บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดสอบสำหรับการศึกษาวิจัย

3.1 บทนำเรื่อง

เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ เป็นการตรวจวัดควบคุมความสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินที่เกิดขึ้นเนื่องจากการตอกเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมตันขนาด 0.35 ม.x 0.35 ม.จำนวนทั้งสิ้น 2,655 ต้น ในการก่อสร้างฐานรากอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9,10 และอาคารกรองน้ำในบริเวณโรงกรองน้ำบางเขน กรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เพื่อที่จะทำการศึกษาถึงผลที่เกิดจากความสั่นสะเทือน และการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน ว่าสามารถที่จะควบคุมมิให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงที่มีอยู่เดิม ในบริเวณพื้นที่ขอบเขตรัศมี 15.00 เมตร จากแนวอาคารข้างเคียง โดยระหว่างที่ทำการตอกเสาเข็มได้ทำการตรวจวัดและควบคุมความสั่นสะเทือน รวมทั้งการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินที่ใช้วิธีการตอกเสาเข็มแบบเจาะนำก่อน โดยใช้ตุ้มตอกแบบปล่อยตกอิสระซึ่งมีน้ำหนักตุ้ม 8.05 ตัน ค่าความสั่นสะเทือนที่วัดได้นี้ ได้พลอตแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง $\sqrt{E}/d$ และค่าความเร็วสูงสุดของการสั่นของอนุภาค (Peak Particle Velocity) ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน ซึ่งในที่นี้หมายถึงการเคลื่อนตัวของปลอก(Inclinometer Casing หรือ Access Tube) ในแนวดิ่ง (Ideal Vertical) ได้พลอตแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเสาเข็ม และระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน

ในการตรวจวัดและควบคุมครั้งนี้ ได้ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือและวิธีการทดสอบตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดควบคุมความสั่นสะเทือน

ในการทำการวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนดังนี้ คือ

1. ทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) ดังแสดงในรูปที่ 3.1

เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ให้ออกมาในรูปของศักย์ไฟฟ้า (Voltage) โดยอาศัยหลักของการคอยล์ (Coil) เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วสัมพัทธ์(Relative velocity) ระหว่างคอยล์และสนามแม่เหล็ก โดยจะมีคอยล์หรือแม่เหล็กส่วนหนึ่งเคลื่อนที่ ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งจะแน่นและยึดติดอยู่กับโครง (Frame)

ทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) ที่ใช้ในการตรวจวัดควบคุมความสั่นสะเทือนครั้งนี้ มี 2 ประเภท คือ ตรวจวัดความสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Vertical Vibration) และในแนวราบ (Horizontal Vibration) ของอนุภาคของตัวกลางที่คลื่นความเค้น (Stress wave) เคลื่อนที่ผ่าน สัญญาณของความสั่นสะเทือนที่ส่งเข้าสู่ทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) แล้วส่งสัญญาณออกมา (Output) ในรูปของศักย์ไฟฟ้า สัญญาณนี้จะถูกส่งผ่านเข้าไปในเครื่องกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อลดการรบกวนจากสัญญาณความถี่สูงจากภายนอกที่มารบกวน แล้วจึงส่งสัญญาณให้ปรากฏบนจอคาร์โธด (Cathod Ray Tube ,CRT) ของออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)

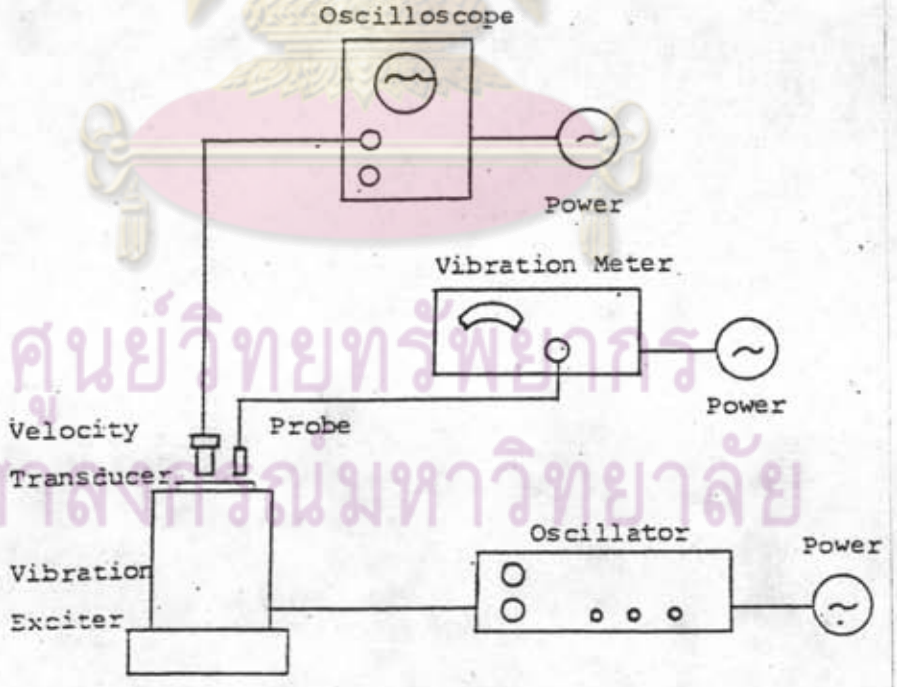
การปรับเทียบทรานสดิ้วเซอร์ (Calibration Velocity Transducer)

การปรับเทียบทรานสดิ้วเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ทำโดยการนำทรานสดิ้วเซอร์ที่ต้องการปรับเทียบ (Calibrate) ยึดติดแน่นกับแผ่นเหล็ก (steel plate) ที่เกิดการสั่นจากตัวกระตุ้น (Vibration Exciter) ซึ่งทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดของความสั่นสะเทือน (Vibration Source) แต่ใช้มิเตอร์ตรวจวัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสำหรับวัดแอมปลิจูดของแผ่นเหล็ก ที่เกิดการสั่นโดยการจัดวางโพรบ (Probe) ให้วางอยู่ที่บนผิวหน้าของแผ่นเหล็ก พอดี ต่อจากสายโพรบ (Probe) มายังมิเตอร์วัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter) และต่อสายของทรานสดิ้วเซอร์เข้าสู่ออสซิลโลสโคป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปรับเทียบจะดำเนินการโดยทำการเปลี่ยนค่าแอมปลิจูด และความถี่ของการสั่นของแผ่นเหล็ก ค่าความถี่ของการสั่นสามารถทราบได้จากการตั้ง (set) ตัวกระตุ้น (Vibration Exciter) แอมปลิจูดสามารถอ่านได้โดยตรงจากมิเตอร์วัดความสั่นสะเทือนในรูปของค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด (Peak to Peak) และค่าศักย์ไฟฟ้า (Output Voltage)

รูปที่ 3.1 แสดงทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer)



รูปที่ 3.2 แสดงการปรับเทียบทรานสดิ้วเซอร์
(Calibration Velocity Transducer)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

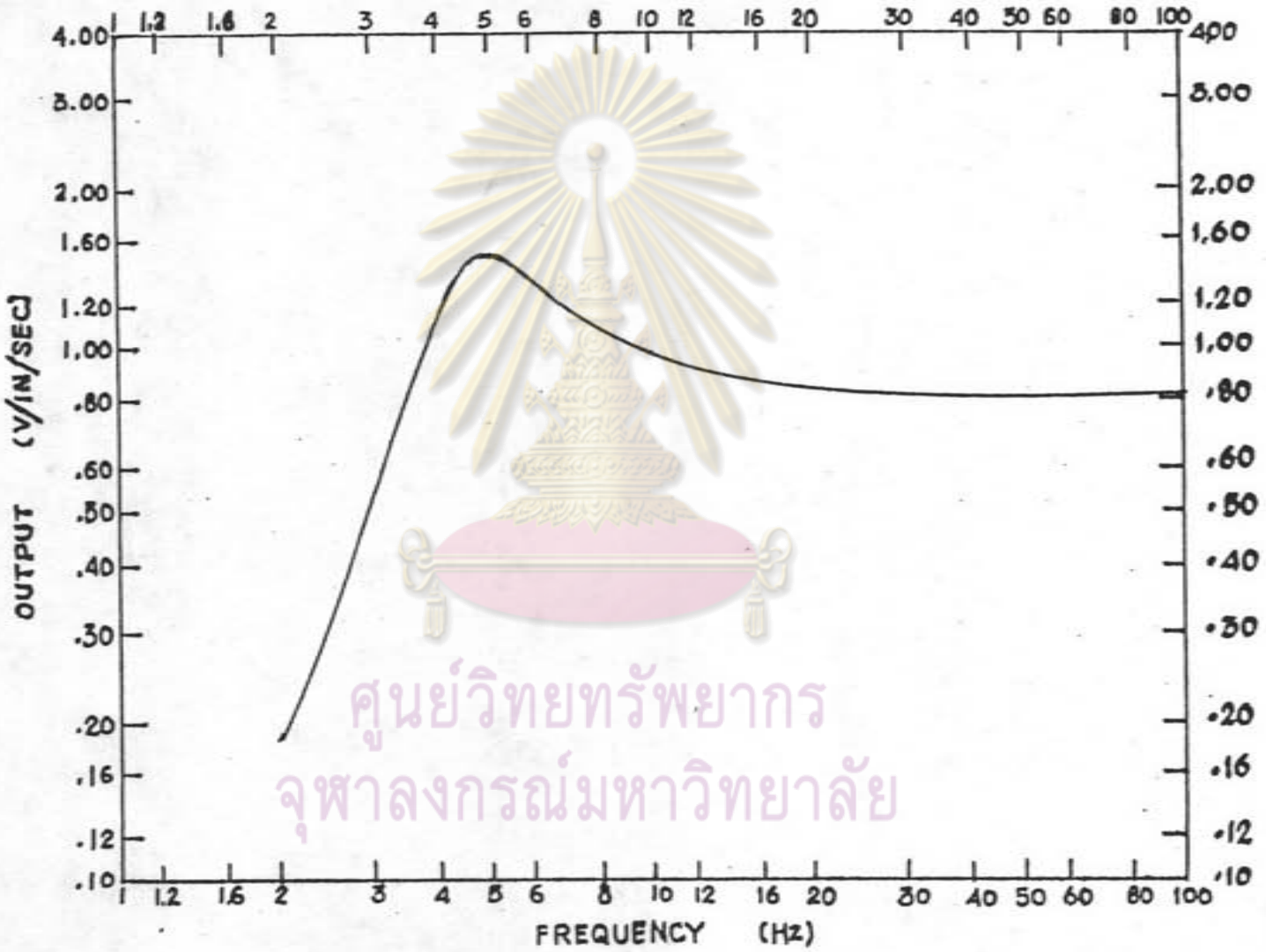
ของทรานสดิ้วเซอร์ อ่านได้โดยตรงจากจอคาร์โธด (CRT) ของออสซิลโลสโคปได้ ดังนั้น ความไว (Sensitivity) ของทรานสดิ้วเซอร์ก็สามารถหาค่าได้ที่ทุก ๆ ค่าความถี่ที่ทำการปรับเทียบ ทำให้สามารถที่จะพลอต (Plot) เส้นโค้งของการปรับเทียบ (Calibration curve) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

2. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำหน้าที่รับสัญญาณของความสั่นสะเทือน ที่ส่งออกมาจากทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) ในรูปของศักย์ไฟฟ้าให้ปรากฏขึ้นบนจอคาร์โธด (CRT) ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) จอคาร์โธด(CTR) นี้จะถูกแบ่งเป็น 2 แกน คือแกนดิ่ง และแกนนอนโดยที่แต่ละแกนจะถูกแบ่งเป็นช่องขนาดช่องละ 1x1 ตารางเซนติเมตร ภาพที่ปรากฏบนจอนี้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลา(Peroid) ในแนวนอน และศักย์ไฟฟ้า (Voltage) ในแนวแกนดิ่ง โดยที่แต่ละแกนสามารถปรับขนาดของสัดส่วนสเกล (Scale) ที่ใช้ในแกนของคาบเวลา และศักย์ไฟฟ้าต่อขนาด 1 ช่องตาราง (1 เซนติเมตร) ให้ได้ตามความเหมาะสมกับสัญญาณที่ปรากฏบนจอนั้น

สำหรับในการทดสอบครั้งนี้ เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ส่งมาแต่ละจุดที่ทำการทดสอบมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นในการทดสอบนี้ จึงปรับค่าที่สัดส่วนสเกลแตกต่างกันในแต่ละจุดที่ทำการทดสอบ ทั้งนี้ เพื่อความละเอียดและถูกต้องในการตีความหมายจากรูปถ่ายที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้

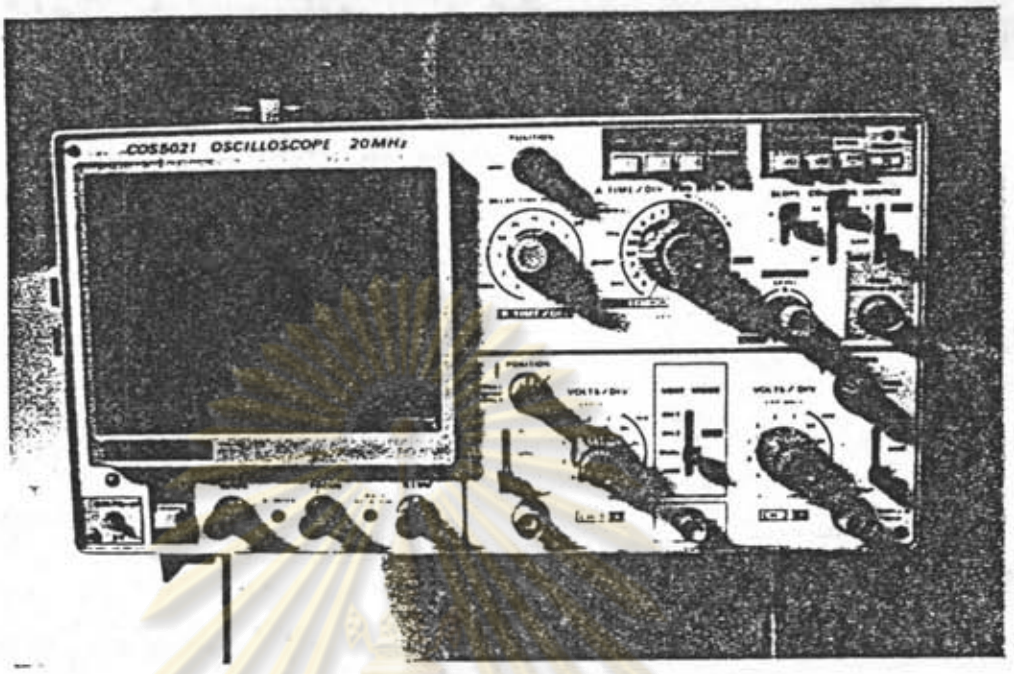
3. เครื่องกรองสัญญาณ (Low Pass Filter) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่สำหรับตัดสัญญาณความถี่สูงๆ ที่มารบกวนจากแหล่งกำเนิดภายนอกทิ้ง ให้เหลือเฉพาะสัญญาณความสั่นสะเทือนที่ถูกส่งออกมาจากทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) เท่านั้น

4. กล้องถ่ายรูป ใช้สำหรับบันทึกภาพสัญญาณที่ปรากฏบนจอคาร์โธด (CRT)ของออสซิลโลสโคป ทั้งนี้ เพื่อความสมบูรณ์ของภาพถ่าย ได้นำกล้องถ่ายรูปนี้เชื่อมต่อกับกล่องดำ (Black Box) ที่สามารถครอบได้พอดีกับจอภาพ (CTR) ของออสซิลโลสโคป ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และได้ใช้เลนส์ถ่ายภาพใกล้ (Close up lens) กับกล้องถ่ายรูปด้วย ทั้งนี้เพื่อจะได้ภาพที่ถ่ายในระยะใกล้ ชัดเจน จะได้อ่านค่าแอมปลิจูด (Amplitude) และคาบเวลา (Period) ของสัญญาณได้ง่ายและถูกต้อง

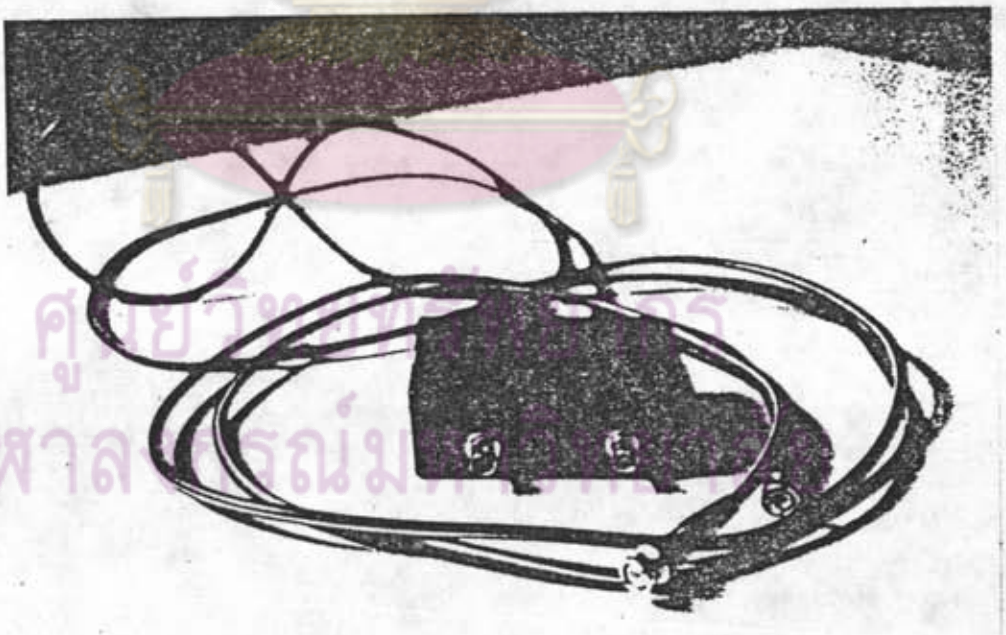


รูปที่ 3.3 แสดงเส้นโค้งของการปรับเทียบทรานสดิ้วเซอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

