การประยุกต์โปรแกรมแลบวิวสำหรับการตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู.เอช.ที.บรรจุกล่องแบบไม่ทำลาย

LabVIEW Application for Non-Destructive Detection of the Abnormal U. H. T. Milk Product Packed in Brick-Type Packages

ณัฐดนัย ตัณฑวิรุฬห์ [1*] ***และ สุวรรณ หอมหวล*** [1]

Natdanai Tantawiroon[1*] *and Suwan Homhual*[1]

ABSTRACT

This research was to apply LabVIEW 7.0 program for evaluating the vibrated spring signal obtained from optical encoder for non-destructive detection of the abnormal U. H. T. milk product packed in brick-type cartons, which the spring movement performed in free vibration with viscous damper in under damping system concept. Because of the quality inside cartons presenting as normal or abnormal product can perform in different movement, thus it brought to differ in viscous damper value. The experimental of this research, using mainboard and CPU (Pentium Dual Core 2.0 GHz) with Windows operating system, found that the ability in separation of the curd or more fat milk and normal milk among 6600 samples gave 99.92% of correction at the capacity rate of 20 boxes per minute.

Key words: U. H. T. milk, LabVIEW 7.0, free vibration, curd

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์โปรแกรม LabVIEW 7.0 มาใช้ในการรับและประมวลผลสัญญาณการสั่นของสปริงซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเครื่องตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นม ยู. เอช. ที. บรรจุกล่องขั้นสุดท้ายแบบไม่ทำลาย สปริงสั่นแบบเสรีมีตัวหน่วงชนิดของเหลวหนืดกรณีการหน่ วงต่ำ (underdamped free vibration) โดยการสั่นนี้เป็นผลให้ลั กษณะการเคลื่อนที่ของนมภายในกล่องต่างกัน เมื่อน้ำนมมีคุณภาพหรือการจับตัวกันเป็นก้อน (curd) ของน้ำนมต่างกัน ทำให้การต้านการเคลื่อนที่ของน้ำนมภายในกล่อง หรือค่าตัวหน่วงการสั่นต่างกัน ผลการทดสอบกับนมบรรจุกล่องตัวอย่าง 6,600 กล่อง จากการวิเคราะห์การสั่นโดยการวัดมุมที่ optical encoder โดยใช้เมนบอร์ดและตัวประมวลผล Pentium Dual Core 2.0 GHz ระบบปฏิบัติการ Windows พบว่าสามารถแยกได้ถูกต้อง 99.92 เปอร์เซ็นต์ และอัตราการทำงานเฉลี่ย 20 กล่องต่อนาที

คำสำคัญ: นม ยู. เอช. ที. LabVIEW 7.0 สั่นแบบเสรี ก้อน curd

[1*] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม 73140

Mechanical Engineering Dept., Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Nakhonpathom 73140, Thailand.

*Corresponding author: Tel. 034-355-310, Fax. 034-355-310. E-mail address: fengndn@ku.ac.th

