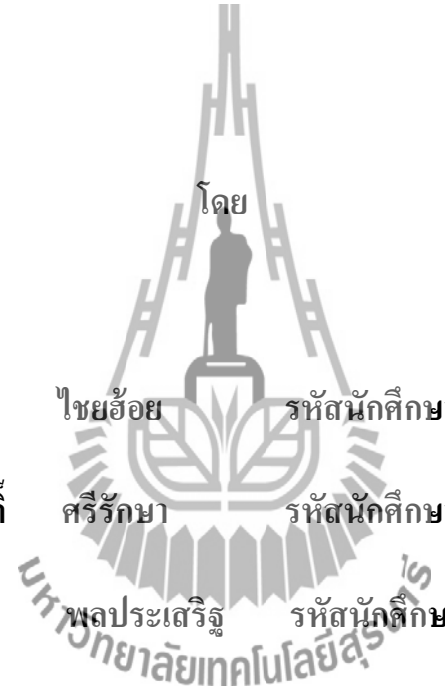
การปรับเทียบเซ็นเซอร์สำหรับระบบให้น้ำอัตโนมัติ



โดย

นางสาวจตุพร ไชยฮ้อย รหัสนักศึกษา B5603008

นายเกียรติศักดิ์ ศรีรักษา รหัสนักศึกษา B5604197

นายนราธร พลประเสริฐ รหัสนักศึกษา B5613762

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 527499 โครงงานวิศวกรรมโทรคมนาคม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2559

การปรับเทียบเซ็นเซอร์สำหรับระบบให้น้ำอัตโนมัติ

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(ผศ.ร.อ.ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

(รศ.ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

กรรมการ

(อ.ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงาน	การปรับเทียบเซ็นเซอร์สำหรับระบบให้น้ำอัตโนมัติ		
จัดทำโดย	1. นางสาวจตุพร	ไชยฮ้อย	รหัส B5603008
	2. นายเกียรติศักดิ์	ศรีรักษา	รหัส B5604197
	3. นายนราธร	พลประเสริฐ	รหัส B5613762
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม		
ภาคการศึกษาที่	1/2559		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการออกแบบระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมในไร่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32F4 Discovery เป็นตัวประมวลผลกลาง และอ่านค่าต่างๆ เช่น ค่าความชื้นในดิน ค่าอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ค่าความเข้มแสง ค่าศักย์น้ำในดิน และค่าอุณหภูมิในดิน โดยค่าศักย์น้ำในดินจะต้องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK และต้องใช้ WATERMARK Meter สำหรับใช้อ่านค่า โครงงานนี้จึงได้ทำกล่องอ่านค่าสำหรับเซ็นเซอร์ WATERMARK ขึ้นเพื่อง่ายต่อการเก็บบันทึกค่าและยังมีราคาที่ถูกกว่าใช้ WATERMARK Meter ซึ่งการออกแบบกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK นั้นผู้จัดทำโครงงานได้ประยุกต์ใช้วงจร SMX ในการอ่านค่าศักย์น้ำในดินได้และเนื่องจากความแม่นยำยังไม่เพียงพอจึงมีการทำ Curve Fitting เพื่อให้ได้ค่าศักย์น้ำในดินมีค่าใกล้เคียงกับ WATERMARK Meter โครงงานนี้จึงได้นำโซล่าเซลล์มาใช้เป็นพลังงานหลักให้กับบอร์ดซึ่งต้องใช้วงจรชาร์จเพื่อเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถใช้งานได้ในเวลากลางคืน ระบบมีการแสดงผลผ่านจอ LCD และส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak โดยโมดูล ESP8266 ผ่าน WiFi และยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลลง SD-Card ได้ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์ผลสำหรับใช้เป็นแนวทางในการให้น้ำในแปลงเกษตรกรรม เพื่อที่จะได้ผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้นต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

จากการที่คณะจัดทำโครงงานได้รับมอบหมายให้ทำโครงงานเรื่อง การปรับเทียบเซ็นเซอร์สำหรับระบบให้น้ำอัตโนมัติ ส่งผลให้คณะผู้จัดทำโครงงานได้รับความรู้เกี่ยวกับการโปรแกรมบอร์ด STM32F4 Discovery ด้วย Simulink การโปรแกรมเซ็นเซอร์ต่างๆให้สามารถทำงานได้ การทำวงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK การทำวงจรชาร์จจากโซล่าเซลล์ การปรับเทียบค่าของวงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK และการส่งค่าต่างๆไปยัง ThinkSpeak บัดนี้โครงงานดังกล่าวพร้อมทั้งรายงานได้สำเร็จลงแล้ว ทั้งนี้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากบุคคลต่างๆ ดังนี้

1. ผศ.ร.อ.ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)
2. นายธีระภัทร เจริญปรุ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์)

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้การดูแลและให้ความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำโครงงานซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวจตุพร ไชยฮ้อย
นายเกียรติศักดิ์ ศรีรักษา
นายนราธร พลประเสริฐ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 บอร์ด STM32F4 Discovery	4
2.3 Simulink และ Real-time Workshop	6
2.4 aMG Sense - Humidity / Temperature	9
2.5 aMG High Precision Real Time Clock	11
2.6 aMG Sense – Light	12
2.7 Waterproof DS18B20	14
2.8 WATERMARK 200SS	15
2.9 WATERMARK Meter	17
2.10 EC-5 Soil Moisture Sensor	18
2.11 ESP8266-01	19
2.12 aMG CLCD 2	20

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

2.13 aMG F4 Connect 2 22

2.14 ThingSpeak 23

2.15 Signal Conditioning Circuit 24

2.16 Interpolation 25

2.17 SMX 26

2.18 Linear Regression 31

บทที่ 3 การออกแบบระบบ 41

3.1 บทนำ 41

3.2 การออกแบบระบบเบื้องต้น 41

3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ 45

3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์ 49

บทที่ 4 ผลการทดลอง 75

4.1 การทดสอบฮาร์ดแวร์ 75

4.1.1 วงจรชาร์จ 75

4.1.2 กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK 76

4.1.3 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม 113

4.2 การทดสอบซอฟต์แวร์ 117

4.2.1 การทดลองบันทึกข้อมูลลง SD-Card และส่งข้อมูลขึ้น ThingSpeak 117

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 120

5.1 บทสรุป 120

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 120

5.3 แนวทางในการแก้ไขปัญหา 121

5.4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม 121

5.5 สิ่งที่ได้รับจากการทำโครงงาน 121

บรรณานุกรม 123

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก	124
ภาคผนวก ก	125
ภาคผนวก ข	128
ภาคผนวก ค	131
ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 บอร์ดทดลอง STM32F4 Discovery 5
รูปที่ 2.2 Device configuration 7
รูปที่ 2.3 Hardware modules 8
รูปที่ 2.4 On-chip peripherals 9
รูปที่ 2.5 aMG Sense - Humidity / Temperature 10
รูปที่ 2.6 aMG High Precision Real Time Clock 12
รูปที่ 2.7 aMG Sense – Light 13
รูปที่ 2.8 Waterproof DS18B20 15
รูปที่ 2.9 WATERMARK 200SS 16
รูปที่ 2.10 WATERMARK Meter 17
รูปที่ 2.11 EC-5 SOIL MOISTURE SENSOR 18
รูปที่ 2.12 ESP8266-01 19
รูปที่ 2.13 aMG CLCD 2 21
รูปที่ 2.14 บอร์ด aMG F4 Connect 2 22
รูปที่ 2.15 ThingSpeak 23
รูปที่ 2.16 แผนภาพวงจร Signal Conditioning Circuit 24
รูปที่ 2.17 กราฟการประมาณค่า f(X_i) ด้วยฟังก์ชั่นพหุนาม อันดับหนึ่ง 26
รูปที่ 2.18 Soil Moisture in kiloPascal vs WATERMARK resistance in ohms 30
รูปที่ 2.19 กราฟบันทึกค่าระหว่างอุณหภูมิและแรง 32
รูปที่ 2.20 กราฟแสดงเส้น Regression line 33
รูปที่ 2.21 กราฟแสดง Y-Intercept 33
รูปที่ 2.22 ส่วนขยายของค่าที่บันทึก 34
รูปที่ 2.23 กราฟทำนายค่าจากเส้น Regression line 35
รูปที่ 2.24 กราฟเส้นค่าเฉลี่ยตัดกับ Regression line 38
รูปที่ 2.25 การวิเคราะห์กราฟ 39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.1 แผนภาพรวมของระบบ 42
รูปที่ 3.2 ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้งาน 43
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบต่างๆของระบบ 44
รูปที่ 3.4 (ก)(ข) วงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK 45
รูปที่ 3.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่จากโซล่าเซลล์ 48
รูปที่ 3.6 การทำงานโดยรวมของโปรแกรม 49
รูปที่ 3.7 บล็อกทั้งหมดแบ่งเป็นสองส่วน 50
รูปที่ 3.8 บล็อก Target Setup 51
รูปที่ 3.9 บล็อก Character LCD Setup 51
รูปที่ 3.10 ค่าต่างๆของ Character LCD Setup 51
รูปที่ 3.11 บล็อก I2C Master Setup 52
รูปที่ 3.12 ค่าต่างๆของบล็อก I2C Master Setup 53
รูปที่ 3.13 บล็อก OneWire Setup 54
รูปที่ 3.14 ค่าต่างๆของบล็อก OneWire Setup 54
รูปที่ 3.15 บล็อก UART Setup 55
รูปที่ 3.16 ค่าต่างๆของบล็อก UART Setup 55
รูปที่ 3.17 บล็อก Read Humid&Temp 56
รูปที่ 3.18 ภายใน Read Humid&Temp 56
รูปที่ 3.19 บล็อก Read Light 57
รูปที่ 3.20 ภายในบล็อกของ Read Light 57
รูปที่ 3.21 Read TempSoil 58
รูปที่ 3.22 ภายในบล็อก Read TempSoil 58
รูปที่ 3.23 ภายในบล็อก DS18B20_Start conversion 59
รูปที่ 3.24 ภายในบล็อก DS18B20_Read Temperature 59
รูปที่ 3.25 บล็อก Read S1&S2 59
รูปที่ 3.26 ภายในบล็อก Read S1&S2 60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.27 บล็อก Watermark 61
รูปที่ 3.28 ภายในบล็อก Watermark 61
รูปที่ 3.29 (ก) ภายในของบล็อก If Action Subsystem1 62
รูปที่ 3.29 (ข) ภายในของบล็อก If Action Subsystem1 63
รูปที่ 3.29 (ค) ภายในของบล็อก If Action Subsystem1 63
รูปที่ 3.30 บล็อก Real Time Clock 64
รูปที่ 3.31 ภายในบล็อก Real Time Clock 64
รูปที่ 3.32 ภายในบล็อก Display Date/Time 65
รูปที่ 3.33 บล็อก SD-Card 65
รูปที่ 3.34 ภายในบล็อก SD-Card 66
รูปที่ 3.35 ภายในบล็อก Subsystem 67
รูปที่ 3.36 บล็อก ThingSpeak 68
รูปที่ 3.37 ภายในบล็อก ThingSpeak 68
รูปที่ 3.38 ภายในบล็อก Subsystem1 69
รูปที่ 3.39 บล็อก Page 70
รูปที่ 3.40 ภายในบล็อก Page 71
รูปที่ 3.41 ภายในบล็อก Enabled Subsystem 72
รูปที่ 3.42 บล็อก Volatile 72
รูปที่ 3.43 ภายในบล็อก Volatile 73
รูปที่ 3.44 บล็อก Write LCD 74
รูปที่ 3.45 ภายในบล็อก Write LCD 74
รูปที่ 4.1 การวัดค่ากล่องอ่านค่ากับเซ็นเซอร์ WATERMARK 112
รูปที่ 4.2 การอ่านค่าจาก WATERMARK Meter 112
รูปที่ 4.3 ข้อมูลที่ถูกบันทึกลง SD-Card 118
รูปที่ 4.4 ข้อมูลที่แสดงบน ThingSpeak 118

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความต้านทานและความถี่ 27

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่า kPa และค่าความต้านทาน 29

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิและค่าแรงดึง 31

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิและแรง 35

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงการวิเคราะห์สมการ 37

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ IC NE555 46

ตารางที่ 3.2 ความต้านทานและความถี่ของกล่องอ่านค่า 47

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเบื้องต้นของไอซีเบอร์ 7815 48

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของไอซีเบอร์ 7805 49

ตารางที่ 3.5 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของจอ LCD เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery 52

ตารางที่ 3.6 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของ aMG High Precision Real Time Clock เข้ากับขาสัญญาณของ aMG F4 Connect 53

ตารางที่ 3.7 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของ aMG Sense - Humidity / Temperature และ aMG Sense - Light เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery 54

ตารางที่ 3.8 การเชื่อมสายสัญญาณของเซ็นเซอร์ Waterproof DS18B20 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery 55

ตารางที่ 3.9 การเชื่อมขาสัญญาณของ ESP8266 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery 56

ตารางที่ 3.10 การเชื่อมสายสัญญาณ EC-5 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery 60

ตารางที่ 3.11 การกำหนดค่าให้กับบล็อกเพื่อส่งค่าไปยัง ThingSpeak 69

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันที่วัดได้จากวงจรชาร์จ 75

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกค่ากล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK 77

ตารางที่ 4.3 ตารางคำนวณค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ก่อนทำ Curve Fitting 90

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 4.4 ตารางคำนวณค่าเฉลี่ยของ WATERMARK Meter 92

ตารางที่4.5 ตารางบันทึกค่ากล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK หลังจากทำ Curve Fitting 95

ตารางที่ 4.6 ตารางคำนวณค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK หลังจากทำ Curve Fitting 107

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจาก WATERMARK ก่อนการทำ Curve Fitting 110

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจาก WATERMARK หลังการทำ Curve Fitting 110

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ก่อนทำ Curve Fitting 111

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK หลังทำ Curve Fitting 111

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อม 114

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้นในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีด้านความบันเทิง การสื่อติดต่อสื่อสาร ธุรกิจ การแพทย์ อุตสาหกรรม การขนส่ง ไม่เว้นแม้แต่เกษตรกรรม นั่นคือ Smart Farm ซึ่งจะช่วยทำให้ได้ผลผลิตในปริมาณมากขึ้น คุณภาพสูงขึ้น ประหยัดต้นทุนแรงงานประหยัดเวลา เทคโนโลยีที่นิยมนำมาใช้ทำ Smart Farm ก็คือ เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโครงงานนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32F4 Discovery และการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ใช้ Graphic Programming ผ่าน Simulink พัฒนาโดยบริษัท Aimagin ซึ่งทำให้ผู้เขียนโปรแกรมทำความเข้าใจได้ง่าย โครงงานนี้ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมบริเวณที่ต้องการ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์ Watermark เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์วัดความส่องสว่างของแสง และ Real Time Clock ซึ่งใช้เป็นฐานข้อมูลเวลา และนำค่าเซ็นเซอร์ต่างๆ แสดงบนหน้าจอ LCD และบันทึกค่าลงใน SD-Card และยังส่งข้อมูลไปบันทึกไว้ใน ThingSpeak เพื่อให้สามารถดูข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา การอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK จำเป็นต้องมี WATERMARK Meter ใช้ในการอ่านค่า WATERMARK Meter มีราคาที่สูง เราจึงสร้างวงจรอ่านค่าเซ็นเซอร์ WATERMARK ขึ้นและใช้วิธีการปรับเทียบต่างๆเพื่อให้ค่าจากวงจรที่เราทำขึ้นมีค่าตรงกับ WATERMARK Meter ระบบของเรายังใช้พลังงานแสงอาทิตย์และมีวงจรแปลงแรงดันเพื่อเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ไว้ใช้ในเวลากลางคืน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษา ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32F4 Discovery
2. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรในการอ่านค่า WATERMARK Sensor
3. เพื่อศึกษาและเขียนโปรแกรมในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ EC-5 Soil Moisture
4. เพื่อศึกษาและเขียนโปรแกรมในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ความเข้มแสง
5. เพื่อศึกษาและเขียนโปรแกรมในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ
6. เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่

7. เพื่อศึกษาและเขียนโปรแกรมในการอ่านค่าเวลาจาก Real Time Clock
8. เพื่อศึกษาและเขียนโปรแกรม ESP8266

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

1. ศึกษาสภาพแวดล้อมในไร่มันสำปะหลังในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ศึกษาการทำงานระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมในไร่มันสำปะหลัง
3. ศึกษาการแสดงผลบน Thingspeak ผ่าน Wi-Fi
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยบอร์ด STM32F4 Discovery โดยใช้ Simulink
5. ศึกษาและออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่จากแผงโซล่าเซลล์
6. ศึกษาและออกแบบวงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล
2. เขียนโครงงานและเสนอโครงงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา
3. หาซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้
4. ศึกษาการทำงานของบอร์ด STM32F4 Discovery
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมใน Simulink
6. เขียนโปรแกรมอ่านค่าเซ็นเซอร์ EC-5
7. เขียนโปรแกรมแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD
8. เขียนโปรแกรมอ่านค่าเซ็นเซอร์ความเข้มแสง
9. เขียนโปรแกรมอ่านค่าเวลาจาก Real Time Clock
10. เขียนโปรแกรมอ่านค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น
11. เขียนโปรแกรมอ่านค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน
12. เขียนโปรแกรมเก็บข้อมูลลง SD-Card
13. เขียนโปรแกรมส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak ด้วย ESP8266
14. ออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่
15. ออกแบบวงจร สำหรับอ่านค่าเซนเซอร์ WATERMARK
16. ทดสอบในไร่เพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์
17. สรุปผลการทดลอง และเขียนรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเขียนโปรแกรมใน Simulink ได้
2. สามารถนำระบบที่ออกแบบไปใช้ในการเก็บข้อมูลในไร่มันสำปะหลังได้
3. เข้าใจหลักการทำงานของบอร์ด STM32F4 Discovery
4. เข้าใจหลักการทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ
5. รู้จักการทำงานเป็นทีม

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

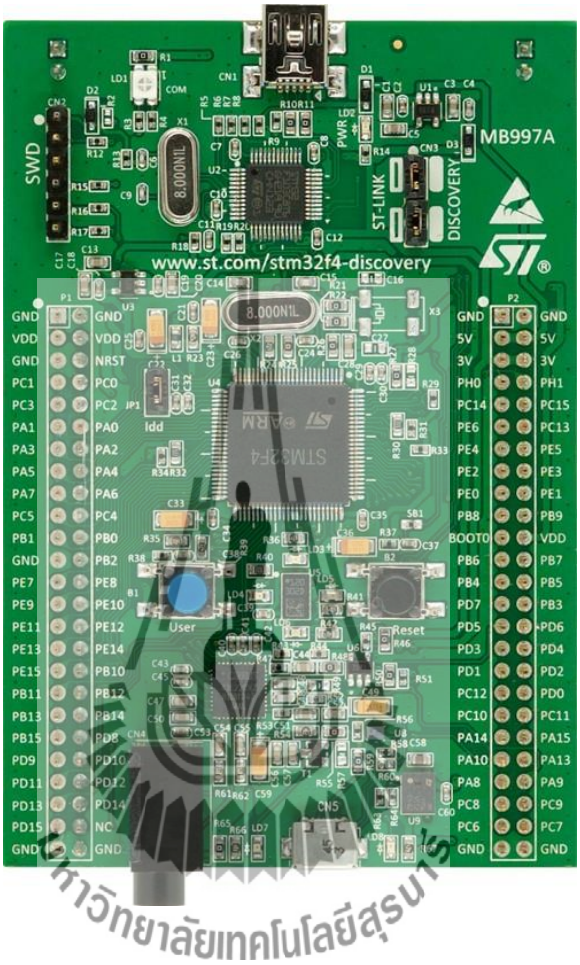
2.1 บทนำ

โครงงานนี้ได้นำเอา Microcontroller STM32F4 Discovery มาเป็นตัวประมวลผล และมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน(EC-5) เซ็นเซอร์ WATERMARK เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และเซ็นเซอร์วัดความส่องสว่างของแสง แล้วยังทำอุปกรณ์อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK โดยใช้วงจร Signal Coditioning Circuit โดยนำค่าต่างๆจากเซ็นเซอร์และเวลาจาก Real Time Clock มาแสดงผลบนหน้าจอ LCD เก็บข้อมูลลงใน SD-Card และส่งค่าไปเก็บไว้ใน ThinkSpeak นอกจากนี้ยังใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผ่านวงจรแปลงแรงดันไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ใช้งานในเวลากลางคืน

2.2 บอร์ด STM32F4 Discovery

บอร์ด STM32F4 Discovery ดังรูปที่ 2.1 เป็นชุดทดลองของบริษัท ST โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32F407VGT6 32-bit ARM Cortex-M4F โดยในบอร์ดจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ชุด ST-LINK/V2 ใช้ในการดาวโหลดและดีบักไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F407VGT6 ที่อยู่ในบอร์ด ผ่านทางพอร์ต USB และส่วนของ บอร์ด STM32F4 Discovery เป็นชุดทดลองที่สามารถทำงานร่วมกับ MATLAB Simulink ได้ STM32F4 Discovery เป็นบอร์ดทดลองอิเล็กทรอนิคส์ และเป็นบอร์ดที่ถูกออกแบบมาเพื่อการเรียนการสอนของนักเรียนระดับมหาวิทยาลัย และมัธยม ในรายวิชาด้านวิศวกรรมหลายๆ ด้าน เช่น ระบบควบคุม, ระบบอัตโนมัติ, หุ่นยนต์ ฯลฯ จุดเด่นของ FiO Std Board คือการใช้งานที่ง่ายโดยเฉพาะด้านการเขียนโปรแกรม เนื่องจากเป็นการเขียนโปรแกรมแบบ Graphic Programming ผ่าน Simulink ซึ่งติดตั้งมาพร้อมกับ MATLAB ซึ่งเป็น Module หนึ่งที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB ทำให้สามารถทำความเข้าใจ

การทำงานของโครงงานทั้งในส่วนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ การติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ อัลกอริทึม การเขียนโปรแกรม และอื่นๆ [1]



รูปที่ 2.1 บอร์ดทดลอง STM32F4 Discovery

คุณสมบัติของชุดทดลอง STM32F4 Discovery

1. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F407VGT6 32-bit ARM Cortex-M4F core
2. มีหน่วยความจำ flash 1 MB และ RAM 192 KB
3. ใช้แหล่งจ่ายผ่าน USB แรงดัน +5 V หรือแหล่งจ่ายภายนอก +5 V ได้
4. มีแหล่งจ่ายแรงดัน 3 V และ 5 V
5. มีเซ็นเซอร์วัดความเร่ง 3 แกนเบอร์ LIS302DL อยู่บนบอร์ด
6. มีดิจิตอลไมโครโฟนเบอร์ MP45DT02 อยู่บนบอร์ด

7. มีพอร์ต USB OTG FS พร้อมขั้วต่อ MICRO-AB
8. ตัวบอร์ดทำเป็นขั้วต่อแบบ PIN HEADER ใต้ PCB 25x2 จำนวน 2 ชุด
9. มีหลอด LED 8 หลอดแสดงสถานการณ์เชื่อมต่อต่างๆ
10. มี 2 ปุ่มกด ยูเซอร์ และ รีเซ็ต

ซอร์ฟแวร์ที่ใช้งาน

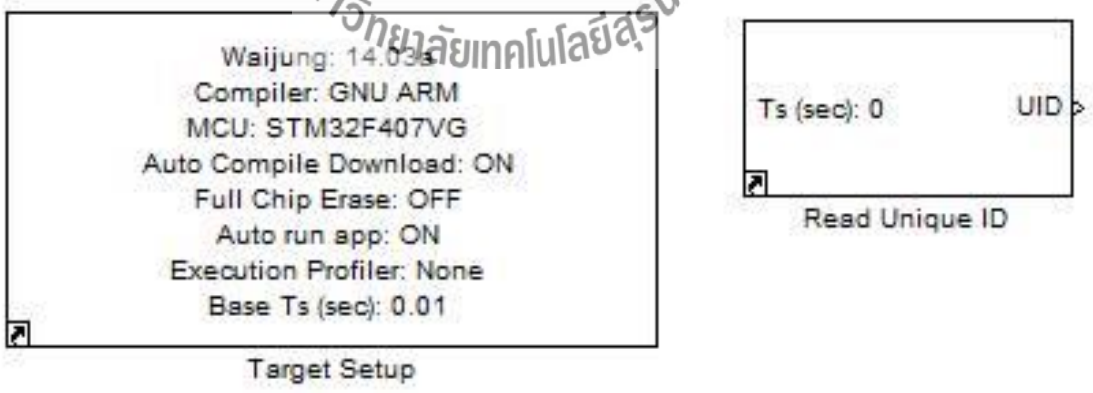
1. Waijung blockset หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
2. Matlab 32-bits 2009a (version 7.8) หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
3. Simulink 2009 (version 7.3) หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
4. Real-Time Workshop 2009 (version 7.3) หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
5. Real-Time Workshop Embedded Coder 2009 (version 5.3) หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
6. RealView MDK for ARM version 4.0 หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
7. Microsoft Windows XP SP2 หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า
8. Microsoft .Net Framework version 3.5 หรือเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

2.3 Simulink และ Real-time Workshop

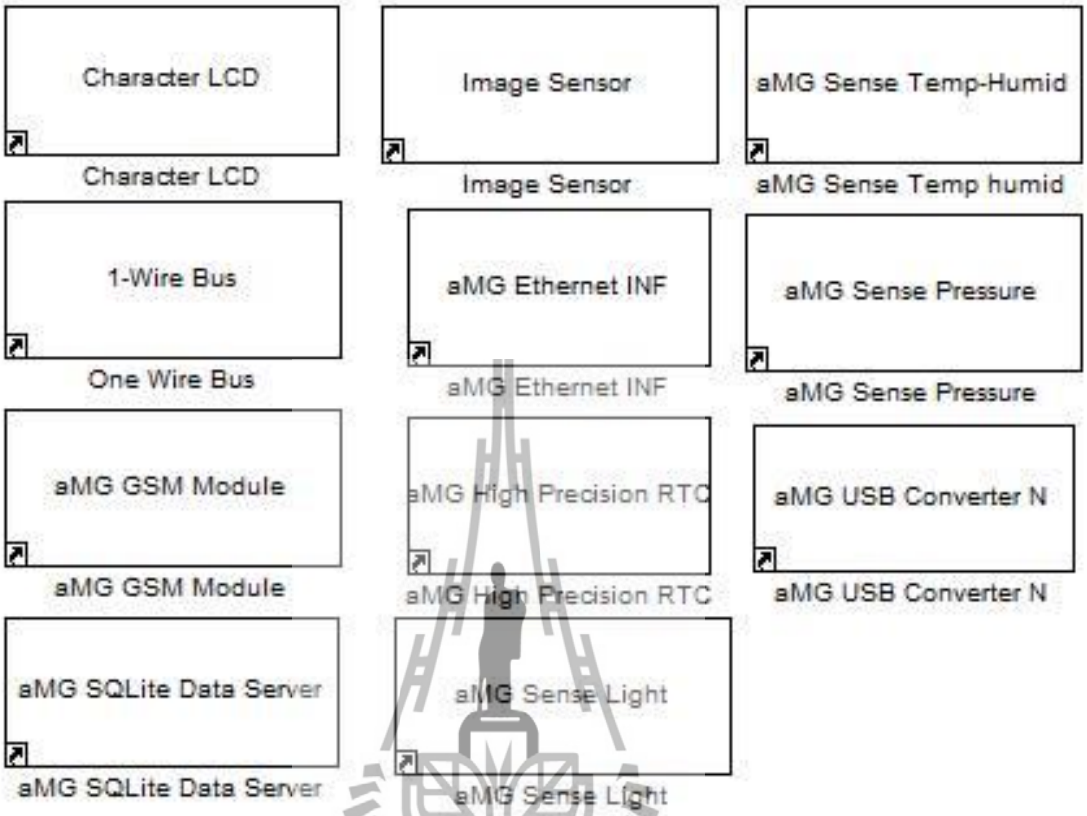
โปรแกรม MATLAB มีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมา ซึ่งก็คือ Simulink เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบเชิงเส้น (Linear) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) Simulink เป็นโปรแกรม Mouse-Driver ที่ใช้ระบบโมเดลโดยการวาดบล็อกไดอะแกรมบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบเช่น แบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear) ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) เวลาต่อเนื่อง (Continuous-Time) เวลาไม่ต่อเนื่อง (discrete-Time) และระบบหลายอัตรา (Multirate) ซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของแต่ละบล็อกแต่ละบล็อกได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำ

Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะเช่นการติดต่อสื่อสาร (Communications) การประมวลผลข้อมูล (Signal processing) และระบบไฟฟ้ากำลัง (Power systems)

Real-time workshop เป็นโปรแกรมที่สร้าง C Code จากบล็อกไดอะแกรม และสามารถกระทำกับบล็อกไดอะแกรมได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง (Real-time systems) โปรแกรม MATLAB มีอยู่หลาย Version ซึ่ง Version ดั้งเดิมของโปรแกรม MATLAB จะใช้งานบน DOS ที่มีการคำนวณไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมาก ใช้ได้กับ CPU ที่มีความเร็วต่ำแต่มีข้อเสียคือฟังก์ชั่น ที่นำมาใช้งานมีน้อยทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดี เท่าที่ควรเพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อระบบเลือกใช้ได้มากมายจึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้น Version ใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุง ใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบน Windows ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของ version ใหม่นี้คือ มีประสิทธิผลที่ดีขึ้น การประมวลผลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้น และมีฟังชั่นต่างๆ ใช้เลือกใช้ในสาขาต่างๆ มากมายแต่ก็ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำมาก CPU มีความเร็วสูง และต้องการ Co-Processor ในการช่วยคำนวณ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลดีที่ได้ก็ถือว่าคุ้มใน Simulink จะมี Blocksets หลายรูปแบบ ซึ่งจะแบ่งได้เป็นดังนี้ คือ Device configuration, Hardware modules, On-chip peripherals [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.2 รูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4

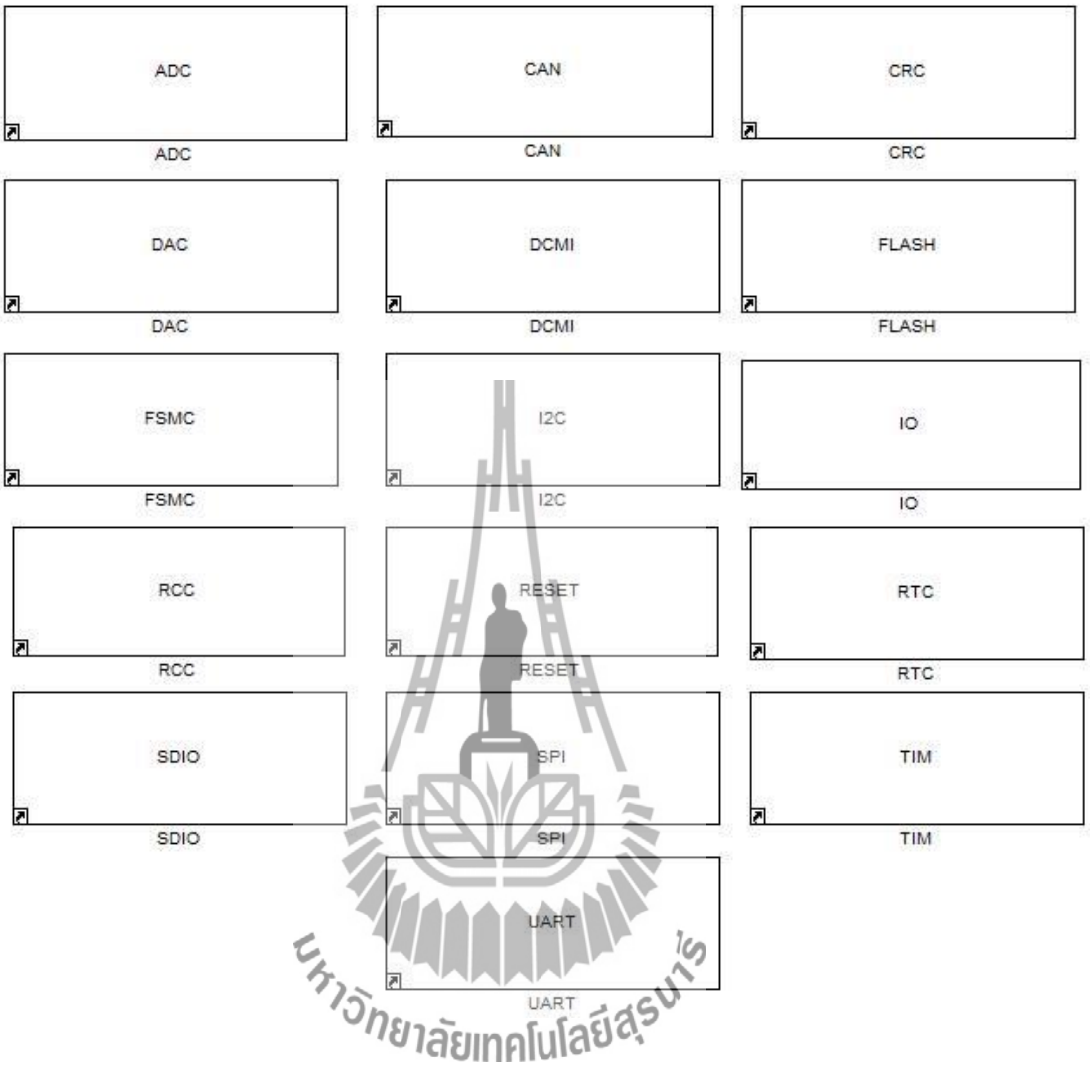


รูปที่ 2.2 Device configuration



รูปที่ 2.3 Hardware modules

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



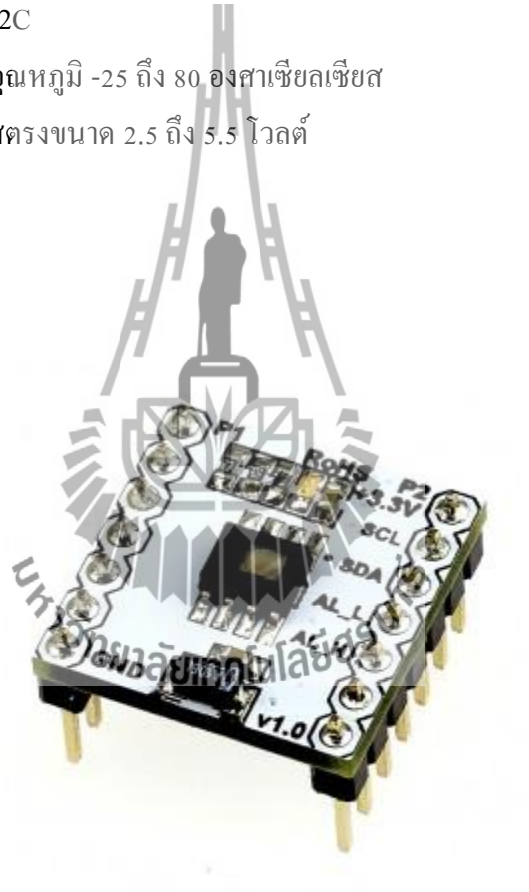
รูปที่ 2.4 On-chip peripherals

2.4 aMG Sense - Humidity / Temperature

aMG Sense - Humidity / Temperature เป็นโมดูลเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งใช้ IC ของ Honeywell เบอร์ HIH6131 [3]

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์

1. ความแม่นยำในการวัดความชื้น +/- 4% RH
2. สามารถวัดความชื้นได้ดีในช่วง 10 ถึง 90 %RH
3. ความแม่นยำในการวัดอุณหภูมิ +/- 1 องศาเซียลเซียส
4. สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง 5 ถึง 50 องศาเซียลเซียส
5. ให้เอาต์พุตความละเอียดขนาด 14 บิต
6. ใช้การติดต่อแบบ I2C
7. ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ -25 ถึง 80 องศาเซียลเซียส
8. ใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 2.5 ถึง 5.5 โวลต์