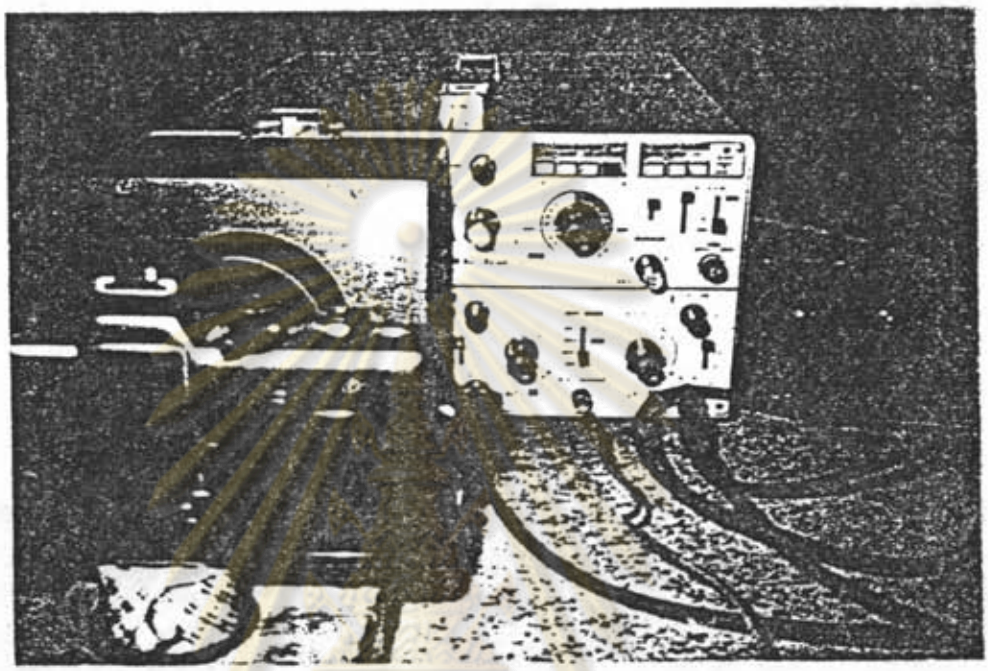


รูปที่ 3.4 แสดงออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)



รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องกรองสัญญาณ (Low Pass Filter)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แสดงกล้องถ่ายรูปพร้อมกล่องดำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. สาย (Cable) สายที่ใช้ในการทดสอบนี้ จะเป็นสายชิลด์ (Shield) ประเภทแกนร่วม (Coaxial) ซึ่งตัวนำที่หุ้มด้วยฉนวนถูกหุ้มด้วยชิลด์โดยมีชิลด์ทำหน้าที่เป็นสายดิน (Ground wire) และมีตัวนำตรงกลางเป็นตัวสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

6. แท่งเหล็ก (Rod) เป็นแท่งเหล็กความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร สำหรับปักลงไปในดิน เพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นกราวด์ (Ground) ของออสซิลโลสโคปเพื่อช่วยลดสัญญาณความถี่อื่น ๆ จากภายนอกที่จะเข้ามารบกวนที่ออสซิลโลสโคป

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน

ดิจิติลท์ อินคลิโนมิเตอร์ (Digitilt Inclinometer) เป็นเครื่องมือสำรวจที่ใช้วัดค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) และการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ของชั้นดินที่ให้ความถูกต้องสูง และมีความประหยัดมากกว่าเครื่องมือชนิดอื่น ตัวอย่างของงานที่ใช้วัดได้แก่ การวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบ (Lateral Movement) ของดินเปลือกโลก (Land slide), เชื่อนดิน, ลาด (slop) และดินหรือหินฐานราก นอกจากนี้ ยังสามารถใช้กับงานการวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของกำแพง โครงสร้างที่อยู่รอบ ๆ พื้นที่ที่มีการขุดดินออกหรือรอบๆ อุโมงค์ การเคลื่อนตัวของพื้นดินที่อยู่เหนือเหมืองแร่ใต้ดิน แม้เครื่องมือนี้จะได้ออกแบบให้ใช้กับงานในหลุมเจาะซึ่งติดตั้งปลอกกันดิน (Inclinometer Casing หรือ Access Tube) ซึ่งเป็นงานการวัดโดยตรง และสามารถป้องกันน้ำได้อย่างดีแล้วเครื่องมือนี้ยังสามารถใช้แทนเครื่องมือสำรวจที่ใช้กันทั่วไปบางชนิด ซึ่งไม่สามารถใช้ได้อย่างสะดวกกับงานบางอย่างอีกด้วย เช่น การวัดการเคลื่อนตัวของส่วนปลายของเสาเข็มเหล็กกลวงเป็นต้น

เครื่องมือนี้ โดยปกติจะใช้หย่อนลงในร่อง (Grooved) ของปลอก (Inclinometer Casing หรือ Access Tube) ที่ทำด้วยพลาสติก หรือ อลูมิเนียม ซึ่งถูกติดตั้งไว้ในแนวดิ่งใต้พื้นดิน ร่องนี้จะเป็นตัวควบคุมทิศทางของเครื่องมือ ซึ่งทิศทางได้ถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว ค่าความเอียงลาด(Inclination) ที่อ่านได้ทุกช่วงของความลึก และจะแปลงเป็นค่าการเคลื่อนตัว (Displacement) ในภายหลัง และค่าที่อ่านได้ตามมาที่ความลึกเดียวกันซึ่งอ่านทุกช่วงของเวลาจะใช้เป็นตัวหาค่าความลึก และอัตราของการเคลื่อนตัวของชั้นดินได้ ส่วนประกอบของอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer) แสดงไว้ในรูปที่ 3.8

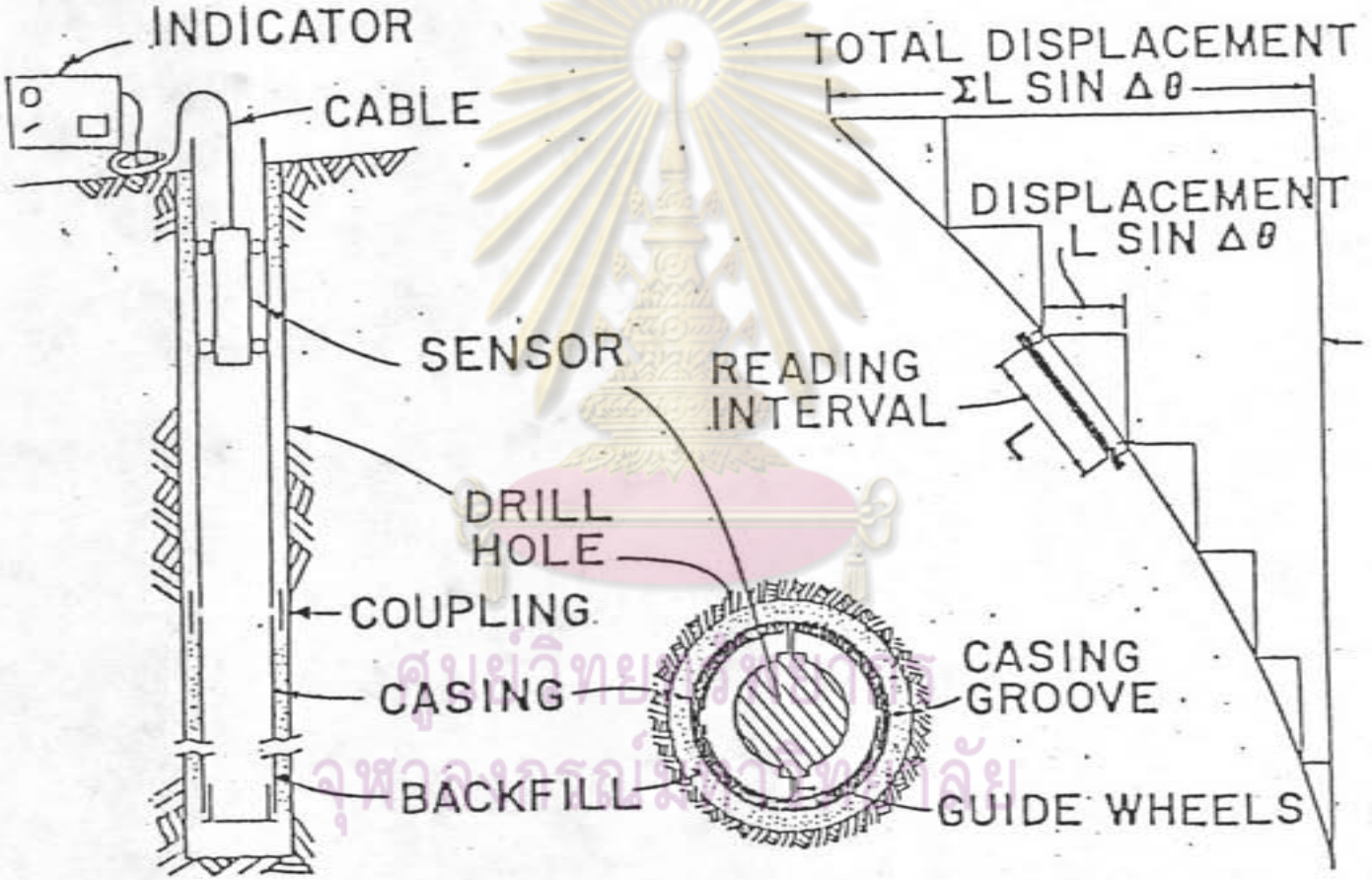
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COAXIAL

Coaxial cable. This cable contains a single insulated conductor surrounded by a conducting shield. This cable is used for signal measurements when the source is grounded on one side. The shield acts as the ground wire and the center conductor carries the signal.

รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของสายซิลด์ประเภทแกนร่วม (Coaxial)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 แสดงส่วนประกอบของอินคลิโนมิเตอร์ (Inclinometer)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะและรายละเอียดของเครื่องมือ

ระบบของดิจิติลท์ อินคลิโนมิเตอร์ (Digitilt Inclinometer) ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1. เซนเซอร์ (Sensor)
2. แผงควบคุมและหน้าปัทม์อ่านตัวเลข (Portable digital Indicator)
3. สายต่อ (Inter-connecting electrical cable)
4. ปลอกควบคุมในการวัดความเอียงลาด (Slope indicator Inclinometer guide casing)

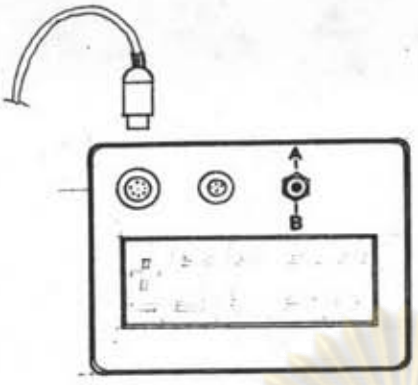
1. เซนเซอร์ (Sensor) เป็นตัวส่งสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเป็นสัดส่วนต่อมุมเบี่ยงเบน ซึ่งวัดจากแนวแกนตั้ง ตัวเซนเซอร์ (Sensor) ประกอบด้วยเซอร์โว แอคเซเลโรมิเตอร์ (Servo-accelerometer) 2 ชุด เชื่อมติดตั้งฉากกับตัวแกน ตัวของเซนเซอร์ (Sensor) มีความไวตัวสูง และจะใช้ควบคู่ไปกับปลอก ซึ่งได้ติดตั้งไว้ในหลุมเจาะที่เจาะลึกลงไปในดิน ที่ติดตั้งไว้ก่อนการถมดินดิน หรือที่ติดไว้กับตัวโครงสร้างอื่น ๆ เซนเซอร์ (Sensor) จะถูกบังคับไว้กับปลอก เพื่อไม่ให้แกว่งไปมาในแนวราบโดยล้อบังคับ (Guide wheel) ล้อบังคับจะถูกบังคับให้เคลื่อนตัวในร่อง (Groove) ภายในปลอกซึ่งทำไว้เป็นร่องตลอดความยาว 4 ร่อง ร่องนี้ใช้เป็นตัวควบคุมของการวัดการเคลื่อนตัวล้อบังคับจะเคลื่อนขึ้นลงอยู่ในระหว่างร่องซึ่งอยู่ตรงข้ามกันของปลอก ซึ่งเป็นตัวกำหนดทิศทางการวัด เซนเซอร์ (Sensor) รุ่น 50325-M สามารถที่จะใช้กับปลอก (Inclinometer Casing) ทุกขนาด รูปร่างลักษณะของเซนเซอร์ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของ Digitilt Sensor (รูปด้านข้าง) , Digitilt Indicator (รูปด้านบน) และ Aluminium Casing (รูปด้านบน) ไว้ในรูปที่ 3.10

2. ดิจิทอล อินดิเคเตอร์ (Digital Indicator) เป็นเครื่องมือชนิดตั้งโต๊ะ ซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรีที่สามารถอัดกระแสไฟฟ้าได้ ขนาด 6 โวลท์ แผงควบคุมทางไฟฟ้าและหน้าปัทม์แสดงตัวเลขข้อมูล(Data Display) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 หน้าปัทม์แสดงตัวเลขข้อมูล แสดงเป็นตัวเลขเรืองแสง (Liquid Crystal Display) หรือ LCD ตัวเลข

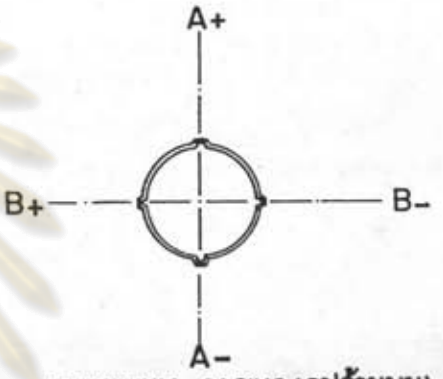
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9 แสดงรูปร่างลักษณะของเซนเซอร์ (Sensor)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



DIGITILT INDICATOR (รูปด้านบน)



ALUMINIUM CASING (รูปด้านบน)

DIGITILT SENSOR (รูปด้านข้าง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.10 แสดง Digitilt Indicator (รูปด้านบน) Aluminium Casing (รูปด้านบน) และ Digitilt Sensor (รูปด้านข้าง)

รูปที่ 3.11 แสดงหน้าปัทม์ตัวเลขข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เรืองแสง (LCD) จะแสดงค่ามุมเบี่ยงเบนจากแนวตั้งเป็น 2.5 คูณค่า sin ของมุม (2.5 sinθ) ด้วยตัวเลข 4 ตัว θ เป็นมุมเบี่ยงเบนของปลอก ในแนวทิศทาง A และ B ของเซนเซอร์ (Sensor) ค่าความไวตัวเป็น 1 ใน 20,000 สำหรับการติดตั้งปลอกซึ่งมีค่าเบี่ยงเบน ±3 องศา จากแนวดิ่ง จะได้ค่าความละเอียดถึง ±0.25 นิ้วต่อ 100 ฟุต(±6 มม.ต่อ 30 เมตร)

ตัวอย่าง ที่มุมเบี่ยงเบน 1 องศา sin 1° = 0.0177, ค่าที่อ่านได้จะเป็น 2.5 x 0.0177 = 0.0436 ซึ่งค่า sinθ นี้แสดงถึงการเคลื่อนที่ในแนวราบของปลอกช่วงหนึ่ง ซึ่งอยู่ระหว่างล้อบังคับตัวบนและตัวล่างของเซนเซอร์ (Sensor) เนื่องจากระยะระหว่างล้อบังคับ เท่ากับ 0.5 เมตร ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัทม์ตัวเลขเท่ากับ 5 คูณ ระยะการเคลื่อนตัวเป็นเมตร เช่น 0.00872 ม .เท่ากับ 8.72 มม. ในตัวอย่างข้างบนจะได้ (0.0174x0.5 = 0.00872) แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับการคำนวณค่า การเบี่ยงเบน (deflection) ที่ทำบ่อยครั้ง

ความเบี่ยงเบน หรือ หันเห (Porarity ±) ของมุมเบี่ยงเบน จะถูกแสดงทางด้านซ้ายของแผงตัวเลข ดูรูปที่ 3.10 ประกอบ ซึ่งในรูป จะแสดงทิศทางของปลอกเซนเซอร์ (Sensor) , ล้อบังคับ ทิศทางของมุมเอียง และค่าความเบี่ยงเบน ที่อ่านได้

พลังงานที่ใช้กับเครื่องนี้ ได้จากแบตเตอรี 6 โวลท์ ที่สามารถอัดไฟฟ้า เมื่ออัดไฟฟ้าเก็บสามารถใช้อ่านได้ 8 ชั่วโมง เครื่องนี้ไม่ควรจะใช้งาน เมื่อแบตเตอรีมีแรงดันไฟต่ำกว่า 5.7 โวลท์

3. สายต่อ (Electrical Cable)

สายต่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 10.7 มม. ซึ่งประกอบด้วยลวดทองแดงตัวนำฟั่นเกลียว 6 เส้นหุ้มฉนวน และยางหุ้มที่ทนต่อน้ำมัน นอกจากนี้ ยังประกอบด้วยลวดเหล็กฟั่นเกลียวอยู่ตรงกลางของสายต่อช่วยยึดด้วยกาวระหว่างฉนวนของลวดทองแดงและยางหุ้มสายเพื่อช่วยให้เกิดการยืดตัวน้อยที่สุดเมื่อแขวนต่อกับเซนเซอร์ (Sensor) มีเครื่องหมายซึ่งทำด้วยยางทนน้ำมันชนิดแข็ง ซึ่งทำโดยการอบกำมะถัน เป็นสีบอกระยะของสายต่อทุกระยะ 0.50 เมตร ยางสีแดงทุกระยะ 1.0 เมตร ยางสีเหลืองทุกระยะ 0.50 เมตร และ มีตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขเป็นเครื่องหมายบอกทุกระยะ 5 เมตรซึ่งเครื่องหมายนี้จะบอกถึงระยะตั้งแต่กึ่งกลางของล้อบังคับตัวบน และล้อบังคับตัวล่างของเซนเซอร์ (Sensor) สายต่อนี้ยึดติดกับเซนเซอร์ด้วยเกลียวยึดกันน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

4. ปลอก (Inclinometer Casing หรือ Access Tube)

เครื่องมือดิจิติลท์ อินคลิโนมิเตอร์ (Digitilt Inclinometer) จะต้องทำงานโดยสอดคล้องกับปลอกดังแสดงในรูปที่ 3.13 ข้อมูลรายละเอียดแสดงรายการใช้ในที่นี้แสดงไว้เฉพาะเซนเซอร์ ที่ใช้กับปลอกของซินโกะ (SINCO) เท่านั้น เพื่อให้เครื่องมือนี้ทำงานได้อย่างละเอียดและถูกต้อง การควบคุมคุณภาพและขนาดของปลอกมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ปลอกขนาดต่าง ๆ ที่ผลิตโดย ซินโกะ (SINCO) มีดังนี้

ก. ปลอกอลูมิเนียม ท่ออลูมินัมอัลลอยด์ ซึ่งทำเป็นร่อง (Groove) 4 ร่อง มีระยะห่างเท่ากัน เส้นรอบวงภายในมีอยู่ 2 ขนาด คือ

ขนาด 85.8 มม.(max)O.D.x 2.5 มม.wall x 1.52 ม.หรือ ยาว 3.05 ม.

