วิศวกรรมการระบายน้ำ

ผศ.สิทธิพร เงินประเสริฐศรี

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน

วิศวกรรมการระบายน้ำ

ผศ.สิทธิพร เงินประเสริฐศรี

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำจำกัดความของการระบายน้ำ

การระบายน้ำ หมายถึงการนำเอาน้ำที่เกินความต้องการออกไปจากพื้นที่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง เพื่อให้พื้นที่นั้นสามารถใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ หรือให้พื้นที่นั้นมีความสะดวกที่จะใช้งานต่อ ๆ ไปได้เป็นระยะเวลานาน ๆ การระบายน้ำอาจจะแบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ การระบายน้ำที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเกษตร เช่น การระบายน้ำในเมือง การระบายน้ำเสียจากโรงงาน การระบายน้ำบนไหล่ทางหลวง การระบายน้ำจากสนามบิน เป็นต้น กับการระบายน้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งหมายถึงการระบายน้ำที่เกินความต้องการของพืชออกไปจากผิวดินหรือบริเวณรากพืช เพื่อให้ดินบริเวณรากพืชมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้เต็มที่ให้ผลผลิตสูง และสามารถใช้พื้นที่นั้นเพาะปลูกต่อไปได้เป็นระยะเวลานาน ๆ สำหรับคำว่าการระบายน้ำที่จะกล่าวถึงในต่อ ๆ ไปนั้น ให้หมายถึงการระบายน้ำเพื่อการเกษตรเท่านั้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการระบายน้ำ

วัตถุประสงค์ขั้นพื้นฐานของการเพาะปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตของอาหารและเส้นใย การเพิ่มผลผลิตโดยให้คุ้มค่ากับการลงทุนและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะบรรลุผลได้จำเป็นจะต้องมีการระบายน้ำที่เพียงพอ คำว่าการระบายน้ำอย่างเพียงพอ หมายถึงปริมาณน้ำที่จำเป็นจะต้องระบายออกไปจากพื้นที่ให้ทันเวลาโดยไม่ทำให้พืชได้รับอันตรายหรือเสียหายอันจะทำให้ผลผลิตลดลง ในพื้นที่บางแห่งอาจจะมีการระบายน้ำโดยธรรมชาติอย่างเพียงพออยู่แล้ว แต่ในบางพื้นที่อาจจะมีการระบายน้ำไม่เพียงพอหรือระบายน้ำไม่ดี จึงจำเป็นต้องสร้างระบบระบายน้ำเสริมขึ้นมา ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรที่จะต้องออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหา จึงกล่าวได้ว่าวัตถุประสงค์หลักของการสร้างระบบระบายน้ำเพื่อจัดทำให้พื้นที่และบริเวณรากพืชมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชและให้ผลผลิตสูง

การวิเคราะห์และตัดสินใจอย่างถูกต้องเป็นรูปการหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบก่อสร้างระบบระบายน้ำ การระบายน้ำอย่างเพียงพอไม่ได้หมายความว่าจำเป็นจะต้องมีการระบายน้ำโดยสมบูรณ์ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะระบายน้ำได้โดยสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างระบบระบายน้ำจะสูง ผลได้ไม่คุ้มกับค่าลงทุน การระบายน้ำอย่างเพียงพอจะยอมให้เกิดความเสียหายขึ้นกับ

พืชได้บ้างเป็นครั้งคราว แต่จะต้องพิจารณาให้รอบคอบถึงผลได้และผลเสีย การออกแบบและก่อสร้างระบบระบายน้ำ จะออกแบบให้เกิดผลดีที่สุด (optimum) กับดิน พืช การชลประทานและการระบายน้ำ

1.3 วิธีการระบายน้ำ

โดยทั่ว ๆ ไปวิธีการระบายน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ โดยแบ่งตามตำแหน่งของน้ำที่เกินความต้องการที่ทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำ คือ วิธีการระบายน้ำบนผิวดินและใต้ผิวดิน

1.3.1 การระบายน้ำบนผิวดิน หมายถึงการระบายน้ำเกินความต้องการที่ขังอยู่บนผิวดินออกไปจากพื้นที่ โดยการสร้างทางน้ำแบบทางน้ำเปิดหรือโดยการปรับพื้นที่ให้มีความลาดเทอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำหน้าที่ลำเลียงน้ำออกไปจากผิวดิน แหล่งของน้ำเกินความต้องการอาจจะมาจากน้ำฝน น้ำชลประทาน น้ำที่ไหลซึมมาจากระบบคลองส่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ หรือน้ำที่ซึมมาจากน้ำใต้ดินบริเวณข้างเคียงที่มีระดับสูงกว่า

1.3.2 การระบายน้ำใต้ผิวดิน หมายถึงการระบายน้ำใต้ผิวดินที่เกินความต้องการออกไปจากบริเวณรากพืช เพื่อควบคุมไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสูงหรืออยู่ใกล้ผิวดิน และเพื่อควบคุมการสะสมของเกลือบริเวณผิวดินและรากพืช โดยการสร้างทางระบายน้ำให้อยู่ในระดับต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการควบคุมทางระบายน้ำอาจจะเป็นแบบ ทางน้ำเปิด แบบทางน้ำปิดหรือท่อ แบบรูตุ่น (mole) หรือแบบบ่อระบาย แหล่งของน้ำเกินความต้องการอาจจะมาจากน้ำฝน น้ำชลประทาน น้ำที่รั่วซึมจากคลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ น้ำบนผิวดินจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่า หรือน้ำจากชั้นน้ำภายใต้ความดัน (artesian aquifer)

1.4 ปัญหาการระบายน้ำ

ในการออกแบบระบบระบายน้ำ จำเป็นต้องศึกษาวิเคราะห์ให้รู้ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาและแหล่งของน้ำที่ทำให้เกิดปัญหาว่ามาจากแหล่งน้ำใดก่อนเป็นลำดับแรกในพื้นที่บางแห่งปัญหาอาจจะซับซ้อนต้องหารายละเอียด โดยการสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์ (investigation) พื้นที่ การออกแบบระบบระบายน้ำจะได้ผลดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ปัญหาว่ามีความละเอียดถูกต้องเพียงใด ปัญหาการระบายน้ำที่เกิดขึ้นจะเนื่องมาจากองค์ประกอบของ ลักษณะภูมิอากาศ (climate) ลักษณะภูมิประเทศ (topography) ลักษณะดิน (soils) และชนิดของพืช (crops) องค์ประกอบเหล่านี้ทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำ ซึ่งอาจจะแยกปัญหา

ออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ปัญหาการระบายน้ำบนผิวดินและปัญหาการระบายน้ำใต้ผิวดิน

1.4.1 ปัญหาการระบายน้ำบนผิวดิน เนื่องมาจากมีน้ำขังอยู่บนผิวดิน ซึ่งเป็นที่ราบหรือค่อนข้างราบ เป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อพืชได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจาก

1. พื้นที่ไม่เรียบ (irregularity) สูง ๆ ต่ำ ๆ หรือมีคันหรือเนินเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ

2. ดินมีค่าความสามารถในการให้น้ำซึมจากผิวดิน (infiltration) และการเหนี่ยวนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity) ต่ำ หรือภายในดินมีชั้นทึบน้ำเป็นอุปสรรคต่อการซึมของน้ำลงไปภายในดิน

3. สมรรถนะ (capacity) ของทางน้ำไม่เพียงพอ ทำให้เกิดน้ำขังเป็นระยะเวลานาน

4. จุดน้ำออก (outlet) อยู่สูง น้ำระบายออกไปได้ช้าทำให้เกิดน้ำขัง

5. ปริมาณน้ำฝน (precipitation) มากทั้งจำนวน ความเข้มข้นและระยะเวลา (duration)

6. ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้มากเกินไป

7. การไหลรั่วซึมของระบบส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำจากพื้นที่ซึ่งอยู่สูงกว่า

1.4.2 ปัญหาการระบายน้ำใต้ผิวดิน เนื่องจากมีน้ำขังแฉะ (waterlog) อยู่ในบริเวณรากพืช หรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน ทำให้เกิดการสะสมของเกลือบริเวณรากพืชและผิวดิน เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งมีสาเหตุมาจาก

1. พื้นที่ราบระบายน้ำไม่ดี ดินระบายน้ำได้ไม่ดี

2. ดินเป็นดินชั้น (stratification) ทำให้การซึมผ่านของน้ำลงไปในดินชั้นล่างไม่ดี

3. ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงหรืออยู่ใกล้ผิวดิน

4. น้ำไหลซึมมาจากน้ำฝน น้ำชลประทาน

5. น้ำรั่วซึมมาจากระบบส่งน้ำ อ่างเก็บน้ำ น้ำบนผิวดินจากบริเวณใกล้เคียงที่อยู่สูงกว่า

6. น้ำจากชั้นน้ำภายใต้ความดันซึมขึ้นมา

1.5 ความแตกต่างของการระบายน้ำในเขตภูมิอากาศชุ่มชื้นและในเขตแห้งแล้ง

น้ำที่ระบายออกจากพื้นที่เพาะปลูกในเขตชุ่มชื้นส่วนใหญ่เป็นผลอันเนื่องมาจากน้ำฝน ปริมาณน้ำฝนจะมากหรือฝนตกหนักในอัตราสูง ระบบระบายน้ำที่ใช้อาจจะเป็นแบบบนผิวดินหรือแบบใต้ผิวดินก็ได้แล้วแต่ปัญหาที่เกิดขึ้น ถ้าเป็นระบบใต้ผิวดิน ท่อระบายจะฝังลึกเฉลี่ยประมาณ 0.9 ถึง 1.5 เมตร แล้วแต่ชนิดของพืชและดิน เพื่อควบคุมมิให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดินเกินไปจนเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช

สำหรับในเขตแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง น้ำที่ระบายออกจากพื้นที่เพาะปลูกจะเป็นผลเนื่องมาจากน้ำชลประทานหรือน้ำใต้ดินซึ่งไหลมาจากบริเวณใกล้เคียง ระบบระบายน้ำที่ใช้อาจจะเป็นแบบบนผิวดินหรือใต้ผิวดิน ถ้าใช้ระบบใต้ผิวดินท่อระบายจะฝังลึกกว่าผิวดินเฉลี่ยประมาณ 1.5 ถึง 2.1 เมตร เพื่อควบคุมระดับน้ำใต้ดินและการสะสมของเกลือไม่ให้เกิดอันตรายต่อพืช

ในเขตชุ่มชื้นปริมาณที่ฝนตกลงมาจะมากกว่าการใช้น้ำรวมการระเหยของพืช (Evapotranspiration) ทำให้มีน้ำไหลซึมลงไปในดินมากกว่าการระเหยออกไป จึงไม่เกิดปัญหาการสะสมของเกลือในดินบริเวณรากพืช ยกเว้นในพื้นที่บางแห่งเช่น บริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งน้ำทะเลไหลเข้ามาถึง หรือในพื้นที่ซึ่งมีการใช้ปุ๋ยเคมีมาก ๆ อาจจะเกิดปัญหาเกลือได้ หรือในพื้นที่ซึ่งใช้น้ำชลประทานซึ่งมีเกลือในปริมาณที่สูง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการระบายน้ำในเขตชุ่มชื้นจึงเพื่อควบคุมความชื้นในดินบริเวณรากไม่ให้เกิดเป็นอันตรายต่อพืช สำหรับพืชในเขตแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้งซึ่งมีระบบการชลประทาน การสูญเสียของน้ำชลประทานจะทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดินสูงและเกิดปัญหาเกี่ยวกับการสะสมของเกลือในดิน เนื่องมาจาก Capillary Rise เมื่อน้ำระเหยออกไปจากผิวดินทำให้เกิดการสะสมของเกลือในบริเวณรากพืชสูงขึ้นจนเป็นอันตรายต่อพืช ปัญหาของเกลือที่เกิดขึ้นเนื่องจากเกลือซึ่งมีอยู่ภายในดินเอง และจากสารละลายของเกลือที่มีอยู่ในน้ำชลประทาน ซึ่งอาจจะมีอยู่ถึงร้อย ๆ หรือเป็นพันมิลลิกรัมต่อลิตร เช่น สมมติว่าน้ำชลประทานมีเกลืออยู่ 735 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อให้น้ำแก่ดินจำนวน 1 เอเคอร์-ฟุต หรือ 1,230 ม.^{3} จะเพิ่มเกลือในดินประมาณ 1 ตัน ดังนั้นการระบายน้ำในเขตแห้งแล้งหรือเขตชลประทานจึงแตกต่างกับในเขตชุ่มชื้น คือนอกจากจะควบคุมความชื้นในดินบริเวณรากแล้วยังควบคุมปริมาณของเกลือในดินด้วย

1.6 ผลกระทบของการระบายน้ำไม่ดี

ในการเจริญเติบโตของพืชนั้น รากพืชจำเป็นต้องหายใจอย่างคงที่ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วรากพืชสามารถเจริญได้ในน้ำ ถ้าน้ำนั้นมีออกซิเจนละลายอยู่และไม่มีสารพิษ ดังนั้นในดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงไม่จำเป็นต้องเป็นอันตรายต่อพืชเสมอไป ถ้ารากพืชสามารถหายใจได้ แต่อย่างไรก็ตามในพื้นที่ซึ่งมีการระบายน้ำไม่ดีจะมีผลกระทบหรือผลเสียเกิดขึ้นทั้งกับพืชและดิน ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน ยากที่จะแยกผลกระทบแต่ละอันออกจากกัน ผลกระทบของการระบายน้ำไม่ดีมีดังต่อไปนี้

ในดินที่ชื้นแฉะ (waterlog) จะมีน้ำเกินความต้องการของพืชกักอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทำให้การถ่ายเทอากาศระหว่างดินและบรรยากาศ (aeration) ลดลง ทำให้เกิดการบีบตัวของราก อากาศหยุดไหลหมุนเวียน การถ่ายเทของอากาศในดินกับบรรยากาศจะมีอยู่เฉพาะบริเวณใกล้ ๆ กับผิวดิน ประมาณ 5 ถึง 7 เซนติเมตรเท่านั้น ดินที่ลึกกว่านี้จะไม่มีออกซิเจนและเมื่อมีน้ำท่วม ออกซิเจนในผิวดินจะหายไปภายในไม่กี่ชั่วโมง เมื่อขาดออกซิเจนการย่อยสลาย (decomposition) ของอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์จะลดลง ทำให้ไนโตรเจนในรูปซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง เนื่องจากไนโตรเจนยังคงอยู่ในทรากของอินทรีย์วัตถุ การขาดออกซิเจนการย่อยสลายของอินทรียวัตถุจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic) ทำให้เกิดสารประกอบหรือแกสซึ่งเป็นพิษเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น มีเธน เมทธิล เป็นต้น นอกจากนี้การขาดออกซิเจนยังจะทำให้แร่ธาตุซึ่งมีอยู่ในดินเปลี่ยนสภาพจาก oxidation เป็น reduction ทำให้เพิ่มไออ้อนของ ferrous, sulfide, manganous เป็นจำนวนซึ่งเป็นพิษกับพืชในเวลาเพียงสองสามวัน ดินซึ่งอยู่ในสภาพชื้นแฉะฟอสฟอรัสจะสามารถละลายน้ำได้มากขึ้นและถูกชะล้างออกไปจากดิน การที่ดินมีสภาพชื้นแฉะและขาดออกซิเจนจะทำให้พืชลดขบวนการของ การหายใจ การคายน้ำ การ - สังเคราะห์แสง การดูดน้ำและอาหารพืช สรุปแล้วความต้องการอากาศของพืชเกณฑ์ต่ำสุดต้องมีอากาศอย่างน้อย 10 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

ในดินที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง ซึ่งบางทีอาจจะมองดูแล้วไม่มีวี่แววว่าระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงเพราะผิวดินแห้ง ถึงแม้ว่าจะมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินเพียงฟุตหรือสองฟุตเท่านั้น การที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงจะทำให้บริเวณรากพืชถูกจำกัด พืชจะขาดอาหาร ถ้าระดับน้ำใต้ดินมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยจะทำให้รากพืชเน่าและตายได้ และเมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลง รากสร้างขึ้นมาใหม่ไม่ทันจึงทำให้ขาดทั้งอาหารและน้ำ ความชื้นของดินที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการบดอัด

เนื่องจากเครื่องจักรกลและสัตว์ทำให้ดินอัดแน่น ในเขตหนาวความชื้นของดินจะทำให้อุณหภูมิของดินอุ่นช้า จึงทำให้การงอกของเมล็ดพืชช้าและฤดูการเพาะปลูกจะสั้น นอกจากนี้การที่ระดับน้ำใต้ดินสูงเมื่อเกิดการระเหยจะทำให้เกิดการสะสมของเกลือในบริเวณผิวดินหรือในบริเวณรากพืช ดินอาจจะกลายเป็นดินซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก

การที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงแต่ไม่ใกล้กับผิวดินจนเกินไป ภายในหน้าตัดดินอาจจะมีประโยชน์ต่อพืช พืชสามารถใช้น้ำจากระดับน้ำใต้ดินได้ โดยเฉพาะในบริเวณซึ่งน้ำฝนและน้ำชลประทานมีน้อยหายาก แต่อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันการสะสมของเกลือในบริเวณรากพืช และเพื่อจะได้ประโยชน์จากน้ำใต้ดิน จะต้องมีการควบคุมระดับน้ำใต้ดินทั้งระดับและการเคลื่อนที่ขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน

1.7 ประโยชน์ของการระบายน้ำ

การระบายน้ำจะช่วยเสริมทำให้เกิดบรรยากาศที่ดีต่อรากพืช เช่น การถ่ายเทอากาศระหว่างดินและบรรยากาศ การพัฒนาการงอกของเมล็ดอาหารพืช โรคพืชลดลง ควบคุมการสะสมของเกลือบริเวณรากพืช โครงสร้างของดินและสภาพของดินดี การปฏิบัติการเพาะปลูกสะดวกและมีประสิทธิภาพ การระบายน้ำจะทำให้พื้นที่มีความเหมาะสมและปลูกพืชได้มากขึ้น ปลูกพืชได้หลายชนิดและคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น ระบบระบายน้ำจะส่งเสริมให้เกิดประโยชน์ดังนี้

1. เพิ่มการเพาะปลูกได้โดยไม่ได้ขยายพื้นที่
2. ผลผลิตและคุณภาพของพืชดีขึ้น
3. ทำให้สามารถวางแผนการจัดการที่ดีเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน
4. ทำให้สามารถกำหนดวันปลูกเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมที่สุดได้
5. การปฏิบัติการของเครื่องจักรกลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

บทที่ 2
หลักการระบายน้ำ

หลักการเบื้องต้นและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำออกจากพื้นที่เพาะปลูกนั้นได้พัฒนาขึ้นมาจากวิทยาศาสตร์หลายสาขาวิชา กฎต่าง ๆ เกี่ยวกับการไหลของน้ำที่ได้มีการศึกษาและค้นพบมาแล้วจะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของน้ำทั้งบนผิวดิน ในทางน้ำและที่ผ่านดิน นอกจากนี้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากประสบการณ์จากการระบายน้ำในอดีตจะสามารถนำมาใช้สำหรับเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบการระบายน้ำที่เรียกว่าเป็นแบบ empirical ซึ่งเป็นแบบที่ได้จากประสบการณ์ที่ได้ก่อสร้างระบบระบายน้ำมาแล้วในอดีต การศึกษาจากงานที่ได้สร้างมาแล้วจะมีส่วนช่วยให้วิศวกรได้แก้ไขปัญหาการระบายน้ำได้ถูกต้องและดียิ่งขึ้น ในทุกขั้นตอนของการออกแบบตั้งแต่ระยะเริ่มแรกของการตรวจสอบวิเคราะห์ตลอดจนถึงขั้นตอนการก่อสร้างเพื่อแก้ไขปัญหาให้สามารถแก้ไขปัญหาได้รวมทั้งในทางปฏิบัติด้วย ความรู้เกี่ยวกับหลักการระบายน้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะพัฒนาให้ได้เกณฑ์สำหรับการออกแบบในแต่ละท้องถิ่น ระบบระบายน้ำที่ได้สร้างขึ้นแล้วจะต้องประเมินผลว่าระบบที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถระบายน้ำได้ผลดีหรือไม่ สำหรับในพื้นที่ซึ่งยังไม่เคยมีเกณฑ์ที่ใช้สำหรับออกแบบการระบายน้ำอาจจะนำประสบการณ์จากที่อื่น ซึ่งมีสภาพเงื่อนไขคล้าย ๆ กันนำมาปรับใช้สำหรับท้องถิ่นได้

2.1 ปัจจัยของการออกแบบการระบายน้ำ

โดยทั่ว ๆ ไปการก่อสร้างระบบระบายน้ำจะนำวิชาการหลายสาขาวิชามาประยุกต์ใช้ซึ่งรวมถึงเป้าหมายที่ต้องการ การสำรวจสภาพปัจจุบันของพื้นที่ ประสบการณ์จากการระบายน้ำที่มีสภาพคล้าย ๆ กัน และการจัดเตรียมการออกแบบและแบบแปลนต่าง ๆ ปัจจัยของการออกแบบระบายน้ำแบ่งออกเป็น 4 ข้อใหญ่ ๆ ได้แก่

1. ความต้องการระบายน้ำของพืช
2. การตรวจสอบวิเคราะห์พื้นที่
3. เกณฑ์ที่ใช้สำหรับการออกแบบ
4. แบบแปลนและข้อกำหนดรายละเอียด

ปัจจัยของการออกแบบระบายน้ำเหล่านี้จะกล่าวถึงในบทนี้และบทอื่น ๆ ในระหว่างขั้นตอนของการออกแบบ วิศวกรจำเป็นจะต้องเลือกระหว่างแนวทางเลือกต่าง ๆ ของแนว

ตำแหน่ง วิธีการและวัสดุที่จะใช้ การตัดสินใจเลือกนี้จะขึ้นอยู่กับ การจัดการ เศรษฐกิจ และสภาพเงื่อนไขทางกายภาพของบริเวณพื้นที่ สำหรับเทคนิคในการออกแบบการระบายน้ำของทั้งระดับแปลงนาหรือโครงการขนาดเล็ก และโครงการขนาดใหญ่จะคล้ายกัน เว้นแต่โครงการขนาดใหญ่จะมีองค์ประกอบเกี่ยวกับชุมชนเข้ามาพิจารณาด้วย ซึ่งรวมถึงองค์กรการระบายน้ำ กฎหมายเกี่ยวกับเขตคลองระบาย การทิ้งน้ำ การใช้น้ำ การจัดการด้านการเงิน รายการค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เป็นต้น

2.2 ความต้องการระบายน้ำของพืช

พืชชนิดต่าง ๆ จะมีความทนทานต่อน้ำเกินความต้องการแตกต่างกันไป ทั้งจำนวนและระยะเวลา น้ำที่เกินความต้องการนี้ไม่ได้ทำให้รากพืชได้รับอันตรายโดยตรง แต่จะมีผลกระทบทำให้ดินขาดออกซิเจนและเกิดการสะสมแก๊สพิษ การขาดออกซิเจนในช่วงสั้น ๆ สามารถลดการดูดน้ำของรากลดอาหารพืช ลดการหายใจของราก และสร้างสารพิษทำให้เซลและรากตาย การออกแบบระบายน้ำจะต้องพิจารณาถึงความต้องการระบายน้ำของพืชด้วย โดยการเลือกอัตราการระบายน้ำในระดับที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด สำหรับบริเวณนั้น ๆ ซึ่งความต้องการระบายน้ำของพืชจะขึ้นอยู่กับ

1. ระยะเวลานานที่สุดและความถี่ที่น้ำขังบนผิวดิน
2. ระดับน้ำใต้ดินที่ขึ้นมาสูงสุด
3. อัตราต่ำสุดที่จะลดระดับน้ำใต้ดินลง

ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะหาได้จากรายงานเกี่ยวกับผลกระทบของน้ำเกินความต้องการของพืช ความลึกของรากพืชและความต้องการอากาศของพืช

2.3 เกณฑ์ที่ใช้สำหรับการออกแบบ

การพัฒนาเกณฑ์ที่ใช้สำหรับการออกแบบระบายน้ำพัฒนาขึ้นมาได้จาก 2 แบบ คือ

1. แบบ empirical คือได้จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รวบรวมไว้และได้ประเมินผลแล้วจากระบบระบายน้ำที่ได้สร้างขึ้นมาแล้ว

2. แบบวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีหรือกฎต่าง ๆ เข้าแก้ไขปัญหาซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบ empirical เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำในเขตชุ่มชื้น ซึ่งก็คืออัตราซึ่งน้ำเกินความต้องการถูกระบายออกไปจากพื้นที่เพาะปลูกโดยที่พืชได้รับการป้องกัน

อันตรายไม่ให้เกิดความเสียหายในระดับหนึ่ง ซึ่งอัตรานี้ได้มาจากประสบการณ์จากระบบระบายน้ำที่ได้สร้างขึ้นมาแล้ว โดยการประเมินจากการสังเกตุพืชซึ่งตอบสนองและผลผลิต และวัดอัตราการไหลจากระบบซึ่งมีการระบายน้ำอย่างดี แต่เนื่องจากวิธีแบบ empirical นี้ จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และการประเมินจากตัวประกอบต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน ดังนั้นในการนำเอาเกณฑ์นี้มาใช้กับพื้นที่ในท้องถิ่นอื่น ๆ จะต้องพิจารณาให้รอบคอบถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างแบบวิเคราะห์ทางทฤษฎี เช่น สมการการหาระยะห่างระหว่างทางระบายน้ำใต้ผิวดิน ซึ่งจะต้องรู้ค่าเกี่ยวกับลักษณะของบริเวณพื้นที่นั้น เช่น ค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดิน ความลึกของทางระบายน้ำเหนือชั้นทึบน้ำ ความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากผิวดินที่ต้องการควบคุม และอัตราการระบายน้ำ การนำสมการมาประยุกต์ใช้ต้องอยู่ภายในขีดจำกัดหรือข้อสมมุติฐานของสูตรนั้น ๆ การจะนำมาประยุกต์ใช้งานจะต้องรู้สภาพเงื่อนไขจำกัดที่อยู่ในรูปของสมการและสามารถนำมาใช้กับพื้นที่ท้องถิ่นอื่น ๆ ได้ โดยปกติตัวแปรเกี่ยวกับองค์ประกอบของบริเวณพื้นที่จะเข้าไปอยู่ในสมการด้วย

2.4 หลักการระบายน้ำผิวดิน

การระบายน้ำผิวดินสามารถทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. ระบายน้ำที่ขังอยู่ภายในพื้นที่ออกไปจากพื้นที่โดยการสร้างทางระบายน้ำในพื้นที่เพื่อรวบรวมน้ำแล้วระบายออกไปจากพื้นที่

2. ระบายน้ำโดยผันน้ำที่ไหลมาจากนอกพื้นที่ไม่ให้เข้ามาในพื้นที่โดยสร้างทางระบายน้ำสกัดกั้นแล้วผันน้ำออกไปจากพื้นที่

ระบบระบายน้ำผิวดินแบ่งออกตามหน้าที่ได้ 3 ส่วน คือ

1. ระบบรวบรวมน้ำ อาจจะเป็นร่องระบาย คูระบาย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบ จะทำหน้าที่เป็นส่วนแรกของการรวบรวมน้ำจากแปลงเพาะปลูกภายในพื้นที่โดยตรง

2. ระบบลำเลียงน้ำ ปกติจะเป็นคลองระบายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากระบบรวบรวมน้ำแล้วระบายออกไปสู่ที่ทิ้งน้ำ

3. ที่ทิ้งน้ำ จะทำหน้าที่เป็นจุดสุดท้ายของระบบระบายน้ำในการกำจัดน้ำออกไปจากพื้นที่

การระบายน้ำผิวดินจะใช้หลักของพลังงานศักย์ ซึ่งเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับน้ำทำให้เกิด hydraulic gradient ระบบระบายน้ำผิวดินที่สร้างโดยให้มีความลาดเทของผิวน้ำ น้ำจะเคลื่อนที่จากผิวดินไหลสู่ที่ที่งน้ำซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าโดยแรงดึงดูดของโลก

การออกแบบระบบรวบรวมน้ำ เป็นการระบายน้ำในพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง เช่น ร่องหรือคูระบายในพื้นที่ราบส่วนใหญ่จะใช้เกณฑ์แบบ empirical ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการสังเกตุในสนามสำหรับอัตราที่ต้องระบายน้ำออกจากผิวดิน จะต้องพิจารณาจากพืชและแหล่งที่มาของน้ำ

การออกแบบระบบลำเลียงน้ำ จะเริ่มต้นที่ระดับผิวน้ำในคลองระบายโดยให้ hydraulic gradeline คือเส้นระดับผิวน้ำโดยทั่วไปแล้วจากผลการสำรวจจะได้ที่ที่งน้ำซึ่งเป็นจุดกำหนดต่ำสุดและจะได้จุดกำหนดต่าง ๆ ที่เป็นที่ต่ำในพื้นที่ การออกแบบระบบลำเลียงน้ำจะเกี่ยวกับการคำนวณหาระดับผิวน้ำผ่านจุดกำหนดต่าง ๆ หาพื้นที่หน้าตัดของคลองระบาย การคำนวณใช้ทฤษฎีของเบอร์นูลลี่ หา hydraulic gradeline และใช้สูตรของแมนนิ่งคำนวณหาการไหลในทางน้ำเปิด ซึ่งการไหลส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Steady flow.

2.5 หลักการระบายน้ำใต้ผิวดิน

2.5.1 ชนิดของน้ำในดิน แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. น้ำที่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดของโลก เป็นน้ำซึ่งมีอิสระที่จะเคลื่อนที่ลงผ่านดิน เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

2. น้ำแคพิลลารี่ เป็นน้ำที่ยึดเกาะอยู่รอบอนุภาคดินและที่บรรจุอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กของเม็ดดิน เป็นน้ำซึ่งไม่อยู่ภายใต้อิทธิพลแรงดึงดูดของโลก ถ้าน้ำที่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดของโลกระบายออกจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ ปริมาณน้ำที่เหลือค้างอยู่ภายในดินจะเรียกว่าความชื้นที่ field capacity ที่บริเวณเหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไปเล็กน้อย ดินจะมีความชื้นมากกว่า field capacity น้ำนี้เรียก fringe water or capillary fringe ซึ่งบริเวณนี้ดินเกือบจะอิ่มตัวด้วยน้ำ ปริมาณของน้ำแคพิลลารี่ที่ยึดอยู่กับดินจะมีมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับระยะที่ห่างจากระดับน้ำใต้ดินขึ้นไปและขนาดและรูปร่างของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

3. น้ำเยื่อ hygroscopic water เป็นน้ำที่ยึดเกาะเม็ดดินเป็นเยื่อบาง ๆ เมื่อนำดินมาทำให้แห้งโดยการเผาให้แห้ง แล้วนำดินแห้งนี้ไปไว้ในบรรยากาศ ดินนี้จะดูดความชื้นจากอากาศ ความชื้นนี้จะยึดเกาะเม็ดดินเรียกว่าน้ำเยื่อ

ระดับน้ำใต้ดินหมายถึง ผิวบนสุดของน้ำใต้ผิวดิน ที่ระดับน้ำใต้ดินความดันของน้ำเท่ากับความดันของบรรยากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินสู่ทางระบายน้ำใต้ผิวดิน จะเป็นน้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ส่วนน้ำแคพิลลารี่จะไม่ไหลลงสู่ทางระบายน้ำใต้ผิวดิน แต่ในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีน้ำใน Capillary fringe ไหลลงสู่ทางระบายน้ำใต้ผิวดินจำนวนหนึ่ง ซึ่งในบางกรณีอาจจะสูงถึง 20% ของน้ำที่ไหลลงสู่ทางระบายน้ำใต้ผิวดิน

2.5.2 การไหลของน้ำในดินซึ่งอิ่มตัว การเคลื่อนที่ของน้ำในดินซึ่งอิ่มตัวจะเหมือนกับการไหลในทางน้ำเปิด จากสมการของเบอร์นูลลี่ พลังงานทั้งหมดจะเป็นผลรวมของพลังงานอันเนื่องมาจาก ความสูง ความดัน และความเร็ว

$$E = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

แต่การไหลของน้ำในดินช้า ดังนั้นพลังงานเนื่องจากความเร็วซึ่งมีค่าน้อยสามารถตัดออกไปได้จากสมการข้างบน จะทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจะเนื่องมาจาก พลังงานความสูงและความดัน ซึ่งรวมเรียกว่า พลังงานศักย์ หรือ hydraulic head

$$H = z + \frac{P}{\gamma}$$

การเคลื่อนที่ของน้ำจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีค่า hydraulic head สูงกว่าไปยังจุดที่มีค่าต่ำกว่า

พลังงานศักย์ที่ต่างกันระหว่างจุด 2 จุด จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ ถ้าหารพลังงานศักย์ที่ต่างกันด้วยระยะทางที่น้ำไหลผ่านจากจุดทั้งสอง เรียกว่า hydraulic gradient ซึ่งเป็นแรงที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ไป น้ำจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางซึ่งมีระยะสั้นที่สุดหรือระยะตั้งฉากระหว่างผิวซึ่งมีศักย์เท่ากัน

การคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านดินใช้กฎของดาร์ซี่

$$V = Ki$$

V = อัตราการไหลของน้ำผ่านดินต่อพื้นที่หน้าตัดของดิน

K = ค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดิน

i = hydraulic gradient

2.5.3 ทางระบายน้ำใต้ผิวดิน เป็นทางน้ำที่สร้างขึ้นภายในหน้าตัดดิน โดยให้อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ที่ต้องการควบคุม เพื่อให้เกิด hydraulic gradient สู่ทาง

ระบายน้ำ น้ำใต้ดินจะไหลลงสู่ทางระบายน้ำโดยแรงดึงดูดของโลก อัตราการไหลของน้ำใต้ดินลงทางระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ตัว คือ hydraulic gradient และค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดินซึ่งเป็นไปตามกฎของดาร์ซี่ ระดับน้ำใต้ดินจะสามารถทำการควบคุมระดับได้ดังนี้

1. โดยการกำหนดทางระบายน้ำในแนวราบหรือในแนวดิ่ง โดยการให้ใช้ประโยชน์จากชั้นดินในหน้าตัดดินที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูง

2. โดยการกำหนด hydraulic gradient ซึ่งทำได้โดยการกำหนดให้ทางระบายน้ำอยู่ต่ำกว่าผิวดินและระดับน้ำใต้ดิน และระยะห่างระหว่างทางระบายน้ำห่างเท่า ๆ กัน

ทางระบายน้ำใต้ผิวดินอาจจะเป็นแบบทางน้ำเปิด ทางน้ำปิดแบบรูตุ่น และบ่อระบาย hydraulic gradient ในทางน้ำเปิดและทางน้ำปิดจะขึ้นอยู่กับระดับผิวน้ำในทางระบายกับผิวของระดับน้ำใต้ดิน

2.5.4 ทฤษฎีของการระบายน้ำใต้ผิวดิน การเคลื่อนที่ของน้ำในดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำอาจจะวิเคราะห์โดยการใช้กฎของดาร์ซี่ประยุกต์ใช้กับพื้นที่แต่ละแห่งตามสภาพเงื่อนไขของขอบเขตการไหลของพื้นที่ที่ทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำ ถ้าเราสามารถที่จะสำรวจในสนามหาตำแหน่งของชั้นทึบน้ำ hydraulic head ทั้งหมดของการไหลเข้าและออกจากระบบระบายน้ำค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดิน อัตราของการไหลในระบบได้ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นองค์ประกอบที่กระทบกระเทือนต่อจำนวนและรูปแบบของการไหล แล้วเราจะสามารถหาคำตอบของการไหลได้ แต่ปัญหาการระบายน้ำในพื้นที่ส่วนใหญ่แล้วจะซับซ้อนยากที่จะหาองค์ประกอบเหล่านี้ได้ชัดเจน

ทฤษฎีการระบายน้ำที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายถึงการไหลของน้ำในระบบส่วนมากจะเป็นแบบ approximation เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ๆ ในสนาม และคำตอบที่ได้จะละเอียดถูกต้องในแง่ของการนำมาใช้งาน ในการนำทฤษฎีมาใช้ผู้ออกแบบจะต้องเปรียบเทียบสภาพความเป็นจริงในสนามกับข้อสมมุติฐานที่ใช้เป็นพื้นฐานในทฤษฎีการระบายน้ำนั้น ๆ แล้วจึงประยุกต์ใช้ตามความเหมาะสม ทฤษฎีการระบายน้ำอาจจะเป็นแบบ Steady และ non-steady state.

ทฤษฎีการระบายน้ำอาจจะจำแนกออกได้ตามข้อสมมุติฐานคือ

2.5.4.1 ทฤษฎีการไหลในแนวราบ ทฤษฎีนี้จะเป็นแบบ approxi - mation ขึ้นอยู่กับข้อสมมุติฐาน 2 ข้อ คือ

ก. เส้นทางเดินทั้งหมดของการไหลภายใต้แรงดึงดูดของโลกภายในระบบจะอยู่ในแนวราบ

ข. ความเร็วของการไหลตามเส้นทางเดินจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลาดเทของระดับผิวน้ำ แต่เป็นอิสระจากความลึกของน้ำ

จากข้อสมมุติฐานข้างบนจะเห็นว่าทฤษฎีการไหลในแนวราบไม่ถูกต้อง แต่ทฤษฎีนี้สามารถใช้ได้ละเอียดถูกต้องพอในแง่ของการนำมาใช้งาน ถ้านำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ซึ่งการไหลส่วนใหญ่อยู่ในแนวราบ ซึ่งทฤษฎีนี้สามารถใช้ได้กับสภาพเงื่อนไขดังนี้

1. คลองระบายซึ่งตื้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างของคลองและขุดลึกถึงหรือเกือบถึงชั้นทึบน้ำ

2. คลองระบายเมื่อขุดลงไปในดินซึ่งเป็นชั้น ๆ

3. ทางระบายแบบทางน้ำปิดในสภาพเงื่อนไขเหมือนข้อ 1 และ 2 โดยเฉพาะเมื่อมีดินซึ่งกลบร่องขุดมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้มากกว่าดินภายในพื้นที่นั้น

2.5.4.2 ทฤษฎีการไหลแบบรัศมี ทฤษฎีนี้การไหลของน้ำเข้าทางระบายน้ำจะคล้าย ๆ กับการไหลของน้ำเข้าบ่อซึ่งอยู่ในแนวราบ น้ำไหลเข้าตามแนวของรัศมี โดยมีข้อสมมุติว่า

1. ดินมีเนื้อเดียวกันและการไหลเท่ากันทุกทิศทางตลอดความลึกของดิน
2. ระดับน้ำใต้ดินราบ

ทฤษฎีการไหลแบบรัศมีนี้จะให้คำตอบแบบ approximation ที่ละเอียดถูกต้องกับสภาพการไหลจริง ๆ ถ้าความโค้งของระดับน้ำใต้ดินน้อยและใต้ทางระบายน้ำไม่มีชั้นดินซึ่งค่าความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านลดลงมาก

2.5.4.3 ทฤษฎีการไหลแบบรวมทั้งแนวราบและรัศมี ทฤษฎีนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของทฤษฎีการไหลในแนวราบ ซึ่งครงบริเวณใกล้ ๆ กับทางระบายน้ำ เส้นแนวการไหลแบบรวมแนวราบและรัศมีนี้จะเป็นแบบ approximation และใช้ได้ละเอียดถูกต้องสำหรับปัญหาแบบ steady เพื่อระบายน้ำในอัตราคงที่ ทฤษฎีนี้เหมาะสำหรับสภาพซึ่งชั้นทึบน้ำอยู่ต่ำกว่าทางระบายน้ำทั้งลึกและตื้น

2.6 การเลือกระบบระบายน้ำ

ระบบระบายน้ำที่เหมาะสมจะสามารถระบายน้ำเกินความต้องการออกไปจากพื้นที่หรือลดระดับน้ำใต้ดินได้ ในพื้นที่หลาย ๆ แห่งอาจจะต้องการทั้งการระบายน้ำผิวดินและน้ำใต้ผิวดินร่วมกันปัญหาการระบายน้ำในแต่ละท้องที่จะแตกต่างกันไปตามความแตกต่างของสภาพเงื่อนไขทางกายภาพของพื้นที่ และความแตกต่างของพืชที่จะปลูก ดังนั้นการประเมินหารายละเอียดขององค์ประกอบเกี่ยวกับสภาพเงื่อนไขทางกายภาพของพื้นที่และความต้องการของพืช จึงเป็นสิ่งจำเป็นก่อนที่จะทำการออกแบบและเลือกระบบระบายน้ำ ตัวอย่าง เช่น จากการศึกษาลักษณะภูมิประเทศจะเผยให้เห็นหรือทราบว่าปัญหาของพื้นที่นั้นอยู่ในที่เป็นแอ่งกะทะ ซึ่งไม่สามารถจะก่อสร้างระบบระบายน้ำโดยใช้แรงดึงดูดของโลกได้ต้องใช้ปั๊มเพื่อระบายน้ำ หรือตัวอย่างเช่น ดินบางชนิดอาจจะเกือบไม่สามารถระบายน้ำภายในดินได้ดีพอ ซึ่งไม่สามารถจะสร้างระบบระบายน้ำใต้ผิวดินโดยใช้ทางระบายแบบทางน้ำปิดได้

2.7 สภาพเงื่อนไขทางกายภาพของพื้นที่

สภาพเงื่อนไขทางกายภาพของพื้นที่เช่น ลักษณะภูมิประเทศลักษณะดิน แหล่งน้ำพร้อมทั้งคุณภาพน้ำ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไป หรือจะแปรเปลี่ยนไปอย่างมาก ทั้งในแต่ละหน่วยพื้นที่ย่อยหรือในพื้นที่รวมทั้งหมด ผลกระทบของสภาพเงื่อนไขทางกายภาพของพื้นที่จะมีผลต่อการพิจารณาเกี่ยวกับการระบายน้ำ องค์ประกอบทางด้านกายภาพสามารถแบ่งออกเป็นทางลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะดิน และแหล่งน้ำ

2.7.1 องค์ประกอบของลักษณะภูมิประเทศ การสำรวจภูมิประเทศในสนามจะทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานซึ่งจะนำมาวิเคราะห์และออกแบบต่อไป การสำรวจพื้นดิน ระดับน้ำ ตำแหน่งของทางน้ำ ความลึก และความเหมาะสมของที่ทิ้งน้ำจะให้ผลลัพธ์ว่า ชนิดของการระบายน้ำที่ต้องการสำหรับพื้นที่นั้น ๆ ควรเป็นชนิดใด เช่นการวิเคราะห์ภูมิประเทศจะเผยให้เห็นว่าพื้นที่นั้นขาดที่ทิ้งน้ำตามธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไปการชลประทานจะพัฒนาขึ้นในพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบบริเวณกว้าง ซึ่งพบบ่อย ๆ ที่พื้นที่ราบเหล่านี้เป็นก้นทะเลสาบเก่า เมื่ออากาศแห้งแล้งและมีทางน้ำหรือลำธารตามธรรมชาติ จำนวนน้อยจำเป็นจะต้องสร้างระบบระบายน้ำและระบบทิ้งน้ำ ซึ่งมีราคาแพง หรือถ้าพื้นที่เป็นแบบก้นกะทะจะต้องใช้ปั๊มเพื่อการระบายน้ำเป็นต้น ในแปลงซึ่งมีพื้นที่ราบกว้างอาจจะเหมาะสำหรับการระบายน้ำทางใต้ผิวดิน โดยใช้ท่อวางเป็นแนว ๆ ให้ขนานกัน แต่ถ้าพื้นที่เป็นแบบขั้นหรือขั้นบันได จะต้องใช้แบบทางระบายสกัดกั้นน้ำเป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงอิทธิพลของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อชนิดของการระบายน้ำ

2.7.2 องค์ประกอบของลักษณะดิน การสำรวจชั้นดินจะทำให้ได้ข้อมูลของตำแหน่งการแพร่ขยายและลักษณะทางกายภาพของชั้นดินชั้นต่าง ๆ ที่อยู่ต่ำลงไปภายในหน้าตัดดิน ซึ่งจะเป็นสิ่งสำคัญมากในการวิเคราะห์ เราจะไม่สามารถออกแบบระบบระบายน้ำได้ถ้าไม่รู้หรือไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับหน้าตัดดิน โดยเฉพาะความสามารถในการระบายน้ำของดินชั้นต่าง ๆ จุดที่เราจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับองค์ประกอบของดิน คือ

1. ชนิดของดิน
2. ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น
3. ความต่อเนื่องของชั้นดิน
4. ตำแหน่งของชั้นดินแต่ละชั้นจากผิวดิน
5. ค่าความเหนี่ยวนำน้ำและความพรุนของดินแต่ละชั้น

ดินบางชนิดระบายน้ำได้ดี บางชนิดระบายน้ำได้ลำบาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วดินเนื้อหยาบจะระบายน้ำได้ดีกว่าดินเนื้อละเอียด ในพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่ดินจะมีลักษณะการกำเนิดเป็นรูปแบบที่ซับซ้อน ซึ่งจะพบชั้นของดินทราย ตะกอนทราย และดินเหนียวโดยทั่วๆ ไป บ่อย ๆ ครั้งจะพบว่ามีชั้นดินซึ่งมีเนื้อแตกต่างกันแทรกอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสำรวจหามาว่า ชั้นดินที่สามารถระบายน้ำได้ดีอยู่ในตำแหน่งใดถ้าจะใช้ระบบการระบายน้ำทางใต้ผิวดิน ซึ่งจะสามารถสำรวจได้โดยการเจาะรูลงไปภายในหน้าตัดดินลึกประมาณ 2 เมตร หรือมากกว่า และในขณะเจาะดินจะต้องบันทึกลักษณะของดิน และประเมินค่าความสามารถให้น้ำไหลผ่านดินแต่ละชั้นด้วย ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ของชั้นดินจะเป็นตัวบ่งบอกถึงชนิดของระบบระบายน้ำ ตารางที่ 2.2 แสดงอิทธิพลของลักษณะดินที่มีต่อการเลือกทางระบายน้ำ

2.7.3 องค์ประกอบของแหล่งน้ำ การสำรวจแหล่งน้ำและทิศทางการไหลเข้ามาในพื้นที่ พร้อมทั้งระดับน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน จะต้องประเมินหาให้ได้ ซึ่งจะเป็นกุญแจไขสู่มาตรการและวิธีการที่จะนำมาใช้แก้ไขปัญหาแหล่งน้ำจะเป็นตัวกำหนดและบ่งบอกว่ารูปแบบของการระบายน้ำควรจะสร้างอย่างไร เช่น ถ้าแหล่งน้ำเกินความต้องการเกิดจากน้ำฝน วิธีการแก้ไขควรใช้ระบบระบายน้ำผิวดินจะดีกว่า หรือถ้าแหล่งน้ำเป็นน้ำที่ไหลซึมมาจากที่อื่นควรใช้การระบายน้ำแบบสกัดกั้น เป็นต้น ในบางพื้นที่ปัญหาของแหล่งน้ำอาจจะหาได้ชัดเจน แต่ในบางพื้นที่แหล่งน้ำอาจจะมาจากหลายแหล่งและมีความซับซ้อนทำให้ยากที่จะระบุ

แหล่งน้ำได้แน่นอน ข้อมูลสำคัญที่จะต้องพิจารณาได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ธรณีวิทยาและชั้นของดิน และระดับน้ำใต้ดิน ปัญหาแหล่งน้ำที่สำคัญได้แก่ น้ำฝน น้ำชลประทาน และน้ำที่ไหลซึมในรูปแบบต่าง ๆ ตารางที่ 2.3 แสดงอิทธิพลของน้ำที่มีต่อการเลือกชนิดของการระบายน้ำ

น้ำฝน สถิติน้ำฝนจะต้องนำมารวบรวมและวิเคราะห์สำหรับพื้นที่นั้นเพื่อจะนำมาหาการแผ่กระจายของฝนและความถี่ ในเขตชุ่มชื้นน้ำฝนจะเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำ

น้ำชลประทาน ปัญหาของการระบายน้ำในเขตชลประทานจะเนื่องมาจากการให้น้ำมากเกินไปและการรั่วซึมจากระบบส่งน้ำ การใช้น้ำชลประทานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ จะยังผลให้เกิดการสูญเสียน้ำไปจำนวนมากโดยไหลซึมลงไปลึกและเกิดน้ำท่วมผิวดิน

น้ำรั่วซึม เป็นแหล่งของปัญหาในพื้นที่หลาย ๆ แห่ง ซึ่งมาจากระบบส่งน้ำ พื้นที่ใกล้เคียงที่อยู่สูงกว่า ระดับน้ำใต้ดินที่สูงกว่าจากบริเวณใกล้เคียง น้ำรั่วซึมจะทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำที่บริเวณฐานของที่ชั้น

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อชนิดของการระบายน้ำ

องค์ประกอบของลักษณะภูมิประเทศ	การพิจารณาเกี่ยวกับการระบายน้ำ
1. ชันหรือเนินเขา	ก. ไม่มีปัญหาที่ทิ้งน้ำ, การระบายน้ำทางผิวดินจะเพียงพอ ข. ทางระบายน้ำแบบสกัดกั้นแนวเดียวในบริเวณฐานหรือตีนลาดของที่ชัน ค. ให้สังเกตุดูการไหลซึมของน้ำที่บริเวณฐานของตีนลาดหรือหินโผล่หรือตามแนวทางน้ำ
2. คลื่น	ก. อาจจะไม่มีปัญหาที่ทิ้งน้ำ, การระบายน้ำทางผิวดินจะเพียงพอ ข. ระบบระบายน้ำจะเป็นแบบแนวเดียวหรือแบบก้างปลา ค. ทางระบายน้ำแนวเดียวตามแนวทางน้ำ
3. ขั้นบันได	ก. อาจจะไม่มีปัญหาที่ทิ้งน้ำ ข. ระบบระบายน้ำเป็นแนว ๆ บนขั้นบันได และอาจจะมีทางระบายแบบสกัดกั้นที่ฐานของตีนลาดขั้นบันได
4. ลาดเทน้อย	ก. อาจจะมีปัญหาที่ทิ้งน้ำ, ทั่วไปแล้วระบบระบายน้ำทางผิวดินจะเพียงพอ ข. ระบบระบายน้ำแบบเป็นแนว ๆ ขนานกัน ค. ทางระบายน้ำแนวเดียวตามแนวทางน้ำ
5. ที่ราบหรือที่ราบน้ำบ่า	ก. อาจจะต้องสร้างที่ทิ้งน้ำ ข. ระบบระบายน้ำแบบเป็นแนว ๆ ขนานกันในทิศทางของความลาดเทของพื้นที่ ค. อาจจะต้องใช้ปั๊มที่จุดทิ้งน้ำ
6. ก้นกะทะ	ก. ต้องการโรงสูบน้ำ ข. เพื่อแก้ปัญหาการระบายน้ำและที่ทิ้งน้ำ อาจต้องใช้ปั๊มสำหรับบ่อระบายหรือบ่อพักน้ำ

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของดินที่มีอิทธิพลต่อการเลือกทางระบายน้ำ

องค์ประกอบของดิน	การพิจารณาเกี่ยวกับการระบายน้ำ
1. ชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านได้ดีหนา (2 เมตร หรือมากกว่า)	ก. ทางระบายน้ำแบบเป็นแนว ๆ ขนานกันและมีระยะห่างที่เหมาะสม อาจจะเป็นแบบทางน้ำเปิดหรือทางน้ำปิด
2. ชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ดีหนา	ก. ใช้วิธีการจัดการเรื่องน้ำชลประทานให้มีประสิทธิภาพร่วมกับระบบระบายน้ำแบบรูตุ่น ข. ระบบระบายน้ำทางผิวดินหรือระบบใต้ผิวดิน
3. ชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านได้ดีบาง (1 เมตร หรือน้อยกว่า) อยู่เหนือชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ดี	ก. ใช้วิธีการไถให้ลึกจนถึงความลึก 1.2 เมตร แล้วสร้างระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดินที่ความลึก 1.2 เมตร และจะต้องระมัดระวังเรื่องการจัดการน้ำชลประทาน ข. ระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดินที่ความลึก 1 เมตร ในเขตชุ่มชื้น
4. ชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ดีบาง อยู่เหนือชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านได้ดี	ก. ระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดิน ซึ่งทางระบายน้ำมีระยะห่างที่เหมาะสมและอาจจะต้องมีการไถพลิกดินชั้นบนเป็นครั้งคราวตามระยะเวลา ข. ระบบระบายน้ำทางผิวดินในเขตชุ่มชื้น
5. ชั้นดินซึ่งความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ เพิ่มมากขึ้นตามความลึก	ก. ระบบระบายน้ำจะได้ผลมากที่สุด ถ้าสร้างทางระบายน้ำให้ลึกที่สุดเท่าที่จะสร้างได้
6. ชั้นดินซึ่งความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ลดลงตามความลึก	ก. ระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดินโดยให้ทางระบายน้ำอยู่ต่ำกว่าบริเวณรากพืชน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ข. ระบบระบายน้ำทางผิวดิน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของดินที่มีอิทธิพลต่อการเลือกทางระบายน้ำ (ต่อ)

องค์ประกอบของดิน	การพิจารณาเกี่ยวกับการระบายน้ำ
7. ชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ดี หนา (3 ถึง 4 เมตร) อยู่เหนือชั้นกรวดทราย	ก. บ่อระบายน้ำ ข. ระบบระบายน้ำทางผิวดินในเขตชุ่มชื้น

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำที่มีต่อการเลือกชนิดของการระบายน้ำ

