# บทที่ 3

## การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยโดยการสำรวจ (Survey Research) และการวิจัยเชิงการทดลอง (Experimental Research) โดยทำการศึกษาเน้นปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมเป็นแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยตามที่ได้แสดงไว้ในภาพ 3.1

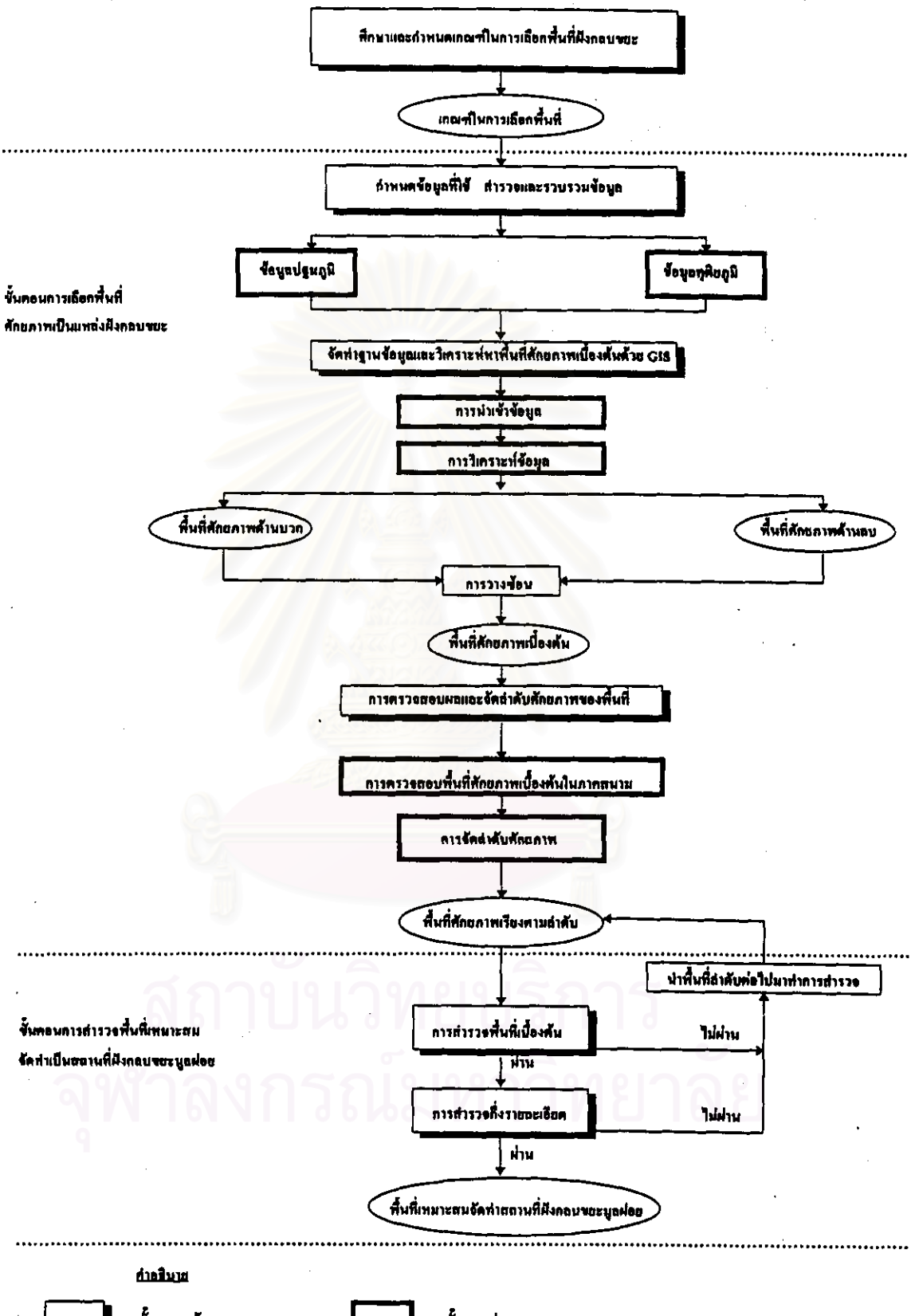
### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

#### 3.1.1 อุปกรณ์สำหรับงานสำนักงาน

- กล้อง Binocular stereoscope
- โต๊ะแสง (Light table)
- รูปถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1: 50,000 จำนวน 50 รูป
- อุปกรณ์สำนักงาน เช่น ชุดเขียนแบบ กระดาษไขลอกลาย ดินสอ ปากกาฯลฯ
- เครื่องคอมพิวเตอร์ PC Pentium 75 และซอฟต์แวร์โปรแกรม MapInfo V.4.1 โปรแกรม Surfer V.6 และโปรแกรม Resist V.1.0
- เครื่องพิมพ์สีแบบพ่นหมึก (Inkjet) รุ่น Cannon BJC4200SP และเครื่องพิมพ์เลเซอร์ รุ่น HP Laserjet 5L
- โต๊ะดิจิไทซ์ (Digitize table)
- เครื่องกราดตรวจ (Scanner)
- แผ่นบันทึกข้อมูล (Diskette) ขนาด 3.5 นิ้ว ความจุ 1.44 MB

#### 3.1.2 อุปกรณ์สำหรับงานภาคสนาม

- ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Position System, GPS) รุ่น Magellan Promark X
- สายวัดระดับน้ำด้วยไฟฟ้า (Electric tape)




**ภาพ 3.1 แผนภูมิแสดงวิธีดำเนินการวิจัย**

- เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter) รุ่น ABEM Terrameter SAS300C

- เครื่องเจาะสำรวจ Cobra drill

- เครื่องเจาะสำรวจ แบบใช้เครื่องกว้านเชือก (Motorize cathead) พร้อมอุปกรณ์ทดสอบกำลังของดิน และอุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

**3.1.3 แผนที่พื้นฐาน**

3.1.3.1 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 จำนวน 4 ระวาง ได้แก่ ระวางอำเภอแม่สาย (4949 I) ระวางอำเภอแม่จัน (4949 II) ระวางบ้านปงน้อย (5049 III) ระวางอำเภอเชียงแสน (5049 IV) จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร ปี พ.ศ.2532

**3.2 ขั้นตอนการเลือกพื้นที่ศึกษาภาพ (Site selection)**

**3.2.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง** ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูล 2 ประเภทคือ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ โดยในขั้นแรกจะรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ก่อนแล้ว (ข้อมูลทุติยภูมิ) จากหน่วยงานราชการต่าง ๆ ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการจัดทำข้อมูลขึ้นเอง (ข้อมูลปฐมภูมิ)