ขนาด 70.9 มม.(max)O.D.x2.0 มม.wall x 1.5 ม. หรือ ยาว 3.05 ม.

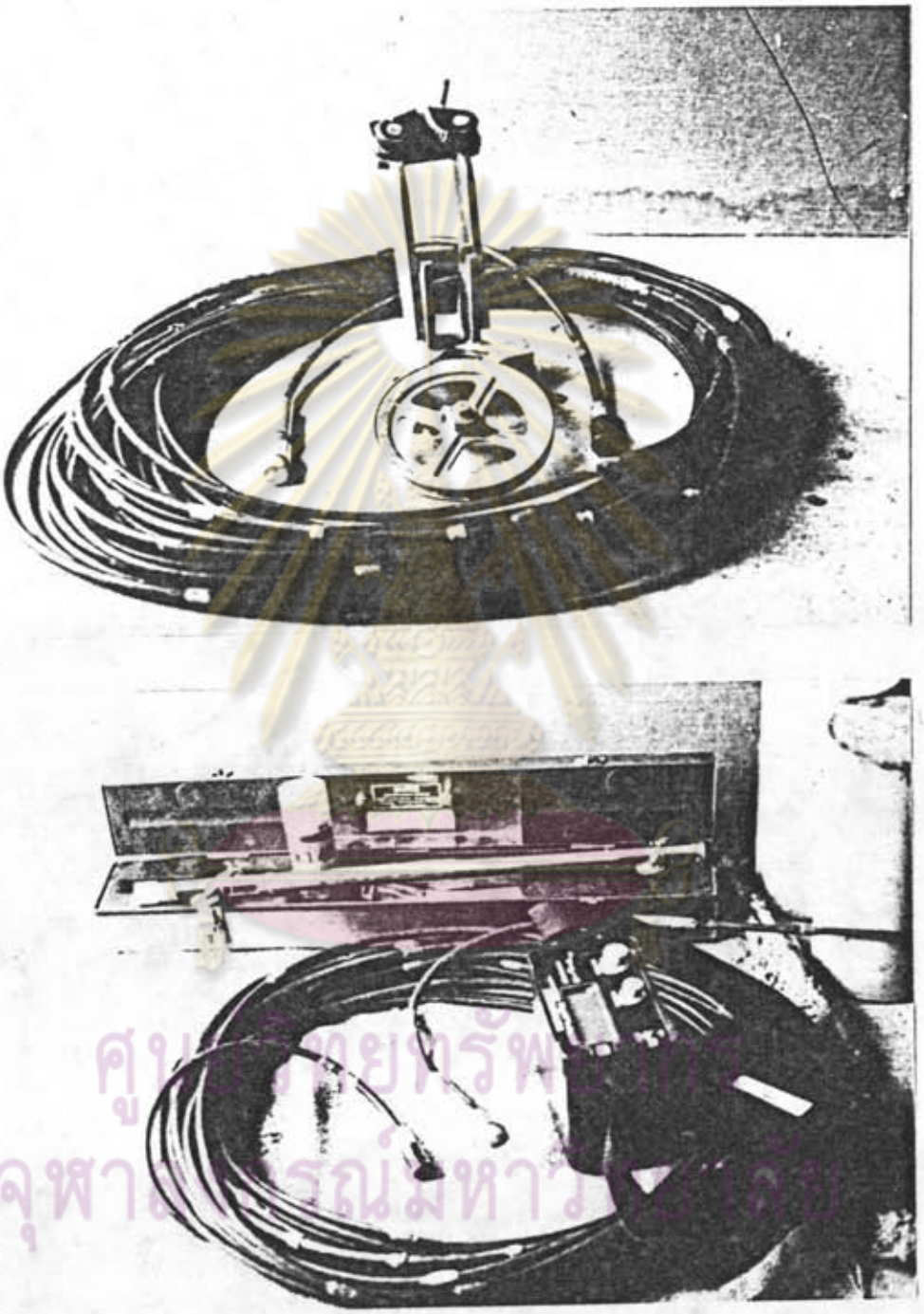
ข. ปลอกพลาสติก ABS Plastic Casing มีร่องตามแนวยาวของท่อ 4 ร่องเช่นเดียวกับปลอกอลูมิเนียม มี 3 ขนาด คือ

ขนาด 84.8 มม.(O.D.) x 72.9 มม.(I.D.) x 1.52 ม. หรือ 3.05 ม.

ขนาด 69.8 มม.(O.D.) x 58.9 มม.(I.D.) x 1.52 ม. หรือ 3.05 ม.

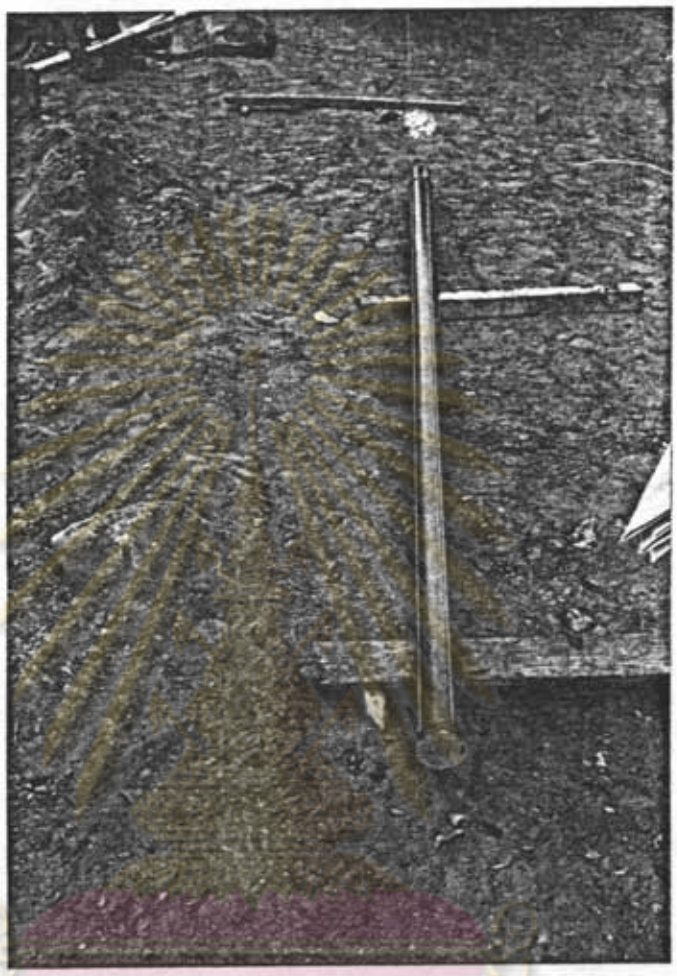
ขนาด 48.3 มม.(O.D.) x 38.1 มม.(I.D.) x 1.52 ม. หรือ 3.05 ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.12 แสดงสายต่อ (Electric Cable)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของปลอก (Inclinometer Casing)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ สามารถที่จะโก่งงอได้มาก และยังให้ความละเอียดในการวัดได้สูงกว่าท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก สำหรับงานวัดการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นน้อย ๆ เช่น การเคลื่อนตัวของหินและโครงสร้างอาคาร เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานการวัดการเคลื่อนตัวของดินดิน

การใช้เครื่องมือ (Operating Instruction)

อุปกรณ์ของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการเคลื่อนตัว ประกอบด้วย

- Sensor (Probe) พร้อมด้วยเครื่องมือ (tool Kit)
- สายต่อเครื่องควบคุม
- แผงควบคุม และ ส่วนแสดงตัวเลขการวัด
- กระดาษจดบันทึกข้อมูล
- ปากกา ดินสอ

อุปกรณ์ ที่จำเป็น

- ล้อเก็บสายต่อ (Cable reel)
- ม้านั่ง
- เครื่องช่วยอื่น ๆ
- ร่ม
- ที่ปัดฝุ่น และ อุปกรณ์ทำความสะอาด
- กุญแจ Lock กล่องอุปกรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดการใช้งาน

1. เซนเซอร์ (Sensor)
   - นำเซนเซอร์ (Sensor) ออกจากกล่องเก็บ
   - ตรวจสอบการทำงานของล้อบังคับ (Guide wheel) กับปลอกที่จำต้องใช้งานร่วมกัน

- ฉีดน้ำมันหล่อลื่นที่ล้อบังคับบาง ๆ เพื่อการหล่อลื่นในล้อทุกล้อ
- เปิดฝาจุกครอบของเซนเซอร์ (Sensor) และของปลั๊กสายต่อชนิดกันน้ำ

- ต่อสายต่อเข้ากับเซนเซอร์ (Sensor) และขันเกลียวให้แน่นพอประมาณแน่ใจว่าน้ำไม่สามารถซึมเข้าไปได้ ระหว่างขันเกลียวน็อตควรจับตัวเซนเซอร์ (Sensor) ให้แน่นโดยให้ล้อส่วนบนอยู่ในแนวตั้งขึ้นทั้งเวลาขันเกลียวเข้าหรือขันออก ไม่ควรใช้น้ำมันหล่อลื่นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเพราะจะมีผลต่อการรั่วซึมของกระแสไฟฟ้าได้ ให้ใช้อัลกอฮอล์ในการทำความสะอาดส่วนต่อเชื่อมของอุปกรณ์ไฟฟ้า

เซนเซอร์ (Sensor) ค่อนข้างจะไว (Sensitivity) ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการกระแทกหรือกระทบกระเทือนต่อตัวเซนเซอร์ (Sensor)

2. ส่วนแสดงผล (Indicator)

- ปิดสวิทช์เครื่อง ต่อหัวต่อสายเซนเซอร์ (Sensor) เชื่อมกับแผงควบคุมแสดงผล
- ตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรีก่อนใช้งานโดยบิดสวิทช์ไปที่ Battery Test Position
- ช่องแสดงผลช่อง B (B-Display) จะอ่านค่าได้ถึง 1 ใน 10 ของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี (10 Volt)แบตเตอรีต้องมีแรงดันไฟอย่างน้อย 6 โวลท์ ไม่ให้ใช้เครื่องแสดงผลเมื่อแรงดันไฟต่ำกว่า 5.7 โวลท์
- เปิดสวิทช์
- จับเซนเซอร์ (Sensor) ตั้งขึ้นและบิดหมุนไปทั่วในแนวแกน A, B เพื่อทดสอบ
- ทดสอบขั้วว่าถูกต้องหรือไม่

3. เครื่องหมาย (Sign Convention)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการใช้ปลอกของเครื่องวัดเป็นครั้งแรก จำเป็นจะต้องกำหนดแนวทิศอ้างอิงสำหรับเซนเซอร์ เพื่อสะดวกในการใช้วัดในครั้งต่อ ๆ ไป คือ เซนเซอร์จะต้องมีทิศทางการวัดทิศทางเดิมเสมอ ในแต่ละครั้งของการวัด จะต้องใช้ร่องคู่เดิมของแต่ละแนวที่ต้องการวัด

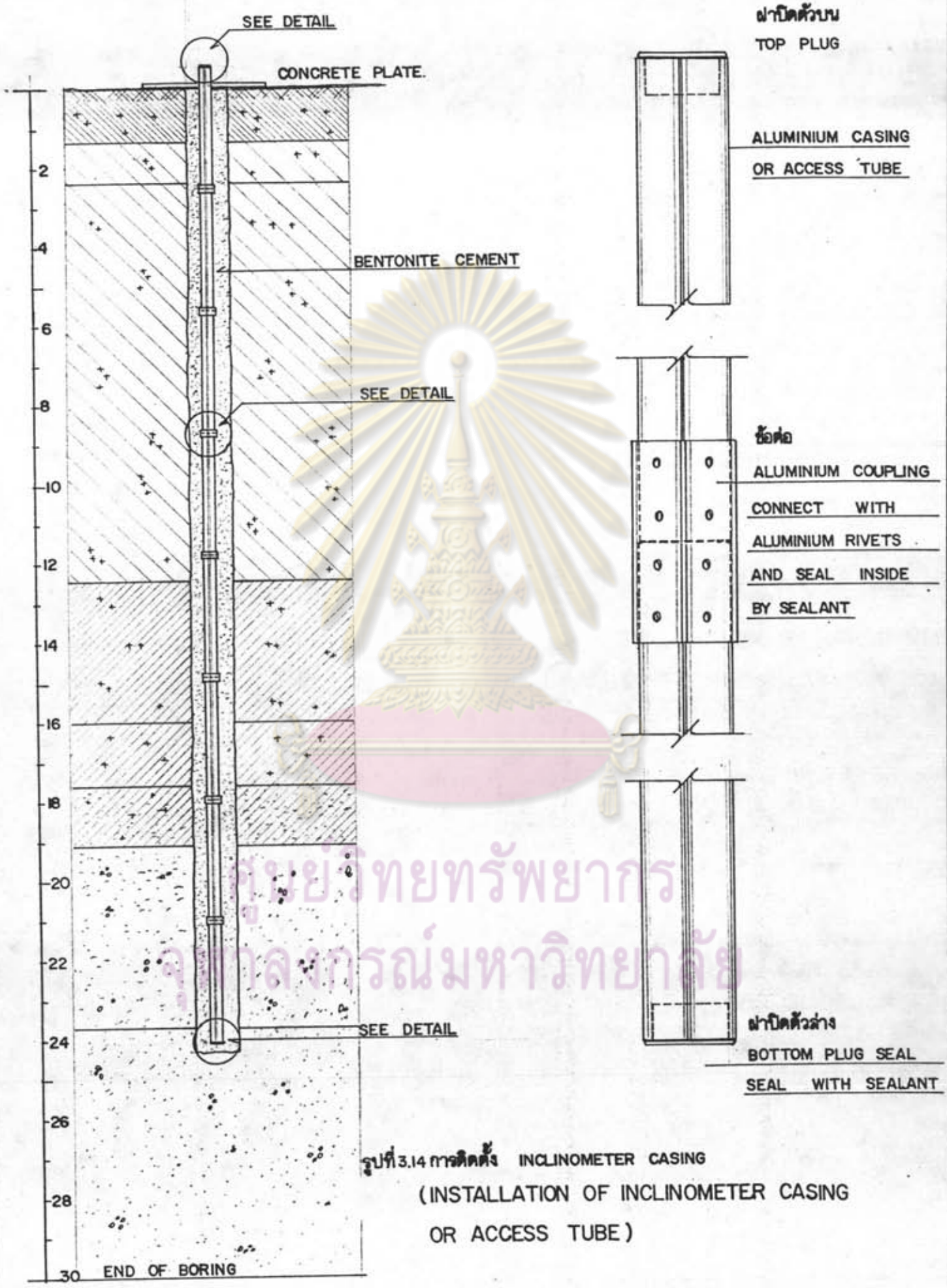
สำหรับเครื่องวัดชนิด 2 แกน มีข้อแนะนำว่าแนวแกน A ควรเป็นแนวแกนหลักในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนตัว และจะให้ผลแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงเป็นบวก ตัวอย่างเช่น ในบริเวณพื้นที่ ที่มีการเคลื่อนตัวของชั้นดินเกิดขึ้น การปรับเพื่ออ่านค่าครั้งแรกจะอ่านค่าโดยการให้ล้อส่วนบนของเซนเซอร์ อยู่ในแนวเดียวกับทิศทางของเนินเขาที่ลาดลง ในการวัดที่สมบูรณ์แบบจะต้องบิดหมุนเซนเซอร์เป็นมุม 180 องศาเพื่อวัดตรวจสอบอีกครั้ง ผลต่างทางพีชคณิตของตัวเลขที่อ่านได้ทั้ง 2 ครั้งจะใช้เป็นค่าที่ใช้คำนวณแนวของปลอก ที่สำคัญที่สุดควรมีการเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากการวัดในที่อื่น ๆ เพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลง การใช้ค่าผลต่างทางพีชคณิตมีผลเหมือนกับการใช้ค่าเฉลี่ยของการวัด 2 ครั้ง

