

การพัฒนาระบบการติดตามเผ้าระวางอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของ
สารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

THE DEVELOPMENT TRACKING SYSTEM MONITORING TEMPERATURE AND
RELATIVE HUMIDITY OF CURING POTTING PROCESS IN ELECTRONIC
MANUFACTURING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-060-208

การพัฒนาระบบการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของ
สารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์
THE DEVELOPMENT TRACKING SYSTEM MONITORING TEMPERATURE AND
RELATIVE HUMIDITY OF CURING POTTING PROCESS IN ELECTRONIC
MANUFACTURING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2558
KMITL-2015-EN-M-060-208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DEVELOPMENT TRACKING SYSTEM MONITORING TEMPERATURE AND
RELATIVE HUMIDITY OF CURING POTTING PROCESS IN ELECTRONIC
MANUFACTURING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENT ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-EN-M-060-208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

Thesis Title The Development Tracking System Monitoring Temperature and Relative Humidity of Curing of Potting Process in Electronic Manufacturing

นักศึกษา นายภาคิน ปัญญาวรเมธ

รหัสประจำตัว 55611707

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.วิริยะ กองรัตน์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M- 060 - 208

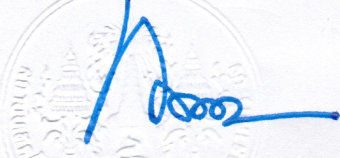
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.ดร.ทวีพล	ชื่อสัตย์	
ดร.ยุทธพงศ์	ทัฬหผดุง	
รศ.สุพรรณ	กุลพานิชย์	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2558 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการ แข่งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อเล็กทรอนิกส์
นักศึกษา	นายภาคิน ปัญญาวรเมธ
รหัสประจำตัว	55611707
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.วิริยะ กองรัตน์

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการแข่งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิต โดยงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการของ DOE (Design of Experiment) เพื่อออกแบบ ให้สามารถส่งข้อมูลผ่าน Web Server ได้ ซึ่งนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ควบคุม บันทึก และเฝ้าระวัง ความชื้นของประตูห้องควบคุมในกระบวนการแข่งตัวของน้ำยาเมือก โดยตัวเครื่องประกอบด้วย 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN 2. ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) 3. ตัวตรวจวัดประตู 4. ตัวตรวจวัดการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 5. เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web server) 6. ฐานข้อมูล (Data base) ผลทดสอบการทำงานของงานวิจัย สำหรับการวัดอุณหภูมิ และความชื้นเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 % และ 1.48% ตามลำดับและสามารถส่งข้อมูลผ่าน web server หากพบความผิดปกติของผลิตภัณฑ์สามารถตรวจสอบย้อนกลับมาดูข้อมูลที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลได้

Thesis Title	The development tracking system monitoring temperature and relative humidity of curing potting process in electronic manufacturing .
Student	Mr.Pakin Phanyaworramate
Student ID.	55611707
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Viriya Kongratana

ABSTRACT

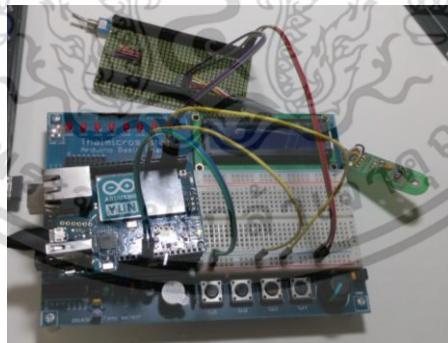
This research is development instrument for monitoring temperature, relative humidity, status of temperature and humidity controller (on/off), and door (open/off). Generally, monitoring and recording have to use operator to keep the information environment of temperature and relative humidity of potting process room. We develop this device for used it instead of operator. The system can monitor real time and all time up to user and it will be alert direct to user. The system including, 1.Arduino YUN 2.temp &humidity sensor 3.door sensor 4.sensor form device controller 5.web server 6.data base. The result of system for measure temperature and relative humidity have found relative error for temp 1.57% and relative humidity 1.48% can see data by web server if in the future can tracking old information by can use the data in database.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในงานโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทอิเล็กทรอนิกส์หลังจกที่มีการนำอุปกรณ์ อย่างเช่น ตัวต้านทาน (Resistor) ไอซี(IC) หรือตัวเก็บประจุ(Capacitor) ฯลฯ มาบัดกรีประกอบกับแผงลายวงจร(PCB) นั้นเมื่อเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง โดยส่วนใหญ่จะเป็นงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในงานยานยนต์หรือใช้งานในสภาวะที่ต้องอยู่เหนือน้ำในทะเลหรือแม้กระทั่งใช้งานบนอากาศ หรืออากาศยาน จะต้องมีการป้องกันการเกิดความเสียหายกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของแรงสั่นสะเทือน ความชื้นและการกระแทก และในกระบวนการแข็งตัวของน้ำยาเมือก ในกระบวนการ(potting process) ปัจจัยหลักที่ส่งผลทำให้เกิดฟองอากาศในภายในตัวน้ำยา คืออุณหภูมิและความชื้นที่ไม่ได้ค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่งผลกระทบต่อความเสียหายในกระบวนการนี้ ซึ่งหากน้ำยาแข็งตัวแล้วไม่สามารถที่จะนำงานไปซ่อมแซมได้ ส่งผลทำให้จะต้องทำลายชิ้นงานทั้งหมด โดยปกติแล้วการเผื่อระวังอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะต้องใช้พนักงานในการจดบันทึกค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และแจ้งหัวหน้างานหากมีความผิดปกติเกิดขึ้น แต่หากความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้นเกิดขึ้นภายหลังจากการบันทึกค่าหรือนอกเวลาทำงานทำให้ต้องสูญเสียคุณภาพของตัวงาน และต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานประจำส่งผลทำให้เสียงบประมาณใช้จ่ายมากขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการพัฒนาเครื่องเฝ้าติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อัตโนมัติมาใช้ในการเผื่อระวังและบันทึกผลแทนพนักงาน เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า



รูปที่ 1.1 แสดงวงจรการต่อใช้งานระบบเผื่อระวังความผิดปกติของอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงพนักงานต้องบันทึกค่าของอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 1.3 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้อยู่และการบันทึกในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงห้องที่ต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการพัฒนาระบบการติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการแข่งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1.2.1 ออกแบบระบบเฝ้าติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการแข่งตัวของสารเมือก (น้ำยาเรซินกับ ฮาร์ดดินเนอร์) โดยหาค่าอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการของการออกแบบการทดลอง DOE (Design Of Experiment) ในการหาค่าที่ Parameter ที่เหมาะสม

1.2.2 ออกแบบและสร้างวงจรของระบบการทำงานของระบบเฝ้าติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถตรวจจับสถานะประตุ และการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

1.2.3 ศึกษาความแม่นยำของระบบเฝ้าติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และหาค่าความเที่ยงตรงมากที่สุด ณ อุณหภูมิที่ต้องการให้มีค่า ความผิดพลาดสัมพัทธ์ (%ERROR) น้อยที่สุด

1.2.4 เพื่อประยุกต์ระบบเฝ้าติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในการบันทึกค่าและแจ้งเตือนหากมีความผิดปกติเกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าของ Parameter ที่เหมาะสมในการแข่งตัวของสารเมือก (เรซิน) เพื่อให้ได้ค่าผลิตผล (yield) ที่ดีที่สุดและไม่มีของเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการนี้

1.3.2 เขียนโปรแกรมของระบบติดตามเฟ้าระวังอุณหภูมิและความชื้น โดยใช้ Arduino YUN microcontroller สามารถนำเสนอข้อมูลโดยผ่านทาง Web Browser โดยผ่านทาง Web API

1.3.3 เขียนโปรแกรมบันทึกลงในฐานข้อมูล (Data Base) ทดแทนการจดบันทึกโดยพนักงานโดยใช้ Mongo DB

1.3.4 สามารถใช้ระบบติดตามเพื่อเฟ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ในการเฟ้าระวังติดตามความเปลี่ยนแปลง บันทึกค่าเพื่อนำมาทดแทนการปฏิบัติงานของพนักงานได้เป็นอย่างดี

1.3.5 หาค่าความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนอุปกรณ์มาตรฐาน โดยเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์โดยระบบอัตโนมัติ และแทนการปฏิบัติงานของพนักงานได้

1.4.2 ระบบที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำและความเที่ยงตรงเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานและสามารถใช้งานแทนกันได้เป็นอย่างดี

1.4.3 สามารถใช้ระบบในการบันทึกข้อมูลโดยละเอียดแบบอัตโนมัติ แทนการเขียนจดบันทึกโดยผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งทำให้สะดวกต่อการค้นหาข้อมูลเมื่อต้องการหาประวัติข้อมูลของชิ้นงานและสามารถค้นหาได้ง่ายกว่าการจดบันทึกโดยพนักงาน

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทดังนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานงานวิจัย กล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย ทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ค่าการปรับตั้ง Parameter ต่างๆเพื่อให้ค่าผลิตผลที่ดีที่สุด

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าผลิตผลที่ดีที่สุด และการออกแบบการระบบเฟ้าระวังอุณหภูมิและความชื้น

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้ง (Parameter) เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด และเป็นการออกแบบระบบวัดอุณหภูมิขั้นตอนการใช้งานวิธีการใช้งาน และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือของระบบเฟ้าระวังอุณหภูมิและความชื้น

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทํางาน

2.1 เซ็นเซอร์ (Sensor)

เซ็นเซอร์ คือตัวอุปกรณ์ตรวจรู้ตัวแรกในระบบการวัด ซึ่งใช้ตรวจจับหรือรับรู้การเปลี่ยนแปลง ปริมาณทางกายภาพของตัวแปรต่างๆ เช่น ความร้อน แสง สี เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน การไหล เป็นต้น จากนั้นเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณหรือข้อมูลที่สอดคล้องและเหมาะสมกับส่วนของการกำหนดเงื่อนไข ทางสัญญาณ ถ้าใช้เซ็นเซอร์วัดแบบสัมผัสกับตัวแปรโดยตรงเรียกว่าตัวตรวจรู้แบบปฐมภูมิ (Primary Sensor) หรือตัวตรวจรู้ขั้นต้น หากมีการตรวจรู้โดยผ่านส่วนอื่นก่อน เช่น สเตรณเกจตรวจรับแรงกดที่ต้องรับแรงถ่ายถอดจากแท่งโลหะที่รับแรงโดยตรงอีกทอดโดยใช้สเตรณเกจแปะติดกับแท่งโลหะดังกล่าวเพื่อวัดแรงนั้น เราจะเรียกกสเตรณเกจในกรณีนี้ว่าเป็น ตัวตรวจรู้ทุติยภูมิ (Secondary Sensor) หรือ ตัวตรวจจับชั้นรอง การตรวจรู้จะอาศัยผลการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในตัวเซ็นเซอร์เองที่สามารถตรวจวัดได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส ความต้านทาน ความจุ และความเหนี่ยวนำ เป็นต้น เมื่อค่าตัวแปรทางกายภาพเปลี่ยนแปลงแล้วพารามิเตอร์ของตัวเซ็นเซอร์เหล่านี้จะเปลี่ยนตาม เมื่อเราทราบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนตาม อาจวัดได้โดยใช้มิเตอร์ หรือวงจรถบรีดจต่างๆ ซึ่งเป็นการวัดตัวแปรทางอ้อมด้วยวิธีทางไฟฟ้าโดยเราจะทำการเทียบหรือ ปรับแต่งปริมาณทางไฟฟ้านี้แทนค่าตัวแปรที่ทำการวัดอีกทอด เราจึงอาจเรียกว่าเป็นการวัดโดยวิธีอ้อมได้ กระบวนการนี้เรียกว่า การตรวจจับ (Sensing) กรณีนี้คำว่าทรานสดิวเซอร์จะถูกเรียกว่า เซ็นเซอร์

2.1.1 หลักการทํางานของเซ็นเซอร์ (Sensor)

หลักการทํางานของเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่มีใช้ในระบบการวัดจะทำการเปลี่ยนพลังงานจากรูปหนึ่ง เป็นอีกรูปหนึ่ง โดยปกติจะนิยมเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ให้เป็นค่าแรงดันหรือกระแสไฟฟ้า และนำค่าไปเทียบให้เป็นขนาดของตัวแปรที่ต้องการวัดหลักการทํางานเซ็นเซอร์ (Sensor) เบื้องต้น

การเปลี่ยนค่าความจุ (Capacitive)

ตัวเก็บประจุอย่างง่าย ประกอบด้วยแผ่นโลหะอย่างน้อยสองแผ่นมีฉนวนหรือไดอิเล็กตริกกั้นระหว่างแผ่นเพลตอธิบายหลักการทํางานโดยใช้สมการของตัวเก็บประจุบนแผ่นเพลตแบบขนานได้ดังนี้

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (2.1)$$

เมื่อ

ϵ_0 = ค่า Permittivity ของสุญญากาศ = 8.85 pF / m

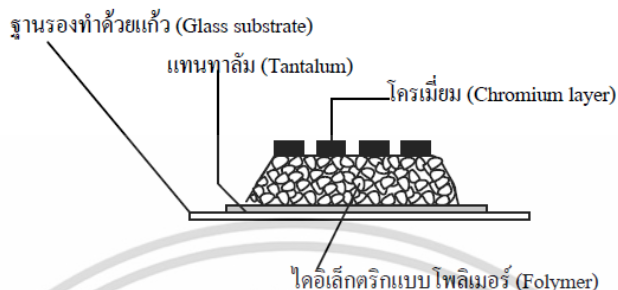
ϵ_r = ค่า Relative Permittivity ของวัสดุอื่นๆ (ตาราง 2.1)

A = พื้นที่เพลตที่รวมกัน (m^2)

d = ระยะที่เพลตแยกห่างจากกัน (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.1) ค่าความจุ Capacitive สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเปลี่ยนค่า d , A หรือ ϵ_r ประยุกต์ใช้ตัวตรวจจับสนะยะขจัดได้หลายรูปแบบ แต่ในที่นี้จะขอก้าวเป็นแบบตัวตรวจจับสนะยะขจัดแบบความจุ



รูปที่ 2.1 ตัวตรวจจับสนะยะขจัดแบบความจุ

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

วัสดุ(Material)	ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant : ϵ_r)
Vacuum	1
Air	1.0006
Teflon	2
Wax	2.25
Paper	2.5
Amber	2.65
Rubber	3
Oil	4
Mica	5
Ceramic (low)	6
Bakelite	7
Glass	7.5
Water	78
Ceramic (high)	8000

ความชื้นแบบความจุ (Capacitive Humidity Sensor) จากรูปที่ 2.1 เป็นความจุตรวจจับสนะยะขจัดแบบฟิล์มบาง มีไดอิเล็กตริกเป็นโพลีเมอร์ สามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของไดอิเล็กตริกทำให้ค่าความจุมีค่าแปรตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศแวดล้อม เพลตด้านหนึ่งจะประกอบด้วยชั้นของแทนทาลัมซึ่งยึดติดไว้บนแผ่นรองที่เป็นแก้ว ระหว่างเพลตจะเป็นชั้นของโพลีเมอร์ (ไดอิเล็กตริก) ส่วนเพลตอีกด้านจะเป็นชั้นของแผ่นโครเมียมบางที่ทำให้ได้ความเครียดแบบแรงดึงที่มากพอจนทำให้เกิดรูพรุนเล็กๆ ที่แผ่นทั้งโครเมียมและที่โพลีเมอร์จะมีโครงสร้างเป็นลวดลายคล้ายการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางหินหรือแก้วชิ้นเล็กๆ ซ้อนกัน ซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำผ่านเข้าไปที่ไดอิเล็กตริก 5 – 8 เครื่องวัดและการวัดไฟฟ้าได้ ตัวตรวจจับแบบนี้จะมีช่วงด้านเข้าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % RH โดยมีค่าความจุที่ความชื้น 0 % เป็น 375 pF และมีความไวเชิงเส้นเป็น 1.7 pF / %RH ซึ่งเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้เป็น

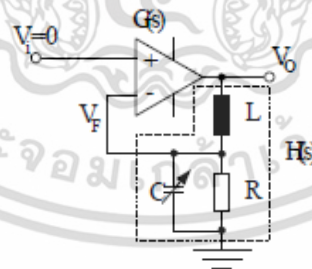
$$C = 375 + 1.7(RH) \text{ pF} \quad (2.2)$$

ค่าเบี่ยงเบนสูงสุดที่ห่างจากเส้นของสมการ (2.2) คือ 2 % เกิดจากความไม่เป็นเชิงเส้นและ 1 % เนื่องจากฮิสเตอร์ีซิสตัวตรวจจับแบบความจุส่วนมากจะใช้ร่วมกับวงจรบริดจ์กระแสสลับ หรือวงจรถูกกำเนิดความถี่ (Oscillator) ในทางปฏิบัติจะมีค่าความจุและค่าความต้านทานรวมอยู่ในลักษณะขนานกัน ในการหาค่าความสูญเสียในไดอิเล็กตริกส่วนนี้จะมีผลต่อการออกแบบวงจรมาก โดยเฉพาะวงจรถูกกำเนิดความถี่ เช่น ตัวตรวจจับความชื้นแบบความจุจะมีค่าความต้านทานสูญเสียของไดอิเล็กตริกประมาณ $100 \text{ k}\Omega$ ที่ 100 kHz เราทราบมาแล้วว่าคุณภาพของไดอิเล็กตริกจะแทนด้วยเทอมของมุมความสูญเสียหรือที่เรียกว่า Loss - Tangent ซึ่งอาจเขียนแทนด้วย $\tan \delta$ ซึ่งมีค่าดังนี้คือ

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega CR} \quad (2.3)$$

ถ้าค่า $C = 500 \text{ pF}$ แล้ว $\tan \delta$ จะ ≈ 0.03 จากรูปที่ 2.2 แสดงตัวตรวจจับแบบความจุใช้ร่วมกับความเหนียวนำอย่างเดี่ยว (Pure) ในวงจรถูกกำเนิดความถี่ จะได้ค่า แฟคเตอร์ (Factor) (Factor) คุณภาพ (Q) ของวงจรถูกเป็น

$$Q = \omega_n CR = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.2 วงจรถูกกำเนิดความถี่แบบ RC อนุกรมโดยมีความต้านทาน R ของ C

ซึ่งจากสมการแสดงให้เห็นว่า Q แปรตามค่า R มาก ถ้าความถี่ธรรมชาติ f_n ของวงจรถูกเป็นตัวตรวจจับความชื้นแบบความจุข้างต้นและมีค่าเป็น 10^5 Hz วงจรถูกจะมีค่า Q ประมาณ 30Unit สำหรับข้อควรระวังคือ ต้องทำให้ผลของความจุข้างของสายเคเบิลในวงจรมีผลต่ำสุด

2.2 อุณหภูมิ

ในอดีตมีแนวคิดเกี่ยวกับอุณหภูมิเกิดขึ้นเป็น 2 แนวทาง คือตามแนวทางของหลักอุณหพลศาสตร์ และตามการอธิบายเชิงจุลภาคทางฟิสิกส์เชิงสถิติ อุณหพลศาสตร์นั้นเกี่ยวข้องกับการวัดในเชิงมหภาค ดังนั้น คำจำกัดความอุณหภูมิในเชิงอุณหพลศาสตร์ในเบื้องต้น ซึ่งกำหนดขึ้นโดยลอร์ดเคลวิน จึงระบุเกี่ยวกับค่าตัวแปรต่างๆ ที่สามารถตรวจวัดได้จากการสังเกต ส่วนฟิสิกส์สถิติจะให้ความเข้าใจในเชิงลึกยิ่งกว่าอุณหพลศาสตร์ โดยอธิบายถึงการสะสมจำนวนอนุภาคขนาดใหญ่ และตีความพารามิเตอร์ต่างๆ ในอุณหพลศาสตร์ (เชิงมหภาค) ในฐานะค่าเฉลี่ยทางสถิติของพารามิเตอร์ของอนุภาคในเชิงจุลภาค

ในการศึกษาฟิสิกส์เชิงสถิติ สามารถตีความค่านิยามอุณหภูมิในอุณหพลศาสตร์ว่า เป็นการวัดพลังงานเฉลี่ยของอนุภาคในแต่ละองศาอิสระในระบบอุณหพลศาสตร์ โดยที่อุณหภูมินั้นสามารถมองเป็นคุณสมบัติเชิงสถิติ ดังนั้นระบบจึงต้องประกอบด้วยปริมาณอนุภาคจำนวนมากเพื่อจะสามารถบ่งบอกค่าอุณหภูมิจึงมีความหมายที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ในของแข็ง พลังงานนี้พบในการสั่นไหวของอะตอมของสสารในสภาวะสมดุล ในแก๊สอุดมคติ พลังงานนี้พบในการเคลื่อนไหวไปมาของอนุภาคโมเลกุลของแก๊ส

2.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้น (Humidity) หมายถึง จำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หมายถึง “อัตราส่วนของ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน” หรือ “อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว” ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%) เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \left(\frac{\text{ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ}}{\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว}} \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

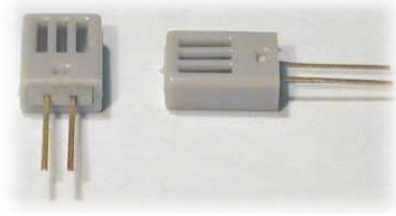
$$= \left(\frac{\text{ความดันไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ}}{\text{ความดันไอน้ำของอากาศอิ่มตัว}} \right) \times 100\% \quad (2.6)$$

ปริมาณของไอน้ำในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ อากาศร้อนสามารถเก็บไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น ดังนั้นหากอุณหภูมิของอากาศลดลงจนถึงจุดๆ หนึ่งที่ทำให้เกิด "อากาศอิ่มตัว" (Saturated air) อากาศจะไม่สามารถเก็บกักไอน้ำไว้ได้มากกว่านี้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% และหากอุณหภูมียังคงลดต่ำลงอีก ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการควบแน่นนี้เรียกว่า “จุดน้ำค้าง” (Dew point) จุดน้ำค้างของอากาศซึ่งยอมมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างของอากาศแห้ง

2.4 เซ็นเซอร์วัดความชื้นแบบประจุ (Capacitive Humidity Sensor)

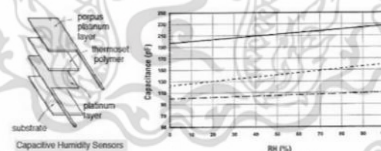
เซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นแบบนี้วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เภสัชกรรม งานวิจัยหรือทดลองทางฟิสิกส์ เซ็นเซอร์แบบนี้มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากโพลีเมอร์ หรือเมทัลออกไซด์ (Metal Oxide) ถูกวางอยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง โดยพื้นผิวของฟิล์มบางดังกล่าวถูกเคลือบด้วยอิเล็กโทรดโลหะแบบมีรูพรุนเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและปัญหาจากแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงเซ็นเซอร์ (Sensor) แบบคาปาซิทีฟ

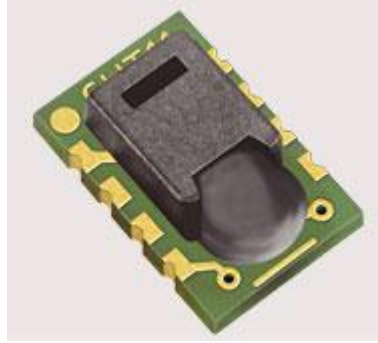
เซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟสามารถตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมได้เกือบจะเป็นเชิงเส้น หรือมีการตอบสนองได้อย่างเป็นสัดส่วนที่ดี โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) ก็จะเปลี่ยนไป 0.2 ถึง 0.5 pF เซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟถูกกำหนดให้มีคุณลักษณะเฉพาะคือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำจึงทำให้ทำงานได้ดี แม้อุณหภูมิสูงถึง 200°C การกลับสู่สภาวะเดิมจากสภาวะการควบแน่น และยังทนต่อไอระเหยของสารเคมีอีกด้วย ในขณะที่ช่วงเวลาการตอบสนองของเซ็นเซอร์คือ 30 ถึง 60 วินาที สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วง 63 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้อดีของเซ็นเซอร์แบบคาปาซิทีฟ ซึ่งเริ่มจากความผิดพลาดเท่ากับ 2%RH ในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น 5%RH ถึง 95%RH นอกจากนี้เซ็นเซอร์ยังถูกจำกัดความสามารถด้วยระยะระหว่างชั้นส่วนตรวจจับความชื้นกับวงจรแปลงสัญญาณ เพราะหากใกล้กันมากจะทำให้เกิดผลกระทบของค่าความจุไฟฟ้า และในทางปฏิบัติจะต้องน้อยกว่า 10 ฟุต คุณสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของเซ็นเซอร์แบบค่าความจุก็คือ Dew Point เนื่องจากจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสอดคล้องกับค่าความชื้นที่เปลี่ยนไป แม้จะเปลี่ยนแปลงไปน้อยๆ ก็ตาม และค่า Drift ต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี แต่ถ้าค่าความชื้นที่เปลี่ยนไปต่ำกว่าในระดับที่กำหนดแล้ว เซ็นเซอร์ก็เริ่มที่จะทำงานไม่เป็นเชิงเส้น



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของเซ็นเซอร์ (Sensor) คาปาซิทีฟ การทำงานเชิงเส้น

2.5 Sensor SHT 15

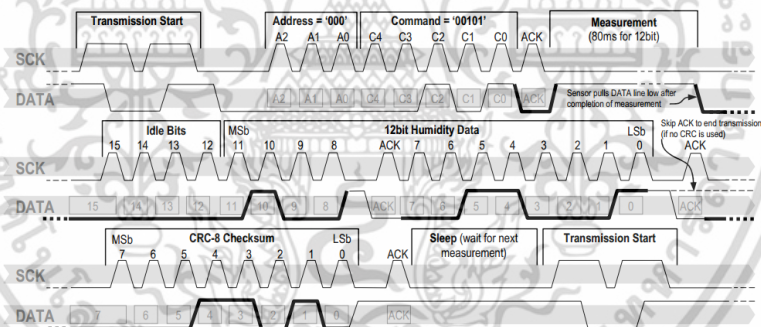
เซ็นเซอร์ (Sensor) วัดอุณหภูมิและความชื้นชนิด SHT15 เป็น อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ที่ทำหน้าที่ ส่งค่าของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศบริเวณโดยรอบ ไปยังบอร์ด Arduino YUN microcontroller เพื่อส่งค่าต่อไปยัง Server ที่ติดตั้งโปรแกรมรับค่าอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 2.5 เซ็นเซอร์ (Sensor) วัดอุณหภูมิและความชื้น SHT15

จากรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงลักษณะของหัววัดอุณหภูมิและความชื้นชนิด SHT15 หัววัดชนิด SHT อยู่หลายรุ่นด้วยกันเช่น SHT10, SHT11, SHT15 แต่ละรุ่นก็จะมีคุณลักษณะและความสามารถที่แตกต่างออกไปบ้าง แต่โดยรวมแล้ว การทำงานจะมีลักษณะคล้ายกัน และในโครงการจะเลือกใช้หัววัดอุณหภูมิและความชื้นคือรุ่น SHT15 เพราะสามารถใช้งานกับบอร์ด Arduino YUN microcontroller

2.5.1 การทำงานของเซ็นเซอร์ (Sensor) SHT15



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของเซ็นเซอร์ (Sensor) SHT15

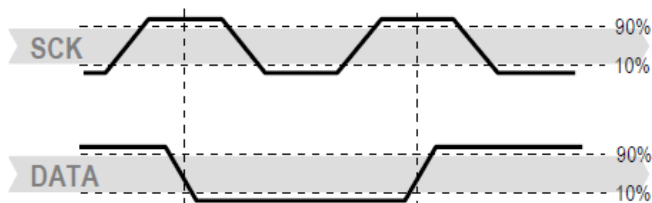
2.5.2 เริ่มต้นการทำงานของเซ็นเซอร์ (Sensor)

อันดับแรกเซ็นเซอร์ (Sensor) จะได้รับไฟฟ้าจาก VDD. และหลังจากนั้นสัญญาณจะลดระดับลงมา โดยต้องไม่ต่ำกว่า 1 V/ms. หลังจากนั้นตัวเซ็นเซอร์ (Sensor) ต้องการ 11 วินาที ในโหมด sleep หากไม่มีคำสั่งต้องส่งข้อมูลก่อนเวลานี้

2.5.3 การส่งคำสั่ง (Sending a Command)

สำหรับการเริ่มต้นการส่งข้อมูลเริ่มจากลำดับที่จะต้องใช้นี้ ประกอบด้วยสัญญาณระดับต่ำของ DATA ขณะที่ สัญญาณของ SCK ระดับสูง (1) ตามด้วยสัญญาณระดับต่ำ (0) และตามด้วยระดับสูง(1) อีกครั้ง และสัญญาณ DATA จะเปลี่ยนจากต่ำ (0) เป็นสูง (1) ขณะที่สัญญาณของ SCK ยังอยู่ในสถานะสูง (1) แสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



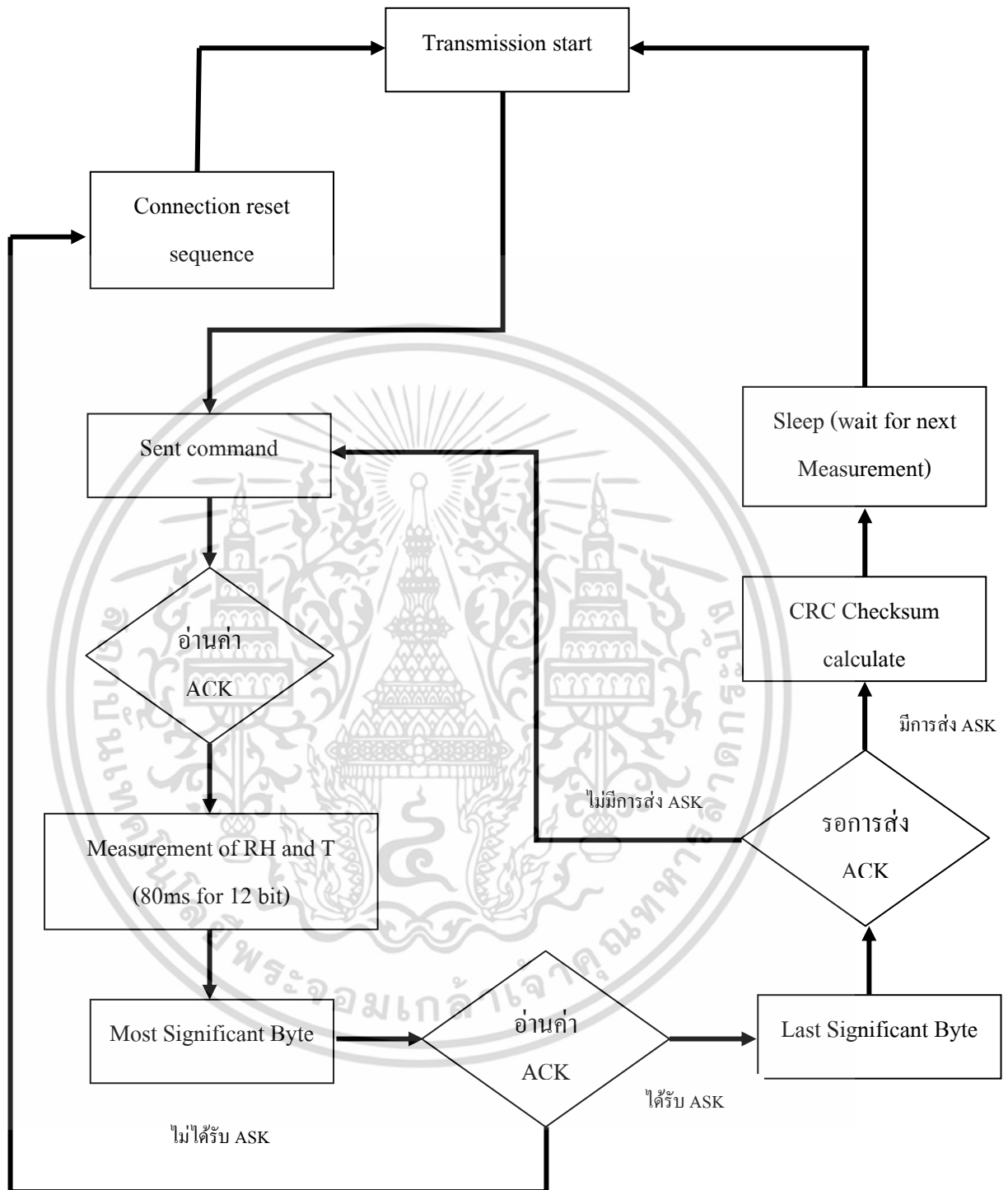
รูปที่ 2.7 แสดงการส่งคำสั่ง (Sending a Command)

คำสั่งถัดมาหลังจากนั้นประกอบด้วยตัวเลข 3 บิตและคำสั่ง 5 บิต เซ็นเซอร์ (Sensor) SHT15 นี้ บ่งชี้ว่าการรับค่าที่เหมาะสมจะต้องส่งค่าในส่วนของ DATA ให้เป็นต่ำ (0) หลังจากทีขา SCK ได้รับคำสั่ง 8 บิต หลังจากนั้นสาย DATA จะส่งข้อมูลออกมา

ตารางที่ 2.2 แสดงคำสั่งทั้งหมดของเซ็นเซอร์ (Sensor) SHT15

Command	Code
Resrved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x – 1110x
Soft reset, reset the interface, clear the status register to default values wait mininum 11 ms. Before next command	11110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของ การอ่านข้อมูลของเซ็นเซอร์ (Sensor) วัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT15)

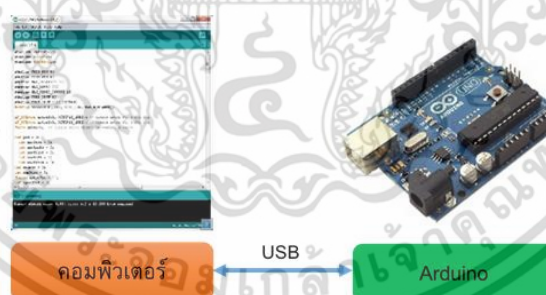
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การวัดอุณหภูมิและความชื้น (Measurement RH and T)

หลังจากส่งคำสั่งที่ต้องการวัด ('00000101' สำหรับความชื้นสัมพัทธ์และ '00000011') สำหรับอุณหภูมิ ตัวคอนโทรลเลอร์ต้องรอค่าที่ได้จากการวัด 20/80/320 จากการวัด 8/12/14 bit ตามลำดับ ค่าความแตกต่างของเวลากับความเร็วของตัวกำเนิดสัญญาณสามารถต่ำกว่าถึง 30% สำหรับสัญญาณการลบของการวัด ตัวเซ็นเซอร์ (Sensor) จะดึงข้อมูลของสัญญาณต่ำ (0) และเข้าสู่โหมด Idle ตัวของคอนโทรลเลอร์ต้องรอความพร้อมของข้อมูลก่อนเริ่มต้นอ่านค่าของ SCK ก่อนที่จะอ่านข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นจะยังคงอยู่จนกระทั่งถูกอ่านออกมา ดังนั้นตัวคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง สองไบต์ของข้อมูลของการวัดและหนึ่งไบต์สำหรับจะเกิดขึ้นหลังจากการส่งข้อมูลตัวคอนโทรลเลอร์ต้องตอบสนองแต่ละไบต์โดยเส้น DATA เป็นต่ำ (0) ทุกๆค่าจะเป็นค่า MSB การสื่อสารจะสิ้นสุดลงหลังจากได้รับการตอบรับของข้อมูล CRC หาก CRC8 Checksum ไม่ใช่คอนโทรลเลอร์อาจจะยุติการติดต่อสื่อสารหลังจากข้อมูลการวัดในส่วน LSB โดยค่าของ ACK จะอยู่ในระดับสูง ตัวเซ็นเซอร์ (Sensor) จะเข้าสู่โหมด sleep อัตโนมัติหลังจากการติดต่อสื่อสารเสร็จสิ้นลง

2.6 Arduino Microcontroller

2.6.1 Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ความสะดวกของของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 2.9)

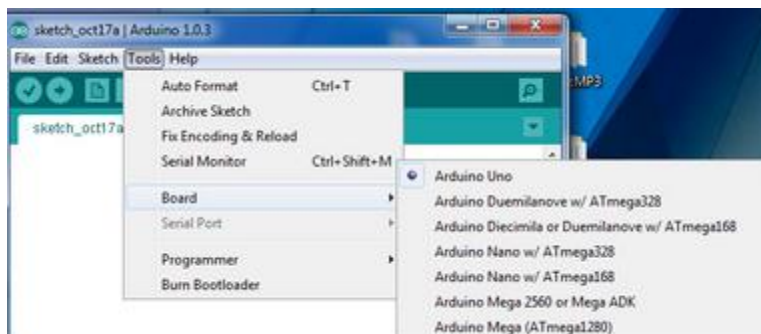


รูปที่ 2.9 แสดงการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Arduino Microcontroller

2.6.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ Arduino Microcontroller

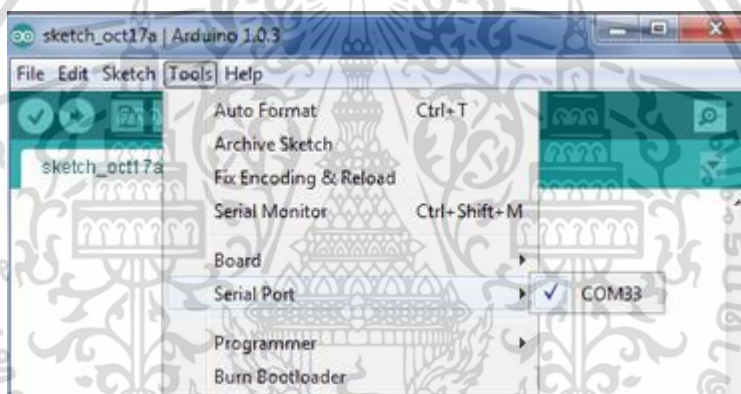
1 เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



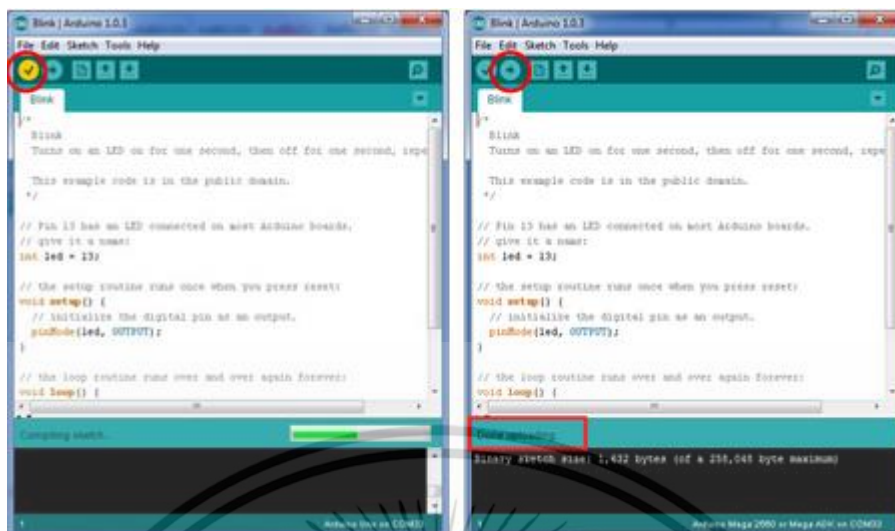
รูปที่ 2.10 แสดงการเลือกบอร์ดให้ตรงกับโปรแกรมที่เราเขียน

2 หลังจากที่เราเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port



รูปที่ 2.11 แสดงการเลือกหมายเลข comport ให้ตรงกับการใช้งาน

3 กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



รูปที่ 2.12 ตรวจสอบความถูกต้อง และ compile (ซ้าย)
และแสดงสถานะการ compiler เสร็จสมบูรณ์(ขวา)

2.7 คุณสมบัติประจำตัวของเซ็นเซอร์

วรพงศ์ (2548) กล่าวว่า การเลือกนำเอาเซ็นเซอร์ไปประยุกต์ใช้งานในระบบการวัดหรือระบบควบคุม กระบวนการต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิเช่น ราคา ความเหมาะสม รวมไปถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอกต่างๆ เป็นต้น แต่ปัจจัยสำคัญที่สุดประการหนึ่งในการพิจารณาเลือก คือคุณสมบัติของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซ็นเซอร์ควรมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสัญญาณหรือรูปแบบที่ต้องการนำไปใช้งาน ต่อ ดั้งนั้นข้อกำหนดและคุณสมบัติต่างๆ ที่สำคัญประจำตัวเซ็นเซอร์ที่เลือกใช้จึงนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญ ประการแรกที่ต้องทราบ คุณสมบัติประจำตัวเซ็นเซอร์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.7.1 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำเป็นค่าบ่งชี้ถึงความสามารถของเซ็นเซอร์ในการแสดงค่าเอาต์พุตว่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของปริมาณที่ทำการวัดอยู่มากน้อยแค่ไหน ในทางปฏิบัติแล้วอุปกรณ์การวัดทุกชนิดจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดขึ้นเสมอ แต่จะมีค่ามากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำของอุปกรณ์การวัดนั้น ซึ่งทั่วไปค่าความแม่นยำนี้อาจแสดงในเทอมของหน่วยในการวัด

2.7.2 ความแน่นอน (Precision)

ความแน่นอน คือ ค่าบ่งชี้ถึงความสามารถของเซ็นเซอร์ในการแสดงค่าเอาต์พุตเหมือนค่าเดิมทุกครั้ง เมื่อทำการวัดสัญญาณอินพุตค่าเดิมซ้ำกันหลายๆ ครั้ง

2.7.3 ความสามารถในการแสดงค่าซ้ำ (Repeatability หรือ Reproducibility)

ความสามารถในการแสดงค่าซ้ำเป็นข้อกำหนดของความแน่นอนซึ่งถูกระบุมาประจำตัวเซ็นเซอร์นั้นๆ โดยหมายถึงค่าความแน่นอนของเซ็นเซอร์ภายใต้เงื่อนไขในการวัดแบบเดิม ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการแสดงค่าเอาต์พุตให้มีค่าเหมือนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ความคลาดเคลื่อน (Error)

ความคลาดเคลื่อน คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง โดยทั่วไปค่าความคลาดเคลื่อนนิยมบอกเป็นหน่วยของเปอร์เซ็นต์ และยังเป็นค่าบ่งชี้ถึงความแม่นยำของระบบการวัดอีกด้วย

2.7.5 ความคลาดเคลื่อนสถิต (Static error)

ความคลาดเคลื่อนสถิต คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าคงที่ตลอดย่านการวัดของอุปกรณ์ ดังนั้น หากทราบค่าความคลาดเคลื่อนสถิตของอุปกรณ์นั้นแล้ว สามารถทำการชดเชยให้มีค่าน้อยลงได้เพื่อลดผลกระทบต่อค่าความแม่นยำของอุปกรณ์

2.8 ฐานข้อมูล (Database)

2.8.1 ฐานข้อมูล (Database)

ฐานข้อมูล หมายถึง กลุ่มของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กัน นำมาเก็บรวบรวมเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบ และข้อมูลที่ประกอบกันเป็นฐานข้อมูลนั้น ต้องตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานขององค์กรด้วยเช่นกัน เช่น ในสำนักงานก็รวบรวมข้อมูล ตั้งแต่หมายเลขโทรศัพท์ของผู้ที่มาติดต่อจนถึงการเก็บเอกสารทุกอย่างของสำนักงาน ซึ่งข้อมูลส่วนนี้จะมีส่วนที่สัมพันธ์กันและเป็นที่ต้องการนำออกมาใช้ประโยชน์ต่อไปภายหลัง ข้อมูลนั้นอาจจะเกี่ยวกับบุคคล สิ่งของสถานที่ หรือเหตุการณ์ใดๆ ก็ได้ที่เราสนใจศึกษา หรืออาจได้มาจากการสังเกต การนับหรือการวัดก็เป็นได้ รวมทั้งข้อมูลที่เป็นตัวเลข ข้อความ และรูปภาพต่างๆ ก็สามารถนำมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลได้ และที่สำคัญข้อมูลทุกอย่างต้องมีความสัมพันธ์กัน เพราะเราต้องการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

2.8.2 ระบบฐานข้อมูล (Database System)

ระบบฐานข้อมูล หมายถึง ที่รวมของฐานข้อมูลต่างๆ หรือที่รวมของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งอาจจะได้จากการคำนวณ หรือประมวลผลต่างๆ หรืออาจจะได้จากการบันทึกข้อมูลโดยผู้ใช้ เช่น ระบบฐานข้อมูลงานทะเบียนนิสิตมหาวิทยาลัย ก็จะรวมเอาฐานข้อมูลต่างๆ เช่น ฐานข้อมูลวิชาเรียน ฐานข้อมูลนิสิต ฐานข้อมูลอาจารย์ ผู้สอน และ ฐานข้อมูลหลักสูตร เป็นต้น ซึ่งรวมกันเป็นระบบฐานข้อมูลของงานทะเบียนนิสิต หรือฐานข้อมูลห้างร้านต่างๆ ก็จะประกอบด้วย ฐานข้อมูลสินค้า ฐานข้อมูลลูกค้า ฐานข้อมูลระบบบัญชี ฐานข้อมูลลูกหนี้ และฐานข้อมูลตัวแทนจำหน่าย เป็นต้น

2.8.3 ระบบจัดการฐานข้อมูล (Data Base Management System)

ระบบจัดการฐานข้อมูล หมายถึง กลุ่มโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่ง ที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่บริหารฐานข้อมูลโดยตรง ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างฐานข้อมูล พุดง่ายๆ ก็คือ DBMS นี้เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างผู้ใช้ และโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัระบบฐานข้อมูล ตัวอย่างของ DBMS ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Microsoft Access, FoxPro, SQL Server, Oracle, Informix, DB2 เป็นต้นหน้าที่ของระบบจัดการฐานข้อมูล มีดังนี้

1. กำหนดมาตรฐานข้อมูล
2. ควบคุมการเข้าถึงข้อมูลแบบต่างๆ
3. ดูแล - จัดเก็บข้อมูลให้มีความถูกต้องแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จัดเรียงการสำรวจ และฟื้นฟูสภาพเพิ่มข้อมูล
5. จัดระเบียบเพิ่มทางกายภาพ (Physical Organization)
6. รักษาความปลอดภัยของข้อมูลภายในฐานข้อมูล และป้องกันไม่ให้ข้อมูลสูญหาย
7. บำรุงรักษาฐานข้อมูลให้เป็นอิสระจากโปรแกรมแอปพลิเคชันอื่นๆ
8. เชื่อมโยงข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เข้าด้วยกัน เพื่อรองรับความต้องการใช้ข้อมูลใน

2.9 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

DOE คือการทดสอบ หรือ ชุดของการทดสอบ เพื่อศึกษาผลของปัจจัยนำเข้า (Input) ต่อผลลัพธ์ที่สนใจคุณลักษณะทางคุณภาพ หรือ Quality Characteristics) โดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้าอย่างตั้งใจตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้มีค่าศัพท์ที่ต้องทราบคือ

ปัจจัย (Factor) เป็นปัจจัยอิสระ (Independence) ที่ผู้วิเคราะห์สงสัยว่าจะส่งผลต่อผลลัพธ์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factor หรือ Noise factor) แทนด้วย z_1, z_2, \dots, z_n และปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factor) แทนด้วย x_1, x_2, \dots, x_n โดย DOE จะมุ่งเน้นที่การศึกษาเพื่อป้องกันผลกระทบจากปัจจัยที่ควบคุมได้ต่อผลลัพธ์ที่สนใจ ในขณะที่ต้องการกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ไม่ให้ส่งผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยที่ควบคุมได้จะเรียกว่า ทรีตเมนต์ (Treatment)

- จำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำ (Replication) เป็นการทำการทดลองซ้ำด้วยเงื่อนไขที่เหมือนกัน โดยในการทดลองหนึ่งๆ จะมีจำนวนเงื่อนไขการทดลอง (Treatment combination) เท่ากับผลคูณของจำนวนปัจจัยและจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย เช่น การทดลองที่มี 2 ปัจจัยๆ ละ 2 ระดับจะมีทั้งหมด 4 เงื่อนไขการทดลอง

- ผลลัพธ์ที่สนใจ (Response) เป็นคุณลักษณะทางคุณภาพที่สนใจ ซึ่งเป็นปัจจัยไม่อิสระ (Dependence) ต้องการศึกษาควคุม ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามการเปลี่ยนแปลงของทรีตเมนต์ต่างๆ

- การสุ่ม (Randomization) เป็นส่วนหนึ่งของ DOE ที่พยายามให้ผลของ Uncontrollable factors กระจาย

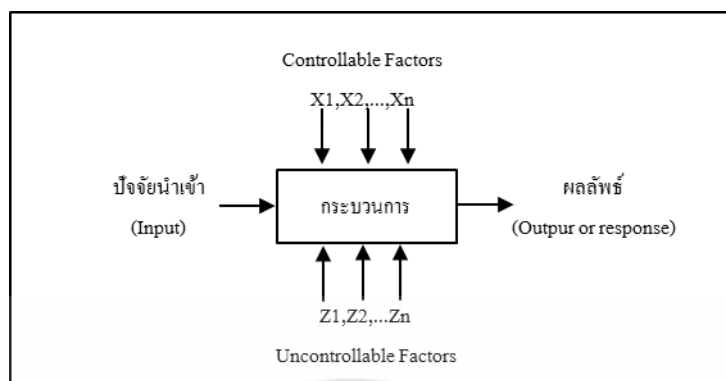
อย่างสม่ำเสมอเกี่ยวกับค่าของ response ที่ได้จากการทดลอง

นอกจากนี้ยังมีคำศัพท์อื่นๆ ซึ่งจะอธิบายสอดแทรกในเนื้อหาตามความจำเป็น ความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัย กระบวนการและ ผลลัพธ์ แสดงได้ด้วยตัวแบบทั่วไปของกระบวนการดังรูปที่ 2.13

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. บ่งชี้ปัจจัย x 's ที่อิทธิพลต่อ Response
2. กำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัย x 's ที่อิทธิพลต่อ Response Y เพื่อให้ Y มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด
3. กำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัย x 's ที่อิทธิพลต่อ Response Y เพื่อให้มีความผันแปรของค่า Y ต่ำ
4. กำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัย x 's ที่อิทธิพลต่อ Response Y เพื่อให้อิทธิพลของ Uncontrollable factor มีน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ตัวแบบทั่วไปของกระบวนการ

การออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เช่น หากผลของการติดตามกระบวนการด้วยแผนภูมิควบคุมบ่งชี้ว่ากระบวนการ out-of-control ซึ่งอาจมีปัจจัยจำนวนมากที่เป็นไปได้ที่จะเป็นสาเหตุของความผิดปกติ การที่จะปรับปรุง แก้ไขเพื่อนำกระบวนการกลับสู่ภาวะภายใต้การควบคุมจะเป็นไปได้อย่างไรหากไม่ทราบว่ามีปัจจัยตัวไหนที่ส่งผลต่อ Response อย่างมีนัยสำคัญ การออกแบบการทดลองจึงเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เพื่อบ่งชี้ปัจจัยเหล่านี้ ทั้งนี้หากมีการประยุกต์หลักการของ DOE ตั้งแต่เริ่มต้นพัฒนาผลิตภัณฑ์จะนำไปสู่ผลการดำเนินการที่ดีขึ้นดังนี้

1. จำนวนผลผลิตจะดีขึ้น
2. ความผันแปรลดลงส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าคุณลักษณะทางคุณภาพอยู่ในช่วงที่กำหนด และใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ต้องการ

3. ลดเวลาการพัฒนาผลิตภัณฑ์
4. ลดต้นทุนโดยรวม

นอกจากนี้การออกแบบการทดลองยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้น ดังนี้

1. ประเมินและเปรียบเทียบลักษณะพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบไว้แล้ว
2. ประเมินเลือกวัสดุชนิดต่างๆ
3. บ่งชี้พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ

ซึ่งกล่าวได้ว่าการประยุกต์ใช้ DOE อย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการปรับปรุงด้านความสามารถในการผลิต (Manufacturability) , สมรรถนะ (Performance) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) , ต้นทุน (Cost) และระยะเวลาในการพัฒนา (Development Time) ของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น

2.9.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

เพื่อให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย DOE มีความน่าเชื่อถือ นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นที่ผู้วิเคราะห์ต้องมีเป้าหมายการศึกษา, Response ที่สนใจ, ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อ Response, วิธีการเก็บข้อมูล ตลอดจนแนวทางการวิเคราะห์ อย่างชัดเจน ซึ่ง Montgomery (2001) และ Montgomery (2005) ได้สรุปแนวทางการศึกษาด้วย DOE ไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ศึกษาปัญหา
2. กำหนด Response ที่ต้องการศึกษา
3. กำหนดปัจจัยที่ต้องการควบคุม และ ระดับของปัจจัย
4. กำหนดรูปแบบการทดลอง
5. ทำการทดลอง และเก็บข้อมูล
6. วิเคราะห์ข้อมูล
7. สรุป และ นำเสนอแนวทางการปรับปรุง

2.9.1.1 การศึกษาปัญหา: ในขั้นตอนนี้ ผู้วิเคราะห์ต้องตระหนักว่าปัญหาคืออะไร ต้องการข้อมูลจากแหล่งใดบ้าง เพื่อกำหนดเป้าหมายของการศึกษาให้ชัดเจน การศึกษาในขั้นตอนนี้บ่อยครั้งที่พบว่ามีส่วนทำให้ผู้วิเคราะห์เข้าใจกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น และนำไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาในที่สุด

2.9.1.2 การกำหนด Response ที่ต้องการศึกษา: เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องกำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพที่มั่นใจได้ว่าเป็นสิ่งที่ต้องการปรับปรุงของกระบวนการที่ทำการศึกษาอยู่ อาจเป็นผลมาจากการทำ SPC ทั้งนี้ต้องมั่นใจได้ว่าระบบการวัดมีความสามารถเพียงพอ เนื่องจากระบบการวัดที่ไม่มีความสามารถจะทำให้การบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อ Response ไม่ชัดเจน เพราะผลการทดลองจะบ่งชี้ความแตกต่างของผลของปัจจัยได้เฉพาะปัจจัยที่ส่งผลสูงๆ เท่านั้น ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลระดับต่ำถึงปานกลางจะไม่สามารถแบ่งแยกได้

2.9.1.3 การกำหนดปัจจัยที่ต้องการควบคุม และ ระดับของปัจจัย: เป็นขั้นตอนที่ผู้ทำการทดลองต้องเลือกปัจจัยที่สงสัยว่าจะส่งผลต่อ Response พร้อมทั้งระดับของแต่ละปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนได้ โดยต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับสภาพการดำเนินการจริง ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ และ/หรือ ประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ หากกำหนดจำนวนปัจจัย และระดับของปัจจัยไม่ครอบคลุม จะทำให้ไม่ได้ผลการทดลองที่นำไปสู่การแก้ปัญหาได้อย่างแท้จริงในขณะที่การกำหนดมากเกินไปจะส่งผลต่อต้นทุน และเวลาในการทดลอง อย่างไรก็ตามกรณีที่มีจำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมากผู้ทำการทดลองสามารถคัดกรองปัจจัยที่ต้องการทดลองเบื้องต้นหรือ Screening Experiment ก่อนที่จะทำการทดลองโดยละเอียดกับปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อ Response อย่างแท้จริงต่อไป

2.9.1.4 การกำหนดรูปแบบการทดลอง: เมื่อ 3 ขั้นตอนที่กล่าวมาอย่างถูกต้องขั้นตอนนี้จะไม่ยุ่งยากนัก ผู้ทำการทดลองต้องเลือกรูปแบบ (Design) ของการทดลอง ซึ่งรวมถึงขนาดตัวอย่าง จำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำ (จำนวน replication) การกำหนดลำดับการทดลองอย่างสุ่ม เป็นต้น

2.9.1.5 การทดลองและการเก็บข้อมูล: ผู้ทดลองต้องควบคุมการทดลองให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ความผิดพลาดทั้งจากการทดลองและการเก็บข้อมูล จะส่งผลให้การทดลองไม่น่าเชื่อถือ และไม่สามารถนำไปวิเคราะห์อะไรได้ เช่นการไม่ทำการทดลองตามหลักการของการสุ่มจะส่งผลให้อิทธิพลของ Noise Factors ไม่กระจายเฉลี่ย ทำให้ผลของการทดลองแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับผลการทดลองครั้งก่อนหน้า หรือครั้งอื่นๆ (ไม่อิสระต่อกัน) หรือ มี Autocorrelation ระหว่างข้อมูลจากการทดลอง เป็นต้น

2.9.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล: การวิเคราะห์ข้อมูลทำตามหลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANALYSIS OF VARIANCE, ANOVA) การวิเคราะห์ด้วยกราฟ การวิเคราะห์สมการเส้นถดถอย ทั้ง

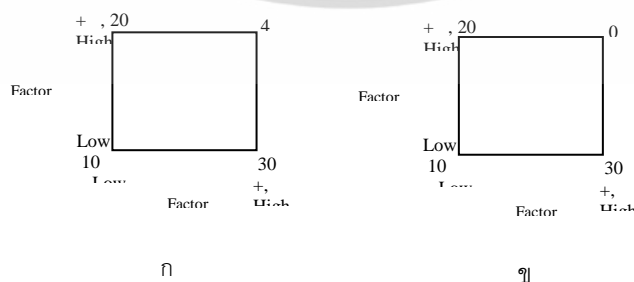
แบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ในการวิเคราะห์จริงผู้วิเคราะห์ที่มีซอฟต์แวร์ทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์หลากหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ควรเข้าใจหลักการทางสถิติเพื่อการแปลความหมายที่ถูกต้องด้วย

2.9.1.7 การสรุปและนำเสนอแนวทางการปรับปรุง: เมื่อทราบผลการวิเคราะห์ การสรุปผลและแนะนำการดำเนินการเพื่อปรับปรุงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ผู้วิเคราะห์อาจใช้เครื่องมือเช่น กราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ต่างๆ และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการปรับปรุงแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ควรมีการทดลองเพื่อยืนยันข้อเสนอแนะการปรับปรุงอีกครั้งก่อนการประยุกต์ใช้จริง นอกจากนี้ควรมีการตรวจติดตามผลการปรับปรุงด้วยเครื่องมือของ SPC ที่เหมาะสมต่อไปด้วย

จากขั้นตอนทั้งหมด ขั้นตอนที่ 2.14.1.1 – 2.14.1.3 เป็นขั้นตอนการเตรียมการทดลอง ซึ่งต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดขึ้น และได้ผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือ นำไปสู่การปรับปรุงได้อย่างแท้จริง โดยการดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2.14.1.1 – 2.14.1.7 สามารถทำเป็นรอบๆ ได้จากการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย (Screening Experiment) การทดลองโดยละเอียดเพื่อบ่งชี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อ Response อย่างแท้จริง (Refining Experiment) และการทดลองเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่มีผลอย่างเหมาะสม (Optimizing Experiment) ความผิดพลาดที่พบบ่อยในการนำ DOE ไปใช้กับงานจริงคือผู้ทดลองพยายามที่จะทำการทดลองขนาดใหญ่เพียงครั้งเดียว และสรุปผลให้ได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุของความผิดพลาดต่างๆที่ตามมาเช่น ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นอิสระต่อกัน ความผันแปรของข้อมูลไม่คงที่ตลอดการทดลอง เป็นต้น

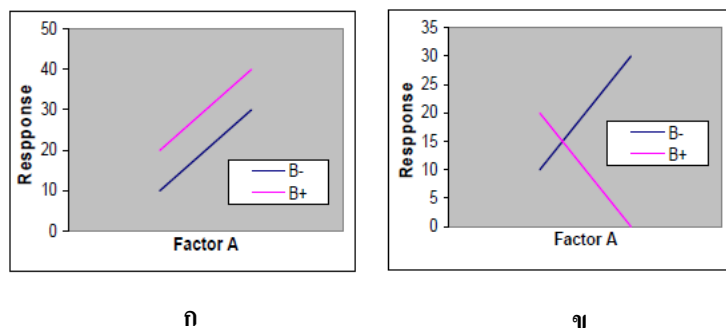
2.9.2 อิทธิพลของปัจจัย (Factor Effects)

อิทธิพลของปัจจัยจะประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของ Response เมื่อระดับของปัจจัยที่ศึกษาเปลี่ยนแปลงไปซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ อิทธิพลหลัก หรือ Main Effect และ อิทธิพลร่วม หรือ Interaction Effect Main Effect เป็นผลของการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยเฉพาะปัจจัยหนึ่งโดยตรงต่อ Response โดยมีได้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอื่นๆ เพื่อประกอบการอธิบาย ให้พิจารณา รูปที่ 2.20 ก และ 2.20 ข ซึ่งสมมติว่ามีปัจจัย A และ B ที่คาดว่าจะส่งผลต่อ Response y แต่ละปัจจัยสามารถปรับได้ 2 ระดับ เรียกว่าระดับสูง (High level) แทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำ (Low level) แทนด้วยเครื่องหมาย “-” กล่าวคือ ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย A จะแทนได้ด้วย A+ และ A- ตามลำดับ และระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย B จะแทนได้ด้วย B+ และ B- ตามลำดับ (ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ ที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบ 2^k)



รูปที่ 2.14 Response จากการทดลอง 2 ปัจจัยๆ ละ 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงผลของปัจจัย แบบไม่มีอิทธิพลร่วม (ก) และมีอิทธิพลร่วม(ข)

Main Effect คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ Response ของแต่ละปัจจัยที่ระดับสูงและต่ำ เช่น จากรูปที่ 2.14 ก Main Effect ของปัจจัย A และ Main Effect ของปัจจัย B คำนวณได้ดังนี้

$$\text{Main Effect A} = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{30+40}{2} - \frac{10+20}{2} = 20 \quad (2.7)$$

$$\text{in Effect A} = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{20+40}{2} - \frac{10+30}{2} = 10 \quad (2.8)$$

อธิบายได้ว่าการเปลี่ยนระดับของปัจจัย A จากต่ำไปสูง หรือจากสูงไปต่ำ จะส่งผลให้ Response เปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย 20 หน่วย เช่น การเปลี่ยนจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ Response เพิ่มขึ้น 20 หน่วย (ที่ปัจจัย B ระดับต่ำ Response เพิ่มจาก 10 เป็น 30 และที่ปัจจัย B ระดับสูง Response เพิ่มจาก 20 เป็น 40) การเปลี่ยนระดับจากสูงไปต่ำจะส่งผลตรงกันข้ามแต่ขนาดการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยจะคงที่ ในขณะที่การเปลี่ยนระดับของปัจจัย B จากต่ำไปสูง หรือจากสูงไปต่ำ จะส่งผลให้ Response เปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย 10 หน่วย เช่น การเปลี่ยนจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ Response เพิ่มขึ้น 10 หน่วย (ที่ปัจจัย A ระดับต่ำ Response เพิ่มจาก 10 เป็น 20 และที่ปัจจัย A ระดับสูง Response เพิ่มจาก 30 เป็น 40) การเปลี่ยนระดับจากสูงไปต่ำจะส่งผลตรงกันข้ามแต่ขนาดการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยจะคงที่ ซึ่งจะเป็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนระดับของปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งจะทำนายได้ทันทีว่า Response เฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงกี่หน่วยโดยไม่ต้องพิจารณาอีกปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากปัจจัยแต่ละตัวส่งผลต่อ Response อย่างอิสระต่อกัน คือมีเฉพาะ Main Effect เท่านั้น (ไม่มี Interaction) กรณีที่ปัจจัย A และ B มี Interaction กันการเปลี่ยนระดับของปัจจัยหนึ่งจะส่งผลกับ Response อย่างไรจะต้องพิจารณาระดับของอีกปัจจัยหนึ่งด้วยเพราะที่ระดับแตกต่างกันการเปลี่ยนแปลงของ Response จะแตกต่างกันด้วย เพื่อเป็นตัวอย่างประกอบคำอธิบายพิจารณารูปที่ 2.14 ข Main Effect ของปัจจัย A และ Main Effect ของปัจจัย B คำนวณได้ดังนี้

$$\text{Main Effect A} = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} = \frac{30+0}{2} - \frac{10+20}{2} = 0 \quad (2.9)$$

$$\text{Main Effect B} = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} = \frac{20+0}{2} - \frac{10+30}{2} = -10 \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการคำนวณอาจนำไปสู่การสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจาก Main Effect A = 0 ในที่นี้ไม่ได้หมายความว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัย A เพราะเมื่อคำนวณ เฉพาะ Main Effect ของปัจจัย A ที่แต่ละระดับของปัจจัย B จะได้ผลแตกต่างกัน ดังนี้

Main Effect ของปัจจัย A ที่ปัจจัย B ระดับต่ำ จะได้

$$\text{Main Effect A} = 30 - 10 = 20 \quad (2.11)$$

Main Effect ของปัจจัย A ที่ปัจจัย B ระดับสูง จะได้

$$\text{Main Effect A} = 0 - 20 = -20 \quad (2.12)$$

ดังนั้นการทำนายทิศทางของการเปลี่ยนแปลงของ Response จะต้องพิจารณาทั้งสองปัจจัยพร้อมกัน ในกรณีรูปที่ 2.14 ข อิทธิพลของปัจจัย A ขึ้นกับระดับของปัจจัย B คือ ถ้าที่ปัจจัย B ระดับต่ำ การเปลี่ยนระดับของปัจจัย A จากต่ำไปสูงจะทำให้ Response เพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 30 ในขณะที่ Response จะลดลงจาก 20 เป็น 0 ที่ปัจจัย B ระดับสูงการตรวจสอบเบื้องต้นว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่กำลังพิจารณาหรือไม่ทำได้โดยการพล็อตกราฟ ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งหากพบว่าเส้นกราฟขนานกัน (รูปที่ 2.15 ก) แสดงว่าไม่มีอิทธิพลระหว่างปัจจัยและความชันของเส้นบ่งชี้ระดับของ Main Effect ซึ่งหากมีความชันมาก Main Effect ของปัจจัยนั้นมีความสูงในทางตรงกันข้ามหากเส้นกราฟไม่ขนานกัน (รูปที่ 2.15 ข) เป็นการบ่งชี้ว่ามี Interaction ระหว่างปัจจัย

2.9.3 ประเภทของการทดลอง

การออกแบบการทดลองมีหลากหลายประเภทซึ่งผู้ทำการทดลองต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาซึ่งประกอบด้วย จำนวนปัจจัย เงื่อนไขการพิจารณา โครงสร้างการทดลองโดยเฉพาะด้านการสุ่ม ความยาก – ง่ายในการทำการทดลอง ระยะเวลาที่มีต้นทุนที่ยอมรับได้ เป้าหมายของการทำการทดลอง เป็นต้น ประเภทของการทดลองมีตั้งแต่แบบที่ไม่ซับซ้อน ไปจนถึงแบบที่มีความซับซ้อนมาก เช่น การทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design) การทดลองแบบครั้งละปัจจัย (One Factor at a Time Design) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) การทดลองแบบละตินสแควร์ (Latin Squares Design) การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) การทดลองแบบแฟกทอเรียลไม่เต็มรูปแบบ (Fractional Factorial Design) และการทดลองด้วยเทคนิคของ Taguchi เป็นต้น ในการแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับ DOE นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ การทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design) การทดลองแบบครั้งละปัจจัย (One Factor at a Time Design) การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) และการทดลองแบบแฟกทอเรียลไม่เต็มรูปแบบ (Fractional Factorial Design) เท่านั้น สำหรับการออกแบบอื่นๆ ผู้อ่านสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือด้านการออกแบบการทดลองทั่วไป เช่น Montgomery 2001 เป็นต้น

2.9.3.1 การทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

เป็นการออกแบบการทดลองเมื่อสงสัยว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อ Response มีเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น การทดลองจึงมุ่งไปที่การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและ Response ซึ่งเป็นการทดลองที่ออกแบบง่าย แต่อาจนำไปสู่ผลการวิเคราะห์ที่มิได้ให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเสมอไป (เนื่องจากพิจารณาเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ในขณะที่อาจมีปัจจัยอื่นๆเกี่ยวข้อง และมีอิทธิพลแบบ Interaction ได้)

ตัวอย่าง 2.9.1 วิศวกรต้องการตรวจสอบว่าอุณหภูมิ และ เวลาในการผลิตส่งผลต่อผลผลิตหรือไม่ อย่างไร การทดลองแบบครึ่งละปัจจัยสามารถทำได้คือ กำหนดการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 160 °F และปรับเปลี่ยนเวลาการผลิต 5 ระดับ จาก 0.5 ชั่วโมง ถึง 2.5 ชั่วโมงมีช่วงห่าง 0.5 ชั่วโมง สมมติว่าได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการทดลองแบบครึ่งละปัจจัยกำหนดอุณหภูมิคงที่เท่ากับ 160 °F

เวลาในการผลิต (ชั่วโมง)	ผลผลิต (%)
0.5	42.0
1.0	50.0
1.5	62.0
2.0	70.0
2.5	66.0

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 บ่งชี้ว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงสุดที่เวลาการผลิต 2.0 ชั่วโมง เท่ากับ 70% ดังนั้น เพื่อประเมินว่าอุณหภูมิส่งผลอย่างไร ผู้ทำการทดลองออกแบบการทดลองในขั้นตอนที่ 2 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดเวลาในการผลิตคงที่เท่ากับ 2.0 ชั่วโมง และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิการผลิตจาก 140 °F ถึง 180 °F เพิ่มขึ้นครึ่งละ 10 °F สมมติว่าได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงผลการทดลองแบบครึ่งละปัจจัยกำหนดอุณหภูมิผลิตจาก 140 °F ถึง 180 °F

อุณหภูมิในการผลิต	ผลผลิต (%)
140.0	36.0
150.0	44.0
160.0	76.0
170.0	62.0
180.0	31.0

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงสุดที่อุณหภูมิ 166 °F ดังนั้นจึงสรุปว่าควรปรับตั้งกระบวนการผลิตให้มีเวลาการผลิต 2.0 ชั่วโมง และ อุณหภูมิ 160 °F ซึ่งจะได้ผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ

$(70 + 76) / 2 = 73\%$ อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้มิได้พิจารณาอิทธิพลร่วมกันระหว่างเวลาในการผลิตและอุณหภูมิ จึงยังไม่อาจสรุปได้ว่าที่เงื่อนไขการผลิตที่ได้จากผลการทดลองแบบครึ่งละปัจจัยนี้จะเป็นเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสมที่สุดหรือไม่

2.9.3.3 การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design)

เป็นการออกแบบที่กำหนดให้มีการทดสอบทุกๆ ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Combinations) ของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งทำให้สามารถประมาณอิทธิพลของปัจจัยต่อ Response ได้ทั้งแบบ Main effect และ Interaction แต่การออกแบบการทดลองแบบนี้ต้องการเวลาและทรัพยากรในการทดลองมาก โดยเฉพาะเมื่อจำนวนปัจจัยมีมากขึ้น การออกอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย คือ 1) เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยมากกว่า 2 ระดับขึ้น และ 2) เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ

ในกรณีที่ 2 จะใช้สัญลักษณ์ 2^k Design โดยเลข 2 แทนจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และ k แทนจำนวนปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง ในการทดลองจะมีสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องคือ

ระดับของปัจจัย A สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1, 2, ..., a แทนด้วย i

ระดับของปัจจัย B สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1, 2, ..., b แทนด้วย j

ระดับของปัจจัย C สามารถปรับเปลี่ยนได้จากระดับ 1, 2, ..., c แทนด้วย k

.....

จำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำหรือ Replication แทนด้วย n

ผลการทดลองจากการทดลองที่ปัจจัย A, B และ C

ระดับ i, j และ k ตามลำดับครั้งที่ n แทนด้วย y_{ijkn}

ข้อมูลจากการทดลองกรณี 2 ปัจจัย A จำนวน a ระดับ และ ปัจจัย B จำนวน b ระดับ จะได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลของการทดลอง 2 ปัจจัย

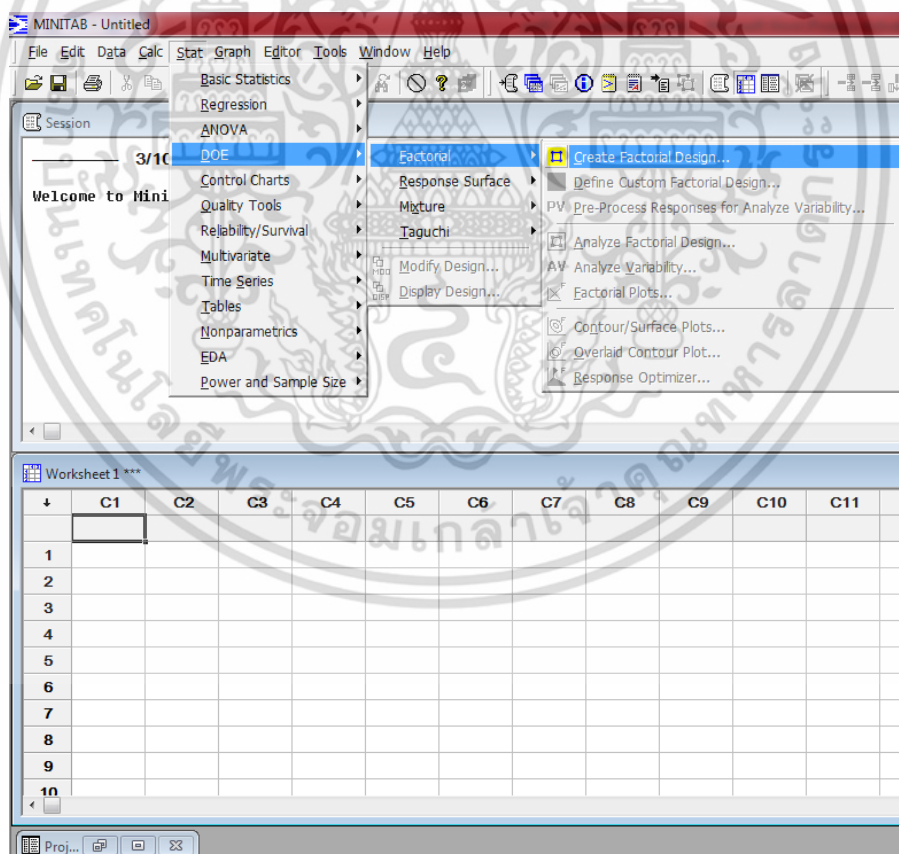
		ปัจจัย B			
		1	2	b
ปัจจัย A	1	$y_{111}, y_{112},$, y_{11n}	$y_{121}, y_{122},$, y_{12n}	$y_{1b1}, y_{1b2},$, y_{1bn}
	2	$y_{211}, y_{212},$, y_{21n}	$y_{221}, y_{222},$, y_{22n}	$y_{2b1}, y_{2b2},$, y_{2bn}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	a	$y_{a11}, y_{a12},$, y_{a1n}	$y_{a21}, y_{a22},$, y_{a2n}	...	$y_{ab1}, y_{ab2},$, y_{abn}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งสำคัญในการทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้จะต้องไม่ลืมว่าการทดลองแต่ละครั้งต้องทำตามลำดับการสุ่มจากกระบวนการสุ่มที่เหมาะสม มิฉะนั้นอาจส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์และนำไปใช้ได้ที่น่าเชื่อถือ เนื่องจากสมมติฐานของเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติไม่เป็นจริง ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ทำการทดลองสามารถสร้างลำดับการทดลองแบบสุ่มโดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติเช่น Minitab เป็นต้น ตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial

ตัวอย่าง 2.9.2 การทดลองแบบ Full factorial ในการเคลือบสีบนผิวอลูมิเนียมของเครื่องบินวิศวกรทราบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานแรงเสียดสีของผิวเคลือบ 2 ปัจจัย คือ วิธีการเคลือบผิว ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือการจุ่ม และการพ่น และชนิดของสีที่ใช้ ซึ่งมี 3 ชนิด (1, 2 และ 3) วิศวกรต้องการทำการทดลอง 3 ครั้ง ในแต่ละ Combination ($n = 3$) ถ้ากำหนดให้ A แทนชนิดของสี ($a = 3$) และ B แทนวิธีการเคลือบ ($b = 2$) การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial จะต้องทำการทดลองทั้งหมด 18 ครั้ง ($a \times b \times n = 3 \times 2 \times 3$) ลำดับการทดลองสามารถกำหนดแบบสุ่มด้วยตารางเลขสุ่มหรือวิธีการสุ่ม แบบอื่นๆ ที่เหมาะสม ในที่นี้จะแสดงวิธีการกำหนดด้วยโปรแกรม Minitab ดังนี้

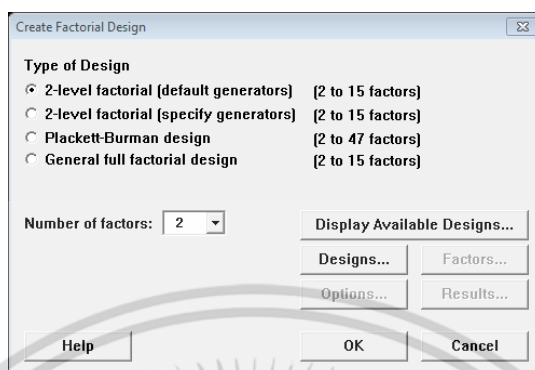
1. เปิดโปรแกรม Minitab และเลือก Menu – Stat – DOE – Factorial – Create Factorial Design ... ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เลือก Option ออกแบบการทดลองแบบ Factorial

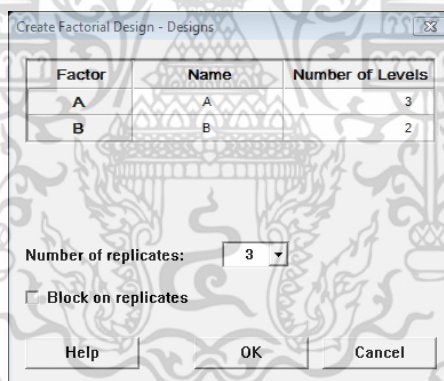
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จะได้ Dialogue Box ดังรูปที่ 2.17 ให้เลือก Option General full factorial design [2 to 15 factors] และ กำหนด Number of factors เป็น 2 จากนั้นคลิก tab Designs...



