บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย พร้อมด้วยรายละเอียด โดยการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าตอบสนองของเซนเซอร์วัด SO_2 ปรับเทียบกับความเข้มข้นของ SO_2 ที่ได้จากการไทเทรต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ห้องรม SO_2 กับผลลำไยสดด้วยระบบปล่อยแก๊ส SO_2 จากถังอัดความดันโดยตรง
2. อุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 รุ่น SO2-AE (Alphasense Ltd., Part, UK.)
3. อุปกรณ์แปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital รุ่น MCP3551 (Microchip Inc, USA.)
4. แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เอนกประสงค์
5. ไมโครคอนโทลเลอร์ รุ่น PIC16F887 (Microchip Inc, USA.)
6. SO_2 จากถังอัดความดัน
7. ท่อทรงกระบอก ปริมาตร 200 และ 2,000 มิลลิลิตร
8. กระบอกฉีดยาขนาด 6 และ 60 มิลลิลิตร
9. พัดลมอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก
10. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger) Agilent รุ่น 34970A (Agilent Inc, USA)
11. จอแสดงผลอิเล็กทรอนิกส์แบบ LCD 16 ×2 (Electronics source Co., Ltd. THA)
12. ชุดวิเคราะห์ SO_2 ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3%

สารเคมี

1. อินดิเคเตอร์ ที่เป็นส่วนประกอบของ methylene blue กับ methyl red
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) เข้มข้น 3%
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) เข้มข้น 0.1 N
4. น้ำกลั่น

วิธีการศึกษา

ศึกษาปัญหาการตรวจวัด SO_2 ในการรม SO_2 กับผลลำไยสด

ในการรม SO_2 กับผลลำไยสด ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับ ใช้ความเข้มข้นในช่วง 2,000 ถึง 20,000 ppm ในการรม และตรวจวัดพบว่าวิธีการตรวจวัดโดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 % และหลอดตรวจวัด เนื่องจากเครื่องมือในการตรวจวัดมีราคาสูงและและไม่เหมาะสมกับการใช้ตรวจวัด SO_2 ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสดเช่น Bacharach PCA 2 Gas Analyzer (ภาพ 25) มีช่วงการวัด 0 ถึง 10,000 ppm ราคาไม่ต่ำกว่า 100,000 บาท (Professional equipment, 2009)

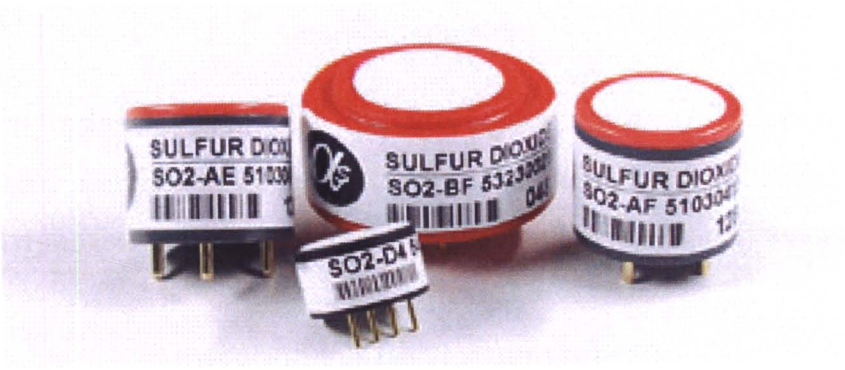
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ภาพ 25 อุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ยี่ห้อ Bacharach รุ่น PCA 2

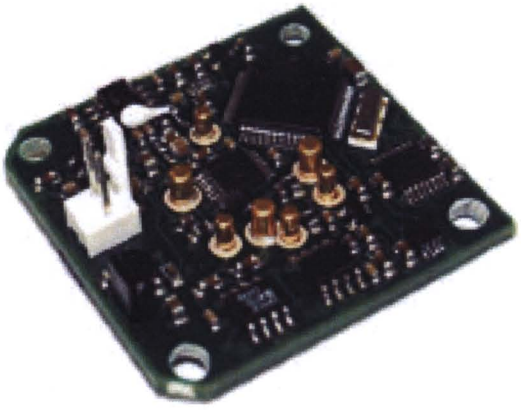
ที่มา: Professional equipment (2009)