รูปที่ 3.14 แสดงการติดตั้งปลอกซึ่งทิศทางของร่องอยู่ในแนวเดียวกับการลาดลง แต่ในการปฏิบัติจริง เป็นการยากที่จะกำหนดทิศทางได้อย่างถูกต้องก่อนที่จะมีการวัดแนวของร่องที่ใกล้เคียงที่สุดกับแนวที่คาดว่าจะเกิดการเคลื่อนตัว โดยปกติจะถูกเลือกเป็นแนวหลัก ค่ามุมอะซิมุท (Azimuth) หรือ แบริง (Bearing) ของแนวร่องจะถูกวัดไว้ด้วย การวัดการเคลื่อนตัวครั้งต่อไปจะต้องอ้างอิงกับแนวทิศหลักนี้ด้วย

เมื่อการอ่านค่าได้กระทำตามขั้นตอนนี้แล้ว การเปลี่ยนแปลง หรือการเคลื่อนตัวที่วัดได้ในแต่ละครั้ง จะต้องบวกรวม โดยเริ่มจากปลายล่างของปลอก ค่า บวก ลบ ของการเคลื่อนตัวที่วัดในภายหลัง จะต้องเป็นค่าขั้วเดียวกับขั้วของเซนเซอร์

เครื่องหมาย หรือสัญลักษณ์ที่ใช้ตั้งชื่อเรียกแต่ละทิศทาง 4 ทิศทางของการเคลื่อนที่ที่ตั้งฉากกัน SINCO เป็นผู้ตั้งชื่อขึ้นเอง เช่น A และ B ของเซนเซอร์ รวมทั้งขั้วของเซนเซอร์ (±) สัญลักษณ์อื่นๆ ที่ใช้บ่อยๆ เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้กันจนเป็นที่ยอมรับทั่วไป ดังตัวอย่างข้างล่างนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 การติดตั้ง INCLINOMETER CASING

(INSTALLATION OF INCLINOMETER CASING OR ACCESS TUBE)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	A-Axis		B-Axis	
	Main Ref.			
Example No.	Direction	+180	+90	+270
1.	A+	A-	B+	B-
2.	+A	-A	+B	-B
3.	North	South	East	West
4.	1	3	2	4
5.	+1	+3	-2	-4
6.	AØ	A180	BØ	B180
7.	Az45	Az225	Az135	Az315

การใช้เครื่องหมาย ดัง 1 และ 2 เป็นการใช้เครื่องหมายที่ดีที่สุด ส่วนในตัวอย่าง 3 จะทำให้เกิดการสับสนได้สำหรับผู้ไม่มีประสบการณ์เนื่องจากไปคิดว่าเป็นแนวตามภูมิศาสตร์จริง ๆ ในตัวอย่าง 7 แสดงให้เห็นถึงการปรับทิศทางของเซนเซอร์เพียงเล็กน้อย แต่เป็นการปรับที่มากเกินไป เนื่องจากการปรับทิศทางของ B-Axis มีความสัมพันธ์กับ A-Axis ในค่าที่คงที่ = 90 องศา

4. แบบฟอร์มในการเก็บข้อมูลในสนาม

แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลสำหรับบันทึกข้อมูลที่เป็นตัวเลขต่างๆ ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.15 ตัวอย่างค่าต่างๆ ที่อ่านได้จากที่บันทึกไว้นี้เป็นค่าที่ได้จากการทดลองในแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลในช่อง A จะแบ่งเป็น 2 ช่องซึ่งเป็นส่วนประกอบของค่า A ในช่อง B ก็แบ่งเป็น 2 ช่องเช่นกัน

การบันทึกข้อมูลในสนาม ควรจะได้กรอกข้อมูลต่างๆ ให้ครบถ้วนก่อน เช่น ก่อนวัดค่าต้องวัดระยะของสายต่อ และกรอกค่าความลึกลงในช่องความลึกที่จำกัด ดังแสดงในตัวอย่างช่วงของความลึกจะเป็น 1.0 เมตร

ในช่องกรอกข้อมูลช่องซ้ายของค่า A และ B ใช้บันทึกค่าที่อ่านครั้งแรกและใช้เครื่องหมายเป็นค่า A+ และ B+ ตามลำดับ ในช่องขวาจะมีเครื่องหมายเป็น A- , B-

INCLINOMETER DATA SHEET

INITIAL READING 3.

PROJECT. NWA CLARIFIERS & FILTER CONS. BY HYUNDAI. OBSERVATION WELL NO. BH-1 (CLA No-9)

SHEET 3. OF 3

DATE 9-3-87 INSTR. _____ READ. วิมลรัตน์ CALC. _____ CHKD. _____

DEPTH.	DIFF. INITIAL.	A		DIFF. OF CHANGE	CHANGE	DIFF.	B		DIFF.	CHANGE
		A+	A−				B+	B−		
23.70		−25	+5	−30	−30		−153	+192	−345	−345
		−13	−3	−10	−40		−153	+233	−386	−731
22.70		−6	−9	+3	−37		−167	+246	−413	−1144
		−3	−12	+9	−28		−162	+241	−403	−1547
21.70		+7	−19	+26	−2		−172	+240	−412	−1959
		+219	−234	+453	+451		−66	+144	−210	−2169
20.70		+238	−250	+488	+939		−70	+150	−220	−2389
		+262	−275	+537	+1476		−70	+145	−215	−2604
19.70		+283	−286	+559	+2035		−63	+146	−209	−2813
		+296	−308	+604	+2639		−72	+141	−213	−3026
18.70		+307	−318	+625	+3264		−81	+137	−218	−3244
		+300	−313	+613	+3877		−94	+148	−242	−3486
17.70		+272	−285	+557	+4432		−126	+170	−296	−3782
		+296	−290	+586	+4998		−131	+211	−342	−4124
16.70		+279	−294	+573	+5591		−108	+191	−299	−4423
		+295	−305	+600	+6191		−108	+171	−279	−4702
15.70		+292	−307	+599	+6790		−109	+189	−298	−5000
		+282	−276	+558	+7348		+11	+43	−32	−5032
14.70		+265	−275	+540	+7888		+89	−10	+99	−4933
		+292	−285	+557	+8445		+93	−13	+106	−4827
13.70		+299	−289	+568	+9013		+106	−12	+118	−4709
		+269	−277	+544	+9557		+92	−33	+125	−4584
12.70		+251	−261	+512	+10069		+65	−12	+77	−4507
		+166	−178	+344	+10413		+161	−71	+232	−4265
11.70		+121	−131	+252	+10665		+170	−96	+266	−3999
		+140	−149	+289	+10954		+146	−63	+209	−3790
10.70		+156	−164	+320	+11274		+128	−45	+173	−3617
		+161	−190	+331	+11605		+115	−34	+149	−3468
9.70		+169	−178	+347	+11952		+89	−9	+98	−3370
		+118	−128	+246	+12198		+61	+22	+39	−3331
8.70		+57	−66	+123	+12321		+36	+32	+4	−3327
		+47	−58	+105	+12426		+49	+22	+27	−3300
7.70		+29	−42	+71	+12497		+59	−14	+73	−3227
		+14	−23	+37	+12534		+89	−26	+115	−3112
6.70		−2	−9	+7	+12541		+132	−53	+185	−2927
		−48	+36	−84	+12459		+145	−78	+223	−2704
5.70		−122	+111	−233	+12224		+98	−24	+122	−2582
		−117	+108	−225	+11999		+92	−24	+116	−2466
4.70		−107	+97	−204	+11795		+89	−21	+110	−2356
		−104	+95	−199	+11596		+86	−20	+106	−2250
3.70		−94	+81	−175	+11421		+62	+11	+51	−2199
		+18	−26	+44	+11465		−8	+80	−88	−2289
2.70		+188	−195	+383	+11848		−179	+225	−404	−2693
		+181	−217	+398	+12246		−152	+199	−351	−3042
1.70		+156	−162	+318	+12564		−170	+227	−397	−3439
		+155	−164	+319	+12883		−179	+225	−402	−3841
0.70		+192	−180	+352	+13235		−183	+240	−423	−4264

รูปที่ 3.15 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลสำหรับบันทึกข้อมูลที่เป็นตัวเลขต่างๆ

และใช้บันทึกค่าที่ได้จากการหมุนเปลี่ยนเซนเซอร์ไป 180 องศา วัดค่ามุมอะซิมุท (Azimuth) ของทิศทางของ A+ ไว้เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวัดครั้งต่อไป

ค่าตัวเลขที่อ่านได้จากโวลท์มิเตอร์ (Voltmeter) ซึ่งอยู่ในรูปของ 2.5 sinθ ซึ่งเป็นเลขทศนิยม 4 ตัว มีข้อแนะนำว่าควรตัดทศนิยมและเศษ θ ออก เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการจดบันทึก หรือวิธีการบันทึกอาจเป็นรูปของ $2.5 \sin\theta \times 10^{-4}$

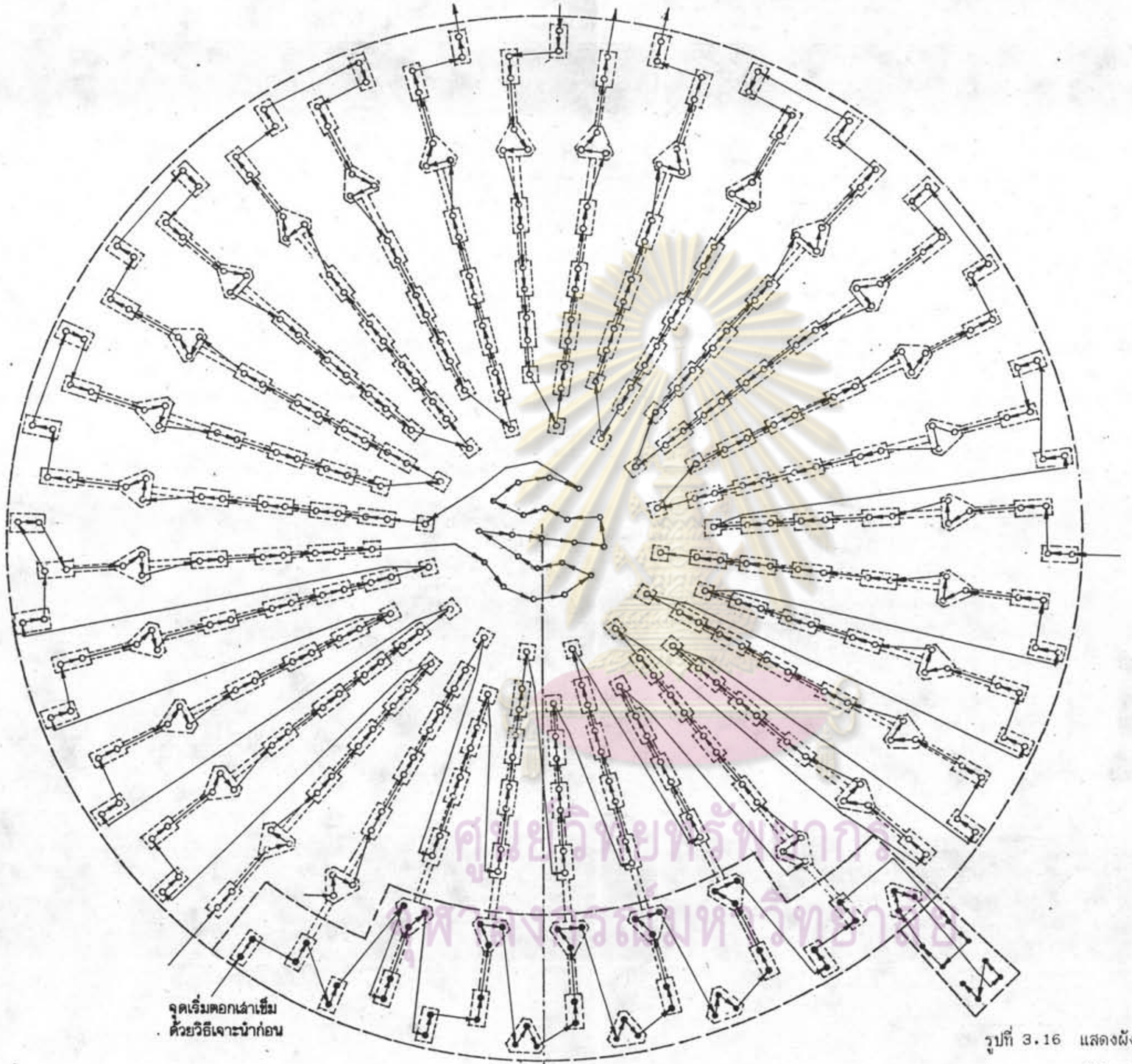
การอ่านค่าระยะความลึก ในระหว่างการวัด ต้องทำอย่างระมัดระวังและละเอียดรอบคอบ เพื่อที่จะได้ค่าการเปลี่ยนแปลงที่ละเอียดและถูกต้องยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่มุมเบี่ยงเบนมีค่าเปลี่ยนแปลงไป เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ค่ามุมที่เบี่ยงเบนโดยปกติจะพบที่จุดใกล้เคียงจุดรอยต่อของปลอก หรือระหว่างชั้นแบ่งของดินที่มีค่าต่างกัน

3.4 วิธีการตอกเสาเข็ม

การตอกเสาเข็มโดยทั่วไปในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ระยะที่ใกล้ที่สุดของการตอกเสาเข็มกับอาคารข้างเคียง จะขึ้นอยู่กับความยากง่ายและความเป็นไปได้ในการยกเสาเข็มขึ้นตั้งในตำแหน่งที่ต้องการตอก ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการด้วยกัน เช่น ขนาดของเสาเข็ม ขนาดความใหญ่โตของอาคารข้างเคียง เป็นต้น โดยปกติก่อนเริ่มการยกเสาเข็มขึ้นตั้ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการเมื่อหาตำแหน่งของเข็มได้ถูกต้องแล้ว จะต้องมีการเปิดหลุมโดยการตอกนำด้วยเสาเข็มนำ ซึ่งอาจจะเป็นเหล็กหรือไม้ก็ได้ มีความยาวประมาณ 2-3 เมตรแล้วจึงยกเสาเข็มที่จะตอกขึ้นตั้ง แล้วทำการตอกต่อไปตามต้องการ จะใช้การตอกด้วยเครื่องตอกแบบใดขึ้นอยู่กับความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่องตอก

ในการตอกเสาเข็มในงานก่อสร้างอาคารส่วนผลิตน้ำนี้มีการตอกเสาเข็มทั้งหมด 2,655 ต้น ตามผังการตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 9 ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ผังการตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 10 ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และผังการตอกเสาเข็มอาคารกรองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.18

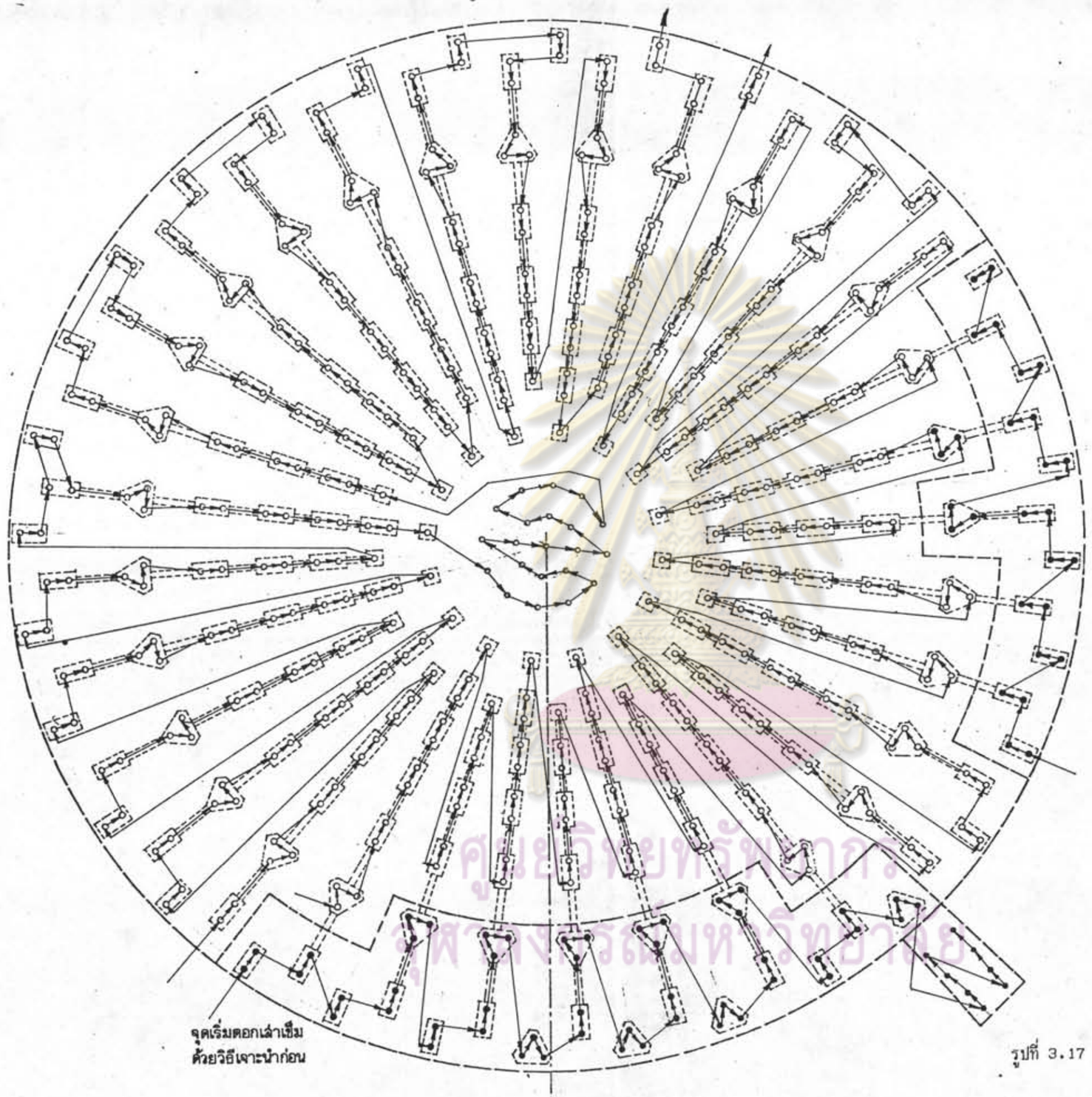
การตอกเสาเข็ม ได้ใช้วิธีการตอกโดยตุ้มตอกแบบปล่อยตกอิสระ แตกต่างจากวิธีการตอกเสาเข็มโดยทั่วไปก็คือ การตอกนี้ได้ใช้วิธีการตอกแบบเจาะนำก่อนมาใช้ คือเมื่อ



