

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย ชุดต้นแบบสายการจัดเรียงมะม่วง

โดย

จักรพงษ์ นาทวิชัย¹ สมชาย พัฒนา² วิวัฒน์ คล่องพานิชย์³ รัฐพล พรประสิทธิ์³

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระยะเวลาโครงการตามสัญญา 1 เมษายน 2551 – 31 มีนาคม 25

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย ชุดต้นแบบสายการจัดเรียงมะม่วง

โดย

จักรพงษ์ นาทวิชัย¹ สมชาย พัฒนา² วิวัฒน์ คล่องพานิชย์³ รัฐพล พรประสิทธิ์³

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระยะเวลาโครงการตามสัญญา 1 เมษายน 2551 – 31 มีนาคม 2552

สารบัญ

บทนำ	1
องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
วิธีดำเนินการวิจัย	4
ผลการทดลอง	22
สรุป	28
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก ก.	33

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญ

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีการเพาะปลูกกันอย่างแพร่หลาย มีการบริโภคทั้งภายในประเทศ และนอกประเทศ ทำให้มูลค่าของผลผลิตโดยรวมมหาศาล อย่างไรก็ตาม คุณภาพของมะม่วงนั้นยังมีความไม่แน่นอน จึงทำให้มีการค้นคว้าวิจัย และพัฒนาประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการเพาะปลูก เก็บเกี่ยว คัดแยก รักษาผลผลิต เพื่อช่วยให้คุณภาพของมะม่วงดีขึ้นอย่างแพร่หลาย ซึ่งในโครงการนี้จะมุ่งเน้นในประเด็นของการคัดแยกมะม่วงตามคุณภาพในขณะที่ผลมะม่วงยังไม่สุกเต็มที่ ทั้งนี้การคัดแยกสามารถทำได้หลัก ๆ สองวิธี ทั้งการใช้มนุษย์ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญ หรือใช้เครื่องจักร ซึ่งการคัดแยกจะทำในขณะที่มะม่วงยังไม่สุก โดยคัดแยกตามคุณภาพ จากนั้นเมื่อมะม่วงสุก คุณภาพที่ได้จากการคัดแยกในข้างต้น ควรจะใกล้เคียงกับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริงเมื่อสุก

อย่างไรก็ตามการคัดแยกด้วยคนไม่สามารถทำได้ในกรณีที่มีผลผลิตมะม่วงมีปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้การคัดแยกล่าช้า และยังประสบปัญหาเรื่องความไม่แน่นอนของผลการคัดแยก ทั้งจากการที่ผู้เชี่ยวชาญมีหลายคน หรือการขาดงาน เป็นต้น จากเหตุผลเหล่านี้ จึงมีการค้นคว้าวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของมะม่วงขึ้น [1] โดยใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัมการสะท้อนเมื่อฉายแสง NIR (Near Infrared) หรือเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR Spectroscopy) จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมในช่วงที่เหมาะสมกับคุณภาพของมะม่วง จากผลการวิจัยพบว่ามะม่วงที่มีคุณภาพสูงจะมีค่าบrix (Brix) เมื่อสุกสูง ซึ่งผลของการวิจัยได้ชี้ว่า การคัดแยกมะม่วงตามคุณภาพมะม่วงซึ่งบ่งชี้ด้วยค่าบrix สามารถทำได้จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหนักแห้ง (Dry matter) และ/หรือปริมาณแป้ง (Starch) ในขณะที่มะม่วงยังไม่สุก

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง ที่มีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นส่วนประกอบ เพื่อใช้ในการวัดปริมาณน้ำหนักแห้งในขณะที่มะม่วงยังไม่สุก โดยชุดต้นแบบจะมีลักษณะเป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ

2. ศึกษาประสิทธิภาพในการคัดแยกระหว่างการใช้เครื่องจักรที่พัฒนาขึ้น และการอ่านค่าจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีโดยใช้มนุษย์

1.3 ขอบเขต

1. การจัดเรียงจะอาศัยข้อมูลจากการวัดสเปกตรัมจากการฉายแสง NIR โดยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20
2. มะม่วงที่จะนำมาใช้ทดสอบในโครงการนี้คือ มะม่วงพันธุ์มหาชนก

1.4 ประโยชน์

เกษตรกรหรือผู้ประกอบการสามารถนำชุดต้นแบบไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงานคัดแยกมะม่วงของตนได้

2. องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

รายงานการวิจัยใน [1] ระบุว่า การตรวจสอบคุณภาพมะม่วงแบบไม่ทำลายผลผลิตสามารถทำได้ โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี [2] ความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับการตรวจสอบอยู่ในช่วง 700-1100 (ทั้งนี้ การเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมยังสามารถทำได้โดยการใช้สมการทำนายค่าองค์ประกอบทางเคมีแบบ MLR (Multiple Linear Regression) ได้อีกด้วย [3]) ซึ่งความยาวคลื่นในช่วงดังกล่าวถือว่าเป็นความยาวคลื่นสั้น จากนั้นจะนำสเปกตรัมที่ได้จากการตรวจสอบไปวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิค PLS (Partial Least Square) หรือ MLR ซึ่งการใช้เทคนิค PLS จะมีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องเลือกช่วงความยาวคลื่นในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ แม้ว่ากระบวนการระบุช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะทำให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากขึ้นก็ตาม

นอกจากนั้นการวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางองค์ประกอบทางเคมีของมะม่วงทั้งระหว่างที่ยังไม่แก่เต็มที่ และขณะสุกอย่างแพร่หลาย เช่น รายงานการวิจัยเกี่ยวกับความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของมะม่วงว่าการ “เพิ่มขึ้น” ของความถ่วงจำเพาะในระหว่างที่มะม่วงยังไม่แก่เต็มที่ มีผลต่อคุณภาพของมะม่วงเมื่อสุกใน [4], ใน [5] รายงานว่าค่าความเป็นกรดของมะม่วงจะสูงที่สุดในวันที่ 54 ของการเจริญเติบโต และจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งสุก ซึ่งประเภทของกรดหลักในมะม่วงคือ กรดซิตริก (Citric) [6] ซึ่งการวิจัยเหล่านี้เป็นงานวิจัยขององค์ประกอบทางเคมีซึ่งถูกนำมาเป็นพื้นฐานของการตรวจสอบคุณภาพมะม่วงแบบไม่ทำลายผลผลิตต่อไป

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ภาพรวมของวิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีกระบวนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. พัฒนาชุดต้นแบบในส่วนอุปกรณ์และซอฟต์แวร์วิเคราะห์สเปกตรัม ซึ่งจะดำเนินการขนานกัน สำหรับในส่วนอุปกรณ์จะพัฒนาส่วนของสายพานซึ่งใช้ในการลำเลียงมะม่วงเข้ามาเพื่อการตรวจสอบและคัดแยกมะม่วงไปตามคุณภาพ คือมีคุณภาพจำนวน 3 ระดับตามรายงานการวิจัยใน [1] คือ ยอดเยี่ยม พอใช้ได้ และใช้ไม่ได้ โดยใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 ซึ่งเป็นครุภัณฑ์ของสถานวิทยากรหลังการเก็บเกี่ยว ทำการอ่านค่าสเปกตรัมและส่งผลสเปกตรัมไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพ เมื่อได้รับผลลัพธ์มาแล้วว่ามะม่วงมีคุณภาพอย่างไร ซอฟต์แวร์ควบคุมสายจัดเรียงจะควบคุมให้สายพานเลื่อนและคัดแยกมะม่วงไปยังที่เก็บตามคุณภาพ

ในระหว่างการพัฒนาส่วนของอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ควบคุมสายจัดเรียงจะถูกพัฒนาแยกออกจากซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพเพื่อให้การพัฒนาเป็นได้ความรวดเร็ว อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ควบคุมจะสมมุติค่า Input/output จากส่วนซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูล ในขณะที่ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูลจะทำการพัฒนาในส่วนของการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี บันทึกผลค่าสเปกตรัม วิเคราะห์ด้วยความสัมพันธ์ของสเปกตรัมกับคุณภาพตามรายงานการวิจัยใน [1] และส่งผลลัพธ์ให้กับซอฟต์แวร์ควบคุม

2. หาข้อบกพร่องและทำการแก้ไขชุดต้นแบบเพื่อให้ได้สายจัดเรียงมะม่วงที่ดีขึ้นก่อนการทดลอง ได้แก่ การทดสอบหาข้อผิดพลาดของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น การปรับความเร็วของสายพานให้เหมาะสมกับการเรียงมะม่วงเพื่อให้มะม่วงที่ผ่านการคัดแยกไม่เสียหาย การปรับตำแหน่งของถาดคัดแยก การเพิ่มมันบังแสงให้แก่ชุดต้นแบบ

3. ทดสอบประสิทธิภาพชุดต้นแบบ โดยการนำมะม่วงก่อนสุกมาคัดแยกโดยชุดต้นแบบ ซึ่งจะทำให้การติดสติ๊กเกอร์ลงที่มะม่วงแต่ละลูกที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพมะม่วง

จำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ใช้ชุดต้นแบบสายจัดเรียง และทำการบันทึกผลลัพท์ที่ได้ว่ามะม่วงแต่ละลูกจัดอยู่ในระดับคุณภาพแบบใด และครั้งที่ 2 จะทดลองโดยใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 ตรวจสอบคุณภาพมะม่วงโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบสายจัดเรียงที่พัฒนาขึ้นและใช้ลักษณะการวัดที่ถูกต้องวิธี [1] เพื่อประเมินประสิทธิภาพของชุดต้นแบบที่พัฒนาขึ้นว่าทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการวัดอย่างไร โดยจะประเมินทั้งคุณภาพมะม่วงที่วัดได้ (3 ระดับ) และค่าตัวบ่งชี้คุณภาพมะม่วงก่อนสุก ซึ่งได้แก่ น้ำหนักแห้ง โดยนำเฉพาะส่วนเนื้อผลของมะม่วงที่ผ่านการวัดสเปกตรัมแล้วมาอบไว้ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70° เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบเทียบกับก่อนอบ

เครื่องวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR) ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่องชนิดพกพา ยี่ห้อ FANTEC รุ่น FRUITS TESTER 20 มีส่วนประกอบหลักสองส่วน คือ ส่วนประมวลผลบันทึกผล และส่วนหัววัด ดังรูปที่ 3.1 การใช้งานปกติเมื่อจะทำการวัดผล จะนำหัววัดไปสัมผัสกับผลไม้ที่จะวัดแล้วทำการกดปุ่มสั่งให้ทำการวัดที่ส่วนประมวลผลบันทึกผลของเครื่องวัดหรือกดสวิทช์ที่อยู่กับหัววัดเพื่อเริ่มการวัดผล ผลการวัดที่ได้จะถูกส่งไปยังส่วนประมวลผล และจะถูกบันทึกผลไว้ในแผ่นบันทึกข้อมูลชนิด PCMCIA ที่อยู่ภายใน ดังรูปที่ 3.2 เมื่อต้องการนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ จะต้องนำแผ่นบันทึกข้อมูลนี้ออกมาจากเครื่อง และนำไปถ่ายโอนข้อมูลลงเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อไป

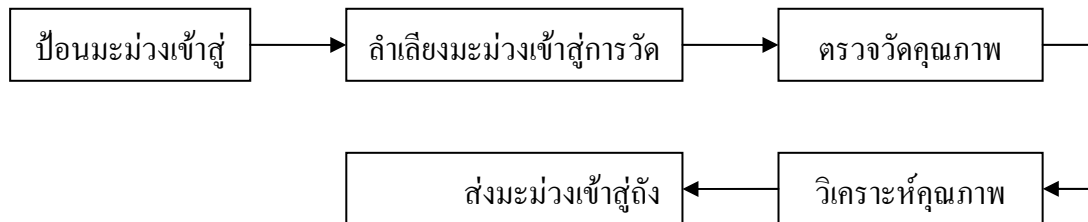


รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องวัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR)



