การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17
15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี

การพัฒนาต้นแบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

Development of a Prototype of Controlled Atmosphere Storage

จักรพันธุ์ จันทร์ตักเตือน[1] สมาน เสนงาม[2] เกริกชัย ทองหนู[3] และสุธีระ ประเสริฐสรรพ์[4]
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทร 074-212983 โทรสาร 074-212893 Email: g4212003@hotmail.com[1], smarn@me.psu.ac.th[2], suteera@trf.or.th[4]

Chakkraphun Chunthakthurn[*] Smarn SenNgam Krerkchai Tongnoo Suteera Prasertsan
Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla, 90112
Tel: 074-212893 Fax: 074-212893 Email: g4212003@hotmail.com[1], smarn@me.psu.ac.th[2] , suteera@trf.or.th[4]

บทคัดย่อ

พืชผลหลังการเก็บเกี่ยว มีการเสื่อมสภาพจากการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศปรกติได้เร็ว การใช้เทคโนโลยีควบคุมบรรยากาศสามารถยืดระยะเวลา การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวไว้ก่อนถึงมือผู้บริโภคได้ ด้วยการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทธิลีน ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของผลไม้

ได้พัฒนาตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ Strawberry tree card ร่วมกับโปรแกรม Quicklog เพื่อทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และก๊าซออกซิเจนจากหัววัดแล้วให้สัญญาณควบคุมผ่าน digital outputs เพื่อควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ของระบบทำความเย็น ควบคุมเครื่องอัดอากาศของระบบสร้างความชื้น และควบคุมเครื่องอัดอากาศ ของระบบดูดกลืนก๊าซหมุนเวียนภายในที่มีมากเกินความต้องการ

ผลไม้เศรษฐกิจของไทย มีสภาพบรรยากาศที่ต้องควบคุมในช่วงอุณหภูมิ –0.5 ถึง 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง 95% ก๊าซออกซิเจน 2 ถึง 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0 ถึง 10 % และกำจัดก๊าซเอทธิลีน

ผลการทดสอบระบบดังกล่าว พบว่าสามารถควบคุมบรรยากาศให้ทำงานอยู่ในช่วงที่ต้องการได้ดี โดยมีการทดลองใช้งานเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 ถึง 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง 90% ก๊าซออกซิเจน 5 ถึง 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และกำจัดก๊าซเอทธิลีน สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 60 วัน

Abstract

Post harvest has been lost rapidly under normal conditions. By the way, controlled atmosphere is one way to slow down the ripening process. Physical and chemical characteristic of fruits has been change by temperature, relative humidity, oxygen gas, carbon dioxide gas and ethylene gas. Controlled atmosphere storage can store fruits for a long period by control those parameters

Development of a prototype of controlled atmosphere storage was operated by Strawberry tree card with Quicklog programs. This system detected temperature, relative humidity and oxygen gas by sensors. Sensor signals passed digital outputs, controlled compressor in refrigeration system, controlled air pumps in relative humidity increment system and controlled air pumps in gas absorption system. Many reference of controlled atmosphere conditions can search from oversea post harvest research. Economic Thailand fruits need control range of temperature from -0.5 to 13°C , range of relative humidity from 85 to 95% , range of oxygen gas from 2 to 10% and rid of carbon dioxide gas and ethylene gas.

This experiment choose lemon for testing. Results showed that, can control in range control. Prototype of controlled atmosphere storage can control range of temperature from10 to 13°C , range of relative humidity from 85 to 90%, range of oxygen gas from 5 to 10°C and rid of carbon dioxide gas and ethylene gas for 60 days.

1. บทนำ

ประเทศไทย มีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพด้านเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นรายได้หลักของประเทศ ผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยไม่สามารถนำมาเป็นสินค้าส่งออกได้ทั้งหมด

เนื่องจากไม่สามารถเก็บรักษาผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวได้นาน ตลอดการขนส่งถึงตลาดสินค้า เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรมีอายุการคงสภาพเดิมหลังการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาจำกัด ประกอบกับสินค้านำเข้าของประเทศเพื่อนบ้านมีมาตรฐานสูง ส่งผลเสียทางตรงจากการสูญเสียรายได้ในการส่งออกสินค้าทางการเกษตรของประเทศ และส่งผลเสียทางอ้อมทำให้เกษตรกรมีรายได้ลดลง