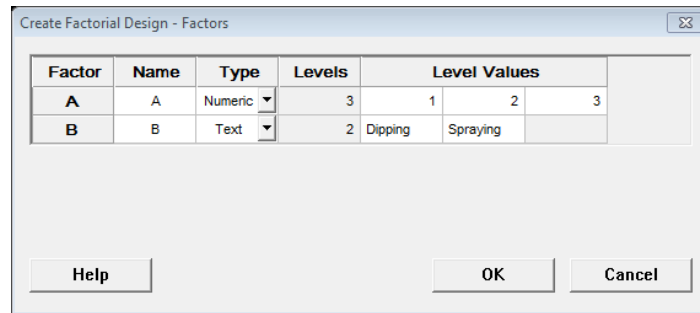
รูปที่ 2.17 เลือก Option เลือกประเภทของการออกแบบและจำนวนปัจจัย

3. จะได้ Dialogue Box ดังรูปที่ 2.18 ให้ กำหนดระดับปัจจัย A และ B เป็น 3 และ 2 ระดับตามลำดับ และ Number of replicates เป็น 3 จากนั้นคลิก tab OK



รูปที่ 2.18 กำหนดจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนครั้งในการทำการทดลองซ้ำ

4. จะได้ Dialogue Box ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งจะเห็นว่า tab Design, Factors, Options และ Results เปลี่ยนจากสีเทาเป็นสีดำ ซึ่งบ่งชี้ว่าให้คลิกเพื่อกำหนดค่าต่างๆ ได้ (ผู้อ่านทดลองดูได้) ในที่นี้ให้คลิกที่ tab Factors ซึ่งจะได้ Dialogue Box Create factorial design – Factors ซึ่ง Level Values ของปัจจัย A (ชนิดของสี) ที่ใช้คือ 1, 2 และ 3 ถูกต้องแล้วจึงไม่ต้องเปลี่ยน สำหรับปัจจัย B (วิธีการเคลือบ) ในที่นี้ให้เปลี่ยน Type เป็น Text และ Level Values เป็น Dipping และ Spraying ตามลำดับ จากนั้นคลิก tab OK



รูปที่ 2.19 กำหนดชนิดของปัจจัย และ ค่าของระดับปัจจัย

5. คลิก tab OK อีกครั้งจะได้ผลลำดับการทำการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.26 คอลัมน์ C2 แสดงลำดับการทดลองจากผลการสุ่มคอลัมน์ C6 และ C6-T บ่งชี้ว่าจะทำการทดลองที่ปัจจัย A และ B ระดับใด เช่น การทดลองลำดับที่ 1 ทำโดยใช้สปีชนิดที่ 3 และ วิธีการจุ่ม (dipping) เป็นต้น

	C1	C2	C3	C4	C5	C6-T	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B		
1	1	1	1	1	1	Dipping		
2	10	2	1	1	2	Spraying		
3	11	3	1	1	3	Dipping		
4	4	4	1	1	2	Spraying		
5	6	5	1	1	3	Spraying		
6	2	6	1	1	1	Spraying		
7	7	7	1	1	1	Dipping		
8	5	8	1	1	3	Dipping		
9	3	9	1	1	2	Dipping		
10	16	10	1	1	2	Spraying		
11	18	11	1	1	3	Spraying		
12	13	12	1	1	1	Dipping		
13	9	13	1	1	2	Dipping		
14	14	14	1	1	1	Spraying		
15	8	15	1	1	1	Spraying		
16	12	16	1	1	3	Spraying		
17	15	17	1	1	2	Dipping		
18	17	18	1	1	3	Dipping		

รูปที่ 2.20 แสดงลำดับการทดลอง

จากนั้นจึงทำการทดลองตามลำดับและได้ผลการทดลองในตารางที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

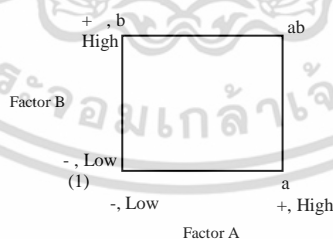
ตารางที่ 2.6 ผลการทดลองวัดค่าความต้านทานแรงเสียดทานของผิวเคลือบ

		วิธีการเคลือบ B					
		Dipping			Spraying		
ชนิดของสี A	1	4.0	4.5	4.3	5.4	4.9	5.6
	2	5.6	4.9	5.4	5.8	6.1	6.3
	3	3.8	3.7	4.0	5.5	5.0	5.0

จากผลการทดลองต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติเพื่อหาข้อสรุปต่อไป การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เมื่อมีจำนวนปัจจัยที่พิจารณาจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ระดับ เรียกว่าระดับสูง (High level) แทนด้วยเครื่องหมาย “+” และระดับต่ำ (Low level) แทนด้วยเครื่องหมาย “-” เช่นถ้ามีปัจจัยที่สนใจ 2 ปัจจัยคือ A และ B ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย A จะแทนได้ด้วย A+ และ A-ตามลำดับ และระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัย B จะแทนได้ด้วย B+ และ B- ตามลำดับ ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.14.2 แบบการทดลองที่ง่ายที่สุดสำหรับกรณีนี้คือ $k = 2$ หรือ มี 2 ปัจจัย ซึ่งเรียกว่า 2^2 Factorial Design รูปแบบการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งจะประกอบด้วย 4 Combinations หรือ Runs คือ

- 1.) A Low, B Low หรือ A-, B- แทนด้วย (1)
- 2.) A High, B Low หรือ A+, B- แทนด้วย a
- 3.) A Low, B High หรือ A-, B+ แทนด้วย b
- 4.) A High, B High หรือ A+, B+ แทนด้วย ab

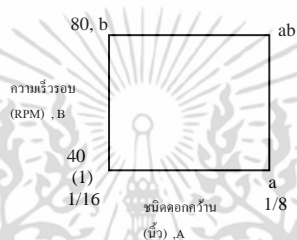
ตัวอย่างที่ 2.9.3 แสดงตัวอย่างการทดลองแบบ 2^2 Factorial Design



รูปที่ 2.21 รูปแบบการทดลองแบบ 2^2 Factorial Design

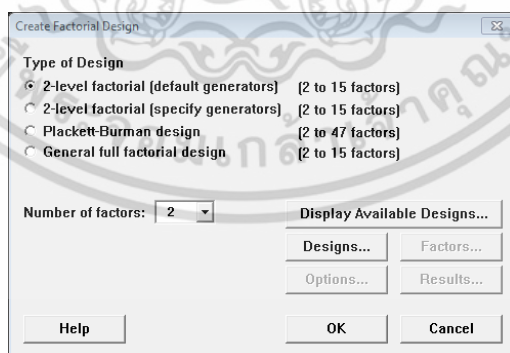
ตัวอย่างที่ 2.9.3 ในกระบวนการคว้านรูบนแผ่น PCB เพื่อประกอบเป็นวงจรรออิเล็กทรอนิกส์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่คว้านเป็นคุณลักษณะทางคุณภาพที่สำคัญ ซึ่งจากการตรวจติดตามด้วยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย วิศวกรควบคุมคุณภาพพบว่ากระบวนการปกติ (In Control) แต่มีความผันแปรสูงส่งผลให้เกิดปัญหาในกระบวนการประกอบโดยวิศวกรและทีมงานปรับปรุงคุณภาพสงสัยว่าปัจจัยที่ส่งผลให้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูคว้านมีความผันแปรสูงคือขนาดของดอกคว้าน (ปัจจัย A) 2 ขนาดคือ 1/16 นิ้ว และ 1/8 นิ้ว และความเร็รรอบในการคว้าน (ปัจจัย B) ซึ่งปรับได้ 2 ระดับคือ 40 rpm และ 80 rpm ดังนั้นเพื่อการศึกษาที่ทีมงานได้ใช้การทดลองแบบ 2^2 Factorial Design มีขนาดดอกคว้าน 1/16 นิ้ว และ 1/8 นิ้ว แทน A Low และ A High ตามลำดับ ในขณะที่ ความเร็รรอบ 40 rpm และ 80 rpm แทน B Low และ B High ตามลำดับ กำหนดให้ $n = 4$ มีเวกเตอร์ของแรงสั่นสะเทือนที่วัดตามแนวแกน X, Y และ Z ด้วย Accelerometers ซึ่งติดตั้งบนแผ่น PCB ที่ให้ในการทดลองแต่ละแผ่นเป็นคุณลักษณะทางคุณภาพ (ทั้งนี้เนื่องจากความผันแปรของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูคว้านไม่สามารถวัดได้โดยตรงจากชิ้นงานทดลองแต่ละชิ้น) รูปแบบของการทดลองนี้แทนได้ด้วยระนาบสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.22 รูปแบบการทดลอง 2^2 Factorial Design ในตัวอย่างที่ 2.9.3

จากนั้นทีมงานสามารถทำการทดลองตามรูปแบบที่กำหนด โดยผ่านกระบวนการสุ่ม ซึ่งอาจใช้ตารางเลขสุ่มหรือใช้แผนการทดลองที่สุ่มลำดับการทดลองเรียบร้อยแล้วด้วยโปรแกรม Minitab ลักษณะเดียวกับที่ได้แสดงในตัวอย่างที่ 2.9.2 เพียงแต่ในขั้นตอนที่ 2 รูป 2.9.5 จะต้องเลือก Option 2-level factorial (default generators) หรือ 2-level factorial(specify generators) ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 เลือก Option เลือกประเภทของการออกแบบและจำนวนปัจจัยแบบ 2^2 Factorial Design

ซึ่งสุ่มลำดับการทดลองที่เหมาะสมจะเป็นการกระจายอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมต่างๆ ไม่ให้ส่งผลต่อการทดลองแต่ละครั้งอย่างแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้สมมติฐานทางสถิติในการวิเคราะห์เป็นจริง โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานที่สำคัญคือความคลาดเคลื่อนจากการทดลองแต่ละครั้ง (Experimental Error,) มีการกระจายตัวแบบปกติ และอิสระต่อกัน (Normally, Independently Distributed, NID) มีค่าเฉลี่ย μ เท่ากับ 0 และความแปรปรวน เท่ากับ σ^2 (NID(0, σ^2)) ในกรณีตัวอย่างนี้สมมติว่าทีมงานทำการทดลองตามลำดับอย่างเหมาะสม และได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลการทดลองวัดค่าแรงสั่นสะเทือนจากการคว้านรู

ขนาด ดอก ค้ำยัน, A	ความเร็วรอบ, B						
	40 rpm			80 rpm			
	1/16"	18.2	18.9	12.9	15.9	15.1	14.2
1/18"	27.2	24.0	22.5	41.1	36.3	39.9	

จากผลการทดลองต้องทำการวิเคราะห์ตามหลักทางสถิติเพื่อหาข้อสรุปต่อไป

2.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เนื่องจากการทดลองมีการวิจัย 2 ตัวแปร จึงใช้ทฤษฎีวิเคราะห์ 2^2 แฟคทอเรียล รูปที่ 2.27 และสัญลักษณ์ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ใช้ แทนการ Run โดยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่แทนปัจจัย และอักษรตัวพิมพ์เล็กแทนการ Run ที่ high level ของปัจจัย เช่น a แทนการ Run ที่ A high level และ B low level ของการทดลองที่มีปัจจัยคือ A และ B, b แทนการ Run ที่ B high level และ A low level, ab แทนการ Run ที่ A และ B high level และ (1) แทนการ Run ที่ทั้ง A และ B low level การคำนวณ Effects ต่างๆ ทำได้ดังนี้

Main Effects:

$$A = \frac{\bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-}}{2n} = \frac{a + ab}{2n} - \frac{b + (1)}{2n} \quad (2.13)$$

$$= \frac{1}{2n} [a + ab - b - (1)]$$

$$B = \frac{\bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-}}{2n} = \frac{b + ab}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} \quad (2.14)$$

$$= \frac{1}{2n} [b + ab - a - (1)]$$

Interaction Effect:

$$AB = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n} \quad (2.15)$$

$$= \frac{1}{2n} [ab + (1) - a - b]$$

พจน์ในเครื่องหมาย [] ในสมการที่ (2.13) , (2.14) และ (2.15) คือ Contrast ดังนี้ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Contrast}_A = a + ab - b - (1)$$

$$\text{Contrast}_B = b + ab - a - (1)$$

$$\text{Contrast}_{AB} = ab + (1) - b - a$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า Interaction Effect คือผลต่างของค่าเฉลี่ยของ Responses ในแนวทแยงมุมนั่นเอง และ ในแต่ละ Run กำหนดให้ทำการทดลองซ้ำจำนวน n ครั้ง ค่าเฉลี่ยจึงต้องหารด้วย 2^n สำหรับการกำหนด Contrast ด้วยสมการของ Effects จะซับซ้อนมากขึ้นเมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มมากขึ้น วิธีที่ง่ายกว่าคือกำหนดจากตารางเครื่องหมาย +, - ซึ่งเป็นเมตริกซ์ของการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2.8 ด้านล่าง

ตารางที่ 2.8 เครื่องหมายของอิทธิพลของการทดลองแบบ 2^2

Run		Factorial Effects			
		I	A	B	AB
1	(1)	+	-	-	+
2	a	+	+	-	-
3	b	+	-	+	+
4	ab	+	+	+	-

หรืออาจใช้สัญลักษณ์ 1 และ -1 แทน + และ - ดังแสดงในตารางที่ 2.9 เพื่อความสะดวกในการอธิบายต่อไป

ตารางที่ 2.9 เครื่องหมายของอิทธิพลของการทดลองแบบ 2^2

Run		Factorial Effects			
		I	A	B	AB
1	(1)	1	-1	-1	1
2	a	1	1	-1	-1
3	b	1	-1	1	1
4	ab	1	1	1	-1

ตารางบางเล่มอาจเรียก ตารางของคอนทราสต์ (Table of Contrasts) ของการทดลองแบบ 2^2 มีสัญลักษณ์ A, B และ AB แทน Effects, I แทน identity matrix ของการออกแบบ และ เครื่องหมาย + ซึ่งมีสัมประสิทธิ์เป็น 1 และ เครื่องหมาย - มีสัมประสิทธิ์เป็น -1 แทนการ Run ที่ high และ low level ของปัจจัยนั้นๆ ตามลำดับ

Contrast ของแต่ละปัจจัยหาได้จากผลรวมของการคูณสัญลักษณ์ของการ Run ด้วย สัมประสิทธิ์ของแต่ละปัจจัยใน ตารางที่ 2.12 ที่อยู่ในแถวเดียวกัน เช่น

$$\begin{aligned}\text{Contrast}_A &= (-1)(1) + (1)a + (-1)b + (1)ab \\ &= a + ab - b - (1)\end{aligned}$$

เป็นต้น สำหรับ Contrast B และ Contrast AB ทำได้ในทำนองเดียวกัน จากนั้นค่าของผลรวมกำลังสองต่างๆ ในตาราง ANOVA สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.16)

$$SS_i = \frac{(\text{Contrast}_i)^2}{n \sum (\text{Contrast}_i \text{Coefficient})^2} \quad (2.16)$$

ดังนั้นจะได้ ค่า SS ดังสมการที่ (2.17) , (2.18) และ (2.19)

$$SS_A = \frac{[a + ab - b - (1)]^2}{4n} \quad (2.17)$$

$$SS_B = \frac{[b + ab - a - (1)]^2}{4n} \quad (2.18)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (2.19)$$

ทั้งนี้เนื่องจาก การทดลองแบบ 2^2 จะมีผลรวมของสัมประสิทธิ์กำลังสองเท่ากับ 4 เสมอ ซึ่งเมื่อได้ค่า SS ต่างๆ แล้ว ทำการคำนวณ SST และ SSE ด้วยวิธีปกติ ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ครบถ้วนต่อไป

ตัวแบบสมการเส้นถดถอย (Regression Model)

เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น การสร้าง Regression Model จะช่วยให้สามารถประมาณได้ว่าหากมีการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่มีผลต่อ Response ไป จะทำให้ Response เปลี่ยนไปอย่างไร และมีค่าเท่าไรโดย Regression Model ของกรณีการทดลองแบบ 2^2 มีดังแสดงในสมการที่ (2.20)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + E \quad (2.20)$$

เมื่อปัจจัย A และ B แทนด้วย ตัวแปรรหัส (Coded Variable) x_1 และ x_2 ตามลำดับ Interaction Effect AB แทนด้วยผลคูณของ Coded Variable, $x_1 x_2$ โดย Coded Variable นี้จะมีค่าเพียง +1 หรือ -1 แทนการ Run ที่ high หรือ low level ของแต่ละปัจจัย สัมประสิทธิ์ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_{12} เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของเส้นถดถอย ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_0 = \mu = \bar{y} \dots$$

$$\beta_i = \frac{\text{Estimate Effect of Factor } i}{2} \quad (2.21)$$

ซึ่งตัดแปรใน Regression Model อาจใช้เฉพาะตัวแปรของปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น อย่างไรก็ตามการรวมปัจจัยที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญด้วยก็ไม่ผิดอะไร เนื่องจากค่า Estimated Effect ซึ่งหมายถึง Main Effects หรือ Interaction Effect ของปัจจัยที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญจะมีค่าน้อยจนไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของค่าประมาณ y ในสมการที่ (2.20) อย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างที่ 2.15.1 แสดงการประยุกต์หลักการทั้งหมดที่กล่าวมาในหัวข้อนี้

ตัวอย่างที่ 2.15.1 จากผลการทดลองในตัวอย่างที่ 2.14.4 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.10 จงวิเคราะห์ผลการทดลองนี้และแสดงสมการ Regression ของแรงสั่นสะเทือนจากการคว้านรู ที่ $\alpha = 0.05$ (ปัจจัยคือขนาดของดอกคว้าน (ปัจจัย A) 2 ขนาดคือ 1/16 นิ้ว และ 1/8 นิ้ว และความเร็วยรอบในการคว้าน (ปัจจัย B) ซึ่งปรับได้ 2 ระดับคือ 40 rpm และ 80 rpm)

ตารางที่ 2.10 ผลการทดลองจากตัวอย่างที่ 2.14.4

Run		Factors		Vibration				Total
		A	B	1	2	3	4	
1	(1)	-1	-1	18.2	18.9	12.9	14.4	64.4
2	a	1	-1	27.2	24.0	22.4	22.5	96.1
3	b	-1	1	15.9	14.5	15.1	14.2	59.7
4	ab	1	1	41.0	43.9	36.3	39.9	161.1

จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 2.10 จะได้ค่า (1) , a, b และ ab เท่ากับ 64.4, 96.1, 59.7 และ 161.1 ตามลำดับค่าเฉลี่ยรวม $\bar{y} \dots = 23.83$ จากสมการที่ (2.13) – (2.19) จะได้ค่า Effect และ SS ต่างๆ ดังนี้ Main Effects และ Interaction Effect, จากสมการที่ (2.13) , (2.14) และ (2.15) :

$$A = \frac{1}{2n}[a + ab - b - (1)]$$

$$= \frac{1}{2(4)}[96.1 + 161.1 - 59.7 - 64.4]$$

$$= \frac{133.1}{8} \quad ; \text{Contast}_A = 133.1$$

$$= 16.638$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{1}{2n}[b + ab - a - (1)] \\
 &= \frac{1}{2(4)}[59.7 + 161.1 - 96.1 - 64.4] \\
 &= \frac{60.3}{8} ; \quad \text{Contast}_B = 60.3 \\
 &= 7.538
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AB &= \frac{1}{2n}[ab + (1) - a - b] \\
 &= \frac{1}{2(4)}[161.1 + 64.4 - 96.1 - 59.7] \\
 &= \frac{69.7}{8} ; \quad \text{Contast}_{AB} = 69.7 \\
 &= 8.713
 \end{aligned}$$

Sum of Square, จากสมการที่ (2.16) หรือ (2.17) , (2.18) และ (2.19):

$$\begin{aligned}
 SS_A &= \frac{(\text{Contrast}_A)^2}{(4)(4)} \\
 &= \frac{(133.1)^2}{16} \\
 &= 1107.226 \\
 SS_B &= \frac{(\text{Contrast}_B)^2}{(4)(4)} \\
 &= \frac{(60.3)^2}{16} \\
 &= 227.256 \\
 SS_{AB} &= \frac{(\text{Contrast}_{AB})^2}{(4)(4)} \\
 &= \frac{(69.7)^2}{16} \\
 &= 303.631
 \end{aligned}$$

เมื่อคำนวณโดยใช้ตาราง Excel จะสะดวกมากขึ้น ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 ค่า Contrast, Effect และ SS

Factor	Contrast	Effect	SS
A	133.1	16.638	1107.226
B	60.3	7.538	227.256
AB	69.7	8.713	303.631

จากนั้นค่า SS_T จาก

$$\begin{aligned}
 SS_T &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y} \dots)^2 \\
 &= (18.2 - 23.83)^2 + (18.9 - 23.83)^2 + \dots + (39.9 - 23.83)^2 \\
 &= 1709.834
 \end{aligned}$$

และ SS_E โดยใช้สมการจะได้:

$$\begin{aligned}
 SS_E &= SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \\
 &= 1709.834 - 1107.226 - 227.256 - 303.631 \\
 &= 71.722
 \end{aligned}$$

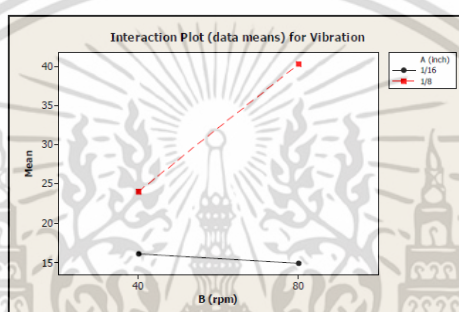
ดังนั้นจะได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ตาราง ANOVA สำหรับตัวอย่างที่ 2.15.1

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of freedom	Mean square	F_0	F_{α, v_1, v_2}	Result
ขนาดดอกคว้าน,A	1107.226	1	1107.226	185.253	4.75	Sig.
ความเร็วรอบ,B	227.256	1	227.256	38.023	4.75	Sig.
AB	303.631	1	303.631	50.801	4.75	Sig.
Error	71.722	12	5.977			
Total	1709.834	15				

ตาราง ANOVA บ่งชี้ว่าขนาดดอกคว้าน (A) ความเร็วรอบ (B) และ Interaction AB มีผลต่อแรงสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของ Main Effects ทั้ง A และ B และ Interaction Effect ซึ่งมีค่าสูงเช่น Effect A เท่ากับ 16.64 เป็นการบ่งชี้ว่าการเปลี่ยนระดับของปัจจัย A (เปลี่ยนขนาดดอก

คว้านระหว่าง 16/1" กับ 8/1") จะทำให้ระดับแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยเปลี่ยนไป 16.64 หน่วย (เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนจากเล็กไปใหญ่ และลดลงเมื่อเปลี่ยนจากใหญ่มาเล็ก) สำหรับ Effect B และ Interaction Effect AB อธิบายได้ในทำนองเดียวกัน นอกจากนี้กราฟในรูปที่ 2.24 แสดง Effects ของปัจจัยต่อค่าแรงสั่นสะเทือน บ่งชี้ว่า Interaction Effect มีผลอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจาก เส้นกราฟไม่ขนานกันอย่างเห็นได้ชัด ผลการวิเคราะห์ด้วย Minitab แสดงในตารางที่ 2.13 ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ตาราง ANOVA ปกติ (ส่วนบน) ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 2.12 ส่วนที่ 2 เป็นผลการวิเคราะห์ของ Factorial Analysis ประกอบด้วย ตาราง Factorial Fit และ ตาราง Analysis of Variance โดยในส่วนของตาราง Factorial Fit จะแสดงค่า Effects และค่าสัมประสิทธิ์ของ Regression Model ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.21) ด้วย ในขณะที่ตาราง Analysis of Variance จาก Factorial Analysis จะรวมผลของ Main Effects ไว้ด้วยกัน



รูปที่ 2.24 กราฟ Effect ของปัจจัยค่าแรงสั่นสะเทือน

ตารางที่ 2.13 ผลการวิเคราะห์จาก Minitab ของการทดลองในตัวอย่างที่ 2.14.4

Two-way ANOVA: Vibration versus A (inch), B (rpm)					
Source	DF	SS	MS	F	P
A (inch)	1	1107.23	1107.23	185.25	0.000
B (rpm)	1	227.26	227.26	38.02	0.000
Interaction	1	303.63	303.63	50.80	0.000
Error	12	71.72	5.98		
Total	15	1709.83			

S = 2.445 R-Sq = 95.81% R-Sq(adj) = 94.76%

29/5/2008 11:32:44

Factorial Fit: Vibration versus A (inch), B (rpm)					
Estimated Effects and Coefficients for Vibration (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		23.831	0.6112	38.99	0.000
A (inch)	16.638	8.319	0.6112	13.61	0.000
B (rpm)	7.537	3.769	0.6112	6.17	0.000
A (inch)*B (rpm)	8.713	4.356	0.6112	7.13	0.000

S = 2.44476 R-Sq = 95.81% R-Sq(adj) = 94.76%

Analysis of Variance for Vibration (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1334.48	1334.48	667.241	111.64	0.000
2-Way Interactions	1	303.63	303.63	303.631	50.80	0.000
Residual Error	12	71.72	71.72	5.977		
Pure Error	12	71.72	71.72	5.977		
Total	15	1709.83				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.21) จะได้ค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_{12} ดังนี้

$$\begin{aligned}\beta_0 &= \text{GrandMean} = \mu = 23.831 \\ \beta_1 &= \frac{\text{Estimate Effect}_A}{2} = \frac{16.638}{2} = 8.319 \\ \beta_2 &= \frac{\text{Estimate Effect}_B}{2} = \frac{7.537}{2} = 3.769 \\ \beta_{12} &= \frac{\text{Estimate Effect}_{AB}}{2} = \frac{8.713}{2} = 4.356\end{aligned}$$

ซึ่งสอดคล้องกับคอลัมน์ coef ในตาราง Factorial Fit จาก Minitab และจะได้ สมการ Regression คือ

$$\hat{y} = 23.831 + 8.319(x_1) + 3.769(x_2) + 4.356(x_1x_2)$$

เมื่อ x_1, x_2 เป็น Code Variable มีค่าเท่ากับ -1 และ +1 เมื่อ Run ที่ระดับ Low level และ High level ของปัจจัยตามลำดับจากนั้นความคลาดเคลื่อนของการทดลองหรือ Residuals จะประมาณจากสมการที่ (2.12) เมื่อ \hat{y}_{ijk} ประมาณจากสมการ Regression ซึ่งแทนค่าเฉลี่ยของ Run นั้นๆ เช่น การ Run ที่ Low level ของปัจจัย A และ B จะได้;

$$\begin{aligned}\hat{y} &= 23.831 + 8.319(-1) + 3.769(-1) + 4.356(-1)(-1) \\ &= 16.1 \\ &= y_{11}\end{aligned}$$

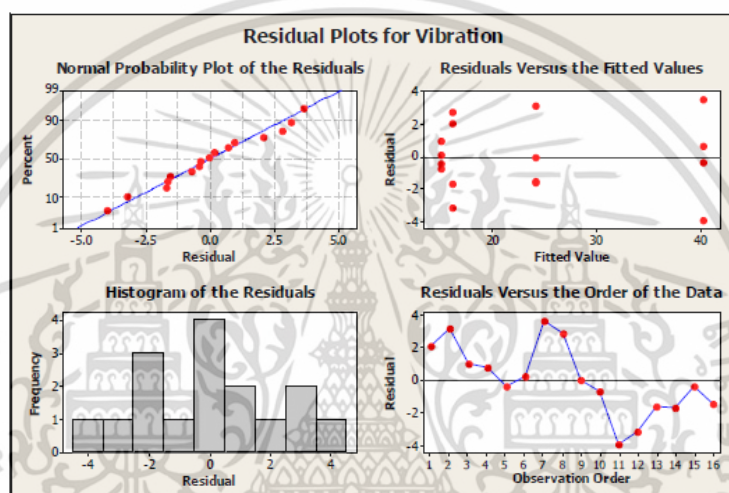
ดังนั้นค่า Residuals ที่จากการ Run นี้จะคำนวณได้ดังนี้

$$e_{111} = 18.2 - 16.1 = 2.1, e_{112} = 18.9 - 16.1 = 2.8, e_{113} = 12.9 - 16.1 = -3.2, e_{114} = 14.4 - 16.1 = -1.7$$

ค่า Residual ที่เหลือคำนวณในทำนองเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 2.13 จากนั้นต้องทำการวิเคราะห์หว่า Residual มีพฤติกรรมตามสมมติฐานทางสถิติหรือไม่ ด้วยการ plot กราฟ ดังแสดงในรูปที่ 2.31

ตารางที่ 2.14 ค่า Residuals ของตัวอย่างที่ 2.14.4

Run		Factor		\hat{y}	Residual			
		A	B		1	2	3	4
1	(1)	-1	-1	16.1	2.1	2.8	-3.2	-1.7
2	a	1	-1	24.025	3.2	0.0	-1.6	-1.5
3	b	-1	1	14.925	1.0	-0.4	0.2	-0.7
4	ab	1	1	40.275	0.7	3.6	-4.0	-0.4



รูปที่ 2.25 กราฟเพื่อการวิเคราะห์ Residuals ของการทดลองที่ 2.14.4

จากรูปที่ 2.25 ไม่มีสัญญาณความผิดปกติที่รุนแรงแต่อย่างใด ถึงแม้กราฟระหว่าง Residuals กับค่า Observation Order จะมี Pattern ของ Autocorrelation อยู่ แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลในที่นี้ไม่ได้ใช้เวลาห่างกันมากนักจึงไม่จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับสมมติฐานด้าน Autocorrelation

ในทางปฏิบัติเมื่อทราบว่ามี Main Effect A, B และ Interaction Effect มีผลต่อแรงสั่นสะเทือน จะต้องกำหนดระดับของปัจจัยให้เหมาะสมกับการผลิต คือทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนน้อยที่สุด ในขณะที่ไม่ทำให้อัตราการผลิตลดลง จากรูปที่ 2.25 จะเห็นว่าควรกำหนดให้ใช้ดอกคว้านขนาดเล็ก และความเร็วยรอบ 80 rpm การวิเคราะห์อย่างละเอียดยังสามารถทำได้ เช่นการวิเคราะห์ผิวตอบ (Surface Response) เนื่องจากการทดลองแบบ 2^2 แพคทอเรียลเป็นเพียงการศึกษาเฉพาะที่มุมของระนาบสี่เหลี่ยม (รูปที่ 2.23) เท่านั้น ในระดับอื่นๆ ของแต่ละปัจจัยยังมิได้พิจารณา การทำ Surface Response จะช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกมากขึ้น หรืออาจทำนายผลของแรงสั่นสะเทือนที่ระดับ Combination อื่นๆ (เช่น A = 1" / 8 และ B = 60 rpm เป็นต้น) ของปัจจัย A และ B ได้จากสมการ Regression โดยการแปลง Coded Variables ให้เป็น Actual Variables อย่างไรก็ตามในที่นี้จะไม่กล่าวถึงรายละเอียดของ 2 วิธีดังกล่าวนี้ (ผู้อ่านสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือเฉพาะด้านการออกแบบการทดลองทั่วไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

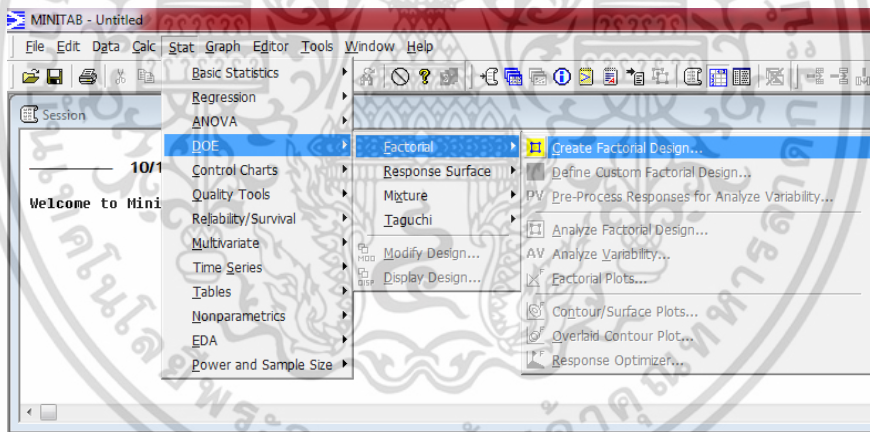
การออกแบบระบบการติดตามฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการ แข็งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

3.1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่า Parameter ที่เหมาะสม

ในบทนี้จะเป็นการศึกษาการออกแบบของระบบติดตามฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นโดยจะใช้การทดลองเป็นไปตามทฤษฎีการทดลอง DOE (Design Of Experiment) เพื่อต้องการหาค่าผลผลิต (yield) ที่ดีที่สุดเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ในกรณีนี้จะกล่าวถึงการแข็งตัวของสารเมือก (เรซิน) หลังจาก ในสภาวะที่เหมาะสมโดยกำหนดตัวแปร (Factor) ในการทดลองดังนี้

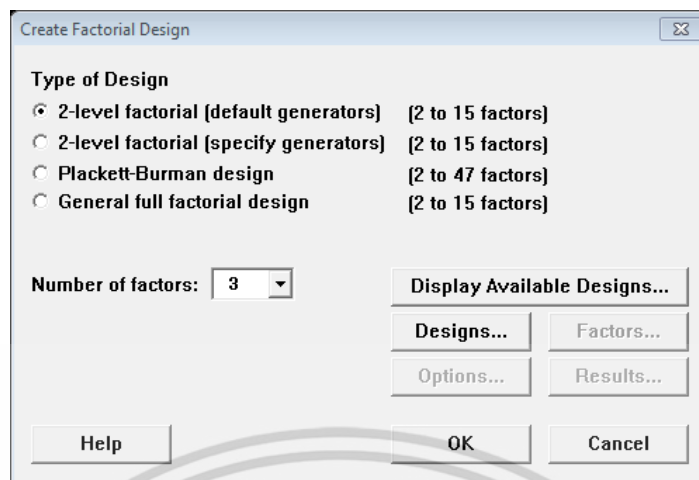
1. อุณหภูมิที่เหมาะสม
2. ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม
3. เวลาที่เหมาะสม

โดยออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม โดยการกำหนดการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab ในเรื่องของ Factorial Design โดยใช้วิธีเลือกตามรูปที่ 3.1



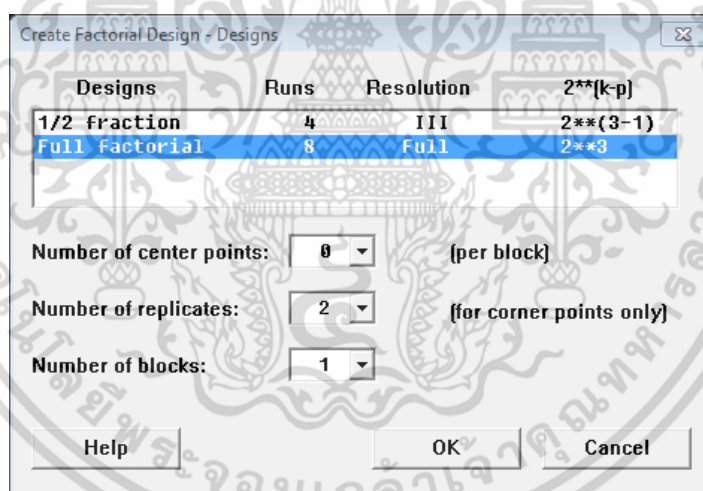
รูปที่ 3.1 แสดงการเริ่มต้นการออกแบบการทดลองโดยเลือก Create Factorial Design

หลังจากนั้นเลือกเป็น 2 level factorial (default generators) เลือก Number of factor = 3 จากนั้นเลือกในส่วนของ Designsตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงหน้าต่างการออกแบบการทดลอง (Create Factorial Design)

เลือกการทดลองแบบ Full factorial design เพื่อให้ได้ค่า run เป็น 8 runs เลือก Number of replicates เป็น 2 เนื่องจากการกำหนดเลือกการทำการทดลองซ้ำกันในเงื่อนไขเดิม 2 ครั้ง แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงหน้าต่างการออกแบบการทดลอง (Create Factorial Design)

เมื่อเรากำหนดค่าต่างๆเพื่อที่จะทำการทดลองแล้วจะปรากฏในหน้าต่างของ Session ซึ่งแสดงจำนวน Factors, Runs และ Replicates และในหน้าต่าง Work sheet จะเป็นการกำหนดค่า Parameter ต่างๆ เพื่อหาผลการทดลองเพื่อให้ได้ค่าผลิตภัณฑ์ (yield) มากที่สุดแสดงดังรูปที่ 3.4

Session								
10/10/2015 21:15:10								
Welcome to Minitab, press F1 for help.								
Full Factorial Design								
Factors:	3	Base Design:	3, 8					
Runs:	16	Replicates:	2					
Blocks:	1	Center pts (total):	0					
All terms are free from aliasing.								
Worksheet1 ***								
↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temp	Humidity	Time	Yield
1	14	1	1	1	25	50	24	
2	10	2	1	1	25	50	16	
3	13	3	1	1	23	50	24	
4	9	4	1	1	23	50	16	
5	12	5	1	1	25	60	16	
6	11	6	1	1	23	60	16	
7	8	7	1	1	25	60	24	
8	5	8	1	1	23	50	24	
9	1	9	1	1	23	50	16	
10	4	10	1	1	25	60	16	

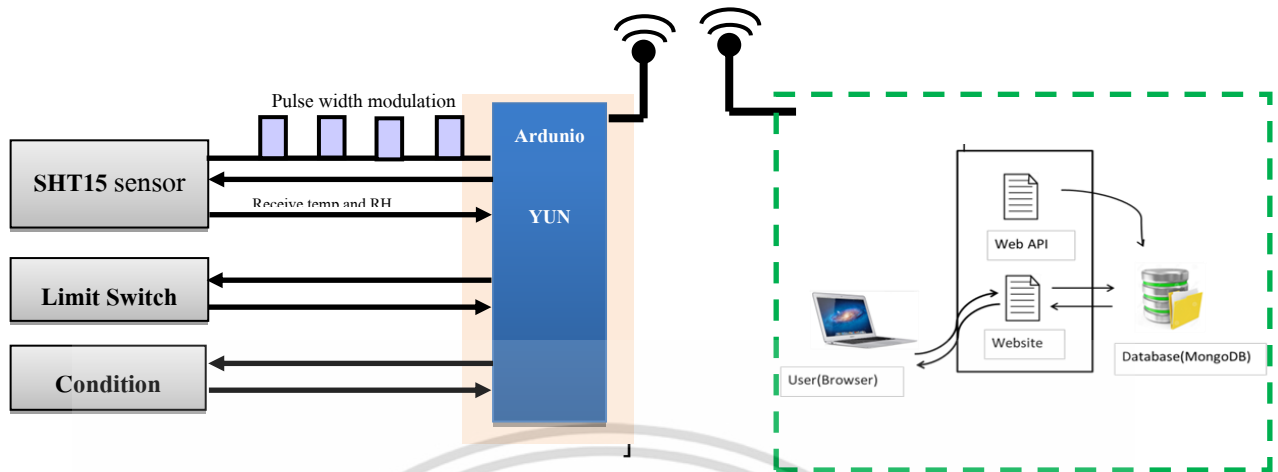
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่าง Session และ work sheet

ขั้นตอนหลังจากนี้จะเป็นการทดลองโดยต้องปรับค่า Parameter โดยปรับตั้งค่า อุณหภูมิ ความชื้น และเวลา ตามตารางที่ Minitab กำหนดให้ แล้วเติมลงในช่อง yield เป็นการสิ้นสุดในกระบวนการออกแบบ การทดลอง โดยผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองจะอยู่ในบทต่อไป

3.2 การออกแบบระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้น

การทำงานของระบบจะเริ่มจาก ตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN จะเริ่มส่งสัญญาณเพื่อติดต่อกับเซ็นเซอร์ SHT15 เพื่อส่งงานให้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นวัดและส่งค่าออกมาให้กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลและเก็บค่าที่ได้ จากนั้นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากลิมิตสวิตช์(Limit switch) เพื่อตรวจสอบสถานะของประตูว่ามีเปิดหรือปิด เนื่องจากเรานำลิมิตสวิตช์ (Limit switch) ไปติดตั้งเพื่อตรวจจับการทำงานของประตูว่าเปิดหรือปิดอยู่ในขณะนั้น และสุดท้ายตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะตรวจสอบการทำงานของระบบควบคุมเครื่องปรับอุณหภูมิและความชื้นโดยจะรับสัญญาณมาจากเครื่องควบคุมโดยตรงเพื่อตรวจสอบว่าระบบยังทำงานดีเป็นปกติอยู่หรือไม่ หลังจากนั้นตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN จะนำข้อมูลทั้งหมดผ่านทาง Wi-Fi โดยนำข้อมูลที่ได้มาเก็บไว้ใน Data base ในรูปแบบของ log file ผู้ใช้งานระบบสามารถเปิดดูข้อมูลได้โดยการ request หน้าเวปต้องการให้แสดงผลข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล Website request ข้อมูลใน data base ส่งข้อมูลมาที่ เวปไซท์ (website) ประมวลผลข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ HTML

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

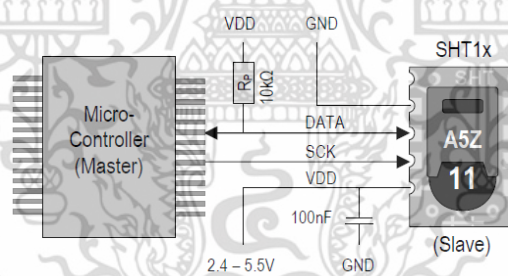


รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของระบบ

3.3 การทำงานของแต่ละส่วนของระบบ

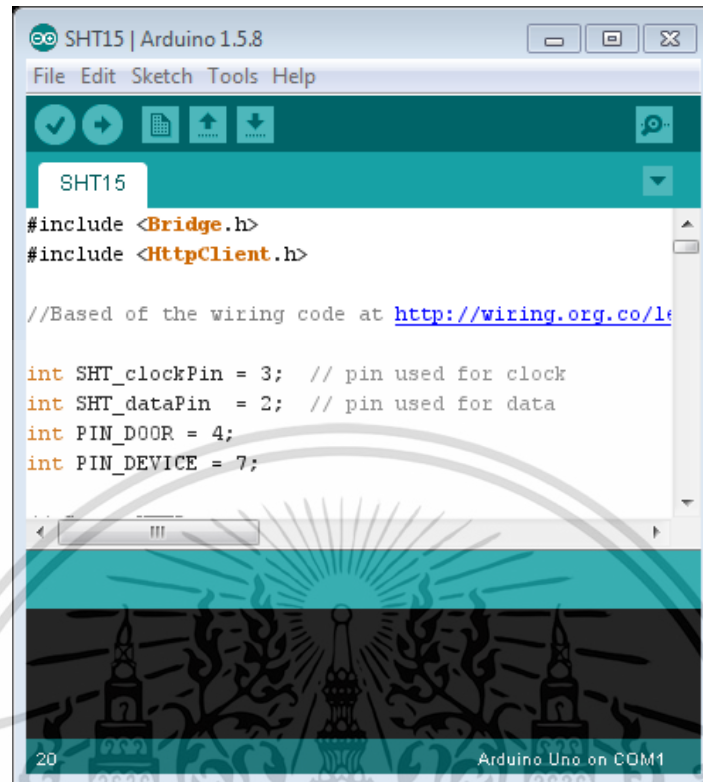
3.3.1 การต่อวงจรใช้งานระหว่าง Arduino YUN กับ เซ็นเซอร์ SHT15

การต่อใช้งานนั้นใช้ SCK จากเซ็นเซอร์มาต่อเข้ากับขาที่ 3 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN และนำสาย Data มาต่อเข้ากับขาที่ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN



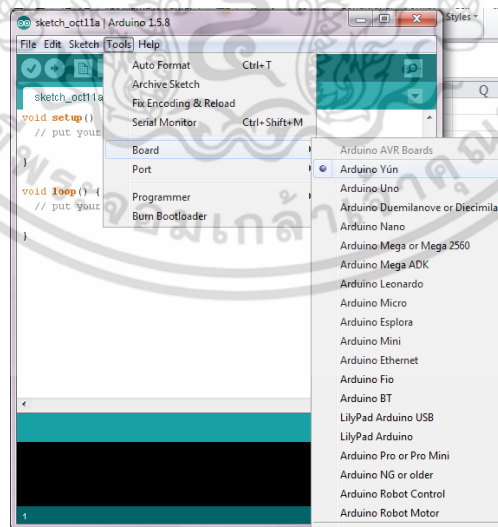
รูปที่ 3.6 การต่อใช้งาน Sensor SHT15 กับ controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมในการสั่งงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

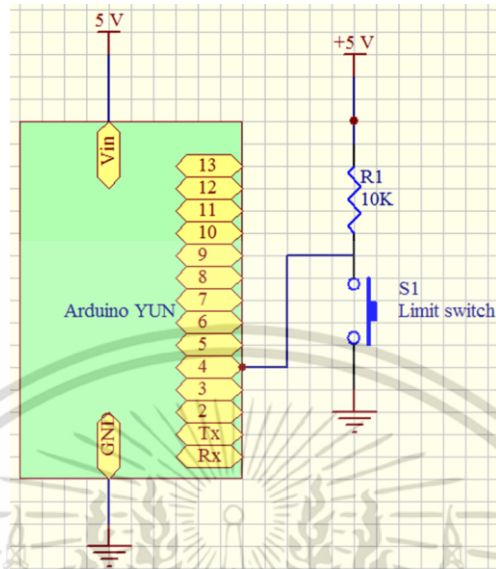
หลังจากที่เขียนโปรแกรมสั่งงานเสร็จแล้วเราจะทำการโปรแกรมลงไปใน Arduino YUN



รูปที่ 3.8 แสดงหน้าต่างเลือกประเภทอุปกรณ์ในการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

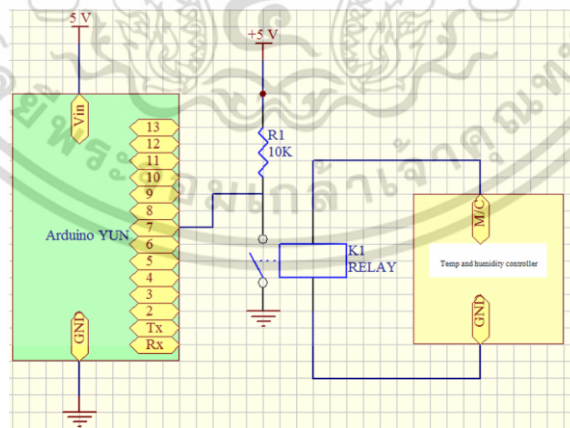
3.3.2 การต่อวงจรใช้งานระหว่าง Arduino YUN กับ Limit switch



รูปที่ 3.9 แสดงการต่อวงจรระหว่าง Limit switch และ Arduino YUN

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อประตูเปิดอยู่จะสังเกตได้ว่าสวิตช์จะไม่มี การต่อลงกราวด์จึงส่งสัญญาณให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN

3.3.3 การต่อวงจรระหว่างเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกับ Arduino YUN



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อวงจรระหว่างเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นกับ Arduino YUN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C:\Windows\system32\cmd.exe - mongod --dbpath C:\mongodb\Data\db
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Pakin>cd C:\mongodb\bin

C:\mongodb\bin>mongo
MongoDB shell version: 2.6.6
connecting to: test
2015-01-01T11:35:05.093+0700 warning: Failed to connect to 127.0.0.1:27017, reason:
errno:10061 No connection could be made because the target machine actively
refused it.
2015-01-01T11:35:05.098+0700 Error: couldn't connect to server 127.0.0.1:27017 (
127.0.0.1), connection attempt failed at src/mongo/shell/mongo.js:146
exception: connect failed

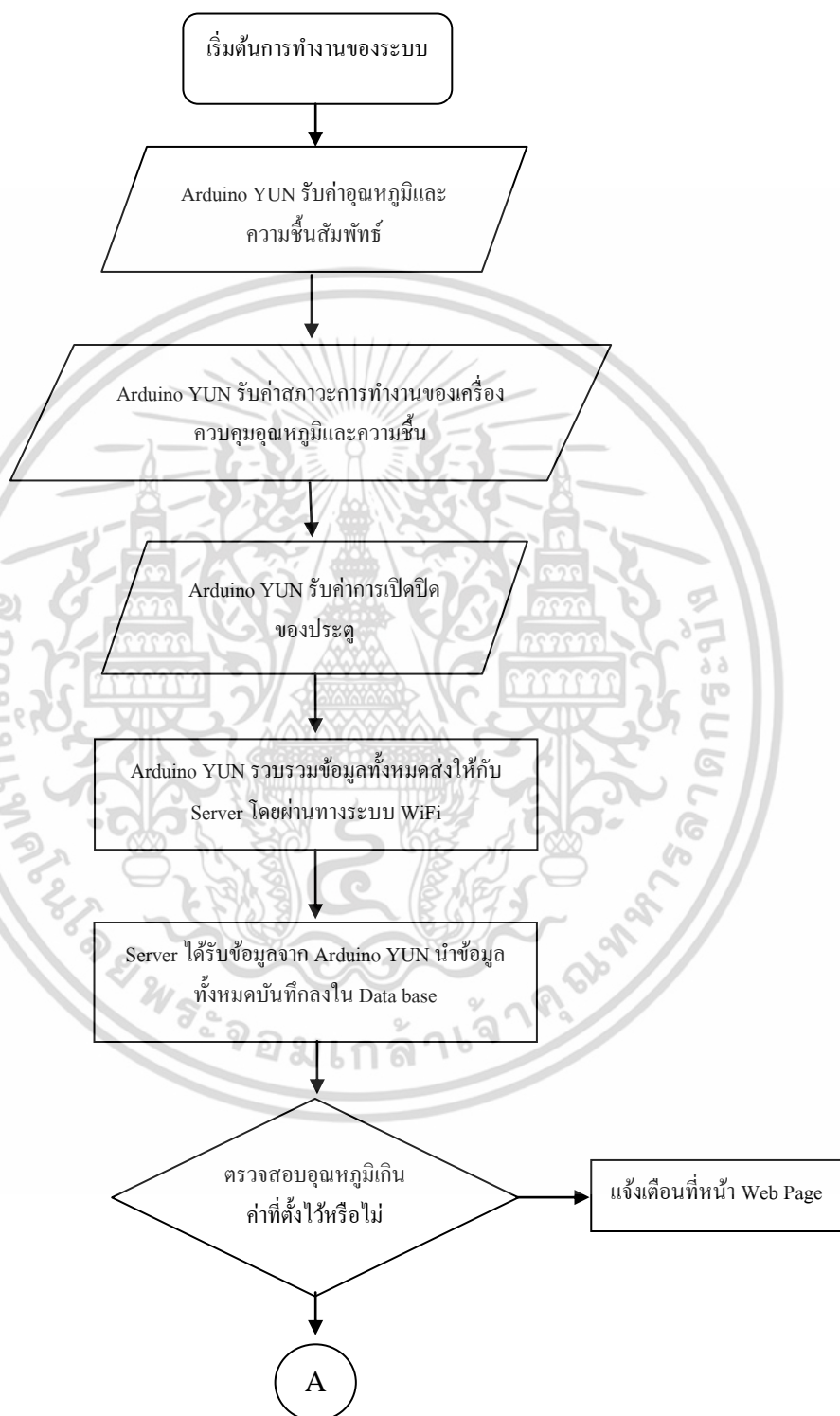
C:\mongodb\bin>
C:\mongodb\bin>
C:\mongodb\bin>mongo --dbpath C:\mongodb\Data\db
2015-01-01T11:36:17.523+0700
2015-01-01T11:36:17.537+0700 warning: 32-bit servers don't have journaling enabl
ed by default. Please use --journal if you want durability.
2015-01-01T11:36:17.537+0700
2015-01-01T11:36:17.698+0700 [initandlisten] MongoDB starting : pid=12520 port=2
7017 dbpath=C:\mongodb\Data\db 32-bit host=Pakin-PC
2015-01-01T11:36:17.699+0700 [initandlisten]
2015-01-01T11:36:17.699+0700 [initandlisten] ** NOTE: This is a 32 bit MongoDB b
inary.
2015-01-01T11:36:17.699+0700 [initandlisten] ** 32 bit builds are limited
to less than 2GB of data (or less with --journal).
2015-01-01T11:36:17.701+0700 [initandlisten] ** Note that journaling defau
lts to off for 32 bit and is currently off.
2015-01-01T11:36:17.703+0700 [initandlisten] ** See http://dochub.mongodb.
org/core/32bit
2015-01-01T11:36:17.706+0700 [initandlisten]
2015-01-01T11:36:17.707+0700 [initandlisten] targetMinOS: Windows XP SP3
2015-01-01T11:36:17.708+0700 [initandlisten] db version v2.6.6
2015-01-01T11:36:17.710+0700 [initandlisten] git version: 608e8bc319627693b04cc7
da29ecc300a5f45a1f
2015-01-01T11:36:17.713+0700 [initandlisten] build info: windows sys.getwindowsv
ersion(major=6, minor=1, build=7601, platform=2, service_pack='Service Pack 1')
BOOST_LIB_VERSION=1_49
2015-01-01T11:36:17.713+0700 [initandlisten] allocator: system
2015-01-01T11:36:17.714+0700 [initandlisten] options: { storage: { dbPath: "C:\m
ongodb\Data\db" } }
2015-01-01T11:36:17.749+0700 [initandlisten] allocating new ns file C:\mongodb\D
ata\db\local.ns, filling with zeroes...
2015-01-01T11:36:18.434+0700 [FileAllocator] allocating new datafile C:\mongodb\
Data\db\local.0, filling with zeroes...

```

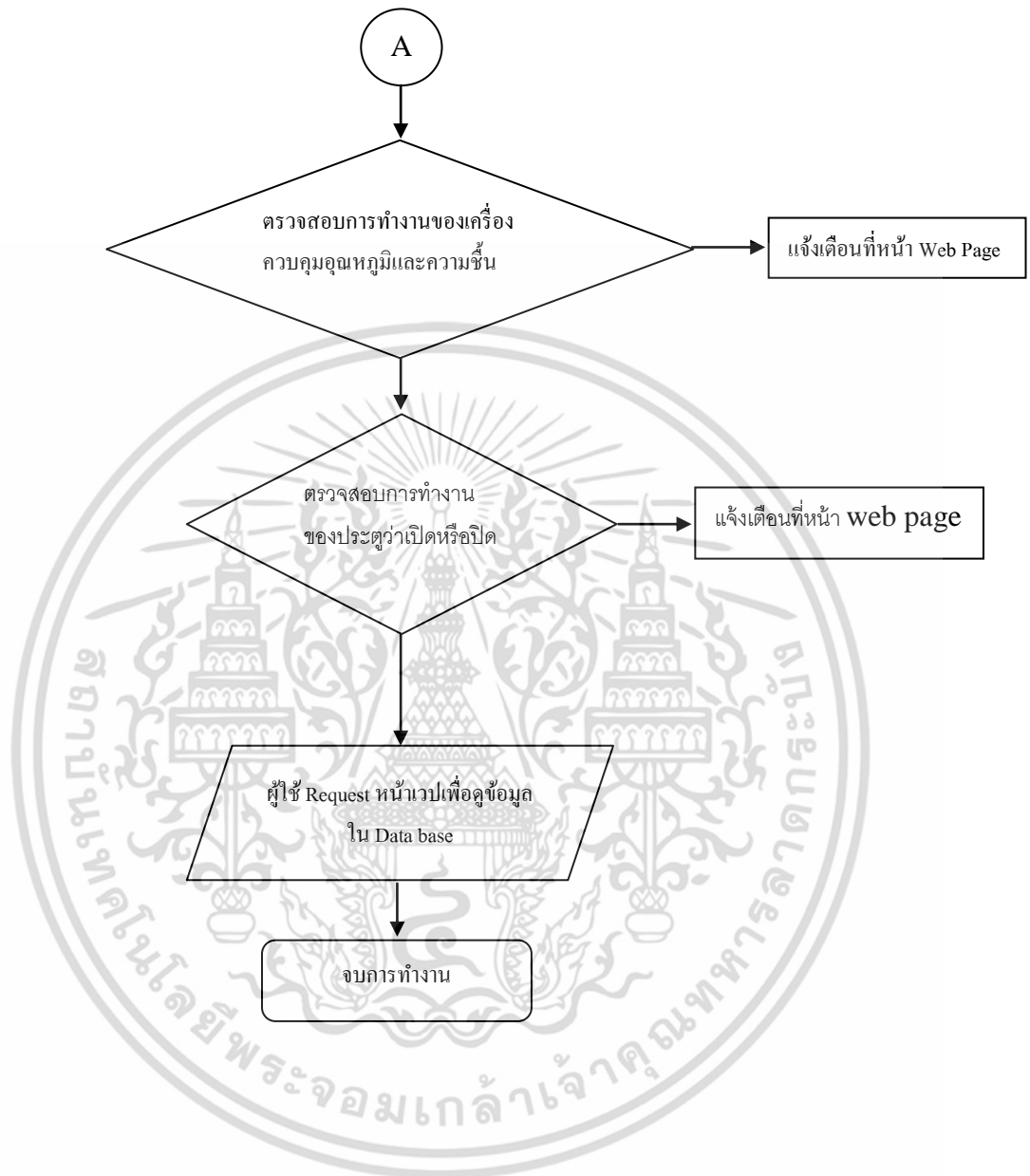
รูปที่ 3.11 แสดงการทำงานของ การส่งผ่านข้อมูลเข้าเก็บในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 โฟลวชาร์ทการทำงานของระบบ



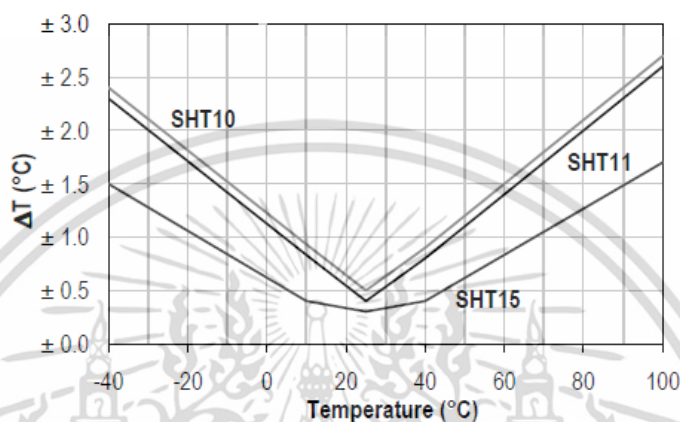
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การหาค่าความแม่นยำที่อุณหภูมิ 23°C

เนื่องจากการทำงานของตัว Sensor ชนิดนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจากกราฟในรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นขณะที่ตัวของ Sensor วัดอุณหภูมิต่างกัน ความคลาดเคลื่อนก็จะต่างกันไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะต้องหาค่าตัวแปรที่ทำให้ความแม่นยำของตัว Sensor มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยในที่นี้จะกล่าวถึง ณ อุณหภูมิที่ 23°C เท่านั้น



รูปที่ 3.12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของ Sensor อุณหภูมิยี่ห้อต่างๆ

3.5.1 การเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นข้อมูลอุณหภูมิ

ค่าของข้อมูลอุณหภูมิ มีลักษณะเป็นเชิงเส้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร กำหนดโดย Data Sheet ของ Sensor (SHT 15)

$$T = d_1 + (d_2 \times SO_T) \quad (3.1)$$

เมื่อ

SOT = Serial Output Temperature

d_1 และ d_2 เป็นค่าคงที่เชิงเส้น โดย $d_1 = -40$ ในค่าเริ่มต้นและ $d_2 = 0.01$

(กำหนดโดย data sheet)

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการคำนวณ

VDD	d_1 (°C)	d_1 (°F)	d_2 (°C) SO_T
5V	- 40.1	- 40.2	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การกำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจลักษณะงาน

เนื่องจากการเป็นการหาค่า parameter ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดลักษณะชิ้นงานจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตาม รูปที่ 3.13 และ รูปที่ 3.14 ดังนี้

1. ไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้น
2. หากมีฟองอากาศจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.2 mm. ไม่เกิน 10 จุด
3. หากมีฟองอากาศจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1.3 mm. ไม่เกิน 5 จุด



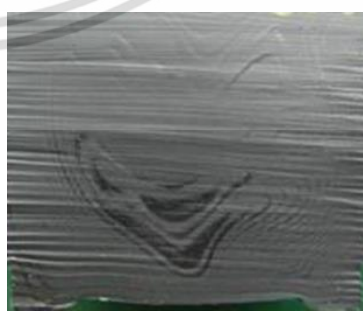
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่ยอมรับได้

รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะงานเสีย

และอีกหนึ่งการตรวจสอบโดยนำชิ้นงานที่ได้จากการแข็งตัวนำมาผ่ากลางเพื่อดูเนื้อสารข้างในแสดงดังรูปที่ 3.15 โดยที่ รูปที่ 3.15 (ก) แสดงชั้นของเนื้องานที่ยอมรับได้และ รูปที่ 3.15 (ข) แสดงเนื้องานที่ไม่สามารถยอมรับได้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะงานหลังจากการตรวจสอบโดยการผ่าเพื่อดูการแข็งตัวของงาน

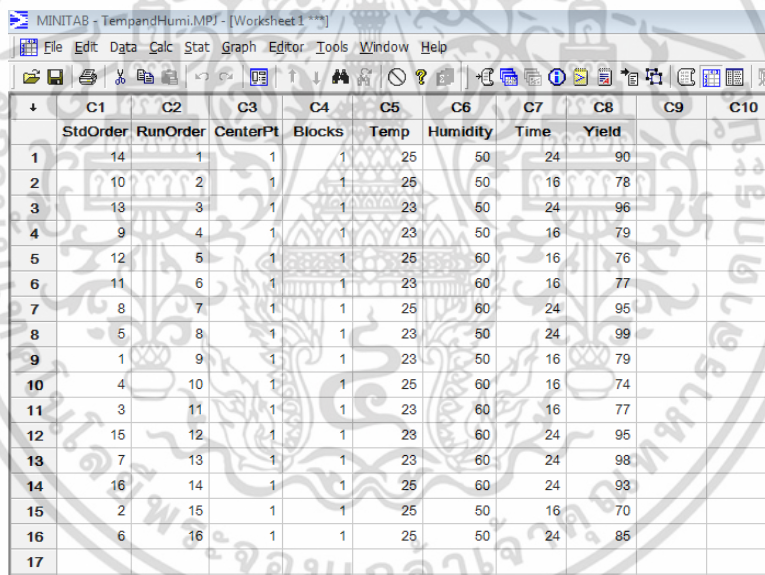
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองเพื่อหาค่า Parameter ที่เหมาะสม

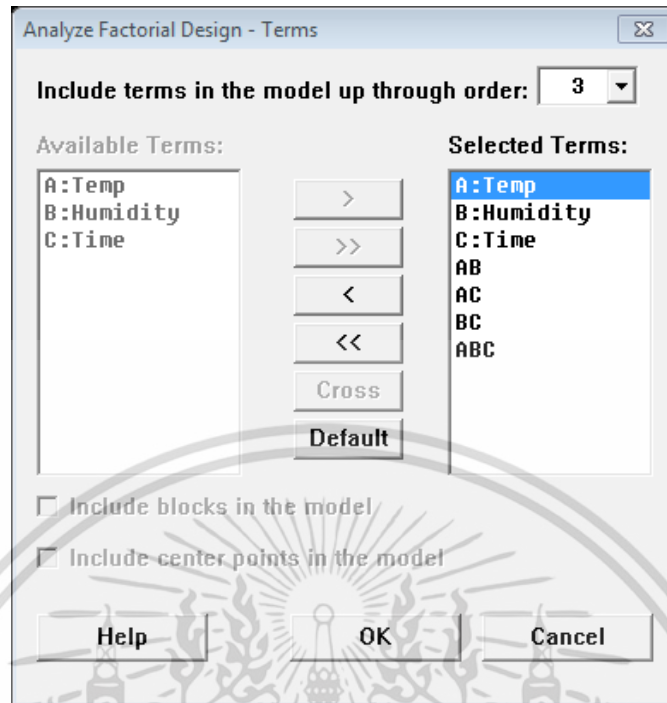
หลังจากที่ทำการทดลองปรับค่า Parameter ตามที่ โปรแกรม Minitab Generate ให้แบบ Randomization มีวัตถุประสงค์เพื่อ กำหนดค่า Factor ที่อาจส่งผลกระทบต่ออาจควบคุมไม่ได้ ซึ่งอาจหมายถึง อุณหภูมิของภายนอกห้องควบคุม หากทดลองในตอนเช้าอาจทำให้ได้ค่าผลผลิต (yield) ต่ำกว่าตอนบ่าย หรือบางขณะเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาจเปลี่ยนแปลงไปได้ อย่างเช่นอากาศในตอนเช้าอาจจะมี ความชื้นต่ำ แต่ในช่วงบ่ายอาจมีฝนตกลงมาทำให้สภาวะของความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกสูงอาจทำให้ห้องที่ ต้องการการควบคุมทำให้การควบคุมความชื้นเป็นไปได้ยากกว่าในตอนเช้า และ มีการตั้งค่า Replicate เป็น 2 ซึ่งนั่นหมายถึงเป็นการ run ซ้ำที่เงื่อนไขเดิมแต่ต่างเวลา เพื่อที่จะให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น รายละเอียดดังที่กล่าวมาข้างต้น สามารถดูในรูปที่ 4.1 ข้างล่างนี้



↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temp	Humidity	Time	Yield		
1	14	1	1	1	25	50	24	90		
2	10	2	1	1	25	50	16	78		
3	13	3	1	1	23	50	24	96		
4	9	4	1	1	23	50	16	79		
5	12	5	1	1	25	60	16	76		
6	11	6	1	1	23	60	16	77		
7	8	7	1	1	25	60	24	95		
8	5	8	1	1	23	50	24	99		
9	1	9	1	1	23	50	16	79		
10	4	10	1	1	25	60	16	74		
11	3	11	1	1	23	60	16	77		
12	15	12	1	1	23	60	24	95		
13	7	13	1	1	23	60	24	98		
14	16	14	1	1	25	60	24	93		
15	2	15	1	1	25	50	16	70		
16	6	16	1	1	25	50	24	85		
17										

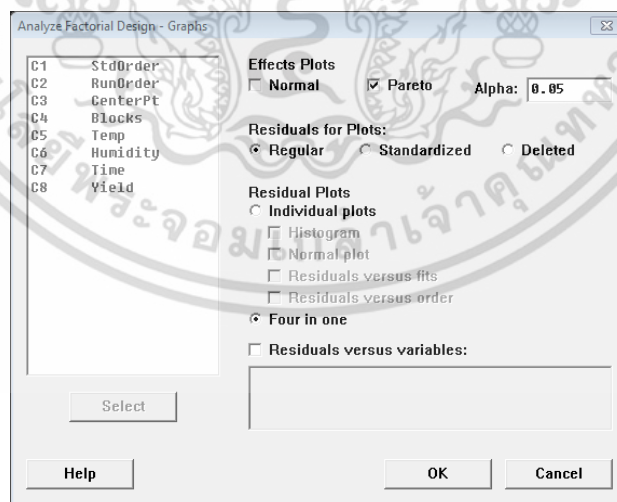
รูปที่ 4.1 แสดงค่าลำดับขั้นตอนการทดลองและผลการทดลองในสภาวะต่างๆ

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิเคราะห์ Terms ของแต่ละตัวแปร โดยเลือก Analyze-Factorial Design Terms. ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเลือก Analyze ทุก Terms เพราะเราต้องการหา Interaction ด้วยรายละเอียดดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการเลือกลำดับการทดลอง Interaction Terms

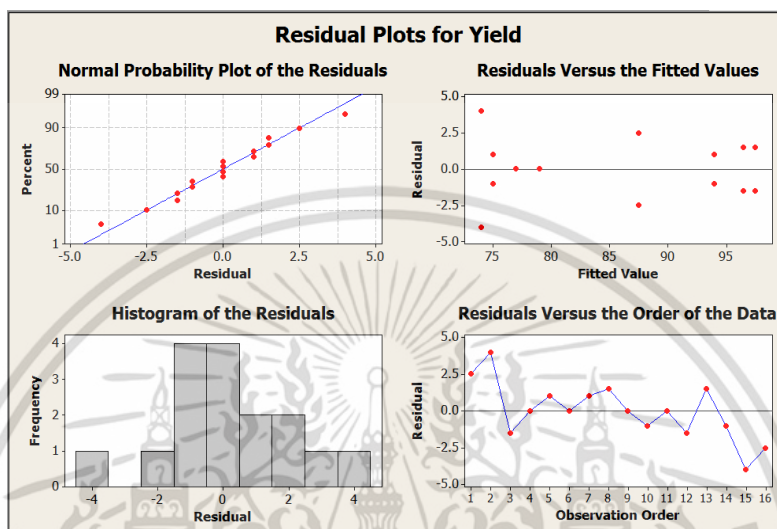
จากนั้นในส่วนของกราฟ ให้เลือก Plots ที่ Four in one ในส่วนของ Effect plots เลือก Pareto ส่วนค่า Alpha เลือก 0.05 แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกเพื่อแสดงกราฟ

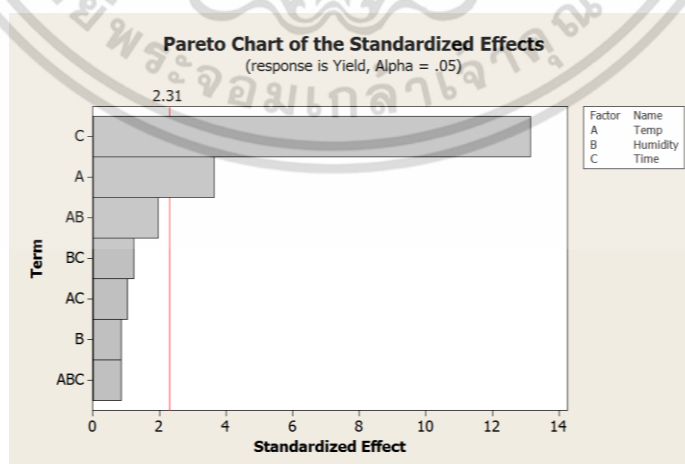
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์หาค่า Residual Plot ซึ่งหมายถึงค่าเศษเหลือซึ่งควรจะเข้าใกล้ค่า mean ดังนั้นเมื่อดูจากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ไม่มีความผิดปกติหรือผิดปกติ ต่อมาเป็นค่า Residual Versus the Fitted Value จะเป็นการเช็คค่าข้อมูลที่ได้เกาะกลุ่มกันหรือไม่ จากกราฟจะเห็นว่าข้อมูลจะเกาะกลุ่มกันแสดงว่าผลการทดลองนี้เชื่อถือได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดง Residual Plots for Yield

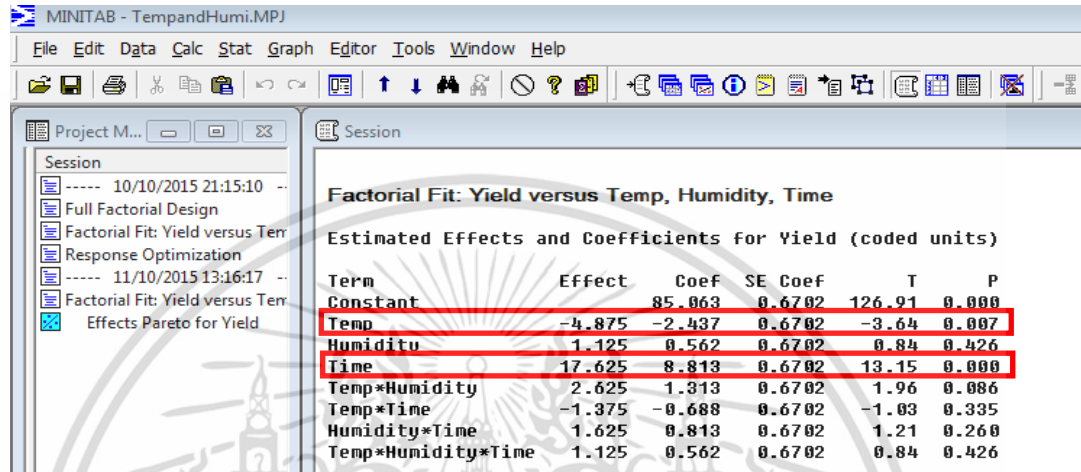
ในส่วนของ Pareto Chart of the Standardized Effect ของ Yield แสดงให้เห็นถึงกราฟแผนภูมิซึ่งบ่งบอกถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการทดลองนี้ จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ตัวแปร C คือ Time มีอิทธิพลมากที่สุด และตัวแปรรองลงมา คือตัวแปร A มีอิทธิพลรองลงมาและตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมคือตัวแปร AB คือ มีอิทธิพลร่วมระหว่าง Temp และ Humidity หมายถึง อุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 4.5 แสดง Pareto Chart of the Standardized Effects

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

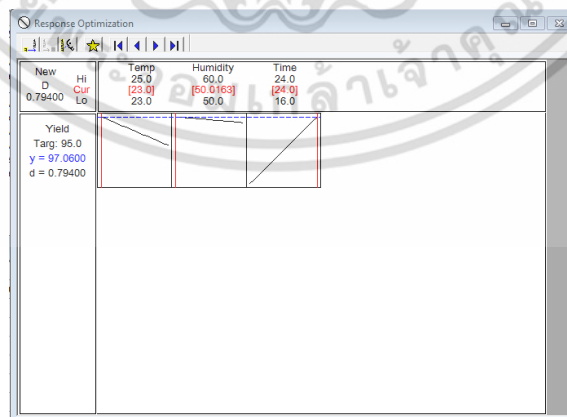
ในหน้าต่างของ Session เป็นการตรวจสอบว่าค่าใน Term ของ P มีค่าน้อยกว่า 0.05 หรือหมายถึงหมายถึงค่าใดๆที่มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลองซึ่งในตารางนี้จะมี 2 ค่าคือ ค่าของ Temp หรือ อุณหภูมิ และค่าของ Time หรือเวลา มีอิทธิพลกับผลผลิตหรือ yield ดังแสดงในรูปที่ 4.6



Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		85.063	0.6702	126.91	0.000
Temp	-4.875	-2.437	0.6702	-3.64	0.007
Humidity	1.125	0.562	0.6702	0.84	0.426
Time	17.625	8.813	0.6702	13.15	0.000
Temp*Humidity	2.625	1.313	0.6702	1.96	0.086
Temp*Time	-1.375	-0.688	0.6702	-1.03	0.335
Humidity*Time	1.625	0.813	0.6702	1.21	0.260
Temp*Humidity*Time	1.125	0.562	0.6702	0.84	0.426

รูปที่ 4.6 แสดงหน้าต่างของ Session

หลังจากนั้นจะเป็นการหาค่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่ส่งผลทำให้ค่าผลผลิต(yield)มีค่าสูงที่สุดทำให้เราได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ ค่าของอุณหภูมิ Temp ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ (% RH) และค่าของเวลาที่เหมาะสม (Time) คือ Temp = 23 °C, Humidity 50 % RH และ Time = 24 ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4.7 ดังนั้นจะเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นโดยที่จะต้องหาค่าตัวแปรเพื่อให้ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของอุณหภูมิมากที่สุด

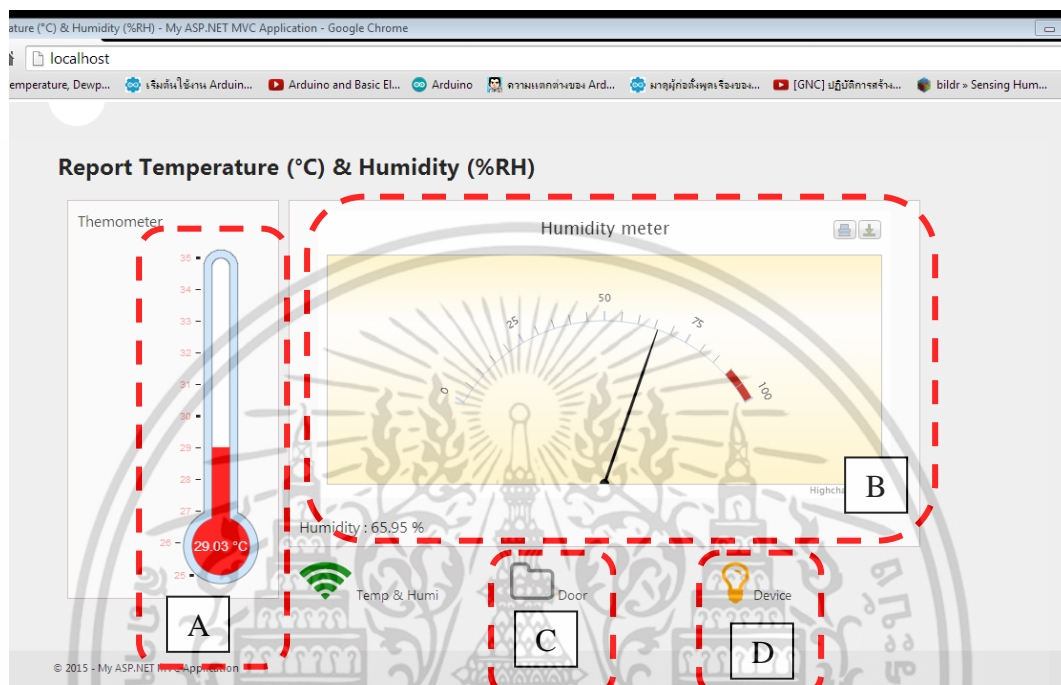


รูปที่ 4.7 แสดงหน้าต่างของ Response Optimization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งผ่านข้อมูลผ่านเว็บไซต์

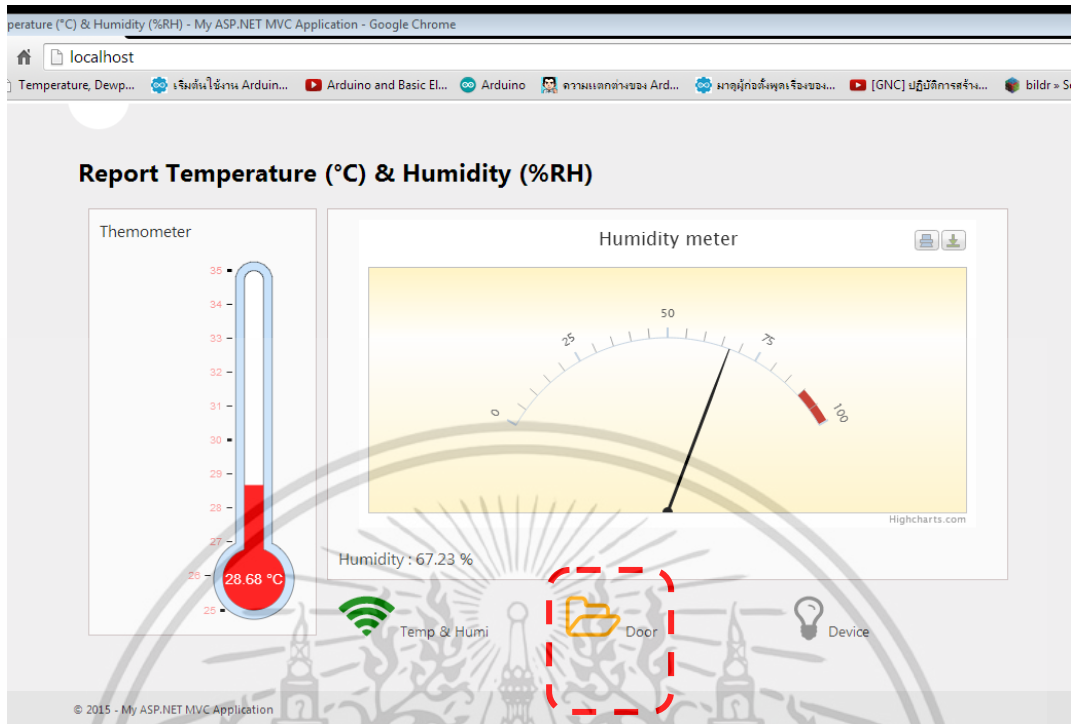
จากการทดลองบทที่ 3 ทดลองสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถส่งผ่านข้อมูลผ่านเว็บไซต์ได้ดังต่อไปนี้



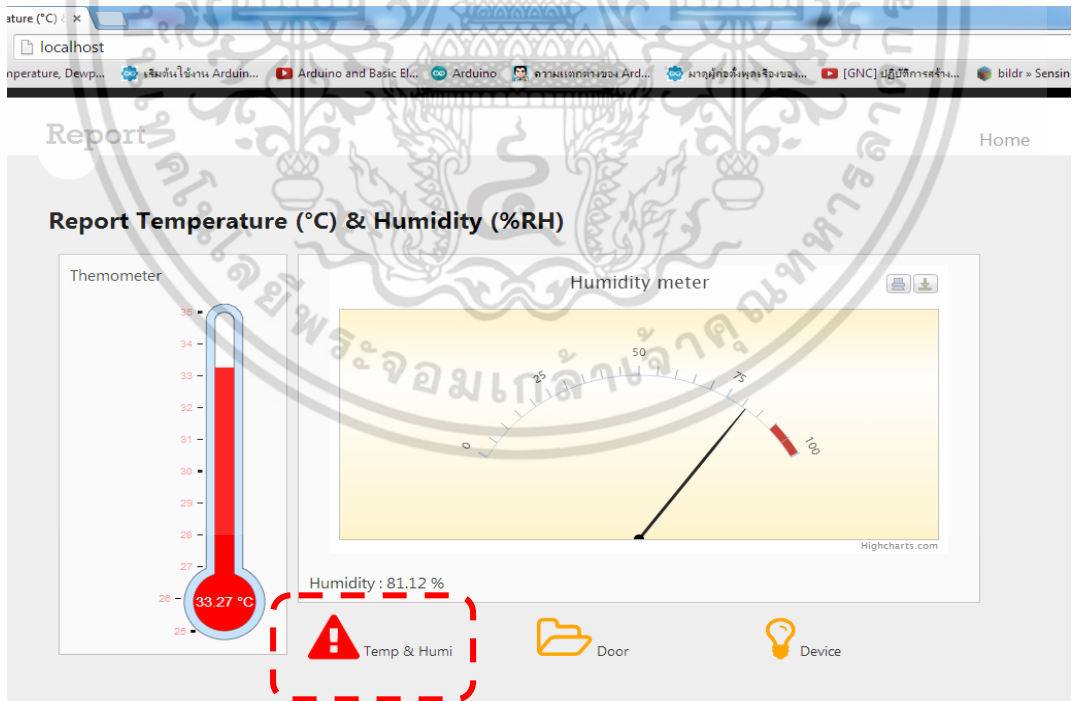
รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอการทำงานของระบบวัดอุณหภูมิและความชื้นผ่านเว็บไซต์

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงค่าต่างๆที่เครื่องมือวัดสามารถอ่านข้อมูลจากตัวเซ็นเซอร์และแสดงผลออกมาทางเว็บไซต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- A คือ ค่าของอุณหภูมิขณะที่วัด หน่วยเป็น (°C)
- B คือ ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ Relative Humidity (%RH)
- C คือ การแสดงสถานะของประตูห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น แสดงสถานะ (เปิด/ปิด)
- D คือ การแสดงสถานะของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นแสดงสถานะ (ปกติ/ ไม่ปกติ)



รูปที่ 4.9 แสดงสถานะมีการเปิดประตู



รูปที่ 4.10 แสดงสถานะอุณหภูมิผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DataLogger_101920141530 - Notepad

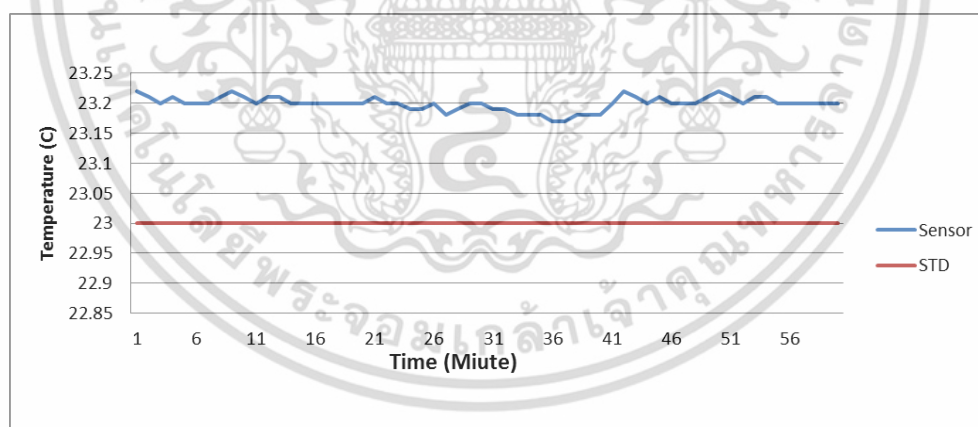
File Edit Format View Help

MM	DD	YYY	HH	MM	SS	C	RH(%)	Door	device
10	19	2014	15	3	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	5	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	7	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	9	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	11	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	13	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	15	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	17	0	23.00	50.00	1	1
10	19	2014	15	19	0	23.00	50.01	1	1
10	19	2014	15	21	0	23.00	50.01	1	1
10	19	2014	15	23	0	23.00	50.01	1	1
10	19	2014	15	25	0	23.00	50.01	1	1
10	19	2014	15	27	0	23.00	50.01	1	1
10	19	2014	15	29	0	23.00	50.01	1	1
10	19	2014	15	31	0	23.00	50.03	1	1
10	19	2014	15	33	0	23.00	50.03	1	1
10	19	2014	15	35	0	23.00	50.03	1	1
10	19	2014	15	37	0	23.00	50.03	1	1

รูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลใน Data logger

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

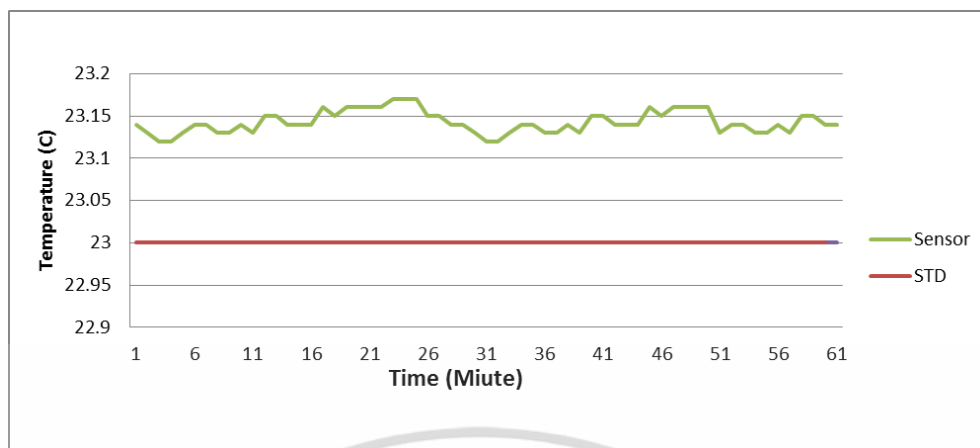
เมื่อเปลี่ยนค่าคงที่เชิงเส้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำมากที่สุดโดยจะปรับค่าของ d_1 เพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า $d_1 = 39.7$

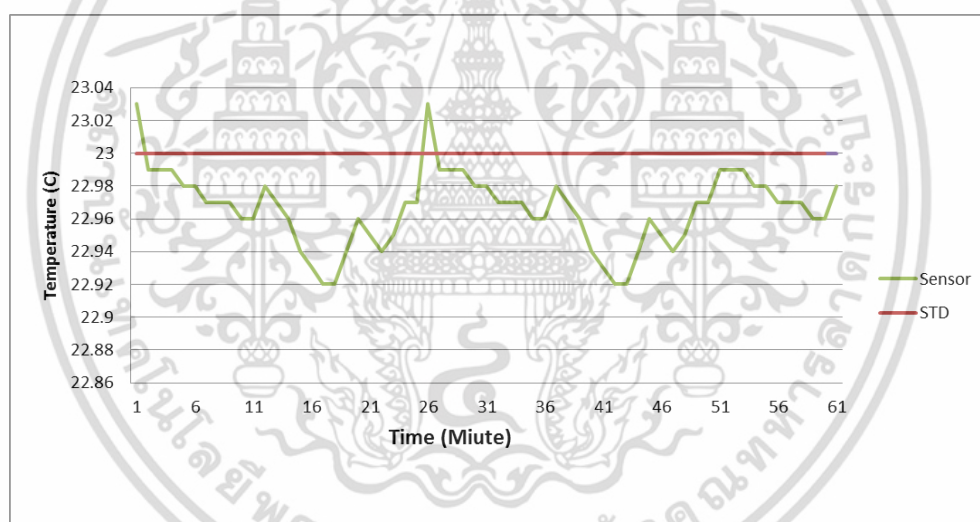
จากรูปที่ 4.12 เมื่อ $d_1 = 39.7$ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 1.79%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟที่มีค่า $d_1=39.8$

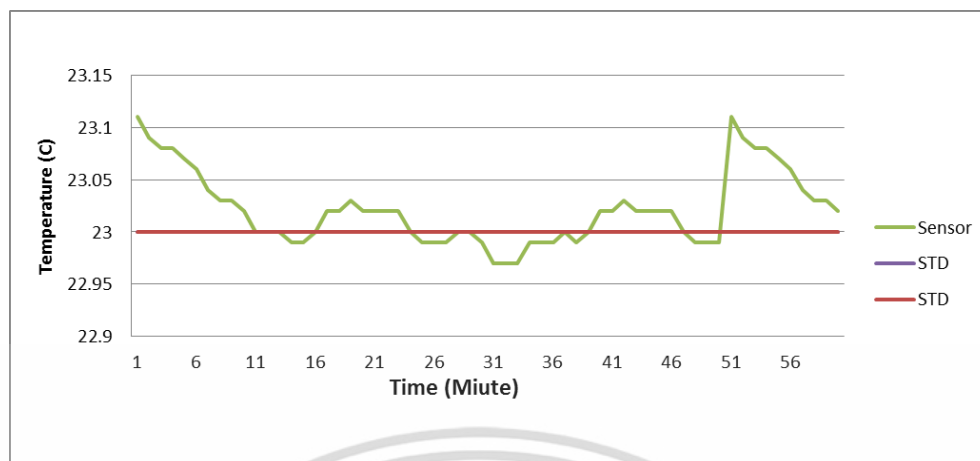
จากรูปที่ 4.3 เมื่อ $d_1=39.8$ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 1.57%



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟที่มีค่า $d_1=39.9$

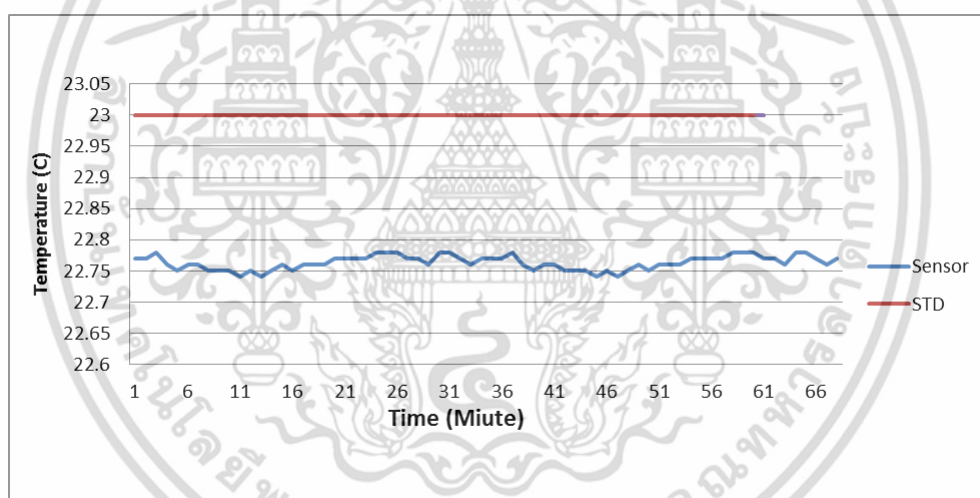
จากรูปที่ 4.14 เมื่อ $d_1 = 39.9$ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 2.03%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟที่มีค่า $d_1=40.0$

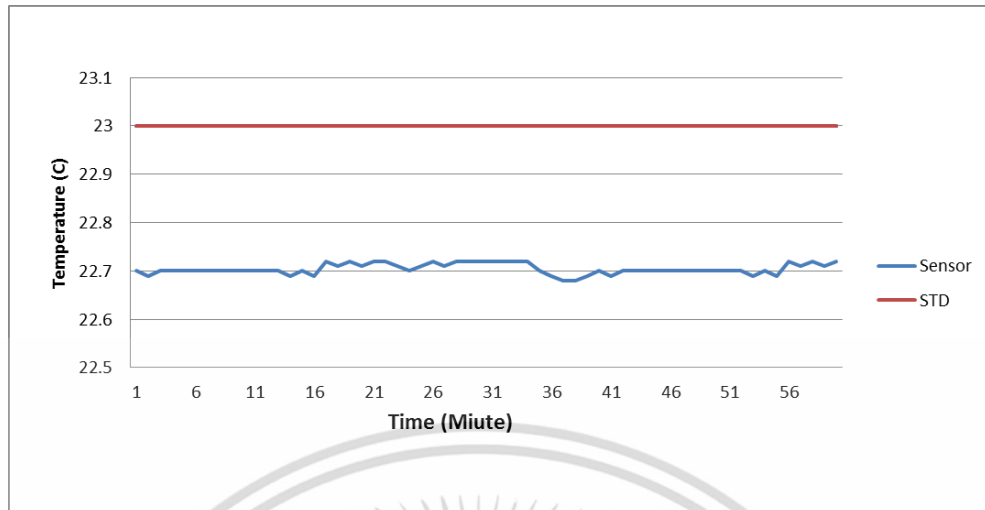
จากรูปที่ 4.15 เมื่อ $d_1 = 40.0$ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 2.47%



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟที่มีค่า $d_1 = 40.1$

จากรูปที่ 4.16 เมื่อ $d_1 = 40.1$ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 2.18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟที่ค่า $d_1 = 40.2$

จากรูปที่ 4.17 เมื่อ $d_1 = 40.2$ มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ 2.05%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอิเล็กทรอนิกส์หลังจากที่มีการนำอุปกรณ์ อย่างเช่น ความต้านทาน (Resistor) ไอซี(IC) หรือตัวเก็บประจุ (Capacitor) ฯลฯ มาบัดกรีประกอบกับแผงลายวงจร(PCB) นั้นเมื่อเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง โดยส่วนใหญ่จะเป็นงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้ในงานยานยนต์ หรือใช้งานในสภาวะที่ต้องอยู่เหนือน้ำในทะเลหรือแม้กระทั่งใช้งานบนอากาศยาน จะต้องมีการป้องกันการเกิดความเสียหายกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของแรงสั่นสะเทือน ความชื้นและการกระแทก และในกระบวนการแข็งตัวของน้ำยาเมือก (potting process) ปัจจัยหลักที่ส่งผลทำให้เกิดฟองอากาศในภายในตัวน้ำยา คืออุณหภูมิและความชื้นที่ไม่ได้ค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่งผลกระทบต่อความเสียหายในกระบวนการนี้ซึ่ง หากน้ำยาแข็งตัวแล้วไม่สามารถที่จะนำงานไปซ่อมได้ ส่งผลทำให้จะต้องทำลายชิ้นงานทั้งหมด โดยปกติแล้วการเผาระวังอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะต้องใช้พนักงานในการจดบันทึกค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และแจ้งเตือนหัวหน้างานหากมีความผิดปกติเกิดขึ้น แต่หากความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้นเกิดขึ้นภายหลังจากการบันทึกค่าหรือนอกเวลาทำงานทำให้ต้องสูญเสียคุณภาพของตัวงาน และต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานประจำทำให้เสียงบประมาณใช้จ่ายมากขึ้น

5.2 สรุปผลการทดลองหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิต

พบว่าหลังจากที่มีการทดลองเพื่อหาค่าผลผลิตที่ดีที่สุดโดยใช้ทฤษฎีการทดลองของDOE (Design of Experiment) โดยกำหนดค่าของตัวแปร (Factor) ทั้งหมด 3 ตัวแปร ประกอบด้วย ค่าของอุณหภูมิ ค่าของความชื้นสัมพัทธ์ และระยะเวลาในการแข็งตัวของสารเมือกหรือเรซิน พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองให้ค่าผลผลิตที่ดีที่สุดอยู่ที่ อุณหภูมิ (Temperature) ที่ 23°C ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ที่ 50%RH และระยะเวลาของการแข็งตัวเป็น 24 ชั่วโมง พบว่า หลังจากการที่ได้ปรับค่าที่เหมาะสมทำให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้นเป็น 98 %

5.3 สรุปผลการทดลองหาค่าความแม่นยำของระบบเผาระวังติดตามความผิดปกติของอุณหภูมิและความชื้น

หลังจากที่ได้ค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 23 °C ดังนั้นเพื่อเป็นการหาค่าความแม่นยำในการวัดให้ได้ค่าที่วัดใกล้เคียงกับขีดจำกัดของเครื่องเผาดูตามความผิดโดยการปรับค่า $D1 = 3.8$ พบมีค่าอุณหภูมิคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.57% และค่าความชื้นคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.48% เพื่อให้ผลที่ได้มีค่าเข้าใกล้อุปกรณ์มาตรฐานที่สุด ปกติของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สร้างขึ้นมาสามารถที่จะแสดงผลบันทึกหากมีความผิดปกติจากเกณฑ์ที่เราตั้งไว้ซึ่งเมื่อทำการวัดเปรียบเทียบกับเครื่องอ้างอิงแล้ว และสามารถส่งข้อมูลผ่าน Web Sever แสดงหน้าจอเป็นกราฟฟิคได้อีกด้วย ดังเช่นเมื่อมีความผิดปกติของอุณหภูมิและความชื้นที่มากขึ้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการเปิดประตูค้างไว้ หรืออาจจะเป็นการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นว่ามีการทำงานอยู่หรือไม่ เราสามารถรู้ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติโดยทันทีโดยผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ และในอนาคตหากต้องการหาข้อมูลเพิ่มเติมสามารถย้อนกลับไปดูในอดีตได้

5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อ

งานวิจัยนี้ที่ว่าด้วยเรื่องของระบบการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN จะเห็นว่าผู้วิจัยได้เน้นเฉพาะที่อุณหภูมิที่ 23°C เท่านั้นเป็นเพราะความต้องการที่ใช้ในกระบวนการนี้เพื่อที่จะได้หาความแม่นยำสูงสุด ณ อุณหภูมินี้ สำหรับแนวทางการพัฒนาต่อซึ่งสามารถใช้ระบบนี้เป็นต้นแบบในการใช้งานในเรื่องอื่นๆซึ่งสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ยุ่งยากเนื่องจากไม่ต้องใช้สายไฟในการส่งข้อมูล กินกระแสไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์น้อย สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย การดูแลง่าย และที่สำคัญสามารถนำมาใช้แทนคนได้ในราคาที่เหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤตธี จินดาวงศ์ 2552: การออกแบบหุ่นยนต์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนกระจกโดยอาศัยเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นภายในอากาศ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร) สาขาวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร
- [2] นวภัทรา และ ทวีพล, การวัดและเครื่องมือนวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร 2555
- [3] นภดล บิลสมัน ระบบตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในคลังสินค้าอาหารสด วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีสารสนเทศ 2553
ประชุมวิชาการภาษาไทย
- [4] อธิพงศ์ เตจ่า, สิริวิช ทัดสวน และ ศุภเดช ตะเพียนทอง. 2557. การพัฒนาเครื่องเฝ้าติดตามอุณหภูมิเพื่อใช้ในการศึกษาความร้อนที่จุดต่อเทอร์มินัลหม้อแปลงจำหน่ายแบบแช่น้ำมันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่37(EECON-37), มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ประเทศไทย, 19-21 พฤศจิกายน 2557: 137-140.
- [5] โอภาส เอี่ยมศิริวงศ์. เครือข่ายคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร. ซีไอเอ็มเคชั่น จำกัด, หน้า 317-376. English Journal
- [6] SEMICOSIL®, ELASTOSIL® and WACKER SilGel® are registered trademarks of Wacker Chemie AG. Wacker Chemie AG is certified to EN ISO 9001 and EN 14001. The Elastomers Business Unit at Wacker Chemie AG's WACKER SILICONES Business Division is certified to ISO/TS 16949:2002.
- [7] Junqin Wang 2012 Design Intelligent Temperature Monitoring System Based on DSP Department of Mechanical and Electronic Engineering
- [8] Hongjun Xiang, Kai Wang, and Zhiyuan Li. Monitored Control System of Temperature / humidity for Ammunition Storehouse Based on LabVIEW. Dept. of ammunition Xi'an University of Arts and Science Xi'an, Chin 235-237 Shijiazhuang Mechanical Engineering College Shijiazhuang, Hebei 050003, China 2011
- [9] Douglas C. Montgomery, Arizona state university, Design and Analysis of Experiments, Sixth Edition, 20

ภาคผนวก ก

โค้ดโปรแกรมที่ใช้ในระบบเฝ้าระวังความผิดปกติของอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โค้ดโปรแกรมที่ใช้ในการติดตามเฝ้าระวังความผิดปกติของอุณหภูมิและความชื้น

Code program Arduino YUN

```

*****

#include <Bridge.h>
#include <HttpClient.h>
//Based of the wiring code at
http://wiring.org.co/learning/basics/humiditytemperaturesht15.html
int SHT_clockPin = 3; // pin used for clock
int SHT_dataPin = 2; // pin used for data
int PIN_DOOR = 4;
int PIN_DEVICE = 7;

// Setup HTTP
HttpClient client;
String ip = "192.168.240.182";

void setup(){
  Serial.begin(9600); // open serial at 9600 bps
  Bridge.begin();

  pinMode(PIN_DOOR, INPUT);
  pinMode(PIN_DEVICE, INPUT);
}

void loop(){
  //these can take a bit to get the values (100ms or so)
  float temperature = getTemperature();
  float humidity = getHumidity();
  float door = digitalRead(PIN_DOOR);
  float device = digitalRead(PIN_DEVICE);

  Serial.print(temperature);
  Serial.print(" | ");
  Serial.println(humidity);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

String url = ip + "/censor/SetValue?TEMP="+ (String)temperature + "&HUMI=" +
(String)humidity + "&DOOR=" + (String)door + "&DEVICE=" + (String)device;
Serial.println(url);
client.getAsynchronously(url);
}

```

```

float getTemperature(){
//Return Temperature in Celsius
SHT_sendCommand(B00000011, SHT_dataPin, SHT_clockPin);
SHT_waitForResult(SHT_dataPin);

int val = SHT_getData(SHT_dataPin, SHT_clockPin);
SHT_skipCrc(SHT_dataPin, SHT_clockPin);
return (float)val * 0.01 - 40; //convert to celsius
}

```

```

float getHumidity(){
//Return Relative Humidity
SHT_sendCommand(B00000101, SHT_dataPin, SHT_clockPin);
SHT_waitForResult(SHT_dataPin);
int val = SHT_getData(SHT_dataPin, SHT_clockPin);
SHT_skipCrc(SHT_dataPin, SHT_clockPin);
return -4.0 + 0.0405 * val + -0.0000028 * val * val;
}

```

