

## การพัฒนาระบบควบคุมความเข้มข้นน้ำแป้งแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรม แป้งมันสำปะหลัง

### Development of Automatic Starch Water Intensity Control System in Cassava Starch Industry

พิทักษ์ คล้ายชม\* และ อภิศักดิ์ พรหมฝาย

Pitak Khlaichom and Apisak Phromfaiy

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

Department of Computer Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University

\*Email: pitakkh@hotmail.com

Received: October 17, 2018; Revised: March 24, 2019; Accepted: April 01, 2019

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังยังใช้แรงงานคนตักน้ำแป้งที่ผ่านการเหวี่ยงแยกขึ้นมา จากนั้นนำไฮโดรมิเตอร์วัดค่าความถ่วงจำเพาะจุ่มลงไปเพื่อตรวจสอบค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งซึ่งกระบวนการนี้ทำให้การทำงานล่าช้า ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้ง โดยสร้างแบบจำลองถึงน้ำแป้งขึ้นมา เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาระบบควบคุมกระบวนการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้ง ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยคณะผู้วิจัยได้ใช้สมการถดถอยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแป้ง จากนั้นหาประสิทธิภาพโดยการวิเคราะห์ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแป้งมีค่าเท่ากับ 2.18 โบเม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดความเข้มข้นน้ำแป้งในโรงงานอุตสาหกรรมได้

**คำสำคัญ :** อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง, ความเข้มข้นของน้ำแป้ง, ระบบอัตโนมัติ

#### Abstract

Currently, measurement on intensity of starch water in cassava starch manufacturers is performed by labors through scooping starch water separated by centrifuge method. Subsequently, hydrometer for measuring specific gravity was dipped in such starch water to check intensity of starch water leading to delay operation. As a result, the researchers developed a system for measuring intensity of starch water by modeling a starch water tank for testing efficiency and developing Automatic Starch Water Intensity Control System to be more efficient. The researchers used regression equation to analyze and find relationship between specific gravity and conductivity of starch water. Subsequently, efficiency was calculated by analyzing square root of Root Mean Squared Error (RMSE) of relationship between specific

gravity and conductivity of starch water and obtained the value of 2.18 baume that could be applied to measure on intensity of starch water in industrial factories.

**Keywords :** Cassava Starch Industry, Intensity of Starch Water, Automatic System

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตที่สำคัญ 10 อันดับแรกของโลก มีเนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่เป็น 8,431,000 ไร่ 30,022,000 ตัน และ 3,561 กิโลกรัม ตามลำดับ [1] และมีวิธีการแปรรูปแป้งมันสำปะหลังดิบเป็นแป้งมันสำปะหลังแปรรูปมี 3 วิธี คือ Degradation Pregelatinization และ Derivatives ซึ่งแต่ละวิธีจะได้แป้งมันสำปะหลังแปรรูปที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน [2] จังหวัดอุตรดิตถ์เป็นจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมทางด้านมันสำปะหลัง และมีโรงงานที่ผลิตแป้งมันปะหลังอยู่ใน อำเภอตรอน โดยมีกระบวนการการผลิตเริ่มจาก การรับหัวมัน การเตรียมและทำความสะอาดหัวมัน การบดหัวมัน การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำแป้ง การอบแห้ง และการบรรจุภัณฑ์ การสกัดน้ำแป้งเมื่อผ่านเข้าเครื่องสกัดละเอียดแล้ว จะเข้าสู่เครื่องแยกแป้ง (Starch Separator) โดยอาศัยหลักการเหวี่ยงแยกออกมาเป็นน้ำแป้งที่มีความเข้มข้น 19-20 โบเม หรือประมาณ 40 % แป้งแห้ง [3] และจากการศึกษาโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลัง ในการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้ง ปัจจุบันโรงงานได้ใช้แรงงานคนตักน้ำแป้งที่ผ่านการเหวี่ยงแยกโดยเครื่องแยกแป้งจากนั้นนำไฮโดรมิเตอร์ [4] วัดความถ่วงจำเพาะ (Baume) จุ่มลงไปอ่านค่า เมื่อมีค่าที่ต้องการแล้วจะเปิดวาล์วปล่อยน้ำแป้งไปยังถังพักอีกครั้งหนึ่งซึ่งกระบวนการนี้อาจทำให้การทำงานล่าช้า ขาดประสิทธิภาพ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดและแนวทางการพัฒนาระบบวัดและควบคุมความเข้มข้นของแป้งด้วยระบบอัตโนมัติ ที่สามารถวัดและควบคุมได้อย่างต่อเนื่องด้วยตนเอง [5]

