ระยะห่างของท่อระบายน้ำเพื่อควบคุมดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

นายสิทธิพันธ์ บานเย็น (Sittipun Banyen)[1, 3] ดร.วิชัย ศรีบุญลือ (Dr. Vichai Sriboonlue)[2, 3]

[1]นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมดินและน้ำ ภาควิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โทรศัพท์ 085-1105342 Email : papondpao@hotmail.com

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โทรศัพท์ 043- 348198 Email : vichai@kku.ac.th

[3]ศูนย์วิจัยและพัฒนาการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

บทคัดย่อ

ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือครอบคลุมพื้นที่กว้างขวาง มีผลกระทบต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อมมาก เนื่องจากดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดจากชั้นเกลือหินมหาสารคาม ซึ่งอยู่ลึกตั้งแต่ 20 เมตรลงไปดังนั้น เกลือจึงเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ผิวดินได้โดยการพาของน้ำใต้ดินเค็ม การควบคุมไม่ให้น้ำใต้ดินเค็มเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ผิวดิน สามารถทำได้โดยใช้ระบบระบายน้ำใต้ดิน อีกทั้งระบบระบายน้ำใต้ดินยังช่วยล้างดินเค็มในช่วงฤดูฝนได้ด้วย บทความนี้จึงได้เสนอวิธีการคำนวณระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดินทั้งกรณีการไหลแบบคงตัวและแบบไม่คงตัว อีกทั้งได้จัดทำแผนภูมิการหาค่าระยะห่างของท่อระบายน้ำในรูปของสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดิน ทั้งกรณีการไหลแบบคงตัวและไม่คงตัว โดยกำหนดให้ความลึกของชั้นทึบน้ำอยู่ระดับ 10 เมตร ความลึกของรากพืช 0.8 เมตร และระยะความสูงของเฮดชลศาสตร์ 1 เมตร กรณีการไหลคงตัวได้ใช้ฝนขนาดช่วงการตก 24 ชม ที่คาบการกลับ 5 และ 10 ปี ของจังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครพนมและ จังหวัดนครราชสีมา

1. บทนำ

ดินเค็มเป็นปัญหาทั้งต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม (Scheumann, 1997 ; Goudie and Viles, 1997) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปัญหาดินเค็มมากทั้งนี้เนื่องจากเกลือหินในชุดดินมหาสารคาม ซึ่งอยู่ที่ความลึกจากผิวดิน 20 – 600 เมตร ถูกน้ำใต้ดินพาขึ้นมาสู่ผิวดิน เมื่อน้ำใต้ดินระเหยไปทำให้เกลือถูกทิ้งไว้ที่ผิวดินหรือชั้นใต้ผิวดิน เมื่อเกลือสะสมมากขึ้นก่อให้เกิดดินเค็ม (สมศรี, 2532) เนื่องจากดินเค็มสามารถเกิดได้กับดินทุกชนิด (Hattori, 1997) ดังนั้นการควบคุมดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สามารถทำได้โดยการวางระบบระบายน้ำใต้ดิน ทั้งนี้เพราะระบบระบายน้ำใต้ดิน นอกจากควบคุมไม่ให้น้ำใต้ดินเค็มเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวดินได้แล้วยังช่วยในการล้างดินโดยธรรมชาติได้ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนเฉลี่ยเฉพาะในฤดูฝนมีมากกว่า 1000 มิลลิเมตร แทบทุกพื้นที่

การคำนวณค่าระยะห่างของระบบระบายน้ำได้ถูกต้องจะช่วยประหยัดค่าก่อสร้างระบบระบายน้ำได้มาก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ได้นำเอาทฤษฎีการระบายน้ำมาช่วยในการคำนวณทั้งระบบการไหลแบบคงตัวและแบบไม่คงตัว และเพื่อให้สะดวกแก่การนำไปใช้งาน จึงได้คำนวณค่าสำเร็จรูปไว้ในตารางสามเหลี่ยมจำแนกดิน ดังนั้นเมื่อทราบชนิดของเนื้อดินหรือรู้สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียว ก็สามารถอ่านค่าระยะห่างของท่อระบายน้ำได้เลย

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1 การหาความลึกของท่อระบายน้ำใต้ดิน

