



คู่มือการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีต



สำนักวิจัยและพัฒนาทาง

กรมทางหลวง

กุมภาพันธ์ 2552

สารบัญ

สารบัญ	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VI
อภิธานศัพท์	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 สภาพความเสียหายผิวทางคอนกรีตและโพรงใต้ถนนคอนกรีต	2
1.3 วิธีการที่ใช้ในการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีต	6
บทที่ 2 การสำรวจเพื่อหาโพรงใต้ถนนคอนกรีต	7
2.1 การสำรวจสภาพความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection)	8
2.1.1 ขั้นตอนการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหาย	8
2.1.2 แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา	9
2.2 การสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)	14
2.2.1 การวางแผนสำรวจด้วย GPR	16
2.2.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์	17
2.2.3 โปรแกรมสำหรับการใช้งานเครื่อง Ground Penetration Radar (GPR)	25
2.2.4 การปฏิบัติการสำรวจด้วยเครื่อง GPR ในภาคสนาม	26
2.2.5 การประมวลผลและการแปลผลข้อมูล	56
2.2.6 การแปลงผลการสำรวจให้เป็นรูปภาพ	73
2.2.7 บทสรุป	75
2.3 การสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)	75
2.3.1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์	76
2.3.2 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	81
2.3.3 การปฏิบัติการทดสอบด้วยเครื่อง FWD ในภาคสนาม	83
2.3.4 การประมวลผลและการแปลผลข้อมูล	96
2.3.5 บทสรุป	104
บทที่ 3 การประเมินผลสำรวจสำหรับการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีต	105
3.1 การประเมินผลสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)	105
3.2 การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)	106

3.3	การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)	107
3.4	การประเมินผลการซ่อมบำรุงจากการประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต	107
	เอกสารอ้างอิง	111
	ภาคผนวก ก.	113
	ภาคผนวก ข.	125

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	ขั้นตอนการดำเนินการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทางคอนกรีต	7
2.2-1	ระบบการทำงานของเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)	15
2.2.1-1	แนวการสำรวจตามทิศทางจราจร	17
2.2.2-1	Toughbook และอุปกรณ์ประกอบการทดสอบ	17
2.2.2-2	หน่วยควบคุม (Control Unit)	18
2.2.2-3	อุปกรณ์หัวส่งและรับสัญญาณ (Transmitting and Receiving Antenna)	18
2.2.2-4	อุปกรณ์ประกอบของ GPR	18
2.2.2-5	แสดงจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ของ GSSI SIR -20 System	20
2.2.2-6	แสดงจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ของกล่องสายอากาศ (Antenna)	21
2.2.2-7	ขั้นตอนในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบของเครื่องมือ GSSI SIR -20	21
2.2.2-8	หลอดไฟแสดงถึงสถานะของการทำงาน	24
2.2.3-1	แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ของ GSSI SIR -20	26
2.2.4-1	แสดงขั้นตอนการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR	27
2.2.4.1-1	แสดงโปรแกรม SS Linescan	28
2.2.4.1-2	แสดงหน้าต่างในการปรับตั้งค่ารายละเอียดของโครงการในโปรแกรม SS Linescan	29
2.2.4.1-3	แสดงหน้าต่างที่ใช้ทำการการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการเก็บข้อมูล	30
2.2.4.1-4	แสดงหน้าต่างการปรับแก้ลั้วระยะทาง	31
2.2.4.1-5	หน้าต่าง Run บริเวณด้านขวาของหน้าต่างโปรแกรมในการเก็บข้อมูล	32
2.2.4.1-6	หน้าต่างการทำงานภายหลังจากการคลิกบนปุ่ม Run	33
2.2.4.1-7	แสดงผลการสำรวจจากการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม SS Linescan	34
2.2.4.1-8	แสดงหน้าต่างในการเลือกชื่อไฟล์ในการเปิดผลการสำรวจที่ได้บันทึกแล้ว	34
2.2.4.1-9	แสดงหน้าต่างแสดงผลการสำรวจจากคำสั่ง Playback	35
2.2.4.1-10	หน้าต่างแสดงการปรับแก้ค่าความลึกการสำรวจ	37
2.2.4.1-11	หน้าต่างแสดงค่า Dielectric Constant ซึ่งเป็นค่าที่แท้จริงของวัสดุนั้น	37
2.2.4.1-12	แสดงหน้าต่างการเริ่มต้นงานสำรวจแนวใหม่	38
2.2.4.1-13	แสดงหน้าต่างการเปิดข้อมูลผลการสำรวจ	39
2.2.4.2-1	การสร้าง Folder สำหรับเก็บไฟล์ข้อมูลผลการสำรวจ	40
2.2.4.2-2	หน้าต่างของโปรแกรม SIR-20	41
2.2.4.2-3	แสดงหน้าต่างการเก็บบันทึกข้อมูลผลการสำรวจ	43
2.2.4.2-4	แสดงหน้าต่าง Project Information	43
2.2.4.2-5	หน้าต่าง Data Collection Mode	44
2.2.4.2-6	แสดงหน้าต่างการปรับแก้ค่าความถูกต้องลั้วระยะทาง	45
2.2.4.2-7	แสดงหน้าต่าง Data Collection Parameter ในการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	46
2.2.4.2-8	แสดงหน้าต่างที่เก็บไฟล์ Macro ของแต่ละความถี่สายอากาศ	48

2.2.4.2-9	แสดงหน้าต่าง RADAN ในการเริ่มทำงานของการเก็บข้อมูล	48
2.2.4.2-10	การปรับเปลี่ยนการแสดงผลเป็นแบบมาตราส่วนสี่	49
2.2.4.2-11	การวัดค่าเริ่มต้นจากการปรับตั้งตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้น	50
2.2.4.2-12	การวัดค่าเริ่มต้น ภายหลังจากการปรับตั้งตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้น	50
2.2.4.2-13	หน้าจอแสดงอัตราการขยายสัญญาณของคลื่นที่ยังไม่ได้ปรับเพิ่มหรือลดสัญญาณ	51
2.2.4.2-14	หน้าต่างแสดงการปรับตั้งอัตราการขยายสัญญาณในการทดสอบ	52
2.2.4.2-15	หน้าต่าง Static Stacking และ Background Removal สำหรับลดทอนสัญญาณการรบกวน	52
2.2.4.2-16	หน้าต่าง Save Marco File สำหรับบันทึก ไฟล์ Macro ใหม่	53
2.2.4.2-17	หน้าต่างแสดงคำสั่ง Run สำหรับทำการเก็บข้อมูลจริง	54
2.2.4.2-18	แสดงผลผลลัพธ์การสำรวจ GPR บนหน้าจอคอมพิวเตอร์	54
2.2.4.2-19	การใช้คำสั่ง Run Project สำหรับการสำรวจต่อเนื่อง	55
2.2.5-1	ลักษณะของไอคอนของโปรแกรม Radan 5.0	56
2.2.5-2	โปรแกรม Radan 5.0 เมื่อเริ่มต้นใช้งาน	57
2.2.5-2	การเปิดไฟล์ข้อมูล	57
2.2.5-4	ข้อมูล GPR หลังจากขั้นตอนเปิดไฟล์ข้อมูล	58
2.2.5-5	เมนูการเลือกการเปลี่ยนรูปร่างของแกนด้านบนและด้านข้างรวมถึงการเปลี่ยนโทนสี	58
2.2.5-6	ตรวจสอบข้อมูลค่าตัวแปร	59
2.2.5-7	การปรับความลึกของผิวสัมผัส	60
2.2.5-8	ตำแหน่งผิวคอนกรีต	60
2.2.5-9	ก่อนการปรับความลึกของผิวด้านล่างคอนกรีต	61
2.2.5-10	หลังการปรับความลึกของผิวด้านล่างคอนกรีต	61
2.2.5-11	การปรับตั้งอัตราการขยายสัญญาณ	62
2.2.5-12	การใช้ตัวกรองตัดสัญญาณ	62
2.2.5-13	การปรับตั้งอัตราการขยายสัญญาณ	63
2.2.5-14	การใช้คำสั่ง Deconvolution	64
2.2.5-15	การใช้คำสั่ง Deconvolution	64
2.2.5-16	การกำจัดรูปพาราโบลาอันเกิดจากเหล็กเสริมคอนกรีต	65
2.2.5-17	ผลการกำจัดรูปพาราโบลาอันเกิดจากเหล็กเสริมคอนกรีต	66
2.2.6-1	แสดงหน้าต่างของโปรแกรม GSSI	73
2.2.6-2	แสดงหน้าต่างของ About Radan to Bitmap Conversion Utility ในโปรแกรม Radan2bmp	73
2.2.6-3	แสดงหน้าต่างของ Radan to Bitmap Conversion Utility	74
2.3-1	หลักการทำงานของ Falling Weight Deflectometer	76
2.3.1-1	รถตุ้ลลากจูงและรถลากพ่วง	77
2.3.1-2	ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง	77
2.3.1-3	ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Control Unit)	78
2.3.1-4	ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์	78
2.3.1-5	กล้องและจอแสดงภาพและเครื่องวัดระยะทางอัตโนมัติ	79
2.3.1-6	เครื่องวัดอุณหภูมิ	79

2.3.1-7	ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่อง Control Unit และ Computer	79
2.3.2-1	Approach Slab และ Leave Slab	82
2.3.2-2	ตำแหน่งการทดสอบ Falling Weight Deflectometer	83
2.3.3-1	แสดงขั้นตอนการสำรวจด้วยเครื่องมือ FWD	84
2.3.3-2	หน้าจอคอมพิวเตอร์ และไอคอนของโปรแกรม FWD	85
2.3.3-3	หน้าจอคอมพิวเตอร์ของโปรแกรม FWD	86
2.3.3-4	หน้าจอแสดงผลของโปรแกรม FWD	86
2.3.3-5	หน้าจอเข้าคำสั่ง File และเลือก New File	88
2.3.3-6	หน้าจอ Create new data file	88
2.3.3-7	หน้าจอ Dynatest 8002-180 แสดงรายละเอียดของโครงการที่ทำการทดสอบ	89
2.3.3-8	หน้าจอ Test Setup สำหรับการ Calibrate	90
2.3.3-9	หน้าจอ Dynatest 8002-180 ภายหลังจากการทำ Calibrate เครื่องมือ	91
2.3.3-10	หน้าจอ Test Setup เพื่อเลือก Setup Name	92
2.3.3-11	หน้าจอ Test Setup สำหรับทดสอบ Void Concrete	92
2.3.3-12	โปรแกรมจะกลับไปแสดงหน้าจอของ Dynatest 8002-180	93
2.3.3-13	โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของหมายเลข กม. ที่ ณ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ	94
2.3.3-14	โปรแกรมแสดงหน้าจอให้จัดเก็บบันทึกข้อมูล	95
2.3.3-15	ผลข้อมูลนามสกุล *.F25	95
2.3.3-16	รายละเอียดของข้อมูลการทดสอบ FWD	96
2.3.4-1	กราฟ Load-deflection ของแผ่นคอนกรีต	97
2.3.4-2	หน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Excel ชื่อไฟล์ F25 transferAsphalt V25	97
2.3.4-3	หน้าต่าง Open ของการ Import File	98
2.3.4-4	หน้าต่าง Text Import Wizard – Step 1 of 3	98
2.3.4-5	หน้าต่างให้เลือกคำสั่ง Comma	99
2.3.4-6	หน้าต่างให้ใช้คำสั่ง Finish	99
2.3.4-7	หน้าต่าง Input Drop No. 1-19	100
2.3.4-8	ผลการทดสอบในแต่ละ Drop No.	100
2.3.4-9	แสดงคำสั่ง Sort ข้อมูล	101
2.3.4-10	เลือกการ Sort ข้อมูลของ Chainage และ Drop No.	101
2.3.4-11	การ Normalized Deflection at Distance	102
2.3.4-12	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตจากค่า Y-intercept	103
2.3.4-13	แสดงกราฟความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต (ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงน้อย)	103
2.3.4-14	แสดงกราฟความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต (ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงปานกลาง)	103
2.3.4-15	แสดงกราฟความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต (ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงสูง)	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.2-1 ชนิดของความเสียหายของผิวทางคอนกรีต	2
1.2-2 ลักษณะของความเสียหายของผิวทางคอนกรีตที่มีผลทำให้เกิดโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต	3
2.1.2-1 แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา	10
2.2-1 ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Dielectric Constant) ของวัสดุต่าง ๆ	15
2.2-2 เปรียบเทียบการใช้ความถี่ของสายอากาศในการสำรวจ	16
2.2-3 แสดงความลึกในการสำรวจของสายอากาศที่ผลิตจากบริษัท GSSI (2008)	16
2.2.2-1 รายละเอียดการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจ	19
2.3.1-1 รายละเอียดการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการสำรวจ	80
3.4-1 ตารางสรุปการประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต	109
3.4-2 ตารางสรุปผลการสำรวจและผลการประเมินการซ่อมบำรุงตามวิธีการที่เหมาะสม	110

อภิธานศัพท์

Amplitude:	ความเข้ม หรือความแรงของสัญญาณ
Antenna:	องค์ประกอบของเครื่อง GPR ที่ออกแบบให้ส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป และรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมาจากวัตถุใต้ดิน
Attenuation:	การสูญเสีย หรือ ลดลงของพลังงานของคลื่นเนื่องจากการเคลื่อนที่ในตัวกลาง
Background removal:	การกำจัดคลื่นพื้นหลังออกจากข้อมูล GPR
Conductivity:	ความสามารถในการนำไฟฟ้าของวัตถุ มีหน่วยเป็น siemens/meters (S/m) และตรงกันข้ามกับความสามารถในการต้านทานไฟฟ้าของวัตถุ (resistivity)
Decibel (db):	หน่วยวัดความเข้มหรือความดังของสัญญาณ
Deconvolution:	เป็นฟังก์ชันที่ถูกกำหนดเพื่อกำจัดคลื่นสะท้อนหลายครั้ง (Multiple) และ เพิ่มคุณภาพของคลื่นสะท้อน (reflection) ให้เด่นชัดขึ้น
Depth of penetration:	ความลึกที่คลื่น GPR สามารถเดินทางไปถึง โดยทั่วไปคลื่นจะเดินทางลงไปได้ไม่ลึกในวัตถุที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าดี เช่นพวกดินเหนียว น้ำเค็ม โลหะ
Dielectric constant: (Dielectric permittivity)	เป็นคุณสมบัติของวัตถุที่เกี่ยวกับความเป็นฉนวนไฟฟ้า ซึ่งเท่ากับสัดส่วนของความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่บรรจุด้วย วัสดุชนิดนั้น กับความสามารถในการเก็บประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุที่บรรจุด้วยอากาศ โดยทั่วไปวัสดุธรรมชาติจะแบ่งออกได้เป็น วัสดุนำไฟฟ้า (conductors) วัสดุกึ่งนำไฟฟ้า (semiconductors) วัสดุที่เป็นฉนวน (insulators or dielectrics) วัสดุที่เป็น dielectric จะมีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ ตัวอย่างเช่น อากาศมีค่า relative dielectric constant เท่ากับ 1 และ น้ำจืดมีค่าประมาณ 81
Diffraction:	เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบกับวัตถุเช่น เหล็กเสริม ท่อ แล้วทำให้คลื่นเกิดการกระจายตัวออก มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาลาโนลา
Gain:	การเพิ่มหรือลดลงของ amplitude ของคลื่นในระบบ
Gigahertz:	หน่วยวัดความถี่ โดยที่ 1 GHz เท่ากับ 10^9 Hz
Hertz (Hz):	หน่วยวัดความถี่ โดยที่ 1 Hz เท่ากับ 1 รอบคลื่นต่อวินาที
High pass filter:	ฟังก์ชันตัวกรองคลื่นที่กำหนดขึ้นเพื่อให้ความถี่สูงผ่านไปได้ แต่จะไม่อนุญาตให้คลื่นความถี่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดผ่านไปได้
Horizontal Filter:	ตัวกรองสัญญาณที่นอกเหนือจากช่วงค่าความถี่ที่กำหนดในแนวนอน
Infinite impulse response (IIR) filter:	ตัวกรองสัญญาณชนิดที่มีช่วงเวลาที่ไม่แน่นอน ซึ่งตรงกันข้ามกับ finite impulse response (FIR) filter ซึ่งมีช่วงเวลาแน่นอน
Low pass filter:	ฟังก์ชันตัวกรองคลื่นที่กำหนดขึ้นเพื่อให้ความถี่ต่ำผ่านไปได้ แต่จะไม่อนุญาตให้คลื่นความถี่สูงกว่าค่าที่กำหนดผ่านไปได้
Migration:	กระบวนการปรับตำแหน่งของคลื่นสะท้อนที่ปรากฏในข้อมูลให้กลับมาอยู่ตำแหน่งในจริง และเป็นการกำจัดคลื่นเลี้ยวเบน (diffraction) ที่เกิดจากเหล็กเสริม หรือท่อ
Multiple (ringing):	การสะท้อนของคลื่นกลับไปมาหลายครั้ง ในข้อมูล GPR ปรากฏการณ์นี้อาจเกิด

	จากการที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า dielectric constant อย่างมากในชั้นดินแต่ละชั้น
Nanosecond:	หน่วยวัดเวลา โดยที่ 1 นาโนวินาที เท่ากับ 10^{-9} วินาที
Noise:	คลื่นรบกวน หรือสัญญาณที่ไม่ต้องการ
Radar:	ย่อมาจาก “Radio Detection And Ranging” อุปกรณ์ส่งและรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
Range:	ระยะทางจากตัวส่งสัญญาณถึงวัตถุเป้าหมาย ในเครื่อง GPR บอกเป็นหน่วยเวลา (nanosecond)
Range gain:	การเพิ่มหรือลดความเข้มของสัญญาณในโดเมนเวลา
Resolution:	ความสามารถในการแยกสิ่งที่อยู่ใกล้ชิดกันออกจากกัน
Scan:	เส้นข้อมูล GPR ที่เกิดจากจุดข้อมูลหลายๆจุดเรียงต่อกัน
Scatter:	การกระจายของพลังงานคลื่นที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่องของคุณสมบัติของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน
Travel time:	เวลาที่ซึ่งสัญญาณ GPR ใช้ในการเดินทางจากเครื่องส่งไปถึงวัตถุ หรือเครื่องรับ
Two-way travel time:	เวลาที่สัญญาณเดินทางจากเครื่องส่งไปถึงวัตถุแล้วสะท้อนกลับมาถึงเครื่องรับสัญญาณ
Vertical filter:	ฟังก์ชันตัวกรองสัญญาณในแนวดิ่ง หรือตามแกนเวลา
Vertical resolution:	ความสามารถในการแยกสิ่งสองสิ่งออกจากกันในแนวดิ่ง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

กรมทางหลวงได้ดำเนินการซ่อมบำรุงถนนคอนกรีตโดยวิธีอัดน้ำปูนเพื่ออุดโพรงใต้ถนนคอนกรีต (Subsealing) มาเป็นระยะเวลาหลายปี ซึ่งจากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่างาน Subsealing มีปัญหาที่สำคัญ คือ ปริมาณงานในแผนงานไม่สอดคล้องกับปริมาณงาน Subsealing จริงในสนาม และปัญหาในการตรวจสอบปริมาณงาน Subsealing ในสนาม ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากกรมทางหลวงยังไม่มีวิธีการในการตรวจสอบโพรงใต้ถนนคอนกรีตที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ที่ผ่านมายังมิได้มีการประเมินผลสัมฤทธิ์ของการซ่อมบำรุงถนนคอนกรีตโดยวิธี Subsealing ว่ามีความเหมาะสมและคุ้มค่าหรือไม่เมื่อเทียบกับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีอื่น และควรมีการปรับปรุงในจุดใดบ้างเพื่อให้งาน Subsealing มีคุณภาพที่ดีขึ้นและเกิดประโยชน์สูงสุดจากงบประมาณที่ได้ใช้ไป

สาเหตุการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตนั้นอาจเกิดจากลักษณะของ Pumping Action ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณรอยต่อทั้งหลาย โดยเฉพาะตรงมุมแผ่นซึ่งเป็นจุดบรรจบกันของรอยต่อตามขวางกับรอยต่อระหว่างขอบแผ่นพื้นคอนกรีตกับไหล่ทางแอสฟัลต์ จะเป็นจุดที่เกิด Pumping Action ได้ง่ายที่สุด วิธีการอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต (Subsealing) ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 327/2543 เป็นวิธีการซ่อมบำรุงลักษณะหนึ่งซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการอุดโพรงช่องว่างใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต การซ่อมบำรุงด้วยวิธีการดังกล่าวทำได้โดยการเจาะรูแล้วอัดฉีดด้วยวัสดุประเภท Slurry Cement Mortar จนเต็มปริมาณโพรงช่องว่างเพื่อป้องกันการแตกหักเสียหายของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตในภายหลัง ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถยืดอายุการใช้งานของถนนคอนกรีตให้ยาวนานยิ่งขึ้น

ด้วยสาเหตุดังกล่าว สำนักวิจัยและพัฒนาทางจึงได้ดำเนินโครงการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายถนนคอนกรีตเพื่อกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงรักษาที่เหมาะสม โดยส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยจะทำการศึกษาถึงวิธีการที่เหมาะสมในการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตและจัดทำคู่มือการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีต เพื่อให้บุคลากรของกรมทางหลวงสามารถนำไปใช้ประกอบการสำหรับงานสำรวจเพื่อการบำรุงรักษาถนนคอนกรีต เนื่องจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับงาน Subsealing ของกรมทางหลวงไม่มีคู่มือในการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตตลอดจนการแปลผลจากการสำรวจโดยเฉพาะ โดยคู่มือฉบับนี้ใช้วิธีในการสำรวจหาโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่

- การสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)
- การสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)
- การสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)

ซึ่งเป็นวิธีการในการสำรวจและตรวจสอบบริเวณตำแหน่งของโพรงที่อยู่ใต้แผ่นถนนคอนกรีต ตลอดจนการประเมินผลสำรวจโพรงใต้ถนนคอนกรีต

1.2 สภาพความเสียหายของผิวทางคอนกรีตและโพรงใต้ถนนคอนกรีต

ความเสียหายของผิวทางคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามตารางที่ 1.2-1 ดังนี้

ตารางที่ 1.2-1 ชนิดของความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

ประเภท	ชนิดของความเสียหาย (Distress Type)
รอยแตก (Crack)	รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack)
	รอยแตกตามขวาง (Transverse Crack)
	รอยแตกที่มุม (Corner Crack)
	รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab)
	รอยแตกลักษณะทะลุของแผ่นคอนกรีต (Punch Out)
	รอยแตกจากคอนกรีตสูญเสียความทนทาน (Durability Crack)
ความเสียหายบริเวณรอยต่อ (Joint Deficiencies)	ความเสียหายของวัสดุยานวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
	ความเสียหายของการถ่ายน้ำหนักบริเวณรอยต่อ (Joint Load Transfer System Deterioration)
	รอยบิ่นกะเทาะที่มุม (Corner Spall)
	รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อตามขวาง รอยต่อตามยาว หรือรอยแตก (Transverse Joint Spall, Longitudinal Joint Spall or Crack Spall)
รอยตำหนิบนผิวทาง (Surface Defects)	รอยแตกจากการหดตัวของผิวทาง (Shrinkage Crack)
	ผิวแตกลายงาหรือผิวแตกกร้าว (Map Crack)
	ผิวหลุดลอก (Spalling)
	ผิวมวลรวมถูกขัดสีเป็นมัน (Polished Aggregate)
ความเสียหายอื่นๆ (Miscellaneous Distress)	การโก่งงอ (Blow Up or Buckling)
	การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง (Pumping)
	รอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting)
	การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop Off)
	การแยกตัวของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Separation)
	รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต (Concrete Pavement Patching)

โดยลักษณะของความเสียหายของผิวทางคอนกรีตในบางประเภทที่อาจมีผลทำให้เกิดโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตหรือมักจะเกิดควบคู่กับโพรงใต้ถนนคอนกรีต ซึ่งสามารถสรุปลักษณะของความเสียหายดังกล่าวได้ดังตารางที่ 1.2-2

ตารางที่ 1.2-2 ลักษณะของความเสียหายของผิวทางคอนกรีตที่มีผลทำให้เกิดโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต

ลักษณะของความเสียหาย	ภาพความเสียหาย
รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack) รอยแตกเกิดขึ้นขนานกับแนวกึ่งกลางของถนน มีสาเหตุจากการทรุดตัวของดินฐานราก การเคลื่อนตัวของคันทาง หรือจากการสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของวัสดุฐานรากในวัสดุใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต	
รอยแตกตามขวาง (Transverse Crack) รอยแตกตามขวางเป็นรอยแตกที่เป็นเส้นที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับแนวกึ่งกลางของถนน ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุประกอบกันคือน้ำหนักกระทำซ้ำสูง, การสูญเสียกำลังรับน้ำหนักของชั้นวัสดุฐานราก, การหดตัวของคอนกรีต, แผ่นพื้นยาวเกินไปในการตัดรอยต่อตามขวางไม่ทัน ในบางกรณีเกิดจากการทรุดตัวของดินคันทางฐานราก	
รอยแตกบริเวณมุม (Corner Crack) รอยแตกมีลักษณะตัดผ่านรอยต่อ (Joint) แต่ละด้านของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยมีระยะห่างจากมุมไม่เกินครึ่งหนึ่งของความกว้างของแผ่นพื้น รอยแตกนี้มีความลึกต่อเนื่องตลอดความหนาของแผ่นพื้นซึ่งมีสาเหตุจากหลายปัจจัย เช่น น้ำหนักกระทำซ้ำที่สูงมาก, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้เกิดการบิดตัวของแผ่นคอนกรีต, กำลังของการรับน้ำหนักของฐานรากไม่เพียงพอ หรือเกิดโพรงช่องว่างใต้แผ่นพื้นคอนกรีตเนื่องจากการเกิดการสูญเสียมวลรวมละเอียดไปกับน้ำที่พุ่งออกมาของชั้นโครงสร้างทาง (Pumping)	
ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage) มีลักษณะความเสียหายหลายรูปแบบได้แก่ การแข็งเปราะของวัสดุยาแนวรอยต่อ, วัสดุยาแนวรอยต่อไม่ยึดเกาะกับขอบของแผ่นพื้น, การหลุดร่อนของวัสดุยาแนว, วัสดุยาแนวรอยต่อถูกบีบออกมาจากรอยต่อ, วัสดุยาแนวรอยต่อไม่เพียงพอหรือหายไป หรือการเกิดวัชพืช จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ไม่สามารถไหลซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทางหรืออาจเกิดการสะสมตัวของวัสดุที่ไม่สามารถอัดตัวได้ (Incompressible Materials) ตามแนวรอยต่อส่งผลให้แผ่นพื้นคอนกรีตไม่สามารถขยายตัวได้จนให้เกิดความเสียหาย	

ลักษณะของความเสียหาย	ภาพความเสียหาย
รอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting) รอยเลื่อนต่างระดับเป็นลักษณะความเสียหายที่แผ่นพื้นคอนกรีตเกิดการทรุดตัวจนมีระดับที่ต่างกันตามแนวรอยต่อหรือรอยแตก เกิดจากหลายสาเหตุ ทั้งการทรุดตัวของแผ่นคอนกรีตเนื่องจากวัสดุที่อยู่ใต้แผ่นพื้นในบริเวณใกล้เคียงกับรอยต่อหรือรอยแตกมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอหรือการเกิด Pumping ซึ่งเป็นการนำพาวัสดุเม็ดละเอียดที่อยู่ใต้แผ่นพื้นออกมาบนผิวขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรวิ่งผ่านจนเกิดโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต	
การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop Off) การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทางเป็นความเสียหายที่มักเกิดขึ้นในถนนคอนกรีตที่มีไหล่ทางเป็นแอสฟัลต์ โดยเป็นความเสียหายในลักษณะที่ระดับของแผ่นพื้นคอนกรีตและระดับของไหล่ทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีระดับแตกต่างกัน ซึ่งการทรุดตัวต่างระดับมักเกิดขึ้นร่วมกับการแยกตัวของไหล่ทางและเป็นสาเหตุให้น้ำสามารถไหลซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทางตามแนวการทรุดตัวที่เกิดขึ้น การทรุดตัวที่ไหล่ทางอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การบดอัดไหล่ทางไม่เพียงพอ การทรุดตัวของวัสดุชั้นทางใต้แผ่นพื้นคอนกรีต หรืออาจเกิดจากการ Pumping	
การแยกตัวของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Separation) การแยกตัวของไหล่ทางเป็นความเสียหายในลักษณะที่แผ่นพื้นคอนกรีตและไหล่ทางเกิดการแยกตัวออกจากกันตามแนวรอยต่อ จนทำให้น้ำสามารถไหลซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทางตามแนวแยกที่เกิดขึ้น การแยกตัวของไหล่ทางมักเกิดจากสาเหตุหลายประการ ทั้งการเคลื่อนตัวของไหล่ทาง การทรุดตัวของวัสดุชั้นทางใต้แผ่นพื้นคอนกรีต การยึดหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันของไหล่ทางแอสฟัลต์คอนกรีตกับแผ่นคอนกรีต	

ลักษณะของความเสียหาย	ภาพความเสียหาย
การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง (Pumping) การสูญเสียมวลรวมละเอียดไปกับน้ำที่พุ่งออกมาของชั้นโครงสร้างทางใต้แผ่นพื้นคอนกรีต เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรทำให้น้ำที่อยู่ใต้แผ่นพื้นถูกอัดให้พุ่งทะลักขึ้นมาตามรอยต่อหรือรอยแตก พร้อมกับนำวัสดุเม็ดละเอียดกระจายอยู่บนพื้นผิวคอนกรีต โดยในบริเวณที่เกิด Pumping หากปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ได้แก้ไขอย่างทันท่วงทีจะทำให้วัสดุใต้แผ่นพื้นคอนกรีตค่อยๆ ถูกนำพาออกไปจนเกิดเป็นโพรงใต้แผ่นพื้นจนพัฒนาเป็นความเสียหายอื่นๆ ได้เช่น การเกิดรอยเลื่อนต่างระดับ รอยแตกในแผ่นพื้นเพิ่มขึ้น หรือการหลุดตัวที่ต่างระดับ	
รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab/Punch Out) รอยแตกลักษณะของแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก โดยรอยแตกมีการแยกขาดออกจากกันของแผ่นคอนกรีตซึ่งเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นเฉพาะแห่งในแผ่นพื้นคอนกรีตโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน โดยรอยแตกที่ได้รับความเสียหายมากๆ จนทำให้แผ่นคอนกรีตเกิดการยุบตัวลงไปจนเกิดเป็นลักษณะของ Punch Out ได้ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำสามารถไหลซึมลงสู่ชั้นโครงสร้างทางใต้แผ่นคอนกรีตตามรอยแตกได้และแผ่นคอนกรีตสามารถเคลื่อนตัวได้ง่ายกว่าปกติเนื่องจากมีรอยแตกโดยรอบ ทำให้เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียของวัสดุชั้นทางและทำให้เกิดโพรงใต้บริเวณนั้นได้	
รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต (Concrete Pavement Patching) รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตเป็นบริเวณบนพื้นผิวคอนกรีตที่ได้รับความเสียหายจากหลายๆ สาเหตุ เช่น จากรอยแตกตามยาว จากรอยแตกตามขวาง จากรอยเลื่อนต่างระดับ และรอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก เป็นต้น ซึ่งการปะด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความราบเรียบในการขับขี่และเพื่อเป็นการป้องกันน้ำไหลซึมลงใต้แผ่นคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามการปะซ่อมด้วยวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตไม่ได้ซ่อมแซมรอยแตกหรือความเสียหายของเนื้อคอนกรีต ดังนั้นโดยทั่วไปภายในระยะเวลาไม่นานรอยปะแอสฟัลต์คอนกรีตก็จะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความเสียหายด้านล่าง โดยการที่รอยปะซ่อมผิวคอนกรีตจะมีสภาพดีหรือได้รับความเสียหายมากนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพความเสียหายเดิมที่เกิดขึ้นกับผิวทางคอนกรีตด้านล่าง	

1.3 วิธีการที่ใช้ในการสำรวจหาโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต

ถนนคอนกรีตส่วนใหญ่ของกรมทางหลวงในประเทศไทยนั้นเป็นชนิดถนนคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดที่มีรอยต่อ (Joint Reinforcement Concrete Pavement, JRCP) ซึ่งมักพบความเสียหายอยู่ที่บริเวณรอยต่อคอนกรีต (Joint) เป็นส่วนใหญ่ โดยมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยแต่ที่พบบ่อยคือการสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง (Pumping Action) จากการที่น้ำไหลซึมผ่านรอยต่อ รอยแตก และตามแนวขอบของแผ่นคอนกรีตที่ถูกล้อรถ ย่ำจนทำให้วัสดุมวลรวมที่อยู่ใต้แผ่นคอนกรีตไหลทะลักออกมายังบริเวณนั้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การเกิดโพรงขึ้นใต้แผ่นคอนกรีตที่อาจเกิดขึ้นได้ที่บริเวณรอยต่อ รอยแตก และส่วนอื่นๆ ของแผ่นคอนกรีต ดังนั้นการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทางคอนกรีตจากลักษณะสาเหตุต่างๆ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินสภาพและเลือกวิธีการซ่อมแซมที่เหมาะสมที่สุด

ผลจากการศึกษาโครงการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายถนนคอนกรีตเพื่อกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงรักษาที่เหมาะสม ได้ข้อสรุปแนวทางในการสำรวจหาความเสียหายเพื่อหาโพรงใต้แผ่นคอนกรีตโดยใช้วิธีการสำรวจประกอบด้วย 3 วิธีคือ

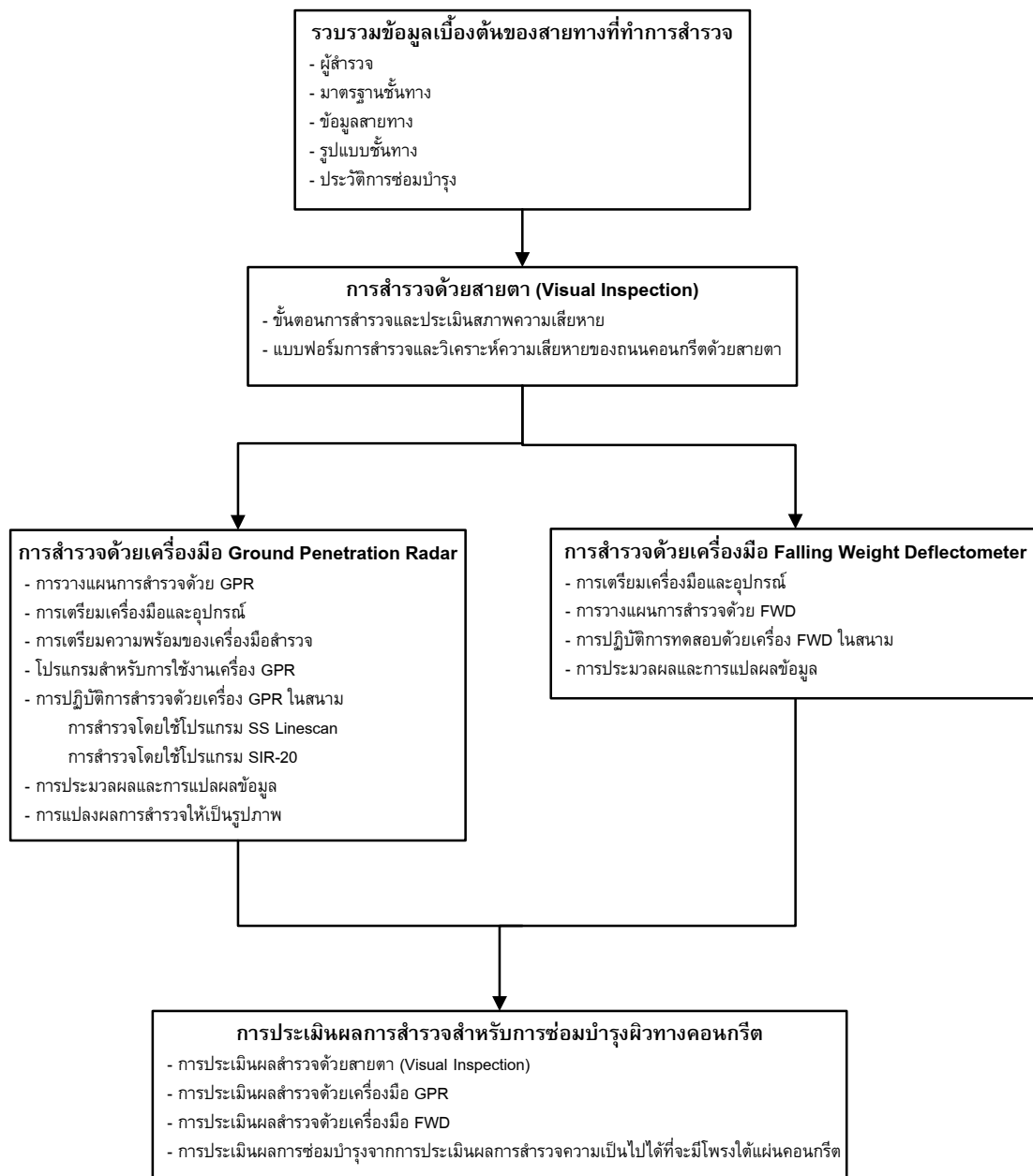
1. การสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)
2. การสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)
3. การสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)

โดยรายละเอียดของการสำรวจแต่ละวิธีรวมทั้งแนวทางในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการสำรวจจะได้นำมาเสนอในบทที่ 2 และบทที่ 3 ของคู่มือฉบับนี้

บทที่ 2

การสำรวจเพื่อหาโพรงใต้ถนนคอนกรีต

การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทางคอนกรีตจากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของสายทางนั้นๆ แล้วทำการสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) เพื่อเป็นการระบุตำแหน่งและชนิดของความเสียหายที่เกิดขึ้น รวมทั้งการใช้เครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) และการใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) มาใช้ในการสำรวจเพื่อตรวจสอบโพรงที่เกิดขึ้นใต้แผ่นพื้นคอนกรีต ตลอดจนทำการประเมินผลจากการสำรวจสำหรับการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตตามขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ขั้นตอนการดำเนินการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของสายทาง ที่ทำการสำรวจ

การสำรวจความเสียหายของแผ่นถนนคอนกรีตที่ผู้ตรวจสอบควรทำการจดบันทึกและเก็บรวบรวมข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่

- ตำแหน่ง, พิกัด, หมายเลขสายทาง, หมายเลขควบคุม, ช่วง กม.ที่, พื้นที่ของสายทาง
- ชนิดของวัสดุโครงสร้างทางและรูปตัดของชั้นทาง (Road Inventory)
- ประวัติการซ่อมบำรุง
- ลักษณะความเสียหายของผิวทาง และปริมาณความเสียหายทั้งหมดที่ได้เคยทำการสำรวจไว้
- ปริมาณจราจร
- ข้อมูลอื่นๆ

2.1 การสำรวจสภาพความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection)

2.1.1 ขั้นตอนการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหาย

การสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายถนนคอนกรีต โดยทั่วไปจะเริ่มจากการพิจารณาลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วยสายตา พร้อมกับวัดปริมาณและระดับความเสียหายและบันทึกลงในแบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีต เพื่อเป็นการรวบรวมถึงตำแหน่งและขอบเขตที่แน่นอนของความเสียหายแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นบนช่วงถนนที่ทำการสำรวจ

วิธีการสำรวจและประเมินสภาพความเสียหายสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ก่อนเริ่มทำการสำรวจควรกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของช่วงที่จะทำการสำรวจ โดยอาจกำหนดเป็นเครื่องหมายไว้บนผิวทางให้ชัดเจน
2. รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของข้อมูลสายทาง, รูปแบบชั้นทาง, ประวัติการซ่อมบำรุง รวมทั้งโครงสร้างของชั้นทางลงในแบบฟอร์มการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีต
3. เริ่มตรวจสอบสภาพความเสียหายของผิวทางตามทิศทางจราจรไปที่ละด้าน โดยทำการบันทึกภาพถ่ายและภาพสเก็ตซ์ของความเสียหายของแผ่นคอนกรีตโดยใช้สัญลักษณ์ของความเสียหายลงในแบบฟอร์ม โดยจะต้องมีการระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหายอย่างเป็นระบบ ได้แก่ การระบุตำแหน่งของแผ่นคอนกรีต โดยการระบุหมายเลขแผ่นหรืออ้างอิงระยะทาง, หมายเลขช่องจราจร (นับจากเกาะกลาง), และระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหายบนแผ่นคอนกรีต
4. เมื่อทำการสำรวจและระบุตำแหน่งความเสียหายในแบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว ให้นำข้อมูลที่ได้นำไปประกอบในการประเมินสภาพและความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีตต่อไป

2.1.2 แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา

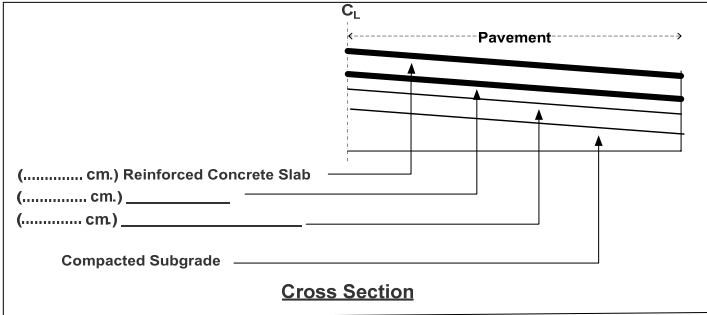
แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา (Visual Inspection) สำหรับการลงบันทึกรายละเอียดตามลักษณะความเสียหายของผิวทางคอนกรีตที่เกิดขึ้น รวมทั้งภาพถ่ายและภาพสเก็ต (สัญลักษณ์ความเสียหาย) ที่จะต้องทำการบันทึก ดังแสดงในตารางที่ 2.2.2-1

ตารางที่ 2.1.2-1 แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา

ชื่อผู้สำรวจ:, ตำแหน่ง:, หมายเลขโทรศัพท์:

วันที่สำรวจ: / / , เริ่มเวลา: , เสร็จเวลา:

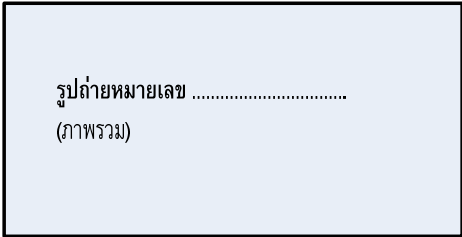
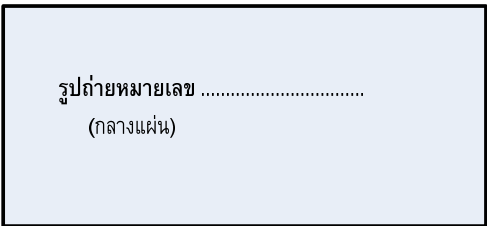
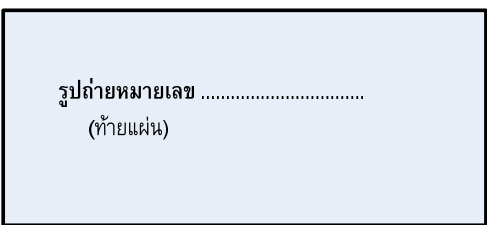
สภาพอากาศ:

สำนักทางหลวง	แขวงทางหลวง	หมวดทางหลวง	หมายเลขสายทาง	หมายเลขควบคุม	ระยะที่สำรวจ (กม.)
ตอน พื้นที่สำรวจ กม.ที่ ถึง กม.ที่..... พื้นที่อำเภอ จังหวัด					
พิกัด GPS เริ่มต้น-สิ้นสุด การสำรวจ	() ไม่มี () มี	พิกัดเริ่มต้น พิกัดสิ้นสุด	E : , N : E : , N :		
สำรวจ	สำรวจด้าน : () ด้านขวาทาง () ด้านซ้ายทาง	ช่องทางจราจร : () ช่องทางหลัก () ช่องทางคู่ขนาน	ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) Main Road : () ช่องที่ 1, () ช่องที่ 2, () ช่องที่ 3, () ช่องที่ 4 Frontage Road : () FR 1, () FR 2, () FR 3, () FR 4		
ข้อมูลสายทาง	เขตทางกว้าง : ม. ความกว้างผิวจราจรทั้งหมด : ม. จำนวนช่องทางจราจร : ช่อง ช่องจราจรกว้าง : ม. ไหล่ทางซ้ายกว้าง : ม. ไหล่ทางขวากว้าง : ม.		 (..... cm.) Reinforced Concrete Slab (..... cm.) (..... cm.) Compacted Subgrade Cross Section		
	อายุการใช้งาน: ปี ปริมาณการจราจร (ADT): คัน/วัน ปริมาณรถบรรทุก: คัน/วัน				
รูปแบบชั้นทาง	ชนิดผิวทาง :	() คอนกรีต ความหนา เซนติเมตร () แอสฟัลต์ (Overlay) ความหนา เซนติเมตร ช่วง กม.ที่ ถึง กม.ที่ ระยะเวลา Overlay ถึงปัจจุบัน ปี เดือน			
	ชนิดไหล่ทาง :	() ไม่มี	มี ชนิด : () คอนกรีต ความหนา เซนติเมตร () แอสฟัลต์ ความหนา เซนติเมตร		
	ชั้นพื้นทาง :	วัสดุชนิด : () ทรายบดอัด ความหนา เซนติเมตร () ความหนา เซนติเมตร			
	ชั้นรองพื้นทาง :	วัสดุชนิด : () วัสดุผสมรวม (Soil Aggregate) ความหนา เซนติเมตร () ความหนา เซนติเมตร			

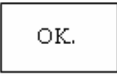
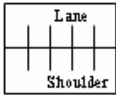
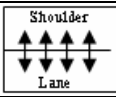
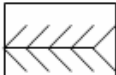
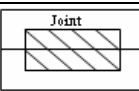
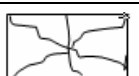
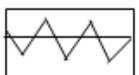
ตารางที่ 2.1.2-1 แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา (ต่อ)

ประวัติการซ่อมบำรุง	() ยังไม่เคยมีการซ่อมบำรุง () มีการซ่อมบำรุงแล้ว, ครั้งที่.....เมื่อวันที่.....ตอน..... ช่วง กม.ที่ ถึง กม.ที่.....รวมระยะทาง.....กม. () ด้านซ้ายทาง () ด้านขวาทาง ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) รายละเอียดการซ่อมบำรุงโดยสรุป : () Subsealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น , ปริมาณซีเมนต์ กิโลกรัม () Full-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Partial-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Repair of Joint Sealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Crack Filling จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น ครั้งที่.....เมื่อวันที่.....ตอน..... ช่วง กม.ที่ ถึง กม.ที่.....รวมระยะทาง.....กม. () ด้านซ้ายทาง () ด้านขวาทาง ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) รายละเอียดการซ่อมบำรุงโดยสรุป : () Subsealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น , ปริมาณซีเมนต์ กิโลกรัม () Full-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Partial-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Repair of Joint Sealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Crack Filling จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น ครั้งที่.....เมื่อวันที่.....ตอน..... ช่วง กม.ที่ ถึง กม.ที่.....รวมระยะทาง.....กม. () ด้านซ้ายทาง () ด้านขวาทาง ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) รายละเอียดการซ่อมบำรุงโดยสรุป : () Subsealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น , ปริมาณซีเมนต์ กิโลกรัม () Full-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Partial-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Repair of Joint Sealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Crack Filling จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น ครั้งที่.....เมื่อวันที่.....ตอน..... ช่วง กม.ที่ ถึง กม.ที่.....รวมระยะทาง.....กม. () ด้านซ้ายทาง () ด้านขวาทาง ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) รายละเอียดการซ่อมบำรุงโดยสรุป : () Subsealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น , ปริมาณซีเมนต์ กิโลกรัม () Full-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Partial-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Repair of Joint Sealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น () Crack Filling จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น
---------------------	---

ตารางที่ 2.1.2-1 แบบฟอร์มการสำรวจและประเมินความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา (ต่อ)

ลักษณะความเสียหายของแผ่นผิวทางคอนกรีตสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)			
แผ่นที่..... กม.ที่ ถึง กม.ที่ ช่องจราจรที่ จากเกาะกลาง (ตามทิศทางการจราจร)			
	รูปถ่าย	รูปสเก็ท (สัญลักษณ์ความเสียหาย)	
	รูปถ่ายหมายเลข (ภาพรวม) 	← ทิศทางการจราจร → 3.5 m  10 m ดันท้ายแผ่น ที่กลางแผ่น ดันหัวแผ่น	
ตำแหน่ง	รูปถ่าย	ชนิดของความเสียหาย	
หัวแผ่น	รูปถ่ายหมายเลข (หัวแผ่น) 	() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม () 5 ความเสียหายของวัสดุยานวรอยต่อ - () ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ	() 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก () 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - () เสียหายมาก () 12 อื่นๆ
กลางแผ่น	รูปถ่ายหมายเลข (กลางแผ่น) 	() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม () 5 ความเสียหายของวัสดุยานวรอยต่อ - () ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ	() 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก () 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - () เสียหายมาก () 12 อื่นๆ
ท้ายแผ่น	รูปถ่ายหมายเลข (ท้ายแผ่น) 	() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม () 5 ความเสียหายของวัสดุยานวรอยต่อ - () ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ	() 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก () 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - () เสียหายมาก () 12 อื่นๆ

ตารางที่ 2.1.2-1 แบบฟอร์มการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา (ต่อ)

ลักษณะความเสียหายของแผ่นผิวทางคอนกรีตสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)			
หมายเหตุ:	สัญลักษณ์ความเสียหาย :		
	ไม่พบความเสียหาย		
	รอยแตกตามยาว		การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง 
	รอยแตกตามขวาง		การแยกตัวของไหล่ทาง 
	รอยแตกบริเวณมุม		การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้น โครงสร้างทาง 
	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ		รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก 
	รอยเลื่อนต่างระดับ		รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต 

