เอกสารประกอบการฝึกอบรม

หลักสูตรช่างสำรวจเพื่อการออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

กรมทรัพยากรน้ำ

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
11.	ธรณีวิทยาประเทศไทยและการดำเนินงานเพื่อพัฒนาแหล่งน้ำ	11-1 – 11-10
12.	การสำรวจชั้นดิน ชั้นหิน	12-1 – 12-56
13.	การสำรวจรายงานอุทกวิทยาเพื่อการออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ	13-1 – 13-94

11. ธรณีวิทยาประเทศไทย และการดำเนินงานเพื่อพัฒนาแหล่งน้ำ

11.1 ดินตามธรรมชาติ

ดิน (Soil) หมายถึง วัตถุทางธรรมชาติที่เกิดจากการแปรสภาพหรือสลายตัวของหินและแร่ธาตุ ซึ่งทับถมกันในสภาพที่ไม่แน่น โดยอาจจะมีอินทรียวัตถุเป็นส่วนประกอบด้วยหรือไม่ก็ได้ แต่ความหมายของดินในทางวิศวกรรม “ดิน” หมายถึง กรวด (Gravel) ทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay)

➢ การกำเนิดของดิน

ดินที่ปกคลุมโลกส่วนใหญ่เกิดจากการผุ (Weathering) สลายตัวจากหินประเภทต่างๆ โดยการกัดกร่อนถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบได้แก่ การผุทางกายภาพและการผุทางเคมี

การผุทางกายภาพ (Physical Weathering) คือกระบวนการที่หินหลักถูกทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ เนื่องจากแรงทางกายภาพ โดยหินหรือดินที่แตกตัวออกมายังคงมีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนเดิม ตัวอย่างของการกัดกร่อนทางกลได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัวและหดตัวของหินเนื่องจากการได้รับหรือสูญเสียความร้อน นำไปสู่การเกิดรอยแตกร้าวของหิน การจับตัวเป็นน้ำแข็งของน้ำคืออีกตัวอย่างหนึ่งของการกัดกร่อนทางกล เมื่อน้ำไหลเข้าสู่ช่องว่างของหินเมื่ออุณหภูมิลดลงจนกระทั่งน้ำเกิดจับตัวเป็นน้ำแข็ง ซึ่งทำให้ปริมาตรของน้ำเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดแรงดันจากภายในช่องว่างของหินและทำให้หินเกิดการแตกตัว นอกจากนี้การกัดกร่อนทางกลยังเกิดจาก แรงจากการไหลของน้ำ แรงลม แรงคลื่น แรงจากการเคลื่อนที่ของน้ำแข็ง ฯลฯ

การผุทางเคมี (Chemical Weathering) คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของหินหลัก ซึ่งทำให้แร่ธาตุเดิมของหินหลักเปลี่ยนไปเป็นแร่ธาตุใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิมตัวอย่างเช่นการกัดกร่อนทางเคมีของแร่เฟลสปาร์ (Feldspar) สามารถทำให้เกิดแร่ดินเหนียวได้ (Clay Minerals) ฯลฯ

➢ การแบ่งประเภทของดินตามลักษณะการเกิด

ดินที่สลายตัวจากหินหลักสามารถตกตะกอนทับถมได้ 2 แบบ ได้แก่ การตกตะกอนทับถมในบริเวณเดียวกันกับหินหลักซึ่งเรียกว่าดินที่เกิดอยู่กับที่ หรือการตกตะกอนในบริเวณที่อยู่ห่างไกลจากหินหลักเนื่องจากถูกพัดพาด้วยตัวกลางแบบต่างๆ ซึ่งเรียกว่าดินที่เกิดโดยการพัดพา

<u>ดินที่เกิดอยู่กับที่</u>

ดินที่เกิดอยู่กับที่ (Residual Soil) หมายถึง ดินที่มีการกัดกร่อน และแตกตัวออกจากหินหลักหรือหินแม่แล้วตกตะกอนทับถมอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนย้ายไปที่อื่น หรือในกรณีที่อัตราการกัดกร่อนของหินหลักเกิดขึ้นมากกว่าอัตราการถูกพัดพาโดยตัวกลาง โดยปกติแล้วอัตราการกัดกร่อนในพื้นที่อบอุ่นและชื้นจะสูงกว่าพื้นที่แห้งและหนาวเย็น

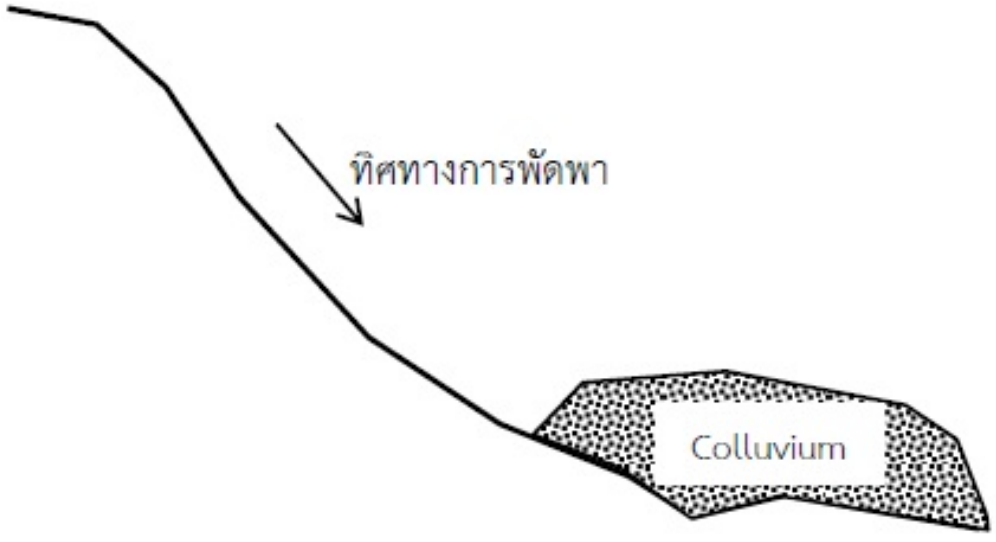
โดยทั่วไปแล้วลักษณะทางธรรมชาติของดินที่เกิดอยู่กับที่จะขึ้นอยู่กับหินหลัก ตัวอย่างเช่น เมื่อหินแกรนิตถูกกัดกร่อน แร่ธาตุส่วนใหญ่จะตกตะกอนทับถมอยู่กับที่ ลักษณะของดินประเภทนี้ดินชั้นบนจะเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียว (Clay) ปนดินทรายแป้ง (Silty Clay) ดินชั้นถัดไปจะเป็นดินทรายแป้ง (Silt) หรือดินทราย (Sand) ซึ่งวางอยู่บนชั้นหินหลักที่ถูกกัดกร่อนบางส่วนและหินหลักตามลำดับ โดยลักษณะสำคัญของดินประเภทนี้คือเม็ดดินที่อยู่ด้านบนจะมีขนาดเม็ดที่เล็กกว่าเม็ดดินที่ด้านล่างและขนาดของเม็ดดินจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ตามความลึกของดิน

ในทางตรงกันข้ามหากดินที่เกิดอยู่กับที่เกิดจากการสลายตัวของหินปูนซึ่งเกิดจากการจับตัวของแร่แคลไซต์ ($CaCo_3$) ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้แร่ธาตุบางส่วนละลายไปกับน้ำใต้ดินและคงเหลือไว้เพียงแร่ธาตุที่ไม่ละลายน้ำ

ดินที่เกิดโดยการพัดพา

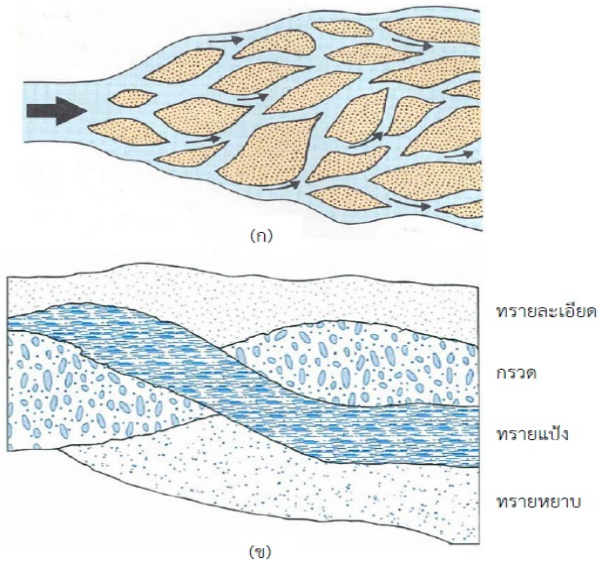
ดินที่เกิดโดยการพัดพา (Transported Soil) หมายถึง ดินที่เมื่อกัดกร่อนสลายตัวออกจากหินหลักแล้วถูกพัดพาไปยังที่อื่นโดยตัวกลางชนิดต่างๆ เช่น น้ำ ลม แรงโน้มถ่วง เป็นต้น การที่ตัวกลางพัดพาเม็ดดินไปยังที่อื่นๆ จะส่งผลกระทบกับรูปร่าง ผิวสัมผัสและการจัดเรียงขนาดของเม็ดดิน ดินที่เกิดโดยการพัดพาตามชนิดของตัวกลางที่พัดพา สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆได้แก่ 1. ดินที่เกิดโดยพัดพาของแรงโน้มถ่วง (Gravity Transported Soil) 2. ดินที่เกิดโดยการพัดพาของน้ำและตกตะกอนในแม่น้ำ (Alluvial Deposits) 3. ดินที่เกิดโดยการพัดพาของน้ำไปตกตะกอนในทะเลสาบ (Lacustrine Deposits) 4. ดินที่เกิดโดยการพัดพาของธารน้ำแข็ง (Glacial Deposits) และ 5. ดินที่เกิดโดยการพัดพาของลม (Aeolian Soil Deposits) สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึง 4 กลุ่ม โดยจะไม่กล่าวถึง ดินที่เกิดโดยการพัดพาของธารน้ำแข็ง (Glacial Deposits)

1) ดินที่เกิดโดยพัดพาของแรงโน้มถ่วง (Gravity Transported Soil) ดินที่เกิดอยู่กับที่บริเวณที่เป็นที่ลาดตามธรรมชาติสามารถที่จะถูกแรงโน้มถ่วงทำให้ไหลลงมาบริเวณด้านล่างได้ การพัดพาแบบนี้จะทำให้ดินเกิดการเคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ โดยหากดินค่อยๆ ไหลลงมาเราจะเรียกว่าการคืบ (Creep) แต่หากดินไหลลงมาด้วยความเร็วเราจะเรียกว่าการถล่ม (Land-Slide) โดยเรามีชื่อเรียกเฉพาะสำหรับดินประเภทนี้ว่า Colluvium ดังรูปที่ 11-1

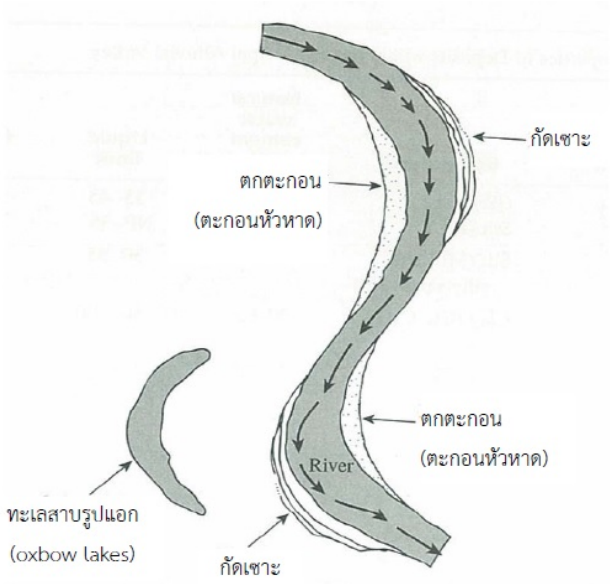


รูปที่ 11-1 ลักษณะการทับถมของดินที่เกิดโดยการพัดพาของแรงโน้มถ่วง

2) ดินที่เกิดโดยการพัดพาของน้ำและตกตะกอนในแม่น้ำ (Alluvial Deposits) ดินประเภทนี้จะมีน้ำเป็นตัวกลางในการพัดพา โดยการเคลื่อนที่จะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเช่นเดียวกับการพัดพาของแรงโน้มถ่วง เมื่อธารน้ำสูญเสียความเร็วก็จะเกิดการตกตะกอนทับถมซึ่งเรียกว่า ดินตะกอนน้ำพา (Alluvial Soil) การตกตะกอนทับถมของดินที่เกิดโดยการพัดพาของน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ ดังรูปที่ 11-2 (ก) และ(ข) และแบบทางน้ำโค้งตวัด (Meander Stream) ดังรูปที่ 11-3

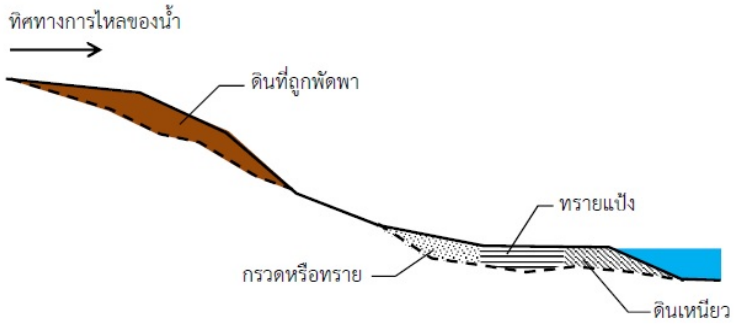


รูปที่ 11-2 (ก) ลักษณะธารน้ำประสานสาย (ข) รูปตัดขวางธารประสานสาย



รูปที่ 11-3 ลักษณะการกัดเซาะและทับถมของธารน้ำแบบโค้งตวัด
ที่มา: Physical Geology by Charles C., Plummer and David McGeary (1991)

3) ดินที่เกิดโดยการพัดพาของน้ำไปตกตะกอนในทะเลสาบ (Lacustrine Deposits) ดินประเภทนี้เกิดจากการทับถมอย่างต่อเนื่องโดยกระแสน้ำจากแม่น้ำลงสู่ทะเลสาบ การตกตะกอนเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับ โดยน้ำจะพัดพาเม็ดดินจากที่สูงไปสู่ที่ต่ำซึ่งดินที่มีเม็ดดินขนาดใหญ่ เช่น กรวดทราย ซึ่งมีน้ำหนักมากจะเริ่มตกตะกอนทับถมก่อน ในขณะที่ดินที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าจะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่าและตกตะกอนทับถมในทะเลสาบ ดังรูปที่ 11-4

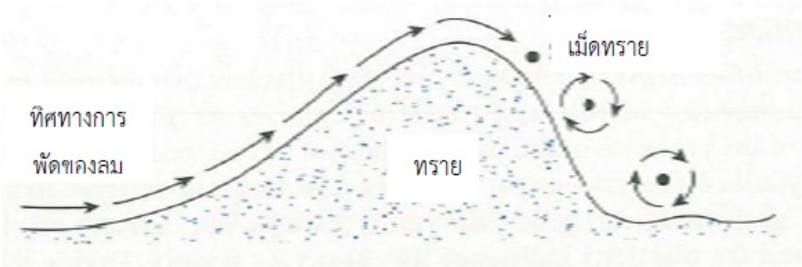


รูปที่ 11-4 ลักษณะการทับถมของดินทะเลสาบ

4) ดินที่เกิดโดยการพัดพาของลม (Aeolian Soil Deposits) ดินประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดแห้ง เนื่องจากลมมีพลังงานในการพัดพาไม่มากจึงสามารถพัดพาได้เฉพาะดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก ลมเป็นตัวกลางที่สำคัญโดยเฉพาะบริเวณทะเลทราย ซึ่งเม็ดทรายจะทับถมสะสมตัวกันออกมาในรูปของเนินทราย (Dunes) ดังรูปที่ 11-5 เมื่อเนินทรายก่อตัวขึ้นเม็ดทรายจะถูกลมพัดขึ้นไปตามเนินทรายจนกระทั่งข้ามสันทรายเม็ดทรายจะกลิ้งตามความลาดหลังเนินทรายกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดการอัดตัวของเม็ดทรายบริเวณด้านหน้าเนินทรายและเกิดทรายหลวมบริเวณด้านหลังเนินทราย คุณลักษณะสำคัญของเนินทรายสามารถสรุปได้ ดังนี้ - ขนาดของเม็ดทรายจะมีขนาดสม่ำเสมอ

- ขนาดของเม็ดทรายจะลดลงเมื่อระยะทางจากแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากลมสามารถพัดพาเม็ดทรายขนาดเล็กไปได้ไกลกว่าเม็ดทรายขนาดใหญ่

- ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทรายที่ฝั่งด้านหน้าเนินทรายอาจมีค่าสูงถึง 50 – 65% ในขณะที่ฝั่งด้านหลังเนินทรายอาจมีค่าต่ำเพียง 0 – 15%



รูปที่ 11-5 ลักษณะการพัดพาเม็ดทรายผ่านเนินทราย
ที่มา: Holmes Principles of Geology by A. Holmes and D.L. Holmes (1978)

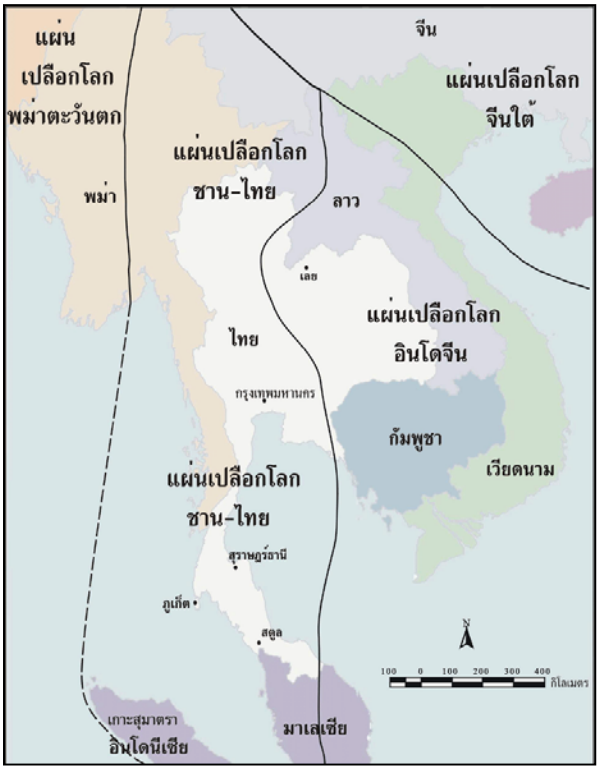
11.2 ลักษณะทางธรณีวิทยาของประเทศไทย

ธรณีวิทยาประเทศไทย

ประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นเปลือกโลก 2 แผ่น เชื่อมต่อกัน คือแผ่นเปลือกโลกชาน-ไทย ซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันตก และแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน ซึ่งอยู่ทางด้านทิศตะวันออก (รูปที่ 11-6) หินต่างๆที่รองรับพื้นที่ประเทศไทยพบตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนถึงตะกอนยุคควอเทอร์นารี มีการแผ่กระจายตัวดังแสดงในรูปที่ 11.7

สำหรับการอธิบายลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาประเทศไทย จะกล่าวถึงเป็นภูมิภาค ดังนี้

(1) บริเวณเขาสูงภาคเหนือและภาคตะวันตกตอนบน (Northern and Upper Western Regions)
(2) บริเวณที่ราบสูงโคราช (ตะวันออกเฉียงเหนือ) (The Korat Plateau)
(3) บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง (The Central Plain)
(4) บริเวณเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ (Loie-Phetchabun Ranges)
(5) บริเวณภาคตะวันออก (The Eastern Regions)
(6) บริเวณภาคตะวันตกตอนล่างและภาคใต้ (Lower Western and Southern Region)
(7) บริเวณทะเลอันดามัน(The Andaman Sea)
(8) บริเวณอ่าวไทย (The Gulf of Thailand)



รูปที่ 11-6 แผนที่แสดงขอบเขตของแผ่นเปลือกโลกของประเทศไทยและภูมิภาคใกล้เคียง
(ที่มา : ธรณีวิทยาประเทศไทย, 2544 กรมทรัพยากรธรณี)

(1) บริเวณเขาสูงภาคเหนือและตะวันตกตอนบน (Northern and Upper Western Regions)

ทั้งสองบริเวณมีภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนต่อเนื่องกันหลายเทือกเขา ส่วนใหญ่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และที่ราบลุ่มระหว่างหุบเขา ทิวเขาที่สำคัญได้แก่ ทิวเขาแดนลาว ทิวเขาถนนธงชัย ทิวเขาผีปันน้ำ ทิวเขาหลวงพระบาง เป็นต้น

ธรณีวิทยาทั่วไป ประกอบด้วย

- แนวแม่ฮ่องสอน – แม่สอด-ทองผาภูมิ ส่วนใหญ่เป็นหินเชิร์ต หินดินดาน และหินทรายสลับกับชั้นหินปูนที่มีหินทรายแดงและหินกรวดมนวางตัวอยู่ข้างบน ช่วงตาก-กำแพงเพชรเป็นหินแปรพวกหินไนส์ หินชีสต์ ควอร์ตไซต์ หินแคลซิลิเกตและหินอ่อน ช่วงกาญจนบุรีเป็นพวกหินปูนและหินทราย
- แนวดอยอินทนนท์-ตาก ส่วนใหญ่เป็นหินแปรพวกหินไนส์ หินควอร์ตซิติชีสต์ หินไบโอไทต์ชีสต์หินแคลซิลิเกตชีสต์และหินอ่อน บริเวณใกล้แนวรอยเลื่อนแม่ปิงพบหินอัคนีชนิดหินแกรนิต หินแกรโนไดโอไรต์และหินเพกมาไทต์
- แนวเชียงราย – เชียงใหม่-เถิน แนวด้านตะวันตกเป็นหินเชิร์ตและหินปูน ส่วนแนวด้านตะวันออกเป็นหินแปรเกรดต่ำ พวกหินฟิลไลต์ หินควอร์ตไซต์ หินชีสต์และหินเชิร์ต
- แนวลำปาง – แพร่ – สุโขทัย พบหินยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก และหินมหายุคมีโซโซอิก ที่ตกตะกอนในสภาวะแวดล้อมในทะเลตื้นถึงทะเลลึก นอกจากนั้นยังมีหินตะกอนภูเขาไฟปะปน
- แนวน่าน – แพร่ – อุตรดิตถ์ ส่วนใหญ่เป็นหินภูเขาไฟและตะกอนหินภูเขาไฟ ซึ่งวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ชั้นหินคดโค้งตลบทับ มีหินเมฟิกและหินอัลตราเมฟิกเกิดอยู่ตามแนวรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ ในเขตจังหวัดน่านและอุตรดิตถ์ นอกจากนั้นพบหินตะกอน พวกหินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน หินโคลนและหินปูน ยุคไทรแอสซิก-ครีเทเชียสแผ่ปกคลุมทางด้านทิศตะวันออกและตะวันตก

(2) บริเวณที่ราบสูงโคราช (ตะวันออกเฉียงเหนือ) (The Korat Plateau)

เป็นที่ราบสูงของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบเรียบและเนินลอนลาด มีความสูงประมาณ 130-250 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีเทือกเขาเพชรบูรณ์และดงพญาเย็น เป็นขอบที่ราบสูงโคราชทางทิศตะวันตก มีความลาดเททางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ขอบที่ราบสูงโคราชด้านทิศใต้ มีทิวเขาสันกำแพงและทิวเขาพนมดงรัก เป็นขอบเขาสูงชันเอียงเทไปหาแอ่งทางทิศเหนือ ส่วนขอบแอ่งทางด้านทิศเหนือและตะวันออกเป็นแนวเทือกเขาในประเทศลาว ที่ราบสูงโคราชยังถูกแบ่งด้วยเทือกเขาภูพานเป็น 2 แอ่ง ประกอบด้วย แอ่งอุดร-สกลนคร อยู่ทางตอนบน และแอ่งโคราช-อุบล อยู่ทางตอนล่าง

ธรณีวิทยาโดยทั่วไปประกอบด้วยหินตะกอนของกลุ่มหินโคราช (Korat Group) ซึ่งเป็นชั้นหินสีแดงมหายุคมีโซโซอิกสะสมตัวบนภาคพื้นทวีปเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทราย หินโคลนและหินกรวดมน ความหนาของหินทั้งสิ้นอาจถึง 4,000 เมตร มีอายุตั้งแต่ยุคไทรแอสซิก-เทอร์เชียรี โดยชั้นหินลาดเอียงเล็กน้อยสู่ใจกลางแอ่งโคราชและแอ่งสกลนคร มีหินบะซอลต์ยุคควอเทอร์นารีไหลปิดทับกลุ่มหินโคราชเป็นหย่อมๆ

(3) บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง (The Central Plain)

ที่ราบลุ่มภาคกลาง เป็นที่ราบกว้างใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า ส่วนที่แคบที่สุดอยู่ทางด้านทิศเหนือและยาวต่อเนื่องลงมาจนถึงอ่าวไทย โดยมีแนวเนินเขาและเขาโดด ปรากฏให้เห็นเป็นหย่อมๆในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ทำให้สามารถแบ่งที่ราบลุ่มภาคกลางออกเป็น 2 ส่วน คือ ที่ราบ

ลุ่มภาคกลางตอนบนหรือที่ราบลุ่มพิษณุโลก ได้แก่ ที่ราบลุ่มแม่น้ำปิง ที่ราบลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน และส่วนที่เหลือคือที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างหรือที่ราบลุ่มเจ้าพระยา

ธรณีวิทยาทั่วไปของที่ราบลุ่มภาคกลางเกิดจากการเคลื่อนไหวของรอยเลื่อนใหญ่ ได้แก่ รอยเลื่อนแม่ปิง รอยเลื่อนอุตรดิตถ์ และรอนเลื่อนเจดีย์สามองค์ ในยุคครีเทเชียสตอนปลายถึงยุคเทอร์เชียรี ตะกอนส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมตัวเกิดขึ้นบนบกแบบเนินตะกอนน้ำพารูปพัด ที่ราบตะกอนน้ำพา ทางน้ำ ทะเลสาบและแบบกึ่งทางน้ำกับทะเลสาบ

(4) บริเวณเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ (Loie-Phetchabun Ranges)

บริเวณเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ ประกอบด้วยพื้นที่ซึ่งเป็นทิวเขามีลักษณะซับซ้อนเป็นสันยาวต่อเนื่องกัน วางตัวในแนวเหนือ-ใต้เป็นส่วนใหญ่ และพื้นที่เกือบราบ ซึ่งพบอยู่ทางตอนเหนือ เนื่องจากส่วนที่เคยเป็นทิวเขาเมื่อถูกกัดเซาะก็จะเกิดการผุพัง จนบางบริเวณกลายเป็นพื้นที่เกือบราบ เกิดเป็นแนวขนานกันลงมาทางใต้ตามขอบด้านในของเทือกเขาเพชรบูรณ์ ส่วนบริเวณตอนกลางเป็นพื้นที่ลอนลาด โดยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 50-100 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ธรณีวิทยาโดยทั่วไปของบริเวณเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ ครอบคลุมไปด้วยหินตะกอนและหินอัคนีเป็นส่วนใหญ่ มีหินแปรบ้างเป็นบริเวณแคบๆ หินเหล่านี้มีอายุตั้งแต่มหายุคพาลีโอโซอิกถึงมหายุคซีโนโซอิก นอกจากนั้นยังปกคลุมด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี ซึ่งประกอบด้วยศิลาแลง ดินลูกรังของชั้นตะพักต่างๆ

(5) บริเวณภาคตะวันออก (The Eastern Regions)

ลักษณะภูมิประเทศของภาคตะวันออกตอนบนมีลักษณะเป็นที่ราบและพื้นที่ลอนลาดอยู่ระหว่างเทือกเขาที่เป็นขอบที่ราบสูงโคราชกับเทือกเขาตอนกลางของภาคตะวันออก พื้นที่ลอนลาดในบริเวณนี้มีความสูงประมาณ 50-150 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลางภาคตะวันออกตอนกลางมีลักษณะเป็นเทือกเขาและภูเขาสูงสลับกับที่ราบและพื้นที่ลอนลาด วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ เทือกเขาสูง ได้แก่ เทือกเขาจันทบุรี ส่วนภาคตะวันออกตอนล่างมีลักษณะเป็นพื้นที่ลอนลาดสลับกับที่ราบซึ่งต่อเนื่องมาจากบริเวณที่เป็นภูเขา ปรากฏเป็นแนวแคบๆ ขนานไปกับชายฝั่งทะเล ตั้งแต่จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี จนถึงจังหวัดตราดส่วนบริเวณชายฝั่งทะเล เป็นที่ราบเรียบอยู่ระหว่างพื้นที่เชิงเขาหรือพื้นที่ลอนลาดขนานกับชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก เกิดจากการสะสมตัวของชั้นตะกอนจากน้ำทะเลที่รุกเข้ามาในแผ่นดินในบริเวณที่เป็นที่ราบเชิงเขาหรือพื้นที่ลอนลาดเดิม มีความกว้างประมาณ 5-10 กิโลเมตรจากขอบอ่าวไทยปัจจุบัน ประกอบด้วยพื้นที่สันทราย (sand ridge) ทั้งเก่าและใหม่ ซึ่งเกิดจากการกระทำของน้ำทะเลและลม พื้นที่ชะวากทะเล (estuary) พื้นที่ลากูน (lagoon) ดินดอนสามเหลี่ยมและลานตะพักทะเล พื้นที่เหล่านี้มีความสูงประมาณ 1-10 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ธรณีวิทยาทั่วไปพบชั้นหินที่ไม่มีความต่อเนื่องกัน โผล่ปรากฏไม่มากนักและมีอัตราการผุพังสูง ชั้นหินในบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ หินมีอายุตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนจนถึงตะกอนยุคควอเทอร์นารี หินมหายุคพรีแคมเบียนพบตอนกลางของภาค หินยุคไทรแอสิกพบทั้งหินอัคนีและหินตะกอน โผล่เป็นแนวจากสระแก้วจนถึงจันทบุรี หินแกรนิตและหินแปรจำพวกหินไนส์และหินชีสต์ พบทางด้านตะวันตกของภาคเขตจังหวัดชลบุรี ระยองและจันทบุรี ส่วนด้านตะวันออกของภาคในเขตจังหวัดปราจีนบุรี จันทบุรีและจังหวัดตราด เป็นหินทราย หินปูน หินทรายแป้ง หินกรวดมน ที่มีการแทรกซอนโดยหินบะซอลต์ หินไรโอไลต์ และแอนดีไซด์เป็นหย่อมๆ เนื้อดินค่อนข้างละเอียดดินเหนียว ชายฝั่งจันทบุรีและตราดมีหาดโคลนตมและหาดเลน ทั้งยังมีหินอัคนีพุหินโอลิวีนและหินบะซอลต์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของพลอยสี

ต่าง ๆ เช่น ทับทิม บุษราคัม ไพลิน เขตอำเภอขลุง และอำเภอโป่งน้ำร้อน จังหวัดจันทบุรีและที่อำเภอบ่อไร่ จังหวัดตราด

(6) บริเวณภาคตะวันตกตอนล่างและภาคใต้ (Lower Western and Southern Regions)

ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงและที่ราบระหว่างหุบเขา สำหรับในภาคใต้ยังพบที่ราบลอนลาดอยู่ทั่วไปและพบมากบริเวณตอนกลางของภาคซึ่งระดับความสูงจะค่อยๆ ลดลงและลาดต่ำลงสู่ทะเล สำหรับลักษณะชายฝั่งทะเลบริเวณนี้มีความแตกต่างกัน โดยทางทิศตะวันออกเป็นชายทะเลแบบยกตัวขึ้น (emergent shoreline) ชายฝั่งมีลักษณะราบเรียบต่อเนื่องกันไป บริเวณที่อยู่ถัดเข้าไปในแผ่นดินมีร่องรอยของตะพักทะเลระดับต่ำ (low marine terrace) ชายหาดเดิม ที่ลุ่มหลังหาด และที่ลุ่มชื้นแฉะ ภูมิประเทศเหล่านี้ทั้งหมดเกิดจากการกระทำของน้ำทะเลที่เคยไหลเข้ามาท่วมท้นบริเวณนี้ แล้วถดถอยออกไปในเวลาต่อมา ส่วนชายฝั่งทะเลทางทิศตะวันตกเป็นชายฝั่งแบบจมตัวลง (submergent shoreline) ชายฝั่งมีลักษณะแคบ มีความลาดเอียงค่อนข้างชัน บริเวณที่จรดกับแผ่นดินใหญ่ ชายฝั่งแบบนี้จะมีลักษณะเว้าแหว่ง ประกอบด้วยอ่าวและเกาะจำนวนมาก

ธรณีวิทยาทั่วไป ประกอบด้วยหินไนส์และหินไมกา-ชีสต์ ในมหายุคพรีแคมเบรียน หินทราย หินปูน สลับหินทรายแป้ง หินดินดาน หินดินดานปนกรวดและหินปูนชั้นหนา ในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิก หินทราย หินทรายแป้งและหินดินดาน ช่วงมหายุคมีโซโซอิก สำหรับยุคเทอร์เชียรีและยุคควอเทอร์นารี เป็นการสะสมตะกอนในสภาวะแวดล้อมการเกิดบนบก แผ่กระจายอยู่ในแอ่งต่างๆซึ่งกระจายตัวเป็นแนวตั้งแต่จังหวัดเพชรบุรีลงไปถึงจังหวัดสงขลา มักพบว่ามีชั้นถ่านหินและซากดึกดำบรรพ์ปะปนอยู่ ในยุคควอเทอร์นารีเป็นช่วงที่มีการผุพังของชั้นหินอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการทับถมตะกอนของชั้นทรายและกรวด รวมทั้งแร่ดีบุก ที่มีทั้งกำเนิดบนบกและริมฝั่งทะเล นอกจากนั้นภาคใต้ยังมีโครงสร้างคดโค้งขนาดใหญ่ ที่มีระนาบแกนอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งมักมีความสัมพันธ์กับการแทรกตัวของหินแกรนิต ซึ่งเป็นตัวการกำเนิดแร่ดีบุก ทังสเตน และแร่อื่นๆ

(7) บริเวณทะเลอันดามัน(The Andaman Sea)

บริเวณทะเลอันดามันเป็นส่วนนอกฝั่งตะวันตกของพม่า ไทยและมาเลเซีย ต่อเนื่องเข้าไปในมหาสมุทรอินเดียเข้าหาแอ่งทะเลอันดามันและสิ้นสุดที่หมู่เกาะอันดามันนิโคบาร์ ส่วนทางด้านทิศใต้เป็นฝั่งสุมาตราเหนือและช่องแคบมะละกา บริเวณทะเลอันดามันของไทยเป็นเพียงขอบตะวันออกของแอ่งอันดามันเท่านั้นลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญในทะเลอันดามัน คือ ลาดทวีป (continental slope) ที่อยู่นอกชายฝั่งแหลมไทย-มาเลเซีย ซึ่งลาดทวีปนี้มีการเอียงลาดไปทางด้านตะวันตก

แอ่งเทอร์เชียรีที่อยู่ในอาณาเขตของไทย คือ แอ่งเมอร์กุย เป็นแอ่งที่เกิดขึ้นในช่วงปลายสมัยโอลิโกซีน อันเป็นผลมาจากการยกตัวของแผ่นเปลือกโลกพื้นทวีป ประกอบกับได้รับอิทธิพลจากกลุ่มรอยเลื่อนระนองและคลองมะรุ่ย ตะกอนในแอ่งเป็นพวกตะกอนที่สะสมตัวในน้ำทะเลลึกเพียงแอ่งเดียวในประเทศไทย มีความหนาถึง 8,000 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ ทั้งหมดประมาณ 50,000 ตารางกิโลเมตร

(8) บริเวณทะเลอ่าวไทย(The Gulf of Thailand)

อ่าวไทยเป็นบริเวณทะเลด้านตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งเปิดไปสู่ทะเลจีนใต้ ขอบเขตของอ่าวไทยตอนบนต่อเนื่องกับดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยาของที่ราบลุ่มภาคกลาง และชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศของท้องทะเลอ่าวไทยไม่ราบเรียบ แต่มีสันและแอ่งมากมาย มีการวางตัวขนาน

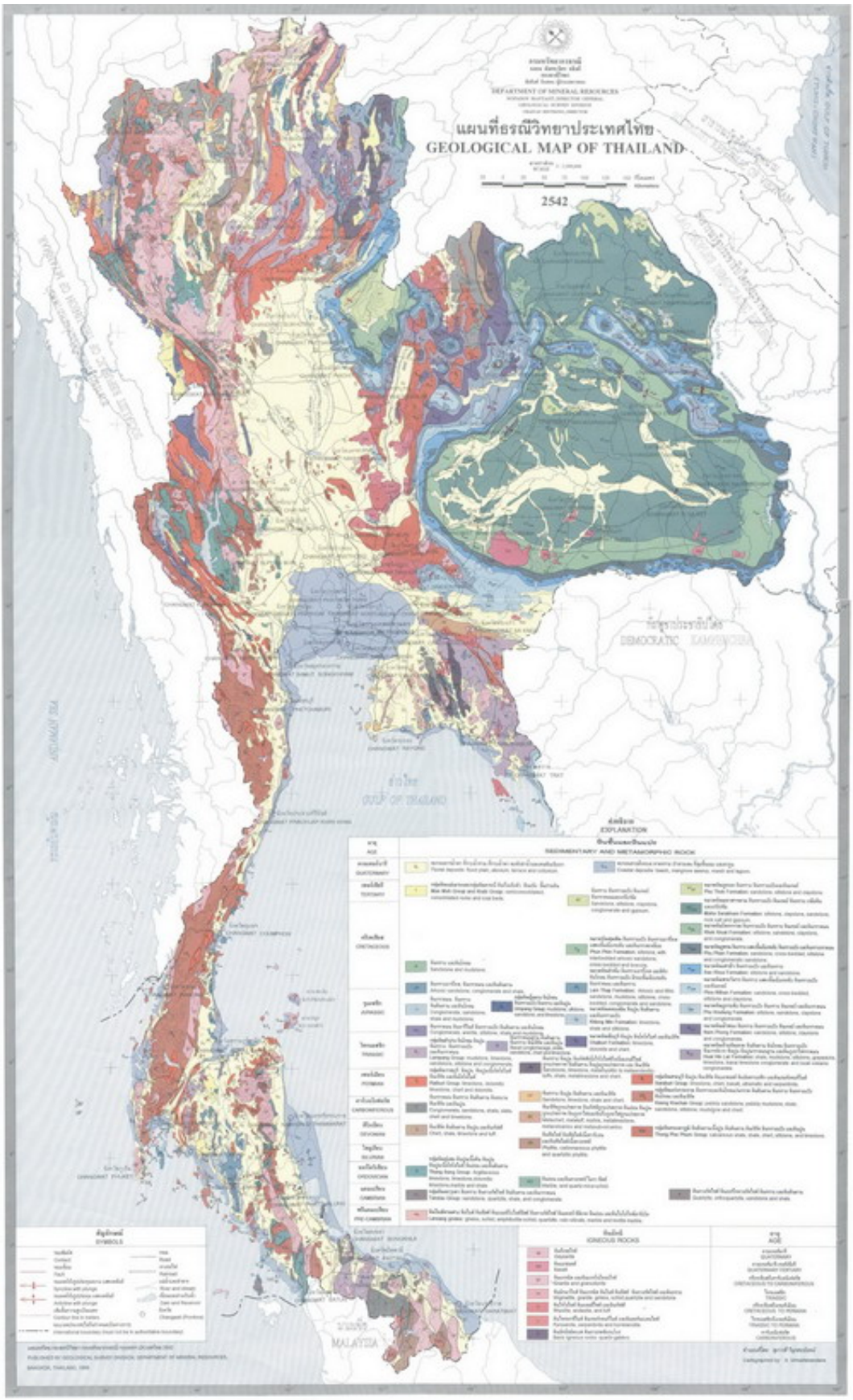
กันไปในแนวเหนือ-ใต้ สันบริเวณเกาะกระ และจังหวัดนราธิวาสเป็นแนวแบ่งท้องทะเลอ่าวไทยออกเป็น 2 ด้าน คือ ด้านตะวันออกและด้านตะวันตก

ธรณีวิทยาทั่วไปของแอ่งเทอร์เชียรีในอ่าวไทย พบการสะสมตัวของชั้นตะกอนในสภาวะที่เป็นน้ำจืดตั้งแต่สมัยโอลิโกซีนเป็นต้นมา ชั้นตะกอนหินหนาถึง 8,000 เมตร หรือมากกว่านั้น เนื่องจากยังไม่มีการเจาะทะลุถึงชั้นล่างสุด บางแอ่งเป็นแหล่งก๊าซธรรมชาติที่สำคัญของประเทศ นอกจากนั้นบริเวณใต้บริเวณอ่าวไทยปรากฏค่าความร้อนจากใต้พิภพสูงกว่าปกติ

แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย

แผนที่ธรณีวิทยา (geologic map) คือ แผนที่ซึ่งแสดงการกระจายตัว และลักษณะการวางตัวของหินแข็งที่โผล่บริเวณผิวโลก (outcrop)หรือของหน่วยหิน (Rock unit) ซึ่งอาจโผล่หรือวินิจฉัยได้ว่าอยู่ใต้ดินในบริเวณนั้น ตลอดจนแสดงลักษณะชั้นตะกอนและวัสดุต่างๆที่ยังไม่แข็งตัว

ทั้งนี้แผนที่ธรณีวิทยาครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย จัดทำและปรับปรุงโดยกรมทรัพยากรธรณี ในสังกัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางธรณีวิทยาต่อไป ซึ่งแผนที่ที่นิยมคือ แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1 : 50,000



รูปที่ 11-7 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย ปี พ.ศ. 2542 มาตราส่วน 1 : 1,000,000

12. การสำรวจชั้นดิน ชั้นหิน

12.1 วัตถุประสงค์ของการสำรวจชั้นดิน ชั้นหิน

1) เพื่อสำรวจความเหมาะสมของพื้นที่โครงการ

2) เพื่อการตรวจสอบลักษณะทางวิศวกรรมของชั้นดิน ชั้นหิน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบก่อสร้างฐานราก การออกแบบก่อสร้างงานด้านวิศวกรรมปฐพี

3) เพื่อการตรวจสอบความแน่นหรือความแข็งของชั้นดินชั้นหิน

4) เพื่อเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ

5) เพื่อสำรวจหาแหล่งวัสดุก่อสร้างในพื้นที่โครงการ

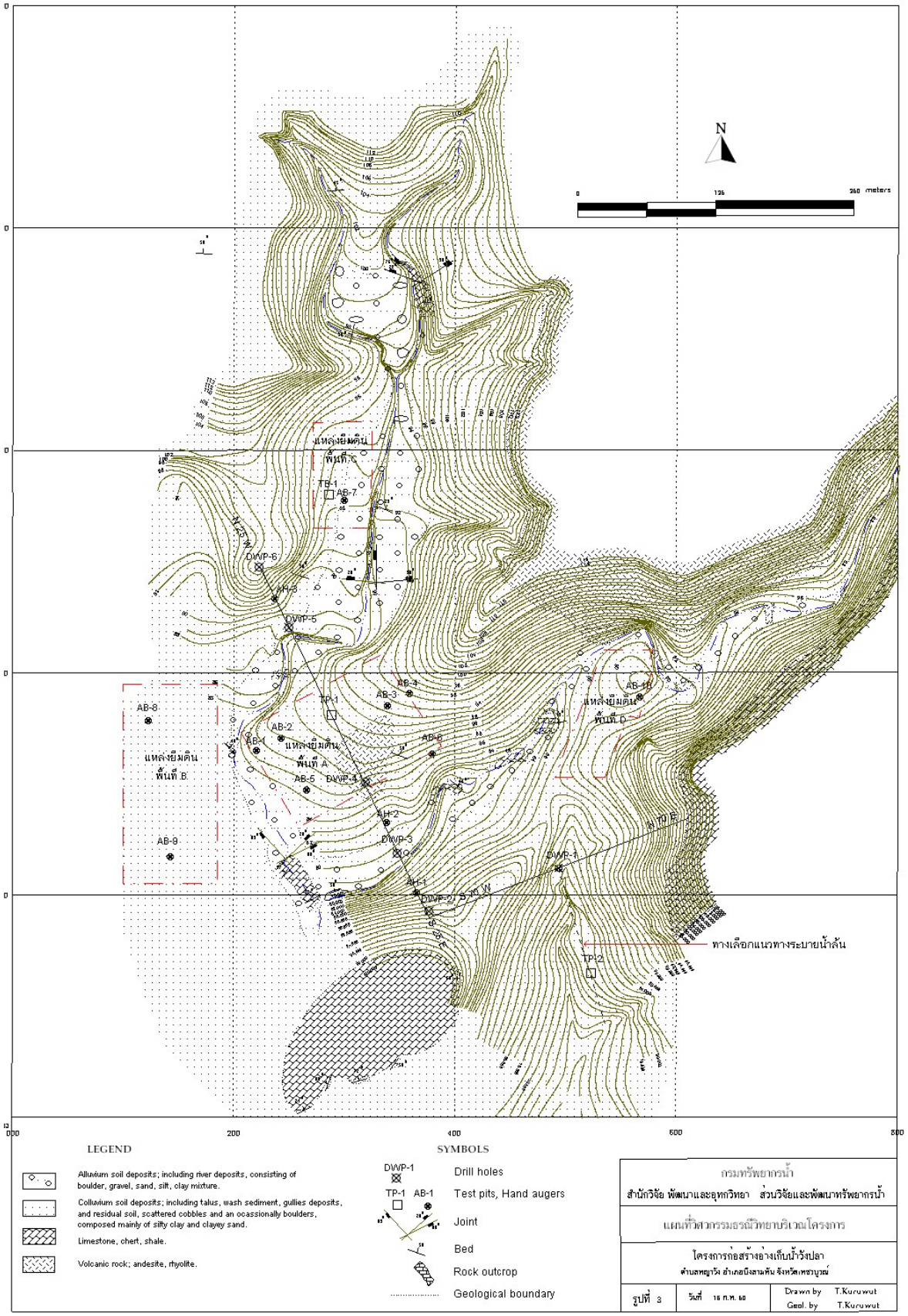
12.2 ข้อกำหนดการเจาะสำรวจชั้นดินอ่างเก็บน้ำ

ในการเจาะสำรวจชั้นดินเพื่อการออกแบบ ก่อสร้าง อ่างเก็บน้ำ ข้อมูลทางธรณีวิทยาที่พึงจะต้องทำการสำรวจและเก็บข้อมูล ประกอบด้วย

1) จัดทำแผนที่วิศวกรรมธรณี มาตราส่วนอย่างน้อย 1:5,000 ถึง 1:1,000 ศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่อ่างเก็บน้ำและพื้นที่ใกล้เคียง โดยสำรวจและบันทึกข้อมูลลงรายละเอียดของขอบเขตชนิดดิน/หิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ปรากฏให้เห็นบนพื้นผิวทั้งขนาดและทิศทาง เพื่อจัดทำแผนที่วิศวกรรมธรณี (รูปที่ 12-1) เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้ทราบว่า ตำแหน่งโครงสร้างและอาคารประกอบกำหนดไว้วางอยู่บนชั้นดิน/หิน ชนิดใด มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาประเภทใดที่จะมีผลกระทบตัวตัวเขื่อนบ้าง เช่น แนวรอยเลื่อน รอยแยก รอยแตก ของชั้นหิน ชนิดและปริมาณตะกอนที่จะตกสะสมในท้องอ่างฯ หลังจากที่มีการกักเก็บน้ำแล้ว รวมทั้งแหล่งวัสดุดินถมที่อาจใช้ได้ที่อยู่ในบริเวณท้องอ่างฯและพื้นที่ใกล้เคียง

2) การเจาะสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน (Hand Auger) เพื่อประเมินความหนา (Overburden) ของชั้นดิน และบรรยายลักษณะชนิดดิน เก็บตัวอย่างชั้นดินสำหรับทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ พร้อมให้ความเห็นบริเวณที่เป็นแหล่งดินถม โดยตำแหน่งหลุมเจาะ ประกอบด้วยบริเวณตามแนวแกนเขื่อนอย่างน้อย 3 หลุม (ฝั่งซ้าย ฝั่งขวา และบริเวณลำน้ำ) ด้านเหนือและท้ายน้ำ อย่างน้อย 4 หลุม และบริเวณที่แหล่งดินถมที่อยู่บริเวณท้องอ่างฯ เบื้องต้น อย่างน้อย 3 หลุม ความลึกของหลุมเจาะประมาณ 4-6 เมตร ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นดินหรืออุปสรรคที่เกิดขึ้น เช่น หลุมพัง เป็นต้นเก็บตัวอย่างชั้นดินทุกๆ 1 เมตร และเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 2 กิโลกรัม สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3) การเจาะสำรวจชั้นดินแบบเป่าล้าง (Wash boring) พร้อมตอกทดสอบกำลังรับน้ำหนักของชั้นดิน ด้วยวิธี Standard Penetration Test, SPT เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินในแต่ละช่วงตามโครงสร้างของแกนเขื่อน (Dam axis) และ/หรืออาคารควบคุมน้ำ จำนวนหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 3 หลุม **(**ฝั่งซ้าย ฝั่งขวาและบริเวณลำห้วย**)** และอาจเพิ่มเติมบริเวณตามแนวทางระบายน้ำล้น (Spillway)เหนือน้ำและท้ายน้ำอีก 2 หลุม ห่างจากแกนประมาณ 10 เท่าของความสูงสันเขื่อน โดยมีความลึกของหลุมสำรวจไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 ของหรือเท่ากับความสูงของโครงสร้างอาคาร หรืออาจสำรวจถึงชั้นหิน พร้อมทั้งบรรยาย/บันทึกลักษณะชนิดดิน/หินของหลุมเจาะตามแบบฟอร์ม



รูปที่ 12-1 ตัวอย่างแผนที่วิศวกรรมธรณี

4) การทดสอบการรั่วซึมของชั้นดินโดยวิธี Gravity Test แบบ Constant Head เพื่อประเมินอัตราการรั่วซึมของชั้นดินในแต่ละช่วง จำนวนอย่างน้อย 3 หลุม บริเวณตามแนวแกนเขื่อน โดยทำการทดสอบ ทุกๆ 1 เมตร

หลังจากนั้นต้องนำข้อมูลสำรวจลงในภาพตัดขวาง (cross section) ตามแนวแกนฝายหรือเขื่อน และอาคารบังคับน้ำของโครงสร้างและอาคารประกอบ กรณีพื้นที่ก่อสร้างมีชั้นหินฐานรากตื้น ความลึกของหลุมสำรวจยังไม่ถึงระยะที่กำหนดจำเป็นต้องมีการเจาะเก็บตัวอย่างแท่นหินและทดสอบการรั่วซึมของชั้นหินโดยวิธี Packer test

12.3 ข้อกำหนดการเจาะสำรวจชั้นดินฝายน้ำล้น

ฝายน้ำล้นเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่สร้างขวางทางน้ำเพื่อกักเก็บน้ำในลำน้ำ ห้วย คลองต่างๆ โดยโครงสร้างจะมีความสูงไม่เกิน 4 เมตร การเจาะสำรวจชั้นดิน จึงดำเนินการสำรวจเฉพาะบริเวณโครงสร้างของแนวแกนฝาย (Weir axis) อาคารบังคับน้ำ และบริเวณริมตลิ่งขวา-ซ้าย ด้านเหนือน้ำ ที่มีผลจากการยกตัวของน้ำเนื่องจากการกักเก็บหรือระดับทดน้ำ ประกอบด้วย

1) การเจาะสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน (Hand Auger) บริเวณแกนฝาย (ฝั่งซ้าย ฝั่งขวา และบริเวณลำน้ำ) อย่างน้อย 3 หลุม ด้านเหนือน้ำและท้าย 2 หลุม เพื่อประเมินความหนาและชนิดของชั้นดิน เจาะสำรวจบริเวณเหนือน้ำ ฝั่งซ้าย ฝั่งขวา ระยะห่าง 300-500 เมตร เพื่อประเมินเสถียรภาพของตลิ่ง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ขึ้น-ลง เนื่องจากการกักเก็บของน้ำในลำน้ำ ความลึก 4-6 เมตร เก็บตัวอย่างชั้นดินทุกๆ 1 เมตร และเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 2 กิโลกรัม สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2) การเจาะสำรวจชั้นดินแบบเป่าล้าง (Wash boring) พร้อมตอกทดสอบกำลังรับน้ำหนักของชั้นดิน ด้วยวิธี Standard Penetration Test, SPT เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินตามโครงสร้างของแกนฝาย (Weir axis) และอาคารบังคับน้ำ จำนวนหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 3 หลุม (ฝั่งซ้ายฝั่งขวาและบริเวณลำห้วย) และอาจเพิ่มเติมบริเวณบริเวณอาคารบังคับ เหนือน้ำและท้ายน้ำอีก 2 หลุม โดยมีความลึกของหลุมสำรวจเท่ากับความสูงของโครงสร้าง หรืออาจสำรวจถึงชั้นหินพร้อมทั้งบรรยาย/บันทึกลักษณะชนิดดิน/หินของหลุมเจาะตามแบบฟอร์ม

3) การทดสอบทดสอบการรั่วซึมของชั้นดินโดยวิธี Gravity Test แบบ Constant Head เพื่อประเมินอัตราการรั่วซึมของชั้นดินในแต่ละช่วง จำนวนอย่างน้อย 3 หลุม บริเวณตามแนวแกนเขื่อน โดยทำการทดสอบทุกๆ 1 เมตร และจากนั้นต้องนำข้อมูลสำรวจลงในภาพตัดขวาง (cross section) ตามแนวแกนฝายหรือเขื่อนและอาคารบังคับน้ำของโครงสร้างและอาคารประกอบ

12.4 ข้อกำหนดการเจาะสำรวจชั้นดินระบบกระจายน้ำ

การสำรวจชั้นดินเพื่อรองรับการออกแบบระบบกระจายน้ำจะขึ้นอยู่กับการออกแบบชนิด หรือรูปแบบที่จะก่อสร้าง เช่น ระบบคลอง คลองดาดคอนกรีต หรือระบบท่อ เป็นต้น ซึ่งปกติจะออกแบบเป็นคลองเปลือยหรือ คลองดาดคอนกรีต และอาคารบังคับน้ำ การเจาะสำรวจชั้นดินจะกระทำเพื่อประเมินความหนาชั้นดิน การรั่วของชั้นดิน และการรับน้ำหนักของชั้นดิน ประกอบด้วย

1) การเจาะสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน (Hand Auger) ระยะห่างประมาณ 300-500 เมตร บริเวณตามแนวของระบบกระจายน้ำ เพื่อประเมินความหนาและชนิดของชั้นดิน ความลึก 3-5 เมตร เก็บตัวอย่างชั้นดินทุกๆ 1 เมตร และเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 2 กิโลกรัม สำหรับตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2) การเจาะสำรวจชั้นดินแบบเป่าล้าง (Wash boring) พร้อมตอกทดสอบกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินด้วยวิธี Standard Penetration Test, SPT เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินบริเวณจุดก่อสร้างอาคารบังคับน้ำ จำนวนหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 1 หลุมต่อ 1 โครงสร้าง โดยมีความลึกของหลุมสำรวจพิจารณาจากค่า N หรืออาจสำรวจถึงชั้นหินพร้อมทั้งบรรยาย/บันทึกลักษณะชนิดดิน/หินของหลุมเจาะตามแบบฟอร์ม

12.5 ข้อกำหนดการเจาะสำรวจชั้นดินอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำ

ข้อกำหนดการเจาะสำรวจชั้นดินฐานรากสำหรับ โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำธรรมชาติ ประกอบด้วย

1) การเจาะสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน (Hand Auger)

กรณีที่เป็นห้วย การเจาะสำรวจชั้นดินลึกประมาณ 4-6 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 1 เมตร สำรวจตามแนวลำห้วยทุกๆ 500 เมตร ทั้งฝั่งซ้าย ฝั่งขวาบริเวณโค้งน้ำที่เกิดการกัดเซาะ และตามโครงสร้าง หรืออาคารควบคุมน้ำ

กรณีที่เป็นบึง กุด หรือหนองน้ำ ในงานขุดลอกต้องสำรวจสภาพชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน สำรวจดินลึกประมาณ 4-6 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 1 เมตร ไม่น้อยกว่า 5 หลุม ครอบคลุมพื้นที่แหล่งน้ำ และในบริเวณตำแหน่งที่ก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำ ควรสำรวจโดยมีจำนวนหลุมเจาะไม่น้อยกว่า 3 หลุม

2) การเจาะสำรวจชั้นดินแบบเป่าล้าง (Wash boring) พร้อมตอกทดสอบกำลังรับน้ำหนักของชั้นดิน ด้วยวิธี Standard Penetration Test, SPT เพื่อประเมินกำลังรับน้ำหนักของชั้นดินบริเวณจุดก่อสร้างอาคารบังคับน้ำ จำนวนหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 1 หลุมต่อ 1 โครงสร้าง โดยมีความลึกของหลุมสำรวจพิจารณาจากค่า N หรืออาจสำรวจถึงชั้นหินพร้อมทั้งบรรยาย/บันทึกลักษณะชนิดดิน/หินของหลุมเจาะตามแบบฟอร์ม

ตารางที่ 12-1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุสำหรับดินและหินที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ

สำหรับดิน	การทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับหิน
- Gradation หรือ Sieve Analysis - Water Content - Atterberg's limits - Specific gravity - Proctor compaction - Relative density	- Specific gravity and Absorption - Abrasion test - Uniaxial compressive strength

12.6 การสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้างเพื่อการออกแบบ

การพิจารณาถึงความเหมาะสมของแหล่งวัสดุก่อสร้างใดๆ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ

- คุณภาพ (Quality) หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุในแหล่งซึ่งจะต้องตรงกับความต้องการหรือรายละเอียดข้อกำหนดของงานก่อสร้างแต่ละประเภท

- ปริมาณ (Supply) วัสดุก่อสร้างในแหล่งจะต้องมีปริมาณเพียงพอ สามารถป้อนให้กับงานก่อสร้างได้อย่างต่อเนื่อง มิเช่นนั้นอาจทำให้งานก่อสร้างหยุดชะงักหรือล้มเหลวได้

- ค่าใช้จ่ายในการผลิตและขนส่ง (Production and transportation cost) แหล่งวัสดุก่อสร้างที่จะมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ ควรสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิตในระดับต่ำและควรตั้งอยู่ใกล้บริเวณก่อสร้าง จึงจะมีความคุ้มค่าในการนำมาใช้ประโยชน์

การตัดสินใจว่าแหล่งวัสดุก่อสร้างใดมีความเหมาะสมในการพัฒนานำมาใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น คือ ต้องมีการสำรวจสภาพธรณีวิทยาของแหล่งวัสดุเพื่อให้ทราบชนิดและปริมาณของวัสดุ ตลอดจนมีการทดสอบสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุ สำรวจระยะทางขนส่งและวิธีการขุดขนย้ายวัสดุ เพื่อให้ทราบค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นจากการนำวัสดุมาใช้งาน การสำรวจแหล่งวัสดุแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

12.6.1 การสำรวจเบื้องต้น (Preliminary Investigation)

เป็นการศึกษาเพื่อหาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสภาพธรณีวิทยาของแหล่งวัสดุ สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของวัสดุ ระยะทางระหว่างแหล่งวัสดุกับบริเวณก่อสร้าง ตลอดจนวิธีการขนส่งที่ประหยัดและรวดเร็วที่สุด โดยปกติการสำรวจเบื้องต้นจะทำหลายๆแหล่งควบคู่กันไป เพราะใช้เวลาไม่นานและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายไม่มากนัก

การสำรวจเบื้องต้น โดยทั่วไปเป็นการศึกษาจากข้อมูลบอกเล่า เอกสารรายงานและแผนที่ธรณีวิทยาที่มีผู้ทำการสำรวจไว้ก่อน เมื่อพิจารณาว่าแหล่งใดที่คาดว่าอาจมีความเหมาะสมแล้วจึงเข้าไปดำเนินการตรวจสอบ ณ สถานที่จริง จนกระทั่งได้ข้อมูลเพียงพอที่จะตัดสินใจว่าแหล่งใดมีความเหมาะสมและสมควรทำการสำรวจขั้นรายละเอียดต่อไป สำหรับการสำรวจเบื้องต้นของแหล่งวัสดุ ประกอบด้วย

- ทำการศึกษาเพื่อหาข้อมูลที่เกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างต่างๆในบริเวณข้างเคียงกับบริเวณที่จะทำการก่อสร้างเช่น แผนที่ธรณีวิทยา รายงานสภาพธรณีวิทยา และผลทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ
- สำรวจความหนาของชั้นดิน โดยใช้สว่านมือหมุน และสำรวจชั้นหินโผล่ พร้อมกำหนดตำแหน่งและวัดทิศทางการวางตัว เพื่อคำนวณปริมาณสำรอง
- เก็บตัวอย่างวัสดุหิน ดิน ทราย ในพื้นที่โครงการและใกล้เคียง เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมและความเหมาะสมของวัสดุ
- ศึกษาระยะห่างระหว่างแหล่งวัสดุและพื้นที่โครงการก่อสร้าง รวมทั้งความสะดวกในการขนส่ง

12.6.2 การสำรวจขั้นรายละเอียด (Detailed Investigation)

การสำรวจในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณสำรองของวัสดุที่แน่นอน ความหนาและชนิดของวัสดุปกคลุม สภาพธรณีวิทยา สภาพอุทกธรณีวิทยาโดยละเอียด ตลอดจนการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบหาสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรม การสำรวจในขั้นตอนนี้อาจมีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ เช่น การสำรวจคลื่น

ไหวสะเทือนแบบหักเห และ/หรือ การขุดหลุมสำรวจ (pitting) การเจาะสำรวจ (borehole drilling) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับสภาพธรณีวิทยาใต้พื้นผิว

ข้อมูลจากการสำรวจในขั้นรายละเอียดนี้จะนำมาประเพื่อประเมินหาปริมาณสำรองที่แน่นอนและเพื่อกำหนดวิธีการขุดหรือเปิดทำเหมืองหินต่อไปสำหรับการสำรวจขั้นรายละเอียดของแหล่งวัสดุ ประกอบด้วย

- นำข้อมูลที่ได้รวบรวมในขั้นตอนแรกมาเพื่อจัดทำแผนที่รายละเอียด เช่น แผนที่ธรณีวิทยาและแหล่งวัสดุก่อสร้าง มาตราส่วน 1:5,000 ถึง 1:1,000 เพื่อวางแผนการสำรวจกำหนดขอบเขตที่แน่นอนเพิ่มเติม และการเจาะสำรวจทั้งแหล่งยืมดิน และแหล่งวัสดุหิน
- ทำการสำรวจทั้งบนพื้นผิว และการสำรวจใต้ผิวดิน สำหรับแหล่งยืมดินให้สว่านมือหมุนสำหรับหินใช้การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ร่วมกับการเจาะสำรวจเก็บแท่งหิน (core rock)
- การเก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้าง ทำการบรรยายลักษณะดิน และหินตามที่ได้พบเห็นในภาคสนาม สำหรับตัวอย่างวัสดุดิน ทราย ในการวิเคราะห์ขนาดตะกอน (sieve analysis) เพื่อจำแนกชนิดตามระบบ USCS หรือ AASHTO สำหรับตัวอย่างวัสดุหินอาจเก็บจากหินโผล่ที่พบบนพื้นผิว และแท่งตัวอย่างหินจากการเจาะสำรวจ สำหรับการทดสอบเกี่ยวกับความแข็งแรงและความทนทานในการขัดถูของวัสดุหิน
- การประเมินปริมาณสำรอง สำหรับวัสดุดิน และทราย ทำการประเมินจากข้อมูลความหนาของชั้นดินที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ที่กำหนด ให้ได้อย่างน้อย 1.5 เท่าของปริมาณที่กำหนด

12.6.3 ความจำเป็นของข้อมูลในการประเมินปริมาณสำรอง

1) กรณีที่แหล่งวัสดุเป็นหินตะกอน การประเมินปริมาณสำรองหาได้จากความหนาและการแผ่กระจายของมวลหิน แต่จำเป็นต้องคำนวณถึงทิศทางการวางตัวของชั้นหินด้วย เช่น

- กรณีชั้นหินวางตัวในแนวราบ การประมาณค่อนข้างแน่นอน จะมีปริมาณวัสดุหินมากกว่ากรณีที่ชั้นหินวางตัวเอียงเทไปจากแนวราบ แต่บางกรณีอาจมีปริมาณมากกว่า
- กรณีชั้นหินวางตัวเอียงเททำมุมออกจากเขา การประเมินต้องคำนึงถึงอัตราส่วนของความหนาของชั้นหินกับความหนาของวัสดุปิดทับ ซึ่งมักจะลดลงเมื่อขุดเปิดลึกมากขึ้น
- กรณีชั้นหินวางตัวเอียงเททำมุมเข้าหาเขา จะมีอุปสรรคในการขุดตักลึกและมีปริมาณของวัสดุปกคลุมที่เพิ่มมากขึ้น

2) แหล่งกรวดทราย ส่วนใหญ่มักพบตาม river terrace ซึ่งเป็น flood plain deposits เก่าของทางน้ำในอดีต

12.7 วิธีการสำรวจชั้นดิน ชั้นหิน

การสำรวจชั้นดิน ชั้นหินแบ่งเป็นการสำรวจภาคพื้นดิน (Surface investigation) และการสำรวจใต้พื้นผิว (Subsurface investigation) โดยมีวิธีการสำรวจดังนี้

12.7.1 การสำรวจภาคพื้นดิน (Surface investigation)

การสำรวจภาคพื้นดินเป็นการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูล และบันทึกข้อมูลเพื่อลงรายละเอียดของขอบเขตชนิดดิน ชนิดหิน และโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ปรากฏให้เห็นบนพื้นผิวทั้งขนาดและทิศทาง บริเวณพื้นที่โครงการเพื่อสรุปออกมาเป็นรายงานความเหมาะสมของพื้นที่โครงการ และจัดทำแผนที่วิศวกรรมธรณีมาตราส่วน อย่างน้อย 1:5,000 ถึง 1:1,000

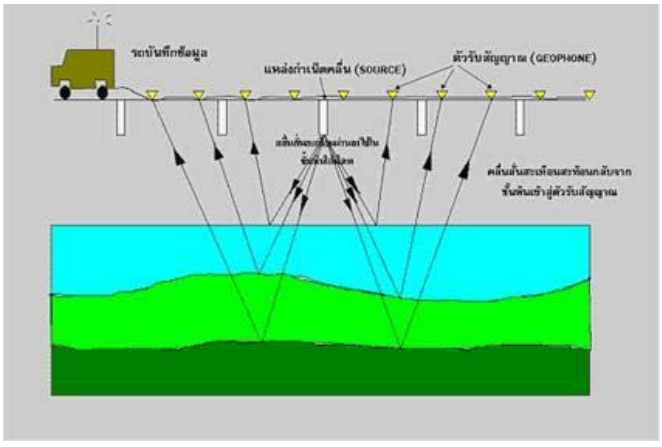
12.7.2 การสำรวจใต้พื้นผิว (Subsurface investigation)

การสำรวจใต้ผิวดิน เป็นการสำรวจเพื่อการตรวจสอบลักษณะทางวิศวกรรมของชั้นดิน ชั้นหิน เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบก่อสร้างงานด้านวิศวกรรมปฐพีและเพื่อสำรวจหาแหล่งวัสดุก่อสร้างในพื้นที่โครงการ โดยใช้การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ร่วมกับการเจาะสำรวจ มีวิธีการสำรวจ ดังนี้

1) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีการวัดค่าสั่นสะเทือนของคลื่น แบ่งออกเป็นการสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยคลื่นหักเห (Seismic refraction)และการสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นสะท้อน (Seismic reflection) โดยมีวิธีการสำรวจ (กรมชลประทาน, 2553) ดังนี้

1.1) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยคลื่นหักเห (Seismic refraction)(กรมชลประทาน, 2553)แนวสำรวจภาคสนามจะต้องครอบคลุมความยาว 1.2 เท่าของความยาวเขื่อนและอาคารประกอบ ครอบคลุมความลึก 1 เท่าของความสูงเขื่อนและอาคารประกอบ การออกแบบงานสนามเป็นไปตามข้อกำหนดวิชาการในร่างมาตรฐานฯ (2540-41) การประมวลผลใช้วิธีการคำนวณความเร็วคลื่นไหวสะเทือนแบบ Reciprocal-time method นำเสนอผลสำรวจบนภาพแปลนแสดงแนวสำรวจ และภาพตัด 2 มิติ แสดงรูปทรงความหนา ระดับความลึกของชั้นหินฐานราก และบริเวณที่มีค่าความเร็วคลื่นที่ผิดปกติ โดยมีค่าความเร็วคลื่นไหวสะเทือนกำกับ ในมาตราส่วน 1 : 500 (ตั้ง : ราบ = 1 : 1) พร้อมแสดงข้อมูลดิบด้านเวลาคลื่นแรกที่เดินทางมาถึง มีผลสรุปผลการแปลความหมาย และข้อเสนอแนะทางด้านวิชาการประกอบในรายงานวิชาการที่ลงนามโดยคณะทำงานผู้รับผิดชอบ

1.2) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นสะท้อน (Seismic reflection)(กรมชลประทาน, 2553)การสำรวจภาคสนามจะต้องครอบคลุมความยาว 1.2 เท่าของแนวสำรวจครอบคลุมความลึก 2 เท่าของความสูงเขื่อนและอาคารประกอบ การออกแบบงานสนามเป็นไปตามข้อกำหนดทางวิชาการของ Stone (1994) การประมวลผลใช้แนวทางที่ระบุใน Yilmaz (1987) นำเสนอผลสำรวจเป็นภาพแปลนแนวสำรวจ และภาพตัด 2 มิติ ทั้งภาพตัดเวลา (Time-stacked section) และภาพตัดความลึก (Depth-stacked section) แสดงรูปทรงและมิติ ของโครงสร้างทางธรณี (Geologic structure) ที่โดดเด่นในชั้นหินฐานราก โดยมีความเร็วคลื่นไหวสะเทือน (Time-velocity function) กำกับ ในมาตราส่วนที่สะดวกใช้งานเป็นกรณีไป พร้อมแสดงกระบวนการประมวลผล (Processing sequence) โดยละเอียดกำกับในภาพตัด พร้อมผลสรุปผลการแปลความหมาย และข้อเสนอแนะนำทางวิชาการประกอบในรายงานวิชาการที่ลงนามโดยคณะทำงานผู้รับผิดชอบ



รูปที่ 12-2 การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีการวัดค่าสั่นสะเทือนของคลื่น
ที่มา : http://oknation.nationtv.tv/mblog/entry.php?id=957037 ,2558

2) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า แบ่งการสำรวจตามวิธีการวางแนวสำรวจออกเป็น การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Resistivity Schlumberger) และการสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบไดโพล-ไดโพล (Resistivity Dip[ole-Dipole) โดยมีวิธีการสำรวจ (กรมชลประทาน, 2553) ดังนี้

2.1) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบชลัมเบอร์เจอร์ (Resistivity Schlumberger)(กรมชลประทาน, 2553) การสำรวจภาคสนามจะต้องมีระยะสนามของการขยายของแท่งรับ/ส่งไฟฟ้าออกจกศูนย์กลางไปด้านข้าง ครอบคลุมความยาวปีกละไม่ต่ำกว่า 2 เท่าของความลึกโดยประมาณของเป้าหมายที่ต้องการสำรวจ (Estimateddepth of target) การประมวลผลไม่ว่าจะใช้เทคนิคการประมวลด้วยมือ (Manual processing) หรือเทคนิคการทำแบบจำลองอินเวอร์ชั่น (Inversion modeling) ต้องมีพื้นฐานมาจากการประมวลผลโดยวิธี Curve matching โดยใช้ Multi-layer master curve หรือใช้ Two-layer master curve อย่างใดอย่างหนึ่งผลสำรวจนำเสนอเป็นแท่งดิ่งไฟฟ้า 1 มิติ (1-D resistivity sounding) แสดงจำนวนและความหนาของชั้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าแตกต่าง กำกับค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ปรากฏทุกชั้น ระบุชั้นที่ผิดปกติที่มีศักยภาพชั้นน้ำบาดาล พร้อมผลสรุป ผลการแปลความหมาย และข้อเสนอแนะทางวิชาการ ในรายงานวิชาการที่ลงนามโดยคณะผู้รับผิดชอบ

2.2) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีคลื่นวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบไดโพล-ไดโพล (Resistivity Dip[ole-Dipole)(กรมชลประทาน, 2553) การสำรวจภาคสนามจะต้องมีระยะสนามของการขยายของแท่งรับ/ส่งไฟฟ้าไปด้านข้าง ครอบคลุมความยาวไม่ต่ำกว่า 1.2 เท่าของ ความยาวแนวสำรวจ ความลึกของการสำรวจต้องออกแบบให้ลึกประมาณ 2 เท่าของความลึกโดยประมาณของเป้าหมายที่ต้องการสำรวจการประมวลผลใช้วิธีการแปลด้วยการทำแบบจำลองอินเวอร์ชั่น ซึ่งต้องมีการแก้ไข Graphic distortion เสียก่อนทุกครั้ง ผลการประมวลนำเสนอเป็นภาพตัดทางไฟฟ้า 2 มิติ (2-D resistivity profiling) แสดงจำนวนและความหนาของชั้นที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าแตกต่าง ที่เรียงตัวเป็นรูปทรงที่มีความเป็นธรณีวิทยา กำกับด้วยช่วงค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ปรากฏเป็นแถบสีทุกชั้น ระบุช่วงที่ผิดปกติหรือบริเวณที่มีรูปทรงทางไฟฟ้าผิดปกติ ที่มีศักยภาพเป็นรอยรั่ว รู โพรง หรือรอยแตก พร้อมผลสรุป ผลการแปลความหมาย และข้อเสนอแนะทางวิชาการในรายงานวิชาการที่ลงนามโดยคณะทำงานผู้รับผิดชอบ

รูปที่ 12-3 การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

3) การตอกทดลองมาตรฐาน (Standard Penetration Test)

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักในชั้นดิน Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTM D1586-67 อาศัยหลักการที่ว่า ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในมวลดินเนื่องจากการกระทำของแรง จะแปรผกผันกับความแข็งหรือแน่นของมวลดินแรงต้านทานของดินคิดจากจำนวนครั้งที่ตอกให้ Split Spoon จมลงไปในชั้นดิน 1 ฟุต(เรียกว่า Blow Count) วิธีตอกทดลองมาตรฐานทุกระยะ 1 เมตร โดยใช้ลูกตุ้มหนัก 63.5

กิโลกรัม (140 ปอนด์) ตอกลงบนกระบอกตอก (Split Spoon Sampler) ซึ่งมีระยะลูกตุ้มตกกระทบประมาณ 760 มิลลิเมตร พร้อมทั้งจดบันทึกจำนวนครั้งที่ตอก นำค่าตอกทดลองมาตรฐานที่ได้ไปเปรียบเทียบหาค่าความแน่นของชั้นดิน สามารถอธิบายลักษณะความหนาแน่นสัมพัทธ์ของชั้นดินได้ทั้งดินชนิด Cohesionless Soil และดินชนิด Cohesive Soil ตามตารางที่ 12-2 และ 12-3

ตารางที่ 12-2 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน พีนีเตรชั่น ความหนาแน่นสัมพัทธ์และกำลังของดิน

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทราย (Cohesionless Soil)			**กำลังของดินเหนียว** (Cohesive Soil)		
ความต้านทานพีนีเตรชั่น,N (ครั้ง/ฟุต)	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	สภาพของดิน	ความต้านทานพีนีเตรชั่น,N (ครั้ง/ฟุต)	หน่วยแรงวัดแกนเดียว (ตัน/ฟุต^2)	ความข้นเหลว
0 - 4	0 – 0.2	หลวมมาก	น้อยกว่า 2	น้อยกว่า 0.25	อ่อนมาก
4 – 10	0.2 – 0.4	หลวม	2 – 4	0.25 – 0.50	อ่อน
10 – 30	0.4 – 0.6	ปานกลาง	4 – 8	0.50 – 1.00	ปานกลาง
30 – 50	0.6 – 0.8	แน่น	8 – 15	1.00 – 2.00	เหนียว
มากกว่า 50	0.8 – 1.0	แน่นมาก	15 – 30	2.00 – 4.00	เหนียวมาก
			มากกว่า 30	มากกว่า 4.00	แข็ง

ตารางที่ 12-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของมวลดินจำพวกไม่มีแรงเหนี่ยวนำกับค่าของมุมเสียดทานภายใน

ความต้านทานพีนีเตรชั่น	**มุดเสียดทานภายใน (Ø),องศา**	
มาตรฐาน,N (ครั้ง/ฟุต)	**เพค (Peck, 1974)**	**เมเยอร์ฮอฟ (Meyerhof ,1956)**
0 – 4	น้อยกว่า 29	น้อยกว่า 30
4 – 10	29 – 30	30 – 35
10 – 30	30 – 36	35 – 40
30 – 50	36 – 41	40 – 45
มากกว่า 50	มากกว่า 41	มากกว่า 45

การสำรวจการตอกทดสอบมาตรฐาน (Standard Penetration Test : SPT) มีขั้นตอนและวิธีการดังนี้

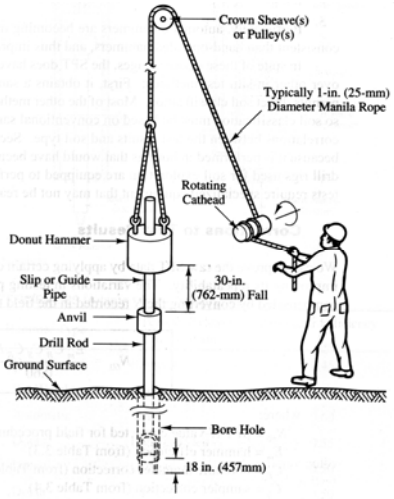
1. เมื่อเจาะถึงระดับที่ต้องการตอกทดสอบมาตรฐานแล้ว ทำการประกอบชุดอุปกรณ์ ต่อกระบอกผ่าเข้ากับก้านเจาะ ประกอบแป้นรองกระแทกเข้ากับหัวก้านเจาะ และวางตุ้มน้ำหนักบน Anvil โดยมีระยะ 76 ซม.