ความลึกสำหรับการติดตั้งระบบระบายน้ำใต้ดินในแนวราบ ขึ้นอยู่กับลักษณะชั้นดิน ความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ปฏิบัติงานและค่าใช้จ่าย โดยถ้าวางระบบลึกมากสามารถลดระดับน้ำได้มากและเพิ่มระยะห่างของท่อระบายน้ำได้แต่ค่าใช้จ่ายสูง การหาความลึกของท่อระบายน้ำใต้ดินจะพิจารณาจาก 2 ปัจจัยหลักคือ

2.1.1 ความลึกของรากพืช ในกรณีที่ดินตลอดความลึกนั้นมีลักษณะพอเหมาะกับความต้องการของรากพืช ความลึกของรากพืชจะผันแปรตามอายุและระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโต (Active growth) ซึ่งความลึกของรากพืชมีค่าเฉลี่ยโดยประมาณ 30 - 45 เซนติเมตร ต่อระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโตหนึ่งเดือน (เกรียงศักดิ์, 2527)

2.1.2 ค่าเฮดทางชลศาสตร์ ในกรณีที่วัดระดับท่อระบายน้ำใต้ดินทั้งสองข้างถึงระดับน้ำสูงสุดที่ต้องการหลังจากระบายน้ำ

2.2 การหาระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดิน

การหาระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดินเพื่อควบคุมระดับน้ำใต้ดินสามารถแบ่งเป็นกรณีศึกษาเป็น 2 กรณีใหญ่ๆ คือ สภาวะการไหลแบบคงตัวและสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1สภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady State condition)

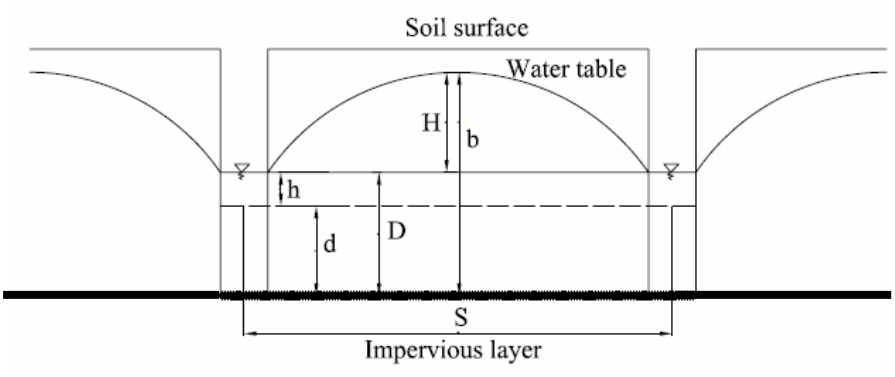
วิธีการคำนวณหาค่าความลึกและระยะห่างของท่อระบายน้ำนั้นมีสมมุติฐานที่ใช้ศึกษามากมาย แต่มีสมการที่ใช้หาระยะห่างของท่อระบายน้ำซึ่ง Hooghoudt ได้พัฒนาสมมุติฐานของ Dupuit จากระบบระบายน้ำ และสัญลักษณ์ดังภาพที่ 1 สามารถเขียนสมการเพื่อคำนวณระยะห่างของท่อระบายน้ำได้ดังนี้ (Van Schilfgaarde, 1974)

$$S^2 = \frac{4K(H^2 + 2dH)}{i} \qquad (1)$$

เมื่อ K = ค่าสภาพนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) มีหน่วยเป็น (m/day)

H = เฮดทางชลศาสตร์ (Hydraulic head) มีหน่วยเป็น (m)

i = อัตราการตกของฝน (rainfall intensity) หรือ อัตราการให้น้ำชลประทาน (irrigation rate) มีหน่วยเป็น (m/day)



ภาพที่ 1 ระบบการไหลแบบคงตัวเข้าสู่ทางระบายน้ำใต้ดิน

2.2.2 สภาวะการไหลแบบไม่คงตัว (Nonsteady State condition)

Van Schilfgaarde (1974)ได้พัฒนาจากสมการของ Glover Dumm โดยรวมเอาผลของแรงต้านการไหล เข้ารวมดังแสดงในสมการที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดของสัญลักษณ์แสดงดังภาพที่ 2

$$S^2 = \frac{9 K t \, d_e / \mu}{\ln[m_0 (2d_e + m)] - \ln[m(2d_e + m)]} \qquad (2)$$

เมื่อ S = ระยะระหว่างท่อระบายน้ำ (Drain spacing)

