สำนักหอสมุด
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์ตรวจสอบความชื้นดินเพื่อจัดการน้ำสำหรับการปลูกพืช

Evaluation of soil moisture sensor for water management of crop plantations

งบประมาณวิจัยที่ได้รับ จำนวน 287,600 บาท

หัวหน้าโครงการ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	จ
บทคัดย่อ	1
Abstract	4
คำนำ	7
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
ขอบเขตของงานวิจัย	8
ทฤษฎีสมมติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	8
ตรวจเอกสาร	9
อุปกรณ์และวิธีการ	36
ผลการวิจัย	45
วิจารณ์ผลการวิจัย	76
สรุปผลการวิจัย	79
เอกสารอ้างอิง	81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สภาพดินที่มีความชื้นในดินระดับต่าง ๆ โดยรายงานเป็นค่า pF และผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไร่ 10

ตารางที่ 2 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอสันทราย 12

ตารางที่ 3 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอดอยสะเก็ด 14

ตารางที่ 4 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอพร้าว 17

ตารางที่ 5 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอสารภี 19

ตารางที่ 6 ตัวอย่างค่าความชื้นในดินที่วัดโดยเซนเซอร์ตามเวลาจริงค่าที่ได้จะถูกบันทึกในรูปของไฟล์เอกเซล (Excel) ไว้ในเครื่องเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต 21

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและปริมาณน้ำ (โดยน้ำหนัก) ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ เมื่อความชื้นความจุสนาม มีค่าพลังงาน -10 และ -33 กิโลพาสคาล 23

ตารางที่ 8 สมการที่ใช้ประเมินปริมาณน้ำในดินโดย Saxton and Rawls (2006) 28

ตารางที่ 9 สัญญาลักษณ์และคำจำกัดความ 30

ตารางที่ 10 การประเมินเนื้อดิน (Soil texture) ในดินแปลงลำไยและดินปลูกข้าว อำเภอดอย สะเก็ด พร้าว และสารภี 40

ตารางที่ 11 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินชุดสันทราย 48

ตารางที่ 12 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินชุดหางดง 50

ตารางที่ 13 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์ จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูก ข้าวโพด 52

ตารางที่ 14 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าว 54

ตารางที่ 15 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จาก เซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าวโพดที่อยู่ตำแหน่งด้านบนของพื้นที่ (Top of slope) 56

ตารางที่ 16 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จาก เซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าวโพดที่อยู่ตำแหน่งด้านล่างของพื้นที่ (Toe of slope) 58

ตารางที่ 17 The Calibrating equation of various soils for adjustment of measuring values of soil moisture sensor to % water content by weight and by volume and The root mean square error (RMSE) of value from using calibrating equation (or predicted equation) for soil moisture sensor 60 63

ตารางที่ 18 The Calibrating equation of soils for adjustment of measuring values of soil moisture sensor to % water content by weight.

ตารางที่ 19 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่ 19 วัดได้จาก เซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักของดินปลูกลำไยของพื้นที่อำเภอพร้าว สารภี และดอยสะเก็ด 65

ตารางที่ 20 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จาก เซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักของดินปลูกข้าวของพื้นที่อำเภอพร้าว สารภี และดอยสะเก็ด 66 69

ตารางที่ 21 สมการปรับเทียบ (Calibrating of moisture sensor) ของดินสองชนิดเพื่อการจัดการน้ำแบบสลับแห้ง 69

ตารางที่ 22 The controlling of water managements of this experiment using soil moisture sensor

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบสมการปรับเทียบ (Calibrating of moisture sensor) ของดินสองชนิดเพื่อการจัดการน้ำแบบสลับแห้งที่ดำเนินในสภาพกระถางในเรือนทดลอง โดยดำเนินไปพร้อมกับการทดลองที่มีการปลูกข้าวเปรียบเทียบกับสมการที่ได้ จากการทดลองที่ 1 ที่ดำเนินในห้องปฏิบัติการ 71 72

ตารางที่ 24 สมบัติของดินก่อนการทดลอง

ตารางที่ 25 สมบัติของดินหลังการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีผลของชนิดของดิน พันธุ์ข้าวที่ปลูก และรูปแบบการให้น้ำแบบสลับแห้ง 73

ตารางที่ 26 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดดินและพันธุ์ข้าว ชนิดดินและรูปแบบการจัดการน้ำ 73

และพันธุ์ข้าวกับรูปแบบการจัดน้ำต่อสมบัติของดิน
ตารางที่ 27 ผลของชนิดของดิน พันธุ์ข้าวที่ปลูก และรูปแบบการให้น้ำแบบสลับแห้งความ เข้มข้นของธาตุอาหารในข้าว 74
ตารางที่ 28 ผลของชนิดของดิน พันธุ์ข้าวที่ปลูก และรูปแบบการให้น้ำแบบสลับแห้งความ เข้มข้นของธาตุอาหารในข้าว 75

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แรงดึงน้ำของดิน (pF curve) ของเนื้อละเอียดและดินเนื้อหยาบ 10

ภาพที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอสันทราย 13

ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอดอยสะเก็ด 15

ภาพที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอพร้าว 17

ภาพที่ 5 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอสารภี 19

ภาพที่ 6 การวัดความชื้นในดินโดยเซนเซอร์ตามเวลาจริงค่าที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องเก็บ ข้อมูลที่เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต 20

ภาพที่ 7 ตัวอย่างการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (model) ในการปรับเทียบเป็นความชื้นโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรสำหรับดินเนื้อหยาบ (ที่มา: ศุภธิดา, 2559) 22

ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินที่วัดได้และที่ได้จากการประเมินโดยสมการ ทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาที่พลังงานที่ใช้ดึงน้ำของดิน 15 bar (-1500 กิโลพาส คาล) (A) และ 0.3 bar (B,C) (-33 กิโลพาสคาล) และแรงอัดอากาศ (D) 32

ภาพที่ 9 งบดุลของน้ำในบริเวณรากพืช และสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Water stress coefficient, Ks) 33

ภาพที่ 10 การหาความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น 37

ภาพที่ 11 แผนพังการติดตั้งเซนเซอร์ในแปลงลำไยในพื้นที่สารภี ดอยสะเก็ด และพร้าว 39

ภาพที่ 12 ระบบการตรวจสอบความชื้นดินและการชลประทานในแปลงขนาดใหญ่เป็นระบบที่พัฒนาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สามารถติดตามความ ชื้นดินและข้อมูลอื่นๆ ที่ได้จากเซนเซอร์ที่อยู่ในเครือข่ายได้ถึง 100 ตัวที่ติดตั้งไว้ในรัศมี 300-400 เมตร ค่าที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำให้ข้อมูลที่ได้สามารถติดตามได้ตรงกับเวลาที่เกิดขึ้นจริงและสามารถดูย้อนหลังได้ด้วย โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดย สามารถดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล Excel ที่โหลดจากเว็บไซต์ 40

ภาพที่ 13 แสดงรูปแบบการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งในตำรับการทดลอง W1- และ W2- 43

ภาพที่ 14 สมการเส้นตรงสำหรับปรับเทียบ (Calibrating equation) 47

ภาพที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินชุดสันทราย (sandy loam soil) 61

ภาพที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินชุดหางดง (clay soil) 61

ภาพที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินไร่ (upland soil) 61

ภาพที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินปลูกข้าว (paddy soil) 62

ภาพที่ 19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินไร่ ตำแหน่งด้านบน ของพื้นที่ (upland soil and top of slope) 62

ภาพที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินไร่ ตำแหน่งด้านล่าง ของพื้นที่ (upland soil and toe of slope) 62

ภาพที่ 21 The various relations between soil water content by weight (red cycle) , Volume (blue cycle) and electrical resistant (mV) with sensor. 64

ภาพที่ 22 ปริมาณความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นภายหลังการใช้สมการปรับเทียบ (calibrating equation) ของดินแต่ละพื้นที่ของดินที่ปลูกลำไยตามช่วงเวลาต่างๆ 68

ภาพที่ 23 ข้อมูลที่แสดงผลที่ได้รับข้อโดยผ่านเครือข่ายอินเตอร์ซึ่งเป็นแปลงข้อมูลตัวเลขแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละรูปแบบการจัดการน้ำโดยผ่านการใช้สมการปรับเทียบจากตารางที่ 22 70

ภาพที่ 24 สมการปรับเทียบ (Calibrating of moisture sensor) ของดินสองชนิดเพื่อการจัดการน้ำแบบสลับแห้งที่ดำเนินในสภาพในเรือนทดลอง 71

การประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์ตรวจสอบความชื้นดินเพื่อจัดการน้ำสำหรับการปลูกพืช

Evaluation of soil moisture sensor for water management of crop plantations

ศุภธิดา อ่ำทอง

Suphathida Aumtong

[1] สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

[2] คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การพัฒนาเทคโนโลยีด้านเกษตรแม่นยำ (Precision agriculture) สำหรับการจัดการเกษตรเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาเกษตรกรรมที่มีผลทำให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ที่ดินในการเกษตร โดยเฉพาะเรื่องการจัดการน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของดิน โครงการประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์ตรวจสอบความชื้นดินเพื่อจัดการน้ำสำหรับการปลูกพืช จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นที่วัดโดยเซนเซอร์กับความชื้นของที่วัดโดยวิธีมาตรฐานและสมบัติต่าง ๆ ของดิน และเพื่อประเมินประสิทธิภาพทั้งในด้านความถูกต้องและแม่นยำของเซนเซอร์วัดความชื้นของดินและประเมินการใช้งานในพืชที่มีระบบการให้น้ำแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะข้าว และการออกแบบเพื่อการพัฒนารูปแบบการจัดการน้ำสำหรับระบบการปลูกพืช ซึ่งประกอบด้วย 3 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 การศึกษาสมการปรับเทียบของเซนเซอร์วัดความชื้นดินกับวิธีการประเมินความชื้นแบบต่าง ๆของดินชนิดต่างๆ โดยนำดินชนิดต่างๆมาทำการวัดความชื้นในห้องปฏิบัติการ 3 วิธีการคือ (1) การหาความชื้นดินโดยน้ำหนัก (2) การหาความชื้น โดยปริมาตรโดยวัดจากเซ็นเซอร์วัดความชื้น (SM150 Soil Moisture Kit) และ(3) การหาความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น และวิเคราะห์สมการเส้นตรง (Linear regression) จากผลการศึกษานี้สามารถสร้างสมการปรับเทียบ(Calibrating equation) ให้กับดินชนิดต่างๆ 12 สมการ โดยอธิบายความสัมพันธ์จากสมการปรับเทียบที่ได้จากงานทดลองพบว่าเมื่อความชื้นทั้งโดยน้ำหนักและปริมาตรเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ค่าที่วัดความชื้นของดินที่วัดได้เซนเซอร์ลดลงโดยพิจารณาจากค่า slope ของสมการปรับเทียบ สำหรับผลของการใช้สมการปรับเทียบจากความสัมพันธ์ปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรนำเสนอค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R2) และค่าความน่าจะเป็นไปได้ (Probability; P) ซึ่งค่าทั้งสองนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดดิน จะเห็นได้ว่าค่า R2 ที่ได้จากค่า

ความชื้นที่วัดจริง (measured) และค่าที่ได้จากสมการปรับเทียบหรือค่าพยากรณ์จากสมการปรับเทียบ (predicted) ของปริมาณความชื้นโดยปริมาตรของดินสันทราย หางดง ดินปลูกข้าว และดินไร่ (Toe of slope) มีค่าเท่ากับ 0.6294,0.7111,0.6172,0.3063,0.6172 และ 0.4567 ตามลำดับ สำหรับ R2 ค่าที่ได้จากสมการปรับเทียบหรือค่าพยากรณ์จากสมการปรับเทียบ (predicted) ของปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักของ ดินสันทราย ดินหางดง ดินปลูกข้าว และดินไร่ (Toe of slope) เท่ากับ 0.4963,0.8529 และ 0.9944 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า R2 ของค่าความชื้นโดยปริมาตรที่วัดจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบโดยความชื้นปริมาตรมีค่า R2 สูงกว่าสมการปรับเทียบความชื้นโดยน้ำหนัก

การทดลองที่ 2 การประเมินผลของใช้สถานีวัดความชื้นดินโดยเซนเซอร์ในพื้นที่ปลูกลำไยและนาข้าวระดับแปลงเกษตรกร จากการทดลองนี้ได้สร้างสมการเส้นตรงสำหรับปรับเทียบทั้งดินปลูกข้าวและดินปลูกลำไย พบว่าเมื่อความชื้นโดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นโดยพิจารณาจากค่า slope ของสมการปรับเทียบ ผลของการใช้สมการมาปรับเทียบจากค่าความชื้นที่วัดด้วยเซนเซอร์เป็นค่าความชื้นโดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าค่า R2 ที่ได้จากค่าความชื้นที่วัดจริง (measured) และค่าที่ได้จากสมการปรับเทียบหรือค่าพยากรณ์จากสมการปรับเทียบ (predicted) ของดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ด มีค่าเท่ากับ 0.7230,0.7251 และ 0.5299 ตามลำดับ สำหรับดินปลูกข้าวจะมีค่า R2 เท่ากับ 0.4963,0.8529 และ 0.9944 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสมการปรับเทียบจากดินปลูกลำไยจากพื้นที่อำเภอพร้าวมีค่าแม่นยำที่สุดรองลงมาคือพื้นที่ดอยสะเก็ด และสารภี ตามลำดับ สำหรับค่า RMSE หรือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของดินปลูกลำไยจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ดมีค่าเท่ากับ 4.42, 2.66 และ -3.61 ตามลำดับ ซึ่งค่า RMSE หากยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงจะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าสมการปรับเทียบจากดินปลูกลำไยจากพื้นที่อำเภอพร้าวมีค่าแม่นยำที่สุดรองลงมาคือพื้นที่ดอยสะเก็ด และสารภี ตามลำดับ

สำหรับการทดลองที่ 3 ผลของการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดินต่อการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งของการปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆในดินสองชนิดต่อการเจริญเติบโตและธาตุอาหารของข้าว วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomize Complete Block Design (RCBD) 3 Replications โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ประกอบด้วย 2 ชนิดดินได้แก่ ชุดดินหางดง (Hd) และสันทราย (Ss) ปัจจัยที่ 2 พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ประทุมธานี 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปัจจัยที่ 3 คือ ระดับความชื้น ประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ W1 มีการขังน้ำไว้ตลอดเวลา สำหรับ W1 และ W2- เริ่มการให้น้ำช่วงแรกเป็นการน้ำเหนือระดับดิน 5 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยให้มีการลดลงจากการระเหยของน้ำและการใช้ต้นข้าวจึงเปรียบเสมือนปล่อยให้ความชื้นในดินลดลงตามเวลา โดยมีการ

ติดตามค่าความชื้นที่ลดลงจากค่าที่ได้จากสมการปรับเทียบที่กำหนดว่า ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่จะใช้เป็น (Hd=1200-1345 mV, Ss 1200-1500 mV) และ (Hd< 1500 mV,Ss < 2000) ตามลำดับจุดสูงสุดของค่าเซนเซอร์ที่จะให้น้ำรอบใหม่แก่ข้าวอีกครั้ง ผลการวิจัยพบว่าการประเมินการวัดความชื้นของเซนเซอร์วัดความชื้นในสภาพเรือนทดลอง ข้อมูลที่วัดด้วยเซนเซอร์ที่ติดตั้งนั้นสามารถแสดงผ่านได้ครบถ้วนในสภาพอยู่ในกระถางทดลองซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลที่แสดงผลจากเซนเซอร์ โดยพบว่าข้อมูลที่แสดงผลหรือที่ได้รับนั้นมีความแปรปรวนกันค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้การออกแบบการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นสำหรับแปลงเกษตรกรควรใช้สมบัติของดินและพืชนั้น ได้แก่ สภาพพื้นที่ ชนิดดิน ความต้องการน้ำของพืช รูปแบบการให้แก่น้ำ รวมทั้งพันธุ์พืช ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ออกแบบการให้น้ำสำหรับการปลูกข้าวเป็นการให้แบบเปียกสลับแห้งโดยใช้เซนเซอร์เป็นการควบคุมการให้น้ำ อาจจะต้องพิจารณาในเรื่องชนิดดินโดยเฉพาะสมบัติของเนื้อดิน รวมทั้งจำเป็นต้องมีการปรับเทียบเพื่อสร้างสมการปรับเทียบและจำเป็นต้องมีความระมัดระวังการติดตั้งเซนเซอร์ เพื่อให้เก็บข้อมูลได้ครบถ้วนเพื่อไปประยุกต์ใช้สำหรับการปฏิบัติของเกษตรกร

คำสำคัญ: ความชื้นของดิน,เซนเซอร์,สมการเปรียบเทียบ,การจัดการน้ำ

Abstract

The development of precision agriculture technology for agriculture management has become necessary in farm improvement that leads to the sustainability of land use in agriculture particularly involving water management and soil fertility. This project on the evaluation of the efficiency of the sensor in measuring soil moisture for water management in crop planting, was aimed to study the relationship between soil moisture measured by the sensor and soil moisture measured by standard method, including the study of some soil properties and also to evaluate the efficiency and precision of soil moisture sensor and its use on crops using different kinds of water application particularly to rice together with the study of the design in order to develop better water management for crop cultivation, which was conducted in 3 experiments, as follow:

Experiment 1. Study on the equational comparison of the soil moisture sensor with various methods of soil moisture evaluation of different types of soils, as conducted in the laboratory by using 3 methods (1) soil moisture determination by weight; (2) soil moisture measurement by volume using the soil moisture sensor (SM150 Soil Moisture Kit); and, (3) soil moisture calculation by using soil moisture sensor; and analysis using linear regression, for

application to equational evaluation. Results of the study showed that a Calibrating equation could be generated for comparison of various types of soils in 12 equations as divided into comparison of values calculated by the sensor as soil moisture by weight and by volume with the explanation of the relation from the equation in comparison with the experimental results. It was found that when soil moisture by weight and by volume was increased, the value of the relationship with the soil moisture as measured through sensor decreased by considering the value of the slope of the calibrating equation. As for the result of using the value from the calibrating equation as shown by the regression coefficient (R^2) and probability (P) in which the two values were different based on soil type. It can be seen that R^2 that resulted from the soil moisture that was actually measured (measured) and the value from the Calibrating equation or the predicted value from the calibrating equation (predicted) of the amount of soil moisture from Sansai and Hangdong districts, soils planted to rice, field crops, top of slope and toe of slope, were equivalent to 0.6294, 0.7111, 0.6172, 0.3063, 0.6172 and 0.4567, respectively. For R^2, the value from calibrating equation or predicted value from calibrating equation of the amount of soil moisture using weight of soil from Sansai, Hangdong, soil planted to rice field soil, top of slope soil and toe of slope soil, respectively, at 0.4963, 0.8529 and 0.9944, respectively. It can be seen that R^2 value of soil moisture based on volume actually measured with predicted value from calibrating equation with soil moisture volume having R^2 much higher than comparative equation moisture by weight.

Experiment 2. Evaluation of site use in soil moisture measurement by sensor in areas planted to longan and paddy rice at the farmers' level. From this study, a linear equation was created for comparison and by soil planted to rice and soil planted to longan. It was found that when soil moisture by weight was increased, the relationship of soil moisture measured by sensor was found to decrease as considered from the value of the slope of the calibrating equation. On the evaluation using mathematical equation used as calibrating equation in order to evaluate soil moisture by weight and by volume, the result of using the Calibrating equation from the soil moisture sensor as the amount of soil moisture by weight, showed that the value of R^2 calculated from the soil moisture actually measured (measured) and the value from the calibrating equation or the predicted value from the Calibrating equation (predicted) of the soil planted to rice from Sarapee, Phrao and Doisaket districts hah values of 0.7230, 0.7251 and 0.5299, respectively. For

soils planted with rice, R^2 value was 0.4963, 0.8529 and 0.9944, respectively. For RMSE value that indicated the precise Calibrating equation, it could be seen that the Calibrating equation from the soil planted with longan from the soil planted with Phrao had the highest precise value. This was followed by the soil from Doisaket and Sarapee, respectively. As for RMSE value, or second root value of the average deviation of the soil planted with longan in Sarapee, Phrao and Doisaket districts, had values at 4.42, 2.66 and 3.61, respectively. If RMSE value got nearer 0 which meant that the value became more precise, it could be seen that Calibrating equation from soil planted with longan from Phrao district, was the mostprecise, followed by soil in Doisaket and Sarapee districts.

Experiment 3 .Results of using the sensor to measure soil moisture on an alternate wet-dry water management of planting various rice varieties on 2 types of soil intended for growth and nutrient minerals for rice in an experimental design of Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications, had factors consisting of (1) 2 types of soil (Hangdong, Hd and Sansai, Ss); (2) 2 rice varieties (Pratumthani 1 and Dokmalee 105; (3) moisture levels consisting of W1 (water logging at all times) and W1 and W2 (water was initially applied to 5 cm level, then allowed the decrease through evaporation and rice plant use, being an advantage to allow soil moisture to decrease per time with a follow up to the decreased soil moisture from the resulting value set up by calibrating equation which was soil moisture used as (Hd=1200-1345 mV, Ss 1200-1500 mV) and (Hd< 1500 mV,Ss < 2000), respectively, gave the highest point of the sensor to apply water to rice again. Results of the study showed that the evaluation of the soil moisture sensor in an experimental condition included data resulting from the sensor, was able to show the complete test cycle completely in the experimental pot data downloaded and the data showed as results from the sensor involved less problem or no problem at all, especially when comparing the set up of the sensor in the farm plots, with data resulting or received was quite less variant. Aside from this, designing of the use of soil moisture sensor for farm plots must involve soil and crop properties such as site conditioms, type of soil, crop water requirement, form of water application including crop varieties. Here, the need for the minerals by the crops was also used as an element in considering the use of the sensor to evaluate soil moisture. In this study, the designing of water application for rice production as in alternate wet-dry water management, might include the consideration of the types of soil particularly the

characteristics of soil content including the need to calibrate in order to produce a Calibrating equation and the need to have the utmost care in setting up the sensor in order to store the use by farmers.

Key words: Soil Moitum, Sensor, Calibrating equation, water management

คำนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีหรือสารสนเทศที่ใช้เผยแพร่สำหรับเกษตรกรในอำเภอสันทรายเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากในการพัฒนาเกษตรกรรมที่มีผลทำให้เกิดความยั่งยืนในการใช้ที่ดินในการเกษตร โดยเฉพาะเรื่องการจัดการน้ำและความอุดมสมบูรณ์ของดินที่จะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้ดินปลูกพืชมีความยั่งยืน ดังนั้น การประเมินความชื้นของดินด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นของดินด้วยระบบการตรวจสอบความชื้นในดินและการชลประทานในแปลงขนาดใหญ่ สามารถติดตามความชื้นในดินได้ตรงกับเวลาที่เกิดขึ้นจริงและสามารถดูย้อนหลังได้ด้วย โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ถ้านำมาใช้ร่วมกับระบบการปลูกพืชภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีความแปรปรวน เช่น ความแห้งแล้งหรือน้ำท่วม ภาวะความแห้งแล้งถือว่าเป็นขีดจำกัดที่สำคัญในการปลูกพืช เพื่อให้ความชื้นในดินอยู่ในระดับที่พอเพียงกับความต้องการของพืช

ปัญหาในการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นของดินยังมีขีดจำกัดอยู่หลายประการ เช่น สมบัติของเนื้อดินที่แตกต่างกันจำเป็นจะต้องมีการปรับเทียบ (calibrating) โดยจะต้องมีสมการทางคณิตศาสตร์ในดินที่มีเนื้อดินต่างกันซึ่งเป็นปัญหาในการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณความชื้นที่วัดได้ดังกล่าวอาจจะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสมบัติของดิน เช่น เนื้อดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น และยังขาดวิธีการใช้เซนเซอร์ที่เหมาะสมซึ่งอาจจะต้องพิจารณาถึงตำแหน่งการติดตั้งรวมทั้งระดับความลึกของดินในการติดตั้งสำหรับพืชเศรษฐกิจสำคัญทั้งนี้เพื่อรองรับการใช้เทคโนโลยีเพื่อนำมาใช้จัดการน้ำหรือระบบฟาร์มอัจฉริยะ ซึ่งการพัฒนารูปแบบให้น้ำสำหรับระบบการปลูกพืชเพื่อนำไปสู่ระบบฟาร์มอัจฉริยะโดยอาศัยการตรวจวัดความชื้นของดินตามเวลาจริงโดยใช้เซนเซอร์นี้เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำและเพิ่มผลผลิตของพืช ประกอบกับภัยแล้งจากสถานการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในประเทศไทยที่พบบ่อยครั้ง ซึ่งพบได้อย่างชัดเจนของเกษตรกรที่ใช้น้ำในการทำการเกษตรและประสบปัญหาภัยแล้งตลอดฤดูการปลูกมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อการทำการเกษตร ดังนั้นการใช้ระบบการตรวจสอบความชื้นในดินเพื่อช่วยในการจัดการน้ำสำหรับการเกษตรเพื่อส่งผลในการปฏิบัติจริงและลดผลกระทบต่อการขาดน้ำ ผลผลิตเกษตรและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำทางการเกษตรอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อต้องการประเมินการใช้งานของเซนเซอร์วัดความชื้นของดิน

โดยเกิดจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่สำคัญคือ ชนิดของดินและพืช โดยศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นที่วัดโดยเซนเซอร์กับความชื้นโดยวิธีมาตรฐานและสมบัติต่าง ๆ ของดินเพื่อประเมินประสิทธิภาพในด้านความถูกต้องและแม่นยำของเซนเซอร์วัดความชื้นของดิน และประเมินการใช้งานในพืชที่มีระบบการให้น้ำแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานในชนิดดินและพืชที่มีระบบการให้น้ำแบบต่าง ๆ ได้ และเป็นฐานข้อมูลรองรับสำหรับการขยายแนวคิดระบบการจัดน้ำของฟาร์มอัจฉริยะในอนาคต ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการน้ำเพื่อการเกษตรที่มีคุณภาพและยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. การหาสมการปรับเทียบระหว่างค่าความชื้นที่วัดโดยเซนเซอร์กับปัจจัยที่เกี่ยวกับสมบัติของดินต่างๆ โดยใช้ความชื้นของที่วัดโดยวิธีมาตรฐาน

2. การประเมินประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำและเที่ยงตรงของเซนเซอร์วัดความชื้นของดินในการจัดการน้ำให้กับพืช (ข้าว ลำไย ข้าวโพด)

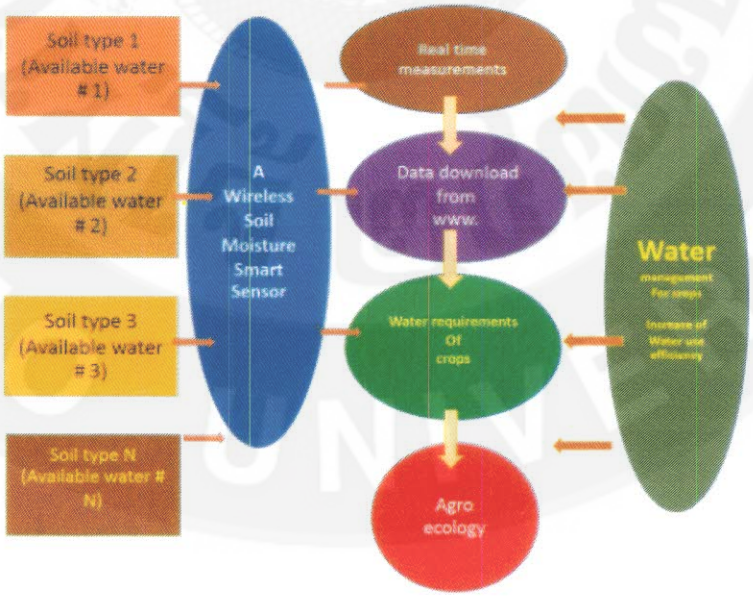
3. การพัฒนารูปแบบการจัดการน้ำสำหรับระบบการปลูกพืช (ข้าว ลำไย ข้าวโพด)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและขอบเขตของโครงการวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดความชื้นของดินด้วยระบบทำงานด้วยหลักการนำไฟฟ้าโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นที่วัดโดยเซนเซอร์กับสมบัติต่าง ๆ ของดินโดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ และมีการตรวจสอบความแม่นยำและถูกต้องในดินชนิดต่างๆ โดยทดสอบการให้น้ำภายใต้ระดับการศึกษาสภาพห้องปฏิบัติการ เรียนทดลอง และแปลงทดลอง การวิจัยครั้งนี้ใช้แนวคิดภายใต้การจัดการเกษตรแม่นยำ ซึ่งมีการใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นดินในการจัดการน้ำสำหรับการปลูกพืชทั้งในระดับกระถางและแปลงทดลอง เพื่อการพัฒนาไปสู่การสร้างรูปแบบการให้น้ำสำหรับพืชต่อไป

ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



ตรวจเอกสาร

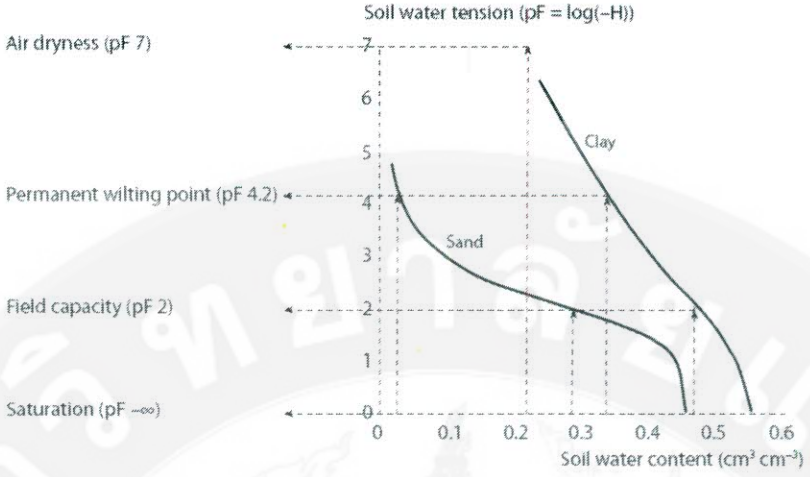
หลักการจัดการองค์ความรู้ทางด้านน้ำร่วมกับเทคโนโลยีขั้นสูงสำหรับการปลูกพืช

เกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision Farming) เป็นที่นิยมกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย และเริ่มแพร่หลายเข้าไปในหลายประเทศ ทั้งยุโรป ญี่ปุ่น แม้กระทั่งประเทศเพื่อนบ้านของเราอย่าง มาเลเซีย ก็มีการทำวิจัยทางด้านนี้ หรือไกลออกไปอีกนิด อย่างอินเดียก็ทดลองใช้เทคโนโลยีนี้กันอย่างกว้างขวาง จึงมีความจำเป็นที่ประเทศไทย จะต้องเริ่มให้ความสนใจในเรื่องนี้ให้มากขึ้น เพราะย่านนี้เป็นย่านของเกษตรกรรม ไม่ว่าจะเป็น พม่า ไทย ลาว กัมพูชา และเวียดนาม (ธีรเกียรติ์, 2550) Precision Farming ได้รับการนิยามและตั้งความหมายต่างๆ กันไป แม้แต่ชื่อก็ยังถูกเรียกได้หลายชื่อ แต่จะเน้น เทคโนโลยีหลักตัวไหน เช่น Precision Farming (การทำฟาร์มด้วยความแม่นยำสูง) ,Information-Intensive Agriculture (เกษตรที่เน้นการใช้สารสนเทศ) ,Prescription Farming (การทำฟาร์มแบบมีสูตร),Target Farming (การทำฟาร์มแบบมุ่งเป้า) Variable Rate Technology–VRT (เทคโนโลยีจัดการพื้นที่โดยปรับตามความเหมาะสม) สำหรับโครงการวิจัยที่จัดทำนี้จะใช้ Site Specific Crop Management (การจัดการผลผลิตแบบระบุพื้นที่) หรือ Variable Rate Management (การให้ปุ๋ยและน้ำและจัดการพื้นที่โดยปรับตามความเหมาะสม) หรือFarming by Soil (การทำฟาร์มโดยเน้นคุณสมบัติของดินในแต่ละพื้นที่ย่อย) (ธีรเกียรติ์, 2550)

1. สมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับระบบการให้น้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว

สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

- เนื้อดิน เป็นสมบัติของดินที่สามารถบ่งบอกปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ที่ซ้อนอยู่ “ hidden water” ในดินแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์ของแรงดึงน้ำ (tension) ของอนุภาคดินกับปริมาณน้ำแตกต่างกันไป โดยดินที่แรงดึงน้ำสูงแสดงว่าปริมาณน้ำโดยเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีต่ำ จึงเป็นการสะท้อนให้เห็นสภาพขาดน้ำ (water scarcity) และความแห้งแล้ง (drought) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำของดินกับปริมาณน้ำในดิน เราเรียกว่า “ soil water retention curve” หรือ “pF curve” โดยลักษณะของ pF curve จะแตกต่างกันไปขึ้นชนิดของดินโดยเฉพาะเนื้อดิน ความหนาแน่น องค์ประกอบทางแร่ และปริมาณอินทรียวัตถุในดิน



ภาพที่ 1 แรงดึงน้ำของดิน (pF curve) ของเนื้อละเอียดและดินเนื้อหยาบ
ที่มา : Lövenstein et al (1992)

เมื่อเปรียบเทียบดินเนื้อละเอียด (clay soil)กับดินเนื้อหยาบ (sand soil) จะมีจุดสำคัญ 4 จุด บนเส้นความสัมพันธ์ pF curve (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) สำหรับพืชไร่ทั่วไป ได้แก่ จุดอิ่มตัว (pF – α) ความชื้นภาคสนาม (field capacity,pF 2) จุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point = pF 4.2) และจุดดินแห้งสนิท (air dryness = pF 7)

ตารางที่ 1 สภาพดินที่มีความชื้นในดินระดับต่าง ๆโดยรายงานเป็นค่า pF และผลต่อการเจริญเติบโตของพืชไร่

ระดับความชื้นในดิน	pF	ลักษณะของดินและผลต่อพืช
ความชื้นที่อิ่มตัว	-α	น้ำจะปรากฏทุกช่องว่างของดิน
ระดับความชื้นภาคสนาม	2	**ความชื้นของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช**
ระดับความชื้นจุดเหี่ยวถาวร	4.2	ความชื้นของดินที่พืชไร่ทั่วไปไม่สามารถนำมาใช้ได้
ดินที่แห้งสนิท	7	ไม่มีน้ำอยู่ทุกช่องว่างในดิน

ที่มา: Bouman et al. (2007)

1.1. บริบททางกายภาพของอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

สำหรับอำเภอสันทรายตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของจังหวัดเชียงใหม่มีฐานทรัพยากรส่วนใหญ่เป็นพื้นเกษตรและป่าไม้สำหรับคนในชุมชนได้ใช้ประโยชน์ รองลงมาคือพื้นที่สำหรับการทำเกษตรกรรม เพื่อการเกษตรที่สำคัญได้แก่ข้าว ผัก พืชไร่และไม้ผลชนิดต่างๆ พื้นที่อำเภอสันทรายมีความสำคัญต่อคนในชุมชนในด้านเกษตรกรรมรวมไปถึงที่อยู่อาศัยและยังมีศูนย์กลางของการศึกษาที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ความรู้ในด้านการผลิตพืชที่สร้างรายได้และสร้างองค์ความรู้จากงานวิจัยต่างๆเพื่อใช้พัฒนาภาคการเกษตรมากมายทั้งยังมีหน่วยงานและองค์กรภายในจังหวัดสนับสนุนซึ่งการพัฒนาทรัพยากรพื้นที่เกษตรอำเภอสันทรายเป็นการพัฒนาฐานความรู้ให้กับคนในชุมชนหรือผู้ที่ต้องการจะศึกษาหรือนำไปใช้

-แหล่งน้ำของอำเภอสันทราย

แม่น้ำลำน้ำพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอสันทรายอยู่บนลุ่มน้ำแม่ปิงซึ่งมีลำน้ำแม่กวางเป็นลำน้ำสายหลักโดยมีลำน้ำย่อย 4 สายคือ 1. ลำน้ำแม่กวาง 2. ลำน้ำแม่คาว 3. ลำน้ำแม่ปิงและ 4. ลำน้ำแม่ริม โดยตำแหน่งของลำน้ำสาขาย่อยหนองบึงสระน้ำพื้นที่ในอำเภอสันทรายมีปริมาณน้ำจากการกักเก็บน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆได้ทั้งนี้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกเป็นหลักรองลงมาเป็นการนำไปใช้เพื่อการเลี้ยงสัตว์การประมงและน้ำสำหรับอุปโภคและบริโภคส่วนอุตสาหกรรมในครัวเรือนนั้นมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย

ชลประทานอ่างเก็บน้ำสระเก็บน้ำและฝายโครงสร้างแหล่งน้ำพัฒนาในอำเภอสันทรายที่มีอยู่แล้วจำนวน 8 แห่งได้แก่ ฝายแม่แฝก อ่างห้วยโจ้ ฝายห้วยแก้ว อ่างห้วยฮัก สูบน้ำช่วยเหลือพื้นที่หมู่บ้านฮักพัฒนา พัฒนาพื้นที่บ้านห้วยฮักพัฒนา (ประปา) อ่างห้วยเกี๋ยงและซ่อมพนังริมปิงกระจายตัวอยู่บริเวณทิศตะวันตกต่อเนื่องไปถึงตอนกลางของพื้นที่ จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินพบว่าอำเภอสันทรายมีแหล่งชลประทานในการทำการเกษตรในหน้าแล้งกระจายทั่วทั้งพื้นที่โดยมีฝายที่สำคัญคือฝายแม่แฝกที่มีขนาดฝาย 70,000 ลูกบาศก์เมตรทำให้แม่แฝกมีการทำการเกษตรในหน้าแล้งได้มากกว่าพื้นที่อื่นๆและส่วนใหญ่เป็นนาข้าวซึ่งเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญชลประทานแต่ละแห่งเป็นส่วนสำคัญให้อำเภอสันทรายสามารถทำการเกษตรในฤดูแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและชลประทานอื่นๆซึ่งมีขนาดกลางใช้ในการทำการเกษตรประเภท นาข้าวและไม้ผล เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งประสิทธิภาพของชลประทานเพียงพอต่อการใช้น้ำในพื้นที่โดยมีอ่างเก็บน้ำ ดังนี้ ฝายแม่แฝก อ่างห้วยโจ้ ฝายห้วยแก้ว อ่างห้วยฮัก สูบน้ำช่วยเหลือพื้นที่หมู่บ้านฮักพัฒนา พัฒนาพื้นที่บ้านห้วยฮักพัฒนา (ประปา), อ่างห้วยเกี๋ยงและซ่อมพนังริมปิงการมีชลประทานเสริมในแต่ละของพื้นที่เพาะปลูกที่มีอยู่จะสามารถเพิ่มการผลิตธัญพืชได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณน้ำฝนปริมาณน้ำฝนพื้นที่รับน้ำฝนในขอบเขตอำเภอสันทรายแยกเป็นรายตำบล พบว่าปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายนมีปริมาณน้ำฝนมากที่สุดส่วนในช่วงเดือนธันวาคม-มีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้ำฝนปานกลางอำเภอสันทรายมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีระดับปานกลางอยู่ที่ 1200 มิลลิเมตรต่อปี

การใช้พื้นที่ป่าตั้งอยู่บริเวณตอนบนของอำเภอสันทรายมีเนื้อที่อยู่ประมาณ 131.29 ตารางกิโลเมตรหรือร้อยละ 38.63 ของพื้นที่ทั้งหมดภายในอำเภอสันทรายการศึกษาพื้นที่ป่าจะแสดงให้เห็นถึงทรัพยากรป่าของพื้นที่ในอำเภอสันทรายในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรเนื่องมาจากการตั้งถิ่นที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น จำนวนประชากรเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พื้นที่ป่าโดนเปิดเป็นที่อยู่อาศัย

การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตรอำเภอสันทรายมีปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 76,171.88 ไร่การศึกษาพื้นที่ทำเกษตรกรรมในอำเภอสันทราย ประเภทต่างๆสามารถบอกถึงความเป็นประโยชน์ของการใช้ที่ดินได้จะนำไปสู่การผลิตการเกษตรที่ดีมีกำลังในการผลิตแต่ละที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ในภาคเกษตรมีความจำเป็นอย่างมาก ในการเปลี่ยนแปลงการใช้ทรัพยากรเกษตรมีผลต่อฐานการผลิตของประเทศตามไปด้วย เพราะในปัจจุบันฐานทรัพยากรนั้นสำคัญมากอย่างยิ่งความต้องการอาหารจึงมากขึ้น นำไปสู่การใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพควรเน้นการทำการเกษตร เพราะสามารถให้ประโยชน์แก่เกษตรกรได้หลายประการ

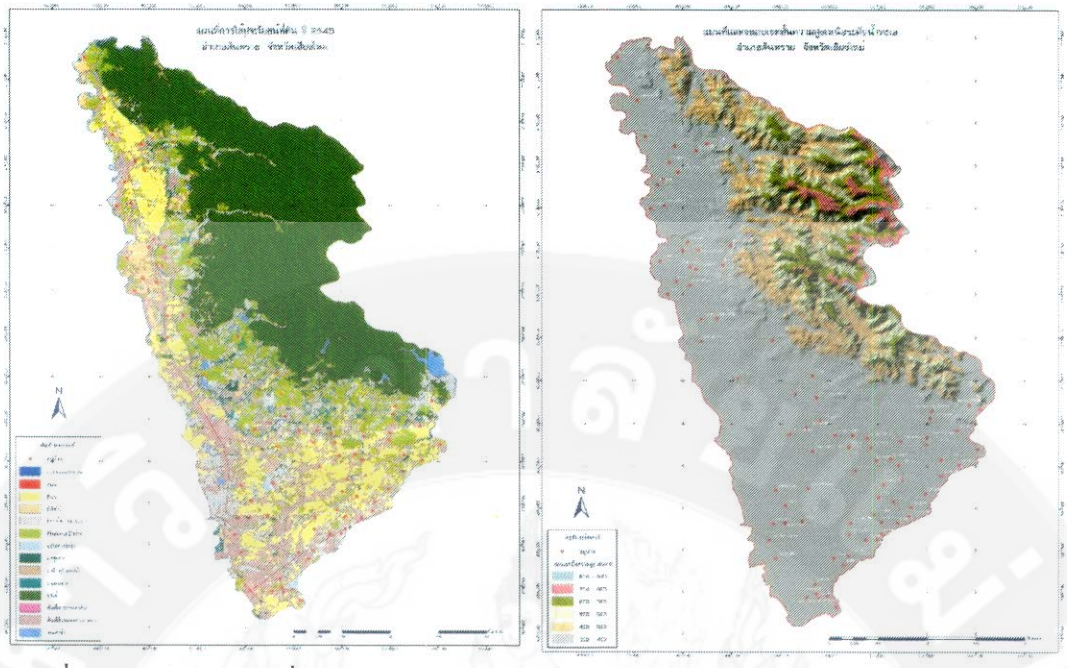
- *การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตร*

อำเภอสันทรายส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรคือทำนา ทำสวน ทำไร่ ปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 76,171.88 ไร่คิดเป็นร้อยละ 35.86 ของพื้นที่อำเภอสันทรายโดยเป็นพื้นที่นาข้าวประมาณ 33,255.85 ไร่คิดเป็นร้อยละ 15.65 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมดเป็นพื้นที่ไม้ผล 32,302.66 ไร่คิดเป็นร้อยละ 15.20 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมดเป็นพืชไร่ 7,150.62 ไร่คิดเป็นร้อยละ 3.36 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมดเป็นพืชผัก 293.90 ไร่คิดเป็นร้อยละ 0.13ของพื้นที่เกษตรและอื่นๆอีก 3,168.85 ไร่คิดเป็นร้อยละ1.49 ของพื้นที่เกษตรทั้งหมด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอสันทราย

พื้นที่อำเภอ (ไร่)	นาข้าว	พืชไร่	พืชผัก	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	อื่นๆ	รวม
212,410.92	33,255.85	7,150.62	293.90	32,302.66	3,168.85	76,171.88

กรมพัฒนาที่ดิน (2559)



ภาพที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอสันทราย

1.2. บริบททางกายภาพของอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

เป็นอำเภอหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ทางตอนกลางของจังหวัด และเป็นอำเภอที่มีความเจริญทางเศรษฐกิจในลำดับต้นๆ ของจังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากเป็นเส้นทางสำคัญที่ผ่านจากจังหวัดเชียงใหม่ไปยังจังหวัดเชียงรายมีฐานทรัพยากรส่วนใหญ่เป็นพื้นเกษตรและป่าไม้สำหรับคนในชุมชนได้ใช้ประโยชน์ เพื่อการเกษตรที่สำคัญได้แก่ ข้าว ลำไย

-แหล่งน้ำของอำเภอดอยสะเก็ด

แหล่งน้ำธรรมชาติลำน้ำพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอดอยสะเก็ดอยู่บนลุ่มน้ำแม่ปิง ซึ่งมีลำน้ำแม่กวงเป็นลำน้ำสายหลัก โดยมีลำน้ำย่อย 8 สาย คือ 1 .ลำน้ำแม่กวาง 2. ลำน้ำแม่ดอกแดง 3. ลำน้ำแม่โป่ง 4. ลำน้ำแม่ฮ่องฮัก 5. ลำน้ำแม่ลาว 6. ลำน้ำแม่งัด 7. ลำน้ำแม่ปิง และ 8. ลำน้ำแม่สวย โดยตำแหน่งของลำน้ำสาขาย่อยได้แสดงในรูปที่ 2-2 หนอง บึง สระน้ำ

พื้นที่ในอำเภอดอยสะเก็ดมีปริมาณน้ำจากการกักเก็บน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ได้ ทั้งนี้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกเป็นหลัก รองลงมาเป็นการนำไปใช้ในการเลี้ยงสัตว์ การประมง และน้ำสำหรับอุปโภคบริโภค ส่วนอุตสาหกรรมในครัวเรือนนั้น มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อยมาก

โครงสร้างพื้นฐานของแหล่งน้ำอ่างเก็บน้ำ สระเก็บน้ำ และฝายโครงสร้างแหล่งน้ำพัฒนาในอำเภอดอยสะเก็ดที่มีอยู่แล้วมีจำนวน 34 แห่ง ซึ่งมีอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา เป็นเขื่อนขนาดใหญ่ อยู่บริเวณทิศเหนือของพื้นที่ และมีอ่างเก็บน้ำ สระเก็บน้ำ และฝายขนาดเล็กกระจายตัวอยู่บริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่

ภายในอำเภอดอยสะเก็ด มีจำนวนบ่อบาดาลทั้งหมด 332 บ่อ ส่วนใหญ่อยู่บริเวณทิศใต้ของพื้นที่ ดังรูปที่ 2-5 และมีระดับบ่อบาดาลลึกมากและไม่ลึกมาก ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากของบ่อบาดาลดังกล่าวนั้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ เช่น ทำการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ และอุตสาหกรรมในครัวเรือน ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นน้ำสำหรับอุปโภคและบริโภคเป็นหลัก

พื้นที่ป่าไม้ภายในอำเภอดอยสะเก็ดถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นพื้นที่ดูดซับน้ำจากฝนและไหลลงสู่ลำน้ำแม่ปูคา น้ำแม่กอง น้ำแม่ลายน้อย น้ำแม่วอง และน้ำแม่หวาน ซึ่งพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมดมีอยู่ประมาณ 488.42 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 70.06 ของพื้นที่ทั้งหมดภายในอำเภอดอยสะเก็ด จัดได้ว่ามีสภาพป่าไม้โดยรวมมีความอุดมสมบูรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นป่าผลัดใบสมบูรณ์ อยู่บริเวณทิศเหนือต่อเนื่องไปถึงทิศตะวันออกของพื้นที่ และบางส่วนเป็นป่าดิบสมบูรณ์ อยู่บริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตรอำเภอดอยสะเก็ดมีปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 72,139 ไร่

การศึกษาพื้นที่ทำเกษตรกรรมในอำเภอพร้าว มีการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ในภาคเกษตรมีความจำเป็นอย่างมาก ในการเปลี่ยนแปลงการใช้ทรัพยากรเกษตรมีผลต่อฐานการผลิตของประเทศตามไปด้วย เพราะในปัจจุบันฐานทรัพยากรนั้นสำคัญมากยิ่งขึ้นความต้องการอาหารมากยิ่งขึ้น นำไปสู่การใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพควรเน้นการทำการเกษตร เพราะสามารถให้ประโยชน์แก่เกษตรกรได้หลายประการ

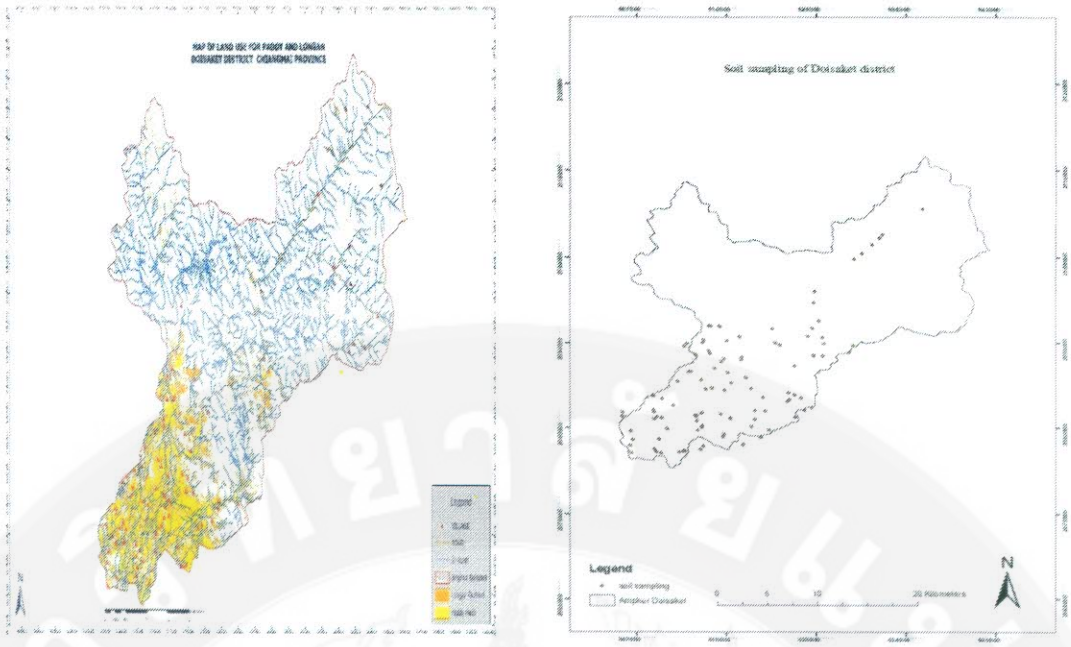
- *การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตร*

อำเภอดอยสะเก็ดส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรคือทำนาทำสวนทำไร่ปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 72,139 ไร่คิดเป็นร้อยละ 17.68 ของพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ดโดยเป็นพื้นที่นาข้าวประมาณ 39,154 ไร่ ไม้ผล 18,692 ไร่ พืชไร่ 3,535 ไร่ และแหล่งน้ำอีก 8,903 ไร่ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอดอยสะเก็ด

นาข้าว	พืชไร่	พืชผัก/ไร่หมุนเวียน	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	แหล่งน้ำ	รวม
39,154	3,535	1,855	18,692	8,903	72,139

กรมพัฒนาที่ดิน (2559)



ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอดอยสะเก็ด

1.3. บริบททางกายภาพของอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่

สำหรับอำเภอพร้าวตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดเชียงใหม่มีฐานทรัพยากรส่วนใหญ่เป็นพื้นเกษตรและป่าไม้สำหรับคนในชุมชนได้ใช้ประโยชน์ รองลงมาคือพื้นที่สำหรับการทำเกษตรกรรม เพื่อการเกษตรที่สำคัญได้แก่ไม้ผลชนิดต่างๆ พื้นที่มีความสำคัญต่อคนในชุมชนในด้านเกษตรกรรมโดยการผลิตพืชที่สร้างรายได้และสร้างองค์ความรู้จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อใช้ในการพัฒนาภาคการเกษตรมากมายทั้งยังมีหน่วยงานและองค์กรภายในจังหวัดสนับสนุนการพัฒนาทรัพยากรพื้นที่เกษตรอำเภอพร้าวเป็นการพัฒนาฐานความรู้ให้กับคนในชุมชนหรือผู้ที่ต้องการจะศึกษาหรือนำไปใช้

-แหล่งน้ำของอำเภอพร้าว

พื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอพร้าวอยู่บนลุ่มน้ำแม่งัด ซึ่งมีลำน้ำแม่งัดเป็นลำน้ำสายหลัก โดยมี ลำน้ำย่อย 6 สาย คือ 1.ลำน้ำแม่งัด ต้นน้ำเริ่มจากตำบลป่าไหนไหลผ่าน ตำบลสันทราย ตำบลบ้านโป่ง ตำบลน้ำแพร่ ตำบลเขื่อนผาก ตำบลแม่ปั๋ง ถือเป็นต้นน้ำปิงสายหนึ่ง และเป็นสายที่ยาวที่สุดของอำเภอพร้าว ซึ่งมีความยาวประมาณ 50 กิโลเมตร 2. ลำน้ำแม่โก๋น ต้นน้ำเริ่มจากตำบลป่าไหน่ ไหลผ่านตำบลสันทราย ตำบลเวียง มีความยาวประมาณ 9 กิโลเมตร 3 .ลำน้ำแม่แวน ต้นน้ำเริ่มจากตำบลแม่แวนไหลผ่านตำบลแม่แวน มีความยาวประมาณ 20 กิโลเมตร 4.ลำน้ำแม่สะรวม ต้นน้ำเริ่มจากตำบลป่าตุ้ม ไหลผ่านตำบลเวียง ตำบลทุ่งหลวง มีความยาวประมาณ 10 กิโลเมตร 5. ลำน้ำแม่ธาตุ ต้นน้ำเริ่มจากตำบลป่าตุ้ม ไหลผ่านตำบลเวียง มีความยาวประมาณ 8 กิโลเมตร และ 6. ลำน้ำแม่ขอด ต้นน้ำเริ่มจากตำบลโหล่งขอด ไหลผ่านตำบลโหล่งขอด มีความยาวประมาณ 15 กิโลเมตร

พื้นที่ในอำเภอพร้าวมีปริมาณน้ำจากการกักเก็บน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ได้ ทั้งนี้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกเป็นหลัก รองลงมาเป็นการนำไปใช้เพื่อการเลี้ยงสัตว์ การประมง และน้ำสำหรับอุปโภคบริโภค ส่วนอุตสาหกรรมในครัวเรือนนั้น มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย โครงสร้างแหล่งน้ำพัฒนาในอำเภอพร้าวที่มีอยู่แล้วมีจำนวน 28 แห่ง ซึ่งมีอ่างเก็บน้ำ สระเก็บน้ำ และฝาย ทั้งขนาดกลางและขนาดเล็ก กระจายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่

อำเภอพร้าวมีแม่น้ำไหลผ่าน จำนวน 9 สาย ได้แก่ ลำน้ำแม่งัด ลำน้ำแม่โก๋น ลำน้ำแม่แวน ลำน้ำแม่สะรวม ลำน้ำแม่ธาตุ ลำน้ำแม่ขอด ลำน้ำแม่สม ลำน้ำแม่ลาด และลำน้ำแม่พวก ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของน้ำแม่งัด โดยน้ำแม่งัดเป็นลำน้ำสาขาของน้ำแม่ปิง มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมดประมาณ 1,309 ตารางกิโลเมตร ลำน้ำนี้มีต้นกำเนิดจากดอยจิ๊กจ๊อง ทางตอนเหนือของเทือกเขาผีปันน้ำตะวันตกซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดเชียงใหม่ ลำน้ำนี้ไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ผ่านพื้นที่อำเภอพร้าว ในเขตตำบลสันทราย ตำบลบ้านโป่ง ตำบลน้ำแพร่ ตำบลเขื่อนผาก ตำบลแม่แวน ตำบลแม่ปั๋ง ตำบลบ้านเป้า ตำบลช่อแล และไหลผ่านเขื่อนแม่งัดมบูรณ์ชล บรรจบกับแม่น้ำปิงที่บ้านใหม่ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ รวมความยาวทั้งสิ้น 95 กิโลเมตร มีความจุ 265 ล้านลูกบาศก์เมตร กล่าวได้ว่าอำเภอพร้าวมีแหล่งน้ำที่อุดมสมบูรณ์พอสมควร

การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตรอำเภอพร้าวมีปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 800,575 ไร่การศึกษาพื้นที่ทำเกษตรกรรมในอำเภอพร้าว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ในภาคเกษตรมีความจำเป็นอย่างมาก ว่าการเปลี่ยนแปลงในการใช้ทรัพยากรเกษตรมีผลต่อฐานการผลิตของประเทศตามไปด้วย เพราะในปัจจุบันฐานทรัพยากรนั้นสำคัญมากยิ่งขึ้นความต้องการอาหารจึงมากยิ่งขึ้น จึงนำไปสู่การใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพนั้นควรเน้นการทำการเกษตร เพราะสามารถให้ประโยชน์แก่เกษตรกรได้หลายประการ

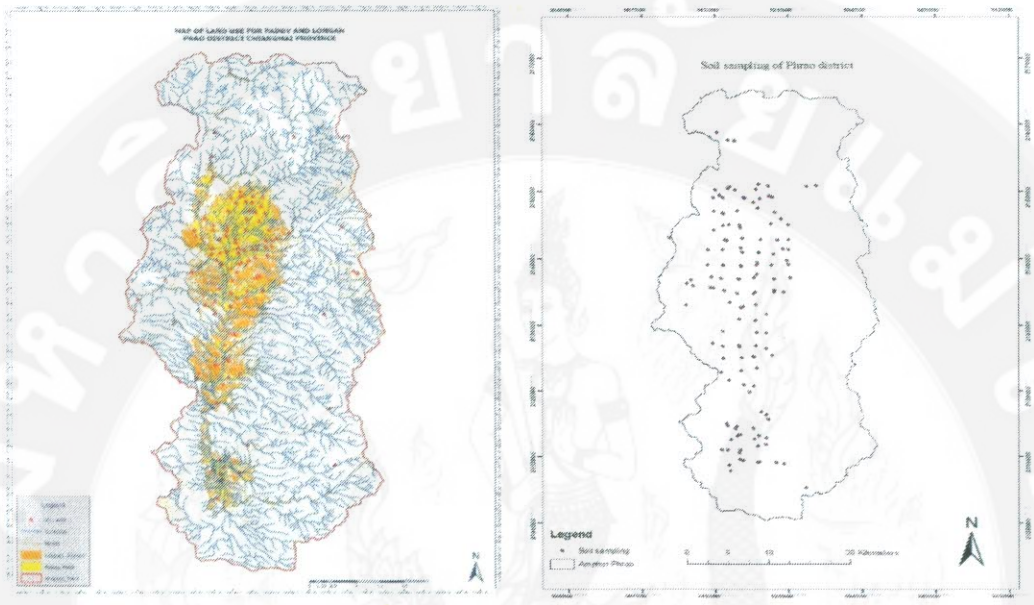
- *การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตร*

อำเภอพร้าวส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรคือทำนาทำสวนทำไร่ปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 179,704 ไร่คิดเป็นร้อยละ 22.45 ของพื้นที่อำเภอพร้าวโดยเป็นพื้นที่นาข้าวประมาณ 46,204 ไร่ ไม้ผล 82,864 ไร่ พืชไร่ 30,625 ไร่ และแหล่งน้ำอีก 4,304 ไร่ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอพร้าว

นาข้าว	พืชไร่	พืชผัก/ไร่หมุนเวียน	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	แหล่งน้ำ	รวม
46,204	15,707	30,625	82,864	4,304	179,704

กรมพัฒนาที่ดิน (2559)