2. ขีดเส้นแสดงตำแหน่งความลึกของก้านเจาะ ออกเป็น 3 ช่วงๆ ละ 15 ซม. (รวมเป็น 45 ซม.)

3. เริ่มตอกทดสอบโดยยกตุ้มน้ำหนักให้สูงเหนือแป้นรับแรงกระแทก 76 ซม. และปล่อยให้ตุ้มตกกระแทกแป้นรับแรงกระแทก นับเป็น 1 ครั้ง (1 blow) แล้วทำซ้ำจนกระทั่งก้านเจาะจมลงไปถึงขีด 15 ซม. แล้วบันทึกจำนวนครั้งที่ตอก (ชุดที่ 1) จากนั้นทำซ้ำจนกระทั่งก้านเจาะจมลงไปถึงขีด 30ซม. 45 ซม. แล้วจดบันทึกครั้งที่ตอก ชุดที่ 2 ชุดที่ 3 ตามลำดับ

การหยุดตอกทดสอบที่แต่ละระดับความลึกที่ตอกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM จะทำเมื่อ

- เมื่อจำนวนครั้งที่ตอกถึง 50 ครั้ง ในช่วง 15 ซม. ช่วงใดช่วงหนึ่ง
- เมื่อจำนวนที่ตอกรวมแล้วครบ 100 ครั้ง
- เมื่อตอกไปแล้ว 10 ครั้ง ไม่ก้านเจาะไม่ขยับจมลงแต่อย่างใด



รูปที่ 12-4 วิธีการสำรวจการตอกทดสอบมาตรฐาน (ที่มา : http://foundationeng.blogspot.com)

<u>ข้อดีและข้อเสียในการทดสอบด้วยวิธี Standard Penetration Test</u>

1) ข้อดี

- สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ทำการทดสอบได้ทันที
- ใช้แรงงานคนน้อย วิธีการทดสอบไม่ยุ่งยาก
- สามารถเก็บตัวอย่างดินแบบไม่คงสภาพได้
- สามารถทดสอบได้ตามความลึกที่ต้องการ
- สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้งานได้เลย ไม่ต้องรอผลจากห้องปฏิบัติการ

2) ข้อเสีย

- ต้องทำการเจาะสำรวจ เพื่อทำการตอกทดสอบ
- ผลการทดสอบที่ได้ควรใช้อย่างระมัดระวัง

4) การหาค่า Core Recovery (CR) และ Rock Quality Designation (RQD) ทำการตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของตัวอย่างแกนหิน (Drill Core) โดยหาค่า Rock Quality Designation ตลอดช่วงความลึกที่ทำการเจาะสำรวจ เฉพาะในส่วนที่เป็นชั้นหินฐานราก ค่า Core Recovery (CR) และ Rock Quality Designation (RQD)เป็นคุณสมบัติของตัวอย่างแกนหินที่ได้จากการเจาะ สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของหินได้ วิธีการหามีดังนี้

Core Recovery (CR) พิจารณาจากแกนหินที่ได้ในแต่ละช่วงของการเจาะเก็บตัวอย่างขึ้นมา นำมาคำนวณหาค่า CR (%) โดยใช้สูตร

$$\text{CR (\%)} = \frac{\text{ผลรวมของ}\boldsymbol{core}\text{ ที่ได้}\times\mathbf{100}}{\textbf{core run}}$$

ค่า CR (%) ที่หาได้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 Degree และเปรียบเทียบหาคุณสมบัติของหินได้ดังนี้

ตารางที่ 12-4 การจัดแบ่ง Degree และคุณสมบัติของหินโดยอาศัยค่า % CR

Degree	Percentage of CR	Property
CR_1	90-100%	Very Good
CR_2	80-90%	Good
CR_3	70-80%	Fair
CR_4	60-70%	Poor
CR_5	<60%	Very Poor

Rock Quality Designation (RQD) พิจารณาจากแกนหินในแต่ละช่วงของการเจาะเก็บตัวอย่างที่มีความยาวต่อเนื่องตั้งแต่ 10 เซนติเมตร ขึ้นไป โดยมีรอยแตกตามธรรมชาติทั้งด้านบนและด้านล่าง นำมาคำนวณหาค่า RQD เป็นเปอร์เซ็นต์ หาได้จาก

$$\text{RQD (\%)} = \frac{\text{ผลรวมของ}\boldsymbol{core}\text{ ที่ยาว} \geq \mathbf{10\ cm.} \times \mathbf{100}}{\mathbf{core\ run}}$$

หินที่มีการแตกหักเองได้เมื่อแห้ง จะไม่มีการวัดค่า RQD เนื่องจากหินจะแตกออกเป็นชิ้นๆ ซึ่งใช้เวลาไม่นาน ค่า RQD (%) ที่หาได้ สามารถแบ่งออกเป็น 5 Degree และเปรียบเทียบหาคุณสมบัติของหินได้ ดังนี้

ตารางที่ 12-5 การจัดแบ่ง Degree และคุณสมบัติของหินโดยอาศัยค่า % RQD

Degree	Percentage of RQD	Property
R_1	90-100%	Very Good
R_2	75-90%	Good
R_3	50-75%	Fair
R_4	25-50%	Poor
R_5	<25%	Very Poor

5) การทดสอบหากำลังแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา (Kunzelsteb Penetration Test, KPT) เป็นวิธีการหยั่งทดสอบชั้นดินในสนาม โดยใช้แรงกระแทกส่งแท่งทดสอบผ่านชั้นดินลงไป ซึ่งแรงต้านการเคลื่อนที่ของแท่งทดสอบสามารถใช้ประมาณค่ากำลัง และความหนาของชั้นดินได้ ผลการทดสอบที่ได้จะทำให้ทราบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดินในเบื้องต้นได้ สำหรับขั้นตอนการสำรวจสามารถทำได้ ดังนี้

1. ยึดหัวกรวยเหล็กให้ติดกับปลายของท่อนเหล็กท่อนแรกที่จะใช้ทดสอบ

2.นำทั่งเหล็กมายึดกับปลายด้านบน แล้วนำท่อนเหล็กที่ใช้เป็นเหล็กนำ (Guide Rod) พร้อมตุ้มน้ำหนักมายึดติดกับทั่งเหล็ก ซึ่งได้วางแผ่นเหล็กควบคุมการตอก (Base plate) บนพื้นดินตรงตำแหน่งที่ต้องการจะทำการทดสอบ

3.จัดชุดทดสอบให้อยู่ในแนวดิ่ง แล้วเริ่มนับจำนวนครั้งต่อการจมทุก ๆ 20 เซนติเมตร และบันทึกผลการตอกควรจะกระทำให้ได้ความเร็วใกล้เคียงกับ 15 - 30 ครั้ง/นาที โดยไม่ต้องหยุดพัก

4. เมื่อเหล็กท่อนแรกถูกตอกจมลง 1 เมตร เหล็กนำ (Guide Rod) และทั่งเหล็กจะถูกถอดออก และนำเหล็กท่อนต่อไปมาต่อแล้วยึดเหล็กนำและทั่งเหล็กต่อเข้าไปเหมือนเดิม ทำเช่นนี้ต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงความลึกที่ต้องการหรือตอกต่อไปไม่ได้

5.เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบให้ถอดเหล็กนำ ทั่งเหล็ก และตุ้มน้ำหนักออก แล้วดึงแท่งเหล็กที่จมในดินขึ้นด้วยคานงัดท่อนเหล็ก

การหาค่าการรับน้ำหนักของชั้นดินจากการทดสอบด้วยวิธี Kunzelstab หาได้จาก

สำหรับดินทราย Qu = 1.6*(N' – 3.57)

สำหรับดินเหนียว Qu = 1.92*(N' + 0.954)

โดยที่ Qu = ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของดิน (ตัน/ม^2)

N' = ค่าปรับแก้ จำนวนครั้งของการตอกตุ้มต่อระยะจม 20 ซม.

= 15 + 0.5(N-15) เมื่อ N > 15 ครั้ง/20 ซม.

N = จำนวนครั้งต่อ 20 ซม. จากการตอกในสนาม

หมายเหตุ : ในกรณีฐานรากวางต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดให้ใช้เพียงครึ่งเดียว

ตารางที่ 12-6 การรับน้ำหนักของชั้นดินชนิด Cohesionless Soils (sand and gravel) (ที่มา:นายนฤทธิ์ ประกอบบุญ)

Density	**N_{KPT}(Blows/20 cm)**	**Ultimate Bearing Capacity , Q_u (t/m^2)**
Very Loose	0-6	<4
Loose	6-18	4-20
Medium Dense	18-55	20-50
Dense	55-92	50-81
Very Dense	>92	>81

ตารางที่ 12-7 การรับน้ำหนักของชั้นดินชนิด Cohesive Soils (clay and silt) (ที่มา : นายนฤทธิ์ ประกอบบุญ)

Density	**N_{KPT}(Blows/20 cm)**	**Ultimate Bearing Capacity , Q_u (t/m^2)**
Very Soft	0-3	<8
Soft	3-6	8-13
Medium	6-14	13-29
Stiff	14-27	29-42
Very Stiff	27-55	42-69
Hard	>55	>69

<u>ข้อดีและข้อเสียในการทดสอบด้วยวิธี Kunzelstab</u>

1) ข้อดี

- น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก
- สามารถทดสอบได้ทันที
- ใช้แรงงานคนน้อย
- วิธีการง่ายและอุปกรณ์ทดสอบไม่ยุ่งยากซับซ้อน
- ค่าใช้จ่ายถูก เมื่อเทียบกับการทดสอบด้วยวิธีอื่น
- ค่าทีได้สามารถนำไปใช้งานได้ทันที ไม่ต้องรอผลจากห้องปฏิบัติการ

2) ข้อเสีย

- ทดสอบได้ไม่ลึกนัก
- ไม่สามารถจำแนกชั้นดินได้
- ผลการทดสอบที่ได้ควรใช้อย่างระมัดระวัง
- การแปรผลในชันดินเหนียว อาจมีข้อผิดพลาด

6) การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำ (Permeability Test) แบ่งออกเป็นการทดสอบอัตราการร่วมซึมของน้ำผ่านชั้นดิน (Gravity Test) และการทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหิน(Packer Test)

การทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดิน

ใช้การทดสอบด้วยวิธีที่เรียกว่า Gravity test ซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งทดสอบได้ทั้งที่เป็นช่วงความลึก (Length Test) และทดสอบที่ระดับก้นหลุม (Open End Test) โดยทั่วไปนิยมใช้การทดสอบแบบ Open - end test ทุกระยะ 1 เมตร ตามมาตรฐาน USRB Designation E-18 โดยการเติมน้ำที่ปากหลุมเจาะเพื่อรักษาระดับน้ำที่ปากหลุมเจาะให้คงที่ (Constant Head)วัดปริมาณของน้ำที่รั่วซึมเทียบกับเวลาและความลึกของการทดสอบแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดิน

<u>การทดสอบแบบ Open-end Test</u> ใช้สูตร

$$K = \frac{Q}{5.5rH}$$ เมื่อ K = Permeability coefficient (cm/sec)

Q = Constant rate of flow into hole (cc/sec)

R = Internal radius of casing (cm)

H = Differential head of water (cm)

<u>การทดสอบแบบเป็นช่วง (Length Test)</u> ใช้สูตร

$$K = \frac{Q}{2\pi LH}\ log_e \frac{L}{r}$$ เมื่อ L $\geq$ 10r

$$K = \frac{Q}{2\pi LH}\ sinh^{-1} \frac{L}{r}$$ เมื่อ 10r >L>r

โดยที่ K = Permeability coefficient (cm/sec)

Q = Constant rate of flow into hole (cc/sec)

r = Internal radius of hole (cm)

L = Testing span (cm)

H = Differential head of water (cm)

log_e = Natural logarithm

$sinh^{-1}$ = Arc hyperbolic sine

$\pi = \frac{22}{7}$ (ค่าคงที่)

การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหิน

ใช้การทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำโดยวิธี Packer test ทุกระยะ 3 เมตร ตามแบบของ A.C. HOULSBY (1976) เป็นการทดสอบช่วงการรั่วซึมของหินในแต่ละช่วงความดัน โดยอาศัยแรงดันจากเครื่องปั๊มน้ำอัดน้ำลงไปในหลุมเจาะ อาศัยลูกยางปิดกั้นน้ำไม่ให้รั่วไหลขึ้นมาปากหลุมเจาะได้ น้ำจะถูกบังคับให้ไหลไปตามรอยแตกและความพรุนของหินเท่านั้น วัดปริมาณน้ำที่รั่วหายไปช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ วัดช่วงของความลึกที่ทำการทดสอบ และอ่านค่าความดันที่ใช้ ซึ่งใช้ค่าความดัน (พิจารณาจากระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เมตร โดยความดันจะเพิ่มขึ้น 0.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ต่างกัน 3 ค่า และทดสอบครั้งละ 5 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ซึ่งความดันครั้งที่ 3 เป็นค่าความดันสูงสุดที่ใช้ในแต่ละช่วง ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะที่จะทดสอบมีค่าเท่ากับ a ดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5
ความดันที่ใช้	0.4a	0.7a	1.0a	0.7a	0.4a

ความดันครั้งที่ 3 (Kg/cm^2) = ความลึกก้นหลุม (เมตร) × 0.23
ความดันครั้งอื่นๆคิดเป็นเปอร์เซ็นของความดันสูงสุด คือ 40% และ 70% ตามลำดับ แล้วนำค่าการรั่วซึมของน้ำที่ได้มาคำนวณตามสูตร

$$Lu = \frac{10Q}{mp}$$

โดยที่ Lu = Permeability (Lugeon)

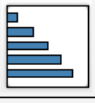
Q = Total flow rate (liter/min)

m = Testing span (m) โดยทั่วไป = 3เมตร

P = Total pressure (Kg/cm^2) โดยที่ค่า Pของน้ำที่มีความลึก 10.0 เมตร จะมีค่าเท่ากับ 1.0 Kg/cm^2

เมื่อได้ค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำทั้ง 5 ค่า แล้วสามารถพิจารณาเลือกหาค่าตัวแทน (Representative value) เพียงหนึ่งค่า โดยดูรูปแบบการไหลของน้ำจากchartของ A.C.Houlsby ดังตารางที่ 12-8

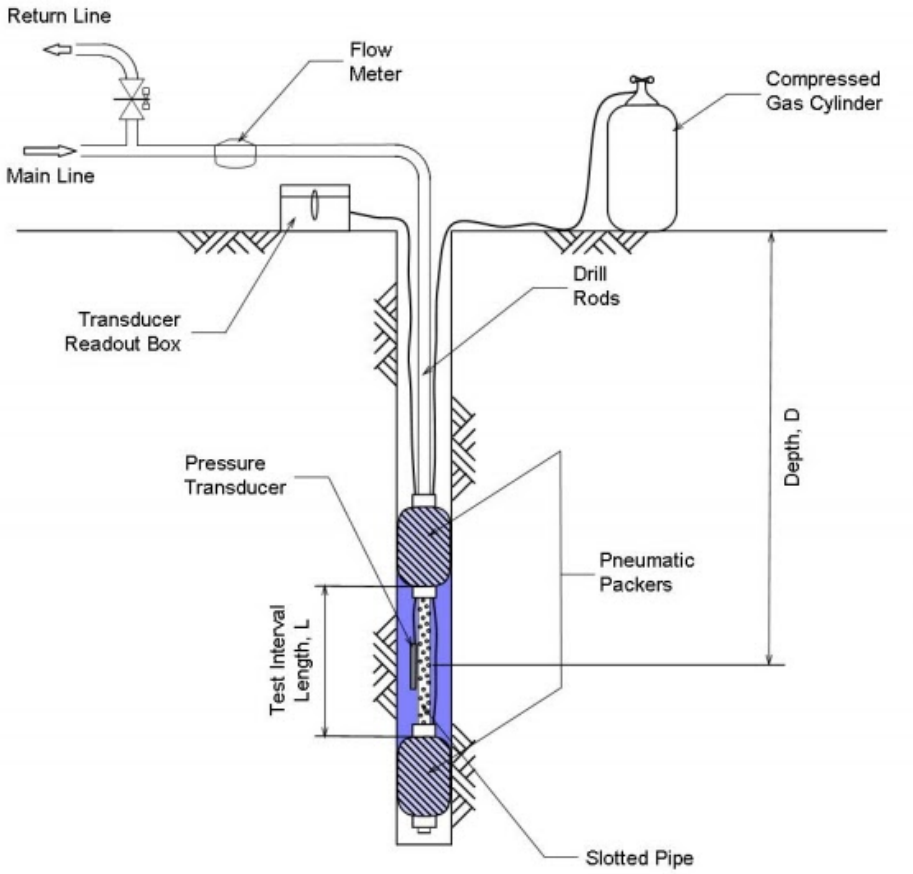
ตารางที่ 12-8 รูปแบบการไหลของน้ำ Lugeon Pattern(ที่มา: https://www.swstechnology.com)

Behaviour	Lugeon Pattern	Flow vs. Pressure Pattern	Representative Lugeon Value
Laminar Flow			Average of Lugeon values for all steps
Turbulent Flow			Lugeon value corresponding to the highest water pressure (3rd step)
Dilation			Lowest Lugeon value recorded, corresponding either to low or medium water pressures (1st,2nd, 4th, 5th step)
Wash-out			Highest Lugeon value recorded (5th step)
Void Filling			Final Lugeon value (5th step)

เมื่อได้อัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านดิน-หินฐานรากแล้ว สามารถนำมาเปรียบเทียบหาคุณสมบัติของชั้นหินฐานรากที่เกี่ยวกับการยอมให้น้ำไหลผ่านได้

ตาราง 12-9 การจัดแบ่ง Degree และคุณสมบัติฐานรากโดยอาศัยค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำ

Degree	Permeability		Property
	Lugeon	cm/sec	
K1	<1	$<1.0\times10^{-5}$	Excellent
K2	1-5	1.0×10^{-5} - 5.0×10^{-5}	Good
K3	5-10	5.0×10^{-5} – 1.0×10^{-4}	Fair
K4	10-50	1.0×10^{-4} - 5.0×10^{-4}	Poor
K5	>50	$>5.0\times10^{-4}$	Very Poor



รูปที่ 12-5 การทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำแบบ lugeon test
(ที่มา : http://www.geotechdata.info/geotest/Lugeon_test.html)

7) การขุดบ่อสำรวจ (Test Pitting)

มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบลักษณะทางวิศวกรรมของชั้นดินระดับตื้น สำหรับการพิจารณาแหล่งวัสดุสำหรับงานดินถมพื้นที่โครงการ งานเขื่อนดิน และงานคันทาง และเพื่อเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการเพื่องานดินถมต่างๆ

การขุดสำรวจโดยการขุดบ่อหรือร่อง รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.5 × 1.5 เมตร ขุดได้ลึกสูงสุดประมาณ 4-5 เมตร เป็นวิธีที่ง่ายและให้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ เพราะสามารถมองเห็นลักษณะของชั้นดินในสภาพธรรมชาติได้ เหมาะสำหรับสำรวจดินหรือหินผุ แต่สำรวจได้เฉพาะระดับตื้น การขุดลึกกว่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากและไม่สะดวกในการปฏิบัติงาน

การเก็บตัวอย่างดินหรือหินผุ โดยวิธีนี้จะใช้เก็บตัวอย่างรูปทรงสี่เหลี่ยม (box sample) ซึ่งจะได้ตัวอย่างดินคงสภาพ (undisturbed sample) ตัวอย่างดินจะเก็บอยู่ในกล่องไม้สี่เหลี่ยมที่ถอดประกอบได้ ก่อนบรรจุกล่องไม้จะต้องเคลือบผิวตัวอย่างดินด้วยไขพาราฟิน เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

<u>ข้อดีและข้อเสียในการขุดบ่อสำรวจ</u>

1) ข้อดี
- เป็นการขุดหลุมโดยใช้แรงคน ซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่น
- สามารถขุดได้กับดินที่ไม่แข็งมาก และในความลึกไม่มาก
- มีการรบกวนดินน้อย จึงสามารถเห็นการเรียงตัวของชั้นดินได้ง่าย
- ประหยัดค่าใช้จ่าย และใช้เวลาในการสำรวจไม่มาก

2) ข้อเสีย
- อาจจะเจอปัญหาน้ำใต้ดินเวลาที่ขุดลึกกว่า 2 เมตร
- ถ้าเป็นดินทรายก็อาจจะมีการพังที่หลุมได้ง่ายกว่าดินชนิดอื่น

8) การเจาะเก็บตัวอย่างดินด้วยสว่านแบบมือหมุน (Hand Augering)

การเจาะด้วยสว่านแบบมือหมุน เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่าง ความลึกของการเจาะขึ้นอยู่กับขนาดของก้อนที่ใหญ่ที่สุดของดิน ระดับน้ำใต้ดิน และขนาดของสว่าน ขนาดของสว่านที่เหมาะสม คือ 75 มม. สามารถเจาะได้ลึกประมาณ 5 เมตร หรือมากกว่า

ตัวสว่าน (auger) จะต่อเข้ากับก้านเจาะ (auger rod) ซึ่งประกอบด้วยท่อนเหล็กหลายๆท่อนที่ต่อเข้าด้วยกันโดยการหมุนเกลียวหรือใช้วิธีประกบเข้าด้วยกันและยึดด้วยปลอกโลหะ จนกว่าจะได้ความยาวที่ต้องการ ท่อนเหล็กท่อนบนสุดจะมีก้านสำหรับไว้หมุน ซึ่งทำเป็นรูปตัว T การเจาะดินดำเนินการโดยการหมุนสว่านลงไปในดินจนได้ความลึกพอสมควรแล้วดึงสว่านขึ้นและเก็บตัวอย่างดิน เรียงกันเป็นระเบียบบนแผ่นพลาสติกที่ปูบนพื้นดิน ทำการเจาะซ้ำโดยหมุนสว่านลงไปจนถึงความลึกที่ต้องการหรือจนกระทั่งเจาะไม่ลง สว่านมือนี้เหมาะสำหรับการเจาะสำรวจดินละเอียดร่วน หลวม หรือดินเหนียวที่เปียก การเจาะด้วยสว่านมือนี้ปกติไม่ควรใส่น้ำลงในหลุม แต่ในดินที่แห้งและแข็งมากๆ หรือดินทราย อาจใส่น้ำลงไปได้เล็กน้อยเพื่อช่วยให้เจาะง่าย สำหรับดินที่มีก้อนกรวดมักจะเจาะลำบาก ดังนั้นต้องใช้สว่านใหญ่พอเหมาะ

รูปที่ 12-6 แสดงการเจาะเก็บตัวอย่าดินด้วยสว่านแบบมือหมุน

ข้อดีและข้อเสียในการเจาะเก็บตัวอย่างดินด้วยสว่านแบบมือหมุน

1) ข้อดี

- สามารถเก็บตัวอย่างดินได้ง่ายไม่ยุ่งยาก
- ใช้คนในการเจาะสำรวจน้อย
- ตัวอย่างที่ได้เหมาะกับการใช้จำแนกประเภทของดินและคุณสมบัติทางกายภาพ

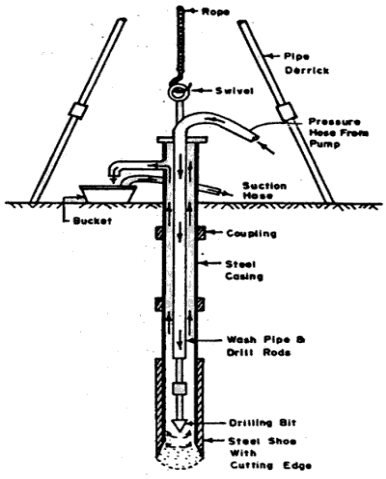
2) ข้อเสีย

- ใช้เก็บตัวอย่างดินในชั้นที่มีความ
- ลึกไม่มากนัก คือประมาณ 4 – 5 เมตร
- เจาะสำรวจวิธีนี้เหมาะกับชั้นดินอ่อนมากกว่าดินเชื่อมแน่น
- ตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะแบบนี้เป็นตัวอย่างดินแปรสภาพ จึงไม่เหมาะกับการหาคุณสมบัติด้านวิศวกรรม

9) การเจาะดินแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

การเจาะดินแบบฉีดล้างเป็นการเจาะดิน โดยการฉีดอัดน้ำผ่านก้านเจาะลงไปที่ก้นหลุมเจาะด้วยปั๊มน้ำแรงสูงและเป่าออกมาที่หัวเจาะ (Chopping Bit) กระแทกบดดินให้แตกย่อยออกเป็นชิ้นเล็กๆ ทำให้น้ำสามารถพัดพาเอาดินชิ้นเล็กๆขึ้นมาตามผนังหลุมเจาะ ดินเหล่านั้นจะไหลไปลงบ่อตกตะกอนข้างหลุมเจาะ เพื่อเป็นการกรองเม็ดดินหยาบ (Coarse Grain Soil) และน้ำจะถูกสูบกลับมาใช้ใหม่ ในการเจาะสำรวจชั้นดินวิธีนี้จำเป็นต้องมีการป้องกันผนังหลุมเจาะพังด้วยการใส่ casing ลงไปในชั้นดินเหนียวอ่อน และในกรณีที่เจาะผ่านชั้นทราย ก็จำเป็นต้องอาศัย Bentonite ช่วยป้องกันการพังทลายของหลุม

ผู้สำรวจสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของชั้นดินได้จากความแตกต่างของเศษหิน ทราย และสีของน้ำที่ล้นปากหลุมขึ้นมา พร้อมกับสังเกตความรู้สึกถึงการจับยึดของชั้นดินก้นหลุมด้วยสัมผัสจากการกระทุ้งดินก้นหลุมแต่ละครั้ง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน ส่วนการสังเกตเศษหิน ทราย และสีของน้ำที่ล้นขึ้นมา จะช่วยในการประเมินการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินได้อย่างคร่าวๆเท่านั้น โดยเฉพาะกรณีที่ใช้น้ำโคลนผสม Bentonite จะทำให้การจำแนกชั้นดิน โดยดูจากสีน้ำทำได้ยากขึ้น



รูปที่ 12-7 เครื่องเจาะดินแบบฉีดล้าง (ที่มา : http://www.abuildersengineer.com)

<u>ข้อดีและข้อเสียในการเจาะดินแบบฉีดล้าง</u>

1) ข้อดี

- เป็นวิธีเจาะที่ทำได้ง่าย อุปกรณ์ไม่สลับซับซ้อน สะดวกต่อการขนย้าย สามารถถอดชิ้นส่วนและประกอบกลับได้ใหม่ในเวลาไม่นานนัก

2) ข้อเสีย

- ไม่สามารถเจาะผ่านชั้นกรวดใหญ่ ลูกรังแข็ง หินผุหรือชั้นดินดาน

10) การเก็บตัวอย่างดิน (soil sampling)

การเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพ (Undisturbed sampling)เป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพเมื่อเป็นตัวอย่างดินที่อยู่ในชั้นดินอ่อน วิธีการเก็บตัวอย่างนั้นจะใช้กระบอกบาง (thin wall tube sampler) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาวท่อนละ 29.5 นิ้ว ต่อเข้ากับปลายก้านเจาะ และกดลงไปที่ดินก้นหลุม จนถึงระดับความลึกที่ต้องการ ตัวอย่างที่ได้จะยังคงสภาพโครงสร้างภายในไว้ได้มากที่สุด และจะถูกจำแนกชนิดของดินด้วยสายตาตามมาตรฐานของ unified soil classification ก่อนจะอุดปลายกระบอกทั้งสองข้างด้วยเทียนไขหลอมละลายเพื่อป้องกันความชื้นสูญหาย แล้วทำการบันทึกโครงการ สถานที่ ชื่อหลุมเจาะ วันที่เก็บตัวอย่าง หมายเลขตัวอย่างและความลึก ติดบนกระบอกตัวอย่างก่อนที่จะส่งทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป

รูปที่ 12-8 การเก็บตัวอย่างแบบคงสภาพโดยใช้กระบอกบาง (thin wall tube sampler)
(ที่มา : http://www.denichsoiltest.com)

การเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed sampling)เป็นการเก็บตัวอย่างในขณะที่ทำการตอกทดสอบด้วยตุ้มมาตรฐาน (standard penetration test) ทุกๆระยะ 1.5 เมตร โดยใช้กระบอกผ่า (split spoon sampler) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2 นิ้ว และภายใน 1 นิ้ว ยาวท่อนละ 0.76 เมตร ตัวอย่างดินที่ได้จะไม่สามารถคงสภาพโครงสร้างภายในไว้ได้ ตัวอย่างที่ได้จะถูกจำแนกชนิดดินด้วยสายตาตามมาตรฐานของ unified soil classification แล้วเก็บใส่ภาชนะป้องกันความชื้นสูญหาย ก่อนทำการบันทึกชื่อโครงการ สถานที่ ชื่อหลุมเจาะ วันที่เก็บตัวอย่าง หมายเลขตัวอย่างและความลึก เพื่อส่งทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป

รูปที่ 12-9 การเก็บตัวอย่างแบบเปลี่ยนสภาพโดยใช้กระบอกผ่า (ที่มา : http://www.nndrilling.com/product-line/soil-sampling-equipment)

12.8 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในห้องปฏิบัติการ (ดร.อุดมฤกษ์ ปานพลอย, 2542)

1) การทดลองหาการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน โดยวิธีตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาการกระจายขนาดคละของดินเม็ดหยาบ โดยวิธีตะแกรงร่อนอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D422 และ AASHTO T88

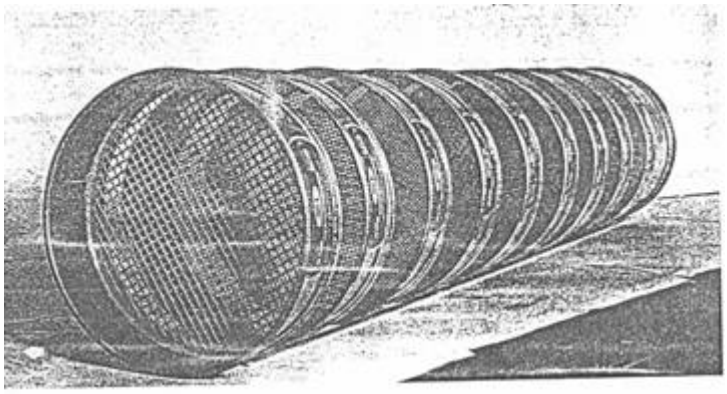
ทฤษฎี

การวิเคราะห์หาการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน คือความพยายามที่จะหาความสัมพันธ์ที่เป็นสัดส่วนของเม็ดดินขนาดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในมวลดินนั้นเอง ซึ่งเป็นคุณสมบัติเด่น ที่บ่งบอกประพฤติกรรมของดินเม็ดหยาบ การทดสอบหาการกระจายขนาดคละของเม็ดดินแบ่งได้เป็น 3 วิธี ตามชนิดและขนาดของเม็ดดิน ดังนี้

1. วิธีตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) สำหรับดินเม็ดหยาบ ที่มีขนาดใหญ่กว่า ตะแกรง เบอร์ 200
2. วิธีไฮโดมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) สำหรับดินเม็ดละเอียด เช่นดินเหนียว และดินเหนียวปนดินตะกอน ที่มีขนาดเม็ดดิน เล็กกว่า ตะแกรง เบอร์ 200
3. วิธีผสม (Combined Analysis) สำหรับดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียดปนกัน เช่น ดินกรวดปนดินเหนียวดินทรายปนดินเหนียว ดินทรายปนดินตะกอน เป็นต้น

อุปกรณ์

1. ชุดตะแกรงร่อน เบอร์ 4, 8, 10, 20, 40, 100 และ 200 (ดังรูปที่12-10 และรูปที่12-11)
2. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.1 กรัม
3. แปรงทำความสะอาด ตะแกรง
4. ถาดใส่ดิน
5. ค้อนยางสำหรับทุบดิน
6. เครื่องเขย่า ตะแกรงร่อน (ถ้ามี)



รูปที่ 12-10 ชุดตะแกรงร่อนมาตรฐาน

Mesh size & Hole Diameter Comparison Table					
Mesh Size	Hole Diameter (mm)	Mesh Size	Hole Diameter (mm)	Mesh Size	Hole Diameter (mm)
3	5.600	30	0.600	170	0.090
4	4.750	35	0.500	180	0.088
5	4.000	40	0.425	190	0.080
6	3.350	45	0.355	200	0.075
7	2.800	50	0.300	230	0.063
8	2.360	60	0.250	250	0.061
10	2.000	70	0.212	270	0.053
12	1.700	80	0.180	300	0.050
14	1.400	100	0.150	325	0.043
16	1.180	120	0.125	360	0.040
18	1.000	140	0.106	400	0.0385
20	0.850	150	0.100	500	0.0308
26	0.710	160	0.097	600	0.0230
International Standard (GB 60003-85) 1mm=1000um, eg. 0.045mm=45um					

รูปที่ 12-11 ขนาดของตะแกรงร่อน

(ที่มา: https://th.aliexpress.com/store/product/Cheap-Wholesale-Standard-200mm-Test-Sieve-Frame-with-Common-Mesh-Size/915270_32219612404.html)

วิธีการทดสอบ

ดินประเภท residual soils ซึ่งเกิดจากการผุกร่อนของหิน ลักษณะเม็ดดินอาจแตกหักง่าย จึงควรทำการร่อนผ่านตะแกรงแบบเปียกเพื่อแยกดินเม็ดละเอียดออกก่อน และในการคัดเลือกตัวอย่างดินเพื่อทำการทดลอง ประเภทดินเม็ดหยาบนี้ ควรแบ่งตัวอย่างแบบมีมาตรฐาน เช่นการแบ่งสี่ (quartering) เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนจากกองวัสดุ

การทดลองหาการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน โดยวิธีตะแกรงร่อน

1.เตรียมตัวอย่างดินอบแห้ง ขนาด 500 กรัม โดยถ้าดินจับตัวกันเป็นก้อน ควรทุบด้วยค้อนยาง โดยระวังไม่ให้เม็ดดินแตก

2. ชั่งน้ำหนักตะแกรง ขนาดต่าง ๆ โดยมีตะแกรง เบอร์ 200 อยู่ด้วย และเรียงตะแกรงช่องเปิดกว้างอยู่ด้านบน (เรียงตามขนาดช่องเปิดกว้างไปหาแคบ จากบนลงล่าง) ใส่ถาดรองด้านล่างด้วย แล้วนำไปติดบนเครื่องเขย่า

3. เทตัวอย่างดิน ลงบนตะแกรงอันบน ปิดฝา เข้าเครื่องเขย่า ประมาณ 5 - 10 นาที

4. นำตะแกรง ไปชั่งน้ำหนักดินค้าง ในแต่ละตะแกรง โดยชั่งน้ำหนักดินค้างรวมตะแกรง

5. คำนวณ และเขียนกราฟ

การคำนวณ

การหาการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน นั้น ต้องใช้กราฟการกระจายตัวของเม็ดดินแบบกึ่งล็อก (semi-log) โดยที่

1. เปอร์เซนต์ค้าง บนตะแกรง = (น้ำหนักของดินค้าง x 100 %) / น้ำหนักของดินทั้งหมด

2.เปอร์เซนต์ค้าง สะสม = ผลรวมสะสมของเปอเซนต์ของดินค้าง บนตะแกรง ขนาดช่องใหญ่กว่า

3. เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรง (%passing) = 100 % เปอร์เซนต์ค้างสะสม

การรายงานผลการทดลองให้เขียนกราฟการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน ในกราฟแบบกึ่งล็อก (semi-log) และวิจารณ์ลักษณะขนาดคละของเม็ดดินหยาบที่ได้

2) การทดสอบอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limits)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาคุณสมบัติดินเม็ดละเอียด และค่าขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์กอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 4318 และAASHTO T89 T90 T92

ทฤษฎี

ดินประเภทเม็ดละเอียด (fine-grain soil) เช่นดินเหนียว และดินตะกอน มีสถานภาพของมวลดินหลายสถานะ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดิน และปริมาณน้ำในมวลดินจะมีผลต่อกำลังของดินประเภทนี้ด้วยอัตเตอร์เบิร์ก (1911) กำหนดสถานภาพของมวลดิน แบ่งเป็น 3 สถานะ ดังนี้

1. Liquid Limit (L.L.) คือปริมาณน้ำ ในดินที่จุด ซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพของเหลวเป็นสถานภาพพลาสติก เป็นค่าขีดจำกัดที่ดินสามารถไหลได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง

2. Plastic Limit (P.L.) คือปริมาณน้ำ ในดินที่จุด ซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพพลาสติก เป็นสถานภาพวัสดุกึ่งของแข็ง เป็นค่าขีดจำกัดที่ดินสามารถถูกคลึงเป็นเส้นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว

3. Shrinkage Limit (S.L.) คือปริมาณน้ำ ในดินที่จุด ซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพวัสดุกึ่งของแข็งเป็นสถานภาพของแข็ง เป็นค่าขีดจำกัดที่ดินจะไม่เปลี่ยนปริมาตร เมื่อสูญเสียน้ำ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือทดสอบ Liquid Limit และ Grooving Tool
2. แผ่นแก้วทดลอง หาค่า Plastic Limit
3. ชุดทดสอบ Shrinkage Limit
4. น้ำกลั่น
5. เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
6. ตู้อบดิน
7. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผสมดิน
8. มีดปาดดิน
9. กระป๋อง อบดิน 4 - 5 อัน
10. ขวดฉีดน้ำ (ใส่น้ำกลั่น)

วิธีการทดสอบดิน

การเตรียมดิน

1. ดินที่มีส่วนผสมของดินเม็ดหยาบต้องตากดินให้แห้ง โดยการผึ่งแดด หรือผึ่งในที่ร่มจนแห้ง

2. ร่อนดินผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ให้ได้น้ำหนักประมาณ 150-200 กรัม

3. ดินที่มีความชื้น อาจแยกดินผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ด้วยการบี้ดินบนตะแกรง จนได้จำนวนดิน ผ่านตะแกรงเพียงพอสำหรับการทดลอง

4.ดินที่มีเม็ดละเอียด อื่นๆ (ควรเตรียมตัวอย่างจากดินชื้น ไม่ควรทำให้ดินแห้ง จนจับตัวเป็นก้อนแข็ง) โดยทดลองผ่านตะแกรง เบอร์ 40

5. เตรียมดิน สำหรับการทดลอง ประมาณ 150-200 กรัม

6.สำหรับดินเหนียว ที่แข็งมาก แบ่งดินที่จะใช้ ในภาชนะโดยตัดดินเป็นชิ้นบางๆ เติมน้ำลงไปจนท่วมดิน แล้วแช่น้ำไว้ค้างคืน จะทำให้ กวนผสมดินได้ง่ายขึ้น

การทดสอบพิกัดสภาพเหลว (Liquid Limit) (ทำการทดสอบจากแห้งไปสู่เปียก)

1. ผสมน้ำในดินที่เตรียมไว้ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผสมดินและกวนดินให้เข้าจนเป็นเนื้อเดียวกัน แยกดินส่วนหนึ่งไว้ สำหรับการทดลอง Plastic Limit ประมาณ 20-30 กรัม

2.ใช้มีดปาดดิน ตักดินใส่เครื่องมือทดลอง Liquid Limit กดอัดมีดให้ติดก้นกะทะ ปาดให้เรียบ ความหนาขอดินเหนียวเหลว ประมาณ 10 มม. จากก้นกะทะ

3. ใช้ Grooving Tool ปาดตรงกลาง

4. เริ่มเคาะกระทะด้วยอัตราความเร็ว 120 ครั้งต่อนาที จนกระทั่งร่องดินที่ปาดไปไหลเข้ามาชนกันยาว ประมาณ 13 มม.(1/2 นิ้ว) นับจำนวนครั้งที่เคาะ การทดลองครั้งแรกควรมีค่า ในช่วงประมาณ 25 - 45 ครั้ง

5.เมื่อได้จำนวนครั้งเคาะที่เหมาะสมแล้ว เก็บตัวอย่างดินบริเวณร่องที่ไหลมาชนกันปริมาณ 15 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น

6.ทำการทดลองซ้ำ ด้วยการเพิ่มน้ำให้ดินตัวอย่าง คลุกเค้าให้เข้ากัน ดังข้อ 4 และ ข้อ 5 โดยผลการทดลองควรมีค่าการเคาะที่มากกว่าและน้อยกว่า 25 ครั้งอยู่ด้วย และนำตัวอย่างดินเหนียวเหลวไปหาความชื้น ประมาณ 4 - 5 ค่า จึงหยุดการทดลอง

7. นำข้อมูล ระหว่างจำนวนครั้งการเคาะ (N) กับปริมาณความชื้น (%) ไปเขียนกราฟ

8. จากกราฟ หาจำนวนครั้งการเคาะ 25 ครั้ง ลากมาตัดกราฟเส้นตรง และลากตัดแกนของปริมาณความชื้น ซึ่งกำหนด เป็น ค่า Liquid Limit

วิธีการทดสอบพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) (ทำการทดสอบจากเปียกไปสู่แห้ง)

1. นำดินชื้นที่คลุกแยกไว้แต่แรกมาปั้นบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ ขนาด 1 ซม.

2.คลึงดินบนแผ่นกระจกทดลองด้วยฝ่ามือจนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ภายในเวลาไม่เกินประมาณ 2 นาที ดินจะเริ่มมีรอยแตกเกิดขึ้นและแตกออกจากกัน โดยไม่สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มม. แสดงว่า ความชื้น ณ สถานภาพดินนั้นเป็นค่า Plastic Limit

3. เก็บเศษดินที่ปั้นเพื่อนำไปหาความชื้น ดังกล่าว

4. ควรทำการทดลอง Plastic Limit อีกสัก 2 - 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย.

วิธีการทดสอบพิกัดการหดตัว (Shrinkage Limit)

1.ใช้ตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัม ถ้ามีดินเม็ดหยาบร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 หรือ ถ้าดินชื้นใช้วิธีเลือกเก็บดินเม็ดหยาบออก หรือใช้วิธีบี้ดินบนตะแกรง เบอร์ 40

2. นำตัวอย่างดินมาผสมน้ำใช้มีดปาดดินผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันเติมน้ำแล้วคลุกต่อไป จนประมาณว่ามีความชื้นสูงกว่าค่าความชื้นที่ Liquid Limit

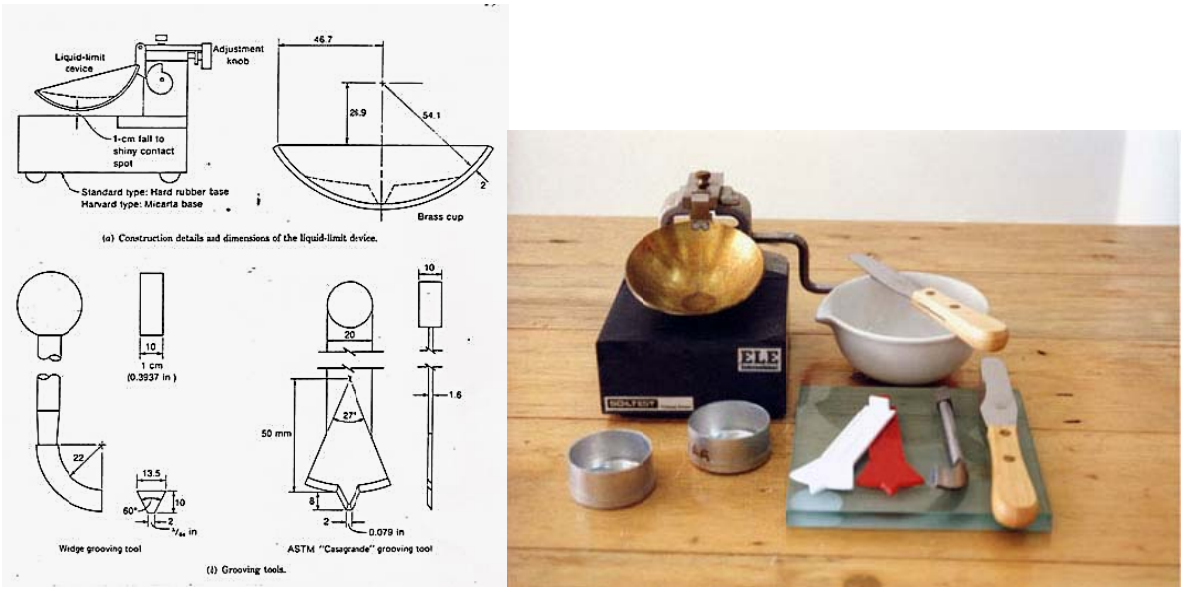
3. ชั่งถ้วย shrinkage และทาจาราบี บางๆ ภายในถ้วยเพื่อป้องกันดินติดถ้วยเหล็ก

4.ตักดินใส่ถ้วยที่ละน้อยประมาณ 3 ถึง 4 ชั้น โดยแต่ละครั้งพยายามไล่ฟองอากาศด้วยการเคาะถ้วยบนพื้นแข็งเบา ๆ ใส่ดินต่อไปจนดินล้นปากถ้วย ปาดดินให้เรียบกับขอบถ้วยนำไปชั่งน้ำหนัก

5.ปล่อยดินให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 4 ถึง 6 ชั่วโมง จึงนำถ้วยดินไปเข้าตู้อบประมาณ 12-18 ชั่วโมง

6.นำดินออกจากตู้ใส่ตัวอย่างดินไว้ในอ่างดูดความชื้น (dessicator) ถ้ามีจนดินตัวอย่างเย็นลงแล้วจึงชั่งน้ำหนักดินแห้งกับถ้วย

7.นำดินที่อบแห้งแล้วมาหาปริมาตร โดยแทนที่ปรอทในถ้วยที่มีปรอทเต็ม ใช้แผ่นพลาสติกที่มีขาโลหะสามขา กดดินให้จมมิดปรอท ชั่งปรอทส่วนที่เหลือนำไปคำนวณปริมาตรก้อนดินแห้งต่อไป.



รูปที่ 12-12 การทดสอบอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limits)

ที่มา: http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch04/ch045_A_method.htm

การคำนวณ

1. ความชื้นของดิน (w) = Ww / Ws x 100%
2. ค่า Liquid Limit (L.L.) = ค่าปริมาณความชื้นของดิน ณ จำนวนครั้งการเคาะ 25 ครั้ง
3. ค่า Plastic Limit (P.L.) = ค่าความชื้นตัวอย่างดินขนาด 1/8 นิ้วแตกที่ผิวจากการทดลอง P.L.
4. ค่า Plastic Index (P.I.) = L.L. - P.L.
5. ค่า Liquidity Index (L.I.) = (w - P.L.) / (L.L. - P.L.)
6. ค่า Activity (A) = P.I. / เปอร์เซนต์ ของดินเหนียวที่มีขนาดเล็กกว่า เบอร์ 200
7. ค่า Shrinkage Limit (S.L) = Wo - (Vo - Vs)/ Ws x 100 (%)

โดยที่ W = ความชื้นของดิน

Wo = ความชื้นของดิน เมื่อเริ่มการทดลอง Shrinkage Limit

Ww = น้ำหนักน้ำ ในดิน

Ws = น้ำหนักดินแห้ง

Vo = ปริมาตรถ้วย Shrinkage

Vs = ปริมาตรดินแห้ง

3) การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Test)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของตัวอย่างดินทรายที่มีความทึบน้ำปานกลางอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D2434 และAASHTO T215

ทฤษฎี

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (coefficient of permeability) เป็นการทดสอบ เพื่อหาอัตราการไหลของของเหลว (ในทางปฏิบัติ คือน้ำ) ต่อมวลดิน ในห้องปฏิบัติการมี 2 วิธี คือ การทดสอบแบบวิธีระดับน้ำคงที่ (constant head test) และการทดสอบแบบวิธีระดับน้ำแปรเปลี่ยน (variable head test)

ในปี ค.ศ. 1856 ดาร์ซี (Darcy) ได้ค้นพบ หลักการไหลของน้ำผ่านทราย มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$u = k\,i$$

โดยที่ u = ความเร็วในการไหลซึม

k = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของตัวกลาง ซึ่งกำหนดให้คงที่

i = ความชันชลศาสตร์ (hydraulic gradient) = Dh / DL

Dh = ความต่างระดับของน้ำ ในช่วงความยาวการไหลซึม

DL = ช่วงความยาวการไหลซึม

องค์ประกอบที่กระทบผลการทดสอบที่สำคัญ

1. การกระจายขนาดของเม็ดดิน
2. ลักษณะของเม็ดดิน
3. อัตราส่วนช่องว่าง
4. ดีกรีความอิ่มตัว
5. ธรรมชาติของน้ำ
6. ชนิดของการไหล
7. อุณหภูมิของน้ำ.

อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ สำหรับทดสอบ Permeability
2. แบบหล่อดิน สำหรับตัวอย่างดินทราย
3. เครื่องชั่ง ชนิดละเอียด 0.1 กรัม
4. เทอร์โมมิเตอร์
5. นาฬิกาจับเวลา
6. น้ำทดลอง

การทดสอบแบบวิธีระดับน้ำคงที่ (รูปที่ 12-13)

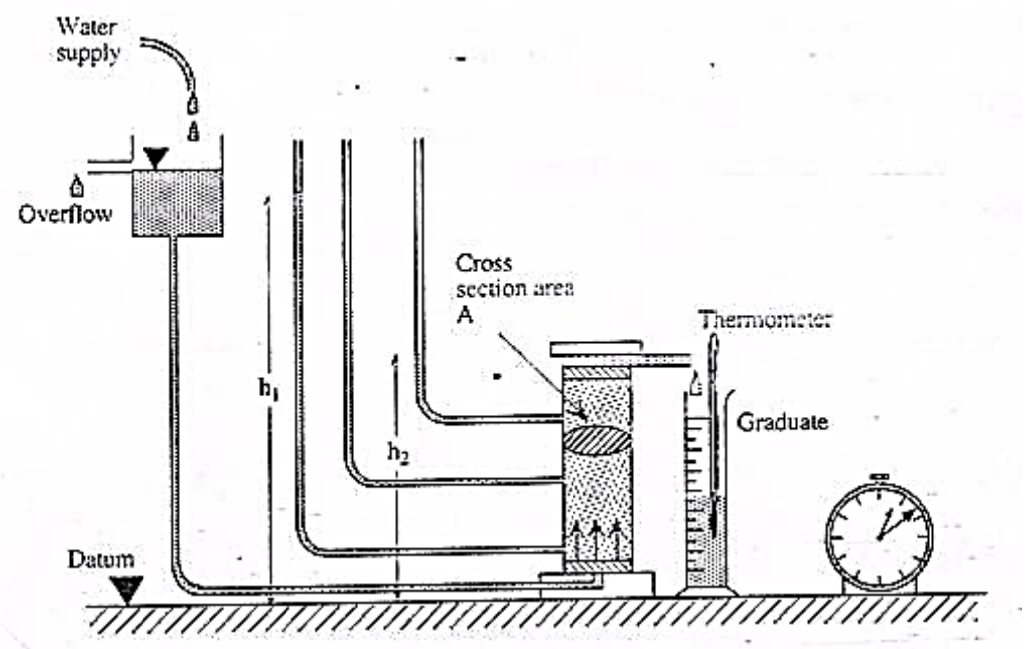
1. เตรียมตัวอย่างดิน ถ้าเป็นดินทรายให้กำหนดความหนาแน่นและสำหรับดินเหนียวคงสภาพ (ซึ่งไม่ค่อยมีการทดสอบบ่อยนัก) จะใช้วิธีเฉือนตัด (trim) ตัวอย่างใส่ในแบบหล่อดิน วัดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของตัวอย่าง พร้อมชั่งน้ำหนัก

2. นำตัวอย่างดินมาติดตั้งท่อน้ำเข้าและน้ำออก เปิดน้ำให้ไหลผ่านมวลดินเพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยสังเกตจากการไหลซึมของน้ำออกจากตัวอย่าง แบบไม่มีฟองอากาศปน และสายน้ำที่ไหลออกมามีค่าคงที่

3. สำหรับตัวอย่างดินเหนียวหรือดินลูกรังบดอัดต้องปล่อยทิ้งไว้ให้ตัวอย่างดินชุ่มน้ำประมาณ 12 ชั่วโมง สำหรับตัวอย่างดินทรายสามารถทดสอบได้ทันที

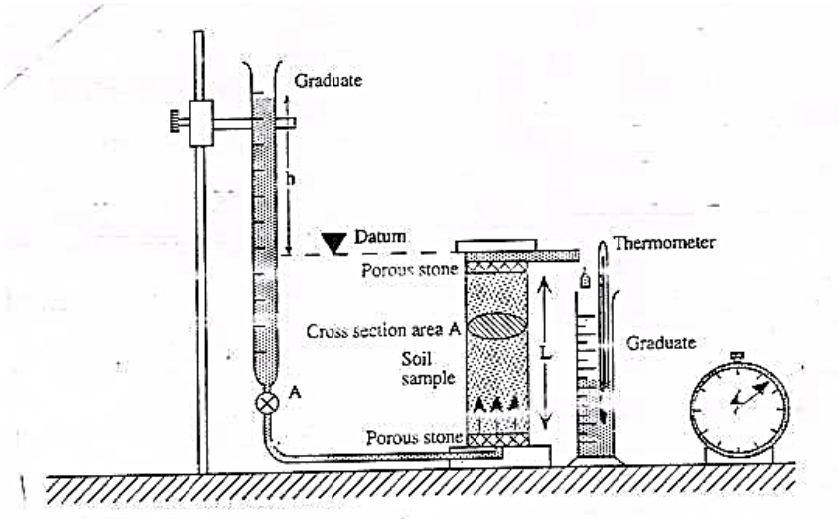
4. เริ่มการทดสอบโดยเปิดวาล์วน้ำออก แล้วจับเวลาเป็นวินาที เมื่อวัดปริมาณน้ำจากกระบอกตวงได้ตามปริมาตรน้ำที่กำหนดในช่วงเวลาหนึ่งๆ แล้วแต่จะกำหนดขึ้นกับความสามารถ ในการซึมน้ำของดิน เช่น 10cc, 100cc หรือ 1000cc จดบันทึกเวลาและอุณหภูมิของน้ำไว้

5. ทำการทดลองซ้ำ อย่างน้อย 5 ครั้ง คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำในดิน



รูปที่ 12-13 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแบบวิธีระดับน้ำคงที่

การทดสอบแบบวิธีระดับน้ำแปรเปลี่ยน วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน เหมือนการทดสอบแบบวิธีระดับน้ำคงที่ ด้วยเครื่องมือ ดังรูปที่ 12-14



รูปที่ 12-14 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแบบวิธีระดับน้ำแปรเปลี่ยน

การคำนวณ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่าน (k) ของน้ำในดิน ที่อุณหภูมิห้องทดลอง

$$k = Q\ DL / Dh\ A\ t$$

โดยที่ Q = ปริมาตรน้ำที่กำหนด ในช่วงเวลา t

k = สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของตัวกลาง ซึ่งกำหนดให้คงที่

I = ความชันชลศาสตร์ (hydraulic gradient) = Dh / DL

Dh = ความต่างระดับของน้ำ จากผิวน้ำ จนถึงระดับน้ำไหลออก

DL = ช่วงความยาวการไหลซึม หรือความยาวของตัวอย่างดิน

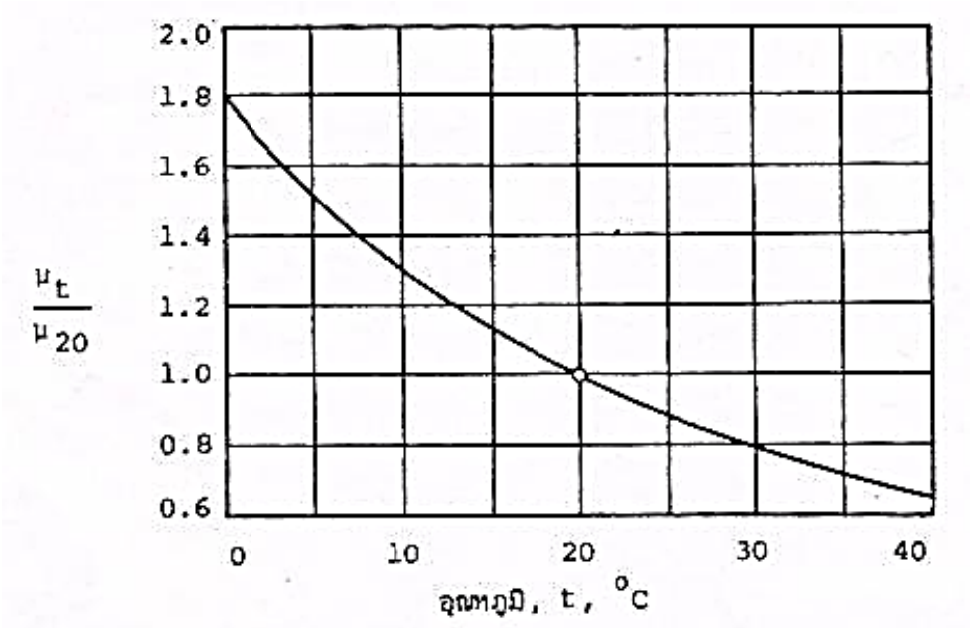
A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

t = เวลาที่ใช้ในการไหลซึมของน้ำจนได้ปริมาตร Q

2. ทำการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่าน ณ อุณหภูมิ 20 C°

$$k\ 20 = k\ t\ x\ mt / m20$$

โดยที่ ค่าอัตราส่วน mt / m20 หาจาก กราฟใน รูปที่ 12-15



รูปที่ 12-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง mt / m20 ต่ออุณหภูมิ

4) การทดสอบการเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา หาค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือน (f และ c) ของตัวอย่างดินทรายอ้างอิงมาตรฐาน ASTMD 3080 และ AASHTO T 232

ทฤษฎี

การทดสอบการเฉือนโดยตรงเป็นวิธีการทดสอบการเฉือนของวัสดุทั้งดินทรายและดินเหนียว รวมทั้งหินผุบางชนิดเนื่องจากวิธีการทดลองเป็นวิธีปฏิบัติได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เพื่อหาค่าพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนของดิน

จากกฎของคูลอมบ์ กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน จะขึ้นกับค่าพารามิเตอร์หลักสองค่าคือ แรงเสียดทานและแรงยึดเกาะ โดยแรงเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพื่อแรงกดตั้งฉากให้กับดิน

อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์ สำหรับทดสอบการเฉือนโดยตรง (รูปที่ 12-16)
2. Shear Box รูปสี่เหลี่ยม 1 ชุด
3. Shear Box รูปวงกลม 1 ชุด (ถ้ามี)
4. กระป๋องดิน 2-3 กระป๋อง
5. เครื่องชั่ง อ่านละเอียด 0.01 กรัม
6. เครื่องมือวัดขนาดอย่างละเอียด หรือ เวอร์เนีย
7. Dial gauge วัดระยะได้ 12 มม. อ่านได้ละเอียด 0.002 มม.
8. Dial gauge วัดระยะได้ 25 มม. อ่านได้ละเอียด 0.001 มม.
9. อุปกรณ์ สำหรับ ตัดตัวอย่างดินทดสอบ

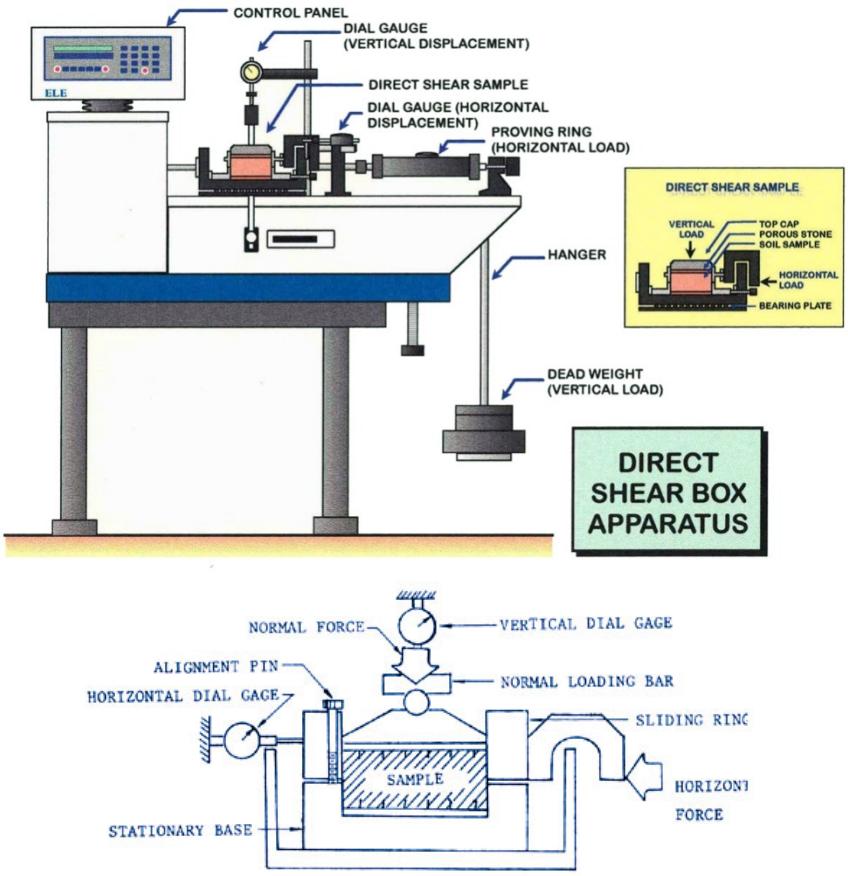
การเตรียมตัวอย่างดินทดสอบ

ก. ตัวอย่างดินทราย มักกำหนดความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง

1. วัดขนาดของ Shear Box คำนวณหาปริมาตร
2. คำนวณหาน้ำหนักของทรายที่ต้องการใช้
3. จัดเตรียม Shear Box ให้เรียบร้อย ใส่หินพรุนด้านล่าง 1 แผ่น
4. ใส่ตัวอย่างดินลงใน Shear Box โดยวิธีโรยทราย แล้วบดอัดตัวอย่างดินที่เตรียมไว้จนหมด
5. นำ Shear Box มาจัดเข้าที่เครื่องทดสอบการเฉือนโดยตรง ให้อยู่ในตำแหน่งที่พร้อมจะใส่น้ำหนักกดทับ จัด Dial gauge วัดระยะได้ 12 มม. เพื่ออ่านค่าแนวดิ่ง และ Dial guge วัดระยะได้ 25 มม. เพื่ออ่านค่าแนวราบ พร้อมตั้งอุปกรณ์ทดสอบการเฉือน

ข. ตัวอย่างดินเหนียว มักใช้เป็นตัวอย่างดินคงสภาพ

1. วัดขนาดกล่องแบบดิน ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับกดตัวอย่างดินทดสอบ และนำไปชั่งน้ำหนัก
2. กดกล่องแบบดิน ลงบนตัวอย่างดิน ให้เต็มแบบ ปาดหน้าดินทั้งสองให้เรียบ และนำไปชั่งน้ำหนัก
3. นำตัวอย่างดินที่เหลือไปหาความชื้น
4. นำตัวอย่างดินที่ ในกล่องแบบดิน ไปบรรจุใน Shear Box โดยใช้ที่ดันตัวอย่าง
5. นำ Shear Box มาจัดเข้าที่กับเครื่องทดสอบการเฉือนโดยตรงให้อยู่ในตำแหน่ง และวางน้ำหนักกดทับ จัด Dial gauge ทั้งหมดให้เข้าที่ พร้อมทำการเฉือน



รูปที่ 12-16 การทดสอบการเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)
(ที่มา :http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch12/ch124_Accessories.htm)

วิธีการทดสอบ

6. คำนวณน้ำหนักกดทับ โดยการกำหนดความเค้นกระทำในแนวดิ่ง ประมาณเป็น 1 , 2 และ 4 เท่าของความเค้นประสิทธิผลเหนือจุดพิจารณา โดยนำแผ่นถ่วงน้ำหนัก มาแทนคานน้ำหนัก ที่ถูกค้ำยึดให้อยู่นิ่งในแนวระดับไว้

7. เริ่มทดสอบการเฉือน โดยปลดจุดค้ำยึด บันทึกค่าการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง หรือการยุบตัวที่เกิดขึ้น ถ้ามี ในกรณีที่เป็นตัวอย่างดินเหนียว ต้องทิ้งไว้จนกระทั่งเกิดการยุบตัวของดินเหนียวและให้ดินอิ่มน้ำประมาณ 24ชม.

8. การตั้งอัตราการเฉือนแนวราบ อัตรานี้จะขึ้นกับลักษณะการทดสอบดินแต่ละประเภท ดังนี้

8.1 Undrain Test สำหรับการทดสอบดินทราย และดินเหนียวแบบไม่การระบายน้ำใช้อัตรา 1 มม./นาที

8.2 Drain Test สำหรับการทดสอบดินเหนียวแบบมีการระบายน้ำ โดยปกติมักใช้อัตรา 0.05 มม./นาที

9. เริ่มทดสอบการเฉือน และบันทึกค่าการยุบตัวแนวดิ่ง, การเคลื่อนที่ในแนวราบ และ น้ำหนักกระทำในแนวราบ ที่เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง โดยอ่านค่าทุกๆ 10 ขีด จนกระทั้งตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ

10. สำหรับตัวอย่างดินเหนียว เมื่อทดสอบเสร็จ นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบหาปริมาณความชื้นหลังการทดลอง

11. เขียนกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือน และการเคลื่อนที่ในแนวราบ

12. หาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินจากจุดสูงสุดในกราฟ

13. ทำการทดลองซ้ำ โดยการเปลี่ยนน้ำหนักกดทับ ตามระบุในข้อ 6.

14. นำค่าหน่วยแรงต้านทานการเฉือนและหน่วยน้ำหนักกดทับ ในการทดลองแต่ละชุด มาเขียนกราฟให้หน่วยน้ำหนักกดทับอยู่ในแกนนอน และให้หน่วยแรงต้านทานการเฉือนอยู่ในแกนตั้ง ใช้มาตราส่วนเดียวกัน เพื่อหาค่ามุมเสียดทานของดินและค่าแรงยึดเกาะ.

