วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 4, Oct.–Dec. 2017

บทความวิจัย

การประเมินความต้องการใช้น้ำบาดาลของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร กรณีศึกษา อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา

พิรามิตร ปัดถา และ ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร*
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สุดชล วุ้นประเสริฐ
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0–4422–4426 อีเมล: cjothit@sut.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.11.008
รับเมื่อ 15 มิถุนายน 2559 ตอบรับเมื่อ 22 กันยายน 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 13 พฤศจิกายน 2560
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลให้ผลผลิตของพืชไร่ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือการให้น้ำตามความต้องการของพืชอย่างเพียงพอ เสริมกับปริมาณน้ำฝนที่ได้รับ ดังนั้นการประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้กับพืชได้อย่างเพียงพอ จึงเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในกระบวนการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะหากเป็นแหล่งน้ำจากน้ำใต้ดิน การศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ 2 หมู่บ้านของอำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา คือ บ้านด่านกอโจด ซึ่งมีกลุ่มเกษตรกรต้องการใช้น้ำเพื่อปลูกมันสำปะหลัง 106 ไร่ และบ้านแสงทอง กลุ่มเกษตรกรต้องการใช้น้ำเพื่อปลูกมันสำปะหลัง 46 ไร่ และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 14 ไร่ การประเมินปริมาณน้ำใต้ดินใช้หลายวิธีร่วมกันคือ แผนที่น้ำบาดาล การสำรวจทางอุทกธรณีวิทยา และการสูบทดสอบปริมาณการให้น้ำของบ่อบาดาล พบว่ามีอัตราการให้น้ำบาดาล 14 และ 16 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่บ้านด่านกอโจด และบ้านแสงทองตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบความต้องการใช้น้ำของพืชที่ต้องการปลูกกับปริมาณน้ำใต้ดินที่สามารถนำขึ้นมาใช้ได้อย่างยั่งยืนร่วมกับปริมาณฝนในปีน้ำมาก ปีน้ำปกติ และปีน้ำน้อย ตามหลักสมดุลของน้ำ พบว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินมาใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร ทั้งนี้หากมีความเปลี่ยนแปรของฝน ทำให้บางปีเป็นปีน้ำปกติและปีน้ำน้อย ปริมาณน้ำใต้ดินไม่เพียงพอ แผนการเพาะปลูกยังสามารถดำเนินการต่อไปได้โดยการเลื่อนเวลาการปลูกและหรือการลดพื้นที่ปลูก

คำสำคัญ: สมดุลของน้ำ, อุทกธรณีวิทยา, ความต้องการน้ำของพืช, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด

การอ้างอิงบทความ: พิรามิตร ปัดถา ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร และ สุดชล วุ้นประเสริฐ, "การประเมินความต้องการใช้น้ำบาดาลของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร กรณีศึกษา อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 4, หน้า 631–642, ต.ค.–ธ.ค. 2560

Research Article

Evaluation of Groundwater Requirement of Groundwater Development Project for Agriculture: A Case Study of Nong Boon Mak District, Nakhon Ratchasima Province

Piramid Puttha and Chatchai Jothityangkoon*
School of Civil Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

Sudchol Wonprasaid
School of Crop Production Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0–4422–4426, E–mail: cjothit@sut.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.11.008
Received 15 June 2016; Accepted 22 September 2016; Published online: 13 November 2017
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

To provide adequate amount of irrigation water, as a supplement to rain water for abundant is a key factor to increase crop yield. Therefore, evaluation of the water resources potential, in particular water from the underground sources appears to be the key first step to improve the overall crop production. This study was conducted in 2 villages in Nong Boon Mak District, Nakhon Ratchasima Province. The chosen villages are Baan Daan Kor Jod and Baan Saeng Thong. Crop water requirement of the former group of farmers is for cassava-growing areas (106 rai); where as the latter group needs water for the areas of cassava (46 rai) and corn as livestock feed (14 rai). Groundwater yield capacity was estimated by different methods including groundwater yield map, hydrological survey using resistivity method and pumping test. It was found that groundwater capacity is 14 and 16 m^3/hr at Baan Daan Kor Jod and Baan Saeng Thong. The comparison results of the water requirements and groundwater supply capacity based on water balance concept confirm the feasibility of groundwater-based irrigation development project. In cope with interannual variability of rainfall and insufficient groundwater storage, production planning can be adjusted by shifting planting schedule or reducing growing area.

Keywords: Water Balance, Hydrogeology, Crop Water Requirement, Cassava, Corn

Please cite this article as: P. Puttha, C. Jothityangkoon, and S. Wonprasaid, "Evaluation of groundwater requirement of groundwater development project for agriculture: a case study of Nong Boon Mak district, Nakhon Ratchasima province," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 27, no. 4, pp. 631–642, Oct.–Dec. 2017 (in Thai).

