



# การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar

โดย

สาคร ชูแก้ว <sup>1</sup>

วสันต์ พฤษางามชล <sup>2</sup>

จิรพงศ์ ใจห้าว <sup>3</sup>

ปรณิก จิตต์อารีกุล <sup>4</sup>

<sup>1</sup> วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

<sup>2</sup> วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

<sup>3</sup> วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

<sup>4</sup> วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

บทความนี้เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด

# การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar

**สาคร ชูแก้ว**

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

**วสันต์ พฤษางามชล**

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

**จิรพงศ์ ใจห้าว**

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

**ปรนิท จิตต์อารีกุล**

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

## บทคัดย่อ

การพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศจำเป็นต้องอาศัยการก่อสร้างและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการส่งเสริมเศรษฐกิจให้มั่นคง ซึ่งการพัฒนา ระบบสาธารณูปโภคส่วนใหญ่มักจะอยู่ในเขตทางของกรมทางหลวงเป็นหลัก เช่น ท่อส่งน้ำของการประปา บ่อพักสายเคเบิลสำหรับเดินสายไฟฟ้าใต้ดิน ระบบท่อระบายน้ำหรือแม้แต่โครงสร้างต่างๆ ของทางหลวง ที่ ถูกติดตั้งไว้ใต้ผิวทางจราจรของกรมทางหลวง

ผลกระทบและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างชั้นทางจากการก่อสร้างระบบ สาธารณูปโภคต่างๆ การทรุดตัวของชั้นดินที่รับน้ำหนักบรรทุกเป็นเวลานานๆ หรือการซึมผ่านของน้ำที่เข้าไป เปลี่ยนคุณสมบัติด้านกายภาพของโครงสร้างชั้นทาง รวมไปถึงการกัดเซาะของกระแสน้ำใต้ผิวจราจร ซึ่งเป็นที่มาของการเกิดโพรงอากาศใต้ผิวทาง ที่ไม่สามารถตรวจพบได้จากการสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) จนกว่าจะเกิดการพังทลายหรือทรุดตัวเป็นหลุมยุบ และนั่นอาจก่อให้เกิดความเสียหายอย่าง รุนแรงต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ขับขี่และผู้ใช้นถนน

การสำรวจโครงสร้างชั้นทางแบบหยั่งลึกด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือสัญญาณเรดาร์ Ground Penetration Radar (GPR) เพื่อหาจุดที่เกิดความเสียหายและความผิดปกติใต้ผิวจราจร ซึ่งเป็น การสำรวจ ที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างชั้นทาง ข้อมูลที่ได้จากลักษณะของคลื่นเรดาร์จะ นำไปใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุงให้ตรงกับจุดที่เกิดความเสียหายแบบเร่งด่วน ก่อนที่จะเกิดการยุบตัว ของผิวทาง

## 1. บทนำ

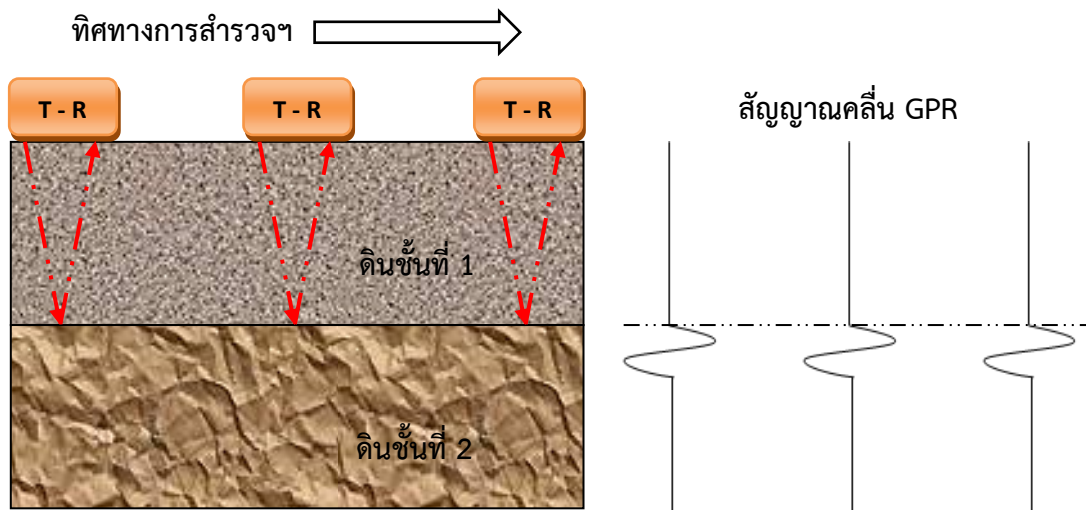
เครื่องสำรวจแบบหยั่งลึกด้วยสัญญาณเรดาร์ หรือ Ground Penetration Radar (GPR) เป็นเทคนิคทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการสำรวจสภาพใต้ดิน โดยทั่วไป GPR มักถูกนำมาใช้ในการค้นหาวัตถุหรือโครงสร้างที่อยู่ในระดับความลึกมาก อย่างไรก็ตามการสำรวจในระดับตื้นก็มีความสำคัญมากเช่นกัน การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นเรดาร์ในการตรวจสอบสภาพใต้ดิน ผลลัพธ์จากการสำรวจจะได้เป็นลักษณะภาพของคลื่นสัญญาณเรดาร์ที่มีความละเอียดสูง ช่วยให้สามารถวิเคราะห์และประเมินโครงสร้างใต้ดินได้อย่างแม่นยำ

การสำรวจฯ ด้วยเครื่อง Ground Penetration Radar (GPR) ได้รับการยอมรับและประสบความสำเร็จอย่างกว้างขวางในการประยุกต์ใช้งาน ตั้งแต่การจัดทำแผนที่โครงสร้างธรณีวิทยา ไปจนถึงการตรวจสอบความเสียหายและความผิดปกติทางกายภาพของโครงสร้างชั้นทาง ข้อมูลที่ได้จาก GPR สามารถนำไปใช้ในกระบวนการควบคุมคุณภาพของงานวิศวกรรมก่อสร้างระบบสาธารณูปโภค ซึ่งในปัจจุบันมักถูกก่อสร้างหรือติดตั้งไว้ใต้ดินหรือใต้ผิวทางจราจร

นอกจากนี้ยังสามารถตรวจหาวัตถุใต้ผิวดินได้ทั้งแบบโลหะและไม่ใช่โลหะ เช่น บ่อพักท่อระบายน้ำ บ่อพักสายเคเบิล ท่อประปา ท่อคอนกรีตและท่อเหล็ก รวมถึงโพรงอากาศใต้ผิวทาง เป็นต้น การระบุตำแหน่งและยืนยันแนวการวางระบบสาธารณูปโภคใต้ผิวทางจราจร เมื่อมีการซ่อมแซม ขยายหรือก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคใหม่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการก่อสร้างส่งผลกระทบต่อระบบสาธารณูปโภคที่มีอยู่ก่อนหน้าในพื้นที่จำกัด การสำรวจด้วย GPR เป็นวิธีการสำรวจแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการรักษาความปลอดภัยและคุณภาพของโครงสร้างพื้นฐานใต้ดิน

## 2. หลักการทำงานของเครื่องสำรวจแบบหยั่งลึกด้วยสัญญาณเรดาร์ Ground Penetration Radar

เครื่อง Ground Penetration Radar (GPR) ใช้หลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นเรดาร์ (ช่วงความถี่ตั้งแต่ 25 ถึง 2,500 MHz) ส่งลงไปใต้พื้นดินผ่านทางตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) เมื่อคลื่นเหล่านี้กระทบกับวัตถุใต้ดินที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) แตกต่างกัน จะเกิดการสะท้อนกลับสู่พื้นผิวดิน ซึ่งสัญญาณที่สะท้อนกลับนี้ จะถูกตรวจจับด้วยตัวรับสัญญาณ (Receiver) การสะท้อนของคลื่นเกิดจากความแตกต่างของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นดินหรือชั้นหินใต้ผิวดิน



ภาพที่ 1 ลักษณะการปล่อยคลื่นเรดาร์ลงไปที่ดินและส่งสัญญาณคลื่นสะท้อนกลับมายังเครื่องมือ

ความถี่ของคลื่นเรดาร์ที่ใช้ในการสำรวจจะเป็นตัวกำหนดความลึกของการสำรวจรวมถึงความสามารถในการตรวจสอบวัตถุด้วย โดยทั่วไปแล้วสัญญาณความถี่ต่ำจะสามารถตรวจสอบได้ในระดับลึก แต่ความละเอียดของสัญญาณก็ลดต่ำลงด้วย ส่วนสัญญาณความถี่สูงจะใช้ในการสำรวจระดับตื้นๆ และมีความละเอียดคมชัดของข้อมูลสูง ความถี่ของสัญญาณ GPR ที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมีตั้งแต่ระดับต่ำประมาณ 25 MHz ไปจนถึงระดับสูงถึง 2.5 GHz

คลื่นเรดาร์ความถี่ต่ำนิยมใช้ในการสำรวจด้านธรณีวิทยา สัญญาณความถี่ระดับกลางๆ จะใช้ในงานวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก ส่วนคลื่นเรดาร์ความถี่สูงๆ จะใช้ในงานสำรวจถนนและงานตรวจสอบคอนกรีตเป็นหลัก ซึ่งความลึกดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสภาพชั้นดินในบริเวณนั้นๆ ยกตัวอย่าง เช่น บริเวณที่ชั้นดินมีความชื้นมากๆ หรือดินเหนียว จะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของชั้นดินมากขึ้นไปด้วย และทำให้ความลึกในการสำรวจลดลง เนื่องจากพลังงานของคลื่นเรดาร์ส่วนมากจะถูกดูดกลืนจนไม่สามารถลงไปถึงตำแหน่งที่อยู่ลึกๆ ได้

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับความถี่ของคลื่นเรดาร์

ความถี่ (MHz)	การใช้งานสำรวจ	ความลึก (M)	หมายเหตุ
16 – 80	ธรณีวิทยา	0 – 50	ความถี่ต่ำ
100	ธรณีวิทยา, วิศวกรรม, เหมืองแร่	2 – 15	
200	ธรณีวิทยา, วิศวกรรม, สิ่งแวดล้อม	0 – 9	
270	สาธารณสุข, ธรณีวิทยา, วิศวกรรม	0 – 6	ความถี่กลาง
400	สาธารณสุข, วิศวกรรม, สิ่งแวดล้อม ตรวจสอบหาโพรง	0 – 4	
900	ตรวจสอบคอนกรีต, ตรวจสอบหาโพรง	0 – 1	
1000	ตรวจสอบคอนกรีต	0 – 0.6	ความถี่สูง
1600	ตรวจสอบคอนกรีต	0 – 0.5	
2000	ตรวจสอบคอนกรีต	0 – 0.4	

สายอากาศส่งสัญญาณที่ผลิตจากบริษัท GSSI (2008)

ความละเอียดในการสำรวจฯ ด้วยเครื่อง GPR จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการระบุรายละเอียดของวัตถุหรือโครงสร้างใต้ดิน ดังนี้

### 2.1 ความถี่ของคลื่นเรดาร์ (Frequency)

2.1.1 ความถี่สูงจะให้ความละเอียดสูงและสามารถตรวจจับวัตถุเล็กๆ หรือรายละเอียดที่อยู่ใกล้พื้นผิวได้ดี แต่คลื่นจะทะลุทะลวงลงไปใต้ดินได้น้อยกว่า

2.1.2 ความถี่ต่ำจะสามารถทะลุทะลวงลงไปลึกกว่า แต่ความละเอียดจะต่ำกว่า เหมาะกับการสำรวจที่ต้องการความลึกมากกว่า เช่น การตรวจสอบโครงสร้างขนาดใหญ่ใต้ดิน

### 2.2 ความลึกของวัตถุหรือโครงสร้าง (Depth of Target)

2.2.1 วัตถุหรือโครงสร้างที่อยู่ตื้นกว่ามักจะสามารถสำรวจได้ด้วยความละเอียดสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุหรือโครงสร้างที่อยู่ลึกกว่า

### 2.3 ระยะห่างระหว่างเส้นการสำรวจ (Survey Line Spacing)

2.3.1 ระยะห่างระหว่างเส้นการสำรวจที่แคบลงจะเพิ่มความละเอียดของข้อมูล เพราะจะได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น แต่ก็อาจใช้เวลาและทรัพยากรมากขึ้นในการสำรวจฯ

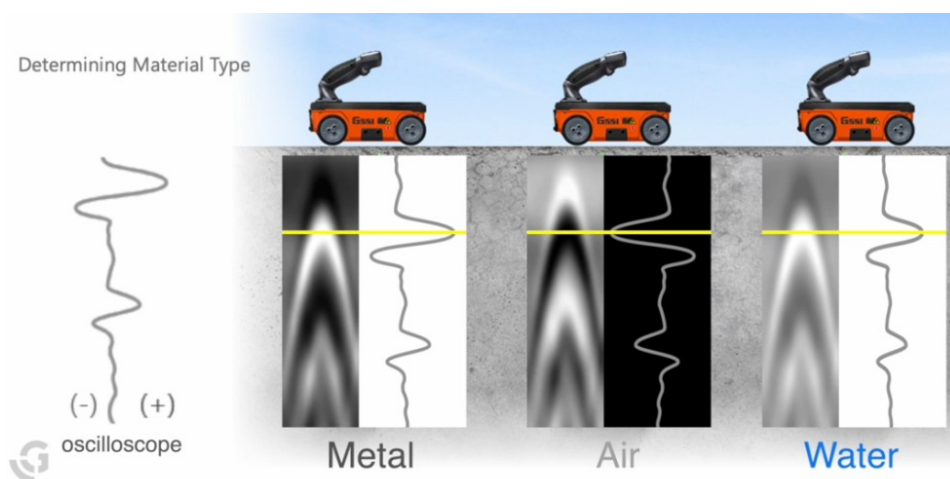
## 2.4 ชนิดและคุณสมบัติของดินหรือวัสดุใต้พื้นผิว (Soil and Material Properties)

### 2.4.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)

คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของวัสดุที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม และความสามารถของวัสดุในการเก็บพลังงานไฟฟ้า (Store Electrical Energy) ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของสัญญาณเรดาร์ที่ผ่านตัวกลาง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการระบุความลึกของวัตถุ

ตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) ของวัสดุต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)
อากาศ (Air)	1
น้ำจืด (Fresh Water)	80
น้ำเค็ม (Sea Water)	81-88
ทรายแห้ง (Dry Sand)	3-5
ทรายเปียก (Wet Sand)	20-30
คอนกรีต (Concrete)	6-8
แอสฟัลต์ (Asphalt)	3-5
หินปูน (Limestone)	4-8
หินดินดาน (Shale)	5-15
หินแกรนิต (Granite)	4-5



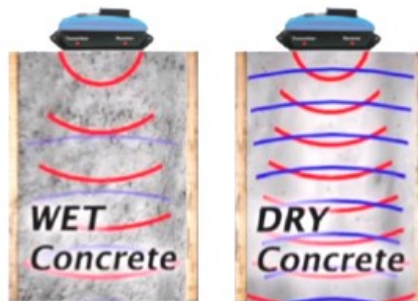
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะคลื่นสัญญาณผ่านวัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 ลักษณะการสะท้อนของคลื่นสัญญาณในวัสดุที่มีความชื้นและค่าไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant) แตกต่างกัน

#### 2.4.2 ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity) และค่าความขจัดของดิน (Soil Velocity)

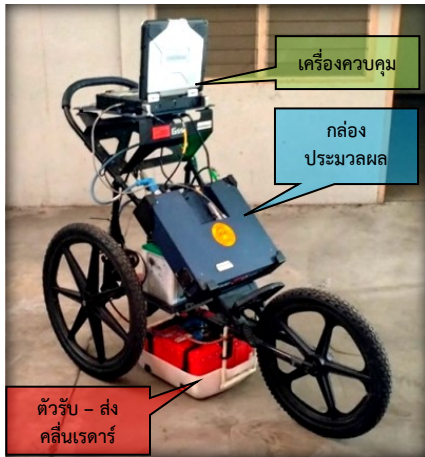
ค่าดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงไปชนิดของชั้นดิน เช่น ดินร่วน ดินเหนียว หรือทราย ย่อมมีค่านำไฟฟ้าแตกต่างกัน รวมถึงปัจจัยสำคัญ คือ ความชื้นที่สะสมอยู่ภายใน เหล่านี้เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อให้เกิดความแตกต่าง ตัวอย่างเช่น ดินประเภทเดียวกัน มีแตกต่างกันด้านความชื้นที่สะสมตัวอยู่ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ดินที่มีความชื้นสะสมอยู่มากกว่า ความต้านทานจะลดต่ำลงส่งผลให้การดูดกลืนของสัญญาณสูงขึ้น ส่งผลต่อการสะท้อนกลับของสัญญาณใช้เวลาที่มากขึ้นกว่าสภาพดินที่แห้ง