การคำนวณ

1. การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง = ค่าอ่านจากมาตรหน้าปัด แนวดิ่ว x 0.01 มม.
2. การเคลื่อนที่ในแนวราบ = ค่าอ่านจากมาตรหน้าปัด แนวราบ x 0.01 มม.
3. แรงเฉือนในแนวราบ = ค่าอ่านจากวงแหวนน้ำหนัก x ค่าคงที่
4. หน่วยแรงเฉือน = แรงเฉือนในแนวราบ / พื้นที่หน้าตัดปรับแก้
5. พื้นที่หน้าตัดปรับแก้ = ความกว้าง Shear Box คูณกับ (ความยาว Shear Box ลบ ด้วยการเคลื่อนที่ในแนวราบ)

5) การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการทดสอบแรงอัดตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ แบบไม่ถูกจำกัดอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 2166 และ AASHTO T208

ทฤษฎี

การทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัดนี้ เหมาะสำหรับดินประเภทดินเหนียว เนื่องจากดินตัวอย่างต้องสามารถตั้งตัวอยู่ด้วยค่าแรงยึดเกาะภายใน ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่ได้ มักมีค่าต่ำกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่เกิดขึ้นในสนามเสมอ จึงเป็นค่ากำลังดินที่ปลอดภัย มัก

นำไปใช้ในการออกแบบงานวิศวกรรมฐานราก และยังเป็นตัวกำหนดสถานะภาพ (consistency) ของดินเหนียวด้วย

อุปกรณ์

1. เครื่องกดทดสอบ (Compression Machine) ประกอบติดกับวงแหวนรับแรง 1 ชุด
2. มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) สำหรับวัดการหดตัวของตัวอย่างดิน 1 ชุด
3. โครงตัดแต่งตัวอย่างดิน (Trimming Frame)
4. อุปกรณ์ตัดแต่งตัวอย่างดิน และเลื่อยลวด
5. กระบอกแบบผ่า (Spit Former)
6. เครื่องมือวัดละเอียด (เวอร์เนียร์)
7. เครื่องชั่ง อ่านละเอียด 0.1 กรัม
8. กระป๋องอบดิน

การเตรียมตัวอย่างดิน

ก. ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample)

1. นำตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ จากการเก็บตัวอย่างดิน ด้วยทรงกระบอกเปลือกบาง มาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก ด้วยเครื่องมือตัดแต่งดินและใช้เลื่อยลวดค่อยๆ ปาดแต่งดินทีละด้าน ขนาดตัวอย่างทดลองมาตรฐาน มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 นิ้ว (35 มม.) หรือ 2 นิ้ว (50 มม.) และ ความสูงของตัวอย่างดิน เป็น 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง

2. นำตัวอย่างดินเหนียวทรงกระบอกที่เตรียมไว้ใส่ลงในกระบอกผ่า เพื่อจะใช้ปาดแต่งหน้าดิน ด้านบนและด้านล่างให้เรียบ โดยมีความสูงตามกำหนด

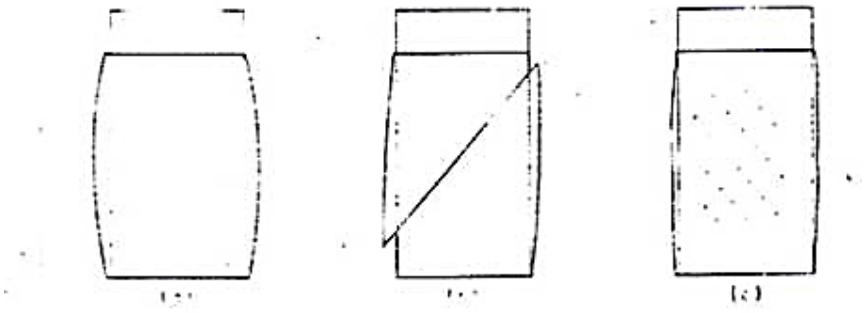
3. วัดขนาดของตัวอย่างโดยใช้เวอร์เนียร์ วัดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง อ่านละเอียด 3 ที่ ด้านบน ด้านกลาง และด้านล่าง และหาค่าเฉลี่ย

4. วางตัวอย่างดินบนเครื่องทดสอบ จัดให้ได้ศูนย์กลางของแนวกด โดยมีแผ่นพลาสติกประกบด้านบน และด้านล่างเพื่อลดความฝืด จัดมาตรหน้าปัดให้เข้าที่ ตั้งไว้ที่ศูนย์ ก่อนเริ่มการทดสอบ

ข. ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

นำตัวอย่างดินเหนียวที่ทดสอบแล้ว หรือตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ มาทำการนวดเข้ากันให้ทั่ว ในกระบอกแบบ ซึ่งทาขี้ผึ้งหรือน้ำมันสำหรับหล่อลื่นไว้ เพื่อสะดวกในการดันตัวอย่างออก พยายามได้รูปแบบเหมือนตัวอย่างดินคงสภาพการวัดขนาด ถ้าเป็นตัวอย่างดินเหนียวอ่อนมาก จะวัดขนาดจากกระบอกแบบแทน

รูปที่ 12-17 การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด
(ที่มา : http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch14/ch146_method.htm)



รูปที่ 12-18 รูปแบบตัวอย่างดินถูกแรงอัด

วิธีการทดสอบ

1. เมื่อวางตัวอย่างดิน บนฐานของเครื่องทดสอบเรียบร้อยแล้ว ตั้งอัตราการกดของเครื่องมือ

ความสูงตัวอย่าง (มม.)	**อัตราการกด (มม./นาที)**
38	1.5
50	2.0
75	3.0
100	4.0

2. ตรวจสอบการติดตั้งของตัวอย่างดินและเครื่องมือ คือผิวของแท่นกดสัมผัสกับตัวอย่างดินพอดี พร้อมจัดเครื่องมือวัดการหดตัวและวัดแรงไว้ที่ศูนย์

3. เมื่อกดตัวอย่างดิน ให้บันทึกค่าแรงต้านแรงกด ทุกๆ 0.1 มม. ของการหดตัวของตัวอย่างทดลอง

4. เมื่อแรงที่วัดได้ถึงจุดสูงสุด ก็จะเริ่มลดลง ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของกำลังต้านรับน้ำหนักของดิน ให้บันทึกค่าต่อไปจนกระทั้งเกิดแนววิบัติ อย่างชัดเจนถ้าเป็นตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ ให้ทดสอบจนเกิดการหดตัวประมาณ 20% ของความสูงของตัวอย่างทดลอง

5. เขียนรูปตัวอย่าง แสดงการเกิดรอยเฉือน และวัดมุมที่รอยเฉือนทำกับแนวราบ (รูปที่ 12-18)

6. นำตัวอย่างดินที่ทดสอบ เสร็จแล้ว ไปชั่งและนำเข้าตู้อบ เพื่อหาความชื้น

7. ทดสอบใหม่ ตั่งแต่ ข้อ 1 ถึง ข้อ 6 สำหรับตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ เพื่อหาค่าความไว้ของดินเหนียว

การคำนวณ

1. พื้นที่หน้าตัด ของตัวอย่างดิน ที่เปลี่ยนไป

$$Ac = Ao / (1 - e)$$

โดยที่ Ac = พื้นที่หน้าตัด ที่ปรับแก้ของตัวอย่างดิน

Ao = พื้นที่หน้าตัดเดิม ของตัวอย่างดิน

e = ความเครียด

2. ค่าหน่วยน้ำหนักกดในแนวดิ่ง

$$sv = P \times K / Ac$$

โดยที่ sv = หน่วยน้ำหนักกดในแนวดิ่ง
P = ค่าคงที่ ของวงแหวนวัดแรง
K = ค่าที่อ่าน จากวงแหวนวัดแรง

3. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวของตัวอย่างดินกับหน่วยน้ำหนักกดตัวอย่างในแนวดิ่ง
4. คำนวณค่าแรงยึดเกาะ (Su) ซึ่งมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของหน่วยน้ำหนักกดตัวอย่างในแนวดิ่ง
5. คำนวณหาค่าความไวของดิน (Sensitivity) จาก

ค่าความไวของดิน = Su (คงสภาพ) / Su (เปลี่ยนสภาพ)

6) การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxail Test)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการทดสอบแรงอัดตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพแบบสามแกน อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 2850และ AASHTO T234

ทฤษฎี

การทดสอบแรงอัดของตัวอย่างดินเหนียวแบบสามแกน เป็นการทดสอบดินที่ยอมรับกันมากที่สุดว่าเป็นการจำลองสภาพแรงอัดที่ใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นในสนาม ค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบ จะนำไปใช้ประกอบการคำนวณออกแบบทางด้านวิศวกรรมฐานรากอย่างเหมาะสม โดยปกติสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ประเภท

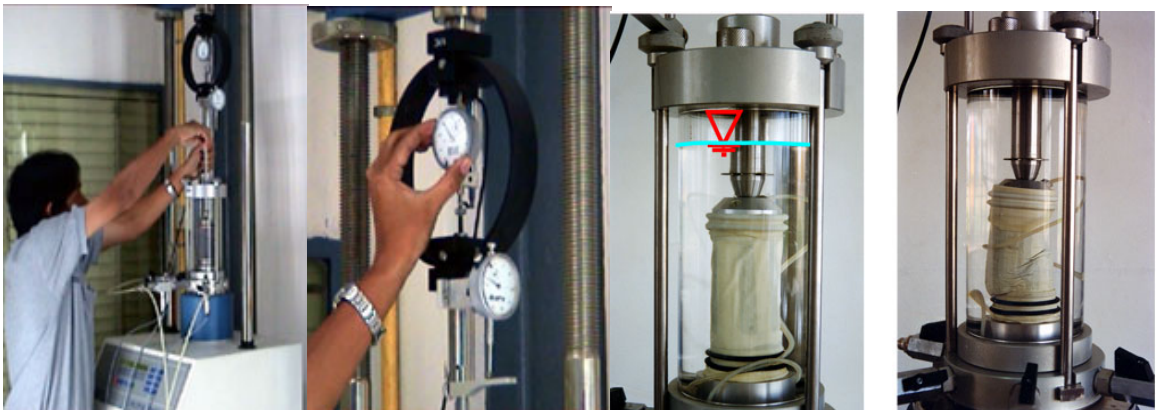
1. Unconsolidated Undrained Test (UU) คือการทดสอบที่ไม่ยอมให้มีการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดิน และไม่มีการวัดแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในตัวอย่างดิน

2. Consolidated Drained Test (CD) คือการทดสอบดินที่ยอมให้มีการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดินได้ตลอดเวลา และในขั้นตอนการทดสอบแรงเฉือน ก็กระทำอย่างช้ามากๆ เพื่อให้แรงดันน้ำในตัวอย่างดินเป็นศูนย์ตลอดการทดสอบ

3. Consolidated Undrained Test (CU) คือการทดสอบที่ยอมให้น้ำมีการระบายออกจากตัวอย่างดิน ในขั้นตอนแรก หลังจากดินเข้าสู่สภาพสมดุลจึงเริ่มกดตัวอย่างดิน เพื่อหาแรงต้านทานการเฉือน โดยปิดวาล์วระบายน้ำ ทำให้เกิดสภาพที่ไม่ยอมให้มีการระบายน้ำขณะทดสอบแรงเฉือน บ่อยครั้งในการทดสอบประเภทนี้จะมีการวัดแรงดันน้ำที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ

อุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์แผงทดสอบแรงอัดสามแกน
2. กระบอกเซลล์ ตัวอย่างดิน (Triaxial cell) สำหรับการทดสอบแรงอัด สามแกน
3. เครื่องกดดิน (Triaxial compression machine)
4. อุปกรณ์ ตัดแต่งตัวอย่างดิน และเลื่อยลวด
5. อุปกรณ์ประกอบการทำเซลล์ตัวอย่างดิน เช่น กระดาษซึมน้ำ ยางหุ้มดิน (Rubber membrane) และวงยางรัดดิน (O – ring)
6. เครื่องมือวัดละเอียด (เวอร์เนียร์)



รูปที่ 12-19 การทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxail Test)
(ที่มา:http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch14/ch146_method.htm)

การเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ จากการเก็บตัวอย่างดิน ด้วยทรงกระบอกเปลือกบาง มาตัดแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก โดยนำไปใส่ในเครื่องมือตัดแต่งดินและใช้เลื่อยลวดค่อยๆ ปาดแต่งดินที่ละด้านขนาดตัวอย่างทดลองมาตรฐาน มีลักษณะขนาดเดียวกับตัวอย่างดินใช้ทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

2. นำตัวอย่างดินเหนียวทรงกระบอกที่เตรียมไว้แล้ว ใส่ลงในกระบอกผ่า เพื่อจะใช้ปาดแต่งหน้าดินด้านบน และด้านล่างให้เรียบ โดยมีความสูงตามกำหนด

3. วัดขนาดของตัวอย่างโดยใช้เวอร์เนียร์วัดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูง อ่านละเอียด 3 ที่ ด้านบน ด้านกลาง และด้านล่าง และหาค่าเฉลี่ย

4. วางตัวอย่างดิน บนฐานกระบอกเซลล์ ตัวอย่างดิน โดยมีหินพรุน อยู่ระหว่างตัวอย่างและฐาน เพื่อสะดวกในการระบายน้ำเข้าออก

5. ใส่ยางหุ้มดิน ครอบตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกกลวงโลหะ ช่วยสวมตัวอย่างดิน และรัดด้วย วงยางรัดดิน ให้ตัวอย่างดินแน่นติดกับฐาน โดยน้ำภายนอกไม่สามารถซึมผ่านเข้าตัวอย่างดินได้

6. วางหินพรุนด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน รัดวงยางรัดดินที่ฝากดด้านบนตัวอย่างให้แน่น โดยให้สายระบายน้ำส่วนบนต่อกับท่อระบายน้ำออกที่ฐาน

7. เอาครอบกระบอกเซลล์ สวมลงบนตัวอย่างดิน ต้องระวังให้แท่งกดน้ำหนักอยู่กึ่งกลางของฝากดด้านบนตัวอย่าง แล้วขันสกรูยึดฐานให้แน่น

การทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

8. ปล่อยน้ำเข้าทางวาล์ว C เข้าภายในกระบอกเซลล์ตัวอย่างดิน ให้เต็มล้นออกทางวาล์วระบายด้านบน (ผิวบนกระบอกเซลล์ตัวอย่างดินใส่น้ำมันเครื่องไว้ เพื่อป้องกันน้ำรั่วออกทางแท่งกดดิน และช่วยหล่อลื่นไปด้วย)

9. เพิ่มแรงดันด้านข้าง (ด้วยน้ำ) เล็กน้อย ประมาณไม่เกิน 2 t/m^2 เพื่อช่วยให้ดินตั้งตรงได้ ในเวลาเดียวกัน จะปล่อยน้ำให้เข้าสู่ตัวอย่างดิน ทางวาล์ว B ด้วยความดันไม่เกิน 2 t/m^2 (back pressure) ให้เกินสมดุลของแรงน้ำจะเคลื่อนจากฐานขึ้นสู่เบื้องบน ขณะเดียวกันก็จะไล่ฟองอากาศออกทางวาล์ว A จนหมด

10. ปิดวาล์ว A และ B ดูสภาพตัวอย่างดิน และตรวจดูการรั่วซึมของวาล์วน้ำ การทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเริ่มด้วยการเพิ่มความดันทั้งภายใน (back pressure) และภายนอก (confining pressure) ตัวอย่างดิน

พร้อมๆกัน และขนาดเท่ากันในช่วงประมาณ 13.8 – 20.7 t/m2 เพื่อละลายฟองอากาศที่เหลือในน้ำ และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงให้ดินอิ่มน้ำ

วิธีการทดสอบ

Unconsolidated Undrained Testการทดลองแบบนี้ อาจใช้กับตัวอย่างดินอิ่มน้ำ หรือไม่ก็ได้ โดยวาล์ว A, B และ D ปิดตลอด

1. ทำการเพิ่มแรงดันน้ำด้านข้างทางวาล์ว C ตามที่กำหนด
2. กระทำการเฉือนโดยการกดตัวอย่างดินในกระบอกเซลล์ด้วยเครื่องกดแรงอัดสามแกน แรงกดที่เกิดขึ้น (deviatoric stress) จะกดเฉือนตัวอย่าง จนตัวอย่างดินเริ่มแสดงการวิบัติ

Consolidated Drained Test

1. เปิดวาล์วเพิ่มแรงดันน้ำด้านข้างทางวาล์ว C ให้มากกว่าแรงดันน้ำในตัวอย่างดินเล็กน้อย เพื่อช่วยเร่งการยุบตัวของดิน โดยที่ Effective confining pressures = Total confining pressure – Back pressure
2. เปิด วาล์ว A เพื่อ ให้ตัวอย่างดินยุบตัว บีบน้ำภายในตัวอย่างดิน ให้ค่อยๆ ไหลออกจากตัวอย่างดิน ถ้าต้องการวัดปริมาณน้ำที่ไหลออกมา ก็ต้องต่อกับเครื่องมือพิเศษที่วัดการเปลี่ยนปริมาณน้ำ จนกระทั่งน้ำหยุดไหลออกจากตัวอย่างดิน ซึ่งอาจจะกินเวลาไม่กี่ชั่วโมง สำหรับดินเหนียวปนตะกอนที่มีการซึมน้ำสูงและอาจกินเวลากว่าสองวัน สำหรับดินเหนียวอ่อน
3. เมื่อการยุบตัวของตัวอย่างดินเสร็จสิ้นลง กระทำการทดสอบการต้านทานแรงเฉือนของดิน เปิดวาล์ว A และกดตัวอย่างดินด้วยเครื่องกด ด้วยอัตราการให้น้ำหนักช้ามากๆ ควบคุมการเกิดแรงดันน้ำในตัวอย่างดินให้เท่ากับศูนย์ตลอดเวลา โดยวัดที่วาล์ว Dทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของดินตัวอย่างที่ทดลอง

Consolidated Undrained Test

การทดลองนี้เหมือน ข้อ 1 และ ข้อ 2 ในขั้นตอนการทำให้ดินยุบตัวจนเสร็จสิ้น

4. เมื่อการยุบตัวของตัวอย่างดินเสร็จสิ้น จะทดสอบการเฉือน ภายใต้สภาพไม่ระบายน้ำ โดยเปิดวาล์ว A, B และ C ตลอดการกดทดสอบ สำหรับวาล์ว D จะใช้เพื่อวัดความดันน้ำภายในตัวอย่างดิน โดยต่อเข้ากับเครื่องวัดแรงดันน้ำ
5. ยกกระบอกเซลล์ที่เตรียมตัวอย่างดินไว้แล้วติดตั้งในเครื่องกดทดสอบ ปรับตั้งค่ามาตรหน้าปัดเพื่อวัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง และเลื่อนหัวกดให้แตะสัมผัสกับแท่งกดน้ำหนัก
6. ตั้งอัตราการให้น้ำหนักประมาณ 0.05 – 0.10 นิ้ว/นาที (1.25 – 2.5 มม./ นาที) อ่านน้ำหนัก และแรงดันน้ำในตัวอย่างดิน ทุกค่าการเพิ่มการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง 0.01 นิ้ว (0.25 มม.) จนกระทั่งตัวอย่างดิน เริ่มการวิบัติ หรือการเปลี่ยนแปลงความยาวในแนวดิ่งของตัวอย่างดิน ประมาณ 20 % ของความเครียด

การคำนวณ

1. พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนไป

$$A_c = A_o / (1 - \varepsilon)$$

โดยที่ A_c = พื้นที่หน้าตัด ที่ปรับแก้ของตัวอย่างดิน

A_o = พื้นที่หน้าตัดเดิม ของตัวอย่างดิน

ε = ความเครียด

2. ค่าหน่วยน้ำหนักกดในแนวดิ่ง

$\sigma 1 - \sigma 3 = P \times K / Ac$

โดยที่ $\sigma 1 - \sigma 3$ = vertical deviator stress

P = ค่าคงที่ ของวงแหวนวัดแรง

K = ค่าที่อ่าน จากวงแหวนวัดแรง

2.1 ค่าหน่วยความเค้นหลัก

$\sigma 3 = \sigma c =$ confining pressure

$\sigma 1$ = vertical deviator stress - $\sigma 3$ = total vertical stress

2.2 ค่าหน่วยความเค้นสัมฤทธิผล (ในการทดสอบ CU test และมีการวัดแรงดันน้ำในตัวอย่างดิน)

$\sigma 3'$ = $\sigma c + u$ = effective minor principal stress

$\sigma 1'$ = vertical deviator stress - $\sigma 3'$ = effective major principal stress

โดยที่ u = แรงดันน้ำในตัวอย่างดิน

3. เขียนกราฟความสัมพันธ์

3.1 ระหว่าง s1 หรือ s1 - s3 กับ e

3.2 ระหว่าง s1 หรือ s1 - s3 กับ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวอย่างดิน

3.3 ระหว่าง u กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวอย่างดิน

3.4 อ่านค่า s1 สูงสุด และค่า s3 นำมาเขียน Mohr's circle

3.5 ทดสอบตัวอย่างดิน ด้วยขั้นตอนเดิม โดยเปลี่ยนค่าแรงดันจำกัดด้านข้าง ต่างๆ อย่างน้อย 3 ค่า เพื่อจะได้สามารถหาค่าพารามิเตอร์กำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (f และc) และรวมทั้งค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Su) สำหรับ UU Test

7) การทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (Consolidation Test)

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาค่าการยุบอัดตัว (Compressibility Parameters) สำหรับดินเหนียวอ่อนคงสภาพ อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D 2435 และ AASHTO T216

ทฤษฎี

Terzaghi (1925) บิดาแห่งกลศาสตร์วิศวกรรมปฐพีผู้ริเริ่มกำหนดเครื่องมือและวิธีการทดสอบการยุบอัดตัวของดินจากแนวคิดความเค้นสัมฤทธิผลของดิน ซึ่งมักถูกอธิบายเปรียบเทียบด้วยระบบลูกสูบ-สปริง ในทรงกระบอกปิด

การทดสอบทำด้วยเครื่องมือทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (consolidation machine, consolidometer) โดยบรรจุตัวอย่างดินไว้ในวงแหวนตัวอย่างดิน และให้มีน้ำหนักกดกระทำในแนวดิ่ง การยุบอัดตัวจะถูกจำกัดให้เกิดในแนวดิ่งเท่านั้น (one-dimensional consolidation) ซึ่งเป็นสมมติฐานใกล้เคียงกับสภาพความเค้นในสนาม ณ จีโอสแตติก (geostatic condition)

คุณสมบัติการยุบอัดตัว (compressibility parameters) ที่ต้องการหามีอยู่สองค่า คือ

1. ปริมาณการยุบอัดตัวสูงสุด (Total Settlement)

$$Sc = Cc / (1 + e) \times H \times \log [(Po\text{¢} + DP) / Po\text{¢}]$$

โดยที่	Cc	=	Compression Index
	E	=	อัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น
	Po¢	=	Effective Overburden Pressure
	DP	=	Overburden Pressure Increment
	H	=	ความหนาของสภาพชั้นดิน

2. อัตราการยุบอัดตัวของดิน

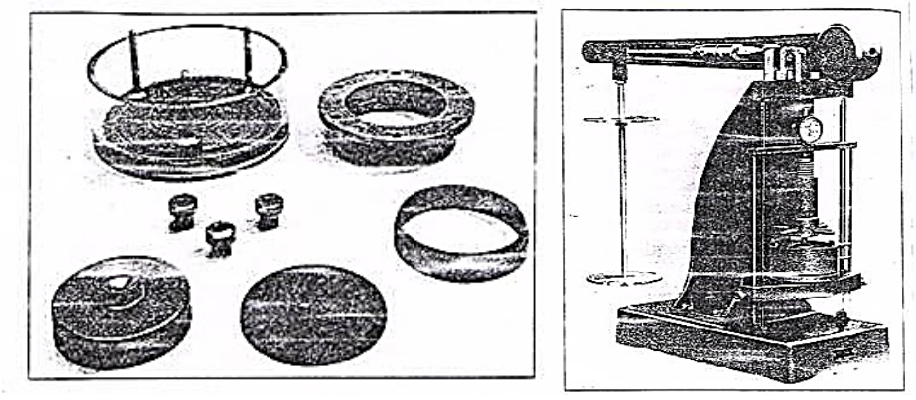
จากทฤษฎีการยุบตัวหนึ่งมิติของเทอซากิ ซึ่งทำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ออกมาแล้ว จะได้ความสัมพันธ์ บ่งถึงคุณสมบัติทางด้านอัตราการทรุดตัวของดินด้วยค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัว

$$Cv = Tv \ Hd^2 / t$$

โดยที่	Cv	=	สัมประสิทธิ์การทรุดตัว (Ceofficient of Consolidation)
	Tv	=	Time Factor
	t	=	เวลาในการเกิดการทรุดตัวของดิน
	Hd	=	ระยะทางระบายน้ำในมวลดินไปสู่สมดุลชลศาสตร์

อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องมือทดลองการยุบอัดตัว
2. ชุดแบบหล่อวงแหวนตัวอย่างดิน
3. ชุดแผ่นถ่วงน้ำหนัก
4. มีดปาดดิน หรือเลื่อยลวด
5. กระดาษกรอง (ถ้ามี)
6. นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 12-20 เครื่องมือการทดสอบการยุบอัดตัวของดิน (Consolidation Test)

วิธีการทดสอบ

1. วัดขนาด ของวงแหวนตัวอย่างดิน และนำไปชั่งน้ำหนัก

2. ตัดตัวอย่างดิน และใช้มีดปาดดินหรือเลื่อยลวดตัดแต่งตัวอย่างดินที่กดใส่แบบหล่อวงแหวนตัวอย่างดิน และดินที่เหลือนำไปหาความชื้นก่อนทดลอง

3. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความหนาแน่นรวม

4. นำตัวอย่างดินในแบบหล่อวงแหวนที่เตรียมไว้จัดให้มีหินพรุนประกบทั้งด้านบน และด้านล่างของดินตัวอย่าง เพื่อกำหนดการไหลของน้ำในมวลดินเป็นสองทิศทาง

5. นำแบบหล่อวงแหวนตัวอย่างดินบรรจุในเครื่องมือทดลองการยุบอัดตัวของดิน ติดตั้งมาตรหน้าปัด สำหรับวัดการทรุดตัว (อ่านละเอียด 0.0001 นิ้ว) แล้วหล่อน้ำ ให้ท่วมแบบหล่อวงแหวนตัวอย่างดิน (ควรทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เพื่อให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ)

6. คำนวณน้ำหนักที่ต้องการใช้กดทับตัวอย่างดิน และอัตราส่วนผ่อนน้ำหนักที่เกิดจากระบบคานกดกระทำ (เช่น 10 ต่อ 1) เพื่อให้เกิดความเค้น กดตัวอย่างดิน เป็น 2.5 , 5.0 , 1.0 , 2.0 , 4.0 , 8.0 , 16.0 และ 32.0 t/m2 ตามลำดับ (หรืออาจเลือกใช้การเพิ่มน้ำหนัก 5 ช่วงกระทำ เพียงพอที่จะคำนวณหาค่าความเค้นสัมฤทธิผลในอดีตของดิน)

7. วางน้ำหนักชุดแรก แล้วบันทึกเวลาพร้อมๆกับอ่านค่าจากมาตรหน้าปัด ณ เวลา 0.25 , 0.5 , 1 , 2 , 4 , 8 , 15 , 30 นาที ... และ 1 , 2 , 4 , 8 , ... , 24 ชั่วโมง

8. เขียนกราฟระหว่างค่าจากมาตรหน้าปัดกับสแควรูทของเวลาในขณะทำการทดลอง ถ้ากราฟเริ่มเป็นเส้นราบ แสดงถึงลักษณะการยุบอัดตัวเสร็จสิ้น หรือถ้ากราฟแสดงการยุบอัดตัวน้อยมาก เมื่อเวลาผ่านไป ก็อาจเพื่อน้ำหนักชุดต่อไปได้เลย แต่ถ้ากราฟยังไม่เป็นเส้นนอน ก็ให้ทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง บ่อยครั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

9. หลังจากทิ้งน้ำหนักกระทำดังกล่าว ไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ให้เพื่อน้ำหนักชุดที่สองได้ แล้วทำการทดลองข้อ 7 ซ้ำ จนกระทั่งใช้น้ำหนักบรรทุกครบตามมาตรฐานกำหนดหรือครบ 5 ช่วงกระทำที่คำนวณ ในข้อ 6.

10. ลดน้ำหนักกระทำออกให้เหลือประมาณ 2 เท่าของน้ำหนักกดมากที่สุด เพื่อหาคุณสมบัติการพองตัวของดิน ทดสอบเช่นเดียวกับการเพิ่มน้ำหนักกระทำ โดยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ทุกช่วงการเปลี่ยนน้ำหนัก

11. หลังจากเสร็จการทดลองแล้ว นำตัวอย่างดินไปหาความชื้นหลังทดลอง

การคำนวณ

1. หาเวลา t_{90}จากกราฟ ระหว่าง ค่าจากมาตรหน้าปัดกับสแควรูทของเวลา หรือหาเวลา t_{50}จากกราฟระหว่างค่าจากมาตรหน้าปัดกับค่าล็อกกาลิกเทอมิคของเวลา

2. หาค่าสัมประสิทธิ์การทรุดตัว (Ceofficient of Consolidation)

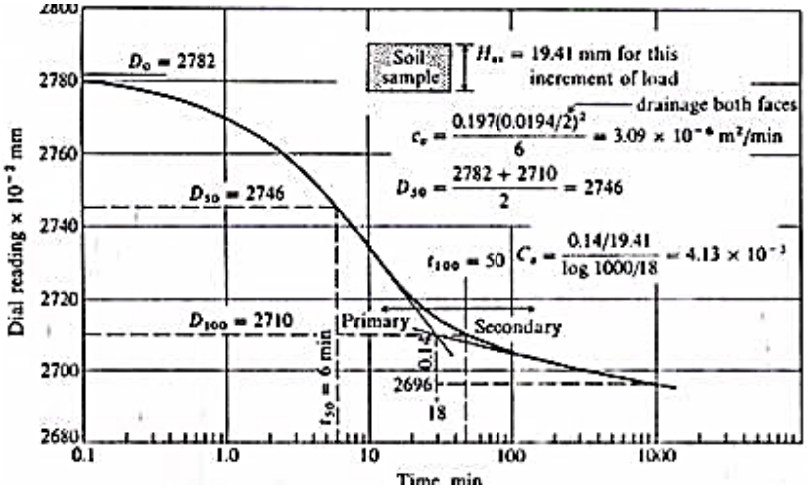
3. คำนวณค่าน้ำหนักกดกระทำ consolidation pressure ในแต่ละช่วง

4. คำนวณค่าอัตราส่วนช่องว่างของตัวอย่างดิน ในแต่ละช่วงน้ำหนักกดกระทำ

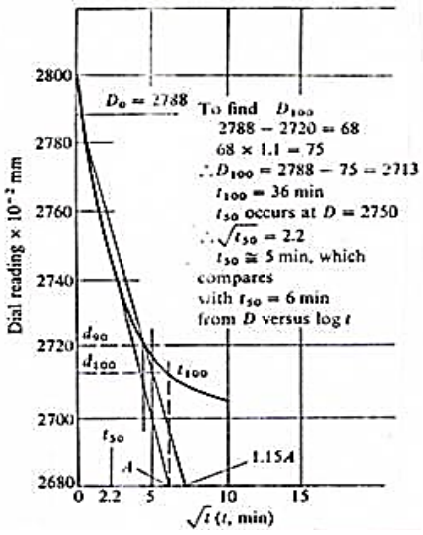
5. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ log P¢ และ Cv กับ log P¢ ลงในกระดาษกราฟ semi-log

6. คำนวณหาค่า ดัชนีการทรุดตัว Cc (Compression Index) จากCc = - De D log P¢

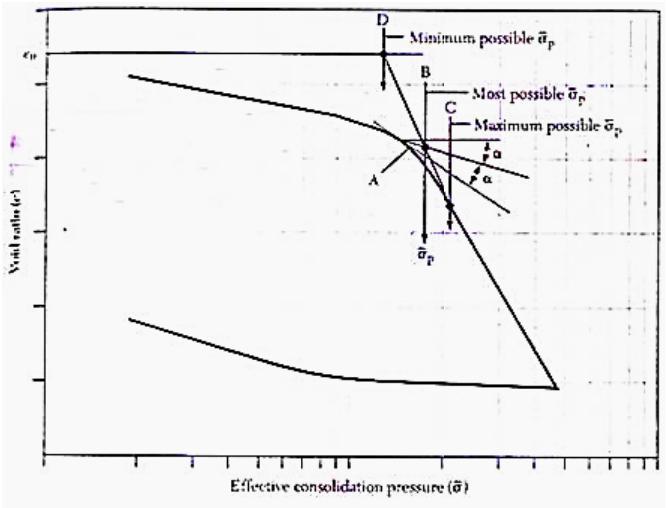
7. คำนวณหาความเค้นสัมฤทธิผลในอดีต (maximum past pressure หรือ pre-consolidation pressure)



รูปที่ 12-21 กราฟระหว่างค่าจากมาตรหน้าปัดกับค่าล็อกกาลิกเทอมิคของเวลา



รูปที่ 12-22 กราฟระหว่างค่าจากมาตรหน้าปัดกับสแควรูทของเวลา



รูปที่ 12-23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ log P¢ และ Cv กับ log P¢

ที่มา: http://web.eng.nu.ac.th/civil/teacher/udomrerkp/web/304352.html. 14 มิถุนายน 2560

8) การทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาความสัมพันธ์ปริมาณความชื้น (ปริมาณน้ำ) และความแน่น (ความหนาแน่น) ของดินในห้องปฏิบัติการ ทดสอบความแน่นของดินที่บทอัดในห้องปฏิบัติการ และหาปริมาณน้ำ ณ ภาวะที่ทำให้ดินที่บดอัดมีความแน่นสูงสุด

ทฤษฎี

การบดอัดดินเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพดิน คือทำให้ดินแน่นสูงสุด เพื่อเหมาะสมแก่งานประเภทต่างๆ ในเชิงวิศวกรรม การทำให้ดินแน่นหรือทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงสุดนอกจากจะใช้พลังงาน เช่น บดอัดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้น (ปริมาณน้ำ) และช่องว่างในดิน เมื่อดินรับแรงอัดทางกล Mechanical Compaction หรือแรงกระแทกเพื่อไล่อากาศออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดิน จึงทำให้ เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าหากัน ลดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ปริมาตรมวลดินจึงลดลง ฉะนั้นดินจึงยุบและอัดตัว ความหนาแน่นของเม็ดดินจะสูงขึ้น มีกำลังต้านทานแรงเฉือนและรับน้ำหนักได้มากขึ้น การไหลซึมผ่านของน้ำและการทรุดตัวของดินน้อยลง

การศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการบดอัดของดินในห้องทดลองมีด้วยกัน 2 วิธีคือ

1. Standard Proctor Test
2. Modified Proctor Test

ซึ่งการที่จะใช้การทดลองโดวิธีใดก็ตามก็ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการทดลองซึ่งผลที่ได้จาการทดลองทั้งสองจะได้ค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากการถ่ายพลังงานลงสู่ดินนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละวิธี แต่อย่างไรก็ตามเราก็จะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ดินนั้นมีค่าความหนาแน่นสูงสุดทั้งสองวิธี

การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test)

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับดินในแบบ (mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยค้อนหนัก 2.494 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว)

- วิธี ก แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 ม.ม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว)
- วิธี ข แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 ม.ม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว)
- วิธี ค แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.4 ม.ม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 ม.ม. (เบอร์ 4)
- วิธี ง แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 ม.ม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 ม.ม. (เบอร์ 4)

หมายเหตุ : ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี ก

เครื่องมือทดลอง

1. แบบ (mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มี 2 ขนาด คือ

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 ม.ม. (4 นิ้ว) สูง 116.4 ม.ม. (4.584 นิ้ว) และต้องมีปลอก (collar) สูงประมาณ 50.8 ม.ม. (2 นิ้ว) มีฐานทึบ
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 ม.ม. (6 นิ้ว) สูง 177.8 ม.ม. (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูงประมาณ 50.8 ม.ม. (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดสอบต้องใช้แท่งโลหะรอง

(spacer Disc) รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 ม.ม. (4.584 นิ้ว) โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรอง แต่ต้องมีฐานทึบหรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อต้องใช้แท่งโลหะรองแล้ว ได้ความสูงเท่ากับ 116.4 ม.ม. (4.584 นิ้ว)

2. แท่งโลหะรองเป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 ม.ม. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 ม.ม. (515/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่างๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 1 แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 ม.ม. (4.584 นิ้ว)

3. ค้อน ทำด้วยโลหะ เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 ม.ม. (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 2.249 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 ม.ม. เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 ม.ม.

4. เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบ หลังจากทดสอบเสร็จแล้ว

5. ตาชั่งแบบ balance มีขีดความสามารถในการชั่งได้ ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดสอบ

6. ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance ที่ความสามารถในการชั่งได้ 1,000 กรัม มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

7. เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

8. เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแท่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 ม.ม. หนาประมาณ 3.0 ม.ม.

9. ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูงประมาณ 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้ ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) และ 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

10. เครื่องผสมตัวอย่าง ได้แก่ ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง ค้อนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

11. กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

12. วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ ประกอบด้วย น้ำสะอาด ดิน/หินคลุก หรือ soil aggregate

13. แบบฟอร์มบันทึกผลการทดลอง

การเตรียมตัวอย่าง

1. ถ้าขนาดของตัวอย่างมีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังนี้

- นำตัวอย่างมาอบให้แห้ง โดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้งและทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อตัวอย่างแห้งแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3%) นำมาร่อนผ่านตะแกรง 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่กว่า 190 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ขนาดระหว่าง 190 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) และขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
- ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมไว้ ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีจำนวนอยู่ขนาดละเท่าใด
- ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป
- แทนที่มวลของตัวอย่างที่ทิ้งไป ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากัน
- คลุกตัวอย่างที่ได้ทั้งหมดให้เข้ากัน

2. ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศให้แห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3%)และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง Sample Splitter และคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

3. ถ้าต้องการทดสอบตามวิธี ค หรือ ง ให้นำตัวอย่างมาตากแห้งโดยวิธีตากแห้งผึ่งอากาศ และใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดออกจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) คลุกตัวอย่างให้กัน

4. ชั่งตัวอย่างในข้อ 1-3 โดยถ้าใช้แบบขนาดเล็กให้ใช้มวลประมาณ 3,000 กรัม สำหรับการทดสอบ 1 ครั้ง ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ให้ใช้มวลประมาณ 6,000 กรัม สำรับการทดสอบ 1 ครั้ง

5. ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

การทดสอบ

จะใช้แบบ (mold) ขนาดใดก็ได้ แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่างๆ สำหรับวิธีการดำเนินการทดสอบดังนี้

1. นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2. เติมน้ำจำนวนหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มที่ประมาณ 4% ต่ำกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

3. คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำด้วยมือ หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

4. แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1/5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

5. ทำการบดทับด้วยค้อน โดย วิธี ก และ ค จำนวน 25 ครั้ง ส่วนวิธี ข และ ง จำนวน 56 ครั้ง

6. ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่เป็นชั้นๆจำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร

7. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ กรณีที่มีหลุมบนหน้าให้เติมดินตัวอย่างและใช้ค้อนทุบให้แน่นพอสมควร แล้วนำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่าง และมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก

8. ในขณะที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่ในกระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดสอบหาร้อยละของปริมาณน้ำในดิน โดยมวลดินขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม ส่วนมวลดินขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม

9. คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density,ρ_t) และความแน่นแห้ง (Dry Density,ρ_d) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน (Moisture Content)

10. ดำเนินการตามข้อ 1-9 โดยเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลง จึงหยุดการทดสอบหรืออาจลดน้ำที่ผสมในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้

11. เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง และปริมาณน้ำในดินคิดเป็นร้อยละ ก็จะทราบความแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content) ดังตัวอย่างรูปที่ 12-25

รูปที่ 12-24 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง Compaction test
(ที่มา: http://www.denichsoiltest.com/Compaction-Test.html)

การคำนวณ

1. การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{(M1 - M2)}{M} \times 100$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M1 = มวลของดินเปียก (กรัม)

M2 = มวลของดินอบแห้ง (กรัม)

2. คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density,ρ_t)

$$\rho_t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก (กรัมต่อตารางมิลลิลิตร)

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ (กรัม)

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ (ลูกบาศก์มิลลิลิตร)

3. คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density,ρ_d)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1+\frac{w}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ค่าความแน่นแห้ง (กรัมต่อตารางมิลลิลิตร)

ρ_t = ความแน่นเปียก (กรัมต่อตารางมิลลิลิตร)

w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละเทียบกับมวลดินอบแห้ง (%)

ข้อควรระวัง

1. การประมาณปริมารน้ำที่ใช้ผสมสำหรับดินเหนียว (Cohesive Soil) ควรใช้ปริมาณต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้

2. สำหรับดินทราย (Cohesionless Soil) ควรเริ่มจากดินตากแห้งแล้วค่อยๆเพิ่มปริมารขึ้นทีละน้อย เพื่อให้ได้จำนวนจุดที่จะนำไปเขียน Curve มากที่สุด

3. ในการใช้ค้อนในการบดทับให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งและราบเรียบ เพื่อไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่าจำนวนน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดประมาณไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดสอบทางด้านเปียกกว่าจำนวนน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดประมาณ 1 ตัวอย่าง

4. สำหรับดินเหนียวมาก หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบดจนได้ตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้มากที่สุดที่จะมากได้

5. ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาณที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

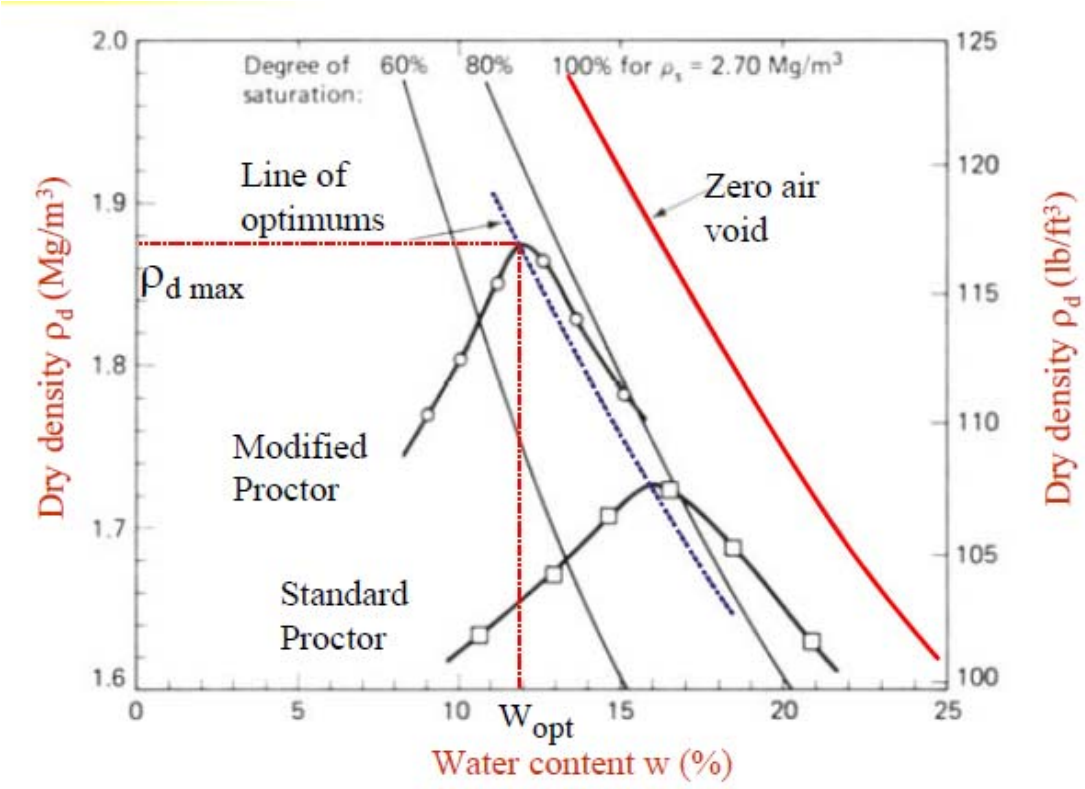
การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับดินในแบบ (mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

- วิธี ก แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 ม.ม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว)
- วิธี ข แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 ม.ม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว)
- วิธี ค แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.4 ม.ม. (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 ม.ม. (เบอร์ 4)
- วิธี ง แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 ม.ม. (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 ม.ม. (เบอร์ 4)

หมายเหตุ : ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี ก

สำหรับอุปกรณ์ทดสอบ วิธีการทดสอบและการคำนวณ ใช้วิธีการแบบเดียวกับการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 12-25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (ρ_d) และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ Standard Proctor และ Modified Proctor

(ที่มา : http://www.kkw.rmutr.ac.th/dream๘/pdf/lab_soil/Compaction%๒๐Test.pdf)

9) การทดสอบซีบีอาร์ (California Bearing Ratio : CBR)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหากำลังของดินบดอัดในค่าของซีบีอาร์ (CBR) สำหรับงานออกแบบชั้นดินในสนาม

2. ทดสอบตัวอย่างดินที่ค่าความชื้นที่เหมาะสม เพื่อหาค่าซีบีอาร์ที่ค่าความหนาแน่นต่างๆกัน จากประมาณ 95% ถึง 100% ของความหนาแน่นสูงสุดที่ได้จากการบดอัดมาตรฐานหรือแบบสูงกว่ามาตรฐาน

เครื่องมือทดลอง

1. แบบ (mold) สำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว พร้อมปลอก (collar) สูง 2.5 นิ้ว และแผ่นฐานเจาะรู (base plate) สำหรับยึด mold และ collar

2. แผ่นเหล็กรอง (spacer disc) สูง 2.5 นิ้ว

3. ค้อนบดอัด (compaction hammer) ขนาด 10 ปอนด์

4. แผ่นวัดการบวมตัว (swelling plate) พร้อมขายึดมีเกลียวปรับความสูงต่ำได้

5. สามขา (tripod) สำหรับยึดมาตรหน้าปัด เพื่อวัดอัตราการบวมตัวของดินเมื่อแช่น้ำ

6. มาตรหน้าปัด (dial gauge) ขนาด 1 นิ้ว อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว

7. น้ำหนักถ่วงทับ (surcharge weight) น้ำหนักแผ่นละ 5 ปอนด์

8. แท่งเหล็กกด แท่งเหล็กกลม มีพื้นที่หน้าตัด 3.0 ตารางนิ้ว

9. Loading device แบบ Hydraulic jack หรือ Screw jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ 10,000 ปอนด์

10. ถังน้ำแช่ดินพร้อม mold

11. ตะแกรงร่อนเบอร์ 4 และ ¾ นิ้ว

12. เครื่องชั่ง ถาดคลุกดิน Straight edge กระบอกตวงน้ำ

13. ตัวอย่างดินแปลงสภาพ

14. แบบบันทึกผล

การเตรียมตัวอย่าง

ดินตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทดสอบจะต้องปล่อยทิ้งให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (Air Dry) แบ่งดินออกเป็นกองตามวิธี Quartering แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว ให้ทิ้งไปและชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 นิ้ว ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน

การทดสอบ

หาจุด Optimum Moisture Content โดยวิธี Modified Proctor Method

1. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 12 ปอนด์ (6 กิโลกรัม) นำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (initial water content) ที่มีอยู่ในดินตัวอย่าง

2. เตรียม mold ไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนัก mold (เฉพาะ mold ไม่รวม base plate)

3. ประกอบ mold เข้ากับ base plate และแผ่นเหล็กรอง (ขนาด Ø 6”×2”) ใช้กระดาษกรอง Ø 6” ปูทับบนแผ่นเหล็กรอง เพื่อป้องกันไม่ให้ดินกำติดกับแผ่นเหล็ก

4. กระทุ้งดินอัดแน่นใน mold ตามวิธี compaction test ASTM D-1557 Optimum moisture content $\pm$ 2%

5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออก ใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินที่สูงพ้นขอบ mold ออกให้เรียบ ถ้าเป็นหลุมให้อุดปะด้วยดินเม็ดละเอียดให้เรียบ

6. ถอด base plate และแผ่นเหล็กรองออกนำ mold และดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อจะนำไปหา wet density

7. เอากระดาษกรองวางบน base plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็ก ประกอบ mold ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับ base plate โดยให้ปาก mold ด้านที่มีดินเสมอปากวางบน base plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้วอยู่ด้านบน

ขั้นต่อไปสำหรับ unsoaked sample ทำข้อ 8-11

8. วางแผ่นน้ำหนักอย่างน้อย 10 ปอนด์ ลงบนตัวอย่างดินใน mold

9. จัดวาง mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องกดทดลอง ซึ่งมีท่อนเหล็กกลมตันขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินใน mold แตะสัมผัสกับท่อนเหล็กกลมตันดังกล่าว จัดเข็มมาตรหน้าปัดที่จะใช้วัดค่ายุบตัวของดินให้อยู่ที่จุดศูนย์

10. เริ่มกดทดสอบ ในอัตรากด 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับค่ายุบตัว 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 และ 0.500 นิ้ว

11. เสร็จแล้วถอด mold ออกจากเครื่องกดทดลอง เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม (fine grained soil) หรือประมาณ 500 กรัม (Coarse grained soil) นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content)

สำหรับตัวอย่างดินที่มีการแช่น้ำ (soaked sample) ทำข้อ 12-18 เพิ่ม

12. วางแผ่นน้ำหนักอย่างน้อย 10 ปอนด์ ลงบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการบวมตัว สำหรับวัดการบวมตัวของดิน ซึ่งมีด้ามขันเกลียวขึ้นลงได้ ก่อนวางแผ่นเหล็กลงบนดินตัวอย่างจะต้องเอากระดาษกรองวางคั่นใต้แผ่นเสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว

13. แช่ mold ที่เตรียมไว้ในข้อ 12 ในภาชนะที่เตรียมไว้ให้น้ำท่วมดินตัวอย่างประมาณ 1 นิ้ว ใช้มาตรหน้าปัด อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับสามขาแล้ววางบนปาก mold จัดให้ปลายของมาตรหน้าปัดแตะสัมผัสกับก้านแผ่นวัดการบวมตัว เพื่อวัดหาค่าการบวมตัวของดินต่อไป

14. แช่ดินตัวอย่างไว้ประมาณ 4 วัน จดค่าการบวมตัวจากมาตรหน้าปัดทุกวันจนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการบวมตัวคงที่อ่านจะหยุดอ่านได้หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)

15. หลังจากแช่น้ำครบ 4 วันแล้ว ยก mold ออกจากน้ำและวางตะแคง เพื่อรินน้ำทิ้ง และปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก mold จนหมด

16. นำ mold พร้อมดินไปชั่งหาน้ำหนัก

17. ทำการทดลองตามวิธีข้อ 9-10

18. เก็บดินตัวอย่างจากดินที่มีการแช่น้ำ ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การคำนวณ

1. คำนวณค่าหน่วยแรงกดโดยสมการ

หน่วยแรงต้านทานการกด = R * K/3.0 ปอนด์/ตารางนิ้ว

เมื่อ R = ค่าอ่านมาตรหน้าปัด (Dial Gauge) วงแหวนวัดแรงขีด (0.0001 นิ้ว หรือ 0.002 มม.)

K = ค่าวงแหวนวัดแรง (ปอนด์ต่อขีด)

2. พล็อตค่าหน่วยแรงต้านทานการกด (แกนตั้ง) ต่อค่ายุบตัว (แกนนอน) เขียนโค้งเรียบต่อจุดค่าพล็อตถ้าโค้งไม่ผ่านจุดกำเนิด ปรับแก้ส่วนโค้งโดยต่อส่วนเส้นตรงให้ตัดแกนนอน และกำหนดจุดกำเนิดใหม่สำหรับโค้งนั้นๆอ่านค่าหน่วยแรงที่ค่ายุบตัว 0.1 นิ้ว และที่ 0.2 นิ้ว

3. คำนวณค่าซีบีอาร์ (CBR) ที่ค่ายุบตัว 0.1 นิ้ว และที่ 0.2 นิ้ว

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{หน่วยแรงต้านการกด(ที่ปรับแก้แล้ว)}}{\text{หน่วยแรงมาตรฐาน}} \times 100\%$$

ค่าซีบีอาร์ (CBR) ที่ 0.1 นิ้ว ควรจะมีค่ามากกว่าค่าซีบีอาร์ที่ 0.2 นิ้ว แต่ถ้าค่าซีบีอาร์ที่ 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่าซีบีอาร์ที่ 0.1 นิ้ว ต้องทำการทดสอบตัวอย่างใหม่ และถ้าการทดสอบใหม่ได้ค่าซีบีอาร์ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าค่าซีบีอาร์ที่ 0.1 นิ้ว ก็ใช้ค่าสูงเป็นค่าซีบีอาร์

4. คำนวณค่าบวมตัว

$$\text{ค่าบวมตัว} = \frac{\text{ค่าบวมตัวระหว่างแช่น้ำ}}{\text{ความสูงตัวอย่าง}} \times 100\%$$

(ถ้ามีค่าอ่านค่าบวมตัวตามเวลา ควรพล็อตค่าบวมตัวต่อเวลาด้วย)

5. คำนวณค่าความหนาแน่นแห้ง และค่าความชื้นของแต่ละตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบบดอัด

6. คำนวณค่าซึมซับได้ (Absorption)

ค่าซึมซับได้ = (Wa/Ws) × 100 %

= (Wa×(100+w))/W %

เมื่อ Wa = น้ำหนัก น้ำซึมซับ (กรัม)

W = น้ำหนักดินชื้น (กรัม)

W = ความชื้น (%)

ผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของตัวอย่างดิน/หินในห้องปฏิบัติการ ดังที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปผลได้จากการทดสอบและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับงานวิศวกรรมดังตารางที่ 12.10

ตารางที่ 12.10 สรุปผลได้จากการทดสอบและการนำไปใช้ประโยชน์

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Seive Analysis	ASTM D422 และ AASHTO T88	การกระจายขนาดของดินเม็ดหยาบ	Filter design
2. Liquid Limit	ASTM D423-66	Plasticity และ A-line Chert	Soil Classification เขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรม
3. Plastic Limit	ASTM D424-59		
4. Permeability	Earth Manual E-13	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ (k)	- Filter design - Seepage Analysis
5. Direct Shear Test	ASTM D3080-72	ความแข็งแรงของมวลดินโดยประมาณ (c,Ø)	วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อนในการออกแบบเบื้องต้น
6. Unconfined Compression Test	ASTM D2166 และ AASHTO T208	แรงอัดตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพ	ใช้ในการออกแบบงานวิศวกรรมฐานราก และยังเป็นตัวกำหนดสถานะภาพ (consistency) ของดินเหนียว
7. Triaxial Compression (UU-test)	Earth Manual E-17	ความแข็งแรงของมวลดินรวมความดันน้ำ	วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อนในระหว่างก่อสร้าง
8. Triaxial Compression (CU-test)	Earth Manual E-17	ความแข็งแรงของมวลดินแยกจากความดันน้ำ	วิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อนในระหว่างใช้งาน
9. Consolidation	ASTM D2435-B0	C_c,C_v % compression	วิเคราะห์การทรุดตัวของเขื่อน
10. compaction	ASTM D698-75 ASDM D1557-78	Compaction Curve (ρ_{dmax} , W_{opt})	- การควบคุมคุณภาพในสนาม - การกำหนดความแน่นในการทดสอบทางวิศวกรรมอื่นๆ
11. CBR	ASTM 1883-99	กำลังของดินบดอัด	การกำหนดความแน่นในการทดสอบทางวิศวกรรมอื่นๆ

12.9 อุปกรณ์การสำรวจชั้นดิน ชั้นหิน

การสำรวจชั้นดิน ชั้นหินมีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการสำรวจ และสภาพของพื้นที่โครงการ โดยการสำรวจชั้นดิน ชั้นหิน ที่นิยมสำรวจในงานวิศวกรรมธรณีเพื่อการออกแบบ พัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำมีดังนี้

1) การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดิน โดยการตอกทดสอบมาตรฐาน (Standard Penetration Test : SPT)

ชุดอุปกรณ์การตอกทดสอบมาตรฐาน SPT

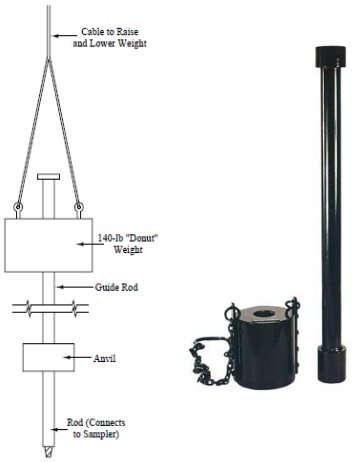
1.ตุ้มน้ำหนักแบบโดนัท น้ำหนัก 63.5 กก ±1 กก.

2. ท่อนำ (Guide Rod)

3. แป้นรองรับแรงกระแทก (Anvil)

4. กระบอกผาเก็บตัวอย่าง (Split Spoon Sampler)

• ก้านเจาะ • เชือกมนิลา • เครื่องกว้าน



รูปที่ 12-26 ชุดอุปกรณ์การตอกทดสอบมาตรฐาน SPT **(ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2559)**

2) การทดสอบหากำลังแบกทานของดินในสนามแบบหยั่งเบา (Kunzelsteb Penetration Test)

ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Kunzelsteb Penetration Test)

1. ตุ้มน้ำหนัก
2. ท่อนเหล็ก
3. กรวยเหล็ก
4. ทั่งเหล็ก
5. ชุดถอนก้าน

ตุ้มตอกน้ำหนัก ๑๐ กก. (Pile Hammer)

ท่อนเหล็ก ขนาด Φ ๒๐ มม. (Rod)

กรวยเหล็ก ขนาด Φ ๒๕.๒ มม. (Cone)

ทั่งเหล็ก (Anvil)

ชุดถอนก้าน

รูปที่ 12-27 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Kunzelsteb Penetration Test) ที่มา: EGAT 1980

3) การทดสอบการรั่วซึมของชั้นดินในหลุมเจาะโดยวิธี Gravity Test แบบ Constant Head

ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Gravity Test แบบ Constant Head)

1. เครื่องเจาะสว่านแบบมือหมุน (Hand Auger)
2. ท่อกันพัง (Casing)
3. อุปกรณ์ตวงน้ำ
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ตลับเมตร

4) การเจาะเก็บตัวอย่างดินด้วยสว่านแบบมือหมุน (Hand Auger)

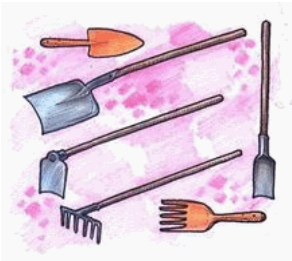
ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Hand Auger)

1. เครื่องเจาะสว่านแบบมือหมุน (Hand Auger)
2. จอบ
3. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน
4. ร่มสนาม
5. ค้อน

รูปที่ 12-28 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Hand Auger)
ที่มา : http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch01/ch013_theory.htm

5) การขุดบ่อสำรวจ (Test Pit)

ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Pit)



1. เครื่องมือขุดดินด้วยแรงคน ได้แก่ อีเตอร์ จอบ พลั่ว เสียม และบุ้งกี๋

2. กล่องเก็บตัวอย่างดินคงสภาพแบบบล็อก (Block Sample) พร้อมวัสดุอุปกรณ์ในการเก็บ รักษาตัวอย่างดิน ประกอบด้วย เทียนไข หม้อต้ม เตา และถุงพลาสติก

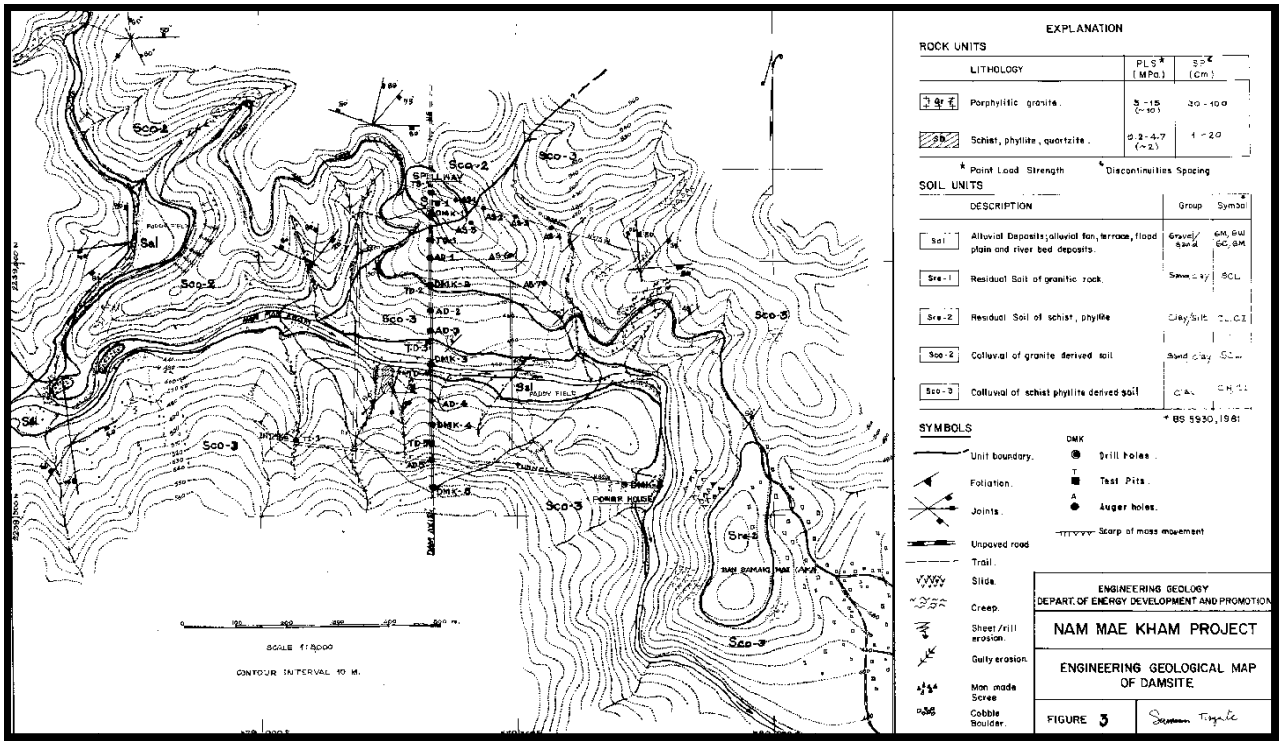
3. รถขุดดินขนาดเล็ก หรือ เจซีบี (JCB)

4. กระสอบหรือถุงปุ๋ยสำหรับเก็บรักษาตัวอย่างดินมวลรวม (ดินเปลี่ยนสภาพ)

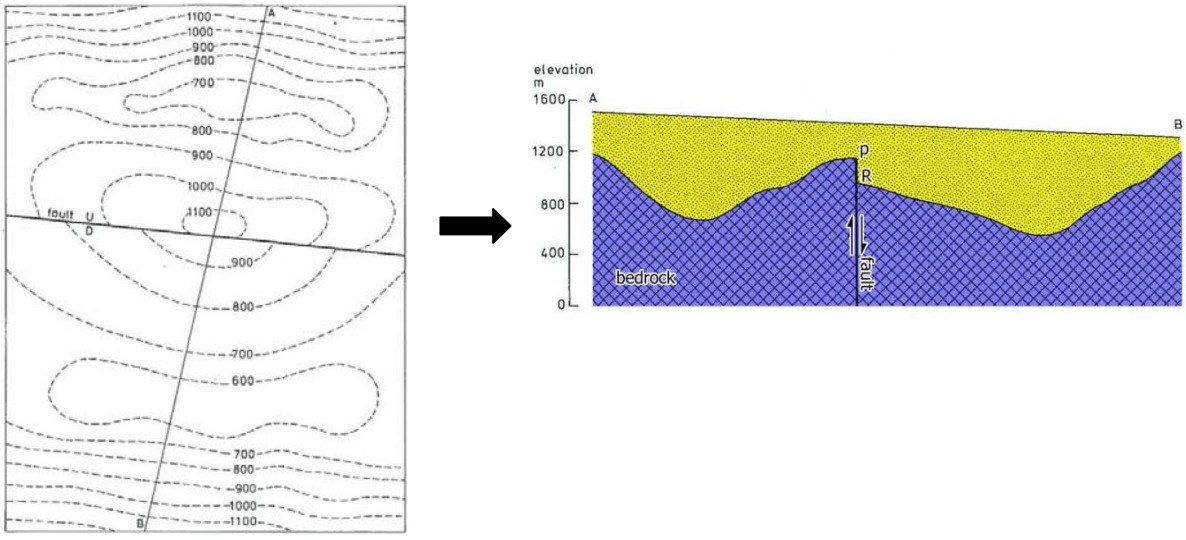
รูปที่ 12-29 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ (Test Pit) ที่มา: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

12.10 ผลการทดสอบสำหรับงานแต่ละประเภท

1) การสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่วิศวกรรมธรณีวิทยา จะได้แผนที่วิศวกรรมธรณีวิทยาและภาพตัดขวางด้านวิศวกรรมธรณีวิทยา เพื่อนำไปใช้ในการประเมินสภาพธรณีวิทยาในการวางแผน การเลือกตำแหน่งที่ตั้งและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด



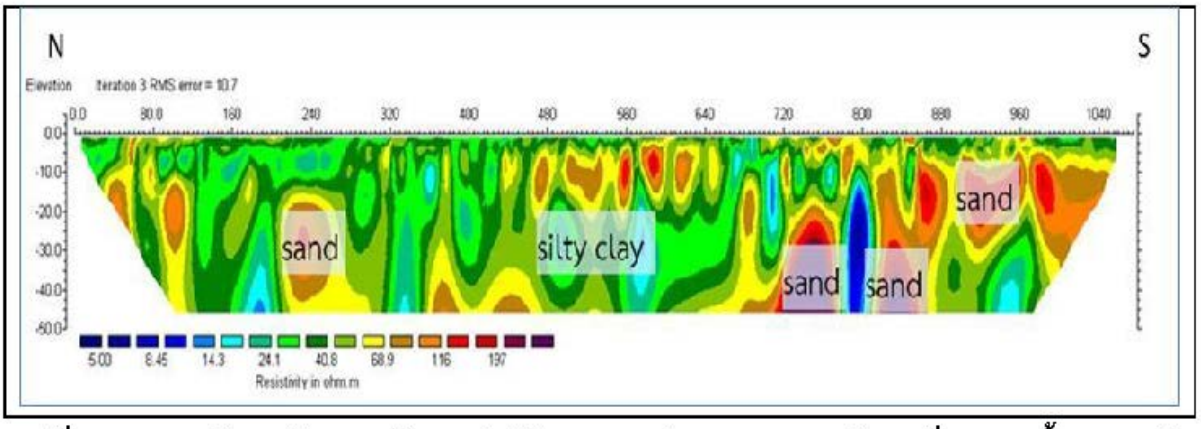
รูปที่ 12-30 ตัวอย่างแผนที่วิศวกรรมธรณีวิทยา และคำอธิบายสัญลักษณ์



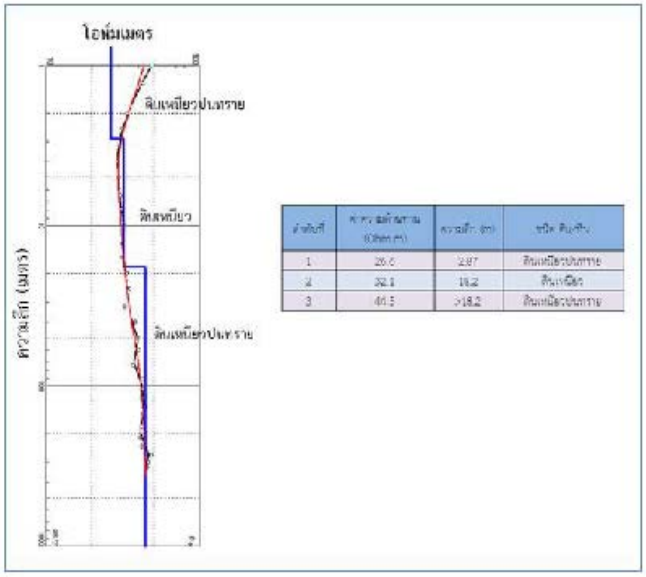
รูปที่ 12-31 ตัวอย่างภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา

(ที่มา : http://www.water1993.com/topic.php?topic_id=253)

2) การสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Electrical ResistivityMethod) ผลที่ได้จากการสำรวจคือ ค่าความหนาและความต้านทานไฟฟ้าของวัตถุใต้ผิวดินในแต่ละจุดสำรวจ และแผนที่แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าในพื้นที่สำรวจ และภาพตัดขวาง Geo-electric Section ทั้งในรูปแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ

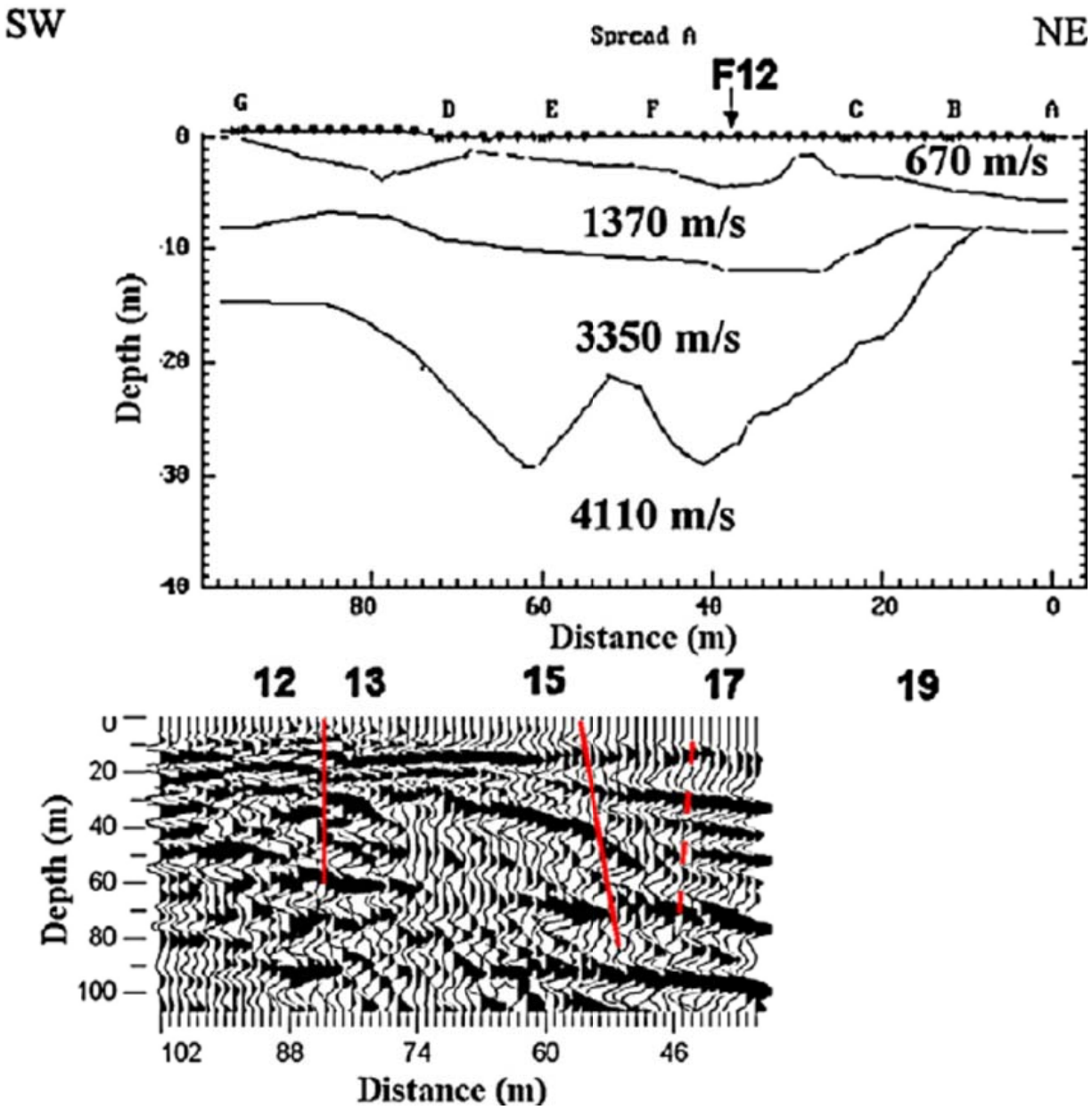


รูปที่ 7-3 ผลการสำรวจวัดสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบภาพตัดขวางของแนวสำรวจที่ 1 แสดงชั้นตะกอนมีความหนามากกว่า 50 เมตร



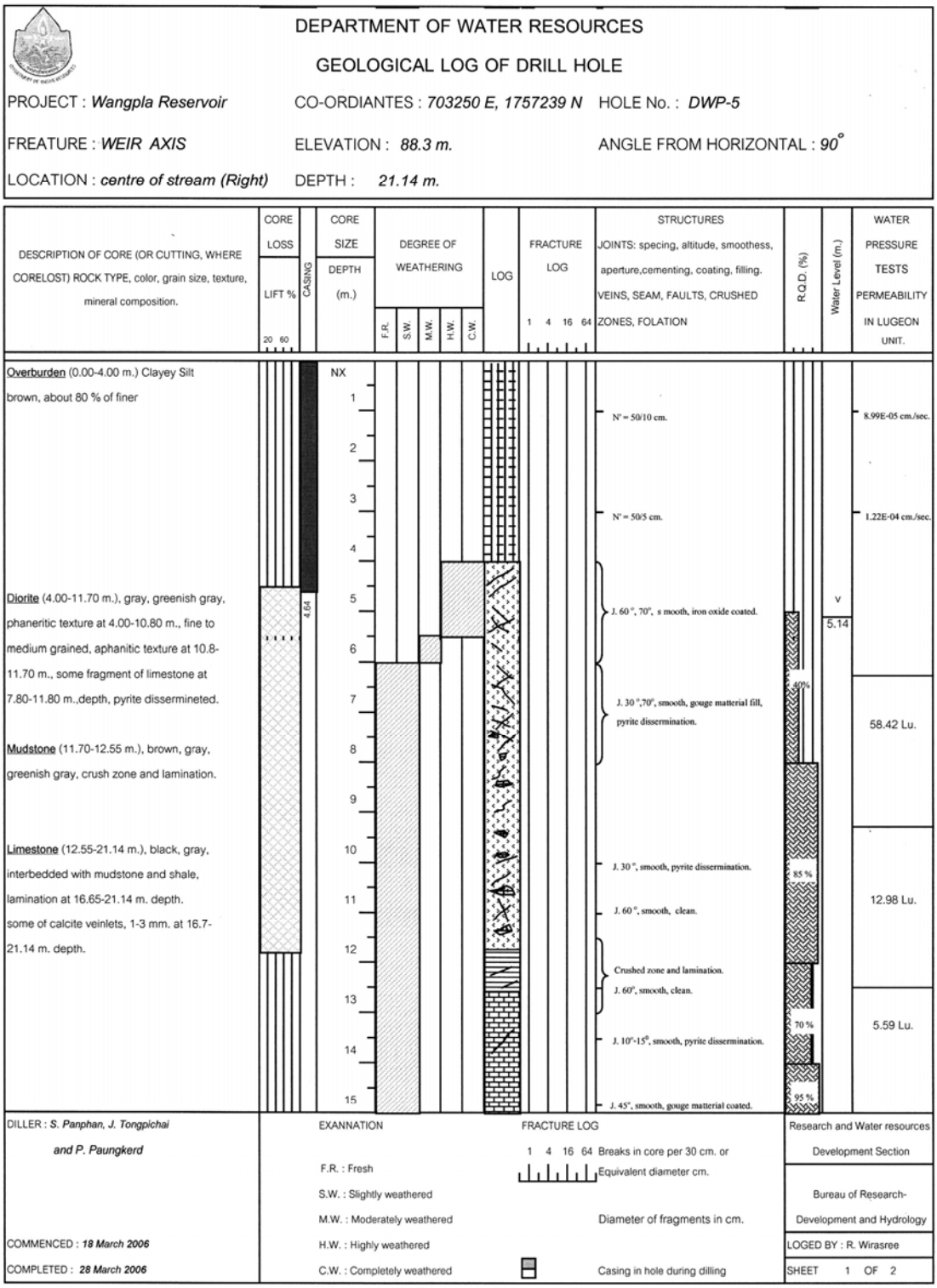
รูปที่ 12-32 ตัวอย่างผลการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Electrical ResistivityMethod)
ที่มา www.dmr.go.th/download/article/article_20140917102740.pdf

3) การสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยวิธีวัดความเร็วคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (Seismic Refraction Method) ผลที่ได้จากการสำรวจคือ ความลึกโดยประมาณของชั้นดินหรือหิน และยังสามารถใช้บ่งบอกชนิดของวัสดุอย่างกว้างๆได้



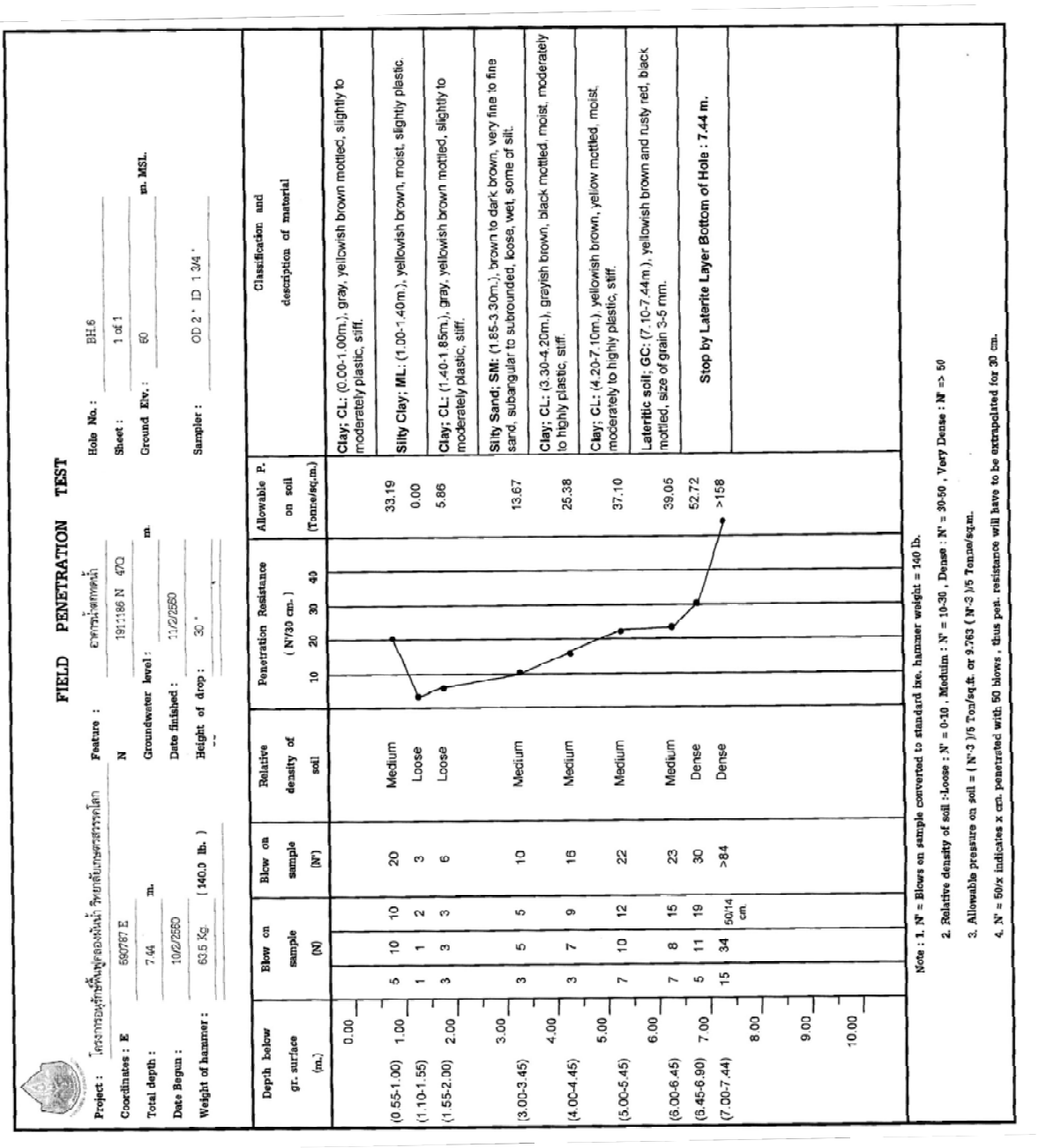
รูปที่ 12-33 ตัวอย่างผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยวิธีวัดความเร็วคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (ที่มา :https://www.researchgate.net/figure/222827559_fig10_Fig-14-Top-Seismic-refraction-interpretation-of-Line-4-Average-P-wave-velocities-for)

4) ผลการเจาะเก็บตัวอย่างหิน (core drilling) ผลที่ได้จากการสำรวจคือ ทราบชนิดหินและโครงสร้าง (Rock Type and Structure) ความแข็งและอัตราผุกร่อน (Hardness and Degree of Weathering) คุณภาพของหิน (Rock Quality Designation, R.Q.D) เปอร์เซ็นต์แท่งหิน (Core Recovery) ค่าความรั่วซึม (Permeability) และระดับน้ำในหลุมเจาะ



รูปที่ 12-34 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการเจาะเก็บตัวอย่างหิน (core drilling)

5) การทดสอบหาการรับน้ำหนักของดินโดยวิธี Standard Penetration Test (SPT) ผลที่ได้จากการสำรวจคือ ค่า Blow Count (N) ซึ่งทำให้ทราบค่า Unconfine Compression Strength โดยประมาณของดินจำพวก Cohesive soil หรือค่ามุมเสียดทานภายใน (Angle of internal friction) ของดินจำพวก Granular Soil (ทราย กรวด หรือหินบด) เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาการรับน้ำหนักของชั้นดินต่อไป



FIELD PENETRATION TEST

Project : โครงการอนุรักษ์ดินและน้ำ วิทยาลัยเกษตรและสารวรรณโลก Feature : อาคารน้ำตกพระน้ำ Hole No. : BH.6

Coordinates : E 660787 E N 1911186 N 47Q Sheet : 1 of 1

Total depth : 7.44 m. Groundwater level : m. Ground Elv. : 60 m. MSL.

Date Begun : 10/6/2560 Date finished : 11/6/2560

Weight of hammer : 63.5 Kg. (140.0 lb.) Height of drop : 30 " Sampler : OD 2 " ID 1 3/4 "

Depth below gr. surface (m.)	Blow on sample (N)	Blow on sample (N')	Relative density of soil	Penetration Resistance (N'/30 cm.) 10 20 30 40	Allowable P. on soil (Tonne/sq.m.)	Classification and description of material
0.00						
(0.55-1.00) 1.00	5 10 10	20	Medium		33.19	**Clay; CL:** (0.00-1.00m.), gray, yellowish brown mottled, slightly to moderately plastic, stiff.
(1.10-1.55)	1 1 2	3	Loose		0.00	**Silty Clay; ML:** (1.00-1.40m.), yellowish brown, moist, slightly plastic.
(1.55-2.00) 2.00	3 3 3	6	Loose		5.86	**Clay; CL:** (1.40-1.85m.), gray, yellowish brown mottled, slightly to moderately plastic, stiff.
3.00						
(3.00-3.45)	3 5 5	10	Medium		13.67	**Silty Sand; SM:** (1.85-3.30m.), brown to dark brown, very fine to fine sand, subangular to subrounded, loose, wet, some of silt.
4.00						
(4.00-4.45)	3 7 9	16	Medium		25.38	**Clay; CL:** (3.30-4.20m.), greyish brown, black mottled, moist, moderately to highly plastic, stiff.
5.00						
(5.00-5.45)	7 10 12	22	Medium		37.10	**Clay; CL:** (4.20-7.10m.), yellowish brown, yellow mottled, moist, moderately to highly plastic, stiff.
6.00						
(6.00-6.45)	7 8 15	23	Medium		39.05	**Lateritic soil; GC:** (7.10-7.44m.), yellowish brown and rusty red, black mottled, size of grain 3-5 mm.
(6.45-6.90) 7.00	5 11 19	30	Dense		52.72	**Stop by Laterite Layer Bottom of Hole : 7.44 m.**
(7.00-7.44)	15 34 50/14 cm	>84	Dense		>158	
8.00						
9.00						
10.00						

Note : 1. N' = Blows on sample converted to standard ive. hammer weight = 140 lb.

2. Relative density of soil :-Loose : N' = 0-10 , Medium : N' = 10-30 , Dense : N' = 30-50 , Very Dense : N' => 50

3. Allowable pressure on soil = (N'-3)/6 Ton/sq.ft. or 9.763 (N'-3)/6 Tonne/sq.m.

4. N' = 50/x indicates x cm. penetrated with 50 blows , thus pen. resistance will have to be extrapolated for 30 cm.

รูปที่ 12-35 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการทดสอบหาการรับน้ำหนักของดินโดยวิธี Standard Penetration Test (SPT)

6) การทดสอบความรั่วซึม (Permeability Test) ผลที่ได้จากการสำรวจคือ ค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดินโดยการวัดปริมาณน้ำที่รั่วหายไปช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ วัดช่วงของความลึกที่ทำการทดสอบ และอ่านค่าความดันที่ใช้ แล้วนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหินได้

DEPARTMENT OF WATER RESOURCES

FIELD PENETRATION AND GRAVITY TEST

Project : KHLONGPHU WEIR PROJECT *Co-Ordinate (UTM). :* 1796989 E, 1433227 N *Hole No. :* BKP-2

Method of Drilling : BORING & SPT *Sampler :* OD 2" ID 1 3/8 "

Weight of hammer : 63.50 kg. (140 lb.) *Total depth :* 5.45 m. *Date :* 1 July 2006

DEPTH (m.)	WATER LEVEL (m.)	CLASSIFICATION SYMBOL GRAPHIC	CLASSIFICATION SYMBOL LETTER	CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL	BLOWS ON SAMPLER (N)	Permeabilty (k) (cm./sec.)
1			OL	**Top Soil** : (0.00-0.20 m.) , silty clay, dark brown, low plasticity, silty, some of roots.		
2			CL	**Silty Clay** : (0.20-3.80 m.), brown, low plasticity, silty, some of very fine sand.	5	< 1.0E-07
3					9	< 1.0E-07
4					14	8.32E-05
5			SM	**Silty Sand** : (3.80-5.20 m.), brown to gray, very fine to medium sand, subangular to subrounded, silty, some of clay.	10	3.84E-04
6			SP	**Gravelly Sand** : (5.20-5.45 m.), gray, fine to coase sand, subangular to subrounded, composed of quartz, 0.3-3.0 cm. of gravel size, trace of clay.	11	> 3.84E-04
7				**Stop by hole collapsed in Gravelly Sand Layer.**		
8				**Bottom of Hole : 5.45 m.**		

Remark : Right Abutment

Research and Water Resources Development Section

Bureau of Research-Development and Hydrology

Driller : P. PUANGKERD *Logged By* : R. WIRASREE

รูปที่ 12-36 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มการทดสอบความรั่วซึม (Permeability Test)

7) การเจาะด้วยสว่านมือ (Hand auger) และการขุดบ่อทดสอบ (Test pit) ผลที่ได้จากการสำรวจคือทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับชนิดดิน ความหนาและการกระจายตัวของชั้นดิน ตลอดจนเพื่อเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมี วิศวกรรม และทางด้านปฐพีวิทยา เหมาะสำหรับเพื่อตรวจสอบชั้นดินที่รองรับตัวของฝายกั้นน้ำ แนวท่อหรือคลองส่งน้ำ งานสำรวจแหล่งดินถม ฯลฯ

DEPARTMENT OF WATER RESOURCES

GEOLOGIC LOG OF TEST PIT OR AUGER HOLE

Project โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูหนองระกำใน Feature ริมหนองระกำใน Hole No. HA-01

UTM: X 633112 Y 1792491 Location : บ้านบางลาย หมู่ที่ 2 ต.บางลาย อ.บึงนาราง จ.พิจิตร Date : 15/2/2560

Method of Excavation Hand Auger Diamension of Hole 4" Hole Logged By T. Kuruwut

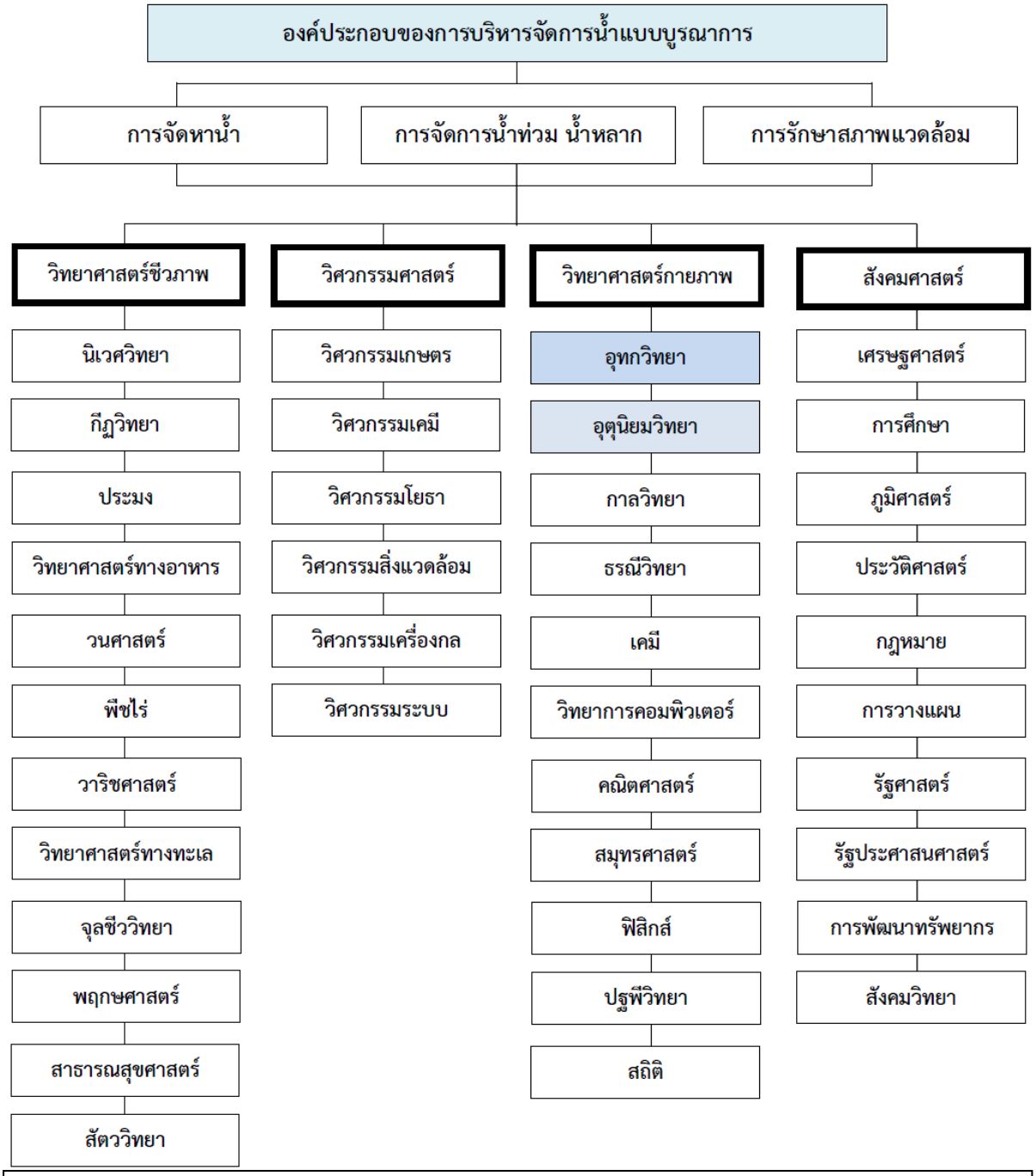
CLASSIFICATION SYMBOL LETTER	CLASSIFICATION SYMBOL GRAPHIC	DEPTH (METER)	SIZE & TYPE OF SAMPLE	CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL
SC		0.5 1.0		Sandy Clay (0-1.3 m.) ; brown, reddish brown mottled, moderately plastic, moist, soft to stiff, very fine sand and manganese oxide.
CL		1.5 2.0		Clay(1.3-2.0 m.) ; grayish brown, reddish brown mottled, moderately plastic, firm to stiff, some manganese oxide.
CL				Clay(2.0-2.3 m.) ; greenish gray, reddish brown mottled, moderately plastic, firm to stiff, some iron oxide concretions size of grain 1-3 mm.
CL		2.5		Clay(2.0-2.3 m.) ; yellowish brown, black mottled, highly plastic, moist, stiff, some iron oxide concretions size of grain 1-3 mm.
CL		3.0 3.5 4.0		Clay(3.0-4.1 m.) ; yellowish gray, yellowish brown mottled, highly plastic, moist, stiff. sorted, slightly plasticity, moist.
CL				Clay(4.1-4.5 m.) ; gray, yellowish brown mottled, highly plastic, moist, stiff.
CL		4.5		Clay(4.5-4.7 m.) ; yellowish gray, yellowish brown mottled, highly plastic, moist, stiff, some iron oxide concretions size of grain 1-3 mm.
CL		5.0		Clay(4.7-5.4 m.) ; gray, yellowish brown mottled, highly plastic, moist, stiff.
CL		5.5		Clay(5.4-5.7 m.) ; gray, gray mottled, highly plastic, moist, stiff, some iron oxide concretions size of grain 1-3 mm.
CL				Clay(5.7-6.0 m.) ; yellowish gray, gray mottled, moderately to highly plastic, moist, stiff, some iron oxide concretions size of grain 1-3 mm.
		6.0 6.5		Bottom of hole at 6.00 m.

Remark :

รูปที่ 12-37 ตัวอย่างผลการเจาะด้วยสว่านมือ (Hand auger)

บทนำ

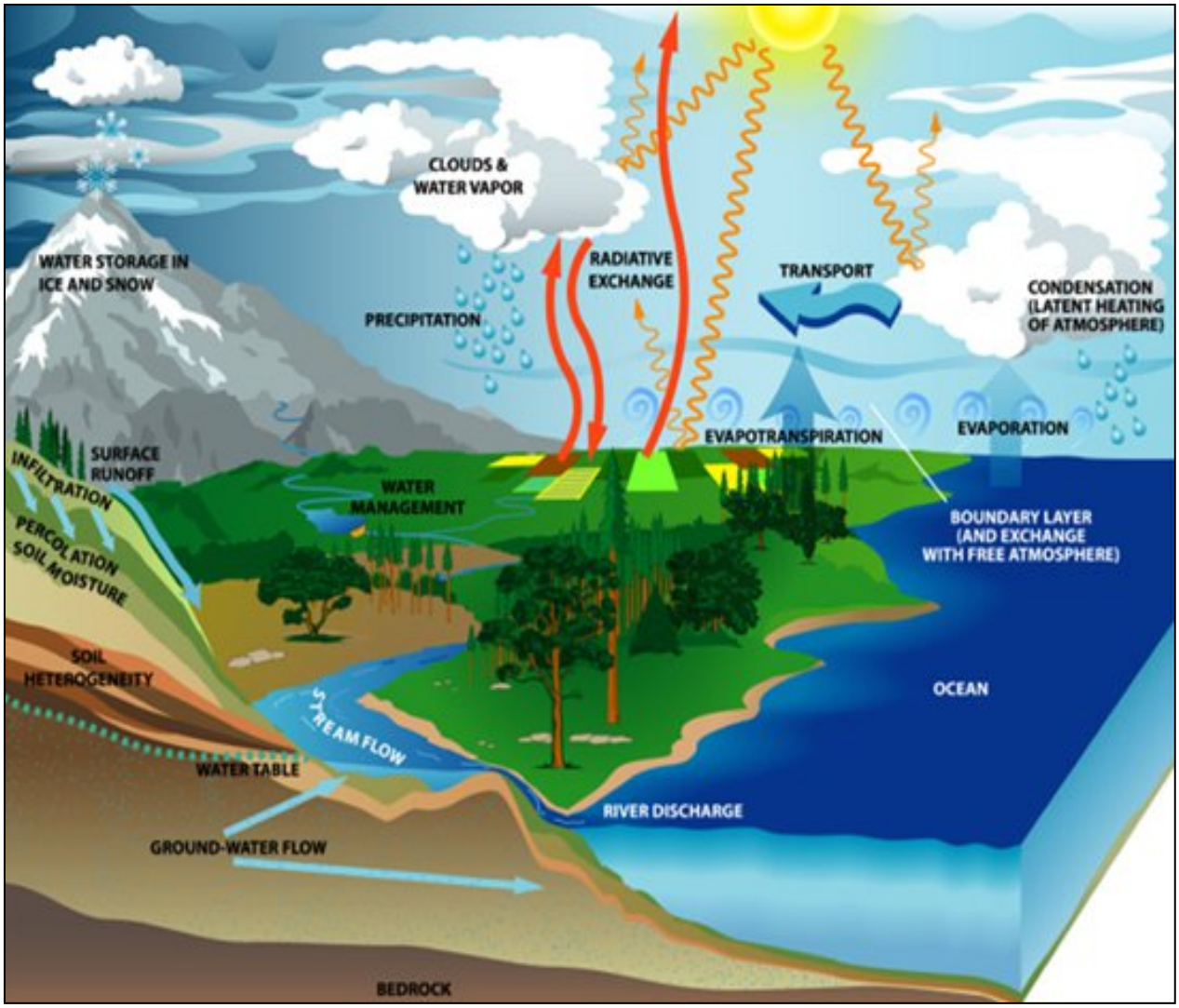
การบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำ เป็นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดเป็นประโยชน์สูงสุด ในปริมาณที่เหมาะสม เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำ สอดคล้องกับสถานที่และตรงกับเวลาที่ต้องการ โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อวัฏจักรสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศน์อื่นๆ ผ่านขบวนการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำที่คำนึงถึงศักยภาพของทรัพยากรน้ำในแหล่งน้ำ โดยผสมผสานศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในลักษณะสหวิทยาการ



อ้างอิง; กัมปนาท ภักดิกุล (2558), ตำราการบริหารจัดการน้ำ.นครปฐม.คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์.มหิดล

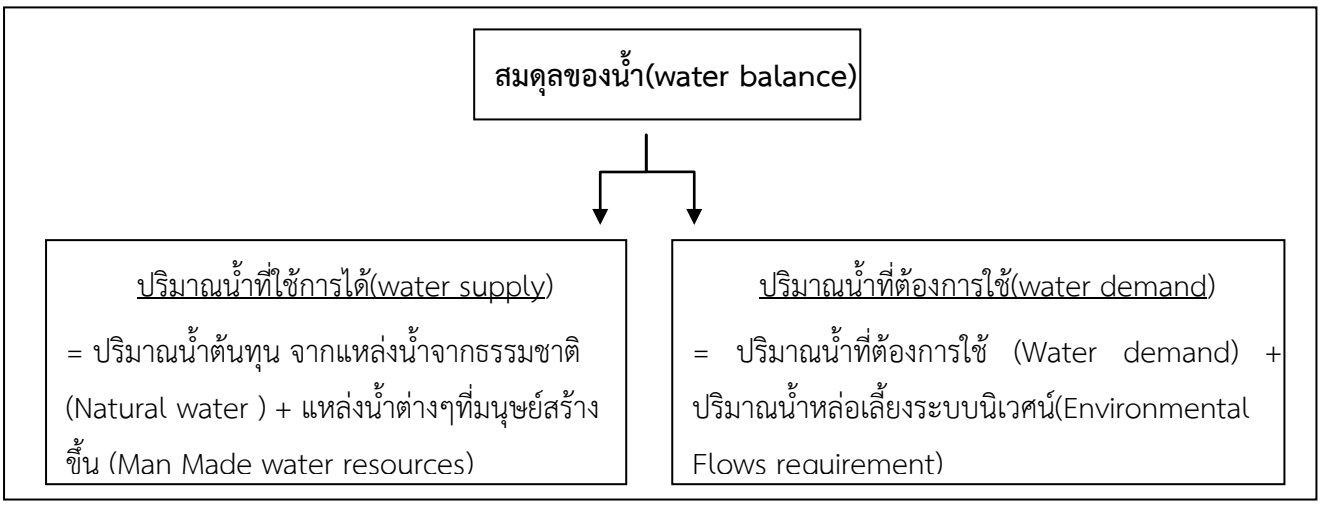
1. การศึกษาศักยภาพของทรัพยากรน้ำเพื่อการออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

การศึกษาศักยภาพของทรัพยากรน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุน (water supply) ได้แก่ น้ำฝน (precipitation) น้ำท่า(runoff) และ น้ำในชีวาลัยหรือวัฏจักรน้ำ(hydrologic Cycle) และส่วนที่ 2 การศึกษาปริมาณน้ำใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของระบบนิเวศน์ (water demand) ประกอบด้วย น้ำใช้ภาคการเกษตร(agricultural needs) น้ำใช้ภาคอุตสาหกรรม(industrial needs) น้ำใช้เพื่อการอุปโภค บริโภค (domestics) การคมนาคม น้ำใช้เพื่อการผลักดันน้ำเค็มตามฤดูกาลและน้ำหล่อเลี้ยงระบบนิเวศน์(environment flows requirement) เพื่อทราบสมดุลของน้ำในแต่ละลุ่มน้ำ

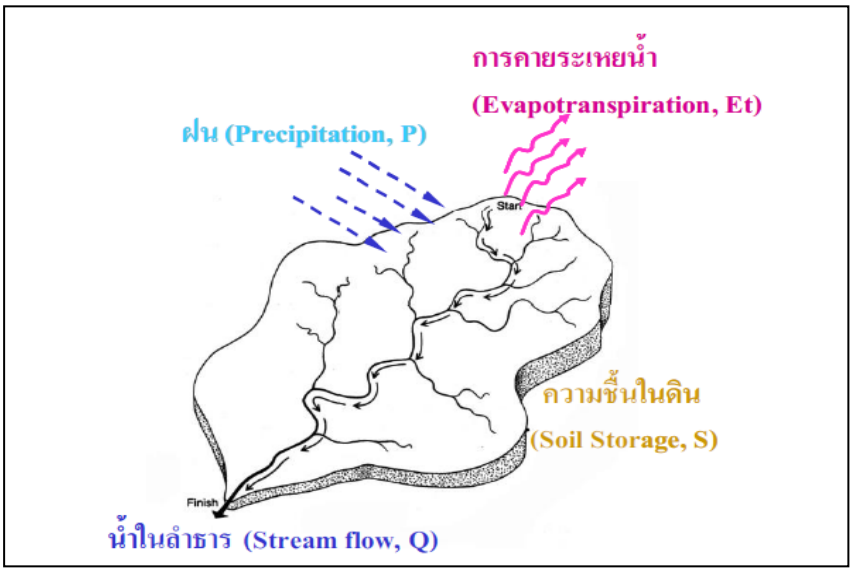


รูปที่ 1 น้ำต้นทุนและน้ำในวัฏจักรน้ำ (hydrologic Cycle)

Source: http://www.aquapure.com/your-water/hydrological-cycle



การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุน (water supply) ใช้หลักการที่ว่า ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในระบบหรือวัฏจักรน้ำจะมีค่าคงที่ ไม่มีการสูญหาย แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ หรือเคลื่อนที่เข้า-ออกจากระบบตามธรรมชาติ การผันแปรเปลี่ยนรูปของน้ำเป็นระบบที่ใหญ่มาก ในทางปฏิบัติจึงมักทำการสำรวจ ศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาอื่นๆเป็นระบบลุ่มน้ำ (ดังรูปที่ 2) โดยศึกษาข้อมูลอุทกวิทยาหลักในลุ่มน้ำอย่างน้อย 4 ชนิดคือ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำในแม่น้ำ ลำธาร แหล่งเก็บกักน้ำในธรรมชาติ ปริมาณการคายระเหย และปริมาณน้ำใต้ดินที่วัดจากผิวดินจนถึงดินชั้นล่างที่น้ำซึมไม่ได้ ส่วนการหาปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ (Water demand) คำนวณจากการใช้น้ำทุกประเภทและการแปรรูปของน้ำในธรรมชาติ เช่น น้ำหล่อเลี้ยงระบบนิเวศน์ด้วย



รูปที่ 2 การศึกษาปริมาณน้ำต้นทุน (water supply) เป็นลุ่มน้ำ

2. การสำรวจข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาและแหล่งข้อมูล

2.1 ความหมายของอุทก-อุตุนิยมวิทยา

น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอยู่ในเกือบทุกทรัพยากรธรรมชาติ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำที่สมบูรณ์จึงต้องเชื่อมโยงถึงทรัพยากรน้ำอื่นที่มีน้ำเป็นส่วนสัมพันธ์ด้วย วิชาที่ว่าด้วยทรัพยากรน้ำมีอยู่หลากหลาย อุทกวิทยาและอุตุนิยมวิทยาเป็นวิทยาศาสตร์อีกชุดหนึ่งที่ว่าด้วยน้ำบนดินและน้ำบนฟ้า

ความหมายของ อุทกวิทยา(Hydrology) คือวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งซึ่งกล่าวถึงกำเนิดของน้ำบนดิน การผันแปร การเคลื่อนที่ของน้ำ การหมุนเวียนและการกระจายของน้ำบนแผ่นดิน น้ำใต้ดิน(groundwater) และยังเกี่ยวเนื่องกับชายฝั่งทะเล(coastal zone) น้ำขึ้น น้ำลง(tidal effect) รวมถึงคุณสมบัติของน้ำทั้งทางเคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ อุทกวิทยา

“อุทกวิทยายังครอบคลุม เกี่ยวข้องน้ำกับสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศและน้ำฟ้าเรียก อุตุนิยมวิทยา(meteorological) วิชาที่เกี่ยวข้องกับน้ำในทะเลเรียกสมุทรศาสตร์(oceanography) เกี่ยวข้องกับนิเวศวิทยา ป่าไม้เรียก การจัดการลุ่มน้ำ(watershed management) การไหลของน้ำเรียก ชลศาสตร์ (Hydraulics) ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการนำน้ำไปใช้ในกิจกรรมเพาะปลูกพืชและการเกษตรเรียก การชลประทาน (Irrigation)ซึ่งสำหรับนักสหวิทยาการแล้ว ล้วนมีความสำคัญที่ต้องศึกษาให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ทั้งสิ้น”(วีระพล แต้สมบัติ,2528)

2.2 ประวัติการดำเนินการด้านอุทกวิทยาในประเทศไทยเท่าที่เก็บประวัติได้ ดังนี้

- สมัยรัชกาลที่ 3 จึงได้ทรงรับสั่งให้ตั้งเสาวัดระดับน้ำขึ้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเมื่อปี พ.ศ. 2374 ตรงกับ ค.ศ. 1831 งานตรวจวัดระดับน้ำของลำน้ำสายสำคัญอื่นๆ เท่าที่มีสถิติอยู่จนถึงปัจจุบัน ตรวจ สอบได้ปรากฏว่า ได้เริ่มสำรวจระดับน้ำของแม่น้ำต่างๆ ตั้งแต่เริ่มคริสต์ศตวรรษที่ 20 เช่น ได้สำรวจระดับน้ำของแม่น้ำวังที่จังหวัดลำปาง
- ค.ศ. 1901 แม่น้ำเจ้าพระยาที่วัดท่าหาด
- ค.ศ. 1905 ซึ่งได้ทำการตรวจวัดปริมาณน้ำโดยวิธีลอยทุ่น ณ สถานีนี้ด้วยระยะหนึ่ง แม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดนครสวรรค์ เมื่อ ค.ศ. 1914 แม่น้ำป่าสักที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- ค.ศ. 1914 แม่น้ำปิง ที่จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อ ค.ศ. 1917 แม่น้ำน่าน ที่จังหวัดน่าน
- ค.ศ. 1922 แม่น้ำบางปะกง ที่จังหวัดปราจีนบุรี
- ค.ศ. 1926 แม่น้ำยม ที่จังหวัดแพร่ เมื่อ ค.ศ. 1930 แม่น้ำชี ที่อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม
- ค.ศ. 1936 แม่น้ำโขง ที่จังหวัดหนองคาย เมื่อ ค.ศ. 1937 และหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 แล้ว ก็ได้เริ่มงานในภาคใต้ มีแม่น้ำตาปี ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี เมื่อ ค.ศ. 1950 และแม่น้ำมูลที่อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ ค.ศ. 1951

กรมทรัพยากรน้ำ (โดยฝ่ายอุทกวิทยาของสำนักงานการพลังงานแห่งชาติ ปัจจุบันคือกรมพัฒนาธรกิจพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน) ทำการสำรวจข้อมูลอุทกวิทยา ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2505(ค.ศ. 1962) จนถึงปัจจุบัน เป็นผู้ทำการสำรวจ รวบรวม วิเคราะห์ และเผยแพร่ ให้บริการ ในรูปของสถิติอุทกวิทยาประจำปี ข้อมูลชุดแรกที่ทำการสำรวจครั้งนั้น คือ แม่น้ำโขงตั้งแต่เชียงแสน ถึงมุกดาหาร 7 สถานี

ช่วงเวลาของการจัดเก็บข้อมูลอุทกวิทยาจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของข้อมูล ความต่อเนื่องของข้อมูลยิ่งยาวนาน ยิ่งดี โดยทั่วไปข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาที่จะนำไปใช้ในการออกแบบในโครงการต้องมีระยะเวลาของการสำรวจ จัดเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อย 30 ปีขึ้นไป จึงจะมีความน่าเชื่อถือสามารถคาดการณ์ ทำนาย(forecasting) และสรุป สภาพและความเป็นไปของน้ำในพื้นที่เป้าหมายได้แม่นยำ นอกจากนี้ความถูกต้องในขบวนการจัดเก็บ สำรวจข้อมูลก็เป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ และแปลผล (Interpretation)ที่ถูกต้องและนำสู่การออกแบบโครงการที่ดี เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ คุ้มค่า

3. การสำรวจข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้ 2 ประเภทคือ `

3.1 การสำรวจข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาเพื่อใช้ในการบริหารจัดการและแก้ไขปัญหาน้ำ

เป็นการสำรวจข้อมูลช่วงเวลายาวนาน ต่อเนื่องและมีข้อมูลย้อนหลังที่สามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการน้ำได้หลายๆปีและเป็นงานเริ่มต้นที่สำคัญของการพัฒนาโครงการแหล่งน้ำต่างๆ ส่วนใหญ่จะจัดเก็บและสำรวจข้อมูลแบบ Manual นิยมใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแบบธรรมดา ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก การดูแลบำรุงรักษาทำได้ง่าย บางครั้งพนักงานดำเนินการได้เองในพื้นที่ และใช้แรงงานมนุษย์เป็นผู้สำรวจข้อมูล เช่น การตั้งเสาวัดระดับน้ำ การวัดน้ำโดยใช้เครื่องวัดน้ำแบบธรรมดา การวัดน้ำฝนด้วยถาดวัดน้ำฝน การวัดอุณหภูมิด้วยปรอทเป็นต้น

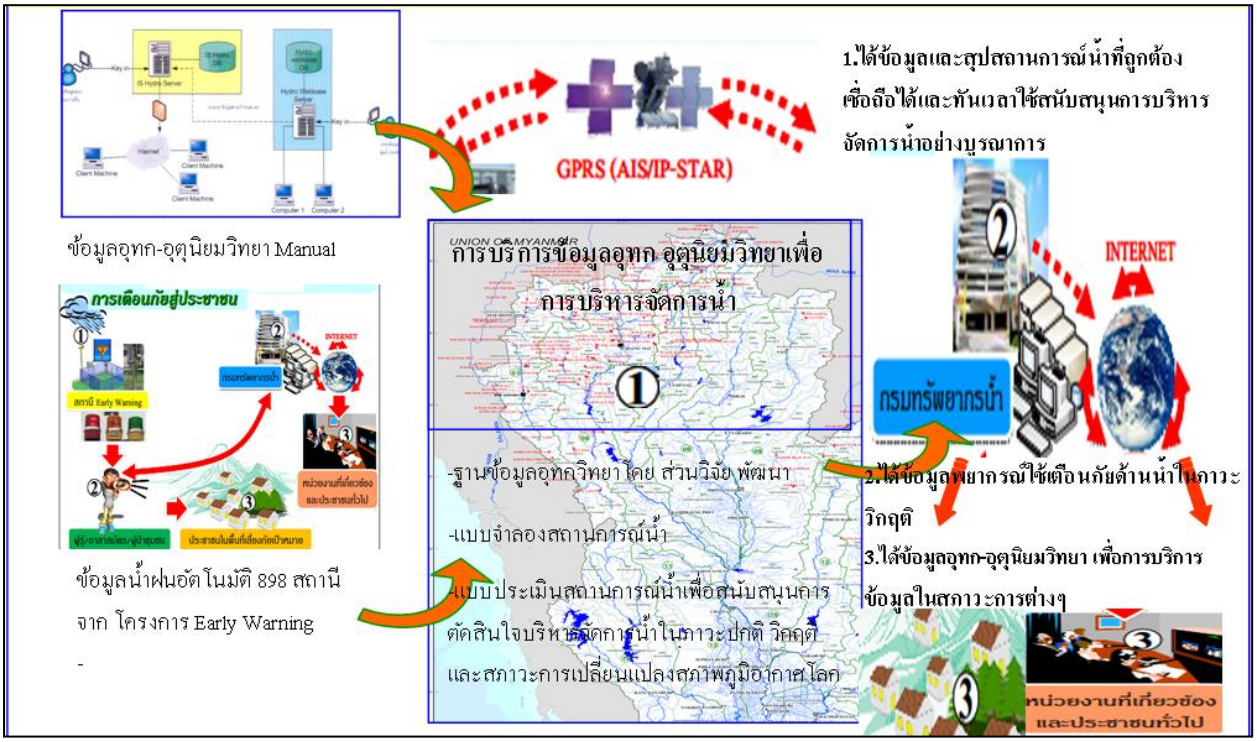
3.2 การสำรวจข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาเพื่อใช้ในการเตือนภัย-น้ำท่วม ดินถล่ม

เป็นการสำรวจข้อมูลอุทกอุตุนิยมวิทยาในภาวะวิกฤต นิยมตรวจวัดข้อมูลในช่วงข้อมูลสูงสุดในแต่ละเงื่อนไข ส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือสำรวจอัตโนมัติเพื่อความรวดเร็วและรับ ส่งข้อมูลได้ทันเวลา และติดตั้งระบบส่งสัญญาณ มีประสิทธิภาพดีและลดแรงงานมนุษย์มากกว่าแบบธรรมดา แต่การติดตั้งอุปกรณ์ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือสำรวจแบบปกติ(Manual) และบางครั้งอาจมีช่วงข้อมูลขาดหายตามสภาพดินฟ้าอากาศ ส่วนใหญ่มีปัญหาจากข้อมูลไม่เสถียร ต่อเนื่อง ในช่วงยาวนาน เครื่องมือมีราคาสูงกว่าและต้องการการดูแลรักษามากกว่าแบบธรรมดา บางครั้งอาจสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการบริหารจัดการน้ำได้ การใช้เฉพาะเหตุการณ์วิกฤติได้เหมาะสมกว่า เช่น การตั้งเสาวัดระดับน้ำอัตโนมัติ เครื่องวัดน้ำ ADCP เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (Tipping Bucket) ระบบ Early Warning และระบบโทรมาตร เป็นต้น

รูปที่ 4 สถานีสำรวจข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยา

การสำรวจข้อมูลอุทกวิทยามีขั้นตอนที่สำคัญคือ การสำรวจภาคสนาม การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การส่งผ่านข้อมูลและการนำเสนอข้อมูล การดำเนินการสำรวจ วิเคราะห์ข้อมูลทุกขั้นตอนจำแนกตามลุ่มน้ำ ปัจจุบันประเทศไทยจำแนกพื้นที่ลุ่มน้ำมาตรฐานเป็น 25 ลุ่มน้ำสาขาหลักและ254ลุ่มน้ำสาขา ด้วย

มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 Datum WGS84 UTM ZONE 47N ตรวจวัดพื้นที่ในระบบ GIS ได้พื้นที่ทั้งประเทศ(รวมพื้นที่เกาะ) 515,837 ตร.กม. โดยสำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำได้จัดทำชุดแผนที่ 25 ลุ่มน้ำและและสอบทานแนวขอบเขตลุ่มน้ำในภาคสนามด้วยระบบ GPS สามารถนำไปใช้กับแผนที่ Google Earth ได้ถูกต้องและแม่นยำทั้งทิศทางและพิกัด (รายละเอียดตามเอกสารแนบ 1)



การบริหารจัดการน้ำสามารถใช้ข้อมูลทั้ง 2 ประเภทผสมผสานกัน

รูปที่ 5 การใช้ข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาแบบธรรมดาและReal Time ร่วมกัน

ปัจจุบันส่วนอุทกวิทยาในสำนักทรัพยากรน้ำภาคที่ 1- 11 ร่วมกับส่วนวิจัยและพัฒนาอุทกวิทยา ในสังกัด กรมทรัพยากรน้ำ ทำการสำรวจข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยา แบบช่วงยาว(Historic data) โดยใช้เครื่องมือสำรวจแต่ละชนิดทั้งอัตโนมัติและแบบธรรมดา โดยเจ้าหน้าที่ของศูนย์สำรวจอุทกวิทยาทั่วประเทศเป็นผู้ดำเนินการสำรวจ จัดเก็บ จัดส่ง เชื่อมโยงด้วยระบบออนไลน์ให้ส่วนวิจัยและพัฒนาอุทกวิทยา นำเข้าขบวนการตรวจสอบ วิเคราะห์ ประมวลผล สรุปและนำเสนอ พร้อมให้บริการ ผ่านระบบฐานข้อมูลอุทกวิทยาของส่วนวิจัยและพัฒนาอุทกวิทยา จำนวนประมาณ1,210 สถานีต่อปี จำแนกเป็น 12 ประเภท ทั้งแบบรายเดือนรายวัน ได้แก่ข้อมูลที่ตั้งสถานี (Station descriptions) 278 สถานี,ระดับน้ำ(Gage height) 278 สถานี ,ปริมาณน้ำ(Discharge) 166 สถานี, ตะกอนแขวนลอน(Suspended sediment) 102 สถานี, น้ำฝน(Precipitation) 157 สถานี, อัตราการ

ระเหย(Evaporation) 103 สถานี, อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด(Temperature) 55 สถานี, ความชื้น(Humidity) 41 สถานี, ความเร็วและทิศทางลม(wind) 18 สถานี, ความนานของแสงแดด(Sunshine) 11สถานี

ข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยา แบบช่วงยาว(Historic data) สามารถให้บริการผ่านระบบออนไลน์และจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบสถิติอุทกวิทยาประจำปี ทั้งเป็นรูปเล่ม CD และ แบบdigital filesรูปแบบTEXT และ EXCEL files) (รายละเอียดตามเอกสารแนบ 2)

แหล่งข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาอื่นๆ

หน่วยงาน	สถานีวัดสภาพภูมิอากาศ (สถานี)	สถานีวัดน้ำฝน (สถานี)	สถานีอุทกวิทยา		สถานีวัดตะกอน (สถานี)	สถานีอุตุ-อุทกวิทยา (สถานี)	สถานีวัด * คุณภาพน้ำ (สถานี)
			วัดระดับน้ำอย่างเดียว (สถานี)	วัดระดับและปริมาณน้ำ (สถานี)			
กรมทรัพยากรน้ำ	113	47	67	227	187	84	188
กรมอุตุนิยมวิทยา	408	890	44	-	-	-	-
กรมชลประทาน	100	406	90	390	184	78	294
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	19	-	6	7	7	-	-
กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช	18	-	-	-	-	-	-
กรมควบคุมมลพิษ	-	-	-	-	-	-	409
หน่วยงานอื่นๆ **	-	-	58	-	-	31	-
รวม	**658**	**1,343**	**265**	**624**	**378**	**193**	**891**

นอกจากนี้แหล่งข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยายังสามารถจัดหาได้จากสถานีในความรับผิดชอบของกรม กองของหน่วยงานอื่นๆได้อีกหลายหน่วยงานทั้งแบบออนไลน์และออฟไลน์ เช่น

- กรมชลประทานที่ www.rid.go.th
- กรมอุตุนิยมวิทยา www.tmd.go.th
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร http://www.haii.or.th/

- คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ *www.thaiwater.net/web*

<u>หมายเหตุ</u> เอกสารแนบ 1- แผนที่ 25 ลุ่มน้ำ, เอกสารแนบ 2- สถิติอุทก

บทที่ 1

ความสำคัญของข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยา
ในการออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

ข้อมูลอุทกวิทยานับว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุด เพื่อประโยชน์ในการวางแผนและกำหนดนโยบายในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ เพื่อการพัฒนาแหล่งน้ำและอำนวยประโยชน์ในการจัดสรร แบ่งปันทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพ ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลทางอุทกวิทยาจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีเครือข่ายสถานีอุทกวิทยาที่เพียงพอ เครื่องมือตรวจวัดที่ทันสมัย เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้ข้อมูลให้ทันเหตุการณ์ และเป็นปัจจุบัน

จากสถิติที่ตรวจวัดน้ำฝนได้ ค่าเฉลี่ยทั่วประเทศประมาณปีละ 1,500 มม. พื้นที่ประเทศไทยทั้งหมดประมาณ 514,000 ตร.กม. ถ้าคิดเป็นปริมาตรน้ำฝนทั้งหมด ประมาณปีละ 768,000 ล้านลบ.ม.และสูญเสียไประหว่างเดินทางมาเป็นน้ำท่า ที่ไหลในแม่น้ำลำธารเฉลี่ยประมาณ 75 % คงเหลือเป็นน้ำท่าประมาณ 25 % เท่านั้น (วิเคราะห์จากข้อมูลจริง) เหมือนน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำฝนที่ตก ลองคิดเป็นปริมาตรของน้ำท่าที่ไหลตามลุ่มน้ำต่าง ๆ ทั้งประเทศ มีน้ำท่าเฉลี่ยถึงปีละประมาณ 192,000 ล้าน ลบ.ม. เมื่อเทียบกับจำนวนประชากร ผู้ใช้น้ำของประเทศไทยทั้งหมดประมาณ 60 ล้านคนจะมีสิทธิ์เป็นเจ้าของน้ำได้คนละประมาณ 3,200 ลบ.ม./ปี หรือ 8.8 ลบ.ม./วัน หรือ 8,800ลิตร/วัน น้ำจำนวนนี้ รวมถึงนำไปใช้เพื่อการเกษตรอุตสาหกรรม อุปโภค-บริโภค การคมนาคม การประมงและอื่นๆ ดูเหมือนว่าจะเหลือใช้จริง ๆ เพราะปัจจุบันได้ค่าเฉลี่ยสำหรับการใช้น้ำประมาณคนละ 600 – 700 ลบ.ม./ คน / ปี (1,643 – 1,918 ลิตร / คน / วัน) จะเห็นว่าปริมาณน้ำใช้น้อยกว่าปริมาณน้ำที่มีมาก และเราก็ยังมองเห็นว่ามีน้ำไหลลงทะเลอยู่ตลอดเวลา แม้แต่เดือนที่ว่าแล้งที่สุดของปีคือ เดือนมีนาคมและเมษายน

ความรู้และข้อมูลอุทกวิทยาสามารถนำไปใช้ในการออกแบบโครงการเพื่อการพัฒนาและอนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำ รวมถึงงานวิศวกรรมแหล่งน้ำได้ในหลายลักษณะเช่น

- การชลประทานได้แก่ การหาความจุของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ สระน้ำ การสร้างคลองส่งน้ำฯลฯ
- การวางแผนการใช้น้ำโดยใช้อัตราการไหลต่ำสุดและปริมาณการไหลที่แปรเปลี่ยนตามเวลาฯ
- การจัดหาน้ำใช้สำหรับที่พักอาศัยและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆโดยใช้อัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน
- การระบายน้ำออกจากพื้นที่น้ำท่วมโดยใช้อัตราการไหลสูงสุดและปริมาณการไหลรายชั่วโมง
- การหาขนาดของน้ำไหลหลากเพื่อควบคุมน้ำหลากหรือน้ำท่วมโดยใช้อัตราสูงสุดรายชั่วโมง
- การสัญจรทางน้ำโดยใช้ความสูงของระดับน้ำและความเร็วน้ำ
- การจัดการน้ำในลุ่มน้ำและการอนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลอุทก-อุตุวิทยาในลุ่มน้ำแบบช่วงยาว(Historic Data) และความรู้แบบสหวิทยาการ เป็นต้น

สมดุลน้ำและข้อมูลอุทกวิทยาที่จำเป็นในโครงการพัฒนา อนุรักษ์ฟื้นฟู แหล่งน้ำ

ในการพัฒนาแหล่งน้ำ “ข้อมูลอุทกวิทยาเป็นข้อมูลสำคัญที่การออกแบบและการก่อสร้างโครงการพัฒนาแหล่งน้ำจำเป็นต้องใช้” (อ้างอิงจากจากสาระสำคัญใน “หลักการดำเนินงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ” ของอาจารย์เล็ก จินดาสงวน) ปัจจุบันในโครงการประเภทเก็บกักน้ำและประเภททดน้ำ เช่นอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและขนาดกลางเป็นที่นิยมสร้างมากกว่าโครงการขนาดใหญ่ หรือขนาดยักษ์ (Mega Project) ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชนมาก จนในประเทศแทบไม่มีการก่อสร้างเพิ่มขึ้นเลยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

ข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาที่จำเป็นในการสำรวจเพื่อการออกแบบฯเนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำนองสูงสุด ตลอดจนการเก็บกักน้ำและการระบายน้ำ หลักการหาสมดุลของน้ำในระบบนิเวศน์ จะมีอย่างน้อย 6 ตัวแปรหลักคือ ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ (รูปร่าง ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาว ความลาดชัน ความหนาแน่นของลำน้ำ สภาพป่าต้นน้ำ สถานภาพการใช้ที่ดิน ชั้นคุณภาพของลุ่มน้ำ) น้ำฝน ปริมาณน้ำ อัตราการระเหย การไหลซึมและการคายน้ำของพืชจากความชื้นบนผิวดิน โดยหลักการจะยึดตามหลักการสมดุลของน้ำ ต่อไปนี้

change in storage = input – output

$$S_{t+\Delta t} - S_t = P \cdot \Delta t + Q_i \cdot \Delta t - E \cdot \Delta t - Q_0 \cdot \Delta t \pm U \cdot \Delta t$$

โดยที่ S : ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในระบบที่พิจารณา คิดเป็นปริมาตร [m^3]

P : อัตราการตกของฝน คิดเป็นความลึก [m]

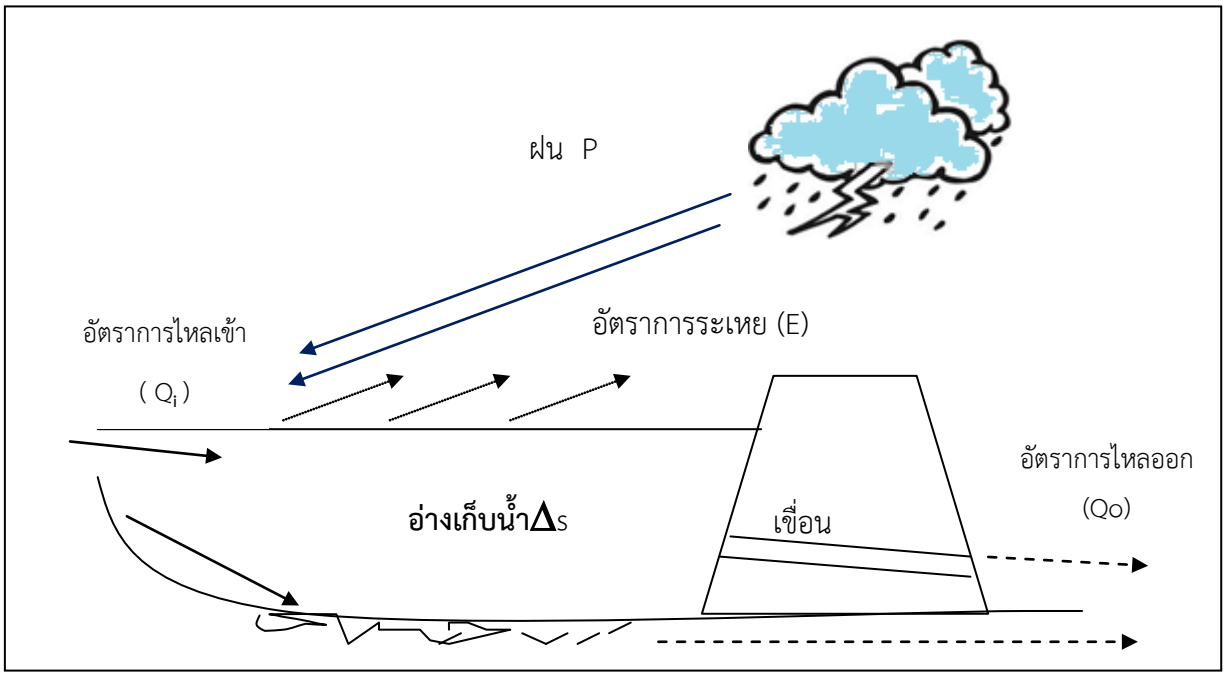
E : อัตราการระเหย คิดเป็นความลึก [m]

A : พื้นที่ผิวของระบบหรือลุ่มน้ำที่พิจารณา [m^2]

Qi : อัตราการไหลเข้าสู่ระบบทั้งทางผิวดินและใต้ดิน [$m^3 s^{-1}$]

Q0 : อัตราการไหลออกจากระบบทั้งทางผิวดินและใต้ดิน [$m^3 s^{-1}$]

หลักการสมดุลของน้ำ (The hydrologic budget) ใช้หลักการของการอนุรักษ์มวลสาร (conservation of mass) ซึ่งถือว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำในระบบที่พิจารณาเท่ากับผลต่างของปริมาณน้ำที่ไหลเข้ากับไหลออก(ดัดแปลงจาก วิษุวัฒน์, 2557)



รูปที่ 6 แสดงหลักการสมดุลของน้ำ โดย change in storage (Δs) = input – output

ลักษณะทางภูมิกายภาพของลุ่มน้ำ (The Physical characteristics of the watershed)

ลักษณะของลุ่มน้ำแต่ละลุ่มน้ำจะแตกต่างกันไปโดยทางกายภาพ ได้แก่ ธรณีวิทยาและธรณีสัณฐานวิทยาซึ่งจะบ่งบอกลักษณะแหล่งวัตถุต้นกำเนิดดิน ลักษณะของลุ่มน้ำแบบต่างๆ (form) สภาพทางชีววิทยา ได้แก่ พืชพรรณ ป่าไม้ สัตว์ป่า และ biotic components อื่นๆ มีปรมาจารย์ด้านน้ำได้เคยให้คำจำกัดความของลุ่มน้ำไว้มากมายดังตัวอย่างข้างล่างนี้

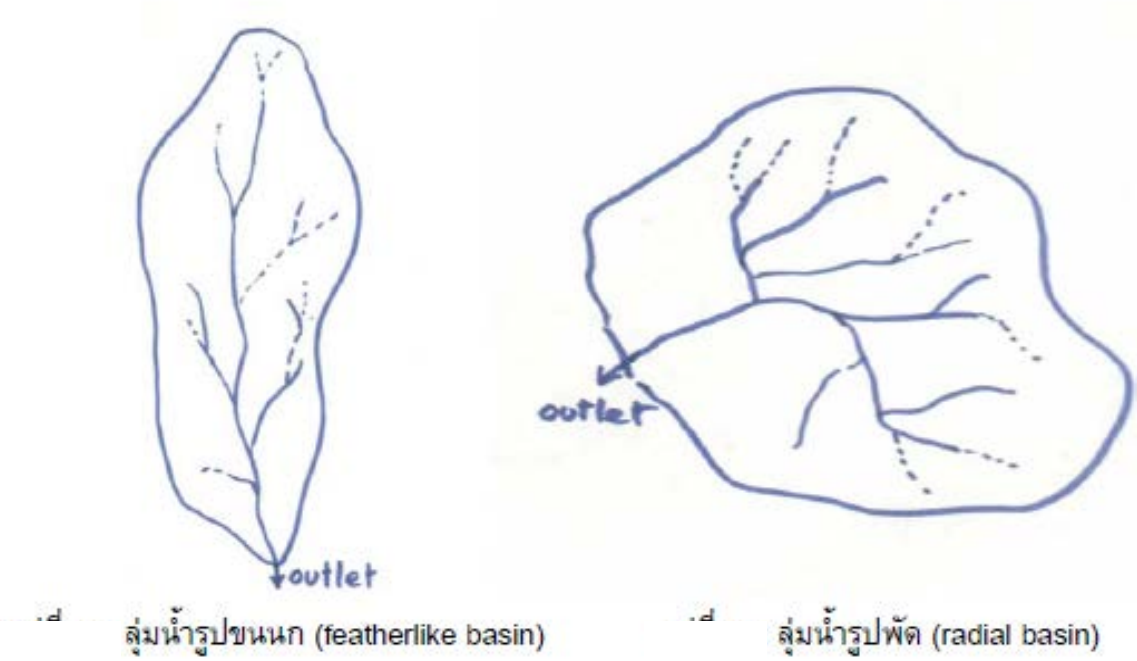
- ลุ่มน้ำ (watershed) คือพื้นที่ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาแล้ว น้ำจะไหลมารวมกันลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำนั้นๆ (วีระพล แต้สมบัติ, 2531)
- ลุ่มน้ำ คือพื้นที่ผิวลาดชัน ซึ่งจะระบายน้ำจากเส้นสันปันน้ำ (topographic divide) ไหลลงสู่ที่ระบายน้ำ (drainage basin) ตั้งแต่สองแห่งขึ้นไป หรือกล่าวได้ว่า ลุ่มน้ำคือพื้นที่ที่มีการล้อมรอบตัวเองด้วยสันปันน้ำ (Webster's Dictionary)
- ลุ่มน้ำ คือพื้นที่เหนือจุดๆ หนึ่งบนลำธารที่ให้การระบายน้ำผ่านจุดนั้น จุดดังกล่าวคือจุดออก (outlet) หรือปากแม่น้ำ (river mouth) นั่นเอง คำจำกัดความข้างต้นได้รับการอ้างอิงอีกครั้งในหนังสืออภิธานศัพท์เทคนิคการชลประทานและการระบายน้ำ (กรมชลประทาน, 2534)
- Dr. R.E. Dils อดีตคณบดีคณะวนศาสตร์ แห่ง Colorado State University, Fort Collins, USAให้คำจำกัดความไว้ว่า ลุ่มน้ำคือพื้นที่ๆ หนึ่งที่ให้การระบายน้ำสู่ลำธารหรือแม่น้ำ (เกษม จันทร์แก้ว, 2526) อาจมีผู้เรียกลุ่มน้ำแตกต่างกันไป ดังนี้ watershed, drainage basin, basin, river basin, หรือ catchment อย่างไรก็ตาม มีความหมายในทางเดียวกันเพียงแต่จะกำหนดจุดออกที่สนใจ ณ จุด ใดในลำน้ำ ส่วนสันปันน้ำนั้นอาจแบ่งได้เป็นสองชนิดอีกคือ สันปันน้ำผิวดิน กับสันปันน้ำใต้ดิน

ชนิดและลักษณะของลุ่มน้ำ

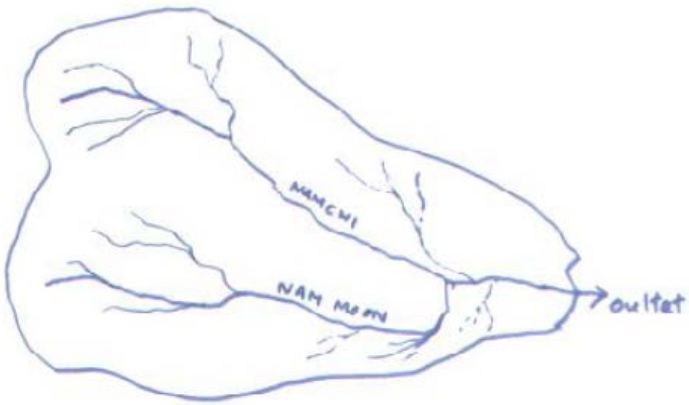
1) ลุ่มน้ำรูปขนนก (featherlike basin) มีรูปร่างคล้ายขนนก พื้นที่มีลักษณะขนาดเล็กยาวเรียว มีลำน้ำสาขาไหลลงสู่ตัวลำน้ำสายใหญ่ทั้งสองฝั่ง ปริมาณน้ำท่วมจากลุ่มน้ำชนิดนี้ จะมีอัตราค่อนข้างต่ำ เพราะว่าระยะเวลาที่ปริมาณน้ำท่วมของลำน้ำสาขาต่าง ๆ ไหลมาถึงจุดที่พิจารณา หรือบริเวณน้ำท่วมจะไม่เท่ากัน หรือไม่ตรงกัน แต่จะเกิดน้ำท่วมเป็นเวลานาน (วีระพล แต้สมบัติ, 2531)

2) ลุ่มน้ำรูปวงกลม (radial basin) มีพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีสันปันน้ำเป็นรูปคล้ายพัด หรือรูปวงกลมและมีลำน้ำสาขาไหลลงสู่ลำน้ำสายใหญ่ ที่จุดใดจุดหนึ่งเป็นรัศมีของวงกลม ปริมาณน้ำท่วมจะเกิดไหลมารวมที่จุดเดียวมีขนาดใหญ่ ใกล้จุดบรรจบ

3) ลุ่มน้ำรูปขนาน (parallel basin) ลุ่มน้ำชนิดนี้มีพื้นที่ลุ่มน้ำแยกเป็น 2 ส่วน และจะมาบรรจบกันในตอนล่างหรือด้านท้ายน้ำ และจะเกิดน้ำท่วมบริเวณตอนใต้ของสายแม่น้ำได้ง่าย



ลุ่มน้ำรูปขนนก (featherlike basin) ลุ่มน้ำรูปพัด (radial basin)



ลุ่มน้ำรูปขนาน (parallel basin)

รูปที่ 8 ลุ่มน้ำรูปแบบต่างๆ

ทั้งนี้ตามปกติแล้ว มีลุ่มน้ำเพียงไม่กี่แห่ง ที่มีคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังกล่าวข้างต้น แต่ส่วนมากแล้วจะมีคุณลักษณะหลายอย่างผสมกันอยู่ เรียกว่า ลุ่มน้ำรูปผสม(complex basin)

การจำแนกชนิดของลุ่มน้ำอาจใช้ Shape Factor บรรยายลักษณะดังกล่าวเพราะรูปร่างของลุ่มน้ำ จะมีผลต่อรูปกราฟน้ำท่าและปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Discharge)

1.23 **Shape Index** คือ แฟคเตอร์ที่ใช้ในการแสดง หรือบรรยายรูปร่างของลุ่มน้ำด้วยดรรชนีเพียงตัวเดียว รูปร่างของลุ่มน้ำจะมีผลต่อรูปกราฟน้ำท่า และปริมาณการไหลสูงสุด (peak discharge) ดังสมการ(วีระพล แต้สมบัติ, 2531)

$$\text{Shape Index} = Sw = L/W = L^2/A$$

เมื่อ L = ความยาวของลุ่มน้ำ วัดตามแนวลำน้ำสายใหญ่ จากจุดออกจนถึงสันเขาหรือสันปันน้ำที่ไกลสุด

W = ความกว้างเฉลี่ยของลุ่มน้ำ ซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่และความยาว (A/L)

A = ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ

โดยทั่วไปแล้ว ดรรชนีรูปร่างของลุ่มน้ำจะเชื่อถือได้ดียิ่งขึ้น เมื่อใช้ความยาวหุบเขา(valley length) แทนความยาวของลำน้ำ ที่คดเคี้ยวไปมาตามหุบเขา บางประเทศนิยมใช้ส่วนกลับของ Sw หรือ W/L แทนดรรชนีแสดงรูปร่างลุ่มน้ำ

1.24 Drainage densityคืออัตราส่วนของความยาวสะสมของลำน้ำทั้งหมดภายในลุ่มน้ำต่อพื้นที่ลุ่มน้ำ (วีระพล แต้สมบัติ, 2531),

เมื่อ Drainage density $D = \frac{1}{A}\sum_{i=1}^{n} Li$

Li = ความยาวของลุ่มน้ำสายที่ i

A = พื้นที่ลุ่มน้ำ

N = จำนวนเส้นลำน้ำทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ลุ่มน้ำที่มีค่า drainage density สูง จะมีความสามารถในการระบายน้ำออกจากลุ่มน้ำได้ดี หรือกล่าวได้ว่าลุ่มน้ำให้การตอบสนองเชิงอุทก (hydrologic response) ต่อฝนที่ตกลงบนลุ่มน้ำเป็นอย่างดี ในทางตรงกันข้ามลุ่มน้ำที่มีค่า drainage density ต่ำ จะมีความสามารถในการระบายน้ำออกจากลุ่มน้ำได้ช้า มีการตอบสนองเชิงอุทกช้า เป็นกรณีที่ลุ่มน้ำมีลักษณะดินปกคลุมมากต้านทานการกัดเซาะเป็นอย่างดี มีพืชปกคลุมดินมาก มีอัตราการซึมสูงและมีความแตกต่างของระดับพื้นดิน (relief) น้อย (slope น้อยๆ หรือ พื้นที่ราบ) ส่วนลุ่มน้ำที่มี drainage density สูงจะเป็นกรณีที่ลักษณะการปกคลุมดินง่ายต่อการกัดเซาะ หรือมีอัตราการซึมต่ำ ความลาดเทของลุ่มน้ำค่อนข้างชัน ไม่ค่อยมีพืชปกคลุมผิวดิน

1.25 Slope ความลาดชันของลำน้ำ คือ อัตราส่วน H/L

H = ค่าความแตกต่างของของจุดที่ต่ำสุดและสูงสุดจุดออก (H0) และจุดไกลสุดบนสันเขา (HR)

L = ความยาวเฉลี่ยของเส้นตรงที่ขนานกับลำธารสายใหญ่

1.26 Numbers , Lengths และ Stream Orders

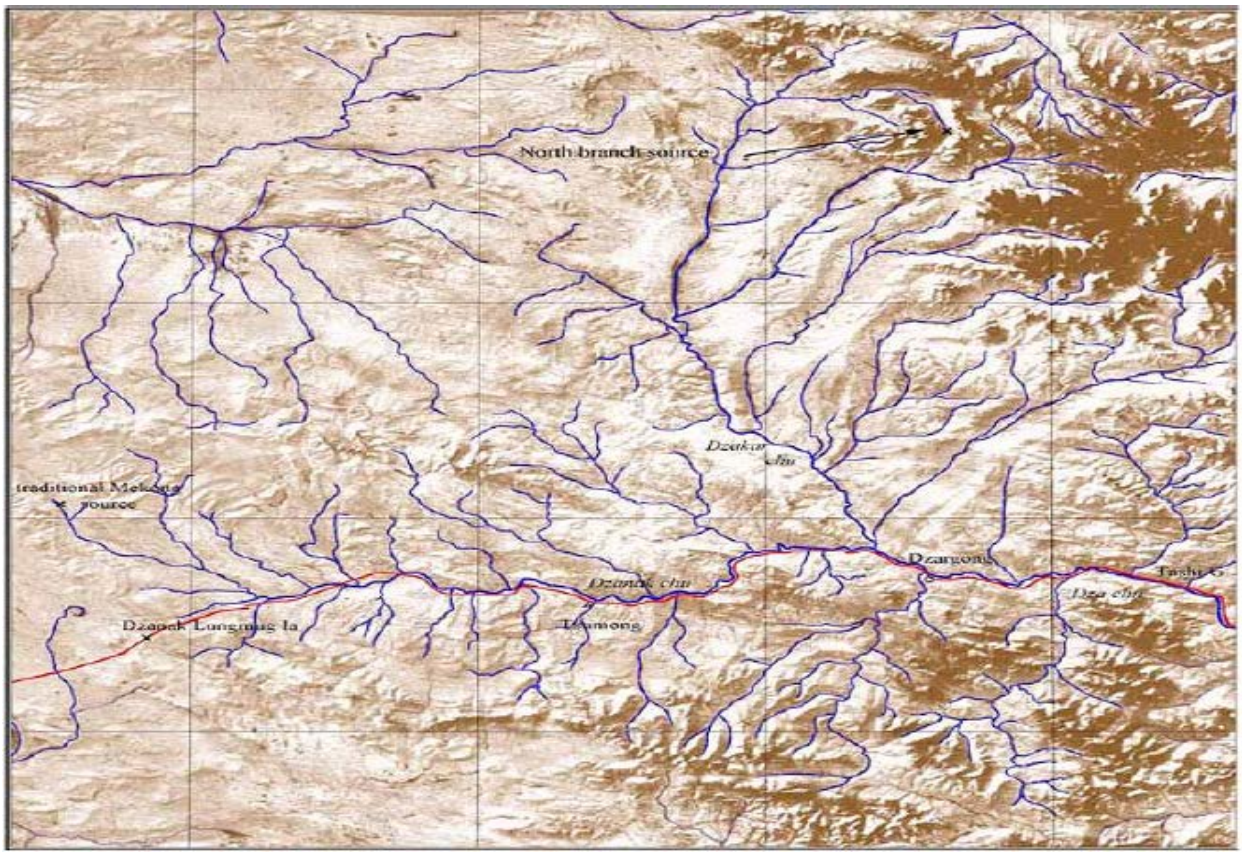
คุณลักษณะที่สำคัญของลุ่มน้ำในเรื่องจำนวน (numbers) ความยาว (length) และลำดับ(orders) จะขึ้นอยู่กับมาตราส่วนของแผนที่ที่ใช้พิจารณา

First order คือ ลำน้ำที่ไม่มีสาขาเลย

Second order คือ ลำน้ำที่มีสาขาเฉพาะเป็น first order stream

Third order คือ ลำน้ำที่มีสาขาได้เฉพาะ first และ second order stream เท่านั้น

ตัวอย่าง orders ต่างๆ แสดงไว้ในภาพด้านล่าง แสดงลุ่มน้ำบริเวณต้นแม่น้ำโขง



รูปที่ 9 ลักษณะสำคัญของลุ่มน้ำ Number, Length and Stream Orders

1.27 Time of Concentration (Tc) คือ เวลาที่น้ำฝนเดินทางจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำหรือสันเขาของลุ่มน้ำ ถึงจุดออกของลุ่มน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Tc = L^{1.15} / 7700\ H^{0.38} = 0.00013L^{0.77} / S^{0.385}$$

เมื่อ

Tc มีหน่วยเป็นชั่วโมง

L คือความยาวของลุ่มน้ำ ตามคำจำกัดความที่ได้กล่าวมาแล้ว มีหน่วยเป็นฟุต

H คือผลต่างของระดับที่จุดออก (H0) และจุดไกลสุดบนสันเขา (HR)

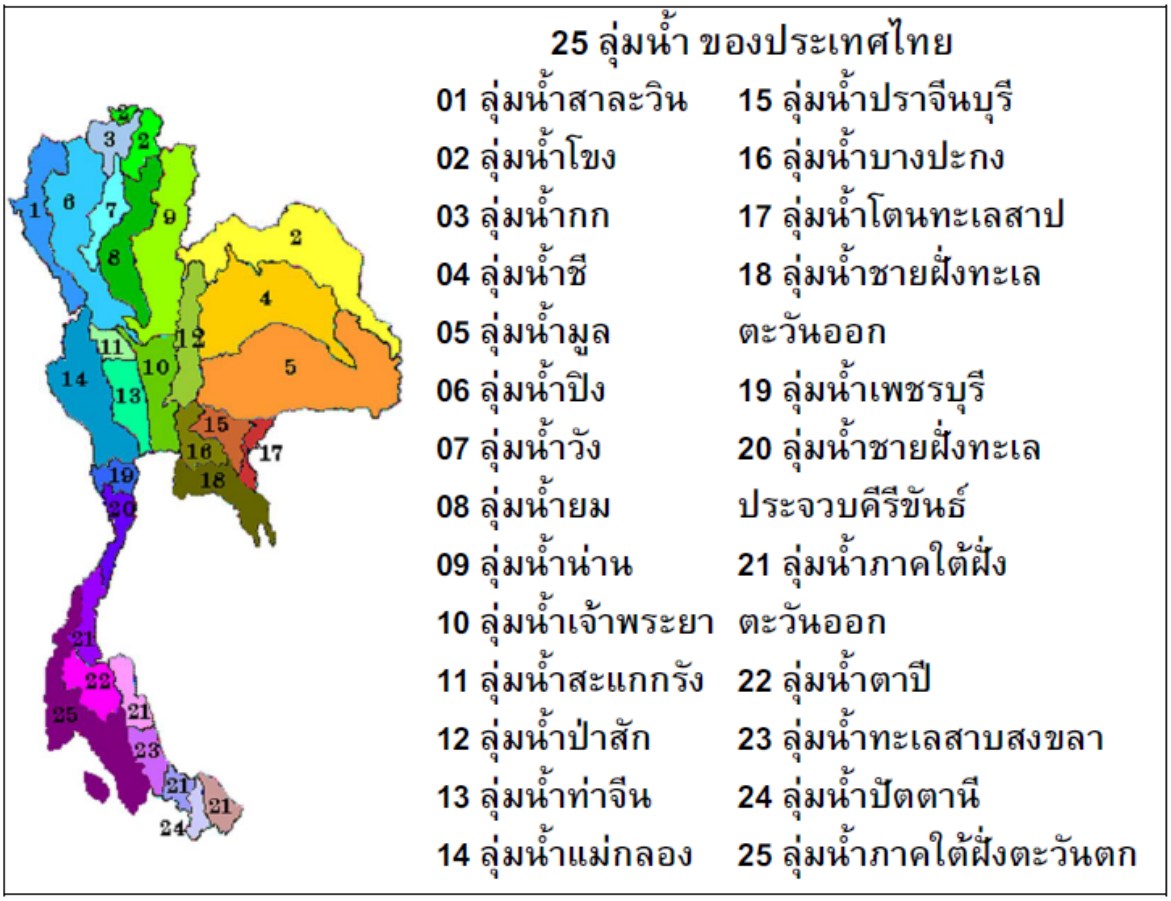
S คืออัตราส่วน H/L

1.28 Drainage Area คือ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ วัดขนาดพื้นที่โดยใช้แผ่น Dot Grid หรือ ใช้เครื่องมือ Planmeter ปัจจุบันนิยมคำนวณบนโปรแกรม GIS หน่วยของพื้นที่ใช้ ตารางกิโลเมตร

1.3 การแบ่งลุ่มน้ำในประเทศไทย

“คณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ (2538) ในสำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (ปัจจุบันได้รวมอยู่ในกรมทรัพยากรน้ำ) ได้จัดทำรายงาน“มาตรฐานลุ่มน้ำและลุ่มน้ำสาขา” (สิงหาคม 2538) โดยในการแบ่งลุ่มน้ำประธานหรือลุ่มน้ำหลัก(Main Basin) ได้ยึดถือเอาแม่น้ำสายใหญ่เป็นหลักในการกำหนดขอบเขตและการเรียกชื่อของลุ่มน้ำ แต่ก็มีข้อยกเว้นสำหรับพื้นที่บางพื้นที่ เช่น พื้นที่บริเวณใกล้เขตแดนติดต่อกับประเทศกัมพูชา ซึ่งไม่มีแม่น้ำสายใหญ่ที่จะใช้เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำที่จัดแบ่งได้ซึ่งใช้ชื่อลุ่มน้ำโตนเลสาป และได้กำหนดขอบเขตและเรียกชื่อลุ่มน้ำตามลุ่มน้ำสาขานั้นๆ หรือบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เช่น ชายฝั่งทะเลตะวันออก และชายฝั่งทะเลตะวันตกโดยยึดถืออ่าวไทยเป็นหลัก ในการกำหนดชื่อบริเวณภาคใต้ของประเทศได้แบ่งออกเป็นภาคใต้ฝั่งตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันตกซึ่งถือตามทิศทางการไหลลงสู่ทะเลในบริเวณพื้นที่นั้นๆ เป็นหลัก ซึ่งจากการกำหนดเกณฑ์ดังกล่าวได้แบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 25 ลุ่มน้ำ และยังแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยได้อีก 254 ลุ่มน้ำย่อย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งประเทศประมาณ 511,361 **ตร.กม.** แต่หากพิจารณาจากจุดออกหรือบริเวณที่แม่น้ำที่ไหลลงแล้ว แม่น้ำในประเทศไทยอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน คือ **กลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำโขง** กลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงแม่น้ำสาละวิน และกลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงทะเลโดยตรง ซึ่งในกลุ่มที่สามนี้ยังแยกย่อยออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ กลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงทะเลด้านอ่าวไทย และกลุ่มลุ่มน้ำที่ไหลลงทะเลอันดามัน”

ประเทศไทยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มลุ่มน้ำหลักได้จำนวน 9 กลุ่มลุ่มน้ำ **ซึ่งครอบคลุม**พื้นที่ลุ่มน้ำทั้ง 25 ลุ่มน้ำหลัก และ 254 ลุ่มน้ำย่อย ดังที่ปรากฏอยู่ในรายงาน “มาตรฐานลุ่มน้ำและลุ่มน้ำสาขา” ของกรมทรัพยากรน้ำ และตารางที่ 2-1 สรุปชื่อลุ่มน้ำหลัก จำนวนลุ่มน้ำย่อยของแต่ละกลุ่มลุ่มน้ำหลัก



รูปที่ 10 แสดงลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำหลัก

ตารางที่ 1-1 พื้นที่ลุ่มน้ำที่สำคัญของประเทศไทย (Applied Hydrology and Research Section, 1992)]

แม่น้ำน่าน	33,170.92
แม่น้ำเจ้าพระยา	19,389.25
แม่น้ำสะแกกรัง	5,191.43
แม่น้ำป่าสัก	16,292
แม่น้ำท่าจีน	13,683.60
แม่น้ำแม่กลอง	30,836.76
แม่น้ำปราจีนบุรี	10,481.32
แม่น้ำบางปะกง	7,978.15
แม่น้ำโตนเลสาบ	4,149.87
แม่น้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก	25,559.26
แม่น้ำเพชรบุรี	5,602.91
ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก	6,745.33
ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก	26,852.28
แม่น้ำตาปี	12,124.53
ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา	8,494.97
แม่น้ำปัตตานี	3,857.82
ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก	21,172.25

1.31 การจำแนกขนาดของลุ่มน้ำ ขนาดของลุ่มน้ำมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำท่าอย่างมาก โดยเฉพาะในด้านปริมาณน้ำ ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะมีน้ำสะสมเก็บกักไว้มากกว่าขนาดเล็กและไม่ค่อยขนาดแคลนน้ำ นอกจากนี้ขนาดของพื้นที่ยังมีอิทธิพลต่อการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในลำธารด้วย

ขนาดของลุ่มน้ำแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก คือพื้นที่ต่ำกว่า 500 ตร.กม ขนาดกลาง 500-5,000 ตร.กม. และขนาดใหญ่มากกว่า 5,000 ตร.กม.

1.32 ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ เป็นการแบ่งเขตพื้นที่ลุ่มน้ำตามลักษณะกายภาพและศักยภาพทางอุทกวิทยาและทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อประโยชน์ในการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพในลุ่มน้ำนั้น การกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ จำแนกตามมติคณะรัฐมนตรี แบ่งเป็น 5 ระดับ คือ

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่ควรสงวนไว้เป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธารโดยเฉพาะ เนื่องจากว่าอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ง่ายและรุนแรง โดยมีการแบ่งออกเป็น 2 ระดับชั้นย่อย คือ พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1A, ได้แก่ พื้นที่ต้นน้ำลำธารที่ยังมีสภาพป่าสมบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2525 สำหรับลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน ชี มูล และลุ่มน้ำภาคใต้ ปี พ.ศ. 2528 สำหรับลุ่มน้ำภาคตะวันออก และปี พ.ศ. 2531 สำหรับลุ่มน้ำตะวันตก ภาคกลาง ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ และส่วนอื่นๆ (ลุ่มน้ำชายแดน) พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1B, เป็นพื้นที่ที่สภาพป่าส่วนใหญ่ได้ถูกทำลาย ดัดแปลง หรือเปลี่ยนแปลงเพื่อการพัฒนาหรือการใช้ที่ดินรูปแบบอื่นก่อน พ.ศ.2525

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 2 **เป็นพื้นที่ที่มีค่าดัชนีชั้นคุณภาพลุ่มน้ำตามที่การศึกษาเพื่อจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำของแต่ละลุ่มน้ำได้กำหนดไว้ พื้นที่ดังกล่าวเหมาะต่อการเป็นต้นน้ำลำธารในระดับรองจากลุ่มน้ำชั้นที่ 1 สามารถนำพื้นที่ลุ่มน้ำชั้นนี้ไปใช้เพื่อประโยชน์ที่สำคัญอย่างอื่นได้ เช่น การทำเหมืองแร่ เป็นต้น**

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 3 **เป็นพื้นที่ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งการทำไม้ เหมืองแร่ และการปลูกพืชกสิกรรมประเภทไม้ยืนต้น**

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 4 **โดยสภาพป่าของลุ่มน้ำชั้นนี้ได้ถูกบุกรุกแผ้วถางเป็นที่ใช้ประโยชน์ เพื่อกิจการพืชไร่เป็นส่วนใหญ่**

พื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 5 **พื้นที่นี้โดยทั่วไปเป็นที่ราบหรือที่ลุ่มหรือเนินลาดเอียงเล็กน้อย และส่วนใหญ่ป่าไม้ได้ถูกแผ้วถางเพื่อประโยชน์ด้านเกษตรกรรม โดยเฉพาะการทำนาและ กิจการอื่นไปแล้ว**

1.33 มาตรการการใช้ที่ดินในเขตลุ่มน้ำ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในลุ่มน้ำคือ

พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 1A, มติคณะรัฐมนตรีกำหนดห้ามมิให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ป่าไม้เป็นรูปแบบอื่นอย่างเด็ดขาดทุกกรณี ทั้งนี้เพื่อรักษาไว้เป็นพื้นที่ต้นน้ำ

พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 1B, มติคณะรัฐมนตรีกำหนดให้ในกรณีที่ต้องมีการก่อสร้างถนนผ่านหรือการทำเหมืองแร่ หน่วยงานรับผิดชอบจะต้องควบคุมการชะล้างพังทลายของดิน และกรณีส่วนราชการใดมีความจำเป็นที่ต้องใช้ที่ดินอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องจัดทำรายงานการเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการเสนอต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเพื่อพิจารณาต่อไป

พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 2 มติคณะรัฐมนตรีกำหนดให้ใช้พื้นที่ในกิจกรรมป่าไม้ เหมืองแร่ แต่ต้องควบคุมวิธีการปฏิบัติในการใช้ที่ดินอย่างเข้มงวดกวดขัน และการใช้ที่ดินเพื่อกิจกรรมทางด้านการเกษตรกรรมควรหลีกเลี่ยงอย่างเด็ดขาด

พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 3 มติคณะรัฐมนตรีกำหนดให้ใช้พื้นที่ในกิจกรรมป่าไม้ เหมืองแร่ กสิกรรม หรือกิจการอื่น ๆ แต่ต้องมีการควบคุมวิธีการปฏิบัติอย่างเข้มงวดให้เป็นไปตามหลักอนุรักษ์ดินและน้ำ

พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 4 มติคณะรัฐมนตรีกำหนดให้ใช้พื้นที่ทุกกิจกรรม แต่หากใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม ต้องเป็นบริเวณที่มีความลาดชันไม่เกิน 28 เปอร์เซ็นต์ และต้องมีการวางแผนใช้ที่ดินตามมาตรการการอนุรักษ์ดินและน้ำ

พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ 5 มติคณะรัฐมนตรีกำหนดให้ใช้พื้นที่ได้ทุกกิจกรรม

พื้นที่ชั้นลุ่มน้ำที่ 1A, และ 1B, หากมีพื้นที่ใดที่มีศักยภาพ แร่หินปูน และหินประดับ ชนิดหินอ่อนและหินแกรนิต ที่รัฐมีข้อผูกพันเป็นประทานบัตรแล้ว รวมทั้งพื้นที่บริเวณที่ได้รับความเห็นชอบกับรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการแล้ว ก่อนมติคณะรัฐมนตรีที่มีมติเห็นชอบเรื่องการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำดังกล่าว ให้ใช้สัญลักษณ์ เป็น 1A,M และ 1B,M ตามลำดับ

<u>เพิ่มเติม</u> - พื้นที่ลุ่มน้ำ ชีและมูล แต่ละชั้นคุณภาพจะแบ่งเป็นชั้น 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 4B, 5A, 5B ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำที่มีสัญลักษณ์ A หมายถึง พื้นที่ที่มีสภาพป่าปรากฏอยู่ในปี 2525 สัญลักษณ์ B หมายถึง พื้นที่ที่ไม่มีสภาพป่าปรากฏอยู่ในปี 2525

- พื้นที่ชั้นลุ่มน้ำภาคใต้ 1A,R หมายถึง พื้นที่ชั้นลุ่มน้ำ 1A, ซึ่งมีสวนยางปรากฏอยู่ในแผนที่สวนยางปี 2529 ของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร และ พื้นที่ชั้นลุ่มน้ำภาคใต้ 1B,R หมายถึง พื้นที่ชั้นลุ่มน้ำ 1B, ซึ่งมีสวนยางปรากฏอยู่ในแผนที่สวนยางปี 2529 ของสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร

1.4 สภาพป่าและป่าเสื่อมโทรม

หากพื้นที่ลุ่มน้ำใดมีพื้นที่ป่าน้อยหรือมีป่าเสื่อมโทรมมาก ย่อมส่งผลให้ปริมาณน้ำในลุ่มน้ำขึ้นเร็วและลงเร็วมาก ป่าเสื่อมโทรม หมายความว่า ป่าที่มีสภาพเป็นป่าไม้ร้าง หรือทุ่งหญ้า หรือเป็นป่าที่ไม่มีไม้มีค่าขึ้นอยู่เลย หรือมีไม้มีค่าลักษณะสมบูรณ์เหลืออยู่เป็นส่วนน้อยและป่านั้นยากที่จะฟื้นคืนดีตามธรรมชาติได้ และเป็นป่าไม้ที่มี

ไม้มีค่าที่มีลักษณะสมบูรณ์เหลืออยู่เป็นส่วนน้อย และป่านั้นยากที่จะกลับฟื้นคืนดีได้ตามธรรมชาติ โดยมีไม้ขนาดความโตวัดโดยรอบลำต้นตรงที่สูง 130 เซนติเมตร ตั้งแต่ 50 – 100 เซนติเมตรขึ้นไป ขึ้นกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ไม่เกินไร่ละ 8 ต้น หรือมีไม้ขนาดความเกิน 100 เซนติเมตรขึ้นไป ขึ้นกระจายอยู่ทั่วพื้นที่ไม่เกินไร่ละ 2 ต้น ยกเว้นป่านั้นอยู่ในพื้นที่ต้นน้ำลำธารชั้นที่ 1A, ชั้นที่ 1B, และชั้นที่ 2 แม้จะมีต้นไม้น้อยเพียงใดก็ตาม ก็มิให้กำหนด

1.5 ชนิดของดิน สภาพพืชที่ขึ้นปกคลุมพื้นที่และความเสื่อมโทรมของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ชนิดและขนาดของเม็ดดิน ลักษณะการเกาะรวมตัวและการทับถมของดินตามธรรมชาติ เป็น ปัจจัยที่จะทำให้การไหลซึมของน้ำลงไปในดินมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันเช่น ดินทรายและกรวดจะสามารถรับน้ำให้ซึมลงไปในดินได้มากกว่าดินที่มีเนื้อละเอียดประเภทดินเหนียวซึ่งยอมให้น้ำซึมผ่านผิวดินลงไปได้น้อยมาก ดังนั้นเมื่อฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำที่ผิวดินส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวน้ำฝนเกือบทั้งหมดก็จะไหลไปบนผิวดินลงสู่ที่ต่ำ ลำธาร และแม่น้ำทันทีและเป็นเหตุทำให้เกิดอุทกภัยได้ง่าย

ส่วนพืชที่ปกคลุมดินและสภาพการใช้ที่ดินในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดปัญหาน้ำท่วมตามท้องที่ต่างๆ ไม่น้อยเช่นเดียวกัน เช่น การบุกรุกแผ้วถางป่าไม้อันเป็นทรัพยากรหลักในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำลำธารหรือในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำทั่วไป โดยปราศจากการควบคุมย่อมทำให้ผิวดินส่วนใหญ่ขาดสิ่งปกคลุมในการช่วยดูดซึมน้ำหรืออาจทำให้ผิวดินนั้นแน่นขึ้นซึ่งจะมีผลให้เกิดน้ำไหลบ่าไปบนผิวดินอย่างรวดเร็ว จนกัดเซาะพังทลายดินผิวหน้าให้เสื่อมคุณภาพ และอาจเกิดปัญหาน้ำท่วมอย่างฉับพลันในบริเวณพื้นที่ลาดชันตอนล่างได้

1.6 การขึ้นลงของน้ำทะเลหนุน

โดยทั่วไปพื้นที่ราบลุ่มตามบริเวณสองฝั่งแม่น้ำที่อยู่ห่างจากปากอ่าวหรือทะเลไม่ไกลนัก ระดับน้ำในแม่น้ำบริเวณนั้นมักจะอยู่ในอิทธิพลน้ำขึ้น-น้ำลงอันเนื่องมาจากระดับน้ำทะเลหนุนตลอดเวลา เมื่อน้ำที่ไหลหลากลงมาตามแม่น้ำคราวใดมีปริมาณมากและตรงกับฤดูกาลหรือช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลหนุนสูงเกินกว่าปกติ ก็จะทำให้เกิดสภาวะน้ำท่วมและอุทกภัยแก่พื้นที่ทำการเกษตรและในเขตที่อยู่อาศัยอย่างรุนแรงเสมอมา

1.7 ประเภทของลำน้ำ

ก. แบ่งตามฤดูกาลที่เกิดการไหล

1. แม่น้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี (perennial river)
2. แม่น้ำที่มีน้ำไหลเกือบตลอดปี (intermittent river)
3. แม่น้ำที่มีการไหลเฉพาะหลังฝนตกหนัก แล้วหยุดไหล (ephemeral river)

ข. แบ่งเชิงอุทกวิทยา

1. flashy river เป็นแม่น้ำที่เกิดน้ำท่วมจะเร็วและรุนแรง ลักษณะเป็น flash flood
2. sluggish river เป็นแม่น้ำที่มีการเกิดน้ำท่วมช้า ไม่รุนแรง ใช้เวลานาน กว่าน้ำท่วมจะผ่านพ้นไป

ค. แบ่งตามอายุ

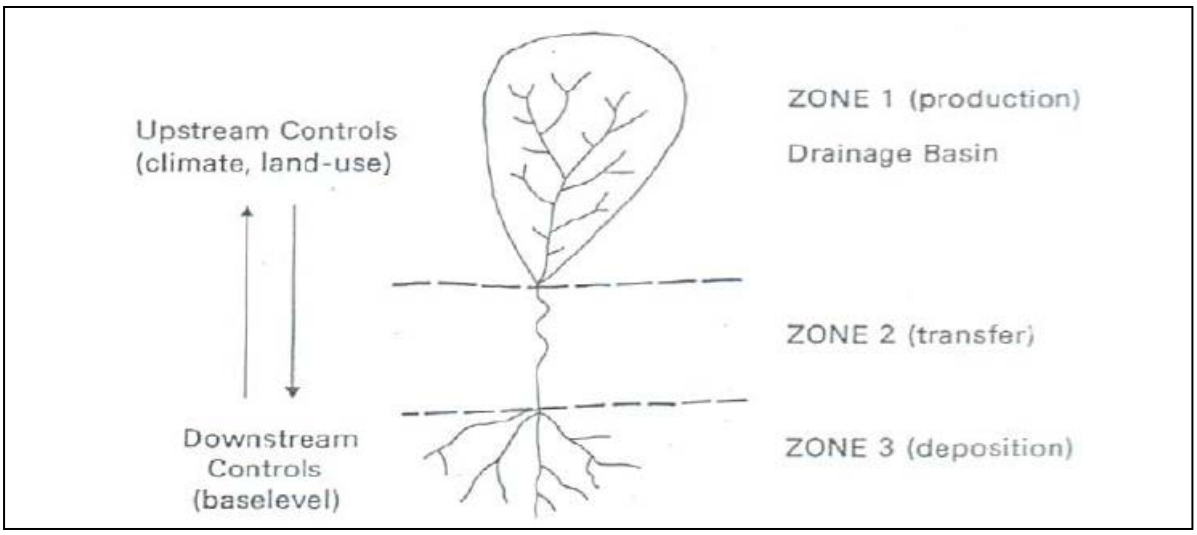
1. young river แม่น้ำเกิดใหม่มีลักษณะการกัดเซาะท้องน้ำและชายตลิ่งอยู่ตลอดต่อเนื่อง แม่น้ำยังคงกัดร่องน้ำให้ลึกอยู่เสมอ บางช่วงมีการพัฒนาเปลี่ยนระดับทันทีทันใดมีdrop เกิดขึ้นหุบเขาที่ลำน้ำไหลผ่านจะชัน

2. mature river แม่น้ำเก่า มีลักษณะสภาพสมดุล หุบเขาที่ไหลผ่านมีลักษณะไม่ลาดชันมากนัก มี profile สม่ำเสมอ ไม่มี drop

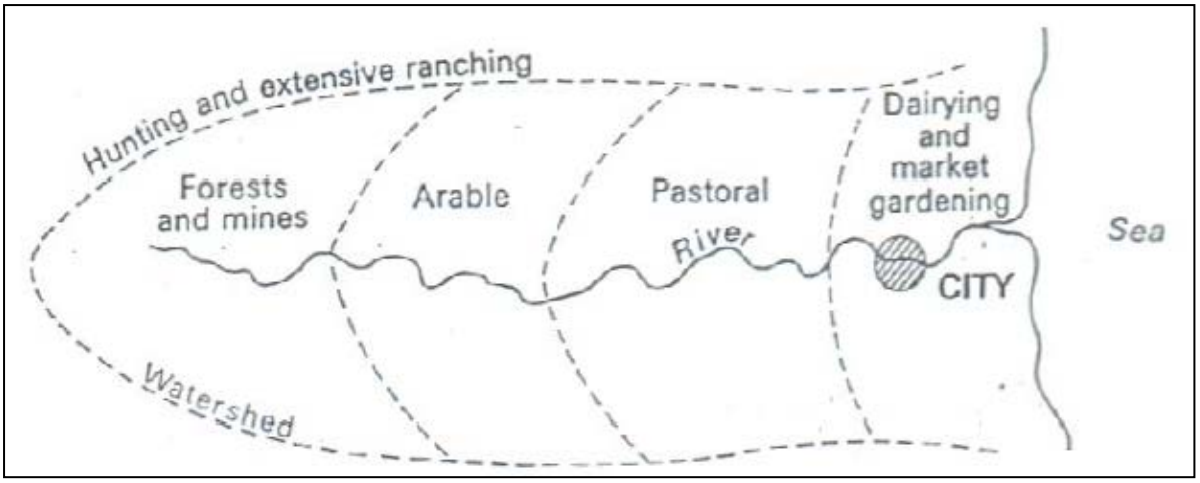
1.8 การแบ่งโซนของลุ่มน้ำ เป็นการแบ่งโซนที่มิได้เกิดขึ้นจริงโดยธรรมชาติ แต่กำหนดขึ้นมาเพื่อทำความเข้าใจหรือใช้ในการวางแผน ของนักวิชาการ นักวิจัย ที่พยายามอธิบายความเป็นไปต่างๆ ในลุ่มน้ำนั้นๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันตามกิจกรรมและลักษณะเชิงนิเวศที่เกิดขึ้น แบ่งเป็น

ก. แบ่งตามช่วงของลุ่มน้ำตามธรรมชาติ ได้แก่ ต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ ดังรูปที่ 11 และ

ข. แบ่งตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจ (Zones of Economic Development) ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 แบ่งตามช่วงของลุ่มน้ำตามธรรมชาติ (Schumm, 1977)



รูปที่ 12 แบ่งตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจ (Newson, 1992)

1.9 การกัดเซาะในลุ่มน้ำและตะกอน (Erosion and Sediment)

ในลุ่มน้ำหนึ่ง ๆ อัตราการกัดเซาะดินขึ้นอยู่กับ 1) พลังงานของตัวกัดเซาะ 2) ดิน 3) สภาพการคลุมดินของพืช ตัวการกัดเซาะได้แก่ เม็ดฝน (rain drops) น้ำบ่าผิวดิน (overland flow) น้ำท่าผิวดิน (surface runoff) สำหรับดินมีองค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการกัดเซาะหลายอย่าง คือ โครงสร้างของดิน (soil structure) ชั้นดิน (stratification) อัตราการซึม (permeability) ความชื้นของดิน (moisture content) เนื้อดิน (texture) ส่วนผสมทางกลศาสตร์ (mechanical composition) และความลาดเทของผิวดิน (slope)

ปริมาณตะกอนรวม = ปริมาณตะกอนแขวนลอย + ปริมาณตะกอนท้องน้ำ

- ปริมาณตะกอนรวม (total sediment discharge) ได้แก่ปริมาณการไหลของตะกอนทั้งหมด ผ่านรูปตัดลำน้ำที่พิจารณาต่อหนึ่งหน่วยเวลา ปริมาณตะกอนรวมทั้งหมดนี้ อาจคำนวณหาได้หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับการพิจารณา

- ปริมาณตะกอนแขวนลอย (suspended – sediment discharge) ได้แก่ปริมาณการไหล หรือจำนวนของตะกอนแขวนลอยที่เคลื่อนตัวผ่านรูปตัดของลำน้ำ ที่พิจารณาใน 1 หน่วยเวลา ตะกอนแขวนลอยได้แก่ ตะกอนที่แขวนลอยไปกับน้ำ ซึ่งจะถูกพยุงด้วยกระแสน้ำ ในส่วนที่มีทิศทางไหลขึ้น (upward components) ในการไหลแบบปั่นป่วน (turbulence flow) และจะคงอยู่ในสภาพแบบแขวนลอยไปกับน้ำ ด้วยระยะเวลานานพอสมควร

- ปริมาณตะกอนท้องน้ำ (bed – load discharge) ได้แก่ปริมาณการไหล หรือจำนวนของตะกอนท้องน้ำที่เคลื่อนตัวผ่านรูปตัดขวางลำน้ำ ที่พิจารณาใน หนึ่งหน่วยเวลา ตะกอนท้องน้ำได้แก่ ตะกอนที่เคลื่อนตัวด้วยการกลิ้ง (rolling) หรือการเคลื่อน (sliding) ไปตามท้องน้ำ และจำเป็นจะต้องสัมผัสกับท้องน้ำในชั้นตะกอนท้องน้ำ

2. น้ำฟ้า (Precipitation)

การรวมตัวของน้ำจากอากาศ หรือ formation of precipitation คือ การที่ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวและรวมตัวกันมีขนาดโตขึ้น น้ำหนักมากแล้วตกลงมาสู่พื้นโลกในลักษณะต่างๆ กันดังได้กล่าวมาแล้ว เช่น ฝน ลูกเห็บ หิมะฯลฯ สาเหตุของการรวมตัวกันอาจเกิดมาจาก การชนกันของก้อนเมฆ (collision of cloud droplets) การเกิดฟ้าแลบ (lightening) ซึ่งจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าทั้งบวกและลบขึ้นในละอองน้ำ ดูดกันรวมกันเป็นเม็ดโตยิ่งขึ้น หรือการเกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) กล่าวคือในที่ที่มีความสูงมากๆ อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส จะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กๆ ปนอยู่กับละอองน้ำเสมอและสามารถดูดไอน้ำและละอองน้ำมารวมกันได้ตกลงสู่พื้นโลกในรูปของหิมะ

2.1 รูปแบบของน้ำจากอากาศ (forms of precipitation) สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) Drizzle (ฝนโปรย) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-0.5 ม.ม.

2) Rain (น้ำฝน) มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.5 ม.ม. ในสหรัฐอเมริกาแบ่งดังนี้

ความเข้มของฝน (rainfall intensity)

- ฝนขนาดเบา 2.5 มม./ชม.
- ฝนขนาดปานกลาง 2.8 มม./ชม. – 7.6 มม./ชม.
- ฝนขนาดหนัก > 7.6 มม./ชม.

3) Glaze ฝนปรอยที่ตกลงมาคล้ายน้ำแข็งใสผิวมันเรียบมีความถ่วงจำเพาะ 0.8 ถึง 0.9

4) Sleet ตกลงมาลักษณะเม็ดน้ำแข็งเล็กๆ โปร่งแสง

5) Snow ผลึกน้ำแข็งคล้ายหกเหลี่ยมสีขาว เรียกว่า หิมะ

6) Hail ลูกเห็บ เป็นน้ำแข็งรูปเหลี่ยมหรือเม็ดกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 – 0.5 นิ้ว

นอกจากนี้เราอาจแบ่งชนิดของน้ำจากอากาศตามลักษณะของการลอยตัวได้อีก ดังต่อไปนี้

1) Cyclonic precipitation เป็นน้ำฟ้าที่เกิดจากการลอยตัวของอากาศ โดยมวลอากาศเหล่านั้นเคลื่อนตัวมารวมกันในบริเวณความกดอากาศต่ำหรือไซโคลน

2) Convective precipitation เกิดจากการลอยตัวของมวลอากาศอุ่น ที่เบากว่ามวลอากาศเย็นรอบๆ จะเกิดได้เป็นหย่อมๆ และมีความเข้มของฝนเป็นแบบปรอยๆ(Light Shower) จนถึงแบบพายุฝน (Cloudburst) ลักษณะของเมฆที่เกิดจากการลอยตัวประเภทนี้จะมีฐานกว้าง ยอดเป็นลำสูงหลายยอด ก่อนฝนตกมีฟ้าแลบ ฟ้าร้องเกิดขึ้นเสมอ

3) Orographic precipitation เกิดจากมวลอากาศพัดไปปะทะภูเขา ยกตัวขึ้นตามไหล่เขา เกิดฝนตกทางด้านหน้าเขา (windward side)

2.2 การวัดปริมาณน้ำฟ้า (Measurement of Precipitation)

สำหรับประเทศไทย น้ำฝน (rainfall) เป็นน้ำฟ้าที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาเรื่องทรัพยากรน้ำ เพราะเป็นต้นกำเนิดของแหล่งน้ำจืดที่นำไปพัฒนาโครงการพัฒนาแหล่งน้ำอื่นๆ โดยอาศัยข้อมูลน้ำฝนที่จดบันทึกเป็นสถิติไว้

สถานีวัดน้ำฝน

ประเทศไทยมีหน่วยงานที่ติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนหลัก ๆ ที่นักสหวิทยาการสามารถอ้างอิงและขอข้อมูลเพื่อใช้งานได้แก่ สถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน และบริษัทการไฟฟ้าฝ่ายผลิต สถานีวัดน้ำฝนจะเป็นที่ตั้งประจำของเครื่องมือวัดน้ำฝน และอาจมีเครื่องมืออื่นๆ รวมอยู่ด้วยได้แก่ ถาดวัดการระเหย (pan evaporation) เครื่องวัดความเร็วลมเครื่องวัดความชื้น เทอร์โมมิเตอร์ ทั้งนี้ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้

เครื่องมือวัดน้ำฝน

มีผู้ประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือวัดน้ำฝนหลายแบบ ใช้ตรวจวัดค่าปริมาณน้ำฝนมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

1. เครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดา (standard non-recording rain gauge) นิยมใช้ในประเทศไทย ออกแบบโดย US Weather Bureau ทำด้วยโลหะไม่ขึ้นสนิม มีรูปร่างเป็นรูปกรวปากกลมเส้นผ่าศูนย์กลางปากกลม 20 ซม ทางก้นกรวย คือ ช่องระบายน้ำฝนที่ตกผ่านปากกรวยไหลลงสู่โลหะทรงกระบอกอีกอันหนึ่งซึ่งรองรับอยู่ด้านล่าง ทรงกระบอกนี้วางอยู่ในถังรองรับกรวยอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งถ้าน้ำล้นจากทรงกระบอกจะล้นสู่ถังรองรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 13 กก และถ้วยตวงขนาด20 มิลลิเมตรแสดงไว้ในรูปที่ 13 ข

2. เครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ (recording rain gauge) จะบอกลักษณะการแผ่กระจายของฝนในช่วงเวลาหนึ่งๆ อย่างละเอียดชัดเจนขึ้น ส่วนประกอบสำคัญคือ กระดาษกราฟ มีมาตราส่วน (scale) พันอยู่รอบแกนทรงกลม (drum) ซึ่งมีลานนาฬิกาหมุนเท่ากับเวลาของนาฬิกา โดยกราฟของค่าปริมาณน้ำฝนจะเขียนเองโดยอัตโนมัติ สถานีของเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติจะต้องติดตั้งกับเครื่องวัดน้ำฝนแบบธรรมดาควบคู่ไว้เสมอ เผื่อเครื่องอัตโนมัติเสียในบางช่วงเวลา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 14

รูปที่ 13 ก เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบธรรมดา

รูปที่ 13 ข ถ้วยตวง

รูปที่ 14 เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ

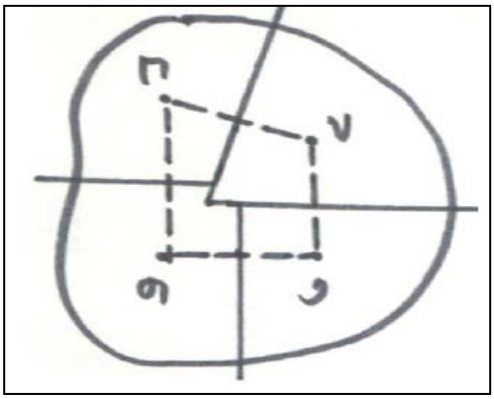
ข้อควรระวังในการติดตั้งสถานีวัด คือ อย่าให้มีสิ่งกีดขวางใดๆ ที่จะขวางทิศทางรอบด้านที่ฝนอาจตกลงสู่ปากกรวย โดยทั่วไปนิยมติดตั้งเครื่องในแนวดิ่ง 900 กับระดับราบ และจากปากกรวยขึ้นไประดับเอียง 300 รอบทิศห้ามมีสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ บ้านเรือน โดยอาจถือเกณฑ์ว่าจะต้องห่างจากสิ่งกีดขวางเหล่านั้นอย่างน้อย 1.7 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางนั้นๆ

การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน (Analysis of Precipitation Data)

การวิเคราะห์หาค่าฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ (ประเสริฐ มิลินทางกูร, 2529) มีวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ 3 วิธีคือ

ก) วิธีหาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (arithmetic average) ได้เกริ่นไว้แล้วว่า ในพื้นที่ที่สนใจหนึ่งๆ ถ้ามีสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งมีข้อมูลอยู่หลายสถานี หากต้องการทราบค่าเฉลี่ยของฝนที่ตกในพื้นที่นั้นๆ ตามวิธีการหาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ อาจทำได้ง่ายที่สุด คือ นำค่าฝนทุกสถานีรวมกันแล้วหารด้วยจำนวนสถานี

ข) วิธีรูปเหลี่ยมของทีเซน (Thiessen polygon method) รู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่า Voronoidiagrams คิดค้นโดยนาย Thiessen (Thiessen and Alter, 1911) กล่าวคือ การสร้างรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) ขึ้น โดยกำหนดจุดที่ตั้งของสถานีลงบนแผนที่พร้อมด้วยขอบเขตของพื้นที่ที่สนใจ ลากเส้นต่อเชื่อมระหว่างสถานีที่อยู่ใกล้กัน จากนั้นลากเส้นแบ่งครึ่งตั้งฉากกับเส้นต่อเชื่อมนั้น เส้นที่ลากตั้งฉากเหล่านี้จะประกอบกันเป็นรูปเหลี่ยมล้อมรอบสถานี เนื้อที่ในรูปเหลี่ยมนั้นก็คือเนื้อที่สมมติว่าฝนของสถานีนั้นตกลงมาเต็มเนื้อที่ แล้วนำค่ามา weight เป็นค่าน้ำหนักที่ต่างกันไป



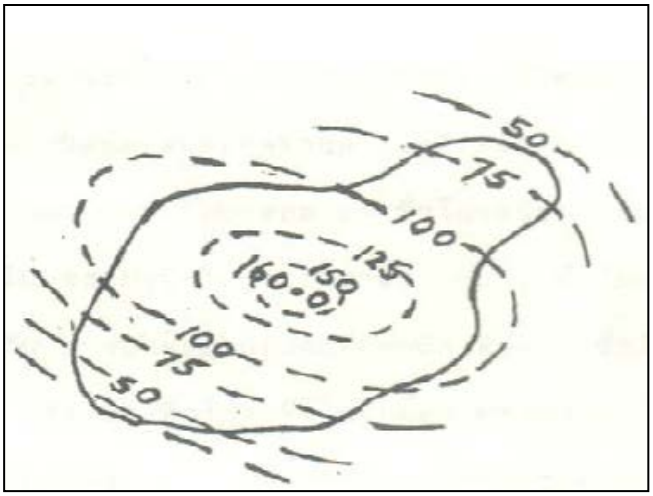
รูปที่ 15 แสดงภาพการแบ่งขอบเขตพื้นที่ตามวิธี Thiessen

ตัวอย่าง ตารางที่ 2-2 แสดงตัวอย่างการหาค่าฝนเฉลี่ยตามน้ำหนักของพื้นที่โดยวิธีทีเซน

สถานี (1)	**ฝน – มม.** (2)	**% พื้นที่** (3)	**ค่าเฉลี่ยตามน้ำหนัก – มม.** (4) = (2) x (3)/100
ก	50	18	9
ข	45	20	9
ค	42	25	10.5
ง	28	37	10.36
		100	38.86

ค) วิธีไอโซไฮต์ (isohyetal method)

โดยการกำหนดจุดของสถานีวัดน้ำฝนลงบนแผนที่หรือพื้นที่ที่สนใจพร้อมกับเขียนค่าน้ำฝนลงไป แล้วลากเส้น isohyetal line คือ เส้นที่แสดงว่ามีปริมาณฝนตกเท่าๆ กัน โดยอาศัยค่าปริมาณฝนของแต่ละสถานีที่มีการบันทึกไว้นั้นเป็นหลัก โดยวัดพื้นที่ของเส้นไอโซไฮต์หนึ่งๆที่ครอบคลุมอยู่ คิดเฉพาะที่อยู่ภายในเนื้อที่นั้น แล้วให้ค่าน้ำหนัก (weighted rainfall) ออกมาเป็น **%** ของพื้นที่ทั้งหมดคูณกับค่าเฉลี่ย ผลรวม weighted rainfall คือ ค่าเฉลี่ยของฝนที่ตกในพื้นที่ทั้งหมด



รูปที่ 16 แสดงการแบ่งพื้นที่เพื่อการคำนวณตามวิธี Isohyete

ตัวอย่าง ตารางที่ 2-3 แสดงตัวอย่างการหาค่าฝนเฉลี่ยโดยวิธีไอโซไฮต์

เส้นไอโซไฮต์ (1)	**ค่าฝนเฉลี่ยระหว่างเส้นไอโซไฮต์ (มม.) (2)**	**พื้นที่ (%) (3)**	**ค่าฝนเฉลี่ยตามน้ำหนัก (มม.) (4) = (2) x (3)/100**
มากกว่า 150	153.3	9	13.8
125 - 150	137.5	19	26.1
100 - 125	112.5	31	34.9
75 - 100	87.5	20	17.5
50 - 70	62.5	14	8.7
25 - 50	37.5	7	2.6
Summation		100	103.6

ได้ค่า Weighted average rainfall = 103.6

** ค่าเฉลี่ยในเส้นไอโซไฮต์สูงสุด (เส้น 150 มม.) คิดแบบปริมาตรของรูปกรวย คือ เท่ากับ 150+ 1/3 ของความสูงที่จุดยอด เท่ากับ 150 + 10/3 เท่ากับ 153.3 มม.

การประมาณค่าข้อมูลน้ำฝนที่หายไป (Approximation of Missing Data)

สถานีวัดน้ำฝนจำนวนมากไม่สามารถเก็บข้อมูลติดต่อกันได้เป็นเวลานานๆ อาจมีช่วงเวลาหนึ่งที่ข้อมูลขาดหายไป ถ้าค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนตลอดปีของสถานีใกล้เคียง 3 สถานีที่จะนำข้อมูลมาเฉลี่ยหาข้อมูล

ของสถานีที่หายไปนั้นแตกต่างไม่เกิน 10% ของสถานีที่ข้อมูลหายไปให้คำนวณแบบ arithmetic average จาก 3 สถานีใกล้เคียงนั้น แต่ถ้ามากกว่า 10% ให้ใช้วิธีหาสัดส่วนปกติ (normal ratio method) ตามสมการ

$$Px = \frac{1}{3}\left[\frac{Nx \cdot Pa}{Na} + \frac{Nx \cdot Pb}{Nb} + \frac{Nx \cdot Pc}{Nc}\right]$$

โดย *Px* = ค่าของปริมาณน้ำฝนที่หายไป

Nx = ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนตลอดปีของสถานีที่ข้อมูลหายไป

Na , Nb , Nc = เป็นค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนตลอดปีของสถานี a, b, และ c

Pa , Pb , Pc = เป็นค่าของน้ำฝนที่วัดได้ที่สถานี a, b, และc ในช่วงเวลาเดียวกับที่ข้อมูลสถานี x หายไป

ผลการศึกษาแนวโน้มของฝนทั่วประเทศไทย พบว่า 62 จังหวัด หรือ (81.6%) มีแนวโน้มฝนลดลง และยังพบว่า 7 จังหวัด หรือ (9.2%) มีแนวโน้มฝนคงที่ ได้แก่ แม่ฮ่องสอนพะเยา อำนาจเจริญ ชุมพร ภูเก็ต ปัตตานีและนราธิวาส และอีก 7 จังหวัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น(9.2%) ได้แก่ ตาก กำแพงเพชร มุกดาหาร สุรินทร์ ปราจีนบุรี ตราด และยะลา (งานศึกษาและวิเคราะห์อุตุ-อุทกวิทยา, 2538) กอปรด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก สถานการณ์ดังกล่าวนับเป็นสิ่งท้าทายต่อการเปลี่ยนแปลงในการจัดการน้ำ การเก็บกักน้ำที่ส่วนเกินในหน้าฝน การจัดหาน้ำมาให้พอเพียงในหน้าแล้ง การจัดการน้ำข้ามเขตลุ่มน้ำ (transbasin management) ล้วนเป็นภาวะท้าทายที่พวกเราต้องพบในทศวรรษต่อไปนี้

4) น้ำท่า(Stream flow)

น้ำในแม่น้ำลำธารจัดเป็นน้ำท่าผิวดินประเภทหนึ่ง สำหรับการพัฒนาแหล่งน้ำแล้ว ถือว่าน้ำท่าเป็นข้อมูลที่ต้องรวบรวมเป็นเบื้องต้นก่อนการทำงานพัฒนาใดๆ เช่นเดียวกับข้อมูลน้ำฝนข้อมูลน้ำท่าที่ต้องศึกษาและรวบรวมมานั้น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำ ปริมาตรของการไหล นักสหวิทยาการสนใจการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลและปริมาตรเป็นผลมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการหมดไปของพื้นที่ป่าไม้ (deforestation) การใช้น้ำในภาคการเกษตร การอุตสาหกรรม การอุปโภค บริโภค ฯลฯ

ในทางปฏิบัติแล้วไม่นิยมวัดค่าการไหลของน้ำท่า ที่ไหลในแม่น้ำลำธารทุกครั้งที่ต้องการทราบค่า เพราะการไหลของน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ทุกเวลา แต่เราสามารถทราบค่าอัตราการไหลและปริมาตรได้จากการหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เคยบันทึกไว้ โดยต่อเนื่องในอดีต ข้อมูลที่เก็บได้จากภาคสนามซึ่งถือเป็นข้อมูลปฐมภูมิ (primary field data) นั้นเราเก็บมาจากเสาวัดระดับน้ำ (water stage) วิธีนี้เราจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้จากเสาและปริมาณน้ำที่ไหลจริงมีความสัมพันธ์กันอย่างดี

การสำรวจข้อมูลระดับน้ำ ปริมาณน้ำ และขั้นตอนรายละเอียดการคำนวณฯและวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำ และ ปริมาณน้ำ เพื่อจัดเก็บรวบรวมข้อมูลช่วงยาว(Historic data)และสถิติอุทกวิทยาประกอบด้วยขั้นตอนดำเนินการต่าง ๆ ดังนี้

- การคำนวณฯหาระดับน้ำรายวัน
- การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ของข้อมูลระดับน้ำและข้อมูลวัดน้ำ (Rating)

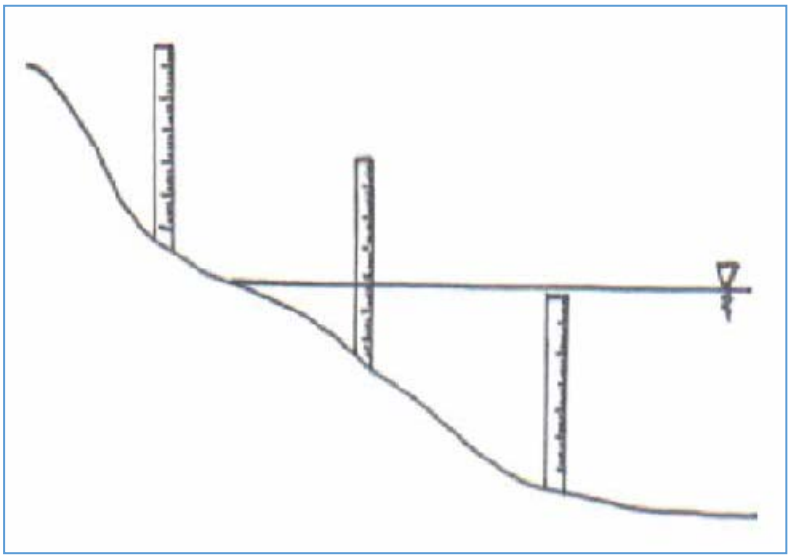
- การวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำ (Shift adjustments)
- การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำรายวัน(Daily Discharge)
- การคำนวณฯหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุดและต่ำสุด(Mean, Maximum, Minimum)

รูปที่ 17.1 สถานีสำรวจข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

รูปที่ 17.2 สถานีสำรวจข้อมูลปริมาณน้ำ

4.1 ระดับน้ำ (Water Stage)

ระดับน้ำ คือ ระดับของผิวน้ำเหนือเส้นระดับที่เรากำหนด (zero datum) โดยทั่วไปนิยมอ้างอิงกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) แต่บางกรณีถ้าการถ่ายระดับเป็นไปโดยความยากลำบาก เช่น ถ้าสถานีวัดน้ำท่าอยู่ในป่าลึก หรือเป็นหุบเขาจะใช้ระดับสมมุติ(assumed datum)ซึ่งปกติจะกำหนดให้อยู่ต่ำกว่าก้นคลองเป็นระดับกำหนดแทน



รูปที่ 18 ภาพตัดขวางลำน้ำแสดงการตั้ง staff gauge

ระดับน้ำเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญมาก ถ้าหากข้อมูลผิดหรือคลาดเคลื่อนแล้ว จะทำให้ข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องอาศัยระดับน้ำคลาดเคลื่อนไปด้วย ดังนั้นการอ่านระดับน้ำจึงต้องกระทำอย่างระมัดระวัง และต้องได้รับการเอาใจใส่ดูแลอย่างใกล้ชิด การวัดระดับน้ำจะกระทำได้จาก

- การอ่านแผ่นวัดระดับน้ำ หรือแบบธรรมดา (Non recording Gauge)
- เครื่องวัดระดับแบบอัตโนมัติ (Water Level Recorder)

4.1.1 การอ่านข้อมูลระดับน้ำจากแผ่นวัดระดับน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการอ่านค่าระดับน้ำ-หน่วยเป็น เมตร (m.) จากแผ่นวัดระดับน้ำที่ติดตั้งไว้กับเสาระดับโดยพนักงานอ่านระดับน้ำที่จ้างไว้ หรือเจ้าหน้าที่ของศูนย์สำรวจอุทกวิทยาที่ไปประจำอยู่ที่สถานีอุทกวิทยาฯ การอ่านมักจะกระทำเฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น เช่น

ถ้าอ่านวันละ 1 ครั้ง	จะอ่าน	เวลา 07.00 น.
ถ้าอ่านวันละ 2 ครั้ง	จะอ่าน	เวลา 07.00 น. และ 17.00 น.
ถ้าอ่านวันละ 3 ครั้ง	จะอ่าน	เวลา 06.00 น., 12.00 น. และ 18.00 น.
ถ้าอ่านวันละ 5 ครั้ง	จะอ่าน	เวลา 06.00 น., 09.00 น., 12.00 น., 15.00 น. และ 18.00 น.

แต่ที่จะแนะนำให้อ่านก็คือ

เดือนมกราคม ถึง เมษายน อ่าน 2 ครั้ง ที่เวลา 06.00 น. และ 18.00 น.

เดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน อ่าน 3 ครั้ง ที่เวลา 06.00 น., 12.00 น. และ 18.00 น.

เดือนกรกฎาคม ถึง กันยายน อ่าน 5 ครั้ง ที่เวลา 06.00 น., 09.00 น., 12.00 น., 15.00 น. และ 18.00 น.

เดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม อ่าน 3 ครั้ง ที่เวลา 06.00 น. 12.00 น. และ 18.00 น

- สถานีที่มีเจ้าหน้าที่อยู่ประจำ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงกันยายนของทุกปี ควรอ่านวันละ6ครั้ง โดยเพิ่ม 21.00 น.

แผ่นวัดระดับน้ำ (Gauge) มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1 แผ่นวัดระดับน้ำ แบบตั้ง (Vertical Staff gauge) ซึ่งเป็นแบบที่มีใช้อยู่ทั่วไป

2. แผ่นวัดระดับน้ำแบบ เอียง (Slope gauge) ที่ผ่านมาเสาระดับแบบตั้งมีปัญหากับลำน้ำสาขา ที่มีต้นไม้และเศษไม้ไหลมากับสายน้ำพาเอาเสาระดับโค่นไปจึงได้พยายามเปลี่ยนมาใช้แบบเอียงหรือติดตั้งกับสิ่งก่อสร้างถาวร เช่น เสาสะพาน เป็นต้น

1. แผ่นวัดระดับน้ำแบบตั้ง (Vertical Staff Gauge) เป็นแผ่นวัดระดับน้ำชนิดที่ใช้วัดระดับน้ำในแนวดิ่งหรือแนวตั้งนิยมทำด้วยแผ่นเหล็กเคลือบ (Enamel) ขนาดความยาวแผ่นละ 1.00 เมตร กว้าง 0.15 เมตร แบ่ง Scale สำหรับอ่านค่าทุก ๆ 1 หรือ 2 ซม. และเน้นระยะอ่านทุก ๆ 10 ซม. และให้สีพื้นของแผ่นแตกต่างจากสีขาวของ Scale โดยเด่นชัด สำหรับของกรมทรัพยากรน้ำใช้แบ่ง Scale ทุก ๆ 1 ซม. ใช้สีน้ำเงินแก่ และสีของพื้นแผ่นใช้สีแดงที่มุมล่างด้านขวามือและมุมบนด้านซ้ายมือของแผ่นเจาะรูสำหรับ ติดแผ่นตัวเลขบอกจำนวนของแผ่นที่ติดตั้ง ขนาดแผ่น ตัวเลขประมาณ 3 ซม. x 10 ซม. ทำด้วยโลหะ ชนิดเดียวกับแผ่นวัดระดับ ดังแสดงในรูปที่ 19-1

รูปที่ 19-1 แสดงลักษณะของแผ่นวัดระดับน้ำแบบตั้ง

2. แผ่นวัดระดับน้ำแบบเอียง (Slope gauge) เป็นแผ่นระดับน้ำ ที่ทำการติดตั้งตามความลาดของลำคลองชลประทานโดยเฉพาะที่มีความลาดเอียง (Slope) 1 : 1.5 ความยาวของแผ่น 90.1395 ซม. จะวัด ความ

สูงของระดับน้ำในแนวตั้งได้ 0.50 เมตร ฉะนั้นจึงต้องติดตั้ง 2 แผ่น ต่อกันจึงจะอ่านค่า Scale ในแนวตั้งได้ 1.00 เมตร ส่วน Scale ที่แผ่นจะใช้มาตรา 1 : 1.5 ดังแสดงในรูปที่ 19-2

รูปที่ 19-2 แสดงลักษณะของแผ่นวัดระดับน้ำแบบเอียง

วิธีการตรวจวัดเครื่องวัดระดับน้ำชนิดธรรมดา

- ควรอ่านค่าระดับน้ำในตำแหน่งที่ใกล้ขีดสเกล และสามารถเห็นได้ชัดเจน

- การอ่านค่าระดับต้องอ่านตรงกึ่งกลางของแผ่นระดับ ในกรณีที่มีคลื่นจัดให้ทำการอ่านค่าเฉลี่ยสูงสุด และต่ำสุด นำมาหาค่าเฉลี่ย

- เมื่อเกิดกรณีน้ำท่วม (Flood) ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าจากสเกลระดับได้ ให้ทำเครื่องหมายระดับน้ำ ขณะเกิดน้ำท่วมในแต่ละช่วงเวลาไว้ในบริเวณรอยต่อคอนกรีต หรือพื้นที่ข้างเคียงหรือตามคราบน้ำบนต้นไม้ เพื่อทำการวัดระยะหาค่าระดับในภายหลัง

การบำรุงรักษา

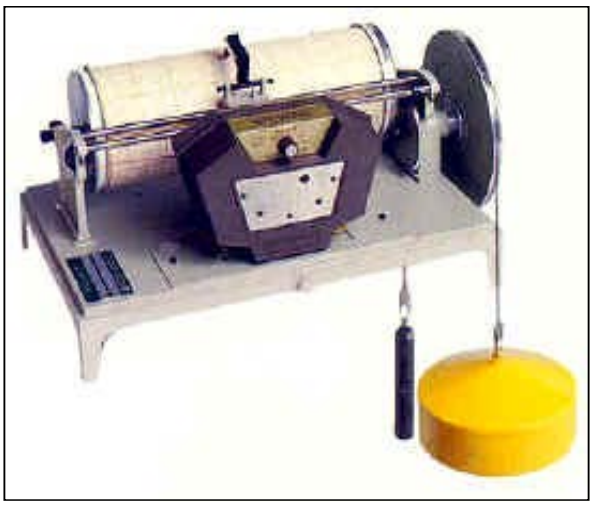
- ควรทำการซ่อมแซม เมื่อแผ่นวัดระดับชำรุดหรือสูญหาย เสาระดับเอนหรือล้ม และปรับเปลี่ยนในกรณีที่ไม่สามารถทำการตรวจวัดระดับน้ำได้เนื่องจากกรณีน้ำแห้ง

4.1.2 การอ่านข้อมูลระดับน้ำจากเครื่องวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง (Water Level Recorder)

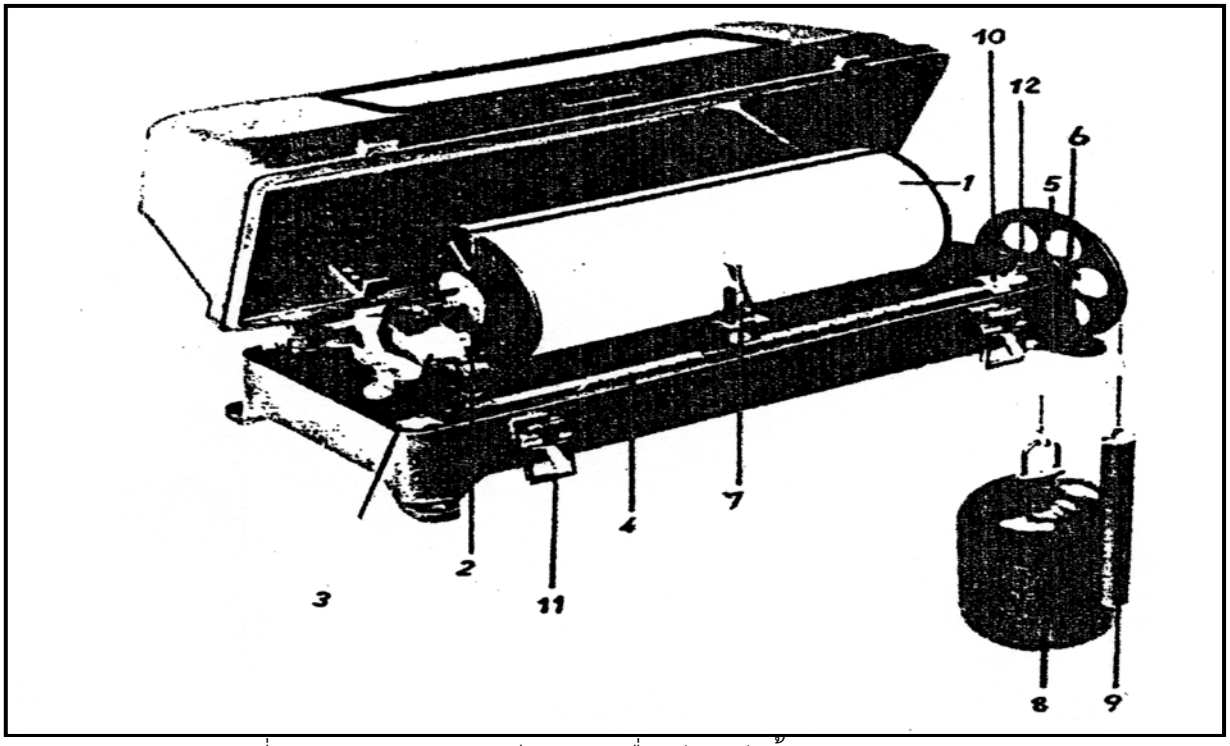
เป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าระดับน้ำและเวลาของการขึ้น-ลงของน้ำในแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยเครื่องสามารถบันทึกข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาลงบนกระดาษกราฟ หรือ Data logger ได้อย่างต่อเนื่อง เครื่องวัดระดับน้ำแบบนี้มีใช้กันอยู่หลายชนิดด้วยกัน ที่นิยมใช้กันในประเทศไทยมีอยู่ 2 แบบ คือ

1) เครื่องวัดระดับน้ำแบบลูกลอย หรือแบบ Float gauge

เป็นเครื่องวัดระดับน้ำแบบใช้ระบบถ่ายทอดการขึ้น-ลงของระดับน้ำจากลำน้ำไปยังเครื่องบันทึกผ่านลูกลอย (Float) ที่ห้อยด้วยลวดสลิง หรือ Tape ไปคล้องพันอยู่กับบุลเลย์ของเครื่องบันทึก ซึ่งเครื่องวัดระดับน้ำนี้จะตั้งอยู่เหนือบ่อน้ำนิ่ง (Stilling well) ซึ่งอาจจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กท่อคอนกรีต ท่อ S-Lon หรือ ท่อเหล็กก็ได้ เครื่องวัดระดับน้ำแบบ Float gauge ซึ่งมีทั้งแบบที่มีเครื่องบันทึกข้อมูลในแนวนอน (Horizontal float recorder) และเครื่องบันทึกข้อมูลในแนวดิ่ง (Vertical float recorder) มีข้อแตกต่างในรายละเอียดปลีกย่อย แต่มีหลักการทำงานคล้ายกัน แสดงเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติแบบ Float gauge และรายละเอียดดังรูปที่ 20-1 และ รูปที่ 20-2



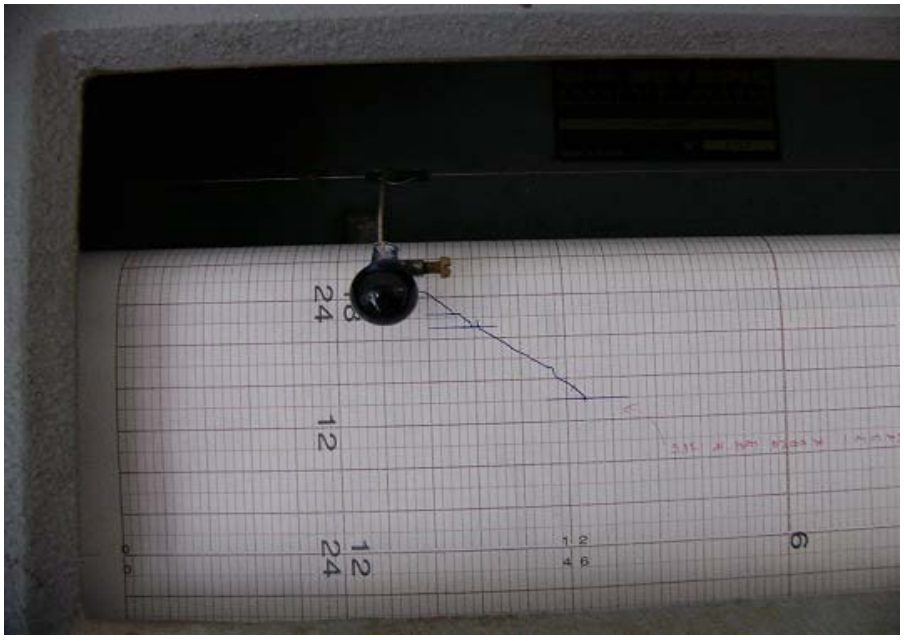
รูปที่ 20-1 เครื่องวัดระดับน้ำแบบ Float gauge



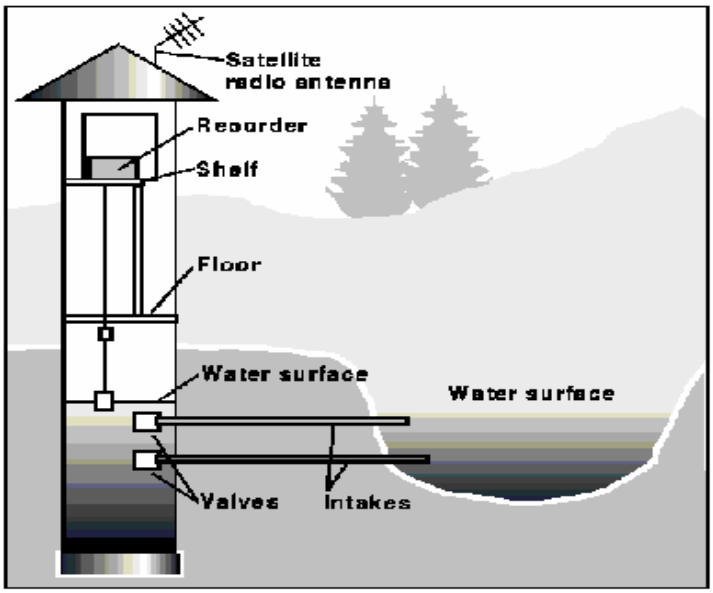
รูปที่ 20-2 แสดงรายละเอียดของเครื่องวัดระดับน้ำแบบ Float gauge

1. กระบอกใส่กราฟ 2. เฟืองของกระบอกใส่กราฟ
3. นาฬิกา 4. แกนเกลียววางล้อลูกลอย
5. วงล้อลูกลอย 6. สกรูหมุนแกนเกลียววางล้อลูกลอย
7. แขนดินสอ 8. ลูกลอย
9. ตุ้มถ่วง 10. น๊อตปรับแกนวงล้อลูกลอย
11. ที่ล็อคฝาครอบ 12. น๊อตล็อคน๊อตปรับแกนวงล้อลูกลอย

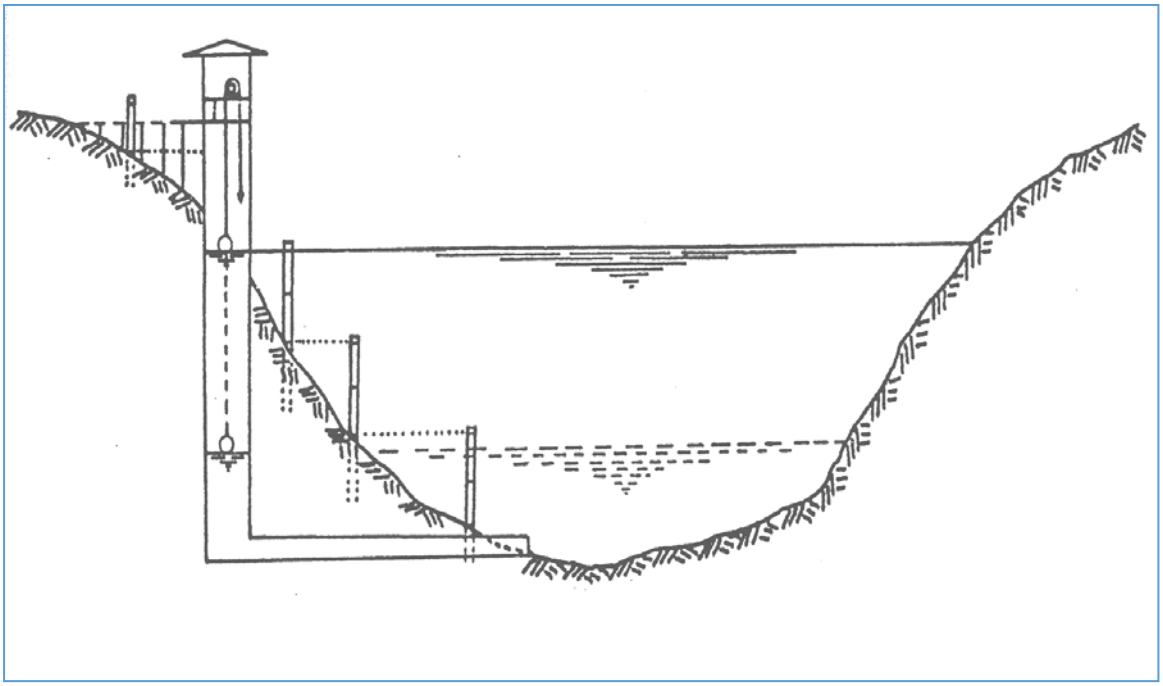
การวัดโดยใช้เครื่องมือวัดอัตโนมัติ (automatic recording gauge) ที่ติดตั้งในอาคารวัดน้ำชนิดนี้มีราคาแพงกว่า แต่จะสามารถบันทึกระดับน้ำได้ติดต่อกันต่อเนื่องตลอดเวลา พร้อมบันทึกข้อมูลด้วยกราฟ มีแกนนาฬิกาเท่ากับเวลาปกติ 1 วัน อาศัยหลักของทุ่นลอยเหนือระดับน้ำหรือใช้หลักความดัน ดังรูปที่ 21-1, 21-2



รูปที่ 21-1 Automatic recording

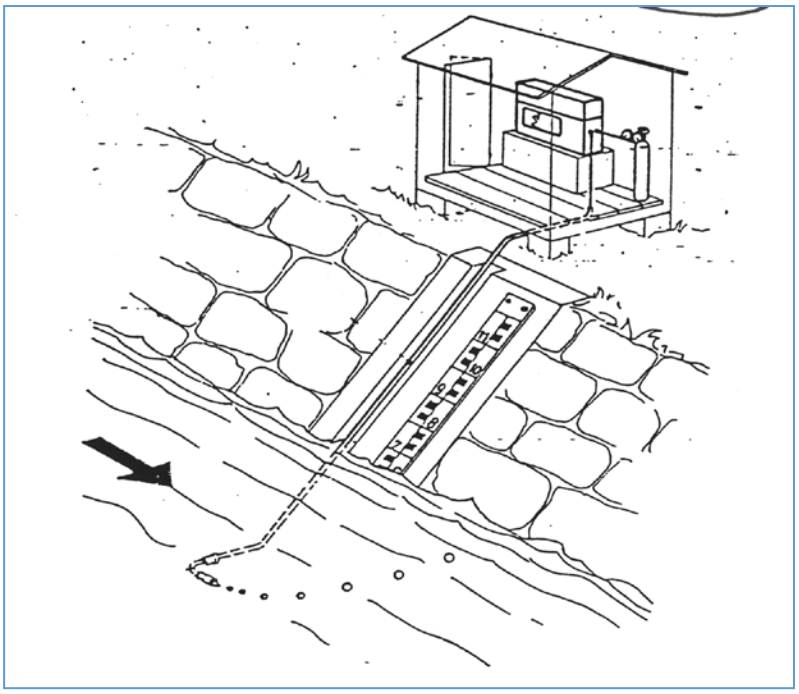


รูปที่ 21-2 ภาพแสดงรูปแบบการทำงานของ Automatic recording gauge



รูปที่ 22 แสดงอาคารเครื่องวัดระดับน้ำแบบ (Float gauge)

2) เครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ ชนิดใช้ฟองอากาศ (Bubble type) มีหลายแบบการจะนำชนิดและแบบใดมาใช้จะต้องให้เหมาะกับสภาพของแม่น้ำ ดังนั้นแบบของอาคารติดตั้งและเครื่องมือจึงมีแตกต่างกันออกไป



รูปที่ 23 แสดงอาคารวัดระดับน้ำแบบ (Bubble gauge)

.

4.2 ปริมาณการไหลหรืออัตราการไหล

ปริมาณการไหลของน้ำ ก็คือ ปริมาตรของน้ำที่ไหลผ่านรูปตัดขวางของลำน้ำนั้นๆ ใน 1 หน่วยเวลา เช่น 1 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ปริมาณการไหลของน้ำจะเท่ากับผลคูณของความเร็วเฉลี่ยของน้ำกับพื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน ตามหลักของ Continuity Equation ดังนี้

$$Q = A \cdot \overline{V}$$

โดย Q คือปริมาณการไหลของน้ำ

A คือพื้นที่หน้าตัด (หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วเฉลี่ย)

$\overline{V}$ คือความเร็วเฉลี่ยของลำน้ำ

ถ้า *A* มีหน่วยเป็น m^2, $\overline{V}$ คือมีหน่วยเป็น m/s

ดังนั้น *Q* จะมีหน่วยเป็น m^3/s (วิบูลย์ บุญยธโรกุล, 2526)

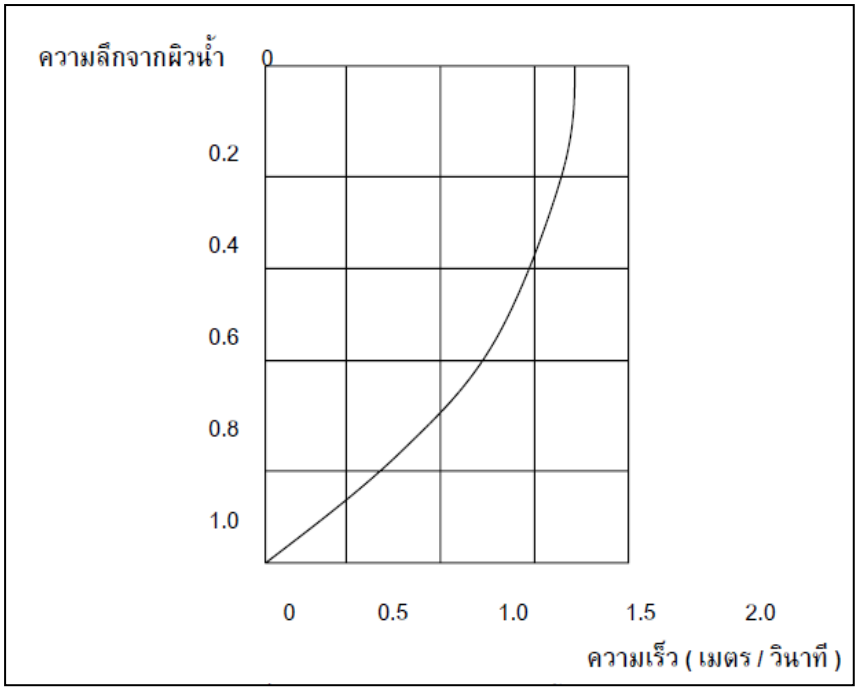
การวัดปริมาณการไหลของน้ำ (Water Measurement) ที่กรมทรัพยากรน้ำใช้ส่วนใหญ่ 2 วิธี ได้แก่

1. ใช้ current meter หรือ Flow meter
2. ใช้เครื่องวัดน้ำอัตโนมัติ เช่น ADCP

ในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะในส่วนของ flow meter **หรือ** current meter การใช้flow meter จะวัดความเร็วของกระแสน้ำ (*V*) แล้วจึงนำมาหาค่าความเร็วเฉลี่ย หรือ *V* (velocity) ในสูตรของ

$$Q = A \cdot \overline{V}$$

ค่า *V* ที่วัดได้นี้จะเป็นค่า *V* ณ จุดที่เราวัด ในหน้าตัดหนึ่ง ๆ ของลำน้ำ เราจะได้ค่า *V* หลายค่า เพื่อนำมาเฉลี่ย เนื่องจากในหน้าตัดหนึ่ง ๆ ของลำน้ำมีค่าความเร็วที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2-13 ความเร็วของลำน้ำที่จุดต่าง ๆ กัน ในแนวดิ่งโดยจะเปลี่ยนแปลงเป็นแบบพาราโบลา คือมีค่าเป็น 0 ที่ก้นลำน้ำ และมีค่าสูงสุดที่ผิวน้ำหรือบริเวณใกล้กับผิวน้ำ หลักการคือ แบ่งรูปตัดขวางของลำน้ำออกเป็นส่วน ๆ ประมาณ 20 ส่วน ในแต่ละส่วนควรมีปริมาณการไหลของน้ำไม่เกิน 10 % ของปริมาณการไหลรวมทั้งรูปตัดของลำน้ำ การวัดความเร็ว(*V*) ในแต่ละความลึก ในแต่ละส่วนย่อยของหน้าตัด ให้เป็นไปตามคำแนะนำ ตัวอย่าง ดังตารางที่ 2- 4



รูปที่ 24 ความเร็วของลำน้ำที่จุดต่าง ๆ กัน

ความลึกของน้ำ (D)	จุดที่ทำการวัด	ความเร็วเฉลี่ย
D < 0.6 เมตร	0.6 D จากผิวน้ำ	$\overline{V} = V_{0.6}$
0.6 เมตร ≤ D ≤ 3 เมตร	0.2 D และ 0.8 D	$\overline{V} = \frac{1}{2}(V_{0.2} + V_{0.8})$
3 เมตร ≤ D ≤ 6 เมตร	0.2 D , 0.6 D และ 0.8 D	$\overline{V} = \frac{1}{4}(V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8})$
D > 6 เมตร	S , 0.2 D ,0.6 D ,0.8 D,B	$\overline{V} = \frac{1}{10}(V_S + 3V_{0.2} + 2V_{0.6} + 3V_{0.8} + V_B)$

ตารางที่ 2-4 จุดวัดความเร็วกระแสน้ำ

โดย V_S เป็นความเร็ววัดที่ความลึก 30 ซม. จากผิวน้ำ หรือจากท้องคลื่นของน้ำ

V_B เป็นความเร็ววัดที่ความลึก 30 ซม. จากก้นลำน้ำตลอดระยะเวลาการวัดการไหลของน้ำ ระดับน้ำควรคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลามากนักหรือเรียกว่า steady flow หรือ การไหลแบบคงที่ flow meter (รูปที่ 6-4) จะมีสูตรเฉพาะเครื่องที่ใช้คำนวณหาความเร็วจากผลของการวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ (วีระพล แต้สมบัติ, 2528) คือ $V = a + bN$ โดย V คือ ความเร็วของกระแสน้ำ มีหน่วยเป็นฟุต / วินาที

a คือ ความเร็วเริ่มต้นหมุน

b คือ ค่าคงที่สำหรับแต่ละเครื่องวัด *N* คือ จำนวนรอบที่ถ้วยรูปกรวย หมุนในเวลา 1 วินาที

*** สำหรับค่าของ *a* และ *b* จะเปลี่ยนไปได้ตามบริษัทผู้ผลิต

รูปที่ 25 การฝึกวัดความเร็วกระแสน้ำด้วย Current meter

<u>การสำรวจข้อมูลปริมาณน้ำ</u>จำเป็นต้องเลือกเครื่องมือ และวิธีการใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับสภาพของลำน้ำเช่นเดียวกับการวัดระดับน้ำ เครื่องมือที่นิยมใช้วัด คือ เครื่องวัดกระแสน้ำ (Current meter) เป็นวิธีการวัดโดยตรง (Direct method) ส่วนจะใช้วิธีวัดโดยวิธีใดขึ้นอยู่กับสภาพลำน้ำ เช่น น้ำน้อยใช้วิธีเดินวัด (Wading) ถ้าน้ำมากใช้วัดโดยวิธีการหย่อนเครื่องวัด (Suspension) จากเรือ สะพาน หรือกระเช้าวัดน้ำ ซึ่งมีวิธีการหลายอย่าง แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ

-วิธีหย่อนเครื่องจากสะพาน

ในวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องสร้างอาคารประกอบ โดยมากใช้สะพานข้ามแม่น้ำที่มีอยู่แล้ว ใช้กับแม่น้ำขนาดกว้างที่การก่อสร้างอาคารลำบาก หรือใช้กับการวัดโดยหน่วยเคลื่อนที่วัดน้ำ มีข้อเสียคือ บางแห่งตัวสะพานไม่อยู่ในแนวตั้งฉากกับลำน้ำ ต้องแก้ไขมุมเบนของสะพานในการคำนวณหาความกว้างจริงของลำน้ำ

- วิธีหย่อนเครื่องวัดจากเรือ

ในวิธีนี้จำเป็นต้องสร้างโครงยึดลวดสลิงข้ามแม่น้ำ สำหรับเลื่อนเรือสำรวจที่ติดตั้งเครื่องวัดกระแสน้ำให้เลื่อนไป – กลับได้โดยสะดวก เป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีอื่น เพราะอาจเลือกตำแหน่งวัดที่เหมาะสมได้ แต่วิธีการ วัดด้วยเรือต้องใช้คนมาก และมีการบำรุงรักษาที่ดี รวมทั้งต้องมีพนักงานประจำสถานี มีค่าใช้จ่ายสูง

- วิธีการหย่อนจากกระเช้าวัดน้ำ (Cable car)

เป็นวิธีที่ใช้วัดในกรณีที่ไม่อาจใช้เรือได้ และไม่มีสะพานให้หย่อนเครื่อง ต้องสร้างโครงขึงลวดสลิงสำหรับกระเช้าโดยทั่วไปจะใช้คน 2 คน สำหรับวัด และเลื่อนกระเช้าไป–มา วิธีนี้ใช้คนน้อยแต่มีข้อจำกัด เรื่องความกว้างของลำน้ำ โดยปกติจะสร้างโครงสลิงติดกระเช้าได้เมื่อมีความกว้างไม่เกิน 70-80 เมตร

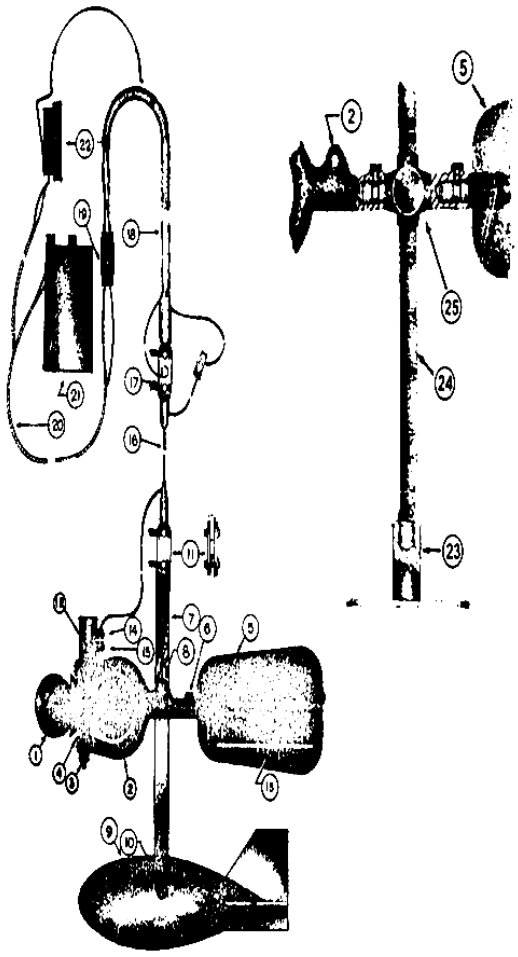
เครื่องมือวัดกระแสน้ำ (Current Meter)

เครื่องวัดกระแสน้ำเป็นเครื่องมือใช้วัดความเร็วการไหลของน้ำในแม่น้ำลำคลองตามธรรมชาติ หรือในท่อหรือรางน้ำที่สร้างขึ้นมา ประกอบด้วย ตัวเครื่องวัดกระแสน้ำ (Current Meter) เครื่องนับจำนวนรอบการหมุนใบพัด (Counter) อาจเป็นเครื่องฟังเสียงใช้ควบคู่กับนาฬิกาจับเวลา หรือแบบมีนาฬิกาจับเวลาในตัวสามารถตั้งเวลานับรอบได้ กว้าน (Winch) และลูกถ่วงน้ำหนัก (Sinker) จะใช้สำหรับกับการหย่อนลงไปวัดในลำน้ำที่มีความลึกมาก ๆ หรือแกนหยั่งน้ำ (Wading rod) จะใช้สำหรับการเดินหยั่งในลำน้ำที่ตื้น หรือไม่ลึกมาก เครื่องวัดกระแสน้ำมีหลายแบบ ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. เครื่องวัดกระแสน้ำแบบกระบวย (Price's Type) มีแกนกระบวยอยู่ในแนวตั้ง

1) เครื่องวัดกระแสน้ำขนาดใหญ่ ใช้วัดความเร็วของกระแสน้ำตั้งแต่ 0 ถึง 3.0 เมตร/วินาที ส่วนประกอบและรายละเอียดของชุดวัดกระแสน้ำแบบ Price แสดงในรูปที่ 21 และ 22

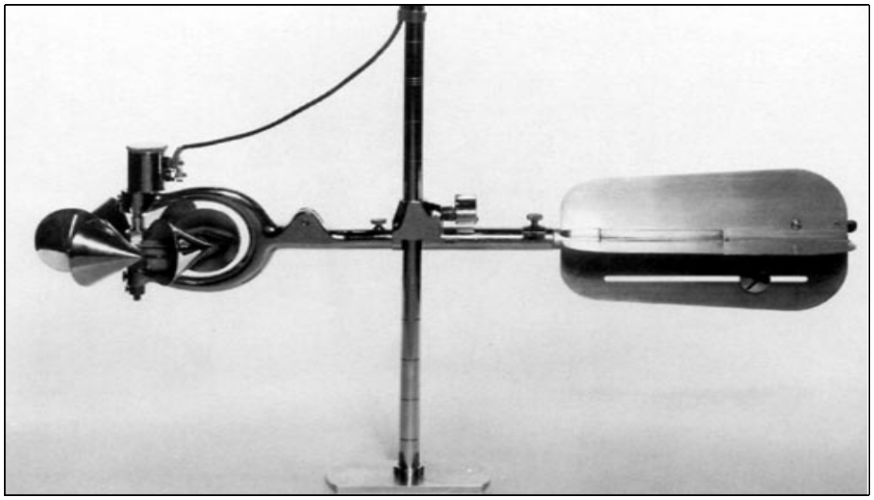
รูปที่ 26 แสดงส่วนประกอบของชุดวัดกระแสน้ำแบบ Price



1. กระบวยรับน้ำ (Cup)
2. โครงตัวเครื่องติดตั้งกระบวย (Body)
3. แกนตั้งกระบวย (Pivot)
4. น็อตล็อคกระบวย
5. แผ่นหาง (Tail piece)
6. สกรูล็อคหางกับโครงเครื่อง
7. แกนต่อลูกตอร์กับตัวเครื่อง (Sinker bar)
8. สกรูล็อคแกนลูกตอร์กับโครงเครื่อง
9. ลูกตอร์ (Sinker)
10. สกรูล็อคลูกตอร์กับแกนต่อลูกตอร์
11. ประกับล็อคสายสลิงกับแกนลูกตอร์
12. Contact Chamber
13. น็อต. สกรูปรับระดับหาง
14. หลักต่อสายไพ สำหรับรับสัญญาณ 1:1
15. หลักต่อสายไฟสำหรับสัญญาณ 1:5
16. Suspension Cable
17. ประกับล็อคสาย Cable กับสายไพ
18. สายไฟส่งสัญญาณ (Signal Cable)
19. ขั้วต่อสายไพ (Cable connector)
20. สายไพต่อถ่านไพฉายกับหูฟัง (Earphone) หรือสายไฟต่อเข้าเครื่องบอกสัญญาณ (Counter)
21. ถ่านไพฉาย
22. หูฟัง (Earphone)
23. แป้นแกนหยั่งน้ำ
24. แกนหยั่งน้ำ (Rod)
25. ข้อต่อตัวเครื่องกับหางใช้กับแกนหยั่งน้ำ

รูปที่ 27 แสดงรายละเอียดส่วนประกอบของชุดวัดกระแสน้ำแบบ Price

2) เครื่องวัดกระแสน้ำขนาดเล็กแบบ Price (Pygmy Type Current Meter) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดความเร็วของน้ำไหลในแม่น้ำลำคลองมีความเร็วตั้งแต่ 0.015-0.90 เมตร/วินาที หรือในแม่น้ำ ลำคลองที่มีระดับต่ำกว่า 0.50 เมตร ส่วนประกอบและรายละเอียดของชุดวัดกระแสน้ำแบบ Pygmy Type Current Meter แสดงในรูปที่ 23

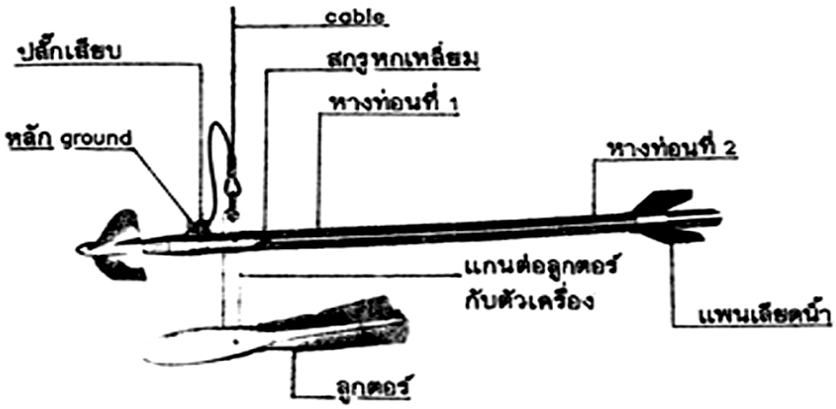


รูปที่ 28 แสดงส่วนประกอบของชุดวัดกระแสน้ำแบบ Pygmy Type Current Meter

2. เครื่องวัดกระแสน้ำแบบใช้ใบพัด (Propeller Type)