## 2. ขอบเขตการวิจัย

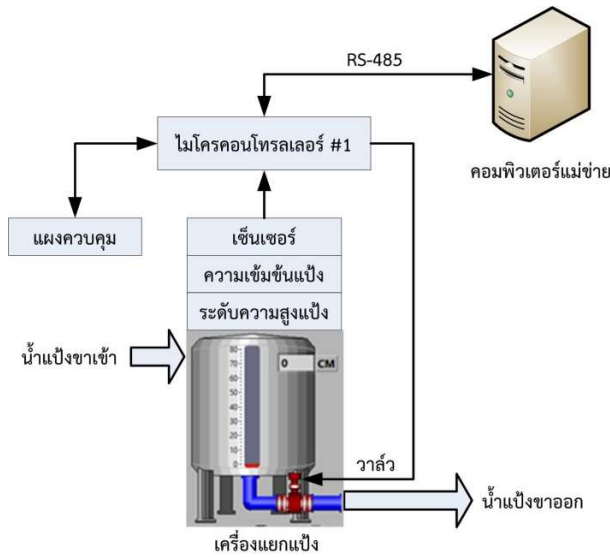
การพัฒนาระบบควบคุมความเข้มข้นน้ำแป้งแบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เป็นการสร้างแบบทดสอบขึ้นมา เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาระบบควบคุมกระบวนการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้ง ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเข้มข้นของน้ำแป้งในถัง เปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set Point) ทำการควบคุมวงปิดแบบเปิด-ปิด (On-Off Controllers) [6] เพื่อสั่งเปิด-ปิดวาล์วปล่อยน้ำแป้งอย่างอัตโนมัติ

## 3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลัง คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังแบบอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 3.1 การออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์

คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้บอร์ด Arduino Leonardo เป็นหน่วยประมวลผลหลักของชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีทั้งหมด 4 ชุด โดยแต่ละชุดจะมีหมายเลขประจำตัวอุปกรณ์และสื่อสารกันด้วย RS-485 [7] และส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบควบคุมความเข้มข้นน้ำประปาอัตโนมัติ

สำหรับชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปาหลังจากแต่ ละชุด คณะผู้วิจัยได้ใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก สำหรับวัด ระดับความสูงของน้ำประปาในถังแ่ง และใช้เซ็นเซอร์วัด กระแสไฟฟ้า เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปประมวลผลหาค่าความ ถ่วงจำเพาะ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะเปรียบเทียบค่า ความถ่วงจำเพาะที่วัดได้กับช่วงค่าที่ต้องการ หากมีค่าต่ำ กว่าช่วงค่าที่ต้องการ จะสั่งปิดวาล์วเพื่อรอให้ความ ถ่วงจำเพาะของแ่งสูงขึ้น จนกว่าจะมีค่าสูงกว่าช่วงค่าที่ ต้องการ จะสั่งเปิดวาล์วเพื่อปล่อยน้ำประปาไปสู่กระบวนการ ผลิตขั้นตอนต่อไป ส่งผลให้ น้ำประปามีความถ่วงจำเพาะลดลง เมื่อมีค่าต่ำกว่าช่วงค่าที่ต้องการจะสั่งปิดวาล์วอีกครั้งหนึ่ง สลับไปมาในลักษณะนี้ตลอดเวลา

### 3.2 โพรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลในระบบควบคุมน้ำประปาอัตโนมัติ

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่อง คอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปา ภายหลังจาก โดยแบ่งเป็น 2 คำสั่ง คือ

3.2.1 การร้องขอข้อมูลต่าง ๆ จากชุดวัดค่าความเข้มข้นของ น้ำประปาหลังจาก โดยเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย จะส่ง คำสั่งตามโครงสร้างของคำสั่งดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 โพรโตคอลการร้องขอข้อมูล