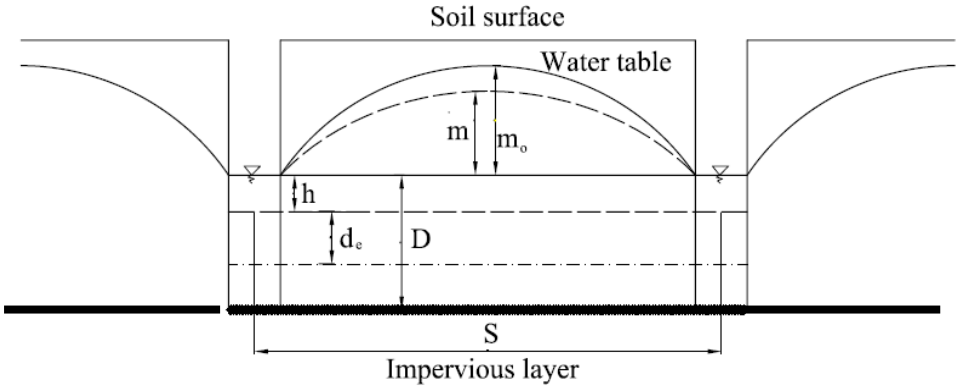
d_e = ค่าความลึกยังผล (Effective depth) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของลึก (d) และเส้นวงขอบเปียกของท่อระบายน้ำ ($u = \pi r$ โดยที่ r = รัศมีของท่อระบายน้ำ) (Dieleman, 1978)

m = ระดับความสูงของผิวน้ำใต้ดินจากระดับท่อระบายน้ำที่ระยะกึ่งกลางระหว่างท่อระบายน้ำ

m_0 = ระดับความสูงของผิวน้ำใต้ดินเริ่มต้น

t = เวลาของระดับน้ำใต้ดินลดจาก m_0 ถึง m

μ = สัมประสิทธิ์ความพรุนยังผลของดิน (Effective porosity)

