะได้จุด SR_1 SR_2 และ SR_3 โดยแต่ละจุดจะมีข้อมูลตั้งสมการที่ (6) และ (7) แล้วทำการหาเครื่องหมายความชัน S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 และ S_6 ตั้งสมการที่ (9) ถึงสมการที่ (15) ตามลำดับ

$$SL_n = (x_{SL_n}, y_{SL_n}), n = 1, 2, 3 \quad (6)$$

$$SR_n = (x_{SR_n}, y_{SR_n}), n = 1, 2, 3 \quad (7)$$

$$CP = (x_{cp}, y_{cp}) \quad (8)$$

$$Sv_1 = \frac{Y_{SL_3} - Y_{SL_2}}{Y_{SL_3} - Y_{SL_2}} \quad (9)$$

$$Sv_2 = \frac{Y_{SL_2} - Y_{SL_1}}{Y_{SL_2} - Y_{SL_1}} \quad (10)$$

$$Sv_3 = \frac{Y_{SL_1} - Y_{SL}}{Y_{SL_1} - Y_{SL}} \quad (11)$$

$$Sv_4 = \frac{Y_{CP} - Y_{SR_1}}{Y_{CP} - Y_{SR_1}} \quad (12)$$

$$Sv_5 = \frac{Y_{SR_1} - Y_{SR_2}}{Y_{SR_1} - Y_{SR_2}} \quad (13)$$

$$Sv_6 = \frac{Y_{SR_2} - Y_{SR_3}}{Y_{SR_2} - Y_{SR_3}} \quad (14)$$

$$S_n = sigN(Sv_n), n = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad (15)$$

โดยพบว่าค่าความชันที่ได้ทั้ง 6 ชุดข้อมูลประกอบด้วย S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 และ S_6 เป็นเครื่องหมายความชันที่บ่งบอกแนวโน้มที่จะใช้ในวิธีการต่อไปสำหรับระบุว่าพื้นที่ไหนภายในภาพเป็นไฮเพอร์โบลิก

(4) การประมาณไฮเพอร์โบลิก

ในการระบุว่าพื้นที่ไหนจะเป็นไฮเพอร์โบลิก จะเป็นการเลือกช่วงค่าผลต่างของสเกลเป็นเพียงการกรองชนิดหนึ่งเท่านั้นซึ่งประสิทธิภาพที่ได้ค่อนข้างแม่นยำสูงแต่เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเลือกค่าดังกล่าวจึงทำให้เกิดวิธีการประมาณไฮเพอร์โบลิกซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ผลของวิธีการสุ่มจุดในพื้นที่โดยนำเครื่องหมายบวกหรือลบของตัวเลขมาพิจารณาตั้งตารางที่ 3 เป็นรูปแบบของไฮเพอร์โบลิกที่จะพบว่าเครื่องหมายกับกราฟในตารางจะมีความสอดคล้องกันโดยในลำดับที่ 1 ค่า S_1 เป็นบวก S_2 เป็นบวก S_3 เป็นบวก S_4 เป็นลบ S_5 เป็นลบ S_6 เป็นลบ ซึ่งคือเครื่องหมายความชันถ้าเป็นบวกแสดงว่าช่วง S_1 จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นของพื้นที่นั้นและถ้าเป็นลบแสดงว่ามีลักษณะลดลงของพื้นที่ดังรูปที่ 36 โดยตารางดังกล่าวมีการระบุความเหมือนเป็นเปอร์เซ็นต์ และรูปที่ 37 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความชันเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ตามรูปที่ 34 และ 35 ตามลำดับ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

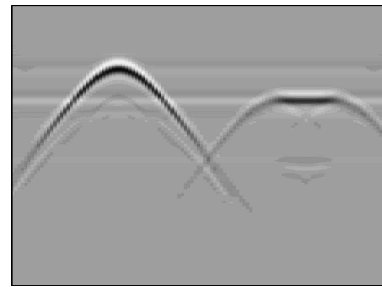
ตารางที่ 3 รูปแบบการประมาณไฮเพอร์โบลิกและเปอร์เซ็นต์ความเหมือนไฮเพอร์โบลิก

| รูปแบบ | เครื่องหมายความชัน | | | | | | กราฟ | | | | | |
|--------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ |
| 1 | บวก | บวก | บวก | ลบ | ลบ | ลบ | | | | | | |

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



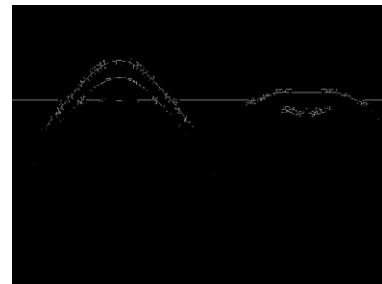
(ก)



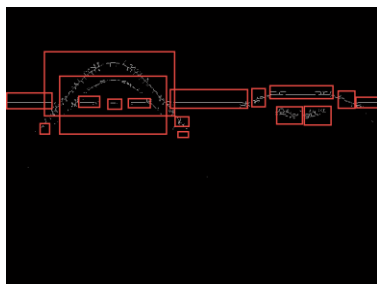
(ข)



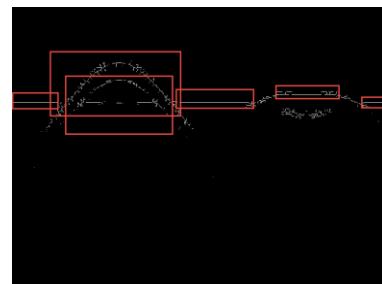
(ค)



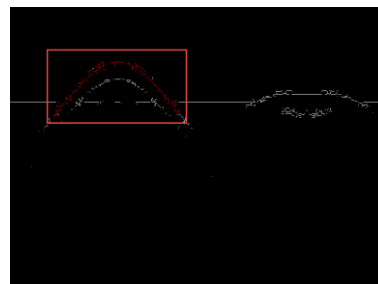
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

รูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์ความชันของโดยจำลองวัตถุต่างชนิดฝังคือถังแก๊สเล็กและสามเหลี่ยมในชุดดินบาเจาะ (ก) ผลการจำลอง (ข) การกำจัดผิวดินและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (ค) การกำจัดพื้นหลังอัตโนมัติ (ง) การย่นขนาดรูปภาพให้เป็นเส้น (จ) การตรวจสอบพื้นที่ (ฉ) การประมาณพื้นที่กับการซูมจุดใน พื้นที่ และ (ช) การประมาณไฮเพอร์โบลิก

จากรูปที่ 37 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของผลการวิเคราะห์ความชันในขั้นตอนต่าง ๆ โดย (ก) ผลการจำลองทำให้เห็นว่าวัตถุอยู่ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาเข้าขั้นตอน (ข) พบว่าแถบผิวดินและ [สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

อากาศจะหายออกไปและตำแหน่งของจุดภายในรูปภาพอยู่ระหว่าง 0-1 ผ่านขั้นตอน (ค) โดยในขั้นตอนนี้ไม่จำเป็นต้องหาค่าขีดแบ่งโดยขั้นตอนนี้จะทำการกำจัดพื้นหลังโดยอัตโนมัติตามสมการที่ (1) – (3) (ง) ขั้นตอนดังกล่าวเป็นการย่นขนาดรูปภาพให้เป็นเส้นแต่ยังคงความเป็นรูปแบบเดิม (จ) ขั้นตอนการตรวจสอบพื้นที่ที่จะทำการแบ่งพื้นที่ภายในภาพเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลต่อไป (ฉ) การประมาณพื้นที่กับการสุ่มจุดในพื้นที่ โดยในการประมาณพื้นที่เป็นการกรองพื้นที่แบบหยาบ ๆ และใช้การสุ่มจุดในพื้นที่เพื่อหาคำนวนหาความชันของพื้นที่ทุกพื้นที่ที่ผ่านการประมาณพื้นที่แล้ว (ช) การประมาณไฮเพอร์โบลิกเป็นการนำความชันที่ได้จากการสุ่มจุดในพื้นที่มาตรวจหารูปแบบตามตารางที่ 4 จะทำให้พบว่าสามารถตรวจหาไฮเพอร์โบลิกภายในภาพได้สมบูรณ์

ตารางที่ 4 เงื่อนไขการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีวิเคราะห์พื้นที่กับวิเคราะห์ความชัน

| เงื่อนไข | ชุดดิน | วิเคราะห์พื้นที่ | วิเคราะห์ความชัน |
|----------|--------|--|--|
| | | เงื่อนไขเลือกค่าขีดแบ่งและผลต่างของสเกลด้วยมือ (Manual) | เงื่อนไขใช้เครื่องหมายความชันในรูปแบบที่ 1 |
| 1 | 5 ชุด | ถังแก๊ส 1 ถัง (การจำลองวัตถุหนึ่งวัตถุ) | |
| 2 | 5 ชุด | ถังแก๊ส 1 ถังและสามเหลี่ยม (การจำลองวัตถุสองชนิดต่างกัน) | |

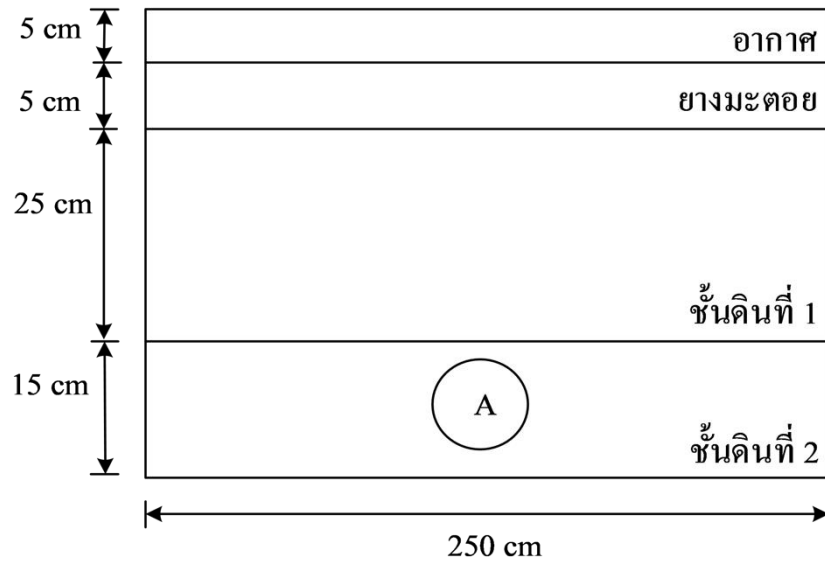
3.3 การจำลองการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตรวจวัดใต้พื้นดิน

การจำลองตรวจวัดใต้พื้นดินและถนน

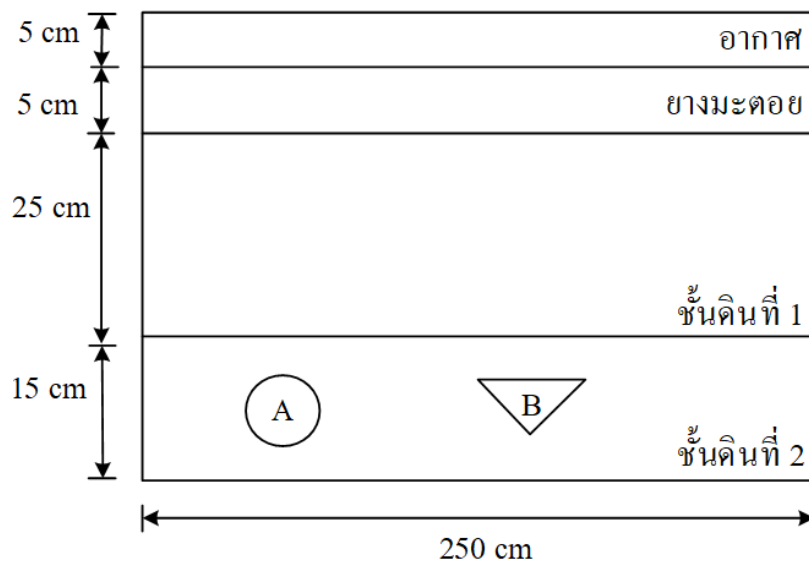
รูปแบบการฝังวัตถุภายในถนนจำลองจะมีทั้งหมด 2 รูปแบบประกอบด้วย การจำลองวัตถุหนึ่งวัตถุ และการจำลองวัตถุสองชนิดต่างกัน ในการจำลองวัตถุหนึ่งวัตถุตั้งรูปที่ 38 แทนวัตถุ A ด้วยถังแก๊สเล็ก และการจำลองวัตถุสองชนิดต่างกันตั้งรูปที่ 39 จะแทนวัตถุ A ด้วยถังแก๊สเล็กและวัตถุ B แทนด้วยวัตถุทรงสามเหลี่ยม โดยแต่ละเงื่อนไขจะมี 5 ชุดดิน ในการจำลองนี้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์พื้นที่ว่าสามารถหาถังแก๊สเล็ก และสามารถแยกถังแก๊สเล็กออกจากวัตถุทรงสามเหลี่ยม

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเลือกค่าขีดแบ่งของการกำจัดพื้นหลัง การเลือกค่าขีดแบ่งของการกำจัดพื้นหลัง ความซ้ำซ้อนของข้อมูล เมื่อดูข้อมูลภายในจะพบว่ามีความอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 คละกันไปตามแต่ละข้อมูลที่ได้อมาโดยค่า 1 จะเป็นสีขาว ค่า 0 คือสีดำเรียกว่าสเกลสีเทา (Grayscale)

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 38 การจำลองวัตถุหนึ่งวัตถุ



รูปที่ 39 การจำลองวัตถุสองชนิดต่างกัน

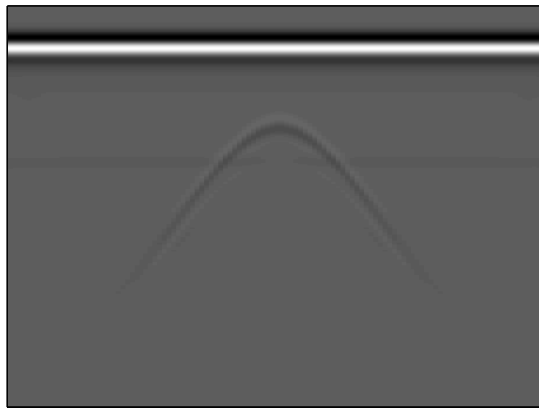
ในรูปที่ 40 เป็นผลการจำลองจากชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยจะพบว่าในภาพมีภาพไฮเพอร์โบลิคอยู่ภายในภาพและมีผลสะท้อนของผิวดินและอากาศอยู่ด้านบนของภาพเป็นเส้นยาววางจนเต็มรูปภาพเมื่อภาพดังกล่าวผ่านขั้นตอนการกำจัดผิวดินและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ดังรูปที่ 41 จะพบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าวพบว่าผลสะท้อนของผิวดินได้หายไป แต่เมื่อทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลจากรูปที่สองจะเห็นว่าส่วนที่สะท้อนผิวดินได้ถูกกำจัดและค่าของสเกล

[สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

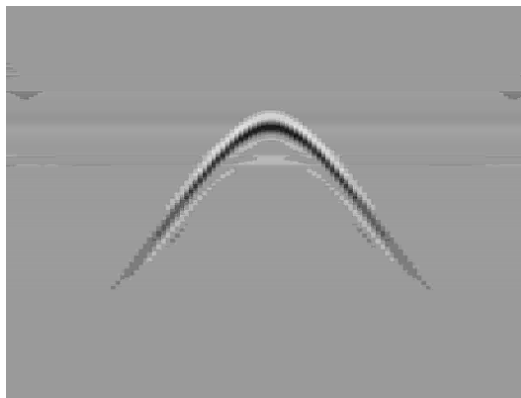
การพัฒนากระบวนการตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ภายในจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งทำให้สามารถกำหนดค่าขีดแบ่งสำหรับขั้นตอนการกำจัดพื้นหลังได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

การเลือกค่าขีดแบ่งโดยการดูข้อมูลหรือค่าภายในรูปที่ 40 โดยให้สังเกตว่าภาพไฮเพอร์โบลาภายในภาพมีสีอะไรแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าแถบสีเพื่อจะได้นำมาใช้เป็นค่าขีดแบ่งในการใช้ขั้นตอนการกำจัดพื้นหลังและในย่อหน้าถัดไปจะเป็นการแสดงการเลือกค่าขีดแบ่งที่หลาย ๆ ค่าเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่าถ้าเลือกค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมผลของภาพจะอยู่ในรูปแบบใด

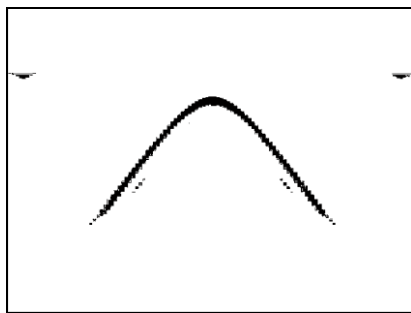


รูปที่ 40 ผลการจำลองที่ได้จากชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก

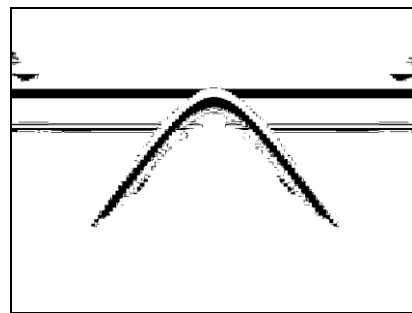


รูปที่ 41 ชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยผ่านกระบวนการการกำจัดผิวดินและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

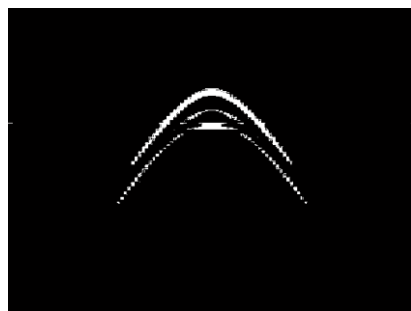
การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



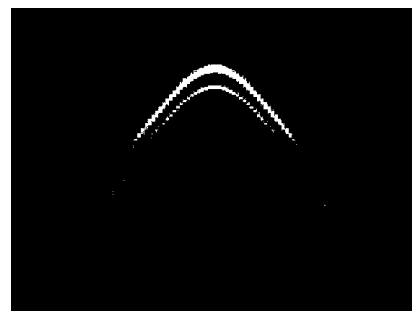
(ก)



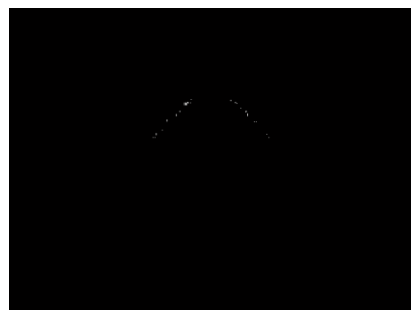
(ข)



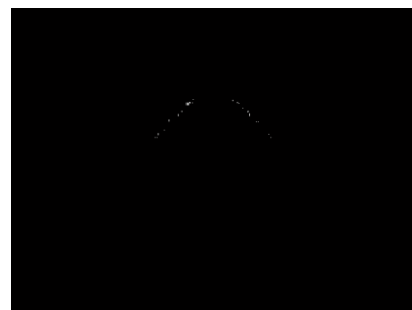
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 42 ความแตกต่างของค่าขีดแบ่งของชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยมีค่าดังนี้ (ก) 0.5 (ข) 0.6 (ค) 0.7 (ง) 0.8 (จ) 0.9 (ฉ) 1.0

จากรูปที่ 42 พบว่าเมื่อเปลี่ยนค่าขีดแบ่งจะทำให้ผลของภาพเปลี่ยนไปโดยค่าที่สมควรเลือก เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดจะเป็นรูปที่ 42 (ค) – (จ) เพราะมีส่วนประกอบของไฮเพอร์โบลิกให้เห็นได้ชัดเจนโดยมีค่า 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ รูปที่ 42 (ก) – (ข) มีค่า 0.6 และ 0.5 ตามลำดับจะพบว่ามีส่วนไฮเพอร์โบลิกให้เห็นชัดเจนเช่นกันแต่ที่ไม่ทำการเลือกเพราะเนื่องจากการประมวลผลต่อไปจะเป็นการย่นขนาดรูปภาพให้เป็นเส้น จะทำการเปลี่ยนข้อมูลภายในรูปที่มีค่าเป็น 1 (สีขาว) เท่านั้น ถ้านำภาพดังกล่าวมาทำกระบวนการดังกล่าวจะเกิดปัญหา และรูปที่ 42 (ฉ) มีค่า 0.9 จะ

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

พบว่าภาพดังกล่าวไม่มีส่วนประกอบของไฮเพอร์โบลิคทำให้ไม่มีประสิทธิภาพสำหรับการประมวลผลขั้นต่อไป

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของการเลือกค่าขีดแบ่งในชุดดินบาเจาะโดยมีวัตถุคือระเบิดฝังดิน

| ค่าขีดแบ่ง | ชุดดินบาเจาะ | |
|------------|-----------------------|---|
| | จำนวนจุดสีขาวภายในภาพ | เวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยวิธีการตรวจสอบพื้นที่ (วินาที) |
| 0.5 | - | - |
| 0.6 | - | - |
| 0.7 | 1,977 | 9.67 |
| 0.75 | 1,090 | 1.45 |
| 0.8 | 783 | 1.05 |
| 0.9 | 263 | 0.43 |

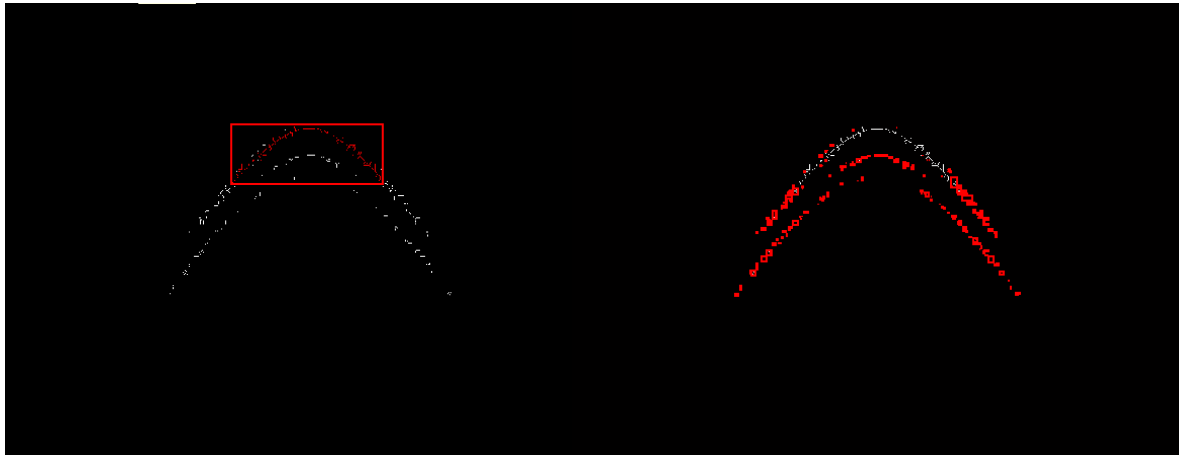
จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อจำนวนจุดสีขาวภายในภาพมีจำนวนน้อยจะพบว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยวิธีการตรวจสอบพื้นที่จะยิ่งน้อยลงเห็นได้ว่าเมื่อค่าขีดแบ่งมีค่าที่เข้าใกล้ 1 จะทำให้จำนวนจุดสีขาวภายในภาพยิ่งน้อยลง ในทำนองเดียวกันในชุดดินอีก 4 ชุดก็จะมีลักษณะในการเลือกค่าขีดแบ่งเหมือนกับชุดดินบาเจาะและเวลาในการตรวจสอบพื้นที่

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเลือกค่าผลต่างของสเกลของวิธีการระบุไฮเพอร์โบลิก ในการวิเคราะห์ผลต่างของการดูค่าสูงสุดของแกนแล้วจึงทำการกำหนดค่าผลต่างของสเกล

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเลือกค่าผลต่างของสเกลจะแสดงตัวอย่างในการเลือกของชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กจากตารางที่ 5 จะแสดงค่าพื้นที่ของแต่ละพื้นที่และค่าต่าง ๆ จะเห็นว่าผลต่างของสเกลของพื้นที่ 1 มีค่า 182 ซึ่งก็คือไฮเพอร์โบลิกภายในภาพจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าพื้นที่แค่ 6 พื้นที่แต่พื้นที่ทั้งหมดของภาพคือ 167 พื้นที่แต่เนื่องจากค่าต่าง ๆ ของพื้นที่และผลต่างของต่างของสเกลมีค่าไม่ถึงร้อยจึงได้ทำการยกตัวอย่างให้เห็นเท่านั้น

ตารางที่ 6 ค่าของพื้นที่และค่าผลต่างของสเกลในชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก

| พื้นที่ | ค่าสูงสุดลบค่าต่ำสุดแกน x | ค่าสูงสุดลบค่าต่ำสุดแกน y | ผลต่างของสเกล |
|---------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 117 | 299 | 182 |
| 2 | 0 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 5 | 5 |
| 6 | 2 | 0 | -2 |



(ก)

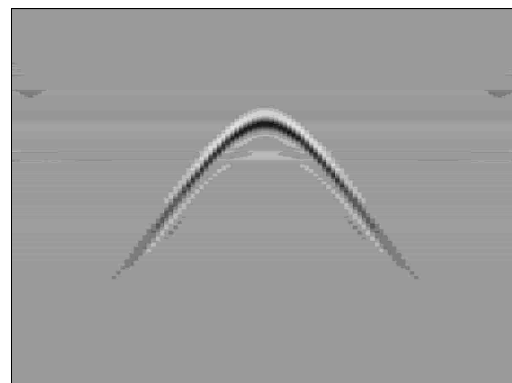
(ข)

รูปที่ 43 ชุดดินจำลองบาเจาะและมีวัตถุเป็นระเบิดฝังดิน (ก) ค่าผลต่างของสเกลมากกว่า 100 (ข) ค่าผลต่างของสเกลน้อยกว่า 100

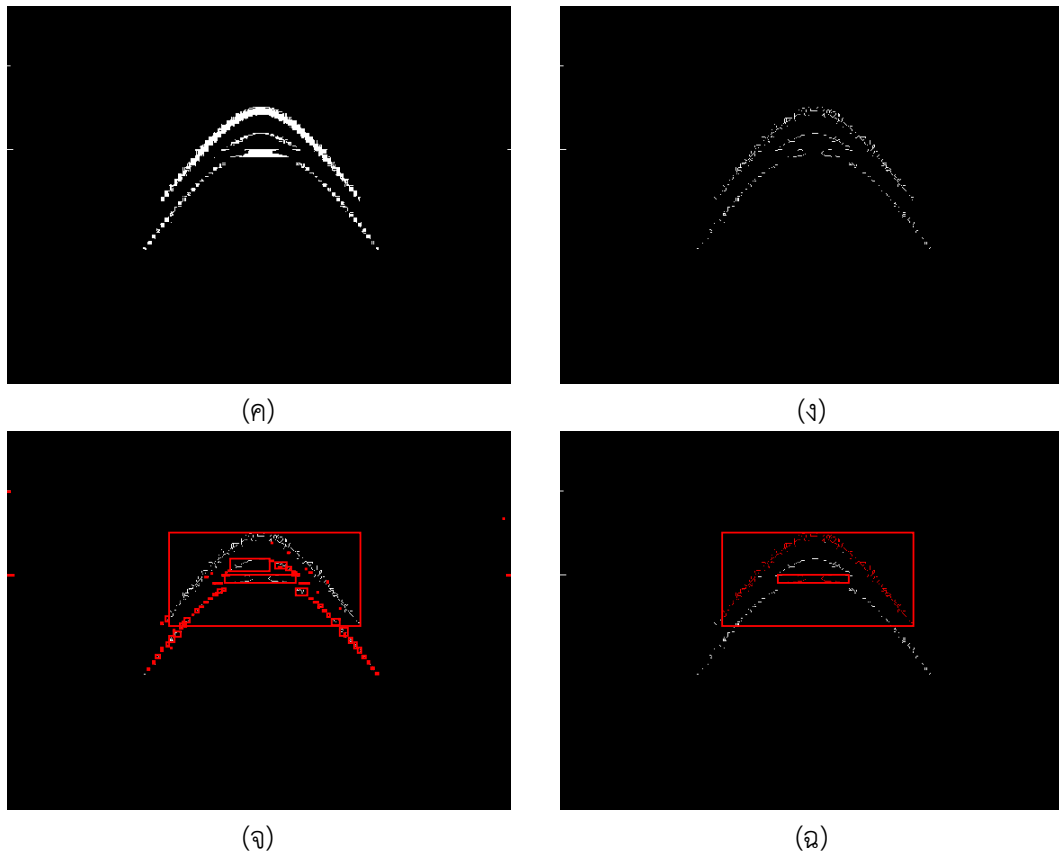
จากรูปที่ 43 (ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเลือกค่าผลต่างของสเกลที่มากกว่า 100 ทำให้สามารถสามารถตรวจจับไฮเพอร์โบลาภายในภาพได้แต่ใน (ข) ถ้าเลือกน้อยกว่า 100 จะไม่สามารถตรวจจับไฮเพอร์โบลาภายในภาพได้ ดังนั้นในการเลือกผลต่างของสเกลควรตรวจสอบค่าสูงสุดลดต่ำสุดของแต่ละแกนมาร่วมพิจารณาในการเลือกด้วย ในทำนองเดียวกันการเลือกค่าผลต่างของสเกลในชุดดินที่เหลือ 4 ชุดในแต่ละชุดจะมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละการจำลอง



(ก)



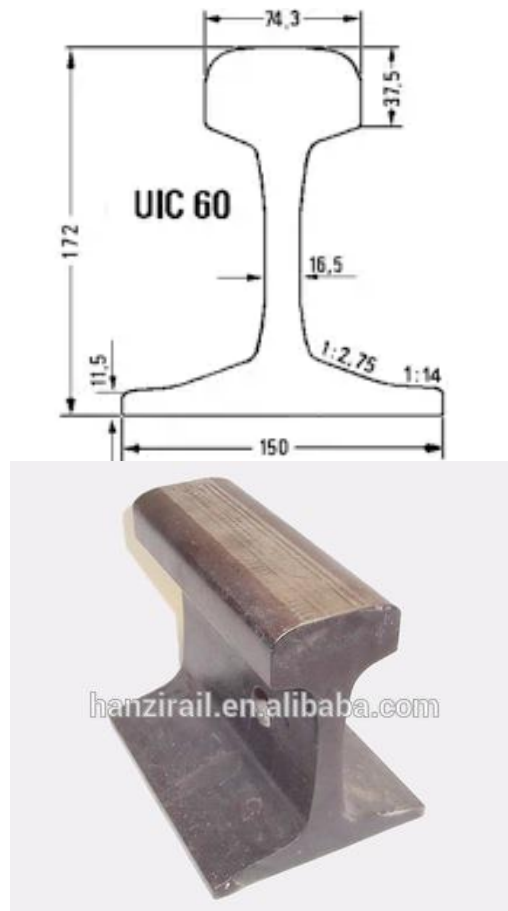
(ข)



รูปที่ 44 การวิเคราะห์พื้นที่โดยจำลองชุดดินบาเจาะและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก (ก) ภาพผลการจำลอง (ข) การกำจัดผิวดินและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (ค) การกำจัดพื้นหลัง (ง) การย่อขนาดรูปภาพให้เป็น เส้น (จ) การตรวจสอบพื้นที่ และ (ฉ) การระบุไฮเพอร์โบลิก

จากรูปที่ 44 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์พื้นที่ด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ รูปที่ 44 (ก) เป็นผลของการจำลองจะเห็นว่าเกิดไฮเพอร์โบลิกแต่จะเกิดผิวดินและอากาศแทรกอยู่ในภาพผลการจำลอง รูปที่ 44 (ข) เป็นขั้นตอนการกำจัดผิวดินและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลจะเห็นว่าพื้นดินและอากาศได้ถูกกำจัดไปจะเหลือแต่ไฮเพอร์โบลิกที่ต้องการและทำการลดความซ้ำซ้อนเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณในขั้นตอนต่อไป รูปที่ 44 (ค) เป็นขั้นตอนการกำจัดพื้นหลังโดยใช้ค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมเพื่อให้เหลือแต่ไฮเพอร์โบลิกภายในรูปที่ชัดเจนที่สุด รูปที่ 44 (ง) เป็นขั้นตอนการย่อขนาดรูปภาพให้เป็นเส้นเพื่อให้ภาพไฮเพอร์โบลิกที่ได้มีขนาดของจุดสีขาวเล็กลงแต่ยังคงรูปแบบของไฮเพอร์โบลิกไว้ รูปที่ 44 (จ) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบพื้นที่โดยพื้นที่ที่ถูกตีกรอบคือพื้นที่ 1 พื้นที่ที่ถูกแบ่งออกจากภาพเป็นส่วน ๆ และ รูปที่ 44 (ฉ) เป็นการระบุไฮเพอร์โบลิกโดยเลือกค่าที่เหมาะสมของผลต่างของสเกลเพื่อทำการตรวจจับภาพไฮเพอร์โบลิกได้ถูกต้อง

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

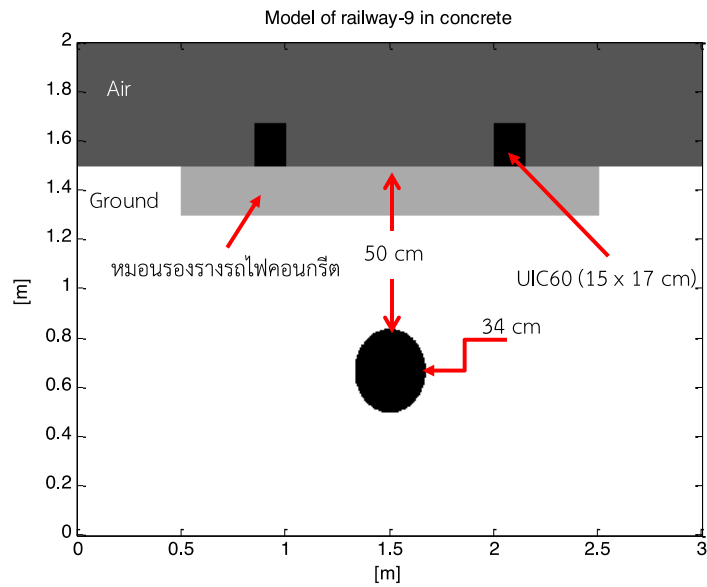


รูปที่ 45 รางตามมาตรฐานหน้าตัดราง UIC 60

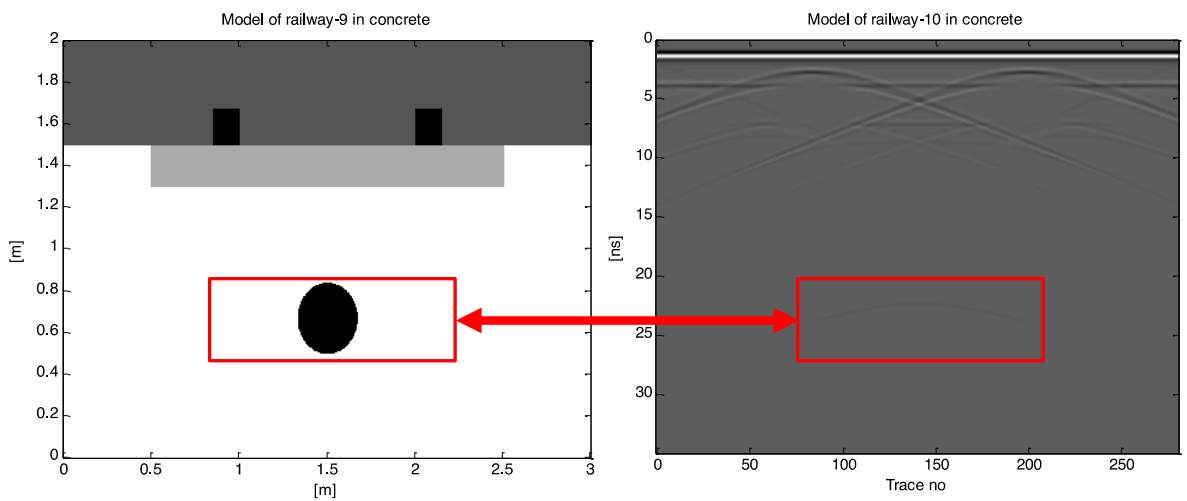
3.4 การจำลองตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

การจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟนั้นจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าการจำลองการฝังวัตถุใต้ผิวถนน เนื่องด้วยโครงสร้างของทางรถไฟที่ประกอบด้วย ราง หมอนรองรถไฟ และหินโรยทาง เป็นต้น ในการจำลองนี้จะอ้างอิงตามลักษณะของรางรถไฟที่ใช้รางตามมาตรฐานหน้าตัดราง UIC 60 ดังรูปที่ 45 ซึ่งมีขนาดกว้าง 15 ซม. สูง 17.2 ซม. รางรถไฟของทางรถไฟแห่งประเทศไทยขนาดความกว้าง 1 เมตร (Meter Gauge) และหมอนรองรถไฟคอนกรีตหนา 20 ซม. รูปแบบการจำลองแสดงในรูปที่ 46 มีวัตถุฝังอยู่ใต้รางรถไฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 ซม. แทนถังแก๊สเล็กที่ถูกฝังใต้ทางรถไฟลึก 50 ซม. โดยพื้นสีขาวแทนพื้นดินที่อยู่ใต้ทางรถไฟ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 46 รูปแบบการจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก



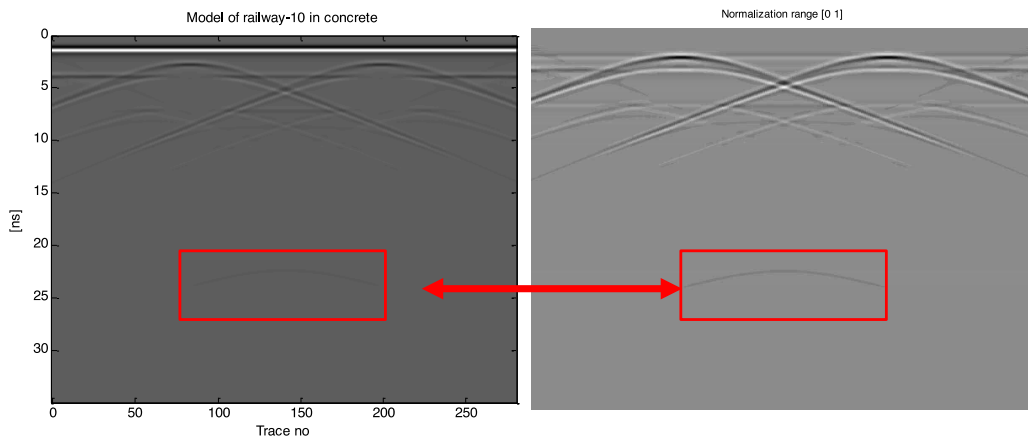
รูปที่ 47 ผลการจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก

ในรูปที่ 47 เป็นผลการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็ก จะพบว่า มีผลกระทบที่เกิดจาก Mutual coupling และการสะท้อนจากผิว จะแสดงให้เห็นอยู่ด้านบนของภาพเป็นเส้นยาวขวางจนเต็มรูป ถัดลงมาจะเห็นภาพไฮเพอร์โบลิกสองรูปเกิดที่ระนาบเดียวกัน เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่เกิดภาพไฮเพอร์โบลิกนั้นจะตรงกับตำแหน่งของรางรถไฟ โดยเมื่อสังเกตภาพไฮเพอร์โบลิกที่เกิดจากรางไฟนั้นจะเห็นเส้นตรงตัดผ่าน ซึ่งเส้นตรงนั้นเกิดจากการสะท้อนของผิวดินและอากาศ จะเห็นว่าในส่วนของรางรถไฟ หมอนรองรถไฟ และผลสะท้อนต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากการสะท้อนจากวัตถุ นั้นสามารถแยกออกจากวัตถุได้อย่างชัดเจนในควมลึกที่ทำการจำลอง กล่าวคือรางรถไฟและ

[สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

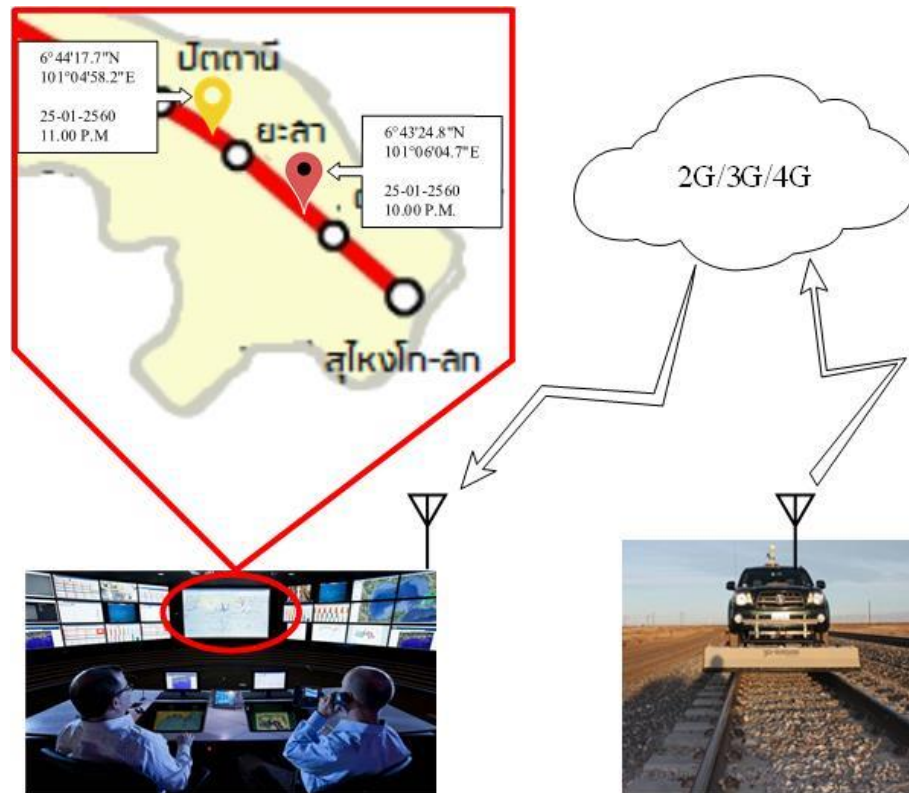
การพัฒนากระบวนการตรวจวัดระยะเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

หมอนรองรถไฟทำให้เกิดภาพไฮเพอร์โบลิกขึ้นเช่นเดียวกับวัตถุระเบิดแต่อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน สามารถตัดผลกระทบดังกล่าวนี้ได้จากการทำการประมวลผลเพิ่ม เช่น เลือกไฮเพอร์โบลิกจากช่วงเวลาที่อยู่ต่ำกว่าผิวดินได้ จากรูปในกรอบสีแดงจะเห็นภาพไฮเพอร์โบลิกที่เกิดจากการสะท้อนของถังแก๊สเล็กอยู่ แต่จะเห็นไม่ชัดเจนเนื่องจากผลตอบสนองจะน้อยลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (สามารถแก้ปัญหานี้ได้จากการเพิ่มส่วนประมวลผลด้วย time-varying gain) จากนั้นทำการกำจัดผิวดินและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลซึ่งมีขั้นตอนดังที่แสดงในหัวข้อข้างต้น โดยผลที่ได้หลังผ่านกระบวนการดังกล่าวแสดงในรูปที่ 48 ด้านขวาจะพบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนดังกล่าวพบว่าผลสะท้อนของผิวดินได้หายไป แต่เมื่อทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล จะเห็นว่าส่วนที่สะท้อนผิวดินได้ถูกกำจัด และทำให้เห็นภาพไฮเพอร์โบลิกซึ่งแสดงถึงวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กชัดเจนมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 48 ผลการจำลองการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟและมีวัตถุเป็นถังแก๊สเล็กโดยผ่านกระบวนการกำจัดผิวดิน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 49 ภาพเชิงแนวคิดการทำงานระบบตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

3.5 การออกแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟ

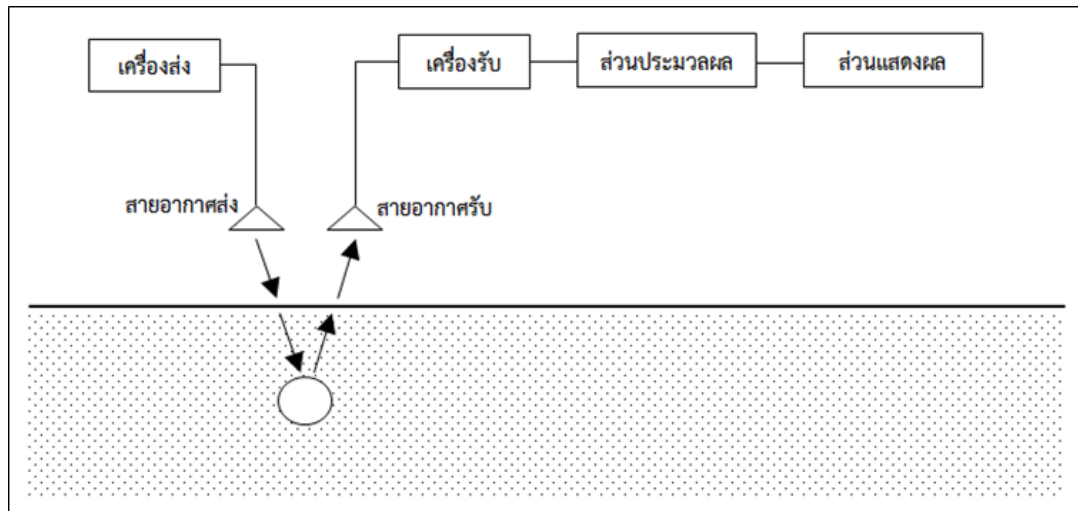
ภาพรวมการทำงานเชิงแนวคิดของระบบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 49 การทำงานทั้งหมดของระบบนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักดังนี้

(1) ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน

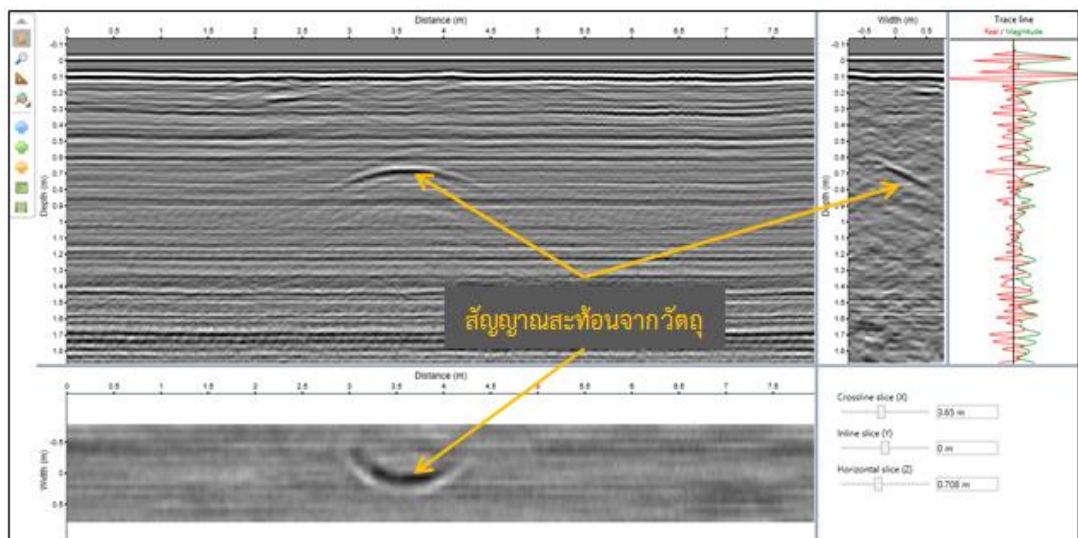
ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินจะเป็นในส่วนที่พื้นที่การตรวจจับ อาจอยู่ประกอบอยู่ที่รถที่ใช้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ โดยการทำงานของเรดาร์ทะลุพื้นดินดังแสดงในรูปที่ 50 ตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อข้างต้น คือ การส่งสัญญาณแบบพัลส์ผ่านสายอากาศส่งไปกระทบกับโลหะหรือวัตถุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันกับตัวกลางจะเกิดคลื่นสะท้อนกลับมา เรดาร์จะรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาผ่านสายอากาศรับแล้วทำการประมวลผลสัญญาณตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อการตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินด้วยเรดาร์ทะลุพื้นดิน จากนั้นแสดงสัญญาณสะท้อนดังกล่าวดังรูปที่ 51 จากรูปเราสามารถตรวจพบสัญญาณที่สะท้อนจากวัตถุใต้ดินได้จากการสังเกตโค้งพาราโบลาที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าสัญญาณสะท้อนที่เกิดขึ้นนั้นไม่ใช่สัญญาณที่ได้มาจากการสะท้อนจากวัตถุเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณเรดาร์จึงต้องมี

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ความสามารถในการคัดกรองสัญญาณสัญญาณรบกวน เพื่อให้เห็นเฉพาะสัญญาณสะท้อนจากวัตถุเพียงอย่างเดียว โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการตัดสินใจของระบบเรดาร์ในการตรวจหาวัตถุเป้าหมายดังรูปที่ 52 เพื่อที่จะตัดสินใจและแจ้งเตือนเฉพาะในกรณีที่ตรวจพบวัตถุต้องสงสัยเท่านั้น

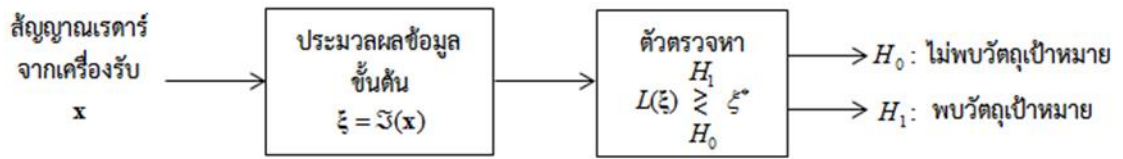


รูปที่ 50 หลักการทำงานของระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน

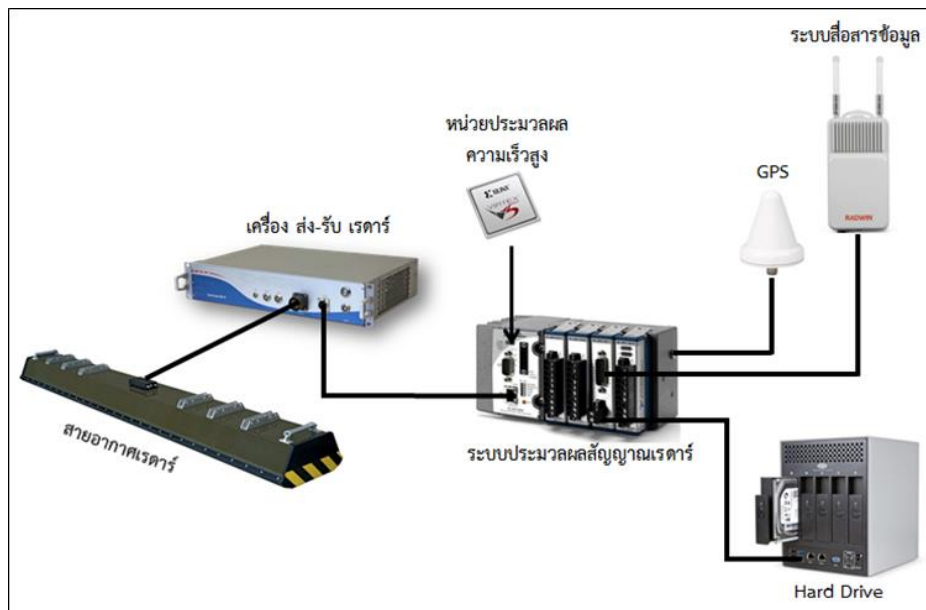


รูปที่ 51 ตัวอย่างภาพสัญญาณเรดาร์เมื่อมีวัตถุฝังใต้พื้นดิน

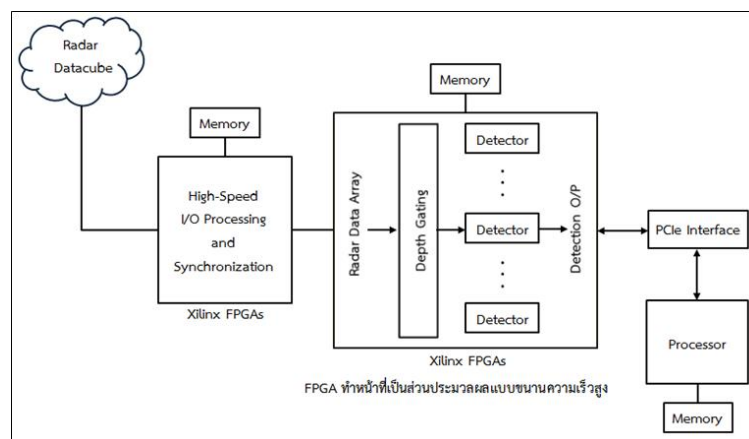
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 52 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการตัดสินใจในการตรวจหาวัตถุเป้าหมายของระบบเรดาร์



รูปที่ 53 การพัฒนาะบบเรดาร์พร้อมส่วนประมวลผลสัญญาณเรดาร์เฉพาะทาง



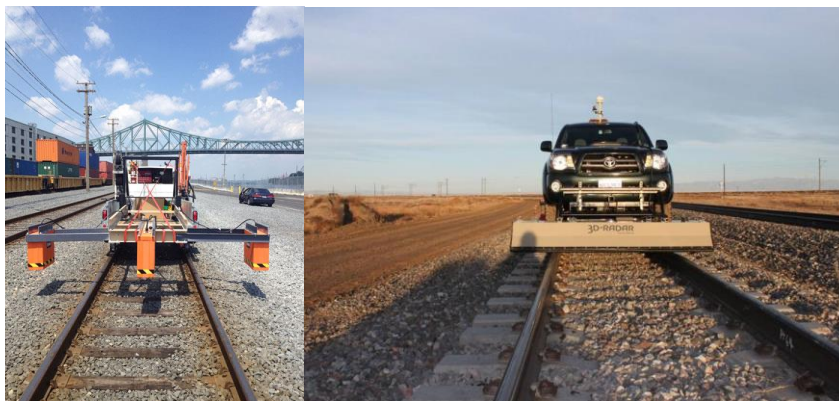
รูปที่ 54 แนวความคิดในการพัฒนาส่วนประมวลผลสัญญาณเรดาร์เฉพาะทางบนชิพ FPGA

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

การพัฒนาาระบบประมวลผลของระบบเรดาร์จะทำการพัฒนาลงบนวงจรรวมแบบดิจิทัล เพื่อรองรับอัตราข้อมูลสัญญาณเรดาร์ที่ไหลเข้าสู่ระบบประมวลผล ฐานข้อมูลของระบบเป็นตัวเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ที่ได้ เพื่อใช้สำหรับการเรียกข้อมูลย้อนกลับเมื่อต้องการดึงตัวอย่างระบบเรดาร์ในรูปแบบที่ 53 ซึ่งจะมีการใช้ FPGA ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลซึ่งทำให้สามารถประมวลผลสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว โดยที่โครงสร้างของหน่วยประมวลผลความเร็วสูง มีตัวอย่างแนวคิดของระบบดังรูปที่ 54 นอกจากนี้ยังมีระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) เพื่อระบุพิกัดที่ทำการตรวจสอบและระบบสื่อสารข้อมูลเพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์เฝ้าระวังในกรณีที่ตรวจพบวัตถุต้องสงสัยอีกด้วย

(2) ซอฟต์แวร์เฝ้าระวัง

ในส่วนซอฟต์แวร์เฝ้าระวัง จะทำการแสดงผลการตรวจหาวัตถุใต้ทางรถไฟโดยรับข้อมูลจากเรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับสำรวจใต้พื้นผิวทางรถไฟที่ส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสารมายังศูนย์เฝ้าระวัง โดยมีเจ้าหน้าที่ควบคุม ข้อมูลจะถูกนำมาประมวลผลผ่านระบบซอฟต์แวร์เพื่อนำไปแสดงบนจอภาพ โดยข้อมูลที่แสดงจะแสดงเส้นทางเดินรถไฟในพื้นที่ที่ตรวจสอบ และจะมีการแจ้งเตือนหากพบวัตถุต้องสงสัยที่คาดว่าจะเป็วัตถุระเบิดหรือสิ่งแปลกปลอมใต้ทางรถไฟพร้อมรายละเอียดตำแหน่งและเวลาที่ตรวจพบทันที



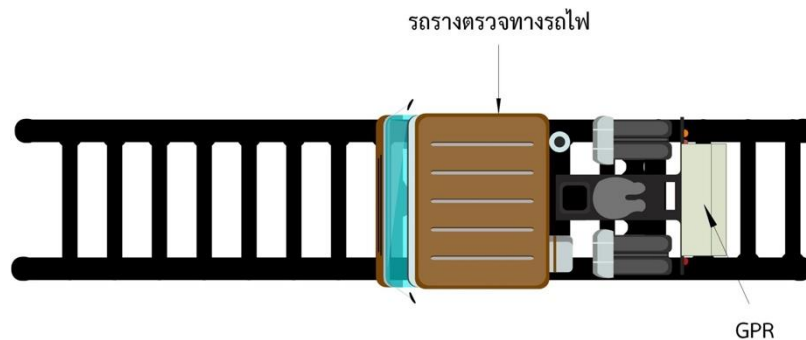
รูปที่ 55 ตัวอย่างการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจสอบสภาพรางรถไฟ

การประยุกต์ใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับการสำรวจรางรถไฟนั้น มีการใช้งานอยู่เช่นกันในต่างประเทศดังรูปที่ 55 แต่ส่วนใหญ่เป็นการใช้สำรวจในพื้นที่ปลอดภัยตามเส้นทางเดินรถปกติ จากรูปแบบการติดตั้งดังกล่าวได้นำเอามาประยุกต์ใช้กับเรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุใต้รางรถไฟ ซึ่งในการตรวจจับวัตถุใต้รางรถไฟไม่เพียงแต่ต้องตรวจจับบริเวณตรงกลางของรางรถไฟเท่านั้น ยังจำเป็นที่จะต้องตรวจจับให้ครอบคลุมบริเวณรอบ ๆ ข้างของทางรถไฟด้วยเช่นกัน เนื่องจากในหลาย ๆ ครั้ง ผู้ก่อความไม่สงบได้นำระเบิดไปฝังไว้บริเวณด้านข้างนอกของรางด้วย ดังนั้นจึงมีรูปแบบของการติดตั้งเรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุใต้รางรถไฟสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ ขึ้นกับลักษณะการใช้งาน สามารถแบ่งความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินได้ 3 รูปแบบหลัก คือ

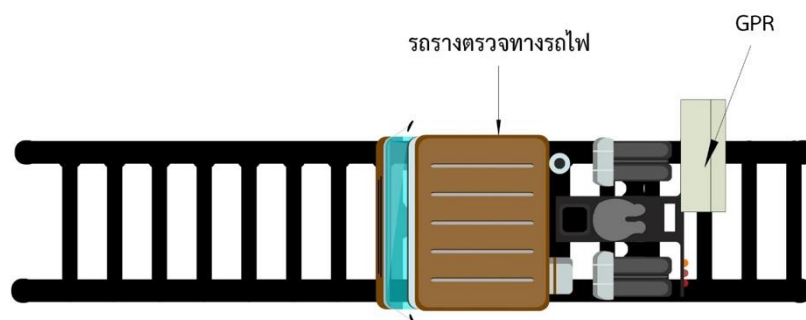
- (1) รูปที่ 56 เป็นการติดตั้งเรดาร์ทะลุพื้นดินเพื่อตรวจสอบบริเวณกลางรางรถไฟ รูปแบบนี้จะเหมาะกับการใช้ตรวจสอบบริเวณหมอนรองรางรถไฟเป็นหลัก

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

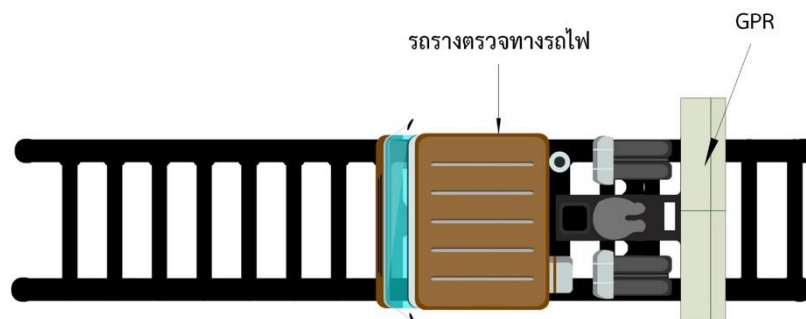
- (2) รูปที่ 57 จะเป็นการติดตั้งเรดาร์ทะลุพื้นดินตรงบริเวณรางรถไฟ เพื่อที่จะสามารถครอบคลุมในบริเวณด้านข้างของรางรถไฟได้อีกด้วย
- (3) รูปที่ 58 เป็นการติดตั้งเรดาร์ทะลุพื้นดินจำนวน 2 ชุดเพื่อให้ครอบคลุมบริเวณทั้งหมดของรางรถไฟ รวมไปถึงบริเวณด้านข้างของรางรถไฟด้วย จึงเป็นรูปแบบที่ดีที่สุด แต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเนื่องจากต้องติดตั้งเรดาร์ทะลุพื้นดินถึงสองตัวด้วยกัน



รูปที่ 56 เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุใบริเวณกลางรางรถไฟ



รูปที่ 57 เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุบริเวณใต้รางรถไฟและด้านข้าง

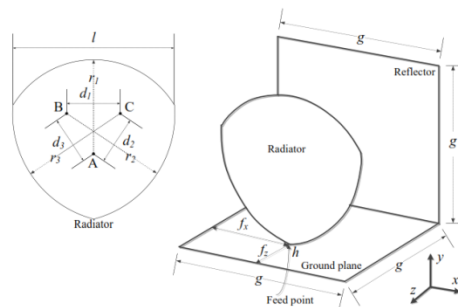


รูปที่ 58 ตัวอย่างการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินตรวจจับวัตถุใต้บริเวณรางรถไฟทั้งหมด

3.6 ออกแบบสายอากาศสำหรับระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

เนื่องจากสายอากาศที่เหมาะสมสำหรับเรดาร์ทะเลพื้นดินนั้นต้องมีขนาดเล็กกะทัดรัด และสามารถทำงานที่ความถี่ต่ำกว่า 960 MHz ได้ แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าขนาดของสายอากาศจะขึ้นกับความถี่ใช้งาน เมื่อต้องการออกแบบให้สายอากาศใช้งานได้ที่ความถี่ต่ำ ๆ สายอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้สายอากาศที่มีขนาดเล็กและมีความถี่ใช้งานครอบคลุมย่านความถี่ของเรดาร์ทะเลพื้นดิน เนื่องจากสายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ (Scutcheon antenna) [7] สามารถตอบสนองความต้องการได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้สายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่สำหรับเรดาร์ทะเลพื้นดินตรวจจวัตถุใต้ทางรถไฟ

โครงสร้างของสายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ ตัวแผ่พลังงานระนาบกราวด์ และตัวสะท้อน ดังแสดงในรูปที่ 59 สำหรับตัวแผ่พลังงานแผ่นโลหะรูปโล่นั้นเกิดจากการประกอบกันของส่วนของวงกลมรัศมี r_1 r_2 และ r_3 ที่วัดจากมุม ΔABC โดยที่ระยะห่างระหว่างจุด A B และ C คือ d_1 d_2 และ d_3 ขนาดความยาวของตัวแผ่พลังงานแทนด้วยพารามิเตอร์ l ซึ่งตัวแผ่พลังงานแผ่นโลหะรูปโล่จะถูกวางอยู่บนระนาบกราวด์และถูกป้อนสัญญาณผ่านระนาบกราวด์ และมีตัวสะท้อนเชื่อมต่อกับระนาบกราวด์โดยที่ทำมุมตั้งฉากกัน ขนาดความกว้างและความยาวของระนาบกราวด์แทนด้วยพารามิเตอร์ g มีช่องว่างระหว่างจุดป้อนสัญญาณและระนาบกราวด์เท่ากับ h ตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณคือ f_x และ f_y โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศได้สรุปไว้ในตารางที่ 7



รูปที่ 59 โครงสร้างของสายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่

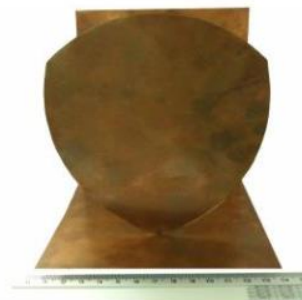
ตารางที่ 7 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่

| พารามิเตอร์ | ขนาด (มิลลิเมตร) |
|-------------|------------------|
| g | 140 |
| d_1 | 46 |
| d_2 | 46 |
| d_3 | 46 |
| r_1 | 90 |
| r_2 | 90 |

| | |
|-------|-----|
| r_3 | 90 |
| l | 127 |
| h | 1 |
| f_x | 70 |
| f_y | 40 |

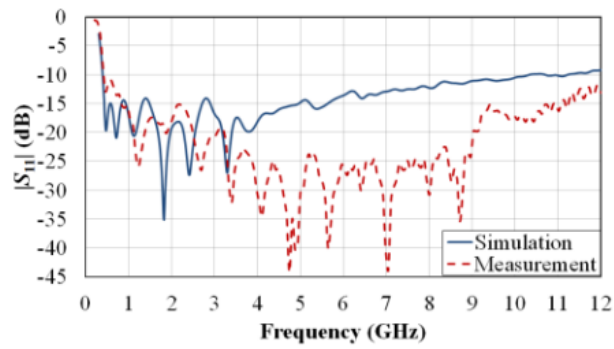
รูปที่ 60 แสดงภาพถ่ายของสายอากาศต้นแบบจากงานวิจัย [7] โดยวัสดุที่ใช้ในการสร้างสายอากาศเป็นแผ่นทองแดงเท่านั้น จึงลดการสูญเสียเนื่องจากวัสดุไดอิเล็กตริก เพื่อทดสอบว่าสายอากาศนั้น ๆ ทำงานได้ในย่านความถี่ที่ต้องการหรือไม่ สามารถทำได้โดยการวัดทดสอบสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายอากาศหรือ $|S_{11}|$ เทียบกับความถี่ โดยย่านความถี่ที่สายอากาศทำงานได้จะพิจารณาที่ $|S_{11}| < -10$ dB รูปที่ 61 แสดงผลการจำลองและผลการวัดทดสอบ $|S_{11}|$ เทียบกับความถี่ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าผลการจำลองสายอากาศจะมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 390 MHz ถึง 11.23 GHz สำหรับผลการวัดทดสอบสายอากาศจะมีแบนด์วิดท์ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 410 MHz ถึง 960 MHz ซึ่งความถี่ที่ใช้งานได้ของสายอากาศนี้ครอบคลุมความถี่จาก 460 MHz ถึง 960 MHz

แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ xz และ yz เปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองและผลการวัดทดสอบที่ความถี่ 460 MHz 710 MHz และ 960 MHz แสดงในรูปที่ 62 จากผลการทดสอบพบว่าสายอากาศมีแบบรูปการแผ่พลังงานเป็นแบบชีททิศทาง นอกจากนี้อัตราขยายของสายอากาศได้แสดงในรูปที่ 63 จะเห็นได้ว่าอัตราขยายของสายอากาศจะลดลงเมื่อแบนด์วิดท์กว้างขึ้น จากผลการจำลองอัตราขยายสูงสุดของสายอากาศมีค่าเท่ากับ 4.9 dBi สำหรับผลการวัดทดสอบอัตราขยายสูงสุดของสายอากาศเท่ากับ 4.8 dBi ที่ความถี่ 960 MHz จากผลการจำลองสายอากาศมีอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 1.8 dBi และจากผลการวัดทดสอบสายอากาศมีอัตราขยายต่ำสุดเท่ากับ 2.0 dBi ที่ความถี่ 460 MHz

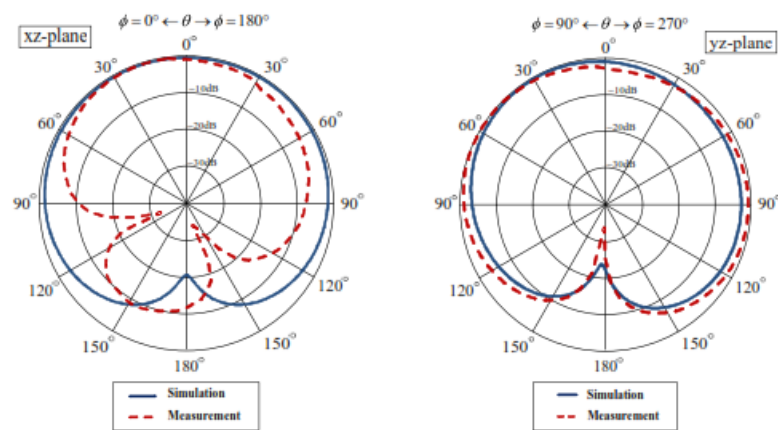


รูปที่ 60 สายอากาศแผ่นโลหะรูปโล่ต้นแบบ

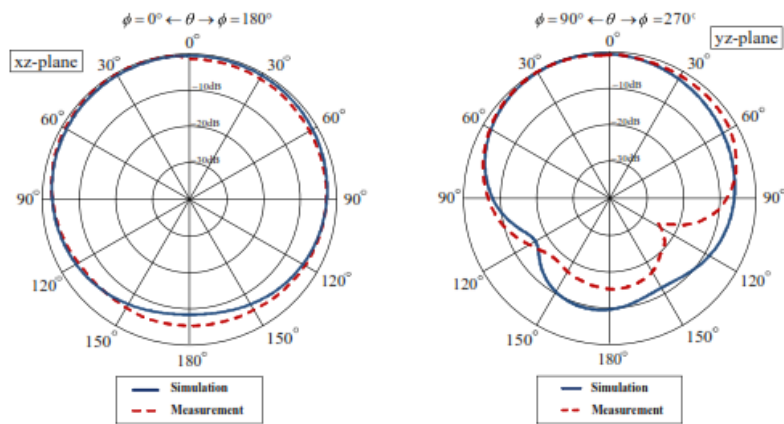
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 61 เปรียบเทียบผลการจำลองและผลการวัดทดสอบ $|S_{11}|$ เทียบกับความถี่

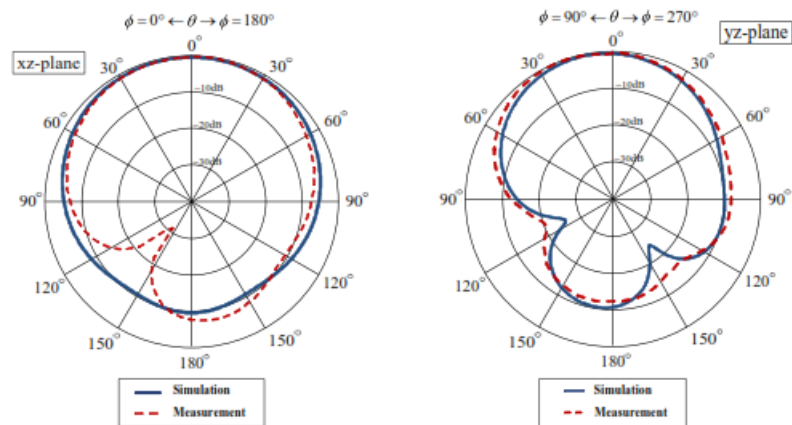


(ก)



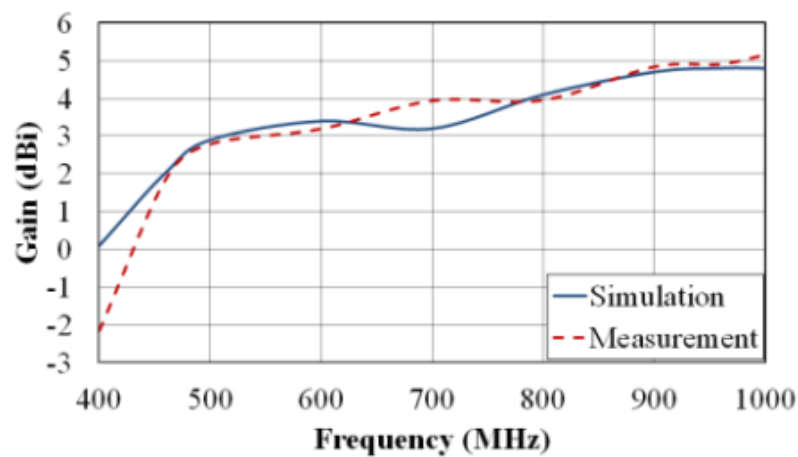
(ข)

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



(ค)

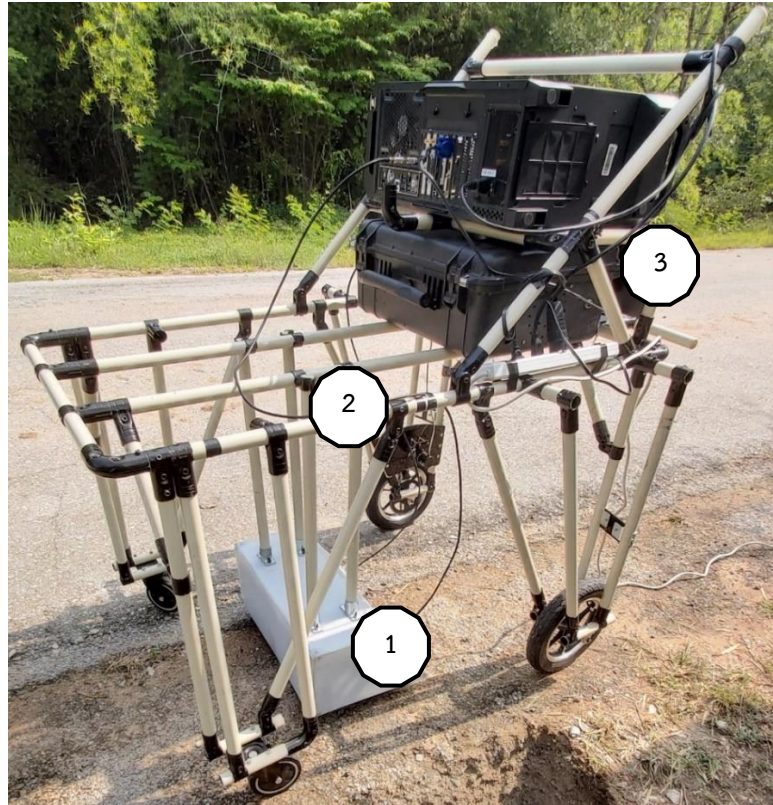
รูปที่ 62 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ (ก) 460 MHz (ข) 710 MHz (ค) 960 MHz



รูปที่ 63 อัตราขยายของสายอากาศเทียบกับความ

3.7 ออกแบบภาคส่งและภาครับของระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

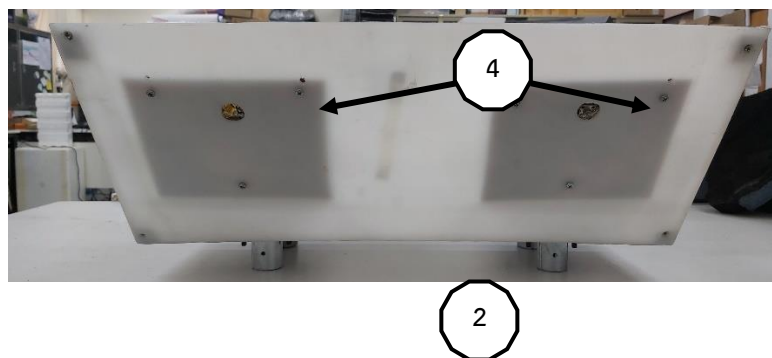
ทางผู้วิจัยได้การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ ให้มีความแข็งแรงและสามารถใช้งานได้สะดวกในรูปแบบรถเข็นชั่วคราวก่อนที่จะนำไปติดตั้งกับรถตรวจทางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 64 และได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณเรดาร์ให้สามารถประมวลผลและแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้โดยประกอบไปด้วย

