สัญญาเลขที่ R2561B109

สำเนา

สำนักหอสมุด

**รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์**

# ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร

# Smart solar water pumping for agriculture


คณะผู้วิจัย สังกัด

| | | |
|---|---|---|
| นายฉัตรชัย | ศิริสัมพันธ์วงษ์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| นายนิพนธ์ | เกตุจ้อย | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| นายรัฐพร | เงินมีศรี | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| นายคงฤทธิ์ | แม้นศิริ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |



สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 1 ส.ค. 2562
เลขทะเบียน 10 20660
เลขเรียกหนังสือ ว TJ 214 ฉ628ร 2561



**สนับสนุนโดย**

**งบประมาณรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร**

**ปีงบประมาณ 2561**

| | |
|---|---|
| ชื่อโครงการ | ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร |
| ชื่อผู้วิจัย | นายฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์ |
| | นายนิพนธ์ เกตุจ้อย |
| | นายรัฐพร เงินมีศรี |
| | นายคงฤทธิ์ แม้นศิริ |
| ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก | สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) |
| งบประมาณ | 415,000 บาท |
| ระยะเวลาดำเนินการวิจัย | 9 ตุลาคม 2560 ถึง 8 ตุลาคม 2561 |

## บทคัดย่อ


งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการบริหารจัดการน้ำโดยใช้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร มีส่วนประกอบหลักของระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 2.44 kW ระบบควบคุม (Controller) ปั๊มสูบน้ำไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor Pump) ถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) ขนาด 20 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง ถังส่งน้ำ (Distribution Tank) ขนาด 1.5 ลบ.ม.ต่อพื้นที่ 1 งาน และชุดควบคุมการ เปิด – ปิดน้ำแบบอัตโนมัติ (Programmable logic Control : PLC) โดยใช้การตรวจวัดความชื้นของดิน (Soil Moisture Sensor) ที่ทำการเพาะปลูกโดยใช้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ผลจากงานวิจัยพบว่าระบบสามารถควบคุมการให้น้ำพืชได้อัตโนมัติเมื่อวัดค่าความชื้นของดินในพื้นที่เพาะปลูกเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 6.36% ซึ่งเป็นค่าความชื้นของดินที่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืชและลดการสูญเสียน้ำโดยไม่จำเป็น ทั้งนี้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสูบน้ำได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 68.78 ลบ.ม./วัน เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการทำการเกษตรได้อย่างเพียงพอ โดยได้มีการบริหารจัดการน้ำที่สูบได้ออกเป็น 5 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกเป็นน้ำที่เกษตรกรใช้ในการเพาะปลูกคิดเป็น 14% ของน้ำที่สูบได้ ส่วนที่สองเกษตรกรเก็บน้ำไว้ใช้ในชีวิตประจำวันคิดเป็น 2% ส่วนที่สามเป็นส่วนของน้ำที่เก็บสำรองไว้ในถังจ่ายน้ำให้กับพืชที่เกษตรกรทำการเพาะปลูกคิดเป็น 4% ส่วนที่สี่เป็นน้ำที่เก็บสำรองไว้ในถังเก็บน้ำเพื่อใช้ในการทำการเกษตรในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดดหรือระบบไม่สามารถใช้งานได้คิดเป็น 58% ส่วนสุดท้ายอีก 22% จะถูกนำไปเก็บไว้ในสระหรือบ่อเก็บน้ำที่ขุดไว้เพื่อเป็นแหล่งน้ำไว้ใช้ในยามจำเป็นและสามารถเลี้ยงปลาหรือปลูกพืชผักสวนครัวบริเวณรอบสระสำหรับใช้เป็นอาหารและขายเป็นรายได้เพิ่มให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย พร้อมทั้งระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรยังได้ติดตั้งระบบตรวจวัดและแสดงผลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตโดยใช้ระบบ Internet of Things (IoT) เป็นระบบที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบค่าความชื้นของดิน ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้ อัตราการไหลของน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสูบน้ำใช้ เป็นระบบการแสดงผลแบบ Real time ทำให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบและแก้ปัญหาเบื้องต้นได้อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในการทำการเกษตร เกษตรกรมีน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ตลอดทั้งปี ลดรายจ่ายทางด้านพลังงานในการสูบน้ำและเป็นการแก้ปัญหาให้เกษตรกรได้อย่างยั่งยืน

| | |
|---|---|
| Titles | Smart solar water pumping for agriculture |
| Researcher | Mr. Chatchai Sirisamphanwong |
| | Mr.Nipon Ketjoy |
| | Mr. Rattaporn Ngoenmeesri |
| | Mr. Kongrit Mansiri |
| Sponsor | National Research Council of Thailand (NRCT) |
| Budget | 415,000 Bath |
| Period of time | 9 October 2017 – 8 October 2018 |


## Abstract

The Objective of this research is to study the water management for agriculture using smart solar water pumping. Main components of smart solar water pumping are Photovoltaic system (2.44 kWp), Controller, DC Motor Pump (1.8Hp), water storage tanks, distribution tank and Water Programmable logic Controller using Soil Moisture Sensor. The results found that the smart solar water pumping system for agricultural water management is able to pump water with an average capacity of 68.78 m3 per day and maintain the soil moisture of 6.36% which is suitable for cultivation. Water management was divided into 5 parts based on the division of the agricultural land of each rural household. The first is about 14% for growing horticultural crops depending on the local conditions and the market demand. The second is about 2% for using in household. The third is about 4% for storing in distribution tank. The fourth is about 58% for storing in water storage tank and the last part is about 22% for storing in reservoir for growing household vegetables, raising livestock and fisheries. Moreover, the farmer can check the real time data of solar radiation, soil moisture content, ambient temperature, module temperature, volume of water, Flow rate, PV power and power consumption using Internet of Things (IoT) real time monitoring. This research can solve agricultural drought and reduce the cost of water pumping, which is a sustainable solution for farmers.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2561 และขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่วิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2561

# สารบัญ


**บทที่ 1 บทนำ** ..... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ ..... 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย ..... 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

**บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** ..... 4
2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ..... 4
2.2 ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 6
2.3 ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 8
2.4 ข้อมูลการทำการเกษตรของประเทศไทย ..... 8
2.4.1 ความต้องการน้ำสำหรับพืชไร่ พืชผักและต้นไม้ผล ..... 10
2.4.2 ความต้องการน้ำในนาข้าว ..... 10
2.5 ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร ..... 11
2.5.1 เครื่องสูบน้ำประเภทท่อสูบน้ำ ..... 11
2.5.2 เครื่องสูบน้ำประเภทเหวี่ยงหนีศูนย์ ..... 11
2.5.3 เครื่องสูบน้ำแบบใบพัดจุ่มใต้น้ำ ..... 12
2.5.4 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ ..... 12
2.6 คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ ..... 13
2.6.1 อัตราการสูบน้ำ (Q) ..... 13
2.6.2 ความดันหรือความสูงของน้ำ (H) ..... 13
2.7 รูปแบบการให้น้ำพืช ..... 14
2.7.1 การให้น้ำแบบสปริงเกอร์ (Sprinkler Irrigation) ..... 14
2.7.2 การให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation) ..... 14
2.7.3 การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation) ..... 15
2.7.4 การให้น้ำแบบหยด (Drip Irrigation) ..... 16
2.8 ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ ..... 17
2.8.1 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 17
2.8.2 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 18
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 19

**บทที่ 3 ระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัย** ..... 21
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย ..... 21
3.2 รายละเอียดในการออกแบบระบบ ..... 21
3.3 พื้นที่ในการติดตั้งระบบ ..... 23
3.4 รายละเอียดส่วนประกอบของระบบฯ ..... 24

3.4.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ..... 24
3.4.2 เครื่องสูบน้ำ (Motor Pump) ..... 25
3.4.3 ถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) ..... 26
3.4.4 ถังส่งน้ำ (Distribution Tank) ..... 26
3.4.5 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำ ..... 27
3.4.6 อุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ..... 28
3.4.7 อุปกรณ์ตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ ..... 28
3.4.8 อุปกรณ์ควบคุมจ่ายน้ำ ..... 29
3.4.9 ระบบให้น้ำพืช ..... 29

**บทที่ 4 ผลการวิจัย ..... 30**
4.1 ผลการเก็บข้อมูลการใช้งานระบบ ..... 30
4.1.1 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ..... 30
4.1.2 ค่าอุณหภูมิแวดล้อม ..... 30
4.1.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ..... 32
4.1.4 ปริมาณน้ำที่สูบได้ ..... 32
4.2 วิเคราะห์สมรรถนะของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 33
4.2.1 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้ไป ..... 33
4.2.2 ปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้กับปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับพืช ..... 33
4.2.3 ค่าความชื้นของดิน ..... 34
4.3 การบริหารจัดการน้ำจากการใช้งานระบบฯ ..... 35
4.4 การบันทึกข้อมูลและแสดงผล ..... 36

**บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ ..... 38**
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ ..... 38
5.1.1 สรุปผลทางด้านเทคนิคของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ..... 38
5.1.2 สรุปผลข้อคิดเห็นจากการใช้งานระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร. 39
5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 40

**บรรณานุกรม ..... 41**

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ โดยประมาณ ..... 10
ตารางที่ 2 รายละเอียดและส่วนประกอบของระบบสูบน้ำอัจฉริยะเพื่อการเกษตร ..... 23
ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการ ..... 34
ตารางที่ 4 ข้อคิดเห็นจากการใช้งานระบบฯ ..... 39
ตารางที่ 5 ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบฯ ..... 39

# สารบัญรูป


รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ..... 4

รูปที่ 2 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ..... 5

รูปที่ 3 รูปแบบและส่วนประกอบของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 6

รูปที่ 4 การทำงานของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำผิวดิน ..... 7

รูปที่ 5 การทำงานของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำใต้ดิน ..... 7

รูปที่ 6 รายละเอียดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 8

รูปที่ 7 การเพาะปลูกพืชของประเทศไทย ..... 9

รูปที่ 8 เครื่องสูบน้ำประเภทท่อสูบน้ำหรือท่อพญานาค ..... 11

รูปที่ 9 เครื่องสูบน้ำแบบใช้เครื่องยนต์เบนซินและเครื่องสูบน้ำแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ..... 12

รูปที่ 10 เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์และ Submersible ..... 12

รูปที่ 11 ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่อตรงและแบบ Close coupling ..... 13

รูปที่ 12 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 17

รูปที่ 13 รูปแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ ..... 18

รูปที่ 14 รูปแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ..... 22

รูปที่ 15 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ..... 24

รูปที่ 16 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมโครงสร้างรับแผง ..... 25

รูปที่ 17 เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าชนิด Submersible ..... 25

รูปที่ 18 ถังเก็บน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก ..... 26

รูปที่ 19 ถังส่งน้ำขนาด 1,400 ลิตร ..... 26

รูปที่ 20 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำ ..... 27

รูปที่ 21 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ..... 28

รูปที่ 22 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ..... 28

รูปที่ 23 อุปกรณ์ควบคุมการจ่ายน้ำ ..... 29

รูปที่ 24 ระบบให้น้ำพืชแบบน้ำหยด ..... 29

รูปที่ 25 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบ ..... 30

รูปที่ 26 อุณหภูมิแวดล้อม ..... 31

รูปที่ 27 ค่ารังสีอาทิตย์และค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายวันที่ตกกระทบ ..... 31

รูปที่ 28 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ..... 32
รูปที่ 29 อัตราการไหลของน้ำที่ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สูบได้ ..... 32
รูปที่ 30 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้ ..... 33
รูปที่ 31 ปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้เทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับพืช ..... 34
รูปที่ 32 ความชื้นของดินในพื้นที่เพาะปลูก ..... 35
รูปที่ 33 สัดส่วนการใช้น้ำในพื้นที่เกษตรกรรม ..... 36
รูปที่ 34 ไดอะแกรมระบบตรวจวัดและแสดงผลโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ..... 36
รูปที่ 35 หน้าจอตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลแบบ real time ..... 37

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 30% ใน 21 ปี (แผน AEDP 2015) ได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ไว้ ซึ่งการมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่สำคัญตัวหนึ่งคือการส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการส่งเสริมโครงการระบบขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งในระดับครัวเรือน ชุมชน และสหกรณ์การเกษตรได้ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายในระดับครัวเรือนชุมชน ซึ่งปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นอยู่เสมอในการทำการเกษตรคือการขาดแคลนน้ำและการบริหารจัดการน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยทั้งนี้วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้มีการดำเนินโครงการเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วย ***โครงการศึกษาพัฒนาต้นแบบชุมชนพลังงานทดแทน ปี 2557 ได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และโครงการสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตรกรรมระดับชุมชนและสหกรณ์การเกษตร ปี 2558 ได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน*** โดยมีแนวคิดที่จะส่งเสริมให้เกิดการนำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำและการบริหารจัดการน้ำในการทำการเกษตร โดยเฉพาะเทคโนโลยีระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 30% ใน 21 ปี (แผน AEDP 2015) ได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ไว้ ซึ่งการมุ่งเน้นการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่สำคัญตัวหนึ่งคือการส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการส่งเสริมโครงการระบบขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งในระดับครัวเรือน ชุมชน และสหกรณ์การเกษตรได้ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายในระดับครัวเรือนชุมชน ซึ่งปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นอยู่เสมอในการทำการเกษตรคือการขาดแคลนน้ำและการบริหารจัดการน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยทั้งนี้วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้มีการดำเนินโครงการเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วย โครงการศึกษาพัฒนาต้นแบบชุมชนพลังงานทดแทน ปี 2557 ได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และโครงการสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตรกรรมระดับชุมชนและสหกรณ์การเกษตร ปี 2558 ได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยมีแนวคิดที่จะส่งเสริมให้เกิดการนำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำและการบริหารจัดการน้ำในการทำการเกษตร โดยเฉพาะเทคโนโลยีระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ปัจจุบันยังมีพื้นที่เกษตรกรรมนอกเขตชลประทานจำนวนมาก เกษตรกรในพื้นที่ดังกล่าวขาดแคลนน้ำเพื่อการเพาะปลูก บางส่วนใช้วิธีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อการเพาะปลูก ทำให้มีต้นทุนในการเพาะปลูกที่สูงขึ้น ในบางพื้นที่เกษตรกรมีแหล่งน้ำขนาดเล็ก อย่างไรก็ดียังขาดระบบจัดการและระบบส่งน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชนั้นๆ ส่งผลกระทบต่อทั้งต้นทุนและปริมาณผลผลิตต่อไร่ที่ต่ำ ประเทศไทยเคยมีโครงการสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มาตั้งแต่ปี พ.ศ.2533 โดยได้ติดตั้งระบบให้แก่หมู่บ้านที่มีแหล่งน้ำ

แต่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ หรือเป็นหมู่บ้านที่มีไฟฟ้าใช้แล้ว แต่มีแหล่งน้ำอยู่ห่างจากระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยได้ทำการติดตั้งไปแล้วทั้งสิ้นกว่า 1,000 ระบบ ทั่วประเทศ โดยเฉลี่ยแต่ละระบบมีขนาดประมาณ 700 Wp สามารถสูบน้ำได้มากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน อย่างไรก็ดีระบบดังกล่าวมิได้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสูบน้ำในภาคการเกษตร ซึ่งมีความต้องการปริมาณน้ำที่สูงกว่ามากโดยเฉพาะในการทำการเกษตร การขาดแคลนน้ำในภาคการเกษตรเป็นปัญหาหลักของเกษตรอีกทั้งการบริหารจัดการน้ำในการทำการเกษตรที่ไม่ดีก็จะส่งผลในเกิดการใช้น้ำที่สิ้นเปลือง ไม่เหมาะสมกับความต้องการของพืชยังส่งผลให้ผลผลิตที่ได้น้อยลง อีกทั้งปริมาณน้ำที่ให้และรูปแบบการให้น้ำยังมีความแตกต่างกันตามชนิดของพืชที่เพาะปลูก ส่วนใหญ่การบริหารจัดการน้ำในการเพาะปลูกจะขึ้นอยู่กับความรู้ความสามารถของเกษตรกรในการทำการเกษตร เมื่อการทำการเกษตรมีการบริหารจัดการน้ำไม่ดี สิ่งที่ตามมาคือการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง ทั้งการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลืองและการใช้แรงงานคนที่มากเกินความจำเป็นทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ และส่งผลให้ต้นทุนในการทำการเกษตรเพิ่มขึ้น ทำให้เกษตรกรมีรายได้ลดลงและมีหนี้สินในภาคครัวเรือนเพิ่มขึ้น ดังนั้น ***ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร*** จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาการขนาดแคลนน้ำและลดต้นทุนทางด้านพลังงานในการทำการเกษตรได้อย่างยั่งยืนและยังลดการใช้ทรัพยากรที่อย่างสิ้นเปลืองเกิดขึ้นจากการทำการเกษตร สามารถลดการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลืองและการใช้แรงงานคนในการทำการเกษตรลงได้ โดยปัจจุบันเทคโนโลยีระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาไปจากเมื่อ 20 ปีที่แล้วมาก ต้นทุนของระบบก็ลดต่ำลงอย่างมากเช่นกัน การจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบทำได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้นในปัจจุบัน อีกทั้ง เทคโนโลยีระบบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาให้มีสมรรถนะที่สูงมากในปัจจุบัน สามารถสูบน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินได้ ในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมกับการใช้งาน ระบบวาร์ววามคุมการเปิดปิดน้ำ อุปกรณ์ควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าความชื้นของดินและค่าความเป็นกรด-ด่าง ยังช่วยให้การให้น้ำพืชมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เป็นการเพิ่มผลผลิตและลดการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองให้กับเกษตรกรได้ ดังนั้นระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำและการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดของเกษตรกร ซึ่งสามารถเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่นอกเขตชลประทานและยังสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ได้จากการที่พืชได้รับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม หากไม่มีการดำเนินการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในการทำเกษตร เกษตกรก็จะประสบปัญหาในการประกอบอาชีพ ขาดรายได้เลี้ยงดูครอบครัวและมีปัญหาภาวะหนี้สินที่รุนแรงมากยิ่งขึ้น ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างยั่งยืนและเหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการบริหารจัดการน้ำโดยการประยุกต์ใช้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สาธิตการประยุกต์ใช้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรสำหรับเกษตรกร โดยรูปแบบระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรนั้นเป็นระบบที่สามารถสูบน้ำได้ทั้งจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน สามารถควบคุมการให้น้ำและปริมาณน้ำแบบอัตโนมัติ และศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น สัดส่วนของกำลังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และขนาดปั๊มน้ำ สัดส่วนของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์กับปริมาณความต้องการน้ำของพืช ระยะเวลาหรือรอบการปลูกพืชที่ใช้น้ำจากระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ต้นทุนระบบและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำผลของโครงการไปขยายผลและใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ในด้านการจัดหาน้ำและการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการทำการเกษตรของเกษตรกรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1) ได้ระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะที่มีสมรรถนะสูงในการสูบน้ำสำหรับใช้งานในพื้นที่การเกษตร และสามารถควบคุมปริมาณน้ำและการจ่ายน้ำได้อย่างอัตโนมัติ

2) ช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรและลดการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง ทั้งทรัพยากรน้ำและแรงงานคนในการทำการเกษตร และลดต้นทุนทางด้านพลังงาน

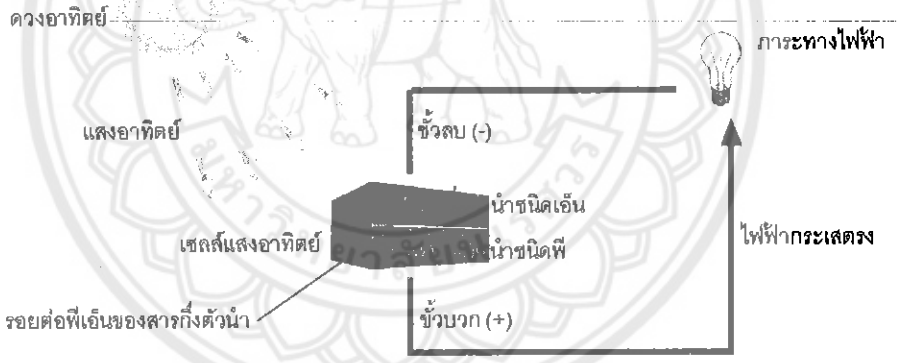
3) สามารถเผยแพร่เทคโนโลยีระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร สำหรับใช้งานในพื้นที่เกษตรกรรมรูปแบบต่างๆ