```

void SHT_sendCommand(int command, int dataPin, int clockPin){
// send a command to the SHTx sensor
// transmission start
pinMode(dataPin, OUTPUT);
pinMode(clockPin, OUTPUT);
digitalWrite(dataPin, HIGH);
digitalWrite(clockPin, HIGH);
digitalWrite(dataPin, LOW);
digitalWrite(clockPin, LOW);
digitalWrite(clockPin, HIGH);
digitalWrite(dataPin, HIGH);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(clockPin, LOW);
// shift out the command (the 3 MSB are address and must be 000, the last 5 bits are
the command)
shiftOut(dataPin, clockPin, MSBFIRST, command);

// verify we get the right ACK
digitalWrite(clockPin, HIGH);
pinMode(dataPin, INPUT);

if (digitalRead(dataPin)) Serial.println("ACK error 0");
digitalWrite(clockPin, LOW);
if (!digitalRead(dataPin)) Serial.println("ACK error 1");
}

void SHT_waitForResult(int dataPin){
// wait for the SHTx answer
pinMode(dataPin, INPUT);

int ack; //acknowledgement

//need to wait up to 2 seconds for the value
for (int i = 0; i < 1000; ++i){
    delay(2);
    ack = digitalRead(dataPin);
    if (ack == LOW) break;
}
if (ack == HIGH) Serial.println("ACK error 2");
}

int SHT_getData(int dataPin, int clockPin){
// get data from the SHTx sensor

// get the MSB (most significant bits)
pinMode(dataPin, INPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(clockPin, OUTPUT);
byte MSB = shiftIn(dataPin, clockPin, MSBFIRST);

// send the required ACK
pinMode(dataPin, OUTPUT);
digitalWrite(dataPin, HIGH);
digitalWrite(dataPin, LOW);
digitalWrite(clockPin, HIGH);
digitalWrite(clockPin, LOW);

// get the LSB (less significant bits)
pinMode(dataPin, INPUT);
byte LSB = shiftIn(dataPin, clockPin, MSBFIRST);
return ((MSB << 8) | LSB); //combine bits
}

void SHT_skipCrc(int dataPin, int clockPin){
// skip CRC data from the SHTx sensor
pinMode(dataPin, OUTPUT);
pinMode(clockPin, OUTPUT);
digitalWrite(dataPin, HIGH);
digitalWrite(clockPin, HIGH);
digitalWrite(clockPin, LOW);
}

```

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเทียบกับอุปกรณ์อ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อปรับค่า d_1 เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำที่สุด

$d_1=39.7$		$d_1=39.8$		$d_1=39.9$	
Sensor($^{\circ}$ C)	Reference($^{\circ}$ C)	Sensor($^{\circ}$ C)	Reference($^{\circ}$ C)	Sensor($^{\circ}$ C)	Reference($^{\circ}$ C)
23.22	23	23.14	23	23.03	23
23.21	23	23.13	23	22.99	23
23.2	23	23.12	23	22.99	23
23.21	23	23.12	23	22.99	23
23.2	23	23.13	23	22.98	23
23.2	23	23.14	23	22.98	23
23.2	23	23.14	23	22.97	23
23.21	23	23.13	23	22.97	23
23.22	23	23.13	23	22.97	23
23.21	23	23.14	23	22.96	23
23.2	23	23.13	23	22.96	23
23.21	23	23.15	23	22.98	23
23.21	23	23.15	23	22.97	23
23.2	23	23.14	23	22.96	23
23.2	23	23.14	23	22.94	23
23.2	23	23.14	23	22.93	23
23.2	23	23.16	23	22.92	23
23.2	23	23.15	23	22.92	23
23.2	23	23.16	23	22.94	23
23.2	23	23.16	23	22.96	23
23.21	23	23.16	23	22.95	23
23.2	23	23.16	23	22.94	23
23.2	23	23.17	23	22.95	23
23.19	23	23.17	23	22.97	23
23.19	23	23.17	23	22.97	23
23.2	23	23.15	23	23.03	23
23.18	23	23.15	23	22.99	23
23.19	23	23.14	23	22.99	23
23.2	23	23.14	23	22.99	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d ₁ =39.7		d ₁ =39.8		d ₁ =39.9	
Sensor(°c)	Reference(°c)	Sensor(°c)	Reference(°c)	Sensor(°c)	Reference(°c)
23.2	23	23.13	23	22.98	23
23.19	23	23.12	23	22.98	23
23.19	23	23.12	23	22.97	23
23.18	23	23.13	23	22.97	23
23.18	23	23.14	23	22.97	23
23.18	23	23.14	23	22.96	23
23.17	23	23.13	23	22.96	23
23.17	23	23.13	23	22.98	23
23.18	23	23.14	23	22.97	23
23.18	23	23.13	23	22.96	23
23.18	23	23.15	23	22.94	23
23.2	23	23.15	23	22.93	23
23.22	23	23.14	23	22.92	23
23.21	23	23.14	23	22.92	23
23.2	23	23.14	23	22.94	23
23.21	23	23.16	23	22.96	23
23.2	23	23.15	23	22.95	23
23.2	23	23.16	23	22.94	23
23.2	23	23.16	23	22.95	23
23.21	23	23.16	23	22.97	23
23.22	23	23.16	23	22.97	23
23.21	23	23.13	23	22.99	23
23.2	23	23.14	23	22.99	23
23.21	23	23.14	23	22.99	23
23.21	23	23.13	23	22.98	23
23.2	23	23.13	23	22.98	23
23.2	23	23.14	23	22.97	23
23.2	23	23.13	23	22.97	23
23.2	23	23.15	23	22.97	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d ₁ =40		d ₁ =40.1		d ₁ =40.2	
Sensor(°c)	Reference(°c)	Sensor(°c)	Reference(°c)	Sensor(°c)	Reference(°c)
23.11	23	22.77	23	22.7	23
23.09	23	22.77	23	22.69	23
23.08	23	22.78	23	22.7	23
23.08	23	22.76	23	22.7	23
23.07	23	22.75	23	22.7	23
23.06	23	22.76	23	22.7	23
23.04	23	22.76	23	22.7	23
23.03	23	22.75	23	22.7	23
23.03	23	22.75	23	22.7	23
23.02	23	22.75	23	22.7	23
23	23	22.74	23	22.7	23
23	23	22.75	23	22.7	23
23	23	22.74	23	22.7	23
22.99	23	22.75	23	22.69	23
22.99	23	22.76	23	22.7	23
23	23	22.75	23	22.69	23
23.02	23	22.76	23	22.72	23
23.02	23	22.76	23	22.71	23
23.03	23	22.76	23	22.72	23
23.02	23	22.77	23	22.71	23
23.02	23	22.77	23	22.72	23
23.02	23	22.77	23	22.72	23
23.02	23	22.77	23	22.71	23
23	23	22.78	23	22.7	23
22.99	23	22.78	23	22.71	23
22.99	23	22.78	23	22.72	23
22.99	23	22.77	23	22.71	23
23	23	22.77	23	22.72	23
23	23	22.76	23	22.72	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d ₁ =40		d ₁ =40.1		d ₁ =40.2	
Sensor(°c)	Reference(°c)	Senso(°c)r	Reference(°c)	Sensor(°c)	Reference(°c)
22.99	23	22.78	23	22.72	23
22.97	23	22.78	23	22.72	23
22.97	23	22.77	23	22.72	23
22.97	23	22.76	23	22.72	23
22.99	23	22.77	23	22.72	23
22.99	23	22.77	23	22.7	23
22.99	23	22.77	23	22.69	23
23	23	22.78	23	22.68	23
22.99	23	22.76	23	22.68	23
23	23	22.75	23	22.69	23
23.02	23	22.76	23	22.7	23
23.02	23	22.76	23	22.69	23
23.03	23	22.75	23	22.7	23
23.02	23	22.75	23	22.7	23
23.02	23	22.75	23	22.7	23
23.02	23	22.74	23	22.7	23
23.02	23	22.75	23	22.7	23
23	23	22.74	23	22.7	23
22.99	23	22.75	23	22.7	23
22.99	23	22.76	23	22.7	23
22.99	23	22.75	23	22.7	23
23.11	23	22.76	23	22.7	23
23.09	23	22.76	23	22.7	23
23.08	23	22.76	23	22.69	23
23.08	23	22.77	23	22.7	23
23.07	23	22.77	23	22.69	23
23.06	23	22.77	23	22.72	23
23.04	23	22.77	23	22.71	23
23.03	23	22.78	23	22.72	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PEC-11

EC^{11th}

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
19-20 มิถุนายน 2558
ณ โรงแรมดวงจิตต์ รีสอร์ท แอนด์ สปา หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาาระบบการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของ สารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

The development tracking system monitoring temperature and relative humidity of curing potting process in electronic manufacturing

ภาคิน ปัญญาวรรมาต^{1*}, วิริยะ กองรัตน²

^{1,2}สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบังเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร 0-2329-8000 ต่อ 3925

*อีเมล: nick_zx@hotmail.com

Pakin Phanyaworramate¹, Viriya Kongratana²

^{1,2}Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok 10520

*E-mail: nick_zx@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ประสงค์ในการพัฒนาาระบบการติดตามเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิต โดยงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นให้สามารถส่งข้อมูลผ่าน Web Server ได้ ซึ่งนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ควบคุม บันทึก และแจ้งเตือนอุณหภูมิ ความชื้นของประตูห้องควบคุมในกระบวนการแข็งตัวของน้ำยาเมือก โดยตัวเครื่องประกอบด้วย 1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino YUN 2. ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (SHT15) 3. ตัวตรวจวัดประตู 4. ตัวตรวจวัดการทำงานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น 5. เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web server) 6. ฐานข้อมูล (Data base) ผลทดสอบการทำงานของงานวิจัย สำหรับการวัดอุณหภูมิ และความชื้นเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.69% และ 1.48% ตามลำดับและสามารถส่งข้อมูลผ่าน web server

คำหลัก อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องข่ายไร้สาย

Abstract

This research is development instrument for monitoring temperature, relative humidity, status of temperature and humidity controller (on/off), and door (open/off). Generally, monitoring and recording have to use operator to keep the information environment of temperature and relative humidity of potting process room. We develop this device for used it

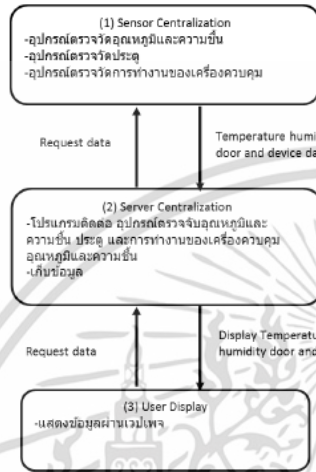
instead of operator. The system can monitor real time and all time up to user and it will be alert direct to user. The system including, 1.Arduino YUN 2.temp&humidity sensor 3.door sensor 4.sensor form device controller 5.web server 6.data base. The result of system for measure temperature and relative humidity have found relative error for temp 0.69% and relative humidity 1.48% can see data by web server

Keywords: temperature relative humidity wireless network

1. บทนำ

ในงานโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอิเล็กทรอนิกส์หลังจากที่มีการนำอุปกรณ์อย่างเช่น ความต้านทาน (resistor) ไอซี(IC) หรือ ตัวเก็บประจุ (capacitor) ฯลฯ มาบัดกรีประกอบกับแผงลายวงจร (PCB) นั้นเมื่อเป็นชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ส่วนมากจะเป็นงานยานยนต์หรือใช้งานในทะเลในอากาศ จะต้องมี การป้องกันการเกิดความเสียหายกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของแรงสั่นสะเทือน ความชื้นและการกระแทก และในกระบวนการแข็งตัวของน้ำยาเมือก (potting process) ปัจจัยหลักที่ส่งผลทำให้เกิดฟองอากาศในภายในตัวน้ำยา คืออุณหภูมิและความชื้นที่มีค่าเกินที่กำหนดไว้ ส่งผลกระทบต่อความเสียหายในกระบวนการนี้ซึ่งไม่สามารถที่จะนำงานไปซ่อมได้จะต้องทำลายชิ้นงานทั้งหมดเนื่องจากการเฝ้าระวังอุณหภูมิจะต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานในการจดบันทึกค่าแจ้งเตือนหัวหน้างานหากมีความผิดปกติ แต่หากความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้นเกิดขึ้นภายหลังจากการบันทึกค่าหรือนอกเวลาทำงานทำให้ต้องสูญเสียคุณภาพของตัว

งาน และต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานประจำทำให้เสียงบประมาณใช้จ่ายมาก
ขึ้น ดังนั้นทีมผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการพัฒนา
เครื่องเฝ้าติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มาใช้ในการเฝ้า
ระวังและบันทึกผลแทนเจ้าหน้าที่ เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ
การผลิตและสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบ

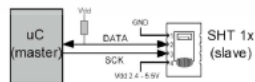
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

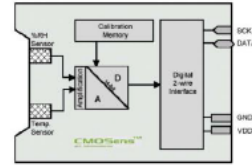
ความชื้นสัมพัทธ์เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกันค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) หรือ เป็นอัตราส่วนของจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อจำนวนไอน้ำที่อาจมีได้จนอิ่มตัวเต็มที่ในอากาศเดียวกันนั้น ความชื้นสัมพัทธ์จึงกำหนดเป็นเรอหรือย โดยให้จำนวนความชื้นที่อิ่มตัวเต็มที่ เป็น 100 ส่วน ดังนั้น 100% RH หมายถึง ไอน้ำอิ่มตัว (saturation gas) 0% RH หมายถึง อากาศแห้ง (vapor-free gas)

2.2 เซนเซอร์ SHT15 (Humidity & Temperature)

SHT15 เป็นเซนเซอร์แบบ Single Chip ที่สามารถวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิได้ในตัวเดียวกัน โดยค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่าดิจิทัล (digital output) ที่มีความละเอียดถึง 14 บิต การสื่อสารกับอุปกรณ์มาสเตอร์เป็นแบบ 2-wire serial ข้อดีของ SHT15 คือ มีขนาดเล็ก มีความแม่นยำ ใช้พลังงานต่ำ และมีการ calibrate ในตัว



รูปที่ 2 แสดงการสื่อสารกับ SHT15 [1]



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้าง SHT15 [1]

2.2.1 การคำนวณค่าอุณหภูมิจากดิจิทัลเอาต์พุตของ SHT15

เนื่องจากอุณหภูมิมีความเป็นเชิงเส้น (linear) สูตรการคำนวณหาค่าอุณหภูมิ จึงทำได้โดยใช้สูตรตามสมการที่ 1

$$Temperature = d_1 + d_2 \cdot SO_T \quad (1)$$

เมื่อ SO_T คือ ค่าอุณหภูมิเอาต์พุต และ ค่า d_1 กับ d_2 กำหนดจากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า d_1 และ d_2

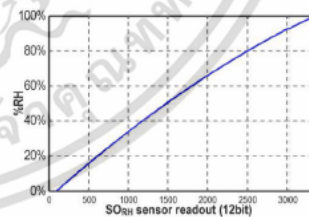
SO_T	องศาเซลเซียส		องศาฟาเรนไฮต์	
	d_1	d_2	d_1	d_2
14 bits 5v	-40	0.01	-40	0.018
12 bits 5v	-40	0.04	-40	0.072
14 bits 3v	-38.4	0.0098	-37.1	0.0176
12 bit 3v	-38.4	0.00392	-37.2	0.0704

การคำนวณตามสมการที่ 2 จะเป็นการชดเชยส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ของ SHT15 ในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องที่สุด

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (2)$$

เมื่อ SO_{RH} คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ จากดิจิทัลเอาต์พุตของ SHT15 และค่า c_1 กับ c_2 มีเงื่อนไขดังนี้

$$c_1 = -4 \quad c_2 = 0.648 \quad c_3 = -7.2 \cdot 10^{-4} \text{ เมื่อใช้ความละเอียด 8 บิต}$$



ภาพที่ 4 แสดงเอาต์พุตที่ไม่เป็นlinearของ ความชื้นสัมพัทธ์จาก SHT15

และเมื่อนำ SHT15 ไปวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณที่มีอุณหภูมิใดๆ ที่ไม่ใช่ 25°C ต้องพิจารณาค่าผลจากอุณหภูมิด้วยโดยใช้สมการที่ (3)

$$RH_{\text{hite}} = (T_{1c} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{\text{linear}} \quad (3)$$

เมื่อ $t_1 = 0.01$ และ $t_2 = 0.00128$ เมื่อใช้ความละเอียด 8 บิต ความถูกต้อง หรือ ความแม่นยำ (accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของเครื่องมือวัด (instrument) ในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริงโดยการคำนวณค่าความถูกต้อง/ความแม่นยำโดยใช้สมการที่ 4 และ 5

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (4)$$

$$\text{Relative error} = \left[\frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right] \quad (5)$$

$$\%error = \text{Relative error} \times 100$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด (measure value)

X_t คือ ค่าจริง (true value)

2.3 กระบวนการเติมสารเมือก (potting process)

ในการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (potting) เป็นกระบวนการการเติมน้ำยาสารเมือกลงไปในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการประกอบเสร็จสิ้นแล้วแสดงดังรูปที่ 4 เพื่อป้องกันการกระแทกและแรงสั่นสะเทือน และเหมาะสำหรับไล่อากาศหรือตัวนำที่เป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สุกหรือในกระบวนการนี้จะใช้โพลีเมอร์ประเภทเทอร์โมเซตต่างจากเทอร์โมพลาสติกที่โครงสร้างเป็นร่างแหหรือเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลซึ่งอาจเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีหรือความร้อนโครงสร้างร่างแห (cross links) จำกัดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลโพลีเมอร์ และเมื่อได้รับความร้อนมักจะเสื่อมสภาพโดยไม่สามารถย้อนตัวหรือหลอมได้ใหม่ สมบัตินี้ทำให้การนำเทอร์โมเซตกลับมาใช้ใหม่เป็นไปได้ยาก แม้ว่าปัจจุบันจะมีการวิจัยและพัฒนาตัวนำรีไซเคิลเทอร์โมเซต มากขึ้นก็ตาม เทอร์โมเซตตั้งพลาสติกเทอร์โมเซตได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน อีพอกซี และโพลียูรีเทน เป็นต้น พลาสติกหรือเรซินเหล่านี้จะใช้งานหรือผ่านขั้นตอนขึ้นรูป ในรูปของเหลวที่มีความหนืดต่ำสามารถไหลไปตามแบบหรือแม่พิมพ์ได้ จากนั้นเรซินจะถูกบ่มโดยความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดการแข็งตัวในกระบวนการแข็งตัวนั้นจะต้องอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ต้องมีอุณหภูมิ 23°C และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50%RH[4]



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการ potting [4]

2.4 โพรโทคอล (Protocol)

โพรโทคอล หรือ กติกาของอินเทอร์เน็ต คือ ระเบียบวิธีการในการติดต่อสื่อสาร เมื่อมาใช้กับเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคม จึงหมายถึงขั้นตอนการติดต่อสื่อสาร ซึ่งรวมถึงกฎระเบียบ และข้อกำหนดต่างๆ รวมถึงมาตรฐานที่ใช้ เพื่อให้ตัวรับและส่งสามารถดำเนินกิจกรรมทางด้านการสื่อสารได้สำเร็จ ซึ่งมีมากมายหลายชนิด แต่ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องเพียงบางโพรโทคอลเท่านั้น[5]

2.4.1 IP Address

หมายเลข IP (IP Address) การสื่อสารกันในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีโพรโทคอล TCP/IP เป็นมาตรฐานนี้ เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่เชื่อมต่ออยู่ จะต้องมียุทธศาสตร์ประจำตัวเอาไว้บ้างเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆ ได้ทราบเหมือนกับทุกคนต้องมีชื่อให้คนอื่นเรียก หมายเลขอ้างอิงดังกล่าวเราเรียกว่า IP Address หรือหมายเลข IP หรือบางทีก็เรียกว่า "แอดเดรส IP" (IP ในที่นี้ก็คือ Internet Protocol ตัวเดียวกับใน TCP/IP นั่นเอง) ซึ่งถูกจัดเป็นตัวเลขชุดหนึ่งขนาด 32 บิต ใน 1 ชุดนี้จะมีตัวเลขถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 8 บิตเท่าๆ กัน เวลาเขียนก็แปลงให้เป็นเลขฐานสิบ ก่อนเพื่อความง่ายแล้วเขียนโดยคั่นแต่ละส่วนด้วยจุด ดังนั้นในตัวเลขแต่ละส่วนนี้จึงมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 255 -1 = 255 เท่านั้น เช่น 192.10.1.101 เป็นต้น [5]

2.4.1 เว็บ (web)

เว็บไซต์ (website, web site, หรือ Web site) หมายถึง หน้าเว็บเพจหลายหน้า ซึ่งเชื่อมโยงกันผ่านทางไฮเปอร์ลิงก์ ส่วนใหญ่จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ โดยถูกจัดเก็บไว้ในเว็ลด์ไวด์เว็บ หน้าแรกของเว็บไซต์ที่เก็บไว้ที่ชื่อหลักจะเรียกว่า โฮมเพจ[5]

2.4.2 HTTP โพรโทคอลของเว็บ

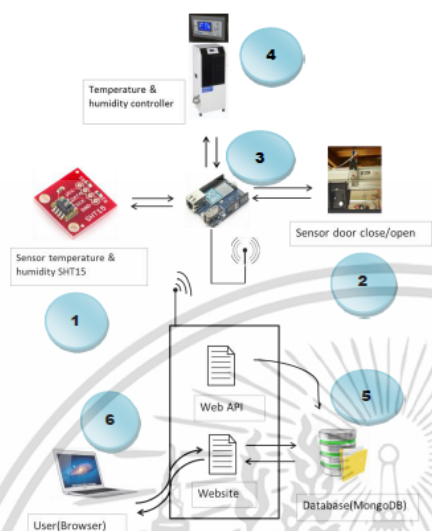
HTTP หรือ Hyper Text Transfer Protocol หมายถึง บริการหรือรูปแบบการเชื่อมต่อประเภทหนึ่งในอินเทอร์เน็ตที่ใช้สำหรับการรับส่งไฮเปอร์เท็กซ์ไฟล์ (ไฟล์เว็บเพจ) จากคอมพิวเตอร์ต้นทางไปยังคอมพิวเตอร์ปลายทาง คอมพิวเตอร์ต้นทางเราเรียกว่า HTTP Server หรือ Web Server คอมพิวเตอร์ปลายทาง เรียกว่า HTTP Client หรือ Web Client [5] แสดงในรูปที่ 5



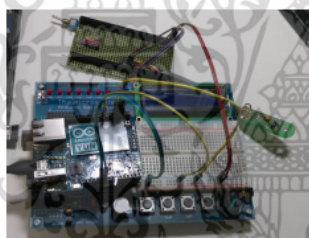
รูปที่ 5 แสดงการทำงานของระบบ Client/Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การออกแบบเครื่องเฝ้าระวังอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 6 แสดงการทำงานของระบบ



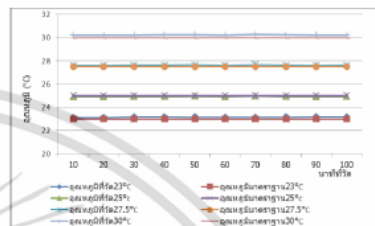
รูปที่ 7 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น

จากรูปที่ 6 ลำดับขั้นตอนการออกแบบโดยเริ่มจาก เซนเซอร์ SHT15 หมายเลข 1 และเซ็นเซอร์จับประตูเปิดปิด หมายเลข 2 นำมาเชื่อมต่อกับ Arduino YUN หมายเลข 3 ดังรูปที่ 7 จากนั้นนำตัวอุปกรณ์ที่ออกแบบไปติดตั้งจุดควบคุม หมายเลข 4 เพื่อทำการวัดค่าและควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และประตูห้อง จากนั้นส่งข้อมูลโดยผ่านทางไวไฟ มาเก็บไว้ที่ Database ทุกๆ 3 ชั่วโมง โดยผ่านทาง web API จากนั้น Web API จะนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ data baseในรูปแบบของ log file หมายเลข 5 ผู้ใช้ request หน้าเวปต้องการให้แสดงผลข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล Website request ข้อมูลใน data base ส่งข้อมูลมาที่ เวปไซต์ (website) ประมวลผลข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ HTML แล้วส่งไฟล์นี้กลับมายัง web browser (IE,firefox,chrom) หมายเลข 6

4. ผลการทดสอบ

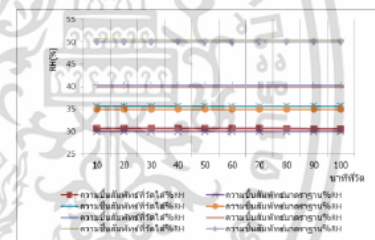
4.1 วิเคราะห์ความแม่นยำในการวัด

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวัดจะต้องมีการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานดังนั้นจึงต้องมาวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำโดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น TH802A ผลการวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำแสดงในรูปที่ 10 และ 11



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้วัด

จากกราฟวัดอุณหภูมิ (°C) เปรียบเทียบกับเครื่องอ้างอิงที่อุณหภูมิ 23°C 25°C 27.5°C และ 30°C พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์ 0.69%



รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาที่ใช้วัด

จากกราฟวัดความชื้น (%) เปรียบเทียบกับเครื่องอ้างอิงที่ความชื้น 30% 40% 45% และ 50% พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมพัทธ์ 1.48%

4.2 การส่งข้อมูลผ่าน web sever

จากการทดสอบการทำงานของระบบเราสามารถนำติดตามอุณหภูมิและความชื้นผ่าน web browser โดยใช้ระบบไร้สาย และสามารถใช้ log file แทนการบันทึก ดังรูปที่ 8 และ 9

ประวัติผู้เขียน



ชื่อนามสกุล	นายภาคิน ปัญญาวรเมธ
วัน เดือน ปีเกิด	20 มกราคม 2531 ที่จังหวัดน่าน
ที่อยู่	40/424 อาคารบ้านร่วมทางฝั่ง3 หมู่ 7 ต.คลองสอง อำเภอ คลองหลวง จังหวัด ปทุมธานี 12120
ประวัติการศึกษา	2554วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2558 นำเสนอบทความวิจัยในงาน PSU Engineering Conference 11(PEC-11), เรื่อง การพัฒนาระบบติดตามอุณหภูมิและความชื้นของการแข็งตัวของสารเมือกในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้