องค์ประกอบของน้ำ	การพิจารณาเกี่ยวกับการระบายน้ำ
1. ระดับน้ำใต้ดินเคลื่อนที่ขึ้นลงตามรอบเวรของการให้น้ำชลประทาน	ก. ให้ปรับปรุงเรื่องการจัดการเรื่องน้ำชลประทาน ข. ระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดินซึ่งสามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินจากน้ำชลประทานได้
2. ระดับน้ำใต้ดินเคลื่อนที่ขึ้นลงตามน้ำฝน	ก. ควรใช้ระบบระบายน้ำทางผิวดินจะดีกว่า ข. อาจจะพิจารณาระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดินด้วย
3. น้ำภายใต้ความดันที่มาจากชั้นน้ำลึกภายใต้ความดัน	ก. บ่อระบาย ข. ระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดิน ซึ่งทางระบายน้ำอยู่ลึก
4. น้ำรั่วซึมมาจากคลองส่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ	ก. ดาดหรืออุดรอยรั่วคลองส่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ เพื่อกันการรั่วซึม ข. ทางระบายน้ำแบบสกัดกั้นก่อสร้างในบริเวณใกล้กับคลองหรืออ่างเก็บน้ำ
5. น้ำรั่วซึมมาจากหินโผล่หรือตามแนวฐานของเนิน	ก. ทางระบายน้ำแบบสกัดกั้นน้ำ
6. น้ำรั่วซึมมาจากบ่อบาดาลภายใต้ความดัน	ก. อุดรอยรั่วของบ่อ

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของน้ำที่มีต่อการเลือกชนิดของการระบายน้ำ (ต่อ)

องค์ประกอบของน้ำ	การพิจารณาเกี่ยวกับการระบายน้ำ
7. น้ำขังบริเวณท้ายแปลงเพาะปลูก	ก. ปรับระดับพื้นที่เพื่อกำจัดที่ลุ่มต่ำ ข. ปั้มน้ำทิ้งในระบบระบายน้ำ ค. ทำทางระบายท้ายแปลง
8. น้ำขังในบริเวณแปลงเพาะปลูก	ก. ปรับระดับพื้นที่ให้มีความลาดเทต่อเนื่อง ข. ระบบระบายน้ำทางผิวดินในแปลง
9. น้ำที่ระบายออกคุณภาพไม่ดี	ก. ต้องกำจัดน้ำออกไปโดยไม่ทำให้น้ำด้านท้ายน้ำเป็นอันตราย
10. น้ำที่ระบายออกมีคุณภาพดี	ก. สามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

บทที่ 3

การตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำ

ระบบระบายน้ำที่จะออกแบบและก่อสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาการระบายน้ำที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ สิ่งจำเป็นลำดับแรกคือ จะต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัญหาและสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาการระบายน้ำจำเป็นต้องใช้เทคนิคและความชำนาญเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการออกแบบ ปัญหาเฉพาะจะเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยโดยความแตกต่างกันของธรรมชาติในแต่ละพื้นที่ การวิเคราะห์ปัญหาการระบายน้ำในบางพื้นที่อาจวิเคราะห์ปัญหาได้แจ่มชัดหลังจากมีการตรวจสอบอย่างหยาบ ๆ หรือใช้เทคนิคอย่างง่าย ๆ ในบางพื้นที่การวิเคราะห์ปัญหาอาจจะมีความยุ่งยาก ซับซ้อนต้องใช้วิธีการและเทคนิคสูงซึ่งสามารถทำได้โดยการสำรวจในสนามและตรวจสอบวิเคราะห์พื้นที่ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นเพียงพอสำหรับการพิจารณาว่าโครงการนั้นมีความเหมาะสมทั้งทางเทคนิคและเศรษฐกิจหรือไม่ และเป็นข้อมูลสำหรับออกแบบ

การสำรวจและตรวจสอบวิเคราะห์ของแต่ละโครงการจะต้องทำในระดับมากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับ

1. ข้อมูลที่มีอยู่แล้วและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
2. ขนาดของพื้นที่โครงการ
3. วิธีการระบายน้ำ

3.1 ข้อมูลที่มีอยู่แล้ว (existing data)

ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่และเกี่ยวข้องกับบริเวณพื้นที่นั้น จะต้องพยายามรวบรวมหามาให้ได้มากที่สุด เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ ข้อมูลเหล่านี้ได้แก่

1. ภาพถ่ายทางอากาศ
2. แผนที่ต่าง ๆ เช่นแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศพร้อมเส้นระดับ มาตราส่วนขนาดต่าง ๆ ของกรมแผนที่ทหาร แผนที่จำแนกสมรรถนะที่ดินและความเหมาะสมของที่ดิน ของกองจำแนกที่ดินกรมพัฒนาที่ดิน
3. ผลสำรวจเก่า ๆ เกี่ยวกับ ดิน ธรณีวิทยา น้ำใต้ดิน และการสำรวจภูมิ - ประเทศ จะเป็นข้อมูลซึ่งมีประโยชน์
4. ข้อมูลอื่น ๆ เช่นรายงานและเอกสารต่าง ๆ เกี่ยวกับ การสำรวจดิน

สถิติภูมิอากาศ ฝน กระแสน้ำและระดับน้ำ การใช้ที่ดิน และข้อมูลเกี่ยวกับผลผลิตของพืช

3.2 การจำแนกการสำรวจและตรวจสอบวิเคราะห์

การสำรวจและวิเคราะห์สำหรับงานการระบายน้ำสามารถแบ่งออกได้ตามวัตถุประสงค์ และระดับของการตรวจสอบวิเคราะห์เป็น 3 แบบ คือ

1. การสำรวจเบื้องแรก (Reconnaissance survey)
2. การสำรวจขั้นต้น (Preliminary survey)
3. การสำรวจออกแบบ (Design survey)

เนื่องจากว่าการสำรวจและตรวจสอบวิเคราะห์จะมีความจำเป็นสำหรับแต่ละงานแต่ละโครงการจะแตกต่างกันไป สำหรับโครงการขนาดใหญ่การวิเคราะห์จะยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าโครงการขนาดเล็ก ๆ ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่จะเป็นที่จะต้องหามาหรือวิเคราะห์ จะได้ครบถ้วนและเป็นลำดับจึงได้กำหนดขึ้นเป็นหัวข้อ สำหรับโครงการขนาดเล็กๆ อาจจะต้องตัดบางหัวข้อที่ไม่จำเป็นออกได้

3.3 การสำรวจเบื้องแรก

การสำรวจเบื้องแรกของพื้นที่ที่มีปัญหาการระบายน้ำ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องหาข้อมูลให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะหาได้ เพื่อจัดทำเป็นข้อมูลพื้นฐานของโครงงานโดยกำหนดหัวข้อที่จำเป็นจะต้องตรวจสอบวิเคราะห์เพิ่มเติมในระดับต่อไป ปกติการสำรวจเบื้องแรกจะเป็นการออกไปสังเกตุดูพื้นที่ในสนามตามจุดที่สำคัญ ๆ หรือลักษณะที่สำคัญ ๆ ของพื้นที่และสอบถามข้อมูลจากคนในท้องถิ่นผู้รู้ปัญหาในบริเวณนั้น

3.3.1 วัตถุประสงค์ของการสำรวจเบื้องแรก

1. หาขอบเขตของพื้นที่ของโครงการหรือพื้นที่จะต้องปรับปรุง พร้อมทั้งชนิดของงาน เช่น การระบายน้ำผิวดิน การระบายน้ำใต้ผิวดิน การป้องกันน้ำท่วม
2. หาบริเวณที่เหมาะสมสำหรับที่ทิ้งน้ำ
3. จัดทำแผนงานหลัก ๆ ที่จะต้องดำเนินงาน
   ก. ประเมินคร่าว ๆ ของงานหลัก ๆ ที่จะต้องทำ
   ข. ประเมินเกี่ยวกับป่าไม้ การตัดโค่นต้นไม้ โดยติดต่อกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับป่าไม้

ค. ประเมินเกี่ยวกับการอนุรักษ์สัตว์ป่าและการใช้ที่ดินเพื่อการเพาะปลูก

ง. ประเมินเกี่ยวกับกรรมสิทธิ์ที่ดิน แนวเขตคลอง

4. แผนงานจะต้องอยู่ในขอบข่ายของกฎหมาย

5. ประเมินหาค่าลงทุนและผลตอบแทนอย่างคร่าว ๆ

6. ข้อเสนอแนะ และกิจกรรมที่จะต้องทำในระดับต่อไป

3.3.2 ขั้นตอนและวิธีการของการสำรวจเบื้องแรก

1. รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่และวิเคราะห์ประเมินข้อมูล

2. จัดทำแผนที่โครงการแสดง ขอบเขตพื้นที่รับน้ำ (watershed boundary) แม่น้ำ ลำธาร ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ และข้อมูลสำคัญอื่น ๆ เช่น ถนน ทางรถไฟ

3. จัดทำแผนที่การจำแนกดิน และแผนที่การใช้ที่ดินของโครงการ

4. ศึกษาดูว่ามีโครงการหรือโครงงานอื่นที่จะมีผลกระทบต่อโครงการหรือไม่

5. ทำการสำรวจเบื้องแรกทางวิศวกรรม โดยออกไปสังเกตุดูแม่น้ำลำธาร สภาพภูมิประเทศ การใช้พื้นที่เพาะปลูก และระดับของน้ำใต้ดิน

6. ประเมินว่าที่ตั้งน้ำเหมาะสมเพียงพอหรือไม่

7. จากการวิเคราะห์และประเมินข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ให้จัดทำ

ก. ทำแผนงานหลัก ๆ ของโครงการ

ข. วางแนวหลักของระบบระบายสายประธานและสายย่อย

ค. จัดทำรายการประเมินราคาของ ระบบระบายสายประธาน สายย่อยคันดินกั้นน้ำ ประตูระบาย ค่าที่ดิน และยังต้องพิจารณารวมถึง การถากถางป่า งานดินขุด งานเกลี่ยดินขุด งานป้องกันการกัดเซาะ และอาคารประกอบต่าง ๆ

8. ตรวจสอบราคาประเมินของโครงการกับราคาของโครงการที่คล้าย ๆ กัน ซึ่งได้สร้างขึ้นแล้ว

9. ประมาณการผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเมื่อสร้างโครงการแล้ว

10. ให้ข้อเสนอแนะ

3.4 การสำรวจขั้นต้น

การสำรวจขั้นต้นจะเป็นการสำรวจทางวิศวกรรมในสนามตลอดพื้นที่ของโครงการ ข้อมูลต่าง ๆ และข้อมูลในสนามที่หามาจะต้องมีความละเอียดเพียงพอสำหรับใช้ในการออกแบบ การสำรวจในสนามและตรวจสอบวิเคราะห์จะต้องละเอียดเพียงพอที่จะสามารถ กำหนดพื้นที่ ของปัญหาวางแผนงานการแก้ไขปัญหา ออกแบบขั้นต้นนี้จะสามารถประเมินความเหมาะสมของ โครงการทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐกิจได้

3.4.1 วัตถุประสงค์ของการสำรวจขั้นต้น

1. กำหนดที่ที่แน่นอนของโครงการ
2. จัดทำแผนงานและแบบแปลนต่าง ๆ ของโครงการ
   ก. การเลือกเกณฑ์ที่ใช้สำหรับออกแบบ
   ข. กำหนดตำแหน่งของอาคารและงานหลัก ๆ ของโครงการ พร้อมทั้ง ออกแบบขั้นต้น
3. จัดทำประเมินผล จำนวนปริมาณงานและราคา

3.4.2 ขั้นตอนและวิธีการสำรวจขั้นต้น

1. รวบรวมข้อมูลที่มีอยู่แล้วและวิเคราะห์ ซึ่งส่วนใหญ่ทำไปแล้วในการสำรวจ เบื้องแรก
2. จัดทำหัวข้อการสำรวจ โดยให้ครอบคลุมในรายละเอียดที่ต้องการเฉพาะ ของพื้นที่
   ก. วัตถุประสงค์ของการสำรวจและตรวจสอบวิเคราะห์
   ข. รายการของข้อมูลที่สามารถหามาได้และนำมาใช้ประโยชน์ได้
   ค. ข้อมูลเพิ่มเติมต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์
   ง. จัดทำแผนงานการตรวจสอบวิเคราะห์
      1. ในขณะทำการสำรวจอยู่ อาจจะมีความจำเป็นต้องปรับหรือ ขยายแผนงานเพิ่มขึ้นตามความจำเป็นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดยิ่งขึ้น
      2. ในการวางแผนงานการตรวจสอบวิเคราะห์จะต้องพิจารณาให้ รอบครอบเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากเส้นทางคมนาคมเข้าไปในพื้นที่โดยให้เสียค่าใช้จ่ายน้อย ที่สุด

จ. แผนงานสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบขั้นต้น

ฉ. ประเมินราคาพร้อมทั้งเขียนรายงาน

ช. กำหนดตารางการทำงานและจำนวนเจ้าหน้าที่ที่จำเป็นเพื่อให้งานเสร็จทันกำหนด

ซ. รายการเครื่องมือและเอกสารที่จะต้องนำไปด้วย

หัวข้อการสำรวจข้างต้นอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปได้บ้างตามความจำเป็นของสภาพเงื่อนไขของพื้นที่ อาจจะต้องมีงานที่จะต้องทำเพิ่มเติมขึ้นเพื่อให้วิเคราะห์ได้ละเอียดและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ข้อมูลต่าง ๆ จะต้องนำมาวิเคราะห์แล้วนำมาเขียนในรูปของ กร๊าฟ ตาราง แผนที่ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ

3.4.3 การออกแบบขั้นต้นและประมาณราคา การออกแบบขั้นต้นเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นส่วนหนึ่งของการสำรวจในระดับนี้ การออกแบบต้องให้ได้มาตรฐานทางวิศวกรรมและในทางปฏิบัติ ออกแบบโดยใช้เกณฑ์ที่ใช้สำหรับออกแบบที่เหมาะสมกับชนิดและปัญหาของพื้นที่นั้นตามรายละเอียดของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและวิเคราะห์ การออกแบบจะไม่ละเอียดเท่าการออกแบบเพื่อการก่อสร้าง แต่จะมีความละเอียดเพียงพอสำหรับการประมาณราคา

การประมาณราคาให้ละเอียดถูกต้องใกล้เคียงกับราคาจริงให้ประมาณราคาจากจำนวนปริมาณงานของแต่ละรายการ โดยเริ่มจากลำดับความสำคัญและขนาดของงานจากมากไปน้อย มีข้อแนะนำดังนี้

1. ระบบลำเลียงน้ำหรือสายประธานทั้งหมด

2. ระบบรวบรวมน้ำ โดยแบ่งพื้นที่ของโครงการออกเป็นพื้นที่ย่อย ๆ

3. ปริมาณงานอื่น ๆ เช่น การตัดต้นไม้ถากถางพื้นที่ งานดินขุด งานเกลื่อน-ดินขุดอาคารประกอบในระดับ อาคารบังคับน้ำ ประตูระบาย ที่รับน้ำลงทางระบาย สะพาน ท่อลอด ค่าที่ดินสำหรับระบบและเขตคลอง

3.4.4 การจัดเตรียมแบบแปลนต่าง ๆ แบบต่าง ๆ ของโครงการจะต้องสมบูรณ์ที่สุดเท่าที่ข้อมูลจากการสำรวจจะอำนวยให้ และมีความชัดเจนได้มาตรฐานทางเทคนิค แบบแปลนของโครงการจะต้องประกอบด้วย

1. แผนที่พื้นที่ของโครงการ แสดงรายละเอียดของ

ก. แนวทางระบายน้ำสายประธานและสายย่อย

ข. ขอบเขตของพื้นที่ระบายน้ำของแต่ละทางระบายน้ำ

ค. การใช้พื้นที่ ถนน ทางรถไฟ หมู่บ้าน แนวสายไฟฟ้า คลองชลประทาน สะพาน ท่อลอด หรือสิ่งปลูกสร้างถาวรอื่น ๆ

ง. สิ่งปลูกสร้างหรือสิ่งอื่น ๆ ที่จะมีผลกระทบต่อการวางแผนระบบระบายน้ำ

2. แบบแสดงรูปหน้าตัดทั้งตามยาวและหน้าตัดขวางของทางระบายน้ำ ภายในรูปหน้าตัดตามยาวจะต้องแสดงระดับของผิวดิน กันคลอง ผิวดิน ลาดเทของผิวน้ำ สะพาน ท่อลอด อาคารบังคับน้ำ ภายในรูปตัดขวางแสดง รูปร่างหน้าตัด ชานคลอง คันคลอง

3. แบบมาตรฐานของการวางแนวระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก

4. แบบมาตรฐานของอาคารประกอบต่าง ๆ

5. ตารางการคำนวณค่าทางชลศาสตร์

6. ตารางแสดงจำนวนปริมาณงานและราคา โดยแบ่งออกตามรายการใหญ่ ๆ

3.5 การสำรวจออกแบบ

การสำรวจออกแบบ เป็นการสำรวจเพื่อจัดทำแบบแปลนเพื่อการก่อสร้างและข้อกำหนดรายละเอียด ก่อนการก่อสร้างโครงการระบายน้ำ จะต้องทำการสำรวจและตรวจสอบวิเคราะห์ให้ได้ข้อมูลของสภาพปัจจุบันของลักษณะภูมิประเทศ โครงสร้างอาคารต่าง ๆ ลักษณะดิน ระดับน้ำใต้ดิน และสภาพทางอุทกวิทยา ข้อมูลเหล่านี้จะต้องละเอียดเพียงพอสำหรับการกำหนดตำแหน่งและการออกแบบ ของทุก ๆ อาคารในโครงการ

3.5.1 ข้อมูลที่ต้องการสำหรับการออกแบบ

จากข้อมูลต่าง ๆ ที่หามาได้แล้วจากการสำรวจในระดับก่อน ๆ จะต้องนำมาประเมินดูว่าจะต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมอะไรอีกบ้างเพื่อการออกแบบเพื่อการก่อสร้าง ข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติมจะขึ้นอยู่กับว่าข้อมูลที่มีอยู่เก่านั้น สำรวจมานานเท่าใดแล้วและจะต้องตรวจสอบว่าจะยังใช้ได้อยู่หรือไม่ สำหรับโครงการขนาดใหญ่ปกติจะจำเป็นต้องกำหนดหัวข้อการสำรวจเพื่อเป็นแนวทางให้ได้ข้อมูลครบถ้วน ต่อไปนี้จะเป็นรายการของข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งบางรายการได้ทำแล้วในการสำรวจระดับก่อน ๆ

1. จำกัดขอบเขตของพื้นที่โครงการ ใช้แผนที่การจำแนกดินอาจจะเพิ่มข้อมูลจากการเจาะดินในระดับลึกมากขึ้น วัดและตรวจสอบการเคลื่อนที่ขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน

2. สำหรับโครงการขนาดใหญ่ จะต้องทำแผนที่แสดงระดับของระดับน้ำใต้ดิน (watertable contour map)

3. หาปริมาณฝนและความถี่สำหรับออกแบบ

4. หาการใช้พื้นที่ดิน และความต้องการระบายน้ำของพืชและข้อเสนอรูปแบบแผนการเพาะปลูก

5. จากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ วางแนวทางระบายน้ำ

6. แบ่งพื้นที่ย่อยสำหรับแต่ละทางระบายน้ำ

7. สำรวจและเขียนรูปหน้าตัดทั้งตามยาวและหน้าตัดขวางของทางระบายน้ำ

8. ทำการตรวจสอบวิเคราะห์ทางธรณีวิทยา และน้ำใต้ดิน

9. เพิ่มเติมจากข้อ 5 หาความจำเป็นที่จะต้องมี สะพานท่อลอด อาคารบังคับน้ำ ที่รับน้ำรับลงทางระบายน้ำ ประตูระบาย คันดิน และอาคารประกอบอื่น ๆ

10. จัดทำข้อมูลกำหนดรายละเอียดของทุกอาคารหรือรายการที่มีอยู่ในแผนงาน

11. ประมาณราคาของงานระดับแปลงนา

12. ประมาณราคาและจำนวนงานของทุกรายการในโครงการ

3.6 การตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำผิวดิน

วิศวกรมีหน้าที่รับผิดชอบการออกแบบการระบายน้ำ โดยจะต้องตัดสินใจทั้งชนิดและระดับความมากน้อยในการสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์ที่จะต้องจัดทำสำหรับการวางแผนการออกแบบและการประเมินโครงการ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ ดังนั้น ในการสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำ จึงควรกำหนดหัวข้อของงานที่จะต้องทำ พร้อมทั้งแสดงรายการขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่จะต้องนำมาพิจารณาให้ละเอียดว่าต้องทำอะไรบ้าง

โดยทั่วไปการสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำผิวดิน เพื่อการวางแผนและออกแบบ รายการที่จะต้องจัดทำมีดังนี้

1. การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ

2. การสำรวจดินและบริเวณพื้นที่ซึ่งมีการกัดเซาะวิกฤต

3. การจัดทำแผนที่การใช้พื้นที่และแบบแผนการเพาะปลูกพืช

4. การวิเคราะห์น้ำฝนและน้ำท่า

5. การวิเคราะห์ระดับน้ำและความถี่ในจุดที่ทิ้งน้ำรวมทั้งระดับน้ำขึ้นลงเนื่องจากการหนุนของน้ำทะเล

6. จัดทำหน้าตัดตามยาวและตามขวางของแม่น้ำ ทางน้ำธรรมชาติ และคลองระบายที่ก่อสร้างขึ้น

7. การตรวจสอบวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาของชั้นดินและการทดสอบความมั่นคงของดินถ้าจำเป็น

3.6.1 การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ

ข้อมูลต่าง ๆ ของลักษณะภูมิประเทศเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำแผนที่ซึ่งจะต้องแสดงลักษณะทางกายภาพทั้งหมด ทั้งโดยธรรมชาติ และสิ่งที่ก่อสร้างขึ้นมา ลักษณะภูมิประเทศจะมีผลกระทบต่อการออกแบบระบบระบายน้ำ จึงต้องมีรายละเอียดที่จำเป็นเพียงพอในการกำหนดทางน้ำและขอบเขตของพื้นที่รับน้ำ

การสำรวจลักษณะภูมิประเทศจะต้องเน้นถึงความแตกต่างของระดับที่เป็นจุดกำหนดต่าง ๆ จะต้องมีความละเอียดเพราะว่าปกติความลาดเทของพื้นที่จะน้อย ความแตกต่างของระดับเพียงเล็กน้อยก็มีความสำคัญมาก การสำรวจในสนามจะต้องใช้วิธีการสำรวจที่ได้มาตรฐานและจะต้องบ่งบอกถึงความละเอียดที่ต้องการด้วย เพื่อจะได้แผนที่แสดงลักษณะภูมิ - ประเทศและข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบต่อไป ดังนั้น การใช้ดุลยพินิจที่ดีจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการและบรรลุวัตถุประสงค์ได้

การสำรวจในสนามอาจจะใช้วิธีใดก็ได้ตามแต่เครื่องไม้เครื่องมือในการสำรวจที่มีอยู่ การสำรวจจะต้องจดในสมุดบันทึกให้ถูกวิธีมีความละเอียด ชัดเจน และสามารถให้ผู้อื่นเข้าใจได้ด้วย แล้วรวบรวมข้อมูลเข้าแฟ้มเพื่อสะดวกต่อการใช้งานต่อไป แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศจะต้องมีรายละเอียดของเส้นระดับผิวดิน ตำแหน่งของทางน้ำต่าง ๆ ถนน ทางรถไฟ แนวสาธารณูปโภคต่าง ๆ แสดงขอบเขตของพื้นที่ของแต่ละเจ้าของที่ดิน การใช้พื้นที่และอื่น ๆ

3.6.2 การตรวจสอบวิเคราะห์ดิน

ข้อมูลของดินเกี่ยวกับวัสดุดิน เนื้อดิน โครงสร้างดิน ชั้นดิน ค่าความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านดิน เหล่านี้จะมีผลกระทบต่อการก่อสร้าง สำหรับการระบายน้ำทางผิวดินแล้วข้อมูลเหล่านี้อาจจะหาได้จากแผ่นที่จำแนกดิน ซึ่งจะมีความละเอียดพอสำหรับการวิเคราะห์การระบายน้ำผิวดินโดยอาจจะมีความจำเป็นต้องเจาะสำรวจดินในระดับที่ลึกมากขึ้นบ้างเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นเพิ่มเติมเช่น หาเสถียรภาพของดิน ชั้นทึบน้ำ เป็นต้น

การสำรวจดินโดยทั่วไปจะได้ข้อมูลเกี่ยวกับเสถียรภาพของดินเพียงพอสำหรับการออกแบบคูขนาดตื้น ๆ ลึกไม่เกิน 4 ฟุต สำหรับคูที่ลึกมากกว่านี้ในบางสภาพดิน จะต้องการข้อมูลดินเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับชั้นดิน จนถึงความลึก หนึ่งเท่าครึ่งของความลึกของทางระบายน้ำที่ต้องการ

การสำรวจดินจะต้องกำหนดความลึกและระยะห่างของรูที่จะต้องเจาะสำรวจในแต่ละที่เจาะจะต้องแสดงวัสดุดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับระยะห่างของรูที่เจาะเริ่มแรกอาจจะใช้ระยะ 500 ฟุต และถ้าวัสดุดินมีความสัมพันธ์กันดีระหว่างแต่ละรูให้ขยายระยะห่างออกไปได้และในทางกลับกันถ้าความสัมพันธ์ของวัสดุดินในแต่ละรูไม่ดี ก็ให้ลดระยะเข้ามาอีก ในรูที่เจาะสำรวจถ้าพบระดับน้ำใต้ดินต้องบันทึกไว้ด้วย และในบริเวณพื้นที่ใดดินไม่เสถียรภาพต้องบันทึกด้วย ชั้นทึบน้ำเช่นหิน เชล ต้องบันทึกไว้ด้วย แล้วแสดงในแบบแสดงหน้าตัดตามยาวของทางน้ำด้วย จากข้อมูลของการเจาะสำรวจดินในแต่ละรูจะทำให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติดินได้

การสังเกตความลาดเทของตลิ่งและเสถียรภาพของทางน้ำที่เป็นอยู่ในธรรมชาติอาจจะสามารถนำมาเป็นแนวทางกำหนดใช้สำหรับการออกแบบ ความเร็วของน้ำและลาดเทด้านข้างของคลองได้ในดินที่มีลักษณะเหมือนกันในพื้นที่บริเวณเดียวกัน

3.6.3 การใช้พื้นที่และแบบแผนการปลูกพืช

การจัดทำแผนที่การใช้พื้นที่สามารถจัดทำได้จากข้อมูล ภาพถ่ายทางอากาศและจากการตรวจสอบดูอีกครั้งในสนาม

แบบแผนการปลูกพืชจะได้จากข้อมูลในแผนที่จำแนกสมรรถนะที่ดินและความเหมาะสมของที่ดิน และข้อมูลจากเจ้าของที่ดิน ข้อมูลของแบบแผนการปลูกพืชทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นที่จะเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเลือกอัตราการระบายน้ำที่เหมาะสมและเพื่อประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ

3.6.4 ตำแหน่งของทางระบายสายประธานและสายย่อย

การกำหนดแนวของทางระบายน้ำสายประธานและสายย่อย ลงในแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศซึ่งแสดงเส้นระดับผิวดินด้วย จะกำหนดโดยลากแนวไปตามที่ต่ำ ๆ ของพื้นที่เพื่อให้ทำหน้าที่ระบายน้ำได้ดีที่สุด นอกจากนี้แล้วยังต้องพิจารณาในข้อมูลเพิ่มเติมจากการสังเกตในสนามและข้อมูลของเจ้าของที่ดินด้วย การกำหนดแนวในแผนที่แสดงโดยใช้เส้นกึ่งกลางคลองแล้วกำหนดระยะต่าง ๆ ลงไปด้วย ในการวางแนวคลองจะต้องพิจารณาไม่ให้ความเร็วของน้ำ

เกิดปัญหาการกัดเซาะ

3.7 การตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำใต้ผิวดิน

การออกแบบการระบายน้ำทุกโครงการจำเป็นต้องทำการสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์ก่อนอย่างน้อยในระดับหนึ่งคือต้องให้ได้แผนที่แสดง ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะดิน การใช้พื้นที่แบบแผนการปลูกพืช การศึกษาและวิเคราะห์ น้ำฝน น้ำท่า การใช้น้ำรวมการระเหยของพืช สถิติการไหลของน้ำและระดับน้ำ การทำหน้าตัดดินตามยาวและตามขวางของทางน้ำต่าง ๆ และวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาของชั้นดินและน้ำใต้ดินถ้าจำเป็น

การตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำทางใต้ผิวดินจะแตกต่างกัน การระบายน้ำผิวดินคือจะต้องการข้อมูลเกี่ยวกับน้ำใต้ดินและดินชั้นล่างเพิ่มเติมมากขึ้นอีก

การสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์การระบายน้ำใต้ผิวดินจะต้องจัดทำในรายการดังต่อไปนี้

1. การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ
2. การสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์ดิน
   - แผนที่การสำรวจดิน
   - ข้อมูลเกี่ยวกับดินเกลือ
3. การขุดเจาะสำรวจดินชั้นล่าง
   - รายละเอียดของวัสดุดินชั้นล่าง
   - การวัดค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดิน
4. การตรวจสอบวิเคราะห์น้ำใต้ดิน
   - ระดับของน้ำใต้ดิน
   - การเคลื่อนที่ขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน
   - คุณภาพของน้ำใต้ดิน
5. การปฏิบัติและความต้องการน้ำชลประทาน
   - คุณภาพน้ำชลประทาน
   - ชนิดและความถี่ของการให้น้ำชลประทาน
   - ปริมาณน้ำที่ให้แต่ละครั้ง
   - ความต้องการน้ำชะล้างดินและการสูญเสียน้ำ

- แหล่งของน้ำชลประทาน

3.7.1 การสำรวจตรวจสอบวิเคราะห์ดิน

การตรวจสอบวิเคราะห์ดิน เป็นสิ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ให้ทราบถึงปัญหาและสาเหตุก่อนการออกแบบการระบายน้ำทางใต้ผิวดิน ข้อมูลที่ต้องการหาคือ ตำแหน่งขอบเขตของพื้นที่ที่เป็นปัญหา ลักษณะทางกายภาพของชั้นดินต่าง ๆ ในดินชั้นล่าง การออกแบบระบบระบายน้ำใต้ผิวดินต้องมีข้อมูลของดินเกี่ยวกับ หน้าตัดดิน ลักษณะของชั้นดินชั้นล่าง จุดที่สำคัญในการพิจารณาคือ ชนิดของดิน ความหนาของชั้นของดินแต่ละชั้น ความต่อเนื่องของแต่ละชั้นดิน และระยะจากผิวดินของแต่ละชั้นดิน

การสำรวจดินทำได้โดยการเจาะรูลงไปในดิน แต่ละรูให้ลึกประมาณหนึ่งเท่าครึ่งของความลึกของทางระบายน้ำที่ประมาณไว้ เพื่อหาความลึกและความหนาของดิน พร้อมทั้งประมาณค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดินชนิดต่าง ๆ ตำแหน่งของชั้นดินที่มีค่าความเหนี่ยวนำน้ำของดินต่ำมาก ๆ หรือวัสดุอื่น ๆ ที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ ในการเจาะรูสำรวจดินต้องวางแผนการเจาะรูดิน โดยกำหนดจำนวนการเจาะรูลงในแผนที่ก่อนกำหนดการเจาะรูเป็นแนว ๆ (grid) โดยให้คุ้มพื้นที่มากที่สุดโดยใช้จำนวนการเจาะน้อยที่สุด และจะมีอยู่บ่อย ๆ ที่จำเป็นต้องเจาะรูเพิ่มขึ้นอีกระหว่างแนวเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น สิ่งต่าง ๆ ในภูมิประเทศเช่น คลองส่งน้ำ ทางระบายน้ำ ที่ความลาดเท หักมุม เหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อตำแหน่งการเจาะดิน ตัวอย่างเช่น ถ้าปัญหาการระบายน้ำเนื่องมาจากการไหลรั่วซึมมาจากคลองส่งน้ำ การเจาะรูในแนวตั้งฉากกับคลองส่งน้ำเพียงแนวเดียวหรือสองแนว ก็จะสามารถบ่งบอกได้ว่าคลองระบายแบบสกัดกั้นควรจะกำหนดอยู่ที่ใดจึงจะเหมาะสมหรือในพื้นที่ชันมาก ๆ การเจาะดินควรเจาะในแนวลาดเทหลักของพื้นที่ แนวของการเจาะดินจะต้องคุมตลอดพื้นที่และในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกันด้วย จากการเจาะดินในระบบเป็นแนว ๆ จะทำให้สามารถวิเคราะห์หน้าตัดดินโดยวิธีกราฟฟิคได้ คือมองเห็นเป็นรูปร่างได้

การเจาะดินจะใช้สว่านเจาะดินซึ่งมีหลายชนิดที่ใช้ในการเจาะสำรวจดินที่นิยมใช้กันมาคือ post hole auger ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของสว่านอาจจะเป็น 2,4 และ 6 นิ้ว สามารถเจาะรูได้ลึก 20 ถึง 30 ฟุต โดยการต่อแกน

ความลึกของการเจาะรูจะสำคัญมากในการวิเคราะห์ปัญหาการระบายน้ำงานสำรวจดินโดยทั่วไปจะเจาะดินลึก 5 ฟุต หรือน้อยกว่า ถ้าในเขตแห้งแล้งที่มีการชลประทานจะต้องเจาะดินลึกถึง 9 ฟุต หรือมากกว่าเพราะว่าจะต้องรู้ลักษณะของชั้นดินที่มีการระบายน้ำดีตลอดความลึกของรากพืช และเพื่อการควบคุมระดับน้ำใต้ดินเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของเกลือบริเวณรากพืช ซึ่งทางระบายน้ำจะอยู่ลึกจากผิวดิน $5\frac{1}{2}$ ถึง 8 ฟุต ดังนั้น จึงต้องวิเคราะห์ดินให้ลึกเพียงพอสำหรับเป็นข้อมูลในการออกแบบ

การเจาะดินแต่ละรูจะต้องจดบันทึก แต่ละชั้นดิน เนื้อดิน ระดับน้ำใต้ดิน ความหนาของแต่ละชั้นดิน สีของดินหรือจุดสีแปลก ๆ ที่มีในดินและรากพืช จากข้อมูลของแต่ละรูที่จดบันทึกจะทำให้สามารถทราบชั้นดินต่าง ๆ ทั้งตลอดพื้นที่ได้

3.7.2 การตรวจสอบวิเคราะห์น้ำใต้ดิน

วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบวิเคราะห์น้ำใต้ดิน เพื่อต้องการหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดินที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่ เพื่อเป็นแนวทางในการหาความรุนแรงและพื้นที่ที่เป็นปัญหาว่ามาจากสาเหตุใด เพื่อจัดทำ water table contour map, depth to water table map ระดับน้ำใต้ดินสามารถวัดได้โดยใช้บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (observation well)

บ่อวัดระดับน้ำใต้ดินที่นิยมใช้กัน จะเป็นท่อขนาด $\frac{1}{4}$ ถึง 4 นิ้ว ท่อด้านล่างในบริเวณต่ำกว่าน้ำใต้ดินจะเจาะเป็นรูเพื่อให้น้ำไหลเข้ามาในท่อได้ ใส่กรวดทรายไว้ด้านใต้และรอบ ๆ ท่อจนถึงเหนือระดับน้ำใต้ดิน ให้ท่อโผล่เหนือดินขึ้นมา 1 ถึง $1\frac{1}{2}$ ฟุต แล้วใส่ฝาปิดกันน้ำฝนและพวกสัตว์ต่าง ๆ ลงท่อ ดินบริเวณรอบ ๆ บ่อจะต้องอัดให้แน่นไม่ให้น้ำซึมลงจากผิวดินลงไปตามท่อได้ บ่อวัดระดับน้ำใต้ดินจะใช้บันทึกระดับน้ำใต้ดินเป็นเวลานาน เช่น เป็นปี บ่อวัดระดับน้ำใต้ดินจะกำหนดไว้ในพื้นที่เป็นแนว ๆ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ถึงรูปร่างของระดับน้ำใต้ดินได้ ระยะห่างของแต่ละบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน อาจจะกำหนดให้ระยะห่างมากกว่าการเจาะสำรวจดิน แต่ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนแล้วแต่ดุลยพินิจ ถ้าต้องการได้ข้อมูลละเอียดเพิ่มขึ้น ก็ให้เพิ่มจำนวนบ่อขึ้นโดยสร้างที่กึ่งกลางระหว่างบ่อที่ได้สร้างขึ้นไว้แล้ว

การวัดและบันทึกระดับน้ำใต้ดินอาจจะวัดเดือนละสองครั้ง ควรจะวัดเป็นเวลาอย่างน้อยหลาย ๆ เดือนหรือเป็นปี ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละบ่อวัดระดับน้ำใต้ดินเพื่อทำแผนที่แสดงระดับน้ำใต้ดิน จะทำให้

สามารถวิเคราะห์พื้นที่ที่มีปัญหาเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน ทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน และสามารถหาแหล่งที่มาของน้ำที่ทำให้เกิดปัญหาได้

Piezometer เป็นเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ใช้สำหรับวัด hydraulic head ที่ปลายล่างสุดของท่อ Piezo - meter ทำจากท่อขนาดเล็ก $\frac{3}{8}$ ถึง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ฝังลงไปในดินจนถึงจุดที่ต้องการวัดน้ำจะไหลเข้าออกจากท่อทางปลายล่างสุดของท่อ piezometer จะต้องติดตั้งเป็นกลุ่ม ๆ อย่างน้อยต้อง 2 อันขึ้นไป ฝังที่ความลึกต่าง ๆ ข้อมูลของ piezometer สามารถวิเคราะห์หาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินได้

บทที่ 4

การวัดความนำน้ำของดิน

คำว่า ความนำน้ำของดิน (hydraulic conductivity) หมายถึงค่าความสามารถของดินในการให้น้ำซึมผ่านได้ มีหน่วยเป็นระยะทางต่อเวลา ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ K ในสูตรของดาร์ซี่ (Darcy) V = -Ki โดยทั่ว ๆ ไปคำว่า ความนำน้ำของดิน จะหมายถึงค่าความนำน้ำของดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ และถือว่ามีค่าคงที่สำหรับดินแต่ละชนิด เป็นค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติดินในการให้น้ำไหลผ่านดินจะมีค่ามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ถ้าดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ค่าความนำน้ำของดินจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามระดับความชื้นของดิน เรียกว่า capillary conductivity ค่าความนำน้ำของดินจะนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาความลึกและระยะห่างของทางระบายน้ำใต้ดิน การทำหน้าที่ของทางระบายน้ำใต้ผิวดินจะขึ้นโดยตรงกับความสามารถของดินในการให้น้ำเคลื่อนที่ผ่าน การวัดค่าความนำน้ำของดินอาจจะทำได้โดยวิธีวัดโดยตรงหรือวิธีทางอ้อมซึ่งได้แก่การหาความสัมพันธ์ระหว่างความนำน้ำของดินกับขนาดของช่องว่างของดิน (pore or grain size distribution) แต่วิธีการนี้ยุ่งยาก และผลลัพธ์อาจจะคลาดเคลื่อนได้มากจึงไม่ขอกล่าวถึงในบทนี้

การวัดความนำน้ำของดินโดยตรงแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ใหญ่ ๆ คือ แบบวัดในห้องทดลอง และแบบวัดในสนาม

4.1 การวัดความนำน้ำของดินในห้องทดลอง

ทำได้โดยนำตัวอย่างดินมาทำการทดลองโดยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน แล้ววัดอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านตัวอย่างดิน ก็จะสามารถคำนวณหาค่าความนำน้ำของดินได้จากสูตร

4.1.1 การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถเก็บตัวอย่างดินได้เป็น 2 แบบ คือ

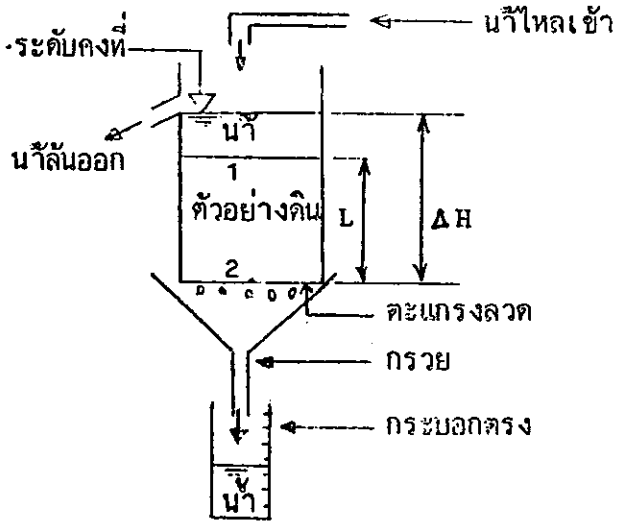
1. แบบโครงสร้างดินถูกทำลาย (disturb sample) หมายถึงตัวอย่างดินที่นำมาจากสนามที่ความลึกตามต้องการนำมาเกลี่ยผึ่งให้แห้งในอากาศ แล้วนำดินนั้นมาใส่กระบอกของเครื่องวัดความนำน้ำของดิน (permeameter) แล้วกดดินให้แน่นพอควร ตัวอย่างดินในวิธีนี้โครงสร้างของดินจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้ค่าความนำน้ำของดินที่คำนวณได้ไม่เท่ากับค่าที่วัดได้โดยวิธีวัดในสนามเสร็จแล้วนำไปทดลองโดยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน ก็จะ

คำนวณหาค่าความนำน้ำของดินได้ ค่าที่คำนวณได้โดยวิธีนี้จะใช้ในเชิงเปรียบเทียบระหว่างดินแต่ละชนิด วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกเพราะการเก็บตัวอย่างดินไม่ยุ่งยากและใช้ตัวอย่างดินจำนวนน้อย

2. แบบโครงสร้างดินไม่ถูกทำลาย (undisturb sample) หมายถึงตัวอย่างดินที่เก็บมาจากพื้นที่โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน กระบอกขนาดมาตรฐานมีเส้นผ่าศูนย์-กลาง 5 เซ็นติเมตร สูง 5.1 เซ็นติเมตร การเก็บตัวอย่างดินจะไม่ทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไป แล้วนำกระบอกเก็บตัวอย่างดินที่มีดินบรรจุอยู่ไปทดลองโดยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินในห้องทดลอง ค่าความนำน้ำของดินที่คำนวณได้โดยวิธีนี้อาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนไปได้เนื่องจาก ตัวอย่างดินมีปริมาตรน้อยอาจจะมีรู รากพืช หรือรอยแยกในตัวอย่างดินได้

4.1.2 วิธีการทดลองโดยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดิน แบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือ

1. Constant head permeameter เป็นวิธีการทดลองให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินโดยให้น้ำขังอยู่บนตัวอย่างดินมีระดับคงที่ตลอดเวลา ดังรูป เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ววัดอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดิน แล้วคำนวณหาค่าความนำน้ำของดิน โดยใช้สูตรของดาร์ซี่



รูปที่ 4.1 Constant head permeameter

จากสูตรของดาร์ซี่

$$Q = KAi = KA\frac{\Delta H}{L}$$

$$\therefore K = \frac{QL}{A\,\Delta H}$$

Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดิน

$$= \frac{\text{ปริมาตรน้ำไหลผ่านดิน}}{\text{เวลา}}$$

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

L = ความยาวของตัวอย่างดิน

ΔH = different head

<u>ตัวอย่าง</u> ตัวอย่างดินบรรจุอยู่ในกระบอกดิน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซ็นติเมตร ตัวอย่างดินสูง 5.1 เซ็นติเมตร นำมาวัดค่าความนำน้ำของดินในห้องทดลองโดยวิธี constant head จงคำนวณหาค่าความนำน้ำของดิน ถ้า

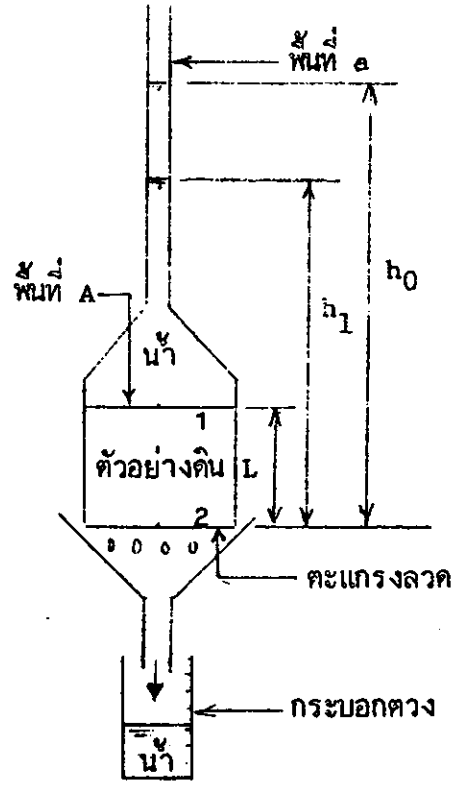
Q = 190 ลูกบาศก์เซ็นติเมตรต่อวัน

Δ H = 1 เซ็นติเมตร

วิธีทำ

$$K = \frac{QL}{A\Delta H} = \frac{190 \times 5.1}{\frac{\pi}{4}(5)^2 \times 1} = 49.4 \text{ ซม./วัน}$$

2. Falling head permeameter เป็นวิธีการทดลองให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างดินโดยให้ระดับน้ำที่ขังอยู่บนตัวอย่างดินเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา หรือมีระดับลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากน้ำไหลผ่านดินออกไปโดยที่ไม่ได้เติมน้ำเข้าไปแทนที่ ดังรูป เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว วัดอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดิน วัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงในตามระยะเวลา แล้วคำนวณหาค่าความนำน้ำของดินจากสูตร



รูปที่ 4.2 Falling head permeameter

a = พื้นที่หน้าตัดของน้ำในแห่งแก้ว

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

L = ความยาวของตัวอย่างดิน

V = ปริมาตรน้ำไหลผ่านดินจาก t_0 ถึง t_1

Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านดิน

$$= \frac{V}{t_1 - t_0}$$

∴ ปริมาตรน้ำไหลผ่านดิน

$V = a(h_0 - h_1)$

หรือ $dv = adh$.....(1)

จากสูตรของดาร์ซี่

$$Q = -KAi = KA\frac{\Delta h}{L}$$

หรือ $$Q = \frac{-KA(h_1 - 0)}{L} = \frac{-KAh}{L}$$

หรือ $\frac{dV}{dt} = \frac{-KAh}{L}$ .....(2)

แทนค่า (1) ใน (2)

$$\frac{adh}{dt} = \frac{-KAh}{L}$$

integrate จาก h_0 ถึง h_1, t_0 ถึง t_1

$$\ln h \Big]_{h_0}^{h_1} = \frac{-KA(t_1-t_0)}{aL}$$

$$\ln\frac{h_0}{h_1} = \frac{KA\Delta t}{aL}$$

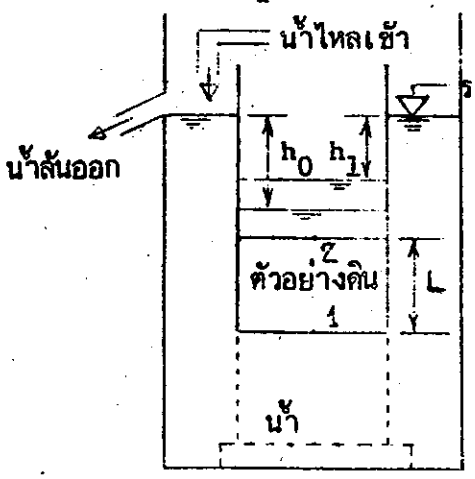
$$K = \frac{aL}{A\Delta t} \ln\frac{h_0}{h_1}$$

ตัวอย่าง ตัวอย่างดินบรรจุในกระบอกเก็บตัวอย่างดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.2 เซ็นติเมตร สูง 25 เซ็นติเมตร นำมาทดลองหาค่าความนำน้ำของดิน โดยวิธี falling head ดังรูปข้างล่าง ถ้าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้

เมื่อเวลา $t = t_0 = 0$ ชั่วโมง $h_0 = 1.5$ เซ็นติเมตร

เมื่อเวลาผ่านไป 7 ชั่วโมง $t = t_1 = 7$ ชั่วโมง

$h_1 = 0.9$ เซ็นติเมตร จงคำนวณหาค่าความนำน้ำของดิน



จากรูป a = A

จากสูตร

$$K = \frac{aL}{A\Delta t} \ln\frac{h_0}{h_1}$$

$$= \frac{a(25)}{A(7-0)} \ln\frac{1.5}{0.9}$$

= 1.824 ซม./ชม.