ภาพที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอพร้าว

1.4. บริบททางกายภาพของอำเภอสารภี จังหวัดเชียงใหม่

อำเภอสารภีเป็นอำเภอหนึ่งในเขตปริมณฑลของนครเชียงใหม่ที่มีความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนาทุก ๆ ด้านจนเป็นอำเภอขนาดใหญ่ในแง่สถานประกอบการและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ของจังหวัด ได้รับประโยชน์มาจากนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ ลำพูน ปัจจุบันอำเภอสารภีถือได้ว่ามีการพัฒนาจนสภาพความเจริญเป็นเขตเมืองที่เชื่อมต่อกับนครเชียงใหม่ มีประชากรหนาแน่นรองจากอำเภอเมืองเชียงใหม่ และเป็นอำเภอที่รองรับความเจริญของนครเชียงใหม่เพื่อขยายไปยังเมืองลำพูน พื้นที่ส่วน ใหญ่มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ถูกใช้ในการเกษตร ซึ่งนิยม ปลูกข้าวและลำไยเป็นหลัก

แหล่งน้ำของอำเภอสารภี

แหล่งน้ำธรรมชาติ

ลำน้ำพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอสารภีอยู่บนลุ่มน้ำแม่ปิง ซึ่งมีลำน้ำแม่ปิงเป็นลำน้ำสายหลัก โดยมีลำน้ำย่อย 2 สาย คือ 1.ลำน้ำแม่กวง และ 2.ลำน้ำแม่ปิง โดยตำแหน่งของลำน้ำสาขาย่อยได้แสดงในรูปที่ 2-2 และภาคผนวก ข

หนอง บึง สระน้ำ

พื้นที่ในอำเภอสารภีมีปริมาณน้ำจากการกักเก็บน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ได้ ทั้งนี้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกเป็นหลัก รองลงมาเป็นการนำไปใช้เพื่อการเลี้ยงสัตว์ การประมง และน้ำสำหรับอุปโภคบริโภค ส่วนอุตสาหกรรมในครัวเรือนนั้น มีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย

บ่อบาดาลภายในอำเภอสารภี มีจำนวนบ่อบาดาลทั้งหมด 156 บ่อ กระจายตัวอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ และมีระดับบ่อบาดาลทั้งลึกมาก และไม่ลึกมาก ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จากของบ่อบาดาลดังกล่าวดังรูปที่ 2-5 สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ เช่น ทำการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ และอุตสาหกรรมในครัวเรือน ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้เป็นน้ำสำหรับอุปโภคและบริโภคเป็นหลัก

โครงสร้างพื้นฐานของแหล่งน้ำอ่างเก็บน้ำ สระเก็บน้ำ และฝายโครงสร้างแหล่งน้ำพัฒนาในอำเภอสารภีที่มีอยู่แล้วมีจำนวน 2 แห่ง คือ ฝายแม่สะลานเป็นฝายขนาดกลาง และฝายแม่ปิงเก่าเป็นฝายขนาดเล็ก อยู่บริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่อำเภอสารภีมีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบไม่มีภูเขา มีแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่พัฒนาแล้วหลายแหล่ง แหล่งน้ำที่สำคัญได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำกวง แม่น้ำพวกแม่น้ำปูคา และแม่น้ำออน แต่เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจทำให้ความต้องการใช้น้ำมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันพบว่า อำเภอสารภีมีปัญหาการใช้น้ำในหลายๆ ด้าน เช่น ปัญหาขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง แหล่งน้ำตื้นเขิน/ชำรุด น้ำท่วมในฤดูน้ำหลาก น้ำประปาไม่มีคุณภาพและไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน แหล่งน้ำอยู่ต่ำกว่าพื้นที่ และปัญหาการจัดการน้ำ

การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตรอำเภอสารภีมีปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 41,523 ไร่การศึกษาพื้นที่ทำเกษตรกรรมในอำเภอสารภี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่ในภาคเกษตรมีความจำเป็นอย่างมาก ว่าการเปลี่ยนแปลงในการใช้ทรัพยากรเกษตรมีผลต่อฐานการผลิตของประเทศตามไปด้วย เพราะในปัจจุบันฐานทรัพยากรนั้นสำคัญมากยิ่งขึ้นความต้องการอาหารจึงมากยิ่งขึ้น จึงนำไปสู่การใช้ที่ดินอย่างมีประสิทธิภาพนั้นควรเน้นการทำการเกษตร เพราะสามารถให้ประโยชน์แก่เกษตรกรได้หลายประการ

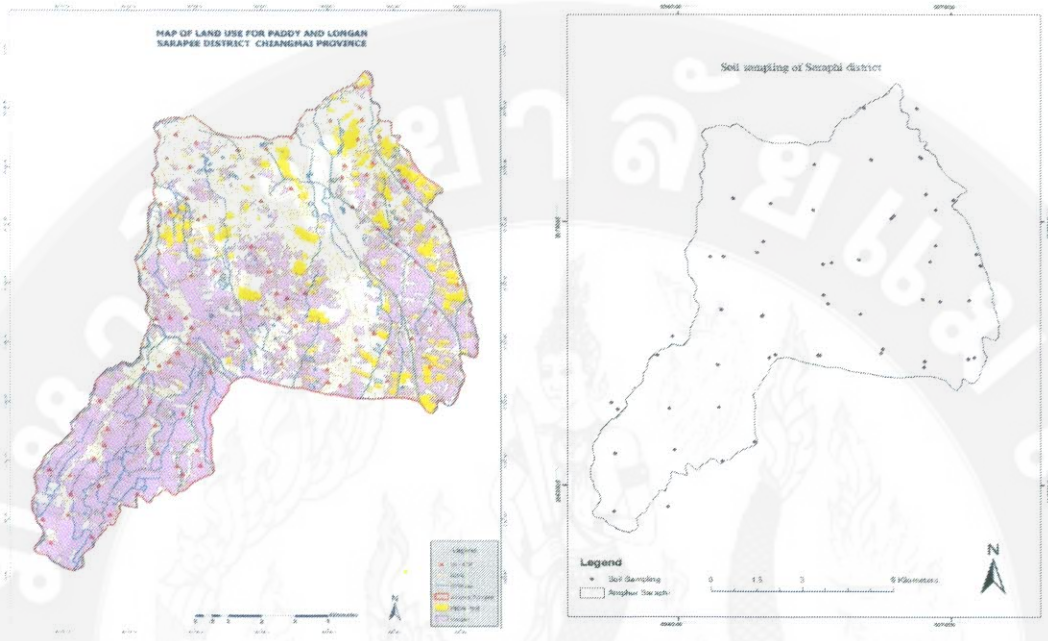
- *การใช้ทรัพยากรพื้นที่เกษตร*

อำเภอสารภีส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทางการเกษตรคือทำนาทำสวนทำไร่ปริมาณการใช้พื้นที่เกษตรทั้งหมด 41,523 ไร่คิดเป็นร้อยละ 62 ของพื้นที่อำเภอสารภีโดยเป็นพื้นที่นาข้าวประมาณ 7,117 ไร่ ไม้ผล 29,788 ไร่ พืชไร่ 110 ไร่ และแหล่งน้ำอีก 1,320 ไร่ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การใช้ทรัพยากรดินเพื่อการเพาะปลูกของอำเภอสารภี

นาข้าว	พืชไร่	พืชผัก	ไม้ผล/ไม้ยืนต้น	แหล่งน้ำ	รวม
7,117	110	3,188	29,788	1,320	41,523

กรมพัฒนาที่ดิน (2559)



ภาพที่ 5 การใช้ประโยชน์ที่ดินของอำเภอสารภี

2. เกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision Farming) เป็นที่นิยมกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย และเริ่มแพร่หลายเข้าไปในหลายประเทศ ทั้งยุโรป ญี่ปุ่น แม้กระทั่งประเทศเพื่อนบ้านของเราอย่า มาเลเซีย ก็มีการทำวิจัยทางด้านนี้ หรือไกลออกไปอีกนิด อย่างอินเดียก็ทดลองใช้เทคโนโลยีนี้กันอย่างกว้างขวาง จึงมีความจำเป็นที่ประเทศไทย จะต้องเริ่มให้ความสนใจในเรื่องนี้ให้มากขึ้น เพราะย่านนี้เป็นย่านของเกษตรกรรม ไม่ว่าจะเป็น พม่า ไทย ลาว กัมพูชา และเวียดนาม (ธีรเกียรติ์, 2550) Precision Farming ได้รับการนิยามและตั้งความหมายต่างๆ กันไป แม้แต่ชื่อก็ยังถูกเรียกได้หลายชื่อ ตามแต่จะเน้น เทคโนโลยีหลักตัวไหน เช่น Precision Farming (การทำฟาร์มด้วยความแม่นยำสูง) ,Information-Intensive Agriculture (เกษตรที่เน้นการใช้สารสนเทศ) ,Prescription Farming (การทำฟาร์มแบบมีสูตร),Target Farming (การทำฟาร์มแบบมุ่งเป้า) Variable Rate Technology–VRT (เทคโนโลยีจัดการพื้นที่โดยปรับตามความเหมาะสม) สำหรับโครงการวิจัยที่จัดทำนี้จะใช้ Site Specific Crop Management (การจัดการผลผลิตแบบระบุพื้นที่) หรือ Variable Rate Management (การให้ปุ๋ยและน้ำและจัดการพื้นที่โดยปรับตามความเหมาะสม) หรือFarming by Soil (การทำฟาร์มโดยเน้นคุณสมบัติของดินในแต่ละพื้นที่ย่อย) (ธีรเกียรติ์, 2550)

-ระบบการตรวจสอบความชื้นดิน เป็นระบบการตรวจสอบความชื้นดินและการชลประทานในแปลงขนาดใหญ่เป็นระบบที่พัฒนาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสามารถติดตามความ ชื้นดินและข้อมูลอื่นๆ ที่ได้จากเซนเซอร์ที่อยู่ในเครือข่ายได้ถึง 100 ตัวที่ติดตั้งไว้ในรัศมี 300 เมตร ค่าที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำให้ข้อมูล ที่ได้สามารถติดตามได้ตรงกับเวลาที่เกิดขึ้นจริงและสามารถดูย้อนหลังได้ด้วย โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

หลักการทำงาน

Soil moisture sensor brand by MTEC

Base station unit

ภาพที่ 6 การวัดความชื้นในดินโดยเซนเซอร์ตามเวลาจริงค่าที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต (ที่มา: ศุภธิดา ,2559)

ตารางที่ 6 ตัวอย่างค่าความชื้นในดินที่วัดโดยเซนเซอร์ตามเวลาจริงค่าที่ได้จะถูกบันทึกในรูปของไฟล์เอกเซล (Excel) ไว้ในเครื่องเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

date	time	เซนเซอร์ (mV)							
		A	B	C	D	E	F	G	H
19/6/2016	0:00:01	1668	1571	1795	1561	1793	1704	1388	1984
19/6/2016	0:10:01	1666	1568	1782	1548	1794	1703	1389	1984
19/6/2016	0:20:02	1664	1571	1773	1542	1795	1701	1390	1986
19/6/2016	0:30:00	1663	1571	1771	1533	1792	1700	1390	1989

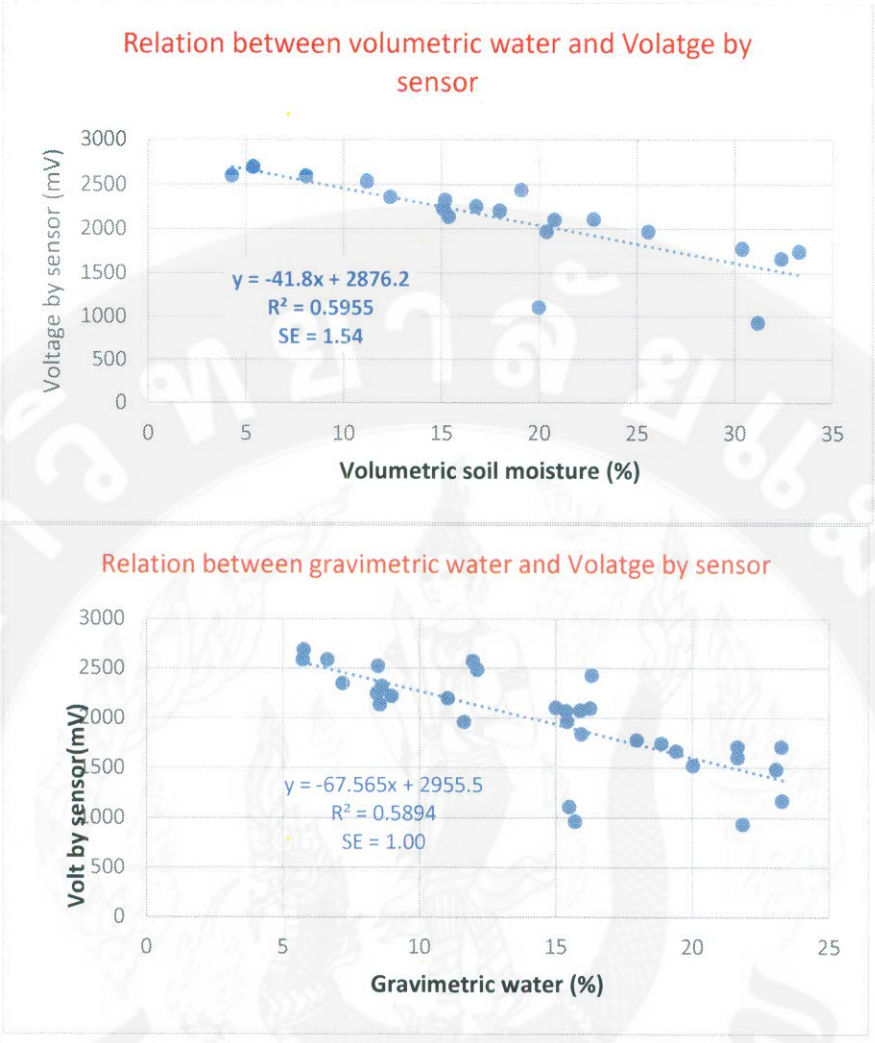
19/6/2016	0:40:01	1663	1569	1762	1528	1795	1703	1392	1990
19/6/2016	0:50:02	1662	1570	1758	1524	1796	1705	1391	1987
19/6/2016	1:00:01	1659	1573	1756	1520	1795	1705	1390	1989
19/6/2016	1:10:02	1659	1576	1756	1517	1796	1706	1391	1992
19/6/2016	1:20:00	1657	1578	1753	1517	1788	1701	1386	1983
19/6/2016	1:30:02	1655	1582	1749	1510	1793	1702	1389	1987
19/6/2016	1:40:00	1645	1571	1747	1508	1795	1701	1391	1986
19/6/2016	1:50:00	1645	1574	1747	1510	1795	1707	1388	1985
19/6/2016	2:00:00	1644	1577	1751	1508	1792	1703	1385	1985
19/6/2016	2:10:02	1644	1582	1749	1509	1795	1701	1391	1998
19/6/2016	2:20:02	1645	1582	1751	1512	1792	1702	1390	1995
19/6/2016	2:30:00	1645	1584	1748	1510	1792	1701	1387	1992
19/6/2016	2:40:01	1646	1583	1753	1512	1794	1707	1390	1997
19/6/2016	2:50:01	1647	1585	1755	1513	1789	1715	1389	1995
19/6/2016	3:00:02	1648	1586	1756	1513	1791	1729	1388	2000
19/6/2016	3:10:00	1646	1588	1752	1514	1792	1737	1386	1999
19/6/2016	3:20:01	1647	1589	1755	1515	1794	1742	1390	2001
19/6/2016	3:30:02	1648	1590	1754	1517	1790	1747	1386	2001
19/6/2016	3:40:01	1645	1593	1755	1517	1792	1747	1389	2003

- สมการเส้นตรงสำหรับปรับเทียบ (Calibrating) ค่าความชื้นในดินโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาปริมาณความชื้นในดินในรูปแบบต่าง ๆ

การปรับค่า Voltage ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ไปเป็นค่าความชื้นโดยปริมาตรหรือโดยน้ำหนักจะประเมินจากสมการที่ได้สมการเส้นตรง:

y= m*x-b, เมื่อ m = slope ของสมการเส้นตรง

ความชื้นโดยน้ำหนัก (ปริมาตร)= m* (ค่า mV ที่อ่านได้จากเซนเซอร์)-b;เมื่อ mV = milivoltage



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ (model) ในการปรับเทียบเป็นความชื้นโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรสำหรับดินเนื้อหยาบ (ที่มา: ศุภธิดา, 2559)

3. ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ของชุดดินต่างๆ ในประเทศไทย

จากการศึกษาปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักดิน ของชุดดินต่างๆ ในประเทศไทย รวม 92 ชุดดิน ที่ระดับความลึก 0-10 10-30 30-60 และ 60-120 เซนติเมตร โดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังนี้คือ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ คือความชื้นในดินช่วงจากความชื้นที่ความจุสนามถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรและความชื้นที่ความจุสนามตามที่ใช้กันมานาน คือ ความชื้นหรือน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ที่พลังงาน –33กิโลพาสคาล และความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวร คือ ความชื้นหรือน้ำที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ที่พลังงาน -1500 กิโลพาสคาล (สมปอง และคณะ, 2559)

จากรายงานจากการทดลองของสุนทรี (2535) พบว่าความชื้นความจุสนามส่วนใหญ่คือความชื้นที่ดินดูดซับไว้ด้วยพลังงาน -5 ถึง -10 กิโลพาสคาล หรือ -10 ถึง -20 กิโลพาสคาล (สมปอง และคณะ, 2559)

โดยเฉพาะดินในเขตร้อนอย่างประเทศไทย ยกเว้นดินที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัด ซึ่ง Gardner and Widsoe (1921) อ้างตาม สมปอง และคณะ (2559) ได้สรุปไว้ว่าน้ำที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่น้ำซึ่งดินสามารถดูดยึดไว้โดยที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ปริมาณความชื้นดินที่ความจุสนาม อยู่ระหว่างแรงดึงดูด -10 ถึง -33 กิโลพาสคาล และที่จุดเหี่ยวเฉา อยู่ที่ -1500 กิโลพาสคาล ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ จากความชื้นความจุสนาม -10 กิโลพาสคาล (กรณีที่ 1) แล้วเปรียบเทียบกับการหาจากความชื้นความจุสนาม -33 กิโลพาสคาล (กรณีที่ 2) ผลการศึกษาปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ของชุดดินต่าง ๆ ในประเทศไทย โดยได้ศึกษาลักษณะทั่วไปของชุดดินที่ศึกษา (ดูรายละเอียดจากตารางภาคผนวกที่ 1) ส่วนปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ผลการศึกษาแบ่งออกเป็นภาคต่างๆ ตามชั้นขนาดอนุภาคดิน กลุ่มชุดดิน และชุดดิน (สมปอง และคณะ, 2559)

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินและปริมาณน้ำ (โดยน้ำหนัก) ที่พืชใช้ประโยชน์ได้เมื่อความชื้นความจุสนาม มีค่าพลังงาน -10 และ -33 กิโลพาสคาล

เนื้อดิน	AWC1 (% by wt)	เฉลี่ย	AWC2 (% by wt)	เฉลี่ย
ดินทราย (Sand : S)	1.77-10.71	4.38	1.06-5.23	2.35
ดินทรายปนดินร่วน (Loamy sand : LS)	6.29-13.85	9.24	3.34-12.39	6.03
ดินร่วนปนทราย (Sand loam : SL)	8.42-22.18	14.75	5.87-17.78	11.83
ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sand clay loam :SCL)	15.45-26.01	18.97	13.12-20.13	15.86
ดินเหนียวปนทราย (Sand clay : SC)	17.51-21.12	20.56	15.23-18.71	17.34
ดินร่วน (Loam : L)	19.06-26.48	23.69	18.25-22.05	20.27
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay loam : CL)	18.22-25.29	22.82	15.07-21.15	18.29
ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt loam : SiL)	23.68-29.42	27.05	21.65-23.63	22.26
ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silt loam : SiCL)	20.96-27.63	24.1	16.46-22.89	20.34
ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silt clay : SiC)	18.86-25.03	22.95	16.29-21.44	20.23
ดินเหนียว (Clay :C)	16.18-33.97	22.91	12.93-22.82	18.79

หมายเหตุ : -AWC (Available Water Capacity) คือ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้

-AWC1 คือ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ เมื่อความชื้นความจุสนามมีค่าพลังงาน -10 กิโลพาสคาล (กรณีที่ 1)

-AWC2 คือ ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ เมื่อความชื้นความจุสนามมีค่าพลังงาน -33 กิโลพาสคาล (กรณีที่ 2)

ที่มา: สมปอง และคณะ (2559)

-จุดพิกัดบนของความเป็นประโยชน์

จุดพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินเดิมใช้คำว่าความชื้นที่ความจุสนาม ซึ่งหมายถึงความชื้นที่เหลือในดินหลังจากให้น้ำแก่ดินจนเปียกแล้วปล่อยให้มีการระบายน้ำออกจากดินจนการระบายน้ำนั้นช้ามากโดยทั่วไปเป็นเวลา 2-3 วัน หลังจากให้น้ำ ฉะนั้นค่าความชื้นที่ความจุสนามจึงเป็นค่าโดยประมาณจะกำหนดค่าแน่นอนเชิงปริมาณไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดดินและสภาพขอบเขตบนและขอบเขตล่างของดิน ในระยะแรกพบว่าเป็นค่าความชื้นที่ประมาณ -0.33 x 105 พาสคาล (Pa) แต่ในระยะหลังได้พยายามยกเลิกการใช้คำจำกัดความของคำว่าความชื้นที่ความจุสนาม ความชื้นที่ 1/3 บรรยากาศและความชื้นสมมูลย์ เพื่อลดความเข้าใจผิดว่า หมายถึง ความชื้นที่จุดใดแน่ และผลการศึกษาดินในเขตร้อน พบว่าที่เรียกว่าความชื้นที่ความจุสนามนั้น ส่วนใหญ่มีค่าพลังงานกำกับก้อนดินที่ -0.1 ถึง -0.2 x 105 พาสคาล (Pa) แทนที่จะเป็น -0.33 x 105 พาสคาล (Pa) ดังนั้นเพื่อลดความสับสนจะต้องกำหนดว่าความชื้นที่จุดพิกัดบนนั้นผู้ศึกษาหมายถึงความชื้นที่ค่าพลังงานเท่าใด (สุนทรี, 2529)

-จุดพิกัดล่างของความเป็นประโยชน์

ค่าความชื้นที่จุดพิกัดล่างมักเรียกว่า จุดเหี่ยวถาวร ซึ่งได้แก่ความชื้นของดินในบริเวณรากพืชที่หนาแน่นขณะที่พืชแสดงอาการเหี่ยวถาวร เป็นความชื้นขณะที่พืชได้น้ำจากดินไม่ทันกับอัตราที่พืช สูญเสียน้ำโดยขบวนการคายน้ำ และมักกำหนดว่าเป็นความชื้นของดินที่พลังงานกำกับก้อนดินมีค่า -15 x 105 พาสคาล (Pa) ซึ่งการกำหนดจุดเหี่ยวถาวรเป็นค่าความชื้นที่พลังงานค่าหนึ่งนี้ มีความเห็นคัดค้านมาก เพราะความจริงแล้วที่พลังงาน -15 x 105 พาสคาล (Pa) นั้นมิใช่ว่าพืชทุกชนิดจะเหี่ยวหมด ยังมีปัจจัยอื่นเกี่ยวข้องด้วย แต่การกำหนดค่าความชื้นที่จุดพิกัดล่างเป็นการกำหนดจากคุณสมบัติของดินอย่างเดียว ซึ่งจะถูกต้องกว่า ดังนั้นจึงกำหนดให้ความชื้นที่พลังงานกำกับก้อนดินที่ -15 x 10^5 พาสคาล (Pa) เป็นจุดพิกัดล่างของความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (สมปอง และคณะ,2559)

4. ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินและการกำหนดรอบการชลประทาน

หลักการชลประทานคือการจัดหาน้ำให้พืชตรงกับความต้องการใช้น้ำของพืชนั้น ค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดินเป็นข้อมูลการให้น้ำแก่พืช โดยดินที่มีความจุน้ำที่เป็นประโยชน์มากจะ

เก็บน้ำไว้ได้ในปริมาณสูงแต่น้ำที่มีอยู่ในดินทั้งหมดนี้ในการชลประทานจะคำนึงถึงเฉพาะน้ำที่อยู่ในช่วงความลึกจากผิวดินถึงสุดเขตรากพืชเท่านั้น น้ำที่อยู่ต่ำลงไปจะถือว่ารากพืชดูดขึ้นมาใช้ไม่ได้ หากมีการให้น้ำจนไหลเลยเขตรากพืชจะถือว่าเป็นการสิ้นเปลือง และเนื่องจากว่าน้ำในช่วงของความจุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนี้มีระดับความเป็นประโยชน์ไม่เท่ากันจึงให้พืชใช้เฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์สูงเท่านั้น ปริมาณน้ำที่ให้พืชใช้มีหลักการคำนวณดังนี้

1. หาค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน

$$\theta_{AWC} = \theta_{UL} - \theta_{LL}$$

θ_{AWC} = ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

θ_{UL} = สัดส่วนน้ำเชิงปริมาตรที่พิกัดบน

θ_{LL} = สัดส่วนน้ำเชิงปริมาตรที่พิกัดล่าง

ถ้าค่าที่วัดได้เป็นค่าสัดส่วนน้ำเชิงมวลต้องวัดค่าความหนาแน่นรวมของดินเพื่อคำนวณค่าเป็นสัดส่วนน้ำเชิงปริมาตร ค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ไม่จำเป็นต้องเท่ากันทุกชั้นดิน(สมปอง และคณะ,2559)

2. ค่าสัดส่วนน้ำเชิงปริมาตรเป็นปริมาณน้ำเก็บกักในเขตรากพืช

โดยให้ค่า θ_{AWC} ของดินแต่ละชั้นคูณกับความหนาของชั้นดินนั้นซึ่งจะให้ค่าเป็นความสูงของน้ำที่เป็นประโยชน์ ปริมาณน้ำเก็บกักจะเป็นผลรวมของความสูงของน้ำทุกชั้นจากผิวดินจนถึงสุดเขตรากพืช ความสูงของชั้นน้ำที่เป็นประโยชน์ สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$dw = Pw \times As \times D$$

เมื่อ dw = ความสูงของน้ำ (นิ้ว หรือ เซนติเมตร)

Pw = ความชื้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

w = 1 กรัม / ลบ.เซนติเมตร

ฉะนั้น As = BD. (Bulk density)

D = ความลึกของเขตรากพืช (เซนติเมตร)

-การวิเคราะห์ปริมาณน้ำในดิน

จะวัดค่าปริมาณน้ำในดินที่ความลึกระยะต่างๆ ในหน้าตัดเพื่อใช้คำนวณปริมาณน้ำทั้งหมดของหน้าตัดดิน ณ เวลาหนึ่งๆ การแสดงค่าปริมาณน้ำในดินแสดงได้หลายแบบขึ้นกับผลที่ต้องการใช้ได้แก่ ปริมาณน้ำสัดส่วนเชิงมวล ปริมาณน้ำสัดส่วนเชิงปริมาตร สัดส่วนอิ่มตัวด้วยน้ำ ปริมาณน้ำเทียบเป็นความสูงของชั้นน้ำ และปริมาณน้ำเก็บกักตลอดหน้าตัด ปริมาณน้ำรูปต่างๆ แสดงไว้ด้วยสมการดังนี้ (สุนทรี, 2536)

1.ปริมาณน้ำสัดส่วนเชิงมวล $\theta_m = Mw/Ms$

Mw = มวลของน้ำที่ระเหยไป กิโลกรัม

Ms = มวลดินอบแห้ง กิโลกรัม

2.ปริมาณน้ำสัดส่วนเชิงปริมาตร $\theta_v = Vw/V$

Vw = ปริมาตรน้ำในดินทั้งก้อน ลูกบาศก์เมตร

V = ปริมาตรรวมของดินทั้งก้อนลูกบาศก์เมตร

3.สัดส่วนอิ่มตัวด้วยน้ำ S = Vw (สัดส่วน)/Vv

Vw = ปริมาตรน้ำในดิน

Vv = ปริมาตรของสัดส่วนที่เป็นช่องว่างในดิน

4.ความสูงของชั้นน้ำ $dw = \theta_v \times d$ เมตร

5. ปริมาณน้ำที่ให้พืชใช้จะไม่ใช้ทั้งหมดของค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์

สำหรับพืชไร่ทั่วไปจะให้พืชใช้ 1/3 ถึง 1/2 (33.50 – 50 เปอร์เซ็นต์) ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ ส่วนพืชผักอาจใช้ได้เพียง 1/5 (20 เปอร์เซ็นต์) ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ หากมีการศึกษาเฉพาะดินจะกำหนดค่าพิกัดล่างของการชลประทานไว้ที่ ความชื้นที่มีระดับความเป็นประโยชน์ตกลงจนมีค่าต่ำมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ให้พืชใช้คือจากพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ถึงพิกัดล่างของการชลประทานหลังจากพืชใช้น้ำส่วนนี้หมดแล้วจะเพิ่มน้ำเข้าไปในดินใหม่ หากสัดส่วนของความจุน้ำที่ให้พืชใช้เทียบกับความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดมีค่าต่ำ หมายความว่าต้องมีการชลประทานบ่อยครั้งเพื่อเพิ่มเติมน้ำให้ดินจนเต็มความจุน้ำเพื่อพืชจะได้ใช้น้ำที่มีระดับความเป็นประโยชน์สูงอยู่เสมอ (สมปอง และคณะ, 2559)

การชลประทานครั้งต่อไปจะกระทำเมื่อพืชใช้น้ำจำนวนดังกล่าวหมดไปแล้ว ซึ่งอัตราการระเหยน้ำของพืชจะมีค่าเท่าใดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและช่วงการเจริญเติบโตของพืช เช่นมีค่า 2 – 3 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงที่มีการเสียน้ำน้อย จนถึง 8 – 9 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงที่มีอากาศร้อนและแห้งจัด สมมุติว่าพืชมีอัตราการใช้น้ำ 3มิลลิเมตรต่อวัน สำหรับพืชไร่ ประมาณเวลาที่ให้พืชใช้จะหมดในช่วง 6 – 8 วัน และพืชผักใน 3 วัน ซึ่งคือช่วงเวลาของรอบการชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่ชลประทานคือเท่ากับปริมาณน้ำที่พืชใช้หมดไปในช่วงเวลาดังกล่าว (สุนทรี, 2536)

6. การคำนวณปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ได้จากเนื้อดิน (Soil texture) และอินทรียวัตถุในดิน

Saxton *et al.* (1986) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ของศักย์ของน้ำในดิน และสัมประสิทธิ์การนำน้ำกับน้ำในดินว่าเป็นเรื่องจำเป็นที่ผู้ที่ทำงานด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำ การชลประทาน การระบายน้ำ และการผลิตพืชจะต้องทราบเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำกักเก็บและปริมาณน้ำที่ต้องให้แก่พืชแต่จากการที่พลังงานศักย์ของน้ำในดินกับสัมประสิทธิ์การนำน้ำมีความผันแปรมาก

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้

และมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงกับปริมาณน้ำในดินที่มีเนื้อดินแตกต่างกันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาความสัมพันธ์นี้เป็นกิจกรรมที่ค่อนข้างยากและมีค่าใช้จ่ายสูง มักไม่มีความถูกต้องในการปฏิบัติ และไม่สามารถทำให้เสร็จได้ในระยะเวลาอันสั้น แต่จากประสบการณ์ของนักวิทยาศาสตร์ทางดินจำนวนมากพบว่าเนื้อดินมีความสัมพันธ์อย่างเด่นชัดกับความสามารถในการอุ้มน้ำของดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งดินที่ใช้ในการเกษตร ประกอบกับเนื้อดินเป็นข้อมูลที่หาได้ง่ายและตรวจสอบได้ด้วยวิธีที่ไม่สลับซับซ้อนจึงใช้เป็นข้อมูลหลักเพื่อนำเข้าในสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการประเมินคุณสมบัติเรื่องน้ำในดินโดยเฉพาะปริมาณน้ำที่พืชใช้เป็นประโยชน์ได้ทันที ดังนั้นการประเมินค่าดังกล่าวจากเนื้อดิน ก็สามารถทำได้อย่างดีรวมทั้งได้มีการศึกษา และพัฒนา การใช้วิธีทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อดินกับพลังงานศักย์ของน้ำในดินและสัมประสิทธิ์การนำน้ำจากฐานข้อมูลดินจำนวนมาก การศึกษาเรื่องนี้ได้ขยายผลไปโดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ และแบบจำลองเพื่อการประเมินค่าและพบว่าใช้งานได้อย่างดีเยี่ยมและได้ทำการการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคาดคะเนกับค่าที่วัดจริง

-การปริมาณความชื้นของน้ำในดินโดยใช้เนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

การวิเคราะห์ทางด้านชลศาสตร์ของน้ำในดินส่วนใหญ่ประเมินจากอัตราการซึมน้ำในดิน สัมประสิทธิ์การซึมน้ำในดิน การกักเก็บน้ำในดิน และความสัมพันธ์ของพืชกับน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่แม่นยำ แต่มีความยุ่งยากทางวิธีการและผู้ใช้ต้องมีความรู้ทางด้านฟิสิกส์ดิน ซึ่งความชื้นที่เป็นประโยชน์ของน้ำในดินใช้หลักการ TAW = FC-PWP กำหนดค่า FC ที่ ค่าพลังงาน -10 กิโลพาสคาล และกรณีที่ 2 มีค่าพลังงาน -33 กิโลพาสคาล และ PWP ที่ 1500 กิโลพาสคาล

Saxton and Rawls (2006) ได้พัฒนาวิธีการประเมิน ในภาคสนามเปรียบเทียบกับการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ (Model) ในการประเมินปริมาณน้ำในดินโดยใช้สมบัติทางประการของดินเข้ามาพิจารณาประกอบด้วย การประเมินลักษณะน้ำในดิน (Soil water hydraulic characteristics) จากสมบัติบางประการของดิน เช่น เนื้อดิน (Gupta and และเมื่อเวลาผ่านมาได้เพิ่มเติมสมบัติ เพื่อให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มขึ้นในการอธิบายหรือทำนายประกอบด้วย โดยการประเมินลักษณะน้ำในดินที่มีความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มขึ้นได้ โดยผลการศึกษาของ Saxton *et al.* (1986) ได้นำเสนอสมบัติของดินเพิ่มเติมได้แก่ อินทรียวัตถุในดิน ความหนาแน่นของดิน ปริมาณกรวด และค่าความเค็มของดิน โดย Saxton and Rawls (2006) ได้พัฒนาสมการต่างๆ ที่ใช้อธิบายการประเมินลักษณะน้ำในดิน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 8 สมการที่ใช้ประเมินปริมาณน้ำในดิน โดย Saxton and Rawls (2006)

Variable	Equation	R2Ise	Eq.
θ_{1500}	$\theta_{1500} = \theta_{1500} + (0.14 \times \theta_{1500} - 0.02)$ $\theta_{1500t} = -0.024s + 0.487C + 0.006OM$ $+0.005(S \times OM) - 0.013(C \times OM)$ $+0.068(S \times C) + 0.013(C \times OM)$	0.86/0.02	1
θ_{33}	$\theta_{33} = \theta_{33t} + [1.283(\theta_{33t})^2 - 0.374(\theta_{33t}) - 0.015]$ $\theta_{33t} = -0.215S + 0.195C + 0.011OM$ $+0.006(S \times OM) - 0.027(C \times OM)$ $+0.452(S \times C) + 0.299$	0.63/0.05	2
$\theta_{(s-33)}$	$\theta_{s-33} = \theta_{(s-33)t} + (0.6360\theta_{(s-33)t} - 0.107)$ $\theta_{(s-33)t} = 0.278S + 0.034C + 0.022OM$ $- 0.018(S \times OM) - 0.027(C \times OM)$ $- 0.584(S \times C) + 0.078$	0.36/0.06	3
ψ_e	$\psi_e = \psi_{et} + (0.02\psi_{et}^2 - 0.113\psi_{et} - 0.70)$ $\psi_{et} = -21.67S - 27.93C - 81.970\theta_{s-33}$ $+ 71.12(S \times \theta_{s-33}) + 8.29(C \times \theta_{s-33})$ $+ 14.05(S \times C) + 27.16$	0.78/2.9	4
θ_s	$\theta_s = \theta_{33} + \theta_{(s-33)} - 0.097S + 0.043$	0.29/0.04	5
ρ_N	$\rho_N = (1-\theta_s)\,2.65$		6
Density Effects			
ρ_{DF}	$\rho_{DF} = \rho_N \times DF$		7
$\theta_{s\text{-}DF}$	$\theta_{s\text{-}DF} = 1 - (\rho_{DF}/2.65)$		8
θ_{33DF}	$\theta_{33DF} = \theta_{33} - 0.2(\theta_s - \theta_{s\text{-}DF})$		9
$\theta_{(s-33)DF}$	$\theta_{(s-33)DF} = \theta_{s\text{-}DF} - \theta_{33DF}$		10
Moisture-Tension			
$\psi_{(1500\text{-}33)}$	$\psi_\theta = A(\theta)^{-B}$		11
$\psi_{(33\text{-}\psi_e)}$	$\psi_\theta = 33.0 - [(\theta - \theta_{33})(33.0-\psi_e)/(\theta_s - \theta_{33})]$		12
$\theta_{(\psi_{e\text{-}o})}$	$\theta = \theta_s$		13

Variable	Equation	R2Ise	Eq.
A	$A = \exp(in33 + B\ln\theta_{33})$		14
B	$B = [\ln(1500) - In(33)]/[In(\theta_{33}) - In(\theta_{1500})]$		15
Moisture-Conductivity			
K_s	$K_s = 1930(\theta_{33})^{(3-\lambda)}$		16
$K\theta$	$K\theta = K_s(\theta/\theta_s)^{[3+(2/\lambda)]}$		17
λ	$\lambda = 1/B$		18
Gravel Effect			
R_v	$R_v = (\alpha R_w)/[1- R_w(1 - \alpha)]$		19
ρ_B	$\rho_B = \rho_N(1- Rv) + (R_v \times 2.65)$		20
PAW_B	$PAW_B = PAW(1 - R_v)$		21
K_b/K_s	$K_b/K_s = \frac{1-R_w}{[1-R_w(1-3\alpha/2)}$		22
Ψ_o	$\Psi_o = 36EC$		23
$\Psi_{o\theta}$	$\Psi_{o\theta} = \frac{\theta_s}{\theta}(36EC)$		24

ที่มา : Saxton and Rawls (2006)

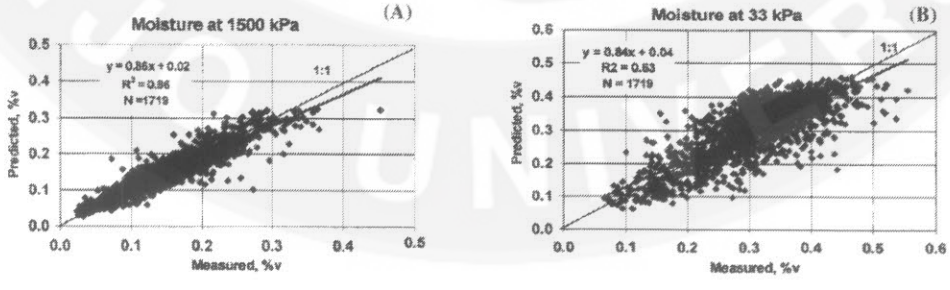
ตารางที่ 9 สัญญาลักษณ์และคำจำกัดความ

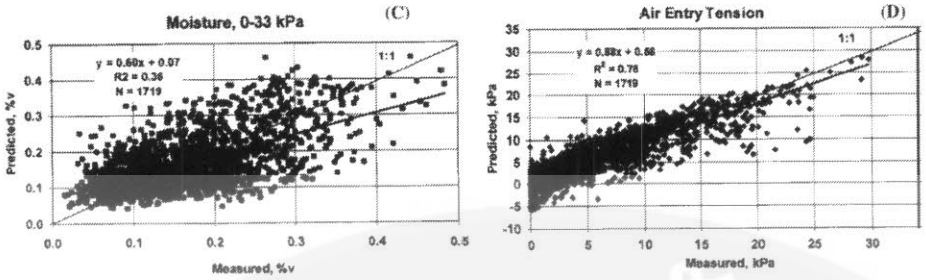
Symbol	Definitions
A, B	Coefficients of moisture-tension, Eq. [1]
C	Clay, %w
DF	Density adjustment Factor (0.9-1.3)
EC	Electrical conductance of a saturated soil extract, dS m^{-1} (dS/m = mili-mho cm^{-1})
FC	Field Capacity moisture (33 kPa), %v
OM	Organic Matter, %w
PAW	Plant Avail. Moisture (33-1500 kPa, matric soil), %v
PAW_B	Plant Avail. Moisture (33-1500 kPa, bulk soil), %v
S	Sand, %w
SAT	Saturation moisture (0 kPa), %v
WP	Wilting point moisture (1500 kPa), %v
θ_{ψ}	Moisture at tension ψ, %v
θ_{1500t}	1500 kPa moisture, first solution, %v
θ_{1500}	1500 kPa moisture, %v
θ_{33t}	33 kPa moisture, first solution, %v
θ_{33}	33 kPa moisture, normal density, %v
θ_{33DF}	33 kPa moisture, adjusted density, %v
$\theta_{(s-33)t}$	SAT 33 kPa moisture, first solution, %v
$\theta_{(s-33)}$	SAT 33 kPa moisture, normal density, %v
$\theta_{(s-33)DF}$	SAT 33 kPa moisture, adjusted density, %v
θ_s	Saturated moisture (θ kPa), normal density, %v
θ_{s-DF}	Saturated moisture (θ kPa), adjusted density, %v
Ψ_o	Tension at moisture θ, kPa
Ψ_{et}	Tension at air entry, first solution, Kpa
Ψ_e	Tension at air entry, (bubbling pressure, Kpa
K_s	Saturated conductivity (matric soil), mm h^{-1}

Symbol	Definitions
K_b	Saturated conductivity (bulk soil), mm h^{-1}
$K\theta$	Unsaturated conductivity at moisture θ, mm h^{-1}
ρ_N	Normal density, g cm
ρ_B	Bulk soil density (matric plus gravel), g cm^{-3}
ρ_{DF}	Adjusted density, g cm^{-3}
λ	Slope of logarithmic tension-moisture curve
α	Matric soil density/gravel density (2.65) = ρ /2.65
Rv	Volume fraction of gravel (decimal), g cm^{-3}
Rw	Weight fraction of gravel (decimal), g g^{-1}
Ψ_o	Osmotic potential at $\theta = \theta_s$, Kpa
$\Psi_{o\theta}$	Osmotic potential at $\theta = \theta_s$, Kpa

ที่มา : Saxton and Rawls (2006)

จากการประเมินโดยใช้สมการต่างๆ ในตารางที่ 4 พบว่าผลที่ได้จากประเมินปริมาณน้ำในดินโดยใช้ สมบัติบางประการของดิน เช่น เนื้อดิน มีความแน่นยำและสอดคล้องมาก (Gupta and Larson, 1979) เมื่อเวลาผ่านมาได้สมบัติดิน ได้แก่ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน มาประเมินปริมาณน้ำในดินพบว่ามีความถูกต้องและแม่นยำเพิ่มขึ้น และมีความสอดคล้องกับภาคสนาม โดยนำเสนอค่า R2 และSc (standard error) ที่แสดงความถูกต้องของสมการต่างๆ จากสมการต่างๆ นั้นจะเห็นลักษณะสมการต่างๆ ที่อธิบายลักษณะน้ำในดินที่ระดับความชื้นต่างๆ (ที่แรงดึงน้ำของดิน 15 และ 0.3 bar) พบว่าจะมีความสัมพันธ์กันอย่างมากกับปริมาณอนุภาคทราย ดินเหนียว และอินทรียวัตถุในดิน (ภาพที่ 8)





ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินที่วัดได้และที่ได้จากการประเมินโดยสมการทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาที่พลังงานที่ใช้ดึงน้ำของดิน 15 bar (-1500 กิโลพาสคาล) (A) และ 0.3 bar (B,C) (-33 กิโลพาสคาล) และแรงอัดอากาศ (D)

ที่มา : Saxton and Rawls (2006)

7. การประเมินประมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน

Panomtaranichagul (1997) ได้แสดงสมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน ที่สัมพันธ์กันกับค่าสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช โดยใช้หลักการว่า ขณะที่อัตราการดูดกลืนน้ำของพืชลดลงเนื่องจากน้ำในดินมีความเป็นประโยชน์ลดลง เมื่อความชื้นที่เป็นประโยชน์ลดลง (Available water content, AWCo) ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ (Available water capacity, AWCa or Total available water, TAW) สัดส่วนของความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินต่อความจุความชื้นที่เป็นประโยชน์ในขณะนั้น ๆ ในดิน (Available water fraction) คือ Awf สามารถนำมาสร้างสมการเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชได้ เมื่อกำหนดให้ FC คือ ความจุความชื้นในสนามหรือ ความจุความชื้นสูงสุดที่ดินสามารถดูดซับไว้ได้ (Field capacity) ส่วน WP คือ ความชื้นต่ำสุดที่พืชยังคงรักษาความเต่งตึงของเซลล์ไว้ได้ หากความชื้นต่ำกว่า WP พืชจะเริ่มแสดงอาการขาดน้ำและจะเริ่มเหี่ยวอย่างถาวร θ คือ ความชื้นในดินขณะใดขณะหนึ่ง อาจเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$TAW = AWCa = FC\text{-}WP$$

$$AWCo = \theta\text{-}WP$$

$$Awf = AWCo/AWCa$$

และ $Ks = 2AWCo/AWCa = 2Awf$

ค่า Ksw = 1 ในกรณีที่ค่า Awf หรือ (AWCo/AWCa) มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.5

ค่า Ksw = 2Awf ในกรณีที่ค่า Awf มีค่าน้อยกว่า 0.5 เมื่อ Ksw เป็นสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช

ผลต่างระหว่าง TAW และ AWCo หรือ θ-WP คือปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ ซึ่งจะต้องเติมให้กับดินในรูปของน้ำชลประทาน หรือการให้น้ำแก่พืช เพื่อให้พืชได้รับน้ำที่เป็นประโยชน์ใน

ดิน ในปริมาณมากที่สุด ถ้ากำหนดให้ปริมาณน้ำที่ต้องเติมเป็น IW (Irrigation water) ก็จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$IW = TAW - AWCo$$

$$TAW - AWCo = FC - \theta$$

$$IW = FC - \theta$$

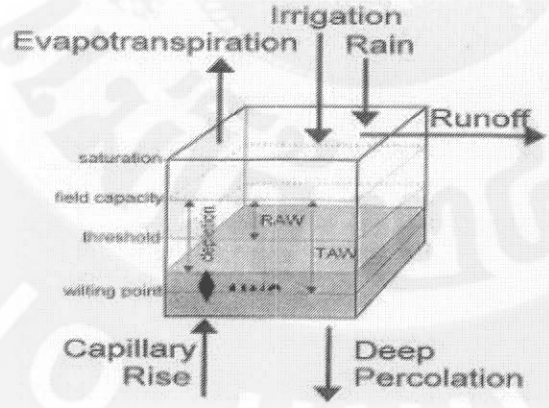
จากผลการวิจัยทั่วๆ ไป พบว่า การให้น้ำแก่พืชที่ปลูกในดินชนิดต่างๆ จะให้ผลดีที่สุดเมื่อระดับความชื้นของดินลดลงจนปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ขณะนั้น (FAW) เหลือร้อยละ 50 ของปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด (TAW) หรือต่ำกว่าเล็กน้อย ดังสมการ

$$FAW \square 50\% TAW$$

ในบางกรณีการให้น้ำในสภาวะดังกล่าวอาจไม่จำเป็น อาจให้เมื่อปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินขณะนั้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 25 ของปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดในดินก็ได้ดังสมการ

$$FAW \square 25\% TAW$$

อย่างไรก็ดีการให้น้ำย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกว่ามีความทนทานและสามารถดูดกลืนน้ำไปใช้ประโยชน์ ที่ระดับแรงดึงความเครียดสูงๆ ได้ดีเพียงใด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวต้องทำการทดลองวิจัยในพืชแต่ละชนิดโดยเฉพาะ



ภาพที่ 9 งบดุลของน้ำในบริเวณรากพืช และสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การขาดน้ำของพืช (Water stress coefficient, Ks)

ที่มา : ดัดแปลงโดย (Allen et al., 1998, อ้างโดย มัตติกา, 2548)

8. ความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินและการกำหนดรอบการชลประทาน

หลักการชลประทานคือการจัดหาน้ำให้พืชตรงกับความต้องการใช้น้ำของพืชนั้น ค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ของดินเป็นข้อมูลการให้น้ำแก่พืชโดยดินที่มีความจุน้ำที่เป็นประโยชน์มากจะเก็บน้ำไว้ได้ในปริมาณสูงแต่น้ำที่มีอยู่ในดินทั้งหมดนี้ในการชลประทานจะคำนึงถึงเฉพาะน้ำที่อยู่ในช่วงความลึกจากผิวดินถึงสุดเขตรากพืชเท่านั้นน้ำที่อยู่ต่ำลงไปจะถือว่ารากพืชดูดขึ้นมาใช้ไม่ได้ หากมีการให้น้ำจนไหลเลยเขตรากพืชจะถือว่าเป็นการสิ้นเปลือง และเนื่องจากว่าน้ำในช่วงของความจุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนี้มีระดับความเป็นประโยชน์ไม่เท่ากันจึงให้พืชใช้เฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์สูงเท่านั้น ปริมาณน้ำที่ให้พืชใช้มีหลักการคำนวณดังนี้

1. หาค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดิน

2. ค่าสัดส่วนน้ำเชิงปริมาตรเป็นปริมาณน้ำเก็บกักในเขตรากพืช โดยให้ค่า θ_{AWC} ของดินแต่ละชั้นคูณกับความหนาของชั้นดินนั้นซึ่งจะให้ค่าเป็นความสูงของน้ำที่เป็นประโยชน์ ปริมาณน้ำเก็บกักจะเป็นผลรวมของความสูงของน้ำทุกชั้นจากผิวดินจนถึงสุดเขตรากพืช ความสูงของชั้นน้ำที่เป็นประโยชน์

3. ปริมาณน้ำที่ให้พืชใช้จะไม่ใช้ทั้งหมดของค่าความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ พบว่าสำหรับพืชไร่ทั่วไปจะให้พืชใช้ 1/3 ถึง 1/2 (33.50 – 50 เปอร์เซ็นต์) ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ ส่วนพืชผักอาจใช้ได้เพียง 1/5 (20เปอร์เซ็นต์) ของความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ หากมีการศึกษาเฉพาะดินจะกำหนดค่าพิกัดล่างของการชลประทานไว้ที่ความชื้นที่มีระดับความเป็นประโยชน์ตกลงจนมีค่าต่ำมาก

ดังนั้นปริมาณน้ำที่ให้พืชใช้ คือจากพิกัดบนของความเป็นประโยชน์ถึงพิกัดล่างของการชลประทานหลังจากพืชใช้น้ำส่วนนี้หมดแล้วจะเพิ่มน้ำเข้าไปในดินใหม่ หากสัดส่วนของความจุน้ำที่ให้พืชใช้เทียบกับความจุน้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดมีค่าต่ำ หมายความว่าต้องมีการชลประทานบ่อยครั้งเพื่อเพิ่มเติมน้ำให้ดินจนเต็มความจุน้ำเพื่อพืชจะได้ใช้น้ำที่มีระดับความเป็นประโยชน์สูงอยู่เสมอ

4. การชลประทานครั้งต่อไปจะกระทำเมื่อพืชใช้น้ำจำนวนดังกล่าวหมดไปแล้ว ซึ่งอัตราการระเหยน้ำของพืชจะมีค่าเท่าใดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และช่วงการเจริญเติบโตของพืช เช่นมีค่า 2 – 3 มิลลิเมตรต่อวันในช่วงที่มีการเสียน้ำน้อย จนถึง 8 – 9 มิลลิเมตรต่อวัน ในช่วงที่มีอากาศร้อนและแห้งจัด

สมมุติว่าพืชมีอัตราการใช้น้ำ 3 มิลลิเมตรต่อวัน สำหรับพืชไร่ ประมาณเวลาที่ให้พืชใช้จะหมดในช่วง 6 – 8 วัน และพืชผักใน 3 วัน ซึ่งคือช่วงเวลาของรอบการชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่ชลประทานคือเท่ากับปริมาณน้ำที่พืชใช้หมดไปในช่วงเวลาดังกล่าว (สุนทรี, 2536)

อุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการทดลองที่ 1 ผลของดินชนิดต่างๆ ต่อการปรับเทียบของเซนเซอร์วัดความชื้นดินกับวิธีการประเมินความชื้นแบบต่าง ๆ

การวางแผนการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบวิธีการหาความชื้นดิน 3 วิธีการคือ การวัดความชื้นโดยน้ำหนัก การวัดความชื้นโดยปริมาตรด้วย SM150 Soil Moisture Kit และการวัดความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม Sigma Plot เพื่อวิเคราะห์สมการเส้นตรง (Linear regression) ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าของเซนเซอร์วัดความชื้นกับการวัดความชื้นโดยน้ำหนัก การวัดความชื้นโดยปริมาตรด้วย SM150 Soil Moisture Kit และได้ใช้สมการเส้นตรงต่างๆ ปรับเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากเซนเซอร์เป็นค่าความชื้นโดยน้ำหนักและค่าความโดยปริมาตร และมีการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานความคลาดเคลื่อน (Root mean square error, RMSE)

รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean Squared Error .RMSE)

$$RMSE = ((1/\square\sum(\square_1 - \square_1)^2)\frac{1}{2} \quad (1)$$

ค่า RMSE หากยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง จะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ในแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้นทั้งโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ปรับเทียบ(Predicted) กับปริมาณความชื้นทั้งโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรที่วัดจริง (Measured) โดยนำเสนอค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าความน่าจะเป็นไปได้ (Probability; P) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของทิศทางของข้อมูล 2 กลุ่ม ดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$R = \frac{\sum(\square_1 - \bar{\square})(\square_1 - \bar{\square})}{(-\sum(\square_1 - \square)^2)\sum(\square_1 - \square)^2)^{0.5}} \quad (2)$$

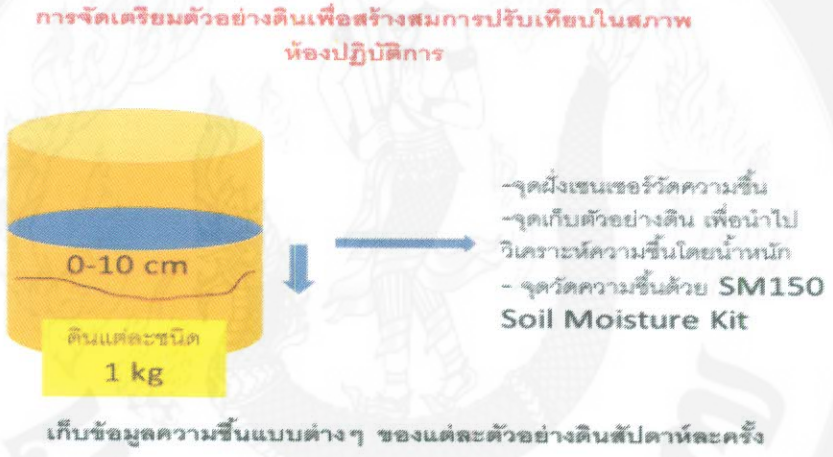
โดย r คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่ง r หรือ r^2 หากยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง ข้อมูลที่พยากรณ์ มีทิศทางไปในแนวเดียวกันกับข้อมูลที่ตรวจวัดจริง ค่า r^2 ควรมีค่ามากกว่า 0.60 (สถาบันพัฒนาการชลประทาน, 2551)

$\square_{1/2}$ $\square_1$ คือ ตัวแปรที่พิจารณาตัวที่ 1

$\square_1$ $\square$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่พิจารณา

การประเมินความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น

การเตรียมดิน: ได้จัดทำการในสภาพห้องปฏิบัตินำดินชนิดต่างๆ มาชั่งใส่ในถังอะลูมิเนียม ถังละ 1 กิโลกรัม จากนั้นเติมน้ำลงไปในปริมาณที่ทำดินอยู่ในสภาพที่ดินอิ่มตัวเลียนแบบการทำเทือกในดินแต่ละชนิด (ดินแต่ละชนิดมีความสามารถในการอิ่มตัวด้วยน้ำไม่เท่ากัน ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้จึงไม่เท่ากัน) จากนั้นทำการวัดความชื้นโดย 3 วิธีการ (1) การหาความชื้นดินโดยน้ำหนัก (2) การหาความชื้น โดยปริมาตรโดยวัดจากเซ็นเซอร์วัดความชื้น (SM150 Soil Moisture Kit) และ (3) การหาความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น ซึ่งการประเมินความชื้นในแต่ละวิธีของแต่ละตัวอย่างดินจะรีบดำเนินการ เพื่อป้องการการสูญเสียความชื้นหรือความผิดพลาดที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นโดยดำเนินการทันที ทำการเก็บข้อมูลความชื้นดินทั้ง 3 วิธีนั้น โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 2 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ.2560



ภาพที่ 10 การหาความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น

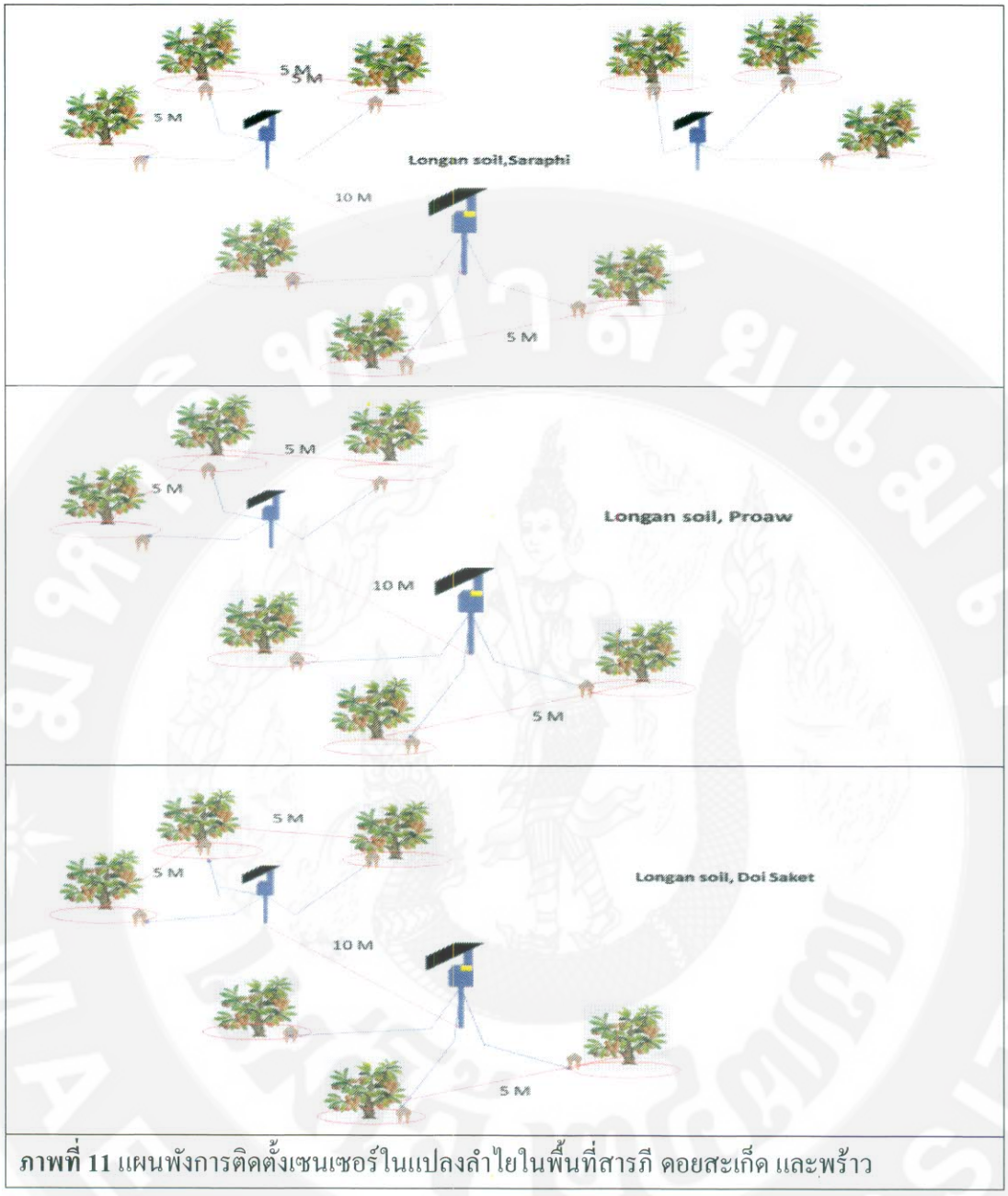
วิธีการทดลองที่ 2 การจัดทำสมการปรับเทียบและการประเมินผลของการใช้สถานีวัดความชื้นดินโดยเซนเซอร์ของดินปลูกลำไยและนาข้าวระดับแปลงเกษตรกร

2.1 การจัดทำการสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ (Calibrating equation)ของดินปลูกลำไยและนาข้าวในระดับห้องปฏิบัติการ

เข้าไปประสานเจ้าของพื้นที่และเมื่อได้อนุญาตเข้าไปศึกษาจากพื้นที่ปลูกลำไยและพื้นที่ปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ด ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินจากพื้นที่มาหาสมการปรับเทียบในสภาพห้องปฏิบัติโดยนำตัวอย่างดินมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร โดยนำดินที่ผ่านตะแกร่งร่อนดังกล่าวมาชั่งใส่ในถังอะลูมิเนียมถังละ 1 กิโลกรัม แล้วเติมน้ำลงไปในปริมาณที่ทำดินอยู่ในสภาพที่ดินอิ่มตัว (ดินแต่ละชนิดมีความสามารถในการอิ่มตัวด้วยน้ำไม่เท่ากัน ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้จึงไม่เท่ากัน) จากนั้นทำการวัดความชื้นโดย 3 วิธีการ (1) การหาความชื้นดินโดยน้ำหนัก และ(2) การหาความชื้นดินโดยวัดจากเซนเซอร์วัดความชื้น ซึ่งการประเมินความชื้นในแต่ละวิธีของแต่ละตัวอย่างดินจะรีบดำเนินการ เพื่อป้องการการสูญเสียความชื้นหรือความผิดพลาดที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นโดยดำเนินการทันที ทำการเก็บข้อมูลความชื้นดินทั้ง 3 วิธีนั้น โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 2 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ.2560

2.2 การประเมินผลของใช้การสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ (Calibrating equation) เพื่อใช้ประเมินความชื้นโดยสถานีวัดความชื้นดินโดยเซนเซอร์ ในระดับแปลงเกษตรกร

การจัดเตรียมแปลงและติดตั้งสถานีวัดความชื้นดิน โดยเซนเซอร์ : ติดต่อเจ้าของพื้นที่สวนลำไยในพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอดอยสะเก็ด พร้าว และสารภี จากเลือกตำแหน่งพื้นที่ที่เหมาะสมในติดตั้งสถานีวัดความชื้นของดินหรือเซนเซอร์เก็บข้อมูลวัดความชื้นดินในระดับแปลงของพื้นที่ปลูกลำไย ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 400 ตารางเมตร โดยการติดตั้งเซนเซอร์นั้นทำการติดตั้งไว้บริเวณดินใต้ต้นลำไยพื้นที่ภายใต้ทรงพุ่มของลำไยโดยฝังเซนเซอร์แต่ละตัวที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร โดยสถานีที่เก็บความชื้นที่อำเภอดอยสะเก็ดและพร้าวมี 2 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งมีเซนเซอร์ 3 ตัว ส่วนอำเภอสารภี จำนวน 3 ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งมีเซนเซอร์ 3 ตัว



ภาพที่ 11 แผนพังการติดตั้งเซนเซอร์ในแปลงลำไยในพื้นที่สารภี ดอยสะเก็ด และพร้าว

การเก็บข้อมูลความชื้นของเซนเซอร์นั้น ทำการเก็บความชื้นแบบปัจจุบัน (Realtime) ทุกๆ 30 นาที โดยเก็บข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตในตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษาค่าที่เซนเซอร์วัดได้จะถูกบันทึกไว้ โดยสามารถถ่ายข้อมูลหรือดาวน์โหลด(download) ข้อมูลในรูปของไฟล์เอกเซล (Excel) โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ภาพที่ 12 ระบบการตรวจสอบความชื้นดินและการชลประทานในแปลงขนาดใหญ่เป็นระบบที่พัฒนาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสามารถติดตามความ ชื้นดินและข้อมูลอื่นๆ ที่ได้จากเซนเซอร์ที่อยู่ในเครือข่ายได้ถึง 100 ตัวที่ติดตั้งไว้ในรัศมี 300-400 เมตร ค่าที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องเก็บข้อมูลที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำให้ข้อมูลที่ได้สามารถติดตามได้ตรงกับเวลาที่เกิดขึ้นจริงและสามารถดูย้อนหลังได้ด้วย โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยสามารถดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูล Excel ที่โหลดจากเว็บไซต์จะแสดงวันที่ เวลาที่บันทึก อุณหภูมิ ความชื้นในดิน เป็นต้น

การวิเคราะห์สมบัติของดิน

-เนื้อดิน (Soil texture) หรือปริมาณแร่ดินเหนียว (Clay contents) : โดยชั่งดินขนาด 2 มิลลิเมตร.ทำให้อนุภาคดินเกิดสภาพแขวนลอยในน้ำด้วยการใส่สารละลาย 5% Calgon และน้ำกลั่น นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น หาปริมาณของอนุภาค Sand silt และ Clay โดยใช้ Hydrometer วัดความหนาแน่นของสารแขวนลอยดินภายหลังจากการตกตะกอนของอนุภาคในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

-การคำนวณปริมาณความชื้นในดินเป็นหน่วยโดยน้ำหนัก

$$P_W = \frac{Mw \times 100}{Ms}$$

M_W = น้ำหนักของน้ำในดิน (g) , M_S = น้ำหนักของดินแห้ง (g) P_W = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก

ปริมาณความชื้นในดินเป็นหน่วยโดยปริมาตร (soil water content by volume)

หมายถึงปริมาตรของน้ำที่ปรากฏในดิน 100 หน่วยปริมาตร

$$\% P_V = \frac{Pw \times Db}{Dw}$$

P_V = เปอร์เซนต์ความชื้นของดินโดยปริมาตร, V_W = ปริมาตรของน้ำในดิน $(cm^3)V_S$ = ปริมาตรของดิน V_W (cm^3)

Pw = เปอร์เซนต์ความชื้นของดินโดยปริมาตร

Db = ความหนาแน่นรวมของดิน (g/cm^3)

Dw = ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)

ตารางที่ 10 ผลการประเมินเนื้อดิน (Soil texture) ในดินแปลงลำไยและดินปลูกข้าว อำเภอดอยสะเก็ด พร้าว และสารภี

Landuse	District	soil texture			
		% Clay	% Silt	% Sand	Soil texture
Longan soil	Doisaket	19.2	12.0	68.8	sandy loam
	Phraow	15.2	12.0	72.8	sandy loam
	Sarapee	47.2	8.0	44.8	clay
Paddy soil	Doisaket	16.5	16.0	67.5	sandy loam
	Phraow	21.9	16.0	62.1	sandy clay loam
	Sarapee	43.2	8.0	48.8	sandy clay

วิธีการทดลองที่ 3 ผลของการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดินต่อการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งของการปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆในดินสองชนิดต่อการเจริญเติบโตและธาตุอาหารของข้าว

- การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomize Complete Block Design (RCBD) 3 Replications โดยปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดดิน ประกอบด้วย 2 ชนิดดินได้แก่ ชุดดินหางดง (Hd) และสันทราย (Ss) ปัจจัยที่ 2 พันธุ์ข้าว 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ประทุมธานี 1 และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปัจจัยที่ 3 คือ ระดับความชื้น ประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ 1. เปียกสลับแห้งที่รักษาความชื้น W2- 2.เปียกสลับแห้งที่รักษาความชื้นระดับ (W1-.) และ3.ขังน้ำเหนือดิน (W1) 5 เซนติเมตร

W1 มีการขังน้ำไว้ตลอดเวลา5 เซนติเมตร

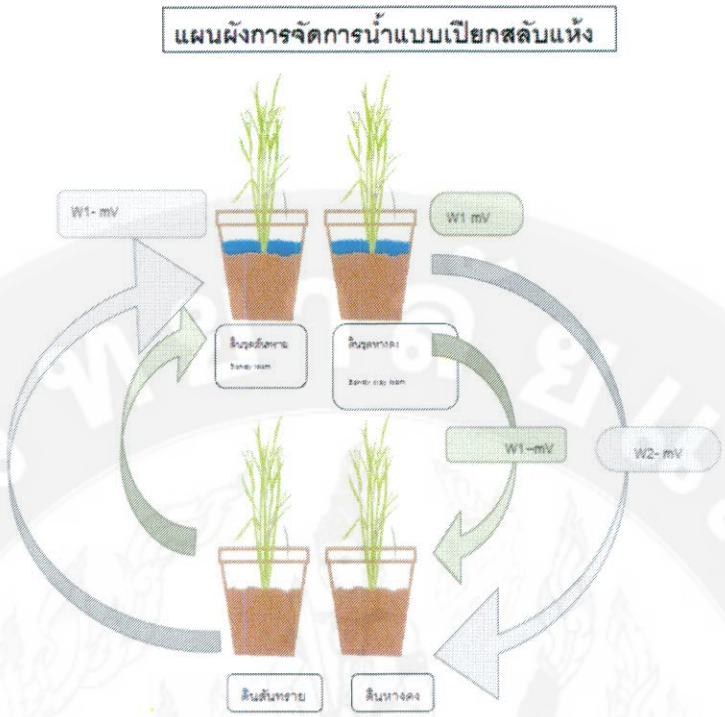
W1- เริ่มการให้น้ำช่วงแรกเป็นการน้ำเหนือระดับดิน 5 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยให้มีการลดลงจากการระเหยของน้ำและการใช้ต้นข้าวจึงเปรียบเสมือนปล่อยให้ความชื้นในดินลดลงตามเวลา โดยมีการติดตามค่าความชื้นที่ลดลงจากค่าที่ได้จากสมการปรับเทียบที่กำหนดว่า (ตารางที่ 22) ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่จะใช้เป็นจุดสูงสุดของค่าเซนเซอร์ที่จะให้น้ำรอบใหม่แก่ข้าวอีกครั้ง

W2- เริ่มการให้น้ำช่วงแรกเป็นการน้ำเหนือระดับดิน 5 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยให้มีการลดลงจากการระเหยของน้ำและการใช้ต้นข้าวจึงเปรียบเสมือนปล่อยให้ความชื้นในดินลดลงตามเวลาโดยมีการติดตามค่าความชื้นที่ลดลงจากค่าที่ได้จากสมการปรับเทียบที่กำหนดว่าซึ่งเป็นค่าความชื้นที่จะใช้เป็นจุดสูงสุดของค่าเซนเซอร์ที่จะให้น้ำรอบใหม่แก่ข้าวอีกครั้งซึ่งค่านี้ระดับความชื้นที่ได้นั้นจะแตกต่างกันตามชนิดของดิน

การออกแบบการควบคุมระดับความชื้นที่สำหรับการปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้งนั้นพิจารณาจากการใช้สมการปรับเทียบโดยใช้ความชื้นโดยปริมาตร เพราะผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 โดยระบุว่าค่าความชื้นของดินที่ได้จากสมการปรับเทียบความชื้นโดยปริมาตรจะมีความแม่นยำสูงกว่าสมการปรับเทียบโดยน้ำหนัก (ดังตารางที่ 10) ตำรับการทดลองที่เป็น W1- และ W2- ในช่วงแรกมีการให้ขังน้ำเหนือผิวดิน 5 ซม จากนั้นหยุดการให้น้ำซึ่งเป็นทำให้ความชื้นดินลดลง ซึ่งจะมีค่าความชื้นที่จะใช้เป็นจุดสูงสุดของค่าเซนเซอร์ที่ (Upper threshold of soil moisture by sensor) จะให้น้ำรอบใหม่แก่ข้าวอีกครั้งแล้วจึงมีการให้น้ำแบบขังเหนือดิน 5 ซม.อีกครั้งทำซ้ำเช่นนี้จนสิ้นสุดงานทดลอง โดยก่อนที่จะควบคุมความชื้นตามการทดลองประมาณ 46-57 วัน

การติดตั้งสถานีวัดความชื้นดินโดยเซนเซอร์ : การติดตั้งเซนเซอร์โดยฝังลงในดินปลูกข้าวที่อยู่ถังพลาสติกโดยฝังเซนเซอร์แต่ละตัวที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร โดยสถานีที่เก็บความชื้นของงานทดลองนี้โดยแต่ละชุดดินมีเซนเซอร์วัดความชื้น 8 ตัว โดยแบ่งไปตามระดับความชื้น W1 ฝังเซนเซอร์ 2 ตัว,W1 ฝังเซนเซอร์ 3 ตัว,- และW2 ฝังเซนเซอร์ 3 ตัว,-

การเก็บข้อมูลความชื้นของเซนเซอร์นั้น ทำการเก็บความชื้นแบบปัจจุบัน (Realtime) ทุกๆ 30 นาทีโดยเก็บข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตในตลอดช่วงเวลาที่ทำการศึกษาค่าที่เซนเซอร์วัดได้จะถูกบันทึกไว้ โดยสามารถถ่ายข้อมูลหรือดาวน์โหลด(download) ข้อมูลในรูปของไฟล์เอกเซล (Excel) โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 13 แสดงรูปแบบการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งในตำรับการทดลอง W1- และ W2-

การเตรียมตัวอย่างดินและการปลูกข้าว:เก็บตัวอย่างดินทั้งสองชุดดินจากสภาพแวดล้อมที่ไม่มีการได้ทำการเกษตรที่ความลึกประมาณ 0-15 เซนติเมตร นำมาพึ่งลมให้แห้ง นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดประมาณ 4 มิลลิเมตร ชั่งดิน 20 กิโลกรัม ใส่ถังพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 31 เซนติเมตร. สูง 36.5 เซนติเมตร หลังจากนั้นผสมดินกับน้ำเพื่อเลียนแบบการทำเทือกแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง สำหรับการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้นได้นำเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 และประทุมธานี 1 ที่ผ่านคัดเลือกเมล็ดคุณภาพดี(โดยแช่น้ำ)มาแล้ว นำไปแช่น้ำไว้ประมาณ 1 วันนำเมล็ดมาเก็บไว้ในห่อผ้ารอให้เมล็ดมีรากออกมาประมาณ 0.5 เซนติเมตร จึงนำมาเมล็ดหยอดลงในดินที่เตรียมไว้กระถางละ 3-5 เมล็ด เมื่อต้นข้าวอายุ 20 วันทำการถอนให้เหลือเพียงกระถางละ 1 ต้น หลังการย้ายกล้าข้าวได้ 3 วัน จึงใส่ปุ๋ยเคมีได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน (N)จะใช้ในรูปของยูเรียในอัตรา 30 กก./ไร่ ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) ใช้ในรูปของ P_2O_5 ในอัตรา 7 กก./ไร่ ปุ๋ยโพแทสเซียม(K) ใช้ในรูปของ K_2O ในอัตรา 30 กก./ไร่ จัดสภาพงานทดลองไว้ในโรงเรือนขนาด 15 X 3 เมตร

- การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้ทำการเกษตร ที่ ความลึก 0-15 ซม. เก็บตัวอย่างดินแบบรวม(composite sample) ทำให้แห้งโดยตากไว้ในที่ร่ม (air -dried) นำไปบด และผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2.0 ม.ม.ครั้งที่ 2 เก็บตัวอย่างดินในสภาพที่มีการ

ปลูกข้าวทั้งสองสายพันธ์ในกระถางที่ความลึก 0-15 ซม.เก็บตัวอย่างดินแบบรวม(composite sample) ทำให้แห้งโดยตากไว้ในที่ร่ม (air - dried) นำไปบด และผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2.0 ม.ม. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ 1. การวัดความเป็นกรดด่างในดิน โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (ทัศนีย์ และคณะ, 2532),2. การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน โดยวิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley and Black, 1934),3. ปริมาณโปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่สกัดได้ (ทัศนีย์ และคณะ, 2532),4. เนื้อดิน วิเคราะห์หาโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์,5. ฟอสฟอรัส วิเคราะห์โดยการสกัดตัวอย่างดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (ทัศนีย์ และคณะ, 2532)6.ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ (จำเป็น, 2547)

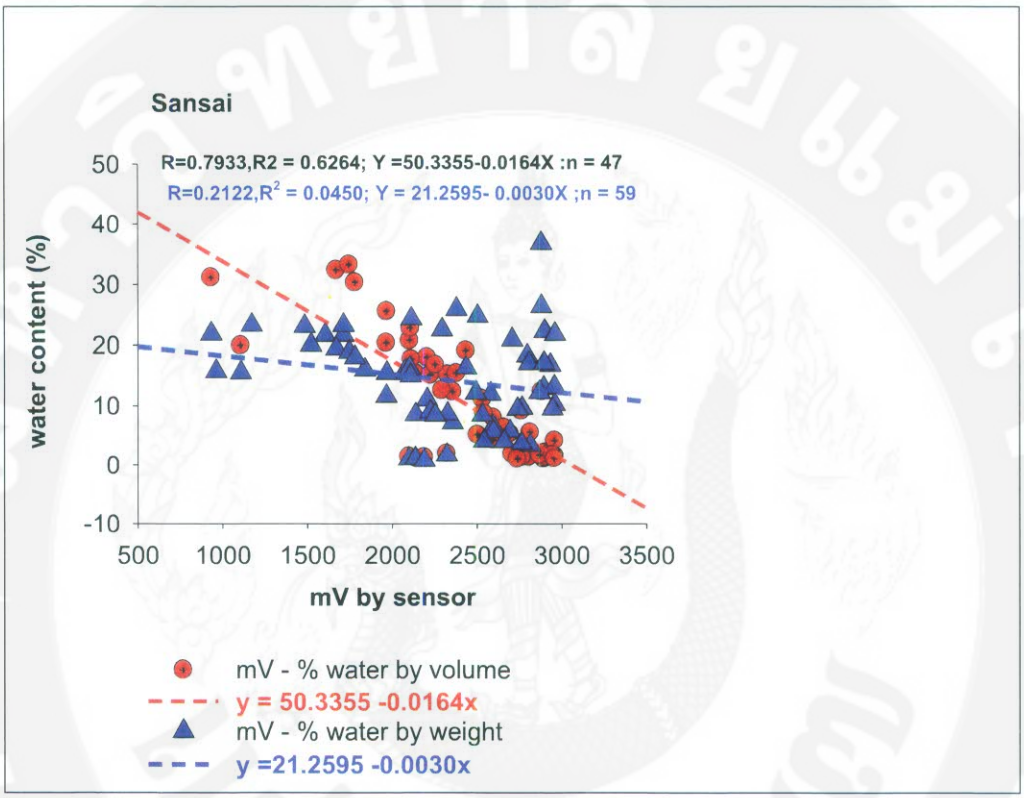
- การเก็บตัวอย่างพืช

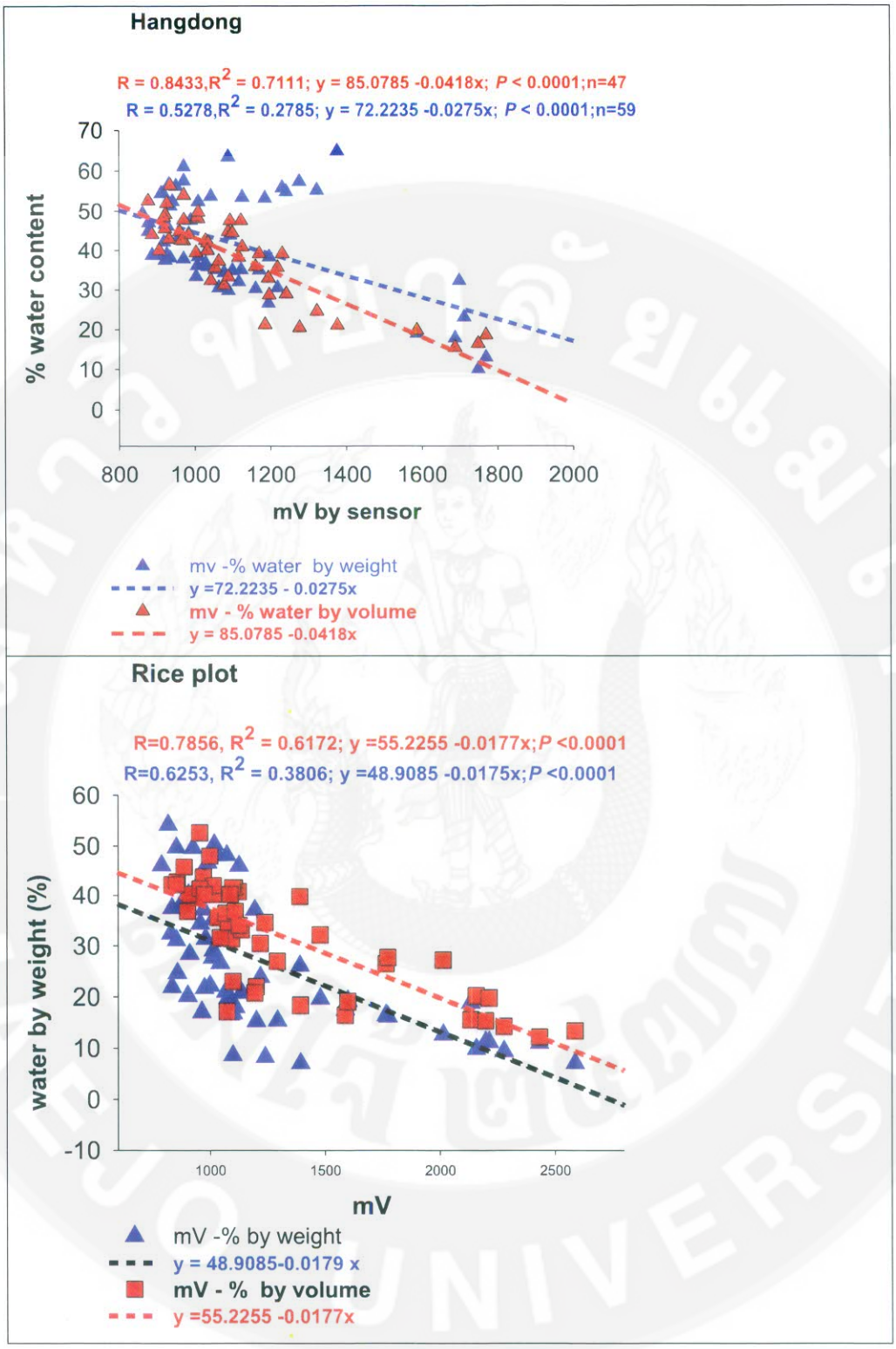
เก็บต้นข้าวในระยะข้าวสุกแก่ โดยการตัดต้นข้าวเหนือผิวดิน 1ซม.เก็บทั้งหมด 27 ต้น มาชั่งน้ำสดแล้วนำไปอบที่ อุณหภูมิ70 องศา ด้วยตู้อบตัวอย่างพืชจนน้ำหนักแห้งคงที่จึงนำมาชั่งหาน้ำหนัก และวิเคราะห์ธาตุอาหารต่อไป การวิเคราะห์ทางเคมี การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช ได้แก่ 1. ไนโตรเจนทั้งหมด 2. ฟอสฟอรัสทั้งหมด 3. โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด 4. เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในพืช (จำเป็น, 2547)

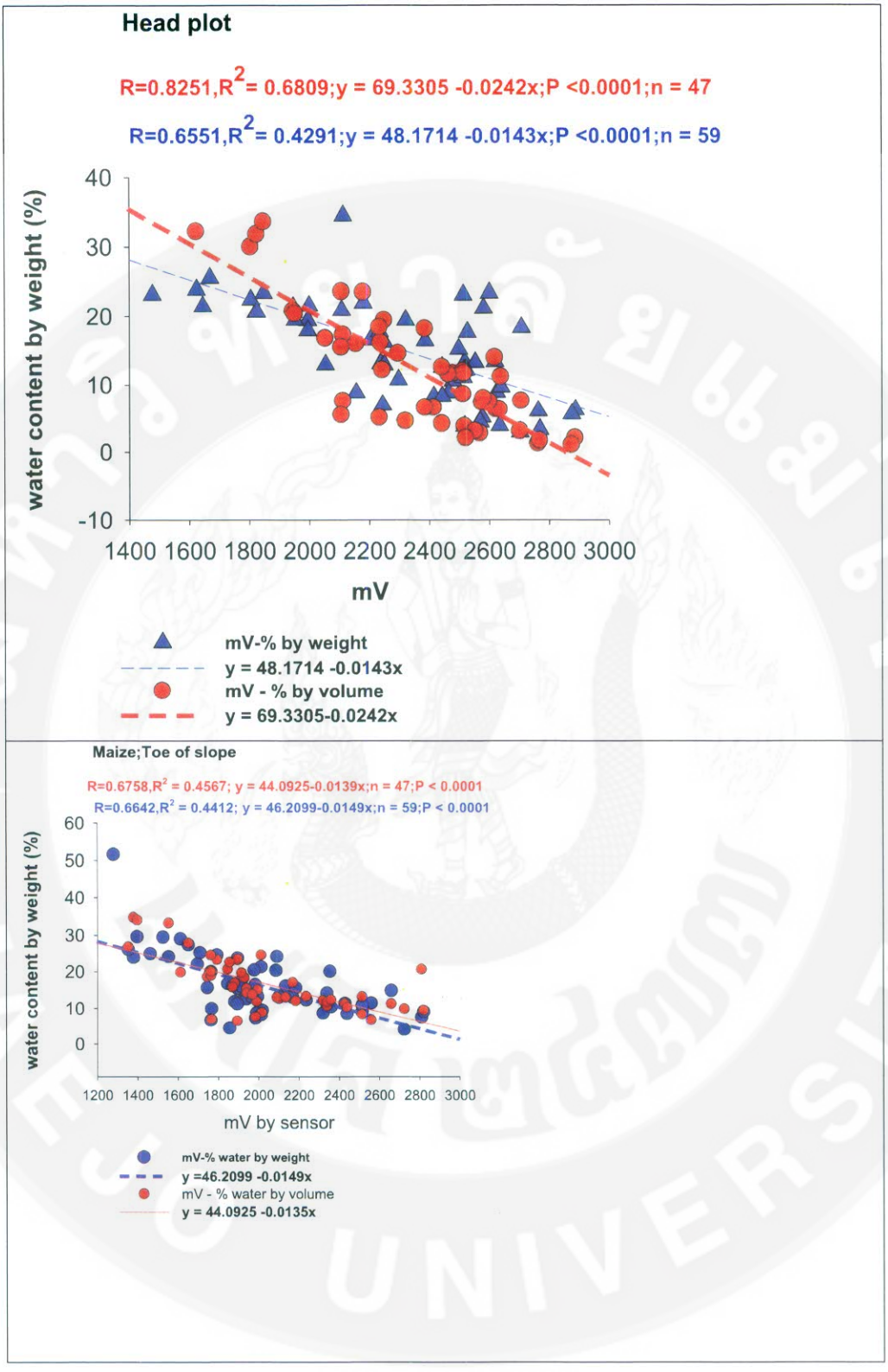
ผลการวิจัย

วิธีการทดลองที่ 1 ผลของดินชนิดต่างๆ ต่อการปรับเทียบของเซนเซอร์วัดความชื้นดินกับวิธีการประเมินความชื้นแบบต่าง ๆ

1.1 การจัดทำสมการปรับเทียบ : ผลจากการศึกษานี้ได้สร้างสมการเส้นตรงสำหรับปรับเทียบ (Calibrating equation) ดังภาพที่ 14 และตารางที่ 11




Hangdong
R = 0.8433,R2 = 0.7111; y = 85.0785 -0.0418x; P < 0.0001;n=47
R = 0.5278,R2 = 0.2785; y = 72.2235 -0.0275x; P < 0.0001;n=59
% water content
70
60
50
40
30
20
10
0
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
mV by sensor
mv -% water by weight
y =72.2235 - 0.0275x
mv - % water by volume
y = 85.0785 -0.0418x
Rice plot
R=0.7856, R2 = 0.6172; y =55.2255 -0.0177x;P <0.0001
R=0.6253, R2 = 0.3806; y =48.9085 -0.0175x;P <0.0001
water by weight (%)
60
50
40
30
20
10
0
-10
1000
1500
2000
2500
mV
mV -% by weight
y = 48.9085-0.0179 x
mV - % by volume
y =55.2255 -0.0177x



ภาพที่ 14 สมการเส้นตรงสำหรับปรับเทียบ (Calibrating equation)

ตารางที่ 11 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินชุดสันทราย

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
1483.00	23.09	47.14	7.38			
1604.00	21.67	46.48				
1521.00	20.04	46.07				
1171.00	23.30	47.01				
1711.00	21.68	48.49				
1838.00	15.96	48.05				
2074.00	15.39	25.48				
1712.00	23.28	25.12				
961.00	15.72	46.70				
2580.00	11.98	45.91				
2493.00	12.14	46.32				
2078.00	15.91	45.00				
2205.00	11.05	47.28		18.00	14.12	5.91
2356.00	7.19	46.87		12.40	11.65	
2435.00	16.32	46.84		19.10	10.35	
1965.00	11.65	45.80		20.40	18.07	
2595.00	6.64	40.01		8.10	7.72	
2596.00	5.74	43.92		4.30	7.70	
2694.00	5.77	45.13		5.40	6.09	
2532.00	8.49	44.61		11.20	8.75	
1669.00	19.43	44.45		32.40	22.93	
1746.00	18.89	46.73		33.30	21.66	
1780.00	17.98	46.48		30.40	21.10	
932.00	21.87	45.49		31.20	35.03	
1107.00	15.50	47.81		20.00	32.16	
2102.00	16.27	45.52		20.80	15.82	
2107.00	15.01	48.08		22.80	15.73	
1967.00	15.42	45.69		25.60	18.03	
2137.00	8.56	42.57		15.40	15.24	
2326.00	8.64	43.76		15.20	12.14	