จากหยาดเหงื่อ แรงงาน และกำลังใจที่สูญเสียไปของเกษตรกรอันเนื่องมาจากสาเหตุข้างต้น จึงเป็นแรงจูงใจให้มีการพัฒนาตู้เก็บควบคุมบรรยากาศขึ้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศนี้สามารถยืดระยะเวลา การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ไว้ก่อนถึงมือผู้บริโภคด้วยการควบคุมอุณหภูมิ (temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ก๊าซออกซิเจน (oxygen) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) และกำจัดก๊าซเอทธิลีน (ethylene) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ (parameters) สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของผลผลิตทางการเกษตร

เทคนิคการควบคุมบรรยากาศ สำหรับการเก็บผลิตผลการเกษตรมีผลงานวิจัยมากมาย [11,12,14,15] ที่ได้วิเคราะห์หาสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับผลิตผลการเกษตรชนิดต่างๆ รวมทั้งมีการผลิตตู้ควบคุมบรรยากาศขาย โดยเฉพาะในต่างประเทศ แต่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากยังมีราคาแพง

ตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ที่มีใช้อยู่ในต่างประเทศ ให้ผลการเก็บรักษาผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว ไว้ได้นานกว่าการเก็บรักษาวิธีอื่นแต่มีราคาแพง จึงไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นการทำโครงการวิจัยการพัฒนาต้นแบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศนี้ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อประเทศ นอกจากจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นใช้เอง ราคาตู้เก็บควบคุมบรรยากาศต่ำลงและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพื่อลดการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรอย่างสูญเปล่า ลดการนำเข้าจากต่างประเทศแล้ว ยังสามารถสนับสนุนการส่งออกผลิตผลทางการเกษตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น รวมทั้งการสร้างมูลค่าเพิ่มให้ผลิตผลเช่นการเก็บรักษามะนาวในฤดูไว้ขายหลังจากนั้นเป็นต้น

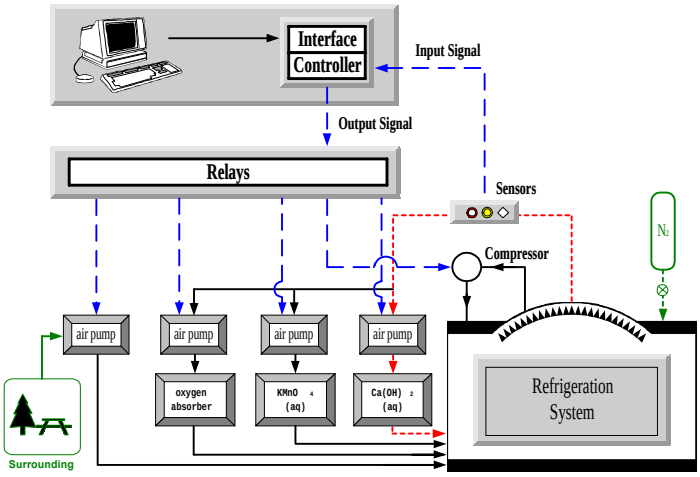
วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมสภาพบรรยากาศ เพื่อพัฒนาและสร้างต้นแบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศให้เป็นเทคโนโลยีของประเทศไทยเอง.

2. ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้และวิธีการ

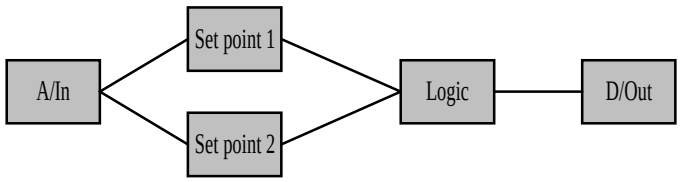
การควบคุมสภาพบรรยากาศนี้ เป็นระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ใช้โปรแกรม Quicklog ควบคุมผ่าน Strawberry tree card ตรวจจับสภาวะบรรยากาศในตู้ควบคุมโดยหัววัดออกซิเจน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เข้าทาง inputs แล้วควบคุมรีเลย์ (relays) ที่ทำหน้าที่ควบคุมคอมเพรสเซอร์ (compressor) ของระบบควบคุมอุณหภูมิควบคุมเครื่องอัดอากาศ (air pumps) ของระบบสร้างความชื้นและระบบดูดกลืนก๊าซให้ส่งอากาศภายในตู้ผ่านสารดูดกลืน เพื่อกำจัดปริมาณก๊าซหมุนเวียนในระบบบางชนิด ที่มีมากเกินความต้องการและดูดอากาศจากภายนอกเข้าระบบ เมื่อก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ ลักษณะการทำงานของระบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศแสดงไว้ดังภาพที่ 2.1

