

การพัฒนาของไหลในท่อเพื่อการบริหารและเชื่อมต่อข้อมูลผ่าน
อินเทอร์เน็ต ของสรรพสิ่ง และ อุปกรณ์ฝังตัว

A Model Development of Pipe Data Management and Data Connection Systems Using
the Internet of Things and Raspberry Pi

ณัฐพล เหลืองสันติมิตร¹⁾ นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร¹⁾ และจuthamas Choomlucksana²⁾

Nutthapon luangsuntimit¹⁾ Nantakrit Yodpijit¹⁾ and Juthamas Choomlucksana²⁾

¹⁾ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ²⁾ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลหิตดิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800

บทคัดย่อ

ระบบของไหลในท่อถูกใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการเกษตร ปัจจุบันอุตสาหกรรมกำลังก้าวไปสู่มาตรฐานใหม่ที่เรียกว่า “อุตสาหกรรม 4.0” โดยมีการเชื่อมโยงการบริหารจัดการข้อมูลผ่านระบบไอโอที งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอ พัฒนา และใช้งานเว็บแอปพลิเคชันบนมือถือที่มีการใช้เซ็นเซอร์ในการควบคุมระบบของไหลในท่อโดยใช้ระบบ ราวเซอร์รีฟาย บนระบบของไพคอน ที่มีการเชื่อมต่อข้อมูลกับระบบไอโอทีผ่านระบบฝังตัว ระบบแอปพลิเคชันนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อรองรับระบบการจัดการข้อมูลและเครือข่ายการสื่อสาร ระบบของไหลในท่อได้รับการออกแบบเพื่อเป็นแบบจำลองสำหรับใช้งานกับฟาร์มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมทั่วไป งานวิจัยนี้ทำการศึกษาตัวแปรที่สำคัญผ่านการทบทวนวรรณกรรมและฟาร์มกรณีศึกษา ผลการศึกษาพบว่าค่า แรงดัน และการสูญเสียแรงดันในระบบของไหลในท่อเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเพาะปลูก ระบบของไหลในท่อได้รับการพัฒนาตั้งแต่เริ่มต้น ประกอบไปด้วยท่อหรือวาล์วชนิดต่าง ๆ เช่น ท่อเวนทูรี โกลบวาล์ว และ เกจวาล์ว เป็นต้นการประกอบท่อและวาล์วชนิดต่าง ๆ ช่วยผู้ใช้ในการควบคุมระบบของไหลในท่อได้อย่างมีประสิทธิภาพผ่านระบบมือถือและผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน ยิ่งไปกว่านั้นระบบของไหลในท่อต้นแบบนี้ยังช่วยลดระยะเวลาที่จำเป็นสำหรับฟาร์มกรณีศึกษา ช่วยเจ้าของฟาร์มใหม่ที่สนใจในการใช้เทคโนโลยีไอโอที และลดความจำเป็นในการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงนอกจากนี้ระบบยังช่วยลดระยะเวลาที่ต้องใช้สำหรับการตรวจสอบข้อมูลที่เป็นของกรณีศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ราวเซอร์รีฟาย ระบบฝังตัวอัจฉริยะ ระบบการลำเลียงด้วยท่อ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

Pipe conveyor systems are used in various industrial plants especially in the agriculture industry. The industry is moving toward a new standard, called “Industrial 4.0,” by linking information management through the Internet of Things. This research aimed at proposing, developing, and implementing a sensor-based mobile web application to control pipe conveyor systems using a Python-based Raspberry Pi system connected to the IoT through embedded systems. This application supports data management systems and network communication. The pipe conveyor system was designed as a model for use with general SME farms. Important parameters were studied through a literature review and farm company case studies. The results showed that pressure and pressure loss in pipe conveyor systems are important factors for growing plants. The pipe conveyor system was developed from scratch using several types of venturi tubes, globe valves, and gate valves. This combination enables users to monitor the pipe conveyor system more efficiently via mobile systems and web applications. Moreover, this system also reduces the amount of time needed for farm case studies, assists new farm owners who are interested in implementing the IoT, and eliminates the need to visit the actual location.