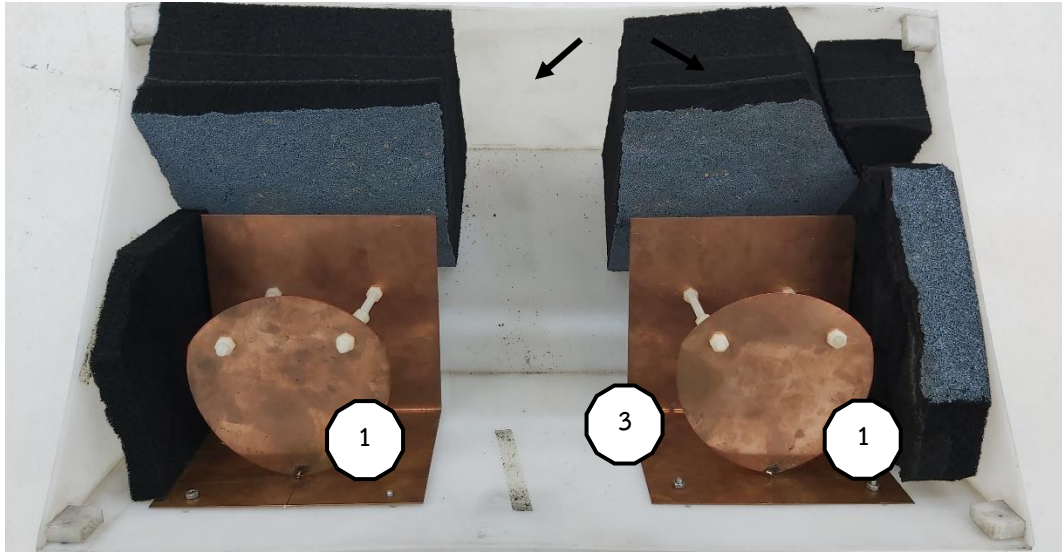


รูปที่ 64 ต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

1. ชุดอุปกรณ์ภาครับ – ส่งสัญญาณเรดาร์

ชุดอุปกรณ์ภาครับ – ส่งสัญญาณเรดาร์ เป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ โดยในส่วนนี้เป็นส่วนที่ได้ทำการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้ชุดทดลองสามารถรับ – ส่งสัญญาณได้ดี และป้องกันสัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อม ประกอบไปด้วย 4 ส่วนประกอบย่อยและบทบาทหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบในชุดทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 65





รูปที่ 65 ชุดอุปกรณ์ภาครับ – ส่งสัญญาณเรดาร์และสายอากาศที่พัฒนา

1 คือ สายอากาศส่ง – สายอากาศรับ ในส่วนนี้ได้ทำการปรับปรุงตัวจับยึดสายอากาศให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและได้ทำการออกแบบให้เชื่อมต่อกับพอร์ตเชื่อมต่อได้โดยไม่ต้องผ่านตัวแปลง ซึ่งจะทำให้สามารถลดสัญญาณสะท้อนที่เกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น โดยสายอากาศส่งจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณลงไปบนดิน ซึ่งจะต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณ และสายอากาศรับจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากพื้นดิน แล้วส่งไปยังระบบประมวลผลเพื่อประมวลผลสัญญาณต่อไป

2 คือ แผ่นป้องกันการสะท้อนของสัญญาณ (Microwave Absorber) อุปกรณ์ชิ้นนี้ได้ติดตั้งเพิ่มขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่ดูดกลืนสัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนภายในชุดอุปกรณ์เรดาร์และป้องกันการสัญญาณรบกวนจากภายนอกชุดอุปกรณ์ด้วยเช่นกัน

3 คือ กล่องทรงสี่เหลี่ยมสำหรับติดตั้งชุดสายอากาศส่ง – รับ ซึ่งทำจากไฟเบอร์กลาสที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร โดยในรุ่นที่ 3 นี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนมาใช้วัสดุไฟเบอร์กลาสซึ่งมีน้ำหนักเบา ขนย้ายสะดวกและเพื่อให้ชุดอุปกรณ์เรดาร์มีความแข็งแรงมากขึ้นเพื่อให้ทนทานต่อการขนย้ายและทนต่ออุณหภูมิและสภาวะแวดล้อมในพื้นที่ทดสอบการใช้งาน

4 คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างชุดอุปกรณ์รับ – ส่งสัญญาณเรดาร์กับชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ โดยในรุ่นที่ 3 นี้ได้ปรับปรุงโดยการทำให้จุดเชื่อมต่อกับสายรับ – ส่งสัญญาณ ต่อเข้าหากันโดยตรง โดยไม่มีตัวต่อมาเป็นตัวเชื่อมระหว่างกลาง จึงทำให้สัญญาณที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น

2. ชุดอุปกรณ์ควบคุมการรับ – ส่งสัญญาณเรดาร์

ตัวเข้ารหัส (Encoder) เป็นอุปกรณ์อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ ทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณออกมาในรูปแบบดิจิทัล โดยเมื่อล้อหมุนไป 1 องศา ตัวเข้ารหัสจะทำการส่งสัญญาณดิจิทัลออกมาหนึ่งลูกคลื่นโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino uno เป็นตัวนับสัญญาณดิจิทัลและเมื่อแปลงข้อมูลจากองศาไปเป็นระยะทางแล้วระบบก็จะรู้ว่าตัวตอนนี้ระบบเรดาร์เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

เท่าไร โดยข้อมูลระยะทางที่ได้จะถูกนำเข้าหน่วยประมวลผลเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณและสร้างแผนที่ได้ดินต่อไป โดยโครงสร้างของตัวเข้ารหัสแสดงดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 ตัวเข้ารหัส

3. โครงสร้างตัวจับยึดและชั้นวางชุดอุปกรณ์เรดาร์

โครงสร้างตัวจับยึดและชั้นวางชุดอุปกรณ์เรดาร์ ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำขึ้นมาเป็นลักษณะของโครงรถดังรูปที่ 67 และรูปที่ 68 โดยทำจากท่ออลูมิเนียมนำมาต่อกัน ซึ่งจะทำให้ตัวโครงสร้างมีความแข็งแรงมากขึ้นและได้ใช้ตัวต่อสำหรับท่ออลูมิเนียมในการประกอบโครงสร้างเข้าด้วยกันจึงทำให้ง่ายต่อการถอดประกอบและขนย้าย และยังได้ติดตั้งให้มีขนาดใหญ่ขึ้นถึง 4 ล้อ เพื่อให้ขึ้นได้ง่ายสำหรับพื้นที่ขรุขระหรือพื้นที่ที่มีความลาดชันต่างกันและมีส่วนของชั้นวางสองส่วนคือชั้นวางด้านล่างใช้สำหรับวางชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์และชั้นวางด้านบนสำหรับวางคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กสำหรับการเก็บข้อมูลและดูข้อมูลแบบเรียลไทม์และในส่วนของ การเชื่อมต่อ กับชุดอุปกรณ์รับ – ส่งสัญญาณเรดาร์ดังแสดงในรูปที่ 69 จะใช้น็อต 2 ตัวในการจับยึด เพื่อให้ง่ายต่อการถอดประกอบและสามารถปรับระดับความสูงระหว่างสายอากาศรับ – ส่งสัญญาณเรดาร์และพื้นดินได้ตามการใช้งาน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 67 โครงสร้างตัวจับยึดและชั้นวางชุดอุปกรณ์เรดาร์



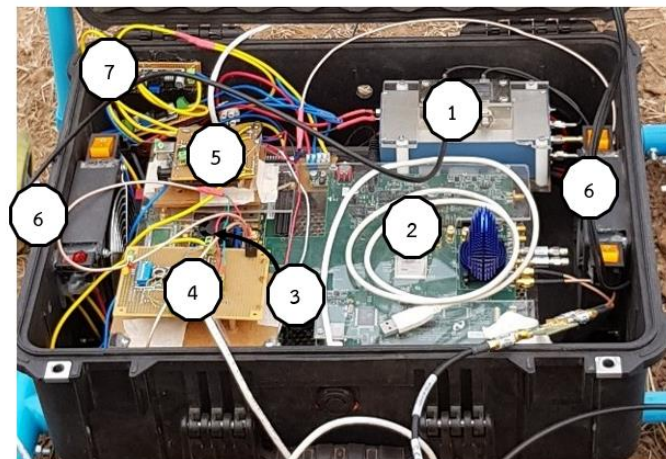
รูปที่ 68 จุดยึดนอต 2 ตัวระหว่างโครงสร้างตัวจับยึดกับชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์



รูปที่ 69 ชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถเข็นต้นแบบ

3.8 การพัฒนาชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์

ชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ เป็นอุปกรณ์ในการสร้างสัญญาณเรดาร์ ระบบประมวลผล ระบบเก็บข้อมูลและระบบการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ซึ่งโครงสร้างจะประกอบไปด้วย 7 ส่วนประกอบย่อยดังแสดงในรูปที่ 70 และบทบาทหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบในชุดทดลองดังนี้



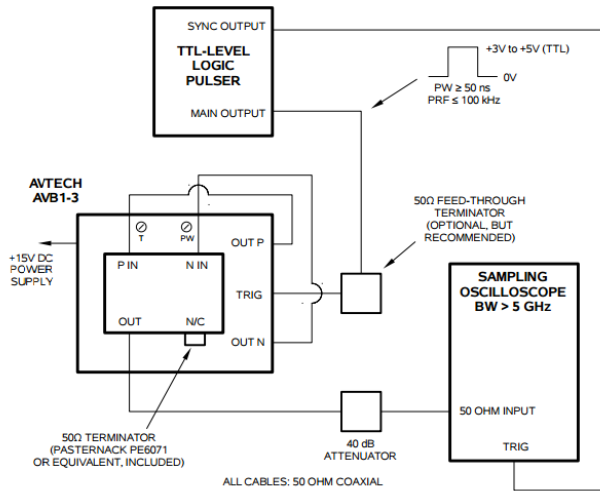
รูปที่ 70 ชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์

1) วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว (Monocycle pulse generator)

การดำเนินการจัดหาวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (Pulse generator) มาเพื่อใช้เป็นวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียวซึ่งสามารถสร้างสัญญาณ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

พัลส์แบบวงรอบเดี่ยว ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้วัดการสะท้อนในพื้นที่ดินได้ โดยวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยวที่จะนำมาใช้นั้น จะเป็นลักษณะโมดูลที่สามารถควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ และสามารถถอดประกอบเข้ากับวงจรในส่วนอื่น ๆ ได้ด้วย ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยวที่คณะผู้วิจัยเลือกใช้ นั้น มีลักษณะดังรูปที่ 71 และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 8



รูปที่ 71 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยว

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยว

| คุณสมบัติ | ค่า |
|---|--|
| ความถี่กลาง (Center frequency) | 400 – 900 MHz |
| แอมพลิจูด (เมื่อต่อโหลด 50 Ohm) | $\geq 50 V_{pp}$ |
| Maximum repetition rate | 100 kHz |
| Spurious signal | -20 dB จากจุดยอด |
| เวลาประวิงการแพร่กระจาย (Propagation delay) | ≤ 50 ns |
| การเต้น (Jitter) | ± 15 ps |
| ทริกเกอร์ (Trigger) ที่ต้องการ | ขนาด + 5 V คาบเวลา 50 – 500 ns แบบ TTL |
| ชนิดของหัวต่อ (Connector) | SMA |
| กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ | แรงดัน + 15 V กระแส 400 mA |
| อุณหภูมิในการทำงาน | ตั้งแต่ + 5 °C ถึง + 40 °C |

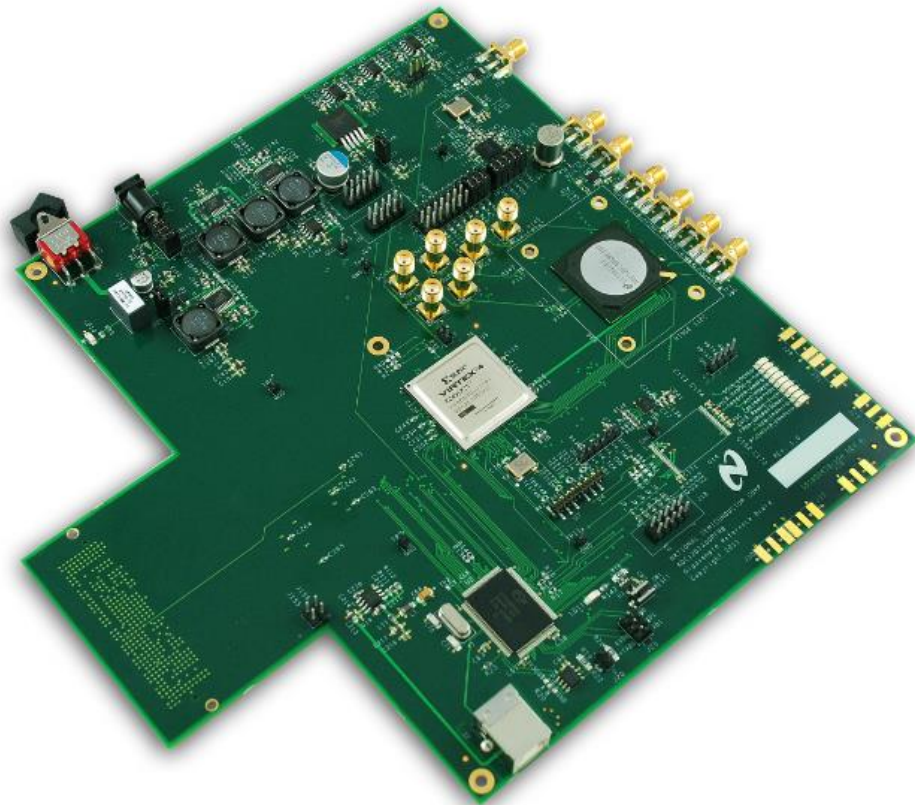
2) วงจรรับสัญญาณเรดาร์ (ADC12D1800RFRB)

ทำหน้าที่รับสัญญาณเรดาร์ซึ่งเชื่อมต่อผ่านสายอากาศรับและทำการแปลงจากสัญญาณเรดาร์ให้เป็นข้อมูลตัวเลขเพื่อนำไปประมวลผลและแสดงผลต่อไป ซึ่งคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่เลือกใช้งานคือมีความแม่นยำสูง สามารถทำงานได้ที่ความเร็วสูงมาก ใช้พลังงานต่ำ มีความละเอียดของข้อมูลขนาด 12 บิต มีความเร็วในการเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ที่ 1.8/3.6 กิกะแซมเปิลต่อวินาที (GS/s)

[สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

กล่าวคือใน 1 วินาที วงจรรับสัญญาณเรดาร์จะสามารถรับสัญญาณได้สูงสุด 3.6 พันล้านข้อมูล ทนต่อสภาวะอากาศร้อนและเย็นได้ดีตั้งแต่ $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ และสามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ได้สะดวก รวดเร็ว ผ่านช่องทางพอร์ตยูเอสบี (USB) โดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้หลายรูปแบบ ซึ่งวงจรรับสัญญาณเรดาร์ที่คณะผู้วิจัยเลือกใช้นั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 72 และมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 9



รูปที่ 72 วงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB

| คุณสมบัติ | ค่า |
|----------------------|----------------------------|
| กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ | แรงดัน + 7.5 V กระแส 2.7 A |
| พลังงานรวม | 20 Watts |
| Sampling Frequency | 1.8/3.6 GS/s |
| Data Resolution | 12 bit |
| ADC Input Signal | Full scale 0dBm |
| Clock Input Signal | Maximum Operating +2V |

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| การเชื่อมต่อ | FMC (HPC) และ USB |
| อุณหภูมิในการทำงาน | ตั้งแต่ -40 °C ถึง +70 °C |
| ชนิดของหัวต่อ (Connector) | SMA |

ในรูปที่ 73 คือไฟสัญญาณสถานะการทำงานของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB โดยที่สีเขียวคือเปิด สีดำคือปิด ซึ่งบนวงจรมีสถานะแสดงการทำงานอยู่ทั้งหมด 9 สถานะ โดยมีความหมายดังนี้

DCLK_LOCKED

OVER-RANGE_Q-CH

TRIGGER_ARMED

ADC_POWER

ADC_CALIBRATION

OVER-RANGE_I-CH

FPGA_OPERATIONAL

ECM_ENABLED

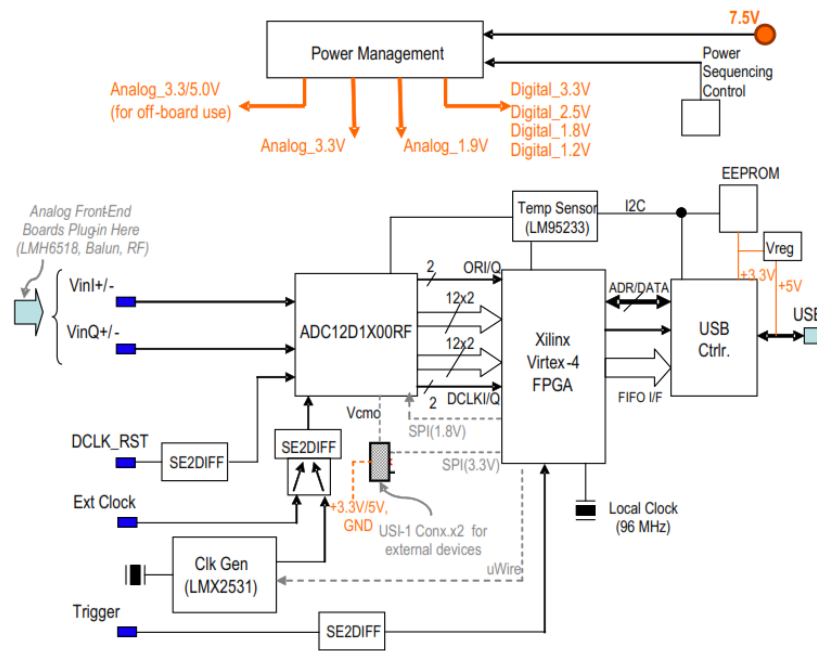
RCOUT1/2_ENABLED

รูปที่ 73 ไฟสัญญาณสถานะการทำงานของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB

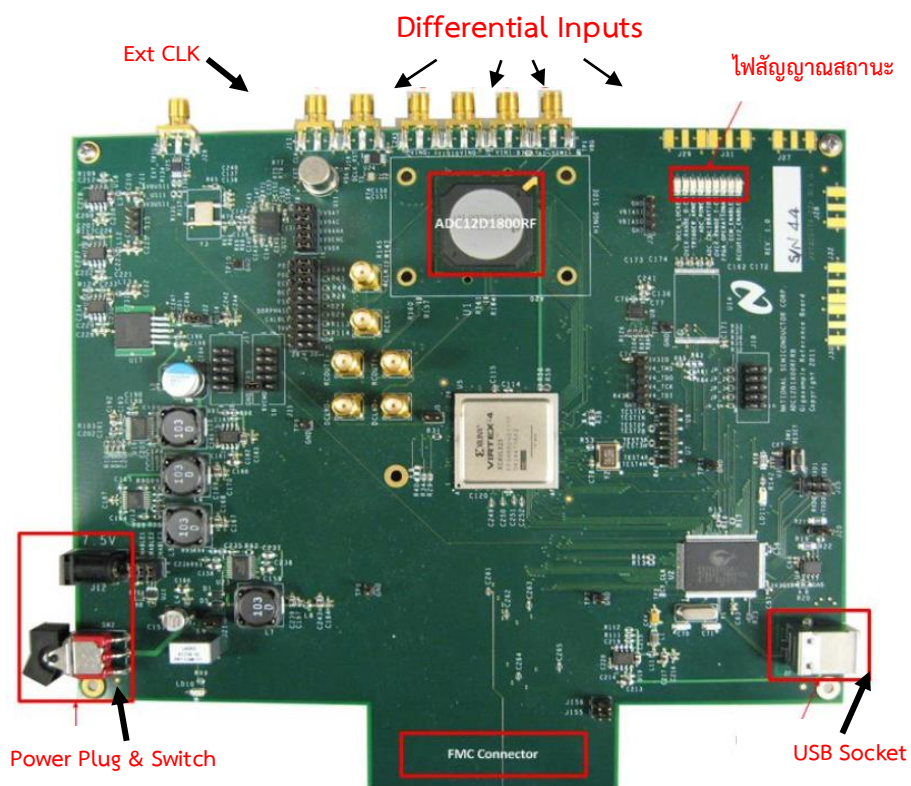
| | |
|------------------|---|
| DCLK_LOCKED | เป็นสีเขียวเมื่อช่องสัญญาณ I และ Q ทำงานปกติ |
| OVER-RANGE_Q-CK | เป็นสีเขียวเมื่อช่องสัญญาณ Q สูงกว่าปกติ |
| TRIGGER_ARMED | เป็นสีเขียวเมื่อเปิดใช้ ฮาร์ดแวร์ทริกเกอร์ |
| ADC_POWER | เป็นสีเขียวเมื่อมีแรงดันไฟมากกว่า 1.9 V |
| ADC_CALIBRATION | เป็นสีเขียวเมื่อทำการเทียบมาตรฐาน ADC ใหม่ |
| OVER-RANGE_I-CK | เป็นสีเขียวเมื่อช่องสัญญาณ I สูงกว่าปกติ |
| FPGA_OPERATION | เป็นสีเขียวเมื่อ FPGA ทำงานผิดปกติหรือไม่สามารถเชื่อมต่อสัญญาณนาฬิกาได้ |
| ECM_ENABLE | เป็นสีเขียวเมื่ออยู่ในโหมดควบคุมการทำงานจากภายนอก |
| RCOUNT1/2_ENABLE | เป็นสีเขียวเมื่อมีการชั่งคัตโนมิติ |

ในรูปที่ 74 และรูปที่ 75 คือบล็อกไดอะแกรมและบอร์ดของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB ตามลำดับ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 74 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFB



รูปที่ 75 บอร์ดของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFB

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

- ชิพ ADC12D1x00RF จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณเรดาร์ให้เป็นข้อมูลตัวเลขซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติคือมีความแม่นยำสูง สามารถทำงานได้ที่ความเร็วสูงมาก ใช้พลังงานต่ำ มีความละเอียดของข้อมูลขนาด 12 บิต มีความเร็วในการเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ที่ 1.8/3.6 GS/s ทนต่อสภาวะอากาศร้อนและเย็นได้ดีตั้งแต่ -40°C ถึง $+70^{\circ}\text{C}$ และสามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ได้สะดวก รวดเร็วผ่านการเชื่อมต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface)

- Analog Front-End คือจุดเชื่อมต่อสำหรับรับสัญญาณเรดาร์โดยใช้ชนิดของหัวต่อแบบ SMA มีความต้านทาน 50 โอห์ม ซึ่งสัญญาณเรดาร์ที่รับเข้ามาจะถูกส่งไปยังชิพ ADC12D1x00RF โดยตรง

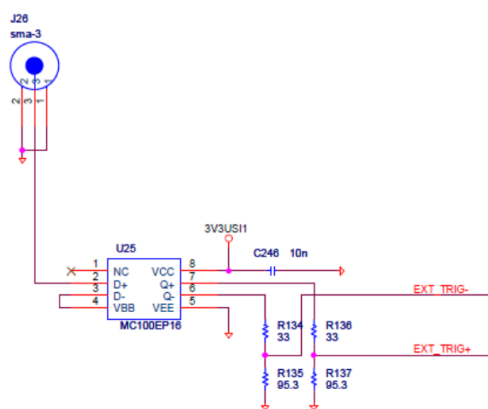
- DCLK_RST คือช่องทางรับสัญญาณการเชื่อมต่อในกรณีที่ใช้มากกว่า 1 บอร์ด ให้สามารถทำงานร่วมกันได้โดยอัตโนมัติโดยใช้ชนิดของหัวต่อแบบ SMA

- LMX2531 คือวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับชิพ ADC12D1x00RF โดยสามารถกำหนดการทำงานให้กับวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาผ่านรีจิสเตอร์โดยใช้โปรแกรม Wavevision 5 ซึ่งความถี่ที่สามารถกำหนดได้มีอยู่ 2 ช่วงคือ 1530-1636 MHz และ 1726-1840 MHz

- เอฟพีจีเอ (FPGA) คือวงจรที่ออกแบบมาเพื่อรับข้อมูลจากชิพ ADC12D1x00RF และเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำชั่วคราวและส่งข้อมูลต่อไปยังคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ต่อพ่วงชนิดอื่นผ่านพอร์ต FMC(HPC) และยังสามารถส่งข้อมูลการตั้งค่าการทำงานกลับไปยังชิพ ADC12D1x00RF เพื่อทำการตั้งค่าต่าง ๆ ได้โดยส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อแบบ SPI เอฟพีจีเอยังสามารถรีโปรแกรมผ่านพอร์ตการเชื่อมต่อแบบ JTAG ได้ซึ่งเป็นพอร์ตมาตรฐานสำหรับเอฟพีจีเอ

- ฮาร์ดแวร์ทริกเกอร์ (Trigger) คือวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอกในกรณีที่ต้องการที่จะใช้ทริกเกอร์ในการสั่งการทำงานให้เอฟพีจีเอเริ่มเก็บข้อมูล โดยฮาร์ดแวร์ทริกเกอร์จะใช้ชนิดของหัวต่อแบบ SMA ที่พอร์ต J26 และกำหนดรีจิสเตอร์ให้กับสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอกผ่านโปรแกรม Wavevision 5 ซึ่งแรงดันที่ใช้ที่ทำให้สถานะการทำงานเป็นลอจิก '1' คือ 2.5 โวลต์ หรือ 3.3 โวลต์ และลอจิก '0' ควรมีแรงดันที่ 0 โวลต์ โดยวงจรการเชื่อมต่อทริกเกอร์แสดงดังรูปที่

76



รูปที่ 76 วงจรเชื่อมต่อทริกเกอร์

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

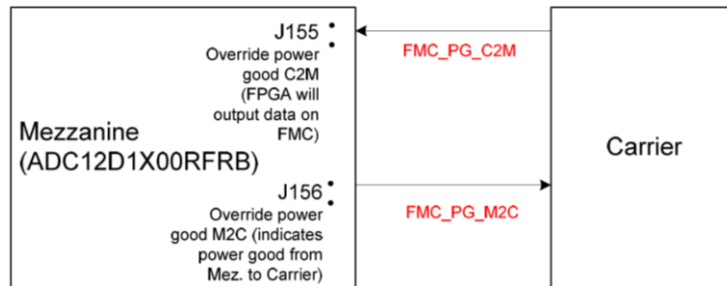
การใช้งานฮาร์ดแวร์ทริกเกอร์สามารถทำได้ดังนี้

1. เชื่อมต่อสัญญาณทริกเกอร์ผ่านพอร์ต EXT_TRIG (J26)
2. กำหนดรีจิสเตอร์ให้กับสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอกผ่านโปรแกรม Wavevision 5
3. ทำการเลือกรูปแบบการเก็บข้อมูล
4. ส่งสัญญาณทริกเกอร์เมื่อต้องการเก็บข้อมูล

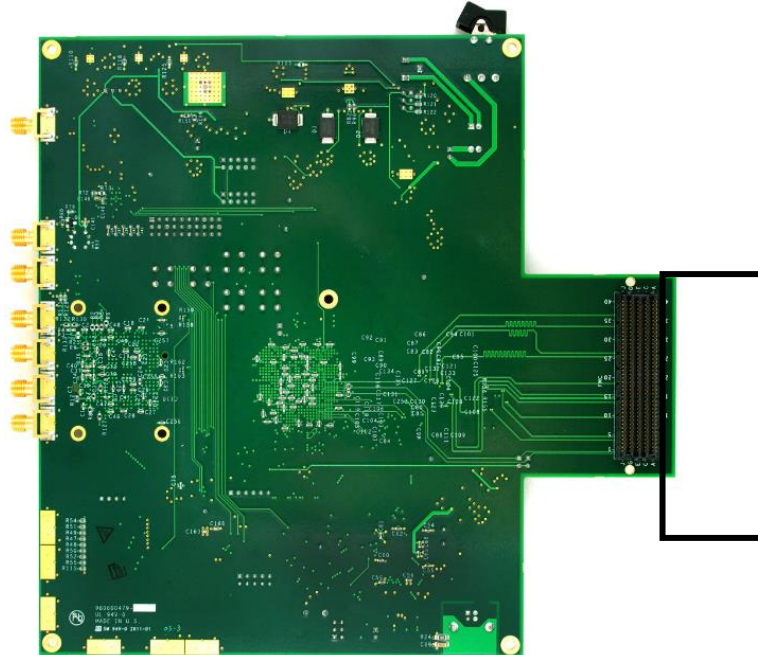
- การเชื่อมต่อผ่านพอร์ต Auxiliary ในกรณีที่ต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นแบบต่อเนื่องผ่านพอร์ต FMC สามารถทำได้ดังนี้ ดังแสดงในรูปที่ 77 และรูปที่ 78

1. ติดตั้งจัมป์เปอร์ที่ตำแหน่ง J155 เพื่อกำหนดให้เอฟพีจีเอส่งข้อมูลไปยังพอร์ต FMC โดยตรง
2. ติดตั้งจัมป์เปอร์ที่ตำแหน่ง J156 เพื่อกำหนดให้เอฟพีจีเอส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์เชื่อมต่อ

ภายนอก



รูปที่ 77 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อและการกำหนดจัมป์เปอร์สำหรับการใช้งานพอร์ต FMC



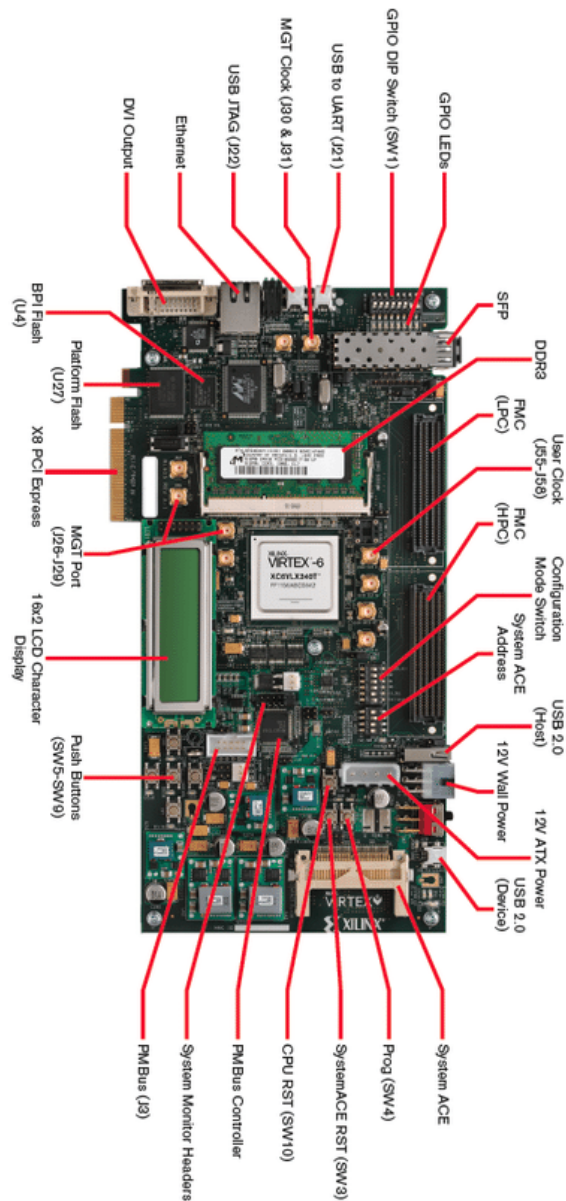
รูปที่ 78 แสดงตำแหน่งพอร์ต FMC ด้านหลังวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

- LM95233 คือ เซ็นเซอร์วันอุณหภูมิของวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB ซึ่งสามารถค่าของอุณหภูมิได้ผ่านโปรแกรม Wavevision 5

3) วงจรประมวลผลและรับ – ส่งข้อมูล (ML-605)

รูปที่ 79 แสดงวงจรที่นำเอาเอฟพีจีเอ VIRTEX6 มาใช้งานทำให้การรับ – ส่งข้อมูลระหว่างวงจรรับสัญญาณเรดาร์ ADC12D1800RFRB และคอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำให้ความสามารถของชุดทดลองระบบเรดาร์มีความสามารถมากขึ้นโดยวงจรมีคุณสมบัติดังนี้



รูปที่ 79 วงจรประมวลผลและรับ – ส่งข้อมูล (ML-605)

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

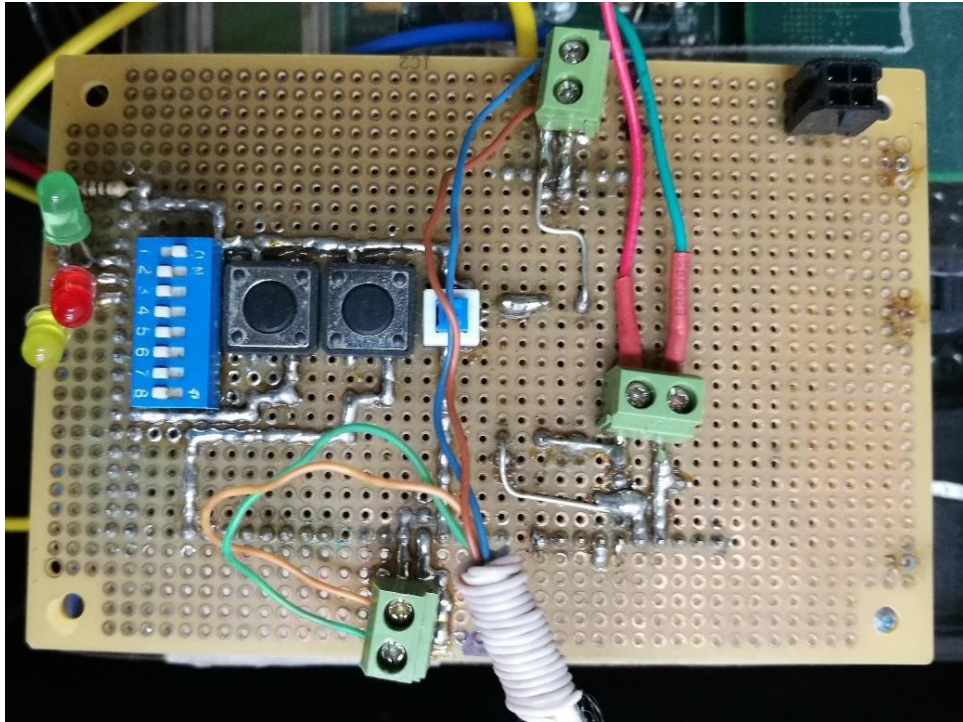
1. Virtex-6 XC6VLX240T-1FFG1156 FPGA
2. 512 MB DDR3 Memory SODIMM
3. 128 Mb Platform Flash XL
4. 32 MB Linear BPI Flash
5. System ACE CF and CompactFlash Connector
6. USB JTAG
7. Clock Generation
 - Fixed 200 MHz oscillator (differential)
 - Socketed 2.5V oscillator (single-ended)
 - SMA connectors (differential)
 - SMA connectors for MGT clocking
8. Multi-Gigabit Transceivers (GTX MGTs)
 - FMC - HPC connector
 - FMC - LPC connector
 - SMA
 - PCIe
 - SFP Module connector
 - Ethernet PHY SGMII interface
9. PCI Express Endpoint Connectivity
 - Gen1 8-lane (x8)
 - Gen2 4-lane (x4)
10. SFP Module Connector
11. 10/100/1000 Tri-Speed Ethernet PHY
12. USB-to-UART Bridge
13. USB Controller
14. DVI Codec
15. IIC Bus
 - IIC EEPROM - 1KB
 - DDR3 SODIMM socket
 - DVI CODEC
 - DVI connector
 - FMC HPC connector
 - FMC LPC connector
 - SFP module connector
16. Status LEDs

- Ethernet status
 - FPGA INIT
 - FPGA DONE
 - System ACE CF Status
17. User I/O
- USER LED Group 1 - GPIO (8)
 - USER LED Group 2 - directional (5)
 - User pushbuttons - directional (5)
 - CPU reset pushbutton
 - User DIP switch - GPIO (8-pole)
 - User SMA GPIO connectors (2)
 - LCD character display (16 characters x 2 lines)
18. Switches
- Power on/off slide switch
 - System ACE CF reset pushbutton
 - System ACE CF bitstream image select DIP switch
 - Configuration MODE DIP switch
19. VITA 57.1 FMC HPC Connector
20. VITA 57.1 FMC LPC Connector
21. Power Management
- PMBus voltage and current monitoring via TI power controller
22. System Monitor Configuration Options
23. 128 Mb Platform Flash XL
24. 32 MB Linear BPI Flash
25. System ACE CF and CompactFlash Connector
26. USB JTAG

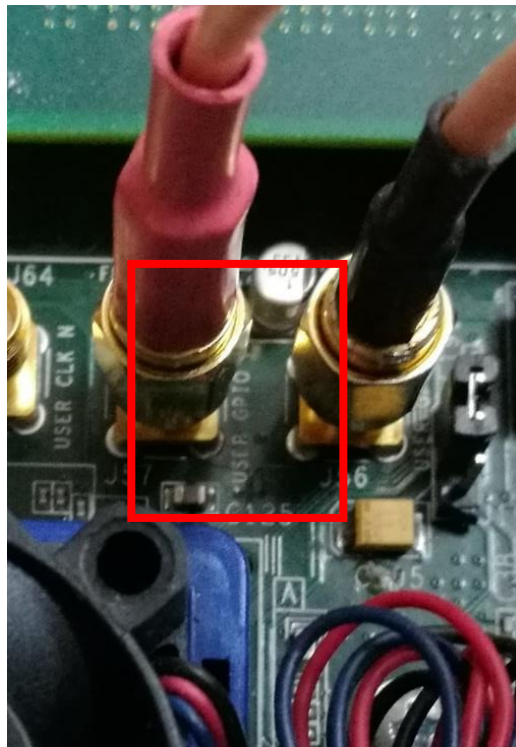
4) วงจรสร้างสัญญาณเก็บข้อมูล

วงจรที่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสำหรับสั่งให้ ML605 เริ่มเก็บข้อมูล โดยคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino uno ดังแสดงในรูปที่ 80 ได้ออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณโดยการรับข้อมูลจากตัววัดระยะทางและเมื่อถึงระยะทางที่กำหนดไว้ก็จะส่งลอจิก '1' ออกไปยังบอร์ด ML605 ผ่านพอร์ต J57 ดังแสดงในรูปที่ 81 ส่วนในรูปที่ 82 คือไทม์มิงไดอะแกรมของวงจรทริกเกอร์ที่กำหนดระยะทางให้มีค่าเท่ากับ 4 และเมื่อระยะมีค่าเท่ากับ 4 ก็จะมีลอจิก '1' ส่งออกมา โดยในการกำหนดระยะทางที่ต้องการนั้นสามารถทำผ่านดิพสวิทช์ได้ ดังรูปที่ 83