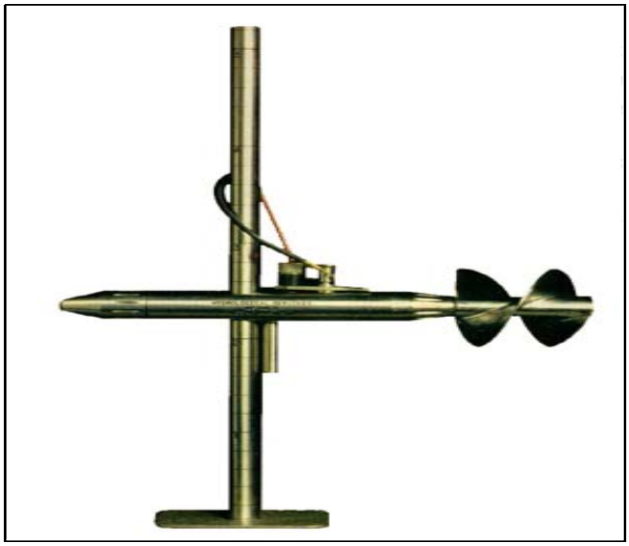
วัดกระแสน้ำโดยใช้ใบพัด (Propeller) เป็นตัวรับกระแสน้ำโดยมีแกนของใบพัดอยู่ในแนวนอนขณะวัดความเร็วกระแสน้ำ แกนใบพัดที่สวมอยู่ภายในปลอกจะไปขับเคลื่อนระบบ Contact สำหรับส่งสัญญาณไปยังเครื่องนับรอบ ระบบ Contact มีทั้งระบบกล (Mechanic) และระบบแม่เหล็ก (Magnetic) เครื่องมือมีหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเร็วของกระแสน้ำ

1) เครื่องวัดกระแสน้ำขนาดใหญ่ เป็นเครื่องวัดกระแสน้ำสำหรับใช้วัดในแม่น้ำที่มีความเร็วสูงใช้วัดโดยการหย่อนลงไปวัด (Suspension) หรือการหยั่งน้ำ มีใบพัดให้เลือกใช้หลายขนาดขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำ มีระบบ Contact แบบ Mechanic มีฟันเฟืองสำหรับให้ Contact ต่อวงจรสัญญาณการหมุนใบพัดหลายชุดสำหรับเลือกใช้ แสดงส่วนประกอบและรายละเอียดของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของส่วนใบพัดของเครื่องมือวัดกระแสน้ำแบบนี้ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 แสดงส่วนประกอบของเครื่องวัดกระแสน้ำแบบใช้ใบพัด ขนาดใหญ่

2) เครื่องวัดกระแสน้ำขนาดเล็ก (Small Current Meter) ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องขนาดใหญ่ มีชุดของใบพัดขนาดเล็กให้เลือกใช้ตามช่วงความเร็วต่าง ๆ หลายใบ แตกต่างจากเครื่องขนาดใหญ่ตรงที่ไม่มีปลอกแกนใบพัดสำหรับเสียบใบพัดกับแกนโดยตรง (ภาพดังแสดงในรูปที่ 30) ดังนั้นในการใช้เครื่องวัดกระแสน้ำขนาดเล็กทำการสำรวจ ต้องพิจารณาขนาดใบพัดให้ เหมาะสมกับความเร็วของกระแสน้ำขณะนั้น



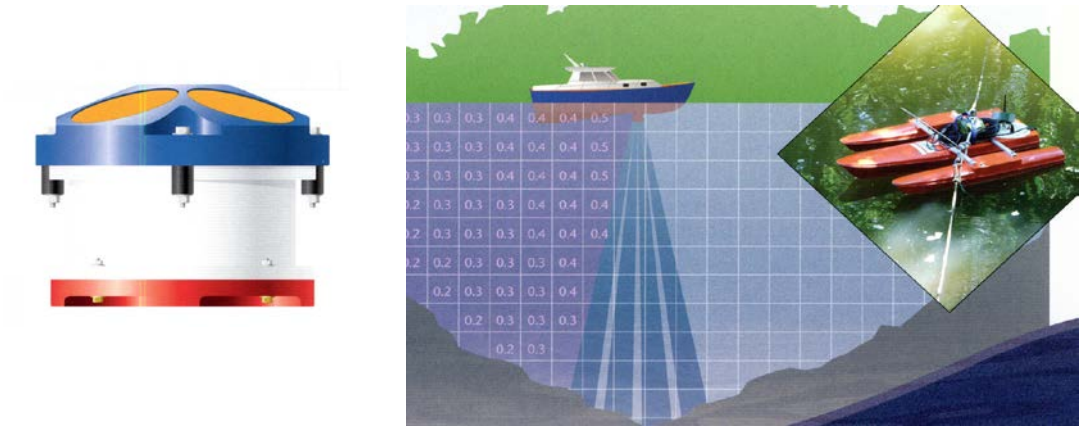
รูปที่ 30 แสดงเครื่องวัดกระแสน้ำแบบใช้ใบพัด ขนาดเล็ก

3.เครื่องมือวัดกระแสน้ำแบบ ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

เครื่องมือวัดกระแสน้ำแบบ ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) เป็นเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีการส่งคลื่นความถี่ ในช่วงความถี่ต่าง ๆ แบ่งออกเป็น

1) Workhorse Rio Grande ADCP

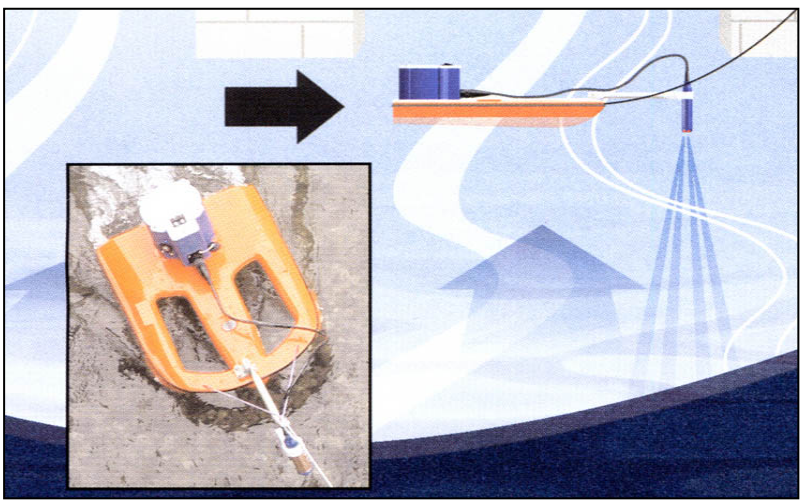
เป็นเครื่องมือในการวัดอัตราการไหลของแม่น้ำโดยใช้หลักการส่งคลื่นความถี่ 1,200 หรือ 600 กิโลเฮิร์ต ออกไปตามเคลื่อนที่ของเรือ โดยใช้ Win River ในการเก็บข้อมูล GPS และความหยั่งลึก ซึ่งผลที่ได้ จะสะดวกรวดเร็วประหยัด ซึ่งจะใช้ในแม่น้ำที่มีขนาดช่วงกว้าง ความลึกตั้งแต่ 30 cm ขึ้น ไปและบริเวณปากแม่น้ำที่ไม่มีข้อมูลอัตราการไหลอยู่ ข้อได้เปรียบของเครื่องมือนี้คือ จะได้รับข้อมูลจำนวนมากและคุ้มค่ากับการลงทุนในการสำรวจลำน้ำ รวมทั้งประหยัดเวลา และมีคุณภาพสูง



รูปที่ 31 เครื่องมือวัดระแสน้ำแบบ Workhouse Ric Grade ADCP และวิธีการใช้งาน

2) Stream Pro ADCP

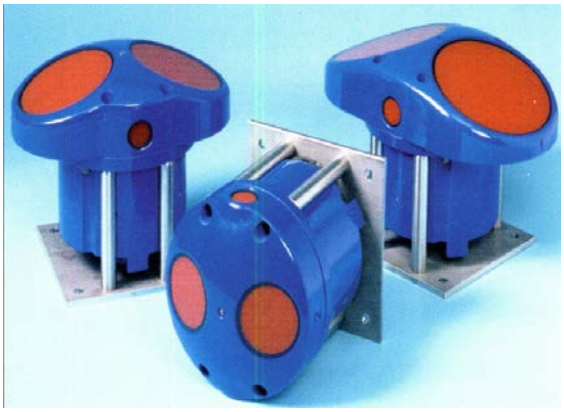
เป็นเครื่องมือในการวัดความเร็วและอัตราการไหลของลำน้ำที่มีความลึก 15-200 cm ที่ค่อนข้างจะสะดวกรวดเร็ว โดยใช้การลากจูงเครื่องมือในลำน้ำด้วยมือ ไม่ต้องวัดจากสถานีหนึ่งไปอีกสถานีหนึ่ง จะใช้เวลาเพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น ซึ่งจะได้ข้อมูลรวดเร็ว และมีคุณภาพข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากการเก็บข้อมูล ใช้ Bluetooth wireless และ Pocket PC จะแสดงผลทันทีซึ่งง่ายต่อการจัดการ

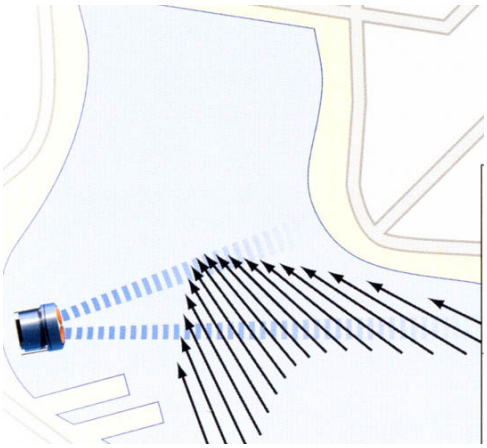


รูปที่ 32 เครื่องมือวัดระแสน้ำแบบ Stream Pro ADCP และวิธีการใช้งาน

3) Channel master H-ADCP

เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดความเร็ว สภาพลำน้ำ และอัตราการไหลของลำน้ำในแนวราบที่มีความถูกต้องของข้อมูลสูง และประหยัด สำหรับข้อมูลของลำน้ำที่ไม่เกี่ยวเนื่องกัน เนื่องจากลำน้ำที่มีการไหลที่ปั่นป่วนและมีความเร็วน้อย ซึ่งจะต้องใช้ SDI-12 ในการสื่อสารข้อมูลซึ่งจะต้องเก็บข้อมูล อุณหภูมิ ความดัน การหมุนวน ความลึกของน้ำ





รูปที่ 33 เครื่องมือวัดระแสน้ำแบบ Channel master H-ADCP และวิธีการใช้งาน

กราฟน้ำท่า (Streamflow Hydrograph)

กราฟน้ำท่าของลุ่มน้ำใดๆ จะบ่งบอกถึงสภาพต่าง ๆ ของลุ่มน้ำนั้นเข้าไว้ด้วยกัน เช่นสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชันของพื้นที่ ชนิดดิน ชนิดและความอุดมสมบูรณ์ของป่า เป็นต้น ดังนั้นถ้าลักษณะประจำของลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไปลักษณะของกราฟน้ำท่าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย จากบทก่อนๆที่เราเรียนรู้ลักษณะของน้ำนั้น น้ำในส่วนที่เป็น overland flow หรือ surfacerunoff จะไหลไปตามร่องน้ำเล็กๆ (channel) ซึ่งมีอยู่จำนวนมากมายในพื้นที่รับน้ำที่เราสนใจหนึ่งๆ น้ำที่ไหลตามร่องน้ำนี้จะไหลขณะที่ฝนตกหนัก จนฝนหยุดตกแล้วช่วงเวลาหนึ่ง ถ้าหากจำนวนน้ำที่ไหลทางผิวดินนี้มีมากพอก็จะเป็นส่วนสำคัญในการเกิดน้ำนองหรือน้ำท่วมสูงสุด (flood peaks)

ปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดินจะน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับดินว่ามีลักษณะที่น้ำซึมผ่านได้ง่ายหรือยาก และความเข้มของฝน (rainfall intensity) โดยที่ overland flow จะเกิดได้เมื่อความเข้มของฝนที่ตก มีอัตรามากกว่าอัตราการซึมผ่านลงดินของน้ำ (infiltration rate)ปริมาณน้ำที่ไหลใต้ผิวดิน (interflow) คือน้ำส่วนที่ซึมลงดินผ่านชั้นต่างๆ จนกระทั่งถึงชั้นน้ำที่ไหลซึมผ่านได้ยาก (impervious zone) น้ำส่วนหนึ่งจะไหลไปตามแนวนอน

(horizontal) ภายในดินจนกระทั่งบรรจบกับลำน้ำซึ่งอยู่ห่างออกไปทางด้านท้ายน้ำของบริเวณที่น้ำเริ่มไหลซึมลงไปในดินมากพอสมควร ลักษณะการไหลจะช้ากว่า overland flow และจะบรรจบถึงลำน้ำดังกล่าวในเวลาช้ากว่า overland flow เช่นกัน สัดส่วนของปริมาณน้ำที่ไหลใต้ผิวดินต่อปริมาณน้ำท่าทั้งหมดขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางธรณีของดินในลุ่มน้ำนั้นๆ

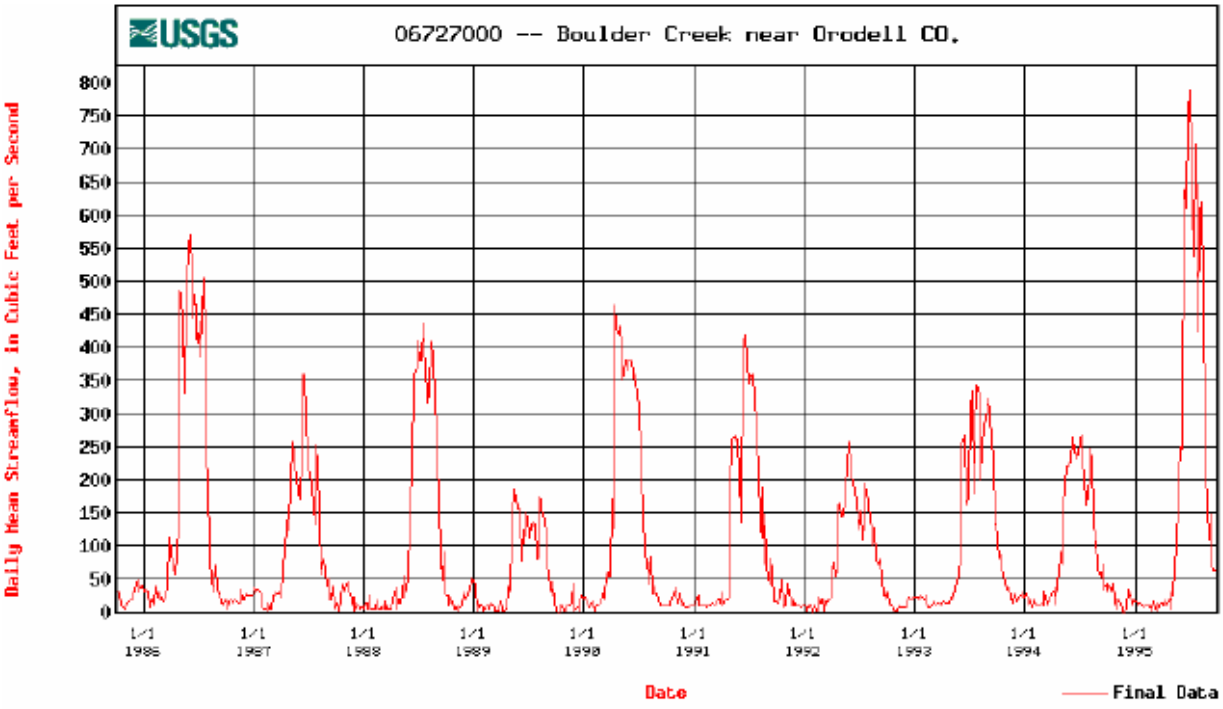
น้ำฝนบางส่วนอาจไหลซึมลึกลงจนถึงระดับน้ำใต้ดิน กลายเป็น groundwater flow บางครั้งเรียกว่า base flow หรือ dry-weather flow ลักษณะการเคลื่อนตัวช้าใช้เวลานาน ก่อนจะปรากฏที่ลำน้ำ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะไม่ทำให้กราฟน้ำท่าขึ้นลงรวดเร็วแต่อย่างใดลุ่มน้ำที่มีดินชั้นบนที่น้ำซึมผ่านได้ง่ายจะมีน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินน้อย น้ำที่ไหลในลำน้ำส่วนใหญ่จะเป็นน้ำใต้ดินลุ่มน้ำที่มีชั้นดินภายใต้สภาพทางธรณีวิทยาแบบหินปูน (limestone) น้ำใต้ดินอาจเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงแบบปั่นป่วน (turbulence) ไปตามช่องว่างหรือรอยแตกของหินปูน ในการพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำทั้งหมดนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. direct runoff หรือ storm runoff หมายถึงน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินทั้งหมด รวมกับ interflow ที่เคลื่อนตัวสู่ลำน้ำเร็วพอสมควร

2. base flow หมายถึง น้ำใต้ดิน (groundwater) และ interflow ที่มีอัตราการไหลสู่ลำน้ำช้ากว่า

<u>ลักษณะของกราฟน้ำท่า (Characteristics of the hydrograph)</u>

ตัวอย่างกราฟน้ำท่าดังรูปเกิดจากการตกของฝนลูกเดียว ประกอบด้วยส่วนโค้ง 3 ส่วนด้วยกันคือ 1) โค้งการเพิ่มขึ้น (rising limb) 2) ส่วนยอด (crest segment) 3) โค้งการลดลง (falling limb) (วีระพล แต้สมบัติ, 2531) ดังรูปที่ 29



รูปที่ 34 กราฟน้ำท่าแสดงการโค้งขึ้นสู่ยอดและการโค้งลดลง(Basin, No Date)

รูปร่างของโค้งการเพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของฝนที่เป็นสาเหตุให้มีการเพิ่มขึ้นของน้ำในลำน้ำ จุดเปลี่ยนโค้ง (point of inflection) ที่อยู่ทางด้านโค้งการลดลงของกราฟน้ำท่าจะสมมติว่าเป็นเวลาที่น้ำท่าที่ไหลบนผิวดินมาสู่ลำน้ำหยุด การลดลงของกราฟน้ำท่าจะแสดงถึงการที่น้ำในส่วนอื่นๆที่ไม่ใช่ overland flow ไหลออกมาสู่ลำน้ำ ได้แก่

1) จาก surface detention storage ซึ่งอยู่บนผิวดิน

2) จาก channel storage หรือ storage ในลำน้ำ

3) จาก interflow

4) จาก base flow

โดยทั่วไปพิจารณา storages ในหัวข้อที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน เป็น surface runoff ในทางทฤษฎีนั้นจะต้องใช้เวลานานมากที่กราฟน้ำท่าจะเพิ่มปริมาณการไหลจนถึงจุดสมดุลย์ และต้องการเวลานานมากเช่นกันกว่าปริมาณการไหลจะหยุด แต่ในทางปฏิบัตินั้นทั้งโค้งการเพิ่มและโค้งการลดลงจะถึงจุดสิ้นสุดไม่นานนัก กราฟน้ำท่าดังที่ได้กล่าวมานี้ เรียกว่ากราฟน้ำท่าของ overlandflow ลักษณะต่างๆ ของพายุฝนที่อาจทำให้กราฟน้ำท่าที่เกิดขึ้นผิดแผกกันออกไปได้คือ ช่วงเวลาของฝน (rainfall duration) ลักษณะเวลา-ความเข้มข้น (time intensity pattern) การแผ่กระจายทั่วพื้นที่ของฝน (area distribution) และปริมาณ runoff ที่เกิดขึ้น

การหาปริมาณการไหลสูงสุดเพื่อทราบขนาดน้ำท่วม (Design of Flood Peak)

วิธีที่ใช้กันแพร่หลายทั่วโลก คือ ใช้ rational formula สำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก มีขนาด พื้นที่ลุ่มน้ำ (catchment area) ไม่เกิน 25 ตร.กม. มีสมมติฐานของการใช้สูตรคือมีฝนตกกระจายทั่วลุ่มน้ำที่สนใจนั้นอย่างเท่า

เทียมกันทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ (uniformly distributed) นอกจากนี้ยังสมมติว่าความเข้มฝน (rainfall intensity) มีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ฝนตก สูตรการคำนวณดังกล่าวเป็นดังนี้ (วีระพลแต้สมบัติ, 2531).

$$Q = 0.278\ CiA$$

จากสมการ $Q = 0.278\ CiA$

เมื่อ Q = ปริมาณการไหลสูงสุด (design peak discharge) มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

C = สัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำท่าและน้ำฝน

i = ความเข้มของน้ำฝนมีหน่วยเป็น ม.ม./ชั่วโมง

A = พื้นที่ลุ่มน้ำมีหน่วยเป็น ตารางกิโลเมตร

โดย Tc = (0.87 L 3/ H) 0.385

เมื่อ Tc = เวลาน้ำท่าเข้มข้น มีหน่วยเป็นชั่วโมง

L = ความยาวตามลำล้ำสายใหญ่จากจุดออกถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

H = คือ ความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดิน ที่จุดออกและจุดไกลสุดบน สันปันน้ำหน่วยเป็นเมตร

หรือหาได้จาก H = ST * L

เมื่อ ST = ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่

สำหรับตารางค่า C นั้นแสดงไว้ดังตารางข้างล่างนี้ ผู้ใช้ต้องนำไปพิจารณาประกอบว่าลักษณะพื้นที่ที่กำลังหาค่าน้ำท่วมสูงสุดนั้นใกล้เคียง ค่า C ใดในตารางมากที่สุด ตารางที่ 2-5 แสดงค่า C ในพื้นที่ลุ่มน้ำในเขตเมือง วนตารางที่ 2-6 แสดงค่า C ในลุ่มน้ำที่อยู่ในเขตชนบท (Texas Department of Transportation, No Date) สำหรับลุ่มน้ำในเขตชนบทนั้นให้ปรับค่า C ดังสมการข้างล่างนี้

$$C = Cr + Ci + Cv + Cs$$

ค่า C ดังกล่าวมีนักวิจัยหลายคนค้นคว้าไว้หลายค่า ให้เลือกใช้และปรับให้เข้ากับประเทศไทยให้เหมาะสม

ตารางที่ 2-5 ค่า Runoff Coefficients สำหรับลุ่มน้ำในเขตเมือง

ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ	Runoff Coefficient
Business:	
☐ downtown areas	0.70-0.95
☐ neighborhood areas	0.30-0.70
Residential:	
☐ single-family areas	0.30-0.50
☐ multi-units, detached	0.40-0.60
☐ multi-units, attached	0.60-0.75
☐ suburban	0.35-0.40
☐ apartment dwelling areas	0.30-0.70

Industrial:	
□ light areas	0.30-0.80
□ heavy areas	0.60-0.90
Parks, cemeteries	0.10-0.25
Playgrounds	0.30-0.40
Railroad yards	0.30-0.40
Unimproved areas:	
□ sand or sandy loam soil, 0-3%	0.15-0.20
□ sand or sandy loam soil, 3-5%	0.20-0.25
□ black or loessial soil, 0-3%	0.18-0.25
□ black or loessial soil, 3-5%	0.25-0.30
□ black or loessial soil, >5%	0.70-0.80
□ deep sand area	0.05-0.15
□ steep grassed slopes	0.70
Lawns:	
□ sandy soil, flat 2%	0.05-0.10
□ sandy soil, average 2-7%	0.10-0.15
□ sandy soil, steep 7%	0.15-0.20
□ heavy soil, flat 2%	0.13-0.17
□ heavy soil, average 2-7%	0.18-0.22
□ heavy soil, steep 7%	0.25-0.35
Streets:	
□ asphaltic	0.85-0.95
□ concrete	0.90-0.95
□ brick	0.70-0.85
Drives and walks	0.75-0.95
Roofs	0.75-0.95

ตารางที่ 2-6 ค่า Runoff Coefficients สำหรับลุ่มน้ำในเขตชนบท

	Extreme	High	Normal	Low
Relief (C_r)	**0.28-0.35** steep, rugged terrain with average slopes above 30%	**0.20-0.28** hilly, with average slopes of 10-30%	**0.14-0.20** rolling, with average slopes of 5-10%	**0.08-0.14** relatively flat land, with average slopes of 0-5%
Soil Infiltration (C_i)	**0.12-0.16** no effective soil cover either rock or thin soil mantle of negligible infiltration capacity	**0.08-0.12** slow to take up water, clay or shallow loam soils of low infiltration capacity or poorly drained	**0.06-0.08** normal; well drained light or medium textured soils, sandy loams	**0.04-0.06** deep sand or other soil that takes up water readily, very light well drained soils
Vegetal Cover (C_v)	**0.12-0.16** no effective plant cover, bare or very sparse cover	**0.08-0.12** poor to fair; clean cultivation, crops or poor natural cover, less than 20% of drainage area over good cover	**0.06-0.08** fair to good; about 50% of area in good grassland or woodland, not more than 50% of area in cultivated crops	**0.04-0.06** good to excellent; about 90% of drainage area in good grassland, woodland, or equivalent cover
Surface (C_s)	**0.10-0.12** negligible; surface depression few and shallow, drainageways steep and small, no marshes	**0.08-0.10** well defined system of small drainageways, no ponds or marshes	**0.06-0.08** normal; considerable surface depression storage lakes and ponds and marshes	**0.04-0.06** much surface storage, drainage system not sharply defined; large floodplain storage or large numbers of ponds or marshes
Note: The total runoff coefficient is **C=Cr+Ci+Cv+Cs**				

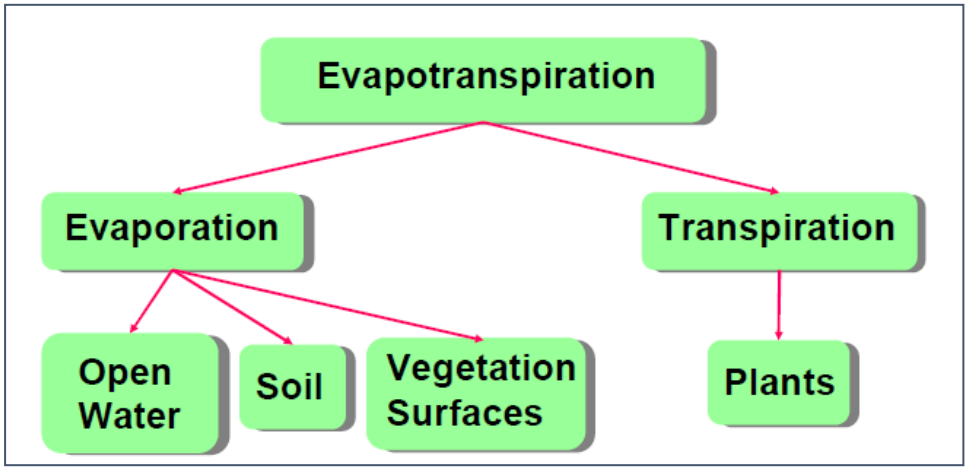
5.การระเหย, การคายน้ำ และการคายระเหย (Evaporation, Transpiration, Evapotranspiration)

การคายระเหย (evapotranspiration) หรือบางครั้งในตำราทางด้านวิศวกรรมชลประทานจะเรียกเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่สู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบขึ้นด้วยสองส่วนหลัก (อภิชาต และคณะ,2524; วิบูลย์, 2526) คือ

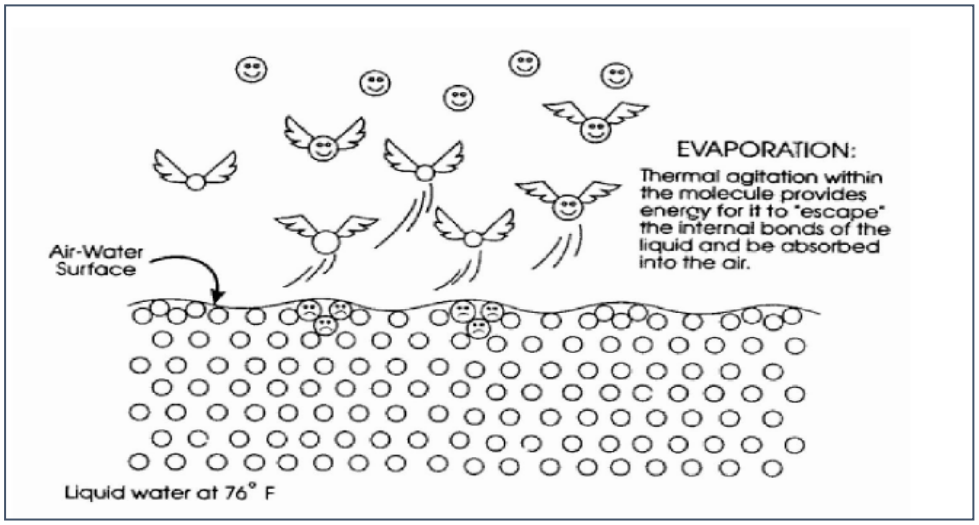
(1) ปริมาณที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (transpiration)

(2) ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำ ซึ่งเรียกว่า การระเหย(evaporation)

จากนิยามข้างต้น เห็นได้ว่าการคายน้ำ (transpiration) นั้นเป็นส่วนหนึ่งของน้ำที่ระเหยไปทั้งหมดนั่นเอง โดยน้ำส่วนนี้ระเหยสู่บรรยากาศจากดินโดยผ่านต้นพืช ส่วน การระเหย(evaporation) เป็นกระบวนการที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอจากผิวน้ำ ผิวดินหรือผิวของพืชพรรณ และคำว่า การคายระเหย (evapotranspiration) เป็นคำที่เรียกรวมของกระบวนการทั้งสอง (**รูปที่ 35**)



รูปที่ 35 การคายระเหย (evapotranspiration)



รูปที่ 36 กระบวนการระเหยน้ำแบบผิวเปิด (Ward and Elliot, 1995)

6. กระบวนการระเหย (Evaporation Process)

การระเหยเกิดขึ้นเมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ การเปลี่ยนสถานะนี้ต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่ง เรียกว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat ofvaporization) ในธรรมชาติแหล่งพลังงานอันนี้ได้แก่ รังสีแสงอาทิตย์

ถ้าพิจารณาภาชนะปิดที่มีน้ำใส่อยู่ครึ่งหนึ่ง หากมีแหล่งพลังงานเพียงพอ ในช่วงแรกน้ำจะระเหยได้ดี แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งการระเหยจะหยุดลง ปรากฏการณ์ลักษณะนี้อธิบายได้ว่า ขณะที่ทำการปิดภาชนะใหม่ๆ ปริมาณไอน้ำในอากาศที่อยู่ในภาชนะยังมีปริมาณน้อยทำให้น้ำระเหยไปในอากาศได้ง่าย เมื่อเวลาผ่านไปความหนาแน่นของโมเลกุลของน้ำในอากาศจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้อัตราการระเหยลดลงจนหยุดในที่สุดการระเหยจะหยุดลงเมื่อ ปริมาณไอน้ำในอากาศถึงจุดอิ่มตัว หรือ ความดันไอน้ำในอากาศเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapor pressure: es) หากต้องการให้การระเหยเกิดขึ้นต่อไป จำเป็นต้องมีกลไกบางอย่างที่เคลื่อนย้ายไอน้ำที่ระเหยจากผิวน้ำออกไป ในสภาพธรรมชาติ การเคลื่อนที่ของอากาศหรือลม เป็นกลไกหลักที่เคลื่อนย้ายไอน้ำที่ระเหยจากพื้นผิวออกไป ทำให้กระบวนการระเหยเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

กล่าวโดยสรุป การระเหยจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีเงื่อนไข สองประการ คือ

- ต้องมีแหล่งพลังงานเพียงพอสำหรับน้ำที่จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ
- ต้องมีกลไกที่เคลื่อนย้ายไอน้ำที่ระเหยจากผิวออกไป

6.1 การระเหยมี 2 แบบใหญ่ๆคือผิวน้ำเปิดและการระเหยจากดิน

(ก) การระเหยจากผิวน้ำเปิด

การระเหยจากผิวน้ำเปิดโล่ง (evaporation from an open water surface) อาทิทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำ หรือ ถาดวัดการระเหย สามารถศึกษาได้ง่ายกว่าการระเหยจากพื้นผิวที่มีดินหรือพืชปกคลุมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพเมื่อเวลาผ่านไป ลักษณะของผิวน้ำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก การระเหยจากผิวน้ำเป็นการระเหยอันเนื่องมาจากปัจจัยทางภูมิอากาศเป็นหลัก

(ข) การระเหยจากผิวดิน

การระเหยจากผิวดินเปล่าๆ (evaporation from a soil surface) มีลักษณะคล้ายกับกระบวนการระเหยจากผิวน้ำในขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แต่เมื่อดินแห้งลงกระบวนการระเหยจะซับซ้อนขึ้น เนื่องจากน้ำที่ระเหยมาจากดินที่ลึกลงไปเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยจากผิวดินจะแบ่งได้เป็นสองช่วง กล่าวคือ

- ช่วงแรกขณะดินค่อนข้างอิ่มตัวด้วยน้ำ การระเหยจะเกิดขึ้นตามปริมาณของพลังงานที่ได้รับ ซึ่งเป็นปัจจัยของภูมิอากาศเป็นหลัก

- ช่วงที่สองเกิดขึ้นเมื่อผิวดินเริ่มแห้ง น้ำที่ระเหยจะมาจากดินที่ลึกลงไป อัตราการการระเหยจะถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ของน้ำขึ้นสู่ผิวดินอันเป็นปัจจัยที่ขึ้นกับลักษณะดินอาทิ การนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity)

6.2 การคายระเหย (evapotranspiration)

กระบวนการระเหยจะซับซ้อนยิ่งขึ้นเมื่อมีพืชเข้ามาเกี่ยวข้อง การคายระเหย(evapotranspiration) เป็นคำที่กล่าวถึงน้ำที่ระเหยโดยรวมทั้งที่ผ่านพืช และจากพื้นผิวอื่นๆโดยมีศัพท์เกี่ยวข้องกับการคายน้ำ ดังนี้

การคายน้ำ (transpiration) คือการที่พืชสูญเสียน้ำออกไปในรูปไอน้ำ น้ำที่ระเหยออกจากพืชส่วนนี้ส่วนใหญ่จะระเหยสู่บรรยากาศทางปากใบ (stoma) (สมบุญ, 2544)

อัตราส่วนการคายน้ำ (transpiration ratio) เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่พืชใช้ทั้งหมดตลอดอายุของพืช ต่อ น้ำหนักของวัตถุแห้งทั้งหมดของพืช (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, 2546)

การคายระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำ ของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration) แนวคิดของการคายระเหยนั้น ได้นำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางวิศวกรรมชลประทาน ในบางครั้งเทอม evapotranspiration มักใช้ในภาษาไทยว่า การใช้น้ำของพืช ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหาปริมาณน้ำชลประทานที่พืชต้องการ ในขณะที่คำว่าการคายระเหยนั้นเป็นคำซึ่งใช้ทั่วๆ ไป ไม่เฉพาะเจาะจง

วิธีการหาค่าการระเหยอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือการตรวจวัดข้อมูล และการคำนวณจากข้อมูลอากาศ

(ก) การตรวจวัดการระเหย

การตรวจวัดอัตราการระเหยโดยตรงนั้นทำได้ค่อนข้างยาก วิธีการวัดการระเหยส่วนใหญ่แล้วมักเป็นการวัดปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในขอบเขตที่พิจารณา หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งทำได้หลายแนวทาง ดังนี้

- การหาจากถาดวัดการระเหย (pan evaporation)
- การใช้เกจวัดการระเหย (evaporation gage)
- การใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืช (lysimeters)
- การโดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน (soil water depletion)
- การหาโดยใช้หลักสมดุลของปริมาณน้ำ (water balance)
- การหาโดยใช้หลักสมดุลของพลังงาน (energy balance)
- การหาโดยใช้หลักการถ่ายเทมวลสาร (mass transfer)

ส่วนใหญ่นิยมใช้ การหาจากถาดวัดการระเหย (pan-evaporation methods) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ แต่ที่ใช้เป็นมาตรฐานในสถานีตรวจอากาศของกรมทรัพยากรน้ำและกรมอุตุนิยมวิทยา นั้นเป็นถาดวัดการระเหย Class A (ดูจากรูปที่ 37 และรายละเอียดในตารางที่ 2-7)

ตารางที่ 2-7 คุณลักษณะของถาดวัดระเหยมาตรฐาน Class A

เส้นผ่าศูนย์กลาง	1.21 เมตร	(47.5 นิ้ว)
สูง	25.4 เมตร	(10 นิ้ว)

เติมน้ำสูงกว่า	180 มม.	7 นิ้ว

รูปที่ 37 เครื่องวัดการระเหยแบบ American Class A Pan

เครื่องประกอบด้วย

1. ถังน้ำ (Evaporation pan) รูปกลมขนาดเล็ก 10 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางปากถัง 48 นิ้ว ทำด้วยเหล็กเคลือบสังกะสี หรือโลหะผสมอย่างเบา

2. ขอวัดระดับน้ำ (Micrometer hook gauge)

3. ที่รองรับของวัดระดับน้ำ (Stilling well) เป็นรูปทรงกระบอก ทำด้วยทองเหลือง สูง 8 นิ้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 1/2 นิ้ว ตั้งอยู่บนฐาน 3 เหลี่ยม มีสกรูยึด มีเกลียวแต่งระดับ ตั้งไว้บนถังน้ำ เพื่อเป็นที่วางขอวัดและป้องกันอาการพริ้วหรือกระเทือนของน้ำด้วย

การติดถังวัดการระเหย ต่อถังตั้งอยู่บนฐานไม้สำหรับรองรับสูงจากพื้นดิน 6 นิ้ว ควรถมดินยกพื้นระดับให้สูงจากระดับเดิมเล็กน้อย ต้องหมั่นตรวจดูถังว่ามีรูรั่วหรือมีรอยสนิม อย่างน้ำเดือนละครั้ง ถ้ามีสนิมให้ขัดออกเสียด้วยแปรงทองเหลือง แล้วทาสีทับ ถังต้องสะอาดอยู่เสมอ และน้ำต้องให้สะอาด อย่าให้มีผงตะกอนและฝ้าน้ำมันจับ เพราะฝ้าน้ำมันทำให้ลดอัตราการระเหยลง ตรวจดูระดับน้ำเป็นประจำทุกวันและจดรายงาน

6.3 การจัดตั้งสถานีอุทกวิทยา

การสำรวจน้ำนี้จะได้กล่าวถึงหลักสำคัญของการจัดตั้งสถานีอุทกวิทยาดังนี้

ก่อนที่จะตั้งสถานีวัดน้ำจะต้องทำการสำรวจเลือกที่ตั้ง โดยอาศัยจากแผนที่ละเอียดที่สุดเท่าที่มีอยู่ (1:50,000) หรือถ้ามีรูปถ่ายทางอากาศก็จะยิ่งช่วยมากขึ้น การเลือกนี้ควรเลือกไว้หลาย ๆ จุด แล้วจึงทำการตรวจสอบเป็นขั้นสุดท้ายกับภูมิประเทศจริง ๆ สำหรับการเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดที่จะตั้งนี้ ต้องเลือกในตอนที่ระดับน้ำ (Stage) และปริมาณน้ำ (Discharge) มีความสัมพันธ์กันดี ซึ่งจะได้พบในลำน้ำตอนที่ตรงท้องน้ำไม่

เปลี่ยนแปลง และไม่อยู่บริเวณ back water เช่น ถ้าอยู่เหนือแก่งได้ก็จะเป็นการดี การเลือกในขั้นสุดท้ายนั้นจะต้องดูสภาพของลำน้ำ ณ ระดับต่าง ๆ ในรอบปี เช่นที่ระดับน้ำน้อย ระดับน้ำปานกลางและระดับน้ำสูงสุด แต่ถ้าหากไม่มีเวลาพอที่จะดูหรือสังเกตลำน้ำในระดับต่าง ๆ ได้ ก็ให้ทำการเลือก โดยให้คำนึงถึงเรื่องระดับน้ำนี้ไว้ด้วย สิ่งที่ควรพิจารณาประกอบในการเลือกสถานีวัดน้ำ ซึ่งในที่นี้หมายถึงที่ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอันอาจจะเป็นแผ่นระดับหรือเครื่องวัดระดับน้ำแบบอัตโนมัติก็ได้ มีดังนี้

1. ควรให้มี Good control section อยู่ทาง downstream ลงไป Control ในที่นี้หมายถึง station control , control แย่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Section control และ Channel control, Section control จะเกิดมีขึ้นเมื่อช่วงของลำน้ำที่ control ความสัมพันธ์ของ stage และ discharge มีช่วงสั้นมาก section นี้ อาจสังเกตได้จากผิวน้ำที่เป็นคลื่นหรือระลอก เช่น แก่ง หรือน้ำตก เป็นต้น แก่งหรือน้ำตกนี้จะเป็นเครื่องป้องกันมิให้ความสัมพันธ์ระหว่าง stage และ discharge ถูกรบกวนหรือถูกเปลี่ยนจากผลสะท้อนที่มาจาก downstream ส่วน Channel control นั้น เกิดขึ้นเมื่อความสัมพันธ์ของ stage และdischarge เนื่องมาจากสภาพของลำน้ำตอน downstream ลงไปเป็นช่วงยาวหรืออีกนับหนึ่งความสัมพันธ์ของ stage และ discharge นั้น ถูก control โดย slope , roughness และ dimension ของลำน้ำ ตอนอยู่ใต้ลงไป Channel control นี้มักจะอยู่ตามแม่น้ำใหญ่ ๆ หรือลำน้ำเล็ก ๆ ที่ high stage
2. ควรเป็นตอนที่ลำน้ำเป็นช่วงตรง และสภาพของตลิ่งมั่นคง
3. ควรเป็นตอนที่กระแสน้ำไหลลง หรือขนานกับตลิ่งมากที่สุด สม่ำเสมอด้วยความเร็วที่พอจะวัดได้ดี เช่น ระหว่าง 0.1 ถึง 4 เมตร ต่อวินาที
4. ควรให้อยู่พ้นจากเขต back water ที่เนื่องมาจากแม่น้ำใหญ่ หมายความว่าระดับน้ำต่ำที่สุด ณ ที่ตั้งนี้จะอยู่สูงกว่าระดับน้ำสูงสุดที่แม่น้ำใหญ่จะล้นเอ่อขึ้นไปถึง
5. ที่วัดน้ำ (measurement section) และที่ตั้งของเครื่องวัดระดับน้ำ (gage site) ควรเป็นที่เดียวกันหรืออยู่ใกล้กัน
6. ควรเป็นที่ที่ทำการติดตั้งแผ่นระดับน้ำและเครื่องวัดระดับน้ำได้สะดวก
7. ควรเป็นที่ซึ่งติดต่อหรือเข้าออกในการปฏิบัติงานได้สะดวกตลอดทุกฤดูกาล
8. ควรอยู่ใกล้ที่ชุมนุมชน ข้อนี้เกี่ยวกับปัญหาการจ้างพนักงานอ่านระดับน้ำ เพราะถ้าอยู่ไกลเกินไปแล้ว พนักงานอาจทำการอ่านไม่สม่ำเสมอ คือไปบ้างหยุดบ้าง หรือ ถือโอกาสยกเมฆระดับน้ำเอาเอง ซึ่งนับว่าเป็นผลเสียหายมากในภายหลัง
9. ควรเป็นที่ซึ่ง stage เปลี่ยนแปลงมาก เมื่อ discharge เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย หรืออีกนัยหนึ่ง sensitiveness ของ stage มีค่าสูง

อย่างไรก็ตามการเลือกที่ตั้งนี้มิได้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาทางเทคนิคแต่ด้านเดียวเท่านั้น ควรคำนึงถึงความประหยัดด้วย เพราะตามปกติการตั้งสถานีวัดน้ำนี้มักจะกระทำในวงเงินที่จำกัด ดังนั้นจึงควรพิจารณาทั้งทางด้านเทคนิคและด้านประหยัดโดยให้ได้รับสถิติที่ดีและถูกต้องที่สุดเท่าที่วงเงินจะอำนวยให้

เมื่อทำการเลือกที่ตั้งได้แล้วขั้นต่อไปก็ได้แก่การสร้างและติดตั้งเครื่องมือการใช้เครื่องมือควรจะเลือกให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากสภาพของลำน้ำ ความถูกต้องของสถิติที่ต้องการ และประการสุดท้ายคือกำลังเงินที่มีอยู่ โดยทั่วไปเครื่องมือที่จะติดตั้งได้แก่ การติดตั้งเสาหรือแผ่นระดับ เครื่องวัดระดับน้ำ ซึ่งอาจเป็นแบบ Conventional gage หรือ bubble gage หรือแบบอื่น ๆ แล้วแต่ความเหมาะสม การติดตั้งสายเคเบิลซึ่งใช้ในการวัดน้ำและการทำหมุดหลักฐาน ตลอดจนการปรับปรุงสภาพของลำน้ำให้ดีขึ้น

การศึกษาอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูฝายน้ำล้นลำภาชี บ้านกล้วย หมู่ที่ 2 ตำบลป่าหวาย อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

1. ตำแหน่งที่ตั้ง

โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟู ฝายน้ำล้นลำภาชี ตั้งอยู่ที่บ้านกล้วย หมู่ที่ 2 ตำบลป่าหวาย อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี พิกัด E 540594 N 1500446 ดังแสดงใน**รูปที่ 1-1** โดยมีพื้นที่รับน้ำฝนของลำภาชี ที่บริเวณจุดที่ตั้งฝายน้ำล้น ประมาณ 1,619 ตร.กม.

2. การศึกษาอุตุนิยมวิทยา

2.1 สภาพภูมิอากาศ

สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาโครงการ ได้แก่ สถานีตรวจอากาศราชบุรี ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้พื้นที่โครงการมากที่สุด โดยได้รวบรวมสถิติข้อมูลช่วงปี พ.ศ.2550-2557 หรือจำนวน 8 ปี พอสรุปข้อมูลภูมิอากาศที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เมฆปกคลุม ความเร็วลม และปริมาณการระเหยจากถาด รวมถึงการประเมินปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงด้วยวิธี Penman Monteith ดัง**ตารางที่ 2-1** และสรุปได้ดังนี้

ตัวแปรภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	25.1 – 29.6	27.5
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	71.0 – 86.0	78.4
เมฆปกคลุม	(0-10)	1.6 – 8.4	5.5
ความเร็วลม	น๊อต	2.0 – 3.5	2.6
ปริมาณการระเหยจากถาด	มิลลิเมตร	116.4 – 180.5	1,706.4
ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง	มิลลิเมตร	114.0 – 161.3	1,544.0

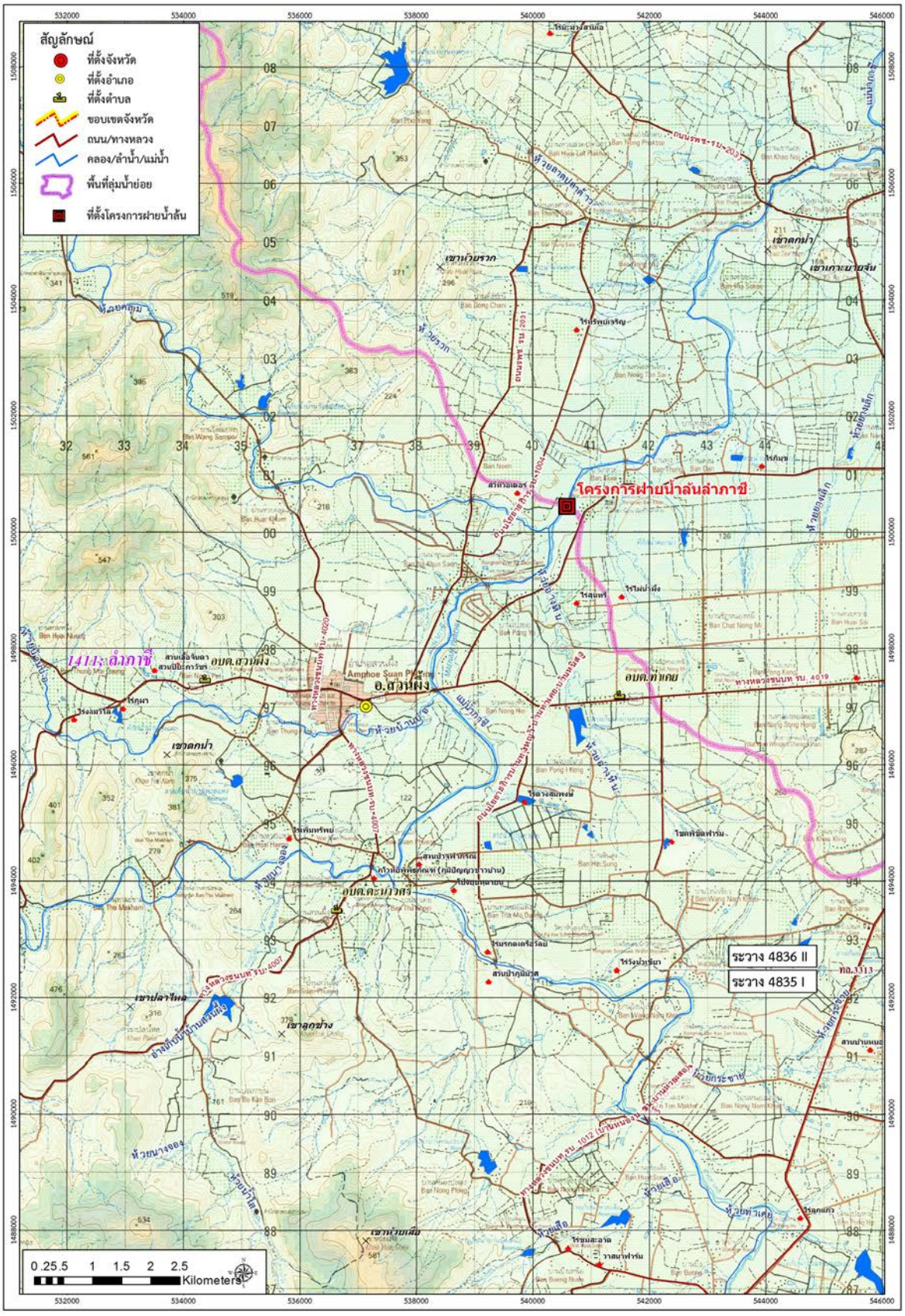
รูปที่ 2-1 แสดงการกระจายรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศเฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศในบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการ

2.2 ปริมาณฝน

1) ในการศึกษาปริมาณฝนในพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชี ได้ทำการรวบรวมสถิติปริมาณฝนตั้งแต่เริ่มบันทึกจนถึงปีปัจจุบัน ของสถานีที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาโครงการจำนวน 5 สถานี ประกอบด้วย

สถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ	พิกัด		ช่วงปีสถิติข้อมูล
			ละติจูด (น.)	ลองติจูด (อ.)	เริ่ม–ถึง
1. ลำภาชี (K.17) บ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง	47161	กรมชลประทาน	13°32'47"	99°21'12"	2509–2558
2. บ้านคา (K.25) อ.สวนผึ้ง	47271	กรมชลประทาน	13°25'48"	99°24'13"	2526–2558

3. ที่ว่าการอำเภอสวนผึ้ง	424008	กรมอุตุนิยมวิทยา	13°32'39"	99°20'25"	2525–2558
4. เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่น้ำภาชี ม.4 ต.บ้านบึง อ.บ้านคา	424013	กรมอุตุนิยมวิทยา	13°18'16"	99°25'11"	2536–2558
5. ร.ร.บ้านบ่อหวี (กลุ่มนักข่าวหญิง 2) ม.4 ต.ตะนาวศรี	424014	กรมอุตุนิยมวิทยา	13°28'34"	99°15'46"	2545–2558



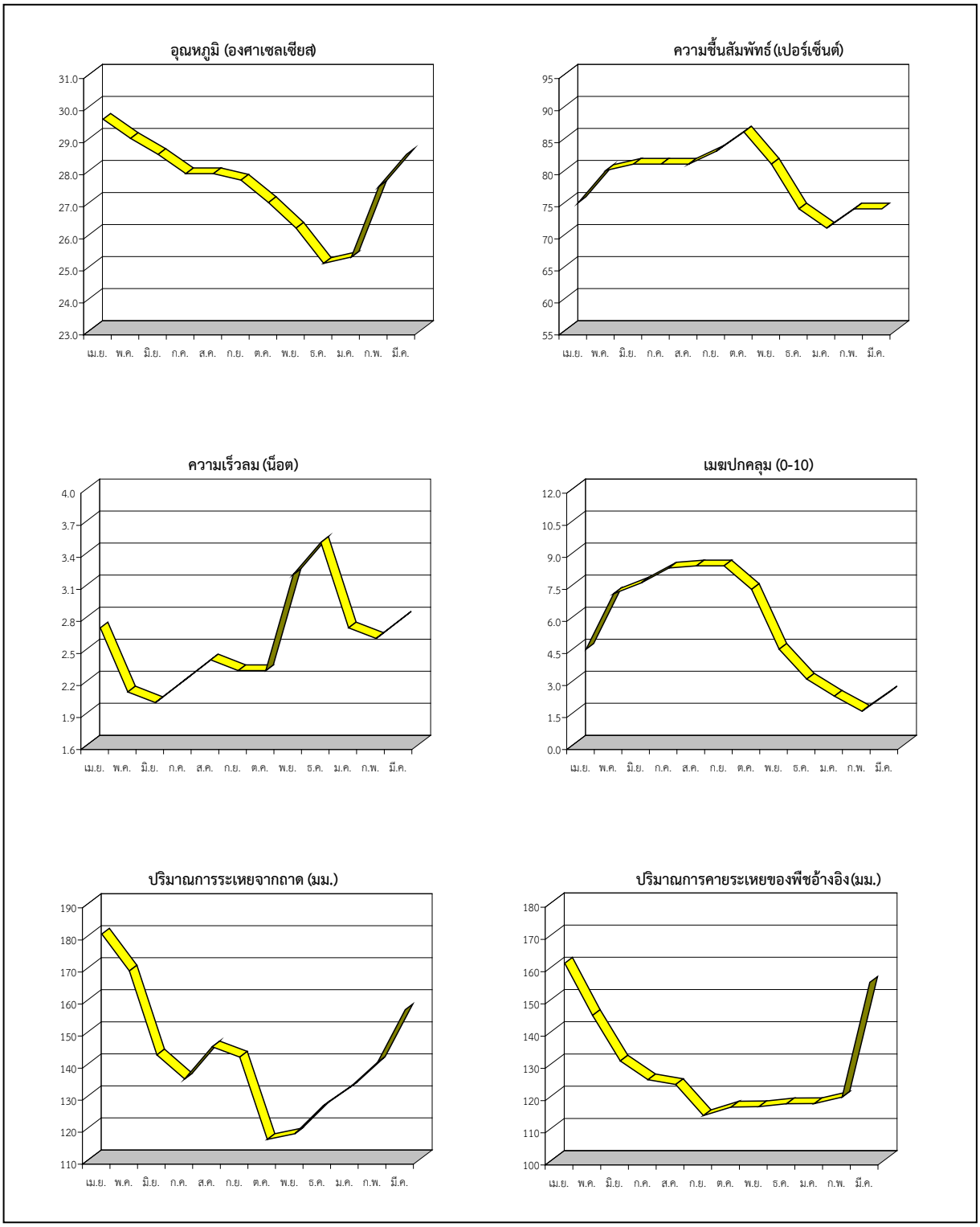
รูปที่ 1-1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งโครงการฝายลำภาชี หมู่ที่ 2 บ้านกล้วย ตำบลป่าหวาย อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

ตารางที่ 2-1 สถิติภูมิอากาศรายเดือนเฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศราชบุรี ช่วงปี พ.ศ.2550–2557

สถานีภูมิอากาศ	ราชบุรี	ความสูงของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	5.00	เมตร
รหัสสถานี	48464	ความสูงของ Barometer เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	0.00	เมตร
เส้นรุ้ง	13° 29' 21.5" N	ความสูงของ Thermometer เหนือระดับผิวดิน	1.50	เมตร
เส้นแวง	99° 47' 32.6" E	ความสูงของ Wind Vane เหนือระดับผิวดิน	10.00	เมตร
		ความสูงของ Rainguage	0.80	เมตร

	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
ความกดอากาศ (เฮคโตปาสคาล)													
เฉลี่ย	1008.12	1006.50	1005.77	1006.37	1006.93	1007.32	1009.30	1010.50	1011.57	1012.05	1009.65	1009.53	1008.63
เฉลี่ยสูงสุด	1010.06	1008.13	1007.07	1007.62	1008.30	1008.99	1011.12	1012.35	1013.54	1014.18	1011.75	1011.72	1010.40
เฉลี่ยต่ำสุด	1006.14	1004.60	1004.18	1004.92	1005.33	1005.28	1007.47	1008.84	1009.80	1010.23	1007.86	1007.60	1006.85
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	29.6	29.0	28.5	27.9	27.9	27.7	27.0	26.2	25.1	25.3	27.5	28.5	27.5
เฉลี่ยสูงสุด	36.1	34.8	33.7	32.9	33.1	32.6	31.5	30.8	30.6	31.5	34.0	34.9	33.0
เฉลี่ยต่ำสุด	25.3	25.6	25.4	24.9	24.9	24.8	24.5	23.1	20.9	20.3	22.3	23.8	23.8
สูงสุด	39.3	39.2	37.0	36.0	36.2	35.5	36.5	35.3	35.2	35.7	37.0	39.5	39.5
ต่ำสุด	22.0	23.0	23.4	23.5	23.0	22.5	21.3	15.5	14.5	12.0	14.4	17.5	12.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)													
เฉลี่ย	75	80	81	81	81	83	86	81	74	71	74	74	78
เฉลี่ยสูงสุด	92	95	95	95	95	96	97	94	91	90	93	93	94
เฉลี่ยต่ำสุด	55	61	63	63	61	65	69	62	52	48	48	50	58
ต่ำสุด	30	39	44	44	48	49	49	40	35	29	18	27	18
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	24.1	24.8	24.5	24.0	24.0	24.3	24.4	22.4	19.7	19.1	21.7	23.0	23.0
ปริมาณการระเหยจากถาด (มม.)													
เฉลี่ย-ถาด	180.5	169.0	142.8	135.3	145.3	142.1	116.4	118.2	126.7	132.7	140.5	156.9	1,706.4
เมฆปกคลุม (0-10)													
เฉลี่ย	4.5	7.1	7.6	8.3	8.4	8.4	7.3	4.5	3.1	2.3	1.6	2.5	5.5
ชั่วโมงที่มีแสงแดด (ชม.)													
เฉลี่ย	240.7	187.3	145.8	129.3	128.0	134.0	140.9	197.8	230.1	237.7	236.2	227.5	2,235.1
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 07.00 น.	7.7	9.1	9.2	9.7	9.9	9.9	7.2	7.1	6.4	4.9	3.9	5.0	7.5
เฉลี่ย	28.7	31.2	25.4	25.0	26.8	26.1	19.6	19.3	20.2	21.9	22.6	26.9	24.5
ลม (นอต)													
ความเร็วลมเฉลี่ย	2.7	2.1	2.0	2.2	2.4	2.3	2.3	3.2	3.5	2.7	2.6	2.8	2.6
ทิศทาง	SE	SE	S	W	W	W	NW	NW	NW	N	SE	SE	-
ความเร็วลมสูงสุด	30	35	32	40	60	40	34	38	23	30	25	27	60
ฝน (มม.)													
เฉลี่ย	38.3	147.5	122.7	146.8	132.4	180.9	220.8	75.2	6.8	3.4	8.1	32.2	1,115.1
จำนวนวันที่ฝนตก	5.8	16.4	17.9	19.5	18.4	20.4	19.0	6.8	1.8	2.0	1.4	3.8	133.2
ฝนสูงที่สุดใน 24 ชม.	47.3	98.2	86.6	83.1	61.0	60.0	141.3	79.0	21.2	12.1	19.7	93.9	141.3
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	9.4	2.4	1.5	0.8	0.5	0.8	4.3	11.1	21.6	25.6	21.9	21.4	121.1
หมอก	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.4	0.4	1.4
ลูกเห็บ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ฟ้าคะนอง	6.0	15.8	9.4	8.9	7.8	9.3	10.4	2.0	0.0	0.3	0.9	2.6	73.4
พายุฝน	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา


อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
31.0
30.0
29.0
28.0
27.0
26.0
25.0
24.0
23.0
เม.ย. พ.ค. มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
95
90
85
80
75
70
65
60
55
เม.ย. พ.ค. มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.
ความเร็วลม (น็อต)
4.0
3.7
3.4
3.1
2.8
2.5
2.2
1.9
1.6
เม.ย. พ.ค. มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.
เมฆปกคลุม (0-10)
12.0
10.5
9.0
7.5
6.0
4.5
3.0
1.5
0.0
เม.ย. พ.ค. มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.
ปริมาณการระเหยจากถาด (มม.)
190
180
170
160
150
140
130
120
110
เม.ย. พ.ค. มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.
ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง(มม.)
180
170
160
150
140
130
120
110
100
เม.ย. พ.ค. มิ.ย. ก.ค. ส.ค. ก.ย. ต.ค. พ.ย. ธ.ค. ม.ค. ก.พ. มี.ค.

รูปที่ 2-1 การกระจายรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศเฉลี่ยที่สถานีตรวจอากาศจังหวัดราชบุรี

แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนใน**รูปที่ 2-2** และสามารถสรุปค่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 5 สถานี ได้ดังนี้

สถานีวัดน้ำฝน	ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)												รวมทั้งปี (มม.)
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
1. ลำภาชี (K.17) บ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง	87.86	157.71	91.92	105.11	98.80	203.41	256.71	85.47	9.28	4.53	13.95	50.65	1,165.40
2. บ้านคา (K.25) อ.สวนผึ้ง	107.42	159.43	88.15	103.64	90.39	182.51	285.58	77.37	7.29	5.14	12.14	47.37	1,166.43
3. ที่ว่าการอำเภอสวนผึ้ง	70.04	149.14	73.88	107.67	104.03	189.96	290.71	65.66	5.98	5.68	10.43	49.07	1,122.26
4. เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่น้ำภาชี ม.4ต.บ้านบึง อ.บ้านคา	94.73	154.81	97.34	108.59	89.35	168.58	239.44	33.51	9.54	2.32	26.49	74.56	1,099.25
5. ร.ร.บ้านบ่อหวี (กลุ่มนักข่าวหญิง 2) ม.4 ต.ตะนาวศรี	92.58	160.80	80.28	118.55	32.78	136.00	297.70	94.43	0.00	6.98	3.15	64.40	1,087.64
เฉลี่ย	**90.52**	**156.38**	**86.31**	**108.71**	**83.07**	**176.09**	**274.03**	**71.29**	**6.42**	**4.93**	**13.23**	**57.21**	**1,128.20**

แสดงการกระจายของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝนทั้ง 5 สถานี ใน**รูปที่ 2-3**

2) ปริมาณฝนของพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชี ได้ใช้สถานีวัดน้ำฝนตัวแทนจำนวน 4 สถานี โดยได้ทำการต่อขยายและเพิ่มเติมข้อมูลที่ขาดหายไปให้ครบสมบูรณ์ช่วงปี พ.ศ.2529-2558 ด้วยโปรแกรม HEC-4 ดังแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฝนรายเดือนและรายปีเฉลี่ยระหว่างสถิติข้อมูลที่บันทึกและข้อมูลที่บันทึกและต่อขยายใน**ตารางที่ 2-2** จากนั้นได้ทำการคำนวณปริมาณฝนรายเดือนและรายปีในช่วงปี พ.ศ.2529-2558 สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชี จากสถานีวัดน้ำฝนตัวแทนทั้ง 4 สถานี ได้เฉลี่ยด้วยแฟคเตอร์ธีเอสเสน ดังนี้

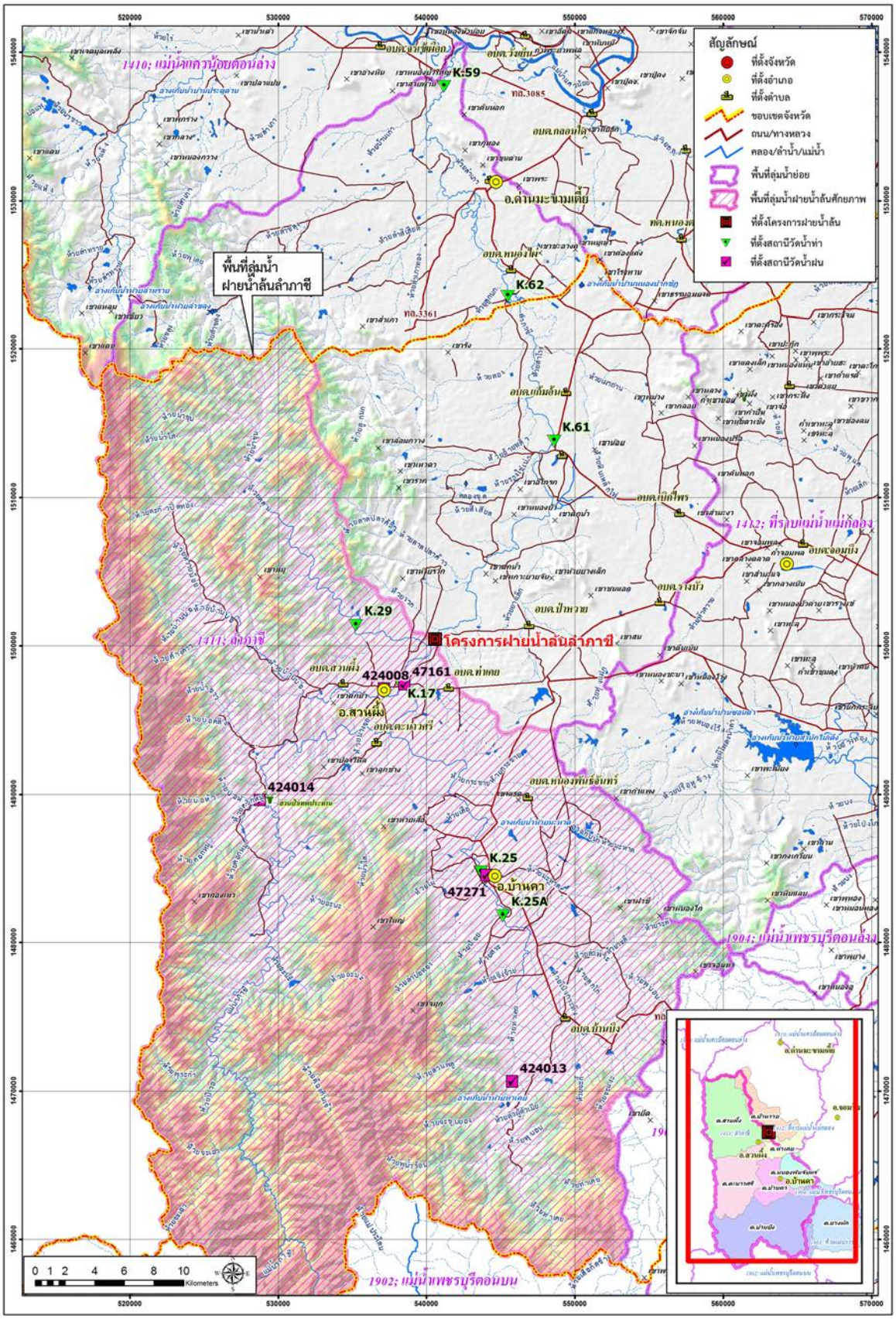
รหัสสถานี	แฟคเตอร์ธีเอสเสน	รหัสสถานี	แฟคเตอร์ธีเอสเสน
47271	0.18036	424014	0.23412
424008	0.24250		
424013	0.34302		

ดังแสดงผลการคำนวณปริมาณฝนรายเดือนและรายปี ช่วงปี พ.ศ.2529–2558 ใน**ตารางที่ 2-3** และสามารถสรุปค่าปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี ได้ดังนี้

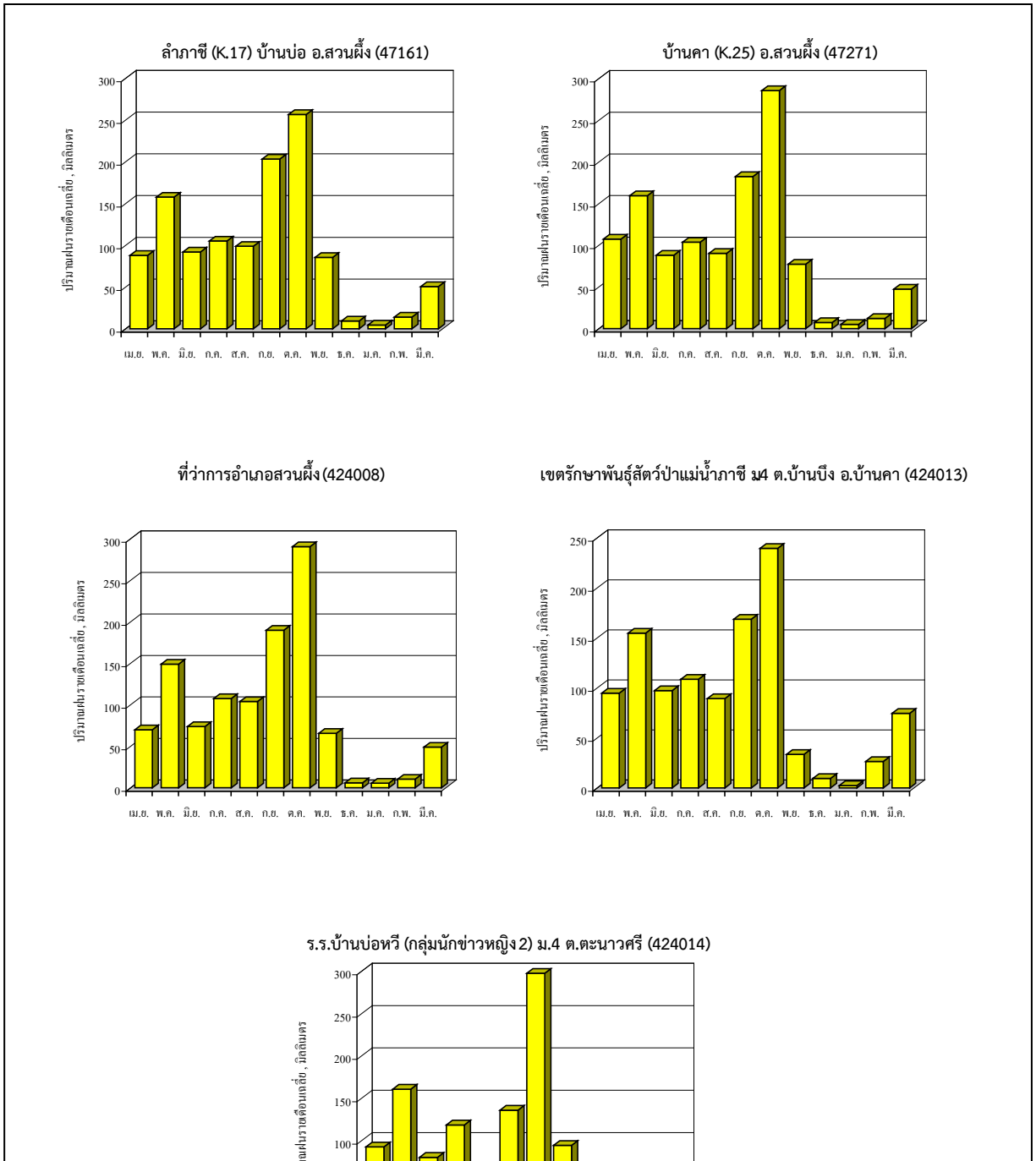
ค่าสถิติ	ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)												รวมทั้งปี (มม.)
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
ค่าเฉลี่ย	90.82	147.89	87.19	102.42	80.49	169.11	271.52	55.36	5.94	4.06	13.63	64.89	1,093.32
ค่าสูงสุด	234.15	337.57	173.55	252.16	215.98	290.79	477.25	211.23	47.53	38.46	38.43	122.48	1,461.78
ค่าต่ำสุด	38.82	32.65	21.49	27.98	18.68	65.12	82.58	0.00	0.00	0.00	1.23	15.16	803.29

การผันแปรรายปีและการกระจายรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี แสดงใน**รูปที่ 2-4** และ**รูปที่ 2-5** ตามลำดับ โดยมีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด 4.06 มิลลิเมตร ในเดือน

มกราคม และสูงสุดที่ 271.52 มิลลิเมตร ในเดือนตุลาคม ปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 1,093.32 มม. โดยในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม) มีค่าเท่ากับ 858.62 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 78.53 ของปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปี



รูปที่ 2-2 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำฝนและสถานีวัดน้ำท่า ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำชี และบริเวณข้างเคียง



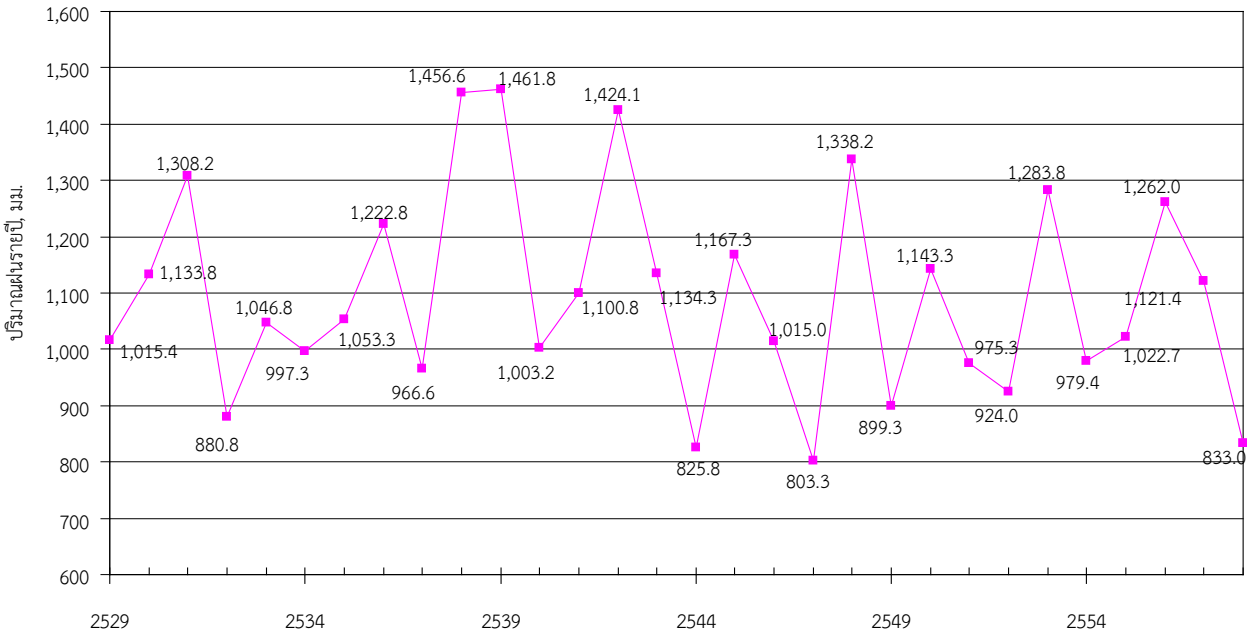
รูปที่ 2-3 แสดงการกระจายของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝนต่างๆ จำนวน 5 สถานี