Keywords : Raspberry Pi, Embedded system, Pipe conveyor system, Internet of things

ยังมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการผลิต โดยการทำเกษตรแบบสมัยใหม่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อช่วยให้ผู้ผลิตสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ และเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นต่อการเพาะปลูกได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น จากการศึกษากระบวนการทำงานของฟาร์มเพาะเห็ดและฟาร์มผักไฮโดรโปนิคส์กรณีศึกษา ซึ่งเป็นธุรกิจ SMEs ในประเทศไทยพบว่าแรงดันถือเป็นค่าพารามิเตอร์และตัวแปรหลักที่สำคัญในระบบท่อสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร และอุตสาหกรรมอาหาร โดยโรงเพาะเห็ดและฟาร์มผักที่คณะผู้วิจัยได้มีโอกาสในการศึกษาและเก็บข้อมูล เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มในการเติบโตเพิ่มมากขึ้น (Jones Jr, J. B. 2016) ทำการติดตั้งระบบการลำเลียงน้ำเพื่ออาศัยการไหลของน้ำเป็นตัวช่วยนำพาแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ สำหรับการเพาะปลูกเป็นหลัก การควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการบริหารจัดการข้อมูลสำหรับการเพาะปลูกอุตสาหกรรมเกษตรที่อาศัยท่อเป็นอุปกรณ์หลักในการไหลต่อการเจริญเติบโตของผลิตภัณฑ์ โดยทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ฝังตัวผ่านแพลตฟอร์มเทคโนโลยี Internet of Things (IoT; ไอโอที) สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต เพื่อช่วยลดการสูญเสียด้านการผลิต และเพิ่มโอกาสในการขยายตลาดการส่งออกผลิตภัณฑ์ซึ่งถือเป็นการยกระดับมาตรฐานสินค้าให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมฟาร์มวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม โดยใช้เทคโนโลยี ไอโอที เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลที่จำเป็น อีกทั้งยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อพัฒนาเครื่องมือต้นแบบสำหรับธุรกิจเกษตร และผู้เริ่มต้นสนใจในการประยุกต์เทคโนโลยีกับการเพาะปลูกที่มีการเกี่ยวข้องกับการไหลของท่อสำหรับการเพาะปลูก โดยสามารถบันทึกข้อมูลที่จำเป็นต่อ และนำข้อมูลที่สำคัญต่อการเพาะปลูก สูญเสีย เช่น อัตราการไหลของน้ำ แรงดัน วาล์ว และแรงดันสูญเสียในท่อ เป็นต้น มาวิเคราะห์สำหรับการป้องกันก่อนการเกิดความเสียหาย และใช้ในการวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

การสร้างแบบจำลองระบบของไหลในท่อร่วมกับการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี ไอโอที สำหรับเป็นตัวอย่างต้นแบบให้กับธุรกิจเกษตรที่มีการใช้ระบบของไหลในท่อ ทำโดยการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์และตัวแปรที่สำคัญต่อการเพาะปลูก โดยคณะผู้วิจัยทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์จากฟาร์มกรณีศึกษา และงานวิจัยโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

วัสดุที่ใช้	คุณสมบัติ
ท่อ พีวีซี	เป็นท่อสำหรับลำเลียงน้ำ
Gate Valve	เป็นวาล์วที่ใช้เปิด-ปิดเท่านั้น
Globe Valve	วาล์วที่ควบคุมอัตราการไหล
Venturi Tube	เป็นท่อปรับแรงดัน
Strainer	ตัวกรองที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป
Flow Meter	ตัววัดอัตราการไหลของน้ำ
RPi3	คอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋ว
Pressure Sensor	เครื่องมือวัดแรงดัน

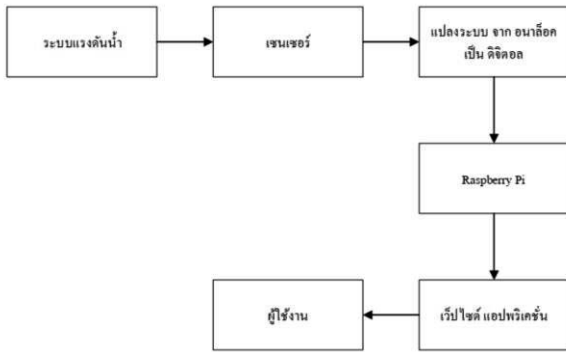
2. วิธีการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า แรงดัน และค่าการสูญเสียแรงดัน ถือเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการเพาะปลูกอุตสาหกรรมเกษตรโดยอาศัยการไหลในท่อ (Shamshiri 2018) โดยค่าการสูญเสียแรงดันในท่อเป็นปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงดันไม่เท่ากัน (Ntengwe 2015)

คณะผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลอง ระบบการไหลในท่อ โดยการประยุกต์ใช้ระบบเซนเซอร์เว็บแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์ผ่าน Raspberry Pi 3 (RPi 3; ราวเบอร์รี่พาย 3) บนระบบของไพธอน รูปที่ 1 แสดงกระบวนการออกแบบแบบจำลองระบบของไหลในท่อ