บทนำ

นม ยู.เอช.ที. เป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดหนึ่ง เป็นที่ต้องการบริโภคสูงและเป็นที่นิยมเพราะเก็บรักษาได้นานถึง 6 เดือน โดยไม่ต้องแช่เย็น เพราะกระบวนการ ยู .เอช.ที. สามารถฆ่าเชื้อได้ทั้งหมด และสูญเสียคุณค่าทางอา หารน้อย เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนของนม ยู .เอช.ที. นั้นสั้นมาก ที่ความร้อนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ช่วงอุณหภูมิ 140 – 145 องศาเซลเซียส โดยที่แต่ละกระบวนการจะปลอดเชื้อจุลินทรีย์ (Burton, 1988) ทำการบรรจุนม ยู.เอช.ที. ด้วยระบบปลอดเชื้อ แบ่งเป็น 2 ระบบ คือ ระบบของ TetraPak และระบบ Combibloc ซึ่งจะแตกต่างกันในส่วนของ กระดาษที่นำมาใช้ ใน ระบบ TetraPak กระดาษที่ใช้จะเป็นแผ่นม้วน แล้วนำไปขึ้นรูป แต่ ในระบบ Combibloc กระดาษที่นำมาใช้จะขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกมาแล้ว นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างที่สำคัญอีก คือ ระบบการบรรจุแบบ TetraPak จะไม่มีช่องอากาศด้านบน แต่ระบบการบรรจุแบบ Combibloc จะมีช่องอากาศด้านบน (Anonymous, 2005a; ธนัญชัย, 2550) จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตนม ยู .เอช .ที . ทั้งหมดเป็นกระบวนการปิดและปลอดเชื้อ แต่ยังมีโอกาสที่นมเสียได้ สาเหตุสำคัญที่พบ 3 ประการ คือ 1.อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตนั้นต่ำกว่าอุณหภูมิฆ่าเชื้อ 2.เครื่องฆ่าเชื้อไม่มีประสิทธิภาพ และ 3.ทำการบรรจุในสภาพที่ไม่ป ลอดเชื้อ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการผลิตต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก (Donald *et al*., 1984; O'Callaghan *et al*., 1999 and 2000) ทำให้นมเน่าเสียโดยการเสียหรือการเริ่มเสียนี้ ทำให้ เกิดการตกตะกอนของอนุภาคของโปรตีนแล้วจับตัวกันเป็นก้อน (curd) เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านรสชา ติ กลิ่น และ เนื้อสัมผัส (Harding, 1995) ในลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นจึงจำเป็น ต้องตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นม ยู. เอช. ที. ขั้นสุดท้าย เพื่อให้เกิดความมั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่การตรวจสอบผลิตภัณฑ์นม ยู. เอช. ที. ขั้นสุดท้ายนั้นกระทำได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิท ดังนั้นการตรวจสอบจึงจำเป็น ที่จะต้องเปิดบรรจุภัณฑ์ ทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ ปัจ จุบันมีการใช้เครื่องตรวจสอบผลิตภัณฑ์นม ยู. เอช. ที. แบบไม่ทำลาย คือ ไม่ต้องเปิดกล่อง มี ชื่อทางการค้า ว่า ElecTester ใช้หลักการให้ขดลวดเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเกิดการสั่นสะเทือน เนื่องจากนมที่เสียนั้นจะมีการจับตัวเป็นก้อน (curd) ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำนมในกล่องเปลี่ยนไป ทราบโดยการวัดค่า ความหน่วง (damping) ของการสั่น ของตัวอย่างนมกล่อง ทำให้กำหนดได้ว่าเป็นนมปกติ หรือนมเสีย (Anonymous, 2005b) ทำให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่ง กับงานรับ ประกันคุณภาพ และลดความสูญเสียของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากการตรวจคุณภาพแบบทำลาย อย่างไรก็ตามได้ มีการพัฒนาและวิจัยโดยใช้หลักการการกำเนิดการสั่นที่ต่างกัน ทดสอบโดย หลักการสั่นแบบอิสระ และใช้ Transducer สำหรับวัดค่าความเร่งที่เปลี่ยนไป (สุวรรณ และจีรศักดิ์, 2548; จีรศักดิ์, 2548) ผลการทดสอบพบว่า สามารถแยกนมปกติ และนมที่เสียออกจากกันได้ทั้งหมด โดยอาศัยคุ ณสมบัติการสั่นสะเทือนทำให้นมในกล่องเกิดการเคลื่อนที่ และเมื่อนม ยู .เอช. ที. เกิดการบูดเน่า และเป็น Curd นมเกิดการจับตัวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ภายในกล่องเปลี่ยนไป โดยใช้ตัวรับสัญญาณที่ไม่มีผลกระทบต่อการสั่นสะเทือ น หรือมีผลกระทบน้อยที่สุดเพื่อ ให้เหลือแต่ค่าการ สั่นสะเทือนของนมเท่านั้น สุวรรณ และคณะ (2549) ได้พัฒนาต่อมาในส่วนของการรายงานผลโดยใช้รูปแบบของสัญญาณที่มีความต่างกันระหว่างนมปกติ และนมเสีย มาวิเคราะห์และแปรผลสัญญาณ โดยประยุกต์กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และกับ A/D การ์ด และโปรแกรม Visual Basic ให้มีความสามารถ ในการทำงานแบบรายงานผลโดยตรง (On – line) เพื่อให้

สามารถทราบผลคุณภาพของนม ยู .เอช.ที. ได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพ ของเครื่องตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ นมยู. เอช. ที. บรรจุกล่องขั้นสุดท้ายแบบไม่ทำลายโดยการใช้ encoder และการ์ด DAQ (data acquisition card) ที่มีประสิทธิภาพสูงร่วมกับโปรแกรม LabVIEW 7.0 มาใช้ในการรับและประมวลผลสัญญาณ เนื่องจาก โปรแกรม LabVIEW ของ National Instrument เป็นโปรแกรมภาษารูปภาพ มีการใช้งานที่สะดวก ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่เข้ากับความต้องการได้รวดเร็ว งานวิจัยที่มีการประยุกต์โปรแกรม LabVIEW เช่น Fountain (1992) ได้เสนอการใช้ โปรแกรม LabVIEW มาใช้ในงาน ตรวจวัด เก็บข้อมูล และประมวลผลสัญญาณต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความต่างศักย์บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows หรืองานของ Wu *et al.,* (2008) นำมาใช้ในระบบเฝ้าดูระบบไฮดร อลิกส์ ซึ่งมีต้นทุนถูกกว่าระบบทางอุตสาหกรรม เช่น PLC และมีความยืดหยุ่นสูง Aaron *et al.,* (2002) นำมาใช้กับระบบควบคุมตำแหน่งแบบวงปิด สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการเสนอแนวทางการใช้โปรแกรม LabVIEW มาปรับปรุง เพื่อทำให้ ระบบการต รวจสอบความผิ ดปกติของนมกล่อง มีรูปแบบการรายงานผลและการทำงานได้อย่างต่อเนื่องเทียบได้กับเครื่อง ElecTester ที่ใช้เป็นเครื่องตรวจสอบผลิตภัณฑ์นม ยู. เอช. ที. แบบไม่ทำลาย ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในเชิงพาณิชย์อยู่แล้ว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1.เครื่องตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู. เอช.ที. บรรจุกล่องแบบไม่ทำลาย แสดงดัง Figure 1 ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญดังนี้

1.1 ชุดกำเนิดการสั่นแบบเสรี สำหรับทดสอบตัวอย่างนม ที่ถูกขับด้วยมอเตอร์พร้อมเกียร์ทดไปหมุนขับชุดเฟืองลูกเบี้ยว ทำให้สปริงขดแบบแรงบิดที่อยู่บนเพลาเดียวกับ optical encoder ความละเอียด 1000 ช่อง เกิดการง้างตัวและปล่อยตัว เกิดการสั่นอิสระ

1.2 โฟโต้เซนเซอร์ 2 ตัว สำหรับควบคุมจังหวะการเริ่มเก็บสัญญาณที่ออกจากเอนโคดเดอร์

1.3 การ์ดรับสัญญาณ (DAQ) เชื่อมต่อกับเมนบอร์ด

1.4 จอ LCD แสดงผลของการสั่นจากการประมวลผลว่านมปกติหรือผิดปกติ

1 . 5 สัญญาณไฟเตือน กระพริบ (Indicator lamp)

2. โปรแกรม LabVIEW 7.0

3. โปรแกรม Application Builder (โปรแกรมส่วนขยายใช้งานร่วมกับ LabVIEW)

4. ผลิตภัณฑ์นม ยู.เอช.ที. บรรจุกล่องขนาดต่างๆ สำหรับทดลอง

วิธีการ

1.ทำการ ทดลองใช้ เมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ร่วมกับ การ์ด DAQ รับสัญญาณ (PCI-6221 ของ National Instrument) และเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรม LabVIEW 7.0 และสร้างเป็น executable ด้วย application builder รับ และประมวลผลมุมการหมุนของชุดสั่น ที่ใช้ optical encoder ติดที่ปลายเพลาสั่นในการวัด ความละเอียดของมุมที่วัดได้โดยการคำนวณจากสมการ (1)

$$\text{Rotation angle resolution} = \frac{360}{4 \times \text{Encoder pulse per revolution}} \quad (1)$$

โดยที่ rotation angle resolution คือ ความละเอียดของมุมที่วัดได้ หน่วยเป็นองศาต่อ pulse เมื่อใช้การนับแบบ quadrature (สี่เท่าของจำนวน pulse ต่อรอบของ encoder) สำหรับกรณีงานวิจัยนี้ใช้ความละเอียด 0.09 องศา/pulse การอ่านค่าในแต่ละตัวอย่างใช้

สัญญาณนาฬิกาจากการ์ด DAQ แผนภาพการทำงานของภาครับสัญญาณ มุมการสั่น และภาคโปรแกรมการประมวลผล (Figure 2)

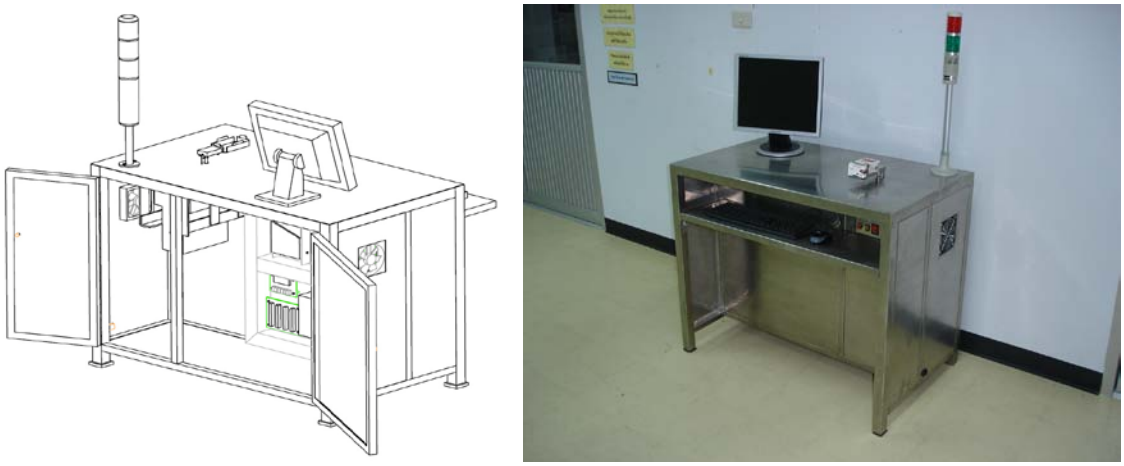

Figure 1 Pictorial view of the instrument for non-destructive detection of the abnormal U. H. T. milk product packed in brick-type packages