ศึกษาถึงความเป็นไปได้เบื้องต้น

จากการศึกษาในด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ พบว่า มีอุปกรณ์ที่รองรับการศึกษานี้ โดยมีเซนเซอร์ที่สามารถวัด SO_2 รุ่น SOS-AE (Alphasense Ltd., Part, UK.) (ภาพ 26) วัด SO_2 ได้ในช่วงความเข้มข้น 0 ถึง 2,000 ppm โดยจะนำมาปรับเทียบช่วงการวัดใหม่ในช่วง 0 ถึง 20,000 ppm สัญญาณที่ส่งออกมาจากเซนเซอร์ SO_2 จะมีการส่งค่าการตอบสนองผ่าน Transmitter board (ภาพ 27) ให้ค่ากระแสไฟฟ้าตอบสนองในช่วง 4 ถึง 20 mA ผ่านความต้านทาน 1,000 โอห์ม เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อนำมาปรับเทียบกับความเข้มข้นของ SO_2 ที่ได้จากการไทเทรต ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีโอกาสที่จะเป็นไปได้



ภาพ 26 หัวตรวจวัด SO_2 ยี่ห้อ Alphasense รุ่น SO2-AE
ที่มา: Alphasense (2009a)



ภาพ 27 Transmitter board สำหรับหัวตรวจวัด SO_2 รุ่น SO2-AE
ที่มา: Alphasense (2009b)

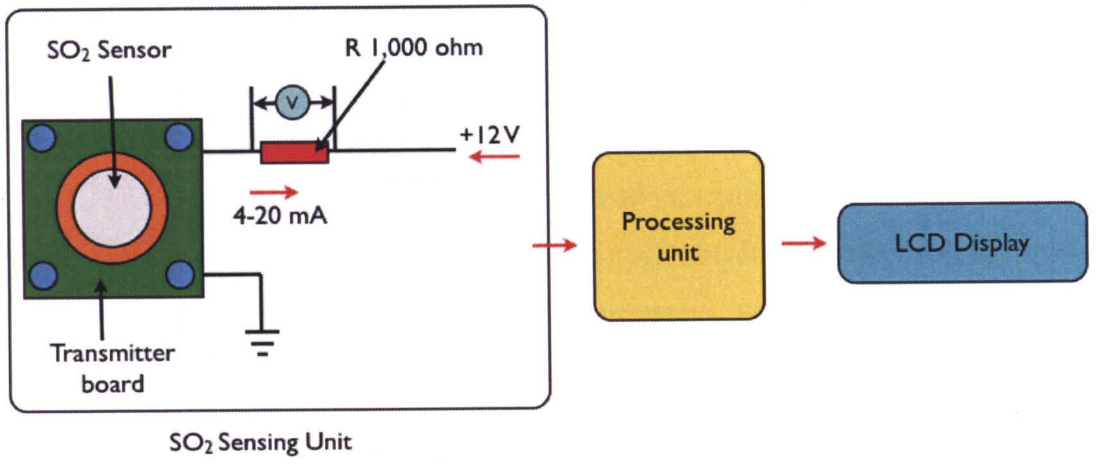
ด้วยเหตุนี้จึงได้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ที่ช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm เพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณ SO_2 ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสด ที่มีราคาถูกและสามารถใช้ทดแทน การใช้หลอดตรวจวัด (Gas Detector tube) และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 % เพื่อเป็นการ ลดต้นทุน ลดขั้นตอน และสะดวก สำหรับการตรวจวัด SO_2 ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสด เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการรม และเพิ่มโอกาสทางธุรกิจให้แก่ผู้ประกอบการมากขึ้น

เกณฑ์ในการออกแบบ

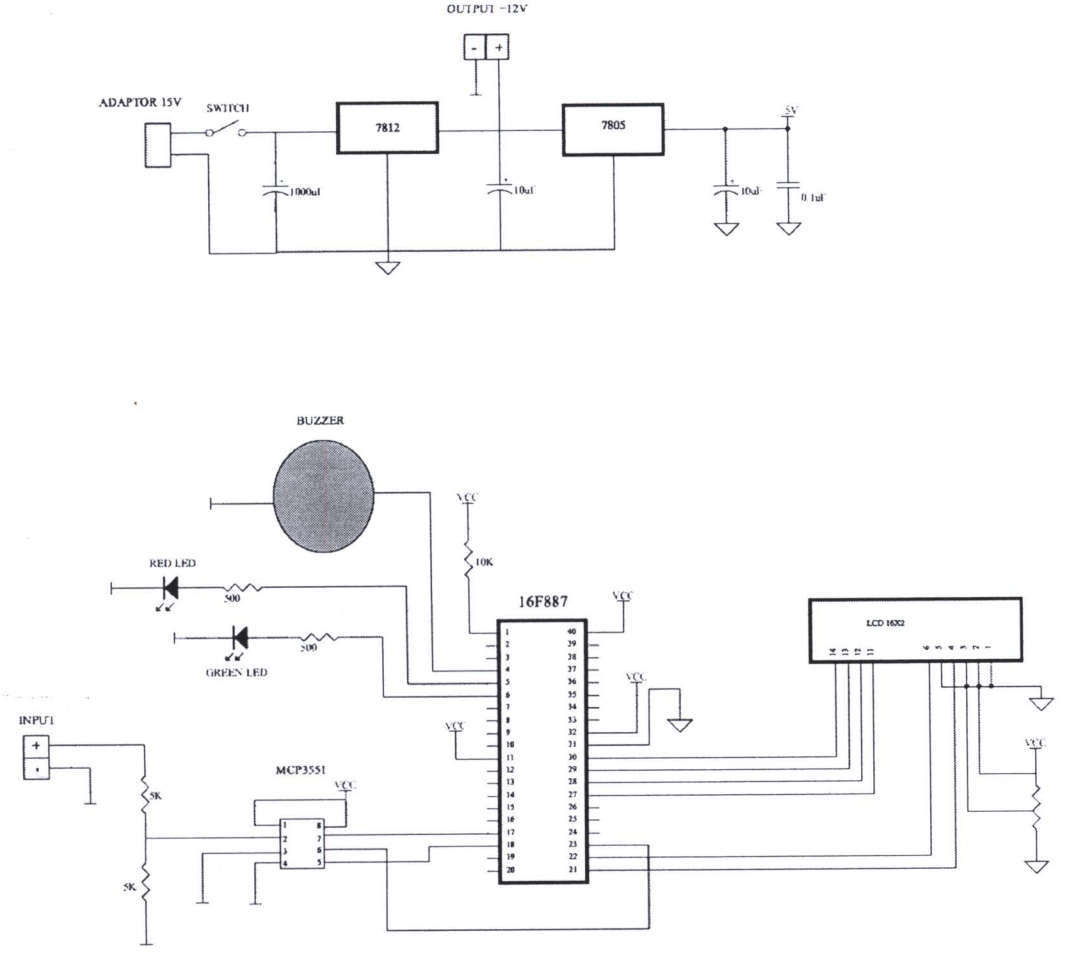
อุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ความเข้มข้นสูงสามารถวัด SO_2 ได้ในช่วงความเข้มข้น 2,000 ถึง 20,000 ppm ในกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสด โดยวัสดุของอุปกรณ์จะต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของ SO_2 สามารถพกพาได้ แสดงผลเป็นตัวเลขความเข้มข้นในหน่วย ppm

การออกแบบอุปกรณ์และระบบตรวจวัด SO_2

อุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ความเข้มข้นสูงประกอบด้วยสองส่วน คือ หน่วยตรวจวัด SO_2 ที่มีเซนเซอร์วัด SO_2 รุ่น SO2-AE (Alphasense Ltd., Part, UK.) เชื่อมต่อกับ Transmitter board เพื่อส่งสัญญาณเป็นกระแสไฟฟ้าผ่านตัวต้านทานขนาด 1,000 โอห์ม เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ตกคร่อมตัวต้านทาน (Sriyudthsak, 1995) ส่งมายังหน่วยประมวลผล และแสดงผลผ่านจอแบบ LCD ขนาด 16 × 2 (Electronics source Co., Ltd, THA.) (ภาพ 28) ซึ่งหน่วยประมวลผลของอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 จะประกอบไปด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887 (Microchip Inc, USA.) อุปกรณ์แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นดิจิตอล รุ่น MCP3551 (Microchip Inc, USA.) และอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้าเพื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังหน่วยตรวจวัด SO_2 และหน่วยประมวลผล มีการออกแบบวงจร โดยการทำ Schematic ดังภาพ 29



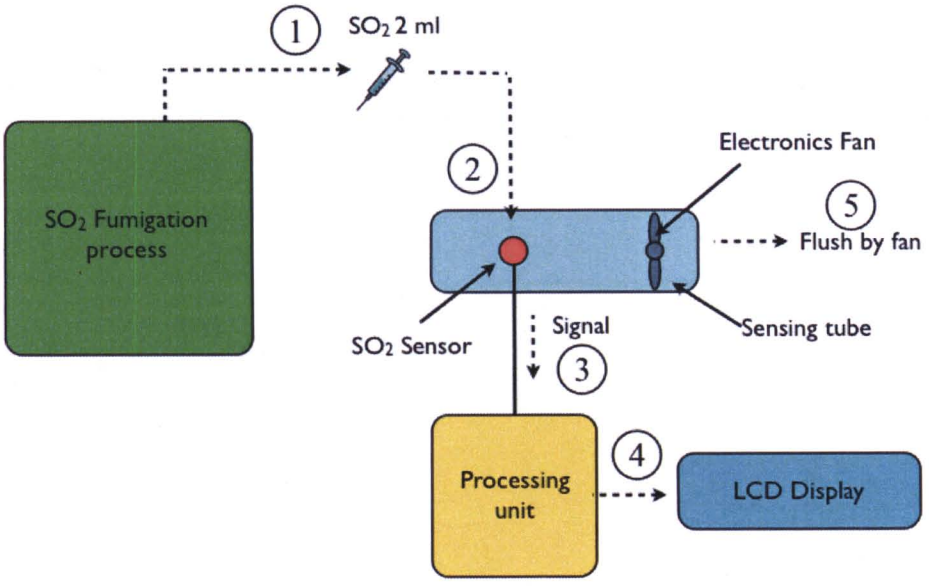
ภาพ 28 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2



ภาพ 29 Schematic diagram สำหรับหน่วยประมวลผลของอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2

ในการใช้อุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 จะต้องทำการสุ่มตัวอย่างเข้ามาในระบบตรวจวัด โดยมีการออกแบบระบบตรวจวัด ดังภาพ 30 ทำการสุ่มตัวอย่างโดยใช้กระบอกฉีดยาสุ่มตัวอย่าง SO_2 ในอากาศ จากห้องรม SO_2 ในระหว่างกระบวนการรม SO_2 กับผลลำไยสด 2 มิลลิลิตร (ตำแหน่งที่ 1 ใน ภาพ 30) และปล่อยเข้าไปในหน่วยตรวจวัด SO_2 (ตำแหน่งที่ 2 ใน ภาพ 30) ที่ทำจาก PVC ทนการกัดกร่อนของ SO_2 และสามารถนำมาใช้งานร่วมกับ SO_2 ได้ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{O}C (Plastic Pipe Institute, 2007) มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอก ปริมาตร 200 มิลลิลิตร มีฝาปิดสนิททั้งสองด้าน ภายในจะติดตั้งเซนเซอร์ SO_2 และพัดลมเพื่อผสมอากาศภายในท่อ อุปกรณ์ตรวจวัดจะวัดปริมาณ SO_2 ส่งค่าตอบสนองไปยังหน่วยประมวลผล (ตำแหน่งที่ 3 ใน ภาพ 30) และแสดงผลเป็นตัวเลขความเข้มข้นในหน่วย ppm ผ่านจอแบบ LCD 16 × 2 (ตำแหน่งที่ 4 ใน ภาพ 30) และหลังจากการตรวจวัดในแต่ละครั้งจะทำการปล่อย SO_2 ในหน่วยตรวจวัดทิ้ง โดยพัดลมที่อยู่

ภายในกระบอกจะทำการพัดเอา SO_2 ออกมา (ตำแหน่งที่ 5 ใน ภาพ 30) เมื่อค่าที่วัดได้เป็นศูนย์จึงทำการตรวจวัดในครั้งต่อไป



ภาพ 30 การออกแบบระบบตรวจวัด SO_2

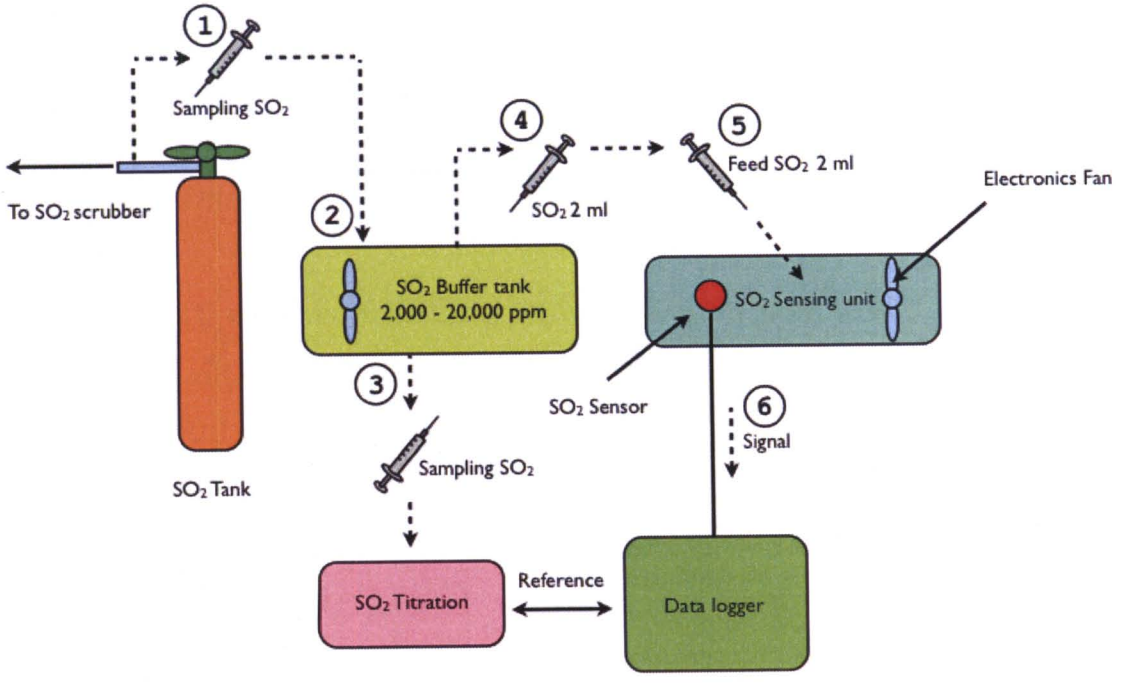
การทดสอบและวิเคราะห์ความไม่แน่นอน ของอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ระดับห้องปฏิบัติการ

ในการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 ในห้องปฏิบัติการ ดำเนินการโดยสร้างถังพักปรับความเข้มข้น (Buffer tank) ทำจาก PVC มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีฝาปิดสนิททั้งสองด้าน ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร มีพัดลมสำหรับกวนอากาศอยู่ภายใน ทำการสุ่มตัวอย่าง SO_2 ความเข้มข้น 99% หรือ 990,000 ppm จากถังอัดความดันผ่านท่อนำแก๊สปล่อยทิ้งโดยกระบอกฉีดยา (ตำแหน่งที่ 1 ใน ภาพ 31) ปล่อยเข้าสู่ถังผสมเพื่อทำการปรับความเข้มข้นให้อยู่ในช่วง 2,000 ถึง 20,000 ppm (ตำแหน่งที่ 2 ใน ภาพ 31) จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่าง SO_2 เพื่อทำการไทเทรตหาความเข้มข้นของ SO_2 (ตำแหน่งที่ 3 ใน ภาพ 31) และสุ่มตัวอย่าง SO_2 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร (ตำแหน่งที่ 4 ใน ภาพ 31) ปล่อยเข้าสู่หน่วยตรวจวัดทรงกระบอกปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่ติดตั้งเซนเซอร์วัด SO_2 และพัดลมผสมอากาศอยู่ภายใน (ตำแหน่งที่ 5 ใน ภาพ 31) โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการตอบสนองของเซนเซอร์เชื่อมต่อและบันทึกข้อมูลโดย Data logger (รุ่น 34970A, Agilent Technology, Inc, USA) (ตำแหน่งที่ 6 ใน ภาพ 31) ปรับเทียบกับค่าความเข้มข้นของ SO_2 ที่ได้จากวิธีการไทเทรต กับค่าแรงดันไฟฟ้าตอบสนองที่ได้จากหน่วยตรวจวัด และหลังจากการตรวจวัดในแต่ละครั้งจะทำการ

ปล่อย SO_2 ในหน่วยตรวจวัดทิ้ง โดยพัดลมที่อยู่ภายในกระบอกจะทำการพัดเอา SO_2 ออกมา เมื่อค่าที่วัดได้เป็นศูนย์จึงทำการตรวจวัดในครั้งต่อไป

ตาราง 3 ปริมาตรในการสุ่ม SO_2 จากถังอัดความดัน

ระดับความเข้มข้นของ SO_2 (ppm)	ปริมาตรการสุ่ม SO_2 จากถังอัดความดัน(ml)
2,000	4
4,000	8
6,000	12
8,000	16
10,000	20
12,000	24
14,000	28
16,000	32
18,000	36
20,000	40



ภาพ 31 ชุดทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2

ผลจากการทดสอบและสร้างอุปกรณ์เบื้องต้นในห้องปฏิบัติการได้นำไปทดสอบในภาคสนาม ประกอบไปด้วยการสร้างหน่วยประมวลผลและองค์ประกอบภายนอก เพื่อให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริงในภาคสนาม มีความทนทาน และปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์โดยการแก้ไขข้อบกพร่องที่พบในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ ในการทดสอบจริงจะมีการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของระบบทั้งหมด ดังนี้

1. ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการทดลองซ้ำ

เป็นค่าที่จะต้องนำมาทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนเนื่องจากเป็นความไม่แน่นอนที่จัดอยู่ในประเภท A (Type A)

2. ความไม่แน่นอนของกระบอกฉีดยาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่าง SO_2

ในการสุ่มตัวอย่างหากเกินความคลาดเคลื่อนของปริมาณ SO_2 จากการสุ่มตัวอย่างโดยใช้กระบอกฉีดยา จะทำให้ระบบการตรวจวัดเกิดความไม่แน่นอนขึ้นได้ จัดเป็นความไม่แน่นอน ประเภท B (Type B)

3. ความคลาดเคลื่อนของค่าความต้านทานอ้างอิง

ในการแปลงสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีค่าตอบสนองเป็นกระแสไฟฟ้า มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ความต้านทานอ้างอิงเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้า เพื่อบันทึกและนำค่าตอบสนองไปใช้งาน หากมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นก็จะส่งผลต่อความไม่แน่นอนในการประมวลผลค่าความเข้มข้น SO_2 ของระบบตรวจวัดได้ จัดเป็นความไม่แน่นอน ประเภท B (Type B)

4. ความไม่แน่นอนจากผู้ทำการวิจัย

ในการทำการทดลองอาจเกิดความไม่แน่นอนขึ้นจากตัวผู้วิจัยเองในการอ่านค่าการวัดต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อความไม่แน่นอนในระบบการตรวจวัดได้ จัดเป็นความไม่แน่นอน ประเภท B (Type B)

5. ความไม่แน่นอนจากความละเอียด (resolution) ของอุปกรณ์

เป็นค่าที่จะต้องนำมาทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนเนื่องจากเป็นความไม่แน่นอนที่จัดอยู่ในประเภท B (Type B)

6. ความไม่แน่นอนจากคู่มือการสอบเทียบของอุปกรณ์

เป็นค่าที่จะต้องนำมาทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนเนื่องจากเป็นความไม่แน่นอนที่จัดอยู่ในประเภท B (Type B)

7. ความไม่แน่นอนจากความละเอียด (resolution) ของการไทเทรต

เป็นค่าที่จะต้องนำมาทำการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนเนื่องจากเป็นค่าที่ใช้ในการปรับเทียบของอุปกรณ์ตรวจวัดและจัดเป็นความไม่แน่นอนประเภท B (Type B)

การทดสอบและเก็บข้อมูลกับห้องรม SO_2 ระดับอุตสาหกรรม

ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ ได้นำมาทดสอบและเก็บข้อมูลภาคสนามกับการรม SO_2 กับผลลำไยสด โดยใช้ลำไยสดประมาณ 4,500 กิโลกรัม กับห้องรม SO_2 กับผลลำไยสด ด้วยระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับระดับอุตสาหกรรม ใช้วิธีการปล่อย SO_2 จากถังอัดความดัน(ภาพ 32) ที่พัฒนาโดย จักรพงษ์ และคณะ (2552) ทำการสุ่มตัวอย่าง SO_2 ทุก 10 นาที ตลอดช่วงเวลาการรม 60 นาที ใช้ความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการรมที่ 6,000 ppm 8,000 ppm และ 10,000 ppm ในการทดสอบจะทำการเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรต

ภาพ 32 ห้องรม SO_2 ที่ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศแบบบังคับในแนวตั้งระดับอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลได้ใช้แบบจำลองทางสถิติแบบ Repeated measure design ดังสมการ 9

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + d_{ijk} + \kappa_l + (\kappa\alpha)_{il} + (\kappa\beta)_{jl} + (\kappa\gamma)_{kl} + e_{ijkl} \qquad (9)$$

โดย

$i = 1, 2, 3$ $j = 1, 2$ $k = 1, 2, 3$ $l = 0, 10, 20, \ldots, 60$

เมื่อ

μ = ค่าเฉลี่ยโดยรวม (Overall mean)

α_i = อิทธิพลจากระดับความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการรม

β_j = อิทธิพลจากปัจจัยของวิธีการตรวจวัด

γ_k = อิทธิพลจากการทดลองซ้ำ

d_{ijk} = ค่าความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตรวจวัดภายในระดับความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการรมต่างๆ

κ_l = อิทธิพลจากปัจจัยเวลา

$(\kappa\alpha)_{il}$ = อิทธิพลร่วมระหว่างระดับความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการรมกับเวลา

$(\kappa\beta)_{jl}$ = อิทธิพลร่วมระหว่างเวลากับวิธีการตรวจวัด

$(\kappa\gamma)_{kl}$ = อิทธิพลร่วมระหว่างเวลากับการทดลองซ้ำ

e_{ijkl} = ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง

ในการทดลองจะทำการทดสอบอุปกรณ์ภาคสนามที่ระดับความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดการรมอยู่ 3 ระดับ คือ 6,000 ppm 8,000 ppm และ 12,000 ppm โดยทำซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง ในทุกระดับความเข้มข้น สุ่มตัวอย่าง SO_2 จากห้องรม ทุก 10 นาที ตลอดระยะเวลาในการรม 60 นาที ทำการปล่อย SO_2 ในหน่วยตรวจวัดทิ้งทุกครั้งหลังจากตรวจวัด โดยพัดลมที่อยู่ภายในกระบอกจะทำการพัดเอา SO_2 ออกมา เมื่อค่าที่วัดได้เป็นศูนย์จึงทำการตรวจวัดในครั้งต่อไป และทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ประมวลผลได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2 กับ การไทเทรต ใช้กราฟให้เห็นแนวโน้มพร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรม StatView 5.0 ที่ระดับความเชื่อมั่น α = 0.05 โดยจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อค่า p น้อยกว่า 0.05 และจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อค่า p มากกว่าหรือเท่ากับ 0.05 แล้วคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ตรวจวัดและความไม่แน่นอน (uncertainty)

สถานที่ดำเนินการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาในภาคปฏิบัติได้ดำเนินการที่ ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ส่วนการทดสอบในภาคสนามได้ทดสอบที่ บริษัท ไทฮงผลไม้ จำกัด โรงงานรม SO_2 กับผลลำไยสดระดับอุตสาหกรรมในอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ห้องรม SO_2 กับผลลำไยสด ด้วยระบบการหมุนเวียนอากาศแบบบังคับระดับอุตสาหกรรม

ระยะเวลาในการดำเนินงาน

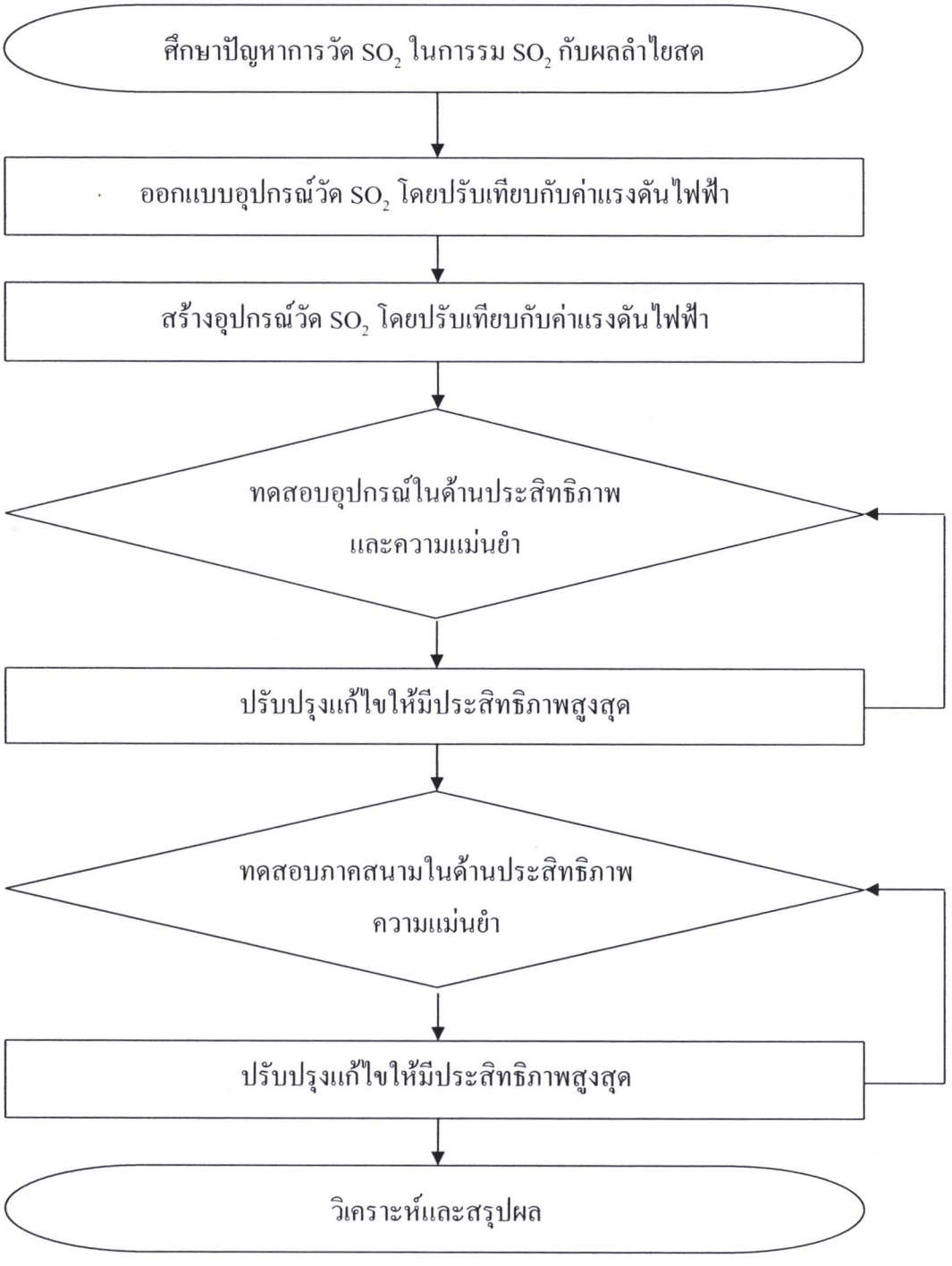
การศึกษาครั้งนี้ใช้ระยะเวลา 1 ปี โดยมีรายละเอียดดังตาราง 4

ตาราง 4 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานของการทำวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาปัญหาการตรวจวัด SO_2 ในการรม SO_2 กับผลลำไยสด												
2. ออกแบบระบบและอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2												
3. สร้างระบบและอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2												
4. ทดสอบระบบและอุปกรณ์ตรวจวัด SO_2												
5. ทดสอบและเก็บข้อมูลภาคสนาม												
6. วิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพ												
7. นำเสนอผลงานทางวิชาการ												
8. สรุปผลการทดลองและเขียนเล่มรายงาน												

แผนภูมิการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานของงานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการศึกษา แสดงดังภาพ 33



ภาพ 33 แผนผังการดำเนินงาน

งบประมาณที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้คาดว่าจะใช้งบประมาณดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. หมวดค่าจ้าง			
ค่าจัดทำปกและเข้าเล่ม		5,000	บาท
2. หมวดวัสดุอุปกรณ์			
ค่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์		2,000	บาท
ค่าสารเคมี	8,000	บาท	
ค่าวัสดุ		10,000	บาท
ค่าอุปกรณ์ตรวจวัด	15,000	บาท	
3. ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด		5,000	บาท
งบประมาณทั้งสิ้น		45,000	บาท