4) ช่วยลดรายจ่ายและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรให้สามารถพึ่งพาตนเองได้มีรายได้ที่แน่นอน และเพิ่มโอกาสในการเพาะปลูกให้มากขึ้นจากการมีน้ำเพื่อเพาะปลูกและทำการเกษตร

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

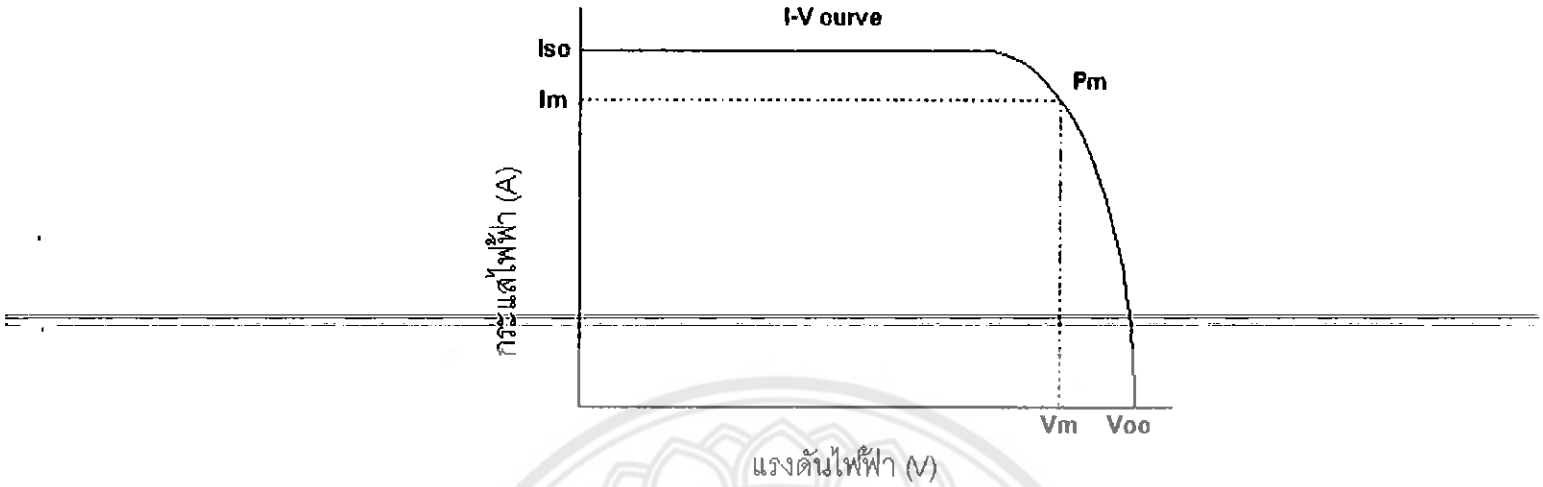
แหล่งพลังงานที่มีความสำคัญอีกแหล่งหนึ่งที่นำมาใช้กับรถไฟฟ้าในปัจจุบันก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้ไปเป็นไฟฟ้าได้ โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบไปด้วยรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งส่วนใหญ่คือซิลิกอนที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เรียกรอยต่อนี้ว่ารอยต่อพีเอ็น (P-N Junction) ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดพาหะทางไฟฟ้าขึ้นสองชนิดคือ อิเล็กตรอน (ประจุลบ) และ โฮล (ประจุบวก) สนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อพีเอ็นจะแยกอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นให้ไหลไปทางขั้วลบและ แยกโฮลให้ไหลไปทางขั้วบวก มีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ดังนั้นเมื่อเราต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับภาระทางไฟฟ้า (เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง) ก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในวงจร ดังรูปที่ 1




รูปที่ 1 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ ที่สภาวะวงจรเปิดและไม่มีภาระทางไฟฟ้า ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและ ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่หน้าตัด) และยังขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 160 ตารางเซนติเมตร จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 2 วัตต์ ที่สภาวะความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ลดต่ำลงเหลือประมาณ 400 วัตต์ต่อตารางเมตร เซลล์แสงอาทิตย์นี้ก็จะผลิตไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 0.8 วัตต์ [5]

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้โดยใช้กราฟแสดงคุณสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-Curve) ลักษณะของ IV-Curve ไม่ว่าจะเป็นของเซลล์ (cell) โมดูล (module) แอร์เรย์ (array) จะมีลักษณะที่เดียวกัน ดังรูปที่ 2




รูปที่ 2 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

- ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ($I_m$) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า

- ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ($V_m$) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า

- ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ($I_{sc}$) คือค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัด วงจร

- ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ($V_{oc}$) คือค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า

- ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ($P_m$) คือค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

- ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (F.F) คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$F.F = \frac{P_m}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}}$$

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีค่าฟิลล์แฟคเตอร์มากกว่า 0.7 ขึ้นไป เพื่อที่จะให้จุดทำงานมีค่าใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

- ประสิทธิภาพสูงสุด ($\eta_m$) คือ ค่าอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพลังงานที่ได้รับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

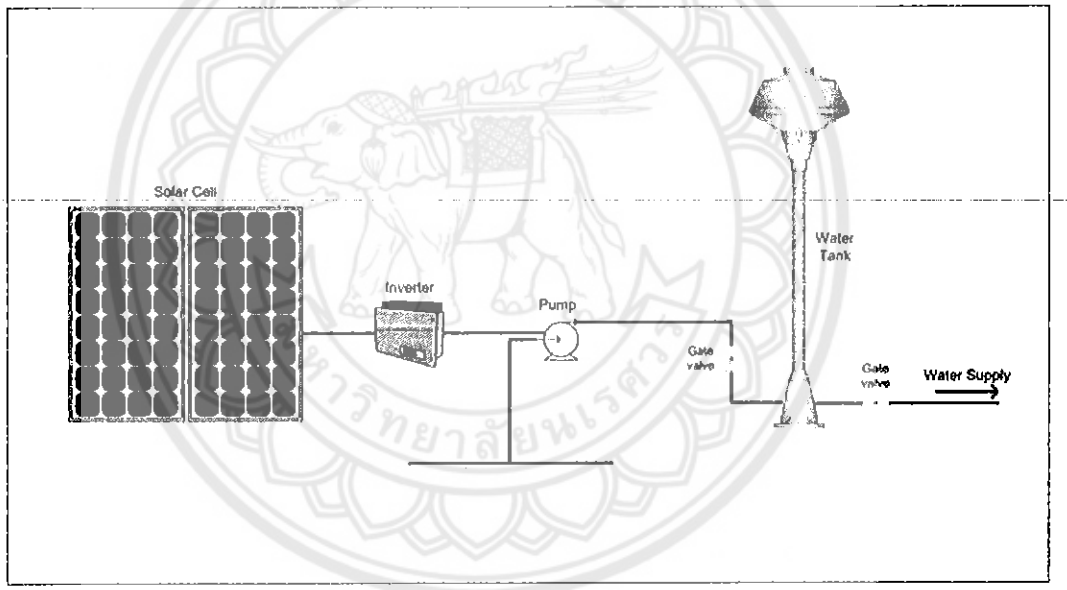
$$\eta_m = [P_m/A_m GT] \times 100\%$$

เมื่อ Am คือ พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ($m^2$)

GT คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ($W/m^2$)

## 2.2 ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เทคโนโลยีระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย ระบบสูบน้ำขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน ระบบสูบน้ำขนาดกลางถึงใหญ่สำหรับการใช้งานของกลุ่มชุมชน เช่นระบบน้ำหยด ซึ่งเทคโนโลยีที่นำมาใช้เป็นเทคโนโลยีที่สามารถพึ่งพาวัสดุ อุปกรณ์ในประเทศหรือในท้องถิ่นได้ ซึ่งระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสูบน้ำ ทั้งจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินที่เป็นบ่อบาดาลได้ ในช่วงเวลากลางวันโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำ หน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อไปขับมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำให้สูบน้ำในเวลากลางวันและน้ำที่สูบได้จะถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำซึ่งติดตั้งอยู่บนหอสูงหรือถังพักน้ำเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานของผู้ใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

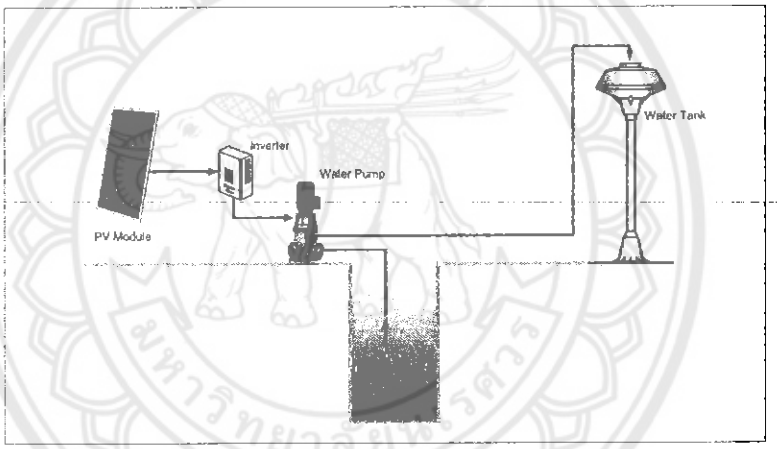



รูปที่ 3 รูปแบบและส่วนประกอบของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

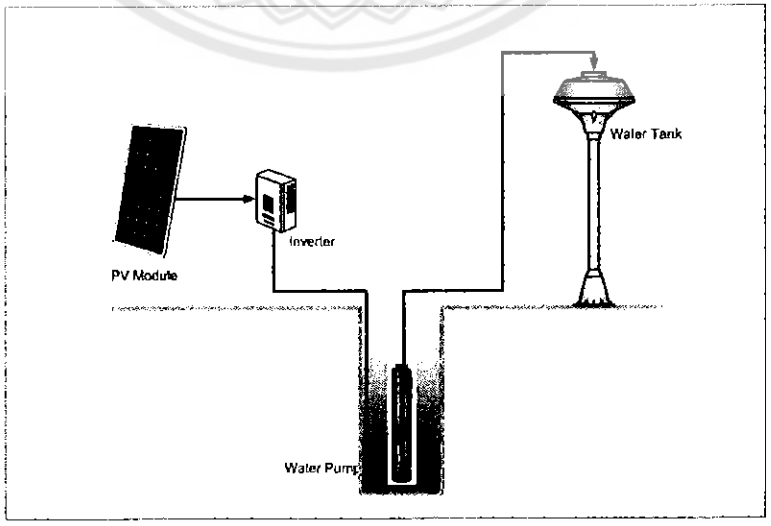
หลักการทำงานของระบบ คือ ในเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จ่ายไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (ในกรณีที่ใช้มอเตอร์กระแสสลับ) จ่ายให้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำ มอเตอร์ปั๊มน้ำก็จะทำหน้าที่ปั๊มน้ำขึ้นไปเก็บไว้ในถังบนหอสูง น้ำจากหอสูงจะมีแรงดันเพียงพอที่จะไหลเข้าสู่พื้นที่การเกษตร อีกทั้งยังสามารถกำหนดเวลาในการเปิดปิดเพื่อกำหนดปริมาณของการให้น้ำเพื่อการเกษตรตามชนิดของพืชได้ โดยที่ระดับน้ำภายในถังจะถูกควบคุมด้วยสวิตช์ควบคุมแรงดัน ในกรณีน้ำเต็มถังเก็บระบบจะหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ ถ้าระดับน้ำลดลงระบบก็จะสั่งให้ปั๊มน้ำทำงานอัตโนมัติ ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย

(1) สามารถใช้งานได้กับแหล่งน้ำทุกประเภท บ่อน้ำผิวดิน บ่อบาดาล แม่น้ำ
(2) สามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ห่างไกลจากชุมชนที่ระบบจำหน่ายไม่สามารถเข้าถึง
(3) สามารถออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานระบบต่างๆ เช่น ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร
(4) ไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าหรือค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการสูบน้ำ
(5) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและช่วยลดสภาวะโลกร้อน

การใช้งานระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามการใช้งานเป็น 2 รูปแบบคือ ระบบที่ใช้สูบน้ำผิวดินและระบบสูบน้ำใต้ดิน ซึ่งในการสูบน้ำแต่ละประเภทจะมีการใช้น้ำปั๊มน้ำต่างกันตามลักษณะการใช้งาน การออกแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะสูบต่อวันของระบบ เพราะปั๊มน้ำที่มีอัตราการไหลสูงๆ ย่อมใช้พลังงานไฟฟ้าสูงตามไปด้วย ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดของระบบสูงตาม ดังนั้นการออกแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จึงควรมีการศึกษาการใช้น้ำในการทำการเกษตรของชุมชนที่จะทำการติดตั้งระบบก่อน เพื่อให้ระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำผิวดินและระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ตามลำดับ



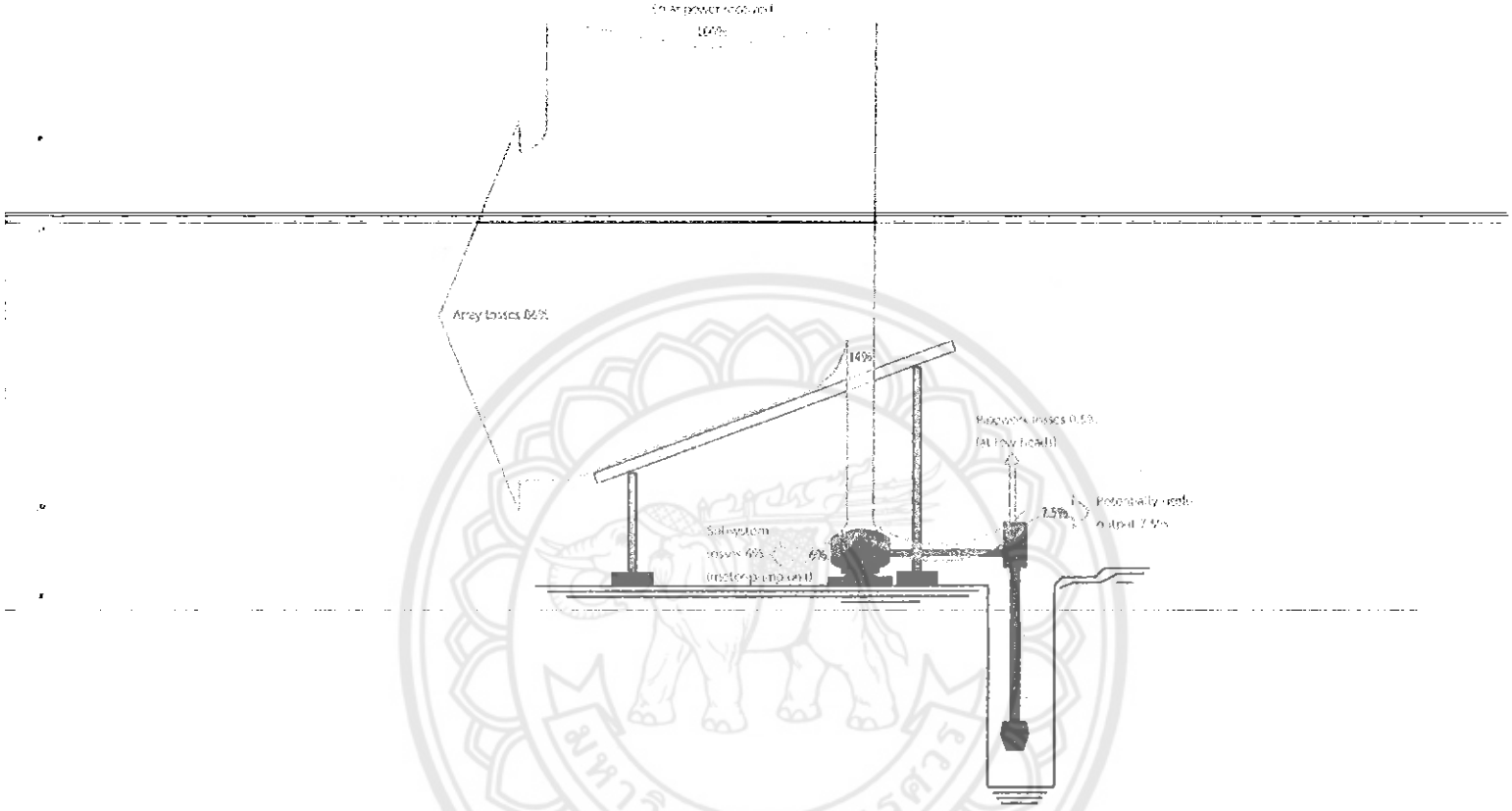

รูปที่ 4 การทำงานของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำผิวดิน




รูปที่ 5 การทำงานของระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำใต้ดิน

## 2.3 ประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 7.5% ซึ่งจากการใช้งานระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะเกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานและการสูญเสีย (loss) ที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของระบบ โดยรายละเอียดการสูญเสียพลังงานของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 6



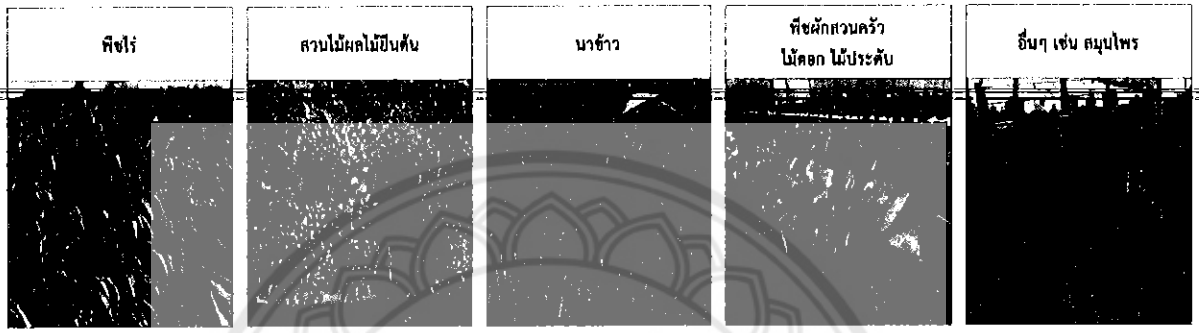

รูปที่ 6 รายละเอียดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ที่ 7.5% ซึ่งจากรูปพบว่าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานประมาณ 14% แล้วพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งไปจ่ายให้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำเพื่อใช้ในการสูบน้ำโดยจะมีการสูญเสียในรูปของความร้อนอีกประมาณ 6% เป็นพลังงานที่ใช้ในการขับมอเตอร์เพื่อใช้ในการสูบน้ำ 8% จากนั้นจะเกิดการสูญเสียในท่ออีกประมาณ 0.5% ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## 2.4 ข้อมูลการทำการเกษตรของประเทศไทย

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่ในการทำเกษตรกรรมสูง เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศเป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ในการทำการเกษตร จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจ

การเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้มีการรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยปี 2555 [1] พบว่าประเทศไทยมีเนื้อที่รวม 320.70 ล้านไร่ เป็นเนื้อที่การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร 149.25 ล้านไร่ รองลงมาเป็นเนื้อที่ป่า 107.24 ล้านไร่ และเป็นเนื้อที่ใช้ประโยชน์นอกการเกษตร 64.21 ล้านไร่ ทำให้ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งจากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้แบ่งการทำการเกษตรของประเทศไทยออกเป็น 5 ชนิดคือ ข้าว พืชไร่ สวนผลไม้หรือไม้ยืนต้น สวนผักหรือไม้ดอก/ไม้ประดับ และการเกษตรอื่นๆ ในแต่ละภาคมีพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรไม่เท่ากันและมีความเหมาะสมในการปลูกพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังรูปที่ 7




รูปที่ 7 การเพาะปลูกพืชของประเทศไทย

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 46.90 ลำดับต่อมาเป็นพื้นที่เพาะปลูกสวนไม้ผลไม้ยืนต้นคิดเป็นร้อยละ 23.39 เป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่คิดเป็นร้อยละ 20.87 เป็นเนื้อที่การทำการเกษตรอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 7.91 และเป็นการเพาะปลูกสวนผักและไม้ดอกไม้ประดับมีพื้นที่น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 0.93 ซึ่งความเหมาะสมในการเพาะปลูกของพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน แต่โดยรวมสภาพภูมิประเทศของประเทศไทยมีความสมบูรณ์ทางธรรมชาติอย่างมาก สภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมสำหรับการทำอาชีพเกษตรกรรม เนื่องด้วยประเทศไทยเป็นประเทศที่ดินมีธาตุอาหารดี มีแม่น้ำหลายสายไหลผ่าน มีป่าไม้และพลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้งยังมีสภาพภูมิอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ทำให้มีปริมาณน้ำฝนที่ตกอย่างเพียงพอและมีฝนตกตามฤดูกาลที่พอเหมาะกับช่วงเวลาของการเพาะปลูกอีกด้วย ซึ่งในการเพาะปลูกนั้นน้ำเป็นหัวใจหลักในการเพาะปลูกพืช ซึ่งพืชจะเจริญเติบโตหรือตายนั้นขึ้นอยู่กับการให้น้ำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ โดยพืชแต่ละชนิดมีความต้องการการใช้น้ำที่แตกต่างกันไป พืชทุกชนิดมีความต้องการน้ำเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งของขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเป็นตัวละลายธาตุอาหารในดินเพื่อให้รากดูดขึ้นไปสร้างการเจริญเติบโตและคายน้ำเพื่อระบายความร้อน นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวที่สำคัญในการกำหนดปริมาณและผลผลิตของพืชด้วย ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ และอายุของพืชนั้นๆ การให้น้ำน้อยไปทำให้พืชเจริญเติบโตช้า ผลผลิตต่ำ ฯลฯ แต่ถ้ามากไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองน้ำและค่าใช้จ่าย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องให้น้ำอย่างเหมาะสมกับความต้องการน้ำของพืชนั้นๆ ซึ่งผลเสียที่เกิดขึ้นเมื่อพืชขาดน้ำหรือได้รับน้ำมากเกินไป โดยพืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำและระยะวิกฤติของพืชที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สภาพดินฟ้าอากาศและสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูก ซึ่งความต้องการการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.4.1 ความต้องการน้ำสำหรับพืชไร่ พืชผักและต้นไม้ผล

รายละเอียดสำคัญที่ควรทราบคือ พืชทุกชนิดต้องการน้ำเพียงจำนวนหนึ่งเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง หากขาดแคลนน้ำจะทำให้พืชเติบโตได้ไม่เต็มที่ ต้นจะเตี้ยแคระแกรน หรือแขนงและกิ่งก้านอาจตายได้ ทั้งนี้ในระยะที่พืชออกดอกติดผลและเกิดเมล็ดแล้ว การขาดแคลนน้ำจะทำให้ขนาดของผลหรือเมล็ดเล็กลงและจะทำให้ปริมาณการเก็บเกี่ยวลดลงตามไปด้วย พืชไร่ พืชผักและต้นไม้ผลแต่ละชนิด จะมีความต้องการน้ำมากน้อยแตกต่างกันไป ในแต่ละช่วงของการเจริญเติบโตของพืชต่างๆ ต้องการน้ำในอัตราไม่เท่ากันเช่นกัน โดยในระยะแรกปลูกจะต้องการน้ำน้อยและต้องการน้ำมากขึ้นๆ เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ กิ่งก้าน และพบว่าจะต้องการน้ำมากที่สุดในระยะออกดอกไปจนถึงระยะผลเริ่มแก่ แต่เมื่อผลแก่เต็มที่จะต้องการน้ำจำนวนน้อยมาก

ตารางที่ 1 ความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ โดยประมาณ

| ชนิดของพืช | ปริมาณน้ำที่ต้องการสูงสุดต่อวัน มิลลิเมตร | ปริมาณน้ำที่ต้องการตลอดอายุของพืช มิลลิเมตร (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) |
|---|---|---|
| ข้าวโพด | 5 - 7 | 350 – 400 (560-640 ) |
| ถั่วลิสง | 2 - 5 | 400 – 500 (640-800) |
| งา | 4 - 5 | 450 – 525 (720-840) |
| ถั่วเหลือง | 2 - 4 | 300 – 350 (480-560) |
| ถั่วเขียว | 3 - 6 | 370 – 400 (590-640) |
| ข้าวฟ่าง | 4 - 5 | 300 -400 (480-640) |
| ละหุ่ง | 6 - 8 | 600 – 740 (960-1180) |
| ปอกระเจา | 6 - 8 | 600 – 700 (960-1120) |
| ปอแก้ว | 2 - 4 | 300 – 450 (480-720) |
| ฝ้าย | 6 - 9 | 500 – 900 (800-1,440) |
| อ้อย | 6 - 9 | 1,600 - 1,800 (2,560-2,880) |
| พืชปุ๋ยสด | - | 300 – 600 (480-960) |
| พืชผัก | 4 - 5 | 400 – 500 (640-800) |
| ส้ม | 3 - 4 | 750 – 1,000 (1,200-1,600) |

### 2.4.2 ความต้องการน้ำในนาข้าว

การปลูกข้าวในประเทศไทยจะต้องการน้ำในระยะตกกล้าต้องลึกเฉลี่ย 40 มิลลิเมตรต่อพื้นที่ทั้งหมด (พื้นที่ตกกล้าต้องการน้ำเตรียมแปลงและเพาะกล้ารวมประมาณ 600 มิลลิเมตร ซึ่งกล้าในแปลงเพาะ 1 ไร่ สามารถดำกล้าได้ประมาณ 15 ไร่ ) ส่วนน้ำสำหรับเตรียมแปลงลึก 200 มิลลิเมตร และน้ำที่ขังในนาตั้งแต่ระยะปักดำถึงระยะเก็บเกี่ยวลึกประมาณ 1,000 มิลลิเมตร หรือต้องการน้ำเฉลี่ยวันละ 8 มิลลิเมตร ซึ่งตลอดอายุของการปลูกข้าวจะต้องการน้ำในพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดรวมทั้งสิ้น 1,240 มิลลิเมตร หรือประมาณ 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ สำหรับการปลูกข้าวนาปี ปัญหาการขาดน้ำจะมีไม่มากนัก และ

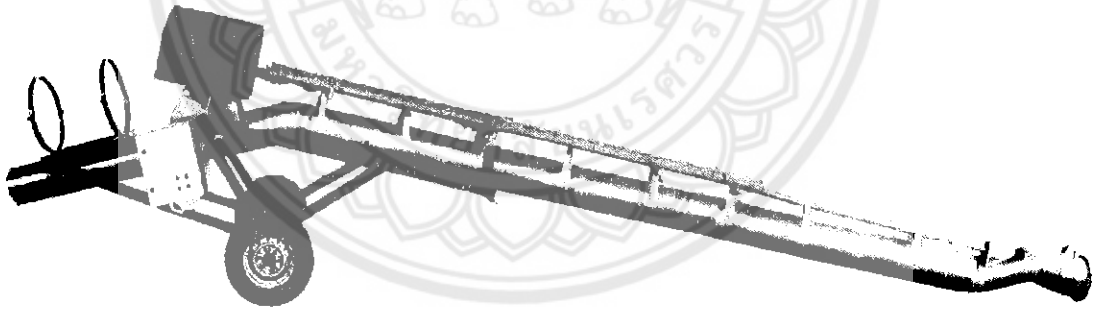
ถ้ามีน้ำใช้ได้ตามจำนวนดังกล่าว ผลผลิตเฉลี่ยไม่ควรต่ำกว่า 70 ถังต่อไร่ สำหรับการปลูกข้าวนาปรังต้องมีวิธีการใช้น้ำที่ประหยัดขึ้น ไม่ควรใช้น้ำเกิน 1,600 ลูกบาศก์เมตร ต่อไร่และผลผลิตควรไม่น้อยกว่า 80 ถัง ถ้าใช้วิธีปลูกข้าวล้มตอซัง คือเก็บเกี่ยวข้าวนาปีแล้ว ใช้รถลากล้มตอซังข้าวที่เก็บเกี่ยวแล้วให้ติดดิน เมื่อได้รับความชื้นหน่อข้าวก็จะงอกใหม่ได้ วิธีนี้ จะช่วยลดปริมาณก๊าซมีเทนจากการเน่าเปื่อยของฟางข้าว ที่เป็นปัญหาให้โลกร้อนขึ้นได้อย่างมาก และลดปริมาณน้ำในการเตรียมและเพาะกล้าลงได้ถึง 350 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่และไม่ต้องให้น้ำท่วมขังลึกตลอดเวลา จะลดการให้น้ำลงได้อีกไม่น้อย กว่า 250 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ รวมแล้วใช้น้ำไม่ควรเกิน 1,400 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ผลผลิตไม่ควรน้อยกว่า 70 ถังต่อไร ถ้าให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์ขนาดเล็ก แรงดันต่ำแต่ให้น้ำนานๆ โดยใช้ท่อขนาดเล็ก จะประหยัดน้ำได้อีกมาก โดยใช้น้ำประมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และได้ผลผลิตไม่น้อยกว่า 60 ถังต่อไร่ เช่นกัน

## 2.5 ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร

เครื่องสูบน้ำเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การเพาะปลูกพืชบรรลุเป้าหมาย ซึ่งเครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องมือที่ใช้สูบน้ำจากแหล่งน้ำไปยังบริเวณที่ต้องการ ซึ่งเครื่องสูบน้ำแต่ละประเภทมีคุณสมบัติแตกต่างกันทั้งการใช้งานและคุณสมบัติไม่เหมือนกัน โดยเครื่องสูบน้ำสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

### 2.5.1 เครื่องสูบน้ำประเภทท่อสูบน้ำ

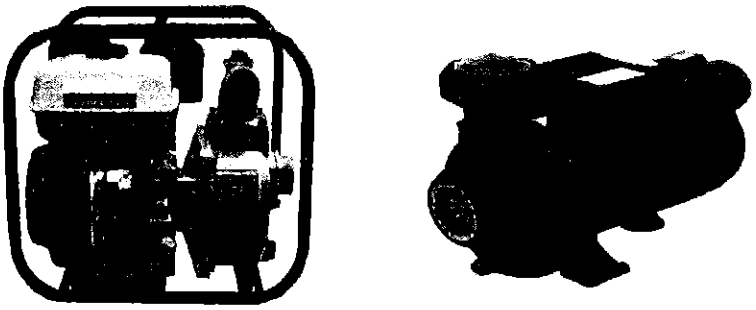
เรียกทั่วไปว่าท่อพญานาคเป็นเครื่องสูบน้ำที่เหมาะในการสูบน้ำปริมาณมากไปยังที่สูงไม่มากนัก ประมาณ 5-6 เมตร เหมาะในการทำนาที่ใช้น้ำมากหรือการสูบน้ำเพื่อระบายน้ำทิ้ง



รูปที่ 8 เครื่องสูบน้ำประเภทท่อสูบน้ำหรือท่อพญานาค

### 2.5.2 เครื่องสูบน้ำประเภทเหวี่ยงหนีศูนย์

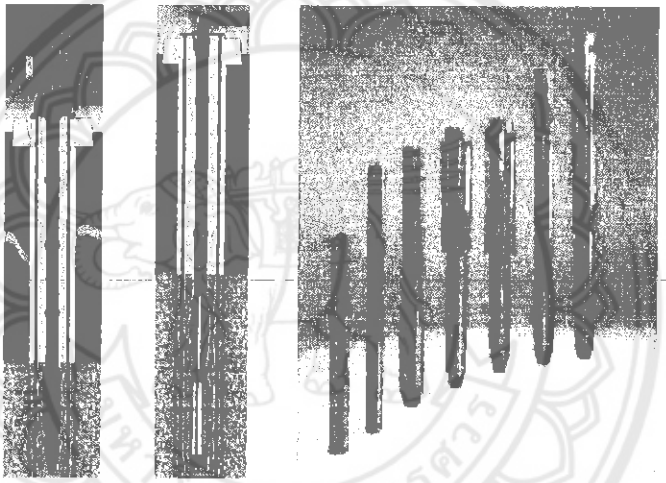
เรียกกันทั่วไปว่าเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งเป็นเครื่องสูบน้ำที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเกษตร ใช้ในระบบการให้น้ำทางท่อ เช่น น้ำหยด มินิสปริงเกอร์ หรือใช้ในการระบายน้ำได้เช่นกัน เครื่องสูบน้ำประเภทนี้จะมีให้เลือกได้อย่างมากมายหลายแบบและหลายขนาดตามความต้องการของผู้ใช้ สามารถเลือกใช้ได้ทั้งที่น้ำมากแรงดันต่ำ หรือน้ำน้อยแรงดันสูง หรือทั้งน้ำมากแรงดันมาก สามารถใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 9 เครื่องสูบน้ำแบบใช้เครื่องยนต์เบนซินและเครื่องสูบน้ำแบบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า

**2.5.3 เครื่องสูบน้ำแบบใบพัดจุ่มใต้น้ำ**

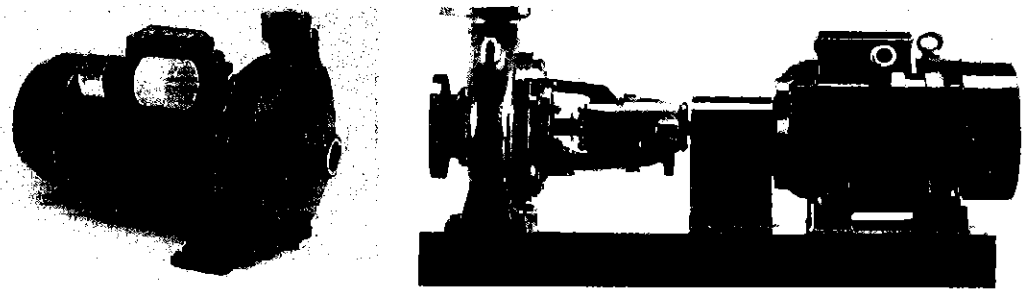
เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์ ใช้สูบน้ำจากบ่อบาดาลน้ำตื้นหรือบ่อน้ำตื้น เครื่องสูบน้ำแบบ Submersible เป็นปั๊มที่สูบน้ำจากบ่อบาดาลน้ำลึก ทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถใช้กับระบบการเกษตรได้เมื่อแหล่งน้ำเป็นลักษณะดังที่กล่าว



รูปที่ 10 เครื่องสูบน้ำแบบเทอร์ไบน์และ Submersible

**2.5.4 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ**

เป็นเครื่องสูบน้ำซึ่งเกษตรกรบางส่วนใช้ในระบบการเกษตรขนาดเล็กๆ เนื่องจากได้น้ำน้อยแต่ความเหมาะสมแล้วควรเป็นการใช้น้ำกินน้ำใช้มากกว่าการเกษตรต้นกำลัง (Prime Movers) เมื่อพูดถึงครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรจะกล่าวถึงเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมของพื้นที่แต่โดยปกติแล้วถ้ามีไฟฟ้าควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพราะราคาถูกกว่าเครื่องยนต์ การดูแลบำรุงรักษาง่ายกว่า และค่าไฟฟ้าถูกกว่าค่าน้ำมัน แต่เมื่อไม่สะดวกในการใช้ไฟฟ้าก็จำเป็นต้นใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง เครื่องสูบน้ำอาจจะขับเคลื่อนด้วยต้นกำลังที่เป็นเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า ต้นกำลังต้องสามารถให้กำลังเครื่องสูบน้ำถึงจุดทำงานสูงสุดได้ รวมทั้งเผื่อค่าความปลอดภัยด้วย สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าค่าที่เผื่อไว้ประมาณ 10% และสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 25% ประตูน้ำที่อยู่ทางด้านส่งน้ำควรจะเปิดเพียงเล็กน้อยก่อนในตอนเริ่มเดินเครื่องเพื่อลดแรงในการสตาร์ทมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ต้นกำลังควรจะมีระบบป้องกันที่ดีในกรณีที่ความดันในท่อเมนเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีทั้งแบบที่ต้นกำลังที่เป็นเครื่องยนต์และต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 11 ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าแบบต่อตรงและแบบ Close coupling

## 2.6 คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำมีหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำและเพิ่มความดันให้แก่น้ำเพื่อให้ไหลผ่านท่อ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ สามารถจ่ายน้ำตามปริมาณและที่ความสูงของน้ำ (Head) สูงสุดที่ต้องการ ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้เครื่องสูบน้ำให้เหมาะสมกับระบบการให้น้ำมีรายละเอียดดังนี้

### 2.6.1 อัตราการสูบน้ำ (Q)

เป็นปริมาณน้ำที่สูบได้ต่อหน่วยเวลาเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดเล็กนิยมบอกอัตราการสูบน้ำเป็นลิตรต่อนาที เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่นิยมบอกอัตราสูบน้ำเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งทั้งสองหน่วยสามารถแปลงให้เป็นหน่วยเดียวกันได้ อัตราการสูบน้ำนี้จะต้องสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในระบบการให้น้ำด้วย เช่น ปริมาณน้ำที่ใช้ จำนวน 10,000 ลิตรต่อชั่วโมง ก็จะต้องใช้เครื่องสูบน้ำที่มีอัตราการสูบน้ำไม่น้อยกว่า 10,000 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นต้น

### 2.6.2 ความดันหรือความสูงของน้ำ (H)

เป็นความดันหรือความสูงที่เครื่องสูบน้ำสามารถสร้างได้ หน่วยของความดันน้ำบอกเป็นเมตร ซึ่งความดันของเครื่องสูบน้ำจะต้องไม่น้อยกว่าความดันทั้งหมดที่ใช้ในระบบการให้น้ำ ซึ่งความดันที่ต้องใช้ในระบบการให้น้ำประกอบด้วย

(1) ความสูงจากผิวน้ำที่ดูดถึงจุดสูงสุดที่ส่งได้

(2) ความดันที่หัวปล่อยน้ำแต่ละชนิดใช้ดังนี้

- น้ำหยดใช้ประมาณ 10 เมตร
- มินิสปริงเกลอร์ใช้ประมาณ 15 เมตร
- สเปรย์และเจ็ทใช้ประมาณ 15 เมตร
- สปริงเกลอร์ใช้ประมาณ 20 เมตรขึ้นไป

(3) ความดันที่เสียไปในท่อเป็นผลรวมของความเสียดทานภายในท่อจากเครื่องสูบน้ำถึงจุดที่ส่งน้ำ เช่น ท่อเมน ท่อเมนย่อย และท่อย่อย

(4) ความดันที่เสียไปในอุปกรณ์ข้อต่อและเครื่องกรองต่างๆ ถ้าไม่รู้ค่าที่แน่นอนสามารถประมาณได้เท่ากับ 10% หรือ 1-2 เมตร เป็นต้น

(5) ความลาดชันของพื้นที่ก็เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่จะทำให้การใช้ความดันในระบบเปลี่ยนแปลง

## 2.7 รูปแบบการให้น้ำพืช

ระบบการให้น้ำที่ดีจะต้องสนองความต้องการน้ำของพืชได้อย่างเพียงพอ อีกทั้งยังต้องเป็นระบบที่เหมาะสมกับปัจจัยอื่นๆ ที่เป็นความสะดวกของผู้ใช้ระบบด้วย เช่น ชนิดของแหล่งน้ำ ข้อจำกัดของเครื่องสูบน้ำ เวลาในการให้น้ำ เป็นต้น ซึ่งในการเลือกระบบที่จะมาใช้กับพืชชนิดต่างๆ การให้น้ำแก่พืชอาจทำได้หลายวิธีการที่จะเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งจะต้องพิจารณาลักษณะของภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้ พืชที่จะปลูก วิธีการเพาะปลูก เงินทุน ตลอดจนน้ำต้นทุนที่จะนำมาให้แก่พืช โดยทั่วไปวิธีการให้น้ำ แบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆ ด้วยกันคือ การให้น้ำแบบฉีดฝอย (sprinkler irrigation) การให้น้ำทางผิวดิน (surface irrgation) การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (subsurface irrigation) และการให้น้ำแบบหยด (drip irrigation) โดยการให้น้ำแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

### 2.7.1 การให้น้ำแบบสปริงเกอร์ (Sprinkler Irrigation)

เป็นการให้น้ำแก่พืชโดยการฉีดน้ำจากหัวฉีดขึ้นไปในอากาศแล้วให้หยดน้ำตกลงมาเป็นฝอย โดยมีรูปทรงการแผ่กระกระจายของหยดน้ำสม่ำเสมอและอัตราของน้ำที่ตกลงบนผิวดินมีค่าน้อยกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ประสิทธิภาพในการให้น้ำของระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์อยู่ระหว่าง 75-85% ระบบแบบฉีดฝอยอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

(1) แบบติดตั้งอยู่กับที่ (permanent system)

(2) แบบเคลื่อนย้ายได้เพียงบางส่วน (semiportable system)

(3) แบบเคลื่อนย้ายได้ทั้งหมด (portable system)

**ข้อดีของการให้น้ำแบบสปริงเกอร์**

1) ลดการเสียพื้นที่จากการจัดทำระบบชลประทาน เช่น การขุดคูร่องน้ำลงได้

2) มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

3) ใช้น้ำเพื่อประโยชน์ทางการเกษตรหรืออื่นๆ ร่วมกันได้

4) ให้น้ำน้อยแต่บ่อยครั้ง เช่น การให้น้ำแก่พืชรากตื้นจะมีประโยชน์มาก

5) สามารถผ่วงการให้ปุ๋ยและสารเคมีอื่นๆ ร่วมไปกับระบบการให้น้ำแบบนี้ได้

**ข้อเสียของการให้น้ำแบบสปริงเกอร์**

1) ค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก และอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลและดำเนินการสูง

2) การเคลื่อนย้ายทำได้แต่ไม่สะดวก

3) มีผลทำให้การแพร่กระจายและแข่งขันของวัชพืชเกิดขึ้นได้มาก

4) การสูญเสียน้ำไปโดยการระเหยจะเกิดขึ้นได้มาก

### 2.7.2 การให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation)

การชลประทานแบบนี้ให้น้ำโดยการขังหรือปล่อยให้น้ำไหลไปบนผิวดินและซึมลงไปในดินตรงบริเวณที่มีรากพืช โดยที่ประสิทธิภาพในการให้น้ำโดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ระหว่าง 40-80% การให้น้ำทางผิวดินอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ด้วยกันคือ

(1) แบบให้น้ำท่วมผิวดินเป็นแปลงใหญ่ (flooding)

(2) แบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่องคู (furrow)

สำหรับวิธีการให้น้ำท่วมเป็นผืนใหญ่นั้น โดยปกติแล้วต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่าแบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่องคู ในแปลงปลูกที่ไม่มีความลาดเทจะต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่าแปลงปลูกที่มีความลาดเทเพราะแปลงที่ไม่มีความลาดเทน้ำจะไหลไปถึงจุดต่างๆ ในแปลงได้ช้า ดังนั้นจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูงเพื่อให้น้ำท่วมแผ่ไปทั้งแปลง หรือไหลจากหัวร่องไปถึงท้ายร่องอย่างรวดเร็ว การให้น้ำกับแปลงลาดเท ถ้าหากน้ำไหลไปถึงท้ายแปลงแล้วจะต้องลดอัตราการให้น้ำลง เพราะมิฉะนั้นน้ำจะไหลเลยท้ายแปลงออกไปทำให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์

**ข้อดีของการให้น้ำทางผิวดิน**

1) สามารถใช้ได้ดีกับดินและพืชเกือบทุกชนิด
2) มีความคล่องตัวสูง สามารถให้น้ำแก่พืชในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ไม่ได้ให้น้ำ เช่น อาจให้น้ำแก่พืช 10 วัน/ครั้ง โดยใช้เวลาให้น้ำเพียงวันเดียวหรือสองวัน
3) ถ้ามีน้ำอยู่แล้วจะให้น้ำแก่พืชเมื่อไรก็ได้ โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมืออื่น ๆ ฉะนั้นความเสียหายของพืชอันเนื่องมาจากจัดหาน้ำให้ไม่ทันจึงมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย
4) หากมีการออกแบบและให้น้ำที่เหมาะสม จะทำให้การให้น้ำแบบนี้มีประสิทธิภาพสูง

**ข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดิน**

1) พื้นที่ไม่ราบเรียบและลาดเทไม่สม่ำเสมอจะไม่เหมาะสมกับการให้น้ำแบบนี้
2) อาจเกิดการกัดเซาะแปลงขึ้นหากพื้นที่มีความลาดเทมาก
3) คันดินและคูน้ำอาจเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร
4) ส่วนมากต้องการความรู้และแรงงานในการให้น้ำแบบนี้ค่อนข้างสูง

**2.7.3 การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation)**

การชลประทานแบบนี้เป็นการให้น้ำโดยการยกระดับน้ำใต้ดินให้ขึ้นมาอยู่ในระดับที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่เขตรากได้ วิธีการเพิ่มระดับน้ำใต้ดินอาจทำได้ 2 แบบ คือ

(1) โดยการให้น้ำในคู
(2) โดยการให้น้ำในท่อซึ่งฝังไว้ใต้ดิน

ความลึกของระดับน้ำใต้ดินขณะให้น้ำจะอยู่ระหว่าง 30-60 ซม. แต่โดยทั่วไปแล้วการให้น้ำแบบทางใต้ผิวดินไม่ค่อยนิยมเพราะมีข้อจำกัดมาก ประสิทธิภาพในการให้น้ำจะมีค่าระหว่าง 30-50% แต่บางแห่งมีโอกาสสูงถึง 70-80% ได้ถ้าหากพื้นที่มีความเหมาะสม การให้น้ำทางใต้ผิวดินเหมาะสมที่จะใช้กับดินที่มีเนื้อดินชนิดเดียวกันและการดูดซึมน้ำพอที่จะปล่อยให้น้ำไหลลงไปในดินได้เร็วทั้งด้านข้างและแนวดิ่ง น้ำจะลงไปภายในระดับความลึกพอสมควรใต้เขตรากพืช ชั้นดินก็จะต้องมีวัตถุรองรับเพื่อมิให้เกิดการสูญเสียโดยการไหลลึกลงไปในดินในจำนวนที่มากเกินไป โดยมีชั้นที่น้ำเกือบจะผ่านลงไปไม่ได้ในดินชั้นล่าง หรือโดยมีระดับน้ำใต้ดินสูงซึ่งจะทำให้สามารถรักษาระดับน้ำที่เข้าไปใต้ดินได้ตลอดฤดูปลูก การให้น้ำทางใต้ผิวดินเหมาะสมที่จะใช้กับพืชผัก พืชไร่ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสตว์ พืชอาหารสัตว์ และสวนไม้ประดับ

**ข้อดีของการให้น้ำทางใต้ผิวดิน**

1) สามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินสูง แต่เก็บน้ำไว้ได้น้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการให้น้ำทางผิวดิน
2) สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่อายุได้
3) มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยน้อยมาก
4) การแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชเนื่องจากถูกน้ำพัดพาไปน้อย
5) ระบบการให้น้ำทางดินอาจใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย

**ข้อเสียของการให้น้ำทางใต้ผิวดิน**

1) เนื่องจากวิธีนี้ต้องการให้มีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ในเขตรากและดินจะต้องมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงใช้ได้กับพื้นที่เพียงบางส่วน
2) โดยปกติแล้วพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียงจะต้องให้น้ำวิธีนี้เหมือนกัน มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำได้
3) น้ำชลประทานต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินและในเขตรากขึ้นได้
4) สามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด พืชที่มีรากลึก เช่น พืชสวน และพืชยืนต้นไม่เหมาะที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้

**2.7.4 การให้น้ำแบบหยด (Drip Irrigation)**

เป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายๆ จุดบนผิวดินหรือในเขตราก โดยอัตราที่ให้นั้นไม่มากพอที่จะทำให้ดินในเขตรากอิ่มน้ำเป็นบริเวณกว้าง โดยปกติแล้วผิวดินจะเปียกแต่เฉพาะตรงจุดที่ให้น้ำเท่านั้น การชลประทานแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงมาก เนื่องจากมีการสูญเสียโดยการระเหยน้อย ดังนั้นผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้จึงมากกว่าการชลประทานแบบอื่นๆ สามารถที่จะนำไปใช้กับการปลูกพืชแทบทุกชนิด ทั้งไม้ยืนต้น พืชผัก พืชไร่ และไม้ดอกไม้ประดับ

**ข้อดีของการให้น้ำแบบหยด**

1) สามารถใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถรักษาระดับความชื้นในดินรอบต้นพืชให้อยู่ในเกณฑ์พอเหมาะตลอดเวลา
2) ประหยัดแรงงาน ใช้กำลังคนในการจัดการน้อย
3) สามารถป้องกันและควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืชได้ เพราะน้ำหยดเป็นบริเวณเฉพาะทำให้โรคและแมลงศัตรูพืชระบาดได้น้อย
4) ป้องกันการสะสมเกลือ ใช้ได้ผลดีมากในบริเวณที่เป็นดินเค็ม เพราะน้ำที่หยดลงไปในดินจะไปทำให้เกลือในบริเวณที่น้ำหยดเจือจางลงไปมาก
5) เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ย เพราะปุ๋ยที่ให้บริเวณโคนต้น สามารถละลายน้ำให้พืชดูดไปใช้ได้อย่างเต็มที่

**ข้อเสียและปัญหาการให้น้ำแบบหยด**

1) เกิดการอุดตันที่หัวปล่อยได้ง่าย หากการกรองน้ำทำได้ไม่ดีพอ

2) สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูงในครั้งแรก

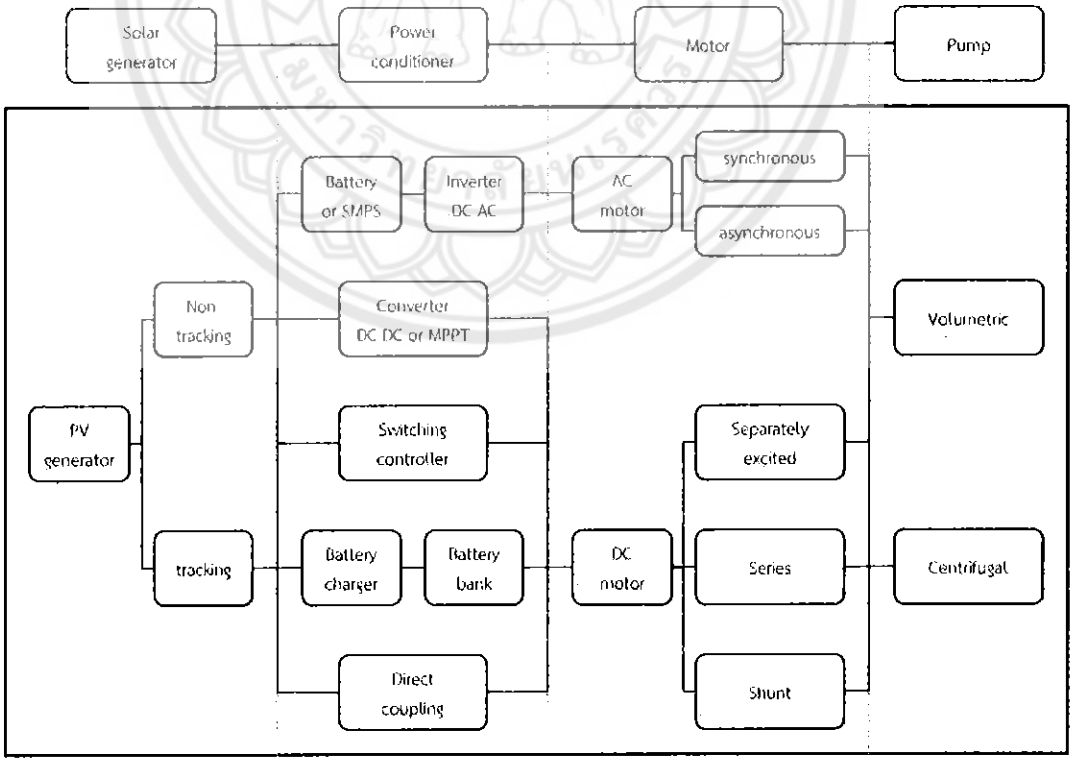
3) จำกัดการเจริญของรากพืชให้อยู่หนาแน่นเฉพาะบริเวณที่เปียกน้ำ

## 2.8 ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในการทำการเกษตรนั้นจะใช้ข้อมูลพื้นฐานในการทำการเกษตร เพื่อให้ระบบที่ได้มีความเหมาะสมกับความต้องการในการเพาะปลูก โดยระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะทำการสูบน้ำมาเก็บน้ำขึ้นมาไว้บนแทงค์น้ำเพื่อกระจายน้ำไปใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ ทำให้ชุมชนมีน้ำใช้ในการทำการเกษตรได้ตลอดทั้งปี ทำให้เกิดกิจกรรมที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร เช่น การปลูกพืชผัก การเลี้ยงสัตว์ การทำนา และการทำการเกษตรอื่นๆ เพื่อการดำรงชีวิตและเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ครัวเรือน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งส่วนประกอบและรูปแบบการทำงานของระบบมีดังต่อไปนี้

### 2.8.1 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

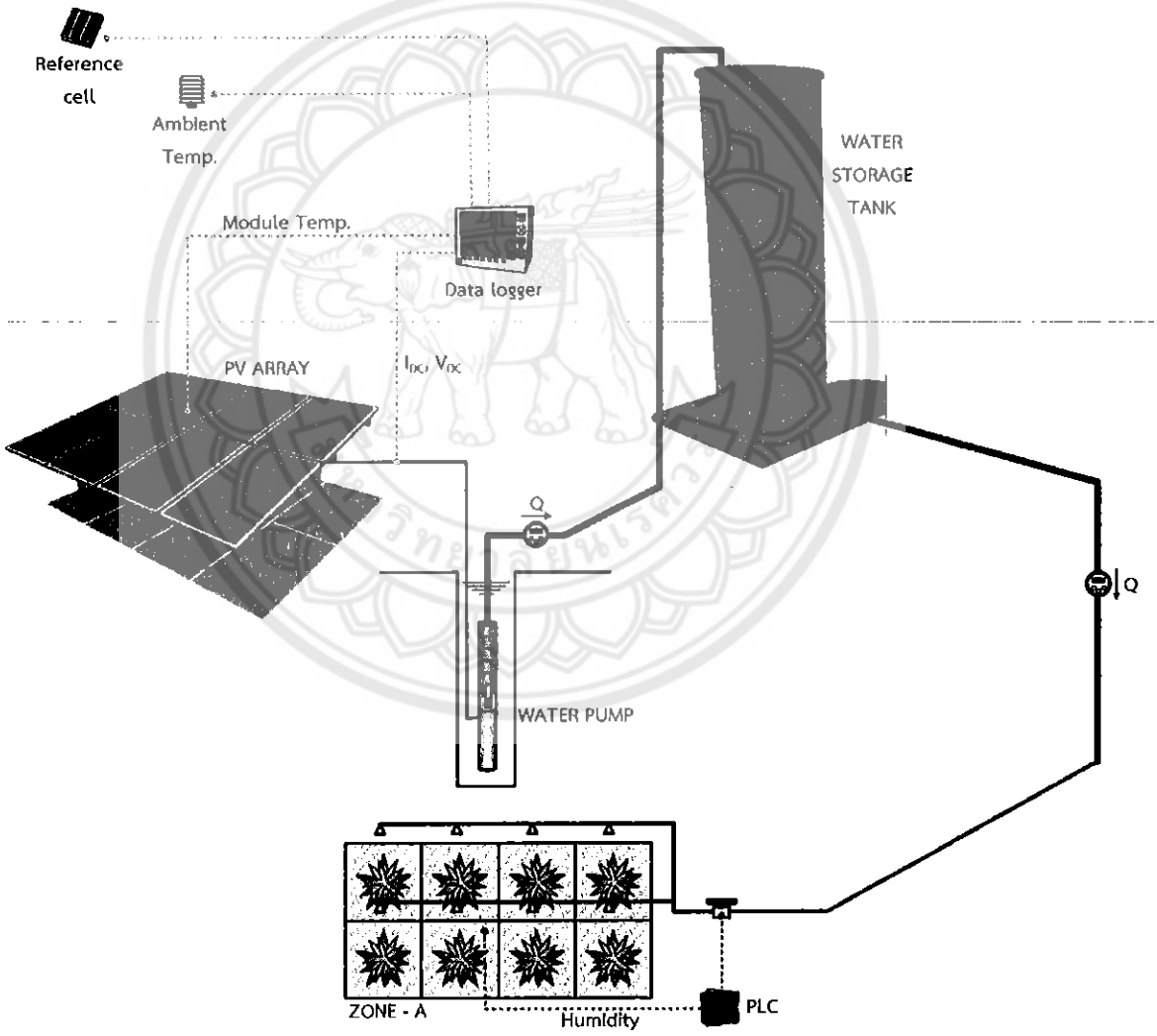
การออกแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมกับพืชและรูปแบบการให้น้ำแต่ละชนิด มีส่วนประกอบหลักของระบบจะประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) ระบบควบคุมทางไฟฟ้า (Controller) ปั๊มสูบน้ำ (Motor Pump) ถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) และระบบควบคุมการส่งจ่ายน้ำแบบอัตโนมัติ โดยรายละเอียดส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 12




รูปที่ 12 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

### 2.8.2 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ

ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายพลังงานให้กับระบบปั๊มสูบน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มไฟฟ้ากระแสตรง โดยหลักการทำงานของระบบที่ออกแบบ คือ ในตอนกลางวันเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปต่อกับชุดควบคุมเพื่อใช้งานในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ กระแสไฟฟ้าจะวิ่งเข้าสู่ชุดควบคุมและชุดควบคุมจะควบคุมการทำงานของชุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำให้ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำที่สามารถสูบได้จะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำ ซึ่งน้ำดังกล่าวจะถูกส่งจ่ายไปตามแปลงเพาะปลูกพืชที่เตรียมไว้ โดยมีการควบคุมปริมาณการให้น้ำและระยะเวลาในการจ่ายน้ำตามชนิดของพืชที่ทำการเพาะปลูก และถังเก็บน้ำทุกถังจะมีการติดตั้งลูกลอยไว้เพื่อให้มีการตัดการจ่ายน้ำอัตโนมัติเมื่อน้ำเต็มถังเก็บ โดยรูปแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 13




รูปที่ 13 รูปแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์ และคณะ [9] ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) เพื่อทำการติดตั้งและปรับปรุงระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 50 ระบบ (53 kWp) โดยจำแนกออกเป็นระบบซึ่งออกแบบและติดตั้งใหม่ 12 ระบบ และปรับปรุงระบบเดิมซึ่งอยู่ในโครงการอีสานเขียว 38 ระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้ประจำหมู่บ้าน โดยการติดตั้งระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับน้ำใช้ในหมู่บ้าน ซึ่งเป็นปัญหาเร่งด่วนในปัจจุบันของรัฐบาล และเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานด้วยกรใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบสูบน้ำ โดยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและปรับปรุงระบบ ทางสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานให้ทุนสนับสนุนในอัตราร้อยละ 40 และทางองค์การบริหารส่วนตำบลสมทบอีกร้อยละ 60 เพื่อให้องค์การบริหารส่วนตำบลและประชาชนมีส่วนร่วมเป็นเจ้าของระบบตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงการดูแลรักษา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการดำเนินโครงการระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ภาครัฐให้การสนับสนุนในการติดตั้งและปรับปรุงระบบและให้ทางองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) เป็นผู้ดูแลนั้น จะประสบผลสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อผู้ดำเนินโครงการสามารถแก้ปัญหาทางด้านเทคนิค และปัญหาทางด้านการบริหารจัดการ ซึ่งเป็นสองปัญหาหลักในการดำเนินโครงการ ปัญหาเหล่านี้จะหมดไปได้ก็ต่อเมื่อทาง อบต. มีความรู้ความเข้าใจในตัวเทคโนโลยีและการดูลักษาระบบและการบริหารจัดการที่ดี

กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทยและโครงการอีสานเขียว (ศชร.) [6] ได้ติดตั้งระบบให้แก่หมู่บ้านที่มีแหล่งน้ำแต่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ หรือเป็นหมู่บ้านที่มีไฟฟ้าใช้แล้ว แต่มีแหล่งน้ำอยู่ห่างจากระบบจ่ายกระแสไฟฟ้า ทำการติดตั้งไปแล้วทั้งสิ้นประมาณ 1000 ระบบ ทั่วประเทศ โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละระบบมีขนาดประมาณ 700 วัตต์ ซึ่งมีความสามารถในการสูบน้ำได้มากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน การออกแบบระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดและชนิดของมอเตอร์และปั๊มน้ำที่สามารถสูบน้ำได้ตามต้องการ มีขนาดระบบที่เหมาะสมและราคาต่ำ โดยวัตถุประสงค์ของการสูบน้ำต้องชัดเจนว่าเป็นการสูบน้ำเพื่อการชลประทาน การอุปโภคในหมู่บ้านหรือสำหรับการปศุสัตว์ ซึ่งระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาโดยกรมโยธาธิการ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำของประชาชนในหมู่บ้านและเป็นการยกระดับความเป็นอยู่ โดยรวมของคนในหมู่บ้านระบบถูกออกแบบให้สูบน้ำได้ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีจำนวนผู้ใช้น้ำทั้งสิ้น 50 ครัวเรือน จากจำนวนทั้งหมด 200 ครัวเรือน ปั๊มน้ำจะสูบน้ำจากแหล่งน้ำซึ่งเป็นบ่อเปิดขนาดประมาณ 70x70 เมตร ระดับความลึกของน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1 เมตร ถึง 3.5 เมตร ส่งไปยังถังน้ำซึ่งติดตั้งอยู่ 2 จุดกลางหมู่บ้าน ซึ่งน้ำที่สูบได้ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้เพื่อการอุปโภคเพียงอย่างเดียว โดยระบบระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีอุปกรณ์ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังผลิตรวม 880 วัตต์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) และปั๊มน้ำ Grundfos ขนาด 550 วัตต์

ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [7] ได้ออกแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ทำกินทางการเกษตรที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับแหล่งน้ำธรรมชาติแบบต่างๆ แต่เนื่องจากระบบสูบน้ำที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นระบบที่มีเงินลงทุนสูง การที่จะส่งเสริมให้เกษตรกรเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการเกษตรจึงเป็นไปได้ยาก นอกเสียจากจะสามารถแสดงให้เห็นความเป็นไปได้และการคืนทุนที่ชัดเจน

และต้องสาธิตการใช้งานให้เห็นจริง ซึ่งกรอบแนวคิดในการออกแบบคือระบบสูบน้ำดังกล่าวจะต้องสามารถสูบน้ำได้เพียงพอกับปริมาณความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ รวมถึงมีระบบการทำงานที่ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการออกแบบจะมีระบบการกักเก็บพลังงานเพื่อให้ระบบสามารถจ่ายน้ำให้แก่พืชได้ โดยเฉพาะในเวลาที่มีแสงอาทิตย์น้อยหรือไม่มีเลย โดยรูปแบบระบบสะสมพลังงานออกแบบไว้มี 3 แบบ คือ การกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แบตเตอรี่, การกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความสูงของน้ำโดยอาศัยการติดตั้งถังน้ำสูงและการกักเก็บพลังงานจากทั้งสองวิธีแบบควบคู่กัน ซึ่งระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสูบน้ำเพื่อพื้นที่ทำกินทางการเกษตรที่ออกแบบมี 8 ระบบ จากการทดสอบพบว่า หากระบบมีสมรรถนะเฉลี่ยต่ำกว่า 9,000 ลิตร/HP/วัน ถือว่ามีสมรรถนะต่ำที่สุด หากระบบมีสมรรถนะเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 9,000 – 15,000 ลิตร/HP/วัน ถือว่ามีระบบมีสมรรถนะในระดับต่ำ หากระบบมีสมรรถนะเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 16,000 – 19,000 ลิตร/HP/วัน ถือว่ามีสมรรถนะในระดับปานกลาง หากระบบมีสมรรถนะเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20,000 – 30,000 ลิตร/HP/วัน ถือว่ามีสมรรถนะในระดับสูง และหากระบบมีสมรรถนะเฉลี่ยมากกว่า 31,000 ลิตร/วัน ถือว่ามีระบบมีสมรรถนะสูงสุด โดยประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยของปั๊ม หากระบบมีประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยระหว่าง 50%-52% ถือว่าระบบมีประสิทธิภาพต่ำ หากระบบมีประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 54%-56% ถือว่าระบบมีประสิทธิภาพในระดับปานกลาง และหากระบบประสิทธิภาพรวมเฉลี่ยมากกว่านั้น ถือว่าระบบมีประสิทธิภาพในระดับสูง

นายสิริชัย ทองเสงี่ยม และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังแสงอาทิตย์โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ชำรุดแล้วรวมถึงแบตเตอรี่เก่ามาซ่อมเพื่อให้ใช้งานได้อีกครั้ง จากการพัฒนาสามารถทำให้ ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่อยู่ที่ 80-90% เมื่อเปรียบเทียบกับของใหม่ ขนาดปั๊มน้ำที่เหมาะสมนำมาใช้ คือ ปั๊มน้ำ DC-24V แบบจุ่ม เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถสูบน้ำได้ในอัตราสูงสุด 3.15 ลิตรต่อวินาที โดยที่อัตราการไหลจะแปรผกผันตามเวลาและมีระยะเวลาในการสูบเพียง 4 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามหากชาร์ตไฟจากเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมกับสูบน้ำสามารถสูบน้ำได้ตลอดเวลาโดยปริมาณน้ำที่ได้จากการสูบจะคงที่ที่ 1.5 ลิตรต่อวินาที

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์ และคณะ [9] ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) เพื่อทำการติดตั้งและปรับปรุงระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 50 ระบบ (53 kWp) โดยจำแนกออกเป็นระบบซึ่งออกแบบและติดตั้งใหม่ 12 ระบบ และปรับปรุงระบบเดิมซึ่งอยู่ในโครงการอีสานเขียว 38 ระบบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้ประจำหมู่บ้าน โดยการติดตั้งระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับน้ำใช้ในหมู่บ้าน ซึ่งเป็นปัญหาเร่งด่วนในปัจจุบันของรัฐบาล และเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานด้วยกรใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบสูบน้ำ โดยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและปรับปรุงระบบ ทางสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานให้ทุนสนับสนุนในอัตราร้อยละ 40 และทางองค์การบริหารส่วนตำบลสมทบอีกร้อยละ 60 เพื่อให้องค์การบริหารส่วนตำบลและประชาชนมีส่วนร่วมเป็นเจ้าของระบบตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงการดูแลรักษา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการดำเนินโครงการระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ภาครัฐให้การสนับสนุนในการติดตั้งและปรับปรุงระบบและให้ทางองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) เป็นผู้ดูแลนั้น จะประสบผลสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อผู้ดำเนินโครงการสามารถแก้ปัญหาทางด้านเทคนิค และปัญหาทางด้านการบริหารจัดการ ซึ่งเป็นสองปัญหาหลักในการดำเนินโครงการ ปัญหาเหล่านี้จะหมดไปได้ก็ต่อเมื่อทาง อบต. มีความรู้ความเข้าใจในตัวเทคโนโลยีและการดูลักษาระบบละการบริหารจัดการที่ดี

# บทที่ 3

# ระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัย

## 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในส่วนของการทำการเกษตรรูปแบบต่างๆ การบริหารจัดการน้ำ ความต้องการการใช้น้ำของพืช วงรอบในการเพาะปลูกพืช ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการทำการเกษตร รูปแบบระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตรและระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตรแบบผสมผสาน

2. ทำการออกแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรและจัดเตรียม จัดหาจัดซื้ออุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ รวมถึงระบบตรวจวัดข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ เพื่อการประเมินผลระบบหลังการติดตั้งใช้งาน

3. ดำเนินการติดตั้งระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน เพื่อสาธิตและทดสอบการใช้งานจริง

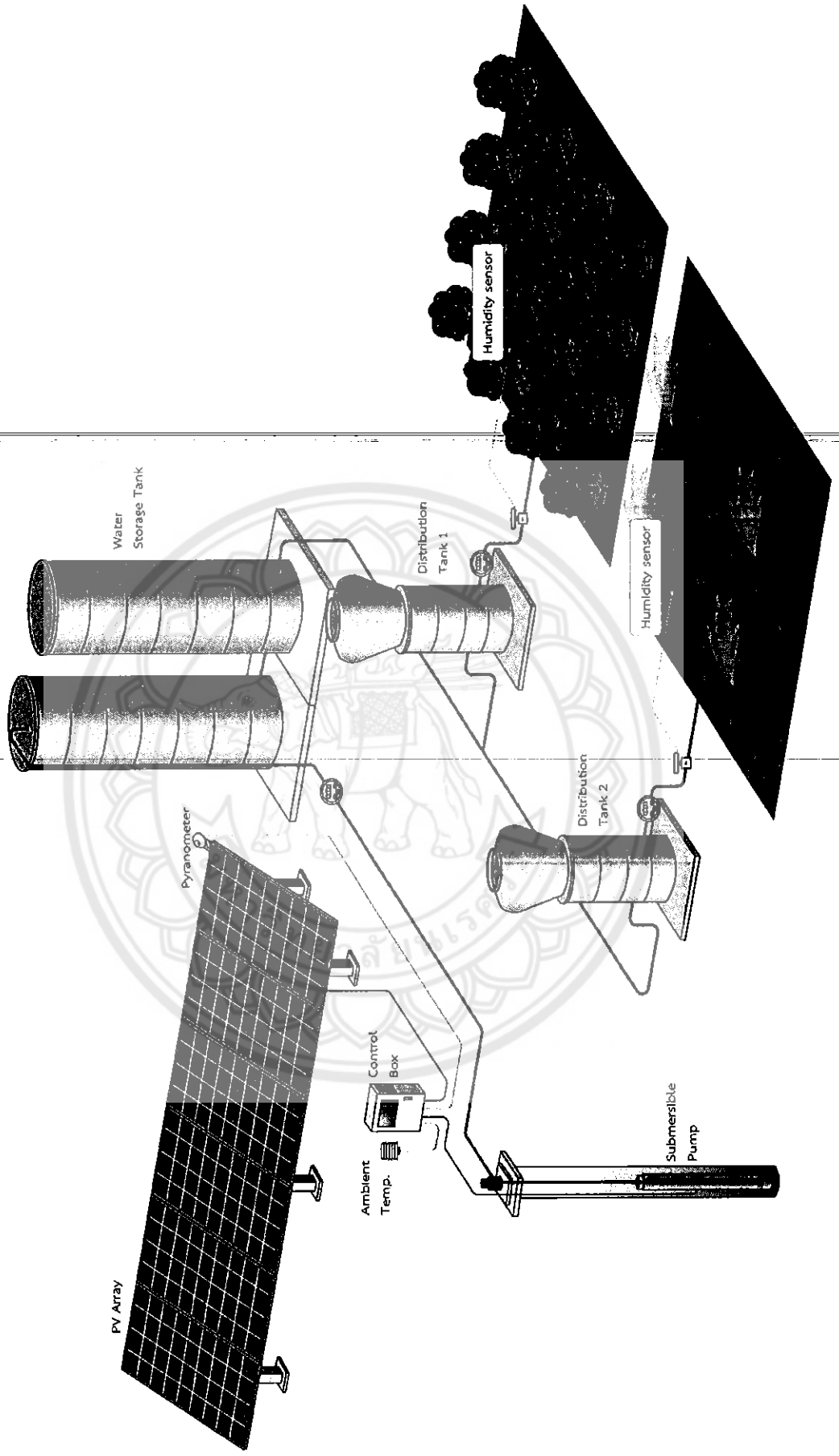
4. ทดสอบการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ดำเนินการตรวจวัดและเก็บข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ เพื่อการวิเคราะห์และประเมินผลระบบทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

5. สรุปผลการศึกษาและเผยแพร่ผลงานวิจัย

6. จัดทำรายงานโครงการวิจัย

## 3.2 รายละเอียดในการออกแบบระบบ

การออกแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรเป็นการออกแบบระบบที่สามารถสูบน้ำได้ทั้งจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน สามารถควบคุมการให้น้ำพืชและปริมาณน้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานในการทำการเกษตรของของเกษตรกรในการควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อให้เหมาะสมกับพืชที่เกษตรกรทำการเพาะปลูกมากที่สุดและลดการสูญเสียน้ำโดยไม่จำเป็นอีกด้วย โดยระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายพลังงานให้กับระบบปั๊มสูบน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งในตอนกลางวันเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับชุดควบคุมเพื่อใช้งานในการควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำ กระแสไฟฟ้าจะวิ่งเข้าสู่ชุดควบคุมและชุดควบคุมจะควบคุมการทำงานของขุดมอเตอร์และเครื่องสูบน้ำให้ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ ปริมาณน้ำที่สามารถสูบได้จะถูกส่งไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำหรือสระน้ำที่ได้ขุดเตรียมไว้ ซึ่งน้ำดังกล่าวจะถูกส่งไปยังถังเก็บน้ำย่อยที่ติดตั้งไว้ตามแปลงเพาะปลูกพืชที่เตรียมไว้ โดยถังเก็บน้ำทุกถังจะมีการติดตั้งลูกลอยไว้เพื่อให้มีการตัดการจ่ายน้ำอัตโนมัติเมื่อน้ำเต็มถังเก็บ และท่อน้ำออกติดตั้งวาร์วน้ำอัตโนมัติซึ่งควบคุมการเปิด-ปิดโดยใช้ PLC (Programmable logic Control) ในการควบคุมการทำงานโดยใช้ระยะเวลาและค่าความชื้นของดินเป็นตัวแปรในการควบคุมการให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติ ซึ่งรูปแบบของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรมีรายละเอียดดังรูปที่ 14




รูปที่ 14 รูปแบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร

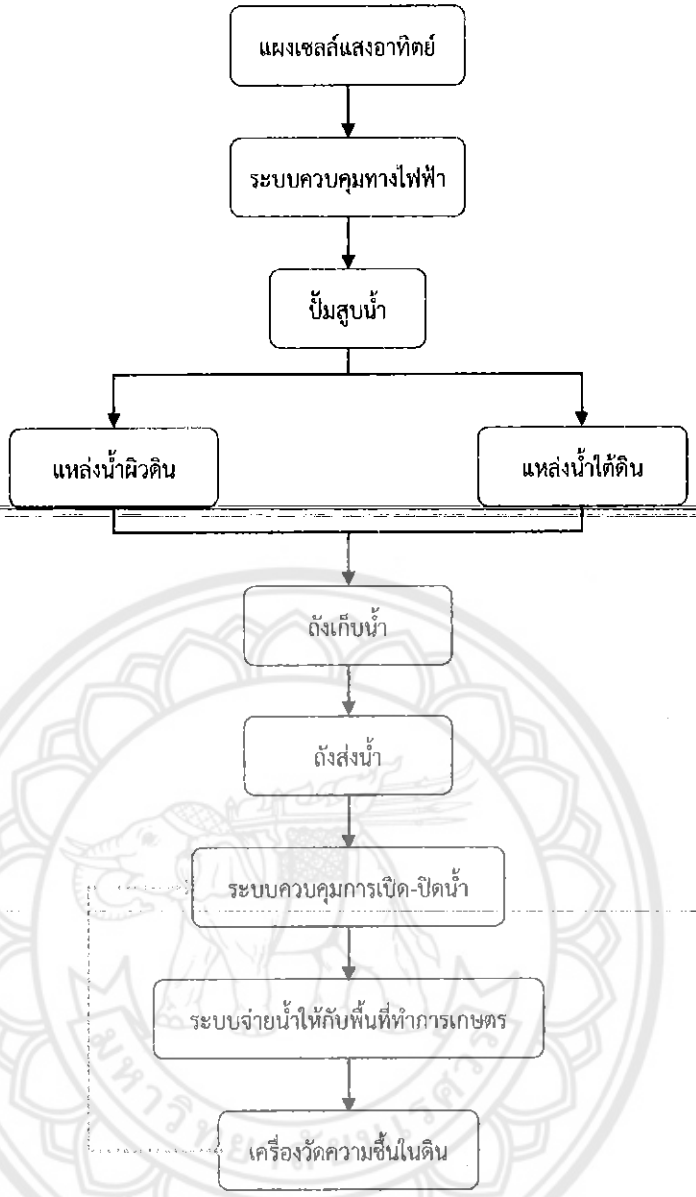
### 3.3 พื้นที่ในการติดตั้งระบบ

การติดตั้งระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ได้ทำการติดตั้งระบบ ณ กลุ่มชุมชนเครือข่ายออมดินบ้านบุอ้อย ตั้งอยู่ที่ หมู่ 11 ต.ชีวึก อ.ขามสะแก จ.นครราชสีมา ซึ่งเป็นกลุ่มชุมชนที่ประสบปัญหาความแห้งแล้งและขาดแคลนน้ำในการทำการเกษตร โดยได้มีการแบ่งพื้นที่ทำการเพาะปลูกพืชที่หลากหลาย พื้นที่ดังกล่าวใช้น้ำจากสระที่เก็บน้ำฝนไว้ใช้ในการทำการเกษตรและมีการใช้บาดาลในบางส่วน แต่ต้องใช้ปั๊มน้ำและเสียค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในการสูบน้ำมาก ส่งผลให้ต้นทุนในการทำการเกษตรสูง ซึ่งในปี 2558 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้ให้ทุนสนับสนุนกับวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการดำเนินการโครงการระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตรกรรมระดับชุมชนและสหกรณ์การเกษตร ในการนี้ทางวิทยาลัยพลังงานทดแทนจึงได้ติดตั้งระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรในพื้นที่ดังกล่าว เพื่อให้เกษตรกรได้ทำการทดสอบและใช้งานจริง ซึ่งรายละเอียดอุปกรณ์ระบบสูบน้ำอัจฉริยะเพื่อการเกษตรแสดงดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** รายละเอียดและส่วนประกอบของระบบสูบน้ำอัจฉริยะเพื่อการเกษตร

| ลำดับ | รายการ | จำนวน | หน่วย |
|---|---|---|---|
| 1 | แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังผลิตรวมไม่น้อยกว่า 2.44 kW | 1 | ระบบ |
| 2 | เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าแบบมอเตอร์จมใต้น้ำ (Submersible Pump) สามารถสูบที่อัตราการไหลไม่น้อยกว่า 120.0 ลบ.ม./วัน ที่มีกำลังในการส่งน้ำไม่น้อยกว่า 30 ม. | 1 | เครื่อง |
| 3 | ชุดควบคุมและแสดงการทำงานของระบบฯ | 1 | ชุด |
| 4 | ชุดควบคุมการเปิด – ปิดน้ำ (Programmable logic Control : PLC) | 1 | ชุด |
| 5 | โซลินอยด์วาล์ว DC 12V | 1 | ชุด |
| 6 | งานติดตั้งชุดให้น้ำพืช | 1 | ชุด |
| 7 | เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) | 1 | ชุด |
| 8 | ถังเก็บน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด Ø2.50 x 6.00 ม. | 2 | ถัง |
| 9 | ถังจ่ายน้ำขนาดความจุ 1.5 ลบ.ม. ความสูง 3.00 เมตร | 2 | ถัง |
| 10 | เครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกข้อมูล | 1 | ระบบ |

ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร มีส่วนประกอบหลักของระบบจะประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) ระบบควบคุมทางไฟฟ้า (Controller) ปั๊มสูบน้ำ (Motor Pump) ถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) ถังส่งน้ำ (Distribution Tank) และชุดควบคุมการ เปิด – ปิดน้ำ (Programmable logic Control : PLC) ซึ่งเปิด-ปิด ระบบให้น้ำโดยวัดค่าความชื้นของดิน โดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) รายละเอียดส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 15




รูปที่ 15 ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร

### 3.4 รายละเอียดส่วนประกอบของระบบฯ

ส่วนประกอบหลักของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรมีรายละเอียดส่วนประกอบดังนี้

#### 3.4.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด Multicrystalline silicon solar module ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 2.44 kW โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 305 วัตต์ จำนวน 8 แผง ติดตั้งบนโครงสร้างเหล็กชุปกัลป์วาไนส์เพื่อกันสนิมและยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับโครงด้วยน็อตสแตนเลส โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมเอียงกับแนวระนาบประมาณ 16 องศา หันไปทางทิศใต้ แสดงดังรูปที่ 16

102660
สำนักหอสมุด
1 ส.ค. 2562
จ TJ
811
ข๒๖๘
2561

รูปที่ 16 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมโครงสร้างรับแผง

**3.4.2 เครื่องสูบน้ำ (Motor Pump)**

เนื่องจากพื้นที่ติดตั้งระบบมีแหล่งน้ำใต้ดิน เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งจึงใช้เป็นเครื่องสูบน้ำชนิด Submersible มอเตอร์กระแสตรงออกแบบมาเฉพาะเพื่อให้ใช้กับพลังงานทดแทนโดยเฉพาะ สามารถใช้งานได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับได้ ปั๊มมีกำลังขนาด 1,400 วัตต์ (1.8 HP) ความเร็วรอบสูงสุด 3,600 รอบ/นาที ดังรูปที่ 17

รูปที่ 17 เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าชนิด Submersible

### 3.4.3 ถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank)

ถังเก็บน้ำทำจากคอนกรีตเสริมเหล็กแบบเทหล่อในที่ฉาบเรียบไม่มีรอยต่อ ขนาดความจุไม่น้อยกว่า 20 ลบ.ม จำนวน 2 ถัง เพื่อใช้เป็นถังเก็บสำรองน้ำในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถทำงานได้ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เมตรความสูง 6.00 เมตร เพื่อให้แรงดันน้ำได้เพียงพอที่จะดันน้ำไปที่ถังส่งน้ำได้ พร้อมทั้งมีบันไดเหล็กพร้อมราวกันตกอยู่บนถังเพื่อความปลอดภัย

รูปที่ 18 ถังเก็บน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก

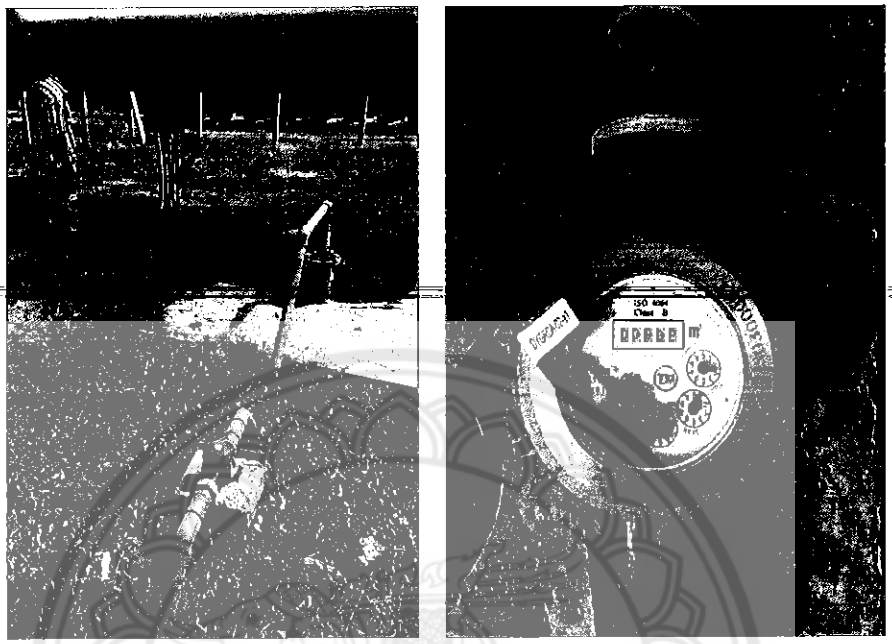
### 3.4.4 ถังส่งน้ำ (Distribution Tank)

ถังส่งน้ำมีความจุขนาด 1,400 ลิตร ยกสูงจากพื้น 3.00 ม. เพื่อให้ได้แรงดันน้ำเพียงพอที่จ่ายให้กับพื้นที่ในการทำการเกษตร ดังรูปที่ 19

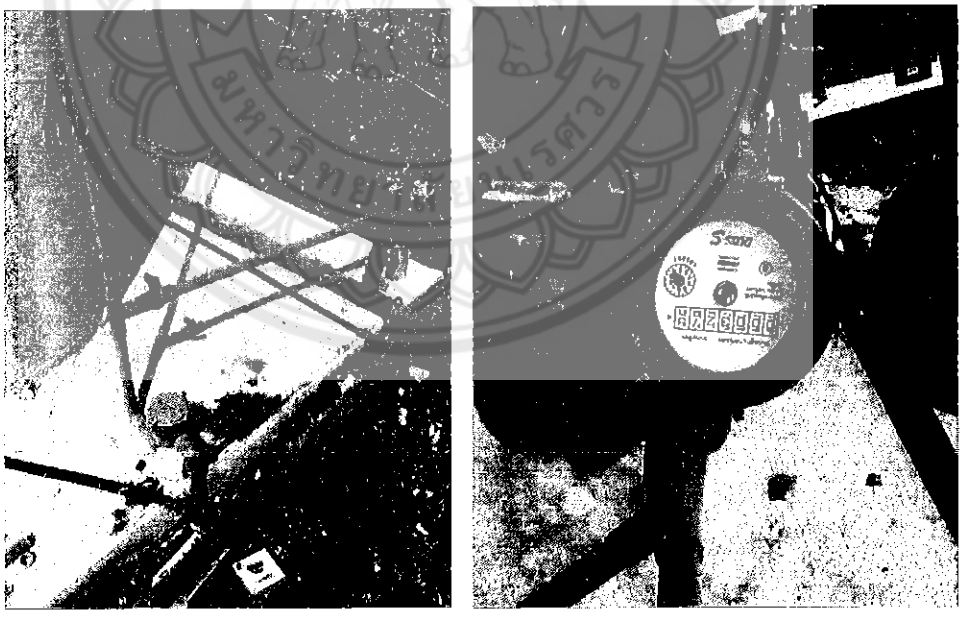
รูปที่ 19 ถังส่งน้ำขนาด 1,400 ลิตร

### 3.4.5 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำ

การตรวจวัดปริมาณน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจวัดปริมาณน้ำที่ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สูบขึ้นมาจากแหล่งน้ำ และส่วนที่ 2 คือการตรวจวัดปริมาณน้ำที่ใช้เพาะปลูก โดยการตรวจวัดค่าอัตราการไหลของน้ำและปริมาณน้ำจะใช้มาตรวัดน้ำที่ได้มาตรฐาน ดังรูปที่ 20



(A) เครื่องวัดอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่ปั๊มน้ำสูบได้

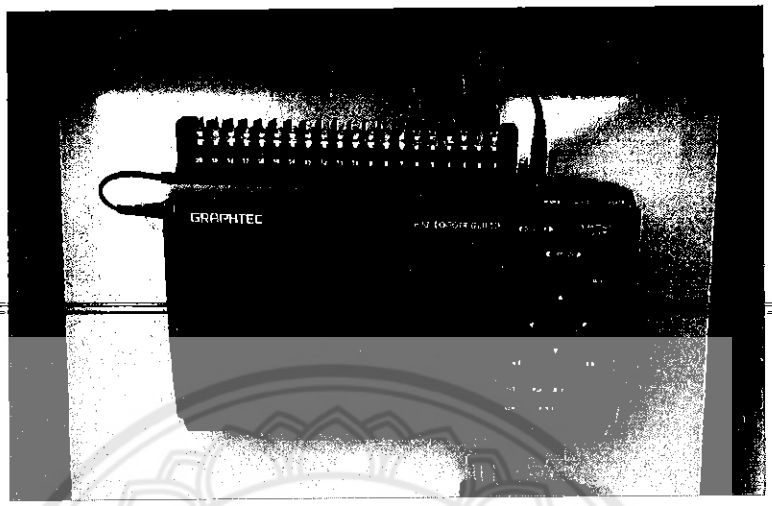


(B) เครื่องวัดอัตราการไหลและปริมาณน้ำที่จ่ายให้กับพืช

รูปที่ 20 อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำ

### 3.4.6 อุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

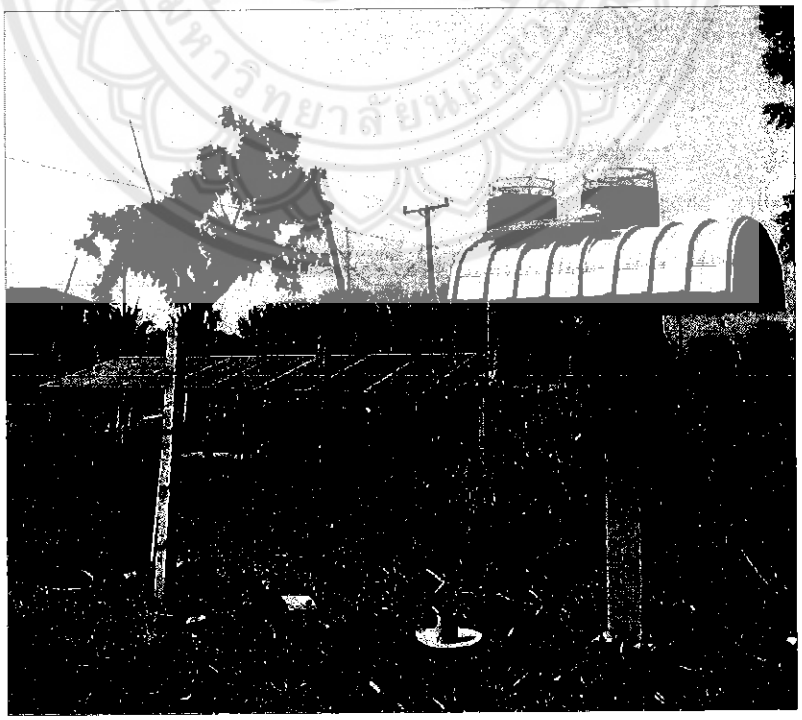
การตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และปริมาณกระแสไฟฟ้า (I) ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหากำลังของไฟฟ้า (P) ที่ระบบผลิตได้ โดยข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าที่ตรวจวัดจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ (Data Logger) ดังรูปที่ 20




รูปที่ 21 เครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ

### 3.4.7 อุปกรณ์ตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ

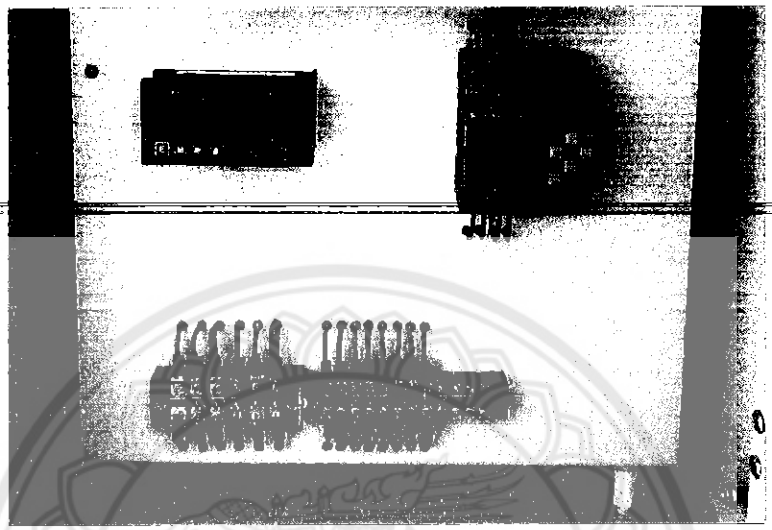
ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใช้อุปกรณ์วัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (ไพรานอร์มิเตอร์) ในการตรวจวัดและการวัดค่าอุณหภูมิจะติดตั้งหัววัดอยู่บริเวณพื้นที่ที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

### 3.4.8 อุปกรณ์ควบคุมจ่ายน้ำ

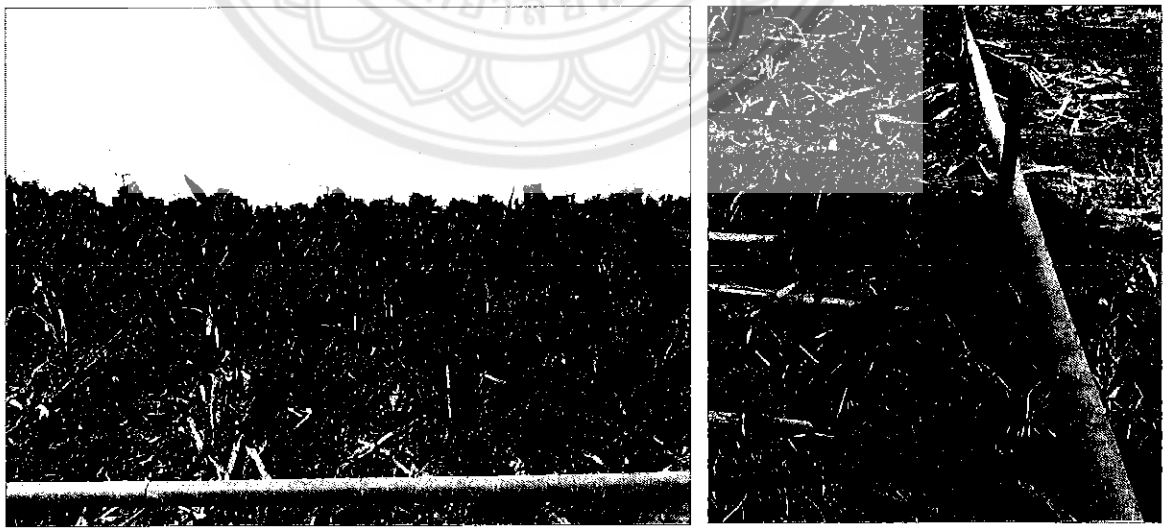
การควบคุมการเปิดปิดน้ำจะใช้การควบคุมอยู่ 2 ส่วน คือ การควบคุมโดยการตั้งเวลาเปิด-ปิดน้ำ และอีกส่วนหนึ่งคือการควบคุมโดยใช้โปรแกรมเปิด – ปิด โดยใช้ PLC (Programmable logic Control) ควบคุมการทำงาน ซึ่งระบบจะทำการตรวจจับค่าความชื้นของดิน โดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่เพาะปลูกเพื่อให้ค่าความชื้นของดินเหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชมากที่สุด โดยอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายน้ำแสดงดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 อุปกรณ์ควบคุมการจ่ายน้ำ

### 3.4.9 ระบบให้น้ำพืช

ระบบให้น้ำพืชในการเพาะปลูกเป็นระบบแบบน้ำหยด ซึ่งเกษตรกรทำการเพาะปลูกข้าวโพดในพื้นที่ขนาด 1 งาน โดยใช้เทปน้ำหนดหนา 0.30 มม. ระยะรูห่างกันไม่น้อยกว่า 20 ซม. ดังรูปที่ 24



รูปที่ 24 ระบบให้น้ำพืชแบบน้ำหยด

# บทที่ 4

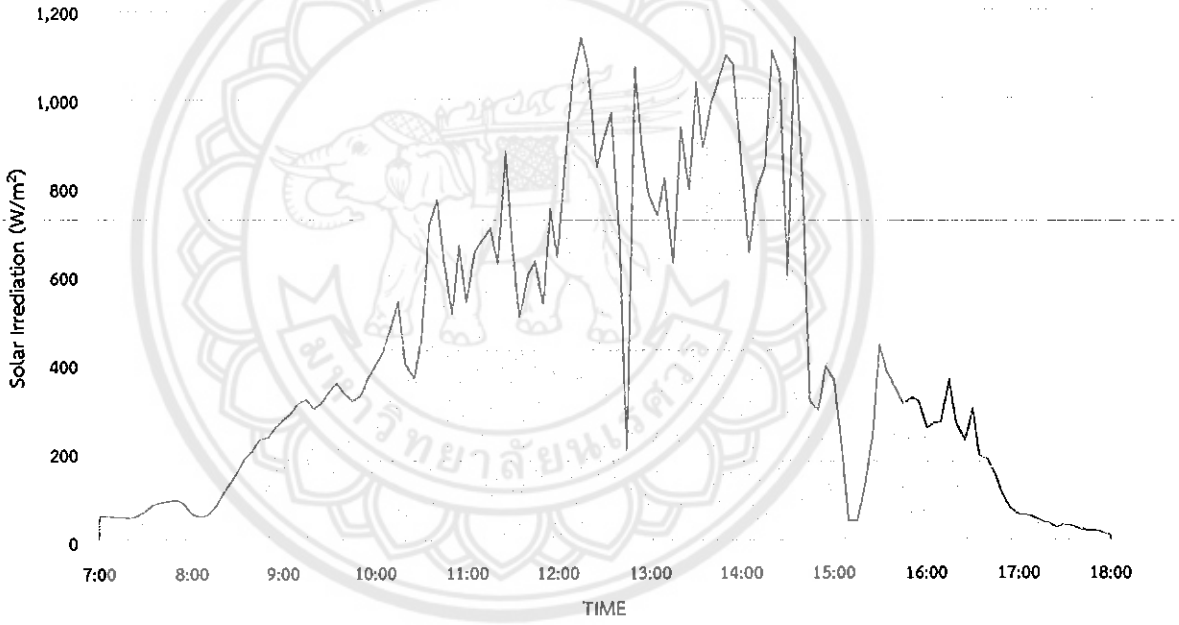
# ผลการวิจัย

เมื่อทำการติดตั้งระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรแล้วเสร็จ จึงทำการเก็บข้อมูลการใช้งานระบบ ตั้งแต่วันที่ 1-31 พฤษภาคม 2560 โดยมีรายละเอียดผลการเก็บข้อมูลการดังนี้

## 4.1 ผลการเก็บข้อมูลการใช้งานระบบ

### 4.1.1 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

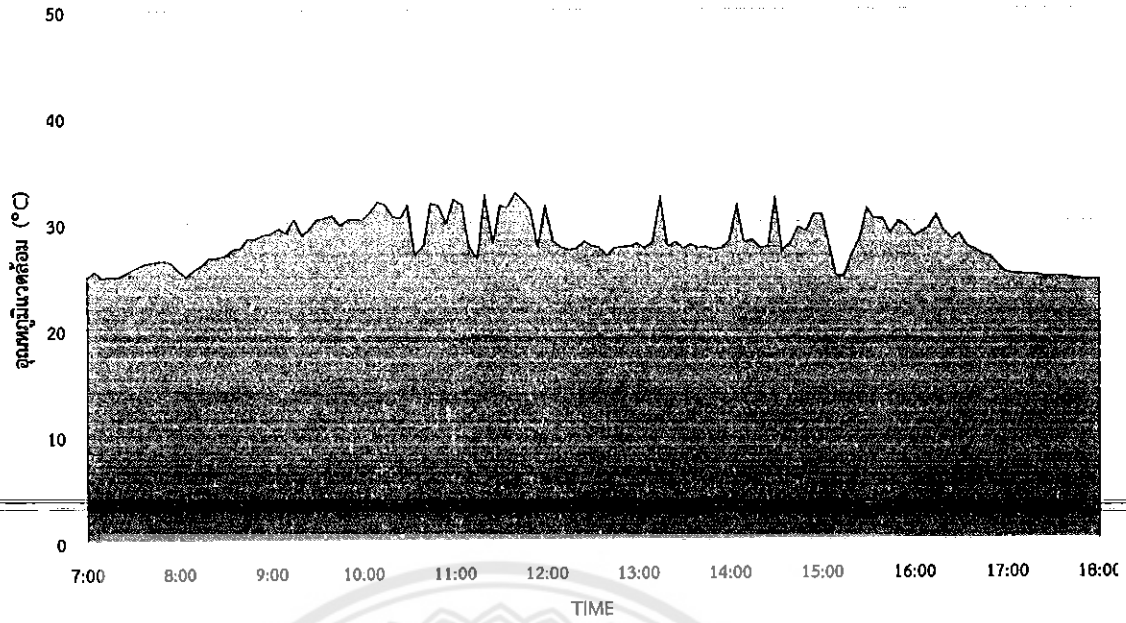
การประเมินศักยภาพทางด้านเทคนิคของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ตัวแปรที่สำคัญคือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจากผลการบันทึกข้อมูลการใช้งานระบบพบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าสูงสุดช่วงเวลาประมาณ 11:00 – 15:00 น. ซึ่งมีค่าสูงเพียงพอ โดยค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแสดงดังรูปที่ 25




รูปที่ 25 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบ

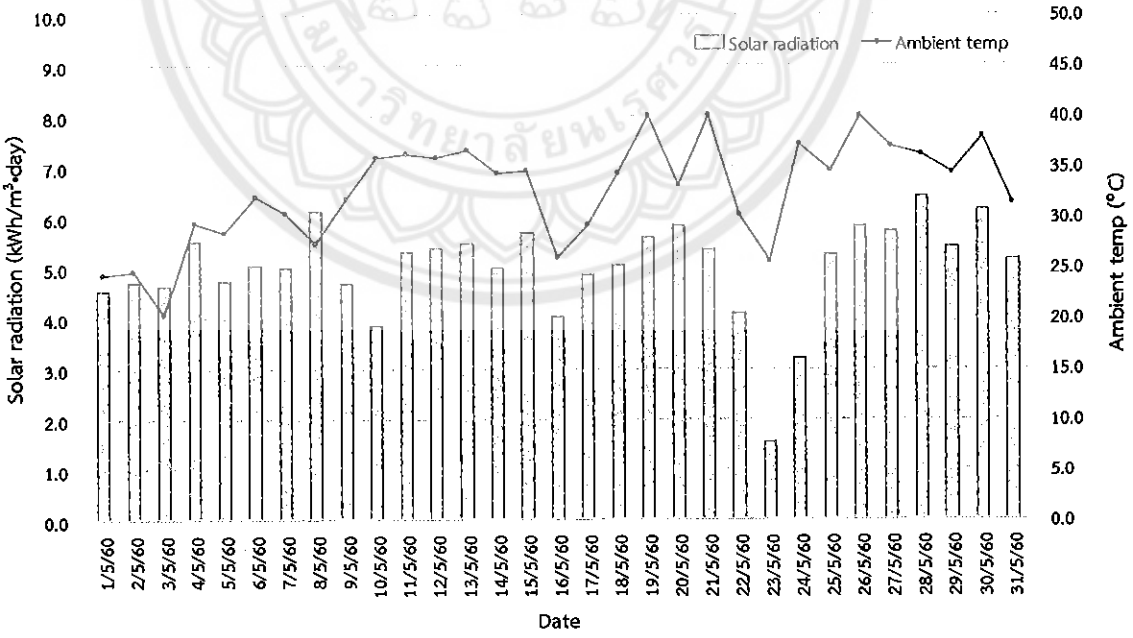
### 4.1.2 ค่าอุณหภูมิแวดล้อม

ตัวแปรที่สำคัญอีกค่าหนึ่งคืออุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งค่าอุณหภูมิแวดล้อมจะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิพบว่าค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่ตกกระทบในพื้นที่มีค่าเฉลี่ยนอุณหภูมิแวดล้อมรายวัน 28°C ซึ่งเป็นข้อมูลที่บันทึกในช่วงเวลา 07:00 – 18:00 น. เป็นช่วงเวลาที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพื้นที่เป้าหมายจะมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 32.7°C ในเวลา 12:00 น. ดังรูปที่ 26




รูปที่ 26 อุณหภูมิแวดล้อม

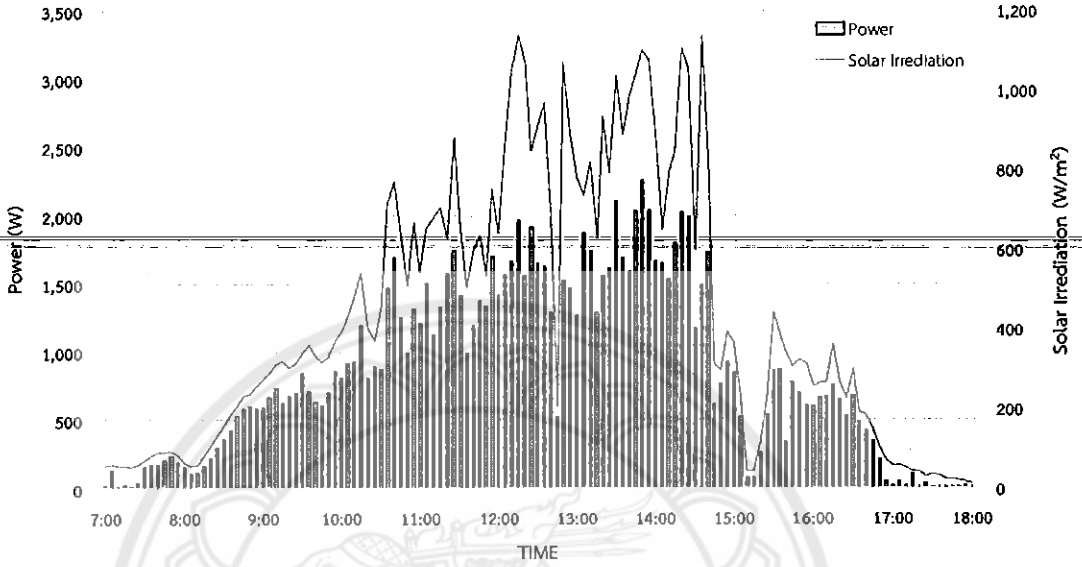
เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์รายวันที่เกิดขึ้นในพื้นที่ พบว่าค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์รายวันมีค่าอยู่ที่ 5.00 kWh/$m^2$.day โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.40 kWh/$m^2$.day และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิแวดล้อมที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 32.5°C โดยมีค่าต่ำสุดที่ 20.3°C และมีค่าอุณหภูมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 40.0°C แสดงดังรูปที่ 27




รูปที่ 27 ค่ารังสีอาทิตย์และค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยรายวันที่ตกกระทบ

### 4.1.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

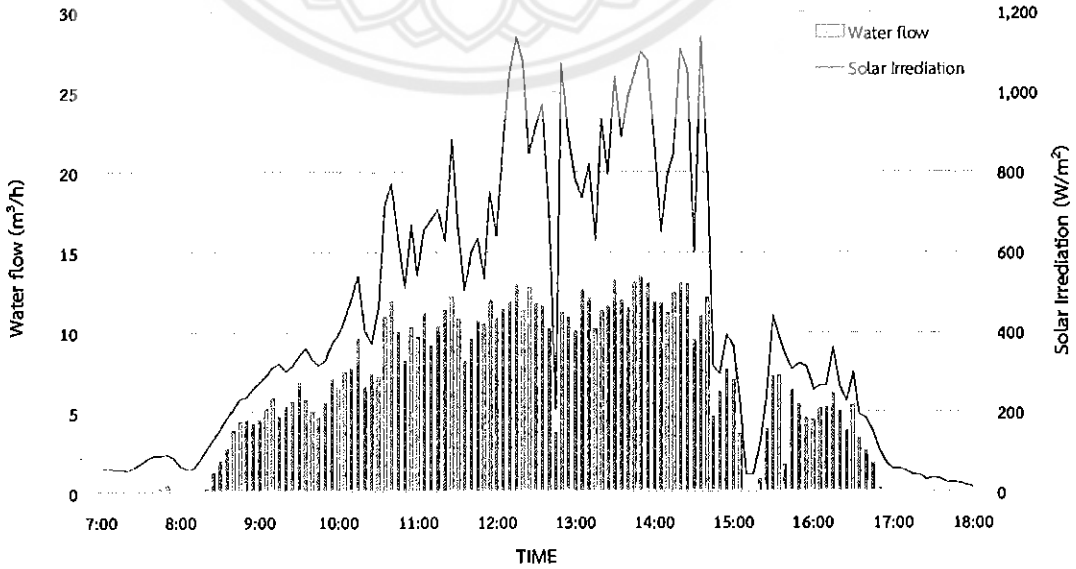
จากการเก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 2.44 kW ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน พบว่าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 2.26 kW โดยช่วงเวลาที่ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดอยู่ที่ 11:00 – 15:00 น. ดังรูปที่ 28




รูปที่ 28 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

### 4.1.4 ปริมาณน้ำที่สูบได้

ปริมาณน้ำที่ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สูบได้จะมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้น ซึ่งอัตราการไหลเฉลี่ยที่ระบบสูบได้ต่อวันมีค่าประมาณ 7.80 $m^3/h$ โดยระบบสูบน้ำจะเริ่มสูบเมื่อเวลา 08:00 – 17:00 น. ซึ่งมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอดังรูปที่ 29



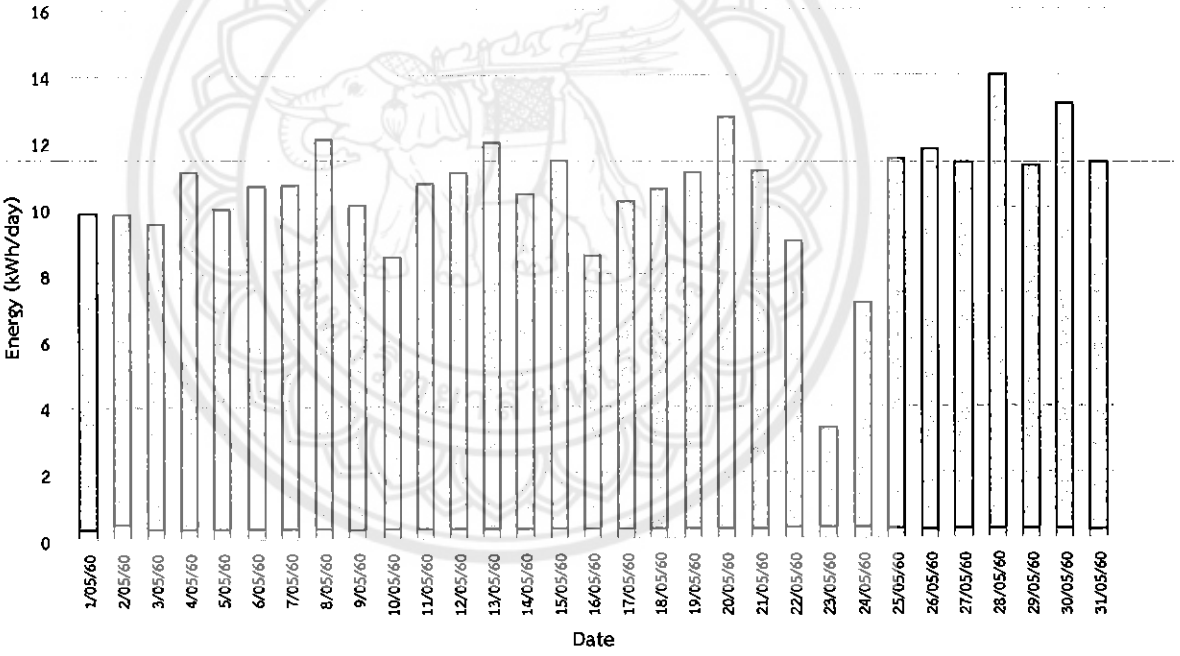

รูปที่ 29 อัตราการไหลของน้ำที่ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สูบได้

จากข้อมูลเมื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะเริ่มทำงานเมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าตั้งแต่ 100 W/$m^2$ ซึ่งระบบจะสูบน้ำได้ปริมาณต่ำในช่วงเช้าซึ่งเป็นช่วงที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ และเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้นระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถสูบน้ำได้เพิ่มมากขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น และจะสูบน้ำได้มากขึ้นเมื่อค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้น

## 4.2 วิเคราะห์สมรรถนะของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

### 4.2.1 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้ไป

เมื่อทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ที่ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาและออกแบบ พบว่าระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันได้เท่ากับ 10.19 kWh/day ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้ในการสูบน้ำเฉลี่ยรายวันเท่ากับ 0.31 kWh/day ซึ่งจะพบว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ดังรูปที่ 30




รูปที่ 30 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้เทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำใช้

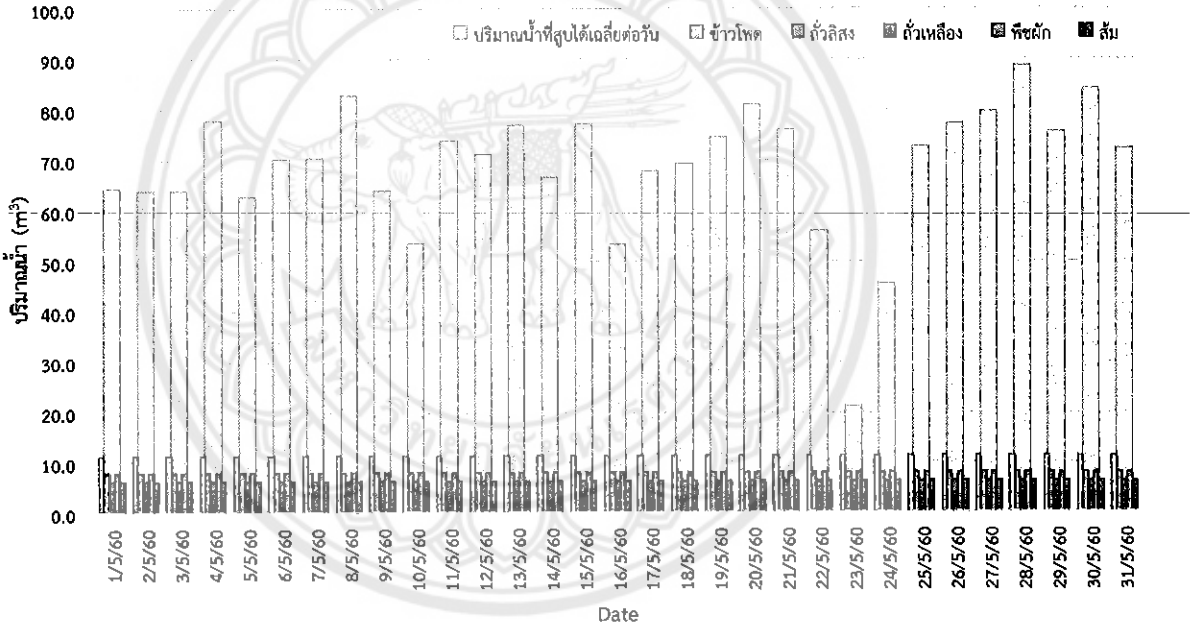
### 4.2.2 ปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้กับปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับพืช

จากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำที่ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สูบได้พบว่า ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อวันมีค่าเท่ากับ 68.78 $m^3$/day ซึ่งมีปริมาณเพียงพอเมื่อเทียบกับปริมาณที่พืชต้องการในแต่ละวัน โดยในพื้นที่เป้าหมายนั้นได้ทำการเพาะปลูกข้าวโพดโดยใช้ระบบให้น้ำแบบน้ำหยด ซึ่งปริมาณความต้องการใช้น้ำของข้าวโพดเท่ากับ 8.00 – 11.20 $m^3$/rai/day ซึ่งตัวอย่างปริมาณน้ำที่พืชต้องการแสดงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการ**

| ชนิดของพืช | ปริมาณน้ำ ที่ต้องการสูงสุดต่อวัน (มิลลิเมตร) | ปริมาณน้ำ ที่ต้องการสูงสุดต่อวัน (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) | ปริมาณน้ำที่ต้องการ ตลอดอายุของพืช มิลลิเมตร (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) |
|---|---|---|---|
| ข้าวโพด | 5 - 7 | 8.00 – 11.20 | 350 – 400 (560 - 640 ) |
| ถั่วลิสง | 2 - 5 | 3.20 – 8.00 | 400 – 500 (640 - 800) |
| ถั่วเหลือง | 2 - 4 | 3.20 – 6.40 | 300 – 350 (480 - 560) |
| พืชผัก | 4 - 5 | 6.40 – 8.00 | 400 – 500 (640 - 800) |
| ส้ม | 3 - 4 | 4.80 – 6.40 | 750 – 1,000 (1,200 - 1,600) |

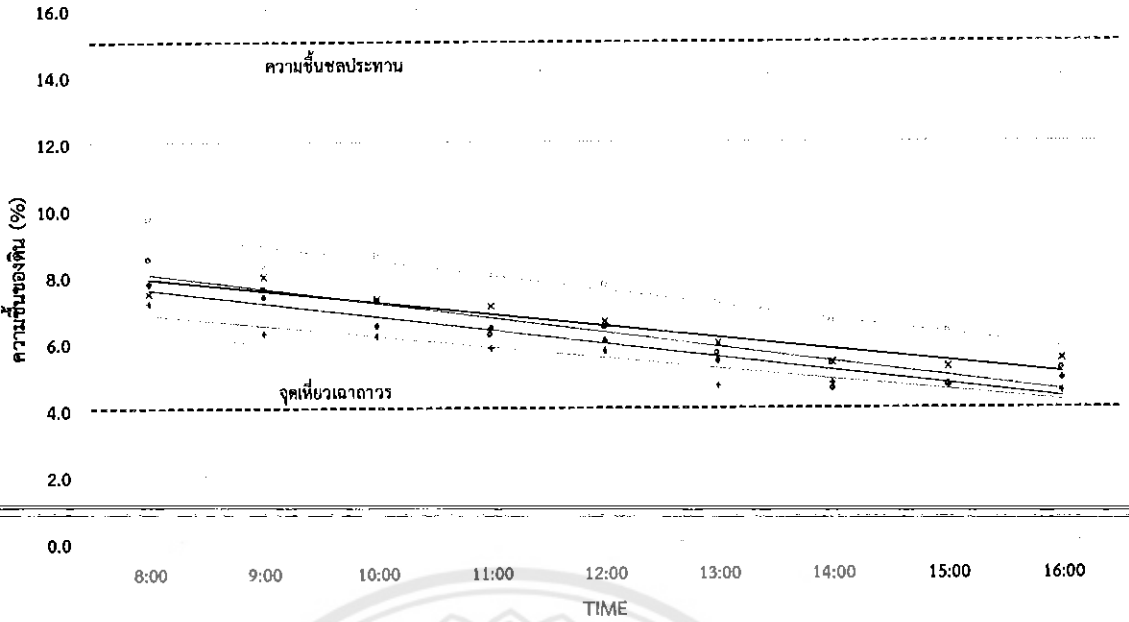
โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่สูบได้กับตัวอย่างความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิด ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้มากกว่าปริมาณน้ำที่พืชต้องการต่อไร่ประมาณ 85% ดังรูปที่ 31




รูปที่ 31 ปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้เทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้จ่ายให้กับพืช

**4.2.3 ค่าความชื้นของดิน**

ความชื้นของดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ทำการเพาะปลูก ซึ่งความชื้นในดินจะต้องไม่ต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ สำหรับดินร่วนมีค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรเท่ากับ 4% และจะต้องไม่สูงเกินกว่าความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 15% (ดิเรก ทองอร่าม และคณะ,2545) ซึ่งดินร่วนนั้นมีความสามารถในการรักษาระดับความชื้นในดินได้ดีกว่าดินทราย โดยค่าความชื้นของดินที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 32

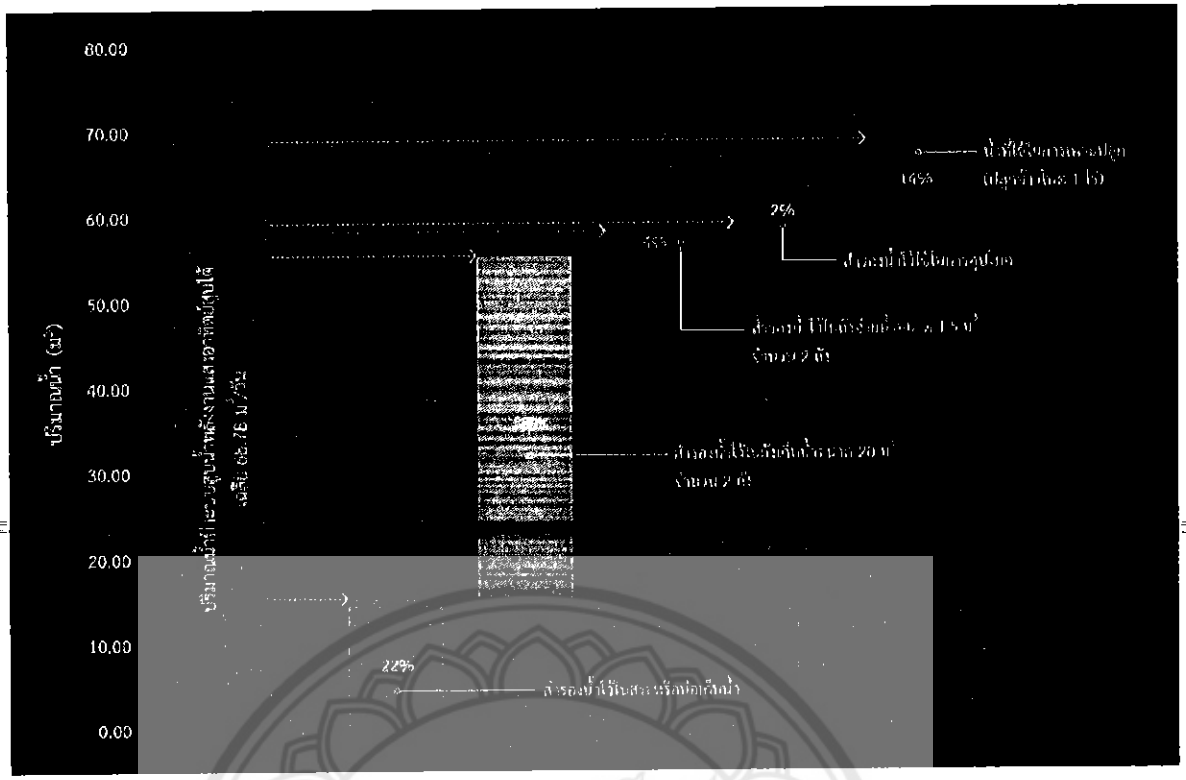



รูปที่ 32 ความชื้นของดินในพื้นที่เพาะปลูก

จากข้อมูลการใช้งานระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรในการทำการเพาะปลูกข้าวโพด พบว่าระบบให้น้ำพื้นที่ความชื้นในดินที่เหมาะสมแก่พืชตลอดทั้งวันทำให้ประหยัดน้ำลงจากเดิมได้ ซึ่งก่อนหน้านี้เกษตรกรให้น้ำพืชโดยใช้วิธีรดน้ำด้วยสายยาง ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำที่มากเกินไป นอกจากนี้ระบบยังสามารถสูบน้ำได้เพียงพอต่อการใช้งาน จากข้อมูลที่ทำการทดลองพบว่าระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งสามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ในการเพาะปลูกได้ประมาณ 6 ไร่ (ในกรณีที่ปลูกข้าวโพด) ซึ่งหากเกษตรกรมีการบริหารจัดการการใช้น้ำที่ดีก็จะสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ ปัญหาภัยแล้ง สามารถมีน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ตลอดทั้งปี ลดรายจ่ายทางด้านพลังงานในการสูบน้ำ ค่าแรงงานทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาว

### 4.3 การบริหารจัดการน้ำจากการใช้งานระบบฯ

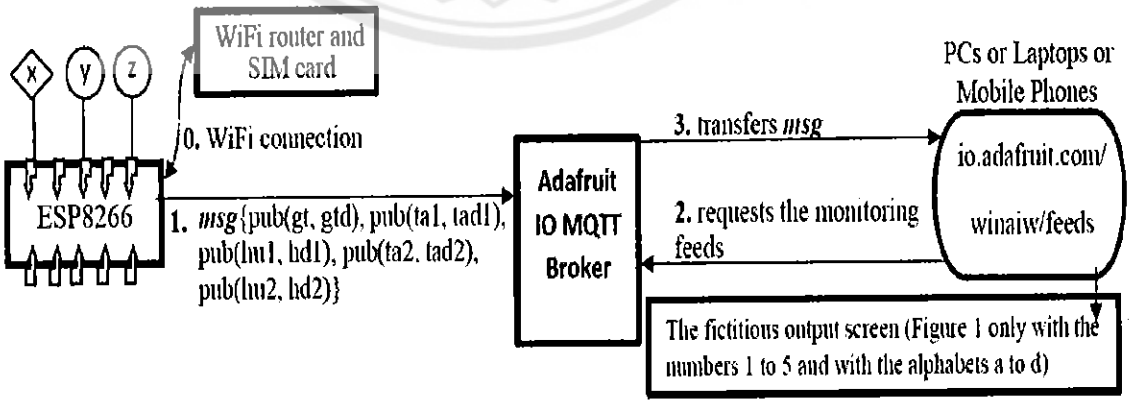
การบริหารจัดการน้ำในการใช้งานระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร ในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบนั้น ทางคณะผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำในการบริหารจัดการน้ำเพื่อให้เกษตรกรได้ใช้ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเกษตรกรได้แบ่งสัดส่วนการใช้น้ำออกเป็น 5 ส่วนหลัก ส่วนแรกคือน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 14 ส่วนที่ 2 เกษตรกรเก็บน้ำไว้ใช้ในชีวิตประจำวัน คิดเป็นร้อยละ 2 ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของน้ำที่เก็บสำรองไว้ในถังจ่ายน้ำขนาด 1.5 $ม^3$ จำนวน 2 ถัง คิดเป็นร้อยละ 4 ส่วนที่ 4 เป็นน้ำที่เก็บสำรองไว้ในถงเก็บน้ำขนาดความจุ 20 $ม^3$ จำนวน 2 ถัง เพื่อใช้เป็นการสำรองน้ำไว้ใช้ในการทำการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 58 ส่วนสุดท้ายเป็นน้ำส่วนที่เหลือคิดเป็นร้อยละ 22 จะถูกนำไปเก็บไว้ในสระหรือบ่อเก็บน้ำเพื่อเป็นแหล่งน้ำผิวดินไว้ใช้ในยามจำเป็นและสามารถเลี้ยงปลาหรือปลูกพืชผักสวนครัวบริเวณรอบสระเพื่อใช้เป็นอาหารและขายเป็นรายได้เพิ่มให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย รายละเอียดดังรูปที่ 33




รูปที่ 33 สัดส่วนการใช้น้ำในพื้นที่เกษตรกรรม

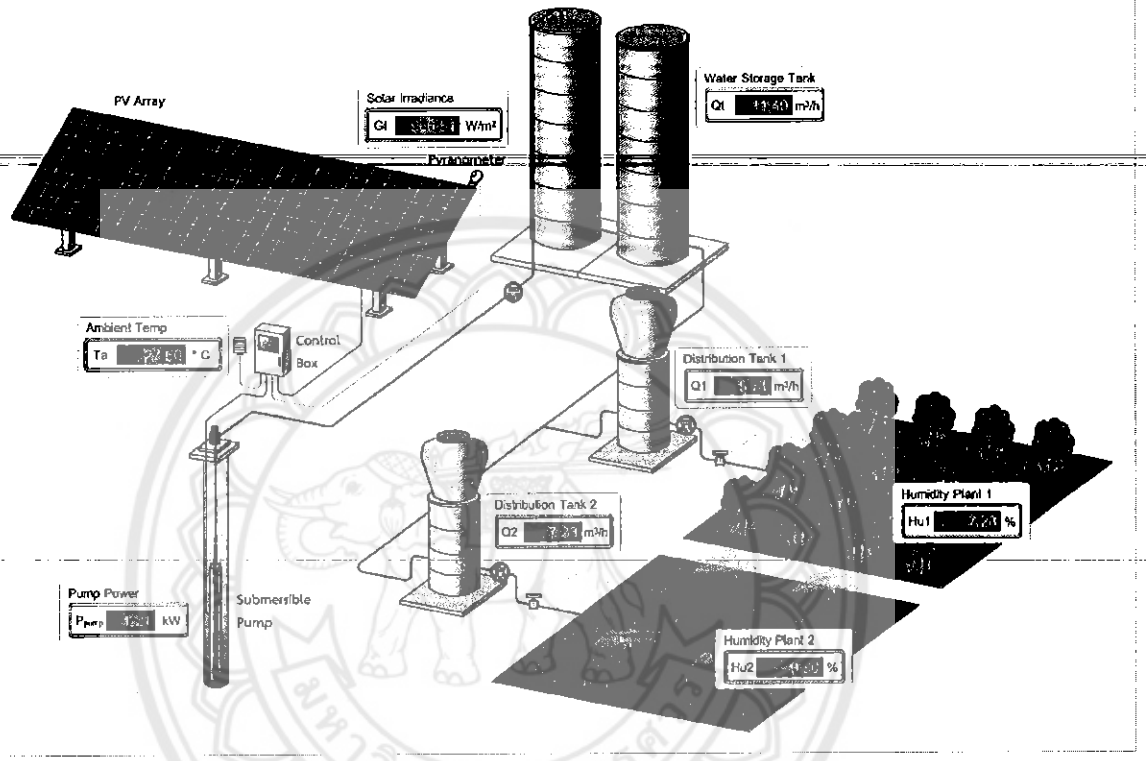
### 4.4 การบันทึกข้อมูลและแสดงผล

การบันทึกข้อมูลและแสดงผลของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร เกษตรกรสามารถตรวจสอบการทำงานของระบบผ่านระบบอินเตอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เป็นระบบที่รองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบการทำงานของระบบได้ทุกที่ ทุกเวลา โดยใช้โครงข่ายอินเตอร์เน็ต ซึ่งรูปแบบระบบตรวจวัดและแสดงผลแสดงดังรูปที่ 34




รูปที่ 34 ไดอะแกรมระบบตรวจวัดและแสดงผลโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT)

การออกแบบระบบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร จะสามารถตรวจสอบความชื้นของดิน ปริมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ปริมาณน้ำที่ระบบสูบได้ อัตราการไหลของน้ำ พลังงานไฟฟ้าที่ปั๊มสูบน้ำใช้ ทำให้เกษตรกรตรวจสอบระบบเบื้องต้นว่าระบบมีการทำงานปกติอยู่หรือมีการทำงานผิดปกติ เป็นการประหยัดเวลาและทรัพยากรในการตรวจสอบระบบ ซึ่งตัวอย่างหน้าจอแสดงผลแสดงดังรูปที่ 35




รูปที่ 35 หน้าจอตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลแบบ real time

# บทที่ 5

# สรุปผลการดำเนินโครงการ

## 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมแต่ปัจจุบันเกษตรกรยังประสบปัญหาภัยแล้งและการขาดแคลนน้ำในการทำการเกษตร เกิดจากส่วนใหญ่พื้นที่เกษตรกรรมในประเทศไทยเป็นพื้นที่นอกเขตชลประทานทำให้ขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูก ทำให้มีหลายพื้นที่ใช้วิธีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อการเพาะปลูก แต่การสูบน้ำบาดาลต้องใช้เครื่องสูบน้ำซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องสูบน้ำการเกษตรที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการสูบน้ำทำให้ต้นทุนในการเพาะปลูกสูงขึ้นอีกทั้งแหล่งน้ำยังเป็นพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า ดังนั้นระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางแก้ปัญหาอีกทางหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในการสูบน้ำของเกษตรกรได้ แต่ปัญหาการขาดการบริหารจัดการน้ำที่ดีก็เป็นปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งเนื่องจากปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ นั้นมีอยู่จำกัด หากไม่มีการวางแผนการใช้น้ำหรือการบริหารจัดการน้ำที่ดีก็จะส่งผลให้เกิดความขาดแคลนน้ำได้จากการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลือง เช่น การให้น้ำพืชที่เกินความต้องการของพืช นอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองน้ำโดยใช่เหตุแล้วยังส่งผลให้ผลผลิตที่ได้น้อยลง ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกและรูปแบบการให้น้ำต้องคำนึงตามชนิดของพืชที่เพาะปลูกอีกด้วย นอกจากนั้นการใช้น้ำอย่างสิ้นเปลืองและการใช้แรงงานคนที่มากเกินความจำเป็นทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำและทำให้ให้ต้นทุนในการทำการเกษตรเพิ่มขึ้น เกษตรกรมีรายได้ลดลงและมีหนี้สินในภาคครัวเรือนเพิ่มขึ้นดังนั้น ***ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร*** จึงเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาการขนาดแคลนน้ำ ลดต้นทุนค่าแรงงานและต้นทุนทางด้านพลังงานในการทำการเกษตรได้อย่างยั่งยืน สามารถใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เกิดการบริหารจัดการน้ำที่ดีในการทำการเกษตรได้ เกษตรกรมีน้ำใช้ตลอดทั้งปีเป็นการเพิ่มโอกาสในการเพาะปลูกพืชชนิดอื่นๆ ได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากผลงานวิจัยสามารถสรุปผลงานได้ดังนี้

### 5.1.1 สรุปผลทางด้านเทคนิคของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร

ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรที่ออกแบบและติดตั้งเพื่อให้เกษตรกรใช้งานจริงนั้น มีส่วนประกอบหลักของระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 2.44 kW ระบบควบคุมทางไฟฟ้า (Controller) ปั๊มสูบน้ำไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor Pump) ถังเก็บน้ำ (Water Storage Tank) ขนาด 20 ลบ.ม. จำนวน 2 ถัง ถังส่งน้ำ (Distribution Tank) ขนาด 1.5 ลบ.ม./พื้นที่ 1 งาน และชุดควบคุมการ เปิด – ปิดน้ำ (Programmable logic Control : PLC) ซึ่งเป็นระบบให้น้ำอัตโนมัติโดยใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) เพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืช ลดการสูญเสียน้ำโดยไม่จำเป็น ลดการใช้แรงงานคนในการทำการเกษตร ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ระบบพบว่า ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรสามารถสูบน้ำได้เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 68.78 ลบ.ม./วัน เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกพบว่าในการเพาะปลูกข้าวโพด 1 ไร่ใช้น้ำสูงสุดเพียง 11.20 ลบ.ม./วัน ยังเหลือน้ำที่สามารถใช้ได้อีก 57.58 ลบ.ม./วัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูกเพิ่มเติม เกษตรกรในพื้นที่ที่ติดตั้งระบบได้ทำการขุดสระเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถทำงานได้ โดยระบบสามารถควบคุมการให้น้ำ

พืชโดยวัดค่าความชื้นของดินไม่ให้ต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวรและไม่ให้เกินค่าความชื้นชลประทาน โดยค่าความชื้นของดินเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6.36% ซึ่งเหมาะสมในการเพาะปลูกพืช

**5.1.2 สรุปผลข้อคิดเห็นจากการใช้งานระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตร**

หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งระบบและให้เกษตรกรได้ใช้งานระบบในการเพาะปลูกเพื่อใช้งานจริง ในการบริหารจัดการน้ำและการใช้งานระบบให้น้ำแบบอัตโนมัติ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลสามารถสรุปข้อคิดเห็นในการใช้งานระบบได้ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4 ข้อคิดเห็นจากการใช้งานระบบฯ**

| ลำดับ | รายละเอียดข้อคิดเห็น |
|---|---|
| 1 | สามารถปลูกพืชได้หลากหลายมากขึ้นและสามารถเพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี |
| 2 | มีเงินมีรายได้จากการทำการเกษตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีน้ำที่ใช้ในการปลูกพืชได้ตลอดและไม่มีต้นทุนในการสูบน้ำ |
| 3 | สามารถปลูกพืชได้หลากหลายมากขึ้น |
| 4 | สามารถเพาะปลูกพืชสวนครัวเพื่อทำกินในครัวเรือนและยังสามารถนำไปขายได้ |
| 5 | สามารถทำการเพาะปลูกนอกฤดูได้ ซึ่งทำให้ผลผลิตที่ได้มีราคาสูงขึ้น |
| 6 | ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสในการทำการเกษตร และเพิ่มรายได้ |

นอกจากนี้จากการใช้งานระบบฯ ในการการเพาะปลูกยังพบปัญหาที่เกิดจากการใช้งานระบบฯ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบฯ

| ลำดับ | รายละเอียดของปัญหา |
|---|---|
| 1 | เกษตรกรยังขาดความรู้ในการบริหารจัดการน้ำ |
| 2 | ควรมีให้ความรู้ในการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาเบื้องต้นเพิ่มเติม หรือมีคู่มือการใช้งานระบบ |
| 3 | น้ำที่จ่ายให้กับพืชมีแรงดันน้ำน้อยทำให้น้ำที่ปลายสายไหลอ่อน เวลาใช้กับระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์น้ำไหลน้อยมาก |
| 4 | เกษตรกรต้องการรู้เรื่องเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น เครื่องอบแห้ง ฯลฯ เพิ่มเติม |
| 5 | ควรมีการติดตั้งระบบเพิ่ม |

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการ***ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเพื่อการเกษตรเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกและลดการสูยเสียน้ำในการทำการเกษตรลงได้*** อีกทั้งยังช่วยเพิ่มโอกาสในการเพาะปลูกพืชได้หลากหลายและยังสามารถเพิ่มผลผลิตจากการที่เกษตรกรสามารถทำการเพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี ซึ่งผลที่ได้จากโครงการยังช่วยลดต้นทุนในการสูบน้ำเพื่อทำการเพาะปลูกของเกษตรกร ดังนั้นจึงควรมีการสนับสนุนการติดตั้งระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่อื่นๆ ที่ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในการทำการเกษตรเพิ่มเติม เพื่อเป็นการช่วยลดปัญหาภัยแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศไทยให้หมดไป นอกจากนี้สิ่งที่สำคัญของเกษตรกรอีกอย่างหนึ่งคือการให้ความรู้กับเกษตรกรเพิ่มเติม เพื่อให้เกษตรกรที่มีความสนใจได้เรียนรู้และเข้าใจในการทำงานของระบบอีกทั้งยังทำให้เกษตรกรสามารถแก้ปัญหาการใช้งานระบบเบื้องต้นได้ นอกจากนี้ควรมีการสนับสนุนเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนอื่นๆ เพื่อให้เกษตรกรใช้งานเทคโนโลยีพลังงานทดแทนตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ เพื่อเป็นต้นแบบชุมชนเกษตรกรที่มีการใช้พลังงานทดแทนในการแก้ปัญหาด้านต่างๆ อย่างครบวงจร สามารถใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน ให้เกิดการแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำและแก้ปัญหาความยากจนและเกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้มีรายได้ที่แน่นอนและยั่งยืน

## บรรณานุกรม


[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. สถิติพลังงานของประเทศไทย 2556. สืบค้นเมื่อกรกฎาคม 2558. จากhttp://www.dede.go.th/download/stat58/statistics2556r_p.pdf

[2] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2555. นนทบุรี: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด สาขา 4

[3] เสริฐ เขียนนอก ประถม บุญทน และคำเพียร สะอาดศรี. รายงานการวิจัยเรื่อง "การใช้พลังงานกับวิถีชีวิตชุมชน (กรณีศึกษาบ้านท่าวารี ตำบลหัวดอน อำเภอเขื่องใน จังหวัดอุบลราชธานี)". 2547. อุบลราชธานี

[4] การใช้พลังงานในสาขาเกษตรกรรมจำแนกตามชนิดพลังงาน. สืบค้นออนไลน์ http://www.dede.go.th /dede/images/stories/pdf/001_table.pdf

[5] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). การบริหารจัดการโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการบริหารจัดการแบบยั่งยืนสำหรับโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์. พิษณุโลก: วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[6] วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร และคณะ. 2542. การประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตยในประเทศไทย. รายงานการวิจัย. การวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

[7] มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. โครงการศึกษาความเหมาะสมการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการสูบน้ำเพื่อพื้นที่ทำกินทางการเกษตร. รายงานฉบับสมบูรณ์. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

[8] นายสิริชัย ทองเสงี่ยม และคณะ. 2554. การพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

[9] ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงษ์, วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, และนิพนธ์ เกตุจ้อย. (2548). ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์: กรณีศึกษาของ 50 องค์การบริหารส่วนตำบล. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน จ.ชลบุรี.

[10] Nipon Ketjoy and Wattanapong Rakwichain. 2001. Evaluation of Photovoltaic System in Thailand. Naresuan University Journal. Vol 9 (2): 16-28.

[11] Chatchai Sirisumpunwong, Nipon Ketjoy and Rattanan Boonmat. 2004. Performance Comparison of PV Water Pumping System Utilization: Crystalline and Amorphous Module. Technical Digest 14th Photovoltaic Science and Engineering Conference; 26-30 January 2004; Bangkok; Thailand; 883-884