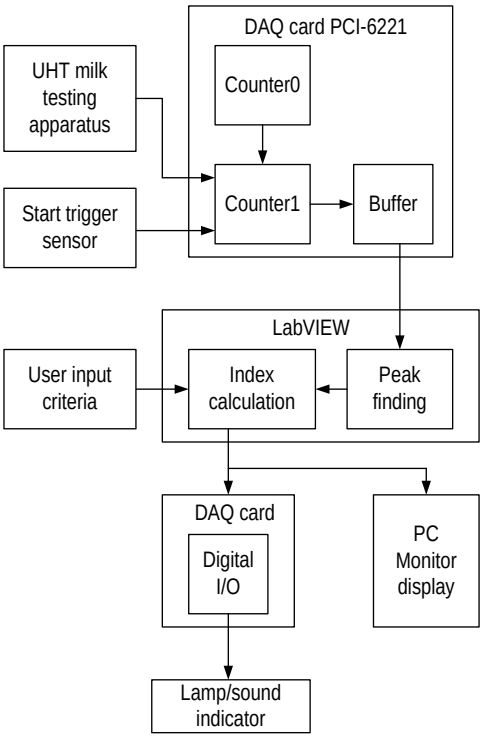

Figure 2 Flow diagram of milk quality detection using LabVIEW, DAQ card and PC

จาก Figure 2 กำหนดให้ Counter 0 กำเนิดสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1000 Hz ให้กับ Counter 1 ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณจาก optical encoder ค่าที่อ่านได้ถูกเก็บไว้บนหน่วยความจำ (buffer) บนการ์ด DAQ การอ่านค่าเริ่มต้นโดยใช้สัญญาณจากตัวตรวจจับวัตถุด้วยแสงซึ่งติดตั้งดังแสดงใน Figure 3 โดยตัวตรวจจับวัตถุจะตรวจจับตัว trigger adjuster ได้เมื่อลูกเบี้ยวง้างสปริงอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นที่ต้องการ

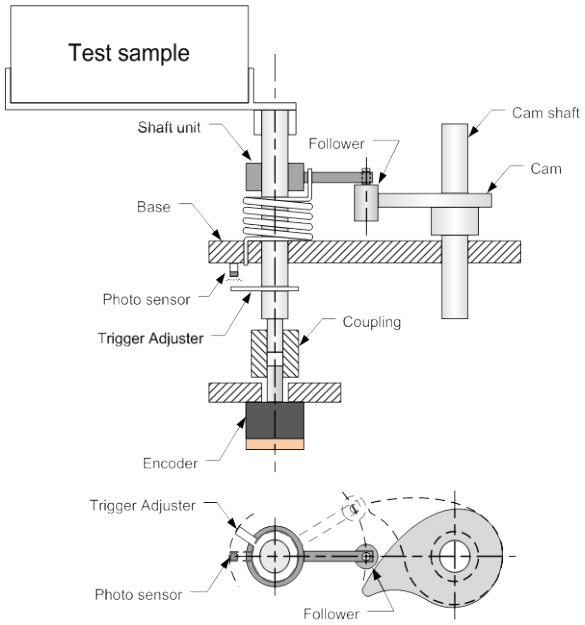

Figure 3 Photo sensor and trigger adjuster arrangement

2. ผลที่ได้นำมาประมวลโดยการหาค่ายอดของการสั่นสองยอดที่ติดกันแล้วนำมาคำนวณเป็นดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติ แสดงดัง Figure 4

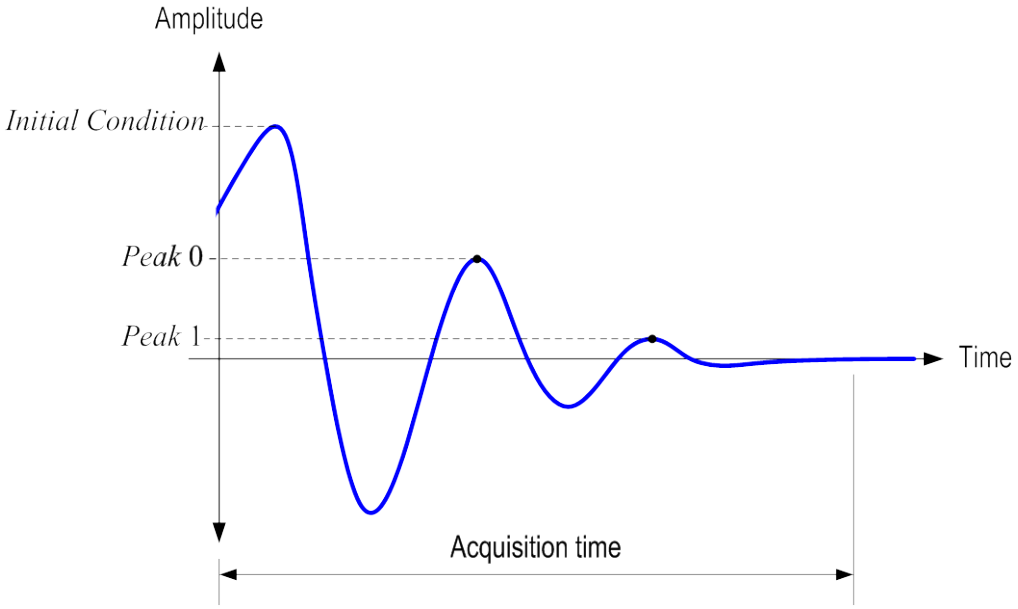

Figure 4 Two adjacent peak values of free vibration response used for abnormal index calculation

จาก Figure 4 จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่อ่านได้แปรผันตามเวลาการสั่นซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยการทดสอบ เช่น ขนาดกล่องนม และความแข็งสปริง สำหรับนมกล่อง UHT ขนาด 250 cc ใช้เวลาการสั่นประมาณ 1.8 วินาที ต่อกล่องหากใช้ความถี่เก็บตัวอย่าง 1000 Hz จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 1800 ตัวอย่าง ส่วนโปรแกรมประมวลผลใช้วงวนที่ไม่ได้ควบคุมเวลาอ่านตัวอย่างจาก buffer ตัวอย่างที่ได้ถูกนำไปประกอบเป็น array

เพื่อให้ได้ผลตอบสนองการสั่นที่สมบูรณ์แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่ายอด เพื่อคำนวณดัชนีบ่งชี้ความผิดปกติจาก

$$\text{Index} = \ln\left(\frac{peak0}{peak1}\right) = \delta \qquad (2)$$

โดย δ คือค่า Logarithmic decrement และค่า peak0 และ peak1 เป็นค่ายอดที่อยู่ถัดกันของผลตอบสนอง ในรูป Figure 4 นำมาหาค่า index ดังสมการ (2) ค่าที่ได้จะเป็นตัวบอกความผิดป กติของนมกล่อง UHT โดยเทียบกับเกณฑ์ (criteria) ที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด หาก index > criteria แปลความหมายทางกายภาพได้ว่าความหน่วงของนมกล่องมีมากกว่าค่าที่กำหนด โปรแกรมจะแจ้งว่ามีความผิดปรกติ หาก index < criteria โปรแกรมจะแจ้งว่าปกติ

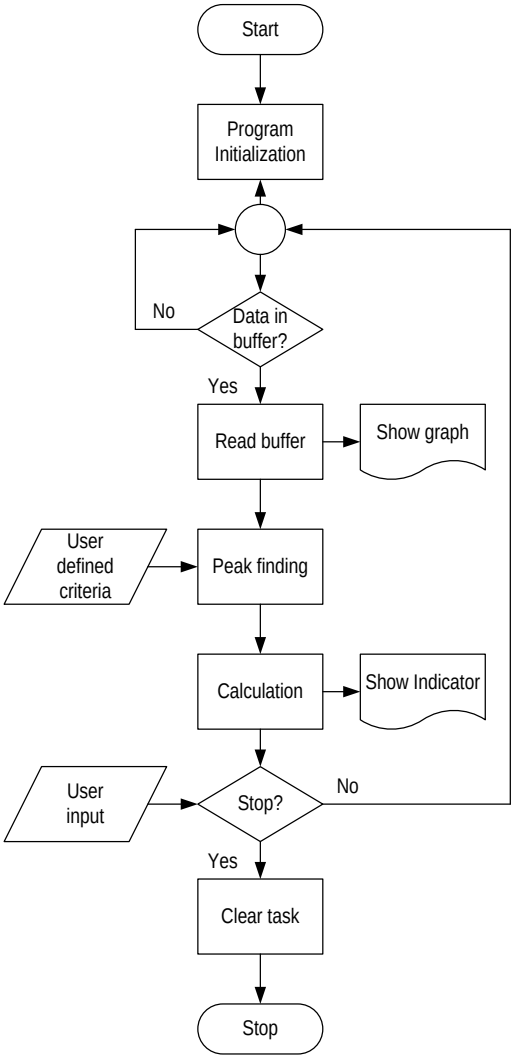

Figure 5 Main loop and abnormal index calculation section

ผลและวิจารณ์

1. สามารถแสดง ขั้นตอนการทำงา นของโปรแกรมที่เขียนโดยใช้โปรแกรม LabVIEW 7.0 ดังแผนภาพ Figure 5 ส่วนหัวของโปรแกรมทำงาน ทำหน้าที่ตั้งค่าเริ่มต้นในแต่ละงานได้แก่ counter 0 counter 1 และตัวรับสัญญาณ trigger หลังจากนั้นสั่งให้เริ่มต้นทำงาน งานในส่วนนี้กระทำบนตัวประมวลผลบนการ์ด DAQ PCI-6221 (Figure 4)

การทำงานบนการ์ด DAQ เริ่มด้วยการตรวจสอบสัญญาณ trigger จากตัวตรวจจับด้วยแสง (photo sensor) จาก Figure 4 counter 1 จะเริ่มนับค่าจาก optical encoder เมื่อได้รับสัญญาณ trigger แล้วแปลงมาเป็นตำแหน่งมุมในการหมุนของหัววัดแล้วเก็บค่าลงใน buffer

ต่อมาโปรแกรมอ่านค่าจาก buffer นำมาสร้างเป็นชุดข้อมูลแบบ array แล้วแสดงผลต่อผู้ใช้งานในรูปแบบกราฟ แล้วคำนวณค่ายอดโดย peak finder นำค่ายอดที่ได้มาคำนวณเป็นดัชนีชี้ความผิดปรกติโดยเทียบกับ criteria ที่กำหนดโดยผู้ใช้ แสดงผลที่ได้เป็นสัญญาณไฟเตือนกระพริบ (indicator lamp) แผนภาพบล็อกแสดงการทำงานของโปรแกรมที่สร้างโดยโปรแกรม LabVIEW แสดงดัง Figure 6

ภาพแสดงหน้าจอเพื่อตอบสนองการทำงานกับผู้ใช้งานของโปรแกรมตรวจสอบความผิดปกติที่สร้างขึ้น (Figure 7) และ ลักษณะผลตอบสนอง ทางเวลาของการสั่นซึ่งเก็บค่าโดยใ ช้โปรแกรมที่สร้างขึ้น (Figure 8) โดยเงื่อนไขเริ่มต้นที่เกิดจากการง้างสปริงด้วยลูกเบี้ยว คือ มุมเริ่มต้นการง้าง (θ_0) เป็น 30 องศา และความเร็วเริ่มต้น $(\dot{\theta}_0)$ มีค่าเป็นศูนย์ เวลาในการเก็บข้อมูล 1.8 วินาที ความถี่การเก็บข้อมูล 1000 Hz

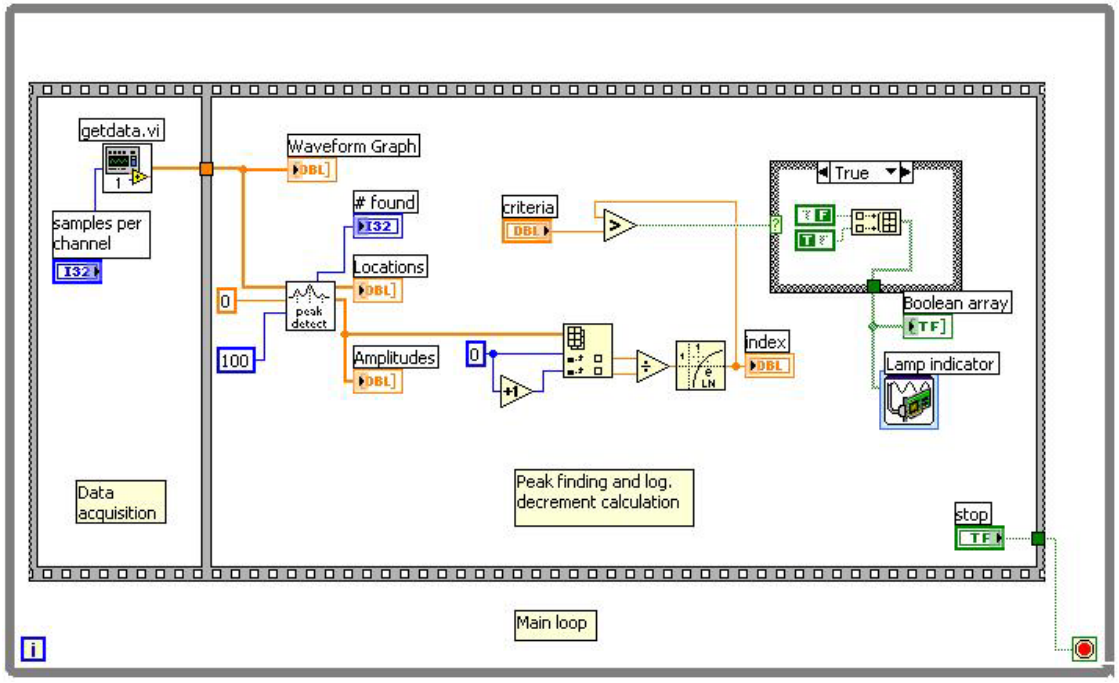

Figure 6 Block diagram of the main loop which consists of peak finding index calculation and lamp status display

