

บทที่ 3

ผลการทดสอบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

3.1 การดำเนินการทดสอบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

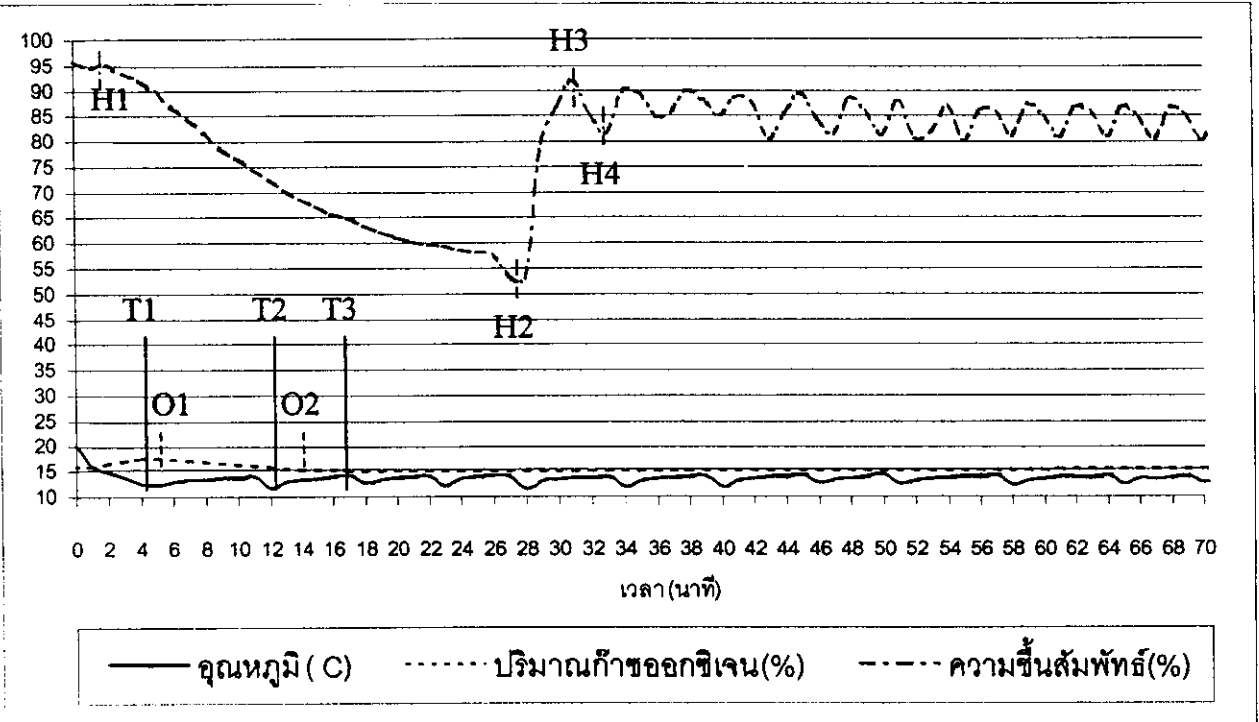
ตู้เก็บควบคุมบรรยากาศที่สร้างขึ้นนี้ ใช้สำหรับควบคุมบรรยากาศผลไม้พาคิซซ์ของไทยซึ่งมีอุณหภูมิช่วง -0.5 ถึง 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง 95% ก๊าซออกซิเจน 2 ถึง 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0 ถึง 10% และกำจัดก๊าซเอทิลีน ซึ่งการควบคุมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีกำจัดทิ้งเพื่อประหยัดทุนวิจัยในส่วนกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พารามิเตอร์ส่วนที่เหลือคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และก๊าซออกซิเจนเป็นการควบคุมที่สภาวะต่างๆ เพื่อทดสอบความสามารถในการควบคุม

การทดสอบตู้เก็บควบคุมบรรยากาศได้ดำเนินการทดสอบความสามารถในการควบคุมดังนี้

1. ทดสอบความสามารถในการควบคุมบรรยากาศของตู้เปล่า
2. ทดสอบความสามารถในการควบคุมบรรยากาศของตู้เปล่าด้วยการเปิดฝาตู้แล้วปิดให้สนิทในขณะที่การควบคุมบรรยากาศของตู้กำลังอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอ (steady)
3. ทดสอบการเก็บรักษามะนาวด้วยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

3.1.1 การทดสอบความสามารถในการควบคุมบรรยากาศของตู้เปล่า

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการควบคุมบรรยากาศของตู้เปล่า โดยกำหนดสภาพบรรยากาศที่ต้องการทดสอบคือต้องการควบคุมอุณหภูมิ $12.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ $82.5 \pm 2.5\%$ และควบคุมก๊าซออกซิเจน $16 \pm 1\%$ โดยมีผลการทดสอบดังภาพประกอบที่ 3.1 การบันทึกกราฟดังกล่าวมี sample rate 1 นาที



ภาพประกอบที่ 3.1 การทดสอบการควบคุมบรรยากาศที่กำหนดขึ้น

ผู้เก็บควบคุมบรรยากาศเริ่มทำการทดสอบที่อุณหภูมิเริ่มต้น 20°C โดยมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น 12.5 ± 1.5 °C เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 11 ถึง 14°C ซึ่งจากภาพประกอบที่ 3.1 พบว่าอุณหภูมิลดลงซึ่งเป็นผลจากการทำงานของ compressor จนถึง 11°C ที่ตำแหน่ง T1 ภายในระยะเวลา 4 นาที จากนั้น compressor จะหยุดการทำงานทำให้อุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากความร้อนจากภายนอกผ่านทางผนังตู้เข้ามาจนกระทั่งถึง 14°C จากนั้น compressor ทำงานอีกครั้งทำให้อุณหภูมิลดลงเป็น 11°C ที่จุด T2 จากนั้น compressor จะหยุดการทำงานทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอีกเป็น 14°C ที่ T3 ซึ่งมีลักษณะเป็นวัฏจักรแบบนี้ไปเรื่อยๆ โดยช่วงที่อยู่ในสภาวะสม่ำเสมอมีการลดอุณหภูมิ 3°C ภายในระยะเวลาประมาณ 1 นาทีและมีความร้อนจากภายนอกระบบทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3°C ภายในระยะเวลาประมาณ 4 นาที

ขณะเริ่มทำการทดลองนี้มีความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นคือ 95% โดยมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น 82.5 ± 2.5 % เพื่อควบคุมความชื้น

สัมพัทธ์ช่วง 80 ถึง 85% ซึ่งจากภาพประกอบที่ 3.1 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอันเนื่องมาจากการทำงานของระบบทำความเย็นจากตำแหน่ง H1 จนกระทั่งถึง H2 คือประมาณ 52% จากนั้นความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นไปที่ H3 คือประมาณ 92% ด้วยระบบสร้างความชื้นโดยที่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ช่วง 80 ถึง 87% ภายในระยะเวลาประมาณ 50 นาทีก่อนที่ความชื้นสัมพัทธ์จะเข้าสู่ภาวะสม่ำเสมอ สำหรับค่าความผิดพลาดในการควบคุมเป็น 2%

สำหรับการควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน มีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น 16 ± 1 % เพื่อควบคุมให้อยู่ในช่วง 15 ถึง 17% ซึ่งจากภาพประกอบที่ 3.1 พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก 15.8% อันเนื่องมาจากปริมาณก๊าซที่ค้างในหัววัดจนถึงตำแหน่ง O1 ซึ่งเป็นปริมาณก๊าซในตู้คือประมาณ 18% จากนั้นก๊าซออกซิเจนถูกดูดกลืนด้วยระบบดูดกลืน ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงมาจนถึงตำแหน่ง O2 คือประมาณ 15% ภายในระยะเวลาประมาณ 9 นาทีก่อนจะเข้าสู่ภาวะสม่ำเสมอ

3.1.2 การทดสอบความสามารถในการควบคุมบรรยากาศของตู้เปล่าด้วยการเปิดและปิดฝาตู้

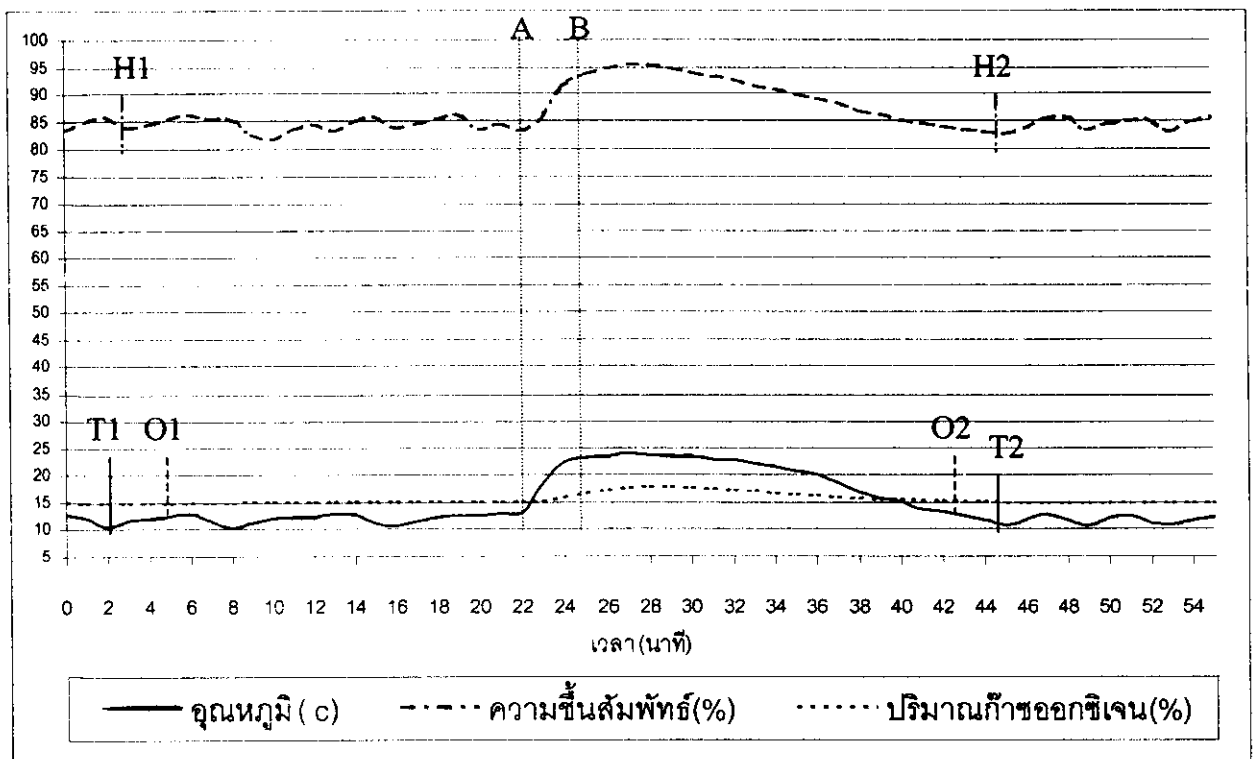
การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาการตอบสนองของระบบควบคุมบรรยากาศของตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ ในขณะที่เดินเครื่องจนกระทั่งสภาพบรรยากาศกำลังอยู่ในภาวะสม่ำเสมอ (steady) จากนั้นทำการทดสอบด้วยการเปิดฝาด้านหน้าของตู้มีประมาณ 90° เป็นระยะเวลาประมาณ 3 นาที แล้วปิดฝากลับสู่สภาพเดิม ภายหลังจากสภาพบรรยากาศที่ควบคุมอยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยควบคุมอุณหภูมิ 11.5 ± 1.5 °C ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 84 ± 2 % ปริมาณก๊าซออกซิเจนช่วง 16 ± 1 % มีการบันทึกผลเป็นกราฟซึ่งมี sample rate 1 นาที ดังภาพประกอบที่ 3.2

จากภาพประกอบที่ 3.2 กำหนดให้ตำแหน่ง A เป็นการเปิดตู้และตำแหน่ง B เป็นการปิดตู้พบว่าสำหรับการควบคุมอุณหภูมิ 10 ถึง 13°C ซึ่งมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น 11.5 ± 1.5 °C มีความสามารถในการควบคุม

ให้อยู่ในสภาวะสมำเสมอตั้งแต่ตำแหน่ง T1 ถึง A และจะกลับเข้าสู่ช่วงการควบคุมเดิม หลังจากการเปิดตู้ภายในระยะเวลาประมาณ 20 นาทีคือช่วงตำแหน่ง B ถึง T2

สำหรับการควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ช่วง 82 ถึง 86% ซึ่งมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น $84 \pm 2\%$ มีความสามารถในการควบคุมให้อยู่ในสภาวะสมำเสมอตั้งแต่ตำแหน่ง H1 ถึง A และจะกลับเข้าสู่ช่วงการควบคุมเดิม หลังจากการเปิดตู้ภายในระยะเวลาประมาณ 20 นาทีคือช่วงตำแหน่ง B ถึง H2

สำหรับการควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนช่วง 15 ถึง 17% ซึ่งมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น $16 \pm 1\%$ มีความสามารถในการควบคุมให้อยู่ในสภาวะสมำเสมอตั้งแต่ตำแหน่ง O1 ถึง A และจะกลับเข้าสู่ช่วงการควบคุมเดิมหลังจากการเปิดตู้ภายในระยะเวลาประมาณ 18 นาทีคือช่วงตำแหน่ง B ถึง O2



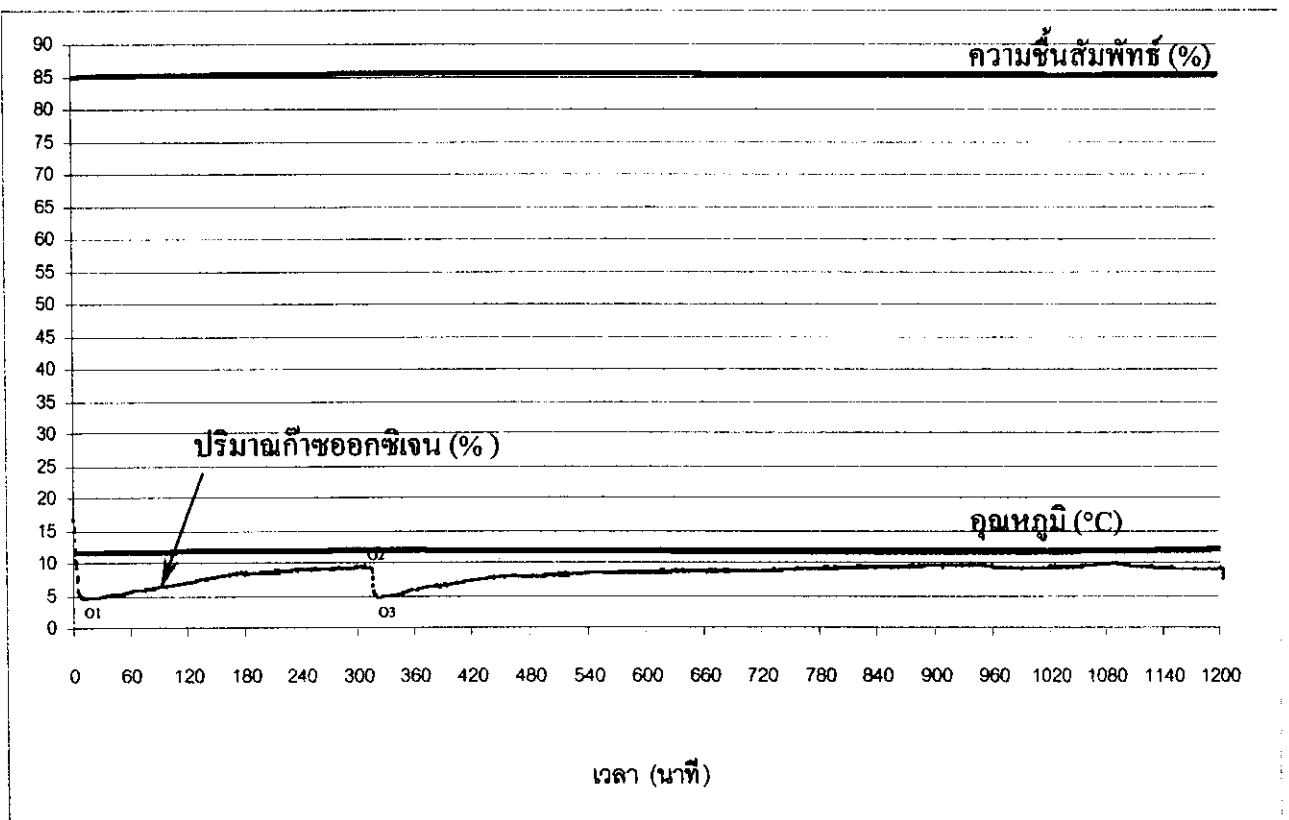
ภาพประกอบที่ 3.2 ผลการเปิดฝาตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

3.2 การทดสอบการใช้งานจริง

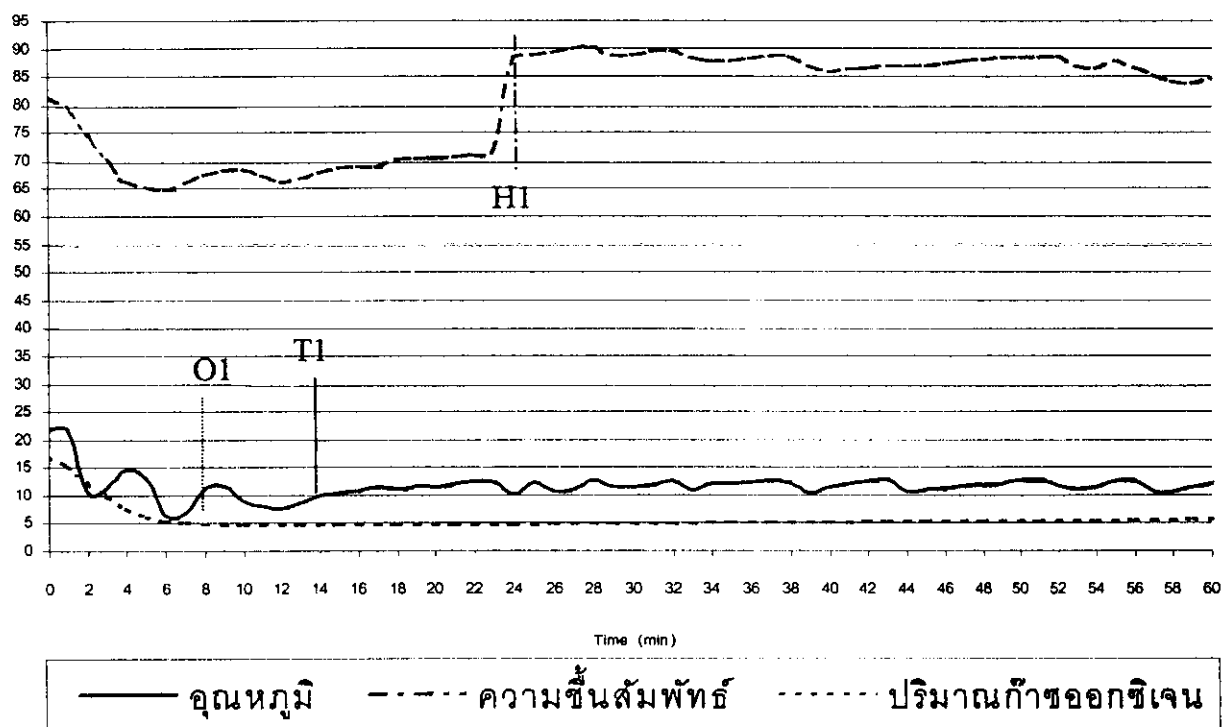
3.2.1 การทดสอบการใช้งานเก็บรักษามะนาวด้วยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ

ภายหลังจากการทดสอบตู้เปล่าแล้ว ยังได้ทดสอบความสามารถในการควบคุมของตู้โดยใช้การเก็บรักษาผลไม้ตัวอย่าง การทดสอบนี้เลือกใช้มะนาวหนึ่งเป็นตัวอย่างทดสอบ มะนาวพันธุ์นี้มีลักษณะผิวเรียบและเปลือกบาง ซึ่งจากตลาดสด มีอายุหลังการเก็บเกี่ยวประมาณ 3 วัน มีสีเขียวแก่สด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแนวอนเฉลี่ย 3.7 ซม.

สภาพบรรยากาศที่ใช้สำหรับทดสอบ เป็นสภาพบรรยากาศที่เหมาะสมสำหรับมะนาวคือ อุณหภูมิช่วง 10 ถึง 13°C ความชื้นสัมพัทธ์ 85 ถึง 90% ก๊าซออกซิเจน 5 ถึง 10% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0% และกำจัดก๊าซเอทริลีน จากการทดสอบ สามารถควบคุมบรรยากาศได้ดังภาพประกอบที่ 3.3 การบันทึกกราฟดังกล่าวมี sample rate 1 นาที



ภาพประกอบที่ 3.3 ผลจากการเก็บรักษามะนาวด้วยตู้เก็บควบคุมบรรยากาศ



ภาพประกอบที่ 3.4 ภาพขยายของภาพประกอบที่ 3.3

ผู้เก็บควบคุมบรรยากาศเริ่มทำการทดสอบที่อุณหภูมิเริ่มต้น 22°C โดยมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น $11.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 10 ถึง 13°C จากภาพประกอบที่ 3.4 พบว่าตั้งแต่เริ่มทำการทดสอบอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ จนเริ่มเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอที่ต้องการควบคุมที่ตำแหน่ง T1 ได้ภายในระยะเวลาประมาณ 14 นาที

การทดลองนี้มีความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นประมาณ 82% โดยมีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น $87.5 \pm 2.5\%$ เพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ช่วง 85 ถึง 90% ซึ่งจากภาพประกอบที่ 3.4 พบว่าตั้งแต่เริ่มทำการทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเรื่อยๆ จนถึง 65% เนื่องจากการทำงานของระบบทำความเย็น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลงมากกว่าช่วงที่ต้องการ ดังนั้นระบบสร้างความชื้นจึงทำหน้าที่เพิ่มความชื้นตั้งแต่ระบบเริ่มทำงานจนเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอที่ตำแหน่ง H1 ได้ภายในระยะเวลาประมาณ 24 นาที

สำหรับการควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจน มีการตั้งค่าการควบคุมด้วยโปรแกรม Quicklog ที่ setpt block เป็น 7.5 ± 2.5 % เพื่อควบคุมให้อยู่ในช่วง 5 ถึง 10% ซึ่งจากภาพประกอบที่ 3.4 พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนค่อยๆ ลดลงจาก 17% เป็น 5% อันเนื่องมาจากการค่อยๆ ป้อนก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่ปริมาณก๊าซออกซิเจนในช่วงเริ่มต้นการทดลองเท่านั้น (ช่วยลดการทำงานของระบบดูดกลืนก๊าซ) จนถึงตำแหน่ง O1 ใช้ระยะเวลาประมาณ 9 นาที จากนั้นปิดวาล์วของถังก๊าซไนโตรเจนเพื่อให้ระบบดูดกลืนทำงาน หลังจากนั้นปริมาณก๊าซออกซิเจนจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5% เป็น 10% คือจากตำแหน่ง O1 ไป O2 ซึ่งแสดงไว้ในภาพประกอบที่ 3.3 ใช้ระยะเวลาประมาณ 5 ชม. ในการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซออกซิเจน 5% ภายในตู้ จากนั้นปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลงเนื่องมาจากการทำงานของระบบดูดกลืนก๊าซออกซิเจนจนเหลือเพียง 5% คือจากตำแหน่ง O2 ไป O3 โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 7 นาทีในการดูดกลืนปริมาณก๊าซออกซิเจน 5%

นอกจากนี้สามารถควบคุมการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในตู้ซึ่งสังเกตได้จาก การเกิดตะกอนแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์และสามารถควบคุมการกำจัดก๊าซเอทรีนภายในตู้ ซึ่งสังเกตได้จากการไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายต่างทับทิมอิมตัว

ผลจากการควบคุมบรรยากาศ สามารถยืดอายุมะนาวตัวอย่างซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแวนอนเฉลี่ย 3.7 ซม. ให้คงสภาพ ไม่เน่าเสียเป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพดังนี้ ระยะเวลา 1 เดือนแรกมีลักษณะเขียวสด เมื่อผ่าตามขวางพบว่าความหนาของเปลือกมะนาวยังคงหนาเช่นเดิม ลักษณะภายในของมะนาวยังมีสภาพที่ดี ผิวมะนาวตัวอย่างเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพียงเล็กน้อยบางผลเท่านั้นในวันที่ 37 จากนั้นเริ่มมีการกระจายของสีเหลืองเพียงเล็กน้อยในวันที่ 41 เมื่อผ่าตามขวางพบว่าขอบเปลือกมะนาวเริ่มบางลงในวันที่ 54 ลักษณะภายในของมะนาวยังมีสภาพที่ดี มีผิวสีเขียวแกมเหลืองเล็กน้อย ภาพการเปรียบเทียบมะนาวตัวอย่างด้วยวิธีนี้กับการเก็บรักษาภายใต้สภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องและการเก็บรักษาด้วยตู้เย็นมีลักษณะทางกายภาพ ดังภาคผนวก ค ที่ 1

3.2.2 การทดลองเพื่อใช้เปรียบเทียบ

การทดลองนี้ไม่ได้เป็นเป้าหมายหลักของงานวิจัย เป็นการทดลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของมะนาวด้วยวิธีการเก็บรักษาวิธีอื่นเท่านั้น เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาผลไม้ด้วยเทคโนโลยีการควบคุมบรรยากาศ การทดลองดังกล่าวเป็นการเก็บรักษามะนาวภายใต้สภาวะปรกติที่อุณหภูมิห้องและเก็บรักษามะนาวในตู้เย็น

3.2.2.1 การเก็บรักษามะนาวภายใต้สภาวะปรกติที่อุณหภูมิห้อง

การเก็บรักษามะนาวภายใต้สภาวะปรกติที่อุณหภูมิห้อง ใช้มะนาวตัวอย่างชุดเดียวกันกับการเก็บรักษาด้วยการควบคุมบรรยากาศ วางไว้ในถาดขนาด 35x45 ซม. เก็บไว้ในห้องทำงานที่มีอุณหภูมิห้องตอนเที่ยงวันของทุกวัน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 29°C ภายในระยะเวลา 1 เดือนนับตั้งแต่เริ่มทำการทดลองและมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเป็น 78% มะนาวดังกล่าวได้รับการวางตำแหน่งให้มีระยะห่างเท่าๆ กัน ไม่มีการวางทับกัน ระหว่างผลแต่วางเป็นชั้นเพื่อให้อากาศไหลผ่านได้ทั่วถึง การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งจำนวน 1 ตัวที่ได้รับการปรับเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแล้วแขวนให้ลอยในอากาศ วัดอุณหภูมิเหนือถาดของมะนาว การวัดความชื้นสัมพัทธ์ใช้ชุดเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง-เปียก ที่ได้รับการปรับเทียบด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแล้ว จากนั้นทำการถ่ายภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีของมะนาวทุกวัน พร้อมทั้งคอยเติมน้ำให้ผ้าพันกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกชุ่มน้ำตลอดเวลา

ผลจากการทดลองพบว่ามะนาวตัวอย่างภายใต้สภาวะปรกติที่อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองภายในสัปดาห์แรก ในวันที่ 2 เริ่มมีการกระจายของสีเหลืองเพิ่มขึ้น จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลในวันที่ 4 จากนั้นในวันที่ 6 เริ่มมีสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่ผิวซึ่งเป็นลักษณะที่เริ่มเน่าเสีย

3.2.2.2 การเก็บรักษามะนาวในตู้เย็น

การเก็บรักษามะนาวในตู้เย็นใช้มะนาวตัวอย่างชุดเดียวกัน วางบนตะแกรงของตู้เย็นขนาด 1.8 ลูกบาศก์ฟุต การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับมะนาว

คือช่วง 10 ถึง 13°C แต่ตู้เย็นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิช่วงนี้ได้ เนื่องจากชุดควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็นมีความสามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่กว้าง สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ใกล้เคียงที่สุดได้ที่ช่วง 7 ถึง 15°C ด้วยการตั้งค่าชุดควบคุมอุณหภูมิของตู้เย็นที่หมายเลข 3 ทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์ โดยนำชุดเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง-เปียกที่ได้รับการปรับเทียบด้วยเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานแขวนภายในตู้เย็น วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ช่วง 40 ถึง 50% จากนั้นทำการถ่ายภาพลักษณะการเปลี่ยนแปลงสีของมะนาวทุกวัน

ผลจากการทดลองพบว่ามะนาวตัวอย่างที่เก็บรักษาด้วยตู้เย็น มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาว จากสีเขียวเป็นสีเหลืองในวันที่ 2 เพียงเล็กน้อย มีการกระจายของสีน้ำตาลเกิดขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 16 ในขณะที่การกระจายของสีเหลืองยังไม่เต็มผลและผิวมะนาวเป็นสีน้ำตาลทั้งผลในวันที่ 20