

ระบบวัดอัตราการหายใจความไวสูงสำหรับผักและผลไม้สด
High sensitivity respiratory rate measuring system for fresh fruits and vegetables

สุวรรณ เอกรัมย์¹ และ วีระศักดิ์ เลิศศิริโยธิน²
 Suwan Aekrum¹ and Weerasak Lertsiriyothin²

Abstract

This research was focused on the development of highly accurate and sensitive respiratory rate measuring system for fresh fruits and vegetables. The measuring system was designed to monitor changes of O₂ and CO₂ levels in the system while the gas concentration can be maintained near the level of an initial set up point (the difference is less than 1% by volume). Therefore, the system is suitable for studying the respiration rate of vegetables and fruits under the various conditions of O₂ and CO₂ mixing ratio using in the modified atmosphere packaging. Key elements of the system are gas mixer, micro diaphragm pump to transfer small amount of sampling air, and gas analyzer. The O₂ and CO₂ analyzers are highly accurate and precise devices in term of capability to measure very low concentration of O₂ and CO₂ by requiring a small volume of sampling air (volumetric flow rate of 0.45 l/min within 30 s measuring time). The sensitivity limit for the O₂ and CO₂ analyzers are at 100 ppm (range 1-10%) and 50 ppm (less than 10%) by volume respectively. Other than that, both gas analyzers has the ability to measure a new value in a very short time, thus contributing to track the changes of gas levels with negligible effect on the system equilibrium. In this case, the O₂ analyzer can acquire the new sample in every one second while the CO₂ analyzer can take the new sample in every 5 seconds. This article also presents a measuring procedure for obtaining the optimum data of the changing level of O₂ and CO₂ needed for modeling the respiration rate of vegetables and fruits at an actual age. Since the system is able to complete the measurement within a relatively short time (less than 2 days), the respiration rate of fresh vegetable and fruit can be considered as the values for fresh product having the same age with the starting time.

Keywords: respiratory rate measuring system, respiration rate of vegetables and fruits, oxygen and carbon dioxide analyzers

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาาระบบวัดอัตราการหายใจสำหรับผักและผลไม้สดที่มีความถูกต้องและความไวสูง โดยระบบวัดเป็นแบบติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สในระบบที่สามารถรักษาระดับความเข้มข้นของแก๊สได้ใกล้เคียงค่าตั้งต้นของการตรวจวัด (ผลต่างน้อยกว่า 1 % โดยปริมาตร) จึงทำให้ระบบนี้เหมาะสำหรับใช้ศึกษาถึงค่าอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดภายใต้สภาวะอัตราส่วนผสมของแก๊ส O₂ และ CO₂ ช่วงค่าต่างๆที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศองค์ประกอบสำคัญของระบบนี้คือ เครื่องผสมแก๊ส ปัมป์ไดอะแฟรมขนาดเล็กเพื่อการส่งมวลอากาศปริมาณน้อย เครื่องวิเคราะห์แก๊ส O₂ และ CO₂ ที่มีความละเอียดและแม่นยำสูงในการอ่านค่าความเข้มข้นของ O₂ และ CO₂ ในย่านความเข้มข้นต่ำมากโดยใช้ปริมาตรตัวอย่างค่อนข้างน้อยมากคือ ค่า O₂ ได้ต่ำสุดถึง 100 ppm (ย่านการวัด 1-10%) และค่า CO₂ ได้ต่ำสุดถึง 50 ppm (ย่านการวัดต่ำกว่า 10%) โดยปริมาตรต่ออัตราการไหลของปริมาตรแก๊สตัวอย่าง 0.45 l/min และเครื่องวิเคราะห์แก๊สทั้งสองยังมีความสามารถในการวัดค่าใหม่ได้ในช่วงเวลาสั้นมาก จึงเอื้อต่อการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สในระบบได้อย่างต่อเนื่องโดยรบกวนสมดุลของระบบน้อยมาก ในกรณีนี้เครื่องวิเคราะห์ O₂ วิเคราะห์ตัวอย่างใหม่ได้ในทุกๆ 1 วินาที และสำหรับเครื่องวิเคราะห์ CO₂ ทำได้ในทุกๆ 5 วินาที บทความนี้ยังแสดงถึงกรรมวิธีในการใช้งานระบบวัดอัตราการหายใจเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับแก๊ส O₂ และ CO₂ ที่เหมาะสำหรับการสร้างแบบจำลองอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่ขึ้นกับอายุที่ผลสดจริง เนื่องจากระบบที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาในการตรวจวัดสั้นโดยกระบวนการวัด

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

²School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima 30000.

³สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

⁴School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology Nakhon Ratchasima 30000.

อัตราการหายใจสามารถวัดได้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาน้อยกว่า 2 วัน จึงส่งผลให้ค่าการวัดอัตราการหายใจมีความใกล้เคียงกับอายุจริงของผักและผลไม้สดที่เริ่มต้นทำการตรวจวัด

คำสำคัญ: ระบบวัดอัตราการหายใจ อัตราการหายใจของผักและผลไม้ เครื่องวิเคราะห์ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

คำนำ

อัตราการหายใจของผักและผลไม้มีความสำคัญอย่างมากต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์ปรับแต่งบรรยากาศ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้สด แต่ในปัจจุบันระบบวัดอัตราการหายใจยังไม่สามารถติดตามอัตราการหายใจของผักและผลไม้ในระยะเวลาสั้นได้ โดยเฉพาะพืชจำพวกผักสลัดที่มีระดับอัตราการหายใจต่ำโดยการวัดอัตราการหายใจของผักเหล่านี้ต้องใช้ระยะเวลาในการวัดนานหลายวัน สาเหตุเนื่องมาจากขีดจำกัดทางด้านเครื่องมือสำหรับวัดอัตราการหายใจที่มีความละเอียดไม่เพียงพอ ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบวัดอัตราการหายใจที่สามารถวัดอัตราการหายใจได้ในระยะเวลาสั้นรวมถึงสามารถติดตามอัตราการหายใจในระดับต่ำได้ โดยระบบดังกล่าวได้ใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สที่มีความละเอียดและความไวสูงสำหรับการวิเคราะห์แก๊สซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยสามารถติดตามอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดที่มีอัตราการหายใจต่ำในระยะเวลาอันสั้นได้

อุปกรณ์และวิธีการ

ระบบวัดอัตราการหายใจความไวสูงสำหรับผักและผลไม้สดที่สร้างขึ้น ภายใต้โครงการวิจัยนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องผสมแก๊ส (Gas Mixer Model KM 300-3M, WITT-GasTechnik) เครื่องวิเคราะห์แก๊ส CO₂ Model S-AGM (Advanced Gasmitter®, Erkrath, Germany) เครื่องวิเคราะห์แก๊ส O₂ Model JC48V (SETNAG, FRANCE) บั๊มไดอะแฟรมขนาดไมโคร NMP 05L (KNF, Neuberger, Germany) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน แก๊สไนโตรเจน โหลดแก้วปริมาตร 2.5 ลิตรสำหรับบรรจุตัวอย่าง ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น คอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูลและควบคุม (Figure 1)

