



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม  
และค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะลายปาล์ม

Portable Prototype Machine for Displaying the Palm Oil  
Percentage and pH value of Palm Fruits on Palm Bunch

รองศาสตราจารย์บุญยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม  
และค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะลายปาล์ม

Portable Prototype Machine for Displaying the Palm Oil  
Percentage and pH value of Palm Fruits on Palm Bunch

รองศาสตราจารย์ปทุมยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ เครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของทะลายปาล์ม  
บนทะลายปาล์ม

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2557 วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 170,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึง 31 กันยายน พ.ศ. 2557

หัวหน้าโครงการ รศ.บุญยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์ หน่วยงานต้นสังกัด วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ฯ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเครื่องต้นแบบสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งยังไม่เคยมีการนำเสนอและใช้งานในที่ไหนมาก่อน เครื่องที่นำเสนอนี้ช่วยทำให้เกษตรกรและโรงงานปาล์มน้ำมันสามารถที่จะทราบเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มโดยเฉลี่ยในแต่ละครั้งได้ทันที โดยไม่ต้องรอผลการวัดและวิเคราะห์จากห้องปฏิบัติการปาล์มน้ำมัน หลักการที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องนี้คือปฏิกิริยาฮาโลจีเนชัน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัวในผลปาล์มน้ำมันกับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ค่าพีเอชที่วัดได้จะถูกนำไปหาความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม แล้วนำค่าพีเอชและเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มแสดงผลออกทางจอแอลซีดี โดยในที่นี้ จะทำการทดสอบกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์ (DxP, Dura และ Pisifera) และ 3 ช่วงอายุ (8 - 12 ปี, 12 - 20 ปี และมากกว่า 20 ปี) แล้วผลการทดลองที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ที่ได้รับของบริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)

ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า เครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้สามารถวัดและแสดงค่าพีเอช (pH) ของน้ำมันปาล์มและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม (%oil/FFB) ได้สำเร็จ โดยค่าเฉลี่ยของ %pH error มีค่าไม่เกิน 0.5% และค่า %oil/FFB โดยเฉลี่ยของทะลายปาล์มช่วงอายุ 8 - 12 ปี, 12 - 20 ปี และมากกว่า 20 ปีที่คำนวณได้และแสดงผลมีค่าเท่ากับ 16.89%, 23.47% และ 26.55% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โดยส่วนใหญ่ ปาล์มน้ำมันอายุ 12 - 20 ปี และมากกว่า 20 ปี ที่อยู่ในลักษณะทะลายปาล์มนั้นมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มที่มากกว่า 19%

ประโยชน์ที่ได้รับของเครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้คือ ชาวสวนปาล์มสามารถทราบเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มเฉลี่ยจากปาล์มน้ำมันที่ตนนำไปขายในแต่ละครั้งได้ทันที ทราบช่วงเวลาในการให้น้ำและใส่ปุ๋ย มีรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการขายปาล์มน้ำมันที่พิจารณาราคาซื้อขายจากเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม รวมถึงรัฐบาลสามารถส่งเสริมและควบคุมคุณภาพในการปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยให้ดีขึ้นได้ นอกจากนี้ เครื่องนี้ยังส่งผลดีต่อร้านรับซื้อและโรงงานปาล์มน้ำมันอีกด้วย เพราะสามารถทราบเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและกำหนดราคารับซื้อได้ทันที ไม่เสี่ยงต่อการขาดทุนในการรับซื้อปาล์มน้ำมันและไม่ต้องรอผลการวัดจากห้องปฏิบัติการ

คำสำคัญ : เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม, พีเอชน้ำมันปาล์ม, ทะลายปาล์มน้ำมัน, ดีเอกซ์พี, ดูรา, พิสิเฟอรา.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** ... Portable Prototype Machine for Displaying the Palm Oil Percentage and  
... pH value of Palm Fruits on Palm Bunch

**Researcher:** ... Assoc. Prof. Punyawit Jamjareegulgarn

**Faculty:** ... Prince of Chumphon Campus ... **Department:** ... Engineering ...

## ABSTRACT

This paper proposes a prototype machine for displaying palm oil percentage and pH values of oil palm branch which has never been presented and utilized in any places previously. This proposed prototype machine aids a lot of oil palm farmers as well as factories to be able to know their averaged oil palm percentage in each time abruptly while they don't wait for the measured and analyzed results from an oil palm laboratory. The main principle used in this machine is the halogenations' reaction which is a reaction between unsaturated fatty acid in a palm fruit and Potassium Iodide solution. The measured pH values are taken to find a relationship with its palm oil percentage, and then those pH and palm oil percentage values are shown on LCD. Herein, Some "DxP, Dura, and Pisifera" oil palms with 3 ranges, i.e., 8 - 12 years, 12 - 20 years, and above 20 years, are taken to test and their experimented results are compared with the analyzed results of Chumphon Palm Oil Industry Public Co. Ltd. The experimental results have been shown that the proposed prototype machine can measure and show the palm oil pH's and palm oil percentages completely. The averaged errors of palm oil pH measured by this machine are not above 0.5% and the averaged %oil/FFB of oil palm branches with 3 ranges, i.e., 8 - 12 years, 12 - 20 years, and above 20 years can be computed and shown on this machine and are equal to 16.89%, 23.47%, and 26.55%, respectively. These mentioned results are the clear evidence that the most of some oil palm branches with 12 - 20 years and above 20 years have owned the %oil/FFB which is higher than 19%.

The advantages of this proposed prototype machine are as follows: The oil palm farmers can know the average %oil/FFB from the sole oil palms in each time abruptly, can know the suitable time for supplying some water and fertilizer, get more money from the palm trading which rely on the %oil/FFB, and the government can promote and control the quality of oil palm agriculture of Thailand in the good way. Furthermore, this machine also provides some benefits to many oil palm trading houses and factories since they can know the average %oil/FFB and determine the suitable buy price of each set of sole oil palms simultaneously where they don't be risk to cut loss from the oil palm trading and they don't wait for the measured results of an oil palm laboratory.

**Keywords:** palm oil percentage, palm oil pH, oil palm branch, DxP, Dura, Pisifera.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกรรมการผู้จัดการและเจ้าหน้าที่แผนกวิจัยและพัฒนา บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรม น้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ทุกๆ ท่าน ได้แก่ คุณไพจิตร หิมทอง คุณรัชดา ครองทรัพย์ คุณอนุกุล มีเอี่ยม คุณวราพงศ์ กวินปกรณ์ คุณสุจินดา นิลทกุล คุณณกนุช ศรีวัง และคุณแสงจันทร์ กลับอยู่ ที่ได้ให้ความรู้ ให้ความช่วยเหลือ ให้ข้อมูลต่างๆ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์/เครื่องมือ วัสดุต่างๆ ในห้องปฏิบัติการของบริษัทฯ

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณท่านรักษาการรองอธิการบดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เผชิญชัยภัต ไชยสิทธิ์ ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ท่านได้ให้ความช่วยเหลือ ได้ให้ความรู้ และส่งเสริมการทำวิจัย ตลอดจน คณะกรรมการวิจัย เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย ฝ่ายพัสดุและฝ่ายการเงิน ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ช่วยประสานงานและดำเนินการต่างๆ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ต้องขอขอบคุณ นายพรพล จันทร์ขุน นายวิทยา เชื้อสง่า และนายวิชญ์ จิรพัฒนานนท์ นักศึกษาชั้นปีที่ 4 หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้าง และประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ช่วยเขียนโปรแกรม รวมถึงช่วยทดสอบและเก็บผลการทดลอง จนทำให้ งานวิจัยฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินวิจัยจากเงินรายได้ วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2557

รศ.ปยุตวิรุฬ จามจรีกุลกาญจน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>6</b>
2.1 แนวคิดในการสร้างเครื่องแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์ม.....	6
2.2 ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม.....	6
2.3 ลิปิด กรดไขมัน และการทดสอบ.....	7
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51.....	9
2.5 พีเอชมิเตอร์ (pH meter).....	12
2.6 วงจรปรับสภาพสัญญาณ (signal conditioners).....	18
2.7 analog to digital converter (ADC).....	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	<b>24</b>
3.1 ภาพรวมของงานวิจัย.....	24
3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง.....	25
3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์.....	26
3.4 การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ.....	26
3.5 การออกแบบวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส.....	27
3.6 การออกแบบวงจรคีย์แพ็ค.....	28
3.7 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล.....	29
3.8 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่าพีเอช.....	30
3.9 วงจรรวม.....	31
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b> .....	<b>33</b>
4.1 ผลการทดลองวัดค่า pH ในสารละลายชนิดต่างๆ ของวงจรวัดค่า pH ที่สร้างขึ้น.....	33
4.2 ผลการทดลองวัดค่า pH ของผลปาล์มน้ำมันในแต่ละชั้นของ 1 ทะลายปาล์ม.....	34
4.3 ผลการทดลองวัดค่า pH และการคำนวณหาค่า %oi/FFB เปรียบเทียบกับ CPI.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการทดลองการวัดค่า pH และการแสดงผลค่า %oil/FFB (ภาคสนาม).....	40
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>42</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
<b>บรรณานุกรม</b> .....	<b>45</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	46
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานเครื่อง.....	55
ภาคผนวก ค ผลผลิตงานวิจัย.....	60
ภาคผนวก ง สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	64
<b>ประวัตินักวิจัย</b> .....	<b>66</b>



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มจากสีของผลปาล์มและความถูกต้องจากการพิจารณา.....	1
1.2 การบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม สาเหตุที่เป็นไปได้และความจริงในการรับซื้อปาล์ม.....	1
1.3 แผนงานวิจัยและช่วงเวลาในการดำเนินการวิจัย.....	4
2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม.....	8
2.2 สารละลายที่แตกตัวเป็นไอออน.....	15
2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่อิเล็กโทรดวัดค่า pH.....	16
2.3 ค่าเอาต์พุตของอิเล็กโทรดวัดค่า pH ที่อุณหภูมิต่างๆ.....	17
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับแรงดันไฟฟ้า.....	30
4.1 ผลการทดลองวัดค่า pH ในสารละลายชนิดต่างๆ.....	33
4.2 ผลการทดลองค่า pH ในผลปาล์มน้ำมันแต่ละชั้น.....	35
4.3 ผลการทดลองที่สมบูรณ์ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 8 - 12 ปี.....	38
4.4 ผลการทดลองที่สมบูรณ์ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 12 - 20 ปี.....	38
4.5 ผลการทดลองที่สมบูรณ์ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุมากกว่า 20 ปี.....	39
4.6 ผลการวัดค่า pH และ %oil/FFB ของทะเลาะปาล์มช่วงอายุ 8 - 12 ปี ที่ได้จากภาคสนาม.....	41
4.7 ผลการวัดค่า pH และ %oil/FFB ของทะเลาะปาล์มช่วงอายุ 12 - 20 ปีที่ได้จากภาคสนาม.....	41
4.8 ผลการวัดค่า pH และ %oil/FFB ของทะเลาะปาล์มอายุมากกว่า 20 ปีที่ได้จากภาคสนาม.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แนวคิดในการสร้างสร้างชิ้นงานที่นำเสนอ.....	6
2.2 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 แบบ PDIP 40.....	10
2.3 การใช้งานพอร์ต 0 เป็นพอร์ตเอาต์พุต.....	11
2.4 การใช้งานพอร์ต P1.0 เป็นพอร์ตอินพุตรับสัญญาณจากสวิตช์.....	12
2.5 หัวอิเล็คโทรดของพีเอชมิเตอร์.....	12
2.6 ส่วนประกอบของหัวอิเล็คโทรด.....	13
2.7 ระดับค่าพีเอชของสารทั่วไปจากกรดแก่ถึงด่างแก่.....	15
2.8 ตัวอย่างของอิเล็คโทรดวัดค่าพีเอชแบบแก้ว.....	16
2.9 ตัวอย่างอิเล็คโทรดอ้างอิงที่วัดค่าพีเอช (อิเล็คโทรดแบบซิลเวอร์/ซิลเวอร์-คลอไรด์).....	17
2.10 การวัดค่าพีเอชแบบมีการป้อนกลับ.....	18
2.11 วงจร counting converter.....	20
2.12 กราฟแรงดันเอาต์พุตที่ได้รับจากวงจร counting counter.....	20
2.13 โพลีชาร์ตหลักการของวิธี successive approximation.....	21
2.14 ตัวอย่างการเปลี่ยน Vin จาก 5 Volt เป็น 2 Volt.....	22
2.15 วงจร Dual-Slope ADC.....	22
2.16 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำมันปาล์มของ MTEC.....	23
3.1 ภาพรวมของงานวิจัยที่นำเสนอ.....	24
3.2 ขั้นตอนของการทำงานของเครื่อง.....	25
3.3 การจัดวางขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และขาไอซีที่ต่อใช้งาน.....	26
3.4 วงจรภาคจ่ายไฟ.....	27
3.5 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส (non-inverting amplifier).....	27
3.6 วงจรขยายและออฟเซตแรงดันไฟฟ้าแบบตายตัว (fixed gain/offset circuit).....	28
3.7 การทำงานของ Keypad.....	29
3.8 โครงสร้างและตำแหน่งขาของ MCP3201.....	29
3.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A to D 12 bit).....	30
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าแรงดันไฟฟ้า.....	31
3.11 วงจรรวมของเครื่องต้นแบบชนิดพกพาที่นำเสนอ.....	32
4.1 ผลปาล์ม 3 ชั้น (ชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน) ของ 1 ทะลายปาล์มที่สุ่มมาทดสอบ.....	35
4.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันอายุ 8 – 12 ปี.....	36
4.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันอายุ 12 – 20 ปี.....	37
4.4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 20 ปี.....	37
4.5 ตัวเครื่องต้นแบบที่นำเสนอ กับ ตัวอย่างค่า Vout, pH และ %oil/FFB ที่แสดงบนจอ LCD.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอเครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์ม โดยมีความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัยอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1.1 และ 1.2 ส่วนหัวข้อที่ 1.3 และ 1.4 จะเป็นการกล่าวถึงขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัยที่ต้องดำเนินการเป็นขั้นเป็นตอน เพื่อนำไปสู่การออกแบบและสร้างระบบให้เสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้ หัวข้อที่ 1.5 ยังได้กล่าวถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ หลังจากที่ได้สร้างเสร็จแล้ว โดยเนื้อหาในแต่ละหัวข้อมีดังนี้

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากปัจจุบันนี้ ปาล์มน้ำมัน (Palm) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลก เพราะทุกส่วนของปาล์มน้ำมันสามารถจะนำมาแปรรูปและสร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในการบริโภคและอุปโภคของมนุษย์ได้อย่างมากมาย อาทิเช่น น้ำมันปาล์มสำหรับทอดและผัดอาหารสำหรับมนุษย์ ไปโอติเซล สบู่ เทียนไข เป็นต้น ที่ผ่านมา การรับซื้อปาล์มของร้านรับซื้อปาล์มทั่วไปจะพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม (ในที่นี้ จะหมายถึงปริมาณน้ำมันปาล์มก็ได้) จากสีของผลปาล์มที่ปรากฏบนทะเลลายปาล์มและปาล์มร่วงเป็นหลัก ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มจากสีของผลปาล์มและความถูกต้องจากการพิจารณา

ลักษณะของปาล์มน้ำมัน	สีของผลปาล์ม	เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม	การรับซื้อของร้านรับซื้อปาล์มทั่วไป	ความถูกต้องในการพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม
1. ทะลายปาล์ม	สีดำออกม่วง (ดิบ)	ต่ำกว่า 17%	อาจจะไม่รับซื้อ หรือ อาจจะรับซื้อต่ำกว่าราคาทะเลลายปาล์ม	ถูกต้อง
	สีเหลือง	17%	รับซื้อราคาทะเลลายปาล์ม	อาจจะไม่ถูกต้อง
	สีส้มแดง	18%	รับซื้อราคาทะเลลายปาล์ม	อาจจะไม่ถูกต้อง
2. ปาล์มร่วง	สีส้มแดง	18%	รับซื้อราคาปาล์มร่วง	อาจจะไม่ถูกต้อง

สาเหตุที่ทำให้การพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มนั้นอาจจะไม่ถูกต้องนั้นมีกล่าวไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 การบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม สาเหตุที่เป็นไปได้และความจริงในการรับซื้อปาล์ม

ลักษณะของปาล์มน้ำมัน	สีของผลปาล์ม	เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม	ความถูกต้องในการพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม	สาเหตุที่เป็นไปได้ และความจริงในการรับซื้อปาล์ม
1. ทะลายปาล์ม	สีเหลือง	17%	- อาจจะไม่ถูกต้อง - เพราะเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 17% ก็ได้	- ขึ้นอยู่กับพันธุ์ปาล์ม - ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 18% อาจจะรับซื้อในราคาปาล์มร่วงก็ได้ - ถ้าประมาณ 17% หรือน้อยกว่าไม่มาก จะรับซื้อในราคาทะเลลายปาล์ม อย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 การบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม สาเหตุที่เป็นไปได้และความจริงในการรับซื้อปาล์ม (ต่อ)

ลักษณะของปาล์มน้ำมัน	สีของผลปาล์ม	เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม	ความถูกต้องในการพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม	สาเหตุที่เป็นไปได้ และความจริงในการรับซื้อปาล์ม
1. ทะลายปาล์ม	สีเหลือง	17%	- อาจจะไม่ถูกต้อง - เพราะเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 17% ก็ได้	- ขึ้นอยู่กับพันธุ์ปาล์ม - ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 18% อาจจะได้รับซื้อในราคาปาล์มร่วง ก็ได้ - ถ้าประมาณ 17% หรือน้อยกว่าไม่มาก จะรับซื้อในราคาทะลายปาล์มอย่างแน่นอน - ถ้าน้อยกว่า 17% มากๆ เช่น ต่ำกว่า 15% อาจจะต้องซื้อต่ำกว่าราคาทะลายปาล์มหรือไม่รับซื้อก็ได้
	สีส้มแดง	18%	- อาจจะไม่ถูกต้อง - เพราะเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 18% ก็ได้	- ขึ้นอยู่กับพันธุ์ปาล์ม - ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 18% อาจจะได้รับซื้อในราคาปาล์มร่วงอย่างแน่นอน - ถ้าประมาณ 17% หรือน้อยกว่าไม่มาก อาจซื้อในราคาทะลายปาล์ม - ถ้าน้อยกว่า 17% มากๆ เช่น ต่ำกว่า 15% อาจจะต้องซื้อต่ำกว่าราคาทะลายปาล์มหรือไม่รับซื้อก็ได้
2. ปาล์มร่วง	สีส้มแดง	18%	- อาจจะไม่ถูกต้อง - เพราะเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 18% ก็ได้	- ขึ้นอยู่กับพันธุ์ปาล์ม - ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับ 18% อาจจะได้รับซื้อในราคาปาล์มร่วงอย่างแน่นอน - ถ้าประมาณ 17% หรือน้อยกว่าไม่มาก อาจจะได้รับซื้อในราคาทะลายปาล์มก็ได้ - ถ้าน้อยกว่า 17% มากๆ เช่น ต่ำกว่า 15% อาจจะต้องซื้อต่ำกว่าราคาทะลายปาล์มหรือไม่รับซื้อก็ได้

จากตารางที่ 1.2 เราจะพบว่า เกิดความไม่ถูกต้องหรือความไม่แน่นอนในการพิจารณาเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการรักษาคุณภาพและการพัฒนาคุณภาพของปาล์มน้ำมันภายในประเทศ ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำของผลิตผลทางการเกษตรจำพวกปาล์มน้ำมัน ซึ่งในปัจจุบันนี้ประเทศไทยมีต้นทุนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันที่สูงมาก ได้แก่ ค่าต้นกล้า ค่าปุ๋ย ค่าบำรุงรักษา ค่าเก็บเกี่ยวผลผลิต ค่าขนส่ง ฯลฯ รวมถึงมีคุณภาพของผลิตผลปาล์มน้ำมัน (บ่งชี้ในรูปของเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม) ที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ มาเลเซีย และ อินโดนีเซีย ฯลฯ

การที่จะรักษาคุณภาพและพัฒนาคุณภาพของปาล์มน้ำมันภายในประเทศได้นั้น ทีมวิจัยคิดว่า ภาครัฐบาล โรงงานแปรรูปภาคเอกชน องค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปาล์มน้ำมัน (อาทิเช่น ธนาครเพื่อการเกษตรและสหกรณ์, ศูนย์วิจัยต่างๆ เป็นต้น) ร้านรับซื้อปาล์มน้ำมัน รวมถึงเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรจะทำให้ความร่วมมือกันและให้การสนับสนุนการดำเนินการกระบวนการทั้งหมดในเชิงบูรณาการตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายทางของผลิตผลทางการเกษตรจำพวกปาล์มน้ำมันกันอย่างจริงจัง ซึ่งที่วิจัยจะขอเสนอแนวทางเบื้องต้นพอสังเขปที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอในฉบับนี้ ดังนี้

1. สนับสนุนให้มีการสร้างเครื่องตรวจวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มจากทะเลลายปาล์ม เพื่อที่จะให้เกษตรกรและร้านรับซื้อปาล์มน้ำมัน ไว้ใช้เพื่อทราบเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มจากทะเลลายปาล์มอย่างแท้จริง เพื่อที่จะนำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพผลปาล์มให้ดีขึ้น การรับซื้อปาล์มน้ำมันในราคาที่ถูกต้อง โปร่งใส ยุติธรรมและเป็นธรรมกับเกษตรกรอย่างแท้จริง การส่งเสริมให้เกิดการซื้อขายผลปาล์มน้ำมันที่มีมาตรฐาน และมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และเกษตรกรมีความพึงพอใจและมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการขายปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ ภาครัฐบาล ภาคเอกชน ธกส. และหน่วยงานอื่นๆ จะให้การสนับสนุน ส่งเสริมและพัฒนาการปลูกและแปรรูปปาล์มน้ำมันอย่างมีทิศทางและตรงประเด็นมากยิ่งขึ้น

2. ภาครัฐบาลสนับสนุนให้มีการวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มจากผลปาล์ม โดยทำการสุ่มวัดทั้งที่ทะเลลายปาล์มและปาล์มร่วง ก่อนจะรับซื้อจริง ไม่ใช่เพียงแค่สังเกตจากสีของทะเลลายปาล์มและปาล์มร่วง

3. ในกรณีที่ เกษตรกรรายใดที่ขายปาล์มน้ำมันแล้วมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มต่ำ ควรจะให้คำแนะนำและการสนับสนุนในการเพิ่มเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มให้สูงขึ้น เป็นต้น

หมายเหตุ ยังมีประเด็นและแนวทางการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับปาล์มน้ำมันอีกมากมายที่หน่วยงานทุกภาคส่วนควรจะร่วมมือกันและช่วยกันปรับปรุง พัฒนาและแก้ปัญหาต่างๆ ในเชิงบูรณาการ นอกจากนี้ โรงงานแปรรูปปาล์มน้ำมันต่างๆ อาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ เพราะโรงงานเหล่านี้มีเงินทุนสูง สามารถที่จะซื้อเครื่องมือตรวจสอบและเครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มที่มีคุณภาพสูงได้ อีกทั้งยังสามารถจะผลิตและแปรรูปปาล์มน้ำมันที่มีคุณภาพสูงอยู่แล้ว

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์ม ที่ซึ่งยังไม่เคยมีการนำเสนอในวารสารหรือการประชุมวิชาการมาก่อน โดยสิ่งประดิษฐ์ที่นำเสนอนี้จะใช้ไมโครพวดค่า pH จุ่มลงไปในสารละลายที่มีปาล์มน้ำมันทดสอบและทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม แล้วแสดงค่า pH กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดังกล่าวบนจอ LCD โดยในที่นี้ จะทำการทดสอบจริงกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ DxP, พันธุ์ Dura และพันธุ์ Pisifera รวมถึงปาล์มน้ำมันที่อายุต่างๆ 3 ช่วงอายุ ได้แก่ ช่วงอายุที่ 1 คือ 8 - 12 ปี, ช่วงอายุที่ 2 คือ 12 - 20 ปี และช่วงอายุที่ 3 คือ มากกว่า 20 ปี เพื่อทำการเก็บค่า pH ของผลปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ต่างๆ และช่วงอายุต่างๆ เพื่อที่จะทำให้การวิจัยมีความน่าเชื่อถือแล้วสามารถจะบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มได้อย่างถูกต้องมากที่สุด โดยปาล์มน้ำมันจำนวน 3 สายพันธุ์ และ 3 ช่วงอายุดังกล่าวนี้เป็นข้อมูลที่นำมาจากบริษัทโรงงานชุมชนพรอตุสสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด เนื่องจากบริษัทจะใช้เป็นเกณฑ์ในการรับซื้อปาล์มน้ำมันและควบคุมคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์ม

2. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถวัดค่า pH แล้วแสดงทั้งค่า pH และค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มบนจอ LCD ได้

3. เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือวัดและทดสอบคุณสมบัติของผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ต่อไปในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการทดสอบจริงกับทะเลาะปาล์มหลายช่วงอายุและทดสอบกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์
2. หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มของปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุของแต่ละสายพันธุ์
3. สร้างเครื่องต้นแบบชนิดพกพาเพื่อแสดงค่า pH และค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มบนจอ LCD ได้