รูปที่ 2.5 aMG Sense - Humidity / Temperature

โครงสร้างของเซ็นเซอร์

+3.3V: เป็นขาสำหรับต่อแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 2.5 ถึง 5.5 โวลต์

SCL: ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

SDA: ขารับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

AL_L: ขาสัญญาณเตือนให้เอาต์พุตเป็น LOW

AL_H: ขาสัญญาณเตือนให้เอาต์พุตเป็น HIGH

GND: ใช้ต่อกราวด์

2.5 aMG High Precision Real Time Clock

aMG High Precision Real Time Clock เป็นโมดูลระบบฐานเวลา ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งใช้ IC ของ Maxim เบอร์ DS3231SN [4]

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์

1. ความแม่นยำ ±2ppm ในช่วง 0°C ถึง +40°C
2. ความแม่นยำ ±3.5ppm ในช่วง -40°C ถึง +85°C
3. มีแบตเตอรี่สำรองเพื่อนให้โมดูลสามารถทำงานต่อได้ในขณะที่ไม่จ่ายไฟ
4. ช่วงของอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้ดี -40°C ถึง +85°C
5. ใช้พลังงานต่ำ
6. สามารถนับเวลาเป็น วินาที นาที ชั่วโมง วัน เดือน ปี (นับได้สูงสุดถึงปี 2100)
7. สามารถโปรแกรมตั้งเวลาเตือนได้
8. ใช้การติดต่อแบบ I2C ที่ความถี่ 400kHz
9. สามารถวัดอุณหภูมิและให้เอาต์พุตเป็นดิจิตอล ซึ่งมีความแม่นยำ ±3°C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.6 aMG High Precision Real Time Clock

โครงสร้างของเซ็นเซอร์

RST: เป็นขาสำหรับรีเซ็ตโมดูล

INT/SQW: ขาเอาต์พุตสัญญาณ Square Wave และขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (ต้องต่อ R pullup)

32kHz: เป็นขาเอาต์พุตความถี่ 32 kHz (ต้องต่อ R pullup)

VCC: ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 2.3 ถึง 5.5 V

GND: ใช้ต่อกราวด์

VBAT: ใช้ต่อกับแบตเตอรี่ 2.3 ถึง 5.5 V เพื่อรักษาการทำงาน ในกรณีที่ไม่มีไฟเลี้ยงจ่าย

SDA: ขารับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

SCL: ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.6 aMG Sense – Light

aMG High Precision Real Time Clock เป็นโมดูลเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสงดังรูปที่ 2.7 โดยใช้ APDS-9301 ซึ่งมีหน่วยเป็น lux [5]

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์

1.ตอบสนองได้เหมือนกับดวงตาของมนุษย์

2.ตรวจวัดความส่องสว่างภายใต้สภาวะที่หลากหลายอย่างแม่นยำ

3.เอาท์พุต 16 บิต ด้วย I2C Fast-Mode ที่ความถี่ 400 kHz

4.โปรแกรมด้วย Analog Gain และเวลา

5.ChipLED

-สูง 0.55 มิลลิเมตร

-ยาว 2.60 มิลลิเมตร

-กว้าง 2.20 มิลลิเมตร

6.แสงกระเพื่อมกลับ 50/60 Hz

7.อินพุต 3.0 โวลต์

8.ใช้พลังงานต่ำสุด 0.6 มิลลิวัตต์ ใน โหมด Power Down

9.ผ่านข้อกำหนด RoHs

รูปที่ 2.7 aMG Sense – Light

โครงสร้างของเซ็นเซอร์

+3.3V : ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 3.3V

GND : ใช้ต่อกราวด์

SCL : ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับการรับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

SDA : ขารับส่งข้อมูลด้วยระบบบัส I2C

2.7 Waterproof DS18B20

Waterproof DS18B20 ดังรูปที่ 2.8 เป็นอุปกรณ์ที่วัดอุณหภูมิและให้ค่าแบบดิจิตอล เชื่อมต่อในรูปแบบของบัสที่เรียกว่า 1-Wire [6]

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์

1. ใช้แรงดันไฟเลี้ยง Vdd (หรือ Vcc) ได้ในช่วง 3.0V ถึง 5.5V
2. มี 3 ขา (สำหรับตัวถัง TO-92) คือ Gnd (Pin 1), DQ (Pin 2), Vdd (Pin 3)
3. ใช้งานได้สองแบบ: normal mode (ใช้ทั้ง 3 ขา) และ parasite power mode (ใช้เพียง 2 ขา คือ DQ และ GND ในขณะที่ขา Vdd จะต่อกับขา Gnd)
4. สามารถนำไอซีมาพ่วงต่อกันในบัสเดียว (เส้นสัญญาณ DQ) ได้หลายอุปกรณ์
5. ในการใช้งาน จะต้องต่อ pull-up 4.7kΩ (หรือน้อยกว่าได้เล็กน้อย) ที่ขา DQ กับแรงดันไฟเลี้ยง
6. วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -55 °C ถึง +125 °C
7. มีความแม่นยำ ±0.5 °C สำหรับอุณหภูมิในช่วง -10°C ถึง +85°C
8. มีความละเอียดของค่าที่อ่านได้ 12 บิต (Resolution)

9. ใช้เวลาในการแปลงข้อมูลสำหรับ ADC ไม่เกิน 750 msec (มิลลิวินาที) สำหรับข้อมูล 12 บิต

10. ไอซีแต่ละตัวมีหมายเลขเฉพาะตัว ขนาด 64 บิต (64-bit serial code)

11. มีค่าไบต์สำหรับ 8-bit family code ตรงกับ 28h (0x28) เป็นไบต์แรกของหมายเลขอุปกรณ์

รูปที่ 2.8 Waterproof DS18B20

โครงสร้างของเซ็นเซอร์ ดังรูปที่ 2.8

- สายสีดำใช้ต่อกราวด์
- สายสีเหลืองสายสัญญาณ DQ
- สายสีแดงใช้ต่อกับแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 3.3V

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.8 WATERMARK 200SS

เป็นอุปกรณ์การตรวจวัดที่ใช้ในการวัดศักย์น้ำในดิน ขณะที่ปริมาณน้ำในดินมีการเปลี่ยนแปลง ศักย์น้ำในดินและความต้านทานก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ความต้านทานสามารถวัดได้จาก เซ็นเซอร์WATERMARK เช่นกัน

เซ็นเซอร์ประกอบด้วยคู่ของขั้วไฟฟ้าทนต่อการกัดกร่อนสูงถูกนำไปใช้เพื่อให้ได้ค่าความต้านทานและตรวจสอบความสัมพันธ์ของความต้านทานกับศักย์น้ำในดิน มีหน่วยเป็น centibars หรือ kilo-pascals และ WATERMARK ถูกออกแบบมาให้เป็นเซ็นเซอร์ติดตั้งแบบถาวรที่วางไว้ในดิน สามารถที่จะตรวจสอบและอ่านค่ากับอุปกรณ์แบบพกพา [7] ดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 WATERMARK 200SS

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์

1. ช่วงการทำงาน 0-200 Centibar
2. ทนต่อการกัดกร่อน
3. ไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิแช่แข็ง
4. ชดเชยระดับความเค็มภายใน
5. ราคาถูก
6. ง่ายต่อการใช้
7. ไม่ต้องบำรุงรักษา

2.9 WATERMARK Meter

WATERMARK Meter เป็นอุปกรณ์พกพาที่ออกแบบมาสำหรับอ่าน เซ็นเซอร์ WATERMARK เครื่องเป็นจอหน้าปัด ดิจิตอล ใช้วัดศักย์น้ำในดิน มีหน่วย centibars หรือ kilo-pascals ค่านี้ แสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ ระบบรากของพืชใช้ในการดึงน้ำจากดิน [8] ดังรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 WATERMARK Meter

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติ

1. จอ LCD ขนาดใหญ่ มองเห็นง่ายภายใต้แสงแดด
2. ปุ่มกดใช้งานง่ายมีฟังก์ชันทดสอบ
3. สายเคเบิลใช้งานง่าย
4. ปรับอุณหภูมิของดินได้

2.10 EC-5 Soil Moisture Sensor

EC-5 Soil Moisture Sensor คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความชื้นในดินซึ่งวัดผ่านฉนวนคงที่ของดินโดยใช้เทคโนโลยีความจุ ใช้ความถี่ที่ 70 MHz ซึ่งจะช่วยลดความเค็มและผลกระทบที่มีต่อเนื้อสัมผัสและเป็นเซ็นเซอร์ที่เหมาะสำหรับการทดลองทางวิทยาศาสตร์และการเกษตร [9] ดังรูปที่ 2.11

รูปที่ **2.11** EC-5 SOIL MOISTURE SENSOR

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

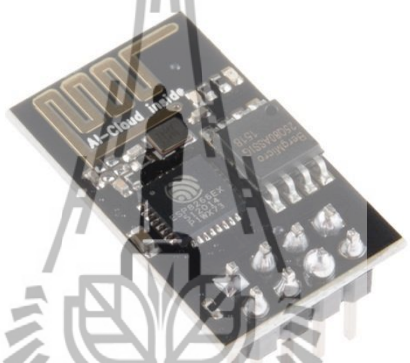
คุณสมบัติ

1. ขนาด 8.9 x 1.8 x 0.7 cm.
2. ง่ายต่อการใช้งานในดิน
3. ใช้ความถี่ที่ 70 MHz
4. พิสัยในการวัด 0 – 60% VWC
5. ใช้แรงดัน 2.5 – 5V DC
6. Output Range 375 mV (dry soil) to 1000 mV (saturated)

2.11 ESP8266-01

ESP8266-01 คือโมดูล WiFi จากจีน ที่มีความพิเศษตรงที่ตัวมันสามารถโปรแกรมลงไปได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย และมีพื้นที่โปรแกรม 1MB

ESP8266 เป็น โมดูล WiFi ขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ รองรับการใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ทั้ง Client, Access Point และ Client+AP โมดูล Wifi ESP8266 ใช้การเชื่อมต่อแบบ Serial UART ที่ไฟ 3.3 ใช้คำสั่งควบคุมการทำงานแบบ AT Command ทำให้เขียนโปรแกรมเชื่อมต่อได้สะดวก [10] ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ESP8266-01

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติ

1. ระยะทางรับ-ส่งสัญญาณสูงสุด 100 เมตร (ideal circumstance), ความแรงของสัญญาณ Wifi +20Dbmรองรับการใช้งาน 3 โหมด คือ AP, STA, AP+STA mode (Access Point, Client, Client+AP)
2. ง่ายกับการเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อด้วยรูปแบบคำสั่งแบบ AT Command
3. 4 pins interface คือ VCC-3V3, GND, TXD และ RXD
4. Internal LWIP interface.

5. 802.11 b/g/n, WIFI Direct (P2P), soft-AP.

6. WIFI @ 2.4 GHz, supports WPA / WPA2 security mode.

7. Integrated TCP/IP protocol stack.

8. Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network.

9. Integrated PLLs, regulators, DCXO and power management units.

10. Off leakage current is less than 10uA.

11. Integrated low power 32-bit CPU could be used as application processor.

12. SDIO 2.0, SPI, UART

13. STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO

14. A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4ms guard interval.

15. Within 2ms of the wake, connect and transfer data packets.

16. Standby power consumption is less than 1.0mW (DTIM3).

17. ไฟเลี้ยงโมดูล 3.3VDC, กระแสไฟฟ้า 70mA, กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งาน 240mA

18. สามารถ Upgrade New Firmware เวอร์ชั่นใหม่ล่าสุดได้ด้วย GPIO0 pin (ฟรี Upgrade New Firmware)

19. โมดูลมีขนาดเล็ก 24.8mm x14.3mm ประหยัดพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.12 aMG CLCD 2

aMG CLCD 2 เป็นโมดูลหน้าจอที่ประกอบไปด้วยหน้าจอขนาด 16*4 และมีสวิตช์ และดิพสวิตช์ด้านข้างรวมทั้งยังมีช่องสำหรับเสียบ SD-Card โมดูลถูกออกแบบให้ใช้งานกับบอร์ด STM32F4 Discovery [11] ดังรูปที่ 2.13

คุณสมบัติ

1.จอแสดงผลมีการแสดงผล 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด

2.แต่ละตัวอักษรมี 5x8 พิกเซล

3.ตัวอักษรขนาด 2.95x4.75 มิลลิเมตร

4.อินเตอร์เฟซ 6800 บิต แบบขนาน , 6800 บิต แบบขนาน

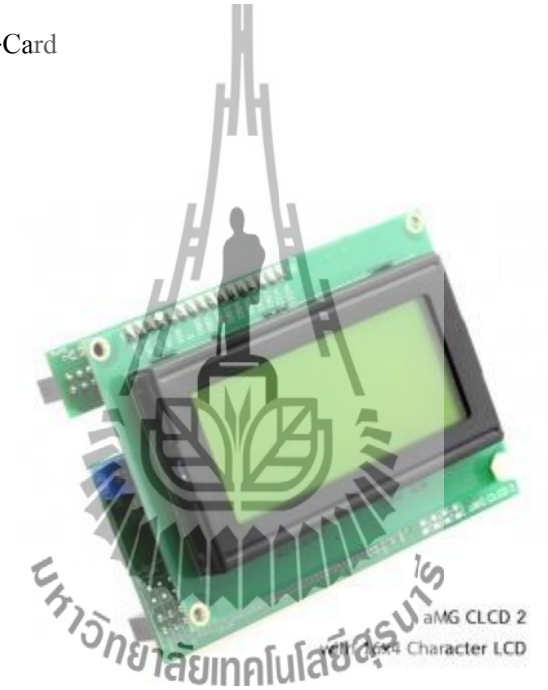
5. ICหรือเทียบเท่าAIP31066, HD44780, KS0066, SPLC780, 7066

6.แหล่งจ่ายไฟ 5.0 โวลต์

7.มีสวิตช์ 3 ปุ่ม

8.มีดิพสวิตช์ 4 ปุ่ม

9.มีช่องเสียบ SD-Card



รูปที่ 2.13 aMG CLCD 2

โครงสร้าง

-VSS : Ground (0V)

-VDD : Supply Voltage for Logic (+5.0V)

-VO : Contrast Adjustment

- RS : Data/Instruction Select

-R/W : Read/Write Select

-E : Enable Signal

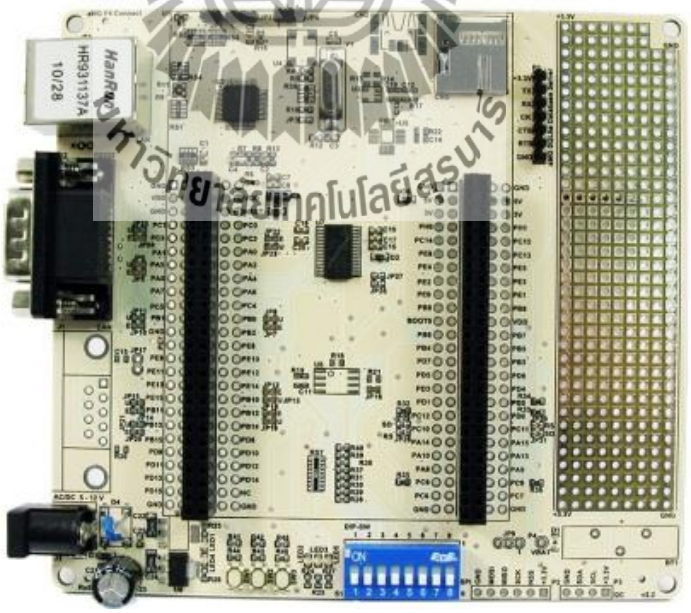
-DB0—DB7 : Data Bus

- LED_A : LED Power Supply + (5.0V)

- LED_K : LED Power Supply - (0V)

2.13 aMG F4 Connect 2

aMG F4 Connect 2 ดังรูปที่ 2.14 เป็นบอร์ดที่ออกแบบมาเพื่อใช้คู่กับบอร์ด STM32F4 Discovery และ FiO 2 สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ได้ เช่น aMG SQLite Database Server aMG USB Converter - N aMG Ethernet INF aMG CANINF aMG 232/485 INF และ aMG High Precision RTC [12]



รูปที่ 2.14 บอร์ด aMG F4 Connect 2

โครงสร้างของบอร์ด ดังรูปที่ 2.14

1. มีขั้วต่อสำหรับสาย LAN RJ45
2. มีขั้วต่อ RS232 ชนิด DB9 ตัวผู้
3. มีขาสำหรับการติดต่อแบบ SPI และ I2C
4. มีช่องสำหรับเสียบ SD-Card
5. มีสวิตซ์สำหรับทดสอบแบบ DIP 8 ตัว
6. มีสวิตซ์สำหรับทดสอบแบบ กดติดปล่อยดับ 3 ตัว
7. มี LED สำหรับทดสอบ 3 ดวง (สีแดง สีเหลือง สีเขียว)
8. มีวงจรรักษาแรงดันขนาด 3.3 โวลต์ 800 mA
9. มีช่องสำหรับเสียบบอร์ด STM32F4DISCOVERY
10. มีช่องขนาด 2.0 mm สำหรับเสียบแจ็คแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 5 โวลต์

2.14 ThingSpeak

Thingspeak ดังรูปที่ 2.15 เป็นบริการ Platform as a Services ที่ให้บริการ เก็บข้อมูลแบบ Real-time, แสดงข้อมูลกราฟ จากที่ใดก็ได้ในโลก และ สามารถเปิดดูจากที่ไหนก็ได้ [13]

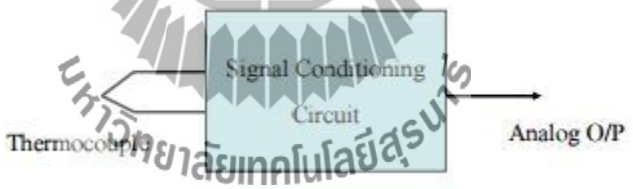
รูปที่ 2.15 ThingSpeak

คุณสมบัติ

1. ส่งหรือรับค่าจาก Thinkspeak
2. สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้จาก Thinkspeak
3. มีการแจ้งเตือน
4. เชื่อมต่อกับอุปกรณ์
5. เชื่อมต่อด้วย API
6. แสดงข้อมูลจุดที่ติดตั้ง

2.15 Signal Conditioning Circuit

Signal Conditioning เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณที่ได้จาก Sensor หรือ Transducer ให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการประมวลผล โดยส่วนใหญ่สัญญาณที่ได้จาก Sensor นั้นมีระดับสัญญาณค้อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจร Signal Conditioner เพื่อปรับระดับสัญญาณก่อน ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แผนภาพวงจร Signal Conditioning Circuit

Level Translation เป็นหน้าที่อีกอันหนึ่งของ Signal conditioner ซึ่งทำการแปลงปริมาณ ไฟฟ้าแบบหนึ่ง (ได้จาก Sensor) ไปเป็นปริมาณไฟฟ้าในรูปแบบที่ต้องการเช่น Thermister เป็นความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิดังนั้นในการวัดเราจะใช้ Signal conditioner ในการเปลี่ยนค่าความต้านทานที่เปลี่ยนตามอุณหภูมินั้นให้ กลายเป็นแรงดัน โดยอาจจะใช้วงจร Wheat stone bridge หรือ voltage divide [14]

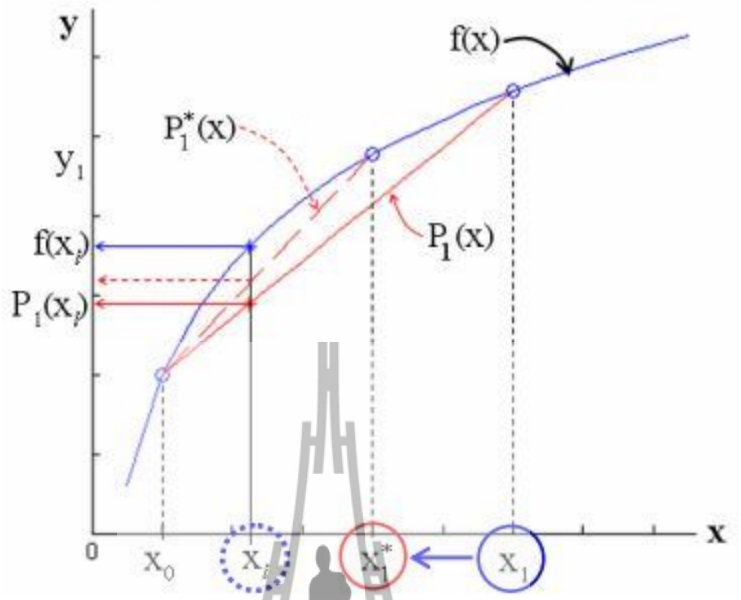
2.16 Interpolation

Interpolation เป็นการประมาณค่าในช่วง โดยเรามีความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปริมาณ (x กับ y) ตามธรรมชาติที่เราต้องการทราบ กำหนดให้เป็น ฟังก์ชั่น f(x) แต่เนื่องจากข้อมูลจากการศึกษา/ทดลองของเรามีจำกัดเราอาจทราบข้อมูลเพียง 2 จุดเท่านั้น คือจุด (x_0 , y_0) กับ จุด (x_1, y_1) จากความรู้ทางคณิตศาสตร์ที่เราเรียนมา เราสามารถสร้างสมการ เส้นตรงที่ unique ผ่านจุดทั้งสองนี้สมการเส้นตรงที่เราหาได้กำหนดให้เป็นสมการ y = P_1 (x) ที่นิยามในช่วง x $\in$ [x_0 , x_1] หากเราต้องการทราบค่าของฟังก์ชั่น f(x_i) ที่ตำแหน่ง x ใดๆ กำหนดให้เป็น x_i ดังรูปที่ 2.12 ในที่นี่ เราจะพบว่าจุดต่างๆ บนแกน x เรียงตัวกันดังนี้คือ x_0< x_i< x^*_1 < x_1 เนื่องจากเราไม่ทราบ f(x) ในธรรมชาติเรา เพียงแค่มีจุดข้อมูล 2 จุดและสมการเส้นตรงที่ผ่าน 2 จุดนั้น เราจึงทำการประมาณฟังก์ชั่นจริงในธรรมชาติด้วยฟังก์ชั่นหรือสมการเส้นตรงที่เราสร้างขึ้น f(x) $\approx$ P_1 (x) ฉะนั้นค่าของฟังก์ชั่นที่เราสนใจ f(x_i) ก็จะประมาณได้ ด้วย P_1 (x_i) นั่นเอง

สมการหลัก (key function) ที่ใช้อธิบายกราฟเส้นตรงผ่านจุด 2 จุดคือ สมการเส้นตรง หรือสมการ Polynomial อันดับหนึ่ง เขียนได้ดังสมการที่ 2.1

$$f(x) \approx P_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1)-f(x_0)}{x_1-x_0}(x - x_0) \qquad \textbf{สมการที่ 2.1}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.17 กราฟการประมาณค่า f(x_i) ด้วยฟังก์ชั่นพหุนาม อันดับหนึ่ง

จากรูปที่ 2.17 เราสนใจค่าของฟังก์ชั่นที่ตำแหน่ง x_i ซึ่งอยู่ระหว่าง x_0กับx_1 เมื่อคำนวณหาสมการเส้นตรงตาม สมการที่ 2.1 จะได้สมการ P_1 (x) ค่าฟังก์ชั่นในตำแหน่งที่เราสนใจจะมีค่า f(x_i) y P_1 (xi) หากกำหนดช่วง ข้อมูลที่เราศึกษาให้แคบลงจาก x_1 เป็น x^*_1 เมื่อเราคำนวณหาสมการเส้นตรงในช่วง x ϵ [x_0 , x^*_1] จะได้ สมการ P^*_1 (x)และได้ค่าฟังก์ชั่นเท่ากับ f(x_i) ≈ P^*_1 (x_i) ซึ่งจะเข้าใกล้ค่าจริง f(x_i) มากกว่าจะเห็นได้ว่าช่วงข้อมูล (interval) ที่มีความยาวต่างกัน ก็จะมีผลต่อความถูกต้องในการคำนวณหรือประมาณค่าฟังก์ชั่นที่ตำแหน่ง x_i แตกต่างกันไปด้วย [15]

2.17 SMX

SMX เป็นวงจรอ่านค่าเซ็นเซอร์ WATERMARK ซึ่งจะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK เป็นศักย์น้ำในดินซึ่งมีหน่วยเป็น kilo-Pascal หรือ centibar เพื่อประเมินการทำงานของรากพืชที่ดึงความชื้นจากดิน

โดยหลักการทำงานของ SMX คืออ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK เป็นความถี่ แล้วทำการ

Interpolation จากค่าในตารางที่ 2.1 จะได้ค่าความต้านทานออกมาแล้วนำค่าความต้านทานนั้นไปแทนในสมการที่ 2.3 จะได้ค่าความต้านทานค่าใหม่ออกมาแล้วนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.2 แล้วคำนวณออกมาจะได้ค่า kilo-Pascal [16]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความต้านทานและความถี่

Ohms	volts	μ-amps	hertz
0	1,707	1,707	13,233
1	1,704	1,704	13,209
2	1,702	1,702	13,186
3	1,699	1,699	13,162
4	1,697	1,697	13,139
6	1,691	1,691	13,092
8	1,686	1,686	13,047
12	1,676	1,676	12,962
16	1,666	1,666	12,871
24	1,645	1,645	12,708
32	1,625	1,625	12,526
48	1,588	1,588	12,200
64	1,552	1,552	11,893
96	1,485	1,485	11,312
128	1,426	1,426	10,802
192	1,320	1,320	9,882
256	1,230	1,230	9,104
384	1,089	1,089	7,878
512	980	980	6,932

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

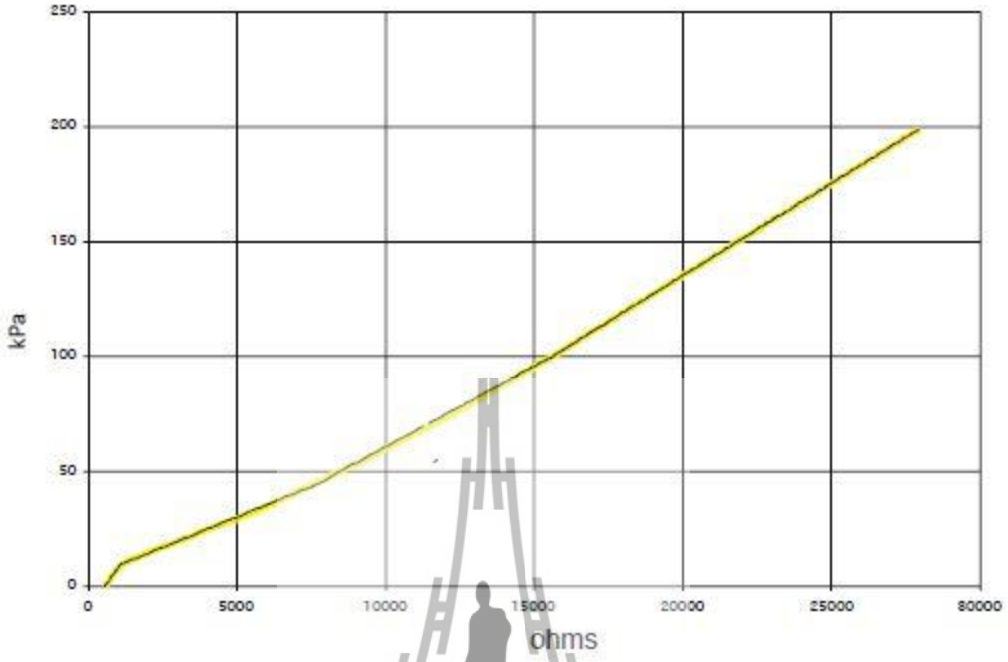
768	828	828	5,596
1,024	726	726	4,697
1,536	596	596	3,557
2,048	517	517	2,862
3,072	427	427	2,071
4,096	377	377	1,623
6,144	323	323	1,135
8,192	295	295	874
12,288	265	265	612
16,384	250	250	476
24,576	234	234	335
32,768	226	226	264
49,152	218	218	194
65,536	214	214	157
98,304	210	210	122
131,072	208	208	103
196,608	206	206	85
262,144	205	205	76
10,000,000	201	201	48

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่า kPa และค่าความต้านทาน

SWP		slope
kPa	ohms	ohms/kPa
0	550	
		50
9	1,000	
		100
10	1,100	
		180
15	2,000	
		200
35	6,000	
		160
55	9,200	
		150
75	12,200	
		135
100	15,575	
		125
200	maximum: 28,075	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.18 Soil Moisture in kiloPascal vs WATERMARK resistance in ohms

kPa = (ohms - 550) / 50 for 550 <= ohms <= 1,000

kPa = 9 + (ohms – 1,000) / 100 for 1,000 <= ohms <= 1,100

kPa = 10 + (ohms – 1,100) / 180 for 1,100 <= ohms <= 2,000

kPa = 15 + (ohms – 2,000) / 200 for 2,000 <= ohms <= 6,000

kPa = 35 + (ohms – 6,000) / 160 for 6,000 <= ohms <= 9,200

kPa = 55 + (ohms – 9,200) / 150 for 9,200 <= ohms <= 12,200

kPa = 75 + (ohms – 12,200) / 135 for 12,200 <= ohms <= 15,575

kPa = 100 + (ohms – 15,575) / 125 for 15,575 <= ohms <= 28,078

สมการที่ 2.2

Rcompensated = Rraw * (1 + 0.01 * (°F - 75)) **สมการที่ 2.3**

2.18 Linear Regression

จุดประสงค์ของการใช้ Regression Analysis ก็เพื่อต้องการหาสมการความสัมพันธ์ (Transfer function) ของตัวแปรฝั่งที่เรารู้ค่า (Predictor) กับฝั่งที่เราไม่รู้ค่า (Response) เพื่อที่จะนำไปสู่การคาดการณ์หรือประมาณค่า ของตัวแปรที่เราไม่รู้ค่าได้ในที่สุด และที่สำคัญการจะนำสมการความสัมพันธ์ไปใช้ได้ จะต้องมีการตรวจสอบเสียก่อนว่าสมการที่ได้มานั้นมีความถูกต้อง พอที่จะใช้เป็นสมการในการคาดการตัวแปรที่ไม่รู้ค่าได้จริงหรือไม่

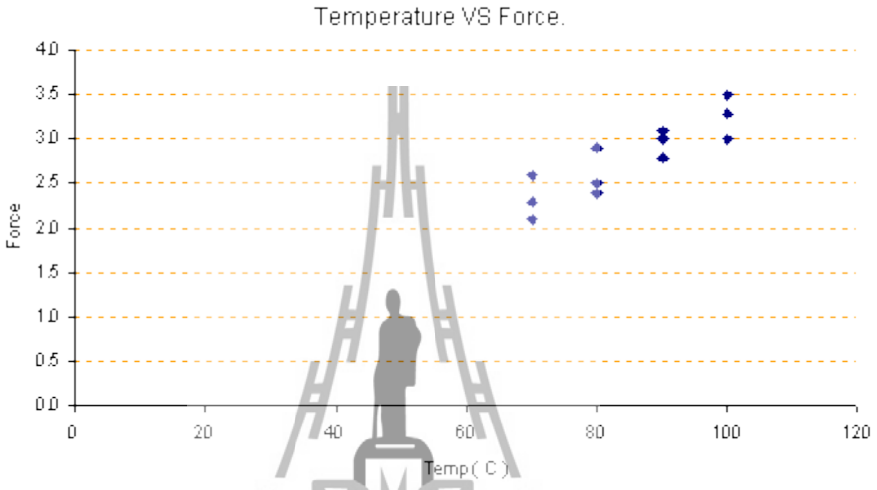
ตัวอย่าง ในการศึกษาเรื่องความสามารถทนแรงดึงของกาว Epoxy ที่จะใช้ในการยึดชิ้นงาน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน โดยขั้นตอนคือ เมื่อหยอดส่วนผสมกาวลงบนชิ้นงาน A แล้วนำชิ้นงาน B มาติดเข้า แล้วต้องเอาเข้าอบด้วยความร้อน เพื่อให้กาวแห้งและชิ้นงาน A และ B ติดกันตามต้องการ ผู้ศึกษาต้อการทราบความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบกับความสามารถในการทนแรงดึงของกาวหลังอบมีแตกต่างกันอย่างไร โดยได้ทำการทดลอง 3 ตัวอย่างต่อการทดลอง 1 รอบ และแต่ละรอบจะตั้งอุณหภูมิไว้คงที่ ที่ค่าที่ต้องการ และแต่ละการทดลองใช้เวลาอบเท่ากันคือ 15 นาที และหลังจากเอางานออกจากตู้อบความร้อนแล้วก็นำไปวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงนำไปทำการทดลองวัดค่าความสามารถในการทนแรงดึงของกาวต่อ วิธีที่เขาใช้วัดความสามารถทนแรงดึงของกาว โดยใช้แรงดึงชิ้นงาน A และ B จนแยกออกจากกันได้ โดยที่การวัดค่าจะใช้วิธีค่อยๆเพิ่มแรงดึงทีละนิดจนทำให้ชิ้นงาน 2 ชิ้นนั้นแยกออกจากกันแล้วจดค่า แรงดึงสุดท้ายไว้ ผลการทดลองได้ค่าตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิและค่าแรงดึง

70°C	80°C	90°C	100°C
2.3	2.5	3.0	3.3
2.6	2.9	3.1	3.5
2.1	2.4	2.8	3.0

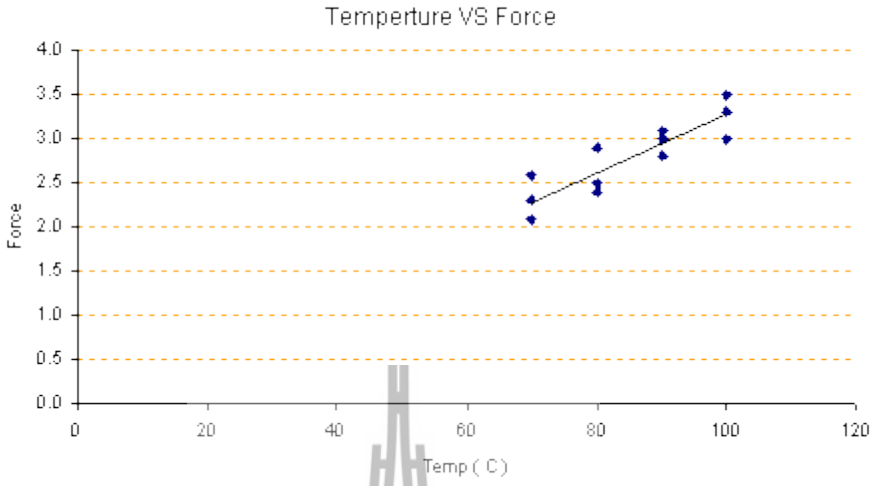
หน่วยคือ : หน่วยของแรง

เมื่อนำข้อมูลตามตารางมาทำ Scatter plot จะเป็นดังนี้



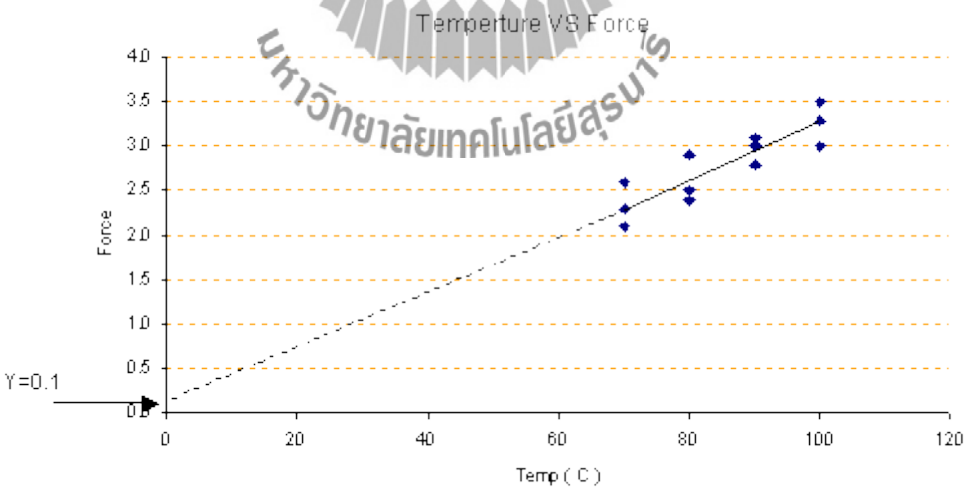
รูปที่ 2.19 กราฟบันทึกค่าระหว่างอุณหภูมิและแรง