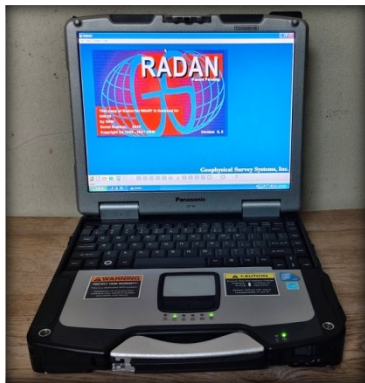
ภาพที่ 4 ลักษณะการสะท้อนของคลื่นสัญญาณ เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ระหว่างชั้นคอนกรีตแห้งและคอนกรีตเปียก

### 3. เครื่องมือสำรวจฯ GPR และอุปกรณ์ต่างๆ

เครื่องมือสำรวจฯ GPR (แบบรถเข็น 3 ล้อ) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ เครื่องควบคุม (Control Unit) และชุดส่ง - รับคลื่นเรดาร์หรือสายอากาศ (Antenna) โดยเครื่องควบคุมนั้นจะเป็นส่วนที่ใช้ในการออกแบบตัวแปรต่างๆ ในการสำรวจฯ เช่น ความถี่ในการส่งคลื่นเรดาร์ ช่วงเวลาในการเปิดรับคลื่นที่สะท้อนขึ้นมา รวมถึงจำนวนเส้นคลื่นเรดาร์ต่อหน่วยความยาว เป็นต้น นอกจากนั้นยังเป็นเครื่องที่ใช้แสดงข้อมูลของคลื่นเรดาร์ที่ได้การสำรวจได้ทันที

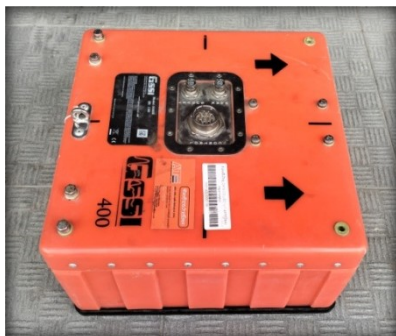


ภาพที่ 5 เครื่องสำรวจฯ แบบหยั่งลึกด้วยสัญญาณเรดาร์ หรือ Ground Penetration Radar (GPR)



ภาพที่ 6 เครื่องควบคุมและกล่องประมวลผล (Control and Processing Unit)

ในส่วนของตัวรับ - ส่งคลื่นเรดาร์หรือหัวเรดาร์ที่ใช้ในการสำรวจฯ จะมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมมีขนาดต่างกันขึ้นอยู่กับความถี่ โดยทั่วไปกล่องความถี่ต่ำจะมีขนาดใหญ่ ส่วนกล่องความถี่สูงจะมีขนาดเล็ก เครื่องควบคุมและกล่องรับ - ส่งสัญญาณจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยสายเคเบิล ในการสำรวจฯ บางครั้งอาจจะมีการใช้ล้อวัดระยะทางในการวัดระยะทางในการสำรวจ

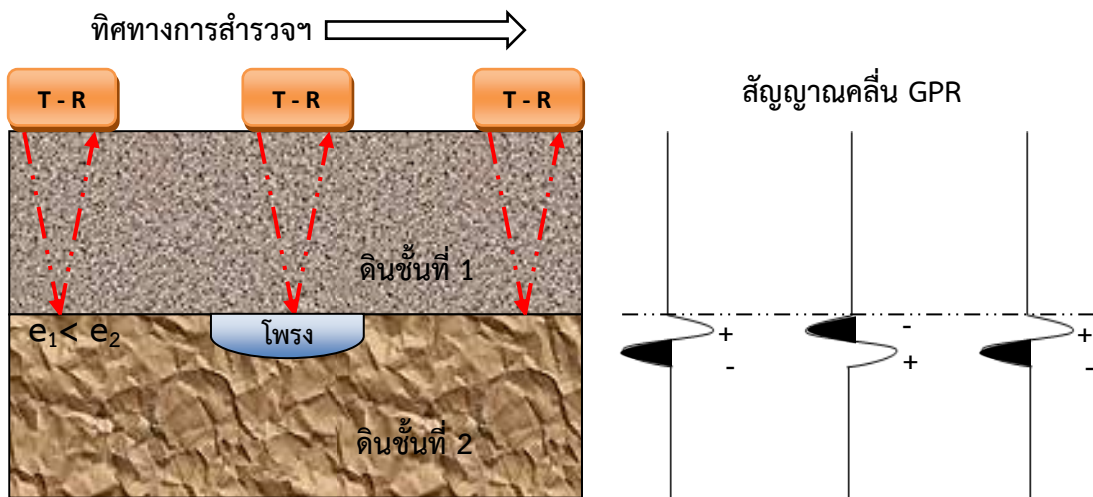


ภาพที่ 7 ลักษณะของกล่องตัวรับ - ส่งคลื่นเรดาร์ความถี่ 400 MHz และ 900 MHz

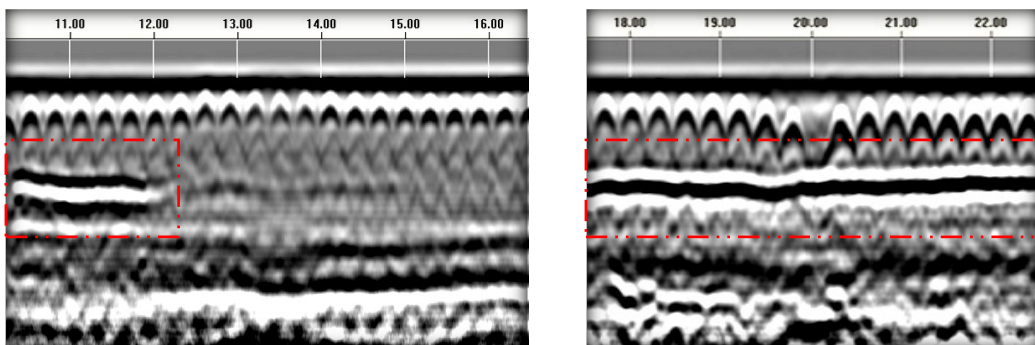
#### 4. ลักษณะของคลื่นสัญญาณ GPR จากการสำรวจฯ โพรงใต้ผิวทาง

การสำรวจฯ GPR เพื่อหาความผิดปกติของโครงสร้างชั้นทางหรือโพรงใต้ผิวจราจรนั้น จำเป็นจะต้องเข้าใจลักษณะของคลื่นสัญญาณ GPR ว่ามีลักษณะอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณจากบริเวณที่มีสภาพโครงสร้างชั้นทางปกติ ซึ่งจะทำให้สามารถแยกลักษณะของคลื่นสัญญาณที่มีการเกิดโพรง อากาศออกจากสัญญาณอย่างอื่น ๆ ได้อย่างถูกต้อง

โดยปกติแล้วสัญญาณ GPR จากบริเวณที่ไม่มีโพรงจะมีค่าการสะท้อนเป็นบวก ในกรณีที่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ของชั้นที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชั้นที่ 2 แต่ในบริเวณที่พบโพรงค่าการสะท้อนจะมีค่าเป็นลบ ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณที่เป็นโพรงอากาศค่าคงที่ไดอิเล็กตริก จะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุข้างเคียง (โดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่า 1) หากกำหนดให้สีขาวเป็นบวกและสีดำเป็นลบ เราจะเห็นว่าบริเวณที่เกิดโพรงสัญญาณ GPR จะเริ่มต้นด้วยสีดำก่อน แล้วตามด้วยสีขาว ในทางตรงกันข้ามในบริเวณที่ไม่พบโพรงสัญญาณ GPR จะเริ่มด้วยสีขาวก่อนแล้วตามด้วยสีดำ ถ้าหากว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุแต่ละชั้น แตกต่างไปจากนี้ ลักษณะของคลื่นสัญญาณ GPR ก็จะต้องแตกต่างออกไปด้วย



ภาพที่ 8 ตัวอย่างของคลื่นสัญญาณ GPR บริเวณที่เกิดโพรงกับบริเวณที่ไม่มีโพรง ในกรณีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ของดินชั้นที่ 1 มีค่าน้อยกว่าดินชั้นที่ 2



ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างการสำรวจฯ GPR ที่พบความผิดปกติของคลื่นสัญญาณหรือการเกิดโพรงใต้ผิวทาง

## 5. ข้อดีของการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)

5.1 การสำรวจฯ GPR มีความสำคัญในการตรวจสอบสภาพโครงสร้างใต้ดิน เช่น โพรงใต้ผิวทางจราจร ระบบท่อสาธารณูปโภค หรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่อยู่ใต้ผิวทางจราจร เนื่องจากเก็บข้อมูลได้สะดวกรวดเร็ว ให้ความละเอียดสูง สามารถกำหนดความลึกของการสำรวจได้ แสดงภาพกราฟิกลักษณะของคลื่นผลจากการสำรวจที่มีความละเอียดสูงได้รวดเร็ว

5.2 การป้องกันอุบัติเหตุและการเสียหาย ช่วยป้องกันการขุดเจาะที่ไม่ตั้งใจทำให้ระบบสาธารณูปโภคหรือโครงสร้างชั้นทางใต้ผิวทางเสียหาย

5.3 การบำรุงรักษาและซ่อมแซม ข้อมูลคลื่นสัญญาณจาก GPR สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมโครงสร้างใต้ดิน ทำให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.4 การสำรวจที่รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย GPR สามารถสำรวจพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ในเวลาสั้นๆ โดยไม่ต้องขุดค้นหรือทำลายพื้นผิว ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในกระบวนการสำรวจ

## 6. ข้อจำกัดของการสำรวจด้วยเครื่อง Ground Penetration Radar (GPR)

6.1 การเก็บข้อมูลอาจจะล่าช้าในพื้นที่สำรวจที่มีลักษณะภูมิประเทศค่อนข้างลำบาก

6.2 ความลึกจะถูกจำกัด ในวัสดุที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง เช่น ดินเหนียว

6.3 การสำรวจฯ GPR ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีแนวสายไฟใต้ดิน

6.4 การสำรวจฯ GPR ไม่เหมาะทำการสำรวจขณะที่มีฝนฟ้าคะนอง

6.5 การสำรวจฯ GPR ไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ใกล้เสาส่งสัญญาณหรือเสาไฟฟ้าแรงสูง เพราะจะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนขณะทำการสำรวจฯ ทำให้อ่านและแปลความหมายของข้อมูลในการสำรวจฯ ไม่ได้

## 7. สรุป

การสำรวจฯ ด้วยเครื่อง Ground Penetration Radar (GPR) ใช้หลักการทำงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นเรดาร์ส่งสัญญาณลงไปยังชั้นใต้ดินและเมื่อคลื่นสัญญาณกระทบกับวัตถุต่างๆ หรือช่องว่าง ใต้ผิวทาง คลื่นสัญญาณจะสะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ ซึ่งการวิเคราะห์สัญญาณที่สะท้อนกลับจะสามารถตรวจสอบสภาพภายใต้ชั้นดินหรือโครงสร้างใต้ผิวทางได้

ข้อดีของการใช้เครื่อง GPR ในการตรวจสอบสภาพถนนคือ

7.1 ไม่ทำลายโครงสร้าง การใช้ GPR ไม่จำเป็นต้องขุดเปิดผิวถนน จึงเป็นวิธีการสำรวจสภาพทางที่ไม่สร้างความเสียหายแก่โครงสร้างชั้นทาง

7.2 ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย สามารถตรวจสอบในพื้นที่กว้างได้อย่างรวดเร็วและลดค่าใช้จ่ายที่อาจเกิดขึ้นจากการขุดเจาะ

7.3 ตรวจสอบความผิดปกติใต้ผิวดิน GPR สามารถตรวจจับโพรงใต้ผิวดิน วัตถุ หรือลักษณะผิดปกติใต้ผิวดินได้

กรมทางหลวงได้นำเครื่อง GPR มาใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างชั้นทางที่มีความเสี่ยงในการเกิดการทรุดตัวจากโพรงใต้ผิวถนน ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วของบ่อพักหรือท่อสาธารณูปโภคต่างๆ รวมทั้งการตรวจสอบโพรงใต้ผิวถนนคอนกรีต โดยข้อมูลจากการสำรวจฯ สามารถนำไปใช้ในการวางแผนซ่อมแซมก่อนที่ปัญหาจะลุกลามมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุใต้ผิวถนน เช่น เหล็กเสริม ท่อระบายน้ำ หรือท่อร้อยสายไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากปัญหาใต้ผิวถนนโดยไม่ทำลายโครงสร้าง ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม และเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ทาง

## 8. เอกสารอ้างอิง

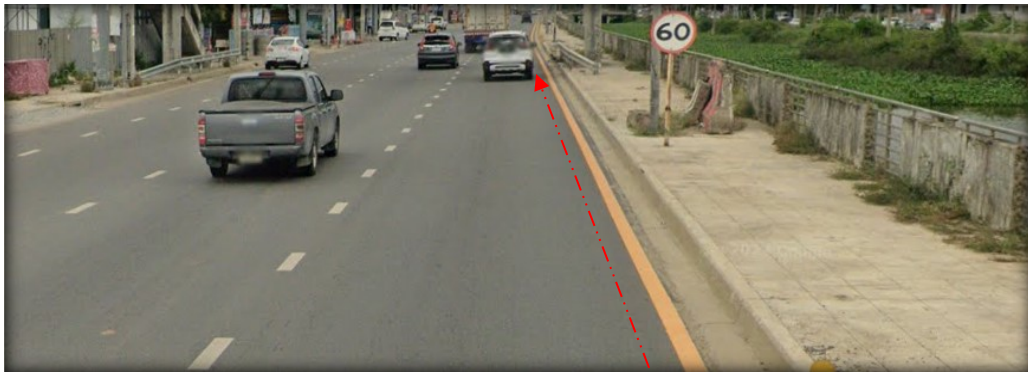
1. **Engineering Journal of Research and Development** ปีที่ 31 ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม 2563
2. สำนักวิจัยและพัฒนาทาง **คู่มือการสำรวจโพรงใต้ถนนคอนกรีต** น.14 – 19 : 2552
3. Daniels D.J., 1996 **Surface Penetration Radar**, The Institute of Electrical Engineers, London, UK.
4. GSSI, 2008, **Antennas**, <http://www.geophysical.com/antennas.htm>

## ตัวอย่าง

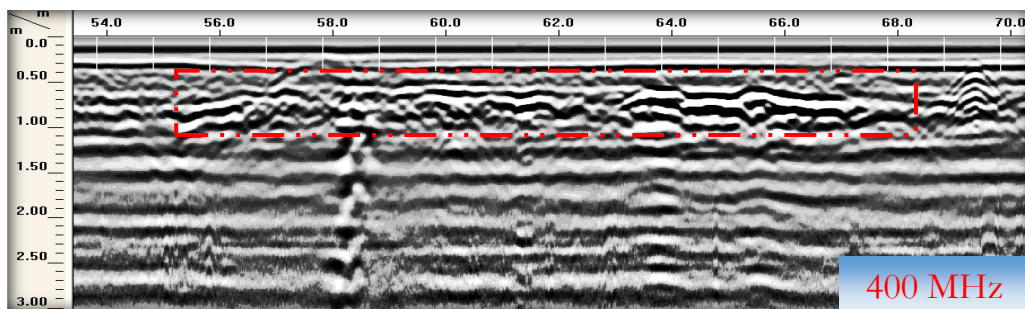
การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง  
ด้วยเครื่อง Ground Penetration Rader

## ตัวอย่างที่ 1

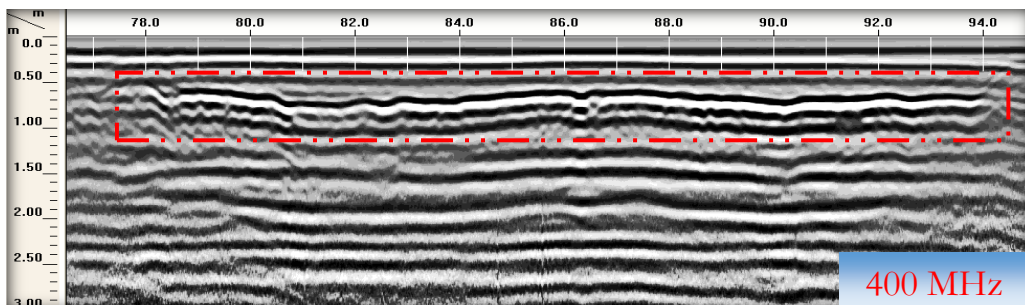
การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง Ground Penetrating Radar (GPR) ในพื้นที่แขวงทางหลวงสมุทรปราการ เนื่องจากในช่วงฤดูฝนมีน้ำท่วมขังบริเวณทางหลวงหมายเลข 3256 ช่วงกม.0+000 – กม.8+000 LT1 แนวร่องล้อขวา ซึ่งติดกับกำแพงกันดินที่กั้นระหว่างคลองส่งน้ำ กับโครงสร้างชั้นทาง



แนวสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ทางหลวงหมายเลข 3256



พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร ช่วง กม.7+154 - กม.7+172 RT1 ติดริมทางเท้าใกล้กำแพงกันดิน



พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร ช่วง กม.8+777 - กม.8+795 RT1 ติดริมทางเท้าใกล้กำแพงกันดิน

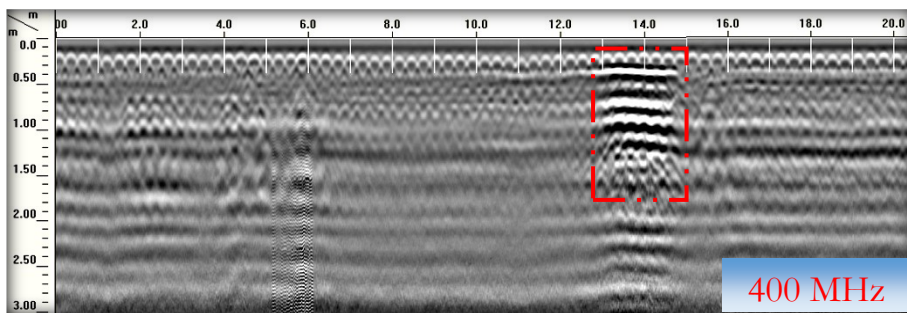
## ตัวอย่างที่ 2

การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง Ground Penetrating Radar (GPR) ในพื้นที่แขวงทางหลวงนครราชสีมาที่ 1

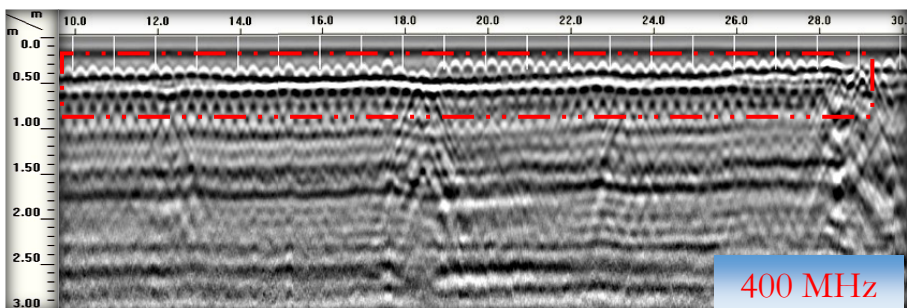
เนื่องจากการเกิดน้ำท่วมบ่อยครั้งบริเวณทางหลวงหมายเลข 205 ตอนโคกสวาย – แขวงทางหลวงนครราชสีมาที่ 1 ช่วงกม.229+250 – กม.229+450 และ กม.229+700 – กม.229+900 (บริเวณหน้า ปภ.จังหวัดนครราชสีมา) พื้นที่ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา



แนวการสำรวจ ด้วยเครื่อง GPR ทางหลวงหมายเลข 205



พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร ช่วง กม.229+680 – กม.229+700 RT3 ริมทางเท้า



พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร ช่วง กม.231+425 – กม.231+445 RT3 ริมทางเท้า

### ตัวอย่างที่ 3

เนื่องจากมีอุบัติเหตุการทรุดตัวของผิวทางคอนกรีตบริเวณขอบบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้าบ่อยครั้ง บนสายทางที่มีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง Ground Penetrating Radar (GPR) เพื่อนำข้อมูลไปวางแผนซ่อมบำรุงอย่างเร่งด่วน ก่อนที่จะเกิดการทรุดตัวบริเวณบ่อพักฯ จุดอื่นๆ ตามมา

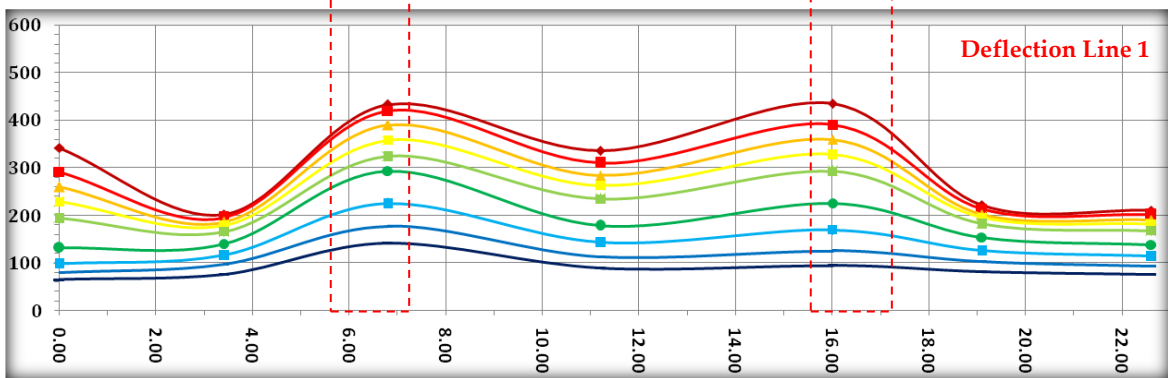
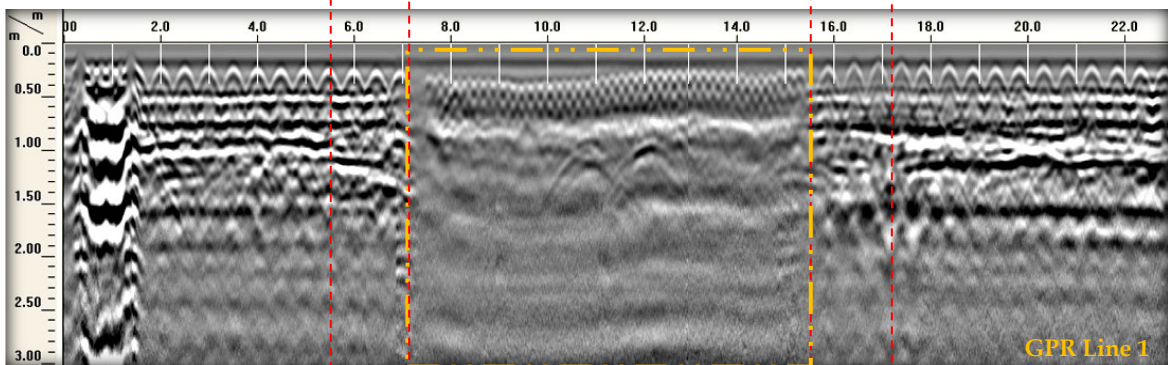
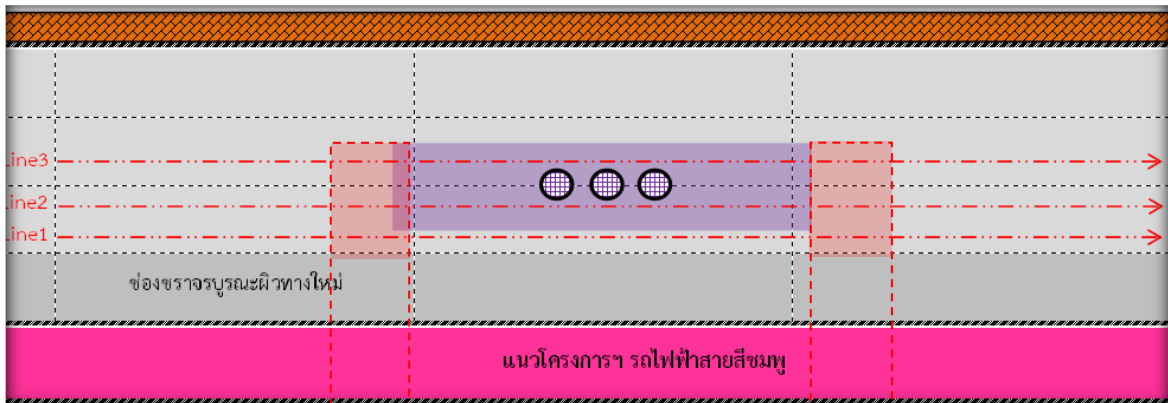


การทรุดตัวเป็นหลุมยุบบริเวณขอบบ่อพักฯ บนทางหลวง ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า

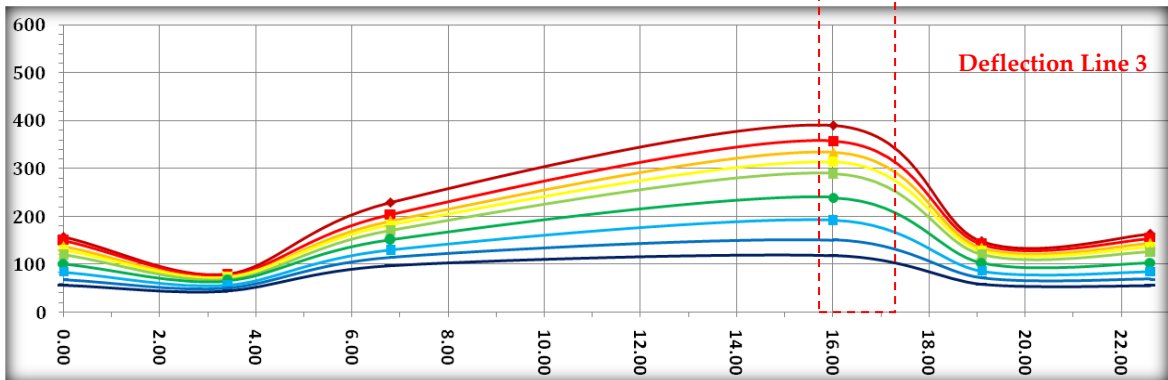
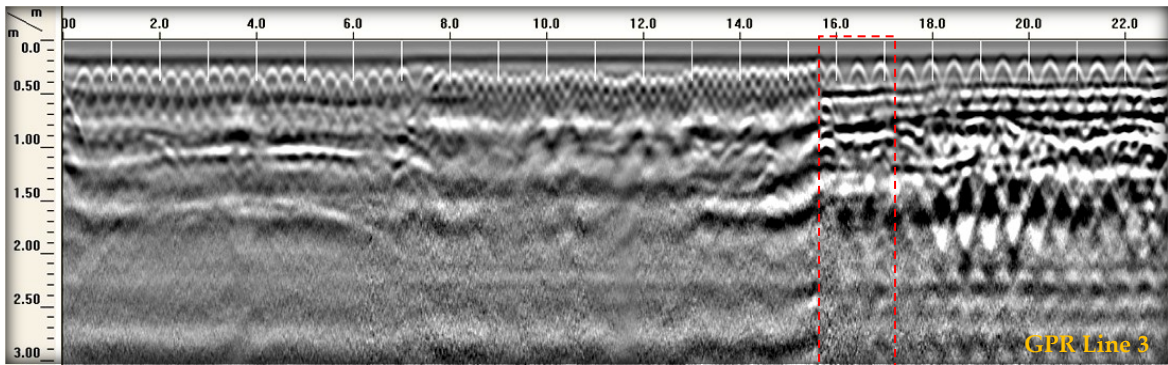
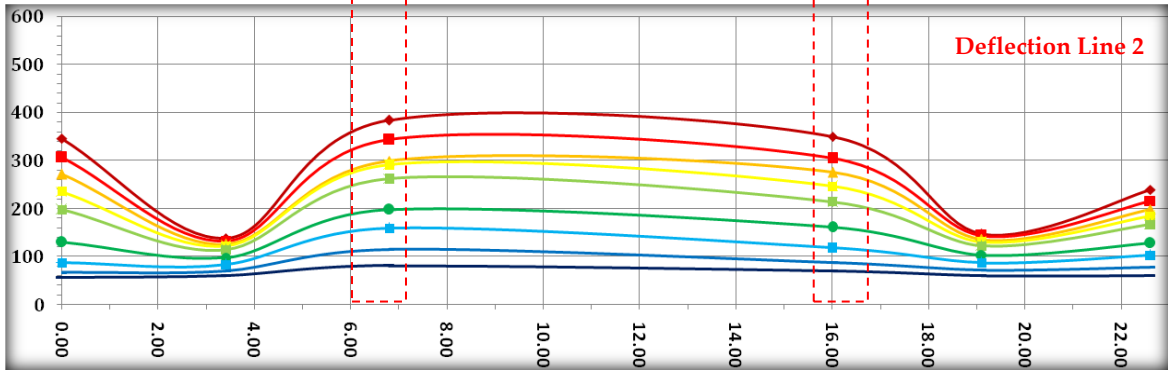
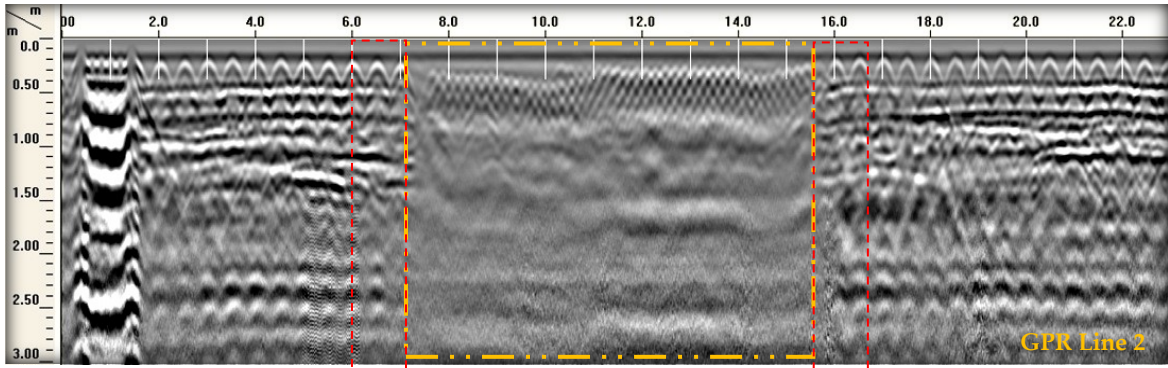
ตารางสรุป ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางบริเวณบ่อพักสายเคเบิล ด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู

ลำดับ	แขวงทางหลวง	สายทาง	จำนวนบ่อพักฯ การไฟฟ้า		
			สำรวจทั้งหมด	ปกติ	ผิดปกติ
1	กรุงเทพฯ	ทล.304 แจ้จ้วฒนะ	11	7	4
2	กรุงเทพฯ	ทล.304 รามอินทรา	94	58	36
3	กรุงเทพฯ	ทล.304 สุวินทวงค์	6	6	-
รวม			111	71	40
4	นนทบุรี	ทล.302 รัตนธิเบศร์	9	4	5
5	นนทบุรี	ทล.304 แจ้จ้วฒนะ	38	27	11
6	นนทบุรี	ทล.306 ดิวานนท์	31	19	12
รวม			78	50	28

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู  
 ทางหลวงหมายเลข 304 บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า กม.0+990 LT

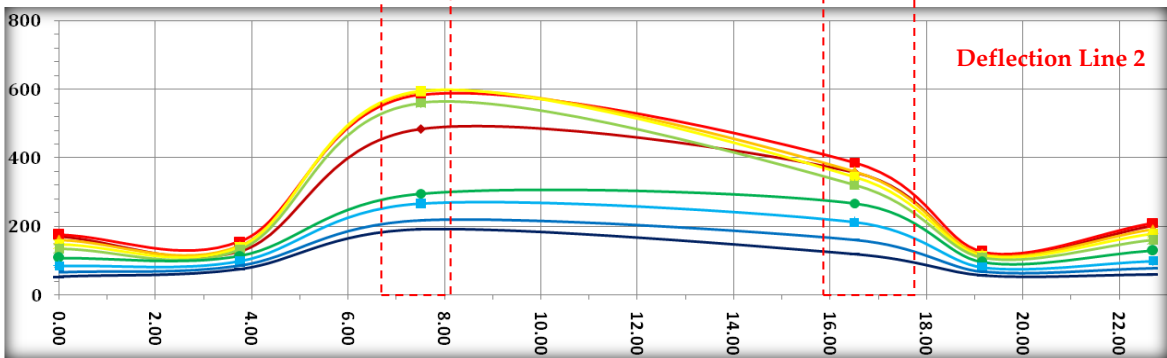
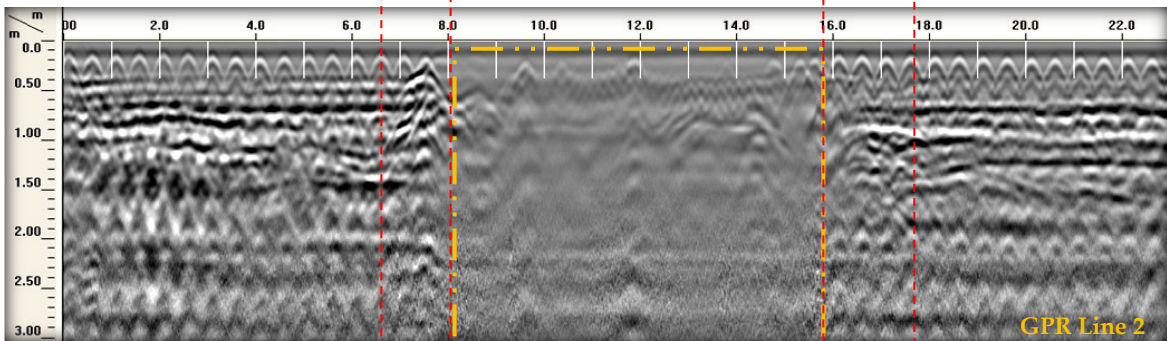
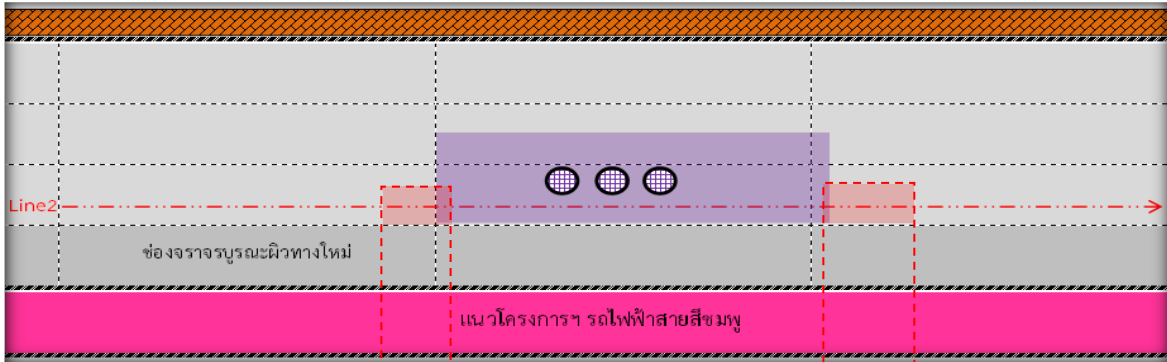