#### หมายเหตุ

1. ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในผลปาล์มน้ำมันที่เพาะปลูกในประเทศไทยมีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 20%
2. ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในผลปาล์มเริ่มสุกบนทะเลาะปาล์มจะรับซื้อที่ราคาทะเลาะปาล์มของร้านรับซื้อปาล์มน้ำมัน และค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในผลปาล์มร่วงจะรับซื้อที่ราคาปาล์มร่วงของร้านรับซื้อปาล์มน้ำมัน

### 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทำการเลือกและจัดซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์และโพรบวัดค่า pH
  2. รวบรวมข้อมูลและศึกษาปาล์มน้ำมันและหาชนิดของสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม
  3. ออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรวัดค่า pH เพื่อเชื่อมต่อกับโพรบวัดค่า pH
  4. ศึกษาการทำงานของวงจร ADC และการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากโพรบวัดค่า pH ไปเป็นค่า pH
  5. เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทดสอบการวัดค่า pH
  6. ปรับแต่งวงจรและแก้ไขโปรแกรมเพื่อให้แสดงผลค่า pH บนจอ LCD ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องวัด pH ที่ซื้อ
  7. ทำการทดสอบผลปาล์มน้ำมันสดจากทะเลาะปาล์มเพื่อเก็บค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม และจดบันทึกผลการทดสอบที่ได้รับ
  8. ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้รับและปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่องและผิดพลาด พร้อมทั้งออกแบบสร้างฟังก์ชันที่ใช้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มบนจอ LCD
  9. สรุปผลการวิจัย จัดพิมพ์รายงานผลการวิจัย จัดทำบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์และจัดทำเอกสารเพื่อยื่นขอจดอนุสิทธิบัตร
- โดยมีตารางแสดงแผนงานวิจัยและช่วงเวลาในการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แผนงานวิจัยและช่วงเวลาในการดำเนินการวิจัย

แผนงานวิจัย	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทำการเลือกและจัดซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์และโพรบวัดค่า pH	←	→											
2. รวบรวมข้อมูลและศึกษาปาล์มน้ำมันและหาชนิดของสารละลายที่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม	←	→											

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 แผนงานวิจัยและช่วงเวลาในการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

แผนงานวิจัย	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3. ออกแบบและสร้างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเชื่อมต่อกับโพรบวัดค่า pH		←					→						
4. ศึกษาการทำงานของวงจร ADC และการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากโพรบวัดค่า pH ไปเป็นค่า pH		←					→						
5. เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทดสอบการวัดค่า pH			←				→						
6. ปรับแต่งวงจรและแก้ไขโปรแกรมเพื่อให้แสดงผลค่า pH บนจอ LCD ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องวัด pH ที่ซื้อ				←								→	
7. ทำการทดสอบผลปาล์มน้ำมันสดจากทะเลสาบปาล์มเพื่อเก็บค่าเปอร์เซ็นต์ปาล์มน้ำมัน และจดบันทึกผลการทดสอบที่ได้รับ				←								→	
8. ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้รับและปรับปรุงแก้ไขส่วนที่บกพร่องและผิดพลาด พร้อมทั้งออกแบบสร้างฟังก์ชันที่ใช้คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ปาล์มน้ำมันบนจอ LCD							←					→	
9. สรุปผลการวิจัย จัดพิมพ์รายงานผลการวิจัย จัดทำบทความวิจัยเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ และจัดทำเอกสารเพื่อยื่นขอจดอนุสิทธิบัตร											←		→

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่า pH ของลูกปาล์มบนทะเลสาบปาล์ม
2. สามารถนำไปใช้งานเป็นเครื่องบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่า pH ของลูกปาล์มบนทะเลสาบปาล์ม ให้แก่ สจล. วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร, เกษตรกร, ร้านรับซื้อปาล์ม และโรงงานผลิตปาล์มน้ำมันได้
3. เป็นแนวทางสำหรับพัฒนาไปเป็นเครื่องมือวัดและทดสอบคุณสมบัติของผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดในการสร้างเครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์ม และทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในการสร้างฮาร์ดแวร์ของชิ้นงานที่นำเสนอทั้งหมด ส่วนหัวข้อสุดท้ายของบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยรายละเอียดของหัวข้อต่างๆ มีดังนี้

#### 2.1 แนวคิดในการสร้างเครื่องแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์ม

เครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์มที่นำเสนอนี้เป็นระบบที่ยังไม่มีใช้งานและยังไม่มีการนำเสนอผลงานในวารสารหรือการประชุมวิชาการใดๆ โดยแนวคิดในการสร้างชิ้นงานดังกล่าวมีส่วนประกอบหลักๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ซึ่งระบบนี้จะใช้โพรบวัดค่า pH จุ่มลงไปในการละลายที่มีปาล์มน้ำมันทดสอบและทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม แล้วแสดงค่า pH กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มดังกล่าวบนจอ LCD โดยในที่นี้ จะทำการทดสอบจริงกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ DxP, พันธุ์ Dura และพันธุ์ Pisifera รวมถึงปาล์มน้ำมันที่อายุต่างๆ 3 ช่วงอายุ ได้แก่ ช่วงอายุที่ 1 คือ 8 - 12 ปี, ช่วงอายุที่ 2 คือ 12 - 20 ปี และช่วงอายุที่ 3 คือ มากกว่า 20 ปี เพื่อทำการเก็บค่า pH ของผลปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ต่างๆ และช่วงอายุต่างๆ เพื่อที่จะทำให้การวิจัยมีความน่าเชื่อถือ แล้วสามารถจะบอกเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มได้อย่างถูกต้องมากที่สุด โดยปาล์มน้ำมันจำนวน 3 สายพันธุ์ และ 3 ช่วงอายุดังกล่าวนี้เป็นข้อมูลที่นำมาจากบริษัทโรงงานชุมชนพรอดสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด เนื่องจากบริษัทจะใช้เป็นเกณฑ์ในการรับซื้อปาล์มน้ำมันและควบคุมคุณภาพของน้ำมันปาล์มที่ผลิตได้



ภาพที่ 2.1 แนวคิดในการสร้างสร้างชิ้นงานที่นำเสนอ

#### 2.2 ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) [1] เป็นพืชตระกูลปาล์มลักษณะลำต้นเดี่ยว ขนาดลำต้นประมาณ 12 - 20 นิ้ว เมื่ออายุประมาณ 1 - 3 ปี ลำต้นจะถูกหุ้มด้วยโคนกาบใบ แต่เมื่ออายุมากขึ้น โคนกาบใบจะหลุดร่วง เห็นลำต้นชัดเจน ผิวของลำต้นคล้ายๆ กับต้นตาล ลักษณะใบเป็นรูปก้างปลา โคนกาบใบจะมีลักษณะเป็นซี่ คล้ายหนาม แต่ไม่คมมาก เมื่อไปถึงกลางใบ หนามดังกล่าวจะพัฒนาไปเป็นใบ การออกดอกเป็นพืชที่แยกเพศ คือต้นที่เป็นเพศผู้จะให้เกสรตัวผู้อย่างเดียว ต้นที่ให้เกสรตัวเมียจึงจะติดผล ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด สามารถนำมาแปรรูปทำเป็นน้ำมันปาล์มประกอบอาหาร เนย รวมถึงเป็นส่วนผสมในไบโอดีเซลด้วย ใบมาบดเป็นอาหารสัตว์ กะลาปาล์มเป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิง ทะลายปาล์มใช้เพาะเห็ด และถ้าปลูกลงดินไปแล้ว ก็ช่วยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย ในประเทศไทยมีการปลูกทั้งทางภาคใต้และภาคตะวันออก โดยพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกนั้นเป็นปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอร่า

น้ำมันปาล์ม (palm oil) [2] เป็นน้ำมันที่ได้จากการสกัดปาล์มน้ำมัน โดยปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6 - 0.8 ตัน/ไร่/ปี เมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหารและใช้ในการประกอบอาหารเนื่องจากมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง น้ำมันปาล์มมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ปลอดจากสารตัดแต่งพันธุกรรม (GMOs) น้ำมันปาล์มผลิตได้เองในประเทศการใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจะก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและรายได้โดยรวมของประเทศ โดยทั่วไป น้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ คือ

- 1) Glycerides ประมาณ 95 %
- 2) fatty acids ประมาณ 3 - 5%
- 3) minor component และ trace component ประมาณ 1%
- 4) สารประกอบชนิดอื่นๆ ได้แก่ Carotenoid, Tocopherols, Tocotrienols, Sterols ฯลฯ

จากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน สามารถแบ่งน้ำมันปาล์มตามวัตถุดิบที่ใช้สกัดเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว : กรดไขมันไม่อิ่มตัว ในสัดส่วนประมาณ 50 : 50 และ 82 : 18 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

### 2.3 ลิพิด กรดไขมัน และการทดสอบ [3]

ลิพิด (lipid) เป็นสารอินทรีย์ประเภทไขมัน ซึ่งมีในพืชและสัตว์ทั่วไป สมบัติทั่วไปของลิพิด คือ ไม่ละลายน้ำ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซีโตน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน บางชนิดมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ และเมื่อสลายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะให้กรดไขมัน โดยการจำแนกประเภทของลิพิดมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้จำแนก ในที่นี้จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1. ลิพิดธรรมดา (simple lipid) - เป็นลิพิดที่ประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น เอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล หากอยู่ในรูปของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า fats ส่วนในสภาวะของเหลวจะเรียกว่า น้ำมัน (oil)

2. ลิพิดเชิงซ้อน (complex lipid) - เป็นลิพิดที่ประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์และสารอื่น ๆ ได้แก่ ฟอสโฟลิพิด (PHospholipid) ประกอบด้วยกรดไขมัน แอลกอฮอล์ และฟอสเฟต ไกลโคลิพิด (Glycolipid) ประกอบด้วยกรดไขมัน แอลกอฮอล์ และคาร์โบไฮเดรต

#### กรดไขมัน (fatty acid)

กรดไขมันเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนอะตอมเกาะกันเป็นเส้นตรง กรดไขมันมี 2 ชนิด คือ

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ไม่มีพันธะคู่นอมนโมเลกุล เช่น Steric Acid, Palmitic Acid
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) มีพันธะคู่นอมนโมเลกุล ได้แก่ Oleic Acid, Linoleic Acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil)
กรดไขมันอิ่มตัว	50 %	82 %
	-	0.1 - 0.5
C 6:0 (caproic acid)	-	3.4 - 5.9
C 8:0 (caprylic acid)	-	3.3 - 4.4
C10:0 (capric acid)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1
C12:0 (lauric acid)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
C14:0 (myristic acid)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
C16:0 (palmitic acid)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
C18:0 (stearic acid)	0 - 0.8	-
C20:0 (arachidic acid)	-	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	50 %	18 %
	0 - 0.6	-
C16:1 (palmitoleic acid)	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
C18:1 (oleic acid)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
C18:2 (linoleic acid)	0 - 0.5	-
C18:3 (linolenic acid)	-	tr - 0.9
Others	-	-

ที่มา: <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html> [2]

#### การสกัด การแยก และการวิเคราะห์ลิปิด โดยวิธี thin layer chromatography

เนื่องจากลิปิดประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยหลายชนิด ในการสกัดลิปิดจะต้องเลือกชนิดและปริมาณตัวทำละลายที่ใช้สกัดให้เหมาะสม ในการวิเคราะห์ลิปิดที่สกัดได้มักใช้วิธีโครมาโตกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography หรือ TLC) โดยใช้ตัวทำละลายผสม แล้วเปรียบเทียบค่า Rf กับลิปิดมาตรฐาน โดย TLC นี้เป็นเทคนิคที่ดีที่สุดเทคนิคหนึ่งในการแยกลิปิดจากกันได้อย่างรวดเร็ว เพราะลิปิดแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายได้ในวัฏภาคเคลื่อนที่ (mobile phase) และวัฏภาคคงที่ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจจุดตำแหน่งของลิปิตที่แยกจากกันบนแผ่น TLC คือ การนำไปบดด้วยไอของไอโอดีน ลิปิตมีพันธะคู่ในโมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนเกิดเป็นจุดสีน้ำตาลขึ้น

#### การทดสอบความไม่อิ่มตัวของลิปิต (unsaturation test)

กรดไขมันที่ประกอบเป็นโครงสร้างของลิปิตแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดอิ่มตัวและชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งมีพันธะคู่ในโมเลกุล พันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกฮาโลเจน โดยจะฟอกสีจากฮาโลเจน (halogenation) เมื่อพันธะคู่หมด สีของฮาโลเจนจะยังคงอยู่ จึงใช้คุณสมบัตินี้ทดสอบความไม่อิ่มตัวของลิปิตได้

ซึ่งจากการพิจารณาน้ำมันปาล์มในตารางที่ 2.1 พบว่า ในน้ำมันปาล์มนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดังนั้น เราน่าจะทดสอบปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในน้ำมันปาล์มโดยวิธีการฟอกสีจากฮาโลเจนได้ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยที่นำเสนอในครั้งนี้

#### การทดสอบเปอร์ออกไซด์

ลิปิตที่เก็บไว้นานอาจเหม็นหืนได้ เนื่องจากพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศให้เปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะแตกตัวต่อไปเป็นอัลดีไฮด์ หรือ คีโตน ทำให้มีกลิ่นหืน เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถทดสอบได้โดยทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอดेट จะได้ไอโอดีนเกิดขึ้น ซึ่งมีสีเหลืองปนน้ำตาล

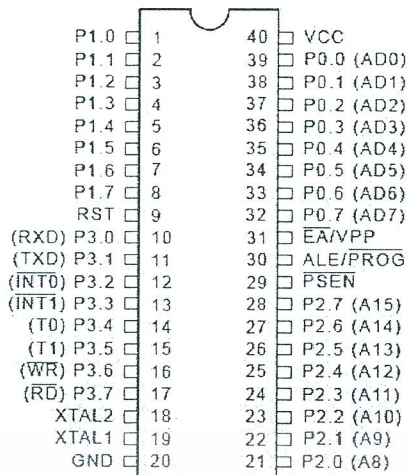
หมายเหตุ การเหม็นหืนของไขมัน (rancidity) คือ การที่ไขมันมีกลิ่นผิดปกติระหว่างการเก็บ การเหม็นหืนอาจเกิดจากการที่อาหารเก็บไว้ในภาชนะเปิด ทำให้ไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ โดยเฉพาะเมื่อมีแสงและความชื้น จะได้กรดไขมันอิสระเกิดขึ้น และจะเปลี่ยนเป็นอัลดีไฮด์และกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้มีกลิ่นเหม็นและรสชาติเปลี่ยนไป น้ำมันสัตว์มีกลิ่นเหม็นหืนเร็วกว่าน้ำมันพืช ถึงแม้ว่าน้ำมันพืชจะมีปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า แต่น้ำมันพืชมีวิตามินอี ซึ่งเป็นสารป้องกันการเติมออกซิเจนอยู่แล้วตามธรรมชาติ

## 2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 [4]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) คือ ชิพประมวลผลอย่างหนึ่งซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่งโครงสร้างภายในจะเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสข้อมูล บัสควบคุม บัสที่อยู่ พอร์ตขนาน พอร์ตอนุกรม รีจิสเตอร์ หน่วยความจำวงจรรัน และวงจรรอื่นๆ รวมกันอยู่ภายในชิพ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้อย่างสะดวกใช้งานง่ายและสามารถทำงานได้ภายในชิพเดียว ตามมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีพอร์ตขนานขนาด 8 บิต อยู่ 4 พอร์ต คือพอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 (ในบางรุ่นที่ผลิตออกมาทีหลังนั้นอาจมีพอร์ตมาก หรือน้อยกว่า 4 พอร์ต แล้วแต่การออกแบบจากผู้ผลิต) ในกรณีที่ผู้ใช้จะเป็นตัวถังแบบ PDIP40 พอร์ตต่างๆ จะมีตำแหน่งขาตามภาพที่ 2.2 แต่ละพอร์ตสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตและสามารถเลือกการทำงานให้เป็นพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้ นอกจากนี้บางพอร์ตยังสามารถทำหน้าที่พิเศษอื่นได้อีก ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 นั้นมีมากมายหลายเบอร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 แบบ PDIP 40

#### 2.4.1 การใช้งานพอร์ตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

1. การใช้พอร์ต (Port) 0 สามารถใช้ติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0 - A7) และขาข้อมูล (D0 - D7) ในกรณีต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติม โครงสร้างภายในของพอร์ต 0 ไม่มีความต้านทานพูลอัพ (pull up) อยู่ ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต จึงต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้กับแหล่งจ่ายไฟด้วย

2. การใช้พอร์ต (Port) 1 - พอร์ต P1.0 สามารถใช้เป็นขาอินพุตนับสัญญาณสำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และพอร์ต P1.1 สามารถใช้เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2

3. การใช้พอร์ต (Port) 2 สามารถใช้ติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15) ในกรณีต่อหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้

#### 4. การใช้พอร์ต (Port) 3

P3.0 สามารถใช้เป็นขารับข้อมูล (Rx) สำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม

P3.1 สามารถใช้เป็นขาส่งข้อมูล (Tx) สำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม

P3.2 สามารถใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ 0

P3.3 สามารถใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกที่ 1

P3.4 สามารถใช้เป็นขาอินพุตนับสัญญาณสำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0

P3.5 สามารถใช้เป็นขาอินพุตนับสัญญาณสำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

P3.6 สามารถใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีเชื่อมต่อใช้หน่วยความจำภายนอก

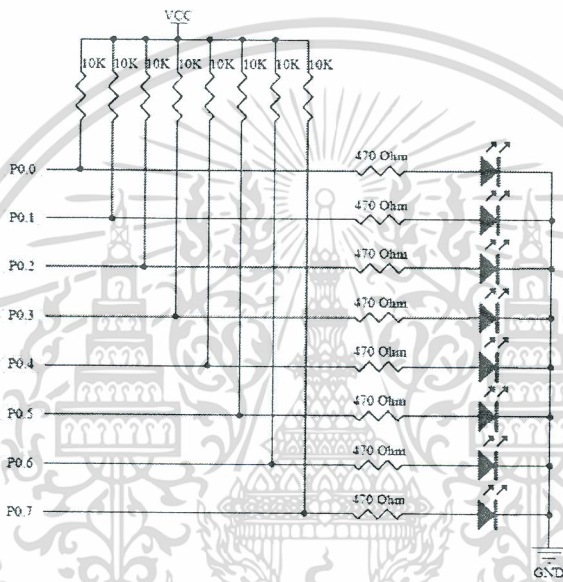
P3.7 สามารถใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีเชื่อมต่อใช้หน่วยความจำภายนอก

#### 2.4.2 การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

พอร์ตขนานของ MCS-51 สามารถทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ได้หลากหลาย เช่น LED, 7-Segment, Relay, สเต็ปเปอร์มอเตอร์, LCD, หรือ IC ฟังก์ชันพิเศษอื่นๆ แต่ละขาของพอร์ตสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ตได้สูงสุด 26 mA จะเห็นได้ว่าพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นสามารถจ่ายกระแสได้น้อย ดังนั้น ในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตที่ต้องจ่ายกระแสมาก จะไม่สามารถใช้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์จ่ายกระแสโดยตรงได้ เพราะจะทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เสียหายได้ ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต และต้องจ่ายกระแสหลายๆ จึงต้องใช้ IC บัฟเฟอร์ช่วยขับกระแสอีกที ในที่นี้ จะแสดงตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น สำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา เราจะใช้ LED เป็นตัวแสดงสถานะของพอร์ต ซึ่งทำหน้าที่เป็นพอร์ตเอาต์พุต โดยต่อวงจรตามภาพที่ 2.2 เนื่องจากเป็นการใช้พอร์ต 0 เป็นพอร์ตเอาต์พุต ซึ่งภายในพอร์ตไม่มีตัวต้านทานพูลอัพ อยู่ ดังนั้นเราจึงต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้ และเนื่องจากพอร์ตของ MCS-51 นั้นสามารถจ่ายกระแสได้ประมาณ 10mA เท่านั้น เราจึงต้องต่อตัวต้านทานขนาดประมาณ 500 โอห์ม เพื่อจำกัดกระแสที่ขับออกจากพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์

การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตนั้นสามารถทำได้โดยเขียนค่าที่ต้องการส่งออกทางพอร์ตขนาน ลงบนพอร์ตโดยตรง จากวงจรในภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า ถ้าบิตที่พอร์ตมีสถานะ High หรือเป็นลอจิก “1” ไฟ LED จะติด และ ถ้าบิตที่พอร์ตมีสถานะเป็น Low หรือเป็นลอจิก “0” ไฟ LED จะดับ



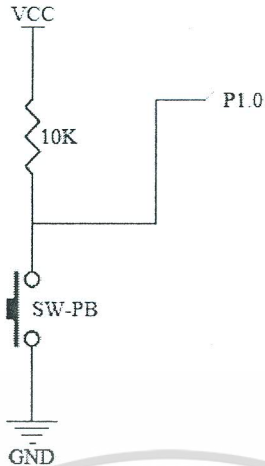
ภาพที่ 2.3 การใช้งานพอร์ต 0 เป็นพอร์ตเอาต์พุต

### 2.4.3 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

ในการใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ลงไปยังพอร์ตที่ต้องการรับข้อมูล และอ่านค่าจากพอร์ตนั้นมาโดยตรง ในกรณีที่สัญญาณอินพุตมาจากสวิตช์ ต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแหล่งจ่ายไฟ 5V ไว้ และต่อสวิตช์ตามตัวอย่างในภาพที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อสวิตช์อยู่ในสภาวะปกติ พอร์ตจะอยู่ในสภาวะ high ซึ่งเป็นลอจิก “1” และในกรณีที่สวิตช์ถูกกด พอร์ตจะอยู่ในสภาวะ low ซึ่งเป็นลอจิก “0”

การทดลองใช้งานพอร์ตขนานของไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ เราจะใช้พอร์ต P1.0 เป็นพอร์ตอินพุต รับสัญญาณจากสวิตช์ และใช้พอร์ต P0 เป็นพอร์ตเอาต์พุตแสดงผลออกทาง LED ซึ่งได้ต่อวงจรตามภาพที่ 2.3 และ 2.4 เมื่อเริ่มโปรแกรม P0 จะมีค่าเป็น 0x01 ซึ่งจะทำให้ P0.0 มีสถานะเป็น high และ LED ที่ต่อกับพอร์ต P0.0 ติด เมื่อสวิตช์ที่ต่อกับพอร์ต P1.0 ถูกกดแต่ละครั้ง พอร์ต P0 จะเปลี่ยนสถานะ โดยเลื่อนบิตที่มีสถานะ high ไปยังบิตที่สูงกว่า ทำให้ LED ดวงที่ติดเลื่อนตำแหน่งทุกครั้งที่สวิตช์ถูกกด และถ้าสวิตช์ถูกกดจนบิตที่มีสถานะ high มาอยู่ที่ P0.7 เมื่อสวิตช์ถูกกดอีกครั้งหนึ่ง บิตที่มีสถานะ high จะกลับมาอยู่ที่ P0.0 อีกครั้ง วนไปอย่างนี้เรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



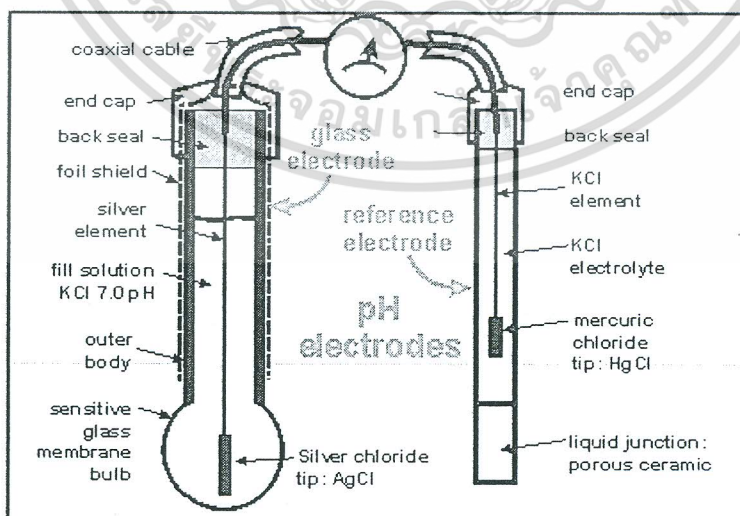
ภาพที่ 2.4 การใช้งานพอร์ต P1.0 เป็นพอร์ตอินพุตรับสัญญาณจากสวิตช์

## 2.5 พีเอชมิเตอร์ (pH meter) [5]

พีเอชมิเตอร์เป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วัดค่า pH (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ของสารละลาย โดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ probe หรืออิเล็กโทรด และเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (meter)

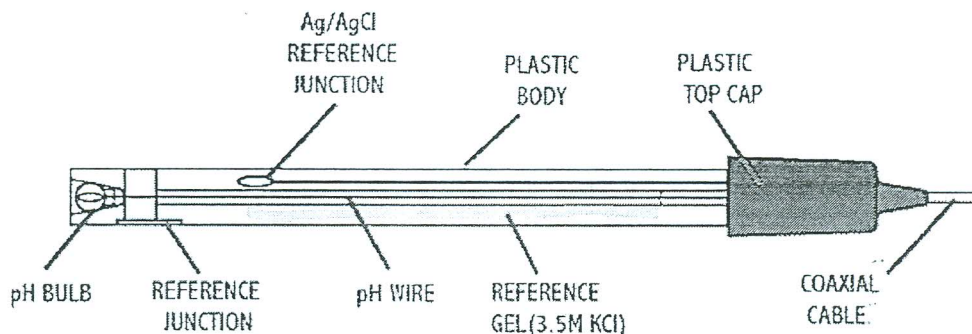
อิเล็กโทรดที่พบได้ในห้องปฏิบัติการส่วนมากแล้วจะเป็นชนิด glass electrode ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า แล้วเปลี่ยนการแสดงผลเป็นค่าพีเอช ดังแสดงในภาพที่ 2.5 โดยพีเอชอิเล็กโทรดจะใช้วัดค่าแอกติวิตีของไอออนไฮโดรเจน (activity of hydrogen ions) ที่อยู่รอบผนังบางๆ ของกระเปาะแก้ว ซึ่งอิเล็กโทรดจะให้ค่าความต่างศักย์เล็กน้อยประมาณ 0.06 โวลต์ต่อหน่วยพีเอช

ส่วนเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้เป็นค่า pH โดยค่าความต้านทานในการวัดมีค่าสูงมากประมาณ 20 ถึง 1000 M $\Omega$



ภาพที่ 2.5 หัวอิเล็กโทรดของพีเอชมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของหัวอิเล็กโทรด

การใช้งานจะต้องทำการปรับเทียบมาตรฐาน (calibrate) เสียก่อน การใช้โดยการปรับเทียบกับสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน (พีเอช 4, 7 หรือ 10) อย่างน้อย 2 ค่า ที่มีค่าครอบคลุมในช่วงที่เราต้องการวัด วิธีการวัดทำได้โดยล้างอิเล็กโทรดด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือน้ำกลั่น (distilled water) และซับด้วยกระดาษทิชชู แล้วรีบจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายที่ต้องการวัดอย่างรวดเร็ว

ภาพที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของหัวอิเล็กโทรดของ pH meter โดยการเก็บอิเล็กโทรดนั้น ห้ามเก็บแห้ง โดยทั่วไปเก็บในสารละลายกรดที่มีพีเอชประมาณ 3 และ ไม่เก็บหรือแช่ในน้ำกลั่น เพราะ ไอออนที่อยู่ในอิเล็กโทรดจะแพร่ออกมาทำให้ความเข้มข้นของไอออนภายในอิเล็กโทรดลดลง โดยปกติแล้วควรทำความสะอาดอิเล็กโทรดประมาณเดือนละครั้ง โดยการแช่ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (M)

### 2.5.1 นิยามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน หรือ $H^+$ (ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวก)

เราเรียก  $H^+$  ในสารละลายว่าไฮโดรเจนไอออนแอกทีวี่หรือไฮโดรเนียมไอออน หรือ  $H_3O^+$  ซึ่งก็คือความเข้มข้นของไอออนไฮโดรเจน ซึ่งหมายถึงจำนวนกรัม-ไอออนของไอออนไฮโดรเจนที่มีอยู่ในสารละลาย 1 ลิตร (โมล/ลิตร)

pH เป็นตัวย่อที่มาจากภาษาละตินของคำว่า “pondus hydrogenii” (podus = pressure, hydrogenium = hydrogen แต่บางตำราคำว่า p หมายถึง power ดังนั้นจึงเป็นการวัดการทำงานของไฮโดรเจนไอออนในสารนั่นเอง ค่า pH ของสารละลายใด ๆ กำหนดได้จากลอการิทึมลบ (ฐาน 10) ของความเข้มข้นไฮโดรเนียม - ไอออน นั่นคือ

$$pH = \log \left[ \frac{1}{(H^+)} \right] = -\log [H^+] \quad (2.1)$$

หากสารละลายมีค่า pH มากกว่า จะมีค่า  $H_3O^+$  (หรือ  $H^+$ ) ในสารละลายมากกว่านั่นเอง

### 2.5.2 นิยามความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์-ไอออน หรือ $OH^-$ (ไอออนที่มีประจุไฟฟ้าลบ)

สารประกอบทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า แต่ถ้านำมาผสมลงในน้ำสารประกอบเหล่านี้จะแตกตัวเป็นไอออนซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นบวกและลบ ปริมาณการแตกตัวเป็นไอออนนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอุณหภูมิของสารละลาย ที่จุดอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง อัตราส่วนของไอออนที่แตกตัวออกต่อจำนวนของสารประกอบซึ่งยังไม่แตกตัวจะมีค่าคงที่ เราเรียกอัตราส่วนนี้ว่า “ค่าคงที่ของการไอออนไนซ์” (ionization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

constant) ดังนั้นหากพิจารณาผลของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ก็เป็นการกำหนดความเป็นกรดต่างในรูปของ pOH scale ซึ่งกำหนดได้จากลอการิทึมลบของความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนนั้นคือ

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \quad (2.2)$$

ทั้งค่า pH และ pOH ของสารละลายที่กล่าวมานั้นจะสัมพันธ์กับผลคูณไอออนของน้ำบริสุทธิ์นั้นคือ

$$K_w = (\text{H}_3\text{O}^+)(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-14} \quad (2.3)$$

(ภายใต้ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิ 25°C) หรือเมื่อมีการทำปฏิกิริยากันแล้วก็จะได้เป็น



$$\text{หรือ } K = \frac{(\text{M}^+)(\text{A}^-)}{(\text{MA})} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $K$  = ค่าคงที่ของการไอออนไนซ์ (moles/l)

$\text{M}^+$  = ความเข้มข้นของไอออนบวก (moles/l)

$\text{A}^-$  = ความเข้มข้นของไอออนลบ

$(\text{MA})$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่ยังไม่แตกตัว (moles/l)

จากสมการที่ (2.4)  $\text{M}^+$  คูณกับ  $\text{A}^-$  ซึ่งแทนด้วยค่าของ  $(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{OH}^-)$  ได้เป็น  $K_w$  ซึ่ง  $K_w = (\text{H}_3\text{O}^+)(\text{OH}^-) = 1.0 \times 10^{-14}$  หากเทคล็อกทั้งสองด้านจะได้ความสัมพันธ์สุดท้ายออกมาเป็น  $\text{pH} + \text{pOH} = 14$  หรือหากน้ำมี  $\text{pH} = 2.00$  ค่า  $\text{pOH}$  ก็จะมีค่า

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14.00 - 2.00 = 12.00 \quad (2.5)$$

ดังนั้น ค่ากลางทั้ง pH และ pOH ต่างก็มีค่าเท่ากับ 7

### 2.5.3 การกำหนดความเป็นกรดเป็นด่างในรูปของสเกล p

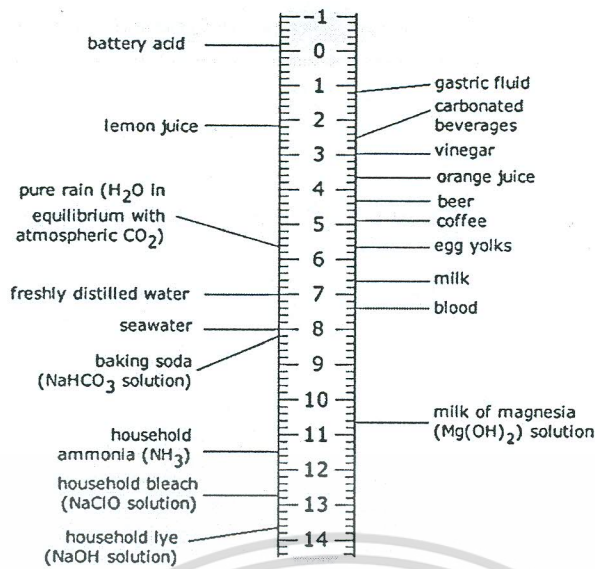
ซึ่งแสดงได้เป็น

$$\text{pX} = -\log X \quad (2.6)$$

ดังนั้น เราจึงสามารถแสดงค่าคงที่ซึ่งสมมูลกับเทอมของ pK ได้ เช่น ถ้า  $K = 1.0 \times 10^6$  ก็จะได้ค่า  $\text{pK} = -6.00$  และถ้า  $K = 5 \times 10^{-4}$  แล้วค่า  $\text{pK} = 3.3$

### 2.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนไฮโดรเจนและค่า pH

กรดเกลือ (HCl) เป็นสารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนบวกและลบหมดหลังจากทำปฏิกิริยา ด้วยเหตุนี้จึงเรียกรวมกรดเกลือว่าเป็น “กรดแก่” ในทางตรงกันข้าม กรดอะซิติก (HAc) เมื่อทำปฏิกิริยาจะมีการแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมาก จึงมีค่าคงที่ การไอออนไนซ์น้อยจึงถือว่าเป็น “กรดอ่อน” หรือกล่าวได้ว่า เมื่อไฮโดรเจนไอออนแอคติวิตี้ มากกว่า  $10^{-7}$  กรัมไอออน  $[(\text{H}_3\text{O}^+)] > [(\text{OH}^-)]$  นั่นคือ หากค่า pH ต่ำกว่า 7 สารละลายนั้นจะเป็นกรด และถ้าหากว่ามากกว่า 7 สารละลายนั้นจะเป็นด่าง ในภาพที่ 2.7 เป็นการแสดงค่าพีเอชของสารทั่วไปจากกรดแก่ถึงด่างแก่ นอกจากนี้ ในตารางที่ 2.2 ยังได้แสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจนและค่า pH ของสารละลายชนิดต่างๆ ที่แตกตัวเป็นไอออน



ภาพที่ 2.7 ระดับค่าพีเอชของสารทั่วไปจากกรดแก่ถึงด่างแก่

ตารางที่ 2.2 สารละลายที่แตกตัวเป็นไอออน

สารละลาย	ความเข้มข้นของไฮโดรเจน (mol/L)	pH = $-\log_{10}$ (Hydrogen ion activity)
N/10-HCl	$10^{-1}$	1
N/100-HCl	$10^{-2}$	2
กลาง	$10^{-7}$	7
N/100 NaOH	$10^{-12}$	12
N/10 NaOH	$10^{-13}$	13

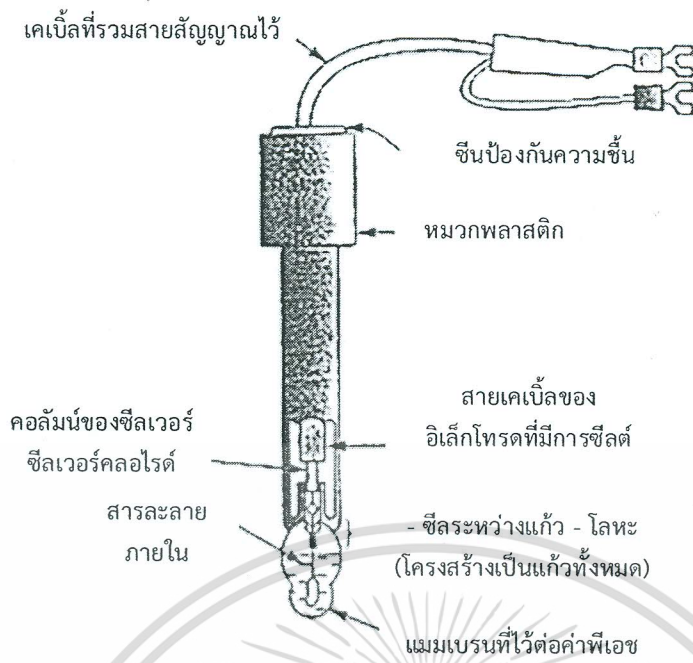
### 2.5.5 เซ็นเซอร์ pH

เซ็นเซอร์ pH คืออุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical) ที่สร้างแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่า pH ของสารละลายที่นำไปวัด

ส่วน pH มิเตอร์ก็ใช้หลักการที่กล่าวมา คือใช้หลักการวัดค่าความเป็นกรดหรือด่างที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งก็ใช้หลักการทางเคมีไฟฟ้าเหมือนกัน หลังจากนั้นก็นำค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นมาระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (reference electrode) กับอิเล็กโทรดวัด (sensing electrode) ไปขยาย, ปรับสภาพ และแสดงผลต่อไป ดังนั้น หัวเซ็นเซอร์ pH จึงต้องมีทั้งขั้ววัดและขั้วอ้างอิงอยู่ แล้วแต่ว่าจะแยกออกจากกันหรืออยู่รวมกัน โดยส่วนประกอบและการทำงานของอิเล็กโทรดวัดและอิเล็กโทรดอ้างอิง มีรายละเอียดดังนี้

1. **ขั้ววัด (Sensors Electrode)** โดยปกติอิเล็กโทรดวัดจะทำจากแก้ว ขั้ววัดจะมีกระเปาะแก้วบางมากๆ เพื่อให้ไวต่อไอออน  $H^+$  ภายในอิเล็กโทรดจะบรรจุสารละลายกันชนที่เรียกว่าบัฟเฟอร์ (buffer) ซึ่งมีค่า pH คงที่ (ประมาณ pH 7) สารละลายนี้ได้แก่ KCl อิมิตัว ในสารละลายดังกล่าวจะมีขั้วไฟฟ้าซึ่งทำด้วยเงิน (silver) ฉาบด้วยซิลเวอร์คลอไรด์จุ่มอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างของอิเล็กโทรดวัดค่าพีเอชแบบแก้ว

ตารางที่ 2.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่อิเล็กโทรดวัดค่า pH

pH	mV	pH	mV
0	+414.0	8	-59.15
1	+354.9	9	-118.3
2	+295.8	10	-177.5
3	+236.6	11	-236.6
4	+177.5	12	-295.8
5	+118.3	13	-354.9
6	+59.15	14	-414.0
7	0		

ที่มา : จากบริษัท TBI - Bailey Controls จำกัด [6]

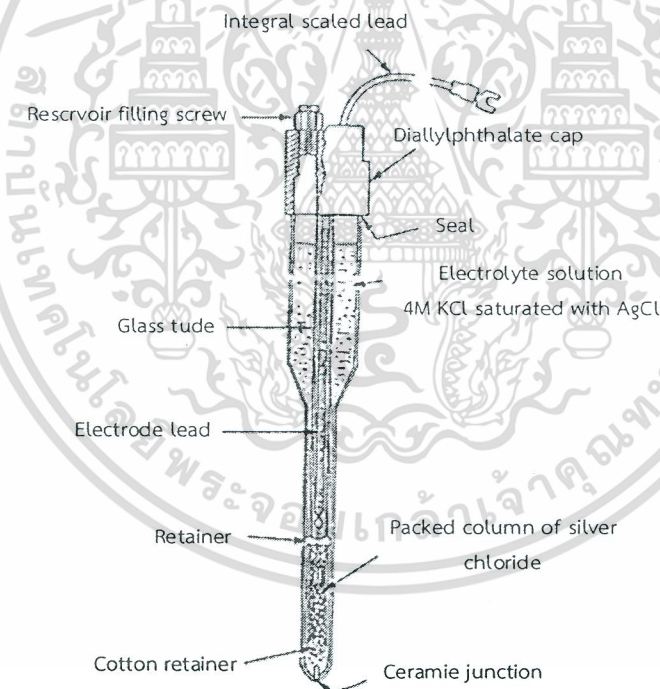
โดยศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเข้มข้น  $H^+$  และค่าอุณหภูมิ (T) จากตารางที่ 2.3 พบว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้า (ศักย์ไฟฟ้า) ที่ได้จะแตกต่างกัน แม้วามีค่า pH เดียวกัน เพราะค่าอุณหภูมิที่ใช้วัดค่าต่างกัน ดังนั้น ในการวัดค่า pH จึงต้องมีการกำหนดอุณหภูมิในการใช้งานให้ถูกต้องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าเอาต์พุตของอิเล็กโทรดวัดค่า pH ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ pH	0°C mV	25°C mV	40°C mV	70°C mV	90°C mV
0	379.3	414.0	434.9	476.6	504.4
3	216.8	236.6	248.5	272.4	288.2
5	108.4	118.3	124.2	136.2	144.1
7	0	0	0	0	0
อุณหภูมิ pH	0°C mV	25°C mV	40°C mV	70°C mV	90°C mV
8	-54.19	-59.15	-62.13	-68.09	-72.05
10	-162.6	-177.5	-186.4	-204.3	-216.2
12	-270.1	-295.8	-310.7	-340.5	-360.3
14	-379.3	-414.0	-434.9	-476.6	-504.4

ที่มา : จากบริษัท TBI – Bailey Controls จำกัด



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างอิเล็กโทรดอ้างอิงที่วัดค่าพีเอช (อิเล็กโทรดแบบซิลเวอร์/ซิลเวอร์-คลอไรด์)

2. ขั้วอ้างอิง (Reference Electrode) หรือเรียกว่าขั้วเปรียบเทียบ มีไว้เพื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่ขั้ววัด ครบวงจร ขั้วอ้างอิงนี้จะมีลวดนำ (lead wire) ต่อกับซิลเวอร์คลอไรด์และจุ่มซิลเวอร์คลอไรด์ลงใน KCl ชนิดอิ่มตัว KCl นี้จะซึมผ่านรูเล็กๆ ที่ปลายของหลอดแก้วเพื่อสัมผัสกับสารละลายที่จะวัด การเชื่อมต่อระหว่างสารละลายทั้งสองนี้เรียกว่า “salt bridge” รูที่เชื่อมต่อนี้มักจะมีสารเอสเบสตอสหรือเซรามิกวาง คั่นเอาไว้ เพื่อให้การไหลของ KCl คงที่ตลอดเวลาขณะที่ทำการวัด ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ข้อควรระวัง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ขั้วเปรียบเทียบที่ใช้ต้องเป็นชนิดเดียวกับอิเล็กโทรดภายในขั้วแก้ว นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลาย KCl ในอิเล็กโทรดอ้างอิงต้องเท่ากับในขั้วแก้วด้วย จากผลของอุณหภูมิที่เคยกล่าวไว้ ผู้ผลิตตัววิเคราะห์หรือเครื่องการวัดค่า pH จึงต้องระมัดระวังผลของอุณหภูมิ นั่นคือจะต้องมีการชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติเพื่อกำจัดผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าว จากตัวอย่างนี้ จึงต้องใช้สารละลาย pH ที่มีค่าคงที่ โดยในตารางที่ 2.3 จะแสดงให้เห็นผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่า pH ของบัฟเฟอร์ที่ค่าต่าง ๆ

ค่าของบัฟเฟอร์ 2 ตัวในตารางที่ 2.3 คือที่ค่า pH 7 และ 10 ได้จากสมาคม EPA ส่วนบัฟเฟอร์ที่เห็นทั้งหมดในตารางที่ 2.3 นี้ได้มาจากความสามารถในการสืบทอดค่า (traceable) ของสมาคม NBS (แต่ไม่ใช่ค่า pH 7 และ 10) จากตารางที่ 2.3 ดังกล่าว พบว่ากรณีที่เลวร้ายที่สุดของบัฟเฟอร์ที่ค่า pH 10 ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงเฉพาะกับอุณหภูมิเท่านั้นแต่จะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอื่นด้วย และพบว่ามันแนวโน้มที่มันจะรับเอาคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศด้วย ทำให้ความสามารถในการบัฟเฟอร์ของมันต่ำลง และยังมีผลอย่างมากหากว่าค่า pH ที่วัดต่ำกว่าค่า pH ของมัน หรือถูกใช้ในการวัดค่าอื่นนานๆ

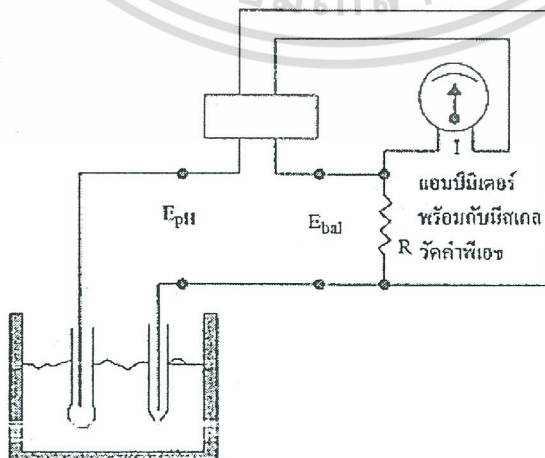
## 2.6 วงจรปรับสภาพสัญญาณ (signal conditioners)

เมื่อจุ่มขั้ววัดและขั้วเปรียบเทียบลงในสารละลาย จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง โดยจะมีค่าแปรตามค่า pH ซึ่งเป็นไปตามสูตรในสมการที่ 2.7 ศักย์ไฟฟ้านี้จะมีค่า 59.1 mV ต่อ 1 pH ที่อุณหภูมิ 25°C หรือเขียนให้อยู่ในรูปของสูตรอย่างง่ายได้เป็น

$$EMF = 59 (pHX - pH7) \text{ mV} \quad (2.7)$$

วงจรวัดจะทำหน้าที่ขยายศักย์ไฟฟ้านี้และแปลงเป็นค่า pH (ในรูปอย่างง่ายคือฟังก์ชัน antilog) เพื่อแสดงผลออกมา นอกจากนั้นยังต้องมีการชดเชยค่าจากอุณหภูมิและอาจต้องปรับค่าเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน เช่นการปรับค่าศูนย์ (ซีโร) และความชัน (สเปน) อีกด้วย

2.6.1 วงจรวัด pH แบบการสมดุลของกระแส (Null Type pH Measurement) เป็นวิธีการวัดเพื่อให้ได้ค่า pH ที่แปรผันไปกับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ซึ่งไม่ได้แสดงรูปไว้) โดยมีตัวขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณ วิธีนี้วัดได้แม่นยำแต่ไม่สามารถวัดค่าแบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากต้องใช้วิธีปรับเทียบศักย์ไฟฟ้าที่ขั้ววัดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากการปรับโพเทนชิโอมิเตอร์ เมื่อดูว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากัน (ทำได้จากการวัดกระแส) ก็อ่านค่าจากโพเทนชิโอมิเตอร์ที่เทียบไว้เป็นค่า pH จึงเห็นว่าการอ่านค่าแต่ละครั้งต้องดูการสมดุลของกระแสไฟฟ้า จึงไม่สามารถกระทำการวัดอย่างต่อเนื่องได้



ภาพที่ 2.10 การวัดค่าพีเอชแบบมีการป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การวัดค่า pH ชนิดมีการป้อนกลับ - ภาพที่ 2.10 เป็นการนำเอาสัญญาณที่ออกจากขั้ววัดและขั้วอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับ แล้วนำสัญญาณแตกต่างกันไปขยาย ตัวขยายต้องมีอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตที่สูงมาก ๆ เพราะมิฉะนั้นมันจะโหลดกระแสจากตัวเซ็นเซอร์วัด pH มาก และทำให้การวัดผิดพลาด

2.6.3 การวัดค่า pH ด้วยการขยายสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรือแบบที่สามารถอ่านค่า pH ได้โดยตรง เป็นการวัดค่า pH ที่ประกอบไปด้วยวงจรขยายแบบชอปเปอร์ นั่นคือเปลี่ยนสัญญาณเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนแล้วค่อยเปลี่ยนกลับเป็นกระแสตรงอีกครั้งหนึ่ง วงจรขยายในแบบดังกล่าวนี้วงจรขยายจะต้องมีอินพุตอิมพีแดนซ์ที่สูงมาก ๆ เช่น การใช้โอปแอมป์ที่ทำจาก FET เป็นต้น

1. อิเล็กโทรด ทำหน้าที่เป็นภาคตรวจรับ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่ pH 7 (standard pH Buffer) ความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 คือ อิเล็กโทรดอ้างอิงกับอิเล็กโทรดตรวจวัด จะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับ 0 มิลลิโวลต์ (0 mV) ถ้าความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้นหรือลดลง ความต่างศักย์ก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายนั้น โดยมีอิเล็กโทรดเป็นตัวทำหน้าที่รับสัญญาณ

อิเล็กโทรดปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น combination pH electrode ซึ่งออกแบบไว้ให้สะดวกในการใช้งาน โดยรวมส่วนของ reference electrode และ sensing electrode มาอยู่ด้วยกัน

sensing electrode หรือ อิเล็กโทรดตรวจวัดทำด้วยแก้วชนิดพิเศษที่ยอมให้เฉพาะไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ผ่านส่วนใหญ่ออกแบบเป็นรูปกระเปาะภายในบรรจุ buffer เอาไว้ แต่มีบางประเภทเป็นรูปอื่น เช่น รูปเข็มทุกชนิดจะเหมือนกันตรงบริเวณที่ไฮโดรเจนไอออนผ่านผิวแก้วจะบางมาก

reference electrode หรือ อิเล็กโทรดอ้างอิงทำหน้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วตรวจวัดเดินครบวงจร โดย KCl ชนิดอิ่มตัวที่อยู่ในอิเล็กโทรดอ้างอิงซึมผ่านออกมาเป็น salt bridge เชื่อม sensing electrode

2. ตัวเครื่อง pH Meter ทำหน้าที่สำคัญ 3 ประการ คือ

2.1 ปรับความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดอ้างอิงให้มีค่าความต่างศักย์เป็นศูนย์และคงที่

2.2 แปลงสัญญาณจากความต่างศักย์ของไอออนของอิเล็กโทรดให้เป็นความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

2.3 ขยายสัญญาณค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าให้เพิ่มมากขึ้นอย่างเพียงพอเพื่อแสดงผลที่มีเตอร์ได้

3. รายละเอียดโดยย่อของอิเล็กโทรด

## 2.7 analog to digital converter (ADC) [7]

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มี 2 ชนิด คือ สัญญาณแอนะล็อกและสัญญาณดิจิทัล สัญญาณแอนะล็อกจะใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ไปและใช้ในการควบคุมแบบเก่า