= 43.8 ซม./วัน

4.2 การวัดความนำน้ำของดินในสนาม

วิธีนี้จะให้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าวิธีวัดในห้องทดลอง เพราะว่าการวัดในห้องทดลองใช้ตัวอย่างดินมีปริมาตรน้อยจึงอาจจะไม่เป็นตัวแทนหรือเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับแทนดินทั้งหมดได้ และถึงแม้ว่าจะใช้วิธีเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดินเพื่อไม่ให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนแปลงไปแต่ในขณะขนย้ายนำกระบอกเก็บตัวอย่างดินมายังห้องทดลองนั้น ดินที่อยู่ในกระบอกเก็บตัวอย่างดินจะถูกกระทบกระเทือนในขณะขนย้ายไม่มากก็น้อย

การวัดความนำน้ำของดินในสนาม มีอยู่หลายวิธีแต่ที่นิยม ใช้กันคือวิธี Auger hole method , วิธี Pipe-Cavity or piezometer method,และวิธี Shallow well pump-in method สองวิธีแรกใช้ในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดินโดยจะต้องเจาะรู(hole)ให้ลึกกว่าระดับน้ำใต้ดินลงไป วิธีที่สามใช้ในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่าผิวดินมากโดยเจาะรูจนถึงความลึกของชั้นดินที่ต้องการวัดความนำน้ำของดินแล้วเติมน้ำลงในรูจนกระทั่งดินรอบ ๆ รูอิ่มตัวแล้วทำการวัดความนำน้ำของดิน

4.3 Auger hole method

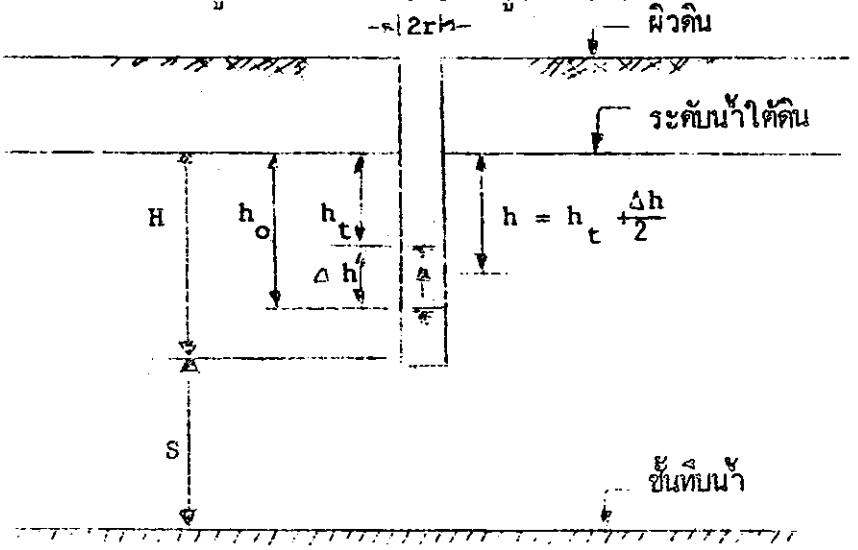
ใช้สว่าน (auger) เจาะดินให้เป็นรู เจาะรูลงไปในดินจนต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ในขณะเจาะดินให้บันทึกลักษณะดินที่ระดับต่าง ๆ ไว้ด้วย จนถึงระดับดินที่ต้องการวัดความลึกของรูให้ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินประมาณ 5 ถึง 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเป็นอย่างน้อย แล้วทำการล้างทำความสะอาดรูโดยการตูดน้ำออกจากรูหรือใช้ bail bucket ตูดน้ำออกจากรู 2-3 ครั้ง โคลนที่เกาะอยู่ตามผนังของรูจะไหลออกทำให้รูสะอาด แล้วคอยจนกระทั่งระดับน้ำในรูสมดุลย์กับระดับน้ำใต้ดิน แล้วเริ่มการทดลองโดยเริ่มจับเวลาหลังจากตูดน้ำออกจากรู different head จะทำให้น้ำจากรอบ ๆ รูไหลเข้าไปในรู ทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นเรื่อย ๆ วัดอัตราที่ระดับน้ำในรูสูงขึ้นตามระยะเวลา เช่น วัดทุก ๆ 10 วินาที วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู ก็จะสามารถคำนวณหาค่าความนำน้ำของดินได้จากสูตรหรือจากกร๋าฟ

Dr. S.B. Hooghoudt ชาวเนเธอร์แลนด์ ได้ศึกษาและพัฒนาหาสูตรโดยทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ข้อสมมุติฐาน

1. ระดับน้ำใต้ดินรอบ ๆ รู ไม่ได้ลดลงเมื่อตูดน้ำออกจากรู

2. น้ำไหลเข้ารูในแนวราบ และเข้าใต้รูในแนวดิ่ง



รูปที่ 4.3 Auger hole method

$2r$ = เส้นผ่าศูนย์กลางของรู

H = ระยะจากก้นรูถึงระดับน้ำใต้ดิน

S = ระยะจากก้นรูถึงชั้นหินน้ำ

h_0 = ระยะจากระดับน้ำใต้ดินถึงระดับน้ำในรูเมื่อเริ่มดูดน้ำออกจากรู

h_t = ระยะจากระดับน้ำใต้ดินถึงระดับน้ำในรูที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากดูดน้ำออกจากรูแล้ว

จากรูป

- การไหลในแนวราบ (Horizontal flow) น้ำที่ไหลเข้าทางด้านข้างรอบ ๆ รู อัตราที่น้ำไหลเข้ารูในแนวราบ จะเป็นอัตราส่วนของเส้นรอบวงของรูต่อพื้นที่หน้าตัดของรู

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{K\, 2\pi rH}{\pi r^2} \frac{h}{C} \qquad \text{.....(3)}$$

C = geometry factor ซึ่งขึ้นอยู่กับ r, H, S, h

- การไหลในแนวดิ่ง(Vertical flow)น้ำที่ไหลเข้าทางด้านใต้ของรูในแนวดิ่ง

$$\frac{dh}{dt} = - K \frac{\pi r^2}{\pi r^2} \frac{h}{C} \qquad \text{.....(4)}$$

อัตราที่ระดับน้ำในรูสูงขึ้นรวม = (3) + (4)

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{K(2H + r)}{r} \frac{h}{C}$$

integrate จาก h_0 ถึง h_1, t_0 ถึง t_1

$$\ln h \Big]_{h_0}^{h_1} = -\frac{K(2H + r)}{rC} (t_1 - t_0)$$

$$\ln \frac{h_0}{h_1} = \frac{K(2H + r)}{rC} \Delta t$$

$$K = \frac{rC}{(2H + r) \ln \frac{h_0}{h_1}} \Delta t$$

ต่อมา Ernst (1950) ได้ศึกษาระบบของการไหลและวิเคราะห์ได้ สมการ $K = C \frac{\Delta h}{\Delta t}$ และนำมาเขียนเป็นกราฟดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 รูปที่ 4.4 เป็นกรณีที่ระยะจากกันรูห่างจากชั้นทึบน้ำ ($S > \frac{H}{2}$) และในรูปที่ 4.5 เป็นกรณีที่ระยะจากกันรูถึงชั้นทึบน้ำพอดี ($S = 0$) ในกราฟรูปที่ 4.4 และ 4.5 หน่วยของ K เป็นเมตรต่อวัน C เป็น $f(h, H, r, S)$ และ $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ เป็นเซ็นติเมตรต่อวินาที

Ernst ได้ derived สมการใช้สำหรับประเมินค่า K เป็น 2 สมการดังนี้

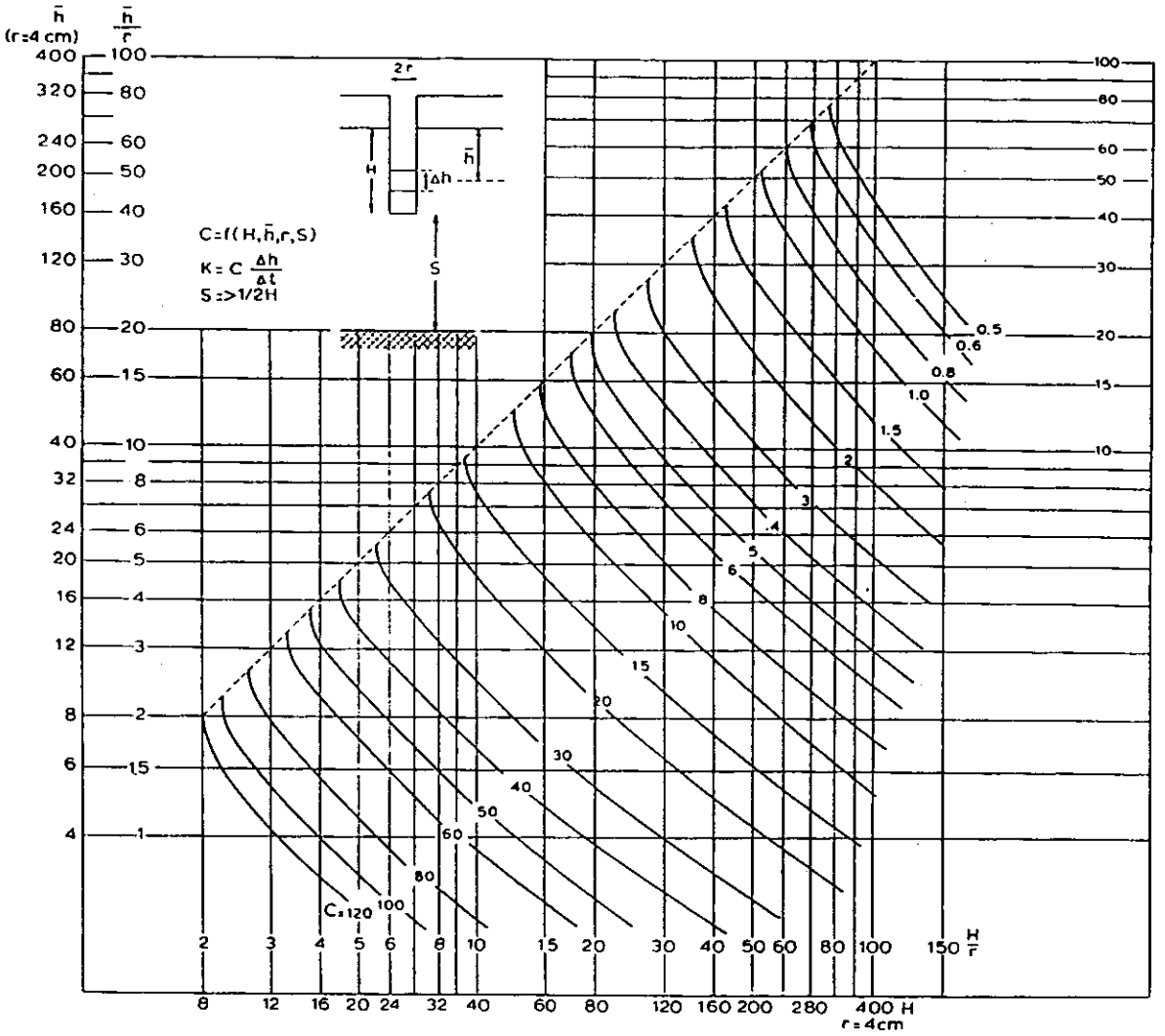
กรณีที่ $S > \frac{H}{2}$ $\quad K = \frac{4{,}000\ r^2}{(H+20r)\ (2-\frac{h}{H})\ h} \frac{\Delta h}{\Delta t}$

กรณีที่ $S = 0$ $\quad K = \frac{3{,}600\ r^2}{(H+10r)\ (2-\frac{h}{H})\ h} \frac{\Delta h}{\Delta t}$

<u>ตัวอย่าง</u> ตามรูปที่ 4.3 ได้ข้อมูลจากการทดลองดังนี้

$H = 100$ เซ็นติเมตร $\quad h_0 = 85$ เซ็นติเมตร $\quad r = 3$ เซ็นติเมตร

$\Delta t = 20$ วินาที และ $S > \frac{H}{2}$ $\quad h_t = 82$ เซ็นติเมตร



รูปที่ 4.4 กราฟสำหรับหาค่า C ใน Auger hole method

วิธีทำ $\bar{h} = h = h_t + \frac{\Delta h}{2} = 82 + \frac{85 - 82}{2} = 83.5$ ซม.

$$\frac{\bar{h}}{r} = \frac{83.5}{3} = 27.8$$

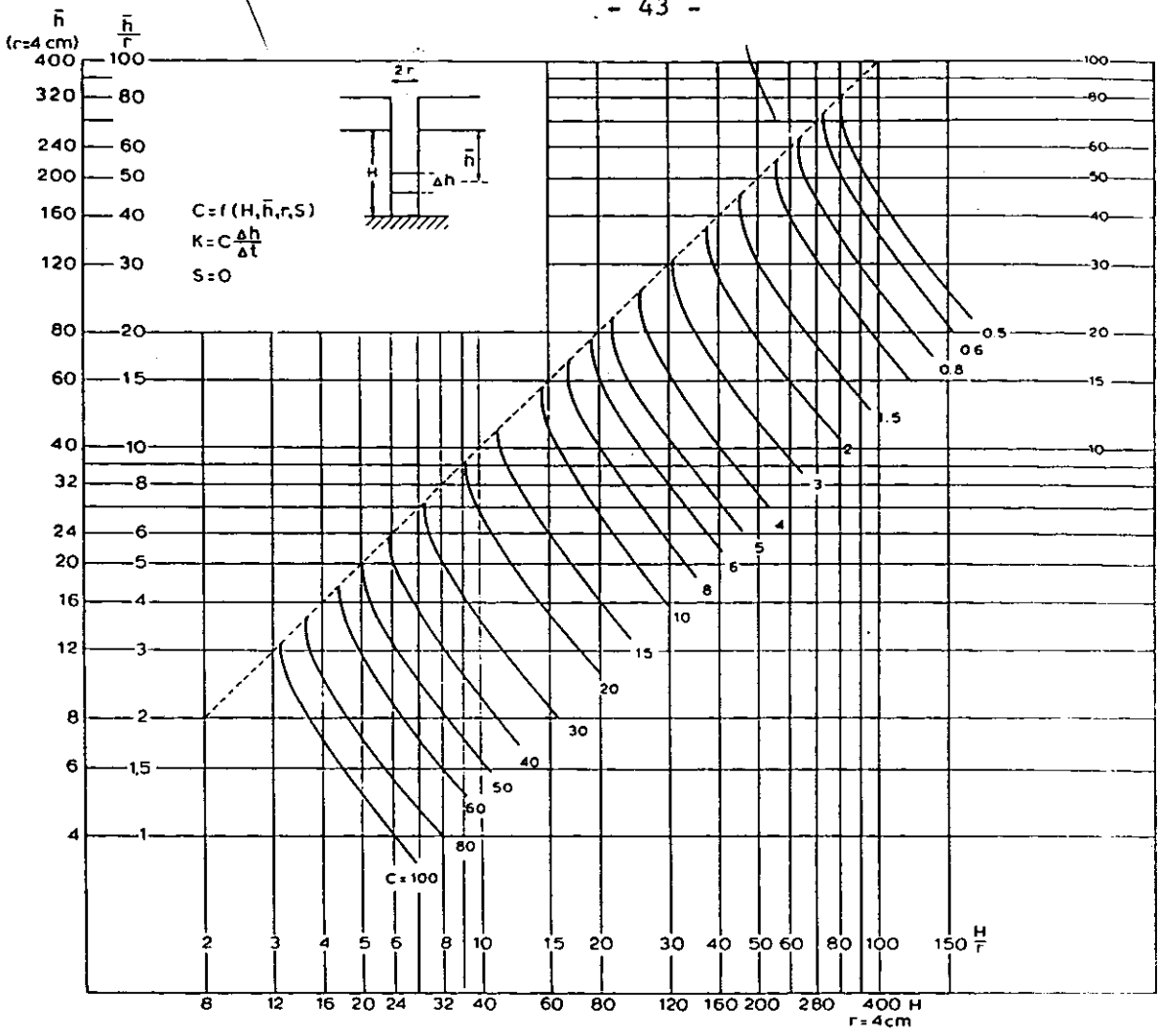
$$\frac{H}{r} = \frac{100}{3} = 33.3$$

จากกราฟรูปที่ 4.4 ได้ค่า C = 2.4

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t} = 2.4 \times \frac{85-82}{20} = 0.36 \text{ ม./วัน}$$

หรือคำนวณโดยใช้สูตร

$$K = \frac{4{,}000\ r^2}{(H+20r)\ (2-\frac{h}{H})h} \frac{\Delta h}{\Delta t}$$



รูปที่ 4.5 กราฟสำหรับหาค่า C ใน Auger hole method

$$K = \frac{4{,}000\ (3)^2}{(100+20\times3)\ (2-\frac{83.5}{100})83.5} \times \frac{3}{20} = 0.35 \text{ ม./วัน}$$

การวัดความนำน้ำของดิน โดยวิธี auger hole เป็นที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเครื่องมือและวิธีการใช้แบบง่าย ๆ และสะดวก และที่สำคัญคือได้ค่าที่เชื่อถือได้เหมาะสำหรับวัดในดินที่เป็นดินเสถียร (stable soil)

ข้อควรสังเกต

1. การดูดน้ำออกจากรูเมื่อเริ่มทำการทดลอง ควรจะดูดน้ำออกเป็นความลึกประมาณ 20 ถึง 40 เซ็นติเมตร แล้วแต่ชนิดของดิน ถ้าดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีให้ดูดน้ำออกน้อย ถ้าดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ช้าให้ดูดน้ำออกมาก

FIELD MEASUREMENT OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY
AUGER-HOLE METHOD

For use only where bottom of hole coincides with barrier.

SOIL CONSERVATION DISTRICT Dry River WORK UNIT Salt Flat

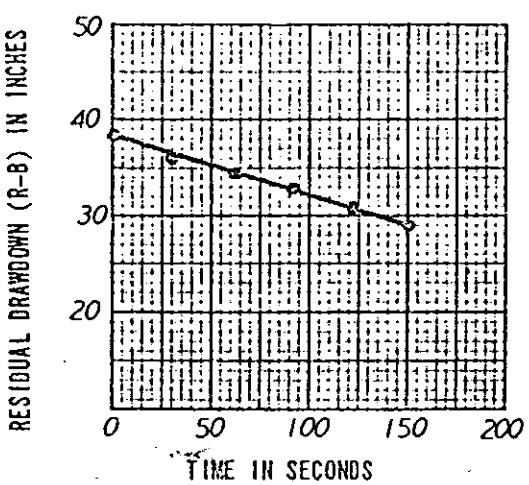
COOPERATOR John Doe - Farm No. 2 LOCATION ½ Mi. E. Big Rock Jct.

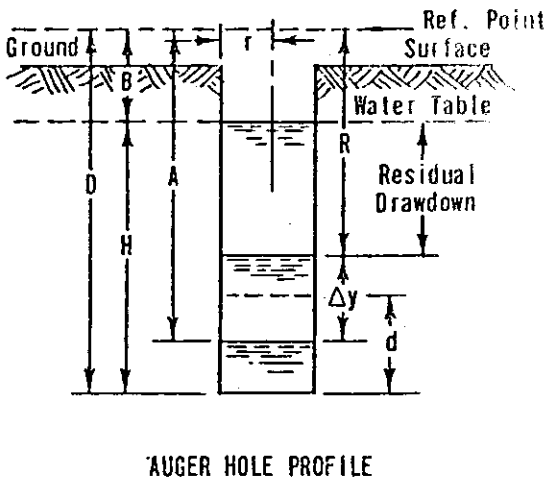
SCS AGREEMENT NO. 264 FIELD NO. 4 ACP FARM NO. 6-817

TECHNICIAN Tom Jones DATE 1 June 64

BORING NO. 4 SALINITY (EC) SOIL — WATER 5.6 ESTIMATED K 1.0 in/hr

START 10:03 ELAPSED TIME	Δt	DISTANCE TO WATER SURFACE FROM REFERENCE POINT			Δy	RESIDUAL DRAWDOWN
		BEFORE PUMPING	AFTER PUMPING	DURING PUMPING		
		B	A	R	A-R	R-B
SECONDS	SECONDS	INCHES	INCHES	INCHES	INCHES	INCHES
xx	xx	43	xx	xx	xx	xx
0.0	xx	xx	81.5		0.00	38.5
30				79.0		36.0
60				77.5		34.5
90				76.0		33.0
120				74.0		31.0
150	150			72.0	9.5	29.0





AUGER HOLE PROFILE

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างแบบฟอร์มการวัดความนำน้ำของดินโดยวิธี Auger hole method

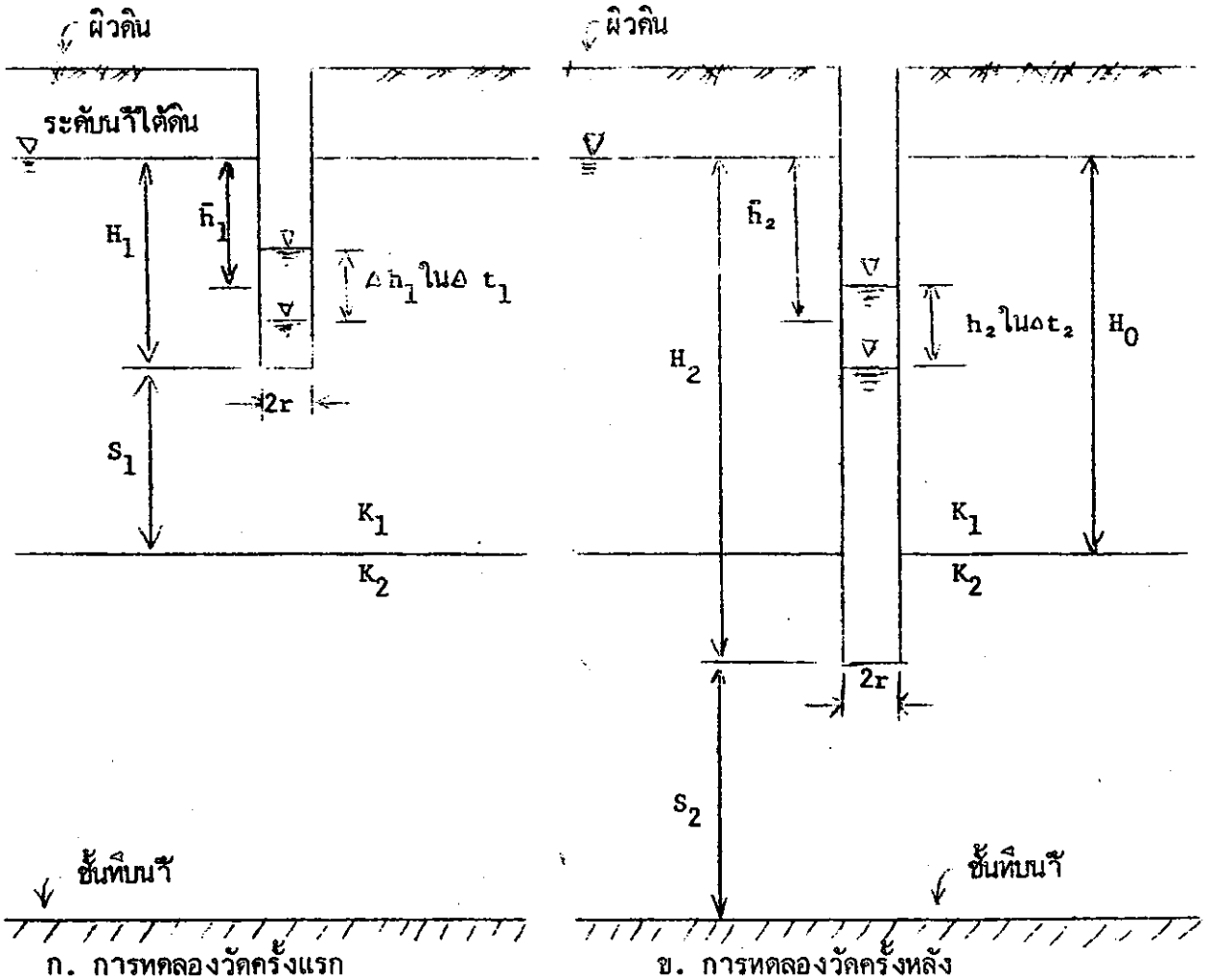
2. ค่าระดับน้ำในรูที่สูงขึ้นของแต่ละช่วงระยะเวลาที่ทำการวัด จะต้องตรวจสอบว่าเป็นค่าที่สมเหตุผลแล้วจึงนำมาคำนวณหาค่า K ในบางครั้งอาจจะต้องตัดค่าแรกออกทิ้งไป เนื่องจากมีน้ำที่ค้างอยู่ข้างรูตอนดูดน้ำออกไหลลงมาในรู ซึ่งจะทราบได้จากการตรวจสอบ

3. ปกติอ่านค่าระดับน้ำสูงขึ้นประมาณ 5 ค่าจะให้ค่าเฉลี่ยที่เชื่อถือได้

4. ต้องทำการทดลองวัดให้เสร็จภายใน 75% ของระยะที่ดูดน้ำออก

4.3.1 การประยุกต์วิธี auger hole ใช้กับดินชั้น 2 ชั้น

ในกรณีที่ดินเป็นดินชั้น 2 ชั้น และมีระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นมาอยู่ในดินชั้นบน สามารถจะใช้วิธี auger hole วัดค่าความนำน้ำของดินได้โดยให้ดินชั้นบนมีค่า K_1 และดินชั้นล่างมีค่า K_2 ทำการทดลองวัดความนำน้ำของดิน 2 ครั้ง ดังนี้



รูปที่ 4.7 การวัดค่าความนำน้ำของดินในกรณีที่ดินเป็นดินชั้น 2 ชั้น

- การทดลองวัดครั้งแรก ดูรูปที่ 4.7 ก. ประกอบ ให้เจาะรูลงไปในดินชั้นบน ความลึกของรูต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน อย่างน้อยสุด 40 เซ็นติเมตร แต่กันรูต้องอยู่เหนือดินชั้นล่าง 20 เซ็นติเมตรขึ้นไป แล้วทำการทดลองวัดเหมือนกับวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว และสามารถคำนวณหาค่า K_1 ได้จากสูตร

$$K_1 = C_1 \left(\frac{\Delta h_1}{\Delta t_1}\right)$$

ซึ่ง $$C_1 = f(\bar{h}_1, H_1, r, S, > \frac{H_1}{2})$$

- การทดลองวัดครั้งหลัง ดูรูปที่ 4.7 ข. ประกอบ ให้เจาะรูเติมลึกลงไปอีก จนกระทั่งความลึกของรูต่ำกว่าชั้นดินบนอย่างน้อยสุด 50 เซ็นติเมตร แล้วทำการทดลองเหมือนกับวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับหลักการเพื่อการวิเคราะห์หาสูตรคำนวณค่า K_2 ดังนี้

อัตราที่ระดับน้ำในรูสูงขึ้น เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านดินชั้นบนและชั้นล่างเข้ามาในรูโดยสมมุติว่า ประกอบด้วยการไหล 2 ส่วนคือ

1. การไหลในดินชั้นบน ซึ่งมีค่า K_1 โดยให้ถือว่าดินชั้นล่างเป็นชั้นทึบน้ำ จะทำให้ระดับน้ำในรูสูงขึ้นดังนี้

$$\left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)_1 = \frac{K_1}{C_0} \qquad \text{.....(5)}$$

2. การไหลในดินชั้นล่างซึ่งมีค่า K_2 การวิเคราะห์ใช้หลักการว่า น้ำที่ไหลเข้ามาในรูผ่านดินชั้นล่าง เท่ากับน้ำที่ไหลผ่านดินตลอดหน้าตัดดินทั้งหมดด้วยค่า K_2 หักด้วยน้ำที่ไหลผ่านดินชั้นบนด้วยค่า K_2 โดยมีดินชั้นล่างเป็นชั้นทึบน้ำ ซึ่งจะทำให้ระดับน้ำในรูสูงขึ้นดังนี้

$$\left(\frac{\Delta h}{\Delta t}\right)_2 = \frac{K_2}{C_2} - \frac{K_2}{C_0} \qquad \text{.....(6)}$$

(5) + (6) $$\frac{\Delta h_2}{\Delta t_2} = \frac{K_1}{C_0} + \left(\frac{K_2}{C_2} - \frac{K_2}{C_0}\right)$$

$$\therefore K_2 = \frac{C_0 \left(h_2 / t_2 \right) - K_1}{C_0 / C_2 - 1} \qquad \text{.....(7)}$$

$$C_0 = f\left(\bar{h}_2, H_0, r, S_0 = 0\right)$$

$$C_2 = f\left(\bar{h}_2, H_2, r, S_2 > H_2/2\right)$$

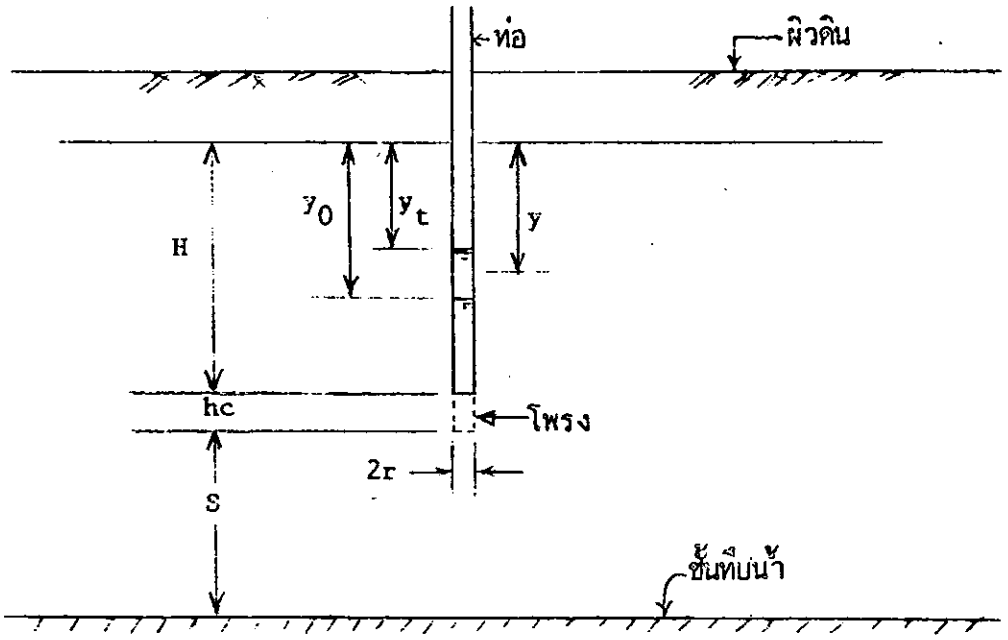
4.4 Pipe cavity or Piezometer method

วิธีนี้มีหลักการคล้ายกับวิธี auger hole จะแตกต่างกันที่ภายในรูใส่ท่อลงไปโดยทำให้ด้านล่างสุดของท่อเป็นโพรงขนาดเล็ก ๆ เพื่อให้น้ำไหลเข้าท่อ วิธีนี้เหมาะสำหรับวัดค่าความนำน้ำของดินไม่เสถียร (unstable soil) ในดินซึ่งเป็นดินชั้นวัดความนำน้ำของดินในแต่ละชั้นดินและในดินซึ่งต้องการวัดในระดับความลึกที่ลึกกว่าแบบ auger hole

หลักการและวิธีการคือ ใช้สว่านเจาะรูลงไปในดินจนถึงระดับความลึกที่ต้องการวัด แต่จะต้องลึกต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ใส่ท่ออาจจะเป็นขนาด 2 ถึง 5 เซ็นติเมตรกดลงไปภายในรูที่เจาะไว้แล้ว จนกระทั่งเกือบถึงก้นรูที่เจาะไว้แล้วเกิดเป็นโพรงขนาดเล็ก ๆ ที่ปลายล่างสุดของท่อ บันทึกขนาดของโพรงไว้ด้วย ขนาดของรูที่เจาะลงไปในดินควรจะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อยหรือเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วระหว่างท่อและผนังของรูได้ เมื่อน้ำไหลเข้ามาในท่อผ่านทางโพรงเข้ามาถึงสมดุลย์กับระดับน้ำใต้ดินแล้วจึงเริ่มทำการทดลองได้ โดยการดูดน้ำออกจากภายในท่อ แล้ววัดอัตราที่ระดับน้ำในท่อสูงขึ้น เช่นเดียวกับวิธี auger hole ก็จะสามารถคำนวณหาค่าความนำน้ำของดินได้จากสูตรและกราฟหรือตารางได้

Luthin และ Kirkham (1949) ได้พัฒนาสูตรขึ้นดังนี้

$$K = \frac{\pi r^2}{At} \ln \frac{y_0}{y_t}$$



รูปที่ 4.8 Pipe cavity or piezometer method

A = geometry factor ขึ้นอยู่กับ H, R, hc และ S

y_o, y_t = ระยะจากระดับน้ำใต้ดินถึงระดับน้ำในท่อที่เวลา t_0 และ t_t

Youngs (1968) ได้วิเคราะห์หาค่า geometry factor(A) ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าของ A/r สำหรับ Piezometer method

h_o/r	H/r	S/r for impermeable layer							S/r for infinitely permeable layer						
		∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0	∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0
0	20	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0	5.6	5.6	5.8	6.3	7.4	10.2	∞
	16	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0	5.6	5.6	5.8	6.4	7.5	10.3	∞
	12	5.6	5.5	5.4	5.1	4.5	3.7	0	5.6	5.7	5.9	6.5	7.6	10.4	∞
	8	5.7	5.6	5.5	5.2	4.6	3.8	0	5.7	5.7	5.9	6.6	7.7	10.5	∞
	4	5.8	5.7	5.6	5.4	4.8	3.9	0	5.8	5.8	6.0	6.7	7.9	10.7	∞
0.5	20	8.7	8.6	8.3	7.7	7.0	6.2	4.8	8.7	8.9	9.4	10.3	12.2	15.2	∞
	16	8.8	8.7	8.4	7.8	7.0	6.2	4.8	8.8	9.0	9.4	10.3	12.2	15.2	∞
	12	8.9	8.8	8.5	8.0	7.1	6.3	4.8	8.9	9.1	9.5	10.4	12.2	15.3	∞
	8	9.0	9.0	8.7	8.2	7.2	6.4	4.9	9.0	9.3	9.6	10.5	12.3	15.3	∞
	4	9.5	9.4	9.0	8.6	7.5	6.5	5.0	9.5	9.6	9.8	10.6	12.4	15.4	∞
1.0	20	10.6	10.4	10.0	9.3	8.4	7.6	6.3	10.6	11.0	11.6	12.8	14.9	19.0	∞
	16	10.7	10.5	10.1	9.4	8.5	7.7	6.4	10.7	11.0	11.6	12.8	14.9	19.0	∞
	12	10.8	10.6	10.2	9.5	8.6	7.8	6.5	10.8	11.1	11.7	12.8	14.9	19.0	∞
	8	11.0	10.9	10.5	9.8	8.9	8.0	6.7	11.0	11.2	11.8	12.9	14.9	19.0	∞
	4	11.5	11.4	11.2	10.5	9.7	8.8	7.3	11.5	11.6	12.1	13.1	15.0	19.0	∞
2.0	20	13.8	13.5	12.8	11.9	10.9	10.1	9.1	13.8	14.1	15.0	16.5	19.0	23.0	∞
	16	13.9	13.6	13.0	12.1	11.0	10.2	9.2	13.9	14.3	15.1	16.6	19.1	23.1	∞
	12	14.0	13.7	13.2	12.3	11.2	10.4	9.4	14.0	14.4	15.2	16.7	19.2	23.2	∞
	8	14.3	14.1	13.6	12.7	11.5	10.7	9.6	14.3	14.8	15.5	17.0	19.4	23.3	∞
	4	15.0	14.9	14.5	13.7	12.6	11.7	10.5	15.0	15.4	16.0	17.6	20.1	23.8	∞
4.0	20	18.6	18.0	17.3	16.3	15.3	14.6	13.6	18.6	19.8	20.8	22.7	25.5	29.9	∞
	16	19.0	18.4	17.6	16.6	15.6	14.8	13.8	19.0	20.0	20.9	22.8	25.6	29.9	∞
	12	19.4	18.8	18.0	17.1	16.0	15.1	14.1	19.4	20.3	21.2	23.0	25.8	30.0	∞
	8	19.8	19.4	18.7	17.6	16.4	15.5	14.5	19.8	20.6	21.4	23.3	26.0	30.2	∞
	4	21.0	20.5	20.0	19.1	17.8	17.0	15.8	21.0	21.5	22.2	24.1	26.8	31.5	∞
8.0	20	26.9	26.0	25.5	24.0	23.0	22.2	21.4	26.9	29.6	30.6	32.9	36.1	40.6	∞
	16	27.4	26.3	25.8	24.4	23.4	22.7	21.9	27.4	29.8	30.8	33.1	36.2	40.7	∞
	12	28.3	27.2	26.4	25.1	24.1	23.4	22.6	28.3	30.0	31.0	33.3	36.4	40.8	∞
	8	29.1	28.2	27.4	26.1	25.1	24.4	23.4	29.1	30.3	31.2	33.8	36.9	41.0	∞
	4	30.8	30.2	29.6	28.0	26.9	25.7	24.5	30.8	31.5	32.8	35.0	38.4	43.0	∞

ตัวอย่าง จากรูปที่ 4.8

H = 230 ซม. h_c = 10 ซม. S = ∞ r = 1.25 ซม.

จงคำนวณหาค่าความนำน้ำของดินเมื่อ

t = 150 วินาที y_0 = 218 ซม. y_t = 131 ซม.

วิธีทำ $\frac{h_c}{r} = \frac{10}{1.25} = 8$

$\frac{H}{r} = \frac{230}{1.25} = 184$

จากตารางที่ 1 ได้ค่า $\frac{A}{r^2} = 26.9$

$A = 26.9 \times 1.25 = 33.6$

จากสูตร $K = \frac{\pi r^2}{At} \ln \frac{y_0}{y_t}$

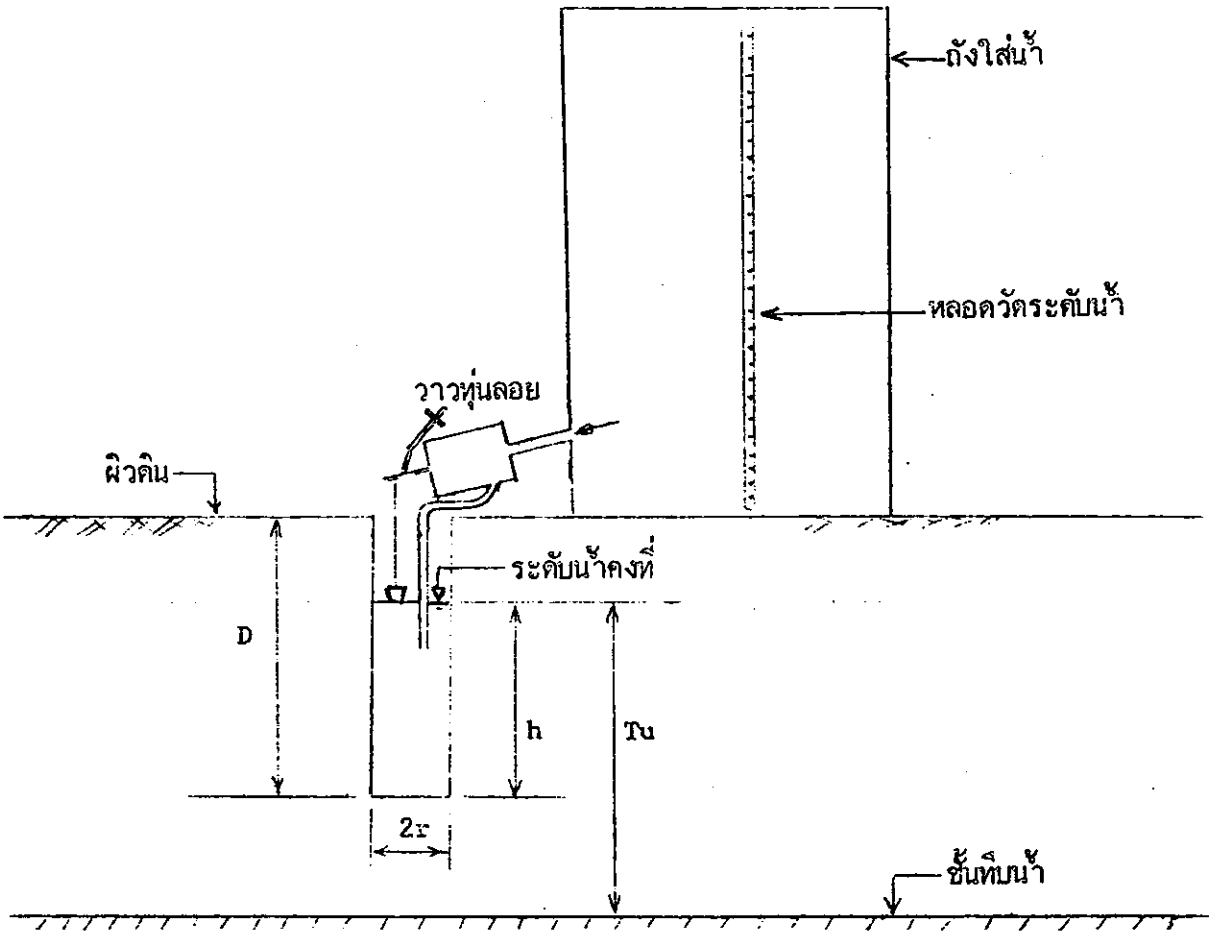
$= \frac{\pi(1.25)^2}{33.6(150)} \ln \frac{218}{131}$ ซม./วินาที

$= 4.96 \times 10^{-4}$ ซม./วินาที

$= 42.86$ ซม./วัน

4.5 Shallow well pump-in method

วิธีนี้จะใช้เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินมาก วิธีการคือ ใช้สว่านเจาะดินให้เป็นรูลึกลงไปในดินตามความลึกที่ต้องการวัดความลึกของรูไม่ถึงชั้นทึบน้ำ แล้วปั๊มน้ำใส่รูและรักษาให้ระดับน้ำอยู่คงที่ตลอดเวลาโดยใช้วาวหุ่นลอย (float valve) น้ำจะซึมออกจากรูสู่ดิน ปล่อยทิ้งไว้จนดินบริเวณรอบรูอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือจนกระทั่งน้ำซึมออกจากรูในอัตราคงที่ ซึ่งจะต้องใช้เวลาหลายวัน ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 Shallow well pump-in method

การคำนวณหาค่าความนำน้ำของดินหาได้จากสูตรดังนี้

กรณีที่ 1 $T_u \geq 3h$

$$K = \frac{720Q\left[\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right) - 1\right]}{2\pi h^2}$$

กรณีที่ 2 $3h > T_u > h$

$$K = \frac{720\ Q\left[3\ln\left(\frac{h}{r}\right)\right]}{\pi h(h + 2\ T_u)}$$

ซึ่ง K = ความสามารถในน้ำของดิน - นิ้ว/ชั่วโมง

Q = อัตราการไหลออกจากรู - ฟุต^3 /นาที

h = ความลึกของน้ำคงที่เหนือก้นรู - ฟุต

r = รัศมีของรู - ฟุต

<u>ตัวอย่าง</u> จากรูปที่ 4.9 จงคำนวณหาค่าความสามารถในน้ำของดินถ้า

D = 6 ฟุต r = 0.167 ฟุต ชั้นทึบน้ำอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 7 ฟุต

h = 3.5 ฟุต Q = 0.019 ฟุต^3/นาที Tu = 4.5 ฟุต

<u>วิธีทำ</u> Tu = 4.5 ฟุต < 3h = 10.5 ฟุต

∴ เป็นกรณีที่ 2

$$K = \frac{720 Q [3 \ln(\frac{h}{r})]}{\pi h(h + 2 T_u)}$$

$$= \frac{720(0.019)[3 \ln (\frac{3.5}{0.167})]}{\pi (3.5) (3.5 + 2 \times 4.5)}$$

= 0.91 นิ้ว/ชม.

บทที่ 5
น้ำฝนและน้ำท่า

ในเขตภูมิอากาศชุ่มชื้น น้ำเกินความต้องการซึ่งต้องระบายออกจากพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่จะเกิดมาจากน้ำฝน ปริมาณและอัตราของฝนที่ตกลงมาจะมีบทบาทสำคัญในการกำหนดความต้องการระบายน้ำ ขนาดของทางระบายน้ำจะสัมพันธ์โดยตรงกับฝนและความสามารถของดินที่จะดูดเก็บน้ำเอาไว้ได้ ปริมาณฝนที่ตกลงมาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับฤดู ระยะเวลาฝนตกที่เลือกและเขตภูมิอากาศ ระบบระบายน้ำจะออกแบบตามอัตราของฝนที่เลือกขึ้นมาจากอัตราของฝนที่ตกลงมาในอัตราหนึ่งหรือตามอัตราของฝนที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่าฝนออกแบบ (Design rainfall) ฝนออกแบบนี้จะต้องระบายออกไปจากพื้นที่ให้ทันเวลาโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่พืชในการออกแบบระบบระบายน้ำจำเป็นต้องรู้อัตราระบายน้ำออกแบบ (Design discharge) ซึ่งจะประเมินอัตราได้จากการวัดโดยตรงหรือโดยทางอ้อมจากการวิเคราะห์ความถี่และการทำนายการเกิดของฝนจากสถิติน้ำฝน

5.1 การเลือกความถี่สำหรับการออกแบบ

โดยทั่วไปแล้วฝนยิ่งตกหนักมากขึ้นเท่าใดฝนก็จะยิ่งตกลงมาน้อยครั้งเท่านั้น ดังนั้นฝนสำหรับการออกแบบที่มีอัตรายิ่งสูงเท่าใด อัตราการเสี่ยงต่ออันตรายที่จะเกิดขึ้นก็จะยิ่งน้อยลงเท่านั้น แต่ราคาของงานก็จะยิ่งแพงมากขึ้น การเลือกอัตราของฝนที่ใช้สำหรับออกแบบจะชั่งน้ำหนักเลือกระหว่างราคาค่าก่อสร้างซึ่งมีความปลอดภัยกับผลประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับ สำหรับโครงการป้องกันอุทกภัยขนาดใหญ่แล้ว ถ้าหากเกิดความเสียหายขึ้นแล้วจะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินมากก็ให้เลือกใช้ความถี่สำหรับการออกแบบสูง เช่น 1,000 ปี หรือ 10,000 ปี, สำหรับทางด้านการเกษตร เช่น การชลประทาน การระบายน้ำ ซึ่งถ้าหากเกิดความเสียหายจะไม่รุนแรงถึงกับต้องเสียชีวิต โดยทั่วไปจะเลือกใช้ความถี่สำหรับออกแบบ 5 ปี, 10 ปี หรือ 20 ปี

5.2 การเลือกช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนัก

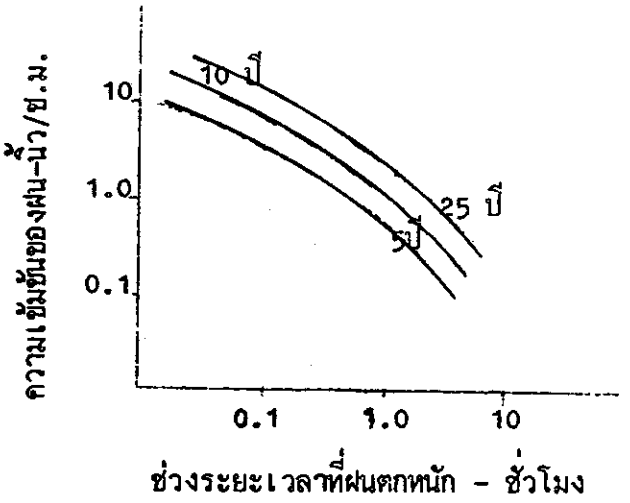
การเลือกช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนักสำหรับการออกแบบการระบายน้ำใต้ผิวดินจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน ความถี่และการตอบสนองของพืชต่อสภาพชื้นแฉะของดิน ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกที่เลือกใช้สำหรับออกแบบอาจจะอยู่ในช่วงเวลาหลาย ๆวัน เช่น 10 วัน

สำหรับระบบระบายน้ำสายหลักการเลือกช่วงระยะเวลาที่ฝนตกจะขึ้นอยู่กับระบบว่าจะเก็บกักน้ำในทางน้ำได้เท่าใด และอัตราความเข้มข้นของอัตราที่ต้องระบายน้ำ (Discharge

intensity) ของพื้นที่รับน้ำนั้น ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนักอาจจะเลือกใช้ในช่วงเวลาหลายวัน เช่น 5 วัน 7 วัน

สำหรับการระบายน้ำในพื้นที่ขนาดเล็กหรือโครงการเล็ก ซึ่งพื้นที่รับน้ำอาจจะขันความสามารถในการเก็บกักน้ำของพื้นที่รับน้อย อาจจะเลือกใช้ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนัก ในช่วงเวลาเป็นชั่วโมง

การวิเคราะห์ฝนกับช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนักจะได้ความสัมพันธ์ว่าถ้าพายุฝนที่มีความถี่เท่ากันแล้ว ความเข้มข้นของฝนจะลดลงเมื่อช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนักเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธุ์ระหว่างความเข้มข้นของฝน ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกและความถี่

5.3 อัตราระบายน้ำออกแบบ

ในการออกแบบระบบระบายน้ำและขนาดของทางระบายน้ำ ต้องออกแบบให้สามารถระบายอัตราระบายน้ำออกแบบออกไปจากพื้นที่ได้ทันเวลาโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่พืช อัตราระบายน้ำออกแบบนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับฝนและความสามารถของดินในการดูดเก็บกักน้ำได้ การคำนวณหาอัตราระบายน้ำออกแบบนั้น จะต้องคำนวณหาน้ำท่าจากฝนออกแบบก่อน ในการคำนวณหาน้ำท่าจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อน้ำท่า เช่น พืชปกคลุมดิน ลักษณะพื้นผิวดิน ลักษณะดิน และความชื้นภายในดิน

ถ้าพื้นที่มีขนาดใหญ่คือพื้นที่มากกว่า 160,000 ไร่ การคำนวณหาน้ำท่าอาจจะใช้วิธี hydrograph หรืออาจจะใช้วิธีวิเคราะห์ความถี่ ถ้าพื้นที่มีขนาดปานกลางคือพื้นที่มีขนาด 8,000-160,000 ไร่ และในพื้นที่ขนาดเล็กคือมีพื้นที่น้อยกว่า 8,000 ไร่ การคำนวณหาน้ำท่าอาจจะใช้วิธี Rational หรือ Cook หรือ Curve Number

5.4 อัตราระบายน้ำออกแบบสำหรับพื้นที่ชัน

วิธีที่จะใช้คำนวณหาอัตราระบายน้ำออกแบบ จะแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิประเทศ ถ้าพื้นที่เป็นที่ราบ อัตราระบายน้ำที่ใช้สำหรับออกแบบจะใช้ปริมาณของน้ำเกินความต้องการที่ต้องระบายออกไปจากพื้นที่ภายในระยะเวลาที่เห็นว่าเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ถ้าพื้นที่เป็นที่ชันปริมาณอัตราระบายน้ำที่ใช้สำหรับออกแบบจะใช้ปริมาณของน้ำสูงสุด

วิธีการคำนวณหาน้ำท่าสูงสุด (peak runoff) ที่เป็นที่นิยมใช้กันคือ Rational method, Cook method, และ Curve Number method ซึ่งวิธีทั้งสามนี้ได้พัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ดังนั้นการนำสูตรเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในท้องที่อื่น ๆ จึงจำเป็นต้องนำเอาสภาพเงื่อนไขต่าง ๆ ของพื้นที่เข้ามาพิจารณาประกอบด้วย

5.4.1 Rational method วิธีนี้จะใช้ได้ดีในพื้นที่ระบายน้ำขนาดเล็ก ๆ ประมาณ 500 ไร่ มีสูตรดังนี้

$$Q = CIA$$

ซึ่ง Q = อัตราน้ำท่าสูงสุด - $ม^3/ชม.$

C = สัมประสิทธิ์ของน้ำท่า

I = อัตราความเข้มขันเฉลี่ยของฝนที่เวลาเท่ากับ time of concentration ม/ชม.

A = พื้นที่รับน้ำ - $ม^2$

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า, C

พื้นที่	ความลาดเท(%)	ดินร่วนปนดินทราย	ดินร่วนปนตะกอนทรายและดินเหนียว	ดินเหนียวแน่น
ป่า	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.35	0.50
	10-30	0.30	0.50	0.60
ทุ่งหญ้า	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.15	0.35	0.55
	10-30	0.20	0.40	0.60

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า, C (ต่อ)

พื้นที่	ความลาดเท(%)	ดินร่วนปนดินทราย	ดินร่วนปนตะกอนทรายและดินเหนียว	ดินเหนียวแน่น
เพาะปลูก	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.60	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80

สัมประสิทธิ์ของน้ำท่าเฉลี่ย $C_{ave} = \frac{\Sigma C_i A_i}{\Sigma A_i}$

ตัวอย่าง จงคำนวณหาน้ำท่าสูงสุดที่เกิดจากฝนความถี่ 10 ปี ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนัก 16 นาที ซึ่งมีอัตราความเข้มข้นของฝน 0.052 ม/ชม. ที่เวลาเท่ากับ time of concentration รายละเอียดของพื้นที่ประกอบด้วย

1. พื้นที่เพาะปลูก 130 ไร่ เป็นที่ราบมีความลาดเท 0-5% ดินเป็นดินร่วนปนดินทราย
2. พื้นที่ทุ่งหญ้า 190 ไร่ เป็นคลื่นมีความลาดเท 5-10% ดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว

วิธีทำ

คำนวณหาค่าเฉลี่ยของ C_{ave}

$$C_{ave} = \frac{A_1C_1+A_2C_2}{A_1 + A_2}$$

$$= \frac{(130\times1,600)0.30+(190\times1,600)0.35}{(130\times1,600)+(190\times1,600)}$$

$$= 0.33$$

คำนวณหาน้ำท่าสูงสุด Q

$$Q = CIA$$

$$= (0.33)\ (0.052)\ (320\times1,600)$$

$$= 8,786 \quad ม^3/ชม.$$

$$= 2.44 \quad ม^3/วินาที$$

5.4.2 Cook method วิธีนี้เป็นการประเมินหาอัตราน้ำท่าสูงสุดที่เกิดจากฝนซึ่งเกิดขึ้นจากโอกาสของการเกิดฝนอันหนึ่ง สามารถใช้กับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก ๆ พื้นที่ไม่เกิน 1,500 ไร่ วิธีนี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดยหน่วยอนุรักษ์ดิน (Soil Conservation Service) สำหรับใช้งานในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นแบบ Empirical Formula ดังนี้

$$Q = PRF$$

ซึ่ง Q = อัตราน้ำท่าสูงสุด

P = อัตราน้ำท่าสูงสุดที่ยังไม่ได้ปรับค่า

R = องค์ประกอบของฝน

F = องค์ประกอบความถี่ของฝน

1. การคำนวณหาอัตราน้ำท่าสูงสุดที่ยังไม่ได้ปรับค่า P

ลักษณะของพื้นที่รับน้ำที่ทำให้เกิดน้ำท่าจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ตัว รวมกันคือ ลักษณะพื้นผิวดิน (relief) การซึมน้ำของดิน (soil infiltration), พืชปกคลุมดิน (vegetal cover), และการกักขังของน้ำตามผิวดิน (surface storage) ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบทั้ง 4 ตัวนี้ หาได้จากตารางที่ 5.2 ผลรวมของน้ำหนักขององค์ประกอบทั้ง 4 ตัวนี้เท่ากับ Ew และเมื่อทราบค่าพื้นที่รับน้ำทั้งหมด ก็จะสามารถหาค่าอัตราน้ำท่าสูงสุดที่ยังไม่ได้ปรับค่า P ได้ ซึ่งมีความถี่ 50 ปี ได้จากกราฟรูปที่ 5.2

2. การคำนวณหาค่าองค์ประกอบของฝน R

ค่าองค์ประกอบของฝนสามารถจะหาได้จากแผนที่องค์ประกอบของฝน แต่ถ้าไม่ได้มีการจัดทำแผนที่องค์ประกอบของฝนก็อาจจะประเมินหาค่าองค์ประกอบของฝนได้โดยใช้ค่าครึ่งหนึ่งของฝนที่ตกหนักในช่วงระยะเวลา 30 นาที ความถี่ของการเกิดฝน 10 ปี มีหน่วยเป็นนิ้ว

3. การคำนวณหาค่าองค์ประกอบความถี่ของฝน F

ค่าอัตราน้ำท่าสูงสุดที่ยังไม่ได้ปรับค่า P ที่หามาจากกราฟรูปที่ 5.2 นั้นมีความถี่ของฝน 50 ปี ดังนั้น ถ้าต้องการหา P ที่ความถี่ไม่ใช่ 50 ปี จะต้องคูณด้วยค่า F ค่าของ F สามารถหาได้จากตารางที่ 5.3 ซึ่งค่าของ F จะเป็น function ของค่าเฉลี่ยของ I+VC และค่าของฝนเฉลี่ยทั้งปีซึ่งมีหน่วยเป็นนิ้ว

ตัวอย่าง

พื้นที่รับน้ำจำนวน 50 เฮกแตร์มีรายละเอียดดังนี้ เป็นพื้นที่ราบสำหรับเพาะปลูกจำนวน 20 เฮกแตร์ ดินเป็นดินร่วนปนดินทรายมีความลาดเทน้อยกว่า 5% พื้นที่อีก 30 เฮกแตร์ เป็นทุ่งหญ้า เป็นคลื่นมีความลาดเท 5-10% ดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว จงคำนวณหาน้ำท่าสูงสุดที่เกิดจากฝน ซึ่งมีความถี่ 10 ปี ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกหนัก 30 นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.32 นิ้ว ฝนเฉลี่ยทั้งปี 30 นิ้ว

วิธีทำ

หาค่า W ได้จากตารางที่ 5.2 ดังนี้

ลักษณะพื้นผิวดิน $R = \frac{\varepsilon A_i W_i}{\varepsilon A_i} = \frac{(20\times10+30\times20)}{20+30} = 16$

การซึมน้ำของดิน $I = \frac{(20\times10+30\times10)}{20+30} = 10$

พืชปกคลุมดิน $VC = \frac{(20\times15+30\times15)}{20+30} = 15$

การกักขังของน้ำตามผิวดิน $S = \frac{(20\times15+30\times5)}{20+30} = 15$

$\varepsilon W = 56$

พื้นที่ 50 เฮกแตร์ = 125 เอเคอร์

จากกราฟรูปที่ 5.2 ได้ค่า

P = 300 cfs.