แนวสำรวจฯ ที่ 1 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรงบริเวณขอบบ่อพักฯ  
 เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน



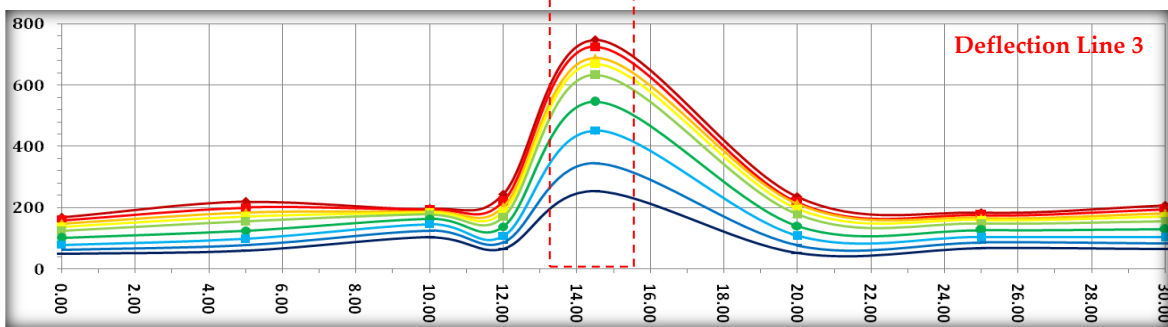
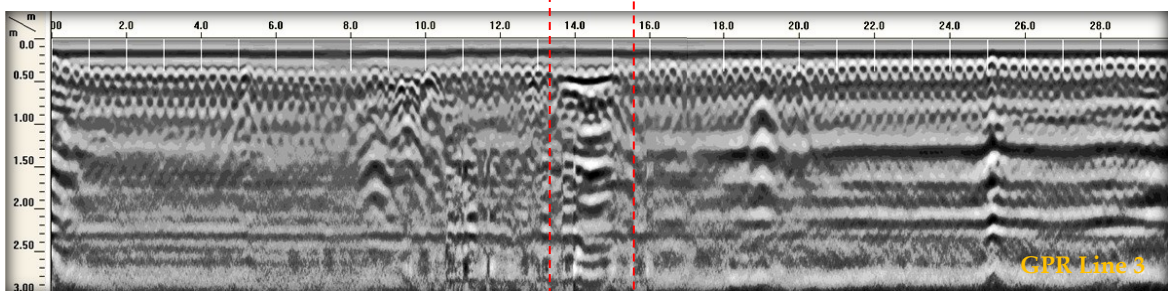
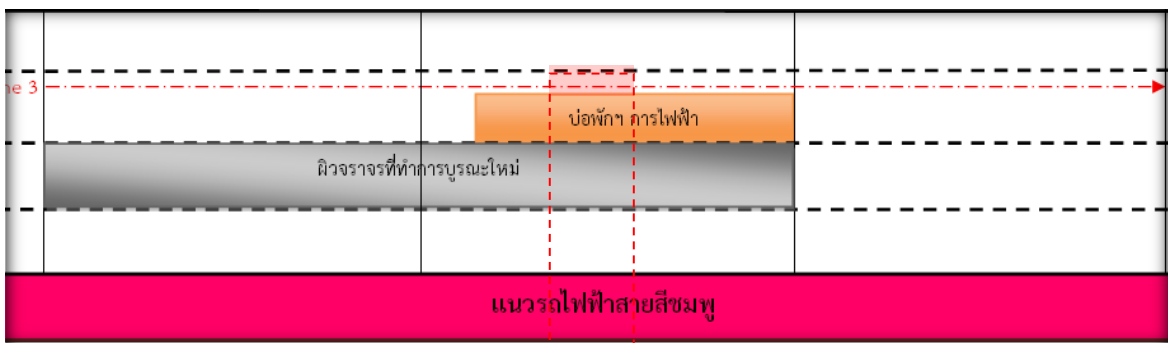
แนวสำรวจฯ ที่ 2 และ 3 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรงบริเวณขอบบ่อพักฯ เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู  
 ทางหลวงหมายเลข 304 บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า กม.2+301 LT



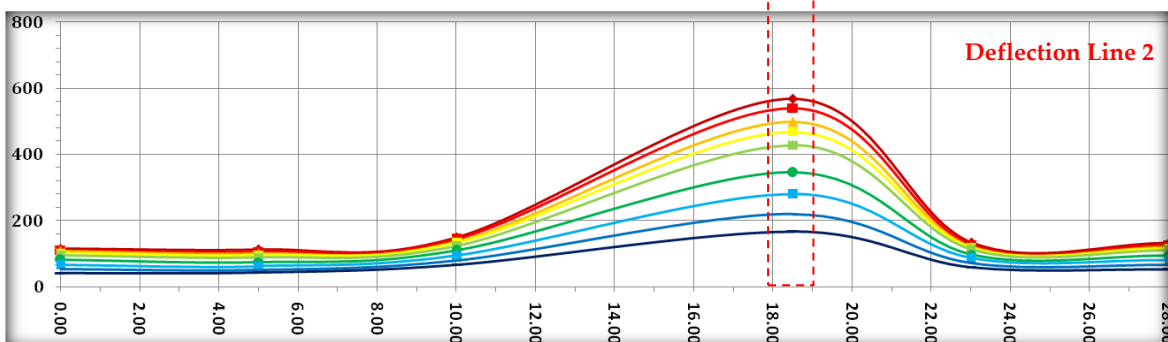
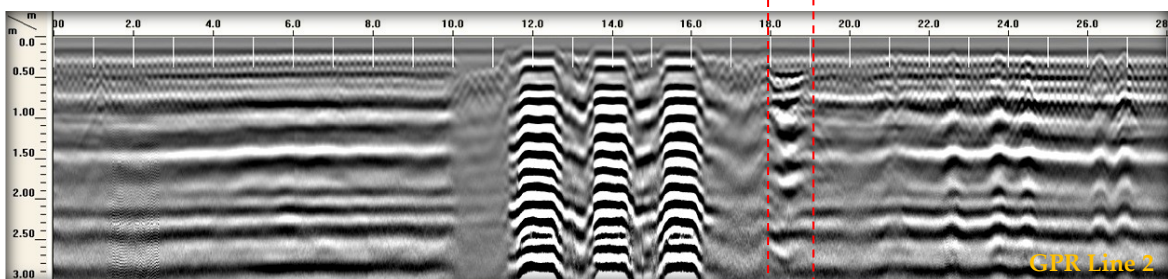
แนวสำรวจฯ ที่ 2 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรงบริเวณขอบบ่อพักฯ  
 เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพู ทางหลวงหมายเลข 304 บริเวณบ่อพักสายเคเบิล กม.19+930 LT



แนวสำรวจฯ ที่ 3 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรงบริเวณริมขอบบ่อพักฯ เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีชมพูทาง  
 หลวงหมายเลข 304 บริเวณบ่อพักสายเคเบิล กม.23+539 LT

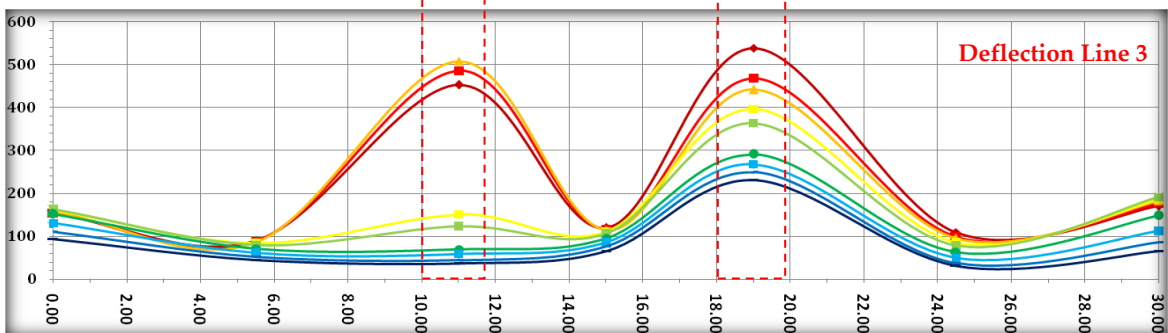
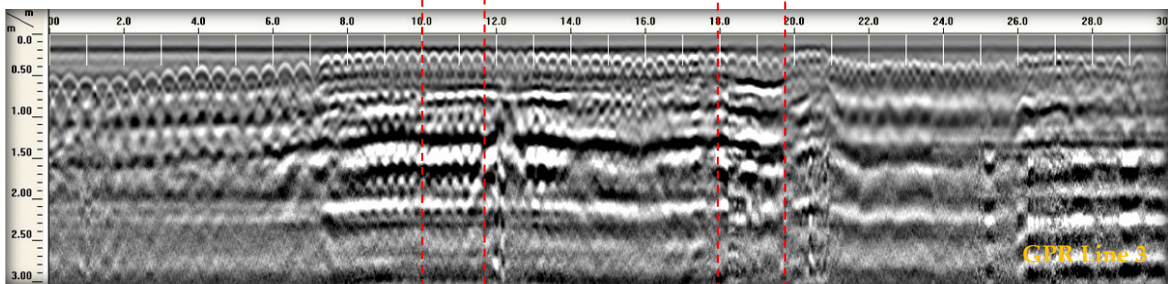
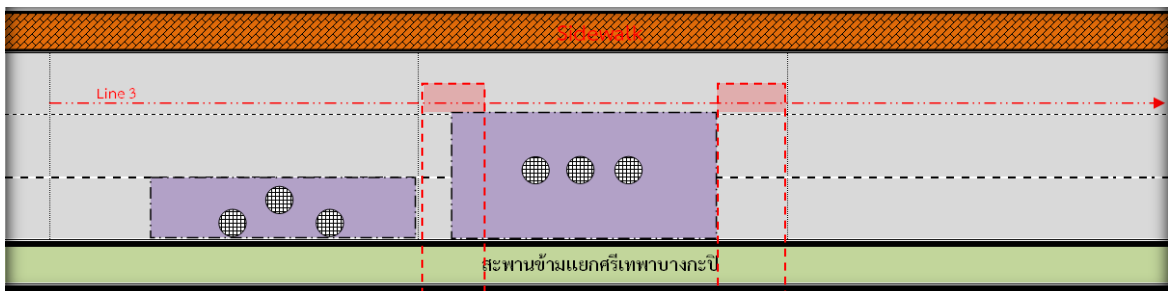


แนวสำรวจฯ ที่ 2 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรง บริเวณขอบบ่อพักฯ ด้านขวา  
 เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

#### ตัวอย่างที่ 4

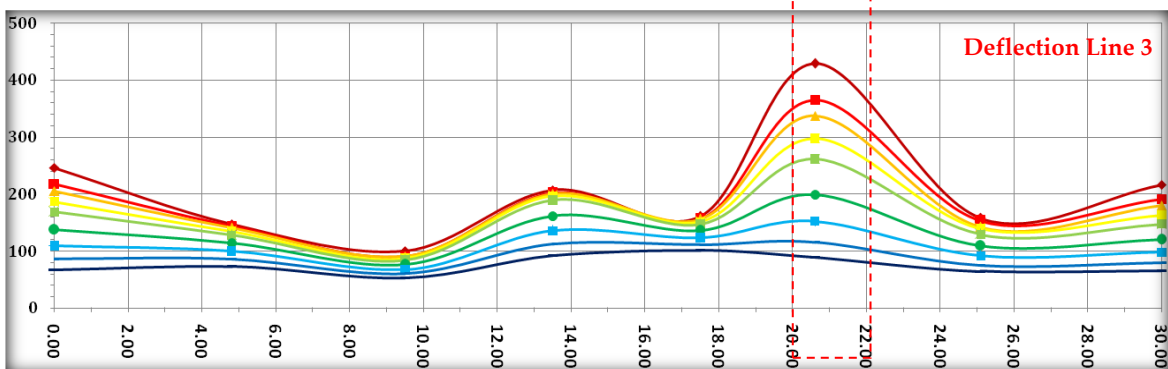
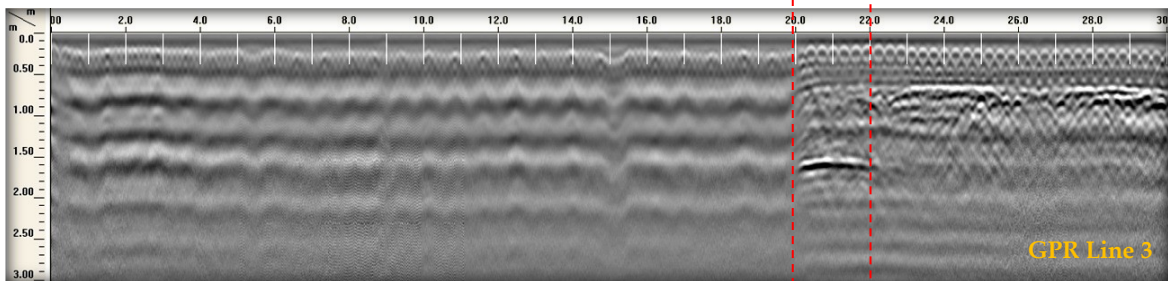
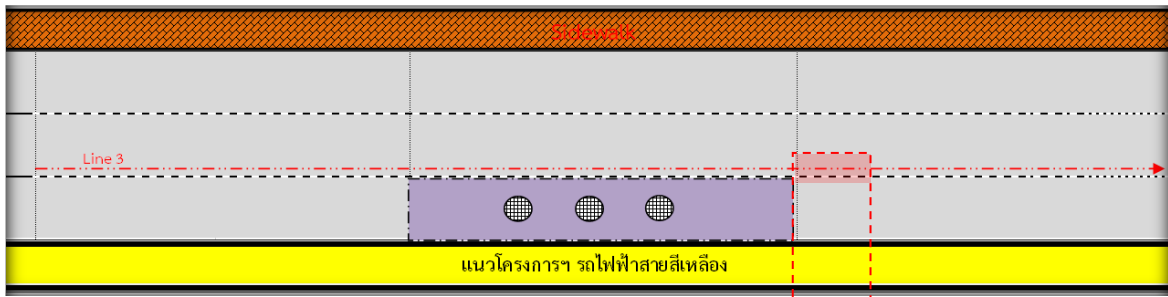
การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการรถไฟฟ้า สายสีเหลือง บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า จำนวน 69 บ่อพักฯ โดยตรวจพบความผิดปกติของ คลื่นเรดาร์หรือคาดว่าอาจจะเกิดโพรงใต้ผิวทาง จำนวน 12 บ่อพักฯ

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า สายสีเหลือง ทางหลวงหมายเลข 3344 บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า กม.15+445 RT