**3.2.1.1 ข้อมูลทุติยภูมิ** เป็นข้อมูล เอกสารและแผนที่ที่ได้มีผู้จัดทำไว้แล้วจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่

1) แผนที่ภูมิประเทศ ปี พ.ศ.2532 มาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7017 ระวาง 4949I,4949II,5049I,5049II จำนวน 4 ระวาง

2) แผนที่หน่วยที่ดิน ปี 1972 มาตราส่วน 1:100,000 จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน

3) แผนที่อุทกธรณีวิทยา ปี 1975 มาตราส่วน 1:500,000 จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี

4) แผนที่ธรณีวิทยา ปี พ.ศ. 2519 มาตราส่วน 1:250,000 ปี พ.ศ. 2523,2531,2532 มาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี

5) แผนที่แผนการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ.2536 มาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน

6) ผังพัฒนาชุมชนแสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ปี พ.ศ. 2534 มาตราส่วน 1:10,000 จัดทำโดยกรมการผังเมือง

7) แผนที่รอยเลื่อนมีพลัง ปีพ.ศ.2541 มาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี

8) แผนที่แหล่งโบราณคดีประเภทถ้ำและคันดินภาคเหนือ ปีพ.ศ. 2526 มาตราส่วน1:50,000 จัดทำโดยโครงการวิจัยชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9) แผนผังเขตสุขาภิบาล มาตราส่วน 1:50,000 และ 1:20,000 จากสำนักงานสุขาภิบาลและกรมการผังเมือง

10) แผนที่เชิงเลข (Digital map) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ข้อมูลแผนที่ประกอบด้วย แผ่นข้อมูลชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ปี พ.ศ.2535 มาตราส่วน 1: 50,000 จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม แผ่นข้อมูลแสดงการจำแนกเขตการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ในพื้นที่ป่าสงวน ปีพ.ศ. 2535 มาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมป่าไม้ แผ่นข้อมูลเส้นชั้นความสูง ปีพ.ศ. 2532 มาตราส่วน 1:50,000 จากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร และแผ่นข้อมูลแสดงความลาดชัน มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งประมวลสร้างขึ้นจากเส้นชั้นความสูง จัดทำโดยกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์แผ่นข้อมูลแสดงพื้นที่ศักยภาพแร่ มาตราส่วน 1:250,000 จากกองเศรษฐธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

11) ข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ ข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาล (Drill log of wells) และข้อมูลรายละเอียดบ่อบาดาล (Record of wells) จากกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี ข้อมูลบัญชีระบบประปาหมู่บ้านจากกรมทรัพยากรธรณี กรมโยธาธิการ กรมอนามัย และสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท ข้อมูลอุทกวิทยาและข้อมูลชลภาพ (Hydrograph) จากกรมชลประทาน ข้อมูลด้านการจัดการขยะมูลฝอยจากสำนักงานจังหวัดเชียงราย ข้อมูลภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น

3.2.1.2 ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเองเนื่องจากไม่สามารถหาข้อมูลได้หรือข้อมูลที่มีอยู่ไม่ทันสมัย ได้แก่ แผนที่เขตน้ำท่วมถึง และแผนที่การใช้ที่ดินปัจจุบัน

1) แผนที่เขตน้ำท่วมถึง ได้จากการสำรวจในภาคสนามโดยทำการสอบถามข้อมูลรายชื่อหมู่บ้านที่ประสบภาวะอุทกภัยจากหน่วยงานของสำนักงานป้องกันภัยฝ่ายพลเรือนประจำ

อำเภอต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา จากนั้นจะทำการสอบถามจากประชาชนในหมู่บ้านที่ประสบภาวะอุทกภัยนั้น โดยใช้แบบสอบถามจด (Interview schedules) บันทึกการสัมภาษณ์ รวมทั้งสังเกตระดับของรอยคราบน้ำท่วมที่ยังปรากฏอยู่ตามบ้านเรือน และใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ในการกำหนดตำแหน่งจุดที่ระดับน้ำเคยท่วมถึง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำในพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วจึงนำข้อมูลตำแหน่งมากำหนดขอบเขตน้ำท่วมในแผนที่พื้นฐาน ส่วนบริเวณใดที่ไม่มีข้อมูลจากการสัมภาษณ์จะใช้การแปลความจากรูปถ่ายทางอากาศและข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ

2) แผนที่การใช้ที่ดินปัจจุบัน ได้จากการแปลและตีความรูปถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งถ่ายโดยกรมแผนที่ทหารในเดือนมกราคม พ.ศ. 2539 ในการแปลและตีความจะใช้กล้อง Binocular stereoscope ช่วยในการมองภาพเป็นสามมิติ และทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาตามระบบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับ 2 ของกรมพัฒนาที่ดิน (อ้างถึงในพรทิพย์ กาญจนสุนทร, 2540) และทำการคัดลอกข้อมูลจากกระดาษไขลงบนแผนที่พื้นฐานโดยใช้โต๊ะแสง

3.2.2 การจัดทำฐานข้อมูลและการวิเคราะห์หาพื้นที่ศักยภาพเบื้องต้นด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การนำเข้าข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.2.1 การนำเข้าข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ได้แก่ แผนที่ต่างๆ และข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute data) ได้แก่ ข้อมูลที่อธิบายข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้นำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ 3 วิธีคือ

1) การนำเข้าโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องอ่านพิกัด (Digitizer) ซึ่งจะทำการแปลงข้อมูลแผนที่ให้เป็นข้อมูลเชิงเลข (Digital data)

2) การนำเข้าโดยใช้เครื่องกราดตรวจ (Scanner) อ่านข้อมูลภาพแผนที่ และทำการดิจิไทซ์ (Digitize) ภาพแผนที่จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Head-up digitizing

3) การนำเข้าโดยแปลงจากแฟ้มข้อมูลเชิงเลขที่อยู่ในซอฟต์แวร์ Arc/Info ให้เป็นแฟ้มข้อมูลในซอฟต์แวร์ MapInfo (Environmental Systems Research Institute, 1994)

ส่วนข้อมูลลักษณะประจำได้นำเข้าทางแป้นพิมพ์อักขระ (Keyboard) โดยใช้ module TABLE ในซอฟต์แวร์ MapInfo

3.2.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาพื้นที่ศักยภาพเบื้องต้นจะพิจารณาปัจจัยตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในบทที่ 2 โดยขั้นแรกจะวิเคราะห์หาพื้นที่ศักยภาพด้านบวก (Positive area) และพื้นที่ศักยภาพด้านลบ (Negative area) จากนั้นจึงนำพื้นที่ทั้งสองมาวิเคราะห์ด้วยการวางซ้อน (Overlay) กัน

1) การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีศักยภาพทางบวก (Positive area) ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็คือลักษณะดินและลักษณะหิน การวิเคราะห์ความเหมาะสมของหน่วยดินในการใช้เป็นแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบจะพิจารณาจากเกณฑ์ดังนี้ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2538) คือ

(ก) เป็นพื้นที่ในสภาพภูมิประเทศที่ง่ายต่อการพัฒนาสาธารณูปโภค

-ไม่เป็นที่ลุ่มต่ำ

-ไม่เป็นที่ในเขตภูเขาสูงชันยากต่อการเข้าถึง

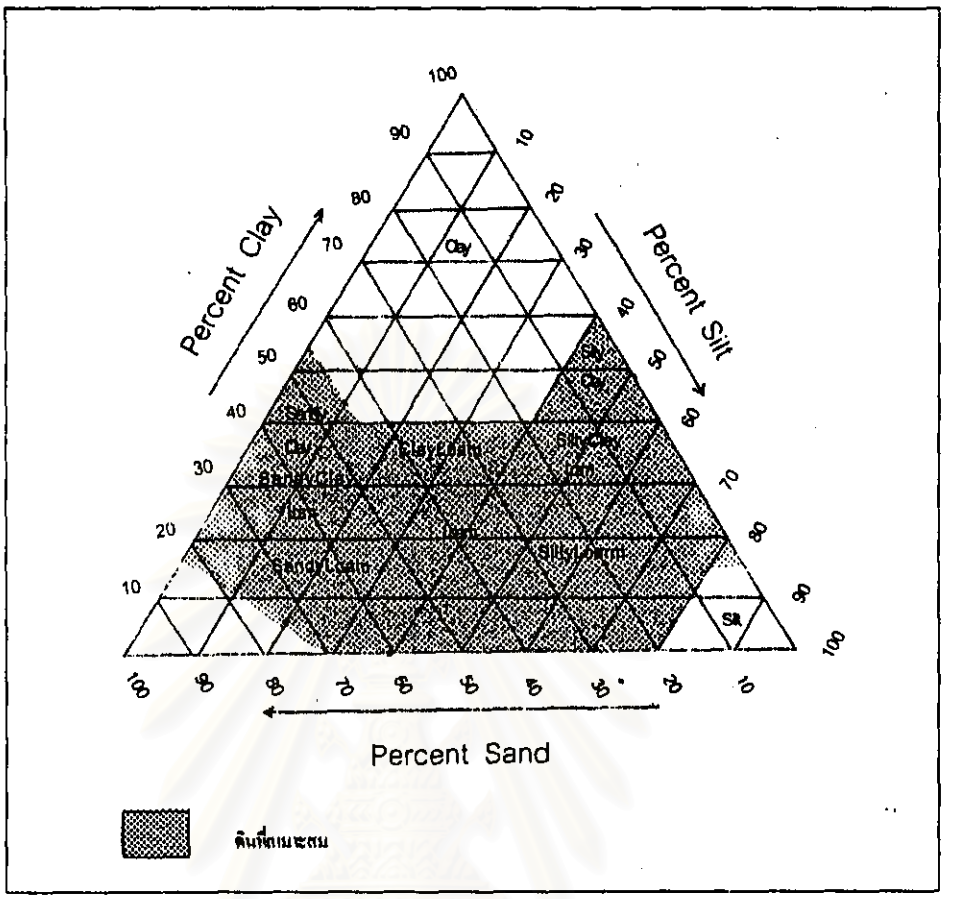
(ข) เป็นพื้นที่ที่สามารถป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำธรรมชาติโดยน้ำชะมูลฝอยได้ง่ายดังนี้

- เป็นพื้นที่ที่มีการระบายน้ำผิวดินได้ดี
- มีชั้นน้ำใต้ดินอยู่ลึก
- ชั้นดินล่างมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้า
- ไม่มีชั้นหินแข็งที่มีรอยแตกหรือรูโพรงอยู่ในระดับตื้น

(ค) เป็นที่ที่สามารถขุดดินมาใช้เป็นวัสดุกลบมูลฝอยได้ง่ายดังนี้

- ชั้นดินควรมีความลึกพอที่จะขุดมาใช้งานได้งาน
- ชั้นน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่าระดับชั้นดินที่จะขุดมาใช้งาน
- ดินที่จะขุดมาใช้งานควรมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุฝังกลบ คือมีส่วนผสมของกรวดปนทรายปนดินเหนียวอย่างพอเหมาะ ดังแสดงในภาพ 3.2

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากแผนที่หน่วยดิน ของกรมพัฒนาที่ดิน ข้อมูลที่นำมาใช้ประเมินความเหมาะสมได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ ความลึกถึงชั้นหินแข็ง ลักษณะเนื้อดิน




**ภาพ 3.2 ตารางสามเหลี่ยมแสดงความเหมาะสมของดินที่ใช้กลบขยะมูลฝอย (ที่มา : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2538)**

การระบายน้ำผิวดิน ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ โอกาสเกิดน้ำท่วมขัง ระดับน้ำใต้ดิน ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติของหน่วยหินที่เหมาะสมในการใช้เป็นแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบจะพิจารณาจากชนิดหินในหน่วยหินนั้น ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี คุณสมบัติที่ใช้ประเมินความเหมาะสมคือปริมาณดินเหนียว (Clay content) ที่มีอยู่ในหิน

การวิเคราะห์พื้นที่ศักยภาพทางบวกโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะใช้การจัดกลุ่มใหม่ (Reclassify) และการวางซ้อน (Overlay) แบบรวม (Union)