สัญญลักษณ์
• การตอกเสาเข็มแบบเจาะนำก่อน

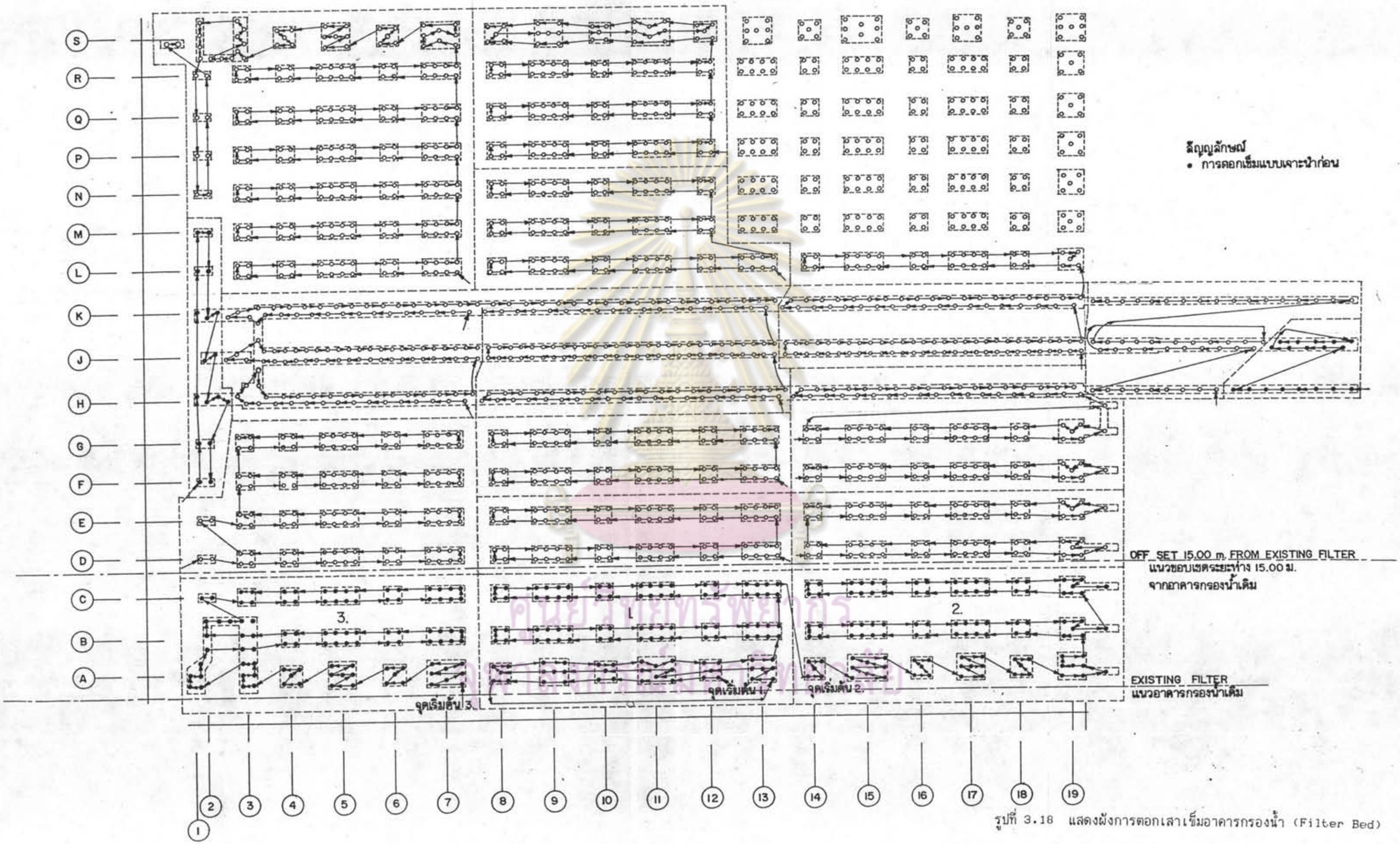
รูปที่ 3.16 แสดงผังการตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 9
(Clarifier No.9)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.17 แสดงผังการตอกเสาเข็มอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 10
(Clarifier No.10)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.18 แสดงผังการตอกเสาเข็มอาคารกรองน้ำ (Filter Bed)

ทราบตำแหน่งที่จะตอกเสาเข็มแต่ละต้นแล้ว จะใช้เครื่องเจาะแบบสว่าน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกับขนาดของเสาเข็มมากที่สุด เจาะถึงระดับความลึกที่ต้องการ (ในที่นี้ลึก 13 เมตร จากระดับดินเฉลี่ย) แล้วนำดินขึ้นมาก่อน ขั้นต่อไปจึงนำเข็มที่จะตอกยกตั้งลงไปในหลุมเจาะจึงเริ่มตอกด้วยตุ้มตอกจนปลายเข็มจมถึงระดับที่ต้องการแต่เนื่องจากปั้นจั่นตัวที่ติดตั้งแท่นเจาะต้องทำงานนำหน้าตัวที่ทำการตอก ดังนั้นเพื่อป้องกันหลุมที่เจาะไว้แล้วพังลง ได้ใช้ปลอกเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับหลุมเจาะตอกฝังไว้(ในที่นี้ใช้เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 เมตร) และเมื่อจะตอกเสาเข็มจึงดึงปลอกเหล็กขึ้น แล้วยกเสาเข็มตั้งลงในหลุมเจาะ หลังจากนั้นจึงทำการตอกต่อไปจนเสร็จ

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเสาเข็มและการตอกเสาเข็ม

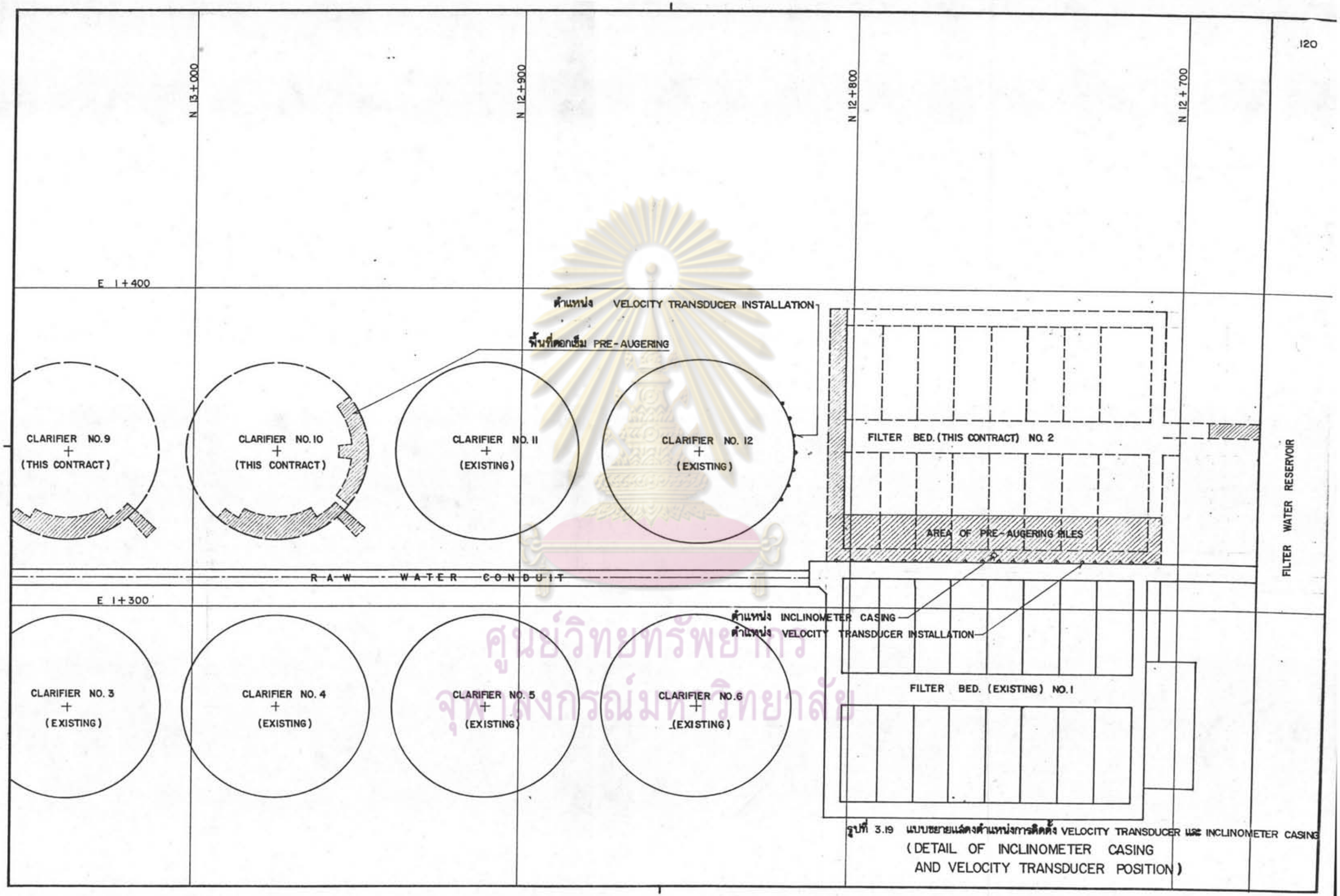
สถานที่	หมายเลข 9	หมายเลข 10	อาคารกรองน้ำ.
หน้าตัดของเสาเข็ม			
ขนาดเสาเข็ม	0.35x0.35 ม.x ม.	0.35x0.35 ม.x ม.	0.35x0.35 ม.x ม.
จำนวน	513 ต้น	513 ต้น	1,926 ต้น
น้ำหนักตุ้ม	8.05 ตัน	8.05 ตัน	8.05 ตัน
ขนาดปลอก O	0.35 ม.	0.35 ม.	0.35 ม.
ยาว	13.00 ม.	13.00 ม.	13.00 ม.
ระยะยกตุ้ม	0.30,0.50, 0.70 ม.	0.30,0.50, 0.70 ม.	0.30,0.50, 0.70 ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 สถานที่และตำแหน่งในการทดสอบ

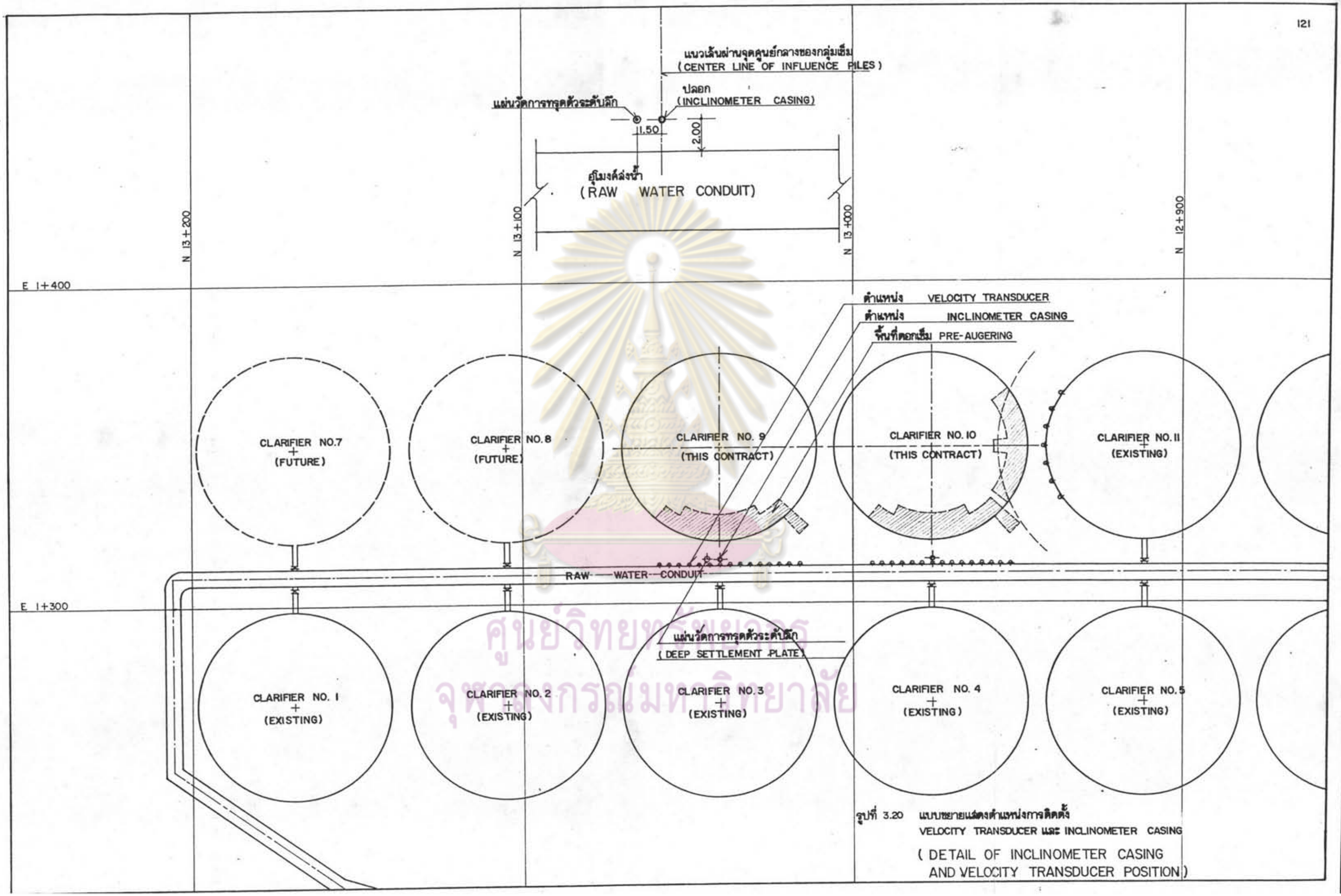
3.5.1 สถานที่ทดสอบความสั่นสะเทือน

ได้ทำการวัดทดสอบ ควบคุมความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบนผนังและเสาของอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 11, 12 และผนังของอุโมงค์ส่งน้ำโดยได้ทำการติดตั้งทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) เพื่อวัดทดสอบและควบคุมหลายจุดตามจุดต่างๆ เรียงรายไป



รูปที่ 3.19 แบบขยายแสดงตำแหน่งการติดตั้ง VELOCITY TRANSDUCER และ INCLINOMETER CASING
(DETAIL OF INCLINOMETER CASING AND VELOCITY TRANSDUCER POSITION)

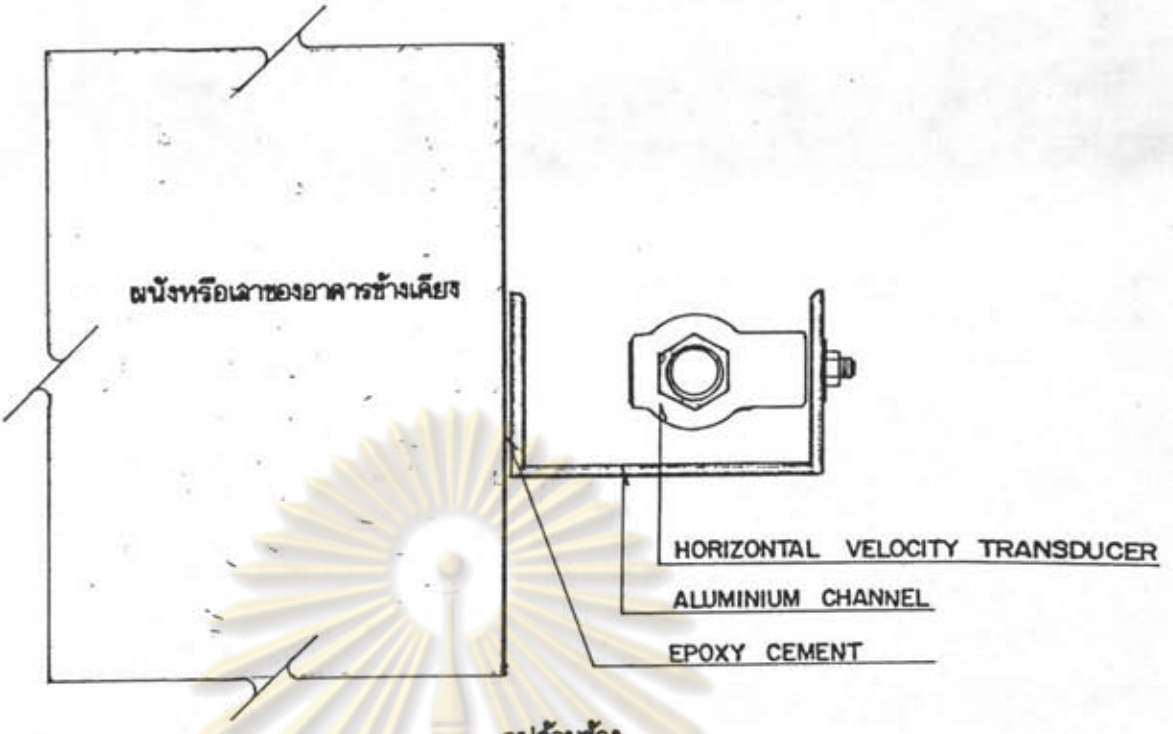
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