2.1 การออกแบบระบบท่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองระบบของไหลในท่อ เพื่อทดสอบค่าแรงดันที่แตกต่างกัน และค่าแรงดันสูญเสียจากการติดตั้งอุปกรณ์ประเภทต่าง ๆ โดย



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของระบบเบื้องต้น

รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ สำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยแต่ละส่วนมีจุดมุ่งหมายในการประกอบที่แตกต่างกัน โดยส่วนประกอบหลัก ๆ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ทำการติดตั้งขนาดท่อ พีวีซีที่ขนาดแตกต่างกัน เพื่อการทดสอบค่าแรงดันในท่อที่เปลี่ยนไป และทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องของค่าที่ได้กับ เกจวัดแรงดัน

ส่วนที่ 2 ทำการทดสอบการเกิดการสูญเสียแรงดันในท่อ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ท่อและวาล์ว ชนิดแตกต่างกัน

ส่วนที่ 3 ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่ระบบ โดยใช้อุปกรณ์ Flow Meter เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันก่อนและหลังการเข้าระบบว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

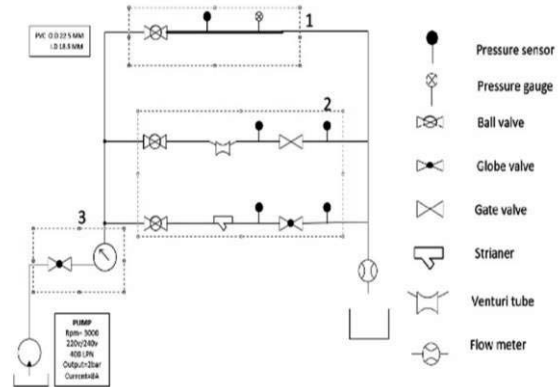
ส่วนที่ 4 ทำการติดตั้งอุปกรณ์การเชื่อมโยง สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลผ่านระบบ ไอโอที

2.2 การสูญเสียแรงดันภายในท่อ

การสูญเสียแรงดันภายในท่อแบ่งออกเป็น การสูญเสียหลัก (Major loss) ซึ่งแรงเสียดทานนี้สัมพันธ์กับความหนืดของของไหล สมการของดาร์ซีและไวซบัค สมการที่ 1 เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าการสูญเสียหลักได้แม่นยำที่สุด (Frankel, M 2002)

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

โดยความเร็วในการไหล สามารถหาได้จากสมการที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองระบบของไหลในท่อ

$$v = \frac{Q}{\left\{ \frac{\pi D^2}{4} \right\}} \quad (2)$$

เมื่อ h_f คือการสูญเสียหลักจากแรงเสียดทาน

L คือความยาวของท่อ (m)

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

v คือความเร็วในการไหล (m/s)

g คือแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

f คือค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อ ซึ่งสามารถหาได้จากกราฟของมูดี (Moody chart)

การสูญเสียรอง (Minor loss) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของการไหล เมื่อของไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ และวาล์ว แสดงดังสมการ 3

$$h_m = k \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

ในกรณีที่ทราบค่า K_v หรือ C_v ของวาล์ว สามารถเปลี่ยนเป็นสัมประสิทธิ์ K ได้ตามสมการที่ 4

$$k = 4.527 \times 10^7 \frac{D^4}{K_v^2} \quad (4)$$

เมื่อ h_m คือการสูญเสียรองจากการเปลี่ยนแปลง โมเมนตัม

k_v คือค่าสัมประสิทธิ์ของ วาล์ว

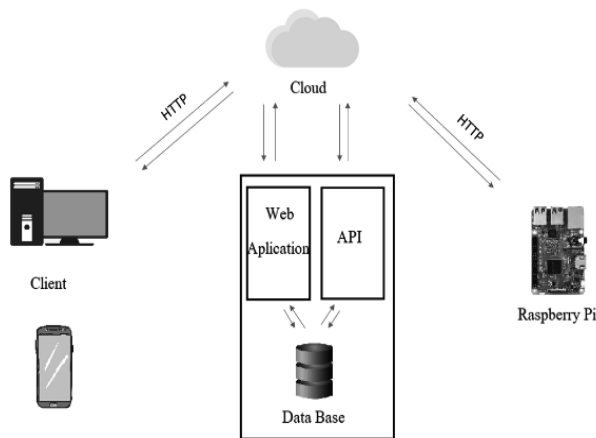
2.3 การเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และ อุปกรณ์ฝังตัว

เทคโนโลยี ไอโอที เป็นเครือข่ายการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบไปด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์และเซ็นเซอร์ การออกแบบ เทคโนโลยี ไอโอที การไหลภายในท่อ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของผู้ใช้งาน(Client) ส่วนของระบบฝังตัวอัจฉริยะ (Embedded System) และ ส่วนของระบบคลาวด์ (Cloud) โดยแต่ละส่วนจะวิธีการทำงานที่แตกต่างดังรูปที่ 3

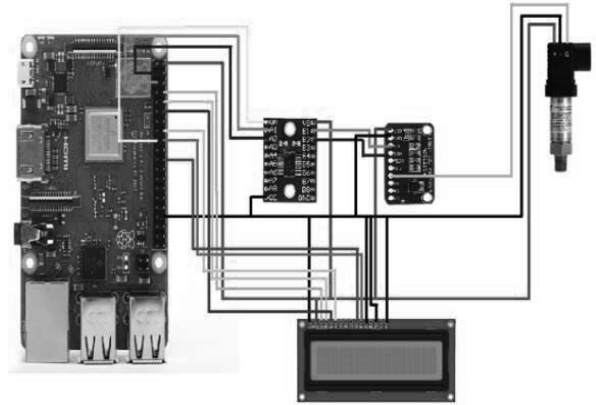
ส่วนที่ 1 ผู้ใช้งาน ซึ่งมีการแสดงผลหน้าจอจากเว็บแอปพลิเคชัน และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถบริหารจัดการข้อมูลที่สำคัญเป็นการเพาะปลูกภายในท่อโดยไม่จำกัดสถานที่และเวลาจากฐานข้อมูล ที่ได้ถูกออกแบบไว้

ส่วนที่ 2 ระบบฝังตัวอัจฉริยะ ซึ่งมีการนำ RPi 3 มาใช้ในการควบคุม เป็นระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) หรือ ชิพ (Chip) ซึ่ง RPi3 คือ คอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วที่มีระบบอิเล็กทรอนิกส์ฝังตัวอยู่ ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย (Gianfranco 2018) ในอุตสาหกรรมที่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ร่วมกันงานในการผลิตเพื่อเพิ่มความสามารถในการประมวลผลให้กับอุปกรณ์ รูปที่ 4 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่าน RPi 3 กับแบบจำลองระบบของไหลในท่อของงานวิจัยในครั้งนี้

ส่วนที่ 3 ระบบคลาวด์ มีหน้าที่ในการรับข้อมูลจาก RPi 3 โดยคลาวด์จะคอยรับคำสั่งจากผู้ใช้งานและนำเสนอข้อมูลค่าแรงดันและค่าการสูญเสียในท่อสำหรับการบริหารจัดการข้อมูลที่สำคัญต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากฐานข้อมูลหลัก



รูปที่3 การออกแบบระบบ ไอโอที



รูปที่4 การออกแบบอุปกรณ์ฝังตัวอัจฉริยะ

ในส่วนของเว็บแอปพลิเคชัน สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 1) การแสดงผล 2) การแจ้งเตือน และ 3) การแสดงข้อมูลในอดีต โดยโครงสร้างการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันเริ่มต้นที่ หน้าจอผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นส่วนที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานเรียกใช้งาน ระบบจะมีการส่งคำสั่งเข้ามาที่เว็บเซิร์ฟเวอร์ และแสดงค่าข้อมูลจากฐานข้อมูลไปแสดงผลที่เว็บแอปพลิเคชัน ตามที่อยู่ URL ที่กำหนดไว้ โดยมีการเขียนคำสั่ง RPi 3 สำหรับการรับและส่งข้อมูล จากเซ็นเซอร์ส่งไปที่ฐานข้อมูล ผ่าน API โดยใช้ Restful ที่ใช้รูปแบบข้อมูลของ JSON (JavaScript Object Notation) และมีการนำค่าของข้อมูลแสดงผลของเว็บแอปพลิเคชันบน HTTP เพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไข และเป็นโครงสร้างมาตรฐานในการทำงาน

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

โดยระบบที่ประกอบด้วย RPi3 ทั้งหมด 4 จุด รูปที่ 5 แสดงหน้าจอค่าแรงดันน้ำที่จุดต่าง ๆ ภายในแบบจำลองที่ท่อและวาล์วขนาดแตกต่างกัน ผลของแรงดันแรกเข้าและค่าแรงดันสูญเสียแสดงในตารางที่ 2

```
from time import sleep
import Adafruit_CharLCD
lcd = Adafruit_CharLCD(Adafruit_CharLCD(rs=25, en=24, d4=23, d5=18, d6=15, d7=14, cols=16, lines=2))

import Adafruit_ADS1x15
adc = Adafruit_ADS1x15.ADS1115(address=0x48, busnum=1)

# Gain = 2/3 for reading voltages from 0 to 6.144V.
# See table 3 in ADS1115 datasheet.
GAIN = 2/3

# Main loop.
while 1:
    value = [0]
    # Read ADC channel 0
    value[0] = adc.read_adc(0, gain=GAIN)
```

รูปที่5 ค่าแสดงผลของเซนเซอร์

วัสดุที่ใช้	แรงดัน 14.503 (PSI)	แรงดัน 29 (PSI)	ค่าแรงดันสูญเสีย(เปอร์เซ็นต์)
gate valve	13.874	25.357	12.562
globe valve	14.187	26.841	7.444
venturi tube	12.512	22.548	22.248
strainer	10.251	21.755	24.982

4. สรุปผล

จากงานวิจัยนี้พบว่า ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการผลิต (การเพาะปลูก) โดยการบริหารจัดการข้อมูลระบบของไหลในท่อผ่านระบบไอโอที โดยระบบจะทำการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าแรงดันภายในท่อผิดปกติอย่างมีประสิทธิภาพผ่านระบบมือถือ และผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง เพื่อการเพาะปลูกอย่างมีประสิทธิภาพได้ทันที และช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมีค่าแรงดันต่ำหรือสูงเกินไป โดยจากงานวิจัยและข้อมูลที่เก็บจากบริษัทฟาร์มกรณิศึกษา พบเมื่อค่าแรงดันภายในท่อมียกกว่าปกติ จะส่งผลให้การให้น้ำภายในท่อของทั้งฟาร์มเห็ดและผักไฮโดรโปนิคส์ไม่ทั่วถึงหรือมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ส่งผลทำให้ผลผลิตกัญชงไม่เกิดการเจริญเติบโต ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานสามารถทราบข้อมูลได้ทันทีจะช่วยป้องกันการสูญเสียได้ ผลของการศึกษาสามารถนำแบบจำลองระบบของไหลในท่อไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการเกษตรอื่น ๆ ที่มีการใช้น้ำและการไหลภายในท่อเป็นหลัก เพื่อเป็นต้นแบบ ลดเวลาในการติดตั้ง และเป็นจุดเริ่มต้นสำหรับธุรกิจเกษตรอื่น ๆ ที่สนใจ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากโรงงานกรณิศึกษาโรงเพาะเห็ด อ.บ้านหมอ จ. สระบุรีและฟาร์มผักไฮโดรโปนิคส์พระราม2 กรุงเทพมหานคร สำหรับข้อมูลและความร่วมมือต่าง ๆ และ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Sridharan, M. , Devi, R. , Dharshini, C. S. , & Bhavadarani, M. (2019) . IoT based performance monitoring and control in counter flow double pipe heat exchanger. Internet of Things, 5, 34-40.
- [2]. Perumal, V. S. A., Baskaran, K., & Rai, S. K. (2017). Implementation of effective and low- cost building monitoring system (BMS) using Raspberry PI. Energy Procedia, 143, 179-185.
- [3]. Matsui, K. (2017). Proposal and implementation of real-time certification system for smart home using IoT technology. Energy Procedia, 142, 2027-2034.
- [4]. Sakamoto, M., & Suzuki, T. (2015). Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (Lactuca sativa L. cv. Red Wave). American Journal of Plant Sciences, 6(14), 2350.
- [5]. Ficco, M., & Palmieri, F. (Eds.). (2017). Security and Resilience in Intelligent Data- Centric Systems and Communication Networks. Academic Press.
- [6] Jones Jr, J. B. (2016). Hydroponics: a practical guide for the soilless grower. CRC press.
- [7] Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Man, H. C., & Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. International agrophysics, 32(2), 287-302.
- [8] Ntengwe, F. W., Chikwa, M., & Witika, L. K. (2015). Evaluation Of Friction Losses In Pipes And Fittings Of Process Engineering Plants. International Journal of Scientific & Technology Research, 4(4), 330-336.

- [9] Brechner, M., Both, A. J., & Staff, C. E. A. (1996). Hydroponic lettuce handbook. Cornell Controlled Environment Agriculture, 504-509.
- [10] Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. N. S., & Hassan, A. (2009). Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. *Desalination and Water Treatment*, 5(1-3), 19-28.
- [11] รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ปี 2561 และแนวโน้มปี 2562, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, เลขที่ 75/6 ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 www.oie.go.th
- [12] Frankel, M. . Facility Piping System Design, 2nd edition, McGraw-Hill. 2002