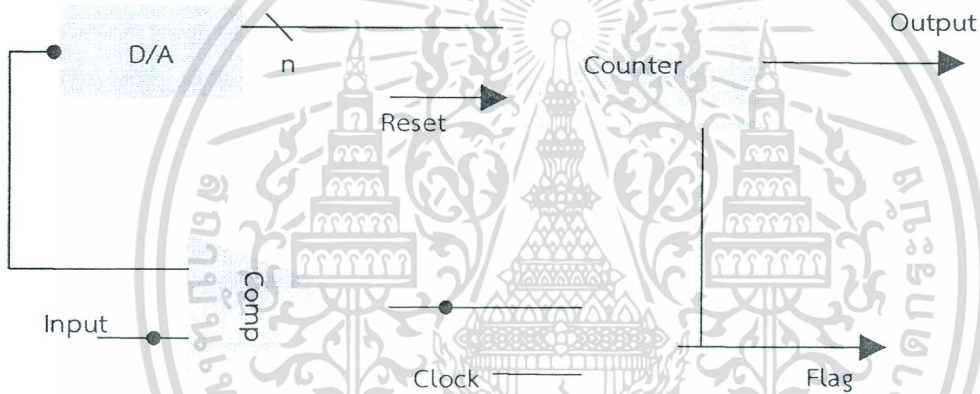
ในปัจจุบัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจะต้องเปลี่ยนจากสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับสัญญาณดิจิทัลและควบคุมการทำงานตามที่ต้องการได้ แม้ว่าสัญญาณแอนะล็อกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูง แต่สัญญาณแอนะล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนในสภาพแวดล้อมอยู่มากและการที่จะทำให้การควบคุมแบบแอนะล็อกมีความสามารถควบคุมเท่ากับการควบคุมแบบดิจิทัลนั้นทำได้ยากเนื่องจากวงจรควบคุมแบบแอนะล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูง อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิทัลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณแอนะล็อกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

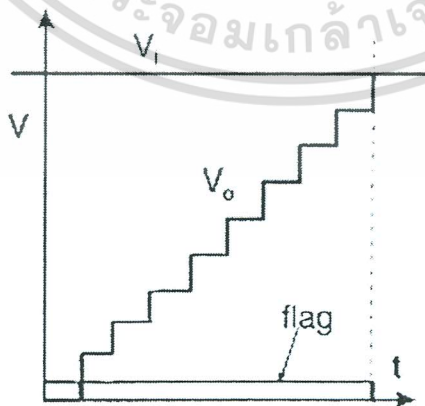
### 2.7.1 วงจร counting converter

วงจร counting converter เป็นวงจรที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานจะแสดงไว้ภาพที่ 2.11

ในภาพที่ 2.11 วงจร counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้ DAC (digital to analog converter) มีขา reset รับสัญญาณ reset เมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่ เมื่อ DAC รับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณแอนาลอกที่มีค่าความต่างศักย์ 1 ค่า แล้วส่งต่อเข้าไปยัง comparator โดย comparator นี้เป็นตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ออกมา (ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ 0 โวลต์ออกมา (ลอจิก 1) ดังแสดงดังภาพที่ 2.12 ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุตที่ได้จะมี delay จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิงระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ 0 ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุตใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น



ภาพที่ 2.11 วงจร counting converter

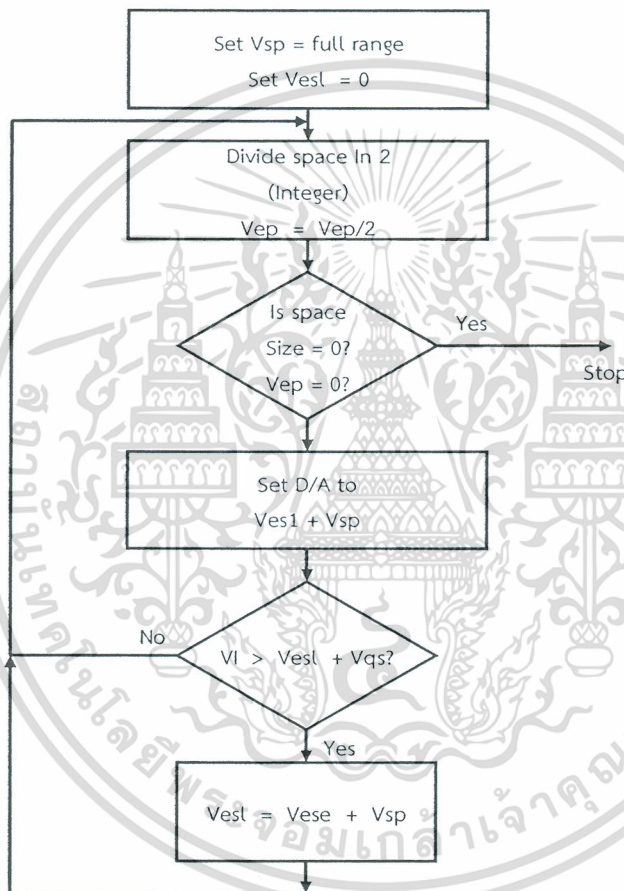


ภาพที่ 2.12 กราฟแรงดันเอาต์พุตที่ได้รับจากวงจร counting counter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.2 วงจร successive approximation ADC

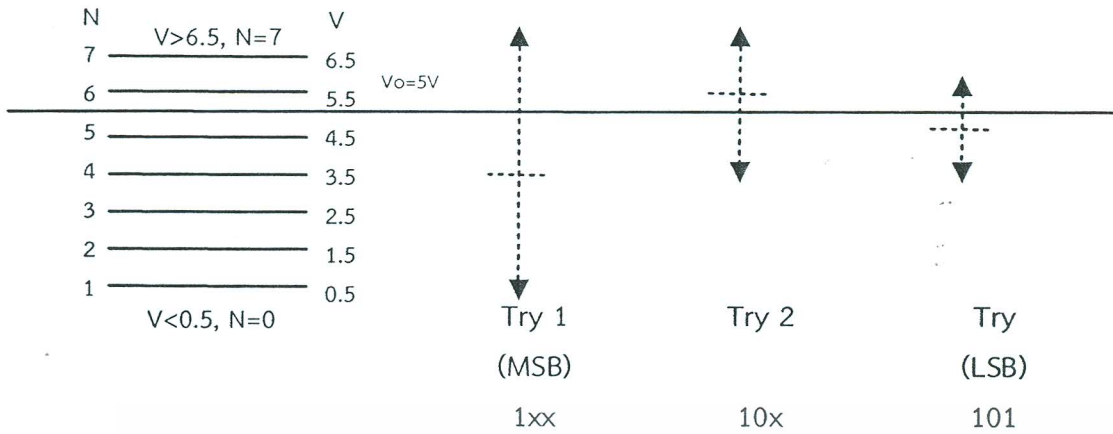
วงจร successive approximation ADC นั้นเป็นวงจรที่ถูกออกแบบขึ้นมาใช้งานโดยใช้หลักการของ binary search ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่า ค่านั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า  $(0+7)/2 = 4$  มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า  $(0+4)/2 = 2$  มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า  $(2+4)/2 = 3$  มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการ จากหลักการที่กล่าวมาอาจเขียน Flow chart ได้ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 โฟลว์ชาร์ตหลักการของวิธี successive approximation

ข้อดีของวิธีนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ  $n$  รอบแน่นอน (สำหรับ  $n$  bit converter ซึ่งอ้างอิงได้  $2n$  ระดับ และระดับ  $V_{in}$  ที่คงที่) ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าวิธี "counting algorithm" แต่มีข้อเสีย คือถ้า  $V_{in}$  เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ binary search อยู่ นั่น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด ตัวอย่างเช่น เปลี่ยน  $V_{in}$  จาก 5 Volt เป็น 2 Volt ดังแสดงในภาพที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

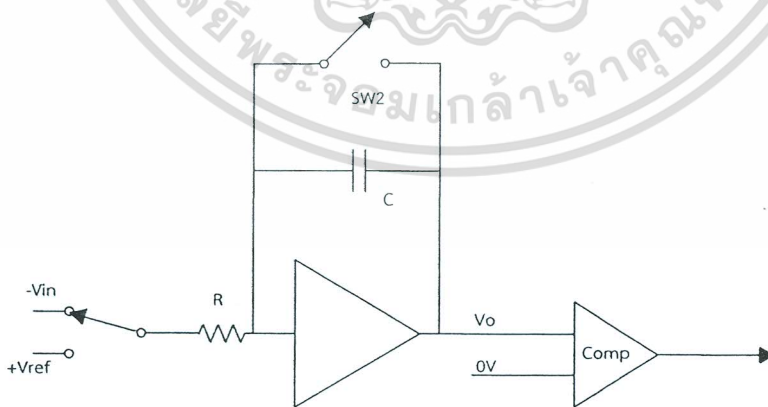


ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการเปลี่ยน Vin จาก 5 Volt เป็น 2 Volt

ช่วงของ Vin คือ 1-7 ใช้  $n=3$  (เพราะว่า  $2^3=8$ )  
 ครั้งแรก ใช้ 4 เปรียบเทียบกับ Vin (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า อยู่ในช่วง lower ได้ 1x  
 ครั้งที่ 2 ใช้ 2 เปรียบเทียบกับ Vin (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า อยู่ในช่วง upper ได้ 10x  
 ครั้งที่ 3 ใช้ 3 เปรียบเทียบกับ Vin (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จะผิดพลาด ได้ 100

### 2.7.3 วงจร dual-slope ADC

วงจร dual-slope ADC นี้ใช้หลักการของวงจร integrator ทำงานร่วมกับตัว comparator ดังแสดงในภาพที่ 2.15 จากภาพ พบว่า จะมีแรงดันไฟฟ้า 2 อินพุต คือ ค่าความต่างศักย์แอนาลอกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิทัล ( $-V_{in}$ ) และความต่างศักย์ที่คงที่ค่าหนึ่ง ( $V_{ref}$ ) และมีสวิตช์ SW1 ซึ่งทำหน้าที่เลือกค่าสัญญาณจากวงจรตอนเริ่มต้นสวิตช์ SW2 ทำหน้าที่คายประจุของตัวเก็บประจุ C แล้วจึงเปิด SW2 ออกเมื่อสวิตช์ SW1 สับมาที่  $-V_{in}$



ภาพที่ 2.15 วงจร Dual-Slope ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ผ่านมาและระบบที่มีขายเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันนี้ยังไม่เคยมีการนำเสนอและใช้งานเกี่ยวข้องกับเครื่องแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์มที่นำเสนอในโครงการวิจัยฉบับนี้เลย แต่ทั้งนี้ ทฤษฎีของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์และไอซีต่างๆ ที่ใช้งานในโครงงานนักศึกษา งานวิจัยและระบบที่ใช้งานจริงในปัจจุบันนี้ก็สามารที่จะนำมาศึกษาและประยุกต์ใช้งานในชิ้นงานที่นำเสนอนี้ได้ ยกตัวอย่างเช่น

1. โครงงาน/งานวิจัยที่มีการใช้งานไอซีเบอร์ MCP3201 ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ซึ่งไอซี MCP3201 ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากโพรบวัดค่า pH ไปเป็นรหัสไบนารี แล้วส่งรหัสไบนารีดังกล่าวไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51
2. โครงงาน/งานวิจัยที่มีการใช้งานวงจรรขยายแบบไม่กลับเฟส (non-inverting amplifier) และสร้างวงจรรอ่านค่า pH ขึ้นมาใช้งานเอง [8] โดยวงจรมีถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เช่นกัน เพื่อที่จะขยายระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากโพรบวัดค่า pH ให้มีค่ามากขึ้น 5.7 เท่า ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวจะบรรยายต่อไปในบทที่ 3
3. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) [9] ได้นำเสนอและจำหน่ายชุดทดสอบคุณภาพน้ำมันปาล์มเพื่อใช้ในการประเมินราคาซื้อขาย ซึ่งสามารถบอกถึงคุณภาพเบื้องต้นของน้ำมันปาล์ม ประกอบด้วย 3 ชุดทดสอบได้แก่ ชุดทดสอบค่าความหนาแน่นและความหนืด ชุดทดสอบค่ากรด และชุดทดสอบค่าไอโอดีน ดังในภาพที่ 2.16 นอกจากนี้ยังสามารถวัดคุณภาพน้ำมันจากพืชและสัตว์รวมถึงไบโอดีเซลได้สร้างประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้ ชุดทดสอบดังกล่าวก็ไม่ได้แสดงค่า pH และเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มออกมาเป็นแบบดิจิทัลบนจอ LCD ซึ่งแตกต่างกับเครื่องต้นแบบชนิดพกพาที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องจากการแสดงผลค่า pH และเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มบนจอ LCD ที่ชัดเจนในลักษณะนี้จะมีส่วนช่วยต่อการนำไปใช้งานและอำนวยความสะดวกให้แก่เกษตรกรและผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก



ภาพที่ 2.16 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำมันปาล์มของ MTEC

ที่มา: <http://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-08-57-10/2013-10-29-09-38-02/1506-> [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างวงจรต่างๆ ของเครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์ม โดยในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 จะกล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัยและการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ใช้งาน ตามลำดับ ส่วนหัวข้อที่ 3.3 จะแสดงขั้นตอนการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นในรูปแบบโฟลว์ชาร์ต โดยรายละเอียดของแต่ละหัวข้อย่อย มีดังนี้

#### 3.1 ภาพรวมของงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของงานวิจัยที่นำเสนอ

ภาพที่ 3.1 แสดงภาพรวมของงานวิจัย ที่ประกอบไปด้วยโมดูลต่างๆ ดังนี้

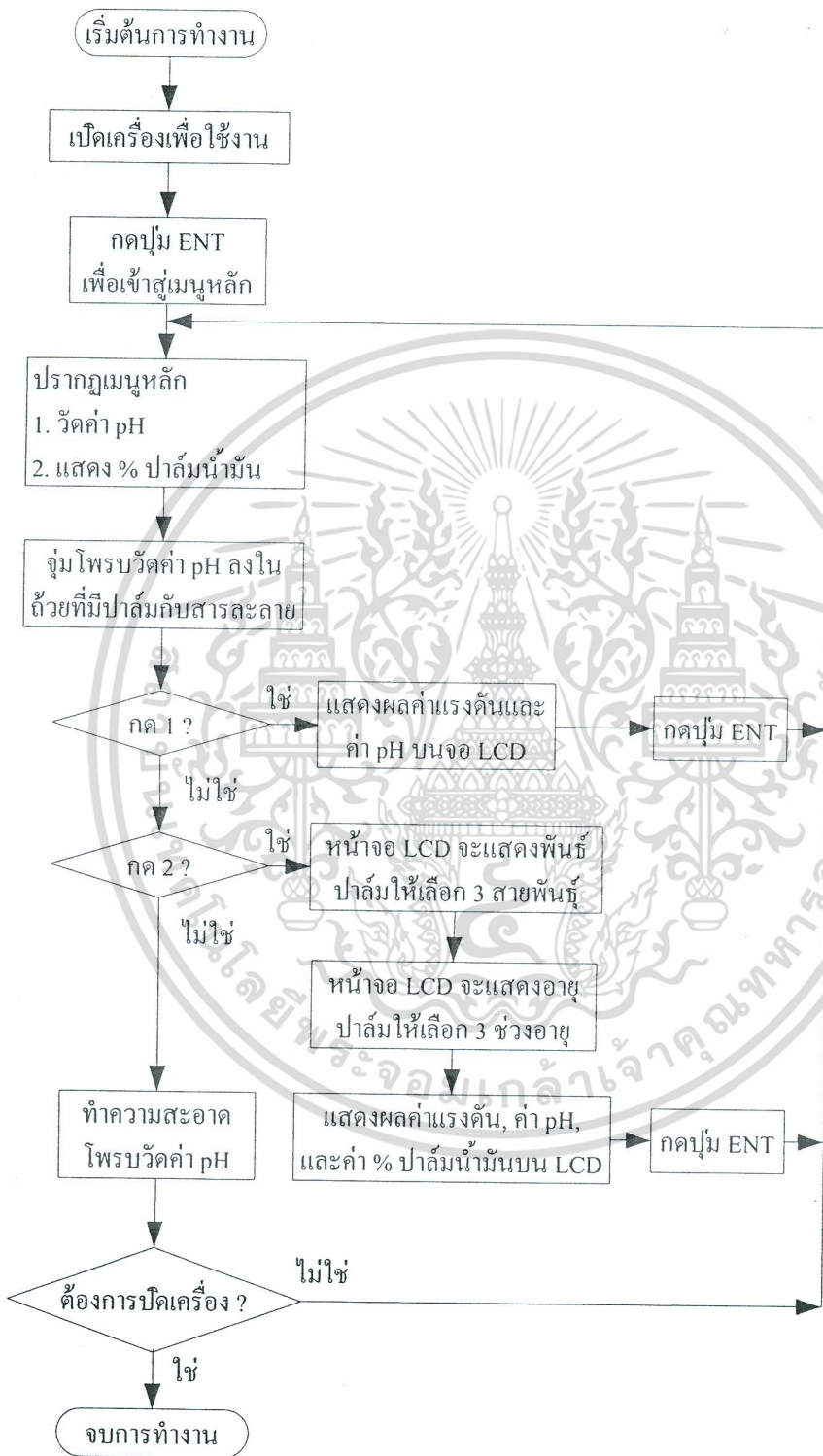
1. โพรบวัดค่า pH – งานวิจัยที่นำเสนอนี้จะซื้อโพรบวัดค่า pH สำเร็จรูปมาใช้งาน [9] โดยโพรบวัดค่า pH นี้จะทำการวัดค่า pH แล้วส่งค่าออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าต่างๆ
2. วงจรขยายและยกระดับ ทำหน้าที่รับค่าแรงดันไฟฟ้า (ค่า pH) จากโพรบวัดค่า pH มาขยายแรงดันไฟฟ้าและยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่ากรดและด่างมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าบวกทั้งหมด ในที่นี้จะใช้วงจร non-inverting amplifier และ วงจร inverting amplifier ที่มีการออฟเซตยกระดับแรงดันไฟฟ้า
3. วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าที่ถูกขยายและยกระดับแล้วไปเป็นรหัสไบนารี เพื่อส่งต่อไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51
4. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 จะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ส่งเข้ามา แล้วนำค่า pH และค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มไปแสดงบนหน้าจอ LCD โดยจะหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มในรูปสมการทางคณิตศาสตร์
5. สารละลายที่นำมาใช้ในการทดสอบปาล์มน้ำมัน คือ สารละลายโพแทสเซียมไอโอดี

โดยจะทำการทดสอบกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ DxP, พันธุ์ Dura และพันธุ์ Pisifera รวมถึงปาล์มน้ำมันที่มีอายุต่างๆ กัน 3 ช่วงอายุ ได้แก่ ช่วงอายุที่ 1 คือ 8 - 12 ปี, ช่วงอายุที่ 2 คือ 12 - 20 ปี และช่วงอายุที่ 3 คือ มากกว่า 20 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย โดยจะแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานผ่านทางโฟลว์ชาร์ต ดังแสดงในภาพที่ 3.2

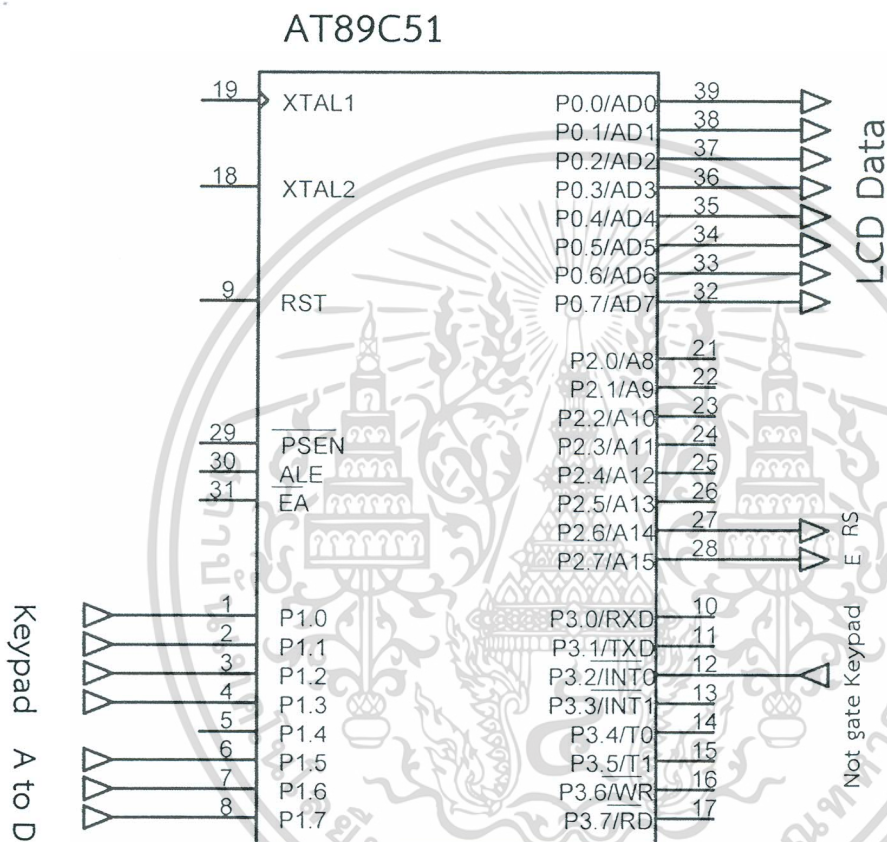


ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนของการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ในภาพที่ 3.3 แสดงการจัดวางขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และขาไอซีที่ต่อใช้งาน ในเครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้ โดยขา P1.5 - P1.7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลมาจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ไอซี MCP3201) ส่วนขา P1.0 - P1.3 รับข้อมูลมาจากคีย์แพด (keypad) เช่น 0100, 1100, 0011 เป็นต้น แล้วก็เปรียบเทียบกับ ขา P3.2 ที่รับมาจากน็อตเกทว่าได้ทำการกดปุ่มไหนไว้ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะประมวลผลและแสดงค่าข้อมูลที่กดผ่านทางจอแอลซีดี ส่วนขา P0.0 - P0.7 และ P2.6 - P2.7 จะเป็นขาที่เชื่อมต่อกับจอแอลซีดี

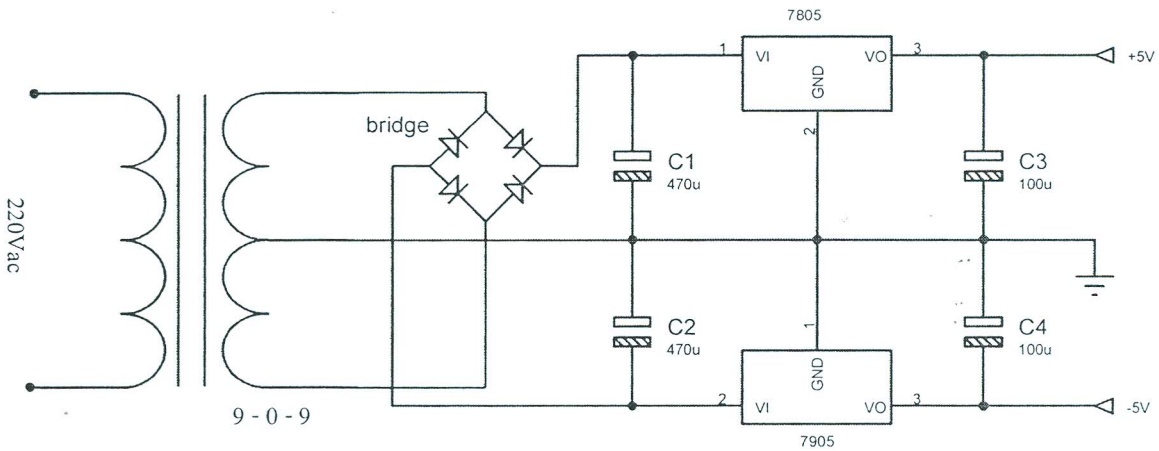


ภาพที่ 3.3 การจัดวางขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 และขาไอซีที่ต่อใช้งาน

### 3.4 การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ

จากภาพที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า Input 9-0-9 Vac จะถูกส่งออก 2 ทาง สัญญาณที่ถูกส่งออกไปทางแรก จะถูกส่งผ่านไดโอดบริดจ์และผ่านไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 9 Vac ให้เหลือ 5Vdc ด้านส่วนสัญญาณที่ถูกส่งออกไปทางที่ 2 จะถูกส่งผ่านไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7905 เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 9Vac เหลือ -5Vdc ทั้งนี้ จะนำตัวเก็บประจุขนาด 470uF 16V มาต่อคร่อมระหว่างไฟ + กับ G และไฟ - กับ G เพื่อกรองแรงดันไฟฟ้าไฟกระแสดรงให้เรียบขึ้น (ลด ripple)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