2.2 การสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)

Ground Penetration Radar (GPR) เป็นวิธีการทดสอบทางด้านวิศวกรรมธรณีฟิสิกส์โดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves, EM) ในการตรวจสอบสภาพใต้พื้นดินในระดับตื้นโดยให้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูง การทดสอบด้วยเครื่องมือ GPR ได้ใช้งานอย่างกว้างขวางในการประยุกต์ใช้งานเพื่อการจัดทำแผนที่ของโครงสร้างทางธรณีวิทยา ตลอดจนจนถึงการใช้เพื่อตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เครื่องมือ GPR เป็นเครื่องมือที่ทรงประสิทธิภาพในการใช้งานเพื่อสำรวจใต้พื้นดินอย่างละเอียด ซึ่งเป็นวิธีการสำรวจที่สามารถทำได้โดยรวดเร็วและไม่ทำลายวัสดุที่ทดสอบ

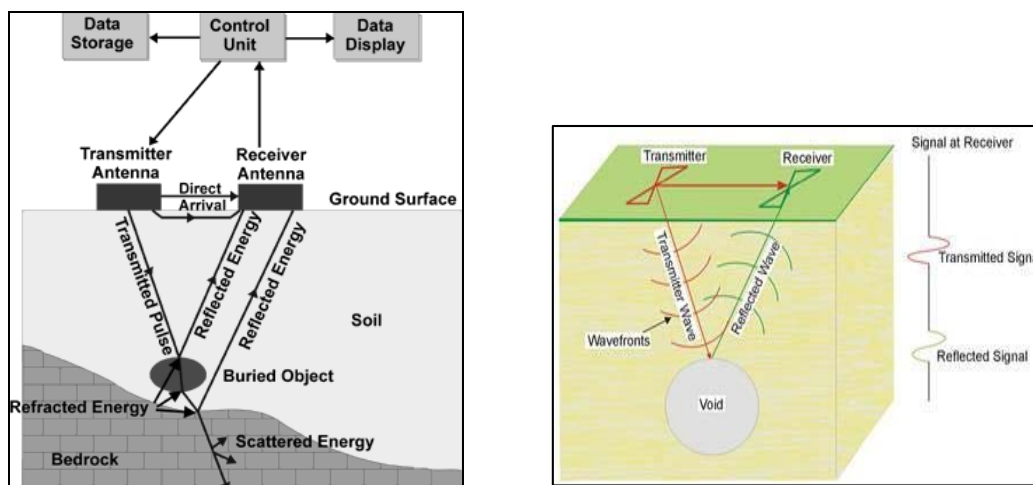
หลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทดสอบ GPR จะทำการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EM Wave) ในช่วงความถี่สูงประมาณ 10 MHz ถึง 1500 MHz เพื่อเก็บข้อมูลด้านใต้พื้นผิว ซึ่งลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจะแพร่กระจายจากอุปกรณ์หัวส่งสัญญาณ (Transmitting Antenna) จากนั้นคลื่นจะเคลื่อนที่ผ่านไปในเนื้อวัสดุด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุนั้นๆ ในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ลึกลงไปในเนื้อวัสดุนั้น หากพบวัตถุที่ฝังอยู่ด้านใต้หรือพบความเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุ เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงของชั้นวัสดุจะเกิดการสะท้อนของคลื่นบางส่วนกลับขึ้นมาที่ผิวดิน ซึ่งอุปกรณ์หัวรับสัญญาณ (Receiving Antenna) จะรับสัญญาณที่สะท้อนขึ้นมามีแสดงในรูปที่ 2.2-1 การแสดงผลของ GPR จะแสดงภาพ Scan ผลอย่างต่อเนื่องเป็นภาพ Profile ที่เป็นลักษณะโทนีส์ต่างๆ ซึ่งแสดงถึงสภาพด้านใต้พื้นผิว ซึ่งลักษณะของการสะท้อนกลับเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระทบกับวัตถุที่มีคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทำให้ผลการทดสอบที่ได้แสดงภาพของวัสดุอย่างชัดเจน เนื่องมาจากค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ของวัสดุแต่ละชนิดมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการสะท้อนคลื่นกลับยังตัวรับสัญญาณด้วยโดยค่า Dielectric Constant ของวัสดุต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 2.2-1

ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant)

การสำรวจด้วย GPR จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวส่งสัญญาณ (Transmitting) และสัญญาณถูกรับโดยตัวรับสัญญาณ (Receiving) ซึ่งอยู่ภายในสายอากาศ (Antenna) โดยการปล่อยคลื่นสัญญาณแล้ววัดค่าการสะท้อนกลับของคลื่นและการแปลความหมายจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับ ซึ่งการสะท้อนกลับของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระทบกับวัตถุที่มีคุณสมบัติไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป โดยที่ค่าคงตัวของไดอิเล็กทริกของวัตถุแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกันหรือเรียกว่า Dielectric Constant ในกรณีที่ในวัสดุสองชนิดที่มีค่า Dielectric Constant ที่ต่างกันจะมีผลต่อการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

สำหรับค่าคงตัวของไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) ของผิวทางคอนกรีตจากที่ได้ทำการทดสอบพบว่ามีความอยู่ในช่วงประมาณ 6.5-8.0 ภายใต้สภาวะที่ผิวทางคอนกรีตค่อนข้างแห้ง และไม่มีฝนตกก่อนหน้านี้ที่จะทำการทดสอบ



รูปที่ 2.2-1 ระบบการทำงานของเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)

ตารางที่ 2.2-1 ค่าความต้านทานไฟฟ้า (Dielectric Constant) ของวัสดุต่างๆ (Daniels, 1996)

ชนิดของวัสดุ	ค่า Dielectric Constant
อากาศ	1
น้ำสะอาด	80
แอสฟัลต์: แห้ง	2-4
แอสฟัลต์: เปียก	6-12
ดินเหนียว	2-40
คอนกรีต: แห้ง	4-10
คอนกรีต: เปียก	10-20
ทราย: แห้ง	4-6
ทราย: อิ่มตัวด้วยน้ำ	10-30

การเลือกใช้ความถี่ของสายอากาศในการสำรวจ

ความลึกในการสำรวจและความคมชัดของข้อมูลเป็นปัจจัยหลักของการสำรวจด้วย GPR ซึ่งการใช้สายอากาศความถี่สูงจะให้ผลการสำรวจที่มีความคมชัดสูงแต่จะมีความลึกในการสำรวจต่ำ ในทางกลับกันการใช้สายอากาศความถี่ต่ำจะให้ผลการสำรวจที่มีความละเอียดต่ำแต่จะมีความลึกในการสำรวจมากกว่าการใช้สายอากาศที่มีความถี่สูง ดังแสดงในตารางที่ 2.2-2 แสดงการเปรียบเทียบความถี่ของสายอากาศ ซึ่งในทางปฏิบัติเพื่อให้ได้ผลดีที่สุดความถี่ของสายอากาศซึ่งมีความยาวถึงกลางต้องเลือกใช้มีความเหมาะสมกับแต่ละสถานที่ปฏิบัติการสำรวจ ความลึกของวัตถุเป้าหมายและจุดประสงค์ของการสำรวจดังแสดงในตารางที่ 2.2-3 สำหรับผลการศึกษาถึงความเหมาะสมของสายอากาศที่ใช้ในการสำรวจเพื่อหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตที่ผ่านมาความถี่ที่

เหมาะสมคือ 900 MHz สามารถตรวจสอบพบตำแหน่งของโพรงอากาศ อีกทั้งยังได้ระดับความลึกที่เหมาะสมสำหรับถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง ที่มีความหนาโดยทั่วไป ประมาณ 25 เซนติเมตร

ตารางที่ 2.2-2 เปรียบเทียบการใช้ความถี่ของสายอากาศในการสำรวจ (ที่มา: Giao et al., 2007)

ความถี่	ความถี่สูง	ความถี่ต่ำ
ความยาวคลื่นสั้น การดูดซับคลื่น ความละเอียดคมชัดของคลื่นเรดาร์ ความลึกในการสำรวจสูงสุด	ความยาวคลื่นสั้น ดูดซับคลื่นมาก ความละเอียดสูง ตื้น	ความยาวคลื่นยาว ดูดซับคลื่นน้อย ความละเอียดต่ำ ลึก

ตารางที่ 2.2-3 แสดงความลึกในการสำรวจของสายอากาศที่ผลิตจากบริษัท GSSI (2008)

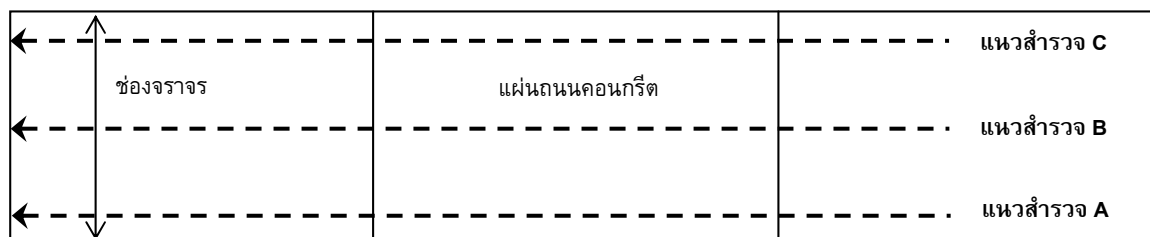
ความถี่ย่านกลาง (MHz)	การใช้งาน	ความลึกในการสำรวจ (m)
16-80	ธรณีวิทยา	0-50
100	ธรณีวิทยา, วิศวกรรม, เหมืองแร่	2-15
200	ธรณีวิทยา, วิศวกรรม, สิ่งแวดล้อม	0-9
270	สาธารณสุข, วิศวกรรม, ธรณีวิทยา	0-6
400	สาธารณสุข, วิศวกรรม, สิ่งแวดล้อม, ตรวจสอบหาโพรง	0-4
900	ตรวจสอบคอนกรีต, ตรวจสอบหาโพรง	0-1
1000	ตรวจสอบคอนกรีต	0-0.6
1600	ตรวจสอบคอนกรีต	0-0.5
2600	ตรวจสอบคอนกรีต	0-0.4

2.2.1 การวางแผนการสำรวจด้วย GPR

การสำรวจด้วยเครื่อง GPR นั้นสามารถบันทึกผลการสำรวจได้แบบต่อเนื่องและมีความคมชัดของข้อมูลที่สูง ในการสำรวจสภาพถนนคอนกรีตจะใช้ล้อวัดระยะทาง (Survey Wheel) ในการเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ซึ่งแนวการสำรวจจะต้องเหมาะสมและสะดวกต่อการทำงาน อาทิเช่น สภาพพื้นที่ ที่ศทางจราจร สาธารณูปโภค สิ่งปลูกสร้าง สภาพทางภูมิศาสตร์ ความลึกที่ต้องการในการสำรวจ รวมทั้งข้อมูลของสภาพธรณีวิทยาของพื้นที่นั้นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน

สำหรับการสำรวจถนนคอนกรีตของกรมทางหลวง แนวการสำรวจที่เหมาะสมควรสำรวจไปตามแนวยาวของถนนและไปตามทิศทางการจราจรดังแสดงในรูปที่ 2.2.1-1 และจะต้องทำการสำรวจอย่างน้อย 3 แนวใน 1 ช่องจราจร เนื่องจากโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณมุมของรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต ซึ่งแนวของการสำรวจมีดังนี้

- 1) แนวสำรวจ A: บริเวณใกล้ริมด้านซ้ายของช่องจราจร (ตามทิศทางการจราจร)
- 2) แนวสำรวจ B: บริเวณกึ่งกลางของช่องจราจร (ตามทิศทางการจราจร)
- 3) แนวสำรวจ C: บริเวณใกล้ริมด้านขวาของช่องจราจร (ตามทิศทางการจราจร)



รูปที่ 2.2.1-1 แนวการสำรวจตามทิศทางจราจร

ซึ่งในการวางแผนของการสำรวจผู้ทดสอบจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการสำรวจซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่, ลักษณะความเสียหายของแผ่นถนนคอนกรีต, จำนวนของแผ่นถนนคอนกรีต และช่วงความยาวของถนนที่ต้องการสำรวจ โดยขณะที่ทำการสำรวจนั้นจะต้องทำการปิดช่องจราจรชั่วคราวเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานด้วย

2.2.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือการสำรวจ Ground Penetration Radar (GPR)

Structurescan III เป็นเครื่องมือการสำรวจ GPR ที่กรมทางหลวงมีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยบริษัท GSSI เป็นผู้ผลิตเครื่องมือรวมทั้งโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งเครื่องมือรุ่นนี้สามารถเชื่อมต่อสายอากาศได้จำนวน 2 ช่องสัญญาณ โดยเครื่องมือรุ่นนี้สามารถทำการสำรวจ บันทึกผล แสดงผล และประมวลผลเป็นภาพในลักษณะแบบ 2 มิติได้ และสามารถใช้งานได้ดีกับสายอากาศมาตรฐานที่ได้ผลิตมาด้วยกัน ซึ่งเครื่องมือสำรวจ GPR รุ่น SIR-20 ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักๆ 4 ส่วน ดังนี้

1) Toughbook หรือคอมพิวเตอร์ Laptop มีหน้าที่ในการบันทึกผล ประมวลผล และแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2-1



รูปที่ 2.2.2-1 Toughbook และอุปกรณ์ประกอบการทดสอบ

2) หน่วยควบคุม (Control Unit) ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2-2



รูปที่ 2.2.2-2 หน่วยควบคุม (Control Unit)

3) อุปกรณ์หัวส่งและรับสัญญาณ (Transmitting and Receiving Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2-3



รูปที่ 2.2.2-3 อุปกรณ์หัวส่งและรับสัญญาณ (Transmitting and Receiving Antenna)

4) อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น สายนำสัญญาณ, แบตเตอรี่, กล่องควบคุมสายอากาศ, มือจับสายอากาศ, ล้อวัดระยะทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2-4



รูปที่ 2.2.2-4 อุปกรณ์ประกอบของ GPR

รายการอุปกรณ์ประกอบการสำรวจ

การจัดเตรียมวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์สำรวจ โดยผู้ที่ทำการสำรวจจะต้องเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจพร้อมทั้งความพร้อมในการใช้งาน ก่อนที่จะนำไปทดสอบในสนามตามตารางที่ 2.2.2-1

ตารางที่ 2.2.2-1 รายละเอียดการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการสำรวจ

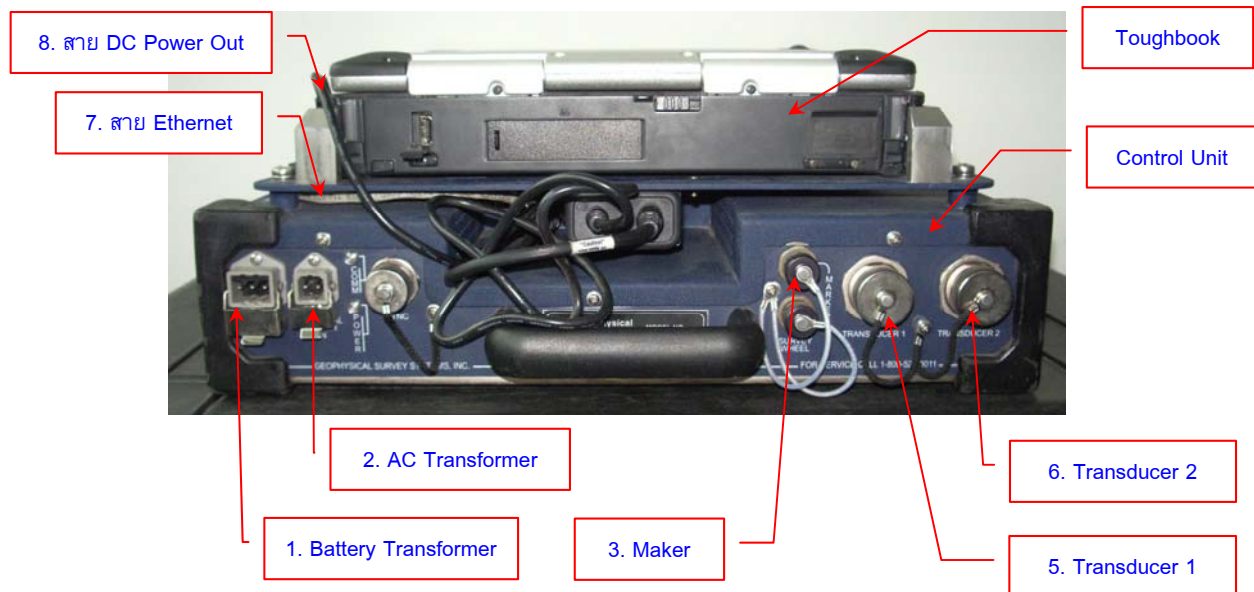
ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	พร้อมใช้งาน (✓)
1	สายอากาศ ความถี่(MHz, GHz)			
2	ชุดควบคุมการทำงานและบันทึกข้อมูล เช่น คอมพิวเตอร์พกพา และหน่วยควบคุม			
3	ฐานรองรับสายอากาศและล้อวัดระยะทาง			
4	ด้ามต่อและมือจับสายอากาศ หรือชุดรถเข็น			
5	กล่องควบคุมการทำงานของสายอากาศและเข็มขัด			
6	ชุดสายนำสัญญาณจากสายอากาศสู่หน่วยควบคุม			
7	เครื่องประจุแบตเตอรี่หลัก (12V, 18 Ah)			
8	เครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับคอมพิวเตอร์พกพา			
9	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า AC/DC			
10	เทปวัดระยะ			
11	สมุดสนาม, ปากกา, แผ่นบันทึก CD-Rom และอื่นๆ			
12	อุปกรณ์การสื่อสาร เช่น วิทยุสื่อสาร, โทรศัพท์			
13	GPS			
14	แผนที่ควบคุมและแบบ Cross Section ของสายทาง			
15	อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เช่น กล่องเครื่องมือ			

การเชื่อมต่อเครื่องมืออุปกรณ์และสายนำสัญญาณของหน่วยควบคุม

เครื่องมือสำรวจ GPR รุ่น SIR-20 จะประกอบไปด้วย 8 จุดเชื่อมต่อ ซึ่งจะต้องทำการเชื่อมต่อสายสัญญาณต่างๆ เข้ากับหน่วยควบคุมก่อนที่จะเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ (Toughbook) เพื่อเริ่มทำการทดสอบ ซึ่งจุดเชื่อมต่อต่างๆ ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.2-5 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. จุดเชื่อมต่อของ Battery Transformer คือ จุดเชื่อมต่อของแหล่งพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่
2. จุดเชื่อมต่อของ AC Transformer คือ จุดเชื่อมต่อของแหล่งพลังงานกระแสสลับ
3. จุดเชื่อมต่อของ Marker คือ จุดเชื่อมต่อของสวิตช์ Marker จากล้อวัดระยะทาง
4. จุดเชื่อมต่อของ Survey Wheel คือ จุดเชื่อมต่อของล้อวัดระยะทางเพื่อการวัดระยะแบบอัตโนมัติ
5. จุดเชื่อมต่อของ Transducer 1 คือ จุดเชื่อมต่อของสายอากาศช่องที่ 1 (เชื่อมต่อ Antenna ตัวที่ 1)

6. จุดเชื่อมต่อของ Transducer 2 คือ จุดเชื่อมต่อของสายอากาศช่องที่ 2 (เชื่อมต่อ Antenna ตัวที่ 2)
7. สายปลั๊กเชื่อมต่อสาย Ethernet เพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์
8. สายปลั๊กเชื่อมต่อแหล่งพลังงานกระแสตรง DC Power Out แก่คอมพิวเตอร์ (Toughbook) จากหน่วยควบคุม

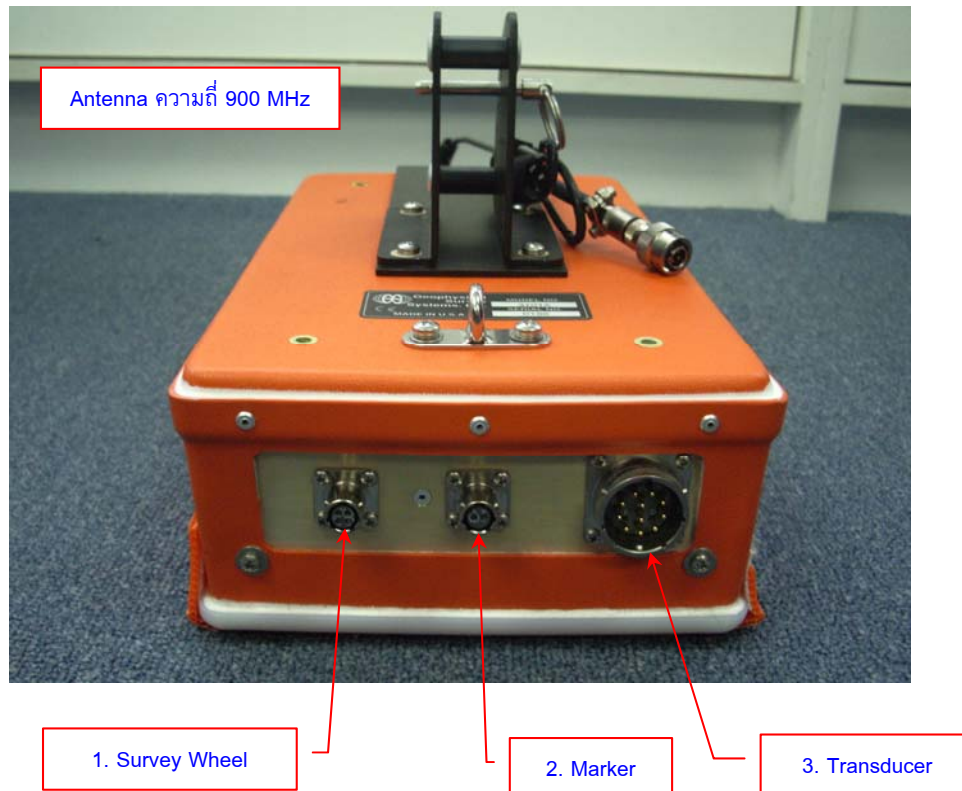


รูปที่ 2.2.2-5 แสดงจุดเชื่อมต่อต่างๆ ของ GSSI SIR-20 System

การเชื่อมต่อเครื่องมืออุปกรณ์และสายนำสัญญาณของกล่องสายอากาศ

กล่องสายอากาศ (Antenna) ประกอบไปด้วย 3 จุดเชื่อมต่อ และจะต้องทำการเชื่อมต่อสายนำสัญญาณต่างๆ เข้ากับหน่วยควบคุมและก้านมือจับสายอากาศก่อนที่จะเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ (Toughbook) เพื่อเริ่มทำการทดสอบ ซึ่งจุดเชื่อมต่อต่างๆ ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.2-6 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. จุดเชื่อมต่อของ Survey Wheel คือ จุดเชื่อมต่อของล้อวัดระยะทางที่กล่องสายอากาศ
2. จุดเชื่อมต่อของ Marker คือ จุดเชื่อมต่อของสวิตช์ Marker กับก้านมือจับสายอากาศ
3. จุดเชื่อมต่อของ Transducer คือ จุดเชื่อมต่อของสายนำสัญญาณกับหน่วยควบคุม



รูปที่ 2.2.2-6 แสดงจุดเชื่อมต่อต่างๆ ของกล่องสายอากาศ (Antenna)

โดยขั้นตอนในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบของเครื่องมือ GSSI SIR-20 ดังรูปที่ 2.2.2-7 สามารถปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้ง Toughbook เข้ากับหน่วยควบคุม



2. ยึด Toughbook โดยหมุนสกรูปรับแทนยึด



รูปที่ 2.2.2-7 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบของเครื่องมือ GSSI SIR-20

3. ต่อสาย Ethernet Connector



4. ติดตั้งตัวป้องกันจุดเชื่อมต่อปลั๊ก Ethernet



5. ต่อสายเชื่อมต่อแหล่งพลังงานให้แก่ Toughbook



6. ประกอบติดตั้งก้านมือจับสายอากาศ



7. ติดตั้งก้านมือจับสายอากาศกับกล่องสายอากาศ (Antenna) พร้อมล้อวัดระยะทาง



8. เชื่อมต่อสายนำสัญญาณจาก Marker และล้อวัดระยะทางกับกล่องสายอากาศ (Antenna)



รูปที่ 2.2.2-7 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบของเครื่องมือ GSSI SIR-20 (ต่อ)

9. เชื่อมต่อสายนำสัญญาณกล่องสายอากาศ (Antenna)



10. การเชื่อมต่อสายนำสัญญาณกับกล่องสายอากาศ, สายนำสัญญาณจาก Marker และลวดวัดระยะกับกล่องสายอากาศที่ติดตั้งครบทั้ง 3 จุด



11. เชื่อมต่อสายนำสัญญาณจากสายอากาศสู่หน่วยควบคุมที่ Transducer 1 (ใช้ Antenna 1 ตัว)



12. เชื่อมต่อแหล่งพลังงานจากหม้อแปลงกระแสสลับสู่หน่วยควบคุม (กรณีใช้แหล่งพลังงานกระแสสลับ)



13. เชื่อมต่อแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่สู่หน่วยควบคุม (กรณีใช้แหล่งพลังงานกระแสตรง)



14. ชุดควบคุมสายอากาศติดตั้งพร้อมทั้งลวดวัดระยะทางและก้านมือจับสายอากาศ



15. Toughbook พร้อมสำหรับการใช้งาน



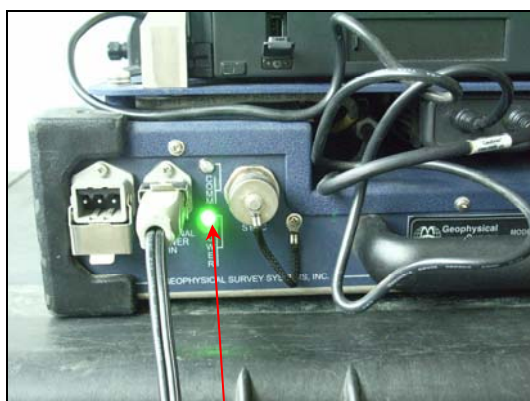
16. เครื่องมืออุปกรณ์ติดตั้งพร้อมเริ่มทำการทดสอบ



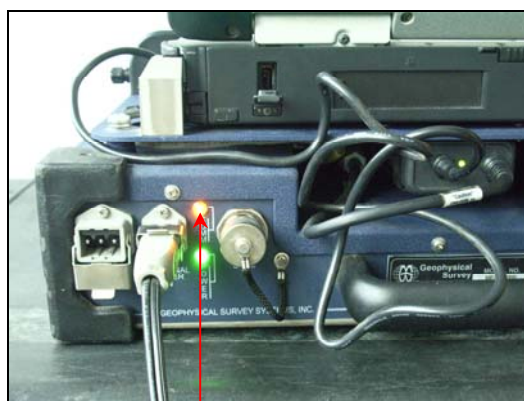
รูปที่ 2.2.2-7 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบของเครื่องมือ GSSI SIR-20 (ต่อ)

ตรวจสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์

ภายหลังจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดแล้วสามารถตรวจสอบความพร้อมในการทำงานจาก หลอดไฟแสดงสถานะการทำงานสีส้มและสีเขียวจะถูกปรากฏขึ้น โดยหลอดไฟสีเขียวจะแสดงสถานะเมื่อระบบได้ถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานเรียบร้อยแล้ว ส่วนหลอดไฟสีส้มจะสว่างเมื่อมีการสื่อสารกันระหว่าง Toughbook และหน่วยควบคุมโดยส่วนใหญ่หลอดไฟสีส้มจะสว่างในขณะที่ทำการสำรวจ ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.2-8



หลอดไฟสีเขียวแสดงสถานะของพลังงาน



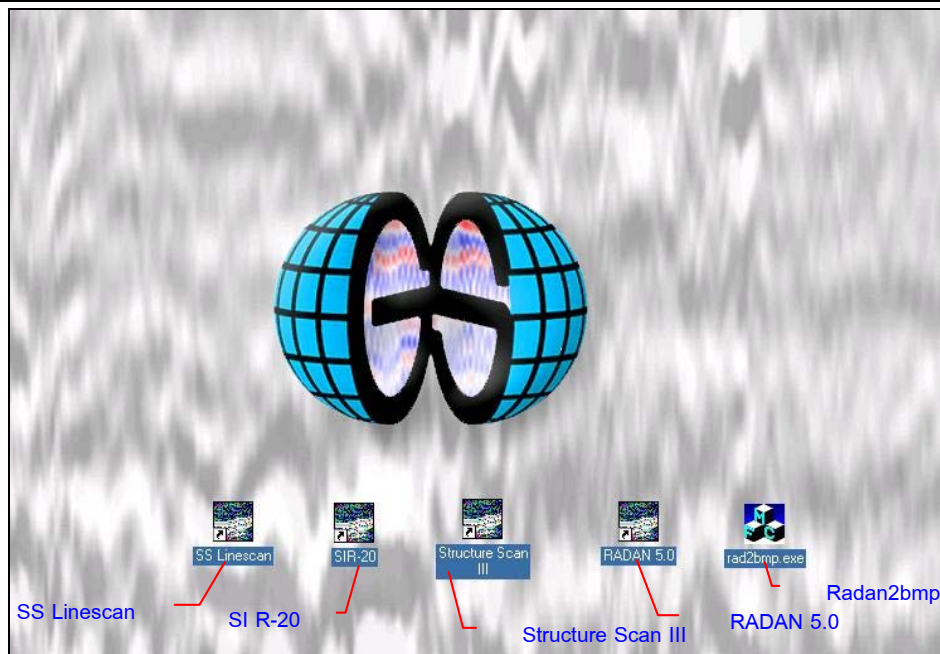
หลอดไฟสีส้มแสดงสถานะขณะทำการสำรวจ

รูปที่ 2.2.2-8 หลอดไฟแสดงถึงสถานะของการทำงาน

2.2.3 โปรแกรมสำหรับการใช้งานเครื่อง Ground Penetration Radar (GPR)

โปรแกรมสำหรับเครื่องมือการสำรวจ GPR รุ่น GSSI SIR-20 มีการใช้โปรแกรมในการจัดการการเก็บข้อมูล, การประมวลผลข้อมูล และการนำผลข้อมูลมาแสดงในลักษณะของรูปภาพ ซึ่งได้รับการติดตั้งไว้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ Toughbook ดังแสดงในรูปที่ 2.2.3-1 โดยสามารถอธิบายคุณสมบัติและหน้าที่ของแต่ละโปรแกรมได้ดังนี้

 SS Linescan	เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการสำรวจที่มีความสะดวกรวดเร็วและใช้งานง่ายต่อผู้ทดสอบที่เริ่มต้นการใช้งานใหม่ โดยมีคำสั่งการปรับตั้งค่าในการใช้งานจำกัด สามารถแสดงภาพเป็น 2 มิติ และสามารถทำการทดสอบในแนวถัดไปได้โดยไม่ต้องป้อนค่าตัวแปรใหม่ในการเก็บข้อมูล
 SIR-20	เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่มีความชำนาญมากขึ้น ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ มากกว่าโปรแกรม SS Linescan เพื่อให้เหมาะสมกับแต่ละสภาพพื้นที่ที่ทำการสำรวจ โดยแสดงภาพเป็นรูปแบบ 2 มิติ
 Structure Scan III	เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการเก็บข้อมูลเป็นรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งมีลักษณะการทำงานของโปรแกรมเช่นเดียวกับโปรแกรม SIR-20
 RADAN 5.0	เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ
 Radan2bmp	เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแปลงผลการสำรวจในรูปแบบ *.dzt เป็นรูปภาพ (*.bmp)



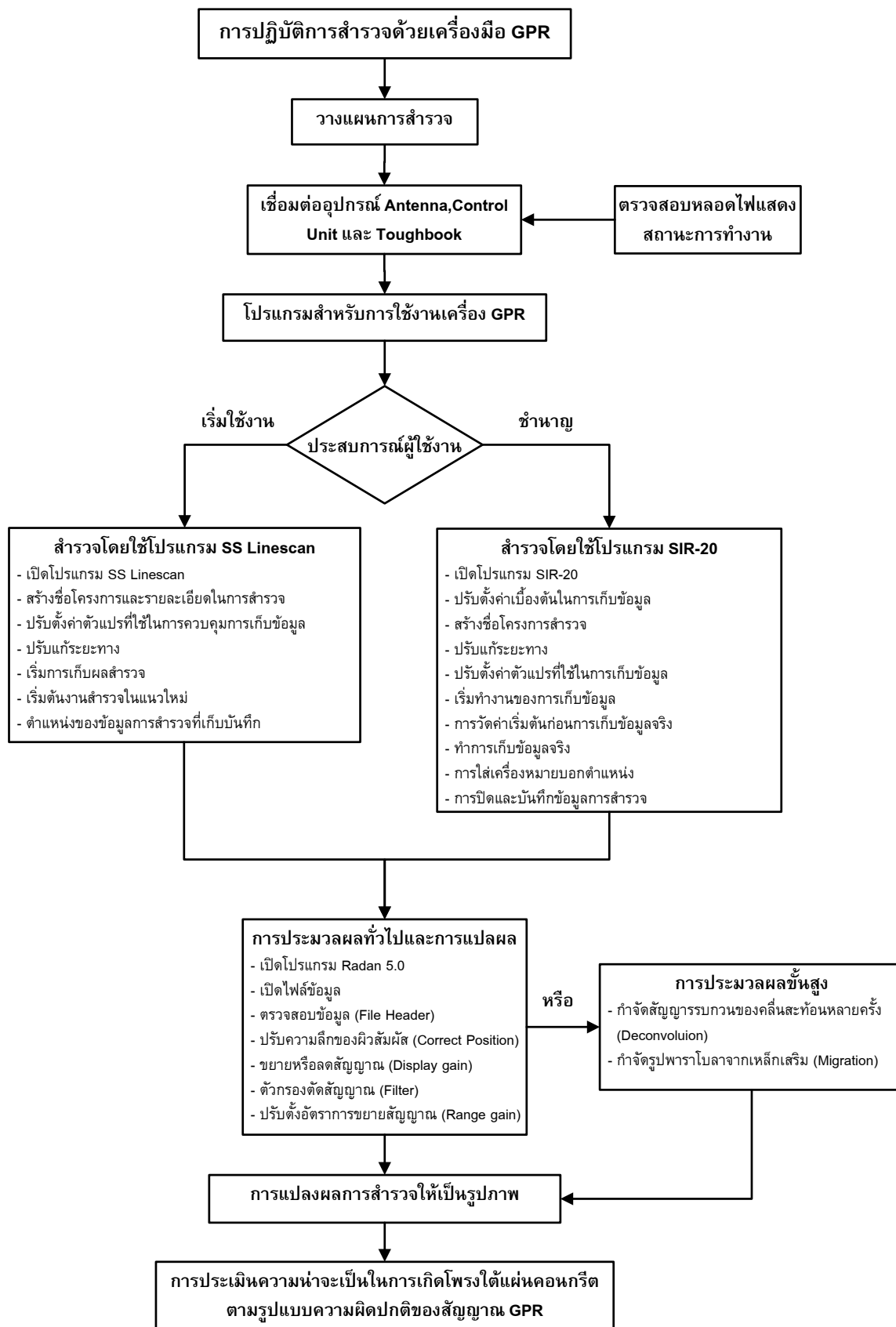
รูปที่ 2.2.3-1 แสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์ของ GSSI SIR-20

2.2.4 การปฏิบัติการสำรวจด้วยเครื่อง GPR ในภาคสนาม

สำหรับการสำรวจแผ่นถนนคอนกรีตด้วยเครื่องมือ GPR ที่ใช้ซึ่งมีความเหมาะสมกับการสำรวจซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

- การเก็บข้อมูลสำรวจด้วยโปรแกรม SS Linescan เป็นโปรแกรมการสำรวจที่ใช้งานง่ายสำหรับผู้ทดสอบที่เริ่มต้นการใช้งานใหม่ โดยคำสั่งการปรับตั้งค่าเบื้องต้นในการใช้งานค่อนข้างจำกัด ซึ่งผู้ใช้งานไม่สามารถปรับเปลี่ยนในบางคำสั่งในการเก็บข้อมูลผลการสำรวจได้มากนัก
- การเก็บข้อมูลสำรวจด้วยโปรแกรม SIR-20 เป็นโปรแกรมการสำรวจสำหรับผู้ใช้งานที่มีความชำนาญมากขึ้น และคำสั่งต่างๆ ในการปรับตั้งค่าการเก็บข้อมูลการสำรวจสามารถปรับตั้งค่าได้มากกว่าโปรแกรม SS Linescan นอกจากนี้โปรแกรมการใช้งานมีความเหมาะสมที่สุดในการสำรวจแผ่นถนนคอนกรีต

ซึ่งทั้ง 2 วิธีในการเก็บผลข้อมูลการสำรวจสามารถนำมาประมวลผลและการแปรผลข้อมูลได้ โดยขั้นตอนการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR นั้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.2.4-1 ซึ่งแต่ละวิธีการสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนดังนี้



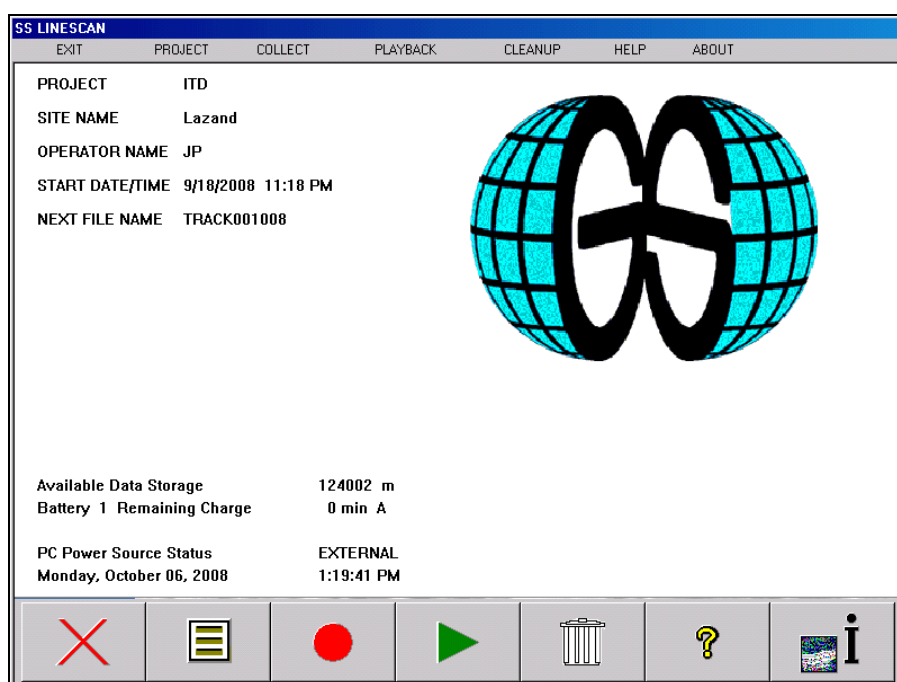
รูปที่ 2.2.4-1 แสดงขั้นตอนการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR

2.2.4.1 การสำรวจโดยใช้โปรแกรม SS Linescan

การสำรวจโดยใช้โปรแกรม SS Linescan หลังจากทำการประกอบและติดตั้งเครื่องมือ GPR พร้อมใช้งานแล้วตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในเรื่องการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ และการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือสำรวจ โดยเริ่มต้นการเก็บข้อมูลสำรวจซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดโปรแกรม SS Linescan

ทำการเปิดโปรแกรม SS Linescan ด้วยการคลิกปุ่ม  และทำการป้อนข้อมูลต่างๆ ในการเริ่มงานโครงการสำรวจใหม่ ดังรูปที่ 2.2.4.1-1 ซึ่งจะแสดงคำสั่งต่างๆ ดังนี้



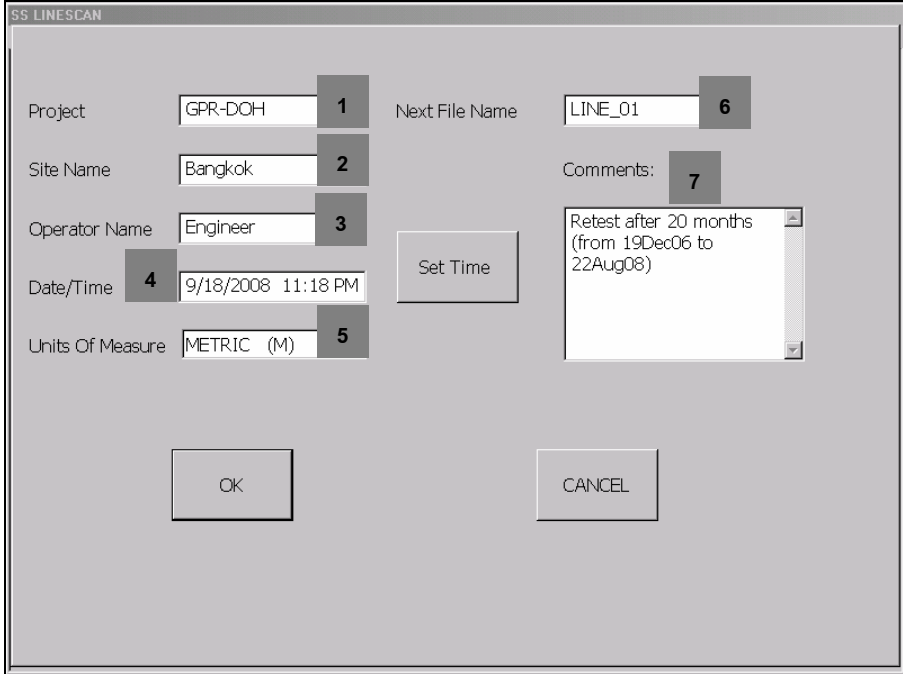
รูปที่ 2.2.4.1-1 แสดงโปรแกรม SS Linescan

คำสั่งของหน้าต่างโปรแกรม SS Linescan

	Exit	ออกจากโปรแกรม
	Project	สร้างชื่อโครงการสำรวจ
	Collect	การปรับตั้งค่าในการเก็บข้อมูล
	Playback	การย้อนดูข้อมูล
	Cleanup	ลบข้อมูล
	Help	ต้องการความช่วยเหลือสำหรับโปรแกรม
	About	เกี่ยวกับโปรแกรม SS Linescan

2) สร้างชื่อโครงการและรายละเอียดในการสำรวจ

โดยการคลิกที่เมนู Project หรือปุ่ม  บริเวณด้านล่างของหน้าต่างโปรแกรมในรูปที่ 2.2.5.1-1 และป้อนค่ารายละเอียดของโครงการในแต่ละช่องของคำสั่งต่างๆ ดังรูปที่ 2.2.4.1-2



รูปที่ 2.2.4.1-2 แสดงหน้าต่างในการปรับตั้งค่ารายละเอียดของโครงการในโปรแกรม SS Linescan

รายละเอียดของแต่ละตัวแปร สามารถอธิบายได้ดังนี้

1 Project:	เป็นชื่อของโครงการที่ทำการสำรวจ
2 Site Name:	เป็นชื่อของสถานที่ตั้งของโครงการที่ทำการสำรวจ
3 Operator Name:	เป็นชื่อของผู้ที่ทำการสำรวจ
4 Date/Time:	เป็นรายละเอียดวันที่และเวลาที่ทำการสำรวจ สามารถปรับค่าเวลาเป็นเวลา ณ ปัจจุบันได้โดยการคลิกที่ปุ่ม Set Time
5 Unit of Measure:	เป็นการเลือกหน่วยที่ทำการวัดค่า เลือก Metric (เมตร, M) หรือ English (ฟุต, FT)
6 Next File Name:	เป็นการตั้งชื่อของผลการสำรวจที่จะบันทึก
7 Comments:	เป็นรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องของโครงการสำรวจนั้นๆ
หลังจากการปรับตั้งเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม OK หรือถ้าต้องการยกเลิกให้คลิกปุ่ม CANCEL ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.4.1-2	

3) ปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการเก็บข้อมูล

ภายหลังจากที่คลิกปุ่ม OK แล้วโปรแกรมจะกลับไปยังหน้าต่างของ SS Linescan รูปที่ 2.2.4.1-1 จากนั้นให้คลิกที่เมนู Collect หรือ  บริเวณด้านล่างของหน้าต่างโปรแกรมและทำการป้อนค่าต่างๆ ตามที่

โปรแกรมต้องการ ดังรูปที่ 2.2.4.1-3

รูปที่ 2.2.4.1-3 แสดงหน้าต่างที่ใช้ทำการการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมการเก็บข้อมูล

รายละเอียดของแต่ละตัวแปรสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนการปฏิบัติ	รายละเอียด	คำแนะนำ
1 Unit of Measure:	ตัวแปรนี้จะขึ้นอยู่กับค่าที่ตั้งค่าในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.4.1-2	METRIC (M)
2 Depth of Investigation:	เป็นการกำหนดค่าความลึกการสำรวจสูงสุด (ซม.) ซึ่งความลึกที่ใช้ในการสำรวจจะต้องมากกว่าความลึกที่ต้องการสำรวจอย่างน้อย 30% โดยที่ค่ามากที่สุดที่โปรแกรม SS Linescan ยอมให้มีค่าเท่ากับ 90 ซม.	40 ซม.
3 Background Removal Level:	เป็นการปรับตั้งค่าที่ใช้ในการควบคุมการรบกวนของคลื่นความถี่ต่ำ เลือกใช้ 0 เพื่อปิดการใช้งานของตัวแปรนี้และเพื่อเก็บเป็นข้อมูลดิบทั้งหมดไว้	0
4 Concrete Parameters Type:	เป็นการเลือกค่า Dielectric Constant ของวัสดุที่จะทำการสำรวจ ซึ่งจะเป็นการปรับเปลี่ยนค่า Dielectric Constant โดยอัตโนมัติตามสภาพของวัสดุคอนกรีต	-
5. Dielectric Constant:	การเลือกใช้ค่าความต้านทานต้านไฟฟ้า (Dielectric Constant) ของวัสดุต่างๆ จากตารางที่ 2.1-1 ซึ่งเป็นการประเมินสถานภาพของวัสดุข้างต้นแล้วค่อยทำการปรับแก้ค่าในภายหลังได้อีกครั้ง (หมายเหตุ: การหาค่า Dielectric Constant ใหม่ อยู่ในหัวข้อที่ 2.2.4.1 ข้อ 6 หน้า 36)	7

4) ปรับแก้ระยะทาง (Calibration)

ในการใช้ล้อวัดระยะทาง (Survey Wheel) ที่ทำการสำรวจพื้นที่ที่มีความยาวมากๆ นั้นจะต้องทำการปรับแก้ระยะทางที่ถูกต้องก่อนที่จะทำการสำรวจเพื่อเป็นการปรับแก้จากความผิดพลาดของผู้ทำการทดสอบสามารถทำได้ด้วยคลิกที่ปุ่ม Survey Wheel Calibration ในรูปที่ 2.2.4.1-3 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2.2.4.1-4 โดยปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

รูปที่ 2.2.4.1-4 แสดงหน้าต่างการปรับแก้ล้อวัดระยะทาง

ขั้นตอนการปฏิบัติ	รายละเอียด
1. Select calibration distance:	ทำการกำหนดระยะทางที่จะ Calibration ด้วยการใช้เทปวัดระยะทาง กำหนดให้มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด เช่น กำหนดระยะทาง 1 เมตร ในช่องคำสั่ง CALIBRATION DISTANCE
2. Position Antenna on the Start mark:	วางตำแหน่งของสายอากาศ (Antenna) ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้นการปรับแก้ระยะทาง
3. Click Start button:	คลิกปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการ Calibration
4. Move antenna to the Stop mark:	ทำการเคลื่อนล้อวัดระยะทางจนถึงจุดสิ้นสุดและหยุดค้างไว้
5. Click FINISH button:	คลิกปุ่ม Finish เพื่อสิ้นสุดการ Calibration
6. Click SAVE button to store result:	คลิกปุ่ม Save เพื่อบันทึกค่าการ Calibration

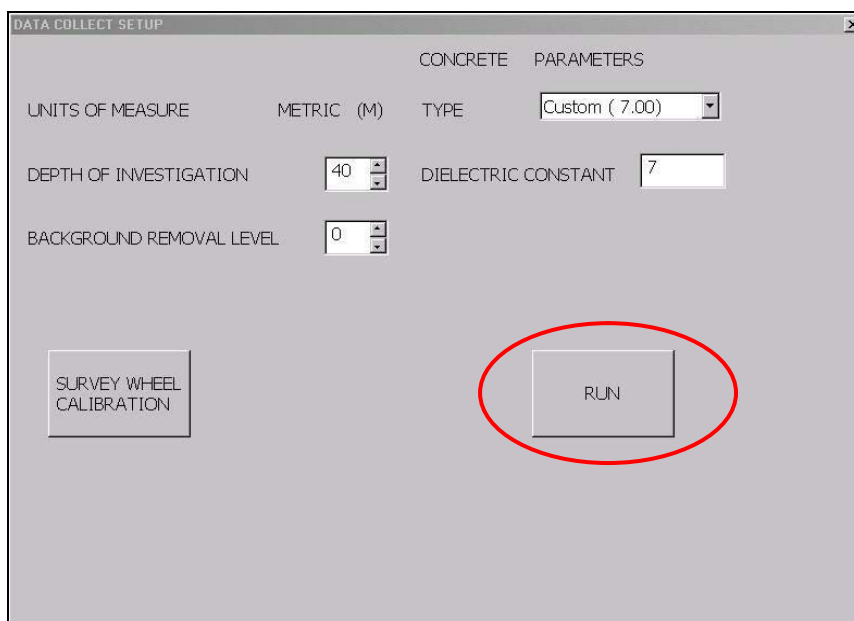
หมายเหตุ: ในการทำ Calibration นั้นในกรณีที่ผู้ทดสอบสามารถป้อนค่า NUMBER OF TICKS PER UNIT (จำนวนรอบของล้อวัดระยะทางต่อระยะทางของความยาวที่ทำการ Calibration) ได้โดยตรง โดยการเลือกรูปแบบของล้อวัดระยะทางได้ ซึ่งแต่ละแบบจะมีค่ามาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ทำการ Calibration ได้ดังนี้