หาค่า $R = \frac{1.32}{2} = 0.66$ นิ้ว

หาค่า F จากตารางที่ 5.3 ได้ค่า

I+VC = 10+15 = 25

$\therefore F = 0.52$

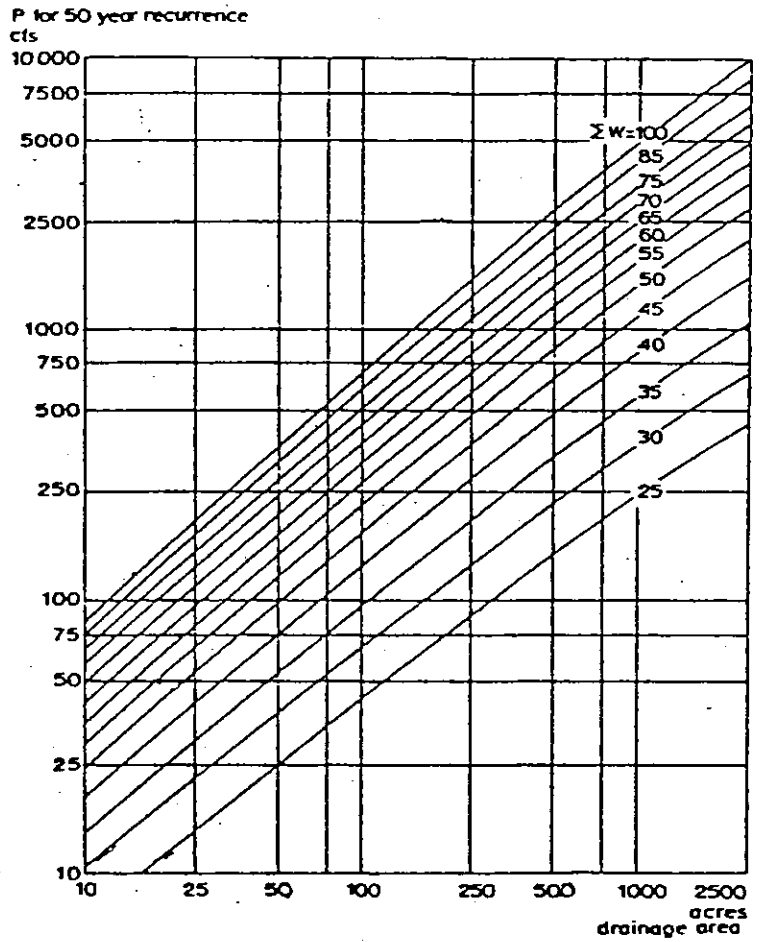
Q = PRF

= (300)(0.66)(0.52)

= 103 cfs. หรือ 2.92 cms

ตารางที่ 5.2 Runoff-producing characteristics of drainage basins with corresponding weights W (the weights are shown in brackets). (After SCHWAB et al., 1971)

Designation of basin characteristics	RUNOFF-PRODUCING CHARACTERISTICS			
	(100) *Extreme*	*(75)* *High*	*(50)* *Normal*	*(25)* *Low*
	(40)	*(30)*	*(20)*	*(10)*
Relief	Steep, rugged, terrain with average slopes generally above 30%	Hilly, with average slopes of 10 to 30%	Rolling, with average slopes of 5 to 10%	Relatively flat land, with average slopes of 0 to 5%
	(20)	*(15)*	*(10)*	*(5)*
Soil Infiltration (I)	No effective soil cover; either rock or thin soil mantle of negligible infiltration capacity	Slow to take up water; clay or other soil of low infiltration capacity, such as heavy gumbo	Normal; deep loam with infiltration about equal to that of typical prairie soil	High; deep sand or other soil that takes up water readily and rapidly
	(20)	*(15)*	*(10)*	*(5)*
Vegetal cover (VC)	No effective plant cover; bare except for very sparse cover	Poor to fair; clean-cultivated crops or poor natural cover; less than 10 per cent of drainage area under good cover	Fair to good; about 50 per cent of drainage area in good grassland; woodland, or equivalent cover; not more than 50 per cent of area in clean-cultivated crops	Good to excellent; about 90 per cent of drainage area in good grassland, woodland, or equivalent cover
	(20)	*(15)*	*(10)*	*(5)*
Surface storage	Negligible; surface depressions are few and shallow; drainage-ways steep and small; no ponds or marshes	Low; well-defined system of small drainage-ways; no ponds or marshes	Normal; considerable surface-depression storage; drainage system similar to that of typical prairie lands; lakes, ponds, and marshes less than 2 per cent of drainage area	High; surface-depression storage high; drainage system not sharply defined; large flood-plain storage or a large number of lakes, ponds or marshes



รูปที่ 5.2 กราฟสำหรับหาค่าอัตราน้ำท่าสูงสุดที่ยังไม่ได้ปรับค่า
สำหรับความถี่ 50 ปี

5.4.3 Curve Number method วิธีนี้พัฒนาขึ้นมาโดย Soil Conservation Service ประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่าแบบ Rational และ Cook หลักการมีดังนี้

1. ประเมินหาค่าปริมาตรของน้ำท่าที่เกิดจากฝน มีหลักการดังนี้

เมื่อ plot ค่าของฝน P กับน้ำท่า Q จะได้กราฟเส้นโค้งดังรูปที่ 5.3 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.3 เมื่อฝน P มีค่าน้อยกว่า Ia (initial abstraction) น้ำท่าจะไม่เกิดขึ้น (ค่าของ Ia จะประกอบด้วยผลรวมของ interception loss, depression storage, และ infiltration ก่อนเกิดน้ำท่า) แต่ถ้าฝน P ตกเพิ่มมากขึ้น ๆ จนถึงค่าหนึ่งแล้ว กราฟเส้นโค้งของ P และ Q จะขนานกับเส้น P=Q ระยะระหว่างเส้น

ตารางที่ 5.3 Frequency factors for use with Cook's method (after CHOW, 1964)

(I+VC)	Average annual rainfall (inches)					
	10	20	30	40	60	80
	Ratio: 25-year / 50-year					
5	0.31	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51
10	0.41	0.50	0.55	0.58	0.63	0.66
15	0.50	0.59	0.64	0.68	0.73	0.77
20	0.55	0.65	0.71	0.76	0.82	0.87
25	0.60	0.71	0.78	0.83	0.90	0.92
30	0.64	0.76	0.83	0.89	0.92	0.92
35	0.67	0.81	0.89	0.92	0.92	0.92
40	0.71	0.85	0.92	0.92	0.92	0.92
	Ratio: 10-year / 50 year					
5	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15	0.17
10	0.10	0.16	0.21	0.24	0.30	0.34
15	0.16	0.25	0.31	0.37	0.45	0.51
20	0.21	0.33	0.42	0.49	0.60	0.68
25	0.26	0.41	0.52	0.61	0.75	0.80
30	0.31	0.49	0.62	0.74	0.80	0.80
35	0.36	0.58	0.73	0.80	0.80	0.80
40	0.42	0.68	0.80	0.80	0.80	0.80

ทั้งสองมีค่าเท่ากับ S ซึ่งเรียกว่า potential maximum retention ค่า S หมายถึงปริมาตรของฝนมากที่สุดซึ่งดินสามารถดูดกักเก็บเอาไว้ได้ จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าถ้า Ia มีค่าต่าง ๆ กันจะเกิดกราฟเส้นโค้งได้หลาย ๆ เส้น

กราฟเส้นโค้งต่าง ๆ จะสามารถเขียนเป็นสมการได้โดยอาศัยหลักการคือ

$$\frac{\text{actual retention}}{\text{potential max.retention}} = \frac{\text{actual runoff}}{\text{potential max.runoff}}$$

หรือ $$\frac{(P-Ia)-Q}{S} = \frac{Q}{(P-Ia)}$$

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{S+(P-Ia)}$$

ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำมีขนาดเล็กค่า Ia จะมีค่าประมาณ 0.2 S

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \text{-------(1)}$$

ถ้าค่า S มีหน่วยเป็นนิ้วจะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำท่า Q กับ CN (Curve Number) ได้โดยสมการ

$$CN = \frac{1,000}{10+S} \quad \text{-------(2)}$$

ถ้าพื้นดินทึบค่า S เท่ากับ 0 จะได้ค่า CN = 100 และถ้าไม่เกิดน้ำท่าค่า S จะเท่ากับ ∞ และ CN = 0

จากสมการ (1) และ (2) สามารถเขียนกราฟเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำท่า Q,ฝน P,และ CN ได้โดยการกำจัดค่า S ออกไปจากสมการดังรูปที่ 5.4

2. การคำนวณหาปริมาณของน้ำท่า

ลำดับแรกต้องประเมินหาค่า CN ก่อน ซึ่งค่า CN จะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่รับน้ำในขณะเกิดฝน เช่น การใช้พื้นที่ สภาพของดิน สภาพของความชื้นของดิน โดยมีหลักการดังนี้

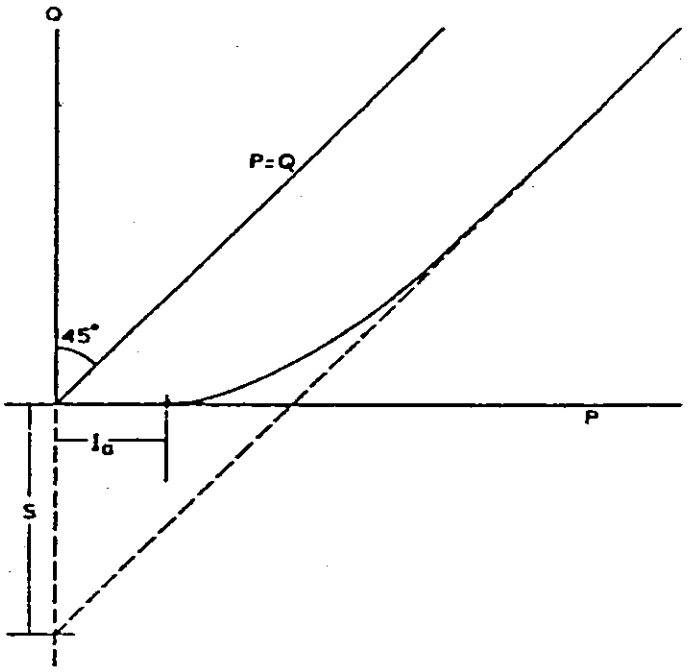
สภาพความชื้นของดินแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ โดยแบ่งออกตามสภาพความชื้นของดินก่อนเกิดฝน (Antecedent Moisture Condition, AMC) ว่าก่อนฝนตก 5 วันนั้นมีฝนตกลงมาเป็นจำนวนเท่าใด ค่าระดับของ AMC สามารถหาได้จากตารางที่ 5.4

องค์ประกอบของการใช้พื้นที่ สภาพดิน สภาพความชื้นของดินในขณะเกิดฝนรวมกันเรียกว่า hydrologic soil-cover complexes ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อ CN หรือการเกิดของน้ำท่า ในตารางที่ 5.5 เป็นค่าของ CN สำหรับพื้นที่รับน้ำซึ่งมี AMC II และ Ia = 0.2S

ตารางที่ 5.5 ใช้สำหรับประเมินหาค่า CN สำหรับแต่ละพื้นที่ย่อยของพื้นที่รับน้ำซึ่งมีสภาพความชื้นของดินเป็น AMC II เมื่อทราบค่า CN แล้ว จะสามารถหาค่าน้ำท่า Q ได้จากรูปที่ 5.4 และเมื่อรวมค่าน้ำท่าของแต่ละพื้นที่ย่อยเข้าด้วยกันก็จะได้ค่าน้ำท่าทั้งหมด Q จากพื้นที่รับน้ำทั้งหมด ถ้าสภาพความชื้นของดินเป็นระดับอื่นที่ไม่ใช่ AMC II ให้แปลงค่าเป็น CN สำหรับสภาพความชื้นของดินที่เป็นจริง (I หรือ II) โดยใช้ค่าในตารางที่ 5.6

<u>ตัวอย่าง</u>

จงประเมินหาค่า direct runoff ของฝนซึ่งตกลงมาจำนวน 4.3 นิ้ว ในวันที่ 6 ตุลาคม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 Curve number method.
Relationship between rainfall (P)
and direct runoff (Q).

- ตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 5 ตุลาคม มีฝนตกลงมาตามลำดับดังนี้ 0.07, 0.24, 0,0 และ 0.28 นิ้ว
- พื้นที่รับน้ำทั้งหมด 2,335 เอเคอร์ มีดินชนิดลักษณะของดินยอมให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านได้ช้า
- การใช้พื้นที่และวิธีการเพาะปลูกมีรายละเอียดดังนี้

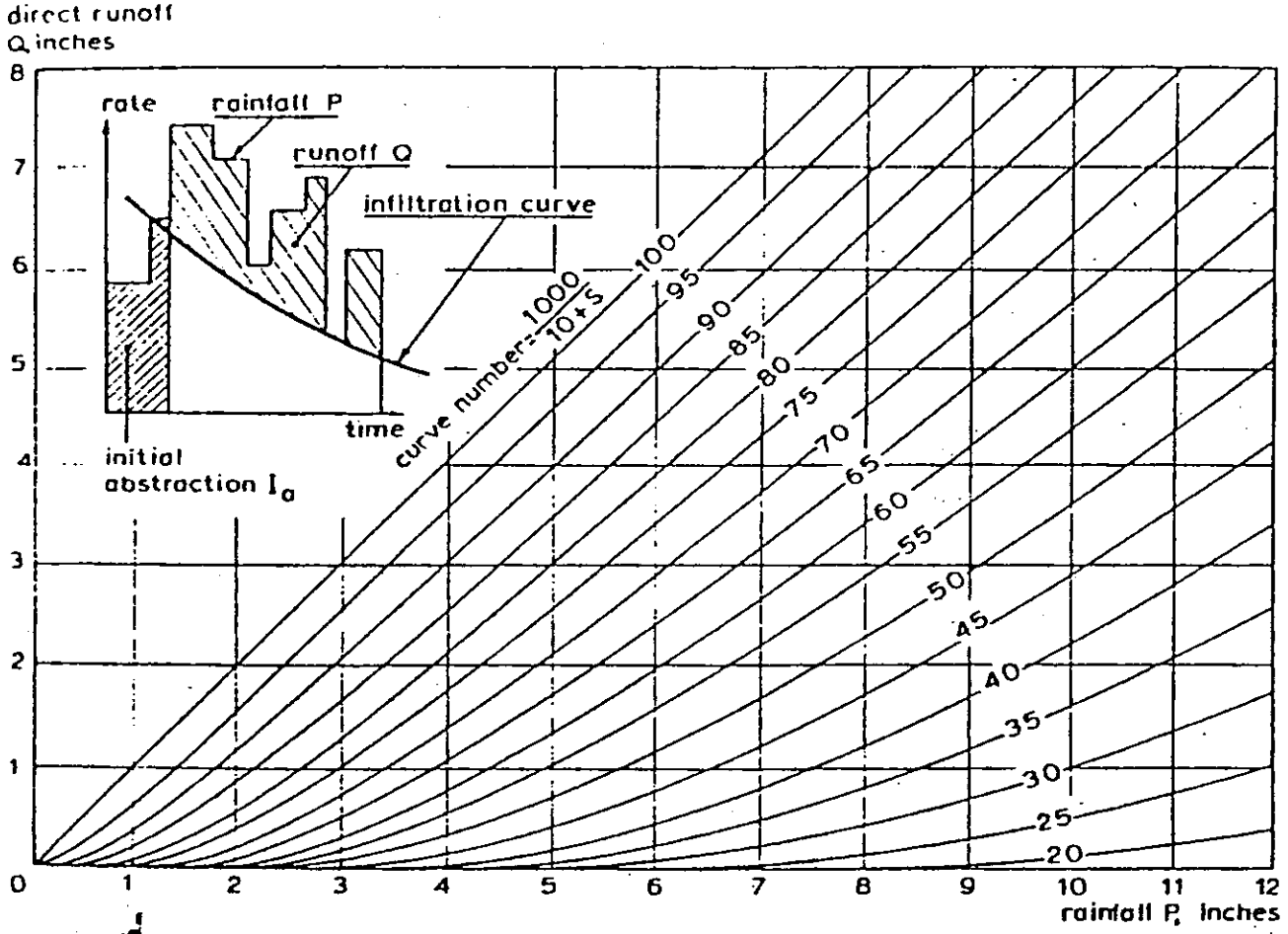
พื้นที่จำนวน 1,160 เอเคอร์ ปลูกข้าวโพดเป็นแนวตรงมีสภาพทางอุทกวิทยาดี

พื้นที่จำนวน 540 เอเคอร์ ปลูกถั่วเป็นแนวตรงมีสภาพทางอุทกวิทยาดี

พื้นที่จำนวน 210 เอเคอร์ เป็นทุ่งหญ้ามีสภาพทางอุทกวิทยาพอใช้

พื้นที่จำนวน 343 เอเคอร์ เป็นป่ามีสภาพของอุทกวิทยาดี

พื้นที่จำนวน 82 เอเคอร์ เป็นถนนและพื้นที่พื้นแข็ง



รูปที่ 5.4 Estimating direct runoff amounts from storm rainfall (after Mockus, 1955).

วิธีทำ

- ฝนก่อนเกิดพายุฝน 5 วัน คือฝนที่ตกลงมาตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 5 ตุลาคม รวม = 0.07 + 0.24+0+0+0.28 = 0.59 นิ้ว จากตารางที่ 5.4แสดงว่าสภาพความชื้นของดินเป็น AMCI
- คำนวณหาน้ำท่าได้ดังนี้

Land use and treatment (1)	Hydrologic Conditions (2)	Hydrologic Soil group (3)	CN AMC II (4)	CN AMC I (5)	Q inches (6)	A acres (7)	Q x A (8)
Corn,straight row	good	C	85	70	1.53	1,160	1,779
Clover, straight row	good	C	81	64.5	1.18	540	635
Pasture	fair	C	79	61.5	1.00	210	210
Woodlands	good	C	70	51	0.47	343	162
Rood, hard surface		C	90	78	2.13	82	175
						2,335	2,961

$$\text{direct runoff} = \frac{2,961}{2,335} = 1.27 \text{ นิ้ว}$$

หรืออาจจะใช้วิธีหาค่า CN เฉลี่ยก็ได้ ดังนี้

$$\text{CN เฉลี่ย} = \frac{CN_1 \times A_1 + CN_2 \times A_2 + \ldots + CN_5 \times A_5}{A_1 + A_2 + \ldots + A_5}$$

$$= \frac{70 \times 1,160 + 64.5 \times 540 + 61.5 \times 210 + 51 \times 343 + 78 \times 82}{1,160 + 540 + 210 + 343 + 82}$$

$$= \frac{152,834}{2,335}$$

$$= 65.5$$

จากกราฟรูปที่ 5.4 ได้ค่า

$$\text{direct runoff} = 1.24 \text{ นิ้ว}$$

ตารางที่ 5.4 Rainfall Limits for Estimating Antecedent Moisture Conditions*

Antecedent moisture condition class	5-day total antecedent rainfall, in.	
	Dormant season	Growing season
I	Less than 0.5	Less than 1.4
II	0.5 to 1.1	1.4 to 2.1
III	Over 1.1	Over 2.1

* From U.S. Soil Conservation Service [19].

ตารางที่ 5.5 Runoff curve numbers for hydrologic soil-cover complexes (for watershed condition II and I_a = 0.2 S). After U.S.Soil Conservation Service, 1964.

Land use or cover	Treatment or practice	Hydrologic conditions	Hydrologic soil group			
			A	B	C	D
Fallow	straight row	poor	77	86	91	94
Row crops	straight row	poor	72	81	88	91
	straight row	good	67	78	85	89
	contoured	poor	70	79	81	88
	contoured	good	65	75	82	86
	contoured & terraced	poor	66	74	80	82
	contoured & terraced	good	62	71	78	81
Small grain	straight row	poor	65	76	84	88
	straight row	good	63	75	83	87
	contoured	poor	63	74	82	85
	contoured	good	61	73	81	84
	contoured & terraced	poor	61	72	79	82
	contoured & terraced	good	59	70	78	81
Close-seeded legumes or rotational meadow	straight row	poor	66	77	85	89
	straight row	good	58	72	81	85
	contoured	poor	64	75	83	85
	contoured	good	55	69	78	83
	contoured & terraced	poor	63	73	80	83
	contoured & terraced	good	51	67	76	80
Pasture range		poor	68	79	86	89
		fair	49	69	79	84
		good	39	61	74	80
	contoured	poor	47	67	81	88
	contoured	fair	25	59	75	83
	contoured	good	6	35	70	79
Meadow (permanent)		good	30	58	71	78
Woodlands (farm woodlots)		poor	45	66	77	83
		fair	36	60	73	79
"		good	25	55	70	77
Farmsteads			59	74	82	86
Roads, dirt			72	82	87	89
Roads, hard-surface			74	84	90	92

ตารางที่ 5.6 Runoff Curve Number (CN), Conversions and Constants (after U.S.Soil Conservation Service, 1964)

CN for condition	CN for AMC		S values	Curve starts where P=
II	*I*	*III*	*(in.)*	*(in.)*
100	100	100	0.000	0.00
98	94	99	0.204	0.04
96	89	99	0.417	0.08
94	85	98	0.638	0.13
92	81	97	0.870	0.17
90	78	96	1.11	0.22
88	75	95	1.36	0.27
86	72	94	1.63	0.33
84	68	93	1.90	0.38
82	66	92	2.20	0.44
80	63	91	2.50	0.50
78	60	90	2.82	0.56
76	58	89	3.16	0.63
74	55	88	3.51	0.70
72	53	86	3.89	0.78
70	51	85	4.28	0.86
68	48	84	4.70	0.94
66	46	82	5.15	1.03
64	44	81	5.62	1.12
62	42	79	6.16	1.23
60	40	78	6.67	1.33
58	38	76	7.21	1.45
56	36	75	7.86	1.57
54	34	73	8.52	1.70
52	32	71	9.23	1.85
50	31	70	10.0	2.00
48	29	68	10.8	2.16
46	27	66	11.7	2.34
44	25	64	12.7	2.54
42	24	62	13.8	2.76
40	22	60	15.0	3.00
38	21	58	16.3	3.26
36	19	56	17.8	3.56
34	18	54	19.4	3.88
32	16	52	21.2	4.24
30	15	50	23.3	4.66
25	12	43	30.0	6.00
20	9	37	40.0	8.00
15	6	30	56.7	11.34
10	4	22	90.0	18.00
5	2	13	190.0	38.00
0	0	0	Infinity	Infinity

5.5 อัตราที่ต้องระบายน้ำสำหรับออกแบบในพื้นที่ราบ

อัตราที่ต้องระบายน้ำสำหรับออกแบบในพื้นที่ราบ จะไม่ใช้ค่าสูงสุดสำหรับออกแบบ แต่จะใช้อัตราซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดซึ่งอาจจะใช้วิธีของ Cypress Creek Formula ดังนี้

$$Q = CA^{5/6}$$

ซึ่ง Q = ปริมาณอัตราที่ต้องระบายน้ำสำหรับออกแบบ-ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที

C = เป็นค่าสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่รับน้ำและขนาดของพายุฝน และระดับของการป้องกันมิให้เกิดปัญหาน้ำท่วม

A = พื้นที่รับน้ำ-ตารางไมล์

$C = 16.39+14.75\ Re$

ซึ่ง Re = excess rainfall - นิ้ว

ตัวอย่าง

จงคำนวณหาปริมาณอัตราที่ต้องระบายน้ำสำหรับออกแบบ ซึ่งเกิดจากฝนจำนวน 5.8 นิ้ว ความถี่ของฝน 5 ปี ช่วงระยะเวลาที่ฝนตก 24 ชั่วโมง พื้นที่รับน้ำทั้งหมดจำนวน 5 ตารางไมล์ เป็นพื้นที่ราบมีรายละเอียดดังนี้

land use	area-mi^2	treatment	Hydro. Cond^n	Hydro. soil group
Row crops	2	contour	good	B
Row crops	1	contour	good	C
Pasture	1		fair	C
Woods	1		poor	B

วิธีทำ

land use	treatment	Hydro.Cond^n	Soil group	A-mi^2	CN	Q-in	QxA
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Row crops	contour	good	B	2	75	3.11	6.22
Row crops	contour	good	C	1	82	3.30	3.80
Pasture		fair	C	1	79	3.50	3.50
Woods		poor	B	1	66	2.25	2.29
			รวม	5			15.81

direct runoff $= \frac{15.81}{5} = 3.16$ นิ้ว

$C = 16.39+14.75\ Re = 16.39+14.75(3.16) = 63$

$Q = CA^{5/6}$

$= 63(5)^{5/6}$

$= 240.9$ cfs. หรือ 6.82 cms.

บทที่ 6

ระบบระบายน้ำสายหลัก

วัตถุประสงค์ของระบบระบายน้ำสายหลัก โดยระบบของคลองระบายเพื่อทำหน้าที่ดังนี้

1. รวบรวมน้ำที่ระบายออกมาจากระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก
2. ลำเลียงน้ำที่ระบายออกจากแปลงเพาะปลูกทั้งหมดสู่จุดที่ทิ้งน้ำ
3. กำจัดน้ำเกินความต้องการทั้งหมดออกไปจากพื้นที่

นอกจากนี้ระบบระบายน้ำสายหลักยังอาจจะมีวัตถุประสงค์เพื่อทำหน้าที่เสริม เช่น รักษาระดับน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับตามที่ต้องการ หรือเป็นแหล่งน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้ในฤดูแล้งได้

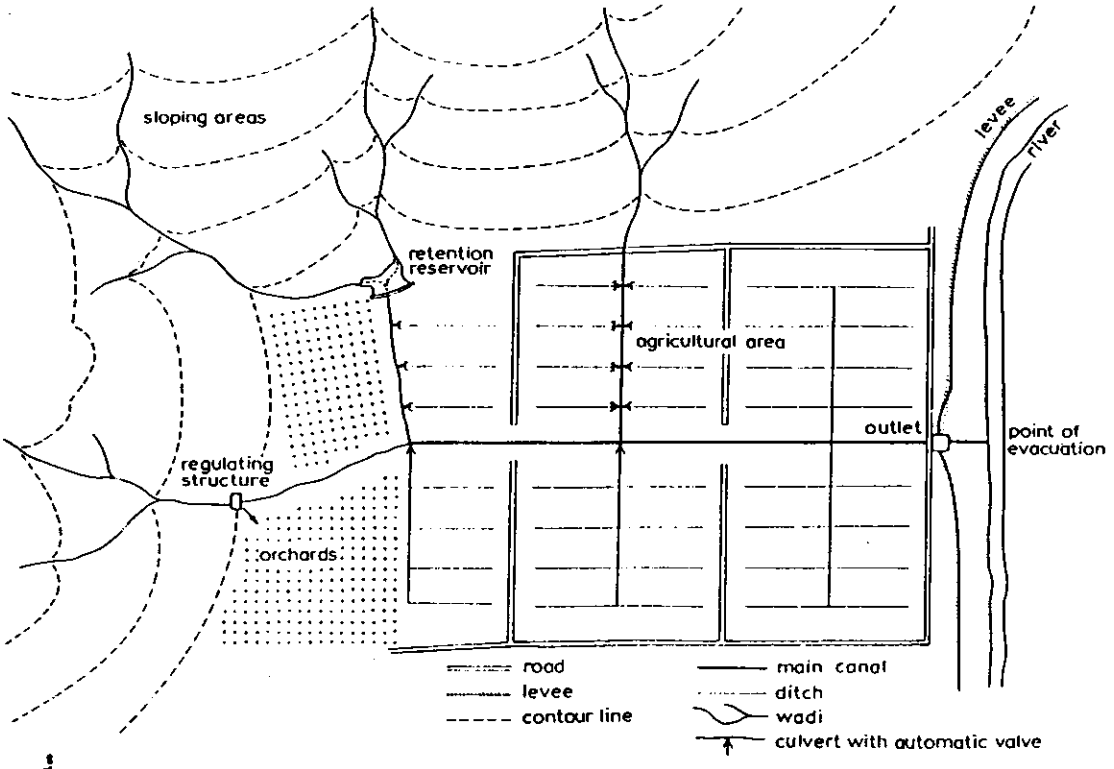
6.1 ชนิดของระบบระบายน้ำสายหลัก

ระบบระบายน้ำสายหลักอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

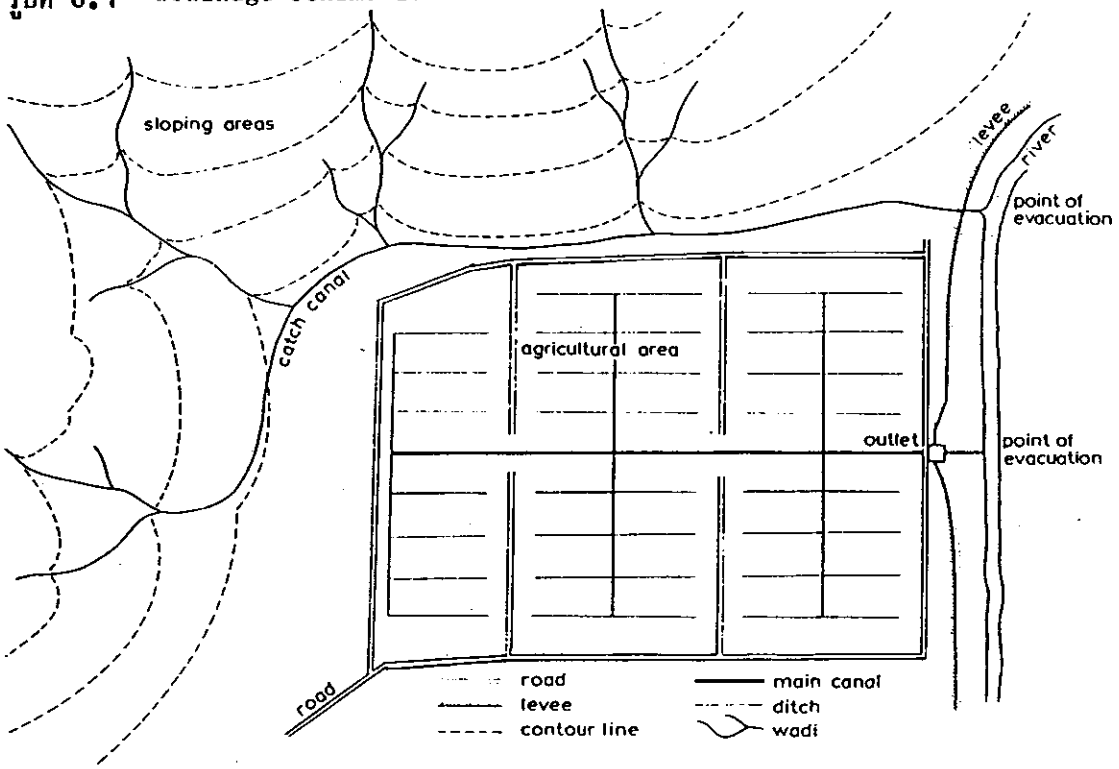
1. ระบบเพื่อรวบรวมและสกัดกั้นน้ำจากพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งมีความลาดเทชันเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำจากพื้นที่ชันที่อยู่ข้างเคียงไหลเข้ามาท่วมในพื้นที่ ระบบระบายน้ำชนิดนี้จะระบายน้ำท่าผิวดิน ซึ่งเกิดจากฝนตกหนักในช่วงเวลาสั้น ๆ คือ มีปริมาณอัตราระบายน้ำสูง

2. ระบบเพื่อรวบรวมและระบายน้ำเกินความต้องการออกจากพื้นที่ ซึ่งเป็นที่ราบ ระบบระบายน้ำชนิดนี้จะระบายน้ำท่าผิวดิน ซึ่งเกิดจากฝนตกหนักในช่วงระยะเวลานานกว่าชนิดแรก

ในกรณีที่พื้นที่ข้างเคียงเป็นพื้นที่ชัน หรืออยู่ติดกับพื้นที่เนินสูง อันดับแรกจะต้องพิจารณาป้องกันน้ำท่าผิวดินจากพื้นที่ชัน โดยสกัดกั้นเอาน้ำนั้นออกไปก่อนไม่ให้เข้ามาในพื้นที่เพาะปลูกที่กำลังพิจารณาอยู่ น้ำท่าที่มาจากพื้นที่ชันจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของ ฝน, ความลาดเทของพื้นที่, ขนาดและรูปร่างของพื้นที่รับน้ำ, รูปแบบของทางน้ำธรรมชาติ, ความสามารถในการซึมน้ำของดิน และพืชปกคลุมดิน องค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องนำมาพิจารณาในการประเมินหาน้ำท่า ปัญหาใหญ่ที่สุดของพื้นที่ชันคือ น้ำท่าจะมีความเร็วสูงและเกิดอัตราระบายน้ำสูงโดยฉับพลัน จึงจำเป็นจะต้องทำทุกอย่างเพื่อให้น้ำท่าที่เกิดขึ้นมีกระแสน้ำช้าลง และให้น้ำซึมลงดินมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ การซึมของน้ำลงดินสามารถ



รูปที่ 6.1 Drainage scheme I.



รูปที่ 6.2 Drainage scheme II.

เร่งได้โดยการเจาะชั้นทึบน้ำในดินชั้นล่าง ปลูกพืชบนพื้นที่ลาดเท การไถพื้นที่ให้ไถไปตามเส้นระดับผิวดิน ในพื้นที่ซึ่งชันมาก ๆ หรือช่วงเปลี่ยนจากชั้นมาก ๆ มาเป็นที่ราบ ในพื้นที่เหล่านี้โดยทั่วไปแล้วจะยังไม่สร้างคลองระบายน้ำ มาตรการที่ใช้อาจจะเป็นการปรับปรุงทางน้ำเดิมและป้องกันไม่ให้ทางน้ำเปลี่ยนทางเดินใหม่ อาจจะสร้าง ฝาย คันดิน ซึ่งจะได้ผลดีกว่าสร้างคลองระบายน้ำ เมื่อน้ำท่าไหลมาถึงตีนลาดของที่เนิน ให้สร้างคลองสกัดกั้นน้ำ เพื่อสกัดกั้นและผันน้ำออกไปจากพื้นที่ การเลือกวางแนวคลองสกัดกั้นน้ำต้องพยายามเลือกแนวให้อยู่ภายนอกพื้นที่ให้มากที่สุด เพื่อลดอันตรายจากการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ในกรณีที่พื้นที่เป็นที่ราบ ระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก (field drainage systems) จะเป็นตัวเร่ง ให้ระบายน้ำออกจากแปลงเพาะปลูก น้ำที่ระบายจากระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก จะถูกรวบรวมและไหลลงสู่คลองระบายแล้วลำเลียงออกไปสู่คลองระบายสายหลัก เพื่อกำจัดน้ำทั้งหมดออกไปจากพื้นที่ที่จุดทิ้งน้ำ โครงข่ายของคลองระบายต่าง ๆ นี้ จะเป็นระบบระบายน้ำสายหลัก

จุดกำจัดน้ำหรือจุดทิ้งน้ำ จะต้องเลือกตำแหน่งอย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าไม่กระทบกระเทือนต่ออัตราที่ต้องระบายน้ำจะต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะทำให้สถานะทางชลศาสตร์เปลี่ยนไปได้ ถ้ามีโอกาสซึ่งฝั่งคลองจะถูกกัดเซาะหรืองอกออกแล้วจุดทิ้งน้ำจะต้องมั่นคง ถ้าระดับน้ำในแม่น้ำหรือด้านท้ายน้ำของที่ทิ้งน้ำไม่เคยถึงระดับในพื้นที่แล้วคลองระบายสายหลักจะทิ้งน้ำ หรือกำจัดน้ำออกไปได้โดยไม่มีความยุ่งยากแต่ระดับถ้นแม่น้ำกับคลองระบายจะไม่เท่ากัน และที่ถ้นของคลองระบายจะเกิดการกัดเซาะจึงต้องมีการป้องกันการกัดเซาะที่ถ้นคลองระบายสายหลัก ถ้าระดับน้ำในแม่น้ำเปลี่ยนแปลงและบางครั้งระดับน้ำในแม่น้ำอาจจะสูงกว่าพื้นที่เป็นระยะเวลานาน จะต้องสร้างคันดินริมฝั่งแม่น้ำที่บริเวณจุดที่ทิ้งน้ำ เพื่อป้องกันน้ำบ่าจากแม่น้ำเข้ามาในพื้นที่เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำสูง คลองระบายจะขุดผ่านคันดินของฝั่ง และให้สร้าง outlet structure ในคลองระบายให้ห่างจากแม่น้ำเข้ามาในคลองระบายระยะหนึ่ง เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายที่อาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแนวทางน้ำใหม่และระยะจาก outlet structure ถึงแม่น้ำจะต้องมีการป้องกันตลอดแนว

6.2 คลองระบายน้ำ

คลองระบายน้ำที่ใช้สำหรับเป็นคลองระบายสายหลักสายรอง จะเป็นคลองดินขุดไปตามแนวซึ่งเป็นที่ต่ำของพื้นที่เพื่อทำหน้าที่ระบายและลำเลียงน้ำได้ดี คลองระบายน้ำมี

ลักษณะที่สำคัญ ๆ คือ

1. ระบายน้ำได้เร็วและเป็นจำนวนมาก
2. ค่าลงทุนครั้งแรกถูกกว่าระบบท่อระบาย
3. เหมาะสำหรับเป็นคลองระบายแบบสกัดกั้น เพื่อสกัดกั้นน้ำท่าจากบริเวณที่ชัน
4. ทำหน้าที่เป็นที่ทิ้งน้ำของระบบท่อระบาย
5. ค่าบำรุงรักษาสูง
6. เสียพื้นที่เพาะปลูกไปส่วนหนึ่ง

ขั้นตอนสำหรับการออกแบบคลองระบายน้ำมีดังนี้

1. ตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลการสำรวจในสนามที่จำเป็น เช่น ระดับของพื้นที่ จุดกำหนดต่าง ๆ (control points) การสำรวจดิน ระดับน้ำในแม่น้ำ เป็นต้น
2. จาก control points ให้กำหนด hydraulic gradeline เพื่อการออกแบบ
3. หาพื้นที่รับน้ำทั้งหมดเหนือจุดทิ้งน้ำ และพื้นที่รับน้ำย่อย
4. คำนวณหาอัตราระบายน้ำออกแบบ
5. เลือกเกณฑ์ที่ใช้สำหรับออกแบบให้เหมาะสม รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์ของความขรุขระ (n) ความลาดเทด้านข้างของคลอง ความกว้างของชานคลอง ความลึกต่ำสุดของคลอง
6. ออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดของคลองระบาย

6.3 การวางแนวคลองระบายน้ำ

การกำหนดแนวคลองระบายจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็อาจจะต้องนำเอาลักษณะดิน เส้นแบ่งกรรมสิทธิ์ที่ดิน มาพิจารณาด้วย หลักการวางแนวคลองโดยทั่วไปเป็นดังนี้

1. วางแนวในตำแหน่งซึ่งให้ผลดีที่สุด ในการระบายน้ำคืออยู่ในแนวที่เป็นที่ต่ำสุดของพื้นที่
2. จุดทิ้งน้ำ มีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแม่น้ำที่จะทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำสูงขึ้น

3. ระยะควรจะให้สั้นที่สุด
4. แนวควรเป็นแนวตรง ถ้าจำเป็นต้องโค้งให้เป็นแนวโค้งเรียบ
5. หลีกเลี่ยงการวางแนวผ่านดินที่ไม่เสถียร
6. แนวคลองไปตามแนวเส้นแบ่งกรรมสิทธิ์ที่ดิน

6.4 การกำหนด hydraulic gradeline (HGL)

หลังจากกำหนดการใช้พื้นที่ ระดับ control points ต่าง ๆ วางแนวคลอง และเขียนรูปตัดตามยาวของแนวคลอง แล้วกำหนด HGL โดยเริ่มจากปลายสุดด้านท้ายน้ำที่จุดทิ้งน้ำ หรือเริ่มจากปลายสุดด้านเหนือน้ำก็ได้ แต่ที่นิยมกันจะเริ่มจากด้านท้ายน้ำ แล้วลากเส้น HGL ให้ขนานกับผิวดินโดยประมาณ ให้ผ่าน control points ที่ต่ำ ๆ ของพื้นที่ การกำหนดเส้น HGL นี้ จะเป็นระดับของผิวน้ำในคลองระบายและโดยทั่วไปในพื้นที่ราบก้นคลองจะขนานกับเส้น HGL

6.5 เกณฑ์ที่ใช้สำหรับออกแบบ

ในการออกแบบคลองระบายน้ำ ขนาดของคลองจะต้องมีสมรรถนะใหญ่พอสำหรับอัตราระบายน้ำออกแบบ ขนาดของคลองจะขึ้นอยู่กับความลาดเทของผิวน้ำ ความลึกของน้ำในคลอง และรูปร่างของพื้นที่หน้าตัดของคลอง รูปร่างของคลองจะกำหนดโดยเนื้อดินและเสถียรภาพของดิน

เนื่องจากปริมาณอัตราระบายน้ำของคลองระบายจะไม่เท่ากันตลอดความยาวของคลอง คือจากปลายด้านเหนือน้ำลงมา ปริมาณอัตราระบายน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการออกแบบจะออกแบบโดยแบ่งคลองระบายออกเป็นช่วง ๆ (section) แต่ละช่วงจะมีอัตราระบายน้ำคงที่

6.6 รูปร่างหน้าตัดของคลองระบายน้ำ

การไหลของน้ำใช้สูตรของ Manning ดังนี้

$$Q = AV = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Q = อัตราระบายน้ำ - $ม^3$/วินาที

V = ความเร็วเฉลี่ย - ม/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดขวาง - $ม^2$

R = hydraulic radius = $\frac{A}{P}$

n = สัมประสิทธิ์ของความขรุขระ

P = เส้นขอบเปียก

S = ความลาดเทของผิวน้ำ

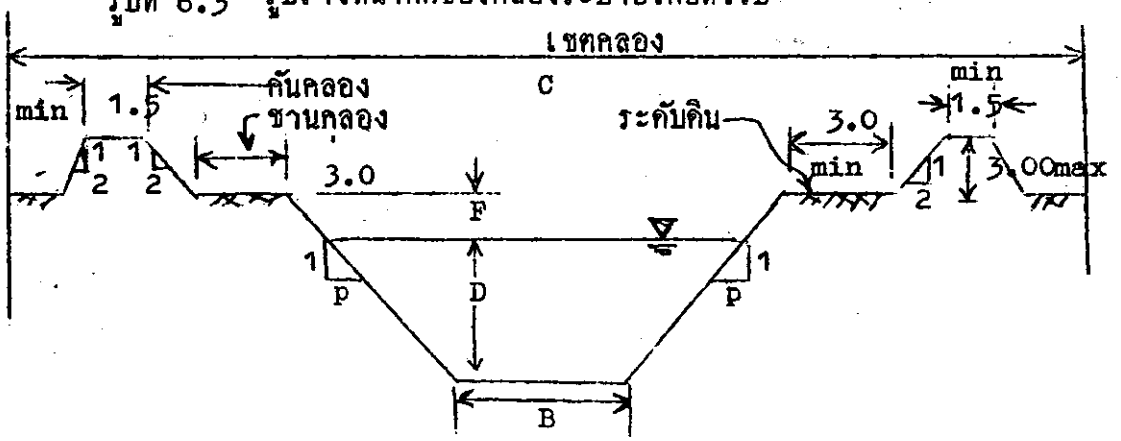
$\therefore \quad \frac{nQ}{\sqrt{S}} = AR^{2/3}$

เมื่อรู้ค่า Q,S และ n สำหรับแต่ละช่วงของคลองแล้ว $\frac{nQ}{\sqrt{S}}$ จะเป็นค่าคงที่ เรียกว่า Section-factor จะเห็นได้ว่าถ้ารูปร่างของพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนไปโดยที่ A มีค่าคงที่แล้ว ค่า R ยิ่งมากยิ่งดีเป็น best sectionหรือให้ P มีค่าน้อยที่สุด รูปร่างที่ดีเป็น best section คือรูปครึ่งวงกลมแต่ในทางปฏิบัติการก่อสร้างและบำรุงรักษาให้สภาพคลองเป็นรูปครึ่งวงกลมทำได้ยาก จึงนิยมใช้รูปสี่เหลี่ยมคางหมูแทน ซึ่งมีรูปร่างใกล้เคียงกับรูปครึ่งวงกลม ในการออกแบบจะต้องให้มีงานดินขุดน้อยที่สุดเพื่อให้ราคาถูก รูปร่างหน้าตัดของคลองควรจะแคบคือ มีลาดเทด้านข้างคลองชันจะเหมาะสมที่สุด แต่ลาดเทด้านข้างคลองจะต้องไม่ชันจนเกินไปเพราะกระทบกระเทือนต่อเสถียรภาพของคลอง

ค่าสัมประสิทธิ์ของความขรุขระ (n) สำหรับคลองดินที่ใช้สำหรับออกแบบจะขึ้นอยู่กับความขรุขระของก้นคลองและลาดเทข้างคลอง วัชพืชในคลอง ความสม่ำเสมอของหน้าตัดคลองและแนวคลอง hydraulic radius และสิ่งกีดขวางในคลอง ค่า n ที่แนะนำต่อไปนี้อาจจะนำมาใช้ในการออกแบบได้

คลองดิน	n
1. หน้าตัดขนาดเล็ก (ความลึกของน้ำน้อยกว่า 0.8 ม.)	
ก. light soil	0.05
ข. heavy soil	0.06
2. หน้าตัดขนาดกลาง (ความลึกของน้ำ 0.7 - 1.7 ม.)	
ก. light soil	0.03
ข. heavy soil	0.05
3. หน้าตัดขนาดใหญ่ (ความลึกของน้ำมากกว่า 1.5 ม.)	0.02 ถึง 0.025

รูปที่ 6.3 รูปร่างหน้าตัดของคลองระบายโดยทั่วไป



6.7 อัตราส่วนของความกว้างก้นคลองต่อความลึกของน้ำ

USBR ได้แนะนำให้ใช้อัตราส่วน B/D สำหรับคลองระบายดังนี้

$$D = \frac{\sqrt{A}}{2}$$

D = ความลึกของน้ำ - ม.

A = พื้นที่หน้าตัดขวาง - $ม^2$.

ถ้ารูปหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูให้ใช้สูตรดังนี้

$$\frac{B}{D} = 4 - p$$

p = อัตราส่วนความลาดเทด้านข้างของคลอง (ระยะในแนวราบต่อระยะในแนวดิ่ง)

Free board (F) ค่า F อาจจะหาได้จากสูตร

$$F = \sqrt{C\,D} \quad - \quad ม.$$

C = ค่าสัมประสิทธิ์ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2.5

ความลาดเทด้านข้างของคลอง (S_s) จะขึ้นอยู่กับดินและความลึกของคลอง ค่าที่แนะนำให้ใช้สำหรับคลองดิน ดังตารางข้างล่าง

วัสดุ	S_s (V : H)
rock	1 : 0.25
stiff peat	1 : 1 ถึง 1 : 2
stiff clay, loam,	1 : 0.75 ถึง 1 : 2
sandy clay and cohesive sandy soil	1 : 1.5 ถึง 1 : 2.5
loose sandy earth	1 : 2 ถึง 1 : 4
sandy loam, porous clay	1 : 2 ถึง 1 : 3
soft peat	1 : 3 ถึง 1 : 4

6.8 Maximum Permissible Velocity

ในการออกแบบความเร็วของกระแสน้ำจะต้องไม่สูงเกินไปจนเกิดการถัดเซาะด้านข้างและก้นคลอง ดังนั้นในการออกแบบจะต้องไม่ให้ความเร็วเกิน max. permissible velocity ซึ่งจะหาได้โดยใช้สูตรของ Kennedy ดังนี้

ในกรณีที่เป็นน้ำใส : $V = 0.552\ C\ D^{0.5}$

ในกรณีซึ่งมีตะกอนปนในน้ำ : $V = 0.625\ C\ D^{0.64}$

V = max. permissible velocity - ม/วินาที

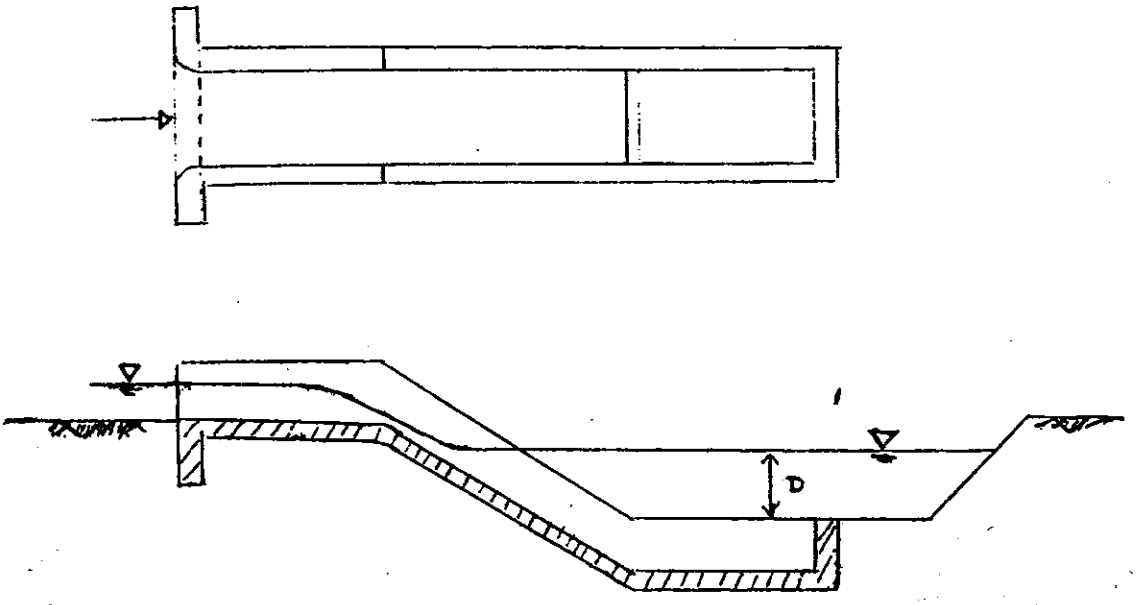
C = สัมประสิทธิ์ ดังตารางต่อไปนี้

ชนิดดิน	C
fine light sandy silt	0.84
coarse or sandy silt	0.92
sandy, loamy silt	1.01
coarse silt	1.09

D = ความลึกของน้ำ-ม.

