รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

The Study of Infiltration Rate of Cultivated Area in Middle Chi Basin, Maha-SaraKham by Response Surface Methodology

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHA SARAKHAM UNIVERSITY

พูนศักดิ์ ศิริโสม

วิพล ไชยชนะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2561)

ชื่อเรื่อง : การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ผู้วิจัย : พูนศักดิ์ ศิริโสม และวิพล ไชยชนะ

หน่วยงาน : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปีที่ได้รับทุน : 2561

ปีที่สำเร็จ : 2562

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาชนิดของดินพื้นที่ตำบลเกิ้ง หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน และวิเคราะห์รูปแบบสมการถดถอยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองด้วยการออกแบบ FCCD ด้วยตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในบริเวณพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก ของฤดูฝน และฤดูแล้ง ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม

ผลการวิจัยพบว่า พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง เป็นดินเหนียว มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในฤดูฝน และฤดูแล้งอยู่ในช่วง $1.04x10^{-5}$ – $7.28x10^{-5}$ และ $.84x10^{-5}$ – $2.53x10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ ส่วนพื้นที่เพาะปลูก เป็นดินเหนียวปนทรายมีค่าอยู่ระหว่าง $5.59x10^{-5}$ - $10.65x10^{-5}$ และ $10.65x10^{-5}$ – $15.85x10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที ตามลำดับ อัตราการซึมผ่านน้ำของดินมีค่ามากที่อุณหภูมิของดินที่สูง ซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในช่วงเริ่มต้น ในส่วนการวิเคราะห์หารูปแบบสมการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน พบว่ารูปแบบสมการถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองลำดับที่ 2 รูปแบบเต็มมาจากพื้นที่เพาะปลูก ในฤดูฝน และพื้นที่ทำนา ในฤดูแล้ง ส่วนพื้นที่เพาะปลูก ในฤดูแล้ง สมการมีองค์ประกอบสมการส่วนโค้งประกอบเพิ่มเข้ามา และสุดท้ายพื้นที่ทำนา ในฤดูฝน สมการมีเพียงรูปแบบเชิงเส้นเพียงเท่านั้น

TITLE : The Study of Infiltration Rate of Cultivated Area in Middle Chi Basin, Maha-SaraKham by Response Surface Methodology
AUTHOR : Poosak Sirisom and Wipol Chaichana
ORGANIZATION : Faculty of Science and Technology Rajabhat Maha-Sarakham University
GRANT YEAR : 2018
Finish YEAR : 2019

ABSTRACT

The objective of this study are to examine soil type in Koeng Subdistrict, find the water permeability coefficient of the soil and regression model analysis by the response surface method of FCCD design with soil temperature variables and the duration of soil conditions that are saturated with water In the farming area and cultivation areas of the rainy and dry seasons, Koeng Subdistrict, Maha Sarakham Province.

The research results were the rice fields in the Koeng subdistrict were clay. Has water permeability coefficient in the rainy season and the dry season is in the range of 1.04x10-5 - 7.28x10-5 and .84x10-5 - 2.53x10-5 cm/s, respectively. The cultivated area is a sandy clay with a value between 5.59x10-5 - 10.65x10-5 and 10.65x10-5 - 15.85x10-5 cm/s respectively. The water permeability rate of the soil is very high at high soil temperature, which is related to the period of soil conditions that are saturated with water at the beginning. In the analysis of the regression model of soil permeability coefficients it was found that the surface response method the second order, the full model came from the cultivated area in the rainy season and the rice farming area in the dry season. As for the cultivation area in the dry season, has a curvature model added. And finally, the farming area in the rainy season, the model has only a linear model.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย เรื่อง การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง นี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ได้ดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรผู้ที่มีเกี่ยวข้องที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งประกอบไปด้วย คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ และเครื่องวัดการซึมผ่านน้ำของดินตามมาตรฐาน ASTM D2434-68(2000) ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิพล ไชยชนะ ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ภคพล ช่างยันต์ ที่ได้ให้คำปรึกษาความรู้เรื่องการใช้อุปกรณ์การทดลอง และวิธีการวัดการซึมผ่านน้ำของดิน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ส่วนพื้นที่ตำบลเกิ้ง ที่อนุเคราะห์ให้ใช้พื้นที่ของสถาบันสำหรับการทำวิจัย และ ดร.ธรรมรัตน์ พนิชยากูล หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสถิติ MINITAB

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา ในการวิจัยในเชิงออกแบบและวางแผนการทดลองวิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง เพื่อการนำประยุกต์ใช้กับสาขาวิชาอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พูนศักดิ์ ศิริโสม
ผู้วิจัย

สารบัญ

หัวเรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ ..... ก
ABSTRACT ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์การวิจัย 4
สมมติฐานการวิจัย 4
ขอบเขตการวิจัย 5
กรอบแนวคิดการวิจัย 5
นิยามศัพท์เฉพาะ 5
ประโยชน์จากการวิจัย 5

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
การซึม 7
การหาอัตราการซึมน้ำ 10
วิธีพื้นผิวตอบสนอง 13
ลุ่มน้ำชี 19
สภาพพื้นที่แม่น้ำชีที่ไหลผ่านบ้านเกิ้ง มหาสารคาม 19
สภาพพื้นที่ดินเพาะปลูก/ทำนา บ้านเกิ้ง มหาสารคาม 21
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
กรอบการวิจัย 26

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย 29
แผนการดำเนินงานวิจัย 29
อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน . 30
การเตรียมตัวอย่าง และขั้นตอนการทดสอบ 32
สถิติที่ใช้ในการวิจัย 34
การออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบ FCCD 36

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หัวเรื่อง **หน้า**

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 41
ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านน้ำลงดิน ในฤดูฝน 41
ผลการศึกษาการซึมผ่านน้ำลงดิน ในฤดูแล้ง 50

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 60
สรุปผลการวิจัย 60
อภิปรายผล 63
ข้อเสนอแนะ 66

บรรณานุกรม 68

ภาคผนวก 71

ประวัติผู้วิจัย 93

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงการซึมน้ำผ่านดินจำแนกตามลักษณะดิน 11
ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในของดินในการทดลอง โดยจำแนกออกตามฤดูกาล 30
ตารางที่ 3.2 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน 36
ตารางที่ 3.3 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน 37
ตารางที่ 3.4 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน 37
ตารางที่ 3.5 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน 38
ตารางที่ 3.6 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง 38
ตารางที่ 3.7 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง 39
ตารางที่ 3.8 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง 39
ตารางที่ 3.9 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน 40
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียว พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูฝน 42
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน 42
ตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสอง พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน 43
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียวปนทราย พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูฝน 46
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน 47
ตารางที่ 4.6 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองการซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูฝน 47
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียว พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูแล้ง 51
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง 51

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 4.9 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองการซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้งในฤดูแล้ง 51
ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียวปนทราย พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ฤดูแล้ง 55
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง 56
ตารางที่ 4.12 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองการซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูแล้ง 56
ตารางที่ 5.1 แสดงองค์ประกอบในรูปแบบสมการถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองด้วยการออกแบบ FCCD ของพื้นที่ตำบลเกิ้ง ตามพื้นที่ และฤดูกาล 65

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 2.1 ความเข้ม (i) น้อยกว่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (fc) 9
ภาพที่ 2.2 ความเข้มฝน มากกว่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล 9
ภาพที่ 2.3 ความเข้มฝน มากกว่าอัตราการซึมเริ่มต้น 10
ภาพที่ 2.4 การทดสอบด้วยวิธีระดับน้ำคงที่หรือความดันคงที่ (Constant head method) . 13
ภาพที่ 2.5 พื้นผิวตอบสนองระหว่างอุณหภูมิและความดันกับผลตอบสนองในรูปผลผลิต 14
ภาพที่ 2.6 เส้นระดับของพื้นผิวตอบสนองระหว่างอุณหภูมิและความดันกับผลตอบสนอง ในรูปผลผลิต 14
ภาพที่ 2.7 การออกแบบ CCD สำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$ 18
ภาพที่ 2.8 แผนภาพกรอบการวิจัยการวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์ การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม 26
ภาพที่ 3.1 แผนภาพกรอบการวิจัยการวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์ การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม 32
ภาพที่ 3.2 สภาพดินพื้นที่เพาะปลูก และใช้เป็นตัวอย่างดินตำบลบ้านเกิ้ง 32
ภาพที่ 3.3 แบบรายงานข้อมูลอัตราการซึมผ่านน้ำลงดินด้วยวิธีการวัดความดันคงที่ 34
ภาพที่ 4.1 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา ช่วงหน้าฝน 44
ภาพที่ 4.2 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนาช่วงหน้าฝน 45
ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์ การวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนา ช่วงหน้าฝน 45
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน ในพื้นที่เพาะปลูก ช่วงฤดูฝน 49
ภาพที่ 4.5 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูฝน 49
ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์ การวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ช่วงฤดูฝน 50
ภาพที่ 4.7 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนา ช่วงฤดูแล้ง 53
ภาพที่ 4.8 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา ช่วงฤดูแล้ง 54

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์ การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน พื้นที่ทำนาช่วงฤดูแล้ง 54
ภาพที่ 4.10 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง 58
ภาพที่ 4.11 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งช่วงฤดูแล้ง 58
ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์ การวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน พื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูแล้ง 59

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ลุ่มน้ำชีตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 49,476 ตารางกิโลเมตร โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต 12 จังหวัด ได้แก่ ชัยภูมิ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี นครราชสีมา เลย หนองบัวลำภู อุดรธานี และศรีสะเกษ ลุ่มน้ำชีตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศา 30 ลิปดาเหนือ ถึงเส้นรุ้งที่ 17 องศา 30 ลิปดาเหนือ และอยู่ระหว่างเส้นแวงที่ 101 องศา 30 ลิปดาตะวันออก ถึง เส้นแวงที่ 104 องศา 30 ลิปดาตะวันออก ด้านทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำโขง ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำมูล ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำ (บุญชัย งามวิทย์โรจน์ และคณะ, 2551) โดยเกษตรกรใช้พื้นที่ซึ่งใช้แนวลำน้ำชีสายหลักเป็นเกณฑ์แล้ววัดระยะห่างออกจากลำน้ำทั้งสองด้าน ด้านละ 6,000 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 15,086,171,353 ตารางเมตร หรือ 9,428,857.096 ไร่ การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำชี จำแนกได้เป็นดังนี้ นาข้าว จำนวน 4,772,706.604 ไร่ ข้าวโพด จำนวน 74,926.614 ไร่ มันสำปะหลัง จำนวน 428,786.882 ไร่ อ้อย จำนวน 585,369.024 ไร่ พื้นที่เกษตรอื่น ๆ จำนวน 486,188.118 ไร่ พื้นที่ไม้พุ่ม และทุ่งนา จำนวน 402,808.970 ไร่ พื้นที่ป่าไม้ จำนวน 1,506,767.974 ไร่ พื้นที่น้ำ จำนวน 584,806.504 ไร่ และพื้นที่อื่น ๆ จำนวน 631,496.406 ไร่ (ณัฐวุฒิ ธานี, 2557)

แต่เกษตรกรที่ใช้พื้นทำเกษตรบริเวณลุ่มน้ำชี ก็จะได้ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในพื้นที่นี้ เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนน้ำ และภัยแล้งเกิดจากฝนไม่ตกตามฤดูกาล และเกิดสภาวะฝนทิ้งช่วงที่ติดต่อกันยาวนานในพื้นที่ลุ่มน้ำ ประกอบกับระบบนิเวศของลุ่มน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป ผลจากการขยายตัวของชุมชน กิจกรรมทางเศรษฐกิจต่าง ๆ รวมทั้งการขยายพื้นที่การเกษตรทั้งในเขตชลประทาน และนอกเขตชลประทาน ทำให้มีความต้องการน้ำจืดมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง (กรมทรัพยากร, 2546) และสภาพน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยส่วนใหญ่มักเกิดปีละ 2-3 ครั้ง โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2538 สภาพน้ำท่วมก่อให้เกิดความเสียหายค่อนข้างมาก เนื่องจากอิทธิพลของพายุโซนร้อน Garry, Helen, Ewring, Luis และ Nina อิทธิพลของพายุโซนร้อน Uzangi ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนวัดได้ถึง 315.2 มิลลิเมตร ทำให้บริเวณจังหวัดร้อยเอ็ด โดยเฉพาะอำเภอเสลภูมิได้รับความเสียหายอย่างหนัก นอกจากนี้พื้นที่ลุ่มน้ำชียังประสบปัญหาอุทกภัยหลายรูปแบบ ได้แก่ น้ำท่วมขัง น้ำไหลล้นตลิ่ง น้ำป่าไหลหลาก และดินโคลนถล่ม โดยพื้นที่ที่ประสบอุทกภัยประเภทน้ำท่วมขัง ได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ประเภทน้ำป่าไหลหลาก ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ ขอนแก่น ร้อยเอ็ด ประเภทน้ำล้นตลิ่ง ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น ร้อยเอ็ด และอุบลราชธานี พื้นที่ประสบภัยดิน/โคลนถล่ม ได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ และชัยภูมิ (กรมทรัพยากร, 2549)

ปัจจัยที่ที่เกิดสภาวะการขาดแคลนน้ำ และสภาวะน้ำท่วมลุ่มน้ำชีที่เป็นปรากฏการณ์ขึ้นทุกปีเนื่องจากสภาพภูมิอาการแล้ว การวิเคราะห์สภาพของดิน และการซึมผ่านของน้ำของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำชีเป็นวิธีการศึกษาที่อธิบายการท่วมขัง หรือการขาดแคลนน้ำที่จำเป็นในพื้นที่ของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ลำน้ำชีได้ด้วย เนื่องจากชนิดของดิน (Soil type) แต่ละชนิดมีความสามารถให้น้ำซึมผ่าน และเก็บน้ำได้แตกต่างกัน เช่น ดินลึกมีอินทรียวัตถุมาก และมีความชื้นต่ำ ทำให้น้ำฝนแปรสภาพเป็นน้ำไหลในลำธารน้อยลง เนื่องจากดินมีศักยภาพในการเก็บกักน้ำไว้ได้มากนั่นเอง ส่วนดินที่ให้น้ำซึมผ่านมากหรือได้เร็ว สามารถเก็บน้ำไว้ในดินได้ค่อนข้างสูง ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินลงสู่ลำธารค่อนข้างช้า แต่สามารถปลดปล่อยน้ำตลอดเวลาและสม่ำเสมอ เช่น ดินเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) หรือดินร่วนเหนียว (Clay loam) เป็นต้น ส่วนดินที่มีทรายเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง ทำให้น้ำซึมลงในดินได้เร็ว แต่ไม่สามารถเก็บน้ำไว้ในดินได้นาน ดินมีโอกาสปลดปล่อยน้ำลงสู่ลำธารได้รวดเร็ว มักเกิดปัญหาขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง เช่น ดินส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นต้น (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2542)

ข้อมูลในด้านความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตหรือทางเลือกในการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำชียังมีน้อยมาก ด้วยเหตุที่ทรัพยากรที่ดินมีข้อจำกัดมาก เช่น ลักษณะของดินส่วนใหญ่มีเนื้อดินเป็นทราย มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้น้อยและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนในบริเวณลุ่มน้ำไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจะอยู่ในเกณฑ์ดีก็ตาม โดยฝนมักตกปริมาณมากใน ปลายฤดูฝนในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายน และปัญหาดินเค็มที่ส่วนใหญ่มักพบในบริเวณพื้นที่ราบต่ำหรือพื้นที่ลุ่ม เป็นต้น การมีทรัพยากรธรรมชาติอย่างจำกัด แต่ความต้องการใช้ประโยชน์ที่ดินกลับมีเพิ่มมากขึ้น กอปรกับการขาดแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ชัดเจน รวมทั้งความยืดหยุ่นหรือทางเลือกในการใช้ประโยชน์ที่ดินน้อย โดยเฉพาะราคาผลผลิตที่ผันแปรตลอดเวลาก่อให้เกิดปัญหาการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ไม่เหมาะสมตามศักยภาพ หรือไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการเพิ่มมากขึ้น และเป็นตัวเร่งให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากร ในขณะเดียวกัน สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2549) ได้รายงานแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยในรอบ 4 ปี (พ.ศ. 2541 – 2544) พบว่า มีจำนวนเพิ่มขึ้น โดย พ.ศ. 2541 และพ.ศ. 2544 มีเนื้อที่คิดเป็นร้อยละ 54.56 และ 56.24 ของพื้นที่ประเทศตามลำดับ และใน พ.ศ. 2544 มีพื้นที่ที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ไม่เหมาะสมตามหลักวิชาการถึงร้อยละ 60.1 ของพื้นที่ประเทศ ซึ่งบางปัญหาได้ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรอื่น ๆ อีกด้วย เช่น ปัญหาการพังทลายของหน้าดินโดยเฉพาะพื้นที่ลาดชันที่มีหน้าดินเปิดโล่งและมีเนื้อดินเป็นดินทราย ทำให้โอกาสที่จะสูญเสียหน้าดินมีมากขึ้น ตะกอนดินอาจไหลไปกับสายน้ำและเกิดการทับถมในพื้นที่ต่ำหรือแหล่งน้ำได้ทำให้คุณภาพน้ำและปริมาตรในการเก็บกักน้ำลดลง และปัญหาพื้นที่ดินเค็มที่มีการขยายตัวตลอดเวลา

ตำบลเกิ้ง อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม อยู่ทิศเหนือ ห่างจากที่ว่าการอำเภอเมืองมหาสารคาม ประมาณ 4 กิโลเมตร ตำบลเกิ้งตั้งอยู่ทางทิศเหนือของอำเภอเมืองมหาสารคาม อยู่ห่างจากที่ว่าการอำเภอเมืองมหาสารคาม ประมาณ 4 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 11,983 ไร่ หรือ 19.17 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่ตำบลเกิ้งมีแหล่งน้ำธรรมชาติสำคัญ คือ แม่น้ำชี และมีคลองส่งน้ำเพื่อการเกษตรที่ได้รับ การถ่ายโอนภารกิจจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในรูปของสถานีสูบน้ำ ซึ่งแหล่งน้ำที่สำคัญ คือ แม่น้ำชี และยังมีแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือหนองน้ำซึ่งชาวตำบลเกิ้งได้ใช้แหล่งน้ำเหล่านี้ในชีวิตประจำวันและเพื่อการเกษตร ตำบลเกิ้งมีพื้นที่ทั้งหมด 11,983 ไร่ เป็นพื้นที่ทำการเกษตร 9,037.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 75.42 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ทำการเกษตรของตำบลเกิ้ง จำแนกเป็น พื้นที่นาข้าว 7,252 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 80.25 ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่ไม้ผล 1,566 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.33 ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่อื่นๆ เช่น พื้นที่ปลูกไม้ดอกไม้ประดับ 19.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.21 ของพื้นที่ทำการเกษตร เป็นต้น แหล่งน้ำในภูมินิเวศน์บ้านเกิ้งจะถูกใช้ในการทำการเกษตรเป็นเสียส่วนใหญ่ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าพื้นที่บริเวณนี้ถูกใช้เป็นพื้นที่เกษตรสำหรับการทำนาปี และนาปรังเกือบ 90% และอีก 10% ที่เหลือใช้เป็นพื้นที่สำหรับอยู่อาศัย แสดงให้เห็นถึงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่มีน้ำในการทำนาปีรวมถึงนาปรัง ซึ่งก็มาจากฝนที่ตกลงมาในปริมาณเหมาะสม การมีน้ำเก็บในกุดหรือบึงอย่างเพียงพอ และที่สำคัญก็ คือ น้ำจากแม่น้ำชีใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานไฟฟ้าสูบขึ้นมาเพื่อใช้ในการเกษตร ส่งผ่านคลองชลประทานไปยังพื้นที่การเกษตรซึ่งก็ทำให้คนในชุมชนประกอบอาชีพทำนาเป็นหลักเนื่องจากมีทรัพยากรน้ำที่จำเป็นต้องใช้อย่างเพียงพอ (www.kerng.go.th/information-base.html) พื้นที่ดินของจังหวัดมหาสารคามแบ่งกลุ่มดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ 1) กลุ่มดินไร่ สามารถแบ่งย่อยเป็น กลุ่มดินไร่ทั่วไป มีพื้นที่เพียงเล็กน้อย ครอบคลุมพื้นที่ทางทิศตะวันตกของจังหวัด และกลุ่มดินไร่ทรายส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณทิศตะวันตกของจังหวัด 2) กลุ่มดินนา ส่วนใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ทางทิศเหนือและทิศใต้ของจังหวัดสามารถแยกออกเป็นกลุ่มย่อยตามคุณสมบัติของดินได้เป็น กลุ่มดินนาทั่วไป และกลุ่มดินนาดี อยู่บริเวณลุ่มแม่น้ำชีทางทิศเหนือ ของจังหวัดซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของอำเภอโกสุมพิสัยและอำเภอกันทรวิชัย และบางส่วนอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัด และ 3) กลุ่มดินคละ ส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณตอนกลางของจังหวัด แบ่งออกเป็น กลุ่มดินไร่ทั่วไป คละกับดินนาทั่วไป และกลุ่มดินไร่ทรายคละกับดินไร่ทั่วไป (สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม, 2555)

กลุ่มดินนาทั่วไป และกลุ่มดินนาดี ซึ่งเป็นดินเหนียวในพื้นที่ทำนาส่วนใหญ่ของตำบลเกิ้ง ซึ่งต้องใช้กับสภาพการทำนาปลูกปลูกข้าว และยังใช้เป็นพื้นที่ในการเพาะปลูกทำนา และพืชอื่นๆ ในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ในบางปีที่มีฝนมากในจังหวัดมหาสารคามและพื้นที่ดินตำบลเกิ้งยังเป็นพื้นที่รองรับปริมาณน้ำที่มากจนเกิดเป็นพื้นที่น้ำท่วม บ้านเกิ้งเป็นหมู่บ้านที่อยู่บริเวณทางน้ำไหลหากมีน้ำท่วม น้ำจะไหลมาจากตำบลแก่งเลิงจาน ผ่านจังหวัดมหาสารคามเข้าสู่ตำบลเกิ้งและตำบลลาดพัฒนาลงสู่แม่น้ำชี และหากน้ำระยะจากตำบลลาดพัฒนาสู่แม่น้ำชีไม่พ้น น้ำก็จะเอ่อขึ้นมาท่วมยังตำบลเกิ้งทิศทางการไหลของน้ำนั้นหากกล่าวถึงเพียงแหล่งน้ำในหมู่บ้าน น้ำจะไหลจากกุดอ้อซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ของบ้านโนนสวรรค์ หมู่ที่ 10 ไปตามคลองก้านเหลืองสู่กุดขี้เป็ดและน้ำจากกุดอ้อน้อยจากตำบลบ้านลาดพัฒนาก็จะไหลลงกุดขี้เป็ดเช่นกันหลังจากนั้นเมื่อน้ำสูงจนถึงระดับหนึ่งแล้วน้ำจากกุดขี้เป็ดก็จะไหลลงสู่ห้วยคะคางและลงสู่แม่น้ำชีต่อไป (บุญชัย งามวิทย์โรจน์ และคณะ, 2551)

พื้นที่ดินตำบลเกิ้งที่ถูกใช้งานตลอดทั้งปี และยังเผชิญกับภาวะน้ำท่วมในบางปี พื้นที่ดินนี้จึงมีความน่าสนใจเพื่อศึกษาสมบัติของดินเรื่องการซึมผ่านน้ำของดิน และหากนำมาพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ในพื้นที่ เช่น อุณหภูมิของดินในฤดูกาล และการอิ่มน้ำในดิน โดยเลือกวิธีการวางแผนการทดลองทางสถิติการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ซึ่งจะทำให้ได้สมการการพยากรณ์อัตราการซึมผ่านน้ำของดิน เพื่อประยุกต์ใช้กับงานด้านปฐพี และวิศวกรรมศาสตร์ของดิน

วิธีการศึกษาพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) เป็นกระบวนการรวบรวมวิธีการทางคณิตศาสตร์ และสถิติเพื่อนำมาใช้ในการหาตัวแบบ รวมถึง

การวิเคราะห์แก้ไขปัญหาหาค่าที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรตอบสนอง ซึ่งผลของตัวแปรตอบสนองที่สนใจจะได้รับอิทธิพลจากตัวแปรพยากรณ์หลานตัวแปร เพื่อให้ได้รูปแบบสำหรับผลของตัวตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Myers and Montgomery, 1995) ดังนั้น ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยผลการวิจัยที่ได้นี้จะได้เป็นข้อมูล เพื่อการจัดการเรื่องน้ำสำหรับใช้ในพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลเกิ้งต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและจำแนกชนิดของดิน และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในดินตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูฝน และฤดูแล้ง

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราการซึมของน้ำของดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนกลาง ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูฝน และฤดูแล้ง ของพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก ด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

1.3 สมมติฐานการวิจัย

สมการถดถอยพื้นผิวสะท้อนของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา และเพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ประกอบด้วย รูปแบบสมการพื้นผิวส่วนโค้ง (square) และรูปแบบปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของตัวแปรพยากรณ์ ทั้งในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 พื้นที่ทำการศึกษาวิจัย คือ พื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่อยู่ห่างจากจังหวัดมหาสารคามมาทางทิศตะวันออกประมาณ 6 กิโลเมตร พื้นที่หมู่บ้านติดแม่น้ำชี สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ของบ้านเกิ้งถูกใช้เป็นพื้นที่ทำการเกษตร (ทำนา) ทั้งการทำนาปี และนาปรัง และพื้นที่อีกส่วนหนึ่งติดริมแม่น้ำชีเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยของชุมชน บ้านเกิ้งเป็นหมู่บ้านที่อยู่บริเวณทางน้ำไหล หากมีน้ำท่วม น้ำจะไหลมาจาก ตำบลแก่งเลิงจาน ผ่านจังหวัดมหาสารคาม เข้าสู่ตำบลเกิ้ง และตำบลลาดพัฒนาลงสู่แม่น้ำชี และหากน้ำระยะจากตำบลลาดพัฒนาสู่แม่น้ำชีไม่พ้น น้ำก็จะเอ่อขึ้นมาท่วมยังตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูแล้งน้ำในลำน้ำชีจะลดลงจนเห็นหาดทราย และชาวบ้านก็จะไปทำการเกษตรอยู่บริเวณทรายหาดดังกล่าว ประกอบไปด้วย การปลูกพืชผักสวนครัว พริก ถั่ว ข้าวโพด หรือแตง เป็นต้น

1.4.2 ช่วงเวลาการดำเนินการวิจัย การกำหนดช่วงเวลาการวิจัยออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงฤดูฝน กำหนดช่วงตั้งแต่เดือน พฤษภาคมถึงเดือน ตุลาคม และช่วงฤดูแล้ง (ช่วงไม่มีฝน หรือตกน้อยมาก) ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือน เมษายน

1.4.3 ประเภทพื้นที่ที่ศึกษา คือพื้นที่ทำนา และพื้นเพาะปลูกของเกษตรกร ในตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

1.5.1 วิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยการออกแบบการทดลองแบบ Face Central Composite Design (FCCD) และใช้เป็นสมการทดลองรูปแบบโพลิโนเมียล ดีกรี 2 กำหนดตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทดลอง 2 ตัว หรือ $k = 2$

1.5.2 ตัวแปรที่ใช้สำหรับการวิจัย

1) ตัวแปรตาม (Dependent variable) หรือเรียกอีกชื่อว่า ตัวแปรตอบสนอง (response variable) คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน (เซนติเมตร/วินาที)

2) ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) หรือเรียกอีกชื่อว่า ตัวแปรพยากรณ์ (Predict variables) ได้แก่อุณหภูมิของดิน (เซลเซียส) และระยะสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ชั่วโมง)

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 การซึมผ่านน้ำของดิน (Infiltration) คือ การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยแรงดึงดูดของโลก อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินขึ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Intake rate หรือ Infiltration rate)

1.6.2 สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) คือ ดินที่ภายในโพรงหรือช่องว่างมีของเหลวหรือน้ำ บรรจุอยู่เต็มช่องว่างทั้งหมด อัตราซึมน้ำผ่านดินเป็นไปอย่างช้า ๆ และมีปริมาณน้ำขังเหนือผิวดินบริเวณนั้น

1.6.3 พื้นที่ทำนาของตำบลเกิ้ง หมายถึง พื้นที่ดินของตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ที่ใช้สำหรับปลูกข้าวในช่วงฤดูทำนาปี และทำนาปรัง

1.6.4 พื้นที่เพาะปลูกของตำบลเกิ้ง หมายถึง พื้นที่ดินของตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ที่ใช้สำหรับปลูกพืชผักที่ไม่ใช่ข้าว เพื่อการบริโภคในครัวเรือน และสำหรับค้าขายในบางช่วงของฤดูกาล เช่น พริก มะละกอ กล้วย ฟักทอง หรือข้าวโพด เป็นต้น

1.7 ประโยชน์จากการวิจัย

เชิงพื้นที่ จากผลการวิจัย

1.7.1 เป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์น้ำถึงการที่ทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ และที่จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำท่าของพื้นที่พื้นที่เกษตรกรรมตำบลบ้านเกิ้ง ในฤดูฝน และน้ำแล้งในฤดูแล้ง

1.7.2 ได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่ดินของตำบลเกิ้ง ที่ใช้ทำนา และเพาะปลูกกับอัตราการซึมน้ำลงดิน ด้วยระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิของดิน

เชิงนโยบาย จากผลการวิจัย

1.7.3 ทำให้ได้ข้อมูลการเพื่อจัดการใช้พื้นที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมของประชาชนในพื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม สัมพันธ์กับการบริหารการใช้ปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการเกษตรกรรม และยังพิจารณารวมไปถึงการใช้น้ำจากแม่น้ำชีที่ไหลผ่านได้อย่างเป็นระบบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เชิงวิชาการ จากผลการวิจัย

1.7.4 เป็นแนวทางการนำความเรื่องการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง การออกแบบ Central Composite Design (CCD) มาศึกษาร่วมกับศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์ และปฐพีศาสตร์ เป็นต้น เพื่อการสร้างสมการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนอง หรือหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรตอบสนองจากจุดประสงค์การศึกษาที่สัมพันธ์กับจำนวนตัวแปรพยากรณ์ที่สนในนำมาศึกษาร่วม

1.7.5 ได้ทราบความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินของพื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ร่วมกับตัวแปรทางภูมิศาสตร์อุณหภูมิของดิน และการกำหนดระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำของของพื้นที่ทำนา และเพาะปลูก ทั้งในฤดูร้อน และฤดูฝน เพื่อการวางแผนการใช้พื้นที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองผู้วิจัยได้ทำการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การซึม
2.2 การหาอัตราการซึมน้ำ
2.3 วิธีพื้นผิวตอบสนอง
2.4 ลุ่มน้ำชี
2.5 สภาพพื้นที่แม่น้ำชีที่ไหลผ่านบ้านเกิ้ง มหาสารคาม
2.6 สภาพพื้นที่ดินเพาะปลูก/ทำนา บ้านเกิ้งมหาสารคาม
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.8 กรอบการวิจัย

2.1 การซึม (Infiltration)

กีรติ ลีวัจนกุล ได้อธิบายความหมายการซึมผ่านน้ำลงดิน ดังนี้

การซึม (Infiltration) คือ กระบวนการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านผิวดินสู่ชั้นดินที่ลึกลงไปในดิน ทำให้พืชดูดน้ำไปใช้และยังไปเพิ่มน้ำใต้ดินเป็นประโยชน์ต่อการเก็บสะสมแหล่งน้ำใต้ดินในฤดูฝนที่จะทยอยซึมออกมาสู่แหล่งน้ำผิวดิน หรือสูบขึ้นมาใช้ในฤดูแล้ง นอกจากนี้กระบวนการซึมยังเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการวางแผนการจัดการน้ำและคาดการณ์ปริมาณน้ำผิวดินที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกใบนี้

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออัตราการซึม (Factors affecting infiltration rates) ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการซึมลงดิน มีดังนี้

1. ความลึกน้ำบนผิวดิน (Depth of surface detention) ในบริเวณที่มีความ ลึกน้ำบนดินมากจะมีความลึกน้ำสถิตย์หรือแรงโน้มถ่วงของโลกมาโดยแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่ามากกว่าแรงต้านทานการไหลซึมลงดิน เช่น แรงเกาะติด (Adhesion force) และแรงเนื่องจากความหนืด (Viscous force) ทำให้อัตราการซึมในบริเวณที่มีความลึกน้ำมาก มีค่ามากกว่าอัตราการซึมในบริเวณที่มีความลึกน้ำน้อย

2. ความชื้นในดิน (Soil moisture) อธิบายได้ 2 กรณี คือในดินแห้ง (Dry soil) และดินเปียก (Wet soil) ในดินแห้งมีความชื้นในดินน้อยจะมีแรงดึงความชื้น (Capillary force) มาก โดยขนาดของแรงดึงความชื้นแปรผกผันกับขนาดของช่องว่างในดิน กล่าวคือแรงดึงความชื้นจะมีค่ามากในดินที่มีขนาดช่องว่างน้อย และแรงดึงความชื้นจะมีค่าน้อยในดินที่มีช่องว่างมาก ดังนั้นในดินแห้งที่มีขนาดช่องว่างมากจะมีอัตราการซึมมากกว่าในดินเปียกที่มีช่องว่างน้อยจึงทำให้อัตราการซึม

ลดลงด้วย ดังนั้นจะเห็นได้จากดินทรายแห้งและดินเหนียวแห้ง จะมีอัตราการซึมมากกว่าดินทรายเปียกและดินเหนียวเปียกตามลำดับ

3. การบดอัดเม็ดดิน (compaction of soil) เนื่องจากอิทธิผลของฝนที่ตกลงมา การกระทำของมนุษย์และสัตว์ จะทำให้อัตราการซึมลดลง โดยในขณะที่ฝนตกลงมานั้น เม็ดดินยัง เกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ ทำให้อัตราการซึมเป็นไปได้อย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้น และเมื่อฝนตกลงมาอย่างต่อเนื่อง เม็ดดินเล็กจะถูกจัดเรียงเข้าไปอุดช่องว่างและในขณะเดียวกันเม็ดดินถูกบดอัดทำให้อัตราการซึมลดลงสำหรับการกระทำของมนุษย์ เช่น การบดอัดดินเพื่อสร้างถนนลูกรัง การดาดคลอง ดินเหนียว และการสัญจรหรือการเดินผ่านหน้าดิน เป็นต้น จะทำให้อัตราการซึมลดลง ส่วนในกรณีของสัตว์ต่าง ๆ ที่มีน้ำหนักมากเมื่อผ่านหน้าดินก็จะเกิดการบดอัดเม็ดดินทำให้อัตราการซึมลดลงเช่นกัน

4. พืชคลุมดิน (vegetable cover) การมีพืชคลุมดินจะช่วยลดผลของการบดอัดเม็ดดินเนื่องจากอิทธิผลของฝน และรากที่ฝังอยู่ใต้ดินจะเป็นแนวน้ำทำให้น้ำซึมลงดินได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในบริเวณที่มีพืชคลุมดินหนาแน่นจึงมีอัตราการซึมมากกว่าบริเวณที่มีพืชคลุมดินเบาบาง

5. อุณหภูมิ (temperature) เนื่องจากความหนืดของน้ำ (viscosity of water) แปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำ ดังนั้นดินที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีความหนืดของน้ำมากทำให้อัตราการซึมน้อย ดินที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนืดของน้ำน้อยทำให้มีอัตราการซึมมากจะเห็นได้จากการตรวจวัดของ Musgrave (พ.ศ. 2498)

Horton (พ.ศ. 2483) ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราการซึมของน้ำการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่มีอุณหภูมิต่างกัน อัตราการซึมมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน และมีอัตราการซึมน้อยที่สุดในช่วงฤดูหนาว

6. ปริมาตรที่น้ำที่ชั้นดินรับได้ (Available storage in soil stratum) ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นดิน ความพรุน (porosity) และปริมาณน้ำในดิน (water content) เป็นต้น โดยการซึมจะมากตามปริมาณน้ำที่ชั้นดินรับได้

7. โพรงดินที่เกิดจากสัตว์ต่าง ๆ ที่ขุดเจาะลงไปหากินหรืออาศัยอยู่ในดิน เช่น โพรงดินที่เกิดจากมด ไส้เดือน งู กบ เขียดต่าง ๆ เป็นต้น จะมีผลต่ออัตราการซึม

8. ความเข้มฝน (Rainfall intensity) มีผลต่อพฤติกรรมการซึมลงดินซึ่งอธิบายได้โดยใช้ถังเปล่าที่ด้านบนมีตระแกรงลวดเมื่อให้ฝนน้ำเป็นปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไป (input) น้ำจะไหลผ่านช่องว่างของตะแกรงลวดที่เปรียบเสมือนผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดินลง ไปในถังที่คล้ายกับเป็นช่องว่างทั้งหมดในเม็ดดิน เมื่อน้ำเต็มถังหรือเหมือนกับเต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดิน น้ำจะเอ่อล้นออกจากถังที่เหมือนกับการไหลบนผิวดินนั่น ซึ่งจากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนี้ ทำให้สามารถเข้าใจถึงส่วนที่สำคัญของการซึม 2 ส่วน

- อัตราการซึมสูงสุดที่ดินจะรับน้ำได้ เรียกว่า ความจุของการซึม (infiltration capacity)
- ปริมาตรของน้ำที่จะรับได้ เรียกว่า ความจุในสนาม (field capacity)

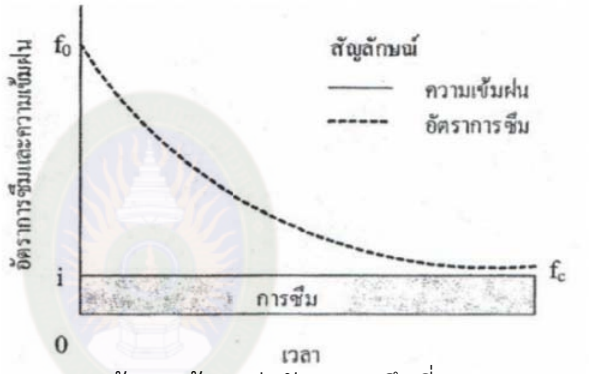
เนื่องจากการซึมมีความสัมพันธ์กับความชื้นในดิน (Soil moisture) และอัตราการไหลของน้ำใต้ดิน (groundwater discharge) ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มฝนที่ยังแบ่งได้เป็น 2 กรณี

1. กรณีที่มีฝนมีความเข้มฝนน้อย (low-intensity rainfall) น้ำที่ไหลซึมลงดินจะขังอยู่ตามช่องว่างความจุเก็บกักของความชื้นในดิน (soil moisture storage capacity) โดยยังไม่มีการไหลไปเสริมน้ำใต้ดิน

2. กรณีที่ฝนมีความเข้มฝนมาก (high-intensity rainfall) น้ำที่ไหลซึมลงดินจะไหลไปบรรจุเต็มช่องว่างของความจุเก็บกักความชื้นในดิน และเกิดการไหลซึมลงดิน (percolation) ไปเพิ่มการไหลของน้ำใต้ดินโดยน้ำส่วนที่เกินปริมาตรเก็บกักตามหลุมบ่อจะเกิดการไหลของน้ำท่าผิวดิน (surface runoff)

ผลความเข้มฝนที่มีต่ออัตราการซึมสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ

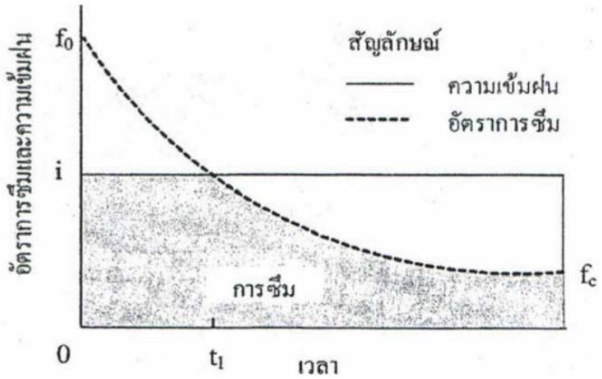
กรณีที่ 1 ความเข้ม (i) น้อยกว่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (fc) จะพบว่าน้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมาถึงผิวดินจะซึมลงดินทั้งหมด



ภาพที่ 2.1 ความเข้ม (i) น้อยกว่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (fc)
ที่มา: กีรติ ลีวัจนกุล (2543)

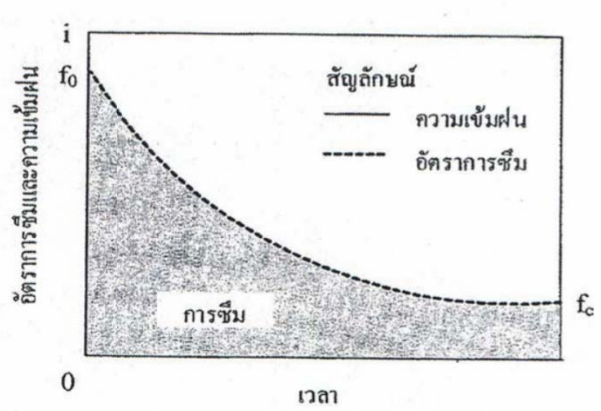
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กรณีที่ 2 ความเข้มฝนมากกว่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุลแต่น้อยกว่าอัตราการซึมเริ่มต้น (fc) ดังภาพที่ 2.2 จะพบว่าในช่วงเวลา 0 ถึง t_1 น้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมาถึงผิวดินจะซึมลงดินทั้งหมด เนื่องจากดินมีอัตราการซึมสูงกว่าความเข้มฝน และตั้งแต่เวลา t_1 เป็นต้นไปจะเห็นได้ว่าความเข้มฝนมากกว่าอัตราการซึม ดังนั้น น้ำฝนส่วนหนึ่งจะไหลซึมลงดิน และน้ำฝนอีกส่วนจะเอ่ออยู่บนผิวดิน ซึ่งถ้าเอ่อขึ้นจนเกิดความจุเก็บกักบนผิวดินก็การไหลบนผิวดิน



ภาพที่ 2.2 ความเข้มฝน มากกว่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล
ที่มา: กีรติ ลีวัจนกุล (2543)

กรณีที่ 3 ความเข้มฝนมากกว่าอัตราการซึมเริ่มต้น ดังภาพที่ 2.3 จะพบว่าเมื่อฝนตกลงมาถึงพื้นดินจะเกิดน้ำบนผิวดินทันที และเกิดน้ำบนผิวดินมากขึ้นตามเวลาเนื่องจากอัตราการซึมลดลง



ภาพที่ 2.3 ความเข้มฝน มากกว่าอัตราการซึมเริ่มต้น
ที่มา: กีรติ ลีวัจนกุล. (2543)

2.2 การหาอัตราการซึมน้ำ

มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นเมื่อมีน้ำที่มีความดันต่างกันระหว่าง 2 จุดในมวลดิน ก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านี้ ความสามารถที่มวลดินให้น้ำซึมผ่านไปได้นี้ เรียกว่า “ความซึมน้ำของดิน” (Permeability), k ถ้ามวลดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ค่า k ก็จะสูง เรามักเรียกว่า “Pervious Soil” ถ้าน้ำซึมผ่านได้มาก ค่า k ต่ำ จะเรียกว่า “Impervious Soil”

พูลพงษ์ พงษ์วิยภานุ (2515) อธิบายสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (Coefficient of permeability) คือความสามารถของมวลดินที่น้ำสามารถไหลผ่านได้จะถูกเรียกว่าค่าความซึมของน้ำ (permeability) หรือ สภาพนำทางชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ของน้ำ (coefficient of permeability, k) จะสามารถนิยามได้ว่าเป็น ค่าความเร็วในการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นจากความลาดชันทางชลศาสตร์ตามสมการ

$$v \propto i \quad \text{หรือ} \quad v \propto ki$$

โดย v = ความเร็วในการไหลของน้ำในดิน

k = สัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ของน้ำ (coefficient of permeability)

i = ความลาดชันทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient)

$$= \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

ซึ่งค่า Δh คือค่าความแตกต่างของความสูงของน้ำทั้งหมดหรือเฮดทั้งหมดต่อระยะทางในการไหลของน้ำในระยะความยาว ΔL

โดยการวัดค่า *k* จะเป็นการวัดค่าความต้านทานของดินต่อการไหลของน้ำภายในมวลดิน ซึ่งจะมีอิทธิผลจากค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) ค่าความพรุนของดิน

2) ค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน

3) รูปร่างและการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน

4) ระดับความอิ่มตัวและปริมาณอากาศในมวลดิน

5) ชนิดของประจุอิออนบวกและความหนาของชั้นดูดซับน้ำที่พื้นผิว (adsorbed layer) ของแร่ดินเหนียว (หากในมวลดินมีแร่ดินเหนียวอยู่)

6) ค่าความหนืดของน้ำในดิน ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

ค่า *k* ของสภาพดินโดยทั่วไปนั้นมีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกันมาก กล่าวคือมีค่าตั้งแต่ประมาณ 100 เมตรต่อวินาทีใน กรณีของกรวดที่มีลักษณะหยาบมาก (very coarsegrained gravels) ไปจนกระทั่งเป็นค่าที่น้อยมากในดินเหนียว โดยความเร็วในการไหลของน้ำในดินรวมถึงสภาพการระบายน้ำในมวลดินชนิดต่าง ๆ

การทดสอบหาค่า *k* ในห้องปฏิบัติการ (Determination of *k* in the laboratory) ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติงานนั้นปัญหาที่สำคัญที่ควรพิจารณาคือความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบจากเหตุผลต่าง ๆ คือ 1) ตัวอย่างมวลดินที่นำมาใช้ในการทดสอบ 2) ความแม่นยำในการทำการทดลองหลายๆ ครั้ง และ 3) การจำลองสภาพของลักษณะชั้นดินจริงในสนาม

เนื่องจากค่า *k* มีค่าความต่างกันค่อนข้างมากเนื่องจากสภาพของดิน ดังนั้นการเลือกวิธีและเครื่องมือการทดสอบจึงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อให้มีความเหมาะสมกับตัวอย่างดินแต่ละชนิด วิธีการทดสอบทดสอบค่า *k* ในห้องปฏิบัติการมีอยู่ 2 วิธี คือ

1. การทดสอบด้วยวิธีระดับน้ำคงที่หรือความดันคงที่ (constant head method)

2. การทดสอบด้วยวิธีระดับน้ำเปลี่ยนหรือความดันน้ำแปรเปลี่ยน (variable head method)

ซึ่งแต่ละวิธีก็จะเหมาะกับดินแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับค่า *k* โดยทั่วๆ ไปแสดงดังตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงการซึมน้ำผ่านดินจำแนกตามลักษณะดิน

ลักษณะดิน	ช่วงค่าความซึมน้ำ	วิธีที่ควรใช้
ดินเหนียวคงสภาพ	10^{-5} - 10^{-9}	variable head
ดินทราย	10^{-1} - 10^{-4}	constant head
ดินลูกรังบดอัด	10^{-3} - 10^{-8}	constant head โดยใช้ความดัน
ดินเหนียวบดอัด	10^{-4} - 10^{-9}	constant head

ที่มา : เกษมชาติ ศรีวาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สุกิจ นามพิชญ์ และคณะ (2549) อธิบาย และขั้นตอน วิธีการทดสอบวิธีระดับน้ำคงที่ (Constant Head) ตามมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบคือ ASTM D 2434-68(2000) Standard Test Method for Permeability of Granular Soils ดังนี้

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูงของโมล (Mold) เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของตัวอย่างดิน แล้วประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นเข้ากับ Cell วางวัสดุรอง (ตะแกรงหรือหินพรุน) ไว้ด้านล่างของ Cell วางสปริงและหินพรุนไว้ด้านบนแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของ Cell เปล่า

2. นำตัวอย่างดินที่ได้เตรียมไว้บรรจุลงในโมลที่ได้ประกอบไว้ใส่ตัวอย่างดินเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร แล้วกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งหรือเคาะด้วยค้อนยางโดยให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติมากที่สุด จนกระทั่งผิวหน้าของตัวอย่างดินต่ำกว่าขอบของโมล ประมาณ 2.5 เซนติเมตร ปรับผิวหน้าของตัวอย่างดินให้เรียบและนำเม็ดดินที่ติดอยู่ข้าง ๆ โมลออกให้หมด

3. นำหินพรุนมาวางทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดินและกดให้แน่น นำสปริงและฝาครอบมาใส่และยึดฝาครอบให้แน่นด้วยสกรู แล้วนำไปชั่ง

4. ไล่ฟองอากาศออก และทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัว โดยการติดตั้งถังบรรจุน้ำ หรือกรวยให้มีความสูงของถังบรรจุน้ำ หรือกรวยที่เพียงพอให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านตัวอย่างดินได้ด้วยความดันของน้ำเองจากด้านล่างขึ้นสู่ผิวบนของตัวอย่างดินโดยต่อสายยางเข้ากับวาวล์ระบายน้ำออก (Outflow) น้ำจะค่อย ๆ ซึมผ่านตัวอย่างดินพร้อมกับเปิดวาวล์ไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่าง

5. เริ่มการทดลองโดยปิดน้ำในสายยางจากกรวย(โดยการพับสายยาง) แล้วถอดสายยางออก ต่อปลายสายยางที่มีน้ำอยู่เต็มเข้ากับท่อน้ำเข้าของตัวอย่างดิน (Inflow) ที่อยู่ด้านบนของ Cell แล้วเปิดวาวล์ให้น้ำไหลเข้าใน Cell ส่วนปลายท่อที่น้ำไหลออก(Outflow) ให้ต่อเข้ากับสายยางเพื่อรองรับน้ำไว้หาอัตราการไหลต่อไป

6. จนกระทั่งน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินในช่องน้ำออก (Outflow) ในอัตราการไหลที่คงที่แล้วโดยลองวัดปริมาณน้ำดู 4-5 ครั้งในเวลาที่กำหนดขึ้นเอง ถ้าทดลองดูแล้วน้ำที่ไหลออกปริมาณที่เท่ากันตลอดในเวลาที่กำหนดไว้ก็แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำคงที่แล้ว

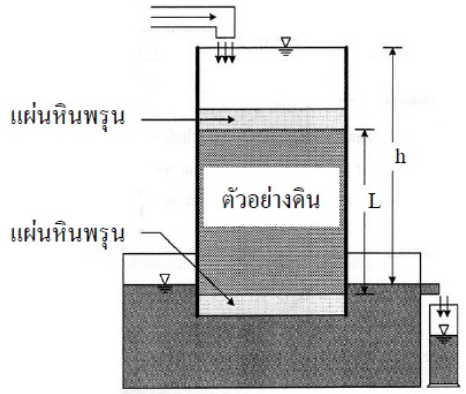
7. เมื่อมีอัตราการไหลคงที่แล้ว จึงหาอัตราการไหลที่แท้จริง โดยเริ่มจับเวลาพร้อมกับนำหลอดแก้วมารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน ซึ่งวิธีการก็เหมือนกับการทดลองหาอัตราการไหลที่คงที่นั้นเอง โดยให้หาอัตราการไหลจริงอย่างน้อย 5 ครั้ง แล้วจึงค่อยนำน้ำที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Q

8. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน จากสมการ

$$K = \frac{QL}{t \times h \times A} \quad \text{ซม./วินาที}$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน (เซนติเมตร/วินาที)
Q คือ ปริมาณที่ไหลซึม (ลูกบาศก์เซนติเมตร/นาที)
L คือ ความยาวการไหลซึม (เซนติเมตร)
h คือ ความต่างของระดับน้ำ (เซนติเมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัดกระบอกตัวอย่างดิน (ตารางเซนติเมตร)



ภาพที่ 2.4 การทดสอบด้วยวิธีระดับน้ำคงที่หรือความดันคงที่ (Constant head method)
ที่มา: การทดลองการซึมน้ำของดิน เอกสารหน่วยที่ 11 วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

2.3 วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM)

2.3.1 การวิเคราะห์ตัวแปรพื้นผิวตอบสนอง (Conventional Response Surface Methodology)

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยาและ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์ (2551) อธิบายวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Condition) ของระบบหรือกระบวนการผลิต โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression Model) และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่อย่างเป็นลำดับขั้นตอนผลตอบสนอง (Response) ของปัญหามีความสัมพันธ์หรือเป็นฟังก์ชันของปัจจัยหรือตัวแปรอิสระหลายตัว โดยมีเป้าหมายเพื่อหาระดับของปัจจัยหรือตัวแปรอิสระต่าง ๆ ที่ทำให้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุดภายใต้สภาวะที่ต้องมีความแปรปรวน (Variance) ของผลตอบสนองที่มีค่าน้อยและคงที่ แต่ในกรณีที่ความแปรปรวนของผลตอบสนองมีค่าไม่คงที่จะต้องใช้วิธีอื่นในการแก้ปัญหา

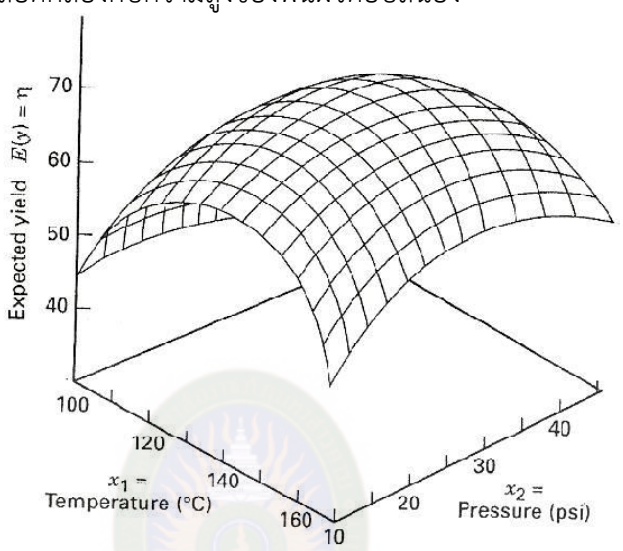
วิธีการวิเคราะห์ตัวแปรพื้นผิวตอบสนองเหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหาที่ผลตอบสนองเป็นฟังก์ชั่นของหลายปัจจัย โดยมีเป้าหมายเพื่อหาระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุด เช่น ผลตอบสนอง y เป็นฟังก์ชั่นของปัจจัย x_1 และ x_2 ดังนั้นจะสามารถเขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \qquad (2.1)$$

เมื่อ $f(x_1, x_2) = E(y)$ คือ ค่าคาดหวังของผลตอบสนองของ y (Expected Response)

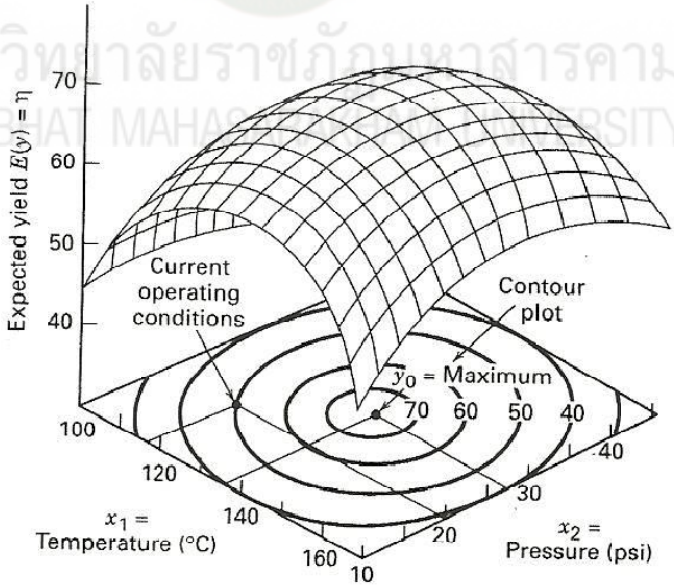
ε คือ สิ่งรบกวน (Noise หรือ Error) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการและมีผลกระทบต่อผลตอบสนอง y

ดังนั้นพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) สำหรับระบบที่มีจำนวน 2 ปัจจัย สามารถแทนด้วย $\eta = f(x_1, x_2)$ และพื้นผิวตอบสนองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.5 เป็นการสร้างกราฟของ η กับแต่ละระดับของปัจจัย x_1 และ x_2 และจะสามารถสร้างกราฟเส้นระดับ (Contour) ของพื้นผิวตอบสนอง ดังภาพที่ 2.6 โดยเส้นระดับที่มีค่าของผลตอบสนองคงที่จะถูกพล็อตลงในระนาบ $x_1 - x_2$ โดยแต่ละเส้นระดับจะสอดคล้องกับความสูงของพื้นผิวตอบสนอง



ภาพที่ 2.5 พื้นผิวตอบสนองระหว่างอุณหภูมิและความดันกับผลตอบสนองในรูปผลผลิต
ที่มา : Douglas C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 8th ed.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 2.6 เส้นระดับของพื้นผิวตอบสนองระหว่างอุณหภูมิและความดันกับผลตอบสนอง
ในรูปผลผลิต
ที่มา: Douglas C.Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 8th ed.

Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery.(2002) ได้อธิบายถึงปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบสนองมักจะไม่ทราบรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนั้นขั้นตอนแรกในการหาพื้นผิวตอบสนอง คือ การประมาณความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองและปัจจัยต่าง ๆ โดยทั่วไปจะใช้รูปแบบของสมการการถดถอยลำดับที่ 1 (First Order Model) โดยการประมาณความสัมพันธ์โดยมีรูปแบบดังสมการที่ 2.2

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \varepsilon \qquad (2.2)$$

โดยที่

y คือ ผลตอบสนอง

β_0 คือ จุดตัดแกน (Intercept)

β_i คือ ผลเชิงเส้นตรง (Linear Effect) ของ x_i

x_i คือ ปัจจัยตัวที่ i โดย $i = 1,2,\dots,k$

ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่มของการทดลอง

k คือ จำนวนปัจจัย

แต่ในกรณีที่พื้นผิวมีความโค้ง (Curvature) จะทำการประมาณโดยใช้รูปแบบของสมการการถดถอยลำดับที่ 2 (Second Order Model) โดยมีรูปแบบดังสมการที่ 2.3

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \qquad (2.3)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM RAJABHAT UNIVERSITY

วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองเป็นวิธีการที่เป็นลำดับขั้นตอน (Sequential Procedure) กล่าวคือจากสภาวะการทำงานในปัจจุบัน ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ไกลจากจุดที่เหมาะสมที่สุดในพื้นผิวตอบสนอง ดังนั้นเพื่อความรวดเร็วในการเคลื่อนที่เพื่อเข้าไปยังบริเวณที่เหมาะสมที่สุดของพื้นผิวตอบสนองจะสามารถใช้รูปแบบของสมการการถดถอยลำดับที่ 1 ในการประมาณได้ ซึ่งเป้าหมายต่อไปก็คือการเข้าไปใกล้บริเวณที่เหมาะสมที่สุดของพื้นผิวตอบสนองอย่างถูกต้อง โดยเมื่อพบบริเวณที่เหมาะสมที่สุดแล้วสามารถใช้รูปแบบของสมการที่มีลำดับที่สูงกว่า (Higher Order) เข้ามาช่วยในการประมาณและการวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่นิยมใช้รูปแบบของสมการลำดับที่ 2 (Second Order Model) เนื่องจากมีความยุ่งยากไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ โดยขั้นตอนต่าง ๆ

2.3.2 การวิเคราะห์รูปแบบของสมการลำดับที่ 1 ของพื้นผิวตอบสนอง (First Order Response Surface)

สมการลำดับที่ 1 ของพื้นผิวตอบสนองมีรูปแบบ ดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \varepsilon \qquad (2.4)$$

ซึ่งรูปแบบของสมการลำดับที่ 1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ ดังนี้

$$y = x\beta + \varepsilon \tag{2.5}$$

โดยที่

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \; ; \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \; ; \quad x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & x_{kn} \end{bmatrix}$$

เมตริกซ์การออกแบบการทดลอง (Design Matrix)

เมตริกซ์การออกแบบการทดลอง (Design Matrix) คือ เมตริกซ์ซึ่งแสดงถึงระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง เช่น เมตริกซ์การออกแบบการทดลองของรูปแบบของสมการลำดับที่ 1 คือ

$$D = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & x_{kn} \end{bmatrix}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การออกแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial Design)

การออกแบบ 2^k แฟคทอเรียล คือ การทดลองที่มีปัจจัย k ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ระดับสูงและระดับต่ำซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ +1 และ -1 ตามลำดับ เมตริกซ์การออกแบบการทดลองจะเป็นเมตริกซ์ Orthogonal โดยกรณี 2 ปัจจัย ($k = 2$)

$$D = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & -1 \\ +1 & +1 \end{bmatrix}$$

2.3.3 การวิเคราะห์รูปแบบของสมการลำดับที่ 2 ของพื้นผิวตอบสนอง (Second Order Response Surface)

สมการลำดับที่ 2 ของพื้นผิวตอบสนองมีรูปแบบดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \qquad (2.6)$$

ซึ่งรูปแบบของสมการลำดับที่ 2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ ดังนี้

$$y = x\beta + \varepsilon \qquad (2.7)$$

โดยที่ $y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$; $\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ . \\ . \\ \beta_k \\ \beta_{11} \\ \beta_{12} \\ . \\ \beta_{kk} \\ \beta_{12} \\ \beta_{13} \\ . \\ \beta_{k-1,k} \end{bmatrix}$

$$x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{k1}x_{11}^2 & \cdots & x_{k1}^2 x_{11} & \cdots & x_{k-1,1}x_{k1} \\ 1 & x_{12} & \cdots & x_{k2}x_{12}^2 & \cdots & x_{k2}^2 x_{12} & \cdots & x_{k-2,2}x_{k2} \\ . & . & \cdots & . & . & . & . & . \\ . & . & \cdots & . & . & . & . & . \\ 1 & x_{1n} & \cdots & x_{kn}x_{1n}^2 & \cdots & x_{kn}^2 x_{1n} & \cdots & x_{k-1,n}x_{kn} \end{bmatrix}$$

การหาสัมประสิทธิ์ของรูปแบบของสมการ (Model's Coefficient) จะใช้วิธีกำลังสองของความผิดพลาดที่น้อยที่สุด (Least Square Method) โดย

$$\beta = (x'x)^{-1} x'y \qquad (2.8)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ในการที่จะหาระดับขอแต่ละปัจจัย ที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเหมาะสมที่สุดนั้นต้องเป็นจุดที่อนุพันธ์ในแต่ละปัจจัยมีค่า = 0 หรือ $(\partial y/\partial x_1)=(\partial y/\partial x_2)=\ldots=(\partial y/\partial x_k)=0$ ซึ่งสามารถแทนจุดนั้นด้วย $x_{1,s}, x_{2,s}, \ldots, x_{k,s}$ โดยเรียกว่า เป็นจุดหยุดนิ่ง (Stationary Point) โดยจุดหยุดนิ่งมีได้ 3 รูปแบบ

1. เป็นจุดที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่ามากที่สุด
2. เป็นจุดที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด
3. เป็นจุดอานม้า (Saddle Point)

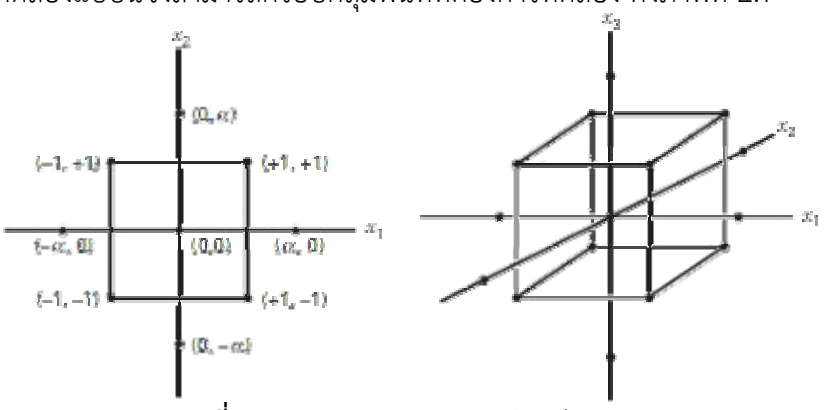
ในการหารูปแบบของสมการลำดับที่ 2 สามารถใช้การทดลองได้หลายแบบ โดยแบบการทดลองที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design หรือ CCD) ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ส่วนการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial with n_f Runs) โดย n_f คือ จำนวนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เช่น (ถ้า k ใน ที่นี้คือตัวแปรอิสระหรือปัจจัย 2 ตัว ดังนั้น 2^2 จะมีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ (-1,-1) (+1,-1) (+1,+1) (-1,+1)

2. ส่วนของจุดในแนวแกน ($2k$ Axial or Star Runs) โดยมีจำนวนการทดลองในแนวแกนเท่ากับ $2k$ เมื่อ k คือ จำนวนตัวแปรอิสระหรือปัจจัย ตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาอีก 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่เป็นแนว $+\alpha$ หรือ $-\alpha$ ในแนวแกนที่เรียกว่า star point ($+\alpha$,0) ($-\alpha$,0) (0, $+\alpha$) (0, $-\alpha$)

3. ส่วนของจุดศูนย์กลางของการทดลอง (n_c Center Runs) โดย n_c คือ จำนวนของจุดศูนย์กลางของกำรทดลอง (Design Center Point) ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่กำรทดลองอีก 1 ตำแหน่ง ที่เรียกว่า central point (ตำแหน่ง 0,0)

ดังนั้นการออกแบบการออกแบบ CCD กรณี $k=2$ พารามิเตอร์ α คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของการออกแบบการทดลอง (Design Center Point) ของจุดในแนวแกนจะมีจำนวนสิ่งการทดลองทั้งสิ้น 2^k + $(2k+1)$ = $2^2+((2\times 2)+1)=9$ สิ่งทดลอง โดยที่ 2^k จากตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 5 ตำแหน่ง คือ ($+\alpha$,0) ($-\alpha$,0) (0, $+\alpha$) (0, $-\alpha$) และ (0,0) กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 3 ตัว ($k=3$) จะทำให้การออกแบบ 2^k + $(2k+1)$ มี 15 สิ่งทดลอง ทำให้การทดลองแบบนี้จึงสามารถครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการทดลอง ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การออกแบบ CCD สำหรับ $k=2$ และ $k=3$

ที่มา : Douglas C.Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 8th ed.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.4 ลุ่มน้ำชี

ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 49,131.92 ตารางกิโลเมตร หรือ 30,707,453 ไร่ มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต 14 จังหวัด ได้แก่ ชัยภูมิ ขอนแก่น หนองบัวลำภู อุดรธานี มหาสารคาม นครราชสีมา เลย เพชรบูรณ์ กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี ศรีสะเกษ และมุกดาหาร ลุ่มน้ำชีตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15° 30′ เหนือถึงเส้นรุ้งที่ 17° 30′ เหนือ และอยู่ระหว่างเส้นแวงที่ 101° 30′ ตะวันออก ถึงเส้นแวงที่ 104° 30′ ตะวันออก ทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำโขง ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำมูล ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำโขงและลุ่มน้ำมูล ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำป่าสัก สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำชีประกอบไปด้วยเทือกเขาสูงทางทิศตะวันออกและทิศเหนือคือเทือกเขาภูพาน ทิศตะวันตกคือเทือกเขาดงพญาเย็น ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำชีและแม่น้ำสาขาที่สำคัญหลายสาย ส่วนพื้นที่ตอนกลางเป็นที่ราบถึงลูกคลื่นลอนและมีเนินเล็กน้อยทางตอนใต้ของลุ่มน้ำ ลำน้ำสายหลักคือ แม่น้ำชี ลำน้ำสาขาที่สำคัญ คือ น้ำพรม น้ำพอง น้ำเชิญ ลำปาว และน้ำยัง

แม่น้ำชี มีต้นกำเนิดมาจากยอดเขาในแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในเขตอำเภอเกษตรสมบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ ไหลลงมาทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ผ่านอำเภอจัตุรัส และอำเภอเมืองชัยภูมิ แล้วไหลย้อนขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือผ่านอำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ อำเภอมัญจาคีรี อำเภอเมืองขอนแก่น และวกลงมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่านอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอเสลภูมิ อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด อำเภอเมืองยโสธร อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร และอำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี ไหลลงมาบรรจบกับแม่น้ำมูลที่อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ความยาวประมาณ 830 กิโลเมตร

2.5 สภาพพื้นที่แม่น้ำชีที่ไหลผ่านบ้านเกิ้ง มหาสารคาม

ภูมินิเวศน์ของบ้านเกิ้งเหนือเป็นหมู่บ้านที่อยู่ห่างจากตัวจังหวัดมหาสารคามมาทางทิศตะวันออกของจังหวัดประมาณ 6 กิโลเมตร

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ติดกับแม่น้ำชีตลอดแนว อำเภอกันทรวิชัย
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลตลาด (เทศบาลเมืองมหาสารคาม) อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลลาดพัฒนา อำเภอเมืองมหาสารคาม
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	ตำบลตลาด (เทศบาลเมืองมหาสาคาม) และตำบลท่าสองคอน อำเภอเมืองมหาสารคาม

พื้นที่ของหมู่บ้านอยู่ติดกับแม่น้ำชี ซึ่งมีกุดแก่งเป็นระยะ ๆ ในบริเวณรอบ ๆ และใกล้เคียง หมู่บ้านมีกุดมีเกิดจากแม่น้ำชีอยู่ทั้งสิ้น 2 กุด คือ กุดแดงและกุดหวาย ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยมหาสารคามได้เข้ามาปรับปรุงพื้นที่กุดแดงเป็น “สถานีปฏิบัติการบ้านเกิ้ง สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช” เป็นแหล่งศึกษาอนุรักษ์พันธุ์ไม้และสัตว์ (ปลา) กุดแดงอยู่ในพื้นที่หมู่บ้านโนนสวรรค์ หมู่ที่ 10 และอีกหนึ่งกุดที่เกิดในบริเวณแม่น้ำชีคือ “กุดหวาย” (เรียกอีกหนึ่งว่า วังมัจฉา) กุดหวายแบ่งเป็นพื้นที่สาธารณะ (วัด) และพื้นที่ส่วนบุคคลมีโฉนดที่ดินถูกต้องตามกฎหมาย กุดหวายเป็นสถานที่ผู้คนไปเที่ยวและพักผ่อนอยู่ไม่ขาด เนื่องจากบริเวณกุดหวายเองมีการจัดพื้นที่ให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว โดยมีสิ่ง

ดึงดูดที่สำคัญคือปลาหลากหลายพันธุ์ที่อยู่ในหมู่บ้านโขงกุดหมาย นอกจากสภาพภูมิประเทศที่เป็นกุดเป็นแก่งแล้ว ยังมีหนองน้ำที่ชาวบ้านเรียก ว่ากุดเช่นกันอีก 2 กุด คือกุดขี้เป็ด และกุดอ้อ ทั้งสองกุดจะมีคลองก้านเหลืองซึ่งเป็นคลองธรรมชาติเชื่อมต่อกันระหว่าง 2 กุดดังกล่าว แต่ด้วยขาดการดูแลกุดทั้ง 2 ไม่ว่าจะเป็นกุดอ้อหรือกุดขี้เป็ดรวมถึงคลองก้านเหลืองได้กลายเป็นแหล่งน้ำที่มีหญ้า จอกแหน ผักตบชวา ขึ้นปกคลุมหนา มีความตื้นเขินสามารถใช้ประโยชน์ได้บ้างคือการสูบน้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวขึ้นมาเพื่อทำการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนา ทั้งนาปีและนาปรัง

สภาพพื้นที่มีส่วนใหญ่ของบ้านเกิ้งเหนือถูกใช้เป็นพื้นที่การทำเกษตร (ทำนา) ทั้งการทำนาปีและนาปรัง และพื้นที่อีกส่วนหนึ่งติดริมแม่น้ำชีเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยของชุมชน สำหรับพื้นที่การทำนาของบ้านเกิ้งผู้ที่มีที่นามากที่สุดมีที่นาประมาณ 20-30 ไร่ จำนวน 4-5 ราย มีที่นาน้อยที่สุดประมาณ 2 ไร่ ส่วนจำนวนที่นาเฉลี่ยที่มีการถือครอง 7-8 ไร่ บ้านเกิ้งสามารถเดินทางติดต่อกับจังหวัดมหาสารคามได้ทางรถยนต์ ห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 6 กิโลเมตร ถนนดังกล่าวเป็นถนนลาดยางมีรถประจำทางสายมหาสารคาม–บ้านม่วง ผ่านหมู่บ้านทุก 30 นาที จนถึงเวลาประมาณ 5 โมงเย็น

บ้านเกิ้งเป็นหมู่บ้านที่อยู่บริเวณทางน้ำไหลหากมีน้ำท่วมน้ำจะไหลมาจาก ตำบลแก่งเลิงจาน ผ่านจังหวัดมหาสารคามเข้าสู่ตำบลเกิ้ง และตำบลลาดพัฒนาลงสู่แม่น้ำชีและหากน้ำระยะจากตำบลลาดพัฒนาสู่แม่น้ำชีไม่พ้น น้ำก็จะเอ่อขึ้นมาท่วมยังตำบลเกิ้งทิศทางการไหลของน้ำนั้นหากกล่าวถึงเพียงแหล่งน้ำในหมู่บ้าน น้ำจะไหลจากกุดอ้อซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ของบ้านโนนสวรรค์ หมู่ที่ 10 ไปตามคลองก้านเหลือง สู่กุดขี้เป็ด และน้ำจากกุดอ้อน้อย จากตำบลบ้านลาดพัฒนาก็จะไหลลงกุดขี้เป็ดเช่นกัน หลังจากนั้นเมื่อน้ำสูงจนถึงระดับหนึ่งแล้วน้ำจากกุดขี้เป็ดก็จะไหลลงสู่ห้วยคะคางและลงสู่แม่น้ำชีต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ผลกระทบน้ำท่วม

นับเริ่มตั้งแต่ตั้งหมู่บ้านมาเหตุการณ์น้ำท่วมที่ทำให้ทรัพย์สิน พื้นที่การเกษตรเสียหายอย่างหนัก คือ พ.ศ. 2521 ครั้งนั้นมีน้ำจากแม่น้ำชีเอ่อล้นตลิ่งขึ้นมาท่วมบริเวณที่อยู่อาศัยและอีกด้านก็มีน้ำไหลมาหนุนซึ่งทิศทางการไหลของน้ำนั้นไหลมาจาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของหมู่บ้าน ซึ่งเป็นน้ำที่ไหลมาจาก ตำบลแก่งเลิงจาน เข้าสู่จังหวัดมหาสารคามและผ่านตำบลเกิ้ง ตำบลลาดพัฒนา ลงสู่แม่ชีต่อไป ความรุ่นแรงของเหตุการณ์น้ำท่วมปีดังกล่าวยังมีผลทำให้ถนนพนังกั้นน้ำขาดเป็นระยะ ๆ ผู้คนต้องอพยพไปอยู่ตามที่สูง เช่น ตำบลเขวา ในตัวจังหวัดมหาสารคาม หรือแม้กระทั่งหลังคาบ้านตัวเองเหตุการณ์ครั้งนั้นก็ได้มีหน่วยงานราชการนำข้าวสารอาหารแห้งมาแจกจ่ายให้แก่ผู้ป่วยประสบภัยเป็นการช่วยเหลือเบื้องต้น

หลังจาก พ.ศ. 2521 มาก็มีน้ำท่วมอยู่เรื่อย ๆ ทั้ง พ.ศ. 2523 2525 และ 2545 เป็นต้น แต่ไม่รุนแรงมากนัก น้ำจากแม่น้ำชีได้เอ่อล้นขึ้นมาท่วมบริเวณที่อยู่อาศัยแต่ไม่ได้ล้นท่วมถนนพนังกั้นน้ำไปยังพื้นการเกษตร น้ำท่วมในยุคหลัง ๆ ชาวบ้านได้ใช้กระสอบทรายมากั้นน้ำบริเวณถนนพนังกั้นน้ำอีกทีเพื่อไม่ให้น้ำท่วมเข้าไปในพื้นที่นาของชุมชน จากเหตุการณ์น้ำท่วมหลาย ๆ ครั้งทั้งรุนแรงและไม่รุนแรง ชาวบ้านส่วนหนึ่งมองว่ามีผลมาจากการสร้างเขื่อนและฝ่ายในแม่น้ำชีทำให้ระบบนิเวศน์ธรรมชาติเสียสมดุล ในครั้งเก่าก่อนแม่น้ำชีมีน้ำไหลเป็นไปตามฤดูกาล หน้าฝนน้ำมากหน้าแล้งน้ำ

น้อย ไหลเป็นไปเช่นนี้ แต่พอมีการสร้างเขื่อนและฝายกั้นน้ำทำให้มีน้ำชีมีน้ำอยู่ตลอด พอน้ำมามากก็ระบายน้ำออกจากเขื่อนและฝายไม่ทันมีผลทำให้น้ำท่วม นอกจากนั้นเมื่อไม่มีการระบายของน้ำก็ส่งผลทำให้น้ำเสีย ปลาตายไม่ขยายพันธุ์ และปัญหาอื่น ๆ อีกมากมายที่จ่อคิวรอสร้างปัญหาให้กับชุมชนซึ่งมีวิถีชีวิตอยู่กับแม่น้ำชี ไม่ว่าจะตื่นขึ้นจนกระทั่งถึงนอนหลับ

2.6 สภาพดินที่เพาะปลูก/ทำนา บ้านเกิ้ง มหาสารคาม

ตำบลเกิ้ง มีพื้นที่ทั้งหมด 11,983 ไร่ เป็นพื้นที่ทำการเกษตร 9,037.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 75.42 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ทำการเกษตรของตำบลเกิ้ง จำแนกเป็นพื้นที่นาข้าว 7,252 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 80.25 ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่ไม้ผล 1,566 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.33 ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่อื่นๆ เช่น พื้นที่ปลูกไม้ดอกไม้ประดับ 19.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.21 ของพื้นที่ทำการเกษตร เป็นต้น

ชาวบ้านบ้านเกิ้งเหนือมีอาชีพทำนาประมาณ 90% ส่วนอีก10% ที่เหลือมีทั้งค้าขาย รับราชการ และการทำประมง พื้นที่เกือบทั้งหมดของบ้านเกิ้งเหนือถูกใช้เป็นพื้นที่สำหรับการทำนาทั้งการนาปีและการทำนาปรัง หมู่บ้านเกิ้งเหนือเป็นหมู่บ้านที่มีการทำนา 2 ครั้งต่อปี เนื่องจากเป็นหมู่บ้านที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ มีฝนตกชุกและมีเครื่องสูบน้ำจากแม่น้ำขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรได้ตลอดทั้งปี เหตุผลเหล่านี้เป็นเหตุผลตอบได้ส่วนหนึ่งว่าทำไมหมู่บ้านแห่งนี้จึงสามารถทำนาได้ถึงสองครั้ง สำหรับรายละเอียดของการทำนามีดังนี้

2.6.1 การทำนาปี

การทำนาปีของบ้านเกิ้งเหนือจะเริ่มทำในช่วงเดือนมิถุนายน โดยใช้ข้าวพันธุ์ กข 6 (ข้าวเหนียว) และข้าวพันธ์มะลิ 105 (ข้าวจ้าว) เป็นส่วนใหญ่ ในอดีตชาวบ้านทำนาปีด้วยการปักดำ ซึ่งเป็นวิธีการทำนาที่ทำสืบทอดกันมานาน แต่เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมาจากกที่เคยใช้การปักดำชาวบ้านได้หันมาทำนาหว่านกันมากขึ้น เหตุผลที่เปลี่ยนวิธีการทำนาก็เนื่องมาจากว่าเจ้าของที่นาต้องจ้างคนมาช่วยทำนาเพราะประเพณีการลงแขกช่วยกันนั้นได้เลือนหายไปแล้ว และค่าจ้างที่ใช้สำหรับการจ้างคนนั้นก็แพงมาก โดยปกติราคาจ้างจะอยู่ที่ 100-130 บาทต่อวัน นอกจากนั้นแล้วผู้จ้างต้องเตรียมอาหารเช้าและอาหารเที่ยงให้ด้วยซึ่งก็ถือว่าแพงมากทำให้ต้นทุนการทำนานั้นสูงทีเดียว ชาวนาส่วนมากจึงตัดปัญหาด้วยการทำนาหว่านแทนเพื่อเป็นการลดต้นทุนดังกล่าว