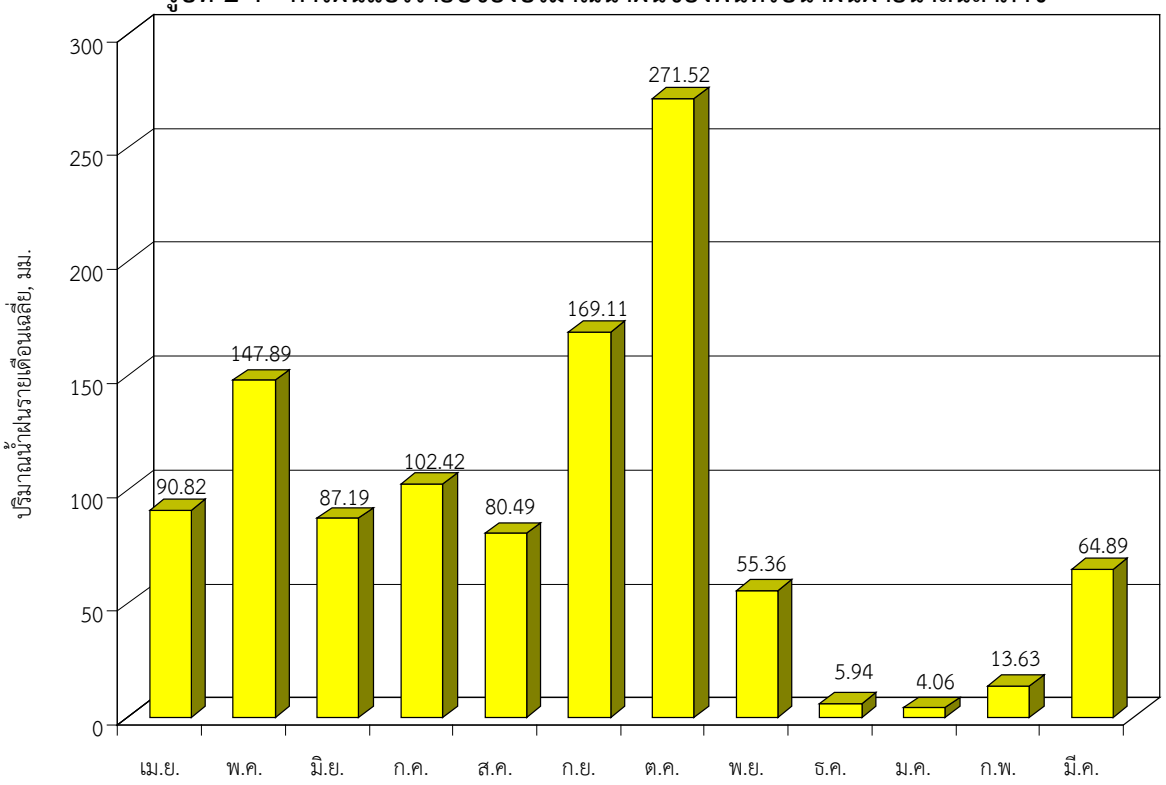
ปริมาณน้ำฝนที่ตกอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการที่ได้ทำการต่อขยายข้อมูลด้วยโปรแกรม HEC-4

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ช่วงปีสถิติข้อมูล		ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย, มม.												ปริมาณฝนรายปี, มม.		
		เริ่ม	ถึง	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
13-60	ฝายน้ำล้นลำภาชี	2526	2558	107.42	159.43	88.15	103.64	90.39	182.51	285.58	77.37	7.29	5.14	12.14	47.37	1,166.43	1,935.80	743.20
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2529	2558	105.28	156.60	85.40	104.32	94.76	181.93	288.85	75.60	7.30	5.26	12.65	49.14	1,167.09	1,935.80	743.20
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2525	2558	70.04	149.14	73.88	107.67	104.03	189.96	290.71	65.66	5.98	5.68	10.43	49.07	1,122.26	1,753.76	668.60
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2529	2558	65.04	147.74	77.65	105.68	103.12	188.39	271.49	55.62	7.62	6.34	11.42	52.68	1,092.79	1,699.60	425.50
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2536	2558	94.73	154.81	97.34	108.59	89.35	168.58	239.44	33.51	9.54	2.32	26.49	74.56	1,099.25	1,513.60	809.90
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2529	2558	92.70	160.22	93.14	88.47	84.78	163.86	251.94	39.96	7.80	2.14	23.48	72.23	1,080.70	1,513.60	695.40
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2545	2558	92.58	160.80	80.28	118.55	32.78	136.00	297.70	94.43	0.00	6.98	3.15	64.40	1,087.64	1,347.59	934.10
	สถานีวัดน้ำฝนบ้านหนองกลางดง	2529	2558	103.63	123.27	89.74	118.00	39.79	146.94	286.88	62.08	0.42	3.58	2.27	78.91	1,055.52	1,453.00	727.60

ตารางที่ 2-3 ปริมาณฝนรายเดือนและรายปีของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี ช่วงปี พ.ศ.2529-2558

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝนรายเดือน มม.												ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	(พ.ค.-ต.ค.)	(พ.ย.-เม.ย.)	(มม.)
2529	117.40	198.09	48.25	122.05	18.68	92.36	307.24	10.25	17.23	0.00	19.23	64.67	786.67	228.78	1,015.45
2530	104.83	166.88	91.96	36.83	64.01	213.27	170.23	190.81	0.17	0.79	18.84	75.18	743.18	390.61	1,133.79
2531	68.52	318.87	91.59	111.76	60.57	256.87	274.55	30.22	0.00	22.68	12.19	60.40	1,114.20	194.01	1,308.21
2532	50.14	128.35	50.21	91.77	43.93	109.77	244.59	88.54	0.07	1.64	13.94	57.84	668.62	212.17	880.79
2533	99.91	160.88	65.46	46.50	104.18	135.80	252.68	85.12	0.27	0.02	3.56	92.40	765.51	281.30	1,046.81
2534	89.93	109.59	76.51	86.73	72.73	115.07	326.79	14.07	47.53	0.21	13.61	44.55	787.42	209.90	997.32
2535	55.67	180.68	129.78	139.02	62.33	76.60	311.25	10.80	0.09	0.00	5.57	81.47	899.66	153.59	1,053.25
2536	105.71	160.51	74.75	64.06	67.94	253.57	388.32	13.66	3.33	0.00	7.44	83.47	1,009.16	213.62	1,222.77
2537	38.82	217.24	88.71	147.19	78.70	150.93	183.59	2.45	11.64	1.95	5.85	39.56	866.36	100.27	966.63
2538	93.66	119.66	132.91	123.72	215.98	290.79	385.96	29.57	0.05	0.02	9.39	54.88	1,269.03	187.58	1,456.61
2539	145.26	204.04	111.73	247.03	106.84	249.11	270.83	77.07	4.78	0.89	17.08	27.11	1,189.59	272.20	1,461.78
2540	118.11	32.65	54.06	74.09	101.73	215.81	217.07	132.52	0.00	0.69	6.56	49.89	695.40	307.77	1,003.17
2541	62.11	61.88	108.15	124.99	71.61	241.97	312.44	56.03	5.38	10.90	12.38	33.00	921.04	179.79	1,100.83
2542	141.70	210.78	49.37	41.47	140.71	139.27	477.25	99.67	2.22	0.00	23.30	98.40	1,058.85	365.28	1,424.12
2543	234.15	183.47	73.32	55.59	72.05	111.23	278.88	4.15	0.00	0.02	2.13	119.30	774.54	359.75	1,134.29
2544	45.30	47.58	104.22	57.78	62.75	187.95	169.87	10.51	2.86	0.17	18.96	117.89	630.15	195.70	825.84
2545	68.95	108.95	63.65	27.98	99.93	286.08	261.79	136.35	16.58	0.00	19.69	77.29	848.39	318.87	1,167.26
2546	48.84	88.32	21.49	185.49	75.85	100.36	445.77	0.00	0.00	0.41	19.97	28.50	917.28	97.72	1,015.00
2547	38.83	337.57	97.37	58.97	36.46	101.14	82.58	5.52	0.00	0.00	1.23	43.62	714.09	89.20	803.29
2548	116.57	116.67	28.42	168.37	89.22	195.53	433.26	50.61	35.45	0.78	16.46	86.86	1,031.45	306.74	1,338.19
2549	108.73	203.38	105.06	67.25	21.41	126.08	167.12	15.61	0.05	0.15	25.49	58.89	690.31	208.94	899.25
2550	61.17	171.91	130.04	252.16	68.38	159.73	124.30	83.09	0.00	0.14	23.42	68.96	906.52	236.77	1,143.28
2551	89.68	71.90	66.85	58.25	110.65	132.45	260.34	61.09	0.00	0.31	1.36	122.48	700.43	274.92	975.34
2552	52.77	194.92	84.61	75.30	137.62	65.12	222.84	31.54	0.00	3.50	10.32	45.41	780.41	143.55	923.96
2553	82.67	70.53	124.87	133.64	53.95	233.81	419.22	2.87	11.78	4.53	36.68	109.24	1,036.01	247.77	1,283.78
2554	132.62	164.92	95.35	94.28	58.76	87.19	270.82	4.48	0.00	38.46	12.57	19.94	771.31	208.07	979.38
2555	97.13	142.23	47.56	147.59	32.09	228.90	171.59	93.57	0.00	1.79	4.30	55.99	769.96	252.77	1,022.74
2556	50.35	94.42	173.55	116.40	76.99	205.10	315.00	211.23	0.16	0.00	3.63	15.16	981.45	280.54	1,261.99
2557	79.89	118.84	78.29	57.85	120.03	124.94	300.60	98.36	15.72	18.78	38.43	69.63	800.55	320.82	1,121.37
2558	125.11	51.02	147.62	58.41	88.72	186.39	98.76	11.14	2.86	12.90	5.41	44.69	630.92	202.12	833.04
เฉลี่ย	**90.82**	**147.89**	**87.19**	**102.42**	**80.49**	**169.11**	**271.52**	**55.36**	**5.94**	**4.06**	**13.63**	**64.89**	**858.62**	**234.70**	**1,093.32**
สูงสุด	**234.15**	**337.57**	**173.55**	**252.16**	**215.98**	**290.79**	**477.25**	**211.23**	**47.53**	**38.46**	**38.43**	**122.48**	**1,269.03**	**390.61**	**1,461.78**
ต่ำสุด	**38.82**	**32.65**	**21.49**	**27.98**	**18.68**	**65.12**	**82.58**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**1.23**	**15.16**	**630.15**	**89.20**	**803.29**
%	**8.31**	**13.53**	**7.97**	**9.37**	**7.36**	**15.47**	**24.83**	**5.06**	**0.54**	**0.37**	**1.25**	**5.94**	**78.53**	**21.47**	**100.00**





รูปที่ 2-4 การผันแปรรายปีของปริมาณน้ำฝนของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี

รูปที่ 2-5 การกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี

3) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของปริมาณฝนสูงสุดรายปีช่วงเวลา 1 วัน ถึง 5 วัน ของสถานีวัดน้ำฝน จำนวน 5 สถานี แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2-4** จากนั้นได้เลือกสถานีตัวแทน 4 สถานี ในข้างต้นนำมาคำนวณปริมาณฝนสูงสุดรายปีช่วงเวลา 1 วัน ถึง 5 วัน โดยการเฉลี่ยด้วยแฟคเตอร์ธีเอสเสน และพอสรุปค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของปริมาณฝนสูงสุดรายปี ช่วงเวลา 1 วัน ถึง 5 วัน ของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี ได้ดังนี้

พื้นที่รับน้ำฝน	ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1 วัน, มม.			ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 2 วัน, มม.			ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 3 วัน, มม.			ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 5 วัน, มม.		
	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
ฝายน้ำล้นลำภาชี	93.55	166.31	45.55	121.19	214.94	53.89	139.02	241.92	67.57	159.03	277.45	81.89

จากนั้นทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณฝนสูงสุดรายปีช่วงเวลา 1 วัน ถึง 5 วัน ที่รอบปีการเกิดต่างๆ ด้วยวิธีการแจกแจงกัมเบลของสถานีวัดน้ำฝนตัวแทน 4 สถานี และนำมาคำนวณปริมาณฝนรายปีช่วงเวลา 1 วัน ถึง 5 วัน ที่รอบปีการเกิดต่างๆ สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี และสามารถสรุปปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่รอบปีการเกิดต่างๆ ได้ดังนี้

พื้นที่รับน้ำฝน	ช่วงเวลาฝน (วัน)	ปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่คาบความถี่การเกิดต่างๆ (มม.)										
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
ฝายน้ำล้นลำภาชี	1	88.0	118.1	138.0	157.1	163.2	181.9	200.4	218.9	243.2	261.6	322.8
	2	113.8	155.9	183.7	210.4	218.9	245.1	271.0	296.8	330.8	356.6	442.1
	3	130.5	176.7	207.2	236.5	245.8	274.4	302.9	331.2	368.5	396.8	490.6
	4	141.8	189.4	221.0	251.3	260.9	290.5	319.9	349.1	387.7	416.9	513.8
	5	150.2	199.9	232.8	264.4	274.4	305.3	335.9	366.4	406.7	437.1	538.1

4) จำนวนวันฝนตกรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาโครงการ จำนวน 5 สถานี แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2-5** จากนั้นทำการเลือกสถานีตัวแทน 4 สถานี และนำข้อมูลมาคำนวณจำนวนวันฝนตกรายเดือนและรายปีเฉลี่ยสำหรับพื้นที่รับน้ำของฝายน้ำล้นลำภาชี ซึ่งพอสรุปจำนวนวันฝนตกรายเดือนและรายปีเฉลี่ยได้ดังนี้

พื้นที่รับน้ำฝน	จำนวนวันฝนตกรายเดือนเฉลี่ย (วัน)												รวมทั้งปี (วัน)
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
ฝายน้ำล้นลำภาชี	6.9	11.1	10.1	11.8	10.4	13.0	14.1	4.7	0.6	0.6	1.6	4.5	89.3

3. การศึกษาอุทกวิทยา

3.1 ปริมาณน้ำท่า

1) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในบริเวณพื้นที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียงได้ทำการรวบข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดได้ที่สถานีต่างๆ จำนวน 7 สถานี ดังแสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีใน**รูปที่ 2-2** โดยสามารถสรุปปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของสถานีวัดน้ำท่าดังกล่าวใน**ตารางที่ 3-1**

2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝนได้พิจารณาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำท่า จำนวน 5 สถานี ที่คัดเลือก ดังกล่าว โดยแสดงกราฟความสัมพันธ์ใน**รูปที่ 3-1** และสรุปสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้ดังนี้

$$Q_M = 0.0585\ A^{1.1608} \qquad (R^2 = 0.9927)$$

เมื่อ Q_M = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย, ล้าน ลบ.ม.

A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

ตารางที่ 2-4 แสดงช่วงปีสถิติข้อมูล ค่าเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดของปริมาณฝนสูงสุดรายปี ช่วงเวลา 1 2 3 และ 5 วัน ที่สถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาโครงการและบริเวณข้างเคียง

สถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ	พิกัด		ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1 วัน,มม.			ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 2 วัน,มม.			ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 3 วัน,มม.			ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 5 วัน,มม.		
			ละติจูด (น.)	ลองติจูด (อ.)	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
1. ลำภาชี (K.17) บ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง	47161	กรมชลฯ	13°32'47"	99°21'12"	86.3	155.9	43.4	117.4	231.8	53.3	138.0	290.0	70.6	159.6	305.5	86.4
2. บ้านคา (K.25) อ.สวนผึ้ง	47271	กรมชลฯ	13°25'48"	99°24'13"	92.5	178.0	50.4	121.1	272.2	58.7	141.7	273.1	78.3	161.8	273.1	94.9
3. ที่ว่าการอำเภอสวนผึ้ง	424008	กรมอุตุฯ	13°32'39"	99°20'25"	92.5	188.0	46.7	120.7	214.8	55.4	141.5	231.0	77.6	172.2	303.5	92.3
4. เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่น้ำภาชี ม.4 ต.บ้านบึง อ.บ้านคา	424013	กรมอุตุฯ	13°18'16"	99°25'11"	94.1	160.0	39.0	115.0	185.5	52.8	130.8	235.5	66.7	151.0	282.8	87.0
5. ร.ร.บ้านบ่อหวี(กลุ่มนักข่าวหญิง 2) ม.4 ต.ตะนาวศรี	424014	กรมอุตุฯ	13°28'34"	99°15'46"	94.7	144.1	50.2	130.8	214.1	50.2	146.4	238.6	50.2	155.1	246.0	54.0

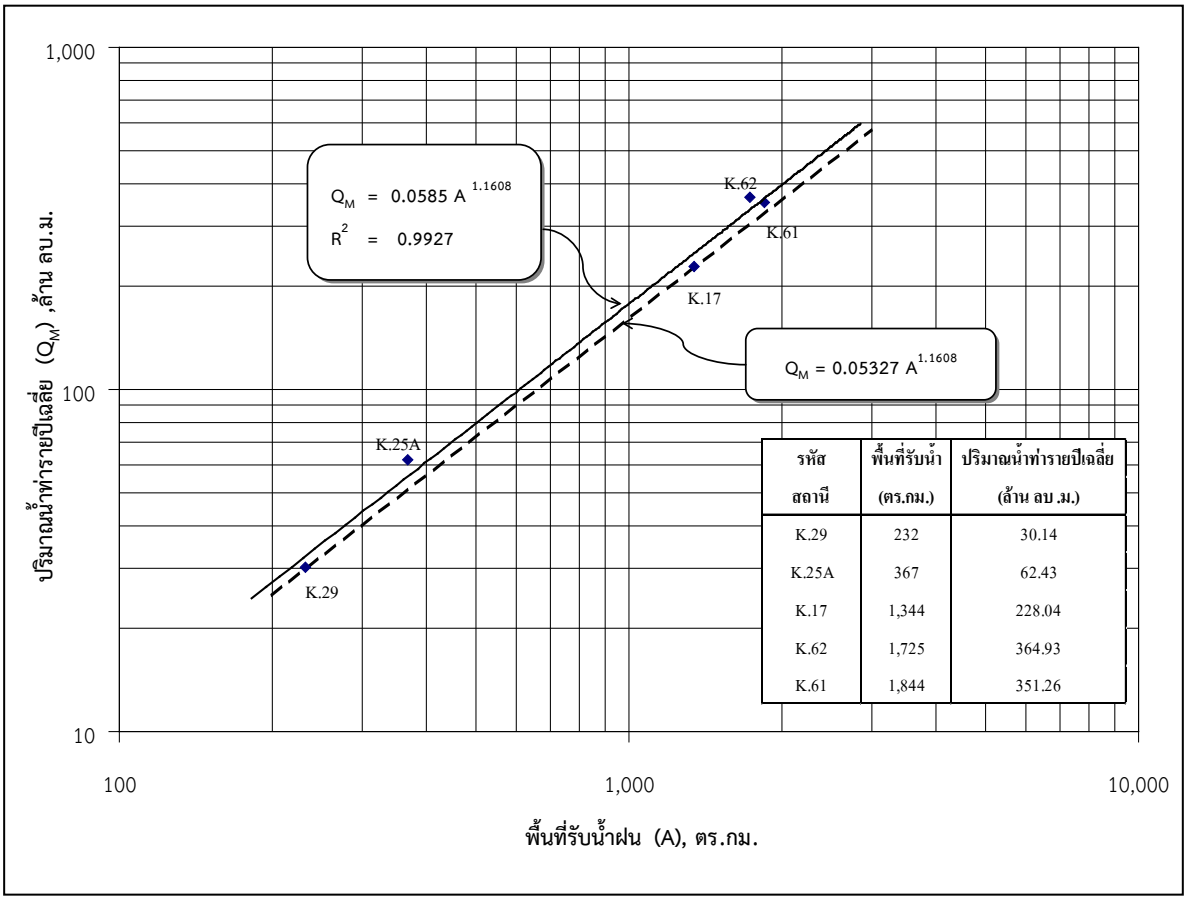
หมายเหตุ : กรมอุตุฯ หมายถึง กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลฯ หมายถึง กรมชลประทาน

ตารางที่ 2-5 จำนวนวันฝนตกรายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาโครงการและบริเวณข้างเคียง

สถานีวัดน้ำฝน	รหัสสถานี	หน่วยงานที่รับผิดชอบ	พิกัด		จำนวนวันฝนตกรายเดือนเฉลี่ย, วัน												รายปี, วัน
			ละติจูด (น.)	ลองติจูด (อ.)	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
1. ลำภาชี (K.17) บ้านบ่อ อ.สวนผึ้ง	47161	กรมชลฯ	13°32'47"	99°21'12"	8.1	15.1	14.9	15.7	17.6	19.6	17.3	6.9	1.7	0.8	1.7	4.4	123.8
2. บ้านคา (K.25) อ.สวนผึ้ง	47271	กรมชลฯ	13°25'48"	99°24'13"	10.0	15.6	14.7	16.1	16.6	17.8	19.0	7.5	1.3	0.5	2.0	5.4	126.6
3. ที่ว่าการอำเภอสวนผึ้ง	424008	กรมอุตุฯ	13°32'39"	99°20'25"	4.0	8.7	6.5	8.2	8.1	10.8	12.4	3.8	0.5	0.2	0.8	3.1	67.0
4. เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่น้ำภาชี ม.4ต.บ้านบึง อ.บ้านคา	424013	กรมอุตุฯ	13°18'16"	99°25'11"	7.0	13.3	11.6	12.9	12.3	14.3	15.4	3.9	0.9	0.6	2.3	6.1	100.5
5. ร.ร.บ้านบ่อหวี(กลุ่มนักข่าวหญิง 2) ม.4 ต.ตะนาวศรี	424014	กรมอุตุฯ	13°28'34"	99°15'46"	7.2	7.2	7.8	10.5	5.3	9.8	10.0	4.5	0.0	0.8	1.2	3.0	67.3

ตารางที่ 3-1 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาโครงการและข้างเคียง

สถานีวัดน้ำท่า	รหัส	พิกัด		พื้นที่รับน้ำฝน	ช่วงปี	จำนวนปี	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย,ล้าน ลบ.ม.											รายปีเฉลี่ย	Yield
	สถานี	ละติจูด (น.)	ลองติจูด (อ.)	(ตร.กม.)	สถิติข้อมูล	ที่มีข้อมูล	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	(ล้าน ลบ.ม.)	ลิตร/วินาที/ตร.กม.
1. ลำภาชีที่บ้านบ่อ	K.17	13°32'31"	99°21'24"	1,344	2509 - 2558	47	4.09	12.37	12.34	14.61	14.08	23.52	80.15	44.57	12.24	4.75	2.73	2.59	228.04	5.38
2. ห้วยท่าเคย ที่บ้านขท่าเคย	K.25	13°25'42"	99°24'25"	FloodP	2525 - 2536	12	1.01	3.66	3.79	2.07	1.23	6.71	32.15	18.92	4.47	1.37	1.58	2.58	79.54	-
3. ห้วยท่าเคย ที่บ้านคา	K.25A	13°24'07"	99°25'14"	367	2537 - 2558	22	1.24	3.80	2.75	3.64	2.41	7.57	24.08	12.29	2.09	1.01	0.76	0.81	62.43	5.39
4. ห้วยคลุมที่บ้านท่าส้มป่อย	K.29	13°34'51"	99°19'33"	232	2526 - 2533	7	0.44	2.33	1.16	0.88	0.31	2.70	11.50	5.59	2.16	1.21	0.93	0.94	30.14	4.12
5. ลำภาชีที่บ้านจระเข้เผือก	K.59	13°54'32"	99°22'53"	2,650	2543 - 2545	3	17.29	32.83	11.89	10.82	35.83	103.69	93.44	51.19	13.54	5.20	2.41	4.01	382.15	4.57
6. ลำภาชีที่บ้านด่านทับตะโก	K.61	13°41'33"	99°26'59"	1,844	2546 - 2557	12	7.86	20.71	16.84	31.06	19.41	31.47	131.99	54.18	18.99	8.94	5.32	4.48	351.26	6.04
7. ลำภาชีที่บ้านหนองไผ่	K.62	13°46'52"	99°25'15"	1,725	2546 - 2558	13	12.50	29.40	21.38	31.16	17.91	32.32	137.70	51.41	14.62	7.21	4.62	4.70	364.93	6.71



รูปที่ 3-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝนในบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการ

3) การประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,619 ตร.กม. ได้คัดเลือกสถานี K.17 ลำภาชี ที่บ้านบ่อ ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้น (พื้นที่รับน้ำฝน 1,344 ตร.กม.) เป็นสถานีตัวแทนโดยได้ทำการต่อขยายข้อมูลและเพิ่มเติมข้อมูลที่ขาดหายให้มีความสมบูรณ์ ในช่วงปี พ.ศ.2529-2558 ดังแสดงใน**ตารางที่ 3-2** จากนั้นคูณด้วยแฟคเตอร์ปรับค่าเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชี โดยแฟคเตอร์ปรับค่าคำนวณมาจากอัตราส่วนพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชีกับสถานีตัวแทนและสัมประสิทธิ์เลขยกกำลังจากสมการในข้างต้น ซึ่งมีค่าแฟคเตอร์เท่ากับ 1.24107 ดังแสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชีที่คำนวณได้ใน**ตารางที่ 3-3** ซึ่งสามารถสรุปค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชี ได้ดังนี้

ค่าสถิติ	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												รายปี (ล้าน ลบ.ม.)
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
ค่าเฉลี่ย	6.15	20.65	15.74	22.64	18.96	32.20	113.26	52.35	12.36	5.95	3.64	3.66	307.57
ค่าสูงสุด	24.91	66.11	116.72	157.08	72.95	213.49	293.18	209.06	33.40	23.29	15.59	10.92	877.36
ค่าต่ำสุด	1.43	2.12	1.80	2.89	4.41	4.32	16.21	3.87	1.63	1.12	0.88	0.47	92.72

การผันแปรรายปีและการกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ไหลฝายน้ำล้นลำภาชี แสดงใน**รูปที่ 3-2** และ**รูปที่ 3-3** ตามลำดับ โดยมีปริมาณน้ำท่าไหลผ่านรายปีเฉลี่ย 307.57 ล้าน ลบ.ม. เป็นปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน) มีค่าเท่ากับ 275.80 ล้าน ลบ.ม. หรือคิดเป็นร้อยละ 89.67 ของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยทั้งปี

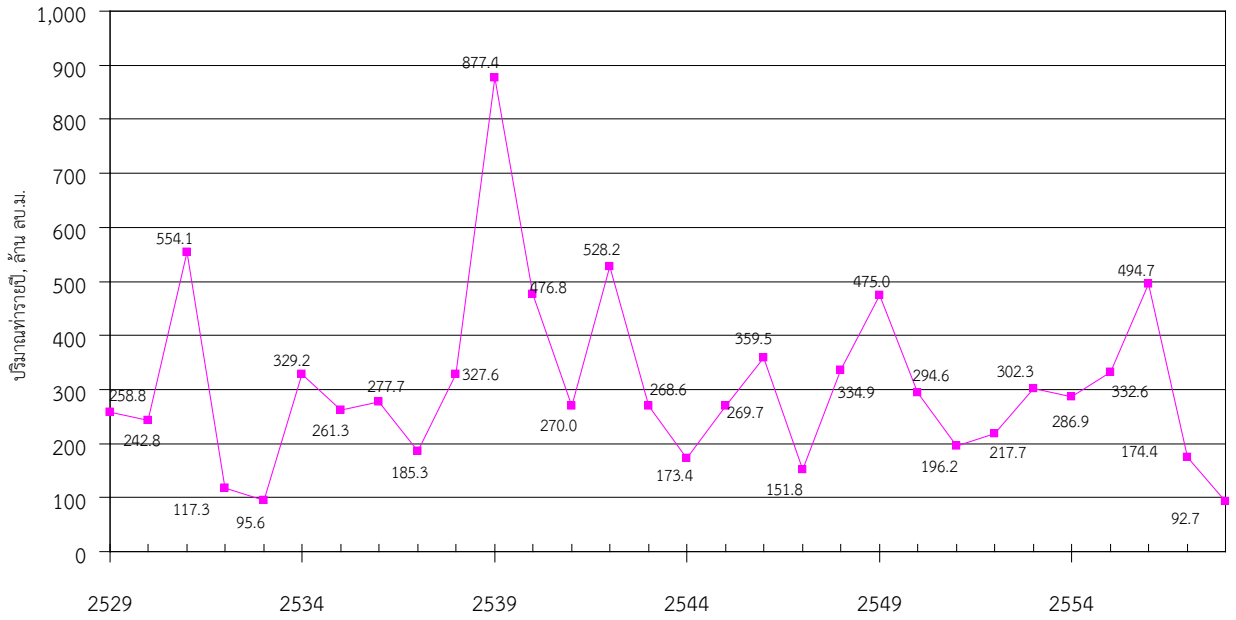
ตารางที่ 3-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีที่ลำภาชีที่บ้านบ่อ (K.17) ที่ได้ทำการต่อขยายและเพิ่มเติมข้อมูลที่ขาดหายไปให้มีความสมบูรณ์ในช่วงปี พ.ศ.2529-2558

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน, ล้าน ลบ.ม.												ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	(พ.ค.-พ.ย.)	(ธ.ค.-เม.ย.)	ล้าน ลบ.ม.
2529	6.87	44.64	6.13	8.08	5.57	6.16	102.23	16.17	7.01	2.86	1.45	1.38	188.98	19.57	208.55
2530	3.25	6.14	16.95	5.72	4.26	11.84	27.73	88.96	20.62	4.62	3.09	2.42	161.60	34.00	195.60
2531	2.56	49.88	94.05	14.48	8.53	40.73	161.54	34.04	15.28	10.31	7.54	7.56	403.25	43.25	446.50
2532	4.05	6.34	10.03	6.71	8.38	7.99	24.46	11.21	8.41	3.44	1.53	1.93	75.12	19.36	94.48
2533	3.21	4.75	4.11	3.70	3.55	4.18	13.62	24.65	6.08	3.73	2.33	3.15	58.56	18.50	77.06
2534	5.86	33.42	5.06	9.03	10.73	9.99	146.85	30.95	7.12	3.35	1.41	1.49	246.03	19.23	265.26
2535	2.53	3.25	3.90	3.51	7.80	6.81	74.36	82.51	13.54	6.57	3.25	2.48	182.14	28.37	210.51
2536	3.63	7.27	4.66	2.58	4.22	24.18	137.08	30.66	5.29	2.56	0.71	0.90	210.65	13.09	223.74
2537	1.15	8.29	5.47	21.40	53.37	14.71	26.20	9.20	4.58	2.22	1.46	1.26	138.64	10.67	149.31
2538	1.59	3.87	8.58	4.15	12.67	33.48	163.37	23.28	7.44	3.79	1.37	0.38	249.40	14.57	263.97
2539	3.25	16.89	18.31	115.42	58.78	172.02	179.24	102.27	19.31	9.50	6.26	5.69	662.93	44.01	706.94
2540	7.69	5.93	1.96	8.44	39.90	50.93	76.74	168.45	15.85	5.31	1.92	1.07	352.35	31.84	384.19
2541	2.84	2.75	2.33	2.33	4.88	41.23	135.03	14.75	6.49	2.25	1.62	1.04	203.30	14.24	217.54
2542	6.97	39.30	6.67	2.85	13.52	3.48	236.23	104.41	6.60	2.28	1.75	1.54	406.46	19.14	425.60
2543	20.07	36.83	8.95	12.13	4.02	13.95	60.25	37.40	8.23	5.35	3.21	6.06	173.53	42.92	216.45
2544	3.62	4.28	4.00	7.12	7.79	17.87	61.43	18.96	5.89	3.17	1.44	4.17	121.45	18.29	139.74
2545	3.50	19.50	5.49	5.34	16.36	46.69	54.92	36.95	15.90	4.96	3.08	4.59	185.25	32.03	217.28

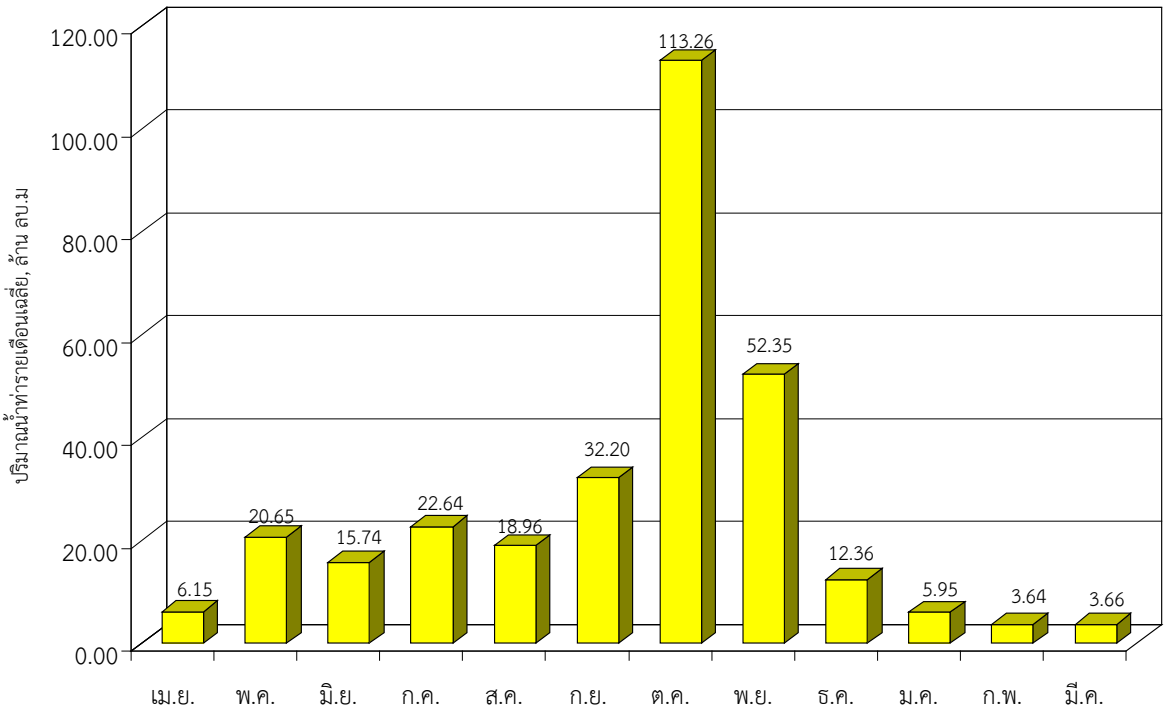
ตารางที่ 3-3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี ช่วงปี พ.ศ.2529-2558 ที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชี

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน, ล้าน ลบ.ม.												ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	(พ.ค.-พ.ย.)	(ธ.ค.-เม.ย.)	ล้าน ลบ.ม.
2529	8.53	55.40	7.61	10.03	6.91	7.64	126.87	20.07	8.70	3.55	1.80	1.71	234.54	24.29	258.82
2530	4.03	7.62	21.04	7.10	5.29	14.69	34.41	110.41	25.59	5.73	3.83	3.00	200.56	42.20	242.75
2531	3.18	61.90	116.72	17.97	10.59	50.55	200.48	42.25	18.96	12.80	9.36	9.38	500.46	53.68	554.14
2532	5.03	7.87	12.45	8.33	10.40	9.92	30.36	13.91	10.44	4.27	1.90	2.40	93.23	24.03	117.26
2533	3.98	5.90	5.10	4.59	4.41	5.19	16.90	30.59	7.55	4.63	2.89	3.91	72.68	22.96	95.64
2534	7.27	41.48	6.28	11.21	13.32	12.40	182.25	38.41	8.84	4.16	1.75	1.85	305.34	23.87	329.21
2535	3.14	4.03	4.84	4.36	9.68	8.45	92.29	102.40	16.80	8.15	4.03	3.08	226.05	35.21	261.26
2536	4.51	9.02	5.78	3.20	5.24	30.01	170.13	38.05	6.57	3.18	0.88	1.12	261.43	16.25	277.68
2537	1.43	10.29	6.79	26.56	66.24	18.26	32.52	11.42	5.68	2.76	1.81	1.56	172.06	13.24	185.30
2538	1.97	4.80	10.65	5.15	15.72	41.55	202.75	28.89	9.23	4.70	1.70	0.47	309.52	18.08	327.60
2539	4.03	20.96	22.72	143.24	72.95	213.49	222.45	126.92	23.97	11.79	7.77	7.06	822.74	54.62	877.36
2540	9.54	7.36	2.43	10.47	49.52	63.21	95.24	209.06	19.67	6.59	2.38	1.33	437.29	39.52	476.81
2541	3.52	3.41	2.89	2.89	6.06	51.17	167.58	18.31	8.05	2.79	2.01	1.29	252.31	17.67	269.98
2542	8.65	48.77	8.28	3.54	16.78	4.32	293.18	129.58	8.19	2.83	2.17	1.91	504.44	23.75	528.20
2543	24.91	45.71	11.11	15.05	4.99	17.31	74.77	46.42	10.21	6.64	3.98	7.52	215.36	53.27	268.63
2544	4.49	5.31	4.96	8.84	9.67	22.18	76.24	23.53	7.31	3.93	1.79	5.18	150.73	22.70	173.43
2545	4.34	24.20	6.81	6.63	20.30	57.95	68.16	45.86	19.73	6.16	3.82	5.70	229.91	39.75	269.66
2546	2.59	4.88	1.80	11.13	4.42	14.78	246.98	45.81	13.65	6.27	4.46	2.77	329.80	29.74	359.54
2547	2.00	61.11	33.31	10.65	9.85	6.07	16.21	4.83	2.42	1.99	1.27	2.07	142.03	9.74	151.77
2548	3.54	5.29	1.92	11.68	38.03	25.78	182.11	44.91	15.23	3.87	1.46	1.12	309.72	25.22	334.94
2549	11.39	66.11	74.27	157.08	34.18	42.87	54.74	19.16	7.53	3.62	2.08	1.94	448.41	26.57	474.98
2550	5.90	23.92	11.95	97.58	22.59	44.95	44.59	29.16	7.69	2.36	2.22	1.68	274.73	19.86	294.59
2551	8.17	13.80	3.41	3.31	9.16	40.57	60.89	40.99	6.12	3.66	1.22	4.85	172.14	24.01	196.15
2552	7.96	13.84	22.71	14.75	28.48	21.34	68.40	20.63	6.95	4.52	3.47	4.69	190.14	27.59	217.73
2553	1.60	2.12	2.25	7.60	5.92	26.56	191.76	21.47	13.35	10.31	8.43	10.92	257.68	44.61	302.29
2554	12.39	31.37	19.56	11.65	24.62	16.85	104.44	37.51	12.40	7.69	5.09	3.33	246.00	40.89	286.90
2555	12.17	14.48	13.70	26.36	20.15	40.25	122.77	53.14	20.74	5.08	2.25	1.50	290.86	41.74	332.59
2556	3.64	5.49	14.20	18.76	24.20	26.47	148.95	172.52	33.40	23.29	15.59	8.15	410.59	84.07	494.66
2557	4.48	4.89	8.35	8.24	9.85	9.39	50.20	40.45	14.33	10.02	6.96	7.22	131.38	43.02	174.39
2558	5.99	8.08	8.17	11.24	9.36	21.93	19.30	3.87	1.63	1.12	0.93	1.10	81.95	10.77	92.72
เฉลี่ย	**6.15**	**20.65**	**15.74**	**22.64**	**18.96**	**32.20**	**113.26**	**52.35**	**12.36**	**5.95**	**3.64**	**3.66**	**275.80**	**31.76**	**307.57**
สูงสุด	**24.91**	**66.11**	**116.72**	**157.08**	**72.95**	**213.49**	**293.18**	**209.06**	**33.40**	**23.29**	**15.59**	**10.92**	**822.74**	**84.07**	**877.36**
ต่ำสุด	**1.43**	**2.12**	**1.80**	**2.89**	**4.41**	**4.32**	**16.21**	**3.87**	**1.63**	**1.12**	**0.88**	**0.47**	**72.68**	**9.74**	**92.72**
%	**2.00**	**6.71**	**5.12**	**7.36**	**6.17**	**10.47**	**36.83**	**17.02**	**4.02**	**1.93**	**1.18**	**1.19**	**89.67**	**10.33**	**100.00**

หมายเหตุ : พื้นที่รับฝนเท่ากับ 1,619 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 3-2 การผันแปรรายปีของปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชี



รูปที่ 3-3 การกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นลำภาชี

3.2 ปริมาณน้ำนองสูงสุด

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุด ดำเนินการ 2 วิธี ประกอบด้วย การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณน้ำนองสูงสุดแบบลุ่มน้ำรวม (Regional Flood Frequency) และการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดจากข้อมูลพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1) การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณน้ำนองสูงสุดแบบลุ่มน้ำรวม

การวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณน้ำนองสูงสุดแบบลุ่มน้ำรวม ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีเฉลี่ย (Q_F) และพื้นที่รับน้ำฝน (A) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_T/Q_F) กับรอบปีการเกิด (T) และการประยุกต์ความสัมพันธ์ที่ได้ไปคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ของแต่ละลุ่มน้ำย่อยหรือพื้นที่รับน้ำฝนที่จุดพิจารณาต่างๆ ในระบบลุ่มน้ำที่ศึกษา โดยมีผลการศึกษาสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชี สรุปได้ดังนี้

(1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีพร้อมวันที่เกิดจากสถานีวัดน้ำต่างๆ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาและลุ่มน้ำข้างเคียง จำนวน 7 สถานี ดังแสดงรายละเอียดข้อมูลที่รวบรวมได้ใน**ตารางที่ 3-4** และได้ทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปี ดังแสดงไว้ใน**ตารางที่ 3-4** เช่นกัน

(2) จากข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝนที่คัดเลือก จำนวน 4 สถานี ที่ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ดี นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ดังแสดงใน**รูปที่ 3-4** และสรุปสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

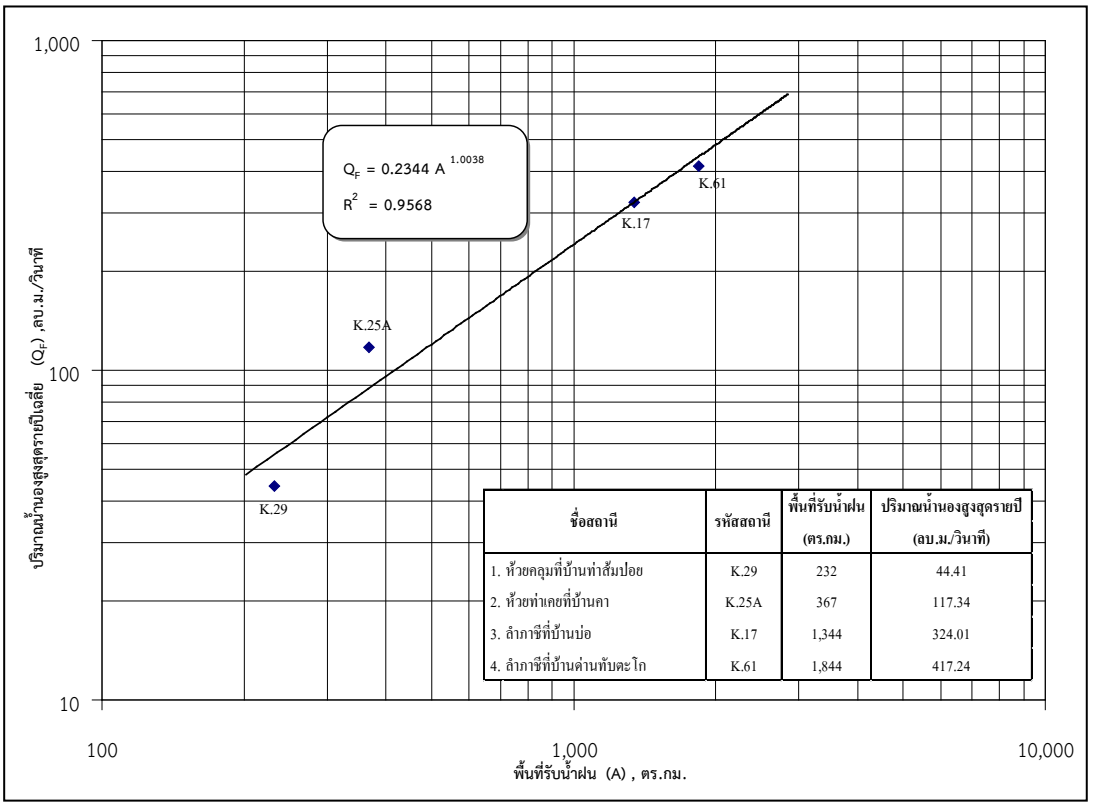
$$Q_F = 0.2344A^{1.0058} \qquad (R^2 = 0.9568)$$

เมื่อ Q_F = ปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)

A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)

ตารางที่ 3-4 สถิติปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาโครงการและลุ่มน้ำข้างเคียง

สถานีวัดน้ำท่า	รหัสสถานี	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล	จำนวนปีที่มีข้อมูล	ค่าสถิติปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปี (ลบ.ม./วินาที)		
			ละติจูด (น.)	ลองติจูด (อ.)				เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
1. ลำภาชีที่บ้านบ่อ	K.17	ราชบุรี	13°32'31"	99°21'24"	1,344	2509 - 2558	47	324.01	1,484.00	16.25
2. ห้วยท่าเคยที่บ้านท่าเคย	K.25	ราชบุรี	13°25'42"	99°24'25"	FloodP	2525 - 2536	12	141.75	558.00	12.96
3. ห้วยท่าเคยที่บ้านคา	K.25A	ราชบุรี	13°24'07"	99°25'14"	367	2537 - 2558	22	117.34	456.40	11.53
4. ห้วยคลุมที่บ้านท่าส้มป่อย	K.29	ราชบุรี	13°34'51"	99°19'33"	232	2536 - 2543	7	44.41	123.00	3.20
5. ลำภาชีที่บ้านจระเข้เผือก	K.59	ราชบุรี	13°54'32"	99°22'53"	2,650	2543 - 2545	3	179.48	215.00	108.95
6. ลำภาชีที่บ้านด่านทับตะโก	K.61	ราชบุรี	13°41'33"	99°26'59"	1,844	2546 - 2557	11	417.24	867.20	82.75
7. ลำภาชีที่บ้านหนองไผ่	K.62	ราชบุรี	13°46'52"	99°25'15"	1,725	2549 - 2558	10	243.64	493.60	43.79



รูปที่ 3-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาโครงการ

(3) ทำการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีด้วยวิธีการแจกแจงกัมเบลโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปี จำนวน 4 สถานี ที่คัดเลือกและแสดงในเทอมของอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_T/Q_F) ไว้ใน**ตารางที่ 3-5** ซึ่งสามารถสรุปค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ได้ดังนี้

ค่าสถิติพิจารณา	อัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_T/Q_F)										
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
ค่าเฉลี่ย	0.861	1.604	2.096	2.569	2.718	3.180	3.638	4.094	4.696	5.151	6.661
ค่าสูงสุด	0.892	1.702	2.274	2.823	2.997	3.534	4.066	4.596	5.296	5.825	7.580
ค่าต่ำสุด	0.838	1.469	1.851	2.218	2.334	2.692	3.048	3.402	3.870	4.223	5.396

ตารางที่ 3-5 ผลการวิเคราะห์แจกแจงความถี่ปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีของสถานีต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาโครงการ โดยแสดงในเทอมอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_T/Q_F)

ชื่อสถานี	รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล	อัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_T/Q_F)										
				2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
1. ห้วยคลุมที่บ้านท่าส้มป่อย	K.29	232	2536 - 2543	0.852	1.642	2.164	2.666	2.825	3.315	3.801	4.286	4.925	5.408	7.012
2. ห้วยท่าเคยที่บ้านคา	K.25A	367	2537 - 2558	0.838	1.702	2.274	2.823	2.997	3.534	4.066	4.596	5.296	5.825	7.580
3. ลำภาชีที่บ้านบ่อ	K.17	1,344	2509 - 2558	0.861	1.604	2.096	2.567	2.717	3.178	3.636	4.091	4.693	5.148	6.657
4. ลำภาชีที่บ้านด่านทับตะโก	K.61	1,844	2546 - 2557	0.892	1.469	1.851	2.218	2.334	2.692	3.048	3.402	3.870	4.223	5.396
ค่าเฉลี่ย				**0.861**	**1.604**	**2.096**	**2.569**	**2.718**	**3.180**	**3.638**	**4.094**	**4.696**	**5.151**	**6.661**
ค่าสูงสุด				**0.892**	**1.702**	**2.274**	**2.823**	**2.997**	**3.534**	**4.066**	**4.596**	**5.296**	**5.825**	**7.580**

(5) ทำการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดที่ฝายน้ำล้นลำภาชี ด้วยวิธีการแจกแจงความถี่แบบลุ่มน้ำรวม จากผลการวิเคราะห์ใน**หัวข้อ (2)** และ**หัวข้อ (3)** โดยมีรายละเอียดดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีเฉลี่ย (Q_F) และพื้นที่รับน้ำฝน (A) ใน**หัวข้อ (2)** และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_T/Q_F) และรอบปีการเกิด (T) ใน**หัวข้อ (3)** นำมาคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ที่ฝายน้ำล้นลำภาชี ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,619 ตร.กม. สรุปได้ดังนี้

จุดพิจารณา	อัตราส่วน (Q_F/Q_T) ที่พิจารณา	ปริมาณการไหลสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ (ลบ.ม./วินาที)									
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000
ฝายน้ำล้นลำภาชี	สัดส่วนเฉลี่ย	335.95	626.14	818.17	1,000.49	1,060.94	1,241.06	1,419.82	1,597.79	1,832.85	2,010.44
	สัดส่วนสูงสุด	384.15	664.29	887.54	1,101.82	1,169.73	1,379.32	1,586.96	1,793.82	2,067.03	2,958.80

ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดจากข้อมูลพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในการศึกษาลำดับต่อไป

2) การคำนวณกราฟน้ำนองสูงสุดจากข้อมูลพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

การคำนวณกราฟน้ำนองสูงสุดด้วยวิธีนี้ ประกอบด้วย การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุด การคำนวณปริมาณการไหลพื้นฐาน และการคำนวณกราฟน้ำนองสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ

(1) การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

1. จากเอกสารทางวิชาการ Hydrology No.1502/08 (ฉบับปรับปรุงแก้ไข) ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (เมษายน 2552) กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ของลุ่มน้ำต่างๆ ในประเทศไทย ซึ่งได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำโดยวิเคราะห์จากข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในแต่ละลุ่มน้ำที่ศึกษา การศึกษานี้ได้เลือกความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลุ่มน้ำ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงใน**รูปที่ 3-5** และพอสรุปสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$t_p = 0.949\,(LL_c/S^{1/2})^{0.2947} \qquad (R^2 = 0.8239)$$

$$q_p/A = 0.1717\,(t_p)^{-0.9030} \qquad (R^2 = 0.9502)$$

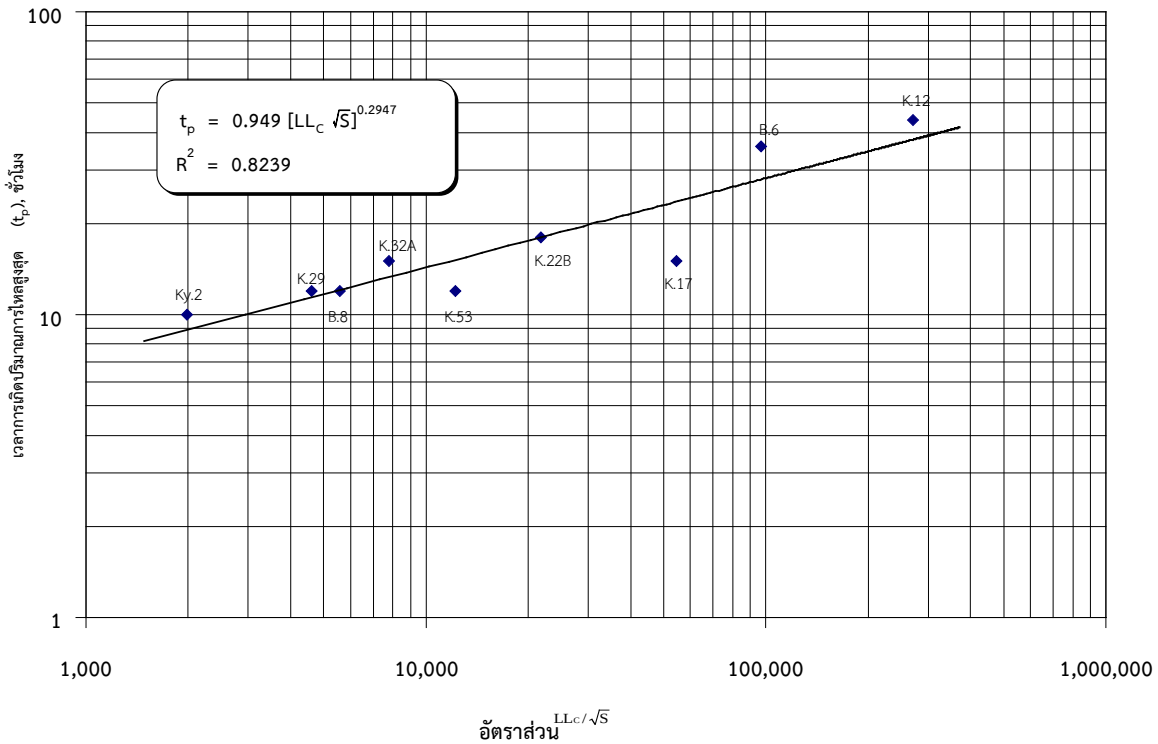
เมื่อ A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

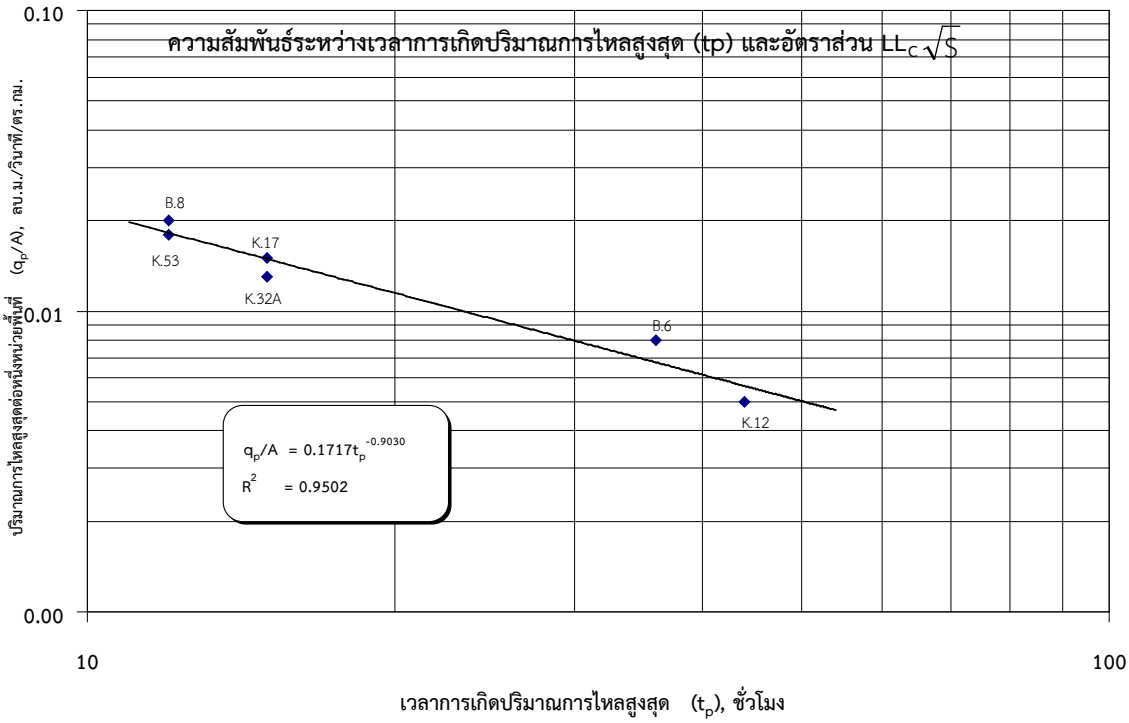
L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ, กม.

L_c = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดบนลำน้ำสายใหญ่ที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด, กม.

S = ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่

t_p = เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า, ชั่วโมง





ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน (q_p/A) และเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (t_p)

รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ–ลำน้ำ สำหรับลุ่มน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการ

สำหรับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless Unit Hydrograph) ที่พิจารณาใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษาแสดงไว้ใน**รูปที่ 3-6**

2. จากแผนที่ภูมิประเทศมาตรส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ได้ทำการวัดและคำนวณค่าพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำ ของลำชีที่ฝายน้ำล้นได้ จากนั้นนำไปคำนวณพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของฝายน้ำล้นลำภาชี จากสมการใน**หัวข้อ 1.** ได้ดังนี้

ตำแหน่งพิจารณา	พารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำ					พารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า		
	A (ตร.กม.)	L (กม.)	Lc (กม.)	S_{avg}	S_{max}	t_p (ชั่วโมง)	q_p (ลบ.ม./วินาที)	t_r (ชั่วโมง)
ฝายน้ำล้นลำภาชี	1,619	99.35	32.65	0.003321	0.008956	24.0	15.76	12.0

3. จากพารามิเตอร์ที่ได้ในข้างต้น นำมาประยุกต์ใช้กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติจะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี ดังแสดงใน**รูปที่ 3-7** ซึ่งกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่านี้พิจารณาจากการเกิดปริมาณฝนส่วนเกินเทียบเป็นความลึกของน้ำเฉลี่ย 1 เซนติเมตร ทั่วพื้นที่รับน้ำฝน

(2) การคำนวณแฟคเตอร์สูญเสียปริมาณฝนและแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน

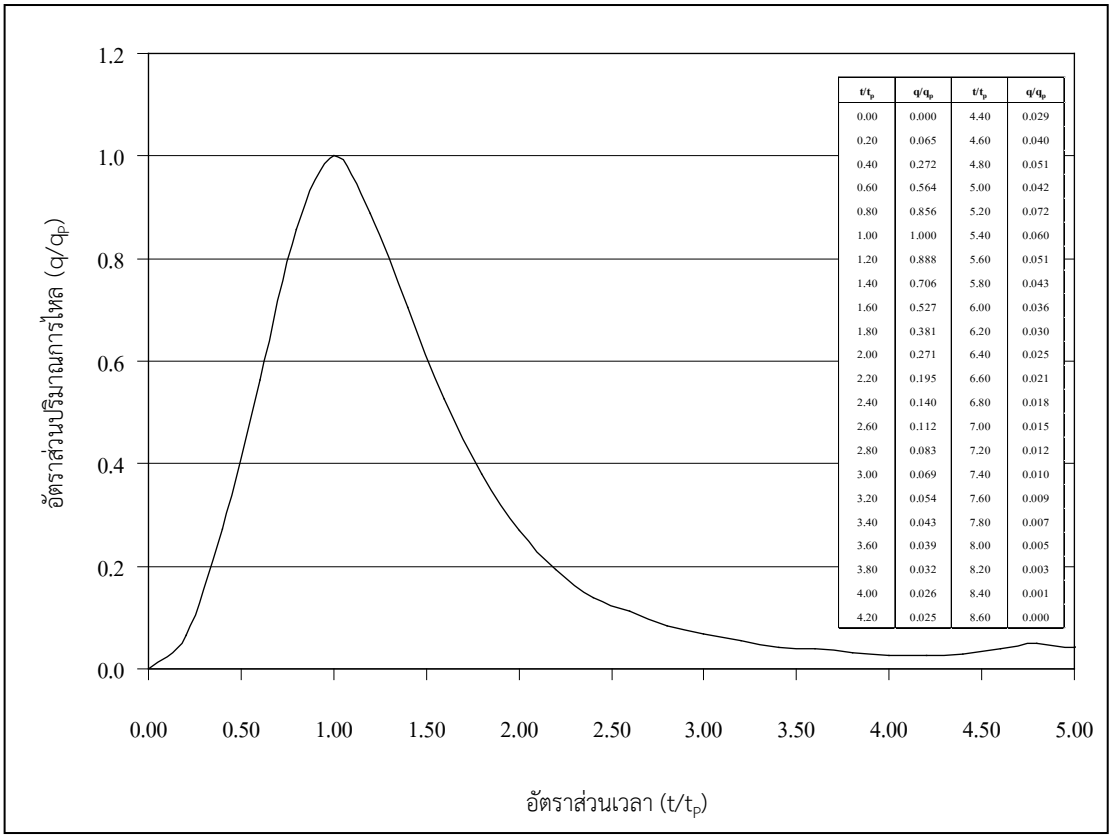
1. แฟคเตอร์สูญเสียปริมาณฝน (Rainfall Loss Rate Factor) ได้กำหนดให้มีค่าผันแปรกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝน และคาบความถี่ของการเกิด ดังแสดงสรุปไว้ใน**ตารางที่ 3-6**

ตารางที่ 3-6 แฟคเตอร์สูญเสียปริมาณฝน (RLRF)

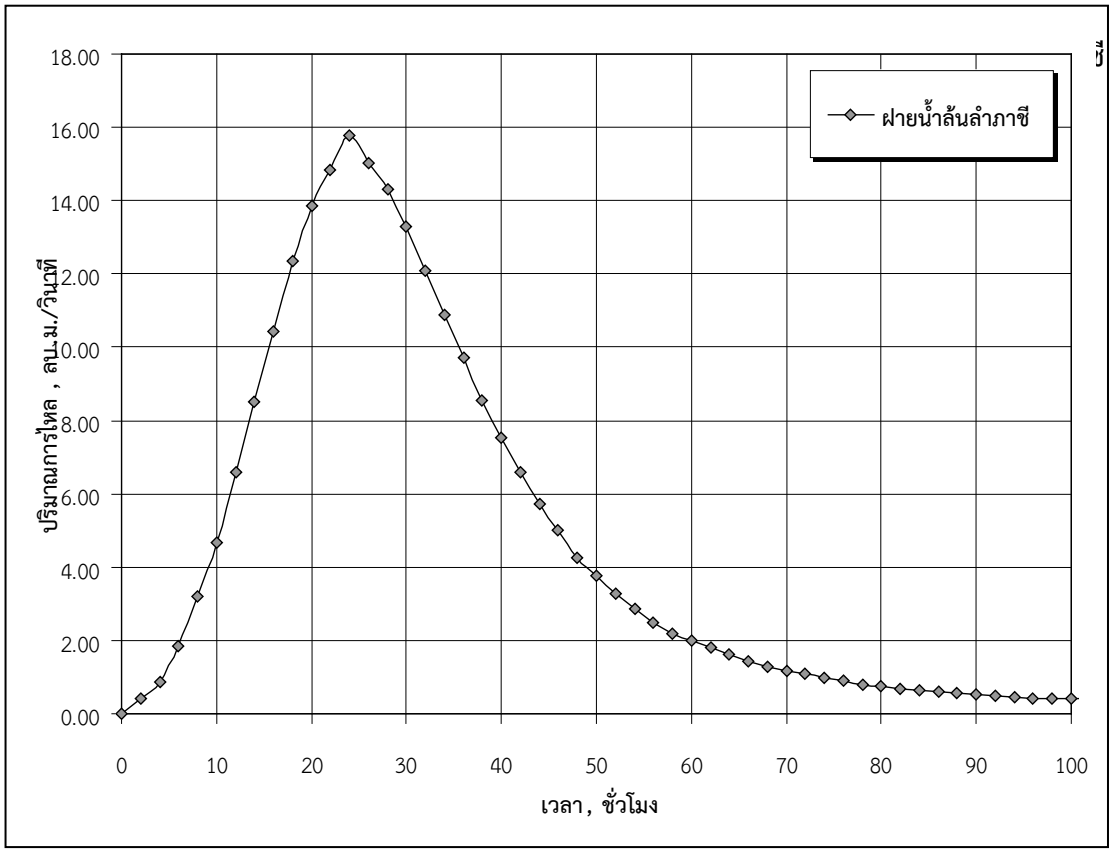
รอบปีการเกิดเฉลี่ย	แฟคเตอร์สูญเสียปริมาณฝน				
	A น้อยกว่า 100	100 < A < 250	250 < A < 500	500 < A < 1,000	1,000 < A < 2,500
2	0.350	0.375	0.400	0.425	0.450
5	0.337	0.365	0.387	0.415	0.437
10	0.329	0.359	0.379	0.409	0.429
20	0.321	0.353	0.371	0.403	0.421
25	0.318	0.351	0.368	0.401	0.418
50	0.310	0.345	0.360	0.395	0.410
100	0.302	0.339	0.352	0.389	0.402
200	0.294	0.333	0.344	0.383	0.394
500	0.284	0.325	0.334	0.375	0.384
1000	0.276	0.320	0.326	0.370	0.376
10000	0.250	0.300	0.300	0.350	0.350

2. แฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (Areal Rainfall Reduction Factor) กำหนดให้มีขนาดผันแปรตามพื้นที่รับน้ำฝนดังแสดงไว้ใน**รูปที่ 3-8** และมีค่าผันแปรเพิ่มเติมตามรอบปีการเกิดตั้งแต่ 2-10,000 ปี เท่ากับ 0.8-1.00 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้จาก**รูปที่ 3-8** พิจารณาเป็นค่าสำหรับรอบปีการเกิด 10,000 ปี และมีค่าลดลงตามรอบปีการเกิดที่น้อยลง ดังนี้

รอบปีการเกิด (ปี)	**2**	**5**	**10**	**20**	**25**	**50**	**100**	**200**	**500**	**1,000**	**10,000**
แฟคเตอร์ลดเพิ่มเติม	0.800	0.826	0.843	0.859	0.864	0.880	0.896	0.911	0.932	0.948	1.000

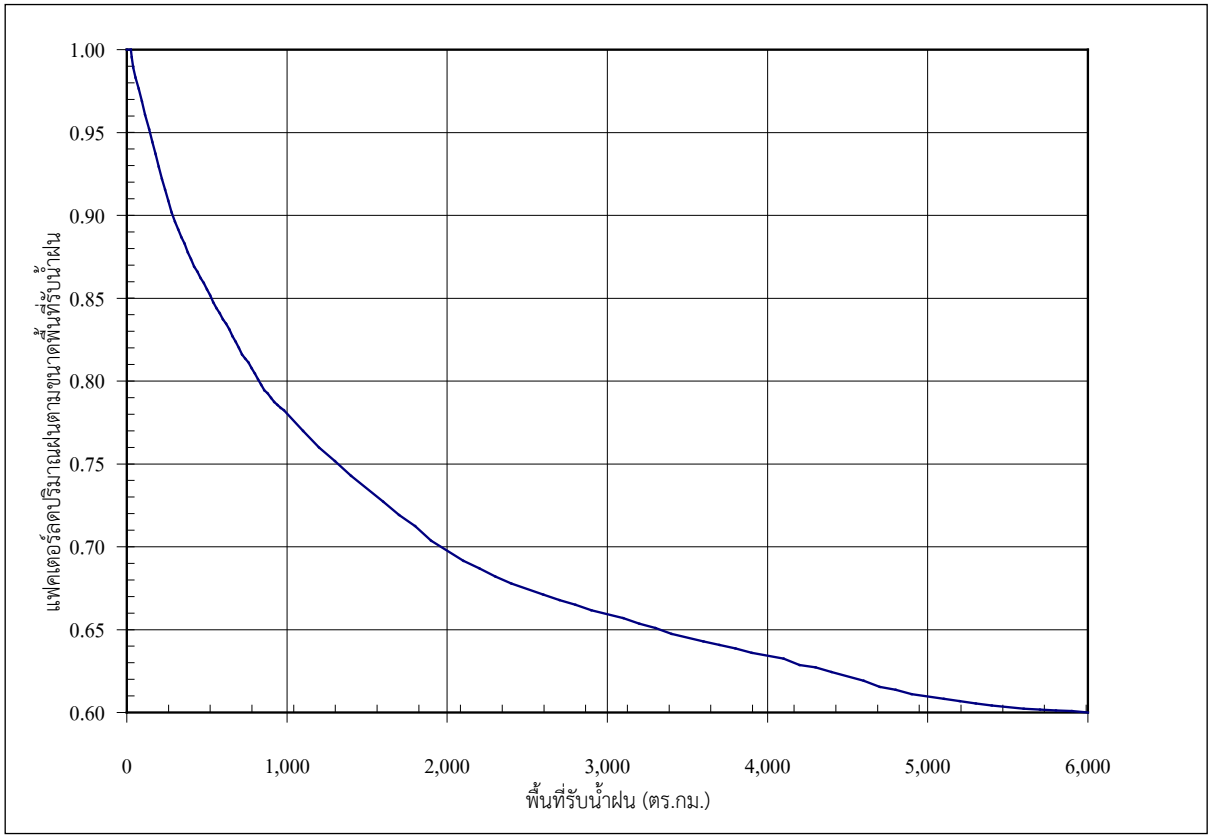


t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
0.00	0.000	4.40	0.029
0.20	0.065	4.60	0.040
0.40	0.272	4.80	0.051
0.60	0.564	5.00	0.042
0.80	0.856	5.20	0.072
1.00	1.000	5.40	0.060
1.20	0.888	5.60	0.051
1.40	0.706	5.80	0.043
1.60	0.527	6.00	0.036
1.80	0.381	6.20	0.030
2.00	0.271	6.40	0.025
2.20	0.195	6.60	0.021
2.40	0.140	6.80	0.018
2.60	0.112	7.00	0.015
2.80	0.083	7.20	0.012
3.00	0.069	7.40	0.010
3.20	0.054	7.60	0.009
3.40	0.043	7.80	0.007
3.60	0.039	8.00	0.005
3.80	0.032	8.20	0.003
4.00	0.026	8.40	0.001
4.20	0.025	8.60	0.000



+

รูปที่ 3-7 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี



รูปที่ 3-8 แฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน

(3) การคำนวณปริมาณฝนสูงสุด

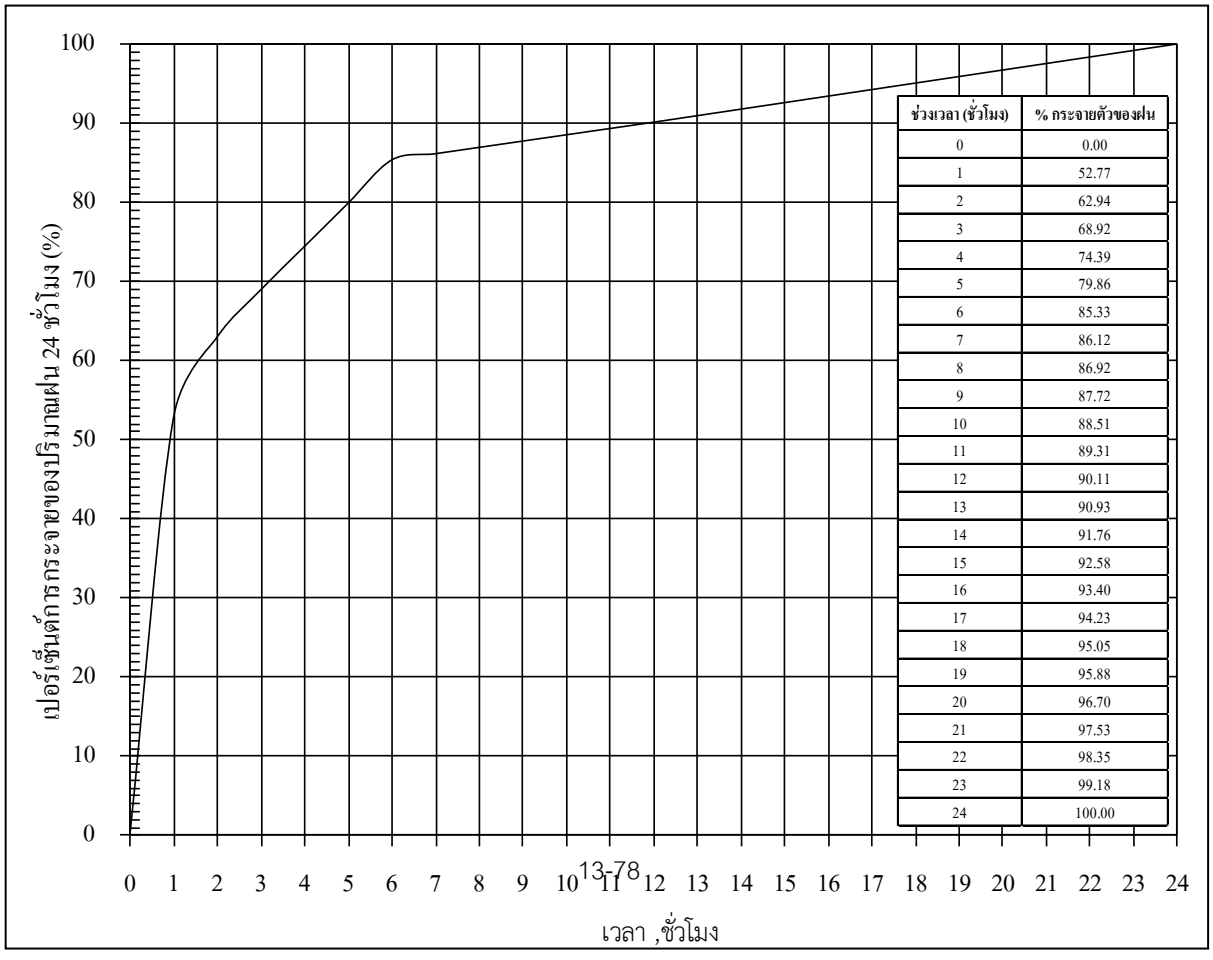
1. ปริมาณฝนสูงสุดรายปีช่วงเวลา 1 วัน ถึง 5 วัน ที่รอบปีการเกิดต่างๆ ได้ทำการวิเคราะห์ไว้แล้วจากสถานีตัวแทน จำนวน 4 สถานี ดังแสดงใน**หัวข้อ 2.2** ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

พื้นที่รับน้ำ	ช่วงเวลาฝน (วัน)	ปริมาณฝนส่วนเกินที่คาบความถี่ของการเกิดต่าง ๆ (มม.)										
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
ฝายน้ำล้น ลำภาชี	1	88.0	118.1	138.0	157.1	163.2	181.9	200.4	218.9	243.2	261.6	322.8
	2	113.8	155.9	183.7	210.4	218.9	245.1	271.0	296.8	330.8	356.6	442.1
	3	130.5	176.7	207.2	236.5	245.8	274.4	302.9	331.2	368.5	396.8	490.6
	4	141.8	189.4	221.0	251.3	260.9	290.5	319.9	349.1	387.7	416.9	513.8
	5	150.2	199.9	232.8	264.4	274.4	305.3	335.9	366.4	406.7	437.1	538.1

2. ปริมาณฝนส่วนเกินหรือส่วนที่จะมาปรากฏเป็น Direct Runoff ได้คำนวณจากการกำหนดแฟคเตอร์สูญเสียปริมาณฝน และปรับค่าให้เป็นปริมาณฝนสำหรับลุ่มน้ำ (Basin Rainfall) ด้วยการคูณด้วยแฟคเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

พื้นที่รับน้ำ	ช่วงเวลาฝน (วัน)	ปริมาณฝนสูงสุดรายปีที่คาบความถี่ของการเกิดต่าง ๆ (มม.)										
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000	10,000
ฝายน้ำล้นลำภาชี	1	29.0	41.1	49.7	58.5	61.4	70.7	80.4	90.4	104.5	115.8	157.1
	2	37.5	54.3	66.2	78.3	82.4	95.2	108.7	122.6	142.2	157.9	215.1
	3	43.0	61.5	74.7	88.0	92.5	106.6	121.5	136.9	158.4	175.7	238.7
	4	46.7	65.9	79.6	93.6	98.2	112.9	128.3	144.3	166.6	184.6	250.0
	5	49.5	69.6	83.9	98.4	103.3	118.6	134.7	151.4	174.8	193.5	261.8