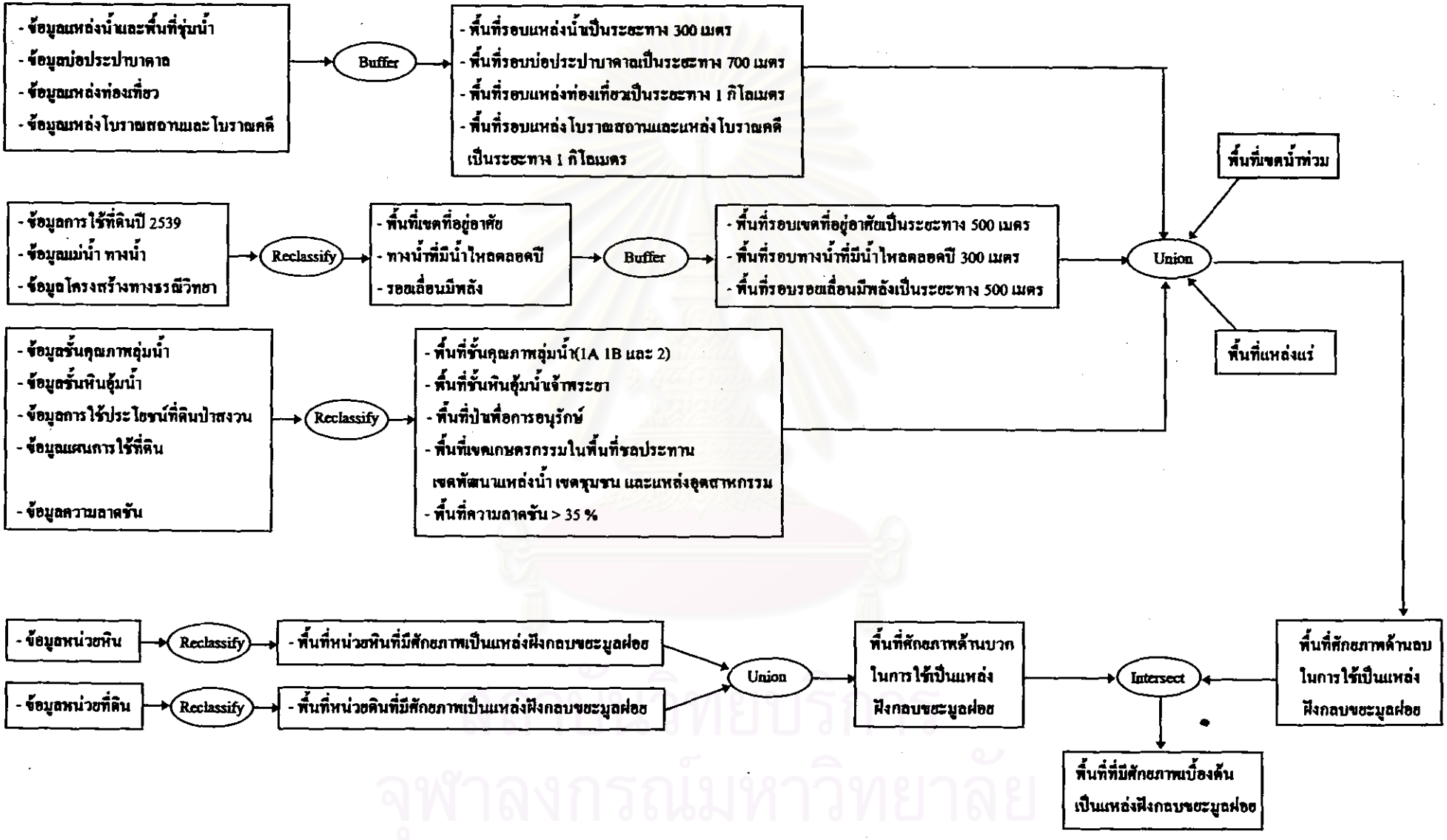
2) การหาพื้นที่ที่มีศักยภาพทางลบ (Negative area) จะใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจัดกลุ่มใหม่ (Reclassify) การสร้างพื้นที่กันชน (Buffer) และการวางซ้อนแบบรวม วิเคราะห์พื้นที่ตามเกณฑ์พื้นที่ด้านลบที่กำหนดไว้ในบทที่ 2

หลังจากนั้นจะนำพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านลบ (Negative area) มาตัดออกจากพื้นที่ศักยภาพด้านบวก (Positive area) โดยใช้การวางซ้อนแบบตัด (Intersect) แล้วนำพื้นที่ที่เหลือมาเลือกโดยพิจารณาจากขนาดของพื้นที่ที่ต้องการเพื่อรองรับปริมาณขยะมูลฝอยเป็นระยะเวลา 20 ปี คือต้องมีเนื้อที่ไม่ต่ำกว่า 138 ไร่ หรือ 0.22 ตารางกิโลเมตร (ทีม เอนจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์, 2539) พื้นที่ใดที่มีขนาดน้อยกว่านี้ก็จะตัดออกไป พื้นที่ที่เหลือก็คือพื้นที่ที่มีศักยภาพเบื้องต้นในการใช้เป็นแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการวิเคราะห์ตามที่แสดงไว้ในภาพ 3.3

### 3.2.2 การตรวจสอบผลและการจัดลำดับศักยภาพของพื้นที่

**3.2.2.1 การตรวจสอบผล** เนื่องจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ศักยภาพเบื้องต้น ด้วยวิธี Positive area และ Negative area นั้น ข้อมูลในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลทุติยภูมิซึ่งบางทีข้อมูลที่รวบรวมได้เป็นข้อมูลที่ไม่ทันสมัย เช่น ข้อมูลในแผนที่ภูมิประเทศมีความถูกต้องของข้อมูลถึงปี พ.ศ. 2532 หรือรูปถ่ายทางอากาศที่ใช้มีมาตราส่วนที่เล็กเกินไปทำให้มีข้อจำกัดด้านรายละเอียดของภาพในการแปลและตีความการใช้ที่ดิน เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องมีการควบคุมความถูกต้องของผลการวิเคราะห์จากข้อมูลเหล่านี้ โดยการตรวจสอบกับสภาพพื้นที่จริงในภาคสนามอีกครั้งหนึ่ง

ในการตรวจสอบผลในภาคสนามนี้จะใช้แบบฟอร์มสำรวจข้อมูล 13 หัวข้อ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีวิทยา ระดับน้ำใต้ดิน ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากแหล่งชุมชน ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากแนวสายส่งสาธารณูปโภค (เช่น สายส่งศักย์สูงหรือท่อประปา เป็นต้น) ลักษณะการใช้ที่ดิน พิบัติภัยธรรมชาติ ระยะห่างจากแหล่งชลประทาน ระยะห่างจากสถานที่สำคัญทางวัฒนธรรม ทิศทางลม และสภาพภูมิทัศน์ พร้อมกับทำการประเมินพื้นที่ว่ามีศักยภาพหรือไม่โดยดูจากหัวข้อของข้อมูลที่สำรวจ ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในขั้น




**ภาพ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาพื้นที่ศักยภาพเบื้องต้นเป็นแหล่งฝังกลบขยะมูลฝอยโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**

ตอนการเลือกพื้นที่ศักยภาพเบื้องต้นจำนวน 1 หรือ 2 ข้อโดยเฉพาะหัวข้อที่มีความสำคัญสูง เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา และระดับน้ำใต้ดิน เป็นต้น ก็จะถือว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่มีศักยภาพและตัดพื้นที่นี้ออกไป