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

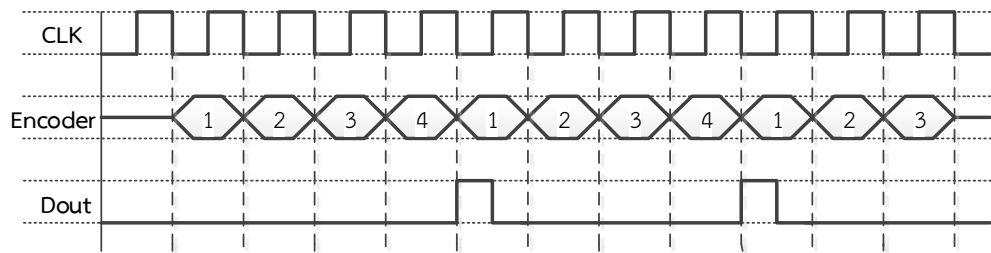


รูปที่ 80 วงจรสร้างสัญญาณเก็บข้อมูลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ADUINO UNO

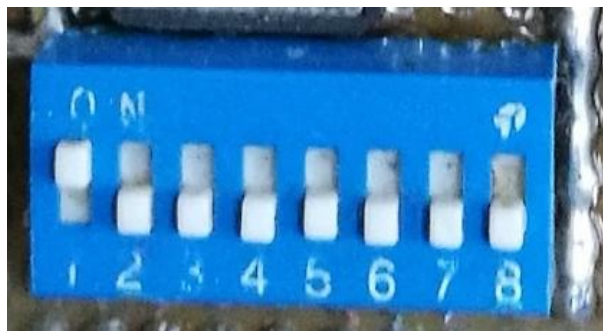


รูปที่ 81 พอร์ต J57 บนบอร์ด ML605

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเปิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 82 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของวงจรถริกเกอร์

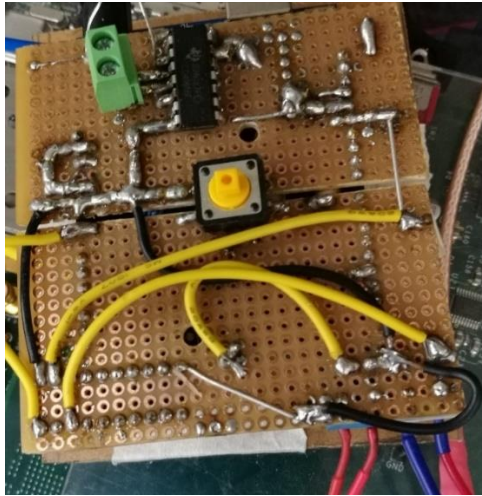


รูปที่ 83 ดิพสวิตช์ขนาด 8 บิต

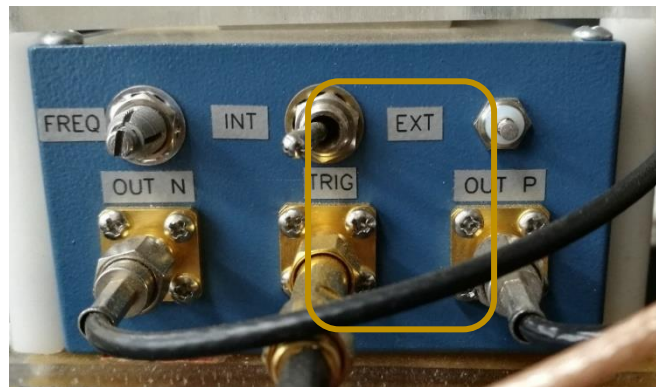
5) วงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์

วงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ โดยคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น Arduino mega ADK ดังแสดงในรูปที่ 84 ได้ออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger) ขนาด 5 โวลต์ คาบเวลา 20 ไมโครวินาที โดยส่งไปยังพอร์ต TRIG เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมความถี่ของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียวดังแสดงในรูปที่ 85 และสร้างสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger) ขนาด 3.3 โวลต์ คาบเวลา 20 ไมโครวินาที ออกไปยังบอร์ด ML605 ผ่านพอร์ต J56 ดังแสดงในรูปที่ 86 เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมบอร์ด ML605 เพื่อให้เก็บข้อมูลได้ตรงกับตำแหน่งของสัญญาณที่ได้จากวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว สัญญาณทริกเกอร์ที่สร้างได้เป็นดังรูปที่ 87

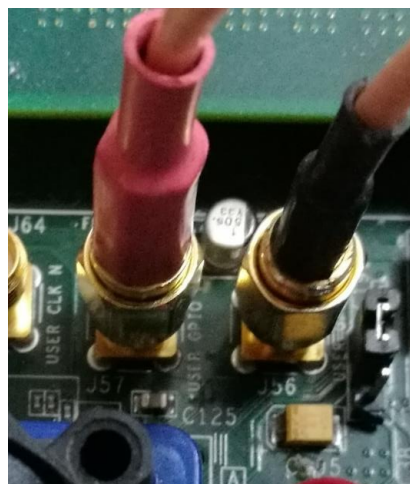
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 84 วงจรสร้างสัญญาณทรiggerโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ADUINO MEGA ADK

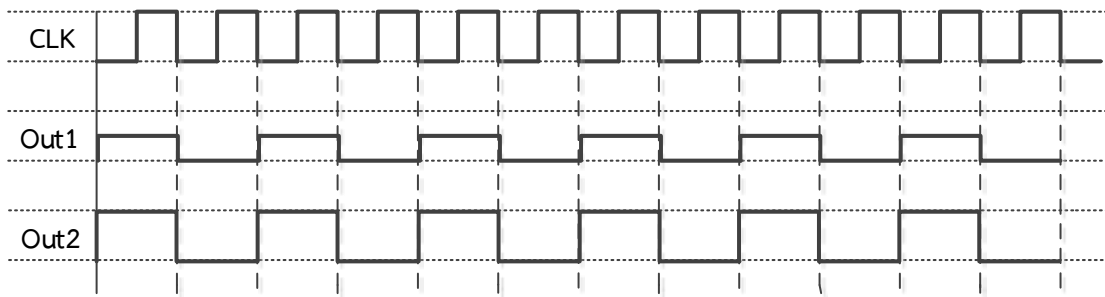


รูปที่ 85 พอร์ต TRIG ของวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว



รูปที่ 86 พอร์ต J56 บนบอร์ด ML605

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 87 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของวงจรสร้างสัญญาณทริกเกอร์

6) ระบบระบายความร้อน

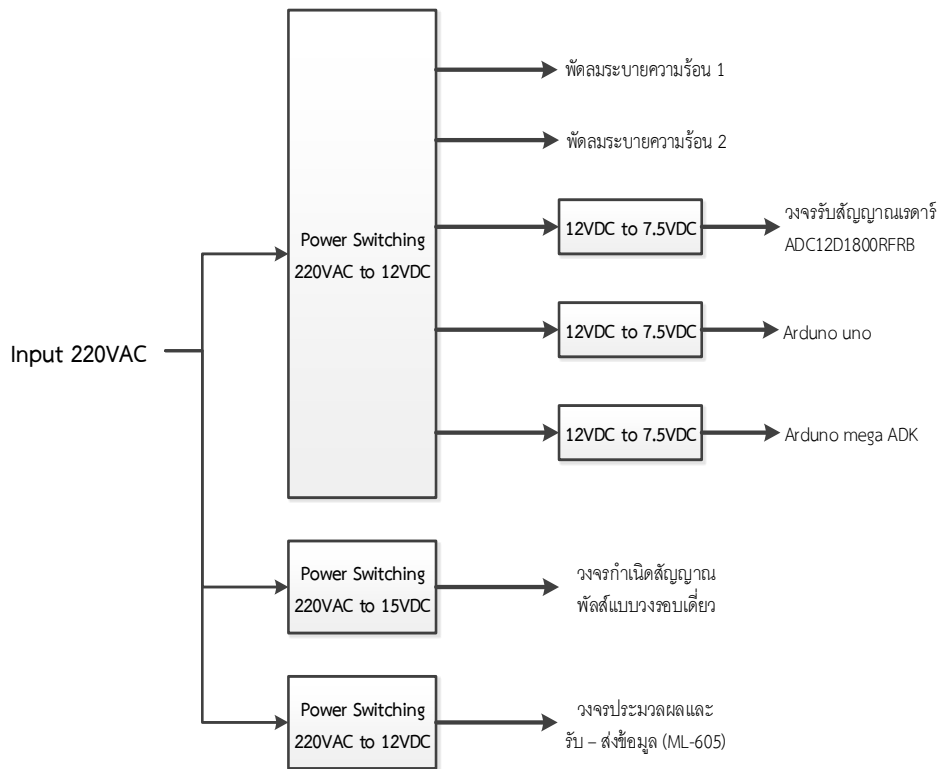
การทดสอบชั้นดินในบริเวณกลางแจ้งจะทำให้เกิดความร้อนสะสมเกิดขึ้นภายในมากเกินไปทำให้มีผลกระทบต่อสายสัญญาณและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้นในชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์จะมีพัดลม 2 ตัว คือตัวที่หนึ่งทำหน้าที่ดูดลมเข้าส่วนอีกหนึ่งตัวทำหน้าที่ดูดลมออก โดยลักษณะของพัดลมที่ใช้งานได้แสดงดังรูปที่ 88



รูปที่ 88 ลักษณะของพัดลมระบายความร้อน

7) ระบบการจ่ายไฟ

ในชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์นั้นมีอุปกรณ์อยู่หลายชนิดและแต่ละชนิดก็ใช้พลังงานไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบระบบไฟดังรูปที่ 89

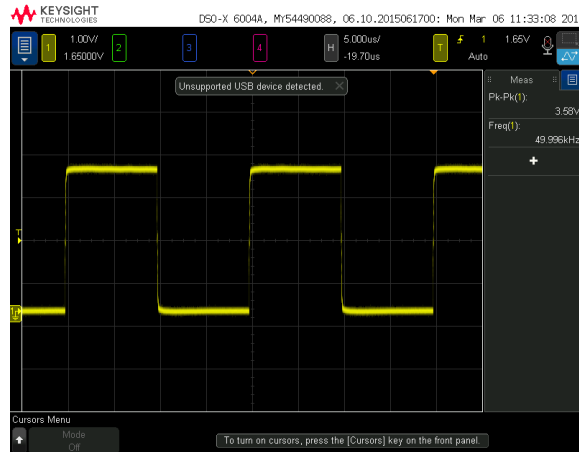


รูปที่ 89 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อของแหล่งจ่ายไฟกับอุปกรณ์ต่าง ๆ

8) การทดสอบชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ที่ออกแบบ

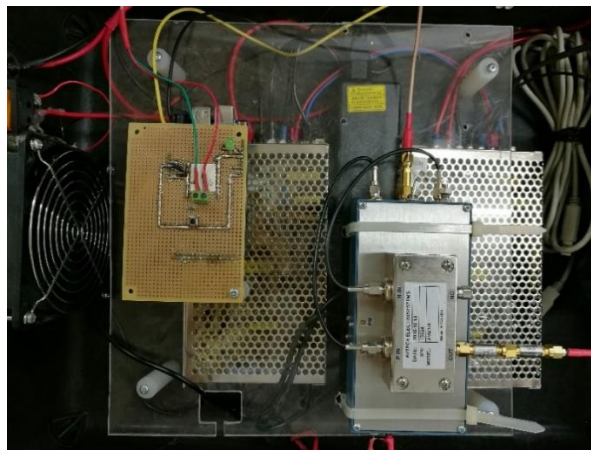
คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบระบบควบคุมวงจรถูกำเนิดสัญญาณ และทดสอบวงจรถูกำเนิดสัญญาณ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติ และนำมาใช้เป็นวงจรถูกำเนิดสัญญาณในระบบเรดาร์ระดับขั้นต่อไป โดยระบบควบคุมวงจรถูกำเนิดสัญญาณนั้น คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น Arduino Mega ADK โดยได้ออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger) ขนาด 3.3 โวลท์ คาบเวลา 20 ไมโครวินาที เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมความถี่ของวงจรถูกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดียว สัญญาณทริกเกอร์ที่สร้างได้เป็นดังรูปที่ 90

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



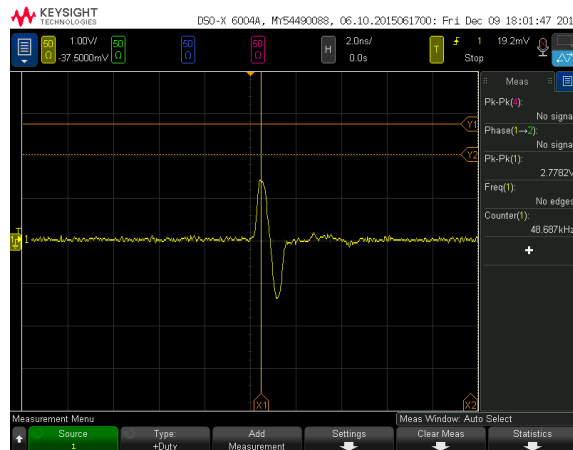
รูปที่ 90 สัญญาณทริกเกอร์ที่ได้จากวงจรควบคุม

เมื่อออกแบบและสร้างวงจรควบคุมเรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยว โดยใช้วงจรควบคุมที่สร้างขึ้นเป็นตัวควบคุมการทำงาน วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยวที่ประกอบสมบูรณ์แล้วเป็นดังรูปที่ 91 และจากการทดสอบวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์แบบวงรอบเดี่ยว โดยใช้สัญญาณทริกเกอร์จากวงจรควบคุมที่สร้างขึ้น พบว่า สัญญาณพัลส์ที่วงจรกำเนิดสัญญาณสร้างขึ้น เป็นสัญญาณที่ค่อนข้างเสถียร มีแรงดันอยู่ที่ 2.7782 V เมื่อต่อผ่านตัวลดทอนสัญญาณขนาด 26 dB ดังแสดงในรูปที่ 92



รูปที่ 91 ส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณที่ประกอบสมบูรณ์แล้ว

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



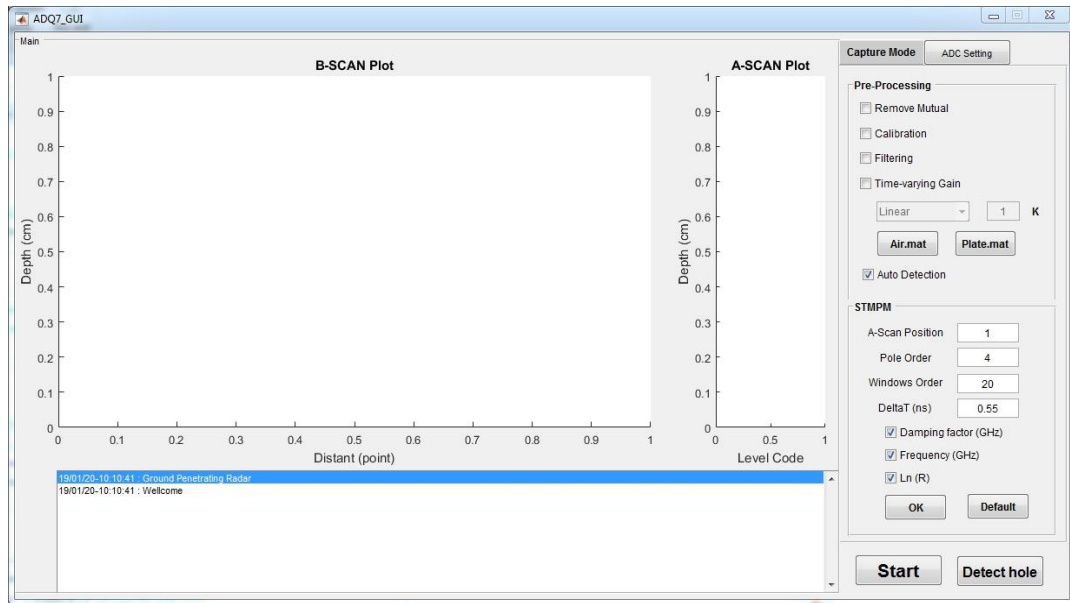
รูปที่ 92 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรกำเนิดสัญญาณ

จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่าสัญญาณพัลส์ที่สร้างจากวงจรกำเนิดสัญญาณนั้น เป็นไปตามที่ต้องการ และสามารถนำมาใช้งานในการวัดค่าสัญญาณจากชั้นดินได้ ดังนั้น ในขั้นตอนต่อไป จึงเป็นการนำวงจรกำเนิดสัญญาณไปใช้งานร่วมกับสายอากาศรับ-ส่ง และวงจรอื่น ๆ เพื่อรวมเป็นระบบเรดาร์ที่สมบูรณ์ต่อไป

3.9 การออกแบบซอฟต์แวร์การตรวจวัดได้พื้นดิน

ซอฟต์แวร์การเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ในเบื้องต้นได้มีการพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB ให้มีฟังก์ชันในการประมวลผลสัญญาณเรดาร์ที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และมีความเร็วในการเก็บข้อมูลและประมวลผลแบบเรียลไทม์ คือซอฟต์แวร์จะเก็บข้อมูลและประมวลผลทันที จากการคำนวณถ้าต้องการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 1 เมตร และความเร็วสูงสุดที่เรดาร์สามารถส่งสัญญาณลงไปใต้พื้นได้คือทุก ๆ 10 ไมโครวินาที ซึ่งสามารถใช้สมการ $v = s/t$ ดังนั้นจะใช้เวลาแค่ 1 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วมาก แต่อย่างไรก็ตามความเร็วที่เก็บข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะในการเก็บข้อมูลระหว่างจุดกับความถี่ในการส่งสัญญาณด้วย ดังแสดงในรูปที่ 93 ซอฟต์แวร์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของการแสดงผล ส่วนของการกำหนดค่าการเก็บตัวอย่างข้อมูล และส่วนของการประมวลผล

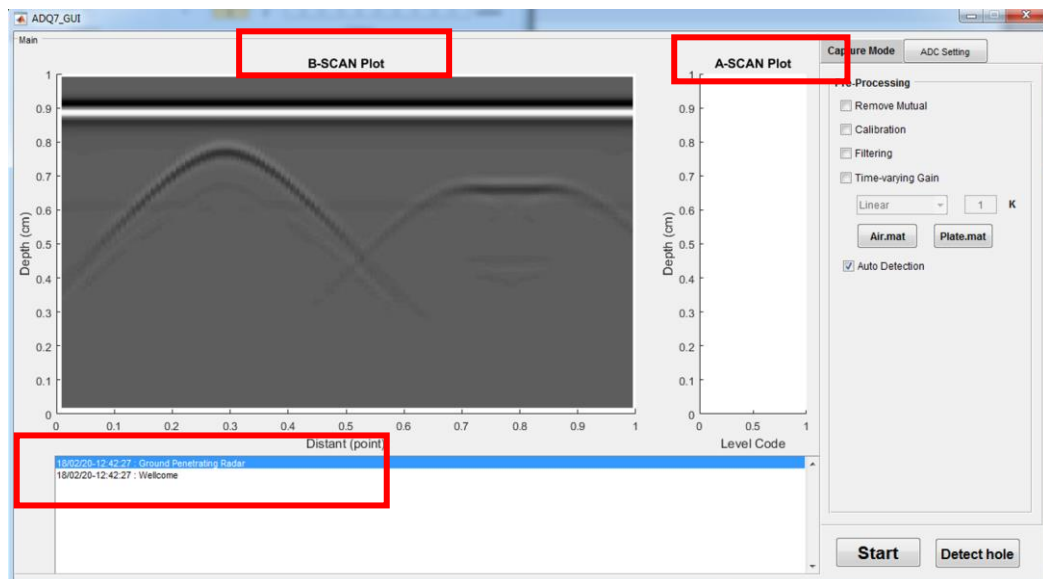
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 93 ซอฟต์แวร์การเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณเรดาร์

1) ส่วนของการแสดงผล

ในส่วนนี้มีการแสดงผลสัญญาณในรูปแบบสัญญาณ A Scan และ B-Scan โดยชื่อจะเปลี่ยนไปตามฟังก์ชันการประมวลที่ได้เลือกไว้ เช่น ถ้าผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชัน Remove Mutual ชื่อของกราฟ B-Scan จะเปลี่ยนจาก B-SCAN Plot ไปเป็น Remove Mutual ดังแสดงในรูปที่ 94 และมีการแสดงสถานะของการทำงานและประวัติของการทำงานในกรอบสี่ขาวด้านล่างของซอฟต์แวร์



รูปที่ 94 ส่วนของการแสดงผลแบบตั้งค่าเริ่มต้น

2) ส่วนของการเก็บข้อมูลและการประมวลผล

ส่วนของการเก็บข้อมูลเป็นส่วนสำหรับสั่งงานประกอบไปด้วย

1. ปุ่มสำหรับเริ่มเก็บข้อมูล
2. ปุ่มสำหรับใช้งานฟังก์ชันการตรวจจับวัตถุและโพรงใต้ดิน

ในส่วนของการการประมวลผลสามารถทำการประมวลแบบเรียลไทม์ ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 95 ในกรอบเส้นทึบสีฟ้า ซอฟต์แวร์สามารถกำหนดการประมวลผล Preprocessing เพื่อลดสัญญาณรบกวนและผลกระทบของสายอากาศได้ 4 รูปแบบคือ

3. Remove Mutual ใช้เทคนิคการลบพื้นหลังเพื่อลดผลกระทบของสายอากาศ
4. Calibration ใช้เทคนิคการเทียบมาตรฐานเพื่อตัดผลกระทบของสายอากาศ
5. Filtering ใช้เทคนิคการกรองความถี่เพื่อลดสัญญาณรบกวน

6. Time-varying Gain ใช้เทคนิคการขยายสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อให้สามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากชั้นดินได้ชัดเจนมากขึ้นสามารถเลือกได้ว่าจะประมวลผลแบบ

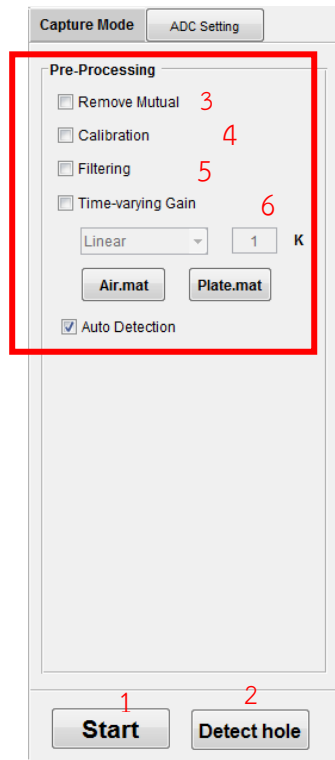
- Linear หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น คือยิ่งสัญญาณเรดาร์อยู่ลึก การขยายสัญญาณจะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 96

- Exponential หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง ซึ่งจะคล้ายกับการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น แต่จะต่างกันตรงที่ฟังก์ชันเลขชี้กำลังจะไม่ขยายสัญญาณเรดาร์ที่อยู่บริเวณผิวดินหรือใกล้ผิวดิน แต่จะขยายที่ความลึกเยอะแยะแทน ดังแสดงในรูปที่ 97

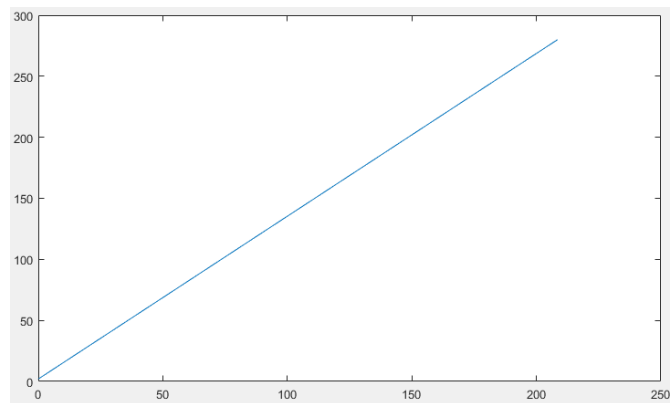
ในรูปที่ 98 ได้แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบก่อนการประมวลผล (ก) และหลังการประมวลผล (ข) โดยแสดงรูปแบบของข้อมูลเรดาร์ B-SCAN ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังจากใช้เทคนิคการลบพื้นหลังจะทำให้ผลกระทบของสายอากาศและผิวดินหายไปในขณะที่สัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากวัตถุยังคงมีอยู่

ในรูปที่ 99 คือโพลชาร์ตแสดงการทำงานและการประมวลผลของซอฟต์แวร์ จากรูปแสดงให้เห็นว่าหากผู้ใช้งานต้องการทำการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ผู้ใช้งานต้องเลือกฟังก์ชันการประมวลผลก่อนที่จะเริ่มเก็บข้อมูลเรดาร์ เมื่อเลือกได้แล้วให้กดปุ่ม Start ระบบก็จะทำงานตามฟังก์ชันที่เลือกไว้และเมื่อต้องการที่จะหยุดก็สามารถกดปุ่ม Stop ระบบก็จะหยุดการทำงาน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

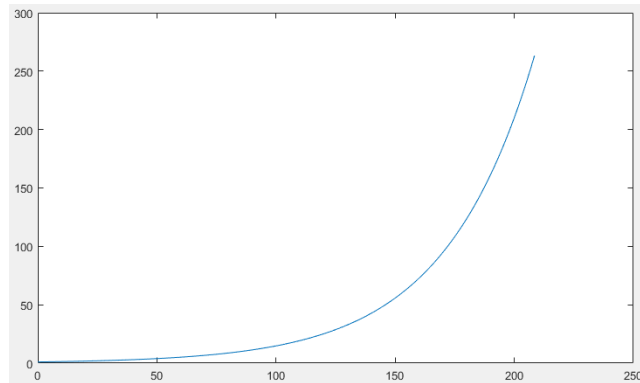


รูปที่ 95 ส่วนของการประมวลผล

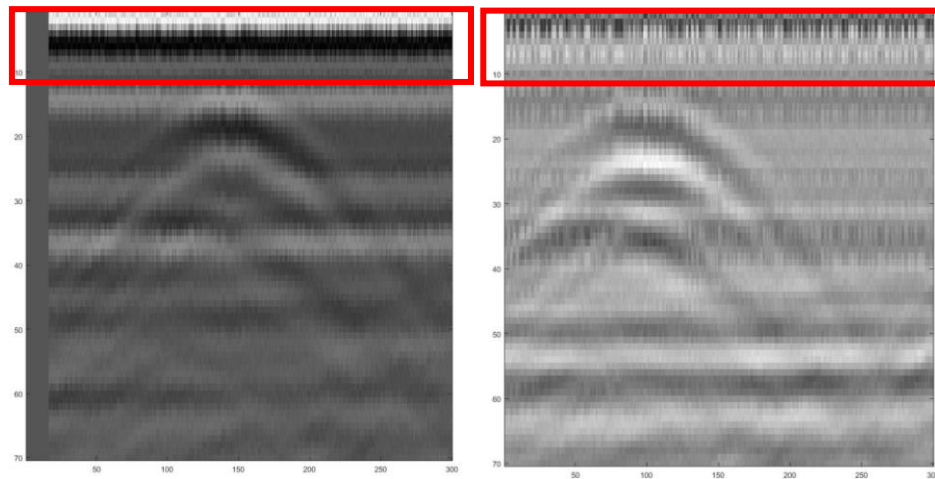


รูปที่ 96 ฟังก์ชัน LINEAR หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



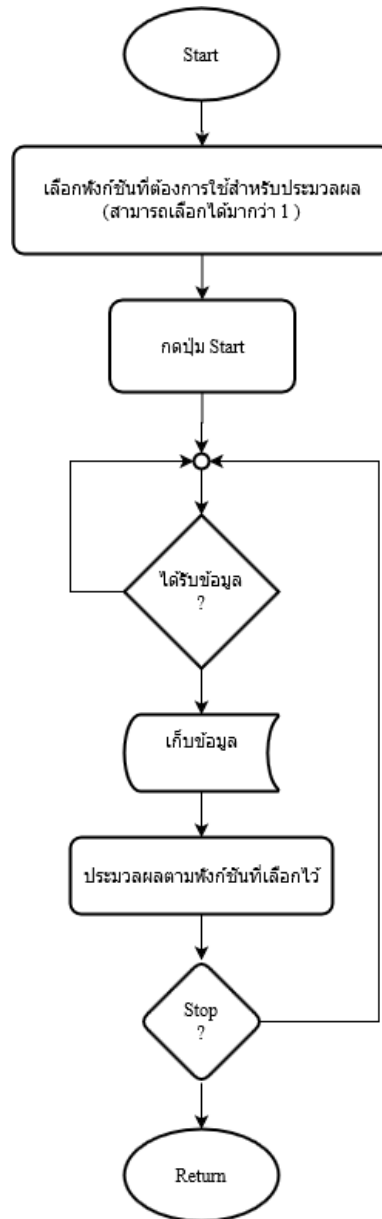
รูปที่ 97 ฟังก์ชัน EXPONENTIAL หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง



ก

ข

รูปที่ 98 ก) ข้อมูล B-SCAN เรดาร์ที่ยังไม่ผ่านการประมวลผล
ข) ข้อมูล B-SCAN เรดาร์ที่ผ่านการประมวลผลโดยใช้เทคนิคการลบพื้นหลัง



รูปที่ 99 โพลชาร์ตแสดงขั้นตอนการประมวลผล

3.10 การออกแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

การสำรวจสถานที่ทดสอบ

ทีมวิจัยได้เดินทางเพื่อไปพบกับ สารวัตรบำรุงทางบางซื่อ ณ สถานีรถไฟบางซื่อ สารวัตรได้พาทีมวิจัยไปเยี่ยมชมสถานที่สำหรับการทดสอบระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุระเบิดใต้รางรถไฟ โดยได้อธิบายว่า การวางระเบิดมีความมุ่งหมาย 2 แบบ คือ

- 1) การวางระเบิดใต้รางรถไฟ เมื่อระเบิดทำงานจะทำให้รางรถไฟขาด โดยมีเป้าหมายคือ ทำให้รถไฟตกรางและล่อให้เจ้าหน้าที่เข้ามาในบริเวณที่เกิดเหตุ

การพัฒนาบบเรลาร์ตรวจวัดระยะเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

- 2) การวางระเบิดในรางรถไฟ มีเป้าหมายเพื่อทำให้รถไฟ เครื่องจักรเสียหาย เกิดการหยุดการเดินรถ เนื่องจากหัวรถจักรเสียหาย



รูปที่ 100 การแวะเยี่ยมชมสถานที่ทำการทดสอบระบบเรลาร์

จากนั้นสารวัตรก็ได้พามายังสถานที่ที่จะทำการทดสอบ ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีรถไฟวิ่งผ่าน สามารถหยุดเจาะ เพื่อทำการทดสอบการฝังวัตถุใต้ดินได้ ดังรูปที่ 100



รูปที่ 101 รถซ่อมบำรุงทางรถไฟ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

จากนั้นสารวัตรได้พาทีมวิจัยไปเยี่ยมชมโรงซ่อมบำรุงย่อยสำหรับสถานีรถไฟบางซื่อ ซึ่งมีอุปกรณ์สำหรับซ่อมแซมรางรถไฟ รวมถึงแนะนำรถซ่อมบำรุงรางรถไฟดังรูปที่ 101 รถซ่อมนี้สามารถบรรทุกคนได้ประมาณ 3-4 คน และรับน้ำหนักได้มาก ดังนั้นทีมวิจัยจึงสามารถนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ อาทิเช่น การนำเอาเครื่องปั่นไฟหรือแบตเตอรี่ไปติดตั้งบนตัวรถ แต่เนื่องจากตัวรถมีระบบรับแรงกระแทก ทำให้ตัวรถมีการเคลื่อนไหวที่แนวตั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบนตัวรถ จึงไม่เหมาะกับการติดตั้งเรดาร์กับตัวรถเนื่องจากจำเป็นที่จะต้องทำให้ความสูงจากพื้นไปถึงเรดาร์นั้นคงที่ ดังนั้นสารวัตรจึงได้แนะนำรถสำหรับซ่อมบำรุงรางรถไฟอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและสามารถนำมาเชื่อมต่อกับรถซ่อมบำรุงทางรถไฟข้างต้นได้ ดังรูปที่ 102 จากรูปแบบของตัวรถนั้น ทีมวิจัยสามารถประยุกต์เพื่อนำเอาระบบเรดาร์ตรวจสอบวัตถุระเบิดใต้รางรถไฟมาติดตั้งกับรถซ่อมบำรุงขนาดเล็กนี้ได้



รูปที่ 102 รถซ่อมบำรุงทางรถไฟขนาดเล็ก

การออกแบบระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟ

จากการสำรวจสถานที่ทดสอบซึ่งเป็นทางรถไฟจริงในหัวขอก่อนหน้า จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของตัวรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟที่แสดงในรูปที่ 67 นั้นมีรูปแบบที่ไม่เหมาะสมจะนำรถต้นแบบไปติดตั้งบนรถซ่อมบำรุงทางรถไฟทั้งสองแบบ รวมถึงชั้นวางชุดอุปกรณ์เรดาร์แบบเปลือยจึงไม่ทนต่อสภาพอากาศ และสภาพพื้นที่ที่เป็นรางรถไฟอีกด้วย ทั้งนี้ทางทีมวิจัยจึงได้มีการเปลี่ยนโครงสร้างของโครงรถดังรูปที่ 103 ให้สามารถเคลื่อนที่บนรางรถไฟได้โดยไม่ต้องติดตั้งบนรถซ่อมบำรุง ซึ่งตัวรถทำมาจากแผ่นเหล็กที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตรที่มีความแข็งแรงทนทาน ความกว้างเท่ากับขนาดของรางรถไฟ คือ 80 เซนติเมตร และเปลี่ยนล้อให้สามารถเคลื่อนที่บนรางรถไฟได้ อีกทั้งตัวรถยังมีพื้นที่ที่ใช้เก็บสัมภาระพร้อมฝาปิด เพื่อเก็บอุปกรณ์ในส่วนของชุดอุปกรณ์สร้างสัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ดังรูปที่ 103 (ก) และ (ข) ส่วนรูปที่ 103 (ค) แสดงช่องด้านหน้ารถและตำแหน่งจับยึดชุดสายอากาศ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



(ก)



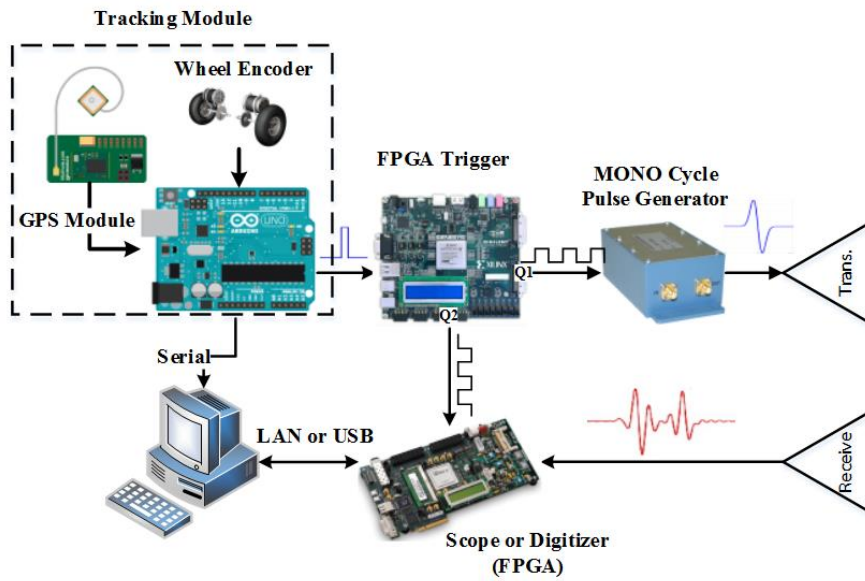
(ข)



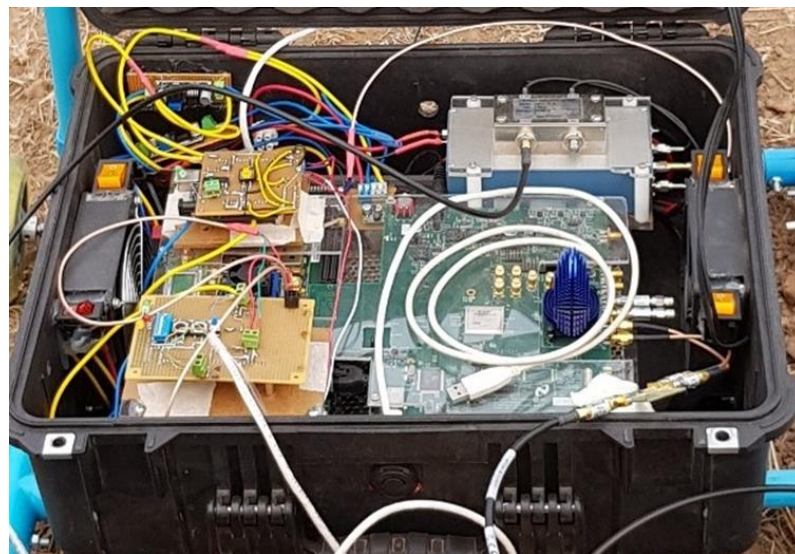
(ค)