ในปัจจุบันการทำนานั้นจะมีเครื่องจักรมาทุ่นแรงงานคนหลายลักษณะและอาจกล่าวได้ว่าเครื่องจักรนั้นมีบทบาทกับการทำนาเกือบทุกขั้นตอนเลยทีเดียว ตั้งแต่การไถซึ่งแต่ละบ้านก็จะมีรถไถเดินตามเป็นของตนเองอยู่แล้ว แต่ในเวลานี้บทบาทของรถไถเดินตามได้ลดลงพอสมควร เนื่องจาก 2-3 ปีที่แล้วมีรถรับจ้างปั่นดินเข้ามาในชุมชนแต่เพิ่งได้รับความนิยมในปีนี้ รถปั่นดินที่เข้ามารับจ้างในชุมชนนั้นมีหลักในการทำงานเหมือนกับรถไถเดินตามทุกประการแต่คุณภาพของงานมีมากกว่า คือ รถปั่นดินสามารถขุดดินได้ในระดับลึกกว่าและดินที่ขุดหรือไถขึ้นมานั้นก็จะมีความละเอียดมากกว่าด้วย อัตราค่าจ้างของรถปั่นดินจะคิดในราคา 280 บาทต่อไร่ และเมื่อถึงเวลาการเก็บเกี่ยวเครื่องจักรก็จะเข้ามามีบทบาทอีกเหมือนกัน นั่นคือการจ้างรถเกี่ยวข้าวเข้ามาเกี่ยวเพื่อร่นระยะเวลาการทำงานและลดต้นทุนในการไปจ้างแรงงานคนมาเกี่ยว สำหรับค่าจ้างของรถเกี่ยวข้าวนั้น

อยู่ที่ 500 บาทต่อไร่สำหรับนาปีแต่นาปรังจะถูกกว่าในอัตราไร่ละ 350 บาท ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากว่าข้าวนาปีเป็นข้าวที่เกี่ยวยาก มีความสูงมากกว่าข้าวนาปรัง แต่ถ้าหากนาข้าวไร่ไหนที่ยังมีน้ำหรือมีโคลนอยู่ก็จะไม่สามารถใช้รถเกี่ยวข้าวเกี่ยวได้ ซึ่งก็จำเป็นต้องใช้แรงงานคนแทนเหมือนเดิม สำหรับนาปีนั้นมีผลผลิตต่อไร่ประมาณ 45 ถัง ผลผลิตส่วนใหญ่ของนาปีนั้นชาวบ้านจะเก็บไว้สำหรับบริโภคในครัวเรือนและอีกส่วนหนึ่งก็นำไปขายยังจังหวัดร้อยเอ็ดและกาฬสินธุ์

เทคนิคในการทำนานั้นจะมีอยู่หลายอย่างเช่น การหว่านข้าวในนา หากนาข้าวนั้นมีน้ำมากไปบ้างหรือมีฝนตกลงมาเพิ่มปริมาณน้ำในนา เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวที่หว่านไปแล้วเน่าหรือทำให้เมล็ดข้าวไม่งอกชาวนาจะใช้วิธีการทำร่องน้ำขนาดเล็กรอบที่นาซึ่งทำตามแนวของคันนาทั้งสี่ด้านรวมทั้งทำร่องผ่านกลาง ด้านข้าง เพื่อให้น้ำได้ไหลไปรวมกันหลังจากนั้นก็สูบหรือวิดน้ำออกซึ่งวิธีการเอาน้ำออกนั้นก็แล้วแต่ปริมาณน้ำที่มี วิธีดังกล่าวนี้เรียกว่า “การผายตม” อีกเทคนิคหนึ่งที่เห็นบ่อยหลังจากที่ชาวบ้านเริ่มหันมาทำนาหว่านกันมากขึ้นคือ ในระยะการหว่านข้าวนั้น ข้าวนาหว่านจะไม่ต้องการน้ำมาก แต่พื้นที่บ้านเกิ้งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำในหน้าฝนมากพอสมควร จึงทำให้ชาวนาต้องสูบน้ำออกจากที่นาซึ่งจะทำนาหว่าน โดยชาวนาได้สูบน้ำจากนาหว่านไปรวมกันไว้ในนาสัก 2-3 แปลง และนาที่มีน้ำจากนาหว่านก็แก้ปัญหาโดยใช้วิธีการปักดำแทน

2.6.2 การทำนาปรัง

บ้านเกิ้งเริ่มทำนาปรังใน พ.ศ. 2521 เนื่องจากในปีนั้นมีน้ำท่วมหนักผลิตข้าวเสียหายอย่างหนัก ทำให้ทางราชการได้เข้ามาแนะนำให้ชาวบ้านปลูกข้าวอีกหนึ่งรอบเพื่อจะได้มีข้าวไว้สำหรับบริโภค หลังจากนั้นมาชาวบ้านบางส่วนก็เริ่มทำข้าวนาปรังมาเรื่อย ซึ่งการทำข้าวนาปรังในตอนนี้ก็ได้ใช้น้ำจากแม่น้ำชีซึ่งถูกสูบขึ้นมาโดยเครื่องสูบน้ำพลังงานไฟฟ้า แต่เครื่องสูบน้ำเครื่องนี้ก็สูบน้ำขึ้นมาได้ในปริมาณน้อยไม่เพียงพอหากจะมีการทำนาปรังกันทั้งหมู่บ้าน จึงทำให้จำนวนผู้ทำนาปรังนั้นมีจำนวนไม่มากเท่าไหร่นัก แต่เมื่อ 5-6 ปีที่แล้วบ้านเกิ้งก็ได้เครื่องสูบน้ำเครื่องที่ 2 มาและมีกำลังการสูบน้ำมากกว่าเครื่องแรก ทำให้ปริมาณน้ำที่สูบขึ้นมาจากแม่น้ำชีนั้นมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของเกษตรกร ส่วนพื้นที่การทำนาช่วงไหนที่คลองชลประทานไปไม่ถึงเกษตรกรก็จะใช้น้ำจากหนองน้ำธรรมชาติ กุดต่าง ๆ รวมถึงส่างปลา (สระน้ำ) ที่ได้ขุดเอาไว้สำหรับกักเก็บน้ำและใช้ประโยชน์อื่น ๆ เมื่อปริมาณน้ำนั้นมีมากชาวบ้านจึงหันมาทำนาปรังกันมากเช่นกันและที่สำคัญในช่วงนั้นราคาข้าวนั้นมีราคาขายสูงด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่กระตุ้นให้ชาวบ้านหันมาทำนาปรังกันมาก ในปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่การทำนาปีนั้นหากเก็บเกี่ยวเสร็จเรียบร้อยก็จะมีการทำนาปรังต่อทันที ซึ่งการทำนาปรังนั้นถือเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับครอบครัวได้อีกทางหนึ่ง

การทำนาปรังนั้นจะเริ่มทำในช่วงเดือนมกราคมหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวนาปีเรียบร้อยแล้ว ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของข้าวนาปรังนั้นจะใช้เวลาประมาณ 4 เดือน พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกคือข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 การทำนาปรังนั้นจะใช้การหว่านข้าวเช่นกัน การไถนั้นจะมีทั้งจ้างรถปั่นดินและใช้รถไถเดินตามไถเอง ส่วนการเก็บเกี่ยวนั้นจะจ้างรถเกี่ยวข้าวเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการทำนาปรังนั้นผลผลิตที่ได้ประมาณ 80-90 ถังต่อไร่และผลผลิตทั้งหมดจะถูกนำไปขายทั้งหมด ตลาดที่ชาวบ้านนิยมนำไปขายคือจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดกาฬสินธุ์ ขายในราคาตันละประมาณ 5000 บาท และในการ

ขนข้าวไปนั้นก็ต้องจ้างรถขนตันละ 100 บาท เมื่อขายข้าวได้แล้วหักต้นทุนค่าเครื่องจักรไถ เก็บเกี่ยว ค่าขนส่ง ค่าปุ๋ยและอื่น ๆ กำไรที่ชาวนาได้ก็จะเหลือประมาณ 50 % ของเงินทั้งหมดที่ขายข้าวมาได้

การทำนานั้นชาวบ้านจะเก็บพันธุ์ข้าวไว้ใช้เองในปีต่อ ๆ ไป แต่จำเป็นจะต้องเปลี่ยนพันธุ์ข้าวทุก 2-3 ปีเนื่องจากพันธุ์ข้าวที่ได้เก็บไว้หากเก็บไว้และใช้เป็นระยะเวลาหลายปี เมื่อนำไปปลูกจะทำให้ข้าวที่ปลูกนั้นแข็ง ชาวนาบางคนสันนิษฐานว่าเหตุที่ข้าวแข็งก็เนื่องมาจากการปลูกข้าวนาปีและนาปรังในพื้นที่เดียวกัน มีผลทำให้ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้เกิดการผสมกันซึ่งก็อาจมีผลทำให้ข้าวแข็งได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดาวรุ่ง สุวรรณฐิติปัญโญ และเรวัฒน์ ชาญกิติโชติ วิจัยเรื่องการศึกษาการลดปริมาณการรั่วซึมของน้ำในบ่อดิน โดยวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อศึกษาวิธีลดการรั่วซึมของน้ำโดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งเป็นการนำมูลวัวกับขี้ไก่ผสมกับทรายแป้ง โดยมีส่วนผสมระหว่างมูลวัว (หรือขี้ไก่) กับดินทรายแป้งในสัดส่วน 5:95 15:85 30:70 50:50 โดยเปรียบเทียบกับดินทรายแป้ง 100% และมูลวัว (หรือขี้ไก่) 100% วัสดุผสมนั้นถูกนำไปบดอัดโดยวิธี Standard Procter ในโมเดลตัวอย่างรูปทรงกระบอกสูง 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.5 เซนติเมตร และนำมาหาอัตราการซึมโดยวิธี Permeability Test แบบระดับน้ำคงที่ที่ 1.20 เมตร จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้มูลวัว หรือขี้ไก่ผสมกับดินทรายแป้งมีประสิทธิภาพลดการรั่วซึมได้ดี หากเปรียบเทียบส่วนผสมที่เท่ากันพบว่าการใช้มูลวัวผสมกับดินทรายแป้งมีประสิทธิภาพลดการรั่วซึมได้ดีกว่าการใช้ขี้ไก่ผสมดินทรายแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้มูลวัวในอัตราส่วน 15% ต่อดินทรายแป้งสัดส่วน 85% สามารถลดการรั่วซึมได้ดีที่สุด โดยมีอัตราการรั่วซึมท้ายสุดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร/วัน

รุ่งศักดิ์ ขุนวิเศษ (2541) วิจัยเรื่อง สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดิน ของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการศึกษาในเดือนมีนาคม และเดือนตุลาคม โดยทำการเก็บข้อมูลอัตราการซึมน้ำผ่านผิวดิน 7 ประเภท การใช้ที่ดินได้แก่ บริเวณป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง สวนป่ากระถินเทพาอายุ 20 ปี สวนป่ากระถินเทพา อายุ 15 ปี สวนป่าทดแทน สวนป่าพื้นฟู และไร่ร้าง เก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของดินรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือ 3 แบบ คือ Single ring infiltromerter Double ring infiltromerter และ Control head infiltromerter ผลการศึกษาพบว่าป่าดิบแล้งมีสมรรถนะการซึมผ่านผิวดินสูงสุดคือ 757 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง รองลงมา ได้แก่ สวนป่าทดแทน สวนป่ากระถินเทพาอายุ 15 ปี สวนป่ากระถินเทพาอายุ 20 ปี ไร่ร้าง ป่าเต็งรัง และสวนป่าพื้นฟู ที่มีค่าสมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดิน เท่ากับ 667 509 490 434 367 และ 301 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่ป่าธรรมชาติ ไปเป็นพื้นที่การใช้ประโยชน์รูปแบบอื่น จะทำให้สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินลดลง การปลูกสร้างป่าทำให้สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการศึกษาสรุปได้ว่า สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดินคงที่ขึ้นอยู่กับอายุของต้นไม้ ชนิดไม้ และคุณสมบัติของดินเป็นสำคัญ

ธนภาค รัตนธนกิจ และ ธนพล ตียาคม (2555) วิจัยเรื่อง คุณสมบัติการซึมผ่านน้ำในดิน โครงการนี้ได้ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างดินบริเวณ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ แบบคงสภาพ 2 ตำแหน่ง คือบริเวณศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ และบริเวณหลังคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำในดินในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Falling Head และนำตัวอย่างดินจากบริเวณหลังวิศวกรรมศาสตร์ มาบดอัดโดยให้ได้ความหนาแน่น 95% (modify) ทั้ง dry side และ wet side เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์หารซึมผ่านของน้ำในดิน ผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างดินตำแหน่งที่ 1 ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณหลังของศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ได้ Liquid limit (LL) = 22.10% Plastic Index (PI) = 9.13% จำแนกชนิดดินเป็น SC (Clayey sand with gravel) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน (K) = 8.21×10^{-4} cm/s ดินตำแหน่งที่ 2 หลังคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ Liquid limit (LL) = 22.85% Plastic Index (PI) = 9.05% จำแนกชนิดดินเป็น CL (Sand lean clay) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน (K) = 5.81×10^{-6} cm/s ดินตำแหน่งที่ 2 เมื่อบดอัดที่เปอร์เซ็นต์น้ำ 4% (95% Dry) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน (K) = 1.22×10^{-6} cm/s และเมื่อบดอัดที่เปอร์เซ็นต์น้ำ 9.8% (95% Wet) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน (K) = 5.03×10^{-8} cm/s ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินเมื่อเปรียบเทียบกับการบดอัดด้าน Dry side ประมาณ 20 เท่า ที่ความหนาแน่นเดียวกัน

ไกรวิทย์ สุขดี และ ชัยศาสตร์ สกุลศักดิ์ศรี (2558) วิจัยเรื่อง ผลกระทบต่อขนาดคละต่อความสามารถการซึมผ่านในแนวราบของดินลูกรังบดอัด โดยศึกษาผลกระทบของขนาดคละของดินที่ส่งผลต่อค่าความสามารถในการซึมผ่านของดินทั้งแนวดิ่ง และแนวราบโดยการวิจัยใช้ดินชนิดเดียวกันทาการผสมสัดส่วนเม็ดดินที่ขนาดแตกต่างกัน 4 ส่วนผสม จากนั้นทำการบดแบบสถิตศาสตร์โดยใช้เครื่องกดไฮดรอลิค แทนการใช้การบดอัดโดยค้อน โดยความคุมความหนาแน่นให้เท่ากับการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบดัดแปลงในแบบหล่อรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยแปรผันพลังงานในการบดอัดปริมาณน้ำในดิน จากการทดสอบพบว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านของดินลูกรังบดอัดในแนวราบมีค่าเป็น 4 เท่าของแนวดิ่งโดยค่าทั้งสองลดลงตามหน่วยน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้นจนถึงหน่วยน้ำหนักสูงสุด จากนั้นมีแนวโน้มคงที่ ขนาดคละของดินส่งผลให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดินลูกรังบดอัดทั้ง แนวดิ่ง และแนวราบโดยค่าความสามารถในการซึมผ่านของดินลูกรังบดอัดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของดินเหนียวเพิ่มขึ้น

กอบเกียติ ผ่องพุฒิ และ ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์ (2555) วิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำ เพื่อการพัฒนาการเฝ้าระวังและการเตือนภัยจากน้ำท่วมฉับพลัน เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดภัยน้ำท่วมฉับพลัน และศึกษาการเฝ้าระวังและเตือนภัยน้ำท่วมฉับพลันจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน ค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดิน และปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ศึกษาตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยข้อมูลปริมาณฝนได้จากการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติในพื้นที่ ค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดิน และค่าดัชนีความชุมชื้นในดินวิกฤต คำนวณได้จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของดิน ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และค่าความชื้นในดินเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำจากห้องปฏิบัติการ สำหรับปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ศึกษาวิเคราะห์ จากข้อมูลระดับน้ำรายวันที่ได้รับการตรวจวัดจริงในพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักของการเกิดน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ศึกษาเรียงตามลำดับความสำคัญ ได้แก่ ปริมาณฝน ความลาดชันของพื้นที่ และการเกิดดินถล่ม และพบว่าพื้นที่ศึกษามีค่าอัตราส่วนการลดลงของความชื้นในดินผันแปรระหว่าง 0.773 –

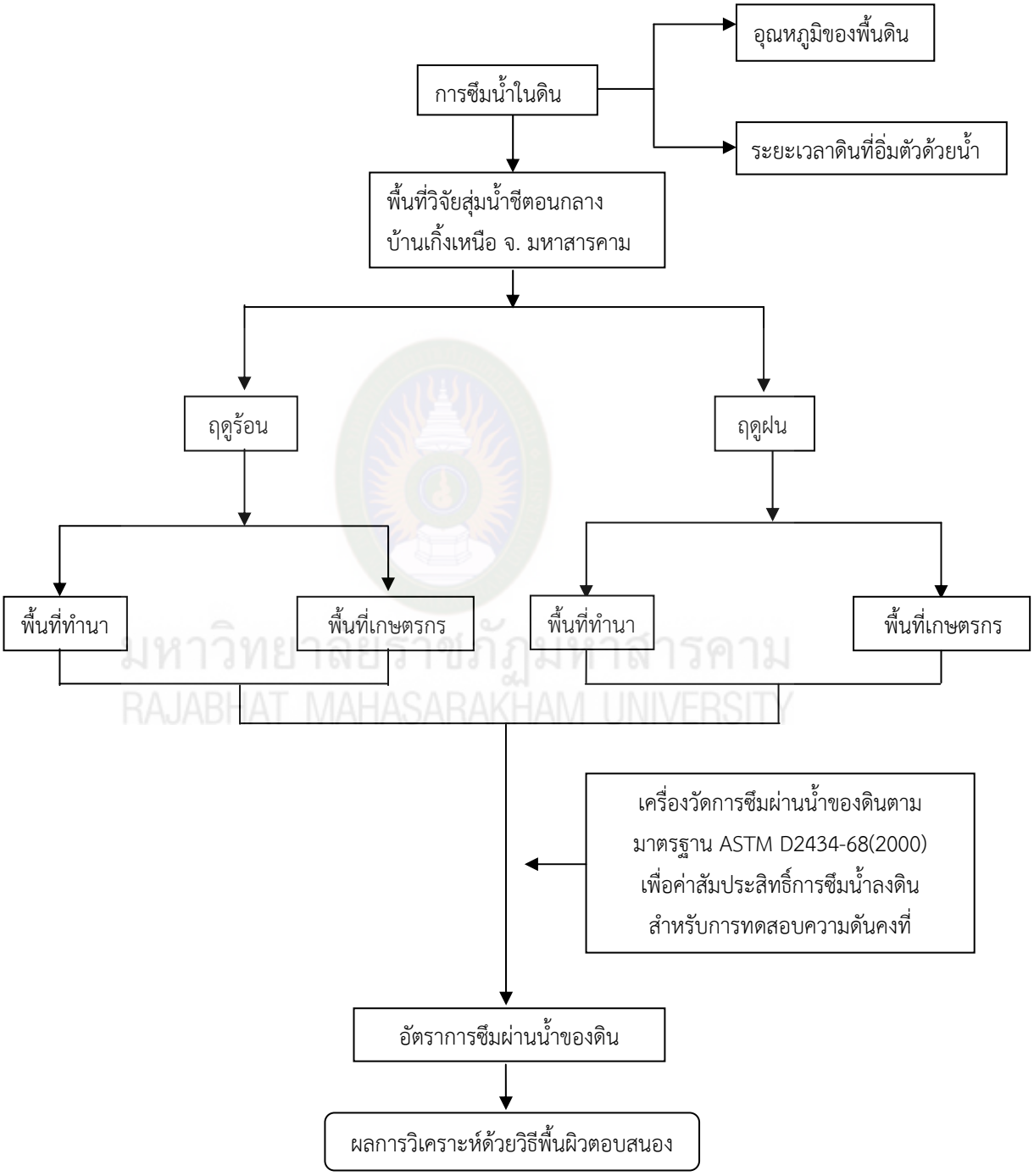
0.912 มิลลิเมตร/วัน โดยมีค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤตผันแปรระหว่าง 141.67 – 195.24 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์รายวันระหว่างปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำ ปริมาณฝน และค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินด้วยวิธีของ Viessman และวิธีการปรับปรุง Viessman โดยนำค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤตมาร่วมพิจารณา โดยทำการเพิ่มเงื่อนไขในการวิเคราะห์เพื่อแยกพารามิเตอร์ออกเป็น 2 กรณี ประกอบด้วยกรณีค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินน้อยกว่าค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤติ และกรณีค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินมากกว่าค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤติ พบว่าวิธีการปรับปรุงความสัมพันธ์โดยนำค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤต มาร่วมพิจารณาให้ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ที่ดีกว่าและเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำของพื้นที่ศึกษา โดยมีเกณฑ์การเตือนภัยน้ำท่วมฉับพลันจากค่าดัชนี ความชุ่มชื้นในดิน เทียบเป็นร้อยละของค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินวิกฤตของพื้นที่

Katherine Clancy และ Veronica M. Alba วิจัยเรื่อง อุณหภูมิ และช่วงเวลาของวันมีอิทธิพลต่ออัตราการแทรกซึมที่คงที่ที่วัดด้วยเครื่องวัดอัตราการซึมน้ำของดินแบบถังกลม ผลการวิจัยพบว่าอัตราการแทรกซึมที่คงที่ (IRS) มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับอุณหภูมิ โดยมีค่าสูงขึ้นเป็น 1.5 ถึง 2.5 เท่าของค่าคาดการณ์ของความหนืดจากการวัดด้วย t-effect การศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองในพื้นที่ด้วย t-effect ของอัตราการแทรกซึมที่คงที่ด้วย double-ring infi ltrometers ในช่วงฤดูฤดูใบไม้ร่วงปี 2007 และ 2008 ในหาดทรายและดินร่วนปนทรายดินในช่วงที่อุณหภูมิ 5-35 องศาเซลเซียส เราพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างอุณหภูมิและอัตราการแทรกซึมที่คงที่ สำหรับดินร่วนปนทราย (n = 17) อัตราการแทรกซึมที่คงที่แตกต่างกันอธิบายได้โดยความแตกต่างความหนืด แต่สำหรับทราย (n = 30) ค่าอัตราการแทรกซึมที่คงที่อยู่ที่ 2.0 - 2.9 เท่าสูงกว่าอัตราความหนืดที่คาดการณ์ไว้ นอกจากนี้เราพบความแตกต่างในการถดถอยอุณหภูมิ อัตราการแทรกซึมที่คงที่ ขึ้นอยู่กับเวลา วันของการวัดในทราย วัดในตอนเช้าได้สองเท่าของความหนืดที่คาดการณ์อัตราการแทรกซึมที่คงที่ ขณะที่วัดในช่วงบ่าย เกือบสามเท่า

Kostic, Srdan., Stojkovic, Milan., Prohaska, Stevan. And Vasovic, Nebojsa วิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลองของอัตราการไหลแม่น้ำด้วยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองบนพื้นฐานของอนุกรมเวลา โดยจากการวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบใหม่ของอัตราการไหลของแม่น้ำรายเดือนเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเส้นตรงอย่างง่าย ของอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน การศึกษาด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองใช้ในการวิเคราะห์สังเกตอัตราการไหลรายเดือน 1,950-1,990 สำหรับ Great Morava ซึ่งเป็นแม่น้ำที่ใหญ่ที่สุดในประเทศเซอร์เบีย ผลที่ได้ชี้เห็นอย่างมีนัยสำคัญจากผลกระทบของประกอบ 2 ตัวที่นำมาศึกษา ทั้งจากของสมการเชิงเส้น และสมการกำลังสอง ขณะที่องค์ประกอบ 2 ที่เป็นองค์ประกอบที่เป็นปฏิสัมพันธ์กันแสดงถึงอิทธิพลที่มีขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญที่ชี้ให้เห็นการเกิดขึ้นของอัตราการไหลสูงสุด สำหรับอุณหภูมิต่ำและของปริมาณน้ำฝนที่มาก ความเชื่อถือของวิธีการสถิติได้นำเสนอรูปแบบที่สมเหตุผลในการตรวจสอบภายในและภายนอก เมื่อรวมการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ และสังเกตได้จากปี 1991 เพื่อ 2012 ก็แสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์อัตราการไหลที่แสดงรูปแบบที่คล้ายกับวิธีทางสถิติคล้ายกับค่าสังเกต โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ Nash- Sutcliffe (NSE = 0.73) แม้ว่ารูปแบบที่ได้รับไม่สามารถแสดงอัตราการไหลสูงสุดได้ดี การหาผลลัพธ์ที่ชี้ชัดเป็นลำดับของการนำเสนอส่วนเหลือที่แสดงได้เป็นอย่างสุ่มของอนุกรมเวลา ซึ่งยืนยันโดยใช้สถิติทดสอบ ข้อได้เปรียบของการการใช้รูปแบบการจำลองอุทกวิทยาในลุ่มน้ำรูปแบบทาง

คณิตศาสตร์ ทำให้มันเหมาะสำหรับการประมาณอย่างรวดเร็วและเชื่อถือได้และการคาดการณ์ของอัตราการไหลของน้ำรายเดือนได้อีกด้วย

2.8 กรอบการวิจัย



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 2.8 แผนภาพกรอบการวิจัยการวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัย เรื่อง การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ผู้วิจัยได้ออกแบบระเบียบวิธีวิจัย ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน

3.3 การเตรียมตัวอย่าง และขั้นตอนการทดสอบ

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.5 การออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบ FCCD

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม โดยจะได้ทำการศึกษาอัตราการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่ตำบลเกิ้ง ด้วยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน เนื่องจากตัวแปรพยากรณ์ระดับอุณหภูมิของดินในฤดูกาล และระยะเวลา ที่สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นนำผลค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของ จากพื้นที่ทำนาและพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับตัวแปรทั้ง 2 ตัว ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ในการกำหนดค่าตัวแปรพยากรณ์ค่าอุณหภูมิในฤดูกาล พิจารณาร่วมกับปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ โดยผู้วิจัยรวบรวมในช่วง 12 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2548 – พ.ศ. 2559 จากสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดมหาสารคาม อำเภอโกสุมพิสัย

การวิจัยกำหนดฤดูกาลเพื่อการวิจัย กำหนดเป็น 2 ช่วง คือ ฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม และในฤดูแล้ง (ช่วงไม่มีฝน หรือตกน้อยมาก) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนเมษายน จากนั้นจึงพิจารณาค่าอุณหภูมิ และระยะเวลาที่สภาพดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ที่เกิดการซึมผ่านน้ำลงดินน้อยในแต่ละช่วงฤดูกาล

3.1.1 ฤดูฝน

ปริมาณฝนที่ตกพื้นที่ของจังหวัดมหาสารคามปริมาณน้อยที่สุดจำนวน 906 มิลลิเมตร ในปี พ.ศ. 2548 ปริมาณที่มากที่สุดจำนวน 1512.6 มิลลิเมตร ในปี พ.ศ. 2559 ค่าอุณหภูมิต่ำสุด 15 องศาเซลเซียส ในเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2552 และสูงสุดที่ 41.8 องศาเซลเซียส ในเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.2 ฤดูแล้ง