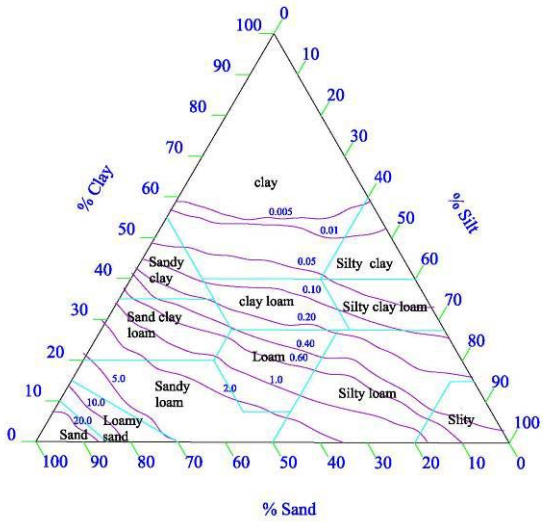


ภาพที่ 2 ระบบการไหลแบบไม่คงตัวเข้าสู่ทางระบายน้ำใต้ดิน

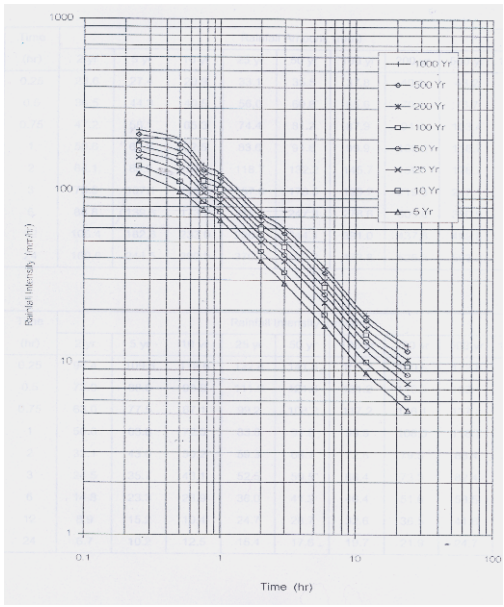
3. วิธีการ ข้อมูล และผลการศึกษา

3.1 ความลึกและระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลแบบคงตัว

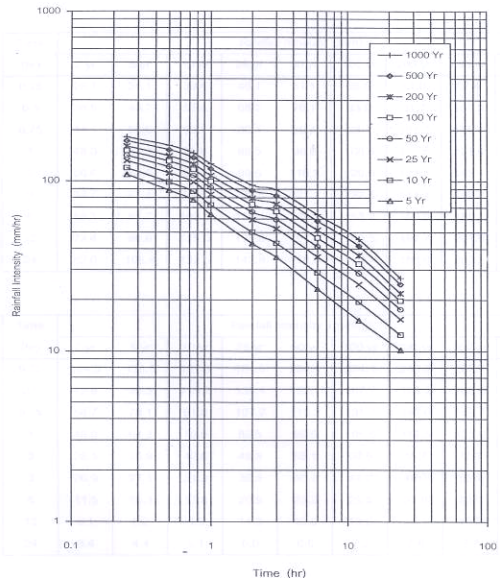
จากสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดินกำหนดตัวอย่างดินจากจุดกึ่งกลางของเนื้อดินแต่ละชนิดทั้ง 12 ชนิด เพื่อหาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ ดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียว จากนั้นนำสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ดินทรายกับดินเหนียวที่หาได้มาหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ จากสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดินซึ่งดัด แปลงจาก Rawls and Brakensick (1985) แสดงดังภาพที่ 3 โดยการศึกษานี้ได้กำหนดความลึกจากระยะผิวดินถึงชั้นทึบน้ำเท่ากับ 10 เมตร ความลึกจากผิวดินถึงท่อระบายน้ำใต้ดินเท่ากับ 1.8 เมตร โดยพิจารณาจากความลึกของรากพืช เท่ากับ 0.8 เมตร และค่าเฮดทางชลศาสตร์ เท่ากับ 1.0 เมตร ดังนั้นพบว่าความลึกจากท่อระบายน้ำใต้ดินถึงชั้นทึบน้ำ เท่ากับ 8.2 เมตร และหาปริมาณน้ำฝนจากความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในคาบการกลับ 5 ปี และ 10 ปี ในพื้นที่ ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครพนมและจังหวัดนครราชสีมา ดังแสดงในภาพที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ (พิสิษฐ์, 2542)



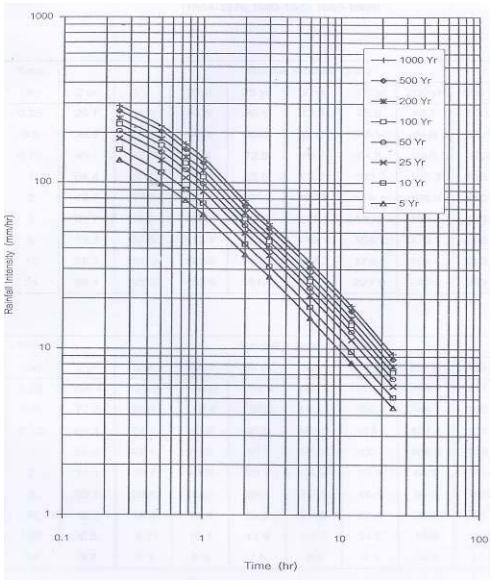
ภาพที่ 3 ค่าสภาพนำชลศาสตร์ในหน่วย cm / hr หาได้จากสามเหลี่ยมจำแนกดิน (ดัดแปลงจาก Rawls and Brakensick, 1985)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ของฝน ในจังหวัดขอนแก่น (พิสิษฐ์, 2542)

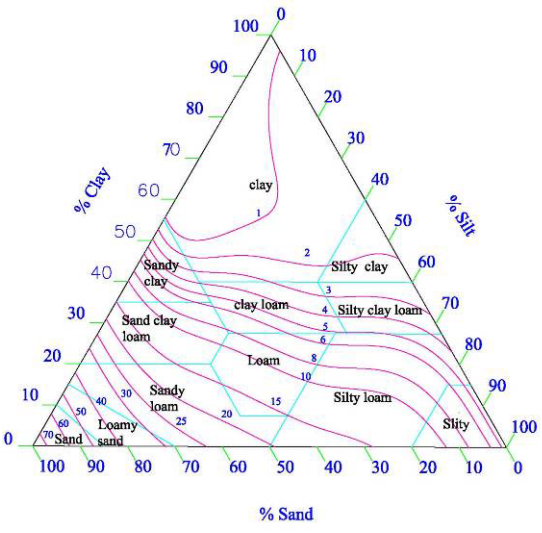


ภาพที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ของฝน ในจังหวัดนครพนม (พิสิษฐ์, 2542)