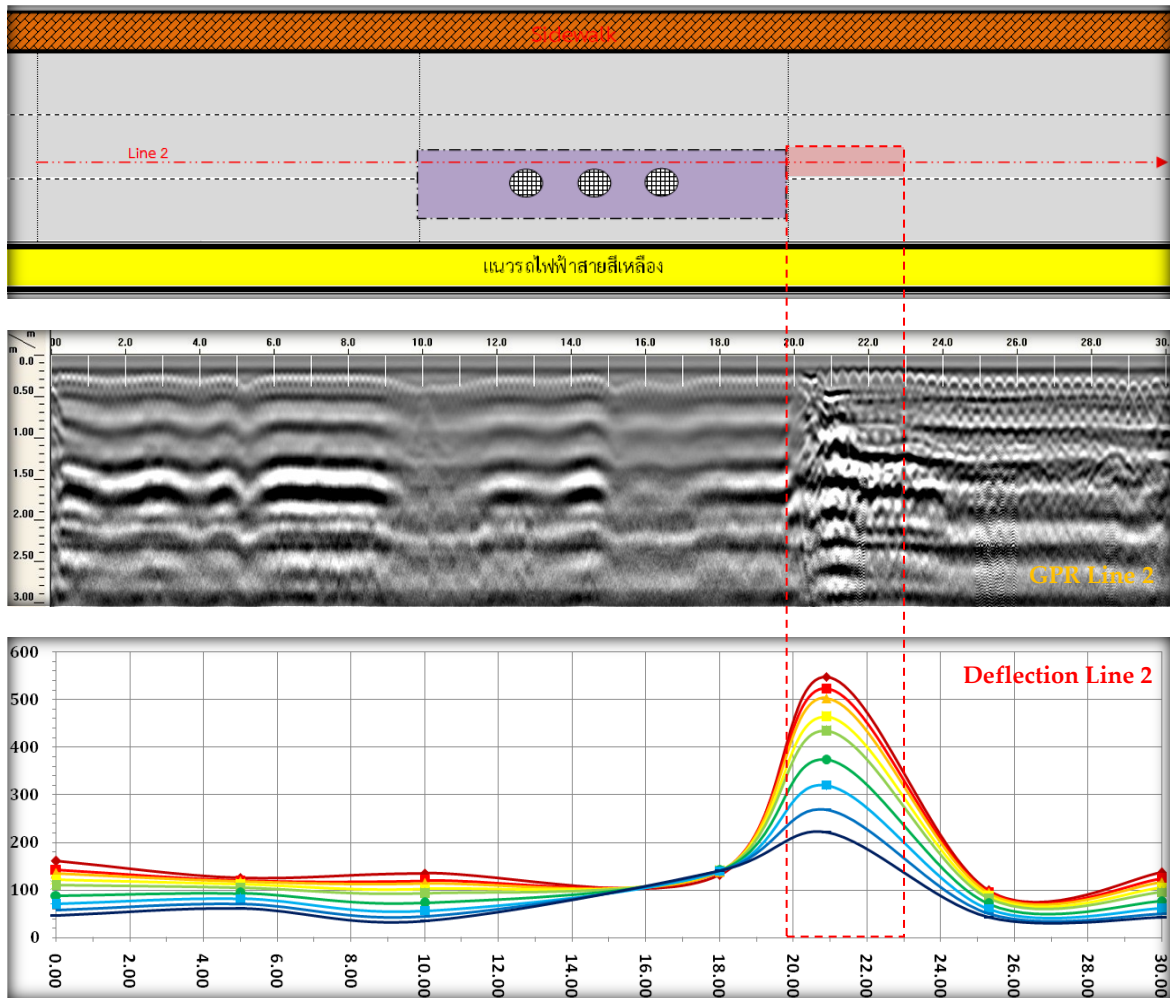
แนวสำรวจฯ ที่ 3 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรง บริเวณริมขอบบ่อพักฯ ทั้งสองด้าน เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง  
 ทางหลวงหมายเลข 3268 บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า กม.3+060 RT



แนวสำรวจฯ ที่ 3 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรง บริเวณริมขอบบ่อพักฯ ด้านขวา  
 เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

ผลการสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง GPR ตามแนวโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง  
 ทางหลวงหมายเลข 3268 บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า กม.0+425 RT



แนวสำรวจฯ ที่ 2 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ คาดว่าจะมีโพรง บริเวณขอบบ่อพักฯ ด้านขวา  
 เมื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางด้วยเครื่อง FWD ปรากฏว่ามีค่าการแอ่นตัวสูงเช่นกัน

## ตัวอย่างที่ 5

ผลการสำรวจโพรงใต้ผิวทางจราจร ด้วยเครื่อง GPR บริเวณถนนยุบตัว ทางหลวงหมายเลข 3029 ซึ่งเป็นถนนเลียบริมทางหลวงหมายเลข 9 กาญจนภิเษก วันที่ 6 มกราคม 2567 โดยมีรัศมีการยุบตัวกว้างประมาณ 30 เมตร และลึกประมาณ 1.30 เมตร

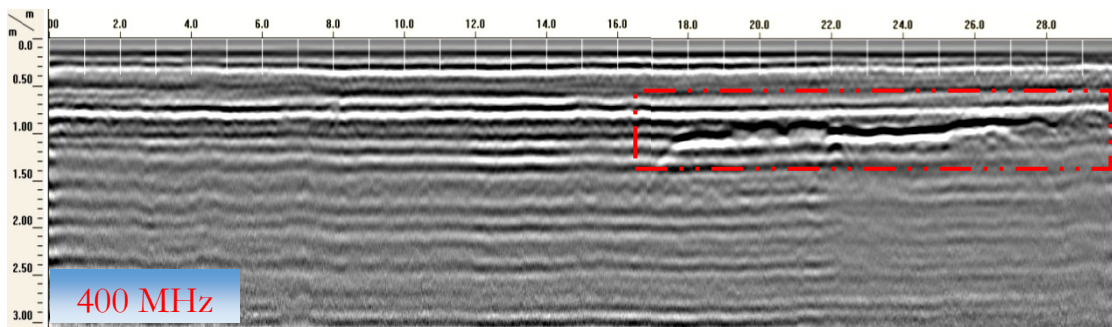


แนวการสำรวจ GPR บริเวณผิวทางแอสฟัลต์ที่กำลังก่อสร้างและบริเวณผิวทางคอนกรีตของเส้นทางหลักทางหลวงหมายเลข 9 ที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งอยู่ใกล้กับบริเวณที่เกิดหลุมยุบ

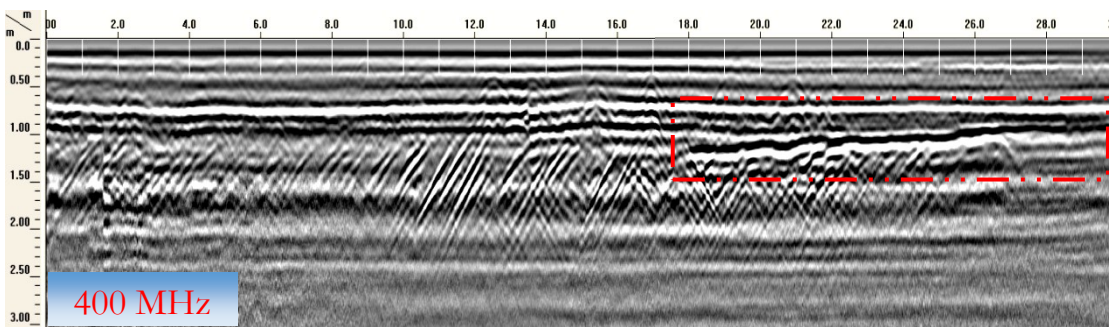


ภาพการสำรวจโพรงใต้ผิวทางจราจรด้วยเครื่อง GPR บริเวณถนนยุบตัว ทางหลวงหมายเลข 3029

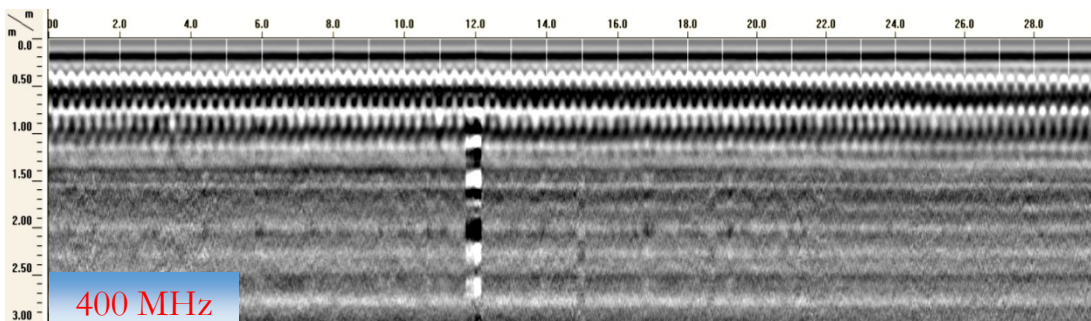
ผลการสำรวจโพรงใต้ผิวทางจราจร ด้วยเครื่อง GPR คลื่นเรดาร์ความถี่ 400 MHz



แนวสำรวจที่ 1 ห่างจากขอบหลุมยุบประมาณ 0.8 เมตร พบว่ามีโพรงขนาดใหญ่ที่ความลึกประมาณ 1.0 เมตร และมีความยาวประมาณ 13 เมตร อยู่ใต้โครงสร้างชั้นทางที่อยู่ใกล้กับบริเวณหลุมยุบ



แนวสำรวจที่ 2 ห่างจากขอบหลุมยุบประมาณ 1.5 เมตร พบว่ามีโพรงขนาดใหญ่ที่ความลึกประมาณ 1.0 เมตร และมีความยาวประมาณ 13 เมตร ใต้โครงสร้างชั้นทางใกล้กับบริเวณหลุมยุบ



แนวสำรวจที่ 3 บริเวณผิวทางคอนกรีตของเส้นทางหลักที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ ห่างจากขอบหลุมยุบประมาณ 2.5 เมตร ไม่พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์



ภาพการรื้อเอาผิวทางที่แตกหักจากการยุบตัวของถนนออกและพบว่ามีโพรงขนาดใหญ่ลึกเข้าไปใต้  
โครงสร้างชั้นทางใกล้กับบริเวณหลุมยุบ ตรงกับผลการสำรวจฯ GPR

## ตัวอย่างที่ 6

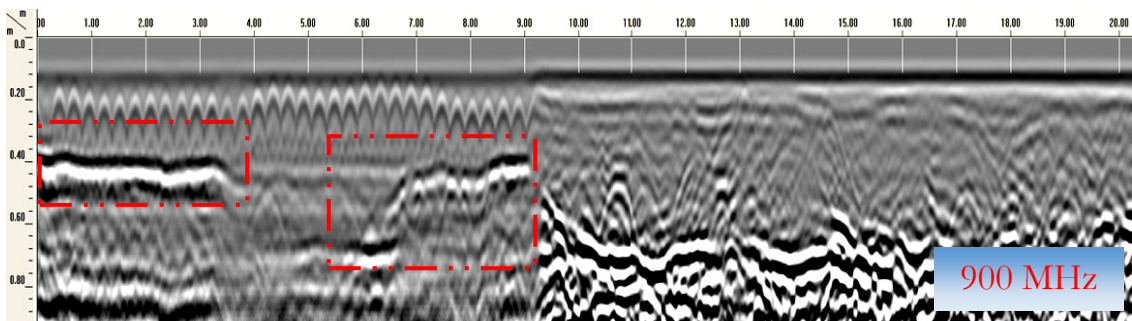
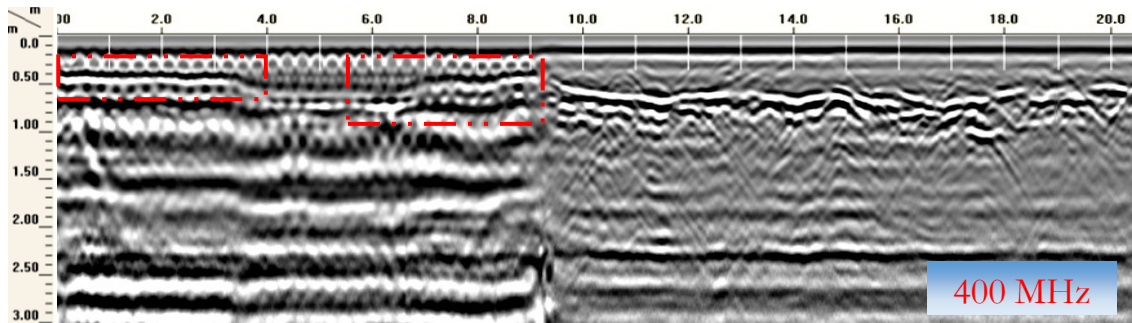
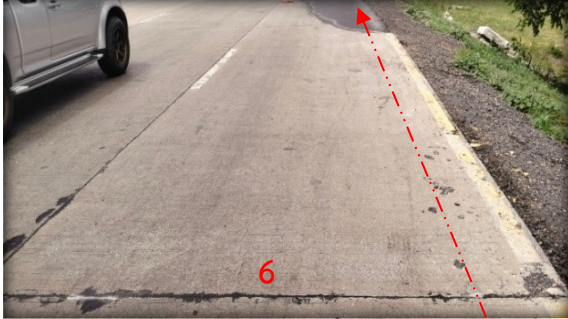
การสำรวจโครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง Ground Penetrating Radar (GPR) ทางหลวงหมายเลข 347 ในพื้นที่แขวงทางหลวงอ่างทอง

ส่วนออกแบบแนะนำโครงสร้างชั้นทางมีขออนุเคราะห์ส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง ดำเนินการสำรวจชั้นโครงสร้างใต้ผิวจราจร ด้วยเครื่อง GPR บริเวณทางหลวงหมายเลข 347 ตอน บางปะหัน – เจ้าปลุก ระหว่าง กม.48+700 ถึงกม.49+500 RT เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการออกแบบ และแนะนำการซ่อมแซมต่อไป



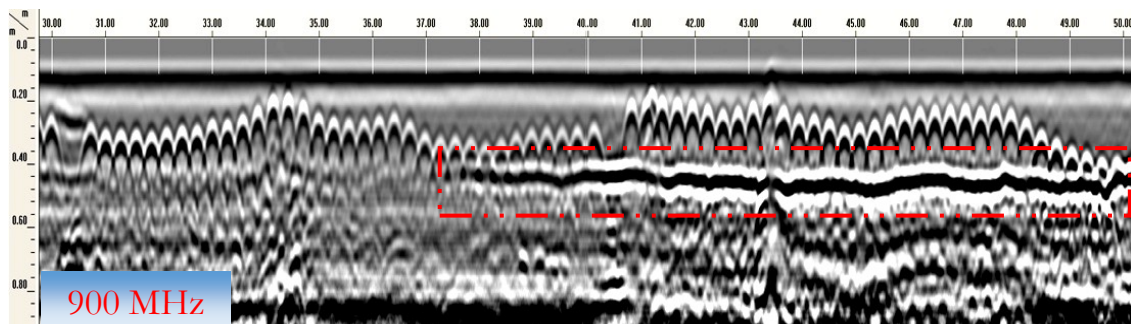
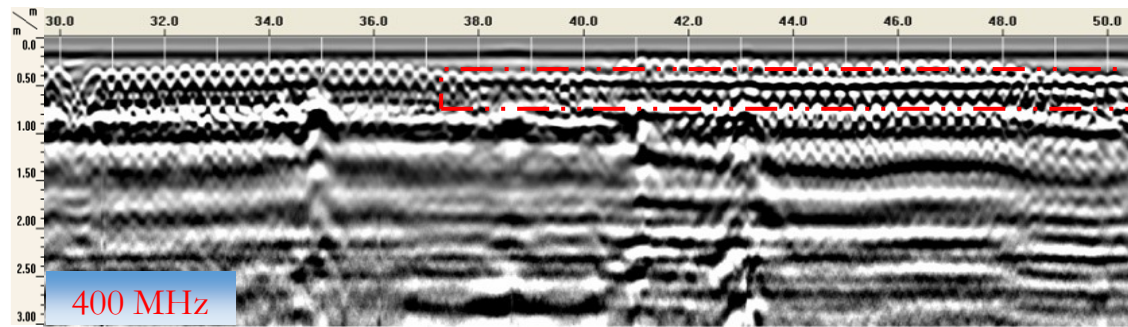
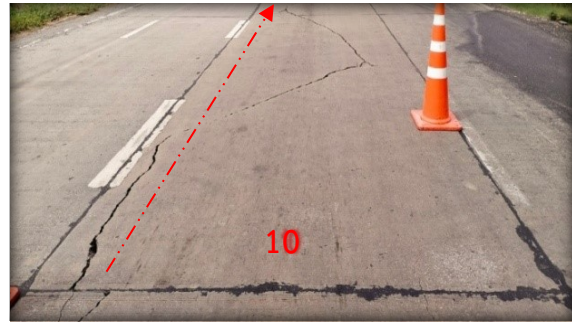
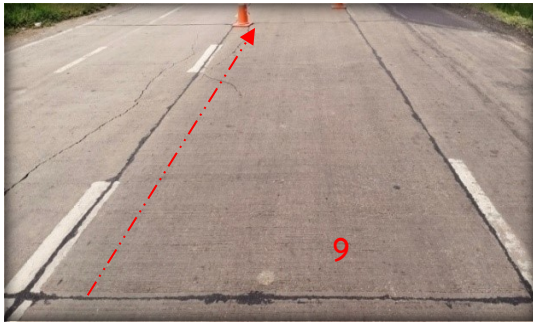
การสำรวจโพรงใต้ผิวทางจราจรด้วยเครื่อง GPR ทางหลวงหมายเลข 347

ผลการสำรวจโครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง GPR ที่ความถี่ 400 MHz. และ 900 MHz.  
ทางหลวงหมายเลข 347 ช่วงกม.48+700 – กม.49+500 RT1



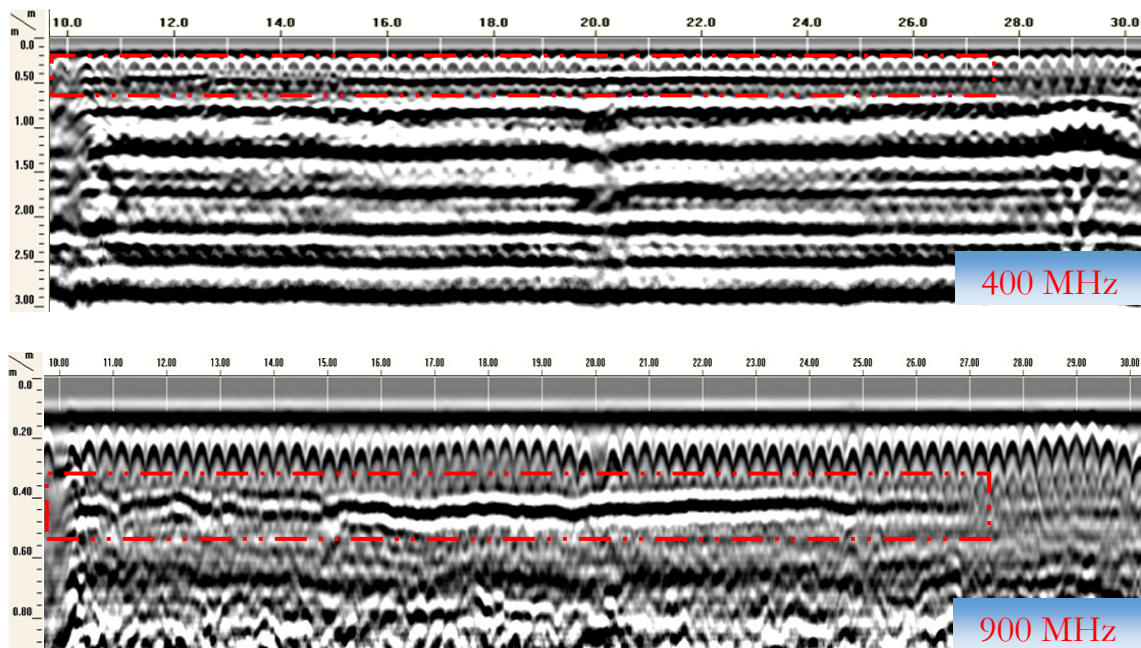
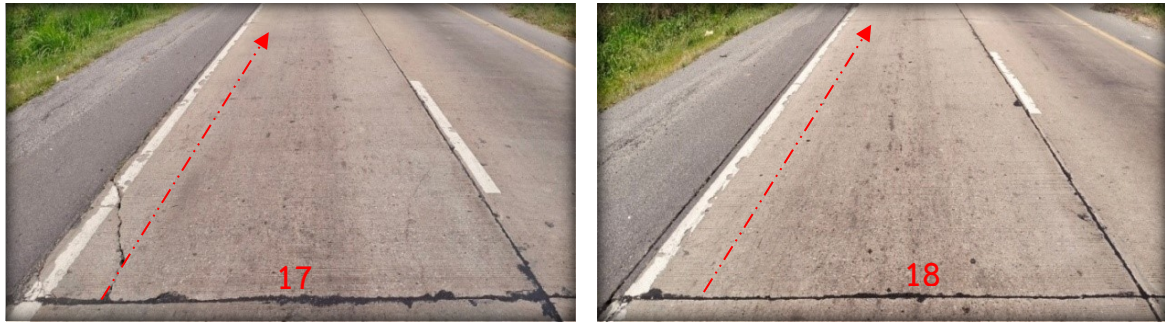
พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะ เป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร บริเวณ  
ร่องล้อขวา RT1 คอนกรีตแผ่นที่ 6 ในส่วนของคอนกรีตแผ่นที่ 7 จะเป็นส่วนที่มีการซ่อมบำรุงโดยการ  
รื้อผิวคอนกรีตที่แตกหักออกไป แล้วนำแอสฟัลต์มาปูปรับระดับเพื่อเปิดใช้งานชั่วคราว

ผลการสำรวจโครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง GPR ที่ความถี่ 400 MHz. และ 900 MHz  
ทางหลวงหมายเลข 347 ช่วง กม.48+700 – กม.49+500 RT2



พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร  
บริเวณร่องล้อซ้าย ของเลน RT2 ที่เริ่มจากกลางคอนกรีตแผ่นที่ 9 จนถึงคอนกรีตแผ่นที่ 10

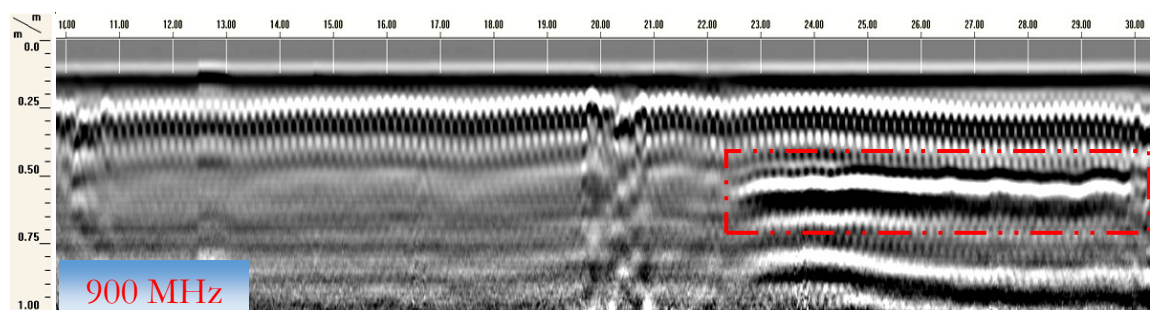
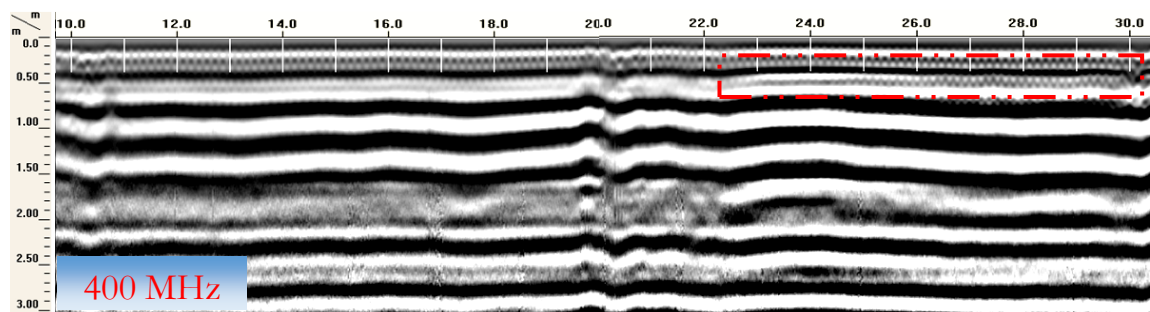
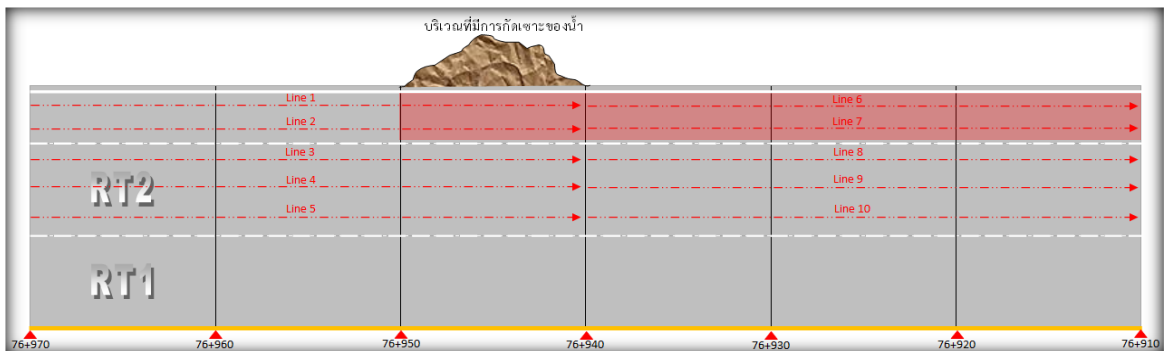
ผลการสำรวจโครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง GPR ที่ความถี่ 400 MHz. และ 900 MHz  
ทางหลวงหมายเลข 347 ช่วง กม.48+700 – กม.49+500 RT2



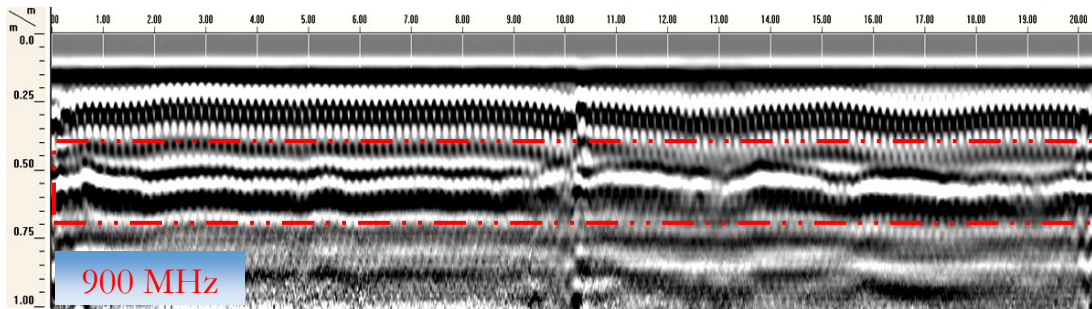
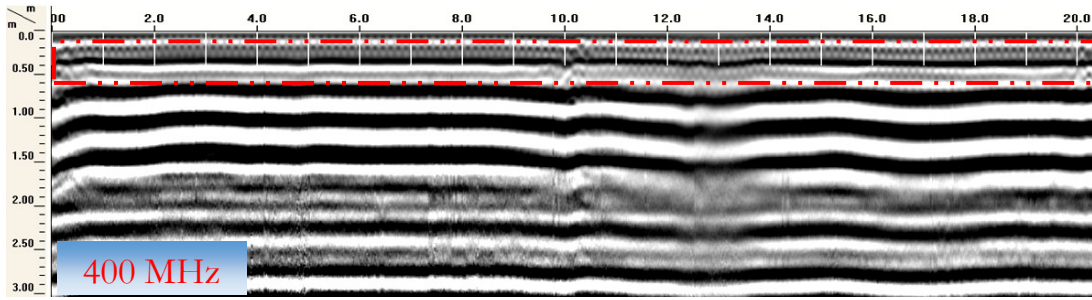
พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร  
บริเวณร่องล้อซ้าย ของเลน RT2 ที่เริ่มจากคอนกรีตแผ่นที่ 17 จนถึงกลางคอนกรีตแผ่นที่ 18

## ตัวอย่างที่ 7

การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง ด้วยเครื่อง GPR ในพื้นที่แขวงทางหลวงสระบุรี บริเวณทางหลวงหมายเลข 33 ตอน โคกแดง - หินกอง ช่วง กม.76+950 RT เกิดดินสไลด์เป็นโพรงใต้ผิวทางคอนกรีต เนื่องจากฝนตกหนักและน้ำกัดเซาะ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนและออกแบบวิธีซ่อมบำรุงต่อไป



บริเวณไหล่ทางคอนกรีตแผ่นที่ 3 ของแนวที่ 1 และแนวที่ 2 พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร

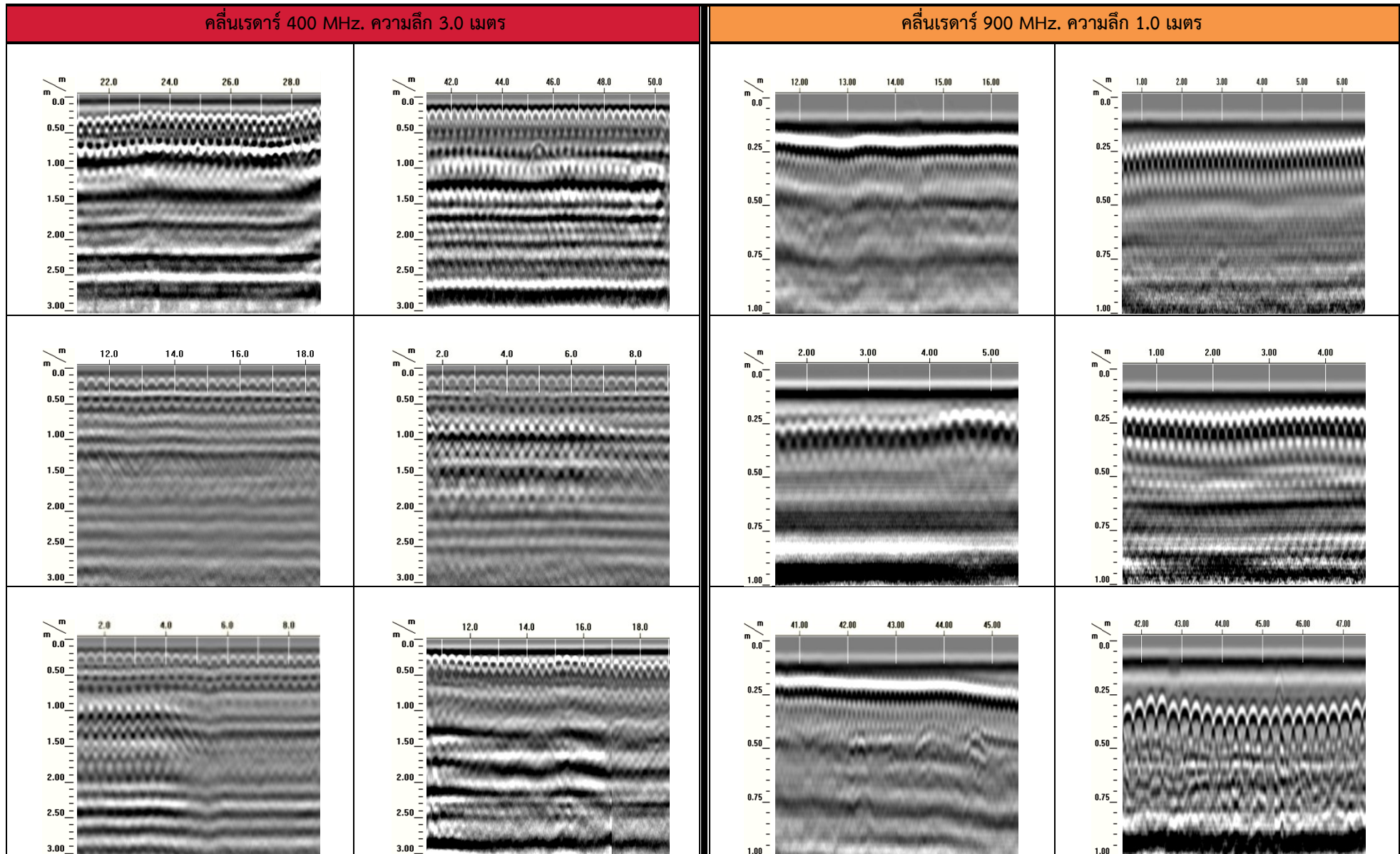


บริเวณไหล่ทางคอนกรีตแผ่นที่ 4 - 6 ของแนวที่ 6 และแนวที่ 7  
พบความผิดปกติของคลื่นเรดาร์ ซึ่งคาดว่าจะเป็นโพรงอากาศใต้ผิวทางจราจร