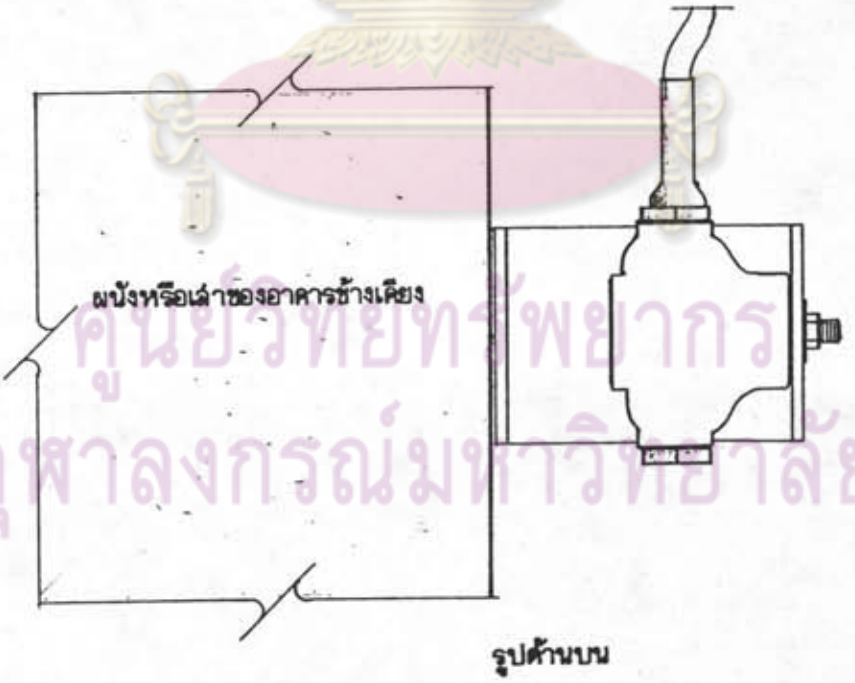
รูปที่ 3.20 แบบขยายแสดงตำแหน่งการติดตั้ง VELOCITY TRANSDUCER และ INCLINOMETER CASING

(DETAIL OF INCLINOMETER CASING AND VELOCITY TRANSDUCER POSITION)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปด้านข้าง

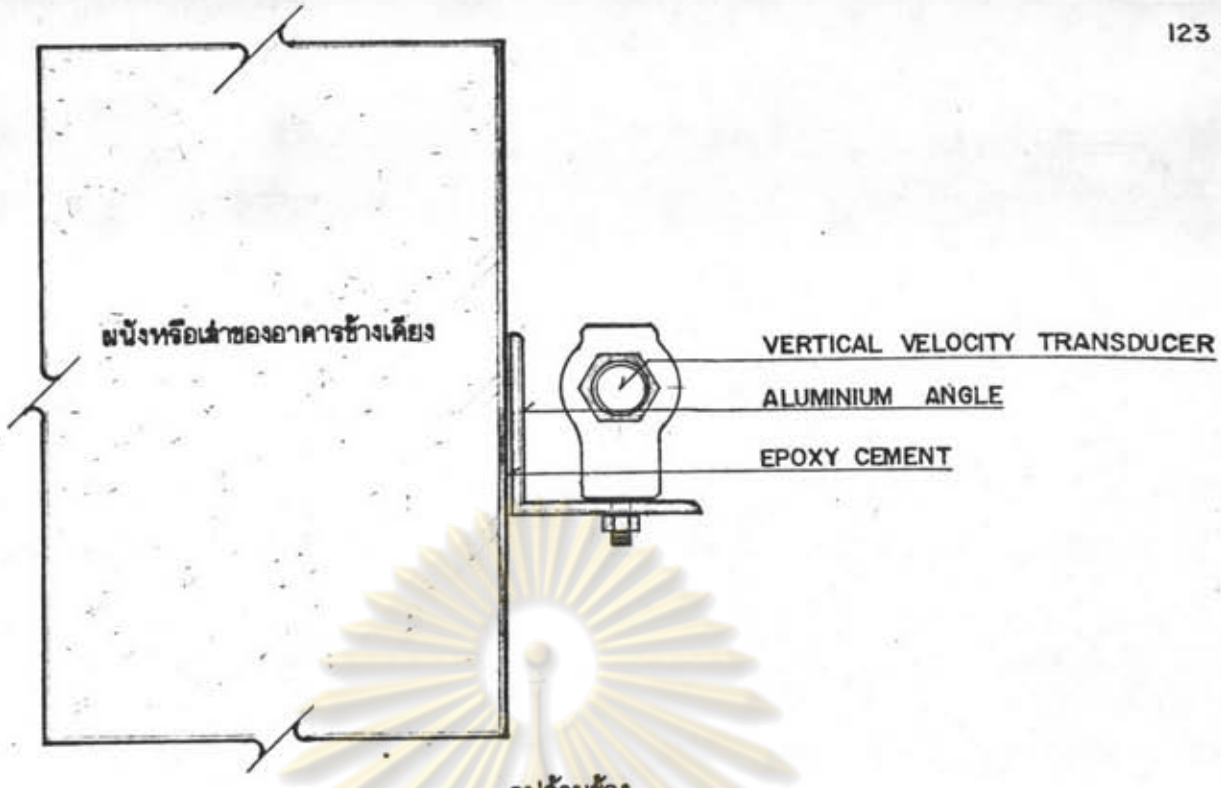


รูปด้านบน

รูปที่ 3.21 การติดตั้ง HORIZONTAL VELOCITY . TRANSDUCER

INSTALLATION OF HORIZONTAL VELOSITY TRANSDUCER

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปด้านข้าง

รูปด้านบน

รูปที่ 3.22 การติดตั้ง VERTICAL VELOCITY TRANSDUCER
(INSTALLATION OF VERTICAL VELOCITY TRANSDUCER)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.23 แสดงภาพการติดตั้งทรานสดิ้วเซอร์ (Velocity Transducer) ในสนามทั้งในแนวตั้งและแนวราบ

ตามแผนการตอกเสาเข็มโดยถือระยะทางราบที่ใกล้ที่สุดระหว่างจุดที่ทำการตอกเสาเข็มและจุดที่ทำการติดตั้งทรานสดิ้วเซอร์ ที่ความสูงโดยประมาณ 1 เมตร ที่ระดับความสูงห่างจากระดับพื้นดินเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 3.19 ,3.20 , 3.21 , 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ

3.5.2 สถานที่ทดสอบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน

ได้ทำการติดตั้งปลอก (Inclinometer Casing) เพื่อวัดทดสอบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินเนื่องจากการตอกเสาเข็มห่างจากแนวริมอาคารอุโมงค์ส่งน้ำเดิม ระยะ 2 เมตร อยู่ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งตั้งฉากกับแนวริมอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 , 10 สำหรับอาคารกรองน้ำติดตั้งปลอก (Inclinometer Casing) ห่างจากแนวริมอาคารกรองน้ำเดิม 2 เมตร โดยอยู่ระหว่างแนวพิกัดที่ 10 และ 11 ของอาคารกรองน้ำใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 , 3.19 และ 3.20 ตามลำดับ

3.6 ขั้นตอนในการทดสอบ

3.6.1 ขั้นตอนในการทดสอบความสั่นสะเทือน

(1) ติดตั้งทรานสดิ้วเวอร์ (Velocity Transducer) โดยยึดตัวทรานสดิ้วเซอร์กับฉากอลูมิเนียมขนาด 50 x 50 มม. หนา 30 มม. ด้วยสกรู และยึดฉากติดกับผนังหรือเสาด้วย Epoxy

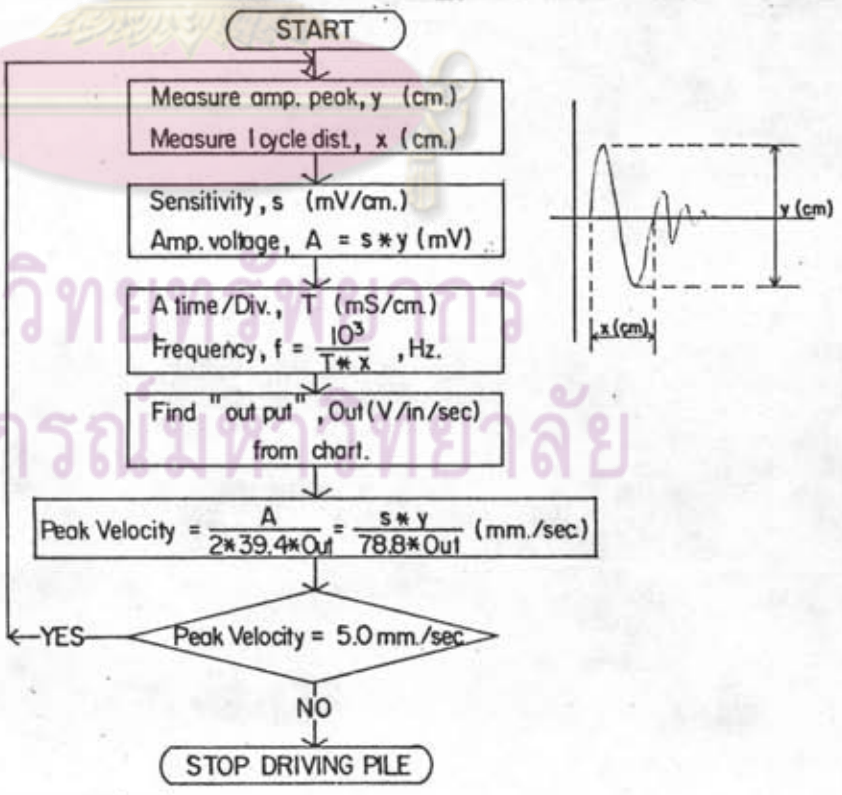
ทรานสดิ้วเซอร์ จะเป็นตัวส่งสัญญาณผ่านสายต่อ (Cable) ไปปรากฏเป็นคลื่นรูปซายน์ (Sine Wave)ที่เกิดจากการตอกเสาเข็มบนจอภาพ (CRT) ของเครื่องออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) โดยสายต่อจะต่อผ่านเครื่องกรอง (R-C Filter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์กรองสัญญาณคลื่นรบกวนความถี่สูง ที่เกิดจากแหล่งต่าง ๆ ภายนอกรอบ ๆ จุดการวัด ให้เหลือเพียงสัญญาณคลื่นจากการตอกเสาเข็มเท่านั้น

(2) ปรับเสกลของศักย์ไฟฟ้า/ช่อง (Voltage / Division) และเสกลของเวลา/ช่อง (Time/Division) ของออสซิลโลสโคปให้เหมาะสมกับสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากการตอกเสาเข็ม ถ้าปรับไม่เหมาะสมจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าคาบเวลา หรือความถี่ของความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3) บันทึกสัญญาณของความสั่นสะเทือนที่ปรากฏขึ้นบนจอคาร์โธด (CRT) ของออสซิลโลสโคปด้วยกล่องถ่ายภาพที่ยึดติดกับกล่องดำ หรืออ่านค่าด้วยตาเปล่าโดยตรงซึ่งการเก็บข้อมูลในการศึกษานี้ ได้ใช้การอ่านค่าที่อ่านด้วยตาเปล่าเพราะเป็นการวัดเพื่อควบคุมความปลอดภัย โดยก่อนที่จะใช้ค่าที่อ่านด้วยตาเปล่าได้ทดสอบการอ่านเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจนแม่นยำใกล้เคียงกับที่เกิดจริง

สำหรับการอ่านค่าความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลา (Period) ในแกนนอนแสดงค่าศักย์ไฟฟ้า (Out put Voltage) ในแกนตั้งที่จุดที่มีค่าแอมปลิจูดสูงสุด นำมาใช้คำนวณหาความเร็วสูงสุดของอนุภาค (Peak Particle Velocity) แสดงความถี่ได้ดังนี้คือ เมื่อพิจารณาสัญญาณที่ปรากฏบนจอคาร์โธด (CRT) ของออสซิลโลสโคป จะพบว่ามีแกน 2 แกนตัดตั้งฉากซึ่งกันและกันโดยที่แต่ละแกนจะถูกแบ่งเป็นช่องใหญ่ๆ ขนาดช่องละ 1 เซนติเมตร แต่ละช่องใหญ่จะถูกแบ่งเป็น 5 ขีดเล็กโดยมีช่องว่างระหว่างขีดต่างกัน ความหมายของแกนที่มี 2 แกนอธิบายได้ดังต่อไปนี้คือ แกนนอนแทนแกนเวลา ส่วนในแนวแกนตั้งแทนศักย์ไฟฟ้า (Out put Voltage) จากจอคาร์โธดอ่านค่าคาบได้ x เซนติเมตร และค่าศักย์ไฟฟ้าได้ y เซนติเมตร อ่านค่าสเกลที่ใช้ทดสอบเวลา / ช่อง แสดงศักย์ไฟฟ้า / ช่อง ที่ใช้ในขณะทดสอบ ต่อ 1 เซนติเมตรในแกนนอนและแกนตั้งของจอคาร์โธดตามลำดับ จากค่าต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถนำไปคำนวณหาค่าความถี่ และความเร็วสูงสุดของการสั่นของอนุภาคดังแสดงในแผนภูมิลำดับขั้นตอนการคำนวณดังนี้



1 V/in/sec = 39.4 mV/mm/sec

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดทดสอบความสั่นสะเทือน ในระหว่างทำการตอกเสาเข็มปลายเสาเข็มจะเจาะลึกลงไปในระดับดินชั้นต่าง ๆ ซึ่งทำให้เกิดความสั่นสะเทือนที่มีระดับความรุนแรงต่างกัน ความแตกต่างของความต้านทานการจมลึกของปลายเสาเข็ม ดังนั้นการวัดค่าความสั่นสะเทือนจะกระทำที่ระยะจมลึกต่างๆ ของปลายเสาเข็ม โดยก่อนที่จะทำการอ่านค่าจากเครื่องมือโดยละเอียด จะต้องฝึก เตรียมฝึกซ้อมการอ่านเพื่อที่จะให้ได้ค่าประมาณบนจอ CRT ที่ใกล้เคียงแอมปลิจูดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่สุด ซึ่งการฝึกซ้อมนี้ทำโดยการอ่านค่าสูงสุดของยอดคลื่นถึงยอดคลื่น (Peak to Peak) ที่เกิดขึ้นของความเร็วของอนุภาค แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่วัดอ่านได้จากภาพถ่ายที่ระยะจมลึก และพลังงานใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการทราบค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาค ในแต่ละระดับความลึกของปลายเสาเข็มแต่ละครั้งของการตอก (Blow Count)

ในการตอกเสาเข็มต้นแรกการอ่านค่าต่าง ๆ จะกระทำทุกช่วงระยะจมของเข็มช่วงละ 50 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อที่จะสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของระดับความสั่นสะเทือนที่ช่วงชั้นดินต่างๆว่ามีความแตกต่างของความรุนแรงของความสั่นสะเทือนอย่างไรนับตั้งแต่ปลายเสาเข็มเริ่มจมจากระดับที่เจาะนำก่อน (13.00 เมตร ลึกจากผิวดินเฉลี่ย)

(4) บันทึกค่าระยะยกตุ้ม , ระยะจมลึกของปลายเสาเข็ม , ระยะห่างของจุดตอกเสาเข็มกับจุดที่ทำการติดตั้งทรานสดิ้วเซอร์ในการวัดทดสอบ

3.6.2 <u>การวัดทดสอบระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน</u>

(1) การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ก่อนทำการวัดทดสอบ ก่อนที่จะทำการวัดค่าความเบี่ยงเบนด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ชุดที่ใช้วัดอ่านค่า(Sensor และDigitilt Indicator) แล้วนำไปคำนวณระยะการเคลื่อนตัวของชั้นดินได้ทำการติดตั้งปลอก (Inclinometer Casing หรือ Access Tube)ลงไปในชั้นดินลึกประมาณ 24.40 เมตรในแนวจุดศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็ม 3 กลุ่ม คือกลุ่มเสาเข็มของอาคารกวนตกตะกอน หมายเลข 9 , 10 และอาคารกรองน้ำ เพื่อวัดความเบี่ยงเบนของปลอก แล้วนำค่าความเบี่ยงเบนที่วัดได้ไปคำนวณการเคลื่อนตัวของปลอก ซึ่งเปรียบได้กับการเคลื่อนตัวของชั้นดินช่วงที่ทำการวัด โดยมีลำดับขั้นตอนการติดตั้งปลอก ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เจาะดินและนำดินขึ้นจากหลุมเจาะ โดยวิธีเจาะล้าง (Wash Boring) ซึ่งประกอบด้วยปลอกเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ใช้ป้องกันดินรอบหลุมเจาะพัง เจาะไปจนถึงความลึกประมาณ 24.40 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.24

ขั้นที่ 2 ติดตั้งปลอกซึ่งเชื่อมต่อแต่ละท่อนเข้าด้วยกันด้วยข้อต่อ, หมุดย้ำและ Sealant ปลายล่างของปลอกอุดแน่นด้วยจุกอุดปลายท่อ (Plug) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 หย่อนลงไปในหลุมเจาะ แต่เนื่องจากภายในหลุมเจาะมีแรงดันของน้ำใต้ดินที่ทำให้เกิดแรงลอยตัวของปลอก และเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านนี้ ได้เติมน้ำลงไปในปลอกจนทำให้ปลอกจมลงไปจนถึงก้นหลุมเจาะ การวางทิศทางปลอกได้วางให้ทิศทาง A-A ตั้งได้ฉากกับแนวอาคารข้างเคียง

ขั้นที่ 3 ในขณะที่ดึงปลอกเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ที่ป้องกันดินพังขึ้นจากหลุมเจาะก็ได้ทำการเกราท์ (Grout) รอบๆ ปลายล่างของปลอกด้วยซีเมนต์ผสมน้ำอัตราส่วน น้ำ : ซีเมนต์ เท่ากับ 4:1 เพื่อประสานปลายล่างให้ยึดแน่นกับชั้นทรายรอบ ๆ ประมาณ 40 เซนติเมตร ต่อจากนั้น (ส่วนบนรอบๆ ผนังหลุมเจาะกับผิวภายนอกของปลอก) เกราท์ด้วยเบนโทไนท์ - ซีเมนต์ อัตราส่วน 2:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้ค่าความแข็งแรงโดยประมาณเท่ากับดินเหนียวอ่อนรอบ ๆ ปลอกนั้น

ขั้นที่ 4 จัดเทพื้นคอนกรีตพอประมาณบนพื้นดินโดยรอบตำแหน่งที่ติดตั้งปลอกเพื่อความสะดวกในการเข้าทำการวัดทดสอบและทำรั้วรอบเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับปลอก ดังแสดงในรูปที่ 3.25

(2) การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์เมื่อทำการวัดทดสอบ การติดตั้งเพื่อทำการวัดทดสอบ มีขั้นตอนดังนี้ คือ

ขั้นที่ 1 ติดตั้งอุปกรณ์รอก (Pulley Assembly) เข้ากับส่วนของปลอกให้ยึดแน่นไม่สั่นคลอนได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.26

ขั้นที่ 2 ประกอบติดตั้งสายต่อ(Cable) เข้ากับเซนเซอร์ และDigitilt Indicator ตามผังแสดงการต่อเชื่อมโยงเครื่องมือ ดังแสดงใน รูปที่ 3.27

ขั้นที่ 3 หย่อนเซนเซอร์ลงไปในปลอกจนถึงระดับที่เริ่มทำการวัด(ประมาณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.24 แสดงภาพการเจาะดินและนำดินขึ้นจากหลุมเจาะโดยวิธีเจาะล้าง (Wash Boring) พร้อมทั้งภาพปลอกเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว

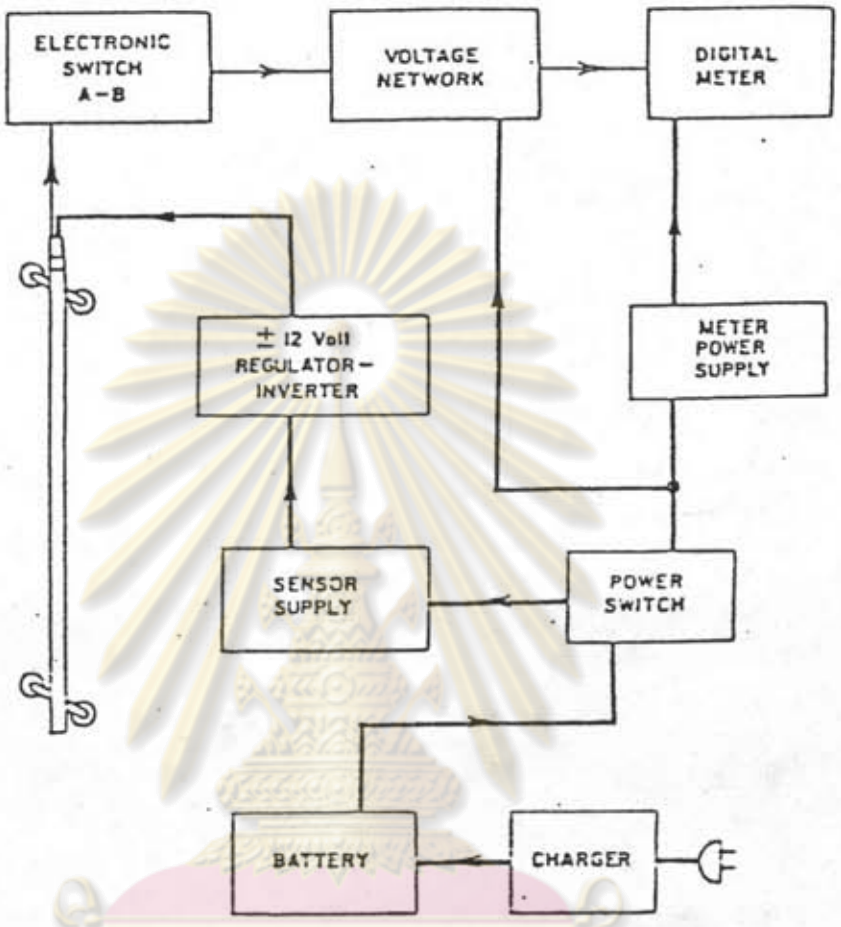
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.25 แสดงการติดตั้งปลอกเหล็กกันหลุมพังทลาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.26 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์รอก (Pulley Assembly)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.27 ผังแสดงการต่อเชื่อมโยงเครื่องมือ Inclinometer

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

24 เมตร) โดยล้อบังคับเซนเซอร์อยู่ในร่องของปลอกในทิศทาง A- A (A+)เปิดสวิสให้ Digitilt Indicator ทำงานและรอจนกว่าตัวเลขบนหน้าปัทม์ขึ้นและนิ่ง(Stable)จึงเริ่มอ่านค่าแรก (A+,B+)

(3) การวัดทดสอบ หลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์ชุดที่ทำการอ่าน แล้วหย่อนเซนเซอร์ลงในทิศทาง A-A(A+) และพร้อมที่จะอ่านค่าแรก (A+,B+) ที่ระดับความลึกที่ต้องการ โดยเริ่มอ่านจากปลายล่างขึ้นสู่บน ได้ทำการอ่านค่าจาก Digitilt Indicator ทุกช่วง 50 เซนติเมตร จนถึงปลายบนของปลอก แล้วกลับทิศทางของเซนเซอร์ไปในทิศทาง A-A(A-) จากนั้นค่อยๆ หย่อนลงจนถึงปลายล่างระดับเดียวกับทิศทาง A-A(A+) จึงเริ่มอ่านค่า A- และ B- ขึ้นทุกช่วง 50 เซนติเมตร จนถึงปลายบนสุดของปลอกเช่นเดียวกัน นำค่าที่อ่านได้ (A+,B+ และ A- ,B-) ไปคำนวณและพลอตกราฟแสดงการเคลื่อนตัวของชั้นดิน

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการวัดทดสอบค่าเริ่มแรก (Initial) จุดละ 3 ครั้ง แล้วนำไปคำนวณและพลอตแนวของการเบี่ยงเบนของปลอก ก่อนเริ่มทำการตอกเสาเข็มเทียบกับแนวดิ่ง (Ideal Vertical) จากนั้นทำการวัดอ่านค่า (Current Reading)การเบี่ยงเบนของปลอกที่เกิดจากการตอกเสาเข็มในวันที่ผ่านมา นำค่าที่ได้ไปคำนวณ และพลอตเปรียบเทียบกับค่าเริ่มแรกได้เป็นค่าและเส้นกราฟแสดงการเคลื่อนตัวของชั้นดิน.

(4) การใช้เซนเซอร์ (Sensor) และการอ่านค่า

ทำการติดตั้งอุปกรณ์รอกลงบนส่วนบนของปลอก ก่อนที่จะหย่อนเซนเซอร์ลงไปในปลอก เวลาอ่านค่าความลึกบนสายต่อต้องยึดสายไว้ในตัวยึดและพาดสายให้อยู่ส่วนบนของรอกเพื่อสะดวกในการอ่าน เมื่อเปิดเครื่องแล้วหย่อนเซนเซอร์ลงในปลอกโดยให้ทิศทางล้อส่วนบนอยู่ในแนวของร่องหลัก ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น ตรวจสอบให้แน่ใจว่าล้อทั้งส่วนล่างและส่วนบนอยู่ในร่องถูกต้องและแน่นอนและระมัดระวังให้สายอยู่ในตัวยึด สายและยึดเซนเซอร์ไว้ใกล้ส่วนบนของปลอก

บิดสวิสของเครื่องที่ตำแหน่ง A และ B ขณะที่ทำการอ่านค่าโดย LCDแล้วค่อยๆ หย่อนเซนเซอร์ลงจนถึงก้นหลุม ระวังอย่าให้เกิดการกระแทกโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อหย่อนถึงก้นหลุม ให้เซนเซอร์อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดที่ต้องการวัดโดยอ่านจากเครื่องหมายแสดง

ระยะบนสาย ซึ่งมีจุด 0 ที่ระยะกึ่งกลางระหว่างล้อชุดบนและชุดล่างของเซนเซอร์ ก่อนการอ่านค่าระยะจากสายทุกครั้ง ต้องยึดสายด้วยตัวจับยึดทุกครั้ง ก่อนเริ่มอ่านค่าครั้งแรกควรตั้งระยะเวลาไว้ 5 นาทีเพื่อให้ตัวเซนเซอร์มีอุณหภูมิใกล้เคียงหรืออุณหภูมิเดียวกับหลุมเจาะ อ่านแล้วบันทึกค่า A,B ลงในกระดาษบันทึกทุกครั้งที่อ่านเสร็จ อ่านค่าทุกระยะ 0.5 เมตร จนถึงส่วนบนของหลุมเจาะ แล้วนำเครื่องเซนเซอร์ออกจากปลอก โดยตรวจสอบให้แน่ใจว่า ล้อนั้นเคลื่อนอยู่ในร่องล้อเดิม

บิดหมุนเซนเซอร์ไป 180 องศาและทำการวัดดังเช่นครั้งแรกขณะหย่อนเซนเซอร์ลงหรือดึงขึ้นเมื่ออ่านค่าเสร็จต้องตรวจสอบอีกครั้งว่าล้ออยู่ในร่องของปลอกทุกครั้ง

เมื่อเสร็จตามขั้นตอนของการอ่านในแต่ละแนวแกน โดยทำแนวแกนละ 2 ครั้ง ตลอดความลึกของปลอก ในกรณีที่เป็นการวัดครั้งแรกของปลอกที่ติดตั้งใหม่ควรทำการวัดซ้ำ ๆ กันอย่างน้อย 2-3 ครั้ง เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มแรก (Initail Data) การวัดค่าเริ่มแรก (Initial) นี้ต้องทำการวัดอย่างละเอียดที่สุด กระดาษที่ใช้บันทึกควรแยกแผ่นกันระหว่างข้อมูลแต่ละชุดของการอ่าน

สรุปวิธีการใช้เซนเซอร์โดยย่อได้ดังนี้

- ติดตั้งอุปกรณ์ของชุดรอกสายโดยไม่ต้องติดตัวรอก
- เชื่อมต่อเซนเซอร์กับสายต่อและชุดอ่านค่า
- เปิดเครื่องให้ทำงานและฉีดน้ำมันหล่อลื่นกับลูกปืนของล้อ
- หย่อนเซนเซอร์ลงในปลอกหมุนปรับเซนเซอร์ ให้ล้อชุดบนอยู่ในแนวแกน +A ซึ่งคาดว่าจะมีการเคลื่อนตัวมากที่สุด)
- ติดตั้งรอกสายเข้ากับชุดรอก และหย่อนเซนเซอร์ลงอย่างช้า ๆ ป้องกันการกระแทกของเครื่องมือ
- ยกเซนเซอร์ขึ้นให้ใกล้จุดเครื่องหมาย 0.5 เมตร โดยดึงสายผ่านหลักยึด
- รอให้อุณหภูมิของปลอก และเซนเซอร์เท่ากันเสียก่อนอย่างน้อย 5-10 นาที
- ปรับสวิทช์ ที่แยกอ่านค่า A และ B ที่ทุกระยะ 0.5 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยยกเซนเซอร์ขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับจดบันทึกค่าที่อ่านได้

- เมื่อเซนเซอร์ขึ้นถึงส่วนบนแล้ว ถอดตัวรอก เก็บสาย และเซนเซอร์ออกจากปลอกแล้วหมุนบิดเซนเซอร์ไป 180 องศา แล้วหย่อนเซนเซอร์ลงไปในปลอกใหม่อีกครั้งลงในร่องคู่เดิม
- หย่อนเซนเซอร์ลงไปที่ก้นหลุมโดยไม่ให้กระแทกกับก้นหลุม
- อ่านค่าอีกครั้งทุกระยะ 0.5 เมตร จดบันทึกค่า A และ B
- ตรวจสอบผลรวมของค่า A และ B ว่าคงที่โดยประมาณ ผลรวมต้องคงที่ตลอด 5-10 ค่า ถ้าการตรวจสอบถูกต้อง ถือว่าการอ่านค่าสมบูรณ์
- เมื่อทำการวัดเสร็จทำความสะอาดเครื่องมือ อุปกรณ์ และหยอดน้ำมันลูกปืน
- เช็ดเครื่องมือ เซนเซอร์ให้แห้งด้วยผ้า ก่อนที่จะถอดสายต่อออก

(5) การบันทึกข้อมูล (Data Processing)

การตรวจสอบข้อมูล (Checking Data Validity) , การเก็บข้อมูลมีจุดประสงค์ 2 ประการคือ

1. เพื่อให้ค่าเฉลี่ยของผลของข้อมูลทั้งสองที่อ่านได้จากร่องตรงกันข้ามทั้งสองค่าในทิศทางกลับนี้ จะช่วยลดความผิดพลาดซึ่งเกิดจากเครื่องมือและปลอกได้ดี

2. เพื่อตรวจสอบค่าที่ระยะความลึกเดิมของทั้งสองค่า ขณะที่ทำการวัดและบันทึกค่าในชุดข้อมูลที่ทำการวัดกลับบ้าง ความถูกต้องของข้อมูลสามารถตรวจสอบได้ ความผิดพลาดหรือความไม่ละเอียดในการอ่าน การควบคุมความลึกในการวัด ปัญหาของปลอกและการตัดเศษ 0 ที่ไม่ต้องการออก สามารถพิสูจน์ได้โดยทำการอ่านและวัดกลับทาง 2 ครั้ง ผลรวมของค่าที่อ่านได้ 2 ครั้งในแต่ละความลึกจะต้องคงที่ประมาณ 5-10 ตัวเลข(ค่า) ปัญหาของการตรวจสอบในสนามนี้ คือปัญหาของการอ่านค่า สามารถตรวจสอบได้ทันทีโดยสามารถทำซ้ำหลายครั้ง ซึ่งเหมือนกับการอ่านค่าจากการสำรวจอื่นๆ ยิ่งอ่านซ้ำหลายครั้งในค่าเดียวจะยิ่งให้ความละเอียดมากยิ่งขึ้น

ถ้าการตรวจสอบทำโดยใช้ Calulater หรือ คอมพิวเตอร์ ควรเตรียมช่อง

สำรองไว้สำหรับค่า Initial different ซึ่งอาจใช้ตรวจสอบค่าผลรวม

(6) วิธีการลดความยุ่งยากในการบันทึกข้อมูล

ดังที่แนะนำไว้แล้วข้างต้นว่าการบันทึกข้อมูลควรบันทึกในรูปของ $2.5 \sin\theta \times 10^4$ หรือในรูปของ $K\sin\theta$ เมื่อ K = 25,000 ซึ่งเปรียบเสมือน K เป็นค่าคงที่ของเครื่อง คูณตัวเลขที่อ่านได้จาก Digital Voltmeter ด้วย 10 เพื่อตัดทศนิยมออกเป็นเลขจำนวนเต็มเช่น 20,000 $= \pm 53^{\circ}$

การเฉลี่ยค่า ของค่าที่อ่านได้จากการทำกลับทางทั้งสองแต่ละความลึกนั้น ทำโดยการคำนวณค่าผลต่างทางพีชคณิตของการอ่านค่าครั้งแรกและครั้งที่ 2 จึงใส่ค่าผลต่างลงในช่อง "DIFF" ทางขวาของช่อง A และ B ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3.15 ซึ่งค่าผลต่างทางพีชคณิตตามปกติหมายถึงผลต่าง (Difference)

ช่อง "DIFF" ทางด้านซ้ายของ A และ B ทำไว้เผื่อสำหรับผลต่างของ Initial Data ค่าการเปลี่ยนแปลงของผลต่างระหว่าง Initial และ ค่าที่วัดครั้งต่อไปสามารถคำนวณและบันทึกไว้ในช่องของแกน A และ B

ประโยชน์อื่นๆ ของการใช้วัดค่าเฉลี่ยคือไม่ต้องปรับตัวเครื่องไปที่ Ø (Set Ø) ค่าผลต่าง (Different) เป็นค่าที่ถูกต้องของมุมที่สัมพันธ์กับแกนตั้ง

(7) ผลต่าง (Difference)

ในกระดาษบันทึกข้อมูลในรูปที่ 3.15 กรอกค่าผลต่างลงในช่อง "DIFF" การหาค่าผลต่างทำได้โดยนำค่า A ในช่องขวาลบออกจากค่าในช่องซ้ายโดยคำนึงถึงเครื่องหมายด้วย

$$\text{DIFF (A)} = \left[\text{RDG(A+)} - \text{RDG(A-)}\right]$$

ดังตัวอย่าง ค่า A-axis อ่านที่ความลึก 5.5 เมตร เมื่อวันที่ 9 มีนาคม 1987 ดังรูปที่ 10 สามารถคำนวณได้ ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DIFF(A)23.7 = (-25) - (+5) = -30

ค่า B-axis

DIFF (B) = RDG (B+) - RDG (B-)

DIFF(B)23.7 = (-153) - (+192) = -345

(8) ค่าความเปลี่ยนแปลง (Changes)

จุดประสงค์ของการใช้เครื่องมือดิจิติลท์ อินคลิโนมิเตอร์ (Digitilt Inclinometer) เพื่อใช้บอกค่าการเปลี่ยนแปลงความเบี่ยงเบนของปลอกว่า เบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งเดิมเท่าใด อันดับแรก ต้องคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงใน Algebraic Diff. ระหว่างชุดข้อมูล 2 ชุด ของข้อมูลแต่ละความลึก เมื่อการวัดครั้งแรก (Initial) เสร็จสิ้นลงเราสามารถคำนวณค่าผลต่างครั้งแรกได้และกรอกไว้ในช่อง "DIFF" ช่องซ้ายสุดของทั้ง A และ B ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าแรกและค่าที่วัดได้ใหม่กรอกไว้ในช่อง "CHANGE" ทางขวามือ วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกสำหรับงานในสนามเพื่อหาค่า ขนาด และตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน

"CHANGE" = Current "DIFF" - Initial "DIFF"

(9) DEFECTIONS

ค่า "CHANGE" สามารถแปลงกลับไปเป็น Displacement หรือ Incremental Defection ได้ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ แสดงไว้ ดังนี้

$$\text{reading} = \text{RDG} = 2.5 \sin\theta \times 10^4 \quad \text{.....(1)}$$

$$\text{Difference} = \text{DIFF} = 5 \sin\theta_c \times 10^4 \quad \text{.....(2)}$$

$$\text{CHANGE} = 5 \sin\theta \times 10^4 \quad \text{.....(3)}$$

$$\sin\theta_c = \frac{\text{CHANGE}}{50{,}000} \quad \text{.....(4)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ θc คือค่ามุมเบี่ยงเบนในแต่ละช่วงความลึกที่วัด ซึ่งความลึกจะกำหนดไว้

ดังนี้ (L) = 0.5 เมตร = 500 มม.