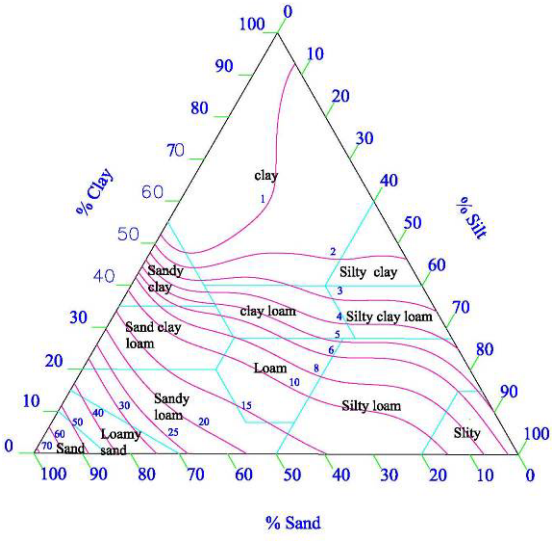


ภาพที่ 6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ของฝน ในจังหวัดนครราชสีมา (พิสิษฐ์, 2542)

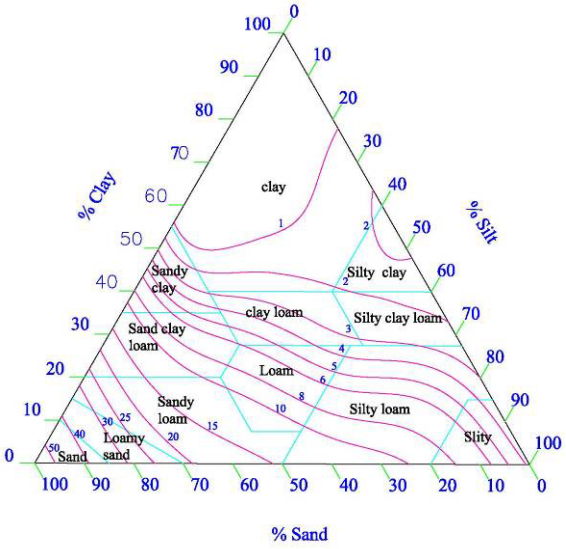
จากการคำนวณในคุณสมบัติของเนื้อดินทั้ง 12 ชนิดกับปริมาณน้ำฝนสูงสุดจากความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในคาบความถี่ 5 ปีและ 10 ปี เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ดินทรายกับดินเหนียว โดยใช้สามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดิน กับระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินในพื้นที่ ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด ได้แก่ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7 และ 8 สำหรับจังหวัดขอนแก่น ภาพที่ 9 และ 10 สำหรับจังหวัดนครพนม ภาพที่ 11 และ12 สำหรับจังหวัดนครราชสีมา



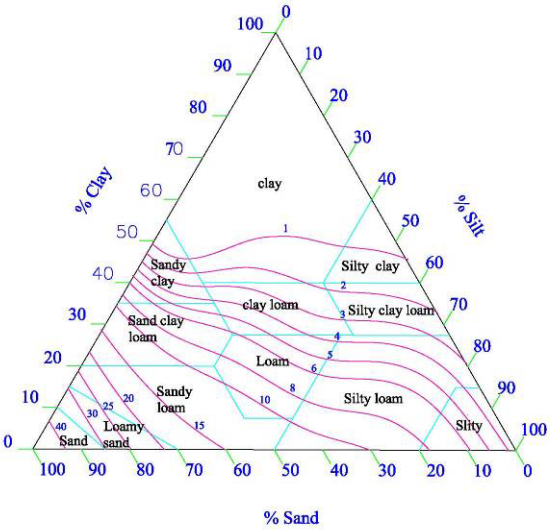
ภาพที่ 7 ระยะห่างของท่อระบายน้ำ สำหรับ 24 ชั่วโมง คาบการกลับ 5 ปี ของจังหวัดขอนแก่น



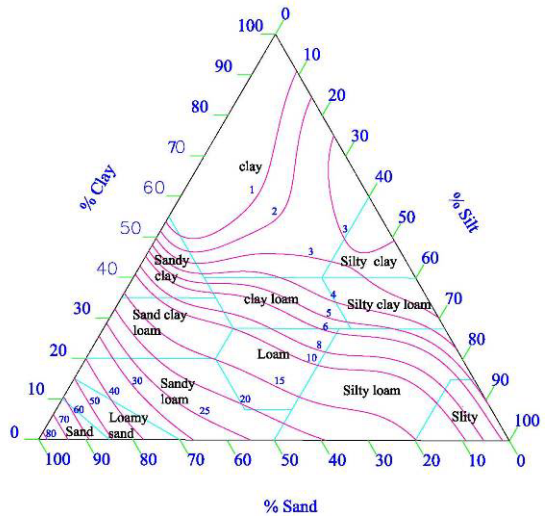
ภาพที่ 8 ระยะห่างของท่อระบายน้ำ สำหรับ 24 ชั่วโมง คาบการกลับ 10 ปี ของจังหวัดขอนแก่น