3.2.2 การตอบสนองของชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปา ภายหลังจากให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เมื่อชุดวัดค่า ความเข้มข้นของน้ำประปาหลังจากได้รับคำสั่งร้องขอ ข้อมูล ชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปาหลังจากจะทำ การส่งข้อมูลกลับไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ตาม โครงสร้างของคำสั่งดังรูปที่ 3

จากโปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลในระบบควบคุมน้ำ ประปาอัตโนมัติ การร้องขอข้อมูลต่างๆเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ ข่ายจะส่งคำสั่งการร้องขอข้อมูลโดย ประกอบด้วย Header จะใช้

เครื่องหมาย “#” ID หมายถึง หมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ ของชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปาหลังจากที่ต้องการ ร้องขอข้อมูล และสุดท้ายจะต้องปิดท้ายข้อมูลด้วย 0Dhex (Carriage Return) ส่วนโปรโตคอลการส่งข้อมูลกลับเมื่อถูก ร้องขอข้อมูล ชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปาหลังจาก จะส่งข้อมูลต่าง ๆ กลับมาให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ซึ่งประกอบด้วย Header จะใช้เครื่องหมาย “#” ID หมายถึง หมายเลขประจำตัวอุปกรณ์ของชุดวัดค่าความ เข้มข้นของน้ำประปาหลังจาก ซึ่งจะบอกถึงข้อมูลต่อไปนี้ จะเป็นของชุดวัดค่าความเข้มข้นของน้ำประปา

ภายหลังจากนั้น ส่วนการร้องขอข้อมูลและการตอบกลับ ข้อมูล ได้ออกแบบให้มีเครื่องหมาย “,” คั่นระหว่างข้อมูล แต่ละส่วน ตัวอย่างเช่น “#, 2, 0Dhex” หมายถึง เครื่อง คอมพิวเตอร์แม่ข่ายร้องขอข้อมูลจากชุดวัดค่าความเข้มข้น ของน้ำประปาหลังจากหมายเลข 2 เมื่อชุดวัดค่าความ เข้มข้นของน้ำประปาหลังจากได้รับคำสั่งร้องขอข้อมูล จะ ทำการส่งข้อมูลกลับไปให้คอมพิวเตอร์แม่ข่าย ตัวอย่าง เช่น “#,2, 50, 21.5, 1, 0, 10, 0Dhex” จากชุดข้อมูล คือ หมายเลขเครื่อง = 2 ค่าระดับน้ำ = 50 ค่าความเข้มข้นน้ำ ประปา = 21.5 สถานะวาล์ว = 1 ค่าสถานะสวิทช์ = 0 ค่า Alarm = 10

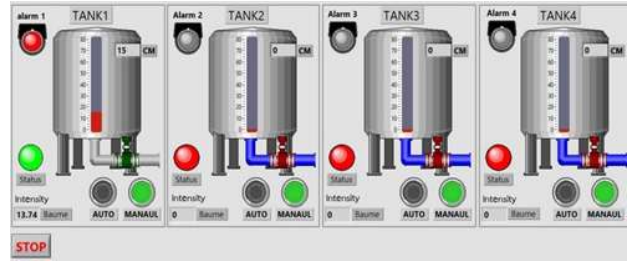
header	ID	level	intensity	valve	switch	alarm	OD <sub>hex</sub>
--------	----	-------	-----------	-------	--------	-------	-------------------

รูปที่ 3 โพรโตคอลการส่งข้อมูลกลับเมื่อถูกร้องขอข้อมูล

3.3 การออกแบบหน้าต่างโปรแกรม

โปรแกรมระบบการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่งมันสำปะหลังแบบอัตโนมัติ ที่ใช้สำหรับติดต่อกับผู้ปฏิบัติงาน โดยระบบการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่งมันสำปะหลังแบบอัตโนมัติ จะทำการติดต่อกับฐานข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย และนำมาแสดงผลในรูปแบบที่กำหนด ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ออกแบบหน้าต่างโปรแกรมให้มีความคล้ายกับสถานที่ปฏิบัติงานจริงเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยโปรแกรมจะมีส่วนการทำงานอยู่ 3