- Model 611 (3 5/6" wheel) เท่ากับ 2000 ticks/meter
- Model 62X Survey Cart เท่ากับ -1583 ticks/meter

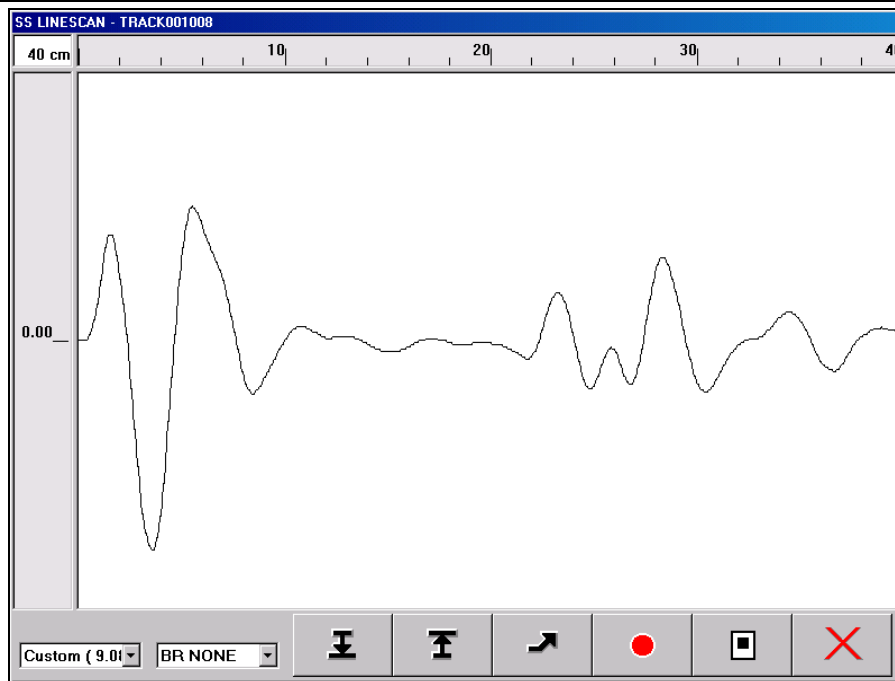
สำหรับรายงานฉบับนี้ใช้ล้อวัดระยะทางรุ่น Model 611 (3 5/6" wheel) ซึ่งใช้ได้กับสายอากาศ 900 MHz และ 1.5 GHz

5) เริ่มการเก็บผลสำรวจ

ภายหลังจากที่คลิกปุ่ม SAVE เพื่อบันทึกค่าการ Calibration แล้วโปรแกรมจะกลับไปยังหน้าต่างของ DATA COLLECT SETUP จากนั้นให้เริ่มทำการเก็บผลการสำรวจโดยคลิกลงบนปุ่ม Run บริเวณด้านขวาของหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 2.2.4.1-5 และภายหลังจากคลิกปุ่ม Run แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างการทำงานดังรูปที่ 2.2.4.1-6 หลังจากนั้นทำการวัดค่าเริ่มต้น (Initialize) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกเพื่อการตรวจสอบการปรับตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นทดสอบเป็นศูนย์ (Set 0) โดยพิจารณาจากสัญญาณคลื่นในหน้าต่างการทำงานรูปที่ 2.2.4.1-6 ถ้าเห็นสัญญาณช่วงปลายไม่ค่อยนิ่งให้ทำการลดระยะความลึกลงให้คลิกปุ่ม  หลังจากนั้นรอกันว่าหน้าจอจะแสดงการเปลี่ยนแปลงแล้วเสร็จ หากระยะความลึกลดลงมากเกินไป สามารถปรับเพิ่มขึ้นได้โดยการคลิกปุ่ม  เมื่อได้ระดับความลึกตามต้องการให้คลิกปุ่ม  จากนั้นให้คลิกปุ่ม  เพื่อเริ่มต้นเก็บข้อมูล โดยผู้ใช้งานสามารถเห็นผลการสำรวจได้ทันทีบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อเคลื่อนล้อวัดระยะทางไปตามแนวสำรวจดังรูปที่ 2.2.4.1-7 เมื่อทำการสำรวจตามแนวจนสิ้นสุดในตลอดแนวนั้นแล้วให้ทำการคลิกปุ่ม  เพื่อหยุดการเก็บข้อมูล และคลิกปุ่ม  เมื่อสิ้นสุดการทดสอบซึ่งโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างว่าต้องการบันทึกข้อมูลหรือไม่ ให้คลิกปุ่ม Yes เพื่อทำการบันทึกข้อมูลการสำรวจ



รูปที่ 2.2.4.1-5 หน้าต่าง Run บริเวณด้านขวาของหน้าต่างโปรแกรมในการเก็บข้อมูล

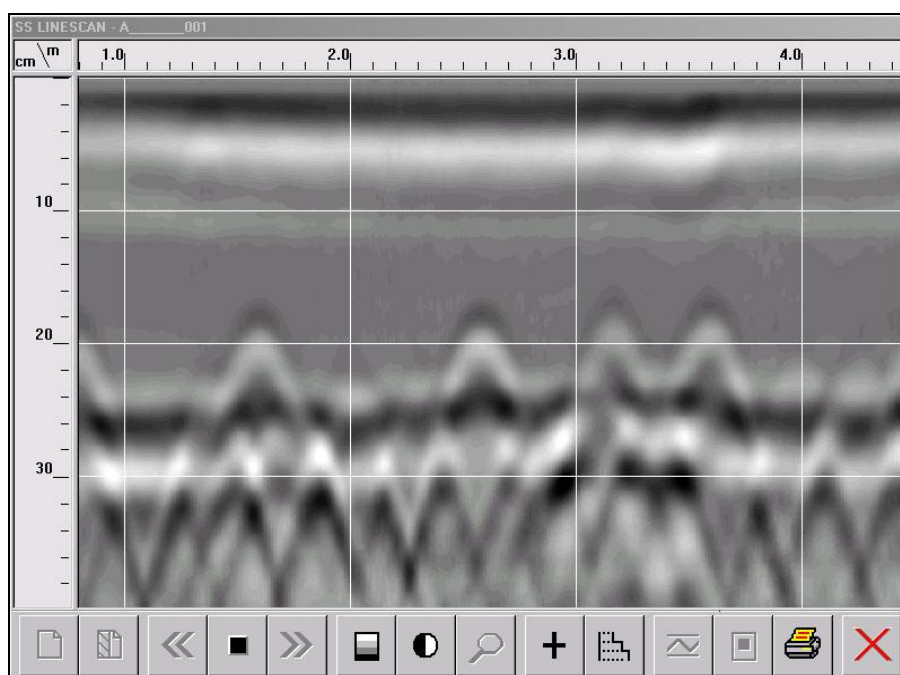


รูปที่ 2.2.4.1-6 หน้าต่างการทำงานหลังจากการคลิกปุ่ม Run

หน้าต่างการทำงานแสดงถึงแนวสะท้อนกลับของเส้นคลื่นก่อนทำการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 2.2.4.1-6 ในกรณีที่เส้นคลื่นเป็นเส้นตรงหรือมีสัญญาณไม่แรง ให้ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟว่ากำลังไฟฟ้าเพียงพอหรือไม่และตรวจสอบจุดเชื่อมต่อของสายนำสัญญาณแน่นหรือไม่ รายละเอียดการใช้งานมีดังนี้

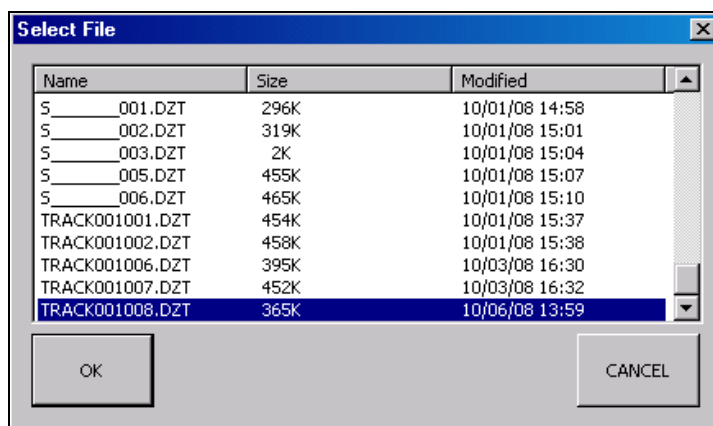
	การวัดค่าเริ่มต้น (Initialize) จะเป็นขั้นตอนแรกเพื่อตรวจสอบการปรับตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นทดสอบเป็นศูนย์ (Set 0) การปรับแก้ค่าอัตราการขยายสัญญาณ (Gain) ตลอดจนค่าความลึกในการสำรวจ หลังจากนั้นให้วางสายอากาศลงบนผิววัตถุที่จะทำการสำรวจแล้วพิจารณาค่าอีกครั้งให้เหมาะสมกับการสำรวจกับพื้นผิวนั้นๆ แล้วคลิก 
 , 	ความลึกการสำรวจสามารถเพิ่มหรือลดลงได้โดยการคลิกที่ปุ่ม  และ 
	ข้อมูลของแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการสำรวจสามารถเรียกดูได้โดยใช้คำสั่ง View บนเมนูหรือคลิกที่ปุ่ม 
	คลิกปุ่ม  เพื่อเริ่มต้นเก็บบันทึกข้อมูล โดยผู้ใช้งานสามารถเห็นผลการสำรวจได้ทันทีบนหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเคลื่อนล้อวัดระยะทางไปตามแนวสำรวจ
	คลิกปุ่มหยุด  เพื่อการหยุดการเก็บข้อมูล โดยผลการสำรวจยังคงอยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์
	ทำการบันทึกผล โดยคลิกปุ่ม  (ESC) เพื่อออกจาก Scan Mode

สิ่งสำคัญในการเก็บข้อมูลต้องมั่นใจได้ว่าล้อหน้าของล้อวัดระยะสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุที่สำรวจอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในบางครั้งในการเก็บข้อมูลจะเกิดการลื่นไถลของล้อวัดระยะเมื่อเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวที่ขรุขระ อาจจะทำให้พลาดบางข้อมูลในแนวการสำรวจนั้นไปได้

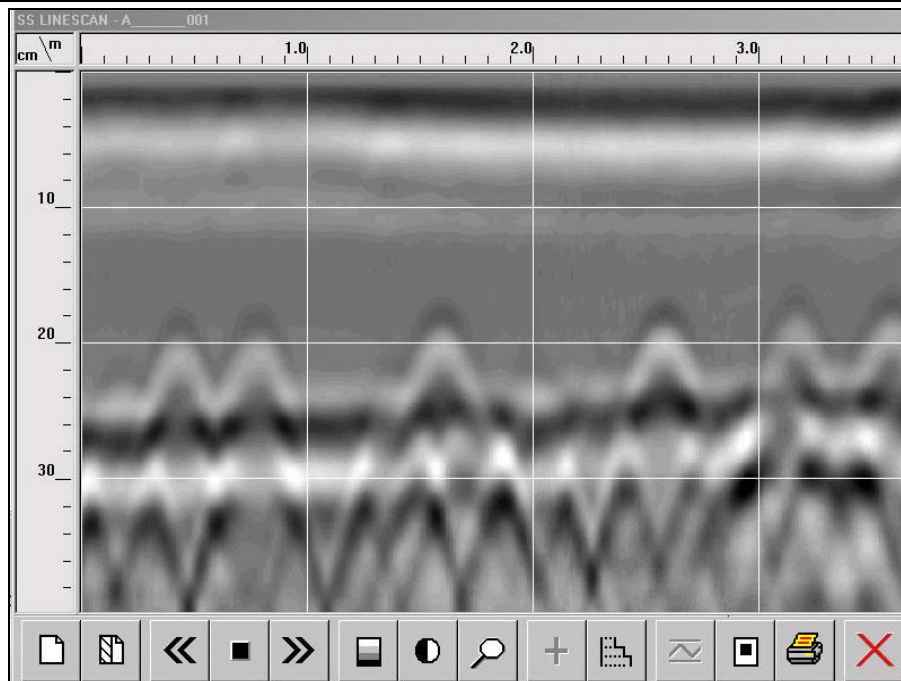


รูปที่ 2.2.4.1-7 แสดงผลการสำรวจจากการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม SS Linescan

ผลการสำรวจสามารถย้อนกลับมาดูได้อีกครั้ง โดยการคลิกที่ Playback บนเมนู หรือปุ่ม  หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 2.2.4.1-8 แล้วทำการเลือกชื่อไฟล์ข้อมูลผลการสำรวจที่ต้องการเปิด แล้วคลิก OK จากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 2.2.4.1-9



รูปที่ 2.2.4.1-8 แสดงหน้าต่างในการเลือกชื่อไฟล์ในการเปิดผลการสำรวจที่ได้บันทึกแล้ว



รูปที่ 2.2.4.1-9 แสดงหน้าต่างแสดงผลการสำรวจจากคำสั่ง Playback

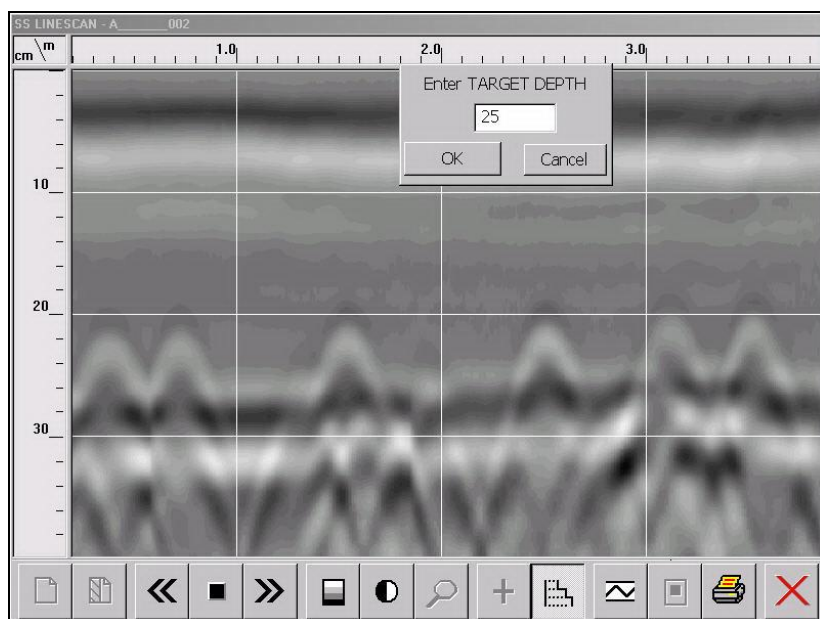
สำหรับรายละเอียดคำสั่งของหน้าต่างแสดงผลการสำรวจ ในรูปที่ 2.2.4.1-9 มีรายละเอียดคำสั่งดังนี้

	คำสั่งการเปิดข้อมูล (File) ใหม่
	คำสั่งการเปิด 2 ข้อมูลในหน้าต่างเดียวกัน
	เลื่อนข้อมูลไปด้านขวา
	หยุดการเลื่อนข้อมูล
	เลื่อนข้อมูลไปด้านซ้าย
	คำสั่งการเลือกโหนดสีในการแสดงผลข้อมูล
	คำสั่งการปรับความชัดของสี
	คำสั่งแสดงภาพขยายข้อมูล
	การปรับแก้ค่าความลึกโดยคลิกปุ่ม  โดยการสังเกตจากระดับความลึกของวัตถุสะท้อนคลื่นที่ทราบค่า เช่น ความหนาของพื้น ความลึกของเหล็กเสริม โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1) ทำการปิดไฟล์โดยการคลิกที่ปุ่ม  2) คลิกที่ปุ่ม  เพื่อการปรับแก้ค่าความลึก 3) วาง Cursor บนจุดสะท้อนกลับของคลื่นที่ทราบค่าความลึกแล้วคลิก 1 ครั้ง 4) โปรแกรมจะแสดงเส้นฉากตัดกัน ณ ตำแหน่งที่เลือก 5) ทำการป้อนค่าความลึกที่ทราบลงไป โปรแกรมจะทำการคำนวณปรับแก้ความลึกให้โดยอัตโนมัติ และค่า Dielectric Constant ใหม่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติเช่นกันซึ่งเราสามารถใส่ค่า Dielectric Constant ที่ได้นี้กับการเก็บข้อมูลในแนวอื่นๆ ต่อไปได้ 6) การปรับแก้ค่าความลึกสามารถทำได้ในคำสั่งของ Playback Mode เช่นเดียวกัน
	การปรับแก้ค่าการวัด Initialize System สามารถใช้งานได้ในระหว่างการเก็บข้อมูล Data Collection Mode เท่านั้น
	แสดงรายละเอียดของข้อมูลผลการสำรวจ
	คำสั่งพิมพ์ภาพข้อมูล
	คำสั่งออกจากโปรแกรม

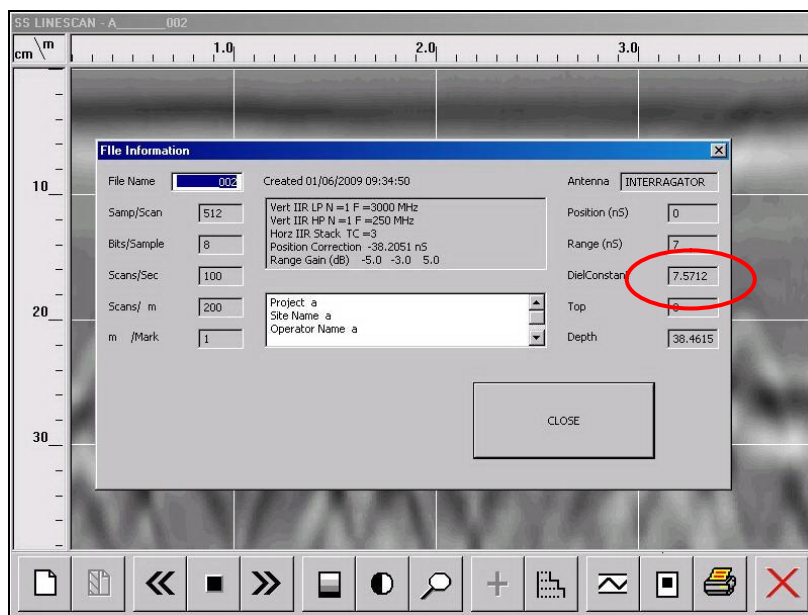
6) การหาค่า Dielectric Constant ใหม่

การหาค่า Dielectric Constant ใหม่ (เป็นค่าที่แท้จริง) ของวัตถุนั้นสามารถหาได้จากผลการสำรวจในครั้งแรกและสามารถหาความลึกของชั้นผิวทางคอนกรีตในสนามได้ โดยการเปิดภาพจากผลการสำรวจและคลิกที่ปุ่ม  ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2.4.1-9 ภายหลังจากการคลิกที่ปุ่ม  แล้วให้ทำการคลิกที่ตำแหน่งที่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นโดยสามารถสังเกตได้จากรูปแบบการสะท้อนกลับของคลื่นระหว่างรอยต่อชั้นคอนกรีตและชั้นวัสดุรองพื้นทางจะปรากฏเส้นตัดกัน ณ ตำแหน่งที่ได้ทำการเลือก แล้วทำการป้อนค่าความลึกของแผ่นพื้นถนนคอนกรีตที่ทราบค่าแน่นอน เช่น ผิวทางหนา 25 ซม. ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2.4.1-10 โดยใส่ค่าดังกล่าวลงไปและคลิก OK โปรแกรมจะทำการปรับแก้ค่าความลึกการสำรวจให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งผลของการปรับแก้ค่าความลึกนี้จะทำให้ค่า Dielectric Constant ที่ได้ป้อนค่าไว้ในขั้นตอนแรกในการปรับตั้งเครื่องมือการสำรวจมีการเปลี่ยนแปลงเป็นค่าที่แท้จริงของวัสดุนั้น โดยผู้ใช้งานสามารถทราบค่า Dielectric Constant ใหม่และสามารถนำค่าดังกล่าวไป

ใช้ได้โดยการคลิกที่ปุ่ม  โปรแกรมจะแสดงผลดังในรูปที่ 2.2.4.1-11 เช่น ค่า Dielectric Constant เท่ากับ 7.5712



รูปที่ 2.2.4.1-10 หน้าต่างแสดงการปรับแก้ค่าความลึกการสำรวจ

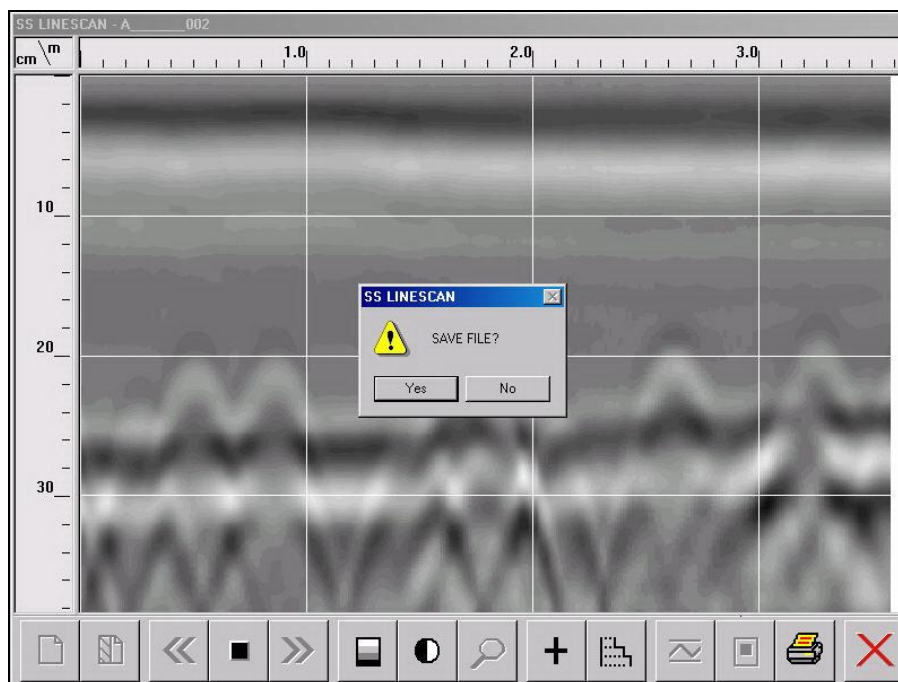


รูปที่ 2.2.4.1-11 หน้าต่างแสดงค่า Dielectric Constant ซึ่งเป็นค่าที่แท้จริงของวัสดุนั้น

7) การเริ่มต้นงานสำรวจในแนวใหม่

สำรวจการเริ่มต้นงานสำรวจในแนวใหม่นั้น สามารถกระทำได้โดยคลิกที่ปุ่ม  ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2.2.4.1-12 โปรแกรมจะถามต้องการบันทึกข้อมูลที่สำรวจไปก่อนหน้านี้หรือไม่ ให้คลิกปุ่ม Yes หรือ No แล้วทำการตั้งชื่อโครงการใหม่ได้หากต้องการปรับตั้งค่าใหม่โดยการทบทวนกระบวนการเดิม ส่วนตำแหน่งเวลาในการ

เริ่มต้นเป็นศูนย์ (Set 0) อัตราการขยายสัญญาณ (Gain) ที่ได้ทำการปรับตั้งในครั้งก่อนจะถูกใช้เพื่อการบันทึกผล การสำรวจในครั้งต่อไปโดยอัตโนมัติ และทำการเริ่มตามขั้นตอนเริ่มเก็บผลการสำรวจ



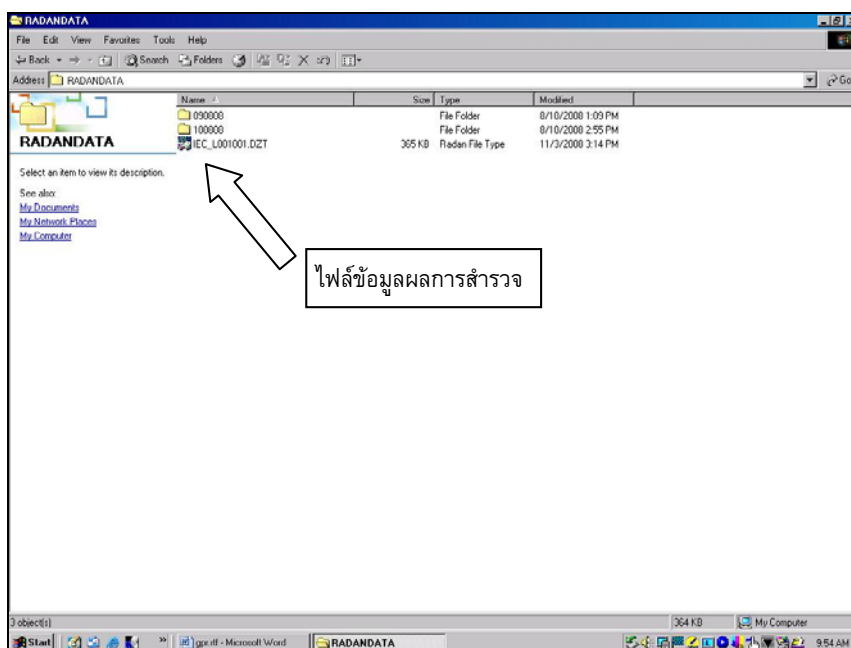
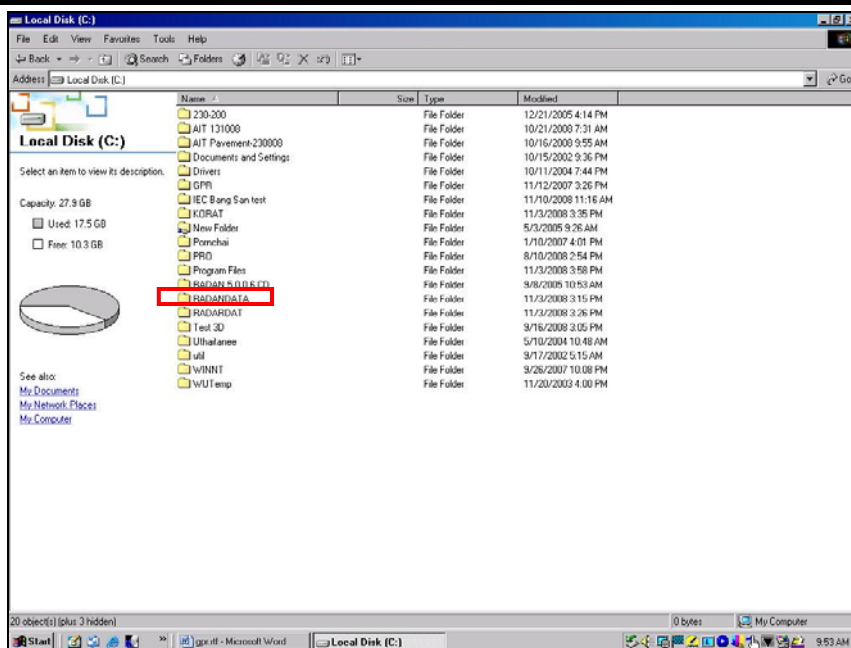
รูปที่ 2.2.4.1-12 แสดงหน้าต่างการเริ่มต้นงานสำรวจในแนวใหม่

8) ตำแหน่งของข้อมูลการสำรวจที่เก็บบันทึก

ข้อมูลผลการสำรวจในแต่ละแนวการสำรวจด้วยวิธี SS Linescan จะถูกเก็บบันทึกไว้ใน Folder เฉพาะ ไม่สามารถบันทึกใน Folder อื่นได้ โดยโปรแกรมจะจัดเก็บข้อมูลที่ทำการศึกษาไว้ที่ตำแหน่ง

C:\Local Disk (C:)\GSSI\RADADATA\ชื่อของข้อมูลที่บันทึก

ซึ่งสามารถนำข้อมูลผลการสำรวจ เพื่อนำไปทำการประมวลผลและแปรผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Radan 5.0 ต่อไปได้ ในรูปที่ 2.2.4.1-13 แสดงการเปิดหน้าต่างของข้อมูลผลการสำรวจที่ได้ถูกบันทึกไว้

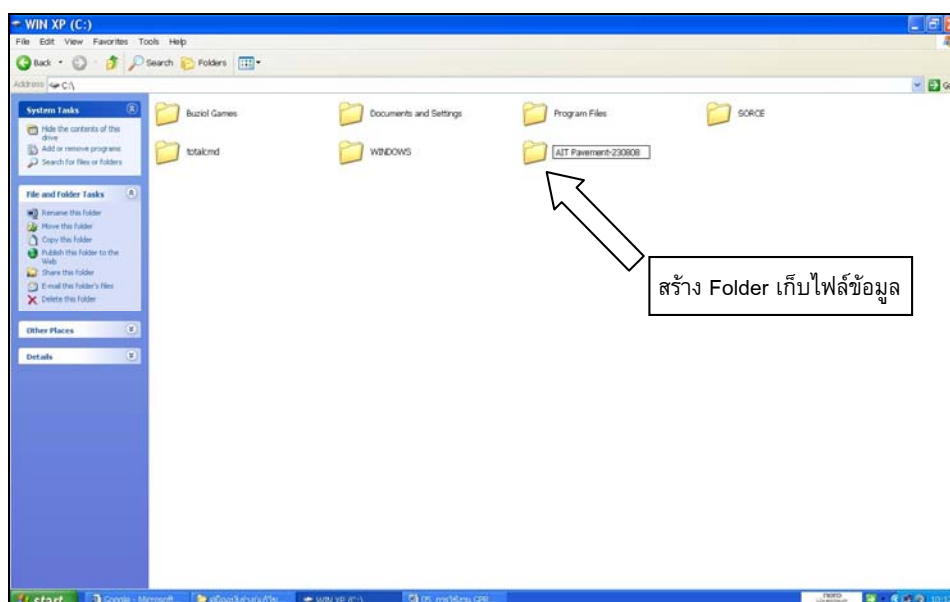
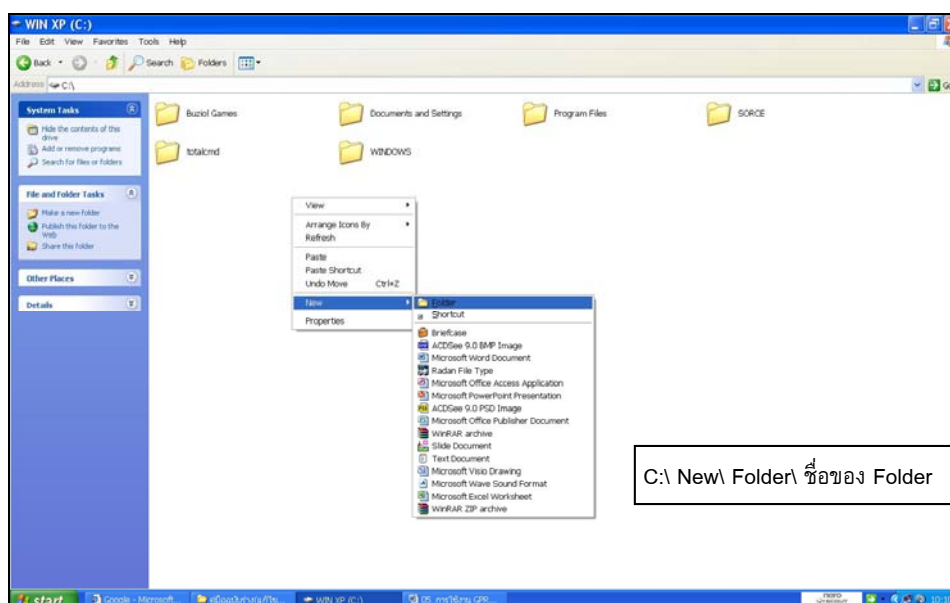


รูปที่ 2.2.4.1-13 แสดงหน้าต่างการเปิดข้อมูลผลการสำรวจ

2.2.4.2 การสำรวจโดยใช้โปรแกรม SIR-20

SIR-20: เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูล GPR ซึ่งใช้ในการเก็บข้อมูลรูปแบบ 2 มิติโดยที่ผู้ใช้งานสามารถทำการปรับแก้ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้อย่างหลากหลายตามสภาพแวดล้อมที่ทำการสำรวจ

ในการเก็บข้อมูลผลการสำรวจด้วยโปรแกรม SIR-20 ในขั้นแรกจะต้องสร้าง Folder เพื่อเก็บไฟล์ข้อมูลผลการสำรวจไว้ก่อนที่จะทำการเปิดโปรแกรมการใช้งาน ดังในรูปที่ 2.2.4.2-1



รูปที่ 2.2.4.2-1 การสร้าง Folder สำหรับเก็บไฟล์ข้อมูลผลการสำรวจ

สำหรับการสำรวจด้วยโปรแกรม SIR-20 นั้นสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้งานทดสอบดังนี้

1) เปิดโปรแกรม SIR-20

โปรแกรม SIR-20 เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมการเก็บข้อมูลสำรวจโดยทำการเปิดโปรแกรม SIR

20 ด้วยการคลิกที่ปุ่ม  แสดงหน้าต่างดังรูปที่ 2.2.4.2-2 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม SIR-20

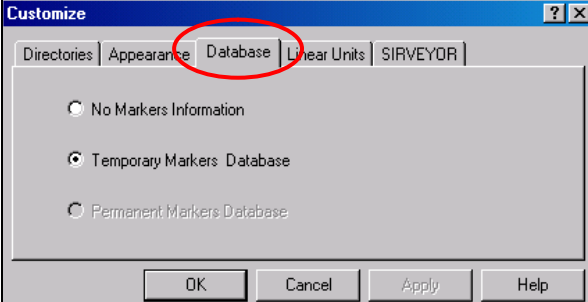
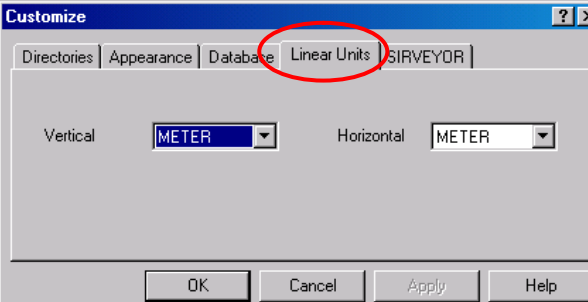
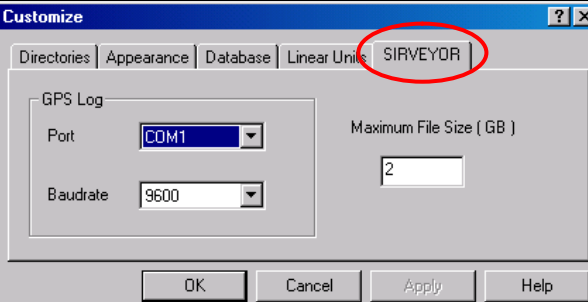


รูปที่ 2.2.4.2-2 หน้าต่างของโปรแกรม SIR-20

2) การปรับตั้งค่าเบื้องต้นในการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนแรกของการเริ่มต้นการสร้างไฟล์ข้อมูลของโครงการที่จะทำการสำรวจ (Project File) การกำหนดค่าเบื้องต้นในการเก็บข้อมูลสำรวจ สามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือก View > Customize แล้วเลือกแถบ Directories แล้วทำการกำหนดตำแหน่งของ Source และ Output directories ให้ตรงกับ Folder ที่เก็บข้อมูล	
2. เลือกให้มีการแสดงผลหรือยกเลิกหน้าต่างที่การแสดงผลในหัวข้อต่างๆ ในแถบ Appearance	

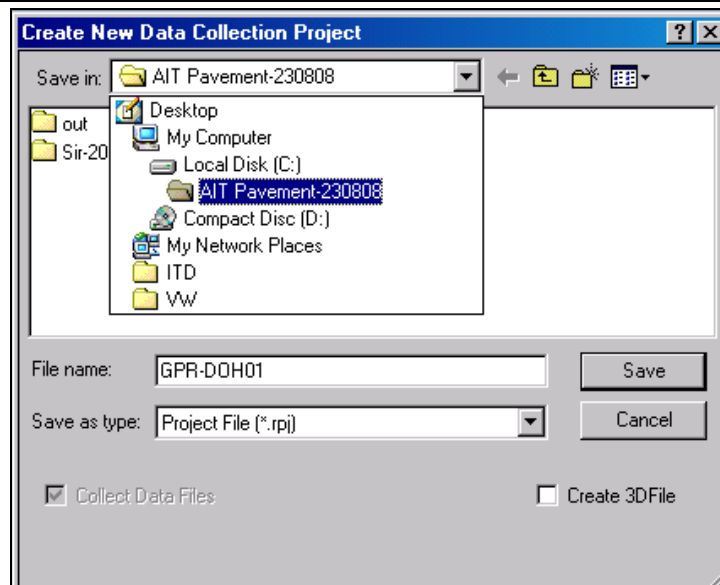
3. เลือกแถบ Database และเลือก Temporary Database Markers Option เพื่อแสดงหรือไม่แสดง Marker บนหน้าจอคอมพิวเตอร์	
4. เลือกแถบ Linear Units โดยทำการเลือกหน่วยเป็น Meter ทั้งในแนว Vertical และแนว Horizontal	
5. หากมีการใช้ระบบ GPS ในการกำหนดตำแหน่ง เลือกแถบ SIRVEYOR แล้วทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อในการรองรับข้อมูลจาก GPS สู่คอมพิวเตอร์ และทำการกำหนดขนาดของผลการสำรวจที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถบันทึกได้ (GB)	
6. หากตัวแปรทั้งหมดได้ถูกกำหนดไว้อย่างถูกต้องแล้วก็สามารถดำเนินการในการทำงานขั้นตอนต่อไปได้	

3) การสร้างชื่อโครงการของการสำรวจ

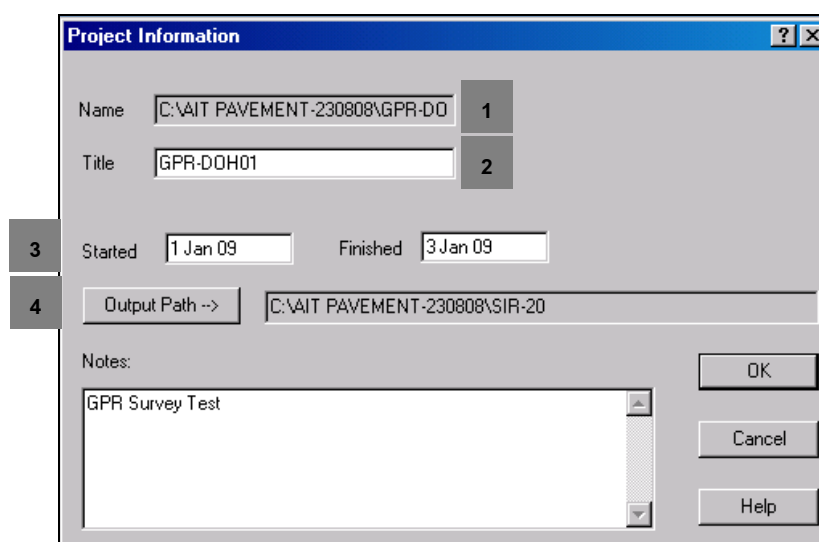
การสร้างชื่อของโครงการที่ทำการทดสอบสามารถกระทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. โดยการเลือก File > New หรือ คลิกปุ่ม  ⁽¹⁾ ในรูปที่ 2.2.4.2-2 แล้วจึงทำการป้อนชื่อของโครงการ (*.rpj) แล้วบันทึกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการที่จะเก็บบันทึกข้อมูลไว้ ซึ่งควรเป็นตำแหน่งเดียวกันกับ Directory ที่ได้สร้างไว้ในขั้นตอนของการปรับตั้งค่าเบื้องต้นในการเก็บข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-3

2. หลังจากการคลิกปุ่ม Save โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Project Information ดังรูปที่ 2.2.4.2-4 ซึ่งในหน้าต่างนี้โปรแกรมสามารถยินยอมให้ผู้ใช้สามารถเข้าไปกำหนด ชื่อโครงการสำรวจ วันเวลา การเริ่มและสิ้นสุดงานตลอดจนการแก้ไขตำแหน่งที่ในการบันทึกข้อมูล และการเพิ่มเติมรายละเอียดของงานได้โดยรายละเอียดของค่าตัวแปรสามารถอธิบายได้ดังนี้



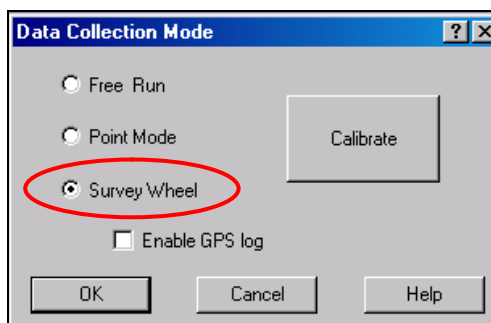
รูปที่ 2.2.4.2-3 แสดงหน้าต่างการเก็บบันทึกข้อมูลผลการสำรวจ



รูปที่ 2.2.4.2-4 แสดงหน้าต่าง Project Information

1 Name:	เป็นชื่อโครงการที่ได้ทำการกำหนดไว้แล้วในขั้นตอนการสร้างชื่อโครงการของการสำรวจ
2 Title:	เป็นชื่อไฟล์ที่จะทำการบันทึกซึ่งตามหลังด้วยตัวเลขตั้งแต่ 001 ถึง 999 ตามลำดับตัวอย่างเช่น GPR-DOH ผลการสำรวจที่ได้จะถูกบันทึกในชื่อ GPR-DOH001 ถึง GPR-DOH999
3 Started and finished:	เป็นวันที่และเวลาที่เริ่มงานจนสิ้นสุดการทำงาน
4 Output Path:	ตำแหน่งที่ข้อมูลการสำรวจถูกบันทึกไว้

3. เมื่อคลิกปุ่ม OK ในหน้าต่าง Project Information โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Data Collection Mode โดยทำการเลือกที่ Survey Wheel ดังรูปที่ 2.2.4.2-5 โดยรายละเอียดของแต่ละรูปแบบในการเก็บข้อมูลสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.2.4.2-5 หน้าต่าง Data Collection Mode

Free Run:	เป็นการเก็บข้อมูลโดยการควบคุมอัตราการปล่อยคลื่นแบบต่อเนื่องในหนึ่งวินาที โดยผู้สำรวจจะต้องทำการเลื่อนสายอากาศเพื่อทำการเก็บข้อมูลด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอจนสิ้นสุดแนวการสำรวจ
Point Mode:	เป็นการเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่งด้วยตัวเลือก Stacking
Survey Wheel:	เป็นการเก็บข้อมูลโดยใช้การหมุนของล้อวัดระยะทางเป็นตัวควบคุมการปล่อยคลื่น
Calibrate:	เป็นการปรับแก้ค่าระยะทางที่ทำการวัดโดยการหมุนของล้อวัดระยะทางให้ได้ระยะทางที่ถูกต้องด้วยการปรับแก้ Calibration
Enable GPS log:	เป็นการใช้ข้อมูลตำแหน่งการสำรวจด้วย GPS โดยข้อมูลจะถูกเก็บแยกจากข้อมูลผลการสำรวจ GPR File (*.dzt)

4) ปรับแก้ระยะทาง (Calibration)

การสำรวจให้เลือกรูปแบบของ Survey Wheel ในการปรับแก้ค่าระยะทางที่ทำการวัดโดยการหมุนของล้อวัดระยะทางให้ได้ระยะทางที่ถูกต้องผู้ทำการทดสอบสามารถทำได้ด้วยคลิกที่ปุ่ม Calibrate ดังรูปที่ 2.2.4.2-5 จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2.2.4.2-6 โดยปฏิบัติตามขั้นตอนคำสั่งดังนี้

รูปที่ 2.2.4.2-6 แสดงหน้าต่างการปรับแก้ค่าความถูกต้องล้อวัดระยะทาง

1. Select calibration distance:	ทำการกำหนดระยะทางที่จะ Calibration ด้วยการใช้เทปวัดระยะทาง กำหนดให้มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด เช่น กำหนดระยะทาง 1 เมตร ในช่องคำสั่ง CALIBRATION DISTANCE
2. Position Antenna on the Start mark:	วางตำแหน่งของสายอากาศ (Antenna) ที่ตำแหน่งจุดเริ่มต้นการปรับแก้ระยะทาง
3. Click Start button:	คลิกปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการ Calibration
4. Move antenna to the Stop mark:	ทำการเคลื่อนล้อวัดระยะทางจนถึงจุดสิ้นสุดและหยุดค้างไว้
5. Click FINISH button:	คลิกปุ่ม Finish เพื่อสิ้นสุดการ Calibration
6. Click SAVE button to store result:	คลิกปุ่ม Save เพื่อบันทึกค่าการ Calibration

หมายเหตุ: ในการทำ Calibration นั้นในกรณีที่ผู้ทดสอบสามารถป้อนค่า NUMBER OF TICKS PER UNIT (จำนวนรอบของล้อวัดระยะทางต่อระยะทางของความยาวที่ทำการ Calibration) ได้โดยตรง โดยการเลือกรูปแบบของล้อวัดระยะทางได้ ซึ่งแต่ละแบบจะมีค่ามาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ทำการ Calibration ได้ดังนี้

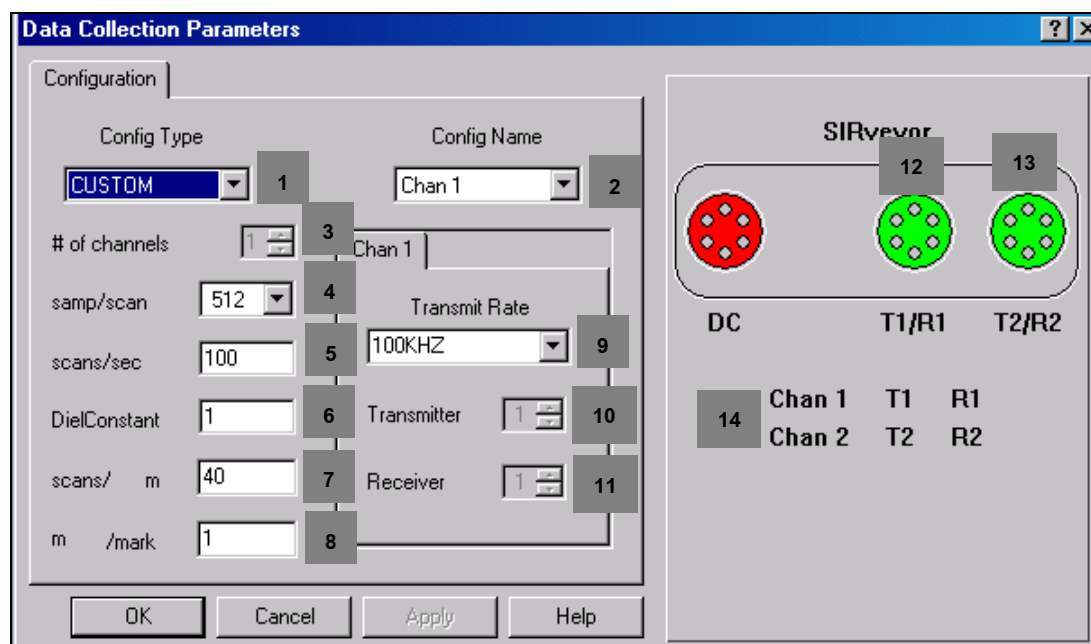
- Model 611 (3 5/6 wheel) เท่ากับ 2000 ticks/meter
- Model 62X Survey Cart เท่ากับ -1583 ticks/meter

สำหรับรายงานฉบับนี้ใช้ล้อวัดระยะทางรุ่น Model 611 (3 5/6" wheel) ซึ่งใช้ได้กับสายอากาศ 900 MHz และ 1.5 GHz

5) การปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการปรับแก้ค่าระยะทางจนเสร็จแล้ว ให้คลิกปุ่ม OK โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างของ Data

Collection Parameter ดังรูปที่ 2.2.4.2-7 ให้ทำการป้อนคำสั่งของตัวแปรเข้าไป ซึ่งคำสั่งของแต่ละตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสามารถอธิบายได้ดังนี้

