บทที่ 6
บทสรุปและข้อแนะนำ

ผลสรุปและข้อแนะนำที่ได้จากงานวิจัยมีดังนี้

6.1 บทสรุป

6.1.1. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรแบบฟิล์มพอลิเมอร์หลายชั้นมีข้อจำกัดดังนี้

ก. ใช้แบบจำลองการหายใจไมเคิลลิสเมนเทนซนิดมีการยับยั้งแบบอันคอมเพทิทีฟในการคำนวณหาอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หนึ่ง ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์

ข. ใช้สมการอาร์เรเนียสในการคำนวณหาอัตราการหายใจของผักและผลไม้ที่อุณหภูมิใด ๆ ณ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หนึ่ง ๆ ภายในบรรจุภัณฑ์เท่านั้น

ค. อัตราการคายน้ำของผักและผลไม้เป็นผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การคายน้ำกับผลต่างความดันไอน้ำอิ่มตัวซึ่งเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิการจัดเก็บกับความดันไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์

ง. สมการแสดงอัตราการซึมผ่านก๊าซสุทธิเป็นไปตามกฎของฟิกส์โดยพิจารณาการซึมผ่านก๊าซในฟิล์มพอลิเมอร์ในระบบพิกัดฉากเท่านั้น

จ. ใช้กฎของฟิกส์ในการอธิบายค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำในฟิล์มพอลิเมอร์โดยที่ก๊าซและไอน้ำจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะฟิล์มพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic polymer) เท่านั้น

ฉ. ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ถูกดูดซับในพอลิเมอร์แปรผันตรงกับความดันก๊าซย่อยตามกฎของเฮนรี่ซึ่งก๊าซต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ และมีความสามารถในการละลายได้ในพอลิเมอร์ต่ำและมีค่าคงที่

ช. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับกำหนดชนิดและความหนาของฟิล์มพอลิเมอร์แต่ละชั้นของฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นถือว่าไม่มีช่องว่างระหว่างชั้นฟิล์มพอลิเมอร์ที่นำมาวางเรียงซ้อนกัน และไม่พิจารณาผลกระทบของชั้นกาวต่อค่าความสามารถในการซึมผ่านรวมของก๊าซและไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้น

ช. ใช้วิธีการคำนวณด้วยวิธีการคำนวณสองระยะ (Two phase method) และวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex method) ในการแก้ระบบสมการเชิงเส้นตรง โดยต้องสอดคล้องกับฟังก์ชันข้อจำกัดซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นแสดงค่าความสามารถในการซึมผ่านรวมของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำแล้วเลือกชุดคำตอบที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นแสดงต้นทุนรวมของวัตถุดิบมีค่าต่ำสุด

6.1.2 ไม่สามารถผลิตฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นจากการเลือกใช้เฉพาะฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซน้อยกว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านรวมของก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นได้

6.1.3 ไม่สามารถผลิตฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นจากการเลือกใช้เฉพาะฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซมากกว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านรวมของก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นได้

6.1.4 ต้องผลิตฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นโดยเลือกใช้ฟิล์มพอลิเมอร์บางชั้นที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซมากกว่า และฟิล์มบางชั้นที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซน้อยกว่าค่าความสามารถในการซึมผ่านรวมของก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นมาวางเรียงซ้อนกัน

6.1.5 เมื่อความหนารวมของ ทำให้ค่าความสามารถในการซึมผ่านก๊าซโดยรวมของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกัน แต่ความหนาของฟิลม์พอลิเมอร์แต่ละชั้นในฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นนั้นไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนกับความหนาโดยรวมของบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามต้องการ

6.1.6 สามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการออกแบบฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นสำหรับการจัดเก็บผักและผลไม้แต่ละชนิดภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปรที่เหมาะสม

6.1.7 ค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์สำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการจัดเก็บผักและผลไม้แต่ละชนิด

6.1.8 การนำบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซที่เหมาะสมกับการจัดเก็บผักและผลไม้ที่อุณหภูมิต่ำไปใช้กับสภาพการจัดเก็บที่อุณหภูมิสูงอาจจะส่งผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนภายในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะคงตัวมีค่าต่ำกว่าระดับของก๊าซออกซิเจนที่ผักและผลไม้ชนิดนั้น ๆ จะทนทานได้ หรือทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ที่สภาวะคงตัวมากกว่าระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผักและผลไม้ชนิดนั้น ๆ จะทนทานได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้น ผักและ

ผลไม้จะเน่าเสียเร็วขึ้น ดังนั้นในการเลือกบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากที่ได้ออกแบบไว้ในระหว่างการจัดเก็บด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ควรทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับค่าความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มพอลิเมอร์ให้มากขึ้น เพื่อจะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำตามความต้องการของผักและผลไม้ได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยไม่เกิดการควบแน่นของไอน้ำภายในบรรจุภัณฑ์อันเป็นสาเหตุให้เกิดการเน่าเสียสำหรับการจัดเก็บผักและผลไม้ภายใต้สภาพบรรยากาศดัดแปร

6.2.2 ควรมีการศึกษาเทคนิคการปรับสมบัติค่าความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำของบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเมอร์ด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การใช้บรรจุภัณฑ์แบบเจาะรู การใช้บรรจุภัณฑ์แบบเจาะรูขนาดเล็ก (microperforation) เป็นต้น เพื่อนำมาใช้พัฒนาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

6.2.3 ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบบรรจุภัณฑ์จะสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพการจัดเก็บที่กำหนดไว้ในการออกแบบเท่านั้น ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ควรมีการพิจารณาประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการจัดเก็บและการจำหน่ายเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์พอลิเมอร์สำหรับการจัดเก็บผักและผลไม้

6.2.4 ควรศึกษาความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับค่าความสามารถในการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์แต่ละชนิด และค่าความสามารถในการซึมผ่านรวมของก๊าซของฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้น เพื่อเลือกฟิล์มพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แบบบรรยากาศดัดแปรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.2.5 ควรมีการเพิ่มความสามารถของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการนำมาใช้ออกแบบฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นในภาคปฏิบัติ โดยพิจารณาถึงขอบเขตของความหนาของฟิล์มพอลิเมอร์แต่ละชนิดและขั้นกาวที่อยู่ระหว่างฟิล์มพอลิเมอร์แต่ละชั้น เพื่อให้การออกแบบฟิล์มพอลิเมอร์แบบหลายชั้นมีประสิทธิภาพและความถูกต้องมากขึ้น