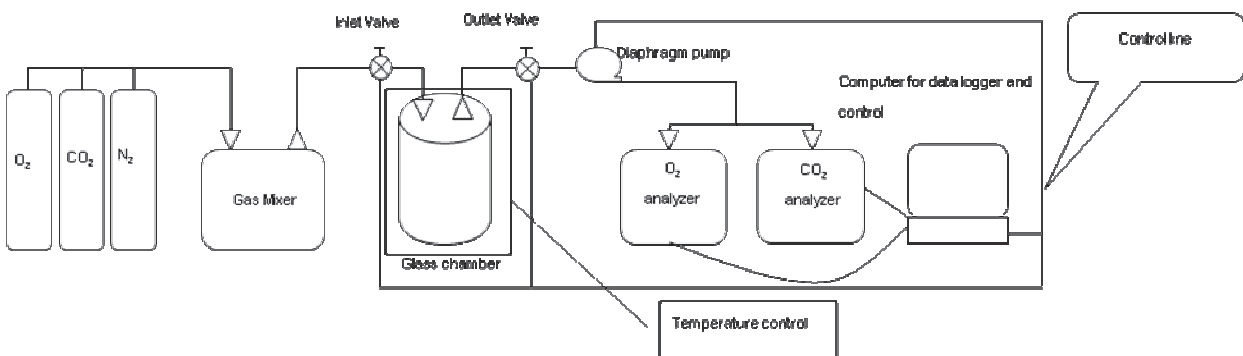


Figure 1 Respiratory rate measuring system for fresh fruits and vegetables

การทดสอบค่าความถูกต้อง และความละเอียดของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส CO₂ และ O₂ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำโดยการเทียบค่าวัดกับค่าที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส CO₂ และ O₂ (OXYBABY, Witt Gas Controls LP, US) และแก๊สโครมาโตกราฟเทอร์มอลคอนดักติวิตี (GC-TCD, SHIMADSU GC-2014 JAPAN) สำหรับการออกแบบระบบวัดอัตราการหายใจนั้นผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวัดแบบระบบกึ่งเปิด (semi-open system) ซึ่งเป็นระบบที่สามารถควบคุมอัตราการไหลเข้าออกของแก๊สให้เป็นแบบระบบปิดสนิท ขณะทำการวัดโดยที่สามารถติดตามตรวจวัดอัตราการหายใจของพืชผลได้โดยไม่ทำให้ระบบเสียสมดุลเกินไปจากค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากค่าความเข้มข้นตั้งต้นของแก๊สผสมที่ต้องการสังเกตการณ์ ซึ่งได้ทำการกำหนดไว้ล่วงหน้า การทดสอบการทำงานของกระบวนการวัดอัตราการหายใจของระบบนี้ทำโดยใช้ผักสลัด Green oak จำนวน 70 กรัม ต่อชุดทดสอบเป็นตัวอย่าง สภาวะทดสอบใช้ความเข้มข้นของแก๊สผสม O₂:CO₂:N₂ เป็น 10:5:85 % โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 22 °C การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊ส O₂ และ CO₂ ที่มีในโหลดแก้วบรรจุตัวอย่างผัก ณ ขณะเวลาใดๆ ทำได้โดยการใช้บั๊มไดอะแฟรมขนาดไมโครดูดแก๊สในอัตราการไหล 0.45 ลิตรต่อวินาทีเป็นระยะเวลา 30 วินาทีจากโหลดบรรจุตัวอย่าง ส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์แก๊สทั้งสองแบบแยกส่วน การวัดทำทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง โดยเมื่อสิ้นสุดการวัดแต่ละครั้งต้องมีการเติมแก๊ส N₂ 100 % โดยปริมาตรกลับเข้าไปในโหลดแก้วในปริมาตรเท่ากับปริมาตรแก๊สที่ถูกดูดออกไปเพื่อรักษาสมดุล

ความดันและมวลของระบบ เทคนิคดังกล่าวนี้จะช่วยลดผลกระทบจากปริมาตรที่หายไปของแก๊สผสมในโหลแก้วที่ทำให้ความเข้มข้นของแก๊ส O₂ และ CO₂ ในระบบเจือจางลงซึ่งมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องของผลการวัดอัตราการหายใจได้

ผล

การทดสอบความถูกต้องและขีดจำกัดของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส ความถูกต้องและขีดจำกัดของเครื่องมือถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการทดลอง โดยผลการทดสอบความถูกต้องของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส CO₂ S-AGM เทียบกับ OXYBABY ถูกแสดงใน Figure 2 ซึ่งผลที่ได้พบว่า เครื่องวิเคราะห์ CO₂ S-AGM มีค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยที่ ± 600 ppm ในขณะที่ OXYBABY ให้ค่าเบี่ยงเบนของแก๊ส CO₂ เป็น ± 1000 ppm ส่วนเครื่องวิเคราะห์แก๊ส O₂ JC48V เทียบกับ OXYBABY พบว่า เครื่องวิเคราะห์ O₂ JC48V มีค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยที่ ± 500 ppm ในขณะที่ OXYBABY ให้ค่าเบี่ยงเบนของแก๊ส O₂ เป็น ± 800 ppm (ผลการทดสอบแก๊ส O₂ ไม่ได้แนบมาเนื่องด้วยพื้นที่จำกัด)

การทดสอบกรรมวิธีการวัด ระบบวัดอัตราการหายใจแบบใช้วิธีการวัดแบบระบบกึ่งเปิดโดยกระบวนการวัดใช้การเติม N₂ ปริมาตรเท่าเดิมกับที่ถูกดูดออกจากระบบกลับเข้าไปในโหลแก้วทุกครั้งหลังจากการวิเคราะห์หาปริมาณ O₂ และ CO₂ ที่ปรากฏ ณ ขณะเวลาใดๆ เสร็จจะช่วยลดผลกระทบเรื่องความเจือจางของแก๊สอันเนื่องมาจากปริมาตรแก๊สผสมที่มีอยู่ภายในโหลแก้วลดลง ผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของ CO₂ เปรียบเทียบระหว่างการเติม N₂ กับไม่เติม N₂ ลงไปในโหลแก้ว ดังแสดงใน Figure 3 พบว่าการที่ไม่เติม N₂ กลับเข้าไปในโหลแก้วนั้นความเข้มข้นที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนผลจากการเติม N₂ กลับเข้าไปในโหลแก้วพบว่าความเข้มข้นมีการลดลงเพียงเล็กน้อยหรือน้อยกว่า 200 ppm ในจำนวนการวัดห้าครั้งต่อเนื่อง

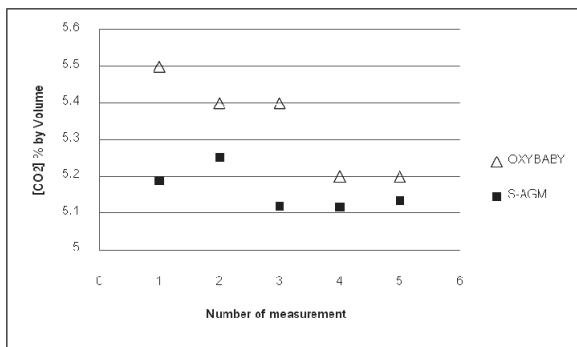


Figure 2 Concentration of CO₂ measured by CO₂ analyzer: S-AGM and OXYBABY

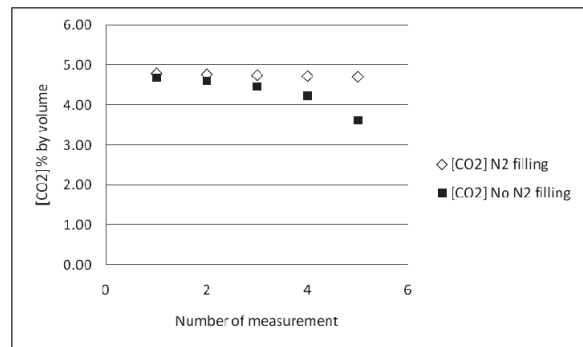


Figure 3 Comparison of the concentration of CO₂ between the N₂ filling and No N₂ filling

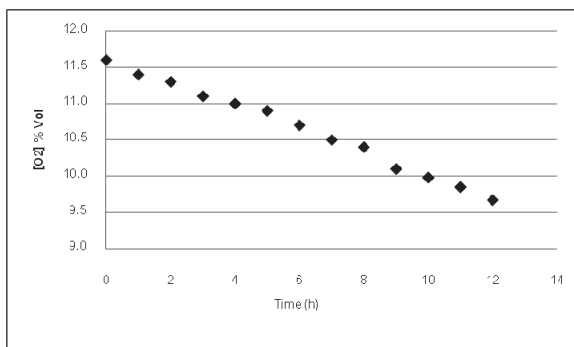


Figure 4 Changing of O₂ concentration inside chamber due to respiration of Green Oak

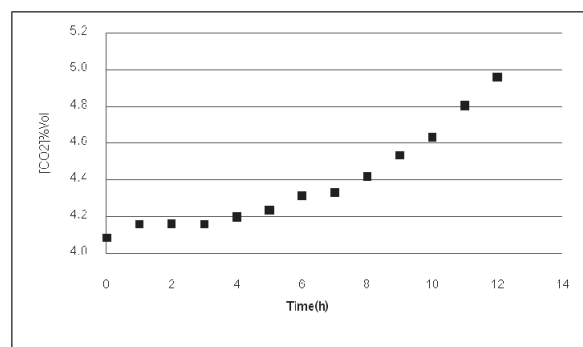


Figure 5 Changing of CO₂ concentration inside chamber due to respiration of Green Oak

การทดสอบระบบวัดอัตราการหายใจ ผลการทดสอบระบบวัดอัตราการหายใจโดยใช้ฝัก Green oak สำหรับการวัดในช่วงเวลากลางคืนพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถติดตามระดับความเข้มข้นของ O_2 และ CO_2 ที่เปลี่ยนแปลงเป็นตามสมการอัตราการหายใจซึ่งมีค่าน้อยมากเนื่องด้วยอัตราการหายใจที่มีค่าค่อนข้างต่ำของฝักสลัดสายพันธุ์นี้ ดังจะเห็นได้จากรูป Figure 4 และ Figure 5 ซึ่งมีผลต่างของค่าความเข้มข้นของ O_2 และของ CO_2 ระหว่างชั่วโมงอยู่ในช่วง 1000 – 3000 ppm และ 200 – 1500 ppm ตามลำดับ ค่าอัตราการหายใจที่สอดคล้องกับข้อมูลวัดนี้พบว่าอัตราการลดลงของ O_2 เป็น 0.178 ml/kg.h และอัตราการเพิ่มขึ้นของ CO_2 เป็น 0.145 ml/kg.h โดยมีค่า respiration quotient (RQ) เท่ากับ 0.82