6.9 อาคารประกอบในคลองระบาย

ภายในคลองอาจจะมีอาคารเพื่อควบคุมน้ำ เช่น Drop, Check, Weir Inlet



รูปที่ 6.4 Drainage Inlet

6.10 การก่อสร้างคลองระบายน้ำ

ก่อนเริ่มงานขุดคลอง ให้สร้างอาคารต่าง ๆ ก่อน เริ่มแรกสร้าง outlet structure หรือประตูระบาย แล้วสร้างอาคารประกอบอื่น ๆ เช่น Drop Check แล้วจึงขุดคลอง โดยเริ่มจากจุดปลายสุดด้านท้ายน้ำขึ้นมา อาคารต่าง ๆ ถ้าหากสร้าง

หลังจากขุดคลองแล้วจะทำให้เกิดการกัดเซาะในที่ซึ่งจะสร้างอาคาร งานดินขุดจะยากง่ายแล้วแต่ชนิดของดินและความชื้นของดิน เช่นดินซึ่งมีทรายปนอยู่และมีความชื้นยากที่จะขุดให้ได้ขนาดรูปร่างที่ถูกต้อง ดินที่ขุดเหลือ (spoil) จะต้องนำไปทิ้งห่างจากคลองพอสมควร เพื่อป้องกันการชะล้างดินนั้นกลับลงมาในคลองใหม่อีก หรืออาจจะนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น เช่น ถมที่ต่ำ หรือทำถนน

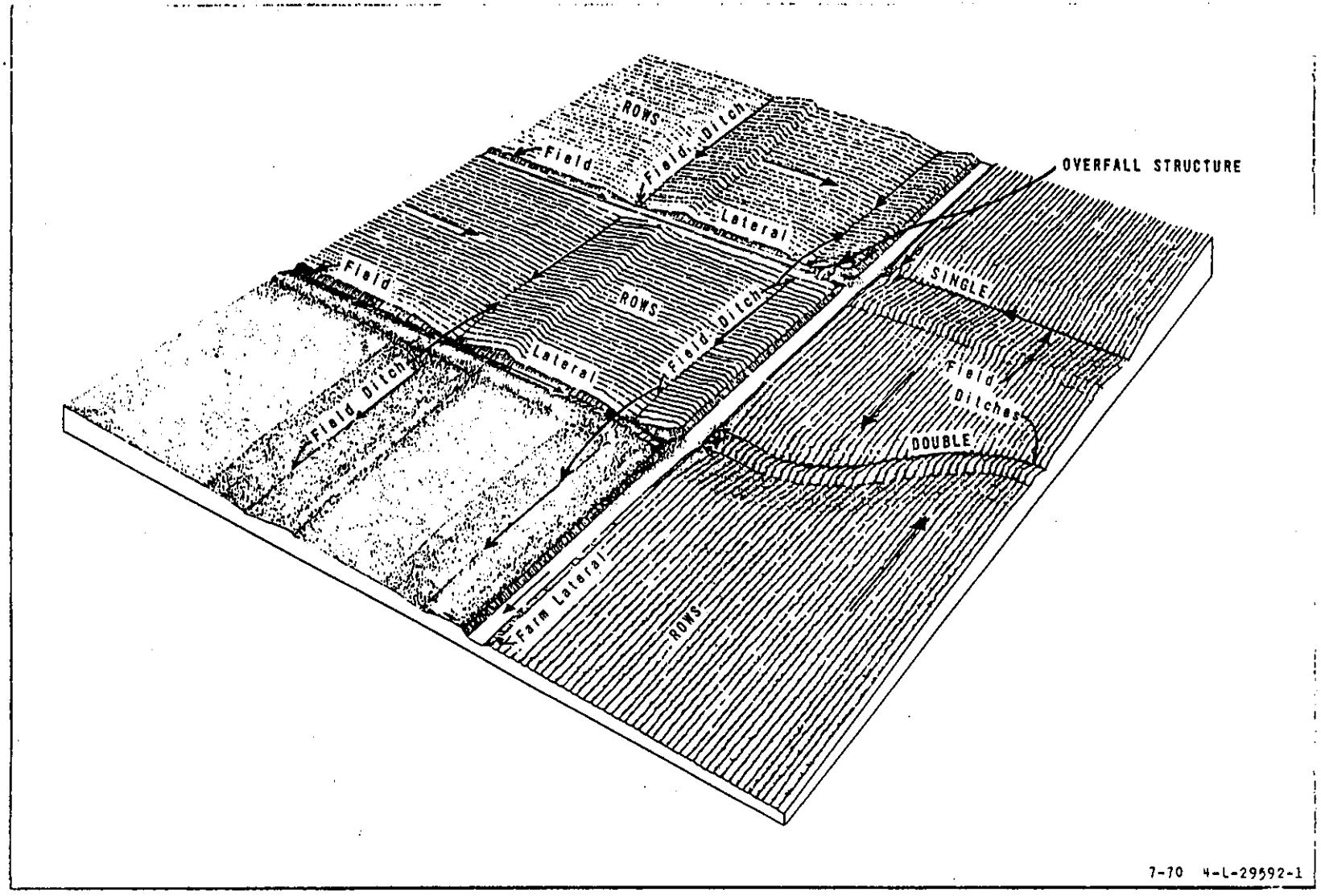
บทที่ 7
การระบายน้ำผิวดินในแปลงเพาะปลูก

การระบายน้ำผิวดินหมายถึงการระบายน้ำเกินความต้องการที่ท่วมขังออกไปจากผิวดิน โดยการปรับปรุงทางน้ำ ขุดสร้างร่องคูระบาย หรือโดยการปรับระดับของผิวดินให้เรียบ ระบบระบายน้ำผิวดินจะประยุกต์ใช้กับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบซึ่งดินมีอัตราการซึมของน้ำต่ำ ความนำน้ำของดินต่ำ ที่ลุ่มเป็นแอ่งและมีชั้นดินดานหรือชั้นหินอยู่ข้างล่าง ทำให้การไหลซึมของน้ำผ่านลงดินได้น้อย มีน้ำท่าหรือน้ำไหลซึมภายในดิน (seepage) ไหลลงมายังพื้นที่จากบริเวณที่อยู่สูงกว่า มีน้ำไหลล้นฝั่งแม่น้ำ ในระบบระบายน้ำผิวดินพื้นที่จะต้องมีความลาดเทที่ต่อเนื่องกัน เพื่อให้น้ำสามารถระบายลงสู่คูระบาย (field ditch) ได้สะดวก คูระบายจะระบายน้ำลงสู่ field lateral และ main ต่อไป ระดับน้ำใน field lateral ที่ออกแบบจะต้องอยู่ต่ำกว่าผิวดินเพียงพอจึงจะสามารถระบายน้ำออกไปจากพื้นที่ได้

ความจำเป็นที่ต้องมีการระบายน้ำทางผิวดิน เนื่องมาจากผลรวมขององค์ประกอบของสภาพภูมิอากาศ สภาพทางอุทกวิทยา ลักษณะของดิน ลักษณะภูมิประเทศ และการใช้พื้นที่เพาะปลูก ทำให้เกิดน้ำขังอยู่บนผิวดินเป็นเวลานาน ปัญหาหลักของการระบายน้ำผิวดิน สำหรับในพื้นที่ราบคือระยะเวลาที่ต้องใช้ในการระบายน้ำที่ขังอยู่บนผิวดินในบริเวณซึ่งเป็นที่ต่ำที่ลุ่มเป็นแอ่ง สำหรับปัญหาในพื้นที่ชัน ต้องระบายน้ำออกไปจากพื้นที่โดยไม่ให้เกิดอันตรายหรือเกิดการกัดเซาะ การออกแบบระบบระบายน้ำผิวดินที่เหมาะสมจะสามารถกำจัดน้ำขังบนผิวดินได้โดยไม่เกิดการตกตะกอนหรือการกัดเซาะในทางระบายน้ำ

7.1 ระบบระบายน้ำผิวดินในแปลงเพาะปลูก

ระบบระบายน้ำผิวดินจะรวมทั้งส่วนที่ทำหน้าที่รวบรวมน้ำ (collection) และส่วนที่ทำหน้าที่กำเลียงน้ำออกไป (disposal) การออกแบบส่วนที่ทำหน้าที่รวบรวมน้ำจะต้องพิจารณาถึงพื้นที่หน้าตัด ความลาดเทของคูระบาย ระยะห่างของคูระบาย ต้องออกแบบให้สามารถระบายน้ำท่าที่เกิดจากฝนให้ระบายออกจากพื้นที่ได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือเสียหายแก่พืชที่ปลูก ต้องคำนวณหา สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ อัตราการระบายน้ำ HGL ความกว้างก้นคู และความลึกของคูระบาย ซึ่งใช้วิธีการคำนวณหาเช่นเดียวกับแบบทางน้ำเปิด ถ้าขนาดของพื้นที่เล็กอัตราการระบายน้ำจะน้อย การคำนวณ



รูปที่ 7.1 ระบบระบายน้ำผิวดินในแปลงเพาะปลูก

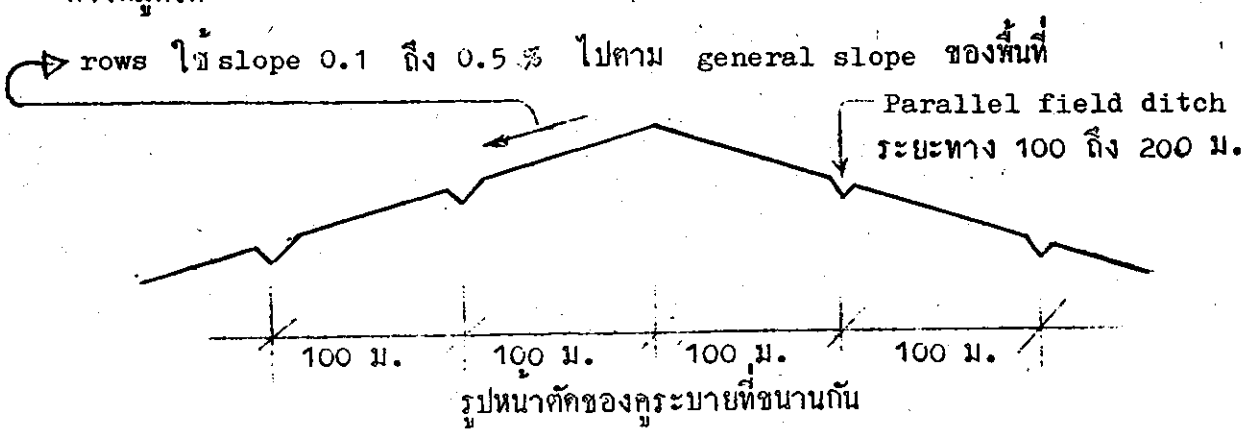
หาพื้นที่หน้าตัดอาจจะต้องใช้ขนาดมาตรฐานต่ำสุดที่ปฏิบัติใช้กันโดยทั่ว ๆ ไป

7.2 ระบบระบายน้ำผิวดินสำหรับพื้นที่ราบ

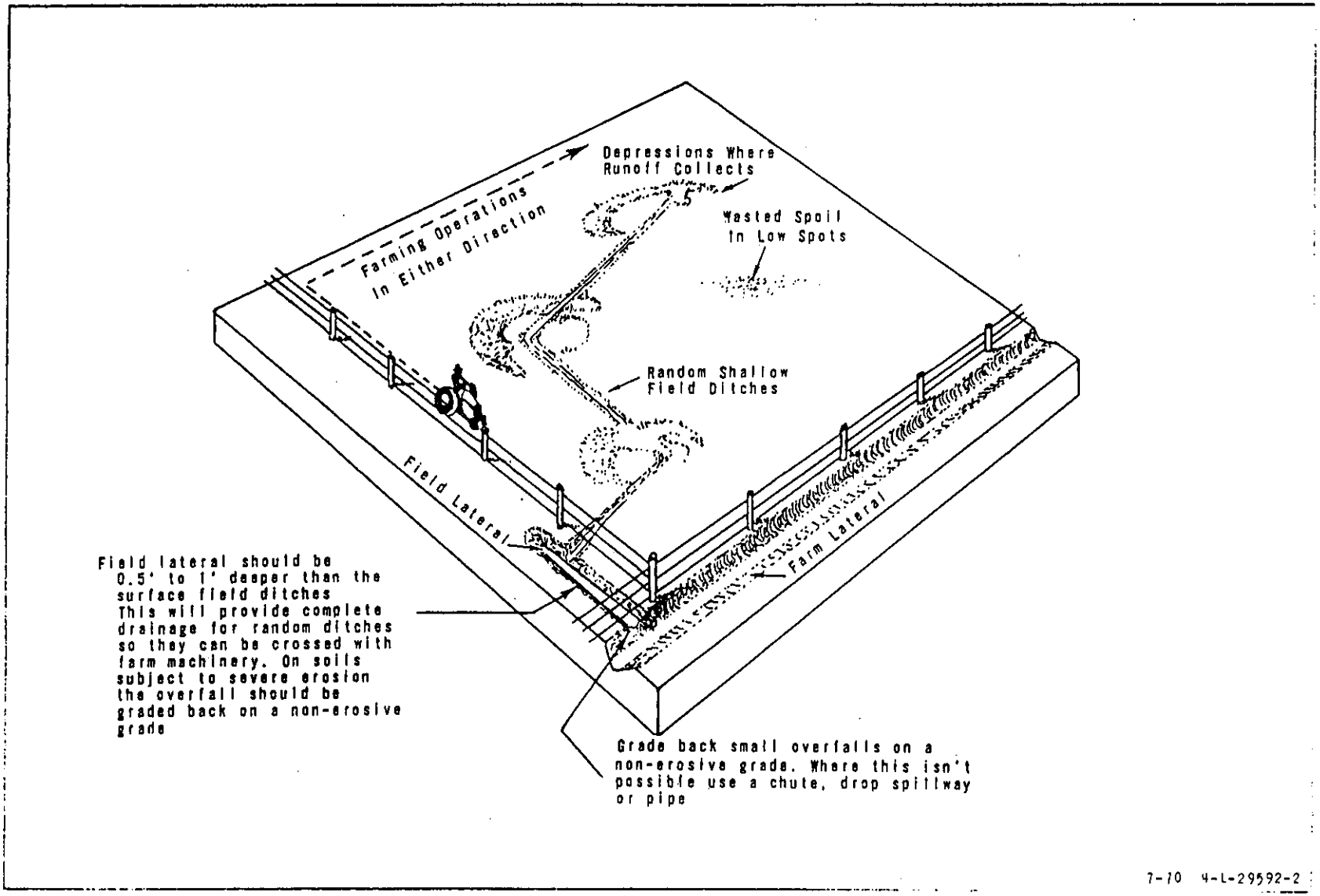
พื้นที่ราบหมายถึงพื้นที่ซึ่งมีความลาดเทไม่เกิน 2% ระบบระบายน้ำผิวดินแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. ระบบไร้รูปแบบ (Random system) เป็นระบบที่นิยมใช้กันมากในพื้นที่ซึ่งมีจุดที่เป็นที่ต่ำเป็นหลุมเป็นบ่อตื้น ๆ ขนาดเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป ที่ต่ำเหล่านี้มีขนาดใหญ่เกินไปที่จะทำการปรับพื้นที่ให้เรียบ (land forming) เพราะว่าจะไม่ประหยัด จึงใช้การขุดคูเชื่อมโยงระหว่างที่เป็นแอ่งและลำเลียงน้ำออกไปสู่ที่ทิ้งน้ำ ความลึกของคูระบายจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศและอัตราการระบายน้ำ ความลึกของคูระบายต้องลึกไม่น้อยกว่า 25 เซนติเมตร ถ้าออกแบบให้เครื่องจักรกลเกษตรสามารถข้ามคูได้ ลาดด้านข้างของคูใช้ 1 ต่อ 8 ถึง 1 ต่อ 10 ถ้าไม่ต้องการให้เครื่องจักรกลเกษตรข้ามผ่านคูได้อาจจะออกแบบให้ลาดด้านข้างของคูชันได้ไม่น้อยกว่า 1 ต่อ 4 ดินขุดทำคูจะนำมาถมในที่ซึ่งเป็นที่ลุ่มหรือแอ่งเตี้ย ๆ วิธี Random นี้จำนวนของแอ่งจะต้องสามารถสร้างคูระบายต่อเชื่อมโยงถึงกันทั่วทั้งพื้นที่ ดังรูปที่ 7.2

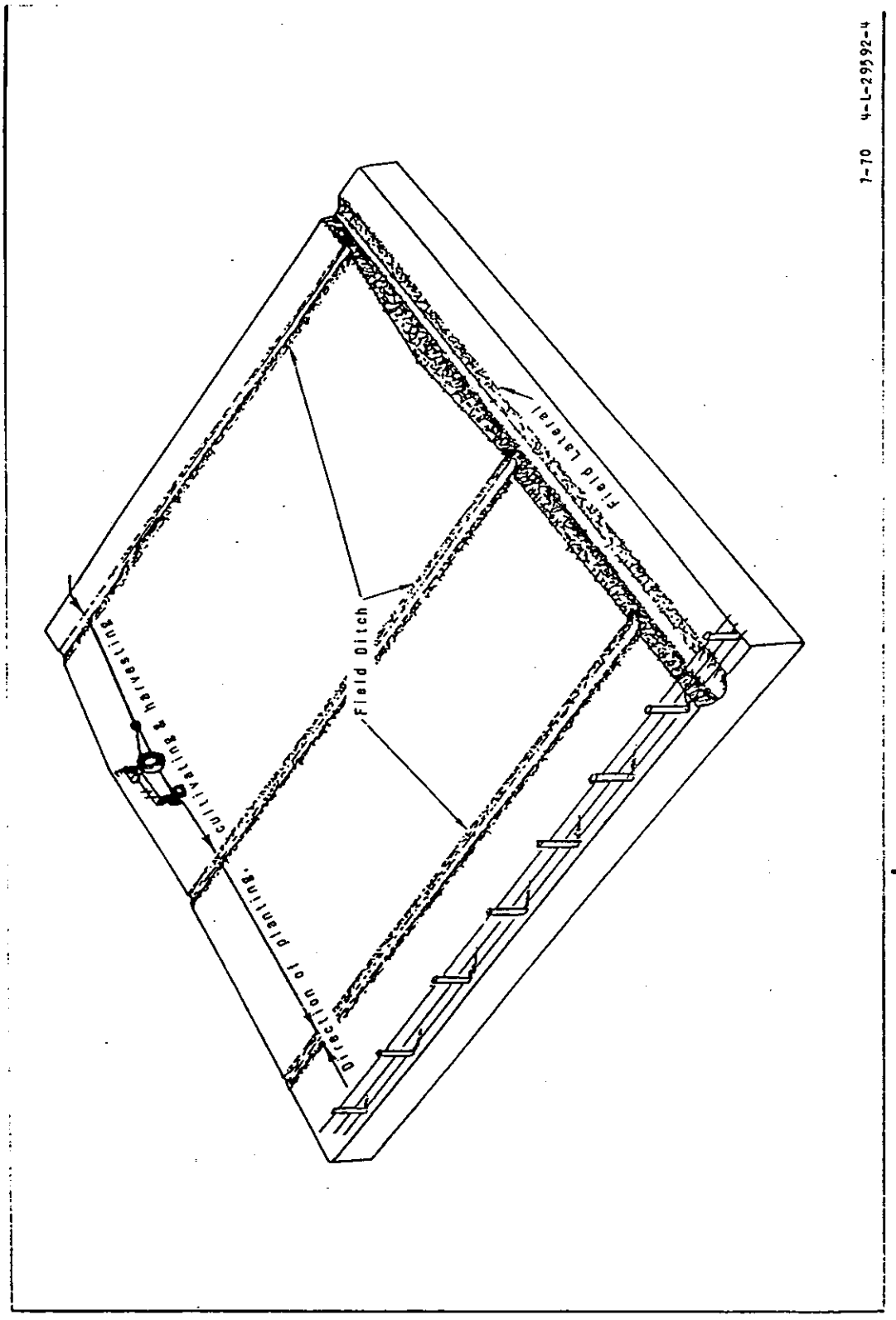
2. ระบบขนาน (Parallel system) เป็นระบบซึ่งให้ผลดีที่สุด เหมาะสมกับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบดินมีการระบายน้ำไม่ดีและพื้นดินไม่เรียบ (irregular) ดังรูปที่ 7.3 ระบบนี้จะระบายน้ำได้ผลดีเหมาะสมจะขึ้นอยู่กับการจัดรูปพื้นที่ที่เหมาะสม เช่น ลาดเทของร่องคู (rows) ร่องคูจะระบายน้ำลงสู่คูระบายที่ขนานกัน ซึ่งเป็นคูตื้น ๆ มีลาดเทและลาดด้านข้างคูราบ เครื่องจักรกลในฟาร์มสามารถขับเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ขนาดของคูระบายที่ขนานกัน จะขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างและวิธีการบำรุงรักษา คูระบายมีลาดด้านข้างคูน้อย 1 ต่อ 8 ถึง 1 ต่อ 10 ความลึกน้อยที่สุด 25 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดต่ำสุด 0.5 ตารางเมตร ลาดเท 0.1 ถึง 0.3% รูปร่างของคูอาจจะเป็นรูปตัววีหรือสี่เหลี่ยมคางหมูก็ได้



รูปหน้าตัดของคูระบายที่ขนานกัน



รูปที่ 7.2 ระบบไร่รูปแบบ (Random system)

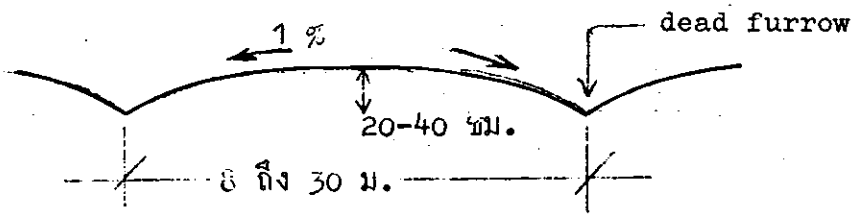


1-70 4-L-29592-4

รูปที่ 7.3 ระบบขนาน (Parallel system)

ถ้าพื้นที่ราบมาก ๆ อาจจะต้องทำให้ตรงกึ่งกลางระหว่างคูระบาย เป็นเนินนูน (ridge or crown) ระยะระหว่างคูระบาย ประมาณ 30 ถึง 100 เมตร

3. ระบบเบ็ดดิ้ง (Bedding system) เหมาะสำหรับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบ ดินมีการระบายน้ำไม่ดี มีค่าความนำน้ำของดินต่ำ โดยการไถพื้นที่ให้เป็น bed มี dead furrows อยู่ข้าง ๆ เป็นตัวแยกพื้นที่ออกเป็น bed ดังรูปที่ 7.4

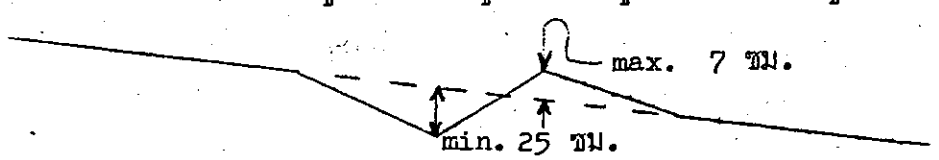


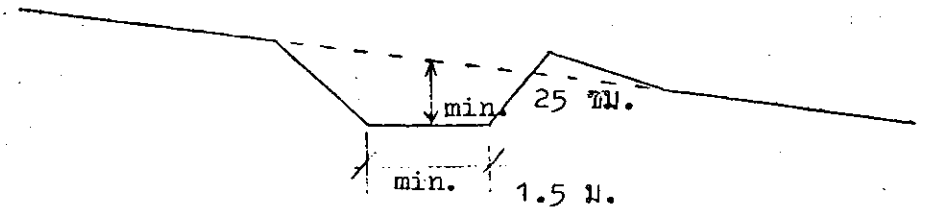
น้ำจะไหลจาก bed ลงสู่ dead furrow น้ำระบายจาก dead furrow ลงสู่ field ditch ระยะห่างระหว่าง field ditch ประมาณ 100 ถึง 300 เมตร field ditch เป็นคูตื้น ๆ ลึก 25 เซนติเมตร ลาดด้านข้างคูน้อย 1 ต่อ 6 ถึง 1 ต่อ 10 ลาดเทต่ำสุด 0.1%

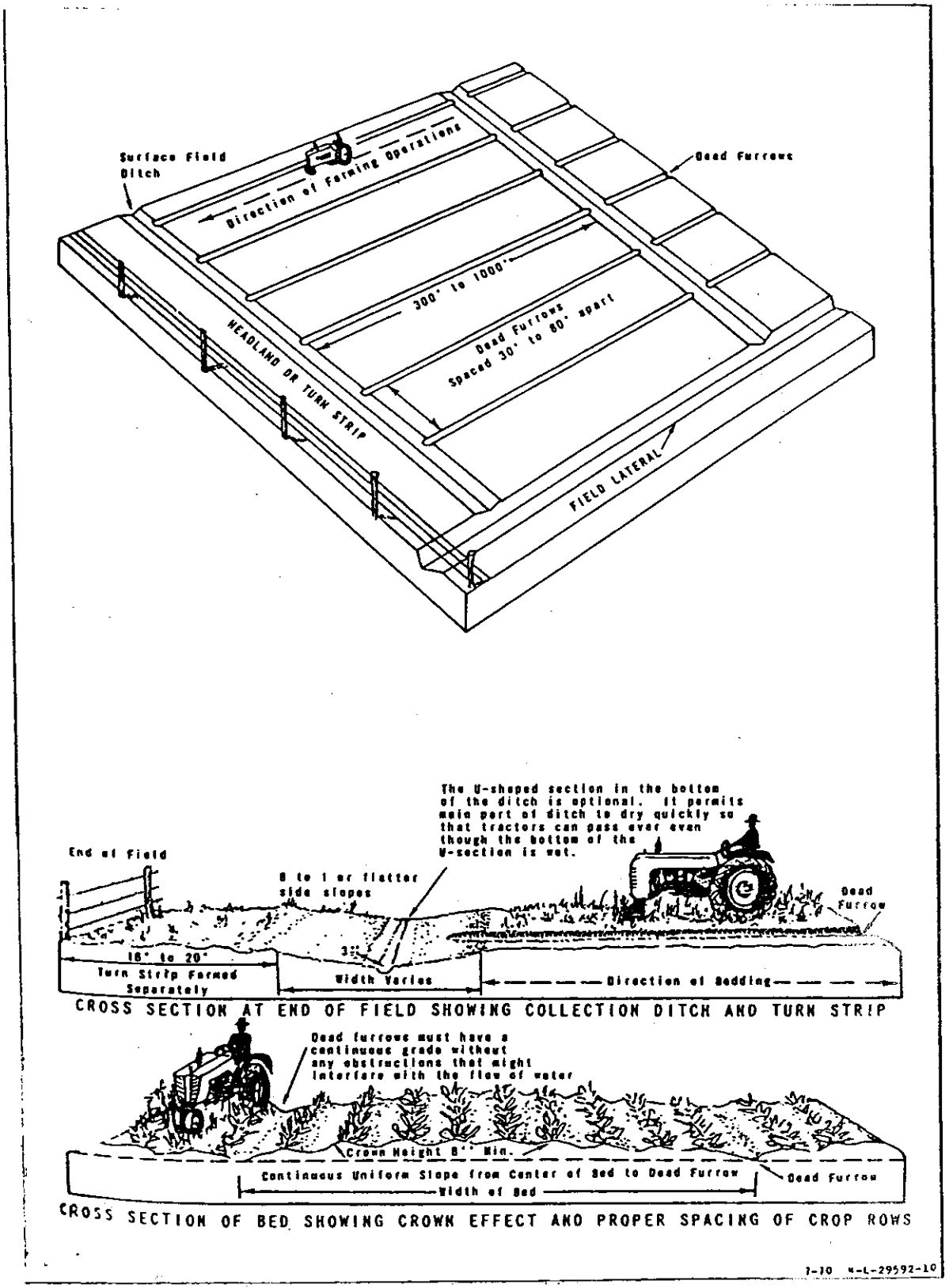
7.3 ระบบระบายน้ำผิวดินสำหรับพื้นที่ชัน

หมายถึงพื้นที่มีความลาดเท 2 ถึง 10% การออกแบบจะต้องระมัดระวังเรื่องการกัดเซาะ โดยการสร้างทางน้ำให้สกัดกั้นน้ำที่ไหลมาจากที่ชันไม่ให้ไหลเข้าไปทำความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูก อาจจะสร้างเป็นแบบขั้นบันได (terrace) ระบบระบายน้ำอาจใช้แบบ cross-slope ditch system

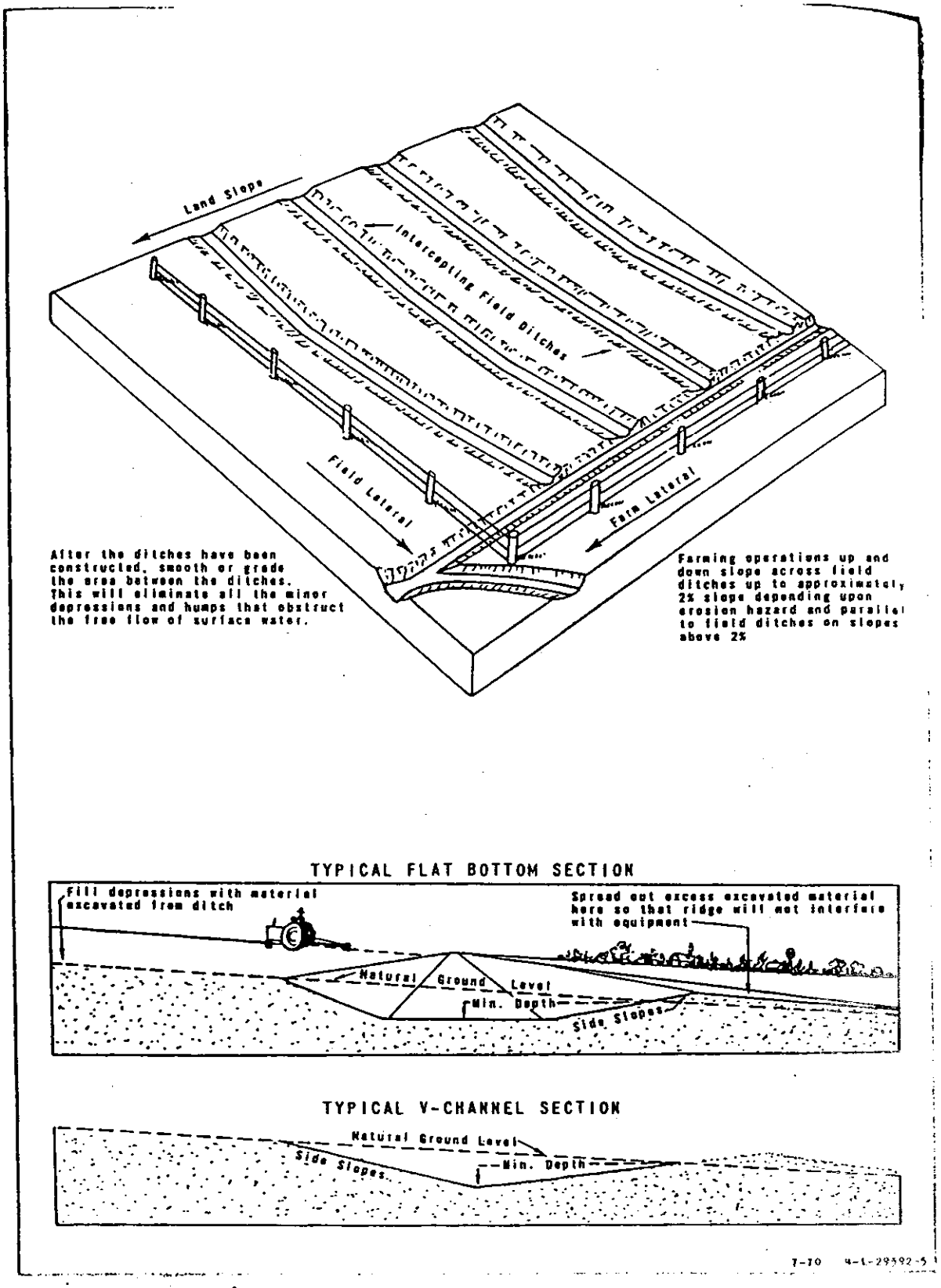
ระบบคูระบายแบบสกัดกั้นน้ำ (Cross-slope ditch system) เป็นระบบซึ่งเหมาะกับพื้นที่ชัน ดินมีการระบายน้ำไม่ดี ditch จะขนานโดยประมาณกับเส้น contour ของพื้นที่ ลาดเทของ ditch 0.1 ถึง 1.0% ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ดังรูปที่ 7.5 และ 7.6 พื้นที่ระหว่าง ditch จะต้องเรียบ สร้างคูขวางการไหลของน้ำ พื้นที่หน้าตัดของคูอาจจะเป็นรูปตัววีหรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมูได้



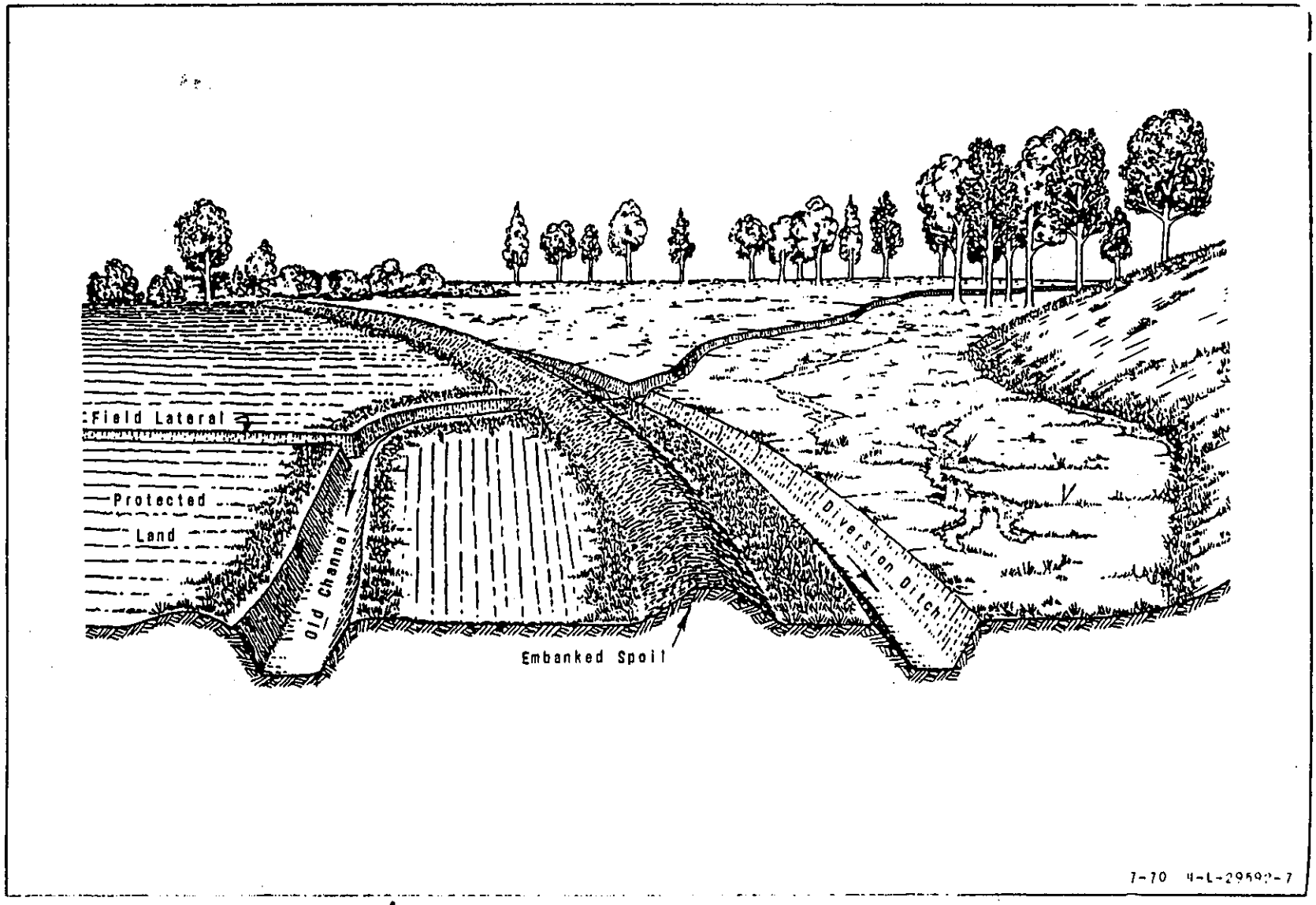




รูปที่ 7.4 ระบบเบดดิ้ง (Bedding)



รูปที่ 7.5 ระบบคูระบายแบบสกัดกัน (Cross slope system)



รูปที่ 7.6 ระบบกูระบายแบบสกัดกั้นในบริเวณที่ลาดของที่ชัน

พื้นที่หน้าตัดคูอย่างน้อย 0.4 ถึง 0.7 ตารางเมตร ลาดด้านข้างคู 1 ต่อ 4 ถึง 1 ต่อ 10 ความลึก 15 ถึง 25 เซนติเมตร top width 5-7 เมตร ความยาวของคู 350 ถึง 450 เมตร ระยะห่างของคู 30 ถึง 45 เมตร

7.4 การปรับพื้นที่เพื่อการระบายน้ำ

การก่อสร้างระบบระบายน้ำผิวดิน จะไม่สามารถประกันได้ว่าจะสามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้ทันเวลา เพราะจะยังมีน้ำขังอยู่ตามที่ลุ่มต่ำและตามแอ่งต่าง ๆ ดังนั้น นอกจากจะก่อสร้างระบบระบายน้ำแล้ว ยังจะต้องมีการปรับพื้นที่ (Land forming) ซึ่งพื้นที่มีระดับแตกต่างกันไม่มากนักต้องปรับพื้นผิวดินให้เรียบและต่อเนื่องกัน การปรับพื้นที่จะช่วยเสริมให้การระบายน้ำผิวดินระบายได้ผลดีมากขึ้น การปรับพื้นที่ควรจะทำในขณะดินแห้งและดินเป็นก้อนเช่น หลังจากการไถเสร็จแล้ว การปรับพื้นที่แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ Land smoothing และ land grading

1. Land smoothing หมายถึง การเกลี่ยผิวดินให้เรียบโดยที่ลักษณะภูมิประเทศทั่วไปของพื้นที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไป เป็นการปรับผิวดินซึ่งมีระดับแตกต่างกันเล็กน้อย คือทำให้พื้นที่เรียบขึ้นและปรับให้เกิดความลาดเทอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้น้ำสามารถระบายได้ดีขึ้น การทำ land smoothing จะทำปีละครั้ง ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกหรือประหยัดที่สุดและได้ผลดี

2. Land grading หมายถึง การปรับพื้นที่โดยมีการคำนวณปริมาตรดินขุด ดินถม จะมีการปรับพื้นที่มากกว่า land smoothing. โดยการปรับพื้นที่นั้นเพียงครั้งเดียวก็สามารถใช้ได้ตลอดไป คล้าย ๆ กับการทำ Land levelling สำหรับพื้นที่ชลประทาน จะต่างกันที่ว่า Land grading สามารถจะมี grades ต่าง ๆ กันไปได้ แต่ต้องต่อเนื่องกัน ซึ่งจะต่างกับ land levelling ซึ่ง grade จะต้อง uniform ตลอดพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อให้การ grade มีปริมาณน้อยที่สุด ลาดเทของ grade จะอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.5% สำหรับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบมาก ๆ อาจจะต้องสร้างหรือปรับพื้นที่ให้มีลาดเทมากขึ้น ดังรูปที่ 7.7

การปรับพื้นที่จะต้องระมัดระวัง ในเรื่องดินชั้นบนด้วย เพราะจะทำให้ดินเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ หลังจากการปรับพื้นที่แล้วควรมีการใส่ปุ๋ย หรือให้ไถดินลึก ๆ ก่อนการทำ cut and fill ในการ grade จะต้องให้ cut มากกว่า fill ดังนี้

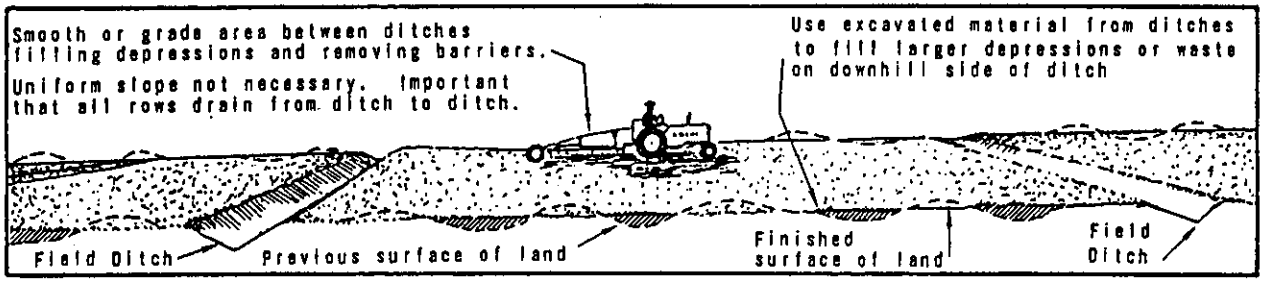
ดินเนื้อละเอียด cut : fill = 1.3:1 - 1.4:1

ดินเนื้อปานกลาง cut : fill = 1.2:1 - 1.3:1

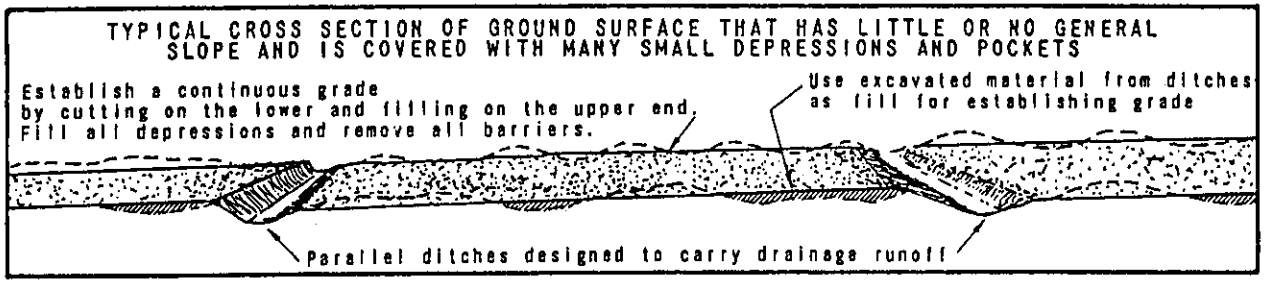
ดินเนื้อหยาบ cut : fill = 1.1:1 - 1.2:1

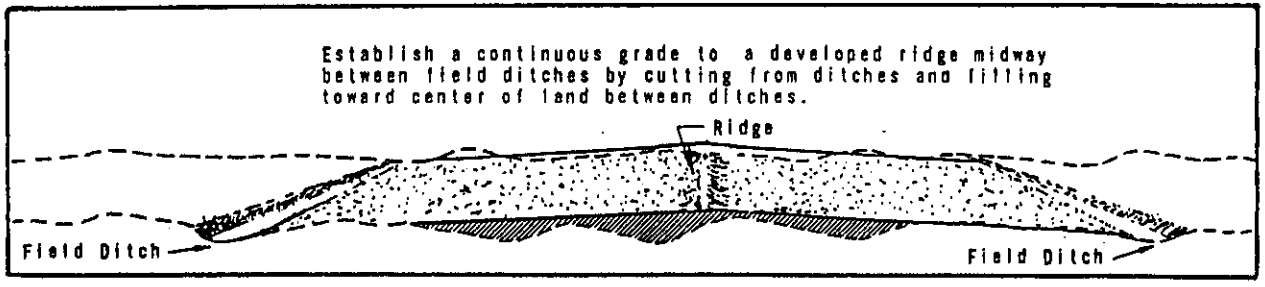
การคำนวณ cut and fill ใช้วิธีการเหมือนกับการทำ land levelling

TYPICAL CROSS SECTION OF GROUND SURFACE THAT HAS SOME GENERAL SLOPE
IN ONE DIRECTION AND IS COVERED WITH MANY SMALL DEPRESSIONS AND POCKETS



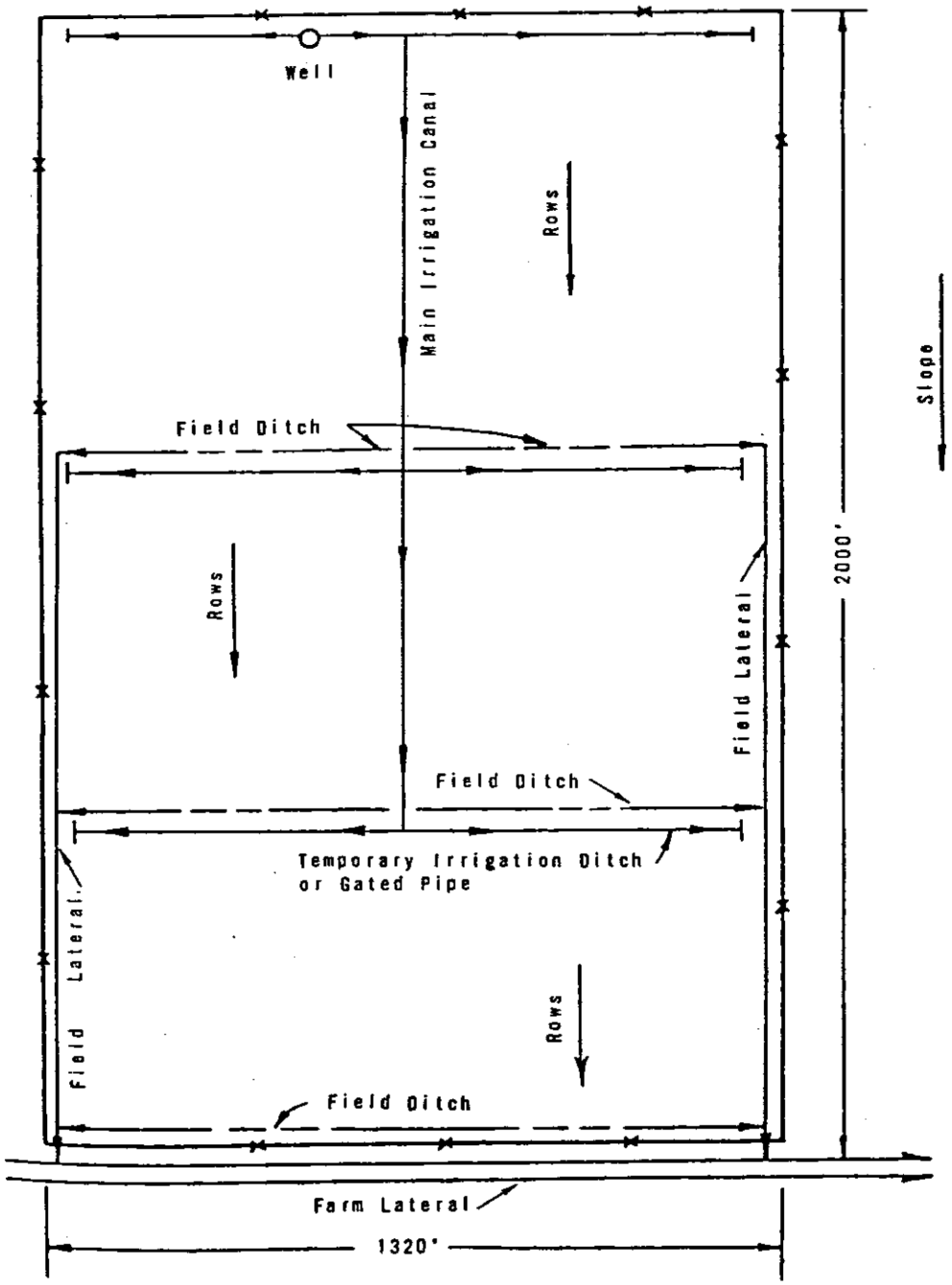
TYPICAL CROSS SECTION OF GROUND SURFACE THAT HAS LITTLE OR NO GENERAL
SLOPE AND IS COVERED WITH MANY SMALL DEPRESSIONS AND POCKETS



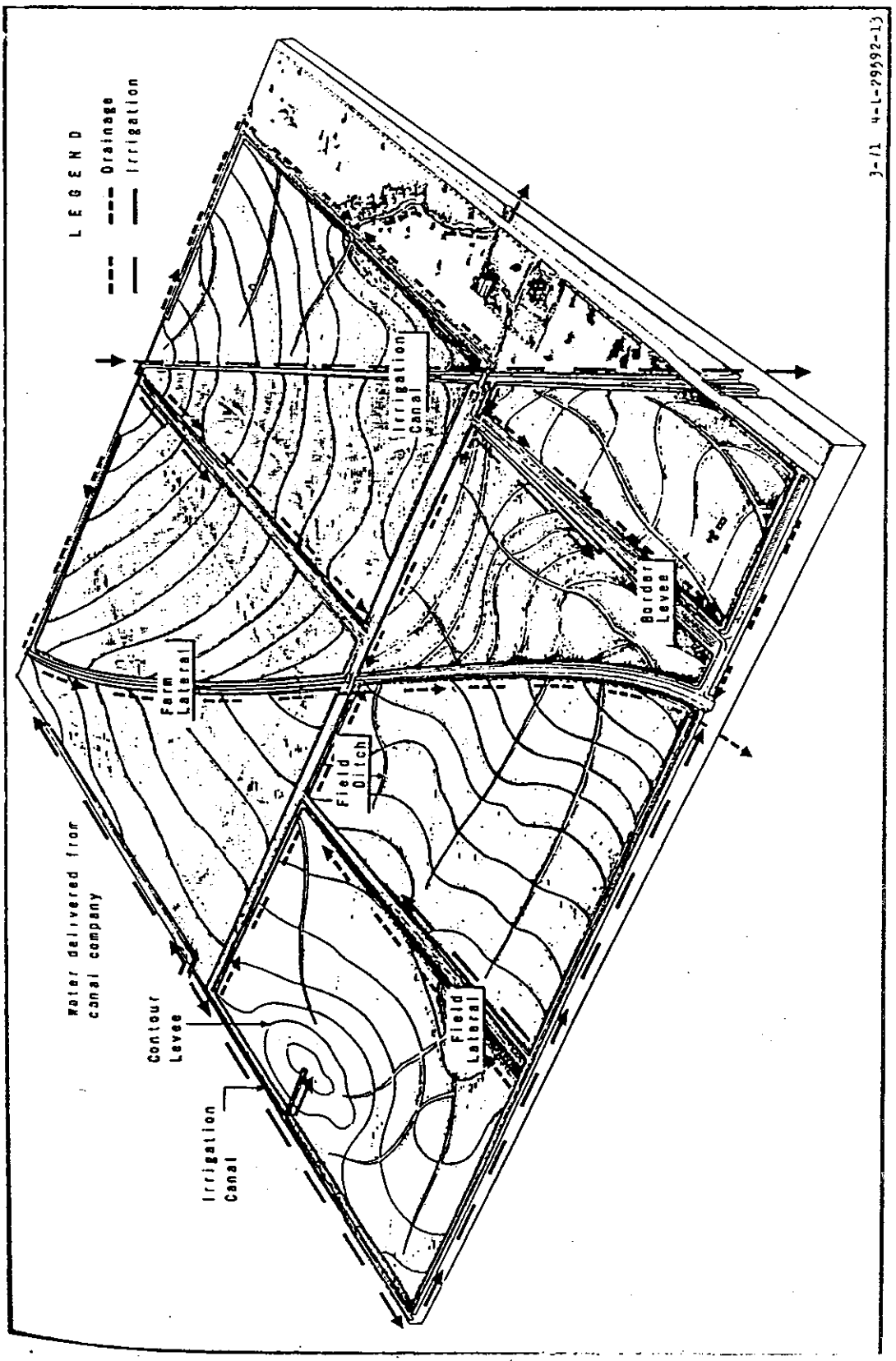


TYPICAL CROSS SECTION OF GROUND SURFACE THAT HAS LITTLE OR NO
GENERAL SLOPE AND IS COVERED WITH MANY SMALL DEPRESSIONS AND POCKETS

รูปที่ 7.7 วิธีการปรับพื้นที่เพื่อการระบายน้ำ



รูปที่ 7.8 ระบบระบายน้ำให้พื้นที่ชลประทาน



รูปที่ 7.9 ระบบระบายน้ำในแปลงนา

บทที่ 8

การไหลของน้ำใต้ดินลงทางระบายน้ำ

วัตถุประสงค์หลักของการระบายน้ำทางใต้ผิวดิน เพื่อควบคุมระดับน้ำใต้ดินไม่ให้ขึ้นมาอยู่สูงเกินไปหรือขึ้นมาถึงบริเวณรากพืช การควบคุมระดับน้ำใต้ดินสามารถกระทำได้โดยการสร้างทางระบายน้ำให้เป็นแนว แต่ละแนวขนานและมีระยะห่างเท่า ๆ กัน ทางระบายน้ำเหล่านี้จะต้องสร้างให้อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการจะควบคุม เมื่อระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสูงกว่าทางระบายน้ำ จะเกิดความแตกต่างของ Hydraulic head ระหว่างน้ำใต้ดินกับทางระบายน้ำ ทำให้น้ำใต้ดินไหลผ่านดินลงสู่ทางระบายน้ำ ระดับน้ำใต้ดินก็จะลดลงมา ถ้าสร้างทางระบายน้ำให้เป็นระบบก็จะสามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้ น้ำที่ถูกระบายออกมาทางระบายน้ำจะต้องลำเลียงหรือกำจัดออกไปจากพื้นที่

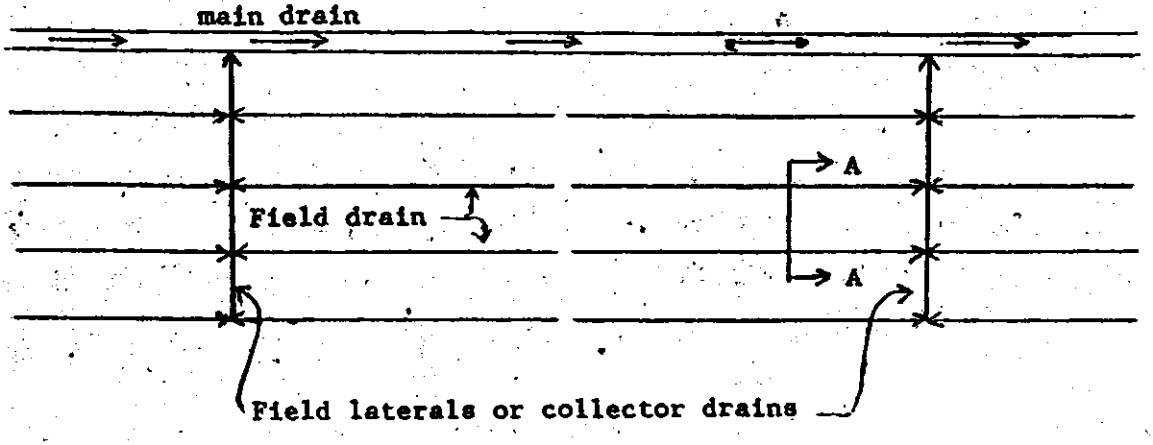
8.1 การทำหน้าที่ของระบบระบายน้ำ

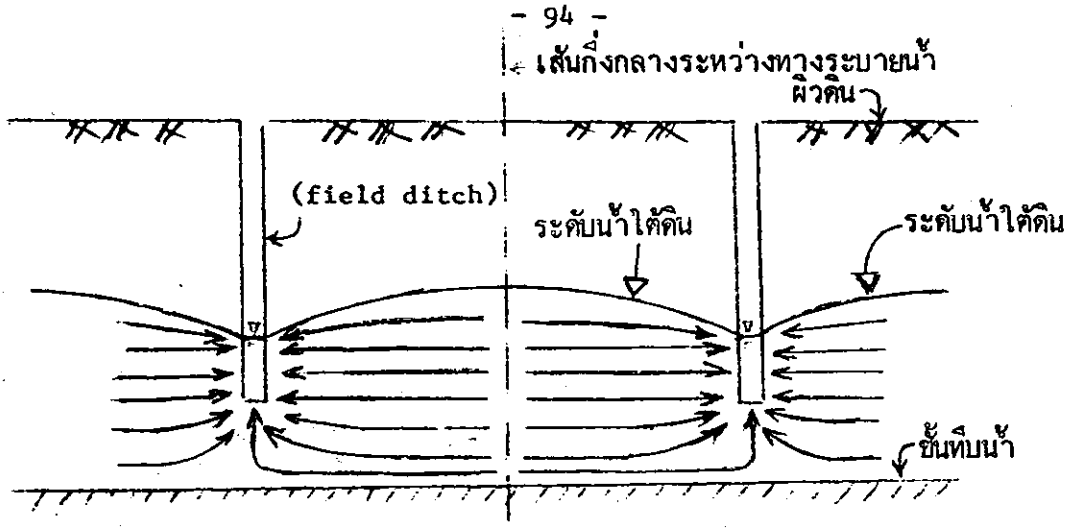
ระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดินแบ่งตามหน้าที่ได้ดังนี้

1. Field drains เป็นทางระบายน้ำขนานกันและมีระยะห่างเท่า ๆ กัน จะทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำใต้ดิน

2. Field laterals หรือ collector drains จะทำหน้าที่รวบรวมน้ำจาก field drains แล้วลำเลียงสู่ main drain

3. Main drain ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำที่ระบายออกมาจากพื้นที่ทั้งหมดสู่ที่ทิ้งน้ำ แล้วกำจัดน้ำทั้งหมดออกไปจากพื้นที่





รูปหน้าตัดA - A

รูปที่ 8.1 แสดงการทำหน้าที่ของทางระบายน้ำ

ในรูปที่ 8.1 รูปร่างของระดับน้ำใต้ดินจะเป็นรูปโค้ง มีระดับสูงสุดตรงกึ่งกลางระหว่างทางระบายน้ำ จากเส้นกึ่งกลางระหว่างทางระบายน้ำ Streamlines ทั้งสองข้างจะสมมาตรกัน รูปร่างและความสูงของระดับน้ำใต้ดินนี้จะเป็นอย่างไรจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของ

1. Recharge ซึ่งอาจเป็นฝน น้ำชลประทานหรือแหล่งน้ำอื่น ๆ
2. การระเหยหรือ discharge ออกไป
3. คุณสมบัติของดิน
4. ความลึกและระยะห่างของทางระบายน้ำ
5. พื้นที่หน้าตัดของทางระบายน้ำ
6. ระดับน้ำในทางระบายน้ำ