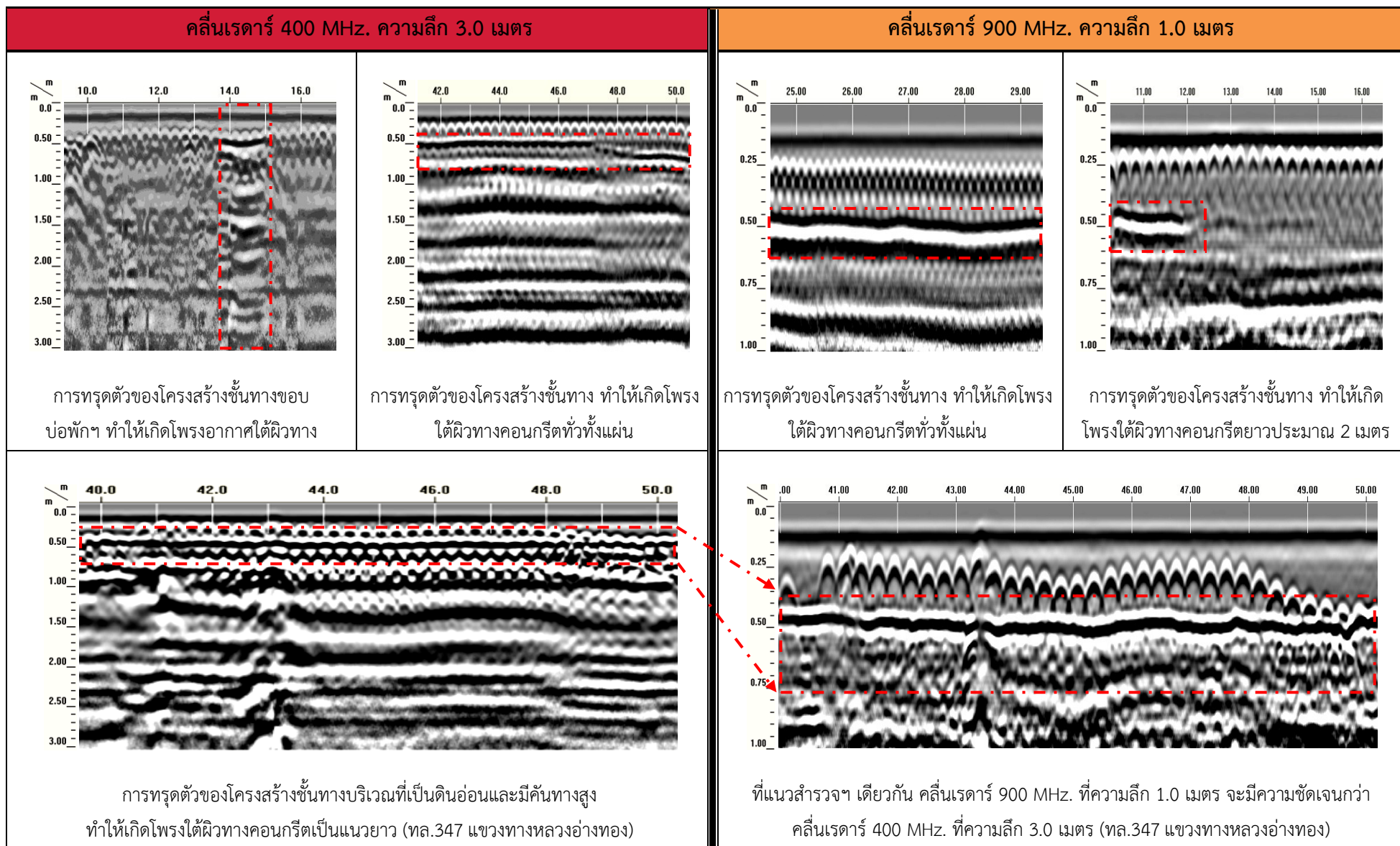
## ลักษณะของคลื่นเรดาร์และการแปลผล

การสำรวจโพรงใต้โครงสร้างชั้นทาง  
ด้วยเครื่อง Ground Penetration Rader

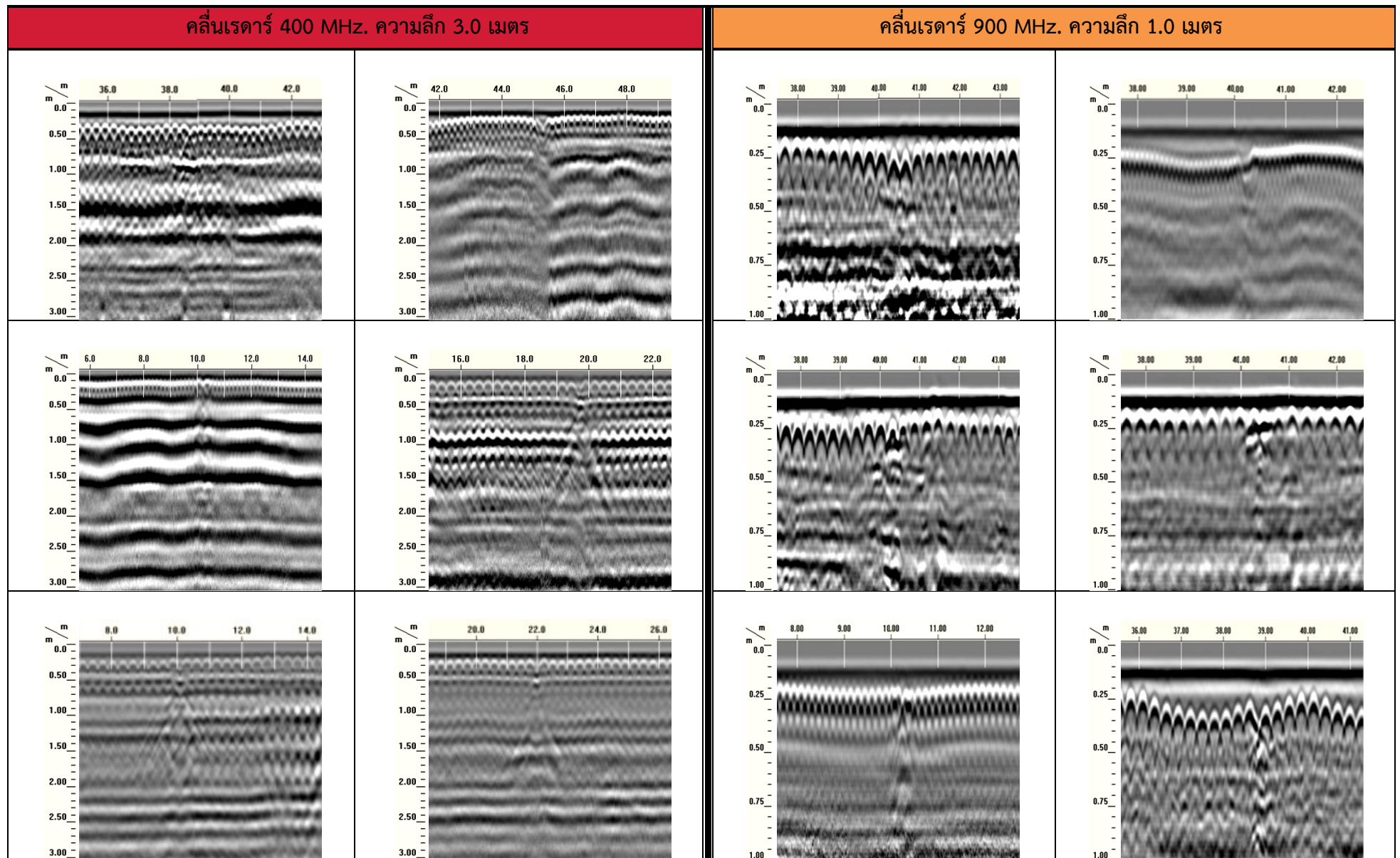
ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างชั้นทางคอนกรีตที่ไม่มีความผิดปกติ



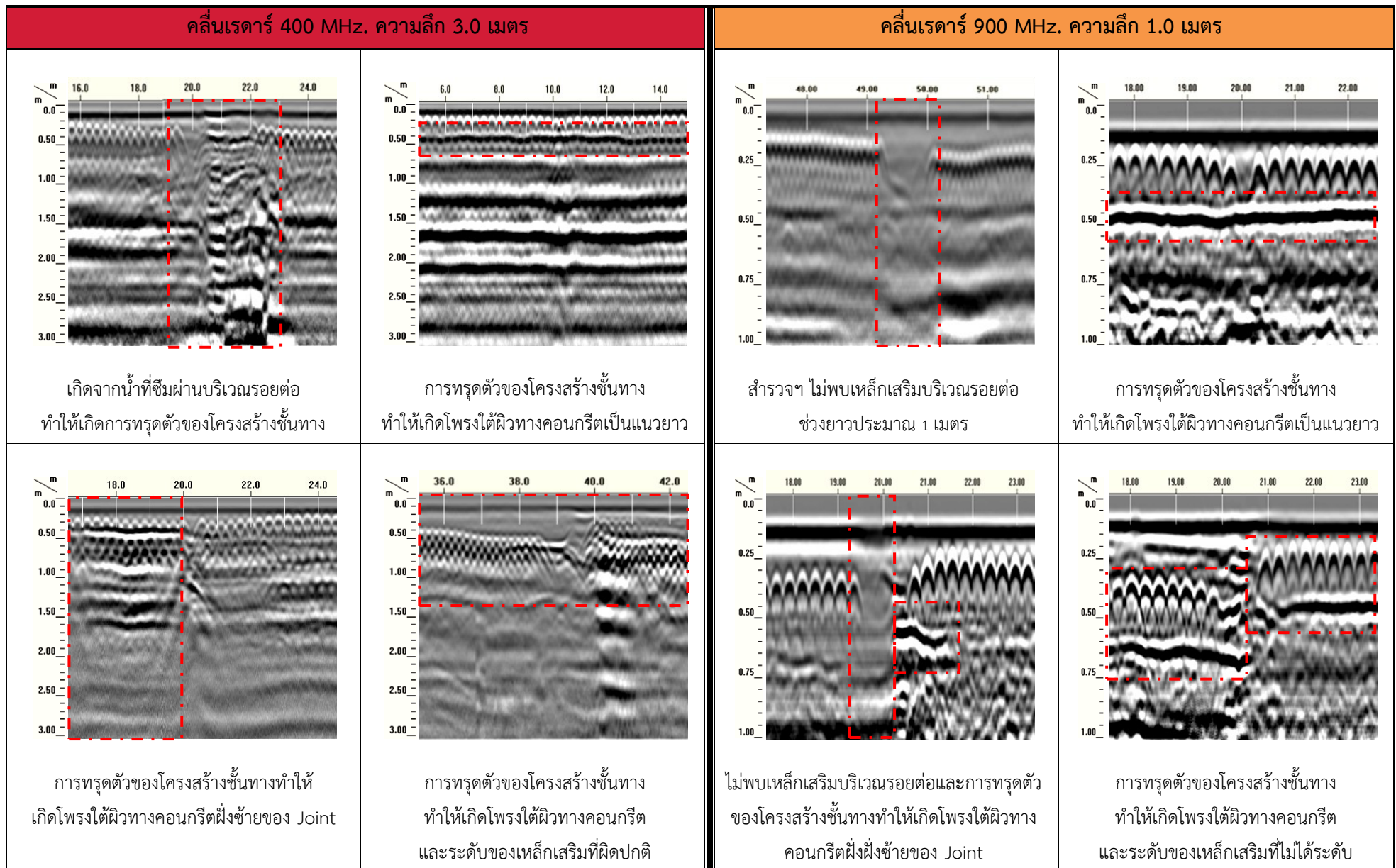
ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างชั้นทางคอนกรีตที่ **มีความผิดปกติ**



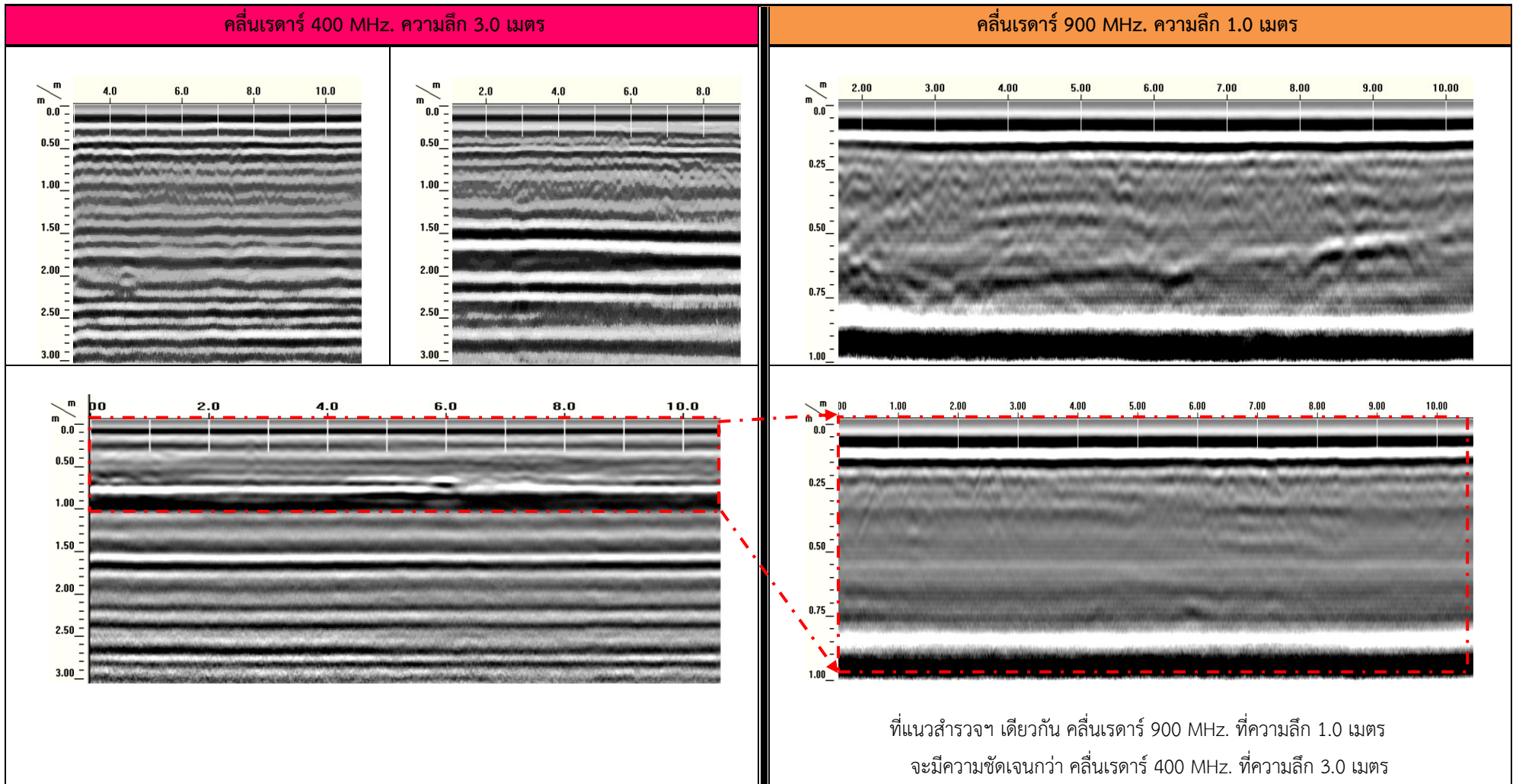
ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างชั้นทางคอนกรีต บริเวณ JOINT รอยต่อที่ไม่มีความผิดปกติ



ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างชั้นทางคอนกรีต บริเวณ JOINT รอยต่อที่มีความผิดปกติ

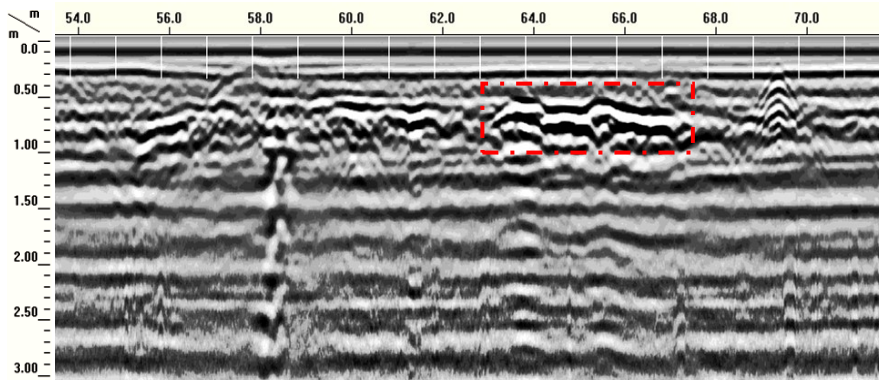


ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมผัสกับโครงสร้างชั้นทางผิวทางแอสฟัลต์ที่ไม่มีความผิดปกติ



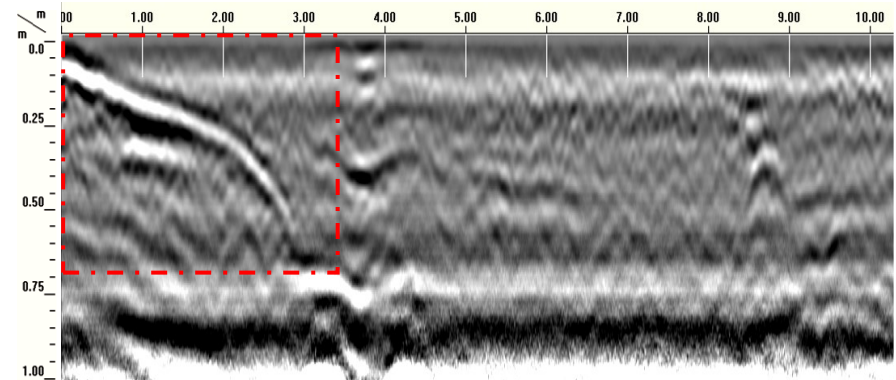
ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับโครงสร้างชั้นทางผิวทางแอสฟัลต์ **ที่มีความผิดปกติ**