รูปที่ 3.2 แสดงแผ่นบันทึกข้อมูลชนิด PCMCIA ที่อยู่ภายในเครื่องวัด NIR

การนำเครื่องวัด NIR นี้ไปใช้เป็นส่วนประกอบหรือเป็นเครื่องมือวัดสำหรับเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการคัดและแยกมะม่วง จะต้องทำการออกแบบการทำงานให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของมะม่วง และการเคลื่อนที่ของหัววัด NIR ให้สามารถสัมผัสกับมะม่วงได้อย่างแม่นยำและพอเหมาะ เมื่อทำการประมวลผลแล้วจะต้องสามารถส่งมะม่วงไปยังถังสำหรับคัดแยกคุณภาพตามค่าที่วัดได้ โดยออกแบบลักษณะการทำงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่ใช้ในการคัดและแยกมะม่วง

จากลักษณะการทำงานดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยมีอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ดังอธิบายในหัวข้อที่ 3.2

นอกจากนั้นจะมีการทดสอบความแม่นยำของสมการทำนายคุณภาพมะม่วงด้วย โดยหลังจากที่ทำการทดสอบมะม่วงสุกมาคัดแยกตามวิธีในข้อ 2 แล้ว ก็จะนำมะม่วงไปบ่มเพื่อให้สุก จากนั้นจะทำการวัดสมบัติทางเคมี ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ค่าบrix และจะนำค่าบrixนี้มาเปรียบเทียบกับวิเคราะห์กับค่าบrixที่ได้จากการทำนายทั้งจากชุดต้นแบบ และจากการตรวจสอบโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบ

4. เขียนรายงานการวิจัยซึ่งสามารถนำไปเป็นคู่มือการพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการนำชุดต้นแบบไปพัฒนาต่อทั้งในส่วนของอุปกรณ์ และซอฟต์แวร์

3.2 การออกแบบอุปกรณ์ชุดต้นแบบ

เพื่อให้เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการคัดและแยกมะม่วงสามารถทำงานได้ตามขั้นตอนที่กำหนด จึงทำการออกแบบให้มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ

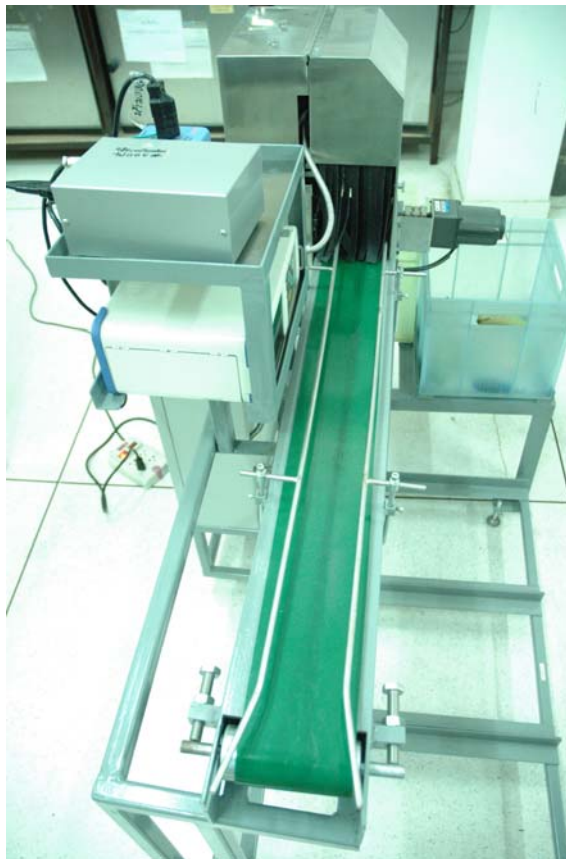
1. ชุดสายพานลำเลียงมะม่วง
2. ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (NIR)
3. ชุดคัดแยกมะม่วง
4. ชุดควบคุมการทำงาน

จากแนวคิดในการออกแบบให้เครื่องมีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายและนำไปใช้ได้ในพื้นที่ต่างๆ ได้สะดวก จึงไม่นำอุปกรณ์นิวเมติกส์ (Pneumatics) มาใช้เป็นส่วนประกอบ ถึงแม้ว่าการใช้อุปกรณ์นิวเมติกส์จะสามารถลดกลไกบางอย่างและนำมาใช้เป็นส่วนประกอบได้ง่าย แต่จำเป็นต้องใช้ปั๊มลม (Air compressor) เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์ขับเคลื่อนต่างๆ จะส่งผลให้การขนย้ายทำได้ยากลำบากมากขึ้น ดังนั้นจึงออกแบบให้ทุกอุปกรณ์ทุกอย่างรวมอยู่ในตัวเครื่องต้นแบบเดียวกัน และเลือกใช้อุปกรณ์ที่ทำงานโดยใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยแต่ละส่วนมีการทำงานและส่วนประกอบสำคัญดังนี้

3.2.1 ชุดสายพานลำเลียงมะม่วง

ชุดสายพานลำเลียงมะม่วง ทำหน้าที่ลำเลียงมะม่วงเพื่อเข้าสู่ตำแหน่งการวัดด้วยหัววัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี ประกอบไปด้วยชุดสายพานขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์เกียร์ทด พร้อมอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ โดยด้านข้างของสายพานจะติดตั้งแนวกันหล่นเพื่อป้องกันไม่ให้มะม่วงหล่นออกนอกแนวของสายพาน และเพื่อให้เครื่องต้นแบบสามารถใช้งานกับมะม่วงได้หลายขนาด จึงออกแบบให้สามารถปรับแนวกันหล่นให้เหมาะสมกับมะม่วงขนาดต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 3.4

เมื่อเริ่มทำงาน สายพานลำเลียงจะเคลื่อนที่จนกระทั่งมะม่วงถูกลำเลียงเข้าไปถึงตำแหน่งที่จะทำการวัดซึ่งจะมีเซนเซอร์ตรวจจับติดตั้งอยู่ และจะทำการส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมการทำงานเพื่อสั่งให้สายพานหยุดเคลื่อนที่ และให้ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีทำงานต่อไป ดังรูปที่ 3.5 เมื่อทำการวัดเรียบร้อยแล้ว สายพานจะทำงานอีกครั้งเพื่อลำเลียงมะม่วงส่งต่อไปยังชุดคัดแยกมะม่วงเพื่อคัดแยกตามคุณภาพมะม่วงต่อไป



รูปที่ 3.4 แสดงชุดสายพานลำเลียงมะม่วง



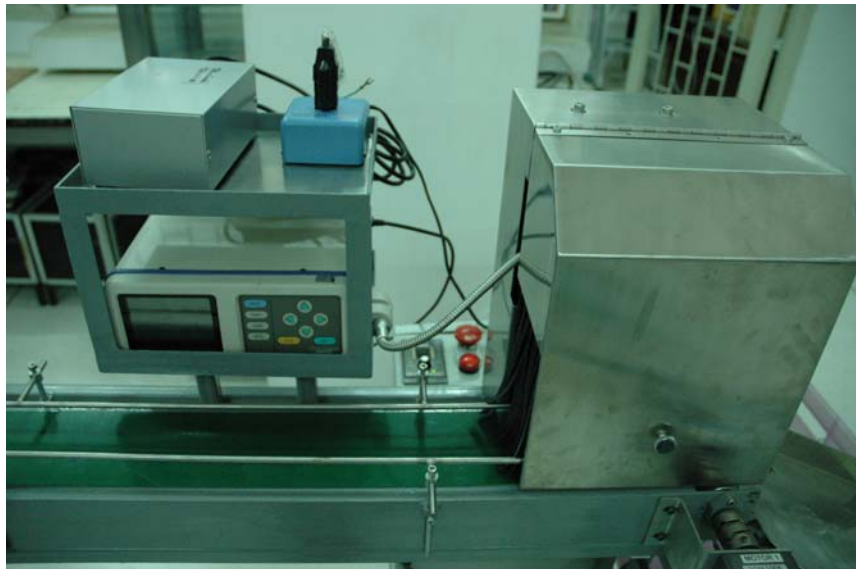
รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งมะม่วงที่จะทำการวัดคุณภาพ

3.2.2 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีทำหน้าที่จับยึดหัววัด และเคลื่อนที่หัววัดไปยังตำแหน่งเตรียมพร้อมและตำแหน่งที่จะทำการวัด ประกอบไปด้วยชุดจับยึดหัววัดเคลื่อนที่ในแนวแกนโดยใช้เกลียวส่งกำลัง (Ball screw) เพื่อเปลี่ยนการเคลื่อนที่จากการหมุนของมอเตอร์ไปเป็นการเคลื่อนที่ในแนวแกน และมีเซนเซอร์เพื่อใช้ในการบอกตำแหน่ง นอกจากนี้เพื่อลดการรบกวนการวัดผลจากแสงภายนอก จึงได้ออกแบบให้มีกล่องคลุมส่วนหัววัด และทำการติดตั้งแผ่นผ้าสีดำสองชั้นที่สามารถให้มะม่วงเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่จะทำการวัด และป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกได้ในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 3.6

ขณะเริ่มทำงาน ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของหัววัดเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีจะเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งเตรียมพร้อม เมื่อมะม่วงเคลื่อนมาอยู่ในตำแหน่งที่จะทำการวัดแล้ว ชุดควบคุมการทำงานจะสั่งให้สายพานหยุดหมุน และทำการเคลื่อนหัววัดลงไปสัมผัสมะม่วง เมื่อหัววัดสัมผัสมะม่วงแล้ว เซนเซอร์จะส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมเพื่อหยุดการเคลื่อนที่ของหัววัด ดังรูปที่ 3.7

ในเครื่องต้นแบบนี้ การสั่งให้ทำการวัดจะทำโดยใช้คนควบคุม (Manual) โดยการกดปุ่มสั่งให้ทำการวัดที่ส่วนประมวลผลบันทึกผลของเครื่องวัด ซึ่งติดตั้งไว้ด้านหลังของชุดสายพานลำเลียงมะม่วง ดังรูปที่ 3.7 (ข) เมื่อทำการวัดเสร็จแล้วจะนำข้อมูลที่ได้นำเข้าไปยังคอมพิวเตอร์ และใช้ซอฟต์แวร์ทำการวิเคราะห์คุณภาพ เมื่อวิเคราะห์เสร็จแล้วซอฟต์แวร์จะส่งข้อมูลคุณภาพไปยังชุดควบคุมการทำงาน เพื่อสั่งให้ชุดคัดแยกมะม่วงเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งตามคุณภาพ สั่งให้หัววัดเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งเตรียมพร้อม และเริ่มให้สายพานเคลื่อนที่เพื่อให้มะม่วงตกลงสู่ถังรับมะม่วงตามคุณภาพที่วิเคราะห์ได้



รูปที่ 3.6 แสดงกล่องควบคุมหัววัดเพื่อลดการรบกวนจากแสงภายนอก



(ก)