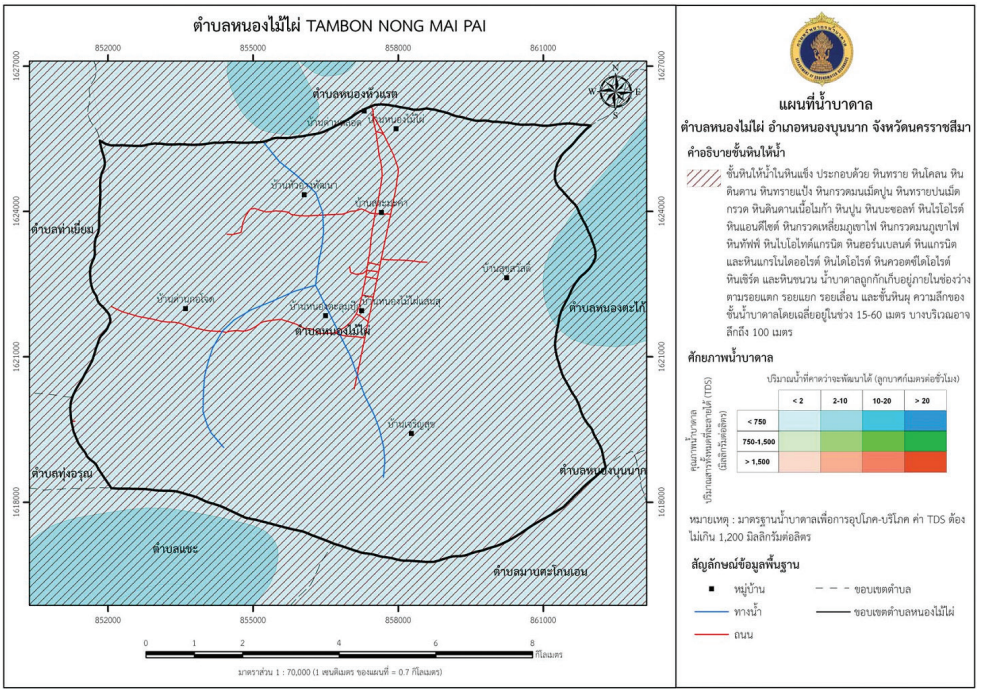
1. บทนำ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ได้รายงานสถิติการเกษตรของประเทศไทยระบุว่า จังหวัดนครราชสีมามีพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดกว่าทุกจังหวัด และผลผลิตต่อไร่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกและผลผลิตต่อไร่ในปี พ.ศ. 2555, 2556 และ 2557 ดังนี้ 1.671, 1.546 และ 1.460 ล้านไร่ ผลผลิต 3.84, 3.65 และ 3.67 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จังหวัดนครราชสีมามีพื้นที่มากเป็นอันดับที่สาม รองจากจังหวัดเพชรบูรณ์และน่าน โดยมีพื้นที่ปลูกและผลผลิตต่อไร่ในปี พ.ศ. 2555, 2556 และ 2557 ดังนี้ 0.802, 0.662 และ 0.698 ล้านไร่ ผลผลิต 0.79, 0.74 และ 0.84 ตัน/ไร่ ตามลำดับ [1] ผลผลิตต่อไร่ของมันสำปะหลังยังต่ำกว่าเป้าหมายของกรมวิชาการเกษตรที่ตั้งไว้ 5 ตัน/ไร่ เพื่อให้เพียงพอต่ออุตสาหกรรมแป้ง และเอทานอล มันสำปะหลังเป็นพืชที่มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นได้ ภายใต้ข้อจำกัดของพื้นที่ปลูกเท่าเดิม การปลูกมันสำปะหลังของเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ได้ผลผลิตสูง เนื่องจากดินที่ปลูกส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การดูแลรักษาไม่ถูกต้อง และปลูกในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม

ผลการศึกษาของสุดชล พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้มันสำปะหลังมีผลผลิตต่ำเป็นผลมาจากการขาดน้ำ การให้น้ำอย่างถูกต้องและเหมาะสม เสริมปริมาณน้ำฝนที่ได้รับสามารถเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าเท่าตัวเมื่อเทียบกับมันสำปะหลังที่ปลูกแบบอาศัยน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว [2] อย่างไรก็ตาม การให้น้ำมันสำปะหลังในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ระบบน้ำหยด จำเป็นต้องมีแหล่งน้ำที่เพียงพอสำหรับการให้น้ำกับพืชในช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกประมาณ 4–6 เดือน ด้วยข้อจำกัดของบางพื้นที่ที่แหล่งน้ำผิวดินไม่เพียงพอหรือไม่สามารถกักเก็บน้ำผิวดินไว้ได้ การมองหาแหล่งน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีศักยภาพ จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ

การศึกษาศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรจากอดีตถึงปัจจุบัน ยังดำเนินการได้บางลุ่มน้ำเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลจากการสำรวจในสนามส่วนใหญ่ดำเนินการในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ในด้านการประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดิน [3] การบริหารจัดการน้ำใต้ดิน [4] การศึกษาในลุ่มน้ำโขงพบว่าน้ำจากภาวะน้ำท่วมมีส่วนทำให้เกิดการเติมน้ำ การกักเก็บน้ำใต้ดินมากขึ้น เพิ่มศักยภาพในการนำน้ำมาใช้ในฤดูแล้งได้มากขึ้น [5] ในด้านความคุ้มค่าในการลงทุน สมศักดิ์ [6] ได้ศึกษาความคุ้มทุนของการใช้ระบบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ 2 หมู่บ้านในตำบลเสิงสาง อำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าการลงทุนระบบสูบน้ำบาดาล ระบบท่อจ่ายน้ำ ค่ากระแสไฟฟ้า มีระยะเวลาการคืนทุนภายในเวลา 3 ปี อัตราส่วนตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.38 มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ระยะเวลา 5 ปี ของการลงทุน เท่ากับ 10,608 บาท/ไร่

จากปัญหาขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรนอกเขตชลประทานประมาณ 95 ล้านไร่ ซึ่งต้องอาศัยน้ำฝนและแหล่งน้ำผิวดินเป็นหลัก กรมทรัพยากรน้ำบาดาลจึงมีการศึกษาโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ประสบภัยแล้ง เพื่อพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลช่วยเสริมแหล่งน้ำผิวดิน ทำให้มีแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรเพียงพอสำหรับเพาะปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยได้ตลอดปี เป็นการบริหารจัดการแหล่งน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ประสบภัยแล้ง เพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้น้ำบาดาลเสริมแหล่งน้ำผิวดิน เพาะปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยเพื่อเสริมรายได้ เป็นการบูรณาการการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน ทำให้เกษตรกรมีแหล่งน้ำที่เพียงพอตลอดทั้งปี โดยมีรูปแบบดังนี้ รูปแบบที่ 1 รูปแบบเชิงระบบ 100 ไร่ มีเกษตรกรรวมกลุ่มกันตั้งแต่ 10 รายขึ้นไป เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพน้ำบาดาลประมาณ 10 ลบ.ม./ชม. มีระบบไฟฟ้าเข้าถึง พัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรด้วยการเจาะบ่อบาดาลจำนวน 2 บ่อ เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ติดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มใต้น้ำ (Submersible Pump) รูปแบบที่ 2 รูปแบบกลุ่มย่อย ขนาดพื้นที่ 30–50 ไร่ มีเกษตรกรรวมกลุ่มกันตั้งแต่ 4 รายขึ้นไป มีพื้นที่เกษตรไม่น้อยกว่า 30–50 ไร่ [7]



รูปที่ 1 แผนที่น้ำบาดาลของ ตำบลหนองไม้ไผ่ อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา [8]

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ เพื่อศึกษาศักยภาพของน้ำบาดาลในการนำมาใช้เพื่อการเกษตร เปรียบเทียบกับความต้องการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตร ประเมินความเป็นไปได้ทางอุทกวิทยาของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร และเลือกใช้รูปแบบโครงการพัฒนาแหล่งบาดาลเพื่อการเกษตรที่เหมาะสมกับพื้นที่เป้าหมาย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. สำรวจ รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และบ่อน้ำบาดาล ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน สถานี 25791 ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง บ้านดอน ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา การคำนวณปริมาณฝนในปีน้ำมาก (Wet Years) นำปีที่ฝนตกมาก 5 ปี มาเฉลี่ย คือ ปี พ.ศ. 2517, 2523, 2531, 2543 และ 2551 ปริมาณฝนในปีน้ำน้อย (Dry Years) นำปีฝนตกน้อย 5 ปี มาเฉลี่ย คือ ปี พ.ศ. 2503, 2521, 2522, 2529 และ 2540 ส่วนปริมาณฝนในปีน้ำปกติ (Normal Year) ใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนในช่วงปี พ.ศ. 2500 ถึง 2557 ข้อมูลแผนที่น้ำบาดาลระดับตำบล ดูได้จากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ตำบลหนองไม้ไผ่ [8] (รูปที่ 1) และตำบลหนองตะไก้ [9]

2. การสำรวจลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity Method) โดยใช้ Resistivity Meter แปรผลเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยา ความหนาของชั้นดิน การแผ่กระจายของชั้นหิน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพน้ำบาดาลสูงต่อไป

3. การสูบทดสอบปริมาณการให้น้ำบาดาลของบ่อบาดาล (Pumping Test)

4. การประเมินความต้องการใช้น้ำของพืช โดยประเมินจากชนิดของพืชที่ปลูก ขนาดพื้นที่ ความต้องการใช้น้ำของพืช สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) [10]

$$E_t = k_s k_c E_{t_r} \quad (1)$$

โดย E_t คือ ค่าการคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration) (มม./วัน) k_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของดิน (Soil Coefficient) ($0 \le k_s \le 1.0$) ใช้ $k_s = 1$ สำหรับดินที่ระบายน้ำได้ดี (Well-watered Soil) k_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของพืช (Crop Coefficient) ($0.2 \le k_c \le 1.3$) E_{t_r} คือ ค่าการระเหยของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration) (มม./วัน) ค่า k_c ของพืชแต่ละชนิดที่เดือนต่างๆ คำนวณโดยวิธี Penman Monteith E_{t_r} ของแต่ละเดือนใช้ข้อมูลจาก [11]–[13] เป็นค่าอัตราการระเหยตามศักยภาพ (Potential Evapotranspiration) ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน (WR_{IRR}) คำนวณจากสมการ

$$WR_{IRR} = \frac{E_t + F - R}{IE} \quad (2)$$

โดย F คือปริมาณน้ำซึมเลยเขตรากพืช R คือ ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) และ IE คือ ประสิทธิภาพชลประทาน (Irrigation Efficiency) ในการศึกษานี้มีสมมุติฐานให้ไม่คิดการซึมเลยเขตรากพืชและใช้ $IE = 0.9$ ฝนใช้การคือปริมาณฝนที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช การประเมินค่าฝนใช้การของพืชไร่พิจารณาจากปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย อัตราการใช้น้ำของพืชรายเดือน (E_t) และความสามารถในการเก็บน้ำของดินในเขตรากพืช ปริมาณฝนใช้การแต่ละเดือน ใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรายเดือนและอัตราการใช้น้ำของพืชไร่ สำหรับกรณีที่ดินในเขตรากมีความสามารถอุ้มน้ำได้ 75 มม.ตามคู่มือการปฏิบัติงานของกรมชลประทาน [14]

5. การวิเคราะห์สมดุลของน้ำ เพื่อให้มีความยั่งยืนในการใช้น้ำในอัตราที่ปลอดภัย (Safe Yield) เปลี่ยนหน่วย E_t ให้เป็น ลบ.ม./เดือน โดยหารด้วย 1000 คูณด้วยขนาดพื้นที่ปลูกพืช (ตารางเมตร) และคูณจำนวนวันในเดือนนั้น เปลี่ยนหน่วย R ให้เป็น ลบ.ม./เดือน ได้ในทำนองเดียวกัน เมื่อทั้งหมดเป็นหน่วยเดียวกันแล้วแทนค่าในสมการที่ (2) เพื่อหาค่า WR_{IRR} หากได้ค่า WR_{IRR} เป็นลบแสดงว่าในเดือนนั้นมีฝนตกมากพอ ไม่ต้องการน้ำชลประทาน

6. เลือกรูปแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรให้เหมาะสมกับพื้นที่

3. พื้นที่การศึกษา

การศึกษาศักยภาพของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรระดับจังหวัด ได้เลือกดำเนินการในจังหวัดนครราชสีมา พื้นที่ศึกษาความเหมาะสมของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาล ได้เลือกพื้นที่ 2 ชุมชนคือ บ้านด่านกอโจด หมู่ที่ 5 ตำบลหนองไม้ไผ่ อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา และบ้านแสงทอง หมู่ที่ 7 ตำบลหนองตะไก้ อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา บ้านด่านกอโจดมีกลุ่มเกษตรกรจำนวน 5 ราย ต้องการน้ำเพื่อการปลูกมันสำปะหลัง ขนาดพื้นที่ 106 ไร่ ส่วนบ้านแสงทองมีกลุ่มเกษตรกรจำนวน 4 ราย ต้องการน้ำเพื่อการปลูกมันสำปะหลัง ขนาดพื้นที่ 46 ไร่ และปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 14 ไร่

4. ผลการทดลอง

4.1 การประเมินศักยภาพน้ำบาดาล

จากแผนที่ศักยภาพน้ำบาดาล จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2531 สรุปได้ว่า ลักษณะทางธรณีวิทยาของ อำเภอหนองบุญมาก รองรับด้วยหินแข็งทั้งหมด ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง หินดินดานชุดโคกกรวด นอกจากนี้มีหินบะซอลต์ หินชุดมหาสารคามจะมีเป็นส่วนน้อย สภาพน้ำบาดาลโดยทั่วๆ ไปจะมีคุณภาพน้ำจืดทั้งหมดโดยมีปริมาณเฉลี่ยปานกลาง คือ 2–10 ลบ.ม./ ชม. ความลึกของชั้นน้ำบาดาล 10–20 เมตร และมีระดับน้ำบาดาล 3–9 เมตร คุณภาพน้ำบาดาลคุณภาพน้ำดีโดยทั่วไป

4.2 การสำรวจแหล่งน้ำบาดาลทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบผิวดิน (Resistivity Survey)

ผลการสำรวจที่บ้านกอโจด พบว่าเป็นชั้นหินชุดบะซอลท์ หินปูนสีเทาถึงดำ มีรูพรุนในเนื้อหินบางแห่งผุผังเป็นศิลาแดงและดินแดง น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกรูพรุนที่ต่อเนื่องในเนื้อหิน และบริเวณที่หินผุปกติจะให้

น้ำบาดาลที่ความลึกประมาณ 30–70 เมตร คุณภาพน้ำจืด ปริมาณน้ำประมาณ 2–10 ลบ.ม/ชม. ดังนั้นการสำรวจจึงมีเป้าหมายในการสำรวจหาชั้นหินที่มีรอยแตก รวมทั้งช่วงรอยต่อของหินซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสให้น้ำบาดาลเข้าไปกักเก็บได้

ผลการสำรวจที่บ้านแสงทอง พบว่าเป็นชั้นหินทรายหินทรายแป้ง หินดินดานและหินกรวดมนเม็ดปูน น้ำบาดาลจะได้จากรอยแตก รอยแยก และรอยต่อระหว่างชั้นหิน ความลึกถึงชั้นน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 20–40 เมตร บางแห่งลึกถึง 60 เมตร คุณภาพน้ำจืด ปริมาณน้ำประมาณ 2–10 ลบ.ม/ชม. ดังนั้นการสำรวจจึงมีเป้าหมายในการสำรวจหาชั้นหินที่มีรอยแตก รวมทั้งช่วงรอยต่อของหินซึ่งเป็นบริเวณที่มีโอกาสให้น้ำบาดาลเข้าไปกักเก็บได้

ตารางที่ 1 รายการข้อมูลผลการสูบทดสอบหาอัตราการให้น้ำของบ่อบาดาล

รายการ	หน่วย	บ.ด่านกอโจด	บ.แสงทอง
พิกัด UTM	m	E 205939 N 1620937	E 205365 N 1621176
เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ	mm	150	150
ความลึก	m	74	52
ระยะท่อกรองน้ำ	m	48–58	20–24, 50–54
ความยาวท่อกรองน้ำ	m	8	8
ระดับน้ำก่อนสูบ (SWL)	m	9.65	7.9
ระดับน้ำหลังสูบ (PL)	m	27.88	13.78
ระยะน้ำลด (DD)	m	18.23	5.88
ปริมาณน้ำ	m^3/hr	14.00	16.00
ความลึกท่อสูบ	m	45.00	27.00

4.3 การทดสอบปริมาณการให้น้ำบาดาล

ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้อย่างปลอดภัย (Safe Yield) บ้านด่านกอโจดประมาณ 14 ลบ.ม./ชม. ดังนั้น ถ้าสูบวันละ 16 ชั่วโมง/วัน จะได้ปริมาณน้ำ ประมาณ 6,720 ลบ.ม./เดือน (ใช้ 1 เดือน = 30 วัน) ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้อย่างปลอดภัย บ้านแสงทอง ประมาณ 16 ลบ.ม./ชม. ซึ่งมีปริมาณมากกว่าศักยภาพน้ำบาดาลจากแผนที่น้ำบาดาล ดังนั้นถ้าสูบวันละ 16 ชั่วโมง/วัน จะได้ปริมาณน้ำประมาณ 7,680 ลบ.ม./ เดือน รายละเอียดการทดสอบปริมาณการใช้น้ำบาดาลทั้งสองหมู่บ้านแสดงในตารางที่ 1 การประเมินคุณภาพน้ำในสนามเบื้องต้นมีคุณภาพเป็นน้ำจืด ส่วนการหาค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในรายละเอียด จะได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการต่อไป ทั้งนี้คุณภาพน้ำเพื่อการเกษตรที่สำคัญ เช่น ปริมาณสารละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solid) ควรน้อยกว่า 1,500 มิลิกรัม/ลิตร ความเค็ม (Salinity) ควรน้อยกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร

4.4 การประเมินความต้องการใช้น้ำของพืช

ปริมาณความต้องการใช้น้ำของมันสำปะหลังพื้นที่ 106 ไร่ ที่บ้านด่านกอโจด เริ่มปลูกเดือนมกราคม ระยะเวลาในการปลูก 12 เดือน มีความต้องการใช้น้ำรวม 151,149 ลบ.ม. รายละเอียดเป็นรายเดือนแสดงในตารางที่ 2 ในทำนองเดียวกัน ปริมาณความต้องการใช้น้ำของมันสำปะหลังพื้นที่ 46 ไร่ ที่บ้านแสงทอง เริ่มปลูกเดือนมกราคม ระยะเวลาในการปลูก 12 เดือน มีความต้องการใช้น้ำรวม 65,593 ลบ.ม. รายละเอียดเป็นรายเดือนแสดงในตารางที่ 3 ส่วนปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พื้นที่ 14 ไร่ ที่บ้านแสงทอง เริ่มปลูกเดือนมิถุนายน ระยะเวลาในการปลูก 4 เดือน มีความต้องการใช้น้ำรวม 8,309 ลบ.ม. รายละเอียดเป็นรายสัปดาห์แสดงในตารางที่ 4

