

ระบบควบคุมการให้สารอาหารสำหรับปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง

Nutrient control system for NFT Hydroponic

ไกรสร วอนแมน¹, ณัฐภูมิ นิลโชติ² และ เสกสรรค์ มธุลากรังสรรค์

1,2,3 ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

1 หมู่ 6 ต.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140 โทรศัพท์ : 034-352853 E-mail : graisorw@outlook.com

บทคัดย่อ

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบางเป็นที่นิยมในประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะมีปัญหาเกี่ยวกับการปรับค่าความนำไฟฟ้า ค่ากรด-ด่างแก่พืชให้ได้ค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการและจะต้องมีคนดูแลตรวจสอบตลอดระยะเวลาตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว

ทางผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและพัฒนาาระบบเพื่อจัดการปัญหาเหล่านี้โดยใช้เทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวในการวิเคราะห์ มีการออกแบบตามความต้องการของผู้ประกอบการ โดยให้ปรับค่าความนำไฟฟ้าและค่ากรด-เบสแบบอัตโนมัติตลอดการปลูก จากการทดสอบระบบพบว่าสามารถควบคุมค่าความนำไฟฟ้าให้อยู่ที่ 1200-1500 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตรและค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.50 – 6.50 ซึ่งเหมาะสมแก่การปลูกผักสลัด

Abstract

The Planting of NFT Hydroponic System is popular in Thailand. The most businessman have problem about feeding control and adjust the value of the acid - bass for planting and there must be caretaker always planting

The researcher has studied and developed the NFT Hydroponic System in order to cope with these problems by using Embedded System for analysis. In term of experiment, the researcher has automatically set the level of Electrical Conductivity and pH Value. The researcher found that the Embedded Systems can control 1200-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ of Electrical Conductivity as well as 5.5-6.5 of pH value which is suitable for planting the lettuce.

1. บทนำ

การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง (NFT Hydroponic) เป็นธุรกิจที่กำลังนิยมอย่างมาก แต่ผลผลิตที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจมากนัก เพราะความบอบบางของพืชที่ต้องการการ

ดูแลอย่างใกล้ชิด สารอาหารที่ใช้ต้องมีความเข้มข้นที่เหมาะสมแก่การปลูก หากความเข้มข้นน้อยเกินไปจะทำให้พืชเจริญเติบโตช้าลงและหากมากเกินไปจะทำให้พืชเจริญเติบโตผิดปกติ[1] การควบคุมความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้จะต้องเหมาะสมแก่การปลูกเช่นกันถ้าหากความเป็นกรด-ด่างมากเกินไปจะส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารหรือน้อยไปจะเป็นอันตรายต่อพืชได้[1]

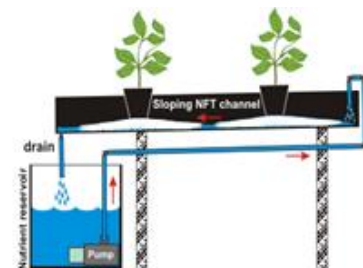
จากปัญหาของการปลูกข้างต้นทางคณะผู้จัดทำได้คิดแก้ปัญหาการควบคุมการให้สารอาหาร และกรดไนตริก ในปริมาณที่เหมาะสมกับพืช โดยใช้เซ็นเซอร์ในการวัดความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในถังพักน้ำ จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณของสารที่จะใช้เติม โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded) หลังจากนั้นระบบจะทำการจ่ายสารตามปริมาณที่เหมาะสมกับเงื่อนไข ณ ขณะนั้นแบบอัตโนมัติ

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง (Nutrient

Film Technique: NFT)

เป็นการปลูกพืชโดยให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำโดยตรง โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายให้ไหลผ่านรางและรากพืชและเวียนกลับมายังถังเก็บสารละลายดังรูปที่ 1



รูป 1 แสดงการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง

น้ำที่ใช้จะประกอบไปด้วยแร่ธาตุอาหารต่างๆที่พืชต้องการ โดยต้องควบคุมความเข้มข้นของแร่ธาตุอาหาร และสภาพความเป็นกรด - ด่างให้เหมาะสมแก่การปลูกพืช [2] ความเข้มข้นของสารละลายแร่ธาตุจะใช้ค่าการนำไฟฟ้า (Electronic

Conductivity: EC) เป็นเกณฑ์ในการวัดความเข้มข้นโดยค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 1200-1500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) และค่าความเป็นกรด-ด่างจะใช้ค่าความเป็นกรด - ด่างเป็นตัววัดโดยค่าที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5-6.5 [1]

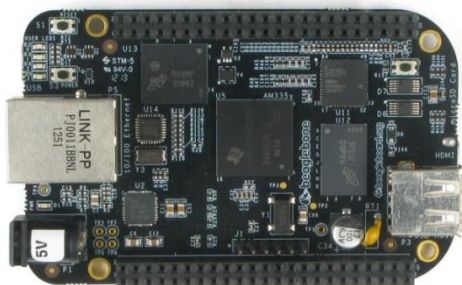
2.2 ระบบสมองกลฝังตัว

ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) คือ ระบบที่ถูกออกแบบสำหรับใช้งานในวัตถุประสงค์เฉพาะด้าน เปรียบเสมือนระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ฝังไว้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และ เครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับอุปกรณ์เหล่านั้นผ่านซอฟต์แวร์

ระบบสมองฝังตัวก็อาจจะมีเพียงไมโครโปรเซสเซอร์เดี่ยว และโปรแกรมควบคุมก็จะถูกเก็บอยู่ภายในหน่วยความจำชนิดอ่านได้อย่างเดียว (Read-only Memory: ROM) แต่ในกรณีที่ต้องมีการประมวลผลที่ซับซ้อนหลายส่วนพร้อมกัน ภายในตัวระบบสมองกลฝังตัวจึงมีระบบปฏิบัติการ (Operating System) ฝังอยู่ภายใน เพื่อคอยจัดการงานและหน่วยความจำอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ [3]

2.3 บอร์ดสมองกลฝังตัวรุ่น Beaglebone black

เป็นบอร์ดสมองกลฝังตัวที่เลือกใช้โดยมีคุณสมบัติดังนี้



รูป 2 แสดงลักษณะ Beaglebone Black

- Processor: TI Sitara AM3358BZCZ100 1 GHz 2000 MIPS
- Graphic Accelerator: SGX530 3D, 20M Polygons/s
- Memory: 512MB DDR3L 800MHz
- Storage: 2GB 8-bit eMMC on-board flash storage (external storage available via microSD Card socket)
- USB Host: 1 x USB 2.0, Type A, Max. Current 500mA, Support Low Speed / Fast Speed / High Speed
- USB Client: USB 2.0, mini USB, client mode
- Network: 10/100Mbps RJ-45

- Video: microHDMI Interface 1920x1080@24Hz
- Audio: Stereo via HDMI
- Power: 5V DC Jack or miniUSB
- OS: Angstrom, Debian, Android, Ubuntu

2.4 เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด – ด่าง

เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด – ด่างทำหน้าที่วัดสภาพความเป็นกรด – ด่างของสารละลาย โดยใช้หลักการไฟฟ้าเคมี วัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัด ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นได้จากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากไอออนจะถูกเปลี่ยนให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งไปที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และ ส่งข้อมูลชุดนี้แบบ Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.5 เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า

เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า ทำหน้าที่วัดค่าไอออนประจุบวก และ ไอออนประจุลบของสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยการใส่แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วในหัววัดซึ่งจุ่มลงไปลงในน้ำ และ รับค่าแรงดันไฟฟ้าที่หัววัดรับได้ไปคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งไปที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และ ส่งข้อมูลชุดนี้แบบ Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.6 บั๊มรีดท่อ

บั๊มรีดท่อ (Peristaltic Pump) หรือบั๊มรีดสายยาง เป็นปั๊มที่ถูกนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบ เนื่องจากเป็นปั๊มที่ไม่มีชิ้นส่วนใดของปั๊มที่จะสัมผัสกับของเหลวในสายยางเลย สามารถดึงค่าปริมาตรที่ต้องการได้อย่างเที่ยงตรง



รูป 3 แสดงการทำงานของปั๊มรีดท่อ

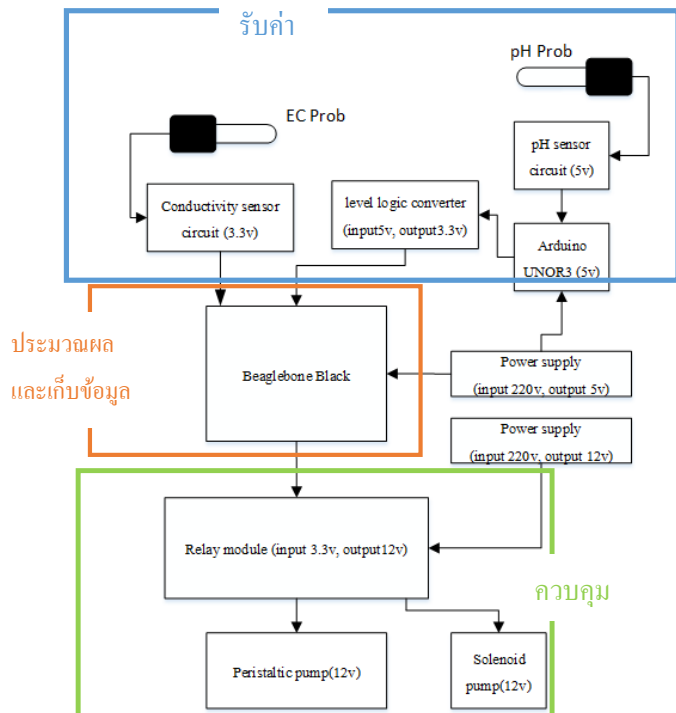
ปั๊มจะทำการหมุนตัวลูกรีดไปกดที่สายยาง แล้วกดเอาของเหลวให้เคลื่อนที่ไปตามลูกรีดโดยสายยางจะอยู่ที่เดิม ดังนั้นเมื่อหมุนลูกรีดไปเรื่อยๆ ของเหลวจะสามารถย้ายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งใดเลย [2]

3. ออกแบบระบบ

ระบบให้สารอาหารแก่พืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง ถูกออกแบบให้แบ่งการทำงานออกเป็นสองระบบย่อย คือระบบปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหารและระบบปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยระบบที่หนึ่งจะทำงานให้เสร็จก่อนแล้วระบบที่สองจะทำงานต่อ เหตุที่ต้องทำระบบที่หนึ่งก่อนเพราะการปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหารจะมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงตามไปด้วย และการทำงานของเซ็นเซอร์ทั้งสองตัวไม่สามารถทำงานภายใต้แหล่งน้ำเดียวกันได้ เนื่องจากเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่างจะอ่านค่าที่ผิดพลาดไป ทางผู้จัดทำจึงได้ทำช่องสำหรับวัดค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเฉพาะ

3.1 ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์

ผู้จัดทำได้ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์ระบบการให้สารอาหารแก่พืชไฮโดรโปนิกส์ดังนี้



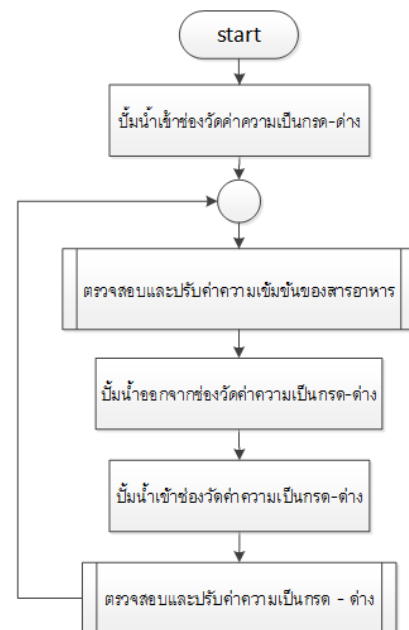
รูป 4 แสดงการออกแบบระบบ

การทำงานของระบบการให้สารอาหารการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบางแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การรับค่า การประมวล การควบคุมและการเก็บข้อมูลตามตารางต่อไปนี้

ตาราง 1 หน้าที่ของแต่ละส่วน

ส่วนของการทำงาน	ตรวจสอบและปรับค่าความเข้มข้นสารอาหาร	ตรวจสอบและปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง
รับค่า	วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร	วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
ประมวลผล	นำค่าที่ได้จากส่วนของการวัดค่ามาคำนวณเพื่อปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร	นำค่าที่ได้จากส่วนของการวัดค่ามาคำนวณเพื่อปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง
ควบคุม	ควบคุมการทำงานของปั๊มสารละลายธาตุอาหาร	ควบคุมการทำงานของปั๊มกรดในตริก
เก็บข้อมูล	- บันทึกค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการวัด - บันทึกการทำงานของส่วนควบคุมปั๊ม (เปิด - ปิด)	- บันทึกค่าความเป็นกรด - ด่างที่ได้จากการวัด - บันทึกการทำงานของส่วนควบคุมปั๊ม (เปิด - ปิด)

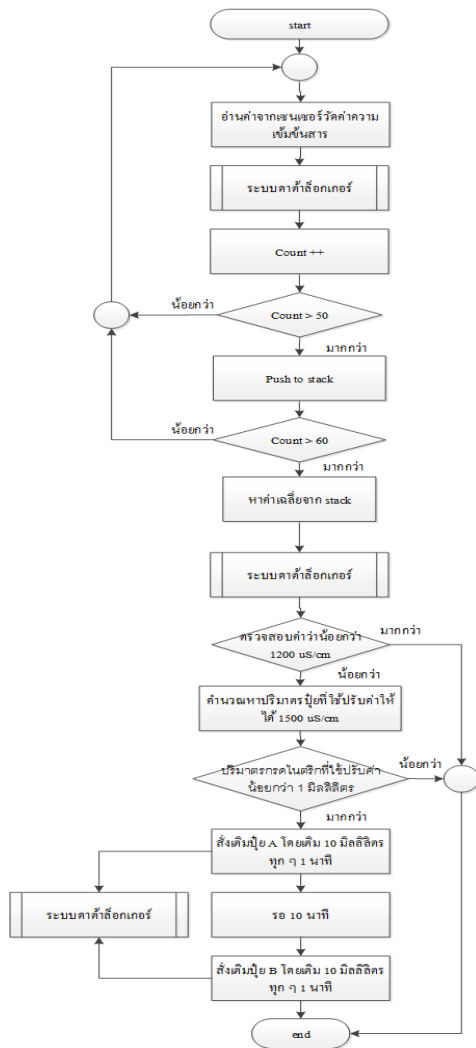
3.2 ออกแบบการทำงานของโปรแกรม



รูป 5 แสดงการทำงานของระบบให้สารอาหารพืช

การทำงานของระบบให้สารอาหาร โดยแบ่งออกเป็น 2 ระบบย่อยคือ ระบบตรวจสอบและปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ระบบตรวจสอบและปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และมีกระบวนการปั๊มน้ำเข้าช่องวัดเพื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วย เมื่อทำงานเสร็จแล้วก็จะเริ่มทำงานใหม่ตั้งแต่นั้น

3.2.1 ตรวจสอบและปรับค่าความเข้มข้นของสาร

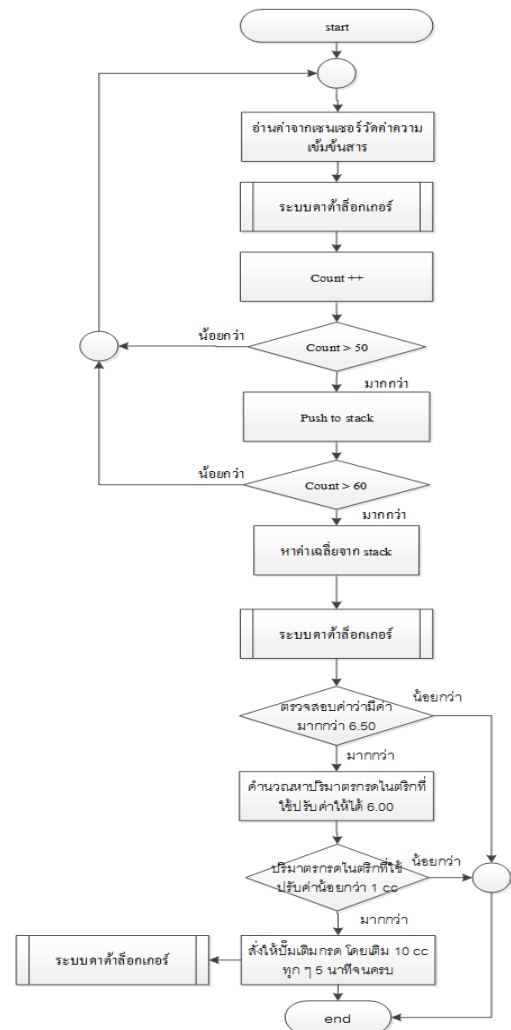


รูป 6 แสดงการทางานของการปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหาร

ระบบปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหารจะปรับค่าความเข้มข้นให้มีค่า 1500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยใช้ปุ๋ยสูตร 1:200 การทำงานของระบบจะเริ่มจากการรับค่าที่ได้จากเซนเซอร์แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปตรวจสอบ ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากกว่า 1200 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ระบบจะไม่ทำการคำนวณหาปริมาณปุ๋ยแต่จะออกไปตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่างทันที แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1200 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ระบบจะคำนวณหาปริมาณปุ๋ยที่ต้องใช้ โดยสมการ [6] ที่ใช้คือ

ปริมาตรสารอาหารที่ต้องเติม = $\frac{(1500 - \text{ค่า EC ที่วัดได้}) \times 5}{1500}$ x ปริมาตรของน้ำ
จากนั้นจะสั่งให้ปั๊มของปุ๋ย A ทำงานเมื่อทำงานเสร็จจะรอสิบนาที แล้วสั่งให้ปั๊มของปุ๋ย B ทำงานเมื่อปั๊มของปุ๋ย B ทำงานเสร็จแล้ว ระบบจะออกไปตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่างต่อไป

3.2.2 ตรวจสอบและปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง



รูป 7 แสดงการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

ระบบจะปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายให้มีค่าอยู่ระหว่าง 6.00 โดยกรดไนตริกเข้มข้น 10% ขั้นตอนการปรับค่าจะเริ่มจากการเก็บค่าที่ได้จากเซนเซอร์แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้วจะนำค่าเฉลี่ยมาตรวจสอบว่ามีค่ามากกว่า 6.50 หรือไม่ ถ้าค่าเฉลี่ยมีค่ามากกว่า 6.50 จะออกไปตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารแทน แต่ถ้ามากกว่า 6.50 ระบบจะทำการคำนวณหาปริมาณปุ๋ยโดยสมการที่ใช้คือ

ปริมาตรสารอาหารที่ต้องเติม = $\frac{10^{-6} - 10^{-\text{ค่า pH ที่วัดได้}}}{2.5 \times 10^{-6}}$ x ปริมาตรของน้ำ
(ค่า 2.5×10^{-6} เป็นค่าที่ได้จากการทดลองและใช้ระบบนี้เท่านั้น)
แล้วสั่งงานให้ปั๊มทำงาน แต่ถ้าปริมาณกรดไนตริกที่ใช้มีค่าน้อยกว่า 1 มิลลิเมตรปั๊มจะไม่ทำงานเนื่องจากประสิทธิภาพของปั๊มที่ใช้ไม่สามารถทำงานได้

3.2.3 ระบบดาต้าล็อกเกอร์

การเก็บล็อกข้อมูล หมายถึง การบันทึกข้อมูลค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำในระบบ

ในระบบประกอบไปด้วยข้อมูลหลายชุดซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็นสองแบบคือ ข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและข้อมูลการทำงานของปั๊ม ซึ่งจะบันทึกทุกครั้งที่ระบบอ่านค่าจากเซนเซอร์และทุกครั้งที่มีการทำงานของอุปกรณ์

```
2014-05-15.00:04:29 : 1066,,OFF,OFF,-----,,OFF
2014-05-15.00:04:31 : 1066,,OFF,OFF,-----,,OFF
2014-05-15.00:04:33 : 1066,,OFF,OFF,-----,,OFF
2014-05-15.00:04:44 : 1066,6.944,ON,OFF,-----,,OFF
2014-05-15.00:09:57 : 1066,6.944,OFF,ON,-----,,OFF
2014-05-15.00:10:00 : 1066,,OFF,OFF,-----,,OFF
2014-05-15.00:15:37 : 1066,,OFF,OFF,-----,6.62,,OFF
2014-05-15.00:15:42 : 1066,,OFF,OFF,-----,6.97,,OFF
```

รูป 8 ตัวอย่างการเก็บข้อมูล

โดยข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ จะประกอบไปด้วย เวลา : ค่า EC, ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ปรับค่า, สถานะปั๊มปุ๋ยA, สถานะปั๊มปุ๋ยB, ค่า pH, ปริมาณกรดไนตริกที่ใช้ปรับค่า, สถานะปั๊มกรดไนตริก

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการพัฒนาระบบ

4.1.1 ระบบปรับค่าความเข้มข้นสารอาหาร

ทำงานโดยส่วนควบคุม (รูปที่10) รับค่าความเข้มข้นของสารอาหารด้วยเซนเซอร์ (รูปที่11) ระบบจะทำการประมวลผลแล้วสั่งให้ปั๊ม (รูปที่12) จ่ายธาตุอาหารที่คำนวณได้เพื่อปรับค่าความเข้มข้นของสารละลาย



รูป 9 ส่วนควบคุม



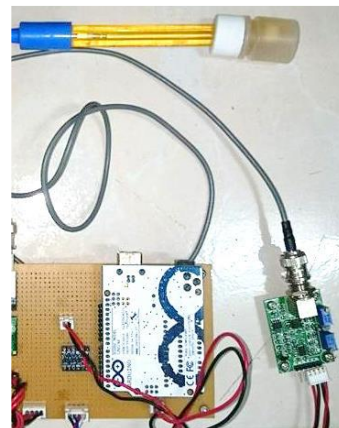
รูป 10 เซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า



รูป 11 ปั๊มรีดท่อ

4.1.2 ระบบปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

ทำงานโดยให้ส่วนควบคุม (รูปที่10) รับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเซนเซอร์ (รูปที่13) ระบบจะทำการประมวลผลแล้วสั่งให้ปั๊ม (รูปที่12) แล้วจ่ายกรดไนตริกเข้มข้น 10% ตามที่คำนวณได้เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง



รูป 12 เซนเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

4.2 ผลการทดสอบระบบ

4.2.1 ผลการทดสอบเซนเซอร์

ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า และ ค่าความเป็นกรดด่างเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ จากศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง

ตาราง 2 แสดงการวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง

สารละลายตัวอย่าง	เซ็นเซอร์จากศูนย์วิจัย SevenEasy™ pH ค่าความเป็นกรด – เบส	เซ็นเซอร์ของ ผู้จัดทำ pH v1.1 Circuit ค่าความเป็น กรด – เบส	ค่าความ แตกต่าง
น้ำปะปา	7.07	7.16	+0.09
น้ำเปปซี่	2.31	2.36	+0.05
น้ำละลาย ผงซักฟอก	10.48	10.39	-0.09
น้ำตัวอย่างจาก ระบบไฮโดรโป นิคส์	7.49	7.51	+0.02

จากผลการทดสอบพบเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด–ด่าง ที่กลุ่มผู้จัดทำเลือกใช้ มีเปอร์เซ็นต์ความต่าง บวก, ลบไม่เกิน 0.1 เมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง

ตาราง 3 แสดงการวัดค่าความนำไฟฟ้า

สารละลายตัวอย่าง	เซ็นเซอร์จากศูนย์วิจัย SevenEasy™ conductivity ค่าความนำไฟฟ้า (μS/cm)	เซ็นเซอร์ ของผู้จัดทำ EZOTM EC Circuit ค่าความนำ ไฟฟ้า (μS/cm)	ค่าความ แตกต่าง (μS/cm)
น้ำปะปา	138	128	-10
น้ำตัวอย่างจากระบบ ไฮโดรโปนิคส์	1139	1239	+100

จากผลการทดสอบพบเซ็นเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้าที่กลุ่มผู้จัดทำเลือกใช้ มีเปอร์เซ็นต์ความต่าง บวก, ลบไม่เกิน 100 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง

4.2.2 ผลการทดสอบการทำงานบ่ม

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของบ่มแต่ละตัว เพื่อทดสอบความถูกต้อง แม่นยำของการจ่ายสาร โดยทำการกำหนดปริมาณของสารที่ต้องการ ให้บ่มทำการจ่ายสาร และบันทึกปริมาณที่ได้ ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 4 อัตราการไหลบ่มกรดไนตริก

ปริมาณสารที่ กำหนด (มิลลิลิตร)	ปริมาณที่วัดได้ (มิลลิลิตร)			ปริมาณที่วัดได้ เฉลี่ย (มิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	1.0	1.00	0.90	0.97
5	4.8	5.00	4.90	4.90
10	10.2	10.00	10.00	10.07
20	19.8	20.00	20.20	20.00
50	50.0	49.80	50.40	50.07

บ่มกรดไนตริกมีอัตราการไหล 1.93 มิลลิลิตรต่อวินาที ซึ่งได้จากการทดลองและเก็บข้อมูลบ่มของระบบนี้เท่านั้น

ตาราง 5 อัตราการไหลบ่มสารอาหารเอ

ปริมาณสารที่ กำหนด	ปริมาณที่วัดได้ (มิลลิลิตร)			ปริมาณที่วัดได้ เฉลี่ย (มิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	0.90	0.90	1.00	0.93
5	5.00	4.90	5.00	4.97
10	9.90	10.00	9.80	9.90
20	19.80	19.70	20.10	19.87
50	49.70	49.80	49.70	49.73

บ่มสารอาหารเอมีอัตราการไหล 1.92 มิลลิลิตรต่อวินาที ซึ่งได้จากการทดลองและเก็บข้อมูลบ่มของระบบนี้เท่านั้น

ตาราง 6 อัตราการไหลบ่มสารอาหารบี

ปริมาณสารที่ กำหนด	ปริมาณที่วัดได้ (มิลลิลิตร)			ปริมาณที่วัดได้ เฉลี่ย (มิลลิลิตร)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	0.9	0.8	1.0	0.90
5	5.0	4.8	4.9	4.90
10	10.0	10.2	10.1	10.10
20	19.8	19.8	19.7	19.76
50	49.4	49.6	50.0	49.66

บ่มสารอาหารบีมีอัตราการไหล 1.87 มิลลิลิตรต่อวินาที ซึ่งได้จากการทดลองและเก็บข้อมูลบ่มของระบบนี้เท่านั้น

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าบ่มที่ผู้จัดทำเลือกใช้มีความถูกต้อง แม่นยำ อยู่ในระดับมาตรฐานที่ผู้จัดทำรับได้ และค่าความคลาดเคลื่อนบวก,ลบ สูงสุดไม่เกิน 0.5 มิลลิลิตร

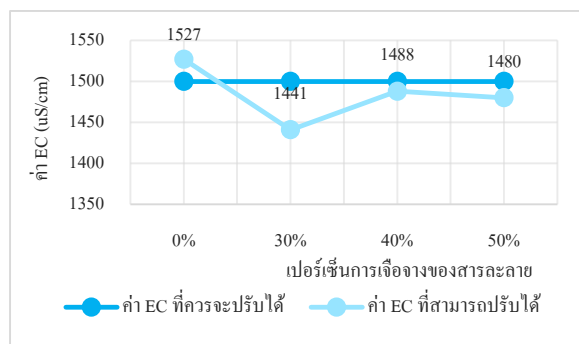
4.2.3 ผลการทดสอบการปรับค่าความเข้มข้นสารอาหารอัตโนมัติ

ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบระบบการให้สารอาหาร โดยทดสอบกับน้ำปริมาณ 6 ลิตรให้ระบบทำงานอัตโนมัติทำทั้งหมดสี่ครั้ง โดยครั้งแรกทดสอบกับน้ำเปล่า ครั้งที่ ๑ ไปทดสอบกับน้ำที่นำมาเจือจางจากครั้งก่อนหน้า โดยเจือจางสารละลายจากการทดสอบก่อนหน้าจำนวน 30%, 40%, 50% เช่น เจือจาง 30% คือเอาสารละลายออก 30% ของน้ำสารละลายทั้งหมดแล้วเติมน้ำเปล่าลงไปให้ปริมาณน้ำเท่าเดิม ผลที่ได้มีดังนี้

ตาราง 7 แสดงการทดสอบการปรับค่าความเข้มข้นสารอาหารอัตโนมัติ

เปอร์เซ็นต์การเจือจางสารตั้งต้น	ค่าความเข้มข้นสารที่อ่านได้ก่อนปรับค่า (µS/cm)	ปริมาณของสารอาหารที่ปรับค่าจากการคำนวณ (มิลลิกรัม)	ปริมาณของสารอาหารจริงที่ระบบจ่ายได้ (มิลลิกรัม)		ค่าความเข้มข้นสารที่อ่านได้หลังปรับค่า (µS/cm)	ค่าความเข้มข้นของสารที่ควรจะเป็น (µS/cm)	ระยะเวลาที่ใช้ปรับค่า (นาที)
			ปั๊ม A	ปั๊ม B			
0%	0.00	30.00	29.88	29.60	1527	1500	12:12
30%	1057	8.86	8.62	8.84	1441	1500	12:09
40%	758.4	14.83	14.82	14.66	1488	1500	12:13
50%	503.5	19.93	19.88	19.82	1480	1500	14:12

จากผลการทดสอบพบว่า การปรับค่าความเข้มข้นสารที่ระบบสามารถปรับค่าได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยแต่สามารถยอมรับได้เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชมีค่าระหว่าง 1200 - 1500 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร



กราฟ 1 แสดงความสามารถในการปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหาร

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารอาหารที่ปรับได้แสดงเป็นกราฟเทียบกับค่าที่ต้องการจะเห็นว่าเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

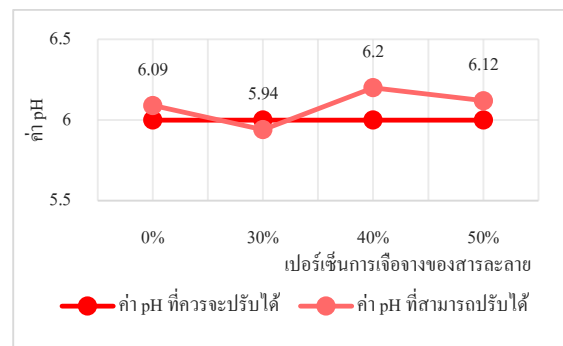
4.2.4 ผลการทดสอบการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างอัตโนมัติ

ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบ โดยทดสอบกับน้ำปริมาตร 6 ลิตรให้ระบบทำงานอัตโนมัติทำทั้งหมดสี่ครั้ง โดยครั้งแรกจะปรับค่าความเข้มข้นสารอาหารก่อน และครั้งต่อ ๆ ไปจะเจือจางจากสารตั้งต้นจำนวน 30%, 40%, 50% เช่น เจือจาง 30% คือเอาสารละลายออก 30% ของน้ำสารละลายทั้งหมดแล้วเติมน้ำเปล่าลงไปให้ปริมาตรน้ำเท่าเดิมผลที่ได้มีดังนี้

ตาราง 8 แสดงการทดสอบการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างอัตโนมัติ

เปอร์เซ็นต์การเจือจางสารตั้งต้น	ค่าความเป็นกรด-ด่างที่อ่านได้ก่อนปรับค่า	ปริมาณของกรดในปริมาตรที่ปรับค่าที่ได้จากการคำนวณ (มิลลิกรัม)	ปริมาณของกรดจริงที่ระบบจ่ายได้ (มิลลิกรัม)	ค่าความเป็นกรด-ด่างที่อ่านได้หลังปรับค่า	ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ควรจะเป็น	ระยะเวลาที่ใช้ปรับค่า (นาที)
0%	6.56	1.74	1.74	6.09	6.00	9:32
30%	6.57	1.75	1.76	5.94	6.00	9:24
40%	6.88	2.08	2.04	6.20	6.00	9:26
50%	6.99	2.15	2.14	6.12	6.00	9:27

จากผลการทดสอบพบว่า การปรับค่าความเข้มข้นสารที่ระบบสามารถปรับค่าได้มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยแต่สามารถยอมรับได้เนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชมีค่าระหว่าง 5.50 ถึง 6.50



กราฟ 2 แสดงความสามารถในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

เมื่อนำค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จากทดลองมาแสดงเป็นกราฟเทียบกับค่าที่ต้องการ จะเห็นว่าเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นน้อยมาก

4.2.5 ผลการทดสอบระบบรวม

ผู้จัดทำได้ทำการทดสอบระบบรวมเพื่อทดสอบว่าระบบมีความสามารถควบคุมสภาพน้ำให้เหมาะสมกับผักสลัดหรือไม่ โดยทดสอบกับน้ำปริมาตร 6 ลิตรให้ระบบทำงานอัตโนมัติทั้งหมดสี่ครั้ง โดยครั้งแรกจะปรับค่าความเข้มข้นสารอาหารจากน้ำปะปาก่อน ครั้งต่อไปจะปรับค่าจากสารละลายที่เจือจางแล้ว โดยเจือจางจากสารตั้งต้นจำนวน 30%, 40%, 50% เช่น เจือจาง 30% คือเอาสารละลายออก 30% ของน้ำสารละลายทั้งหมดแล้วเติมน้ำเปล่าลงไปให้ปริมาตรน้ำเท่าเดิม ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบมีดังนี้

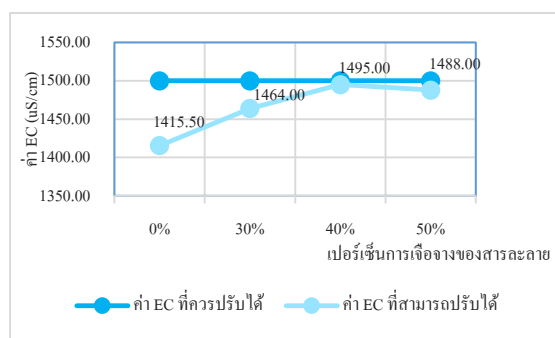
ตาราง 9 แสดงผลการทดสอบระบบรวม

อันดับการทดสอบ	เปอร์เซ็นต์การเจือจางจากครั้งแรก	ค่า EC ก่อนการปรับค่า (µS/cm)	ปริมาณสารอาหารที่ใช้ปรับค่าจากการคำนวณ (มิลลิกรัม)	ปริมาณสารที่ระบบจ่ายได้ (มิลลิกรัม)		ค่า EC หลังการปรับค่า (µS/cm)	ค่าความเข้มข้นของสารที่วางจะเป็น (µS/cm)
				ปุ๋ย A	ปุ๋ย B		
1	0.00%	0.00	30.00	29.80	30.00	1415.50	1500
2	30.00%	928.47	11.43	11.42	11.40	1464.00	1500
3	40.00%	786.50	14.27	14.14	14.22	1495.00	1500
4	50.00%	640.06	17.20	17.14	17.00	1488.00	1500

ตาราง 10 แสดงผลการทดสอบระบบรวม(ต่อ)

อันดับการทดสอบ	ค่า pH ก่อนปรับค่า	ปริมาณกรดในกรดที่ใช้ในการปรับค่าจากการคำนวณ	ปริมาณกรดที่ระบบจ่ายได้ (มิลลิกรัม)	ค่า pH หลังปรับค่า	ค่าความเป็นกรดดังที่ควรจะเป็น	ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับค่า(นาที)
1	6.54	1.70	1.66	6.02	6.00	00:31:55
2	6.19	0.00	0.00	6.19	-	00:22:54
3	6.49	0.00	0.00	6.49	-	00:22:55
4	6.59	1.78	1.60	6.11	6.00	00:22:58

จากผลการทดสอบจะสังเกตเห็นว่าการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างจะทำงานเพียงสองครั้งเพราะการปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหารจะมีผลกับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยการทดสอบครั้งที่ 2-3 ไม่ได้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง



กราฟ 3 แสดงผลการทดสอบระบบรวม

เมื่อนำผลการทดสอบมาสร้างกราฟ จะเห็นว่าระบบสามารถควบคุมความเข้มข้นของสารละลายให้มีค่าอยู่ที่ 1200-1500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรและค่าความเป็นกรด-ด่างให้มีค่า 5.50-6.50 ได้

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาระบบควบคุมการให้สารอาหารสำหรับปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบางพบว่า การปรับค่าความเข้มข้นของสารอาหารมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยซึ่งมีผลมาจากความเที่ยงตรงของปั๊มแม้จะแม่นยำ 100% แต่ระบบสามารถทำงาน

ได้ถูกต้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยภาพรวมระบบสามารถปรับค่าการนำไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 1200-1500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และสามารถควบคุมให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายสามารถอยู่ในช่วง 5.50-6.50 ได้ทุกครั้งของการทดสอบ ระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ยังมีจุดด้อยของระบบอยู่บ้างคือ เซนเซอร์ที่เลือกใช้ไม่สามารถทำงานในแหล่งน้ำเดียวกันได้ ทางผู้จัดทำจึงได้ใช้ระบบปั๊มน้ำจากสารละลายธาตุอาหารออกมาเพื่ออ่านค่าทำให้จุดด้อยนี้ไม่มีผลกับระบบมากนัก หากการพัฒนาต่อไปทำให้เซนเซอร์ทั้งสองตัวทำงานร่วมกันได้จะสามารถประหยัดเวลาในการทำงานของระบบลงได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ZEN Hydroponics “ค่า pH และค่า EC ที่เหมาะสมสำหรับผักไฮโดรโปนิกส์”
แหล่งที่มา: <http://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/06/ph-ec.html>
- [2] รศ.ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง “การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินระบบ NFT”
แหล่งที่มา: <http://www.h2ohydrogarden.com/ความรู้เบื้องต้น/ระบบการปลูกผักไฮโดร.html>
- [3] ผศ.วิรุฬห์ ศรีบริรักษ์ “แนวโน้มการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์” แหล่งที่มา: <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/66>
- [4] ผศ.ดร.ยงยุทธ เจริญไชยศรี. ค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์.
แหล่งที่มา: <http://www.kehakaset.com/index.php/79-information/438-ph-1>
- [5] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. “Peristaltic pump” แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3809/peristaltic-pump>
- [6] รศ.ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง. “การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน” แหล่งที่มา: <http://www.kmitl.ac.th/hydro/hyhead1.html>

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

.....
(อ.เสกสรรค์ มธุลาภรังสรรค์)

ประธานกรรมการ โครงการงาน

.....
(อ.ดวงเพ็ญ เจตน์พัฒนาพงษ์)

รองประธานกรรมการ โครงการงาน

.....
(นายสิทธิชัย จิตต์ตรง)

กรรมการ โครงการงาน



นายณัฐภูมิทร์ นิลโชติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 4

E-mail : nilchote1234@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์ : 095-360-1240

ผลงาน ระบบควบคุมการให้สารอาหารสำหรับ

ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง



นายไกรสร วอนแมน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 4

E-mail : graisonw@outlook.com

เบอร์โทรศัพท์ : 091-874-1290

ผลงาน ระบบควบคุมการให้สารอาหารสำหรับ

ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง