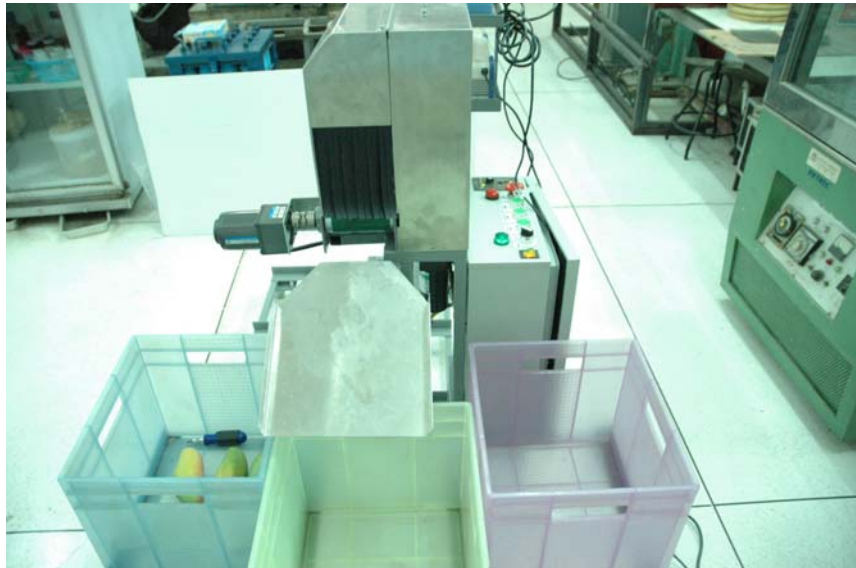
(ข)

รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของหัววัด NIR (ก) ขณะเตรียมพร้อม และ (ข) ขณะสัมผัสมะม่วง

3.2.3 ชุดคัดแยกมะม่วง

ชุดคัดแยกมะม่วงทำหน้าที่ส่งมะม่วงไปยังถังรับมะม่วงตามคุณภาพที่วิเคราะห์ได้จากข้อมูลการวัดผลจากหัววัด ประกอบไปด้วยด้วยถาดนำมะม่วงเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์เกียร์ทด เช่นเซอร์เพื่อใช้ในการบอกตำแหน่งของถาดนำมะม่วง และถังรับมะม่วง ดังรูปที่ 3.8

เมื่อชุดควบคุมได้รับข้อมูลจากซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพแล้ว ชุดควบคุมจะสั่งให้มอเตอร์หมุนถาดนำมะม่วงไปยังตำแหน่งของถังรับมะม่วงตามคุณภาพนั้น ในเครื่องต้นแบบนี้จะสามารถแยกมะม่วงได้ 3 เกรด เมื่อสายพานลำเลียงมะม่วงส่งมะม่วงที่วัดแล้วมาถึง มะม่วงก็จะตกลงสู่ถาดนำมะม่วงและลงสู่ถังรับมะม่วงต่อไป



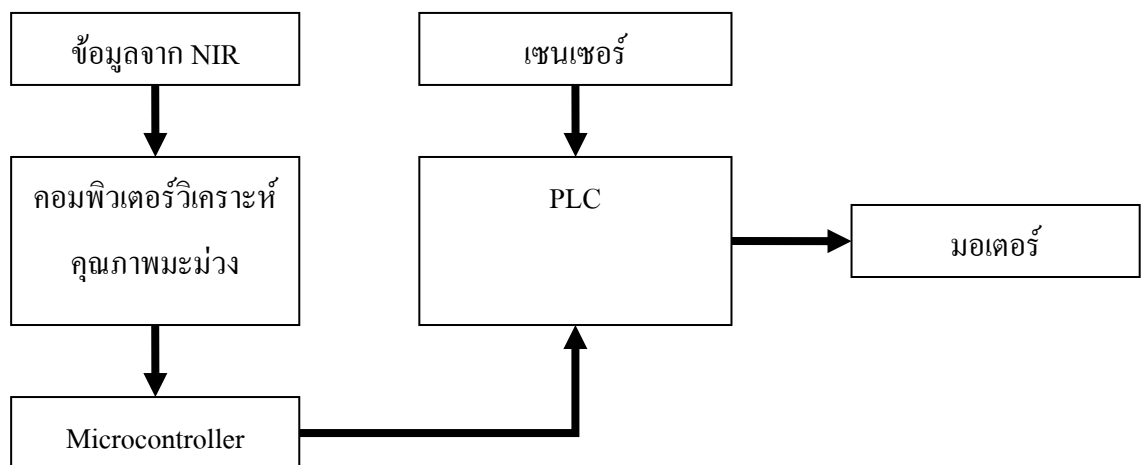
รูปที่ 3.8 แสดงชุดคัดแยกมะม่วง

3.2.4 ชุดควบคุมการทำงาน

ชุดควบคุมการทำงานทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องต้นแบบให้ทำงานสัมพันธ์กัน ประกอบไปด้วย Programmable Logic Controller (PLC) ยี่ห้อ Keyence รุ่น KV-24AR อุปกรณ์กรองกระแสไฟฟ้า สวิตช์ควบคุม รีเลย์เพื่อควบคุมอุปกรณ์แรงดันสูง โดยแผนผังอุปกรณ์ไฟฟ้าและมอเตอร์ต้นกำลังแสดงในภาคผนวก ก.1 และแผนผังอุปกรณ์ควบคุมแสดงในภาคผนวก ก.2 การควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องต้นแบบได้ใช้ PLC เป็นตัวควบคุม เนื่องจาก PLC เป็นอุปกรณ์มาตรฐานและใช้กันอย่างแพร่หลายในงานควบคุมเครื่องจักร ทำให้สามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์มาตรฐานต่างๆ ได้ดี มักถูกใช้สำหรับ

การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ อีกทั้งยังมีให้เลือกใช้หลายขนาด ตั้งแต่ขนาดที่ใช้กับเครื่องจักรขนาดเล็กมีอุปกรณ์ที่ต้องควบคุมไม่กี่ตัว ไปจนถึงเครื่องจักรอุตสาหกรรมที่มีอุปกรณ์ที่ต้องควบคุมจำนวนมาก

เนื่องจาก PLC ส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อการรับส่งขั้นตอนการทำงาน (Sequence) ก่อนเริ่มทำงานเท่านั้น ไม่สามารถติดต่อรับส่งคำสั่งกับคอมพิวเตอร์ขณะ PLC ทำการควบคุมเครื่องจักร หรือทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์เฉพาะที่ทางบริษัททำขึ้นเพื่อจำหน่ายเท่านั้น และไม่สะดวกต่อการเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเองเช่นซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพมะม่วงนี้ จึงทำการออกแบบโดยใช้ Microcontroller บริษัท สติลารีเสิร์ช จำกัด รุ่น V-C2051M V2.0 และใช้ MCU หมายเลข 89LP4052 สำหรับเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC กับคอมพิวเตอร์วิเคราะห์คุณภาพ แสดงเป็นแผนภาพการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดควบคุมการทำงาน

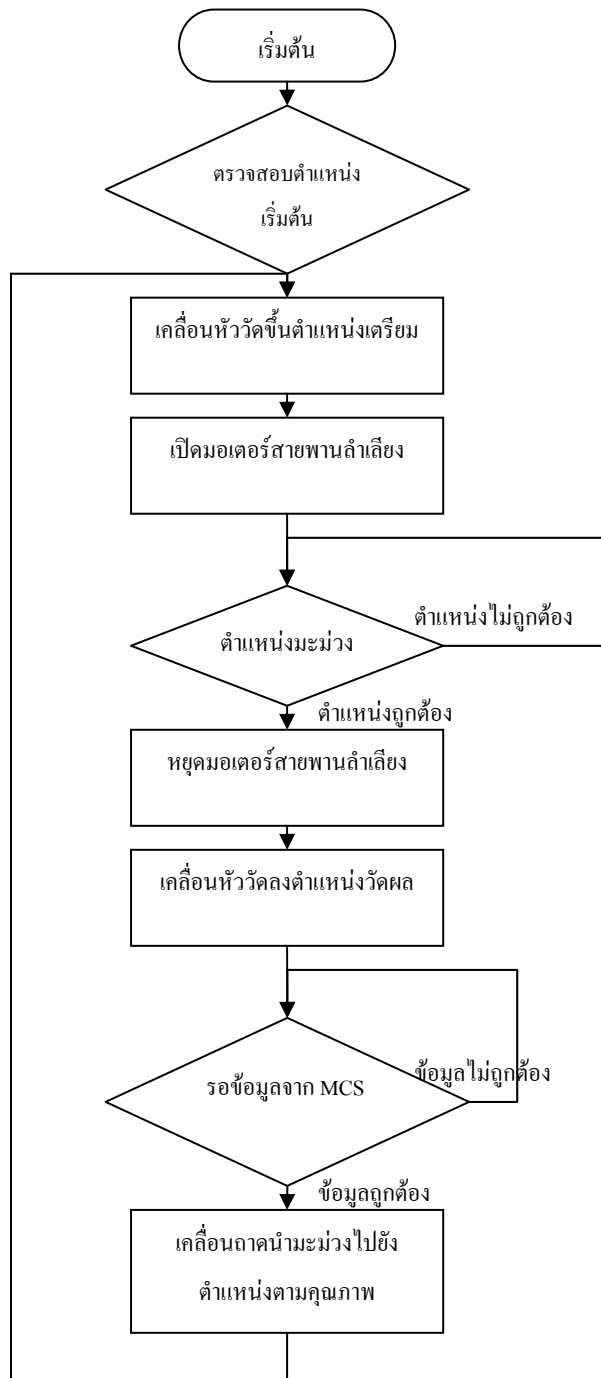
3.2.5 ซอฟต์แวร์ควบคุม

การออกแบบซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ แบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบขั้นตอนการทำงาน (Sequence) ของ PLC และการออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับ

Microcontroller เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์วิเคราะห้คุณภาพ กับ PLC ซึ่ง
จะอธิบายในหัวข้อที่ 3.2.6 และ 3.2.7 ตามลำดับ

3.2.6 การออกแบบขั้นตอนการทำงานของ PLC

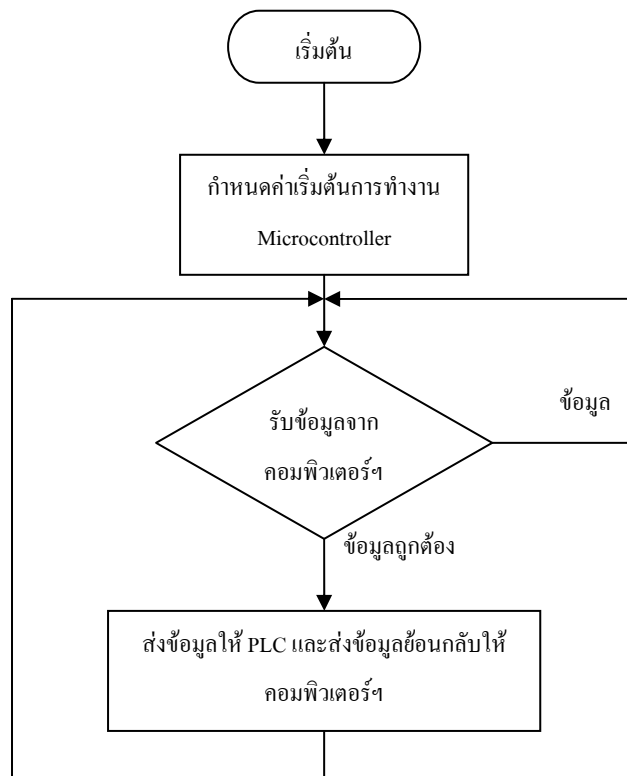
เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบการตามขั้นตอนที่กำหนด ดังรูปที่ 3.3 จึง
กำหนดให้เครื่องมีการทำงานดังแสดงเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3.10 และขั้นตอนการทำงานของ PLC แสดงใน
รูป Ladder diagram ในภาคผนวก ก.3



รูปที่ 3.10 แสดงแผนผังการขั้นตอนการทำงานของ PLC

3.2.7 การออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับ Microcontroller เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC กับคอมพิวเตอร์วิเคราะห์คุณภาพ

การออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับ Microcontroller นี้ ได้ออกแบบให้ Microcontroller รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์โดยใช้ช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (Serial port, RS-232) ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐาน มีข้อดีคือใช้สายสัญญาณเพียงสามเส้น และ Microcontroller ก็มีช่องทางสื่อสารนี้ด้วย เมื่อคอมพิวเตอร์วิเคราะห์คุณภาพมะม่วงแล้วจะทำการส่งข้อมูลให้ Microcontroller รู้ว่าเป็นมะม่วงคุณภาพใด เมื่อ Microcontroller ได้รับข้อมูลแล้วจะทำการส่งข้อมูลให้ PLC และจะส่งข้อมูลย้อนกลับให้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์คุณภาพทราบว่าได้ทำการส่งข้อมูลให้ PLC แล้ว โดยมีการทำงานดังแสดงเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 3.11

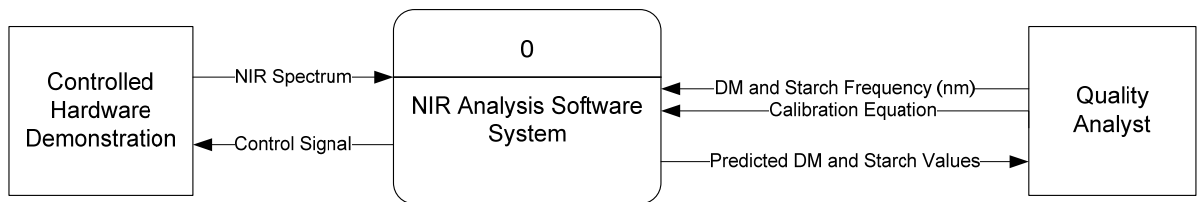


รูปที่ 3.11 แสดงแผนผังการทำงานของ Microcontroller

3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบ

3.3.1 Context Diagram ของซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบ

ระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมี Context Diagram หรือ Context DFD (Data Flow Diagram) จากการวิเคราะห์ระบบดังรูปที่ 3.12

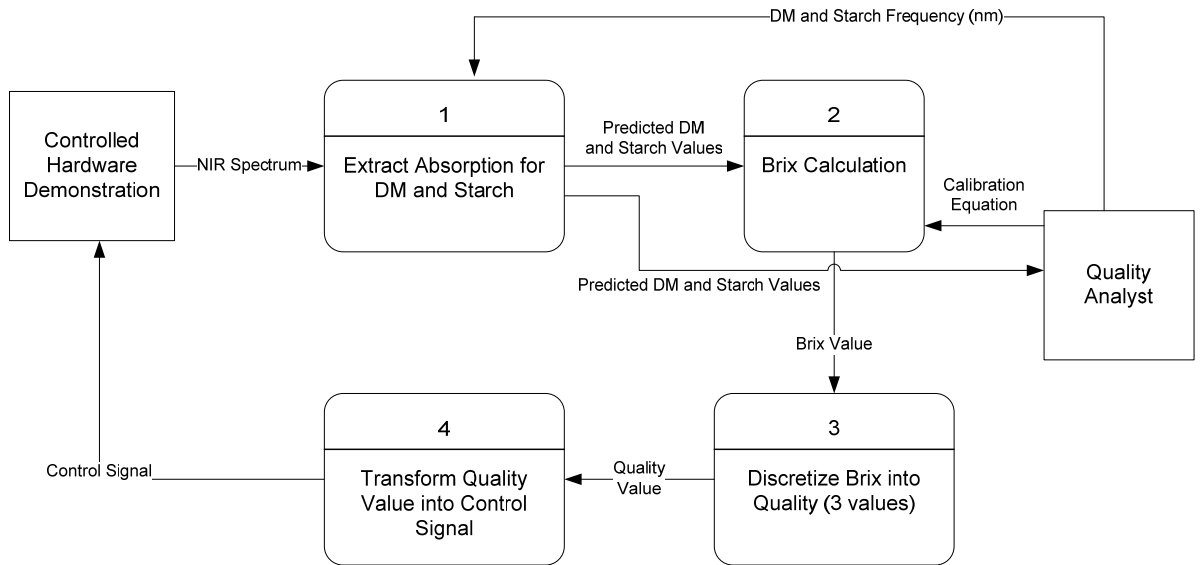


รูปที่ 3.12 Context DFD ของระบบซอฟต์แวร์วิเคราะห์สเปกตรัม

โดยกระบวนการของซอฟต์แวร์นี้ (NIR Analysis Software System จากรูปที่ 3.12) จะรับข้อมูลเข้าจาก ส่วนชุดอุปกรณ์สายจัดเรียงคือ สเปกตรัมค่าความสะท้อนในช่วงความถี่อินฟราเรด 600-100 นาโนเมตร ของมะม่วงแต่ละผล (Reflectance NIR Spectrum) ในขณะที่ข้อมูลเข้าจากผู้ใช้งาน (Quality Analyst) คือสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลคุณภาพ (Calibration Equation) ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป และตำแหน่ง ช่วงคลื่นที่ใช้ในการวัดค่าประมาณปริมาณมวลแห้ง (Dry Matter Frequency)

สำหรับข้อมูลออกไปยังส่วนชุดอุปกรณ์สายจัดเรียงคือ สัญญาณควบคุม (Control Signal) ซึ่งจะส่งออกได้ทั้งหมด 3 ค่า คือ ยอดเยี่ยม พอใช้ได้ และใช้ไม่ได้ หรือ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เพื่อให้ชุดอุปกรณ์จัดเรียงมะม่วงไปตามพารามิเตอร์คุณภาพ นอกจากนั้นยังมีการส่งผ่านข้อมูลปริมาณมวลแห้งแบบ ทำนายไปยังผู้ใช้งาน ซึ่งส่วนนี้จะทำการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความแม่นยำของชุดต้นแบบต่อไป

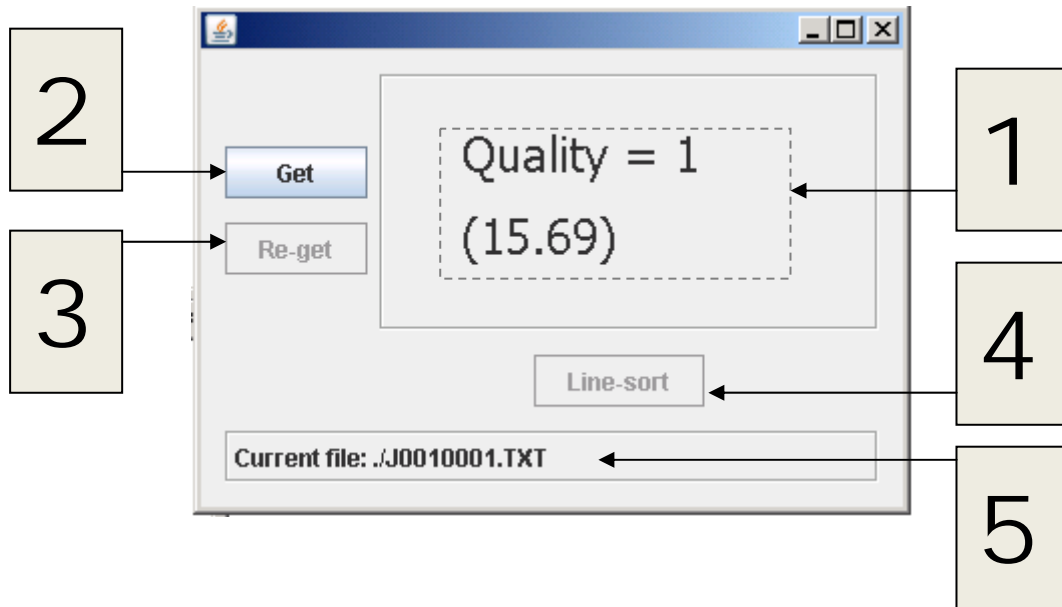
สำหรับโครงสร้างภายในของซอฟต์แวร์นี้ ได้มีการออกแบบโดยใช้ Level 0 DFD ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 Level 0 DFD ของระบบซอฟต์แวร์วิเคราะห์สเปกตรัม

จากรายละเอียดของ Level 0 DFD ในรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าซอฟต์แวร์วิเคราะห์สเปกตรัม จะทำการรับสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของมะม่วงแต่ละผล (NIR Spectrum) เพื่อทำการแยกค่าความสะท้อน ซึ่งใช้ในการทำนายปริมาณประมาณของค่ามวลแห้ง ดังที่เห็นในกระบวนการที่ 1 ในรูปที่ 3.13 ซึ่งตำแหน่งในสเปกตรัมที่ใช้จะใช้ค่าตาม [1] โดยมีการปรับแต่งในส่วนที่ช่วงสเปกตรัมของอุปกรณ์ไม่สนับสนุน โดยค่าตำแหน่งนี้จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งาน จากนั้นค่าที่ได้จะถูกส่งไปคำนวณค่าบริกซ์ในกระบวนการที่ 2 และบันทึกไว้เพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำ จากนั้นค่าบริกซ์จะถูกแปลงให้เป็นค่าคุณภาพโดยกระบวนการที่ 3 กระบวนการสุดท้ายคือการเปลี่ยนค่าคุณภาพให้กลายเป็นสัญญาณควบคุมเพื่อส่งไปยังชุดอุปกรณ์สายจัดเรียงในกระบวนการที่ 4 สำหรับสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลจะกล่าวถึงในบทที่ 4

3.3.2 Prototype ของซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบ



รูปที่ 3.14 Prototype ของ ซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบ

ซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบมีความสามารถ (Functionality) ตาม Prototype ซึ่งแสดงตามรูปที่ 3.14 ดังต่อไปนี้

1. แสดงผลค่าคุณภาพและบrixของมะม่วง (Quality & Brix) โดยค่าคุณภาพแสดงได้ 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 ตามที่ได้กล่าวไปแล้ว และค่าบrixเป็นค่าที่เกิดจากการทำนาย ค่าทั้งสองค่านี้จะมีการแสดงผลหลังจากได้มีการเลือกการอ่านค่า และการอ่านค่าซ้ำของสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของมะม่วงแต่ละผลดังอธิบายในข้อ 2 และ 3 ตามลำดับ
2. อ่านค่าสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของมะม่วงแต่ละผล (Get) ผลลัพธ์คือ จะเกิดการอ่านค่าสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของมะม่วงผลปัจจุบันจาก PC Card โดยจะอ่านค่าความสะท้อนในช่วงคลื่นที่ได้กำหนดไว้แล้ว จากนั้นจะนำมาคำนวณหาค่ามวลแห้งทำนาย และนำค่าดังกล่าวไปหาค่าบrixทำนาย และแสดงผลค่าคุณภาพและบrixทำนายในส่วนแสดงผลค่าคุณภาพและค่าบrix (ข้อ 1) ต่อไป จากนั้นซอฟต์แวร์จะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเลือกการคัดแยก (Line-Sort) ได้ หากผลลัพธ์คุณภาพและค่าบrixทำนายที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ ผู้ใช้สามารถเลือกอ่านซ้ำ (Re-get) ได้

3. อ่านค่าสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของมะม่วงแต่ละผล (Re-get) จะมีการทำงานเหมือนในข้อ 2 แต่จะเป็นการอ่านค่าสเปกตรัมซ้ำอีกครั้ง
4. คัดแยกมะม่วง (Line-sort) ทำการคัดแยกมะม่วงโดยส่งค่าคุณภาพออกไปยังพอร์ตอนุกรม เพื่อให้ชุดอุปกรณ์สายจัดเรียงส่งมะม่วงไปยังตะกร้าที่ถูกต้อง การส่งค่าคุณภาพออกไปนั้นจะใช้ไลบรารี rxtxSerial ทำการส่งคุณภาพออกไปเป็นข้อมูลข้อความ (String) ซึ่งในขณะที่เริ่มต้นทำงาน ซอฟต์แวร์จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการส่งข้อมูลไปยังชุดอุปกรณ์ก่อนแล้ว โดยค่าพอร์ตที่กำหนดไว้จะเป็นคอม 1 (Comm 1) และส่งข้อมูลที่ละ 8 บิต เว้น 1 บิต โดยไม่มีการตรวจสอบความผิดพลาด
5. ส่วนแสดงสถานะของซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบ จะแสดงสถานะว่าไฟล์ใดกำลังจะถูกอ่านค่าสเปกตรัมเป็นไฟล์ต่อไป
6. ค่าพารามิเตอร์ ซอฟต์แวร์ชุดต้นแบบจะรับพารามิเตอร์แบบคอมมานด์ไลน์จำนวน 1 ค่า คือชื่อไฟล์ที่บรรจุค่าสเปกตรัมเอาไว้ โดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำการค้นหาไฟล์ถัดไปที่จะต้องทำการอ่านค่าในซีรีย้นั้นได้โดยอัตโนมัติ เช่น หากกำหนดให้ไฟล์ JUGG0001.TXT เป็นพารามิเตอร์เริ่มต้น เมื่อมีการคัดแยกมะม่วงผลแรกแล้ว ซอฟต์แวร์จะทำการอ่านไฟล์ JUGG0002.TXT ให้โดยอัตโนมัติ หากไฟล์ดังกล่าวไม่มีอยู่ซอฟต์แวร์จะทำการแจ้งเตือนว่าอ่านจนจบซีรีย้นี้แล้ว

3.4 การใช้งานเครื่องต้นแบบ

การใช้งานเครื่องต้นแบบนี้มีขั้นตอนดังนี้

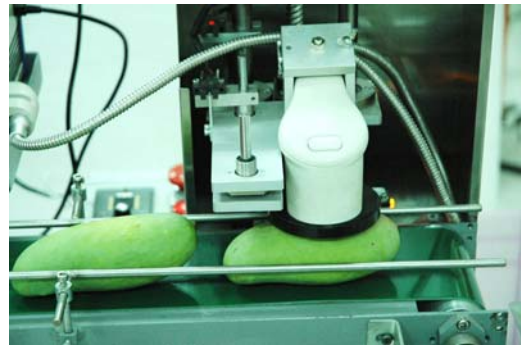
1. เตรียมมะม่วงที่จะทดสอบ วางถึงรับมะม่วงในตำแหน่ง และตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องต้นแบบ
2. จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องต้นแบบ
3. เปิด Main breaker
4. กดสวิทช์เริ่มทำงาน
5. วางมะม่วงลงบนสายพานลำเลียง ให้ระยะห่างกันอย่างน้อย 15 เซนติเมตร
6. กดปุ่มสั่งการวัดผล เมื่อหัววัด NIR เคลื่อนที่ลงสัมผัสมะม่วงเรียบร้อยแล้ว
7. นำข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ผลเมื่อเครื่องวัด NIR บันทึกผลเรียบร้อยแล้ว
8. วิเคราะห์ผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ และนำแผ่นบันทึกข้อมูลกลับเข้าเครื่องวัด NIR
9. คอมพิวเตอร์วิเคราะห์ผลจะส่งข้อมูลคุณภาพมะม่วงไปยังเครื่องต้นแบบเพื่อทำงานต่อ และกลับไปทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5

4. ผลการทดลอง

การทดลองในโครงการนี้จะใช้ประเมินประสิทธิภาพของชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ การวัดสเปกตรัมของค่ามวลแห้ง การวัดคุณภาพของมะม่วงซึ่งแบ่งเป็น 3 ระดับ การวัดคุณภาพทางเคมีของมะม่วงหลังสุก ซึ่งผลการทดลองในประเด็นต่างๆ เหล่านี้จะอยู่ในหัวข้อที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

4.1 ผลกระทบต่อการวัดสเปกตรัมของมวลแห้งของชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง

ในการทดลองนี้จะใช้มะม่วงจำนวน 100 ลูก มาผ่านการคัดแยกด้วยชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง และนำค่าสเปกตรัมที่วัดได้มาคำนวณหาค่ามวลแห้งของมะม่วงผลนั้น และจะทำการคัดแยกโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบสายจัดเรียงที่พัฒนาขึ้นด้วย เพื่อประเมินผลกระทบของการนำชุดต้นแบบมาใช้



ในตารางที่ 4.1 ได้แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติของการเปรียบเทียบการวัดสเปกตรัมโดยวิธีทั้งสองวิธี โดยแยกตามค่าความสะท้อน (Reflectance) ของช่วงคลื่นที่ใช้ในสมการทำนายมวลแห้ง โดยค่าทางสถิติจะวัดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation Coefficient – R) และค่าเอนเอียง (Bias) ซึ่งค่าทั้งสองนี้คำนวณได้จากสมการที่ 4.1) และ 4.2) ตามลำดับ

$$R = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (4.1)$$

เมื่อ \bar{x}_i เป็นค่าความสะท้อนที่วัดได้จากชุดต้นแบบของมะม่วงลูกที่ i

\bar{y} เป็นค่าเฉลี่ยความสะท้อนที่วัดได้จากการคัดแยกโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบ

\bar{x}_i เป็นค่าความสะท้อนที่วัดได้จากการคัดแยกโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบของมะม่วงลูกที่ i

$$Bias = \frac{\sum d_i}{n} \quad 4.2)$$

เมื่อ d_i เป็นค่าความแตกต่างระหว่าง Y_i และ X_i

n เป็นจำนวนมะม่วงที่ใช้

จากการเก็บค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยมือและเครื่องชุดต้นแบบ นำมาคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์กันระหว่างการวัดทั้งสองแบบ ที่ความยาวที่ต้องการคือ ที่ 794 874 903 และ 1000 นาโนเมตร จากตารางที่ 4.1 พบว่าในแต่ละความยาวคลื่นมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติของการเปรียบเทียบการวัดสเปกตรัมตามช่วงคลื่น

ช่วงคลื่นที่ใช้	ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์	ค่าเบี่ยงเบน
R ₇₉₄	2.36	0.11
R ₈₇₄	2.37	0.09
R ₉₀₆	2.38	0.07
R ₁₀₀₀	2.53	0.03

หลังจากนำค่าสเปกตรัมที่ได้จากการวัดผลมะม่วงด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 มาทำนายค่าน้ำหนักแห้งด้วยสูตรตามสมการที่ 4.3) หาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เทียบกับค่าน้ำหนักแห้งที่ได้จากการสุ่มมะม่วง ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติของการเปรียบเทียบค่ามวลแห้งโดยวิธีการทั้งสองวิธี โดยจะวัดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ และค่าเอนเอียงของมวลแห้งที่เกิดจากการทำนายด้วยสมการ 4.3) พบว่าค่าเบี่ยงเบนของค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสูตรเทียบกับน้ำหนักแห้งที่มาจากสุ่มผลมะม่วงมาวัดจริงมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าเบี่ยงเบนที่สูงมากถึง 76.99

$$DM = 22.47 - 1497.35d^2 \log\left(\frac{1}{R_{906}}\right) + 3795.96d^2 \log\left(\frac{1}{R_{874}}\right) - 655.45d^2 \log\left(\frac{1}{R_{794}}\right) - 485.38d^2 \log\left(\frac{1}{R_{1000}}\right) \quad 4.3)$$

เมื่อ R_x เป็นค่าความสะท้อนที่ช่วงคลื่น x นาโนเมตร

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตลาดเคลื่อนทางสถิติของมวลแห้งที่ได้จากการทำเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

	ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์	ค่าเบี่ยงเบน
มวลแห้ง	1.83	76.99

4.2 ผลกระทบต่อการวัดคุณภาพมะม่วงของชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง

ในการทดลองนี้จะใช้มะม่วงจำนวน 100 ลูก วัดสเปกตรัมโดยผ่านชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง และไม่ผ่านชุดต้นแบบ และนำค่าสเปกตรัมที่ได้มาคำนวณหาคุณภาพของมะม่วงโดยใช้สมการ 4.4) โดยค่าบrixจะคำนวณจากสมการ 4.5) และจะทำการคัดแยกโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบสายจัดเรียงที่พัฒนาขึ้นด้วย เพื่อประเมินผลกระทบของการนำชุดต้นแบบมาใช้ต่อการวัดคุณภาพมะม่วง

ในตารางที่ 4.3 แสดงค่าตลาดเคลื่อนทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าบrixทำนายโดยวิธีการทั้งสองวิธีโดยค่าบrixจะคำนวณจากสเปกตรัมช่วงคลื่นต่างๆในหัวข้อที่ 4.1 และใช้สมการ 4.4) ในการคำนวณค่าบrixทำนาย และแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีมีค่าบrixที่ได้จากการคำนวณไปในแนวเดียวกันแต่ยังมีค่าเบี่ยงเบนสูงถึง 0.44

$$Brix = 14.76 + 0.81DM_C \quad (4.4)$$

เมื่อ DM_C เป็นค่ามวลแห้งจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ถูกปรับหน่วยแล้ว

$$Quality = \begin{cases} 3, & \text{if } Brix < 14.15 \\ 2, & \text{if } 14.15 \leq Brix < 15.67 \\ 1, & \text{if } Brix \geq 15.67 \end{cases} \quad (4.5)$$

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าตลาดเคลื่อนทางสถิติของค่าบrixทำนาย

	ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์	ค่าเบี่ยงเบน
ค่าบrixทำนาย	0.91	0.44

ในตารางที่ 4.4 ได้แสดงค่าตลาดเคลื่อนทางสถิติของการเปรียบเทียบคุณภาพมะม่วงที่ได้โดยวิธีทั้งสองวิธี โดยคุณภาพแบ่งออกเป็นสามช่วงคือ ยอดเยี่ยม พอใช้ได้ และใช้ไม่ได้ หรือ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

โดยค่าบรีกซ์ทำนายที่คลาดเคลื่อนไปเนื่องจากชุดต้นแบบอาจส่งผลให้ระดับคุณภาพคลาดเคลื่อนไปด้วย ดังนั้นในตารางที่ 4.4 จะรายงานจำนวนของมะม่วงที่ระดับคุณภาพเท่ากันจากการวัดคุณภาพทั้งสองวิธี และจำนวนของมะม่วงที่ระดับคุณภาพคลาดเคลื่อนไปเป็นคุณภาพระดับอื่น โดยใช้ระดับคุณภาพจากวิธีการวัด โดยไม่ผ่านชุดต้นแบบเป็นเกณฑ์ จากตารางแสดงผลของการคัดเลือกคุณภาพของมะม่วงโดยใช้ค่าเปคตรัมที่ได้จากการวัดที่ไม่ผ่านชุดต้นแบบ ซึ่งในการคัดเลือกแยกได้ออกมาได้เป็น 20 ผล เป็นคุณภาพยอดเยี่ยมและอีก 80 ผลเป็นคุณภาพพอใช้ได้ ส่วนในการคัดแยกคุณภาพที่คำนวณจากค่าสเปคตรัมที่ได้จากการวัดที่ผ่านชุดต้นแบบก็แยกได้ออกเป็น คุณภาพยอดเยี่ยม 10 ผล พอใช้ได้อีก 66 ผล และไม่พบว่ามีในระดับใช้ไม่ได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดในระดับคุณภาพยอดเยี่ยมที่เข้าไปอยู่ในระดับพอใช้ได้ 10 ผล และในระดับคุณภาพใช้ไม่ได้ 0 ผล ส่วนในระดับคุณภาพพอใช้ได้พบที่มีความคลาดเคลื่อนในการคัดเลือกผลพบว่ามีคุณภาพคลาดเคลื่อนขึ้นมาอยู่ในระดับ ยอดเยี่ยม 14 ผล และไม่พบความคลาดเคลื่อนในระดับใช้ไม่ได้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติของคุณภาพมะม่วง

คุณภาพโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบ	จำนวนคุณภาพไม่แตกต่าง	ความคลาดเคลื่อน
1 (จำนวน 20 ผล)	10	คัดแยกได้ระดับ 2 = 10
		คัดแยกได้ระดับ 3 = 0
2 (จำนวน 80 ผล)	66	คัดแยกได้ระดับ 1 = 14
		คัดแยกได้ระดับ 3 = 0
3 (จำนวน 0 ผล)	-	คัดแยกได้ระดับ 1 = -
		คัดแยกได้ระดับ 3 = -

4.3 การวัดคุณภาพทางเคมีของมะม่วงหลังสุก

ในการทดลองนี้จะใช้มะม่วงจำนวน 90 ลูกหลังจากวัดค่าสเปคตรัมแล้วมาบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำมาวัดด้วยเครื่อง Refractrometer เพื่อหาค่าบรีกซ์ของมะม่วง และทำการเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับค่าบรีกซ์ทำนายที่ได้จากสมการ 4.5) ของทั้งการคัดแยกด้วยชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วง การคัดแยกโดยไม่ผ่านชุดต้นแบบสายจัดเรียง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าบรีกซ์ที่คำนวณได้จากการวัดสเปกตรัมทั้งการใช้ชุดต้นแบบและไม่ใช้เทียบกับค่าบรีกซ์ที่วัดได้ทางเคมี ในตารางที่ 4.5 แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าบรีกซ์ทำนายและค่าบรีกซ์ทางเคมี โดยค่าที่ได้ทั้งจากใช้ชุดต้นแบบและไม่ใช้มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้ทางเคมีใกล้เคียงกัน และมีค่าเบี่ยงเบนที่สูงมากทั้ง 2 วิธีเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสถิติของค่าบรีกซ์ทำนาย

	ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์	ค่าเบี่ยงเบน
ค่าบรีกซ์ทำนายจากชุดต้นแบบ	2.30	5.02
ค่าบรีกซ์ทำนายโดยไม่ใช้ชุดต้นแบบ	2.31	5.03

4.4 วิจารณ์ผลการทดลองและข้อสังเกต

ในการทดลองวัดสเปกตรัมของผลมะม่วงด้วยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 โดยการวัดด้วยมือและชุดต้นแบบแล้ว พบว่าขณะวัดสเปกตรัมผลมะม่วงด้วยชุดสายจัดเรียง จุดสัมผัสระหว่างผลกับหัวอ่าน บางผลไม่แนบและมีตำแหน่งที่แตกต่างกัน เนื่องจากผลมะม่วงมีรูปทรง จุดโค้งจุดนูนที่แตกต่างกันและขนาดของผลที่ไม่แน่นอน ซึ่งต่างจากการใช้มือซึ่งสามารถควบคุมจุดที่สัมผัสได้คงที่กว่า แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติในช่วงคลื่นที่สนใจตามตารางที่ 4.1 พบว่าการใช้ชุดต้นแบบมีค่าการเบี่ยงเบนต่างจากการวัดด้วยมือเพียงเล็กน้อย

หลังจากทำการวัดสเปกตรัมแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาหน้าหนักแห้งของเนื้อผลโดยใช้สูตรเทียบกับการหาค่าโดยการชั่งน้ำหนักซึ่งพบว่ามีค่าเบี่ยงเบนสูงถึง 76.99 เพื่อหาค่าที่ได้อ้างอิงในการวัดค่าบรีกซ์ต่อไป จากนั้นนำมะม่วงที่เหลืองบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วันก่อนนำมาวัดค่าบรีกซ์ด้วยเครื่อง Refractrometer พบว่าค่าที่ได้เมื่อนำมาเทียบกับการคำนวณด้วยจากการวัดด้วยสเปกตรัม จากตารางที่ 4.3 มีค่าเบี่ยงเบนที่สูงมากแสดงให้เห็นว่าสูตรที่นำมาใช้ยังมีความแม่นยำที่ต่างจากการวัดด้วย Refractrometer แต่เมื่อนำมาเทียบกันระหว่างวัดด้วยมือและชุดต้นแบบจากตารางที่ 4.5 จะเห็นว่ามีความเบี่ยงเบนที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการวัดด้วยเครื่องหรือวัดด้วยมือมีความเป็นไปได้ที่จะไม่ต่างกัน

5. สรุป

โครงการวิจัย “ชุดต้นแบบสายการจัดเรียงมะม่วง” เป็นงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาชุดต้นแบบสายจัดเรียงมะม่วงตามคุณภาพของมะม่วง โดยใช้ค่าความสะท้อนแสงซึ่งได้มาจากเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมาประเมินคุณภาพมะม่วง ซึ่งผลลัพธ์ของการวิจัยนี้เป็นชุดต้นแบบที่สามารถคัดแยกมะม่วงออกตามคุณภาพได้ 3 ระดับ ซึ่งคุณภาพนี้ได้มาจากการประเมินค่าบรีกซ์ทำนาย ซึ่งได้มาจากการนำค่ามวลแห้งทำนายซึ่งวัดมาจากมะม่วงก่อนการบ่มมาคำนวณ

จากการวิจัย พบว่าชุดต้นแบบสายการจัดเรียงมะม่วงที่พัฒนาขึ้นนี้ มีความแม่นยำในการจัดเรียงและคัดแยกมะม่วงตามคุณภาพใกล้เคียงกับการวัดด้วยเครื่อง FT-20 แบบไม่ผ่านเครื่องต้นแบบดังรายละเอียดที่ได้นำเสนอในบทที่ 4

อย่างไรก็ตามในโครงการนี้ ยังมีอุปสรรคในแง่ของเครื่องมือและอุปกรณ์การทำเนียร์ลิเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี FT-20 ซึ่งจำเป็นต้องแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลง เนื่องจากในการใช้งานปกติซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดต้นแบบสายจัดเรียง เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 นี้ จะทำงานโดยการอ่านค่าการดูดกลืนแสงของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ และบันทึกผลลงใน PC-Card เมื่อต้องการนำผลลัพธ์ไปประมวลผลต่อ เช่น นำไปวิเคราะห์ หรือนำไปบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ จะต้องทำการเปิดฝาข้างของตัวเครื่อง และนำ PC-Card ไปใส่ในเครื่องอ่าน PC-Card ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยแสดงรูปของการถอด PC-Card ออกเพื่อนำข้อมูล ไปวิเคราะห์ในรูปแบบที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 ภาพถ่ายเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 ส่วนที่ใช้เก็บ PC-Card



รูปที่ 5.2 ภาพถ่ายเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา FT20 แสดงการนำเข้า PC-Card

จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 จะเห็นได้ว่าเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีไม่สามารถสื่อสารกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ เพื่อทำให้เกิดสายจัดเรียงที่ทำงานแบบอัตโนมัติโดยตรงได้ ซึ่ง

ผู้ดำเนินการวิจัยในโครงการนี้ได้ตัดสินใจแก้ไขปัญหาโดยการเปลี่ยนเป้าหมายของสายจัดเรียงจากแบบอัตโนมัติมาเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยกระบวนการในการใช้งานชุดต้นแบบคือ ให้ชุดต้นแบบอ่านข้อมูลการเคลื่อนที่ของมะม่วงที่ผล จากนั้นให้ผู้ใช้นำ PC-Card ออกจากตัวเครื่อง และนำไปใส่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผล และส่งผลลัพธ์การวิเคราะห์ไปยังชุดอุปกรณ์สายจัดเรียงเพื่อทำการจัดเรียงมะม่วงไปตามคุณภาพที่วิเคราะห์ได้

ทั้งนี้ชุดต้นแบบส่วนอุปกรณ์สายจัดเรียงที่พัฒนาขึ้นจะเน้นให้เป็นแบบแยกส่วน โดยชุดต้นแบบสายจัดเรียงที่พัฒนาขึ้น นอกจากจะใช้งานได้กับเครื่อง FT-20 แล้ว จะสามารถรองรับเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบพกพา ที่สามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์วิเคราะห์คุณภาพได้ในอนาคต

แนวทางในการต่อยอดงานวิจัยชิ้นนี้นอกจากการพัฒนาให้ชุดต้นแบบสามารถทำงานได้ในระดับของชุดต้นแบบระดับอุตสาหกรรม (Industrial Prototype) แล้ว ยังสามารถเปลี่ยนแปลงวิธีการวิเคราะห์คุณภาพมะม่วงจากวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่ใช้ในงานนี้ไปเป็นการวิเคราะห์ทำนายที่อาจแม่นยำขึ้น ซึ่งตัวอย่างวิธีดังกล่าวได้แก่ การทำนายด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) [7] การทำนายด้วย KNN (k-nearest Neighbor) [8] หรือการจำแนกแบบความสัมพันธ์ (Associative Classification) [9] เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Saranwong, S. (2003). Nondestructive determination of harvesting maturity of mango for fresh consuming by near infrared spectroscopy, Ph.D. thesis. Chiang Mai University.

[2] Kawano, S. (2002). Sampling and sample representation. in H.W. Siesler, Y. Ozaki, S. Kawata, H.M. Heise (Eds.), Near Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications (pp. 115-124), Weinheim: Wiley-VCH.

[3] Kawano, S. (1995). Progress in application of NIR and FT-IR in food characterization. in A.G. Gaonkar (Ed.), Characterization of Food: Emerging Methods (pp. 185-199), Amsterdam: Elsevier Science B.V.

[4] Iwamoto, M., Uozumi, J. Nishinari, K. (1987). Preliminary investigation of the state of water in foods by near infrared spectroscopy. In Near Infrared Diffuse Reflectance/Transmittance Spectroscopy: Proceeding of the International NIR/NIT Conference (pp. 3-12), Budapest: Akadémiai Kiadó.

[5] Abe, H., Kusama, T., Kawano, S., Iwamoto, M. (1995). Analysis of hydrogen bonds in water using spectrum decomposition technique applied to near-infrared absorption spectra. Bunkou-kenkyo (J. Spectrosc. Sc. Jpn.), 44, 253.

[6] Stallings, W. (2006). Computer Organization and Architecture: Designing for Performance. Prentice Hall.

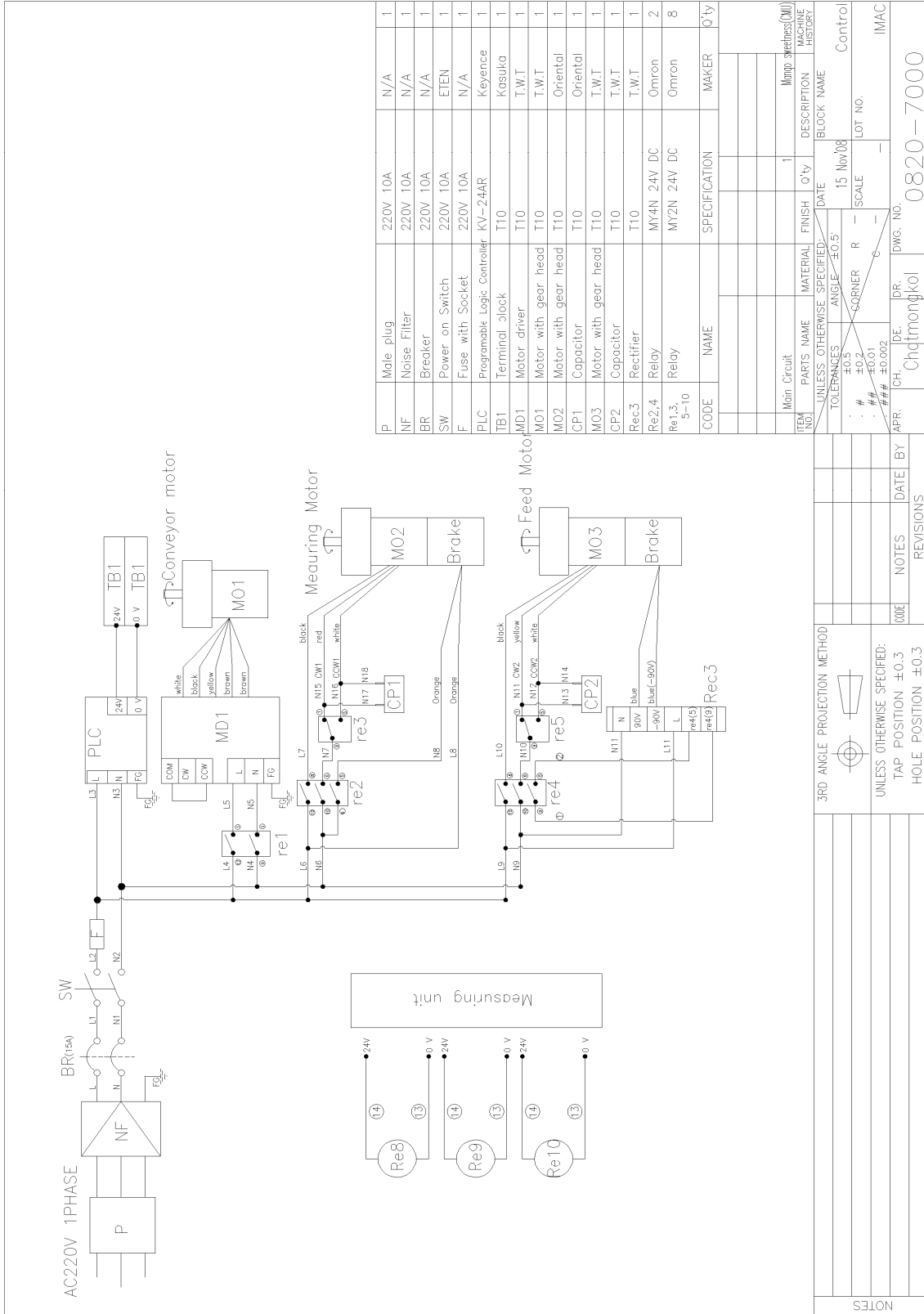
[7] Unay, D., Gosselin B., Debeir, O. (2006). Apple Stem and Calyx Recognition by Decision Trees, In Proceedings of Visualization, Imaging, and Image Processing (pp. 94-113), Palma De Mallorca, Spain.

[8] Chinchuluun, R., Lee, W. S., Bhorania, J., Pardalos, P. M. (2009). Clustering and Classification Algorithms in Food and Agricultural Applications: A Survey, Advances in Modeling Agricultural Systems (pp. 1-22).

- [9] Li, J. (2006). Robust Rule-Based Prediction, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 18, no. 8 (pp. 1043-1054).

ภาคผนวก ก.

ก.1 แผนผังอุปกรณ์ไฟฟ้าและมอเตอร์ต้นกำลัง



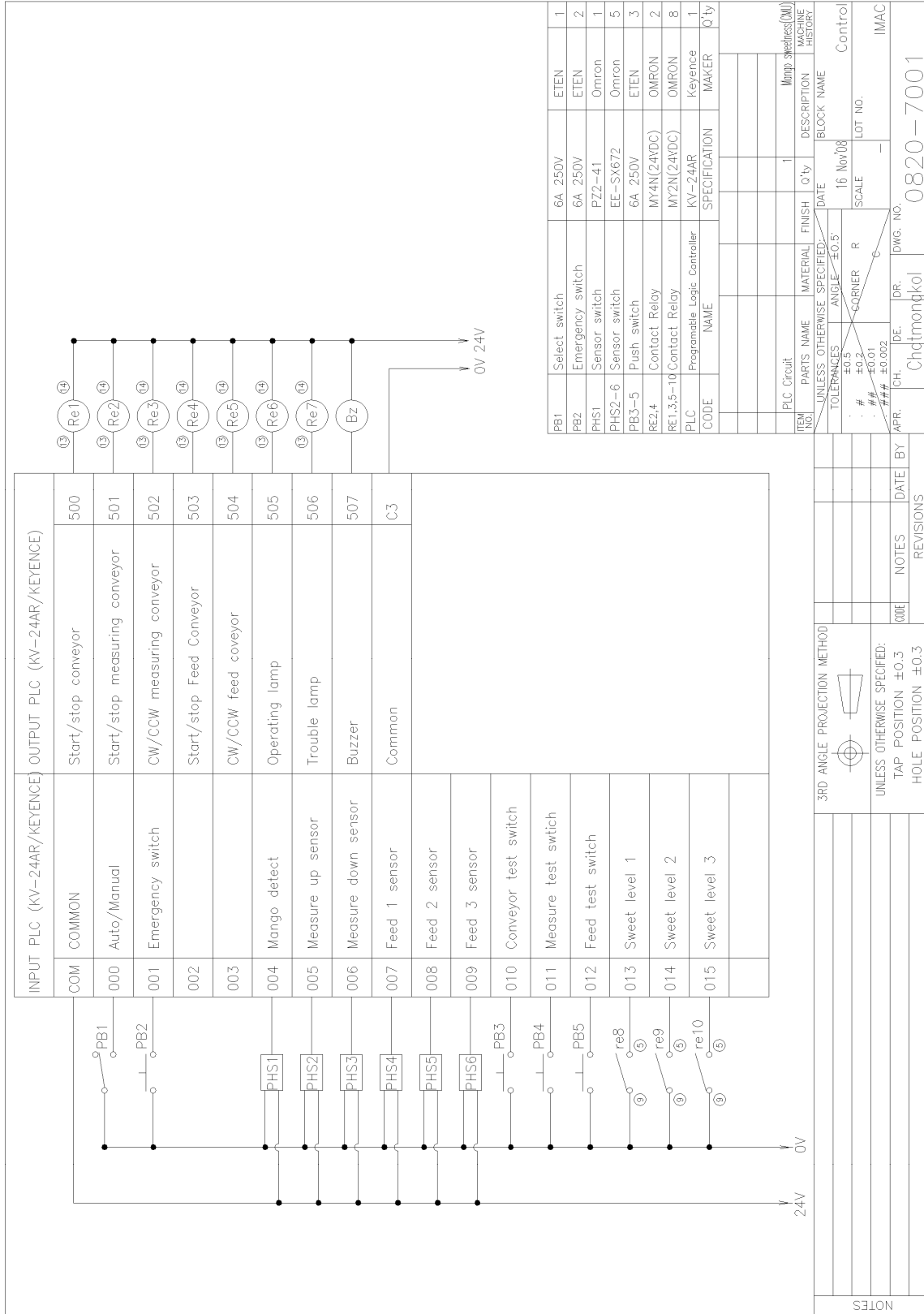
ITEM NO.	MAIN CIRCUIT	PARTS NAME	MATERIAL	FINISH	Q'ty	DESCRIPTION	BLOCK NAME
P		Male plug			1		
NF		Noise Filter			1		
BR		Breaker			1		
SW		Power on Switch			1		
F		Fuse with Socket			1		
PLC		Programmable Logic Controller	KV-24AR		1	Keyence	
TB1		Terminal block			1	Kasuka	
MD1		Motor driver			1	T.W.T	
MO1		Motor with gear head			1	T.W.T	
MO2		Motor with gear head			1	Oriental	
CP1		Capacitor			1	Oriental	
MO3		Motor with gear head			1	T.W.T	
CP2		Capacitor			1	T.W.T	
Rec3		Rectifier			1	T.W.T	
Re2,4		Relay	MY4N 24V DC		2	Omron	
Re1,3,5-10		Relay	MY2N 24V DC		8	Omron	
CODE		NAME	SPECIFICATION	MAKER	Q'ty		

APR.	CH.	DE.	IPR.	DWG. NO.
				0820-7000

REVISIONS	DATE	BY	NOTES

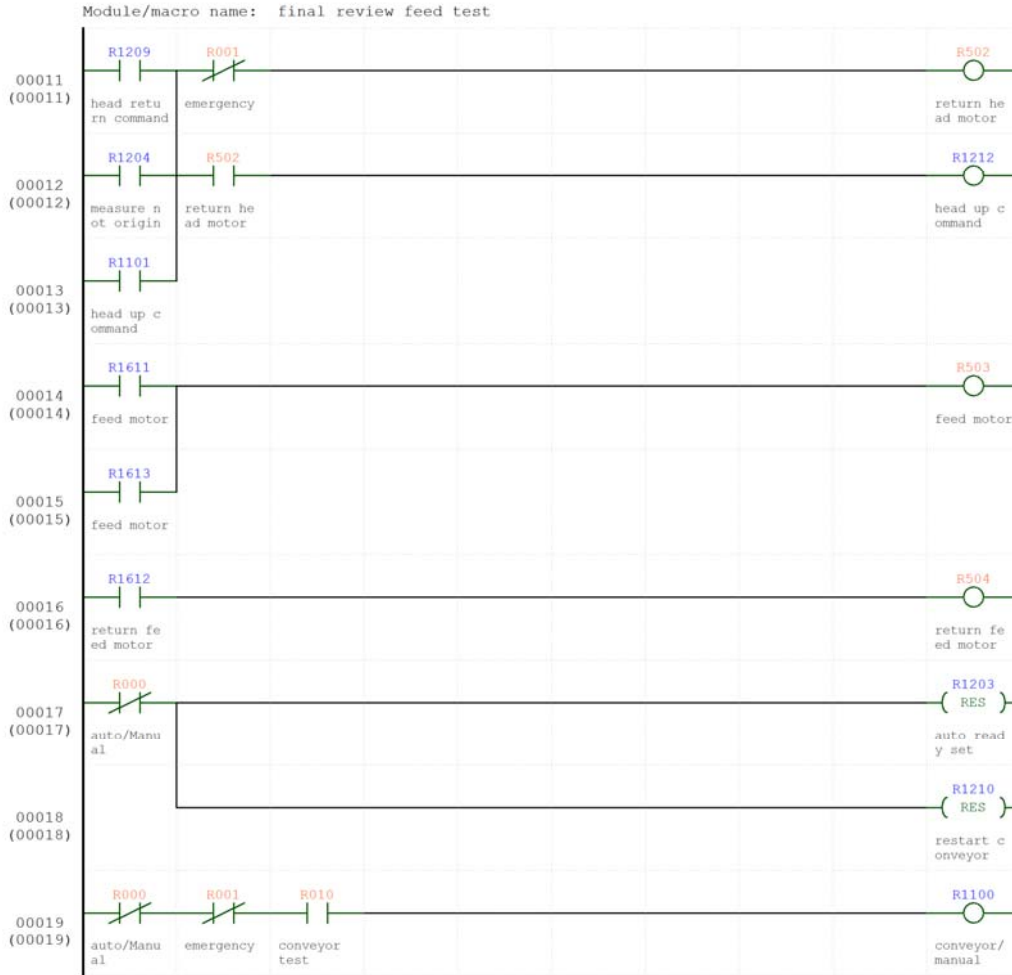
3RD ANGLE PROJECTION METHOD
 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 TAP POSITION ± 0.3
 HOLE POSITION ± 0.3

ก.2 แผนผังอุปกรณ์ควบคุม



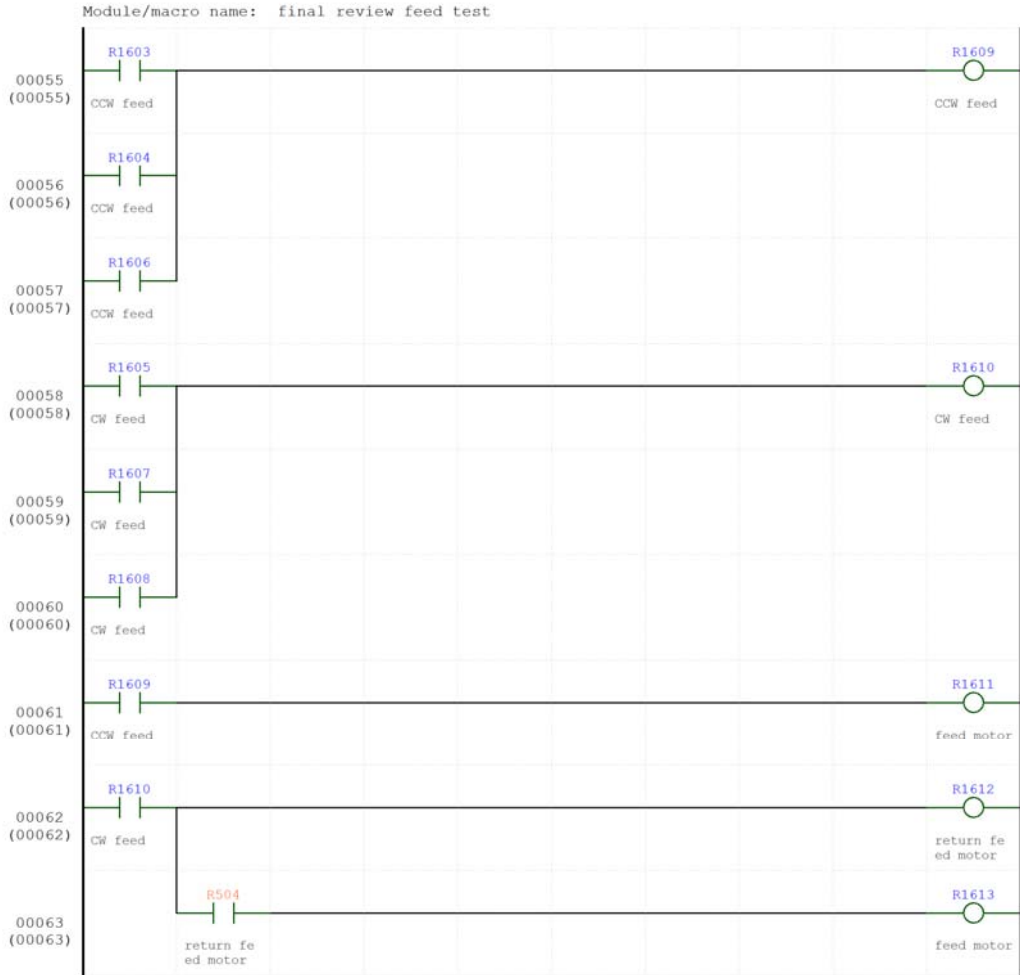
NOTES

[Ladder diagram]



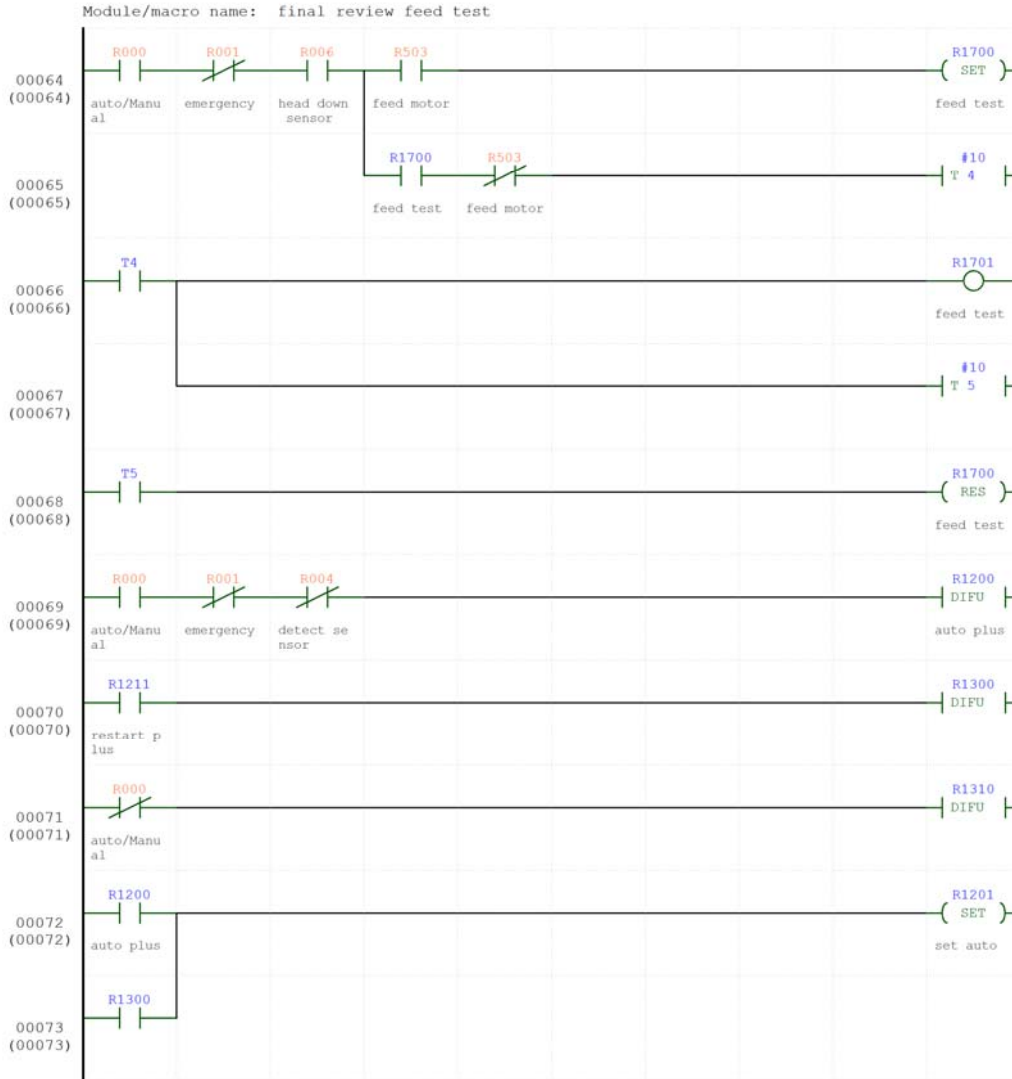
R502	R1212	R503	R504	R1203	R1210	R1100					
A 00012	A 00009	A 00064	A 00063	< 00017	A 00006	A 00007					
A 00026		B 00065		> 00075	< 00018						
B 00027				A 00076	< 00079						
				B 00077	> 00096						
				A 00080	A 00097						
				A 00082	A 00098						
				A 00085	< 00106						
				A 00087							
				A 00096							
				< 00098							
				...							

[Ladder diagram]



R1609	R1610	R1611	R1612	R1613						
A 00061	A 00062	A 00014	A 00016	A 00015						

[Ladder diagram]



R1700	T4	R1701	T5	R1200	R1300	R1310	R1201				
> 00064	A 00066	A 00094	A 00068	00069	00070	00071	> 00072				
A 00065				A 00072	A 00073	A 00101	A 00074				
< 00068							< 00076				
< 00095							A 00077				
< 00107							< 00100				

ก.4 คำสั่งโปรแกรมสำหรับ Microcontroller

```

;PROGRAM NIR SERIAL2RELAY
;WRITTEN BY : SOMCHAI PATTANA
;REVISION 3
;TARGET BOARD : V-C2051M V2.0 WITH MCU 89LP4052
;17-MAR-2009

;===== DEFINE PORT ADDRESS =====
;RELAY OUTPUT BY 12 BITS PORT
REL1 BIT P1.2
REL2 BIT P1.3
REL3 BIT P1.4

;===== DEFINE BIT DATA ADDRESS =====

;===== DEFINE INTERNAL RAM DATA ADDRESS =====
INPUT EQU 40H
P1M0 EQU 0C2H ; Port-1 Mode:0 Register
P1M1 EQU 0C3H ; Port-1 Mode:1 Register
P3M0 EQU 0C6H ; Port-3 Mode:0 Register
P3M1 EQU 0C7H ; Port-3 Mode:1 Register

ORG 0H

JMP MAIN

ORG 30H

MAIN: ;MAIN PROGRAM
CLR EA ;DISABLE ALL INTERRUPT
MOV P1M0,#00000000B ; P1 = Quasi-bidirectional
MOV P1M1,#00000000B
MOV P3M0,#00000000B ; P3 = Quasi-bidirectional
MOV P3M1,#00000000B
MOV SP,#60H ;MOVE STACK TO ADDRESS 60H
CALL INIT_SERIAL ;INITIAL SERIAL COMMUNICATION
JMP LOOP

LOOP: ;LOOP ROUTINE
LOOP0:
CALL READ_RS232 ;READ COMMAND FROM SERIAL PORT
JNZ COMMAND
JMP LOOP
COMMAND:
LOOP01:
CJNE A,#'1',LOOP02 ;COMMAND 1
MOV INPUT,A
CLR REL1 ;RELAY1 ON
CALL MS_500
SETB REL1 ;RELAY1 OFF
MOV A,INPUT
CALL SEND_ASCII
CLR RI ;CLEAR RS232 BUFFER
JMP LOOP
LOOP02:
CJNE A,#'2',LOOP03 ;COMMAND 2
MOV INPUT,A
CLR REL2 ;RELAY2 ON
CALL MS_500
SETB REL2 ;RELAY2 OFF
MOV A,INPUT
CALL SEND_ASCII
CLR RI ;CLEAR RS232 BUFFER
JMP LOOP

```

```

LOOP03:
  CJNE  A,#'3',LOOP      ;COMMAND 3
  MOV   INPUT,A
  CLR   REL3              ;RELAY3 ON
  CALL  MS_500
  SETB  REL3              ;RELAY3 OFF
  MOV   A,INPUT
  CALL  SEND_ASCII
  CLR   RI                 ;CLEAR RS232 BUFFER
  JMP   LOOP

; ***** DELAY SUB *****
ONE_MS:                                ;DELAY 1 MILLISEC
  PUSH  00                    ;2 MC
  PUSH  01                    ;2 MC
  MOV   R0,#8                 ;1 MC
MS1_1:
  MOV   R1,#113               ;1 MC
  DJNZ  R1,$                  ;2x113 = 226 MC
  DJNZ  R0,MS1_1              ;8x229 = 1832 MC
  POP   01                    ;2 MC
  POP   00                    ;2 MC
  RET                           ;2 MC

MS_500:                                ;DELAY 0.5 SEC
  PUSH  01
  PUSH  02
  MOV   R1,#12
MS500_1:
  MOV   R2,#250
MS500_2:
  CALL  ONE_MS                ;DELAY 1 MILLISEC
  DJNZ  R2,MS500_2
  DJNZ  R1,MS500_1
  POP   02
  POP   01
  RET

;===== SUB ROUTINE FOR COMMUNICATION WITH RS232 =====
INIT_SERIAL:                            ;FOR 89LP4052
  MOV   SCON,#50H             ;MODE #1, 8-BIT UART
  MOV   TMOD,#20H             ;TIMER1, MODE 2, 8-BIT AUTO RELOAD
  MOV   TH1,#0DCH             ;AUTO RELOAD VALUE FOR 9600 BPS
  SETB  TR1
  RET

READ_RS232:
  JNB   RI,NODATA
  MOV   A,SBUF
  CLR   RI
  RET
NODATA:
  CLR   A
  RET

SEND_ASCII:                              ;IN ACC
  MOV   SBUF,A
  JNB   TI,$                  ;WAIT UNTIL SENT DATA FINISH
  CLR   TI
  RET

END_PROGRAM:
  NOP
  END

```