ที่ช่วงความลึกหนึ่ง Displacement เป็นมิลลิเมตร แสดงในรูปของค่าทางตรีโกณมิติได้ดังนี้

$$\text{Incremental Deflection} = L \sin\theta c \qquad \ldots\ldots(5)$$

แทนค่า (4) ใน (5) จะได้

$$\text{Incremental Deflection} = L. \frac{\text{CHANGE}}{50,000} \qquad \ldots\ldots(6)$$

เมื่อให้ค่า L = 500 มม จะได้ $= 0.01 \times \text{CHANGE (มม)} \ldots\ldots(7)$

วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกในการแปลงค่า CHANGE เป็น Incremental Deflection เป็น มม. โดยเลื่อนทศนิยมไป 2 ตำแหน่งทางซ้ายของค่า CHANGE ผลรวมของค่า CHANGE และ Incremental Deflection จากจุดล่างสุดจะได้เป็นค่า Total Deflection ของปลอกจากตำแหน่งเดิม การเคลื่อนตัวของปลอกที่วัดการเคลื่อนตัวในงานปฐพี (EARTH) หรือโครงสร้างอาคารโดยทั่วไป เทียบกับปลายล่างสุด ซึ่งติดตั้งไว้ในชั้นดินที่มั่นคง (Stable) กว่าดินชั้นบน ค่า Deflection โดยทั่วไปจะใช้ค่าที่ส่วนบนและส่วนกลางของปลอก

Data Summary Sheet จะใช้เป็น sheet ที่ใช้คำนวณค่า CHANGE จากข้อมูล Change deflection จากสนามและแสดงผลรวมของข้อมูลจากสนาม ค่า CHANGE จะย้ายจาก Field Data Sheet หรือกรอกโดยตรงใน Summary Sheet สำหรับแต่ละ Axis ของเซนเซอร์ (Sensor)

ใน Summary Sheet ช่อง INITIAL หมายถึง Initial Data ซึ่งใช้เป็นตัวอ้างอิงสำหรับการวัดครั้งต่อ ๆ ไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดค่า Initial จะได้ DIFF ในช่อง INITIAL ซึ่งจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับ DIFF ของค่าที่วัดในภายหลัง ดังนั้นที่ส่วนบนของปลอกแต่ละช่วงการวัด 0.5 เมตร ค่า Deflection อ้างอิงกับค่า Initial จะเป็น

Deflection(mm) = 0.01 x Sum of CHANGE

(10) ขั้ว (POLARITY)

ขั้ว + เป็นตัวที่บอกว่า ส่วนบนของ เซนเซอร์ เบี่ยงเบนไปในแนว A+ หรือ A- และ B+ หรือ B-

การเบี่ยงเบนของหลุมเจาะ (Borehole Diviation) สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกับ Deflection ดังตัวอย่าง

Diviation (mm) = 0.01 x Sum of Difference

ค่าแฟคเตอร์ (0.01) ได้จากการใช้ช่วงความลึกช่วงละ 0.5 เมตร ระหว่างที่ทำการวัดอ่านค่า

เมื่อค่า DIFF หรือ CHANGE ถูกรวมจากบนลงล่าง ค่า บวก ลบ จะกลับค่ากัน คือค่า " + " หมายถึงค่าเบี่ยงเบนของปลายล่างของปลอกในทิศทาง (A-) และค่า " - " หมายถึงการเบี่ยงเบนของปลอกไปในทิศทาง (A+) สำหรับการอ่านค่าแนวแกน A ในแนวแกน B ก็ปฏิบัติในทำนองเดียวกัน

การกลับค่าเครื่องหมาย สามารถทำโดยรวม (Sum) ค่า"CHANGE" จากส่วนบนสุดของช่อง CHANGE โดยใช้ในกรณีการเคลื่อนตัวทุกชนิด ที่เทียบกับหมุดอ้างอิงบนปากหลุมเจาะ และเมื่อส่วนล่างของปลอกเป็นดินที่มีคุณสมบัติไม่มั่นคงได้เช่นเดียวกัน

(11) การเปลี่ยนแปลงช่วงความลึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แม้ว่าโดยทั่วไปจะใช้ช่วงความลึก 0.5 เมตร ซึ่งเท่ากับค่า ระหว่างล้อบนล้อล่างของเซนเซอร์นั้น แต่ช่วงความลึกอื่น ๆ นอกเหนือจาก 0.5 เมตร ก็สามารถจะใช้ได้ ดังตัวอย่าง เช่น สามารถใช้ช่วงความลึกที่ต่ำกว่า 0.5 เมตร ในบริเวณที่เกิดแรงเฉือน (Shear Zone) เพื่อให้ได้ขอบเขตที่ละเอียดยิ่งขึ้น หรือในกรณีอื่น ที่ใช้ช่วงความลึกมากกว่า 0.5 เมตร เช่น ใช้ 2 เมตร ในหลุมเจาะที่มีความลึกมาก ๆ เพื่อการประหยัดเวลาในการวัดและการคำนวณข้อมูล

การตัดสินใจในการใช้ช่วงความลึกใด ๆ ขึ้นอยู่กับสภาพ และสถานการณ์ที่ปฏิบัติ และต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่างประกอบกัน ในกรณีที่ใช้ช่วงความลึกต่างจาก 0.5 เมตร การคำนวณจะเปลี่ยนจากเดิม เป็นดังนี้

$$\text{Incremental Deflection (mm)} = L \sin \theta$$

$$= L \times \frac{\text{CHANGE}}{5 \times 10}$$

$$= \frac{L}{5} \times 10 \times \text{CHANGE}$$

$$\text{Lateral movement} - \text{Deflection (mm)} = L \times 10 \times \text{Sum of change}$$

เมื่อ L = ค่าช่วงความลึกเป็น mm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(12) การประเมินผลและการแสดงผล

เมื่อได้ข้อมูลการเคลื่อนตัวของบริเวณที่ต้องการเรียบร้อยแล้วสามารถนำผลที่ได้นั้นไปพลอตแสดงอัตราการเคลื่อนตัว ซึ่งทำโดยการพลอตค่าระหว่างปริมาณการเคลื่อนตัว กับเวลา โดยปกติบริเวณที่เคลื่อนตัว จะมีช่วงไม่หนามากเพียง 2-3 ฟุตเท่านั้น ผลรวมของ CHANGE ที่ได้จากการวัดต่อ ๆ กันมานั้น จะเป็นค่าที่แสดงถึงขนาดและอัตราการเคลื่อนตัวทั้ง

หมด การพลอตความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับ CHANGE ของการวัดอ่านค่าแต่ละความลึก นับว่ามีประโยชน์ แต่ค่อนข้างจะเสียเวลา และค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ค่าการเคลื่อนตัวและการเปลี่ยนแปลงของลาด (Slope) รวมทั้งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปลอก โดยทั่วไปจะพลอตสัมพันธ์กับความลึก ซึ่งการพลอตนี้จะแสดงเฉพาะการเปลี่ยนแปลง CHANGE และการเปลี่ยนแปลงสะสมรวมทั้งหมด (Cumulative Change) เทียบกับความลึก

ประโยชน์สูงสุดของการพลอตคือแสดงผล CHANGE และ DIFF. ของการเบี่ยงเบน และแสดงบริเวณของการเคลื่อนตัวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ความละเอียดถูกต้องอยู่ในช่วงความลึกไม่เกิน 30 เมตรส่วนที่ลึกเกินกว่า 30 เมตร Deflection กับความลึกที่พลอตอาจให้ค่าที่ผิดพลาดได้ แม้ว่าจะยังอยู่ในช่วงที่เครื่องมือสามารถทำงานได้ดี แต่ก็มีผลจากเวลาที่ใช้มากเกินไป และความคลาดเคลื่อนของระบบของเครื่องวัดที่เบี่ยงเบนไปมาหลายๆ มิลลิเมตร

ประโยชน์ของ Inclinometer คือสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความเบี่ยงเบนตามความลึกได้ดีกว่าที่จะต้องเตรียมหลุมเจาะอย่างพิถีพิถัน แม้ว่า การวัดการเคลื่อนตัวที่เกินกว่าความลึก ซึ่งเป็นขีดจำกัดของเครื่องมือแต่ก็ยังมีความละเอียดสูงกว่าการทำด้วยหลุมเจาะที่มีความลึกมาก ๆ

ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในระบบการวัดโดยเครื่องมือนี้ จะสูงมาก ถ้าไม่ทำตามขั้นตอนที่ดีและการประเมินผลข้อมูลที่ได้อย่างถูกต้อง แน่นอน หากไม่ปฏิบัติตามข้อแนะนำที่ดี โดยเป็นเพราะขาดความรับผิดชอบในหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูล และเสนอผลของข้อมูลที่เก็บมานั้น แผนการปฏิบัติงานต้องมีการปรับปรุงตลอดเวลาตามสภาพการณ์ที่เปลี่ยนแปลง ต้องมีการฝึกหัดการใช้เครื่องมือที่ดี เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมที่จะแก้ไขปัญหาได้ทันเหตุการณ์ เพื่อให้ได้ผลของข้อมูลที่สมบูรณ์ ซึ่งจะเป็นผลสะสมไปเรื่อย ๆ และสามารถหาข้อผิดพลาดพร้อมกับลดข้อผิดพลาดให้ได้ผลสรุปที่ดี.

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 การวัดความสั่นสะเทือน

ในการวัดทดสอบความสั่นสะเทือนได้ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ความเร็วของการสั่นของอนุภาค ซึ่งได้จากการวัด อ่าน และคำนวณดังได้กล่าวแล้วในข้อ 3.6.1

2. ระยะห่างทางราบที่ใกล้ที่สุดระหว่างจุดตอกเสาเข็มกับจุดที่ติดตั้งทรานสดิวเซอร์สำหรับอาคารกวนตกตะกอนหมายเลข 9 , 10 ระยะห่าง (d) ที่วัดคือ ระยะจากตำแหน่งเสาเข็มที่ตอกถึงแนวริมอาคารอุโมงค์ส่งน้ำ ส่วนอาคารกรองน้ำ ระยะห่าง (d) ที่วัดคือ ระยะจากตำแหน่งเสาเข็มแต่ละต้นในทางราบถึงแนวผิวเสาเข็มของฐานรากของอาคารกรองน้ำเดิม เพราะลักษณะของอาคารกรองน้ำเป็นผนังคอนกรีตตั้งบนคานยื่น

3. ระยะยกตุ้มน้ำหนักตอกเสาเข็ม (Height of Drop) และระดับจมลึกของปลายเสาเข็ม

4. น้ำหนักตุ้มซึ่งคงที่ตลอดการตอกเสาเข็มทุกต้น

การวิเคราะห์ข้อมูล นำข้อมูลของความเร็วของการสั่นของอนุภาคที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยตามระยะทาง, ระดับปลายเสาเข็มจมลึกต่าง ๆ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปพลอตเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{\sqrt{\text{พลังงาน}}}{\text{ระยะ}}$ $(\sqrt{E}/d)$ กับความเร็วสูงสุดของการสั่นของอนุภาค (V) และวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ได้สมการความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปของความเร็วของการสั่นของอนุภาคกับพลังงานและระยะห่างของการตอกเสาเข็ม และใช้วิธีวิเคราะห์สหสัมพันธ์เชิงเส้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการที่ได้ของเส้นถดถอยและเลือกสมการเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิ์แห่งการตัดสินใจ (r) ตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป นำไปพลอตกราฟลากเส้นตรงของสมการต่าง ๆ ที่ได้

3.7.2 การวัดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดิน

ในการวัดทดสอบการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินได้ข้อมูลและผลการวิธีวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลที่ได้ ได้จากการวัดอ่านค่า และคำนวณ ได้เป็นข้อมูลซึ่งเป็นระยะการเคลื่อนตัวของปลอก (Inclinometer Casing) ที่ระยะความลึกต่าง ๆ ซึ่งเปรียบเสมือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

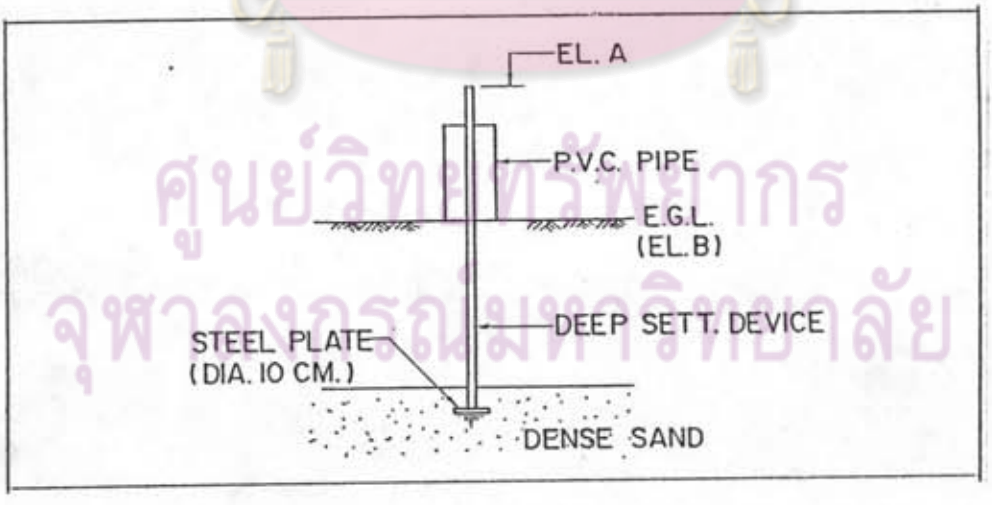
การเคลื่อนตัวของชั้นดินจากค่าเริ่มแรก (Initial) ที่ได้จากการวัดก่อนการตอกเสาเข็ม

2. ปริมาตรของเสาเข็มที่ตอกลงไปแทนที่ในชั้นดินแต่ละวัน

การวิเคราะห์ข้อมูล นำค่าการเคลื่อนตัวที่ได้จากการอ่านค่าเริ่มแรกไปพลอตตามความลึก (ระยะระหว่าง 0.70 ม. - 23.70 ม.) ซึ่งทำให้ทราบลักษณะการเคลื่อนตัวของชั้นดินในช่วงความลึกต่าง ๆ และนำปริมาตรของเสาเข็มที่ตอกลงไปแทนที่ในชั้นดินและระยะการเคลื่อนตัวไปพลอตเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นกับระยะการเคลื่อนตัวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง

3.8 การติดตั้งแผ่นวัดการทรุดตัวของชั้นดินในระดับลึก (Deep Settlement Plate)

นอกเหนือจากการวัดทดสอบความสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของชั้นดินแล้วได้มีการติดตั้งเครื่องมือเพื่อวัดการทรุดตัวของชั้นดินในระดับลึก +14.00 ม.(ระดับเดียวกับปลายเสาเข็มในชั้นทราย) เพื่อใช้เป็นค่าตรวจสอบผลกระทบต่อการทรุดตัวของอาคารข้างเคียงที่เกิดจากการตอกเสาเข็ม ซึ่งได้แสดงการติดตั้งเครื่องมือ Deep Settlement Plate ไว้ในรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงการติดตั้งเครื่องมือ Deep Settlement Plate

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย