บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ผลที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเกิดบรรยากาศดัดแปร และการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดบรรยากาศดัดแปรภายในบรรจุภัณฑ์สำหรับผักและผลไม้สด รวมทั้งการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่อการเกิดบรรยากาศดัดแปรที่ได้ทำขึ้นในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรสำหรับผักและผลไม้สด เป็นสมการดุลมวลที่ประกอบไปด้วยพจน์ที่สำคัญ 2 พจน์ คือ พจน์ของอัตราการซึมผ่านชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ของก๊าซ และพจน์อัตราการหายใจหรือพจน์อัตราการคายน้ำของผักและผลไม้สด

6.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรสำหรับผักและผลไม้สดเลือกใช้แบบจำลองอัตราการหายใจแบบไมเคิลลิสเมนเทนซนิดมีการยับยั้งแบบอันคอมเพททิทีฟร่วมกับผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราการหายใจแบบอาเรเนียส ใช้ผลของอุณหภูมิแบบอาเรเนียสและความชื้นสัมพัทธ์ภายในบรรจุภัณฑ์แบบเส้นตรงต่อค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ และสำหรับพจน์ของอัตราการคายน้ำเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิและความชื้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถอธิบายปรากฏการณ์การเกิดบรรยากาศดัดแปรภายในบรรจุภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี โดยสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และไอน้ำ ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยที่ผ่านมา

6.1.3 โปรแกรม MAP 2000 ที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณค่าความดันย่อยของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และไอน้ำ ที่เวลาต่าง ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และสะดวกต่อการใช้งาน

6.1.4 เฉพาะกรณีที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษา (T) สูงขึ้น เวลาในการเข้าสู่ภาวะคงตัว (t_{ss}) มีแนวโน้มลดลง โดยในช่วงอุณหภูมิต่ำจะมีอัตราการลดลงสูงกว่าช่วงอุณหภูมิสูง

6.1.5 เฉพาะกรณีที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษา (T) สูงขึ้น ความดันย่อยของก๊าซออกซิเจนที่ภาวะคงตัวมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่ภาวะคงตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6.1.6 เฉพาะกรณีที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ (สำหรับพอลิเมอร์ที่ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการเก็บรักษา (%RH) สูงขึ้น) เมื่อความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นในการเก็บรักษาสูงขึ้น ความดันย่อยที่ภาวะคงตัวของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้น

6.1.7 เฉพาะกรณีที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่อความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น ความดันย่อยที่ภาวะคงตัวของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

6.1.8 เฉพาะกรณีที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เมื่อความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น ความดันย่อยที่ภาวะคงตัวของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลง

6.1.9 สภาวะที่บรรจุผักและผลไม้สดมีผลกระทบต่อบรรยากาศดัดแปรที่เกิดขึ้นน้อยกว่าสภาวะในการเก็บรักษามาก ดังนั้นในการเก็บรักษาด้วยวิธีการใช้บรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรจึงควรพิจารณาถึงสภาวะในการเก็บรักษามากกว่าสภาวะในการบรรจุ

6.1.10 ความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะที่บรรจุผักและผลไม้สดไม่มีผลกระทบต่อบรรยากาศดัดแปรที่ภาวะคงตัวที่เกิดขึ้น และมีผลกระทบต่อค่าเวลาในการเข้าสู่ภาวะคงตัวน้อยมาก

6.1.11 โปรแกรม MAP 2000 สามารถใช้คำนวณหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรได้โดยเป็นการคำนวณหากลุ่มตัวแปร $\frac{P_{O_2}A}{dW}$ และ $\frac{P_{CO_2}A}{dW}$ ที่เหมาะสมตามความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภาวะคงตัวและอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต้องการ

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ควรเพิ่มสมการดุลมวลของก๊าซเอทิลีนในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปร รวมทั้งผลของก๊าซเอทิลีนต่ออัตราการหายใจ เพื่อที่จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใกล้เคียงกับปรากฏการณ์จริงมากขึ้น

6.2.2 ควรเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการหายใจของผักและผลไม้สดโดยแยกประเภทของผักและผลไม้สด เพื่อความสะดวกในการทำนายและศึกษาผลกระทบเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ และทำให้ใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

6.2.3 ควรศึกษาความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำให้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

6.2.4 ควรศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซกับโครงสร้างของพอลิเมอร์ เพื่อว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ของบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรจะสามารถใช้งานได้ในวงกว้างขึ้นโดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานของพอลิเมอร์เท่านั้น

6.2.5 ควรทำการศึกษาถึงการเกิดบรรยากาศดัดแปรสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากฟิล์มหลายชั้น เนื่องจากการใช้ฟิล์มพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวอาจไม่สามารถทำให้เกิดบรรยากาศดัดแปรที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุผักและผลไม้สดได้

6.2.6 ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเกิดบรรยากาศดัดแปร ควรใช้สมการดุลพลังงาน (energy balance) เข้ามาเกี่ยวข้อง แต่อาจมีความยากในการศึกษาเพราะข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานของผักและผลไม้สดมีอยู่อย่างจำกัด