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าค่าของตัวแปร Y (ตัวอย่างนี้คือ Force) ที่ค่า X ค่าเดิมนั้น จะมีค่าไม่เท่ากัน สมมติว่า แต่ละค่า X ผู้ทดลองเก็บค่า Y จำนวนมากๆ ผลที่ได้คือค่า Y ที่ X นั้นๆ ก็จะมีรูปแบบเป็น Normal distribution รอบค่ากลางค่าหนึ่ง(ค่าเฉลี่ย) และถ้าเราลากเส้นตรงเชื่อมกันระหว่างค่าเฉลี่ยทุกจุดเข้าด้วยกันเราจะได้เส้นตรงเส้นหนึ่งที่เรียกว่า " Regression line" ตามรูปที่ 2.20



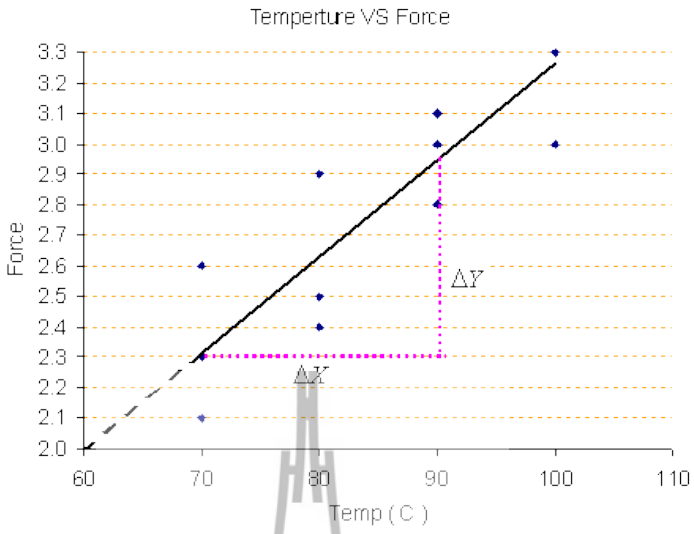
รูปที่ 2.20 กราฟแสดงเส้น Regression line

จากรูปที่ 2.20 ถ้าเราลากเส้นเชื่อมต่อมาจนตัดแกน Y จะตัดที่ค่า Y= 0.1 ค่านี้เราจะเรียกว่า Y-Intercept เขียนสัญลักษณ์แทนว่า b0 ความหมายคือตัวเลขบ่งบอกว่าถ้าตัวแปรฝั่ง X เป็น 0 จะมีค่าตัวแปรฝั่ง Y เท่าใด



รูปที่ 2.21 กราฟแสดง Y-Intercept

เมื่อเรานำแว่นขยายมาขยายจุดเหล่านี้เพื่อให้เห็นภาพใหญ่ขึ้นจะได้ดังรูปที่ 2.22 นี้



รูปที่ 2.22 ส่วนขยายของค่าที่บันทึก

เมื่อเรากำหนดให้เส้นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรฝั่ง X และ Y เป็นเส้นตรง (Linear relation) เราก็สามารถหาค่าความชันของ Regression line ได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{2.95 - 2.3}{90 - 70} = 0.0325$$

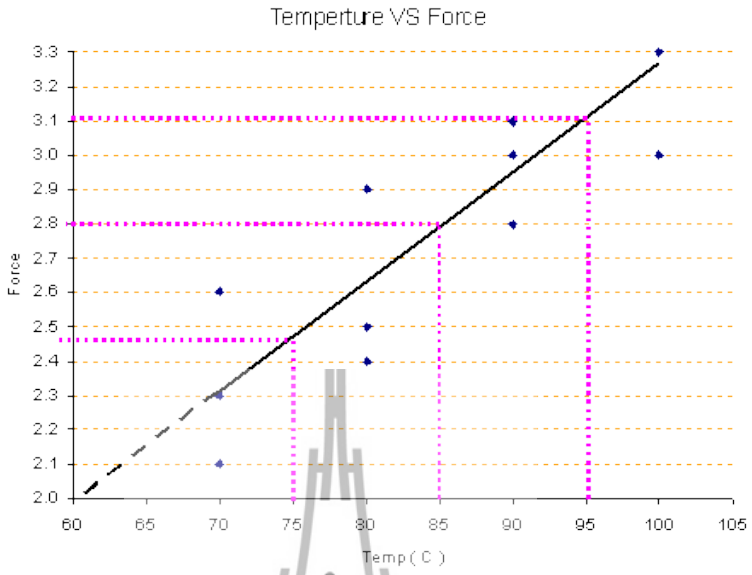
ค่าความชันของ Regression line นี้เราจะแทนด้วยสัญลักษณ์ b1 นั้น ความหมายคือตัวเลขบ่งบอกค่าอัตราการเปลี่ยนค่าของตัวแปรฝั่ง Y ต่อการเปลี่ยนค่าของตัวแปรฝั่ง X ไป 1 หน่วยนั่นเอง ดังนั้นเราจึงสามารถหาสมการของ Regression line ได้จาก

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$$

$$\hat{Y} = 0.1 + 0.0325\, X$$

ซึ่งเป็นสมการของความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น(เส้นตรง) หมายความว่า ณ ทุกจุดบนเส้นตรง (Regression line) นั้น ค่าในแนว แกน Y จะเท่ากับ เมื่อเราได้สมการแล้ว เราก็สามารถนำสมการนี้ไปใช้เพื่อ Predict ค่า Y เมื่อเรารู้ค่า X โดยเราจะลองใช้วิธีใช้เส้นตรง ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.23 กราฟทำนายค่าจากเส้น Regression line

นำค่าจากรูปที่ 2.23 ไปเขียนตาราง

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิและแรง

Temperature	Force (Unit)
75°C	2.43
85°C	2.80
95°C	3.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จะเห็นว่าค่าที่อยู่ในตารางนี้เป็นค่าที่ไม่ได้เกิดจากการทดลองจริงๆ แต่เป็นการเอาเส้นตรงที่ได้มาเป็นตัวช่วยในการคาดการณ์ (Prediction) เมื่อเป็นเช่นนี้ท่านผู้อ่านก็คงนึกถึงสมัยที่เราเรียนเรื่อง

เส้นตรง และความชัน ในวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมต้น ผู้เขียนจำได้ว่า เราใช้สมการ เส้นตรง และการหาค่าความชัน ว่า

$$Y = mX + c$$

$$m = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1}$$

แต่อย่างที่ผู้เขียนได้เริ่มต้นเนื้อหาว่าค่าของตัวแปรในแนวแกน Y นั้นจะเป็นค่าที่มีการกระจายหรือมีความผิดพลาดโดยธรรมชาติ ดังนั้น Regression line คือเส้นที่ลากผ่านจุดๆหนึ่งของกลุ่มค่าแนวแกน Y โดยมีเงื่อนไขว่า ค่า Y ทั้งหมดจะห่างจากเส้นตรงนี้อย่างสมดุลกันมากที่สุด ไม่ใช่ค่า Y ทุกค่าอยู่บนเส้นนี้ นั่นแปลว่ายังต้องมีสิ่งหนึ่งที่ต้องคิดถึงคือค่าความห่าง ของค่า Y ใดๆ กับจุดบนเส้น Regression line ในแนวขนานกับเส้นแกน Y ค่าความห่างนี้เราเรียกว่า Error ใช้สัญลักษณ์แทนคือ e จากรูปที่ 2.23 ท่านจะเห็นว่า ค่า Y ใดๆ (เป็นจุด) แทบจะไม่มีค่าไหนอยู่บนเส้น Regression line เลย

ดังนั้นสมการนี้เมื่อนำไปใช้ก็จะได้ค่าความผิดพลาดมาด้วย ดังจะเห็นได้จากค่าที่ได้ในตาราง Predicting จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 95 ยังได้ค่าเท่ากับที่ 90 องศา จุดหนึ่งด้วยซ้ำไป ดังนั้นสมการ เมื่อจะนำไป Predict ค่าจะต้องเป็น

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

ซึ่ง εมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีค่า Variation เท่ากับ S^2 และเป็นสมการที่เกิดจากการวิเคราะห์ Yi และ Xi เพียงจุดใดๆ เท่านั้น

แต่การหาค่า β_0 และ β_1 ตามวิธีที่ผ่านมานั้นเป็นการใช้กราฟ อาจจะทำให้เราได้ค่าที่ผิดพลาดไปบ้างอันเนื่องจากการเทียบค่าจาก Regression line มายังแกน X และ Y อาจมีความคลาดเคลื่อนไป ในทางปฏิบัติเราจึงไม่นิยมนำมาใช้ในการประมาณค่า โดยจะนิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า "Method of least square" มากกว่า วิธีที่ว่านี้เป็นการรวมวิเคราะห์ จุด X_i และ Y_i ทุกๆจุดเพื่อหาค่า ซึ่งมีวิธีดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. นำค่าจากผลการทดลองมาสร้างตารางใหม่ดังต่อไปนี้

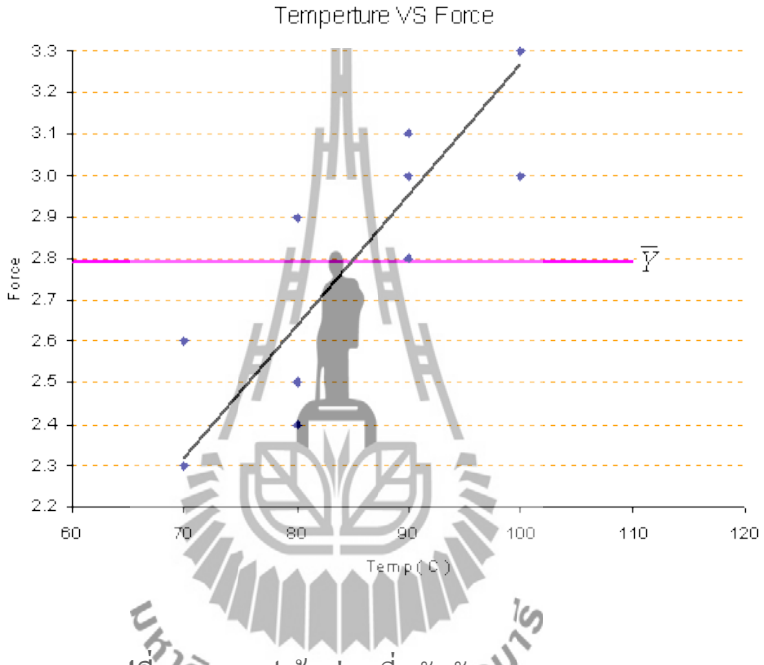
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงการวิเคราะห์สมการ

n	x	y	x^2	xy	y^2
1	70	2.3	4900	161	5.29
2	70	2.6	4900	182	6.76
3	70	2.1	4900	147	4.41
4	80	2.5	6400	200	6.25
5	80	2.9	6400	232	8.41
6	80	2.4	6400	192	5.76
7	90	3.0	8100	270	9.00
8	90	3.1	8100	279	9.61
9	90	2.8	8100	252	7.84
10	100	3.3	10000	330	10.89
11	100	3.5	10000	350	12.25
12	100	3.0	10000	300	9.00
Sum	1020	33.5	88200	2895	95.47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่เราต้องทำเพิ่มขึ้นคือ หาค่า x^2 , xy และ y^2 ในตารางที่ 2.5

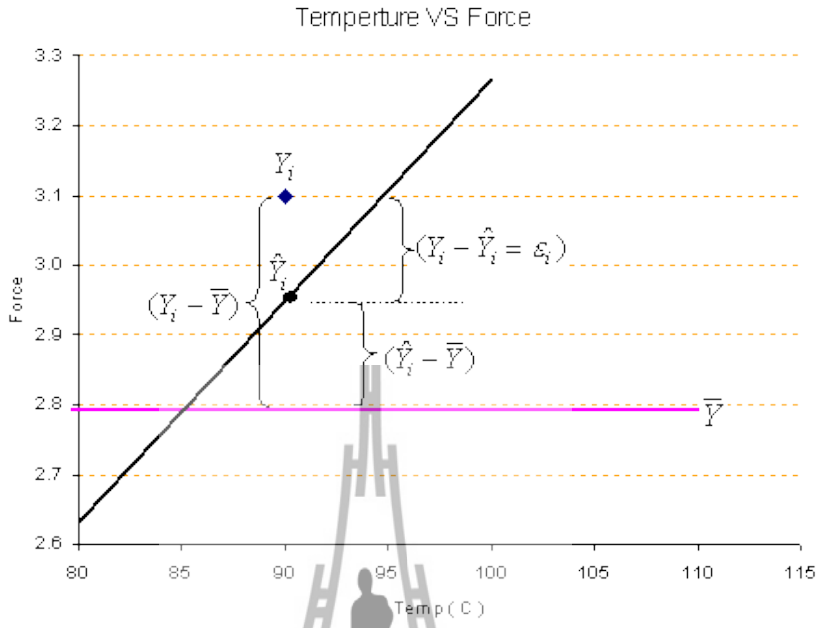
2. หาค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ทั้งหมดทุกค่า จากตัวอย่างนี้ก็คือการนำค่า Y ทั้งหมดในตารางมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งเราจะได้ค่า Y (33.5/12=2.79) ซึ่งตัดกับเส้น Regression line ที่ค่าเฉลี่ยของ X (1020/12=85) นั่นเอง ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 กราฟเส้นค่าเฉลี่ยตัดกับ Regression line

นั่นคือ ถ้าเราไม่ใช้ X ในการคาดการค่า Y แล้ว ค่าโดยเฉลี่ย $\overline{Y}$ จะเป็นค่าที่ใช้คาดการณ์ Y ได้ดีที่สุด

3. วิเคราะห์ แต่ละจุด โดยเทียบกับค่า $\overline{Y}$ และ $\hat{Y}$ เพื่อให้เห็นภาพและเข้าใจง่ายขึ้น ผู้เขียนจะวิเคราะห์ค่า Yi เพียง 1 จุดให้เห็นเป็นตัวอย่างดังนี้ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การวิเคราะห์กราฟ

จากข้อ 2 และ 3 นั้นชี้ให้เห็นว่า ในแนวแกน Y เราจะมองค่า Yi ของทุกตัวเป็นค่าเฉลี่ย ($\overline{Y}$) เพียง 1 ค่า และในแนวแกน X เราจะมองค่า Yi ของทุกตัวเพียง 1 ค่าอยู่บนเส้น Regression line ($\hat{Y}$) เท่านั้น การมองค่า Yi ใน 2 แกนเช่นนี้ ภาษาอังกฤษ เขาเรียกว่า "Regress" ถ้าความหมายเป็นไทยก็น่าจะตรงกับความหมายว่า " การมองค่า Yi ทุกค่าย้อนกลับไปสู่จุดรวมใน 2 แนว " และนี่เป็นที่มาของคำว่า Regression

จากตาราง จะได้

$$\bar{x} = 85, \bar{y} = 2.79$$

$$\beta_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - n(\bar{x})^2}$$

$$\beta_1 = \frac{2895 - \frac{(1020)(33.5)}{12}}{88200 - (12)(85)^2}$$

$$\beta_1 = \frac{47.5}{1500} = 0.032$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1(\bar{x}) = 2.79 - (0.032)(85) = 0.07$$

$$\hat{y} = 0.07 + 0.32x$$

** หมายเหตุ ค่าที่ได้อาจแตกต่างจากวิธีคำนวณ โดยวิธีอื่นๆเล็กน้อย เนื่องจากการปัดเศษ หรือทศนิยม

สมการที่ได้นี้คือ Regression หรือคือค่าในแนวแกน Y ทุกจุด บนเส้น Regression line จะมีค่าตามสมการที่ได้นี้ เมื่อเรารู้ค่า x เราก็สามารถรู้ค่า Response หรือค่าในแนวแกน Y ได้โดยการลากเส้นตั้งฉากกับ แกน Y จากจุดบนแกน X มาตัดกับ Regression line เราก็จะทราบได้ทันที [17]

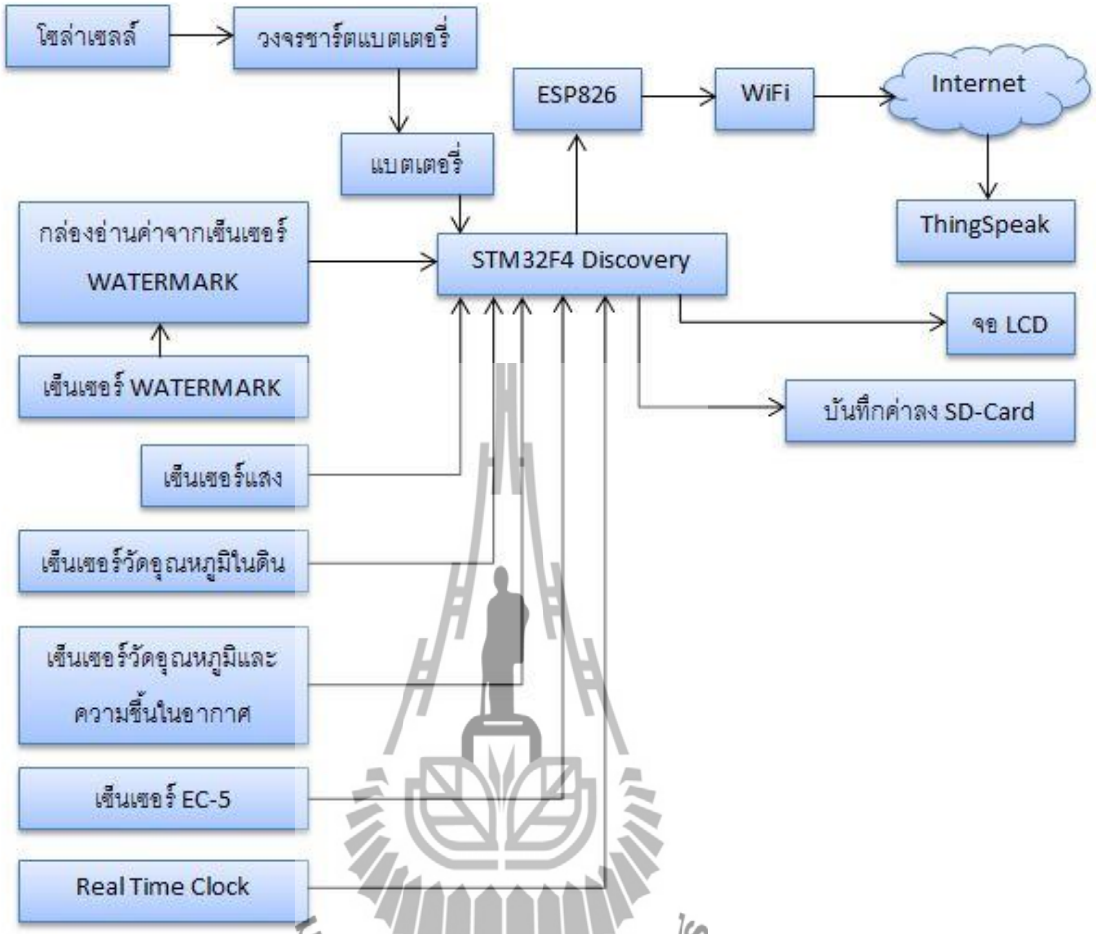
บทที่ 3
การออกแบบระบบ

3.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบระบบอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น เซ็นเซอร์แสง เซ็นเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ เซ็นเซอร์ EC-5 เซ็นเซอร์ WATERMARK และเซ็นเซอร์อุณหภูมิในดิน รวมไปถึง Real Time Clock การเก็บค่าต่างๆลงใน SD-Card และการส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการออกแบบกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK และการปรับเทียบค่าที่อ่านได้จากกล่องให้มีความใกล้เคียงกับ WATERMARK Meter และการออกแบบ วงจรแปลงแรงดันจากโซล่าเซลล์

3.2 การออกแบบระบบเบื้องต้น

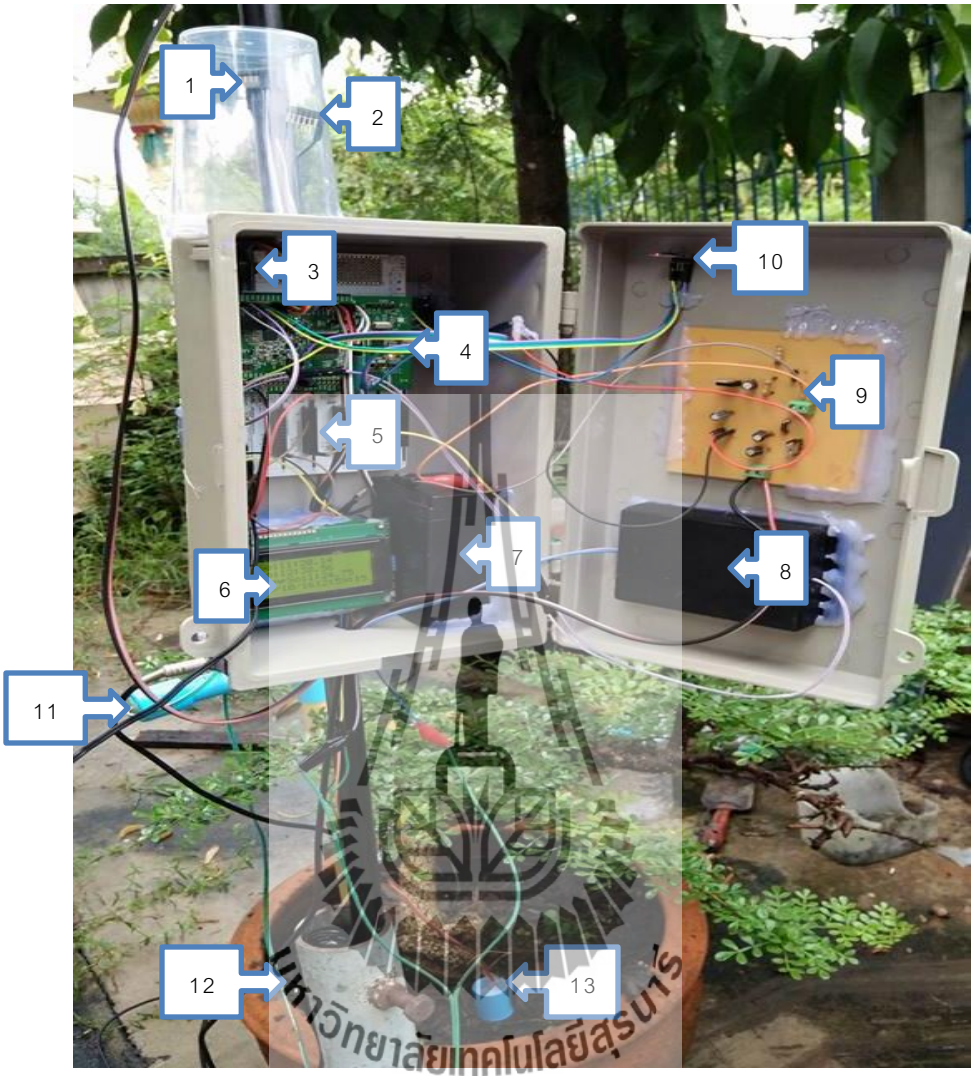
การออกแบบระบบใช้บอร์ด STM32F4 Discovery รับค่าจากเซ็นเซอร์แสง เซ็นเซอร์ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ เซ็นเซอร์ EC-5 เซ็นเซอร์ WATERMARK และเซ็นเซอร์อุณหภูมิในดิน มาแสดงค่าลงบนจอ LCD เก็บค่าต่างๆลงบน SD-Card และส่งไปยัง ThingSpeak โดยใช้ ESP 8266 ผ่าน WiFi และระบบใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยมีโซล่าเซลล์ที่มีกำลัง 10 วัตต์ ต่อกับวงจรชาร์จแบตเตอรี่ จาก 12 โวลต์ให้เหลือ 5 โวลต์เพื่อเป็นแหล่งจ่ายสำหรับบอร์ด STM32F4 Discovery จึงทำให้สามารถใช้งานในเวลากลางคืนซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ได้ นอกจากนั้นการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ยังต้องใช้กล่องอ่านค่าที่ออกแบบมาเพื่อให้บอร์ด STM32F4 Discovery สามารถอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ได้ ดังแผนภาพรวมของระบบในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพรวมของระบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.2 ภาพรวมของอุปกรณ์ที่ใช้งาน



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบต่างๆของระบบ

ส่วนประกอบของรูปที่ 3.3 มีดังนี้

1. เซ็นเซอร์ aMG Sense – Light
2. เซ็นเซอร์ aMG Sense - Humidity / Temperature
3. aMG High Precision Real Time Clock
4. บอร์ด STM32F4 Discovery
5. aMG F4 Connect 2

6. aMG CLCD 2

7. แบตเตอรี่

8. กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK

9. วงจรชาร์จแบตเตอรี่

10. ESP8266-01

11. เซ็นเซอร์ WATERMARK 200SS

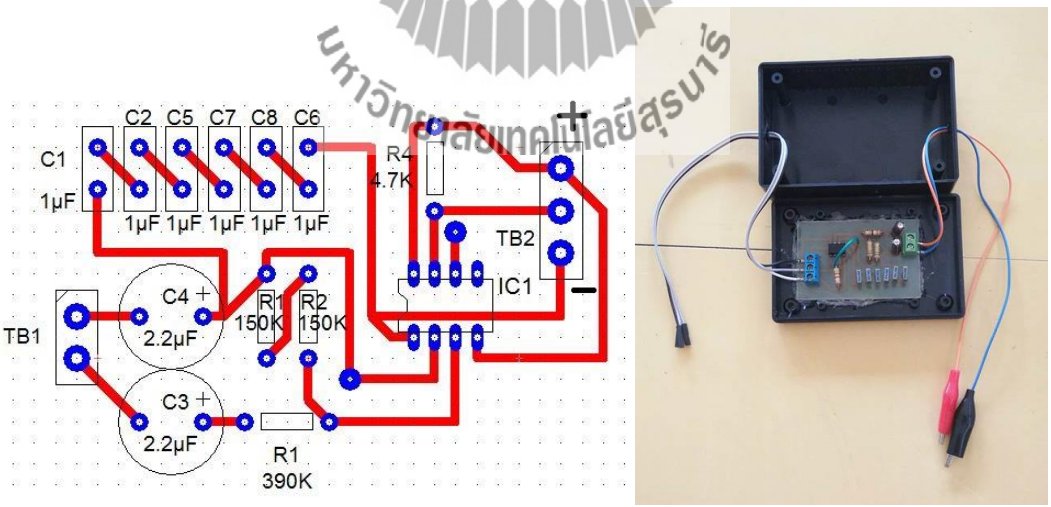
12. เซ็นเซอร์ Waterproof DS18B20

13. เซ็นเซอร์ EC-5

3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบวงจรที่ใช้ในโครงงานการปรับเทียบเซ็นเซอร์สำหรับระบบให้น้ำอัตโนมัติวงจรแรกคือ วงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ซึ่งเป็นวงจร Signal Conditioning การออกแบบเป็นดังรูป 3.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 (ก)(ข) วงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ทำงานที่ 3.3 โวลต์ดีซี ป้อนแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 3 ถึง 15 โวลต์ ใช้ IC NE555 (สามารถดูข้อมูลเบื้องต้นของ IC NE555 ได้จากตารางที่ 3.2) ต้องเชื่อมต่อขาที่ 6 ของ IC กับขาที่ 2 ของ IC และใช้ตัวเก็บประจุแบบ Film Capacitor ที่ C1,C2,C5,C6,C7,C8 เมื่อด้าน TB1 มีการ Open Circuit ความถี่ของวงจรจะอยู่ที่ประมาณ 100 Hz และเมื่อ Short Circuit วงจรจะมีความถี่อยู่ประมาณ 13 kHz ด้าน TB1 เป็นด้านที่ใช้ต่อกับเซ็นเซอร์ WATERMARK ด้านนี้ไม่มีขั้ว และด้าน TB2 จะใช้ต่อกับบอร์ด STM32F4 Discovery จุดบนใช้ต่อกับไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์ จุดกลางใช้ต่อกับขาสัญญาณ PD13 และจุดล่างสุดใช้ต่อกราวด์ วงจรอ่านค่านี้จะต้องนำความถี่ที่อ่านได้ไปปรับเทียบกับความต้านทานดังแสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อใช้ในการ Interpolate ในบอร์ด STM32F4 Discovery ที่มีการโปรแกรมการทำงานไว้ซึ่งจะทำให้ได้ค่า kPa ออกมาซึ่งเป็นค่าศักย์น้ำในดินการออกแบบโปรแกรมจะกล่าวในการออกแบบซอฟต์แวร์

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ IC NE555

ขา	ชื่อ	หน้าที่
1	GND	กราวด์ หรือ คอมมอนส์
2	TRIG	พัลส์สั้นกระตุ้นทริกเกอร์เพื่อเริ่มนับเวลา
3	OUT	ช่วงการนับเวลา เอาต์พุตจะอยู่ที่ +VCC
4	RESET	ช่วงเวลานับ อาจหยุดโดยการใช้พัลส์รีเซ็ต
5	CTRL	แรงดันควบคุมยอมให้เข้าถึงตัวหารแรงดันภายใน (2/3 VCC)
6	THR	เทรสโฮลด์ที่จุดช่วงเวลานับ
7	DIS	เชื่อมต่อกับคาปาซิเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งเวลาคายประจุของมันจะมีผลต่อช่วงเวลาการนับ
8	VCC	แรงดันจ่ายไฟบวก ซึ่งต้องอยู่ในช่วง +3 ถึง + 15 V

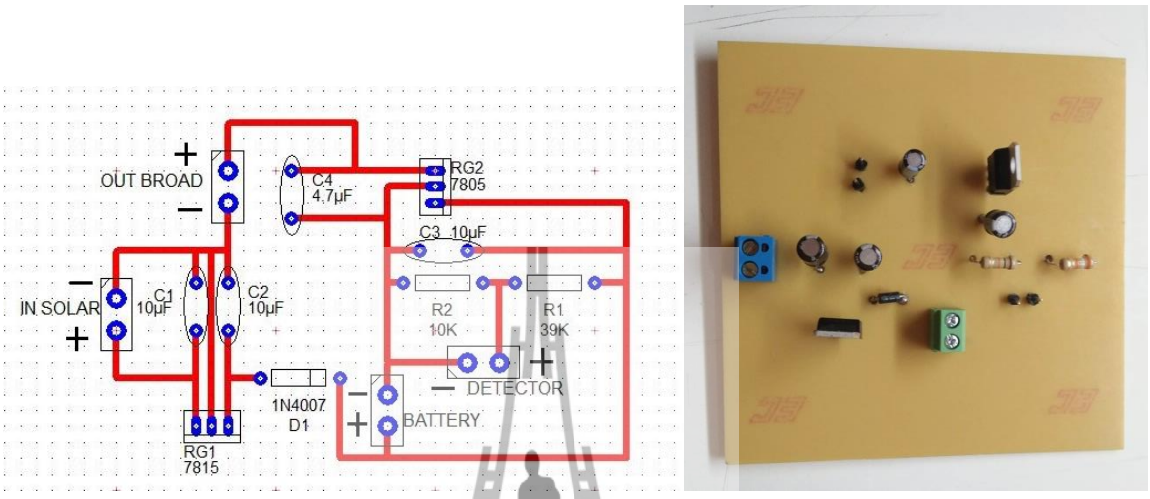
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 ความต้านทานและความถี่ของกล่องอ่านค่า

ความต้านทาน (Ohm)	ความถี่ (Hz)	ความต้านทาน (Ohm)	ความถี่ (Hz)
10,000,000	102	512	9,828
261,750	210	384	10,521
201,340	242	256	11,300
130,870	316	192	11,777
100,750	378	128	12,289
65,400	514	96	12,610
50,450	634	64	12,865
32,070	907	48	13,033
24,010	1,145	32	13,188
16,830	1,520	24	13,331
11,870	1,993	16	13,356
8,192	2,592	12	13,420
6,144	3,143	8	13,429
4,096	4,098	6	13,476
3,072	4,835	4	13,480
2,048	5,962	3	13,491
1,024	7,945	2	13,512
768	8,795	0	13,520

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วงจรที่สองคือวงจรชาร์จแบตเตอรี่ (Voltage Regulator) ซึ่งจะทำการแปลงและควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 12 โวลต์ ให้คงที่เท่ากับ 5 โวลต์ สำหรับบอร์ด STM32F4 Discovery



(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 วงจรชาร์จแบตเตอรี่จากโซล่าเซลล์

จากรูปที่ 3.5 วงจรรับอินพุตกระแสตรงแรงดัน 15 ถึง 20 โวลต์ จากโซล่าเซลล์ผ่านตัวเก็บประจุ C1 ทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบ จากนั้นเข้าไปยังไอซี RG1 เบอร์ 7815 (สามารถดูข้อมูลเบื้องต้นของไอซีเบอร์ 7815 ได้จากตารางที่ 3.3) ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ 15 โวลต์ และตัวเก็บประจุ C2 ทำหน้าที่กรองแรงดันให้เรียบเพื่อชาร์ตแบตเตอรี่ โดยมีไดโอด D1 เบอร์ 1N4007 ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับจากแบตเตอรี่สู่โซล่าเซลล์ในกรณีที่แรงดันอินพุตต่ำกว่าแรงดันแบตเตอรี่ จากนั้นแรงดัน 12 โวลต์จากแบตเตอรี่จะผ่านไปยัง C3 ซึ่งทำหน้าที่กรองแรงกันให้เรียบเพื่อส่งต่อไปยังไอซี RG2 เบอร์ 7805 (สามารถดูข้อมูลเบื้องต้นของไอซีเบอร์ 7805 ได้จากตารางที่ 3.2) ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ 5 โวลต์ และผ่าน C4 เพื่อกรองแรงดันให้เรียบก่อนออกเอาต์พุตซึ่งเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ให้กับบอร์ด STM32F4 Discovery

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเบื้องต้นของไอซีเบอร์ 7815

ขาสัญญาณ	หน้าที่
IN	อินพุต
REF	กราวด์
OUT	เอาต์พุต 15 โวลต์

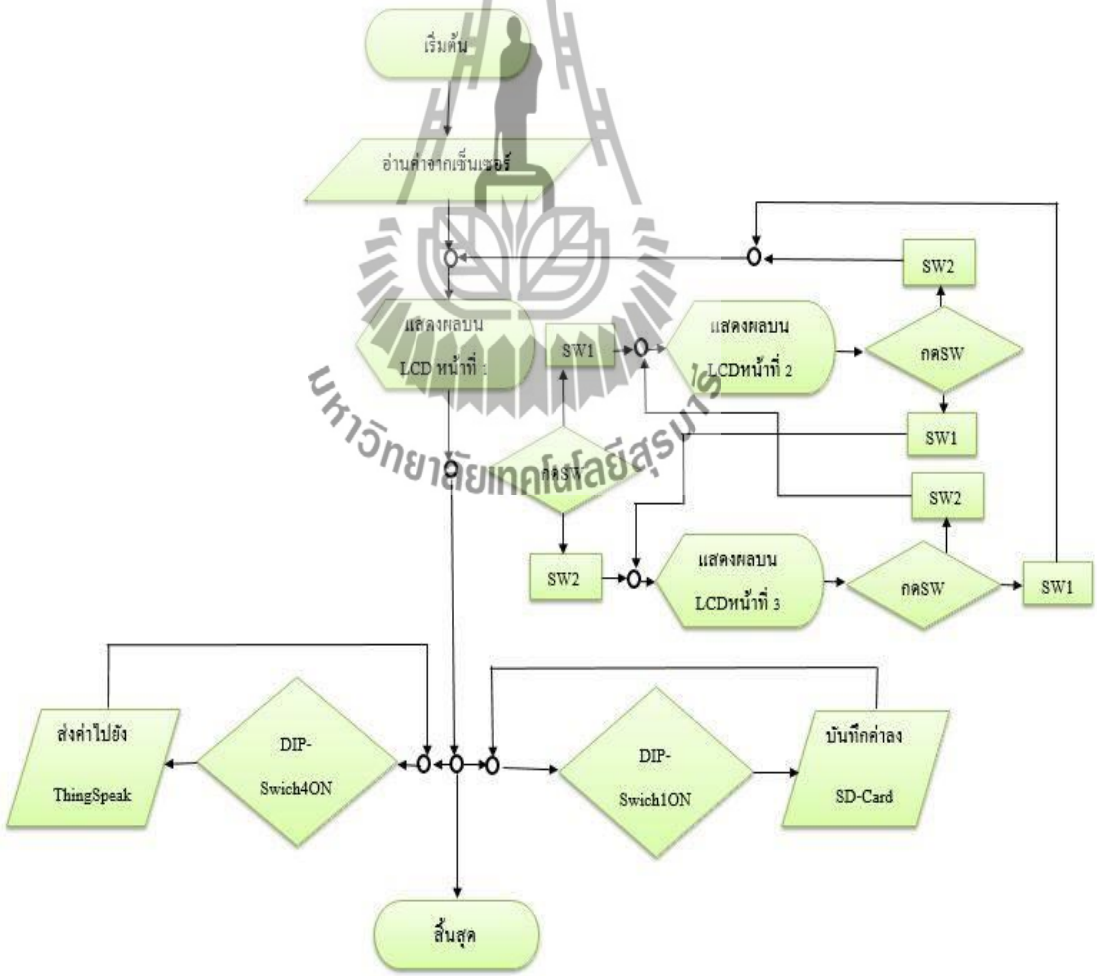
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของไอซีเบอร์ 7805