เมื่อนำองค์ประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวมาพิจารณาเพื่อหาความสัมพันธ์กับระดับน้ำใต้ดินจะได้สมการของการระบายน้ำ แต่เนื่องจากสภาพความเป็นจริงในสนามขององค์ประกอบต่าง ๆ มีความสลับซับซ้อนและยุ่งยาก การวิเคราะห์สมการการระบายน้ำจึงมีความซับซ้อนและยุ่งยากด้วย ดังนั้น เพื่อให้ได้สมการการระบายน้ำที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ จึงได้ใช้ข้อสมมติฐานเพื่อลดความยุ่งยาก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแบบ approximate solution แต่มีความละเอียดถูกต้องเพียงพอที่จะนำมาใช้งานได้ สมการการระบายน้ำส่วนใหญ่จะใช้ข้อสมมติฐานของ Dupuit-Forchheimer เป็นพื้นฐานและมีเงื่อนไขจำกัดสำหรับแต่ละสมการอีก ดังนั้น ก่อนที่จะนำสมการหรือสูตรใด ๆ มาใช้จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงข้อสมมติฐานและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่นำมา derived สูตรหรือสมการนั้น ๆ

สมการหรือสูตรการหาระยะห่างของทางระบาย (spacing) มีอยู่หลายสมการด้วยกัน ที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่ว ๆ ไปมีทั้งแบบ steady และ non-steady state เช่นสมการของ Hooghoudt Kirkham และ Glover-Dumm เป็นต้น

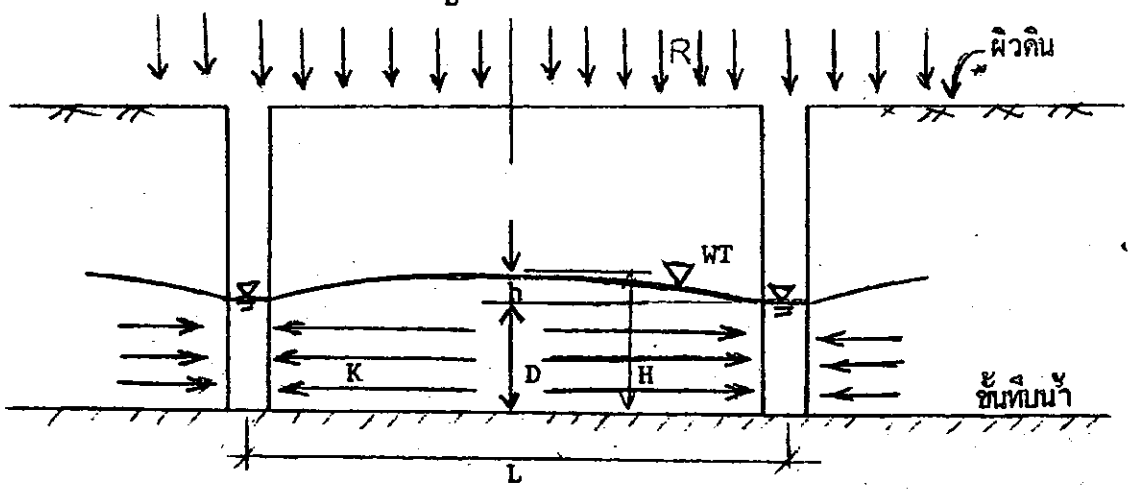
8.2 สมการการระบายน้ำแบบ Steady state

การไหลแบบ steady state หมายความว่าระดับน้ำใต้ดินจะอยู่คงที่ตลอดเวลาไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาคือมี recharge ลงมาเท่าใดก็ระบายออกหรือ discharge ออกไปเท่ากัน จึงทำให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่คงที่ การวิเคราะห์การไหลต่อไปนี้สมมติว่ามีฝนตกลงมาหรือให้น้ำชลประทานแก่ดินในอัตราสม่ำเสมอคงที่ตลอดทั่วทั้งพื้นที่ เป็น recharge ซึมลงมาจากผิวดินจนถึงระดับน้ำใต้ดิน แล้วน้ำใต้ดินจะไหลผ่านดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำลงสู่ทางระบายน้ำ

8.3 การไหลในแนวราบลงคูระบายซึ่งกันคูอยู่บนชั้นทึบน้ำ

ถ้าขุดทางระบายน้ำเป็นแบบคูระบายลึกจนถึงชั้นทึบน้ำ ดังรูปข้างล่าง วิเคราะห์การไหลโดยใช้ข้อสมมุติฐานเป็น horizontal flow จะได้สมการการระบายน้ำเรียกว่า Donnan Equation ดังนี้

$$R = \frac{4K(H^2-D^2)}{L^2} \qquad \text{----------(1)}$$



R = อัตราฝนหรือน้ำชลประทาน

K = ค่าความนำน้ำของดิน

H = ความสูงของน้ำใต้ดินเหนือชั้นทึบน้ำที่กึ่งกลางระหว่างคูระบาย

D = ความสูงของระดับน้ำในคูระบายเหนือชั้นทึบน้ำ

L = ระยะห่างระหว่างคูระบาย

จากสมการ 1 อาจเขียนได้ดังนี้

$$q = R = \frac{4K\ (2Dh+h^2)}{L^2}$$

$$q = \frac{8KDh}{L^2} + \frac{4Kh^2}{L^2} \text{ ----------(2)}$$

q = อัตราการระบายน้ำออกจากคูระบาย

h = H - D

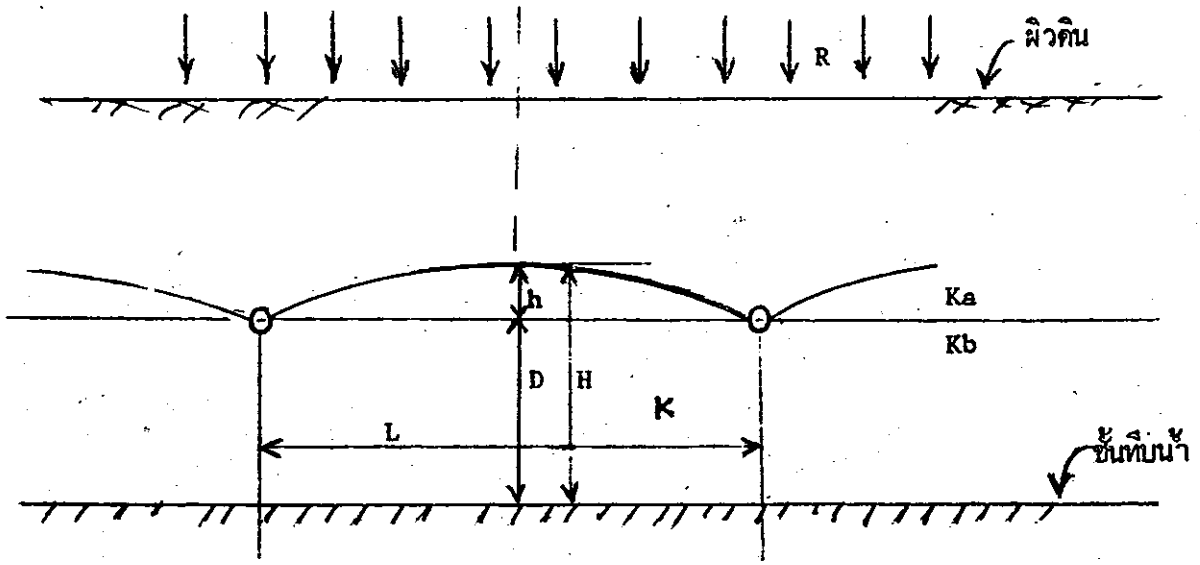
จากสมการ 2 ถ้าสมมติให้ D = 0 จะได้

$$q = \frac{4Kh^2}{L^2} \text{ ----------(3)}$$

จะเห็นว่าสมการ 3 เป็นการไหลของน้ำในส่วนที่เหนือระดับทางระบายน้ำ

ดังนั้น $q = \frac{8KDh}{L^2}$ จะเป็นการไหลของน้ำในส่วนที่อยู่ต่ำกว่าทางระบายน้ำ---(4)

จากการวิเคราะห์ข้างบนโดยการแยกการไหลให้อยู่เหนือ และต่ำกว่าทางระบายน้ำ จะสามารถนำหลักการนี้มาใช้กับดินชั้น 2 ชั้น ได้โดยให้ทางระบายน้ำอยู่ระหว่างชั้นของดินจะได้สมการดังนี้



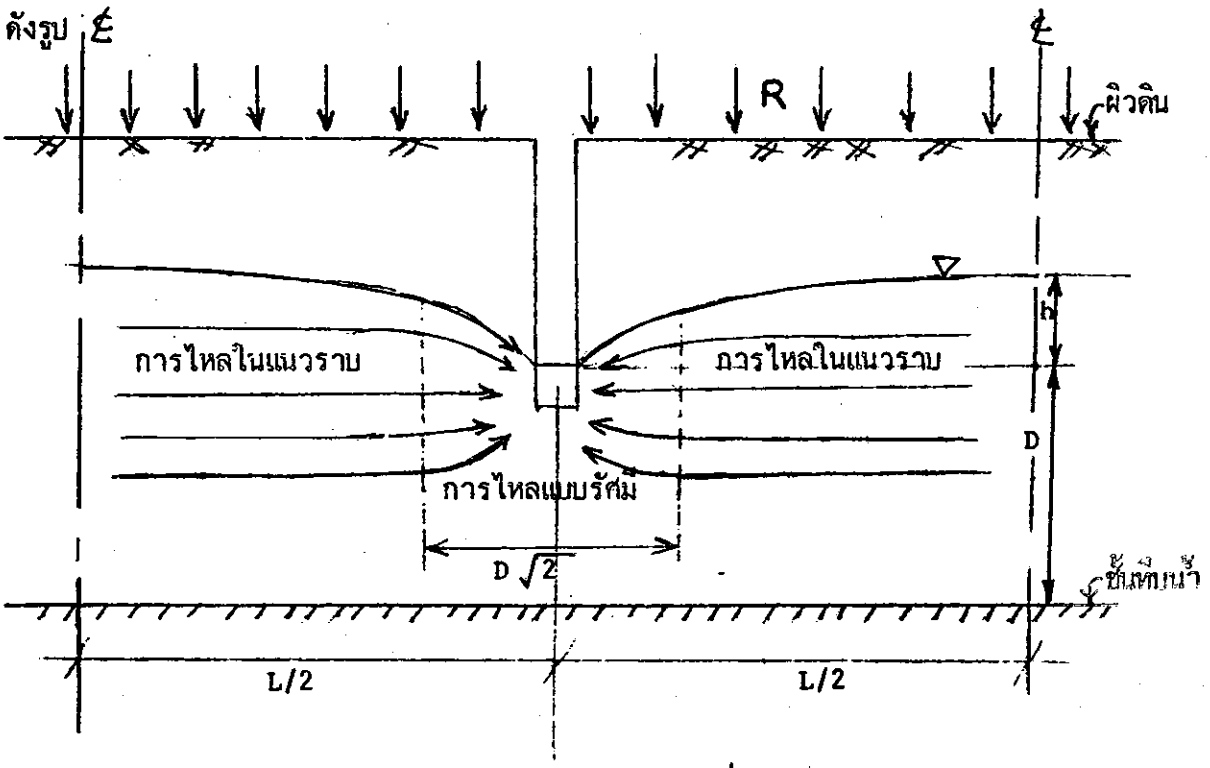
$$q = \frac{8K_bDh}{L^2} + \frac{4K_ah^2}{L^2} \text{ ----------(5)}$$

K_a =ความนำน้ำของดินชั้นบน

K_b =ความนำน้ำของดินชั้นล่าง

8.4 หลักการของสมการ Hooghoudt

ถ้าในกรณีซึ่งทางระบายน้ำไม่ได้อยู่บนชั้นทึบน้ำดังสมการ 1 แต่อยู่เหนือชั้นทึบน้ำดังรูปข้างล่างแล้ว streamlines บริเวณใกล้ ๆ กับทางระบายน้ำจะโค้งเข้าสู่ทางระบายเป็นการไหลแบบรัศมี ทำให้เส้นทางเดินของน้ำมีความยาวเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้ถ้าสมมติการไหลเป็นแบบการไหลในแนวราบจะมีความคลาดเคลื่อนมาก ดังนั้น Dr.Hooghoudt จึงได้วิเคราะห์การไหลโดยแบ่งบริเวณของการไหลออกเป็น 2 ส่วนคือ การไหลในแนวราบ และการไหลแบบรัศมี ดังรูป



จากการวิเคราะห์ของDr.Hooghoudt บริเวณซึ่งเป็นการไหลแบบรัศมี รอบ ๆ ทางระบายน้ำเท่ากับ $D\sqrt{2}$ ดังรูป และได้สมการระบายน้ำคล้าย ๆ กับสมการ 5 เรียกว่า Hooghoudt equation ดังนี้

$$q = \frac{8K_b dh}{L^2} + \frac{4K_a h^2}{L^2} \qquad \text{----------(6)}$$

d = equivalent depth

การที่ Dr.Hooghoudt ใช้ค่า d แทนค่า D เพราะว่าในบริเวณใกล้ ๆ กับทางระบายน้ำ streamlines จะโค้งเป็นแบบรัศมี ค่า d น้อยกว่าค่า D

Equivalent depth, d, เป็น function ของ L,D,r ซึ่ง r คือขนาดของทางระบายน้ำหรือขนาดของท่อระบายน้ำ

ดังนั้นการแก้สมการของ Hooghoudt จะต้องใช้วิธี trial and error เพราะ $d = f(L,D,r)$

ถ้าในกรณีซึ่ง r มีค่าเท่ากับ 0.1 เมตร ค่าของ d จะหาได้จากตารางที่ 8.1 ในตารางที่ 8.1 ค่าของ d จะเพิ่มมากขึ้นตาม แต่ที่ประมาณ $D = \frac{1}{4}L$ หรือ $D > \frac{L}{4}$ ค่าของ d เกือบจะคงที่ แสดงว่าชั้นทึบน้ำที่อยู่ต่ำหรือลึกกว่า $\frac{L}{4}$ ลงไปจะไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการไหล

ค่า equivalent depth, d อาจจะคำนวณได้โดยใช้สูตรดังนี้

$$d = \frac{D}{1+\frac{D}{L}\left(\frac{8}{\pi}\ln\frac{D}{r} - a\right)} \quad \text{ในกรณี} \quad 0 < \frac{D}{L} \leq 0.3 \text{--------(7)}$$

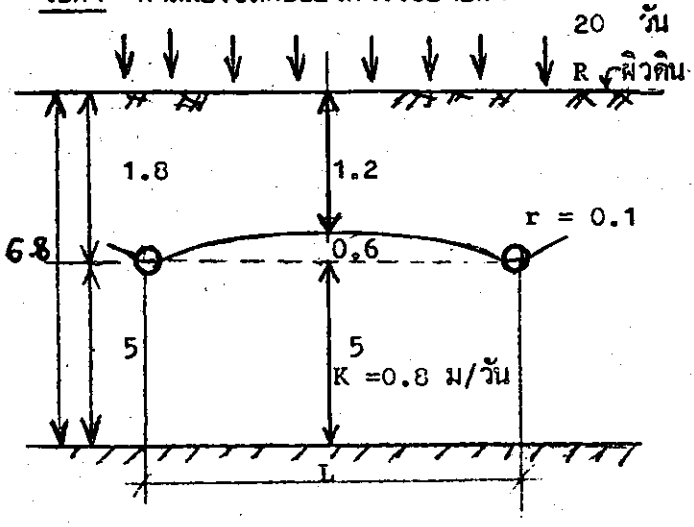
$$\text{หรือ} \quad d = \frac{L}{\frac{8}{\pi}\left(\ln\frac{L}{r} - 1.15\right)} \quad \text{ในกรณี} \quad \frac{D}{L} > 0.3 \text{ --------(8)}$$

$$\text{ซึ่ง} \quad a = 3.55 - 1.6\left(\frac{D}{L}\right) + 2\left(\frac{D}{L}\right)^2$$

ถ้าใช้ค่า a เท่ากับ 3.4 แล้ว d ที่คำนวณได้จะผิดคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 %

<u>ตัวอย่าง</u> จงคำนวณหาระยะห่างของท่อระบายน้ำเพื่อระบายน้ำใต้ดินให้ระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาไม่เกิน 1.2 เมตรจากผิวดิน จากข้อมูลต่อไปนี้ใช้ท่อดินเผา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ฝังในดินลึก 1.8 เมตรจากผิวดิน ต่ำกว่าผิวดิน 6.8 เมตร ลงไปเป็นชั้นทึบน้ำ จากการทดลองหาค่าความนำน้ำของดินบริเวณที่จะฝังท่อโดยวิธี Auger hole method ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8 เมตรต่อวัน สมมติในพื้นที่นี้มีการให้น้ำชลประทานทุก 20 วัน และเมื่อมีระดับน้ำใต้ดินสูงอยู่แล้วการให้น้ำชลประทานเกิด losses ขึ้น 40 มิลลิเมตร ใน 20 วัน

<u>วิธีทำ</u> ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ $= \frac{40}{20}$ มม./วัน



$\therefore q = R = 0.002$ เมตรต่อวัน

$r = 0.1$ เมตร

$K_a = K_b = 0.8$ เมตรต่อวัน

$D = 5$ เมตร

$h = 0.6$ เมตร

ตารางที่ 8.1 ค่าของ equivalent depth d ในสูตรของ Hooghoudt(r_0=0.1ม.)

L→	5 m	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
D											
0.5 m	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50				
0.75	0.60	0.65	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76
1.00	0.67	0.75	0.80	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.96	0.96	0.96
1.25	0.70	0.82	0.89	1.00	1.05	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15
1.50		0.88	0.97	1.11	1.19	1.25	1.28	1.31	1.34	1.35	1.36
1.75		0.91	1.02	1.20	1.30	1.39	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57
2.00			1.08	1.28	1.41	1.5	1.57	1.62	1.66	1.70	1.72
2.25			1.13	1.34	1.50	1.69	1.69	1.76	1.81	1.84	1.86
2.50				1.38	1.57	1.69	1.79	1.87	1.94	1.99	2.02
2.75				1.42	1.63	1.76	1.88	1.98	2.05	2.12	2.18
3.00				1.45	1.67	1.83	1.97	2.08	2.16	2.23	2.29
3.25				1.48	1.71	1.88	2.04	2.16	2.26	2.35	2.42
3.50				1.50	1.75	1.93	2.11	2.24	2.35	2.45	2.54
3.75				1.52	1.78	1.97	2.17	2.31	2.44	2.54	2.64
4.00					1.81	2.02	2.22	2.37	2.51	2.62	2.71
4.50					1.85	2.08	2.31	2.50	2.63	2.76	2.87
5.00					1.88	2.15	2.38	2.58	2.75	2.89	3.02
5.50						2.20	2.43	2.65	2.84	3.00	3.15
6.00							2.48	2.70	2.92	3.09	3.26
7.00							2.54	2.81	3.03	3.24	3.43
8.00							2.57	2.85	3.13	3.35	3.56
9.00								2.89	3.18	3.43	3.66
10.00									3.23	3.48	3.74
∞	0.71	0.93	1.14	1.53	1.89	2.24	2.58	2.91	3.24	3.56	3.88

L ⟶	50	75	80	85	90	100	150	200	250
D									
0.5	0.50								
1	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
2	1.72	1.80	1.82	1.82	1.83	1.85	1.00	1.92	1.94
3	2.29	2.49	2.52	2.54	2.56	2.60	2.72	2.70	2.83
4	2.71	3.04	3.08	3.12	3.16	3.24	3.46	3.58	3.66
5	3.02	3.49	3.55	3.61	3.67	3.78	4.12	4.31	4.43
6	3.23	3.85	3.93	4.00	4.08	4.23	4.70	4.97	5.15
7	3.43	4.14	4.23	4.33	4.42	4.62	5.22	5.57	5.81
8	3.56	4.38	4.49	4.61	4.72	4.95	5.68	6.13	6.43
9	3.66	4.57	4.70	4.82	4.95	5.23	6.09	6.63	7.00
10	3.74	4.74	4.89	5.04	5.18	5.47	6.45	7.09	7.53
12.5		5.02	5.20	5.38	5.56	5.92	7.20	8.06	8.68
15		5.20	5.40	5.60	5.80	6.25	7.77	8.84	9.64
17.5		5.30	5.53	5.76	5.99	6.44	8.20	9.47	10.4
20			5.62	5.87	6.12	6.60	8.54	9.97	11.1
25			5.74	5.96	6.20	6.79	8.99	10.7	12.1
30							9.27	11.3	12.9
35							9.44	11.6	13.4
40								11.8	13.8
45								12.0	13.8
50								12.1	14.3
60									14.6
∞	3.88	5.38	5.76	6.00	6.26	6.82	9.55	12.2	14.7

สมการของ Hooghoudt $L^2 = \frac{8K_b dh + 4K_a h^2}{R}$

$= \frac{8(0.8)(d)(0.6)+4(0.8)(0.6)^2}{0.002}$

$= 1920d + 576$

สมมติให้ $d = D = 5$

$L^2 = 10,176$ $\therefore L = 100$ ม.

สมมติให้ $L = 95$ ม และ $D = 5$ ม $\frac{D}{L} = 0.05$

จากสูตร $d = \frac{D}{1+\frac{D}{L}\left(\frac{8}{\pi} \ln\frac{D}{r} - a\right)}$

สมมติ $a = 3.4$

$d = \frac{5}{1+\frac{5}{95}\left(\frac{8}{\pi} \ln\frac{5}{0.1} - 3.4\right)} = 3.7$ม.

แทนค่า $d = 3.7$ $\therefore L^2 = 1920(3.7)+576 = 7,104$

$L = 85 < 95$ ม.

สมมติให้ $L = 87$

หาค่า $d = \frac{5}{1+\frac{5}{87}\left(\frac{8}{\pi} \ln\frac{5}{0.1} - a\right)}$

หาค่า $a = 3.5 - 1.6\left(\frac{5}{87}\right) + 2\left(\frac{5}{87}\right)^2 = 3.46$

$d = \frac{5}{1+\frac{5}{87}\left(\frac{8}{\pi} \ln\frac{5}{0.1} - 3.46\right)} = 3.64$ ม.

แทนค่า $d = 3.64$ ม.

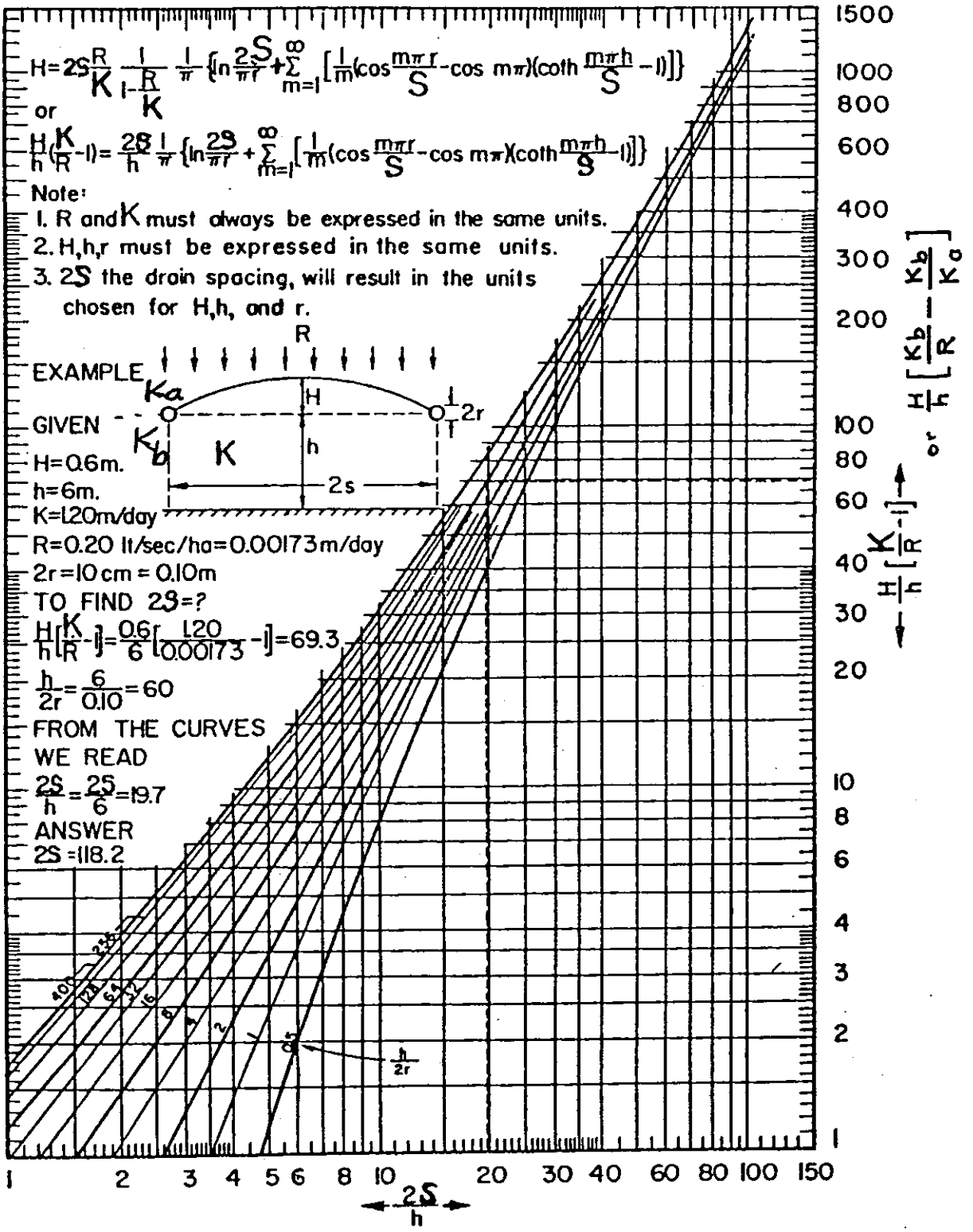
$L^2 = 1,920(3.64)+576 = 7,565$

$L = 87$ ม. ซึ่งเท่ากับค่าที่สมมติ

$\therefore$ ระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำ = 87 เมตร

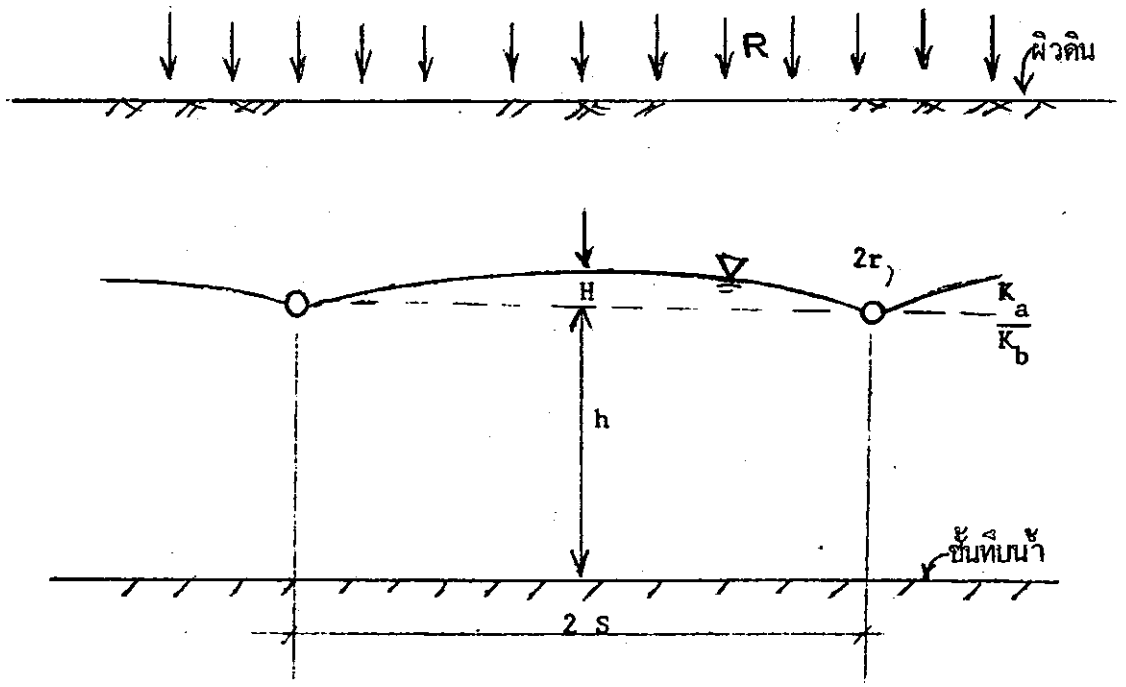
8.5 หลักการของสมการของ Kirkham

Dr. Kirkham ได้ทำการวิเคราะห์การไหลโดยวิธีคล้าย ๆ กับของ Dr.Hooghoudt คือการไหลเป็นแบบ 2-dimensional flow มี recharge แพร่กระจายอยู่บนพื้นที่ระหว่างทาง



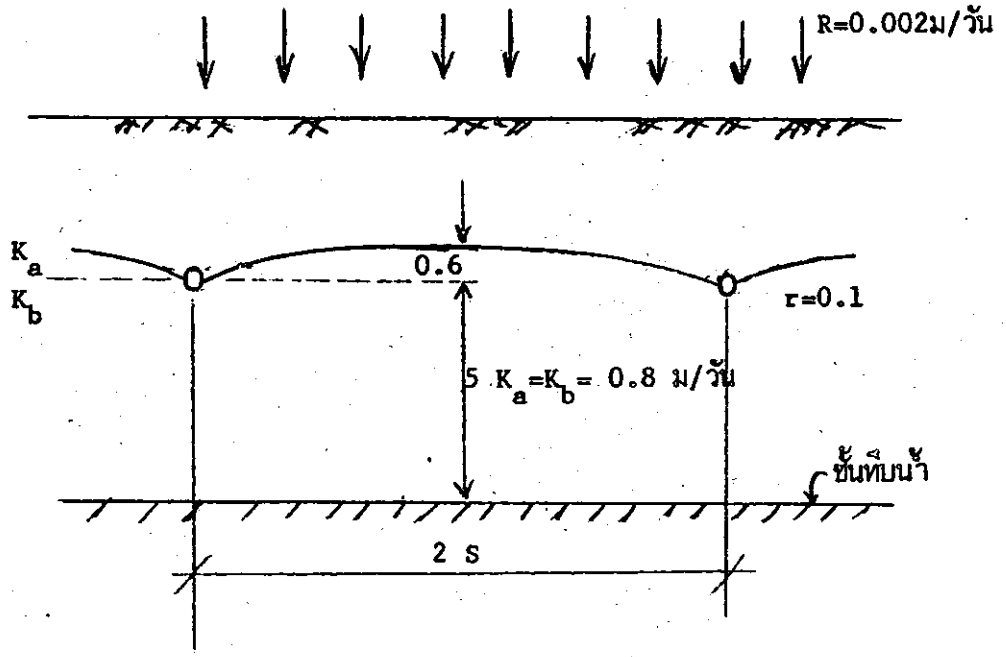
รูปที่ 8.2 Nomograph สำหรับคำนวณหาระยะห่างของทางระบายน้ำ โดย Kirkham equation

ระบายน้ำคงที่และสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ และทางระบายอยู่เหนือชั้นทึบน้ำ ได้สมการออกมาเรียกว่า Kirkham equation ซึ่งนำมาเขียนเป็นรูปกราฟ ได้ดังรูปที่ 8.2



การหาคำตอบโดยวิธีของ Kirkham ใช้ nomograph รูปที่ 8.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีของ Kirkham จะใกล้เคียงกับวิธีของHooghoudt

<u>ตัวอย่าง</u> โจทย์เหมือนตัวอย่างแรก



วิธีทำ $R = 0.002$ เมตรต่อวัน $r = 0.1$ ม.

$K_a = K_b = 0.8$ เมตรต่อวัน $H = 0.6$ ม. $h = 5$ม.

$$\frac{H}{h}\left[\frac{K_b}{R} - \frac{K_b}{K_a}\right] = \frac{0.6}{5}\left[\frac{0.8}{0.002} - \frac{0.8}{0.8}\right] = 47.88$$

$$\frac{h}{2r} = \frac{5}{0.1x2} = 25$$

จาก nomograph ได้ค่า $\frac{2S}{h} = 17$ $\therefore$ $2S = 17(5) = 85$

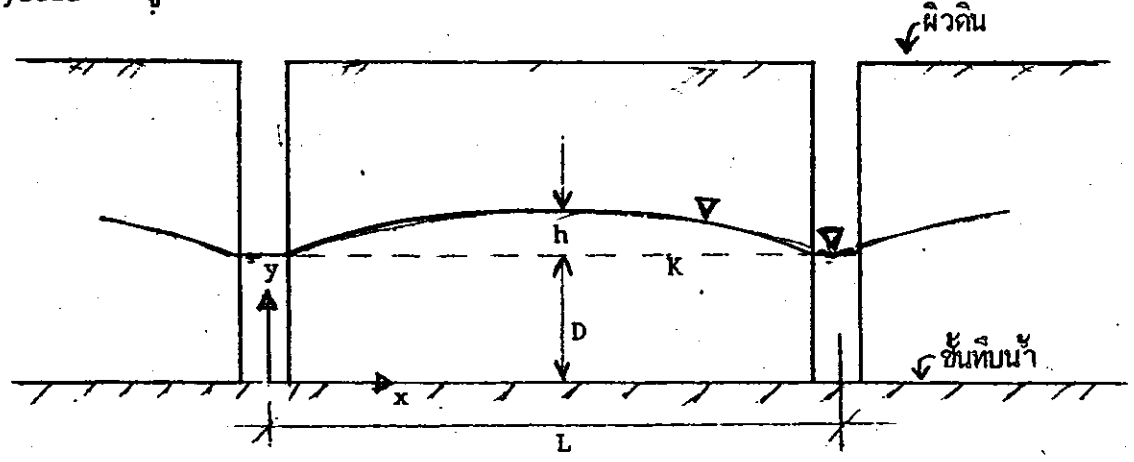
$\therefore$ ระยะห่างของทางระบาย 85 ม.

8.6 สมการการระบายน้ำแบบ Non-steady

ในพื้นที่ซึ่งมีการให้น้ำชลประทานหรือพื้นที่ซึ่งมีฝนตกลงมาในอัตราสูง ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาไม่อยู่คงที่ ดังนั้น การที่สมมติว่าการไหลเป็นระบบ steady state จึงไม่ถูกต้องนัก การไหลจึงควรจะวิเคราะห์เป็นแบบ non-steady state flow การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ก็ใช้ Dupuit-Forchheimer Assumptions เหมือนกันผลลัพธ์ที่ได้จึงเป็นแบบ approximate เช่นเดียวกัน

8.7 หลักการของสมการ Glover-Dumm

หลังจากการให้น้ำชลประทานหรือฝนตกจะมี recharge จำนวนหนึ่ง ซึ่งสมมติว่าเท่ากับ R และ recharge นี้จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นมาทันที เป็นระยะเท่ากับ $h_0 = \frac{Ri}{\mu}$ เมื่อ μ เท่ากับ drainable porosity หรือ effective porosity หรือ specific yield ดังรูป



การแก้สมการแบบ non-steady state จะต้องกำหนด initial boundary condition ซึ่ง $t = 0 ; h = h_0 = \frac{Ri}{\mu}$

$t > 0 ; h = 0 \quad x = 0$

จะได้ $h_t = 1.16\, h_0 e^{-\alpha t}$

ซึ่ง $\alpha = \frac{\pi^2 KD}{\mu L^2}$

$$L^2 = \pi^2 \left(\frac{KDT}{\mu}\right) \left(\frac{1}{\ln 1.16 \frac{h_0}{h_t}}\right)$$

ซึ่ง $h_t = h(\frac{L}{2}, t)$

$h_o = h(\frac{L}{2}, 0)$=ความสูงของระดับน้ำใต้ดินเหนือทางระบายเริ่มแรก

t = เวลา

μ = drainable porosity ของดิน

สมการข้างบนวิเคราะห์โดยสมมติเป็นการไหลในแนวราบ ดังนั้น ถ้านำเอาการไหลแบบในแนวรัศมี บริเวณใกล้ ๆ กับทางระบายน้ำมาคิดด้วยเช่นเดียวกับวิธีของ Hooghoudt ก็ให้ใช้ค่า equivalent depth, d จะได้สมการเรียกว่า Glover-Dummequation ดังนี้

$$L^2 = \pi^2 \left(\frac{Kdt}{\mu}\right) \left(\frac{1}{\ln 1.16 \frac{h_o}{h_t}}\right)$$

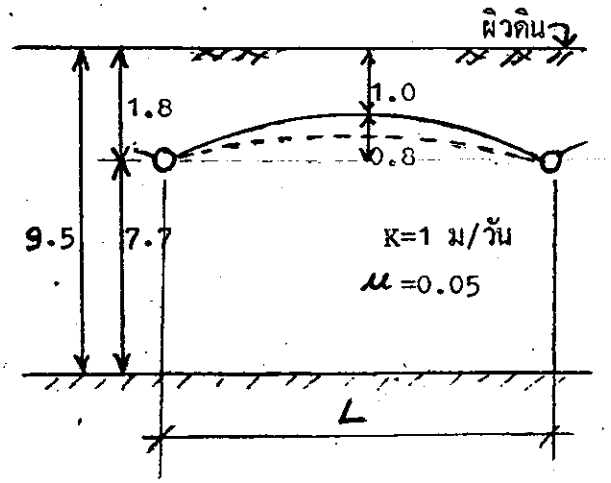
<u>ตัวอย่าง</u> ในเขตพื้นที่ชลประทานแห่งหนึ่งมีการให้น้ำทุก 10 วัน การให้น้ำชลประทานแต่ละครั้งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำชลประทาน จำนวน 25 มิลลิเมตร ลงไปในน้ำใต้ดิน ถ้าต้องการใช้ท่อระบายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ฝังลึก 1.8 เมตร จากผิวดินเพื่อควบคุมระดับน้ำใต้ดินไม่ให้ขึ้นมาสูงเกินไปคือไม่ให้น้ำใต้ดินขึ้นมาใกล้ผิวดินมากกว่า 1 เมตร จะคำนวณหาระยะห่างของท่อระบายนี้ถ้าดินมีค่า K = 1ม./วัน μ = 0.05 และ ชั้นทึบน้ำอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 9.5 ม.

<u>วิธีทำ</u> การสูญเสียน้ำชลประทานจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น $\Delta h = \frac{Ri}{\mu} = \frac{0.025}{0.05} = 0.5$ ม.

$h_o = 1.8 - 1.0 = 0.8$ ม.

ดังนั้นเพื่อไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าทางระบายน้ำมากกว่า 0.8 ม. h_t ควรจะอยู่ที่

$h_o - \Delta h = 0.8-0.5 = 0.3$ ม.; $D = 9.5-1.8 = 7.7$ ม.



จาก Glover-Dumm equation

$$L^2 = \pi^2 \left(\frac{Kdt}{\mu}\right) \left(\frac{1}{\ln 1.16\frac{h_o}{h_t}}\right)$$

แทนค่า $L^2 = \pi^2 \left(\frac{1 \times d \times 10}{0.05}\right) \left(\frac{1}{\ln 1.16\frac{0.8}{0.3}}\right)$

$= 1,748\ d$

ถ้าสมมติ $d = D = 7.7$ ม. $L = 116$ ม.

สมมติให้ $L = 90$ ม.

หา $d = \dfrac{D}{1+\frac{D}{L}\left(\frac{8}{\pi^2} \ln\frac{D}{r} - a\right)}$

$a = 3.55-1.6\left(\frac{D}{L}\right)+2\left(\frac{D}{L}\right)^2 = 3.55-1.6\left(\frac{7.7}{90}\right)+2\left(\frac{7.7}{90}\right)^2$

$= 3.428$

$$d = \frac{7.7}{1+\frac{7.7}{90}\left(\frac{8}{\pi^2} \ln\frac{7.7}{0.1} - 3.428\right)} = 4.66 \text{ ม.}$$

แทนค่า $L^2 = 1,748 \times 4.66$

$L = 90.2 = 90$ ม.

∴ ระยะห่างของทางระบาย = 90 ม.

บทที่ 9

การระบายน้ำใต้ผิวดินในแปลงเพาะปลูก

ระบบระบายน้ำใต้ผิวดินในแปลงเพาะปลูก เป็นระบบซึ่งระบายน้ำที่เกินความต้องการออกไปจากพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง เพื่อควบคุมไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงหรืออยู่ใกล้ผิวดินเกินไปจนเป็นอันตรายต่อพืช ในระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน สามารถแบ่งออกได้เป็น Field drain, Field lateral or Collector drain, และ Main drain ซึ่ง Field drains จะทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำใต้ดินโดยน้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่ผ่านดินลงสู่ Field drains แล้วระบายลงสู่ collector และ main drain ตามลำดับแล้วระบายน้ำทั้งหมดหรือกำจัดน้ำนั้นออกไปจากพื้นที่ที่จุดทิ้งน้ำ

9.1 ชนิดของทางระบายน้ำ

ชนิดของทางระบายน้ำใต้ผิวดินอาจจะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบทางระบายน้ำเปิด (open drains) เช่น คูระบาย

2. แบบท่อระบาย (pipe drains) เช่น ท่อดินเผา (tile) ท่อคอนกรีต หรือท่อพลาสติก ซึ่งฝังอยู่ภายในดิน

3. แบบรูตุ่น(mole drains) เป็น unlined underground channels

ระบบระบายน้ำใต้ผิวดินอาจจะมีทางระบายน้ำเป็นแบบคูระบายทั้งหมด หรือเป็นแบบผสมระหว่างคูระบายกับท่อระบายหรือแบบผสมระหว่างคูระบายกับแบบรูตุ่นก็ได้

9.2 การออกแบบคูระบายน้ำ

คูระบายน้ำสามารถระบายน้ำได้ทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ผิวดิน ถ้าเปรียบเทียบคูระบายน้ำกับท่อระบายน้ำจะมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

	คูระบาย	ท่อระบาย
1.	ค่าลงทุนครั้งแรกต่ำ	ค่าลงทุนครั้งแรกสูง
2.	เสียพื้นที่เพาะปลูกไปส่วนหนึ่ง	ไม่เสียพื้นที่เพาะปลูก
3.	เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเครื่องจักรกลในฟาร์ม	ไม่เป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงานในฟาร์ม
4.	ค่าบำรุงรักษาสูง	ค่าบำรุงรักษาต่ำ

5.	การตรวจสอบการทำงานของระบบ	การตรวจสอบทำได้ยากกว่าทำได้ง่าย
6.	ระบายน้ำได้ทั้งผิวดินและน้ำใต้ดิน	ระบายน้ำได้เฉพาะน้ำใต้ดิน
7.	ต้องการ gradient ต่ำ	ต้องการ gradient สูงกว่า

9.2.1 ความเหมาะสมของพื้นที่ในการใช้คูระบายน้ำ

การเลือกใช้คูระบายน้ำเหมาะสำหรับสภาพพื้นที่ดังนี้

1. สามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินตามระดับที่ต้องการได้โดยที่ระยะห่างของคูระบายไม่แคบหรือน้อยเกินไป คือพื้นที่จะไม่ถูกแบ่งออกเป็นแปลงที่มีขนาดเล็กเกินไป

2. ถ้าต้องการให้ระบบระบายน้ำ ระบายน้ำได้ทั้งทางใต้ผิวดินและบนผิวดินด้วย คือจะเหมาะกับดินซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงดินต่ำ และมีฝนตกในอัตราสูง

3. ถ้าต้องการควบคุมน้ำใต้ดินไม่อยู่ต่ำกว่าผิวดินมากนัก

9.2.2 ระยะห่างของคูระบายน้ำ

การคำนวณหาระยะห่างของคูระบายน้ำในแปลง (field drains) ใช้สูตรของ Hooghoudt หรือ Kirkham สำหรับการคำนวณหาระยะห่างของ Collector ditchesจะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบของ ขนาดของฟาร์ม ความยาวสูงสุดของ field drains ถ้าเป็นพื้นที่ราบซึ่งใช้ field drain แบบท่อระบายระยะห่างของ collector ditches จะอยู่ระหว่าง 200 ถึง 400 เมตร และระดับของน้ำใน collector ditches จะต้องอยู่ต่ำกว่า outlet ของที่ท่อระบายประมาณ 30 เซ็นติเมตร

9.2.3 ขนาดและอาคารประกอบของคูระบาย

ถ้าทราบค่าอัตราของน้ำที่ต้องการระบาย ระดับของน้ำที่ต้องการหรือระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการควบคุม ชนิดของดิน และชั้นดินทึบน้ำ จะสามารถคำนวณหา ขนาด ลาดเทด้านข้างคู gradient และอาคารประกอบต่าง ๆ ได้ โดยใช้หลักการเช่นเดียวกับคูระบาย ในบางครั้งขนาดของคูระบายที่คำนวณหาได้อาจจะมีขนาดเล็กมากไม่สะดวกในการก่อสร้างและบำรุงรักษา ก็ให้ใช้ค่าขนาดเล็กสุดของคูระบายน้ำแทน คูระบายน้ำขนาดเล็กสุด มีความกว้างก้นคลอง 50 เซ็นติเมตร ความลึกของก้นคลองจากผิวดิน 1.4 เมตร

9.2.4 ตำแหน่งของคูระบาย

ถ้าเป็นไปได้ตำแหน่งของคูระบายควรจะอยู่ในพื้นที่ต่ำที่สุดเพื่อจะได้ทำหน้าที่ระบายน้ำได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามตำแหน่งของคูระบายต้องพยายามให้มีงานดินขุดน้อยที่สุด และระดับ

น้ำในคูระบายจะต้องให้อยู่ต่ำกว่า outlet ของท่อ นอกจากนี้ยังจะต้องพิจารณาถึงเขตกรรมสิทธิ์ที่ดินของแต่ละเจ้าของด้วย โดยทั่ว ๆ ไปจะให้ collector ditches อยู่ที่เขตแบ่งกรรมสิทธิ์ที่ดิน

9.3 การออกแบบระบบท่อระบายน้ำ

ในการออกแบบระบบท่อระบายน้ำจะต้องคำนวณหา

1. ความลึกและระยะห่างของทางระบาย ซึ่งเป็นตัวกำหนดการควบคุมระดับน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการ

2. ขนาดของท่อและ gradient ของท่อ ซึ่งจะต้องออกแบบให้ระบายน้ำได้เพียงพอ

3. การวางแนวของ field drains และ collector drains ซึ่งจะต้องให้เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศ

9.3.1 สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ

สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ หมายถึงน้ำที่ต้องระบายออกไปในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำสำหรับการระบายน้ำผิวดินส่วนมากจะมีหน่วยเป็นอัตราการระบายน้ำต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา เช่น ลิตร/วินาที/ไร่ และจะมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำใต้ผิวดิน ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำใต้ผิวดินจะมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อวัน เช่น มิลลิเมตรต่อวัน หรือนิ้วต่อวัน

ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำใต้ดิน สำหรับพื้นที่ในเขตชุ่มชื้นจะมีค่าเท่าใดจะขึ้นอยู่กับอัตราของฝนและขนาดของพื้นที่รับน้ำซึ่งจะมีค่าประมาณ 3 ถึง 25 มิลลิเมตรต่อวัน สำหรับพื้นที่ในเขตชลประทานค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับปริมาณการให้น้ำชลประทาน วิธีการให้น้ำ ความต้องการน้ำชะล้างดิน และลักษณะของดิน เช่น ในเขตพื้นที่ชลประทานมีการให้น้ำครั้งละ 15 เซ็นติเมตรทุก ๆ 14 วัน การให้น้ำแต่ละครั้งจะเกิดการสูญเสียน้ำ 28% ของน้ำที่ให้ ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำจะเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวัน

9.3.2 ความลึกและระยะห่างของทางระบายน้ำ

การคำนวณหาระยะห่างของท่อระบาย คำนวณหาจากสูตรของ Hooghoudt; Kirkham หรือ Glover-Dumm ดังได้กล่าวมาแล้ว

ในทางทฤษฎีถ้าท่อระบายยิ่งฝังลึกลงไปในดินมากเท่าใด จะได้ระยะห่างระหว่างท่อระบายมากขึ้นซึ่งจะเป็นการประหยัดท่อได้มาก แต่ในทางปฏิบัติความลึกของท่อจะมีข้อ

จำกัดอยู่ดังนี้

1. ถ้าใช้คูระบายเป็น Collector drains การที่ฝังท่อระบายลึกมาก ๆ จะทำให้ระดับน้ำใต้ collector drains ต่ำลงไปด้วย คือ collectors จะต้องขุดลึกมากตามไปด้วย ทำให้งานดินขุดเพิ่มมากขึ้นราคาแพงขึ้น

2. ถ้าชั้นดินล่างหรือชั้นดินที่ต่ำกว่าท่อระบายเป็นดินซึ่งมีค่าความนำน้ำของดินสูงจะเกิด seepage จากดินชั้นล่างไหลเข้ามาในท่อระบายมาก ทำให้ระดับน้ำใต้ดินซึ่งอยู่เหนือท่อระบายลดลงน้อย คือการทำหน้าที่ของท่อระบายเพื่อลดระดับน้ำใต้ดินจะได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

3. การฝังท่อลึกมาก ๆ การทำร่องขุด (trench) และการฝังท่อจะทำได้ลำบากยิ่งขึ้นและราคางานจะแพงยิ่งขึ้น

ในการคำนวณหาระยะห่างของท่อระบายจะต้องนำข้อจำกัดข้างบนมาพิจารณาด้วย ในทางปฏิบัติจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลง ๆ ค่าระยะห่างของท่อระบายที่คำนวณได้จากสูตรจะปัดลงให้เป็นตัวเลขมาตรฐานที่ใช้กัน เช่น 10,15,20,25,30,40,50 เมตร เป็นต้น และให้ใช้ค่าเท่า ๆ กันในแต่ละแปลง

9.3.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อและ gradient

ในการออกแบบระบบท่อระบายจะสมมุติความลาดเทของท่อขึ้นมาก่อน โดยให้มีค่าเท่ากับความลาดเทของภูมิประเทศ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการตกตะกอนภายในท่อความเร็วของน้ำจะต้องสูงพอ ความเร็วของน้ำประมาณ 0.4 เมตรต่อวินาที จะไม่ทำให้เกิดการตกตะกอนภายในท่อ ดังนั้นเพื่อให้เกิด self cleaning ภายในท่อควรใช้ประโยชน์จากความลาดเทของพื้นที่โดยให้ความลาดเทของท่อใกล้เคียงกับความลาดเทของลักษณะภูมิประเทศ ขนาดของท่อจะต้องใหญ่เพียงพอที่จะระบายน้ำได้ทันเวลา ขนาดของท่อจะคำนวณหาได้จากสูตรของ Manning โดยให้การไหลเป็นแบบทางน้ำเปิดให้น้ำไหลเต็มท่อพอดี

สูตร Manning : $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$

Q = อัตราการระบายน้ำ - $ม^3$/วินาที

n = สัมประสิทธิ์ของความขรุขระ สำหรับท่อดินเผาและท่อคอนกรีต ค่า n ประมาณ 0.01 ถึง 0.017

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ - $ม^2$

R = hydraulic radius - ม

$$R = \frac{A}{P} = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\left(\frac{1}{\pi D}\right) = \frac{D}{4}$$

P = เส้นขอบเปียก - ม

S = hydraulic gradient

จะได้ $Q = \left(\frac{1}{n}\right)\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)\left(\frac{D}{4}\right)^{2/3}(S)^{1/2}$

$$Q = \frac{0.312\ D^{8/3} S^{1/2}}{n}$$

ถ้า n = 0.014

จะได้ $Q = 22.26\ D^{8/3} S^{1/2}$ .....(1)

การคำนวณหาขนาดของท่อดินเผาหรือท่อคอนกรีต ถ้าใช้ค่า n = 0.014 จะหาได้จากสมการ 1 ถ้ารู้ค่า Q และ S เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการหาขนาดท่ออาจจะใช้หาโดยรูปกราฟ รูปที่ 9.1 ที่ได้มาจากสมการที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 ระบบระบายน้ำบนแปลงเพาะปลูกได้ออกแบบโดยใช้ระยะห่างของท่อ 30 เมตร ความยาวของท่อระบาย 200 เมตร ความลาดเทของท่อ 0.10% จงคำนวณหาขนาดของท่อถ้าสัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ 7 มิลลิเมตรต่อวัน

วิธีทำ

$$Q = \text{สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ} \times \text{พื้นที่}$$

$$= \frac{7}{1{,}000 \times 24 \times 60 \times 60}(30 \times 200)$$

$$= 4.681 \times 10^{-4} \quad \text{ม}^3/\text{วินาที}$$

สมมุติใช้ท่อคอนกรีต n = 0.014

จากสมการ 1 $Q = 22.26\ D^{8/3} S^{1/2}$

แทนค่า $4.681 \times 10^{-4} = 22.26\ (D)^{8/3}\left(\frac{0.10}{100}\right)^{1/2}$

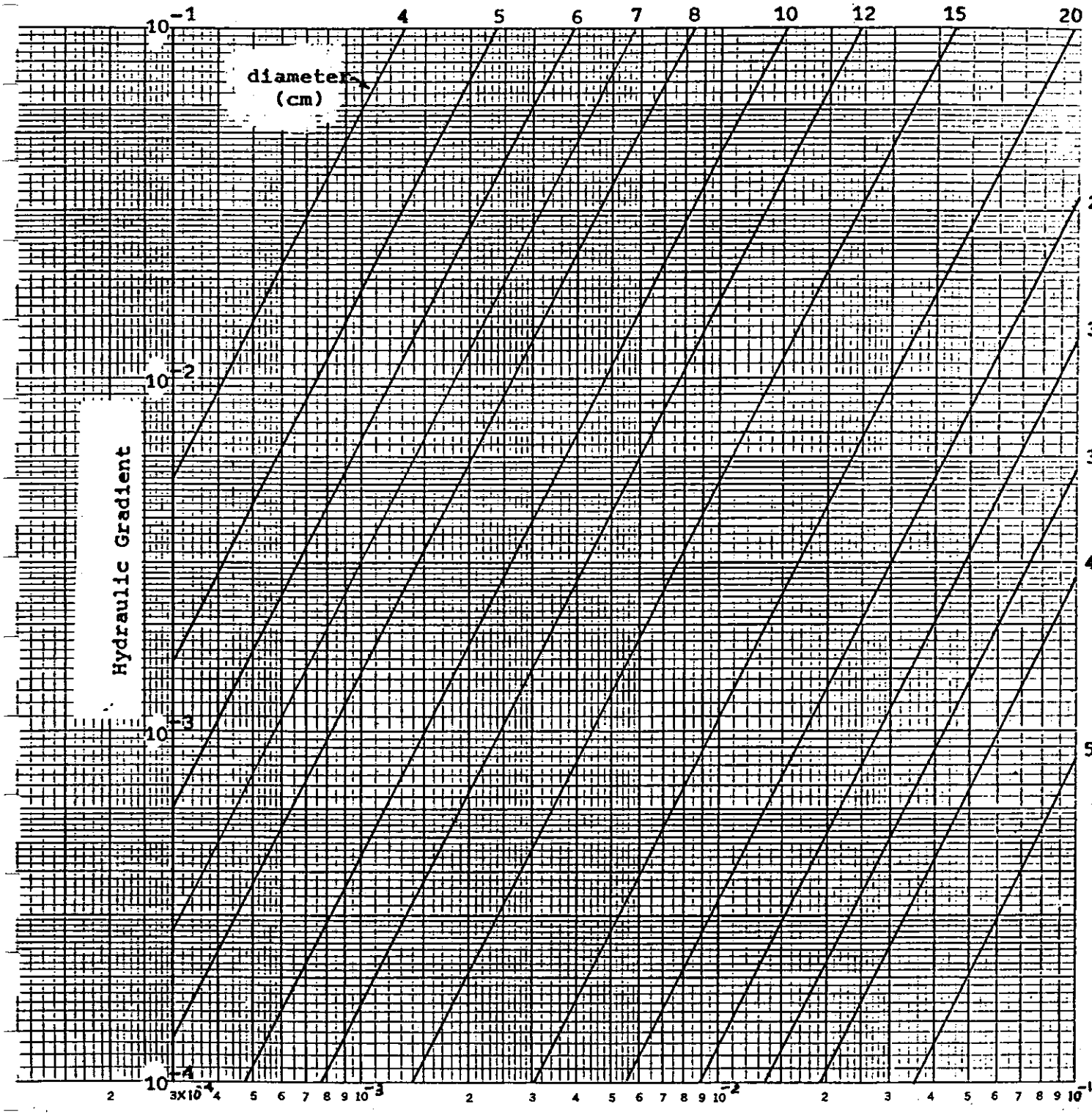
$D = 0.0653$ ม. หรือ 65.3 มม.

หรือโดยใช้รูปกราฟ รูปที่ 9.1

$Q = 4.681 \times 10^{-4}$ ม^3/วินาที $S = 0.10\% = 1 \times 10^{-3}$

จากกราฟ ค่า D อยู่ระหว่าง 60 และ 70 มม.

∴ ใช้ท่อขนาด 70 มิลลิเมตร



รูปที่ 9.1 กราฟแสดงความจุของท่อ n = 0.014

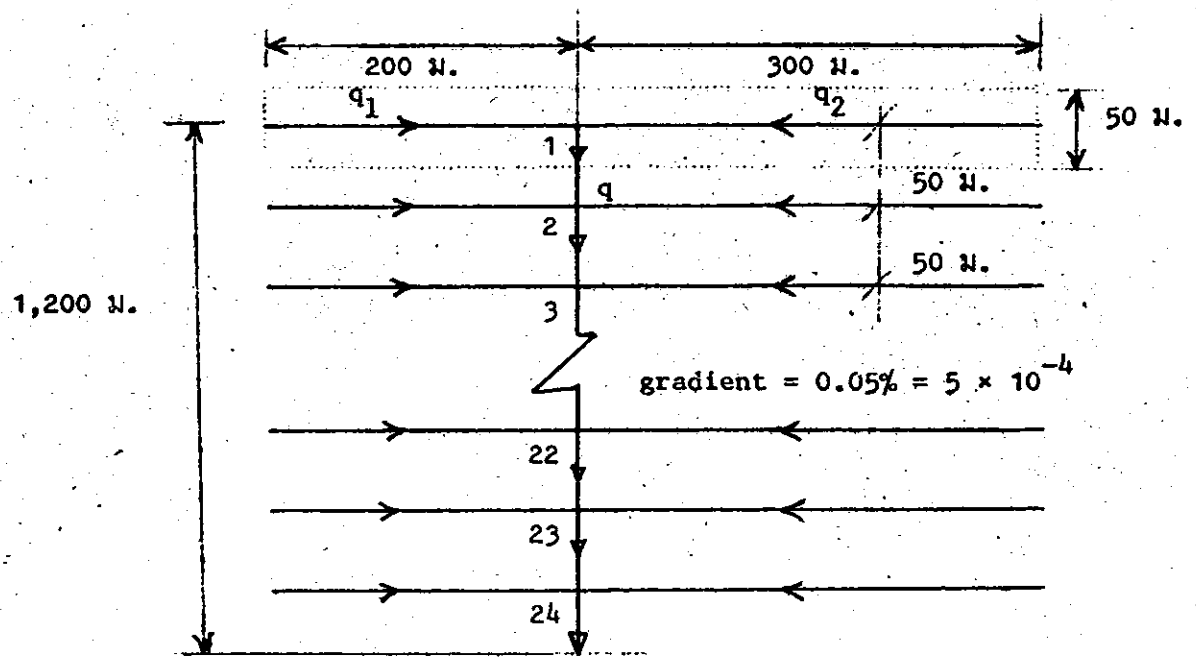
การเลือกขนาดท่อให้ใช้เท่าที่คำนวณได้จากสูตรของ Manning แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่เท่ากับขนาดมาตรฐานของท่อที่ผลิตขายในท้องตลาดให้เลือกใช้ขนาดของท่อซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณได้ในอันดับต่อไปของท่อขนาดมาตรฐานที่ผลิต เช่น D ที่คำนวณได้ 65.3 มิลลิเมตร ให้ใช้ท่อขนาด 70 มม.

9.3.4 การออกแบบท่อระบายขนาดต่าง ๆ

ปกติท่อระบายจะรับน้ำเข้าท่อมากขึ้น ๆ ตามระยะทางจากปลายสุดด้านเหนือน้ำของท่อ ดังนั้นที่ต้นท่อจะมีน้ำเข้าท่อน้อยกว่าที่จุดทิ้งน้ำของท่อในการออกแบบท่อ ถ้าเป็น field drain จะออกแบบให้ท่อมีขนาดเท่ากันตลอดแนวท่อดังตัวอย่าง 1 ใช้ท่อขนาด 70 มิลลิเมตรตลอดความยาว 200 เมตร ถ้าท่อเป็น collector drains การออกแบบจะออกแบบให้ท่อมีขนาดแตกต่างกันคือท่อจะใหญ่ขึ้นตามทิศทางการไหลเพื่อให้ราคาของท่อถูกลง ดังตัวอย่าง 2

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> ในการออกแบบระบบระบายน้ำ ถ้าให้ field drains ตั้งฉากกับ collector drains ทั้งสองด้านของ collectors; field drains ยาว 300 และ 200 เมตร ถ้าความลาดเทของ collectors เท่ากับ 0.05% drainage coefficient เท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อวัน จงหาขนาดของ collector drains และความยาวของท่อแต่ละขนาด โดยกำหนดให้ใช้ท่อขนาดเล็กสุดสำหรับ collector drains เท่ากับ 150 มิลลิเมตร ความยาวทั้งหมดของ collector drain 1,200 เมตร และระยะห่างของ field drains เท่ากับ 50 เมตร

<u>วิธีทำ</u> จากข้อมูลที่กำหนดให้เขียนรูปได้ดังนี้



ปริมาณอัตราระบายน้ำทั้งหมด Q = สัมประสิทธิ์ของการระบายน้ำ × พื้นที่

$$= \left(\frac{5}{1,000 \times 24 \times 60 \times 60}\right)(1,200 \times 500) = 3.472 \times 10^{-2} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

จากกราฟ รูปที่ 1 ถ้า gradient $= 5 \times 10^{-4}$ ต้องใช้ท่อขนาด 400 มม. เป็นท่อขนาดใหญ่สุด

จากรูปข้างบน $q = q_1 + q_2$

$$= \left[(200 + 300)(50)\right] \times \frac{5}{1,000 \times 24 \times 60 \times 60}$$

$$= 1.447 \times 10^{-3} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

discharge จาก field drains $(q_1 + q_2)$ จะไหลเข้า collector drain เป็นจุด ๆ แต่ละจุดห่างกันเท่ากับ 50 เมตร

∴ จำนวนจุดบน collector drain $= \frac{1,200}{50} = 24$ จุด

- ขนาดท่อเล็กสุดสำหรับ collector drain ให้ใช้ 150 มม.

จากกราฟรูปที่ 9.1 ท่อขนาด 150 มม., $i = 0.05\%$, สามารถระบายน้ำได้ $3.1 \times 10^{-3} \text{ม}^3/\text{วินาที}$

∴ จำนวนจุดบน collector $= \frac{\text{ความจุสูงสุดของท่อ}}{q} = \frac{3.1 \times 10^{-3}}{1.447 \times 10^{-3}} = 2.1$ จุด

แต่น้ำไหลเข้า collector drain เป็นจุด ๆ ∴ ใช้ = 2 จุด คิดเป็นระยะทางเท่ากับ

2 × ระยะห่างของท่อ $= 2 \times 50 = 100$ เมตร

∴ ใช้ท่อขนาด 150 มม. ยาว 100 เมตร

- ท่อขนาดโตขึ้นมาคือท่อ 200 มม. จากรูปที่ 9.1 ถ้า $i = 0.05\%$ ได้ความจุสูงสุดของท่อ

$= 6.6 \times 10^{-3} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$

∴ จำนวนจุด $= \frac{\text{ความจุสูงสุดของท่อ}}{q} = \frac{6.6 \times 10^{-3}}{1.447 \times 10^{-3}} = 4.5$ จุด

ใช้ 4 จุด คิดเป็นระยะทาง = 4 × ระยะห่างของท่อ = 4 × 50 = 200 เมตร

∴ ความยาวของท่อ 200 มม. = 200 − 100 = 100 เมตร

- ท่อขนาดโตขึ้นมาอีกคือท่อ 250 มม. จากกราฟรูปที่ 9.1

ได้ความจุสูงสุดของท่อ $= 1.22 \times 10^{-2} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$

จำนวนจุด $= \frac{1.22 \times 10^{-2}}{1.447 \times 10^{-3}} = 8.4$ จุด

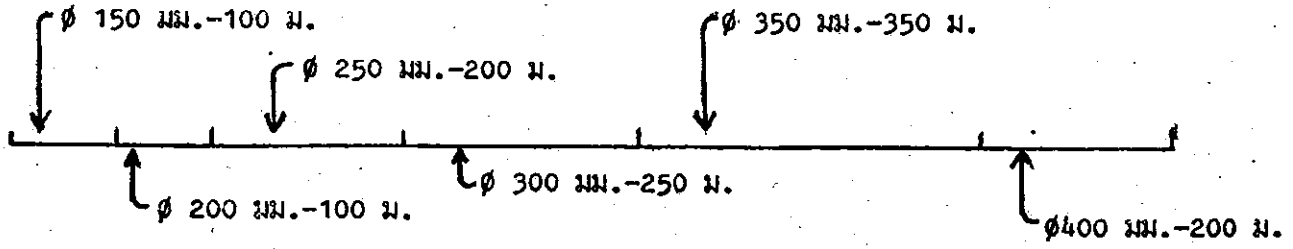
ใช้ 8 จุด คิดเป็นระยะทาง 8 × 50 = 400 ม.

∴ ความยาวท่อขนาด 250 มม. ที่ใช้ = 400 - 200 = 200 ม.

การคำนวณหาขนาดและความยาวของท่อ collector drain ต่อ ๆ ไปก็คำนวณแบบเดียวกัน สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

1	2	3	4 = 2/3	5
ขนาดท่อ (มม.)	ความจุสูงสุดของท่อ ($ม^3$/วินาที)	อัตราการระบายน้ำต่อระยะห่างของท่อระบาย($ม^3$/วินาที)	จำนวนจุด	ความยาวท่อที่ต้องการ เมตร
150	3.1×10^{-3}	1.447×10^{-3}	2.1 ใช้ 2	2 × 50 = 100
200	6.6×10^{-3}	1.447×10^{-3}	4.5 " 4	(4 - 2) × 50 = 100
250	1.22×10^{-2}	1.447×10^{-3}	8.4 " 8	(8 - 4) × 50 = 200
300	1.97×10^{-2}	1.447×10^{-3}	13.6 " 13	(13 - 8) × 50 = 250
350	3.0×10^{-2}	1.447×10^{-3}	20.7 " 20	(20 - 13)× 50 = 350
400	4.3×10^{-2}	1.447×10^{-3}	29.7 " 29	(24 - 20)× 50 = 200

ขนาดและความยาวของ collector drain จะเขียนเป็นรูปได้ดังนี้



9.4 การวางแนว

การวางแนว main, collector และ field drain ควรวางแนวให้ตรงที่สุด ถ้าจำเป็นต้องวางแนวให้โค้งให้ใช้รัศมีของความโค้งน้อยที่สุด 15 เมตร และจะต้องพยายามวางแนวให้อยู่ตำแหน่งซึ่งมีประสิทธิภาพและประหยัดมากที่สุด โดยใช้หลักเกณฑ์ดังนี้

1. ให้มีจำนวน outlet น้อยที่สุด
2. ให้ field drain ยาว และ main สั้น

3. วางแนวให้ field drain ใช้ประโยชน์จากความลาดเทของพื้นที่ให้ดีที่สุด

4. ให้แนว main ไปตามทิศทางของทางน้ำธรรมชาติ

5. หลีกเลี่ยงตำแหน่ง ซึ่งจะต้องมีงานดินขุดมาก

6. หลีกเลี่ยงการวางแนว ซึ่งต้องข้ามทางน้ำธรรมชาติ

7. หลีกเลี่ยงจากสภาพดิน ซึ่งจะทำให้เพิ่มค่าก่อสร้างสูงขึ้น หรือค่าบำรุงรักษาระบบระบายน้ำสูง

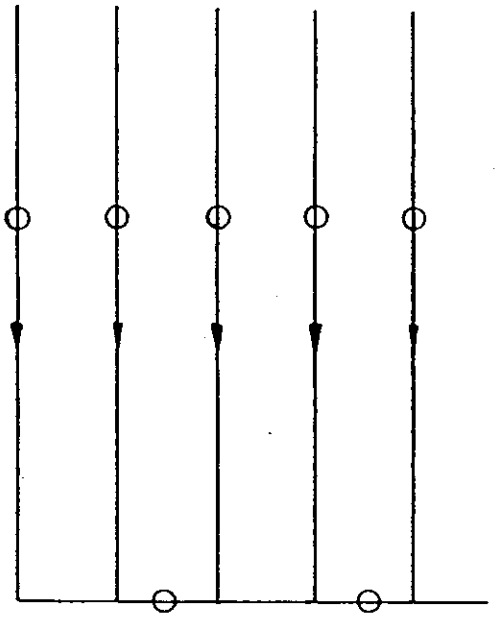
ความลาดเทของแนวท่อน้อยกว่า 0.10% ยากที่จะทำการก่อสร้างให้อยู่ในระดับลาดเท ตลอดทั้งแนวถ้าวางแนวโดยใช้เครื่องจักรกล จึงยอมให้ความลาดเทของท่อผิดไปจากระดับเดิมได้ แต่ต้องผิดไปน้อยกว่า 10% ของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ และในทุกกรณีจะต้องผิดไปจากระดับเดิมที่ออกแบบไว้ไม่เกินกว่า 3 เซ็นติเมตร และถ้าลาดเทผิดไปจะต้องรีบแก้ไขให้เข้าแนวเดิม โดยให้แก้ให้เข้าระดับเดิมโดยแก้แนวแต่ละท่อน ท่อละ 2% ของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อจนกระทั่งระดับลาดเทเข้ามาอยู่ในแนวดิน การที่ความลาดเทของท่อผิดไปจากเดิม จะทำให้เกิดการตกตะกอนภายในท่อ และทำให้อัตราการไหลภายในท่อลดลงด้วย การวางแนวท่อจะต้องให้หักเหจากแนวเดิมน้อยกว่า 20% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อและจะต้องแก้ไขให้เข้าแนวเดิมโดยแต่ละท่อนของท่อจะต้องแก้ให้เข้าแนวเดิมเป็นระยะน้อยกว่า 5% ของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

9.5 ชนิดของการวางแนวระบบระบายน้ำ

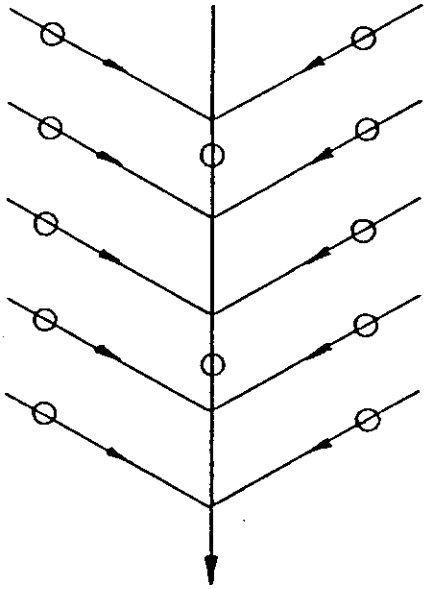
การวางแนวระบบระบายน้ำ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 แบบดังรูปที่ 9.2 คือ

1. ระบบขนาน (Gridiron or parallel system) เป็นระบบซึ่งวางแนวให้ field drain ขนานกันและตั้งฉากกับ collector หรือ main การวางแนวแบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบ แปลงมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม และดินมีค่าความนำน้ำของดินสม่ำเสมอตลอดพื้นที่

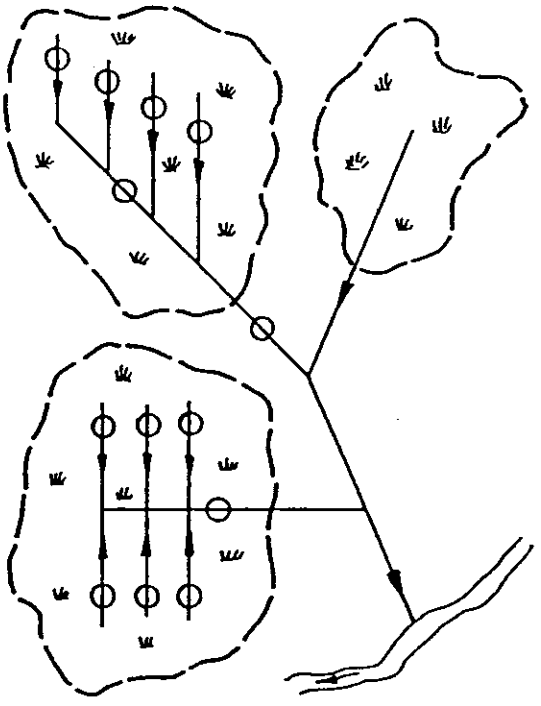
2. ระบบก้างปลา (Herringbone system) เป็นระบบซึ่งวางแนวให้ field drain ขนานกันแต่เอียงทำมุมกับ collector หรือ main การวางแนวแบบนี้เหมาะสำหรับในกรณีซึ่ง collector หรือ main อยู่ในที่ต่ำและเหมาะสำหรับกรณีซึ่ง collector หรือ main อยู่ในตำแหน่งตามทิศทางของลาดเทหลักของพื้นที่ ซึ่งจะทำให้สามารถปรับ gradient ของ field drain ได้ตามต้องการ โดยการปรับมุมซึ่ง field drain ทำมุมกับ collector หรือ main



PARALLEL



HERRINGBONE



RANDOM

รูปที่ 9.2 ระบบระบายน้ำใต้ผิวดินในแปลงเพาะปลูก

3. ระบบไร้รูปแบบ (Random system) เป็นระบบซึ่งวางแนวให้ field drains, หรือ main อยู่ในตำแหน่งซึ่งเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ซึ่งไม่เรียบเป็นคลื่นหรือมีที่ต่ำอยู่หลายจุดในพื้นที่บริเวณนั้น

9.6 วัสดุของท่อ (materials)

วัสดุที่ใช้ทำท่อส่วนมากนิยมใช้ท่อดินเผา (clay tile) ท่อคอนกรีตและท่อพลาสติก

ท่อดินเผา จะยาวประมาณท่อนละ 30 เซ็นติเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ กัน ประมาณ 5 ถึง 15 เซ็นติเมตร ท่อดินเผาอาจจะเป็นท่อแบบปลายเรียบตรง หรือแบบมี collar ซึ่งน้ำจะไหลเข้าท่อทางช่องว่าง (opening) ระหว่างท่อนของแต่ละท่อ ท่อดินเผาจะคงทนต่อสารเคมีและไม่ผุกร่อนเมื่อฝังในดิน

ท่อคอนกรีต ยาวประมาณท่อนละ 30 ถึง 100 เซ็นติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ มีขนาดใหญ่กว่าท่อดินเผา ท่อคอนกรีตไม่เหมาะสมที่จะใช้ในดินซึ่งเป็นกรดหรือดินมีซัลเฟตสูง น้ำไหลเข้าท่อทางช่องว่างระหว่างท่อนของแต่ละท่อ

ท่อพลาสติก ท่อที่นิยมใช้คือท่อ PVC อาจจะเป็นแบบท่อเรียบซึ่งเจาะรูสำหรับให้น้ำไหลเข้าท่อ หรือเป็นแบบหยักตัวหนอน (corrugated) และเจาะช่องให้น้ำไหลเข้าท่อ ท่อแบบแข็งเรียบจะยาวท่อนละประมาณ 5 เมตร ถ้าเป็นท่อแบบ corrugated ซึ่งเป็นแบบท่ออ่อน (flexible) จะมีความยาว 100 ถึง 200 เมตร โดยม้วนเป็นขดวงกลม ปัจจุบันนิยมใช้ท่อพลาสติกกันมากเพราะว่ามีน้ำหนักเบาและสะดวกในการขนย้าย

ท่อระบายน้ำจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักที่กระทำต่อท่อได้ น้ำหนักที่กระทำต่อท่อมีน้ำหนักของดินถมกับน้ำหนักกระแทกจากเครื่องจักรกลที่ปฏิบัติในฟาร์ม (impact load) ท่อซึ่งฝังอยู่ในที่ตื้น ๆ เช่น น้อยกว่า 3 ฟุต น้ำหนักที่กระทำต่อท่อจะมีทั้งน้ำหนักของดินถม และน้ำหนักของ impact load ถ้าท่อฝังอยู่ลึก ๆ น้ำหนักที่กระทำต่อท่อจะมีแต่น้ำหนักของดินถมเพียงอย่างเดียว

9.7 การไหลของน้ำเข้าท่อ (entry of water)

น้ำจะไหลเข้าไปภายในท่อทางช่องว่างระหว่างท่อนของแต่ละท่อซึ่งนำมาวางต่อ ๆ กัน หรือน้ำจะไหลเข้าท่อทางช่องที่เจาะขึ้นในท่อพลาสติก น้ำที่ไหลเข้าท่อจะไหลเข้าท่อในปริมาณมากที่สุดทางส่วนล่างของท่อ โดยปกติแล้วช่องว่างระหว่างท่อจะห่างกันประมาณ $\frac{1}{8}$ นิ้ว ช่องว่างจะใช้ขนาดใดแล้วแต่ชนิดของดิน เช่น ถ้าเม็ดดินเป็นอนุภาคซึ่งเกิดการพัดมาได้ง่าย ได้แก่

ขนาดของตะกอนทราย ช่องว่างต้องให้มีขนาดเล็กที่สุด ขนาดของช่องว่างที่เกิดจากความขรุขระของปลายท่อที่นำมาวางต่อ ๆ กันก็เพียงพอแล้ว จากผลการทดลองพบว่าถ้าเพิ่มขนาดของท่อจากท่อ 2 นิ้ว เป็นท่อขนาด 4 นิ้ว อัตราการไหลของน้ำเข้าท่อจะเพิ่มขึ้นเพียง 35 ถึง 60 % แล้วแต่ละระดับของระดับน้ำใต้ดิน และถ้าเพิ่มขนาดของช่องว่าง (opening) อีกเท่าตัว อัตราการไหลของน้ำเข้าท่อจะเพิ่มขึ้นเพียง 10% เท่านั้น แต่ถ้าในกรณีซึ่งวางท่อโดยให้ดินรอบ ๆ ท่อมีค่าความนำน้ำของดินสูง ๆ หรือสูงกว่าดินรอบนอก จะทำให้อัตราการไหลของน้ำเข้าท่อเพิ่มมากขึ้น เช่น ถ้าให้รอบ ๆ ท่อมีดินซึ่งมีค่าความนำน้ำของดินสูงกว่าดินรอบนอก $5\frac{1}{2}$ เท่า อัตราการไหลของน้ำเข้าท่อจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ดังนั้นจึงเป็นการดีกว่าในการที่จะเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเข้าท่อ โดยวิธีการใช้กรวดหรือทราย ซึ่งมีค่าความนำน้ำของดินสูงรอบ ๆ ท่อเป็นกรวดทรายใส่รอบท่อ

9.8 กรวดทรายใส่รอบท่อ (Gravel envelope)

การใช้กรวดทรายใส่ไว้รอบ ๆ ท่อระบาย เรียกว่า envelope เพื่อทำหน้าที่ 2 อย่างคือ

1. เพิ่มอัตราการไหลของน้ำเข้าท่อ โดยทำให้บริเวณรอบ ๆ ท่อมีช่องว่างมากขึ้น น้ำจะไหลเข้าท่อสะดวกขึ้น และยังเพิ่มประสิทธิภาพของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อด้วย

2. ทำหน้าที่เป็นตัวกรอง (filter) โดยไม่ยอมให้อนุภาคดินขนาดตะกอนทรายหรือทรายละเอียดมากไหลผ่านเข้าไปภายในท่อ ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตัน (clog) ภายในท่อได้

ในการออกแบบ envelope เพื่อใช้กับดินในบริเวณใด ๆ จะต้องออกแบบให้มีคุณสมบัติ 2 ข้อดังกล่าวข้างต้น โดยใช้หลักเกณฑ์ดังนี้

1. $\frac{\text{ขนาดของอนุภาคกรวดที่ 50\% เล็กกว่า}}{\text{ขนาดของอนุภาคดินที่ 50\% เล็กกว่า}} = \frac{D_{50}}{D_{50}} =$ 12 ถึง 58

2. $\frac{\text{ขนาดของอนุภาคกรวดที่ 15\% เล็กกว่า}}{\text{ขนาดของอนุภาคดินที่ 15\% เล็กกว่า}} = \frac{D_{15}}{D_{15}} =$ 12 ถึง 40

3. $\frac{\text{ขนาดของอนุภาคกรวดที่ 15\% เล็กกว่า}}{\text{ขนาดของอนุภาคดินที่ 85\% เล็กกว่า}} = \frac{D_{15}}{D_{85}} =$ น้อยกว่า 5

4. Gradation curve ของดิน (base materials) และของ envelope ควรจะขนานกันโดยประมาณ

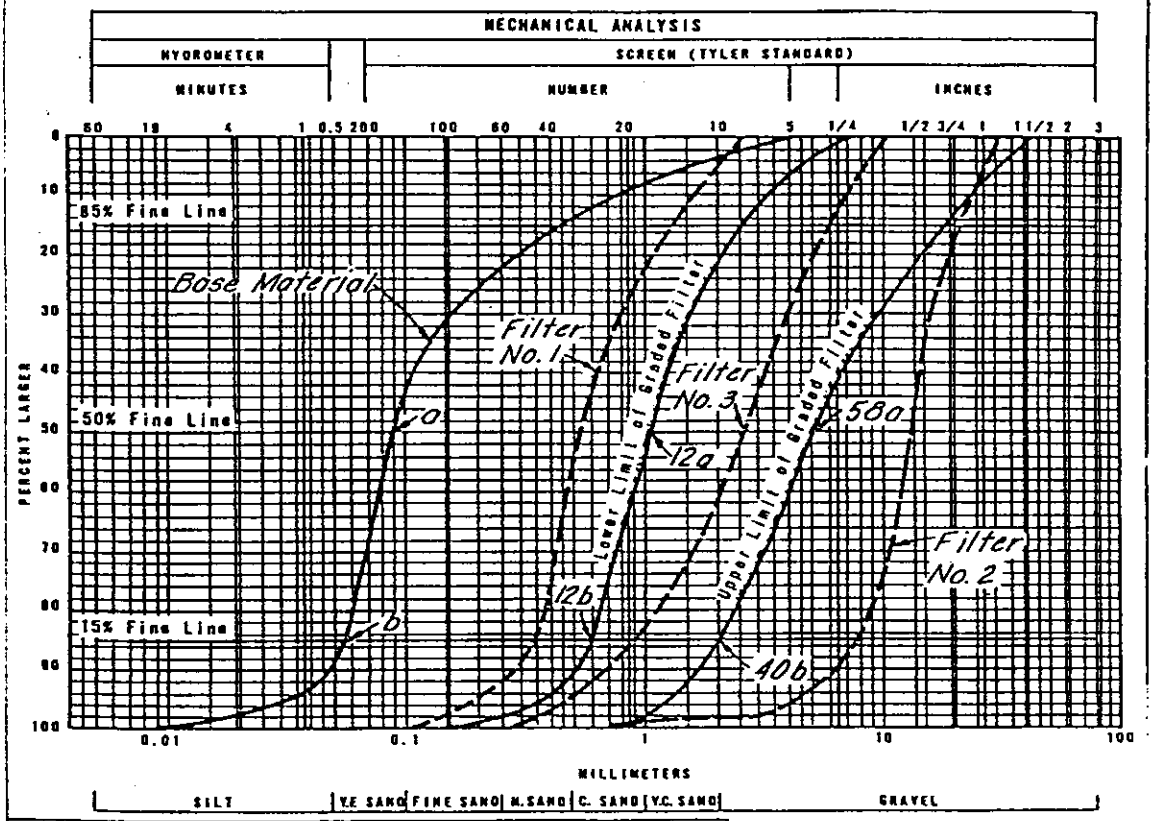
State _____ Area _____ District _____

Property John Jones

Location T.13S., R.10E., SW¼ Sec.8 Date 4-9-70

Base Soil Sample: No. 1 4 to 6 Feet No. 2 _____

Proposed Filters: No. 1 McGregor Pit; No. 2 Wilson Pit; No. 3 Jacob Pit



MECH. ANALYSIS		BASE NO. 1 Ret.	BASE NO. 1 Acc.	BASE NO. 2 Ret.	BASE NO. 2 Acc.	FILTER NO. 1 Ret.	FILTER NO. 1 Acc.	FILTER NO. 2 Ret.	FILTER NO. 2 Acc.	FILTER NO. 3 Ret.	FILTER NO. 3 Acc.
SIEVE	1 1/2							0	0		
	1							2	2		
	1/2							44	46	0	0
	1/4	0	0					44	90	10	10
	5	1	1			0	0	9	99	18	28
	10	2	3			3	3	0	99	36	64
	20	7	10			23	26	0	99	23	87
	40	6	16			44	70	1	100	10	97
	80	6	22			24	94			2	99
	100	8	30			4	98			1	100
	200	34	64			2	100				
HYDROMETER	0.5	23	87								
	1	5	92								
	4	4	96								
	16	4	100								
	60										

Notes: Filter No. 3 fits the base material curve better than 1 or 2 and should be specified as 1 and 2 do not fall within the 15 and 50 % bracket

Recommended Filter No. 3

รูปที่ 9.3 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเม็ดดินและกราฟและแสดงการออกแบบ envelope

5. ขนาดของกรวดใหญ่สุดที่ใช้ต้องไม่เกิน $1\frac{1}{2}$ นิ้ว และขนาดทรายเล็กสุดต้องโต กว่าขนาดของตะแกรงลวดเบอร์ 100 และจะต้องใช้กรวดทราย (envelope) ใส่รอบ ๆ ท่อหนาไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว

การออกแบบ ดังรูปที่ 9.3

9.9 การป้องกันแนวท่อ (Protection of drain lines)

ท่อระบายน้ำที่สร้างขึ้นอาจระบายน้ำได้ไม่ดีเนื่องจาก

1. ช่องว่างระหว่างท่อขนาดใหญ่เกินไป
2. แนวท่อไม่ตรงคด ๆ งอ ๆ
3. ความลาดเทของท่อหักเหจากแนวเดิมคือ สูง ๆ ต่ำ ๆ จากแนวที่ออกแบบไว้
4. ท่อแตกร้าวเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากเครื่องจักรกลในขณะก่อสร้าง
5. ท่อเกิดการทรุดตัวลง (settlement) เนื่องจากฐานรากไม่ดี
6. ดินถมเข้าไปภายในท่อ เกิดขึ้นขณะถมดินปิดร่องขุด
7. ออกแบบ envelope ไม่เหมาะสมกับดิน
8. ตำแหน่งของ envelope ไม่เหมาะสม

ที่กล่าวมาข้างบนอาจจะป้องกันได้โดยการตรวจสอบอย่างถี่ถ้วน ในขณะทำการก่อสร้าง

9.10 อาคารประกอบ

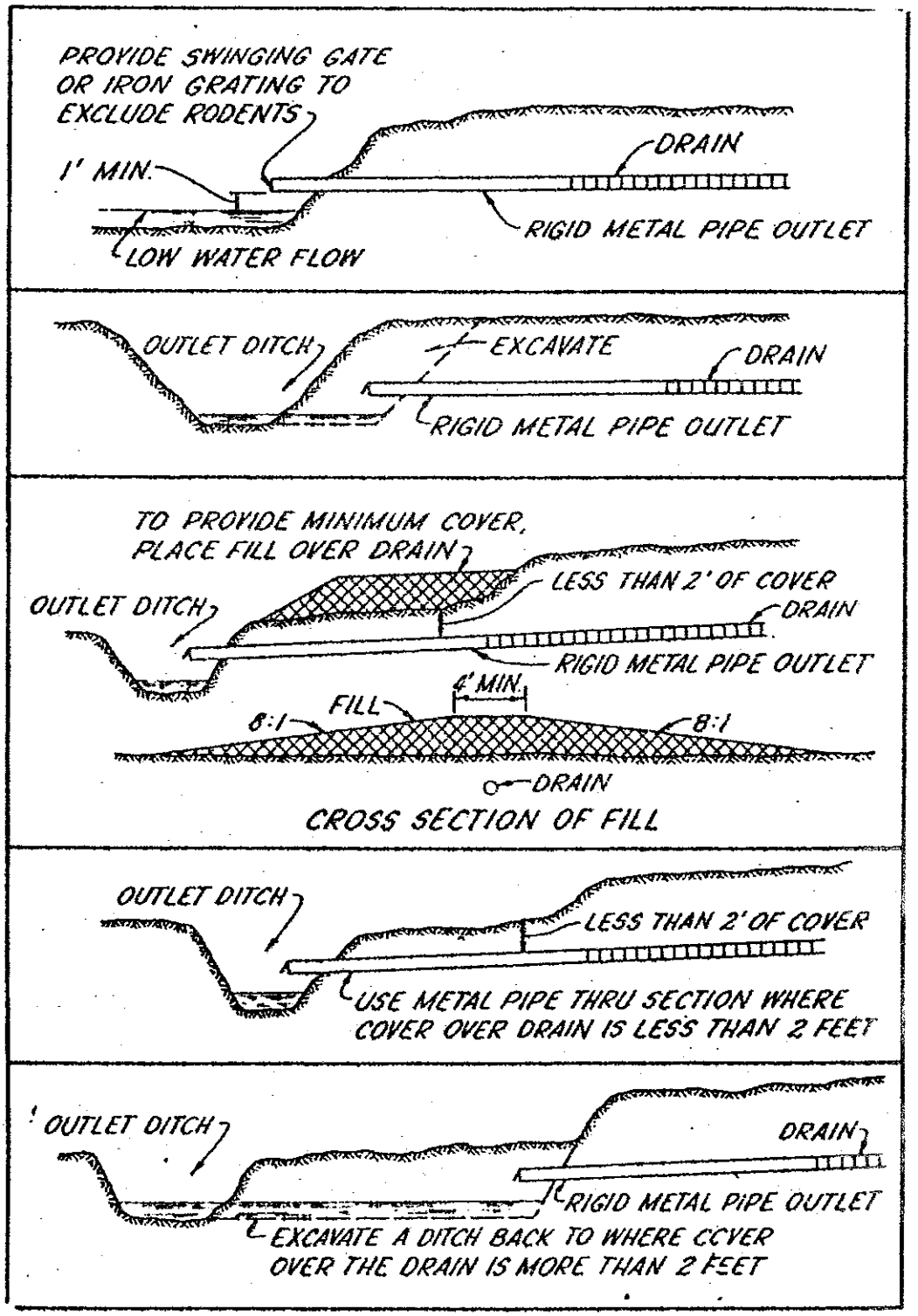
- outlet อาจจะเป็นแบบ gravity หรือแบบ pump ก็ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ ลักษณะภูมิประเทศ และค่าความฉำน้ำของดิน

ถ้าเป็น gravity outlet ในช่วงปลายของท่อ (outlet pipe) จะต้องเป็นท่อแข็งยาวอย่างน้อยที่สุด 10 ฟุต ยื่นออกไปในคลอง โดยให้อยู่เหนือระดับน้ำในคลอง 1 ถึง 2 ฟุต outlet จะต้องไม่ถูกน้ำท่วม ดูรูปที่ 9.4 ประกอบ

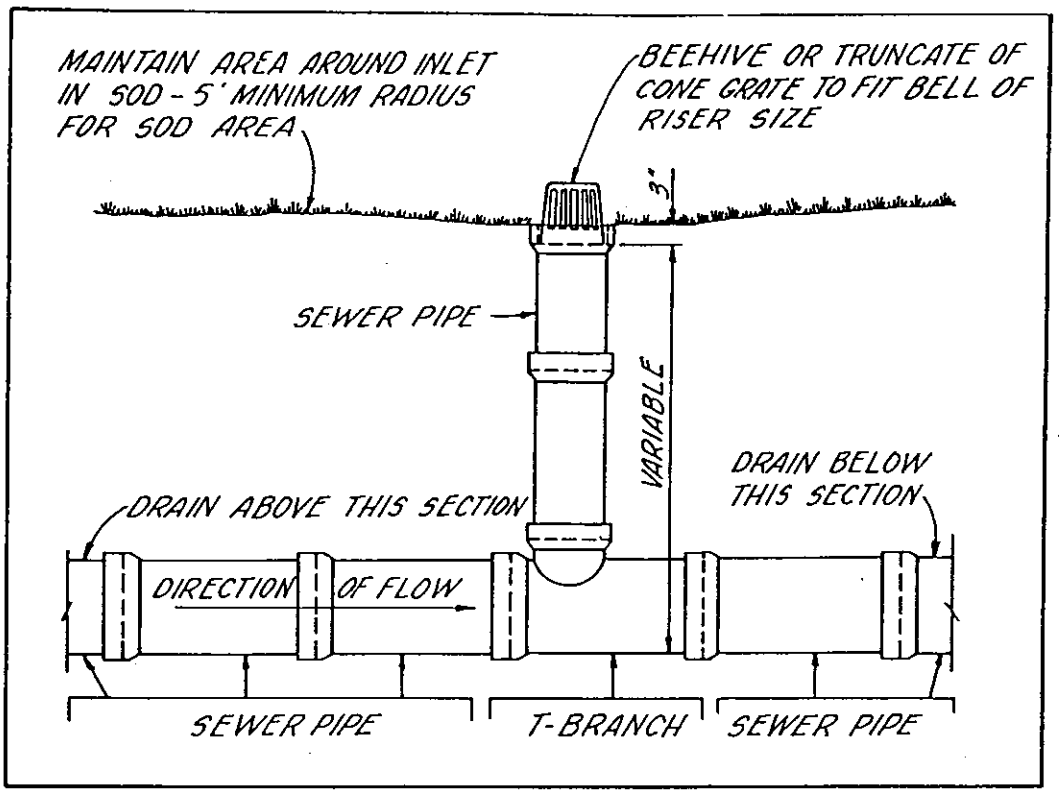
- ที่รับน้ำผิวดิน (Surface inlet) เป็นทางรับน้ำจากผิวดินให้ไหลเข้าไปภายในท่อ ดูรูปที่ 9.5 หรืออาจจะเป็นแบบ blind inlet คือใช้กรวดทรายเป็นที่รับน้ำผิวดิน น้ำจะไหลผ่านกรวดทรายและไหลต่อลงสู่ท่อระบายดังรูปที่ 9.6

- Junction box เป็นอาคารสำหรับจุดตัดจุดเชื่อมของแนวท่อต่าง ๆ และใช้สำหรับเป็นที่ดักตะกอนทรายได้ด้วย ดังรูปที่ 9.7

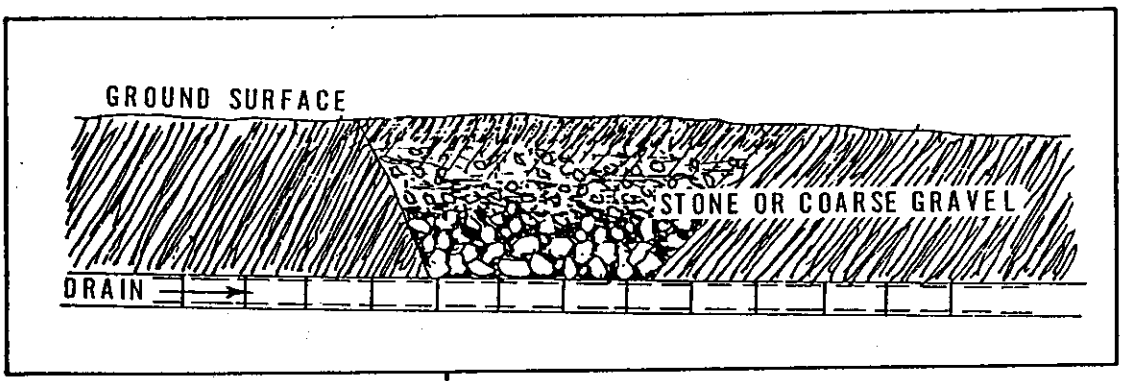
- Manhole ใช้สำหรับตรวจสอบการทำงานของท่อระบาย, ดักตะกอน, เป็นที่สำหรับลงไปซ่อมแซมหรือล้างท่อ (cleaning) ปกติ manhole จะสร้างที่ junction ของท่อ ดูรูปที่ 9.8



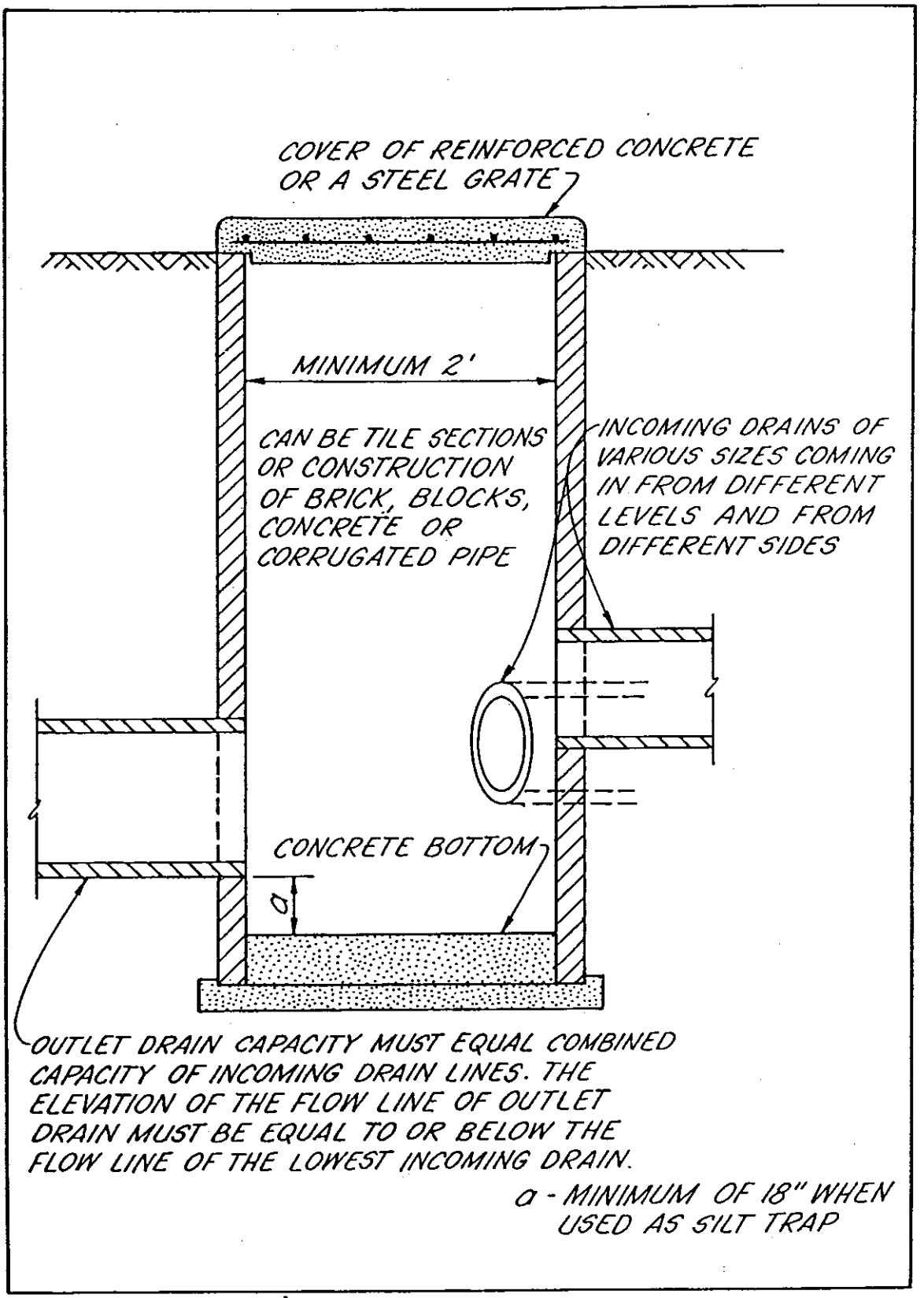
รูปที่ 9.4 Outlet ของทอระบาย



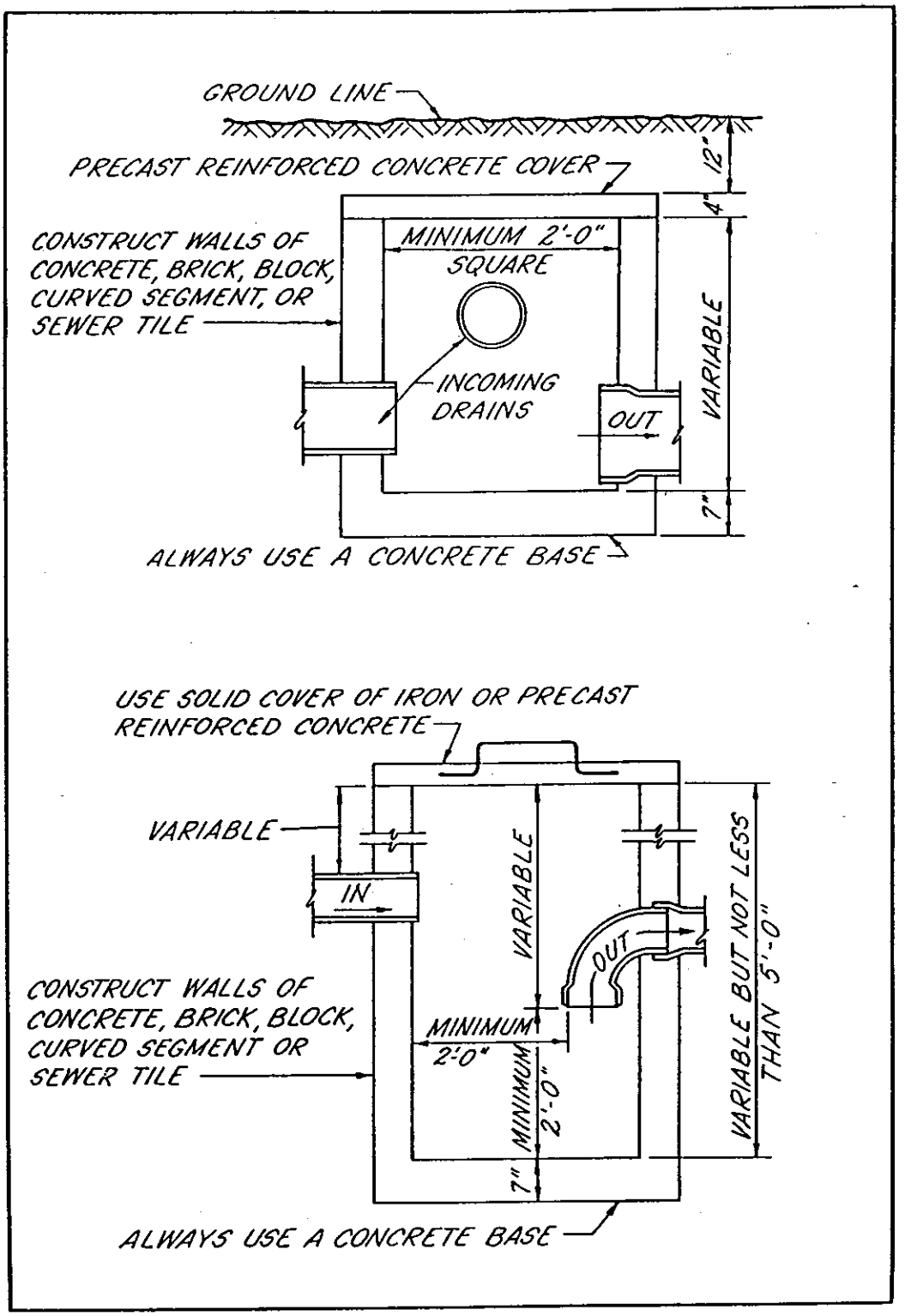
รูปที่ 9.5 ที่รับน้ำผิวดิน (Sufface inlet)



รูปที่ 9.6 Blind inlet



รูปที่ 9.7 Junction box for arains



รูปที่ 9.8 Manhole catch basin or sediment trap

บทที่ 10

การระบายน้ำเพื่อควบคุมเกลือในดินและการปรับปรุงดินเกลือ

โดยปกติดินจะมีเกลือปนอยู่ด้วยไม่มากก็น้อย เกลือส่วนใหญ่จะได้แก่เกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม โปแตสเซียม และโซเดียม ถ้าในดินบริเวณรากพืชมีเกลือปนอยู่มากจะทำให้ผลผลิตของพืชลดลง เพราะว่าดินจะมีสภาพเป็นดินเค็ม (Saline) หรือดินด่าง (Alkali soil) เกลือที่มีอยู่ในดินอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากการสลายตัวทางเคมีและการพุพังของแร่ธาตุภายในดิน เกลือที่ปนอยู่ในน้ำชลประทาน ปุ๋ยเคมี และเกลือที่มีอยู่ในน้ำซึ่งไหลเข้ามาในพื้นที่บริเวณนั้น ในภูมิประเทศเขตชุ่มชื้น ปัญหาดินเค็มดินด่างจะไม่ค่อยเกิดขึ้น เพราะว่ามีฝนตกลงมามาก น้ำฝนจะชะล้างเกลือในดินโดยธรรมชาติ เกลือจะถูกละลายโดยน้ำฝนแล้วไหลลงไปอยู่ในชั้นดินล่าง ๆ จึงไม่เป็นอันตรายต่อพืช ยกเว้นในพื้นที่บางแห่ง ซึ่งเป็นที่ต่ำหรือบริเวณหุบเขา จะมีปัญหาเรื่องเกลือในดินบ้าง ส่วนในภูมิประเทศเขตแห้งแล้ง หรือในเขตพื้นที่ชลประทานมักจะเกิดปัญหาเกลือในดิน เพราะว่ามีฝนตกลงมาปริมาณน้อยกว่าการระเหย น้ำที่ระเหยออกไปจากดินจะนำเอาสารละลายของเกลือมาสะสมไว้บริเวณรากพืชหรือบนผิวดิน ในเขตพื้นที่ชลประทาน ถ้ามีระบบการระบายน้ำไม่ดีจะทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสู่งอยู่ใกล้ ๆ กับผิวดิน ทำให้เกิด capillary rise นำเอาสารละลายของเกลือเคลื่อนที่ขึ้นมาจากน้ำใต้ดินมาอยู่ในบริเวณรากเมื่อเกิดการระเหยของน้ำออกไปจากผิวดิน ก็จะทำให้เกิดการตกตะกอนของเกลือสะสมมากขึ้นในบริเวณรากพืชและผิวดิน ในที่สุดก็จะกลายเป็นดินเกลือ

10.1 ผลกระทบของเกลือในดินที่มีต่อพืชและดิน

ดินซึ่งเป็นดินเกลือมีผลกระทบต่อดินและพืชดังนี้

1. อัตราและจำนวนการดูดน้ำของพืช โดยปกติรากดูดน้ำโดยวิธี Osmosis น้ำในดินซึ่งมีความเข้มข้นน้อยกว่าน้ำในรากพืช น้ำในดินจะซึมผ่านเนื้อเยื่อของรากเข้าไป เนื่องจากมีความดันที่แตกต่างกัน เมื่อดินมีเกลือละลายปนอยู่มากจะทำให้ Osmotic pressure ในดินสูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของความดันของน้ำในดินและในรากน้อย พืชจะดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ต้องใช้พลังงานมากขึ้น ถ้าหากมีเกลือในดินในปริมาณมากถึงระดับหนึ่งแล้วพืชจะไม่สามารถดูดน้ำจากดินได้เลย ทำให้พืชเหี่ยวเฉา และตายไปในที่สุด ถึงแม้ว่าดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตาม

2. ดินที่มีโซเดียมละลายปนอยู่มากจะทำให้โครงสร้างของดินเลวดินจะรวมตัวกัน

แน่นทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศผ่านดินได้ลดลง เมื่อดินแห้งจะจับตัวเป็นก้อนแข็ง ทำให้ค่าความนำน้ำของดินลดลง

3. เกิดการสะสมของเกลือในปริมาณที่เป็นพิษต่อพืช เกลือดังกล่าวได้แก่ โบร่อน ลิเธี่ยม คลอไรด์ โซเดี่ยม ไบคาร์โบเนท เช่น โบร่อน ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับพืชแต่ถ้ามีปริมาณสูงกว่า 2 ส่วนในล้านส่วน จะเป็นอันตรายต่อพืช