มีปริมาณฝนตกปริมาณน้อยที่สุดจำนวน 75.8 มิลลิเมตร ในปี พ.ศ. 2551 ปริมาณที่มากที่สุดจำนวน 534 มิลลิเมตร ในปี พ.ศ. 2550 อุณหภูมิต่ำสุด 8.8 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2548 และสูงสุดที่ 42.5 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559

กำหนดค่าแปรอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของดินในแต่ละฤดูกาลสำหรับการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในของดินในการทดลอง โดยจำแนกออกตามฤดูกาล

ปริมาณที่วัดได้ต่ำสุดและสูงสุด	หน้าฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม)			หน้าแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน)		
	ปริมาณน้ำฝนรวม (มม.)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)		ปริมาณน้ำฝนรวม (มม.)	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	
		ค่าจริง	ค่าใช้ในการวิจัย		ค่าจริง	ค่าใช้ในการวิจัย
ค่าต่ำสุด	906	15	**15**	75.8	8.8	**8**
ค่าสูงสูด	1,512.6	41.8	**42**	534	42.5	**43**

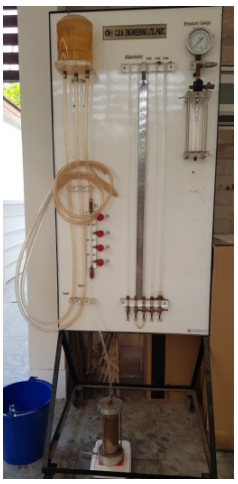
พื้นที่ทำการวิจัยตำบลเกิ้ง ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ทำนาปลูกข้าวนาปี และนาปรัง ซึ่งสภาพดินเป็นดินเหนียว ผู้วิจัยกำหนดให้ระยะเวลาที่สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่เริ่มต้นจาก 12 ชั่วโมง ต่อมาเป็น 16 ชั่วโมง และเวลาที่สูงสุด 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ในส่วนพื้นที่เพาะปลูกซึ่งสภาพดินเป็นดินเหนียวปนทราย มวลดินและเนื้อดินเกาะตัวหลวมน้อยกว่าดินเหนียว จึงได้กำหนดให้ระยะเวลาที่สภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ที่เริ่มต้นจาก 6 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง และเวลาที่สูงสุด 12 ชั่วโมงตามลำดับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินจากห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม โดยวัดการซึมผ่านน้ำของดินตามมาตรฐาน ASTM D2434-68(2000) โดยวิธีหาความดันน้ำคงที่ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.2.1 ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำได้ของดิน (Permeameter)



3.2.2 กระบอกบรรจุดิน (Mold or Chamber)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2.3 อุปกรณ์การบดอัดดิน เช่น ค้อน

3.2.4 ตู้อบกำหนดค่าอุณหภูมิ
3.2.5 กระบอกตวงน้ำ (Measuring Cylinder)
3.2.6 นาฬิกาจับเวลา

3.3 การเตรียมตัวอย่าง และขั้นตอนการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมดินตัวอย่างในการทดสอบ

นำตัวอย่างดินจากพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม โดยขุดดินจากผิวดิน จนลึกลงไปประมาณ 30-40 เซนติเมตร

ตัวอย่างดินที่เก็บมาจากพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก นำมาอบด้วยตู้อบอุณหภูมิ 43 42 และ 25.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับการทดสอบของฤดูฝน และอบที่อุณหภูมิ 28.5 42 และ 43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับการทดสอบของฤดูแล้ง ระยะการอบดินเวลา 6 ชั่วโมง เท่ากัน

ภาพที่ 3.1 สภาพดินนา และการเก็บตัวอย่างดินตำบลบ้านเกิ้ง

ภาพที่ 3.2 สภาพดินพื้นที่เพาะปลูก และใช้เป็นตัวอย่างดินตำบลบ้านเกิ้ง
(พื้นที่บริเวณ สถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พื้นที่ตำบลเกิ้ง)

3.3.2 ขั้นตอนการทดสอบการเตรียมการทดสอบ

การทดสอบการซึมผ่านน้ำของดิน เพื่อนำไปวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน ได้ทำการทดสอบแบบความดันคงที่ (constant-head)

1) นำตัวอย่างดินมาเข้าตู้อบ ตั้งค่าระดับอุณหภูมิของฤดูกาล โดยเป็นดินเหนียวจากพื้นที่ทำนา และดินเหนียวปนทราย อุณหภูมิของฤดูฝนอบที่อุณหภูมิ 15 28.5 และ 42 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอุณหภูมิของฤดูแล้งอบที่อุณหภูมิ 8 25.5 และ 43 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมงเท่ากัน

2) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงของแบบ (Mold) เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของตัวอย่างดินในแบบ

3) นำตัวอย่างดินที่ได้เตรียมไว้บรรจุลงใน Mold แล้วกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งหรือเคาะด้วยค้อนยางโดยให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับดินในธรรมชาติมากที่สุด จนกระทั่งผิวหน้าของตัวอย่างดินต่ำกว่าขอบของ Mold ประมาณ 2.5 เซนติเมตร

4) เปิดน้ำในสายยางลงใน Mold แล้วปล่อยน้ำเข้าซึ่งจะเป็นการระบายอากาศออกทางตอนบนของตัวอย่างดิน น้ำเริ่มระบายออกโดยไม่มีฟองอากาศออก แล้วปิดวาล์วระบาย ปล่อยตัวอย่างดินให้ชุ่มน้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง สำหรับดินเหนียวพื้นที่ทำนา และ 4 ชั่วโมง สำหรับดินเหนียวปนทรายของพื้นที่เพาะปลูก

5) เริ่มทำการทดลองโดยเปิดวาล์วทางน้ำออก จนกระทั่งน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินในช่องน้ำออก (Outflow) ในอัตราการไหลที่คงที่แล้วโดยลองวัดปริมาณน้ำดู 3 ครั้งในเวลาที่กำหนด 60 วินาที

6) เมื่อมีอัตราการไหลของน้ำคงที่แล้ว ทำการหาอัตราการไหลที่แท้จริง โดยเริ่มจับเวลาพร้อมกับนำกระบอกตวงขนาด 10 ลบ.ซม. มารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดินโดยการหาอัตราการไหลที่คงที่ โดยให้หาอัตราการไหลจริงอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วจึงค่อยนำน้ำที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Q (เมื่อ Q แทนปริมาณน้ำที่ไหลผ่านดินในช่วงเวลา)

การทดลองการซึมผ่านน้ำของดิน ผู้วิจัยได้ออกแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลการทดลอง ดังภาพที่ 3.3

ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ ..... อุณหภูมิดิน ..... องศาเซลเซียล

เส้นผ่าศูนย์กลางผิวดิน (cm.)	7 cm
ความสูงตัวอย่างตัวอย่าง (cm.)	
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ(อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1				
2				
3				
4				
5				
ค่าเฉลี่ย				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า k =				ซม./วินาที

ภาพที่ 3.3 แบบรายงานข้อมูลอัตราการซึมผ่านน้ำลงดินด้วยวิธีการวัดความดันคงที่

การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน (k) คำนวณได้จากสูตร

$$K = \frac{QL}{t \times h \times A} \text{ ซม./วินาที}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน (เซนติเมตร/วินาที)
Q คือ ปริมาณที่ไหลซึม (ลูกบาศก์เซนติเมตร/นาที)
L คือ ความยาวการไหลซึม (เซนติเมตร)
h คือ ความต่างของระดับน้ำ (เซนติเมตร)
A คือ พื้นที่หน้าตัดกระบอกตัวอย่างดิน (ตารางเซนติเมตร)

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 การวิเคราะห์รูปแบบของสมการลำดับที่ 2 ของพื้นผิวตอบสนอง (Second Order Response Surface) ของพื้นผิวตอบสนองมีรูปแบบดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

ซึ่งรูปแบบของสมการลำดับที่ 2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$y = x\beta + \varepsilon$$

โดยที่ $y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$; $\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ . \\ . \\ \beta_k \\ \beta_{11} \\ \beta_{12} \\ . \\ \beta_{kk} \\ \beta_{12} \\ \beta_{13} \\ . \\ \beta_{k-1,k} \end{bmatrix}$

$$x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{k1}x_{11}^2 & \cdots & x_{k1}^2x_{11} & \cdots & x_{k-1,1}x_{k1} \\ 1 & x_{12} & \cdots & x_{k2}x_{12}^2 & \cdots & x_{k2}^2x_{12} & \cdots & x_{k-2,2}x_{k2} \\ . & . & \cdots & . & . & . & . & . \\ . & . & \cdots & . & . & . & . & . \\ 1 & x_{1n} & \cdots & x_{kn}x_{1n}^2 & \cdots & x_{kn}^2x_{1n} & \cdots & x_{k-1,n}x_{kn} \end{bmatrix}$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
PHRANAKHON SI AYUTTHAYA RAJABHAT UNIVERSITY

การหาสัมประสิทธิ์ของรูปแบบของสมการ (Model's Coefficient) จะใช้วิธีกำลังสองของความผิดพลาดที่น้อยที่สุด (Least Square Method) โดย

$$\beta = (x'x)^{-1}x'y$$

ในการออกแบบการทดลองการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้หารูปแบบของสมการลำดับที่ 2 โดยวิธีการ face centered central composite design : FCCD ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนของการทดลอง คือ

1) ส่วนการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial with n_f Runs) โดย n_f คือ จำนวนการทดลองแบบแฟคทอเรียล เช่น (ถ้า k ใน ที่นี้คือตัวแปรอิสระหรือปัจจัย 2 ตัวดังนั้น 2^2 จะมีตำแหน่งการทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่ง คือ (-1,-1) (+1,-1) (+1,+1) (-1,+1)

2) ส่วนของจุดในแนวแกน ($2k$ Axial or Star Runs) โดยมีจำนวนการทดลองในแนวแกนเท่ากับ $2k$ เมื่อ k คือ จำนวนตัวแปรอิสระหรือปัจจัย ตำแหน่งการทดลองที่เพิ่มขึ้นมาอีก 4 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่เป็นแนว +1 หรือ -1 ในแนวแกนที่เรียกว่า star point (+1,0) (-1,0) (0,+1) (0,-1) ซึ่งการทดลองเป็นการเลือกค่า Alpha = 1 คือให้ระยะจาก Axial point ไปยัง

center point เป็น 1 (เรียกการ design ที่ alpha = 1 แบบนี้ว่า face centered central composite design)

3) ส่วนของจุดศูนย์กลางของการทดลอง (n_c : Center Runs) โดย n_c คือ จำนวนของจุดศูนย์กลางของการทดลอง (Design Center Point) ตำแหน่งตรงกลางของพื้นที่กำรทดลองอีก 1 ตำแหน่ง ที่เรียกว่า central point (ตำแหน่ง 0,0)

ดังนั้น กรณีจำนวนปัจจัย (k) = 2 เมตริกซ์การออกแบบการทดลอง คือ

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ -1 & -1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ซึ่ง 4 จุดแรก คือ การออกแบบ 2^k แฟคทอเรียล จุดที่ 9 คือ จุดศูนย์กลางของการออกแบบ (0,0) หรือ (Center Point) จุดที่ 5 ถึง 8 คือ จุดในแนวแกน (Axial Point) โดยจำนวนจุดในแนวแกนจะเท่ากับ $2k$ เมื่อ k คือ จำนวนปัจจัย

3.5 การออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองแบบ FCCD

การกำหนดค่าวัดการทดลองด้วยการวางแผนแบบ FCCD เพื่อวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน กับอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่สภาพที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำของพื้นที่ทดลองในพื้นที่เพาะปลูก และพื้นที่ทำนา ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม จำแนกออกเป็นฤดูกาลดังนี้

3.5.1 การกำหนดค่าวัดจริง และค่าดัชนีการทดลองในฤดูฝน

1) การกำหนดค่าวัดจริง และค่าดัชนีของตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน

ค่าวัดจริง	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
ค่าดัชนีการออกแบบ FCCD	-1	0	1
x_1 (อุณหภูมิ:เซลเซียส)	15	28.5	42
x_2 (เวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ:ชั่วโมง)	12	15	18

การหาค่าดัชนีอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ คำนวณค่าได้จากสูตร ดังนี้ $x_1 = \frac{\text{อุณหภูมิ} - 28.5}{13.5}$ และ $x_2 = \frac{\text{เวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ} - 15}{3}$ จากนั้นออกแบบการทดลองแบบ FCCD แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2
1	42	18	1	1
2	15	18	-1	1
3	15	12	-1	-1
4	42	12	1	-1
5	42	15	1	0
6	28.5	18	0	-1
7	15	15	-1	0
8	28.5	12	0	1
9	28.5	15	0	0

2) การกำหนดค่าวัดจริง และค่าดัชนีของตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง แสดงดังตาราง 3.4

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Mahasarakham Rajabhat University

ตารางที่ 3.4 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน

ค่าวัดจริง	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
ค่าดัชนีการออกแบบ FCCD	-1	0	1
x_1(อุณหภูมิ:เซลเซียส)	15	28.5	42
x_2 (เวลาที่น้ำอิ่มตัว:ชั่วโมง)	4	6	8

การหาค่าดัชนีอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ คำนวณค่าได้จากสูตร ดังนี้

$x_1 = \frac{\text{อุณหภูมิ} - 28.5}{13.5}$ และ $x_2 = \frac{\text{เวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ} - 6}{2}$ จากนั้นออกแบบการทดลองแบบ FCCD แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2
1	42	8	1	1
2	15	8	-1	1
3	15	4	-1	-1
4	42	4	1	-1
5	42	6	1	0
6	28.5	8	0	-1
7	15	6	-1	0
8	28.5	4	0	1
9	28.5	6	0	0

3.5.2 การกำหนดค่าวัดจริง และค่าดัชนีการทดลองในฤดูแล้ง

1) การกำหนดค่าวัดจริง และค่าดัชนีของตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำพื้นที่ทำนา ตำบลบ้านเกิ้ง แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง

ค่าวัดจริง	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
ค่าดัชนีการออกแบบ FCCD	-1	0	1
x_1(อุณหภูมิ:เซลเซียส)	8	25.5	43
x_2 (เวลาที่น้ำอิ่มตัว:ชั่วโมง)	12	15	18

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การหาค่าดัชนีอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ คำนวณค่าได้จากสูตร ดังนี้ $x_1 = \frac{\text{อุณหภูมิ} - 25.5}{17.5}$ และ $x_2 = \frac{\text{เวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ} - 15}{3}$ จากนั้นออกแบบการทดลองแบบ FCCD แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2
1	43	18	1	1
2	8	18	-1	1
3	8	12	-1	-1
4	43	12	1	-1
5	43	15	1	0
6	25.5	18	0	1
7	8	15	-1	0
8	25.5	12	0	-1
9	25.5	15	0	0

2) การกำหนดค่าวัดจริง และค่าดัชนีของตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำพื้นที่เพาะปลูก ตำบลบ้านเกิ้ง แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าวัดจริง และค่าดัชนีของอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง

ค่าวัดจริง	ค่าต่ำสุด	ค่ากลาง	ค่าสูงสุด
ค่าดัชนีการออกแบบ FCCD	-1	0	1
x_1 (อุณหภูมิ:เซลเซียส)	8	25.5	43
x_2 (เวลาที่น้ำอิ่มตัว:ชั่วโมง)	4	6	8

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การหาค่าดัชนีอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ คำนวณค่าได้จากสูตรดังนี้ $x_1 = \frac{\text{อุณหภูมิ}-25.5}{17.5}$ และ $x_2 = \frac{\text{เวลาที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ}-6}{2}$ จากนั้นออกแบบการทดลองแบบ FCCD แสดงดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงการออกแบบ FCCD พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูฝน

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2
1	43	8	1	1
2	8	8	-1	1
3	8	4	-1	-1
4	43	4	1	-1
5	43	6	1	0
6	25.5	8	0	1
7	8	6	-1	0
8	25.5	4	0	-1
9	25.5	6	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัย เรื่อง การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งจะทำการทดลองหาอัตราการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่ตำบลเกิ้ง โดยใช้เครื่องวัดอัตราซึมผ่านน้ำของดิน ด้วยวิธีการวัดด้วยความดันคงที่แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำชองดิน ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินบริเวณพื้นที่ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นดินเหนียวจากพื้นที่นาปลูกข้าว และดินเหนียวปนดินทรายจากพื้นที่เพาะปลูกบริเวณริมน้ำชี ในช่วงฤดูฝน และช่วงฤดูแล้ง แสดงวิธีการวิเคราะห์ดังภาคผนวก ก และ ข

จากนั้นนำผลค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำชองดิน มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ตัวแปรพยากรณ์ คือ อุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองการออกแบบ Face Centered Central Composite Design (FCCD) ซึ่งการวิเคราะห์ผลการวิจัยด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ MINITAB รุ่น 16 จากห้องปฏิบัติการภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านน้ำลงดิน ในฤดูฝน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่นาในฤดูฝน

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝน

4.2 ผลการศึกษาการซึมผ่านน้ำลงดิน ในฤดูแล้ง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่ทำนาในฤดูแล้ง

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ในฤดูแล้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.1 ผลการวิเคราะห์การซึมผ่านน้ำลงดิน ในฤดูฝน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่นาในฤดูฝน

นำตัวอย่างดินเหนียวจากพื้นที่นาปลูกข้าว ตำบลเกิ้ง มาเข้าเครื่องอบโดยตั้งค่าอุณหภูมิ 15 28.5 และ 42 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างดินออกจากตู้อบเก็บลงกล่องโฟม ปิดสนิท และนำมาทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการซึมผ่านน้ำของดิน โดยวิธีทดสอบความดันคงที่จากอัตราปริมาณการซึมน้ำผ่านดิน โดยกำหนดให้ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน คือ 12 ชั่วโมง 15 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมงตามลำดับ ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดินแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียว พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูฝน

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2	สัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน (ซม./วินาที)x 10^{-5}
1	42	18	1	1	6.50
2	15	18	-1	1	1.04
3	15	12	-1	-1	1.26
4	42	12	1	-1	7.28
5	42	15	1	0	7.02
6	28.5	18	0	-1	4.03
7	15	15	-1	0	1.26
8	28.5	12	0	1	4.55
9	28.5	15	0	0	4.42

จากตารางที่ 4.1 นำค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน มาวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองออกแบบด้วย FCCD เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน ด้วยค่าอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน

ตัวพยากรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ (x10^{-5})	SE ค่าสัมประสิทธิ์ (x10^{-5})	ค่าสถิติ T	P
ค่าคงที่	-6.65957	3.93487	-1.692	0.189
อุณหภูมิดิน	0.38510	0.05261	7.320	0.005*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	0.42685	0.49979	0.854	0.456
อุณหภูมิดิน^2	-0.00211	0.00073	-2.895	0.063*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2	-0.01333	0.01652	-0.807	0.479
อุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	-0.00346	0.00212	-1.631	0.201
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าข้อมูลจริงรอบสมการถดถอย (S) = 0.1717 x10^{-5}	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) = 99.8%		ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-Sq(adj) = 99.5%	

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.2 พบว่ามีเพียงตัวพยากรณ์อุณหภูมิดิน และตัวพยากรณ์อุณหภูมิดิน^2 ที่แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่นา เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะห่างของค่าข้อมูลจริงที่แสดงจุดรอบเส้นสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนอง (S) มีค่าเท่ากับ

0.1717 x10^{-5} ค่า R^2 แสดงค่าให้เห็นว่าตัวพยากรณ์ทั้ง 2 อธิบายสมการการถดถอยให้กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านดินในพื้นที่นาได้สูงถึง 99.8% ขณะที่ค่า R^2(adj) ให้ค่าเท่ากับ 99.5%

จากรูปแบบสมการถดถอยที่วิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง วิธี FCCD ได้ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์องค์ประกอบสมการถดถอยที่ประกอบด้วย รูปแบบเชิงส้น รูปแบบกำลังสอง รูปแบบของปฏิสัมพันธ์ และดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสอง พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน

Source	DF	Seq SS (x10^{-5})	Adj SS (x10^{-5})	Adj MS (x10^{-5})	F	P
Regression	5	50.0915	50.09146	10.018291	339.86	0.000
Linear	2	49.7635	1.68625	0.843126	28.60	0.011*
Square	2	0.2496	0.24957	0.124785	4.23	0.134
Interaction	1	0.0784	0.07840	0.078400	2.66	0.201
Residual Error	3	0.0884	0.08843	0.029478		
Lack-of-Fit	2	0.0124	0.01238	0.006192	0.08	0.927
Pure Error	1	0.0760	0.07605	0.076050		
Total	8	50.1799				

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM RAJABHAT UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.3 ทำการตรวจสอบรูปแบบความเหมาะสมสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนองที่วิเคราะห์ได้จากค่า Lack-of-Fit พบว่าไม่มีนัยสำคัญ (ค่า P < 0.05) ทำให้พบว่าไม่เกิดปัญหา Lack-of-Fit ส่งผลต่อความเหมาะสมสมการถดถอยที่ประมาณได้

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยเชิงเส้นของตัวแปรอุณหภูมิของดิน กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนองค์ประกอบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนโค้ง (square) และองค์ประกอบของปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ (interaction) ไม่มีความสัมพันธ์กับการค่ากับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน

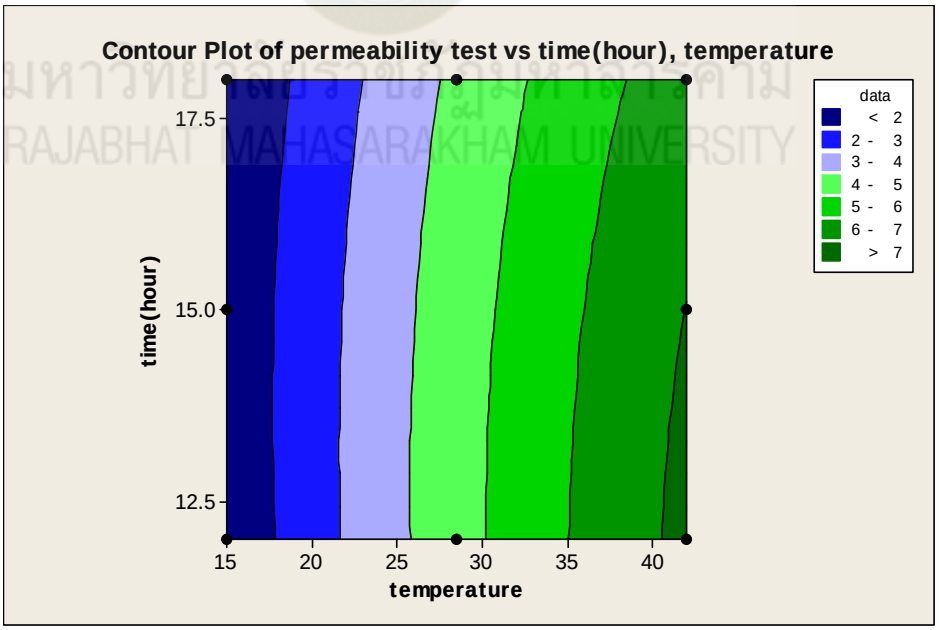
จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองการทดลองแบบ FCCD เพื่อพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่นาซึ่งเป็นดินเหนียว ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอย ดังตารางที่ 4.3 แสดงเป็นรูปแบบสมการถดถอยได้ ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = -6.65957 + 0.38510 x อุณหภูมิดิน +
0.42685 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ -
0.00211 x อุณหภูมิดิน^2 - 0.01333 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2 -
0.00346 x อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ (4.1)

และค่าการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่นา ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝนจากสมการ (4.1) ได้ค่าดังนี้

ค่าที่	ค่าพยากรณ์ ($x10^{-5}$)	SE Fit ($x10^{-5}$)	95% ช่วงค่าเฉลี่ยของ y_i ($x10^{-5}$)	95%ช่วงค่าพยากรณ์ ($x10^{-5}$)
1	4.19000	0.108587	(3.84443, 4.53557)	(3.54349, 4.83651)
2	4.62000	0.132991	(4.19676, 5.04324)	(3.92886, 5.31114)
3	1.26667	0.140185	(0.82054, 1.71280)	(0.56127, 1.97206)
4	6.53833	0.155156	(6.04456, 7.03211)	(5.80188, 7.27479)
5	7.24833	0.155156	(6.75456, 7.74211)	(6.51188, 7.98479)
6	4.19000	0.108587	(3.84443, 4.53557)	(3.54349, 4.83651)
7	1.07167	0.155156	(0.57789, 1.56544)	(0.33521, 1.80812)
8	7.01333	0.140185	(6.56720, 7.45946)	(6.30794, 7.71873)
9	1.22167	0.155156	(0.72789, 1.71544)	(0.48521, 1.95812)

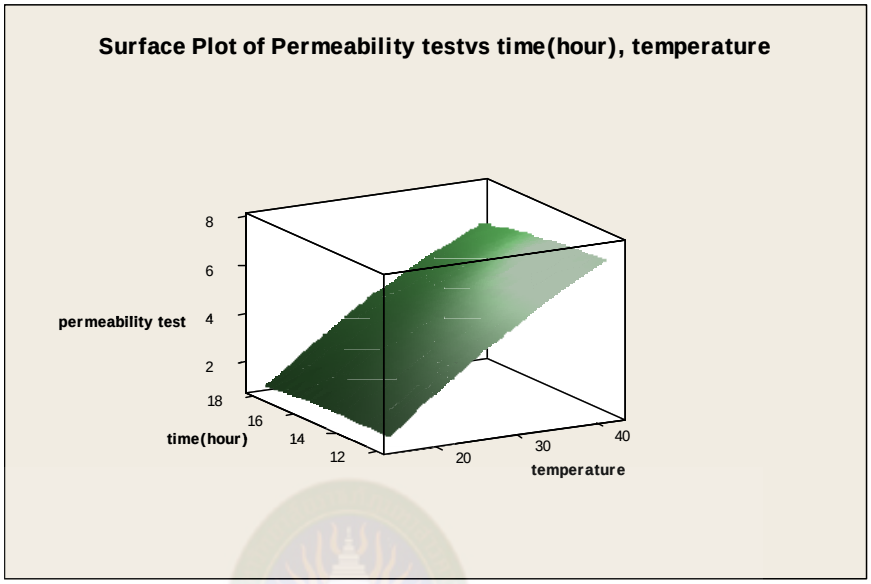
จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพื้นผิวตอบสนอง แสดงกราฟค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน และกราฟพื้นผิวตอบสนอง เนื่องจากตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำดังภาพที่ 4.1 – 4.2