3.2.3.2 การจัดลำดับศักยภาพของพื้นที่ พื้นที่ที่เหลือจากขั้นตอนการตรวจสอบผลในภาคสนามแล้วจะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพเป็นแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลเพราะมีคุณสมบัติขั้นต่ำผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่เนื่องจากพื้นที่ศักยภาพแต่ละแห่งต่างก็ยังมีข้อได้เปรียบ เสียเปรียบ มากน้อยไม่เท่ากันในแต่ละปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องมีการเปรียบเทียบพื้นที่เหล่านี้เพื่อจัดอันดับศักยภาพของพื้นที่ โดยอาศัยหลักการให้คะแนน ซึ่งคะแนนจะได้จากค่าระดับความเหมาะสม (Rating value) ของปัจจัย คูณกับค่าน้ำหนักของปัจจัย (Weighting of factor) พื้นที่ใดที่มีคะแนนรวมมากกว่าก็จะเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพมากกว่านั่นเอง สำหรับค่าน้ำหนักของปัจจัยและค่าระดับความเหมาะสมของปัจจัยในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ตามวิธีดำเนินการของประเทศเยอรมันที่ใช้ในโครงการหาพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยบริเวณ Batujajar และ Bandung Plains ประเทศอินโดนีเซีย (Van der Wall, Wiriosudarmo and Abidin, 1992) ซึ่งได้ใช้ปัจจัยในการคำนวณค่าคะแนนจำนวน 32 ปัจจัย แต่เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้มีข้อจำกัดในด้านเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงดัดแปลงจำนวนของปัจจัยให้เหลือจำนวน 23 ปัจจัย เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลที่สามารถหาได้ ชนิดของปัจจัย ค่าน้ำหนักของปัจจัยและค่าระดับความเหมาะสมของแต่ละปัจจัยแสดงในภาคผนวก ง

### 3.3 ขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ที่เหมาะสมจัดทำเป็นสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย (Site investigation)

ในขั้นตอนนี้จะทำการสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพลำดับแรก เพื่อประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ตามเกณฑ์ในการจัดทำสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ซึ่งมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับสภาพได้พื้นผิวดินของพื้นที่ฝังกลบขยะดังนี้คือ

1) สภาพทางธรณีวิทยาควรเป็นชั้นดินหรือชั้นหินตามธรรมชาติ ซึ่งอัตราการซึมผ่านของน้ำน้อยถึงน้อยมาก ($K \leq 1x10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที) ความหนาของชั้นดินหรือชั้นหินนั้นไม่น้อยกว่า 3 เมตร และมีการแผ่กระจายกว้างกว่าพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยไม่น้อยกว่าด้านละ 50 เมตร

2) สภาพทางอุทกธรณีวิทยา ให้สำรวจ อธิบายสภาพอุทกธรณีวิทยาของสถานที่ฝังกลบ ทิศทางและความเร็วของการไหลของน้ำบาดาล คุณภาพน้ำและระดับน้ำสูงสุดของน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินก่อนเริ่มโครงการ ลักษณะภูมิประเทศ ชั้นหินอุ้มน้ำ แหล่งน้ำสาธารณะและของเอกชนภายในรัศมี 1 กิโลเมตร

3) สภาพทางธรณีวิทยาเทคนิค ให้สำรวจและอธิบายสภาพชั้นดิน น้ำใต้ดิน อัตราการซึมผ่านของน้ำของชั้นดิน สภาพความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินไหว รอยเลื่อน แผ่นดินถล่ม และหลุมยุบ วิเคราะห์ฐานรากที่รองรับภาระและแรงกดลงจากการฝังกลบขยะมูลฝอย สภาพการทรุดตัวภายหลังการฝังกลบ

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งขั้นตอนการสำรวจพื้นที่ออกเป็น 2 ระยะคือ การสำรวจเบื้องต้น (Reconaissance site investigation) และการสำรวจกึ่งรายละเอียด (Semi-detailed site investigation)

**3.3.1 การสำรวจเบื้องต้น (Reconaissance site investigation)** เป็นการสำรวจเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของพื้นที่ในการสำรวจขั้นรายละเอียดต่อไป การสำรวจเบื้องต้นนี้ทำโดยการสุ่มเจาะแบบหยาบ (Coarse grid drilling) โดยใช้เครื่องเจาะแบบ Cobra-drills (แสดงในภาพ 3.4 และ 3.5) เจาะชั้นดินลึกประมาณ 6 เมตร และเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบชนิดของดินที่ระยะ 2-5 เมตร พร้อมทั้งประมาณคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำว่ามีค่าใกล้เคียง $10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที หรือไม่ โดยดูจากชนิดของดินซึ่งต้องเป็นทรายแป้งหรือดินเหนียวจึงจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต่ำกว่า $5x10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที (Hough, 1957 อ้างถึงใน มานะ อภิพัฒนะมนตรี, 2532) ถ้าคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำของดินมีค่าใกล้เคียงกับที่กำหนดไว้ก็จะทำการสำรวจในขั้นกึ่งรายละเอียด แต่ถ้ามีค่าสูงกว่ามากก็จะตัดพื้นที่นี้ออก และนำพื้นที่ศักยภาพลำดับถัดไปมาทำการสำรวจแทน

**3.3.2 การสำรวจกึ่งรายละเอียด (Semi-detailed site investigation)** เป็นการสำรวจเพื่อประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ในการใช้ทำเป็นสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ในการดำเนินการจะใช้การสำรวจด้วยธรณีฟิสิกส์ร่วมกับการเจาะสำรวจ วัตถุประสงค์ของการสำรวจเพื่อตรวจสอบสภาพทางธรณีวิทยา สภาพทางอุทกธรณีวิทยา และสภาพทางธรณีเทคนิคของพื้นที่