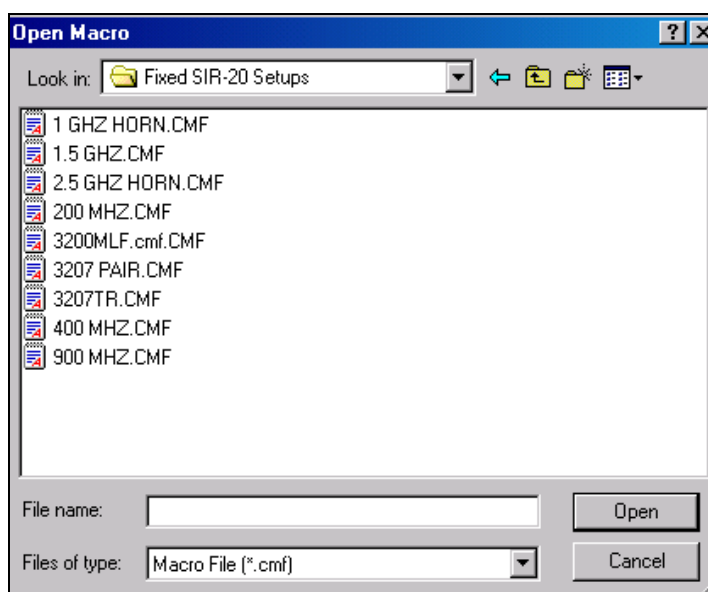


รูปที่ 2.2.4.2-7 แสดงหน้าต่าง Data Collection Parameter ในการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนการปฏิบัติ	รายละเอียด	คำแนะนำ	
1. Configuration Type:	เป็นขนาดความถี่ของสายอากาศที่เลือกใช้	900 MHz	1.5 GHz
2. Configuration Name:	เป็นช่องสัญญาณที่เลือกใช้ในการเก็บข้อมูล	Chan 1	Chan 1
3. # of Channels:	จำนวนของช่องสัญญาณที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	1	1
4. Samples/scan:	จำนวนข้อมูลในหนึ่งเส้นคลื่นในแนวดิ่ง	512	512
5. Scans/second:	จำนวนเส้นคลื่นต่อวินาที กรณีใช้ Free Run	64	100
6. Dielectric Constant:	ค่า Dielectric Constant ของวัตถุที่ทำการสำรวจ (หมายเหตุ: การหาค่า Dielectric Constant ใหม่ อยู่ในหัวข้อที่ 2.1.4.1 ข้อ 6 หน้า 36)	7	7
7. Scans/unit (m):	จำนวนเส้นคลื่นต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง	120	120
8. Unit/mark:	จำนวนขีดเครื่องหมายบอกระยะทางบนหนึ่งหน่วยระยะทาง ในการเก็บข้อมูลโดยใช้ Survey Wheel ใช้ค่า 1 m/mark	1	1
9. Transmit Rate:	ใช้ 100 MHz เป็นค่าคงที่	100	100
10. Transmitter:	ชื่อของตัวส่งสัญญาณในการเก็บข้อมูล จะสามารถเลือกได้เมื่อใช้สายอากาศพร้อมกัน 2 ตัว ใช้ค่า 1	1	1
11. Receiver:	ชื่อของตัวรับสัญญาณในการเก็บข้อมูล จะสามารถเลือกได้เมื่อใช้สายอากาศพร้อมกัน 2 ตัว ใช้ Channel 1	1	1
12. Connector 1:	แสดงจุดเชื่อมต่อที่ 1 กับสายอากาศช่องที่ 1	-	-
13. Connector 2:	แสดงจุดเชื่อมต่อที่ 2 กับสายอากาศช่องที่ 2	-	-
14. Channel list:	แสดงสถานะการใช้งานของจุดต่อตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ช่องที่ 1	-	-

สำหรับการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ตัวกรองสัญญาณ (Filters) ระยะเวลาไปและกลับ (Range) ตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นเป็นศูนย์ (Signal Position) และอัตราขยายสัญญาณ (Gain) นั้น ผู้ทดสอบสามารถนำค่ามาตรฐานต่างๆ ที่ให้มากับโปรแกรม GSSI ก่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-8 แล้วจึงปรับแก้ให้เหมาะสมกับสถานที่ วัตถุเป้าหมาย และปัจจัยอื่นๆ ภายหลัง โดยการเลือกเฉพาะคำสั่งของตัวแปร Configuration Type ซึ่งเป็นการเลือกใช้ขนาดความถี่ของสายอากาศจากไฟล์ Macro (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข) ที่ได้ให้มากับโปรแกรม GSSI ซึ่งได้เก็บไว้ในตำแหน่งดังนี้

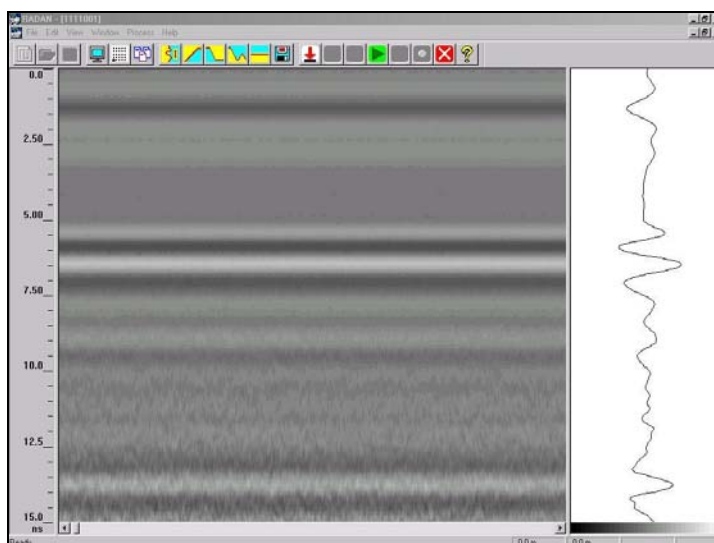
- สำหรับความถี่ของสายอากาศ 900 MHz ตำแหน่งที่เก็บไฟล์ Marco ที่ใช้งานอยู่ที่
C:\Program Files\GSSI\RADAN NT\RADANDAT\Fixed SIR20 Setups\900 MHz.cmf
- สำหรับความถี่ของสายอากาศ 1.5 GHz ตำแหน่งที่เก็บไฟล์ Marco ที่ใช้งานอยู่ที่
C:\Program Files\GSSI\RADAN NT\RADANDAT\Fixed SIR20 Setups\1.5 GHz.cmf



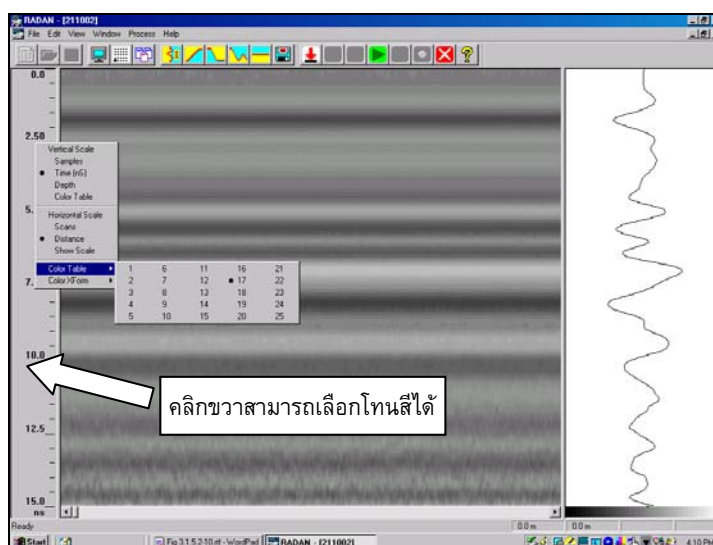
รูปที่ 2.2.4.2-8 แสดงหน้าต่างที่เก็บไฟล์ Macro ของแต่ละความถี่สายอากาศ

6) การเริ่มทำงานของการเก็บข้อมูล

เมื่อทำการป้อนค่าตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแล้วให้คลิกปุ่ม OK ของหน้าต่าง Data Collection Parameter ให้ทำการคลิกที่ปุ่ม  (2) เพื่อเข้าสู่สถานะพร้อมที่จะเก็บข้อมูล ซึ่งจะแสดงหน้าต่าง RADAN ดังรูปที่ 2.2.4.2-9 โดยผู้ทดสอบสามารถทำการปรับเปลี่ยนหน้าจอการแสดงผลให้เปลี่ยนแบบมาตราส่วนสีเทา (Gray Scale) หรือเป็นแบบมาตราส่วนสี (Color Scale) ได้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแสดงผล โดยการคลิกขวา ณ ตำแหน่งของแกนเวลาด้านซ้ายแล้วเลือก Color Table ซึ่งจะใช้การแสดงผลตามตารางสีต่างๆ ดังรูปที่ 2.2.4.2-10



รูปที่ 2.2.4.2-9 แสดงหน้าต่าง RADAN ในการเริ่มทำงานของการเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.2.4.2-10 การปรับเปลี่ยนการแสดงผลเป็นแบบมาตราส่วนสี

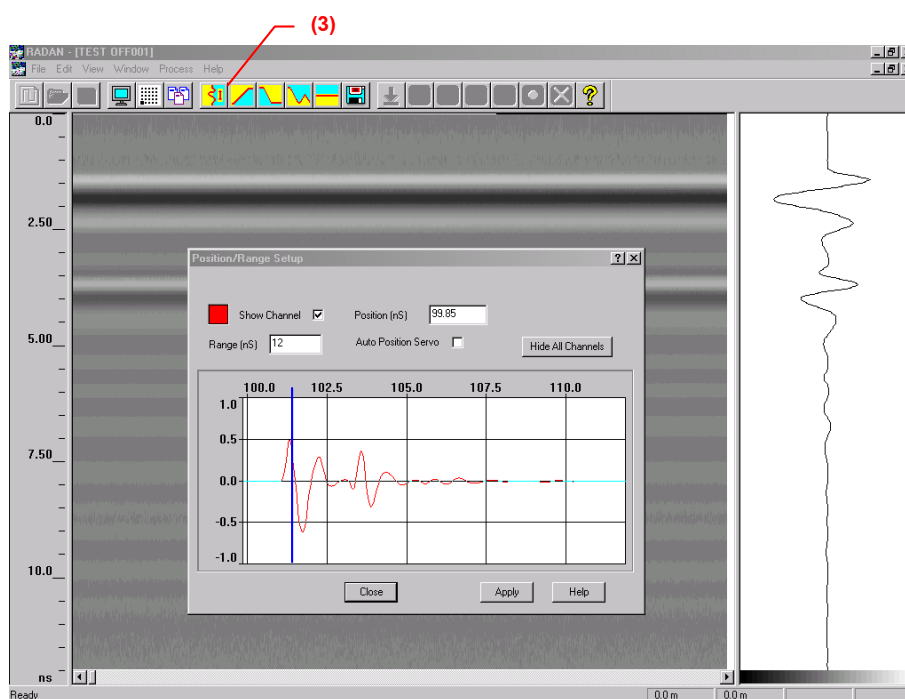
โดยการแสดงผลในลักษณะของรูปภาพสามารถทำการเลือกแสดงผลตามตารางสี (Color Table) ต่างๆ ซึ่งการเลือกใช้โทนสีจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลและความต้องการแสดงผลการทดสอบของผู้ปฏิบัติงาน โดยตารางของสีต่างๆ ที่เลือกใช้ของระบบ GSSI สามารถแสดงสีได้ถึง 25 แบบ สำหรับโทนสีแนะนำให้ใช้สีเทา (Color Table No. 17, Gray Scale)

7) การวัดค่าเริ่มต้นก่อนการเก็บข้อมูลจริง

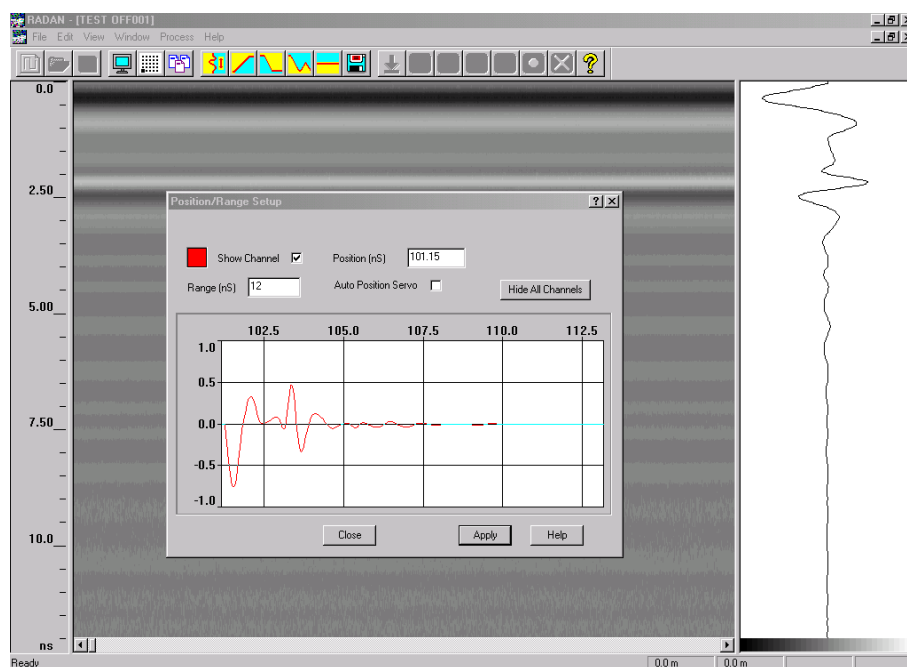
การวัดค่าเริ่มต้นก่อนการเก็บข้อมูลจริงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอัตราส่วนสัญญาณต่อค่าการรบกวน หรือที่เรียกว่า Signal-to-Noise Ratio (SNR) ของสถานที่สำรวจ โดยจะประกอบไปด้วยการปรับตั้งค่าดังนี้

1. ทำการปรับตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นเป็นศูนย์ (Signal Position) โดยการคลิกที่ปุ่ม ⁽³⁾ แล้วจะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 2.2.4.2-11 ทำการคลิกที่เครื่องหมายถูกของคำสั่ง Auto Position Servo ออก เพื่อทำการแก้ไขค่าตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นเป็นศูนย์ จากรูป 2.2.4.2-11 สังเกตได้ว่าค่าตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นจะเป็นจุดยอดของคลื่นด้านบวกลูกแรกของ Amplitude ทำการป้อนค่าให้กับโปรแกรม จากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม Apply หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังรูปที่ 2.2.4.2-12 โดยค่าเริ่มต้นจะถูกปรับให้มี Amplitude เท่ากับศูนย์เสมอ หลังจากนั้นคลิกปุ่ม Close

ในกรณีการปรับตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้นเป็นศูนย์ (Signal Position) ก่อนการเก็บข้อมูลอาจไม่จำเป็นต้องทำ ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถปรับแก้ได้ในขั้นตอนการประมวลผลแทน



รูปที่ 2.2.4.2-11 การวัดค่าเริ่มต้นจากการปรับตั้งตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้น



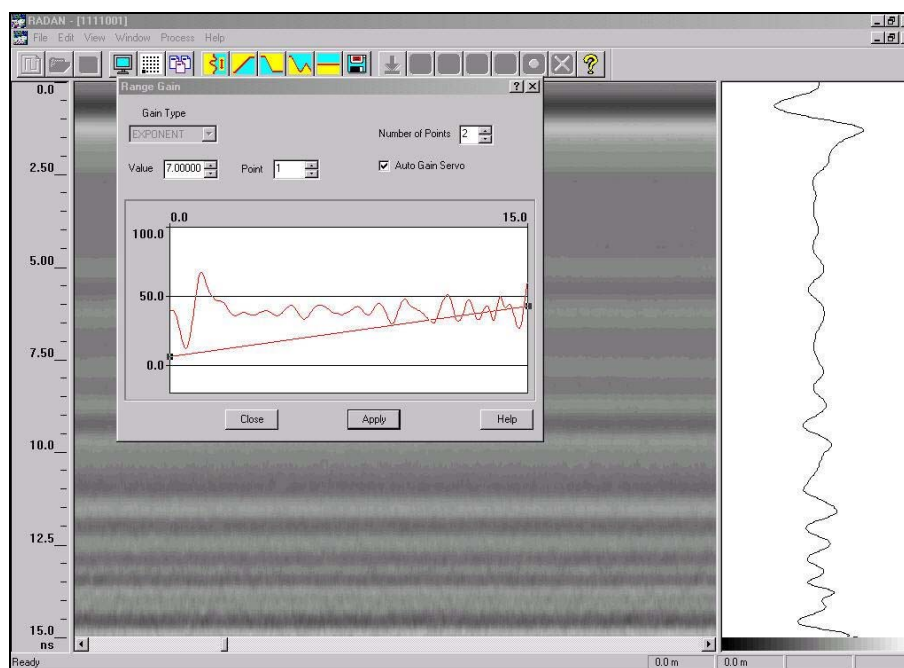
รูปที่ 2.2.4.2-12 การวัดค่าเริ่มต้น ภายหลังจากการปรับตั้งตำแหน่งเวลาในการเริ่มต้น

2. ในรูปที่ 2.2.4.2-13 แสดงสัญญาณการสะท้อนกลับของคลื่นอันเกิดขึ้นจากชั้นคอนกรีต พบว่าการสะท้อนกลับของคลื่นยังไม่เพียงพอ ดังนั้นจะต้องมีการปรับอัตราขยายสัญญาณต่อไป โดยการปรับตั้งอัตราการขยายสัญญาณ (Gain) ทำการคลิกที่ปุ่ม ⁽⁴⁾ ในรูปที่ 2.2.4.2-14 โดยผู้ทดสอบสามารถทำการเพิ่มหรือลดจำนวนจุดของอัตราการขยายสัญญาณ (Gain Point) ตลอดจนค่าอัตราการขยายสัญญาณ (Gain Value) ในช่วงที่เป็นเส้นตรงให้มีสัญญาณที่มากขึ้น ในครั้งนี้ได้ทำการเลือกใช้จำนวน จุดของอัตราการขยายสัญญาณ เท่ากับ 3 และค่าอัตราการขยายสัญญาณ เท่ากับ 10, 30 และ 40 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-14 โดยการปรับตั้งค่าอัตราการขยายสัญญาณ จะอ้างอิงจาก GSSI (2006) โดยต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังนี้

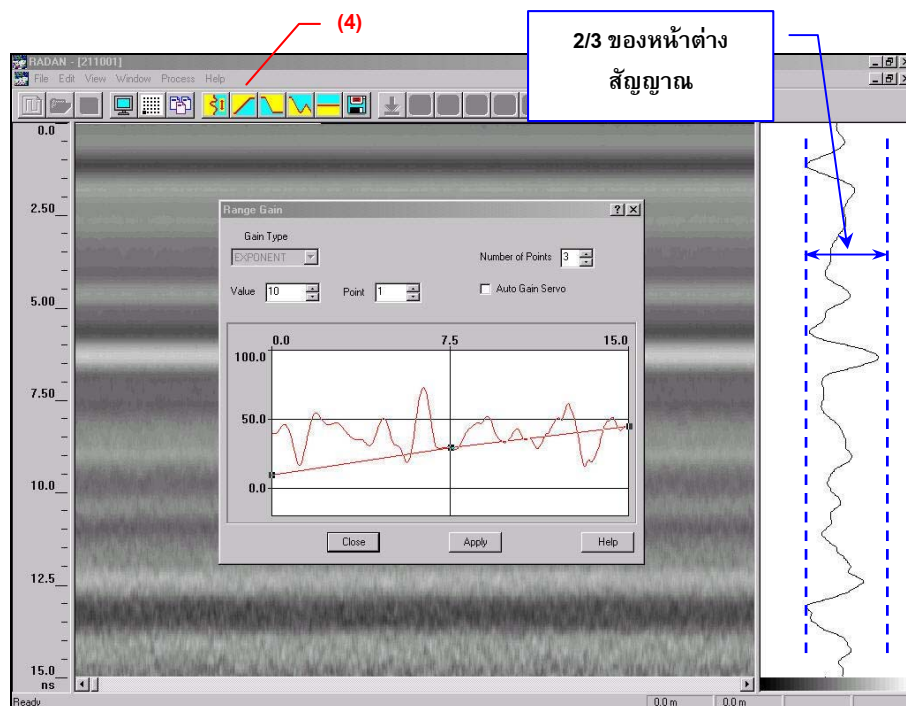
ก) การขยายสัญญาณนั้นค่าที่เหมาะสมควรมีสัญญาณความถี่ประมาณ $\frac{2}{3}$ ของความกว้างหน้าต่างสัญญาณ

ข) การใช้ค่าอัตราการขยายสัญญาณที่ต่ำ จะทำให้พลาดข้อมูลที่สำคัญเนื่องจากข้อมูลจะถูกเก็บในลักษณะที่มีความคมชัดต่ำ

ค) การใช้ค่าอัตราการขยายสัญญาณที่สูงจะทำให้เกิดการตัดกันของยอดกราฟ

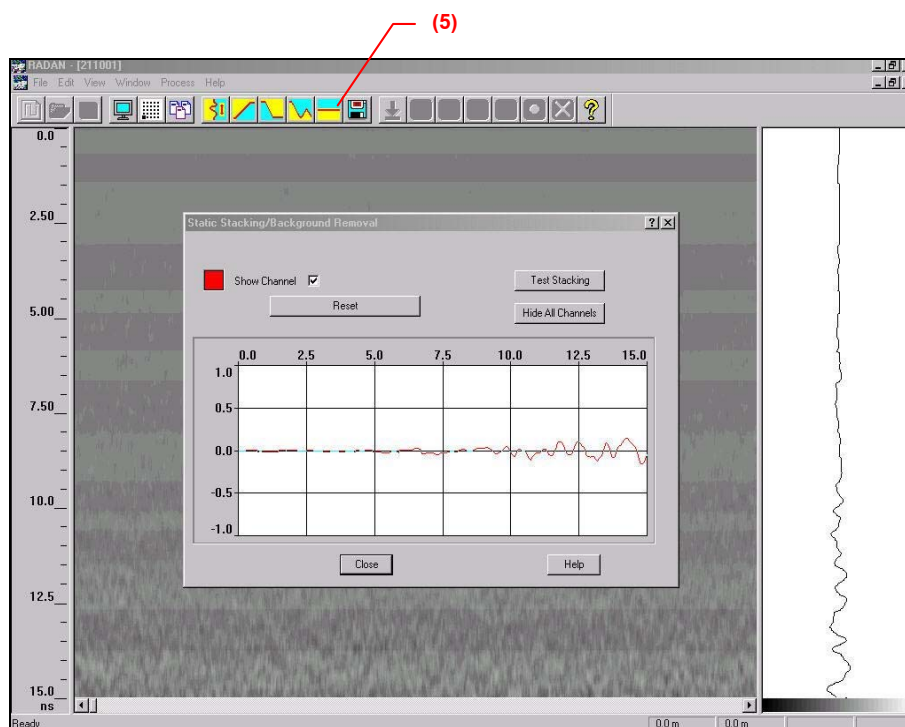


รูปที่ 2.2.4.2-13 หน้าจอแสดงอัตราการขยายสัญญาณของคลื่นที่ยังไม่ได้ปรับเพิ่มหรือลดสัญญาณ



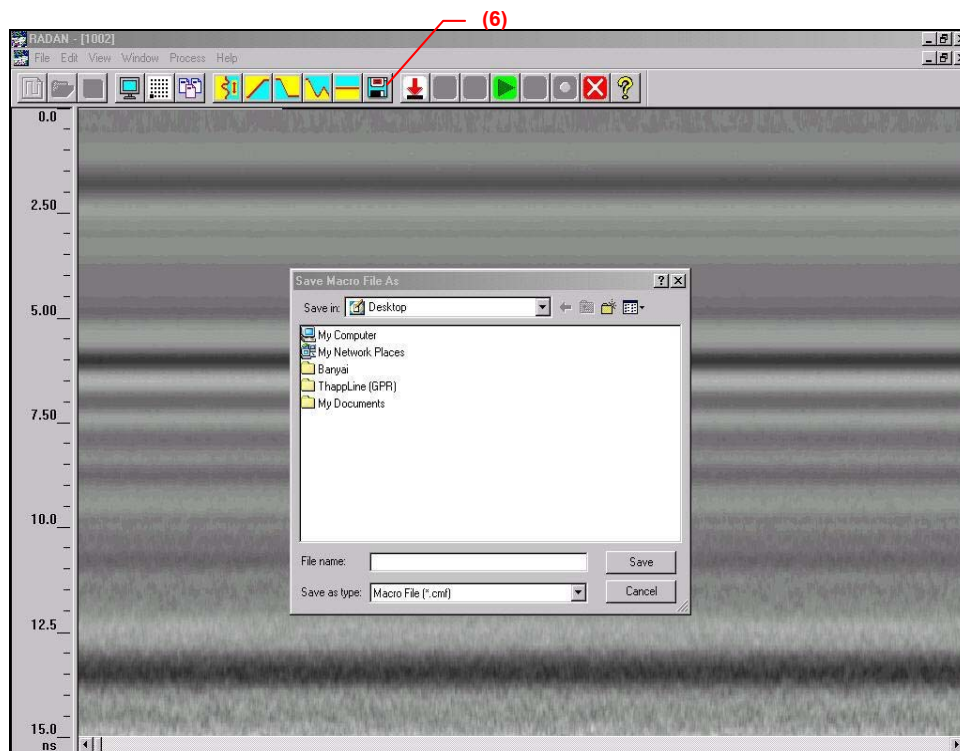
รูปที่ 2.2.5.2-14 หน้าต่างแสดงการปรับตั้งอัตราขยายสัญญาณในการทดสอบ

3. ทำการ Static Stacking และ Background Removal โดยการคลิกที่ปุ่ม  ⁽⁵⁾ ดังรูปที่ 2.2.4.2-15 เพื่อกำหนดจำนวนการ Stack และทำการเก็บคลื่นรบกวนพื้นหลัง (Background Noise) เพื่อลดทอนสัญญาณการรบกวน อย่างไรก็ตามคำสั่งนี้ไม่ได้นำมาใช้งาน เนื่องจากต้องการเก็บข้อมูลจากภาคสนามทั้งหมด และนำมาปรับแก้ในขั้นตอนประมวลผลภายหลัง



รูปที่ 2.2.4.2-15 หน้าต่าง Static Stacking และ Background Removal สำหรับลดทอนสัญญาณการรบกวน

4. ภายหลังจากการปรับแก้ค่าตัวแปรต่างๆ จนเสร็จสิ้นแล้ว สามารถที่จะทำการบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ เหล่านั้น เป็นไฟล์ Macro ใหม่ โดยการคลิกที่ปุ่ม  (6) ทำการตั้งชื่อ Marco คลิกปุ่ม Save ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-16

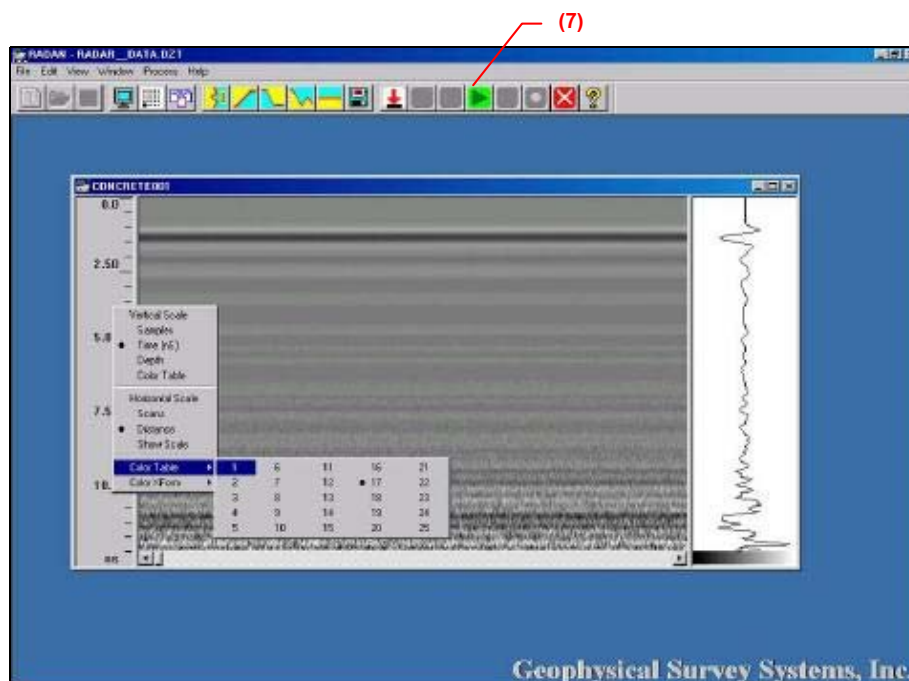


รูปที่ 2.2.4.2-16 หน้าต่าง Save Macro File สำหรับบันทึก ไฟล์ Macro ใหม่

8) ทำการเก็บข้อมูลจริง

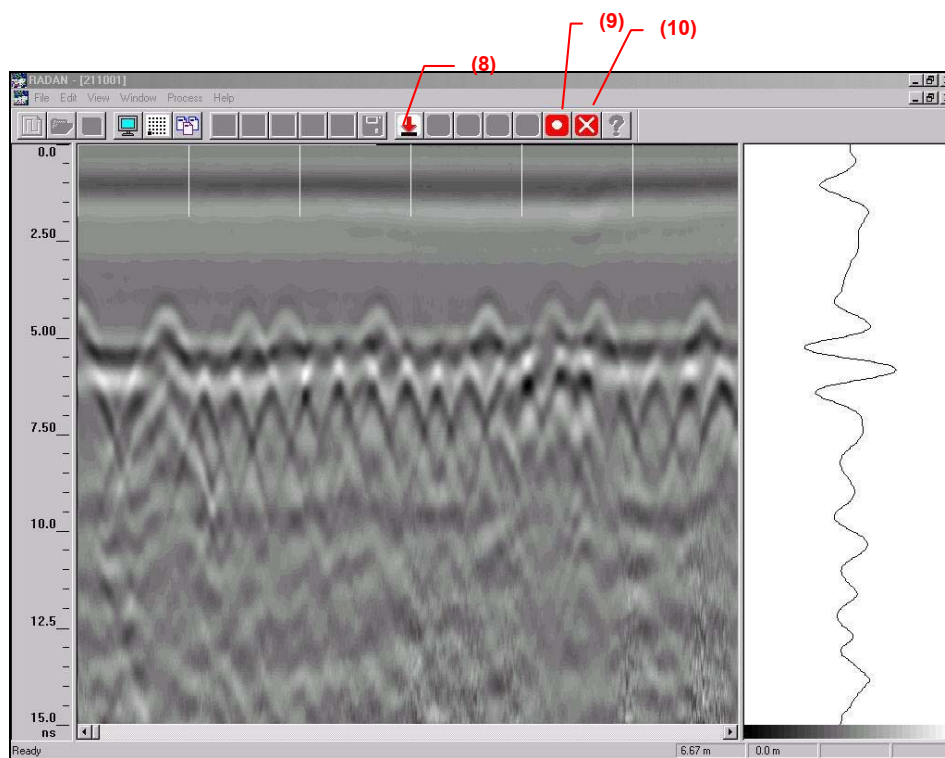
โดยการคลิกปุ่ม Run  (7) ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-17 ข้อมูลจะถูกเก็บตามระยะและค่าตัวแปรที่กำหนดไว้ในไฟล์ข้อมูลของโครงการที่จะทำการสำรวจ (Project File) ไว้ในตำแหน่งที่ต้องการทำการจัดเก็บข้อมูลตามหัวข้อเรื่องการปรับตั้งค่าเบื้องต้นในการเก็บข้อมูล ซึ่งคำสั่งต่างๆ ในขณะที่ทำการทดสอบนั้นสามารถใช้ได้ดังนี้

- การหยุดได้โดยทำการคลิกที่ปุ่ม  Pause ในระหว่างการเก็บข้อมูล และสามารถเลื่อนดูข้อมูลที่เก็บมาได้โดยคลิกที่ปุ่ม  Left-Right
- หากต้องการเก็บข้อมูลต่อสามารถทำได้โดยคลิกที่ปุ่ม  Run อีกครั้ง แต่ต้องมั่นใจได้ว่าสายอากาศวางอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งก่อนการหยุดการเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.2.4.2-17 หน้าต่างแสดงคำสั่ง Run สำหรับทำการเก็บข้อมูลจริง

โดยผลการสำรวจจะแสดงในหน้าต่างทันที ภายหลังจากการเคลื่อนล้อวัดระยะทางไปตามแนวของการสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-18



รูปที่ 2.2.4.2-18 แสดงผลลัพธ์การสำรวจ GPR บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

9) การใส่เครื่องหมายบอกตำแหน่ง

การใส่เครื่องหมายบอกตำแหน่งสามารถกระทำได้โดยคลิกปุ่ม Mark ⁽⁸⁾ หรือสามารถกระทำได้โดยการกดสวิทช์ Marker ที่ติดกับด้ามจับสายอากาศหรือ Maker สวิทช์ภายนอกที่ต่อกับเครื่องมือ SIR-20 ได้เช่นกัน เพื่อเป็นการสร้างเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งในผลการสำรวจ เช่น การกำหนด Maker ที่รอยต่อหัวและท้ายแผ่นคอนกรีตและตำแหน่งรอยแตก เพื่อให้ทราบจุดเริ่มและสิ้นสุดของแต่ละแผ่นคอนกรีตที่ทำการสำรวจ ช่วยทำให้ผู้ประมวลผลที่นำข้อมูลจากภาคสนามสามารถระบุตำแหน่งแผ่นคอนกรีตได้ถูกต้อง

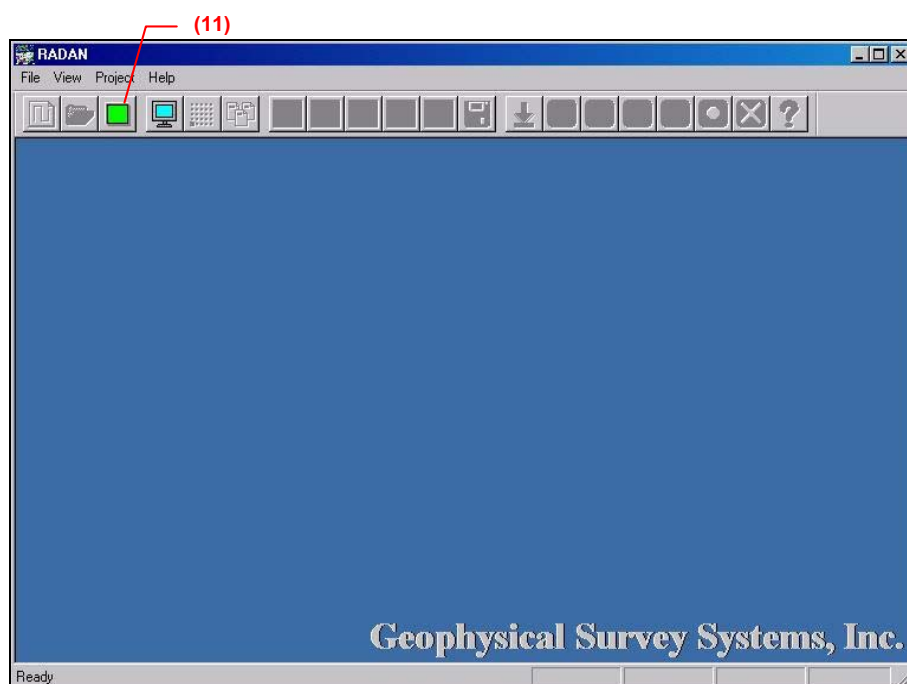
10) การปิดและบันทึกข้อมูลการสำรวจ

การบันทึกข้อมูลการสำรวจสามารถกระทำได้โดยคลิกปุ่ม Stop ⁽⁹⁾ โดยโปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลไว้ในทันทีโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะถูกรับบันทึกไว้ในตำแหน่งที่ต้องการทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น

การลบข้อมูลการสำรวจสามารถกระทำได้โดยคลิกปุ่ม Delete ⁽¹⁰⁾ โดยโปรแกรมจะทำการสอบถามความมั่นใจของผู้ใช้อีกครั้งก่อนทำการลบข้อมูลโดยอัตโนมัติ

11) การเปิดข้อมูลการสำรวจต่อเนื่อง

ในกรณีต้องการสำรวจหลายแนวและไม่มีเปลี่ยนค่าตัวแปรในข้อมูลของโครงการที่จะทำการสำรวจ (Project File) สามารถทำการสำรวจต่อเนื่องได้โดยคลิกปุ่ม Run Project ⁽¹¹⁾ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.4.2-19 โดยโปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ตัวแปรต่างๆ ที่ตั้งไว้ตอนเริ่มโครงการ เช่น เมื่อทำการสำรวจแนวที่ 1 เรียบร้อย สามารถสำรวจแนวที่ 2 และ 3 ต่อเนื่องได้ โดยไม่ต้องทำการปรับแก้ตัวแปรใหม่ ช่วยให้ทำงานได้สะดวกรวดเร็ว และลดปัญหาความผิดพลาดที่เกิดจากการตั้งค่าตัวแปรในการสำรวจไม่เหมือนกัน



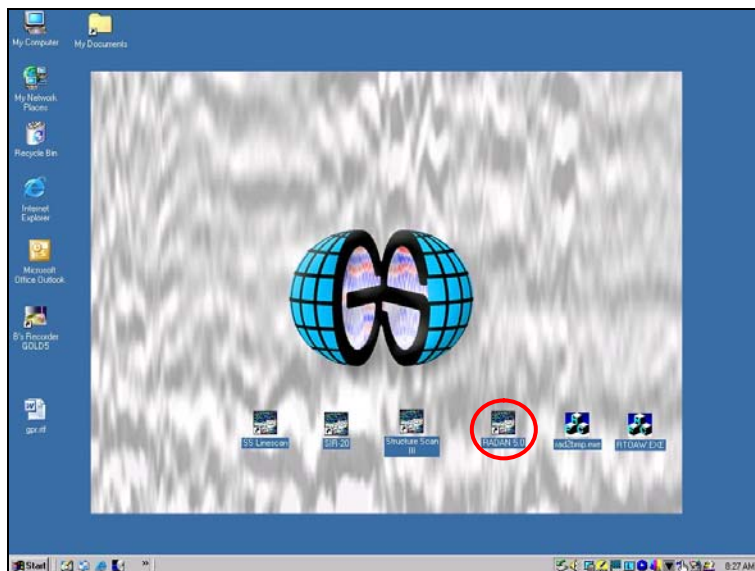
รูปที่ 2.2.4.2-19 การใช้คำสั่ง Run Project สำหรับการสำรวจต่อเนื่อง

2.2.5 การประมวลผลและการแปลผลข้อมูล

ผลการสำรวจด้วยการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ประกอบไปด้วยเส้นคลื่นมากมายที่ได้ทำการวัดค่าการสะท้อนกลับตลอดแนวการสำรวจ โดยแต่ละเส้นคลื่นจะมีความแตกต่างกันในส่วนของยอดคลื่น (Amplitude) ที่เป็นผลมาจากการสะท้อนกลับของคลื่นในแต่ละระดับความลึกโดยจะแสดงผลเป็นสีต่างตามความสูงของยอดคลื่น (Amplitude) ประกอบรวมกันเป็นรูปตัดการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Radargram) หรือที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในนาม “GPR Profile”

การประมวลผลข้อมูล GPR จากการเก็บข้อมูลในสนามด้วย โปรแกรม “Radan 5.0” สามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม Radan 5.0 โดยดับเบิลคลิกที่ไอคอน  "Radan 5.0" ดังรูปที่ 2.2.5-1



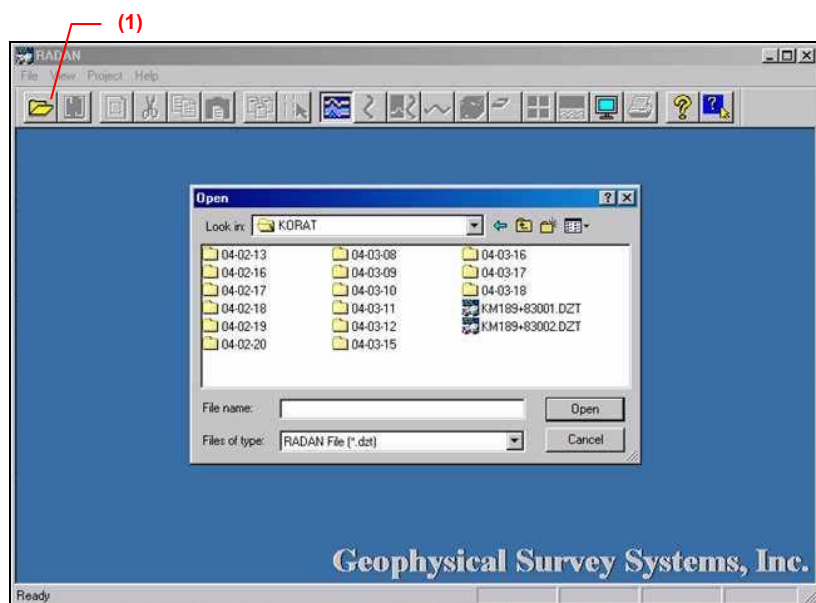
รูปที่ 2.2.5-1 ลักษณะของไอคอนของโปรแกรม Radan 5.0

2. ปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 2.2.5-2 ให้ทำการคลิกหรือกดปุ่มใดก็ได้ จะทำให้ภาพโลโก้หายไปเหลือเพียงพื้นที่สีฟ้า

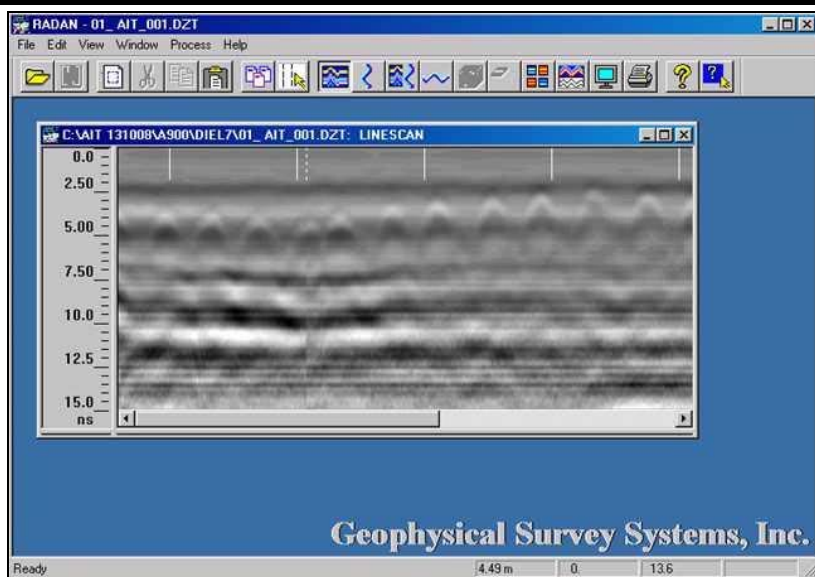


รูปที่ 2.2.5-2 โปรแกรม Radan 5.0 เมื่อเริ่มต้นใช้งาน

3. เปิดไฟล์ข้อมูลโดยเลือก File หรือคลิกที่ปุ่ม  ⁽¹⁾ จากนั้นเลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ ดังแสดงในรูป 2.2.5-3 คลิก Open แล้วเลือกตำแหน่งที่ข้อมูลผลการสำรวจถูกบันทึกไว้ หลังจากนั้นข้อมูล GPR จะปรากฏออกมาดังแสดงในรูป 2.2.5-4

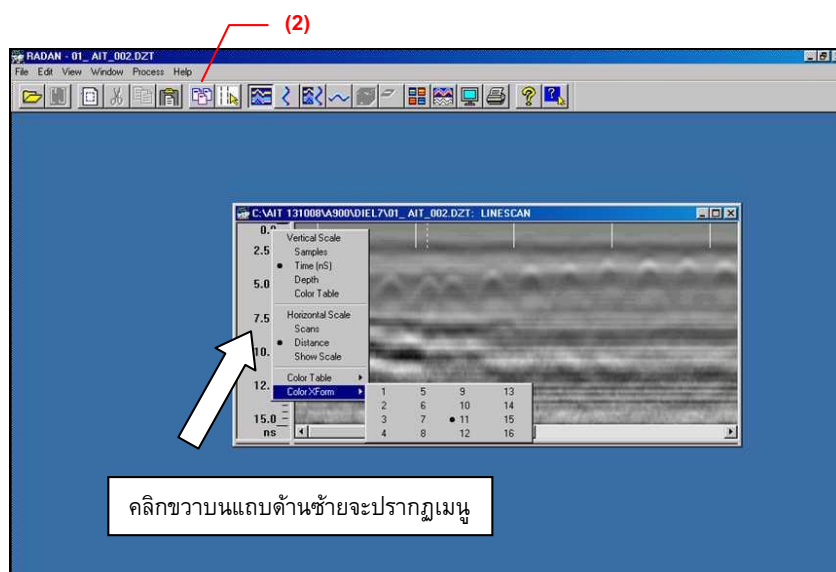


รูปที่ 2.2.5-3 การเปิดไฟล์ข้อมูล



รูปที่ 2.2.5-4 ข้อมูล GPR หลังจากขั้นตอนเปิดไฟล์ข้อมูล

4. สามารถทำการเปลี่ยนโทนสีของข้อมูล และแสดงสเกลตามแนวนอนหรือแนวตั้งได้ โดยการคลิกขวาที่ขอบด้านซ้ายบริเวณสเกล จะมีแถบเมนูขนาดเล็กแสดงขึ้นมาดังรูปที่ 2.2.5-5



รูปที่ 2.2.5-5 เมนูการเลือกการเปลี่ยนรูปร่างของแกนด้านบนและด้านข้างรวมถึงการเปลี่ยนโทนสี

5. ทำการตรวจสอบข้อมูลโดยเปิดเลือกที่ใน Edit > File Header หรือคลิกปุ่ม  (2) แสดงดังรูปที่ 2.2.5-6

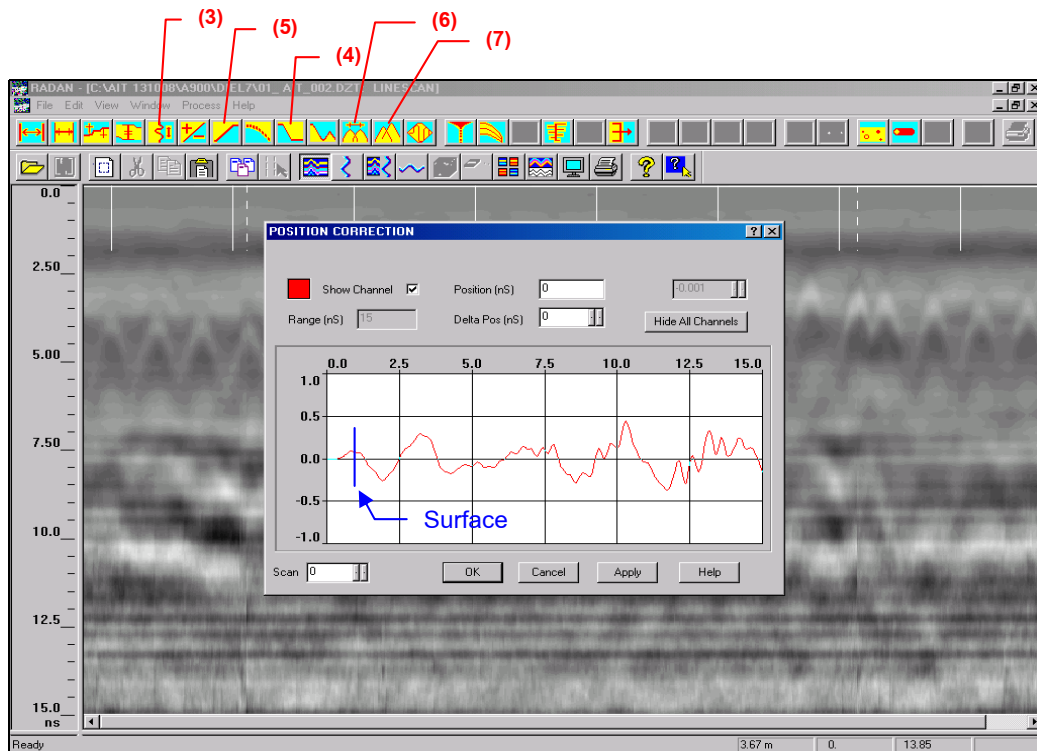


รูปที่ 2.2.5-6 ตรวจสอบข้อมูลค่าตัวแปร

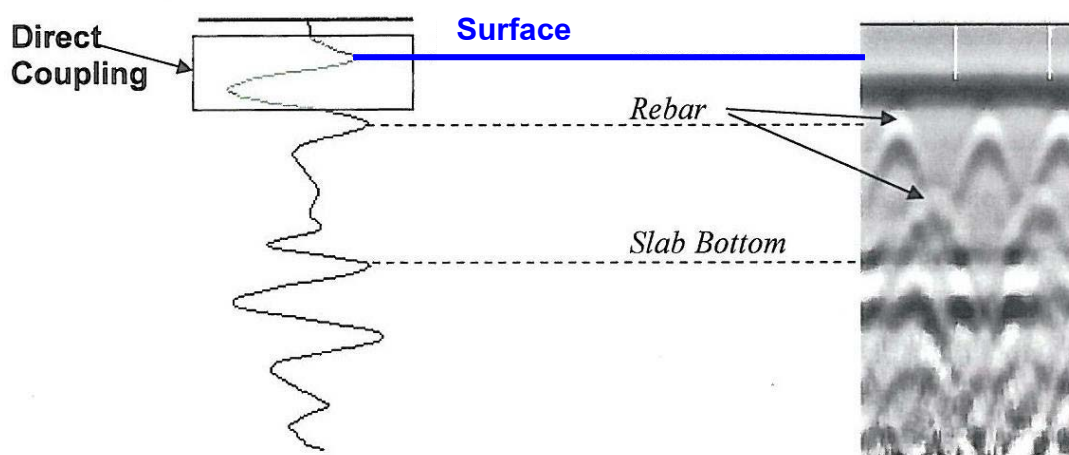
6. คำสั่งที่ใช้ในขั้นตอนการประมวลผล แบ่งเป็น 2 ส่วน คือขั้นตอนการประมวลผลทั่วไปและการประมวลผลแบบขั้นสูง

6.1 ขั้นตอนการประมวลผลทั่วไป

6.1.1 การปรับความลึกของผิวสัมผัส (Correct Position) คือ การปรับสัญญาณเริ่มต้นที่ได้ให้ใกล้เคียงกับพื้นผิวสัมผัส ใช้ในกรณีไม่ได้ปรับแก้สัญญาณเริ่มต้นในสนาม โดยเลือกใน Process > Correct Position หรือคลิกปุ่ม  ⁽³⁾ บนทูลบาร์ จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2.2.5-7 ทำการปรับค่าที่ Delta Pos (nS) การปรับค่าที่ตำแหน่งโดยปกติพิจารณาจากจุดยอดของคลื่นด้านบวกลูกแรกเป็นผิวคอนกรีต ดังรูป 2.2.5-8 โดยแกนในแนวนอนคือระยะเวลาการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์ (Time Travel) และแกนในแนวตั้งคือความกว้างของคลื่น (Amplitude) ควรทำการเปลี่ยนชื่อ File Name ทุกครั้ง เพื่อไม่ให้ข้อมูลเดิมที่ได้จากการสำรวจเสียหาย

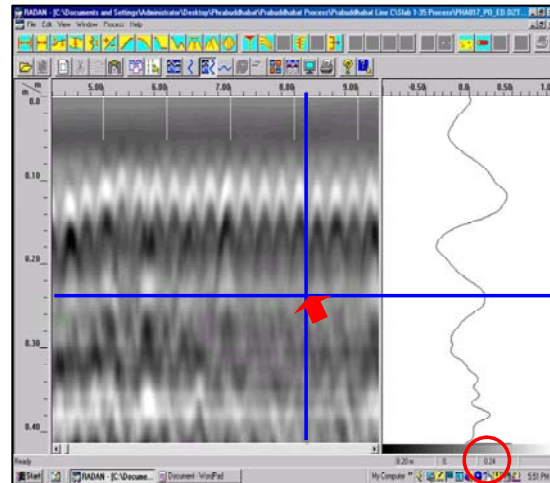
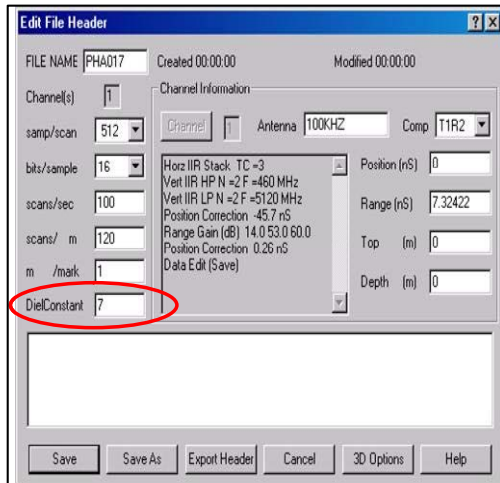


รูปที่ 2.2.5-7 การปรับความลึกของผิวสัมผัส



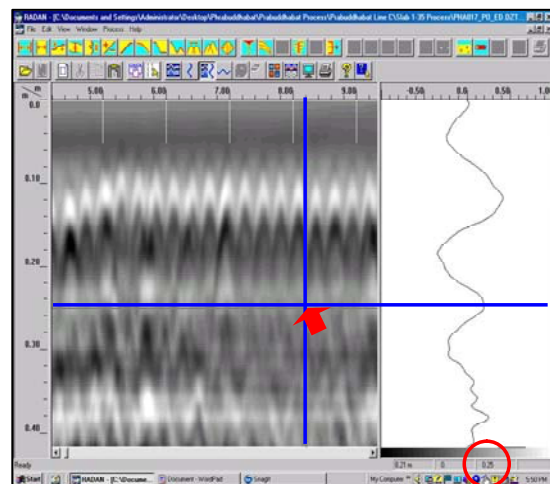
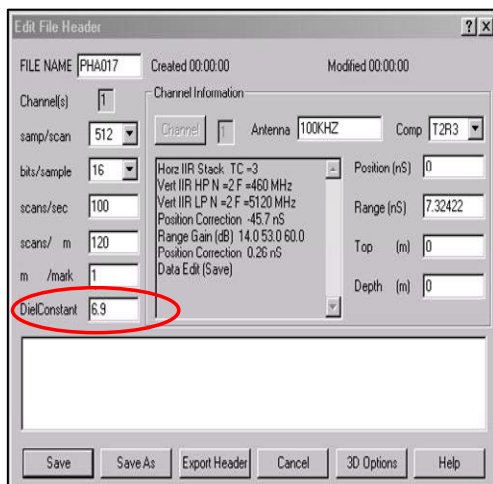
รูปที่ 2.2.5-8 ตำแหน่งผิวคอนกรีต

6.1.2 การปรับความลึกของระดับผิวด้านล่างคอนกรีต ทำได้โดยการเปลี่ยนค่า Dielectric Constant ที่ File Header หรือคลิกที่ปุ่ม  (2) แล้วใช้ Mouse ลากเส้น Cross Hair ตัดกับยอดคลื่นดังรูปที่ 2.2.5-9 ดูระดับความลึกที่วงกลมสีแดงขวามือ ปรับค่า Dielectric Constant จนกว่าความลึกของผิวด้านล่างคอนกรีตตรงกับแบบก่อสร้าง ดังรูปที่ 2.2.5-10



(ก) ค่า Dielectric Constant ก่อนการปรับค่า (ข) เส้น Cross Hair ตัดยอดคลื่นที่ระดับความลึก 0.24 เมตร

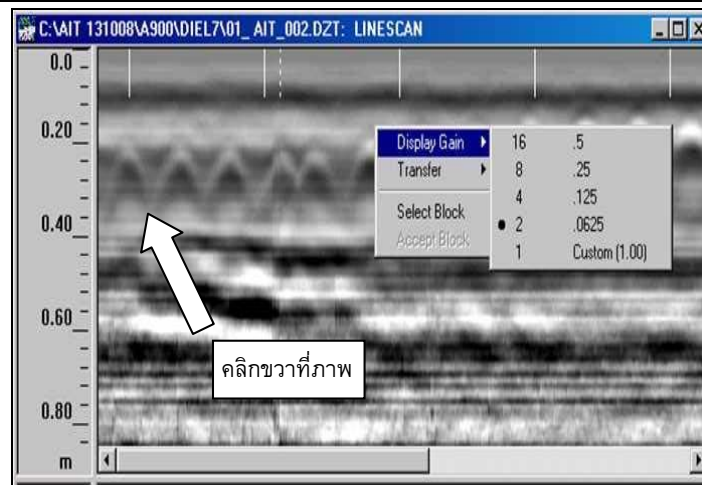
รูปที่ 2.2.5-9 ก่อนการปรับความลึกของผิวด้านล่างคอนกรีต



(ก) ค่า Dielectric Constant หลังการปรับค่า (ข)
เส้น Cross Hair ตัดยอดคลื่นที่ระดับความลึก 0.25 เมตร

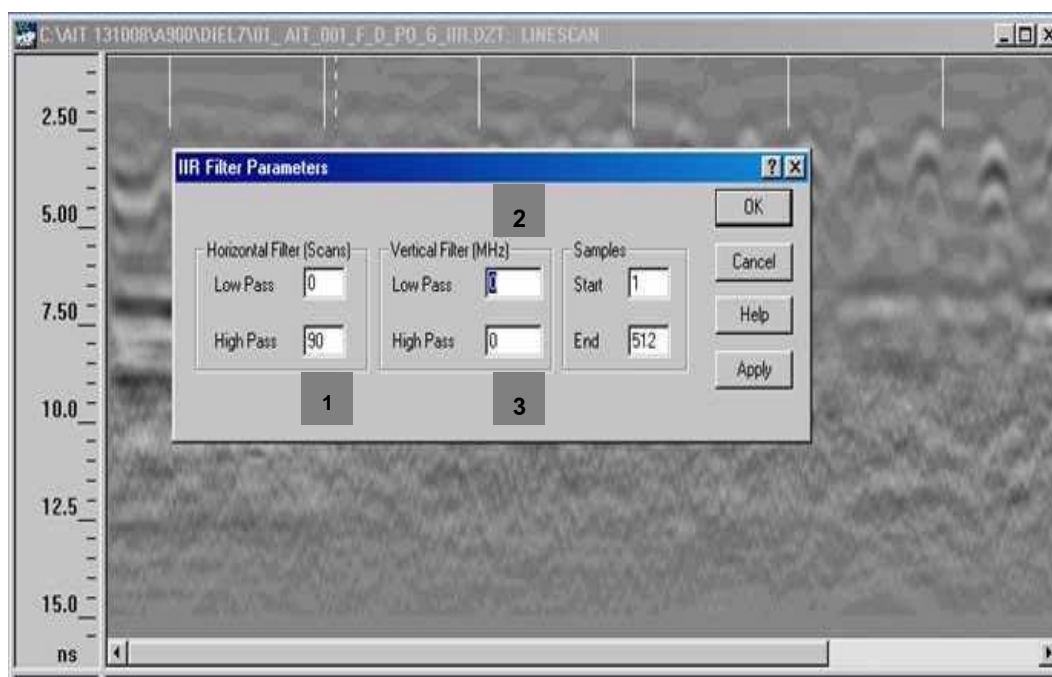
รูปที่ 2.2.5-10 หลังการปรับความลึกของผิวด้านล่างคอนกรีต

6.1.3 การขยายหรือลดสัญญาณ (Display gain) คือ การขยายหรือลดสัญญาณที่ได้จากการสำรวจ โดยการคลิกขวาที่ภาพ จะปรากฏหน้าต่างคำสั่งดังรูปที่ 2.2.5-11 ทำการปรับขยายหรือลดสัญญาณให้เห็นรูปร่างของภาพชัดเจน อย่างไรก็ตามค่าที่ทำการปรับขยายหรือลดสัญญาณไม่ได้ถูกบันทึกลงไปข้อมูล



รูปที่ 2.2.5-11 การปรับขยายหรือลดสัญญาณ

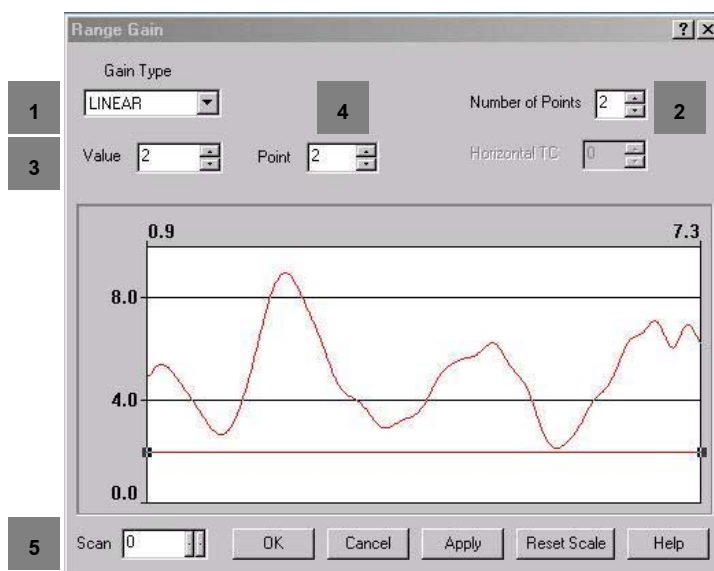
6.1.4 การใช้ตัวกรองตัดสัญญาณ (Filter) คือ การตัดสัญญาณรบกวนของคลื่น โดยเลือกคำสั่งใน Process > IIR Filter หรือคลิกปุ่ม  (4) ดังรูปที่ 2.2.5-12 ปรับค่าต่างๆ จนภาพสัญญาณมีความชัดเจน สำหรับคำสั่งนี้ต้องทำการคลิกที่คำสั่ง OK โปรแกรมจึงจะทำการประมวลผล



รูปที่ 2.2.5-12 การใช้ตัวกรองตัดสัญญาณ

ขั้นตอนการปฏิบัติ	รายละเอียด	คำแนะนำ
1. Horizontal High Pass	การกำจัดคลื่นความถี่ต่ำจากค่าที่กำหนดในแนวนาบ	90 - 120
2. Vertical High Pass	การกำจัดคลื่นความถี่ต่ำจากค่าที่กำหนดในแนวดิ่ง	200 - 250
3. Vertical Low Pass	การกำจัดคลื่นความถี่สูงจากค่าที่กำหนดในแนวดิ่ง	1500 - 2000

6.1.5 การปรับตั้งอัตราขยายสัญญาณ (Range Gain) คือการปรับความถี่ของสัญญาณให้แสดงผลที่ชัดเจนขึ้น โดยการเลือกค่าสั่งใน Process > Range Gain หรือ คลิกที่ปุ่ม  (5) ดังรูปที่ 2.2.5-13 โดยแกนแนวนอนคือระยะเวลาการสะท้อนกลับของคลื่นเรดาร์และแกนในแนวดิ่งคือค่า Gain Value ทำการปรับค่าอัตราการขยายสัญญาณ ค่าที่เหมาะสมควรพิจารณาจากหน้าต่างสัญญาณและผลที่ได้ความถี่ประมาณ 2/3 ของความกว้างหน้าต่างสัญญาณ



รูปที่ 2.2.5-13 การปรับตั้งอัตราขยายสัญญาณ

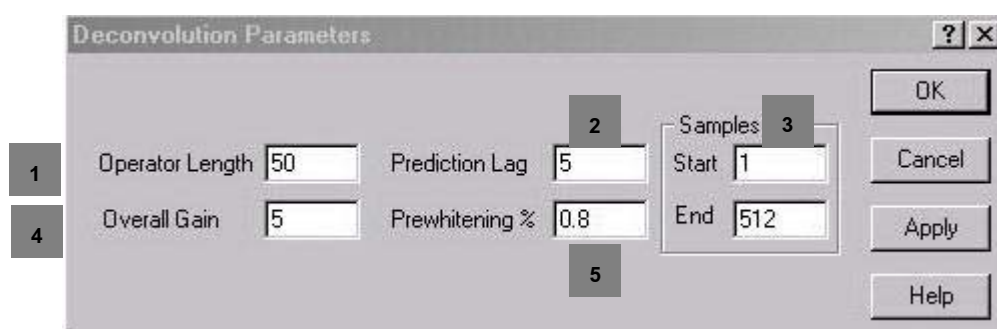
ขั้นตอนการปฏิบัติ	รายละเอียด	คำแนะนำ
1. Gain Type	วิธีปรับสัญญาณมีให้เลือก 3 แบบ	LINEAR
2. Number of Points	จำนวนจุดของอัตราการขยายสัญญาณ	2
3. Value	อัตราการขยายสัญญาณ	1.5 - 2
4. Point	จุดที่พิจารณาสำหรับการปรับค่า Value	-
5. Scan	ตำแหน่งที่สนใจในการปรับความถี่สัญญาณ	-

6.2 ขั้นตอนการประมวลผลขั้นสูง

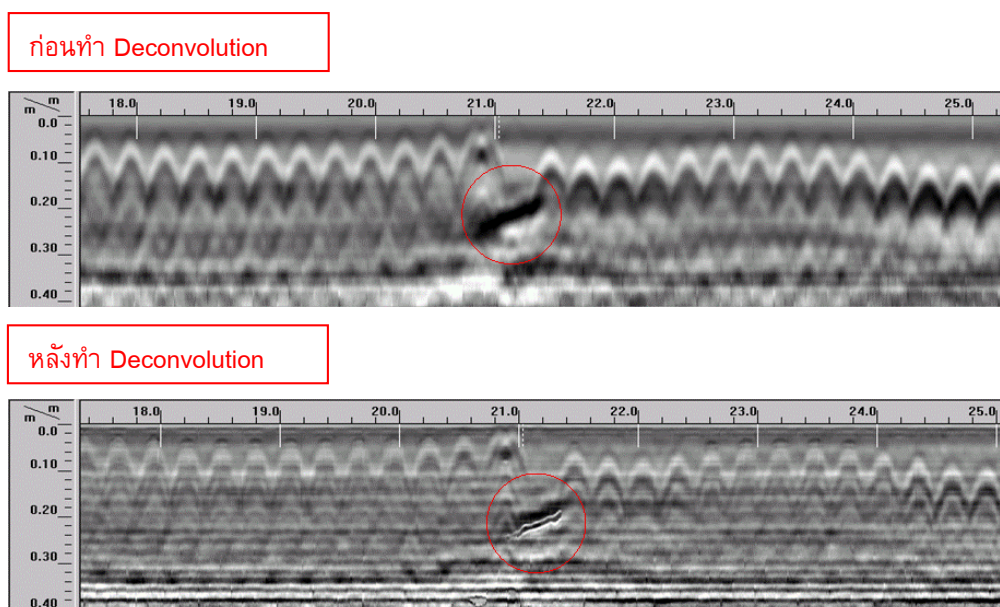
การประมวลผลขั้นสูงนี้ใช้ในการจัดการสะท้อนหลายครั้งของคลื่นระหว่างวัตถุหรือต้องการกำจัดรูป

พาราโบลาอันเกิดจากเหล็กเสริม ซึ่งชั้นตอนนี้ทำต่อเมื่อการสะท้อนหลายครั้งและพาราโบลาของเหล็กเสริมคอนกรีตรบกวนการแปลผลเพื่อประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้คอนกรีต

6.2.1 ในกรณีที่ต้องการการจัดการสะท้อนหลายครั้งของคลื่นระหว่างวัตถุ สามารถทำได้โดยเลือกคำสั่ง **Process > Deconvolution** หรือคลิกที่ปุ่ม  (6) ดังรูปที่ 2.2.5-14 ปรับค่าต่างๆ จนภาพสัญญาณมีความชัดเจน สำหรับคำสั่งนี้ต้องทำการคลิกที่คำสั่ง **OK** โปรแกรมจึงจะทำการประมวลผล ผลจากการทำ **Deconvolution** จะทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการสะท้อนหลายครั้งที่เป็นแนวยาวหายไป อย่างไรก็ตามโพรงใต้แผ่นพื้นคอนกรีตบางส่วนอาจถูกกำจัดไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.2.5-15



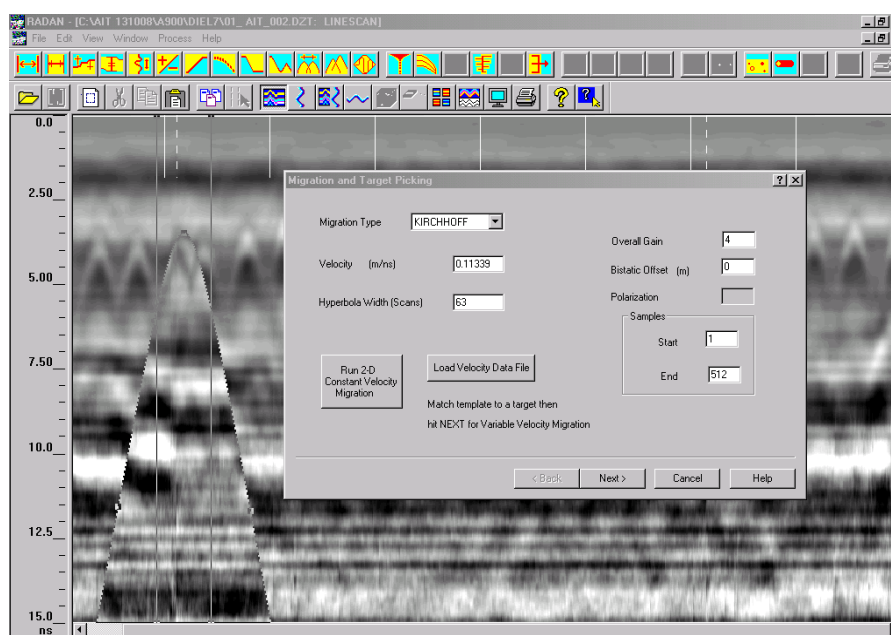
รูปที่ 2.2.5-14 การใช้คำสั่ง Deconvolution



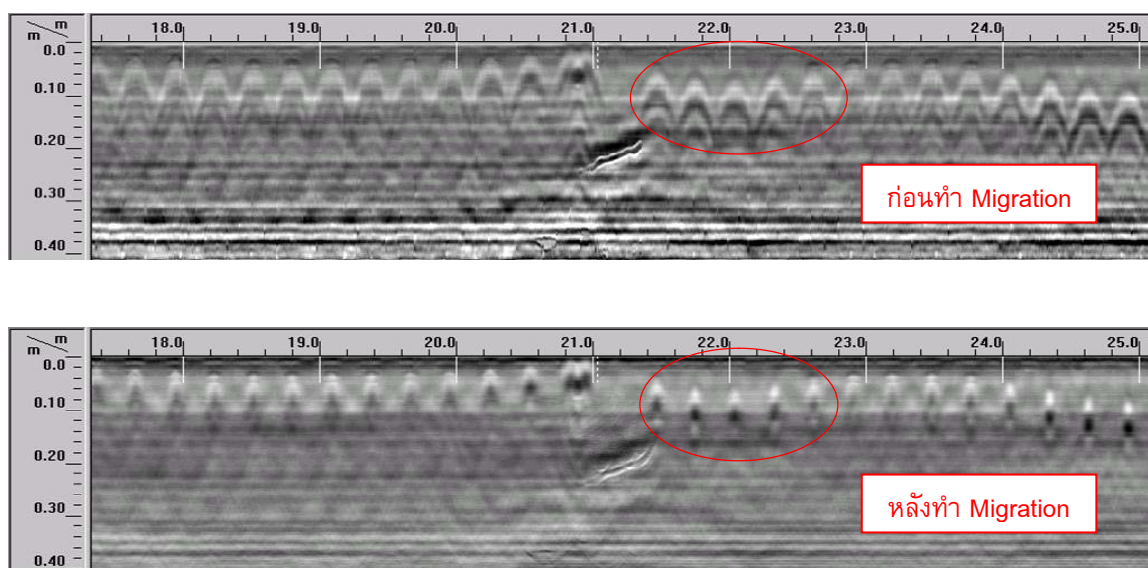
รูปที่ 2.2.5-15 การใช้คำสั่ง Deconvolution

ขั้นตอนการปฏิบัติ	รายละเอียด	คำแนะนำ
1. Operator Length	ความยาวของช่วงคลื่น	30-80
2. Prediction Lag	ความยาวของตัวกรองสัญญาณ	1-5
3. Start/End Samples	ตัวอย่างที่พิจารณาการกรองสัญญาณในแนวดิ่ง	1-512 (Start-End)
4. Overall Gain	การปรับขยายสัญญาณให้เท่ากับข้อมูลเดิม	3-5
5. Prewhitening	การปรับสัญญาณให้มีความสม่ำเสมอและลดสัญญาณรบกวน ค่าอยู่ในช่วง 0.1-1%	0.8

6.2.2 ในกรณีที่ต้องการกำจัดรูปพาราโบลาอันเกิดจากเหล็กเสริม สามารถทำได้โดยเลือกคำสั่ง Process > Migration หรือคลิกที่ปุ่ม  (7) ดังรูปที่ 2.2.5-16 เมื่อเลือกคำสั่งแล้วจะปรากฏหน้าต่างขนาดเล็ก และโค้งพาราโบลาขนาดเล็ก จากนั้นให้เลื่อนโค้งพาราโบลาไปทับซ้อนให้พอดีกับรูปพาราโบลาจากเหล็กเสริม ซึ่งผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของโค้งพาราโบลาได้ จากนั้นทำการคลิกที่คำสั่ง Run 2D Constant Velocity Migration ผลจากการทำ Migration จะทำให้โค้งพาราโบลาที่เกิดจากเหล็กเสริมหายไป กลายเป็นจุดวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 2.2.5-17 สำหรับคำสั่งนี้ใช้ในกรณีต้องการหาเหล็กเสริมคอนกรีต ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้สำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีต เนื่องจากโค้งพาราโบลาที่เกิดจากโพรงใต้ถนนคอนกรีตจะถูกลบไปด้วย



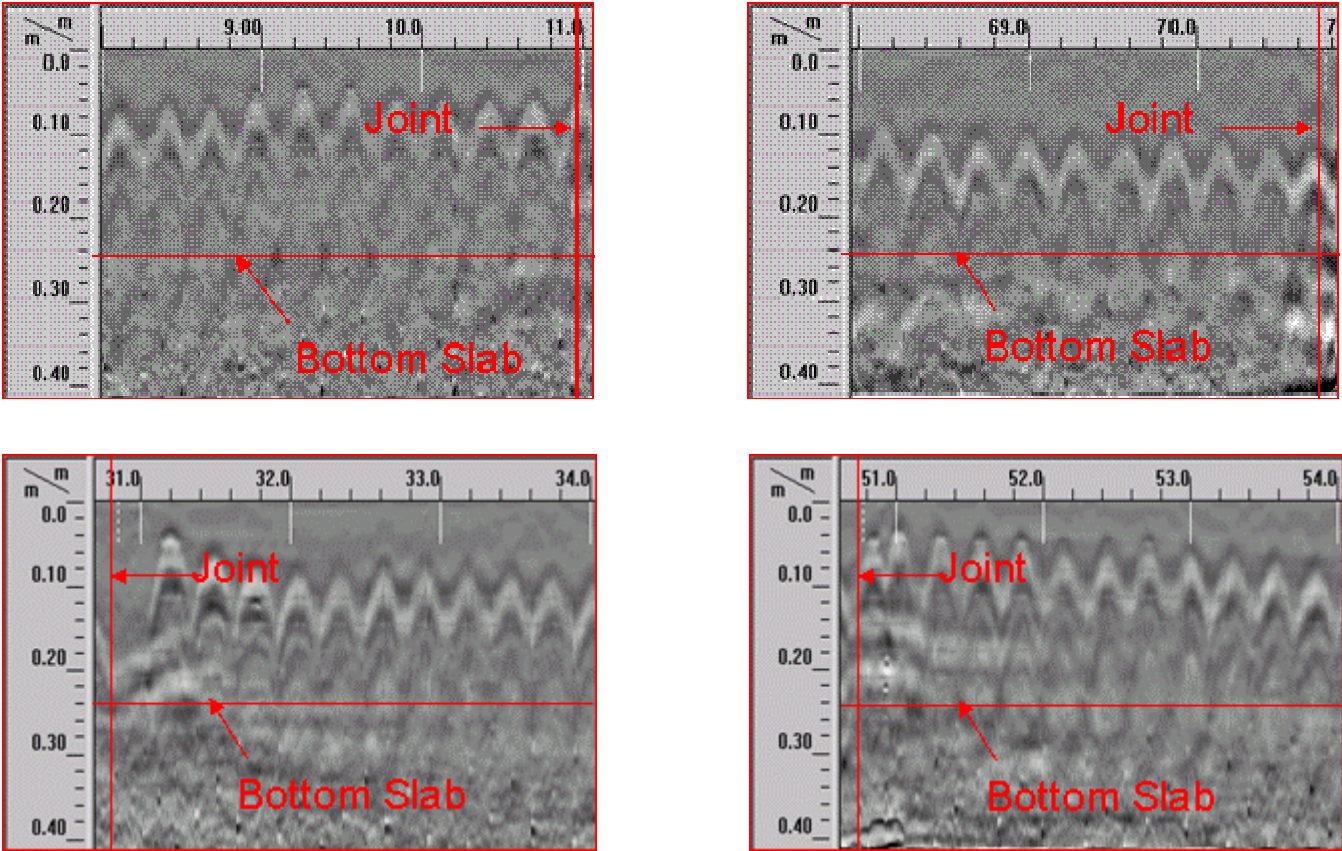
รูปที่ 2.2.5-16 การกำจัดรูปพาราโบลาอันเกิดจากเหล็กเสริมคอนกรีต

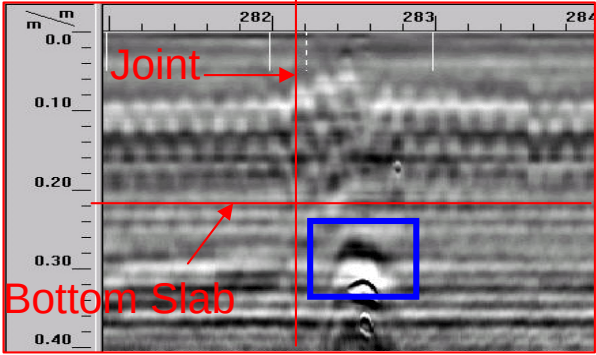
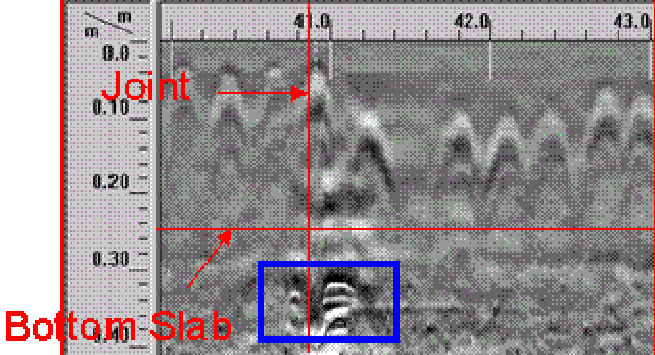
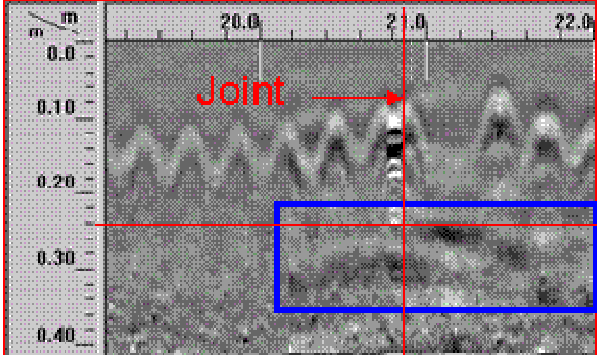
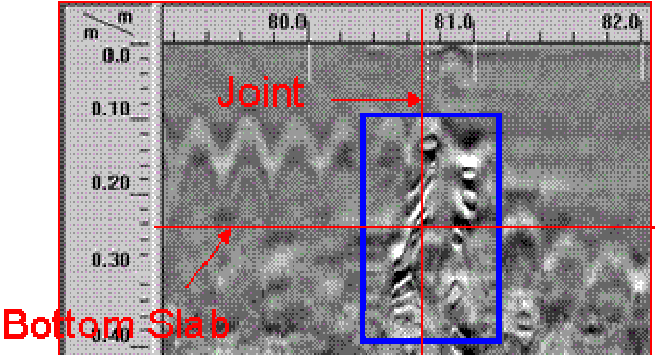


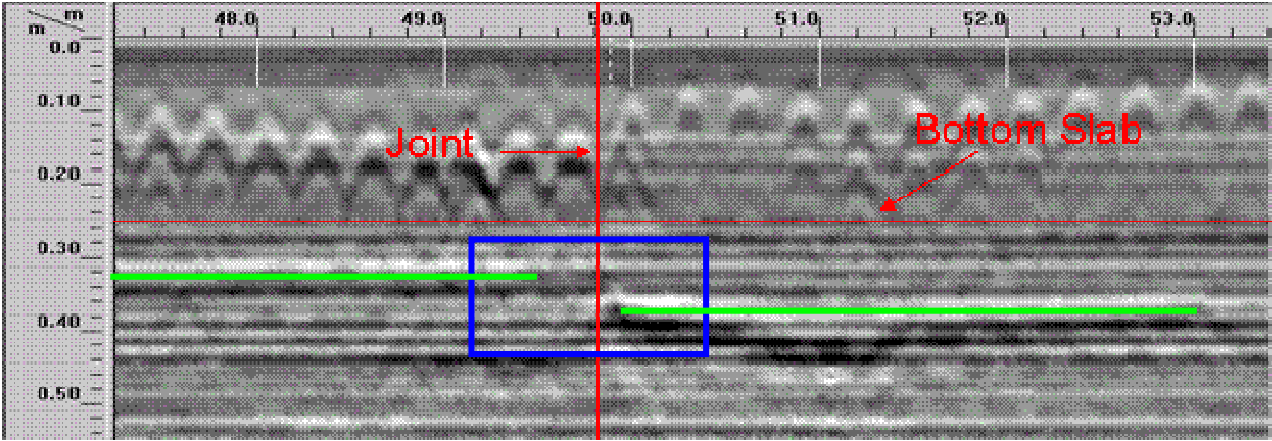
รูปที่ 2.2.5-17 ผลการกำจัดรูปพาราโบลาอันเกิดจากเหล็กเสริมคอนกรีต

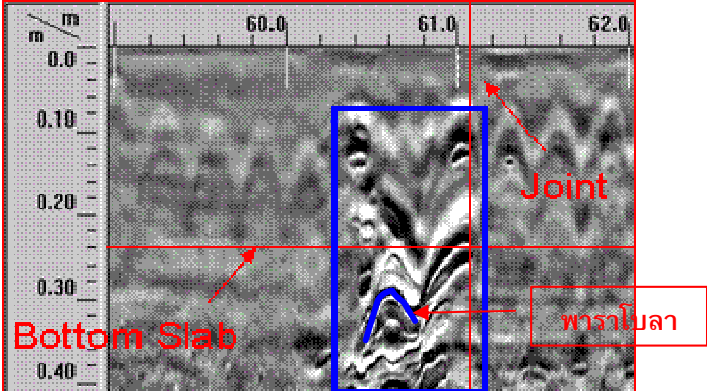
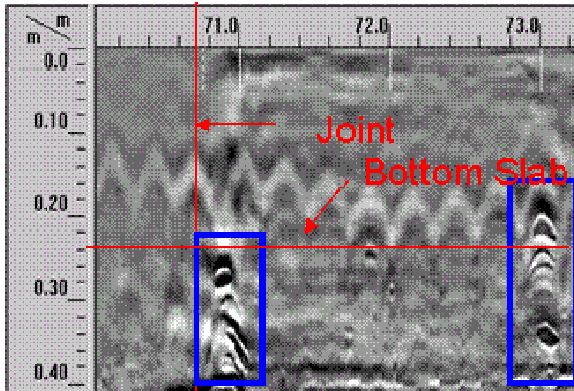
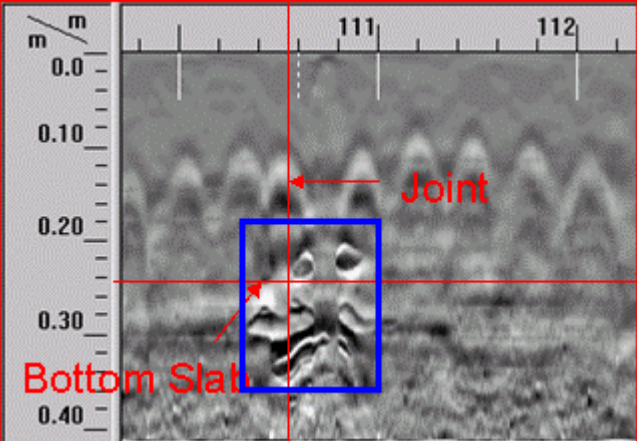
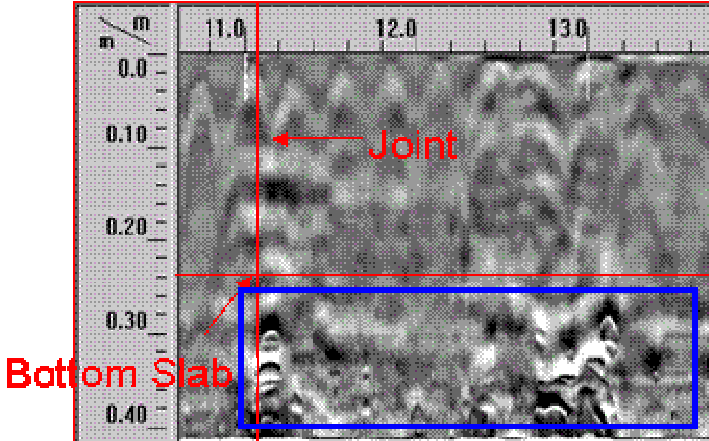
7. ความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

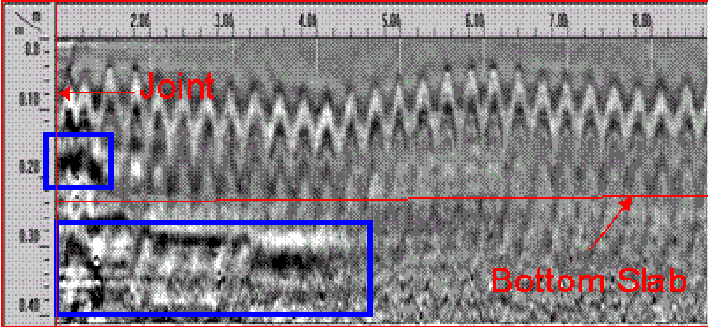
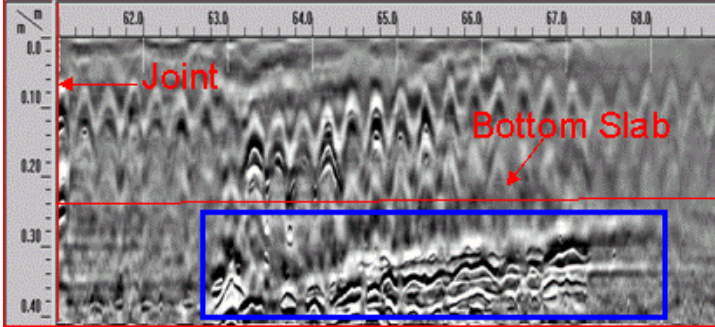
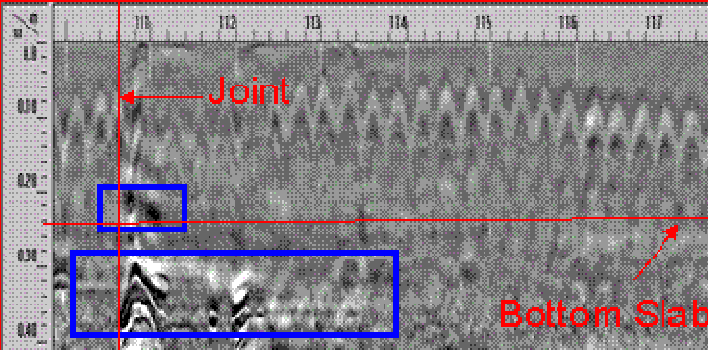
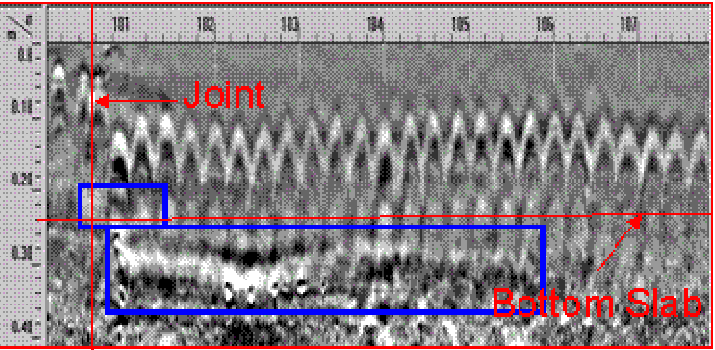
การหาความเป็นไปได้ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการทดสอบว่ามีโอกาสเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต โดยพิจารณาจากลักษณะสัญญาณ GPR บริเวณใต้แผ่นคอนกรีตและวัสดุของโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งบริเวณที่มีแนวโน้มจะเกิดโพรงมักพบในบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นคอนกรีต ลักษณะความผิดปกติของสัญญาณ GPR ในกรณีที่เกิดโพรง แสดงได้ดังต่อไปนี้ (หมายเหตุ: ลักษณะของความผิดปกติของสัญญาณ GPR นั้นอาจจะมีจากสาเหตุอื่นๆ ได้ ซึ่งการแปลผลข้อมูลจากลักษณะของภาพ GPR นั้นเป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งผู้ทดสอบควรศึกษารูปแบบของภาพในลักษณะต่างๆ เพื่อให้เข้าใจถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้น)

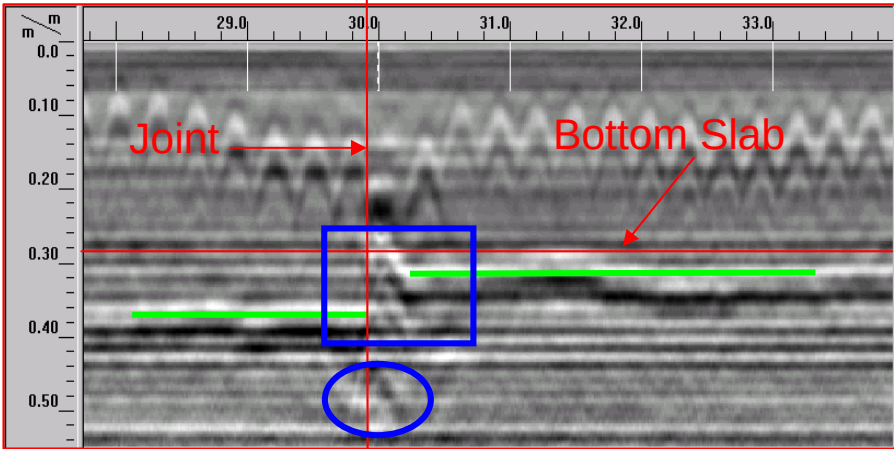
รูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
ลักษณะของช่องทางที่ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR 	น้อย

รูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต  มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต 	
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต  มีความผิดปกติลักษณะสัญญาณเนื่องจากการปะซ่อมถนนและไม่พบลักษณะของโพรงแบบพาราโบลา (โค้งระฆังคว่ำใต้แผ่นคอนกรีต) 	ปานกลาง

รูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
วัสดุของโครงสร้างชั้นทางมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน 	ปานกลาง

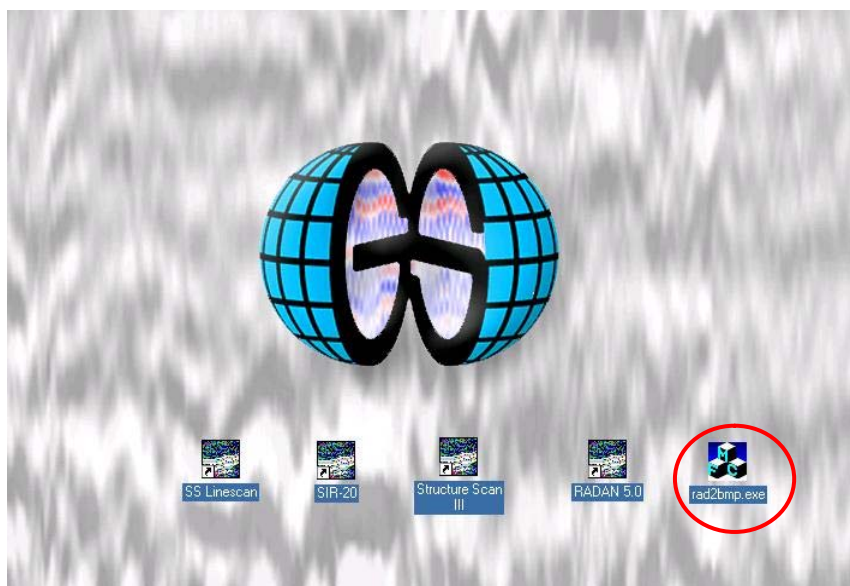
รูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
มีความผิดปกติลักษณะสัญญาณเนื่องจากการปะชอมถนนและพบ ลักษณะของโพรงแบบพาราโบลา (โค้งระฆังคว่ำใต้แผ่นคอนกรีต)  มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูงบริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต 	
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูงบริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต  มีลักษณะเป็นกระเปาะใต้แผ่นคอนกรีต และมีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude เป็นแนวยาวใต้แผ่นคอนกรีตแต่ไม่ชัดเจน 	สูง

รูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต และมีสัญญาณ Amplitude สูง เป็นแนวยาวใต้แผ่นคอนกรีต  มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง เป็นแนวยาวใต้แผ่นคอนกรีต 	
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต และมีสัญญาณ Amplitude สูง เป็นแนวยาวใต้แผ่นคอนกรีต  มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต และมีสัญญาณ Amplitude สูง เป็นแนวยาวใต้แผ่นคอนกรีต 	สูงมาก

รูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
มีลักษณะเป็นกระเปาะใต้แผ่นคอนกรีต และวัสดุของโครงสร้างชั้นทางมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน 	สูงมาก

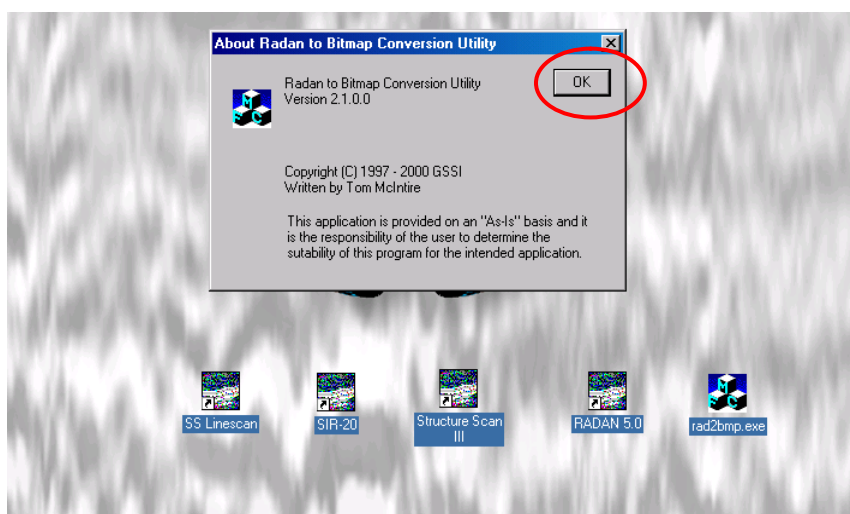
2.2.6 การแปลงผลการสำรวจให้เป็นรูปภาพ

การแปลงผลการสำรวจในสนามให้เป็นไฟล์รูปภาพเพื่อนำไปใช้แสดงผลประกอบผลการทดสอบนั้นด้วยการใช้โปรแกรม Radan2bmp โดยการคลิกที่ปุ่ม  ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแปลงผลการสำรวจในรูปแบบ *.dzt เป็นรูปภาพ (*.bmp) โดยการคลิกที่โปรแกรม Radan2bmp ในรูปที่ 2.2.7-1 ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบในรูปภาพเชิง 2 มิติโดยมีขั้นตอนการแปลงผลการสำรวจดังนี้



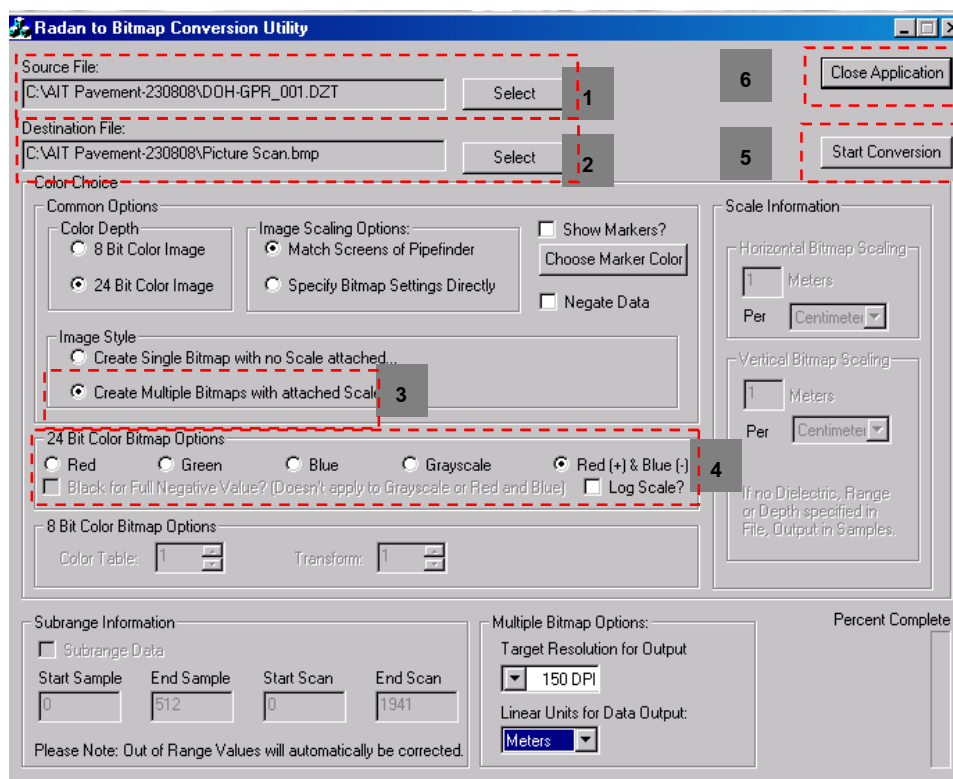
รูปที่ 2.2.6-1 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม GSSI

1. เปิดโปรแกรม Radan2bmp โดยจะแสดงหน้าต่างของ About Radan to Bitmap Conversion Utility จากนั้นให้คลิกปุ่ม OK ดังแสดงในรูปที่ 2.2.7-2



รูปที่ 2.2.6-2 แสดงหน้าต่างของ About Radan to Bitmap Conversion Utility ในโปรแกรม Radan2bmp

2. จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างของ Radan to Bitmap Conversion Utility ดังรูปที่ 2.2.7-3 โดยทำการเลือกคำสั่งต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 2.2.6-3 แสดงหน้าต่างของ Radan to Bitmap Conversion Utility

1. เลือกตำแหน่งของข้อมูลผลการสำรวจจากการบันทึกไว้มาแปลงเป็นรูปภาพในคำสั่ง Source File โดยการคลิกที่ปุ่ม Select
2. ตั้งชื่อไฟล์และระบุตำแหน่งที่ต้องการเก็บข้อมูลการสำรวจที่แปลงเป็นรูปภาพแล้วในคำสั่ง Destination File โดยการคลิกที่ปุ่ม Select
3. ในคำสั่ง Color Choice > Image Style ให้คลิกเลือก Create Multiple Bitmaps with attached Scale เพื่อให้แสดงระยะทางในแนวราบและแนวดิ่งติดมาด้วย แต่จะทำให้ไฟล์ข้อมูลที่ได้จะแบ่งเป็นหลายไฟล์
4. เลือกโทนสีในคำสั่ง 24 Bit Color Bitmap Option เพื่อให้ไฟล์ของข้อมูลแสดงในลักษณะโทนสีต่างๆ ได้แก่ Red, Green, Blue, Grayscale และ Red(+) & Blue(-)
5. เมื่อเลือกคำสั่งที่ต้องการแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม Start Conversion โดยโปรแกรมจะถามชื่อไฟล์ต่อไป ในกรณีที่ข้อมูลแสดงออกมามากกว่า 1 ไฟล์ และแสดงเป็นรูปภาพ (*.bmp)
6. เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมการแปลงรูปภาพให้คลิกที่ปุ่ม Close Application

สำหรับคำสั่งอื่นๆ อาจไม่จำเป็นต้องปรับค่าแต่อย่างใด แต่สามารถเลือกได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

2.2.7 บทสรุป

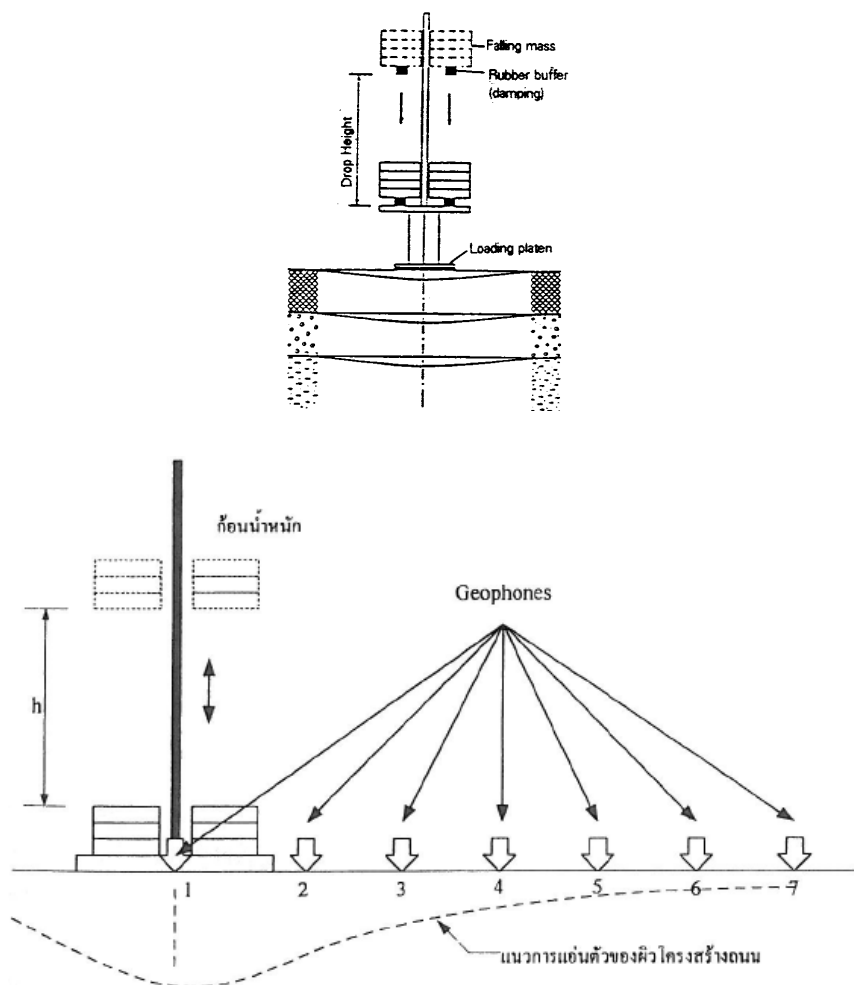
ในคู่มือการใช้งานนี้ได้มีการให้รายละเอียดในการแปลผลข้อมูลชั้นพื้นฐานของทฤษฎี GPR ตลอดจนการปฏิบัติงาน เพื่อการช่วยเหลือวิศวกรในการสร้างความเข้าใจในหลักการและวิธีการของการสำรวจธรณีฟิสิกส์แบบดิน-ใกล้ผิวดิน โดยแสดงขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องมือ การควบคุม การบันทึกผลข้อมูลการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR ที่ง่ายต่อการเข้าใจของผู้เริ่มต้นใช้งาน อย่างไรก็ตาม การใช้งานการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR ในสภาพการทำงานที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขของสถานที่ปฏิบัติการทำงานจำเป็นที่จะต้องอาศัยประสบการณ์อย่างสูงในการทำงาน และเพื่อความมั่นใจในคุณภาพของข้อมูลการสำรวจ ผู้ปฏิบัติงานควรได้รับการแนะนำหรือมีที่ปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญในการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในการแปลผลจากข้อมูลการทดสอบ

2.3 การสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)

Falling Weight Deflectometer (FWD) เป็นเครื่องมือทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนที่ได้รับการยอมรับใช้งานอย่างกว้างขวางในประเทศที่พัฒนาแล้วทั่วโลก และสามารถทำการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนได้ทั้งถนนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตและถนนผิวแอสฟัลต์คอนกรีต จุดเด่นของการทดสอบด้วยเครื่องมือชนิดนี้นอกจากความรวดเร็วในการทำงานและความถูกต้องของผลการทดสอบแล้ว คือการทดสอบวิธีนี้สามารถทำการทดสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อถนนแต่อย่างใด

หลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการทำงานของเครื่อง FWD คือการวัดค่าการแอ่นตัวภายใต้แรงที่กระทำแบบ Dynamic เพื่อเลียนแบบการเกิดการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนเมื่อล้อรถยนต์พาหนะวิ่งผ่าน หลังจากที่ได้ทำการแอ่นตัวแล้วก็จะทำการคำนวณย้อนกลับ โดยใช้ค่าการแอ่นตัวนั้นเพื่อหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ถึงอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนนและใช้ออกแบบการเสริมผิวต่อไป ในปัจจุบันกรมทางหลวงใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer รุ่น Dynatest 8000 มีลักษณะเป็นรถพ่วงต่อเข้ากับรถตู้ลากไปขณะปฏิบัติงาน ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องมือทดสอบประกอบไปด้วย ก้อนน้ำหนักระบบตรวจวัดแรง (Load Cell) และระบบการตรวจวัดค่าการแอ่นตัวที่เป็นผลจากแรงกระทำ โดยที่น้ำหนักจากก้อนน้ำหนักจะถ่วงลงสู่ถนนผ่านทางแผ่นรอง (Plate) ขนาดน้ำหนักและระยะยกก้อนน้ำหนักสามารถควบคุมเพื่อให้เกิดแรงกระทำต่อถนนได้ตามที่ต้องการ ระบบตรวจวัดแรงจะทำการตรวจวัดแรงกระทำที่ตั้งฉากกับแผ่นรองน้ำหนักได้อย่างแม่นยำ เมื่อก้อนน้ำหนักกระแทกโครงสร้างถนนจะกระจายแรงออกไปจากจุดที่ทำการทดสอบโดยมี Geophone 1 ตัวจะตรวจวัดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนที่กึ่งกลางใต้จุดที่แรงกระทำ ส่วน Geophone ที่เหลือจะวัดค่าการแอ่นตัว (Deflection) ที่อ่านได้สามารถนำไปคำนวณหาความแข็งแรงของถนน ดังแสดงในรูปที่ 2.3-1 และนำไปใช้ในการตรวจหาโพรงใต้รอยต่อหรือรอยแตกของถนนคอนกรีตเพื่อเป็นข้อมูลประกอบในงานอุดโพรงใต้แผ่นพื้น (Subsealing) ได้อีกด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์มากในการบูรณะปรับปรุงทางหลวง



รูปที่ 2.3-1 หลักการทำงานของ Falling Weight Deflectometer

2.3.1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือการสำรวจ *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

เครื่องมือทดสอบ *Falling Weight Deflectometer (FWD)* ซึ่งประกอบด้วย

1. รถตุ้ลลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบ *Falling Weight Deflectometer* ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-1



รูปที่ 2.3.1-1 รถลากจูงและรถลากพ่วง

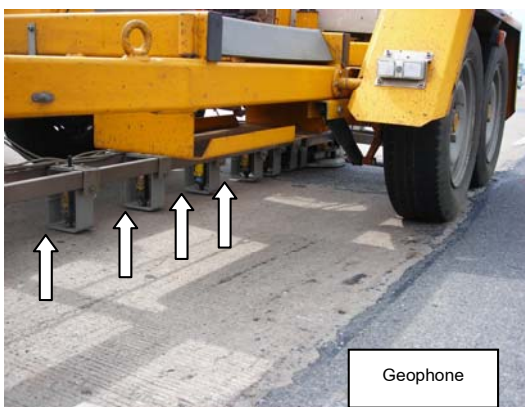
2. ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง ได้แก่ แผงวงจรควบคุม, Geophone, แผ่น Plate, ปืนลม และแผ่นน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-2



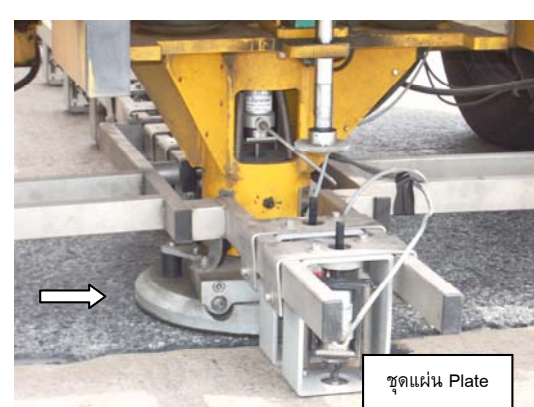
ชุดอุปกรณ์ทดสอบรถลากพ่วง



แผงวงจรควบคุม



Geophone



ชุดแผ่น Plate

รูปที่ 2.3.1-2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง



รูปที่ 2.3.1-2 ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง (ต่อ)

3. ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Control Unit) สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลจากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-3



รูปที่ 2.3.1-3 ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Control Unit)

4. คอมพิวเตอร์ (Computer) และโปรแกรมควบคุมการทดสอบ Dynatest Control Center ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-4



รูปที่ 2.3.1-4 ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

5. กล้องและจอแสดงภาพเพื่อช่วยให้ตรวจสอบตำแหน่งของ Sensor 2 ตัวทำให้อยู่ระหว่างรอยต่อของถนนคอนกรีต และเครื่องวัดระยะทางอัตโนมัติ (Distance Measuring Instrument; DMI) สำหรับบอกและบันทึกที่ระยะทาง ณ จุดที่ทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-5



รูปที่ 2.3.1-5 กล้องและจอแสดงภาพและเครื่องวัดระยะทางอัตโนมัติ

6. เครื่องวัดอุณหภูมิของอากาศบันทึกค่าอุณหภูมิโดยอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-6



รูปที่ 2.3.1-6 เครื่องวัดอุณหภูมิ

7. ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่อง Control Unit และ Computer ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1-7



รูปที่ 2.3.1-7 ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่อง Control Unit และ Computer

รายการอุปกรณ์ประกอบการสำรวจ

ตารางที่ 2.3.1-1 รายละเอียดการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการสำรวจ

ที่	รายการ	พร้อมใช้งาน (✓)	หมายเหตุ
1	รถตู้โครงการตรวจสอบความแข็งแรงโครงสร้างถนน		
2	รถลากพ่วงทดสอบ		
3	แผงวงจรควบคุม		
4	Geophone จำนวน 9 ตัว		
5	แผ่น Plate		
6	ปั๊มลมสำหรับยกแผ่นน้ำหนักร		
7	แผ่นน้ำหนัก		
8	ชุดอุปกรณ์ควบคุม (Control Unit)		
9	คอมพิวเตอร์ (Computer) และโปรแกรม Dynatest Control Center		
10	กล้องและจอแสดงภาพ		
11	เครื่องวัดระยะทางอัตโนมัติ		
12	เครื่องวัดอุณหภูมิ		
13	ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่อง Control Unit และ Computer		

การตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์

- ตรวจสอบชุดเครื่องมือ FWD ต้องมีหมายเลขเดียวกัน
- ตรวจสอบชุดอุปกรณ์ FWD และองค์ประกอบของเครื่อง FWD
- ตรวจสอบการทำงานของ FWD ในระบบของ Manual
- ตรวจสอบอุปกรณ์เพิ่มเติม เครื่องมือ อะไหล่ อุปกรณ์ช่วยฉุกเฉิน.
- ตรวจสอบความพร้อมของรถลาก และรถ FWD ก่อนเดินทาง
- ตรวจสอบอุปกรณ์ภายในรถลาก เช่น คอมพิวเตอร์ System Processor
- ตรวจสอบความพร้อมของโปรแกรม Dynatest ที่ใช้งานในสนาม
- ตรวจสอบตำแหน่งการวางของ Geophone

สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD การวางตำแหน่งของ Geophone ในการทดสอบแผ่นคอนกรีต ตำแหน่งของ Geophone ตัวที่ 2 และตัวที่ 3 จะต้องวางคร่อมรอยต่อของแผ่นคอนกรีต เพื่อต้องการวัดพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงจากการให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบ โดยมีรายละเอียดของตำแหน่งดังนี้

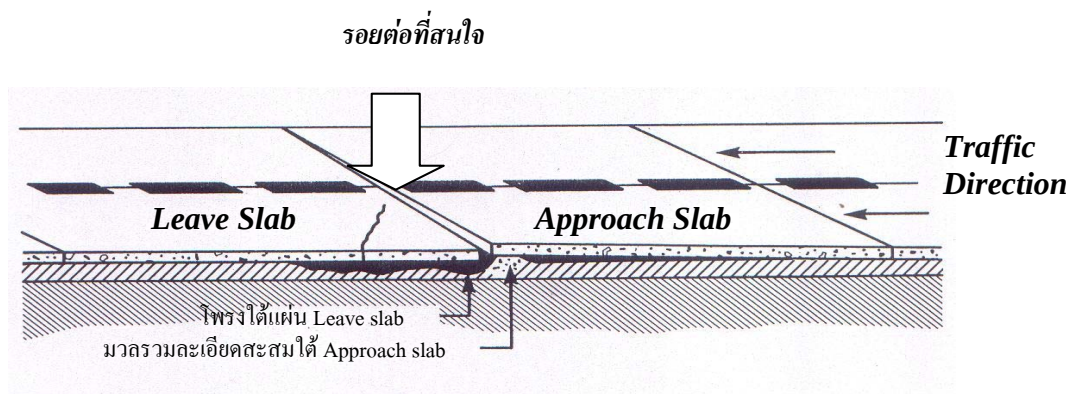
Geophone ตัวที่	ตำแหน่ง
1	ที่ระยะ 0 มิลลิเมตร
2	ที่ระยะ -200 มิลลิเมตร
3	ที่ระยะ -300 มิลลิเมตร
4	ที่ระยะ 450 มิลลิเมตร
5	ที่ระยะ 600 มิลลิเมตร
6	ที่ระยะ 900 มิลลิเมตร
7	ที่ระยะ 1200 มิลลิเมตร
8	ที่ระยะ 1500 มิลลิเมตร
9	ที่ระยะ 1800 มิลลิเมตร

การซ่อมบำรุงและการตรวจสอบที่จำเป็นสำหรับเครื่องมือ FWD ก่อนการปฏิบัติงานทดสอบ

การตรวจสอบก่อนการปฏิบัติงาน
- การเชื่อมต่อระหว่างรถตุ้ลากจูง และรถลากพ่วง
- ข้อต่อของสาย Cable ระหว่างรถพ่วงกับรถตุ้ลากจูง
- ยางล้อรถลากจูง, ลมยางของรถลากพ่วง (29 psi)
- Deflector Sensor
- ตรวจสอบระดับน้ำมัน, น้ำมันไฮดรอลิก และระดับของน้ำกลั่น
- ระบบไฟฟ้าแสงสว่างต่างๆ ของรถลากจูง และรถลากพ่วง
- การยึดแน่นของสายยางรองน้ำหนักที่รองรับแผ่นน้ำหนัก
- ระบบการทำงานของปั๊มลม
- แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่หลักโดยใช้ System Processor

2.3.2 ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ

ในการทดสอบที่บริเวณมุมของแผ่นคอนกรีตทั้ง 2 ข้างของรอยต่อตลอดแนวสายทาง โดยการทดสอบทั้งมุมของแผ่นที่การจราจรวิ่งเข้าหา (Approach Slab) และมุมของแผ่นที่การจราจรวิ่งจากไป (Leave Slab) ซึ่งโดยปกติแล้วโพรงที่เกิดขึ้นใต้มุมแผ่นคอนกรีตจะอยู่ใต้ด้าน Leave Slab มากกว่าด้าน Approach Slab ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิด Pumping หรือการสูญเสียมวลรวมละเอียดไปกับน้ำที่พุ่งออกจากรอยต่อคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักกระทำจากการจราจร เนื่องมาจากเมื่อล้อรถเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อคอนกรีตด้าน Approach Slab ไปยังด้าน Leave Slab มวลรวมละเอียดจะถูกดันไปอยู่ใต้ Approach Slab ดังแสดงในรูปที่ 2.3.2-1



รูปที่ 2.3.2-1 Approach Slab และ Leave Slab

ในการทดสอบด้วยวิธี Falling Weight Deflectometer (FWD) นั้นเป็นการทดสอบเพื่อวัดค่าการยุบตัวของแผ่นคอนกรีตดังนี้

1. การทดสอบการยุบตัวที่รอยต่อบริเวณมุมแผ่นคอนกรีต

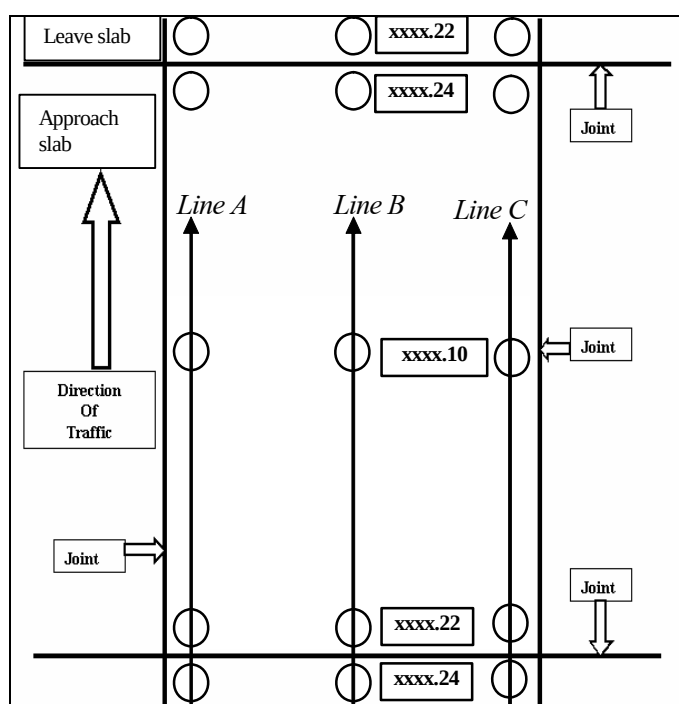
การทดสอบการยุบตัวที่รอยต่อบริเวณมุมแผ่นคอนกรีตตามแนวการจราจรวิ่งเข้าหา (Approach Slab) เพื่อพิจารณาถึงความสามารถในการส่งถ่ายน้ำหนักข้ามรอยต่อ (Load Transfer) เพื่อให้สามารถพิสูจน์ทราบได้ว่าการเกิดโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตในบริเวณรอยต่อนั้นๆ โดยในการทดสอบส่วนนี้จะใช้เครื่อง FWD ทำการทดสอบโดยวางตำแหน่งของ Geophone 2 ตัวให้ครอบคลุมระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตคอนกรีตและใช้ค่าน้ำหนักที่กระทำจำนวน 3 ระดับ เช่น 566, 754 และ 1006 kPa. เมื่อมีการปล่อยก้อนน้ำหนักกระแทกบนแผ่นพื้นคอนกรีตและตรวจวัดค่า Deflection ที่เกิดขึ้นทั้งสองฝั่งของรอยต่อเปรียบเทียบกับกัน โดยพิจารณาถึงหลักการที่ว่าหากค่า Deflection ที่วัดได้ทั้งสองฝั่งของรอยต่อมีค่าเท่ากันนั้นหมายถึงสภาพการส่งถ่ายน้ำหนักข้ามรอยต่อของแผ่นถนนคอนกรีตดีมาก หรือเพื่อพิสูจน์ความสามารถการส่งถ่ายน้ำหนักข้ามรอยต่อ (Load Transfer) จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกระทำกับค่าการยุบตัว (Load-Deflection) ของแต่ละจุดทดสอบ โดยกราฟ Load-Deflection ของตำแหน่งที่ไม่มีโพรงอยู่ข้างใต้จะตัดแกนค่าการยุบตัว (Deflection) ใกล้เคียงกับจุดกำเนิด และในทางตรงกันข้าม กราฟ Load-Deflection ของตำแหน่งที่มีโพรงอยู่ข้างใต้จะตัดแกนค่าการยุบตัว (Deflection) ที่ค่าการยุบตัวมากกว่า 0.050 มม. (0.002 นิ้ว)

2. การทดสอบที่กลางแผ่นคอนกรีต

กำหนดการทดสอบ FWD ที่กลางแผ่นถนนคอนกรีต โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะต้องการหาค่า Deflection ที่เกิดขึ้นจากการวัดได้ของ Geophone ที่อยู่ใต้ตำแหน่งที่กอน้ำหนัก ภายใต้การปล่อยก้อนน้ำหนักกระแทกลงบนแผ่นพื้นคอนกรีตโดยเป็นการจำลองสภาพแผ่นพื้นคอนกรีตจากน้ำหนักยานพาหนะการจราจร

แนวการทดสอบด้วยวิธี Falling Weight Deflectometer (FWD) นั้นจะทำการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 แนวการทดสอบต่อแผ่นคอนกรีต 1 แผ่นดังแสดงในรูปที่ 2.3.2-2 โดยในแต่ละแนวจะทำการทดสอบจำนวน 3 ตำแหน่งซึ่งใช้รหัสเป็นตัวเลขในการเก็บข้อมูลในการทดสอบตามรายละเอียดดังนี้

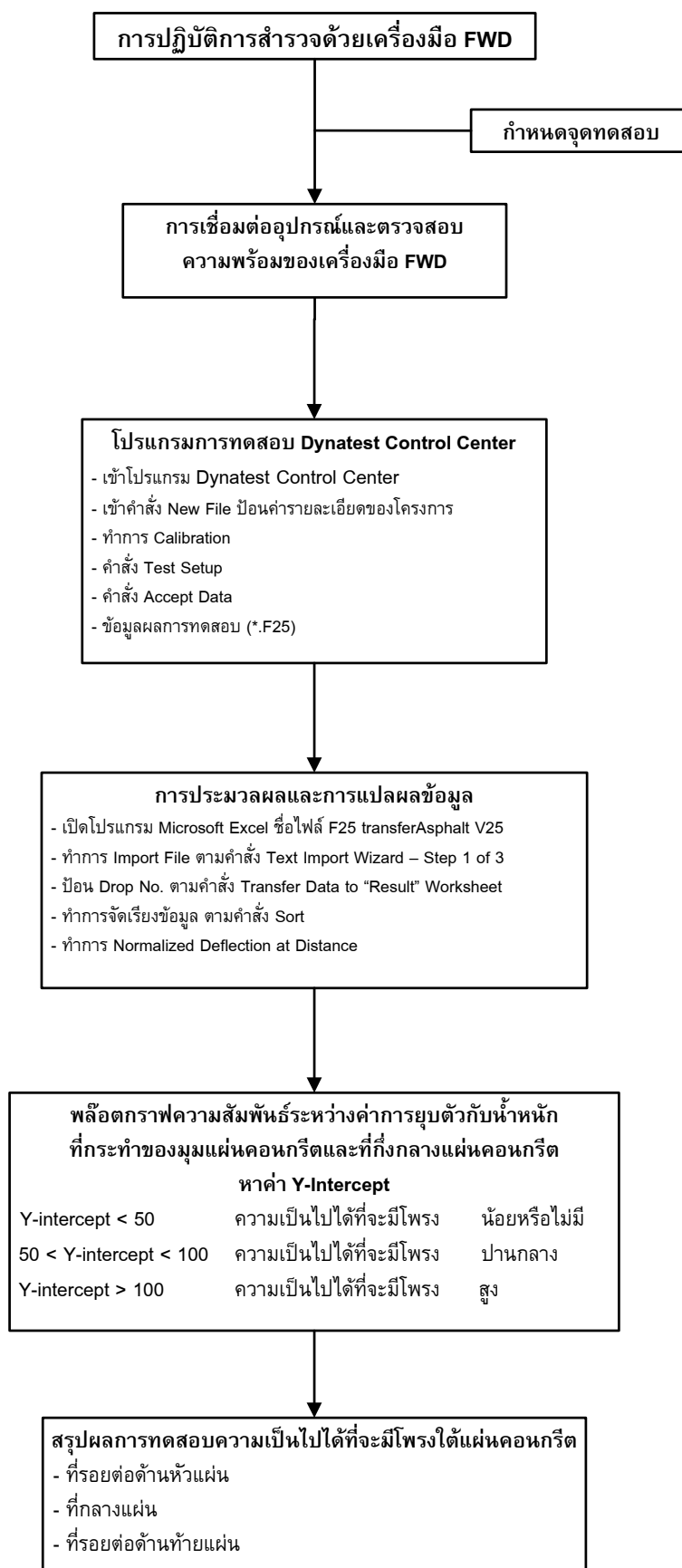
รูปแบบการทดสอบ	ทดสอบด้านข้างของรอยต่อและที่กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต 3 แนว คือ 1. ที่แนวด้านซ้ายของแผ่นคอนกรีต (Line A) ที่ระยะ 30 ซม.จากขอบของแผ่น 2. ที่แนวกึ่งกลางแผ่นคอนกรีต (Line B) 3. ที่แนวด้านขวาของแผ่นคอนกรีต (Line C) ที่ระยะ 30 ซม.จากขอบของแผ่น
ตำแหน่งที่ทดสอบ	ที่รอยต่อด้านหัวแผ่น (xxx.22) ที่กลางแผ่น (xxx.10) ที่รอยต่อด้านท้ายแผ่น (xxx.24)
การปล่อยน้ำหนัก	566 kPa (Drop 1) 754 kPa (Drop 2) 1006 kPa (Drop 3)
ตำแหน่ง Geophone	Geophone ตัวที่ 1 อยู่ในระยะ 0 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 2 อยู่ในระยะ -200 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 3 อยู่ในระยะ -300 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 4 อยู่ในระยะ 450 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 5 อยู่ในระยะ 600 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 6 อยู่ในระยะ 900 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 7 อยู่ในระยะ 1200 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 8 อยู่ในระยะ 1500 มิลลิเมตร Geophone ตัวที่ 9 อยู่ในระยะ 1800 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.3.2-2 ตำแหน่งการทดสอบ Falling Weight Deflectometer

2.3.3 การปฏิบัติการทดสอบด้วยเครื่อง FWD ในภาคสนาม

สำหรับการสำรวจแผ่นถนนคอนกรีตด้วยเครื่องมือ FWD ในการเก็บผลข้อมูลการสำรวจเพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาประมวลผลและการแปรผลข้อมูลต่อไปนั้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.3.3-1

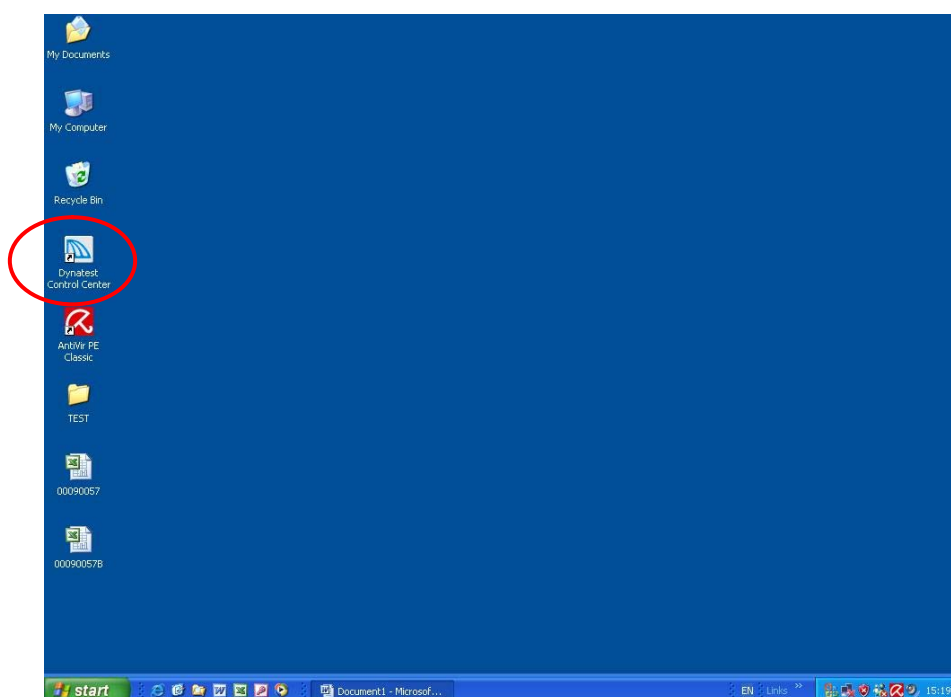


รูปที่ 2.3.3-1 แสดงขั้นตอนการสำรวจด้วยเครื่องมือ FWD

โดยขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) นั้นสามารถปฏิบัติได้ตามขั้นตอนดังนี้

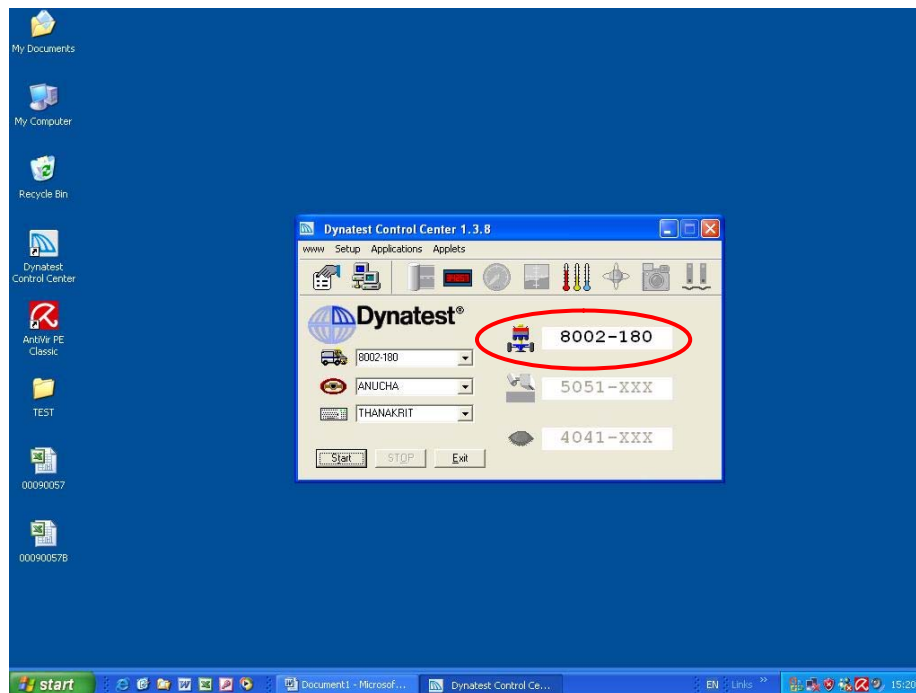
1. ติดตั้งเครื่องมือ Geophone ต่อสายจอมอนิเตอร์และสายสัญญาณที่ส่งข้อมูลเข้าเครื่อง Control Unit ทำการเปิดเครื่อง FWD
2. เปิดระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่อง Control Unit และ Computer ทำการเปิดเครื่อง Control Unit และ Computer เพื่อเริ่มทำการทดสอบ

3. เข้าโปรแกรม Dynatest Control Center  ดังรูป 2.3.3-2



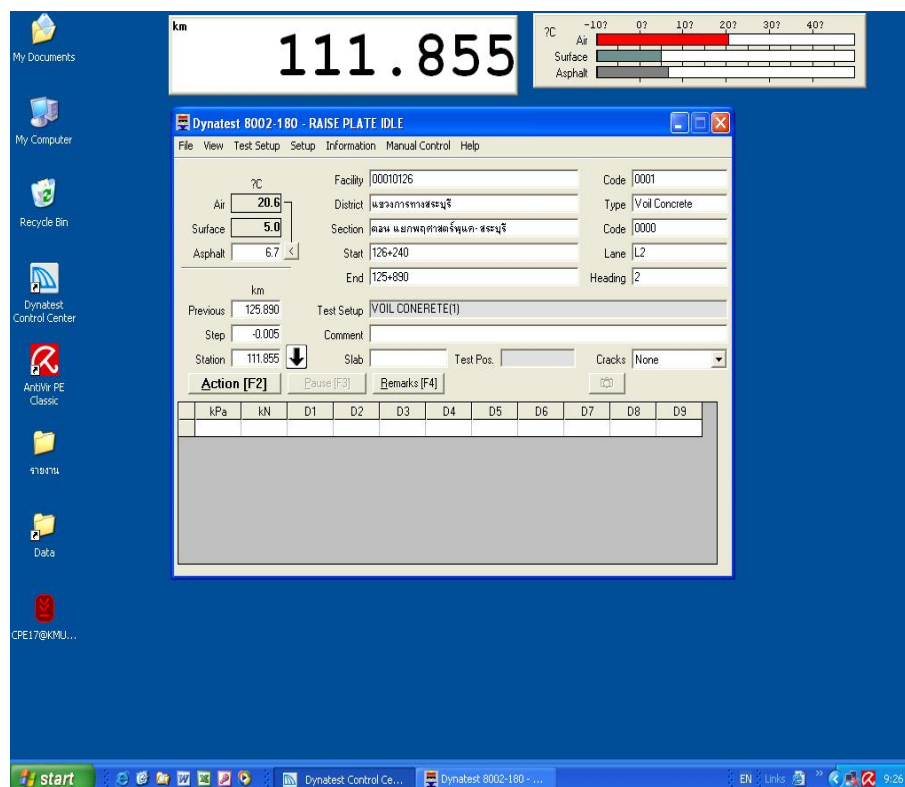
รูปที่ 2.3.3-2 หน้าจอคอมพิวเตอร์ และไอคอนของโปรแกรม Dynatest Control Center

4. เมื่อเข้าสู่โปรแกรม รอนหมายเลขเครื่องทดสอบปรากฏดังรูปที่ 2.3.3-3 กดคำสั่ง Start



รูปที่ 2.3.3-3 หน้าจอคอมพิวเตอร์ของโปรแกรม Dynatest Control Center

5. จะปรากฏหน้าจอแสดงผลสำหรับป้อนข้อมูลสถานที่ทดสอบ, ข้อมูลชนิดของผิวทางที่ทำการทดสอบโดยในที่นี้ใช้ผิวทางคอนกรีต, อุณหภูมิของแผ่นถนนคอนกรีต และหมายเลขหลักกิโลเมตร ดังรูป 2.3.3-4

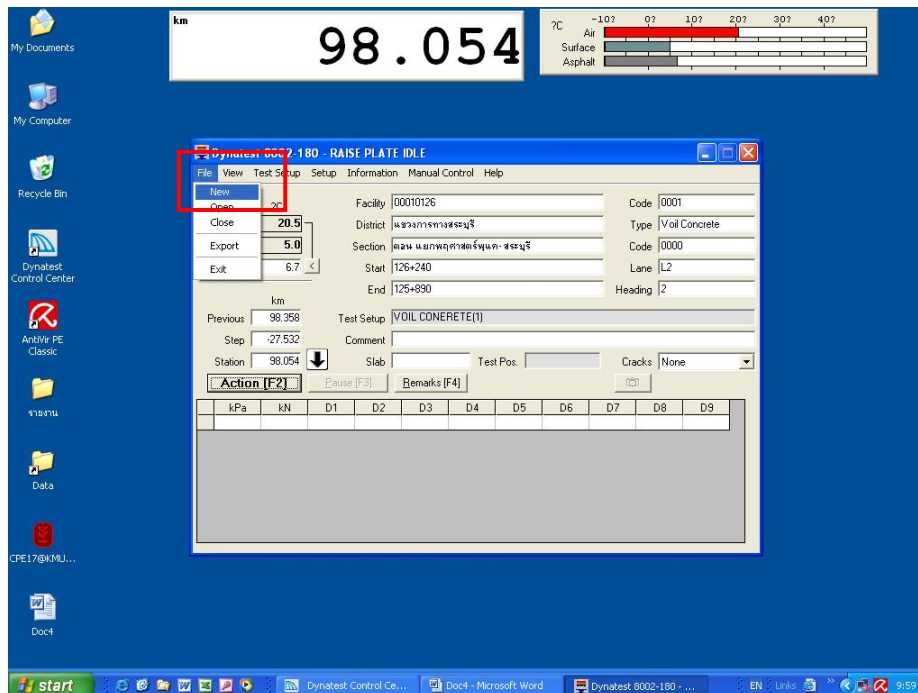


รูปที่ 2.3.3-4 หน้าจอแสดงผลสำหรับป้อนข้อมูลในการทดสอบ

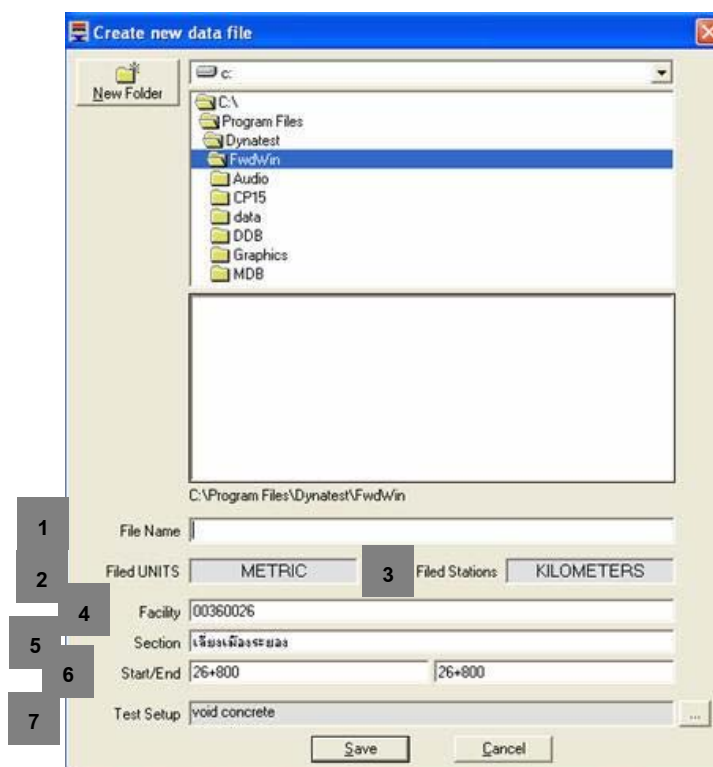
เมื่อเข้าสู่โปรแกรมทดสอบแล้วปรากฏหน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูลในการทดสอบ โดยทำการป้อนค่ารายละเอียดของโครงการในแต่ละช่องของคำสั่งต่างๆ ดังนี้

Air:	อุณหภูมิห้องหรือภายในรถทดสอบ
Surface:	อุณหภูมิภายนอกบริเวณพื้นผิวทาง
Asphalt:	อุณหภูมิของแผ่นพื้นคอนกรีตที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิจากการเจาะวัด
Facility:	หมายเลขของสายทางที่ทำการทดสอบ โดยใช้เป็นหมายเลข 8 ตัวดังนี้ 00011260 : หมายเลขสายทาง 00011260 : หมายเลข กม.ที่ทำการทดสอบ 00011260 : หมายเลขควบคุมสายทาง
District:	แขวงทาง / สำนักบำรุงทาง
Section:	ชื่อตอนควบคุมของสายทาง
Start:	กำหนดหลักกิโลเมตรที่เริ่มต้นทดสอบ
End:	กำหนดหลักกิโลเมตรที่สิ้นสุดการทดสอบ
Code:	หมายเลขสายทาง
Type:	ชนิดของวิธีการทดสอบ ในที่นี้ใช้ Void Concrete
Code:	หมายเลขควบคุมสายทาง
Lane:	ทิศทางจราจรที่ทำการทดสอบ โดยใช้สัญลักษณ์ดังนี้ L1 : ช่องจราจรที่ 1 จากเกาะกลาง ด้านซ้ายทาง (เลขกิโลเมตรเพิ่มขึ้น) L2 : ช่องจราจรที่ 2 จากเกาะกลาง ด้านซ้ายทาง (เลขกิโลเมตรเพิ่มขึ้น) R1 : ช่องจราจรที่ 1 จากเกาะกลาง ด้านขวาทาง (เลขกิโลเมตรลดลง) R2 : ช่องจราจรที่ 2 จากเกาะกลาง ด้านขวาทาง (เลขกิโลเมตรลดลง)
Heading:	หมายเลขของทิศทางที่ทำการทดสอบ โดยใช้สัญลักษณ์ดังนี้ 1 : ด้านซ้ายทาง 2 : ด้านขวาทาง
Test Setup:	กำหนดวิธีการทดสอบ ในที่นี้ใช้ Void Concrete
หลังจากการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้เข้าคำสั่ง File เลือก New File เพื่อสร้างและบันทึกค่ารายละเอียดของโครงการที่ทำการทดสอบ ในรูปที่ 2.3.3-5	

6. เมื่อเข้าคำสั่ง File เลือก New File โดยให้ปรากฏหน้าต่าง Create new data file ดังรูป 2.3.3-6 จากการเปิดหน้าต่างของโปรแกรมที่ C:/Program Files/Dynatest/FwdWin/data และทำการป้อนค่ารายละเอียดของโครงการในแต่ละช่องของคำสั่งต่างๆ



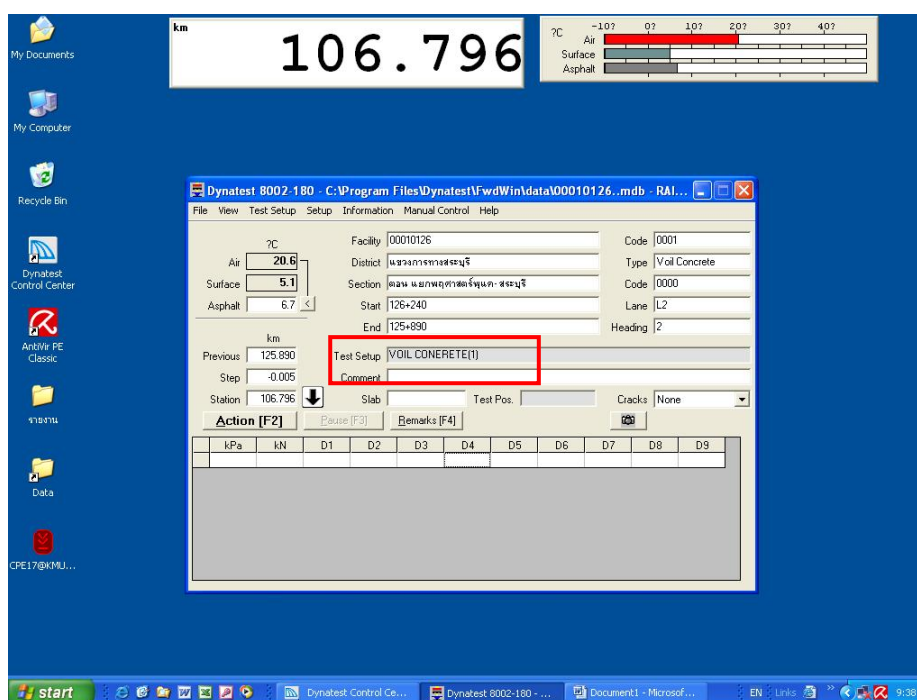
รูปที่ 2.3.3-5 หน้าจอเข้าคำสั่ง File และเลือก New File



รูปที่ 2.3.3-6 หน้าจอ Create new data file

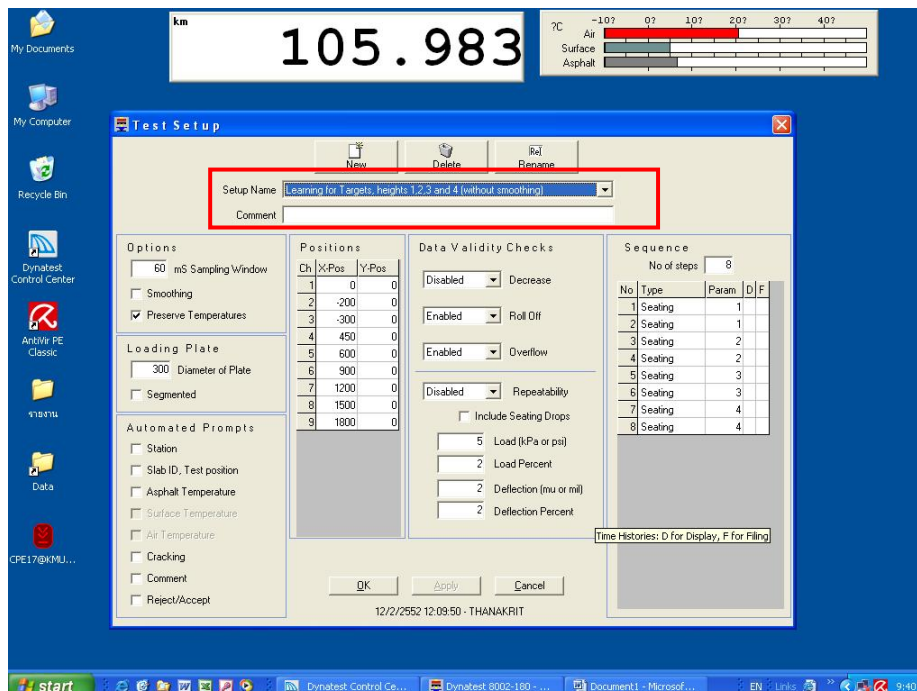
1 File Name:	กำหนดชื่อข้อมูลที่ทดสอบ โดยใช้หมายเลขของสายทางที่ทำการทดสอบเป็นหมายเลข 8 ตัว
2 Filed UNITS:	กำหนดหน่วยการวัดเป็นแบบเมตริก (METRIC)
3 Filed Stations:	กำหนดหน่วยของระยะทางทดสอบเป็นแบบกิโลเมตร (KILOMETERS)
4 Facility:	หมายเลขของสายทางที่ทำการทดสอบ โดยใช้เป็นหมายเลข 8 ดังนี้ 00011260 : หมายเลขสายทาง 00011260 : หมายเลข กม.ที่ทำการทดสอบ 00011260 : หมายเลขควบคุมสายทาง
5 Section:	ชื่อตอนควบคุมของสายทาง
6 Start/ End:	กำหนดหลักกิโลเมตรที่เริ่มและสิ้นสุดการทดสอบ
7 Test Setup:	กำหนดวิธีการทดสอบ ในที่นี้ใช้ Void Concrete
หลังจากการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม Save หรือถ้าต้องการยกเลิกให้คลิกปุ่ม Cancel	

7. ภายหลังจากที่คลิกปุ่ม Save แล้วโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอ Dynatest 8002-180 เพื่อแสดงข้อมูลรายละเอียดของโครงการที่ทำการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.3-7 หลังจากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม Test Setup และเลือกคำสั่ง Learning Targets, heights 1, 2, 3 and 4 (without smoothing) สำหรับทำการ Calibrate เครื่องมือ



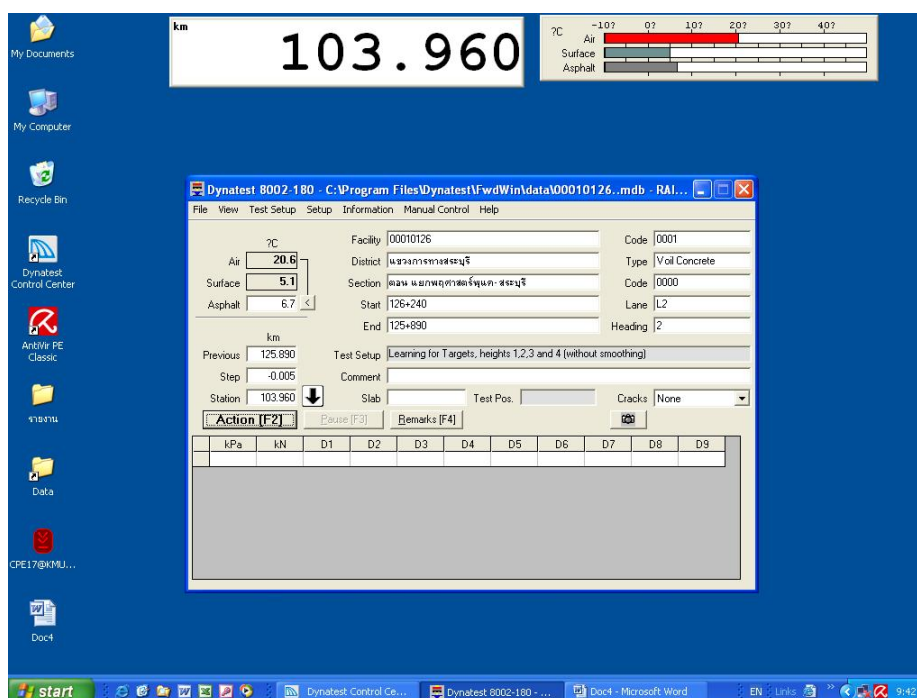
รูปที่ 2.3.3-7 หน้าจอ Dynatest 8002-180 แสดงรายละเอียดของโครงการที่ทำการทดสอบ

8. ก่อนการทดสอบในแต่ละโครงการ ต้องทำการ Calibrate เครื่องมือทดสอบก่อนการใช้งาน โดยทำการเลือก Setup Name เป็น Learning Targets, heights 1, 2, 3 and 4 (without smoothing) กด OK เครื่องจะทำการ Calibrate เครื่องมือทดสอบ ดังรูป 2.3.3-8



รูปที่ 2.3.3-8 หน้าจอ Test Setup สำหรับการ Calibrate เครื่องมือ

9. หลังจากการทำ Calibrate เครื่องมือทดสอบแล้วโปรแกรมจะกลับไปปรากฏหน้าจอ Dynatest 8002-180 ดังรูปที่ 2.3.3-9 ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของคำสั่งต่างๆ

