

การบริหารจัดการระบบโซ่ความเย็นสำหรับการจัดจำหน่ายผ่านช่องทางออนไลน์
กรณีศึกษา นมพาสเจอร์ไรซ์ และ นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง

Cold Chain Management for Last-Mile Delivery via E-commerce Platform :
A Case study of Pasteurized Milk and High-Protein Pasteurized Milk

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการโลจิสติกส์ด้วยระบบโซ่ความเย็น (Cold Chain) มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและเกษตรแปรรูป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียง่าย อีกทั้งในปัจจุบันการจำหน่ายสินค้าผ่านช่องทาง E-Commerce ก็เข้ามามีบทบาทสำคัญในการจัดส่งสินค้าแบบ Last-mile Delivery ด้วยรถจักรยานยนต์ หรือรถบรรทุก ตู้เก็บแบบไม่ควบคุมอุณหภูมิ ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์ก็เป็นอีกสินค้าที่มีการจำหน่ายผ่านช่องทาง E-Commerce มากยิ่งขึ้น และนมพาสเจอร์ไรซ์มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันคือเน้นด้านสุขภาพ เช่น นมโปรตีนสูง แต่อย่างไรก็ตามการขนส่งสินค้าแบบ Last-mile ดังกล่าวประสบปัญหาที่ทำให้สินค้าไม่ได้รับการควบคุมอุณหภูมิ ขณะทำการจัดส่งให้กับลูกค้า โดยเฉพาะนมพาสเจอร์ไรซ์ที่พบปัญหาเน่าเสียก่อนถึงวันหมดอายุ นมเกิดการแปรสภาพเป็นลิ่ม และอุณหภูมิของนมเท่ากับอุณหภูมิห้อง (Ambient Temperature)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการบูดเน่าเสียและเป็นลิ่มของนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง และวิเคราะห์บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง E-Commerce ที่เหมาะสมในการชะลอการบูดเน่าของนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูงตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า ทำการเก็บนมพาสเจอร์ไรซ์มาตรฐานและ

โปรตีนสูงในบรรจุภัณฑ์กล่องลูกฟูกชั้นเดียว (เหมือนที่จำหน่าย) พบว่า นมพาสเจอร์ไรซ์มาตรฐาน เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานานขึ้น ทำให้จุลินทรีย์เกิดการเจริญเติบโตและ Lactose ในนมพาสเจอร์ไรซ์จะเกิดการแตกตัวกลายเป็นกรด ทำให้ H^+ ion เกิดขึ้นในน้ำนมทำให้มีสถานะเป็นกรด ค่า pH จะสูงและเกิดการตกตะกอนและรสเปรี้ยวเกิดลิ่มนมเปรี้ยว Sour Cradling สำหรับนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูงเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จะเกิดการบูดเน่าเป็นลิ่ม เนื่องจากมีส่วนผสมของ Casein และ Whey Protein Phosphate ปริมาณสูงกว่าปกติ จึงทำหน้าที่ Buffer ทำให้ H^+ ion จับตัวกับ Phosphate และละลายในนมลดลง ทำให้ค่า pH ไม่ลดลง และไม่เกิดความเปรี้ยว แต่จุลินทรีย์ในนมยังคงเจริญเติบโตไปเรื่อยๆ ปริมาณ Casein จำนวนมากเกิดการเกาะตัวกันและตกตะกอนเกิดลิ่มนมหวาน Sweet Cradling และสารละลายเกิดการบูดเน่าจากการพบ Coliform Bacteria โดยไม่มีสัญญาณบอกเหตุ หรือ Silent Spoilage

เมื่อทดสอบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งรูปแบบอื่นๆ พบว่า กล่องลูกฟูก 2 ชั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์ทั้ง 2 ตัวอย่าง ไม่เกิดการบูดเน่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง แต่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เท่ากับอุณหภูมิห้อง แต่บรรจุภัณฑ์กล่องโฟมกลับทำให้ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์ทั้ง 2 ตัวอย่างเกิดการบูดเน่าพบ Coliform Bacteria ที่

24 ชั่วโมง เนื่องจากกล่องโฟมในสถานะที่ไม่มีสารทำความเย็น จะกลายเป็นฉนวนกักเก็บความร้อน (Incubator) ทำหน้าที่เก็บความร้อนจากปฏิกิริยา Metabolic Heat ของจุลินทรีย์ในนม ทำให้เร่งปฏิกิริยาการเกิดจุลินทรีย์ให้เกิดขึ้นมากกว่าปกติ จึงส่งผลให้นมพาสเจอร์ไรซ์ทั้ง 2 ตัวอย่างเกิดการบูดเน่า โดยนมพาสเจอร์ไรซ์มาตรฐานจะมีกลิ่นเปรี้ยว และ pH ลดลง แต่นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูงยังมีค่า pH เป็นกลางจากการเกิด Buffer ของ Phosphate แต่ผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ไม่เกิดลิ้นนมขึ้น (No Curdling)

แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดส่งและจัดเก็บนมพาสเจอร์ไรซ์และนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูงสำหรับการจำหน่ายผ่านช่องทาง E-commerce และขนส่งแบบ Last-mile Delivery ควรจะต้องรักษาอุณหภูมิของนมให้ได้ตามที่กำหนด (ไม่เกิน 8 °C) โดยใช้วัสดุควบคุมอุณหภูมิ ในระยะเวลาอันสั้นไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง และติดต่อกับลูกค้าให้ทราบสถานการณ์เสมอ เพื่อลดต้นทุนจากความสูญเสียของนมที่บูดเน่าและการตีกลับของสินค้าที่ไม่ได้อุณหภูมิที่กำหนดตามตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรม

Keywords Cold Chain, E-commerce, Last-mile delivery, Pasteurized Milk, High-Protein Pasteurized Milk, Silent Spoilage, Sweet Curdling, Phosphate Buffering

ผู้เขียนบทความ

นางสาวจิรประภา ขจรบุญ

นักวิชาการอุตสาหกรรมชำนาญการพิเศษ

กองโลจิสติกส์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

ถ.พระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

Email : k.jiraprabha@gmail.com , ตุลาคม 2568

บทนำ

โซ่ความเย็น (Cold Chain) เป็นโซ่อุปทานที่มีการควบคุมหรือเลือกใช้สภาวะอุณหภูมิ ความชื้น บรรยากาศ สภาพแวดล้อม วิธีการบรรจุหรือบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ หรือ ผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทตลอดทั้งโซ่อุปทาน ตั้งแต่หลังกระบวนการเก็บเกี่ยว เก็บรักษา แปรรูป บรรจุ ขนส่ง และกระจายสินค้า รวมถึงการบริหารจัดการเวลาดำเนินงานในโซ่อุปทานให้สั้นที่สุด และยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของสินค้าได้นานที่สุด¹ แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 นิยามโซ่ความเย็น (Cold Chain Definition)

สำหรับสินค้าเกษตรแปรรูปและอาหารแปรรูป การจัดการโซ่ความเย็นจึงมีความสำคัญมาก หากกระบวนการจัดส่งหรือจัดเก็บในโซ่อุปทานมีการเปลี่ยนแปลงจนอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสม หรือ ใช้เวลานานเกินไป อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและอนามัยของผู้บริโภค และทำให้ต้นทุนของผู้ผลิตสูงจากสินค้าที่เสียหายระหว่างการจัดส่ง (Food Loss Food Waste) หรือการถูกตีกลับ (Reject) ดังนั้น การจัดการระบบโซ่ความเย็นอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นช่องทางที่ช่วยเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรแปรรูปและอาหารแปรรูปที่มีช่วงชีวิตและอายุการเก็บรักษาจำกัด (Shelf Life Limitation)

คุณภาพและความปลอดภัย คือความสามารถในการตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า ทั้งลักษณะทางกายภาพ ความเชื่อมั่นบนฉลากสินค้า การบริการหลังการขาย ที่ต้องมาพร้อมการบริโภคที่ปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติ อันตราย หรืออาการเจ็บป่วยเป็นพิษแก่ร่างกาย ที่จะต้องจำกัด ลดการปนเปื้อนและป้องกันการปนเปื้อนข้าม (Cross-Contamination) ซึ่งเกิดตามธรรมชาติหรือวิธีการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะในกระบวนการต่าง ๆ ของโซ่อุปทาน ประกอบด้วยอันตราย 3 ด้าน ได้แก่ อันตรายจากชีวภาพ จุลินทรีย์ก่อโรค รวมทั้งพยาธิ และไวรัส อันตรายจากสารเคมี และ อันตรายจากกายภาพ เศษวัสดุแปลกปลอม

แนวทางในการป้องกันและจัดการอันตรายจากจุลินทรีย์ มี 2 แนวทางร่วมกัน ได้แก่

(1) การควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ตั้งต้นที่มีในอาหาร โดยเข้าใจธรรมชาติจุลินทรีย์ของสินค้าเกษตรแปรรูปและอาหารแปรรูปแต่ละชนิด และเข้าใจช่องทางการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ดังกล่าวตลอดโซ่อุปทาน

(2) การลดและควบคุมการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่มี โดยเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ ควบคุมกระบวนการลดปริมาณจุลินทรีย์ในกระบวนการแปรรูปและควบคุมสภาวะแวดล้อมไม่ให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนหลังแปรรูป โดยเฉพาะระหว่างกระบวนการจัดเก็บและขนส่ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ประกอบด้วย

(1) ชนิดอาหาร (Food) คือ แหล่งพลังงานที่จำเป็นต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ คือ อาหารกลุ่ม

โปรตีน ข้าวและน้ำตาล เช่น อาหารทะเล เนื้อ นม ไข่ ข้าวผัด น้ำหวาน เป็นต้น

(2) ความเป็นกรดของอาหาร (Acidity) สภาวะกรดต่ำและความเป็นกลาง เหมาะสมต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ ($\text{pH} > 4.6$) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระดับ pH ความเป็นกรด-เบส ของอาหาร²

(3) ช่วงอุณหภูมิ (Temperature) ช่วงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนได้ ประมาณ 5-6 °C โดยช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตที่สุด คือ 30-40 °C ซึ่งเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C จุลินทรีย์จะหยุดการเติบโต และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 60 °C จุลินทรีย์

ส่วนมากจะตาย ดังนั้น ควรเก็บอาหารที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C และการอุ่นอาหารควรทำที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 °C

(4) ช่วงเวลา (Time) ช่วงเวลาที่วางอาหารไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสมมีผลต่อการแบ่งตัวและเติบโตของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอาหาร โดยเฉพาะอาหารแปรรูปกลุ่มผลิตภัณฑ์นมเนยจะมีความเสี่ยงสูง หากวางผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 °C ควรบริโภคให้หมดภายในไม่เกิน 2 ชั่วโมง

(5) ปริมาณออกซิเจนหรืออากาศ (Oxygen) เนื่องจากจุลินทรีย์มี 3 ประเภท คือ ใช้อากาศในการเติบโต (Aerobic Bacteria) ไม่ใช้อากาศในการเติบโต (Anaerobic Bacteria) และแบบที่สามารถใช้และไม่ใช้ออกซิเจน (Facultative Bacteria) เช่น Coliform Bacteria ซึ่งสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อนระดับ Pasteurization ซึ่งแบคทีเรียที่ก่อ

โรคทางเดินอาหารและอาหารเป็นพิษในกลุ่มนี้ ได้แก่ Escherichia coli หรือ E. coli ³

(6) ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ (Moisture) จุลินทรีย์ต้องการน้ำในการเติบโต และกลุ่มจุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถทนสภาวะที่มีปริมาณน้ำที่ระดับแตกต่างกัน โดยอาศัยค่า Water Activity (A_w) เป็นตัวกำหนด ซึ่งกลุ่มที่มีความเสี่ยงก่อโรคหรือการเน่าเสียในอาหาร คือ กลุ่มแบคทีเรีย มีค่า $A_w > 0.85$

นอกจากนี้ สาเหตุของการเน่าเสียและอันตรายจากจุลินทรีย์ในอาหารแล้ว ยังเกิดจากการปนเปื้อนข้ามจากสุขลักษณะ สถานที่ อุปกรณ์ และพนักงานที่สัมผัสอาหาร การใช้อุปกรณ์ อ่างล้างภาชนะ หรือห้องเก็บร่วมกันระหว่างส่วนของดิบและส่วนของสุก ซึ่งเกี่ยวพันถึงการเก็บรักษาในช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม พร้อมข้อควรคำนึง แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาอาหารวัตถุดิบสดและผลิตภัณฑ์ ^{1,4}

ชนิดอาหาร	ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม	ข้อควรคำนึง
1. อาหารกลุ่มวัตถุดิบสด ยาและเวชภัณฑ์	อุณหภูมิแช่เย็น 2 ถึง 10 °C อุณหภูมิแช่แข็ง 0 ถึง -17 °C	แบ่งสัดส่วนพื้นที่เก็บเพื่อป้องกันการปนเปื้อนข้าม ควรใช้หลักการ First in First out (FIFO)
2. อาหารเนื้อสัตว์สด อาหารทะเลแช่แข็ง อาหารทะเลแช่เยือกแข็ง	อุณหภูมิแช่เย็น 2 ถึง 5 °C (ภายใน 3 วัน) อุณหภูมิแช่แข็ง 0 ถึง -17 °C อุณหภูมิเยือกแข็ง -30 ถึง -18°C (เก็บได้หลายเดือน)	การลดอุณหภูมิใจกลางเนื้อให้ได้ตามอุณหภูมิการเก็บ ภายในเวลาสั้น ความหนาของชิ้นเนื้อไม่ควรเกิน 4 นิ้ว
3. อาหารแห้ง เช่น เมล็ดธัญพืช	อุณหภูมิห้อง 10 ถึง 21 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 60-90% ควรสูงจากพื้น 6 นิ้วขึ้นไป เพื่อหลีกเลี่ยงความชื้นจากพื้น	ควรคำนึงถึงการถ่ายเทอากาศ ห้องเก็บโปร่งและแห้งสะอาด
4. ผักและผลไม้สด ผลิตภัณฑ์นม อาหารสำเร็จรูป พร้อมรับประทาน	อุณหภูมิ 7 ถึง 10 °C , 7 ถึง 14°C , 14 ถึง 24 °C ผักสดที่ผ่านความร้อนควรทำให้เย็นเท่าอุณหภูมิเก็บรักษา ภายใน 2 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์นมควรทำให้เย็นลงทันที	จัดเก็บในที่อุณหภูมิต่ำเพื่อลดการเสื่อมเสียจากการหายใจ และการเสียน้ำ

อุตสาหกรรมนมและระบบโลจิสติกส์แบบควบคุมอุณหภูมิ

ประเทศไทย มีการใช้ระบบโลจิสติกส์แบบควบคุมอุณหภูมิ (Cold Chain Logistics) สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป เกษตรแปรรูป เครื่องดื่ม รวมถึงเวชภัณฑ์และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เพื่อรักษาคุณภาพและลดอัตราการเสียของสินค้า อาทิ ผักผลไม้ อาหารสำเร็จรูป อาหารทะเล เครื่องดื่ม เนื้อสัตว์ อุปกรณ์การแพทย์ ยาและเวชภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์จากนม

ซึ่งนมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความนิยมต่อผู้บริโภค มีช่องทางการจำหน่ายที่หลากหลาย แต่มักพบปัญหาคุณภาพของนมที่จัดส่งให้กับลูกค้าเกิดการเน่าเสีย ควบคุมอุณหภูมิไม่ได้ ไม่สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ ทั้งในส่วนของผู้ผลิตและผู้บริโภคน้ำนม บริษัทผู้ผลิตนมพาสเจอร์ไรส์ทั้งฝ่ายผลิต ควบคุมคุณภาพ คลังสินค้า และขนส่ง โดยได้มีงานวิจัยที่ใช้หลักการบริหารจัดการ Cold Chain เข้าช่วยปรับปรุงกระบวนการต่างๆ เช่น การตรวจสอบคุณภาพน้ำนม การลดอุณหภูมิในกระบวนการผลิต การจัดวางผลิตภัณฑ์นมในคลังห้องเย็น รวมถึงการตรวจสอบย้อนกลับจากปลายน้ำ (ลูกค้า) กลางน้ำ (ผู้ผลิต) และต้นน้ำ (เกษตรกร สหกรณ์) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการควบคุมคุณภาพและการรับประกันความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ เพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันโดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการวางแผน ควบคุม และดำเนินงาน พร้อมสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์นมอีกด้วย⁵

ซึ่งประเด็นความเสี่ยงของผลิตภัณฑ์นมในสถานะต่างๆ ประกอบด้วยประเด็นดังนี้⁶

(1) **น้ำนมดิบ** : ความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมขณะรีดนม ถึงบรรจุ อุปกรณ์สัมผัสนม ความรวดเร็วในการลดอุณหภูมิจากจุดรีดนมให้ต่ำกว่า 4 °C เพื่อชะลอการเติบโตของจุลินทรีย์เริ่มต้น และการรักษาระดับอุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C ตลอดเวลาขนส่ง



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตน้ำนมดิบ

(<https://today.line.me/th/v3/article/QwQororp>)

(2) **นมพาสเจอร์ไรส์** : เป็นการแปรรูปด้วยความร้อนระดับต่ำเพื่อลดปริมาณจุลินทรีย์บางส่วน จึงควรคำนึงถึงระดับอุณหภูมิและช่วงเวลาที่นมได้รับความร้อนและการลดอุณหภูมิที่ถูกต้องในการแปรรูป³ ดังนี้

- อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 °C และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิ 5 °C หรือต่ำกว่า หรือ
- อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 °C และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 15 นาที แล้วทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิ 5 °C หรือต่ำกว่า หรือ
- อุณหภูมิและเวลาที่ให้ผลในการฆ่าเชื้อได้เทียบเท่ากับทั้งสองวิธีข้างต้น แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 °C หรือต่ำกว่า

นอกจากนี้ควรระวังการปนเปื้อนภายในท่อ อุปกรณ์ บรรจุภัณฑ์ และการรั่วของบรรจุภัณฑ์ การ

รักษาระดับอุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C ตลอดเวลาจัดเก็บและขนส่ง



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์

(Facebook : สมาคมโคนมก้าวหน้า Progressive Dairy Association)

(3) นมยูเอชที : ผลิตภัณฑ์แปรรูปโดยใช้ความร้อนระดับสูง (Ultra Heat Treatment : UHT)⁷ ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 133 °C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 วินาที แล้วบรรจุภาชนะในสภาวะที่ปราศจากเชื้อโดยต้องผ่านกรรมวิธีทำนมสดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจุลินทรีย์ในนมสด UHT จะถูกทำลายแต่คุณค่าทางอาหารจะไม่สูญเสีย เพื่อสร้างสภาพปลอดเชื้อให้ผลิตภัณฑ์และสามารถเก็บที่อุณหภูมิปกติได้นานกว่า 6 เดือน อย่างไรก็ตามต้อง



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตนม UHT

(https://www.khaosod.co.th/technologychaoban/technology/article_194572)

คำนึงถึงการควบคุมกระบวนการผลิต โดยเฉพาะระดับอุณหภูมิและช่วงระยะเวลาการฆ่าเชื้อและการลดอุณหภูมิ รวมถึงการดูแลเรื่องการปนเปื้อนข้ามในจุดต่างๆ ของกระบวนการผลิต

ปัจจุบัน ช่องทางการจัดจำหน่ายที่กำลังได้รับความนิยมสูงได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบไปตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2560 พร้อมกับโรค COVID-19 ที่มีการค้าขาย จัดจำหน่ายและจัดส่งผ่านช่องทาง E-Commerce ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อธุรกิจการจัดส่งนมทั่วโลกจากการกระจายสินค้าไปยังร้านค้าปลีก (Centralized Retail Distribution) ไปสู่การกระจายตรงสู่ลูกค้าหรือผู้บริโภค (Direct-to-Customer : DTC) และรูปแบบของการจัดส่งสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการจัดเก็บและจัดส่งด้วยระบบ Cold Chain⁸ เนื่องจากผลิตภัณฑ์นมจะต้องควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C ตลอดเวลาการจัดเก็บและขนส่ง ซึ่งในระบบ E-Commerce นั้นการจัดส่งมักจะมีหลากหลายหลายของผู้ให้บริการขนส่งปลายทาง (ขาสุดท้าย) หรือ Last Mile Delivery มักจะเป็นผู้ขนส่งรายย่อยหรือผู้ให้บริการโลจิสติกส์จากบุคคลที่ 3 (Third-Party Logistics : 3PL) ซึ่งหลายครั้งจะไม่มีวัสดุหรืออุปกรณ์การขนส่งที่เพียงพอในการรักษาสินค้าที่เน่าเสียง่าย (Perishable Goods) เช่น ผักผลไม้ ผลิตภัณฑ์จากนม อาหารทะเล ยา เวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง เป็นต้น⁹ โดยเฉพาะในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนชื้นที่อุณหภูมิปกติอยู่ระหว่าง 25 – 40 °C หรือมากกว่า และความชื้นที่ 70% Rh ซึ่งพบว่าในสภาวะดังกล่าวทำให้การขนส่งซึ่งมักจะเป็นรถจักรยานยนต์หรือรถบรรทุกขนาดเล็กที่มีเพียง