ในโครงการนี้มีงบประมาณจำกัด จึงติดตั้งเฉพาะหัววัดก๊าซออกซิเจนเท่านั้นส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเอทธิลีนนั้น ใช้วิธีกำจัดทิ้งทั้งหมดด้วยสารดูดกลืน

โปรแกรม Quicklog เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสามารถใช้งานได้ด้วยวิธีการต่อเป็น block function ดังภาพที่ 2.2 โดย A/In block เป็นการเลือกสัญญาณ analog input เช่นเป็น thermocouple type K รับสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า Set point block เป็นการกำหนดเงื่อนไขเช่น x>10 logic block เป็นการเลือกรูปแบบทางด้านตรรกศาสตร์และ D/Out block เป็นการเลือกช่องทาง (channel) สัญญาณ digital output ของชุดควบคุมเช่น ส่งสัญญาณ digital เป็น 1 ไปที่ channel 3 หมายถึง channel 3 ของ controller เป็น on สามารถควบคุมคอล์ยรีเลย์ (relay) ที่ต่อกับ channel 3 ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ (relay) 220 โวลต์ที่ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานได้



ภาพที่ 2.1 แสดงการทำงานของระบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ



ภาพที่ 2.2 ลักษณะการใช้งานของโปรแกรม Quicklog

3. การทดสอบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

3.1 การดำเนินการทดสอบ

ผลไม้มีหลายชนิด สามารถเลือกผลไม้ชนิดใดมาทดสอบก็ได้ จากข้อมูลการวิเคราะห์สภาพบรรยากาศที่เหมาะสมต่อผลไม้ชนิดต่าง ๆ ในการทดลองนี้เลือกตัวอย่างทดสอบเป็นมะนาว เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายมะนาวช่วงฤดูร้อนราคาสูงกว่าปรกติมาก

จากข้อมูลงานวิจัยสภาพบรรยากาศ ที่เหมาะสมต่อมะนาวด้วยการควบคุมบรรยากาศ คือมะนาวสามารถเก็บไว้ได้นาน 1 ถึง 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง 90% ก๊าซออกซิเจน 5 ถึง 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และไม่ต้องการให้มีปริมาณของก๊าซเอทธิลีน [12]

ในการทดสอบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศนี้ทำการทดสอบ โดยการเลือกใช้มะนาวเป็นตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษามะนาวภายใต้สภาวะปรกติที่อุณหภูมิห้อง การเก็บรักษาในตู้เย็นและการเก็บรักษาในตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

3.2 การเก็บรักษามะนาวภายใต้สภาวะปรกติที่อุณหภูมิห้อง

นำมะนาวตัวอย่างจำนวน 20 ผล วางไว้ในถาดขนาด 35x45 ซม. เก็บไว้ในห้องทำงานซึ่งพบว่าอุณหภูมิห้องเฉลี่ย 1 เดือน เป็น 29°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย เป็น 78% มะนาวดังกล่าวได้รับการวางตำแหน่งให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน ไม่มีการวางทับกันระหว่างผล

การวัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งจำนวน 1 ตัว ที่ได้รับการปรับเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน แล้วแขวนให้ลอยในอากาศวัดอุณหภูมิเหนือถาดของมะนาว การวัดความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ชุดเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง-เปียก ที่ได้รับการปรับเทียบด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแล้ว จากนั้นทำการถ่ายภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมะนาวทุกวัน พร้อมทั้งคอยเติมน้ำให้ผ้าพันกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกชุ่มน้ำตลอดเวลา

3.3 การเก็บรักษามะนาวในตู้เย็น

นำมะนาวตัวอย่างชุดเดียวกัน จำนวน 20 ผล มาวางบนตะแกรงของตู้เย็นขนาด 1.8 ft^3 โดยมะนาวดังกล่าวไม่มีการวางทับกันระหว่างผล ชุดควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็นตั้งการควบคุมอุณหภูมิที่หมายเลข 3 เป็นการปรับอุณหภูมิอยู่ในช่วง 7 ถึง 15°C ทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์โดยนำชุดเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง-เปียก ที่ได้รับการปรับเทียบด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแขวนภายในตู้เย็น จากนั้นทำการถ่ายภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมะนาวทุกวัน โดยการหยิบมะนาวตัวอย่าง 1 ผล ออกมาจากตู้เย็นต้องรีบปิดตู้เย็นเพื่อไม่ให้สภาวะควบคุมเปลี่ยนแปลงไปมากนัก โดยมะนาวที่ถูกนำมาถ่ายภาพจะไม่นำกลับไปวางในตู้เย็นอีก คอยเติมน้ำให้ผ้าพันกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกชุ่มน้ำตลอดเวลา

3.4 การเก็บรักษามะนาวด้วยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

นำมะนาวตัวอย่างชุดเดียวกับชุดเดียวกัน มาทำการทดสอบโดยวางบนตะแกรงในตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ โดยมะนาวดังกล่าวไม่มีการวางทับกันระหว่างผล เริ่มทำการทดสอบด้วยการค่อยๆ ป้อนก๊าซไนโตรเจนจำนวน 0.9 ft^3 เข้าไปภายในตู้เก็บควบคุมบรรยากาศที่ปิดฝาไว้ เพื่อไล่อากาศที่มีก๊าซออกซิเจนสูงออก เป็นการประหยัดการใช้งานของสารดูดกลืนก๊าซออกซิเจน แรงดันจากถังก๊าซไนโตรเจนค่อยๆ ดันก๊าซที่ถูกผสมภายในตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ออกจากตู้ทางฝาปิดด้านหน้า ฝาของตู้เก็บควบคุมบรรยากาศจะถูกดันปิดสนิทจากความดันภายนอกตู้ เมื่ออุณหภูมิภายในตู้ต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก เมื่อโปรแกรม Quicklog แสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ว่าก๊าซผสมภายในตู้มีปริมาณออกซิเจน 5% ให้เริ่มทำการปิดวาล์วปรับความดันของถังก๊าซไนโตรเจน และเปิดสวิตซ์คอมเพรสเซอร์ เครื่องอัดอากาศ ให้ทำงานตามระบบควบคุมของโปรแกรม Quicklog ที่ได้รับการปรับตั้งค่าการควบคุมไว้ เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิช่วง 10 ถึง 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง90% ปริมาณก๊าซออกซิเจน 5 ถึง 10% ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และกำจัดก๊าซเอทธิลีน

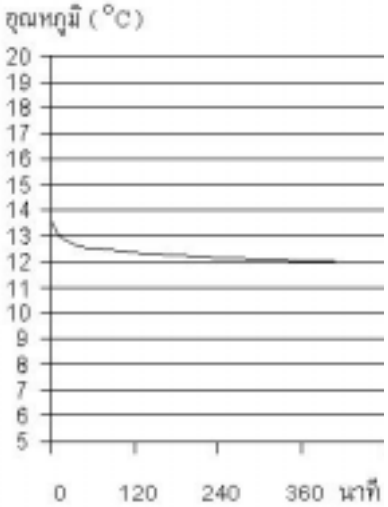
4. ผลการวิจัย

การควบคุมสภาพบรรยากาศ เป็นการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณก๊าซออกซิเจน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และกำจัดก๊าซเอทธิลีนด้วยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

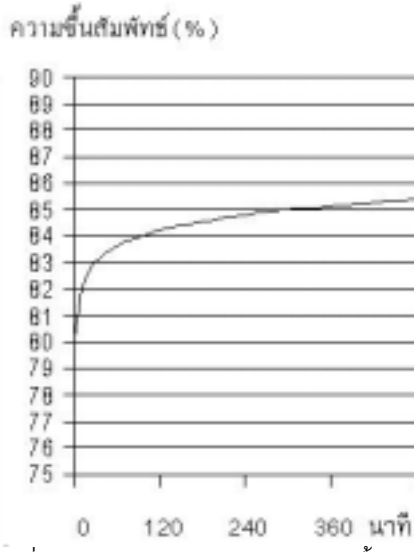
4.1 การทำงานของระบบควบคุม

การทำงานของระบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ประกอบด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบสร้างความชื้น ระบบดูดกลืนก๊าซออกซิเจน ระบบสูบอากาศจากภายนอกเข้าระบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ในกรณีขาดแคลนปริมาณก๊าซออกซิเจน โดยระบบดังกล่าว ถูกควบคุมผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป Quicklog ข้อมูลการควบคุมสภาพบรรยากาศถูกบันทึกผลด้วย log block ของ โปรแกรม Quicklog เป็นแฟ้มข้อมูลสกุล txt ข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงผลเป็นกราฟ (response graph) จากการทดสอบสามารถควบคุมอุณหภูมิช่วง 10 ถึง 13°C ดังภาพที่ 4.1 สามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์ให้สูงขึ้นและควบคุมให้อยู่ในช่วง 85 ถึง 90% ดังภาพที่ 4.2 และสามารถควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน 5 ถึง 10% ดังภาพที่ 4.3

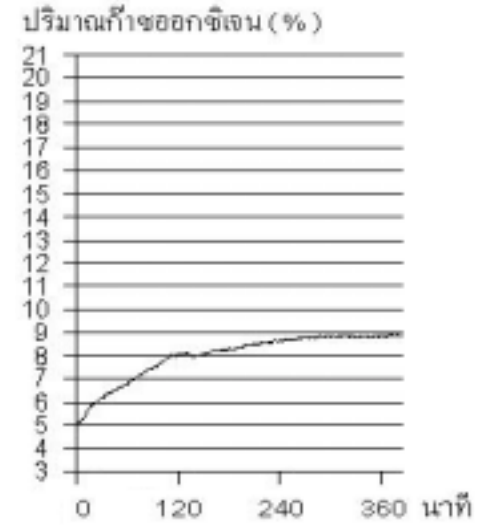
สำหรับการควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และการควบคุมก๊าซเอทธิลีน เป็นการกำจัดด้วยการใช้สารเคมีเป็นสารดูดกลืนให้หมดสิ้นไป โดยใช้น้ำปูนใสหรือสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว ($Ca(OH)_2$) เป็นสารดูดกลืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้สารละลายด่างทับทิมอิ่มตัว ($KMnO_4$) เป็นสารดูดกลืนก๊าซเอทธิลีน



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงผลการควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงผลการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงผลการควบคุมก๊าซออกซิเจน

4.2 ลักษณะทางกายภาพของมะนาวหลังการทดสอบ

มะนาวตัวอย่างภายใต้สภาวะปรกติ ที่อุณหภูมิห้องมีลักษณะทางกายภาพดังนี้

ภายในสัปดาห์แรก มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวจากสีเขียวเป็นสีเหลือง ในวันที่ 2 เริ่มมีการกระจายของสีเหลืองเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลในวันที่ 4 จากนั้นเริ่มมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวในวันที่ 6 เมื่อสุ่มมะนาวตัวอย่างมาผ่าตามขวางพบว่าขอบเปลือกมะนาวเริ่มบางลงในวันที่ 8 และ กลายเป็นสีน้ำตาลทั้งผลในวันที่ 13 ของการทดสอบ

มะนาวตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วยตู้เย็น มีลักษณะทางกายภาพดังนี้

เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาว จากสีเขียวเป็นสีเหลืองในวันที่ 2 เพียงเล็กน้อย มีการกระจายของสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 16 ในขณะที่การกระจายของสีเหลืองยังไม่เต็มผล เมื่อผ่าตามขวางพบว่าขอบเปลือกมะนาวเริ่มบางลงในวันที่ 17 และการเปลี่ยนแปลงของสีผิวมะนาวเป็นสีน้ำตาลทั้งผลในวันที่ 20

มะนาวตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศมีลักษณะทางกายภาพดังนี้

ระยะเวลา 1 เดือนแรก มะนาวตัวอย่างยังมีลักษณะเขียวสด เมื่อผ่าตามขวางพบว่าความหนาของเปลือกมะนาวยังคงหนาเช่นเดิม ลักษณะภายในของมะนาวยังมีสภาพที่ดี
ผิวมะนาวตัวอย่าง เริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อยบางผลเท่านั้นในวันที่ 37 จากนั้นเริ่มมีการกระจายของสีเหลืองเพียงเล็กน้อยในวันที่ 41 เมื่อผ่าตามขวางพบว่าขอบเปลือกมะนาวเริ่มบางลงในวันที่ 54 ลักษณะภายในของมะนาวยังมีสภาพที่ดี มีผิวสีเขียวแกมเหลืองเล็กน้อย

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบระบบดังกล่าว สามารถควบคุมบรรยากาศให้ทำงานอยู่ในช่วงที่ต้องการได้ดี โดยมีการทดลองใช้งานเก็บรักษามะนาวที่อุณหภูมิ 10 ถึง 13^{o}C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง 90% ก๊าซออกซิเจน 5 ถึง 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และกำจัดก๊าซเอทธิลีน สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 60 วัน

ระบบสร้างความชื้นของตู้เก็บควบคุมบรรยากาศไม่ควรใช้การ spray น้ำ เนื่องจากสังเกตพบว่าจะทำให้มีการรบกวนหัววัดก๊าซออกซิเจนในระบบ นอกจากการใช้สารดูดกลืนก๊าซออกซิเจนเพื่อกำจัดปริมาณก๊าซออกซิเจนในระบบแล้ว ยังสามารถใช้วิธีต่างๆดังนี้

1.ใช้ระบบควบคุมวาล์วถังก๊าซไนโตรเจน เพื่อป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าระบบไล่ก๊าซออกซิเจนที่เกินออกจากระบบ

2.ใช้วิธีการออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นการกำจัดก๊าซออกซิเจน โดยปริมาณออกซิเจนจะหายไปในกระบวนการออกซิไดซ์ของสาร

3.ใช้วิธีการเผาไหม้ก๊าซออกซิเจนในระบบ

การควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากการใช้น้ำปูนใสกำจัด และหาปริมาณก๊าซที่ถูกดูดกลืนจากน้ำหนักของแคลเซียมคาบอเนตแล้ว ยังสามารถควบคุมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการติดตั้งหัววัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แต่ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างต้นแบบ จึงไม่ได้ใช้หัววัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ต้นแบบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ที่ใช้สำหรับการทดลอง มีขนาด 6.5 ft^3 ซึ่งค่อนข้างเล็ก ทำให้เก็บมะนาวได้น้อย ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่มีราคาแพงคือ Strawberry tree card และออกซิเจนเซ็นเซอร์ ซึ่งชุดของระบบควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมห้องเก็บบรรยากาศขนาดใหญ่ได้ ถ้าสามารถขยายให้ขนาดตู้ใหญ่ขึ้นจะทำให้รู้ระยะคุ้มทุน จากการวิเคราะห์พบว่าในเชิงพาณิชย์ควรใช้ตู้ขนาด 51 ft^3 เป็นอย่างต่ำเก็บรักษามะนาวขนาด 4.1 ซม.ขึ้นไปเพื่อให้ได้กำไรและคุ้มทุนภายในระยะเวลา 5 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบพระคุณ รศ.สมาน เสนงาม ประธานกรรมการที่ปรึกษาและคณะกรรมการที่ปรึกษาทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำในงานวิจัย จนงานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ด้วยดีขอบคุณอาจารย์พุทธิพงศ์ แสน

สบาย อาจารย์ฐานันดร์ศักดิ์ เทพญา ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ ขอบคุณครู ช่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และช่างภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือ ขอบคุณคุณพ่อ คุณแม่และเกษตรกรที่เป็นกำลังใจให้งานสำเร็จ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] วรวิทย์ วิทยาภิมัณฑ์. พ.ศ.2504. การศึกษาลักษณะพันธุ์มะนาว 6 พันธุ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] “ผลไม้ที่สำคัญเพื่อการส่งออก” ,2530. กสิกร.60 (มีนาคม-เมษายน 2530), 157-160.

[3] กองส่งเสริมพืชสวน. กรมส่งเสริมการเกษตร. 2544. สถิติการเกษตรของไทยปีเพาะปลูก 2543/2544.

[4] สมศักดิ์ วรรณศิริ.2541. สวนมะนาว. ปราณีเจริญบล็อกและการพิมพ์ : สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม.

[5] วีระ อวิคุณประเสริฐ. 2535. “รายงานสัมมนา (525-497)”, การบรรจุหีบห่อผักและผลไม้สดโดยวิธีการปรับสภาพบรรยากาศ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[6] อัญชลี ศิริโชติ. 2525. “อุตสาหกรรมเกษตร 497 (สัมมนา)”, การยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้โดยขบวนการแลกเปลี่ยนแก๊ส.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[7] ชาคริต พืชพันธ์.2527. “รายงานสัมมนา (525-497)”, ผลของแคลเซี่ยมต่ออัตราการสุกของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[8] วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,สถาบัน. 2530. เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท. กรุงเทพฯ.

[9] ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล. 2540. รวมศัพท์เคมี. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[10] ColinCarmichael.1950.Kent’s Mechanical Engineers’ Handbook : Power Volume. 12th ed. London : John Wiley & Sons,Inc.

[11] Zagory,D.andKader,A.A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technol. Department of Pomology : University of California.

[12] AdelA.Kader.2002. http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Fruit. (Computer data).

[13] Teuvo Kohonen.Digital Circuits and Device.Prentice-Hall,Inc.,Englewood Cliffs,N.J.

[14] Sydney Postharvest Laboratory. 2000. http://postharvest.com.au. (Computer data).

[15] Proc. 7th Intl. Controlled Atmosphere Research Conference(1997). Postharvest Horticultural Series No. 15-19, University of California Davis.