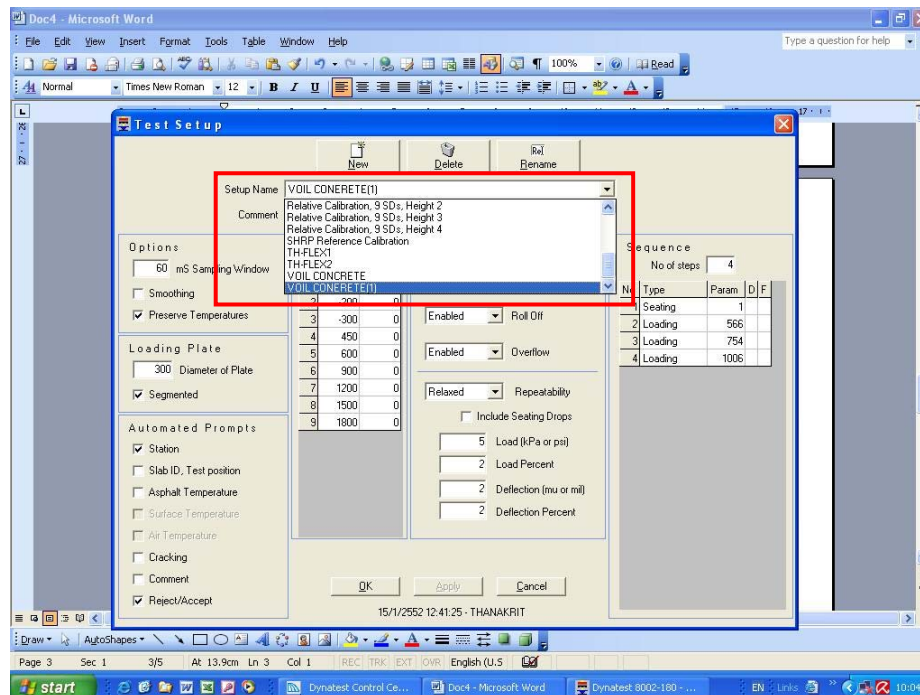


รูปที่ 2.3.3-9 หน้าจอ Dynatest 8002-180 ภายหลังจากการทำ Calibrate เครื่องมือ

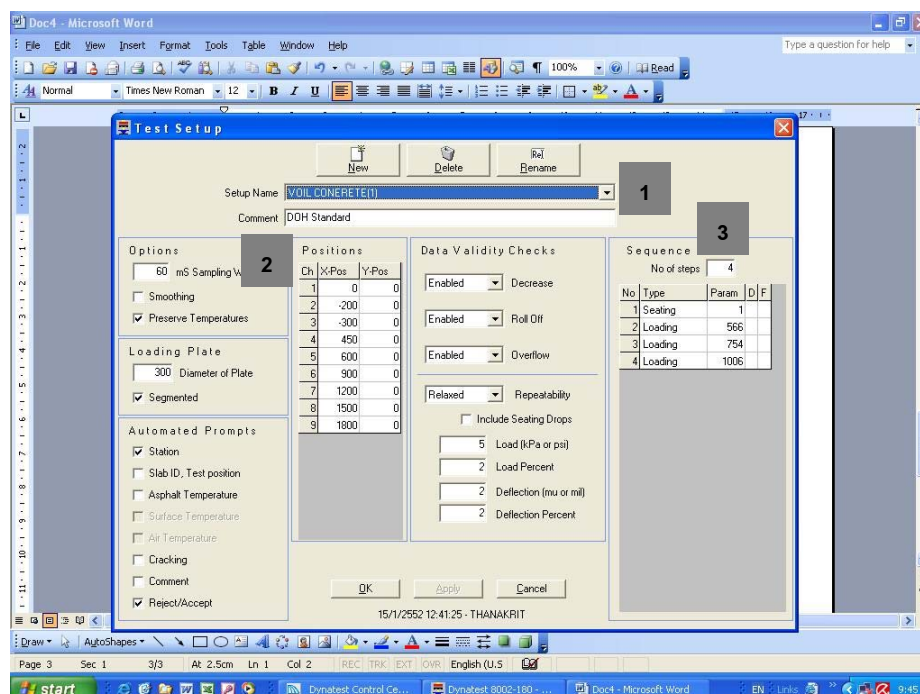
รายละเอียดของข้อมูลทดสอบ สามารถอธิบายได้ดังนี้

Code:	หมายเลขสายทาง
Type:	ชนิดของวิธีการทดสอบ ในที่นี้ใช้ Void Concrete
Lane:	ทิศทางจราจรที่ทำการทดสอบ โดยใช้สัญลักษณ์ดังนี้ L1 : ช่องจราจรที่ 1 จากเกาะกลาง ด้านซ้ายทาง (เลขกิโลเมตรเพิ่มขึ้น) L2 : ช่องจราจรที่ 2 จากเกาะกลาง ด้านซ้ายทาง (เลขกิโลเมตรเพิ่มขึ้น) R1 : ช่องจราจรที่ 1 จากเกาะกลาง ด้านขวาทาง (เลขกิโลเมตรลดลง) R2 : ช่องจราจรที่ 2 จากเกาะกลาง ด้านขวาทาง (เลขกิโลเมตรลดลง)
Asphalt:	อุณหภูมิของแผ่นพื้นคอนกรีตที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิจากการเจาะวัด
Station:	กำหนดหลักกิโลเมตรที่ทดสอบ โดยที่ ☒ สำหรับกำหนดให้ค่าหลักกิโลเมตรเพิ่มขึ้นตามทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ ☒ สำหรับกำหนดให้ค่าหลักกิโลเมตรลดลงตามทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ
Comments:	เป็นรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องของโครงการสำรวจนั้นๆ

10. ภายหลังจากการ Calibrate เครื่องมือทดสอบแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม Test Setup และเลือก Void Concrete เพื่อเริ่มทำการทดสอบ ดังรูปที่ 2.3.3-10 และรูปที่ 2.3.3-11



รูปที่ 2.3.3-10 หน้าจอ Test Setup เพื่อเลือก Setup Name



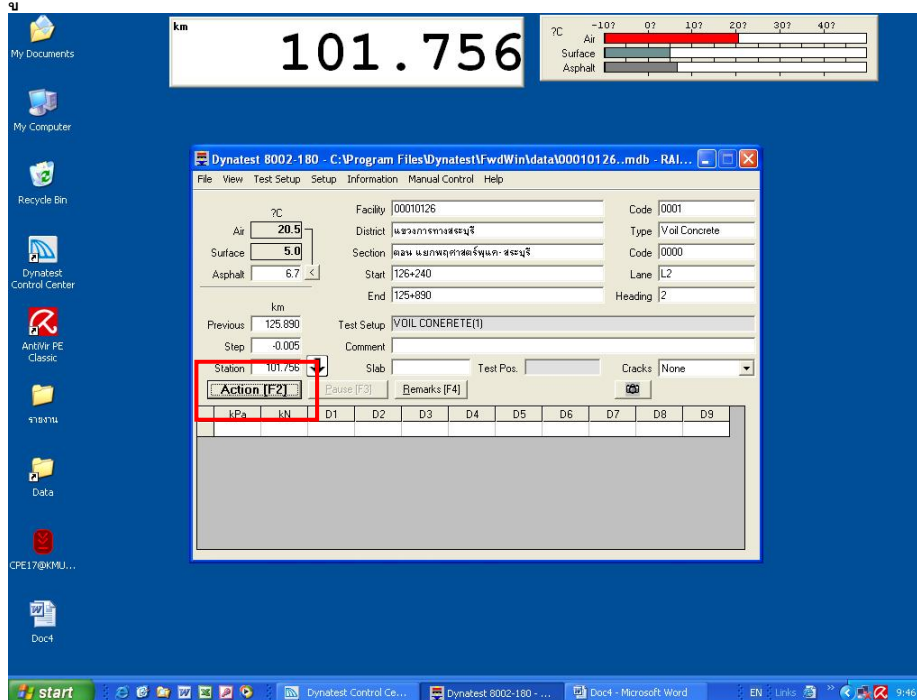
รูปที่ 2.3.3-11 หน้าจอ Test Setup สำหรับทดสอบ Void Concrete

โดยแสดงรายละเอียดการตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรมการทดสอบ Void Concrete ต่างๆ ไว้ดังนี้

- No 1 เป็น Sealing Param เท่ากับ 1 (Drop แรกทดสอบโดยไม่บันทึกข้อมูล)
- No 2 เป็น Loading Param เท่ากับ 566 kPa (Drop No. 1)
- No 3 เป็น Loading Param เท่ากับ 754 kPa (Drop No. 2)
- No 4 เป็น Loading Param เท่ากับ 1006 KPa (Drop No. 3)

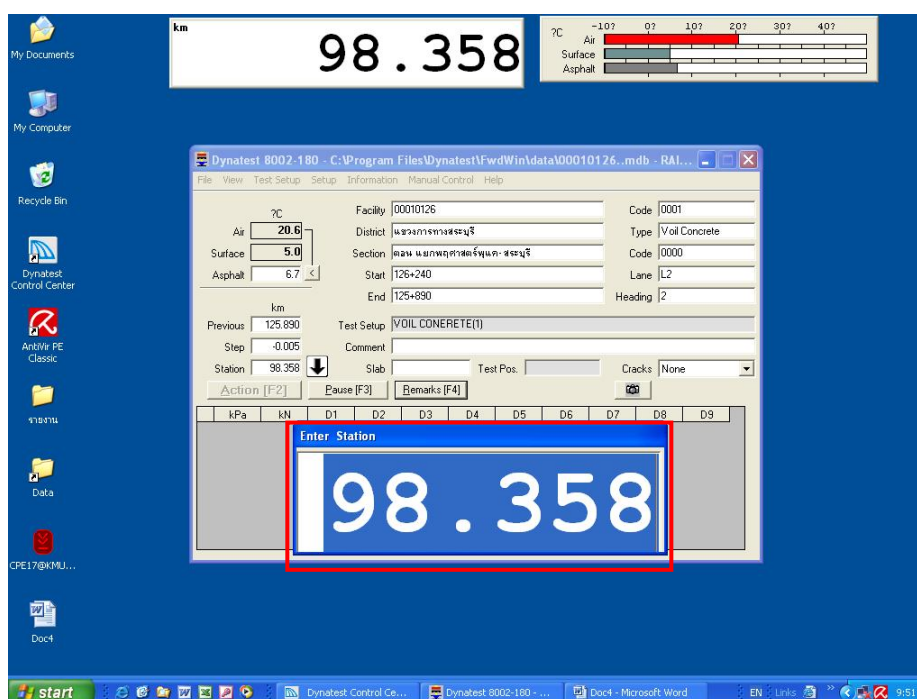
1 Setup Name	เลือก Void Concrete		
2 Positions	Ch	X-Pos	Y-Pos
	1	0	0
	2	-200	0
	3	-300	0
	4	450	0
	5	600	0
	6	900	0
	7	1200	0
	8	1500	0
	9	1800	0
3 Sequence	No	Type	Param
	1	Seating	1
	2	Loading	566
	3	Loading	754
	4	Loading	1006

จากนั้นให้คลิกที่คำสั่ง OK เครื่องจะเริ่มทำการทดสอบ โดยโปรแกรมจะกลับไปแสดงหน้าจอของ Dynatest 8002-180 ดังรูป 2.3.3-12

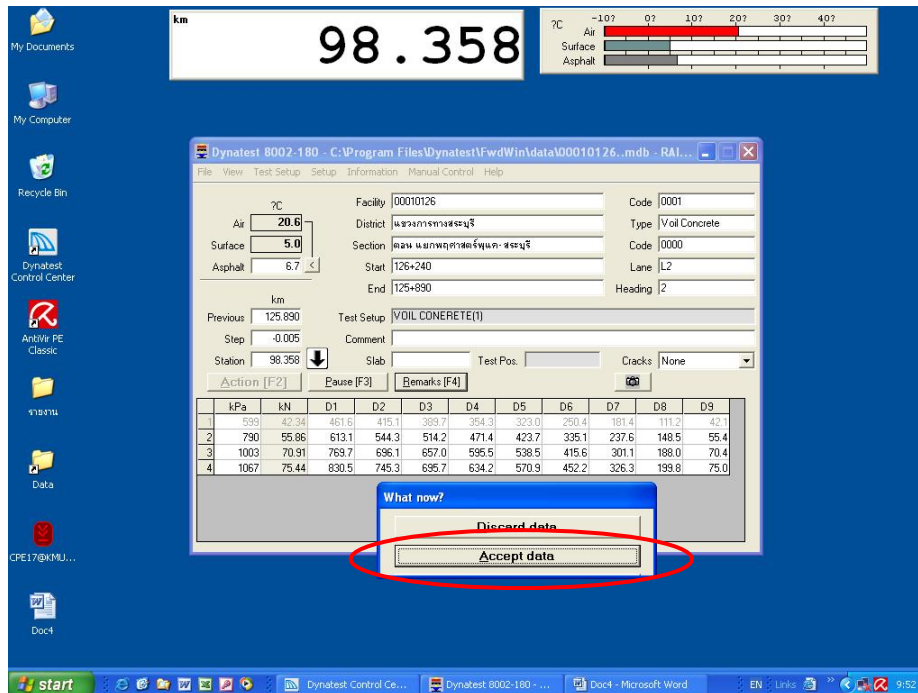


รูปที่ 2.3.3-12 โปรแกรมจะกลับไปแสดงหน้าจอของ Dynatest 8002-180

11. หลังจากนั้นให้คลิกที่ปุ่ม **Action [F2]** ของโปรแกรมที่แสดงหน้าจอ Dynatest 8002-180 เพื่อเริ่มทดสอบและเก็บบันทึกข้อมูล โดยโปรแกรมจะแสดงข้อมูลของหมายเลข กม.ที่ ณ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ ดังรูปที่ 2.3.3-13 และให้กดปุ่ม Enter ที่แป้นเพื่อยืนยันตำแหน่งทดสอบ หลังจากนั้นเครื่อง FWD จะทำการปล่อยน้ำหนักกระทำที่ตำแหน่งของแผ่นคอนกรีตโดยแสดงค่าการยุบตัวที่ตำแหน่งต่างๆ ของ Geophone จนครบทั้ง 3 Drop หลังจากนั้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอให้จัดเก็บบันทึกข้อมูลโดยการเลือกคำสั่ง **Accept Data** ดังรูปที่ 3.3.4-14 และจากนั้นให้ทำการเลื่อนรถไปยังตำแหน่งถัดไปโดยโปรแกรมจะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 2.3.3-13 อีกครั้งให้คลิกที่ปุ่ม **Action [F2]** และคำสั่ง **Accept Data** ในตำแหน่งทดสอบอื่นๆเพื่อทำการเก็บข้อมูลผลการทดสอบจนครบตลอดทั้งแนว

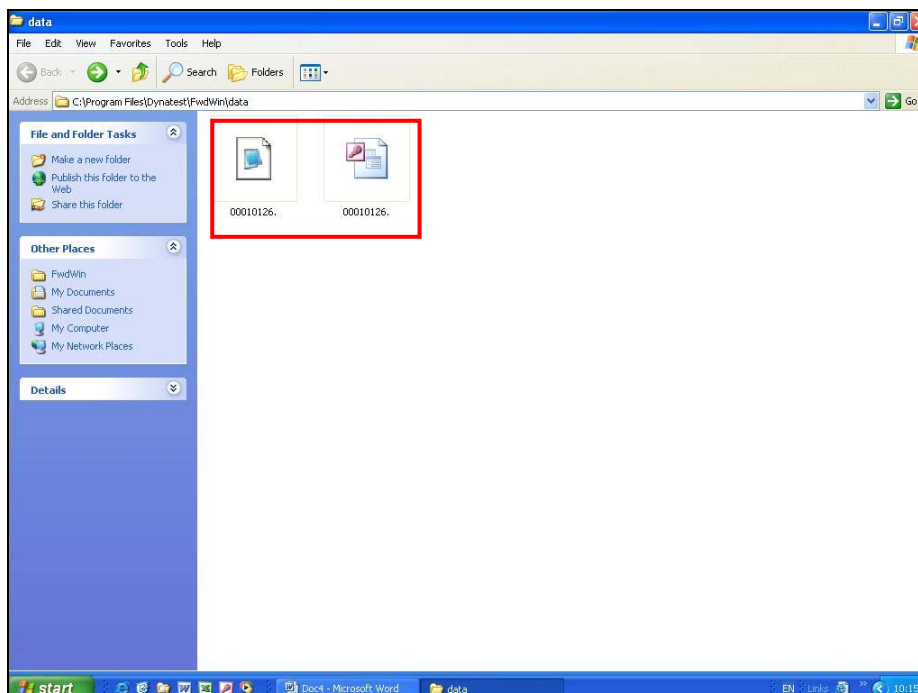


รูปที่ 2.3.3-13 โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของหมายเลข กม.ที่ ณ ตำแหน่งที่ทำการทดสอบ

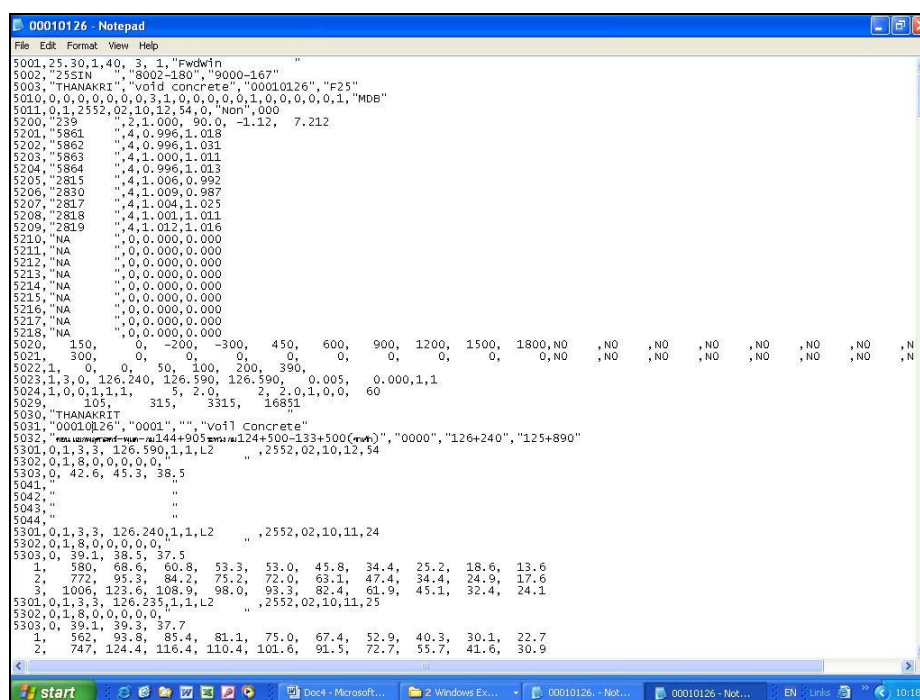


รูปที่ 2.3.3-14 โปรแกรมแสดงหน้าจอให้จัดเก็บบันทึกข้อมูล

12. ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในข้อมูลนามสกุล *.F25 ไว้ที่ตำแหน่ง *C:\Program Files\Dynatest\FwdWin\data* แสดงดังรูป 2.3.3-15 และรูปที่ 2.3.3-16 แสดงรายละเอียดของข้อมูลการทดสอบ FWD ซึ่งสามารถเปิดได้จากหน้าต่างของ Notepad



รูปที่ 2.3.3-15 ผลข้อมูลนามสกุล *.F25



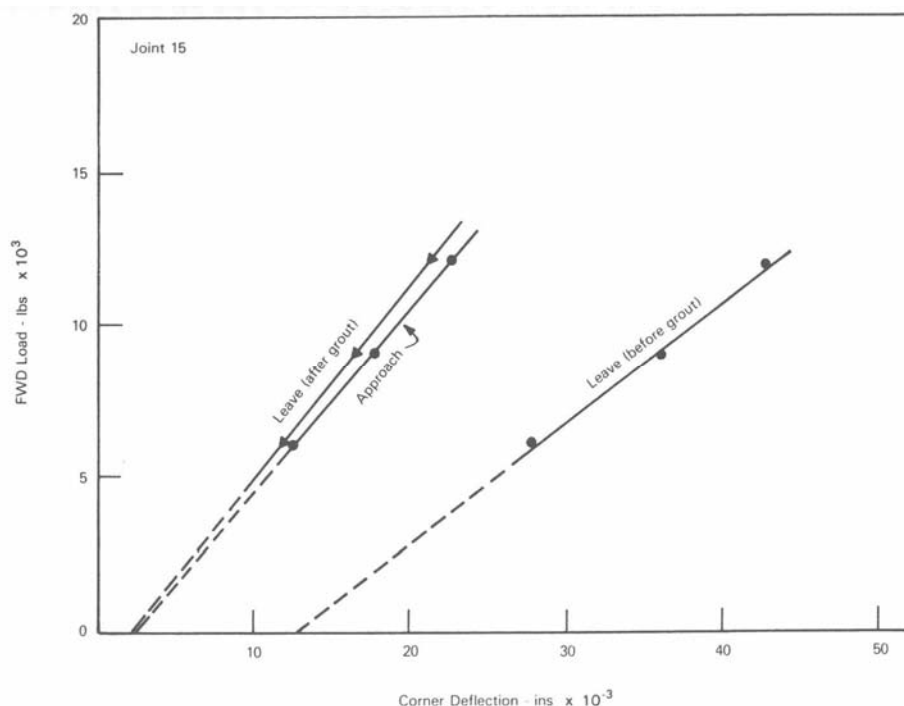
รูปที่ 2.3.3-16 รายละเอียดของข้อมูลการทดสอบ FWD

2.3.4 การประมวลผลและการแปลผลข้อมูล

AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 ได้แนะนำวิธีการตรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตไว้ 3 วิธีการคือ

1. วิธีการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวบริเวณมุมแผ่นคอนกรีต (Corner Deflection Profile)
2. วิธีการวิเคราะห์ค่าการยุบตัวบริเวณมุมแผ่นคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักกระทำที่แตกต่างกัน (Variable Load Corner Deflection Analysis)
3. วิธีการประมาณหาพื้นที่ของโพรง (Void Size Estimation Procedure)

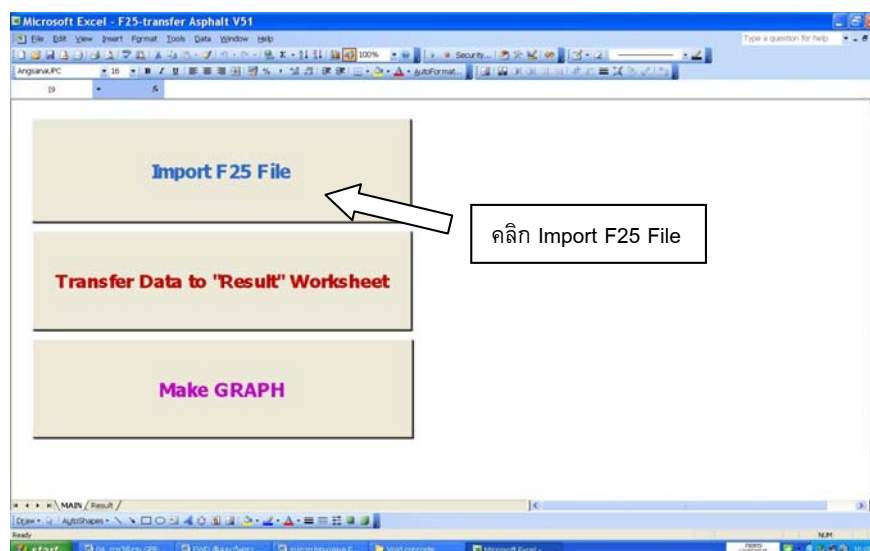
ซึ่งในคู่มือฉบับนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าการยุบตัวบริเวณมุมแผ่นคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักกระทำที่แตกต่างกันในการประมวลผลข้อมูลทดสอบ โดยการตรวจหาโพรงโดยวิธีนี้จะทำการวัดค่าการยุบตัวที่มุมแผ่นคอนกรีต โดยใช้ค่าน้ำหนักที่กระทำจำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 566 kPa (Drop 1, 2 และ 3), 754 kPa (Drop 4, 5 และ 6) และ 1006 kPa (Drop 7, 8 และ 9) จากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกระทำกับค่าการยุบตัว (Load-Deflection) ของแต่ละจุดทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.4-1 โดยกราฟ Load-Deflection ของตำแหน่งที่ไม่มีโพรงอยู่ข้างใต้จะตัดแกนค่าการยุบตัว (Deflection) ใกล้เคียงกับจุดกำเนิดและในทางตรงกันข้ามกราฟ Load-Deflection ของตำแหน่งที่มีโพรงอยู่ด้านใต้จะตัดแกนค่าการยุบตัว (Deflection) ที่ค่าการยุบตัวมากกว่า 0.050 มิลลิเมตร ซึ่งวิธีการตรวจหาโพรงโดยการเปลี่ยนค่าน้ำหนักกระทำนี้ได้ว่าเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือสูงและมีความสะดวกรวดเร็ว ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีการอ้างอิงถึงและใช้งานอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.3.4-1 กราฟ Load-deflection ของแผ่นคอนกรีต

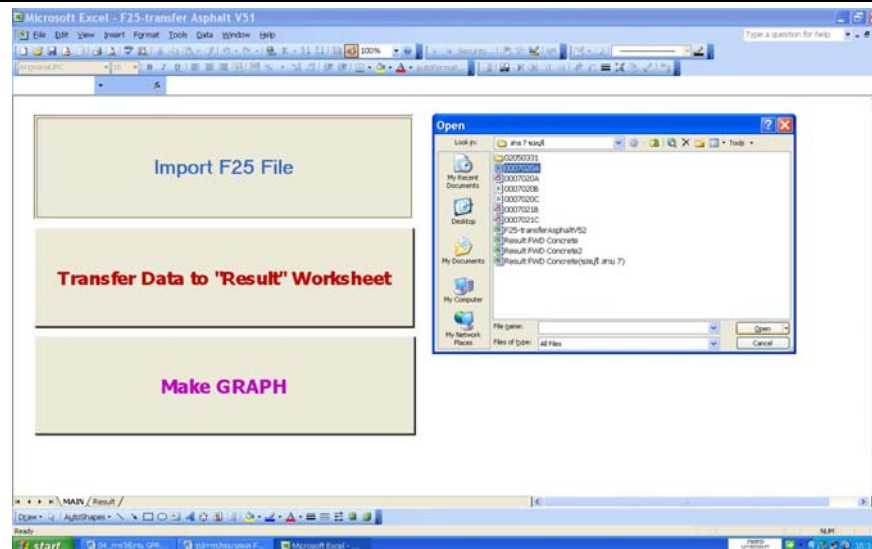
การประมวลผลการทดสอบด้วยวิธี Falling Weight Deflectometer นั้นโดยทำการคัดลอกข้อมูลจากผลการทดสอบที่ได้จัดเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์จากการทดสอบในสนาม ซึ่งข้อมูลที่ได้จะอยู่ในข้อมูลนามสกุล *.F25 และสามารถนำมาประมวลผลกับโปรแกรม Microsoft Excel ดังนี้

1. เปิดหน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel ชื่อไฟล์ F25 transfer Asphalt V52 ดังแสดงในรูปที่ 2.3.4-2



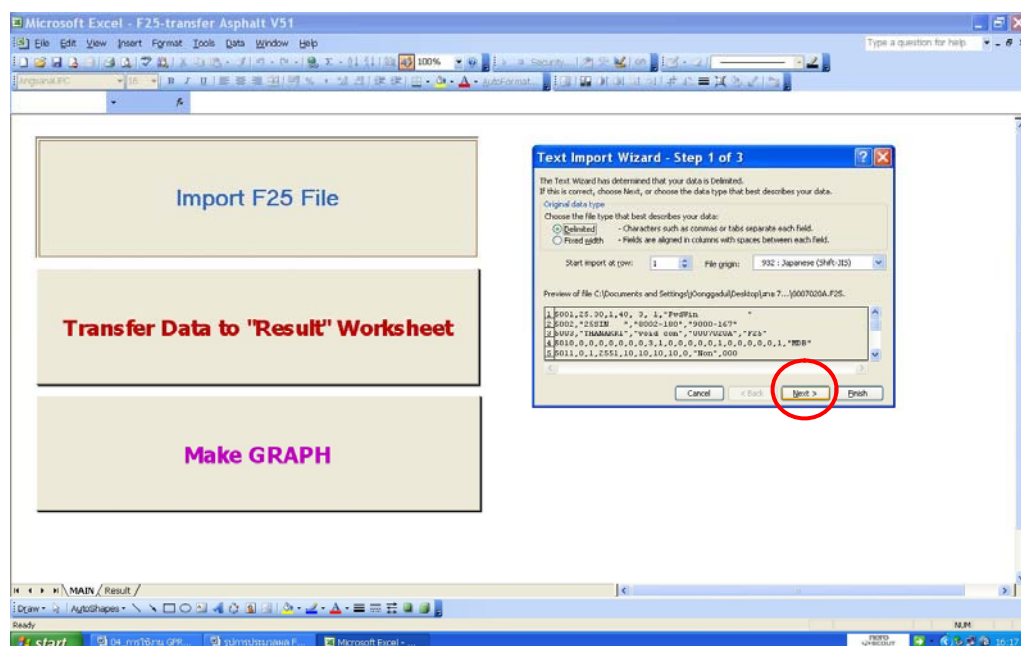
รูปที่ 2.3.4-2 หน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Excel ชื่อไฟล์ F25 transfer Asphalt V25

2. ทำการ Import File โดยการคลิกที่ปุ่ม Import F25 File ในรูปที่ 2.3.4-3 จากนั้นทำการเลือกเปิดข้อมูลนามสกุล *.F25 จากที่ได้คัดลอกมาและเก็บบันทึกไว้

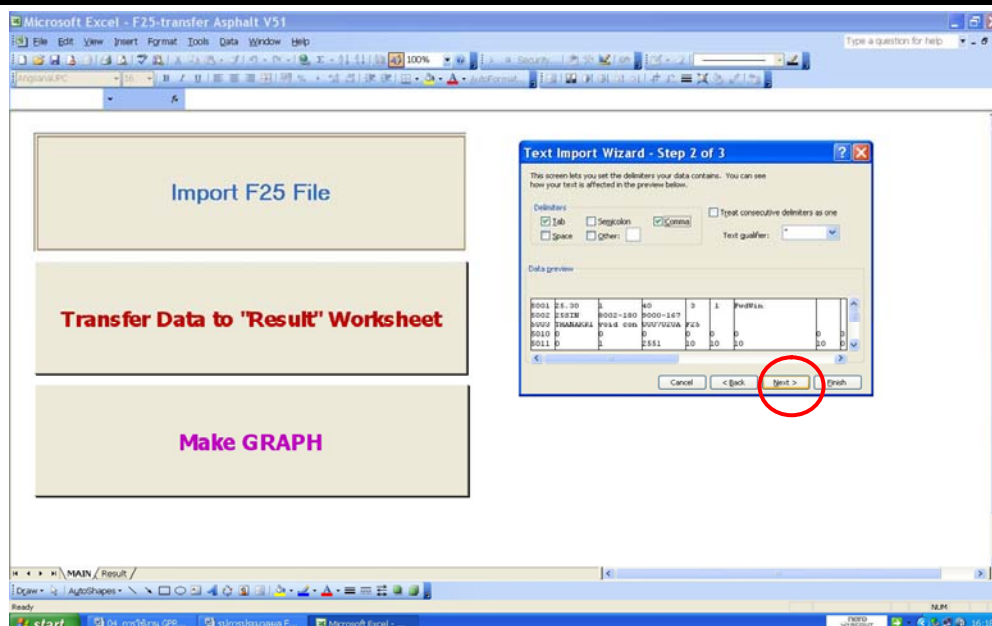


รูปที่ 2.3.4-3 หน้าต่าง Open ของการ Import File

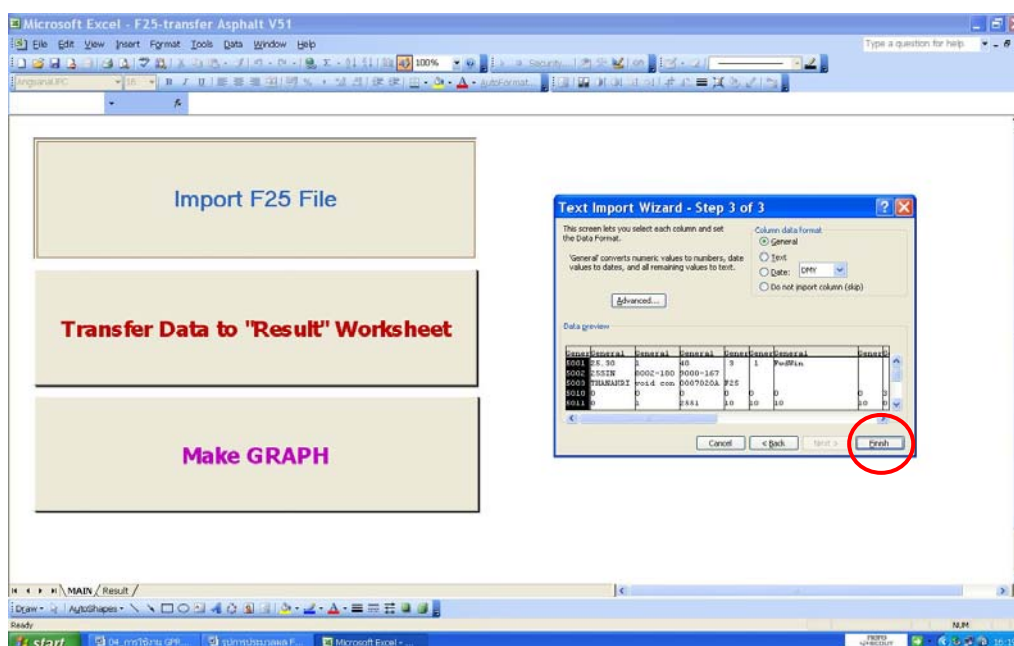
3. เมื่อคลิกปุ่ม Open จะแสดงหน้าต่าง Text Import Wizard – Step 1 of 3 ดังรูปที่ 2.3.4-4 ให้ทำการเลือกคำสั่ง Next และจะปรากฏหน้าต่างในรูปที่ 2.3.4-5 ให้ทำการเลือกที่ช่องคำสั่ง Comma และเลือกคำสั่ง Next จะปรากฏหน้าต่างในรูปที่ 2.3.4-6 จากนั้นให้คลิกที่คำสั่ง Finish โดยที่หน้าต่าง Text Import Wizard – Step ก็ะปิดไป



รูปที่ 2.3.4-4 หน้าต่าง Text Import Wizard – Step 1 of 3

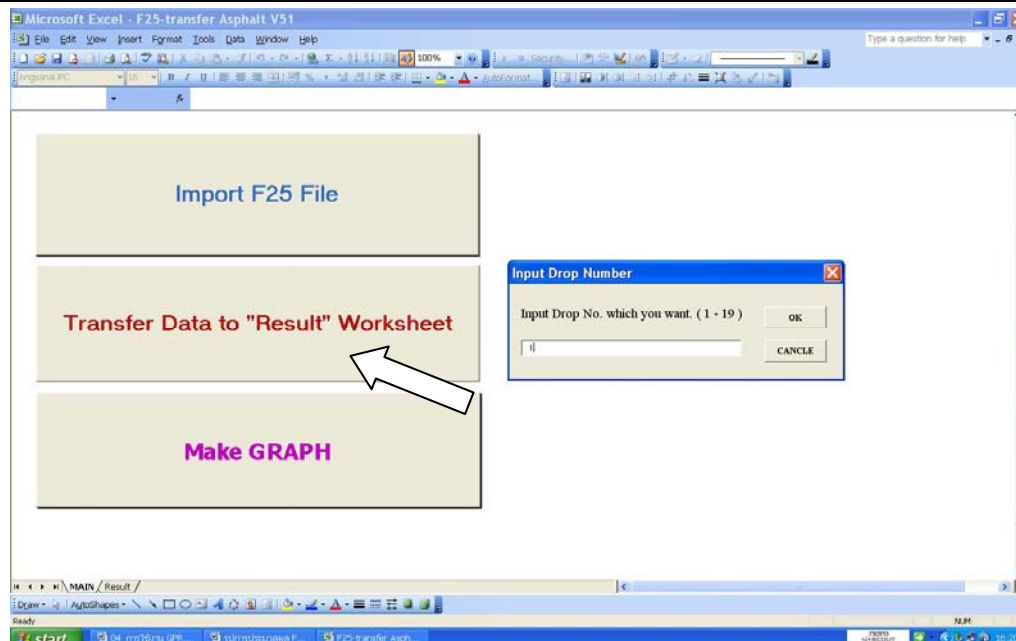


รูปที่ 2.3.4-5 หน้าต่างให้เลือกคำสั่ง Comma



รูปที่ 2.3.4-6 หน้าต่างให้ใช้คำสั่ง Finish

4. ให้ทำการคลิกที่คำสั่ง Transfer Data to “Result V25” ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 2.3.4-7 และจากนั้นให้ป้อนค่า Drop No. ที่ทำการทดสอบ โดยที่ผู้ทดสอบได้ทำการกำหนดไว้ในกาทดสอบ เช่น Drop No. 1 ถึง Drop No. 9 โดยจะต้องทำการป้อนค่าที่ละ Drop No. และค่าจะแสดงผลออกมาดังรูปที่ 2.3.4-8 แสดงค่า Deflection at Distance (mm.)



รูปที่ 2.3.4-7 หน้าต่าง Input Drop No.1-19

Microsoft Excel - F25-transfer Asphalt V51

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

100%

Angular PC

C17

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U				
1	FWD File Name	Operator	Route No.	Chaining	Surface Condition				Drop No.	Stress (kPa)	Distances at Distances ... (mm), microns														
2					Rating	Crack	Defect				0	200	300	400	600	800	1200	1500	1500						
3	0007020A	THANAKRI	7	020A	940.22	8	0	0	1	564	136	68.5	65	98.4	86.8	69.9	55.3	45.1	36.8						
4	0007020A	THANAKRI	7	020A	940.10	8	0	0	1	557	80	76.5	73.2	70.4	66.9	59.8	49.7	43.5	37.9						
5	0007020A	THANAKRI	7	020A	940.34	8	0	0	1	554	123	106.9	99.7	67	61.7	54.3	46.3	40.1	34.1						
6	0007020A	THANAKRI	7	020A	880.22	8	0	0	1	541	243.8	129.3	122	189.6	170.6	142.1	116.4	96.2	79						
7	0007020A	THANAKRI	7	020A	880.10	8	0	0	1	545	110.6	107.3	104.9	101.8	96.3	88.7	79	67.9	61.6						
8	0007020A	THANAKRI	7	020A	880.34	8	0	0	1	545	149.3	131.7	123.6	75.9	68.8	58.6	49.8	44	36						
9	0007020A	THANAKRI	7	020A	870.22	8	0	0	1	551	201.3	100	93.9	152.3	134.9	110.9	89.6	74.1	61.2						
10	0007020A	THANAKRI	7	020A	870.10	8	0	0	1	563	109.2	106.2	102.7	101.4	95.6	87.4	76.8	67.8	59						
11	0007020A	THANAKRI	7	020A	870.34	8	0	0	1	571	271.2	99.6	94.6	204.6	183.1	150	119.9	98.4	79.7						
12	0007020A	THANAKRI	7	020A	860.22	8	0	0	1	571	283.4	92.3	87.5	213.3	190	154.8	123.4	100.6	80.3						
13	0007020A	THANAKRI	7	020A	860.10	8	0	0	1	550	124.2	125.2	123.4	109.6	103.1	91.9	79.3	69.8	59.6						
14	0007020A	THANAKRI	7	020A	860.34	8	0	0	1	531	197.7	172	161.6	73.1	67.7	58.8	49.9	43.2	36.7						
15	0007020A	THANAKRI	7	020A	850.22	8	0	0	1	548	311	93.6	87.7	233.7	208.5	169.1	133.5	106.8	85.9						
16	0007020A	THANAKRI	7	020A	850.10	8	0	0	1	538	115.8	111.6	108.2	104	97	85.7	71.6	59.9	50						
17	0007020A	THANAKRI	7	020A	850.34	8	0	0	1	537	162.5	140.1	130.7	81.6	74.7	65.2	55.3	47.9	40.6						
18	0007020A	THANAKRI	7	020A	830.22	8	0	0	1	543	277.4	69.1	65.6	206	182	146	113.7	86.8	68.2						
19	0007020A	THANAKRI	7	020A	830.10	8	0	0	1	545	87.9	85.7	83.2	78.1	72.4	62.5	52.6	44.9	36.2						
20	0007020A	THANAKRI	7	020A	830.34	8	0	0	1	539	107.3	92.3	87.1	83.5	74.1	60.9	48.6	40.8	32.9						

MAR_2007

AutoShapes

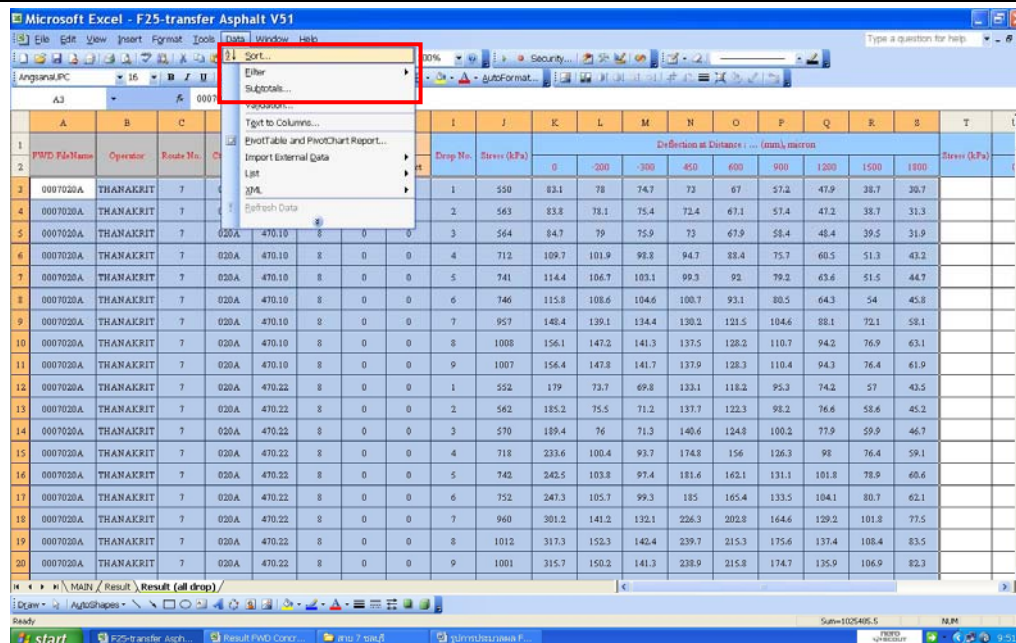
Ready

FILE

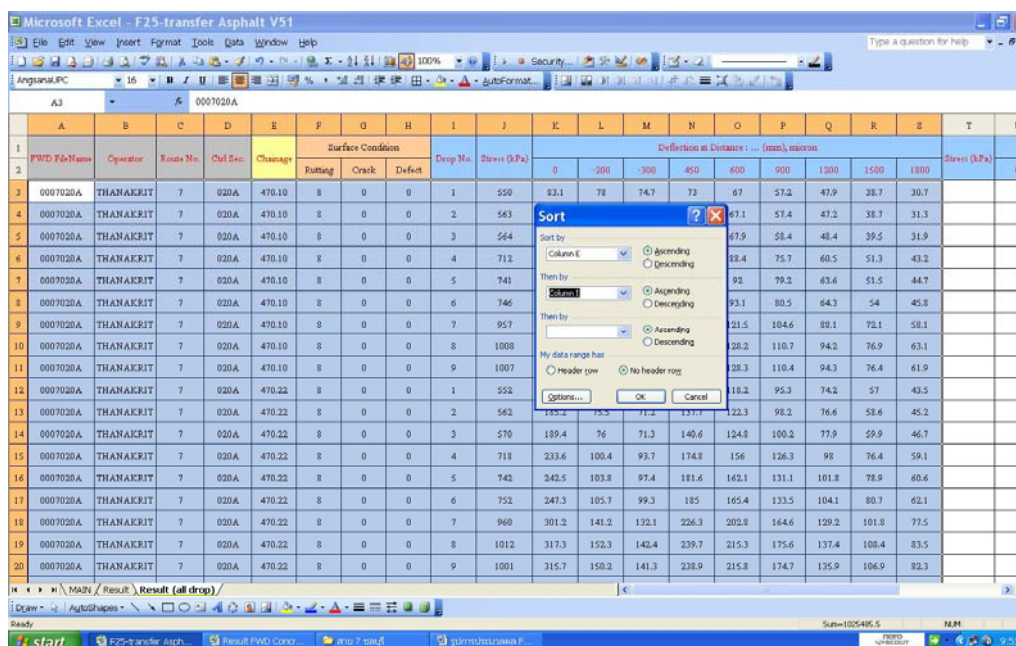
รูปที่ 2.3.4-8 ผลการทดสอบในแต่ละ Drop No.

5. จากนั้นก็ทำการป้อนค่าให้ครบทุก Drop No. ที่ทำการทดสอบในสนาม และทำการคัดลอกค่าของแต่ละ Drop No. วางไว้ต่อจากค่าของ Drop No. 1 จนครบทุก Drop No. ของทุกๆ แนวการทดสอบด้วย และให้ทำการบันทึกจัดเก็บไว้ที่หน้าต่างใหม่

6. เมื่อได้ผลการทดสอบจนครบทุก Drop No. แล้วให้ทำการเรียงลำดับข้อมูลโดยใช้คำสั่ง Sort ดังรูปที่ 2.3.4-9 ซึ่งจะต้องทำการจัดเรียงในตำแหน่ง Column ของ Chaining และ Column ของ Drop No. ดังรูปที่ 2.3.4-10 โดยผลจะแสดงถึงลำดับของ Drop No. ตั้งแต่ค่าของ Drop No. แรกจนถึงค่าของ Drop No. สุดท้าย



รูปที่ 2.3.4-9 แสดงคำสั่ง Sort ข้อมูล



รูปที่ 2.3.4-10 เลือกการ Sort ข้อมูลของ Chainage และ Drop No.