ขาสัญญาณ	หน้าที่
IN	อินพุต
REF	กราวด์
OUT	เอาต์พุต 5 โวลต์

3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์

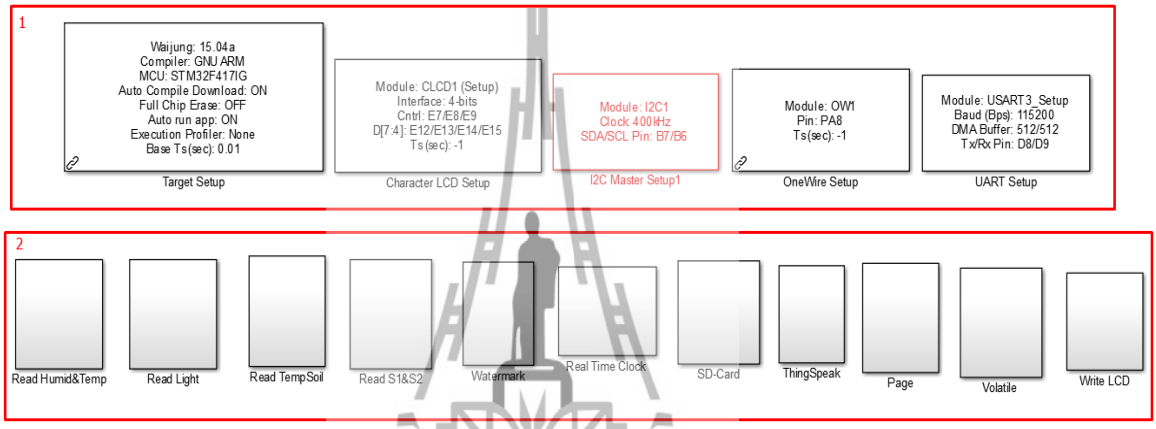
แผนภาพการทำงานของโปรแกรม

การทำงานโดยรวมของโปรแกรมสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การทำงานโดยรวมของโปรแกรม

การออกแบบซอฟต์แวร์นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (เขียนกำกับส่วนด้วยตัวเลขและกรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) คือ ส่วนแรกเป็นบล็อกเริ่มต้น ส่วนที่สองเป็นบล็อกทำงานต่างๆ 11 บล็อก คือ บล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ บล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แสง บล็อกอ่านค่าจากอุณหภูมิในดิน บล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ EC-5 บล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK บล็อกแสดงเวลา บล็อกบันทึกค่าลง SD-Card บล็อกส่งค่าไปยัง ThingSpeak บล็อกเปลี่ยนหน้าจอแสดงผล บล็อกเก็บค่าตัวแปรต่างๆ และบล็อกเขียนค่าต่างๆลงจอ LCD ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 บล็อกทั้งหมดแบ่งเป็นสองส่วน

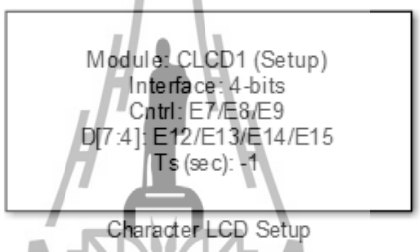
ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมเข้าไปที่ MATLAB เลือกเมนู Simulink Library แล้วเลือก New Model จะเป็นหน้าจอเปล่าให้เราทำการเลือกบล็อกโดยการเลือก Library Browser แล้วทำการลากบล็อกต่างๆที่ต้องการลงมาใส่ในหน้าจอ บล็อกที่ใช้ในการโปรแกรมบอร์ด STM32F4 Discovery นั้นจะมาจาก Waijung Blockset ขั้นตอนการติดตั้งจะอยู่ในส่วนของภาคผนวก ก

ส่วนที่ 1 (หมายเลข 1 รูปที่ 3.5) ส่วนของการประกาศบล็อกเริ่มต้น

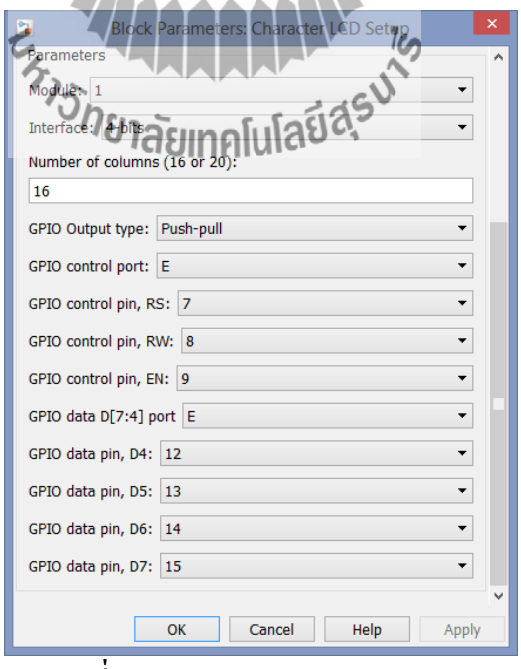
1. ทำการลากบล็อก Target Setup ดังรูปที่ 3.8 ตัว Compiler ในโครงงานนี้เลือกใช้ GNU ARM เป็น Waijung เวอร์ชั่น 15.04a หากเราต้องการลบข้อมูลที่อยู่ในบอร์ดก่อนหน้าให้เลือก Full Chip Erase: ON

รูปที่ 3.8 บล็อก Target Setup

2. ทำการลากบล็อก Character LCD Setup ดังรูปที่ 3.9 แล้วทำการกำหนดค่าต่างๆดังรูปที่ 3.10 (ทำการเชื่อมต่อขาสัญญาณของจอ LCD เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery ดังตารางที่ 3.5)



รูปที่ 3.9 บล็อก Character LCD Setup



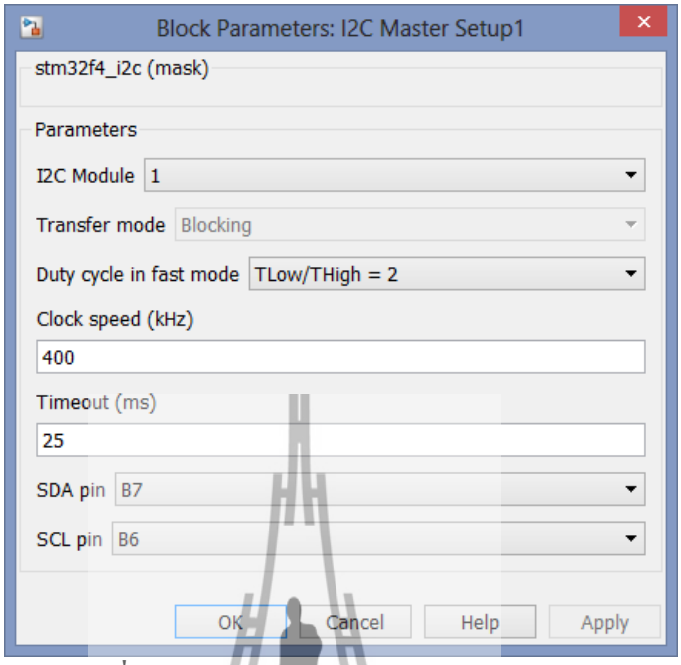
รูปที่ 3.10 ค่าต่างๆของ Character LCD Setup

ตารางที่ 3.5 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของจอ LCD เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery

ขาสัญญาณของจอ LCD	ขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery
RS	PE7
RW	PE8
EN	PE9
D4	PE12
D5	PE13
D6	PE14
D7	PE15
GND	GND
VCC	5 V

3. ทำการลากบล็อก I2C Master Setup ดังรูปที่ 3.11 แล้วทำการกำหนดค่าต่างๆดังรูปที่ 3.12 (ทำการเชื่อมต่อขาสัญญาณของโมดูล aMG High Precision Real Time Clock เข้ากับขาสัญญาณของ aMG F4Connect ดังตารางที่ 3.6 เชื่อมต่อขาสัญญาณของโมดูล aMG Sense - Humidity / Temperature และเชื่อมต่อขาสัญญาณของโมดูล aMG Sense – Light ดังตารางที่ 3.7)

รูปที่ 3.11 บล็อก I2C Master Setup



รูปที่ 3.12 ค่าต่างๆของบล็อก I2C Master Setup

ตารางที่ 3.6 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของ aMG High Precision Real Time Clock เข้ากับขาสัญญาณของ aMG F4 Connect

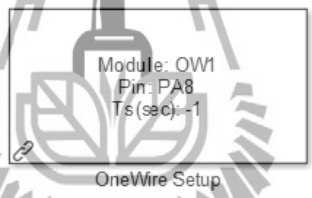
ขาสัญญาณของโมดูล aMG High Precision Real Time Clock	**ขาสัญญาณของ aMG F4 Connect**
RTS	RTS
INT/SQW	INT/SQW
32kHz	32kHz
VCC	VCC
SCL	SCL
SDA	SDA
GND	GND

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

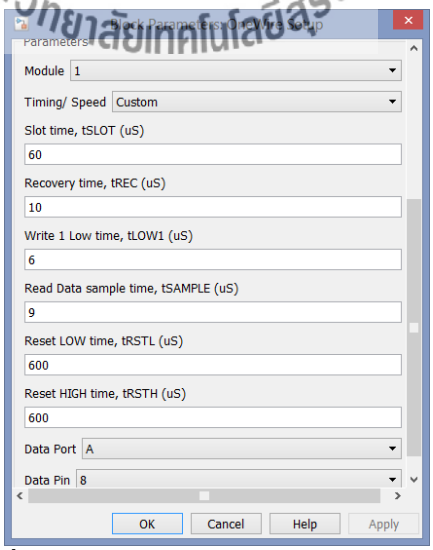
ตารางที่ 3.7 การเชื่อมต่อขาสัญญาณของ aMG Sense - Humidity / Temperature และ aMG Sense – Light เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery

ขาสัญญาณของโมดูล aMG Sense - Humidity / Temperature และขาสัญญาณของโมดูล aMG Sense – Light	**ขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery**
SCL	PB6
SDA	PB7
GND	GND
VCC	3 V

4. ทำการลากบล็อก OneWire Setup ดังรูปที่ 3.13 แล้วทำการกำหนดค่า Data Port เป็น A Data Pin เป็น 8 และค่าต่างๆดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 บล็อก OneWire Setup



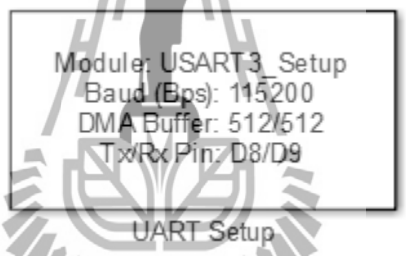
รูปที่ 3.14 ค่าต่างๆของบล็อก OneWire Setup

ตารางที่ 3.8 การเชื่อมสายสัญญาณของเซ็นเซอร์ Waterproof DS18B20 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery

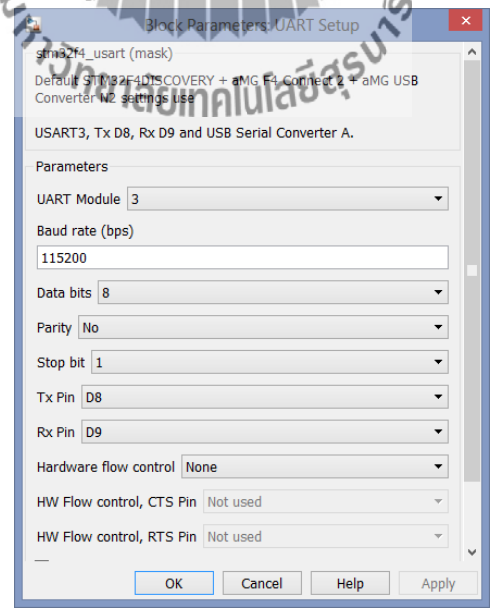
สายสัญญาณของโมดูล Waterproof DS18B20	ขาสัญญาณของ STM32F4Discovery
สีเหลือง	PA8
สีแดง	3 V
สีดำ	GND

สายสีแดงและสายสีเหลือจะต้องต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 4.7 กิโลโอห์ม

5. ทำการลากบล็อก UART Setup ดังรูปที่ 3.15 แล้วทำการกำหนดค่าต่างๆ เช่น อัตราการส่งข้อมูลเป็น 115200 บิตต่อวินาที และอื่นๆ ดังรูปที่ 3.16 (ทำการเชื่อมต่อขาสัญญาณของโมดูล ESP8266 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4Discovery ดังตารางที่ 3.9)



รูปที่ 3.15 บล็อก UART Setup



รูปที่ 3.16 ค่าต่างๆของบล็อก UART Setup

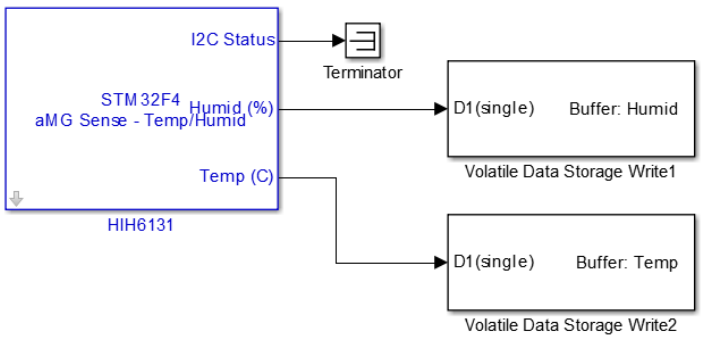
ตารางที่ 3.9 การเชื่อมขาสัญญาณของ ESP8266 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery

ขาสัญญาณของโมดูล ESP8266	**ขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery**
Rx	PD8
VCC	3 V
CH_PD	3 V
Tx	PD9
GND	GND

ส่วนที่ 2 (หมายเลข 2 รูปที่ 3.4) ส่วนของการทำงานต่างๆ

1. Read Humid&Temp รูปที่ 3.17 เป็นบล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นในอากาศซึ่งส่งไปยังขาสัญญาณ I2C ของบอร์ด STM32F4 Discovery และภายในบล็อกแสดงดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.17 บล็อก Read Humid&Temp

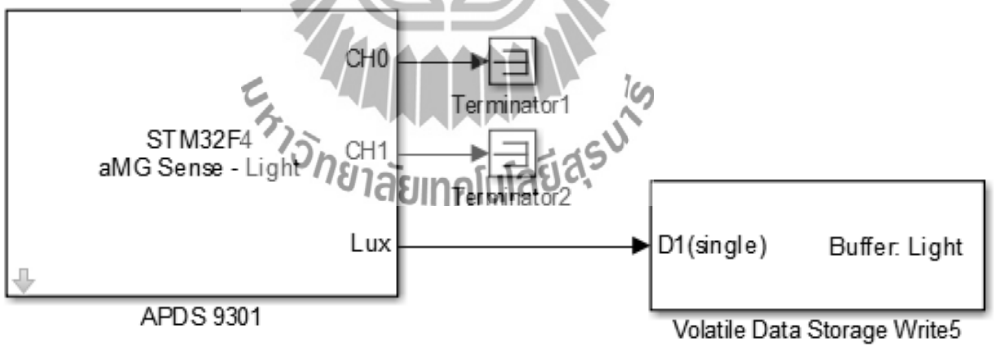


รูปที่ 3.18 ภายใน Read Humid&Temp

บล็อก HIH6131 จะอยู่ใน Waijung Blockset > Hardware Modules > aMG Sense Temp humid บล็อกนี้จะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ aMG Sense - Humidity / Temperature จะเก็บค่า Humid(%) เก็บไว้ในตัวแปลชื่อ Humid ประเภทข้อมูลเป็น single และเก็บค่า Temp (C) ไว้ในตัวแปลชื่อ Temp ประเภทข้อมูลเป็น single

2. Read Light รูปที่ 3.19 เป็นบล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์แสงซึ่งส่งไปยังขาสัญญาณ I2C ของบอร์ด STM32F4 Discovery และภายในบล็อกแสดงดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.19 บล็อก Read Light

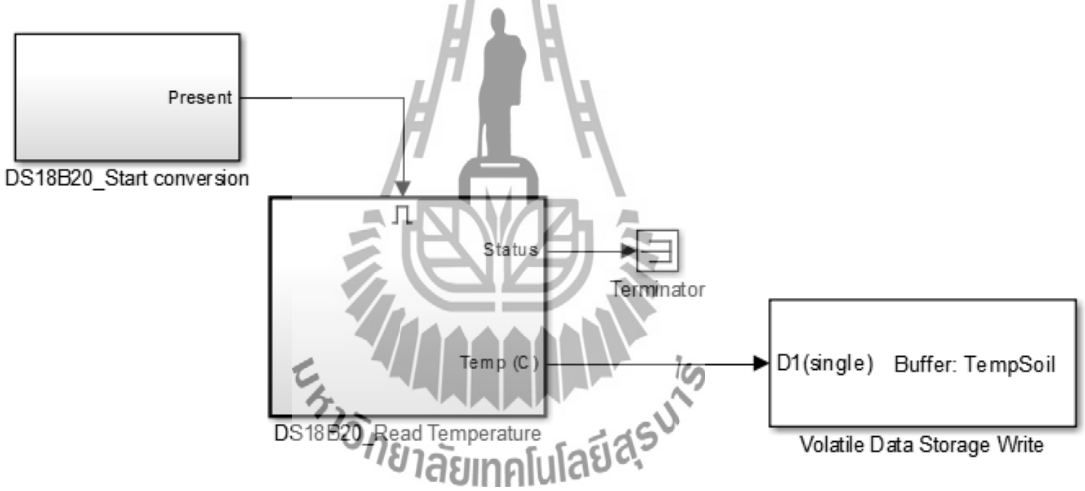


รูปที่ 3.20 ภายในบล็อกของ Read Light

บล็อก APDS 9301 จะอยู่ใน Waijung Blockset > Hardware Modules > aMG Sense Light บล็อกนี้จะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ aMG Sense – Light จะเก็บค่า Lux เก็บไว้ในตัวแปลชื่อ Light ประเภทข้อมูลเป็น single ส่วน CH0 และ CH1 ไม่ได้ใช้งานจึงใส่บล็อก Terminator

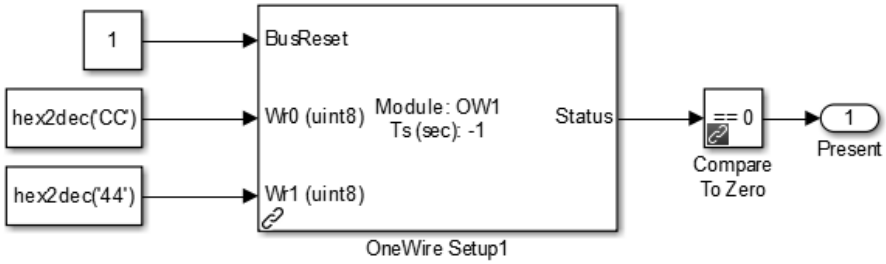
3. Read TempSoil รูปที่ 3.21 เป็นบล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิในดินซึ่งส่งไปยังขาสัญญาณ OneWire ของบอร์ด STM32F4 Discovery และภายในบล็อกแสดงดังรูปที่ 3.22

รูปที่ 3.21 Read TempSoil

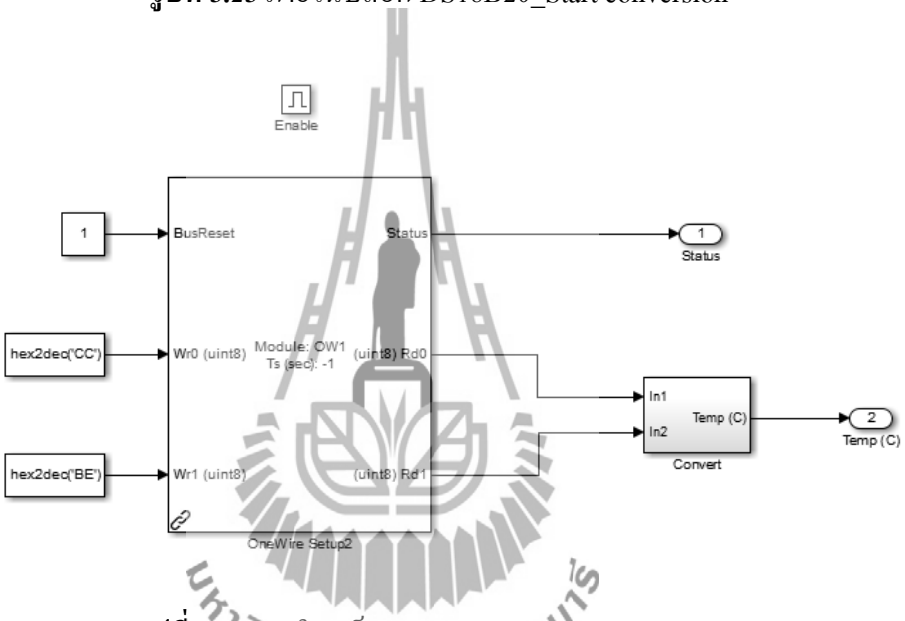


รูปที่ 3.22 ภายในบล็อก Read TempSoil

ภายในบล็อก DS18B20_Start conversion รูปที่ 3.23 และภายในบล็อก DS18B20_Read Temperature รูปที่ 3.24 จะนำค่าที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในตัวแปรชื่อ TempSoil ประเภทข้อมูลเป็นแบบ single



รูปที่ 3.23 ภายในบล็อก DS18B20_Start conversion



รูปที่ 3.24 ภายในบล็อก DS18B20_Read Temperature

4. Read S1&S2 รูปที่ 3.25 เป็นบล็อกอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ EC-5 แปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล ในโครงงานนี้ใช้เซ็นเซอร์ EC-5 สองตัว การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ EC-5 เข้ากับบอร์ด STM32F4 Discovery จะแสดงในตารางที่ 3.10

รูปที่ 3.25 บล็อก Read S1&S2

ตารางที่ 3.10 การเชื่อมสายสัญญาณ EC-5 เข้ากับขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery

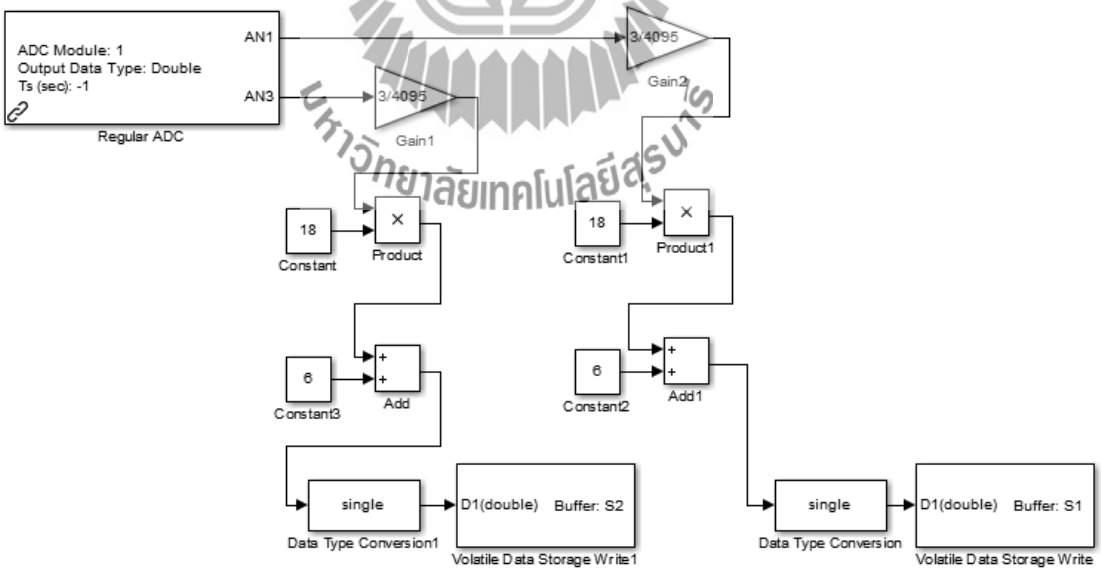
สายสัญญาณของ EC-5	**ขาสัญญาณของ STM32F4 Discovery**
สายสีแดง	PA1
สายสีขาว	3 V
สายสีดำ	GND

ภายในบล็อก Read S1&S2 รูปที่ 3.26 จะเป็นบล็อก Regular ADC ซึ่งใช้แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล และต้องใช้สมการที่ 3.1 ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าความชื้นในดิน เมื่อคำนวณเสร็จก็จะแปลงข้อมูลเป็นประเภท single แล้วเก็บไว้ในตัวแปร S1 และ S2

ความชื้นในดิน = (18 × (A × (3 / 4095)))+ 6 **สมการที่ 3.1** [18]

โดยที่

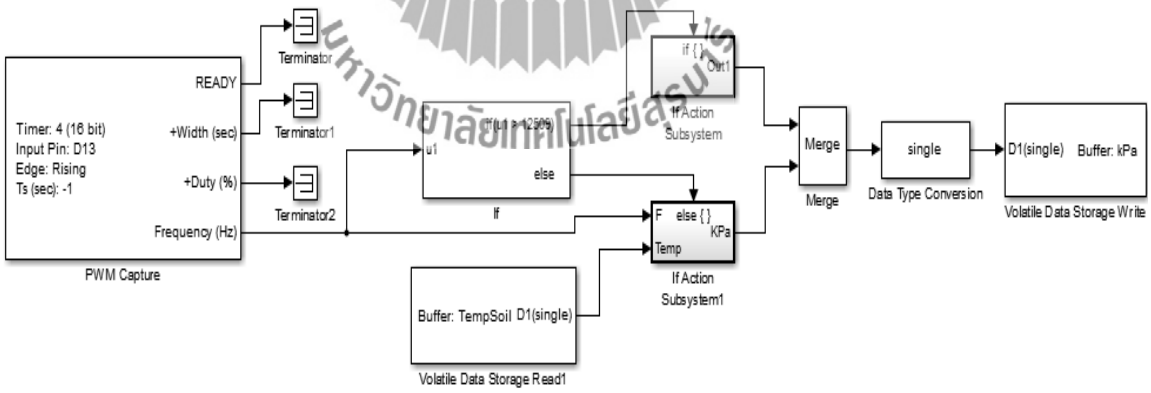
A คือค่าที่อ่านได้จากบล็อกแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล



รูปที่ 3.26 ภายในบล็อก Read S1&S2

5. Watermark รูปที่ 3.27 เป็นบล็อกที่เอาความถี่และความต้านทานของกล่องอ่านค่าเซ็นเซอร์ WATERMARK ตารางที่ 3.2 เมื่อได้ค่าความถี่มาก็จะนำไปเปรียบเทียบถ้าความถี่เกิน 12509 Hz ก็จะให้แสดงค่าเป็นศูนย์ถ้าไม่เป็นศูนย์ก็จะนำค่าไปทำการ Interpolate จะได้ค่าความต้านทานของความถี่ที่กล่องอ่านค่าอ่านได้ แล้วนำค่าดังกล่าวมาคูณกับค่าอุณหภูมิในดิน โดยใช้สมการที่ 2.3 แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณในสมการที่ 2.2 เมื่อได้ค่าออกมาก็จะนำเอาไปคำนวณในสมการที่หาได้จากการ Curve Fitting สมการที่ 3.2 ในการทำ Curve Fitting จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค และภายในของบล็อก Watermark ดังรูปที่ 3.28

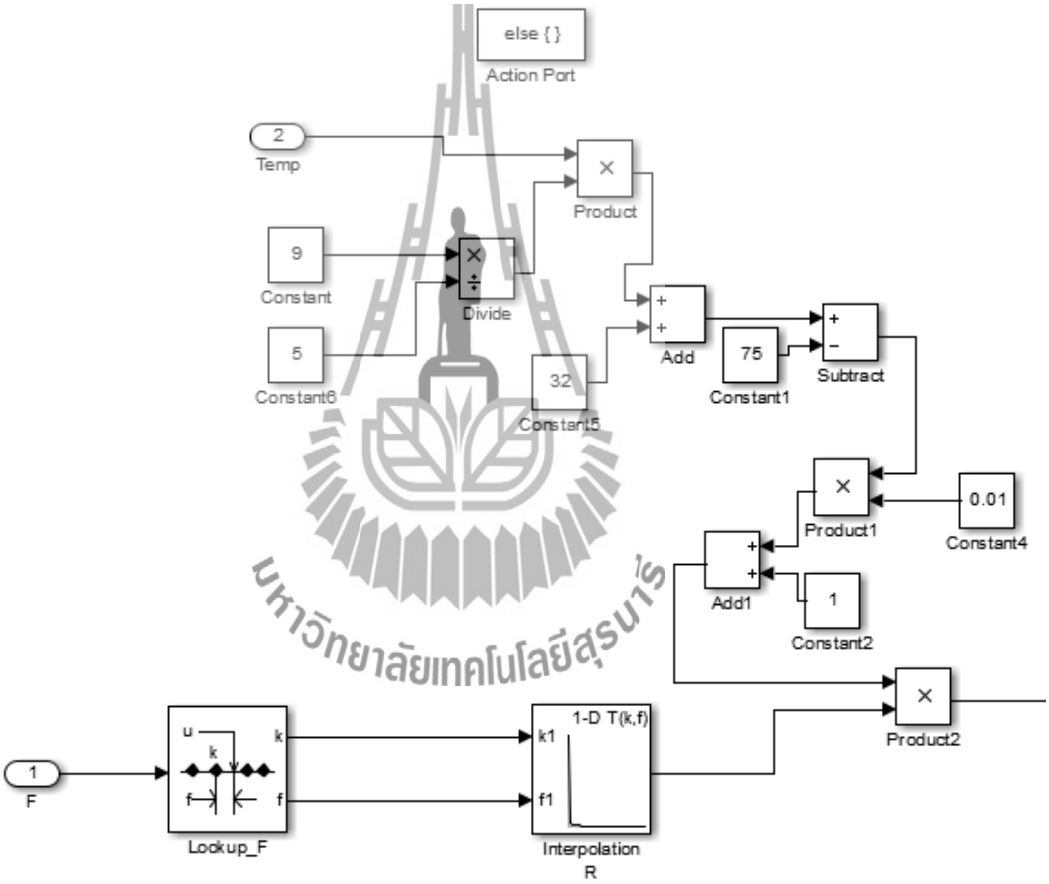
รูปที่ 3.27 บล็อก Watermark



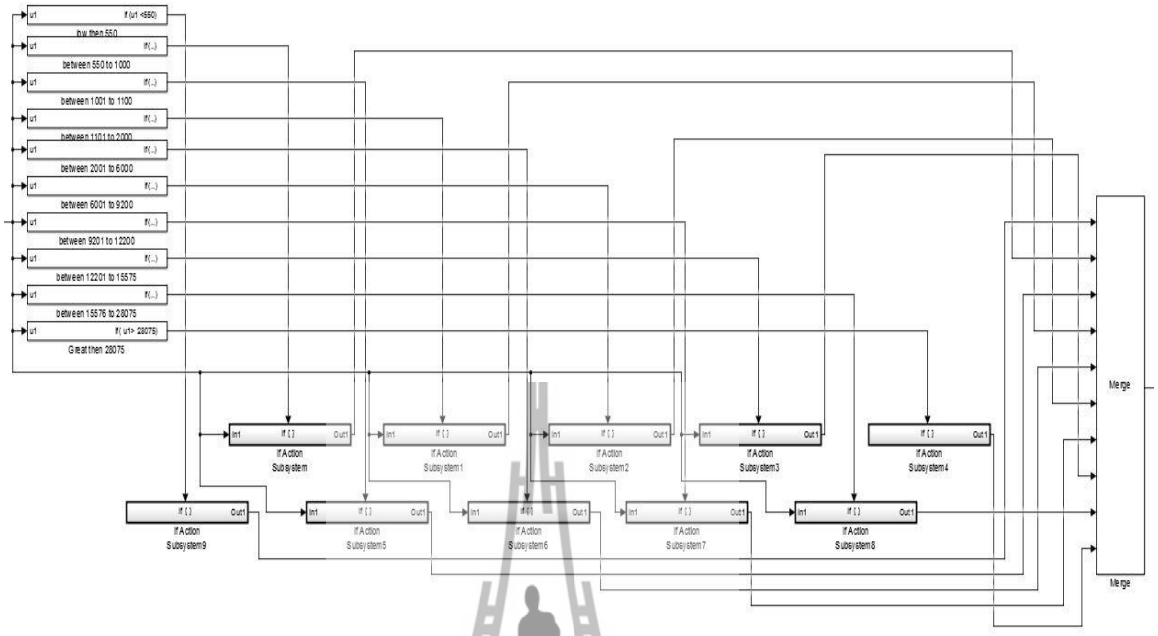
รูปที่ 3.28 ภายในบล็อก Watermark

$f(x) = p1*x + p2$; p1 = 0.9951, p2 = 1.206 **สมการที่ 3.2**

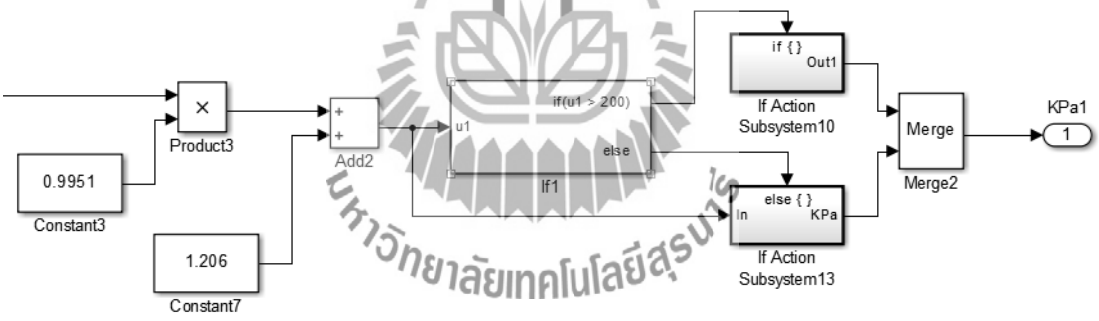
ภายในบล็อก If Action Subsystem1 จะรับค่าความถี่จากกล่องอ่านค่าเซ็นเซอร์WATERMARK ซึ่งบล็อก Lookup_F จะต้องป้อนความถี่ในช่อง Value เรียงลำดับจากน้อยไปมาก เช่น [102 210 …] ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 3.2 และบล็อก Interpolation R จะต้องป้อนค่าความต้านทานตารางที่ 3.2 ในช่อง Value จากมากไปน้อย เช่น [10,000,000 261,750 …] แล้วนำค่าอุณหภูมิในดินมาคำนวณบล็อกนี้เป็นการออกแบบที่ใช้พื้นที่มากจะแสดงในรูปที่ 3.29 (ก)(ข)(ค) เมื่อคำนวณค่าเสร็จแล้วก็จะแปลงเป็นข้อมูลประเภท single แล้วเก็บไว้ในตัวแปร kPa