4.5 สมดุลของน้ำ

ในกรณีบ้านด่านกอโจด หากเกษตรกรใช้พื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งหมด 106 ไร่ ในปีน้ำมาก ปริมาณน้ำฝนรายปี 1,387.8 มิลลิเมตร/ปี มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร 8 เดือน ปริมาณน้ำรวม 45,016 ลบ.ม. กระจายเป็นรายเดือนได้ดังนี้ คือ มกราคม กุมภาพันธ์ เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม พฤศจิกายนและธันวาคม จำนวน 4,896, 4,933, 4,263, 4,036, 3,819, 8,109, 5,046 และ 9,914 ลบ.ม. ตามลำดับ (รูปที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลังบ้านด่านกอโจด พื้นที่ 106 ไร่ เริ่มปลูกเดือนมกราคม

ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลังรายเดือน													รวม
เดือน	**ม.ค.**	**ก.พ.**	**มี.ค.**	**เม.ย.**	**พ.ค.**	**มิ.ย.**	**ก.ค.**	**ส.ค.**	**ก.ย.**	**ต.ค.**	**พ.ย.**	**ธ.ค.**	
ค่า E_{t_r} (mm/d)	3.37	3.95	4.39	4.64	4.20	3.95	3.89	3.79	3.36	3.46	3.51	3.41	
ค่า K_c	0.3	0.3	0.3	0.8	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
ค่า E_t (m^3/d)	171.5	201.0	223.4	629.6	783.6	736.9	725.7	321.4	284.9	293.4	297.6	289.2	4958.1
ค่า E_t (m^3/mon.)	5315	5627	6924	18887	24290	22107	22497	9963	8548	9096	8929	8964	151149

หมายเหตุ: ใช้ค่า K_C จาก [13]

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลัง บ้านแสงทอง พื้นที่ 46 ไร่ เริ่มปลูกเดือนมกราคม

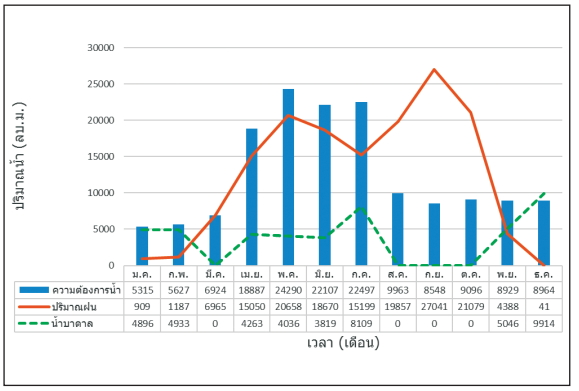
ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลังรายเดือน													รวม
เดือน	**ม.ค.**	**ก.พ.**	**มี.ค.**	**เม.ย.**	**พ.ค.**	**มิ.ย.**	**ก.ค.**	**ส.ค.**	**ก.ย.**	**ต.ค.**	**พ.ย.**	**ธ.ค.**	
ค่า E_{t_r} (mm/d)	3.37	3.95	4.39	4.64	4.20	3.95	3.89	3.79	3.36	3.46	3.51	3.41	
ค่า K_c	0.3	0.3	0.3	0.8	1.1	1.1	1.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
ค่า E_t (m^3/d)	74.4	87.2	96.9	273.2	340.0	319.8	314.9	139.5	123.6	127.3	129.2	125.5	2151.6
ค่า E_t (m^3/mon.)	2307	2442	3005	8196	10541	9594	9763	4324	3709	3947	3875	3890	65593

หมายเหตุ: ใช้ค่า K_C จาก [13]

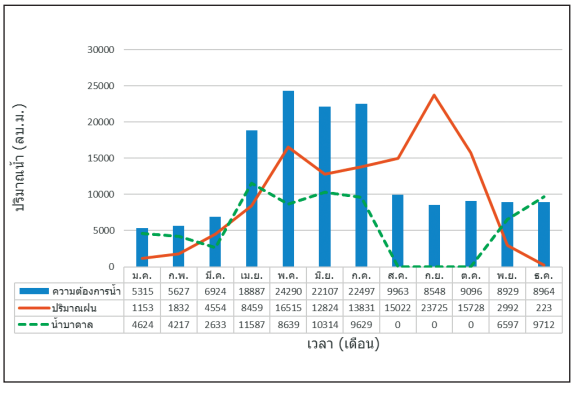
ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ บ้านแสงทอง พื้นที่ 14 ไร่ เริ่มปลูกเดือนมิถุนายน

ปริมาณการใช้น้ำของมันสำปะหลังรายเดือน															รวม
สัปดาห์	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	
ค่า E_{t_r} (mm/d)	3.95	3.95	3.95	3.95	3.89	3.89	3.89	3.89	3.79	3.79	3.79	3.79	3.36	3.36	
ค่า K_c	0.50	0.57	0.68	0.89	1.12	1.26	1.33	1.35	1.34	1.30	1.20	1.00	0.77	0.58	
ค่า E_t (m^3/mon.)	310	353	421	551	683	769	811	823	796	773	713	594	406	306	8309

หมายเหตุ: ใช้ค่า K_C จาก [13]

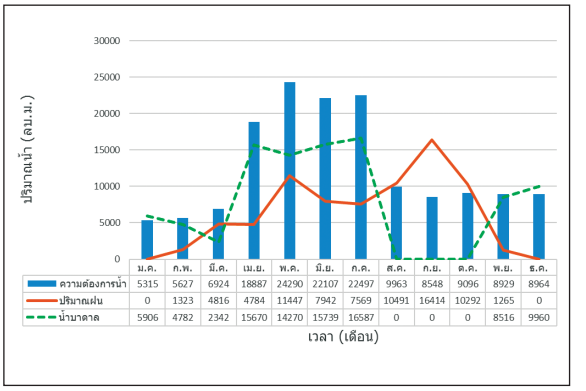


รูปที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของพืช ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและความต้องการน้ำบาดาลเสริมในปีน้ำมาก บ้านด่านกอโจด



