การสร้างและทดสอบระบบการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระพื้นที่ตำบลรามราช จังหวัดนครพนม กรณีศึกษา : การคำนวณการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำในพื้นที่

Development and testing Management Aquifer Recharge Using Ponding System at1 RamRat Sub-district Nakhon Phanom Province Case Study: Calculation of Recharge in Area

ทิพาภรณ์ หอมดี[1] วชิรกรณ์ เสนาวัง[1] และวราเดช แสงบุญ[2,*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม

**Corresponding author; E-mail address: waradeathsanboom@hotmail.com*

บทคัดย่อ

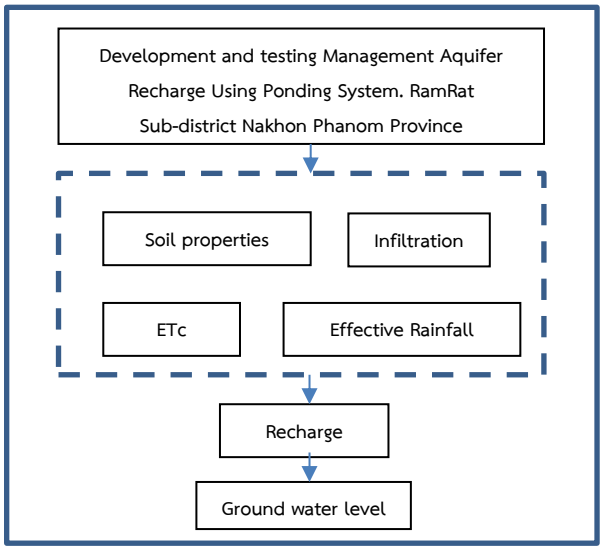
การวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยที่เป็นส่วนย่อยจากงานวิจัยหลักโครงการการสร้างและทดสอบระบบการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระพื้นที่ตำบลรามราช จังหวัดนครพนม โดยมุ่งเน้นเฉพาะการศึกษาการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) เพื่อหาความสามารถในการเก็บกักน้ำชั้นใต้ดินในการสร้างและทดสอบระบบการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระพื้นที่ตำบลรามราช จังหวัดนครพนม มีเนื้อที่ 0.31 ตารางเมตร การทดสอบอัตราการซึมผ่านผิวดินด้วยวิธีการทดสอบแบบ double ring test โดยใช้สมการของ Horton (Horton, 1841) พบว่า มีอัตราการซึมผ่านผิวดินเริ่มต้น ประมาณที่ 0.76 มิลลิเมตรต่อวันและค่าสูงสุดอยู่ที่ 250.38 มิลลิเมตรต่อวันและเมื่อได้ค่าอัตราการซึมผ่านผิวดิน จึงนำมาคำนวณหาการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) โดยตั้งสมการในพื้นที่ 1.การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากฝน 2.การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากป่าไม้และเกษตรกรรม 3. การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจะการท่วมขังของน้ำ พบว่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) มีค่าต่ำ สุด 0.7 มิลลิเมตร และค่าสูงสุด 242.7 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำอยู่ที่ 45.125 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: น้ำบาดาล, การซึมผ่านผ

โดยคณะผู้ทำการวิจัยได้ทำการทดสอบการทดสอบอัตราการซึมผ่านผิวดิน (infiltration) ด้วยวิธีการทดสอบแบบ double ring test โดยใช้สมการของ Horton [4] นำค่าที่ได้มาคำนวณหาการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) เพื่อให้ทราบความสามารถการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ และนำไปเปรียบเทียบกับโครงการย่อยอีกโครงการที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน [5]

2. ที่มาและความสำคัญ

เพื่อหาความสามารถในการเก็บกักน้ำชั้นใต้ดินในการสร้างและทดสอบระบบการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระพื้นที่ตำบลรามราช จังหวัดนครพนม ให้ได้ข้อมูลปริมาณการเติมน้ำผ่านชั้นใต้ดิน จึงนำแผนการบริหารการเติมน้ำใต้ดิน (Groundwater recharge) [6] โดยใช้สมการการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) หาได้จากสมการสมดุลน้ำ (Water budget) [7] โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดิน ข้อมูลการประเมินความต้องการใช้น้ำของพืชใด ๆ (Etc.) ข้อมูลปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) มาเป็นองค์ประกอบในการสร้างสมการเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำที่เพิ่มเติม (Recharge) [8] โดยรูปแบบสมการต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2 เพื่อหาค่าการเติมน้ำมาเปรียบเทียบระดับของน้ำใต้ดินเป็นที่มาของปัญหาที่นำมาสู่การวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปัญหาที่นำมาสู่การวิจัยครั้งนี้

3. ทฤษฎีและสมการการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การประเมินความต้องการใช้น้ำของพืช

โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) และ Potential Evapotranspiration (ETp) ดังนี้

$$Etc = Kc \times ETp \quad (1)$$

เมื่อ

Etc = ความต้องการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)
Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช
ETp = Potential Evapotranspiration (มม./วัน)

3.2 ฝนใช้การ

ฝนใช้การ หมายถึง ส่วนของฝนที่ตกลงพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ โดยฝนทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นดินบางส่วนไม่ได้เก็บอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก เนื่องจากมีการไหลล้นออกไปทางผิวดินบางส่วน ทางใต้ดินบางส่วน รวมทั้งการซึมลงในดินระดับที่ลึกลงไป นอกจากนี้บางส่วนติดค้างอยู่ตามใบ กิ่ง และลำต้นพืชแล้วระเหยไป ส่วนของฝนที่ตกลงมาที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ คือ ฝนใช้การ ใช้ข้อมูลจากกรมชลประทานมาใช้ในการคำนวณ ข้อมูลปริมาณฝนจากจากสถานีตรวจอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม กรมอุตุนิยมวิทยา [9]

3.3 สมการสำหรับหาอัตราการซึมผ่านผิวดิน [10] *และสมการ Horton* [4]

$$f = f_c + (f_o + f_c)e^{-kt} \quad (2)$$

เมื่อ

f = อัตราการซึม (f) กับเวลา (t) (มิลลิเมตรต่อวัน)
f_o = อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น
f_c = อัตราการซึมที่ภาวะสมดุล

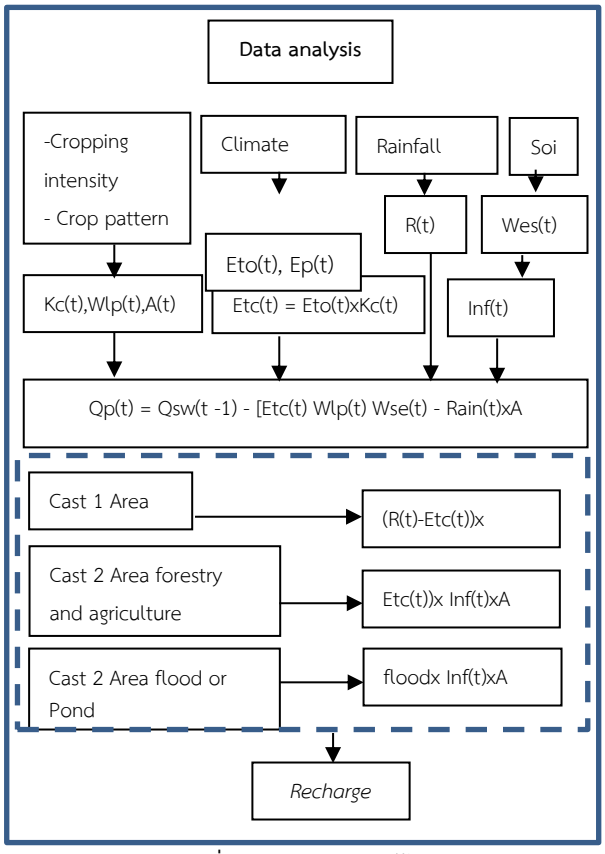
3.4 การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) [11]

หาได้จากสมการสมดุลน้ำ (Water budget) ดังนี้

$$P + Q_{on} = ET + Q_{off} + \Delta S \quad (3)$$

เมื่อ

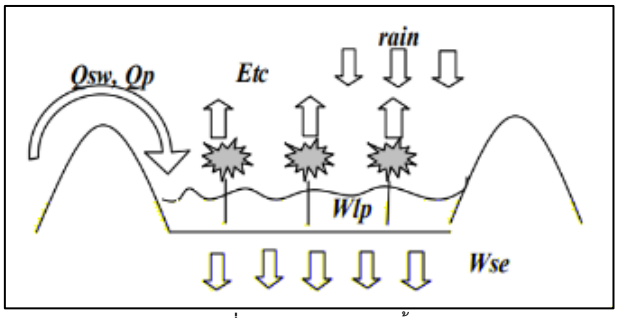
P = หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) (มิลลิเมตร/day)
Q_{on} = ปริมาณน้ำไหลเข้า
Q_{off} = ปริมาณน้ำไหลออก
ET = การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration)
ΔS = การเปลี่ยนแปลงในปริมาณกักเก็บ (Change in water storage)



รูปที่ 2 สมการการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 แบบจำลองสมดุลน้ำ

แบบจำลองเหตุการณ์เพื่อประเมินค่าน้ำท่าหรือน้ำไหลในลำธาร ได้ถูกสร้างขึ้นมาโดยอาศัยสมการสมดุลของน้ำแสดงในรูปที่ 3 ในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามกระบวนการติดค้างบนเรือนยอดและซากพืชของ น้ำฝน การซึมผ่านผิวดิน การเคลื่อนตัวผ่านชั้นดิน [12] โดยใช้สมการดังนี้



รูปที่ 3 แบบจำลองสมดุลน้ำ

$$Qp(t) = Qsw(t-1) - [Etc(t)Wlp(t)] - Rain(t) \times A \quad (4)$$

เมื่อ

$Qp(t)$ = อัตราการสูบน้ำใต้ดินที่เวลา t (ลบ.ม./วัน)

$Qsw(t-1)$ = ปริมาณน้ำในแหล่งเก็บกักผิวดินที่เวลา $(t-1)$(ลบ.ม./วัน)

$Etc(t)$ = ความต้องการน้ำของพืชที่เวลา (t) (ม./วัน)

$Wlp(t)$ = ความต้องการน้ำเพื่อเตรียมแปลงนาที่เวลา (t) (ม./วัน) สำหรับพืชไร่ $Wlp(t)$ มีค่าเท่ากับ 0

$Wse(t)$ = อัตรารั่วซึมของน้ำในแปลงนาที่เวลา (t) (ม./วัน)

$Rain(t)$ = ปริมาณฝนที่เวลา (t) (ม./วัน)

เนื่องจากสมการการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำถูกจำกัดด้วยการคำนวณหาเพียงเฉพาะจุดดังนั้นจึงนำสมการข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับสภาพในพื้นที่ที่มีจุดต่าง ๆ แตกต่างกันออกไป เช่นบริเวณที่มีน้ำท่วมขัง บริเวณที่มีการปลูกพืช หรือบริเวณที่เจอแต่เพียงน้ำฝน ทางผู้ทำวิจัยจึงได้ออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นรูปแบบสมการขึ้นมาเพื่อใช้ในการคำนวณ โดยแบ่งการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำเป็นดังนี้

1) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากฝน

$$(R(t) - Etc(t)) \times Inf \times A \quad (5)$$

2) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากป่าไม้และเกษตรกรรม

$$Etc(t)) \times Inf \times A \quad (6)$$

3) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจะการท่วมขังของน้ำ

$$flood \times Inf \times A \quad (7)$$

เมื่อ $Etc(t)$ = ความต้องการน้ำของพืชที่เวลา t (ม./วัน); $R(t)$ = ฝนใช้การ (มม.); $Inf(t)$= อัตราการซึมผ่านผิวดิน (infiltration) (มม./วัน); $flood$ = น้ำท่วมหรือน้ำขัง (มม.); A = พื้นที่ (ตร.ม.)

4. ระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 แบบการวิจัย (Research Design)

1) กำหนดขอบเขตพื้นที่ที่จะทำการเก็บข้อมูล ในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเกษตร มหาวิทยาลัยนครพนม ตำบลรามราช อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ที่มีบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดิน

2) รวบรวมข้อมูลด้านที่เกี่ยวข้องดังกรอบการวิจัยในรูปที่ 1 และรูปที่ 2

3) ทำการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ เช่น ปริมาณฝน พืชที่ปลูก แหล่งน้ำเรื่องการใช้น้ำในการเพาะปลูก แหล่งน้ำที่ใช้ รวมถึงปัญหาของสภาพดิน

4) หาตำแหน่งของจุดที่ จะเก็บข้อมูลอัตราการซึมผ่านผิวดิน (infiltration) และคุณสมบัติของดิน บันทึกพิกัดโดยใช้ GPS ในสนาม

5) ทำการวิเคราะห์ ข้อมูลที่เก็บจากพื้นที่โดยใช้รูปแบบสมการหรือแบบจำลองสมการดังแสดงในรูปที่ 2

6) ตรวจสอบสมการและตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

1) ใช้ข้อมูลทางสถิติมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลในพื้นที่ เช่น ฝน การปลูกพืช และคุณภาพดิน เป็นต้น

2) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังปัญหาที่มาสู่งานวิจัยในรูปที่ 1

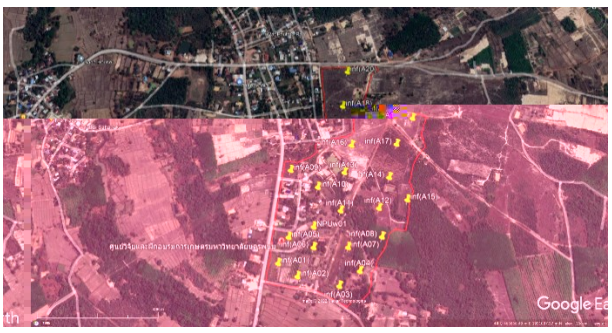
3) ทำการหาค่าตัวแปรในรูปที่ 1 จากสมการที่ 2, 3 และ 4

4) ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ตามตารางที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูล

5) ตรวจเช็คการคำนวณและแก้ไขสมการและข้อมูล

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูล	ข้อมูลที่วิเคราะห์	วิธีเคราะห์
ดิน	คุณสมบัติทางเคมีของดิน	pH (at 25 C^o)
ต้องการใช้น้ำของพืช	การประเมินความต้องการใช้น้ำของพืช	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Kc) และ Potential Evapotranspiration (ETp)
ฝน	ฝนใช้การ (Effective Rainfall)	- ฝนใช้การ (Effective Rainfall) - Thiessen method
การเติมน้ำ	อัตราการซึมผ่านผิวดิน	-สมการสำหรับหาอัตราการซึมผ่านผิวดินสมการ Horton - การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) (Scanlon et al.2002) [11] - infiltration double ring test
พืช	รูปแบบการปลูกพืช	- แบบสอบถาม - การสำรวจ
ข้อมูลด้านอุทกวิทยา	ข้อมูลชั้นดิน	- จากเอกสารอ้างอิง กรมชลประทาน



รูปที่ 4 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างดินและการทดสอบเตรียมการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

ตารางที่ 2 พิกัดตำแหน่งและผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดิน

ลำดับ	ชื่อตำแหน่ง	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง พิกัด (WGS Zone 48) X	Y	พฤศจิกายน 2564 pH	กุมภาพันธ์ 2565 pH
1	inf(A01)	464539.00	1930964.00	4.15	5.20
2	inf(A02)	464610.00	1930917.00	4.75	4.55
3	inf(A03)	464762.00	1930883.00	4.80	4.80
4	inf(A04)	464837.00	1930936.00	4.23	4.64
5	inf(A05)	464576.00	1931058.00	4.40	4.34
6	inf(A06)	464668.00	1931021.00	4.63	5.20
7	inf(A07)	464795.00	1931021.00	4.35	4.70
8	inf(A08)	464920.00	1931059.00	5.10	5.61
9	inf(A09)	464580.00	1931308.00	4.63	7.01
10	inf(A10)	464683.00	1931244.00	4.41	5.63
11	inf(A11)	464768.00	1931156.00	6.65	6.03
12	inf(A12)	464911.00	1931165.00	5.47	5.30
13	inf(A13)	464783.00	1931300.00	4.64	6.71
14	inf(A14)	464952.00	1931281.00	6.63	5.42
15	inf(A15)	465018.00	1931196.00	6.55	4.80
16	inf(A16)	464811.00	1931405.00	5.40	5.35
17	inf(A17)	464983.00	1931409.00	4.40	5.77
18	inf(A18)	464886.00	1931559.00	6.15	5.67
19	inf(A19)	465047.00	1931511.00	5.60	4.86
20	inf(A20)	464907.00	1931700.00	5.50	5.63

ตารางที่ 3 การใช้ที่ดินจังหวัดนครพนม (ข้อมูลจังหวัดนครพนม, 2558)

ประเภท	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
ดินเหมาะสำหรับปลูกข้าว	228,392	6.63
ดินที่เหมาะสมดีสำหรับปลูกข้าว แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับดิน	502,250	14.58
ดินที่เหมาะสมปานกลางสำหรับปลูกข้าว	463,270	13.45
ดินที่เหมาะสมดีสำหรับปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น	112,396	3.26
ดินที่เหมาะสมดีสำหรับปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับดิน	626,178	18.17
ดินที่เหมาะสมดีสำหรับปลูกพืชไร่ บางชนิด เหมาะสมปานกลางสำหรับไม้ผล และไม้ยืนต้น โดยมีข้อจำกัดเกี่ยวกับดินและเนื้อดิน	34,761	1.01
ดินที่เหมาะสมปานกลางสำหรับปลูกพืชไร่ และไม้ผล โดยมีข้อจำกัดเกี่ยวกับดินที่มีกรวดและหินพื้นที่ไพล่ปะปน	1,013,645	29.42
ดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับการทำเกษตรกรรม เนื่องจากมีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์	113,499	3.29
สนามบิน (AP)	6,293	0.18
ที่สาธารณประโยชน์ (CEM)	205	0.01
ที่ดินดัดแปลง (ML)	4,147	0.13
สระน้ำ (P)	1,287	0.04
ที่ดินหินพื้นไพล่ (RC)	11,584	0.34
ที่อยู่อาศัย (U)	119,548	3.47
พื้นที่น้ำ (W)	208,026	6.04
รวมทั้งหมด	**3,445,418**	**100.00**

ตารางที่ 4 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ infiltration (สมการ ของ Horner)

ชื่อ	พิกัด X	พิกัด Y	การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ infiltration (มิลลิเมตรต่อวัน)
inf(A01)	464539.00	1930964.00	25
inf(A02)	464610.00	1930917.00	250.38
inf(A03)	464762.00	1930883.00	17.36
inf(A04)	464837.00	1930936.00	2.3
inf(A05)	464576.00	1931058.00	49.6
inf(A06)	464668.00	1931021.00	0.76
inf(A07)	464795.00	1931021.00	4.2
inf(A08)	464920.00	1931059.00	3.9
inf(A09)	464580.00	1931308.00	42.3
inf(A10)	464683.00	1931244.00	6.3
inf(A11)	464768.00	1931156.00	76.89
inf(A12)	464911.00	1931165.00	31.86
inf(A13)	464783.00	1931300.00	45.71
inf(A14)	464952.00	1931281.00	51.33
inf(A15)	465018.00	1931196.00	13.89
inf(A16)	464811.00	1931405.00	38.95
inf(A17)	464983.00	1931409.00	95.30
inf(A18)	464886.00	1931559.00	11.23
inf(A19)	465047.00	1931511.00	42.64
inf(A20)	464907.00	1931700.00	116.94

5. ผลการวิจัย

ทางผู้ทำวิจัยได้กำหนดพิกัดการทดสอบการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) เพื่อหาปริมาณน้ำที่เพิ่มเติม (Recharge) และได้รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในคำนวณ โดยอาศัยข้อมูลในพื้นที่ เช่น การประเมินความต้องการใช้น้ำของพืชใด ๆ (Etc.) ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) มาคำนวณ การทดสอบอัตราการซึมผ่านผิวดิน ด้วยวิธีการทดสอบแบบ double ring test โดยใช้สมการของ Horton [4] พบว่า มีอัตราการซึมผ่านผิวดินเริ่มต้นประมาณที่ 0.76 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าสูงสุดอยู่ที่ 250.38 มิลลิเมตรต่อวัน เมื่อได้อัตราการซึมผ่านผิวดิน จึงนำมาคำนวณหาการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) โดยตั้งสมการในพื้นที่ 1) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากฝน 2) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากป่าไม้และเกษตรกรรม 3) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจะการท่วมขังของน้ำตามรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 2 จะได้การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) ค่าต่ำสุด 0.7 มิลลิเมตร และค่าสูงสุด 242.7 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำอยู่ที่ 45.125 มิลลิเมตร

ตารางที่ 5 แสดงค่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) โดยใช้สมการตามวิธีทดสอบ double ring test

ชื่อ	พิกัด X	พิกัด Y	ค่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) *(มิลลิเมตร)* ฤดูร้อน
inf(A01)	464539.00	1930964.00	23.9
inf(A02)	464610.00	1930917.00	242.7
inf(A03)	464762.00	1930883.00	14.7
inf(A04)	464837.00	1930936.00	1.6
inf(A05)	464576.00	1931058.00	51.8
inf(A06)	464668.00	1931021.00	0.7
inf(A07)	464795.00	1931021.00	3.9
inf(A08)	464920.00	1931059.00	4.2
inf(A09)	464580.00	1931308.00	35.1
inf(A10)	464683.00	1931244.00	9.4
inf(A11)	464768.00	1931156.00	75.1
inf(A12)	464911.00	1931165.00	29.3
inf(A13)	464783.00	1931300.00	42.9
inf(A14)	464952.00	1931281.00	55.7
inf(A15)	465018.00	1931196.00	14.2
inf(A16)	464811.00	1931405.00	37.6
inf(A17)	464983.00	1931409.00	94.8
inf(A18)	464886.00	1931559.00	8.4
inf(A19)	465047.00	1931511.00	46.2
inf(A20)	464907.00	1931700.00	110.3

6. สรุปและและข้อเสนอแนะผลการวิจัย

6.1 สรุป

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นกรณีศึกษา: การคำนวณการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำในพื้นที่ โดยการออกแบบโมเดลหรือแบบจำลองสมการการเติมน้ำโดยมีปัจจัยมากมายในพื้นที่มาประกอบรวมถึงการหาค่าการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำ (Recharge) ซึ่งมีการกำหนดปัจจัยให้ออกมาในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงกำหนด รูปแบบสมการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลในพื้นที่มากที่สุดคือ 1) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากฝน คือ $(R(t) - Etc(t)) \times Inf \times A$ 2) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากป่าไม้และเกษตรกรรม คือ $Etc(t) \times Inf \times A$ 3) การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นน้ำจากการท่วมขังของน้ำ คือ $flood \times Inf \times A$

6.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการคำนวณค่าที่ได้เฉพาะจุด ดังนั้นขั้นต่อไปควรนำข้อมูลเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อดูขอบเขตหรือการแพร่กระจายตัวในแผนที่

กิตติกรรมประกาศ

1) ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย ทุน Fundamental Fund ประเภท Basic Research Fund ปีงบประมาณ 2565 หัวข้อ การสร้างและทดสอบระบบการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระพื้นที่ตำบลรามราช จังหวัดนครพนม

2) ขอขอบคุณ Prof.Dr. Tsutomu Ichikawa, Hold a position Present position Dean, Professor School of Engineering, Kyushu Tokai University, ผศ.ดร.ภัทราภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์ ผู้เชียวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านวางแผน) กรมชลประทาน, รศ.ดร.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น อดีตผู้อำนวยการสถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก และมหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานสถานการณ์สาธารณภัยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย จังหวัดนครพนม, 423/2558.

[2] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2556). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการทดลองเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่างจังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร.

[3] เกรียงศักดิ์ ศรีสุข (2561). การคัดเลือกพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำผ่านสระน้ำพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร.

[4] Horton, Robert E. (1941). An Approach Toward a Physical Interpretation of Infiltration-Capacity1. Soil Science Society of America Journal, vol. 5, Issue, pp. 399.

[5] ทรงวุฒิ แสงจันทร์ (2551). การใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างยั่งยืนในพื้นที่ที่มีปัญหาดินเค็ม กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำก่ำตอนล่าง จังหวัดนครพนม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2551.

[6] ชนาวัชร อรุณรัตน์ (2557). การบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน. สำนักประสานความร่วมมือระหว่างประเทศกรมทรัพยากรน้ำ.

[7] สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. เอกสารวิชาการ น้ำบาดาล (Ground water) แหล่งน้ำสำรอง.

[8] กุลชาติ โกษาแสง และชัยวัฒน์ ขยันการนาวี (2555). การจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินในโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นบาดาลจังหวัดสุโขทัย. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้ง ที่ 9: ตามรอยพระยุคลบาท เกษตรศาสตร์กำแพงแสน: วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. นครปฐม. 2555. หน้า 589-597 (915 หน้า).

[9] ข้อมูล สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครพนม (2564).

[10] กิจการ พรหมมา. (2555). อุทกธรณีวิทยา. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[11] Bridget R Scanlon and Richard W. Healy. (2002). Choosing Appropriate Techniques for Quantifying Groundwater Recharge. February. *Hydrogeology Journal*. vol 10(1), pp.18-39. DOI: 10.1007/s10040-001-0176-2.

[12] Tsutomu ICHIKAWA. (2006). Water Cycle in Rice Growing Floodplain in the Groundwater Recharge Area Thailand. Seminar on Irrigation Technologies for Sustainable Agricultural Development, 7 August 2006.