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
2224.00	9.00	46.95		15.10	13.81	
2253.00	8.46	43.24		16.80	13.34	
2541.00	4.11	40.29		8.80	8.61	
2814.00	3.43	42.27		5.60	4.12	
2659.00	4.08	44.53		6.40	6.67	
2762.00	3.73	41.50		9.20	4.98	
2098.00	1.10	39.35		1.50	15.88	
2136.00	1.16	38.69		1.20	15.26	
2321.00	1.74	41.97		2.00	12.22	
2189.00	0.82	42.96		1.40	14.39	
2293.00	22.50	43.79		12.60	12.68	
2378.00	25.90	46.57		15.40	11.28	
2112.00	24.31	44.45		17.70	15.65	
2880.00	26.40	41.34		12.40	3.04	
2796.00	18.27	43.54		2.40	4.42	
2707.00	20.90	42.27		2.00	5.88	
2503.00	24.75	45.49		5.20	9.23	
2806.00	17.02	42.13		1.40	4.26	
2899.00	22.31	41.25		2.20	2.73	
2878.00	36.81	38.33		1.60	3.07	
2932.00	16.74	39.30		2.10	2.19	
2958.00	10.25	37.10		4.20	1.76	
2893.00	12.98	39.60		1.10	2.83	
2765.00	9.64	35.83		1.40	4.93	
2895.00	17.08	38.06		1.30	2.79	
2959.00	21.80	34.34		1.60	1.74	
2869.00	12.28	28.56		1.70	3.22	
2945.00	9.50	23.52		1.80	1.97	
2956.00	13.17	24.10		1.20	1.79	
2739.00	9.48	25.78		1.10	5.36	

ตารางที่ 12 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินชุดหางดง

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
911.00	54.42	47.14	7.38	--	--	
935.00	51.30	46.48		--	--	
950.00	56.19	46.07		--	--	
916.00	54.51	47.01		--	--	
862.00	49.36	48.49		--	--	
878.00	47.12	48.05		--	--	
1698.00	32.41	25.48		--	--	
1711.00	23.15	25.12		--	--	
927.00	46.29	46.70		--	--	
956.00	42.85	45.91		--	--	
941.00	52.42	46.32		--	--	
989.00	47.72	45.00		--	--	
906.00	38.89	47.28		40.00	47.24	5.09
921.00	37.62	46.87		45.60	46.61	
922.00	46.79	46.84		49.20	46.57	
960.00	43.93	45.80		44.80	44.98	
1170.00	35.09	40.01		39.20	36.21	
1028.00	36.97	43.92		42.60	42.14	
984.00	44.30	45.13		44.00	43.98	
1003.00	33.52	44.61		39.50	43.18	
1009.00	52.38	44.45		48.10	42.93	
926.00	39.11	46.73		52.00	46.40	
935.00	38.21	46.48		56.40	46.02	
971.00	61.03	45.49		54.00	44.52	
887.00	38.91	47.81		44.10	48.03	
970.00	37.99	45.52		42.50	44.56	
877.00	44.88	48.08		52.60	48.45	
964.00	42.71	45.69		42.60	44.81	
1077.00	34.51	42.57		31.20	40.09	
1034.00	35.98	43.76		42.00	41.89	

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
918.00	42.21	46.95		48.40	46.73	
1053.00	35.26	43.24		35.60	41.10	
1160.00	30.42	40.29		35.90	36.63	
1088.00	29.90	42.27		44.80	39.63	
1006.00	36.22	44.53		48.60	43.06	
1116.00	32.13	41.50		38.30	38.46	
1194.00	26.65	39.35		33.00	35.21	
1218.00	30.62	38.69		35.70	34.20	
1099.00	35.00	41.97		44.50	39.17	
1063.00	30.66	42.96		37.30	40.68	
1033.00	40.23	43.79		40.00	41.93	
932.00	56.58	46.57		42.90	46.15	
1009.00	38.56	44.45		49.80	42.93	
1122.00	35.15	41.34		47.60	38.21	
1042.00	53.70	43.54		32.40	41.56	
1088.00	63.34	42.27		33.30	39.63	
971.00	57.49	45.49		47.80	44.52	
1093.00	43.95	42.13		47.60	39.42	
1125.00	53.46	41.25		40.90	38.09	
1231.00	55.77	38.33		39.20	33.66	
1196.00	38.44	39.30		28.70	35.12	
1276.00	57.35	37.10		20.50	31.78	
1185.00	53.20	39.60		21.20	35.58	
1322.00	55.18	35.83		24.60	29.86	
1241.00	54.87	38.06		29.00	33.24	
1376.00	64.78	34.34		21.10	27.60	
1586.00	19.08	28.56		19.80	18.83	
1769.00	13.08	23.52		18.60	11.19	
1748.00	10.17	24.10		16.50	12.07	
1687.00	17.92	25.78		15.50	14.61	

ตารางที่ 13 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าวโพด

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	Measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
779.00	36.14	29.93	9.74	--	--	
795.00	52.03	29.76		--	--	
740.00	35.91	30.35		--	--	
823.00	37.41	29.46		--	--	
853.00	36.58	29.14		--	--	
838.00	54.18	29.30		--	--	
867.00	34.06	28.99		--	--	
875.00	31.62	28.90		--	--	
853.00	28.86	29.14		--	--	
814.00	52.59	29.55		--	--	
912.00	26.64	28.50		--	--	
389.00	28.52	34.10		--	--	
946.00	22.77	28.14		20.90	32.75	8.57
760.00	49.97	30.13		55.00	35.26	
883.00	22.62	28.81		32.20	33.60	
904.00	25.23	28.59		36.40	33.32	
853.00	28.86	29.14		21.20	34.00	
814.00	52.59	29.55		46.40	34.53	
912.00	26.64	28.50		22.40	33.21	
389.00	28.52	34.10		31.40	40.25	
1072.00	23.51	26.79		38.00	31.06	
877.00	36.50	28.88		48.80	33.68	
1043.00	27.24	27.10		28.60	31.45	
966.00	30.06	27.93		37.40	32.48	
1049.00	20.21	27.04		28.00	31.37	
901.00	29.29	28.62		48.20	33.36	
1138.00	23.72	26.08		31.40	30.17	
1028.00	23.60	27.26		34.30	31.65	
1316.00	11.53	24.18		25.20	27.78	
1063.00	**18.59**	**26.89**		**37.00**	**31.18**	

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	Measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
1492.00	12.89	22.29		25.00	25.41	
1375.00	13.75	23.55		28.30	26.98	
2053.00	16.46	16.29		20.60	17.86	
1302.00	25.23	24.33		20.60	27.96	
1613.00	17.76	21.00		19.80	23.78	
1384.00	19.29	23.45		20.80	26.86	
2103.00	4.79	15.75		3.80	17.19	
1400.00	13.71	23.28		14.60	26.65	
1745.00	4.59	19.59		6.80	22.00	
1546.00	5.40	21.72		9.30	24.68	
1175.00	7.03	25.69		28.80	29.67	
1214.00	17.20	25.27		52.60	29.15	
1394.00		23.34		26.70	26.73	
1145.00	0.12	26.01		32.90	30.08	
2155.00	16.30	15.20		17.20	16.49	
1298.00	13.45	24.37		18.10	28.02	
1628.00	12.22	20.84		16.40	23.58	
1620.00	11.42	20.92		20.60	23.69	
2236.00	17.47	14.33		16.50	15.40	
2390.00	17.10	12.68		20.20	13.32	
2512.00	22.55	11.37		17.80	11.68	
2443.00	25.10	12.11		19.20	12.61	
2230.00	23.65	14.39		19.00	15.48	
2112.00	19.05	15.66		13.20	17.07	
2220.00	19.29	14.50		18.60	15.61	
2509.00	19.76	11.41		15.50	11.72	
2561.00	8.29	10.85		10.60	11.02	
26577.00	13.55	9.82		9.80	9.73	
2763.00	14.73	8.69		10.20	8.31	
2779.00	10.57	8.52		11.60	8.09	

ตารางที่ 14 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าว

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
854.00	49.72	33.66	10.11	--	--	
963.00	17.15	31.72		--	--	
1018.00	50.28	30.73		--	--	
926.00	49.59	32.38		--	--	
789.00	46.15	34.82		--	--	
829.00	32.56	34.11		--	--	
989.00	46.67	31.25		--	--	
818.00	54.17	34.31		--	--	
834.00	37.55	34.02		--	--	
906.00	40.28	32.73		--	--	
1010.00	27.80	30.88		--	--	
882.00	38.99	33.16		--	--	
834.00	22.01	34.02		42.20	40.51	6.62
1034.00	48.11	30.45		35.60	36.97	
999.00	22.27	31.07		48.00	37.59	
857.00	24.76	33.61		42.80	40.10	
911.00	28.54	32.65		40.30	39.15	
1093.00	19.29	29.40		31.40	35.93	
1123.00	33.71	28.86		40.80	35.40	
980.00	31.51	31.41		40.20	37.93	
887.00	38.06	33.07		45.80	39.57	
1014.00	29.21	30.81		40.20	37.33	
955.00	42.89	31.86		52.60	38.37	
971.00	37.28	31.57		43.80	38.09	
853.00	31.22	33.68		42.20	40.17	
1044.00	26.73	30.27		31.60	36.80	
1014.00	35.36	30.81		42.00	37.33	
956.00	34.52	31.84		41.40	38.35	
902.00	20.29	32.81		36.80	39.30	
1078.00	19.95	29.66		34.60	36.20	
1106.00	36.73	29.16		41.60	35.70	

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
975.00	21.81	31.50		40.20	38.02	
1068.00	21.11	29.84		36.40	36.37	
1292.00	15.50	25.84		27.00	32.42	
1390.00	26.20	24.09		39.80	30.69	
1136.00	20.92	28.63		33.20	35.17	
1099.00	16.92	29.29		23.00	35.83	
1392.00	7.18	24.06		18.40	30.66	
1478.00	19.77	22.52		32.20	29.14	
1200.00	15.42	27.49		22.00	34.04	
1109.00	18.16	29.11		36.80	35.65	
1238.00	8.37	26.81		34.60	33.37	
1098.00	8.71	29.31		41.60	35.85	
1087.00	16.72	29.50		40.20	36.04	
1073.00	48.17	29.75		17.20	36.29	
1194.00	37.20	27.59		20.80	34.15	
1126.00	46.05	28.81		34.00	35.35	
1218.00	23.96	27.16		30.50	33.73	
1587.00	17.63	20.58		16.50	27.21	
1598.00	19.31	20.38		19.10	27.02	
1765.00	16.55	17.40		26.50	24.07	
1773.00	16.30	17.26		27.70	23.93	
2013.00	12.76	12.97		27.20	19.70	
2133.00	18.97	10.83		15.60	17.58	
2198.00	11.36	9.67		15.40	16.43	
2157.00	9.91	10.40		20.20	17.15	
2213.00	11.31	9.40		19.80	16.17	
2278.00	9.52	8.24		14.30	15.02	
2587.00	7.17	2.72		13.40	9.56	
2432.00	11.13	5.49		12.20	12.30	

ตารางที่ 15 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าวโพดที่อยู่ตำแหน่งด้านบนของพื้นที่ (Top of slope)

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
1477.00	23.17	27.04	4.89	--	--	
1823.00	20.67	22.10		--	--	
1999.00	21.57	19.58		--	--	
1669.00	25.55	24.30		--	--	
1995.00	19.42	19.63		--	--	
2204.00	16.58	16.65		--	--	
1995.00	17.97	19.63		--	--	
1645.00	21.47	24.64		--	--	
2249.00	16.26	16.00		--	--	
2518.00	13.31	12.15		--	--	
2498.00	15.25	12.44		--	--	
25527.00	17.69	12.03		--	--	
2156.00	8.84	17.33		16.00	17.08	4.90
2244.00	7.00	16.07		12.20	14.95	
2479.00	10.61	12.71		11.70	9.25	
2619.00	13.42	10.71		14.00	5.86	
2513.00	11.13	12.23		12.00	8.43	
2624.00	8.87	10.64		6.30	5.74	
2639.00	9.67	10.42		11.20	5.37	
2516.00	12.16	12.18		11.70	8.35	
1624.00	23.89	24.94		32.20	29.97	
1805.00	22.44	22.35		30.00	25.59	
1825.00	20.68	22.07		31.80	25.10	
1848.00	23.39	21.74		33.60	24.54	
1946.00	21.34	20.34		20.80	22.17	
1952.00	19.50	20.25		20.40	22.02	
2180.00	22.00	16.99		23.50	16.50	
2108.00	20.89	18.02		23.60	18.24	
2054.00	13.00	18.79		16.80	19.55	

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
2297.00	10.77	15.31		14.60	13.66	
2238.00	13.17	16.16		16.20	15.09	
2250.00	12.97	15.99		19.40	14.80	
2415.00	8.31	13.63		6.60	10.80	
2576.00	5.15	11.32		7.40	6.90	
2464.00	8.81	12.93		11.60	9.61	
2443.00	8.29	13.23		12.60	10.12	
2518.00	3.84	12.15		3.80	8.31	
2703.00	2.96	9.51		3.10	3.82	
2569.00	4.46	11.42		2.80	7.07	
2634.00	3.90	10.49		6.30	5.49	
2113.00	34.49	17.95		17.30	18.12	
2107.00	16.38	18.03		15.50	18.27	
2234.00	17.78	16.22		18.40	15.19	
2386.00	16.45	14.04		18.20	11.50	
2513.00	23.14	12.23		8.60	8.43	
2707.00	18.37	9.45		7.60	3.73	
2600.00	23.42	10.98		7.50	6.32	
2581.00	21.19	11.25		8.00	6.78	
2113.00	34.49	17.95		7.60	18.12	
2107.00	16.38	18.03		5.50	18.27	
2234.00	17.78	16.22		5.10	15.19	
2386.00	16.45	14.04		6.60	11.50	
2321.00	19.47	14.97		4.60	13.08	
2443.00	12.62	13.23		4.20	10.12	
2553.00	13.32	11.65		3.10	7.46	
2522.00	12.25	12.10		2.10	8.21	
2763.00	6.06	8.65		1.30	2.37	
2768.00	3.33	8.58		1.70	2.25	
2887.00	6.23	6.88		2.10	-0.64	
2875.00	5.62	7.05		1.10	-0.35	

ตารางที่ 16 ผลการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการปรับเทียบความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์จากการวัดความชื้นโดยน้ำหนักและการวัดความชื้นโดยปริมาตรของดินปลูกข้าวโพดที่อยู่ตำแหน่งด้านล่างของพื้นที่ (Toe of slope)

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
2014.00	21.24	16.11	5.83	--	--	
1464.00	24.88	24.33		--	--	
1282.00	51.56	27.05		--	--	
1527.00	29.42	23.39		--	--	
1985.00	16.39	16.55		--	--	
2088.00	20.27	15.01		--	--	
1698.00	22.03	20.83		--	--	
1711.00	25.18	20.64		--	--	
1981.00	13.35	16.60		--	--	
1903.00	16.92	17.77		--	--	
1980.00	20.38	16.62		--	--	
2356.00	20.00	11.00		--	--	
1883.00	11.78	18.07		16.90	18.74	5.30
1931.00	12.78	17.35		18.30	18.09	
1848.00	16.68	18.59		20.60	19.21	
1873.00	16.06	18.22		15.80	18.87	
2019.00	9.41	16.04		8.80	16.91	
2238.00	12.25	12.76		13.20	13.96	
1941.00	12.50	17.20		15.40	17.96	
1942.00	14.60	17.19		14.20	17.94	
1381.00	23.81	25.57		34.70	25.50	
1555.00	24.05	22.97		33.20	23.15	
1355.00	26.01	25.96		26.80	25.85	
1399.00	29.53	25.30		34.00	25.26	
1795.00	24.54	19.38		23.20	19.92	
1898.00	23.67	17.85		23.10	18.54	
1614.00	28.96	22.09		19.80	22.36	
1653.00	27.34	21.51		27.80	21.83	
1898.00	15.37	17.85		23.40	18.54	

Value measured by Sensor (mV)	Measured water by weight (%)	Predicted water by weight (%)	RMSE	measured water by volume (%)	Predicted water by volume (%)	RMSE
1747.00	15.62	20.10		18.60	20.57	
1765.00	19.92	19.83		18.90	20.33	
1765.00	19.95	19.83		24.50	20.33	
2171.00	13.00	13.77		17.00	14.86	
2103.00	13.11	14.78		12.60	15.78	
1997.00	13.19	16.37		15.00	17.20	
1917.00	15.88	17.56		19.60	18.28	
1987.00	7.22	16.52		7.60	17.34	
1768.00	9.85	19.79		6.90	20.29	
1896.00	11.15	17.88		6.40	18.56	
1992.00	8.70	16.44		11.80	17.27	
1765.00	6.67	19.83		20.00	20.33	
1858.00	4.43	18.44		22.50	19.07	
2812.00	7.48	4.19		20.60	6.23	
2015.00	8.11	16.10		24.50	16.96	
2093.00	24.09	14.93		13.00	15.91	
2136.00	16.02	14.29		13.00	15.33	
2186.00	15.55	13.54		12.00	14.66	
1970.00	13.00	16.77		13.70	17.57	
2342.00	10.62	11.21		10.60	12.56	
2322.00	8.61	11.51		12.10	12.83	
2341.00	14.12	11.22		11.70	12.57	
2361.00	10.32	10.93		12.30	12.30	
2516.00	9.02	8.61		13.10	10.21	
2431.00	11.30	9.88		11.20	11.36	
2661.00	14.79	6.44		11.20	8.26	
2441.00	8.45	9.73		10.30	11.22	
2726.00	4.04	5.47		9.80	7.39	
2822.00	9.03	4.04		9.40	6.09	
2561.00	11.38	7.94		6.70	9.61	
2516.00	10.76	8.61		8.30	10.21	

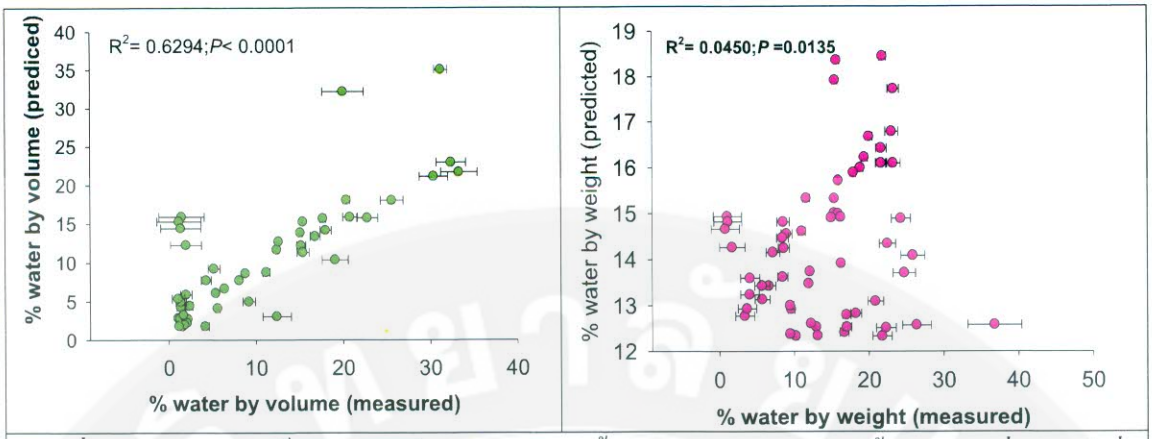
ตารางที่ 17 The Calibrating equation of various soils for adjustment of measuring v

alues of soil moisture sensor to % water content by weight and by volume and The root mean square error (RMSE) of value from using calibrating equation (or predicted equation) for soil moisture sensor

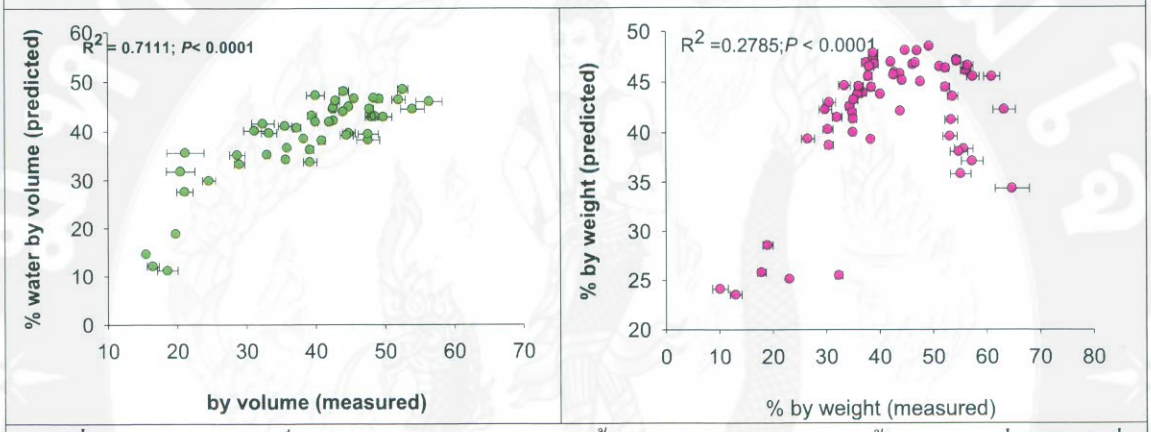
Soil	Type of water content	Calibrating equation	RMSE	Soil texture
Sansai	% by weight	□ = 21.2595 − 0.0030□	7.38	Sandy loam
	% by volume	□ = 50.3355 − 0.0164□	5.91	Sandy loam
Hangdong	% by weight	□ = 72.2235 − 0.0275□	7.38	Clay
	% by volume	□ = 85.0785 − 0.0418□	5.09	Clay
Paddy soil	% by weight	□ = 48.9085 − 0.0175□	10.11	
	% by volume	□ = 56.2255 − 0.0177□	6.62	
Upland soil	% by weight	□ = 48.1714 − 0.0143□	9.79	Sandy loam
	% by volume	□ = 69.3305 − 0.0242□	8.57	Sandy loam
Upland soil (Top slope)	% by weight	□ = 48.1714 − 0.0143□	4.89	Sandy loam
	% by volume	□ = 69.3305 − 0.0242□	4.90	Sandy loam
Upland soil	% by weight	□ = 46.2099 − 0.0149□	5.83	Sandy loam
(Toe slope)	% by volume	□ = 44.0925 − 0.0139□	5.30	Sandy loam

1.2 การประเมินผลของใช้การสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ (Calibrating equation) เพื่อใช้ประเมินความชื้นโดยน้ำหนักและโดยปริมาตร

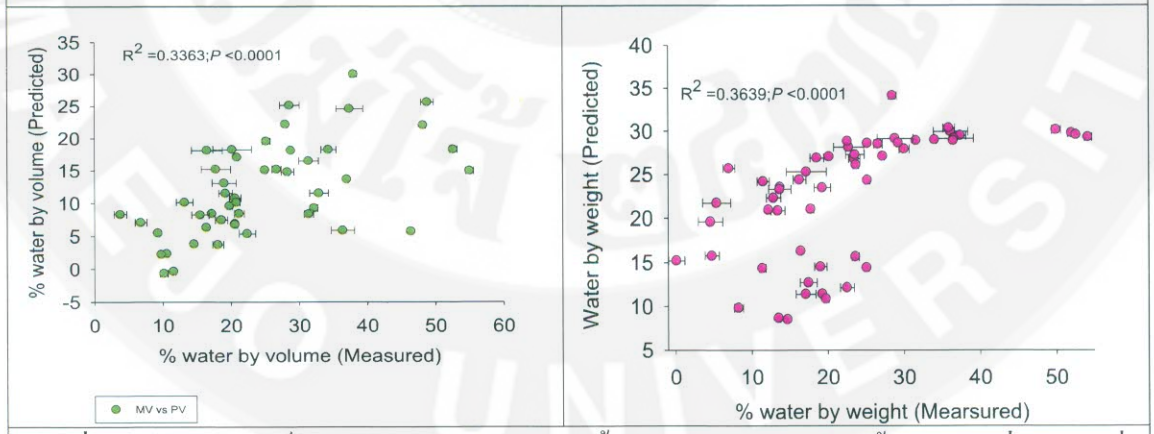
เมื่อนำค่าปริมาณความชื้นทั้งโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ปรับเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ปริมาณความชื้นทั้งโดยน้ำหนักและโดยปริมาตร โดยนำเสนอค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) และค่าความน่าจะเป็นไปได้ (Probability; P) ซึ่งค่าทั้งสองนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดดิน ดังภาพที่ 14-19



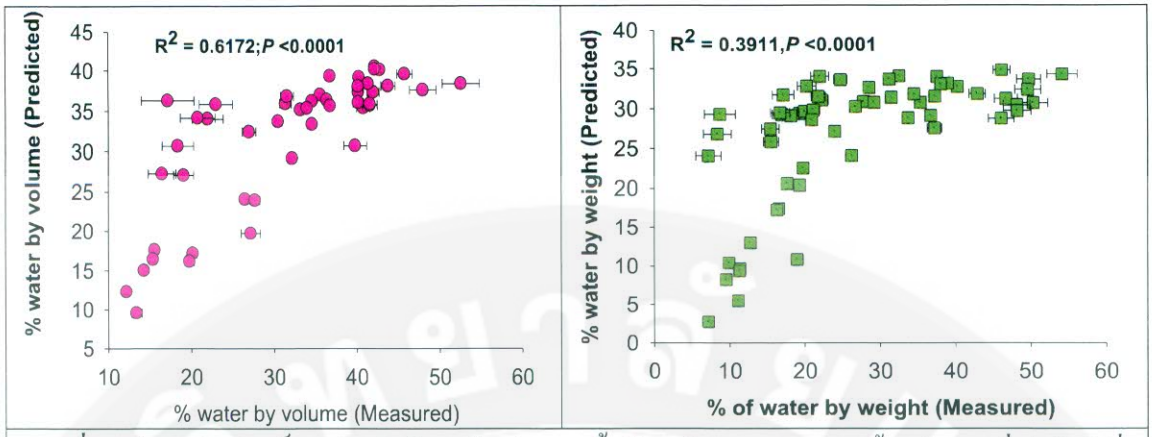
ภาพที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินชุดสันทราย (sandy loam soil)



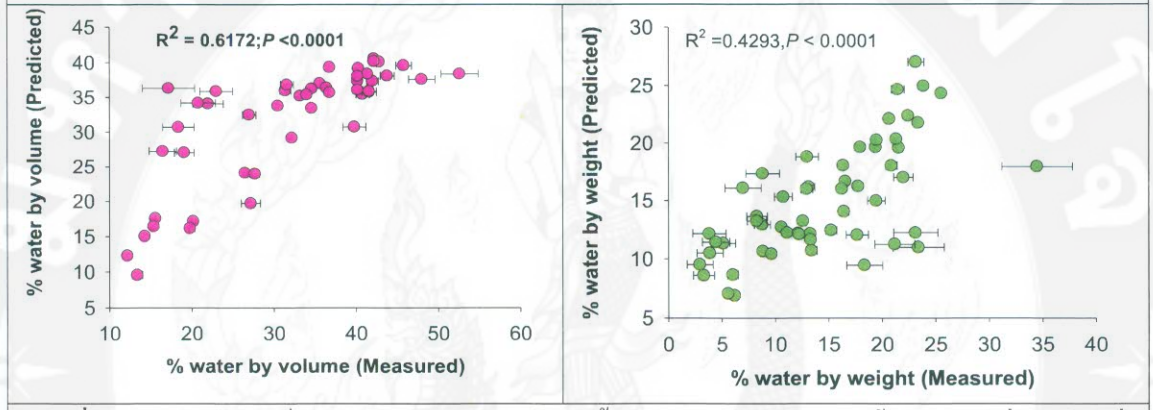
ภาพที่ 16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินชุดหางดง (clay soil)



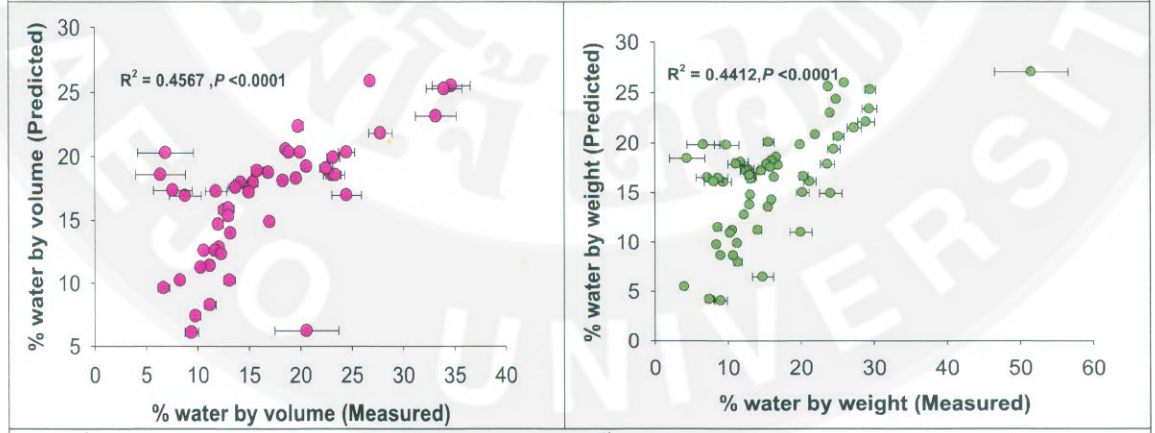
ภาพที่ 17 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินไร่ (upland soil)



ภาพที่ 18 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินปลูกข้าว (paddy soil)



ภาพที่ 19 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินไร่ ตำแหน่งด้านบนของพื้นที่ (upland soil and top of slope)



ภาพที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตร (a) และน้ำหนัก (b) ที่วัดกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์จากสมการคณิตศาสตร์ในดินไร่ ตำแหน่งด้านล่างของพื้นที่ (upland soil and toe of slope)

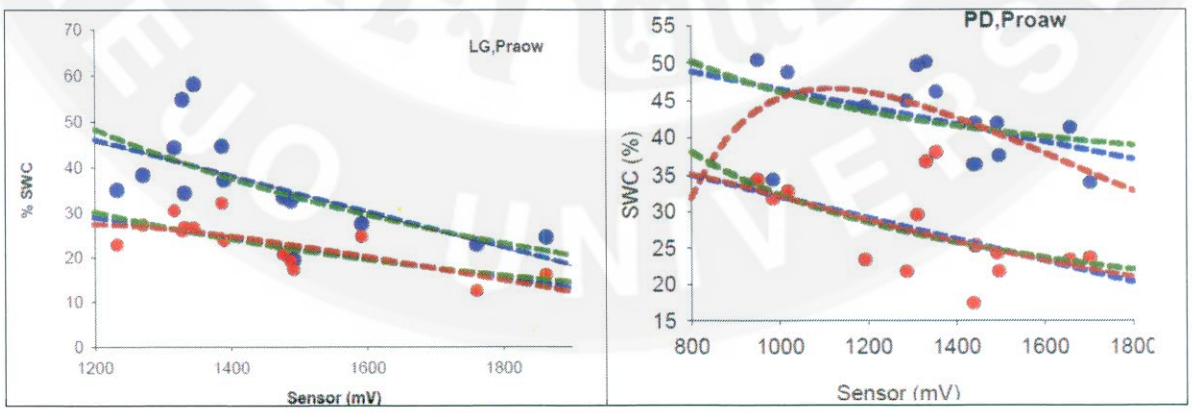
วิธีการทดลองที่ 2 การจัดทำสมการปรับเทียบและการประเมินผลของใช้สถานีวัดความชื้นดินโดยเซนเซอร์ของดินปลูกลำไยและนาข้าวระดับแปลงเกษตรกร

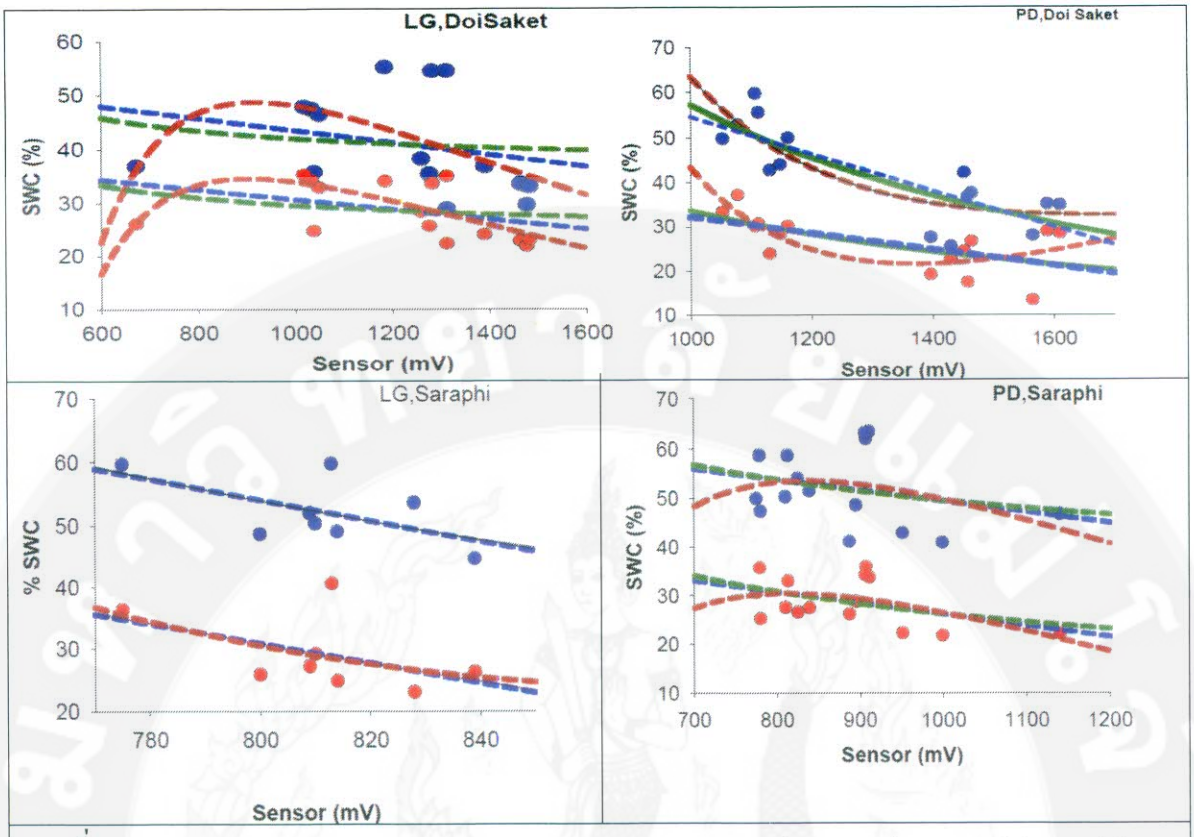
2.1 การจัดทำการสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ (Calibrating equation) ของเซนเซอร์วัดความชื้นดินกับวิธีการประเมินความชื้นแบบต่าง ๆ ของดินปลูกลำไยและข้าวในระดับแปลงเกษตรกร

จากการทดลองนี้ได้สร้างสมการเส้นตรงสำหรับปรับเทียบ (Calibrating equation) ดังตารางที่ 18 และภาพที่ 22 และจากสมการปรับเทียบที่ได้จากงานทดลองนี้พบว่าทั้งดินปลูกข้าวและดินปลูกลำไย พบว่าเมื่อความชื้นโดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ความชื้นของดินที่วัดได้เซนเซอร์ลดลงโดยพิจารณาจากค่า slope หรือค่า b ของสมการปรับเทียบ (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 The slope (a) and the intercept (b) values from Linear regressions from the relationships between type of water contents and soil water content measured by soil sensor.

Location	Y = b +ax	Land use	Type of water content	b	a
Saraphi 18	LR	PD	%Wt	49.2	-0.02
	LR	PD	%Vo	71.2	-0.02
	LR	LG	%Wt	156.6	-0.16
	LR	LG	%Vo	186.4	-0.17
Proaw	LR	PD	%Wt	46.9455	-0.0146
	LR	PD	%Vo	58.23	-0.0117
	LR	LG	%Wt	55.9164	-0.0226
	LR	LG	%Vo	93.7557	-0.0397
Doi Saket	LR	PD	%Wt	50.4303	-0.0183
	LR	PD	%Vo	95.5132	-0.041
	LR	LG	%Wt	39.8041	-0.0009
	LR	LG	%Vo	54.6527	-0.0113





ภาพที่ 21 The various relations between soil water content by weight (red cycle) , volume(blue cycle) and electrical resistant (mV) with sensor.

2.2 การประเมินประสิทธิภาพของใช้การสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับเทียบ (Calibrating equation) เพื่อใช้ประเมินความชื้นโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรของเซนเซอร์วัดความชื้นดินระดับแปลง

การศึกษาประสิทธิภาพของสมการปรับนั้นพบว่าความชื้นโดยน้ำหนักโดยการใช้สมการปรับเทียบแบบของLinear Regression (LR) กับปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักที่วัดได้ (Measured) ของดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ดมีค่าเท่ากับ 4.02, 5.02 และ 4.87 % ตามลำดับ สำหรับค่า RMSE หรือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ดมีค่าเท่ากับ 2.66,3.25 และ -5.15 ตามลำดับ ซึ่งค่า RMSE หากยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงจะมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าสมการปรับเทียบจากดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภีมีค่าแม่นยำที่สุด รองลงมาคือพื้นที่พร้าว และดอยสะเก็ดตามลำดับ (ดังตารางที่ 19) และเมื่อพิจารณาค่า RMSE ของดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภีมีค่าแม่นยำที่สุดรองลงมาคือพื้นที่ดอยสะเก็ดและพร้าวตามลำดับ(ตารางที่ 19) สำหรับค่า RMSE ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตรโดยการใช้สมการปรับเทียบแบบของ Linear Regression (LR) กับ

ปริมาณความชื้นโดยปริมาตรที่วัดได้ (Measured) ของดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ดมีค่าเท่ากับ 7.18, 4.08 และ 6.05 % ตามลำดับ (ตารางที่) และเมื่อพิจารณาค่า RMSE ของดินปลูกข้าวจากพื้นที่อำเภอพร้าวมีค่าแม่นยำที่สุดรองลงมาคือพื้นที่ดอยสะเก็ด และสารภี ตามลำดับ สำหรับค่า RMSE ดินปลูกลำไยโดยใช้ความชื้นโดยน้ำหนักโดยการใช้สมการปรับเทียบแบบของ Linear Regression (LR) กับปริมาณความชื้นโดยน้ำหนักที่วัดได้ (Measured) จากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ดมีค่าเท่ากับ 4.49, 3.63 และ 8.53 % ตามลำดับ สำหรับค่า RMSE ระหว่างค่าความชื้นโดยปริมาตรโดยการใช้สมการปรับเทียบแบบของ Linear Regression (LR) กับปริมาณความชื้นโดยปริมาตรที่วัดได้ (Measured) ของดินปลูกลำไยจากพื้นที่อำเภอสารภี พร้าว และดอยสะเก็ดมีค่าเท่ากับ 4.08, 8.38 และ 4.70 % ตามลำดับ (ตารางที่ 19) จะเห็นได้ว่าสมการปรับเทียบใช้ความชื้นโดยน้ำหนักของดินปลูกลำไยจากพื้นที่อำเภอพร้าวมีค่าแม่นยำที่สุดรองลงมาคือพื้นที่ดอยสะเก็ด และสารภีตามลำดับ (ตารางที่ 19) แต่ถ้าใช้สมการปรับเทียบแบบความชื้นโดยปริมาตรพบว่าเป็นพื้นที่อำเภอพร้าวมีความแม่นยำสูงสุด ซึ่งเห็นได้ว่าการใช้ชนิดของความชื้นในการสร้างสมการปรับเทียบมีความสำคัญเพื่อนำไปประยุกต์ในการจัดการความชื้นของดินโดยจะต้องมีความสะดวกและง่ายในการปฏิบัติงาน แต่ในขณะเดียวจะต้องพิจารณาถึงความถูกต้องและแม่นยำ เพื่อให้การใช้เซนเซอร์วัดความชื้นเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 19 The calibrating equation of soils from paddy and logan soils for adjustment of measuring values of soil moisture sensor to % water content by weight and volume

Location	Type of equation	Land use	Type of water content	RMSE	N
Saraphi	LR	PD	%Wt	4.22	8
	LR	PD	%Vo	7.18	8
	LR	LG	%Wt	4.99	8
	LR	LG	%Vo	4.08	8
	LR	PD	%Wt	5.02	15
	LR	PD	%Vo	5.01	15
	LR	LG	%Wt	3.63	15
Proaw	LR	LG	%Vo	8.38	15
	LR	PD	%Wt	4.87	15
	LR	PD	%Vo	6.05	15
	LR	LG	%Wt	8.53	15
Doi Saket	LR	LG	%Vo	4.70	15

การวิเคราะห์และจัดทำสมการปรับเทียบโดยเป็นแบบ Linear Regression (LR) โดยพิจารณาจากค่า R^2 และ Probability โดยแบ่งเป็นชนิดของชั้นที่วัดได้แก่ปริมาณความชื้นโดยปริมาตรและความชื้นโดยน้ำหนักที่วัดได้ (Measured) ของดินของดินปลูกลำไยและปลูกข้าวจากพื้นที่ต่างๆ พบว่าพื้นที่อำเภอพร้าวมีความแม่นยำสูงสุดโดยพิจารณาจากค่า R^2 และ Probability เช่นเดียวกับดินที่ปลูกข้าวและลำไยที่ดอยสะเก็ดและพร้าว พบว่าเป็นดินเนื้อร่วนทราย (sandy loam) แต่ถ้าเป็นอำเภอสารภีทั้งเป็นดินปลูกข้าวพิจารณาจากปริมาณ clay สูงมากกว่า 40 % (ตารางที่)ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว มีค่า RMSE ต่ำสุดค่าเท่ากับ 4.08 % แต่ถ้าพิจารณาจากค่า R^2 และ Probability ถือว่าเป็นค่าความน่าเชื่อถือที่สูงเช่นกัน (ตารางที่ 20) และถ้าเป็นปลูกลำไยที่ปลูกที่สารภีค่า R^2 และ Probability ถือว่าเป็นค่าความน่าเชื่อถือที่ต่ำถึงแม้ว่าเป็นดินมีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูง

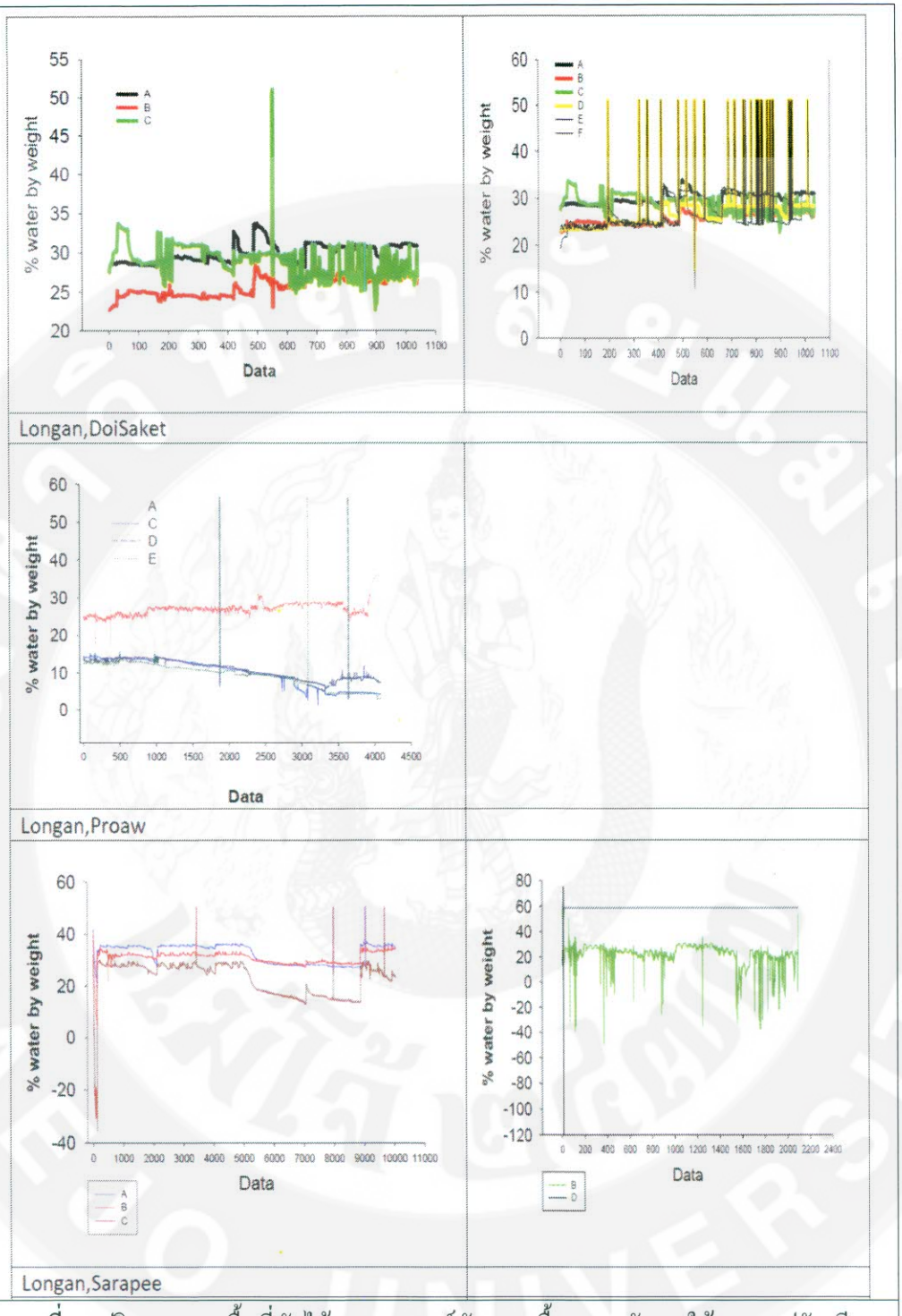
ตารางที่ 20 ผลของการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ปรับเทียบจากค่าความชื้นที่วัดด้วยเซนเซอร์เป็นค่าความชื้นโดยน้ำหนักและปริมาตร

Location Land use	Type of water	Equation	R^2	R^2 (Adjusted)	Probability
Saraphi, LG	%Vol	LR	0.3399	0.2299	0.1293
	%Wt	LR	0.2372	0.1100	0.2209
Saraphi, PD	%Vol	LR	0.2065	0.1454	0.0888
	%Wt	LR	0.2891	0.2344	0.0387
Proaw,LG	%Vol	LR	0.4112	0.3621	0.0134
	%Wt	LR	0.5455	0.5076	0.0026
Proaw,PD	%Vol	LR	0.2065	0.1454	0.0888
	%Wt	LR	0.2891	0.2344	0.0387
Doi Saket,LG	%Vol	LR	0.0742	0.0030	0.3257
	%Wt	LR	0.1578	0.0931	0.1425
Doi Saket,PD	%Vol	LR	0.4025	0.3566	0.0111
	%Wt	LR	0.6739	0.6488	0.0002

จากการประเมินทางด้านเทคนิคพบว่าปริมาณความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นภายหลังการใช้สมการปรับเทียบ (calibrating equation) ของดินแต่ละพื้นที่ของดินที่ปลูกลำไยตามช่วงเวลาต่างๆ (ภาพที่22) พบว่าข้อมูลที่สามารถดาว์นโหลดจากอินเตอร์เน็ตประสพปัญหาต่างๆ ในช่วงเวลาที่ศึกษา ดังนี้

1.ข้อมูลที่วัดด้วยเซนเซอร์ที่ติดตั้งนั้นไม่สามารถแสดงผ่านได้ครบถ้วน เช่น ได้ติดตั้งจำนวนเซนเซอร์ไว้ 9 ตัวไว้ในแปลงลำไย แต่มีข้อมูลที่แสดงผลเพียง 6 ตัว อาจจะมาจากการติดตั้งที่ชำรุดหรือเสียหาย จำเป็นจะต้องกลับเข้าตรวจสอบทำให้ต้องใช้เวลาหรือแรงงาน เพื่อการแก้ไข

2.ข้อมูลที่แสดงหรือที่ได้รับนั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง อาจจะมาจากมีการติดตั้งในสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 22 ปริมาณความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นภายหลังการใช้สมการปรับเทียบ (calibrating equation) ของดินแต่ละพื้นที่ของดินที่ปลูกลำไยตามช่วงเวลาต่างๆ

การทดลองที่ 3 ผลของการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดินต่อการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งของการปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆในดินสองชนิดต่อการเจริญเติบโตและธาตุอาหารของข้าว

ตารางที่ 21 สมการปรับเทียบ (Calibrating of moisture sensor) ของดินสองชนิดเพื่อการจัดการน้ำแบบสลับแห้ง

Soil	Type of water content	Calibrating equation	Soil texture
Sansai (Ss)	% by volume	$y = 50.3355 - 0.0164x$	Sandy loam
Hangdong (Hd)	% by volume	□ = 85.0785 − 0.0418□	Sandy clay loam

ที่มา: นำมาจากการทดลองที่ 1

ตารางที่ 22 The controlling of water managements of this experiment using soil moisture sensor

Soil	Symbol	The upper threshold of soil moisture by sensor (mV)
Hd	W1	waterlog
Hd	W1-	1200-1345
Hd	W2-	1500
Ss	W1	waterlog
Ss	W1-	1200-1500
Ss	W2-	2000

ที่มา: นำมาจากการทดลองที่ 1

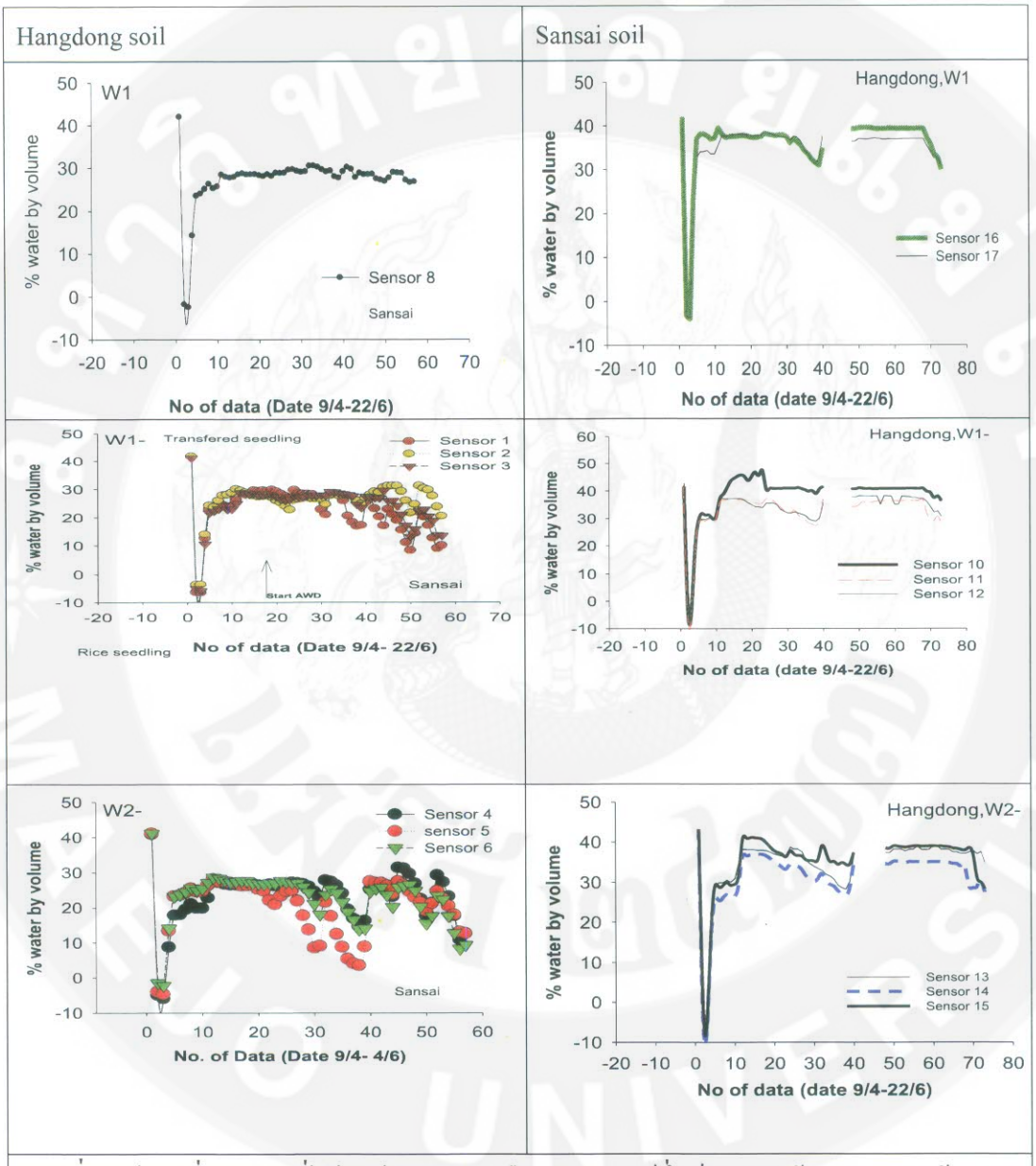
1.การประเมินการวัดความชื้นของเซนเซอร์วัดความชื้นในสภาพเรือนทดลอง

การประเมินการวัดความชื้นในดินโดยเซนเซอร์ให้เป็นความชื้นโดยปริมาตรจากสมการปรับเทียบ (ตารางที่ 21) พบว่า จากการประเมินทางด้านเทคนิคพบว่าปริมาณความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นภายหลังการใช้สมการปรับเทียบ (calibrating equation) ของดินแต่ละพื้นที่ของดินชุดหางดงและชุดสันทรายภายใต้การทดลองการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งของการปลูกข้าวพันธุ์สองสายพันธุ์ และตามช่วงเวลาต่างๆ (ภาพที่ 22) พบว่าข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดจากอินเตอร์เน็ตประสบปัญหาต่างๆในช่วงเวลาที่ศึกษา ดังนี้

1.ข้อมูลที่วัดด้วยเซนเซอร์ที่ติดตั้งนั้นสามารถแสดงผ่านได้ครบถ้วน เช่น ได้ติดตั้งจำนวนเซนเซอร์ไว้ 8 ตัวไว้ในดินในสภาพอยู่ในกระถางทดลอง ซึ่งข้อมูลที่แสดงผลได้ครบทั้ง 8 ตัว จะเห็นมีปัญหาน้อยกว่าหรือไม่มีปัญหาเหมือนการติดตั้งในสภาพแปลงเกษตร ซึ่งการติดตั้งในสภาพ

เรือนทดลองนั้นจะมีปัญหาจากการติดตั้งที่ชำรุดหรือเสียหายน้อยกว่าในสภาพแปลงเกษตรกร ไม่จำเป็นต้องกลับเข้าตรวจสอบเพื่อให้ต้องเสียเวลาหรือทรัพยากรบุคคลเพื่อการแก้ไข

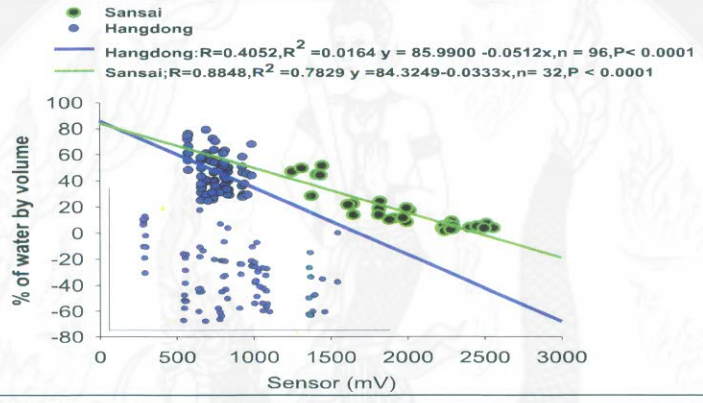
2.ข้อมูลที่แสดงผลหรือที่ได้รับนั้นมีความแปรปรวนกันค่อนข้างต่ำ อาจจะมาจากมีการติดตั้งในสภาพในสภาพเรือนทดลองและเป็นการทดลองในสภาพกระถางนั้นมีแตกต่างของดินไม่สูงด้วย



ภาพที่ 23 ข้อมูลที่แสดงผลที่ได้รับข้อโดยผ่านเครือข่ายอินเตอร์ซึ่งเป็นแปลงข้อมูลตัวเลขแล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละรูปแบบการจัดการน้ำโดยผ่านการใช้สมการปรับเทียบจากตารางที่ 22

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบสมการปรับเทียบ (Calibrating of moisture sensor) ของดินสองชนิดเพื่อการจัดการน้ำแบบสลับแห้งที่ดำเนินในสภาพกระถางในเรือนทดลองโดยดำเนินไปพร้อมกับการทดลองที่มีการปลูกข้าวเปรียบเทียบกับสมการที่ได้จากการทดลองที่ 1 ที่ดำเนินในห้องปฏิบัติการ

Soil	Type of water content	Calibrating equation	Soil texture
Sansai (Ss)	% by volumeเรือนทดลอง	Y = 84.3244-0.0344x	Sandy loam
Hangdong (Hd)	% by volume เรือนทดลอง	Y= 85.99-0.0512X	Sandy clay loam
Sansai (Ss)	% by volume ห้องปฏิบัติการ	Y = 50.3355-0.0164x	Sandy loam
Hangdong (Hd)	% by volume ห้องปฏิบัติการ	Y= 85.0785-0.0418x	Sandy clay loam



ภาพที่ 24 สมการปรับเทียบ (Calibrating of moisture sensor) ของดินสองชนิดเพื่อการจัดการน้ำแบบสลับแห้งที่ดำเนินในสภาพในเรือนทดลอง

3.2 ผลของการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดินต่อการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งของการปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆในดินสองชนิดต่อการเจริญเติบโตและความเข้มข้นธาตุอาหารในต้นข้าว

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินจากการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง

ดินหางดงและสันทรายที่นำมาศึกษาในการทดลองนี้มีค่า pH ของดินเป็นกรดแก่และกรดปานกลาง (pH 5.9 และ 5.5 ตามลำดับ) มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินต่ำและต่ำมาก (%OM 1.54 และ 0.79% ตามลำดับ) ประมาณฟอสฟอรัสปานกลางและค่อนข้างต่ำ (11.54 และ 7.77 mg Kg^{-1} ตามลำดับ) ปริมาณแคลเซียม สูงและสูงมาก (951.20 และ3879 mg Kg^{-1} ตามลำดับ) ปริมาณแมกนีเซียมต่ำมากในดินทั้ง 2 ชนิด ส่วนปริมาณสังกะสีในดินหางดงมีปริมาณต่ำกว่าในดินสันทราย แต่ปริมาณคอปเปอร์ เหล็ก และแมงกานีสในดินหางดงสูงกว่าในดินสันทราย (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 สมบัติของดินก่อนการทดลอง

Soil Type	pH	%OM	Avi.P	Exchangeable K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
					mg kg^{-1}					
Hang Dong	5.9	1.54	11.50	69.47	951.20	0.026	1.71	120.72	5.69	0.72
Sansai	5.5	0.79	7.77	99.19	3879	0.003	3.41	3.23	1.20	0.13

หลังการทดลองพบว่าภายหลังการปลูกข้าวพบว่าค่าเฉลี่ยของสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันดังนี้โดยหางดงมีปริมาณอินทรียวัตถุ, ปริมาณ NH_4 ,โพแทสเซียม,แคลเซียม, แมกนีเซียม, เหล็ก, แมงกานีสและทองแดงสูงกว่าดินสันทราย ส่วนค่า pH ในดินหางดงและดินสันทรายมีความเป็นกรด (pH 5.67 และ 5.35 ตามลำดับ) แต่มีปริมาณ NO_3 และฟอสฟอรัสในดินสันทรายสูงกว่าดินหางดง (ตารางที่ 24)

ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน

การวิเคราะห์ดินพบว่าค่าเฉลี่ยของสมบัติของผลจากผลพันธุ์ข้าวสองสายพันธุ์พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุไม่แตกต่างจากพันธุ์ข้าว ส่วนปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ เหล่านี้ในดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ประทุมธานี 1 สูงกว่าดินที่ขาวดอกมะลิ ได้แก่ NH_4, NO_3 ,ฟอสฟอรัส,ปริมาณโพแทสเซียม,แคลเซียม,ปริมาณเหล็ก,ปริมาณแมงกานีส แต่ปริมาณแมกนีเซียมและทองแดงในดินข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิสูงกว่าข้าวพันธุ์ประทุมธานี 1 ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าพันธุ์ข้าวประทุมธานีมีการดูดใช้ธาตุอาหารส่วนใหญ่ต่ำกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์เดิมของดินและการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับพันธ์ข้าวด้วย โดยพิจารณาจากปริมาณธาตุอาหารที่เหลือในดิน ซึ่งน่าสังเกตุว่าดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิมีความเป็นกรด (pH = 5.42) ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ข้าวประทุมธานี 1 (pH = 5.60) อาจจะเป็นเพราะมีกระบวนการดูดใช้ธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของแคทไอออนที่สูงซึ่งผลตามมาจะทำให้มีการแลกเปลี่ยนกับ H+ ในกระบวนการดูดใช้ธาตุอาหารในขณะที่การจัดน้ำแบบเปียกสลับแห้งที่เป็นผลของการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นน้ำจะกล่าวต่อไป (ตารางที่ 24)

ผลของรูปแบบการจัดการให้น้ำต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน

ผลของรูปแบบการจัดการน้ำทั้งสามรูปแบบมีผลต่อสมบัติของดินพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณ NH_4 , NO_3,โพแทสเซียม แมงกานีสและทองแดงใน W1- และ W2- สูงกว่า W1 ส่วนปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ใน W1 และ W-1 สูงกว่า W-2 สำหรับการให้น้ำแบบ W1 และ W2- มีปริมาณอินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสสูงกว่า W-1 แต่ค่า pH ใน W1, W-1 และ W-2 มีความเป็นกรด (pH 5.55, 5.49 และ 5.48 ตามลำดับ) (ตารางที่ 25)

ตารางที่ 25 สมบัติของดินหลังการให้น้ำแบบเปียกสลับแห้งที่มีผลของชนิดของดิน พันธุ์ข้าวที่ปลูก และรูปแบบการให้น้ำแบบสลับแห้ง

	pH	OM	NH4	NO3	P soil	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
	(1:1water)	%					(mg kg-1 soil)				
Hd	5.67 A	2.77 A	43.62 A	0.55 B	8.00 B	63.44 A	1481.7 A	382.92 A	96.86 A	47.78 A	6.22 A
Sa	5.35 B	0.89 B	39.48 B	0.63 A	9.71 A	25.81B	228.5 B	108.69 B	67.36 B	44.31 A	0.45 B
PT	5.6 A	1.83 A	43.26 A	0.60 A	8.98 A	51.33 A	915.11 A	233.28 A	82.61 A	49.56 A	3.28 A
JM	5.42 B	1.83 A	39.83 B	0.58 B	8.73 B	37.92 B	805.14 B	258.33 A	81.61 A	42.53 B	3.38 A
W1	5.55 a	1.85 a	39.93 c	0.56 b	8.87 a	42.92 a	907.79 a	263.04 ab	87.08 a	31.83 b	3.10 b
W-1	5.49 b	1.79 a	40.83 b	0.61 a	8.90 a	45.42 a	843.83 b	287.92 a	79.92 a	52.33 a	3.41 a
W-2	5.48 b	1.85 a	43.88 a	0.60 a	8.80 a	45.54 a	828.75 b	186.46 b	79.33 a	53.96 a	3.48 a

ผลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวกับรูปแบบการจัดน้ำแบบเปียกสลับแห้งต่อสมบัติของดิน

ตารางที่ 26 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดดินและพันธุ์ข้าว ชนิดดินและรูปแบบการจัดการน้ำ และพันธุ์ข้าวกับรูปแบบการจัดน้ำต่อสมบัติของดิน

	pH	OM	NH4	NO3	P soil	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu
	(1:1 water)	%					(mg kg^{-1})				
Hd-PT	5.25 D	2.74 A	42.12 B	0.55 C	8.02 C	66.56 A	1582.4 A	377.22 A	95.67 A	48.11 A	6.08 A
Hd-JM	5.44 C	2.79 A	45.11 A	0.56 C	7.98 C	60.33 A	1381.0 B	388.67 A	98.06 A	47.44 A	6.35A
SS-PT	5.59 B	0.92 B	37.53 D	0.65 A	9.94 A	36.11 B	247.8 C	89.33 B	69.56 B	51.00 A	0.48 B
SS-JM	5.75 D	0.86 B	41.42 C	0.60 B	9.48 B	15.50 C	229.3 C	128.06 B	65.17 B	37.61 B	0.41 B
Hd-W1	5.33 *E*	2.77 *A*	39.58 *D*	0.55 *D*	7.99 *B*	63.25 *A*	1568.8 *A*	399.17 *AB*	101.58 *A*	38.25 *B*	5.84 *B*
Hd-W1-	5.32 *E*	2.72 *A*	41.03 *B*	0.55 *D*	8.04 *B*	64.83 *A*	1441.2 *B*	460.83 *A*	93.33 *A*	55.17 *A*	6.43 *A*

Soil	Variety	Treat	PH	%OM	NH4+ (mg/kg)	NO3- (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Hd	PT	W1	5.20	2.83A	40.94F	0.56DEF	8.02D	67.00A	1720.70A	358.33	103.67A	39.00CD	5.86C	1.59D
		W1-	5.23	2.60B	36.07H	0.55EF	8.07D	65.67A	1539.30B	483.33	92.00 ABCD	56.00AB	6.08BC	1.57D
		W2-	5.33	2.80A	49.37B	0.54F	7.97D	67.00A	1487.30BC	290.00	91.33 ABCD	49.33BC	6.30 ABC	1.48D
	JM	W1	5.46	2.70 AB	38.22G	0.54F	7.96D	59.50 AB	1417.00 BCD	440.00	99.50 AB	37.50CD	5.82C	1.51D
		W1-	5.40	2.83A	45.99C	0.56DEF	8.01D	64.00A	1343.00D	438.33	94.67 ABC	54.33B	6.79A	1.55D
		W2-	5.48	2.85A	51.12A	0.58CD	7.98D	57.50 AB	1383.00CD	287.50	100.00 AB	50.50BC	6.45AB	1.60D
Sa	PT	W1	5.66	0.97C	44.45D	0.57DE	9.91A	23.67D	248.00E	116.33	70.67DE	19.33E	0.36D	3.40AB
		W1-	5.48	0.83 CD	35.01I	0.75A	10.00A	45.00 BC	248.00E	80.00	73.00 CDE	67.00A	0.39D	2.98C
		W2-	5.62	0.97C	38.12J	0.63B	9.92A	39.67C	247.30E	71.67	65.00E	66.67A	0.69D	3.40AB
	JM	W1	5.90	0.90 CD	36.11H	0.59C	9.59B	21.50D	245.50E	137.50	74.50 BCDE	31.50DE	0.37D	3.48A
		W1-	5.81	0.90 CD	46.25C	0.57DE	9.51BC	7.00D	245.00E	150.00	60.00E	32.00DE	0.40D	2.83C
		W2-	5.55	0.77D	41.90E	0.64B	9.35C	18.00D	197.33E	96.67	61.00E	49.33BC	0.46D	3.03BC

ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมในข้าวที่ปลูกในดินหางดงสูงกว่าดินสันทราย แต่ปริมาณเหล็ก สังกะสี และแมงกานีสของต้นข้าวที่ปลูกในดินสันทราย สูงกว่าดินหางดง ขณะที่ปริมาณทองแดงในข้าวที่ปลูกในดินหางดงสูงกว่าดินสันทราย

ตารางที่ 27 ผลของชนิดของดิน พันธุ์ข้าวที่ปลูก และรูปแบบการให้น้ำแบบสลับแห้งความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าว

	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
						(mg kg-1)			
Hd	0.73 A	0.23 B	0.97 A	2.21 A	0.02 A	24.80 B	326.25 B	2.32 A	11.65 A
Ss	0.51 B	0.35 A	0.91 B	2.06 B	0.02 A	30.36 A	798.28 A	1.28 B	11.92 A
PT	0.65 *A*	0.27 *B*	1.08 *A*	2.24 *A*	0.02 *A*	26.92 *A*	612.61 *A*	2.24 *A*	13.74 *A*
JM	0.58 *B*	0.31 *A*	0.79 *B*	2.03 *A*	0.02 *A*	28.25 *A*	511.91 *B*	1.36 *B*	9.83 *B*
W1	0.65 b	0.31a	0.98a	2.10a	0.02a	28.29a	94.32c	2.50a	13.98a
W 1-	0.71 a	0.33a	0.90b	2.07a	0.02a	27.83a	976.06a	1.85b	10.40b
W 2-	0.49c	0.23b	0.93ab	2.24a	0.02a	26.62a	616.41b	1.05c	10.89b

ผลของชนิดดินต่อสมบัติของดิน

หลังการทดลองพบว่าภายหลังการปลูกข้าว พบว่า ค่าเฉลี่ยของสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันดังนี้ โดยดินหางดงมีปริมาณไนโตรเจนโพแทสเซียม แคลเซียมและทองแดงสูงกว่าดินสันทราย ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีสและสังกะสีในดินสันทรายสูงกว่าดินหางดง แต่มีปริมาณแมกนีเซียมในดินหางดงเท่ากับดินสันทราย (0.02 %)

ผลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณธาตุอาหารในพืช

การวิเคราะห์ดินพบว่าค่าเฉลี่ยของสมบัติของผลจากผลพันธุ์ข้าวสองสายพันธุ์ พบว่าปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส ทองแดงและสังกะสีในดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ประทุมธานี 1 สูงกว่าดินที่ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กในดินที่ใช้ปลุกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิสูงกว่าดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ประทุมธานี 1 แต่มีปริมาณแมกนีเซียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ประทุมธานี 1 เท่ากับดินที่ใช้ปลูกข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ (0.02 ppm)

ผลของรูปแบบการจัดการให้น้ำต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน

ผลของรูปแบบการจัดการน้ำทั้งสามรูปแบบมีผลต่อสมบัติของดินพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสเหล็กและทองแดง ใน W1- และ W1- สูงกว่า W2- ส่วนปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและสังกะสี ใน W1 และ W2- สูงกว่า W1- และปริมาณแมงกานีสใน W1- และ W2- สูงกว่า W1 แต่มีปริมาณแมกนีเซียมใน W1, W1- และ W2- เท่ากันในทุกระดับ (0.02 ppm)

ผลของชนิดดินและพันธุ์ข้าว

ในดิน Hd-PT, Hd-JM และ Ss-PT มีปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียมและทองแดง สูงกว่า Ss-JM ในดิน Hd-JM, Ss-PT และ Ss-JM มีปริมาณฟอสฟอรัส เหล็กและแมงกานีส สูงกว่า Hd-PT ในดิน Hd-PT, Ss-PT และ Ss-JM มีปริมาณสังกะสี สูงกว่า Hd-JM แต่มีปริมาณแมกนีเซียมใน Hd-PT, Hd-JM, Ss-PT และ Ss-JM เท่ากันในทุกระดับ (0.02 ppm)

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวจากการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้ง

ผลของชนิดของดินต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าว

ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมในข้าวที่ปลูกในดินหางดงสูงกว่าดินสันทราย แต่ปริมาณเหล็ก สังกะสี และแมงกานีสของต้นข้าวที่ปลูกในดินสันทราย สูงกว่าดินหางดง ขณะที่ปริมาณทองแดงในข้าวที่ปลูกในดินหางดงสูงกว่าดินสันทราย

ตารางที่ 28 ผลของชนิดของดิน พันธุ์ข้าวที่ปลูก และรูปแบบการให้น้ำแบบสลับแห้งความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าว

	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
							(mg kg-1)		
Hd	0.73 A	0.23 B	0.97 A	2.21 A	0.02 A	24.80 B	326.25 B	2.32 A	11.65 A
Ss	0.51 B	0.35 A	0.91 B	2.06 B	0.02 A	30.36 A	798.28 A	1.28 B	11.92 A
PT	0.65 *A*	0.27 *B*	1.08 *A*	2.24 *A*	0.02 *A*	26.92 *A*	612.61 *A*	2.24 *A*	13.74 *A*
JM	0.50 *B*	0.31 *A*	0.79 *B*	2.03 *A*	0.02 *A*	28.25 *A*	511.91 *B*	1.36 *B*	9.83 *B*
W1	0.65 b	0.31a	0.90a	2.10a	0.02a	28.29a	94.32c	2.50a	13.90a
W 1-	0.71 a	0.33a	0.90b	2.07a	0.02a	27.83a	976.06a	1.85b	10.48b
W 2-	0.49c	0.23b	0.93ab	2.24a	0.02a	26.62a	616.41b	1.05c	10.89b

วิจารณ์ผล

การทดลองที่ 1 และ การทดลองที่ 2

ดินพบว่าเมื่อความชื้นโดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ความชื้นของดินที่วัดได้เซนเซอร์ลดลง และค่า R^2 ของค่าความชื้นโดยปริมาตรที่วัดจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบโดยความชื้นโดยปริมาตรมีค่า R^2 สูงกว่าสมการปรับเทียบความชื้นโดยน้ำหนักสำหรับค่า RMSE ที่บ่งบอกถึงของสมการปรับเทียบความแม่นยำนั้น โดยความชื้นที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบกับการวัดปริมาณความชื้นโดยปริมาตรพบว่าค่า RMSE ของดินสันทราย หางดง ดินปลูกข้าว ดินไร่ ดินไร่(ด้านบนของความชัน) ดินไร่มีค่าต่ำกว่าความชื้นที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบกับการวัดปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเสนอแนะให้ใช้สมการปรับเทียบจากความชื้นโดยปริมาตรค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นของดินเพราะมีความแม่นยำสูงกว่า การประเมินทางด้านเทคนิคพบว่าข้อมูลบางช่วงเวลามีปัญหาต่างๆดาว์นโหลดจากอินเตอร์เน็ตนั้นนอกจากนี้การใช้เซนเซอร์วัดความชื้นสำหรับแปลงเกษตรกรจำเป็นต้องพิจารณาสภาพพื้นที่ ชนิดดิน ความต้องการน้ำของพืช รูปแบบการให้แก่น้ำ รวมทั้งพันธุ์พืช ในที่นี้ความต้องการธาตุอาหารพืช มาพิจารณาประกอบการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นด้วย

เกษตรแม่นยำ (precision agriculture) นั้นได้เห็นความสำคัญของความชื้นของดินซึ่งเป็นคุณสมบัติของดินที่สำคัญต่อปลูกพืช เซนเซอร์วัดความชื้นของดินที่อุปกรณ์ที่สามารถประเมินความชื้นในดินและรายงานผลเป็นค่าปัจจุบัน ในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อได้ค่าความชื้นของดินจำเป็นพิจารณาปัจจัยหลายประการ เช่น ตำแหน่ง ชนิดเนื้อดิน ชุดดิน สภาพพื้นที่ เป็นต้น ตลอดจนการเลือกชนิดของสมการปรับเทียบ เช่น Calamita et al. (2015) ได้เรียบเรียงว่าสมการปรับเทียบที่ใช้เป็นสมการเส้นตรง (Linear regression) เป็นส่วนใหญ่

การจัดทำสมการปรับเทียบนั้นพิจารณาจากทำจัดทำสมการปรับของดินในแต่ละครั้ง โดยการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยการทดลอง 2 การทดลองโดยประกอบด้วยชนิดดินต่างๆ จึงจำเป็นต้องสร้างสมการปรับเทียบใหม่ทั้งสองการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามการทดลองที่สามนั้นได้ใช้ชุดดินที่เป็นชุดดินเดียวกันกับการทดลองที่ 1 จึงได้ใช้สมการปรับเทียบจากการทดลองที่ 1 มาใช้ ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาจากการใช้ที่ดิน (เช่น ดินปลูกข้าวและปลูกลำไย) เนื้อดิน ชุดดินสันทราย และหางดง เป็นหลักเกณฑ์ที่สำคัญในการจัดทำสมการปรับเทียบซึ่งสอดคล้องกับ Rowlandson et al. (2013) รวมทั้งมีการจัดทำสมการปรับของการใช้ที่ดินของในระดับรายแปลงด้วย

สมการปรับเทียบแบบของ Linear Regression (LR) กับปริมาณความชื้นโดยปริมาตรที่วัดได้ (Measured) ของดิน ของดินปลูกลำไยจากพื้นที่อำเภอสารภีมีค่า RMSE ต่ำสุดค่าเท่ากับ 4.08 %

เมื่อพิจารณาจากปริมาณ clay สูงมากกว่า 40 % ซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว แต่ถ้าใช้สมการปรับเทียบแบบความชื้นโดยปริมาตรและน้ำหนักพบว่าพื้นที่อำเภอพร้าวมีความแม่นยำสูงสุดโดยพิจารณาจากค่า R^2 และ Probability เช่นเดียวกับดินที่ปลูกข้าวและลำไยที่ดอยสะเก็ดและพร้าว พบว่าเป็นดินเนื้อร่วนทราย (sandy loam)

จากการประเมินทางด้านเทคนิคพบว่าปริมาณความชื้นที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นภายหลังการใช้สมการปรับเทียบ (calibrating equation) ของดินแต่ละพื้นที่ของดินที่ปลูกลำไยตามช่วงเวลาต่างๆ พบว่าข้อมูลที่สามารถดาว์นโหลดจากอินเตอร์เน็ตประสพปัญหาต่างๆในช่วงเวลาที่ศึกษา ดังนี้

1.ข้อมูลที่วัดด้วยเซนเซอร์ที่ติดตั้งนั้นไม่สามารถแสดงผ่านได้ครบถ้วน เช่น ได้ติดตั้งจำนวนเซนเซอร์ไว้ 9 ตัวไว้ในแปลงลำไย แต่มีข้อมูลที่แสดงผลเพียง 6 ตัว อาจจะมาจากการติดตั้งที่ชำรุดหรือเสียหาย จำเป็นจะต้องกลับเข้าตรวจสอบทำให้ต้องใช้เวลาหรือแรงงา เพื่อการแก้ไข

2.ข้อมูลที่แสดงหรือที่ได้รับนั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง อาจจะมาจากมีการติดตั้งในสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน

การทดลองที่ 3

ในดิน Hd(W1), Hd(W1-), Hd(W2-) และ Ss(W1) มีปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณ NH_4 ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส และทองแดง มีแนวโน้มสูงกว่าดิน Ss แต่มีปริมาณ NO_3 ใน Hd(W2-) และในดิน Ss ทุกระดับความชื้นมีปริมาณสูงกว่า Hd(W1) และ Hd(W1-) (0.55 ppm) ซึ่งจากการที่ดินอยู่ในสภาพน้ำขังมีผลต่อสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหาร เช่น เมื่อดินอยู่ในสภาพมีน้ำขัง การแลกเปลี่ยนก๊าซต่างๆ ระหว่างอากาศในดินและบรรยากาศจะถูกยับยั้งอย่างรุนแรง การเคลื่อนที่ของก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศจะเป็นการเคลื่อนที่ด้วยการแพร่มาที่ชั้นของน้ำเหนือดิน ดังนั้นออกซิเจนที่เหลืออยู่ในดินจึงถูกใช้โดยจุลินทรีย์ดินและพืช เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนเป็นของแข็ง สารละลาย ก๊าซ และส่วนที่มีชีวิตในดิน

- ความเข้มข้นของออกซิเจนแตกต่างกันในแต่ละความลึกของชั้นดิน ประกอบด้วยชั้นน้ำที่อยู่เหนือดิน มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ ชั้นผิวดิน ชั้นรีดิวซ์ ชั้นดานไถพรวน และดินชั้นล่าง
- การเปลี่ยนแปลงของ N ในดินนาน้ำขัง ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ 1) Nitrogen mineralization 2) การสะสม NH_4^+ ในสภาพ Anaerobic metabolism ที่เกิดจากกระบวนการ Deamination, Purines (Adenine, guanine) และ Hydrolysis ของ Urea 3) การสูญเสีย N ในสภาวะที่ดินมีน้ำแช่ขัง โดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น การระเหิดออกไปของ

แอมโมเนีย การชะละลายของน้ำในรูปของไนเตรท 4) กระบวนการปลดปล่อย N 5) การสลายตัวและเมตาโบลิซึมของโปรตีน

- ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแปรสภาพอนินทรีย์ N ในดินนา ได้แก่ การใส่ปูน โครงสร้างดิน การใส่ปุ๋ยเคมี และอุณหภูมิ
- รูปของ P ในดินมี 2 รูป คือ รูปที่เป็นอินทรียสารและอนินทรีย์สาร ในดินปลูกข้าวส่วนใหญ่อนินทรีย์ฟอสเฟตมีความสำคัญมากกว่าอินทรีย์ฟอสเฟตจะละลายออกมามากขึ้น ทำให้เป็นประโยชน์ต่อข้าวมากขึ้น แต่อนินทรีย์ฟอสเฟตจะมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับอินทรีย์ฟอตเฟส
- เมื่อดินถูกน้ำขังพืชจะได้รับประโยชน์จาก P จากดินมากขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสภาพไม่มีออกซิเจน ทำให้ P ถูกปล่อยออกมามีประโยชน์ต่อพืชมากยิ่งขึ้น แต่ข้าวมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย P น้อย เพราะการขังน้ำมีผลทำให้ P ที่มีอยู่เดิมในดินมีความเป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นแล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อมีการขังน้ำ
- ในสภาพน้ำขัง K จะอยู่ในรูปต่างๆ ทั้งที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และอยู่ในรูปที่พืชยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งเมื่อมีการขังน้ำ K จะถูกปลดปล่อยออกมาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมี Fe^{+2} และ Mn^{+2} ถูกปลดปล่อยออกมามากและจะไปแทนที่ K^{+} ที่ถูกดูดยึดโดยอนุภาคดิน ทำให้ K ถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปของ K ที่ละลายได้มาก ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุของการสูญเสีย K ได้ง่ายจากกระบวนการ Runoff และ Leaching

ดินนาเมื่อถูกน้ำขัง Ca และ Mg จะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว เมื่อถูกปลดปล่อยออกมาถึงระดับสูงสุดแล้วจะลดลงไป

แต่เมื่อดินมีความชื้นลดลงแบบการจัดการน้ำ W1- และ W2- ทำให้สมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารแตกต่างๆ ไปจากสภาพน้ำขัง เช่น ปริมาณ N ที่เป็นประโยชน์พบว่า WL มีปริมาณ NH_4^+ และ NO_3^- สูงกว่า AWD และชุดดินสรรพยา (Sp) และชุดดินหางดง (Hd) ในสภาพ WL มีปริมาณ NH_4^+ และ NO_3^- สูงกว่าดินชุดน้ำพอง (Np) และผลของการใส่ปุ๋ยไส้เดือนในรูปแบบการให้น้ำต่างๆ นั้นพบว่าส่วนใหญ่ไม่ทำให้ปริมาณ NH_4^+ และ NO_3^- แตกต่างกันทางสถิติภายใต้ดินชนิดต่างๆ ทำให้ปริมาณของ N ที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างระหว่างจำนวนรอบของการเปียกสลับแห้ง ซึ่ง Zhou *et al.* (2010) ได้อธิบายไว้ว่าเกิดจากกระบวน Ammonification และไนตริฟิเคชัน และ Immobilization ในกรณีที่ pH ของดินมีค่าเป็นด่างทำให้ N สูญเสียไปในรูป NH_3 จึงทำให้ NH_4^+ และ NO_3^- ลดลง นอกจากนี้การที่ปริมาณ NO_3^- ลดลงนั้น สภาพของดินภายหลังการให้น้ำแบบ AWD นั้น อาจมีการใช้ NO_3^- ของมวลชีวภาพของจุลินทรีย์เพื่อในการเพิ่มจำนวน การเจริญเติบโต และกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ Mikha *et al.* (2005) ได้รายงานว่าในช่วงที่มีการเติมน้ำให้อีกครั้ง (Rewetting) อาจจะมีการสูญเสีย N โดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่ง

สอดคล้องกับการศึกษาของ Dong *et al.* (2012) รายงานว่า ช่วงเวลามีผลต่ออัตราการเกิดกระบวนการ N มินเนอร์ไรเซชัน และในการให้น้ำแบบ AWD จะเกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่าดินที่มีการขังน้ำ ในช่วงหลังปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว

3.สำหรับการออกแบบการให้น้ำสำหรับการปลูกข้าวโดยมีการให้แบบเปียกสลับแห้งนั้นจากผลการทดลองนี้เพื่อไปประยุกต์ใช้สำหรับการปฏิบัติของเกษตรกร

อาจจะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ชนิดดินโดยเฉพาะสมบัติของเนื้อดิน รวมทั้งจำเป็นต้องมีการปรับเทียบเพื่อสร้างสมการปรับเทียบโดยการศึกษานี้การใช้ค่าความชื้นปริมาตรเพราะพิจารณาระดับความแม่นยำที่มีสูงกว่า รวมทั้งมีอุปกรณ์วัดความชื้นที่นั้นควรใช้งานง่ายในทุกระดับ เช่น ทั้งห้องปฏิบัติการและระดับแปลง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเห็นว่าในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มชนิดของเนื้อดินและระดับของอินทรียวัตถุในดินในการศึกษาการหาสมการปรับเทียบเพื่อนำไปปรับใช้การทำงานของเซนเซอร์ต่อไป

2.จำเป็นต้องมีความระมัดระวังการติดตั้งเซนเซอร์ เพื่อให้เก็บข้อมูลได้ครบถ้วน เช่น การเกิดสภาพแตกตระแหงของดินทำให้หัววัดเซนเซอร์หลุดหรือลดการสัมผัสกับพื้นผิวสัมผัสของดินทำให้ข้อมูลสูญหายได้ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบอย่างละเอียด เพราะถ้านำไปติดตั้งระดับแปลงเกษตรกร อาจจะเสียเวลาเข้าไปตรวจสอบ หรืออาจจะต้องมีการฝึกสอนเกษตรกรในการตรวจสอบ

สรุปผลการวิจัย

ค่าความชื้นที่วัดโดยเซนเซอร์กับความชื้นของที่วัดโดยวิธีมาตรฐานและสมบัติต่าง ๆ ของดินพบว่าเมื่อความชื้นโดยน้ำหนักเพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์ความชื้นของดินที่วัดได้เซนเซอร์ลดลง และค่า R^2 ของค่าความชื้นโดยปริมาตรที่วัดจริงกับค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบโดยความชื้นโดยปริมาตรมีค่า R^2 สูงกว่าสมการปรับเทียบความชื้นโดยน้ำหนักสำหรับค่า RMSE ที่บ่งบอกถึงสมการปรับเทียบความแม่นยำนั้น โดยความชื้นที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบกับการวัดปริมาณความชื้นโดยปริมาตรพบว่าค่า RMSE ของดินสันทราย หางดง ดินปลูกข้าว ดินไร่ ดินไร่ (ด้านบนของความชัน) ดินไร่มีค่าต่ำกว่าความชื้นที่พยากรณ์ได้จากสมการปรับเทียบกับการวัดปริมาณความชื้นโดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเสนอแนะให้ใช้สมการปรับเทียบจากความชื้นโดยปริมาตรค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นของดินเพราะมีความแม่นยำสูงกว่า การประเมินทางด้านเทคนิคพบว่าข้อมูลบางช่วงเวลามีปัญหาต่างๆดาว์นโหลดจากอินเตอร์เนตนั้นนอกจากนี้การใช้เซนเซอร์วัดความชื้นสำหรับแปลงเกษตรกรจำเป็นต้องพิจารณาสภาพพื้นที่ ชนิดดิน ความต้องการน้ำของพืช รูปแบบการให้แก่น้ำ รวมทั้งพันธุ์พืช ในที่นี้ความต้องการธาตุอาหารพืช มาพิจารณาประกอบการใช้เซนเซอร์วัดความชื้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2558. การศึกษาปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ของชุดดินต่างๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาและปริมาณการให้น้ำแก่พืชในประเทศไทย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ldd.go.th/web_psd/Employee%20Assessment/wean/pch/pch9/1.pdf. (สืบค้น 8 มกราคม 2558).

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. (2550). ฟาร์มอัจฉริยะ ตอนที่ 1. วารสารอัพเดท, 22(241), 93-96

มัตติกา พนมธรนิจกุล. 2548. การจัดการดินและน้ำเพื่อระบบการเกษตรที่ยั่งยืน. เชียงใหม่: สาขาวิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 487 หน้า.

ทัศนีย์ อัตตานันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2532. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช.ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุนทรี อัครธนกุล. 2529. หลักการาปฐพีฟิสิกส์. นครปฐม: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 201 หน้า.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2536. บทปฏิบัติการปฐพีวิทยามูลฐาน. นครปฐม: ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 113 หน้า.

สมปอง นิลพันธ์ อัธยะ พินจงสกุลดิษฐ์ กรรณิการ์ หอมยามเย็น สุลาวัลย์ สุทธิวรวงศ์ และ ลลิดา ชัยเนตร. 2559. การศึกษาปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ของชุดดินต่างๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาและปริมาณการให้น้ำแก่พืชในประเทศไทย. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 116 หน้า

ศุภธิดา อ่ำทอง. 2559. การจัดการน้ำสำหรับการปลูกข้าวแบบเปียกสลับแห้ง. กำลังตีพิมพ์

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56. FAO, Rome, Italy.

Calamita, G., Prerrone , A., Brocca , L., Onorati , B, and Manfreda , S.2015. Field test of a multi – frequency electromagnetic induction sensor for soil moisture monitoring in southern Italy test sites.Journal of Hydrologg , 1,316-329.

Gupta, S.C. and Larson, W.E. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resources Research, 15, 1633-1635.

Gardner, W. and Widsoe, J.A. 1921. The Movement of Soil Moisture. Soil Science, 11, 230-233.

Mikha, M., Charles, W.R., George, A.M. 2005.Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles. Soil Biologg and Biochemistry.37, 339-347.

Panomtaranichagul, M. 1997. The Effects of tillage practices and crop rotation systems on soil properties and water use efficiency. A Ph. D Thesis. The University of Adelaide. South Australia. 350 pp.

Rowlanndson, T.L., Berg, A.A., Bullock, P.R., Rotimi, E., Mcnairn, H., Wiseman, and Cosh, M.H., 2013. Evaluation of several calibration procedures for a portable soil moisture sensor. Journal of Hydrology. 19,335-344.

Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S. and Papendick, R.I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal, 50, 1031-1036.

Saxton, K.E. and Rawls, W.J. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil Science Society of America Journal, 70, 1569-1578.

Zhou, Q., Bao, Y., Guan, L., wang, H., and Yan, L. 2010. Various sulphur fractions changes during different manure compusting. Bioresourec Technologg. 20, 7841-7848.