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของพืช ปริมาณน้ำฝนรายเดือน และความต้องการน้ำบาดาลเสริมในปีน้ำปกติ บ้านด่านกอโจด

ในปีน้ำปกติหรือปีฝนเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนรายปี 1,034.1 มิลลิเมตร/ปี มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรเพิ่มขึ้นเป็น 9 เดือน ปริมาณน้ำรวม 67,952 ลบ.ม. กระจายเป็นรายเดือนได้ดังนี้ คือ มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม พฤศจิกายน และธันวาคม จำนวน 4,624, 4,217, 2,633, 11,587, 8,639, 10,314, 9,629, 6,597 และ 9,712 ลบ.ม. ตามลำดับ (รูปที่ 3)

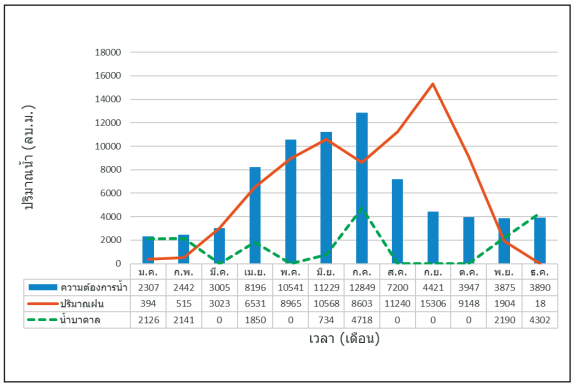


รูปที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของพืช ปริมาณน้ำฝนรายเดือน และความต้องการน้ำบาดาลเสริมในปีน้ำน้อย บ้านด่านกอโจด

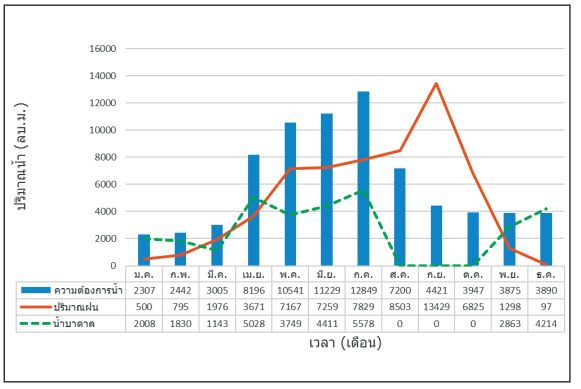
ในปีน้ำน้อย ปริมาณน้ำฝนรายปี 641.3 มิลลิเมตร/ปี มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในช่วง 9 เดือน ปริมาณน้ำรวม 93,771 ลบ.ม. กระจายเป็นรายเดือนได้ดังนี้ คือ มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม พฤศจิกายน และธันวาคม จำนวน 5,906, 4,782, 2,342, 15,670, 14,270, 15,739, 16,587, 8,516 และ 9,960 ลบ.ม. ตามลำดับ (รูปที่ 4)

การปลูกมันสำปะหลังที่บ้านด่านกอโจด จำนวนมากถึง 106 ไร่ และปลูกกันอย่างต่อเนื่อง ถ้าปลูกในปีน้ำปกติจะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการเกษตร จำเป็นต้องสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ได้ โดยปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้อย่างปลอดภัย คือ 14 ลบ.ม./ชม. ปริมาณน้ำรายเดือนที่ขาดแคลนสูงสุดของปีน้ำปกติคือ เดือนเมษายน จำนวน 11,587 ลบ.ม. บ่อน้ำบาดาล 1 บ่อสามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ประมาณ 6,720 ลบ.ม./เดือน ถ้าใช้ 2 บ่อจะได้ประมาณ 13,440 ลบ.ม./เดือน

ในกรณีบ้านแสงทอง หมู่ที่ 7 ตำบลหนองตะไก้ มีพื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง 46 ไร่และปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 14 ไร่ ในปีน้ำมาก ปริมาณน้ำฝนรายปี 1387.7 มิลลิเมตร/ปี มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร 7 เดือน ปริมาณน้ำรวม 19,812 ลบ.ม. กระจายเป็นรายเดือน



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของพืช ปริมาณน้ำฝนรายเดือน และความต้องการน้ำบาดาลเสริม ในปีน้ำมาก บ้านแสงทอง



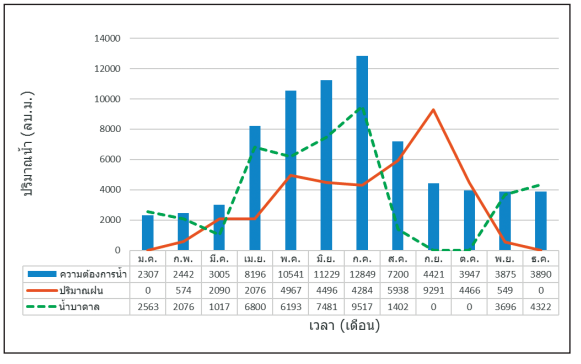
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของพืช ปริมาณน้ำฝนรายเดือน และความต้องการน้ำบาดาลเสริม ในปีน้ำปกติ บ้านแสงทอง

ได้ดังนี้ คือ มกราคม กุมภาพันธ์ เมษายน มิถุนายน กรกฎาคม พฤศจิกายน และธันวาคม จำนวน 2,126, 2,141, 1,850, 734, 4,718, 2,190 และ 4,302 ลบ.ม. (รูปที่ 5)

ในปีน้ำปกติ ปริมาณน้ำฝนรายปี 1,034.1 มิลลิเมตร/ปี มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร 9 เดือน ปริมาณน้ำรวม 30,824 ลบ.ม. กระจายเป็นรายเดือนได้ดังนี้ คือ มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม พฤศจิกายน และธันวาคม จำนวน 2,008, 1,830, 1,143, 5,028, 3,749, 4,411, 5,578, 2,863 และ 4,214 ลบ.ม. ตามลำดับ (รูปที่ 6)

ในปีน้ำน้อย ปริมาณน้ำฝนรายปี 641.3 มิลลิเมตร/ปี มีความต้องการน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร จำนวน 10 เดือน ปริมาณน้ำรวม 45,067 ลบ.ม. กระจายเป็นรายเดือนได้ดังนี้ คือ มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม พฤศจิกายน และธันวาคม จำนวน 2,563, 2,076, 1,017, 6,800, 6,193, 7,481, 9,517, 1,402, 3,696 และ 4,322 ลบ.ม. ตามลำดับ (รูปที่ 7)

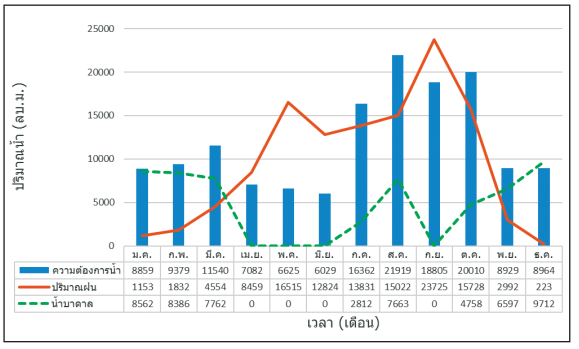
บ้านแสงทองมีพื้นที่เพาะปลูกไม่มากนัก ถ้าปริมาณฝนไม่เพียงพอต่อการเกษตร สามารถสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ได้ โดยปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้อย่างปลอดภัย ที่อัตรา 16 ลบ.ม./ชม. ปริมาณที่ขาดแคลนสูงสุด



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของพืช ปริมาณน้ำฝนรายเดือน และความต้องการน้ำบาดาลเสริม ในปีน้ำน้อย บ้านแสงทอง

ของปีน้ำปกติ คือ เดือนกรกฎาคม จำนวน 5,578 ลบ.ม. บ่อน้ำบาดาล 1 บ่อสามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ 7,680 ลบ.ม./เดือน ซึ่งพอต่อความต้องการของพื้นที่

พื้นที่การเกษตรทั้งสองพื้นที่มีปัญหาขาดแคลนน้ำ โดยเฉพาะปีน้ำปกติและปีน้ำน้อย หากความสามารถในการให้น้ำบาดาลไม่พียงพอต่อความความต้องการใช้น้ำของพืช จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการปลูก ทำได้สองวิธีดังนี้



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความต้องการน้ำ	8859	9379	11540	7082	6625	6029	16362	21919	18805	20010	8929	8964
ปริมาณฝน	1153	1832	4554	8459	16515	12824	13831	15022	23725	15728	2992	223
น้ำบาดาล	8562	8386	7762	0	0	0	2812	7663	0	4758	6597	9712

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนของมันสำปะหลังที่ปลูกเดือนเมษายน ปริมาณฝนรายเดือน และความต้องการน้ำบาดาลเสริมในปีน้ำปกติ บ้านด่านกอโจด

วิธีที่ 1 เลื่อนเวลาการปลูก เพื่อให้ช่วงเวลาที่พืชต้องการน้ำสูงตรงกับช่วงเวลาที่มีปริมาณฝนรายเดือนสูง เช่น การเลื่อนการปลูกมันสำปะหลัง จากการเริ่มปลูกเดือนมกราคม เป็นเริ่มปลูกเดือนเมษายน (ดูรูปที่ 8) ในปีน้ำปกติ ทำให้จำนวนเดือนที่ต้องการน้ำบาดาลลดลงจาก 9 เดือนเป็น 8 เดือน ความต้องการน้ำบาดาลรวมลดลงจาก 67,952 ลบ.ม. เป็น 56,252 ลบ.ม.ต่อปี ความต้องการใช้น้ำบาดาลสูงสุดรายเดือนลดลงเล็กน้อยจาก 11,587 ลบ.ม. เดือนเมษายน เป็น 9,712 ลบ.ม. เดือนธันวาคม เป็นการดำเนินการทำนองเดียวกับการเลื่อนช่วงเวลาการปลูกข้าวเพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมในลุ่มน้ำภาคกลาง [15]

วิธีที่ 2 ลดพื้นที่การปลูกพืช โดยเฉพาะในปีน้ำน้อยหรือปีแล้ง บ้านด่านกอโจด มีความต้องการน้ำของพืชสูงสุดที่เดือนกรกฎาคม จำนวน 16,587 ลบ.ม. แต่สามารถสูบน้ำบาดาลจาก 2 บ่อ ได้ประมาณ 13,440 ลบ.ม. ต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 81.0 จึงควรลดพื้นที่จาก 106 ไร่ ให้เหลือ 86 ไร่ ส่วนบ้านแสงทองมีความต้องการน้ำของพืชสูงสุดที่เดือนกรกฎาคม จำนวน 9,517 ลบ.ม. แต่สามารถสูบน้ำบาดาลจาก 1 บ่อ ได้ประมาณ 7,680 ลบ.ม.ต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 81.0 จึงควรลดพื้นที่จาก 60 ไร่ ให้เหลือ 48 ไร่ จึงจะเพียงพอต่อปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นได้อย่างยั่งยืน

4.6 รูปแบบโครงการ

บ้านด่านกอโจดควรจะก่อสร้างโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรรูปแบบที่ 1 รูปแบบเชิงระบบ มีหอถังเหล็กพักน้ำขนาด 30 ลบ.ม.และติดตั้งเครื่องสูบน้ำบาดาล ใช้เครื่องสูบน้ำแบบจุ่มใต้น้ำ (Submersible Pumps) เพื่อจะได้สูบน้ำขึ้นเก็บไว้อย่างต่อเนื่อง ในกรณีบ้านแสงทอง หมู่ 7 ตำบลหนองตาไก้ ควรใช้รูปแบบที่ 2 รูปแบบเกษตรกลุ่มย่อย ซึ่งมีความเหมาะสมกับบริบทของการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรแต่ละพื้นที่

5. อภิปรายผลและสรุป

การพิจารณาว่าโครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรรูปแบบใดที่เหมาะสมกับพื้นที่ต่างๆ จำเป็นต้องมีการสำรวจศึกษาศักยภาพการให้น้ำบาดาลของพื้นที่นั้น เปรียบเทียบกับความต้องการใช้น้ำของพืชที่ต้องการปลูก ควบคู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในปีน้ำมาก ปีปกติและปีน้ำน้อย ตามหลักสมดุลของน้ำ การศึกษาได้ทดลองดำเนินการใน 2 หมู่บ้าน คือ บ้านด่านกอโจด หมู่ 5 ตำบลหนองไม้ไผ่ และบ้านแสงทอง หมู่ 7 ตำบลหนองตะไก้ อำเภอหนองบุญมาก จังหวัดนครราชสีมา ผลการศึกษาพบว่า สำหรับบ้านด่านกอโจดและบ้านแสงทอง แหล่งน้ำบาดาลมีศักยภาพให้น้ำได้ 14 และ 16 ลบ.ม./ชม. นำมาใช้ปลูกมันสำปะหลัง (106 ไร่) ปลูกมันสำปะหลังร่วมกับปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (46 และ 14 ไร่) ตามลำดับ ในปีน้ำมาก ต้องใช้น้ำบาดาลเสริมน้ำฝนเป็นเวลา 8 และ 7 เดือน จำนวน 45,016 ลบ.ม.และ 19,812 ลบ.ม. ในปีปกติ ต้องใช้น้ำบาดาลเสริมน้ำฝนเป็นเวลา 9 และ 9 เดือน จำนวน 67,952 ลบ.ม. และ 30,824 ลบ.ม.ในปีน้ำน้อย ต้องใช้น้ำบาดาลเสริมน้ำฝนเป็นเวลา 9 และ 10 เดือน จำนวน 93,771 ลบ.ม. และ 45,067 ลบ.ม. บางเดือนของปีปกติและปีน้ำน้อยมีความต้องการใช้น้ำมากกว่าศักยภาพของน้ำบาดาล จำเป็นต้องการปรับแผนการปลูก เช่น เลื่อนเวลาการปลูกหรือลดพื้นที่ปลูก การลงทุนสูบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรนี้มีความเป็นไปได้ทางอุทกวิทยา สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาในพื้นที่ใกล้เคียงกัน โดย Chaiyakhot

[6] โครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลที่เหมาะสมกับบ้านด่านกอโจดและบ้านแสงทองเป็นโครงการรูปแบบที่ 1 ประกอบด้วย บ่อบาดาล 2 บ่อ หอถังเหล็กพักน้ำ มีเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มใต้น้ำและโครงการรูปแบบที่ 2 ประกอบด้วย บ่อบาดาล 1 บ่อ เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์ ตามลำดับ การศึกษาต่อไปจะเป็นการออกแบบรายละเอียด ประมาณค่าใช้จ่ายการลงทุน โครงการพัฒนาแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรของทั้ง 2 หมู่บ้านนี้ ตลอดจนประมาณค่าใช้จ่ายการเดินระบบ บำรุงรักษา และประมาณการรายได้จากผลผลิตทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลการประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Office of Agricultural Economics, "Agricultural statistics of Thailand 2013," pp. 214, 2014 (in Thai).

[2] S. Wonprasaid, "Drip irrigation for cassava plantation," Institute of agricultural, Suranaree University of Technology, pp. 57, 2015 (in Thai).

[3] V. Ramnarong and S. Wongsawat, "Groundwater resources in Thailand," *Thai Hydrologist Association Journal*, vol. 1, pp. 1–6, 1999 (in Thai).

[4] S. Koontanakulvong, "Groundwater management in north part of lower central plain," Public policy series No. 3, Thailand Research Fund (TRF), pp. 47, 2003 (in Thai).

[5] S. Kazama, T. Hagiwara, P. Ranjan, and M. Sawamoto, "Evaluation of groundwater resources in wide inundation areas of the Mekong River basin," *Journal of Hydrology*, vol. 340, pp. 233–243, 2007.

[6] S. Chaiyakhot, "Economic analysis of system for agriculture in Moo 9 and Moo 14, Esingsag sub-district, Esingsag district, Nakhon Ratchasima," M.S. thesis, Suranaree University of Technology, 2011 (in Thai).

[7] Department of Groundwater Resources. (2013, September). *Groundwater development project for drought affected area in 2013* [Online]. Available: Available: http://www.dgr.go.th/Agriculture56/object.php

[8] Department of Groundwater Resources. (2013, September). Groundwater map for Tambon Nong Mai Pai, Nongbunnak district, Nakhon Ratchasima province [Online]. Available: http://gcl.dgr.go.th/Map_of_Groundwater/Nakhon_Ratchasima/31/8.pdf.

[9] Department of Groundwater Resources. (2013, September). Groundwater map for Tambon Nong Takai, Nongbunnak district, Nakhon Ratchasima province [Online]. Available: http://gcl.dgr.go.th/Map_of_Groundwater/Nakhon_Ratchasima/31/5.pdf.

[10] V. T. Chow, D. R. Maidment, and L. W. Mays, "Chapter 3 atmospheric water," in *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988, pp.53–98.

[11] Royal Irrigation Department Thailand, "Crop water requirement," Reference crop evapotranspiration & Crop coefficient handbook, pp. 130, 2011 (in Thai).

[12] Royal Irrigation Department Thailand, "Crop coefficient (Kc) of Penman-Monteith," Bangkok, Thailand, 2012 (in Thai).

[13] Southeast Asia Technology (Seatec) Co. Ltd., Consultants of Technology Co., Ltd., Phisut Technology Co., Ltd., Lotus Consultants Co., Ltd., Progress Technology Consultants Co., Ltd., Lotus Park Coperation Co., Ltd., Thara Consultants Co., Ltd., and Dewi Plus Co., Ltd., "Criteria report of water demand study for the feasibility study of water network project in 19 critical area,"

Department of water resources, 2011 (in Thai).

[14] Royal Irrigation Department Thailand, "Work Mannual No. 6/16 Calculation of effective rainfall," pp. 20, 2011 (in Thai).

[15] W. Pratoomchai, S. Kazamab, C. Ekkawatpanitc, and D. Komorid, "Opportunities and constraints in adapting to flood and drought conditions in the Upper Chao Phraya River basin in Thailand," *International Journal of River Basin Management*, vol. 13 pp. 1–15, 2015.