ภาพ 3.4 การเจาะหลุมสำรวจเบื้องต้นด้วยเครื่อง Cobra-drills

ภาพ 3.5 เครื่องเจาะสำรวจแบบ Cobra-drills

**3.3.2.1 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ (Geophysical investigation)** การสำรวจธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ศักยภาพเป็นแหล่งกำจัดขยะมูลฝอยโดยวิธีฝังกลบแบบถูกหลักสุขาภิบาลในครั้งนี้ ใช้วิธีการสำรวจโดยวิธีวัดความต้านทานทางไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหินในทางดิ่ง หรือ Vertical Electrical Sounding (VES) โดยใช้เครื่องมือ Resistivity meter รุ่น ABEM Terrameter SAS300C (แสดงในภาพ 3.6 ) ในการดำเนินการสำรวจจะจัดรูปแบบการวางจุดปล่อยกระแสไฟฟ้า ($C_1C_2$) และจุดวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ($P_1P_2$) ตามแบบ Schlumberger โดยการขยายตำแหน่งปล่อยกระแสไฟฟ้าออกไปทั้งสองข้างของจุดสำรวจด้วยระยะทางที่เท่าๆ กัน (AB/2) และทำการวัดค่าความต่างศักย์ ณ ตำแหน่งซึ่งมีระยะห่างจากจุดสำรวจเป็นระยะทาง MN/2 โดยอยู่ในแนวเดียวกับตำแหน่งที่ปล่อยกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในภาพ 3.7 เครื่อง Resistivity meter จะทำการคำนวณและแสดงผลค่าความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์มหรือมิลลิโอห์ม ซึ่งเป็นค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของชั้นดินชั้นหินที่ระยะความลึกเท่ากับ AB/2

การแปลค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหินที่วัดได้ตามความลึกต่างๆ ต้องนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Apparent resistivity) ของชั้นดินและชั้นหินที่ระดับความลึกนั้น จากสมการดังนี้ (วอเตอร์รีซอร์ซ เอนจิเนียริ่ง, 2540)

$$\rho = (AB^2-MN^2)R/4MN$$

โดยที่ $\rho$ คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดิน ชั้นหินที่ระดับความลึกเท่ากับ AB/2 (โอห์มเมตร)

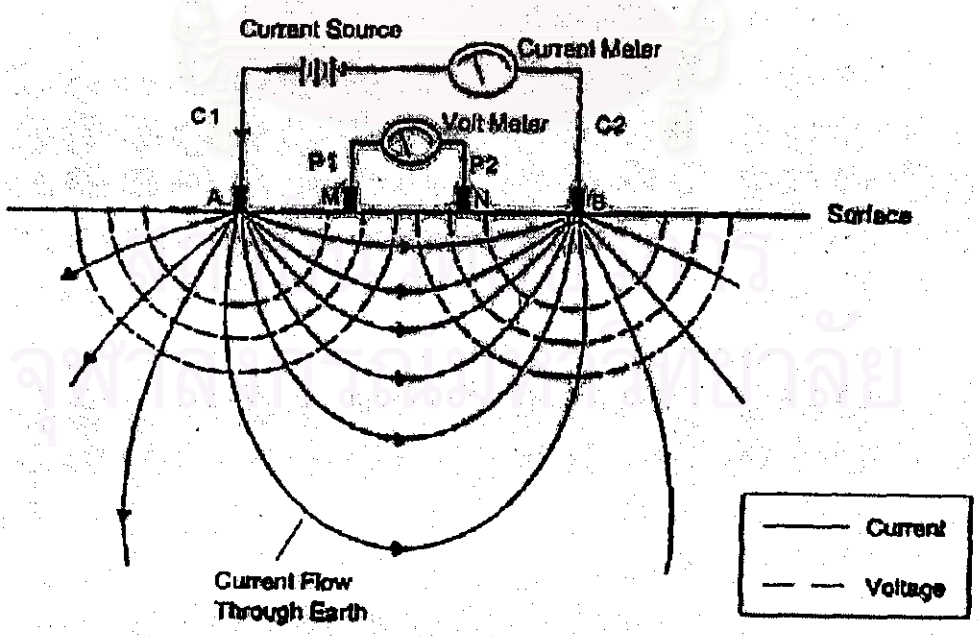
AB คือ ระยะระหว่างจุดปล่อยกระแสไฟฟ้า $C_1C_2$ (เมตร)

MN คือ ระยะระหว่างจุดวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า $P_1P_2$ (เมตร)

R คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน ชั้นหินที่อ่านได้จากเครื่อง Resistivity meter (โอห์ม)

ค่าความต้านทานจำเพาะ ($\rho$) ที่คำนวณได้จะนำไปวิเคราะห์โครงสร้างทางธรณีวิทยาของชั้นดิน ชั้นหิน โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ Resist version 1.0 เพื่อแปลชนิดของชั้นดิน ชั้นหินและความหนา

ภาพ 3.6 เครื่องมือวัดความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter ABEM Terrameter SAS 300 C)




ภาพ 3.7 รูปแบบการวางขั้วกระแสไฟฟ้า (C1 C2) และขั้วความต่างศักย์ไฟฟ้า (P1 P2) ตามแบบ Schlumberger

3.3.2.2 การสำรวจธรณีเทคนิค (Geotechnical investigation) เป็นการสำรวจเพื่อทดสอบคุณสมบัติของดินในภาคสนามและทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ วิธีการสำรวจกระทำโดยการเจาะหลุมสำรวจ โดยใช้การเจาะแบบฉีดล้าง (Wash boring) เครื่องมือที่ใช้เป็นชุดเจาะสำรวจดินแบบใช้เครื่องกว้านเชือก (Motorize cathead) ติดตั้งกับชุดสามขา (แสดงในภาพ 3.10) ร่วมกับอุปกรณ์การเจาะและอุปกรณ์การทดสอบดิน ในการดำเนินการสำรวจจะเจาะหลุมสำรวจลึก 15 เมตร พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed sample) โดยใช้กระบอกบาง (Thin wall tube) และเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed sample)โดยใช้กระบอกผ่า (Split-Spoon sampler) ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D-1586 พร้อมทั้งทำการทดสอบหาคุณสมบัติของดินในสนาม

3.3.2.2.1 การทดสอบในสนาม (Field test) ในระหว่างการเจาะสำรวจชั้นดินจะทำการทดสอบคุณสมบัติดินในสนามไปพร้อมๆ กัน ได้แก่ การหากำลังของชั้นดิน (Soil strength) และการหาค่าความซึมน้ำ (Permeability) ข้อดีของการทดสอบในสนามคือชั้นดินจะถูกรบกวนน้อยที่สุดเพราะยังอยู่ในที่ แต่ทดสอบโดยใช้เครื่องมือละเอียดเหมือนในห้องปฏิบัติการทำได้ยาก ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จึงเป็นค่าโดยประมาณ

1) การหากำลังของชั้นดิน จะทำการทดสอบโดยวิธีทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐาน (Standard Penetration Test : SPT) ซึ่งเป็นการหากำลังของดินจำพวกดินทรายหรือดินแข็งในสนาม โดยอาศัยหลักการที่ว่าระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดินเนื่องจากการกระทำของแรงจะแปรผกผันกับความแข็งหรือแน่นของมวลดิน กล่าวคือดินแข็งจะมีความต้านทานสูง ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดินต่ำ ส่วนดินอ่อนจะมีความต้านทานต่ำทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดินสูง ซึ่งการทดสอบได้ทำตามมาตรฐาน ASTM D 1586-67