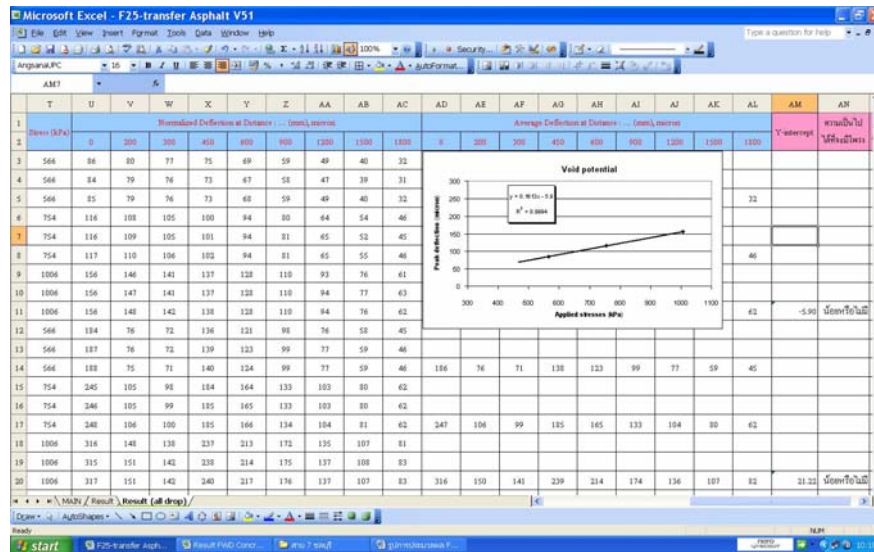
7. จากนั้นให้ทำการ Normalized Deflection at Distance เนื่องจากการปรับแก้ค่าของน้ำหนักตกกระทบบที่กระทำไม่คงที่ โดยการปรับแก้ค่าให้เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำหนักที่กระทำ คือ 566 kPa (Drop No. 1), 754 kPa (Drop No. 2) และ 1006 kPa (Drop No. 3) ดังแสดงในรูปที่ 2.3.4-11

Drop No.	Stress (kPa)	Deflection at Distance (mm)	Normalized Deflection at Distance (mm)
1	550	83.1	78
2	563	83.8	78.1
3	564	84.7	79
4	712	109.7	101.9
5	741	114.4	106.7
6	746	115.8	108.6
7	957	148.4	139.1
8	1008	156.1	147.2
9	1007	156.4	147.8
10	552	77.9	73.7
11	562	78.5	71.2
12	570	78.4	76
13	718	100.4	93.7
14	742	103.8	97.4
15	752	105.7	99.3
16	960	141.2	132.1
17	1012	152.3	142.4
18	1001	150.2	141.3

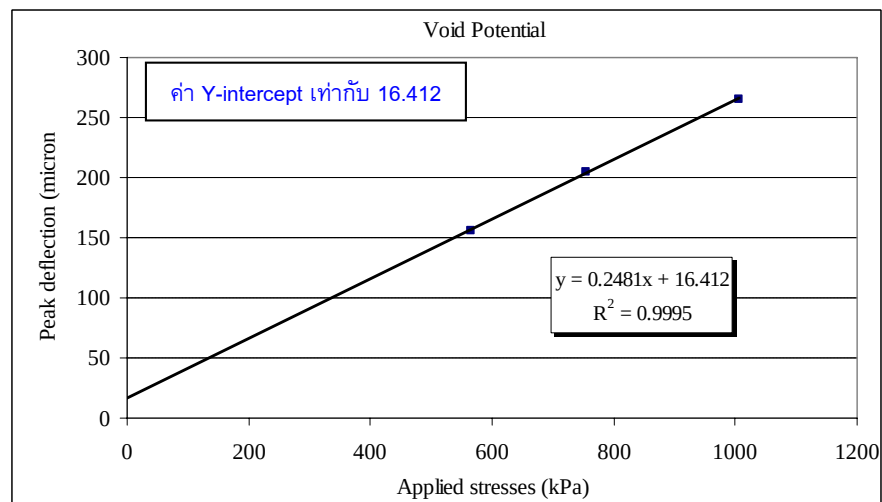
รูปที่ 2.3.4-11 การ Normalized Deflection at Distance

8. การหาความเป็นไปได้ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการทดสอบว่ามีโอกาสเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตหรือไม่ จากการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวและน้ำหนักกระทำของมุมแผ่นคอนกรีตและที่กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต (ระหว่างค่าน้ำหนักกระทำ, Stress กับค่าการยุบตัว, Normalized Deflection at Distance) ในรูปที่ 2.3.4-13 โดยกราฟนี้จะมีความแตกต่างจากกราฟที่ได้แนะนำของ AASHTO 1993 คือได้ทำการสลับแกน X และแกน Y โดยใช้ค่าการยุบตัวเป็นแกน Y และค่าน้ำหนักกระทำเป็นแกน X ซึ่งการเขียนกราฟในลักษณะนี้ จากรูปที่ 2.3.4-14 จะเห็นได้ว่าค่า R^2 ของทั้งสองกราฟมีค่าใกล้เคียง 1 มาก อันแสดงให้เห็นว่ากราฟสามารถแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวและน้ำหนักกระทำได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ในโปรแกรม Microsoft Excell ยังมีฟังก์ชัน Y-intercept สำหรับคำนวณค่า Y-intercept ความสัมพันธ์แบบ Linear ของสองตัวแปร ดังนั้นค่าจุดตัดแกนค่าการยุบตัวจึงสามารถคำนวณได้จากโปรแกรมโดยไม่ต้องพล็อตกราฟ โดยที่ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตนั้นพอสรุปได้เป็น 3 รูปแบบ ซึ่งความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาโดย ธนวิน สวัสดิ์สถานต์ (2548) ได้ให้แนวทางถึงความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงจากการคำนวณค่า Y-intercept ของกราฟดังนี้

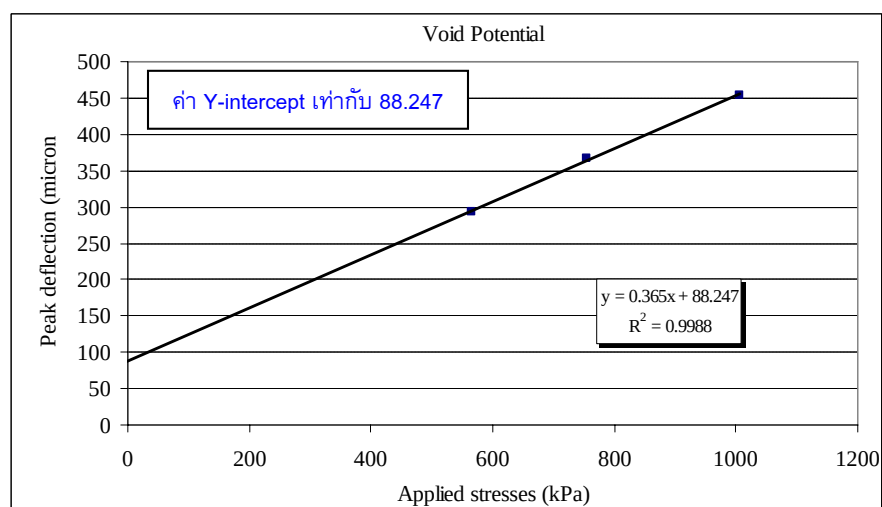
Y-intercept Criteria	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรง
Y-intercept < 50	น้อยหรือไม่มี
50 < Y-intercept < 100	ปานกลาง
Y-intercept > 100	สูง



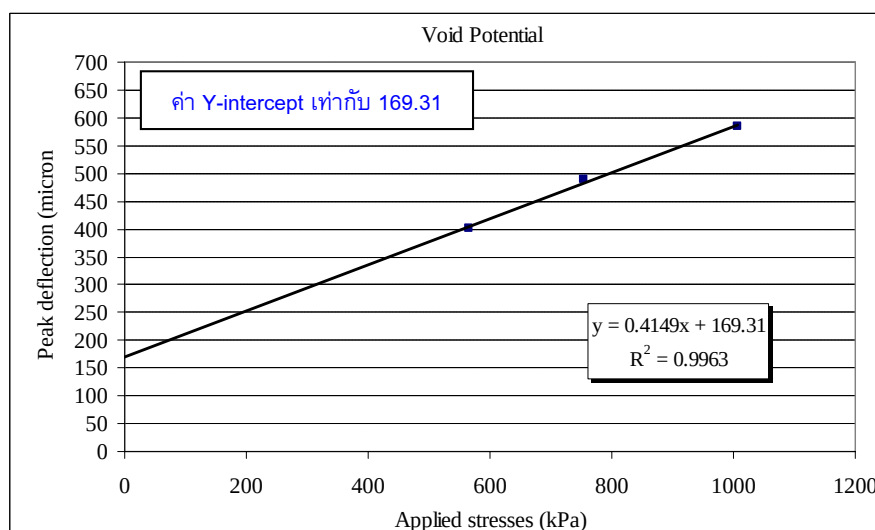
รูปที่ 2.3.4-12 ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตจากค่า Y-intercept



รูปที่ 2.3.4-13 แสดงกราฟความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต (ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงน้อย)



รูปที่ 2.3.4-14 แสดงกราฟความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต (ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงปานกลาง)



รูปที่ 2.3.4-15 แสดงกราฟความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีต (ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงสูง)

2.3.5 บทสรุป

การใช้งานเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) เพื่อให้ผู้ทำการทดสอบสามารถใช้งานอุปกรณ์และเครื่องมือได้ในเบื้องต้น ซึ่งจะต้องทำการศึกษาและฝึกการปฏิบัติงานในภาคสนามเพื่อให้เกิดความชำนาญ อีกทั้งการประมวลผลจะต้องอาศัยทฤษฎี อย่างไรก็ตามการใช้งานการสำรวจด้วยเครื่องมือ FWD ในภาคสนามนั้นจำเป็นจะต้องทราบถึงปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการทดสอบ ซึ่งการนำเครื่องมือ FWD มาใช้ในการทดสอบประเมินสภาพความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นถนนคอนกรีตนั้น เป็นแง่มุมหนึ่งในการใช้งานเครื่องมือดังกล่าวให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่ผลจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสภาพอุณหภูมิของอากาศขณะทำการทดสอบมีผลกระทบอย่างป็นนัยสำคัญต่อผลการทดสอบเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นพื้นคอนกรีตกับอุณหภูมิที่ใต้แผ่นพื้นคอนกรีตจึงทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตเกิดการโก่งงอทำให้มีผลกระทบต่อผลการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD ด้วยเหตุนี้จึงสรุปได้ว่า ช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบคือช่วงเวลาเช้าถึงช่วงเวลาก่อนเที่ยง เพราะเป็นช่วงที่ Temperature Gradient ไม่สูงและต่ำไปมากเกินไปนัก ทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตยังไม่มี การโก่งงอเพียงพอที่จะส่งผลต่อการทดสอบได้

สำหรับวิธีการทดสอบ FWD ที่มีการทดสอบบริเวณกลางแผ่นคอนกรีตนั้น เนื่องจากพฤติกรรมของแผ่นคอนกรีตไม่เป็นแบบคานยื่นตามทฤษฎีของ FWD ตลอดจนในกรณีที่แผ่นคอนกรีตที่แตกเสียหายมากๆ นั้นพบว่าการตรวจสอบเพื่อหาโพรงใต้แผ่นคอนกรีตจากข้อมูลผลการทดสอบที่ได้นั้นไม่มีความแม่นยำมากนัก ซึ่งทำให้แนวการทดสอบที่บริเวณกลางแผ่นคอนกรีตอาจต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบหาโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

บทที่ 3

การประเมินผลสำรวจสำหรับการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีต

การประเมินผลจากการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตจากแบบฟอร์มการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีต, การสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) และการสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) ซึ่งผลจากการสำรวจในแต่ละวิธีนั้นจะต้องนำผลถึงความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีตมาพิจารณาถึงลำดับความสำคัญและให้น้ำหนักคะแนนความเหมาะสม ตามสภาพความเสียหายและลำดับความสำคัญที่จะต้องทำการซ่อมบำรุงผิวทางคอนกรีตในแต่ละวิธีการให้มีความเหมาะสมกับงบประมาณที่ได้รับ รวมทั้งเป็นการรวบรวมปริมาณความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อผิวทางในพื้นที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

3.1 การประเมินผลสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)

การให้น้ำหนักความสำคัญจากการสำรวจด้วยสายตานั้นเป็นการสำรวจและตรวจสอบเพื่อประเมินความเสียหายผิวทางคอนกรีต โดยน้ำหนักของคะแนนมีดังนี้

น้ำหนักคะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
0	น้อยหรือไม่มี
1	ปานกลาง
2	สูง

การสำรวจด้วยสายตานั้นเป็นการสำรวจและตรวจสอบเพื่อประเมินความเสียหายของแต่ละแผ่นคอนกรีตในเบื้องต้น โดยผู้ที่ทำการสำรวจจะต้องทำการประเมินจากลักษณะของความเสียหายของแผ่นคอนกรีต และเป็นการประเมินถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตโดยให้ลำดับคะแนนดังนี้

ลักษณะของความเสียหาย	การสำรวจด้วยสายตา
	น้ำหนักคะแนน (0 - 2)
ไม่พบความเสียหายของแผ่นถนนคอนกรีต	0
รอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack)	1
รอยแตกตามขวาง (Transverse Crack)	1
รอยแตกบริเวณมุม (Corner Crack)	1
ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)	
- ตามแนวยาว	1
- ตามแนวขวาง	1
รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (Divided Slab / Punch Out)	1
การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Drop Off)	1
การแยกตัวของไหล่ทาง (Lane to Shoulder Separation)	1
รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (Concrete Pavement Patching)	
- สภาพดี	1
- เสียหายมาก	2
การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง (Pumping)	2
รอยเลื่อนต่างระดับ (Faulting)	2

3.2 การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR)

สำหรับในการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR นั้น จากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการสำรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตมีความเหมาะสม ผลการสำรวจสามารถตรวจพบตำแหน่ง ขอบเขต และความลึกของโพรงได้ชัดเจนมากที่สุด ดังนั้นการให้น้ำหนักความสำคัญจากรูปแบบความผิดปกติของสัญญาณ GPR จึงให้น้ำหนักของคะแนนที่สูงกว่าวิธีอื่นดังนี้

น้ำหนักคะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
0	น้อยมากหรือไม่มี
1	ปานกลาง
2	สูง
3	สูงมาก

การหาความเป็นไปได้ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการทดสอบว่ามีโอกาสเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตจากผลการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR โดยพิจารณาจากข้อสมมุติฐานว่ามีลักษณะเป็นช่องว่างใต้แผ่นคอนกรีตและวัสดุของโครงสร้างชั้นทางมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน โดยให้ลำดับคะแนนดังนี้

การประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีต	การสำรวจด้วย GPR
	น้ำหนักคะแนน (0 - 3)
ลักษณะของชั้นทางที่ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	0
วัสดุของโครงสร้างชั้นทางมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน	1
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต และมีความต่างระดับของวัสดุชั้นทาง	2
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต แต่ไม่พบความต่างระดับของวัสดุชั้นทาง	2
มีลักษณะเป็นกระเปาะใต้แผ่นคอนกรีตและวัสดุของโครงสร้างชั้นทางมีลักษณะไม่ต่อเนื่องกัน	3
มีความผิดปกติลักษณะความเข้ม Amplitude สูง บริเวณรอยต่อใต้แผ่นคอนกรีต และบริเวณชั้นทางมีลักษณะยาว	3

3.3 การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)

การให้น้ำหนักความสำคัญจากสภาพความเสียหายของผิวทางคอนกรีต จากการสำรวจด้วยเครื่องมือ FWD สามารถให้น้ำหนักของคะแนนความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีตจากการหาความเป็นไปได้ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการทดสอบว่ามีโอกาสเกิดโพรงใต้แผ่นคอนกรีตจากการคำนวณค่า Y-intercept ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัวและน้ำหนักกระทำของมุมแผ่นคอนกรีตและที่กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต โดยให้ลำดับคะแนนดังนี้

ค่าจุดตัดแกน (Microns)	การสำรวจด้วย FWD	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต
	น้ำหนักคะแนน (0 - 2)	
Y-intercept < 50	0	น้อยหรือไม่มี
50 < Y-intercept < 100	1	ปานกลาง
Y-intercept > 100	2	สูง

3.4 การประเมินผลการซ่อมบำรุงจากการประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

เมื่อผู้ปฏิบัติงานสำรวจได้ทำการสำรวจและตรวจสอบสภาพของผิวทางคอนกรีตทั้ง 3 วิธี คือ การประเมินผลสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection), การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) และการประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) นั้นให้นำคะแนนที่ได้จากการสำรวจที่ตำแหน่ง

- ด้านหัวแผ่น
- ที่กลางแผ่น
- ด้านท้ายแผ่น

การให้คะแนนตามระดับของความเสียหายจากการตรวจสอบทั้ง 3 วิธีการนั้นจึงทำการสรุปถึงความเป็นไปได้ในการเกิดโพรงบริเวณใต้แผ่นคอนกรีตในแต่ละตำแหน่ง โดยช่วงของลำดับคะแนนสามารถสรุปได้ดังนี้

ช่วงของคะแนนรวมในแต่ละตำแหน่ง	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรง
0 - 2	น้อยหรือไม่มี
3 - 7	สูง

หมายเหตุ: คะแนนรวมสูงสุดเท่ากับ 7 คะแนน โดยคะแนนรวมทั้งหมดมาจากการประเมินผลสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) + การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) + การประเมินผลสำรวจด้วยเครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD)

เมื่อทำการรวมคะแนนจากการประเมินทั้ง 3 วิธีการที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 9 จุดใน 1 แผ่นคอนกรีตแล้ว สามารถประเมินถึงจำนวนของโพรงที่อยู่ใต้แผ่นคอนกรีต โดยการประเมินผลการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการต่างๆ ที่เหมาะสมดังนี้

รวมจำนวนจุดที่มีโพรงใน 1 แผ่นคอนกรีต	คิดเป็นร้อยละ	การประเมินการซ่อมบำรุง
0 จุด	-	No Subsealing
1 – 5 จุด	10 – 50 %	Subsealing
> 5 จุด	> 50%	Full Depth

สำหรับการทดสอบที่อาจมีข้อจำกัดในสนามที่ไม่สามารถทำได้ 3 แนว เช่นกรณีทดสอบได้ 2 แนว ซึ่งทำให้มีข้อมูลผลการทดสอบที่ได้มีจำนวน 6 จุดใน 1 แผ่นคอนกรีต โดยทำการประเมินผลการซ่อมบำรุงจากจำนวนของโพรงที่อยู่ใต้แผ่นคอนกรีตดังนี้

รวมจำนวนจุดที่มีโพรงใน 1 แผ่นคอนกรีต	คิดเป็นร้อยละ	การประเมินการซ่อมบำรุง
0 จุด	-	No Subsealing
1 – 3 จุด	16 – 50 %	Subsealing
> 3 จุด	> 50%	Full Depth

ข้อเสนอแนะของการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงถนนคอนกรีตจากสัดส่วนของโพรงใต้แผ่นคอนกรีตเป็นเพียงข้อเสนอแนะเบื้องต้นจากการศึกษา ซึ่งสำนักวิจัยและพัฒนาทางจะได้ทำการศึกษาต่อไปในกรณีดังกล่าวในการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมกับผลการสำรวจโพรงใต้ถนนคอนกรีตและความเสียหายของถนนคอนกรีต

จากข้อมูลการประมวลผลการสำรวจและสรุปถึงความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 3.4-1 และผลการประเมินการซ่อมบำรุงตามวิธีการที่เหมาะสมสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.4-2

ตารางที่ 3.4-1 ตารางสรุปการประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

สำนักทางหลวง	แขวงทางหลวง/สำนักบำรุงทาง		หมวดการทาง	หมายเลขควบคุม	ตอน	
ชื่อผู้สำรวจ	วันที่สำรวจ		สภาพอากาศ	เริ่มการสำรวจ กม.ที่	ถึง กม.ที่	
แนวสำรวจ (Line)	แผ่นที่	ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง)	สำรวจด้าน	ช่องทางจราจร	แผ่นถนนคอนกรีตหนา	
รูปถ่าย			รูปสเก็ต			
รูปถ่ายหมายเลข (ภาพรวม)			←ทิศทางจราจร→ 10 m ด้านซ้ายแผ่น ที่กลางแผ่น ด้านหัวแผ่น			
กม. ที่	กม. ที่ (ด้านท้ายแผ่น)		กม. ที่ (ที่กลางแผ่น)		กม. ที่ (ด้านหัวแผ่น)	
Visual Inspection	รูปถ่าย - ด้านท้ายแผ่น		รูปถ่าย - ที่กลางแผ่น		รูปถ่าย - ด้านหัวแผ่น	
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	
	น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	0-2	น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	0-2	น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	
FWD	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
		น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	0-2		น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	0-2
GPR	ภาพ GPR Scan					
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	
	น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	0-3	น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	0-3	น้อยหรือไม่มี, ปานกลาง, สูง	

ตารางที่ 3.4-2 ตารางสรุปผลการสำรวจและผลการประเมินการซ่อมบำรุงตามวิธีการที่เหมาะสม

แผ่น ที่	กม. ที่	ตำแหน่ง	การประเมินผลการสำรวจ									ความเป็นไป ได้ที่จะมีโพรง			จำนวนจุดที่ มีโพรง			รวม จำนวนจุด ที่มีโพรง	ผลการ ประเมิน
			Visual Inspection			FWD			GPR			0 – 2 (น้อย หรือไม่มี)			0 = (ไม่มี)				
												3 – 7 (สูง)			1 = (มี)				
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
		ด้านหัว แผ่น																	
		ที่กลาง แผ่น																	
		ด้านท้าย แผ่น																	

หมายเหตุ :

ความเป็นไปได้ของการเกิดโพรง

ช่วงของคะแนนรวมในแต่ละตำแหน่ง	ความเป็นไปได้ที่จะมีโพรง
0-2	น้อยหรือไม่มี
3-7	สูง

ผลการประเมินสำหรับการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม

รวมจำนวนจุดที่มีโพรงใน 1 แผ่น คอนกรีต (ทดสอบ 9 จุด)	คิดเป็นร้อยละ	การประเมินการซ่อมบำรุง
0 จุด	-	No Subsealing
1-5 จุด	10 - 50%	Subsealing
> 5 จุด	> 50%	Full Depth

รวมจำนวนจุดที่มีโพรงใน 1 แผ่น คอนกรีต (ทดสอบ 6 จุด)	คิดเป็นร้อยละ	การประเมินการซ่อมบำรุง
0 จุด	-	No Subsealing
1-3 จุด	16 - 50%	Subsealing
> 3 จุด	> 50%	Full Depth

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง, การสัมมนาวิศวกรรมกรรมการทาง ครั้งที่ 2 (มนัส คอวนิช) งานสะพาน และงานบำรุง, 2546

กรมทางหลวง, มาตรฐานที่ ทล.-ม. 327/2543 มาตรฐานการอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นพื้นถนนคอนกรีต (Sub sealing), 2543

กรมทางหลวง, รายงานฉบับที่ วพ 206 เรื่อง การประเมินสภาพผิวทางถนนที่มีผิวชนิดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ คอนกรีตโดยใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer ในประเทศไทย, 2546

กรมทางหลวง, รายงานฉบับที่ วพ 211 เรื่อง การตรวจวัดการอุดซ่อมโพรงใต้แผ่นคอนกรีต โดยใช้เครื่องมือ GPR และ FWD, 2547

กรมทางหลวง, โครงการตรวจสอบโพรงในบริเวณใต้รอยต่อถนนคอนกรีตด้วยเครื่องมือ FWD และ GPR การปฏิบัติราชการภาคสนามที่ จังหวัดลพบุรี, 2549

ชยธันว์ พรหมพร และเสกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, การตรวจสอบวิเคราะห์สภาพถนนคอนกรีตด้วย Falling Weight Deflectometer: กรณีศึกษาทางหลวงหมายเลข 304 ตอนมีนบุรี – ฉะเชิงเทรา, น. 295-304. กรุงเทพมหานคร: 2546

เหม โจ้วศิริ, กิรติ ขยันการนาวิ และ จีรกุล บุญคำ, คู่มือการซ่อมบำรุงถนนคอนกรีต. “บทความทางวิชาการ สัมมนาเจ้าหน้าที่วิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ประจำปีงบประมาณ 2544, น. 315–404. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์ (ร.ส.พ.), 2544

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง, คู่มือการทดสอบโดยใช้เครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR), 53 น. 2547

ชนวิน สวัสดิ์สานต์ และเสกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, การตรวจหาโพรงใต้ถนนคอนกรีตด้วยเครื่อง Falling Weight Deflectometer (FWD), การสัมมนาประจำปี สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ประจำปีงบประมาณ 2548, น. 1-14.: 2548

American Association of State Highway and Transportation Officials, “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures”, pp. III-41 – III-45, Washington D.C., USA.

Com.pea.co.th, **Ground-Penetrating Radar**, http://www.com.pea.co.th/type_x/corporate_service.php?id_service=121#tools_8

Daniels D.J., 1996, **Surface Penetration Radar**, The Institute of Electrical Engineers, London, UK.

Geophysical Survey Systems, Inc., 2002, **SIRveyor SIR-20: User's Quick Start Guide**, New Hampshire, USA.

GSSI, 2006, **3101 Series Antennas System Setting and User Notes**, New Hampshire, USA.

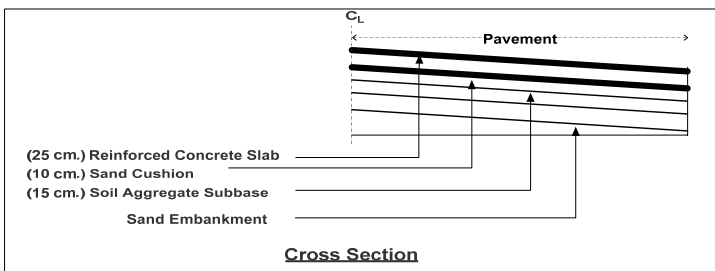
GSSI, 2008, **Antennas**, <http://www.geophysical.com/antennas.htm>

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างผลการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีต

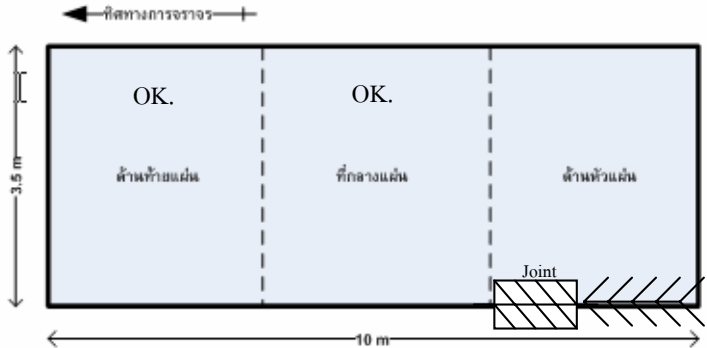
(ตัวอย่าง) แบบฟอร์มการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา

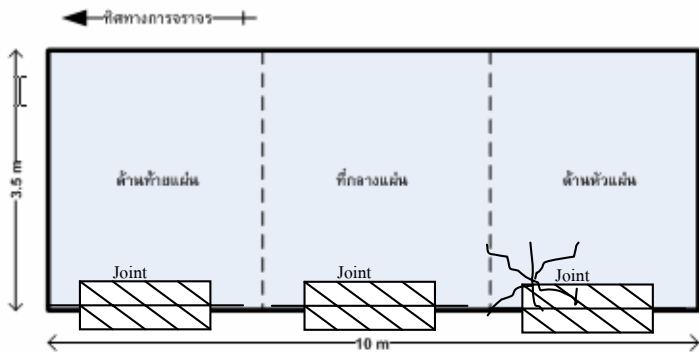
ชื่อผู้สำรวจ: สำนักวิจัยและพัฒนาทางหลวง, ตำแหน่ง: วิศวกร, หมายเลขโทรศัพท์: 02-3546668
วันที่สำรวจ: 19 / กุมภาพันธ์ / 2552, เริ่มเวลา: 9.00 น., เสร็จเวลา: 12.00 น.
สภาพอากาศ: แจ่มใส

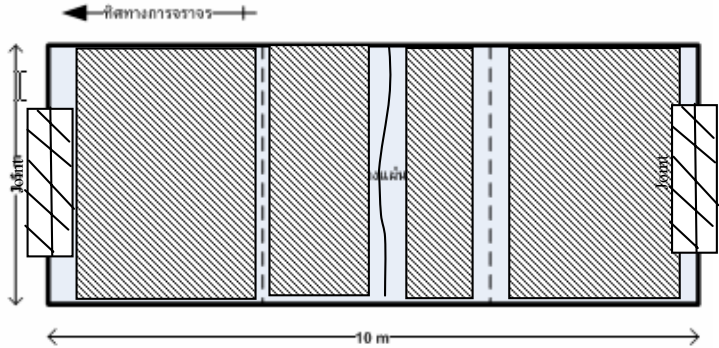
สำนักทางหลวง	แขวงทางหลวง	หมวดทางหลวง	หมายเลขสายทาง	หมายเลขควบคุม	ระยะทางรวม (กม.)
11	สำนักบำรุงทางนนทบุรี	บางใหญ่	9	200	0.120
ตอน ม.กม. 59+577 (ต่อเขตแขวงปทุมธานี) กม. ที่ 39+820 ถึง กม. ที่ 39+840 พื้นที่อำเภอ บางใหญ่ จังหวัด นนทบุรี					
พิกัด GPS เริ่มต้น-สิ้นสุด การสำรวจ	(✓) ไม่มี	() มี, พิกัดเริ่มต้น พิกัดสิ้นสุด	E : , N : E : , N :		
สำรวจ	สำรวจด้าน : () ด้านขวาทาง (✓) ด้านซ้ายทาง	ช่องทางจราจร : (✓) ช่องทางหลัก () ช่องทางคู่ขนาน	ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) Main Road : () ช่องที่ 1, () ช่องที่ 2, (✓) ช่องที่ 3, () ช่องที่ 4 Frontage Road : () FR 1, () FR 2, () FR 3, () FR 4		
ข้อมูลสายทาง	เขตทางกว้าง : 80 ม. ความกว้างผิวจราจรทั้งหมด : 42 ม. จำนวนช่องจราจร : 12 ช่อง ช่องจราจรกว้าง : 3.5 ม. ไหล่ทางซ้ายกว้าง : 2.5 ม. ไหล่ทางขวากว้าง : 2.5 ม.		 Cross Section		
อายุการใช้งาน: 10 ปี ปริมาณการจราจร: 60,999 คัน/วัน ปริมาณบรรทุก: - คัน/วัน					
รูปแบบชั้นทาง	ชนิดผิวทาง :	(✓) คอนกรีต ความหนา 25.0 เซนติเมตร () แอสฟัลต์ (Overlay) ความหนา เซนติเมตร ช่วง กม.ที่ ถึง กม.ที่ ระยะเวลา Overlay ถึงปัจจุบัน ปี เดือน			
	ชนิดไหล่ทาง :	() ไม่มี	มี ชนิด : (✓) คอนกรีต ความหนา 25.0 เซนติเมตร () แอสฟัลต์ ความหนา เซนติเมตร		
	ชั้นพื้นทาง :	วัสดุชนิด : (✓) ทรายบดอัด ความหนา 10.0 เซนติเมตร () ความหนา เซนติเมตร			
	ชั้นรองพื้นทาง :	วัสดุชนิด : (✓) วัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) ความหนา 15.0 เซนติเมตร () ความหนา เซนติเมตร			

(ตัวอย่าง) แบบฟอร์มการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา (ต่อ)

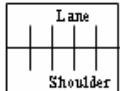
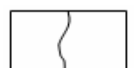
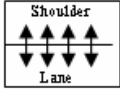
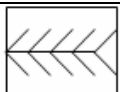
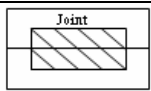
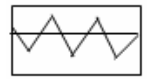
ประวัติการซ่อมบำรุง	☐ ยังไม่เคยมีการซ่อมบำรุง
	☒ มีการซ่อมบำรุงแล้ว, ครั้งที่.....1.....เมื่อวันที่.....-.....-.....ตอน.....-..... ช่วง กม.ที่ 39+820.....ถึง กม.ที่.....39+940.....รวมระยะทาง.....0.120.....กม. ☒ ด้านซ้ายทาง ☐ ด้านขวาทาง ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง) 1..... รายละเอียดการซ่อมบำรุง : ☐ Subsealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น , ปริมาณซีเมนต์ กิโลกรัม ☒ Full-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต 1..... แผ่น ☐ Partial-Depth Repair จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น ☐ Repair of Joint Sealing จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น ☐ Crack Filling จำนวนแผ่นคอนกรีต แผ่น

ลักษณะความเสียหายของแผ่นผิวทางคอนกรีตด้วยสายตา (Visual Inspection)			
แผ่นที่ 1 กม.ที่ 39+820 ถึง กม.ที่ 39+830 ช่องจราจรที่ 3 จากเกาะกลาง (ตามทิศทางการจราจร)			
	รูปถ่าย	รูปสเก็ต (สัญลักษณ์ความเสียหาย)	
			
ตำแหน่ง	รูปถ่าย	ชนิดของความเสียหาย	
หัวแผ่น		☐ 1 ไม่พบความเสียหาย ☐ 2 รอยแตกตามยาว ☐ 3 รอยแตกตามขวาง ☐ 4 รอยแตกบริเวณมุม ☒ 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ ☒ ตามแนวยาว ☐ ตามแนวขวาง ☐ 6 รอยเลื่อนต่างระดับ	☐ 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง ☐ 8 การแยกตัวของไหล่ทาง ☒ 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง ☐ 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก ☐ 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต ☐ สภาพดี ☐ เสียหายมาก ☐ 12 อื่นๆ
กลางแผ่น		☒ 1 ไม่พบความเสียหาย ☐ 2 รอยแตกตามยาว ☐ 3 รอยแตกตามขวาง ☐ 4 รอยแตกบริเวณมุม ☐ 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ ☐ ตามแนวยาว ☐ ตามแนวขวาง ☐ 6 รอยเลื่อนต่างระดับ	☐ 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง ☐ 8 การแยกตัวของไหล่ทาง ☐ 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง ☐ 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก ☐ 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต ☐ สภาพดี ☐ เสียหายมาก ☐ 12 อื่นๆ
ท้ายแผ่น		☒ 1 ไม่พบความเสียหาย ☐ 2 รอยแตกตามยาว ☐ 3 รอยแตกตามขวาง ☐ 4 รอยแตกบริเวณมุม ☐ 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ ☐ ตามแนวยาว ☐ ตามแนวขวาง ☐ 6 รอยเลื่อนต่างระดับ	☐ 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง ☐ 8 การแยกตัวของไหล่ทาง ☐ 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง ☐ 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก ☐ 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต ☐ สภาพดี ☐ เสียหายมาก ☐ 12 อื่นๆ

ลักษณะความเสียหายของแผ่นผิวทางคอนกรีตด้วยสายตา (Visual Inspection)			
แผ่นที่ 2 กม.ที่ 39+830 ถึง กม.ที่ 39+840 ช่องจราจรที่ 3 จากเกาะกลาง (ตามทิศทางการจราจร)			
	รูปถ่าย	รูปสเก็ต (สัญลักษณ์ความเสียหาย)	
			
ตำแหน่ง	รูปถ่าย	ชนิดของความเสียหาย	
หัวแผ่น		() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม (✓) 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ - (✓) ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ () 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง (✓) 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก () 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - () เสียหายมาก () 12 อื่นๆ	
กลางแผ่น		() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม (✓) 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ - (✓) ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ () 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก () 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - () เสียหายมาก () 12 อื่นๆ	
ท้ายแผ่น		() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม (✓) 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ - (✓) ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ () 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก () 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - () เสียหายมาก () 12 อื่นๆ	

ลักษณะความเสียหายของแผ่นผิวทางคอนกรีตด้วยสายตา (Visual Inspection)			
แผ่นที่ 8 กม.ที่ 39+890 ถึง กม.ที่ 39+900 ช่องจราจรที่ 3 จากเกาะกลาง (ตามทิศทางการจราจร)			
	รูปถ่าย	รูปสเก็ต (สัญลักษณ์ความเสียหาย)	
			
ตำแหน่ง	รูปถ่าย	ชนิดของความเสียหาย	
หัวแผ่น		() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม (✓) 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ - () ตามแนวยาว - (✓) ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ () 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (✓) 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - (✓) เสียหายมาก () 12 อื่นๆ	
กลางแผ่น		() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว (✓) 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม () 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ - () ตามแนวยาว - () ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ () 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (✓) 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - (✓) เสียหายมาก () 12 อื่นๆ	
ท้ายแผ่น		() 1 ไม่พบความเสียหาย () 2 รอยแตกตามยาว () 3 รอยแตกตามขวาง () 4 รอยแตกบริเวณมุม (✓) 5 ความเสียหายของวัสดุยาแนว รอยต่อ - () ตามแนวยาว - (✓) ตามแนวขวาง () 6 รอยเลื่อนต่างระดับ () 7 การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง () 8 การแยกตัวของไหล่ทาง () 9 การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง () 10 รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก (✓) 11 รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต - () สภาพดี - (✓) เสียหายมาก () 12 อื่นๆ	

(ตัวอย่าง) แบบฟอร์มการสำรวจและวิเคราะห์ความเสียหายของถนนคอนกรีตด้วยสายตา (ต่อ)

ลักษณะความเสียหายของแผ่นผิวทางคอนกรีตสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection)				
หมายเหตุ	สัญลักษณ์ความเสียหาย :			
	ไม่พบความเสียหาย			
	รอยแตกตามยาว		การทรุดตัวต่างระดับของไหล่ทาง	
	รอยแตกตามขวาง		การแยกตัวของไหล่ทาง	
	รอยแตกบริเวณมุม		การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง	
	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ		รอยแตกลักษณะแผ่นพื้นถูกแบ่งแยก	
	รอยเลื่อนต่างระดับ		รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต	

(ตัวอย่าง) การประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

สำนักทางหลวง	แขวงทางหลวง/สำนักบำรุงทาง	หมวดการทาง	หมายเลขควบคุม	ตอน
11	สำนักบำรุงทางนนทบุรี	บางใหญ่	0200	บางบัวทอง-กม.59+577
ชื่อผู้สำรวจ	วันที่สำรวจ	สภาพอากาศ	เริ่มการสำรวจ กม.ที่	ถึง กม.ที่
สำนักวิจัยและพัฒนาทาง	19-ก.พ.-52	แจ่มใส	39+820	39+940

รูปถ่าย					
รูปสเก็ต					

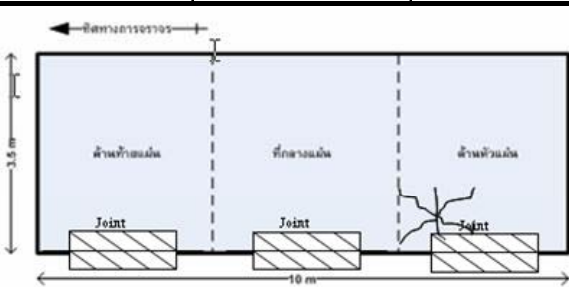
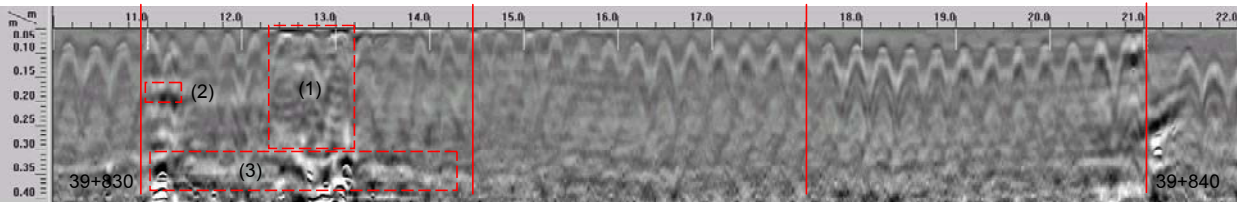
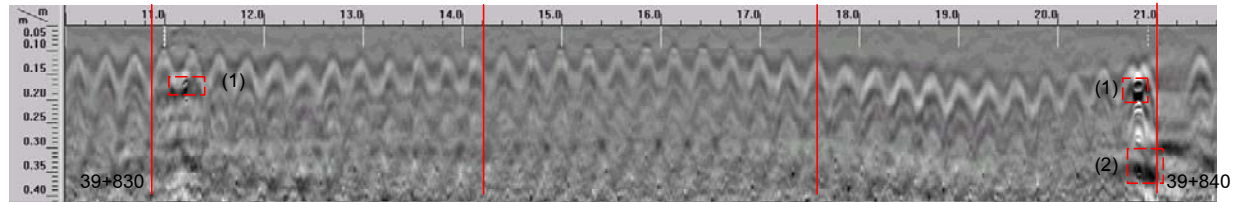
แนวสำรวจ	แผนที่	ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง)	สำรวจด้าน	ช่องทางจราจร	แผ่นถนนคอนกรีตหนา				
A, B	1	3	ซ้ายทาง	ช่องทางหลัก	25 เซนติเมตร				
กม.ที่	39+820		39+825		39+830				
FWD	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	178.26	สูง	1	7.00	น้อยหรือไม่มี	0	16.00	น้อยหรือไม่มี	0

Visual Inspection						
	1) การสูญเสียมวลรวมละเอียดของชั้นโครงสร้างทาง 2) ความเสียหายของวัสดุแอสฟัลต์ (ตามแนวยาว) 3) รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (เสียหายมาก)		ไม่พบความเสียหายของแผ่นถนนคอนกรีต		ไม่พบความเสียหายของแผ่นถนนคอนกรีต	
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	สูง	2	น้อย	0	น้อย	0

GPR Line A						
	1) พบ Low Amplitude Zone เนื่องจากจากผ่านรอยปะซ่อม		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	
	2) พบแถบ High Amplitude ด้านล่าง					
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
สูงมาก	3	น้อย	0	น้อย	0	

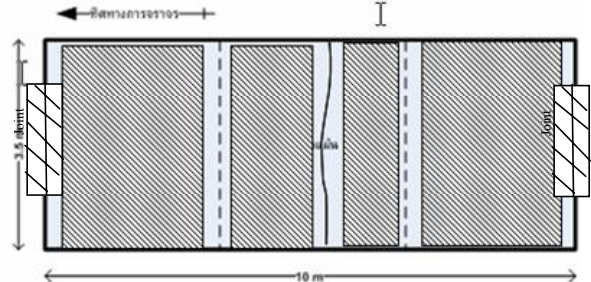
GPR Line B						
	1) พบกระเปาะบริเวณรอยต่อ		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR	
	2) พบแถบ High Amplitude ด้านล่าง					
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
สูงมาก	3	น้อย	0	น้อย	0	

(ตัวอย่าง) การประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

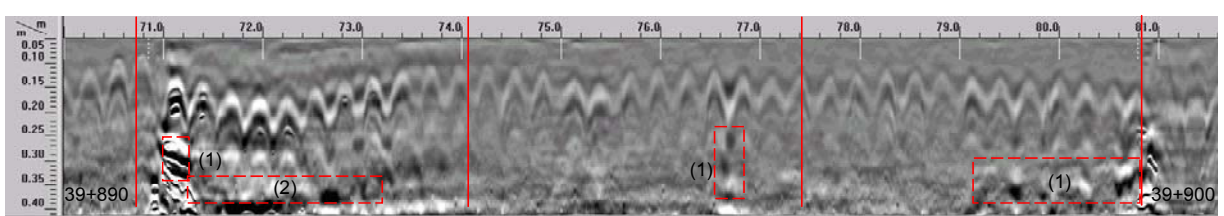
สำนักทางหลวง	แขวงทางหลวง/สำนักบำรุงทาง	หมวดการทาง	หมายเลขควบคุม	ตอน					
11	สำนักบำรุงทางนนทบุรี	บางใหญ่	0200	บางบัวทอง-กม.59+577					
ชื่อผู้สำรวจ	วันที่สำรวจ	สภาพอากาศ	เริ่มการสำรวจ กม.ที่	ถึง กม.ที่					
สำนักวิจัยและพัฒนาทาง	19-ก.พ.-52	แจ่มใส	39+820	39+940					
รูปถ่าย	รูปสเก็ต								
									
แนวสำรวจ	แผ่นที่	ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง)	สำรวจด้าน	ช่องทางจราจร	แผ่นถนนคอนกรีตหนา				
A, B	2	3	ซ้ายทาง	ช่องทางหลัก	25 เซนติเมตร				
กม.ที่	39+830		39+835		39+840				
FWD	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	337.96	สูง	1	0.51	น้อยหรือไม่มี	0	-1.34	น้อยหรือไม่มี	0
Visual Inspection									
	1) รอยแตกลักษณะแยกอิสระ 2) ความเสียหายของวัสดุแอสฟัลต์ (ตามแนวยาว)		1) ความเสียหายของวัสดุแอสฟัลต์ (ตามแนวยาว)		1) ความเสียหายของวัสดุแอสฟัลต์ (ตามแนวยาว)				
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน			
	ปานกลาง	1	ปานกลาง	1	ปานกลาง	1			
GPR Line A									
	1) พบ Low Amplitude Zone เนื่องจากจากผ่านรอยปะซ่อม 2) พบกระเปาะบริเวณรอยต่อ 3) พบแถบ High Amplitude ด้านล่าง		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR				
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน			
	สูง	2	น้อย	0	น้อย	0			
GPR Line B									
	1) พบกระเปาะบริเวณรอยต่อ		ไม่พบความผิดปกติของสัญญาณ GPR		1) พบกระเปาะเล็กๆ บริเวณรอยต่อ 2) พบกระเปาะบริเวณรอยต่อ				
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน			
	น้อย	0	น้อย	0	ปานกลาง	1			

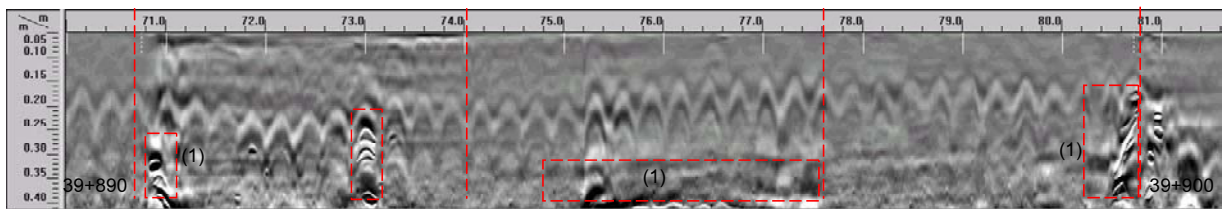
(ตัวอย่าง) การประเมินผลการสำรวจความเป็นไปได้ที่จะมีโพรงใต้แผ่นคอนกรีต

สำนักทางหลวง	แขวงทางหลวง/สำนักบำรุงทาง	หมวดการทาง	หมายเลขควบคุม	ตอน
11	สำนักบำรุงทางนนทบุรี	บางใหญ่	0200	บางบัวทอง-กม.59+577
ชื่อผู้สำรวจ	วันที่สำรวจ	สภาพอากาศ	เริ่มการสำรวจ กม.ที่	ถึง กม.ที่
สำนักวิจัยและพัฒนาทางหลวง	19-ก.พ.-52	แจ่มใส	39+820	39+940

รูปถ่าย	รูปสเก็ต 								
แนวสำรวจ	แผนที่	ช่องจราจรที่ (จากเกาะกลาง)	สำรวจด้าน	ช่องทางจราจร	แผ่นถนนคอนกรีตหนา				
A, B	8	3	ซ้ายทาง	ช่องทางหลัก	25 เซนติเมตร				
กม.ที่	39+890		39+895		39+900				
FWD	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	Y-intercept	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	1.64	น้อยหรือไม่มี	0	-22.74	น้อยหรือไม่มี	0	72.57	ปานกลาง	0

Visual Inspection						
	1) ความเสียหายของวัสดุแอสฟัลต์ (ตามแนวขวาง) 2) รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (เสียหายมาก)		1) รอยแตกตามขวาง 2) รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (เสียหายมาก)		1) ความเสียหายของวัสดุแอสฟัลต์ (ตามแนวขวาง) 2) รอยปะซ่อมผิวคอนกรีต (เสียหายมาก)	
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	สูง	2	สูง	2	สูง	2

GPR Line A						
	1) พบความผิดปกติของสัญญาณ พบลักษณะ High Amplitude ของโพรง 2) พบแถบ High Amplitude ด้านล่าง		1) พบกระเปาะใต้แผ่นคอนกรีต		1) พบแถบ High Amplitude ด้านล่าง	
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	สูงมาก	3	ปานกลาง	1	ปานกลาง	1

GPR Line B						
	1) พบความผิดปกติของสัญญาณ พบลักษณะ High Amplitude ของโพรง		1) พบแถบ High Amplitude ด้านล่าง		1) พบสัญญาณผิดปกติบริเวณรอยต่อเนื่องจากแผ่นคอนกรีตแตกกร้าว	
	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน	ความเป็นไปได้ที่จะเกิดโพรง	คะแนน
	สูง	2	สูง	2	ปานกลาง	1

(ตัวอย่าง) สรุปผลการสำรวจและผลการประเมินการซ่อมบำรุงตามวิธีการที่เหมาะสม

แผ่นที่	กม.ที่	ตำแหน่ง	การประเมินผลการสำรวจ						คะแนนรวมแต่ละแนว		ความเป็นไปได้ในการเกิดโพรง		จำนวนจุดที่มีโพรง		รวมจำนวนจุดที่มีโพรง	ผลการประเมิน
			FWD		Visual Inspection		GPR				0 - 2	น้อยหรือไม่มี	0	ไม่มี		
			A	B	A	B	A	B	A	B	3 - 7	สูง	1	มี		
1	39+820 - 39+830	ด้านหัวแผ่น	1	1	2	2	3	3	6.0	6.0	สูง	สูง	1.00	1.00	2.0	Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
2	39+830 - 39+840	ด้านหัวแผ่น	1	0	1	1	2	0	4.0	1.0	สูง	น้อยหรือไม่มี	1.00	0.00	1.0	Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	0	1	1.0	2.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
3	39+840 - 39+850	ด้านหัวแผ่น	0	0	1	1	1	1	2.0	2.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	0.0	No Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
4	39+850 - 39+860	ด้านหัวแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	0.0	No Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
5	39+860 - 39+870	ด้านหัวแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	0.0	No Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
6	39+870 - 39+880	ด้านหัวแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	2.0	Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	2	2	2	2	4.0	4.0	สูง	สูง	1.00	1.00		

(ตัวอย่าง) สรุปผลการสำรวจและผลการประเมินการซ่อมบำรุงตามวิธีการที่เหมาะสม (ต่อ)

แผ่นที่	กม.ที่	ตำแหน่ง	การประเมินผลการสำรวจ						คะแนนรวมแต่ละแนว		ความเป็นไปได้ในการเกิดโพรง		จำนวนจุดที่มีโพรง		รวมจำนวนจุดที่มีโพรง	ผลการประเมิน
			FWD		Visual Inspection		GPR				0 - 2	น้อยหรือไม่มี	0	ไม่มี		
			A	B	A	B	A	B	A	B	3 - 7	สูง	1	มี		
7	39+880 - 39+890	ด้านหัวแผ่น	0	0	2	2	0	0	2.0	2.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	2.0	Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	2	2	3	3	5.0	5.0	สูง	สูง	1.00	1.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
8	39+890 - 39+900	ด้านหัวแผ่น	0	0	2	2	3	2	5.0	4.0	สูง	สูง	1.00	1.00	6.0	Full Depth
		ด้านกลางแผ่น	0	0	2	2	1	2	3.0	4.0	สูง	สูง	1.00	1.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	1	2	2	1	1	3.0	4.0	สูง	สูง	1.00	1.00		
9	39+900 - 39+910	ด้านหัวแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	0.0	No Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
10	39+910 - 39+920	ด้านหัวแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00	0.0	No Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	0	1	1.0	2.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
11	39+920 - 39+930	ด้านหัวแผ่น	0	1	2	2	3	3	5.0	6.0	สูง	สูง	1.00	1.00	4.0	Full Depth
		ด้านกลางแผ่น	0	0	1	1	3	3	4.0	4.0	สูง	สูง	1.00	1.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	1	1	2.0	2.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
12	39+930 - 39+940	ด้านหัวแผ่น	0	0	2	2	3	2	5.0	4.0	สูง	สูง	1.00	1.00	2.0	Subsealing
		ด้านกลางแผ่น	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		
		ด้านท้ายแผ่น	0	0	1	1	0	0	1.0	1.0	น้อยหรือไม่มี	น้อยหรือไม่มี	0.00	0.00		

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของ Macro ของแต่ละความถี่

รายละเอียด Marco

ความถี่ของสายอากาศจากไฟล์ Macro ที่ได้ให้มากับโปรแกรม GSSI มีดังนี้

1. ความถี่ของสายอากาศ 1.5 GHz (Model 5100)

ความลึกที่ปรากฏในหน้าแสดงผลประมาณ 0.45 เมตร ในคอนกรีต

Range: 12 nS

Sample per Scan: 512

Resolution: 16 bits

Number of gain points: 2

Vertical High Pass Filter: 250 MHz

Vertical Low Pass Filter: 3050 MHz

Scans per second: 100

Vertical IIR High Pass N = 2F = 100 MHz

Transmit Rate: 100 KHz

2. ความถี่ของสายอากาศ 900 MHz (Model 3101D)

ความลึกที่ปรากฏในหน้าแสดงผลประมาณ 1 เมตร ในคอนกรีต (สมมติค่า Dielectric Constant = 5)

Range: 15 nS

Sample per Scan: 512

Resolution: 16 bits

Number of gain points: 2

Vertical High Pass Filter: 225 MHz

Vertical Low Pass Filter: 2500 MHz

Scans per second: 64

Horizontal IIR Stack TC (Smoothing): 3 Scans

Transmit Rate: 64 KHz

3. ความถี่ของสายอากาศ 400 MHz (Model 5103)

ความลึกที่ปรากฏในหน้าแสดงผลประมาณ 2.5 เมตร ในคอนกรีต (สมมติค่า Dielectric Constant = 9)

Range: 50 nS

Sample per Scan: 512

Resolution: 16 bits

Number of gain points: 5

Vertical High Pass Filter: 100 MHz

Vertical Low Pass Filter: 800 MHz

Scans per second: 64

Transmit Rate: 64 KHz

4. ความถี่ของสายอากาศ 200 MHz (Model 5106)

ความถี่ต่ำเหมาะสำหรับสำรวจที่ระดับลึก

Range: 100 nS

Sample per Scan: 512

Resolution: 16 bits

Number of gain points: 5

Vertical High Pass Filter: 50 MHz

Vertical Low Pass Filter: 600 MHz

Scans per second: 64

Transmit Rate: 64 KHz