รูปที่ 103 โครงสร้างรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

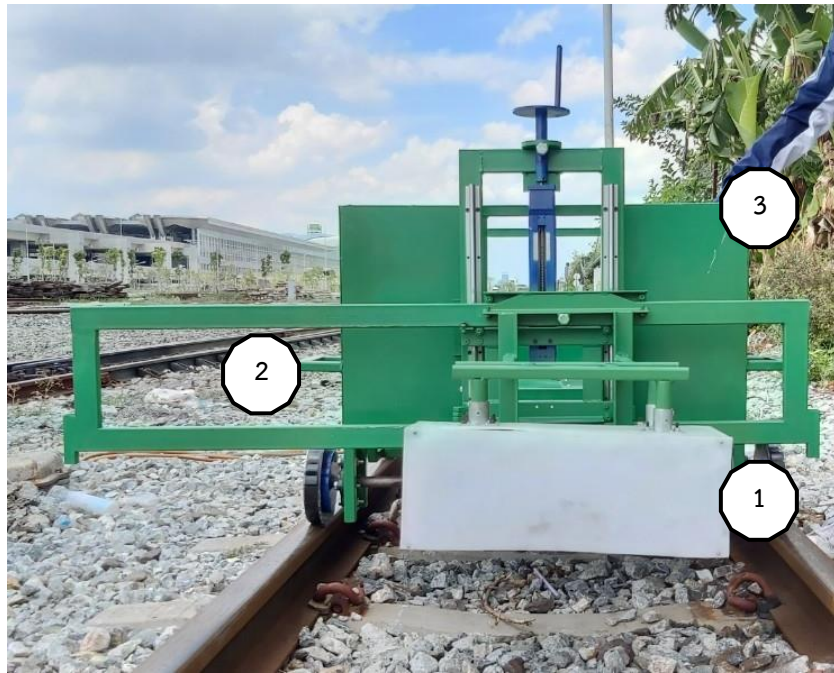


รูปที่ 104 ภาพรวมระบบต้นแบบเรดาร์



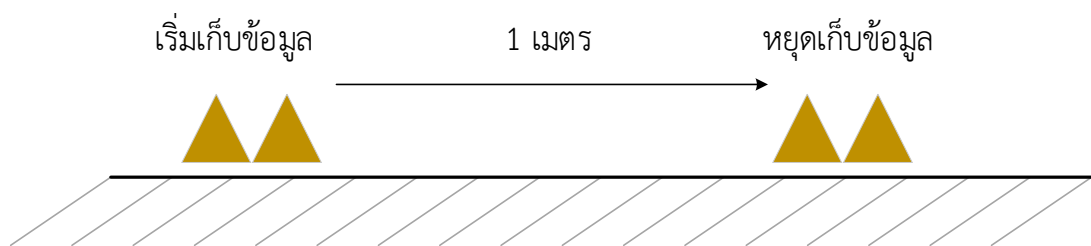
รูปที่ 105 ต้นแบบระบบเรดาร์

รูปที่ 104 และรูปที่ 105 ได้แสดงต้นแบบของระบบเรดาร์และชุดอุปกรณ์เรดาร์ที่ประกอบไปด้วยภาคส่ง ภาครับและหน่วยประมวลผล ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งลงในรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุใต้รางรถไฟ



รูปที่ 106 ชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟ

รูปที่ 106 แสดงชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟ โดยหมายเลข 1 คือสายอากาศ ซึ่งชุดติดตั้งที่ใช้ยึดกับตำแหน่งจับยึดของตัวรถจะประกอบด้วยแกนที่ใช้ปรับระยะระนาบกับรางรถไฟครอบคลุมระยะทาง 1 เมตร และแกนที่ใช้ปรับระดับความสูงของสายอากาศจากพื้นดิน 30 เซนติเมตรดังหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 107 การจำลองจุดเริ่มต้นและสุดสิ้นสุดสำหรับการเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 107 เป็นการจำลองจุดเริ่มต้นและสุดสิ้นสุดสำหรับการเก็บข้อมูล โดย

- กำหนดให้ระบบเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ซม. เป็นระยะทาง 1 เมตร
- ความเร็วสูงสุดที่เรดาร์สามารถส่งสัญญาณลงไปใต้พื้นได้ คือ ทุก ๆ 10 ไมโครวินาที

สามารถคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถต้นแบบเรดาร์สามารถเคลื่อนที่ได้ คือ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1\text{cm}}{10\mu\text{s}} = 1000 \text{ m/s}$$

ดังนั้นถ้าให้ระบบเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ซม. เป็นระยะทาง 1 เมตร จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมดแค่ 1 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วมาก แต่อย่างไรก็ตามยังขึ้นอยู่กับความเร็วในการประมวลผล และความเร็วในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ด้วย ซึ่งใช้การคำนวณค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยาก จึงควรทดสอบด้วยการทำงานจริงของระบบ เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดต่าง

3.11 ทดสอบการตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินในพื้นที่จำลอง

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเบื้องต้นในการตรวจจับวัตถุใต้ดินของเรดาร์ทะลุพื้นดิน

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟเบื้องต้น ทางทีมวิจัยได้เลือกใช้พื้นที่ถนนลาดยางเป็นพื้นที่จำลองในการทดสอบเบื้องต้น เนื่องจากจำเป็นต้องมีการกำหนดชั้นของดินและวัตถุใต้ดินไว้ล่วงหน้า เพื่อให้สามารถคาดเดาผลลัพธ์ของสัญญาณที่สะท้อนกลับมาได้ และสามารถนำไปเทียบความถูกต้องกับสัญญาณที่ได้จากระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ แต่เนื่องจากว่าดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ซับซ้อนและแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้การคาดเดาผลลัพธ์ของสัญญาณสะท้อนเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในการทดสอบการทำงานระบบเรดาร์เบื้องต้น จะเลือกใช้วัตถุโลหะทรงกระบอกฝังลงในดิน ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจจับได้ง่าย โดยไม่มีผลกระทบจากชั้นของถนนที่แตกต่างกัน และทำให้สามารถทดสอบได้ว่า ระบบเรดาร์ระบุชั้นดินที่สร้างขึ้น สามารถวัดสัญญาณและแยกแยะวัตถุใต้ดินได้อย่างถูกต้องหรือไม่

ในการทดสอบระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินเบื้องต้น จะมีการกำหนดความลึกของวัตถุที่ฝังไว้ใต้ดินอย่างชัดเจน โดยในการทดสอบระบบเบื้องต้นนั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการขุดหลุมเป็นโพรงลึกจากผิวดินลงไปประมาณ 75 เซนติเมตร เพื่อฝังวัตถุโลหะไว้ใต้ดิน ดังแสดงรูปที่ 108 โดยวัตถุโลหะที่ใช้ในการทดสอบ คือถังแก๊สขนาดเล็ก (ถังแก๊สปิกนิก) และมีขั้นตอนการทดสอบดังที่กล่าวมาข้างต้น คือติดตั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งห่างกัน 30 เซนติเมตร ดำเนินการวัด และเลื่อนสายอากาศไปจุดละ 10 เซนติเมตร เป็นจำนวน 15 จุด โดยมีวัตถุอยู่ที่ระยะกึ่งกลาง

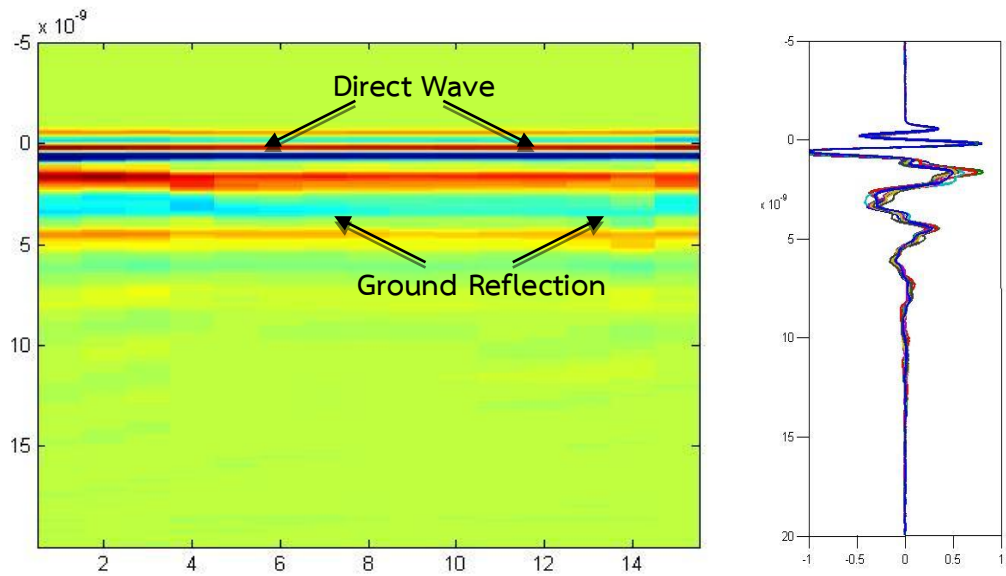
ทิศทางการเลื่อนสายอากาศ



รูปที่ 108 การทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดิน

สัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป จะถูกนำไปจัดเรียงเป็นรูปและแสดงผลในรูปแบบ B-scan และ A-scan ดังแสดงในรูปที่ 109 (ก) และ (ข) ตามลำดับ จากผลที่ได้จะเห็นว่า สัญญาณในช่วงเวลาเริ่มต้นในแต่ละตำแหน่งมีค่าแทบจะเหมือนกัน โดยสามารถสังเกตได้จากสีในรูป B-scan หรือเส้นกราฟที่ทับกันในรูป A-scan ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการวางสายอากาศที่ใช้ในการทดสอบนั้น ไม่ได้วางแนบติดกับผิวดินโดยตรง จึงทำให้สัญญาณในช่วงเวลาดังกล่าว เป็นสัญญาณที่เกิดจากการที่คลื่นถูกส่งจากสายตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับโดยตรง (Direct Wave) รวมทั้งสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนที่หน้าดิน (Ground Reflection) ก่อนที่สัญญาณนั้นจะถูกส่งลงไปใต้ดิน ซึ่งจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกตำแหน่ง สำหรับช่วงเวลาหลังจากนั้น สัญญาณที่วัดได้ในแต่ละจุดจะเริ่มมีความแตกต่างกัน เนื่องจากว่าคลื่นได้แพร่กระจายไปในดินแล้ว และดินในแต่ละจุดที่วัดค่านั้นไม่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด เช่น บางจุดมีก้อนหินแทรกอยู่ บางจุดดินมีความชื้นมากกว่าปกติ เป็นต้น ทำให้สัญญาณเกิดการสะท้อนกลับในรูปแบบที่แตกต่างกัน อีกทั้งเมื่อสัญญาณถูกส่งผ่านลงไปใต้ดิน จะทำให้สัญญาณนั้นเกิดการลดทอนลงไปตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าของดิน ดังนั้น จะสังเกตได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น (เทียบเคียงได้กับระยะทางที่เพิ่มขึ้น) จะไม่สามารถวิเคราะห์สัญญาณในช่วงนั้นได้ เพราะสัญญาณถูกลดทอนไป ทำให้แอมพลิจูด (Amplitude) หรือความแรงของสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังตัวรับมีค่าต่ำมากจนมองไม่เห็นรายละเอียดของชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป รวมทั้งยังไม่สามารถเห็นการสะท้อนจากวัตถุอีกด้วย จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ในการทดสอบเบื้องต้นนี้จึงมีความจำเป็นต้องมีการประมวลผลทางสัญญาณเพื่อตัดผลกระทบที่เกิดจากการลดทอนดังกล่าวออกไป

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



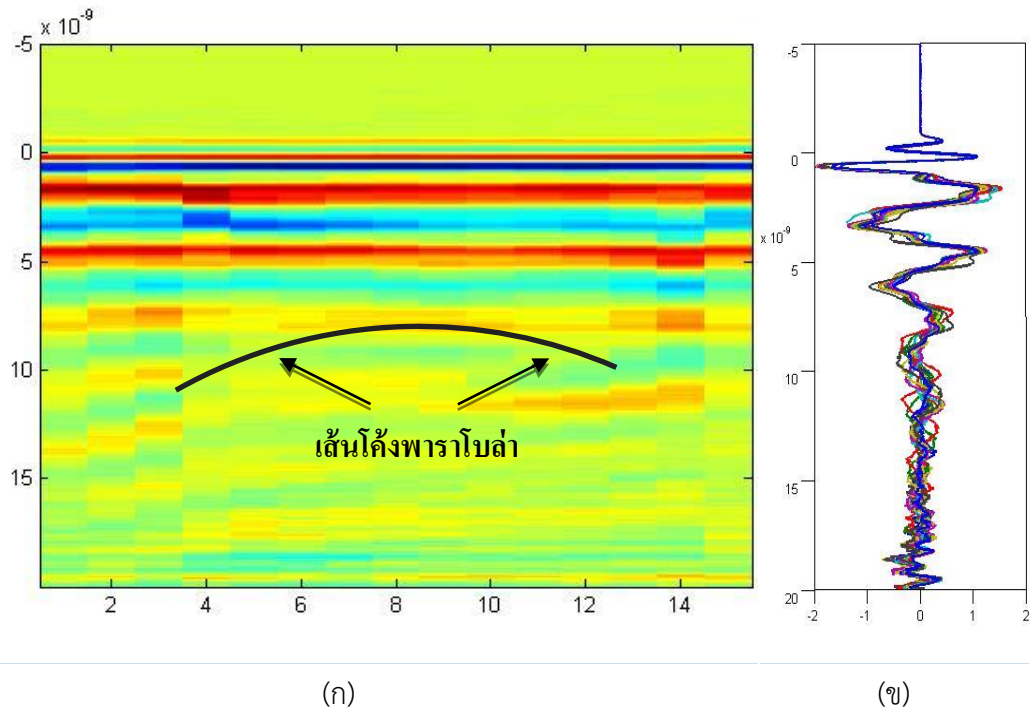
(ก)

(ข)

รูปที่ 109 ผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดิน (ก) ภาพ B-SCAN และ (ข) ภาพ A-SCAN

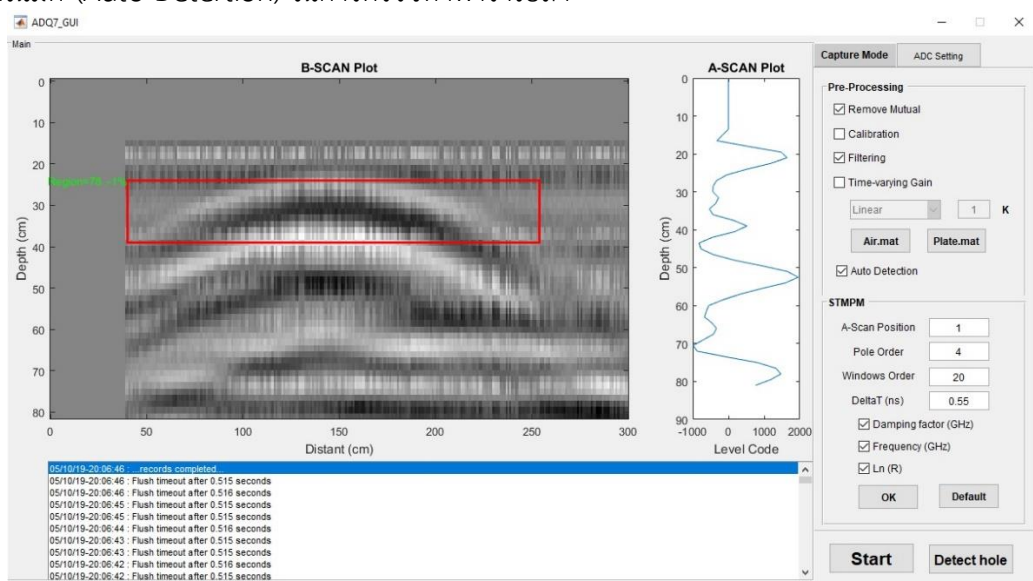
หลังจากดำเนินการประมวลผลทางสัญญาณแล้ว สัญญาณที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 110 จากรูปจะเห็นว่า สัญญาณมีการสะท้อนจากดินในแต่ละชั้นที่ระยะทางต่างกัน (สังเกตได้จากเส้นสีเหลือง) นอกจากนี้ ผลที่ได้ยังแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถที่จะตรวจจับวัตถุที่อยู่ใต้ดินได้ โดยจากรูปจะเห็นสัญญาณสะท้อนจากวัตถุเป็นเส้นโค้งพาราโบลา ซึ่งจุดยอดของเส้นโค้งเป็นตำแหน่งเดียวกับจุดกึ่งกลางของวัตถุ โดยเส้นโค้งพาราโบลานี้เกิดขึ้นจากสัญญาณที่สะท้อนจากวัตถุในตำแหน่งที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ณ ตำแหน่งที่อยู่ไกลจากวัตถุ คลื่นจะใช้เวลาเดินทางมากกว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้วัตถุ ทำให้เกิดสัญญาณสะท้อนช้ากว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้วัตถุ จึงทำให้เกิดเป็นเส้นโค้งขึ้น ดังนั้นจุดยอดของเส้นโค้งพาราโบลาจึงเทียบได้กับจุดที่มีวัตถุอยู่จริง จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบนี้ ทำให้ทราบถึงความจำเป็นของการประมวลผลสัญญาณ เพื่อให้ระบบเรดาร์สามารถตรวจจับวัตถุใต้ดินได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยคณะผู้วิจัยจะนำวิธีการประมวลผลสัญญาณนี้ไปประยุกต์ใช้กับการตรวจจับชั้นดินของระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 110 ผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดินหลังผ่านกระบวนการ
(ก) ภาพ B-scan และ (ข) ภาพ A-scan

ในรูปที่ 111 คือผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดินโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมา โดยได้เลือกใช้ฟังก์ชันเทคนิคการลบพื้นหลังเพื่อลดผลกระทบของสายอากาศ (Remove Mutual) และใช้เทคนิคการกรองความถี่เพื่อลดสัญญาณรบกวน (Filtering) และใช้ฟังก์ชันตรวจจับอัตโนมัติ (Auto Detection) ในการตรวจหาพาราโบลา



รูปที่ 111 ผลการทดสอบการหาสัญญาณสะท้อนจากวัตถุใต้ดินโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมา

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

จากผลการทดสอบระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินเบื้องต้น พบว่าระบบสามารถตรวจจับวัตถุที่อยู่ใต้ดินได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ดี เพื่อจะตรวจสอบความถูกต้องในการตรวจหาวัตถุ รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบ จำเป็นจะต้องมีการทดสอบระบบในสภาพพื้นที่จริง จากนั้นเปรียบเทียบผลของสัญญาณที่ได้ กับผลการวิเคราะห์ลักษณะชั้นถนนหรือดินในแต่ละพื้นที่

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเรดาร์ทะลุพื้นดินในพื้นที่ถนนลาดยาง

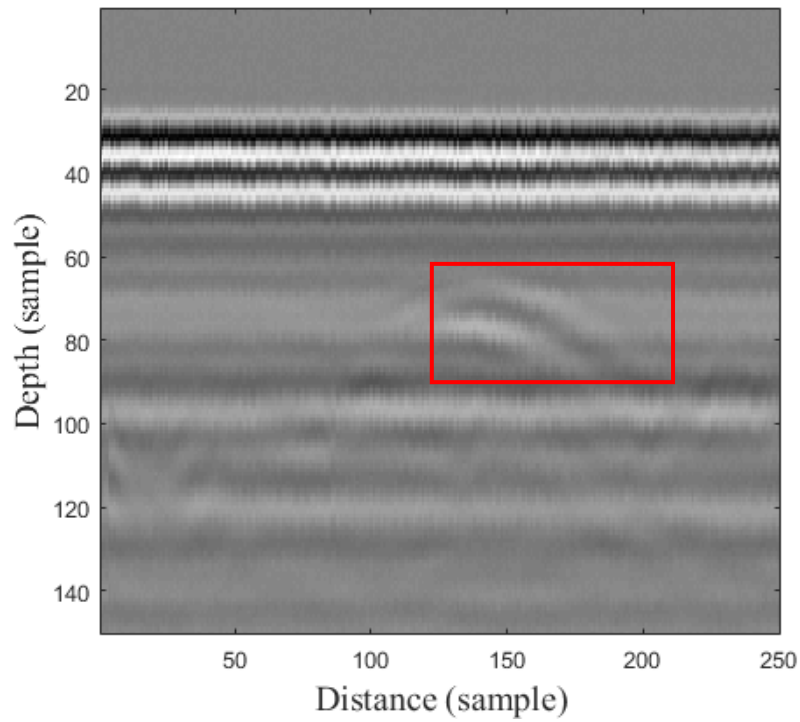
โดยในช่วงของการทดสอบกับถนนลาดยางนั้น คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบในพื้นที่โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาาระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถใช้งานได้จริง ในการทดสอบคณะผู้วิจัยได้เลือกทดสอบในพื้นที่ถนนลาดยางในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ในพื้นที่ของกองพันทหารราบที่ 3 กรมทหารราบที่ 9 ค่ายสุรสีห์ ลักษณะของพื้นถนนในจุดนี้ มีลักษณะเป็นถนนลาดยางเก่า ดินใต้พื้นถนนเป็นดินร่วนปนทรายแห้ง และมีเศษหินขนาดเล็กในชั้นดิน โดยในการทดสอบนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการขุดหลุมเป็นโพรงลึกจากผิวดินลงไปประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อฝังวัตถุโลหะไว้ใต้ดิน ดังแสดงรูปที่ 112 โดยวัตถุโลหะที่ใช้ในการทดสอบ คือถังแก๊สคริวเรื่อน (ถังแก๊ส 15 กก.) และมีชั้นตอนการทดสอบเหมือนหัวข้อที่ก่อนหน้า โดยติดตั้งสายอากาศรับและสายอากาศส่งห่างกัน 30 เซนติเมตร และสูงจากพื้นดิน 5 เซนติเมตร ดำเนินการเคลื่อนรถเข็นผ่านถนนที่วัตถุถูกฝังอยู่ใต้พื้นถนน ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ทำการส่งสัญญาณลงไปบนถนน และวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นถนนและวัตถุใต้พื้นถนน สัญญาณที่สะท้อนกลับจัดถูกเรียงในรูปแบบภาพแผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากโพรงอากาศและถังแก๊สใต้พื้นถนนที่ได้เป็นดังแสดงในรูปที่ 113 และ 114 ตามลำดับ จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศและถังแก๊สใต้พื้นถนนในรูปแบบพาราโบลาโค้งแสดงในกรอบสีแดง โดยสัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สสามารถมองเห็นได้ชัดเจนกว่าสัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสะท้อนกลับจากวัตถุที่เป็นโลหะได้ดีกว่าสะท้อนกลับจากตัวกลางที่เป็นโพรงอากาศ แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังคงประกอบไปด้วยสัญญาณที่สะท้อนจากชั้นถนน ผลกระทบของสายอากาศ และสัญญาณรบกวนจากรูปแวดล้อม จึงจำเป็นต้องทำการประมวลผลสัญญาณเบื้องต้น เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

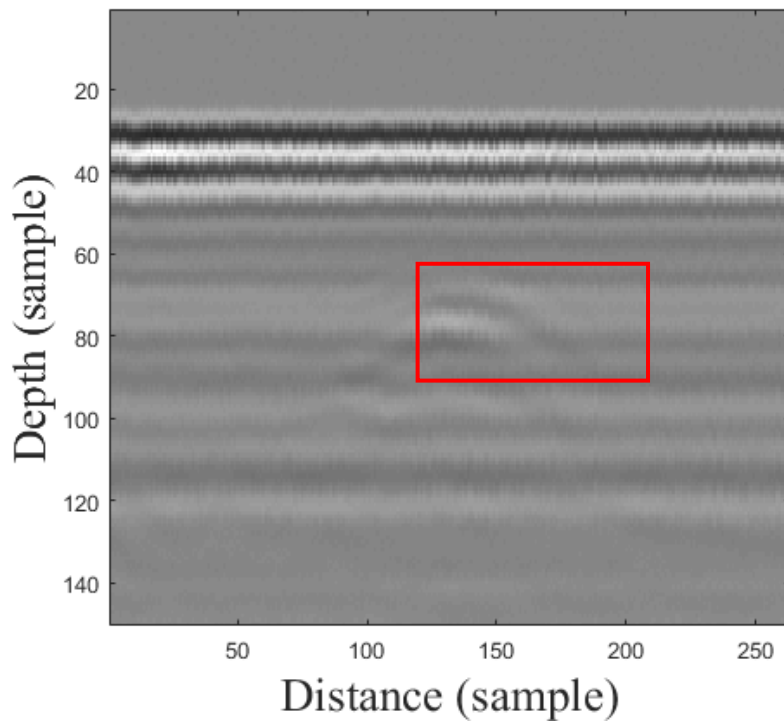


รูปที่ 112 ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินที่ติดตั้งกับรถเข็น

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 113 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-SCAN ของสัญญาณที่สะท้อนจากโครงอากาศใต้พื้นถนน

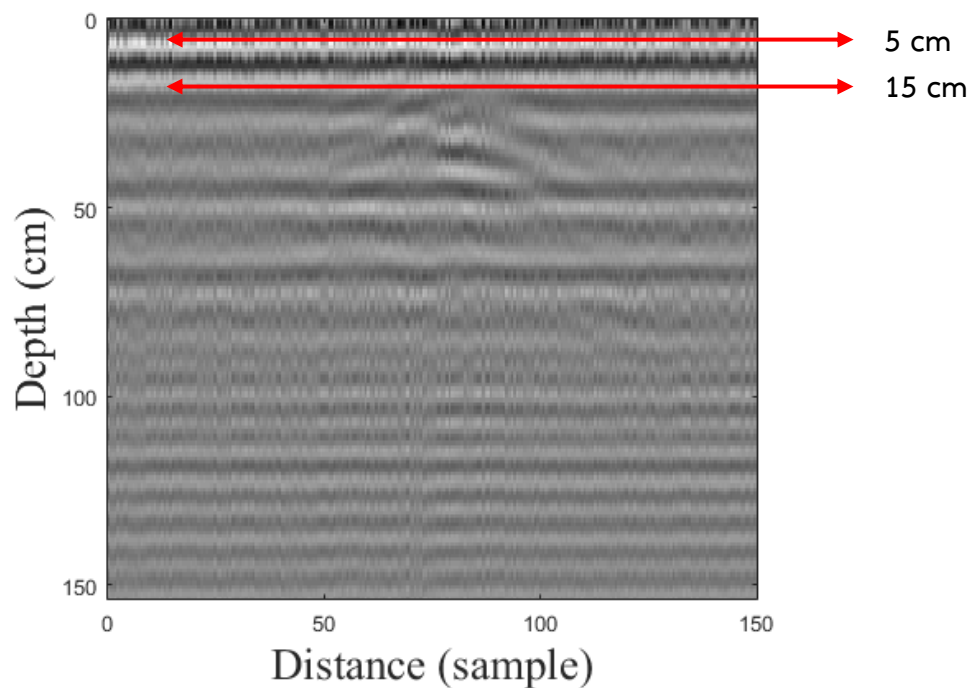


รูปที่ 114 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-SCAN ของสัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สใต้พื้นถนน

[สัญญาณเลขที่ BT2-16/1-61]

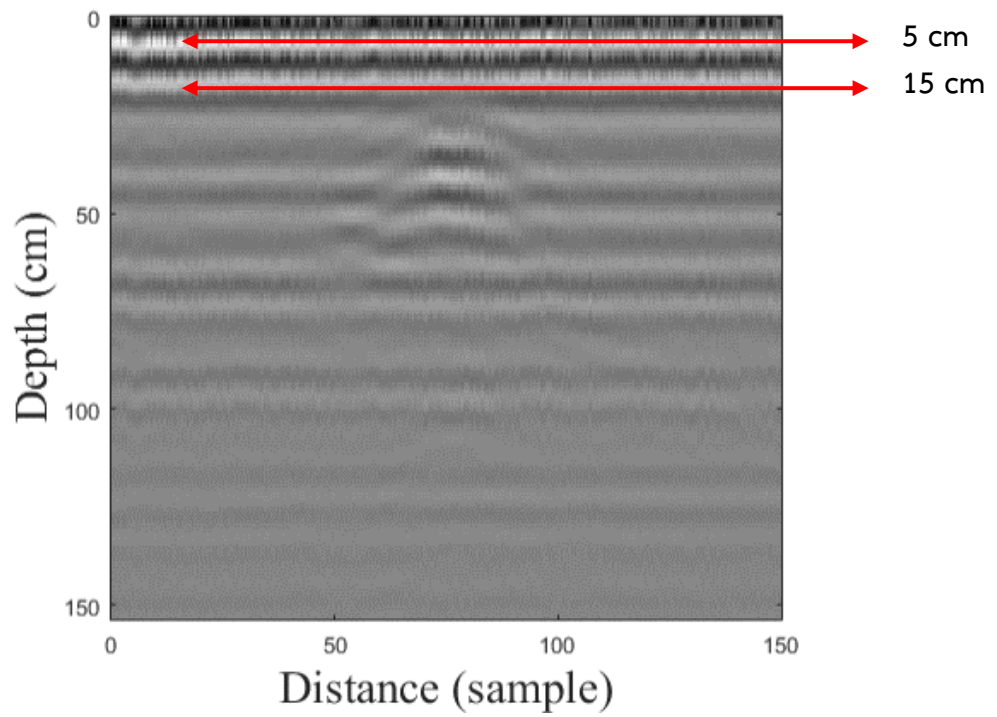
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

รูปที่ 115 และ 116 แสดงการเปรียบเทียบหน้าตัดของโพรงอากาศและถังแก๊สใต้พื้นถนนตามลำดับ จากการประมวลผลสัญญาณพบว่า สัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นถนนจะอยู่ที่ระยะประมาณ 5 cm และสัญญาณที่สะท้อนกลับจากโพรงอากาศและถังแก๊สอยู่ที่ระยะประมาณ 15 cm และเมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดของชั้นถนน โพรงอากาศและถังแก๊สอยู่ที่ระดับความลึก 15 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 117 แสดงให้เห็นว่า สามารถระบุตำแหน่งโพรงอากาศและถังแก๊สใต้พื้นถนนได้อย่างชัดเจน และสามารถจำแนกเบื้องต้นระหว่างโพรงอากาศและถังแก๊สโดยดูจากความเข้มของพาราโบลาในรูปแผนที่ได้ดินหรือสัญญาณ B-scan

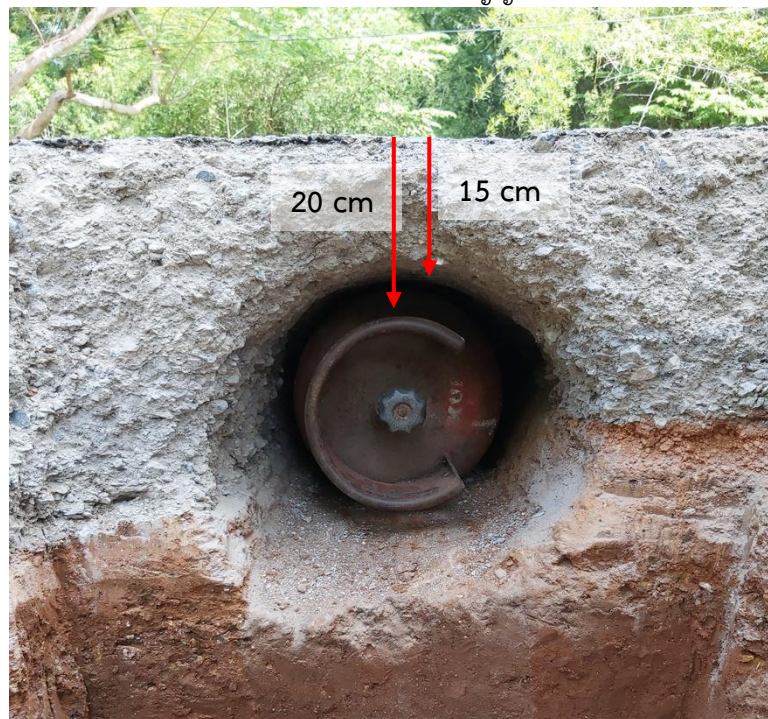


รูปที่ 115 แผนที่ได้ดินหรือสัญญาณ B-SCAN ของสัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศใต้พื้นถนน หลังการประมวลผลสัญญาณ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



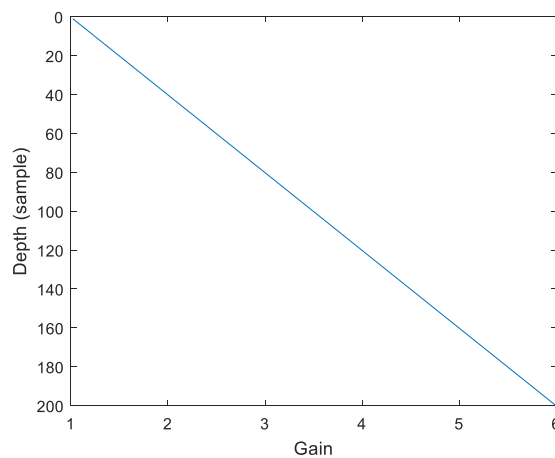
รูปที่ 116 แผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-SCAN ของสัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สใต้พื้นถนน หลังการประมวลผลสัญญาณ



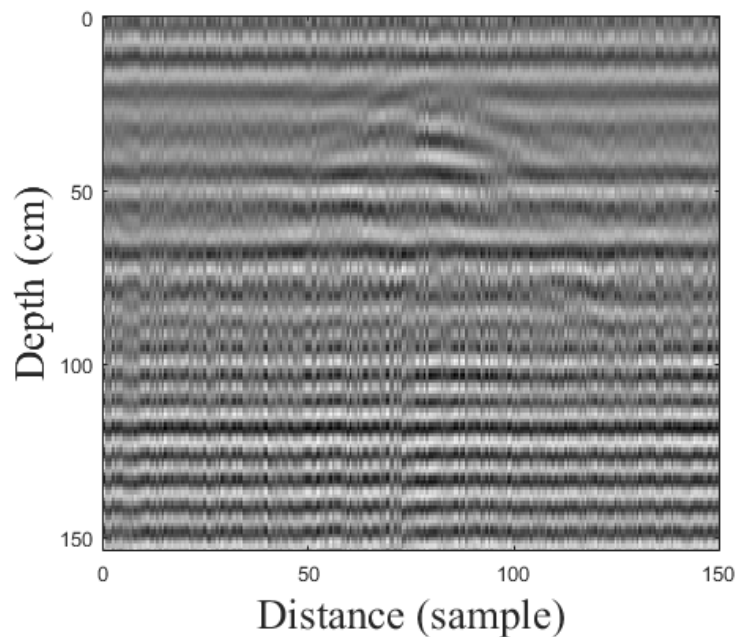
รูปที่ 117 หน้าตัดของชั้นถนน

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

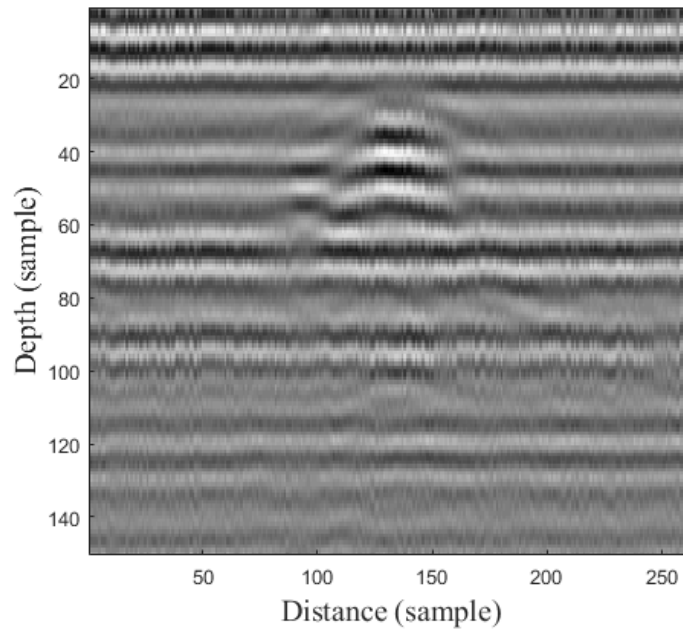
นอกจากนี้ เพื่อความชัดเจนในการพิจารณาสัญญาณที่สะท้อนจากชั้นดิน จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคขยายสัญญาณตามเวลา (Time-varying gain) แบบเชิงเส้น (Linear) โดยใช้ค่าอัตราขยายดังรูปที่ 118 (ก) ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป อัตราขยายจะเพิ่มขึ้น หรือเทียบอีกอย่างได้ว่ายิ่งสัญญาณสะท้อนมาจากความลึกที่มากขึ้น จะยิ่งใช้อัตราขยายที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้สามารถมองเห็นจุดยอดของสัญญาณที่สะท้อนจากใต้ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความลึกมาก ๆ ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ภาพแผนที่ใต้ดินหรือสัญญาณ B-scan ของสัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศและถังแก๊สหลังจากการขยายสัญญาณตามเวลาดังรูปที่ 118 (ข) และ (ค) จากผลที่ได้จะเห็นว่าสามารถมองเห็นพาราโบลาได้ชัดเจนมากขึ้น



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 118 (ก) ค่าอัตราขยาย (ข) สัญญาณที่สะท้อนจากโพรงอากาศใต้พื้นถนน (ค) สัญญาณที่สะท้อนจากถังแก๊สใต้พื้นถนน หลังการขยายสัญญาณตามเวลา

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล

4.1 ทดสอบการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ที่พัฒนา

ในการทดสอบและการวิเคราะห์ผล ทีมวิจัยเลือกใช้พื้นที่จำนวน 2 แห่งด้วยกันคือ สถานีรถไฟบางซื่อและสถานีรถไฟหาดใหญ่ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความถูกต้องของสัญญาณที่ได้จากการพัฒนาาระบบ

สถานีรถไฟบางซื่อ

สำหรับการทดสอบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ที่พัฒนานั้น แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ 1) วางวัตถุไว้กลางรางรถไฟ 2) วางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ โดยทั้ง 2 เงื่อนไขนี้จะฝังวัตถุ ลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ เพื่อฝังโลหะหรือถังดับเพลิง และติดตั้งสายอากาศสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 119



(ก)



(ข)

รูปที่ 119 ลักษณะการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข (ก) วางวัตถุไว้ในรางรถไฟ และ (ข) วางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ

เงื่อนไขที่ 1 การทดสอบการวางวัตถุไว้บริเวณกลางรางรถไฟ

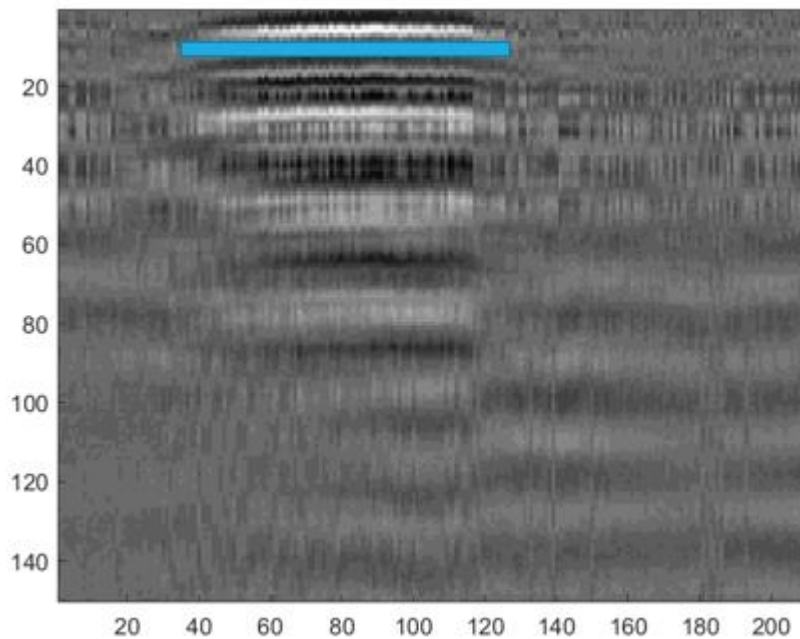
การกำหนดจุดอ้างอิงในการทดสอบจะใช้วิธีการวางแผ่นเหล็ก ดังรูปที่ 120 ดำเนินการเคลื่อนรถเข็นผ่านถนนที่วัตถุถูกฝังอยู่ใต้ทางรถไฟ ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ทำการส่งสัญญาณลงไปทางรถไฟและวัตถุสัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นทางรถไฟและวัตถุที่ฝังไว้ สัญญาณที่สะท้อนกลับจะถูกเรียงในรูปแบบภาพแผนที่พื้นผิวทางรถไฟหรือสัญญาณ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากทางรถไฟและแผ่นเหล็กที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 121 จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากแผ่นเหล็กที่มีไฮไลต์สีฟ้าได้อย่างชัดเจน และในรูปที่ 122 เป็นการทดสอบวางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง ภาพ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 123 จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวรางรถไฟ จะสังเกตได้ว่าสัญญาณที่สะท้อนจากแผ่นเหล็กสามารถมองเห็นได้ชัดเจน

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

กว่าสัญญาณที่สะท้อนจากรางรถไฟ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสะท้อนกลับจากวัตถุที่เป็นโลหะได้ดีกว่าสะท้อนกลับจากตัวกลางที่เป็นสภาพแวดล้อมปกติ



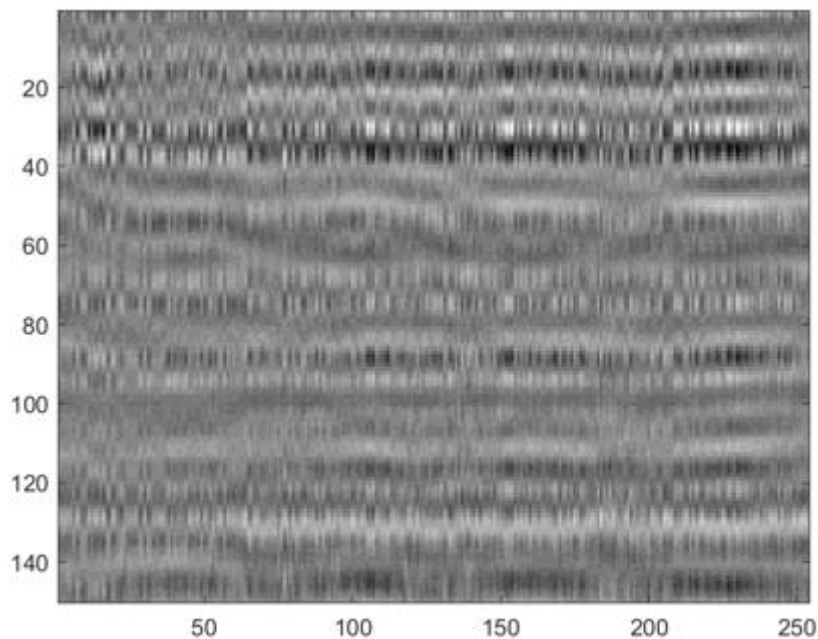
รูปที่ 120 การทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง



รูปที่ 121 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง



รูปที่ 122 การทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง



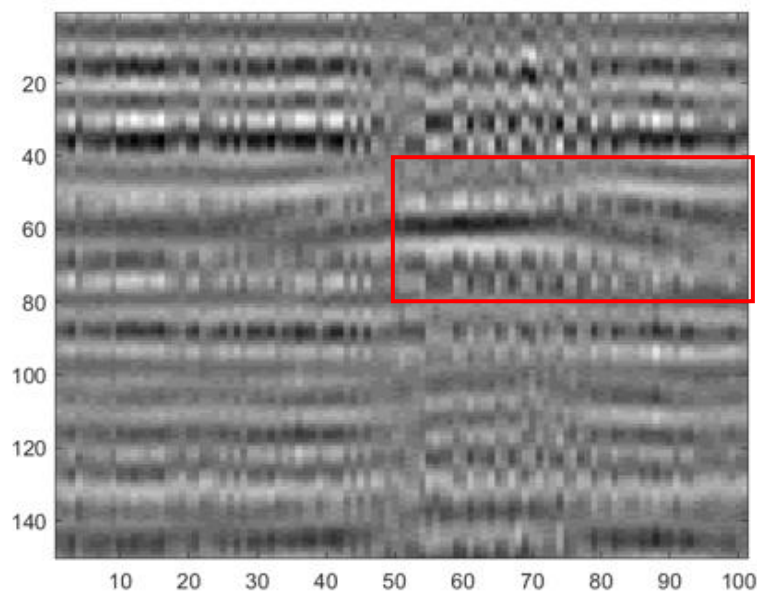
รูปที่ 123 ภาพ B – SCAN ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ

จากนั้นทีมวิจัยได้ชุดหลุมที่มีความลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในเบื้องต้น โดยขั้นตอนแรกจะทดสอบหลุมเปล่าที่ไม่มีถึงดับเพลิงก่อน ตามรูปที่ 124 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 125 จะเห็นได้ว่าที่ระยะทาง 60 เซนติเมตร ที่ความลึกประมาณ 60 เซนติเมตรจากสายอากาศ ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินสามารถตรวจพบได้ว่ามีหลุมอยู่ในบริเวณนี้ ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะภาพ B – scan ที่มีลักษณะเป็นพาราโบลาตามที่กรอบสีแดงล้อมไว้ในรูปภาพ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดถูระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 124 การทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ



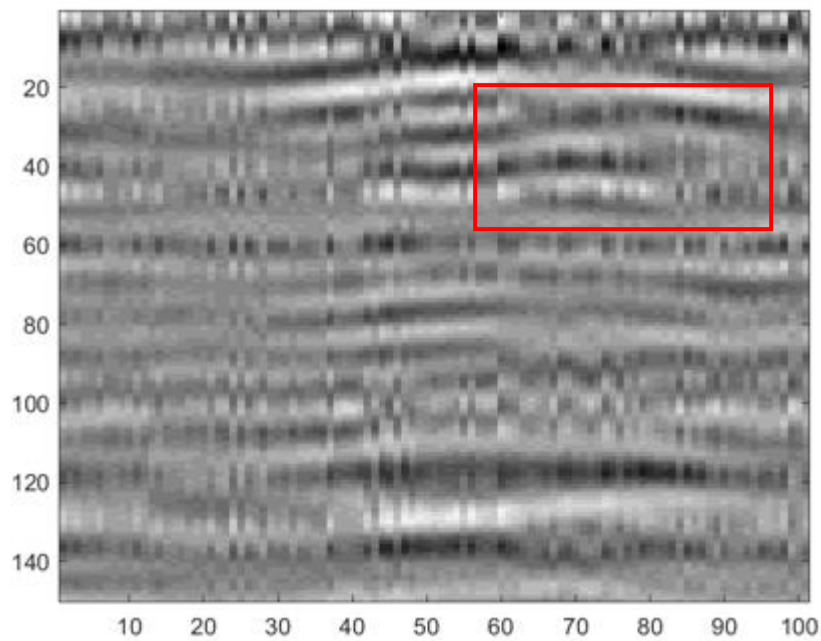
รูปที่ 125 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ

ขั้นตอนหลังจากทดสอบหลุมเปล่าเสร็จ ทีมวิจัยได้วางถังดับเพลิงลงไปหลุมที่ขุดไว้ ซึ่งการทดสอบนี้จะวางถังดับเพลิงตรงกลางรางรถไฟและยังไม่ฝังกลับถังดับเพลิงด้วยหิน ตามรูปที่ 126 ในรูปที่ 127 เป็นภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังถังดับเพลิง จากนั้นทีมวิจัยได้ฝังถังดับเพลิงด้วยหินรางรถไฟและวัดสัญญาณอีกครั้ง ผลการทดสอบเป็นภาพ B – scan ตามรูปที่ 128 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังและฝังถังดับเพลิง จะเห็นว่าภาพที่ได้จากหลุมที่ไม่ฝังถังดับเพลิงมีความชัดเจนของสัญญาณพาราโบลา มากกว่าการฝังถังดับเพลิง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลกระทบจากชั้นหินของรางรถไฟ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

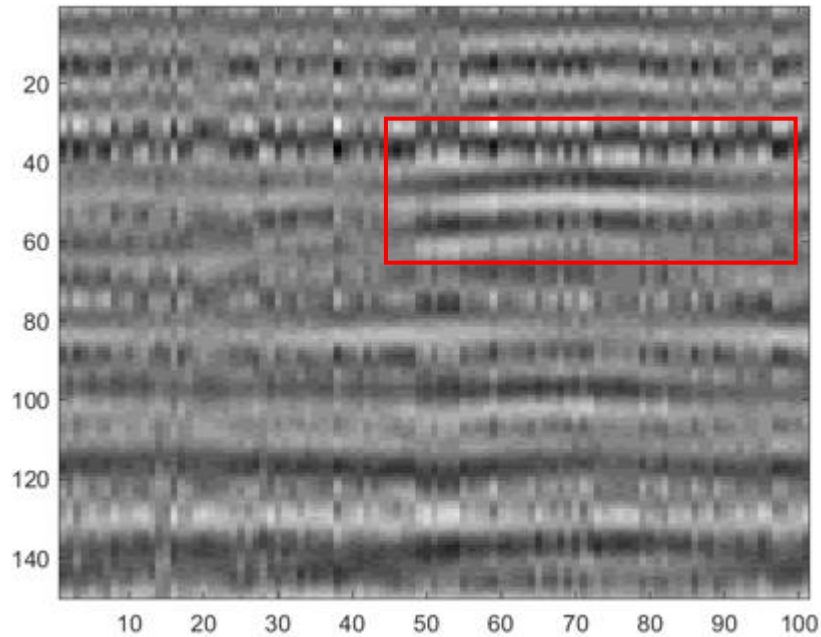


รูปที่ 126 การวางถังดับเพลิงไว้ในหลุม ในรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ



รูปที่ 127 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 128 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟที่มีการฝังกลบเรียบร้อยแล้ว

เงื่อนไขที่ 2 วางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ

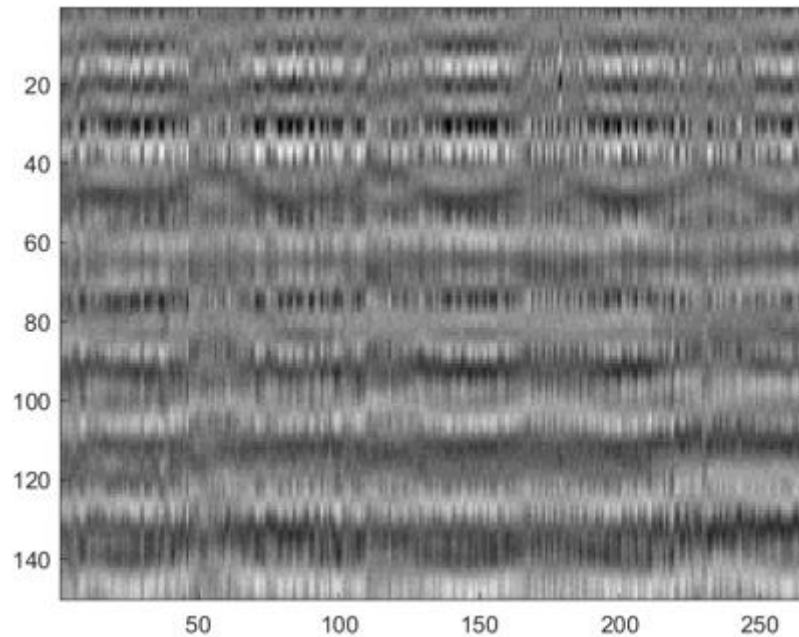
การทดสอบการวางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 129 เช่นเดียวกับการทดสอบในเงื่อนไขที่ 1 ก่อนทำการทดสอบตรวจจับวัตถุที่ถูกฝังอยู่ในหลุม จำเป็นต้องทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง



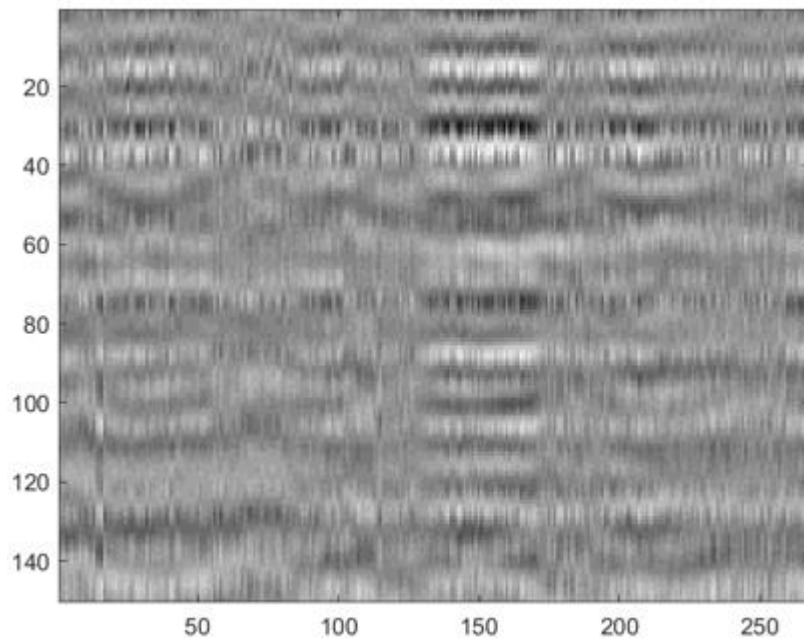
รูปที่ 129 การทดสอบการวางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดระยะเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

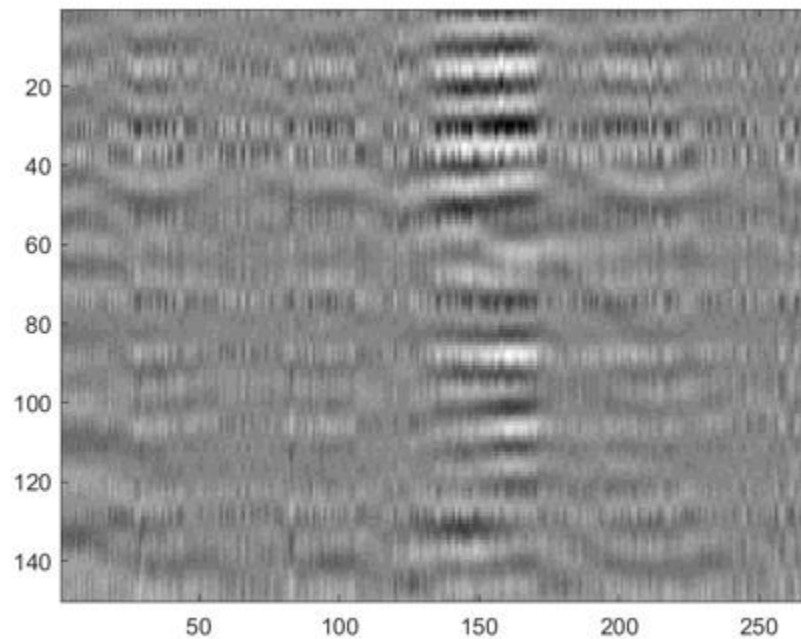
ภาพ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 130 จากนั้นที่มิวจึงได้ขุดหลุมที่มีความลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ โดยขั้นตอนแรกจะทดสอบหลุมเปล่าที่ไม่มีฝังระดับเพลิงก่อน ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 131 ขั้นตอนหลังจากทดสอบหลุมเปล่าเสร็จ ที่มิวจึงได้วางถังดับเพลิงลงไปในหลุมที่ขุดไว้ ซึ่งการทดสอบนี้จะวางถังดับเพลิงใต้เหล็กรางรถไฟและยื่นออกไปทางด้านนอกรางและยังไม่ฝังถังดับเพลิงด้วยหิน ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังถังดับเพลิง ตามรูปที่ 132 จากนั้นที่มิวจึงได้ฝังถังดับเพลิงด้วยหินรางรถไฟและวัดสัญญาณอีกครั้ง ผลการทดสอบเป็นภาพ B – scan ตามรูปที่ 133 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังและฝังถังดับเพลิง จะเห็นว่าภาพที่ได้จากหลุมที่ไม่ฝังถังดับเพลิงมีความชัดเจนของสัญญาณพาราโบลา มากกว่าการฝังถังดับเพลิง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลกระทบจากชั้นหินของรางรถไฟ โดยมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากเงื่อนไขที่ 1 ซึ่งจำเป็นต้องหาแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาต่อไป



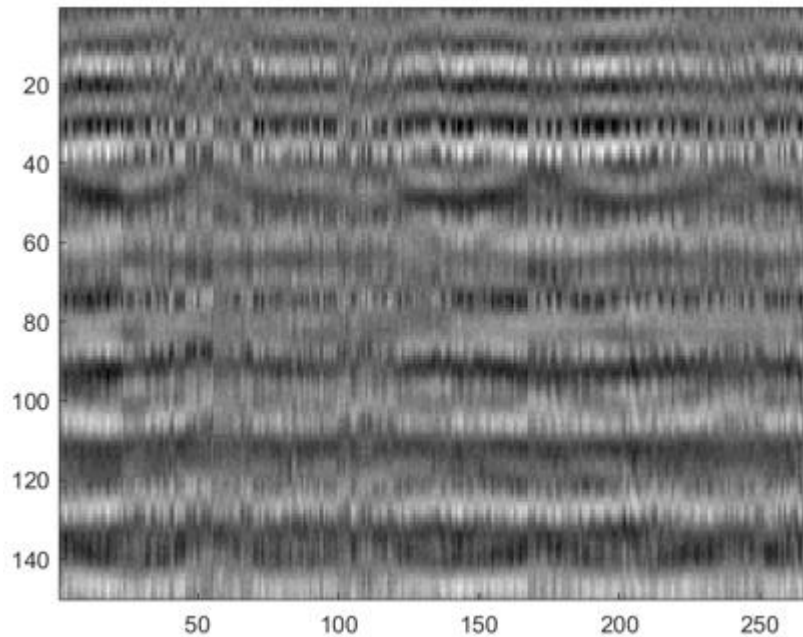
รูปที่ 130 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ



รูปที่ 131 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนข้างรางรถไฟ



รูปที่ 132 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมข้างรางรถไฟ



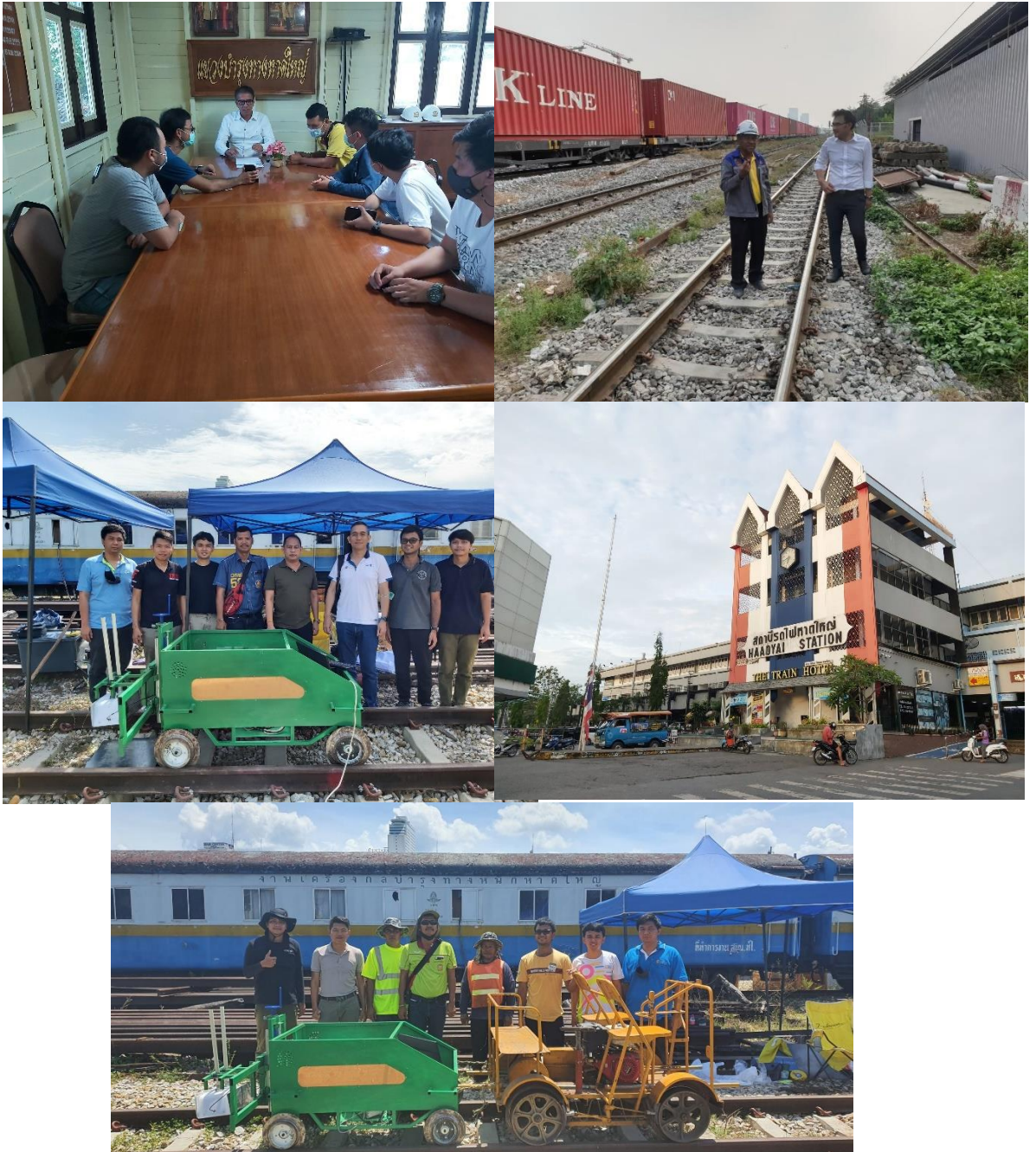
รูปที่ 133 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการฝังถังดับเพลิงไว้ในหลุมข้างรางรถไฟ

สถานีรถไฟหาดใหญ่

ในการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในพื้นที่สถานีรถไฟหาดใหญ่ซึ่งเป็นพื้นที่ทดสอบที่ 2 ต่อจากสถานีรถไฟบางซื่อ ซึ่งพื้นที่สถานีรถไฟหาดใหญ่นั้นมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสถานีรถไฟบางซื่อ แต่ยังคงมีความแตกต่างกันบ้างในเรื่องของชั้นดินและชนิดของชุดดินที่ทดสอบ ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความถูกต้องของสัญญาณที่ได้จากการพัฒนาาระบบที่มวิจัยจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบทั้ง 2 พื้นที่และเปรียบเทียบผลการทดสอบ

โดยรูปที่ 134 แสดงการลงพื้นที่สำรวจและทำการทดสอบ ณ สถานีรถไฟหาดใหญ่ ซึ่งทีมวิจัยได้รับความร่วมมือจากแขวงบำรุงทางหาดใหญ่ในการอำนวยความสะดวกในเรื่องการจัดตารางเดินรถไฟไม่ให้ผ่านพื้นที่ที่อยู่ระหว่างการปฏิบัติงาน การนำรถตรวจรางมาใช้ลากจูงรถต้นแบบของระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน และยังได้รับการสนับสนุนจากเจ้าหน้าที่ ที่คอยช่วยอธิบายข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยอีกด้วย

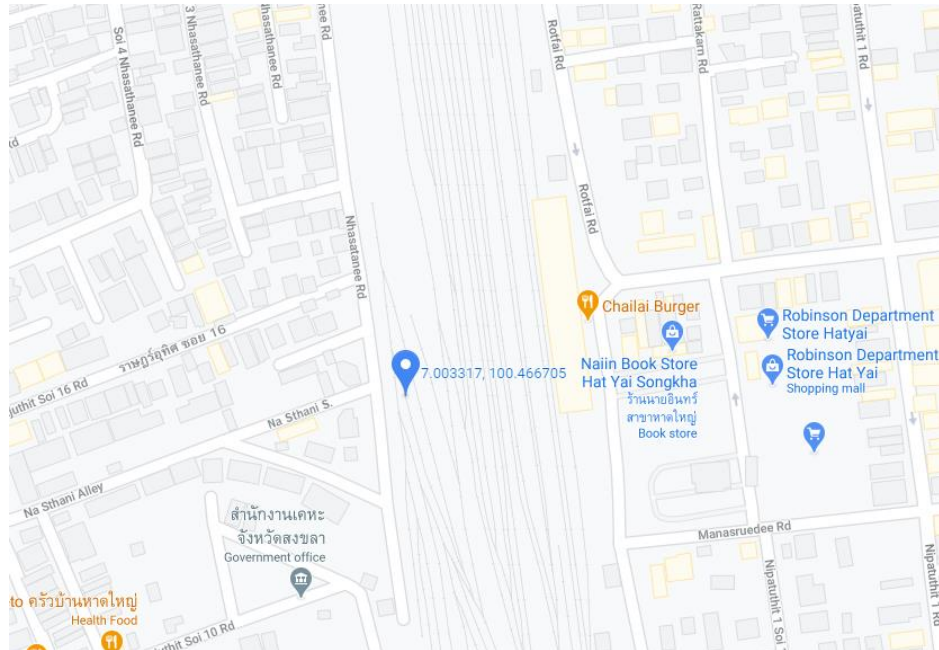
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 134 การเตรียมการและลงพื้นที่ทดสอบ สถานีรถไฟหาดใหญ่

สำหรับรูปที่ 135 แสดงตำแหน่งของจีพีเอสบนพื้นที่ในการทดสอบ ณ สถานีรถไฟหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา และรูปที่ 136 แสดงพื้นที่บริเวณรางรถไฟ ที่ทำการติดตั้งระบบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ โดยบริเวณพื้นที่รางรถไฟจะประกอบไปด้วย รางเหล็ก หมอนรถไฟ และชั้นหินโรยทางรถไฟอยู่บริเวณโดยรอบของรางรถไฟ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 135 ตำแหน่งจีพีเอสบนพื้นที่ใช้ในการทดสอบ อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย 3G/4G ของโทรศัพท์ได้



รูปที่ 136 รูปจากกล้อง WEBCAM ที่ติดตั้งในระบบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ พื้นที่ในการทดสอบสถานีรถไฟหาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา

สำหรับการทดสอบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ที่พัฒนานั้น แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ 1) วางวัตถุไว้กลางรางรถไฟ 2) วางวัตถุใต้เหล็กรางรถไฟและยื่นออกไปทางด้านนอกราง โดยทั้ง 2 เงื่อนไขนี้จะฝังวัตถุ ลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ เพื่อฝังโลหะหรือถัง

[สัญญาเลขที่ BT2-16/1-61]

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ดับเพลิง และติดตั้งสายอากาศสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 137



(ก)

(ข)

รูปที่ 137 ลักษณะการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข (ก) วางวัตถุไว้ในรางรถไฟ
(ข) วางถึงดับเพลิงไว้ใต้รางรถไฟ

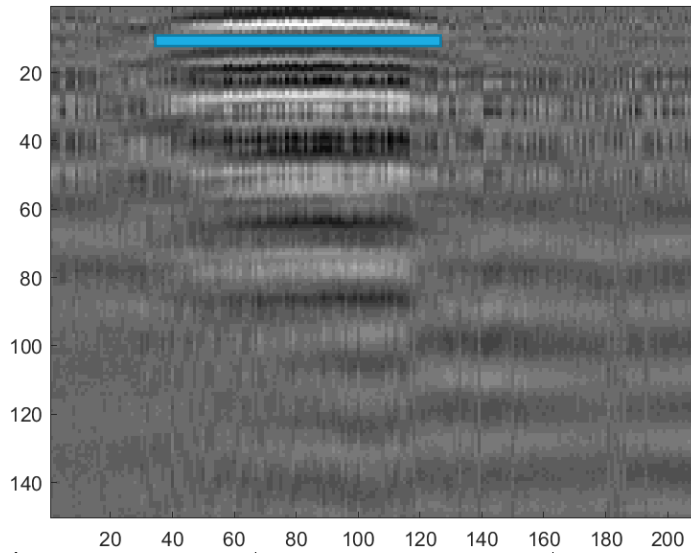
เงื่อนไขที่ 1 การทดสอบการวางวัตถุไว้กลางรางรถไฟ

การกำหนดจุดอ้างอิงในการทดสอบจะใช้วิธีการวางแผนเหล็ก ดังรูปที่ 138 โดยดำเนินการเคลื่อนรถเข็นผ่านรางรถไฟที่มีแผ่นเหล็กวางอยู่บนพื้นหินโรยทางทางรถไฟ ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินทำการส่งสัญญาณในแนวตั้งฉากกับรางรถไฟ ซึ่งสัญญาณจะแพร่กระจายลงไปยังรางรถไฟและวัตถุสัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นทางรถไฟและวัตถุที่ฝังไว้ สัญญาณที่สะท้อนกลับจะถูกเรียงในรูปแบบภาพแผนที่ได้ดินหรือสัญญาณ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากทางรถไฟและแผ่นเหล็กที่ได้ จะแสดงดังในรูปที่ 139 จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากแผ่นเหล็กที่มีไฮไลต์สีฟ้าได้อย่างชัดเจน และในรูปที่ 140 เป็นการทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง ภาพ B-scan ที่ได้จากการทดสอบจากรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 141 จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวรางรถไฟ จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณที่สะท้อนจากรางรถไฟจะมีลักษณะเป็นพาราโบลาที่มีขนาดเล็กเรียงต่อกัน โดยจะมีระยะห่างประมาณ 50 เซนติเมตร ตามระยะห่างของหมอนรถไฟ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับภาพ B-scan ของแผ่นเหล็ก จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าสัญญาณที่สะท้อนจากแผ่นเหล็กมีความชัดเจนกว่า เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสะท้อนกลับจากวัตถุที่เป็นโลหะได้ดีกว่าสะท้อนกลับจากตัวกลางที่เป็นสภาพแวดล้อมปกติ

การพัฒนาบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 138 การทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง

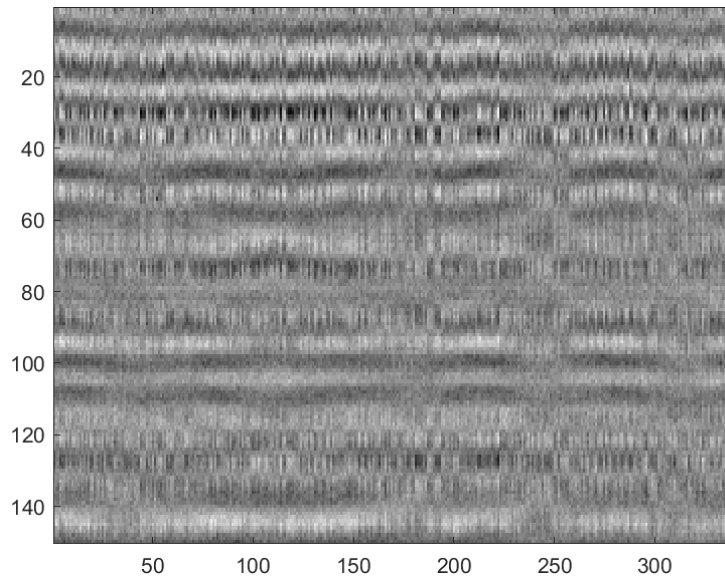


รูปที่ 139 ภาพ B - SCAN ที่ได้จากการทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง



รูปที่ 140 การทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัดระยะเบ็ดได้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



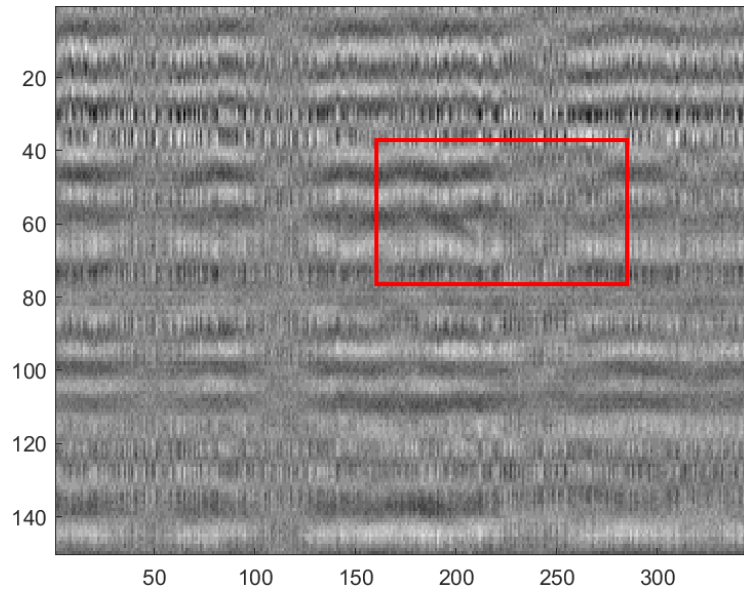
รูปที่ 141 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ

จากนั้นที่มิวิจัยได้จุดหลุมที่มีความลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของไม้หมอนรางรถไฟ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น โดยขั้นตอนแรกจะทำการทดสอบหลุมเปล่าที่ไม่มีถึงดับเพลิงก่อน ตามรูปที่ 142 ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมเปล่าระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟแสดงในรูปที่ 143 จะสังเกตเห็นได้ว่าระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินสามารถพบหลุมที่ขุดไว้ที่ระยะความลึกประมาณ 50 เซนติเมตร (กรอบสีแดง) จากสายอากาศ แต่ยังไม่มีความชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่เป็นโลหะ



รูปที่ 142 การทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ

การพัฒนากระบวนการตรวจวัดระยะเบ็ดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



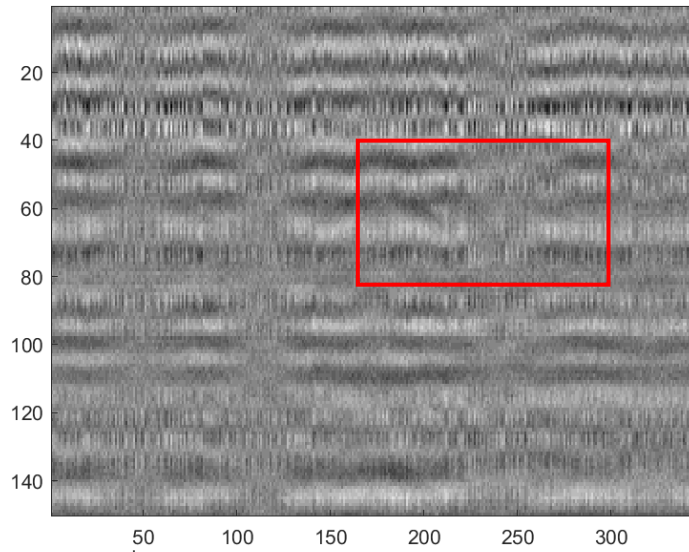
รูปที่ 143 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ

ขั้นตอนหลังจากทดสอบหลุมเปล่าเสร็จ ทีมวิจัยได้วางถังดับเพลิงลงไปหลุมที่ขุดไว้ ซึ่งการทดสอบนี้จะวางถังดับเพลิงตรงกลางของรางรถไฟและยังไม่ฝังถังดับเพลิงด้วยหินโรยทาง ตามรูปที่ 144 ในรูปที่ 145 เป็นภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังถังดับเพลิง จากนั้นทีมวิจัยได้ฝังถังดับเพลิงด้วยหินรางรถไฟและวัดสัญญาณอีกครั้ง ผลการทดสอบเป็นภาพ B – scan ตามรูปที่ 146 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังและฝังถังดับเพลิง จะเห็นว่าภาพที่ได้จากหลุมที่ไม่ฝังถังดับเพลิงมีความชัดเจนของสัญญาณพาราโบลามากกว่าการฝังถังดับเพลิง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลกระทบจากชั้นหินของรางรถไฟที่ส่งผลต่อสัญญาณเรดาร์

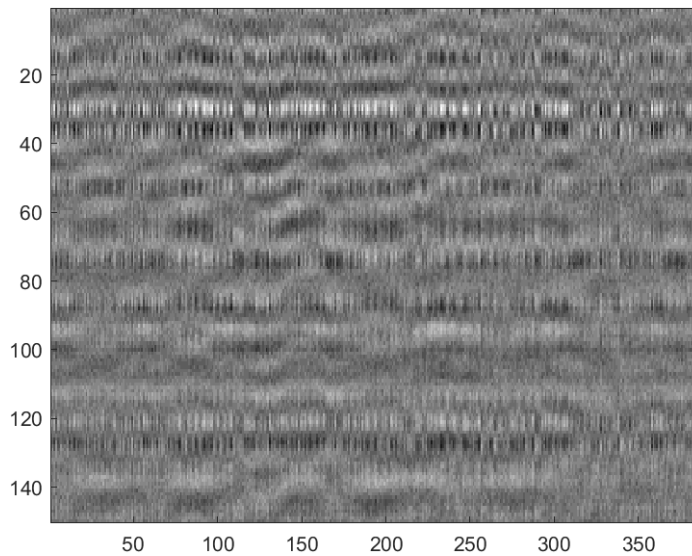


รูปที่ 144 การวางถังดับเพลิงไว้ในกลางหลุมรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ

การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 145 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในกลางหลุมรางรถไฟที่ยังไม่มีการฝังกลบ



รูปที่ 146 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้กลางหลุมในรางรถไฟที่มีการฝังกลบเรียบร้อยแล้ว

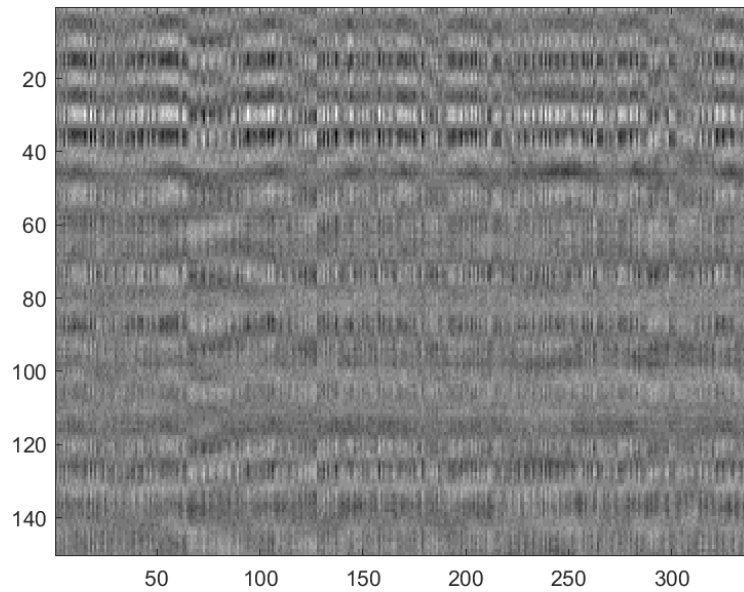
เงื่อนไขที่ 2 การทดสอบการวางวัตถุใต้รางรถไฟ

การทดสอบการวางวัตถุใต้รางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 147 เช่นเดียวกับการทดสอบในเงื่อนไขที่ 1 ก่อนทำการทดสอบตรวจจับวัตถุที่ถูกฝังอยู่ในใต้ดิน จำเป็นต้องทดสอบรางรถไฟก่อนเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

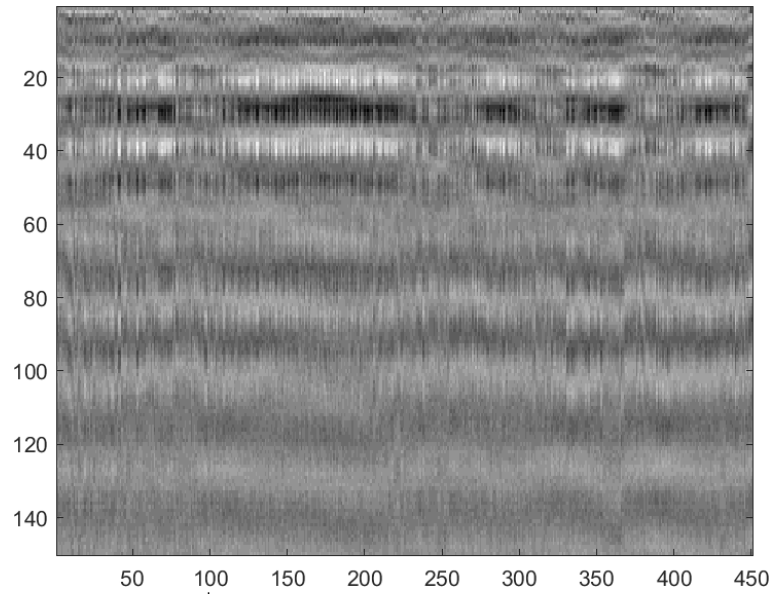


รูปที่ 147 การทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ใต้รางรถไฟ

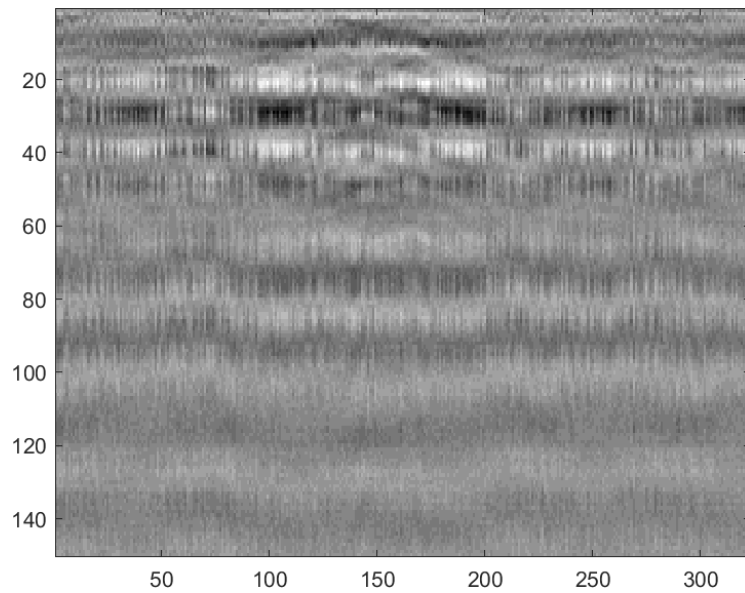


รูปที่ 148 ภาพ B - SCAN ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ

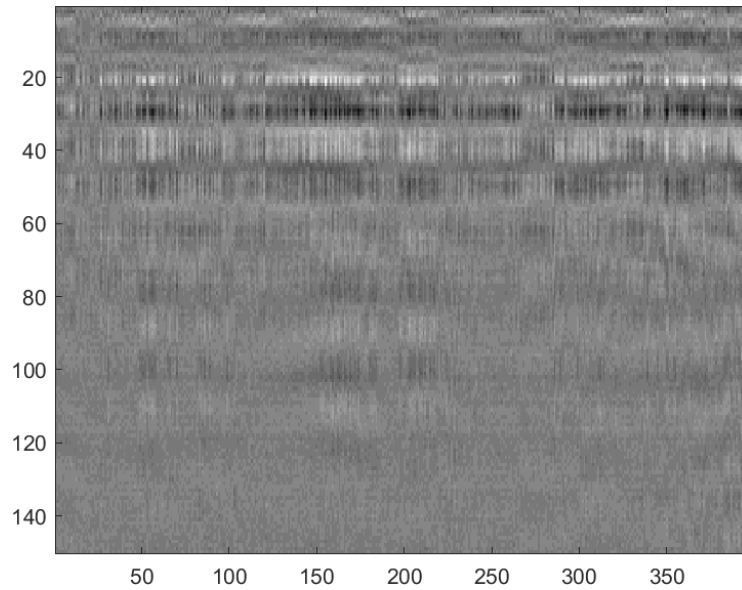
การพัฒนาาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้



รูปที่ 149 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบหลุมเปล่าระหว่างไม้หมอนด้านข้างรางรถไฟ



รูปที่ 150 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมใต้รางรถไฟ



รูปที่ 151 ภาพ B – SCAN ที่ได้จากการทดสอบการฝังถังดับเพลิงไว้ในหลุมใต้รางรถไฟ

ภาพ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 148 จากนั้นที่มิวิจัยได้ขุดหลุมที่มีความลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของไม้หมอนรางรถไฟ โดยขั้นตอนแรกจะทดสอบหลุมเปล่าที่ไม่มีถังดับเพลิงก่อน ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 149 ขั้นตอนหลังจากทดสอบหลุมเปล่าเสร็จ ที่มิวิจัยได้วางถังดับเพลิงลงไปหลุมที่ขุดไว้ ซึ่งการทดสอบนี้จะวางถังดับเพลิงใต้รางรถไฟและยังไม่มีถังดับเพลิงด้วยหินโรยทางรถไฟ ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังถังดับเพลิง ตามรูปที่ 150 จากนั้นที่มิวิจัยได้ฝังถังดับเพลิงด้วยหินโรยรางรถไฟและวัดสัญญาณอีกครั้ง ผลการทดสอบเป็นภาพ B – scan ตามรูปที่ 151 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังและฝังถังดับเพลิง จะเห็นว่าภาพที่ได้จากหลุมที่ไม่ฝังถังดับเพลิงมีความชัดเจนของสัญญาณพาราโบลา มากกว่าการฝังถังดับเพลิง ทั้งนี้เนื่องมาจากผลกระทบจากชั้นหินของรางรถไฟ โดยมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากเงื่อนไขที่ 1 ซึ่งจำเป็นต้องหาแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งมีการปรับปรุงและพัฒนาจากระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้พื้นถนน มีการปรับระบบโครงสร้างของตัวรถเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้บนรางรถไฟ มีการปรับทิศทางการติดตั้งสายอากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการตรวจหาสัญญาณที่สูงขึ้น มีการสำรวจรูปแบบการวางระเบิดบนทางรถไฟ โดยได้สำรวจข้อมูลจากที่เกิดเหตุการณ์และลักษณะของวัตถุระเบิด ในการทดสอบและการวิเคราะห์ผลจะฝังวัตถุลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟเพื่อฝังโลหะหรือถังดับเพลิง และติดตั้งสายอากาศสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร ในการทดสอบดำเนินการเคลื่อนรถขึ้นผ่านถนนที่วัตถุถูกฝังอยู่ ใต้ทางรถไฟด้วยความเร็ว 10 km/h ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ทำการส่งสัญญาณลงไปใต้ทางรถไฟ และวัตถุสัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นทางรถไฟและวัตถุที่ฝังไว้ สัญญาณที่สะท้อนกลับจัดถูกเรียงในรูปแบบภาพแผนที่พื้นผิวทางรถไฟหรือสัญญาณ B-scan จะเห็นว่าสัญญาณที่สะท้อนแสดงผลเป็นความเข้มในรูปแบบพาราโบลาเนื่องจากมีวัตถุถูกฝังอยู่ใต้รางรถไฟ นอกเหนือจากนี้ระบบยังสามารถส่งภาพถ่ายและระบุพิกัด GPS ผ่านเครือข่าย 3G/4G บนแอปพลิเคชันมือถือได้อีกด้วย

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

ความเร็วของรถต้นแบบ

ความเร็วที่เก็บข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะในการเก็บข้อมูลระหว่างจุดกับความถี่ในการส่งสัญญาณด้วย ซึ่งจากการสร้างรถต้นแบบระบบเรดาร์และได้นำไปทดสอบวิ่งบนรางทำให้พบข้อจำกัดที่สำคัญคือ ขนาดของล้อรถไฟที่ทำการขึ้นไม่สามารถยึดเกาะรางรถไฟในบริเวณจุดเชื่อมต่อของรางรถไฟกับทางโค้งได้ จึงทำให้รถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟสามารถวิ่งได้ประมาณ 10 km/h อย่างไรก็ตามในอนาคต โดยคณะนักวิจัยจะศึกษาข้อจำกัดของความเร็วของการใช้งานจริงด้วย

ขนาดวัตถุเล็กที่สุดในการตรวจจับได้

ขนาดของวัตถุที่เล็กที่สุดที่สามารถตรวจจับได้จะขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น ย่านความถี่ที่ใช้ งาน ระยะความละเอียดของการส่งพัลส์ เป็นต้น โดยถ้าย่านความถี่กว้างและระยะความละเอียดของการส่งพัลส์สั้น (สามารถปรับได้ละเอียดสูงสุดถึง 1.2 mm) จะสามารถตรวจจับวัตถุได้เล็กกว่าย่านความถี่แคบและในการส่งระยะความละเอียดของการส่งพัลส์กว้าง

รูปร่างการสะท้อนของคลื่นหากมีวัตถุทรงอื่น

รูปร่างการสะท้อนของคลื่นกับวัตถุทรงอื่นจะแตกต่างกันเช่น กล่องสี่เหลี่ยม จะได้สัญญาณสะท้อนที่เป็นเส้นตรง หรือวัตถุทรงสามเหลี่ยมจะได้รูปร่างการสะท้อนที่เป็นพาราโบลาแต่บริเวณจุดยอดของโบริาโบลาคจะเป็นเส้นตรง เป็นต้น โดยคณะนักวิจัยได้ตีพิมพ์บทความที่แสดงผลของการสะท้อนจาก

วัตถุต่างชนิดกันตามรายเอียด P Chomdee, A. Boonpoonga, and A. Prayote, “Fast and Efficient Detection of Buried Object for GPR Image,” Proc. In The 20 th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2014), Pattaya, Oct. 2014.

ความลึกที่สามารถตรวจจับได้มากที่สุด

ความลึกที่สามารถตรวจจับได้ขึ้นอยู่กับหลายพารามิเตอร์ เช่น ชนิดของดิน ความชื้นในดิน รวมถึงกำลังงานที่ส่งของพัลส์ ความถี่ที่ใช้งาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามในโครงการวิจัยมุ่งนั้นจะให้ GPR ตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟ โดยลักษณะการขุดฝังระเบิดไม่ลึกมากนัก ระบบ GPR ที่ออกแบบไปนั้นเพียงพอที่จะสามารถตรวจจับได้ อย่างไรก็ตามก็ต้องทำการทดสอบเพื่อให้เห็นผลชัดเจน ตามแผนการดำเนินงานวิจัย จะทดสอบและแสดงผลทดสอบในรายงานความก้าวหน้าครั้งถัดไป โดยคณะนักวิจัยมีแผนจะดำเนินการทดสอบการฝังวัตถุในหลายๆลักษณะด้วย

ไม้หมอน กรวดหินขนาดใหญ่ ที่ปักติดอยู่ใต้รางรถไฟมีผลหรือไม่อย่างไร

ไม้หมอน กรวดหินขนาดใหญ่ ที่ปักติดอยู่ใต้รางรถไฟ มีผลต่อสัญญาณที่สะท้อนกลับไปยังระบบ GPR ซึ่งรูปแบบของภาพที่ได้จากวัตถุต่างๆมีความแตกต่างกันไปตามแต่ละลักษณะของวัตถุ กรณีที่เป็นกรวดหินถ้ามีขนาดเล็กกว่าวัตถุมาก (ระยะความละเอียดของการส่งพัลส์กว้างขึ้น) จะมีผลต่อสัญญาณน้อยมาก สามารถใช้วงจรกรองความถี่ตัดผลกระทบดังกล่าวออกได้ ผลกระทบที่เกิดจากไม้หมอนขนาดใหญ่จะทำให้เกิดภาพที่ได้จากไม้หมอนมีลักษณะแตกต่างกันจากภาพที่ได้จากวัตถุ รวมถึงภาพนี้ จะเกิดก่อนชั้นดิน (หรือชั้นหิน) ดังนั้นสามารถใช้การประมวลผลสัญญาณหรือหลีกเลี่ยงการตรวจจับวัตถุที่อยู่บนพื้นดินได้ (สนใจเฉพาะวัตถุที่อยู่ใต้ดิน กล่าวคือวัตถุอยู่ที่ระดับความลึกต่างกันสัญญาณที่สะท้อนก็จะสะท้อนในเวลาต่างกัน) นอกจากนี้สามารถเปรียบเทียบได้กับการตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินได้ที่ก็มีก๊อนหินหรือวัตถุชนิดอื่นปะปนด้วย แต่ระบบก็สามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างถูกต้อง

บรรณานุกรม

- [1] H. M. Jol, Ground Penetration Radar Theory and Application, Elsevier Science Radarweg 29 , PO Box 211 , 1000 AE Amsterdam, The Netherlands The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK, First edition 2009.
- [2] Nattawat Chantasen, Akkarat Boonpoonga, Santana Burintramart, Krit Athikulwongse, and Prayoot Akkaraekthalin, “ Automatic Detection and Classification of Buried Objects using Ground Penetrating Radar for Counter-Improvised Explosive Devices,” (Radio Science), vol. 53, issue 2, Feb 2018, pp. 210-227.
- [3] Lakkhana Bannawat, Akkarat Boonpoonga, Santana Burintramart, and Prayoot Akkaraekthalin, “On Resolution Improvement using Filtering Antenna Effects for Target Identification,” International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2018, Article ID 3405908, 12 pages, 2018.
- [4] Akkarat Boonpoonga, Pongsathorn Chomdee, Santana Burintramart, Prayoot Akkaraekthalin, “ Simple Estimation of Late-Time Response for Radar Target Identification,” Radio Science, vol. 52, issue 6, June 2017, pp. 743-756.
- [5] Akkarat Boonpoonga, “Ground Penetrating Radar (GPR) for Counter Improvised-Explosive Devices in Thailand” Proc. in IEEE CAMA 2015, Chiang Mai.
- [6] P. Chomdee and A. Boonpoonga, “Ground Penetrating Radar (GPR): Theory and Simulations,” ECTI E-Magazine.
- [7] P Chomdee, A. Boonpoonga, and A. Prayote, “Fast and Efficient Detection of Buried Object for GPR Image,” Proc. In The 20th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2014) , Pattaya, Oct. 2014
- [8] Santana Burintramart and Akkarat Boonpoonga, “ Underground radar target classification based on Matrix Pencil Method,” The 4th Asian Conference on Defense Technology (4th ACDT)
- [9] W. Al-Nuaimy, Y. Huang, M. Nakhkash, M. T. C. Fang, V. T. Nguyen, and A. Eriksen, “Automatic detection of buried utilities and solid objects with GPR using neural networks and pattern recognition,” Journal of Applied Geophysics, vol. 43, pp 157-165, 2000
- [10] Y. Liu, M. Wang, and Q. Cai, “The Target Detection for GPR Images Based on Curve Fitting,” International Congress on image and Signal Processing, pp.2876–2879, 2010

- [11] N. P. Singh and M. J. Nene, "Buried Object Detection and Analysis of GPR Image: Using Neural Network and Curve Fitting," International Conference on Microelectronics, Communication and Renewable Energy, pp.1-6, 2013
- [12] Characteristics and Properties of Established Soil Series in the Peninsular and Southeast Coast Regions of Thailand, Department of Lands, Bangkok, Thailand, September 2005
- [13] S. Dentre, C. Phongcharoenpanich, and K. Kaemarungsi, "Scutcheon Antenna for UWB-GPR Applications," Proceedings of the 2012 Thailand-Japan Microwave, Bangkok, 4 pages, Aug. 2012.
- [14] S.Uysal, M. Leong, and C. Ng, "Bowtie patch antennas and simple arrays for wireless indoor communications," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 1999, 47, (6), pp. 738-745.
- [15] A. Yarovoy, "Adaptive bow-tie antenna for ground penetrating radar," Tenth Int. Conf. Ground Penetrating Radar, June 2004, pp. 121-124.
- [16] S.W.Qu, J.L. Li, and Q. Xue, "Bowtie dipole antenna with wide beamwidth for base station application," IEEE antennas Wirel. Propag. Lett., 2007, 6, pp. 293-295.
- [17] Y.K. Kwag, A. Hassanein, and D. Edwards, "A high-directive bow-tie radar antenna with a pyramidal reflector for ultra wideband radar imaging applications," Microw. Opt. Technol Lett., 2009, 51, (2), pp. 387-390.
- [18] S. Zhou, G. Huang, and T. Chio, "A low profile, wideband cavity-backed bowtie antenna," Microw. Opt. Technol Lett., 2013, 55, (6), pp. 1422-1426.
- [19] S. Mukherjee, A. Biswas, and K.V. Srivastava, "Broadband substrate integrated waveguide cavity-backed bow-tie slot antenna," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 2014, 13, pp. 1152-1155
- [20] พงศธร ชมดี. 2558. การตรวจหาวัตถุฝังดินแบบรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสำหรับภาพเรดาร์ทะลุพื้นดิน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [21] เอกรัฐ บุญภูงา. 2561. โครงการการพัฒนาาระบบเรดาร์เพื่อการจัดทำแผนที่ใต้ดินสำหรับการเกษตร (ทุนวิจัยสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)). ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [22] S. Dentre, C. Phongcharoenpanich, and K. Kaemarungsi. 2012. Scutcheon antenna for UWB-GPR applications. Thailand-Japan Microwave.
- [23] P. Chomdee and A. Boonpoonga, "Ground Penetrating Radar (GPR): Theory and Simulations," ECTI E-Magazine, vol. 8, No. 4, Oct-Dec 2014.

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

ภาคผนวก ก
[ชื่อภาคผนวก]

[เลขที่สัญญารับทุน]

แบบ กทปส. ME-003

การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้

(เนื้อหาภาคผนวก ก)

[เลขที่สัญญารับทุน]

[หน้า]

แบบ กทปส. ME-003



กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

รายงานผลการดำเนินงานฉบับย่อ
สำหรับตีพิมพ์ในวารสาร สำนักงาน กสทช.



การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้
Development of South Railway Explosive Detection Radar System for Security
in The Southern Border Provinces

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถใช้งานได้กับการป้องปรามการวางระเบิด แสงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ไปตามแนวของชายแดนภาคใต้ของไทยโดยเฉพาะ ซึ่งออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ทั้ง สายอากาศ อุปกรณ์กำหนดคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า และอุปกรณ์ปรับกำลังงานของคลื่น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ภูมิประเทศและพื้นดินของภาคใต้ มีการทดสอบระบบเพื่อยืนยันว่าคลื่นที่ใช้สามารถทะลุผ่านผิวทางรถไฟไปยังวัตถุหรือโพรงใต้พื้นดินได้ และออกแบบส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อการตีความข้อมูลที่ได้แบบอัตโนมัติ ระบบเรดาร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจวัตถุใต้พื้นดินได้อัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตีความ ทำการทดสอบด้วยการฝังวัตถุลึก 20 เซนติเมตร และติดตั้งสายอากาศสูงจากระดับทางรถไฟ 30 เซนติเมตร พบว่าสามารถตรวจจวัตถุและแสดงเป็นสัญญาณพาราโบลาได้ชัดเจน นอกเหนือจากนี้ระบบยังสามารถส่งภาพถ่ายและระบุพิกัด GPS ผ่านเครือข่าย 3G/4G ได้อีกด้วย

Abstract

This research proposes to design a ground penetrating radar. The designed system can be used for explosive detection following a railway along the border of southern Thailand. The hardware design includes an antenna, electromagnetic frequency determination and wave power devices, in order to provide the suitable system for terrain and soli of the South. The system is tested to confirm that the wave can penetrate the rail surface to the subfloor object or cavity. The signal processing is designed for automatic interpretation of the data. The developed radar system can automatically detect objects below the ground which does not require expert analysis. For the test condition, the object was buried 20 cm deep and an antenna was installed 30 cm above the rail level. The test results were found to be able to detect the object and show it clearly as a parabolic signal. In addition, the system can also send photos and GPS coordinates via 3 G / 4 G communication networks.

คำสำคัญ (Keywords) เรดาร์ทะลุพื้นดิน; ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟ; เครือข่าย 3G/4G; ความมั่นคง; ชายแดนภาคใต้

1. บทนำ

เรดาร์ทะลุพื้นดินหรือเรดาร์จีพีอาร์ (Ground Penetrating Radar หรือ GPR) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานสำรวจด้านวิศวกรรมโยธา งานสำรวจเกี่ยวกับธรณีเทคนิค [1, 2] หรือแม้กระทั่งด้านความมั่นคงสำหรับการตรวจหาระเบิดใต้พื้นดินที่เกิดจากการลอบวางระเบิดใต้รางรถไฟในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ ที่ส่งผลกระทบต่อปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และในหลายๆ ครั้ง ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของคนไทยด้วยกัน เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ทางทีมนักวิจัยจึงมีความเห็นว่าการประยุกต์ใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับงานด้านความมั่นคง จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมและมีความจำเป็นที่ต้องวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองและทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้สามารถแจ้งหยุดการเดินทางที่กำลังมุ่งหน้าไปยังพื้นที่ ที่ตรวจพบสิ่งผิดปกติที่ถูกฝังอยู่ใต้รางรถไฟได้อย่างทันท่วงที และให้เจ้าหน้าที่ด้านความมั่นคงเข้าสำรวจพื้นที่เพื่อตรวจสอบและเก็บกู้วัตถุระเบิดต่อไป ดังนั้น GPR จึงเป็นหนึ่งในตัวเลือกของการใช้เทคโนโลยีเพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติใต้พื้นดิน

เรดาร์ทะลุพื้นดินนั้น เป็นเครื่องมือสำรวจธรณีฟิสิกส์ชนิดหนึ่งใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถสำรวจใต้พื้นดินได้โดยไม่ต้องทำการขุดถนนในการสำรวจ และสามารถทำการสำรวจได้บ่อยครั้งโดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของพื้นถนน นอกจากนี้ยังสามารถสำรวจตรวจวัตถุหรือสิ่งผิดปกติใต้พื้นดินที่ไม่ใช่วัตถุที่มีองค์ประกอบของเหล็ก เช่น โพรงอากาศที่ถูกขุด เป็นต้น ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการตรวจโพรงใต้พื้นถนนที่ถูกขุดเพื่อเตรียมการติดตั้งหรือติดตั้งระเบิดแล้ว สำหรับเรดาร์ที่ใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟนั้นมีหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกับเรดาร์สำรวจใต้พื้นถนน มีงานวิจัยเรดาร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการค้นหาเป้าหมายทางอากาศไปจนถึงค้นหาวัตถุใต้พื้นดิน [3-6] แต่เนื่องจากถนนและทางรถไฟมีลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการพิจารณาการประมวลผลสัญญาณตามโครงสร้างที่นำเรดาร์ทะลุพื้นดินไปประยุกต์ใช้งาน มีงานวิจัยการใช้เรดาร์ทะลุพื้นดินในงานด้านความมั่นคงของประเทศไทยในการตรวจหาวัตถุระเบิด (Landmine Detection) ใต้พื้นดิน [7-13] ถึงแม้ว่าในต่างประเทศจะมีงานวิจัยและการประยุกต์ใช้งานเรดาร์ทะลุพื้นดินเป็นจำนวนมากตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่การพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินใช้งานในประเทศไทยเองนั้นยังมีความจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาสำหรับการป้องกันการโจมตีด้วยระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ในพื้นที่เสี่ยงสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ด้วยเหตุผลที่สำคัญหลายประการ ไม่ว่าจะเป็น การทำงานของเรดาร์ทะลุพื้นดินที่ผลิตในต่างประเทศเป็นลักษณะ offline ผลที่ได้จากการสำรวจเป็นผลที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตีความ เรดาร์ทะลุพื้นดินที่มีขายในท้องตลาดถูกออกแบบและพัฒนาที่ต่างประเทศ ให้ใช้สำหรับงานหลายๆด้าน ซึ่งไม่เหมาะกับงานเฉพาะด้านโดยเฉพาะงานด้านความมั่นคงที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำสูง นอกจากนี้การพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินจากต่างประเทศนั้นไม่เหมาะสมกับพื้นที่ ภูมิประเทศในไทยมากนัก เนื่องจากด้วยข้อจำกัดทางด้าน กำลังงาน และความถี่ที่ใช้งานที่ไม่เหมาะสมกับพื้นดินในประเทศไทย เรดาร์ทะลุพื้นดินที่มีขายในท้องตลาดเพื่อการตรวจหาวัตถุระเบิดที่ฝังใต้พื้นดินนั้น ขายเฉพาะในต่างประเทศและมีราคาสูงมาก

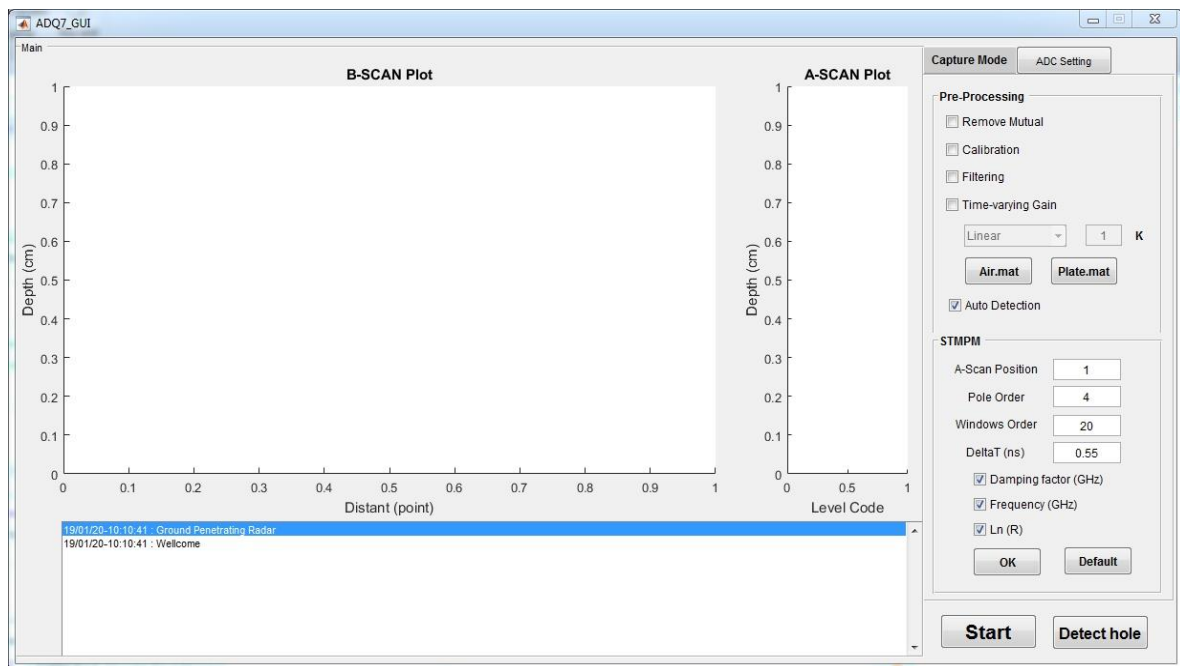
งานวิจัยนี้จะพัฒนาต้นแบบและสาธิตระบบเรดาร์ทะลุพื้นดินสำหรับการป้องกันการโจมตีด้วยระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ โดยได้ร่วมมือกับการรถไฟแห่งประเทศไทย โดยออกแบบเรดาร์ทะลุพื้นดินให้สามารถใช้งานได้กับการป้องปรามการวางระเบิดแสวงเครื่องตามแนวทางรถไฟ ตั้งแต่เขตของ จังหวัดสงขลา ไปตามแนวของชายแดนภาคใต้ประเทศไทยโดยเฉพาะ โดยออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น

สายอากาศ ตัวกำหนดคลื่นความถี่แม่เหล็กไฟฟ้า กำลังงานของคลื่น เป็นต้น ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน ภูมิประเทศและพื้นดินของภาคใต้ ทำการทดสอบว่าคลื่นที่ใช้สามารถทะลุผ่านชั้นดินไปยังวัตถุหรือโพรงใต้พื้นดินได้จริง และจะออกแบบส่วนประมวลผลสัญญาณเพื่อการตีความข้อมูลที่ได้อย่างอัตโนมัติ และจะทำให้ระบบเรดาร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับวัตถุใต้พื้นดินได้อัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตีความ โดยพัฒนาเรดาร์ทะลุพื้นดินนี้ให้เหมาะแก่ผู้ใช้งาน

2. วิธีการศึกษา

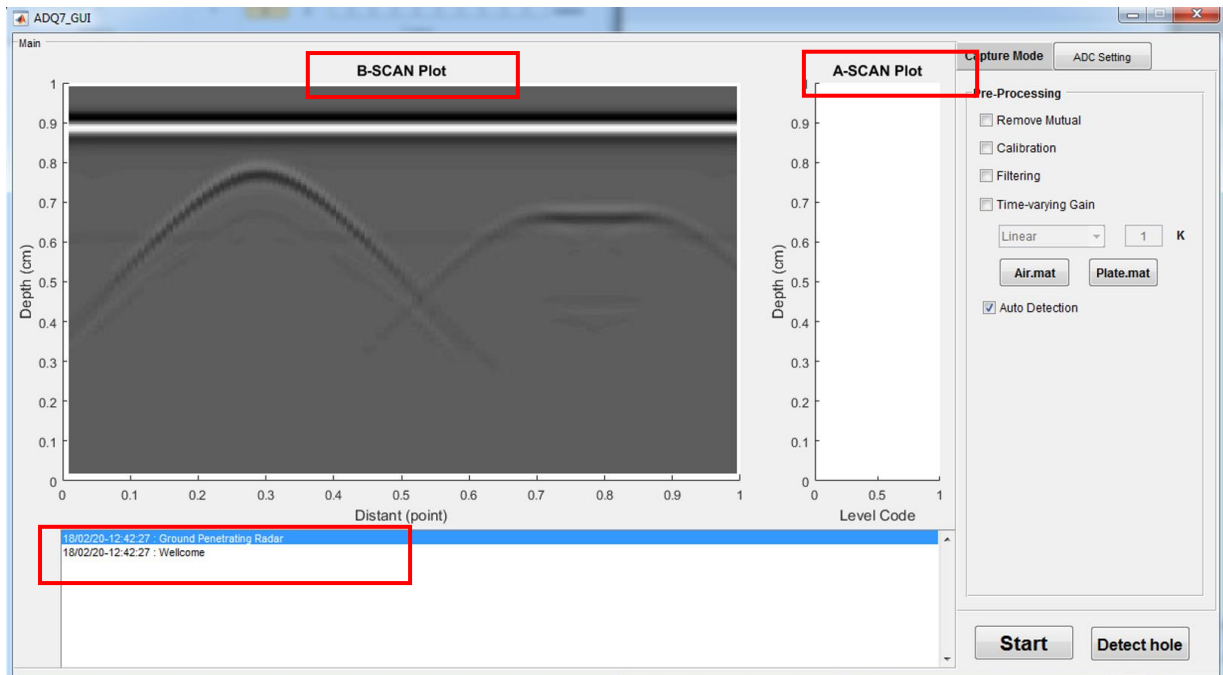
2.1 การออกแบบซอฟต์แวร์การตรวจวัตถุใต้พื้นดิน

ซอฟต์แวร์การเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณเรดาร์ ในเบื้องต้นได้มีการพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB ให้มีฟังก์ชันในการประมวลผลสัญญาณเรดาร์ที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน และมีความเร็วในการเก็บข้อมูลและประมวลแบบเรียลไทม์ คือซอฟต์แวร์จะเก็บข้อมูลและประมวลผลทันที จากการคำนวณถ้าต้องการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 เซนติเมตร ที่ระยะทาง 1 เมตร และความเร็วสูงสุดที่เรดาร์สามารถส่งสัญญาณลงไปใต้พื้นได้คือทุก ๆ 10 ไมโครวินาที ซึ่งสามารถใช้สมการ $v = s/t$ ดังนั้นจะใช้เวลาแค่ 1 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วมาก แต่อย่างไรก็ตามความเร็วที่เก็บข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะในการเก็บข้อมูลระหว่างจุดกับความถี่ในการส่งสัญญาณด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1 ซอฟต์แวร์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของการแสดงผล ส่วนของการกำหนดค่าการเก็บตัวอย่างข้อมูล และส่วนของการประมวลผล



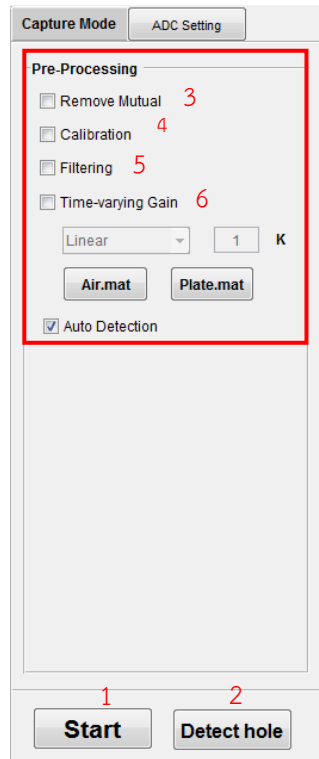
รูปที่ 1 ซอฟต์แวร์การเก็บข้อมูลและประมวลผลสัญญาณเรดาร์

1. ส่วนของการแสดงผล ซึ่งในส่วนนี้มีกราฟการแสดงผลสัญญาณในรูปแบบสัญญาณ A Scan และ B-Scan โดยชื่อจะเปลี่ยนไปตามฟังก์ชันการประมวลที่ได้เลือกไว้ เช่น ถ้าผู้ใช้งานเลือกฟังก์ชัน Remove Mutual ชื่อของกราฟ B-Scan จะเปลี่ยนจาก B-SCAN Plot ไปเป็น Remove Mutual ดังแสดงในรูปที่ 2 และมีการแสดงสถานะของการทำงานและประวัติของการทำงานในกรอบสี่ขาวด้านล่างของซอฟต์แวร์

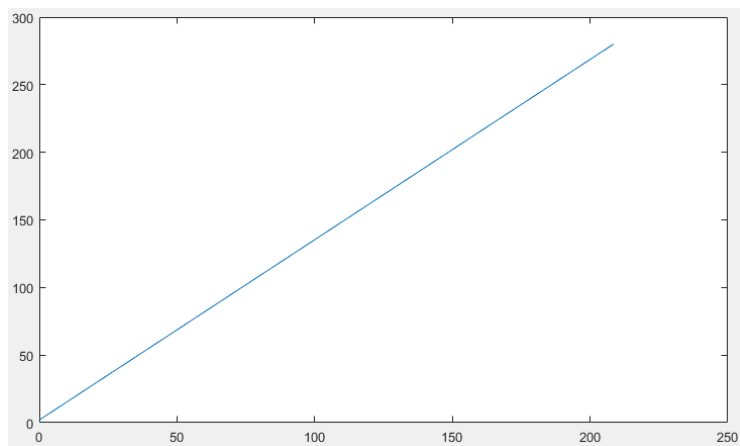


รูปที่ 2 ส่วนของการแสดงผลแบบตั้งค่าเริ่มต้น

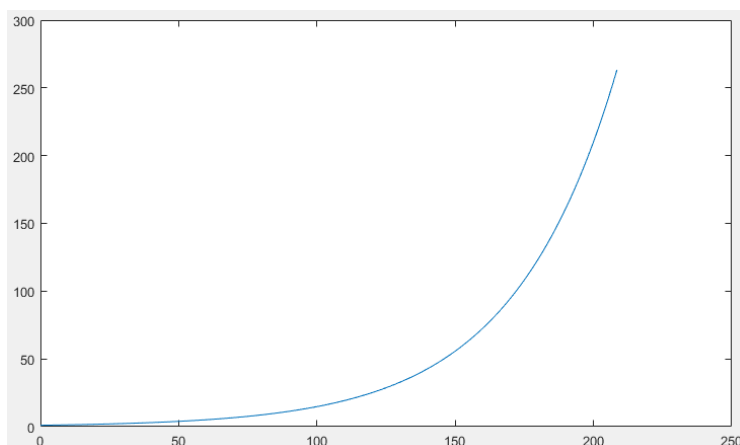
2. ส่วนของการเก็บข้อมูลและการประมวลผล ซึ่งส่วนของการเก็บข้อมูลเป็นส่วนสำหรับสั่งงานประกอบไปด้วย 1) ปุ่มสำหรับเริ่มเก็บข้อมูลและ 2) ปุ่มสำหรับใช้งานฟังก์ชันการตรวจจذبวัตถุและโพรงใต้ดิน ในส่วนของการประมวลผลสามารถทำการประมวลแบบเรียลไทม์ ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3 ในกรอบเส้นทึบสีฟ้า ซอฟต์แวร์สามารถกำหนดการประมวลผล Preprocessing เพื่อลดสัญญาณรบกวนและผลกระทบของสายอากาศได้ 4 รูปแบบคือ 3) Remove Mutual ใช้เทคนิคการลบพื้นหลังเพื่อลดผลกระทบของสายอากาศ 4) Calibration ใช้เทคนิคการเทียบมาตรฐานเพื่อตัดผลกระทบของสายอากาศ 5) Filtering ใช้เทคนิคการกรองความถี่เพื่อลดสัญญาณรบกวน และ 6) Time-varying Gain ใช้เทคนิคการขยายสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อให้สามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากชั้นดินได้ชัดเจนมากขึ้นสามารถเลือกได้ว่า จะประมวลผลแบบ



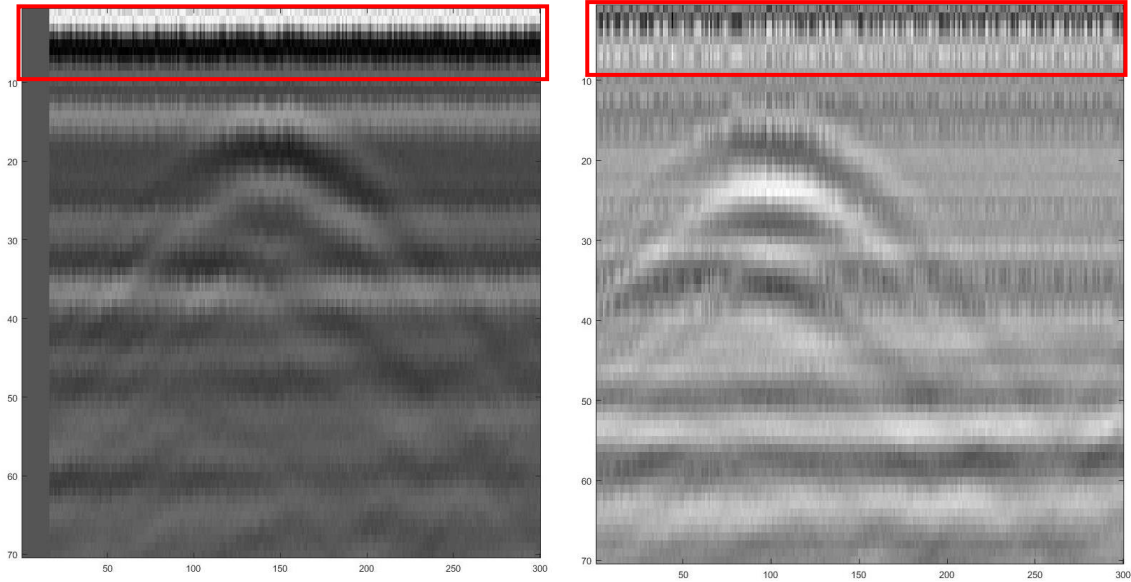
รูปที่ 3 ส่วนของการประมวลผล



รูปที่ 4 ฟังก์ชัน Linear หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น



รูปที่ 5 ฟังก์ชัน Exponential หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง

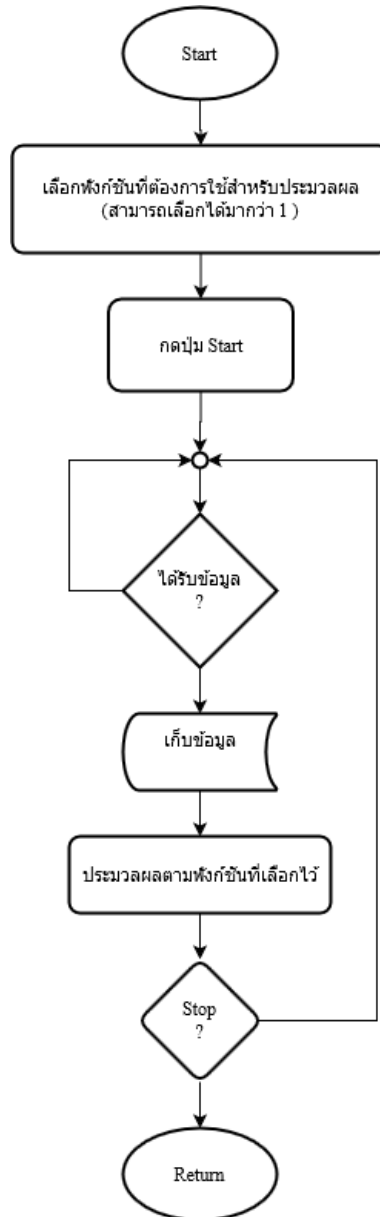


ก

ข

รูปที่ 6 ก) ข้อมูล B-SCAN เรดาร์ที่ยังไม่ผ่านการประมวลผล ข) ข้อมูล B-SCAN เรดาร์ที่ผ่านการประมวลผล โดยใช้เทคนิคการลบพื้นหลัง

Linear หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น คือยิ่งสัญญาณเรดาร์อยู่ลึก การขยายสัญญาณจะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4 Exponential หรืออัตราการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง ซึ่งจะคล้ายกับการขยายสัญญาณแบบฟังก์ชันเชิงเส้น แต่จะต่างกันตรงที่ฟังก์ชันเลขชี้กำลังจะไม่ขยายสัญญาณเรดาร์ที่อยู่บริเวณผิวดินหรือใกล้ผิวดิน แต่จะขยายที่ความลึกเยอะแยะ ดังแสดงในรูปที่ 5 ในรูปที่ 6 ได้แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบก่อนการประมวลผล (ก) และหลังการประมวลผล (ข) โดยแสดงรูปแบบของข้อมูลเรดาร์ B-SCAN ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังจากใช้เทคนิคการลบพื้นหลังจะทำให้ผลกระทบของสายอากาศและผิวดินหายไปในขณะที่สัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนจากวัตถุยังคงมีอยู่ ในรูปที่ 7 คือโพลชาร์ตแสดงการทำงานและการประมวลผลของซอฟต์แวร์ จากรูปแสดงให้เห็นว่าหากผู้ใช้งานต้องการทำการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ ผู้ใช้งานต้องเลือกฟังก์ชันการประมวลผลก่อนที่จะเริ่มเก็บข้อมูลเรดาร์ เมื่อเลือกได้แล้วให้กดปุ่ม Start ระบบก็จะทำงานตามฟังก์ชันที่เลือกไว้และเมื่อต้องการที่จะหยุดก็สามารถกดปุ่ม Stop ระบบก็จะหยุดการทำงาน



รูปที่ 7 โฟลชาร์ตแสดงขั้นตอนการประมวลผล

2.1 การสำรวจข้อมูลพื้นที่

ทีมวิจัยได้เดินทางเพื่อไปพบกับ เจ้าหน้าที่บำรุงทางบางซื่อ ณ สถานีรถไฟบางซื่อ เจ้าหน้าที่ได้พาทีมวิจัยไปเยี่ยมชมสถานที่สำหรับการทดสอบระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุระเบิดใต้รางรถไฟ โดยได้อธิบายว่า การวางระเบิดมีความมุ่งหมาย 2 แบบ คือ 1) การวางระเบิดใต้รางรถไฟ เมื่อระเบิดทำงานจะทำให้รางรถไฟขาด โดยมีเป้าหมายคือ ทำให้รถไฟตกรางและล่อให้เจ้าหน้าที่เข้ามาในบริเวณที่เกิดเหตุ และ 2) การวางระเบิดในรางรถไฟ มีเป้าหมายเพื่อทำให้รถไฟ เครื่องจักรเสียหาย เกิดการหยุดการเดินรถ เนื่องจากหัวรถจักรเสียหาย โดยเจ้าหน้าที่ก็ได้พามายังสถานที่ ที่จะทำการทดสอบ ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีรถไฟวิ่งผ่าน สามารถขุด เจาะ เพื่อทำการทดสอบการฝังวัตถุใต้ดินได้ รวมถึงแนะนำรถข่อมบำรุงรางรถไฟ ดังรูปที่ 8 ด้านขวามือ



รูปที่ 8 สำรองสถานที่ทดสอบระบบเรดาร์

รถข้อมนี้สามารถบรรทุกทุกคนได้ประมาณ 3-4 คน และรับน้ำหนักได้มาก ดังนั้นทีมวิจัยจึงสามารถนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ อาทิเช่น การนำเอาเครื่องปั่นไฟหรือแบตเตอรี่ไปติดตั้งบนตัวรถ แต่เนื่องจากตัวรถมีระบบรับแรงกระแทก ทำให้ตัวรถมีการเคลื่อนไหวในแนวตั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักบนตัวรถ จึงไม่เหมาะกับการติดตั้งเรดาร์กับตัวรถเนื่องจากจำเป็นที่จะต้องทำให้ความสูงจากพื้นไปถึงเรดาร์นั้นคงที่ ดังนั้นสารวัตรจึงได้แนะนำรถสำหรับข้อมบำรุงรางรถไฟอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและสามารถนำมาเชื่อมต่อกับรถข้อมบำรุงทางรถไฟข้างต้นได้ ดังรูปที่ 9 จากรูปแบบของตัวรถนั้น ทีมวิจัยสามารถประยุกต์เพื่อนำเอาระบบเรดาร์ตรวจสอบวัตถุระเบิดใต้รางรถไฟมาติดตั้งกับรถข้อมบำรุงขนาดเล็กนี้ได้



รูปที่ 9 รถข้อมบำรุงทางรถไฟขนาดเล็ก

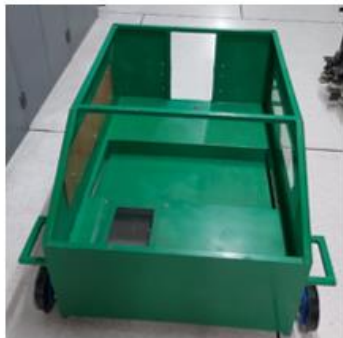
2.2 การพัฒนาระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

จากการสำรวจและได้ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่รถไฟ ทีมวิจัยจึงได้มีการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างของโครงรถที่เคยใช้กับการตรวจหาวัตถุบนท้องถนนให้เหมาะสมกับทางรถไฟ ดังรูปที่ 10 ให้สามารถเคลื่อนที่บนรางรถไฟได้โดยไม่ต้องติดตั้งบนรถข้อมบำรุง ซึ่งตัวรถทำมาจากแผ่นเหล็กที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตรที่มีความแข็งแรงทนทาน ความกว้างเท่ากับขนาดของรางรถไฟ คือ 80 เซนติเมตร และเปลี่ยนล้อให้สามารถเคลื่อนที่บนรางรถไฟได้ อีกทั้งตัวรถยังมีพื้นที่ใช้เก็บสัมภาระพร้อมฝาปิด เพื่อเก็บอุปกรณ์ในส่วนของชุดอุปกรณ์สร้าง

สัญญาณเรดาร์และเก็บข้อมูลสัญญาณเรดาร์ดังรูปที่ 10 (ก) และ (ข) ส่วนรูปที่ 3 (ค) แสดงช่องด้านหน้ารถ และตำแหน่งจับยึดชุดสายอากาศ รูปที่ 11 และรูปที่ 12 ได้แสดงต้นแบบของระบบเรดาร์และชุดอุปกรณ์เรดาร์ที่ประกอบไปด้วยภาคส่ง ภาครับและหน่วยประมวลผล ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งลงในรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุได้ทางรถไฟ



(ก)

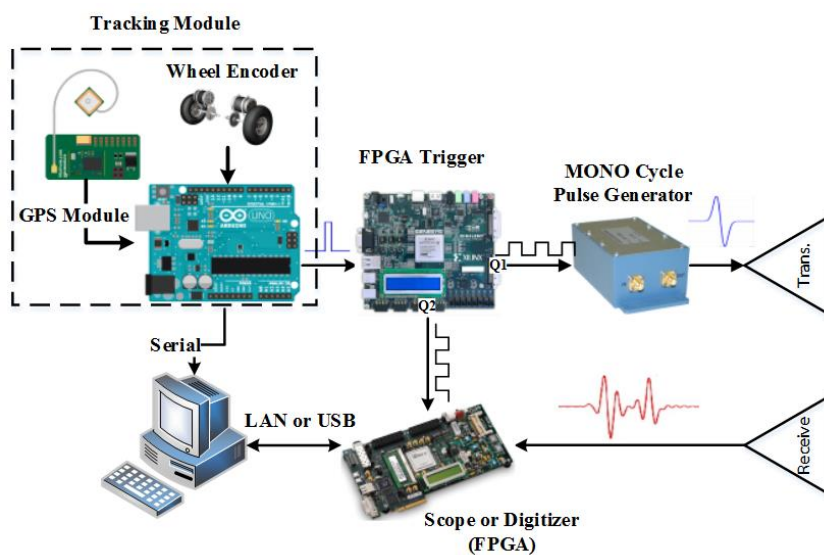


(ข)

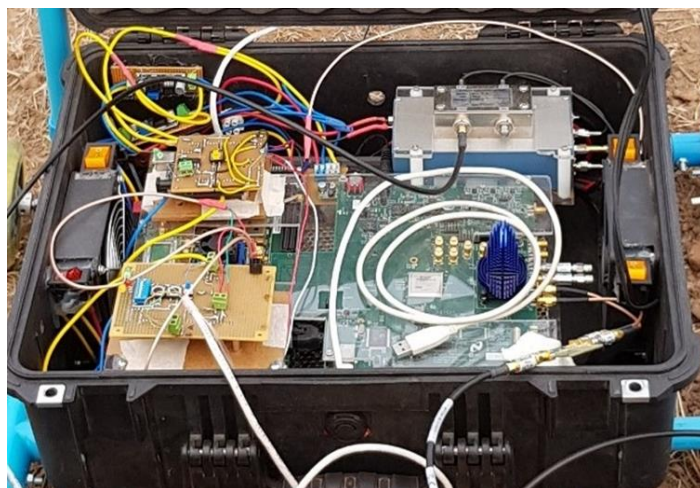


(ค)

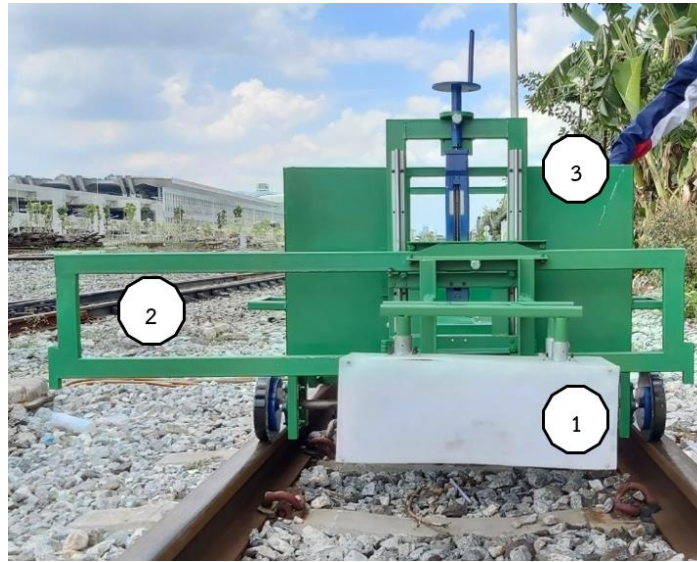
รูปที่ 10 โครงสร้างรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจจับวัตถุได้ทางรถไฟ



รูปที่ 11 ภาพรวมระบบต้นแบบเรดาร์

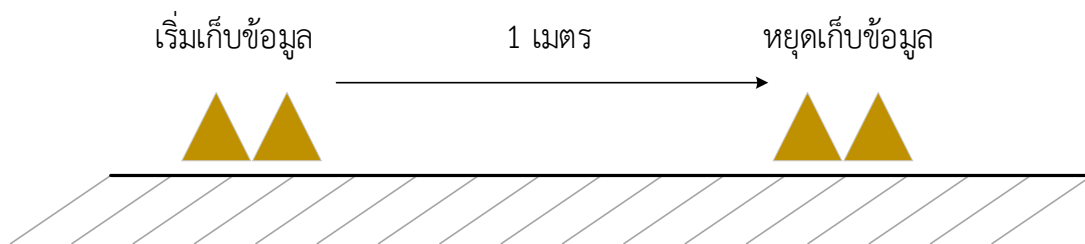


รูปที่ 12 ต้นแบบระบบเรดาร์



รูปที่ 13 ชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ

รูปที่ 13 แสดงชุดสายอากาศที่ติดตั้งกับรถต้นแบบระบบเรดาร์ตรวจวัตถุใต้ทางรถไฟ โดยหมายเลข 1 คือสายอากาศ ซึ่งชุดติดตั้งที่ใช้ยึดกับตำแหน่งจับยึดของตัวรถจะประกอบด้วยแกนที่ใช้ปรับระยะระนาบกับรางรถไฟครอบคลุมระยะทาง 1 เมตร และแกนที่ใช้ปรับระดับความสูงของสายอากาศจากพื้นดิน 30 เซนติเมตร ดังหมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 14 การจำลองจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดสำหรับการเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 14 เป็นการจำลองจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดสำหรับการเก็บข้อมูล โดย กำหนดให้ระบบเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ซม. เป็นระยะทาง 1 เมตร ความเร็วสูงสุดที่เรดาร์สามารถส่งสัญญาณลงไปใต้พื้นได้ คือ ทุก ๆ 10 ไมโครวินาที สามารถคำนวณหาความเร็วสูงสุดที่รถต้นแบบเรดาร์สามารถเคลื่อนที่ได้ ตามสมการที่ 1

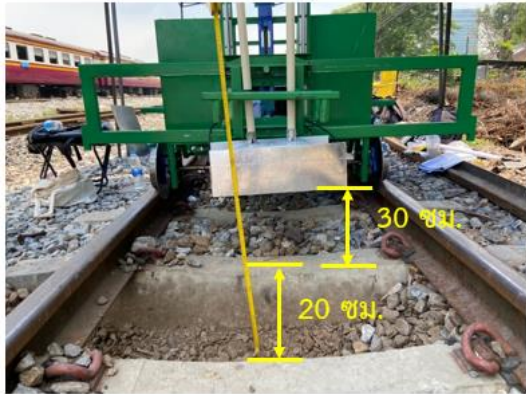
$$v = \frac{s}{t} = \frac{1\text{cm}}{10\mu\text{s}} = 1000 \text{ m/s} \quad (1)$$

ดังนั้นถ้าให้ระบบเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ซม. เป็นระยะทาง 1 เมตร จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมดแค่ 1 มิลลิวินาที ซึ่งเร็วมาก แต่อย่างไรก็ตามยังขึ้นอยู่กับความเร็วในการประมวลผล และความเร็วในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ด้วย ซึ่งใช้การคำนวณค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยาก จึงควรทดสอบด้วยการทำงานจริงของระบบ เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดคร่าวๆ ซึ่งจะทดสอบในรายงานครั้งถัดไปตามแผนการดำเนินงาน

3. ผลการศึกษา

ทดสอบการตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ที่พัฒนา

สำหรับการทดสอบตรวจจับวัตถุใต้ทางรถไฟด้วยระบบเรดาร์ที่พัฒนานั้น วางวัตถุไว้ในรางรถไฟ ลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ เพื่อฝังโลหะหรือถังดับเพลิง และติดตั้งสายอากาศสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 15



(ก)



(ข)

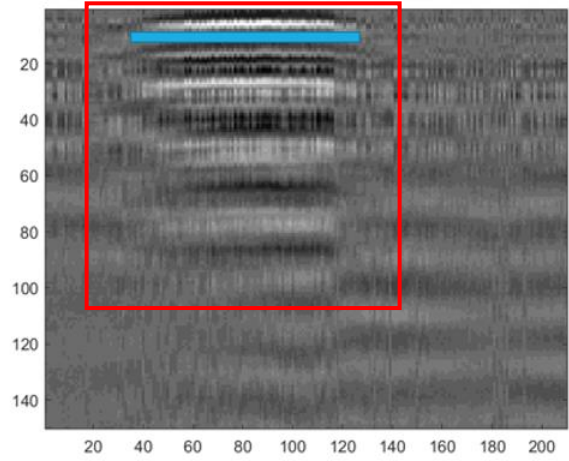
รูปที่ 15 ลักษณะการทดสอบทั้ง 2 เงื่อนไข (ก) วางวัตถุไว้ในรางรถไฟ และ (ข) วางวัตถุไว้ใต้รางรถไฟ

3.1 การทดสอบกรณีวางวัตถุไว้ในรางรถไฟ

การกำหนดจุดอ้างอิงในการทดสอบจะใช้วิธีการวางแผนเหล็ก ดังรูปที่ 16(ก) ดำเนินการเคลื่อนรถเข็นผ่านถนนที่วัตถุถูกฝังอยู่อยู่ใต้ทางรถไฟ ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ทำการส่งสัญญาณลงไปทางรถไฟ และวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นทางรถไฟและวัตถุที่ฝังไว้ สัญญาณที่สะท้อนกลับจัดถูกเรียงในรูปแบบภาพแผนที่พื้นผิวทางรถไฟหรือสัญญาณ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากทางรถไฟและแผ่นเหล็กที่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 16(ข) จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากแผ่นเหล็กที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมได้อย่างชัดเจน และในรูปที่ 17(ก) เป็นการทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง ภาพ B-scan สัญญาณที่สะท้อนกลับจากรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 17(ข) จากรูปสามารถมองเห็นสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวรางรถไฟ จะสังเกตได้ว่าสัญญาณที่สะท้อนจากแผ่นเหล็กสามารถมองเห็นได้ชัดเจนกว่าสัญญาณที่สะท้อนจากรางรถไฟ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสะท้อนกลับจากวัตถุที่เป็นโลหะได้ดีกว่าสะท้อนกลับจากตัวกลางที่เป็นสภาพแวดล้อมปกติ



(ก)

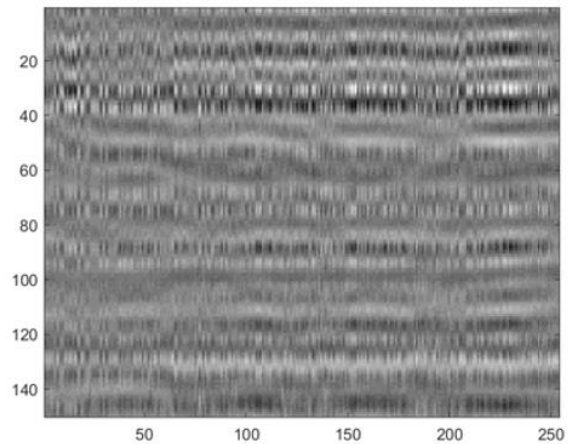


(ข)

รูปที่ 16 การทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง (ก) การทดสอบ (ข) ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแผ่นเหล็กเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง



(ก)



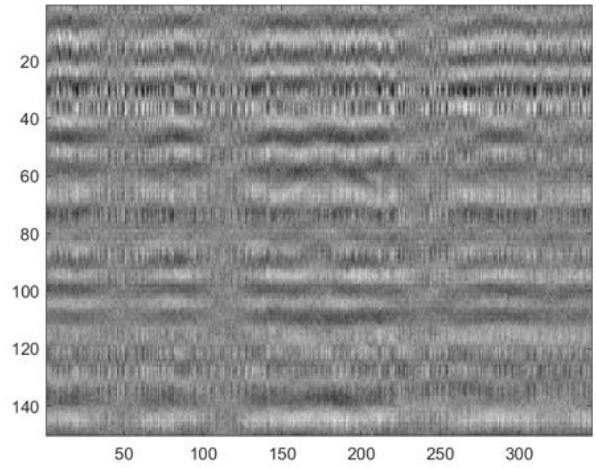
(ข)

รูปที่ 17 การทดสอบรางรถไฟเพื่อกำหนดจุดอ้างอิง (ก) การทดสอบ (ข) ภาพ B – scan ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบรางรถไฟ

จากนั้นทีมวิจัยได้ขุดหลุมที่มีความลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในเบื้องต้น โดยขั้นตอนแรกจะทดสอบหลุมเปล่าที่ไม่มีถึงดับเพลิงก่อน ตามรูปที่ 18(ก) ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ ดังแสดงในรูปที่ 18(ข) ขั้นตอนหลังจากทดสอบหลุมเปล่าเสร็จ ทีมวิจัยได้วางถึงดับเพลิงลงไปหลุมที่ขุดไว้ ซึ่งการทดสอบนี้จะวางถึงดับเพลิงตรงกลางรางรถไฟ ตามรูปที่ 19(ก) ในรูปที่ 19(ข) เป็นภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถึงดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟ



(ก)

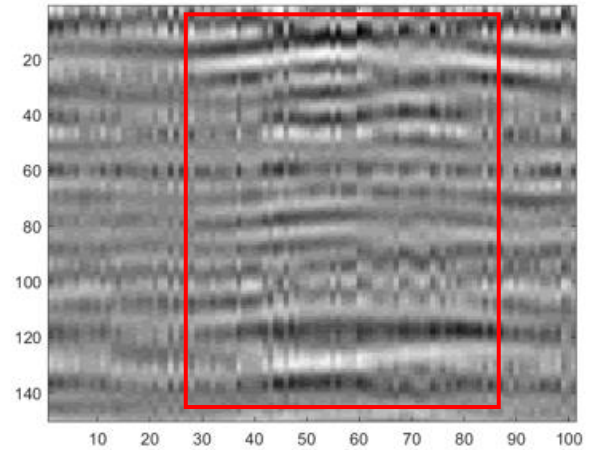


(ข)

รูปที่ 18 การทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ (ก) การทดสอบ (ข) ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบหลุมระหว่างไม้หมอนในรางรถไฟ



(ก)



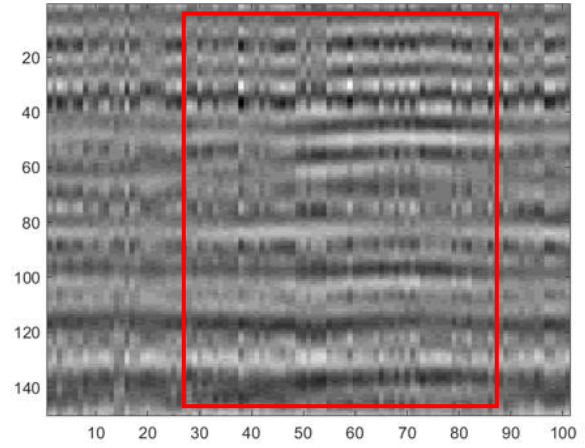
(ข)

รูปที่ 19 การวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟกรณีไม่ฝังหิน (ก) การทดสอบ (ข) ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟ

เปรียบเทียบภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบแบบไม่ฝังหินในรูปที่ 19 และฝังหินในรูปที่ 20 จะเห็นว่าภาพที่ได้จากหลุมที่ไม่ฝังหินมีความชัดเจนของสัญญาณพาราโบลา มากกว่าการฝังหินเพียงเล็กน้อย ไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ผลคลาดเคลื่อนอาจเนื่องมาจากผลกระทบจากชั้นหินของรางรถไฟ ซึ่งทีมวิจัยจะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาทางพัฒนาต่อไป

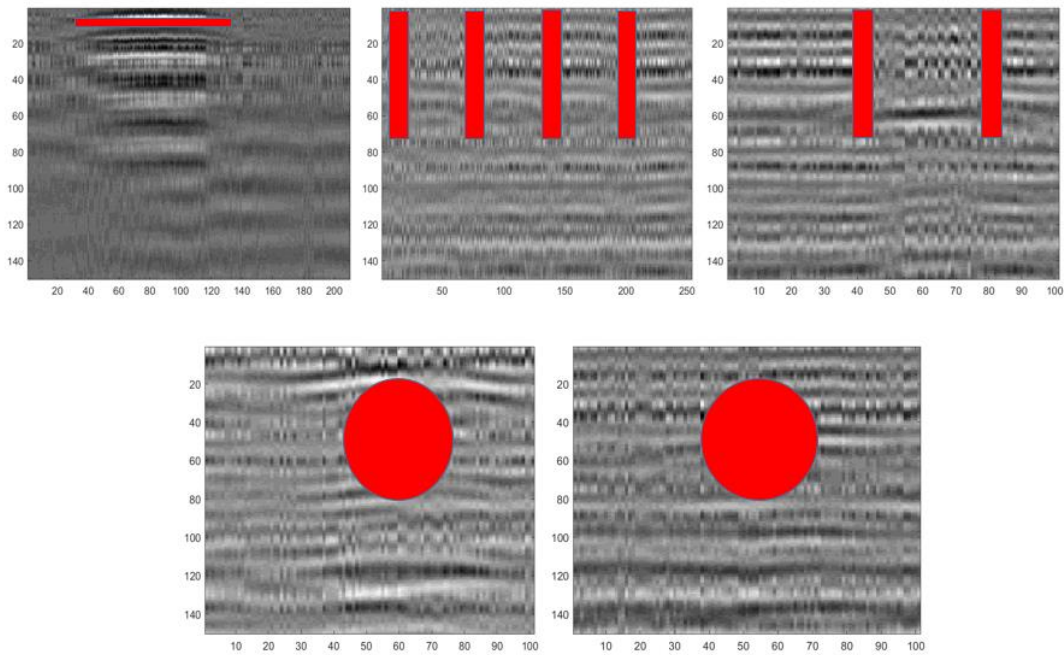


(ก)

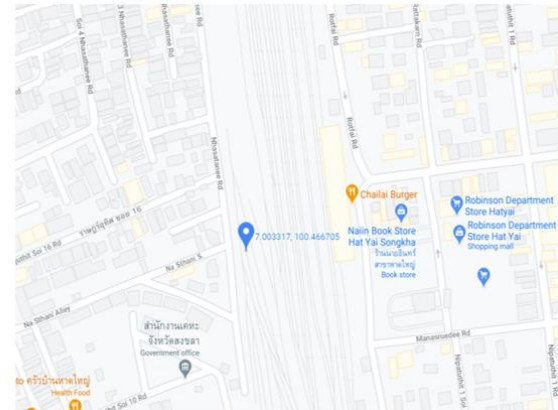
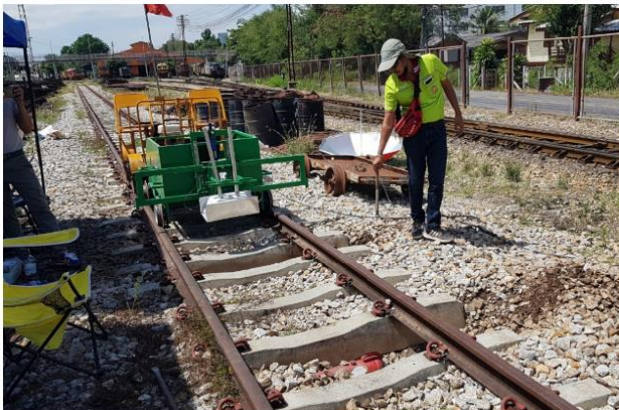


(ข)

รูปที่ 20 การวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟกรณีฝั่งหิน (ก) การทดสอบ (ข) ภาพ B – scan ที่ได้จากการทดสอบการวางถังดับเพลิงไว้ในหลุมในรางรถไฟ



รูปที่ 21 เปรียบเทียบ ภาพ B – scan เปรียบเทียบแต่ละการทดสอบในรูปที่ 16 ถึง 20



รูปที่ 22 การแสดงตำแหน่งพิกัด GPS สำหรับพื้นที่ในการทดสอบ

4. สรุป

ระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้ทางรถไฟเพื่อความมั่นคงในจังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งมีการปรับปรุงและพัฒนาจากระบบเรดาร์ตรวจวัตถุระเบิดใต้พื้นถนน มีการปรับระบบโครงสร้างของตัวรถเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้บนรางรถไฟ มีการปรับทิศทางการติดตั้งสายอากาศเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการตรวจหาสัญญาณที่สูงขึ้น มีการสำรวจรูปแบบการวางระเบิดบนทางรถไฟ โดยได้สำรวจข้อมูลจากที่เกิดเหตุการณ์และลักษณะของวัตถุระเบิด ในการทดสอบและการวิเคราะห์ผล จะฝังวัตถุลึกลงไป 20 เซนติเมตร จากพื้นผิวของรางรถไฟเพื่อฝังโลหะหรือถังดับเพลิง และติดตั้งสายอากาศสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร ในการทดสอบดำเนินการเคลื่อนรถขึ้นผ่านถนนที่วัตถุถูกฝังอยู่ใต้ทางรถไฟด้วยความเร็ว 10 km/h ระบบเรดาร์ทะลุพื้นดิน ทำการส่งสัญญาณลงไปทางรถไฟและวัตถุสัญญาณที่สะท้อนกลับจากพื้นทางรถไฟและวัตถุที่ฝังไว้ สัญญาณที่สะท้อนกลับจัดถูกเรียงในรูปแบบภาพแผนที่พื้นผิวทางรถไฟหรือสัญญาณ B-scan จะเห็นว่าสัญญาณที่สะท้อนแสดงผลเป็นความเข้มในรูปแบบพาราโบลาเนื่องจากมีวัตถุถูกฝังอยู่ใต้รางรถไฟ นอกจากนี้ระบบยังสามารถส่งภาพถ่ายและระบุพิกัด GPS ผ่านเครือข่าย 3G/4G บนแอปพลิเคชันมือถือได้อีกด้วย

5. อ้างอิง

- [1] H. M. Jol, *Ground Penetration Radar Theory and Application*, Elsevier Science Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The Netherlands The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK, First edition 2009.
- [2] D. Deiana and L. Anitori, "Detection and Classification of Landmines using AR Modeling of GPR Data", *Ground Penetrating Radar (GPR) 13th International Conference*, June 2010, pp. 1 – 5.
- [3] D.L. Moffatt and R.K. Mains, "Detection and Discrimination of Radar Targets," *IEEE Trans. on Ant. and Prop.*, Vol. 23, No. 3, May 1975, pp.358-367
- [4] C.W. Chung and D.L. Moffatt, "Natural Resonances of Radar Targets Via Prony's Method and Target Discrimination," *IEEE Trans. on Aero. And Elec. Sys.*, Vol. 12, No. 5, Sep 1976, pp.583-589
- [5] A. Yarovoy, et al., "Landmine Detection and Discrimination based on GPR Data," *Ground Penetrating Radar, Proc.*, 2004, pp.673-673

- [6] M.A. Gonzalez-Huici and U. Uschkerat, "GPR Modeling for Landmine Detection," *Electromagnetic Theory (EMTS), 2010 URSI Int.Symp.*, 2010, pp.152-155
- [7] N. Chantasen, A. Boonpoonga, S. Burintramart, K. Athikulwongse, and P. Akkaraekthalin, "Automatic Detection and Classification of Buried Objects using Ground Penetrating Radar for Counter-Improvised Explosive Devices," *Radio Science*, vol. 53, issue 2, June 2018, pp. 210-227.
- [8] L. Bannawat, A. Boonpoonga, S. Burintramart, and P. Akkaraekthalin, "On Resolution Improvement using Filtering Antenna Effects for Target Identification," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2018, pp. 1-11, 2018
- [9] A. Boonpoonga, P. Chomdee, S. Burintramart, and P. Akkaraekthalin, "Simple Estimation of Late-Time Response for Radar Target Identification," *Radio Science*, vol. 52, issue 6, June 2017, pp. 743-756.
- [10] A. Boonpoonga, "Ground Penetrating Radar (GPR) for Counter Improvised-Explosive Devices in Thailand" *Proc. in IEEE CAMA 2015*, Chiang Mai.
- [11] P. Chomdee and A. Boonpoonga, "Ground Penetrating Radar (GPR): Theory and Simulations," *ECTI E-Magazine*.
- [12] P. Chomdee, A. Boonpoonga, and A. Prayote, "Fast and Efficient Detection of Buried Object for GPR Image," *Proc. In The 20th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2014)*, Pattaya, Oct. 2014
- [13] S. Burintramart and A. Boonpoonga, "Underground radar target classification based on Matrix Pencil Method," *The 4th Asian Conference on Defense Technology (4th ACDT)*