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบ SPT เพื่อหาค่าแรงเหนี่ยวนำ (Cohesion) กระทำโดยอาศัยความสัมพันธ์ (Carter, 1982 อ้างถึงในสาโรจน์ สุระโคตร, 2541) ดังนี้

$$C = 0.625\ N$$

เมื่อ C คือ ค่าแรงเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น ตัน/ตารางเมตร

N คือ จำนวนครั้งของการตอกทดลอง (Blows count)

และหาค่ามุมเสียดทานภายใน (Friction angle) หรือ $\phi$ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ $\phi$ (Peck, Hanson and Tornbern, 1974 อ้างถึงใน สาโรจน์ สุระโคตร, 2541) ที่แสดงในภาพ 3.8 จากนั้นจะนำค่า $\phi$ ไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi$ กับค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินโดย Terzaghi (อ้างถึงใน มณเฑียร กังศศิเทียม, 2529) ที่แสดงในภาพ 3.9 แล้วจึงนำค่าแรงเหนี่ยวนำไปคำนวณร่วมกับค่าหน่วยน้ำหนักของดิน ค่าสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินเพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุด (Ultimate bearing capacity) ของชั้นดิน ตามสมการของ Terzaghi (มณเฑียร กังศศิเทียม) ดังนี้

$q_u = cN_c + 0.5\gamma BN_\gamma + qN_q$ (ในกรณีที่การเคลื่อนพิบัติของดินฐานรากเป็นแบบ General Shear Failure)

โดยที่ $q_u$ คือ หน่วยแรงรับน้ำหนักสูงสุด

c คือ หน่วยแรงเหนี่ยวนำ

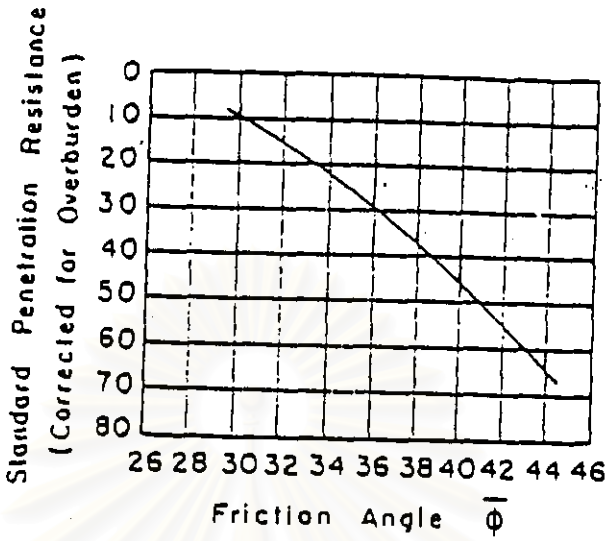
q คือ น้ำหนักของชั้นดินที่อยู่เหนือระดับฐานรากขึ้นไป

B คือ ความกว้างของพื้นที่ฐานราก

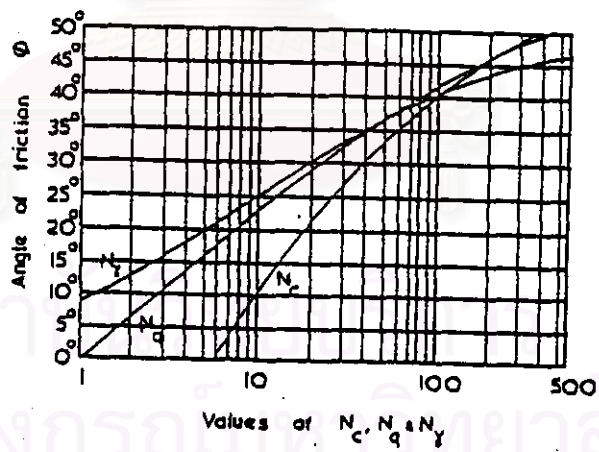
$\gamma$ คือ หน่วยน้ำหนักของดิน

Nc, Nq, $N\gamma$ คือ สัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินกรณี General Shear Failure

2) การหาค่าความซึมน้ำ (Permeability) ของชั้นดินในสนาม ได้ทำการทดสอบโดยวิธี Falling head test การทดสอบจะทำโดยกรอกน้ำลงในหลุมเจาะซึ่งเปิดเฉพาะชั้นดินช่วงที่ต้องการทดสอบจนเต็ม และวัดระดับน้ำที่กรอก ($H_0$) จากนั้นปล่อยให้น้ำที่กรอกลดลงไป ขณะเดียวกันก็วัดระดับน้ำลดลง ($H_t$) เทียบกับเวลาและบันทึกข้อมูลไว้ จากนั้นนำค่า $H_t/H_0$ และค่าเวลา (นาที) มาวาดกราฟ Semi-log โดยให้ค่า $H_t/H_0$ เป็น Log scale และค่าเวลาเป็น Arithmetic scale จากนั้นนำค่าต่างๆ มาแทนในสูตรหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของชั้นดินตามสมการ (จีเอ็มที คอร์เปอเรชั่น, 2541)




ภาพ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับ $\phi$




| $\Phi$ | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° | 50° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $N_c$ | 5.7 | 7.3 | 9.6 | 12.9 | 17.7 | 25.1 | 37.2 | 57.8 | 95.7 | 172 | 348 |
| $N_q$ | 1.0 | 1.6 | 2.7 | 4.4 | 7.4 | 12.7 | 22.5 | 41.4 | 81.3 | 173 | 415 |
| $N_\gamma$ | 0.0 | 0.5 | 1.2 | 2.5 | 5.0 | 9.7 | 19.7 | 42.4 | 100 | 298 | 1153 |

ภาพ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi$ กับสัมประสิทธิ์ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินโดย Terzaghi

$$K = \frac{R^2}{2L(T_2-T_1)} \ln\frac{L}{R} \ln\frac{H_1}{H_2}$$

โดย K คือ ค่าความซึมน้ำของชั้นดิน (เซนติเมตร/วินาที)

R คือ รัศมีของหลุมเจาะ (เซนติเมตร)

L คือ ช่วงของการทดสอบ (เมตร)

$H_1$, $H_2$, $T_1$ และ $T_2$ อ่านได้จากความชันของเส้นกราฟ

3.3.2.2.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ในการวิจัยครั้งนี้ ตัวอย่างดินที่เก็บจากหลุมเจาะธรณีเทคนิค จะส่งไปทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ที่ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์เพื่อวิเคราะห์หาแร่ประกอบดินเหนียวที่ห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี ซึ่งคุณสมบัติที่ทำการทดสอบและวิธีทดสอบได้แก่

1) การหาค่าขีดเหลว (Liquid limit : LL.) ขีดเหลวเป็นค่าความชื้นที่ต่ำสุดที่มวลดินจะคงสภาพอยู่ในสถานะของเหลวได้ วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM D423

2) การหาค่าขีดพลาสติก (Plastic limit : PL.) ขีดพลาสติกเป็นค่าความชื้นต่ำสุดที่มวลดินจะคงสภาพอยู่ในสถานะพลาสติกได้ วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM D424

3) การหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity) ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM D854-58

4) การหาขนาดของเม็ดดิน (Particle size analysis) การทดสอบนี้เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์200) แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆ กันกับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง ส่วนเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะทำการวิเคราะห์ด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ซึ่งใช้กฎของสโตก (Stoke's law) ที่กล่าวถึงความเร็วในการตกตะกอนของเม็ดดินในของเหลวว่าจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง น้ำหนักและขนาดของเม็ดดิน วิธีการทดสอบได้ทำตามมาตรฐาน ASTM 422

5) การบดอัด (Compaction) เป็นการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นในมวลดินที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดในการควบคุมบดอัดดินในสนามต่อไป วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐานASTM D2049

6) การทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (Consolidation) เป็นการทดสอบเพื่อหาขนาดและอัตราการทรุดตัวของดิน การทดสอบทำโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Oedometer วิธีการทดสอบนี้ทำตามมาตรฐาน ASTM D2435-65T

7) การทดสอบหาแรงเฉือนของดิน (Direct shear test) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้หากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินโดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า Shear box การทดลองนี้สามารถทำได้ทั้งในกรณีที่ยอมให้น้ำไหลซึมออกได้ (Drained) ซึ่งการทดลองจะดำเนินไปอย่างช้าๆ และถือว่าไม่มีแรงต้านทานจากความดันของน้ำ การทดลองอีกกรณีหนึ่งก็คือไม่ยอมให้น้ำในดินไหลซึมออกไป (Undrained) ซึ่งการทดลองจะดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองแบบ Consolidation drained test ตามมาตรฐาน ASTM D3080-90

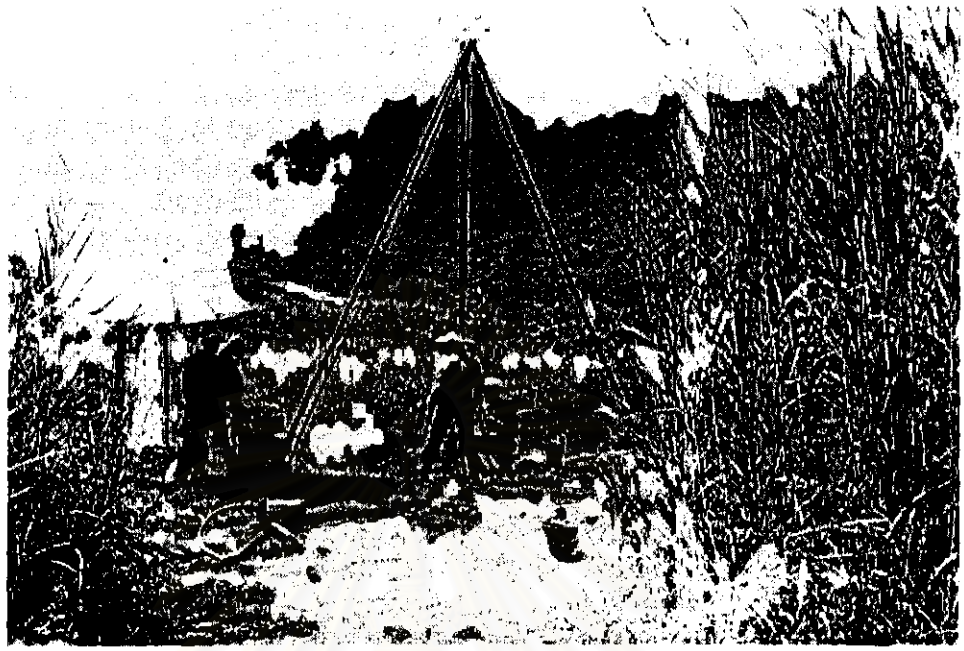
8) การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (Coefficient of permeability) เป็นการหาคุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำของดิน การทดลองสามารถทำได้ 2 แบบคือ แบบศักย์ของน้ำคงที่ (Constant head permeameter) เป็นเครื่องมือใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของมวลดินจำพวกดินเสียดทาน (Frictional soil) อีกแบบหนึ่งคือแบบศักย์ของน้ำแปรเปลี่ยน (Variable head permeameter) เป็นเครื่องมือใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของมวลดินจำพวกดินเหนียว (Cohesive soil) ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองแบบศักย์ของน้ำแปรเปลี่ยน

9) การวิเคราะห์แร่ประกอบดินเหนียว (Clay mineralogy) เป็นการทดสอบเพื่อหาชนิดของแร่ที่มีอยู่ในดิน เนื่องจากถ้ามวลดินมีแร่ดินเหนียว เช่น แร่มอนต์-มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) อยู่มากก็จะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง หรือมีความสามารถในการดูดซับสารที่เป็นมลพิษที่มีอยู่ในน้ำชะขยะมูลฝอย (Leachate) ได้มากนั่นเอง การทดสอบนี้จะทำโดยวิธี X-Ray Diffraction

3.3.2.3 การสำรวจสภาพอุทกธรณีวิทยา ในการสำรวจสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศักยภาพเป็นแหล่งฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลที่เลือกมาทำการสำรวจรายละเอียดนี้ ข้อมูลที่ต้องการได้แก่ ระดับน้ำใต้ดินและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งในการดำเนินการสำรวจจะวัดระดับน้ำใต้ดินจากหลุมเจาะธรณีเทคนิค และวัดระดับน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำของชาว

บ้านในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งของจุดที่วัดระดับน้ำเหล่านี้ด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ดังแสดงในภาพ 3.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพ 3.10 การเจาะหลุมสำรวจธรณีเทคนิคด้วยชุดเจาะสำรวจแบบใช้เครื่องกว้านเชือกติดตั้งกับชุดสามขา

ภาพ 3.11 การวัดระดับน้ำใต้ดิน และกำหนดตำแหน่งด้วย GPS