10.2 การจำแนกประเภทดินเกลือ

ดินที่เป็นดินปกติจะมีแคลเซียม 80% หรือมากกว่าของไออ้อนบวกที่สับเปลี่ยนได้ (exchangeable cations) เกลือที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นเกลือของแมกนีเซียม โปแตสเซียม และโซเดียม โดยปริมาณของโซเดียมจะต้องมีน้อยกว่า 5% ของไออ้อนบวกทั้งหมด ดินปกติจะมีปฏิกริยาเป็นด่างเล็กน้อย ค่า pH ประมาณ 7-8.5 ดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยไออ้อนลบ (anions) ของคลอไรด์, ซัลเฟต และคาร์โบเนท บางครั้งมี ไนเตรท ดินปกติทั่ว ๆ ไปจะมีปริมาณของเกลือปนอยู่ด้วยจำนวนหนึ่ง แต่ถ้ามีเกลือปนอยู่มากเรียกว่าเป็นดินเกลือ ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของดินเกลือได้ดังนี้

1. ดินเค็ม (Saline soils)ดินเค็มหมายถึงดินซึ่งมีปริมาณสารละลายของเกลือในดินสูง ถ้าแยกตามคุณสมบัติทางเคมีจะมีคุณสมบัติดังนี้ electrical conductivity of the saturation extraction(EC_{se}) มากกว่า 4 mmhos/cm ที่ 25 องศาเซลเซียส และมี Exchangeable Sodium Percentage (ESP) น้อยกว่า 15 และปกติ pH จะน้อยกว่า 8.5 ดินเค็มอาจจะสังเกตได้จากการที่ผิวดินมีเกลือขาว ๆ ปรากฏอยู่บนผิวดิน บางครั้งเรียกดินนี้ว่า White alkali การที่มีปริมาณของสารละลายของเกลือมากทำให้ osmotic pressure เพิ่มขึ้น เกลือส่วนใหญ่ในดินเค็มจะเป็นเกลือของแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดี่ยม และโปแตสเซียม ส่วนไออ้อนลบจะได้แก่คลอไรด์ ซัลเฟตบางทีมีไนเตรท และอาจจะมีไบคาร์โบเนทจำนวนเล็กน้อย แต่เนื่องจากดินเค็มมีโซเดียมน้อยจึงทำให้ค่าความนำน้ำของดินเค็มนี้เท่ากับหรือมากกว่าดินปกติ

2. ดินด่าง (Alkali Soils)ดินด่างหมายถึงดินซึ่งมีปริมาณเกลือของเกลือโซเดียมสูง บางครั้งเรียกว่า Sodic soil หรือBlack alkali ดินด่างจะมีคุณสมบัติทางเคมีคือค่า EC_{se} น้อยกว่า 4 mmhos/cm ที่ 25 องศาเซลเซียส และมีค่า ESP มากกว่า 15 ปกติค่า pH จะอยู่ระหว่าง 8.5-10 Exchangeable sodium(ES) จะมีอิทธิพลต่อดิน ทำให้โครงสร้างของดินเลวถ้า ES เกิดการสะสมใต้ผิวดินจะทำให้เกิดเป็นชั้นดินแน่น ค่าความนำน้ำของดินจะลดลง

ไอออนลบส่วนใหญ่ของดินด่างได้แก่ คลอไรด์ ซัลเฟต และไบคาร์โบเนท และอาจจะมีคาร์โบเนทจำนวนเล็กน้อย

3. ดินเค็มด่าง (Saline-Alkali Soils) ดินเค็มด่างหมายถึงดินซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีคือค่า EC_{se} มากกว่า 4 mmhos/cm ที่ 25 องศาเซลเซียส และมีค่า ESP มากกว่า 15 ปกติ pH จะไม่สูงกว่า 8.5 คุณสมบัติของดินเค็มด่างจะคล้ายกับดินด่างและดินเค็มรวมกัน ส่วนใหญ่แล้วคุณสมบัติจะคล้าย ๆ กับดินเค็มคือ ค่าความนำน้ำของดินเค็มจะเท่ากับหรือสูงกว่าดินปกติ

10.3 การแก้ไขและปรับปรุงดินเกลือ

การปรับปรุงดินเกลือสามารถจะทำได้โดยใช้น้ำซึ่งมีคุณภาพดีคือมีสารละลายของเกลือปนอยู่ในน้ำน้อย นำมาชะล้างดิน (leaching) น้ำจะละลายเกลือที่มีอยู่ในดินเป็นสารละลายแล้วระบายน้ำนั้นออกไปจากพื้นที่ ในบางครั้งอาจจะต้องใช้สารเคมีช่วยด้วย การปรับปรุงดินเกลือให้ได้ผลจะต้องมีระบบการระบายน้ำที่เพียงพอเมื่อปรับปรุงดินแล้วจะต้องป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของเกลือขึ้นมาใหม่อีก (resalinization) ในพื้นที่บางแห่งอาจจะไม่เหมาะสมที่จะทำการปรับปรุงดินเกลือ เพราะจะเป็นการไม่ประหยัด หรือผลได้ไม่คุ้มกับค่าลงทุน การแก้ไขปรับปรุงดินเกลือสามารถจะทำได้ดังนี้

1. การปรับปรุงดินเค็ม จะทำได้โดยใช้น้ำชลประทานที่มีคุณภาพดีชะล้างดิน โดยให้น้ำซึมจากผิวดินหรือให้น้ำขังอยู่บนผิวดิน น้ำจะไหลซึมลงไปในดินและละลายเกลือภายในดินเป็นสารละลายแล้วระบายน้ำออกจากดิน โดยระบบระบายน้ำ การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ชะล้างดิน อาจจะหาได้จากสูตร

$$\frac{Dw}{Ds} = \frac{EC\ i}{5\ EC_f} + 0.15$$

ซึ่ง Dw = ความลึกของน้ำที่ต้องใช้ชะล้างดิน-เมตร

Ds = ความลึกของชั้นดินที่ต้องการจะปรับปรุงดิน-เมตร

EC i = initial electrical conductivity ของดิน- mmho/cm

EC f = final electrical conductivity ของดิน- mmho/cm

ตัวอย่างที่ 1 ดินเค็มซึ่งมีเกลือสูง วัดค่า EC ตลอดชั้นดินลึก 1 เมตรได้ค่าเฉลี่ย 40

mmhos/cm ถ้าต้องการปรับปรุงดินนี้สำหรับปลูกพืชซึ่งสามารถทนความเค็มได้ 8 mmhos/cm จงหาปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ชะล้างดินนี้ตลอดความลึกของชั้นดิน

วิธีทำ

$$\frac{Dw}{Ds} = \frac{EC\ i}{5\ EC_f} + 0.15$$

ซึ่ง Dw = ความลึกของน้ำที่ใช้ชะล้างดิน-เมตร

Ds = ความลึกของชั้นดินที่ปรับปรุง = 1 เมตร

EC i = 40 mmhos/cm

EC f = 8 mmhos/cm

$$\frac{Dw}{1} = \frac{40}{5(8)} + 0.15$$

∴ ต้องใช้น้ำชะล้างดิน 1.15 เมตร

2. การปรับปรุงดินด่าง จะยากกว่าการปรับปรุงดินเค็มเนื่องจากดินด่างจะมีค่าความนำน้ำต่ำจะต้องใช้สารเคมีเข้าช่วยด้วย เพื่อให้เกิดปฏิกริยาทางเคมี เกิดการแทนที่โซเดี่ยม แล้วโซเดี่ยมที่ถูกแทนที่นี้จะละลายน้ำได้ง่ายขึ้น แล้วระบายน้ำซึ่งเป็นสารละลายของโซเดี่ยมออกไปจากดินโดยระบบระบายน้ำ สารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบของแคลเซี่ยม เช่น ยิบซั่ม ($CaSO_4$) ปูนขาว (CaO) หินปูน ($CaCO_3$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) กรดซัลฟูริค (H_2SO_4) การที่จะเลือกใช้สารเคมีชนิดใดจำนวนเท่าใดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างดิน การเลือกสารเคมีจะต้องพิจารณาด้านราคาด้วย เช่น แคลเซี่ยมคลอไรด์ จะทำปฏิกิริยาแทนที่โซเดี่ยมได้เร็วแต่มีราคาแพง ในทางปฏิบัติส่วนมากจึงใช้ยิบซั่มหรือปูนขาวแทนเพราะว่ามีราคาถูกแต่การทำปฏิกิริยาแทนที่โซเดี่ยมจะช้า ตัวอย่างเช่น ต้องการปรับปรุงดิน 1 เฮคแตร์ ชั้นดินลึก 1 เมตร ต้องใช้ยิปซั่ม 12.5 ตัน ถ้าใช้น้ำเป็นความลึก 1 เมตร จะละลายยิปซั่มได้ 7.34 ตันต่อเฮคแตร์ ดังนั้นจะต้องใช้น้ำชะล้างดิน เท่ากับ $\frac{12.5}{7.34}$ = 1.7 เมตร การปรับปรุงดินไม่ควรจะกระทำเพียงครั้งเดียว ควรจะชะล้างดินหลาย ๆ ครั้ง โดยอาจจะแบ่งสารเคมีที่คำนวณได้ว่าใช้ทั้งหมดเท่าใด ออกเป็นส่วน ๆ เช่น แบ่งออกเป็น 3 ส่วน แล้วทำการชะล้างดินปีละส่วนจนครบสามครั้ง

3. การปรับปรุงดินเค็มด่าง การปรับปรุงกระทำเช่นเดียวกับการปรับปรุงดินด่าง คือต้องใช้สารเคมีเข้าช่วยด้วย ดินเค็มด่างมีค่าความนำน้ำของดินเป็นปกติ ถ้าใช้น้ำชะล้างดินเลย

น้ำจะไปละลายเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ ส่วนเกลือที่น้ำละลายไม่ได้จะยังคงค้างอยู่ในดินต่อไป เมื่อระบายน้ำออกจากดินจะทำให้ดินมีจำนวนของโซเดียมมากกว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเดิม จะทำให้ดินมีโครงสร้างเลวลงและแน่นตัวมากขึ้น ค่าความนำน้ำลดลง การชะล้างดินก็จะไม่เกิดผลดีแต่อย่างใด ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีการชะล้างดินควบคู่ไปกับการใช้สารเคมีเพื่อให้สารเคมีทำปฏิกิริยาแทนที่โซเดียมแล้วจึงระบายสารละลายของเกลือออกจากดินโดยระบบระบายน้ำ

เมื่อทำการปรับปรุงดินแล้ว จะต้องมีการป้องกันไม่ให้เกิดดินเกลือขึ้นใหม่อีก ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการควบคุมไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาใกล้ผิวดินมากเกินไป จึงจำเป็นต้องก่อสร้างระบบระบายน้ำที่มีความลึกเพียงพอประมาณ 1.5-2 เมตร ซึ่งจะต้องให้ capillary rise อยู่ในขีดกำหนดที่ไม่ทำให้เกิดการสะลายของเกลือในบริเวณรากพืช

10.4 การระบายน้ำเพื่อควบคุมเกลือในดิน

ในพื้นที่เขตแห้งแล้งกึ่งแห้งแล้ง หรือในเขตพื้นที่ชลประทานมักจะเกิดปัญหาดินเป็นดินเกลือในบริเวณเขตรากพืช ทั้งนี้เนื่องจากการชลประทานจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจำนวนหนึ่งซึมลงไปในดิน ทำให้ระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสูงหรืออยู่ใกล้ผิวดิน น้ำใต้ดินปกติจะมีสารละลายของเกลือปนอยู่ด้วยจำนวนหนึ่งเมื่อเกิด capillary rise จะนำเอาสารละลายของเกลือขึ้นมาถึงบริเวณรากพืชและเมื่อน้ำระเหยออกไปจากผิวดินจะเหลือเกลือไว้สะสมบริเวณรากพืชและผิวดิน การสะสมของเกลือนี้จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าไม่มีการควบคุมระดับน้ำใต้ดิน

น้ำชลประทานหรือน้ำใต้ดินที่ไหลเข้ามาในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจากบริเวณใกล้เคียงที่อยู่สูงกว่า น้ำเหล่านี้จะมีสารละลายของเกลือปนอยู่ด้วย ดังนั้น ถ้าให้น้ำชลประทานมากขึ้นหรือนานมากขึ้นจะมีการสะสมของเกลือบริเวณรากพืชมากขึ้น ถ้าไม่มีการนำเอาเกลือนี้ออกไปจากพื้นที่หรือน้ำฝนชะล้างออกไปไม่หมดหรือไม่เพียงพอ การสะสมของเกลือก็จะถึงระดับซึ่งเป็นอันตรายต่อพืชหรือถ้าเกลือสะสมมาก ๆ อาจจะถึงขั้นไม่สามารถใช้พื้นที่นั้นทำการเพาะปลูกได้เลย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของเกลือในบริเวณรากพืชหรือเพื่อให้เกิดสมดุลย์ของเกลือ (salt balance) จึงจำเป็นจะต้องมีการชะล้างเกลือออกไปจากบริเวณรากพืช ซึ่งสามารถทำได้โดยการให้น้ำชลประทานเพิ่มมากขึ้นกว่าความต้องการน้ำของพืช น้ำชลประทานที่ให้ซึ่งเกินความต้องการของพืชนี้จะใช้สำหรับการชะล้างเกลือภายในบริเวณรากพืช แล้วระบายน้ำนี้ออกไปจากพื้นที่เพาะปลูกโดยระบบระบายน้ำทางใต้ผิวดิน น้ำจำนวนนี้เรียกว่า Leaching Requirement (LR)
ถ้า การระบายน้ำตามธรรมชาติสามารถระบายน้ำออกหรือซึมลงไปในชั้นดินที่อยู่ลึก ๆ ลงไปได้

เพียงพอก็ไม่จำเป็นต้องสร้างระบบระบายน้ำขึ้นมา แต่ถ้าการระบายน้ำโดยธรรมชาติไม่เพียงพอก็จะต้องสร้างระบบระบายน้ำขึ้นเพื่อควบคุมไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงเกินไปหรือเพื่อควบคุมให้เกิดสมดุลย์ของเกลือในบริเวณรากพืช

สมดุลย์ของเกลือหมายถึง ปริมาณของเกลือที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการให้น้ำชลประทาน จะต้องถูกชะล้างและระบายออกไปจากบริเวณรากพืชให้หมด คือไม่มีเกลือเพิ่มมากขึ้นในบริเวณรากพืช ปริมาณของเกลือหรือความเข้มข้นของเกลือในดินส่วนมากจะบอกเป็นหน่วยของความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) การวัดความเข้มข้นของเกลือในดินจะใช้สารละลายดินนำมาวัดความเหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบ Electrical conductivity of saturation extraction, EC_{se} มีหน่วยเป็น mmhos/cm ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าค่า EC ยิ่งสูงแสดงว่ามีปริมาณของเกลือมาก

พืชแต่ละชนิดจะมีความทนต่อเกลือ (Salt Tolerance) แตกต่างกัน พืชส่วนใหญ่จะไม่ถูกกระทบกระเทือนถ้า EC_{se} ของดินอยู่ระหว่าง 0-2 mmhos/cm พืชที่มีความไว (sensitive) ต่อเกลือจะกระทบกระเทือนถ้า EC_{se} อยู่ระหว่าง 2-4 mmhos/cm พืชส่วนใหญ่จะกระทบกระเทือนถ้า EC_{se} ของดินอยู่ระหว่าง 4-8 mmhos/cm พืชที่ทนทานต่อเกลือจะถูกกระทบกระเทือนถ้า EC_{se} ของดินอยู่ระหว่าง 8-16 mmhos/cm พืชส่วนใหญ่จะไม่สามารถทนได้ถ้าดินมีค่า EC_{se} สูงกว่า 16 mmhos/cm

Leaching Requirement น้ำที่ใช้ชะล้างดิน, น้ำและสารละลายของเกลือจะเริ่มเคลื่อนที่เมื่อความชื้นของดินสูงใกล้ field capacity น้ำจะชะล้างเกลือในดินที่เป็นดินเนื้อหยาบได้ดีกว่าดินเนื้อละเอียด ประสิทธิภาพของการชะล้าง (leaching efficiency,f) จะขึ้นอยู่กับเนื้อดินและวิธีการให้น้ำ วิธีการให้น้ำแบบ sprinkler จะมีประสิทธิภาพการชะล้างดินดีที่สุด การให้น้ำแบบ Basinหรือ Border จะมีประสิทธิภาพการชะล้างดีกว่าแบบ Furrow

ชนิดดิน	leaching efficiency
Silt loam, sandy loam	0.5-0.6
Silty clayloam, sandy clayloam, loam	0.4-0.5
Clay	0.2-0.3

Leaching Requirement จะขึ้นอยู่กับระดับหรือความเข้มข้นของเกลือ ทั้งในน้ำชลประทานและในน้ำที่ถูกระบายออกไป (drainage water) ระดับความเข้มข้นของ drainage waterจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับความทนทานเกลือของพืชที่ปลูก สมการ leaching requirement เป็นดังนี้

$$LR = (ET-P)\left[\frac{EC\ i}{f(2EC_{se}-EC\ i)}\right]$$

ซึ่ง LR = Leaching requirement

ET = Evapotranspiration

f = leaching efficiency

EC i = ค่า EC เฉลี่ยของน้ำชลประทาน - mmhos/cm

EC_{se} = ค่า EC เฉลี่ยของ drainage water - mmhos/cm

<u>สมการของการระบายน้ำเพื่อให้เกิดสมดุลย์ของเกลือบริเวณรากพืช</u> ในการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อให้เกิดสมดุลย์ของเกลือบริเวณรากพืช การคำนวณอาจจะใช้แบบ steady state หรือ non-steady state ก็ได้ดังได้กล่าวมาแล้วดังนี้

1. แบบ steady state ใช้หลักเกณฑ์ดังนี้

1.1 ความลึกเฉลี่ยของระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการควบคุม ให้เลือกใช้เท่ากับความลึกเฉลี่ยของรากพืช

1.2 ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้เท่ากับ ET+LR พอดี

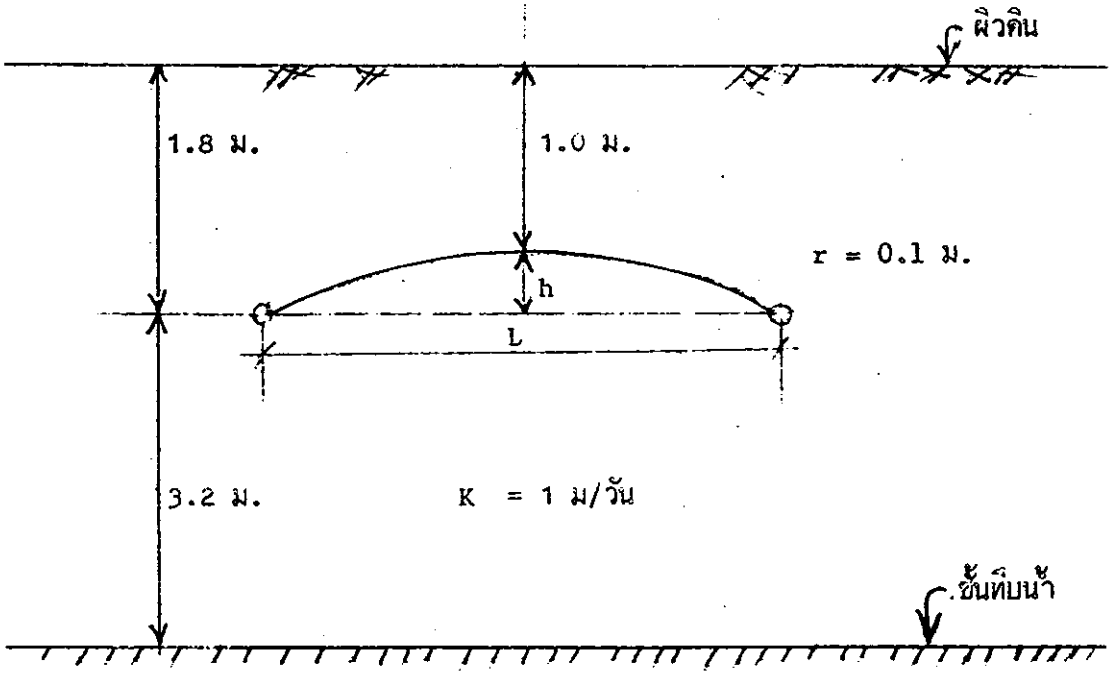
1.3 EC_{se}ของ drainage water เท่ากับความทนทานเกลือของพืชที่ปลูก

1.4 drainage coefficient ใช้เท่ากับ leaching requirement

1.5 ระยะห่างของทางระบายน้ำคำนวณจากสูตรของ Hooghoudt หรือของ Kirkham

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> พืชที่ต้องการจะปลูกมีความทนทานต่อเกลือ 8 mmhos/cm รากพืชมีความลึกเฉลี่ย 1 เมตร การใช้น้ำของพืช 10 มิลลิเมตรต่อวัน น้ำชลประทานที่ให้แก่ดินมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเฉลี่ย 2 mmhos/cm ในชั้นดินต่ำกว่าผิวดินลงไป 5 เมตร ดินเป็นดินร่วนปนตะกอนทรายมีค่า hydraulic conductivity เฉลี่ย 1 เมตรต่อวัน ชั้นดินต่ำกว่านี้ถือว่าเป็นชั้นดินทึบน้ำ ถ้าใช้

ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 เมตร เป็นทางระบายสำหรับการระบายน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของเกลือบริเวณรากพืช ควรจะใช้ระยะห่างของทางระบายเท่าใด ถ้าฝังท่อที่ความลึก 1.8 เมตรจากผิวดิน



ควบคุมให้ระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าผิวดิน 1 เมตร

$\therefore$ h = 1.8-1.0 = 0.8 ม.

drainage coefficient, $R = \frac{L}{R} = (ET-P)\left[\frac{EC\ i}{f(2EC_{se} - EC_i)}\right]$

$= (10-0)\left[\frac{2}{0.6(2x8-2)}\right]$

$= 2.23$ มม./วัน $= 0.00238$ ม./วัน

จากสูตรของ Hooghoudt

$$L^2 = \frac{8K_b dh+4K_a h^2}{R} = \frac{8(1)(d)(0.8)+4(1)(0.8)^2}{0.00238}$$

$$= 2{,}689d + 1{,}075$$

สมมติ L = 91 ม.จะได้d = 2.69 ม. $\therefore$ L = 91.15

$\therefore$ ใช้ระยะห่างของท่อระบาย 91 เมตร

2. แบบ non-steady state ใช้หลักเกณฑ์ดังนี้

2.1 ความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการควบคุมอาจจะเลือกให้สูงกว่าแบบ

steady state ได้โดยอาจจะเลือกระดับที่ความสูงของระดับน้ำใต้ดินหลังจากให้น้ำชลประทานแล้ว เพราะระดับน้ำนี้จะอยู่ไม่นานจะค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลา

2.2 การคำนวณใช้สูตรของ Glover-Dumm

2.3 ช่วงระยะเวลาของการให้น้ำ (irrigation interval) มีหน่วยเป็นวัน

2.4 การให้น้ำชลประทานแต่ละครั้งจะทำให้เกิด instantaneous recharge, Ri ซึ่งสมมติให้ Ri นี้จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นทันทีเมื่อสิ้นสุดการให้น้ำในแต่ละครั้ง $\Delta h = \frac{Ri}{\mu}$

2.5 ความสูงของระดับน้ำ ht คำนวณจาก $h_o = h_t + \frac{Ri}{\mu}$

ตัวอย่างที่ 3 ข้อมูลที่กำหนดให้มีดังนี้

จากสภาพภูมิอากาศ - ET ในช่วงสูงสุด 7.5 มม./วัน

- สมมติให้ไม่มีฝนตกตลอดช่วงระยะเวลาเพาะปลูก

น้ำใต้ดิน - ไม่มีน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในพื้นที่เพาะปลูกจากบริเวณข้างเคียงที่อยู่สูงกว่า

- capillary rise ในช่วงสูงสุดถือว่าน้อยตัดทิ้งได้

ดิน - silty clay loam

- ระดับความชื้นโดยปริมาตรที่

field capacity, θ_{FC} = 36%

saturation, θ_s = 65%

wilting point, θ_{wp} = 16%

drainable porosity, μ = 10%

- Hydraulic conductivity

ที่ชั้นดินต่ำกว่าผิวดินลงไปลึก 4 เมตร = 1 ม/วัน

ชั้นดินลึกกว่า 4 เมตร ลงไป = ชั้นทึบน้ำ

- leaching efficiency, f = 0.6

น้ำชลประทาน - ให้น้ำแบบ basin

- irrigation efficiency :

field application efficiency, Ea = 0.7

ไม่มี surface waste

conveyance losses จะถูกสกัดกั้นระบายออกไป

จากนอกพื้นที่เพาะปลูก

- ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำชลประทาน = 0.9 mmhos/cm
- ความลึกเฉลี่ยของรากพืชที่ปลูก 1 เมตร
- permissible depletion of soil moisture ใช้ 50% ของ total available moisture

ระบบระบายน้ำ- ควบคุมให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 1 เมตร

- ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของ drainage water = 4 mmhos/cm
- ระบบระบายน้ำใช้ท่อดินเผาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 เมตร
- ความลึกและระยะห่างของท่อคำนวณจากข้อมูลกำหนดให้

<u>วิธีทำ</u> ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง = 50% ของ total available moisture × ความลึกของราก

$$= \frac{50}{100}(\theta_{FC} - \theta_{wp})x1 = \frac{50}{100}(0.36-0.16)x1$$

= 0.1 ม. = 100 มม.

ช่วงระยะเวลาการให้น้ำแต่ละครั้ง $= \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง}}{ET}$

$= \frac{100}{7.5}$ = 13.3 วันใช้ 13 วัน

ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชที่เพาะปลูก $= \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง}}{ET}$

$= \frac{100}{0.7}$ = 143 มม.

deep percolation losses = ปริมาณน้ำที่ให้แก่พื้นที่เพาะปลูก-ปริมาณน้ำที่พืชใช้

= 143-100 = 43 มม. ใน 13 วัน

$$\text{leaching requirement, LR} = \left[\frac{EC_i}{f(2EC_{se} - EC_i)}\right](ET-P)$$

$$= \left[\frac{0.9}{0.6(2x4-0.9)}\right](7.5x13-0)$$

= 20.6 มม. ใน 13 วัน หรือ 1.6 มม/วัน

จะเห็นได้ว่า deep percolation losses (43 มม.ใน 13 วัน) มากกว่า leaching requirement (20.6 มม.ใน 13 วัน) และการให้น้ำให้แบบ basin ซึ่ง deep percolation จะสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ ดังนั้น deep percolation จึงเพียงพอที่จะชะล้างเกลือในดินโดยไม่ต้องเพิ่ม leaching requirement จึงให้ใช้ deep percolation เป็น drainage coefficient หรือเป็น instantaneous racharge, Ri = 43 มม. ใน 13 วัน instantanaous recharge จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น = Δh

$$\Delta h = \frac{Ri}{\mu} = \frac{43}{0.10} = 430 \text{ มม} = 0.43 \text{ ม.}$$

ให้ใช้ Δh = 0.45 ม.

ต้องการควบคุมให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 1 เมตร

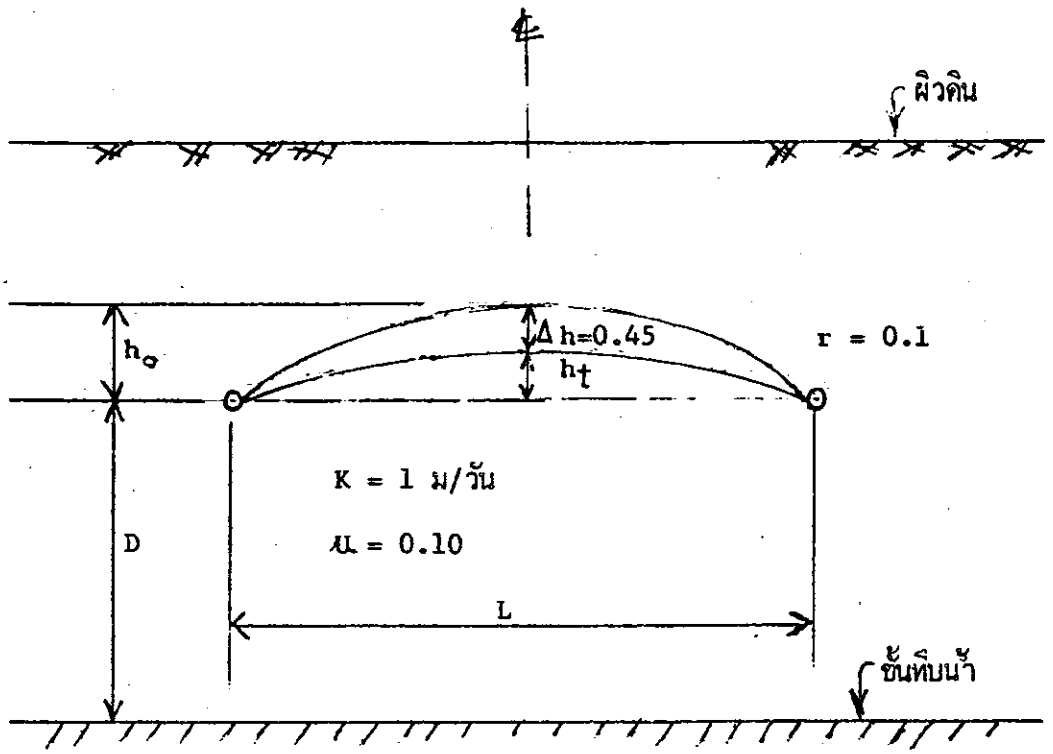
∴ ท่อจะต้องฝังที่ความลึกอย่างน้อยสุด = 1+0.45 = 1.45

สมมุติว่าให้ท่อฝังที่ความลึกต่ำกว่าผิวดิน 1.50 เมตร การคำนวณหาระยะห่างของท่อโดยใช้สูตรของ Glover-Dumm จะได้ระยะห่างของท่อ = 31 เมตร

ถ้าสมมุติให้ฝังท่อที่ความลึกต่ำกว่าผิวดิน 1.65, 1.80 และ 2.10 เมตร ตามลำดับ จะคำนวณหาระยะห่างของท่อได้โดยใช้ Glover-Dumm equation

ผลลัพธ์จะได้ดังในตาราง

ความลึกของท่อจากผิวดิน(ม.)	ho (ม.)	ht (ม.)	$L^2 = \frac{Kdt\varphi^2}{\mu \ln(1.16\frac{h_o}{h_t})}$	L (ม.)
1.50	0.50	0.05	523.5 d	31
1.65	0.65	0.20	966.8 d	42
1.80	0.80	0.35	1,315.8 d	49
2.10	1.10	0.65	1.902 d	56



จากตัวอย่างข้างบนและโดยส่วนมาก deep percolation losses จะมากกว่า leaching requirement และถ้าการให้น้ำให้แบบแพร่กระจายสม่ำเสมอตลอดทั่วพื้นที่แล้ว การชะล้างเกลือโดย deep percolation losses ก็จะเพียงพอไม่ต้องเพิ่มน้ำ leaching requirement โดยการออกแบบระบบระบายน้ำให้สามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้ตามที่ต้องการ คือใช้ drainage coefficient เท่ากับ deep percolation loses แต่ถ้า leaching requirement มากกว่า deep percolation lossee ให้ใช้ค่า leaching requirement เป็นค่า drainage coefficient หรือเป็น recharge

บทที่ 11
บ่อระบายน้ำ

บ่อน้ำแบ่งออกเป็นบ่อน้ำตื้นและบ่อน้ำบาดาล บ่อน้ำมีบทบาทสำคัญเกี่ยวกับการจัดการเรื่องน้ำ อาจจะนำน้ำขึ้นมาใช้เพื่อการบริโภคอุตสาหกรรม ชลประทาน นอกจากนี้ยังนำมาใช้เพื่อการระบายน้ำได้โดยการลดระดับน้ำใต้ดินซึ่งเหมาะกับพื้นที่ซึ่งดินชั้นล่าง เป็นดินทรายคือมีค่าความนำน้ำสูง และชั้นดินทรายนี้หนาถ้าหากใช้ท่อระบายน้ำเพื่อลดระดับน้ำใต้ดินจะไม่ค่อยได้ผลดีเนื่องจากการทำหน้าที่ลดระดับน้ำใต้ดินของท่อระบายได้น้อย เนื่องจากน้ำที่เข้าท่อระบายส่วนใหญ่เป็นน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกลงไปกว่าท่อระบายในกรณีนี้จึงควรใช้บ่อระบายเพื่อลดระดับน้ำใต้ดินได้มากกว่าแบบท่อระบาย

การขุดบ่อบาดาลเพื่อการระบายน้ำจะมีเงื่อนไขที่จำกัดคือจะต้องขุดลึกลงไปในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีชั้นกรวดทรายเป็นชั้นน้ำ (aquifer) อยู่ใต้ดิน น้ำที่ระบายออกจากบ่อจะต้องสูบออกโดยใช้ปั๊มน้ำจึงมีค่าใช้จ่ายสูงในการปฏิบัติการ ดังนั้นก่อนที่จะขุดบ่อบาดาลเพื่อการระบายน้ำจะต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบทั้งลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นกรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำ และผลประโยชน์ที่จะได้รับว่าจะคุ้มกับค่าลงทุนหรือไม่

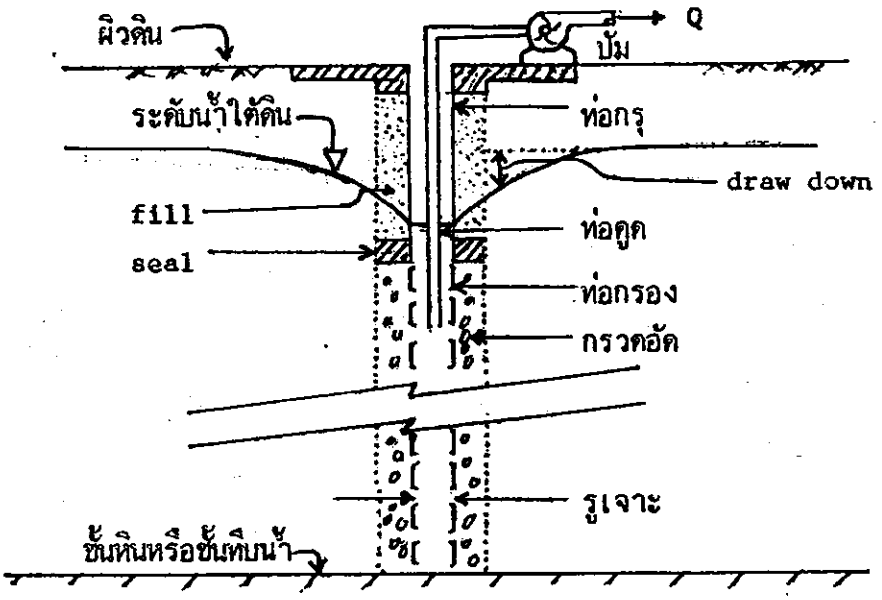
11.1 การขุดบ่อระบาย

การขุดบ่อบาดาลจะต้องเจาะให้ลึกลงไปในดินเป็นความลึกตลอดชั้นของกรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำภายในบ่อจะมีท่อกรองรอบ ๆ ท่อกรองใส่กรวดทราย ตลอดชั้นกรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำถัดจากท่อกรองขึ้นไปจะเป็นท่อกรุ จนถึงผิวดินมีปั๊มทำหน้าที่ดูดน้ำออกจากบ่อ ความแตกต่างของระดับน้ำใต้ดินจะเป็น hydraulic gradient ทำให้น้ำใต้ดินไหลผ่านชั้นน้ำลงไปสู่บ่อบาดาล น้ำใต้ดินรอบ ๆ บ่อจะลดลงเป็นรูปกรวย ระดับน้ำใต้ดินที่ลดลงจากระดับน้ำใต้ดินเดิมเรียกว่า Draw Down ดังรูปที่ 11.1

11.2 ข้อดีของบ่อระบายน้ำ

ข้อดีของบ่อเพื่อการระบายน้ำคือ

1. ระดับน้ำใต้ดินลดลงได้ลึกมากกว่าแบบท่อระบาย
2. ชั้นดินที่อยู่ลึก ๆ ลงไปส่วนมากจะมีค่าความนำน้ำของดินสูงกว่าในดินชั้นบน จึงทำให้สามารถระบายน้ำได้เร็ว
3. เสียพื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่าแบบ Open drain



รูปที่ 11.1 ส่วนประกอบของบ่อระบายน้ำ

4. ค่าบำรุงรักษาต่ำ

5. ถ้าน้ำมีคุณภาพดีสามารถใช้เป็นน้ำชลประทานได้

11.3 สภาพเงื่อนไขของพื้นที่ในการขุดบ่อระบายน้ำ

สภาพเงื่อนไขของดินและชั้นกรวดทรายที่เหมาะสมสำหรับบ่อระบายน้ำคือ

1. สภาพของดิน สภาพเงื่อนไขของดินคือจะต้องไม่มีชั้นดินทึบน้ำที่จะเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำจากดินลงสู่ชั้นกรวดทราย ถ้ามีชั้นทึบแทรกตัวอยู่ในดินจะทำให้น้ำจากภายในดินไหลลงสู่ชั้นกรวดทรายได้น้อย ทำให้การลดลงของระดับน้ำใต้ดินช้าหรือลดลงได้น้อย

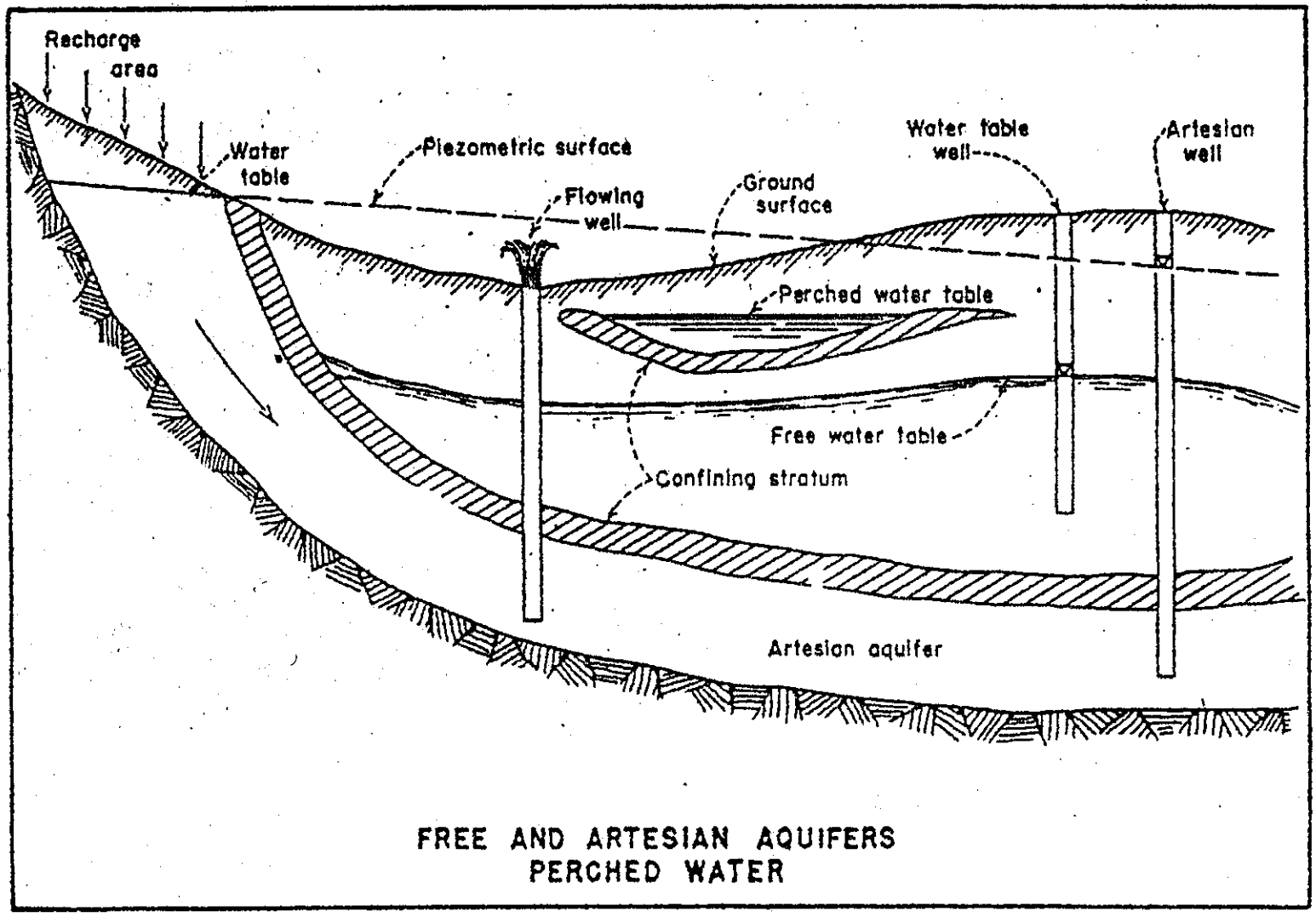
2. สภาพของชั้นกรวดทรายที่เป็นชั้นน้ำ ชั้นดินล่างจะต้องมีชั้นน้ำซึ่งหนา กว้างใหญ่ ชั้นน้ำจะเป็นที่เก็บกักน้ำ ปริมาณของน้ำในชั้นน้ำจะต้องมากพอที่จะใช้ปั๊ม ความหนาและค่าความนำน้ำของชั้นน้ำจะต้องสำรวจหามาโดยการ Investigations เพื่อจะนำมาใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของบ่อระบายที่จะสร้างขึ้น

11.4 ชนิดของบ่อระบาย

บ่อระบายน้ำแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ตามชนิดของชั้นน้ำดังรูปที่ 2 ดังนี้

1. Water table wellหรือGravity well เป็นบ่อซึ่งขุดลงไปใน Unconfined aquifer บ่ออาจจะเป็นบ่อตื้นหรือบ่อบาดาลก็ได้

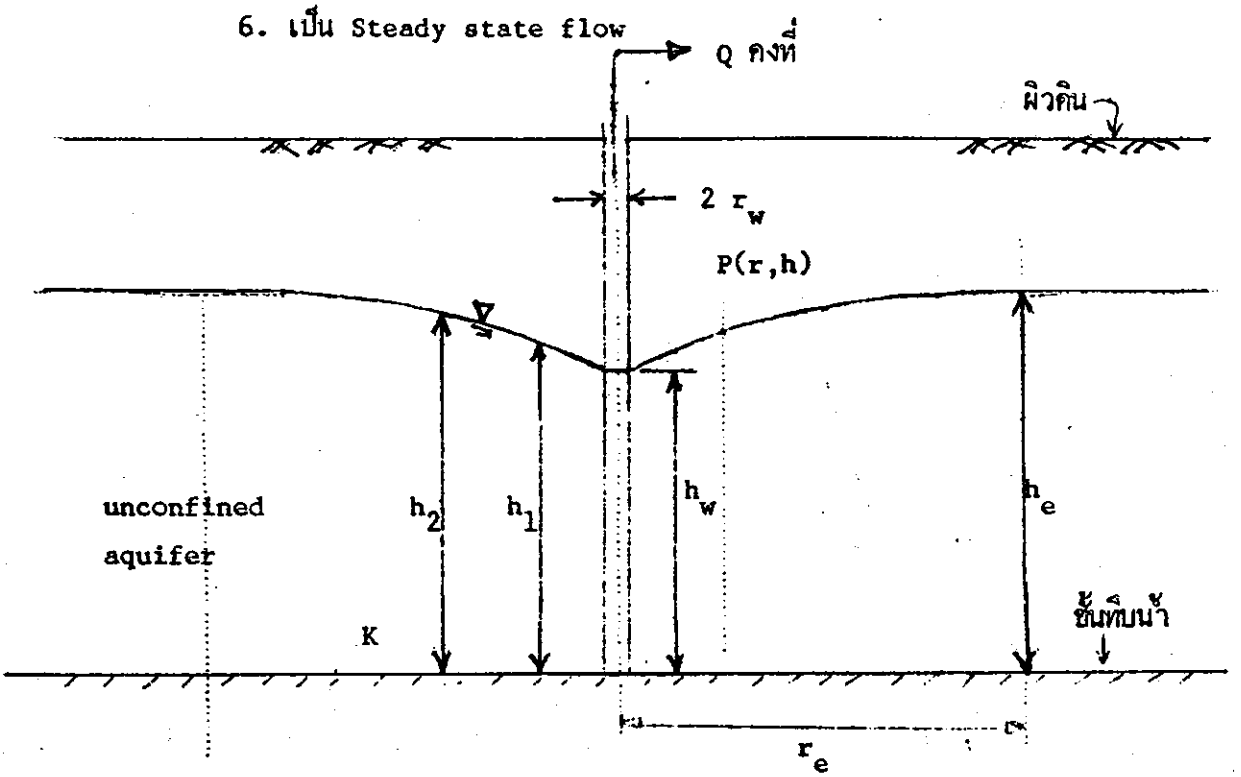
2. Artesian well เป็นบ่อซึ่งขุดลงไปใน Confined aquifer เรียกว่าบ่อบาดาล



รูปที่ 9.2 Free and Artesian Aquifers and Perched Water table

11.4.1 Steady Flow ใน Gravity well การวิเคราะห์การไหลของ Gravity Well ที่ขุดลงไปใน Unconfined aquifer มีหลักและข้อสมมติฐานดังนี้

1. เป็น horizontal flow
2. hydraulic gradient เท่ากับความลาดเทของระดับน้ำใต้ดิน ณ จุดนั้น ๆ
3. ดินเป็น homogeneous and isotropic soil นำกฎของ Darcy มาใช้ได้ถูกต้อง
4. บ่อขุดลึกจากผิวดินจนถึงชั้นทึบน้ำ
5. ปั๊มน้ำในอัตราคงที่
6. เป็น Steady state flow



พิจารณา plane ห่างจากจุดศูนย์กลางของบ่อ = r

จาก Darcy's law : $Q = K(2\pi rh)\frac{dh}{dr}$

Integrate จาก r_w ถึง r_e , h_w ถึง h_e

$$Q = \frac{\pi K(h_e^2 - h_w^2)}{\ln \frac{r_e}{r_w}}$$

หรือ $$Q = \frac{\pi K(h_2^2 - h_1^2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

หรือ $$Q = \frac{\pi K(h_2+h_1)\ (h_2-h_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

ถ้าชั้น unconfined aquifer หนามาก ๆ ค่า h_2+h_1 จะประมาณ = 2D จะได้

$$Q = \frac{2\pi KD(h_2-h_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

ค่าความนำน้ำคูณด้วยความหนาของชั้น aquifer เรียกว่า Transmissivity ของ aquifer, T = KD

ตัวอย่างที่ 1 ชุดบ่อระบายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ผ่านชั้นดินทะลุชั้น unconfined aquifer จนถึงชั้นหินดาน aquifer มีค่า Transmissivity เท่ากับ 1,200 ตารางเมตรต่อวัน ปั๊มน้ำจากบ่อในอัตราคงที่ 1,500 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ถ้าบ่อนี้มี radius of influence เท่ากับ 500 เมตร จงหาค่าระดับน้ำที่ลดลงในบ่อและหาค่า Draw Down ที่ 30 เมตรห่างจากบ่อ

วิธีทำ

จากสูตร $$Q = \frac{2\pi KD(h_2-h_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$\therefore \text{ระดับน้ำในบ่อที่ลดลง} = (h_e-h_w) = \frac{Q \ln \frac{r_e}{r_w}}{2\pi KD}$$

$$= \frac{(1,500) \ln \frac{500}{0.3}}{2\pi(1,200)} = 1.48 \text{ ม.}$$

$\therefore$ ระดับน้ำในบ่อ = 1.48 เมตร

หาค่า Draw Down ที่ r = 30 ม.

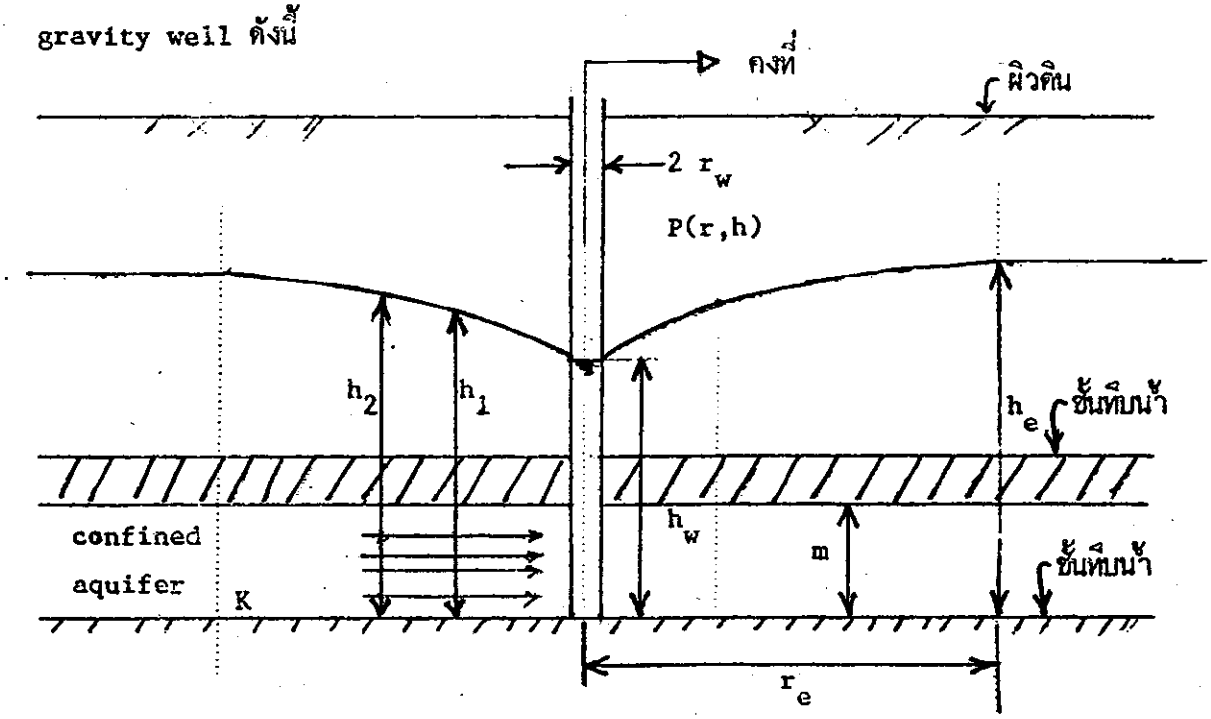
ระดับน้ำที่ลดลงที่ระยะ 30 เมตรจากบ่อ = $(h_e - h_{30})$

$$= \frac{Q \ln \frac{r_e}{r_{30}}}{2\pi KD}$$

$$= \frac{(1,500) \ln \frac{500}{30}}{2\pi(1,200)}$$

$$= 0.56 \text{ เมตร}$$

11.4.2 Steady flow ใน Artesian Well การวิเคราะห์การไหลคล้ายกับแบบ gravity well ดังนี้



จากรูปชั้น Confined aquifer หนา = m มีค่าความนำน้ำ = K

$\therefore$ Transmissivity, T = Km

พิจารณา Plane รอบบ่อห่างจากบ่อ = r

จาก Darcy's law $Q = K(2\pi rm)\frac{dh}{dr}$

Integrate ได้ $Q = \frac{2\pi Km(h_2 - h_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$

11.4.3 Unsteady flow ใน Gravity well การวิเคราะห์การไหลแบบ Unsteady state flow ระดับน้ำใต้ดินจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลานั้น

จาก Basic flow equation $\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{KD}\frac{\partial h}{\partial t}$

ถ้าเป็น Polar coordinate $\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{KD}\frac{\partial h}{\partial t}$

ซึ่ง S = storage coefficient หรือ effective porosity ของ aquifer

ให้ initial boundary conditions เป็นดังนี้

$h = h_o$ เมื่อ $t = 0$ และ $0 < r < \infty$

$h = h_0$ เมื่อ $r = \infty$ และ $t > 0$

จะได้ $\Delta h = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi KD} W(u)$

ซึ่ง $u = \frac{r^2 S}{4 KDt}$

$W(u)$ = Theiss well function

= -0.5772 - lnu

ถ้า $u < 0.01$; $\Delta h = \frac{Q}{4\pi KD} \ln \frac{2.25\ KDt}{r^2 S}$

t = ระยะเวลาในการปั๊มน้ำ

ตัวอย่างที่ 2 โจทย์เหมือนตัวอย่างที่ 1 และสมมติให้ storage coefficient เท่ากับ 0.10 จงคำนวณหา

ก. Drew down ที่ 30 เมตร จากบ่อหลังจากปั๊มน้ำติดต่อกัน 2 วัน

ข. ระยะเวลาที่ Drew down ที่ 30 เมตรจากบ่อถึงSteady state มีระยะเท่ากับ 0.56 เมตร

ค. ระยะจากบ่อที่ Δh เท่ากับ 0 เมื่อปั๊มน้ำแล้วเป็นเวลา 9.3 วัน

วิธีทำ ก. $\Delta h = \frac{Q}{4\pi KD} \ln \frac{2.25\ KDt}{r^2 S}$

$= \frac{1,500}{4\pi(1,200)} \ln \left[\frac{2.25(1,200)(2)}{(30)^2\ (0.10)}\right]$

= 0.41 ม.

ข. $\Delta h = \frac{Q}{4\pi KD} \ln \frac{2.25\ KDt}{r^2 s}$

$0.56 = \frac{1,500}{4\pi(1,200)} \ln \left[\frac{2.25(1,200)t}{(30)^2\ (0.01)}\right]$

= 9.3 วัน

ค. $\Delta h = \frac{Q}{4\pi KD} \ln \frac{2.25\ KDt}{r^2 S}$

$= \frac{1,500}{4\pi(1,200)} \ln[\frac{2.25\ (1,200)(9.3)}{r^2\ (0.10)}$

$\therefore \ln 1 = 0 \quad \therefore \ln \frac{2.25(1,200)(9.3)}{r^2\ (0.10)} = 0$

$\frac{2.25(1,200)(9.3)}{r^2\ (0.10)} = 1$

$r = 500$ เมตร