3. จากปริมาณฝนส่วนเกินสูงสุดช่วงเวลา 1 วันถึง 5 วัน นำมาคำนวณปริมาณฝนสูงสุดของแต่ละวัน และในแต่ละวันแตกค่าออกเป็นส่วนๆ (Rainfall Increment) ให้มีช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (12 ชั่วโมง) โดยใช้เปอร์เซ็นต์การกระจายรายชั่วโมงของฝนสูงสุด 24 ชั่วโมงที่สถานีอำเภอเมืองกาญจนบุรี ดังแสดงใน **รูปที่ 3-9** และนำมาจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมเพื่อนำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า เพื่อคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดต่อไป



ช่วงเวลา (ชั่วโมง)	% กระจายตัวของฝน
0	0.00
1	52.77
2	62.94
3	68.92
4	74.39
5	79.86
6	85.33
7	86.12
8	86.92
9	87.72
10	88.51
11	89.31
12	90.11
13	90.93
14	91.76
15	92.58
16	93.40
17	94.23
18	95.05
19	95.88
20	96.70
21	97.53
22	98.35
23	99.18
24	100.00

รูปที่ 3-9 เปอร์เซ็นต์การกระจายรายชั่วโมงของปริมาณฝน 24 ชั่วโมง ที่สถานีอำเภอเมืองกาญจนบุรี

(4) การคำนวณปริมาณการไหลพื้นฐาน

ปริมาณการไหลพื้นฐานของกราฟน้ำนองสูงสุด สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลพื้นฐาน (Q_B) และปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_P) ดังแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Q_B = 0.1690\ Q_p^{0.9050}$$

ในเมื่อ Q_B = ปริมาณการไหลพื้นฐาน, ลบ.ม./วินาที

Q_P = ปริมาณน้ำนองสูงสุด, ลบ.ม./วินาที

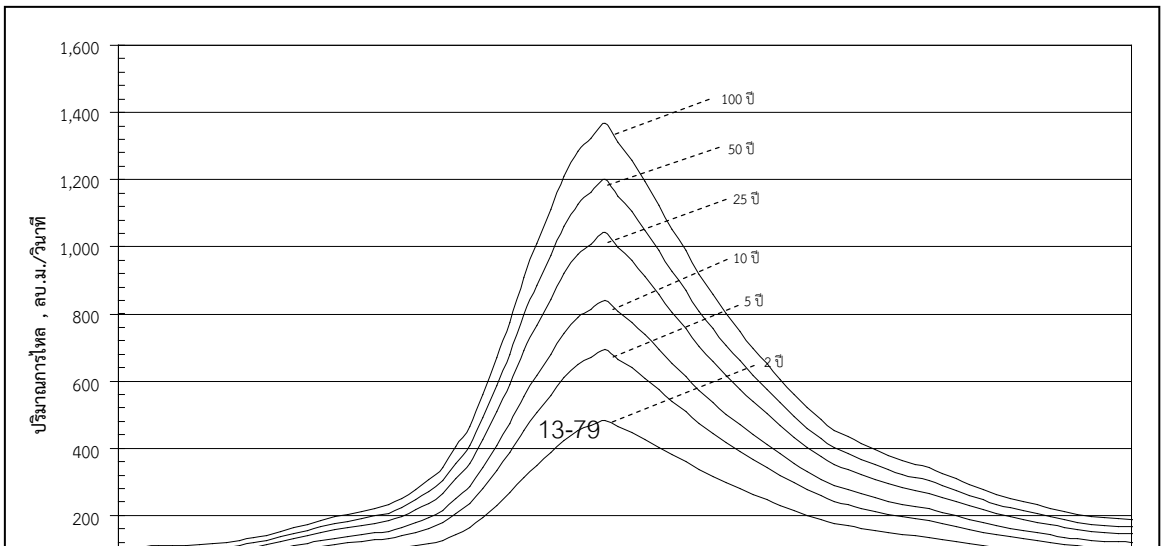
(5) การคำนวณกราฟน้ำนองสูงสุดสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชี

จากปริมาณฝนส่วนเกินที่ได้จัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมแล้ว ได้นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเพื่อคำนวณกราฟน้ำท่าผิวดิน และรวมกับปริมาณการไหลพื้นฐาน จะได้กราฟน้ำนองสูงสุดของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชี และสามารถสรุปปริมาณน้ำนองสูงสุด (Q_p) ปริมาตรน้ำนอง (V_T) และปริมาณการไหลพื้นฐาน (Q_B) ของกราฟน้ำนองสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดตั้งแต่ 2 ถึง 1,000 ปี ได้ดังนี้

จุดพิจารณา	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ค่าพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของกราฟน้ำนองสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ									
			2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000
ฝายน้ำล้นลำภาชี	1,619	Q_P	484.16	692.86	840.95	991.24	1,041.60	1,200.25	1,366.22	1,538.65	1,779.36	1,973.03
		V_T	128.05	179.19	215.20	251.60	263.73	301.91	341.68	382.89	440.20	486.15
		Q_B	41.90	58.11	69.34	80.56	84.28	95.92	107.94	120.30	137.34	150.91

หมายเหตุ : Q_p หมายถึง ปริมาณน้ำนองสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที
V_T หมายถึง ปริมาตรน้ำนอง มีหน่วยเป็น ล้าน ลบ.ม.
Q_B หมายถึง ปริมาณการไหลพื้นฐาน มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

กราฟน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ของพื้นที่รับน้ำฝายน้ำล้นลำภาชี แสดงไว้ใน**รูปที่ 3-10**



รูปที่ 3-10 กราฟน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ของพื้นที่รับน้ำฝนฝายน้ำล้นลำภาชีที่คำนวณด้วยวิธีเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

3) การเปรียบเทียบปริมาณน้ำนองสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ

(1) การเปรียบเทียบปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนของฝายน้ำล้นลำภาชี จากผลการศึกษาระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธีแจกแจงความถี่แบบลุ่มน้ำรวม (RFF) และการวิเคราะห์จากข้อมูลพายุฝนด้วยเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (FHD) สรุปได้ดังนี้

จุดพิจารณา	วิธีการศึกษา		ปริมาณน้ำนองสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ , ลบ.ม./วินาที									
			2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000
ฝายน้ำล้นลำภาชี	FHD		484.16	692.86	840.95	991.24	1,041.60	1,200.25	1,366.22	1,538.65	1,779.36	1,973.03
	RFF	สัดส่วน Q_F/Q_T เฉลี่ย	335.95	626.14	818.17	1,002.49	1,060.94	1,240.06	1,419.82	1,597.79	1,832.85	2,010.44
		สัดส่วน Q_F/Q_T สูงสุด	384.15	664.29	887.54	1,101.82	1,169.73	1,379.32	1,586.96	1,793.82	2,067.03	2,958.48

(2) จากการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีในหัวข้อ (1) พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันมาก จึงได้พิจารณาปริมาณน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลพายุฝนด้านเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (FHD) สำหรับออกแบบฝายน้ำล้นลำภาชี ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

จุดพิจารณา	วิธีการศึกษา	ปริมาณน้ำนองสูงสุดที่คาบความถี่ของการเกิดต่างๆ , ลบ.ม./วินาที									
		2	5	10	20	25	50	100	200	500	1,000
ฝายน้ำล้นลำภาชี	FHD	484.16	692.86	840.95	991.24	1,041.60	1,200.25	1,366.22	1,538.65	1,779.36	1,973.03

การประยุกต์ใช้ข้อมูลอุทกวิทยากับแบบจำลอง (ระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning))

บทนำ (Introduction)

ระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning) สำหรับพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย-ดินถล่ม ในพื้นที่ลาดชันและพื้นที่ราบเชิงเขา

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยกรมทรัพยากรน้ำ ได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ ๑๔ ธันวาคม ๒๕๔๗ ให้ดำเนินการติดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning) สำหรับพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย-ดินถล่ม ในพื้นที่ลาดชันและพื้นที่ราบเชิงเขา เพื่อเป็นกลไกในการติดตามสถานการณ์ เฝ้าระวังและเตือนภัยที่เกิดจากน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลาก โดยการตรวจวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝน และ/หรือระดับน้ำในพื้นที่หมู่บ้านที่อยู่ในข่ายเสี่ยงภัยสูงจากการเกิดน้ำท่วมฉับพลัน และจัดสร้างมาตรฐานการเฝ้าระวังและการเตือนภัยในรูปแบบต่างๆ ที่พัฒนาขึ้น พร้อมทั้งฝึกอบรมอาสาสมัคร (ผู้รู้) ประจำหมู่บ้าน ให้สามารถนำไปประยุกต์ในงานการเตือนภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการประสมประสานความร่วมมือทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน เพื่อบริหารจัดการ บรรเทา และลดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนจากสถานการณ์น้ำหลาก อย่างยั่งยืน

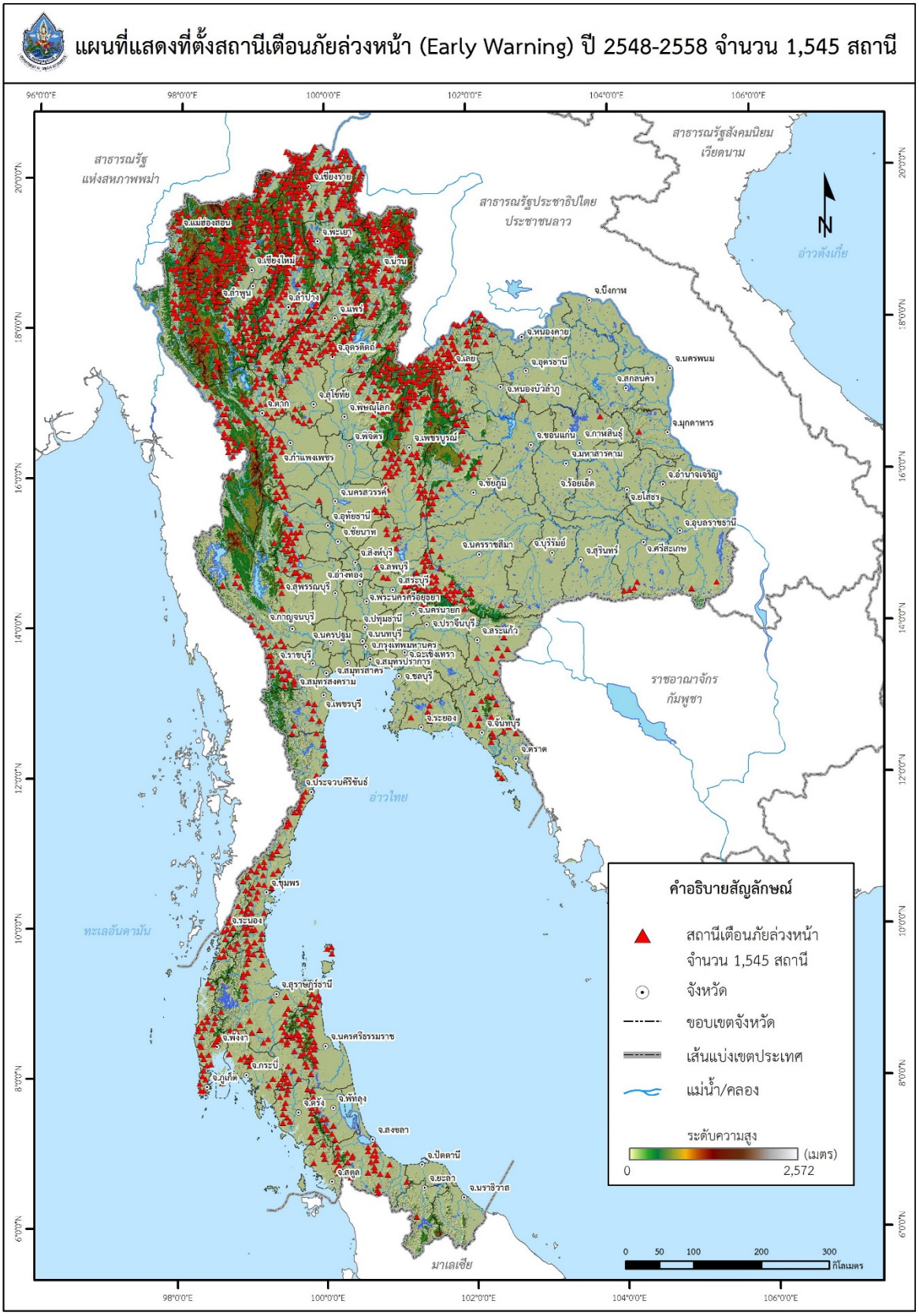
กรมทรัพยากรน้ำ ได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เริ่มตั้งแต่ปีงบประมาณ ๒๕๔๘ ถึงปี ๒๕๕๔ ครอบคลุมหมู่บ้านเสี่ยงภัย จำนวน ๒,๓๗๔ หมู่บ้าน และเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม การโยกย้ายถิ่นฐาน การขยายพื้นที่และการพัฒนาชุมชนตลอดเวลา ในปีงบประมาณ ๒๕๕๔ จึงได้มีการศึกษา ทบทวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยเพิ่มเติมทั้ง ๒๕ ลุ่มน้ำหลัก ให้ครอบคลุมหมู่บ้านเสี่ยงภัยที่ยังไม่สามารถเตือนภัยได้ จำนวน ๔,๔๒๗ หมู่บ้าน และได้ดำเนินการจัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้าไปแล้วในปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๕ จำนวน ๘๓๓ หมู่บ้าน สำหรับในปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๖-๒๕๕๗ ไม่ได้มีการดำเนินการโครงการ แต่ได้มีการพิจารณาถึงประเด็นความซ้ำซ้อนของพื้นที่เป้าหมายกับหน่วยงานอื่น จึงเหลือหมู่บ้านเสี่ยงภัยจำนวน ๒,๘๓๕ หมู่บ้าน ที่ยังไม่ได้ดำเนินการ ซึ่งในปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๘ ดำเนินการติดตั้งระบบเตือนภัยครอบคลุมหมู่บ้านเสี่ยงภัยไม่น้อยกว่า ๑,๕๘๔ หมู่บ้าน และมีแผนงานในการดำเนินการหมู่บ้านที่เหลือจำนวน ๑,๕๐๙ หมู่บ้านในปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙ เพื่อให้ครอบคลุมหมู่บ้านเสี่ยงภัยทั้งหมดของประเทศไทย

๑. วัตถุประสงค์

๑) เพื่อให้มีระบบเฝ้าระวังสถานการณ์น้ำ และเตือนภัยล่วงหน้าจากเหตุการณ์น้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลาก

๒) เพื่อให้ประชาชนในหมู่บ้านเสี่ยงอุทกภัย-ดินถล่มที่จัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้า ได้รับการแจ้งข้อมูลเตือนภัยก่อนเกิดเหตุการณ์

๓) เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลจากการตรวจวัด ไปใช้ในการติดตามสถานการณ์น้ำ การเฝ้าระวัง เตือนภัย และช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย



รูปที่ ๑ แสดงที่ตั้งสถานีเตือนภัยล่วงหน้าที่ดำเนินการแล้วในปี ๒๕๔๘- ๒๕๕๘

๒. เป้าหมาย

๑) มีระบบการตรวจวัดข้อมูล ด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา ให้ครอบคลุมหมู่บ้านพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย - ดินถล่ม ในพื้นที่ลาดชันและที่ราบเชิงเขา

๒) มีการติดตามข้อมูลและเฝ้าระวังสถานการณ์น้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลาก ได้ทันต่อเหตุการณ์

๓) ประชาชนในหมู่บ้านเสี่ยงอุทกภัย-ดินถล่มที่จัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้า ได้รับการแจ้งข้อมูลเตือนภัยก่อนเกิดเหตุการณ์

๔) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลจากการตรวจวัด ไปใช้ในการติดตามสถานการณ์น้ำ การเฝ้าระวังเตือนภัย และช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย

๓. การดำเนินงาน

๑) การติดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้าให้ครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมฉับพลัน น้ำป่าไหลหลาก

กรมทรัพยากรน้ำว่าจ้างผู้รับจ้างดำเนินโครงการติดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning) สำหรับพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย – ดินถล่ม ในพื้นที่ลาดชันและพื้นที่ราบเชิงเขา โดยมีการดำเนินการดังนี้

๑.๑) ศึกษาและทบทวนพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดน้ำท่วมฉับพลันและดินถล่มในพื้นที่เป้าหมาย

๑.๒) ศึกษา พัฒนา และออกแบบสถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาที่เหมาะสม ในหมู่บ้านเป้าหมาย

๑.๓) ศึกษาและออกแบบโครงข่ายระบบสื่อสารข้อมูล

๑.๔) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและเหตุการณ์ท่วมฉับพลัน - ดิน เพื่อจัดทำเป็นเกณฑ์การเตือนภัยตามกรณีต่าง ๆ (Scenario) ประจำหมู่บ้านหรือบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัย

๑.๕) จัดหาและติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือ เพื่อการตรวจวัดข้อมูลอุตุและอุทกวิทยา

๒) การดูแล บำรุงรักษาระบบเตือนภัยล่วงหน้า การเชื่อมโยงข้อมูล ให้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา

๒.๑) ตรวจสอบสถานีสนามให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

๒.๒) จัดหาวัสดุสิ้นเปลืองและซ่อมแซมสถานีเตือนภัยในสนาม สถานีหลัก (ส่วนกลาง) และสถานีรอง (ส่วนอุทกวิทยา/ศูนย์สำรวจอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค ๑-๑๑)

๒.๓) ตรวจสอบระบบเชื่อมโยงข้อมูลสถานีสนามสู่ระบบเตือนภัยกับสถานีหลัก

๒.๔) จัดทำบันทึกการตรวจสอบสถานี

๓) การอบรมซ้ำเสริม และซักซ้อมความเข้าใจ และให้ความรู้ พร้อมทั้งประสานความร่วมมือกับเครือข่ายการเตือนภัยของกรมทรัพยากรน้ำ

๔) การเฝ้าระวัง ติดตามสถานการณ์น้ำ และแจ้งข้อมูลการเตือนภัยไปยังประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย

๔.๑) ดำเนินการตรวจสอบปริมาณน้ำฝนรายวัน

๔.๒) ติดตาม ภาพถ่ายดาวเทียม เรดาร์ของกลุ่มเมฆฝน และสภาพอากาศโดยทั่วไปของประเทศ

๔.๓) เฝ้าระวังและตรวจสอบปริมาณน้ำฝนจากระบบเตือนภัยน้ำท่วม-ดินถล่ม

๔.๔) ประสานงานกับผู้รู้ประจำสถานี เพื่อทราบสถานการณ์ เฝ้าระวัง และเตือนภัยร่วมกันอย่างใกล้ชิด

๔.๕) จัดเจ้าหน้าที่เพื่อตรวจสอบสถานีภาคสนามให้มีความพร้อมตลอด ๒๔ ชั่วโมง ในช่วงฤดูฝนและช่วงวิกฤต เพื่อเฝ้าระวัง ติดตาม ตรวจสอบ และเตือนภัย

๔.๖) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อแจ้งข้อมูลการเตือนภัยเช่น กรมป้องกันและบรรเทาสาธรณภัย หน่วยงานท้องถิ่น

๔.๖) เตรียมความพร้อมของเจ้าหน้าที่ เพื่อรายงาน ประสานงาน กับส่วนราชการต่างๆ พร้อมที่จะเตือนภัยและอพยพราษฎรในพื้นที่ให้ทันกับเหตุการณ์

๔.๗) จัดทำตารางบันทึกการแจ้งเตือนภัย

๕. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

๑) ประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัยทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีความมั่นใจ มีความสุขในการอยู่อาศัยและการประกอบอาชีพในถิ่นฐานของตนเอง โดยมีความปลอดภัยในชีวิตจากภัยน้ำท่วมฉับพลัน-ดินถล่ม

๒) ประชาชนในหมู่บ้านเสี่ยงอุทกภัย-ดินถล่มที่จัดทำระบบเตือนภัย ได้รับการแจ้งเตือนก่อนเกิดเหตุการณ์

๓) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลจากการตรวจวัด ไปใช้ในการติดตามสถานการณ์น้ำ การเฝ้าระวัง เตือนภัย และช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่เสี่ยงภัย

๖. ระบบเตือนภัยล่วงหน้า

๑) การทำงานของระบบเตือนภัย

ในการเตือนภัยเมื่อเกิดเหตุการณ์วิกฤต สามารถทำได้ใน ๓ กรณี ดังนี้

(๑) กรณีสั่งการเพื่อเตือนภัยจากสถานีหลัก : เป็นการสั่งเตือนโดยเจ้าหน้าที่ของ ศูนย์เฝ้าระวังและเตือนภัยน้ำท่วมฉับพลัน-ดินถล่ม ตั้งอยู่ที่สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ

(๒) กรณีสั่งการเพื่อเตือนภัยจากสถานีหลักรอง : เป็นการสั่งเตือนภัยจากส่วนอุทกวิทยา สำนักทรัพยากรน้ำภาค ๑ ถึง ๑๐ ซึ่งสามารถสั่งการเตือนภัยไปยังสถานีเตือนภัยในเขตพื้นที่รับผิดชอบได้

(๓) กรณีสั่งการเตือนภัยอัตโนมัติของสถานีเตือนภัย : โดยใน RTU ของสถานีเตือนภัยทุกสถานีได้รับการตั้งติดโปรแกรมให้สามารถแจ้งเตือนภัยอัตโนมัติ หากกรณีการสั่งการทั้ง ๒ กรณีข้างต้นไม่มีการสั่งการเพื่อเตือนภัย อาจเกิดจากการสื่อสารขัดข้อง สถานีเตือนภัยจะเข้าสู่กระบวนการแจ้งเตือนภัย โดยอุปกรณ์ตรวจวัดจะส่งค่าที่ตรวจวัดได้ให้กับโปรแกรมเพื่อเตือนภัยตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้

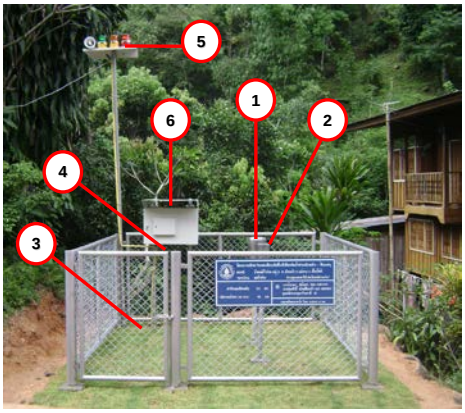
การทำงานของระบบเตือนภัยจะประกอบด้วยอุปกรณ์สัญญาณไฟเตือนภัยสามระดับ คือ สีเขียว สีเหลือง และสีแดง พร้อมเสียงเตือนภัยจากลำโพง ทั้งหมดจะรับคำสั่งจากตู้อุปกรณ์ (RTU) โดยมีการตั้งค่าในการเตือนภัย ดังนี้

- ระดับสีเขียว เตือนเมื่อมีฝนตกถึงเกณฑ์ที่จะต้องติดตามสถานการณ์ และเฝ้าระวัง ซึ่งจะทำการเตือนทุก ๒๐ นาที โดยจะเตือนทั้งแสงและเสียงเป็นเวลา ๑๐ วินาที
- ระดับสีเหลือง เตือนเมื่อมีฝนตกถึงเกณฑ์ที่จะต้องทำการเตือนภัยและเตรียมพร้อม ซึ่งจะทำการเตือนทุก ๑๕ นาที โดยจะเตือนทั้งแสงและเสียงเป็นเวลา ๑๐ วินาที
- ระดับสีแดง เตือนเมื่อมีฝนตกถึงเกณฑ์ที่จะต้องอพยพไปยังที่ปลอดภัย ซึ่งจะทำการเตือนทุก ๓ นาที โดยจะเตือนทั้งแสงและเสียงเป็น เวลา ๑๐ วินาที

สำหรับการตั้งค่าในการเตือนภัย จะสามารถตั้งค่าให้เตือนภัยจากปริมาณน้ำฝนสะสม และจากค่าระดับน้ำที่วัด ซึ่งค่าดังกล่าว คือ ค่าที่กำหนดไว้เป็นค่าพื้นฐาน โดยสามารถปรับค่าให้เหมาะสมตามพื้นที่

๒) รูปแบบของสถานีเตือนภัย

รูปแบบที่ ๑ : สถานีเตือนภัยแบบเตือนด้วยปริมาณน้ำฝนวิกฤต สถานีเตือนภัยรูปแบบนี้จะใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ที่ตรวจวัดได้เป็นหลักในการพิจารณาเตือนภัย การติดตั้งสถานีจะติดตั้งในพื้นที่ต้นน้ำ รูปแบบของสถานีเตือนภัยแสดงดังรูปที่ ๒



(๑) เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบอัตโนมัติ

(๒) กระบอกวัดปริมาณน้ำฝน

(๓) เครื่องวัดความชื้นในดิน

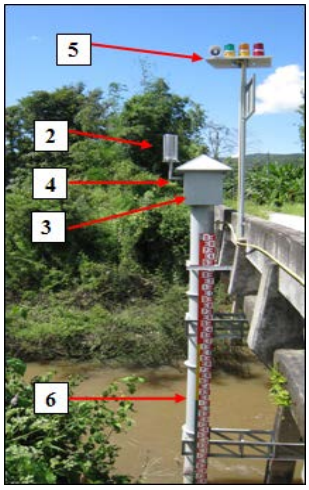
(๔) เครื่องวัดอุณหภูมิ

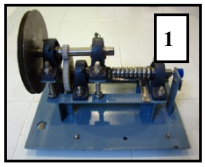
(๕) สัญญาณเตือนภัยและลำโพง

(๖) ตู้อุปกรณ์

รูปที่ ๒ รูปแบบสถานีเตือนภัยแบบที่ ๑

รูปแบบที่ ๒ : สถานีเตือนภัยแบบเตือนด้วยระดับน้ำวิกฤต สถานีเตือนภัยรูปแบบนี้จะติดตั้งเพื่อวัดระดับน้ำในลำน้ำ โดยจะติดตั้งบริเวณสะพานที่มั่นคงแข็งแรงในตำแหน่งต้นน้ำเพื่อเตือนภัยไปยังหมู่บ้านที่อยู่ท้ายน้ำ ซึ่งหมู่บ้านครอบคลุมที่อยู่ท้ายน้ำจะอยู่ห่างจากสถานีเตือนภัยในระยะที่สามารถแจ้งเตือนไว้ล่วงหน้า ๒-๓ ชั่วโมง โดยสถานีรูปแบบนี้จะวัดระดับน้ำในลำน้ำ ณ จุดติดตั้งสถานีและใช้ระดับน้ำที่วัดได้มาพิจารณาเตือนภัย แสดงดังรูปที่ ๓ และแบบเบื้องต้นของสถานีเตือนภัย





(๑) เครื่องวัดระดับน้ำแบบอัตโนมัติ(อยู่ภายในตู้อุปกรณ์)

(๒) เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบอัตโนมัติ

(๓) เครื่องวัดอุณหภูมิ

(๔) ตู้อุปกรณ์

(๕) สัญญาณเตือนภัยและลำโพง

(๖) เสาวัดระดับน้ำ

รูปที่ ๓ รูปแบบสถานีเตือนภัยแบบที่ ๒

๓) ขั้นตอนการดำเนินงานเมื่อเกิดการเตือนภัย

๓.๑) เมื่อเครื่องเตือนภัยส่งสัญญาณสีเขียว (เฝ้าระวัง) เจ้าหน้าที่ส่วนกลางตรวจสอบปริมาณน้ำฝน ตรวจสอบสภาพภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา และประสานเจ้าหน้าในท้องที่ ผู้รู้ตรวจสอบปริมาณน้ำฝนและเฝ้าติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด

๓.๒) เมื่อเครื่องเตือนภัยส่งสัญญาณสีเหลือง (เตือนภัย) เจ้าหน้าส่วนกลางตรวจสอบปริมาณน้ำฝน และประสานเจ้าหน้าในท้องที่ ผู้รู้สอบถามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ พร้อมทั้งเฝ้าติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด และหน่วยงานในท้องที่ประสานแจ้งปริมาณน้ำฝนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ปภ. จังหวัด

๓.๓) เมื่อเครื่องเตือนภัยส่งสัญญาณสีแดง (อพยพ) ประสานเจ้าหน้าในท้องที่ ผู้รู้เพื่อสอบถามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ พร้อมทั้งเฝ้าติดตามสถานการณ์อย่างใกล้ชิด และประสานแจ้งปริมาณน้ำฝนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ปภ.จังหวัด พร้อมทั้งแจ้งผู้รู้ เครือข่าย และผู้นำชุมชน เพื่อตัดสินใจสั่งให้ประชาชนที่จะได้รับอันตราย อพยพ ออกจากพื้นที่ไปยังจุดที่ปลอดภัย

๔) องค์ประกอบที่สำคัญของระบบเตือนภัยล่วงหน้า

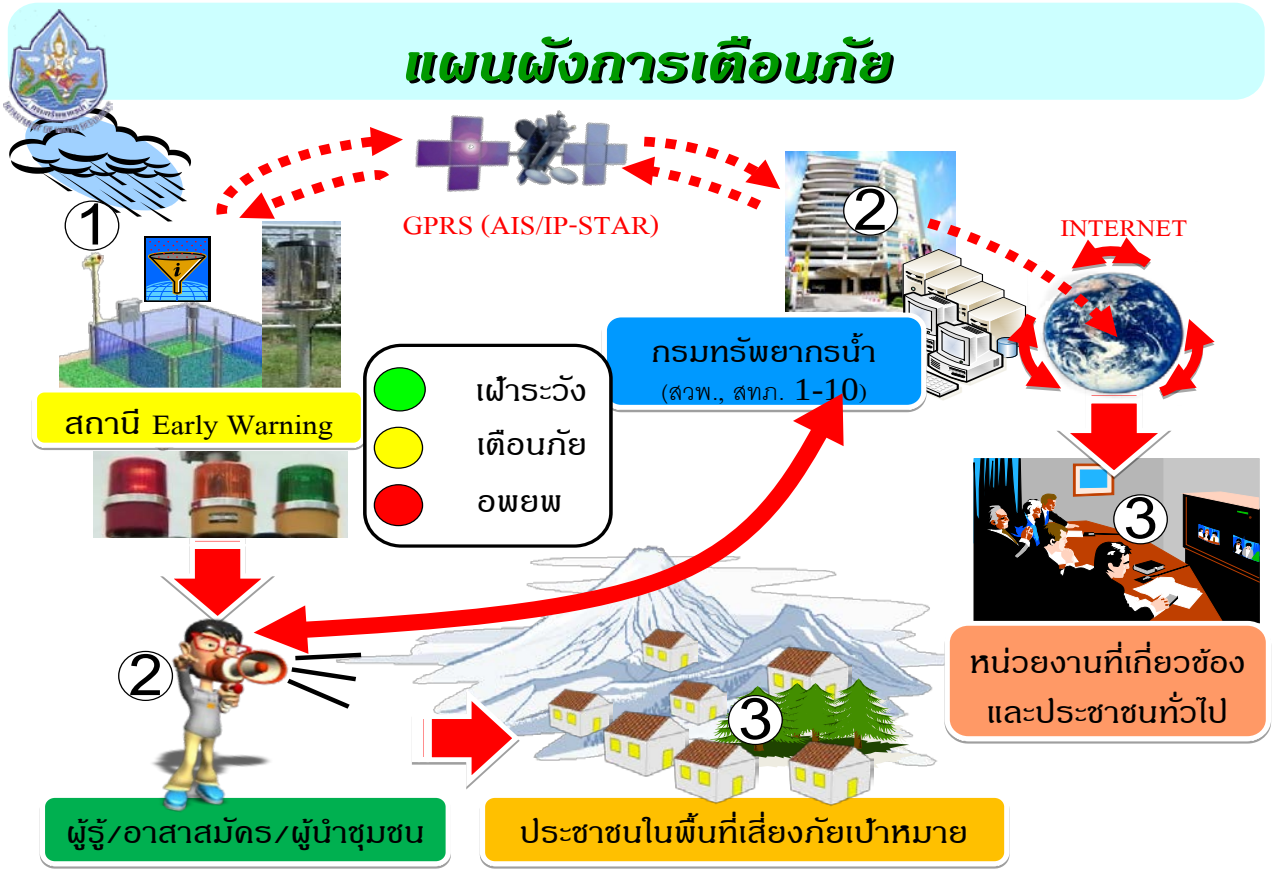
๔.๑) สถานีเตือนภัย ติดตั้งอยู่บริเวณพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัย-ดินถล่ม หรืออยู่บริเวณต้นน้ำ เพื่อทำการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ หรือระดับน้ำในลำน้ำ อุณหภูมิ และความชื้นในดิน ณ จุดติดตั้งสถานี

๔.๒) บุคลากรส่วนกลาง (สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา) ซึ่งเป็นผู้ดูแลระบบในภาพรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการเตือนภัย

๔.๓) บุคลากรส่วนภูมิภาค (ส่วนอุทกวิทยา สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค ๑-๑๑) เป็นผู้ดูแลรักษาสถานีเตือนภัยล่วงหน้าและเข้าใจในสภาพพื้นที่

๔.๔) ผู้รู้/อาสาสมัครประจำสถานีเตือนภัย เป็นดูแลสถานีเตือนภัยในเบื้องต้นและรู้ลักษณะพื้นที่เสียงภัยอยู่ใกล้ชิดเหตุการณ์มากที่สุด

ดังมีรูปแบบการแจ้งเตือนภัยสู่ประชาชนตามภาพต่อไปนี้



รูปที่ ๔ การเตือนภัยสู่ประชาชน

๗. ผลการดำเนินงานโครงการติดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning)

สถานี/หมู่บ้านที่ดำเนินการแล้ว	ปีงบประมาณ									รวม
	๒๕๔๘	๒๕๔๙	๒๕๕๐	๒๕๕๑	๒๕๕๒	๒๕๕๓	๒๕๕๔	๒๕๕๕	๒๕๕๘	
จำนวนสถานีที่ติดตั้ง	๑๗๐	๒๕	๑๖	๔๐	๑๒๙	๒๐๔	๒๖๘	๒๐๐	๔๙๓	๑,๕๔๕
จำนวนสถานีสะสม	๑๗๐	๑๙๕	๒๑๑	๒๕๑	๓๘๐	๕๘๔	๘๕๒	๑,๐๕๒	๑,๕๔๕	๑,๕๔๕
จำนวนหมู่บ้านจัดทำระบบเตือนภัย	๓๔๐	๖๔	๕๔	๑๔๐	๓๙๑	๕๖๕	๘๒๐	๘๓๓	๑,๗๐๔	๔,๙๑๑
จำนวนหมู่บ้านสะสม	๓๔๐	๔๐๔	๔๕๘	๕๙๘	๙๘๙	๑,๕๕๔	๒,๓๗๔	๓,๒๐๗	๔,๙๑๑	๔,๙๑๑

๘. ผลการเตือนภัย

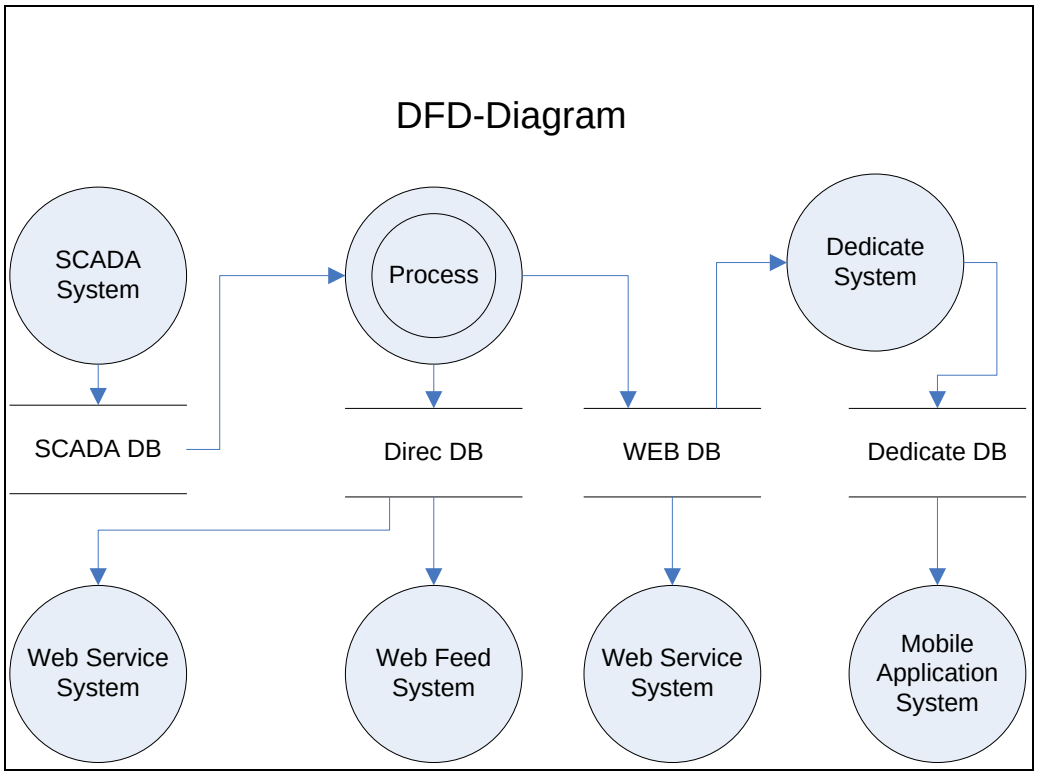
๘.๑) ผลการเตือนภัยในปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๔๙ - ๒๕๕๙

ปีงบประมาณ/ระดับเตือนภัย	เฝ้าระวัง		เตรียมพร้อม		อพยพ		รวม	
	ครั้ง	หมู่บ้าน	ครั้ง	หมู่บ้าน	ครั้ง	หมู่บ้าน	ครั้ง	หมู่บ้าน
2549	4	14			1	1	5	15
2550	8	20	3	4	1	1	12	25
2551	11	23	7	21	15	33	33	77
2552	45	111	33	77	21	64	99	252
2553	109	303	141	383	21	61	271	747
2554	215	628	259	724	62	188	536	1,540
2555	197	629	169	483	34	86	400	1,198
2556	294	1,046	239	751	29	105	562	1,902
2557	360	1,204	247	898	87	278	694	2,380
2558	277	980	161	509	30	92	468	1,581
2559	468	1,643	350	1,200	48	148	866	2,991
รวม	1,988	6,601	1,609	5,050	349	1,057	3,946	12,708

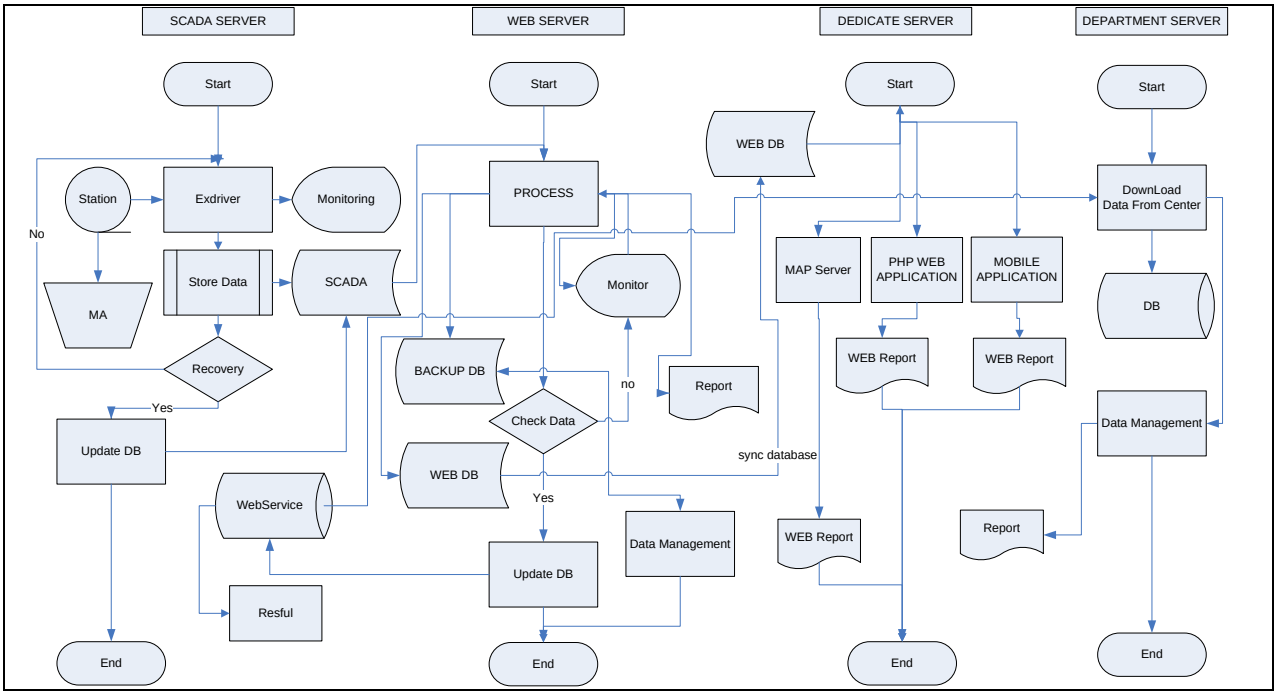
ข้อมูลอุทกวิทยากับแบบจำลอง (ระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning))

แบบจำลอง (model) คือสิ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้แก้ปัญหาแทนของจริง (Tangtham, 1988) แบบจำลองเหตุการณ์ (simulation model) เป็นการนำเอาสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของกระบวนการต่าง ๆ มาจัดเรียงเป็นลำดับของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ เพื่อให้ระบบนั้นเกิดการทำงานจนได้คำตอบหรือผลสำเร็จของเหตุการณ์ทั้งหมด (output) ออกมา (Fleming, 1975) Leaf and Alexander (1975) กล่าวว่าแบบจำลองเหตุการณ์ทางอุทกวิทยา เป็นผลของการกระทำร่วมกันระหว่างแบบจำลองสมดุลของน้ำ กับสภาวะอากาศในช่วงระยะเวลาของการจำลองเหตุการณ์นั้น

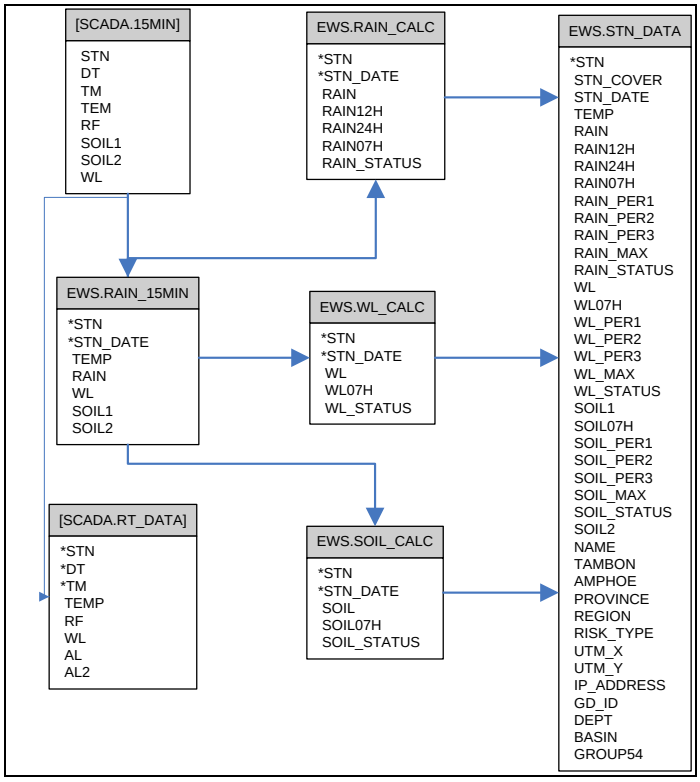
ระบบฐานข้อมูลของระบบ Early Warning ของกรมทรัพยากรน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ใช้ฐานข้อมูล SQL Server 2005 โดยแสดงผังกระบวนการของฐานข้อมูล (Data Flow Diagram) ผังการประมวลผลฐานข้อมูลของระบบ และแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล แสดงดัง**รูปที่ 5** ถึง**รูปที่ 7** ตามลำดับ



รูปที่ 5 Data Flow Diagram ของโครงการ



รูปที่ 6 Work Flow Diagram ของโครงการ



รูปที่ 7 Entity Relationship Diagram (E-R Diagram)

รายละเอียดของฐานข้อมูลที่จัดเก็บ จากสถานีเตือนภัย มีดังนี้

1) 15 MIN

เป็นตารางที่เก็บข้อมูลที่ได้รับจาก สถานีโดยการบันทึกของโปรแกรม SCADA และโปรแกรม SCADA Recovery และข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลดิบ เพื่อเตรียมให้กับโปรแกรมคำนวณสถานะน้ำฝนวิกฤต 12 ชั่วโมงนำไปใช้

รายละเอียดของข้อมูลในตาราง (Data field description) มีดังนี้

STN = รหัสสถานีน้ำฝน SQL2005.EWS.[15MIN.STN] format string 20

DT = วัน SQL2005.EWS.[15MIN.DT] format date 10

TM = เวลา SQL2005.EWS.[15MIN.TM] format date time 16

RF = ปริมาณน้ำฝน SQL2005.EWS.[15MIN.RF] format float 0

[TEMP] = อุณหภูมิ SQL2005.EWS.[15MIN.TEMP] format float 0

SOIL1 = ความชื้น1 SQL2005 SQL2005.EWS.[15MIN.SOIL1] format float 0

SOIL2 = ความชื้น2 SQL2005.EWS.[15MIN.SOIL2] format float 0

WL = ระดับน้ำ SQL2005.EWS.[15MIN.WL] format float 0

2) RAIN_15MIN

เป็นตารางที่แสดงปริมาณน้ำฝนสะสม 12 ชม. และ 24 ชม.ที่ได้จากการคำนวณของแต่ละสถานี

รายละเอียดของข้อมูลในตารางมีดังนี้

STN = รหัสสถานีน้ำฝน MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.STN] format string 20

STN_DATE = วัน+เวลา MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.STN_DATE] format string 16

RF = ปริมาณน้ำฝน MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.RF] format float 0

TEM = อุณหภูมิ MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.TEM] format float 0

WL = ระดับน้ำ MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.WL] format float 0

RAIN_SUM12 = ปริมาณน้ำฝน 12 ชม MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.RAIN_SUM12] format float 0

RAIN_SUM24 = ปริมาณน้ำฝน 24 ชม MsSQL.EWS.[VILL_15MIN.RAIN_SUM24] format float 0

RAIN_STATUS = สถานะจากการคำนวณ MsSQL.EWS.[VILL_15MIN. STATUS] format float 0

3) STN_DATA

เป็นตารางแสดงการประมวลผลที่ได้จากข้อมูลการตรวจวัดของแต่ละสถานีเพื่อนำมาเปรียบกับค่าวิกฤตที่ได้ทำการศึกษาไว้

รายละเอียดของข้อมูลในตารางมีดังนี้

STN = รหัสหมู่บ้าน MsSQL.EWS.[STN_DATA.STN] format string 20

GD_ID = รหัสสถานีเตือนภัย MsSQL.EWS.[STN_DATA.GD_ID] format string 20

IP_ADDRESS = รหัสโปรโตคอล MsSQL.EWS.[STN_DATA. IP_ADDRESS] format string 20

NAME = ชื่อหมู่บ้าน MsSQL.EWS.[STN_DATA.NAME] format string 100

TAMBON = ชื่อตำบล MsSQL.EWS.[STN_DATA.TAMBON] format string 100

AMPHOE = ชื่ออำเภอ MsSQL.EWS.[STN_DATA.AMPHOE] format string 100

PROVINCE = ชื่อจังหวัด MsSQL.EWS.[STN_DATA.PROVINCE] format string 100

STN_DATE = รหัสสถานีน้ำฝน MsSQL.EWS.[STN_DATA.STN] format string 20

TEMP = อุณหภูมิ MsSQL.EWS.[STN_DATA.TEM] format float 0

SOIL1 = ความชื้น MsSQL.EWS.[STN_DATA.SOIL1] format float 0

SOIL2 = ความชื้น MsSQL.EWS.[STN_DATA.SOIL2] format float 0

RAIN = ฝน MsSQL.EWS.[STN_DATA.RAIN] format float 0

RAIN_PER1 = เปอร์เซ็นต์ฝนเฝ้าระวัง MsSQL.EWS.[STN_DATA.RAIN_PER1] format float 0

RAIN_PER2 = เปอร์เซ็นต์ฝนเตือนภัย MsSQL.EWS.[STN_DATA.RAIN_PER2] format float 0

RAIN_PER3 = เปอร์เซ็นต์ฝนอพยพ MsSQL.EWS.[STN_DATA.RAIN_PER3] format float 0

RAIN_MAX = ฝนวิกฤต MsSQL.EWS.[STN_DATA.RAIN_MAX] format float 0

RAIN_STATUS = สถานะน้ำฝน MsSQL.EWS.[STN_DATA.RAIN_STATUS] format float 0

WL = ระดับน้ำ MsSQL.EWS.[STN_DATA.WL] format float 0

WL_PER1 = เปอร์เซ็นต์ระดับน้ำเฝ้าระวัง MsSQL.EWS.[STN_DATA.WL_PER1] format float 0

WL_PER2 = เปอร์เซ็นต์ระดับน้ำเตือนภัย MsSQL.EWS.[STN_DATA.WL_PER2] format float 0

WL_PER3 = เปอร์เซ็นต์ระดับน้ำอพยพ MsSQL.EWS.[STN_DATA.WL_PER3] format float 0

WL_MAX = ระดับน้ำวิกฤต MsSQL.EWS.[STN_DATA.WL_MAX] format float 0

WL_STATUS = สถานะระดับน้ำ MsSQL.EWS.[STN_DATA.WL_STATUS] format float 0

หมายเหตุ : ข้อมูลที่มีค่าติดลบหมายความว่า ไม่มีข้อมูล

4) RT_DATA

เป็นตารางแสดงการข้อมูลการตรวจวัดของแต่ละสถานีเพื่อนำมาแสดงบนเว็บ SCADAรายละเอียดของข้อมูลในตารางมีดังนี้

STN_ID = รหัสสถานี MsSQL.EWS.[RT_DATA.STN_ID] format string 20

COMM_STAT= สถานะการติดต่อ MsSQL.EWS.[RT_DATA. COMM_STAT] format float 0

YR = ปี MsSQL.EWS.[RT_DATA. YR] format float 0

DM = วัน/เดือน MsSQL.EWS.[RT_DATA.DM] format float 0

TM = เวลา MsSQL.EWS.[RT_DATA.TM] format float 0

RF_15MIN = ฝน 15 นาที MsSQL.EWS.[RT_DATA.RF_15MIN] format float 0

RF_12HR = ฝนสะสม 12 ชั่วโมง MsSQL.EWS.[RT_DATA. RF_12HR] format float 0

TEM = อุณหภูมิ MsSQL.EWS.[RT_DATA.TEM] format float 0

SOIL1 = ความชื้น MsSQL.EWS.[RT_DATA. SOIL1] format float 0

SOIL2 = ความชื้น MsSQL.EWS.[RT_DATA. SOIL2] format float 0

WL = ระดับน้ำ MsSQL.EWS.[RT_DATA.WL] format float 0

RAIN_MAX = ค่าน้ำฝนวิกฤต MsSQL.EWS.[RT_DATA. RAIN_MAX] format float 0

WL_MAX = ค่าระดับน้ำฝฤต MsSQL.EWS.[RT_DATA.WL_MAX] format float 0

AL = ค่า alarmMsSQL.EWS.[RT_DATA.AL] format float 0

LAMP = สถานะการปิดแสง MsSQL.EWS.[RT_DATA.LAMP] format float 0

BUZZER = สถานะการปิดเสียง MsSQL.EWS.[RT_DATA. BUZZER] format float 0

ความหมายของการจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องในระบบและในรายงานต่างๆ

STN = Station ID (รหัสสถานี)

NAME = Vill Name (ชื่อหมู่บ้าน)

STATION NAME = Station Name (ชื่อสถานี)

TAMBON = Station Tambon (ชื่อตำบล)

AMPHOE = Station Amphoe (ชื่ออำเภอ)

PROVINCE = Station Province (ชื่อจังหวัด)

DEPT = Station Department (ชื่อหน่วยงาน ภูมิภาค)

BASIN = Main Basin (ชื่อลุ่มน้ำหลัก)

REGION = region (ชื่อภูมิภาค ตามระบบภูมิศาสตร์ C = กลาง, N = เหนือ, NE = ตะวันออกเฉียงเหนือ,

E = ตะวันออก, W = ตะวันตก, S = ใต้)

STN TYPE = stn_type (ประเภทสถานี rain = สถานีวัดปริมาณน้ำฝน, wl = สถานีวัดระดับน้ำ)

WARNING TYPE = Warning Type (ประเภทการเตือนภัย rain = ฝน, wl = ระดับน้ำ)

WARN RF = ค่าปริมาณน้ำฝน ขณะ เตือนภัย

WARN WL = ค่าระดับน้ำ ขณะ เตือนภัย

STN DATE = Date time calculate (เวลาที่ ได้รับข้อมูล)

RAIN = Rain 15 min (ปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ ทุก 15 นาที)

RAIN12H = Rain summary 12 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 12 ชั่วโมง)

RAIN24H = Rain summary 24 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 24 ชั่วโมง)

RAIN07H = Rain summary 07:00 AM (ฝนรายวัน ปริมาณน้ำฝนสะสม 24 ชั่วโมง ณ เวลา 7.00 น.)

WL = Water level 15 min (ระดับน้ำที่วัดได้ ทุก 15 นาที)

WL07H = Water level 07:00 AM (ระดับน้ำที่วัดได้ ณ เวลา 7.00 น.)

SOIL = Soil moisture (ค่าความชื้นในดินวัดได้ ทุก 15 นาที)

STATIS = Rain or Water level status (สถานะการเตือนภัย ของปริมาณน้ำฝนหรือระดับน้ำ)

STATUS 3 = สถานการณ์ อพยพ

STATUS 2 = สถานการณ์ เตือนภัย

STATUS 1 = สถานการณ์ เฝ้าระวัง

STATUS 9 = สถานการณ์ ฝนตกเล็กน้อย

STATUS 0 = สถานการณ์ ปกติ

STATUS -999 = กำลังเชื่อมต่อสัญญาณ

RAIN1DAILY = Rain summary 24 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 1 วัน)

RAIN2DAILY = Rain summary 48 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 2 วัน)

RAIN3DAILY = Rain summary 72 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน)

RAIN4DAILY = Rain summary 96 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 4 วัน)

RAIN5DAILY = Rain summary 120 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 5 วัน)

RAIN6DAILY = Rain summary 144 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 6 วัน)

RAIN7DAILY = Rain summary 168 h (ปริมาณน้ำฝนสะสม 7 วัน)

RAIN1 = Rain daily (ฝนรายวัน วันนี้ คือผลรวมปริมาณน้ำฝนที่ มีข้อมูลตั้งแต่เวลา 07:15 เมื่อวานถึง 07:00 วันนี้)

RAIN2	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 1)
RAIN3	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 2)
RAIN4	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 3)
RAIN5	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 4)
RAIN6	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 5)
RAIN7	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 6)
RAIN8	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 7)
RAIN9	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 8)
RAIN10	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 9)
RAIN11	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 10)
RAIN12	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 11)
RAIN13	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 12)
RAIN14	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 13)
RAIN15	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 14)
RAIN16	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 15)
RAIN17	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 16)
RAIN18	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 17)
RAIN19	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 18)
RAIN20	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 19)
RAIN21	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 20)
RAIN22	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 21)
RAIN23	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 22)
RAIN24	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 23)
RAIN25	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 24)
RAIN26	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 25)
RAIN27	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 26)
RAIN28	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 27)
RAIN29	Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 28)

RAIN30 Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 29)

RAIN31 Rain daily (ฝนรายวัน ย้อนหลังไป 30)

ระบบฐานข้อมูล สำหรับโครงการติดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning)

ฐานข้อมูล SQL Microsoft SQL Server 2005 เป็นฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้กับฐานข้อมูลตัวอื่นๆ ได้ ซึ่งมีระบบบริหารข้อมูลได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และง่ายต่อการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูล และโปรแกรมอื่นๆ พร้อมกับมีเครื่องมือฟังก์ชันของ Microsoft SQL Server 2005 ช่วยให้จัดเก็บข้อมูลได้อย่างปลอดภัย และมีเสถียรภาพสูง รวมทั้งช่วยให้สร้างและบริหาร Application ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ Microsoft SQL Server 2005 ยังได้ผสมผสานระบบวิเคราะห์ ระบบทำรายงาน ระบบผสานข้อมูล และระบบแจ้งเตือนภัยเข้าไว้ด้วยกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งช่วยให้เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องสามารถบริหารจัดการข้อมูลภายในองค์กรได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น และยังสามารถทำงานร่วมกับ PHP Script และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใหม่ได้ ดังนั้น Microsoft SQL Server 2005 จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการพัฒนา และบริหารงานฐานข้อมูล สำหรับโครงการติดตั้งระบบเตือนภัยล่วงหน้า (Early Warning)

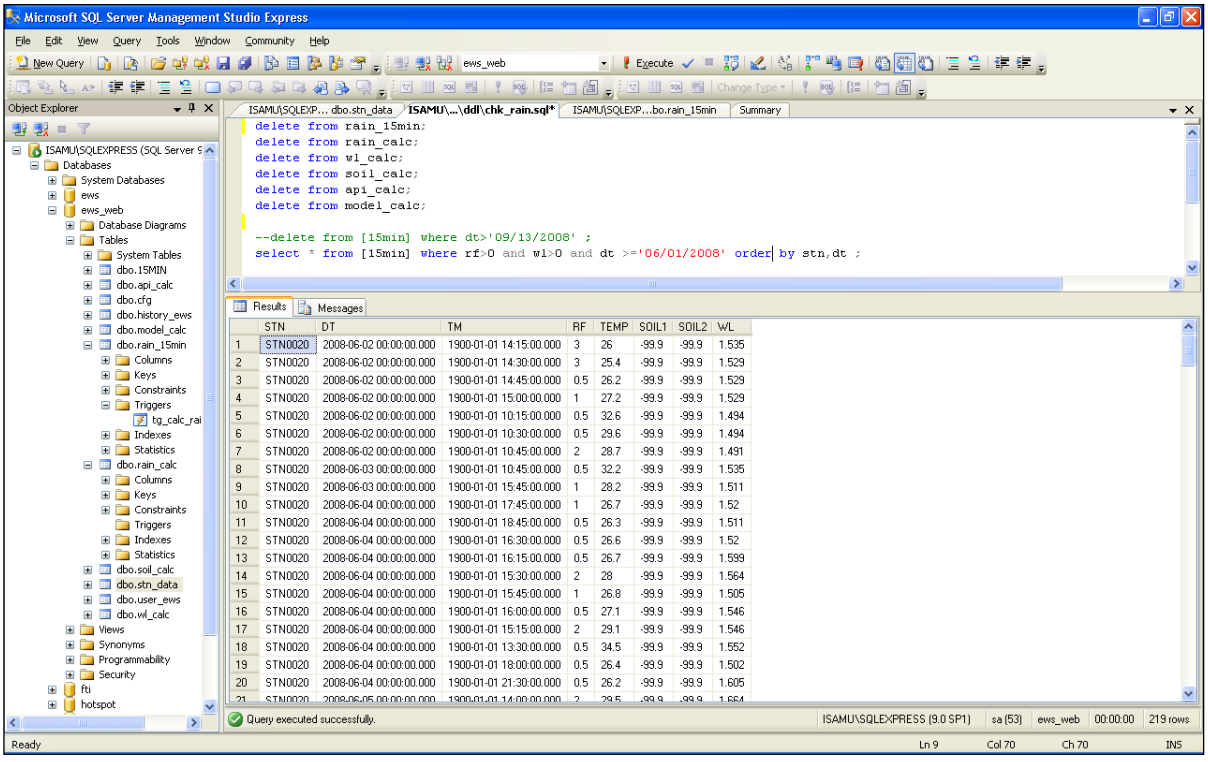
1) คำสั่งของ SQL ที่ใช้ดูรายละเอียดต่างๆ ของฐานข้อมูลใน MsSQL แสดงตัวอย่างดัง**รูปที่ 8**

(1) show databases เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงฐานข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ

(2) use ชื่อฐานข้อมูล เป็นคำสั่งที่ใช้เลือกฐานข้อมูลที่จะทำงานด้วย

(3) show tables เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงรายชื่อ table ทั้งหมดในฐานข้อมูล

(4) show columns from ชื่อ table เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงรายละเอียดของฟิลด์ต่าง ๆ ของ Table ที่ระบุ



รูปที่ 8 ตัวอย่างการป้อนคำสั่งการใช้งานฐานข้อมูล SQL

2) การเรียกใช้ข้อมูลจาก Table

(1) การเรียกใช้แบบปกติ

- select * from ชื่อ Table จะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลทุกฟิลด์ ทุกเรคคอร์ดจาก Table ที่กำหนด

(2) การเรียกใช้ข้อมูลโดยกำหนดให้เรียงข้อมูล

- select * from ชื่อ Table order by ชื่อฟิลด์ [DESC] เป็นการเรียกใช้ข้อมูลทุกฟิลด์ทุก เรคคอร์ด จาก Table ที่กำหนดและให้เรียงลำดับเรคคอร์ดโดยใช้ข้อมูลในฟิลด์ ชื่อฟิลด์ สำหรับ DESC ถ้าระบุ จะเป็นการกำหนดให้เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย แทนที่จะเรียงจากน้อยไปหามาก

(3) การเรียกใช้ข้อมูลเฉพาะฟิลด์ที่ต้องการ

- select ชื่อฟิลด์1 [,ชื่อฟิลด์2,...] from ชื่อ Table เป็นการเรียกใช้ข้อมูลเฉพาะฟิลด์ชื่อ ชื่อฟิลด์1 (และชื่อฟิลด์2,...) ของทุกเรคอร์ดจาก Table ที่กำหนด เช่น ถ้าป้อนคำสั่งว่า select name,age from new_table; ก็จะได้ผลออกมาเป็นข้อมูลที่อยู่ในฟิลด์ name กับ age ที่อยู่ใน Table new_table

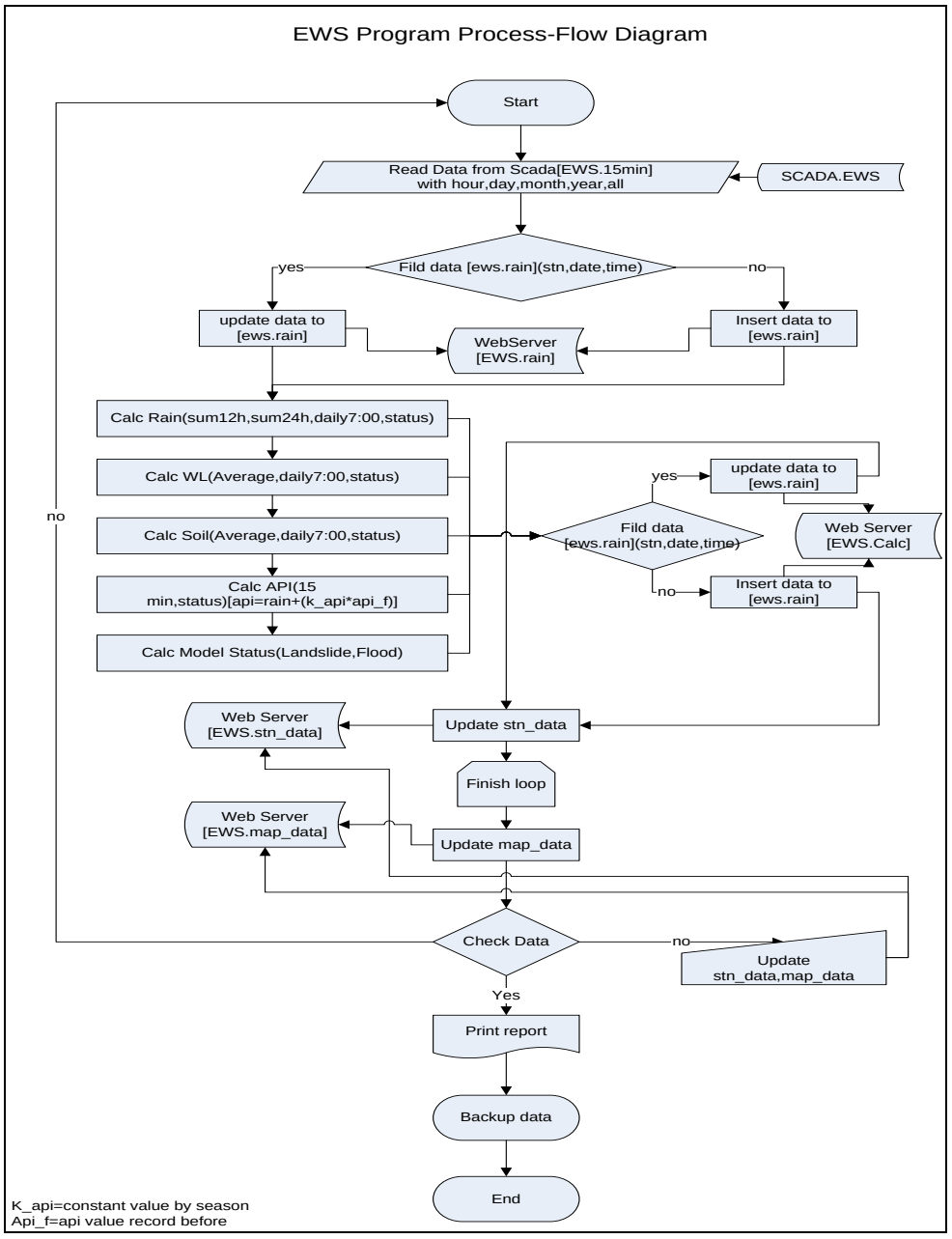
3) การเพิ่มข้อมูลลงในฐานข้อมูล

insert into ชื่อ Table (ชื่อฟิลด์1,ชื่อฟิลด์2,...) values (ข้อมูล1,ข้อมูล2,...)

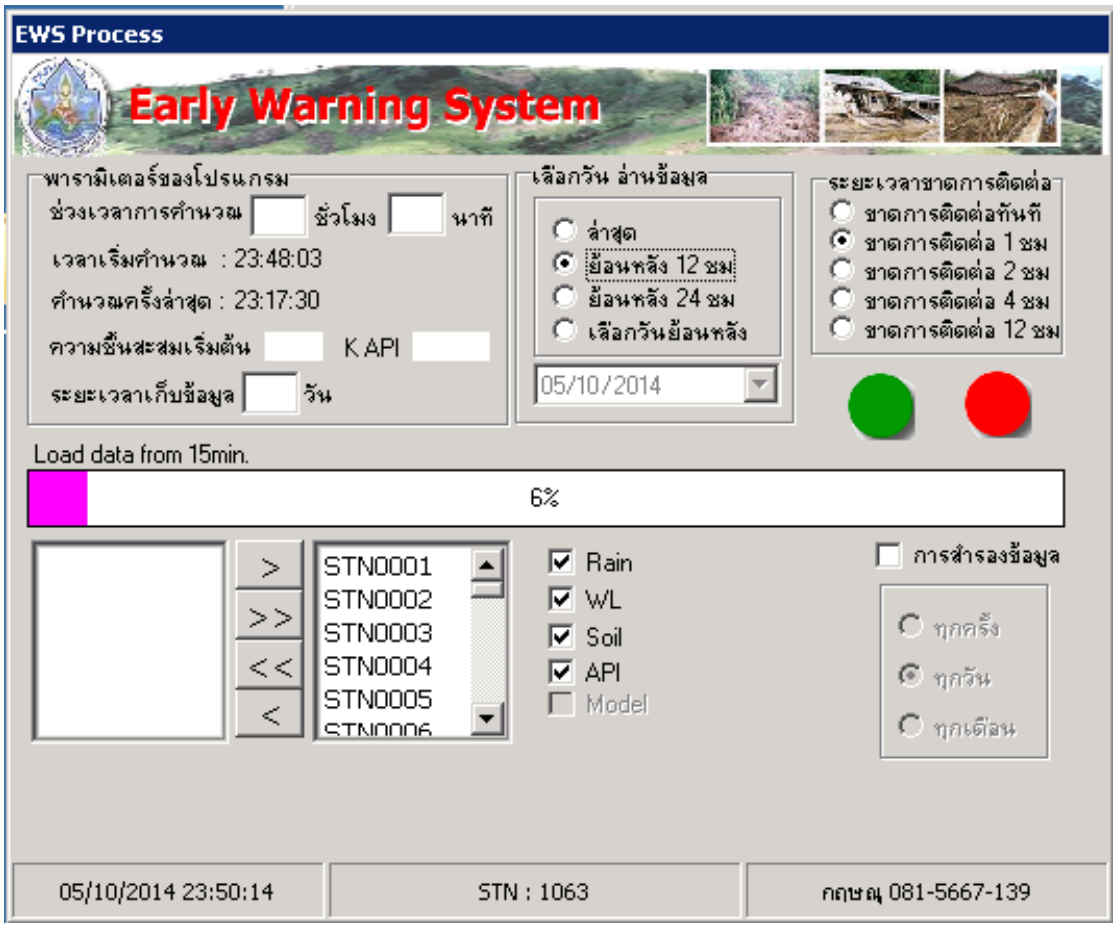
4) โปรแกรมคำนวณสถานะปริมาณน้ำฝนสะสม 12 ชั่วโมงวิกฤต

ระบบจะคำนวณสถานะปริมาณน้ำฝนสะสม 12 ชั่วโมง จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง (Real Time) เปรียบเทียบกับค่าปริมาณน้ำฝนสะสม 12 ชั่วโมงวิกฤต โดยโปรแกรมจะทำงานแบบอัตโนมัติ โดยสามารถประมวลผลเป็นระดับการเตือนภัย ในระดับต่างๆของความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัยหรือดินถล่มซึ่งเป็นผลมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time โดยโปรแกรมจะทำงานแบบอัตโนมัติ ดังแสดงผังกระบวนใน**รูปที่ 9**

ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล จากโปรแกรมประยุกต์ ได้ทำการพัฒนาให้สามารถเข้าถึงฐานข้อมูลได้โดยตรงและสามารถนำออกมาใช้งานในรูปแบบต่างๆได้เช่น Excel, Text หรือ Xml ซึ่งผลการคำนวณที่ได้จะแสดงผลผ่านทางระบบ Internet ทางเว็บไซต์ ทางเว็บไซต์ http://ews.dwr.go.th ดังแสดงใน**รูปที่ 10**



รูปที่ 9 แสดง System Flow Diagram โปรแกรมคำนวณค่าวิกฤตน้ำฝน 12 ชั่วโมง

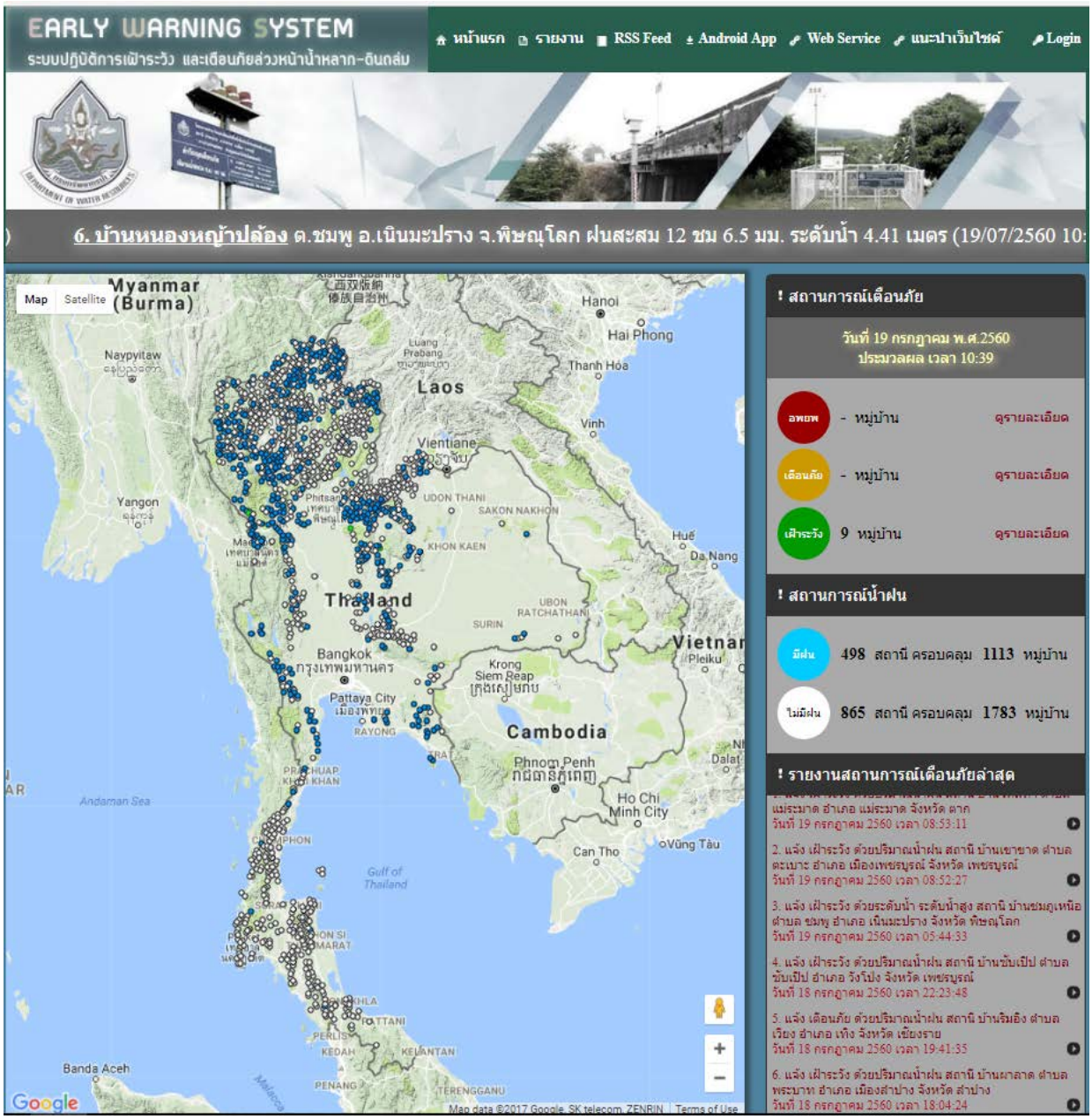


รูปที่ 10 แสดงโปรแกรมประยุกต์เพื่อ คำนวณค่าปริมาณน้ำฝนสะสม 12 ชั่วโมงวิกฤต

โดยนำเสนอให้เห็นถึงระดับของความเสี่ยงในการเกิดอุทกภัยหรือดินถล่มซึ่งเป็นผลมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time โดยแสดงค่าความเสี่ยงด้วยสี ปรากฏลงบนแผนที่ ทั้งนี้ได้กำหนดสีไว้ 6 สี ได้แก่

○	สีขาว	หมายถึง	สถานการณ์ที่ไม่มีฝนตก
●	สีน้ำเงิน	หมายถึง	สถานการณ์ที่มีฝนตกเล็กน้อยยังไม่ถึงระดับที่ต้องเฝ้าระวัง
●	สีเขียว	หมายถึง	สถานการณ์ที่ต้องเฝ้าระวัง
●	สีเหลือง	หมายถึง	สถานการณ์ที่ต้องเตือนภัยแก่ประชาชน
●	สีแดง	หมายถึง	สถานการณ์วิกฤติที่ต้องมีการอพยพประชาชน
●	สีเทา	หมายถึง	ระบบสื่อสารขัดข้องนานกว่า 1 ชั่วโมง

ข้อมูลของสถานการณ์เตือนภัย ทุกตำแหน่งที่มีการแสดงจะเป็นหมู่บ้านดังรูปที่ 11 ที่แสดงบนแผนที่ โดยสถานะของสถานีจะสัมพันธ์กับฐานข้อมูล



รูปที่ 11 แสดงหน้าต่างแผนที่ จุดสถานีสัมพันธ์กับฐานข้อมูล