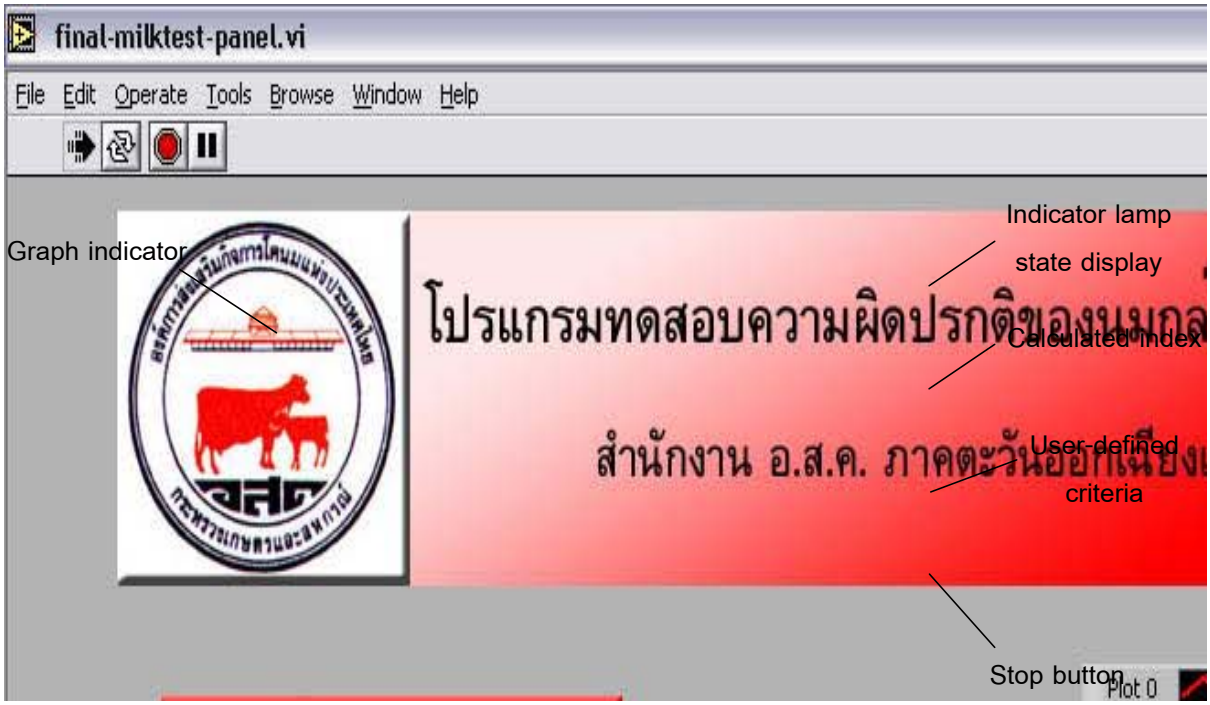

Figure 7 User interface program used in the experiment

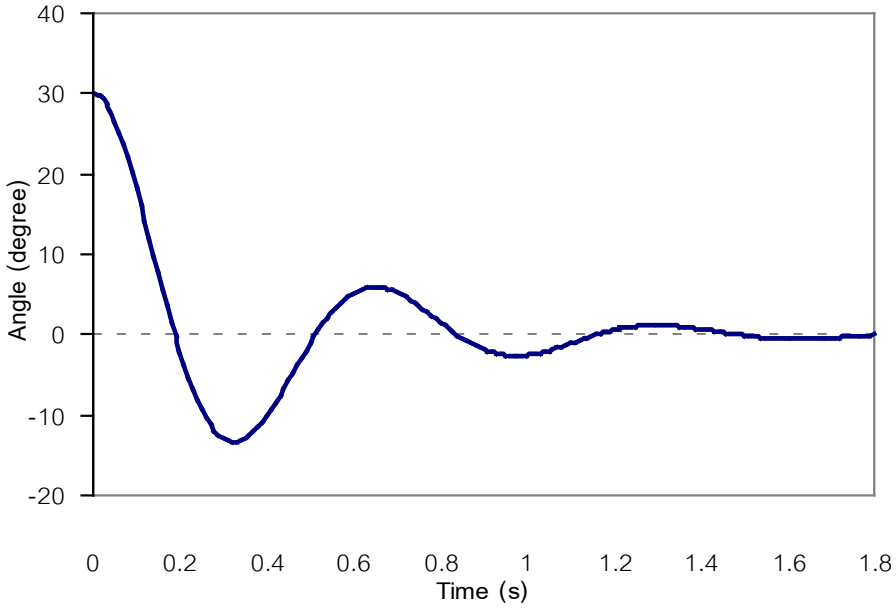

Figure 8 Free vibration response of angular position giving initial angle $\theta_0 = 30^\circ$ and initial angular velocity $\dot{\theta}_0 = 30^\circ$ acquired by written LabVIEW program

2.ทดสอบการทำงานของเครื่องตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู.เอช.ที. ในอุตสาหกรรม

ทดสอบกับนมรสจืดปกติ ขนาด 200 มิลลิลิตร บรรจุแบบ TetraPak จำนวน 6600 ตัวอย่าง แบบต่อเนื่อง ที่อัตราการทำงาน ประมาณ 3 วินาทีต่อกล่อง เครื่องสามารถตรวจพบความ ผิดปกติ 166 ตัวอย่าง และเมื่อทำการ เปิดกล่องนมที่เกิดการผิดปกติทั้งหมด พบว่า ภายในกล่องเป็น นมที่เกิดการจับตัวเป็นก้อน (curd 98) ตัวอย่าง นมที่มีไขมันมากเกินปกติ 63 ตัวอย่าง และมีนมปกติปะปนไป 5 กล่อง ส่วนของนมปกติอีก 6,434 ตัวอย่าง ทำการสุ่ม ตัวอย่างจำนวน 80 ตัวอย่าง (ธนัญชัย, 2550) พบว่าเป็นนมปกติทั้งหมด

ได้ค่าความถูกต้องในการตรวจสอบ คือ 99.92 % ความผิดพลาด 0.08 % คือ นมปกติ 5 กล่องที่ปนมากับกลุ่มของนมผิดปกติทั้งหมดที่เครื่องตรวจได้ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มของนมปกติที่ เครื่อง แยกออกมาจะไม่มีนมผิดปกติปะปนมา ทำให้เครื่อง สามารถทำงานได้ อย่างถูกต้อง 100 % ในการระบุถึงนมปกติ ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกันกับแยกด้วยเครื่อง ElecTester (คือ ไม่มีนมผิดปกติปะปน) แต่ไม่สามารถเปรียบเทียบจำนวนนมปกติที่ปะปนมาอยู่ในส่วนของนมผิดปกติได้เนื่องจากใช้เกณฑ์คำนวณที่ต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของ δ คือ ค่า Logarithmic decrement หรือเกณฑ์ในการระงับนมผิดปกติ สำหรับผลการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้ของเครื่อง ElecTester จากรายการอ้างอิงอื่นๆ นั้น ในปัจจุบันยังไ ม่มีผู้ใดทำการทดลองและตีพิมพ์

สรุปผลการทดลอง

จากการนำโปรแกรม LabVIEW 7.0 มาประยุกต์ในการตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู. เอช. ที. บรรจุกล่อง แบบไม่ทำลาย โดยใช้งานบนคอมพิวเตอร์ที่มีระบบปฏิบัติการ Windows พบว่าสามารถรายงานผล ให้ทราบถึงความผิดปกติได้ภายใน 3 วินาที จากตัวอย่าง ที่ใช้ทดสอบ 6,600 ตัวอย่างโดยเครื่องมีความถูกต้องในการตรวจสอบ 99.92% พิสูจน์จากการเปิดกล่องที่ โปรแกรม รายงานผล แจ้งความผิดปกติทุกกล่องที่สุ่มตรวจจำนวน 166 กล่อง จะเห็นได้ว่าโปรแกรมที่สร้างขึ้นมีความสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติ ของผลิตภัณฑ์นม ยู. เอช. ที. บรรจุกล่องขั้นสุดท้ายแบบไม่ทำลายได้จริง โดยนมปกติที่เครื่องแยกออกมาจะไม่ พบว่ามีนมผิดปกติ ปะปนมาแต่อย่างใด

ขอขอบคุณ สหกรณ์โคนมหนองโพราชบุรี จำกัด (ในพระบรมราชูปถัมภ์) และองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย ภาคตะวันออกเฉียงเห นือ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อวัตถุดิบและสถานที่ในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

จีรศักดิ์ ลี้สมบูรณ์วงศ์. 2548. การพัฒนาเทคนิคแบบไม่ทำลายสำหรับตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู.เอช.ที. บรรจุกล่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนัญชัย พันธ์พิชญ์เสถียร. 2550. เครื่องตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู.เอช.ที. บรรจุกล่องโดยไม่ทำลาย แบบรายงานผลโดยตรง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณ หอมหวล และ จีรศักดิ์ ลี้สมบูรณ์วงศ์. 2548. การพัฒนาเทคนิคตรวจสอบความผิดปกติของนม ยู.เอช.ที. แบบไม่ทำลาย, น.186-187. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 6. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย,กรุงเทพฯ.

สุวรรณ หอมหวล, ณัฐดนัย ตัณฑวิรุฬห์, สวัสดิ์ ภูมิสวัสดิ์, วัชมา โพธิ์ทอง และ เอนก ไกรรอด. 2549. คู่มือเครื่องตรวจความผิดปกติของนม ยู.เอช.ที. หรือผลิตภัณฑ์อาหารเหลวบรรจุกล่องแบบไม่ทำลาย. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Aaron, K.R., Foster, N.L., Hazel, D.P., Hasanul Basher, A.M. 2002. Closed-loop position control system using LabVIEW. SoutheastCon 2002. IEEE Proceedings

Anonymous. 2005a. Filling Machine. Available Source: http://www.sig.biz.

Anonymous. 2005b. ElecTester. Available Source: http://www.elecster.fi/electester.html.

Burton, H. 1988. Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products. Elsevier Applied Science Publ. Co., Inc. New York.

Donald J. M., Brown R. J. and Ernstrom C. A. 1984. Enzymatic Coagulation of Milk Casein Micelles. J. Dairy research. 48: 57 – 63.

Fountain, T. 1992. Engineering for Windows 3. IEE Review. 38:377-379.

Harding, F. 1995. Milk Quality. Chapman & Hall, London. 166 p.

O'Callaghan, D. J., O'Donnell C. P. and Payne F. A. 1999. A comparison of On-line Techniques for Determination of Curd Setting Time Using Cheesemilks under Different Rates of Coagulation. Journal of food Engineering. 41:43 –54.

O'Callaghan, D. J., C. P. O'Donnell and Payne, F.A. 2000. On-line Sensing Techniques for Coagulum Setting in Renneted Milks. Journal of food Engineering. 43:155 –165.

Wu, B., and C. Cai. 2008. Hydraulic Monitoring System Based on LabVIEW Intelligent Information Technology Application, 2008. IITA '08, Second International Symposium on. Dec 2008. 2:254-258.

Received 8 October 2009
Accepted 30 December 2009