คลื่นเรดาร์ 400 MHz. ความลึก 3.0 เมตร

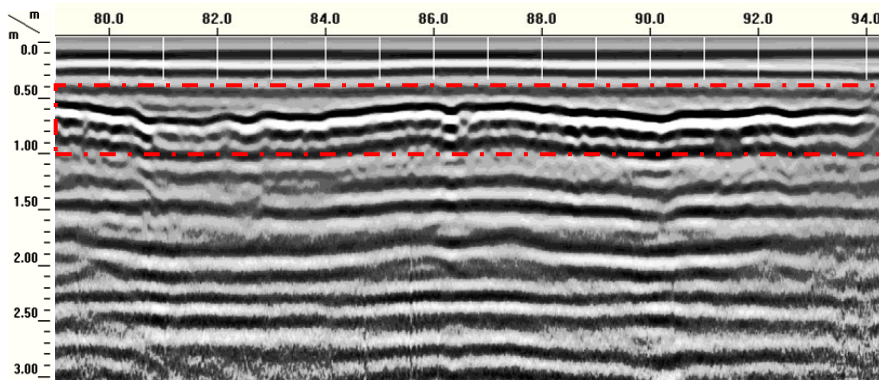


การทรุดตัวของโครงสร้างชั้นทาง ทำให้เกิดโพรงใต้ผิวทาง บริเวณดินอ่อนที่ติดกับกำแพงกันดิน และอีกฝั่งเป็นคลองส่งน้ำ

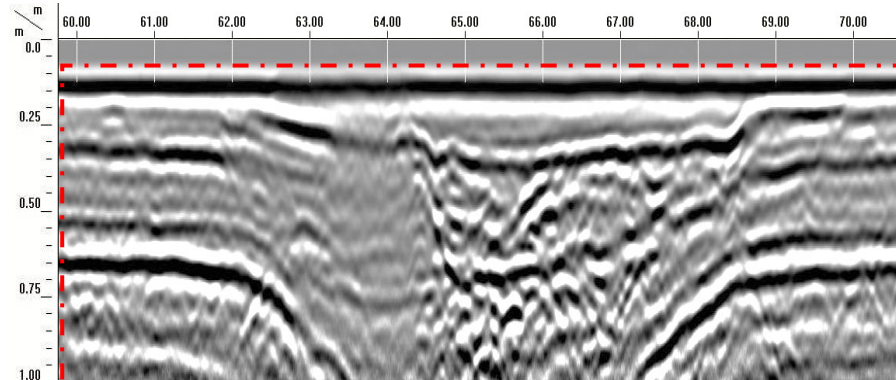
คลื่นเรดาร์ 900 MHz. ความลึก 1.0 เมตร



การทรุดตัวของโครงสร้างชั้นทางเดิมที่ได้รับการซ่อมแซม และได้รับการซ่อมปรับระดับให้ใช้งานได้ชั่วคราว

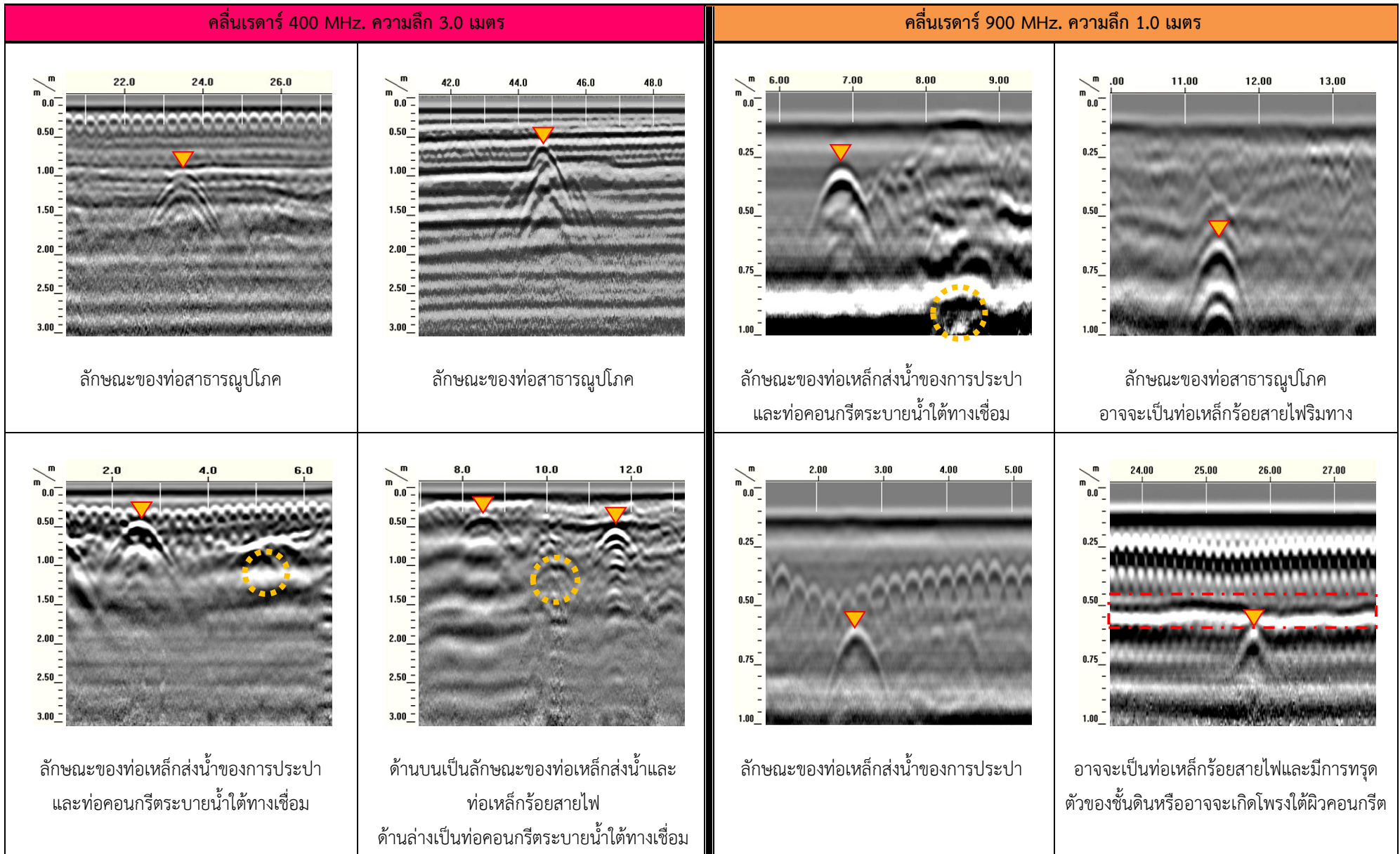


การทรุดตัวของโครงสร้างชั้นทาง ทำให้เกิดโพรงใต้ผิวทางเป็นแนวยาว บริเวณดินอ่อนที่ติดกับกำแพงกันดิน และอีกฝั่งเป็นคลองส่งน้ำ

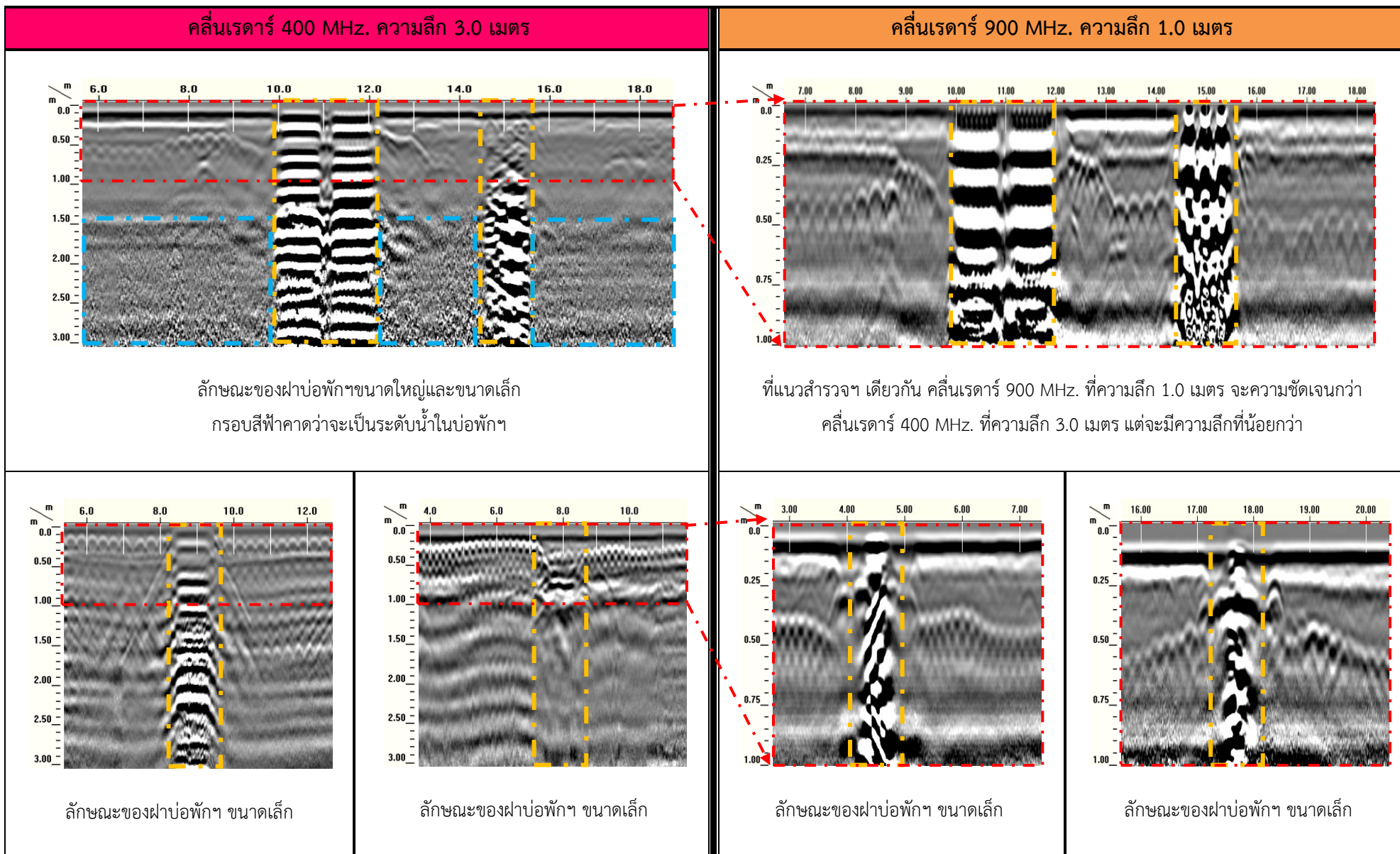


การทรุดตัวของโครงสร้างชั้นทางเดิมเนื่องจากการกักเสาะของน้ำจากท่อระบาย และได้รับการซ่อมบำรุงให้ใช้งานได้ชั่วคราว

## ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับระบบท่อสาธารณูปโภค

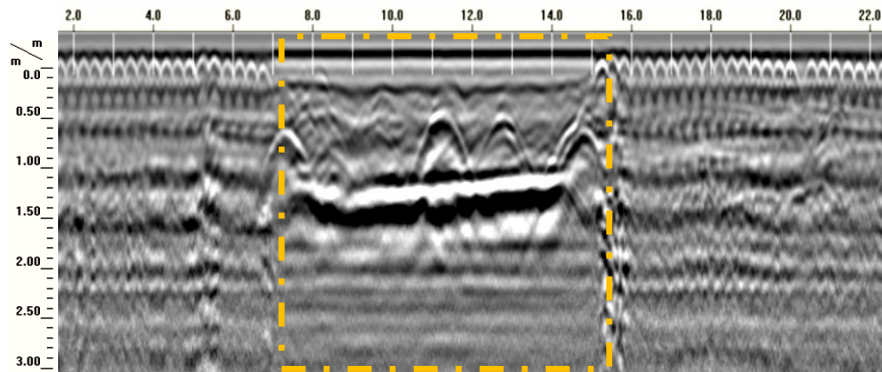


## ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์ที่สัมพันธ์กับตะแกรงหรือฝาบ่อพักที่ระบายน้ำ



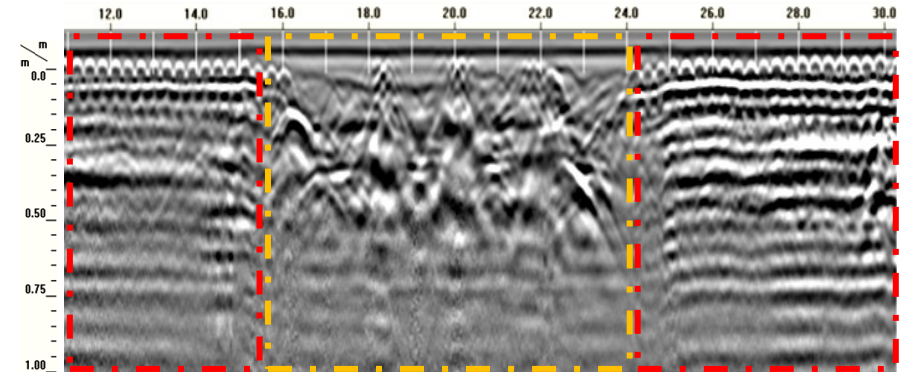
## ตารางภาพลักษณะของคลื่นเรดาร์บริเวณบ่อพักสายเคเบิลของการไฟฟ้า

คลื่นเรดาร์ 400 MHz. ความลึก 3.0 เมตร (ปกติ)



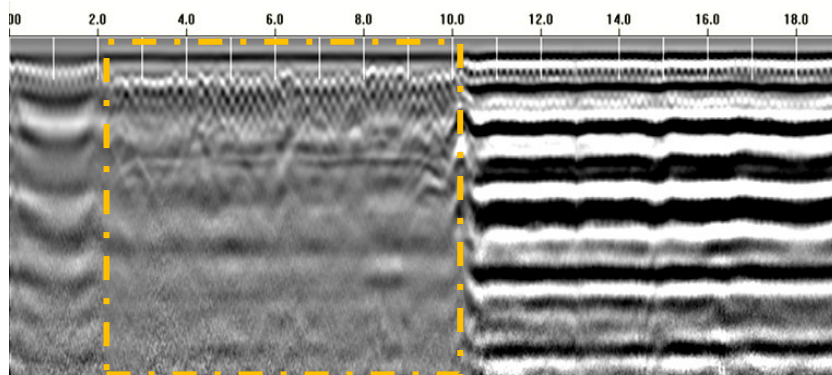
ลักษณะคลื่นเรดาร์บริเวณบ่อพักสายเคเบิล

คลื่นเรดาร์ 400 MHz. ความลึก 3.0 เมตร (มีความผิดปกติ)

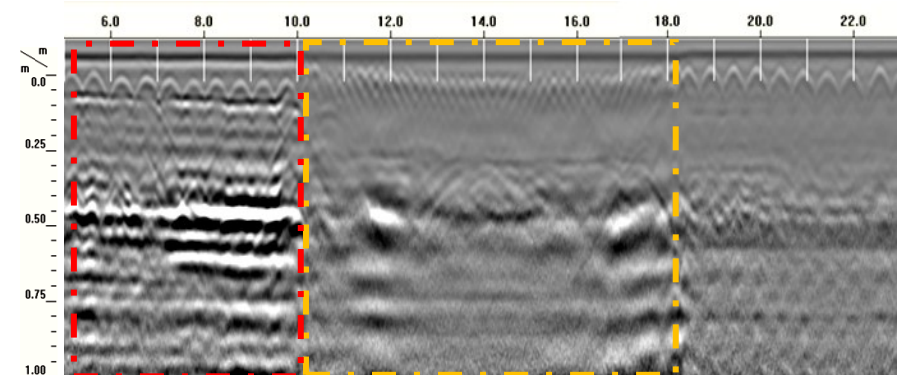


ลักษณะคลื่นเรดาร์บริเวณบ่อพักสายเคเบิล

ที่มีการหลุดตัวของโครงสร้างชั้นทางและเกิดโพรงใต้ผิวทางคอนกรีตบริเวณขอบบ่อพักทั้งสองด้าน



ลักษณะคลื่นเรดาร์บริเวณบ่อพักสายเคเบิล



ลักษณะคลื่นเรดาร์บริเวณบ่อพักสายเคเบิล

ที่มีการหลุดตัวของโครงสร้างชั้นทางและเกิดโพรงใต้ผิวทางคอนกรีตบริเวณขอบบ่อพัก