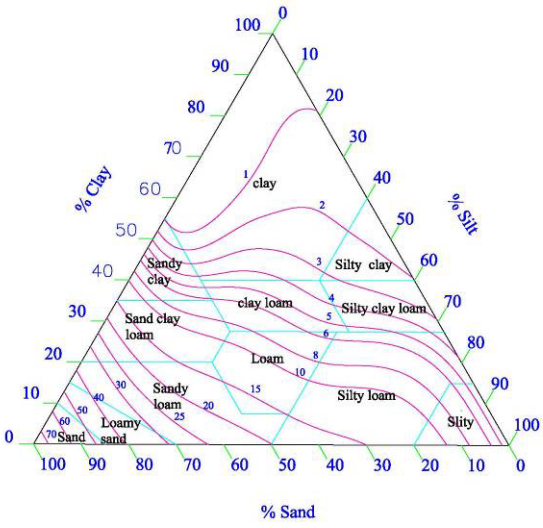
ภาพที่ 9 ระยะห่างของท่อระบายน้ำ สำหรับ 24 ชั่วโมง คาบการกลับ 5 ปี ของจังหวัดนครพนม



ภาพที่ 10 ระยะห่างของท่อระบายน้ำ สำหรับ 24 ชั่วโมง คาบการกลับ 10 ปี ของจังหวัดนครพนม



ภาพที่ 11 ระยะห่างของท่อระบายน้ำ สำหรับ 24 ชั่วโมง คาบการกลับ 5 ปี ของจังหวัดนครราชสีมา



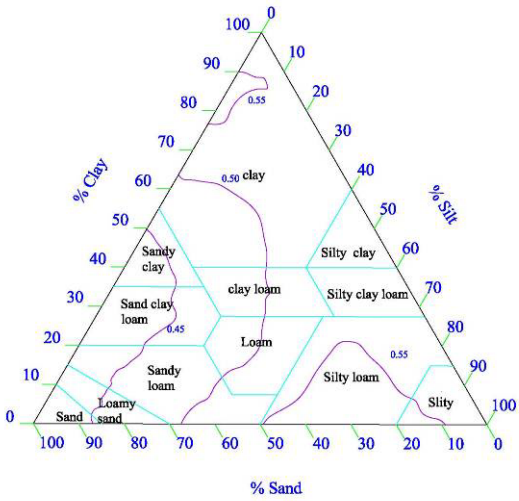
ภาพที่ 12 ระยะห่างของท่อระบายน้ำ สำหรับ 24 ชั่วโมง คาบการกลับ 10 ปี ของจังหวัดนครราชสีมา

จากการพิจารณาจากอัตราการตกของฝนจากจากความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในคาบการกลับ 5 ปี และ 10 ปี ของทั้ง 3 พื้นที่ เนื่องจากอัตราการตกของฝน ในคาบการกลับ 10 ปี มีค่ามากกว่าคาบการกลับ 5 ปี พบว่าระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดินในคาบการกลับ 5 ปีมีค่าพิสัยมากกว่าในคาบการกลับ 10 ปี

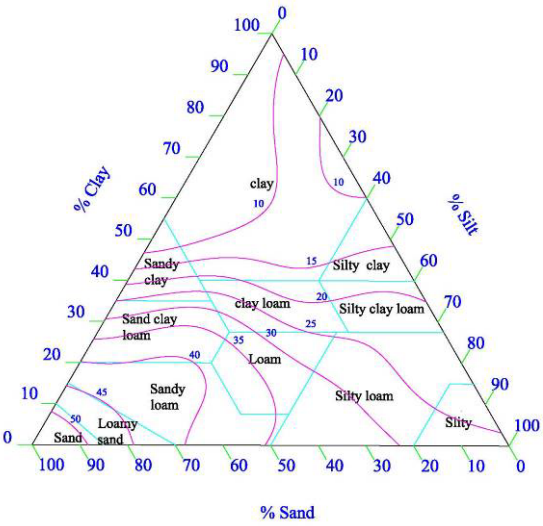
จากการคำนวณหาความลึกและระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลแบบคงตัว พบว่าถ้าสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ในดินเหนียวมีค่ามากกับดินทรายมีค่าน้อยจะทำให้ระยะห่างท่อระบายน้ำมีค่าน้อย และสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ในดินทรายมีค่ามากกับดินเหนียวมีค่าน้อยจะทำให้ระยะห่างท่อระบายน้ำมีค่ามากด้วยเช่นกัน จากการพิจารณาจากอัตราการตกของฝนจากจากความสัมพันธ์ความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี และ 10 ปี พบว่า ช่วงพิสัยของระยะห่างท่อระบายน้ำ ของช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในคาบ 10 ปี ของจังหวัดนครพนม มีค่าช่วงพิสัยสั้นที่สุดคือตั้งแต่ 1 ถึง 40 เมตร แสดงดังภาพที่ 10 และช่วงพิสัยของระยะห่างท่อระบายน้ำ ของช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ในคาบ 5 ปี ของจังหวัดนครราชสีมา มีค่าช่วงพิสัยยาวที่สุดคือตั้งแต่ 1 ถึง 80 เมตรแสดงดังภาพที่ 11

3.2 ความลึกและระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว

จากสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดินกำหนดตัวอย่างดินจากจุดกึ่งกลางของเนื้อดินแต่ละชนิดทั้ง 12 ชนิด เพื่อหาสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ ดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียว จากนั้นนำสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ดินทรายกับดินเหนียวที่หาได้มาหาค่านำสภาพชลศาสตร์ จากภาพที่ 3 เนื่องจากในทฤษฎีการออกแบบระบบระบายน้ำต้องใช้ค่า สัมประสิทธิความพรุนยังผล ดังนั้นจึงต้องหาค่าความพรุนรวมจากสามเหลี่ยมจำแนกเนื้อดินซึ่งดัด แปลงจาก Rawls Brakensick and Soni (1987) แสดงดังภาพที่ 13 โดยนำค่าที่ได้มาปรับแก้เปอร์เซ็นต์ความพรุนจากสามเหลี่ยมจำแนกดินแสดงดังภาพที่ 14 จะได้ค่าสัมประสิทธิความพรุนยังผล เพื่อใช้ในการคำนวณระยะห่างของท่อระบายน้ำ โดยการศึกษานี้ได้กำหนดความลึกจากระยะผิวดินถึงชั้นแน่นทึบเท่ากับ 10 เมตร เพื่อหาความลึกเปรียบเทียบ โดยความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างท่อระบายน้ำกับความลึกของชั้นแน่นทึบโดยใช้กราฟ Hooghoudt Equivalent depth ในท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.7 เมตร ความลึกจากผิวดินถึงท่อระบายน้ำใต้ดินเท่ากับ 1.8 เมตร โดยพิจารณาจากความลึกของรากพืช เท่ากับ 0.8 เมตร ดังนั้นจะทราบว่าความลึกระดับน้ำใต้ดินเริ่มต้นที่ผิวดิน(m_0)เท่ากับ 1.8 เมตรและลดลงถึงระดับน้ำใต้ดินที่จุดกึ่งกลางที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (m) เท่ากับ 1.0 เมตรในช่วงเวลา 1 วัน

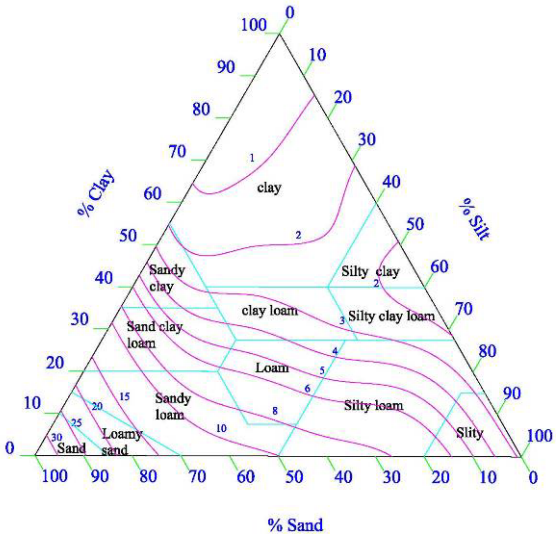


ภาพที่ 13 ค่าความพรุนรวม (ดัดแปลงจาก Rawls Brakensick and Soni, 1987)



ภาพที่ 14 ค่าแฟกเตอร์ปรับแก้ความพรุนเพื่อหาความพรุนยังผล

จากการคำนวณในคุณสมบัติของเนื้อดินทั้ง 12 ชนิด เพื่อหาระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ระยะห่างท่อระบายน้ำในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว ในระยะเวลาการระบายน้ำ 1 วัน

จากการคำนวณหาความลึกและระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว พบว่าสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ในดินเหนียวมีค่ามากกับดินทรายมีค่าน้อยจะทำให้ระยะห่างท่อระบายน้ำมีค่าน้อย และ

สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ในดินทรายมีค่ามากกับดินเหนียวมีค่าน้อยจะทำให้ระยะห่างท่อระบายน้ำมีค่ามากด้วยเช่นกัน พบว่า ช่วงพิสัยของระยะห่างท่อระบายน้ำ ตั้งแต่ 1 ถึง 30 เมตรแสดงดังภาพที่ 15

จากการศึกษาครั้งนี้ได้นำเอาทฤษฎีการระบายน้ำใต้ดินในสภาวะแบบคงตัวและไม่คงตัวเพื่อหาระยะห่างท่อระบายน้ำในรูปแบบสามเหลี่ยมจำแนกดิน โดยใช้วิธี pedo transfer function ในพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ข้างต้น ทั้ง 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครพนม จังหวัดนครราชสีมา เพื่อให้วิศวกรหรือผู้ที่สนใจ สะดวกต่อการนำไปใช้งาน โดยเมื่อทราบลักษณะเนื้อดินหรือสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ ดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียว ก็สามารถอ่านค่าระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินได้ทันที

ในกรณีที่พารามิเตอร์นอกเหนือจากที่กำหนดข้างต้นนั้นแนะนำให้คำนวณหาค่าระยะห่างท่อระบายน้ำใต้ดินใหม่โดยใช้ทฤษฎีการระบายน้ำใต้ดินในสภาวะแบบคงตัวหรือไม่คงตัว ตามวิธีการข้างต้นเพื่อให้ถูกต้องตามสภาพพื้นที่ที่ศึกษา

4. สรุป

1. ระยะห่างของท่อระบายน้ำเพื่อควบคุมและป้องกันดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แสดงได้ในรูปของสามเหลี่ยมจำแนกดินทั้ง กรณีการไหลแบบคงตัวและไม่คงตัว สำหรับการไหลแบบคงตัวได้ใช้ข้อมูลฝนขนาดช่วงเวลาการตก 24 ปี ชั่วโมงที่คาบการกลับ 5 และ 10 ปี ของจังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครพนม และจังหวัดนครราชสีมา

2. การศึกษานี้ได้เสนอวิธีการคำนวณระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดินสำหรับการไหลทั้งแบบคงตัวและแบบไม่คงตัว เพื่อใช้สำหรับกรณีหาระยะห่างของท่อระบายน้ำใต้ดิน ในพื้นที่อื่นหรือเมื่อลักษณะของชั้นดินที่มีลักษณะไม่เหมือนกับในการศึกษาครั้งนี้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เกรียงศักดิ์ สุวรรณโพธิศรี. 2527. *การให้น้ำและการระบายน้ำ*, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2] พิสิษฐ์ บำเพ็ญกิจ. 2542. *ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ฝนของภาคต่างๆในประเทศไทย* กรมชลประทาน

[3] ศุภสิทธิ์ คนใหญ่. 2547. *การหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวของดินเค็มด้วยการเคลื่อนที่คาพิลลารีในแท่งดิน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมดินและน้ำ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น

[4] สมศรี อรุณินท์. 2532. *ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ* ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 กรมพัฒนาที่ดิน

[5] Dieleman P.J. 1974. *Deriving Soil Hydrological Constants From Field Drainage Tests*. **In Drainage Principles and Applications, Publication 16.** Vol 3. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Netherland

[6] Goudie, A. and Viles, H. 1997. *Salt Weathering Hazards.* Wiley.

[7] Rawls, W.J. and Brakensiek. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. *Watershed Management in the Eighties*, ASAE.

[8] Rawls, W.J. and Brakensiek, D.L. and Soni, B. 1983. Agricultural management effects on soil water processes, Part 1 : Soil water retension and green and Ampt infiltration parameters. *Transactions of the ASAE*, Vol 26.

[9] Scheumann, W. 1997. *Managing Salinization : Institutional Analysis of Public Irrigation Systems.* Springer.

[10] Hattori Tomoo 1993. *Report of ADRC Short Term Expert Soil Salinity in Korat Basin.* JICA (No.39)

[11] Van Schilfgaarge, Jan. 1974. *Drainage for Agricultural*. American Society of Agronomy.