วิจารณ์ผล

ระบบวัดอัตราการหายใจและกรรมวิธีการวัดแบบใช้ระบบกึ่งเปิดด้วยการเติม N_2 กลับเข้าไปในระบบช่วยให้อัตราการหายใจอยู่ในสภาวะที่สมดุลได้ใกล้เคียงกับสภาวะอัตราส่วนความเข้มข้นของแก๊ส O_2 และ CO_2 มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้วัดอัตราการหายใจกับพืชผลสดที่มีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำ อันเป็นผลมาจากการออกแบบระบบวัดและวิธีการวัดโดยใช้ซีดจำกัดด้านความละเอียดของเครื่องมือวิเคราะห์อย่างเต็มสมรรถนะ จากผลการทดสอบหาค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ O_2 และ CO_2 ที่คำนึงถึงผลของการเติม N_2 เพื่อลดความเ็จอาจมีค่าเท่ากับ ± 500 ppm และ ± 200 ppm ตามลำดับ ยังแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นของแก๊สทั้งสองระหว่างการติดตามอัตราการหายใจในระบบต้องมีค่าสูงกว่าค่าทั้งสองสำหรับแก๊สแต่ละชนิด และในขณะเดียวกันผลดังกล่าวนี้ยังสามารถนำไปใช้พิจารณาเพื่อกำหนดระยะเวลาของช่วงเวลาเก็บตัวอย่างแก๊สให้กับการวัดอัตราการหายใจได้อีกด้วย ผลการทดสอบความสามารถของระบบในการใช้สำหรับวัดอัตราการหายใจของตัวอย่างที่มีค่าต่ำมากได้ดังจะเห็นได้จากค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของ CO_2 ของฝัก Green Oak เป็นเพียง 0.145 ml/kg.h ซึ่งน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราการเพิ่มขึ้นของ CO_2 ของแครอทหั่นที่มีรายงานว่ามีอัตราการหายใจต่ำยังปรากฏค่าอยู่ในช่วง 5.2–51 ml/kg.h ที่อุณหภูมิ 8-20 °C (Iqbal *et al.*, 2009) และของมะเขือเทศช่วงอายุผลเขียว (mature green) มีอัตราการหายใจค่าเฉลี่ย 3.01 ml/kg.h ที่อุณหภูมิ 13°C และความดัน 7atm_{abs} (Goyette, 2010) เป็นต้น นอกจากนี้ความสามารถของระบบการวัดอัตราการหายใจที่พัฒนาขึ้นนี้ในการติดตามระดับการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สค่าน้อยมากได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็วดังผลการทดสอบในหัวข้อก่อนหน้า(การวัดทำได้แล้วเสร็จภายในเวลา 12 ชั่วโมงสำหรับฝักสดที่มีอัตราการหายใจค่อนข้างต่ำ) ยังเอื้อต่อการใช้ศึกษาผลของอายุพืชผลต่ออัตราการหายใจได้โดยเฉพาะกับพืชผลสดที่เน่าเสียเร็ว

สรุป

ระบบวัดอัตราการหายใจโดยอิงหลักการแบบระบบกึ่งเปิดที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำสูง เป็นผลมาจากการออกแบบกรรมวิธีการเก็บตัวอย่างโดยใช้ประโยชน์สูงสุดจากค่าความไวของเครื่องวิเคราะห์แก๊ส CO_2 และ O_2 ที่มีความละเอียดสูง ผลการทดสอบระบบเบื้องต้นกับฝักสลัด Green Oak แสดงถึงความสามารถของระบบในการใช้ติดตามอัตราการหายใจของฝักและผลไม้สดที่มีอัตราการหายใจต่ำได้โดยไม่ต้องใช้มวลตัวอย่างจำนวนมาก นอกจากนี้ความสามารถในการใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สค่าน้อยมากได้ภายในระยะเวลาสั้นยังช่วยลดเวลาในการตรวจวัดให้สั้นลงจึงเอื้อต่อการใช้ศึกษาผลของอายุพืชผลต่ออัตราการหายใจได้โดยเฉพาะกับพืชผลสดที่เน่าเสียเร็ว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยและเครื่องมือวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Goyette, B. 2010. Hyperbaric treatment to enhance quality attributes of fresh horticultural produce. Ph.D. (Bioresource Engineering), Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Quebec, Canada
- Iqbal, T., F.A.S. Rodriguesa, P. V. Mahajana and J.P. Kerry. 2009. Mathematical modeling of the influence of temperature and gas composition on the respiration rate of shredded carrots. *Journal of Food Engineering* 91: 325–332.