รูปที่ 3.29 (ก) ภายในของบล็อก If Action Subsystem1



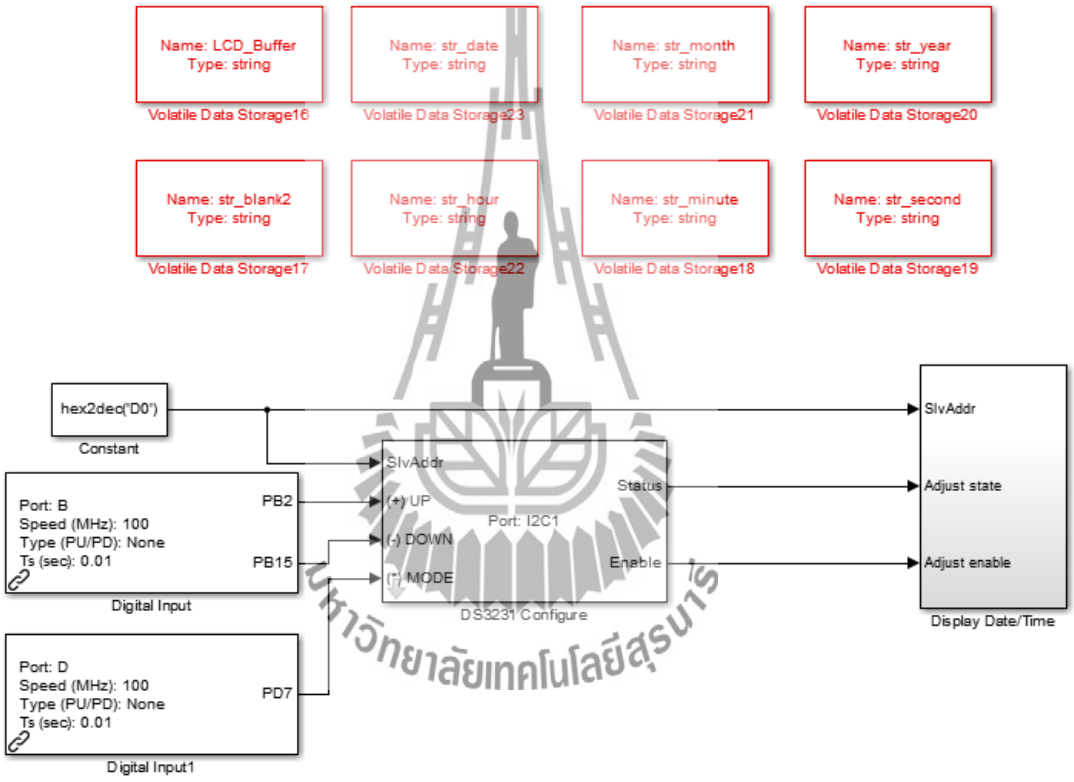
รูปที่ 3.29 (ข) ภายในของบล็อก If Action Subsystem1



รูปที่ 3.29 (ค) ภายในของบล็อก If Action Subsystem1

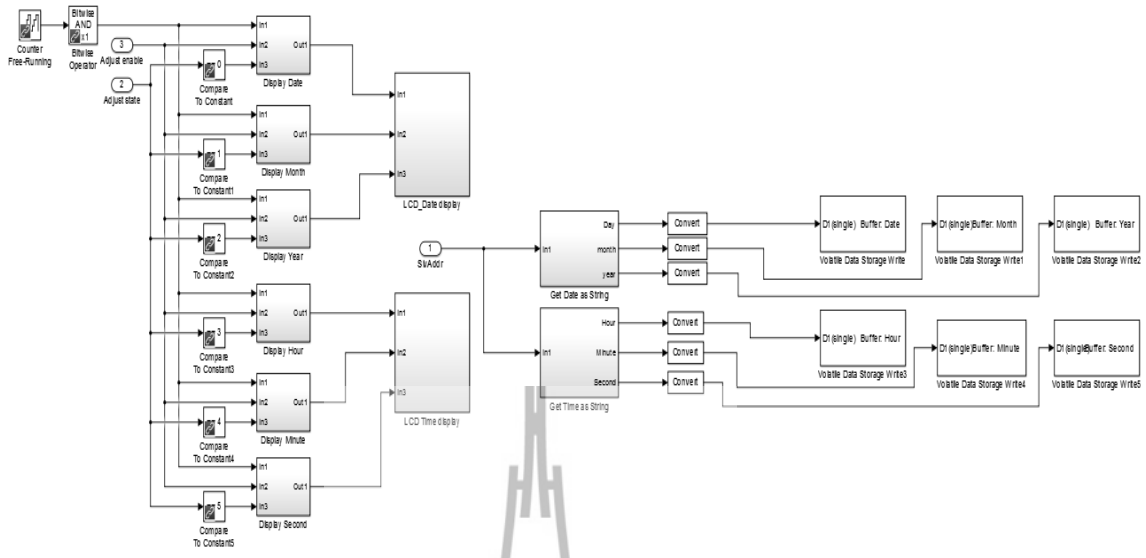
6. Real Time Clock รูปที่ 3.30 เป็นบล็อกที่ใช้เป็นฐานข้อมูลเวลาของระบบ โดยส่งข้อมูลไปยังขา I2C ของบอร์ด STM32F4 Discovery ในบล็อกนี้จะแสดงเวลาในบรรทัดที่ 4 ของจอ LCD จะเป็นข้อมูล วัน/เดือน/ปี ชั่วโมง:นาที:วินาที ตัว aMG High Precision Real Time Clock มีแบตเตอรี่ในตัวทำให้เวลาไม่ป้อนไฟให้กับบอร์ดแต่นาฬิกาก็ยังทำงานต่อไป และสามารถตั้งค่านาฬิกาได้โดยกด Switch 3 ค้างไว้ 3 วินาที จะทำให้ตัวเลขกระพริบเราก็กด Switch 1 เพื่อเพิ่มค่าและกด Switch 2 เพื่อลดค่า แล้วกด Switch 3 หนึ่งครั้งเพื่อตั้งเดือน เมื่อตั้งค่าเสร็จให้กด Switch 3 ค้างไว้ 3 วินาที ตัวเลขที่กระพริบอยู่ก็จะเป็นปกติ ภายในบล็อก Real Time Clock รูปที่ 3.31

รูปที่ 3.30 บล็อก Real Time Clock



รูปที่ 3.31 ภายในบล็อก Real Time Clock

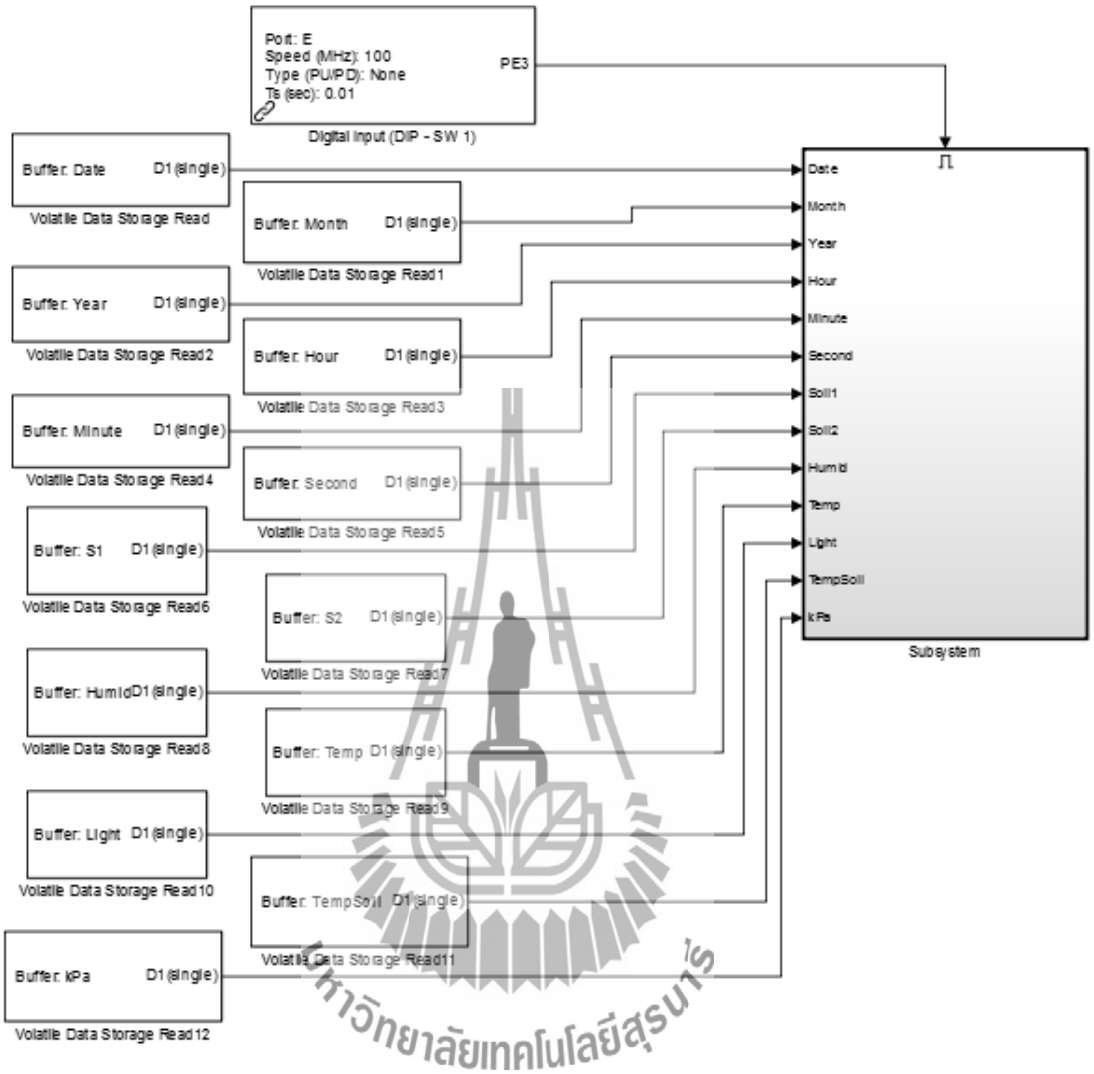
บล็อกสีแดงจะเป็นบล็อกที่ใช้เก็บค่า วัน/เดือน/ปี ชั่วโมง:นาที:วินาที และภายในบล็อก Display Date/Time รูปที่ 3.32 เป็นการจัดให้ข้อมูลเวลาแสดงบนหน้าจอ LCD แถวที่ 4 นอกจากนี้ยังมีการเก็บค่าวันไว้ในตัวแปรชื่อ Date เก็บค่าเดือนไว้ในตัวแปรชื่อ Month เก็บค่าปีไว้ในตัวแปรชื่อ Year เก็บค่าชั่วโมงไว้ในตัวแปรชื่อ Hour เก็บค่านาทีไว้ในตัวแปรชื่อ Minute และเก็บค่าวินาทีไว้ในตัวแปรชื่อ Second ค่าของตัวแปรพวกนี้จะเก็บไว้เพื่อบันทึกค่าลงใน SD-Card



รูปที่ 3.32 ภายในบล็อก Display Date/Time

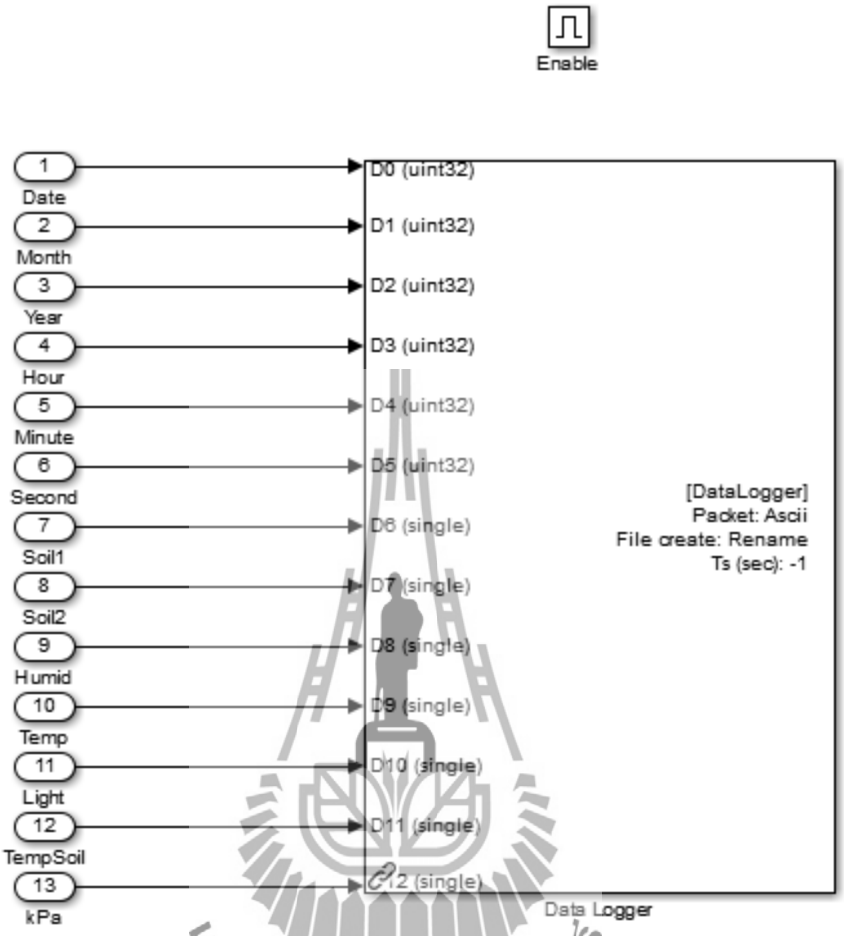
7. SD-Card รูปที่ 3.33 เป็นบล็อกที่บันทึกค่าต่างๆลงไปใน SD-Card โดยภายในบล็อก SD-Card รูปที่ 3.34 ก็จะเป็นคำใส่อ่านค่าจากตัวแปรต่างๆ เมื่อ DIP-Switch 1 ON ก็จะทำการบันทึกค่าลงใน SD-Card

รูปที่ 3.33 บล็อก SD-Card



รูปที่ 3.34 ภายในบล็อก SD-Card

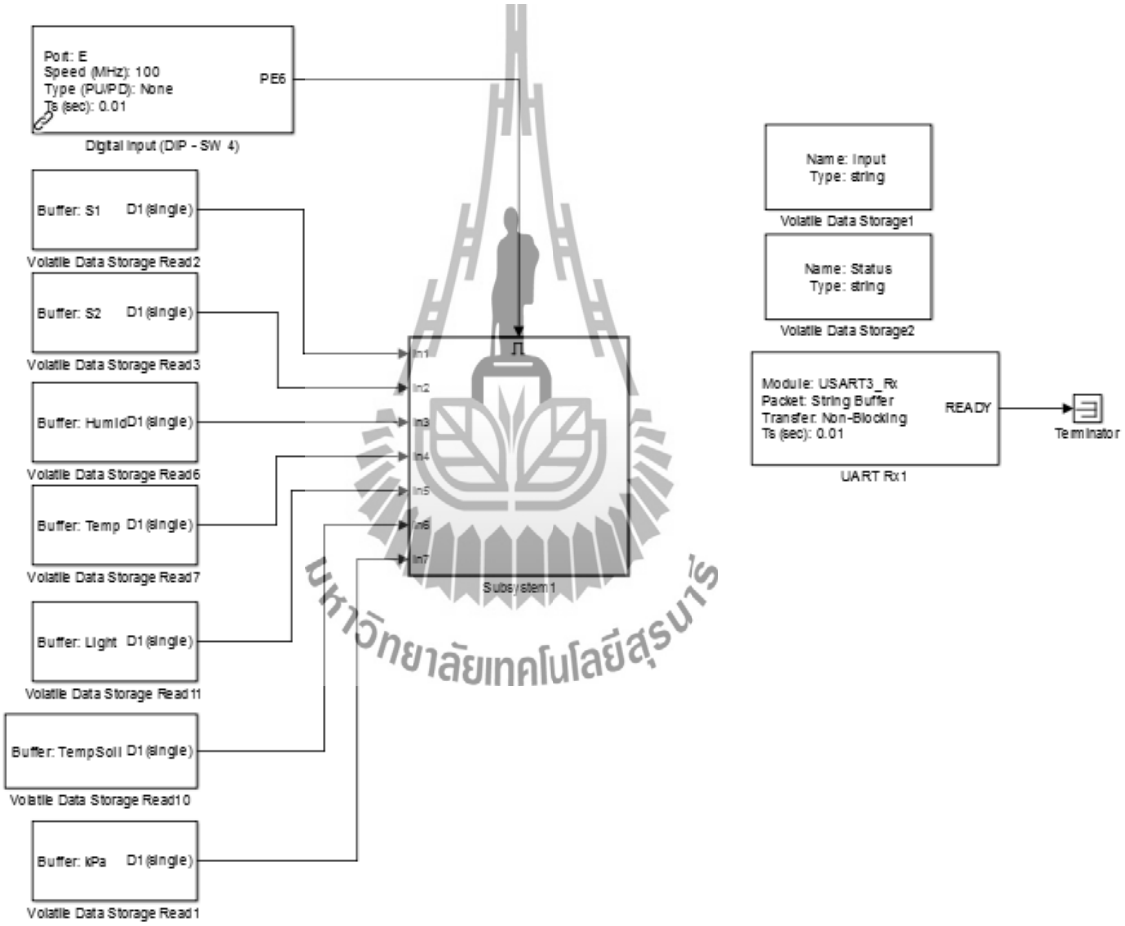
บล็อก Subsystem จะทำงานก็ต่อเมื่อ DIP-Switch 1 ON ภายในบล็อก Subsystem เป็นบล็อก Data Logger รูปที่ 3.35 ตั้งค่าให้ บล็อก Data Logger ดังนี้ File name: 'data.txt', Packet mode เป็น Ascii, Ascii format: '%u/%u/%u,%u:%u:%u Soil1=%.2f, Soil2=%.2f, Humid=%.2f, Temp=%.2f, Light=%.2f, TempSoil=%.2f, kPa=%.2f\r\n' เมื่อเปิด SD-Card ไฟล์จะถูกบันทึกชื่อเป็น data.txt ที่อยู่ภายใน SD-Card เมื่อเปิด SD-Card เข้าไปก็จะพบไฟล์ที่เราสั่งบันทึกไว้



รูปที่ 3.35 ภายในบล็อก Subsystem

8. ThingSpeak รูปที่ 3.36 เป็นบล็อกที่ส่งค่าต่างๆไปยัง ThingSpeak โดยใช้ ESP8266 ผ่าน WiFi เมื่อ DIP-Switch 4 ON ค่าต่างๆก็จะถูกส่งไปยัง ThingSpeak ภายในบล็อก ThingSpeak รูปที่ 3.37 มีตัวแปรชื่อ Input ซึ่งจะแสดงคำว่า Status ในบรรทัดที่ 2 ของจอ LCD หน้าที่ 3 และตัวแปรชื่อ Status จะแสดงสถานของ ESP8266 ว่าเชื่อมต่อได้หรือไม่ ถ้าเชื่อมต่อได้ จะแสดงคำว่า WIFI GOT IP ถ้าเชื่อมต่อไม่ได้จะแสดงคำว่า WIFI DISCONNECTED โดยค่าที่แสดงได้ค่าจากบล็อก UART Rx1

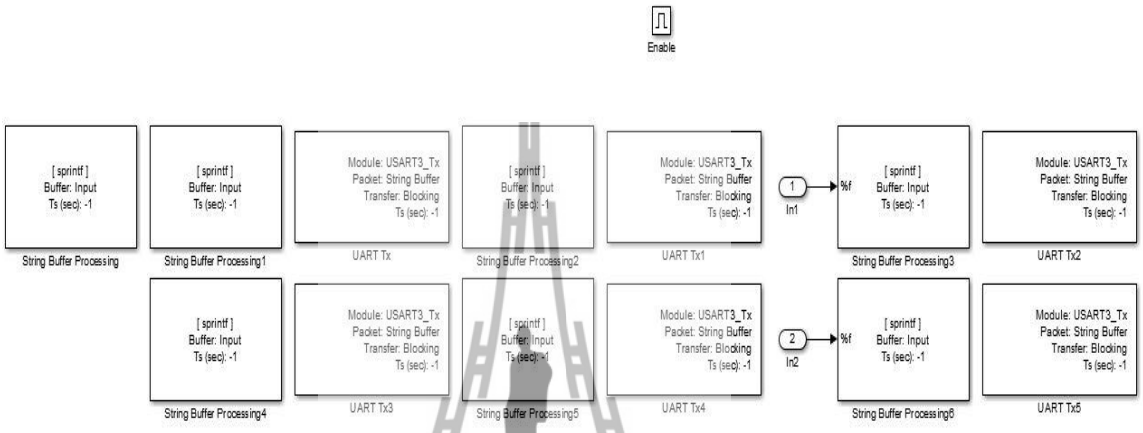
รูปที่ 3.36 บล็อก ThingSpeak



รูปที่ 3.37 ภายในบล็อก ThingSpeak

ภายในบล็อก Subsystem1 รูปที่ 3.38 จะเป็นขั้นตอนการติดต่อสื่อสารกับ ThingSpeak เพื่อส่งข้อมูลไปจะต้องกำหนดค่าต่างๆให้กับบล็อกดังตารางที่ 3.11 โดยบล็อกที่แสดงในรูปที่ 3.38 เป็นตัวอย่างในการส่งค่าไปยัง ThingSpeak ด้วยกัน 2 ค่าถ้าต้องการเพิ่มการส่งค่าอีกให้เพิ่มบล็อกตาม

จำนวนตารางแล้วเปลี่ยนค่า API Keys ตรงบล็อกชื่อ String Buffer Processing3 ตัวหนังสือขีดเส้นใต้ให้ตรงกับบัญชี ThingSpeak ของเราแต่ละ field สามารถรับค่าได้หนึ่งค่า เมื่อต้องการส่งหลายค่าก็ให้เปลี่ยนค่า field ตามจำนวนค่าที่เราส่งไป การส่งไปยัง ThingSpeak จะต้องส่งผ่าน ESP8266 ซึ่งจะต้องเชื่อมต่อกับ WiFi ซึ่งวิธีการตั้งค่าให้ ESP8266 รับสัญญาณจาก WiFi จะกล่าวในส่วนของภาคผนวก ข



รูปที่ 3.38 ภายในบล็อก Subsystem1

ตารางที่ 3.11 การกำหนดค่าให้กับบล็อกเพื่อส่งค่าไปยัง ThingSpeak

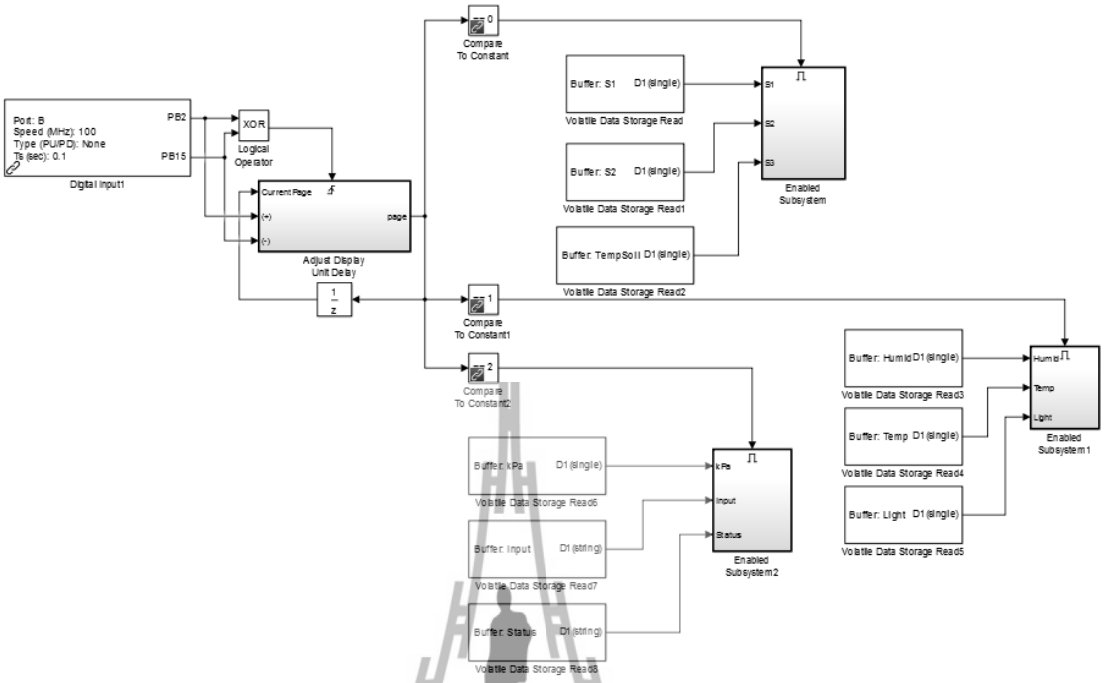
ชื่อบล็อก	String buffer	Printf format	Packet mode	Buffer	Sample time
String Buffer Processing	Input	'Start'	-	-	295
String Buffer Processing 1	Input	'AT+CIPSTART=\"TCP\", \"184.106.153.149\",80'	-	-	300
UART Tx	-	-	String Buffer	Input	302

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

String Buffer Processing 2	Input	'AT+CIPSEND=47'	-	-	304
UART Tx1	-	-	String Buffer	Input	306
String Buffer Processing 3	Input	'GET /update?key=FTH3YNXBADR12ZOC&field1=%.2f'	-	-	308
UART Tx2	-	-	String Buffer	Input	310

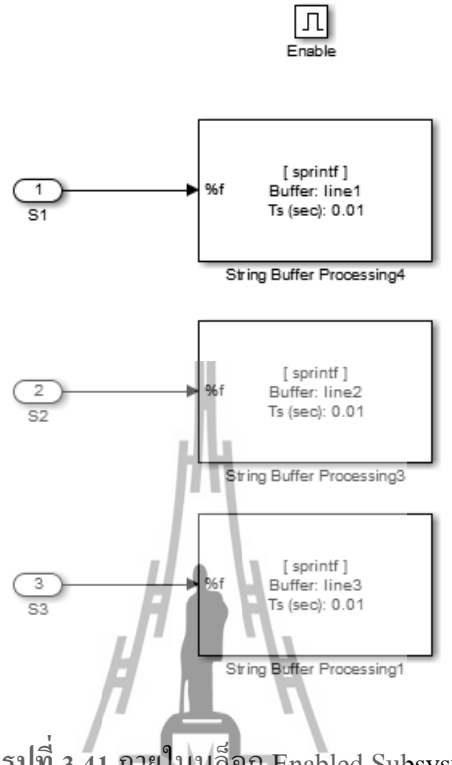
9. Page รูปที่ 3.39 เป็นการโปรแกรมให้สามารถกด Swich 1 แล้วเปลี่ยนเป็นหน้าถัดไป และกด Switch 2 จะเปลี่ยนหน้าจอแบบย้อนกลับ ภายในบล็อก Page แสดงในรูปที่ 3.40

รูปที่ 3.39 บล็อก Page



รูปที่ 3.40 ภายในบล็อก Page

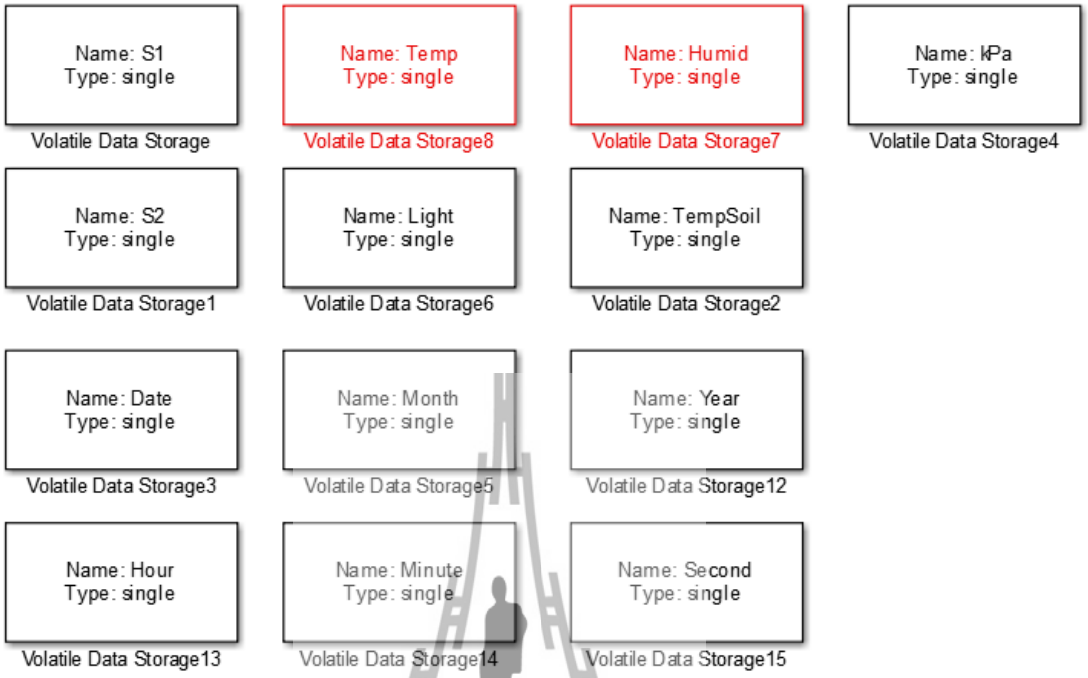
ภายในบล็อก Enabled Subsystem รูปที่ 3.41 จะเป็นการรับค่าจากตัวแปรมา แล้วนำไปใส่ในบล็อก String Buffer Processing ซึ่งข้อมูลที่แสดงก็ต้องพิมพ์ใน Printf format ว่าจะให้แสดงเป็นแบบไหน เช่น บล็อกชื่อ String Buffer Processing จะส่งค่าในแสดงบน LCD คือ Sensor1=13.55 จะต้องพิมพ์ใน Printf format เป็น 'Sensor1=%.2f' ใน Enabled Subsystem จะถูกส่งค่าเข้าไปสามค่า นั่นคือสามบรรทัด และแต่ละบรรทัดจะมี String buffer ของตัวเอง เช่น ค่าแรก String buffer ก็จะเป็น line1 ค่าที่สอง String buffer ก็จะเป็น line2 และ ค่าที่สาม String buffer ก็จะเป็น line3 และในแต่ละ Enabled Subsystem ก็จะส่งค่าไปสามค่าในโปรแกรมมีสาม Enabled Subsystem นั่นคือมีการแสดงบนจอ LCD สามหน้าและแต่ละหน้าจะต้องใช้ String buffer เดียวกันในบรรทัดเดียวกัน เพื่อให้เวลากด Switch ข้อความของหน้าใหม่ก็จะไปเขียนทับข้อความของหน้าเดิม



รูปที่ 3.41 ภายในบล็อก Enabled Subsystem

10. Volatile รูปที่ 3.42 เป็นบล็อกที่เก็บค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆไว้ในตัวแปรตามชื่อที่ตั้งให้กับตัวแปรผ่านบล็อก Volatile Data Storage Write เก็บข้อมูลเป็นประเภท single สามารถเปลี่ยนการเก็บข้อมูลเป็นประเภทอื่นได้ และถ้าอยากจะใช้ค่าจากตัวแปรนั้นต้องเรียกใช้ผ่านบล็อก Volatile Data Storage Read ภายในบล็อก Volatile รูปที่ 3.43 เก็บค่าตัวแปรต่อไปนี้ S1 S2 Humid Temp TempSoil kPa Light Date Month Year Hour Minute และ Second

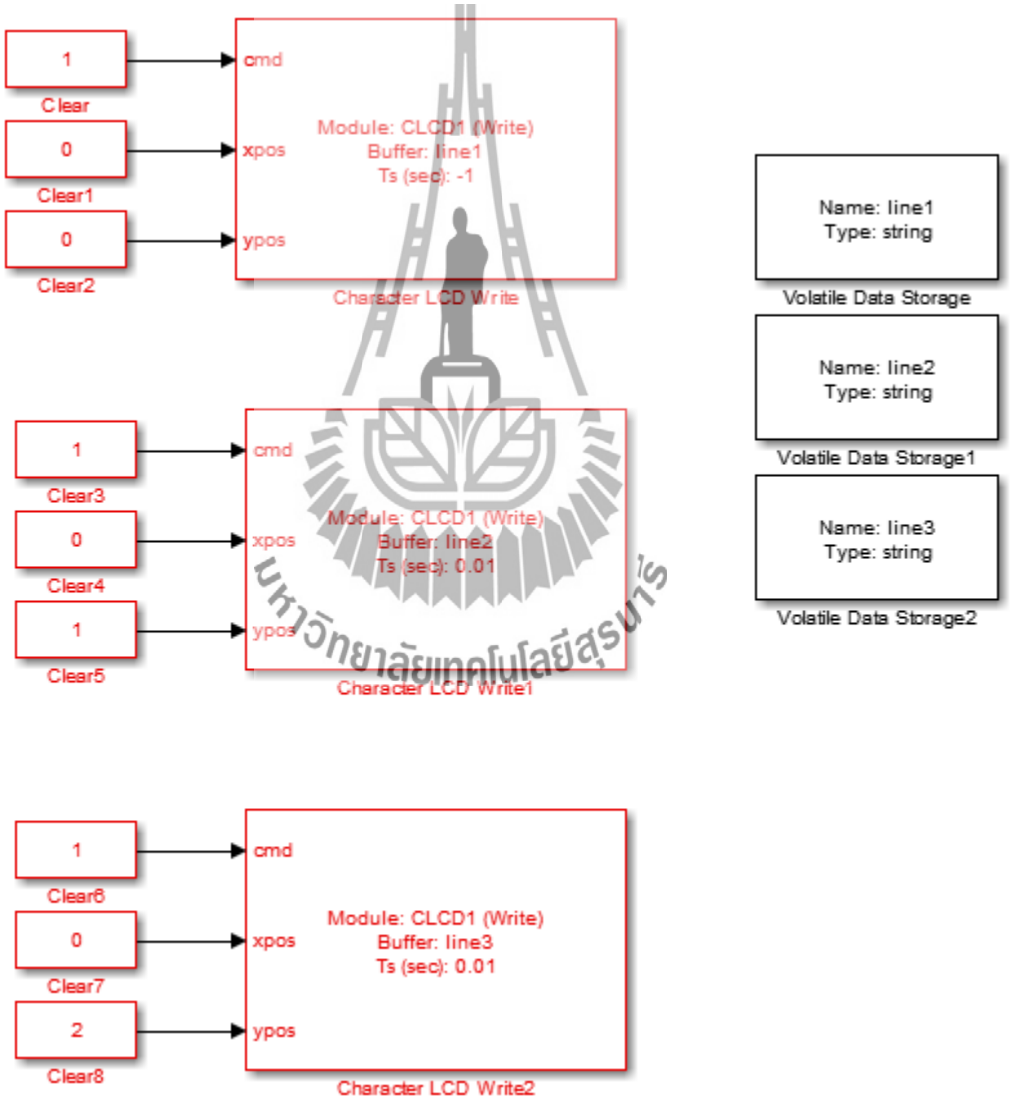
รูปที่ 3.42 บล็อก Volatile



รูปที่ 3.43 ภายในบล็อก Volatile

11. Write LCD รูปที่ 3.44 เป็นบล็อกที่เขียนค่าลงบนจอ LCD โดยใช้บล็อก Character LCD Write จะมีการรับค่า cmd ถ้าเป็น 1 หมายถึงเคลียหน้าจอก่อนเขียนลงไป รับค่าจาก xpos หมายถึงจะให้ตัวอักษรตัวแรกแสดงที่คอลัมน์ไหนของจอ LCD นับจากด้านซ้ายมือป้อนค่า 0 หมายถึงเริ่มช่องแรกทางซ้ายมือ หน้าจอมีทั้งหมด 16 คอลัมน์ นั่นคือป้อนค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 15 และรับค่าจาก ypos หมายถึงจะแสดงข้อมูลบนบรรทัดไหนป้อนค่า 0 หมายถึงบรรทัดแรก หน้าจอมีทั้งหมดสี่บรรทัด นั่นคือป้อนค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 3 ภายในบล็อก Write LCD รูปที่ 3.45 ก็จะมีตัวแปร ชื่อ line1, line2 แล line3 รับค่ามาเก็บไว้เพื่อป้อนให้กับ Character LCD Write เขียนลงในแต่ละบรรทัด แต่ละ Character LCD Write จะต้องเลือก String buffer ที่ต้องการแสดงในบรรทัดนั้น บล็อก Character LCD Write หนึ่งบล็อกเท่ากับหนึ่งบรรทัด ในบล็อก Write LCD มี Character LCD Write สามบล็อก นั่นคือมีสามบรรทัด

รูปที่ 3.44 บล็อก Write LCD



รูปที่ 3.45 ภายในบล็อก Write LCD

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบฮาร์ดแวร์

4.1.1 วงจรชาร์จ

วัตถุประสงค์

1.เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

ขั้นตอนการทดลอง

1.นำวงจรชาร์จไปเชื่อมต่อกับโซล่าเซลล์ บอร์ด STM32F4 Discovery และแบตเตอรี่

2.วัดค่าแรงดันที่จุดเชื่อมต่อกับโซล่าเซลล์ บอร์ด STM32F4 Discovery และแบตเตอรี่

3.บันทึกค่าแรงดัน

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันที่วัดได้จากวงจรชาร์จ

แรงดันที่ออกจากโซล่าเซลล์ (โวลต์)	แรงดันที่เข้าแบตเตอรี่ (โวลต์)	แรงดันที่เข้าบอร์ด (โวลต์)
17.20	15.04	5.03

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบพบว่าค่าแรงดันที่ออกมาจากโซล่าเซลล์มีค่าเท่ากับ 17.20 โวลต์ เมื่อผ่านเข้าวงจรชาร์จจะได้แรงดันเข้าไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ 15.04 โวลต์ จากนั้นแบตเตอรี่จะทำหน้าที่จ่ายเข้าไปที่บอร์ด STM32F4 Discovery ได้ 5.03 โวลต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.1.2 กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK

วัตถุประสงค์

1.เพื่อปรับเทียบค่าให้ตรงกับค่าที่อ่านได้จาก WATERMARK METER

ขั้นตอนการทดลอง

1.นำโปรแกรมที่ออกแบบมาโปรแกรมให้บอร์ด STM32F4DISCOVERY

2.นำกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK มาเชื่อมต่อกับบอร์ด STM32F4 Discovery และเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ WATERMARK

3.อ่านค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่แสดงผลบนจอ LCD

4.ปรับค่าอุณหภูมิที่ WATERMARK Meter ให้ตรงกับค่าอุณหภูมิที่แสดงผลบนจอ LCD

5.วัดค่าจาก WATERMARK Meter โดยเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ WATERMARK

6.เปรียบเทียบค่าระหว่างกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK และค่าที่วัดได้จาก WATERMARK Meter

7.บันทึกผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกค่ากล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
1	Box1	9/6/2559	17:20	29.56	29.56	3825.27	20.99	4776.98	24	19
	Box2	9/6/2559	17:35	29.56	25.83	4301.78	20.98	5002.53	24	19
	Box3	9/6/2559	17:37	29.56	23.47	4586.18	18.55	5442.14	24	19
	Box4	9/6/2559	17:42	29.56	26.63	4286.88	19.67	5359.54	24	19
	Box5	9/6/2559	17:45	29.56	23.57	4619.61	19.81	5256.24	24	19
2	Box1	9/7/2559	7:35	26.12	23.90	4228.24	18.73	5040.90	25	19
	Box2	9/7/2559	7:37	26.12	24.40	4338.41	19.08	5213.18	25	19
	Box3	9/7/2559	7:41	26.12	24.19	4345.80	18.90	5213.51	25	19
	Box4	9/7/2559	7:45	26.12	23.95	4492.70	18.90	5348.77	25	19
	Box5	9/7/2559	7:49	26.12	24.26	4380.54	18.91	5271.82	25	19
3	Box1	9/7/2559	15:59	35.37	33.34	3661.42	22.69	4746.15	31	24
	Box2	9/7/2559	16:00	35.37	28.76	4186.60	21.69	5148.79	31	24
	Box3	9/7/2559	16:03	35.37	29.00	4140.99	21.75	5101.42	31	24
	Box4	9/7/2559	16:06	35.37	28.84	4268.73	21.16	5341.79	31	24
	Box5	9/7/2559	16:08	35.37	29.03	4178.69	21.78	5154.64	31	24
4	Box1	9/8/2559	7:28	25.87	30.61	3554.93	20.77	4631.14	31	22
	Box2	9/8/2559	7:33	25.87	31.10	3642.20	21.45	4741.07	31	22
	Box3	9/8/2559	7:35	25.87	30.75	3655.67	20.86	4794.34	31	22
	Box4	9/8/2559	7:39	25.87	30.31	3794.35	20.84	4924.26	31	22
	Box5	9/8/2559	7:42	25.87	32.38	3542.36	21.72	4721.75	31	22

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
5	Box1	9/8/2559	15:10	28.81	32.14	3537.14	21.71	4605.51	34	24
	Box2	9/8/2559	15:13	28.81	31.96	3681.63	22.37	4730.37	34	24
	Box3	9/8/2559	15:16	28.81	31.88	3671.61	21.98	4751.24	34	24
	Box4	9/8/2559	15:19	28.81	32.09	3752.68	31.79	4901.39	34	24
	Box5	9/8/2559	15:22	28.81	32.04	3691.34	21.85	4817.37	34	24
6	Box1	9/9/2559	7:19	25.44	33.82	3271.54	22.88	4331.44	33	23
	Box2	9/9/2559	7:24	25.44	33.94	3373.47	22.69	4547.48	33	23
	Box3	9/9/2559	7:26	25.44	33.67	3377.78	23.15	4458.94	33	23
	Box4	9/9/2559	7:29	25.44	33.53	3485.77	22.81	4624.02	33	23
	Box5	9/9/2559	7:33	25.44	33.58	3414.91	22.83	4548.42	33	23
7	Box1	9/9/2559	17:12	30.81	34.74	3407.71	23.82	4420.35	36	26
	Box2	9/9/2559	17:15	30.81	34.62	3538.48	23.93	4602.24	36	26
	Box3	9/9/2559	17:19	30.81	34.97	3492.18	24.12	4552.11	36	26
	Box4	9/9/2559	17:22	30.81	34.67	3613.84	23.90	4699.56	36	26
	Box5	9/9/2559	17:24	30.81	35.09	3513.76	24.31	4573.92	36	26
8	Box1	9/10/2559	7:08	26.56	37.16	3080.20	24.69	4145.44	37	25
	Box2	9/10/2559	7:15	26.56	37.19	3178.51	24.84	4297.48	37	25
	Box3	9/10/2559	7:18	26.56	36.98	3171.97	24.99	4258.04	37	25
	Box4	9/10/2559	7:22	26.56	38.13	3194.55	24.91	4379.88	37	25
	Box5	9/10/2559	7:25	26.56	36.39	3239.49	24.57	4358.11	37	25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
9	Box1	9/10/2559	17:03	32.44	38.48	3239.62	26.34	4184.89	39	27
	Box2	9/10/2559	17:07	32.44	38.49	3349.28	26.36	4358.11	39	27
	Box3	9/10/2559	17:09	32.44	38.40	3335.45	26.40	4332.02	39	27
	Box4	9/10/2559	17:11	32.44	38.29	3437.55	26.26	4463.34	39	27
	Box5	9/10/2559	17:13	32.44	36.96	3456.12	24.87	4567.32	39	27
10	Box1	9/11/2559	7:42	26.75	39.29	2986.88	38.64	3012.07	40	27
	Box2	9/11/2559	7:46	26.75	39.14	3087.69	26.25	4110.41	40	27
	Box3	9/11/2559	7:49	26.75	39.32	3059.77	26.13	4111.70	40	27
	Box4	9/11/2559	7:51	26.75	41.03	3078.70	26.96	4124.53	40	27
	Box5	9/11/2559	7:53	26.75	38.73	3107.97	26.15	4150.38	40	27
11	Box1	9/11/2559	17:57	30.12	42.65	2952.06	23.73	4405.74	42	30
	Box2	9/11/2559	18:02	30.12	37.24	3334.09	27.95	4057.38	42	30
	Box3	9/11/2559	18:05	30.12	36.73	3348.12	30.48	3834.57	42	30
	Box4	9/11/2559	18:08	30.12	39.65	3247.88	26.58	4319.88	42	30
	Box5	9/11/2559	18:11	30.12	40.06	3152.29	27.30	4159.22	42	30
12	Box1	9/12/2559	17:23	28.50	51.87	2558.59	25.33	4147.28	45	31
	Box2	9/12/2559	17:28	28.50	43.70	2955.25	29.89	3843.40	45	31
	Box3	9/12/2559	17:30	28.50	42.70	2975.35	29.72	3842.81	45	31
	Box4	9/12/2559	17:33	28.50	42.95	3053.79	29.93	3926.25	45	31
	Box5	9/12/2559	17:35	28.50	42.81	2994.68	29.87	3865.62	45	31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
13	Box1	9/12/2559	8:11	25.88	44.53	2755.00	31.16	3509.36	46	31
	Box2	9/12/2559	8:21	25.88	45.75	2785.15	30.69	3678.56	46	31
	Box3	9/12/2559	8:24	25.88	44.30	2827.43	30.72	3658.26	46	31
	Box4	9/12/2559	8:28	25.88	44.78	2891.71	30.34	3791.98	46	31
	Box5	9/12/2559	8:29	25.88	45.48	2801.96	31.82	3592.81	46	31
14	Box1	9/13/2559	17:46	27.00	45.16	2766.33	31.61	3514.23	45	31
	Box2	9/13/2559	17:52	27.00	45.84	2819.98	31.57	3645.24	45	31
	Box3	9/13/2559	17:58	27.00	46.69	2767.34	32.19	3574.88	45	31
	Box4	9/13/2559	18:01	27.00	45.97	2880.27	31.89	3699.41	45	31
	Box5	9/13/2559	18:04	27.00	46.59	2794.88	32.27	3598.78	45	31
15	Box1	9/14/2559	8:22	25.25	44.89	2720.03	30.91	3506.72	47	32
	Box2	9/14/2559	8:26	25.25	45.51	2772.73	31.59	3573.56	47	32
	Box3	9/14/2559	8:29	25.25	45.43	2758.35	31.67	3548.30	47	32
	Box4	9/14/2559	8:33	25.25	45.19	2851.61	31.48	3663.96	47	32
	Box5	9/14/2559	8:35	25.25	45.38	2784.04	31.65	3581.94	47	32
16	Box1	9/14/2559	17:27	27.56	43.78	2836.69	30.10	3655.99	48	34
	Box2	9/14/2559	17:30	27.56	45.17	2865.84	31.87	3641.88	48	34
	Box3	9/14/2559	17:33	27.56	45.17	2847.26	31.75	3634.42	48	34
	Box4	9/14/2559	17:35	27.56	45.03	2938.30	31.94	3717.47	48	34
	Box5	9/14/2559	17:37	27.56	45.25	2867.76	32.01	3645.04	48	34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
17	Box1	9/15/2559	8:20	25.06	44.91	2713.09	31.41	3457.36	49	32
	Box2	9/15/2559	8:24	25.06	46.11	2740.44	32.20	3510.68	49	32
	Box3	9/15/2559	8:26	25.06	45.24	2759.80	31.56	3550.20	49	32
	Box4	9/15/2559	8:29	25.06	46.15	2803.28	29.95	3794.89	49	32
	Box5	9/15/2559	8:31	25.06	46.30	2738.30	32.25	3519.06	49	32
18	Box1	9/15/2559	18:30	29.25	47.85	2734.15	33.72	3429.69	49	35
	Box2	9/15/2559	18:34	29.25	47.33	2834.41	33.82	3543.61	49	35
	Box3	9/15/2559	18:39	29.25	49.13	2745.63	35.00	3426.47	49	35
	Box4	9/15/2559	18:42	29.25	47.14	2907.98	33.17	3677.88	49	35
	Box5	9/15/2559	18:52	29.25	46.97	2853.87	33.26	3603.60	49	35
19	Box1	9/16/2559	8:22	25.62	44.85	2734.15	32.00	3429.69	50	34
	Box2	9/16/2559	8:24	25.62	44.36	2834.41	32.10	3543.61	50	34
	Box3	9/16/2559	8:27	25.62	46.05	2745.63	33.21	3426.47	50	34
	Box4	9/16/2559	8:29	25.62	44.18	2907.98	31.49	3677.88	50	34
	Box5	9/16/2559	8:31	25.62	44.02	2853.87	31.58	3603.60	50	34
20	Box1	9/16/2559	17:15	30.19	48.62	2734.15	34.16	3429.69	51	35
	Box2	9/16/2559	17:18	30.19	48.10	2834.41	34.26	3543.61	51	35
	Box3	9/16/2559	17:25	30.19	49.93	2745.63	35.58	3426.47	51	35
	Box4	9/16/2559	17:37	30.19	47.91	2907.98	33.61	3677.88	51	35
	Box5	9/16/2559	17:40	30.19	47.73	2853.87	33.70	3603.60	51	35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
21	Box1	9/17/2559	7:13	26.44	49.01	2597.88	33.48	3340.74	50	35
	Box2	9/17/2559	7:17	26.44	50.04	2626.59	35.05	3321.86	50	35
	Box3	9/17/2559	7:20	26.44	49.83	2618.86	34.95	3309.97	50	35
	Box4	9/17/2559	7:22	26.44	49.64	2706.40	34.83	3415.34	50	35
	Box5	9/17/2559	7:24	26.44	49.46	2657.39	34.29	3395.45	50	35
22	Box1	9/17/2559	17:15	31.50	50.13	2718.89	36.42	3327.39	52	38
	Box2	9/17/2559	17:18	31.50	49.96	2804.11	35.60	3496.07	52	38
	Box3	9/17/2559	17:21	31.50	50.81	2754.09	37.56	3351.15	52	38
	Box4	9/17/2559	17:23	31.50	49.88	2872.78	35.97	3550.00	52	38
	Box5	9/17/2559	17:26	31.50	55.09	2615.58	35.94	3485.48	52	38
23	Box1	9/18/2559	8:33	26.00	50.9	2511.64	36.02	3130.34	52	36
	Box2	9/18/2559	8:36	26.00	53.65	2508.79	36.33	3212.11	52	36
	Box3	9/18/2559	8:41	26.00	52.17	2530.35	26.47	3181.40	52	36
	Box4	9/18/2559	8:43	26.00	51.27	2630.92	35.91	3314.55	52	36
	Box5	9/18/2559	8:47	26.00	53.40	2522.76	35.93	3245.18	52	36
24	Box1	9/18/2559	12:44	27.81	50.46	2588.60	35.91	3214.64	54	37
	Box2	9/18/2559	12:47	27.81	54.78	2524.14	38.8	3132.04	54	37
	Box3	9/18/2559	12:52	27.81	51.01	2621.15	36.2	3283.94	54	37
	Box4	9/18/2559	12:55	27.81	50.06	2739.64	35.65	3416.02	54	37
	Box5	9/18/2559	12:57	27.81	50.44	2667.01	35.39	3367.14	54	37

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
25	Box1	9/18/2559	17:14	31.12	51.48	2658.48	36.61	3301.63	54	38
	Box2	9/18/2559	17:18	31.12	56.89	2552.09	40.06	3193.55	54	38
	Box3	9/18/2559	17:21	31.12	51.88	2701.18	37.71	3325.34	54	38
	Box4	9/18/2559	17:23	31.12	51.73	2788.64	36.76	3483.16	54	38
	Box5	9/18/2559	17:27	31.12	55.07	2717.31	38.62	3292.97	54	38
26	Box1	9/19/2559	8:35	26.00	51.85	2488.74	35.57	3159.64	55	37
	Box2	9/19/2559	8:40	26.00	50.94	2577.32	35.37	3274.98	55	37
	Box3	9/19/2559	8:45	26.00	51.85	2538.61	35.60	3242.87	55	37
	Box4	9/19/2559	8:47	26.00	51.85	2616.09	35.34	3355.12	55	37
	Box5	9/19/2559	8:50	26.00	51.74	2564.49	35.97	3242.25	55	37
27	Box1	9/19/2559	13:26	28.94	55.09	2478.28	38.17	3118.16	56	39
	Box2	9/19/2559	13:33	28.94	58.12	2474.59	39.33	3143.69	56	39
	Box3	9/19/2559	13:36	28.94	57.27	2478.24	40.90	3059.33	56	39
	Box4	9/19/2559	13:38	28.94	56.25	2578.13	38.13	3296.72	56	39
	Box5	9/19/2559	13:41	28.94	55.54	2540.48	38.60	3196.92	56	39
28	Box1	9/20/2559	13:03	27.00	56.77	2397.33	36.76	3125.12	56	39
	Box2	9/20/2559	13:05	27.00	55.56	2486.31	37.92	3148.43	56	39
	Box3	9/20/2559	13:08	27.00	57.57	2423.96	38.95	3082.04	56	39
	Box4	9/20/2559	13:11	27.00	55.10	2557.86	37.82	3226.67	56	39
	Box5	9/20/2559	13:13	27.00	55.45	2496.73	37.56	3177.61	56	39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
29	Box1	9/20/2559	16:45	27.50	54.99	2448.41	37.54	3096.43	57	39
	Box2	9/20/2559	16:48	27.50	59.71	2402.26	34.59	3406.88	57	39
	Box3	9/20/2559	16:51	27.50	57.45	2439.24	40.34	3040.39	57	39
	Box4	9/20/2559	16:55	27.50	55.32	2565.12	38.19	3225.31	57	39
	Box5	9/20/2559	17:02	27.50	56.12	2493.54	37.58	3199.63	57	39
30	Box1	9/21/2559	11:54	25.88	0	10075.57	0	10291.59	0	0
	Box2	9/21/2559	12:00	25.88	0	10102.22	0	10082.82	0	0
	Box3	9/21/2559	12:08	25.88	0	10509.20	0	10643.69	0	0
	Box4	9/21/2559	12:11	25.88	0	10847.11	0	11114.94	0	0
	Box5	9/21/2559	12:13	25.88	0	10338.46	0	10555.42	0	0
31	Box1	9/21/2559	15:11	26.75	0	9900.99	0	10019.08	0	0
	Box2	9/21/2559	15:15	26.75	0	10677.51	0	11302.48	0	0
	Box3	9/21/2559	15:17	26.75	0	10292.86	0	10432.19	0	0
	Box4	9/21/2559	15:21	26.75	0	10737.57	0	10887.88	0	0
	Box5	9/21/2559	15:24	26.75	0	10935.52	0	10682.95	0	0
32	Box1	9/22/2559	8:20	25.06	0	9798.20	0	9578.11	0	0
	Box2	9/22/2559	8:23	25.06	0	10396.04	0	10256.41	0	0
	Box3	9/22/2559	8:26	25.06	0	10015.5	0	10215.36	0	0
	Box4	9/22/2559	8:28	25.06	0	12976.98	0	10547.46	0	0
	Box5	9/22/2559	8:30	25.06	0	10374.09	0	12180.97	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
33	Box1	9/22/2559	12:19	25.31	0	9884.68	0	9949.07	0	0
	Box2	9/22/2559	12:27	25.31	0	10419.25	0	10889.60	0	0
	Box3	9/22/2559	12:30	25.31	0	9718.85	0	10286.55	0	0
	Box4	9/22/2559	12:34	25.31	0	10602.04	0	10556.74	0	0
	Box5	9/22/2559	12:36	25.31	0	10424.42	0	10380.62	0	0
34	Box1	9/23/2559	8:20	24.94	0.71	9592.33	0	10159.65	0	0
	Box2	9/23/2559	8:23	24.94	0	9791.35	0	10131.47	0	0
	Box3	9/23/2559	8:27	24.94	0	10305.48	0	10267.69	0	0
	Box4	9/23/2559	8:29	24.94	0	10511.83	0	10959.33	0	0
	Box5	9/23/2559	8:31	24.94	0	9876.54	0	10064.70	0	0
35	Box1	9/23/2559	11:15	25.81	0	9966.78	0	10129.02	0	0
	Box2	9/23/2559	11:20	25.81	0	10596.70	0	10830.33	0	0
	Box3	9/23/2559	11:22	25.81	0	10509.20	0	11513.16	0	0
	Box4	9/23/2559	11:23	25.81	0	10757.06	0	10702.00	0	0
	Box5	9/23/2559	11:25	25.81	0	10528.96	0	10798.33	0	0
36	Box1	9/24/2559	8:14	25.06	0	10160.88	0	10062.29	0	0
	Box2	9/24/2559	8:19	25.06	0	10421.84	0	10073.15	0	0
	Box3	9/24/2559	8:21	25.06	0	9679.65	0	9581.38	0	0
	Box4	9/24/2559	8:23	25.06	0	9856.84	0	10311.81	0	0
	Box5	9/24/2559	8:24	25.06	0	9263.34	0	9567.20	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
37	Box1	9/24/2559	11:43	26.56	0	9555.32	0	10027.46	0	0
	Box2	9/24/2559	11:46	26.56	0	10606.06	0	10338.46	0	0
	Box3	9/24/2559	11:48	26.56	0	10210.08	0	10489.51	0	0
	Box4	9/24/2559	11:50	26.56	0	10681.59	0	11022.18	0	0
	Box5	9/24/2559	11:52	26.56	0	10619.47	0	10958.90	0	0
38	Box1	9/25/2559	8:08	25.31	0	9217.60	0	9392.82	0	0
	Box2	9/25/2559	8:13	25.31	0	9967.96	0	9946.71	0	0
	Box3	9/25/2559	8:15	25.31	0	10081.61	0	9043.93	0	0
	Box4	9/25/2559	8:18	25.31	0	10173.19	0	10183.05	0	0
	Box5	9/25/2559	8:20	25.31	0	9998.81	0	9825.71	0	0
39	Box1	9/25/2559	12:12	27.12	0	9954.97	0	10416.67	0	0
	Box2	9/25/2559	12:16	27.12	0	10680.23	0	9774.26	0	0
	Box3	9/25/2559	12:18	27.12	0	10681.59	0	9884.68	0	0
	Box4	9/25/2559	12:20	27.12	0	11038.11	0	9945.54	0	0
	Box5	9/25/2559	12:22	27.12	0	10872.38	0	10938.92	0	0
40	Box1	9/26/2559	10:04	26.12	0	10111.95	0	10265.18	0	0
	Box2	9/26/2559	10:08	26.12	0	10688.38	0	10855.52	0	0
	Box3	9/26/2559	10:11	26.12	0	10594.02	0	10651.79	0	0
	Box4	9/26/2559	10:12	26.12	0	10765.15	0	10919.02	0	0
	Box5	9/26/2559	10:15	26.12	0	10392.18	0	10398.61	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
41	Box1	9/26/2559	13:59	29.62	0	10316.88	0	9834.91	0	0
	Box2	9/26/2559	14:03	29.62	0.55	9578.11	0	9933.77	0	0
	Box3	9/26/2559	14:06	29.62	0	10907.67	0	11071.57	0	0
	Box4	9/26/2559	14:08	29.62	0	10830.33	0	11382.11	0	0
	Box5	9/26/2559	14:10	29.62	0	10968.92	0	11627.91	0	0
42	Box1	9/27/2559	8:21	25.88	0	9816.52	0	9896.32	0	0
	Box2	9/27/2559	8:25	25.88	0	10555.42	0	12931.03	0	0
	Box3	9/27/2559	8:27	25.88	0	10237.66	0	9482.95	0	0
	Box4	9/27/2559	8:29	25.88	0	10064.70	0	9695.29	0	0
	Box5	9/27/2559	8:31	25.88	0	10162.11	0	9958.51	0	0
43	Box1	9/27/2559	12:24	28.19	0	10216.49	0	10363.97	0	0
	Box2	9/27/2559	12:31	28.19	0	10434.78	0	10442.37	0	0
	Box3	9/27/2559	12:33	28.19	0	10522.36	0	10930.38	0	0
	Box4	9/27/2559	12:35	28.19	0	11073.03	0	10175.65	0	0
	Box5	9/27/2559	12:36	28.19	0	9933.77	0	10555.42	0	0
44	Box1	9/27/2559	16:56	31.31	0	11057.18	0	11167.24	0	0
	Box2	9/27/2559	17:01	31.31	0	9905.66	0	10334.65	0	0
	Box3	9/27/2559	17:03	31.31	0	13033.36	0	10838.71	0	0
	Box4	9/27/2559	17:05	31.31	0	11083.26	0	11112.58	0	0
	Box5	9/27/2559	17:07	31.31	0	10389.61	0	10678.87	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
45	Box1	9/29/2559	7:28	25.38	0	11150.94	0	9472.26	0	0
	Box2	9/29/2559	7:31	25.38	0	9609.88	0	10623.5	0	0
	Box3	9/29/2559	7:33	25.38	0	9391.23	0	9635.24	0	0
	Box4	9/29/2559	7:36	25.38	0	10794.58	0	10049.05	0	0
	Box5	9/29/2559	7:39	25.38	0	9110.63	0	9693.05	0	0
46	Box1	9/29/2559	12:16	28.38	0	10626.19	0	10976.09	0	0
	Box2	9/29/2559	12:18	28.38	0	11038.11	0	11494.25	0	0
	Box3	9/29/2559	12:20	28.38	0	10456.87	0	10584.68	0	0
	Box4	9/29/2559	12:22	28.38	0	10948.91	0	11176.16	0	0
	Box5	9/29/2559	12:24	28.38	0	10007.15	0	11359.03	0	0
47	Box1	9/30/2559	7:18	25.25	0	9470.12	0	9716.6	0	0
	Box2	9/30/2559	7:21	25.25	0	9811.94	0	9813.08	0	0
	Box3	9/30/2559	7:23	25.25	0	9699.77	0	9802.78	0	0
	Box4	9/30/2559	7:25	25.25	0	9883.52	0	9923.21	0	0
	Box5	9/30/2559	7:27	25.25	0	9889.33	0	10058.68	0	0
48	Box1	9/30/2559	11:56	26.75	0	9698.65	0	9814.23	0	0
	Box2	9/30/2559	11:59	26.75	0	9943.18	0	9937.30	0	0
	Box3	9/30/2559	12:01	26.75	0	10304.22	0	10502.63	0	0
	Box4	9/30/2559	12:03	26.75	0	10911.92	0	10997.64	0	0
	Box5	9/30/2559	12:05	26.75	0	10640.99	0	10743.06	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	วันที่	เวลา	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
					15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
					kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
49	Box1	9/30/2559	17:23	27.00	0	10025.06	0	9951.43	0	0
	Box2	9/30/2559	17:25	27.00	0	11111.11	0	10614.60	0	0
	Box3	9/30/2559	17:27	27.00	0	10004.76	0	11857.71	0	0
	Box4	9/30/2559	17:28	27.00	0	11002.30	0	10751.31	0	0
	Box5	9/30/2559	17:32	27.00	0	10658.55	0	10555.42	0	0
50	Box1	10/1/2559	8:27	25.19	0	9760.63	0	9409.66	0	0
	Box2	10/1/2559	8:29	25.19	0	9808.50	0	10302.18	0	0
	Box3	10/1/2559	8:31	25.19	0	10160.88	0	9965.59	0	0
	Box4	10/1/2559	8:37	25.19	0	10334.65	0	9699.77	0	0
	Box5	10/1/2559	8:40	25.19	0	10583.34	0	10394.75	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.3 ตารางคำนวณค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ก่อนทำ Curve Fitting

ครั้งที่	Box1		Box2		Box3		Box4		Box5	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
1	25.18	20.99	25.83	20.98	23.47	18.55	26.63	19.67	23.57	19.81
2	23.90	18.73	24.40	19.08	24.19	18.90	23.95	18.90	24.26	18.91
3	33.34	22.69	28.76	21.69	29.00	21.75	28.84	21.16	29.03	21.78
4	30.61	20.77	31.10	21.45	30.75	20.86	30.31	20.84	32.38	21.72
5	32.14	21.71	31.96	22.37	31.88	21.98	32.09	31.79	32.04	21.85
6	33.82	22.88	33.94	22.69	33.67	23.15	33.53	22.81	33.58	22.83
7	34.74	23.82	34.62	23.93	34.97	24.12	34.67	23.90	35.09	24.31
8	37.16	24.69	37.19	24.84	36.98	24.99	38.13	24.91	36.39	24.57
9	38.48	26.34	38.49	26.36	38.40	26.40	38.29	26.26	36.96	24.87
10	39.29	38.64	39.14	26.25	39.32	26.13	41.03	26.96	38.73	26.15
11	42.65	23.73	37.24	27.95	36.73	30.48	39.65	26.58	40.06	27.30
12	51.87	25.33	43.70	29.89	42.70	29.72	42.95	29.93	42.81	29.87
13	44.53	31.16	45.75	30.69	44.30	30.72	44.78	30.34	45.48	31.82
14	45.16	31.61	45.84	31.57	46.69	32.19	45.97	31.89	46.59	32.27
15	44.89	30.91	45.51	31.59	45.43	31.67	45.19	31.48	45.38	31.65
16	43.78	30.10	45.17	31.87	45.17	31.75	45.03	31.94	45.25	32.01
17	44.91	31.41	46.11	32.20	45.24	31.56	46.15	29.95	46.30	32.25
18	47.85	33.72	47.33	33.82	49.13	35.00	47.14	33.17	46.97	33.26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

19	44.85	32.00	44.36	32.10	46.05	33.21	44.18	31.49	44.02	31.58
20	48.62	34.16	48.10	34.26	49.93	35.58	47.91	33.61	47.73	33.70
21	49.01	33.48	50.04	35.05	49.83	34.95	49.64	34.83	49.46	34.29
22	50.13	36.42	49.96	35.60	50.81	37.56	49.88	35.97	55.09	35.94
23	50.9	36.02	53.65	36.33	52.17	26.47	51.27	35.91	53.40	35.93
24	50.46	35.91	54.78	38.8	51.01	36.2	50.06	35.65	50.44	35.39
25	51.48	36.61	56.89	40.06	51.88	37.71	51.73	36.76	55.07	38.62
26	51.85	35.57	50.94	35.37	51.85	35.60	51.85	35.34	51.74	35.97
27	55.09	38.17	58.12	39.33	57.27	40.90	56.25	38.13	55.54	38.60
28	56.77	36.76	55.56	37.92	57.57	38.95	55.10	37.82	55.45	37.56
29	54.99	37.54	59.71	34.59	57.45	40.34	55.32	38.19	56.12	37.58
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0.55	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Average	25.18	17.44	25.29	17.57	25.08	17.55	24.95	17.52	25.10	17.45

ตารางที่ 4.4 ตารางคำนวณค่าเฉลี่ยของ WATERMARK Meter

ครั้งที่	**Watermark Meter**	
	15 cm	**30 cm**
	kPa	**kPa**
1	24	19
2	25	19
3	31	24
4	31	22
5	34	24
6	33	23
7	36	26
8	37	25
9	39	27
10	40	27
11	42	30
12	45	31
13	46	31
14	45	31
15	47	32
16	48	34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

17	49	32
18	49	35
19	50	34
20	51	35
21	50	35
22	52	38
23	52	36
24	54	37
25	54	38
26	55	37
27	56	39
28	56	39
29	57	39
30	0	0
31	0	0
23	0	0
33	0	0
34	0	0
35	0	0
36	0	0
37	0	0
38	0	0
39	0	0
40	0	0
41	0	0
42	0	0
43	0	0
44	0	0
45	0	0
46	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

47	0	0
48	0	0
49	0	0
50	0	0
Average	25.76	17.98

ตารางที่4.5 ตารางบันทึกค่ากล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK หลังจากทำ Curve Fitting

ครั้งที่	กล่องที่	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
1	Box1	29.56	29.71	3825.27	21.95	4776.98	24	19
	Box2	29.56	26.68	4301.78	21.88	5002.53	24	19
	Box3	29.56	24.54	4586.18	19.66	5442.14	24	19
	Box4	29.56	27.68	4286.88	20.70	5359.54	24	19
	Box5	29.56	24.66	4619.61	24.92	5256.24	24	19
2	Box1	26.12	24.85	4228.24	19.71	5040.90	25	19
	Box2	26.12	25.26	4338.41	19.98	5213.18	25	19
	Box3	26.12	25.26	4345.80	20.01	5213.51	25	19
	Box4	26.12	24.99	4492.70	19.93	5348.77	25	19
	Box5	26.12	25.34	4380.54	20.02	5271.82	25	19
3	Box1	35.37	34.25	3661.42	23.65	4746.15	31	24
	Box2	35.37	29.59	4186.60	22.58	5148.79	31	24
	Box3	35.37	30.03	4140.99	23.84	5101.42	31	24
	Box4	35.37	29.88	4268.73	22.20	5341.79	31	24
	Box5	35.37	30.09	4178.69	22.88	5154.64	31	24
4	Box1	25.87	31.53	3554.93	21.74	4631.14	31	22
	Box2	25.87	31.91	3642.20	22.34	4741.07	31	22
	Box3	25.87	31.76	3655.67	21.96	4794.34	31	22
	Box4	25.87	31.36	3794.35	21.88	4924.26	31	22
	Box5	25.87	33.42	3542.36	22.82	4721.75	31	22

ครั้งที่	กล่องที่	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
5	Box1	28.81	33.06	3537.14	22.68	4605.51	34	24
	Box2	28.81	32.77	3681.63	23.25	4730.37	34	24
	Box3	28.81	32.88	3671.61	23.07	4751.24	34	24
	Box4	28.81	33.15	3752.68	22.83	4901.39	34	24
	Box5	28.81	33.08	3691.34	22.02	4817.37	34	24
6	Box1	25.44	34.73	3271.54	23.84	4331.44	33	23
	Box2	25.44	34.73	3373.47	23.57	4547.48	33	23
	Box3	25.44	34.66	3377.78	24.22	4458.94	33	23
	Box4	25.44	34.59	3485.77	23.84	4624.02	33	23
	Box5	25.44	34.62	3414.91	23.92	4548.42	33	23
7	Box1	30.81	35.65	3407.71	24.77	4420.35	36	26
	Box2	30.81	35.41	3538.48	24.80	4602.24	36	26
	Box3	30.81	35.95	3492.18	25.19	4552.11	36	26
	Box4	30.81	35.73	3613.84	24.94	4699.56	36	26
	Box5	30.81	36.12	3513.76	25.40	4573.92	36	26
8	Box1	26.56	38.05	3080.20	25.64	4145.44	37	25
	Box2	26.56	37.96	3178.51	25.70	4297.48	37	25
	Box3	26.56	37.95	3171.97	26.05	4258.04	37	25
	Box4	26.56	39.20	3194.55	25.95	4379.88	37	25
	Box5	26.56	37.41	3239.49	25.65	4358.11	37	25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
9	Box1	32.44	39.37	3239.62	27.28	4184.89	39	27
	Box2	32.44	39.25	3349.28	27.21	4358.11	39	27
	Box3	32.44	39.36	3335.45	27.45	4332.02	39	27
	Box4	32.44	39.36	3437.55	27.30	4463.34	39	27
	Box5	32.44	37.99	3456.12	25.95	4567.32	39	27
10	Box1	26.75	40.18	2986.88	39.53	3012.07	40	27
	Box2	26.75	39.89	3087.69	27.11	4110.41	40	27
	Box3	26.75	40.27	3059.77	27.18	4111.70	40	27
	Box4	26.75	42.10	3078.70	28.01	4124.53	40	27
	Box5	26.75	39.74	3107.97	27.22	4150.38	40	27
11	Box1	30.12	43.52	2952.06	24.69	4405.74	42	30
	Box2	30.12	38.01	3334.09	28.79	4057.38	42	30
	Box3	30.12	37.70	3348.12	31.50	3834.57	42	30
	Box4	30.12	40.72	3247.88	27.62	4319.88	42	30
	Box5	30.12	41.07	3152.29	28.37	4159.22	42	30
12	Box1	28.50	52.70	2558.59	26.28	4147.28	45	31
	Box2	28.50	44.42	2955.25	30.72	3843.40	45	31
	Box3	28.50	43.62	2975.35	30.74	3842.81	45	31
	Box4	28.50	44.02	3053.79	30.98	3926.25	45	31
	Box5	28.50	43.81	2994.68	30.93	3865.62	45	31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
13	Box1	25.88	45.40	2755.00	32.09	3509.36	46	31
	Box2	25.88	46.45	2785.15	31.51	3678.56	46	31
	Box3	25.88	45.21	2827.43	31.74	3658.26	46	31
	Box4	25.88	45.86	2891.71	31.39	3791.98	46	31
	Box5	25.88	46.46	2801.96	32.87	3592.81	46	31
14	Box1	27.00	46.02	2766.33	32.53	3514.23	45	31
	Box2	27.00	46.54	2819.98	32.39	3645.24	45	31
	Box3	27.00	47.58	2767.34	33.19	3574.88	45	31
	Box4	27.00	47.06	2880.27	32.94	3699.41	45	31
	Box5	27.00	47.56	2794.88	33.32	3598.78	45	31
15	Box1	25.25	45.76	2720.03	31.83	3506.72	47	32
	Box2	25.25	46.22	2772.73	32.40	3573.56	47	32
	Box3	25.25	46.33	2758.35	32.68	3548.30	47	32
	Box4	25.25	46.27	2851.61	32.53	3663.96	47	32
	Box5	25.25	46.36	2784.04	32.70	3581.94	47	32
16	Box1	27.56	44.65	2836.69	31.03	3655.99	48	34
	Box2	27.56	45.88	2865.84	32.68	3641.88	48	34
	Box3	27.56	46.08	2847.26	32.76	3634.42	48	34
	Box4	27.56	46.11	2938.30	32.99	3717.47	48	34
	Box5	27.56	46.23	2867.76	33.06	3645.04	48	34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่	กล่องที่	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
17	Box1	25.06	45.77	2713.09	32.33	3457.36	49	32
	Box2	25.06	46.81	2740.44	33.01	3510.68	49	32
	Box3	25.06	46.14	2759.80	32.57	3550.20	49	32
	Box4	25.06	47.24	2803.28	31.00	3794.89	49	32
	Box5	25.06	47.28	2738.30	33.29	3519.06	49	32
18	Box1	29.25	48.70	2734.15	34.63	3429.69	49	35
	Box2	29.25	48.02	2834.41	34.61	3543.61	49	35
	Box3	29.25	50.00	2745.63	35.99	3426.47	49	35
	Box4	29.25	48.23	2907.98	34.23	3677.88	49	35
	Box5	29.25	47.94	2853.87	34.31	3603.60	49	35
19	Box1	25.62	45.71	2734.15	32.92	3429.69	50	34
	Box2	25.62	45.07	2834.41	32.91	3543.61	50	34
	Box3	25.62	46.95	2745.63	34.21	3426.47	50	34
	Box4	25.62	45.26	2907.98	32.55	3677.88	50	34
	Box5	25.62	45.01	2853.87	32.63	3603.60	50	34
20	Box1	30.19	49.47	2734.15	35.07	3429.69	51	35
	Box2	30.19	48.78	2834.41	35.05	3543.61	51	35
	Box3	30.19	50.79	2745.63	36.56	3426.47	51	35
	Box4	30.19	48.99	2907.98	34.67	3677.88	51	35
	Box5	30.19	48.70	2853.87	34.74	3603.60	51	35

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ครั้งที่	กล่องที่	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
21	Box1	26.44	49.85	2597.88	34.39	3340.74	50	35
	Box2	26.44	50.71	2626.59	35.83	3321.86	50	35
	Box3	26.44	50.70	2618.86	35.93	3309.97	50	35
	Box4	26.44	50.73	2706.40	35.89	3415.34	50	35
	Box5	26.44	50.42	2657.39	35.33	3395.45	50	35
22	Box1	31.50	50.97	2718.89	37.32	3327.39	52	38
	Box2	31.50	50.63	2804.11	36.38	3496.07	52	38
	Box3	31.50	51.67	2754.09	38.52	3351.15	52	38
	Box4	31.50	50.97	2872.78	37.04	3550.00	52	38
	Box5	31.50	56.03	2615.58	36.97	3485.48	52	38
23	Box1	26.00	51.74	2511.64	36.92	3130.34	52	36
	Box2	26.00	54.29	2508.79	37.60	3212.11	52	36
	Box3	26.00	53.02	2530.35	37.44	3181.40	52	36
	Box4	26.00	52.36	2630.92	36.97	3314.55	52	36
	Box5	26.00	54.34	2522.76	36.97	3245.18	52	36
24	Box1	27.81	51.30	2588.60	36.81	3214.64	54	37
	Box2	27.81	55.42	2524.14	39.56	3132.04	54	37
	Box3	27.81	51.86	2621.15	37.17	3283.94	54	37
	Box4	27.81	51.15	2739.64	36.72	3416.02	54	37
	Box5	27.81	51.40	2667.01	36.42	3367.14	54	37

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
25	Box1	31.12	52.31	2658.48	37.15	3301.63	54	38
	Box2	31.12	57.51	2552.09	40.81	3193.55	54	38
	Box3	31.12	52.73	2701.18	38.67	3325.34	54	38
	Box4	31.12	52.82	2788.64	37.82	3483.16	54	38
	Box5	31.12	53.02	2717.31	39.64	3292.97	54	38
26	Box1	26.00	52.69	2488.74	36.48	3159.64	55	37
	Box2	26.00	51.61	2577.32	36.27	3274.98	55	37
	Box3	26.00	52.69	2538.61	36.58	3242.87	55	37
	Box4	26.00	52.94	2616.09	36.40	3355.12	55	37
	Box5	26.00	52.69	2564.49	37.00	3242.25	55	37
27	Box1	28.94	55.91	2478.28	39.07	3118.16	56	39
	Box2	28.94	58.73	2474.59	40.08	3143.69	56	39
	Box3	28.94	58.08	2478.24	41.84	3059.33	56	39
	Box4	28.94	57.35	2578.13	39.20	3296.72	56	39
	Box5	28.94	56.47	2540.48	39.61	3196.92	56	39
28	Box1	27.00	57.58	2397.33	37.66	3125.12	56	39
	Box2	27.00	56.18	2486.31	38.69	3148.43	56	39
	Box3	27.00	58.37	2423.96	39.09	3082.04	56	39
	Box4	27.00	56.21	2557.86	38.89	3226.67	56	39
	Box5	27.00	56.39	2496.73	38.58	3177.61	56	39

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
29	Box1	27.50	55.80	2448.41	38.44	3096.43	57	39
	Box2	27.50	60.31	2402.26	35.38	3406.88	57	39
	Box3	27.50	58.26	2439.24	41.28	3040.39	57	39
	Box4	27.50	56.42	2565.12	39.25	3225.31	57	39
	Box5	27.50	57.05	2493.54	38.60	3199.63	57	39
30	Box1	25.88	0	10075.57	0	10291.59	0	0
	Box2	25.88	0	10102.22	0	10082.82	0	0
	Box3	25.88	0	10509.20	0	10643.69	0	0
	Box4	25.88	0	10847.11	0	11114.94	0	0
	Box5	25.88	0	10338.46	0	10555.42	0	0
31	Box1	26.75	0	9900.99	0	10019.08	0	0
	Box2	26.75	0	10677.51	0	11302.48	0	0
	Box3	26.75	0	10292.86	0	10432.19	0	0
	Box4	26.75	0	10737.57	0	10887.88	0	0
	Box5	26.75	0	10935.52	0	10682.95	0	0
32	Box1	25.06	0	9798.20	0	9578.11	0	0
	Box2	25.06	0	10396.04	0	10256.41	0	0
	Box3	25.06	0	10015.5	0	10215.36	0	0
	Box4	25.06	0	12976.98	0	10547.46	0	0
	Box5	25.06	0	10374.09	0	12180.97	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
33	Box1	25.31	0	9884.68	0	9949.07	0	0
	Box2	25.31	0	10419.25	0	10889.60	0	0
	Box3	25.31	0	9718.85	0	10286.55	0	0
	Box4	25.31	0	10602.04	0	10556.74	0	0
	Box5	25.31	0	10424.42	0	10380.62	0	0
34	Box1	24.94	0	9592.33	0	10159.65	0	0
	Box2	24.94	0	9791.35	0	10131.47	0	0
	Box3	24.94	0	10305.48	0	10267.69	0	0
	Box4	24.94	0	10511.83	0	10959.33	0	0
	Box5	24.94	0	9876.54	0	10064.70	0	0
35	Box1	25.81	0	9966.78	0	10129.02	0	0
	Box2	25.81	0	10596.70	0	10830.33	0	0
	Box3	25.81	0	10509.20	0	11513.16	0	0
	Box4	25.81	0	10757.06	0	10702.00	0	0
	Box5	25.81	0	10528.96	0	10798.33	0	0
36	Box1	25.06	0	10160.88	0	10062.29	0	0
	Box2	25.06	0	10421.84	0	10073.15	0	0
	Box3	25.06	0	9679.65	0	9581.38	0	0
	Box4	25.06	0	9856.84	0	10311.81	0	0
	Box5	25.06	0	9263.34	0	9567.20	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
37	Box1	26.56	0	9555.32	0	10027.46	0	0
	Box2	26.56	0	10606.06	0	10338.46	0	0
	Box3	26.56	0	10210.08	0	10489.51	0	0
	Box4	26.56	0	10681.59	0	11022.18	0	0
	Box5	26.56	0	10619.47	0	10958.90	0	0
38	Box1	25.31	0	9217.60	0	9392.82	0	0
	Box2	25.31	0	9967.96	0	9946.71	0	0
	Box3	25.31	0	10081.61	0	9043.93	0	0
	Box4	25.31	0	10173.19	0	10183.05	0	0
	Box5	25.31	0	9998.81	0	9825.71	0	0
39	Box1	27.12	0	9954.97	0	10416.67	0	0
	Box2	27.12	0	10680.23	0	9774.26	0	0
	Box3	27.12	0	10681.59	0	9884.68	0	0
	Box4	27.12	0	11038.11	0	9945.54	0	0
	Box5	27.12	0	10872.38	0	10938.92	0	0
40	Box1	26.12	0	10111.95	0	10265.18	0	0
	Box2	26.12	0	10688.38	0	10855.52	0	0
	Box3	26.12	0	10594.02	0	10651.79	0	0
	Box4	26.12	0	10765.15	0	10919.02	0	0
	Box5	26.12	0	10392.18	0	10398.61	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
41	Box1	29.62	0	10316.88	0	9834.91	0	0
	Box2	29.62	0	9578.11	0	9933.77	0	0
	Box3	29.62	0	10907.67	0	11071.57	0	0
	Box4	29.62	0	10830.33	0	11382.11	0	0
	Box5	29.62	0	10968.92	0	11627.91	0	0
42	Box1	25.88	0	9816.52	0	9896.32	0	0
	Box2	25.88	0	10555.42	0	12931.03	0	0
	Box3	25.88	0	10237.66	0	9482.95	0	0
	Box4	25.88	0	10064.70	0	9695.29	0	0
	Box5	25.88	0	10162.11	0	9958.51	0	0
43	Box1	28.19	0	10216.49	0	10363.97	0	0
	Box2	28.19	0	10434.78	0	10442.37	0	0
	Box3	28.19	0	10522.36	0	10930.38	0	0
	Box4	28.19	0	11073.03	0	10175.65	0	0
	Box5	28.19	0	9933.77	0	10555.42	0	0
44	Box1	31.31	0	11057.18	0	11167.24	0	0
	Box2	31.31	0	9905.66	0	10334.65	0	0
	Box3	31.31	0	13033.36	0	10838.71	0	0
	Box4	31.31	0	11083.26	0	11112.58	0	0
	Box5	31.31	0	10389.61	0	10678.87	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
45	Box1	25.38	0	11150.94	0	9472.26	0	0
	Box2	25.38	0	9609.88	0	10623.5	0	0
	Box3	25.38	0	9391.23	0	9635.24	0	0
	Box4	25.38	0	10794.58	0	10049.05	0	0
	Box5	25.38	0	9110.63	0	9693.05	0	0
46	Box1	28.38	0	10626.19	0	10976.09	0	0
	Box2	28.38	0	11038.11	0	11494.25	0	0
	Box3	28.38	0	10456.87	0	10584.68	0	0
	Box4	28.38	0	10948.91	0	11176.16	0	0
	Box5	28.38	0	10007.15	0	11359.03	0	0
47	Box1	25.25	0	9470.12	0	9716.6	0	0
	Box2	25.25	0	9811.94	0	9813.08	0	0
	Box3	25.25	0	9699.77	0	9802.78	0	0
	Box4	25.25	0	9883.52	0	9923.21	0	0
	Box5	25.25	0	9889.33	0	10058.68	0	0
48	Box1	26.75	0	9698.65	0	9814.23	0	0
	Box2	26.75	0	9943.18	0	9937.30	0	0
	Box3	26.75	0	10304.22	0	10502.63	0	0
	Box4	26.75	0	10911.92	0	10997.64	0	0
	Box5	26.75	0	10640.99	0	10743.06	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ครั้งที่-	กล่องที่-	อุณหภูมิ	กล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK				Watermark Meter	
			15 cm		30 cm		15 cm	30 cm
			kPa	ความถี่	kPa	ความถี่	kPa	kPa
49	Box1	27.00	0	10025.06	0	9951.43	0	0
	Box2	27.00	0	11111.11	0	10614.60	0	0
	Box3	27.00	0	10004.76	0	11857.71	0	0
	Box4	27.00	0	11002.30	0	10751.31	0	0
	Box5	27.00	0	10658.55	0	10555.42	0	0
50	Box1	25.19	0	9760.63	0	9409.66	0	0
	Box2	25.19	0	9808.50	0	10302.18	0	0
	Box3	25.19	0	10160.88	0	9965.59	0	0
	Box4	25.19	0	10334.65	0	9699.77	0	0
	Box5	25.19	0	10583.34	0	10394.75	0	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.6 ตารางคำนวณค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK หลังจากทำ Curve Fitting

ครั้งที่	Box1		Box2		Box3		Box4		Box5	
	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm	15 cm	30 cm
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
1	29.71	21.95	26.68	21.88	24.54	19.66	27.68	20.70	24.66	24.92
2	24.85	19.71	25.26	19.98	25.26	20.01	24.99	19.93	25.34	20.02

3	34.25	23.65	29.59	22.58	30.03	23.84	29.88	22.20	30.09	22.88
4	31.53	21.74	31.91	22.34	31.76	21.96	31.36	21.88	33.42	22.82
5	33.06	22.68	32.77	23.25	32.88	23.07	33.15	22.83	33.08	22.02
6	34.73	23.84	34.73	23.57	34.66	24.22	34.59	23.84	34.62	23.92
7	35.65	24.77	35.41	24.80	35.95	25.19	35.73	24.94	36.12	25.40
8	38.05	25.64	37.96	25.70	37.95	26.05	39.20	25.95	37.41	25.65
9	39.37	27.28	39.25	27.21	39.36	27.45	39.36	27.30	37.99	25.95
10	40.18	39.53	39.89	27.11	40.27	27.18	42.10	28.01	39.74	27.22
11	43.52	24.69	38.01	28.79	37.70	31.50	40.72	27.62	41.07	28.37
12	52.70	26.28	44.42	30.72	43.62	30.74	44.02	30.98	43.81	30.93
13	45.40	32.09	46.45	31.51	45.21	31.74	45.86	31.39	46.46	32.87
14	46.02	32.53	46.54	32.39	47.58	33.19	47.06	32.94	47.56	33.32
15	45.76	31.83	46.22	32.40	46.33	32.68	46.27	32.53	46.36	32.70
16	44.65	31.03	45.88	32.68	46.08	32.76	46.11	32.99	46.23	33.06
17	45.77	32.33	46.81	33.01	46.14	32.57	47.24	31.00	47.28	33.29
18	48.70	34.63	48.02	34.61	50.00	35.99	48.23	34.23	47.94	34.31
19	45.71	32.92	45.07	32.91	46.95	34.21	45.26	32.55	45.01	32.63
20	49.47	35.07	48.78	35.05	50.79	36.56	48.99	34.67	48.70	34.74
21	49.85	34.39	50.71	35.83	50.70	35.93	50.73	35.89	50.42	35.33
22	50.97	37.32	50.63	36.38	51.67	38.52	50.97	37.04	56.03	36.97
23	51.74	36.92	54.29	37.60	53.02	37.44	52.36	36.97	54.34	36.97
24	51.30	36.81	55.42	39.56	51.86	37.17	51.15	36.72	51.40	36.42
25	52.31	37.15	57.51	40.81	52.73	38.67	52.82	37.82	53.02	39.64
26	52.69	36.48	51.61	36.27	52.69	36.58	52.94	36.40	52.69	37.00
27	55.91	39.07	58.73	40.08	58.08	41.84	57.35	39.20	56.47	39.61
28	57.58	37.66	56.18	38.69	58.37	39.09	56.21	38.89	56.39	38.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

29	55.80	38.44	60.31	35.38	58.26	41.28	56.42	39.25	57.05	38.60
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Average	25.74	17.97	25.70	18.06	25.61	18.34	25.58	17.93	25.61	18.12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Relative error = $\left|\frac{X_{mea} - X_t}{X_t}\right|$ **สมการที่ 4.1**

% Error = Relative error ×100

โดย X_t คือ ค่าจริง (True value)

X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจาก WATERMARK ก่อนการทำ Curve Fitting

กล่องที่	ความลึก		ค่าเฉลี่ย
	15cm	30cm	
Box1	25.18	17.44	21.31
Box2	25.29	17.57	21.43
Box3	25.08	17.55	21.315
Box4	24.95	17.52	21.235
Box5	25.1	17.45	21.275
Watermark Meter	25.76	17.98	21.87

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกค่าเฉลี่ยของกล่องอ่านค่าจาก WATERMARK หลังการทำ Curve Fitting

กล่องที่	ความลึก		ค่าเฉลี่ย
	15cm	**30cm**	
Box1	25.74	17.97	21.86
Box2	25.70	18.06	21.88
Box3	25.61	18.34	21.98
Box4	25.58	17.93	21.76
Box5	25.61	17.81	21.71
Watermark Meter	25.76	17.98	21.87

จากตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8 เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาทำการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ตามสมการที่ 4.1 จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ก่อนทำ Curve Fitting

กล่องที่	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
Box1	2.561
Box2	2.012
Box3	2.538
Box4	2.904
Box5	2.721

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK หลังทำ Curve Fitting

กล่องที่	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
Box1	0.046
Box2	0.046
Box3	0.503
Box4	0.503
Box5	0.732

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.1 การวัดค่ากล่องอ่านค่ากับเซ็นเซอร์ WATERMARK

รูปที่ 4.2 การอ่านค่าจาก WATERMARK Meter

สรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ครั้งที่ 30 เป็นต้นไปค่าที่วัดได้จากกล่องอ่านค่าและ WATERMARK Meter เป็นศูนย์เนื่องจากฝนตกหนักทำให้ดินบริเวณนั้นเปียกค่าที่วัดได้จึงเป็นศูนย์

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำกล่องอ่านค่ามาทำ Curve Fitting ทำให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดลดลงจากกล่องอ่านค่าที่ไม่ได้ทำ Curve Fitting ประมาณ 2 % และกล่องที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ กล่องที่ 1 และกล่องที่ 2 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ 0.046 %

4.1.3 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1.เพื่อดูการทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ

2. เพื่อเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมบริเวณที่ไปติดตั้ง

ขั้นตอนการทดลอง

1.นำเซ็นเซอร์ต่างๆไปติดตั้งในกระถางต้นไม้

2.นำบอร์ด STM32F4 Discovery ไปอ่านค่า แสดงผลบนจอ LCD และบันทึกค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ

3.ต่อโซล่าเซลล์เข้ากับแบตเตอรี่และบอร์ด STM32F4 Discovery โดยผ่านวงจรชาร์จ

4.กด DIP-Switch 1 ให้ ON เพื่อบันทึกข้อมูลลง SD-Card และกด DIP-Switch 4 ให้ ON เพื่อส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak

5.บันทึกผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.11 ตารางบันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อม

วัน / เดือน /ปี	เวลา	ความชื้นในดิน		% ความชื้นในอากาศ	อุณหภูมิ (°C)		ความเข้มแสง (Lux)	kPa
		EC-5	Soil Moisture Sensor		อากาศ	ดิน		
8/10/2016	17:11:46	19.78	36.38	84.04	28.24	26	810.85	4.57
	18:11:46	18.88	36.26	92.36	25.92	25.81	1.64	3.36
	19:11:45	19.17	33.61	94.1	25.22	25.44	0	1.21
	20:11:45	19.09	35.59	94.35	25.11	25.19	0	1.21
	21:11:45	19.17	32.9	94.64	24.87	25	1.38	9.81
	22:11:45	18.94	32.44	94.86	24.94	24.81	0.82	2.22
	23:11:44	18.83	32.62	94.73	24.94	24.69	0.82	9.96
9/10/2016	0:11:44	19.25	31.85	94.97	24.78	24.56	0.82	1.21
	1:11:44	18.86	30.88	95.2	24.45	24.5	0	1.21
	2:11:44	19.03	31.09	95.42	24.42	24.31	0	1.21
	3:11:43	18.96	30.73	95.29	24.27	24.19	0	1.21
	4:11:43	19.13	30.12	95.58	24.38	24.12	0	2.61
	5:11:43	18.96	32.15	95.69	24.07	24	0	5.12
	6:11:43	19.03	29.78	95.42	23.63	23.81	195.52	1.21
	7:11:42	19.17	31.13	89.36	26.75	23.81	1721.41	2.57
	8:11:42	19.08	30.57	80.56	29.21	24.25	2991.07	20.65
	9:11:42	18.88	30.49	73.56	31.45	25	4294.98	2.59
	10:11:42	19.13	31.36	64.71	34.3	25.62	5228.87	1.21
	11:01:42	19.44	30.84	57.06	36.29	26.25	6334.79	1.21
	12:18:49	19.31	27.45	42.71	41.44	27.5	11792.61	10.92
	13:18:49	19.54	29.8	55.29	35.7	28.56	6426.01	1.21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	14:18:48	19.38	29.14	42.75	39.96	28.88	10154.95	8.58
	15:18:48	19.58	29.51	55	33.8	28.81	4015.17	4.13
	16:18:48	19.52	29.09	58.42	32.16	28.31	2756.74	8.96
	17:16:46	20.08	37.13	85.89	27.9	26	744.9	1.21
	18:16:46	19.13	35.21	92.59	25.86	25.81	0.22	1.21
	19:16:45	19.08	36.34	93.97	25.22	25.44	0	1.21
	20:16:45	19.24	34.42	94.3	25.08	25.19	0	2.83
	21:18:24	20	31.11	93.36	25.45	25.75	0	1.21
	22:18:24	19.94	30.98	93.97	25.4	25.56	0	1.21
	23:18:24	19.81	28.73	94.57	25.01	25.38	0	1.21
10/10/2016	0:18:24	19.6	28.39	94.75	24.79	25.12	0	2.99
	1:18:24	19.74	28.75	94.37	25.33	24.94	0	1.21
	2:18:23	19.96	29.84	93.49	25.1	24.88	0	1.21
	3:18:23	19.66	31.09	95.17	24.27	24.69	0	1.21
	4:18:23	19.69	29.67	95.46	23.97	24.5	0	1.21
	5:18:23	19.7	29.92	95.53	23.71	24.19	0	1.21
	6:18:07	19.27	28.77	94.73	25.29	24.12	229.39	11.66
	7:18:06	19.35	29.38	86.47	28.34	24.25	2840.24	1.21
	8:18:06	19.35	31.04	70.74	30.6	24.56	4530.24	13.08
	9:18:06	19.4	30.7	69.69	30.37	24.56	3081.28	17.93
	10:18:06	19.45	30.46	54.65	35.28	24.56	8545.48	18.08
	11:18:05	19.37	30.53	51.13	36.73	24.56	7667.28	18.28
	12:18:05	19.05	32.25	42.8	40.15	24.56	9206.53	18.81
	13:18:05	18.94	31.67	47.92	36.49	24.56	5341.49	19.76
	14:18:48	19.38	29.14	42.75	34.96	24.56	4962.64	21.71
	15:18:05	18.92	31.38	50.03	34.57	24.56	4024.72	23.64
	16:18:04	19	29.82	55.59	32.42	24.56	2766.46	22.27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

	17:18:25	19.35	31.12	69.36	32.52	24.56	2573.8	15.98
	18:18:09	19.25	30.08	74.13	32.09	24.56	0	13.08
	19:18:25	19.78	31.54	79.38	30.04	24.75	0	1.21
	20:21:45	18.99	33.68	80.48	29.57	24.69	0	1.21
	21:21:45	19.6	30.45	84.12	28.22	24.69	0	1.21
	22:21:45	19.32	31.27	86.11	27.32	24.69	0	1.21
	23:21:45	19.42	31.05	87.1	26.92	24.69	0	1.21
11/10/2016	0:21:45	19.46	30.63	87.91	26.83	24.69	0	1.21
	1:28:08	19.29	28.55	94.95	24.03	24.69	0	13.1
	2:28:08	19.23	29.46	94.68	24.35	24.69	0	12.64
	3:28:07	19.21	30.18	95.06	24.53	24.69	0	14.65
	4:28:07	19.35	29.93	95.6	24.41	24.69	0	12.08
	5:28:07	19.41	29.97	94.88	24.6	24.69	0	12.17
	6:28:07	19.32	30.18	94.64	25.53	24.69	508.24	1.21
	7:28:06	19.19	29.37	85.14	28.55	24.38	3061.39	1.21
	8:28:06	19.19	30.8	70.39	30.74	24.56	4896.95	18.48
	9:28:06	19.23	29.29	67.97	31.69	24.56	5308.21	19.54
	10:28:06	19.33	30.46	53.59	35.96	24.56	8294.65	17.47
	11:28:05	19.21	30.26	52.84	36.45	24.56	9145.88	17.94
	12:28:05	19.15	31.35	47.6	37.75	24.56	7488.17	24.29
	13:28:05	19.25	30.99	46.64	37.07	24.56	4746.02	19.48
	14:28:05	19.05	32.22	28.98	46.71	24.56	10941.12	21.04
	15:28:05	19	30.05	52.68	33.62	24.56	3720.33	23.75
	16:28:04	18.94	30.36	57.58	32.15	24.56	2578.3	24.68

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ สามารถแสดงผลบนหน้าจอ LCD สามารถบันทึกข้อมูลลง SD-Card และสามารถส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak ได้

4.2 การทดสอบซอฟต์แวร์

4.2.1 การทดลองบันทึกข้อมูลลง SD-Card และส่งข้อมูลขึ้น ThingSpeak

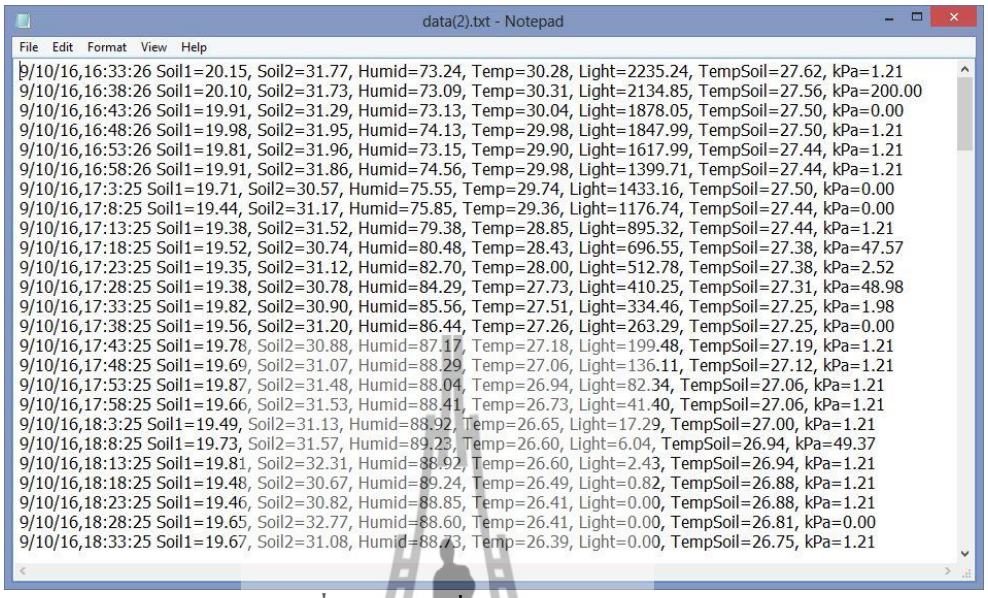
วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ลงหน่วยความจำ SD-Card
2. เพื่อทดสอบการส่งข้อมูลผ่าน WiFi ไปยัง ThingSpeak

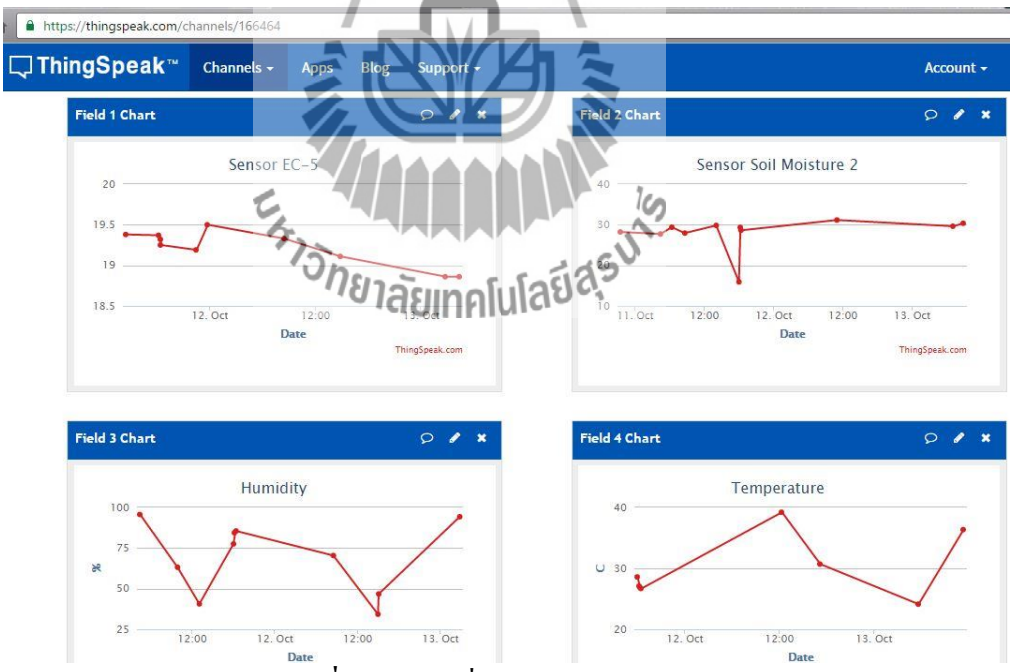
ขั้นตอนการทดลอง

1. กด DIP-Switch 1 ที่บอร์ด STM32F4 Discovery ให้ ON แล้วข้อมูลต่างๆจะถูกบันทึกลงใน SD-Card
2. เมื่อกด DIP-Switch 4 ON ข้อมูลก็จะถูกส่งขึ้น ThingSpeak
3. เปิด Brower แล้วพิมพ์ https://thingspeak.com/channels/166464 ตรง Address Bar ตรวจสอบแนวโน้มของค่าต่างๆที่แสดงผลเป็นกราฟในเว็บเพจ

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 ข้อมูลที่ถูกบันทึกลง SD-Card



รูปที่ 4.4 ข้อมูลที่แสดงบน ThingSpeak

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเมื่อกด DIP-Switch 1 ให้ ON สามารถบันทึกข้อมูลลง SD-Card ได้ และเมื่อกด DIP-Switch 4 ให้ ON สามารถแสดงผลบน ThingSpeak ได้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงงานการปรับเทียบเซ็นเซอร์สำหรับระบบให้น้ำอัตโนมัติมีหลักการทำงานโดยการออกแบบกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK และนำมาปรับเทียบกับเครื่องมือวัด WATERMARK Meter ให้มีค่าใกล้เคียงที่สุด และสามารถนำไปใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า โดยการนำแผงโซล่าเซลล์มาเป็นพลังงานป้อนให้กับระบบ และ ออกแบบวงจรชาร์จแบตเตอรี่ขึ้น เพื่อจะนำพลังงานจากแบตเตอรี่ไปใช้งานในเวลากลางคืน นอกจากนี้กล่องอ่านค่าจาก เซ็นเซอร์ WATERMARK ที่ออกแบบขึ้นแล้วยังมี ค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆที่ติดตั้งไว้กับพืชซึ่งค่าเหล่านั้นเป็นองค์ประกอบสำหรับการเจริญเติบโตของพืชเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็น ความชื้นในอากาศ ความเข้มแสง ความส่องสว่าง อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิอากาศ และค่าในแต่ละช่วงเวลาจะบันทึกค่าลงใน SD-Card และส่งไปยัง ThingSpeak ทำให้สามารถดูค่าที่เป็นองค์ประกอบสำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้ทุกเมื่อผ่าน ThingSpeak จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1.กล่องที่ออกแบบอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK เมื่อนำมาปรับเทียบกับเครื่องมือวัด WATERMARK Meter แล้ว มีค่าความผิดพลาดเพียง 0.732% เท่านั้น

2. วงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ออกแบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยมีค่าแรงดัน 15.04 โวลต์

3. เซ็นเซอร์ต่างๆที่ติดตั้งสามารถวัดค่าที่เป็นองค์ประกอบสำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้ และสามารถบันทึกข้อมูลลง SD-Card พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปยังระบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud Computing) ได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค์

1. ในกรณีที่แสงน้อยหลายวันทำให้แบตเตอรี่ไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการทำงานเวลากลางคืน

2. ระบบมีการส่งข้อมูลผิดพลาดบ่อยครั้งทำให้ ไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak ได้ต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ระหว่างช่วงที่วัดค่าความชื้นในดินจากกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK ที่ออกแบบ ที่จะนำมาปรับเทียบกับค่าที่วัดจาก WATERMARK Meter นั้น ช่วงที่วัดมีสภาพอากาศที่ฝนตกต่อเนื่องหลายวัน ทำให้ค่าที่วัดได้เป็น 0 ทั้งคู่ ทำให้ค่าไม่มีผลต่อการปรับเทียบ

4. สายไฟที่ใช้เชื่อมต่อบอร์ดกับเซ็นเซอร์หลวมทำให้บอร์ดไม่ได้รับค่าจากเซ็นเซอร์

5. ในพื้นที่ที่ไม่มี WIFI ระบบจะไม่สามารถส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak ได้

5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

1.เพิ่มความจุของแบตเตอรี่และกำลังของโซล่าเซลล์

2. เปลี่ยน ESP8266 เป็นเวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า หรือ เปลี่ยนการออกแบบโปรแกรมให้เป็นแบบ Stateflow

3. ต้องรอให้ดินแห้ง ถึงจะสามารถวัดค่าได้อีกครั้ง

4. ออกแบบแผ่นวงจรให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างแน่นหนา

5. ใช้ Aircard หรือ Hotspot เป็นตัวปล่อยสัญญาณ WIFI

5.4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในอนาคตจะทำการสร้างระบบให้น้ำอัตโนมัติ โดยการสร้างเงื่อนไขจากค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ต่างๆที่นำไปติดตั้งกับพืช

5.5 สิ่งที่ได้รับจากการทำโครงงาน

1. เข้าใจหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น STM32F4 Discovery

2. เข้าใจหลักการทำงานและการเขียนโปรแกรม ESP8266

3. เข้าใจหลักการทำงานของกล่องอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ WATERMARK

4. เข้าใจหลักการทำงานของวงจรชาร์จแบตเตอรี่

5. เข้าใจหลักการปรับเทียบระหว่างกล่องอ่านค่าเซ็นเซอร์ WATERMARK กับ WATERMARK Meter

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. เข้าใจหลักการทำงานและเขียนโปรแกรมในการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ EC-5 Soil Moisture เซ็นเซอร์ความเข้มแสง เซ็นเซอร์อุณหภูมิในดิน เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ รวมทั้งโปรแกรมในการอ่านค่าเวลาจาก Real Time Clock ได้

บรรณานุกรม

[1] http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/70/fe/4a/3f/e7/e1/4f/7d/DM00039084.pdf/files/DM00039084.pdf/jcr:content/translations/en.DM00039084.pdf

[2] ธีระภัทร เจริญปรุ และ วรวุฒิ บุญเป็ง. (2556). เครื่องควบคุมการให้น้ำสำหรับไร่มันสำปะหลัง.