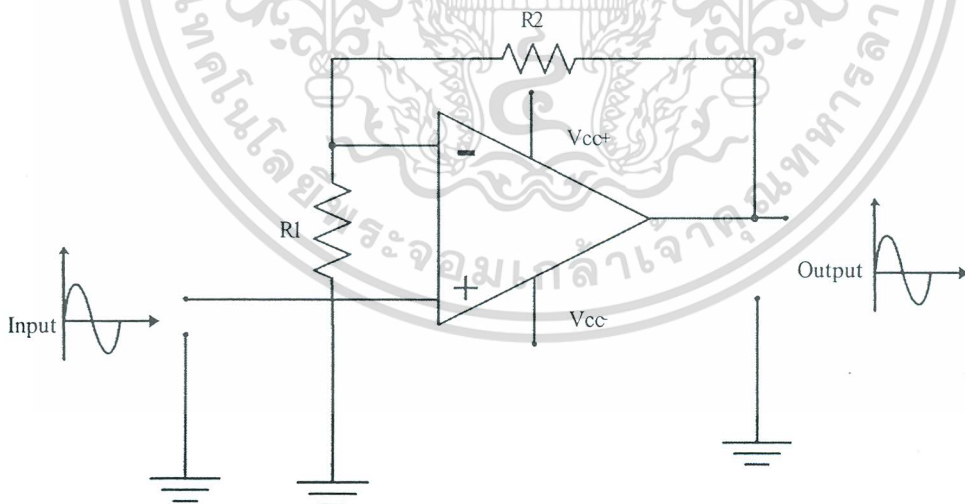


ภาพที่ 3.4 วงจรภาคจ่ายไฟ

### 3.5 การออกแบบวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

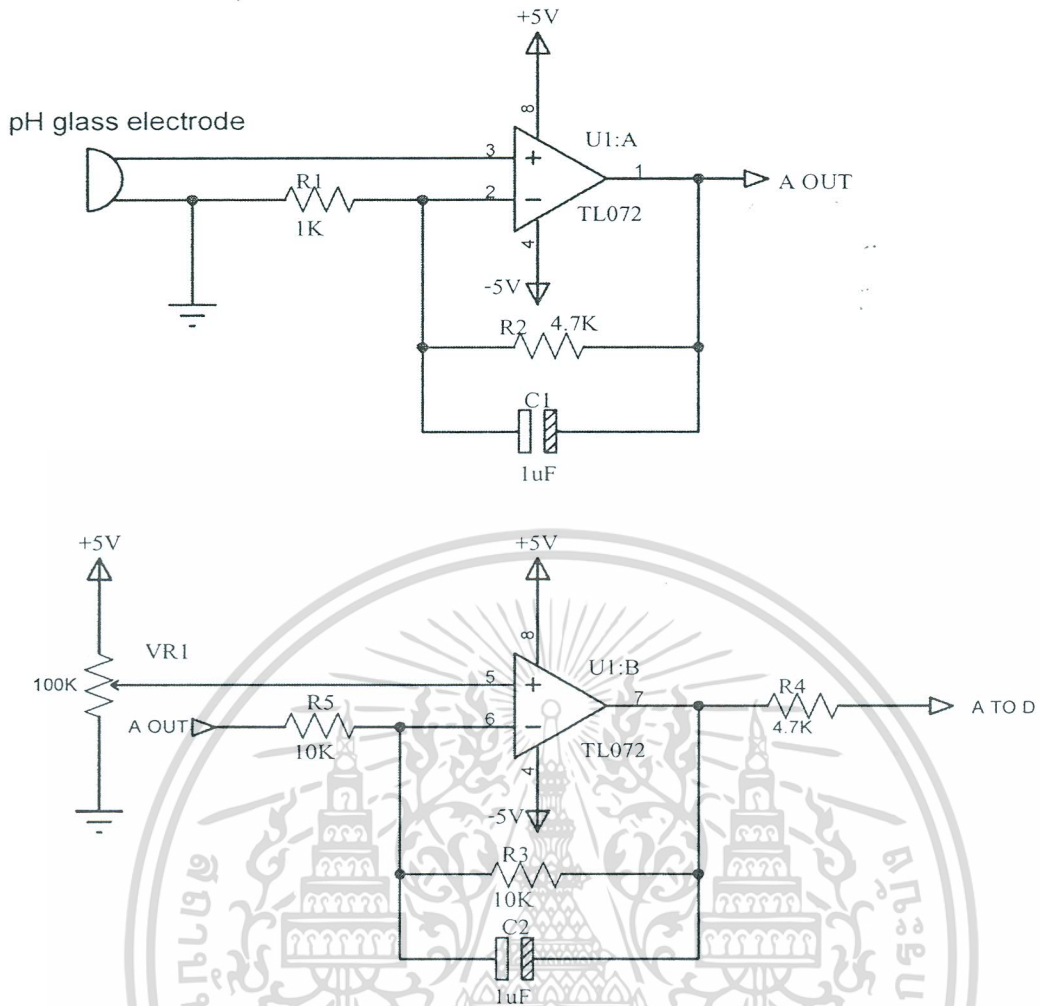
วงจรขยายนี้เป็นวงจรขยายอีกแบบหนึ่งที่ต้องการเฟสในการขยายเป็นเฟสเดียวกัน ดังนั้นการป้อนสัญญาณอินพุตจึงต้องป้อนเข้าที่ขาอินพุตไม่กลับเฟส (+) ซึ่งเมื่อขยายออกที่เอาต์พุตแล้วจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีเฟสเหมือนเดิมดังนั้นในวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสนี้การป้อนกลับเพื่อลดอัตราขยายจึงยังคงต้องป้อนไปยังขาอินเวอร์ตติ้ง (-) เพื่อให้เกิดการหักล้างของสัญญาณกันภายในตัวไอซีออปแอมป์โดยสามารถหาอัตราขยายของวงจรได้จากสูตร

$$AV = \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$



ภาพที่ 3.5 วงจรขยายออปแอมป์แบบไม่กลับเฟส (non-inverting amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



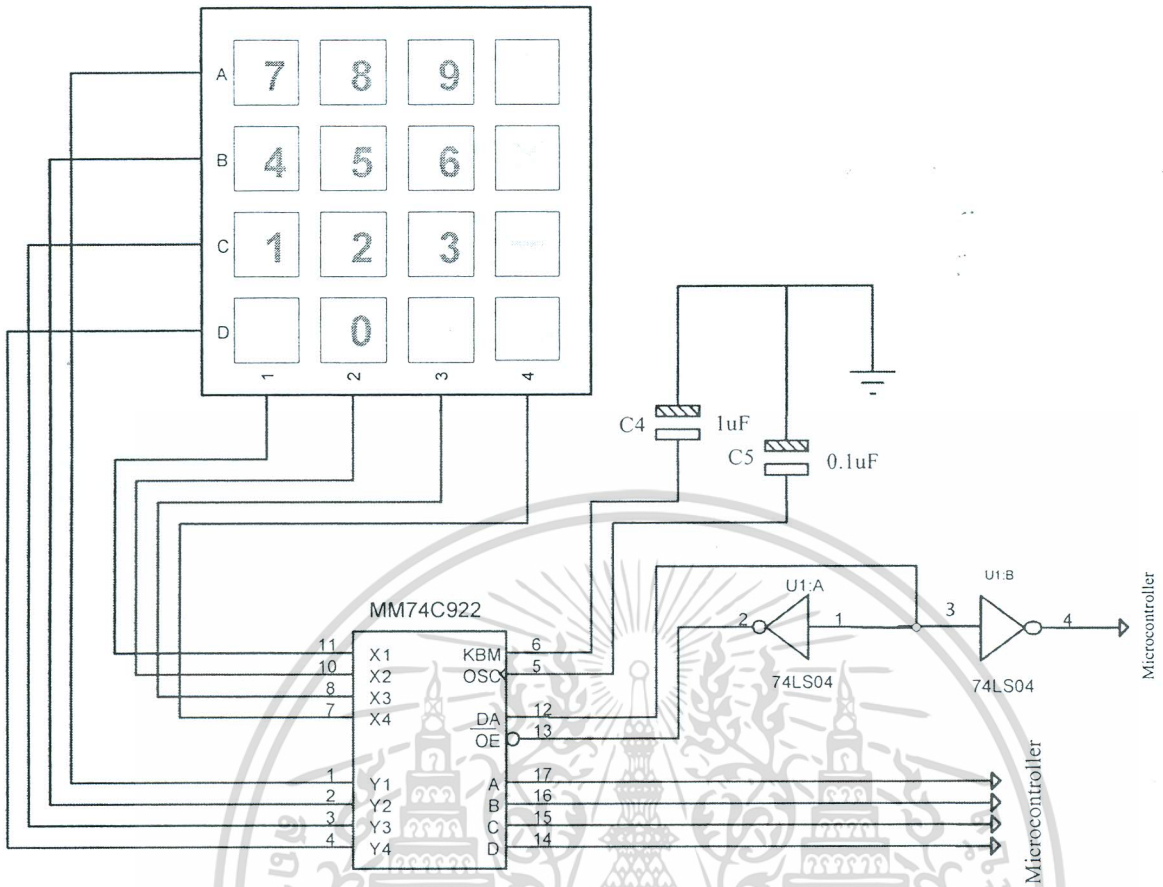
ภาพที่ 3.6 วงจรขยายและออฟเซตแรงดันไฟฟ้าแบบตายตัว (fixed gain/offset circuit)

การทดลองโดยวัดสัญญาณจากอิเล็กโทรด pH โดยวัดสัญญาณที่ผ่านวงจรมอบที่ทำการทดลอง ออกแบบไว้โดยต่อขั้วบวกของโพรบที่ขาสามของออปแอมป์วงจรรวมแรกเป็นวงจขยายแบบ non-inverting amplifier ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 5.7 เท่า เนื่องจากค่าที่ได้ออกมามีค่าแรงดันไฟฟ้าติดลบที่ค่า pH บางค่าเนื่องจากใช้แรงดันไฟฟ้าบวก เพื่อให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลจึงต้องนำสัญญาณไปผ่านวงจรรวมระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มจาก 0 volt จากนั้นทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่า pH และบันทึกผลค่าเพื่อนำไปออกแบบโปรแกรม

### 3.6 การออกแบบวงจรรหัสพัลส์

หลักการการทำงานของวงจรรหัสพัลส์ เป็นแบบ 4x4 ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการกดที่หมายเลข 7 พอร์ต A จะเชื่อมต่อกับพอร์ต 2 จะส่งลอจิก 1011 ไปยัง MM74C922 หลังจากนั้น MM74C922 ก็จะรับค่าโดย MM74C922 จะทำหน้าที่เป็น encoder ถอดรหัสจากพอร์ต 1, 2, 3, 4 โดยที่พอร์ต 1,2,3,4 จะส่งลอจิกมายังขา x1, x2, x3, x4 แล้วเปรียบเทียบกับของ A, B, C, D ว่าปุ่มไหนถูกกด แล้วขา 71,16,15,14 ก็จะส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนขา 12,13 ก็จะไปผ่าน not-gate เบอร์ 74L504 เพื่อเปรียบเทียบลอจิกให้ Microcontroller รับค่าได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.7

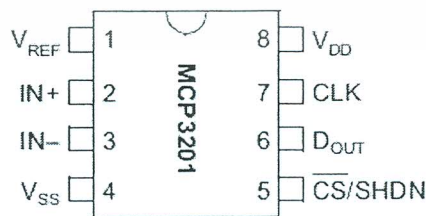
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.7 การทำงานของ Keypad

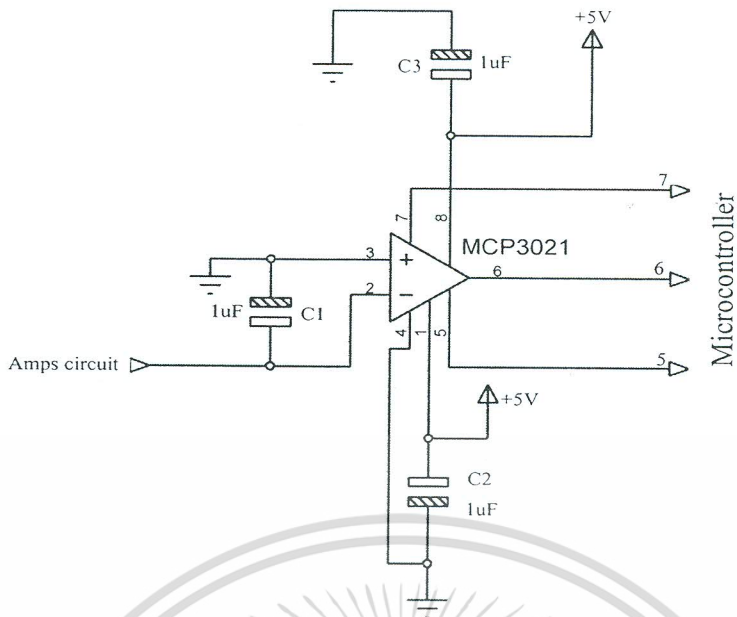
### 3.7 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ในการออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลนั้นจะใช้ไอซีเบอร์ MCP3201 มาทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุตจะมีขนาด 12 บิต ซึ่งจะส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 โครงสร้างและตำแหน่งขาของ MCP3201 มีแสดงไว้ในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 โครงสร้างและตำแหน่งขาของ MCP3201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A to D 12 bit)

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (analog-to-digital converter หรือ ADC) นั้นเป็นสื่อกลางในการติดต่อระหว่างโพรบวัดค่าพีเอชกับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแรงดันไฟฟ้าทางอินพุต จะเป็นแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 4.86 โวลต์ แล้วผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณในตัวไอซี แล้วจึงส่งเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยตัว ADC นี้จะมีไฟเลี้ยงตั้งแต่ 2.7 ถึง 5.5 โวลต์และมีค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงประมาณ 5 โวลต์ และจะมีขาเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ 3 ขาด้วยกัน คือ ขา CLK ซึ่งทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาในการนับแรงดันไฟฟ้าเทียบเวลา, ขา DO คือค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรและขา CS จะเป็นตัวกำหนดในการอ่านค่าครั้งละ 12 บิต

### 3.8 การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้ากับค่าพีเอช

เมื่อต้องการทราบค่าพีเอชจึงนำน้ำบัฟเฟอร์ที่มีค่าพีเอช 4, 7 และ 10 มาวัด โดยใช้พีเอชมิเตอร์ที่สร้างขึ้นได้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า แล้วนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านวงจรขยายแรงดันไฟฟ้ามาพล็อตเป็นกราฟเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งสมการดังกล่าวจะถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าพีเอชของปาล์มน้ำมันในลำดับถัดไป ดังแสดงในภาพที่ภาพที่ 3.10

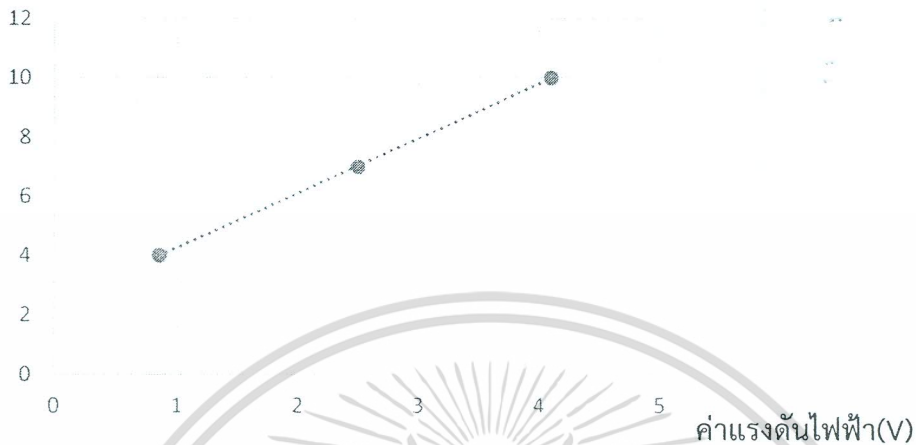
### ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับแรงดันไฟฟ้า

pH	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย
10.00	4.10	4.10	4.11	4.09	4.10V
7.00	2.52	2.52	2.53	2.53	2.53V
4.00	0.87	0.87	0.84	0.84	0.86V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ได้  $pH = 1.8489(V_{out}) + 2.4055$  สมการนี้จะนำไปเขียนโปรแกรมแอลซีดีก็จะโชว์ค่าแรงดันไฟฟ้ากับพีเอชที่ได้ เช่น แรงดันไฟฟ้าที่ได้มีค่าเท่ากับ 2.10 จะได้  $1.8489(2.10) + 2.4055$  ก็จะมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.29

ค่าพีเอช(pH)

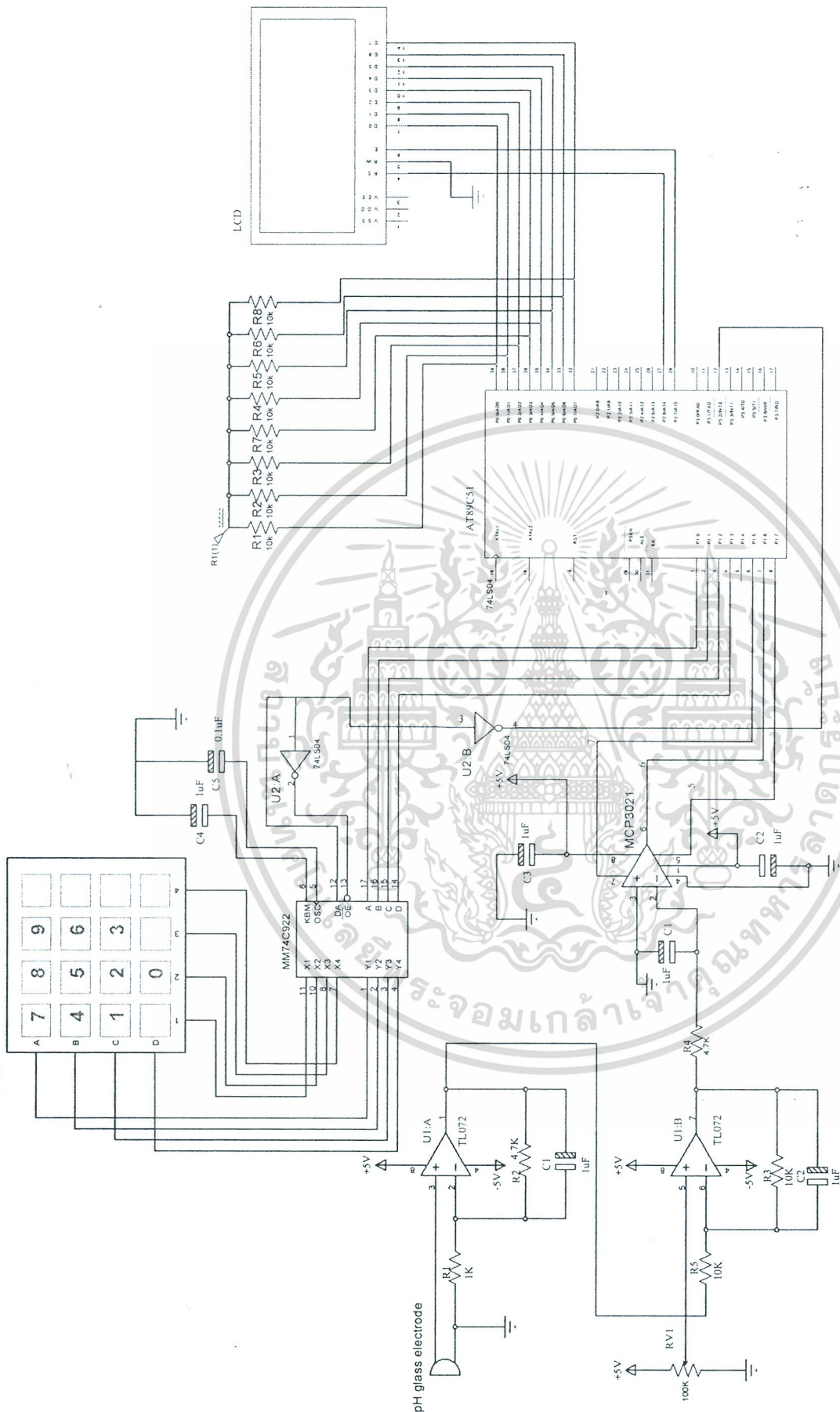


ภาพที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าแรงดันไฟฟ้า

### 3.9 วงจรรวม

เมื่อโพรบวัดค่า pH จุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีปาล์มน้ำมันกับสารละลายโพแทสเซียมไฮโอไดต์ โพรบวัดค่า pH จะส่งแรงดันไฟฟ้าระดับมิลลิโวลต์ไปยังวงจร non-inverting amplifier และวงจรขยาย/ออฟเฟตแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ หลังจากนั้น สัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลสัญญาณ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงค่า pH และค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันปาล์ม (%oil/FFB ในที่นี้ FFB ย่อมาจากคำว่า fresh fruit branch หมายถึง ทะลายปาล์มสด) บนจอ LCD วงจรรวมของเครื่องต้นแบบชนิดพกพาที่นำเสนอนี้มีแสดงไว้ในภาพที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 วงจรรวมของเครื่องต้นแบบชนิดพกพาที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

เครื่องต้นแบบสำหรับวัดค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่า pH สำหรับทะเลาะปาล์มที่นำเสนอจะประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล (ADC) วงจรวัดค่า pH (pH meter) คีย์แพดและจอ LCD ซึ่งเมื่อทำการสร้างเครื่องต้นแบบเสร็จแล้ว เราจะเริ่มต้นด้วยการทดสอบการวัดค่า pH ของวงจรวัดค่า pH ในสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกัน โดยรายละเอียดและผลการทดลองจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.1 หลังจากนั้น ในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 จะทำการทดลองวัดค่า pH ในแต่ละชั้นของ 1 ทะเลาะปาล์มและจะทำการทดลองวัดค่า pH และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม (%oil/FFB) ของปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ โดยผลของปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุที่ทดลอง (ทดลอง 3 ช่วงอายุ คือ 8 – 12 ปี, 12 – 20 ปี และมากกว่า 20 ปี) จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ปาล์มน้ำมันประเภทเดียวกันที่ได้รับจากแผนกวิจัยและพัฒนาของบริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) <โรงงาน CPI> หลังจากนั้น จะนำเครื่องต้นแบบที่นำเสนอไปวัดค่า pH และ %oil/FFB กับปาล์มน้ำมันสวนอื่นๆ ของชาวสวนปาล์มน้ำมัน โดยอาศัยสมการเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันแต่ละช่วงอายุ (ภาคสนาม) รายละเอียดของแต่ละหัวข้อมีดังนี้

### 4.1 ผลการทดลองวัดค่า pH ในสารละลายชนิดต่างๆ ของวงจรวัดค่า pH ที่สร้างขึ้น

การทดลองวัดหาค่า pH ในสารละลายชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการทดลองวงจรวัดค่า pH ที่สร้างขึ้นมา โดยจะต้องวัดค่า pH ที่ใกล้เคียงกับค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานที่ซื้อ (PH221) โดยควรมีค่า pH error (%) ไม่เกิน 1.5% ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. นำโพรบวัดค่า pH มาติดตั้งกับเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น/เครื่องมาตรฐาน โดยจะใช้แต่ละเครื่องวัดค่า pH แยกกันทดสอบในแต่ละครั้ง
2. หาตัวอย่างของสารละลายที่มีค่า pH แตกต่างกันมาทดสอบ ได้แก่ น้ำยาบัฟเฟอร์มาตรฐาน (ค่า pH เท่ากับ 4, 7 และ 10) และสารละลายชนิดอื่นๆ แล้วทดลองวัดค่า pH และบันทึกผล

### ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดค่า pH ในสารละลายชนิดต่างๆ

pH (เครื่องมาตรฐาน)	pH (เครื่องที่สร้างขึ้น)	% pH error
2.35	2.38	1.28%
2.5	2.47	1.20%
4.0	4.02	0.50%
3.52	3.50	0.57%
4.92	4.89	0.61%
7.00	7.02	0.29%
7.15	7.17	0.28%
8.54	8.52	0.23%
10.00	10.02	0.20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

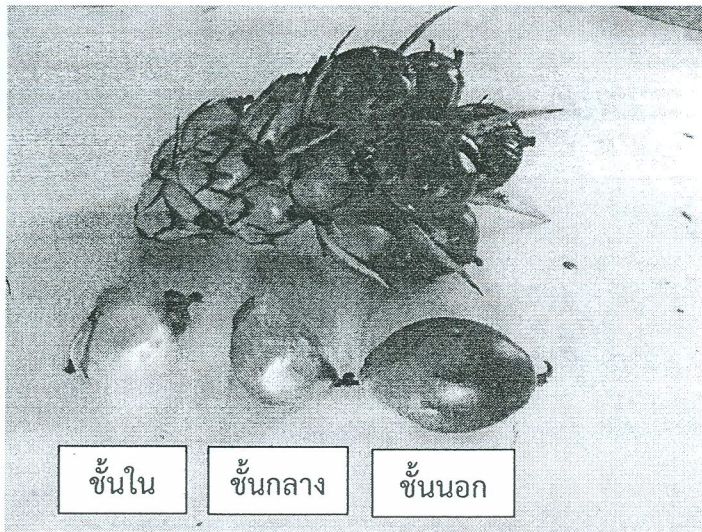
ผลการทดลองในตารางที่ 4.1 พบว่า ค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องวัด pH มาตรฐานที่ซื้อมา (PH-221 กับไพรวัด pH รุ่น PE-03) มีค่าใกล้เคียงกับค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น โดย pH error มีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดเท่ากับ 0.20% และ 1.28% ตามลำดับ ค่า pH error เฉลี่ยจากการวัดค่าสารละลายที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 และค่า pH มากกว่าหรือเท่ากับ 7 ของเครื่องที่สร้างขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.83% และ 0.25% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นให้ค่า pH error ที่มีค่าน้อยกว่า 1.5% ตามที่ต้องการ

สำหรับการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 – 4.4 ต่อไปนี้ เป็นผลการทดลองการใช้เครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้กับทะเลสาปาล์มน้ำมันสดที่นำมาขาย ณ โรงงาน CPI ซึ่งจุดประสงค์ข้อหนึ่งของงานวิจัยนี้ต้องการที่จะทดสอบกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์คือ พันธุ์ DxP, พันธุ์ Dura และพันธุ์ Pisifera แต่ปรากฏว่าปาล์มน้ำมันที่นำมาขายและปลูกโดยส่วนใหญ่ในพื้นที่รอบๆ โรงงาน CPI จะเป็นปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนร่าดีเอกซ์พี (DxP) หมดแล้ว จึงทำให้ผลการทดลองที่ปรากฏในตารางที่ 4.2 - 4.10 จึงเป็นผลการทดลองของปาล์มน้ำมันพันธุ์ DxP ทั้งหมด แต่ทั้งนี้ ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องต้นแบบที่นำเสนออย่างรองรับการทดสอบกับปาล์มน้ำมันพันธุ์ Dura และ Pisifera (ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ขั้นตอนของการทำงานของเครื่อง หน้า 25)

#### 4.2 ผลการทดลองวัดค่า pH ของผลปาล์มน้ำมันในแต่ละชั้นของ 1 ทะลายปาล์ม

การทดลองหาค่า pH ของผลปาล์มน้ำมันในแต่ละชั้นของ 1 ทะลายปาล์มนั้น โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อที่จะทราบว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (saturated fatty acid) ในผลปาล์มน้ำมันในแต่ละชั้นของ 1 ทะลายปาล์มนั้นแตกต่างกันอย่างไร หลักการที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องต้นแบบที่นำเสนอคือปฏิกิริยาฮาโลจิเนชัน (Halogenations' reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่กระทำกันระหว่างธาตุหมู่ 7 (Halogen Element) กับกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยในที่นี้ จะเลือกใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่มีความเข้มข้น 10% นอกจากนี้ ระดับความสูงของผลปาล์มใน 1 ทะลายปาล์มนั้นไม่เท่ากัน จึงแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับที่สูงที่สุดคือชั้นนอก ระดับที่สุกปานกลางคือชั้นกลาง และระดับที่สุกน้อยที่สุดคือชั้นใน (ในที่นี้ แบ่งระดับความสูงออกเป็น 3 ระดับตามโรงงาน CPI) โดยขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. สุ่มหยิบ 1 ทะลายปาล์มของชาวสวนปาล์มน้ำมันที่นำมาขายให้แก่โรงงาน CPI แล้วนำมาผ่าให้ได้ฟางของปาล์มน้ำมัน ดังในภาพที่ 4.1
2. สุ่มหยิบผลปาล์มในแต่ละชั้นใน 1 ทะลายปาล์มนั้นออกมา แล้วหั่นเนื้อปาล์มในแต่ละชั้นให้ได้ชั้นละ 1.6 กรัมและใส่ลงในบีกเกอร์ (beaker) โดยจะทดสอบเนื้อปาล์มในแต่ละชั้นแยกกันในแต่ละครั้ง
3. เตรียมสารละลาย KI ที่มีความเข้มข้น 10% ต่อปริมาณน้ำกลั่น 100 ml (cc)
4. เทสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 3 ใส่ลงไปเนื้อปาล์มที่หั่นไว้ในข้อ 2
5. คนสารละลายให้เข้ากับเนื้อปาล์มพอสมควรโดยใช้เวลาคน 2 นาทีและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้สารละลายและเนื้อปาล์มเข้ากัน
6. ทำการวัดค่า pH และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ผลปาล์ม 3 ชั้น (ชั้นนอก ชั้นกลางและชั้นใน) ของ 1 ทะลายปาล์มที่สุ่มมาทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองค่า pH ในผลปาล์มน้ำมันแต่ละชั้น

ระดับชั้น	ค่า pH (เครื่องมาตรฐาน)	ค่า pH (เครื่องที่สร้างขึ้น)	ค่า pH error (%)
ชั้นนอก	5.20	5.23	0.58 %
ชั้นกลาง	5.21	5.22	0.19 %
ชั้นใน	5.29	5.31	0.38 %
ค่าเฉลี่ย	5.23	5.25	0.38 %

จากผลการทดลองที่ปรากฏในตารางที่ 4.2 พบว่า ผลการวัดค่า pH ของระดับความสุก 3 ระดับใน 1 ทะลายปาล์ม เป็นไปตามที่คาดการณ์เอาไว้ กล่าวคือ

1. ชั้นนอกสุดที่มีระดับความสุกสูงที่สุด จะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด จึงทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีค่าต่ำที่สุด
2. ชั้นในสุดที่มีระดับความสุกน้อยที่สุด จะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยที่สุด จึงทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีค่ามากที่สุด
3. ชั้นกลางที่มีระดับความสุกปานกลาง จะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวปานกลาง จึงทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่างค่า pH ของชั้นนอกและชั้นใน

#### 4.3 ผลการทดลองวัดค่า pH และการคำนวณหาค่า %oil/FFB เปรียบเทียบกับโรงงาน CPI

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองวัดค่า pH และการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม (%oil/FFB) ในที่นี้ FFB ย่อมาจากคำว่า fresh fruit branch หมายถึง ทะลายปาล์มสด) โดยขั้นตอนการทดลองในช่วงแรกจะเหมือนกับหัวข้อที่ 4.2 ทุกประการ เพียงแต่จะเปลี่ยนขั้นตอนการทดลองข้อที่ 2 เท่านั้น กล่าวคือ จะนำเนื้อปาล์มที่หั่นได้จาก 3 ชั้นมารวมกันเพื่อทดสอบครั้งเดียว (น้ำหนัก 4.8 กรัม) โดยจะทำการวัดค่า pH โดยใช้เครื่องมาตรฐานและเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ผลการทดสอบวัดค่า pH ของปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

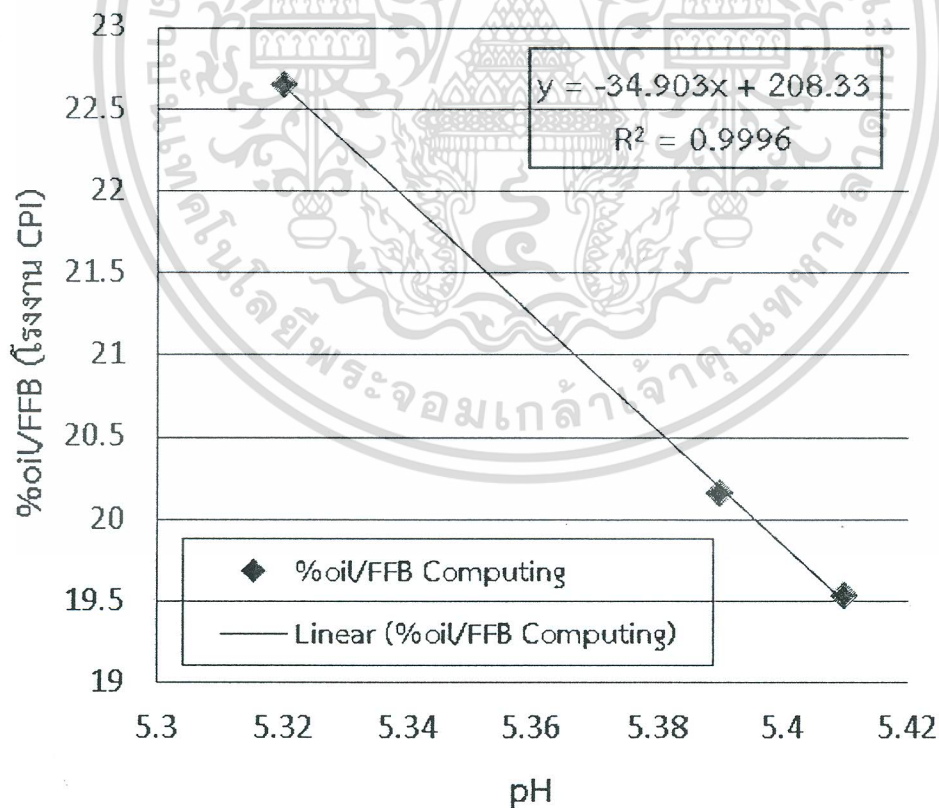
น้ำมัน 3 ช่วงอายุมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.5 ตามลำดับ ทั้งนี้ เปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มนั้นสามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (4.1) ซึ่งสมการดังกล่าวนี้มาจากโรงงาน CPI

$$\%oil/FFB = \frac{\text{สัดส่วนปาล์ม} \times Oil/Fruit}{100} \quad (4.1)$$

ในที่นี้  $\%oil/FFB$  คือเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มใน 1 ทะลายปาล์ม  
 สัดส่วนปาล์ม คือน้ำหนักของทะลายปาล์มที่ชั่งจากผลปาล์มชั้นนอก ชั้นกลาง และชั้นใน  
 $\%oil/fruit$  คือเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มใน 1 ผลปาล์ม

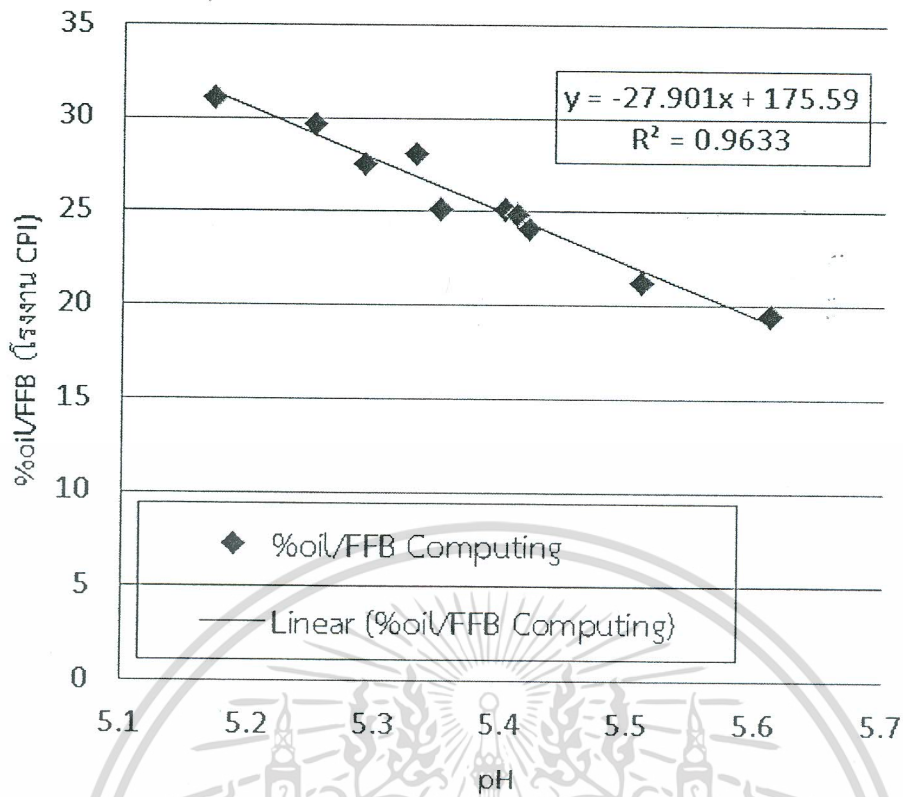
ผลของคำนวณค่า  $\%oil/FFB$  (CPI) ของปาล์มน้ำมัน 3 ช่วงอายุมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 – 4.5 เช่นกัน โดยในที่นี้ จะนำค่าสัดส่วนปาล์มน้ำมันและ  $\%oil/fruit$  มาจากโรงงาน CPI

หลังจากที่ได้ทำการวัดค่า pH ด้วยเครื่องมาตรฐานและคำนวณค่า  $\%oil/FFB$  ของโรงงาน CPI แล้ว จะนำทั้งสองดังกล่าวนี้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ  $\%oil/FFB$  โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel พบว่า เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ  $\%oil/FFB$  อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้ โดยในภาพที่ 4.2 – 4.4 จะแสดงสมการเส้นตรงและค่า  $R^2$  ที่ได้รับของตัวอย่างปาล์มน้ำมันที่นำมาทดสอบ ช่วงอายุ 8 – 12 ปี, อายุ 12 – 20 ปีและมากกว่า 20 ปี ตามลำดับ

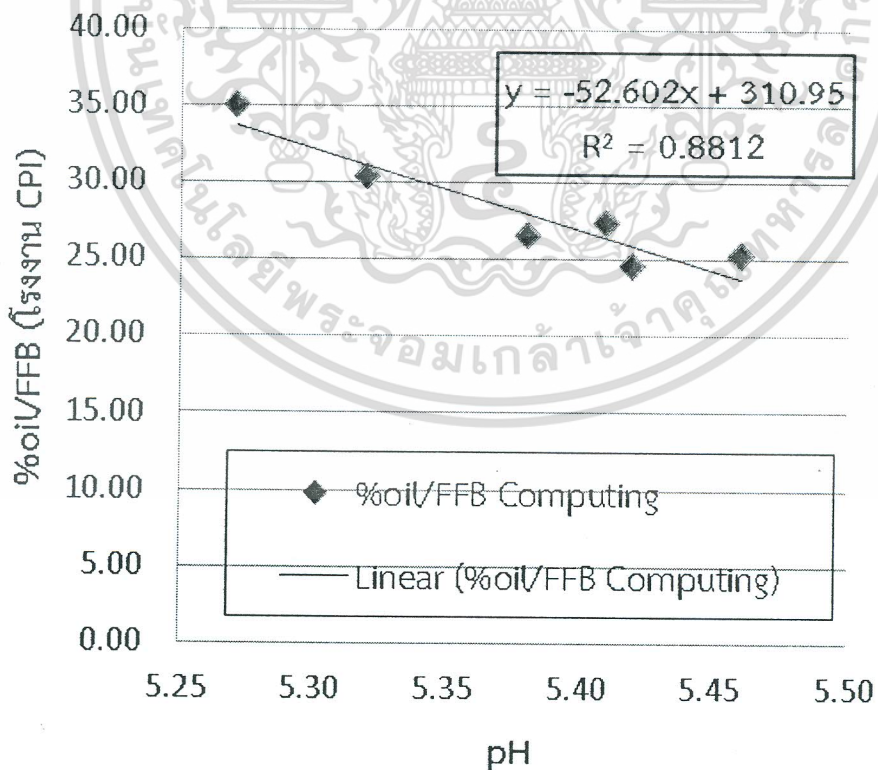


ภาพที่ 4.2 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ  $\%oil/FFB$  ของปาล์มน้ำมันอายุ 8 – 12 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันอายุ 12 – 20 ปี



ภาพที่ 4.4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 20 ปี  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่สมบูรณ์ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 8 – 12 ปี

ชื่อสวนปาล์ม	pH (std.)	pH (เครื่อง)	%pH Error	สัดส่วนปาล์ม	%oil/fruit	%oil/FFB	%oil/FFB (เครื่อง)	%oil/FFB Error
สูญ	5.32	5.33	0	69.05	22.67	22.65	22.30	1.56
น้ำพุ	5.39	5.38	0.74	63	32	20.16	20.55	1.94
ธัน	5.41	5.42	0.18	63	31	19.53	19.16	1.92
ค่าเฉลี่ย			0.31				19.27	1.81

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่สมบูรณ์ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 12 - 20 ปี

ชื่อสวนปาล์ม	pH (std.)	pH (เครื่อง)	%pH Error	สัดส่วนปาล์ม	%oil/fruit	%oil/FFB	%oil/FFB (เครื่อง)	%oil/FFB Error
ลานเทหัตถ์	5.51	5.53	0.36	71.86	29.50	21.20	21.30	0.48
อภิชาติ	5.17	5.16	0.19	75.00	41.50	31.13	31.62	1.60
CPI 5	5.25	5.23	0.38	71.99	41.20	29.66	29.67	0.03
มาลีสวนปาล์ม	5.29	5.28	0.19	81.00	34.00	27.54	28.27	2.67
สองพี่น้อง	5.33	5.30	0.56	67.83	41.50	28.15	27.72	1.54
เฟิร์นการเกษตร	5.35	5.37	0.37	67.75	37.12	25.15	25.76	2.45
ปาล์มทอง	5.40	5.41	0.19	67.84	37.00	25.10	24.65	1.80
สหทัย	5.41	5.41	0.00	81.29	30.63	24.90	24.65	1.01
สวีสวนปาล์ม	5.61	5.60	0.18	61.48	31.70	19.49	19.35	0.72
สมเ็จดี	5.42	5.43	0.18	67.70	35.67	24.15	24.09	0.24
ค่าเฉลี่ย			0.26				25.71	1.25

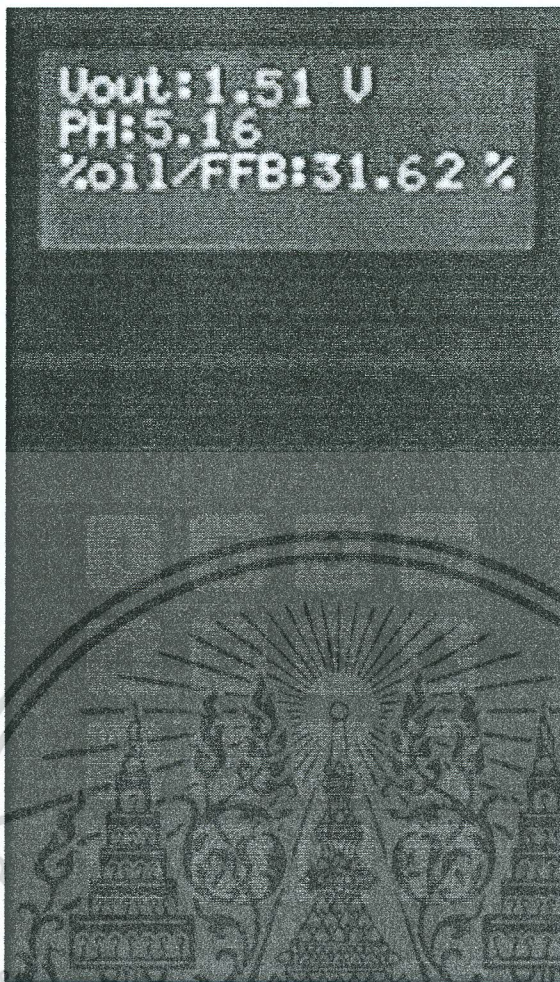
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่สมบูรณ์ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุมากกว่า 20 ปี

ชื่อสวนปาล์ม	pH (std.)	pH (เครื่อง)	%pH Error	สัดส่วนปาล์ม	%oil/fruit	%oil/FFB	%oil/FFB (เครื่อง)	%oil/FFB Error
ดอนเมือง	5.27	5.29	0.57	74.47	47.00	35.00	34.36	1.84
วิรัตน์	5.32	5.34	0.75	75.00	40.40	30.30	31.06	2.50
พรลย์	5.38	5.41	0.37	81.54	32.50	26.50	26.44	0.22
สมศักดิ์	5.41	5.40	0.18	65.00	42.00	27.30	27.10	0.73
อ่างทอง	5.42	5.43	0.92	75.38	32.50	24.50	25.12	2.55
หงษ์เจริญ	5.46	5.44	0.00	72.00	35.00	25.20	24.46	2.92
<b>ค่าเฉลี่ย</b>								
<b>0.47</b>								
<b>28.09</b>								
<b>1.79</b>								

**หมายเหตุ**

1. ค่าว่า pH (std.) หมายถึง ค่า pH ที่วัดได้จากการใช้เครื่องมือวัดค่า pH มาตรฐานที่ชื่อมา (PH221)
2. ค่าว่า pH (เครื่อง) หมายถึง ค่า pH ที่วัดได้จากการใช้เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น
3. ค่าว่า %oil/FFB (เครื่อง) หมายถึง ค่า %oil/FFB ที่วัดได้จากการใช้เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยอาศัยสมการเส้นตรงที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ในที่นี้ ขั้นตอนการใช้เครื่องเพื่อป้อนค่าช่วงอายุของปาล์มน้ำมันนั้นอธิบายไว้ในบทที่ 3
4. ค่าของสัดส่วนปาล์ม, %oil/fruit และ %oil/FFB ในคอลัมน์ที่ 5 - 7 ของตารางที่ 4.3 - 4.5 นั้นเป็นค่าข้อมูลที่นำมาจากแผนกวิจัยและพัฒนา บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน)
5. ในที่นี้ ตัวอย่างปาล์มน้ำมันอายุ 12 - 20 ปี จะถูกนำมาทดสอบและมีผลการทดลองมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ 2 ช่วงอายุที่เหลือ เหตุผลก็คือปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่ที่นำมาขายให้กับโรงงาน CPI จะมีอายุอยู่ในช่วง 12 - 20 ปี

ตัวเครื่องต้นแบบที่นำเสนอเกี่ยวกับตัวอย่างค่า Vout, ค่า pH และ ค่า %oil/FFB ที่แสดงบนจอ LCD ของงานวิจัยฉบับนี้มีแสดงไว้ในภาพที่ 4.5 โดยในตัวอย่างดังกล่าวแสดงค่า Vout, ค่า pH และ ค่า %oil/FFB ของทะเลสาบคุณภาพที่ค่าเท่ากับ 1.51 โวลต์, 5.16 และ 31.62% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 ตัวเครื่องต้นแบบที่นำเสนอ กับ ตัวอย่างค่า Vout, pH และ %oil/FFB ที่แสดงบนจอ LCD

#### 4.4 ผลการทดลองการวัดค่า pH และการแสดงผลค่า %oil/FFB ของทะเลาะปาล์ม (ภาคสนาม)

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการวัดค่า pH และการแสดงผล %oil/FFB ของทะเลาะปาล์ม ในทางภาคสนาม โดยไม่สนใจค่าของสัดส่วนปาล์ม, %oil/fruit และ %oil/FFB ที่นำมาจากโรงงาน CPI เนื่องจากเราทราบสมการเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันของ ทั้ง 3 ช่วงอายุปาล์มแล้ว ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.3 ขั้นตอนการทดลองจะเหมือนกับที่กล่าวไว้ใน หัวข้อที่ 4.3 โดยผลการทดลองมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 - 4.8 ซึ่งแสดงผลการวัดค่า pH และ %oil/FFB ของทะเลาะปาล์มช่วงอายุ 8 - 12 ปี, ช่วงอายุ 12 - 20 ปี และช่วงอายุมากกว่า 20 ปีที่ได้จากภาคสนาม ตามลำดับ ทั้งนี้ ตัวอย่างปาล์มน้ำมันอายุ 12 - 20 ปี จะถูกนำมาทดสอบและมีผลการทดลองมากที่สุด เหตุผลก็คือปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่ที่นำมาขายให้กับโรงงาน CPI จะมีอายุอยู่ในช่วง 12 - 20 ปี จากผลการ ทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของ %pH error ของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีค่าไม่เกิน 0.5% อีกทั้งค่า %oil/FFB ของทะเลาะปาล์มช่วงอายุ 8 - 12 ปี, 12 - 20 ปี และมากกว่า 20 ปีที่คำนวณได้และแสดงผลของ เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 16.89%, 23.47% และ 26.55% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โดย ส่วนใหญ่ ปาล์มน้ำมันอายุ 12 - 20 ปี และมากกว่า 20 ปี ที่อยู่ในลักษณะทะเลาะปาล์มนั้นจะมีเปอร์เซ็นต์ น้ำมันปาล์มที่มากกว่า 19% (ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มเท่ากับ 17% นี้เป็นเกณฑ์ที่โรงงานรับซื้อปาล์ม น้ำมันใช้ในการรับซื้อทะเลาะปาล์มโดยประมาณ ร่วมกับเกณฑ์อื่นๆ ที่ใช้ประกอบการพิจารณาการซื้อปาล์ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมัน ได้แก่ สีของผลปาล์มบนทะลายปาล์ม ความสมบูรณ์ของทะลายปาล์ม ฯลฯ) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า เกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมันขายปาล์มในราคาต่ำกว่ำควรจะได้รับเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่า pH และ %oi/FFB ของทะลายปาล์มช่วงอายุ 8 – 12 ปี ที่ได้จากภาคสนาม

ลำดับ	ชื่อสวน	pH (std.)	pH (เครื่อง)	%pH error	%oi/FFB (เครื่อง)
1	หอคอย	5.42	5.45	0.55	18.11
2	คุณ สมทรง (1)	5.50	5.53	0.55	15.32
3	คุณ สมทรง (2)	5.45	5.42	0.55	19.16
4	คุณ สมทรง (3)	5.56	5.54	0.36	14.97
ค่าเฉลี่ยของ %pH error และ %oi/FFB ของเครื่อง				0.50	16.89

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดค่า pH และ %oi/FFB ของทะลายปาล์มช่วงอายุ 12 – 20 ปีที่ได้จากภาคสนาม

ลำดับ	ชื่อสวน	pH (std.)	pH (เครื่อง)	%pH error	%oi/FFB (เครื่อง)
1	คุณ ทนงศักดิ์ (1)	5.58	5.56	0.36	20.46
2	คุณ ทนงศักดิ์ (2)	5.54	5.54	0.00	21.02
3	คุณ ทนงศักดิ์ (3)	5.56	5.51	0.90	21.86
4	คุณ บุญส่ง (1)	5.34	5.37	0.56	25.76
5	คุณ บุญส่ง (2)	5.40	5.43	0.56	24.09
6	คุณ บุญส่ง (3)	5.37	5.35	0.37	26.32
7	คุณ รัชดา (1)	5.48	5.44	0.73	23.81
8	คุณ รัชดา (2)	5.51	5.49	0.36	22.41
9	คุณ จงดี	5.41	5.38	0.55	25.48
ค่าเฉลี่ยของ %pH error และ %oi/FFB ของเครื่อง				0.49	23.47

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดค่า pH และ %oi/FFB ของทะลายปาล์มอายุมากกว่า 20 ปีที่ได้จากภาคสนาม

ลำดับ	ชื่อสวน	pH (std.)	pH (เครื่อง)	%pH error	%oi/FFB (เครื่อง)
1	คุณ ไทรรัตน์ (1)	5.37	5.39	0.37	27.76
2	คุณ ไทรรัตน์ (2)	5.43	5.4	0.55	27.10
3	คุณ ไทรรัตน์ (3)	5.39	5.35	0.74	30.40
4	สวีลานปาล์ม (1)	5.46	5.45	0.18	23.80
5	สวีลานปาล์ม (2)	5.39	5.4	0.19	27.10
6	สวีลานปาล์ม (3)	5.43	5.46	0.55	23.14
ค่าเฉลี่ยของ %pH error และ %oi/FFB ของเครื่อง				0.43	26.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทที่ 5 นี้จะเป็นการสรุปผลการวิจัยและบอกข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์มในอนาคต โดยรายละเอียดของแต่ละหัวข้อ มีดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

เครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบนทะเลลายปาล์มที่นำเสนอนี้ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว รวมถึงได้นำไปทดสอบใช้งานจริงกับทะเลลายปาล์มน้ำมันของเกษตรกรชาวปาล์มน้ำมันรายอื่นๆ ได้สำเร็จเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยเครื่องต้นแบบชนิดพกพาที่นำเสนอนี้จะประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกไปเป็นดิจิทัล (ADC) วงจรวัดค่า pH (pH meter) คีย์แพดและจอ LCD หลักการที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้คือปฏิกิริยาฮาโลเจเนชัน (Halogenations' reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่กระทำกันระหว่างธาตุหมู่ 7 (Halogen Element) กับกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยในที่นี้ จะเลือกใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่มีความเข้มข้น 10% โดยจุดประสงค์ข้อหนึ่งของงานวิจัยนี้ต้องการที่จะทดสอบกับปาล์มน้ำมัน 3 สายพันธุ์คือ พันธุ์ DxP, พันธุ์ Dura และพันธุ์ Pisifera แต่ปรากฏว่าปาล์มน้ำมันที่นำมาขายและปลูกโดยส่วนใหญ่ในพื้นที่รอบๆ บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) <โรงงาน CPI> จะเป็นปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนร่าดีเอกซ์พี (DxP) หมดแล้ว จึงทำให้ผลการทดลองที่ปรากฏในตารางที่ 4.2 - 4.8 จึงเป็นผลการทดลองของปาล์มน้ำมันพันธุ์ DxP ทั้งหมด แต่ทั้งนี้ฟังก์ชันการทำงานของเครื่องต้นแบบที่นำเสนออยู่รองรับการทดสอบกับปาล์มน้ำมันพันธุ์ Dura และ Pisifera (ดังแสดงในภาพที่ 3.2 ขั้นตอนของการทำงานของเครื่อง หน้า 25)

จากการทดลองวัดค่า pH ในสารละลายชนิดต่างๆ เพื่อเป็นการทดลองวงจรวัดค่า pH (pH meter) ที่สร้างขึ้นมา พบว่า ค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องวัด pH มาตรฐานที่ซื้อมา (PH-221 กับโพรบวัด pH รุ่น PE-03) มีค่าใกล้เคียงกับค่า pH ที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้น โดย pH error มีค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดเท่ากับ 0.20% และ 1.28% ตามลำดับ ค่า pH error เฉลี่ยจากการวัดค่าสารละลายที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 และค่า pH มากกว่าหรือเท่ากับ 7 ของเครื่องที่สร้างขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.83% และ 0.25% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นให้ค่า pH error ที่มีค่าน้อยกว่า 1.5% ตามที่ต้องการ

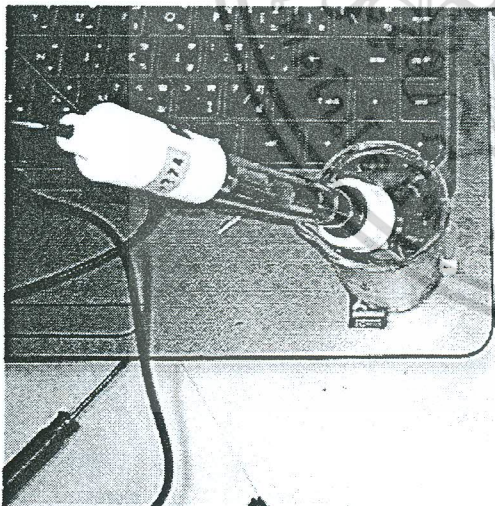
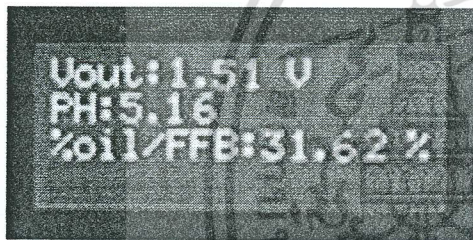
จากการทดลองหาค่า pH ของผลปาล์มน้ำมันในแต่ละชั้นของ 1 ทะลายปาล์ม พบว่า ผลการวัดค่า pH ของระดับความสูง 3 ระดับใน 1 ทะลายปาล์ม เป็นไปตามที่คาดการณ์เอาไว้ กล่าวคือ ชั้นนอกสุดที่มีระดับความสูงที่สุด จะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด จึงทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีค่าต่ำที่สุด ชั้นในสุดที่มีระดับความสูงน้อยที่สุด จึงทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีค่ามากที่สุด ส่วนชั้นกลางที่มีระดับความสูงปานกลาง จึงทำให้ค่า pH ที่วัดได้มีค่าอยู่ระหว่างค่า pH ของชั้นนอกและชั้นใน

จากการวัดค่า pH ด้วยเครื่องมาตรฐานและคำนวณหาค่า  $\%oil/FFB$  ของบริษัท CPI แล้ว จะนำทั้งสองดังกล่าวนี้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ  $\%oil/FFB$  โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel พบว่า เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH กับ  $\%oil/FFB$  อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้และมีค่า  $R^2$  ที่สูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการเส้นตรงที่ใช้ประมาณค่า  $\%oil/FFB$  ของปาล์มน้ำมันช่วงอายุ 8 - 12 ปี, อายุ 12 - 20 ปีและมากกว่า 20 ปีนั้นสามารถที่จะเชื่อถือได้

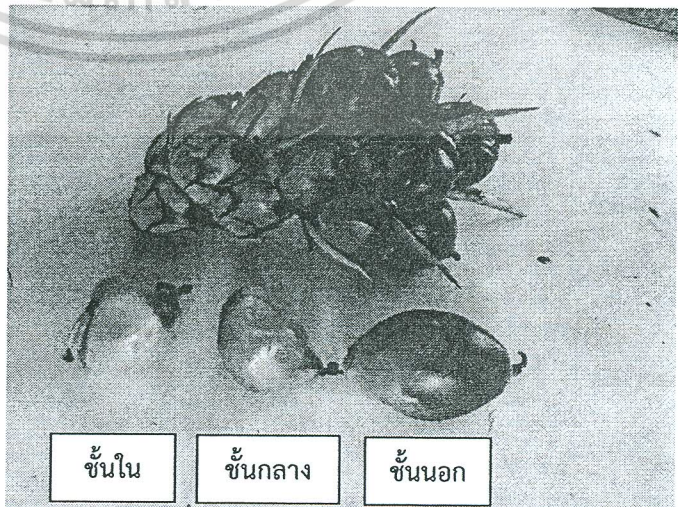
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการวัดค่า pH และการแสดงผล %oil/FFB ของทะลายปาล์มในทางภาคสนาม โดยไม่สนใจค่าของสัดส่วนปาล์ม, %oil/fruit และ %oil/FFB ที่นำมาจากบริษัท CPI เนื่องจากเราทราบสมการเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และ %oil/FFB ของปาล์มน้ำมันของทั้ง 3 ช่วงอายุปาล์มแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่า pH และ %oil/FFB ของทะลายปาล์มช่วงอายุ 8 – 12 ปี, ช่วงอายุ 12 – 20 ปี และช่วงอายุมากกว่า 20 ปีที่ได้จากภาคสนาม ตามลำดับ ทั้งนี้ ตัวอย่างปาล์มน้ำมันอายุ 12 – 20 ปี จะถูกนำมาทดสอบและมีผลการทดลองมากที่สุด เหตุผลก็คือปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่ที่นำมาขายให้กับโรงงาน CPI จะมีอายุอยู่ในช่วง 12 – 20 ปี จากผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของ %pH error ของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีค่าไม่เกิน 0.5% อีกทั้งค่า %oil/FFB ของทะลายปาล์มช่วงอายุ 8 – 12 ปี, 12 – 20 ปี และมากกว่า 20 ปีที่คำนวณได้และแสดงผลของเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 16.89%, 23.47% และ 26.55% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โดยส่วนใหญ่ ปาล์มน้ำมันอายุ 12 – 20 ปี และมากกว่า 20 ปี ที่อยู่ในลักษณะทะลายปาล์มนั้นจะมีเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มที่มากกว่า 19% (ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มเท่ากับ 17% นี้เป็นเกณฑ์ที่โรงงานรับซื้อปาล์มน้ำมันใช้ในการรับซื้อทะลายปาล์มโดยประมาณ ร่วมกับเกณฑ์อื่นๆ ที่ใช้ประกอบการพิจารณาการซื้อปาล์มน้ำมัน ได้แก่ สีของผลปาล์มบนทะลายปาล์ม ความสมบูรณ์ของทะลายปาล์ม ฯลฯ) ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า เกษตรกรชาวสวนปาล์มน้ำมันขายปาล์มน้ำมันในราคาต่ำกว่าควรจะได้รับเป็นอย่างมาก



ดังนั้น เครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้มีประโยชน์อย่างมากต่อเกษตรกรชาวสวนปาล์ม เพราะชาวสวนปาล์มสามารถทราบเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มเฉลี่ยจากปาล์มน้ำมันที่ตนนำไปขายในแต่ละครั้งได้ทันที ทราบช่วงเวลาในการให้น้ำและใส่ปุ๋ย มีรายได้ที่เพิ่มขึ้นจากการขายปาล์มน้ำมันที่พิจารณาราคาซื้อขายจากเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม และรัฐบาลสามารถส่งเสริมและควบคุมคุณภาพในการปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยให้ดีขึ้นได้ นอกจากนี้ เครื่องนี้ยังส่งผลดีต่อร้านรับซื้อและโรงงานปาล์มน้ำมันอีกด้วย เพราะสามารถทราบเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและกำหนดราคาซื้อขายได้ทันที ไม่เสี่ยงต่อการขาดทุนในการรับซื้อปาล์มน้ำมันและไม่ต้องรอผลการวัดจากห้องปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อ

1. สามารถทำการวิจัยเพิ่มเติม โดยนำเครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้ไปทดสอบและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมกับปาล์มน้ำมันพันธุ์ Dura และ Pisifera เพราะฟังก์ชันการทำงานของเครื่องต้นแบบที่นำเสนอนี้ได้ ออกแบบและสร้างรองรับการทดสอบเพิ่มเติมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยจะต้องทำการทดลองในทำนองเดียวกับหัวข้อที่ 4.2 - 4.4

2. สามารถทำการวิจัยเพิ่มเติม โดยคำนวณหาราคารับซื้อปาล์มน้ำมันที่พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม เพื่อที่จะทำให้เกษตรกรชาวสวนปาล์มมีรายได้ที่เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm) สืบค้นจาก : วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (1 สิงหาคม 2556)
- [2] น้ำมันปาล์ม สืบค้นจาก : <http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html> (1 สิงหาคม 2556)
- [3] การทดสอบสมบัติทางเคมีของลิปิด สืบค้นจาก : [http://student.sut.ac.th/.../03\\_Lab%20ลิปิด.doc](http://student.sut.ac.th/.../03_Lab%20ลิปิด.doc) (9 สิงหาคม 2556)
- [4] นคร ภัคดีชาติ และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, 2545, “ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2”, พิมพ์ครั้งที่ 1, อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์, กรุงเทพฯ
- [5] วัดค่าความเป็นกรดและด่าง สืบค้นจาก : [student.nu.ac.th/electronic/00005.doc](http://student.nu.ac.th/electronic/00005.doc) (15 ตุลาคม 2556)
- [6] หัววัดค่าความเป็นกรดและด่าง (pH Sensor) สืบค้นจาก : <http://www.slideshare.net/MZaMulalee/ss-11371095> (15 ตุลาคม 2556)
- [7] Analog To Digital Converter (การแปลงสัญญาณอนาล็อก-ดิจิตอล) สืบค้นจาก : <http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/conversion/adc/> (5 มกราคม 2557)
- [8] arduino ph probe interface สืบค้นจาก : <https://www.sparkyswidgets.com/portfolio-item/ph-probe-interface/> (5 มกราคม 2557)
- [9] การทดสอบวัดคุณสมบัติ 3 ค่าจากน้ำมันปาล์ม สืบค้นจาก : <http://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-08-57-10/2013-10-29-09-38-02/1506-> (19 มกราคม 2557)
- [10] ข้อมูลราคาผลปาล์มและน้ำมันปาล์มรายวัน สืบค้นจาก : [http://agri.dit.go.th/web\\_dit\\_sec4/home/view\\_multi.aspx?menu\\_id=329&name=ราคาผลปาล์มและน้ำมันปาล์มรายวัน](http://agri.dit.go.th/web_dit_sec4/home/view_multi.aspx?menu_id=329&name=ราคาผลปาล์มและน้ำมันปาล์มรายวัน) (15 กรกฎาคม 2557)
- [11] นคร ภัคดีชาติ และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “ทดลองและใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2”, พิมพ์ครั้งที่ 1, อินโนเวทีฟเอ็กเพอริเมนต์, กรุงเทพฯ, 2545.
- [12] บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน จำกัด (มหาชน), “ข้อมูลการทดลอง การวิจัยและการพัฒนา น้ำมันปาล์ม”, ชุมพร, 2557.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****โปรแกรมหลัก*****/
#include<reg51.h>
#include<intrins.h>
#include<lcdpeat.h>
#include<stdio.h>
#include<keypeat.h>
sbit CS = P1^5;
sbit Dout = P1^6;
sbit CLK = P1^7;
unsigned int i;
idata float V1,Vout,PH,Vin,Oil,VB =
0.001220703125;
void delay_dsp(unsigned int ms);
void show_Main_menu(void);
void show_Palm_menu(void);
void show_Age_menu(void);
/*****/
void clock(void)
{
    CLK = 1;
    CLK = 0;
}
float RDAD()
{
    unsigned char i;
    unsigned int dat = 0;
    CLK = 0;
    CS = 0;
    clock();
    for(i=0;i<=12;i++)
    {
        clock();
        dat = dat << 1;
        dat = dat|Dout;
    }
    CS = 1;
    CLK = 0;
    return(dat);
}
/*****/

void show(void)
{
    lcd_init();
    lcd_dsp(0x80," WELCOME TO ");
    lcd_dsp(0xc0," PH METER ");
    lcd_dsp(0x90," AND DISPLAY ");
    lcd_dsp(0xd0," % PALM OIL ");
    delay_dsp(100);
    lcd_init();
}
/*****/
void Mode()
{
    lcd_clear();
    lcd_dsp(0x80," ");
    lcd_dsp(0xc0," PRESS ENT TO ");
    lcd_dsp(0x90," MODE SETTING ");
    lcd_dsp(0xd0," ");
    delay_dsp(20);
}
/*****/
void show_Wait(void)
{
    lcd_clear();
    lcd_dsp(0x80," ");
    lcd_dsp(0xc0," Please Wait ");
    lcd_dsp(0x90," ");
    lcd_dsp(0xd0," ");
    delay_dsp(50);
}
/*****/
void Age_8_12()
{
    unsigned int P;
    for(P=0;P<225;P++)
    {
        TMOD=0x01;
        TH0=0x07;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

lcd_dsp(0x90,"%oil/FFB:  %");
lcd_float(0x99,Oil);
lcd_dsp(0xd0,"KMITL_PCC  ");
while(TF0==0);
    TR0=0;
    TF0=0;
}
lcd_dsp(0x80,"Vout:  V  ");
lcd_dsp(0xc0,"PH:  [OK] ");
lcd_dsp(0x90,"%oil/FFB:  %");
lcd_dsp(0xd0,"KMITL_PCC  ");
lcd_float(0x85,Vout);
lcd_float(0xc3,PH);
lcd_float(0x99,Oil);
do{}
while(sw_SETI=0);
show_Main_menu();
}
////////////////////////////////////
void A2D()
{
CLK = 0 ;
CS = 0 ;
Dout = 0 ;
}
/*****/
void measure_PH(void)
{
do{
V1 = RDAD();
Vout = V1*VB;
PH = (7.4938*Vout) - 3.6911;
lcd_dsp(0xc0,"Vout:  V  ");
lcd_dsp(0x90,"PH:  ");
lcd_dsp(0x80,"  PH METER  ");
lcd_dsp(0xd0,"KMITL_PCC  ");
lcd_float(0xc5,Vout);
lcd_float(0x93,PH);
}
while(P1!=ENTER);
A2D();
lcd_dsp(0xc0,"Vout:  V  ");
lcd_dsp(0x90,"PH:  [OK] ");
lcd_dsp(0x80,"  PH METER  ");
lcd_dsp(0xd0,"KMITL_PCC  ");
lcd_float(0xc5,Vout);
lcd_float(0x93,PH);
do
{
while(P1!=CLEAR);
}
while(P1!=CLEAR);
show_Main_menu();
}
/*****/
void show_Main_menu(void)
{
lcd_clear();
show_Wait();
show_Wait();
show_Wait();
do
{
lcd_dsp(0x80," Menu.  ");
lcd_dsp(0xc0,"1. measure PH  ");
lcd_dsp(0x90,"2. Display % Oil");
lcd_dsp(0xd0," Palm  ");
if(P1==number1)
{
lcd_clear();
measure_PH();
}
else if(P1==number2)
{
lcd_clear();
show_Palm_menu();
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตเห็นแบบโฆษณาตามกฎการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}
while(P1!=CLEAR);
}
/*****/
void show_Palm_menu(void)
{
    lcd_clear();
    show_Wait();
    show_Wait();
    show_Wait();

do
{
    lcd_dsp(0x80," Menu. ");
    lcd_dsp(0xc0,"1. DxP ");
    lcd_dsp(0x90,"2. Dura ");
    lcd_dsp(0xd0,"3. Pisifera ");

    if(P1==number1)
    {
        lcd_clear();
        Age_8_12();
    }
    else if(P1==number2)
    {
        lcd_clear();
        show_Age_menu();
    }
    else if(P1==number3)
    {
        lcd_clear();
        show_Age_menu();
    }

    else if(P1==number1)
    {
        lcd_clear();
        Age_8_12();
    }
    else if(P1==number2)
    {
        lcd_clear();
        Age_12_20();
    }
    else if(P1==number3)
    {
        lcd_clear();
        Age_20();
    }

    lcd_clear();
    show_Age_menu();
}
while(P1!=CLEAR);
}
/*****/
main()
{
    lcd_init();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

show();
show();
show();
delay_dsp(200);
while(1)
{
do
{
do
{
Mode();
}
while(check==1);
P1 = P1&0xf0;
}
while(P1!=ENTER);
show_Main_menu();
}
}
/*****/
void delay_dsp(unsigned int ms)
{
unsigned int x,a;
for(x=0;x<ms;x++)
{
for(a=0;a<908;a++);
}
}
/*****/
LCD.h
#define port_lcd P0
#define lcd_clear() lcd_cmd(1)
sbit e = P3^6;
sbit rs = P3^7;
void delay_ms(unsigned int ms)
{
ms = ms*62;
while(--ms)
{
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
}
}
void lcd_cmd(unsigned char comm)
{
rs = 0;
e = 1;
port_lcd = comm;
delay_ms(1);
e = 0;
delay_ms(1);
}
void lcd_text(unsigned char text)
{
rs = 1;
e = 1;
port_lcd = text;
delay_ms(1);
e = 0;
delay_ms(1);
}
void lcd_dsp(unsigned char posi,unsigned
char *text)
{
lcd_cmd(0x02);
lcd_cmd(posi);
while(*text)
{
lcd_text(*text);
text++;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void _ultoa_1(float val, char* string)
{
    unsigned char index = 20;
    char buffer[20];
    unsigned long value = 0;
    value = val*100;
    if(val < 1)
    {
        *string++ = '0';
        *string++ = '.';
        do
        {
            buffer[--index] = '0' + (value % 10);
            if ( buffer[index] > '9')
                buffer[index] += 'A' - '9' - 1;
            value /= 10;
        } while (value != 0);
        do
        {
            *string++ = buffer[index++];
        } while ( index < 20 );
    }
    else
    {do
    {if(index==18)
    {
        buffer[--index] = '.';
    }
    else
    {
        buffer[--index] = '0' + (value % 10);
        if ( buffer[index] > '9') buffer[index] += 'A' -
        '9' - 1;
        value /= 10;
    }
    } while (value != 0);
    do
    {
        *string++ = buffer[index++];
    } while ( index < 20 );
    }
    }
}

void _ltoa_1(float value_l, char * string_l)
{
    if (value_l < 0)
    {
        _ultoa_1(-value_l, string_l);
    }
    else
    {
        _ultoa_1(value_l, string_l);
    }
}

void lcd_float(unsigned char posi, float
value)
{
    char buff[16];
    _ltoa_1(value,&buff[0]);
    lcd_dsp(posi,&buff[0]);
}

void initi_lcd(void)
{
    delay_ms(45);
    lcd_cmd(0x38);
    delay_ms(1);
    lcd_cmd(0x38);
    delay_ms(1);
    lcd_cmd(0x0c);
    delay_ms(1);
    lcd_cmd(0x01);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    delay_ms(2);
    lcd_cmd(0x06);
}
void lcd_init()
{
    delay_ms(100); // Clear
screen
    lcd_cmd(0x30);
    delay_ms(10);
    lcd_cmd(0x30);
    delay_ms(1);
    lcd_cmd(0x30);
    lcd_cmd(0x38);
    lcd_cmd(0x08);
    lcd_cmd(0x01);
    lcd_cmd(0x06);
    lcd_cmd(0x0c);
}
void led_right()
{
    unsigned char i;
    for(i=0;i<16;i++)
    {
        lcd_text(0x80);
        delay_ms(1);
    }
    delay_ms(50);
    for(i=0;i<16;i++)
    {
        lcd_cmd(0x18);
        delay_ms(100);
    }
}
/*****โปรแกรมKeypad*****/
#define number1 0x00 // 0000
#define number2 0x20 // 1000
#define number3 0x10 // 0100
#define number4 0x80 // 0010
#define number5 0xa0 // 1010
#define number6 0x90 // 0110
#define number7 0x40 // 0001
#define number8 0x60 // 1001
#define number9 0x50 // 0101
#define number0 0xe0 // 1011
#define UP 0x30 // 1100
#define DOWN 0xb0 // 1110
#define FUN 0x70 // 1101
#define CLEAR 0xc0 // 0011
#define ENTER 0xd0 // 0111
#define HELP 0xf0 // 1111
sbit check = P3^2;
unsigned char check_number(void)
{
    unsigned char x;
    P1 = P1&0xf0;
    switch(P1)
    {
        case number1 : x = 1;break;
        case number2 : x = 2;break;
        case number3 : x = 3;break;
        case number4 : x = 4;break;
        case number5 : x = 5;break;
        case number6 : x = 6;break;
        case number7 : x = 7;break;
        case number8 : x = 8;break;
        case number9 : x = 9;break;
        case number0 : x = 0;break;
    }
    return x;
}
unsigned char check_number2(unsigned
char y)
{
    unsigned char x;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

switch(y)
{
case 0 : x = 0x0;break;
case 1 : x = 0x1;break;
case 2 : x = 0x2;break;
case 3 : x = 0x3;break;
case 4 : x = 0x4;break;
case 5 : x = 0x5;break;
case 6 : x = 0x6;break;
case 7 : x = 0x7;break;
case 8 : x = 0x8;break;
case 9 : x = 0x9;break;
case 10 : x = 0xa;break;
case 11 : x = 0xb;break;
case 12 : x = 0xc;break;
case 13 : x = 0xd;break;
case 14 : x = 0xe;break;
case 15 : x = 0xf;break;
}
return x;

```



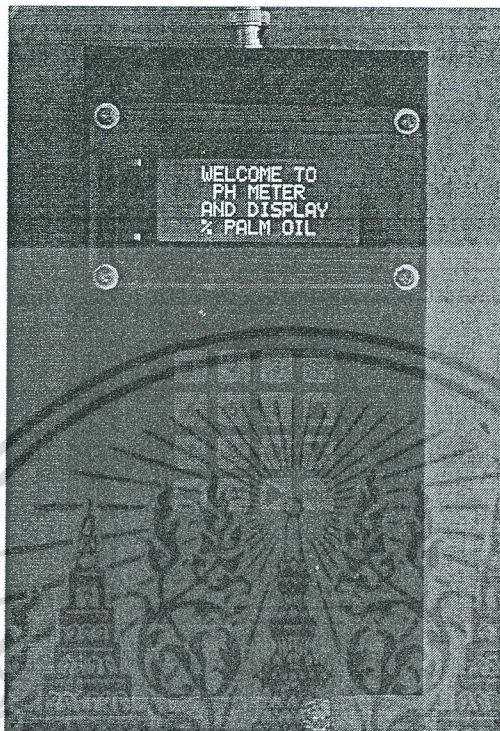
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



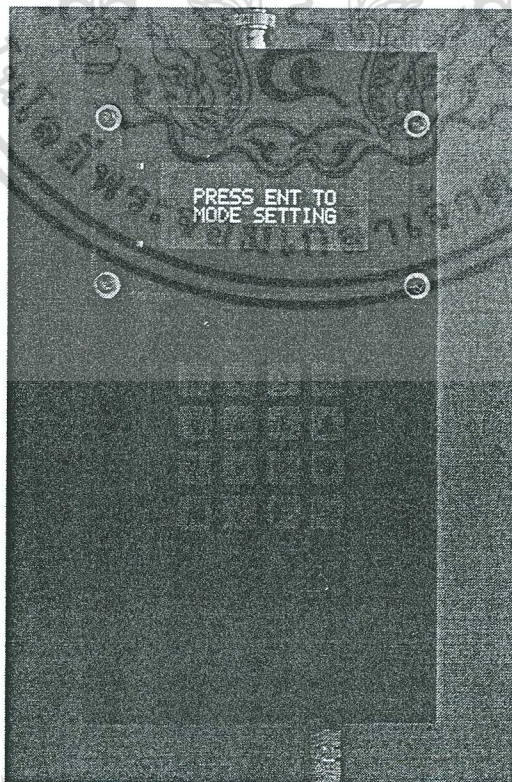
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการใช้งานเครื่อง

1. เปิดเครื่องต้นแบบสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอช

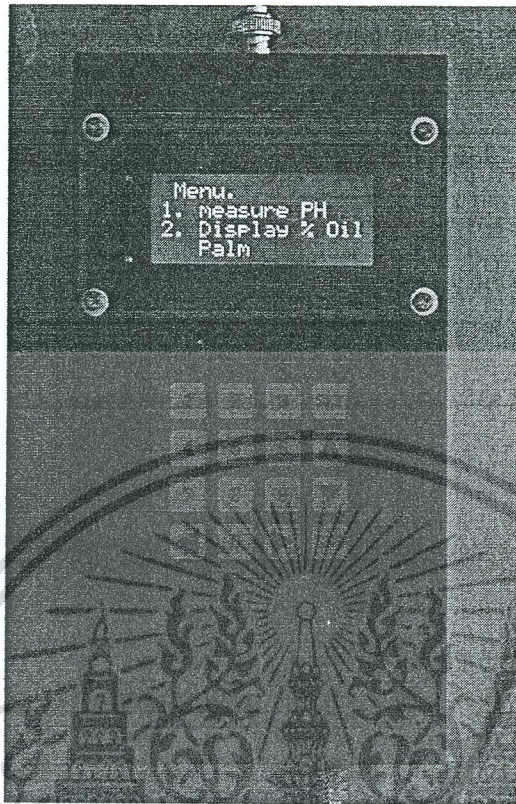


2. ทำการกดปุ่ม ENT เพื่อเข้าสู่ Menu

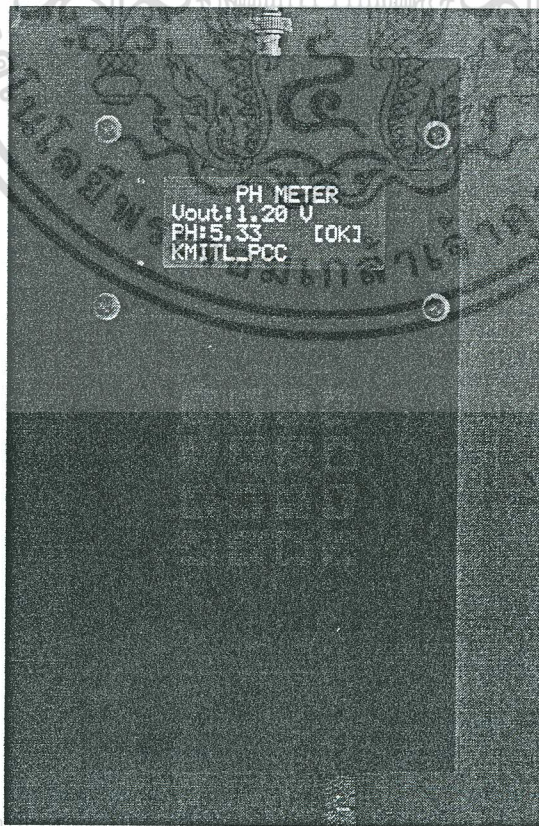


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กดเลือก 1 เพื่อแสดงค่า pH เท่านั้น หรือกดเลือก 2 เพื่อแสดงทั้งค่า pH และเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม

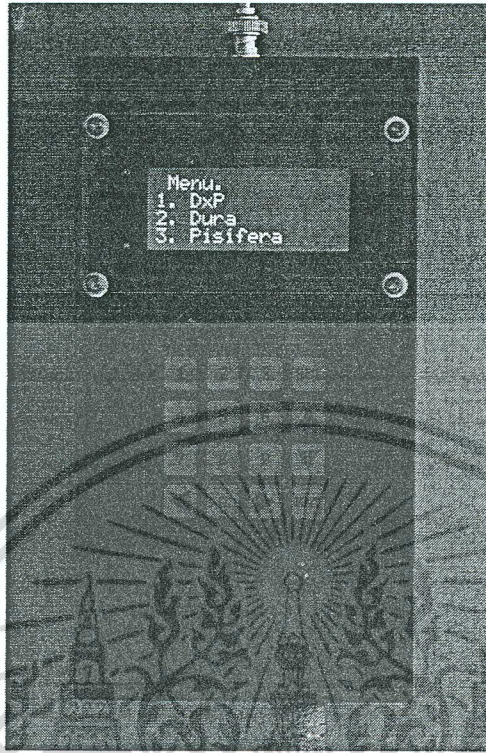


4. เมื่อเราทำการกด 1 ก็เข้าสู่โหมดการวัด pH ดังนั้นเครื่องจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าและค่า pH ที่ได้รับ

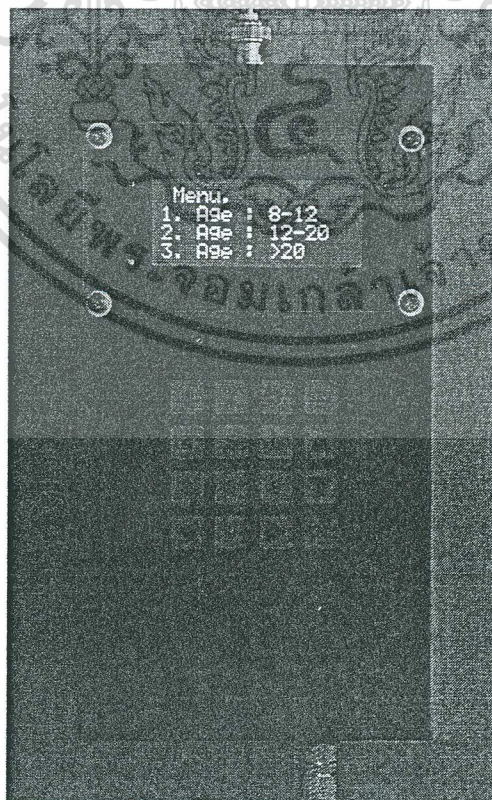


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้าเรากดปุ่ม 2 ในขั้นตอนที่ 3 ก็จะเข้าสู่โหมดแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม ในโหมดนี้ ขั้นตอนแรก เราจะต้องทำการเลือกพันธุ์ปาล์มน้ำมัน

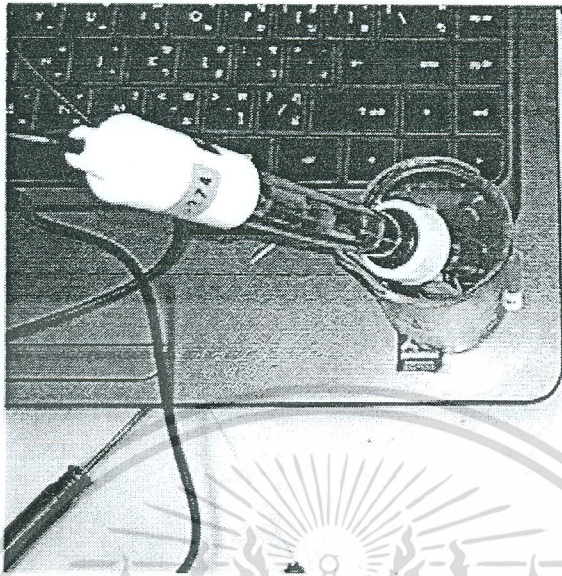


6. เมื่อเลือกพันธุ์ปาล์มน้ำมันเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็เข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 คือการเลือกช่วงอายุปาล์ม เราก็ทำการกดปุ่ม 1 - 3 เพื่อเลือกอายุปาล์มน้ำมันที่จะทดสอบ

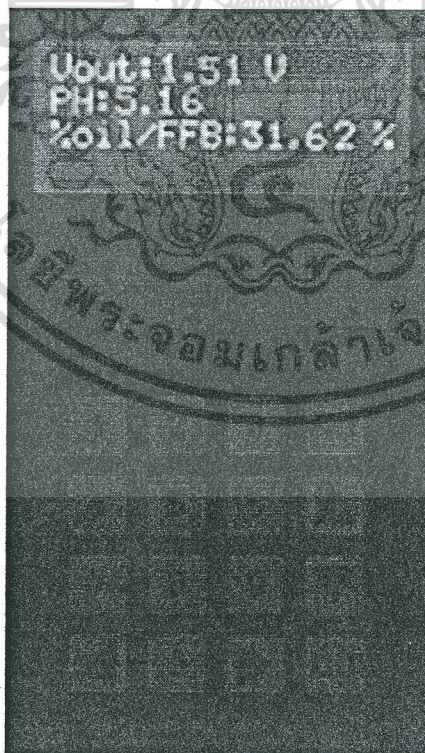


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำโพรบวัดค่า pH จุ่มลงในบีกเกอร์ (เนื้อปาล์มน้ำมันที่ทดสอบกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%) หลังจากนั้น รอเครื่องฯ ทำงานเพื่ออ่านค่า pH และคำนวณค่า %oi/FFB ประมาณ 45 วินาที



8. เครื่องจะแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่า pH และค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์ม (%oi/FFB) ที่วัดได้ หลังจากนั้นทำการบันทึกผลการทดลอง ภาพข้างล่างนี้เป็น 1 ตัวอย่างของทะเลาะปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนร่า DXP ที่นำมาทดสอบ ซึ่งพบว่ามีค่า pH เท่ากับ 5.16 และค่า %oi/FFB เท่ากับ 31.62%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

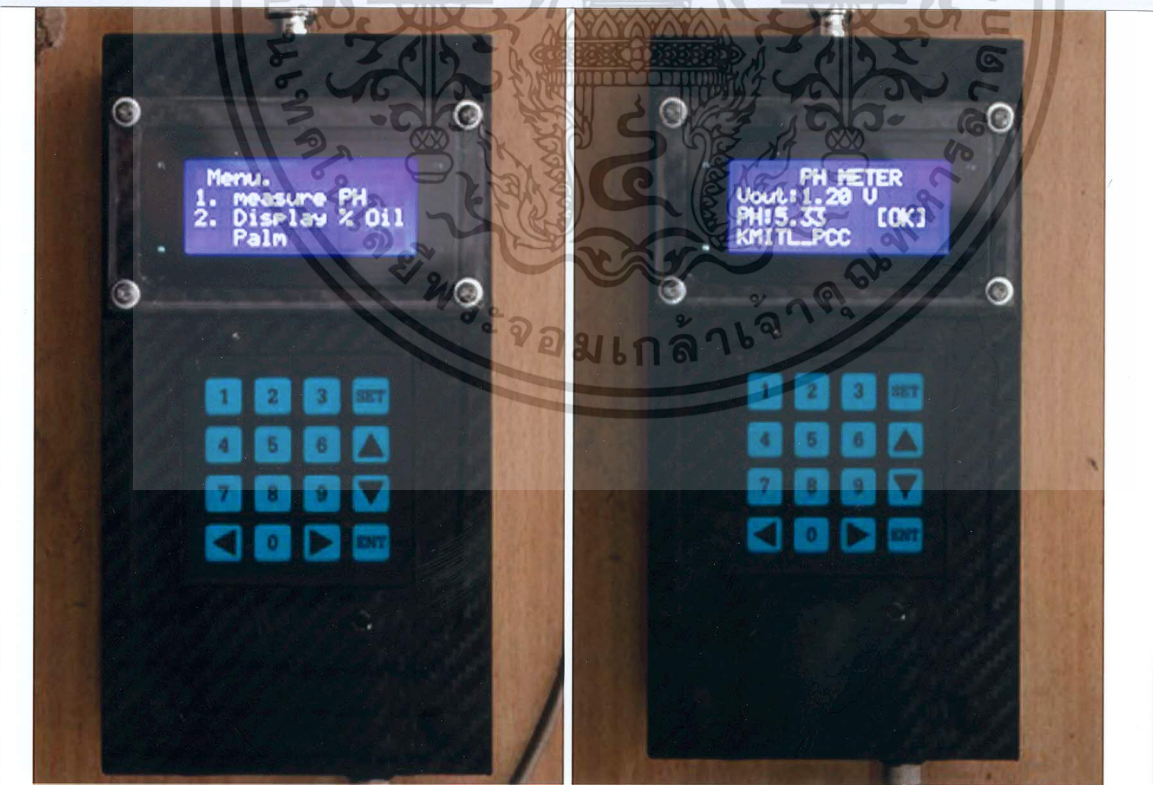


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลผลิตงานวิจัย “เครื่องต้นแบบที่นำเสนอและผลการทดสอบการทำงาน”



ภาพที่ 1 หน้าจอแรกของเครื่อง (ซ้าย) และหน้าจอเข้าสู่โหมดการใช้งาน (ขวา)

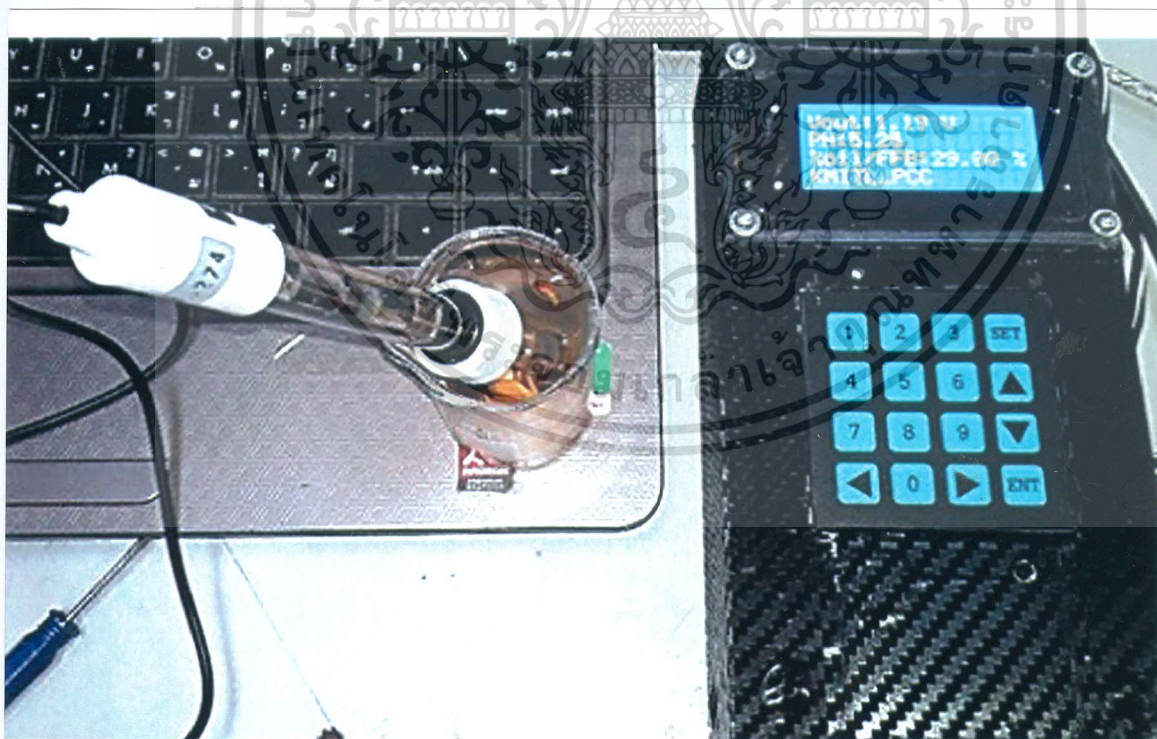


ภาพที่ 2 หน้าจอเมนูหลักของเครื่อง (ซ้าย) และผลการวัดค่าพีเอชของสารละลาย - กดปุ่ม 1 (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 ผลทดสอบเมื่อกดปุ่ม 2 มีพันธุ์ปาล์มให้เลือก 3 พันธุ์ (ซ้าย) และช่วงอายุให้เลือก 3 ช่วง (ขวา)



ภาพที่ 4 ภาพการจุ่มโพรบวัดค่าพีเอชลงไปในปาล์มน้ำมันและผลทดสอบที่วัดได้ 1 ตัวอย่างบนจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5 ผลการทดสอบที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชบนตัวเครื่องต้นแบบที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2557

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แหล่งเงินรายได้ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ... เครื่องต้นแบบชนิดพกพาสำหรับแสดงค่าเปอร์เซ็นต์น้ำมันปาล์มและค่าพีเอชของลูกปาล์มบน  
ทะลายปาล์ม(ภาษาอังกฤษ) ... Portable Prototype Machine for Displaying the Palm Oil Percentage and pH value of Palm  
Fruits on Palm Bunch

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย (อ./ดร./ผศ./รศ./ศ.) ... ปุณยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2557

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี - เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2557

## ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดเดียว 170,000 บาท 100 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 18 ก.ย. 2556

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวม ทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	72,000	72,000	0
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	53,300	53,300	-
ค่าวัสดุ	25,662	25,662	-
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	19,300	19,046	254
รวม	170,262	170,008	254

ปุณยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์

( รศ. ปุณยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์ )

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

22 / ส.ค. / 2557

(นางสาวจิระนีย์ แก้วบั้ง)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

22 / 8 / 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หมายเหตุ : นักวิจัยหรือเจ้าหน้าที่การเงินสามารถปรับหรือเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติมข้อความได้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้  
ดำเนินงาน อาทิเช่น นักวิจัยอยู่ระหว่างการดำเนินการเคลียร์ด้านเอกสารทางการเงิน หรือข้อความอื่นๆ

## ประวัตินักวิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) : รองศาสตราจารย์บุญยวีร์ จามจรีกุลกาญจน์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) : Assoc. Prof. Punyawee Jamjareegulgarn

เลขที่บัตรประจำตัวประชาชน : 3100202184157

### หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อดีสะดวก

หลักสูตรวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์

17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

โทรศัพท์มือถือ: 086-541-0424

โทรสาร: 0-7750-6426

E-mail: kjpunyaw@kmitl.ac.th

### ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	ภาควิชา/คณะ	ชื่อสถาบันการศึกษา
2538	ตรี	วศ.บ.	ภาควิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม / คณะวิศวกรรมศาสตร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2541	โท	วศ.ม.	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (แขนงวิชาการระบบโทรคมนาคม) / คณะวิศวกรรมศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประสบการณ์วิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การออกแบบและสร้างระบบอัตโนมัติและระบบควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. การวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะเครือข่ายสื่อสารแบบใช้สายและแบบไร้สาย
3. การออกแบบและสร้างฐานข้อมูล
4. การประยุกต์ใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทางด้านอาหาร เกษตรและพลังงานทดแทน

### ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. J. Chaiwat, R. Athikom, K. Adirak, and P. Pisit, "Integral Quadratic Constraints-Based Robust Controller Design for Two-Mass-String System", Proc. IEEE TENCON 2000, Kuala Lumpur, Malaysia, Sep. 2000.
2. ชัยวัฒน์ จามจรีกุล และ อติรักษ์ กาญจนหฤทัย, "การออกแบบตัวควบคุมที่มีความคงทนสำหรับระบบ Two-Mass-Spring ด้วยเงื่อนไขบังคับกำลังสองเชิงปริพันธ์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23 (EECON-23), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 23 - 24 พฤศจิกายน 2543.
3. K. Adirak and J. Chaiwat, "Pole Placement in Robust PID Controller Design for DC Servo Motor System", Proc. IEEE SCORed 2001, Kuala Lumpur, Malaysia, February 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. K. Adirak and J. Chaiwat, "Robust  $H_2$  Controller Design for the Automotive Suspension System", Proc. IEEE SCORed 2001, Kuala Lumpur, Malaysia, February 2001.
5. K. Adirak and J. Chaiwat, "Multiobjective Mixed  $H_2/H_\infty$  Controller Design for Uncertain Linear System", Proc. IEEE SCORed 2001, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1 - 4, 20 - 21 Feb. 2001.
6. R. Athikom and J. Chaiwat, "Pole Placement-Based ABR Traffic Controller over Multi-Source Single-Bottleneck ATM Networks via LMI Approach", Proc. ICON 2001, 2001.
7. R. Athikom and J. Chaiwat, "Minimizing Upper Bound of Output Energy of ABR Traffic Congestion Controller in ATM Networks", Proc. ICON 2001, 2001.
8. J. Chaiwat and K. Adirak, "Mixed  $H_2/H_\infty$  Controller Design with Pole Placement Constraints for Uncertain Linear System", Proc. IEEE TENCON 2001, Singapore, 2001.
9. J. Chaiwat and K. Adirak, "Designing Robust PID Controller for DC Servo Motor Systems Using LMI Approach", Proc. IEEE TENCON 2001, Singapore, 2001.
10. J. Chaiwat and K. Adirak, "Designing the Robust State-Feedback for the Car Suspension Systems", Proc. IEEE TENCON 2001, Singapore, 2001.
11. J. Chaiwat, "Adaptive Channel Borrowing Assignment for TDMA Cellular Mobile Networks", Proc. 10<sup>th</sup> IEEE ICON 2002, Singapore, pp. 293 - 297, 27-30 Aug. 2002.
12. ชัยวัฒน์ จามจรีกุล, "เครื่องสลายประจุไฟฟ้าสถิตย์แบบอัตโนมัติและแบบทำด้วยมือ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 (EECON-25), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 21 - 22 พ.ย. 2545.
13. J. Chaiwat, P. Somchai, P. Sanchaiya, and K. Adirak, "Mixed  $H_2/H_\infty$  Controller Design with Pole Placement Constraints for Uncertain Linear System", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 (EECON-25), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 21 - 22 พ.ย. 2545.
14. ชัยวัฒน์ จามจรีกุล, วัชรพงษ์ นิลสนธิ, จุฑาลักษณ์ อารมย์ชื่น และ คมสิทธิ์ อธิวิธวารณกุล, "Remote Positioning Reporter", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 25 (EECON-25), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 21 - 22 พ.ย. 2545.
15. A. Kanchanaharuthai, C. Jamjareekul, C. Kimpan, and P. Phokharatkul, "ABR Traffic Controller Synthesis with  $D$  Stability in ATM Networks", Proc. ISCIT 2002, 2002.
16. T. Janjam and C. Jamjareekul, "MLQR-Based ABR Traffic Congestion Controller in ATM Networks", Proc. ISCIT 2002, 2002.
17. C. Jamjareekul and P. Phokharatkul, "Adaptive Neuro-Fuzzy-Based Mobile Robot", Proc. ROVISP 2005, Malaysia, 2005.
18. C. Jamjareekul and C. Thamthae, "Outdoor Shelter for High Power Telecommunication Equipment", Proc. ROVISP 2005, Malaysia, 2005.
19. ปุณยวีร์ จามจรีกุล, "สายอากาศไมโครสตริปในท่อนำคลื่นทรงกระบอกเพื่อใช้ในการตรวจจับและติดตามวัตถุที่ความถี่ 2.4 GHz", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 31 (EECON-31), มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 29 - 31 ตุลาคม 2551.

20. Punyawit Jamjareekul, "Compact Microstrip Bandstop Resonator for Dual-Band Wireless Communication", 2011 Eighth International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (IEEE JCSSC 2011), 11 - 13 May 2011.
21. ปุณยวีร์ จามจรีกุล, "วงจรถัดเปิด/ปิดพัลส์แบบใหม่และการโปรแกรม AVR ATmega168 สำหรับการตรวจจับโลหะที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำด้วยพัลส์", ECTI-Conference on Application Research and Development 2011, 5 - 6 พ.ค. 2554.
22. Punyawit Jamjareekul, "Multiband C-Shaped Printed Antenna for Wireless Communication Systems", ECTI-Conference on Application Research and Development 2011, 5 - 6 พ.ค. 2554.
23. สมคิด ฤทธิเนติกุล และปุณยวีร์ จามจรีกุล, "การปรับปรุงระบบขายสินค้าและระบบกล้องวงจรปิดระหว่างสาขาย่อยกับสำนักงานใหญ่โดยอาศัยเว็บออนไลน์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-34), มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 29 - 31 ตุลาคม 2554.
24. ครรชิต ไชยคานวน และ ปุณยวีร์ จามจรีกุล, "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับเครือข่าย NEMO และ 3G", EENET, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, 2555.
25. Punyawit Jamjareegulgarn, "Performance Evaluation for Cooperative Diversity-Based Wireless Body Area Network", IEEE ICON 2013, Singapore, 11 - 13 Dec, 2013.
26. Punyawit Jamjareegulgarn, "Evaluating Cooperative Diversity-Based WBAN by Using STBC with Pre-Coding and Relay Selection", JIC-TEE 2014, Chiang Rai, 5 - 8 Mar, 2014.