ส่วนคือ 1) การเข้าสู่ระบบ 2) การกำหนดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่งมันสำปะหลัง 3) การควบคุมการทำงาน แสดงดังรูปที่ 4



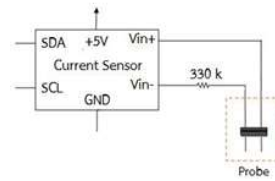
รูปที่ 4 โปรแกรมระบบการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่งมันสำปะหลังแบบอัตโนมัติ

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้าและความถ่วงจำเพาะ

การวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่ง คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้หลักการวัดการนำไฟฟ้าในของเหลว โดยใช้แท่งโลหะ 2 แท่งเป็นโพรบวัด ดังรูปที่ 5 ในการทดลองนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้น้ำเปล่าจำนวน 10 ลิตร ผสมกับแ่งมันในอัตราส่วนต่าง ๆ พร้อมทั้งทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าจากอุปกรณ์ที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้น และวัดค่าความถ่วงจำเพาะจากไฮโดรมิเตอร์เพื่อนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้า และความถ่วงจำเพาะหน่วยเป็นองศาโบเม



(ก) ชุดจำลองถังพักน้ำแ่ง (ข)



(ค) วงจรการเชื่อมต่อการวัดการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง

รูปที่ 5 ชุดจำลองถังพักน้ำแ่ง และวงจรการเชื่อมต่อการวัดการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้น้ำปริมาณ 10 ลิตร

ปริมาณแ่ง/กรัม	ค่าความถ่วงจำเพาะ(โบเม)			ค่าการนำไฟฟ้า(มิลลิแอมป์)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3
0	0	0	0	4.7	4.7	4.8
500	2	2	2	4.4	4.5	4.4
1000	4	4	4	4.1	4.2	4.1
1500	5	5	5	3.9	3.9	3.9
2000	7	7	7	3.7	3.7	3.7
2500	9	9	9	3.6	3.6	3.6

ปริมาณแ่ง/กรัม	ค่าความถ่วงจำเพาะ(โบเม)			ค่าการนำไฟฟ้า(มิลลิแอมป์)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3
3000	10	10	10	3.5	3.5	3.5
3500	12	12	12	3.3	3.3	3.3
4000	13	13	13	3.2	3.2	3.3
4500	14	14	14	3.1	3.3	3.1
5000	15	15	15	2.8	2.9	2.8
5500	16	16	16	2.8	2.8	2.8
6000	17	17	17	2.7	2.7	2.7
6500	18	18	18	2.5	2.5	2.5
7000	19	19	19	2.5	2.5	2.5
7500	20	20	20	2.4	2.4	2.4
8000	21	21	21	2.4	2.4	2.4
8500	22	22	22	2.3	2.3	2.4
9000	23	23	23	2.3	2.2	2.2

#### 4. ผลการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้นำค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าจากตารางที่ 1 มาวิเคราะห์หาสมการถดถอย [8] ของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตรกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง และปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตรกับค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้จากไฮโดรมิเตอร์ โดยมีผลดังต่อไปนี้

##### 4.1 ผลการวิเคราะห์หาสมการถดถอยของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบความแตกต่างของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ชั้นความเป็นอิสระ (DF) ของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 56 ผลรวมกำลังสอง (SS) ของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 2646.0 ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (MS) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 2601.10 และภายในกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 0.82 ค่าสถิติ F จากตาราง ANOVA (F = 3186.20) มีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.000) แสดงว่า ปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร แตกต่างจากค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < .05) ดังตารางที่ 2

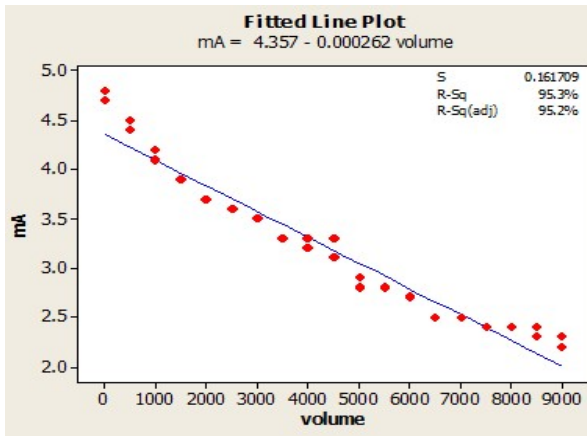
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างความแตกต่างของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตรกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง

Source	DF	SS	MS	F	p
Value	1	2601.1	2601.10	3186.20	0.000
Error	55	44.9	0.82		
Total	56	2646.0			

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย ด้วยวิธี Linear Regression Analysis ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง พบว่า ค่าผิดพลาดมาตรฐานเท่ากับ 0.161709 ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจเท่ากับ 95.3% และจากสมการถดถอยนี้ค่อนข้างที่จะมีแนวโน้ม ที่จะเป็นสมการเชิงเส้น 95.2% ดังรูปที่ 6 และแสดงสมการถดถอยได้ดังสมการที่ (1)

$$mA = 4.357 - (0.000262 \times \text{Volume}) \quad (1)$$

โดยที่ mA คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง  
Volume คือ ปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง

4.2 ผลการวิเคราะห์หาสมการถดถอยของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าความถ่วงจำเพาะ

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบความแตกต่างของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตรกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ชั้นความเป็นอิสระ (DF) ของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 56 ผลรวมกำลังสอง (SS) ของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 30.7547 ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (MS) ระหว่างกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 29.3165 และภายในกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 0.0261 ค่าสถิติ F จากตาราง ANOVA (F = 1121.10) มีนัยสำคัญทางสถิติ (p = 0.000) แสดงว่า ปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร แตกต่างจากค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < .05) ดังตารางที่ 3

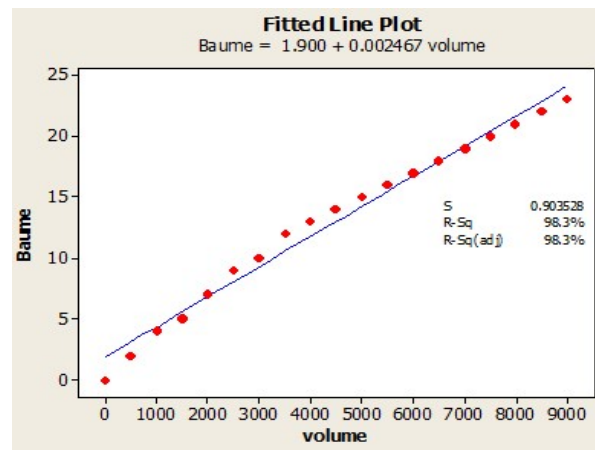
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างความแตกต่างของปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง

Source	DF	SS	MS	F	p
Value	1	29.3165	29.3165	1121.10	0.000
Error	55	1.4382	0.0261		
Total	56	30.7547			

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสมการถดถอย ด้วยวิธี Linear Regression Analysis ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตรกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง พบว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานเท่ากับ 0.903528 ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจเท่ากับ 98.3% และจากสมการถดถอย ดังสมการที่ (2) ค่อนข้างที่จะมีแนวโน้มที่จะเป็นสมการเชิงเส้น 98.3% ดังรูปที่ 7

$$\text{Baume} = 1.9 - (0.002467 \times \text{Volume}) \quad (2)$$

โดยที่ Baume คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง  
Volume คือ ปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแ่งในน้ำ 10 ลิตร กับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง

4.3 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่งโดยการนำสมการที่ (1) และสมการที่ (2) มาจัดรูปใหม่เป็น สมการที่ (3) และสมการที่ (4) ตามลำดับ

$$\text{Volume} = \frac{[4.357 - \text{mA}]}{0.000262} \quad (3)$$

$$\text{Volume} = \frac{[\text{Baume} - 1.9]}{0.002467} \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้สมการ (3) เท่ากับ สมการที่ (4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่งตั้งสมการที่ (5) และเมื่อนำมาจัดรูปสมการใหม่จะได้ตั้งสมการที่ (6)

$$\frac{[4.357 - mA]}{0.000262} = \frac{[Baume - 1.9]}{0.002467} \quad (5)$$

$$Baume = \left[ \frac{[4.357 - mA]}{0.000262} \times 0.002467 \right] + 1.9 \quad (6)$$

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบควบคุมความเข้มข้นน้ำแ่งอัตโนมัติ

คณะผู้วิจัยได้นำความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่งจากสมการที่ (6) มาใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพความแม่นยำในการวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่ง โดยการหาค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 2.18 โบเม หมายความว่า สมการที่ (6) มีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำแ่งเล็กน้อย เพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดความเข้มข้นของน้ำแ่งในโรงงานอุตสาหกรรมได้

#### 5. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบของกระบวนการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่ง โดยการสร้างแบบจำลองถ่วงน้ำแ่งขึ้นมาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและพัฒนาระบบควบคุมกระบวนการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่ง ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเข้มข้นของน้ำแ่งในถังแล้วทำการสั่งเปิดและปิดวาล์วเมื่อได้ค่าน้ำแ่งออกมาตามที่ต้องการแบบอัตโนมัติ ในส่วนของโปรแกรมจะมีส่วนการทำงานอยู่ 3 ส่วนคือ 1) การเข้าสู่ระบบ 2) การกำหนดค่าความเข้มข้นของน้ำแ่งมันสำปะหลัง 3) การควบคุมการทำงาน คณะผู้วิจัยได้ใช้สมการถดถอยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่ง พบว่าค่าการนำไฟฟ้าลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ [9] ที่ได้กล่าวว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวได้ดีจะขึ้นอยู่กับ

ค่าความเข้มข้นอยู่บ้าง และโดยทั่วไปค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงเมื่อค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับการคำนวณจากสมการของ [10] ที่แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของไอออนแปรผันกับความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่แตกตัวได้ดี และเมื่อวิเคราะห์ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแ่งมีค่าเท่ากับ 2.18 โบเม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวัดความเข้มข้นน้ำแ่งในโรงงานอุตสาหกรรมได้

จากการทดลองพบว่าอุปกรณ์ในการวัดความเข้มข้นที่ใช้วัดการนำไฟฟ้าเป็นแท่งทองแดง หากใช้งานเป็นเวลานานจะทำให้เกิดออกไซด์ได้เมื่อสัมผัสกับอากาศและถ้าแช่น้ำตลอดเวลาจะเกิดเมือกซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ จึงควรใช้เป็นโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีและไม่เกิดสนิมได้ง่าย และจำเป็นต้องทำความสะอาดเป็นระยะ

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ ห้องปฏิบัติการในการทดสอบและสนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics, "Agricultural statistics of Thailand in 2016," Bangkok, Office of Agricultural Economics Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2016.
- [2] Economic Research Center Thammasat university, "Research project on development of integrated agricultural industry," Bangkok, Thammasat University, 2000.
- [3] A. Sukampa, "Comparative Study Starch Recovery from Cassava Pulp By Grinding with Stone Mill and Mincer," Bangkok, Kasetsart University, 2005.

- 
- [4] Wikipedia Foundation. Hydrometer. [Online]. [Cited June 5, 2016]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/Hydrometer>.
- [5] Wikipedia Foundation. Automation. [Online]. [Cited June 15, 2018]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Automation>.
- [6] S. Kultanapreda, "Automatic Control Engineering," Bangkok, Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2009.
- [7] Thai Embedded. Using RS485 communication Microcontroller. [Online]. [Cited April 5, 2016]. Available: <http://www.thaiembedded.com/blog/?p=284>.
- [8] S. Namphacharoen and C. Chamrasporn. Regression Analysis. [Online]. [Cited April 5, 2016]. Available: [http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?bookID=3086&read=true](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=3086&read=true).
- [9] N. Pewnim. Physical Chemistry. [Online]. [Cited March 20, 2018]. [http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/n\\_piwnim/CH260%20Solution%20conductivity.pdf](http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/n_piwnim/CH260%20Solution%20conductivity.pdf).
- [10] C. Schaschke, "A Dictionary of Chemical Engineering," Oxford University Press, 2014.