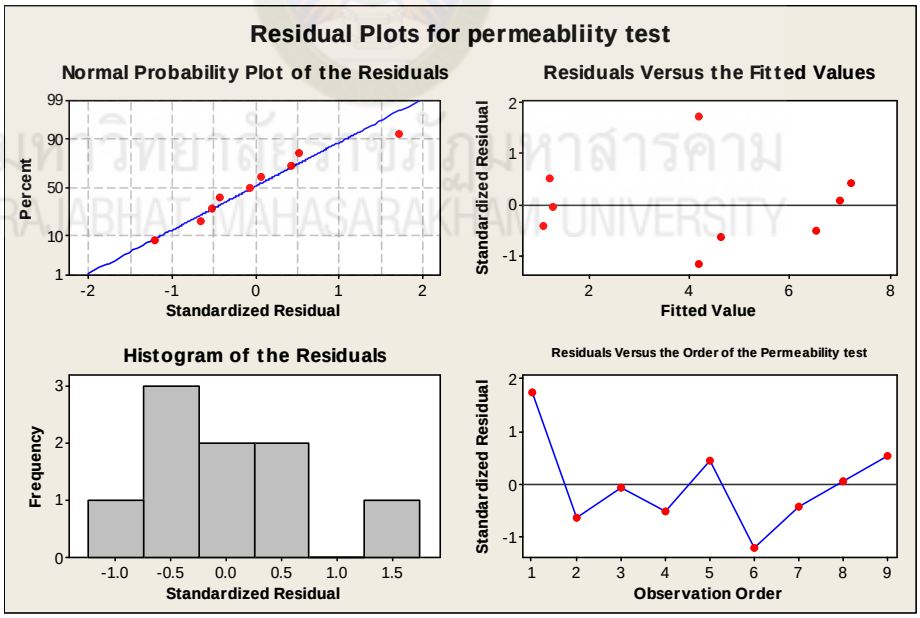
ภาพที่ 4.1 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนาช่วงหน้าฝน

จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่ทำนาช่วงหน้าฝน ตำบลเกิ้ง มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินที่มีค่าเพิ่มขึ้น และยังอธิบายได้ด้วยภาพพื้นผิวตอบสนอง

ภาพที่ 4.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิของดินที่เพิ่มขึ้นในรูปแบบเชิงเส้น โดยไม่มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์องค์ประกอบของรูปแบบเส้นโค้ง



ภาพที่ 4.2 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนาช่วงหน้าฝน



ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์การวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนาช่วงหน้าฝน

ภาพที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (residual) ที่เกิดจากสมการถดถอยการเคราะห์พื้นผิวตอบสนองได้โดยจากกราฟแสดงความน่าจะเป็นปกติของส่วนเหลือ (normal probability plot of residual) พบว่า กราฟค่าส่วนเหลือแสดงได้เป็นแนวเส้นตรง ซึ่งเป็นประมาณได้ใกล้เคียงแบบปกติ แต่จะ

มีค่าส่วนเหลือสูงสุดค่าสุดท้ายที่ไกลออกไปจากแนวเส้นตรงและค่าส่วนเหลืออื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นการกระจายของค่าส่วนเหลือบางค่าที่มีค่าแตกต่างออกไปมาก (outliers) จากค่าส่วนเหลืออื่นๆ

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝน

นำดินจากพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ซึ่งสภาพดินเพาะปลูกเป็นดินเหนียวปนทราย เข้าเครื่องอบตั้งค่าด้วยอุณหภูมิเป็น 15 28.5 และ 42 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างดินเก็บลงกล่องโฟม ปิดให้สนิท และนำมาทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการซึมผ่านน้ำของดิน ด้วยการทดสอบความดันคงที่จากอัตราปริมาณการซึมผ่านน้ำของดิน โดยกำหนดให้ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำแตกต่างกันเป็น 4 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียวปนทราย พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูฝน

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2	สัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน (ซม./วินาที)x 10^{-5}
1	42	8	1	1	9.48
2	15	8	-1	1	9.61
3	15	4	-1	-1	10.00
4	42	4	1	-1	10.65
5	42	6	1	0	10.39
6	28.5	8	0	-1	5.59
7	15	6	-1	0	10.13
8	28.5	4	0	1	6.24
9	28.5	6	0	0	5.98

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.4 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน จากดินพื้นที่เพาะปลูกที่อุณหภูมิดิน กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่ต่างกัน วิเคราะห์ทดลองวิธีพื้นผิวตอบสนองออกแบบด้วยวิธี FCCD โดยผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูฝน

ตัวพยากรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ ($x10^{-5}$)	SE ค่าสัมประสิทธิ์ ($x10^{-5}$)	ค่าสถิติ T	P
ค่าคงที่	21.8487	0.803496	27.192	0.000*
อุณหภูมิดิน	-1.2314	0.027191	-45.288	0.000*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	0.7367	0.239426	3.077	0.054
อุณหภูมิดิน^2	0.0225	0.000423	53.256	0.000*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2	-0.0596	0.019278	-3.091	0.054
อุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	-0.0072	0.002020	-3.576	0.037*
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าข้อมูลจริงรอบสมการถดถอย (S) = 0.1091 $x10^{-5}$	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) = 99.9%		ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-Sq(adj) = 99.7%	

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยของตัวพยากรณ์อุณหภูมิดิน ตัวพยากรณ์อุณหภูมิดิน^2 และตัวพยากรณ์อุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ คงอยู่ในสมการถดถอยพยากรณ์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ที่แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน ในพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝน เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะห่างของค่าข้อมูลจริงที่แสดงด้วยจุดรอบเส้นสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนอง (S) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.1091 $x10^{-5}$ และค่า R^2 แสดงค่าให้เห็นว่าตัวพยากรณ์ในสมการทั้ง 2 อธิบายสมการการถดถอยให้กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เพาะปลูกได้สูงถึง 99.9% ขณะที่ค่า R^2(adj) ให้ค่าเท่ากับ 99.7%

จากนั้นทำการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ในองค์ประกอบสมการถดถอยประกอบด้วย สัมประสิทธิ์รูปแบบเชิงส้น รูปแบบกำลังสอง รูปแบบของปฏิสัมพันธ์ และดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองการซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูฝน

Source	DF	Seq SS ($x10^{-5}$)	Adj SS ($x10^{-5}$)	Adj MS ($x10^{-5}$)	F	P
Regression	5	34.9105	34.9105	6.9821	587.10	0.000*
Linear	2	0.9154	25.1481	12.5740	1057.30	0.000*
Square	2	33.8430	33.8430	16.9215	1422.86	0.000*
Interaction	1	0.1521	0.1521	0.1521	12.79	0.037*
Residual Error	3	0.0357	0.0357	0.0119		
Total	8	34.9462				

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยเชิงเส้นของตัวแปรพยากรณ์ในองค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองคือ สัมประสิทธิ์รูปแบบเชิงส้น รูปแบบกำลังสอง และรูปแบบปฏิสัมพันธ์ เนื่องจากตัวแปรพยากรณ์อุณหภูมิของดิน กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูฝน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนองมีส่วนประกอบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนโค้ง (Square) และส่วนประกอบของสัมประสิทธิ์ความมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ (interaction) รวมอยู่ด้วย

จากผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองการทดลองแบบ FCCD เพื่อพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินในพื้นที่นาซึ่งเป็นดินเพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูฝน ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยดังตารางที่ 4.6 แสดงเป็นรูปแบบสมการถดถอยได้ ดังนี้

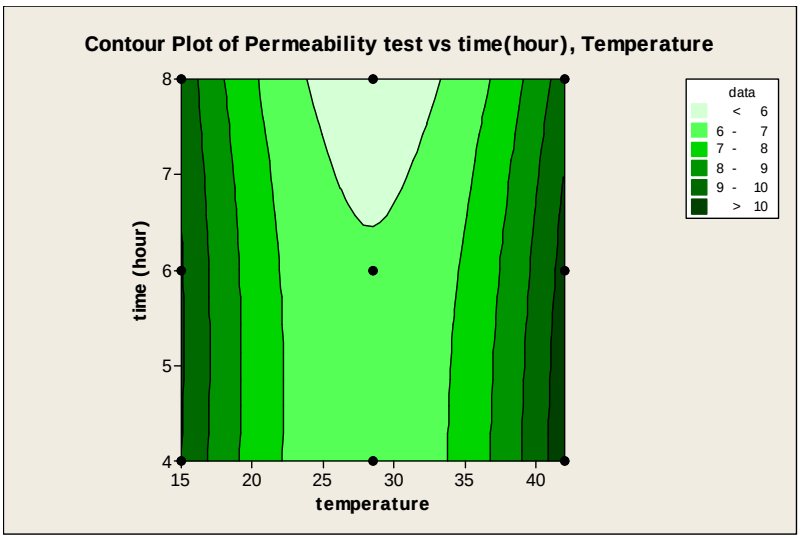
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = 21.8487 - 1.2314 x อุณหภูมิดิน + 0.7367 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
+ 0.0225 x อุณหภูมิดิน^2 - 0.0596 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
- 0.0072 x อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ (4.2)

และค่าการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูฝน จากสมการ (4.2) ได้ค่าดังนี้

ค่าที่	ค่าพยากรณ์ (x10^{-5})	SE Fit (x10^{-5})	95% ช่วงค่าเฉลี่ยของ y_i (x10^{-5})	95%ช่วงค่าพยากรณ์ (x10^{-5})
1	5.4889	0.0812834	(5.2302, 5.7476)	(5.0560, 5.9217)
2	10.0722	0.0812834	(9.8135, 10.3309)	(9.6394, 10.5051)
3	10.0072	0.0978782	(9.6957, 10.3187)	(9.5409, 10.4736)
4	9.6606	0.0978782	(9.3491, 9.9720)	(9.1942, 10.1269)
5	10.6572	0.0978782	(10.3457, 10.9687)	(10.1909, 11.1236)
6	10.3322	0.0812834	(10.0735, 10.5909)	(9.8994, 10.7651)
7	6.2256	0.0812834	(5.9669, 6.4842)	(5.7927, 6.6584)
8	6.0956	0.0812834	(5.8369, 6.3542)	(5.6627, 6.5284)
9	9.5306	0.0978782	(9.2191, 9.8420)	(9.0642, 9.9969)

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง แสดงกราฟค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณของสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน้ำของดิน และกราฟพื้นผิวตอบสนอง ดังภาพที่ 4.4 - 4.6

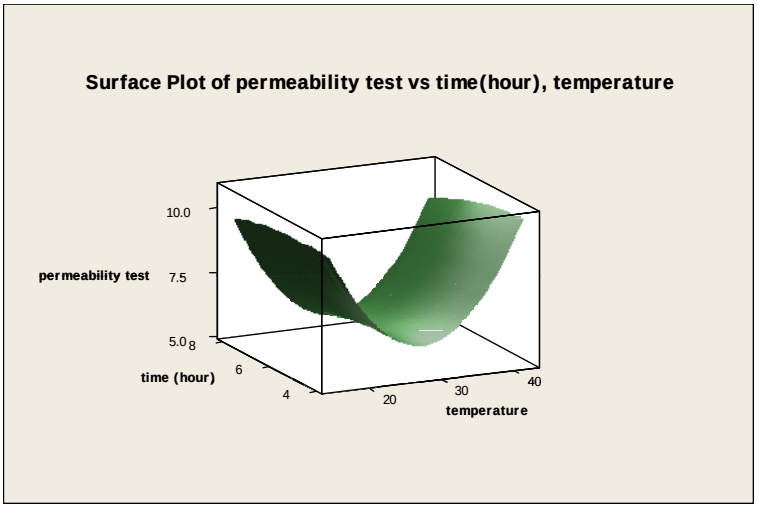
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
NAKHON SAWAN RAJABHAT UNIVERSITY



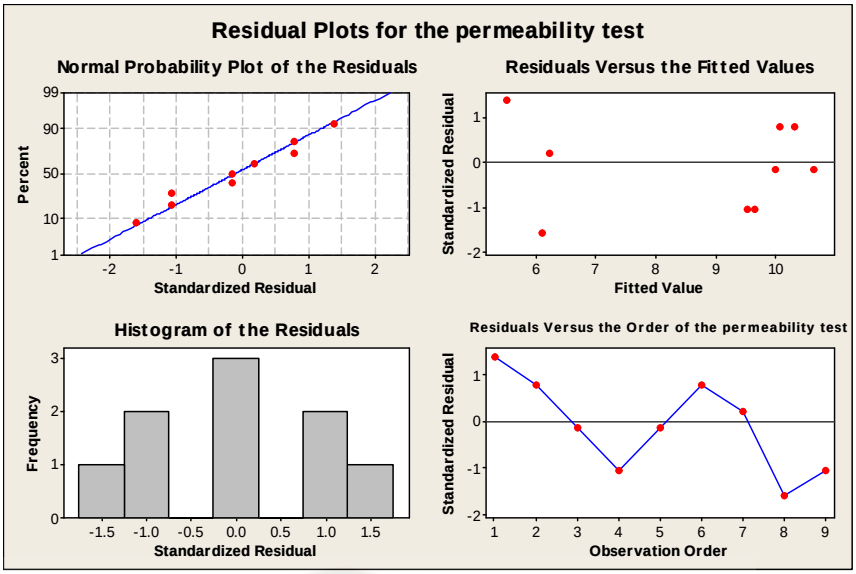
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน ในพื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูฝน

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูฝน มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินที่มีค่าต่ำและสูง ในระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่เวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำผ่านดินน้อย หรือไม่มีผลเลยก็ว่าได้

ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมาก สัมพันธ์กับอุณหภูมิของดินที่ต่ำลง (15 องศาเซลเซียส) และมีอุณหภูมิดินสูงขึ้น (42 องศาเซลเซียส) สัมพันธ์กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะอยู่ที่ช่วงระยะเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิของดิน 15 องศาเซลเซียส วัดร่วมกับระยะเวลาการอิ่มน้ำของดินจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินต่ำ และหากใช้ร่วมกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำของดินที่นานกว่า 6 ชั่วโมง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินต่ำลงมากที่สุด ซึ่งนอกจากนี้ยังอธิบายได้ด้วยภาพพื้นผิวตอบสนองที่แสดงถึงพื้นที่ผิวส่วนโค้ง ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูฝน



ภาพที่ 4.6 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์การวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูฝน

ภาพที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (residual) ที่เกิดจากสมการถดถอยการเคราะห์พื้นผิวตอบสนองได้โดยจากกราฟแสดงความน่าจะเป็นปกติของส่วนเหลือ (normal probability plot of residual) พบว่า กราฟค่าส่วนเหลือแสดงได้เป็นแนวเส้นตรง ซึ่งเป็นประมาณได้ใกล้เคียงแบบปกติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.2 ผลการศึกษาการซึมผ่านน้ำลงดิน ในฤดูแล้ง

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่ทำนาในฤดูแล้ง

นำตัวอย่างดินจากพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ซึ่งเป็นดินเหนียว มาอบด้วยค่าอุณหภูมิของฤดูแล้ง ที่อุณหภูมิ 8 25.5 และ 43 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างดินเก็บลงกล่องโฟม ปิดกล่องให้สนิท และนำมาทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการซึมผ่านน้ำของดินด้วยการทดสอบความดันคงที่ ด้วยอัตราปริมาณการซึมผ่านน้ำของดิน โดยกำหนดให้ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำที่เวลาแตกต่างกันเป็น 12 15 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียว พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2	สัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน (ซม./วินาที) $\times 10^{-5}$
1	43	18	1	1	1.95
2	8	18	-1	1	0.84
3	8	12	-1	-1	2.08
4	43	12	1	-1	2.53
5	43	15	1	0	2.34
6	25.5	18	0	1	0.91
7	8	15	-1	0	1.56
8	25.5	12	0	-1	1.95
9	25.5	15	0	0	1.69

จากตารางที่ 4.7 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองออกแบบด้วยวิธี FCCD เพื่อหาความสัมพันธ์กับ ค่าอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยผลการวิเคราะห์แสดงได้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง

ตัวพยากรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ ($\times 10^{-5}$)	SE ค่าสัมประสิทธิ์ ($\times 10^{-5}$)	ค่าสถิติ T	P
ค่าคงที่	1.58128	1.33651	1.183	0.322
อุณหภูมิดิน	-0.08592	0.01405	-6.115	0.009*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	0.27208	0.17872	1.522	0.225
อุณหภูมิดิน^2	0.00120	0.00017	6.886	0.006*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2	-0.01704	0.00592	-2.880	0.064
อุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	0.00314	0.00072	4.382	0.022*
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าข้อมูลจริงรอบสมการถดถอย (S) = 0.07530×10^{-5}	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) = 99.4%		ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-Sq(adj) = 98.3%	

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยอุณหภูมิดิน ตัวถดถอยอุณหภูมิดิน^2 และตัวถดถอยอุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ มีค่านัยสำคัญทางสถิติ อยู่ในสมการถดถอยพยากรณ์วิธีพื้นผิวตอบสนองที่แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินของดินเหนียวในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะห่างของค่าข้อมูลจริงที่แสดงด้วยจุดรอบเส้นสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนอง (S) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.0753×10^{-5} และค่า R^2 แสดงค่าให้เห็น

ว่าตัวพยากรณ์ที่ประกอบในสมการถดถอย อธิบายสมการการถดถอยได้สูงถึง 99.4% ขณะที่ค่า R^2(adj) ให้ค่าเท่ากับ 98.3%

จากนั้นทำการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยพยากรณ์ในองค์ประกอบสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนองประกอบด้วย สัมประสิทธิ์รูปแบบเชิงส้น รูปแบบกำลังสอง รูปแบบของปฏิสัมพันธ์ และดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองการซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้งในฤดูแล้ง

Source	DF	Seq SS ($x10^{-5}$)	Adj SS ($x10^{-5}$)	Adj MS ($x10^{-5}$)	F	P
Regression	5	2.70068	2.700678	0.540136	95.26	0.002*
Linear	2	2.27587	0.234865	0.117433	20.71	0.018*
Square	2	0.31591	0.315911	0.157956	27.86	0.012*
Interaction	1	0.10890	0.108900	0.108900	19.21	0.022*
Residual Error	3	0.01701	0.017011	0.005670		
Total	8	2.71769				

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.9 พบว่าการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยเชิงเส้นของตัวแปรพยากรณ์ในองค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองคือ สัมประสิทธิ์รูปแบบเชิงส้น รูปแบบกำลังสอง และรูปแบบปฏิสัมพันธ์ เนื่องจากตัวแปรพยากรณ์อุณหภูมิของดิน กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนองมีส่วนประกอบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนโค้ง (Square) และส่วนประกอบของสัมประสิทธิ์ความมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ (interaction) รวมอยู่ด้วย

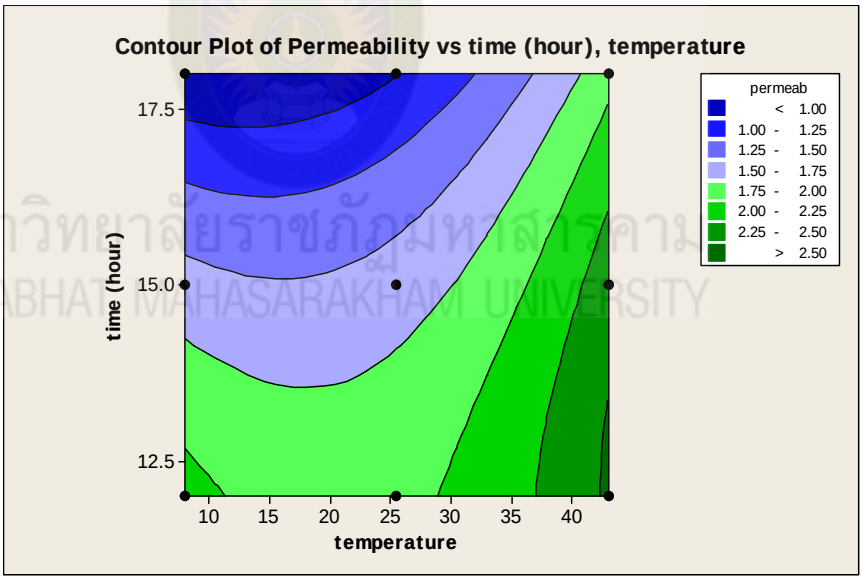
จากผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองการทดลองแบบ FCCD เพื่อพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยดังตารางที่ 4.9 แสดงเป็นรูปแบบสมการถดถอยได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = 1.58128 - 0.08592 x อุณหภูมิดิน + 0.27208 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
+ 0.00120 x อุณหภูมิดิน^2 - 0.01704 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
+ 0.00314 x อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ (4.3)

ค่าการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง จากสมการ (4.3) ได้ค่าดังต่อไปนี้

ค่าที่	ค่าพยากรณ์ (x10^{-5})	SE Fit (x10^{-5})	95% ช่วงค่าเฉลี่ยของ y_i (x10^{-5})	95%ช่วงค่าพยากรณ์ (x10^{-5})
1	2.08389	0.0675855	(1.86880, 2.29898)	(1.76188, 2.40590)
2	1.59556	0.0561267	(1.41694, 1.77418)	(1.29667, 1.89444)
3	1.94222	0.0561267	(1.76360, 2.12084)	(1.64333, 2.24111)
4	1.61889	0.0561267	(1.44027, 1.79751)	(1.32000, 1.91778)
5	0.80056	0.0675855	(0.58547, 1.01564)	(0.47854, 1.12257)
6	1.91056	0.0675855	(1.69547, 2.12564)	(1.58854, 2.23257)
7	2.53389	0.0675855	(2.31880, 2.74898)	(2.21188, 2.85590)
8	0.98889	0.0561267	(0.81027, 1.16751)	(0.69000, 1.28778)
9	2.37556	0.0561267	(2.19694, 2.55418)	(2.07667, 2.67444)

จากสมการถดถอยผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง แสดงกราฟค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน และกราฟพื้นผิวตอบสนอง เนื่องจากตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังภาพที่ 4.7 – 4.9

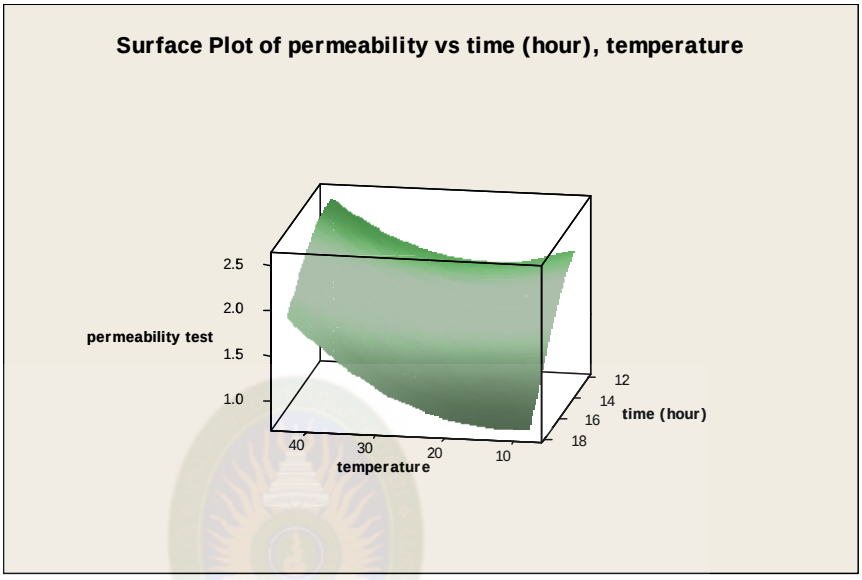


ภาพที่ 4.7 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนาช่วงฤดูแล้ง

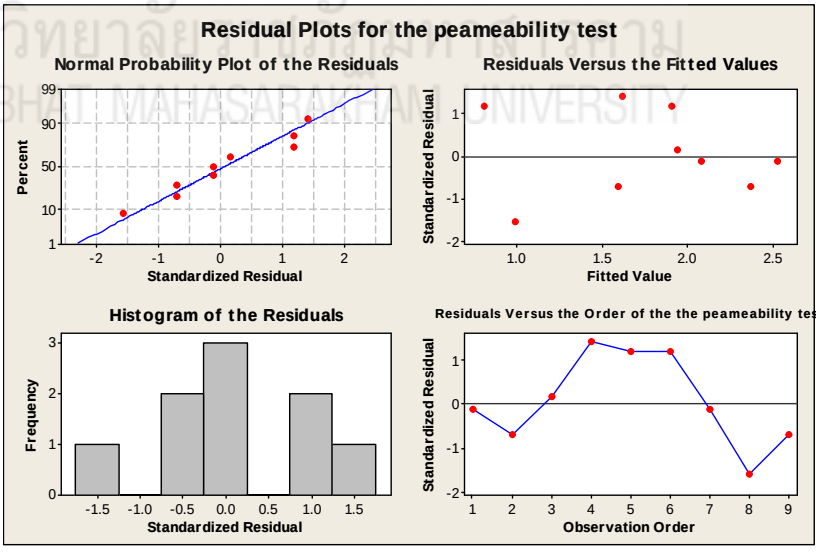
จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ช่วงฤดูแล้ง มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินมีค่าสูง ในระยะเวลาน้ำอิ่มตัวที่เวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้น ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของน้อย หรือไม่มีผลเลยก็ว่าได้

ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำผ่านของมาก สัมพันธ์กับอุณหภูมิของดินที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น (43 องศาเซลเซียส) สัมพันธ์กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะอยู่ที่ช่วงระยะเวลา

12 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิของดินที่ที่อบให้มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 25.5 องศาเซลเซียส วัดร่วมกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำของดินเท่ากับหรือมากกว่า 15 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินต่ำลง ซึ่งนอกจากนี้ยังอธิบายได้ด้วยภาพพื้นผิวตอบสนองที่แสดงถึงพื้นที่ผิวส่วนโค้ง ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนา ช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 4.9 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่ทำนาช่วงฤดูแล้ง

ภาพที่ 4.9 แสดงการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (residual) ที่เกิดจากสมการถดถอยการเคราะห์พื้นผิวตอบสนองได้โดยจากกราฟแสดงความน่าจะเป็นปกติของส่วนเหลือ (normal probability plot of residual) พบว่ากราฟค่าส่วนเหลือแสดงได้เป็นแนวเส้นตรง ซึ่งเป็นประมาณได้ใกล้เคียงแบบปกติ

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ในฤดูแล้ง

นำตัวอย่างดินจากพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ซึ่งเป็นดินเหนียวปนทราย มาเข้าตู้อบตั้งค่าอุณหภูมิเป็น 8 25.5 และ 43 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง นำตัวอย่างดินที่อบแล้วเก็บลงกล่องโฟม ปิดกล่องให้สนิท นำมาทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์อัตราการซึมผ่านน้ำของดินด้วยการทดสอบความดันคงที่ จากอัตราปริมาณการซึมน้ำผ่านดินโดยกำหนดให้ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำแตกต่างกันเป็น 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียวปนทราย พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูแล้ง

ลำดับ	ค่าอุณหภูมิ (เซลเซียส) : x_1	ระยะเวลาที่น้ำอิ่มตัว (ชั่วโมง) : x_2	ค่าดัชนีของ x_1	ค่าดัชนีของ x_2	สัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน (ซม./วินาที)x 10^{-5}
1	43	8	1	1	15.07
2	8	8	-1	1	12.73
3	8	4	-1	-1	13.12
4	43	4	1	-1	15.85
5	43	6	1	0	15.59
6	25.5	8	0	1	10.65
7	8	6	-1	0	12.86
8	25.5	4	0	-1	11.43
9	25.5	6	0	0	11.69

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.10 นำค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินถูกมาวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองออกแบบด้วยวิธี FCCD เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าประมาณสัมประสิทธิ์ถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง

ตัวพยากรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ ($x10^{-5}$)	SE ค่าสัมประสิทธิ์ ($x10^{-5}$)	ค่าสถิติ T	P
ค่าคงที่	14.1816	1.66180	8.534	0.003*
อุณหภูมิดิน	-0.3997	0.03759	-10.634	0.002*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	0.6235	0.55096	1.132	0.340
อุณหภูมิดิน^2	0.0096	0.00059	16.353	0.000*
ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2	-0.0596	0.04505	-1.323	0.278
อุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ	-0.0028	0.00364	-0.765	0.500
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าข้อมูลจริงรอบสมการถดถอย (S) = 0.2548 $x10^{-5}$	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Sq) = 99.3%		ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า R-Sq(adj) = 98.2%	

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.11 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยอุณหภูมิดิน และตัวถดถอยอุณหภูมิดิน^2 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 จึงอยู่ในสมการถดถอยพยากรณ์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูแล้ง เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะห่างของค่าข้อมูลจริงที่แสดงด้วยจุดรอบเส้นสมการถดถอยพื้นผิวตอบสนอง (S) มีค่าเท่ากับ 0.2548 $x10^{-5}$ และค่า R^2 แสดงค่าให้เห็นว่าตัวพยากรณ์อุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ อธิบายสมการการถดถอยให้กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินของดิน ในพื้นที่เพาะปลูก ได้สูงถึง 99.3% ขณะที่ค่า R^2(adj) ให้ค่าเท่ากับ 98.2%

จากนั้นทำการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยในองค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสอง ประกอบด้วย สัมประสิทธิ์รูปแบบเชิงส้น รูปแบบกำลังสอง รูปแบบของปฏิสัมพันธ์ และดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงการทดสอบสัมประสิทธิ์ตัวแปรพยากรณ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยกำลังสองการซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูแล้ง

Source	DF	Seq SS ($x10^{-5}$)	Adj SS ($x10^{-5}$)	Adj MS ($x10^{-5}$)	F	P
Regression	5	28.2911	28.2911	5.65821	87.13	0.002*
Linear	2	10.7738	7.6528	3.82638	58.92	0.004*
Square	2	17.4793	17.4793	8.73965	134.58	0.001*
Interaction	1	0.0380	0.0380	0.03802	0.59	0.500
Residual Error	3	0.1948	0.1948	0.06494		
Total	8	28.4859				

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.12 พบว่า การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ตัวถดถอยของตัวแปรพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์รูปแบบเชิงส้น และรูปแบบกำลังสอง ของตัวแปรอุณหภูมิของดิน กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งในฤดูแล้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการพื้นผิวตอบสนองมีส่วนประกอบค่าสัมประสิทธิ์ส่วนโค้ง (Square) รวมอยู่ด้วย

จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองการทดลองแบบ FCCD เพื่อพยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยดังตารางที่ 4.11 แสดงเป็นรูปแบบสมการถดถอยได้ ดังนี้

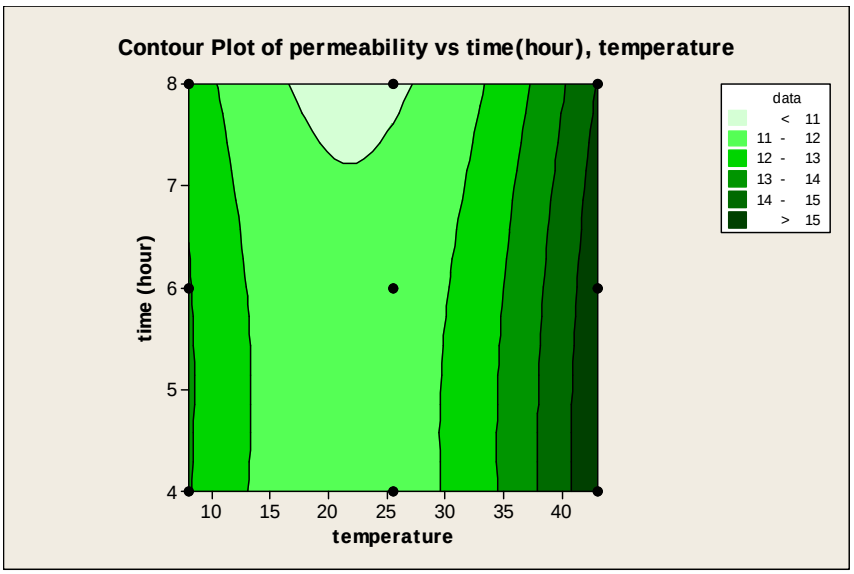
ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = 14.1816 - 0.3997xอุณหภูมิดิน + 0.6235xระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
+ 0.0096xอุณหภูมิดิน^2 - 0.0596xระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
- 0.0028xอุณหภูมิดินxระยะเวลาดินอิ่มน้ำ (4.4)

ค่าการทำนายค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง จากสมการ (4.4) ได้ค่าดังต่อไปนี้

ค่าที่	ค่าพยากรณ์ (x10^{-5})	SE Fit (x10^{-5})	95% ช่วงค่าเฉลี่ยของ y_i (x10^{-5})	95%ช่วงค่าพยากรณ์ (x10^{-5})
1	15.6622	0.189941	(15.0577, 16.2667)	(14.6507, 16.6737)
2	12.5964	0.228720	(11.8685, 13.3243)	(11.5067, 13.6861)
3	13.0514	0.228720	(12.3235, 13.7793)	(11.9617, 14.1411)
4	11.4156	0.189941	(10.8111, 12.0200)	(10.4041, 12.4270)
5	13.0622	0.189941	(12.4577, 13.6667)	(12.0507, 14.0737)
6	15.8464	0.228720	(15.1185, 16.5743)	(14.7567, 16.9361)
7	10.8522	0.189941	(10.2477, 11.4567)	(9.8407, 11.8637)
8	11.5022	0.189941	(10.8977, 12.1067)	(10.4907, 12.5137)
9	15.0014	0.228720	(14.2735, 15.7293)	(13.9117, 16.0911)

จากผลสมการถดถอยผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง แสดงกราฟค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน และกราฟพื้นผิวตอบสนองเนื่องจากตัวแปรอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังภาพที่ 4.10 – 4.12

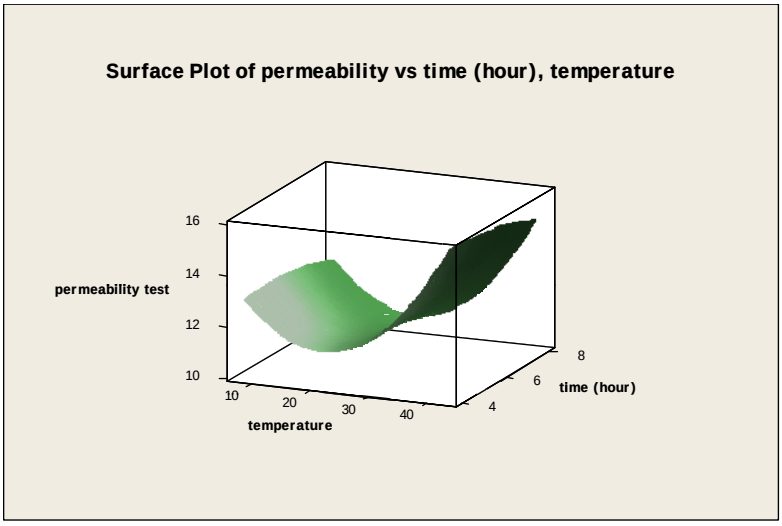
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



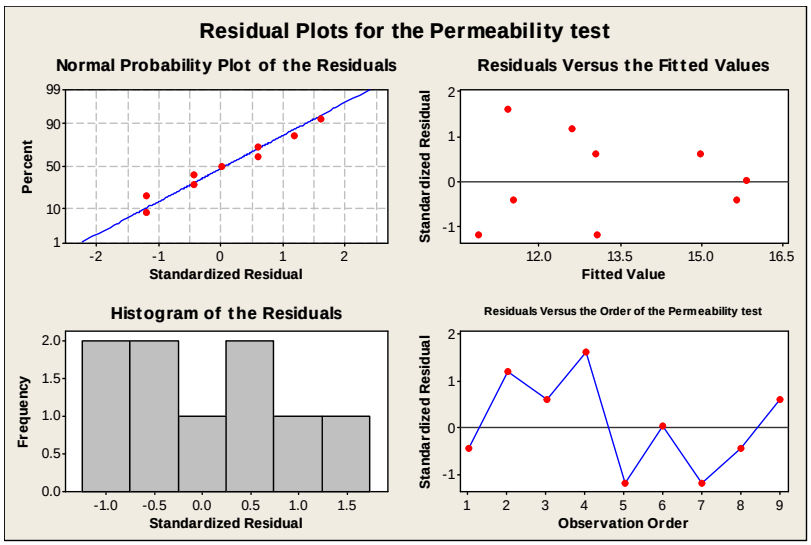
ภาพที่ 4.10 แสดงค่าเส้นแบ่งระดับปริมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง

จากภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำลงดินในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในช่วงฤดูแล้ง มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของดินมีค่าสูง ในระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ที่เวลา 4-6 ชั่วโมง หลังจากนั้นระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำผ่านดินน้อยหรือไม่มีผลเลย

ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมาก สัมพันธ์กับอุณหภูมิของดินที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น (43 องศาเซลเซียส) และสัมพันธ์กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะอยู่ที่ช่วงระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิของดิน ให้มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 25.5 องศาเซลเซียส วัดร่วมกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 6 ชั่วโมง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินต่ำลง ซึ่งนอกจากนี้ยังอธิบายได้ด้วยภาพพื้นผิวตอบสนองที่แสดงถึงพื้นที่ผิวส่วนโค้ง ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงพื้นผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้งช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 4.12 แสดงกราฟการตรวจสอบการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสมการพยากรณ์การวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูกช่วงฤดูแล้ง

ภาพที่ 4.12 แสดงการวิเคราะห์ส่วนเหลือ (residual) ที่เกิดจากสมการถดถอยการเคราะห์พื้นผิวตอบสนองได้โดยจากกราฟแสดงความน่าจะเป็นปกติของส่วนเหลือ (normal probability plot of residual) พบว่ากราฟค่าส่วนเหลือแสดงได้เป็นแนวเส้นตรง ซึ่งเป็นประมาณได้ใกล้เคียงแบบปกติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัย เรื่อง การศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่เกษตรกรรมลุ่มแม่น้ำชีตอนกลาง จังหวัดมหาสารคาม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ก็เพื่อเพื่อทำการศึกษาและจำแนกชนิดของดิน และวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนกลางของตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม และวิเคราะห์รูปแบบวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินด้วยตัวแปรพยากรณ์อุณหภูมิของดินในฤดูกาล และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ บริเวณพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก ในฤดูฝน และฤดูแล้ง

การวิเคราะห์การวัดสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ทำการศึกษาเนื่องจากตัวแปรพยากรณ์คือค่าอุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (ชั่วโมง) ของพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูกของบ้านเกิ้ง ในช่วงฤดูฝน (ช่วงตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึงเดือน ตุลาคม) และนอกช่วงฤดูฝน หรือฤดูแล้ง (เดือน พฤศจิกายน ถึงเดือน เมษายน) ซึ่งรวบรวมในช่วง 12 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2548 – พ.ศ. 2559 จากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอโกสุมพิสัยจังหวัดมหาสารคาม โดยกำหนดค่าวัดของตัวแปรพยากรณ์อุณหภูมิของดิน และระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนี้

การวิจัยในช่วงฤดูฝน พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้งลักษณะเป็นดินเหนียว อุณหภูมิของดินที่กำหนดใช้ในการทดลอง คือ 15 28.5 และ 42 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำกำหนดเป็น 12 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ในพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง เป็นลักษณะเป็นดินเหนียวปนทราย อุณหภูมิของดินที่กำหนดใช้ในการทดลองเช่นเดียวกับดินตัวอย่างในพื้นที่ทำนา แต่ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำกำหนดเป็น 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

การวิจัยในช่วงฤดูแล้ง พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง ลักษณะเป็นดินเหนียว อุณหภูมิของดินที่กำหนดใช้ในการทดลอง คือ 8 25.5 และ 43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็น 12 16 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ ในพื้นพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ลักษณะเป็นดินเหนียวปนทราย อุณหภูมิของดินที่กำหนดใช้ในการทดลองเช่นเดียวกันกับดินพื้นที่ทำนา แต่ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำกำหนดเป็น 4 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

ซึ่งจากที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยแล้ว ซึ่งได้สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการการวิจัย

5.1.1 การวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองในฤดูฝน

5.1.1.1 พื้นที่ทำนา ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งพื้นที่ทำนาเป็นดินเหนียว การซึมน้ำผ่านดินจึงใช้เวลานานจึงได้กำหนดการทดลองเพื่อให้น้ำอิ่มตัวในดินระยะเวลา 12 15 และ 18 ชั่วโมงตามลำดับ และกำหนดอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของดินในช่วงฤดูฝนที่วัดในพื้นที่อำเภอเมืองมหาสารคาม จากนั้นจึงวัดอัตราการซึมผ่านน้ำของดิน เมื่อนำมาวิเคราะห์หา

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $1.04x10^{-5}$ – $7.28x10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมีค่ามากที่อุณหภูมิของดินที่สูง หรือมีความร้อนและกับการอิ่มน้ำของดินในช่วงเริ่มต้น (12 ชั่วโมง) และเมื่อปล่อยให้ระยะเวลาน้ำอิ่มในดินเพิ่มมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินก็ค่อยๆ ลดต่ำลง

ส่วนในดินที่มีความเย็น (ดินที่อบในอุณหภูมิต่ำ) เช่น 28.5 หรือ 15 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพบว่าให้ค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าดินที่มีความร้อนพอสมควร แต่ถึงกระนั้นการซึมผ่านน้ำของดิน ที่พื้นดินเย็นก็จะพบว่าให้ค่าสูงในระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ในดินระยะเริ่มต้นที่ทำการทดลอง (12 ชั่วโมง)

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ออกแบบการทดลองแบบ FCCD ได้สมการถดถอยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน สัมพันธ์กับตัวแปรพยากรณ์ ดินที่มีอุณหภูมิต่างกันกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ด้วยสมการพื้นผิวตอบสนอง เป็นดังนี้

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน = - 6.65957 + 0.38510 อุณหภูมิดิน + 0.42685 ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
- 0.00211 อุณหภูมิดิน^2 - 0.01333 ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
- 0.00346 อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ

5.1.1.2 พื้นที่ทำการเพาะปลูก ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งพื้นที่เป็นดินเหนียวปนดินทราย การซึมน้ำผ่านดินจึงใช้เวลาไม่นานเท่ากับระยะเวลาของน้ำอิ่มตัวในดินเหนียว จึงกำหนดการทดลองระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็น 4 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ ศึกษาร่วมกับตัวแปรอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของดินในช่วงฤดูฝน ในพื้นที่อำเภอเมืองมหาสารคาม เมื่อวัดอัตราการซึมผ่านน้ำของดินได้แล้ว นำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $5.59x10^{-5}$ – $10.65x10^{-5}$ เซนติเมตร/วินาที โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินในพื้นที่เพาะปลูก มีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินของพื้นที่ปลูกข้าว ซึ่งเป็นดินเหนียว และซึ่งพื้นที่เพาะปลูก ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินก็ยังคงพบว่ามีค่ามากที่อุณหภูมิของดินที่สูง และที่ดินมีอุณหภูมิต่ำบ้าง โดยสัมพันธ์กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำของดินในเวลาที่ 4 และ 6 ชั่วโมง และเมื่อปล่อยให้ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในดินเพิ่มมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินลดต่ำลง

ส่วนในดินที่อุณหภูมิ 28.5 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินให้ค่าต่ำกว่าในดินที่มีอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำ แต่ถึงกระนั้นการซึมผ่านน้ำของดินที่พื้นที่อุณหภูมิ 28.5 องศาเซลเซียส ก็จะพบว่าให้ค่าสูงในระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในดินระยะเริ่มต้นที่ทำการทดลอง (4 ชั่วโมง)

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ออกแบบการทดลองแบบ FCCD ได้สมการถดถอยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน สัมพันธ์กับตัวแปรพยากรณ์ ดินที่มีอุณหภูมิต่างกันกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นดังนี้

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = 21.8487 - 1.2314 อุณหภูมิดิน + 0.7367 ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
0.0225 อุณหภูมิดิน^2 - 0.0596 ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
-0.0072 อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ

5.1.2 ผลการวัดสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดิน และการวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองในฤดูแล้ง

น้ำผ่านดินจึงใช้เวลานานจึงได้กำหนดการทดลองระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นเวลา 12 15 และ 18 ชั่วโมงตามลำดับ ขณะเดียวกันอุณหภูมิในช่วงฤดูแล้งที่วัดได้ในพื้นที่อำเภอเมืองมหาสารคาม ก็จะให้ค่าต่ำ และสูงกว่าอุณหภูมิในช่วงฤดูฝน (8 – 43 องศาเซลเซียส) เมื่อทำการวัดอัตราการซึมผ่านน้ำของดิน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง .84x10^{-5} – 2.53x10^{-5} เซนติเมตร/วินาที โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมีค่ามากที่อุณหภูมิของดินที่สูง (ดินมีความร้อน) และกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ในช่วงเริ่มต้น (12 ชั่วโมง) และเมื่อปล่อยให้ระยะเวลาน้ำอิ่มในดินเพิ่มมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านดินก็ค่อยๆ ลดต่ำลง

ส่วนในดินที่มีความเย็นลง (ดินที่มีอุณหภูมิต่ำ) เช่น 15 หรือ 28.5 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพบว่าให้ค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าดินที่มีอุณหภูมิสูง แต่ถึงกระนั้นการซึมผ่านน้ำของดินที่พื้นดินเย็นลงก็จะพบว่าให้ค่าสูงในระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำระยะเริ่มต้นที่ทำการทดลอง (12 ชั่วโมง)

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ออกแบบการทดลองแบบ FCCD ได้สมการถดถอยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน สัมพันธ์กับตัวแปรพยากรณ์ ดินที่มีอุณหภูมิต่างกันกับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = 1.58128 - 0.08592xอุณหภูมิดิน + 0.27208 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
+ 0.00120 x อุณหภูมิดิน^2 - 0.01704 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
+ 0.00314 x อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ

5.1.2.1 พื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งพื้นที่เป็นดินเหนียวปนทราย การซึมน้ำผ่านดินจึงใช้เวลาน้อยกว่าระยะเวลาของน้ำอิ่มตัวในดินเหนียว การกำหนดการทดลองระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นเวลา 4 6 และ 8 ชั่วโมงตามลำดับ ศึกษาร่วมกับตัวแปรอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดของดินของช่วงฤดูแล้งคือ 8 – 43 องศาเซลเซียส เมื่อวัดอัตราการซึมผ่านน้ำของดินได้แล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพื้นที่เพาะปลูกของตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้ง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 10.65x10^{-5} – 15.85x10^{-5} เซนติเมตร/วินาที โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมีในพื้นที่เพาะปลูก ในช่วงฤดูแล้งมีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมากที่สุด และมากกว่าของพื้นที่ปลูกข้าว ซึ่งเป็นดินเหนียว ในฤดูแล้งอีกด้วย ซึ่งพื้นที่เพาะปลูก สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินพบว่ามีค่ามากสุดทั้งที่อุณหภูมิของดินที่สูง และที่ดินมี

อุณหภูมิต่ำ โดยสัมพันธ์กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำในเวลาที่ 4 และ 6 ชั่วโมง และเมื่อปล่อยให้ระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำเพิ่มมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านดินลดต่ำลง

ส่วนในดินที่อุณหภูมิ 28.5 องศาเซลเซียส ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินให้ค่าต่ำกว่าในดินที่มีอุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำ แต่ถึงกระนั้นการซึมผ่านน้ำของดินที่พื้นที่อุณหภูมิ 28.5 องศาเซลเซียส ก็จะพบว่าให้ค่าสูงในระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำระยะเริ่มต้นที่ทำการทดลอง (4 ชั่วโมง)

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ออกแบบการทดลองแบบ FCCD ได้สมการถดถอยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน สัมพันธ์กับตัวแปรพยากรณ์ ดินที่มีอุณหภูมิต่างกัน กับระยะเวลาสภาพดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดิน = 14.1816 - 0.3997 x อุณหภูมิดิน + 0.6235 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ
+ 0.0096 x อุณหภูมิดิน^2 - 0.0596 x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ^2
- 0.0028 x อุณหภูมิดิน x ระยะเวลาดินอิ่มน้ำ

5.2 การอภิปรายผล

5.2.1 ชนิดของดินบ้านเกิ้ง ตำบลเกิ้งลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำ โดยมีแม่น้ำชีไหลผ่านทำให้พื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การทำการเกษตรทั้งในและนอกฤดูกาลตำบลเกิ้งโดยพื้นมีพื้นที่ทั้งหมด 11,983 ไร่ เป็นพื้นที่ทำการเกษตร 9,037.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 75.42 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ทำการเกษตรของตำบลเกิ้ง จำแนกเป็น พื้นที่นาข้าว 7,252 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 80.25 ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่ไม้ผล 1,566 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.33 ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่อื่นๆ เช่น พื้นที่ปลูกไม้ดอกไม้ประดับ 19.25 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.21 ของพื้นที่ทำการเกษตร เป็นต้น (ภูมิปัญญาในการจัดการน้ำ : กรณีศึกษาลุ่มน้ำชีตอนกลาง (บ้านเกิ้ง)) ในส่วนพื้นที่ทำนาปลูกข้าวสภาพดินเป็นดินเหนียว ซึ่งจากผลการวิจัยพื้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินในพื้นที่นาของบ้านเกิ้ง ในช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 1.04×10^{-5} – 7.28×10^{-5} เซนติเมตร/วินาที และในฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ $.84 \times 10^{-5}$ – 2.53×10^{-5} เซนติเมตร/วินาที ซึ่งหากเทียบกับสมบัติค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินเหนียวที่วัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านดินโดยวิธี constant head หรือ consolidometer ซึ่งให้ค่าอยู่ที่ช่วง 10^{-4} – 10^{-9} เซนติเมตร/วินาที (สุกิจ นามพิชญ์, 2549) ส่วนพื้นที่เพาะปลูกอัตราการซึมของน้ำผ่านดินจะทำได้ดีกว่าเนื่องจากเป็นดินที่มีความเหนียวที่ปนกับดินร่วนขนาดเม็ดดินขนาดใหญ่กว่าการซึมผ่านน้ำของดินทำได้มากกว่า ซึ่งจากผลการวิจัยได้ค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของดินในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 5.59×10^{-5} – 10.65×10^{-5} เซนติเมตร/วินาที และในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 10.65×10^{-5} – 15.85×10^{-5} เซนติเมตร/วินาที ซึ่งอธิบายได้สอดคล้องกับสมบัติของดินโดย สมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ความหยาบละเอียด โครงสร้าง รูพรุน ความลึกสมรรถนะในการอุ้มน้ำของดิน เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับแรก ที่มีบทบาทต่ออัตราการซึมน้ำผ่านผิวดิน โดยดินที่มีความหยาบ เช่น ดินทราย น้ำสามารถซึมผ่านได้เร็วกว่าดินละเอียดหรือดินเหนียว ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดช่องว่างในดินและรูพรุนของดินนั้น ดินที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ จะสามารถให้น้ำซึมผ่านดินดีกว่ารูพรุนขนาดเล็ก สำหรับความลึกของดินจะมีผลเมื่อดินตื้น ก็จะทำให้ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำเร็วขึ้น โอกาสจะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เกิดขบวนการซึมน้ำผ่านผิวดินมีน้อย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; นิพนธ์, 2542; Ward และWilliam, 1995)

ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ดินอิ่มน้ำในช่วงแรกค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินให้ค่าสูง แต่เมื่อระยะเวลาหลังจากดินอิ่มน้ำเป็นเวลานาน อัตราการซึมผ่านน้ำของดินจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ทั้งนี้เกิดขึ้นกับทั้งดินเหนียวในพื้นนา และดินเหนียวปนทรายพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ซึ่งอธิบายได้สอดคล้องกับการซึมผ่านผิวดิน เป็นขบวนการที่น้ำซึมลงสู่ดินที่ไม่อิ่มตัว ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของแรง capillary และ gravity potentials โดยในช่วงแรกอัตราการซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับแรง capillary และจะลดลง จนเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการซึมน้ำจะขึ้นอยู่กับแรง gravitational เป็นสำคัญ (ปราโมทย์, 2534; Hewlett และ Nutter,1969) ภายในหน้าตัดดินน้ำที่เคลื่อนที่ลงไปเรื่อยๆ จะทำให้ชั้นผิวดินอิ่มตัวเป็นชั้นบาง ๆ ถัดจากชั้นผิวดินลงไปดินจะเปียกมาก แต่ไม่ถึงกับอิ่มตัว ความชื้นสม่ำเสมอ เรียกชั้นดินนี้ว่าชั้นลำเลียงน้ำ(transmission zone) ถัดจากชั้นนี้ จะเป็นชั้นที่น้ำเริ่มเคลื่อนเข้าสู่ดินแห้งดั่งเดิม เรียกชั้นดินนี้ว่าชั้นดินเริ่มเปียก (wetting zone) (สุนทรี,2529) อัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินจะมีค่าสูงสุดในช่วงเริ่มต้น แล้วจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จนกระทั่งดินที่ใกล้ผิวดินอิ่มตัวด้วยน้ำ อัตราการซึมน้ำจะลดลงจนมีแนวโน้มคงที่ (พีระชัย, 2537 และUSDA Natural Resources Conservation Service. 1998.) อัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินจะมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน โดยเมื่อฝนที่ตกในลุ่มน้ำมีปริมาณและความหนักเบา สูงกว่าอัตราการซึมน้ำของดิน ก็จะทำให้มีน้ำส่วนเกินที่ไม่สามารถซึมลงดินได้ไหลบ่าไปตามหน้าผิวดินลงสู่ลำธารต่อไป (Ward และ Robinson, 1990; Black, 1996)

ผลกระทบของอุณหภูมิ จากการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินมีค่ามากเมื่ออุณหภูมิของดินมีค่าสูงทั้งพื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูกตำบลเกิ้ง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากค่าความหนืด (viscosity) และค่าความหนาแน่นของน้ำจะมีค่าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากเมื่อค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะเป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ของน้ำได้รับผลกระทบ ความหนืดของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิสูงความหนืดลดลงน้ำสามารถไหลได้ง่ายขึ้นในทางวิศวกรรมศาสตร์โยธายังได้ทำการศึกษาการการปรับแก้ค่าของผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ของน้ำ ตั้งแต่ค่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ไปถึงที่ 70 องศาเซลเซียส อีกด้วย (พูลพงษ์ พงษ์วิทยภานุ : 2551)