บรรจุภัณฑ์ฉนวนความร้อนจะได้รับผลกระทบจากการสูญเสียความเป็นฉนวนอย่างรวดเร็วภายใน 20 นาที โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงถึง 40 °C¹⁰ หรือไม่มีระบบทำความเย็นในตัว (Active Refrigeration) อุณหภูมิภายในบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์จะเกิดการถ่ายเทความร้อน อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้ถึงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เกิดการเจริญเติบโตได้¹¹ ซึ่งก็มักจะส่งผลต่อสินค้าที่ไม่อาจควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามกำหนดในการขนส่งทางอากาศ ส่งผลต่อการสูญเสียอาหาร ต้นทุน และอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้¹²

สำหรับผลิตภัณฑ์พาสเจอร์ไรซ์ซึ่งจะต้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการปนเปื้อนต่างๆ การควบคุมอุณหภูมิจึงไม่เพียงเป็นการรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์แต่เป็นการควบคุมเรื่องของความปลอดภัยของอาหาร (Food Safety) ด้วย จากงานวิจัยพบว่า¹³ ความน่าจะเป็นของการบูดเน่า (Spoilage) จึงไม่ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear) กับระยะเวลาเท่านั้น แต่ยังมี ความสัมพันธ์ แบบก้ำวกระโดด (Exponential) กับอุณหภูมิด้วย หากระยะเวลาการจัดส่งอยู่ระหว่าง 2-4 ชั่วโมง จะส่งผลต่อการลดอายุการเก็บรักษาของนมพาสเจอร์ไรซ์ลงอย่างมาก หากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงเกินเกณฑ์วิกฤตมากกว่า 10 °C แต่ผู้บริโภคไม่สามารถตรวจสอบย้อนกลับถึงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เมื่อรับสินค้าได้ จึงยังไม่ทราบว่าผลิตภัณฑ์พาสเจอร์ไรซ์เกิดการบูดเน่าไปแล้วจนกว่าจะได้รับประทาน⁸

นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง (High-Protein Pasteurized Milk)

ปัจจุบันประชาชนไทยหันมาสนใจเรื่องของสุขภาพกันมากขึ้น จึงมีผลิตภัณฑ์นมขึ้นหลากหลาย เช่น ผลิตภัณฑ์นมที่ปราศจากน้ำตาลแลคโตส เนื่องจากการแพ้สารดังกล่าวทำให้ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ ผลิตภัณฑ์นมจากพืช (Plant-Based Milk) หรือแม้แต่ผลิตภัณฑ์นมโปรตีนสูง ซึ่งอาจมีกระบวนการผลิตด้วยการกรองแบบพิเศษ (Ultrafiltration) หรือ การเติมนมที่มีความเข้มข้นของโปรตีนลงไป (Milk Protein Concentrates : MPC) ซึ่งถือเป็นการเจาะตลาดนวัตกรรมอาหารสุขภาพ (Functional Food) ที่มีสมบัติในการเพิ่มมวลกล้ามเนื้อที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งในทางชีวเคมีแล้วนมโปรตีนสูงนี้ มีความเสถียรที่เฉพาะตัวต่างกับนมสดหรือนมพรม่องมันเนยทั่วไป¹⁴ และมีสมบัติสำคัญดังนี้

(1) สมบัติการเป็น Buffer หรือ Buffering Capacity

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบูดเน่าเสียของนมโปรตีนสูงคือการเป็น Buffer เนื่องจากในโปรตีนของนมจะประกอบด้วยสาร Caseins Whey Protein และสารคอลลอยด์ของ Calcium Phosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ซึ่งประพฤติตัวเป็น Primary Buffer ในผลิตภัณฑ์นม ต่อต้านการเปลี่ยนแปลง pH หรือความเป็นกรด-เบสของนม สำหรับนมโปรตีนสูงจะมีความเข้มข้นของ Buffer สูงกว่าปกติประมาณ 2 เท่าของนมพาสเจอร์ไรซ์ทั่วไป ซึ่งจะต่างจากการบูดเน่าของนมพาสเจอร์ไรซ์ทั่วไปที่แบคทีเรียที่หมักแลคโตส (Lactose-Fermenting Bacteria) จะผลิตกรดแลคติก (Lactic acid) ทำให้ค่า pH ลดลงอย่าง

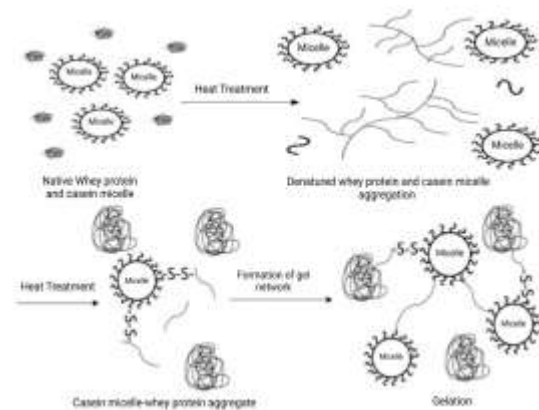
รวดเร็ว เมื่อระดับ pH ลดลงต่ำกว่าระดับ Isoelectric Point ของ Casein (pH 4.6) นมจะจับตัวเป็นก้อน (Coagulation) มีรสเปรี้ยว และทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งเป็นสัญญาณเตือนการบูดเน่าให้กับผู้บริโภค¹⁵

สำหรับนมโปรตีนสูง โปรตีนที่มากเกินไปจะดูดซับ H^+ ion ซึ่งเป็นตัวสร้างการเผาผลาญของจุลินทรีย์ (Microbial Metabolism) ที่ทำหน้าที่ในการคงสภาพ pH เป็นกลาง (pH 6.6-6.8) แม้จะมีการผลิตกรดออกมาตาม¹⁶ ปฏิกริยานี้เรียกว่า “Masking effect” หรือ “Silent Spoilage” จะทำให้เกิดการชะลอการลดลงของ pH ชะลอการรับรสหรือกลิ่นการบูดเน่าของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่แบคทีเรียเกิดการเพิ่มจำนวนขึ้นสูงในระดับที่อันตรายมากกว่าที่ผู้บริโภคจะรู้ตัวและปล่อยรับประทานลงไป^{15,16}

(2) ปฏิกริยา Proteolytic การย่อยสลายโปรตีน

การที่นมมีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้มีสารตั้งต้นของเอนไซม์ Proteolytic สูงด้วย แบคทีเรียชนิด Psychotropic เช่น *Pseudomonas Fluorescens* และ แบคทีเรียสร้างสปอร์ (Spore-forming bacteria) เช่น *Bacillus cereus* จะทำหน้าที่หลังเอนไซม์ Proteases ภายนอกเซลล์และทำหน้าที่ย่อยสลาย Casein Micelles ในนมที่มีโปรตีนสูง โครงสร้างโปรตีนที่หนาแน่นจะทำให้ปฏิกริยากับเอนไซม์ทำให้เกิดปัญหา เช่น การเกิดลิ่มนมหวาน (Sweet Curdling) ซึ่งเป็นการเกิดเจลแยกชั้น (Gelation) ตกตะกอนเนื่องจากโปรตีนเสียสภาพกลายเป็นเบส ไม่มีรสเปรี้ยว และมีค่า pH สูงขึ้น การเกิด Hydrophobic peptide ที่มีรสขม

18,19 และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบคทีเรีย Proteases ที่ทนอุณหภูมิได้ดี จะถูกหลั่งออกมาเมื่ออุณหภูมิไม่เหมาะสม เช่น ระหว่างการขนส่ง จะทำหน้าที่ทำลายผลิตภัณฑ์ทำให้บูดเน่าต่อเนื่องแม้ว่าจะนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่เย็นแล้วก็ตาม²⁰



ภาพที่ 6 ภาพแสดงกระบวนการเกิด Gel ระหว่าง Casein micelle และ Whey Protein¹⁹

การบูดเน่าในระบบโซ่ความเย็น (Spoilage in Cold Chain)

การบูดเน่าของนมพาสเจอร์ไรส์เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Dynamic) จากทั้งจุลินทรีย์ที่หลงเหลือจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการผลิตได้แก่

(1) Psychrotrophic Bacteria (*Pseudomonas* spp.) :

แบคทีเรียนี้มีรูปร่างเป็นท่อนย้อมติดสีแกรมลบ (Gram Negative Rod Bacteria)¹⁷ เป็นสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดการบูดเน่าเป็นหลักในระบบ Cold Chain ซึ่งมักพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและมักปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์นมภายหลังจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แล้ว (Post-Pasteurization

Contamination : PPC) เช่น หัวฉีดบรรจุ หรือ การปิดฝาไม่สนิท¹⁸ แม้ว่าแบคทีเรียเหล่านี้จะไม่ทนความร้อนและถูกทำลายจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แต่ก็สามารถปรากฏขึ้นได้ เนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่เจริญเติบโต (Proliferate) ได้ดีที่อุณหภูมิแช่เย็น ($< 7^{\circ}\text{C}$) แต่จะเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตอย่างทวีคูณที่อุณหภูมิห้อง และยังสามารถผลิต Metalloprotease AprX อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดเจล (Gelation) และความขมในนม UHT และการยืดอายุของนม (Extended Shelf Life : ESL)²¹

(2) Thermotolerant Spore-Formers (Bacillus spp.) :

ต่างกับ Psychrotrophic Bacteria เนื่องจาก Bacillus เป็นสายพันธุ์ที่มาจาก Endospores ที่สามารถอยู่ได้แม้จะผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ความร้อนสูงเป็นเวลาสั้นมาแล้ว (72°C 15 วินาที)¹⁴ ซึ่งสปอร์ดังกล่าวจะยังคงอยู่ในนมที่รักษาความเย็น แต่เมื่ออุณหภูมิไม่คงที่โดยเฉพาะกระบวนการขนส่งที่ส่งซื้อสินค้าผ่านระบบออนไลน์ จะทำให้เกิด “Heat Shock” ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดเชื้อแบคทีเรียขึ้น และเกิดการเจริญอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิระหว่าง $25-35^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นแบคทีเรีย Bacillus cereus จึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงเนื่องจากแบคทีเรียชนิดนี้ผลิตสารพิษที่ทำให้เกิดอาการคลื่นเหียนอาเจียน และยังเกี่ยวข้องกับการจับตัวเป็นลิ่มนมหวาน (Sweet Curdling) ในผลิตภัณฑ์นมโปรตีนสูง^{8,22}

(3) Coliforms Bacteria

เป็นแบคทีเรียที่บ่งชี้ถึงสุขลักษณะ ได้แก่ Escherichia, Klebsiella, Enterobacter) หาก

ปรากฏในนมพาสเจอร์ไรส์จะบ่งบอกว่าการผลิตที่ไม่ถูกสุขลักษณะ หรือ เกิดการปนเปื้อนหลังกระบวนการพาสเจอร์ไรส์²³ กระบวนการนี้เป็นกระบวนการหมักน้ำตาล Lactose อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดก๊าซ กรด และแบคทีเรีย Psychrotrophs เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิต่ำ แต่ในกระบวนการขนส่งแบบ Delivery ในรถ Rider ที่ใช้กล่องที่ไม่มีฉนวนกันความร้อนในการขนส่งจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึง $32-35^{\circ}\text{C}$ ส่งผลต่อการยืดอายุและโป่งของขวดบรรจุภัณฑ์นม และทำให้เกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว²⁴

บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งสำหรับช่องทาง E-Commerce

เพื่อยับยั้งการแพร่กระจายอย่างรวดเร็วของแบคทีเรีย Psychrotrophs และ Coliform จึงต้องควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 6°C เสมอ (หากเป็นไปได้ควรต่ำกว่า 4°C) ตลอดระยะเวลาการจัดส่ง บรรจุภัณฑ์จะต้องทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อน ขัดขวางการถ่ายเทความร้อนผ่านการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในภาคอุตสาหกรรมของไทยบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มี 2 แบบ ได้แก่

(1) กล่องกระดาษลูกฟูก (Corrugated Fiberboard Boxes : CFB) ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเนื่องจากมีราคาถูกและตอบสนองความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามกล่อง CFB ผลิตจากเส้นใย Cellulose เป็นวัสดุหลัก ซึ่งมีสมบัติดูดความชื้น (Hygroscopic) ดังนั้นในสิ่งแวดล้อมร้อนชื้นของประเทศไทยกล่อง CFB จะดูดความชื้นไว้กับตัว ทำให้เกิดการนำความร้อน

สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (Thermal Conductivity) ค่า K-value โครงสร้างของกล่อง CFB จะเปื่อยและเสื่อมสภาพเร็วขึ้น²⁵

(2) กล่องโฟม (Expanded Polystyrene Foam : EPS) ซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยรูพรุนปิดถึง 98% (Closed-cell air) จึงมีค่าการนำความร้อนต่ำ ($\lambda \approx 0.33 \text{ W/m.K}$) ซึ่งมีค่าการต้านทานต่อการนำความร้อนสูง²⁶ ถึงแม้ว่ากล่องโฟม EPS จะมีประโยชน์แต่ก็มีข้อมูลเชิงประจักษ์ที่แสดงว่ากล่องโฟม EPS มีระยะเวลาที่เกิดความเสียหาย “time-to-failure” สำหรับนมโปรตีนสูงที่บรรจุในกล่องโฟมสำหรับการจัดส่งด้วยรถจักรยานยนต์ของไทย จึงจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางของฉนวนบรรจุภัณฑ์ที่สามารถชะลอการบูดเน่าให้ได้

ที่มาและความสำคัญ

ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 กลุ่มมาตรฐานและนวัตกรรมโลจิสติกส์ กองโลจิสติกส์ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมได้ดำเนินการพัฒนาและส่งเสริมมาตรฐานและวิธีปฏิบัติที่ดี ด้านวิธีการจัดส่งสินค้าที่ดี (GDP) และวิธีการจัดเก็บสินค้าที่ดี (GSP) ในการบริหารจัดการระบบโซ่ความเย็นสำหรับอุตสาหกรรม ในกิจกรรมยกระดับการบริหารจัดการระบบโซ่ความเย็น ภายใต้โครงการเสริมสร้างความสามารถการดำเนินธุรกิจให้กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมด้วยการบริหารจัดการโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน พบว่า สถานประกอบการแห่งหนึ่ง (บริษัท H) ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์โปรตีนสูง พบข้อร้องเรียนจากลูกค้าที่สั่งซื้อสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์ E-Commerce ว่า นมที่ลูกค้าได้รับเกิดการ

เสื่อมสภาพกลายเป็นลิ่มนมหวานทั้งหมด (Sweet Curdling) บางขวดมีกลิ่นบูดเปรี้ยว แม้จะยังไม่ถึงวันหมดอายุ และสินค้าไม่ได้ถูกควบคุมอุณหภูมิเมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า สินค้าถูกวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง บริษัทขนส่งไม่ได้ติดต่อกับลูกค้าขณะส่งมอบสินค้า จึงไม่แน่ใจว่าสินค้าถูกวางไว้นานเพียงใด ภายใต้โครงการจึงได้ดำเนินการจัดทำคู่มือในการประสานงานเพื่อส่งมอบผลิตภัณฑ์นมของผู้ขนส่งซึ่งเป็นบริษัทขนส่ง (บริษัท F) ไปยังลูกค้ากลุ่มออนไลน์ แต่ปัญหาข้อร้องเรียนดังกล่าวยังไม่หมดไป



ภาพที่ 3 สภาพนมโปรตีนสูงเกิด Sweet Curdling ของผลิตภัณฑ์นมโปรตีนสูงที่ร้องเรียนจากการซื้อผ่านช่องทาง E-Commerce

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการบูดเน่า (Spoilage) ของนมพาสเจอร์ไรส์โปรตีนสูงที่จัดส่งผ่านผู้ขนส่ง Last mile (Rider) ในช่องทาง E-Commerce โดยเฉพาะปฏิกิริยาถัมนมหวาน (Sweet Curdling) ของผลิตภัณฑ์นมโปรตีนสูง และหาแนวทางแก้ไขที่เป็นไปได้ภายใต้การจำลองสถานการณ์การจัดส่งผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ช่องทาง E-Commerce ด้วยบริการจัดส่งแบบ Last-mile Delivery

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการบูดเน่าและการเกิดถัมนมในผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์โปรตีนสูงตัวอย่าง
2. เพื่อวิเคราะห์บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง E-Commerce ที่เหมาะสมในการชะลอการบูดเน่าของนมพาสเจอร์ไรส์โปรตีนสูงตัวอย่าง

ขอบเขตและวิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยจำลองสถานการณ์กระบวนการขนส่งและจัดเก็บนมพาสเจอร์ไรส์มาตรฐาน (Standard Milk) และนมพาสเจอร์ไรส์โปรตีนสูง (High Protein Milk) ผ่านช่องทาง E-Commerce ของผู้ให้บริการขนส่งปลายทาง (ขาสุดท้าย) หรือ Last Mile Delivery

โดยผู้วิจัยได้จัดซื้อจัดหาผลิตภัณฑ์นมทั้ง 2 ชนิด จากร้านสะดวกซื้อที่ควบคุมอุณหภูมิตู้จัดเก็บระหว่าง 2-6 °C และจัดเก็บในกล่องบรรจุภัณฑ์

ลูกฟูกโดยอ้างอิงกล่องจากการสัมภาษณ์สถานประกอบการและเก็บข้อมูลการร้องเรียนผ่านช่องทางออนไลน์ ณ อุณหภูมิห้องปัจจุบันประมาณ 30 °C โดยมุ่งวิจัยตามวัตถุประสงค์และสังเกตผลที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4 กล่องบรรจุภัณฑ์ลูกฟูกชั้นเดียว (Single-Wall Corrugated Fiberboard Boxes : SW-CFB) จากข้อร้องเรียนของลูกค้า

1. การเตรียมตัวอย่างและบรรจุภัณฑ์

เพื่อเป็นการแยกปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนในนมพาสเจอร์ไรส์อย่างชัดเจน ผู้วิจัยได้ทำการเลือกนมตัวอย่าง 2 ชนิด บรรจุในขวดพลาสติก PET สีขาวขุ่นเพื่อป้องกันการย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) มาใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ ดังนี้

ตัวอย่าง A : ตัวอย่างควบคุม นมพาสเจอร์ไรส์มาตรฐาน Standard Milk รสจืด ขนาด 400 มิลลิลิตร

- ไขมัน 16 กรัม
- โคเลสเตอรอล 50 มิลลิกรัม

- โปรตีน 12 กรัม
- คาร์โบไฮเดรต 20 กรัม
- โซเดียม 170 มิลลิกรัม
- อุณหภูมิตัวอย่าง 10.2 - 11.2 °C
- pH : 6.58
- พาสเจอร์ไรซ์ ด้วยหลักการ Extended Shelf Life (ESL) ที่อุณหภูมิ 85-95 °C นาน 15-20 วินาที และวิธีการบรรจุแบบ Ultra Clean Filling

ตัวอย่าง B : ตัวอย่างทดสอบ นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง High Protein Milk รสจืด ขนาด 340 มิลลิลิตร

- ไขมัน 1 กรัม
- โคลเลสเตอรอล 25 มิลลิกรัม
- โปรตีน 30 กรัม
- คาร์โบไฮเดรต 14 กรัม
- โซเดียม 115 มิลลิกรัม
- โพแทสเซียม 410 มิลลิกรัม
- อุณหภูมิตัวอย่าง 10.1 - 11.8 °C
- pH : 6.62
- พาสเจอร์ไรซ์ด้วยหลักการ High-temperature, Short-time (HTST) ที่อุณหภูมิ 97 °C 5 นาที

บรรจุภัณฑ์ No. 1 : กล่องควบคุม เป็นกล่องบรรจุภัณฑ์ลูกฟูกชั้นเดียว (Single-Wall Corrugated Fiberboard : SW-CFB) ชนิดลูกฟูก B-Flute หนา 3 มิลลิเมตร ซึ่งนิยมใช้ในบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งและอ้างอิงจากการสัมภาษณ์สถาน

ประกอบการและเก็บข้อมูลการร้องเรียนผ่านช่องทาง E-Commerce

บรรจุภัณฑ์ No. 2 : กล่องบรรจุภัณฑ์ลูกฟูก 2 ชั้น (Double-Wall Corrugated Fiberboard : DW-CFB) ชนิดลูกฟูก BC-Flute หนา 6 มิลลิเมตร

บรรจุภัณฑ์ No. 3 : กล่องโฟม (Expanded Polystyrene Foam Box : EPS) ความหนา 25 มิลลิเมตร

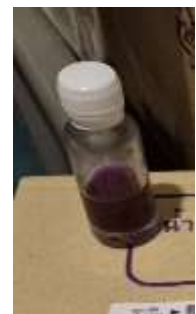
2. กระบวนการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์สภาวะการเป็นลิ้ม (Sweet Curdling) ของนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง จำลองการจัดส่งผ่านผู้ขนส่ง Last mile ในช่องทาง E-Commerce โดยเปรียบเทียบตัวอย่าง A และ B ในบรรจุภัณฑ์ No. 1 เพื่อประเมินการเกิดลิ้ม ณ ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 24 โดยดำเนินการวิเคราะห์ Parameter ต่อไปนี้

○ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal Property) ของตัวอย่าง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิก่อนด้วย Infrared Thermometer

○ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-เบส (pH) ของตัวอย่าง (Chemical Property) ด้วย pH Meter

○ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา (Microbiology Analysis) ของแบคทีเรีย Coliform ด้วยน้ำยาตรวจเชื้อโคลิฟอร์มขั้นต้น (SI-2) ด้วยตัวอย่าง 1 มิลลิตร ตั้งทิ้งไว้ในน้ำยาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง เพื่ออ่านผล



2.2 การเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง (Transportation Packaging) สำหรับผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ No. 2 และ No. 3 โดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเป็นกรด-เบส และการเกิดแบคทีเรีย Coliform ณ ชั่วโมงที่ 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24

ผลการวิจัย

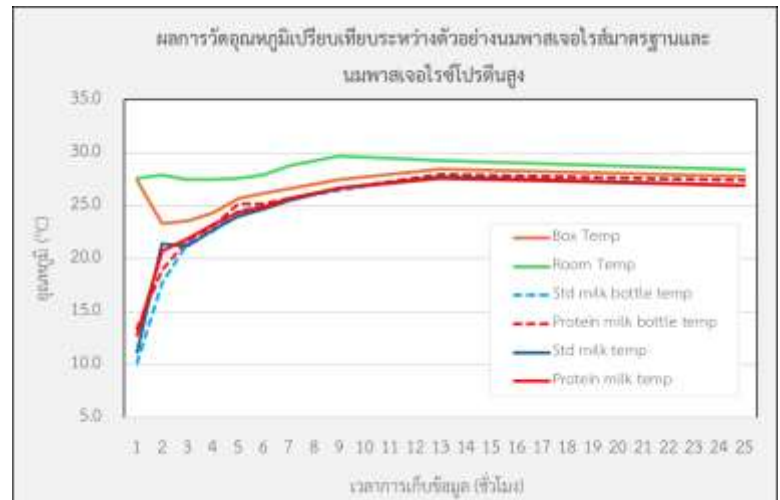
1. การวิเคราะห์สภาวะการเป็นลิม (Sweet Curdling) ของนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง

○ จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิภายในบรรจุภัณฑ์ No. 1 อุณหภูมิของขวดใส่ตัวอย่าง A, B และอุณหภูมิของตัวอย่าง A นมพาสเจอร์ไรซ์มาตรฐานและตัวอย่าง B นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง แสดงผลได้ดังภาพที่ 5 พบว่า

อุณหภูมิห้อง (Ambient Temperature) มีอุณหภูมิที่สูงประมาณ 27-30 °C ตลอดการทดลอง ในขณะที่อุณหภูมิของกล่องลดลงในช่วงชั่วโมงแรกของการวิจัยที่ประมาณ 23 °C เนื่องจากการแผ่ความร้อนของตัวอย่าง A และ B ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 10 °C ซึ่งอุณหภูมิของขวดใส่ตัวอย่างและอุณหภูมิของตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน แต่อุณหภูมิของตัวอย่าง A และ B เพิ่มขึ้นทุกๆ ชั่วโมงเมื่อตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ในบรรจุภัณฑ์ No. 1 โดยอุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้น 10 °C ในชั่วโมงแรก (จาก 10 °C เป็น 21 °C) จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างคงที่ประมาณ 27 °C เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง

จะเห็นได้ว่าเมื่อนำตัวอย่างออกจากอุณหภูมิที่ควบคุม (2-8 °C) ตัวอย่าง A และ B จะไม่

สามารถรักษาอุณหภูมิต่ำในสภาวะ Ambient ได้ และบรรจุภัณฑ์ No. 1 ซึ่งเป็นกล่องลูกฟูกชั้นเดียวสามารถลดอุณหภูมิของบรรจุภัณฑ์ให้น้อยกว่าอุณหภูมิของห้องได้เพียง 1 °C



ภาพที่ 5 ผลการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิห้อง อุณหภูมิบรรจุภัณฑ์ และอุณหภูมิของตัวอย่าง



ภาพที่ 6 ผลการวัด pH ของตัวอย่าง

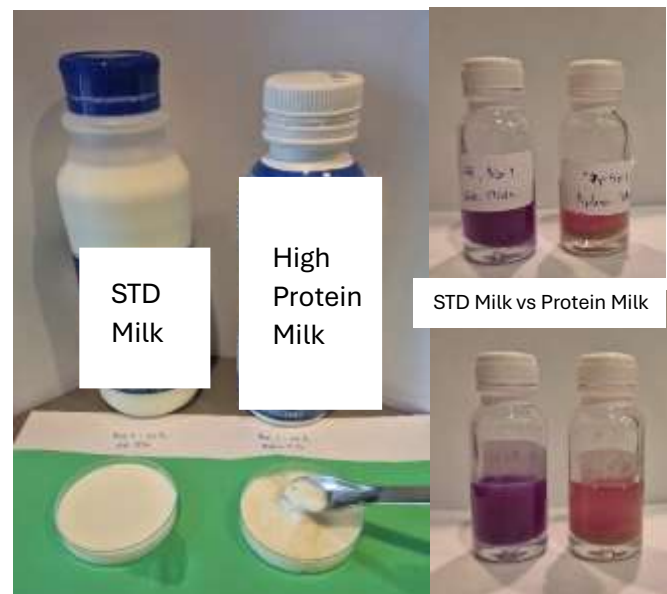
○ จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของตัวอย่าง ดังภาพที่ 6 พบว่า pH ของตัวอย่าง A และ B ลดลงจาก 6.58 และ 6.62 เป็น 6.47 และ 6.51 ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิผ่านไป 3 ชั่วโมง แสดง

สภาวะความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น ทำให้ตัวอย่างเสียสภาพความเป็นกลาง¹⁶ และเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมง จะเห็นว่าเมื่อตรวจ pH ของตัวอย่างที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง pH ของตัวอย่าง B ลดลงอย่างมาก เป็น 6.18 ในขณะที่ pH ของตัวอย่าง A แทบจะคงที่ที่ 6.46 นั้น แสดงถึงสภาวะความเป็นกรดของตัวอย่าง B เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการตรวจสอบแบคทีเรีย Coliform และสภาพของตัวอย่าง



ภาพที่ 7 ผลการตรวจสอบ Coliform Bacteria ที่เวลา 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 24 ชั่วโมง ของตัวอย่าง A (บน) และตัวอย่าง B (ล่าง)

○ จากการตรวจสอบหาเชื้อแบคทีเรีย Coliform ที่ช่วงเวลาต่างๆ แสดงดังภาพที่ 7 พบว่า ในช่วงเวลา 12 ชั่วโมงแรก ตัวอย่างเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่ อุณหภูมิห้องไม่พบแบคทีเรีย Coliform แม้ว่า อุณหภูมิของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นถึง 27 °C และ pH ลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อตรวจสอบตัวอย่าง B ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำยาตรวจ Coliform เกิดการ เปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีแดง มีความขุ่น ให้ผลบวก (++) แสดงว่า ตัวอย่างมีการปนเปื้อนของเชื้อแล้ว และเมื่อตรวจสอบสภาพทางกายภาพของตัวอย่าง B ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ตัวอย่าง B จับตัวเป็นก้อน ลิ้นนม เนื้อคล้ายเต้าหู้ ดังแสดงในภาพที่ 8 สอดคล้องกับผลการวัดแบคทีเรีย Coliform ซึ่งใน เวลาก่อนหน้านี้ (1-12 ชั่วโมงแรก) สภาพของ ตัวอย่าง B เป็นของเหลวปกติ แต่ตัวอย่างทั้ง 2 เมื่อ ทดสอบดมกลิ่น (Sensory Test) ไม่พบกลิ่นเหม็น เปี้ยวแต่อย่างใด

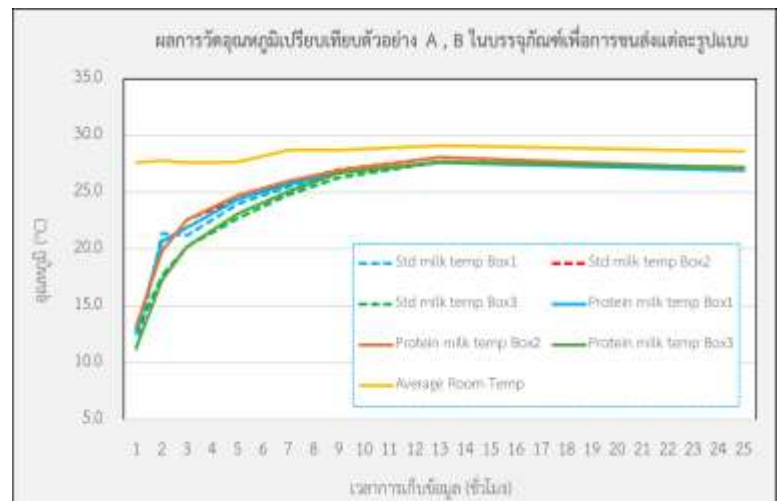
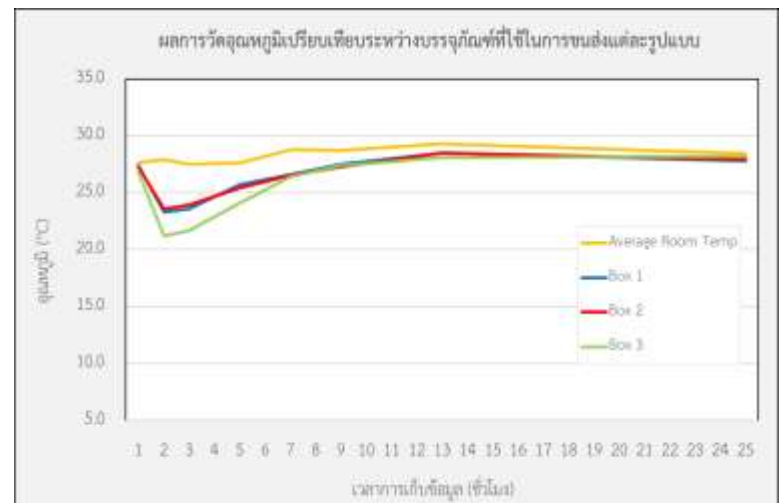


ภาพที่ 8 สภาพกายภาพของตัวอย่าง A (นมพาสเจอร์ไรซ์ มาตรฐาน) และตัวอย่าง B (นมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง) พร้อม กับผลการตรวจ Coliform Bacteria ณ 24 ชั่วโมง

ที่เป็นเช่นนั้น เป็นเพราะปฏิกิริยา Proteolytic ที่เกิดขึ้นกับนมที่มีส่วนผสมของโปรตีนเข้มข้นมีส่วนประกอบของ Casein และ Phosphate¹⁵ มากกว่านมปกติ ส่งผลต่อการหลั่งเอนไซม์ Proteases ย่อยสลาย Casein Micelles เกิดเป็นเจลตกตะกอนออกมาเป็นลิ่มมากกว่านมทั่วไป โปรตีนเสียสภาพกลายเป็นเบสทำหน้าที่ยึด Buffer ทำให้ค่า pH ลดลงไม่มาก แม้ว่าโปรตีนจะดูดซับ H⁺ ion ไว้และเกิดการสร้างเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมาก เกิดการบูดเน่าโดยไม่ปรากฏกลิ่นดังปฏิกิริยา Silent Spoilage¹⁶ แต่ตัวอย่าง A ซึ่งเป็นนมพาสเจอร์ไรซ์มาตรฐาน ไม่พบการบูดเน่าเช่นกัน สาเหตุน่าจะเนื่องมาจากกระบวนการผลิต ESL ที่ช่วยชะลอการบูดเน่าของตัวอย่างนี้ออกไปแม้เวลาจะผ่านไปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิใกล้ 30 °C

สภาพที่ตัวอย่าง A และ B พบในบรรจุภัณฑ์ No. 1 นั้น คือสภาพที่ลูกค้าซึ่งสั่งซื้อผ่านช่องทาง E-Commerce ได้ร้องเรียนจากการพบสินค้าที่มีสภาพล้นนมเกิดขึ้น แม้ว่าจะยังไม่ถึงวันหมดอายุ และถูกส่งมาในบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกชั้นเดียว โดยวางทิ้งไว้นอกการควบคุมอุณหภูมิและผู้ขนส่งไม่ได้โทรแจ้งลูกค้า จากการศึกษาค้นคว้าจะเป็นคือ ผลลัพธ์ที่เกิดการบูดเน่าแล้วเนื่องจากวางไว้ในอุณหภูมิ Ambient นานเกินไปจนทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเป็นจำนวนมากจากการขนส่งแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉียบพลัน (Heat Shock) ในช่วงอุณหภูมิ 25-35°C^{8,22,24} และมีโอกาสจะเกิดการบูดเน่าแบบ Exponential เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 35°C ด้วย^{14,24}

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวให้กับสถานประกอบการ นอกเหนือจากการจัดทำ Standard Operation Procedure เพื่อวางแผนปฏิบัติที่ดีในการจัดเก็บและจัดส่งในระบบโซ่ความเย็นเพื่อให้ผู้ประกอบการไปมอบให้กับผู้ให้บริการขนส่งที่ทำสัญญาไว้ในการส่งผ่านระบบ E-Commerce โดยหันมาแก้ไขที่ตัวสถานประกอบการเอง ในการจัดเตรียมบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งมอบให้กับผู้ให้บริการขนส่งควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 9 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบรรจุภัณฑ์แต่ละรูปแบบเทียบกับอุณหภูมิห้อง (บน) และอุณหภูมิของตัวอย่าง A, B ในบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ (ล่าง)

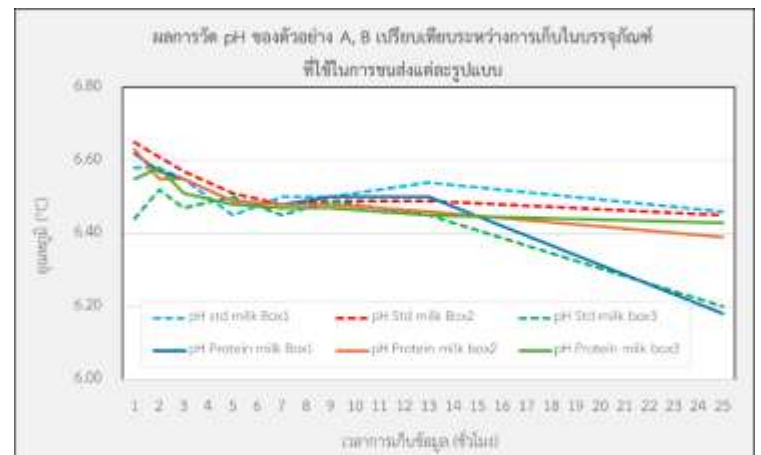
2. การเปรียบเทียบบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งที่เหมาะสม

○ จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบรรจุภัณฑ์แต่ละรูปแบบและตัวอย่าง A, B กับอุณหภูมิห้อง แสดงผลดังภาพที่ 9

ในการวิจัยจึงได้ทดลองเปรียบเทียบการใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งรูปแบบ No.1 (กล่องควบคุมที่สถานประกอบการใช้) No.2 และ No.3 พบว่า อุณหภูมิ Ambient มีค่าอยู่ประมาณ 27-30 °C ตลอดการทดลอง ในขณะที่อุณหภูมิของกล่องลดลงในช่วงชั่วโมงแรกของการวิจัยที่ประมาณ 21-23 °C เนื่องจากการแผ่ความเย็นของตัวอย่าง A และ B ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 10 °C ซึ่งบรรจุภัณฑ์ No.1 และ No.2 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 4 °C ในขณะที่บรรจุภัณฑ์ No.3 มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง 6-6.4 °C และเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง บรรจุภัณฑ์ทั้ง 3 จะมีอุณหภูมิเท่ากันประมาณ 27-28 °C

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิของตัวอย่าง A และ B เมื่อตั้งทิ้งไว้ในบรรจุภัณฑ์แต่ละแบบ พบว่า อุณหภูมิของตัวอย่าง A และ B ในบรรจุภัณฑ์ No.1 และ No.2 เพิ่มขึ้นถึง 10 °C เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง แต่อุณหภูมิของตัวอย่าง A และ B ในบรรจุภัณฑ์ No.3 เพิ่มขึ้นถึง 10°C เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง นั้นแสดงว่า บรรจุภัณฑ์ No.3 ซึ่งเป็นกล่องโฟม EPS เป็นฉนวนความร้อนที่ดี สามารถป้องกันการแผ่รังสีความร้อนจากอุณหภูมิห้องสู่ภายในกล่องและสู่ตัวอย่าง A, B ได้ดีกว่ากล่องกระดาษลูกฟูก (บรรจุภัณฑ์ No.1 และ 2) อีกทั้งยังสามารถชะลอการเพิ่มอุณหภูมิฉับพลันของตัวอย่างได้อีกด้วย โดยเฉพาะใน 4 ชั่วโมงแรกของการเก็บตัวอย่าง

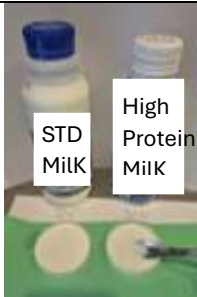
เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า pH ของตัวอย่าง A และ B ในบรรจุภัณฑ์ No. 1-3 ดังภาพที่ 10 แล้ว พบว่า ตัวอย่าง A ในบรรจุภัณฑ์ No. 1 และ 2 เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ค่า pH ลดลงจาก 6.6 เป็น 6.5 และคงที่อยู่ระยะหนึ่งจนกระทั่งเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ค่า pH จะลดลงเหลือ 6.45 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวอย่าง A ค่า pH เปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเก็บตัวอย่างในกล่องกระดาษลูกฟูก ตรงข้ามกับผล pH ของบรรจุภัณฑ์ No.3 ที่ค่า pH เริ่มต้นประมาณ 6.55 และคงที่ประมาณ 6.45 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนที่ pH จะลดลงเหลือ 6.20 เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 10 ผลการเปรียบเทียบ pH ของตัวอย่าง A, B ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แต่ละรูปแบบ

เช่นเดียวกับตัวอย่าง B ที่ค่า pH ของตัวอย่างที่เก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ No.1-3 เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง ค่า pH ลดลงจาก 6.6 เป็น 6.5 และคงที่อยู่ระยะหนึ่งจนกระทั่งเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ค่า pH ของตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์ No.2 และ 3 จะลดลงเหลือ 6.40 คงระดับของ pH ให้ค่อนข้างคงที่ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่าง B ในกล่องบรรจุภัณฑ์ No.1 ที่ค่า pH ลดลงเหลือ 6.18 ที่ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบ Coliform Bacteria ที่เวลา 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24 ชั่วโมง ของตัวอย่าง A และ B ที่จัดเก็บในบรรจุภัณฑ์แต่ละรูปแบบ

บรรจุภัณฑ์ No.1	บรรจุภัณฑ์ No.2	บรรจุภัณฑ์ No.3
		
ตัวอย่าง A ไม่พบ Coliform Bacteria	ตัวอย่าง A ไม่พบ Coliform Bacteria	ตัวอย่าง A พบ Coliform Bacteria ที่เวลา 24 ชั่วโมง
		
ตัวอย่าง B พบ Coliform Bacteria ที่เวลา 24 ชั่วโมง	ตัวอย่าง B ไม่พบ Coliform Bacteria	ตัวอย่าง B พบ Coliform Bacteria ที่เวลา 24 ชั่วโมง
		
		
สภาพกายภาพของตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมง : ตัวอย่าง B บรรจุภัณฑ์ No.1 พบ กลิ่นนม (Sweet Curdling)		

หมายเหตุ : ตัวอย่าง A บรรจุภัณฑ์ No.3 ที่เวลา 6 ชั่วโมง พบ Coliform Bacteria อาจเกิดจากการปนเปื้อนของภาชนะ

○ ผลการสอบหาเชื้อแบคทีเรีย Coliform ที่ช่วงเวลาตั้งแต่ 1,2,4,6,8,12,24 และสภาพกายภาพของตัวอย่างที่ 24 ชั่วโมง ช่วยยืนยันผลของ pH ได้แสดงดังตารางที่ 1

จากผลการตรวจสอบพบว่า Coliform Bacteria มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง (28-30 °C) ภายหลัง 12 ชั่วโมง ซึ่งจากการวิจัยพบ Coliform Bacteria ได้อย่างชัดเจนเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยตัวอย่าง B ซึ่งเป็นนมพาสเจอร์ไรส์โปรตีนสูง ไม่เพียงพบ Coliform Bacteria และ pH ลดลงเหลือ 6.18 จากบรรจุภัณฑ์ No.1 ที่เป็นกล่องกระดาษลูกฟูกชั้นเดียว เท่านั้น แต่ยังพบ Coliform Bacteria จากการเก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ No.3 ที่เป็นกล่องโฟม EPS แม้ค่า pH ยังคงอยู่ที่ 6.43 อีกทั้งยังไม่เกิด ลิ้นนม (Sweet Curdling) และไม่มีกลิ่นเปรี้ยวอีกด้วย จากการที่ Caseins รวมตัวกับเกลือ Phosphate ทำให้เกิด Chemical Buffer ทำหน้าที่ดูดซับ H^+ ion จากกรด Lactic ป้องกัน¹⁷ แต่ปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด หรือ Silent Spoilage

เช่นเดียวกับ ตัวอย่าง A ซึ่งเป็นนมพาสเจอร์ไรส์มาตรฐาน ผลิตด้วยกระบวนการ ESL¹⁴ ก็พบ Coliform Bacteria ในบรรจุภัณฑ์ No.3 แต่ค่า pH กลับลดลงเหลือ 6.20 ส่งผลทำให้ตัวอย่างเกิดการบูดเน่าและมีกลิ่นเปรี้ยว แต่ตัวอย่างไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก นมพาสเจอร์ไรส์มาตรฐานในบรรจุภัณฑ์นี้ เกิดการหมักน้ำตาล Lactose ของ Bacteria เกิดกรด Lactic แต่นมพาสเจอร์ไรส์ทั่วไปไม่มี Buffer ของ Phosphate ทำให้ pH ลดลงเกิดการตกตะกอนของ Casein ได้ H^+ ion

จำนวนมาก เกิดรสและกลิ่นเปรี้ยว เรียกว่า Sour Curdling

ประเด็นที่น่าสนใจอีกประการคือ การใช้กล่องโฟม EPS ที่มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี เพราะมีรูพรุนแบบปิด (Close pore) และมีผนังที่หนาประมาณ 25 เซนติเมตร ความหนา มีค่าการนำความร้อนต่ำประมาณ 0.33 W/(m·K) มีความหนาแน่นต่ำ²⁶ ซึ่งการกล่องโฟมที่อุณหภูมิ 30°C โดยปราศจากการควบคุมอุณหภูมิเชิงรุก เช่น น้ำแข็ง Phase Chang Materials (PCM) จะส่งผลทำให้กล่องโฟมสร้างระบบฉนวนความร้อนสูง (High Thermal Insulation) กล่องโฟมจะลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างนมกับอากาศภายนอก เพื่อให้อุณหภูมิของนม (ที่เย็น) สู่สมดุลกับอุณหภูมิของห้อง¹⁹ อย่างไรก็ตาม อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภาชนะซึ่งกล่องโฟมมีผนังที่หนามาก จึงส่งผลต่อค่าการต้านทานความร้อนที่สูง ทำให้กล่องโฟมสามารถเกิดสภาวะ Quasi-adiabatic Environment คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในกล่องภายนอกกล่องเกิดขึ้นน้อยมากจนใกล้ศูนย์ หากกล่องโฟมทำการรักษาความเย็นจะทำได้เป็นอย่างดี แต่หากมีแหล่งกำเนิดความร้อน เช่น อาหารร้อน หรือ ความร้อนจากเมตาบอลิซึมของเชื้อ ความร้อนจะไม่ถูกระบายออกสู่ภายนอก และถูกกักไว้อย่างสมบูรณ์²⁷

จากสมบัติดังกล่าว มีการใช้กล่องโฟมเป็นตู้เพาะเชื้อ (Incubator)²⁸ ที่สามารถรักษาอุณหภูมิภายในให้คงที่ช่วง 35-45 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิ Mesophilic และ Thermotolerant Range ที่แบคทีเรียก่อโรคส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีที่สุด ลด

ความสูญเสียความร้อน (Heat Loss) รักษาอุณหภูมิสะสมภายใน เกิดการสะสมของความร้อน (Humidity Accumulation) และก๊าซจากเมตาบอลิซึม จนเกิดความร้อนแฝง (Metabolic Heat) และปรากฏการณ์ Self Heating หรือการอุ่นตัวเองทางชีวภาพ เนื่องจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียขณะย่อยสลายอาหาร (Substrate) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน และพลังงานที่ได้จากการสลายพันธะทางเคมีของอาหารจะอยู่ในรูปของความร้อน (Heat Dissipation)²⁹ พลังงาน Metabolic Heat ในระบบเปิดทั่วไป ความร้อนจะระบายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย แต่ในระบบฉนวนหุ้ม ความร้อนจะทำหน้าที่เป็นตัวแปรในการเปลี่ยนอุณหภูมิของระบบ ในสถานะที่ไม่มีตัวทำความร้อนและอุณหภูมิของสิ่งที่จัดเก็บสูงกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งตรงกับระยะอันตรายของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์คือ Exponential (Log) Phase ซึ่งเซลล์มีการแบ่งตัวแบบทวีคูณ มีอัตราการใช้ออกซิเจนและสารอาหารสูงสุด ส่งผลให้อัตราการผลิตความร้อนพุ่งขึ้นสู่จุดสูงสุด (Peak Thermogenesis) หากความร้อนไม่ถูกระบายออกจะเป็นการเร่งปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ให้เร็วขึ้น จากการสะสมความร้อนจาก Metabolic Heat ก่อให้เกิดวัฏจักรที่เร่งตัวเอง หรือ Self-Accelerating Cycle.³⁰ กระบวนการกักเก็บความร้อน Metabolic Heat Trapping เกิดขึ้นเมื่ออัตราการผลิตความร้อนสูงกว่าอัตราการสูญเสียความร้อนผ่านผนังกล่อง จึงทำให้จุลินทรีย์เข้าสู่ภาวะวิกฤต Critical State ที่ทำให้เกิดการแบ่งตัวจนอุณหภูมิใน

กล่องสูงกว่าอุณหภูมิห้อง (Ambient Temperature) อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น ในสถานะที่ปราศจากแหล่งความเย็น (Active Cooling Source) เช่น น้ำแข็ง หรือ PCM กล่องโฟม EPS จะทำหน้าที่เป็น “ตู้บ่มเชื้อชีวภาพ Biological Incubator” ผ่านกลไก Metabolic Heat Trapping ซึ่งกักเก็บความร้อนจากการเผาผลาญของเชื้อโรคและเร่งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จนถึงระดับ Critical State ในเวลาอันสั้น จึงเป็นเสมือนเครื่องมือในการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ จึงส่งผลทำให้ตัวอย่าง A และ B ภายหลัง 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิของตัวอย่างใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้ว จะเกิด Metabolic Heat ของเชื้อแบคทีเรียขึ้น ทำให้เร่งการเกิดแบคทีเรียเมื่อตรวจสอบจึงพบ Coliform Bacteria ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตาม จากผลการวิจัยข้างต้น ตัวอย่าง A และ B ในบรรจุภัณฑ์ 2 ซึ่งเป็นกล่องลูกฟูก 2 ชั้น ไม่พบ Coliform Bacteria โดยสภาพกายภาพของตัวอย่างมีลักษณะเป็นน้ำนมข้นเหลว ไม่ปรากฏกลิ่นเปรี้ยว ไม่จับตัวเป็นก้อน และค่า pH ประมาณ 6.45 และ 6.39 ตามลำดับ จึงอาจกล่าวได้ว่า หากสถานประกอบการต้องการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่สั่งซื้อผ่านทาง E-commerce และมีระยะเวลาในการจัดส่ง (Window Time) ตั้งแต่ผู้ให้บริการขนส่งรับสินค้า (โดยไม่ควบคุมอุณหภูมิและไม่มีแหล่งความเย็น) จนถึงผู้ซื้อสินค้าเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แนะนำให้ทดลองปรับเปลี่ยนเป็นกล่องลูกฟูก 2 ชั้น ที่ไม่เพียงช่วยเรื่องของความแข็งแรงใน

การจัดส่งเนื่องจากสภาพกล่องที่แข็งแรงกว่าลูกฟูกชั้นเดียว ยังสามารถถ่ายเทความร้อนเมื่อวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีกด้วย สอดคล้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ (Industrial Logistics Performance Index : ILPI) ตัวชี้วัดที่ 5 มิติด้านต้นทุน คือ สัดส่วนมูลค่าความเสียหายต่อยอดขาย (Damage Value Per Sales) ลดลงจากการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งให้เหมาะสมที่ทำให้สินค้าไม่บุบสลายเสียหาย แต่อาจไม่สามารถแก้ไขตัวชี้วัดที่ 9 มิติด้านต้นทุน คือ สัดส่วนมูลค่าสินค้าที่ถูกตีกลับต่อยอดขาย (Returned Goods Cost Per Sales) และมิติด้านความน่าเชื่อถือ คือ อัตราการถูกตีกลับของสินค้า (Return Goods Rate) ลดลงไปด้วย เนื่องจากอุณหภูมิของสินค้าไม่เป็นไปตามที่กำหนด คือ ต้องควบคุมอุณหภูมิของสินค้าไว้ที่อุณหภูมิ 8 °C

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการจำลองสถานการณ์ที่ผู้ขนส่งสินค้ารายสุดท้าย (Last mile delivery) จัดส่งสินค้าผ่านช่องทาง E-Commerce และเกิดปัญหาสินค้าเกิดจับตัวเป็นลิ่มและบุบสลายก่อนวันหมดอายุ

ผลการวิจัยดำเนินการพิสูจน์หาสาเหตุและคำอธิบายปรากฏการณ์ทางอุณหภูมิ เคมี และจุลชีววิทยา ที่เกิดขึ้นและเสนอแนวทางแก้ไขที่คาดว่าจะเกิดประโยชน์กับสถานประกอบการที่ผลิตและจำหน่ายนมพาสเจอร์ไรซ์มาตรฐาน และนมพาสเจอร์ไรซ์โปรตีนสูง ทั้งนี้ แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดเก็บและ

จัดส่งผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์ (Good Storage and Distribution Practices for Dairy product) สำหรับผู้ผลิต จำหน่าย และจัดส่ง ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรซ์จะต้องตระหนัก คือ เรื่องของการรักษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการจัดส่ง ซึ่งผู้ขนส่งจะต้องสื่อสารกับลูกค้า เพื่อให้รับสินค้าให้ทันเวลาไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมงภายหลังจากนมออกมาจากห้องเย็นของผู้ผลิต และในบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งควรจะมีบรรจุแหล่งความเย็น (Active Cooling Source) เช่น น้ำแข็ง หรือ PCM ลงไปด้วย โดยต้องไม่ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ ไม่ว่าจะเป็นกล่องลูกฟูก หรือกล่องโฟม เกิดการเปื่อยเสียหาย เพราะกล่องลูกฟูกจะกลายเป็นตัวนำความร้อนและทำให้ความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ภายในทันที

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกการตรวจสอบหา Coliform Bacteria เนื่องจากต้องการใช้เทคนิคการใช้น้ำยาตรวจสอบเชื้อ Coliform Bacteria เบื้องต้น (SI-2) ซึ่งเป็นเทคนิคอย่างง่ายโดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งใส่นมปริมาณ 1 มิลลิกรัมลงในน้ำยา และรอผลประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งอาจมีโอกาสนปนเปื้อนสารจากภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ใช้ได้ หากมีอุปกรณ์ทดสอบเพียงพอจะสามารถใช้วิธีการเพาะเลี้ยงเชื้อและบ่มให้ตูบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 33-37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการนับปริมาณโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม. (2558). *LESSONS LEARNED คู่มือบทเรียนจากประสบการณ์ โครงการพัฒนาโซ่คุณค่าอุตสาหกรรมอาหารด้วยระบบโซ่ความเย็นและบรรจุภัณฑ์ ปี 2557*. กรุงเทพฯ: บริษัท ออฟโพรเอบ จำกัด.
2. บริษัท นีโอนิคส์ จำกัด. (มปป.). *กระดาษทดสอบกรด-ด่าง*. สืบค้นจาก <https://www.tools.in.th/category/ph-test-paper/>
3. อรสา จงวรกุล. (2563). *ข้อแนะนำในการป้องกันและขจัดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำนมโคสดหรือน้ำนมโคพาสเจอร์ไรส์ นมปรุงแต่งพาสเจอร์ไรส์ และผลิตภัณฑ์ของนมพาสเจอร์ไรส์*. สืบค้นจาก <https://food.fda.moph.go.th/for-entrepreneurs5/milk-01>
4. สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์. (2566). *สถานการณ์ธุรกิจโลจิสติกส์ไทย ฉบับเดือนกุมภาพันธ์ 2566*. สืบค้นจาก <http://www.tpso.moc.go.th/th/node/12327>
5. สุภาพร งามโสภาสิริสกุล, อนันตญา ตักดีสะอาด และ นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์. (2565). การพัฒนาระบบการตรวจสอบย้อนกลับนมพาสเจอร์ไรซ์ของสหกรณ์ตัวอย่าง. *วารสารวิชาการปทุมวัน*, 12 (35), 17-31.
6. สำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม. (2557). *LESSONS LEARNED คู่มือบทเรียนจากประสบการณ์ โครงการพัฒนาโซ่คุณค่าอุตสาหกรรมอาหารด้วยระบบโซ่ความเย็นและบรรจุภัณฑ์*. กรุงเทพฯ: บริษัท ออฟโพรเอบ จำกัด.
7. ศรีสิทธิ์ การุณยวนิช, ดวงจันทร์ สุประเสริฐ และ จุไร โชติชนาพิวงค์. (2540). คุณภาพของนมสด ยูเอชที. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์*, 39 (3), 201-210.
8. Zoe D. Wasserlauf-Pepper et. al. (2025). Variability of temperature exposure of dairy products during refrigerated e-commerce distribution and its impact on dairy quality. *Journal of Dairy Science*, 108 (11), 12046 – 12058.
9. Reefer Van Network. (2025). *Refrigerated Last-Mile Delivery*. Retrieved from <https://reefervannetwork.com/blog/refrigerated-last-mile-delivery/>
10. Iqra Noreen, *5 Things To Check Before Buying A Thermal Delivery Box*. Retrieved from https://bikeboxmt.com/blog/delivery-boxes/things-to-check-before-buying-thermal-delivery-box/?srsltid=AfmBOooPotX3yje6qb9rJTMVea5MOJGcm6W_QHpMXUqYhush_0nAG71j.
11. Bioma Chakrawala et al. (2023). Heat transfer analysis of food delivery container using motorcycle waste heat energy. *AIP Conference Proceedings : International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics ICNAAM 2021*, 20837 (030005) Doi: <https://doi.org/10.1063/5.0174089>
12. Nguyen Thi Kim Oanh and Lai Nguyen Huy. *Background study on two-wheeler*

Last-Mile Delivery Services toward Inclusive, Low-carbon Transport Transformation in Thailand. Center of Nexus of Air Quality, Health, Ecosystem and Climate, Asia Institute of Technology, Thailand.

13. Eric Xu and Laisheng Sun. (2022). Heat impact to food's shelf life – An example of milk. *Journal of Emerging Investigators*, 5, 1-5.

14. Etienne. V. Doll, Siegfried Scherer and Mareike Wenning. (2017). Spoilage of microfiltered and pasteurized extended shelf life milk is mainly induced by Psychrotolerant spore-forming bacteria that often originate from recontamination. *Frontiers in Microbiology*, 8 (135), 1-13.

15. Miji Kim, Sejong Oh and Jee-Young Imm. (2018). Buffering Capacity of Dairy Powders and Their Effect on Yoghurt Quality. *Korean journal for food science of animal resources*, 38 (2), 273-281.

16. Agriculture Institute. (2023). *Buffering Capacity of Milk: How milk Resists pH Change*. Retrieved from <https://agriculture.institute/milk-production-and-quality/buffering-capacity-of-milk/>

17. Mansel William Griffiths and J.D. Phillips. (2007). Modelling the relation between bacterial growth and storage temperature in pasteurized milks of varying hygienic quality. *International Journal of Dairy Technology*, 41 (4), 96-102.

18. Darrel Bigalke. (2021). Psychrotrophic Bacteria in Pasteurized Milk—Spoilage, Testing, and Line Sampling. Retrieved from <https://qualitru.com/psychrotrophic-bacteria-in-pasteurized-milk-spoilage/?srsltid=AfmBOorxW5f0Fs-FN8vuCf-v4Ilf3w4FVzAi7TOOKORI9B3DX6nMP-FB>.

19. Ahmad Rabbani et al. (2025). Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality. *Foods*, 14 (1342), 1-30.

20. Jinyu Xu et al. (2024). Evaluation of UHT milk spoilage caused by proteases from psychrophilic bacteria based on peptidomics. *Food Chemistry: X*. 24 (102059), 1-9.

21. Miguel Aguilera-Toro et al. (2023). Peptidomic Fingerprints of Stored UHT Milk Inoculated with Protease Extracts from Difference Pseudomonas Strains Relative to aprX Expression and Visible Spoilage. *Dairy*, 4, 83-97.

22. Hongjuan Li et al. (2025). Impact of Cold Chain interruption on the Stability and Quality of Pasteurized Milk: Physical, Enzymatic, and Microbial Insights. *Journal of Food Science*, 90 (12), 1-12.

23. Krishna P. Sharma. (2022). A Study on Coliform Contamination in Milk at Various Flow Levels and Seasonal Effect on Its

Count. *Napalese Journal of Agricultural Science*, 22, 91-97.

24. Nicole H. Martin et al. (2016). The Evolving Role of Coliforms As Indicators of Unhygienic Processing Condition in Dairy Foods. *Frontiers in Microbiology*, 7 (1549), 1-

25. Albert Russ et al. (2013). Reuse of old corrugated cardboard in constructional and thermal insulating boards. *Wood Research*, 58 (3), 505 -510.

26. Bjorn Margeirsson, Sigurjon Arason and Halldor Palsson. (2009). *Thermal Performance of Corrugated Plastic Boxes and Expanded Polystyrene Boxes*. Skyrsla Matis 01-09. Iceland.

27. Christian Fauer and Lorenzo Cremaschi. (2023). Passive Cooling of Two Phase Change Materials Installed in Series. *International Journal of Refrigeration*, 159.

28. PiyumF in CircuitTools. Low Cost and Accurate Incubator for DIY Biology. Retrieve from <https://www.instructables.com/Low-cost-and-accurate-incubator-for-DIY-biology/>

29. Steven A. Frank. (2020). Metabolic Heat in Microbial Conflict and Cooperation. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 8 (275), 1-5.

30. Puneet Singh Dhatt, Stephen Chiu, Tae Seok Moon. (2023). Microbial Thermogenesis is dependent on ATP concentrations and the

protein kinases ArcB, GlnL, and YccC. 21 (10), 1-19.