[3] https://www.aimagin.com/amg-sense-humidity-temperature.html

[4] https://www.aimagin.com/amg-high-precision-real-time-clock.html

[5] https://www.aimagin.com/amg-sense-light.html

[6] https://www.adafruit.com/product/381

[7] http://www.irrometer.com/pdf/sensors/403%20WATERMARK%20Sensor-WEB.pdf

[8] http://www.irrometer.com/pdf/instruction%20manuals/sensors/701%20Meter%20Manual-WEB.pdf

[9] http://manuals.decagon.com/Manuals/13876_EC-5_Web.pdf

[10] http://www.ayarafun.com/2014/09/esp8266-at-command-tutorial/

[11] https://www.aimagin.com/amg-clcd-2.html

[12] https://www.aimagin.com/amg-f4-connect-2.html

[13] https://thingspeak.com/

[14] http://www.geocities.ws/psw1999/Instrument/Instrument1.pdf

[15] http://pirun.ku.ac.th/~fengslj/02212471/doc54a/chap05_rev2.pdf

[16] http://www.emesystems.com/pdfs/SMX.pdf

[17] https://sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/simple-linear-regression-analysis

[18] เอกสารประกอบหน่วยปฏิบัติการที่ 1 ระบบสมองกลฝังตัววิชาปฏิบัติการวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสูง

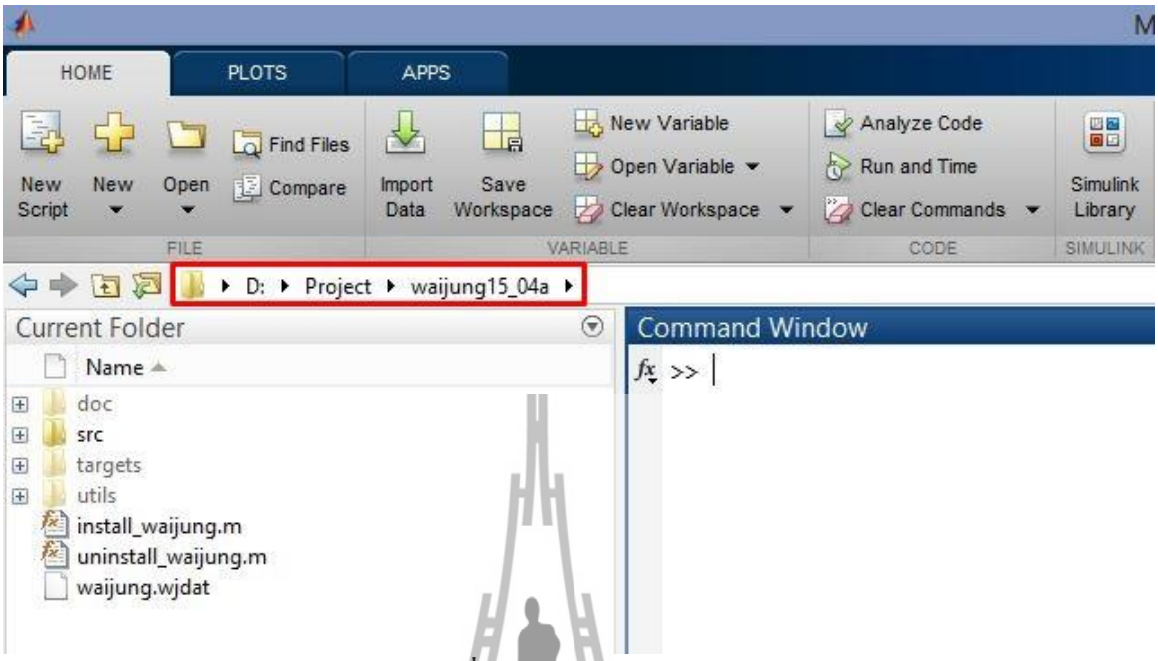
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

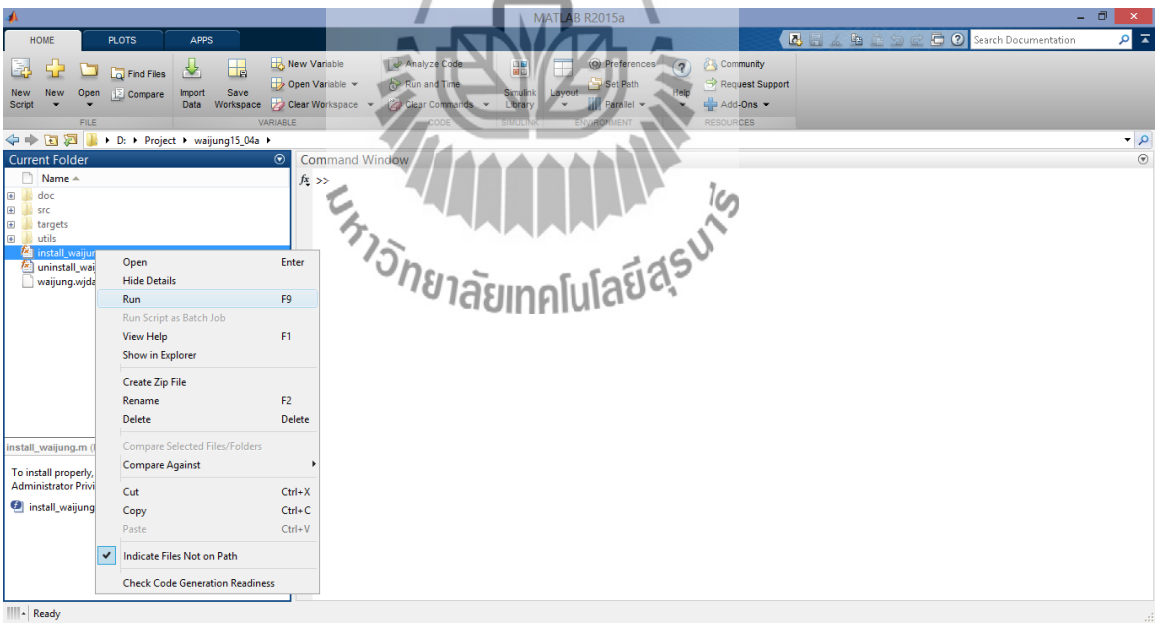
ภาคผนวก ก

การติดตั้งโปรแกรมสำหรับการออกแบบโปรแกรมแบบแผนภาพโดยใช้ Waijung Blockset

1. ทำการติดตั้ง Microsoft .net framework 3.5 หรือใหม่กว่า
2. ทำการติดตั้งโปรแกรม STLink Utility
3. ทำการติดตั้งโปรแกรม MATLAB R2009a หรือใหม่กว่า
4. ทำการดาวน์โหลด Waijung Blockset สามารถดาวน์โหลดได้จาก
URL: https://www.aimagin.com/download/
5. หลังจากที่ได้ทำการดาวน์โหลด Waijung Blockset เสร็จแล้วจากนั้นให้ทำการแตกไฟล์
6. ทำการเปิดโปรแกรม MATLAB R2015a
7. ทำการเปลี่ยน Current Directory ให้ตรงกับ Directory ที่ได้ทำการแตกไฟล์ Waijung Blockset ไว้ดังรูปที่ ก.1 ในบริเวณกรอบสีแดง
8. ทำการคลิกขวาที่ไฟล์ install_waijung.m แล้วเลือก Run หรือ F9 เพื่อทำการติดตั้ง Waijung Blockset ดังรูปที่ ก.2 จากนั้นรอจนกว่าจะทำการติดตั้งเสร็จจะมีข้อความขึ้นว่า Finish Waijung Installation ในหน้าต่าง Command Window ดังรูปที่ ก.3 ในบริเวณกรอบสีแดง
9. ภายในหน้าต่าง Command Window ให้พิมพ์คำสั่ง Simulink แล้วกด Enter หรือเลือกที่เมนู Simulink Library จะมีหน้าต่าง Simulink Library Browser ขึ้นมาดังรูปที่ ก.4
10. ภายในหน้าต่าง Libraries เลื่อนลงมาข้างล่างแล้วคลิกที่ไวจังบล็อกเซตหนึ่งครั้งจะได้ดังรูปที่ ก.5
11. ทำการเชื่อมต่อบอร์ด STM32F4 Discovery เข้ากับคอมพิวเตอร์ จากนั้นที่เมนูทำการคลิกที่ File > New > Model จะเป็นการสร้างไฟล์ใหม่ จากนั้นทำการลากบล็อกตามต้องการ แล้วทำการคลิกขวาเลือก Update Diagram หรือ Ctrl + D เมื่ออัพเดทเสร็จ ทำการกด Ctrl + B เพื่อทำการโหลดโปรแกรมลงบอร์ด STM32F4 Discovery รอจนการโหลดโปรแกรมเสร็จสิ้น

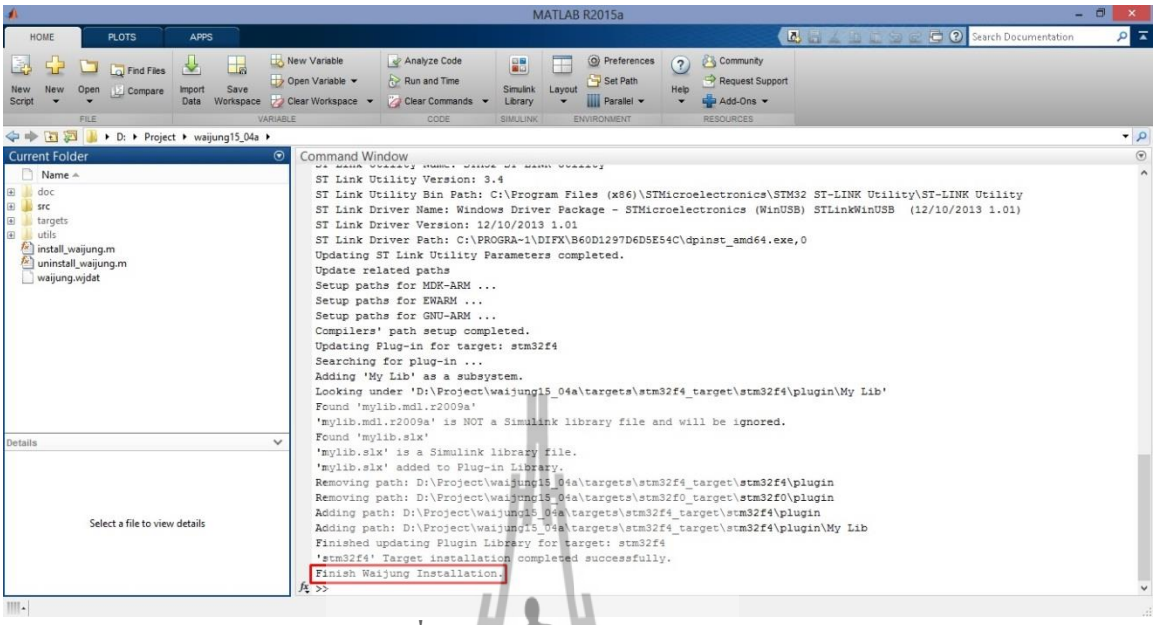


รูปที่ ก.1 Current Directory

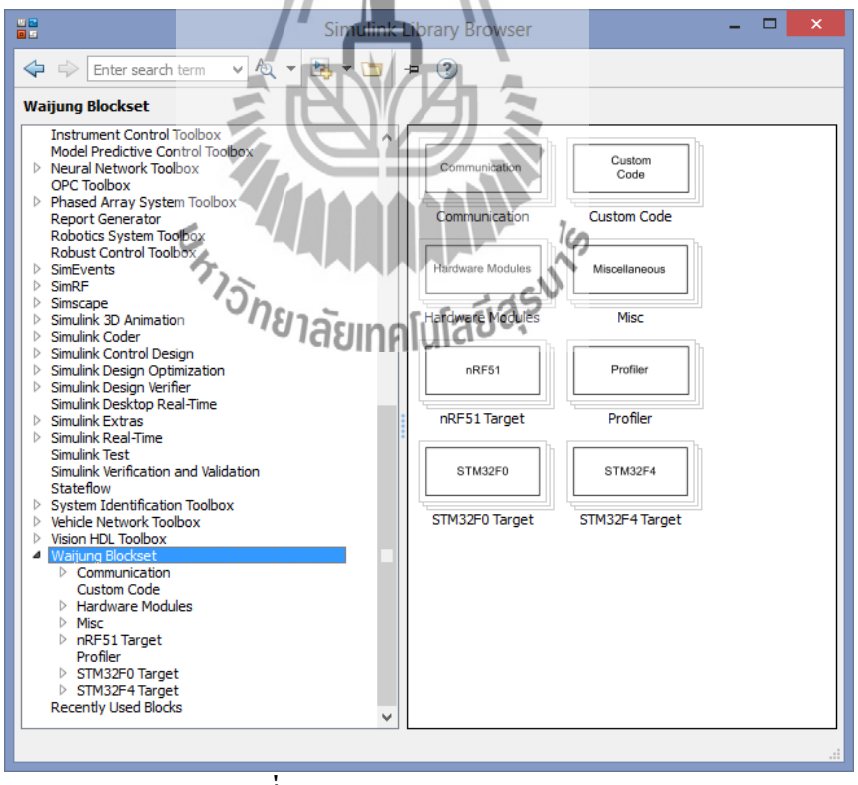


รูปที่ ก.2 install_waijung.m

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.3 Finish Waijung Installation



รูปที่ ก.4 Simulink Library Browser

ภาคผนวก ข

การตั้งค่าให้กับ ESP8266

1. เชื่อมต่อ ESP8266 กับบอร์ด Arduino UNO โดยการเชื่อมต่อขาสัญญาณดังนี้

- Rx กับ Rx
- Tx กับ Tx
- VCC กับ 3V
- CH_PD กับ 3V
- GND กับ GND

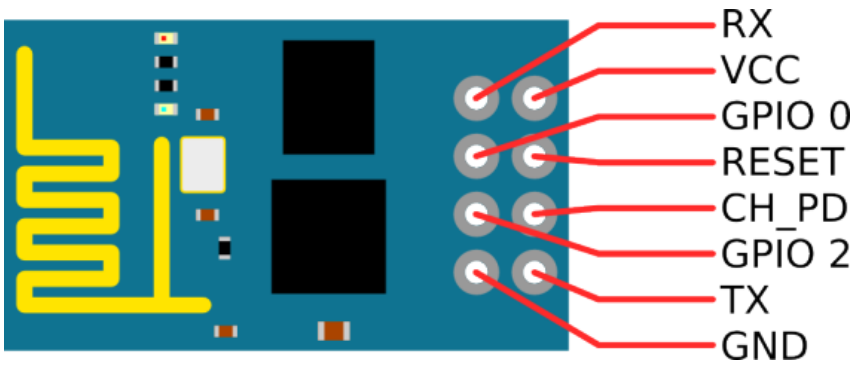
ขาสัญญาณของ ESP8266 แสดงในรูปที่ ข.1

2. เปิดโปรแกรม Arduino IDE แล้วทำการเลือก File > Examples > Basics > Blink ดังแสดงในรูปที่ ข.2 แล้วทำการ Upload โปรแกรมไฟกระพริบ ลงบอร์ด Arduino เมื่อ Upload เสร็จ ให้ทำการเลือก Tools > Serial Monitor แล้วทำการพิมพ์คำสั่ง AT ดังรูปที่ ข.3 ถ้าเชื่อมต่อกับ ESP8266 สำเร็จจะแสดงคำว่า OK

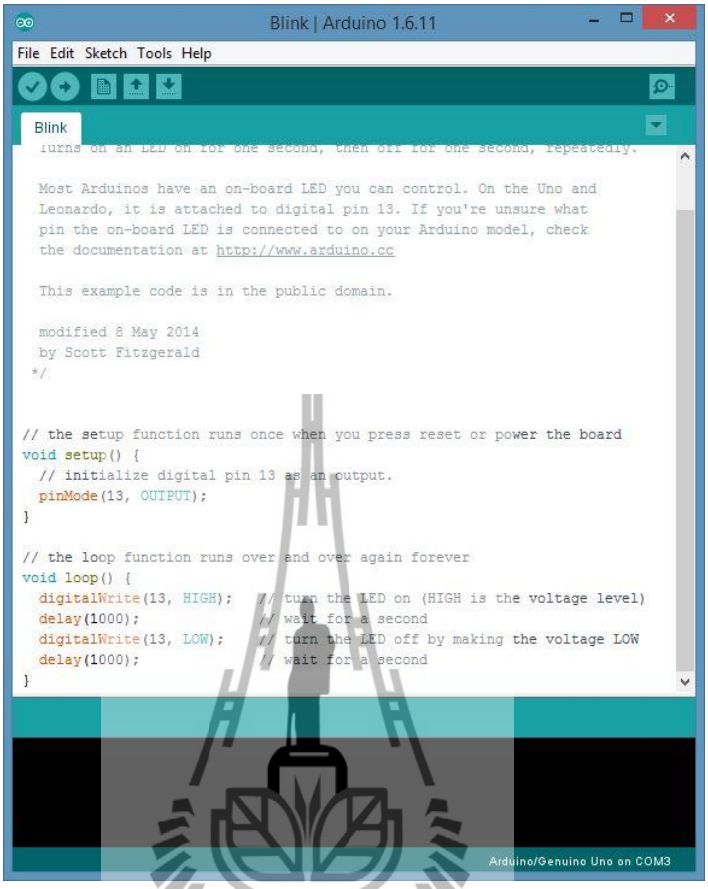
3. ทำการพิมพ์คำสั่ง AT+CWMODE=3 แล้วกด Send เป็นคำสั่งตั้งค่าโหมด STA+AP ให้กับ ESP8266 ดังรูปที่ ข.4

4. ทำการพิมพ์คำสั่ง AT+CWJAP="User Name","Password" แล้วกด Send เป็นคำสั่งการตั้งค่า ESP8266 รับสัญญาณ WiFi จาก Access Point ที่ต้องการ ดังรูปที่ ข.5

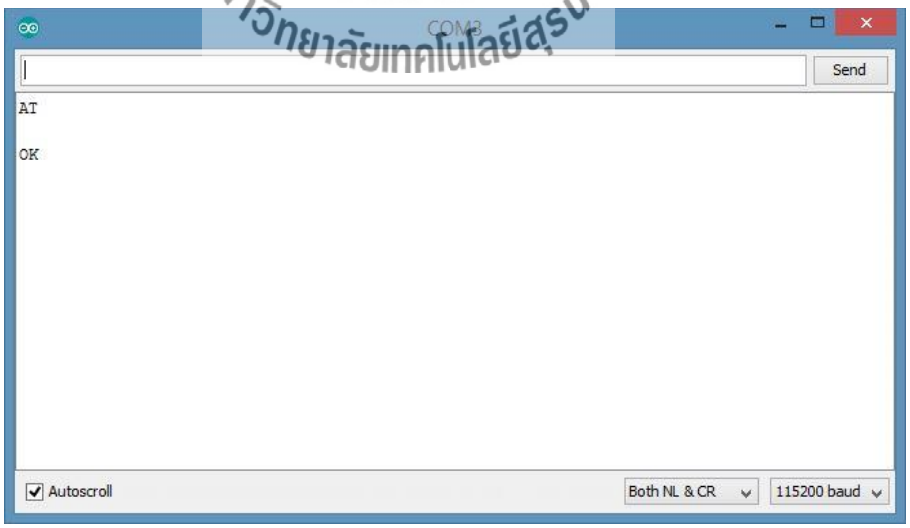
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ข.1 ขาสัญญาณของ ESP8266

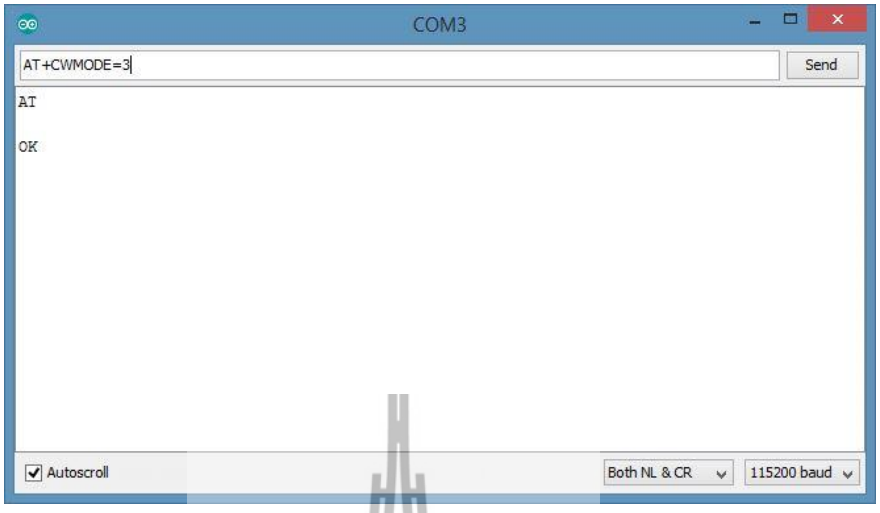


รูปที่ ข.2 โปรแกรมไฟกระพริบ

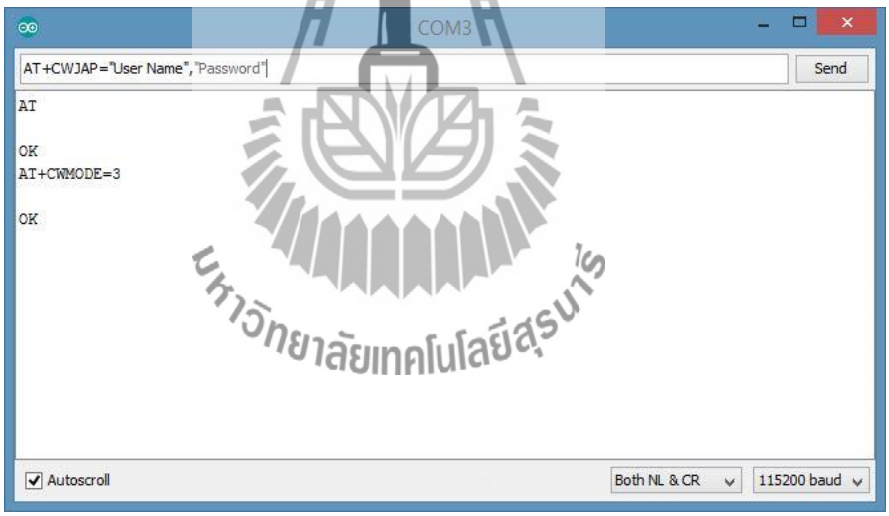


รูปที่ ข.3 คำสั่ง AT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ข.4 การตั้งค่าโหมด STA+AP ให้กับ ESP8266



รูปที่ ข.5 การตั้งค่า ESP8266 ให้รับสัญญาณ WiFi จาก Access Point

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการทำ Curve Fitting

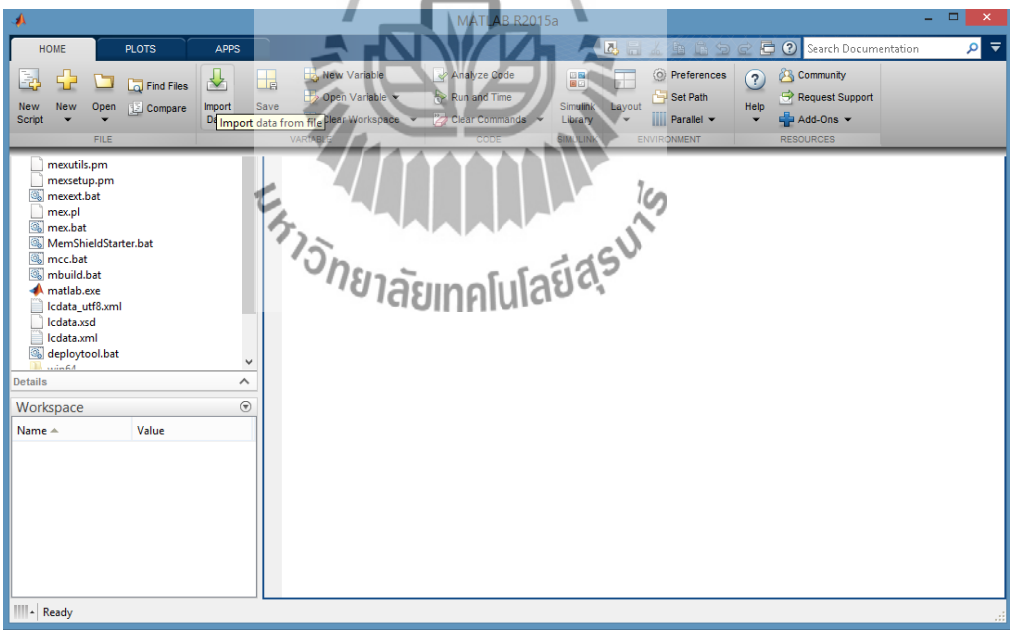
1. ทำการเปิดโปรแกรม MATLAB R2015a ขึ้นมา แล้วคลิกที่เมนู Import Data ดังรูปที่ ค.1

2. ทำการเลือกไฟล์ Excel ที่เราบันทึกค่าไว้แล้วกด Open ดังรูปที่ ค.2

3. จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.3 แล้วทำการเลือกข้อมูลที่ต้องการทำ Curve Fitting แล้วกด Import Selection

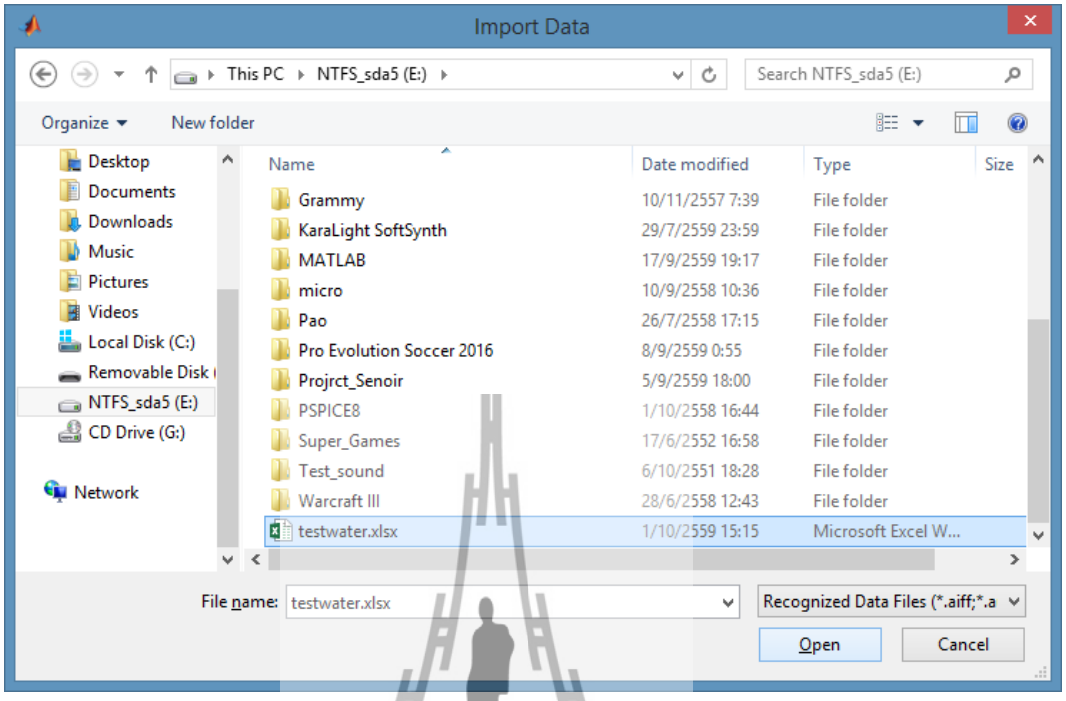
4. เปิดหน้าต่าง Command Window พิมพ์ cftool แล้วกด Enter จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ค.4

5. หน้าต่าง Curve Fitting Tool ดังรูปที่ ค.5 ทำการเลือก X data: เป็นค่าจากกล่องอ่านค่า เลือก Y data: เป็นค่าที่ได้จาก Watermark Meter สามารถปรับ Degree ให้สูงขึ้นได้เพื่อให้สมการมีความใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น และจะได้สมการในกรอบสีแดง

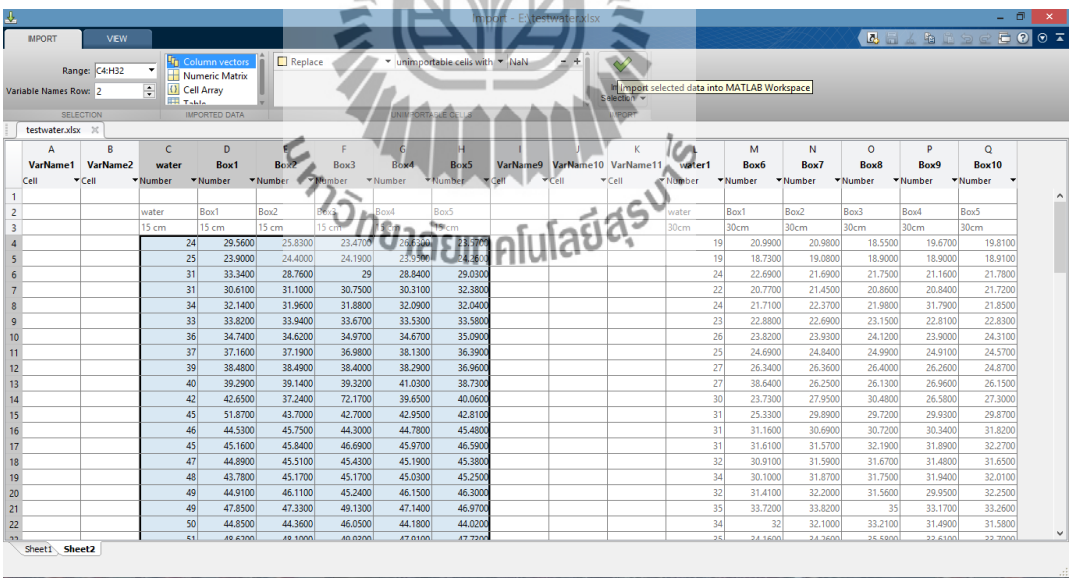


รูปที่ ค.1 เมนู Import Data ใน MATLAB R2015a

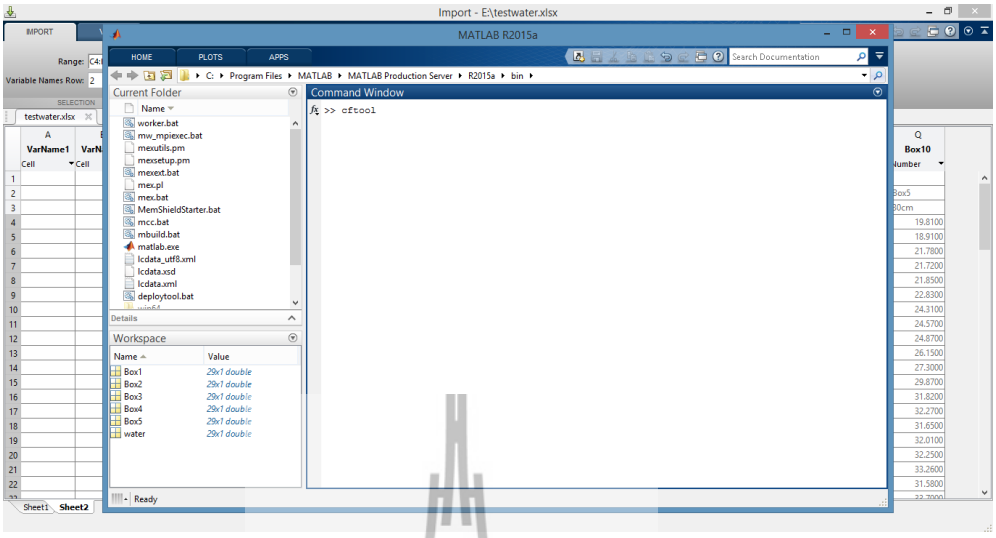
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



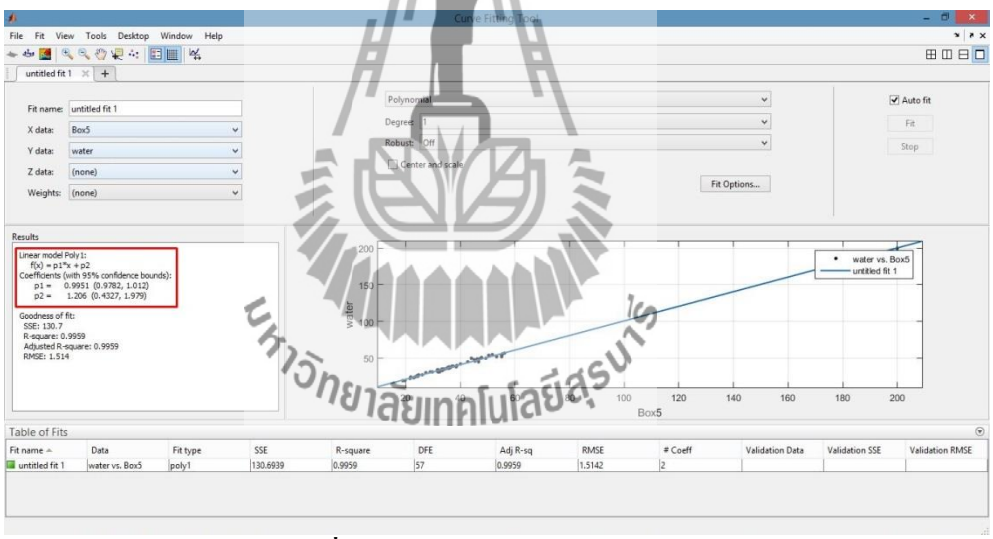
รูปที่ ค.2 หน้าต่าง Import Data



รูปที่ ค.3 หน้าต่างเลือกข้อมูลที่ต้องการทำ Curve Fitting



รูปที่ ค.4 หน้าต่าง Command Window



รูปที่ ค.5 หน้าต่าง Curve Fitting Tool

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ : นางสาวจตุพร ไชยฮ้อย

ชื่อเล่น : ป้อ

เกิดเมื่อ : วันอังคาร ที่ 21 มีนาคม พ.ศ.2538

ภูมิลำเนา : 131/1 หมู่ 5 ต.สามพร้าว อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000

สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมปลายจากโรงเรียนสตรีราชินูทิศ จ.อุดรธานี

เมื่อปีการศึกษา 2556

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อ : นายเกียรติศักดิ์ ศรีรักษา

ชื่อเล่น : เปา

เกิดเมื่อ : วันจันทร์ ที่ 29 สิงหาคม พ.ศ.2537

ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 151 หมู่ 16 ต.เชียงหวาง อ.เพ็ญ จ.อุดรธานี 41150

สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมปลายจาก**โรงเรียนอุดรพัฒนาการ จ.อุดรธานี**

เมื่อปีการศึกษา 2556

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อ : นายนราธร พลประเสริฐ

ชื่อเล่น : ตั้ว

เกิดเมื่อ : วันอาทิตย์ ที่ 25 กันยายน พ.ศ.2537

ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 131 หมู่ 4 บ้านพลับ ต.บ้านผือ อ.บ้านผือ จ.อุดรธานี 41160

สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมปลายจาก**โรงเรียนบ้านผือพิทยาสรรค์ จ.อุดรธานี**

เมื่อปีการศึกษา 2556

ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี