b.116557

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี
Distribution Package Systems for Pummelo cv. "Tong Dee"

โดย

อาจารย์ดำรงพล คำแหงวงศ์

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

สัญญาเลขที่ 02/2552
รหัสโครงการวิจัย 52105010005

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี
Distribution Package Systems for Pummelo cv. "Tong Dee"

โดย

อาจารย์ดำรงพล คำแหงวงศ์

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

สัญญาเลขที่ 02/2552
รหัสโครงการวิจัย 52105010005

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี
Distribution Package Systems for Pummelo cv. "Tong Dee"

โดย

อาจารย์ดำรงพล คำแหงวงศ์

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ส่วนบริการงานวิจัย และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่ได้ช่วยเหลือทางด้านวิชาการ สนับสนุนด้านเงินทุน และให้ความช่วยเหลือทางด้านห้องปฏิบัติการในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทสหกรณ์ส้มโอเวียงแก่น จำกัด อ. เวียงแก่น จ.เชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดสอบและสนับสนุนในด้านข้อมูลการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออก

ขอขอบพระคุณ บริษัท ซีเค คาร์ตัน จำกัด เลขที่ 319 หมู่ที่ 8 ต.อุโมงค์ อ.เมือง จ.ลำพูน ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องการการตัดกล่องและสนับสนุนในด้านการออกแบบและการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

ขอขอบพระคุณ กลุ่มงานภาชนะบรรจุอาหาร กรมวิทยาศาสตร์บริการ และศูนย์บรรจุหีบห่อไทยที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านห้องปฏิบัติการและข้อมูลด้านกฎระเบียบสำหรับการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดี

ดำรงพล คำแหงวงศ์

ธันวาคม 2554

บทสรุปผู้บริหาร

1.บทนำ

จังหวัดเชียงรายมีการปลูกส้มโอมากเป็นอันดับที่ 5 ของประเทศ พันธุ์ส้มโอที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายเพื่อการส่งออกมากที่สุดคือ ส้มโอพันธุ์ทองดี มีการปลูกมากที่สุดในอำเภอเวียงแก่นจากผลการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นจากผู้ประกอบการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดี ในอำเภอเวียงแก่นพบว่าผู้ส่งออกประสบปัญหาในเรื่องความเสีย หายจากการยุบตัวของกล่องของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอ เนื่องจากการกระทำเชิงกลดังเช่น การกดทับ (compression) การกระแทก (shock) และการสั่นสะเทือน (vibration) ในระหว่างการขน ส่งและจัดเก็บสินค้า ถึงร้อยละ 10 – 40 โดยสาเหตุหลักจากความเสียหายดังกล่าวเป็นผลมาจากการเลือกใช้ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งที่ไม่เหมาะสมต่อสภาวะแวดล้อมของการขนส่งส้มโอมาใช้ แม้ว่าผู้ส่งออกจะใช้ ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีตามแบบที่ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย (ศทบ.) ได้พัฒนาและแนะนำให้ใช้ใน จดหมายเหตุบรรจุภัณฑ์ ฉบับที่ 8 เรื่องกล่องกระดาษลูกฟูกบรรจุส้มโอส่งออกทางเรือ แบบ ศบท.1 (จดหมายเหตุบรรจุภัณฑ์, 2531) ที่แนะนำให้ใช้แบบกล่องกระดาษ International case code 0320 แต่เนื่องจากในสภาวะการขนส่งจริงไม่สามารถจัดการสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมตลอดการขนส่งได้ จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายของส้มโอดังกล่าวฯ

2. หลักการและเหตุผล

จากปัญหาของผู้ประกอบการส่งออกส้มโอที่กล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีที่เหมาะสมในการส่งออก ตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องให้ผู้ประกอบการในด้านแนวทางการปฏิบัติเกี่ยวกับวิธีการบรรจุส้มโอเพื่อการส่งออก การขึ้นรูปกล่อง การจัดเก็บกล่อง รวมถึงการเคลื่อนย้ายกล่องและการขนส่งให้ถูกวิธี เพื่อลดการเกิดความเสียหายจากปัญหาดังกล่าวฯ ซึ่งผลของการออกแบบระบบภาชนะบรรจุและการถ่ายทอดเทคโนโลยีดังกล่าวฯ คาดว่าจะช่วยลดความเสียหายของกล่องกระดาษจากการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกดังกล่าวได้ อีกทั้งระบบภาชนะบรรจุที่พัฒนาได้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการขนส่งผลิตผลเกษตรชนิดอื่นๆ เพื่อการส่งออกต่อไป

3. ขอบเขตการศึกษา

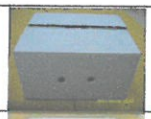
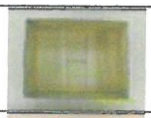
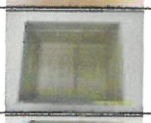
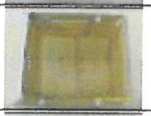
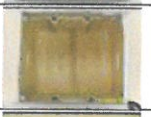
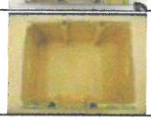
ศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออก จากแหล่งข้อมูลต่างๆและจากผู้ประกอบการผู้ผลิตส้มโอใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ออกแบบระบบภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่ง จากนั้นจัดทำต้นแบบ (prototype) เพื่อประเมินความเหมาะสมและทดสอบการขนส่งของระบบภาชนะบรรจุที่ออกแบบ

4. วิธีวิจัย

โครงการวิจัยนี้แบ่งวิธีวิจัยออกเป็น 3 ระยะ คือ

การทดลองระยะที่ 1 ศึกษารวบรวมข้อมูลและออกแบบระบบภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออก ออกแบบกล่องขนาดกว้าง 500 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร และสูง 250

มิลลิเมตร โดยใช้กระดาษลูกฟูกชนิด 2 ชั้น ชนิดลอน บี-ซี (WL 170/3CA 125/KA 230) ภายในมีวิธีการบรรจุโดยใช้ผลส้มโอรหัสขนาด 4 จำนวน 15 ผล วางเรียงสองชั้นแบบสลับฟันปลา (interlocking) การออกแบบกล่องใช้โปรแกรม corel draw version 11 และตัดกล่องโดยใช้เครื่องตัดกล่องจาก ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบริษัท ซีเค คาร์ตัน จำกัด ออกแบบจำนวน 7 แบบ มีรายละเอียดของการออกแบบดังนี้

ชื่อ	รายละเอียด	คุณลักษณะ	
		ฝากล่อง	ตัวกล่อง
BC	กล่องแบบ Bliss case ทั่วไป		
BC4	กล่องแบบ Bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม		
WC	กล่องแบบ Wrap around ทั่วไป	-	
WC4	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม	-	
WC6	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม และคอลัมน์ 2 คอลัมน์	-	
WC8	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม และคอลัมน์ 4 คอลัมน์	-	
NDB	ตัวกล่องเป็นแบบ WC8 ตัวฝาเป็น กล่องแบบ BC		

การทดลองระยะที่ 2 การประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุที่ออกแบบ ต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีโดยนำกล่องที่ได้จากการออกแบบในแต่ละสภาวะทดสอบมาทดสอบความแข็งแรงเชิงกลและประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิผลิตผลเบื้องต้น

การทดลองระยะที่ 3 การทดสอบการขนส่ง (Distribution test) โดยพิจารณาเลือกระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมจากการทดลองที่ 2 มาทำการทดสอบการขนส่ง (Distribution test) ด้วยการจำลองสภาวะการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการ (Laboratory vibration test) ด้วยเครื่องมือทดสอบ vibration tester ตามมาตรฐาน ASTM D999-01

วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติ Analysis of varience (ANOVA) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan ' s new multiple – range test (DMRT) ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ในเรื่องแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้องเพื่อการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดี

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษารวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุพบว่าสาเหตุหลักของการยุบตัวของกล่องกระดาษลูกฟูกในระหว่างการขนส่งส้มโอเกิดจาก ผู้ส่งออกไม่มีการประเมินปัจจัยด้านความต้านทานต่อแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูก (safety factor) ที่ใช้ในการขนส่งส้มโอส่งออกที่ถูกต้องต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมในระหว่างการขนส่งหรือจัดเก็บ นอกจากนี้ยังพบว่าการขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องของผู้ประกอบการในวิธีการบรรจุส้มโอเพื่อการส่งออก การขึ้นรูปกล่อง การจัดเก็บกล่อง รวมถึงการเคลื่อนย้ายกล่องและการขนส่งให้ถูกวิธี ส่งผลทำให้ลอนของกล่องลูกฟูกเกิดการยุบตัวหรือหักเสียหายส่งผลทำให้กล่องสูญเสียความแข็งแรงและเกิดการยุบตัวของกล่องดังกล่าวฯ

2. ผลการทดสอบการขนส่งเพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุที่ออกแบบสรุปว่ากล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB เป็นระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกมากที่สุดเนื่องจากมีความต้านทานต่อแรงกดที่เพียงพอต่อการวางเรียงซ้อนในระหว่างการจัดเก็บ และการขนส่งส้มโอในสภาวะวิกฤติที่มีระดับความชื้นสูงได้ อีกทั้งกล่องทั้งสองแบบยังมีความ สามารถในการลดอุณหภูมิเบื้องต้นและต้นทุนอยู่ในระดับที่ผู้ส่งออกยอมรับได้

ข้อเสนอแนะ

1. การบรรจุส้มโอลงในกล่องแบบ NDB ซึ่งมีร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุหรือมีการบรรจุที่แน่นกว่า (tight fill pack,TFP) การบรรจุส้มโอลงในกล่องแบบ BCC ส่งผลให้ส้มโอที่บรรจุลงในกล่องแบบ NDB มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายได้มากกว่าส้มโอที่บรรจุลงในกล่องแบบ BCC

2. การผลิตและการใช้งานกล่องแบบ BCC จะทำได้ง่ายกว่าและมีต้นทุนที่ถูกกว่ากล่องแบบ NDB เนื่องจากกล่องแบบ BCC จะใช้กระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตกล่องแบบ slot container ทั่วไป ขณะที่กล่องแบบ NDB จะต้องใช้กระบวนการผลิตแบบไดคัท (die cut) ร่วมกับกระบวนการผลิตกล่องแบบ slot container

6. การเผยแพร่ผลงานวิจัย

1. มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการแนะนำผู้ประกอบการให้ใช้ กล่องแบบ BCC มาเป็นระบบภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีแทนที่ระบบที่ภาชนะบรรจุที่มีอยู่เดิมที่ใช้กล่องกระดาษลูกฟูกแบบสองชิ้น (Full telescope box) รวมถึงแนะนำแนวทางการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง เพื่อลดความเสียหายจากกระบวนการขนส่งไปเผยแพร่แก่เกษตรผู้ปลูกส้มโอ และผู้ส่งออกส้มโอ โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรผู้ปลูกส้มโอและผู้ส่งออกใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย

2. มีการนำเสนอผลงานในภาคนิทัศน์และบทความในการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ณ. โรงแรมพัทยาพาร์ค บีช รีสอร์ท จ. ชลบุรี

บทคัดย่อ

ส้มโอจากอำเภอเวียงแก่นเป็นสินค้าเกษตรส่งออกที่สำคัญของจังหวัดเชียงราย ปัจจุบันผู้ส่งออกประสบปัญหากล่องยุบตัวในระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บทางเรือ เนื่องจากการขนส่งที่ต้องใช้ระยะเวลานาน และความชื้นในบรรยากาศที่ค่อนข้างสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวฯ โดยออกแบบกล่องกระดาษลูกฟูกชนิดสองชั้น (ลอน B/C) เพื่อใช้ขนส่งส้มโอ จำนวน 7 แบบ ได้แก่ กล่อง BC (เป็นกล่องแบบ bliss case ตัวกล่องเป็นกล่องไม่มีการเสริมมุมหรือคอลัมน์) กล่อง BCC (เป็นกล่องแบบ bliss case ที่ตัวกล่องเสริมมุมทั้ง 4 มุมของกล่อง กล่อง WC (เป็นกล่องแบบ wrap around ตัวกล่องไม่มีการเสริมมุมหรือคอลัมน์) กล่อง WC4 (เป็นกล่องแบบ wrap around ที่เสริมมุมเข้าไปทั้ง 4 มุมของกล่อง) กล่อง WC6 (เป็นกล่องแบบ wrap around ที่เสริมมุมทั้ง 4 มุมของกล่องและเสริมคอลัมน์ 2 คอลัมน์ด้านข้างของกล่อง) กล่อง WC8 (เป็นกล่องแบบ wrap around ที่เสริมมุมทั้ง 4 มุม ของกล่องและเสริมคอลัมน์ 4 คอลัมน์ด้านข้างของกล่อง) และ กล่อง NDB (ตัวกล่องเลียนแบบกล่อง WC8 และฝากล่องเป็นเลียนแบบ กล่อง BC) และทดสอบการขนส่งกล่องกระดาษลูกฟูกแต่ละแบบ เพื่อประเมินรูปแบบของภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี จากผลการทดลองพบว่ากล่อง NDB และ BCC จะมีความต้านทานต่อแรงกดทับและการวางเรียงซ้อนสูงสุดที่ 1,623-7,476 กิโลกรัมแรง และที่ 0.5-1.0 เซนติเมตร ตามลำดับ มีประสิทธิภาพต่อการลดอุณหภูมิของผลิตผลที่เวลา 14.24-15.15 ชั่วโมงของ 7/8 half time มีต้นทุนอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ส่งออกยอมรับได้ และสามารถปกป้องส้มโอจากแรงกระทำเชิงกล จึงมีความเหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอมากที่สุด ขณะที่กล่องชนิดชิ้นเดียวแบบ WC จะมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของผลิตผลมากแต่มีความต้านทานต่อแรงกดทับต่ำจึงไม่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้บรรจุส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการขนส่ง

คำสำคัญ: ส้มโอ บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง กล่องกระดาษลูกฟูก ความแข็งแรงต่อแรงกด ความแข็งแรงต่อการวางเรียงซ้อน

Abstract

Pummelo from Wiang Kaen District is an important exporting agricultural product of Chiang Rai Province. Currently, exporters face problem on collapse of the box during transportation and storage by sea because transportation take over time and confront environment at high percentage of relative humidity. The objective of this research is to design transporting package for Thong Dee Pummelo to solve the mentioned problem by designing the structure of double wall corrugated box (flute B/C) for pummel transportation and creating prototype of packaging by sample cutters. There were 7 designed box styles which were BC (bliss case boxes without corner and column), BCC (bliss case boxes with 4 corners), WC (wrap around boxes without corner and column), WC4 (wrap around boxes with 4 corners), WC6 (wrap around corner with 4 corners and 2 columns) WC8 (wrap around corner with 4 corners and 4 columns) and newly developed boxes (NDB, the body is WC8 style and the cover is BC style) and each packaging model were analyzed laboratory testing with to seek optimum packaging model for pummelo transportation. The result from analysis show that the BCC and NDB box styles were the most suitability to transport of pummelo because they had the highest compression strength (CS) and stacking strength (SS) at 1,623-7,476 Kgf and at 0.5-1.0 cm. respectively, high efficiency on product temperature decreasing at 14.24-15.15 hours of 7/8 half time, low the cost criterion that was acceptable by exporters and high ability to protect pummelo from mechanical strength.

Key words: pummelo, packaging for transportation, corrugated box, compression strength, stacking strength

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		(1)
บทสรุปผู้บริหาร		(2)
บทคัดย่อภาษาไทย		(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		(7)
สารบัญ		
สารบัญตาราง		
สารบัญภาพ		
อักษรย่อและสัญลักษณ์		
บทที่ 1	**บทนำ**	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
บทที่ 2	**แนวคิดทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 ความเสียหายจากการขนส่ง	3
	2.2 ส้มโอพันธุ์ทองดี	4
	2.3 บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี	5
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	
	3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออก	7
	3.2 ศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี	7
	3.3 ออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี	10
	3.4 การประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี	10
	3.5 ทดสอบการขนส่ง	12
	3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	13
บทที่ 4	**ผลการศึกษาวิจัย**	
	4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออก	14
	4.2 ผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี	16
	4.3 ผลการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี	17
	4.4 ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี	29
	4.5 ผลการทดสอบการขนส่ง	35

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม		39
ภาคผนวก		41
ประวัตินักวิจัย		52

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2-1	มาตรฐานของส้มโอตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	4
ตารางที่ 2-2	คุณลักษณะของกล่องกระดาษ International case code 0320	5
ตารางที่ 3-3	ภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการขนส่ง	10
ตารางที่ 4-4	ขนาดของผลส้มโอในแต่ละชั้นคุณภาพ	14
ตารางที่ 4-5	จำนวนผลส้มโอที่ใช้บรรจุในแต่ละชั้นคุณภาพ	16
ตารางที่ 4-6	ลักษณะทางกายภาพบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุ 225 วัน หลังดอกบาน	17
ตารางที่ 4-7	ลักษณะทางเคมีบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี	17
ตารางที่ 4-8	การประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง	18
ตารางที่ 4-9	คุณลักษณะในแต่ละสภาวะทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการขนส่ง	18
ตารางที่ 4-10	สมบัติเบื้องต้นของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ	29
ตารางที่ 4-11	ความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบ	29
ตารางที่ 4-12	เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ 7/8 cooling time ($H_{7/8}$)	30
ตารางที่ 4-13	ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อการวางเรียงซ้อนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบในสภาวะวิกฤติ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง	32
ตารางที่ 4-14	ปริมาตรของภาชนะบรรจุทั้งหมดและร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุ	34
ตารางที่ 4-15	ผลการคำนวณหาต้นทุนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ	34

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	ผลการคำนวณหาต้นทุนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ	46
ข2	ค่า safety factor ของปัจจัยอันเนื่องมาจากระยะเวลากองเก็บ	47
ข3	ค่า safety factor ของปัจจัยอันเนื่องมาจากจำนวนการเคลื่อนย้าย	47
ข4	ค่า safety factor ของปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปแบบการวางยื่นออกจากแท่นรองสินค้า	47
ค1	น้ำหนักสดและปริมาตรของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน	49
ค2	ขนาดและรูปร่าง ชั่งน้ำหนักสดของผลและบันทึกขนาดของความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และความยาวโดยรอบ (d) ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน	50
ค3	ปริมาณ SS TA และ สัดส่วน SS/TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน	52
ง1	การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ	55
จ1	ปริมาณความช้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง(อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน	
จ2	ปริมาณ TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB และในสภาวะควบคุม (control)ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็น เวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน	57

สารบัญตาราง

ตารางผนวกที่		หน้า
จ3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SS ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB และในสภาวะควบคุม (control) ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน	58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 2-1	แบบกล่องกระดาษ International case code 0320 สำหรับกล่องกระดาษบรรจุส้มโอ	5
ภาพที่ 3-2	ตำแหน่งการวัดขนาดส้มโอในด้านความกว้าง ความยาว ความหนา และความยาวรอบผล	8
ภาพที่ 4-3	ร่างแบบกล่อง bliss case ทั่วไป (BC) ฝากล่อง [A] และตัวกล่อง[B]	19
ภาพที่ 4-4	กล่องแบบ bliss case ทั่วไป (BC) ฝากล่อง [A] และ ตัวกล่อง [B]	20
ภาพที่ 4-5	ร่างกล่องแบบ bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม (BCC) ฝากล่อง [A] ตัวกล่อง [B] และกระดาษลูกฟูกสำหรับเสริมมุม [C] กล่องแบบ	21 22
ภาพที่ 4-6	bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม (BCC) ฝากล่อง [A] และ ตัวกล่อง [B]	22
ภาพที่ 4-7	ร่างกล่องแบบ wrap around ทั่วไป (WC)	23
ภาพที่ 4-8	กล่องแบบ wrap around ทั่วไป (WC)	23
ภาพที่ 4-9	ร่างกล่องแบบ wrap around (WC4 เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม	24
ภาพที่ 4-10	กล่องแบบ wrap around (WC4) เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม	24
ภาพที่ 4-11	ร่างกล่องแบบ wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์ (WC6)	25
ภาพที่ 4-12	กล่องแบบ wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์ (WC6)	25
ภาพที่ 4-13	ร่างกล่องแบบ wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์ (WC8)	26
ภาพที่ 4-14	กล่องแบบ wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์ (WC8)	26
ภาพที่ 4-15	ร่างกล่องแบบสองชิ้นที่พัฒนาขึ้นใหม่ (NDB) ฝากล่องเป็นเลียนแบบกล่อง BC [A] ตัวกล่องเลียนแบบกล่อง WC8 [B]	27
ภาพที่ 4-16	กล่องแบบสองชิ้นที่พัฒนาขึ้นใหม่ (NDB) ฝากล่องเป็นเลียนแบบกล่อง BC [A] ตัวกล่องเลียนแบบกล่อง WC8 [B]	28
ภาพที่ 4-17	การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านการกดของภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 65 80 และ 95 และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	31
ภาพที่ 4-18	การยุบตัวของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ ภายหลังการทดสอบความแข็งแรงของภาชนะบรรจุต่อการวางเรียงซ้อนในสภาวะวิกฤติ กล่องชนิด bliss case แบบ BC [*A*] กล่องแบบ BCC [*B*] กล่อง	33

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
ภาพที่ 4-18 (ต่อ)	ชนิด wrap around แบบ WC [C] กล่องแบบ WC4 [D] กล่องแบบ WC6 [E] กล่องแบบ WC6 [F] และ กล่องแบบ NDB [G] (ต่อ)	33
ภาพที่ 4-19	ระดับความซ้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และ กล่องแบบ NDB ณ. วันที่ 1 ของการขนส่ง	35
ภาพที่ 4-20	การเปลี่ยนแปลงระดับความซ้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB วันที่ 1 5 10 15 20 25 และ30 ของการขนส่ง	36
ภาพที่ 4-21	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB วันที่ 1 5 10 15 20 25 และ 30 ของการขนส่ง	36
ภาพที่ 4-22	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB วันที่ 1 5 10 15 20 25 และ 30 ของการขนส่ง	37

สารบัญภาพ

ภาพผนวกที่		หน้า
ข1	ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงกดของกระดาษที่ความชื้นในบรรยากาศต่างๆ	42
ข2	ค่า safety factor ของปัจจัยจากลักษณะการวางซ้อนกล่อง	46
ง1	ผลการทดสอบเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ 7 / 8 cooling time (H7/8) โดยวิธี room cooling ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน ในแต่ละสภาวะทดสอบ	55

อักษรย่อและสัญลักษณ์

ASTM	:	American Society for Testing and Materials.
AOAC.	:	Association of Official Analytical Chemists
BC	:	bliss case
BC4	:	bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม
CS	:	compressive strength
H	:	safety factor of humidity
Kgf	:	kilogram force
N	:	the number of stacking
NDB	:	newly developed box
NW	:	net weight
PO	:	safety factor of pallet overhang
PP	:	safety factor of pallet pattern
SS	:	soluble Solids
T	:	safety factor of time
TA	:	titratable acidity
TAPPI	:	technical Association of the Pulp and Paper Industry
TFP	:	tight fill pack
V	:	safety factor of pallet pattern
WC	:	wrap around box
WC4	:	wrap around box เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม
WC6	:	wrap around box เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์
WC8	:	wrap around box เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ส้มโอ (*Citrus Maxima* Merr.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางในตระกูลเดียวกับส้มซึ่งเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric มีรสหวานถึงหวานอมเปรี้ยวและเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีมาก ส้มโอมีการปลูกกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติดี และเป็นที่นิยมบริโภคของคนทั่วไป นอกจากนี้ยังส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศสามารถนำเงินเข้าประเทศได้ปีละหลายสิบล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร.2549).จากข้อมูลสถิติการส่งออกส้มโอพบว่าในปี พ.ศ. 2548 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 99,455,166 บาท และเมื่อเปรียบเทียบกับในปีพ.ศ. 2549 พบว่ามีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 132,904,721 บาท โดยประเทศที่นิยมบริโภคส้มโอนำเข้าจากประเทศไทยมีหลายประเทศ ดังเช่น เนเธอร์แลนด์ รัสเซีย อังกฤษ ฮ่องกง จีน ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น อิตาลี เบลเยี่ยม แคนนาดา สหรัฐอาหรับเอมิเรต สิงคโปร์ เป็นต้น (กรมศุลกากร, 2549).

พันธุ์ส้มโอที่ปลูกอยู่ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ แต่พันธุ์ส้มโอที่ปลูกเพื่อการค้า ได้แก่ ทองดี ขาวพวง เชลเลอร์ และ ขาวน้ำผึ้ง โดยเฉพาะส้มโอพันธุ์ทองดีถือเป็นพันธุ์ที่มีการส่งออกมากที่สุด ลักษณะทั่วไปของส้มโอพันธุ์ทองดี จัดเป็นส้มโอที่มีขนาดของผลโตปานกลาง รูปทรงผลมีลักษณะกลมแป้น ไม่มีจุก ต้นขั้วผลมีจีบเล็กน้อย ก้นผลเรียบถึง เว้าเล็กน้อย ผิวเรียบมีสีเขียวเข้มต่อมน้ำมันละเอียดอยู่ชิดกัน เปลือกค่อนข้างบางด้านในของเปลือกมีสีชมพูเรื่อๆ ผลหนึ่ง มีกลีบผลประมาณ 14-16 กลีบ ผนังกลีบมีสีชมพูอ่อน กุ้งมี สีชมพูเบียดกันแน่น นิ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมี ขนาดเล็ก ส้มโอพันธุ์ทองดีถือว่าเป็นพันธุ์ที่นิยมบริโภคในประเทศมากที่สุด

จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีการปลูกส้มโอมากเป็นอันดับที่ 5 ของประเทศ โดยพันธุ์ส้มโอที่ปลูกในจังหวัดเชียงรายเพื่อการส่งออกมากที่สุดคือ ส้มโอพันธุ์ทองดี ซึ่งมีการปลูกมากที่สุดใน อำเภอเวียงแก่น จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นจากผู้ประกอบการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดี ในอำเภอเวียงแก่น พบว่าผู้ส่งออกประสบปัญหาในเรื่องความเสียหายจากการเสียรูปและการสูญเสียความแข็งแรงของกล่องของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอ เนื่องจากการกระทำเชิงกลดังเช่น การกดทับ (compression) การกระ แทก (shock) และการสั่นสะเทือน (vibration) (Burgess, 1999) ในระหว่างการขนส่งสินค้าโดยทางเรือ ถึงร้อยละ 10 – 40 โดยสาเหตุหลักจากความเสียหายดังกล่าวเป็นผลมาจากการเลือกใช้ภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งและวัสดุกันกระแทกที่ไม่เหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอมาใช้ แม้ว่าผู้ส่งออกจะใช้ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีตามแบบที่ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย (ศทบ.) ได้พัฒนาและแนะนำให้ใช้ใน จดหมายเหตุการบรรจุภัณฑ์ ฉบับที่ 8 เรื่องกล่องกระดาษลูกฟูกบรรจุส้มโอส่งออกทางเรือ แบบ ศบท.1 กรุงเทพ –สิงค์โปร์ แต่จากการสำรวจข้อมูลการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดีของ อ. เวียงแก่นจริงพบว่าการส่งออกดังกล่าวไม่สามารถจัดการสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมตลอดการขนส่งได้เนื่องจาก การขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีจาก อ.เวียงแก่นต้องใช้เส้นทาง เชียงราย – ชลบุรี – จีน ซึ่งมีระยะเวลาการขนส่งที่ยาวนานกว่า การขนส่งส้มโอส่งออกทางเรือตามแบบที่ ศบท.1 แนะนำให้ใช้ อีกทั้งการขาดความรู้ความเข้าใจของผู้ประกอบการในการบรรจุส้มโอเพื่อการ

ส่งออก การขึ้นรูปกล่อง การจัดเก็บกล่อง การเคลื่อนย้ายกล่อง ให้ถูกวิธี เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายของส้มโอดังกล่าว

จากปัญหาที่กล่าวในข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี ที่เหมาะสมในการส่งออก ซึ่งผลของการออกแบบระบบภาชนะบรรจุคาดว่าจะช่วยลดความเสียหายของกล่องกระดาษจากการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกดังกล่าวได้ อีกทั้งระบบภาชนะบรรจุที่พัฒนาได้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวน การขนส่งผลิตผลเกษตรชนิดอื่นๆ เพื่อการส่งออกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดี

2. ได้ระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออก

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มีกระบวนการศึกษาวิจัย 3 การทดลองมีขอบเขตของโครงการวิจัยดังนี้คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออกและออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการส่งออกและคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีที่ปลูกได้จากอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย เพื่อใช้ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่ง การออกแบบระบบภาชนะบรรจุจะใช้กระดาษลูกฟูกสองชั้น ชนิดลอน บี-ซี WL 170/3CA 125/KA 230 โดยมี มิติภายนอกขนาดกว้าง 500 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร และสูง 250 มิลลิเมตร และมีมิติภายในขนาดกว้าง 470 มิลลิเมตร ยาว 375 มิลลิเมตร และสูง 220 มิลลิเมตร มีการเจาะรูเพื่อระบายอากาศร้อยละ 4 ของพื้นที่ข้างกล่อง ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Corel Draw version 11 และตัดกล่องโดยใช้เครื่องตัดต้นแบบกล่อง

การทดลองที่ 2 การประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุที่ออกแบบ ต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีโดยทำการทดสอบ ความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุ ทดสอบการลดอุณหภูมิเบื้องต้นทดสอบความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอต่อการวางเรียงซ้อนในสภาวะวิกฤติที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 คำนวณร้อยละของปริมาตรการบรรจุ และคำนวณต้นทุนของภาชนะบรรจุ

การทดลองที่ 3 การทดสอบการขนส่ง (Distribution test) โดยพิจารณาเลือกระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมมาทดสอบการขนส่งด้วยการจำลองสภาวะการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการ (Laboratory vibration test) ด้วยเครื่องมือทดสอบ vibration tester วิธีจำลองการสั่นสะเทือนแบบคงที่ (fixed vibration frequency) ตามมาตรฐาน ASTM D999-01 (2000) และภายหลังการทดสอบการขนส่งเก็บส้มโอและภาชนะบรรจุที่ทดสอบการขนส่งแล้วในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดีในแต่ละสภาวะทดสอบ

บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเสียหายจากการขนส่ง

ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 40 เกิดจากการขนส่งที่ไม่เหมาะสมโดยส่วนใหญ่เป็นความเสียหายเนื่องจากแรงเชิงกล ดังเช่น แรงกดทับ การกระแทก การสั่นสะเทือน และการเสียดสีในระหว่างการขนส่ง (Kader, 1992) ความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้เนื่องจากการขนส่งจะพิจารณาจากความเสียหาย 2 แบบคือ ความเสียหายของภาชนะบรรจุและความเสียหายของผักและผลไม้ที่ขนส่ง โดยเหตุผลที่ต้องพิจารณาความเสียหายของภาชนะบรรจุร่วมด้วยเพราะว่าการยุบตัวของกล่องอาจทำให้สินค้าภายในเสียหายได้ ถึงแม้อาจไม่เกิดในทุกกรณีแต่ผู้ซื้ออาจไม่ยอมรับสินค้านั้น จากการที่เห็นภาชนะบรรจุเสียหายเพียงอย่างเดียว

ความเสียหายของภาชนะบรรจุส่วนใหญ่จะเป็นการเสียรูปและสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุจากแรงกดทับ ซึ่งมักเกิดจากการวางซ้อนกันของภาชนะบรรจุที่มีน้ำหนักมากในระหว่างการขนส่งสินค้าหรือการเก็บในคลังสินค้า โดยระดับของความเสียหายจะขึ้นอยู่กับแรงกดที่ภาชนะบรรจุชั้นล่างสุดได้รับ ยิ่งจำนวนชั้นของการวางเรียงซ้อนมาก แรงกดที่ภาชนะบรรจุด้านล่างสุดได้รับก็ยิ่งมาก และมีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายของภาชนะบรรจุได้มาก นอกจากนี้ในระหว่างขนส่ง การสั่นสะเทือนจะมีผลทำให้แรงกดทับเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักกล่องมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแรงสั่นสะเทือน (live load) ซึ่งกล่องด้านล่างสุดจะได้รับแรงกดเพิ่มมากขึ้นเป็นช่วง ๆ ระดับของแรงกดที่กล่องด้านล่างจะมากกว่าระดับของแรงกดที่กล่องที่วางทับด้านบน (dead load) ซึ่งมีค่าคงที่ขณะวางเก็บ ดังนั้นภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งจะต้องทนสภาพที่ถูกภาชนะบรรจุด้านบนวางทับในขณะขนส่งได้ (package strength) แนวทางหนึ่งของการป้องกันความเสียหายของภาชนะบรรจุเนื่องจากแรงกดทับคือการเพิ่มความแข็งแรงของภาชนะบรรจุซึ่งอาจได้โดยการเปลี่ยนแปลงความสูงของกล่องให้มีระยะของ Head space ที่เหมาะสมการเพิ่มส่วนของแผ่นกั้น (partition) หรือลูกฟูกที่ใส่เข้าไปให้มีความสูงพอดีกับปากกล่องจะไปช่วยทำให้ภาชนะบรรจุสามารถรับแรงกดหรือมีความแข็งแรงในการวางเรียงซ้อน (stacking strength) เพิ่มขึ้นได้ นอกจากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายของภาชนะบรรจุ อาจเกิดจากสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในระหว่างการขน ส่งและการจัดเก็บดังเช่น สภาพเส้นทางการขนส่ง (Steve,1980) วิธีการบรรจุ การเปลี่ยนแปลงความชื้นของบรรยากาศและอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บเป็นต้น

ความเสียหายของผักและผลไม้ในระหว่างการขนส่ง ส่วนใหญ่เกิดจากบาดแผลตำหนิและเกิดรอยช้ำในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้เนื่องจากการกระแทก การสั่นสะเทือน และการเสียดสี โดยบาดแผลดังกล่าวจะทำให้ผล ผลิตมีลักษณะสีน้ำตาลบริเวณเนื้อเยื่อที่เป็นแผลเนื่องจาก เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของแทนนินในบริเวณของเนื้อเยื่อพืชดังกล่าว ซึ่งทำให้ผลิตผลขาดความดึงดูดใจจากผู้ซื้อและราคาของผลิตผลลดลง (สายชล, 2528) นอกจากนี้บาดแผลยังเป็นช่องทางสำหรับเชื้อโรคต่างๆที่เข้าทำลาย เพิ่มการสูญเสียน้ำ ทำให้คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลไม้ลดลง อีกทั้งบาดแผลยังทำให้อัตราการหายใจของผักผลไม้เพิ่มขึ้น เพื่อซ่อมแซมส่วนของเซลล์ที่เกิดบาดแผล (หากเป็นผลิตผลประเภท climacteric ก็มักจะเกิดการผลิตเอทิลีนขึ้นควบคู่กันไปด้วย) มี

ผลให้เกิดปฏิกริยาไฮโดรไลซิสของแป้งในคลอโรพลาสเกิดเป็นน้ำตาลมากขึ้นทำให้สุกเร็วขึ้นและเร่งการชราภาพ (Holt, 1982; Hung, 1989; และ Klein, 1987) รวมถึงการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการในผลไม้ได้มากขึ้น การใช้วัสดุกันกระแทก (cushion) และภาชนะบรรจุที่มีสมบัติในการดูดซับแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนได้ดีจะช่วยลดความเสียหายของผลิตผลสดในระหว่างการขนส่งได้

2.2 ส้มโอพันธุ์ทองดี

ส้มโอมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus maxima* Merr. [syn. *C. grandis* (L.) Osbeck] อยู่ในวงศ์ Rutaceae พันธุ์ส้มโอที่ปลูกอยู่ในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ แต่พันธุ์ส้มโอที่ปลูกเพื่อการค้า ได้แก่ ทองดี ขาวพวง เซลเลอร์ และ ขาวน้ำผึ้งโดยเฉพาะส้มโอพันธุ์ทองดีถือเป็นพันธุ์ที่มีการส่งออกมากที่สุดลักษณะ ทั่วไปของส้มโอพันธุ์ทองดี จัดเป็นส้มโอที่มีขนาดของผลโตปานกลางเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณกลางผลประ มาณ 14 -16 เซนติเมตร สูงประมาณ 12 -14 เซนติเมตร ทรงผลมีลักษณะกลมแป้น ไม่มีจุก ต้นขั้วผลมีจีบเล็กน้อย มีเมล็ดปานกลางถึงมาก แต่มีขนาดเล็ก ก้นผลเรียบถึง เว้าเล็กน้อย ผิวเรียบมีสีเขียวเข้มต่อมน้ำมันละเอียดอยู่ชิดกัน เปลือกค่อนข้างบาง ด้านในของเปลือกมีสีชมพูเรื่อๆ ผลหนึ่ง มีกลีบผลประมาณ 14-16 กลีบ ผนังกลีบมีสีชมพูอ่อน กุ้งมี สีชมพูเบียดกันแน่น นิ่ม ฉ่ำน้ำ รสหวานอมเปรี้ยว เมล็ดมีขนาดเล็ก ส้มโอพันธุ์ทองดีถือว่าเป็นพันธุ์ที่นิยมบริโภคในประเทศมากที่สุด (ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549). จากข้อมูลสถิติการส่งออกส้มโอพบว่า ในปีพ.ศ. 2548 มีมูลค่าการส่งออกทั้งสิ้น 99,455,166 บาท และเมื่อเปรียบเทียบกับในปีพ.ศ. 2549 พบว่ามีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นเป็น 132,904,721 บาท โดยประเทศที่นิยมบริโภคส้มโอนำเข้าจากประเทศไทยมีหลายประเทศดังเช่น เนเธอร์แลนด์ รัสเซีย อังกฤษ ฮ่องกง จีน ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น อิตาลี เบลเยี่ยม แคนนาดา สหรัฐอาหรับเอมิเรต สิงคโปร์ เป็นต้น

ความเสียหายของส้มโอจากการขนส่งตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวจนถึงผู้บริโภคมีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตผลทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของส้มโอ ซึ่งเป็นพืชในสกุล Citrus จะมีเปลือกหนา โดยมีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ที่มีสมบัติในการปกป้องส้มโอต่อแรงกระทำเชิงกลโดยเฉพาะเนื้อเยื่อชั้นที่ 2 คือ mesocarp (รวี, 2523) ที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อนหนานุ่มมีสีขาว ที่มีชื่อพิเศษที่เรียกว่า albedo เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นวัสดุกันกระแทก ทำให้ส้มโอได้รับความเสียหายที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำเชิงกลในระหว่างการขนส่งได้ยากตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2550) ได้กำหนดมาตรฐานของส้มโอพันธุ์ที่ผลิตเพื่อการค้าสำหรับการบริโภคสด

ตารางที่ 1 มาตรฐานของส้มโอตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

รหัสขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	เส้นรอบวง (นิ้ว)	เส้นรอบวง (mm)
1	> 7	> 170	> 21.10	> 536
2	> 6.20 ถึง 7.00	> 159 ถึง 170	> 19.4 ถึง 21.10	> 493 ถึง 536
3	> 5.90 ถึง 6.20	> 151 ถึง 159	> 18.5 ถึง 19.4	> 470 ถึง 493
4	> 5.60 ถึง 5.90	> 143 ถึง 151	> 17.5 ถึง 18.5	> 445 ถึง 470

ตารางที่ 1 มาตรฐานของส้มโอตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (ต่อ)

รหัสขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	เส้นรอบวง (นิ้ว)	เส้นรอบวง (mm)
5	> 5.30 ถึง 5.60	> 135 ถึง 143	> 16.6 ถึง 17.5	> 422 ถึง 445
6	> 4.90 ถึง 5.30	> 126 ถึง 135	> 15.0 ถึง 16.6	> 396 ถึง 422
7	> 4.60 ถึง 4.90	> 117 ถึง 126	> 14.5 ถึง 15.0	> 368 ถึง 396
8	3.90 ถึง 4.60	100 ถึง 117	12.3 ถึง 14.5	313 ถึง 368

2.3 บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

การออกส้มโอพันธุ์ทองดีจาก อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย ในปัจจุบันใช้ ระบบภาชนะบรรจุตามแบบที่ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย (ศทบ.) ได้พัฒนาและแนะนำให้ใช้ใน จดหมายเหตุบรรจุภัณฑ์ ฉบับที่ 8 เรื่องกล่องกระดาษลูกฟูกบรรจุส้มโอส่งออกทางเรือ (กรุงเทพ – สิงคโปร์) แบบ ศบท.1 ที่แนะนำให้ใช้แบบกล่องกระดาษ International case code 0320 ดังภาพที่ 1 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และกำหนดให้บรรจุส้มโอโดยวางเรียง 2 ชั้นวางชั้นบนวางเรียงสลับชั้นล่างโดยให้แน่นพอดีระหว่างชั้นอาจปูคั่นด้วยแผ่นกระดาษที่สะอาด และมีน้ำหนักสุทธิของส้มโอในแต่ละกล่องไม่เกิน 18 กิโลกรัม และการจัดเก็บกำหนดให้วางเรียงซ้อนกล่องไม่เกิน 10 ชั้น ต้องมีการพิมพ์รายละเอียดชื่อและสถานที่ของผู้ส่งหรือเครื่องหมายการค้า แหล่งกำเนิด ข้อกำหนดของผลิตผลในการค้าเช่นคุณภาพ และขนาด ด้านนอกภาชนะบรรจุ

ภาพที่ 1 แบบกล่องกระดาษ International case code 0320 สำหรับกล่องกระดาษบรรจุส้มโอ

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของกล่องกระดาษ International case code 0320

ลำดับ	รายการทดสอบ	คุณลักษณะ
1	วัสดุบรรจุ	กระดาษลูกฟูก ผ่ากล่อง ลอน บี-ซี (WL 170/3CA 125/KA 230) ตัวกล่อง ลอน บี-ซี (WL 230/3CA 125/KA 230)
2	มิติภายนอก	500*400*250 มิลลิเมตร
3	มิติภายใน	470*375*220 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของกล่องกระดาษ International case code 0320 (ต่อ)

ลำดับ	รายการทดสอบ	คุณลักษณะ
4	ปริมาตร	39 ลิตร
5	ช่องระบายอากาศ	4% ของพื้นที่กล่องด้านข้าง
6	ความต้านแรงดันทะลุ	ฝากล่อง 15.4 กิโลกรัม / ตรซม. ตัวกล่อง 1.4 กิโลกรัม / ตรซม.
7	การดูดซึมน้ำของแผ่นกระดาษ	100 กรัม/ตร.ม
8	ความต้านแรงกดของกล่อง	860 กิโลกรัม แรง

แต่อย่างไรก็ดีจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดีจาก อำเภอเวียงแก่นพบว่า การส่งออกดังกล่าว ต้องใช้เส้นทาง เชียงราย – ชลบุรี – จีน ซึ่งมีระยะเวลาการขนส่งที่ยาวนานกว่า การขนส่งส้มโอส่งออกทางเรือ ตามแบบที่ ศบท.1 แนะนำให้ใช้ อีกทั้งการขาดความรู้ความเข้าใจของผู้ประกอบการในการบรรจุส้มโอเพื่อการส่งออก การขึ้นรูปกล่องทำให้ไม่สามารถจัดการสภาพแวดล้อมให้มีความเหมาะสมตลอดการขนส่งได้ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว โดยการออกแบบจะพิจารณาจากปัจจัยหลายด้านดังเช่น ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ลักษณะความต้องการของท้องตลาดและข้อกำหนดในเรื่องการกระจายสินค้า อันตรายจากสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการขนส่ง ต้นทุน สิ่งแวดล้อมตามข้อแนะนำของ The U.S. EPA ในเรื่องการลด (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (recycle) วิธีการบรรจุที่ใช้และการปิดผนึกที่เหมาะสม (the proper closure) เป็นต้น ซึ่งภายหลังการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีแล้วจะทำการทดสอบสมรรถภาพและประเมินความเหมาะสมของการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี เพื่อให้เกิดความมั่นใจในประสิทธิภาพของระบบภาชนะบรรรจุในการนำไปใช้ขนส่งส้มโอเพื่อการส่งออกต่อไป

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัยนี้แบ่งโครงการวิจัยเป็น 3 ระยะการทดลอง ระยะแรก เป็นการศึกษาระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

การทดลองระยะที่ 1 (งบประมาณงานวิจัยปี พ.ศ 2551) โดยมีวัตถุประสงค์ในการที่จะศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและออกแบบพัฒนาระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

การทดลองระยะที่ 2 (งบประมาณงานวิจัยปี พ.ศ 2552) การประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุที่ออกแบบต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีโดยนำกล่องที่ได้จากการออกแบบในแต่ละสภาวะทดสอบมาทดสอบความแข็งแรงเชิงกล และประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิผลิตผลเบื้องต้น

การทดลองระยะที่ 3 (งบประมาณงานวิจัยปี พ.ศ 2552) การทดสอบการขนส่งโดยพิจารณาเลือกระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมจากการทดลองที่ 2 ทำการทดสอบการขนส่ง (distribution test) ด้วยการจำลองสภาวะการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องมือทดสอบ vibration tester ตามมาตรฐาน ASTM D999-01 (2000)

การทดลองทั้ง 3 ระยะ มีการรายละเอียดวิธีวิจัยดังนี้

การทดลองระยะที่ 1

เป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลและออกแบบระบบภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกมีรายละเอียดวิธีวิจัยดังนี้

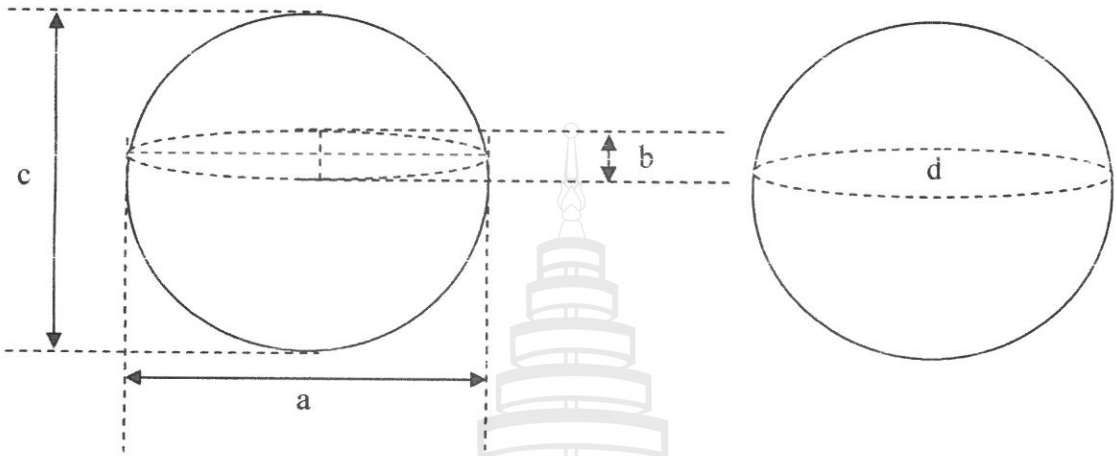
3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออก

โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการส่งออกส้มโอพันธุ์ทองดีจากสวนเกษตรกร อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย โดยศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องของกระบวนการผลิตตั้งแต่ ส้มโอเริ่มติดผล การเก็บเกี่ยว การตัดแต่ง เกณฑ์คุณภาพ การคัดคุณภาพ การล้าง การบรรจุ การลดอุณหภูมิเบื้องต้น (pre-cooling) การขนส่งจนกระ ทั่งถึงมือผู้บริโภค

3.2 ศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี

การทดลองนี้ใช้ผลส้มโอจากแปลงในสวนส้มโอส่งออก โดยใช้ผลจากต้นส้มโอที่มีอายุเฉลี่ยประมาณ 10 ปี และคัดเลือกส้มโอที่มีระยะความบริบูรณ์ 75% หรืออายุ 7.5 เดือน หลังดอกบาน โดยคัดจากต้นที่มีขนาดของต้น ขนาดของผล และสีใกล้เคียงกัน ปราศจากโรค และแมลงหรือรอยตำหนิใดๆ โดยผลการศึกษาคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีและนำข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จะนำมาใช้ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีต่อไป ดังนี้

3.2.1 ขนาดและรูปร่าง ชั่งน้ำหนักสดของผลและบันทึกขนาดด้านความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และวัดความยาวโดยรอบ (d) ของส้มโอแต่ละผล ด้วย vernier caliper ดังภาพ



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการวัดขนาดส้มโอในด้านความกว้าง ความยาว ความหนา และความยาวรอบผล

3.2.2 size และ sphericity ทดสอบตามวิธีการของ Subramanyam และคณะ. (2001) โดยนำผลการวัดความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และความยาวโดยรอบ(d) ของผล ในข้อ 2.1.1 คำนวณดังสมการที่ 1 และ 2 ทดสอบจำนวน 100 ผล

$$\text{size} = (a \times b \times c)^{1/3} \quad (1)$$

$$\text{sphericity} = b / d \quad (2)$$

3.2.3 ปริมาตรของผล ทดสอบปริมาตรของผลส้มโอด้วยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำวัดปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยกระบอกตวงและรายงานผลในหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ทดสอบจำนวน 100 ผล

3.2.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (soluble Solid; SS) ทดสอบโดยใช้น้ำคั้นจากเนื้อส้มโอ อ่านค่าเปอร์เซ็นต์ ในแต่ละผลวัด 3 ซ้ำ

3.2.5 ปริมาณกรดทั้งหมด (titratable acidity; TA) ทดสอบตามวิธี AOAC (2000)

3.2.6 สัดส่วน SS/TA ทดสอบโดยนำผลการหา ปริมาณ SS และ ปริมาณ TA นำมาคำนวณหา สัดส่วน SS/TA สมการที่ (1)

$$\text{สัดส่วน SS/TA} = SS / TA \quad (1)$$

3.2.7 ปริมาณกรดแอสคอบิก ดัดแปลงตามวิธีของ AOAC (2000) โดยใช้น้ำคั้นจากเนื้อผลส้มโอ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร metaphosphoric acid – acetic acid ที่เตรียมจาก HPO_3 15 กรัม ละลายใน acetic acids 40 มิลลิลิตร และเติมน้ำให้ครบ 500 มิลลิลิตร ลงไปจำนวน 5 มิลลิลิตร ทำ

การไตเตรทด้วย dye solution (2,6-dichloro indolphenol) จนได้ end point ที่มีสีชมพูอย่างน้อย 5 วินาที แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณวิตามินซี ใช้หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของน้ำคั้น

3.2.8 สีเปลือกส้มโอ วัดสีเปลือกด้วยเครื่องวัดสี chroma meter model minolta CR – 300 ในระบบ Hunter lab รายงานผลเป็นค่า L , a และ b ในวันที่ 0 และ 5 โดยวัดผล 3 ตำแหน่ง คือ ขั้วกลาง และปลาย

- ค่า L ค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ) จนถึง 100 (สีขาว)
- ค่า a คือ ค่าสีแดงเมื่อเป็นค่า (+) ค่าสีเขียวเมื่อเป็นค่า (-)
- ค่า b คือ ค่าสีเหลืองเมื่อเป็นค่า (+) ค่าสีน้ำเงินเมื่อเป็นค่า (-)

3.2.9 ความแน่นเนื้อ ใช้ตัวอย่างส้มโอ โดยมาทดสอบวัดความแน่นเนื้อของผลส้มโอ บริเวณ ขั้ว กลาง และปลายส้มโอ โดยวัดแรงกดด้วยเครื่อง universal testometer โดยใช้ spherical probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตรความเร็วในการเคลื่อนที่ 20 มิลลิเมตร/ นาที แสดงในหน่วยนิวตัน (N) ในแต่ละผลทำการวัด 2 ซ้ำ

3.2.10 การต้านการกดของส้มโอ (compression strength, CS) ดัดแปลงตามวิธีของ ASTM D-642 (2000) ทดสอบโดยวางผลส้มโอในแนวตั้งและวัดแรงกดด้วยเครื่อง universal testometer โดยใช้ fixed platen ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตรความเร็วในการเคลื่อนที่ 20 มิลลิเมตร/ นาที แสดงในหน่วยนิวตัน (N) ในแต่ละผลทำการวัด 10 ตัวอย่าง

3.2.11 ทดสอบความต้านทานจากการตกอย่างอิสระ (free fall drop test) ปล่อยส้มโอให้ตกลงอย่างอิสระ ลงสู่พื้นเรียบแข็งที่ระดับความสูง 10 เซนติเมตร จากนั้นเพิ่มความสูงของระดับการตกกระทบในแต่ละครั้งๆ ละ 10 จนกระทั่ง ส้มโอ มี ระดับความช้ำ (degree of bruising) อยู่ในระดับปานกลางหรือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางความช้ำมากกว่า 1 เซนติเมตร บันทึกรายละเอียดความสูง เวลาที่ใช้ในการตกกระทบ เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ความเร็วสุดท้ายที่ทำให้ส้มโอเกิดความช้ำ เวลาที่ใช้ในการตกกระแทก และความสูงเฉลี่ย (variable height) ในแต่ละผลทำการวัด 3 ตัวอย่าง

3.2.12 การประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง (Require compression strength) จากผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออกและภาชนะบรรจุที่ใช้ และผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีนำมาใช้ในการประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่องด้วยวิธี box retention factors ที่ดัดแปลงจาก Burgess (1999) ดังสมการ

$$\text{Require compression strength} = [NW * (N - 1)] * [H*T*PP*PO*V]$$

N = จำนวนชั้นในการวางเรียงซ้อน
NW = น้ำหนักสุทธิ
H = ปัจจัยในด้านความชื้น
T = ปัจจัยในด้านเวลา
PP = ปัจจัยในด้านรูปแบบการวางเรียงซ้อน
V = ปัจจัยในด้านการสั่นสะเทือน
PO = ปัจจัยในด้านการวางยื่นออกมาจากแท่นรองสินค้า

3.3 ออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

ผลการศึกษาและสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในข้อ 3.1 และ 3.2 นำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่ง โดยการออกแบบจะพิจารณาจากปัจจัยหลักในเรื่องลักษณะของผลิตภัณฑ์ระยะ เวลาการขนส่ง สภาวะแวดล้อมการขนส่ง ประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิเบื้องต้น รูปแบบการจัดวางบนแท่นรองสินค้า ประสิทธิภาพของการเรียงซ้อนและการใช้พื้นที่ในการจัดวางในคลังสินค้า และสมบัติเชิงกลของภาชนะบรรจุ โดยการออกแบบจะใช้กระดาษลูกฟูกสองชั้น โดยการออกแบบจะใช้มิติตามแบบมาตรฐานของการการส่งออกส้มโอที่กำหนดให้มี มิติภายนอกขนาดกว้าง 500 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร และสูง 250 มิลลิเมตร และมีมิติภายในขนาดกว้าง 470 มิลลิเมตร ยาว 375 มิลลิเมตร และสูง 220 มิลลิเมตร โดยมีปริมาตรบรรจุ 39 ลิตร ออกแบบภาชนะบรรจุกล่องกระดาษ 2 แบบโดยใช้โปรแกรม corel draw version 11 และตัดกล่องโดยใช้เครื่องตัดกล่องจาก ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และบริษัท ซีเค คาร์ตัน จำกัด มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการขนส่ง

ลำดับ	ภาชนะบรรจุ	ลักษณะกล่อง
1	BC	กล่องแบบ Bliss case ทั่วไป
2	BC4	กล่องแบบ Bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม
3	WC	กล่องแบบ Wrap around ทั่วไป
4	WC4	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม
5	WC6	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์
6	WC8	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์
7	NDB	เป็นกล่อง 2 ชิ้น ตัวกล่องเป็นแบบ WC8 ฝากล่องเป็นแบบ BC

โครงการวิจัยระยะที่ 2

โดยประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุที่ออกแบบจาก ข้อ 3.3 ต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีโดยทำการทดสอบ

3.4 การประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

โดยทดสอบสมบัติเบื้องต้นของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ และประเมินความเหมาะสมของภาชนะบรรจุที่ออกแบบโดยทดสอบความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุ ทดสอบการลดอุณหภูมิเบื้องต้น ทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอในแต่ละสภาวะทดสอบภายใต้สภาวะการขนส่งที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ทดสอบความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ไช้บรรจุส้มโอต่อการวางเรียงซ้อนในสภาวะวิกฤติ ร้อยละของปริมาตรการบรรจุ คำนวณต้นทุนการบรรจุ และทดสอบการขนส่งตามมาตรฐาน รายการทดสอบ ASTM D 4169 – 01 มีการทดสอบดังนี้

3.4.1 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ

ก) ความหนาของวัสดุบรรจุ ตามวิธีของ TAPPI T411 โดยสุ่มตัดวัสดุบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบขนาด กว้าง 2.54 เซนติเมตร และ ยาว 10 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 5 จุด วัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา (thickness tester model 79-72 TMI) ดังภาคผนวก ข

ข) ทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุของวัสดุบรรจุ (mullen bursting strength) โดยทดสอบตามวิธี TAPPI T 810 โดยทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัวของวัสดุบรรจุ ด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (LLOYD; USA) โดยทดสอบจำนวน 5 ซ้ำในแต่ละสภาวะทดสอบ

ค) gammage ของกระดาษ (กรัม/ตารางเมตร) โดยใช้วิธี ASTM D 646 โดยสุ่มตัดวัสดุบรรจุขนาด กว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 5 จุด

ง) moisture content ของกระดาษ โดยใช้วิธี ASTM D 644-99 โดยสุ่มตัดวัสดุบรรจุ ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร ตัวอย่างล 5 จุด

3.4.2 ประเมินความเหมาะสมของภาชนะบรรจุต่อการขนส่งและจัดเก็บส้มโอพันธุ์ทองดี

โดยทดสอบความแข็งแรงเชิงกล ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิเบื้องต้นของภาชนะบรรจุ ร้อยละของปริมาณการบรรจุ และต้นทุนของภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบดังนี้

ก) ทดสอบความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุ โดยทดสอบการต้านการกดของภาชนะบรรจุ (package strength, CS) ตามวิธีของ ASTM D-642 ทดสอบโดยวัดแรงกดด้วยเครื่อง universal testometer โดยใช้ fixed platen ที่สภาวะทดสอบ อุณหภูมิ 27 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 $\pm$ 2 % แสดงในหน่วยนิวตัน (N) ในแต่ละผลทำการวัด 10 ตัวอย่าง

ข) ทดสอบการลดอุณหภูมิเบื้องต้น

ลดอุณหภูมิเบื้องต้นของส้มโอที่บรรจุในภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบ โดยวิธี room cooling ที่ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แล้ว โดยใช้ตัวอย่างทดสอบตาม ตารางที่ 1 บันทึกอุณหภูมิโดยใช้ (data trekker) และคำนวณ 7 / 8 cooling time ($H_{7/8}$)

ค) ทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอในแต่ละสภาวะทดสอบภายใต้สภาวะการขนส่งที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

โดยทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอภายหลังการทดสอบขนส่งและเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 วันที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 65 80 และ 95 จากนั้นนำมา ทดสอบความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุ โดยทดสอบการต้านการกดของภาชนะบรรจุ (compressive strength, CS) ตามวิธีของ ASTM D-642 ทดสอบโดยวัดแรงกดด้วยเครื่อง universal testometer โดยใช้ fixed platen แสดงในหน่วยกิโลกรัมแรง (Kgf) ในแต่ละผลทำการวัด 10 ตัวอย่าง

ง) ทดสอบความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอต่อการวางเรียงซ้อนในสภาวะวิกฤติ

ทดสอบการวางเรียงซ้อนแต่ละสภาวะ โดยดัดแปลงวิธีตามมาตรฐาน ISO 2234 (2000) โดยทดสอบภายในห้องเย็น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงรายงานระยะการยุบตัวของกล่อง

จ) ทดสอบร้อยละของปริมาณการบรรจุ

โดยคำนวณหาปริมาตรกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ และปริมาตรของผลส้มโอทั้งหมดที่บรรจุลงในกล่อง จากนั้นคำนวณหาร้อยละของปริมาณการบรรจุตามสมการที่ [1]

ร้อยละของปริมาณการบรรจุ = [ปริมาตรของผลส้มโอ / ปริมาตรกล่อง] * 100 -------- [1]

ฉ) คำนวณต้นทุนของภาชนะบรรจุ

ทดสอบโดยหาพื้นที่ของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ จากนั้นคำนวณหาต้นทุนของกล่องตามสมการที่ [2]

ต้นทุนของภาชนะบรรจุ = [พื้นที่ของกล่อง * ราคาต่อพื้นที่] -------- [2]

โครงการวิจัยระยะที่ 3

3.5 ทดสอบการขนส่ง

ประเมินความเหมาะของภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอ โดยทดสอบการจำลองสภาวะการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีจำลองการสั่นสะเทือนแบบคงที่ (fixed vibration frequency) ตามมาตรฐาน ASTM D999-01 และจำลองการสั่นสะเทือนแบบสุ่ม (random vibration testing) ตามมาตรฐาน ASTM 4728 ในห้องปฏิบัติการ และภายหลังการทดสอบการขนส่งเก็บส้มโอและภาชนะบรรจุที่ทดสอบการขนส่งแล้วในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการทดสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดีในแต่ละสภาวะทดสอบภายหลังการทดสอบการขนส่งในวันที่ 0 10 20 30 40 และ 50 วัน และทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอ ภายหลังการทดสอบขนส่งเป็นระยะเวลา 50 วันดังนี้

3.5.1 ระดับความช้ำ (degree of bruising)

การตรวจสอบความช้ำหลังการทดสอบ โดยตรวจสอบความช้ำด้วยสายตา (visual quality) โดยแบ่งความช้ำออกเป็น 3 ระดับได้แก่

ระดับความช้ำน้อย (slight)	เส้นผ่านศูนย์กลางความช้ำ < 1 เซนติเมตร
ระดับความช้ำปานกลาง (moderate)	เส้นผ่านศูนย์กลางความช้ำ 1-2 เซนติเมตร
ระดับความช้ำรุนแรง (sever)	เส้นผ่านศูนย์กลางความช้ำ > 2 เซนติเมตร

การหาระดับความช้ำจะคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ในแต่ละระดับของจำนวนส้มโอที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดโดยระดับความช้ำปานกลางและระดับความช้ำรุนแรงถือเป็นระดับที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ

3.5.2 ปริมาณการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์โดยวัดปริมาณการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์โดยการตรวจนับจำนวนส้มโอที่มีการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ โดยแบ่งระดับการเสื่อมเสียของส้มโอออกเป็น 4 ระดับ ตามร้อยละการเสื่อมเสียบนพื้นที่ผิวของส้มโอได้แก่

ระดับที่ 1	การเสื่อมเสียบนพื้นที่ผิว 0-25 %
ระดับที่ 2	การเสื่อมเสียบนพื้นที่ผิว 25-50 %

ระดับที่ 3 การเสื่อมเสียบนพื้นที่ผิว 50-75 %

ระดับที่ 4 การเสื่อมเสียบนพื้นที่ผิว 75-100 %

คิดระดับการเสื่อมเสียบนพื้นที่ผิวของส้มโอเป็นเปอร์เซ็นต์ของระดับการเสื่อมเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ในแต่ละทรีตเมนต์

ค. การสูญเสียน้ำหนัก ชั่งน้ำหนักผลส้มโอก่อนการทดสอบ ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ผลการชั่งน้ำหนักที่ได้ใช้คำนวณการสูญเสียน้ำหนักโดยคิดจากสูตร

$$\text{การสูญเสียน้ำหนัก (\%)} = \frac{\text{(น้ำหนักส้มโอเริ่มต้น – น้ำหนักสุดท้ายในเวลากำหนด)}}{\text{น้ำหนักของส้มโอเริ่มต้น}} \times 100$$

ง. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Soluble Solid; SS) ทดสอบโดยใช้น้ำคั้นจากเนื้อส้มโอ อ่านค่าเปอร์เซ็นต์ ในแต่ละผลวัด 3 ซ้ำ

จ. ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable acidity; TA) ทดสอบตามวิธี AOAC (2000)[9]โดยวัดส้มโอก่อนทดสอบห่อ หลังทดสอบด้วยห่อวัสดุบรรจุและที่ไม่ได้ห่อ

3.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้สถิติ Analysis of varience (ANOVA) โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan ‘ s new multiple – range test (DMRT) ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่4

ผลการวิจัย

ผลการทดลองระยะที่ 1

4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออก

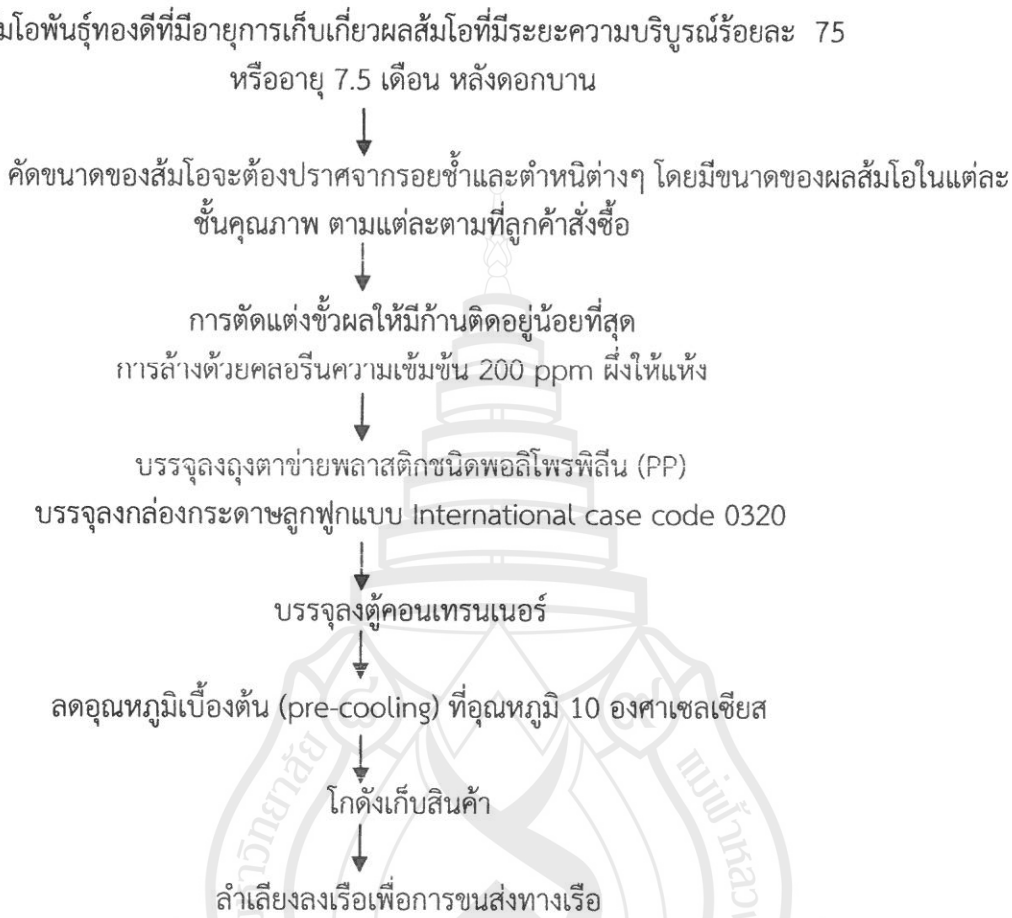
จากการรวบรวมข้อมูลการส่งออกส้มโอส่งออกจากอำเภอเวียงแก่น จ.เชียงราย พบว่า ส้มโอที่ส่งออกส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ทองดี ซึ่งมีขนาดเส้นรอบวงประมาณ 15-18 นิ้ว ผิวของส้มโอจะต้องปราศจากรอยช้ำและตำหนิต่างๆ โดยมีขนาดของผลส้มโอในแต่ละชั้นคุณภาพ กำหนดไว้ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช. 0013–2550 โดยกำหนดเป็นรหัสของขนาดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ขนาดของผลส้มโอในแต่ละชั้นคุณภาพ

รหัสขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	เส้นรอบวง (นิ้ว)	เส้นรอบวง (มิลลิเมตร)
1	> 7	> 170	> 21.10	> 536
2	> 6.20 ถึง 7.00	> 159 ถึง 170	> 19.4 ถึง 21.10	> 493 ถึง 536
3	> 5.90 ถึง 6.20	> 151 ถึง 159	> 18.5 ถึง 19.4	> 470 ถึง 493
4	> 5.60 ถึง 5.90	> 143 ถึง 151	> 17.5 ถึง 18.5	> 445 ถึง 470
5	> 5.30 ถึง 5.60	> 135 ถึง 143	> 16.6 ถึง 17.5	> 422 ถึง 445
6	> 4.90 ถึง 5.30	> 126 ถึง 135	> 15.0 ถึง 16.6	> 396 ถึง 422
7	> 4.60 ถึง 4.90	> 117 ถึง 126	> 14.5 ถึง 15.0	> 368 ถึง 396
8	3.90 ถึง 4.60	100 ถึง 117	12.3 ถึง 14.5	313 ถึง 368

กระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออกจะต้องมี หลักเกณฑ์วิธีการที่ดีสำหรับการผลิต หรือ GMP (Good Manufacturing Practice) ซึ่งเป็นการจัดการสภาวะแวดล้อมขั้นพื้นฐานของกระบวนการผลิต เช่น การควบคุมสุขลักษณะส่วนบุคคล การควบคุมแมลงและสัตว์นำโรค การออกแบบโครงสร้างอาคารผลิต รวมถึงเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ซึ่งเน้นการป้องกันมากกว่าการแก้ไข เป็นระบบการจัดการความปลอดภัยของอาหารขั้นพื้นฐาน (Food Safety Management System) คือ การจัดการเพื่อไม่ให้อาหารก่อผลกระทบทางลบต่อผู้บริโภค

การผลิตส้มโอเพื่อการส่งออกมีกระบวนการผลิตดังนี้



จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการยุบตัวของกล่องที่วางเรียงซ้อนกันในระหว่างขนส่งและการจัดเก็บดังกล่าวเกิดจากการที่กล่องหมดสภาพการรับแรงซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกซึ่งไม่เหมาะสมต่อการขนส่งและการจัดเก็บดังนี้

1.ปัจจัยภายใน

พบว่าส้มโอส่งออกมีวิธีการบรรจุโดยการวางเรียงซ้อน 2 ชั้น มีการจัดเรียงภายในโดยวางชั้นบนสลับกับชั้นล่างโดยให้แน่นพอดี ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลวิธีการบรรจุพบว่าผู้ส่งออกจะบรรจุ ตามที่ลูกค้าสั่งซื้อโดยจะแตกต่างกันออกตามแต่ละขนาดของผลดังตารางที่ 1 โดยกระบวนการบรรจุดังกล่าวฯ อาจเกิดปัญหาในเรื่องของความคลาดเคลื่อนของขนาดทำให้น้ำหนักของการบรรจุและความหนาแน่นของการบรรจุไม่สม่ำเสมอ บางกล่องที่มีความหนาแน่นในการบรรจุมากไปจะทำให้ลอนของกล่องกระดาษลูกฟูกเกิดการหักเสียหายและส่งผลให้กล่องเสียความแข็งแรงได้ นอกจากนี้การปฏิบัติที่ไม่ถูกวิธีของผู้ส่งออกดังเช่น การจัดเก็บกล่องเปล่าที่ยังไม่ได้บรรจุในสภาพที่มีความชื้นสูง การวางเรียงซ้อนของกล่องเปล่าที่มากเกินไปทำให้ลอนของกระดาษลูกฟูกเกิดการยุบตัว การขึ้นรูปกล่องที่ไม่ถูกต้องขณะบรรจุ และการปิดผนึกกล่องที่ไม่ถูกต้องส่งผลให้กล่องกระดาษมีความแข็งแรงลดลง

ตารางที่ 5 จำนวนผลส้มโอที่ใช้บรรจุในแต่ละชั้นคุณภาพ

จำนวนผลส้มโอในการบรรจุ	จำนวนผลที่ใช้บรรจุในแต่ละชั้นคุณภาพ*
8	รหัสขนาด 1 จำนวน 8 ผล
12	รหัสขนาด 2 จำนวน 12 ผล
14	รหัสขนาด 3 จำนวน 14 ผล
15	รหัสขนาด 4 จำนวน 15 ผล
16	รหัสขนาด 3 จำนวน 16 ผล
17	รหัสขนาด 5 จำนวน 15 ผล, รหัสขนาด 4 จำนวน 2 ผล
18	รหัสขนาด 4 จำนวน 18 ผล
22	รหัสขนาด 5 จำนวน 22 ผล

2.ปัจจัยภายนอก

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของบรรยากาศและอุณหภูมิในระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บมีผลทำให้ความแข็งแรงในการวางเรียงซ้อนของกล่องลดลง ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลพบว่าผู้ส่งออกไม่มีการประเมินความต้านทานของกล่องกระดาษที่ใช้ขนส่งส้มโอส่งออกต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นในระหว่างการขนส่งหรือจัดเก็บ นอกจากนี้ในการบรรจุพบว่าผู้ส่งออกส้มโอมีการบรรจุโดยไม่ได้ศึกษาการเผื่อค่า safety factor ตามสภาวะการขนส่งที่เป็นจริง นอกจากนี้พบว่าสภาพเส้นทางการขนส่งส้มโอส่งออกจากอำเภอเวียงแก่น จ.เชียงราย ต้องขนส่งโดยบรรจุกล่องส้มโอในตู้ขนส่งสินค้าทางเรือขนาด 20 ฟุต โดยใช้รถบรรทุกสิบล้อ เพื่อมาขึ้นเรือที่ท่าเรือแหลมฉบัง จ.ชลบุรี ซึ่งสภาพเส้นทางถนนจากเชียงรายถึงชลบุรีอาจมีผลต่อการหักงอของผิวกล่องกระดาษลูกฟูก และส่งผลให้กล่องกระดาษลูกฟูกไม่สามารถรับแรงต่อไปได้อีก อีกทั้งระยะเวลาในการขนส่งทางเรือซึ่งใช้เวลานานถึง 40 - 55 วัน มีผลต่อทำให้ภาชนะบรรจุเกิดความล้า (fatigue) ส่งผลให้ความแข็งแรงของกล่องกระดาษลดลง

4.2 ผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี

ผลการทดสอบลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี โดยใช้ผลส้มโอที่มีอายุ 7.5 เดือนหลังดอกบาน โดยคัดจากต้นที่มีขนาดของต้น ขนาดของผล และสีใกล้เคียงกันปราศ จากโรคและแมลงหรือรอยตำหนิใด ๆ เพื่อนำข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จะนำมาใช้ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีต่อไป ดังนี้

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายภาพบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน

คุณลักษณะของส้มโอพันธุ์ทองดี	ผลการทดสอบ	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
1. น้ำหนัก (กรัม)	945.4	95.0
2. ความกว้าง (a) (มิลลิเมตร)	131.5	0.45
3. ความยาว (b) (มิลลิเมตร)	13.03	0.44
4. ความหนา (มิลลิเมตร)	12.47	0.79

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายภาพบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน (ต่อ)

คุณลักษณะของส้มโอพันธุ์ทองดี	ผลการทดสอบ	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
5. ความยาวรอบผล (มิลลิเมตร)	44.46	1.44
6. ปริมาตร (มิลลิลิตร)	1329	136
7. size	12.87	0.39
8. sphericity	0.29	0.17

ตารางที่ 7 ลักษณะทางเคมีบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน

คุณลักษณะของส้มโอพันธุ์ทองดี	ผลการทดสอบ	
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
1. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (SS) (ร้อยละ)	ร้อยละ 8.2	0.21
2. ปริมาณกรดทั้งหมด (TA) (ร้อยละ)	8.69	0.85
3. สัดส่วน SS/TA	0.94	0.13
4. ปริมาณกรดแอสคอบิก (มิลลิกรัม /1000 มิลลิลิตร)	65.66	10.12
5. สีเปลือกส้มโอ		
- ค่าสี L*	56.18	4.86
- ค่าสี a*	-5.96	1.25
- ค่าสี b*	38.76	4.68
6. ความแน่นเนื้อ	74.68	5.94
7. ระดับความสูงของการทดสอบตกกระทบ ที่ทำให้เกิดระดับความช้ำ มากกว่า 1 เซนติเมตร	18.0	0.0

4.3 ผลการออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

จากการศึกษาและสำรวจข้อมูลเบื้องต้นในข้อ 4.1 และ ข้อ 4.2 นำมาใช้เป็นข้อมูลในการประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง (Require compression strength) ด้วยวิธี Box retention factors ที่ดัดแปลงจาก Burgess (1999) โดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆที่ได้จากผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตส้มโอเพื่อการส่งออกและภาชนะบรรจุที่ใช้และผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี พบว่ามีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง

ปัจจัยในการพิจารณา	ผลการประเมิน
จำนวนชั้นในการวางเรียงซ้อน (N)	20 ชั้น
น้ำหนักสุทธิ (NW)	15.6 กิโลกรัม

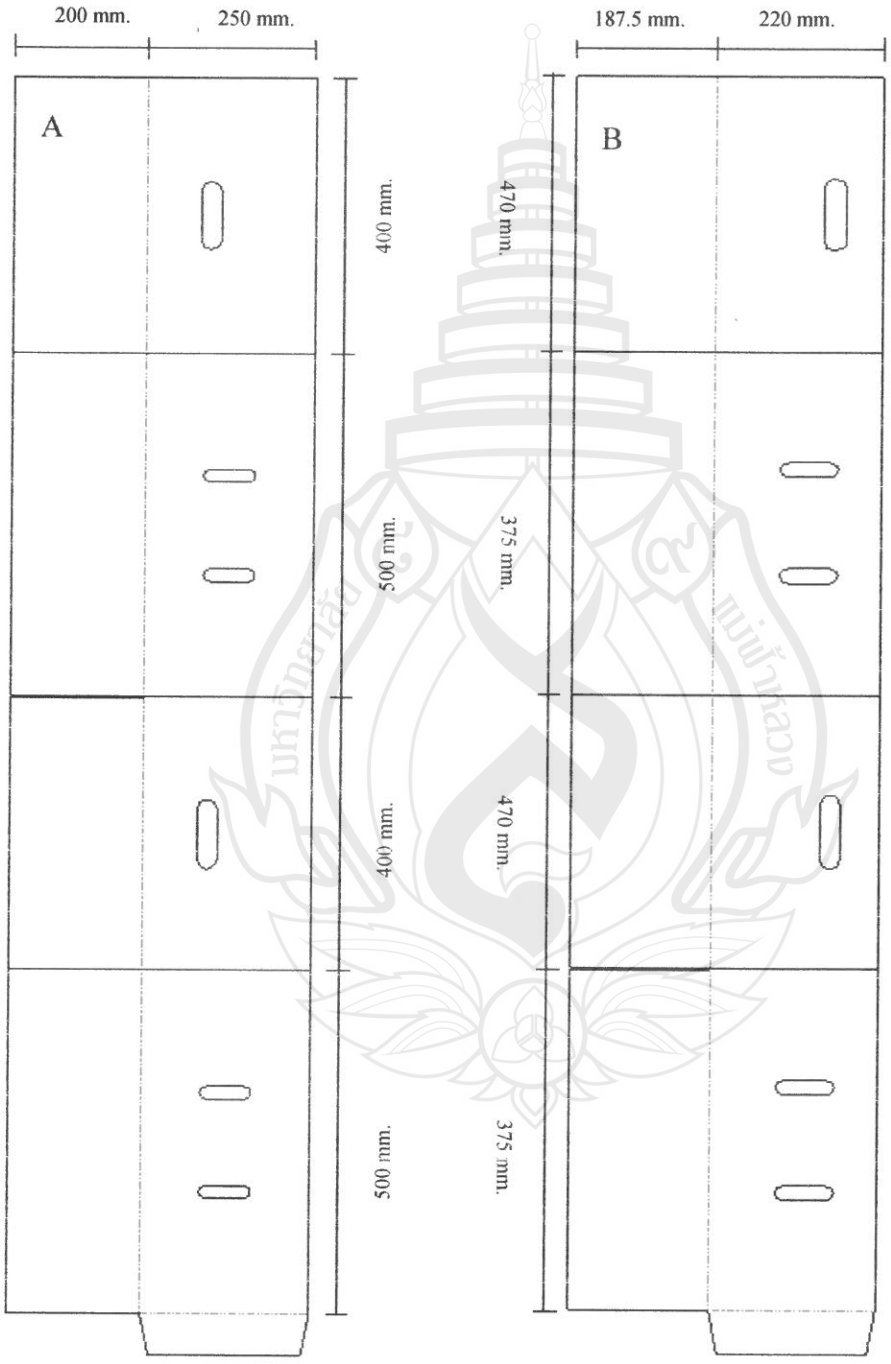
ตารางที่ 8 การประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง (ต่อ)

ปัจจัยในการพิจารณา	ผลการประเมิน
ความชื้นสัมพัทธ์ (H)	ร้อยละ 95
เวลาในการขนส่ง (T)	60 วัน
รูปแบบการวางเรียงซ้อน (PP)	Interlocking
การวางยื่นออกมาจากแท่นรองสินค้า (PO)	0.5 นิ้ว
การสั่นสะเทือนในระหว่างการขนส่ง (V)	ร้อยละ 67
น้ำหนักในการวางเรียงซ้อนทั้งหมด (Load) [NW * (N –1)]	296.4 กิโลกรัม
Retention factors [H*T*PP*PO*V]	0.042
ความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง [NW * (N –1)] * [H*T*PP*PO*V]	7136.73 กิโลกรัมแรง

การออกแบบพิจารณาจากปัจจัยหลักในเรื่องความแข็งแรงของการเรียงซ้อนและการใช้พื้นที่ในการจัดวางในคลังสินค้า โดยในการออกแบบจะใช้กระดาษลูกฟูกสองชั้น และมีมิติตามแบบมาตรฐานของการส่งออก ส้มโอที่กำหนดให้มี มิติภายนอกขนาดกว้าง 500 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร และสูง 250 มิลลิเมตร และมีมิติภายในขนาดกว้าง 470 มิลลิเมตร ยาว 375 มิลลิเมตร และสูง 220 มิลลิเมตร โดยมีปริมาตรบรรจุ 39 ลิตร โดยมีลักษณะรูปแบบกล่องตามตารางที่ 7 รูปแบบกล่องแต่ละสภาวะทดสอบออกแบบโดยใช้โปรแกรม Corel DRAW version 11 และตัดกล่องโดยใช้เครื่องตัดกล่องตัวอย่าง (Sample Cutter) ด้วยกระดาษลูกฟูกชนิดแบบสามชั้นลอนบีและลอนซี (triple wall) และขึ้นรูปด้วยกาวแท่งโดยใช้ความร้อน(hot melt glue) แสดงดังภาพที่ 2 -15

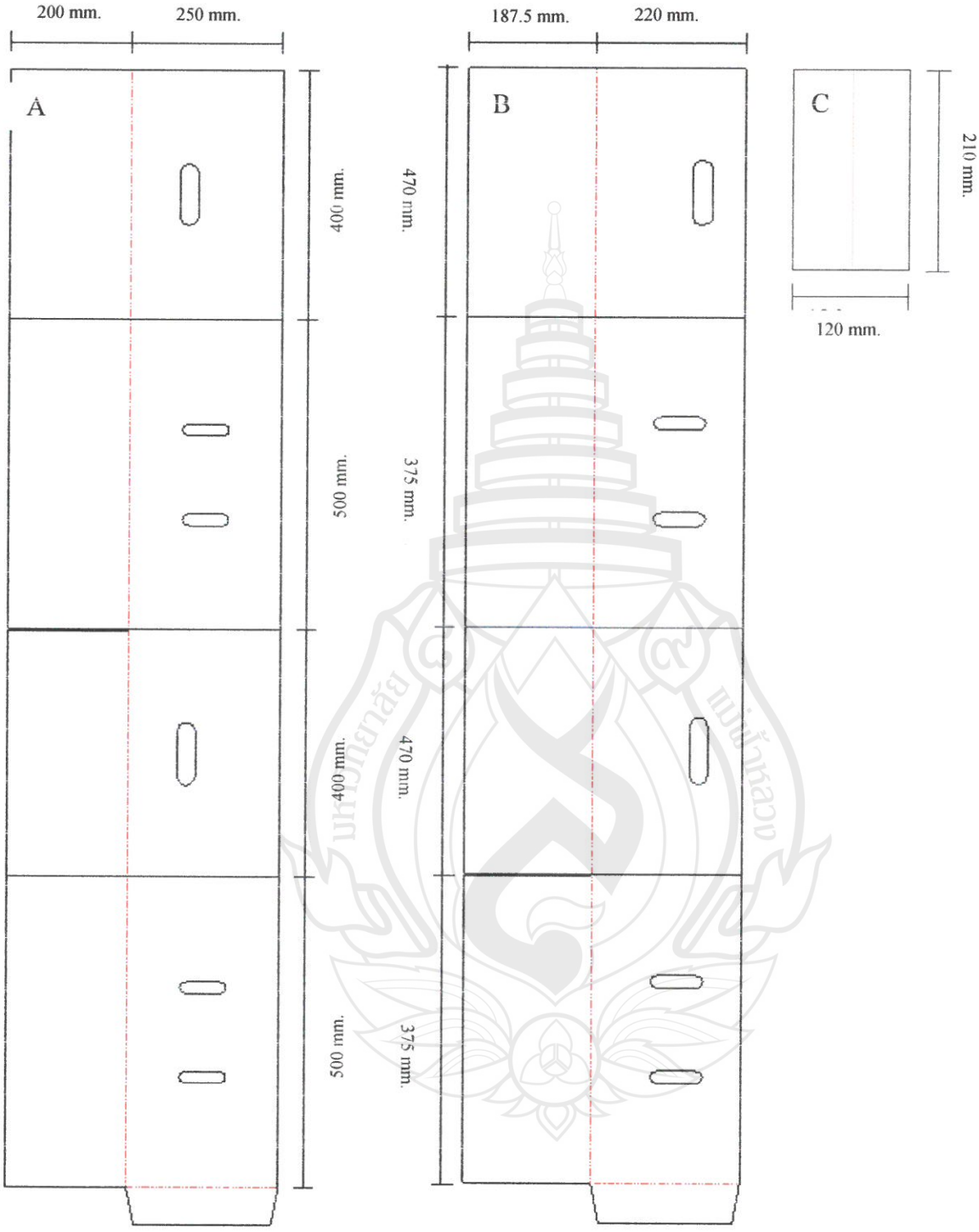
ตารางที่ 9 คุณลักษณะในแต่ละสภาวะทดสอบที่ใช้ในการทดสอบการขนส่ง

สภาวะทดสอบ	ลักษณะกล่อง
BC	กล่องแบบ Bliss case ทั่วไป
BCC	กล่องแบบ Bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม
WC	กล่องแบบ Wrap around ทั่วไป
WC4	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม
WC6	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์
WC8	กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์
NDB	กล่องแบบสองชิ้นที่พัฒนาขึ้นใหม่ (newly developed box) ตัวกล่องเลียนแบบกล่อง WC8 และฝากล่องเป็นเลียนแบบ กล่อง BC

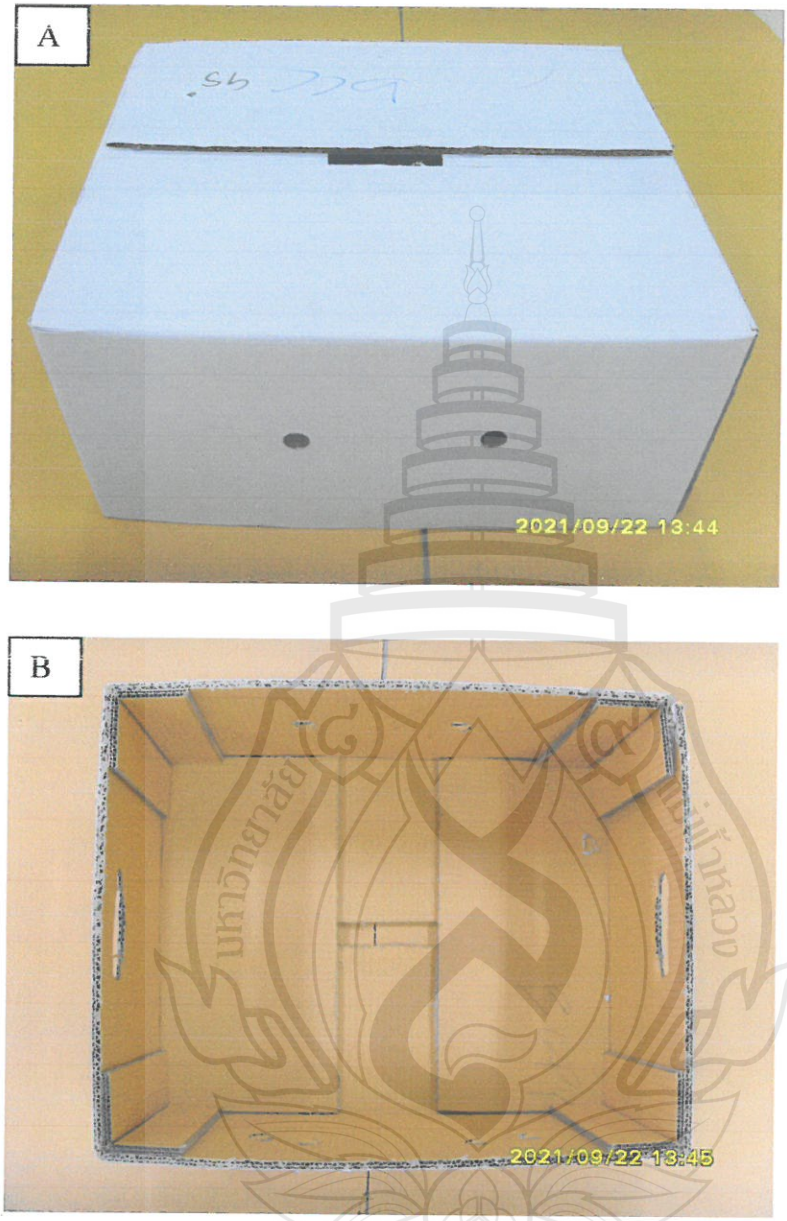


ภาพที่ 3 ร่างแบบกล่อง Bliss case ทั่วไป (BC) ฝากล่อง [A] และ ตัวกล่อง [B]

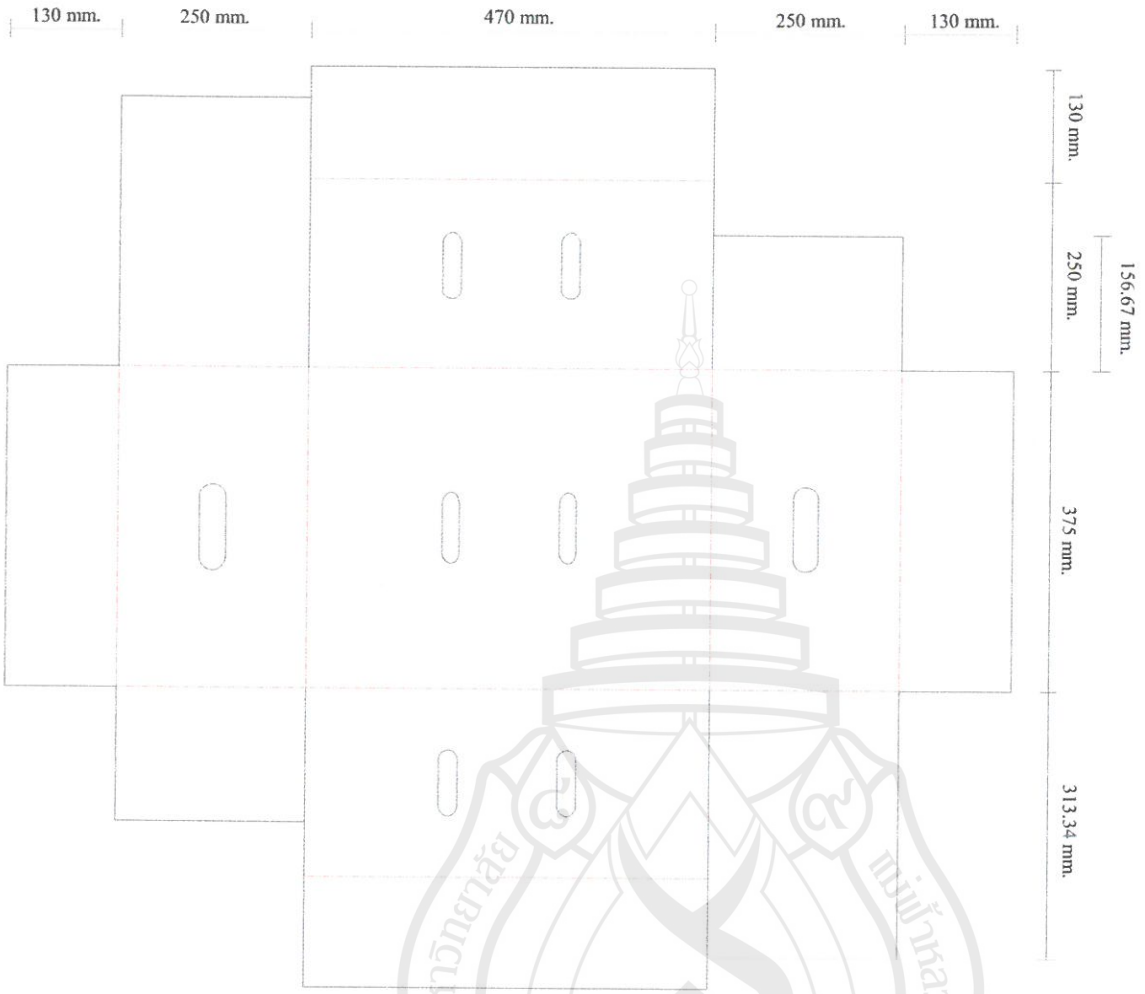
ภาพที่ 4 กล่องแบบ Bliss case ทั่วไป (BC) ฝากล่อง [A] และ ตัวกล่อง [B]



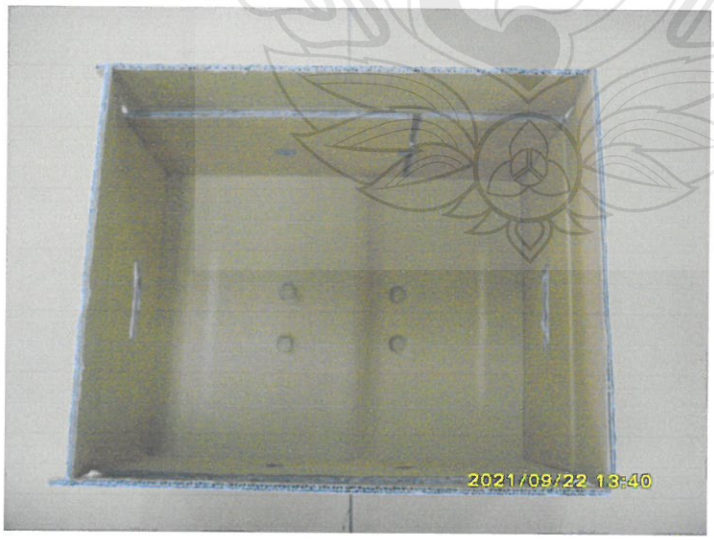
ภาพที่ 5 ร่างกล่องแบบ Bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม (BCC) ฝากล่อง [A] ตัวกล่อง [B] และกระดาษลูกฟูกสำหรับเสริมมุม [C]



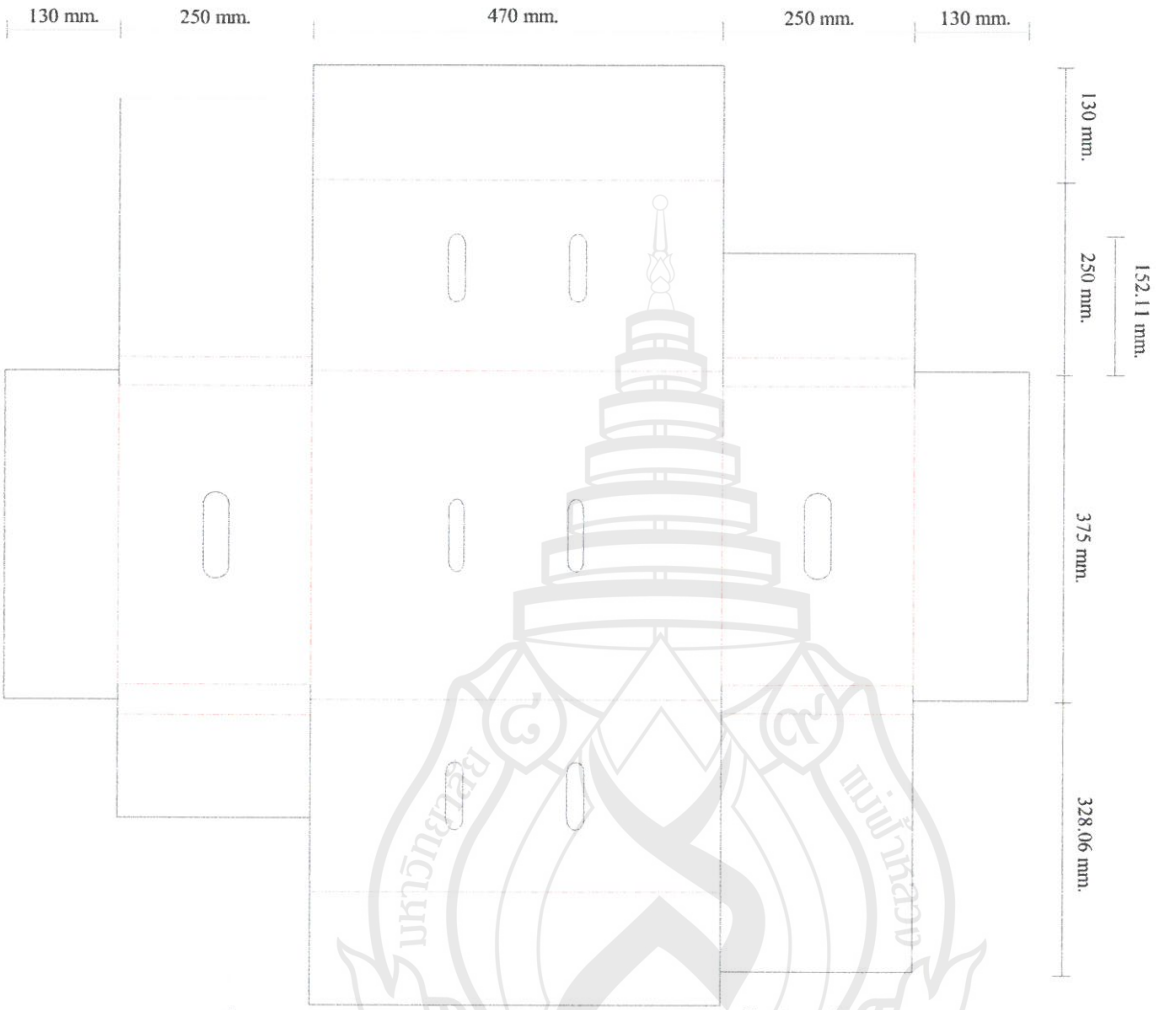
ภาพที่ 6 กล่องแบบ Bliss case เสริมมุมกล่องทั้ง 4 มุม (BCC) ฝากล่อง [A] และ ตัวกล่อง [B]



ภาพที่ 7 ร่างกล่องแบบ Wrap around ทั่วไป (WC)

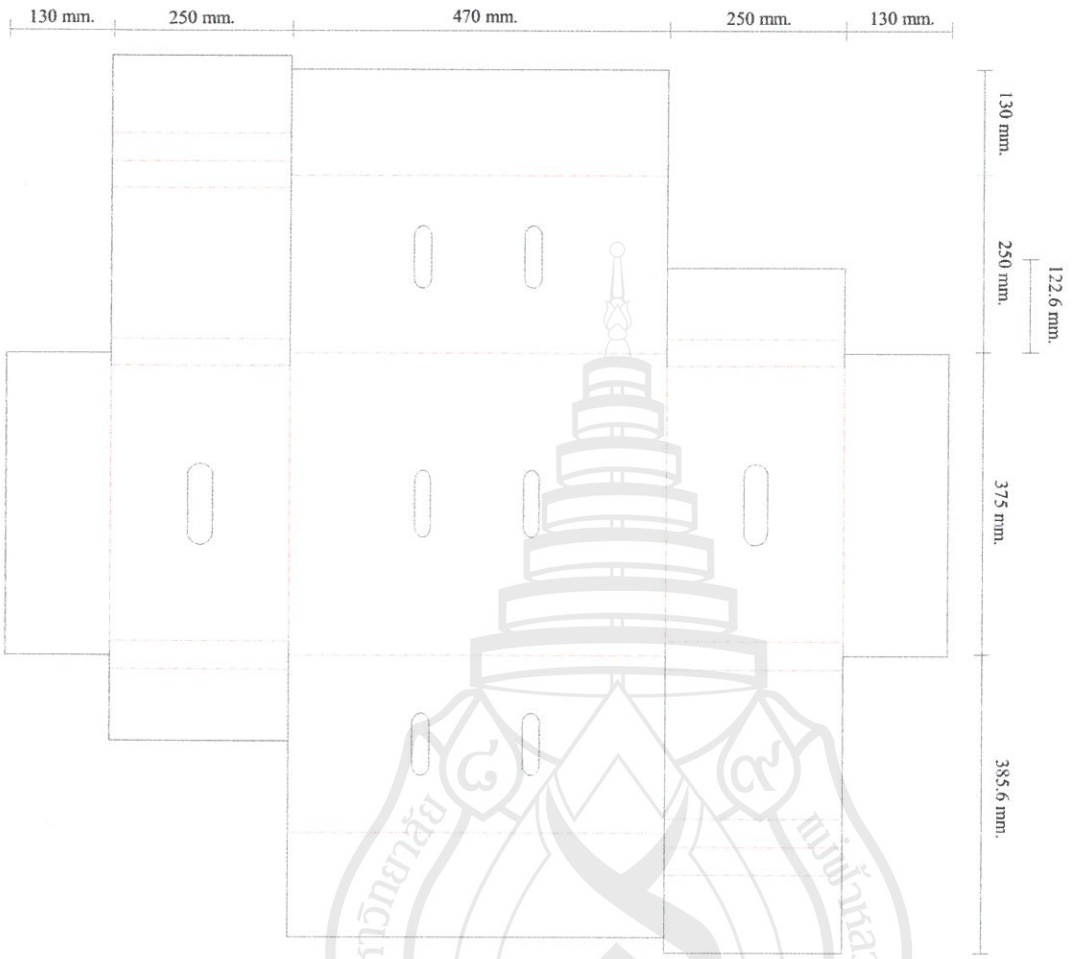


ภาพที่ 8 กล่องแบบ Wrap around ทั่วไป (WC)



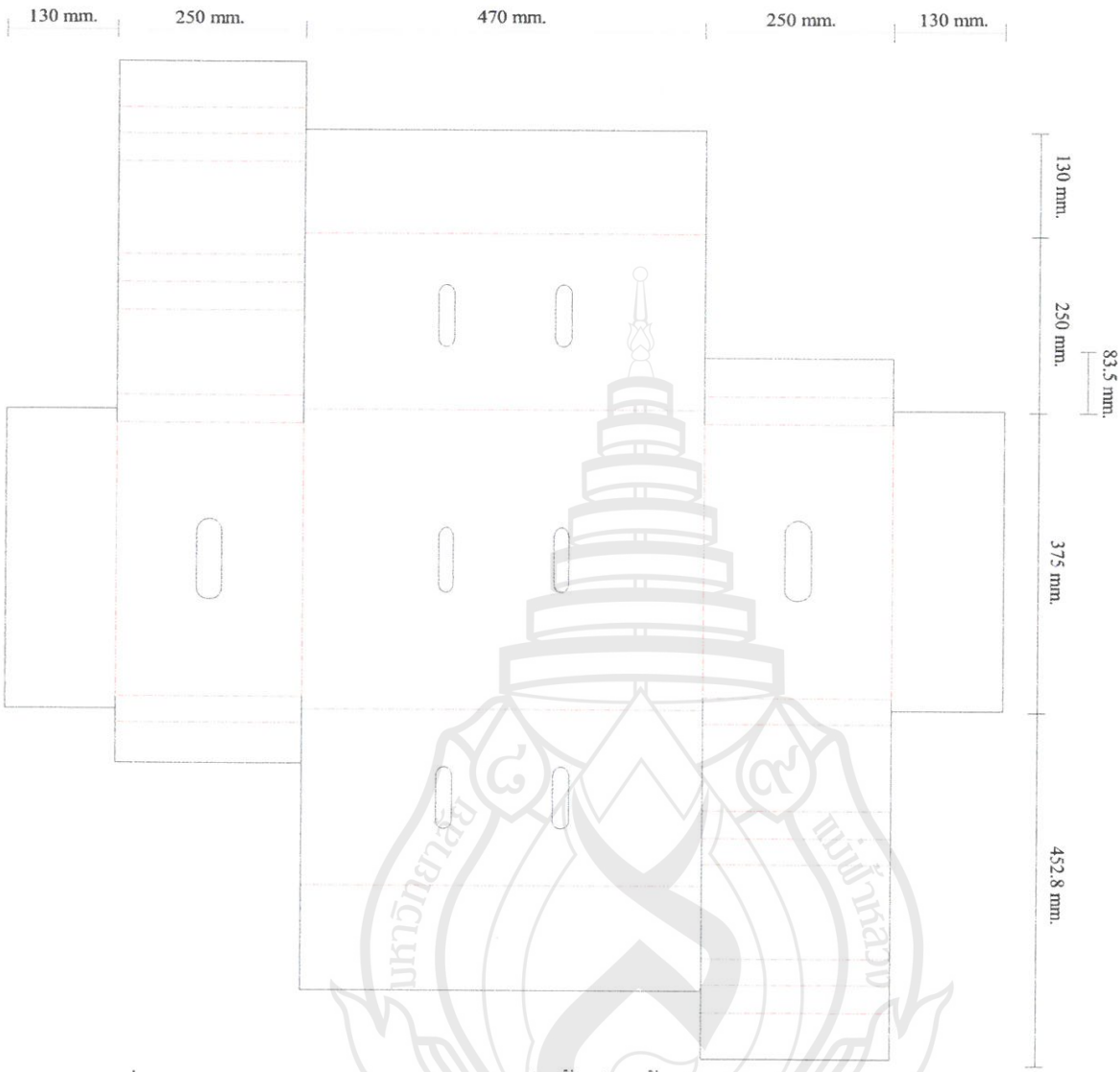
ภาพที่ 9 ร่างกล่องแบบ Wrap around (WC4) เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม

ภาพที่ 10 กล่องแบบ Wrap around (WC4) เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุม



ภาพที่ 11 ร่างกล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์ (WC6)

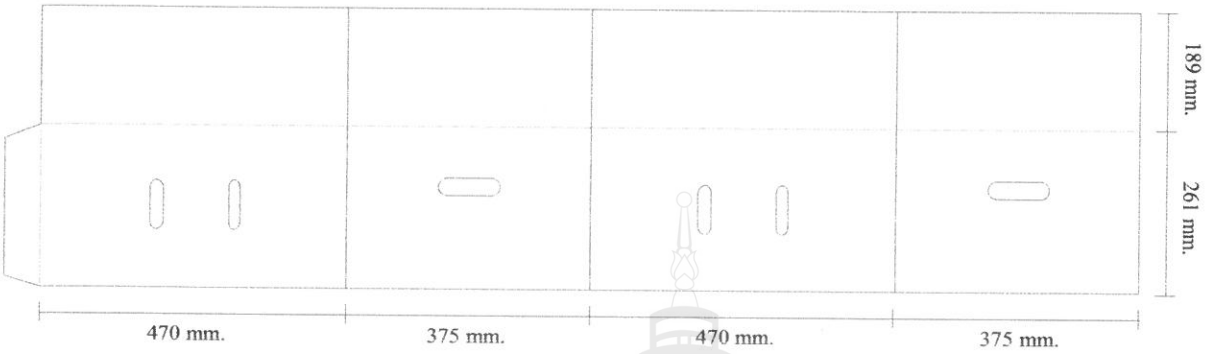
ภาพที่ 12 กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 2 คอลัมน์ (WC6)



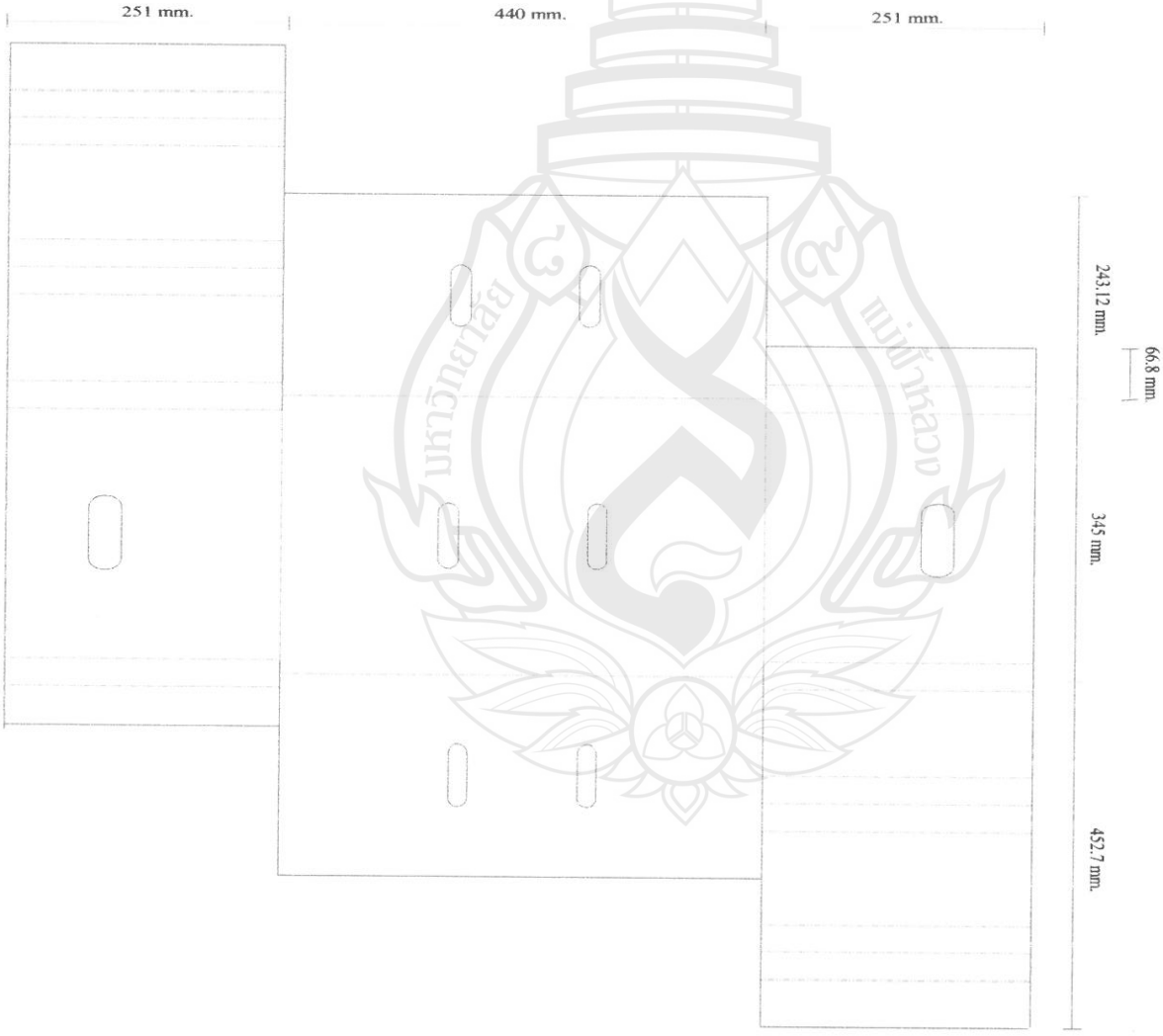
ภาพที่ 13 ร่างกล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์ (WC8)

ภาพที่ 14 กล่องแบบ Wrap around เพิ่มพื้นที่มุมทั้ง 4 มุมและคอลัมน์ 4 คอลัมน์ (WC8)

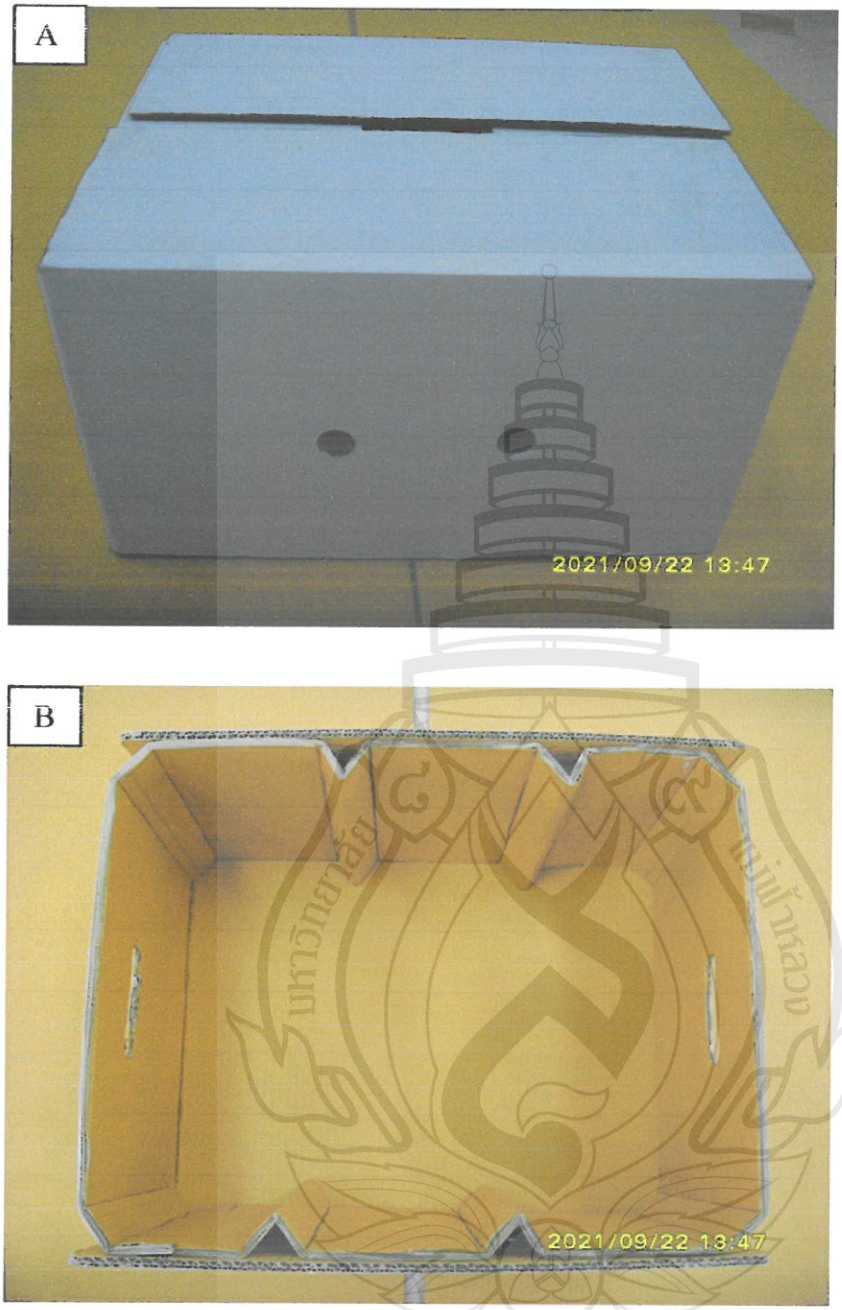
[A]



[B]



ภาพที่15 ร่างกล่องแบบสองชิ้นที่พัฒนาขึ้นใหม่(NDB) ฝากล่องเป็นเลียนแบบ กล่อง BC [A] ตัวกล่องเลียนแบบกล่อง WC8 [B]



ภาพที่ 16 กล่องแบบสองชิ้นที่พัฒนาขึ้นใหม่(NDB) ฝากล่องเป็นเลียนแบบ กล่อง BC [A] ตัวกล่องเลียนแบบกล่อง WC8 [B]

โครงการวิจัยระยะที่ 2

4.4 ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของกระดาษลูกฟูก และสมบัติของกล่องกระดาษลูกฟูกที่ออกแบบใหม่เปรียบเทียบกับกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้อยู่เดิม (BC) โดยทดสอบสุ่มกล่องกระดาษลูกฟูกมาแบบละ 5 ตัวอย่างและทดสอบดังนี้

4.4.1 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเลือกใช้กระดาษลูกฟูกชนิดลอนบี/ซี มีผลการทดสอบสมบัติดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สมบัติเบื้องต้นของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ

สมบัติของกระดาษลูกฟูก	ผลการทดสอบ
1. ความหนาของวัสดุบรรจุ (มิลลิเมตร)	6.25
2. ความต้านทานแรงดันทะลุของวัสดุบรรจุ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	14.73
3. Gammage ของวัสดุบรรจุ (กรัม/ตารางเมตร)	91.78
4. Moisture Content ของวัสดุบรรจุ (ร้อยละ)	4.13
5. Edge crush (กิโลกรัม แรง)	54.41
6. Flat crush (กิโลกรัม แรง)	947.20

4.4.2 ประเมินความเหมาะสมของภาชนะบรรจุต่อการขนส่งและจัดเก็บส้มโอพันธุ์ทองดี

ก) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุ

โดยทดสอบการต้านการกดของภาชนะบรรจุ (package strength, CS) ตามวิธีของ ASTM D-642 โดยใช้ fixed platen แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 11 ความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบ

สภาวะทดสอบ	การต้านการกดของภาชนะบรรจุ (กิโลกรัม แรง (Kgf))
BC	6823d
BCC	7476b
WC	5102f
WC4	6288e
WC6	6576de
WC8	7161c
NDB	9728a
F-test	*

* : แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

a : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' s Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดสอบพบว่ากล่องแบบ NDB มีความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุมากที่สุดที่ 9728 กิโลกรัม แรง ขณะที่กล่องแบบ BCC มีความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุรองลงมาที่ 7476 กิโลกรัม แรง และกล่องแบบ WC มีความต้านทานแรงกดของภาชนะบรรจุน้อยที่สุดที่ 5102 กิโลกรัม แรง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเสริมมุมและคอลัมน์ของกล่องทั้งแบบ bliss case และแบบ wrap around ทำให้กล่องมีความต้านทานแรงกดมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการพัฒนารูปแบบของกล่องชนิดใหม่ (NDB) โดยใช้ฝากล่องแบบ bliss case ทั่วไป ร่วมกับแบบ WC8 ที่มีการเสริมทั้ง 4 มุมกล่องและ 4 คอลัมน์ ที่บริเวณกึ่งกลางของกล่องแต่ละด้านของกล่องแบบ wrap around จะมีผลทำให้กล่องมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นสูงสุดดังตาราง

ข) ทดสอบการลดอุณหภูมิเบื้องต้น

ลดอุณหภูมิเบื้องต้นของส้มโอที่บรรจุในภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบ โดยวิธี room cooling ที่ อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 8 พบว่ากล่องแบบ WC4 ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิน้อยที่สุดที่ 7/8 cooling time ที่เวลา 9.13 ชั่วโมง ขณะที่กล่องแบบ BC ใช้เวลาในการลดอุณหภูมิมากที่สุดที่ 7/8 cooling time ที่เวลา 15.29 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ดีพบว่าเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเบื้องต้น ทุกสภาวะทดสอบพบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ไม่เกิน 15 ชั่วโมง สำหรับระยะเวลาในการขนส่งโดยรถบรรทุกทำความเย็น (refrigerator truck) ตั้งแต่โรงคัดบรรจุ จังหวัดเชียงราย จนกระทั่งถึงท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 12 เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ 7 / 8 cooling time ($H_{7/8}$)

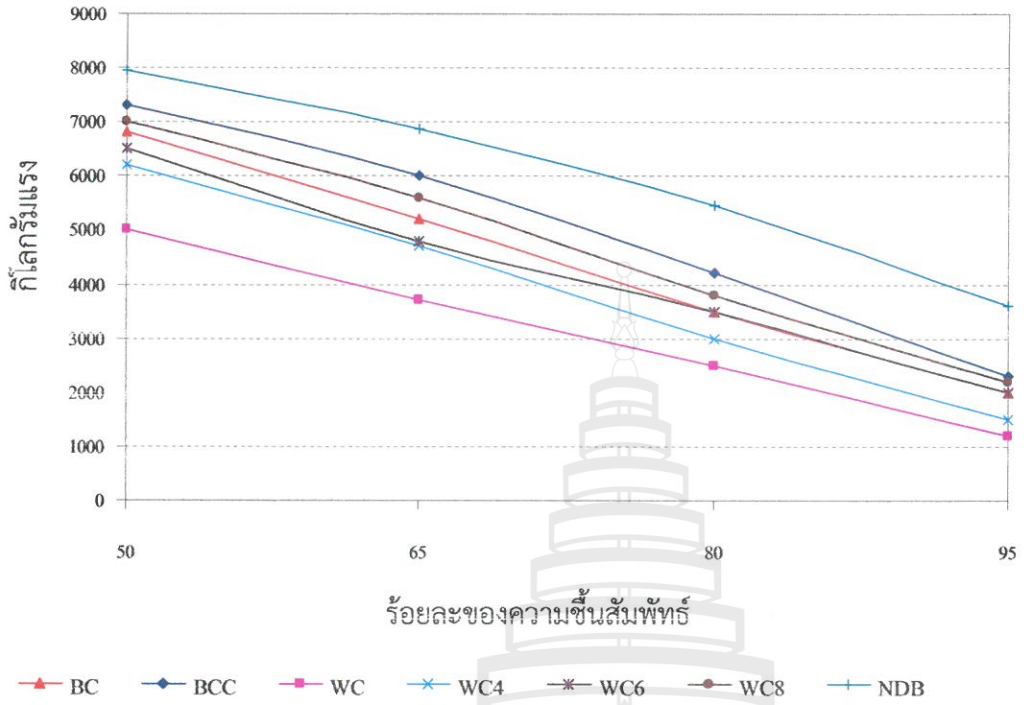
Treatment	7/8 half time (hour)
BC	15.29
BCC	14.24
WC	12.61
WC4	9.13
WC6	11.47
WC8	11.04
NBD	15.15
F-test	*

* : แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

a : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค) ทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอในแต่ละสภาวะทดสอบภายใต้สภาวะการขนส่งที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

ทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอโดยทดสอบสมบัติของกล่องกระดาษลูกฟูกภายหลังการทดสอบขนส่งและเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 วันที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65, 80, และ 95 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านการกดของภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบ แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านการกดของภาชนะบรรจุในแต่ละสภาวะทดสอบที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 65 80 และ 95 และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบพบว่าที่สภาวะทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 และอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ากล่องทุกสภาวะทดสอบจะมีความต้านทานต่อการการกดของภาชนะบรรจุเพียงพอต่อการวางเรียงซ้อน 15 ชั้น และพบว่าเมื่อเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของการทดสอบมากขึ้น ทุกสภาวะทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงความต้านทางการการกดของภาชนะบรรจุลดลง โดยพบว่าที่สภาวะทดสอบความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ร้อยละ 95 กล่องทุกสภาวะทดสอบจะมีค่าต้านทางการการกดของภาชนะบรรจุลดลงต่ำที่สุดโดยเฉพาะกล่องแบบ WC จะมีค่าต้านทางการการกดของภาชนะบรรจุน้อยที่สุดที่ 1225 กิโลกรัมแรง ขณะที่กล่องแบบ NDB จะมีค่าต้านทางการการกดของภาชนะบรรจุมากที่สุดที่ 3587 กิโลกรัมแรง และเมื่อเปรียบเทียบความต้องการความต้านทานแรงกดต่ำสุดของกล่องในการวางเรียงซ้อนทั้งหมด 15 ชั้นที่ได้จากการคำนวณน้ำหนักในการวางเรียงซ้อนและการเผื่อค่า safety factor ที่ค่าความต้องการความต้านทานแรงกดต่ำสุดของกล่อง 3380 กิโลกรัมแรง แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะการขนส่งและการจัดเก็บที่มีความชื้นสูงมาก กว่าร้อยละ 80 ในห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส กล่องแบบ NDB จะเป็นกล่องชนิดเดียวที่มีความแข็ง แรงต่อการวางเรียงซ้อนมากที่สุด และยังสามารถวางเรียงซ้อนอยู่ได้โดยไม่เกิดการยุบตัวของกล่องในระหว่างจัดเก็บและการขนส่ง

4.4.3 ทดสอบความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอต่อการวางเรียงซ้อนในสภาวะวิกฤติ

จากผลการทดลองในตารางที่ 13 แสดงการทดสอบความแข็งแรงต่อการวางเรียงซ้อนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบในสภาวะวิกฤติ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 โดยการทดสอบการวางเรียงซ้อนแต่ละสภาวะทดสอบตามวิธีที่ดัดแปลงวิธีตามมาตรฐาน ISO 2234 ทดสอบภายในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์วิกฤติเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมงพบว่ากล่อง

ชนิด bliss case แบบ BC และกล่องชนิด wrap around แบบ WC WC4 WC6 และ W8 มีระยะการยุบตัวของกล่องมากกว่า 2 เซนติเมตร และมีการยุบตัวในแต่ละด้านของกล่องอย่างมากซึ่งแสดงในภาพที่ 18 ขณะที่กล่องชนิด bliss case แบบ BCC และ กล่องแบบ NDB เป็นกล่องที่มีคุณลักษณะที่ยอมรับได้ภายหลังการทดสอบ โดยพบว่ากล่องทั้ง 2 แบบมีระยะของการยุบตัวของกล่องบรรจุภัณฑ์ในแต่ละด้าน น้อยกว่า 2 เซนติเมตร โดยกล่องแบบ BCC มีระยะของการยุบตัวของกล่องที่ 1.0 เซนติเมตร และกล่องแบบ NDB มีระยะของการยุบตัวของกล่องที่ 0.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

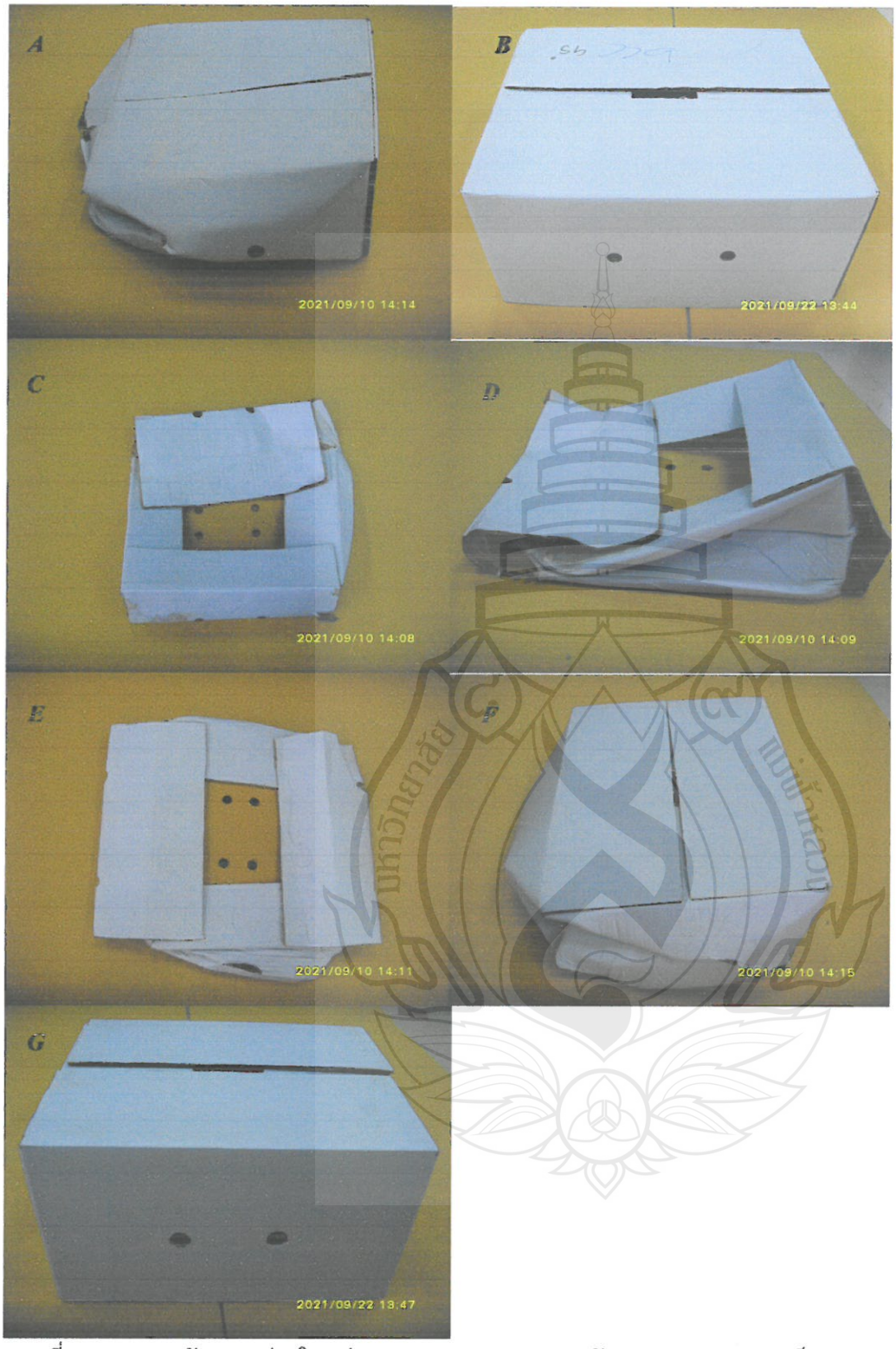
ผลการทดสอบดังกล่าวฯ แสดงให้เห็นว่ากล่องแบบ BCC และ กล่องแบบ NDB ซึ่งมีการเสริมพื้นที่การรับน้ำหนักที่มุมกล่องทั้ง 4 ด้านและเสริมพื้นที่ด้วยคอลัมน์ตลอดความยาวรอบกล่องจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกล่องในการกระจายจุดรับน้ำหนักในการวางเรียงซ้อนของกล่อง(distribution of load-bearing ability) (Burgess, 1999) ซึ่งมีผลทำให้กล่องแบบ BCC และ กล่องแบบ NDB เป็นกล่องที่มีความต้านทานต่อแรงกดทับมากขึ้น ตลอดจนมีความแข็งแรงทนทานต่อการวางเรียงซ้อน (stacking strength) ของกล่องในสภาวะที่มีการสั่นสะเทือนร่วมกับการกดทับ (live load) ในระหว่างการขนส่ง และเพิ่มความแข็งแรงต่อการวางเรียงซ้อนในระหว่างการจัดเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงได้ดีกว่ากล่องชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกล่องที่ไม่ได้มีการเสริมมุมกล่องและคอลัมน์เพื่อช่วยในการรับน้ำหนักในการวางเรียงซ้อนของกล่องตามแนวมุมกล่อง

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อการวางเรียงซ้อนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ ในสภาวะวิกฤติ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 95 เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง

สภาวะทดสอบ	ระยะของการยุบตัวของกล่อง (มิลลิเมตร)
BC	3c
BCC	10b
WC	33a
WC4	27a
WC6	29a
WC8	34a
NDB	5c
F-test	*

* : แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

a : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' s Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 18 การยุบตัวของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ ภายหลังการทดสอบความแข็งแรงของภาชนะบรรจุต่อการวางเรียงซ้อนในสภาวะวิกฤติ กล่องชนิด bliss case แบบ BC [*A*] กล่องแบบ BCC [*B*] กล่องชนิด wrap around แบบ WC [*C*] กล่องแบบ WC4 [*D*] กล่องแบบ WC6 [*E*] กล่องแบบ WC6 [*F*] และ กล่องแบบ NDB [*G*]

ง) ทดสอบประสิทธิภาพของการบรรจุ

ผลการคำนวณหาปริมาตรภายในของภาชนะบรรจุทั้งหมดในแต่ละสภาวะทดสอบ พบว่ากล่องกระดาษแบบ Bliss case จะมีร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุมากกว่ากล่องกระดาษแบบ wrap around และนอกจากนี้ยังพบว่ากล่องกระดาษชนิด WC8 และ NDB จะมีร้อยละของร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าการบรรจุผลส้มโอจำนวน 15 ผลในกล่องชนิด WC8 และ NDB จะมีผลทำให้เกิดโอกาสที่ส้มโอที่อยู่ภายในกล่องเกิดการสั่นสะเทือน กระแทกและเสียดสีในระหว่างผลส้มโอที่บรรจุภายในกล่องได้น้อยกว่าการบรรจุโดยใช้กล่องชนิดอื่นๆ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 14 ปริมาตรของภาชนะบรรจุทั้งหมดและร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุ

สภาวะทดสอบ	ปริมาตรของภาชนะบรรจุทั้งหมด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุ
BC	38775.00	48.58
BCC	37767.00	47.21
WC	35145.00	43.27
WC4	35113.00	43.22
WC6	35093.64	43.19
WC8	35074.28	43.16
NDB	35074.28	43.16

ง) คำนวณต้นทุนของภาชนะบรรจุ

ทดสอบโดยคำนวณหาต้นทุนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ โดยคำนวณจากพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องใช้ตัดกล่องของกระดาษลูกฟูกลอน บี-ซี ที่ใช้ทำฝากล่องชนิด WL 170/3CA 125/KA 230 และ กระดาษลูกฟูกลอน บี-ซี ที่ใช้ทำตัวกล่องชนิด KA 230/3CA 125/KA 230 และจากผลการคำนวณพบว่ากล่องแบบ wrap around จะมีต้นทุนในการผลิตต่อกล่องต่ำกว่ากล่องแบบ bliss case แต่อย่างไรก็ดีพบว่า กล่องทุกสภาวะทดสอบมีต้นทุนในการผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ส่งออกยอมรับได้ที่ราคาต่ำกว่า 55 บาทต่อกล่อง

ตารางที่ 15 ผลการคำนวณหาต้นทุนของกล่องในแต่ละสภาวะทดสอบ

สภาวะทดสอบ	พื้นที่กระดาษลูกฟูกที่ใช้ทั้งหมดทั้งหมด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ต้นทุนการผลิตต่อกล่อง* (บาท)
BC	18010	45.03
BCC	19018	47.55
WC	13899	34.75
WC4	13899	34.75
WC6	14268	35.67
WC8	15990	39.98
NDB	18010	45.03

* ราคาต้นทุนคิดจากราคาของกระดาษลูกฟูก ลอน บี-ซี ของเดือนธันวาคม 2552

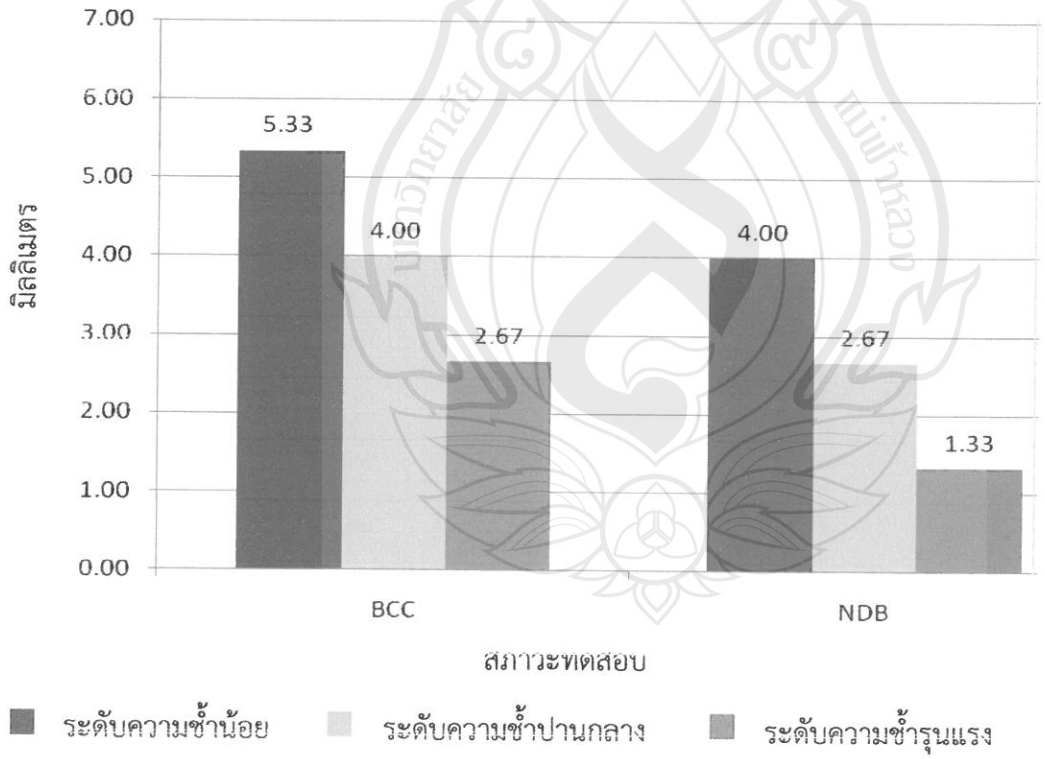
ผลการทดลองระยะที่ 3

4.5 ผลการทดสอบการขนส่ง

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบความแข็งแรงเชิงกลของระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งที่ออกแบบใหม่กับระบบภาชนะบรรจุที่ใช้ในปัจจุบัน พบว่ากล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกมากที่สุด การทดลองนี้เลือกกล่องชนิด BCC และกล่องชนิด NDB จึงนำมาใช้ประเมินความเหมาะสมต่อการขนส่ง ด้วยการทดสอบการขนส่ง ด้วยการจำลองสภาวะการสั่นสะเทือนในห้องปฏิบัติการ ด้วยเครื่องมือทดสอบ vibration tester วิธีจำลองการสั่นสะเทือนแบบคงที่ตามมาตรฐาน ASTM D999-01 โดยใช้เวลาในการทดสอบ 60 นาที และภายหลังการทดสอบการขนส่งเก็บส้มโอและภาชนะบรรจุที่ทดสอบการขนส่งแล้วในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดีในแต่ละสภาวะทดสอบ และทดสอบการสูญเสียความแข็งแรงของภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้บรรจุส้มโอ ดังนี้

4.5.1 ผลการวัดระดับความช้ำระดับความช้ำ

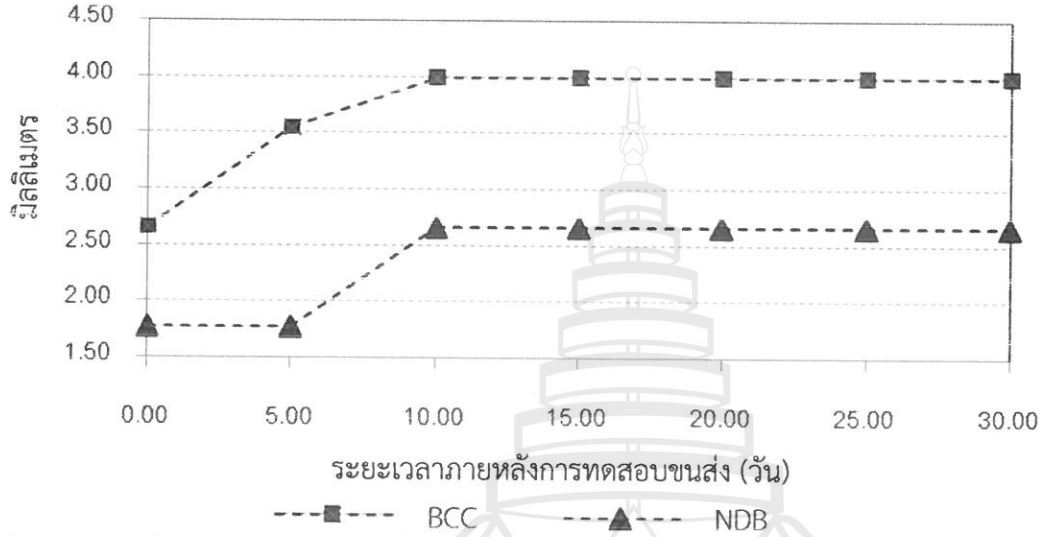
ผลของการตรวจสอบความช้ำหลังการทดสอบการขนส่งของกล่อง โดยตรวจสอบความช้ำด้วยสายตา (visual quality) โดยแบ่งความช้ำออกเป็น 3 ระดับ แสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ระดับความช้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB ณ. วันที่ 1 ภายหลังการทดสอบขนส่ง

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับความช้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB ในภาพที่ 19 พบว่า การขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ

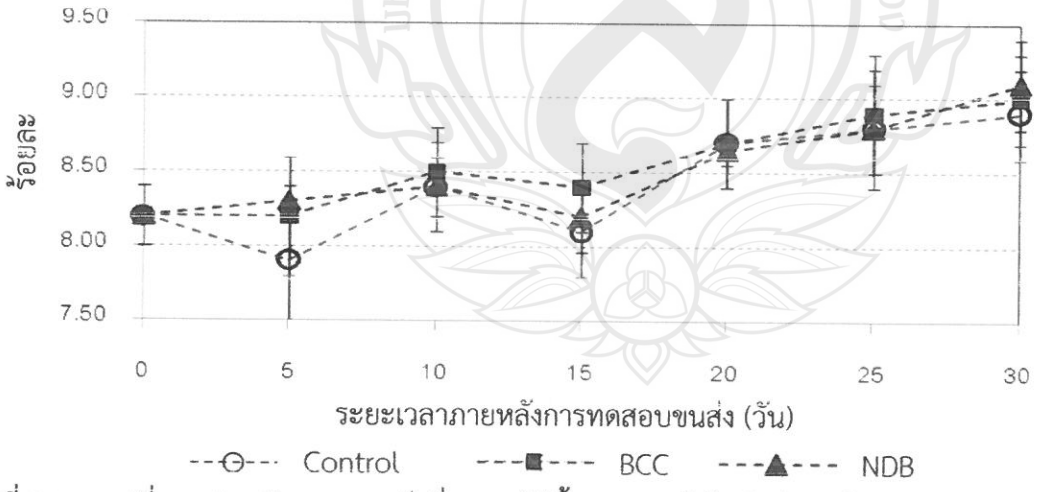
NDB จะมีผลทำให้ส้มโอมีระดับความช้ำปรากฏชัดเจนเพิ่มขึ้นในช่วง 10 วันแรกภายหลังการทดสอบ และหลังจากนั้นพบว่าทั้งสองสภาวะทดสอบมีระดับความช้ำไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อเปรียบเทียบระดับความช้าของการขนส่งด้วย กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB พบว่าการขนส่งด้วย กล่องแบบ BCC จะมีผลทำให้ส้มโอมีระดับความช้ำมากกว่าการขนส่งโดยกล่องแบบ NDB



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงระดับความช้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB วันที่ 1 5 10 15 20 25 และวันที่ 30 ภายหลังการทดสอบขนส่ง

4.5.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Soluble Solid; SS)

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ทองดีภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDBแสดงดังภาพที่ 21



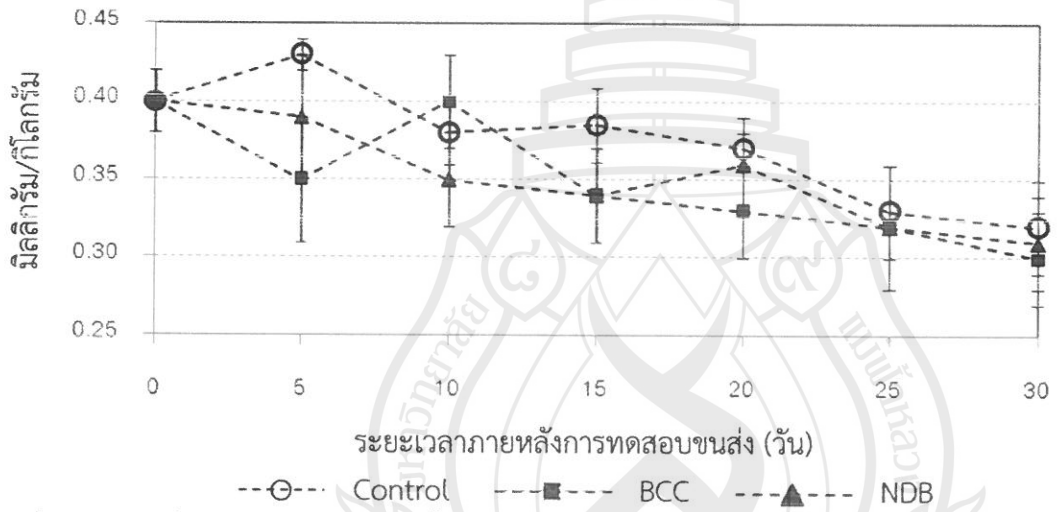
ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังการทดสอบขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB วันที่ 1 5 10 15 20 25 และ30 ภายหลังการทดสอบขนส่ง

พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ทองดีภายหลังการทดสอบขนส่งในทุกสภาวะทดสอบ มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอทั่วไปที่ไม่ได้ผ่าน

การทดสอบขนส่ง (control) แสดงให้เห็นว่าการขนส่งด้วยกล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB จะมีผลช่วยรักษาคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดีให้มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างขนส่งจนถึงมือผู้บริโภคอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาพที่ 20

4.5.3 ปริมาณกรดทั้งหมด

ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ทองดีภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณปริมาณกรดทั้งหมด ภายหลังการทดสอบขนส่งในทุกสภาวะทดสอบ มีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านการทด สอบขนส่ง (control) แสดงให้เห็นว่าการขนส่งด้วยกล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB จะมีผลช่วยรักษาคุณภาพทางด้านเคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีให้มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างขนส่งจนถึงมือผู้บริโภคอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของส้มโอพันธุ์ทองดี ภายหลังทดสอบการขนส่งโดยใช้กล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB วันที่ 1 5 10 15 20 25 และ 30 ภายหลังการทดสอบขนส่ง

บทที่5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษารวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบระบบภาชนะบรรจุพบว่าสาเหตุหลักของการยุบตัวของกล่องกระดาษลูกฟูกในระหว่างการขนส่งและจัดเก็บส้มโอเกิดจาก ผู้ส่งออกใช้กล่องกระดาษลูกฟูกที่ไม่มีการเผื่อค่าปัจจัยด้านความต้านทานต่อแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูก (safety factor) ที่ใช้ในการขนส่งส้มโอส่งออกต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมในระหว่างการขนส่งหรือจัดเก็บที่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังพบว่าการขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องของผู้ประกอบการในวิธีการบรรจุส้มโอเพื่อการส่งออก การขึ้นรูปกล่อง การจัดเก็บกล่อง รวมถึงการเคลื่อนย้ายกล่องและการขนส่งให้ถูกวิธี ส่งผลทำให้ลอนของกล่องลูกฟูกเกิดการยุบตัวหรือหักเสียหายส่งผลทำให้กล่องสูญเสียความแข็งแรงและเกิดการยุบตัวของกล่องดังกล่าวฯ

2. กล่องแบบ BCC ที่มีการเสริมทั้ง 4 มุมกล่อง และกล่องแบบ NDB ที่มีการเสริมทั้ง 4 มุมกล่องและ 4 คอลัมน์ ที่บริเวณกึ่งกลางของกล่องแต่ละด้านเป็นระบบภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีเพื่อการส่งออกมากที่สุดเนื่องจากมีความต้านทานต่อแรงกดที่เพียงพอต่อการวางเรียงซ้อนในระหว่างการจัดเก็บและการขนส่งส้มโอในสภาวะวิกฤติที่มีระดับความชื้นสูงได้ อีกทั้งกล่องทั้งสองแบบยังมีความสามารถในการลดอุณหภูมิเบื้องต้นและต้นทุนอยู่ในระดับที่ผู้ส่งออกยอมรับได้ และเมื่อทำการทดสอบการขนส่งพบว่ากล่องแบบ BCC และกล่องแบบ NDB จะสามารถปกป้องส้มโอจากแรงเชิงกลในระหว่างการขนส่งและการจัดเก็บ และช่วยคุณภาพทางด้านเคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีให้มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างขนส่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้จนถึงผู้บริโภค

ข้อเสนอแนะ

1. การบรรจุส้มโอลงในกล่องแบบ NDB ซึ่งมีร้อยละของปริมาตรที่ว่างภายในภาชนะบรรจุหรือมีการบรรจุที่แน่นกว่า (tight fill pack,TFP) การบรรจุส้มโอลงในกล่องแบบ BCC ส่งผลให้ส้มโอที่บรรจุลงในกล่องแบบ NDB มีแนวโน้มที่จะเกิดความเสียหายได้มากกว่าส้มโอที่บรรจุลงในกล่องแบบ BCC

2. การผลิตและการใช้งานกล่องแบบ BCC จะทำได้ง่ายกว่าและมีต้นทุนที่ถูกกว่ากล่องแบบ NDB เนื่องจากกล่องแบบ BCC จะใช้กระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตกล่องแบบ slot container ทั่วไป ขณะที่กล่องแบบ NDB จะต้องใช้กระบวนการผลิตแบบไดคัท (die cut) ร่วมกับกระบวนการผลิตกล่องแบบ slot container

3. ผู้ประกอบการส่งออกส้มโอควรได้รับการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีในด้านวิธีการปฏิบัติที่ถูกต้องในการบรรจุส้มโอเพื่อการส่งออก การขึ้นรูปกล่อง การจัดเก็บกล่อง รวมถึงการเคลื่อนย้ายกล่องและการขนส่งให้ถูกวิธี

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

1. ถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยการแนะนำผู้ประกอบการให้ใช้ กล่องแบบ BCC มาเป็นระบบภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีแทนที่ระบบที่ภาชนะบรรจุที่มีอยู่เดิมที่ใช้กล่องกระดาษลูกฟูกแบบสองชิ้น (Full telescope box) รวมถึงแนะนำแนวทางการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง เพื่อลดความเสียหายจาก

กระบวนการขนส่งไปเผยแพร่แก่เกษตรผู้ปลูกส้มโอ และผู้ส่งออกส้มโอ โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรผู้ปลูกส้มโอและผู้ส่งออกใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย

2. มีการนำเสนอผลงานในภาคนิทัศน์และบทความในการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 9 ณ. โรงแรมพัทยาพาร์ค บีช รีสอร์ท จ. ชลบุรี

บรรณานุกรม

กรมศุลกากร. (2006). Available: http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.Jsp (26 พฤศจิกายน, 2549).

จดหมายเหตุบรรจุภัณฑ์ ฉบับที่ 8 (2531) กล่องกระดาษลูกฟูกบรรจุส้มโอส่งออกทางเรือ แบบ ศบท.1 ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ

มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2550) มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส้มโอ มกษ.0013 -2550 สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เล่ม 124ตอนพิเศษ 78 ง 29 มิ.ย. 50

รวี เสรฐภักดี. (2523). เอกสารประกอบการสอนวิชาพืชสวน 542. ภาควิชาพืชสวนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 180 น.

ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร.(2549). สถิติการปลูกส้มโอ (Pummelo) รายจังหวัด ปีการเพาะปลูก 2546. Available: http://www.doae.go.th/temp.asp?gpg=data/kasetfx.(1 พฤศจิกายน 2549).

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม , โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ASTM. 2000. American Society for Testing and Materials. ASTM D642. West Conshohocken, PA. 6p.

ASTM. 2000. American Society for Testing and Materials. ASTM D644-99 West Conshohocken, PA. 63p.

ASTM. 2000. American Society for Testing and Materials. ASTM D646. West Conshohocken, PA. 85p.

ASTM. 2000. American Society for Testing and Materials. ASTM D999-01 West Conshohocken, PA. 45p.

ASTM. 2000. American Society for Testing and Materials. ASTM D4628 West Conshohocken, PA. 55p.

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL v.1. 17thed. Horwitz, (Ed) AOAC INTERNATIONAL, U.S.A.

Burgess, G. 1999. Course Pack PKG 410 "Distribution Packaging Dynamics" School of Packaging , Michigan State University, East Lansing , MI, revised Fall 1999.

Holt, J.E. and D. Schoorl. 1982. Strawberry bruising and energy dissipation. J. Text Stud. 13: 349-357.

Hung, Y.C. and S.E. Prussia. 1989. Effect of maturity and storage time on the bruise susceptibility of peaches (CV. Red globe). Trans. ASAE. 32: 1377-1382.

Kader, A.A. (ed.). 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. Uni. of Calif., Div. of Agri. and Natural Resources. Oakland, California, USA. 296 pp.

Klein, J.D. 1987. Relationship of harvest date, storage conditions, and fruit characteristics to bruise susceptibility of apple. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 113-118.

ISO. 2000 International standard , ISO 2234:2000(E) Switzerland.

Steve, S, 1980. Major Problem Affecting Agriculture in MIAMI-DADE: Post Harvest Technology (Fruitsand Vegetable) University of Florida, Gainesville, Florida.

Subramanyam, H., S. Krishamurty and H.A.B. Parpia. 1975. Physiology and biochemisty of mango fruit. Adv. Food Res. 21: 233-305.

TAPPI. 1998. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Test Method T 411. TAPPI Press, Atlanta.

TAPPI. 1998. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Test Method T 551om-06. TAPPI Press, Atlanta.

TAPPI. 1998. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Test Method T810. TAPPI Press, Atlanta.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์คุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดี

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดี

1. ปริมาณกรดทั้งหมด (Titratable acidity; TA ; ทดสอบตามวิธี AOAC (2000)

นำน้ำคั้น 2 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 N โดยใช้ phenolphthalein 1 % เป็น indicator นำค่าปริมาณสารละลายด่างที่ใช้มาคำนวณหา % กรดซิตริก

$$\% \text{ กรดซิตริก} = \frac{\text{N base X มล. base X meq.wt ของกรดซิตริก X 100}}{\text{มล. ของน้ำคั้นที่ใช้}}$$

โดย N base คือ Normality ของสารละลายด่าง

มล. base คือ ปริมาณของสารละลาย NaOH ที่ใช้ในการไตเตรต

meq.wt ของกรดซิตริก (anhydrous form) คือ 0.06404

2. การประเมินค่าความต้องการความต้านทานแรงกดของกล่อง (Require compression strength)

วิธี Box retention factors ที่ดัดแปลงจาก Burgess (1999) ดังสมการ

$$\text{Require compression strength} = [NW * (N - 1)] * [H*T*PP*PO*V]$$

N = จำนวนชั้นในการวางเรียงซ้อน

NW = น้ำหนักสุทธิ

H = ปัจจัยในด้านความชื้น

T = ปัจจัยในด้านเวลา

PP = ปัจจัยในด้านรูปแบบการวางเรียงซ้อน

V = ปัจจัยในด้านการสั่นสะเทือน (Sf = 0.67)

PO = ปัจจัยในด้านการวางยื่นออกมาจากแท่นรองสินค้า

ภาคผนวก ข
การกำหนดค่าคงที่ของปัจจัยที่มีผลทำให้คุณภาพกล่องลดลง

ภาคผนวก ข การกำหนดค่าคงที่ของปัจจัยที่มีผลทำให้คุณภาพกล่องลดลง

1. ปัจจัยอันเนื่องมาจากลักษณะการวางซ้อนกล่อง

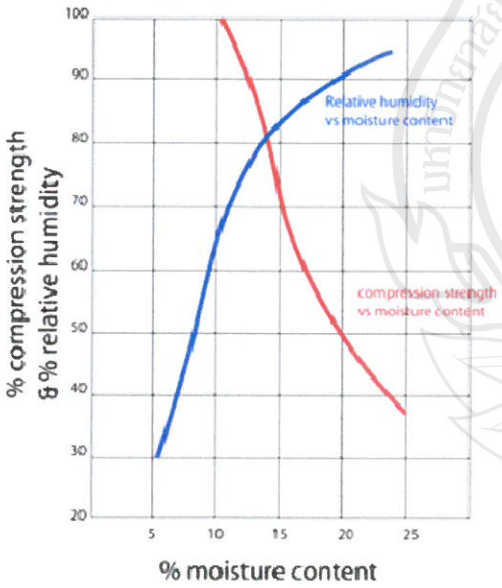
ลักษณะการวางซ้อนของกล่องรวมถึงลักษณะของพื้นที่ที่กล่องถูกวางไว้ จะมีค่า safety factor ของปัจจัยดังนี้

ตารางผนวกที่ ข1 ค่า safety factor ของปัจจัยจากลักษณะการวางซ้อนกล่อง

ลักษณะการวางเรียงซ้อน		% BCT ที่เหลือ	safety factor (PP)
ไม่วางบนกระบะ	เรียงซ้อนขนานกัน	85	0.85
ไม่วางบนกระบะ	เรียงซ้อนไขว้กัน	60	0.60
วางบนกระบะ	เรียงซ้อนขนานกัน	75	0.75
วางบนกระบะ	เรียงซ้อนไขว้กัน	50	0.50

2.ปัจจัยอันเนื่องจากปริมาณความชื้นในอากาศ

เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุที่มีประมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นในอากาศ เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) สูงขึ้น ปริมาณความชื้นในกระดาษก็สูงขึ้นด้วย แต่จะทำให้กล่องทนต่อแรงกดได้น้อยลงจึงมีการกำหนดค่าของปัจจัยเนื่องจากความชื้นดังนี้



ภาพผนวกที่ ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงกดของกระดาษที่ความชื้นในบรรยากาศต่างๆ

ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	safety factor (H)
0	1.25
25	1.10
50	1.00
55	0.96
60	0.91
65	0.56
70	0.81
75	0.75
80	0.68
85	0.60
90	0.48
95	0.29

3. ปัจจัยอันเนื่องมาจากระยะเวลากองเก็บกล่อง

มีค่า safety factor ของปัจจัยดังนี้

ตารางผนวกที่ ข3 ค่า safety factor ของปัจจัยอันเนื่องมาจากระยะเวลากองเก็บกล่อง

เวลา	ค่าคงที่	เวลา	ค่าคงที่	เวลา	ค่าคงที่
0 ชม.	1.00	3 วัน	0.68	90 วัน	0.55
1 ชม.	0.87	4 วัน	0.67	120 วัน	0.52
6 ชม.	0.79	5 วัน	0.66	1ปี	0.50
12 ชม.	0.76	10 วัน	0.64	2ปี	0.46
1 วัน	0.73	30 วัน	0.60		
2 วัน	0.70	60 วัน	0.57		

4. ปัจจัยอันเนื่องมาจากจำนวนการเคลื่อนย้าย

จำนวนการเคลื่อนย้ายกล่องตลอดระยะเวลาการใช้งานของกล่อง จะมีผลให้ความสามารถในการทนต่อแรงกดกล่อง (BCT) ได้น้อยลง โดยมีค่า safety factor ของปัจจัยดังนี้

ตารางผนวกที่ ข4 ค่า safety factor ของปัจจัยอันเนื่องมาจากจำนวนการเคลื่อนย้าย

เคลื่อนย้าย	% BCT ที่เหลือ	safety factor
2	95	0.95
5	80	0.80
10	64	0.64

5. รูปแบบการวางยื่นออกจากแท่นรองสินค้า

การวางยื่นออกจากแท่นรองสินค้ามีค่า safety factor ของปัจจัยดังนี้

ตารางผนวกที่ ข5 ค่า safety factor ของปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปแบบการวางยื่นออกจากแท่นรองสินค้า

ระยะของการวางยื่น (นิ้ว)	0	0.5	1	1.5	2.0	2.5	3.0
Safety factor (PO)	1.0	0.75	0.65	0.60	0.55	0.53	0.51

ภาคผนวก ค
ผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี

ภาคผนวก ค ผลการศึกษาลักษณะคุณสมบัติบางประการของส้มโอพันธุ์ทองดี

ตารางผนวกที่ ค1 น้ำหนักสดและปริมาตรของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	น้ำหนักสด (กิโลกรัม)	ปริมาตรผลส้มโอ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
1	1028.900	1500.00
2	814.110	1232.00
3	812.720	1288.00
4	905.220	1200.00
5	944.840	1449.00
6	1090.130	1639.00
7	873.110	1250.00
8	868.130	1350.00
9	1124.140	1575.00
10	1031.780	1617.00
11	947.830	1368.00
12	926.560	1150.00
13	728.300	1094.00
14	956.160	1408.00
15	878.660	1128.00
16	875.620	1250.00
17	960.470	1350.00
18	915.810	1217.00
19	947.490	1250.00
20	944.230	1150.00
21	824.610	1121.00
22	953.080	1350.00
23	961.050	1279.00
24	1007.900	1427.00
25	981.600	1450.00
26	1011.230	1230.00
27	891.390	1150.00
28	1034.720	1447.00
29	1027.010	1385.00
30	918.520	1228.00

ตารางผนวกที่ ค1 น้ำหนักสดและปริมาตรของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	น้ำหนักสด (กิโลกรัม)	ปริมาตรผลส้มโอ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
31	947.050	1381.00
32	923.990	1258.00
33	961.080	1400.00
34	926.010	1328.00
35	1108.980	1400.00
36	1057.390	1372.00
37	931.770	1229.00
38	921.410	1291.00
39	896.800	1362.00
40	1032.010	1420.00
41	903.680	1333.00
42	838.600	1105.00
43	930.510	1358.00
44	971.610	1437.00
45	1294.820	1684.00
46	947.240	1372.00
47	780.490	1235.00
48	866.300	1288.00
49	982.820	1430.00
50	860.690	1244.00
ค่าเฉลี่ย	945.371	1329.18
S.D.	95.290	136.21

SD : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

ตารางผนวกที่ ค2 ความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และความยาวโดยรอบ (d) ขนาดและรูปร่างของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	ขนาดและรูปร่าง				Size	Sphericity
	a	b	c	d	(a*b*c)	(b/d)
1	13.1150	13.8500	13.2550	45.000	13.4029	0.3078
2	13.4100	13.0850	12.1650	43.500	12.8757	0.3008
3	12.8800	12.2050	13.1250	42.200	12.7307	0.2890
4	12.8450	12.5750	12.2450	43.000	12.5526	0.2920

ตารางผนวกที่ ค2 ความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และความยาวโดยรอบ (d) ขนาดและรูปร่างของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	ขนาดและรูปร่าง				Size	Sphericity
	a	b	c	d	(a*b*c)	(b/d)
5	13.3350	12.7250	12.6450	46.000	12.8980	0.2766
6	13.7350	13.5950	13.5800	47.600	13.6360	0.2856
7	13.8450	13.2550	13.2550	42.500	13.3312	0.3119
8	12.7950	12.7150	12.6150	43.500	12.7080	0.2923
9	13.8750	13.5150	13.2150	47.100	13.5323	0.2869
10	13.2850	13.9350	13.6350	46.600	13.6157	0.2990
11	12.7450	12.6550	12.6750	44.600	12.6916	0.2837
12	12.8150	12.6350	11.3650	44.000	12.2543	0.2870
13	12.1500	11.9850	11.8650	40.700	11.9990	0.2945
14	13.3150	13.4500	12.8650	45.800	13.2076	0.2937
15	13.4850	12.3750	11.0750	44.300	12.2719	0.2790
16	13.4450	12.7950	11.8250	43.600	12.6707	0.2935
17	13.4100	13.3250	12.6200	44.500	13.1135	0.2990
18	13.5000	13.0750	11.3100	44.000	12.5916	0.2972
19	13.7500	13.0950	11.5350	45.200	12.7588	0.2897
20	12.6350	13.1150	10.9350	44.700	12.1914	0.2934
21	12.7250	12.3350	11.6550	43.000	12.2303	0.2869
22	13.9250	13.2650	12.7450	45.000	13.3029	0.2948
23	13.1550	13.6500	12.3150	44.000	13.0280	0.3100
24	13.5650	13.3150	13.4650	44.800	13.4479	0.2970
25	13.1450	12.9150	13.9950	45.000	13.3437	0.2870
26	13.2250	13.3750	12.3950	45.500	12.9911	0.2940
27	13.5650	12.5350	11.8450	43.000	12.6290	0.2915
28	13.7850	12.9650	14.3750	45.200	13.6960	0.2868
29	13.5150	13.0750	12.2850	46.000	12.9480	0.2800
30	13.3150	13.0150	10.9750	44.500	12.3898	0.2924
31	12.6450	12.5650	13.1650	44.500	12.7889	0.2824
32	13.0150	13.3450	12.2750	43.800	12.8705	0.3047
33	13.1850	12.7250	13.5450	44.400	13.1474	0.2866
34	13.6650	13.5850	11.7350	45.000	12.9634	0.3019
35	13.4450	12.7150	12.6450	45.000	12.9300	0.2826

ตารางผนวกที่ ค2 ความกว้าง (a) ความยาว (b) ความหนา (c) และความยาวโดยรอบ (d) ขนาดและรูปร่างของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	ขนาดและรูปร่าง				Size	Sphericity
	a	b	c	d	(a*b*c)	(b/d)
36	13.1250	13.4750	11.7350	46.500	12.7560	0.2898
37	12.5150	12.6750	12.4450	43.700	12.5450	0.2900
38	12.7150	12.7850	12.3850	43.000	12.6270	0.2973
39	12.5150	12.4850	13.6550	43.000	12.8944	0.2903
40	13.2250	13.6550	12.4750	46.500	13.1090	0.2937
41	12.4350	12.9650	12.4850	43.500	12.6260	0.2980
42	12.6350	12.9550	11.7450	42.300	12.4300	0.3063
43	12.6250	13.1250	13.1350	44.500	12.9600	0.2949
44	12.7350	13.5350	12.2550	45.900	12.8310	0.2949
45	13.7250	13.9250	12.2450	48.000	13.2760	0.2901
46	12.2250	13.1750	12.7650	44.500	12.7160	0.2961
47	12.7650	12.6650	11.7450	43.200	12.3830	0.2932
48	13.1150	13.1350	11.8950	44.500	12.7000	0.2952
49	13.3450	12.8150	13.2650	44.000	13.1400	0.2913
50	13.3750	13.0150	12.0350	43.000	12.8000	0.3027
ค่าเฉลี่ย	13.1464	13.0345	12.4697	44.464	12.8707	0.2931
S.D.	0.4529	0.4492	0.7973	1.4444	0.3993	0.0076

SD : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

ตารางผนวกที่ ค3 ปริมาณ SS TA และ สัดส่วน SS/TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	คุณภาพทางเคมีของส้มโอพันธุ์ทองดี	
	TSS (^{o}brix)	TA (มิลลิกรัม/ลิตร)
1	8.00	9.90
2	8.00	8.80
3	8.40	8.80
4	8.60	6.80
5	8.20	8.70
6	8.00	8.60
7	8.00	9.70

ตารางผนวกที่ ค3 ปริมาณ SS TA และ สัดส่วน SS/TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน

ลำดับ	คุณภาพทางเคมีของส้มโอพันธุ์ทองดี	
	TSS (^{o}brix)	TA (มิลลิกรัม/ลิตร)
8	8.10	8.80
9	8.10	8.00
10	8.40	8.80
ค่าเฉลี่ย	8.18	8.69
S.D.	0.21	0.86

SD : ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

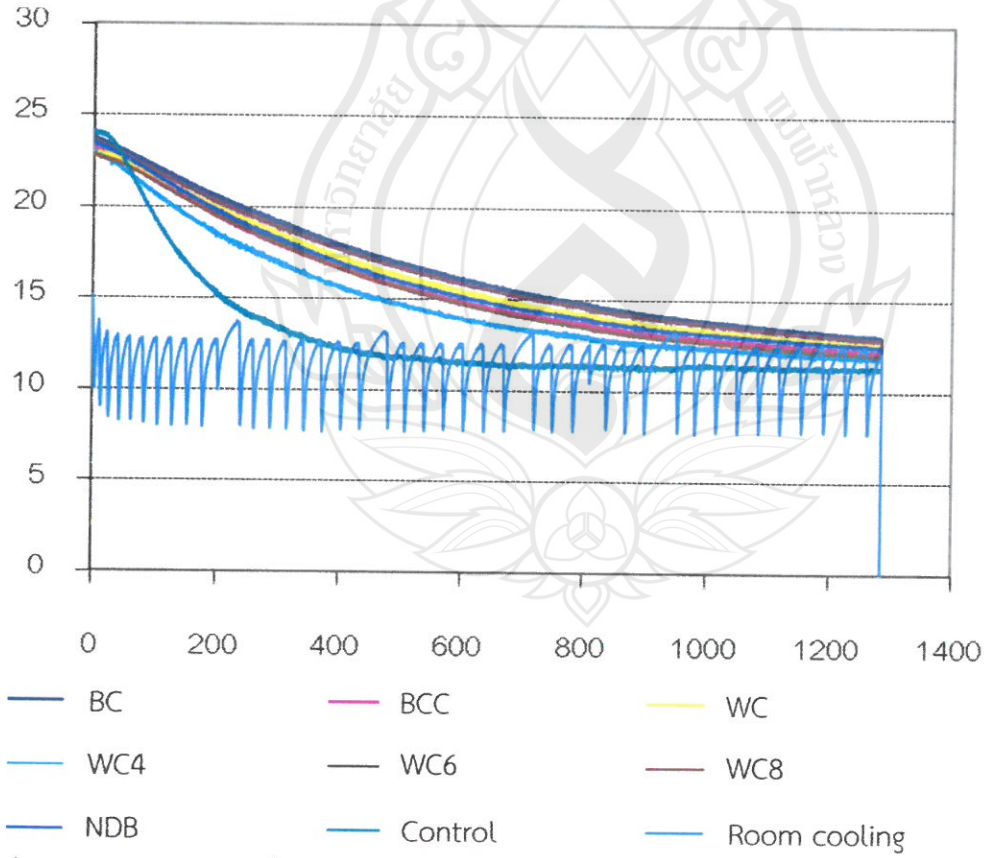
ภาคผนวก ง
ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

ภาคผนวก ง ผลการประเมินความเหมาะสมของระบบภาชนะบรรจุต่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดี

ตารางผนวกที่ ง1 การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการออกแบบ

ลำดับ	Burst Strength (Kgf)	Edge crush Strength (Kgf)	Flat crush Strength (Kgf)	ความชื้น (ร้อยละ)	Grammage (กรัม/ตารางเมตร)
1	13.32	51.18	948.00	4.14126	91.75
2	13.35	52.70	946.00	4.24448	91.63
3	15.31	54.84	944.89	4.18416	91.65
4	15.86	55.62	953.46	4.01460	91.98
5	15.82	57.72	943.63	4.06148	91.90
Average	14.73	54.41	947.20	4.12920	91.78
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.29	2.55	3.85	0.09243	0.15

ทดสอบการลดอุณหภูมิเบื้องต้น (Pre – cooling Test)



ภาพผนวกที่ ง2 การทดสอบเวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ 7/8 cooling time ($H_{7/8}$) โดยวิธี room cooling ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบานในแต่ละสภาวะทดสอบ

ภาคผนวก จ
ผลการทดสอบการขนส่ง

ภาคผนวก จ ผลการทดสอบการขนส่ง

ตารางผนวกที่ จ1 ปริมาณความช้ำของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน

สภาวะทดสอบ	อายุการเก็บภายหลังการทดสอบขนส่ง (วัน)	ปริมาณความช้ำ (มิลลิเมตร)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)
BCC	0	2.67	4.62
	5	3.56	2.78
	10	4.00	1.33
	15	4.00	1.33
	20	4.00	1.33
	25	4.00	1.33
	30	4.00	1.33
NDB	0	1.78	2.04
	5	1.78	0.77
	10	2.67	1.33
	15	2.67	1.33
	20	2.67	1.33
	25	2.67	1.33
	30	2.67	1.33

ตารางผนวกที่ จ2 ปริมาณ TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB และในสภาวะควบคุม (control) ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน

สภาวะทดสอบ	อายุการเก็บภายหลังการทดสอบขนส่ง (วัน)	ปริมาณกรดทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)
สภาวะควบคุม	0	0.40	0.02
	5	0.43	0.01
	10	0.38	0.02

ตารางผนวกที่ จ2 ปริมาณ TA ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วันหลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB และในสภาวะควบคุม (control) ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน

สภาวะทดสอบ	อายุการเก็บภายหลังการทดสอบขนส่ง(วัน)	ปริมาณกรดทั้งหมด (มิลลิกรัม / กิโลกรัม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สภาวะควบคุม	15	0.39	0.02
	20	0.37	0.01
	25	0.33	0.03
	30	0.32	0.03
BCC	0	0.40	0.02
	5	0.35	0.04
	10	0.40	0.03
	15	0.34	0.03
	20	0.33	0.03
	25	0.32	0.04
	30	0.30	0.03
NDB	0	0.40	0.02
	5	0.39	0.04
	10	0.35	0.03
	15	0.34	0.03
	20	0.36	0.03
	25	0.32	0.04
	30	0.31	0.03

ตารางผนวกที่ จ3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SS ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB และในสภาวะควบคุม (control) ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 ± 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน

สภาวะทดสอบ	อายุการเก็บภายหลังการทดสอบขนส่ง (วัน)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)
สภาวะควบคุม	0	8.20	0.20

ตารางผนวกที่ จ3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SS ของส้มโอพันธุ์ทองดี ที่อายุเก็บเกี่ยว 225 วัน หลังดอกบาน ภายหลังการทดสอบการขนส่งในสภาวะทดสอบ BCC และ NDB และในสภาวะควบคุม (control) ภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิเฉลี่ย 25.5 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 0 วัน 5 วัน 10 วัน 15 วัน 20 วัน 25 วัน และ 30 วัน

สภาวะทดสอบ	อายุการเก็บภายหลังการทดสอบขนส่ง (วัน)	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)
สภาวะควบคุม	5	7.90	0.10
	10	8.40	0.20
	15	8.10	0.24
	20	8.70	0.10
	25	8.80	0.30
	30	8.90	0.30
BCC	0	8.20	0.20
	5	8.20	0.40
	10	8.50	0.30
	15	8.40	0.30
	20	8.70	0.30
	25	8.90	0.40
	30	9.00	0.30
NDB	0	8.20	0.20
	5	8.30	0.40
	10	8.40	0.30
	15	8.20	0.30
	20	8.65	0.30
	25	8.80	0.40
	30	9.10	0.30

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. **ชื่อ – สกุล (ภาษาไทย/ภาษาอังกฤษ)**
   นาย ดำรงพล คำแหงวงศ์
   MR.Damrongpol kamhangwong
2. **รหัสบัตรประจำตัวประชาชน**
   3 2103 00655 25 1
3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ประจำสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
   หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
   มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
   333 หมู่ 1 ต. ท่าสุด อ. เมือง จ. เชียงราย 57100
   โทรศัพท์ 0-5391-6751 โทรสาร 0-5391-6739
   Email: damrongpol1234@hotmail.com
4. **ประวัติการศึกษา**

- ปริญญาตรี วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ปริญญาโท วท.ม. (เทคโนโลยีการบรรจุ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

5. **ประวัติการทำงาน**

1. Charoen Pokphand Petrochemical. Ltd	Industrial Training / 1. Quality control
2. VPS Industry Thailand, Ltd.	Analysis / 1. Corrosion Testing 2. Quality control
3. Food Technology 2 Sub-Division, Biological Science Division, Department of Science Services, Ministry of Science and Technology	Scientist 4 / 1. Analyzing/testing of food packaging materials and food containers especially on tin coating weight , metallic chromium, chromium oxide. 2. Providing technical training on analyzing /testing of food packaging to scientists in both government and private sectors.

3. Food Technology 2 Sub-Division, Biological Science Division, Department of Science Services, Ministry of Science and Technology	3. Maintaining of the equipments (Potentiostate /Galvanostat , Gas Chromatography, Oven, Muffle) 4. In-service training on ISO/IEC Guide 25 5. Participating in Chromium Oxide interlaboratory comparision program. 6. Participating in Over-all Migration in Food Packaging Proficiency program 7. Participating in Oliver Oil Migration in Food Packaging Proficiency program 8. Analysis of corrosion in canned food by electrochemistry testing
4. Bereau of laboratory accreditation , Department of science services, Ministry of Science and Technology	Scientist 5 / 1. Technical Assessor for ISO/IEC 17025 2. Assessor for ISO/IEC 17025 3. Case officer 4. Providing training ISO/IEC 17025 to scientists in both government and private sectors.
5. Mae Fah Luang University Thailand	Lectur / 1. Teach in Program Postharvest Technology and Package 2. Research in field packaging for fresh produce

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- สาขาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
- สาขาการขนส่งและโลจิสติกส์

7. ประวัติการนำเสนอผลงานวิจัยทั้งในและภายนอกประเทศ

1. **Damrongpol Kamhangwong,** Phunsiri Suthiluk, and Saroat Rawdkuen, 2011.Effect of catechin and lysozyme combination on properties of gelatin based film. TSB 2011 conference, Mahidol university.
2. Phunsiri Suthiluk, Saroat Rawdkuen, and **Damrongpol Kamhangwong**, 2011 Antimicrobial properties of synthetic and natural compounds against food spoilage microorganisms TSB 2011 conference, Mahidol university.

3. Saroat Rawdkuen, Phunsiri Suthiluk, and **Damrongpol Kamhangwong** 2011. Antimicrobial properties of gelatin based film incorporated with catechin and lysozyme combination TSB 2011 conference, Mahidol university.
4. Sasanatayart, R and **Kamhangwong, D**, 2010, Effect of plastic film on quality and shelf-life of mixed fresh-cut broccoli, cauliflower and carrot , 2010, Book of abstract, International conference on agriculture and Agro- industry (ICAAI 2010) November 19 -20.
5. ดำรงพล คำแหงวงศ์ และ แดน อุตรพงศ์ , 2555 ผลของความรู้ความเข้าใจในเอกลักษณ์ของสับปะรดพันธุ์ภูแลและนางแลของผู้บริโภคต่อการออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อการจำหน่าย พะเยาวิจัย 1 "ปัญญาเพื่อความเข้มแข็งชุมชน'' มหาวิทยาลัยพะเยา, 13 มกราคม 2555
6. รุ่งอรุณ ศาสนทายาท และ**ดำรงพล คำแหงวงศ์** , 2554, บรรจุภัณฑ์ดัดแปลงสภาพบรรยา กาศสำหรับผักผลไม้สดตัดแต่งแบบบรรจุเดี่ยวและบรรจุรวม : บร๊อคโคลี่ กะหล่ำดอก แครอท รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช. เครือข่ายภาคเหนือ) พย. 2553
7. รุ่งอรุณ ศาสนทายาท และ**ดำรงพล คำแหงวงศ์** , 2554, ผลของสภาวะบรรยากาศต่ออัตราการหายใจของผักผลไม้สดตัดแต่งแบบบรรจุเดี่ยวและบรรจุรวม : บร๊อคโคลี่ กะหล่ำดอก แครอท การสัมมนาวิชาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 8, 1 -3 กันยายน 2554
8. **วรพิณ ศรีใจอินทร์ และ ดำรงพล คำแหงวงศ์**, 2554, การศึกษาศักยภาพของการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์เป็นบรรจุภัณฑ์แอคทีฟสำหรับกล้วยหอมทอง การประชุมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 9 ,ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 23 -24 มิถุนายน 2554
9. อลิษา ทองพิมพ์ อิสราภา นาคโสมกุล และ **ดำรงพล คำแหงวงศ์** , 2554, ระบบภาชนะบรรจุเพื่อการขนส่งส้มโอพันธุ์ทองดีการประชุมวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติครั้งที่ 9 ,ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว, 23 -24 มิถุนายน
10. Chonhenchob ,V., **Kamhangwong , D.**, Kruenate, J., Khongrat, D., Tangchantra, N., Wichai, U., and S Paul Singh[5]. 2010, Preharvest bagging with wavelength-selective materials enhances development and quality of mango (Mangifera indica L.) cv. Nam Dok Mai #4 Journal of the Science of Food and Agriculture. Vol 91, Issue 4, p 664–671.
11. วรเศรษฐ์ ไตรสีห์ **ดำรงพล คำแหงวงศ์** เสาวภา ไชยวงศ์ และ สุทธิวัลย์ สีทา, 2553 ผลของบรรจุภัณฑ์ในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพผลแก้วมังกร (Hylocereus undatus) การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 9. วันที่ 11-14 พฤษภาคม 2553. ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์
12. ธิติกาญจน์ เพชรแก้ว วรพิณ ศรีใจอินทร์ และ **ดำรงพล คำแหงวงศ์** , 2552, ผลของการห่อก่อนการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของส้มโอพันธุ์ทองดี การประชุมวิชาโครงงานอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ระดับชาติ ครั้งที่ 1, 27 -29 มีนาคม 2552

13. Chonhenchob, V., **Kamhangwong , D.,** & Paul Singh, S . 2008. Comparison of reusable and single-use plastic and paper shipping containers for distribution of fresh pineapples. *Packaging technology & Science,* 21: 73-83.

14. Chonhenchob, V., **Kamhangwong, D.**, Kruenate, J., Kongrath, G. 2006. Role of Packaging during Growth on Quality improvement of Mango. 15th International Association of Packaging Research Institutes (IAPRI) World Conference on Packaging. October 3-5, 2006. Tokyo, Japan.