5.2.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพยากรณ์ด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ออกแบบการทดลอง Face Centered design :FCCD โดยกำหนดให้ ระยะทางจาก Axial point ไปถึงจุด Center point เป็น 1 ซึ่งทำให้การทดลองสอดคล้องกับค่าวัดอุณหภูมิจากค่าต่ำสูง ถึงค่าสูงสุดของบ้านเกิ้ง สมการถดถอยค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านดิน สัมพันธ์อุณหภูมิของดิน และระยะเวลาน้ำอิ่มตัวของดิน แยกออกเป็น 2 ฤดู และ 2 พื้นที่ ทำนาปลูกข้าว และพื้นที่เพาะปลูก โดยผลการศึกษารูปแบบสมการถดถอยกำลังสองมีลักษณะที่แตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบในสมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งแสดงดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงองค์ประกอบในรูปแบบสมการถดถอยวิธีพื้นผิวตอบสนองด้วยการออกแบบ FCCD ของพื้นที่ตำบลเกิ้ง ตามพื้นที่ และฤดูกาล

ฤดู	พื้นที่ศึกษา	องค์ประกอบสมการถดถอย		
		เชิงเส้น	ส่วนโค้ง	ปฏิสัมพันธ์
ฤดูฝน	พื้นที่ทำนา	*	ns.	ns
		$S = .1717x10^{-5}$	R-Sq = 99.8%	R-Sq(adj) = 99.5%
	พื้นที่เพาะปลูก	*	*	*
		$S = .1091x10^{-5}$	R-Sq = 99.9%	R-Sq(adj) = 99.7%
ฤดูแล้ง	พื้นที่ทำนา	*	*	*
		$S = .0753x10^{-5}$	R-Sq = 99.4%	R-Sq(adj) = 98.3%
	พื้นที่เพาะปลูก	*	*	ns
		$S = .2548x10^{-5}$	R-Sq = 99.3%	R-Sq(adj) = 98.2%

* มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

หากพิจารณาจากตารางที่ 5.1 สมการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินที่เป็นรูปแบบกำลังสองรูปแบบเต็มจะมีเพียงพื้นที่เพาะปลูก ในฤดูฝน และพื้นที่ทำนา ในฤดูแล้ง ซึ่งสมการถดถอยประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านดินที่เป็นเส้นโค้งได้ และนอกจากนี้แล้ว การอธิบายอิทธิพลหลักของแต่ละตัวแปรพยากรณ์ที่สัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินแล้ว ยังต้องอธิบายถึงปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรพยากรณ์อีกด้วย ซึ่งต่างจากสมการถดถอยพื้นที่เพาะปลูก ตำบลเกิ้ง ในฤดูแล้งที่ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรพยากรณ์ ไม่มีมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่เกิดความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของดินของรูปแบบการมีปฏิสัมพันธ์ตัวแปรพยากรณ์ ส่วนในพื้นที่ทำนา ฤดูฝน ของตำบลเกิ้ง สมการถดถอยของค่าสัมประสิทธิ์ของส่วนโค้ง และสัมประสิทธิ์ปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรพยากรณ์ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้ความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำผ่านลงดิน กับตัวแปรพยากรณ์ อธิบายได้เพียงรูปแบบสมการเชิงเส้นเพียงเท่านั้นเอง

ซึ่งจากผลการวิจัยโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองทำให้เกิดรูปแบบสมการถดถอยไม่เต็มรูปแบบแตกต่างกันออกไป สามารถเกิดขึ้นได้จากค่าการวัดจากตัวแปรพยากรณ์จากการวางแผนการทดลองหรือความคลาดแตกต่างกันออกไปจากการวางแผนการทดลองเช่น ช่วงเวลาทดลองที่ต่างกัน การตั้งค่าให้กับอุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น โดยเมื่อทำการทดสอบสัมประสิทธิ์ขององค์ประกอบสมการถดถอยแล้ว หากพบว่าไม่มีนัยสำคัญในรูปแบบสมการเต็ม ควรมีการวิเคราะห์สมการถดถอยนั้นอีกครั้งเพื่อให้ได้สมการที่มีความเหมาะสมมากขึ้น

การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองเพื่อใช้กับข้อมูลเพื่อปริมาณน้ำฝน หรือน้ำท่าร่วมกับตัวแปรพยากรณ์ เพื่อสนับสนุนผลการวิจัยครั้งนี้พบในงานวิจัยของ Kostic, Srdan., Stojkovic, Milan., Prohaska, Stevan. And Vasovic, Nebojsa วิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลองของอัตราการไหลแม่น้ำด้วยปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนองบนพื้นฐานของอนุกรมเวลา โดยได้นำเสนอรูปแบบของอัตราการไหลของแม่น้ำรายเดือนเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเส้นตรงอย่างง่าย

ของอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนด้วยการศึกษาด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองใช้ในการวิเคราะห์สังเกตอัตราการไหลรายเดือน 1,950-1,990 สำหรับ Great Morava ซึ่งเป็นแม่น้ำที่ใหญ่ที่สุดในประเทศเซอร์เบีย ผลที่ได้ชี้เห็นอย่างมีนัยสำคัญจากผลกระทบของประกอบ 2 ตัวที่นำมาศึกษา ทั้งจากของสมการเชิงเส้น และสมการกำลังสอง ขณะที่องค์ประกอบ 2 ที่เป็นองค์ประกอบที่เป็นปฏิสัมพันธ์กันแสดงถึงอิทธิพลที่มีขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญที่ชี้ให้เห็นการเกิดขึ้นของอัตราการไหลสูงสุด สำหรับอุณหภูมิต่ำและของปริมาณน้ำฝนที่มาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากงานดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการวิจัยที่ใช้เครื่องสถิติเรื่องการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ซึ่งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลได้จากการวัดข้อมูลจากห้องทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเมื่อนำตัวอย่างดินมาเพื่อทำการศึกษา การทดลองพบว่าจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นการวิจัย เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้ (พูลพงษ์ พงษ์วิทยภานุ, 2551)

1) ค่าความซึมได้ของน้ำผ่านมวลดินจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างภายในหรือโครงสร้างจุลภาค (microstructure) เช่น ขนาด รูปร่าง รวมถึงการจัดเรียงตัวของเม็ดดิน เป็นต้น และยังขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพภายนอกหรือโครงสร้างมหภาค (macrostructure) เช่น ลักษณะการเรียงตัวของชั้นดิน ลักษณะของรอยแตก เป็นต้น แต่อย่างไร ก็ตามข้อจำกัดของการทดสอบค่าความซึมของน้ำผ่านดิน ดินก็คือ การนำตัวอย่างดินในสนามมาทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งตัวอย่างดินที่นำมานั้นเป็นเพียงส่วนน้อยหากเทียบกับปริมาณดินพื้นที่ที่มีอยู่จริง ดังนั้นตัวแทนของตัวอย่างดินเหล่านี้อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนที่ถูกต้องของของลักษณะมวลดินในพื้นที่ได้อย่างแท้จริงทั้งหมด ดังนั้น เพื่อให้การทดสอบค่า *k* เป็นไปอย่างถูกต้องและใกล้เคียงกับธรรมชาติของดินมากที่สุดควรเลือกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบควรมีความระมัดระวังและพิจารณาตามหลักวิศวกรรมศาสตร์ให้มากที่สุด

2) ความน่าเชื่อถือผลการทดสอบให้ห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการตรวจสอบผลของการทดสอบค่า *k* ในห้องปฏิบัติการ การทดสอบด้วยวิธีการต่าง ๆ หลายวิธีการและหลายการทดสอบและนำผลการทดสอบทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันจะทำให้ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการทดสอบอาจมีความคลาดเลื่อนอื่นและแตกต่างกัน เสมอเนื่องด้วยเหตุผลหลายประการเช่น

2.1) การเกิดฟองอากาศในน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างมวลดิน

2.2) ความต่างกันของความหนาแน่นและความพรุนของตัวอย่างมวลดิน

2.3) ความต่างกันของอุณหภูมิและค่าความหนืดของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างมวลดิน

3) การจำลองสภาพชั้นดินในสนาม เป็นที่ทราบกันดีว่า การที่จะนำเอาตัวอย่างมวลดินแบบไม่ถูกรบกวน (undisturbed sample) ในสนามมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อให้การทดสอบเป็นไปในสภาพที่เหมือนจริงมากที่สุดนั้นเป็นไปได้ยากมากหรือแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย เนื่องจากเมื่อตัวอย่างดินถูกนำออกมาจากสนาม (สถานที่จริง) แล้ว คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างมวลดินจะเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความเค้นที่มากระทำ อัตราส่วนช่องว่าง ความพรุนเป็นต้น

ซึ่งแน่นอนว่าจะทำให้ผลการทดสอบการไหลของน้ำผ่านมวลดินจะเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน โดยผลของความแตกต่างกันระหว่างการทดสอบในสนามและการ
ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่

3.1) ความต่างกันของค่าความหนาแน่นและความพรุน

3.2) ความต่างกันของทิศทางในการไหลของน้ำผ่านมวลดินเทียบกับลักษณะการวางตัวของชั้นดิน

3.3) ข้อจำกัดของความสามารถของตัวอย่างดินที่มีขนาดเล็กที่ไม่สามารถจำลองการทดสอบในสภาวะความเค้นที่ไม่เท่ากันทุกทิศทาง (anisotropic conditions)

3.4) ความต่างกันของค่าความดันน้ำในโพรงดินและค่าความเค้นประสิทธิภาพของมวลดิน

ดังนั้นด้วยเหตุผลดังกล่าวหากเป็นไปได้ในการวิจัยควรนำผลของการทดสอบค่า *k* ในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบ และตรวจสอบและเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสนามเพื่อความถูกต้องเสมอ

5.3.2 ข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัยครั้งต่อไป

1) หากต้องการต่อยอดงานวิจัยด้วยวิธีการออกแบบวิธีการทดลองแบบ Central Composite Design ควรมีการวัดซ้ำข้อมูลของหน่วยทดลอง เพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล รวมไปถึงผลการวิเคราะห์ของงานวิจัย หรือมีการเพิ่มตัวแปรพยากรณ์ในการวิจัยครั้งต่อไป เช่นความชื้นของดิน หรือตัวแปร คุณสมบัติของดินด้านอื่นๆ มาเกี่ยวข้องด้วย

2) จากผลการวิจัยนี้หากทราบผลการศึกษาการซึมผ่านน้ำของดินแล้ว สามารถทำการวิจัยต่อยอดประเด็นปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมากับปริมาณน้ำชีของตำบลเกิ้ง หรือการพยากรณ์น้ำท่วมในพื้นที่ได้ด้วย

3) ศึกษาวิจัยปริมาณการซึมผ่านน้ำของดิน ที่สัมพันธ์กับความเหมาะสมพื้นที่การปลูกข้าวนาปรังในพื้นที่ตำบลเกิ้ง

4) การวิจัยโดยการใช้ศาสตร์อื่นๆ ที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้กับความรู้สถิติศาสตร์หรือวิศวกรรมศาสตร์ เช่น Genetic Algorithm ใช้วิเคราะห์ข้อมูลการซึมผ่านน้ำของดิน ร่วมกับตัวแปรทางภูมิศาสตร์อื่น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กอบเกียติ ผ่องพุฒิ และ ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. *การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำ เพื่อการพัฒนาการเฝ้าระวังและการเตือนภัยจากน้ำท่วมฉับพลัน.* การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17. 2555.

กีรติ ลีวัจนกุล. (2543). *อุทกวิทยา.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรังสิต.

เกษมชาต ศรีวาลัย. *ปฏิบัติการปฐมพีกลศาสตร์ (CE352) SOIL MECHANICS LABORATORY*. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา:คณะวิศกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ไกรวิทย์ สุขดี และชัยศาสตร์ สกุลศักดิ์ศรี. *ผลกระทบต่อขนาดคละต่อความสามารถการซึมผ่านในแนวราบของดินลูกรังบดอัด*. การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 8. 2558.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.* คณะเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

จรัญ ทรัพย์เสรี. DOE ตอน Central Composite Design. Q Production. No 145. for Quality November 2009. หน้า 72-74.

ณัฐวุฒิ ธานี. (2557) *การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำชีและผลต่อคุณภาพน้ำของแม่น้ำชี Land Use in Chi Basin and Its Effect on Water Quality of Chi River.* มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ดาวรุ่ง สุวรรณฐิติปัญโญ และเรวัฒน์ ชาญกิติโชติ.(2555). *การศึกษาการลดปริมาณการรั่วซึมของน้ำในบ่อดิน.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนภาค รัตนธนกิจ และ ธนพล ตียาคม. (2555). *คุณสมบัติการซึมผ่านน้ำในดิน.* วิศวกรรมธรณีเทคนิค, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555

นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2542). *อุทกวิทยาลุ่มน้ำ.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญชัย งามวิทย์โรจน์, นางสมทรง เจริญภัณฑูรณ์, นายพงศ์พัฒน์ เสมอคำ. (2551). *ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ: กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำชี.*กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์. (2551). *การออกแบบ และการวิเคราะห์การทดลอง.* กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ท้อป.

ปราโมทย์ เหมศรีชาติ. (2534). *ความรู้เรื่องดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการวิเคราะห์และสำรวจดินป่าไม้.* ฝ่ายวนวัฒนาวิจัย กองบำรุงกรมป่าไม้ ร่วมกับองค์การร่วมมือระหว่างประเทศแห่งรัฐบาลญี่ปุ่น น. 44-51.

พูลพงษ์ พงษ์วิทยภานุ. (2551). *ปฐพีกลศาสตร์ (Soil mechanics) บทที่ 5 การไหลของน้ำในดิน*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ศรีราชา. https://pulpong.files.wordpress.com/2015/08/2558-soilmechanicsv5-textbook.pdf

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พีรชัย กุลชัย. (2537). *ผลของการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ต่อสมรรถนะการการซึมน้ำผ่านผิวดินบริเวณสถานีวิจัยเพื่อรักษาต้นน้ำห้วยหินดาด จังหวัดระยอง*. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งศักดิ์ ขุนวิเศษ. (2541). *สมรรถนะการซึมน้ำผ่านผิวดิน ของพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ บริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา*. คณะวิทยาศาสตร์ (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทยาลัยเทคนิค. *เอกสารหน่วยที่ 11 การทดลองความซึมน้ำของดิน (Soil Permeability Test).* http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/11.pdf.

สุกิจ นามพิชญ์ และคณะ (2549). *คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory CivilLabPro Version 1.0* .โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา.งบประมาณการวิจัย ปีงบประมาณ 2547-2548. สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.).สำนักงานจังหวัดมหาสารคาม. (2555). *แผนพัฒนาจังหวัดมหาสารคาม พ.ศ. 2557 - 2560.* กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัด.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. *รายงานประจำปี 2549*. กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม, 64 หน้า

หลักสูตรการจัดการการพัฒนาสังคม. *ภูมิปัญญาในการจัดการน้ำ : กรณีการศึกษาลุ่มน้ำชีกลาง (บ้านเกิ้ง).*คณะมนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, web.kku.ac.th/sdm/reserch1.htm

เอกสารประกอบการสอนที่ 2. *อุทกวิทยาลุ่มน้ำ*. www.sluse.mju.ac.th/database/silo/lesson/watershed_hydrology.pdf

Black, P.E. (1996). WATERSHED HYDROLOGY. Second edition. State University of New York College of Environmental Science and Forestry Syracuse, New York.

Clancy, Katherine and Alba, Veronica M. (2011). *Temperature and Time of Day Influence on Double-Ring Infiltrometer Steady-State Infiltration Rates.* Soil Science Society of America Journal., 77.1 Jan/Fer 2011, Page 241 - 245.

Clancy, Katherine A and Alba, Veronica M. *Temperature and Time of Day Influence on Double-Ring Infiltrometer Steady-State Infiltration Rates.* Soil Science Society of America Journal. 75(1) : 241. January 2011.

George E. P. Box, Norman R. Draper.(1987). *Empirical Model-Building and Response Surfaces.* John Wiley & Sons, Inc.

Hewlett, J.D. and W.L.Nutter. *AN Outline of Forest Hydrology University of Goergia Press,Athens*. 1969.137 p.

Kostic, Srdan., Stojkovic, Milan., Prohaska, Stevan. And Vasovic, Nebojsa., “Modeling of river flow rate as a function of rainfall and temperature using response

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

surface methodology based on historical time series". Journal of Hydroinformatics., January 2016.Montgomery, Douglas C.(2013). *Design and Analysis of Experiments.* 8th ed. John Wiley & Sons.

Raymond H. Myers, Douglas C. Montgomery. (2002). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiment.* 2th ed. John Wiley & Sons, Inc. 798 pages.

USDA Natural Resources Conservation Service. (1998). *Soil Quality Indicators : Infiltration. Soil Quality Institute.* http:/www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/sqiinfo.shtml.

Ward, A. and J.E. William. (1995). *Environmental Hydrology*. Lewis Publishers. New York.

Ward, R.C. and M. Robinson. (1990). PRINCIPLES OF HYDROLOGY. 3rd ed. McGraw-Hill Book Company Europe. England.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดิน พื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูฝน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนา ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูฝน

1) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 42 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 12 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1.8	60	0.0000741
2	21/20 เซลเซียส	1.9	60	0.0000702
3	21/20 เซลเซียส	1.8	60	0.0000741
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.867 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000728 ซม./วินาที				

2) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 42 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 15 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1.8	60	0.0000702
2	21/20 เซลเซียส	1.8	60	0.0000702
3	21/20 เซลเซียส	1.8	60	0.0000702
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.80 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000702 ซม./วินาที				

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 42 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 18 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
2	21/20 เซลเซียส	1.8	60	0.0000704
3	21/20 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.667 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000650 ซม./วินาที				

4) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 28.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 12 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18.5
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.25	60	0.0000487
2	22 /21 เซลเซียส	1.00	60	0.0000390
3	22 /21 เซลเซียส	1.25	60	0.0000487
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.167 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000455 ซม./วินาที				

5) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 28.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 15 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18.0
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.00	60	0.0000390
2	22 /21 เซลเซียส	1.20	60	0.0000468
3	22 /21 เซลเซียส	1.20	60	0.0000468
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.133 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000442 ซม./วินาที				

6) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 28.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 18 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18.5
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.00	60	0.0000390
2	22 /21 เซลเซียส	1.10	60	0.0000429
3	22 /21 เซลเซียส	1.00	60	0.0000390
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.033 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000403 ซม./วินาที				

7) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 15 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 12 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	0.90	180	0.0000117
2	21/20 เซลเซียส	1.00	180	0.0000130
3	21/20 เซลเซียส	1.00	180	0.0000130
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.962 ซม^3./3 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000126 ซม./วินาที				

8) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 15 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 15 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	0.90	180	0.0000117
2	21/20 เซลเซียส	1.00	180	0.0000130
3	21/20 เซลเซียส	1.00	180	0.0000130
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.962 ซม^3./3 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000126 ซม./วินาที				

9) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 15 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 18 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	0.80	180	0.0000104
2	21/20 เซลเซียส	0.80	180	0.0000104
3	21/20 เซลเซียส	0.80	180	0.0000104
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.80 ซม^3./3 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000104 ซม./วินาที				

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูฝน

1) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 42 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 4 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	2.9	60	0.0001130
2	23/22 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
3	23/22 เซลเซียส	2.7	60	0.0001052
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.733 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001065 ซม./วินาที				

2) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 42 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 6 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	2.8	60	0.0001091
2	23/22 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
3	23/22 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.667 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001039 ซม./วินาที				

3) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 42 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 8 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	2.4	60	0.0000935
2	23/22 เซลเซียส	2.4	60	0.0000935
3	23/22 เซลเซียส	2.5	60	0.0000974
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.433 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000948 ซม./วินาที				

4) ตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 28.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 4 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
2	22 /21 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
3	22 /21 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.60 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000624 ซม./วินาที				

5) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 28.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 6 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
2	22 /21 เซลเซียส	1.6	60	0.0000624
3	22 /21 เซลเซียส	1.4	60	0.0000546
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.533 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000598 ซม./วินาที				

6) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 28.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 8 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.4	60	0.0000546
2	22 /21 เซลเซียส	1.4	60	0.0000546
3	22 /21 เซลเซียส	1.5	60	0.0000585
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.433 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000559 ซม./วินาที				

7) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 15 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 4 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
2	22 /21 เซลเซียส	2.5	60	0.0000974
3	22 /21 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.567 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001000 ซม./วินาที				

8) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 15 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 6 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
2	22 /21 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
3	22 /21 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.600 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001013 ซม./วินาที				

9) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 15 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 8 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	2.5	60	0.0000974
2	22 /21 เซลเซียส	2.5	60	0.0000974
3	22 /21 เซลเซียส	2.4	60	0.0000935
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.467 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000961 ซม./วินาที				

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดิน พื้นที่ทำนา และพื้นที่เพาะปลูก ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูแล้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่ทำนา ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูแล้ง

1) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 43 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 12 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1.4	120	0.0000273
2	21/20 เซลเซียส	1.2	120	0.0000234
3	21/20 เซลเซียส	1.3	120	0.0000253
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.30 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000253 ซม./วินาที				

2) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 43 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 15 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1.2	120	0.0000234
2	21/20 เซลเซียส	1.2	120	0.0000234
3	21/20 เซลเซียส	1.2	120	0.0000234
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.2 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000234 ซม./วินาที				

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 43 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 18 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1	60	0.0000195
2	21/20 เซลเซียส	1	60	0.0000195
3	21/20 เซลเซียส	1	60	0.0000195
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.00 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000195 ซม./วินาที				

4) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 25.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 12 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18.5
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	1.00	120	0.0000195
2	22 /21 เซลเซียส	1.00	120	0.0000195
3	22 /21 เซลเซียส	1.00	120	0.0000195
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.00 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000195 ซม./วินาที				

5) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 25.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 15 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18.0
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	0.80	120	0.0000159
2	22 /21 เซลเซียส	0.80	120	0.0000159
3	22 /21 เซลเซียส	1.00	120	0.0000195
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.86 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000169 ซม./วินาที				

6) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 25.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 18 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18.5
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	22 /21 เซลเซียส	0.60	120	0.0000117
2	22 /21 เซลเซียส	0.40	120	0.0000078
3	22 /21 เซลเซียส	0.40	120	0.0000078
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.467 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000091 ซม./วินาที				

7) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 8 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 12 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	1.00	120	0.0000195
2	21/20 เซลเซียส	1.10	120	0.0000214
3	21/20 เซลเซียส	1.10	120	0.0000214
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 1.067 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000208 ซม./วินาที				

8) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 8 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 15 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	0.80	120	0.0000156
2	21/20 เซลเซียส	0.80	120	0.0000156
3	21/20 เซลเซียส	0.80	120	0.0000156
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.80 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000156 ซม./วินาที				

9) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่ทำนา อุณหภูมิดิน 8 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 18 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	21/20 เซลเซียส	0.60	120	0.0000117
2	21/20 เซลเซียส	0.30	120	0.0000058
3	21/20 เซลเซียส	0.40	120	0.0000078
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 0.433 ซม^3./2 นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0000084 ซม./วินาที				

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำลงดินพื้นที่เพาะปลูก ตำบลบ้านเกิ้ง จังหวัดมหาสารคาม ในฤดูแล้ง

1) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 43 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 4 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	4.0	60	0.0001559
2	23/22 เซลเซียส	4.2	60	0.0001637
3	23/22 เซลเซียส	4.0	60	0.0001559
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 4.067 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001585 ซม./วินาที				

2) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 43 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 6 ชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	4.0	60	0.0001559
2	23/22 เซลเซียส	4.0	60	0.0001559
3	23/22 เซลเซียส	4.0	60	0.0001559
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 4.000 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001559 ซม./วินาที				

3) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 43 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 8 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	3.8	60	0.0001481
2	23/22 เซลเซียส	3.8	60	0.0001481
3	23/22 เซลเซียส	4.0	60	0.0001559
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 3.867 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001507 ซม./วินาที				

4) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 25.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 4 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23.5/22 เซลเซียส	3.0	60	0.0001169
2	23.5/22 เซลเซียส	2.8	60	0.0001091
3	23.5/22 เซลเซียส	3.0	60	0.0001169
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.933 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001143 ซม./วินาที				

5) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 25.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 6 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23.5/22 เซลเซียส	3.0	60	0.0001169
2	23.5/22 เซลเซียส	3.0	60	0.0001169
3	23.5/22 เซลเซียส	3.0	60	0.0001169
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 3.000 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001169 ซม./วินาที				

6) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 25.5 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 8 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23.5/22 เซลเซียส	2.8	60	0.0001091
2	23.5/22 เซลเซียส	2.8	60	0.0001091
3	23.5/22 เซลเซียส	2.6	60	0.0001013
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 2.733 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001065 ซม./วินาที				

7) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 8 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 4 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	3.4	60	0.0001325
2	23/22 เซลเซียส	3.3	60	0.0001286
5	23/22 เซลเซียส	3.4	60	0.0001325
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 3.367 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001312 ซม./วินาที				

8) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 8 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 6 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	3.3	60	0.0001286
2	23/22 เซลเซียส	3.3	60	0.0001286
5	23/22 เซลเซียส	3.3	60	0.0001286
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 3.300 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001286 ซม./วินาที				

9) ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่เพาะปลูก อุณหภูมิดิน 8 องศาเซลเซียส เวลาน้ำอิ่มตัว 8 ชั่วโมง

เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm.)	7
ความสูงตัวอย่าง (cm.)	18
พื้นที่หน้าตัด (cm^3)	38.485
ความต่างของระดับน้ำ(h)	200 cm

ครั้งที่	อุณหภูมิ (อากาศ/น้ำ)	ปริมาณน้ำ (cm^3)	เวลา (วินาที)	ค่า k (ซม./วินาที)
1	23/22 เซลเซียส	3.4	60	0.0001325
2	23/22 เซลเซียส	3.2	60	0.0001247
5	23/22 เซลเซียส	3.2	60	0.0001247
ค่าเฉลี่ย				
ปริมาณน้ำซึมลงดิน (Q) = 3.267 ซม^3./นาที				
สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ ที่อุณหภูมิน้ำทดสอบค่า K = 0.0001273 ซม./วินาที				

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อนักวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พูนศักดิ์ ศิริโสม
สถานะนักวิจัย หัวหน้าโครงการ และนักวิจัยหลัก
การศึกษา ปร.ด. สถิติ (หลักสูตรนานาชาติ) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วท.ม. สถิติประยุกต์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กศ.บ. วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม
ตำแหน่ง/หน่วยงานที่สังกัด :
อาจารย์ประจำสาขาวิชาสถิติศาสตร์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
80/106 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ถ.นครสวรรค์ ต.ตลาด
อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000
เบอร์มือถือ 081-3804954 E-mail: poonsaksirisom$gmail.com

ชื่อนักวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิพล ไชยชนะ
สถานะนักวิจัย นักวิจัยร่วม
การศึกษา วศ.ม. วิศวกรรมศาสตร์ (ทรัพยากรแหล่งน้ำ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
วศ.บ. วิศวกรรมศาสตร์(โยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่ง/หน่วยงานที่สังกัด :
อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์
80 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ถ.นครสวรรค์ ต.ตลาด
อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000
เบอร์มือถือ 081-6627189 E-mail: Wipol.ch@gmail.com

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY