

บทความวิชาการ

การจัดการระบบสายโซ่ความเย็นในผลิตผลสด

Cool Chain Management for Fresh Produce

โดย สมภพ อยู่เอ¹

ในอุตสาหกรรมการผลิตผักและผลไม้สดเพื่อการส่งออกหรือจัดจำหน่ายในประเทศ การจัดการกับระบบความเย็นเพื่อรักษาคุณภาพของสินค้าเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ด้วยเหตุที่อุณหภูมิของผลิตผลสดนับตั้งแต่ภายหลังการเก็บเกี่ยว ผ่านขั้นตอนกระบวนการต่างๆ จนกลายเป็นสินค้าจนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค นั้น เป็นปัจจัยสำคัญเพื่อคงคุณภาพของตัวสินค้าไว้ให้ยาวนานที่สุด

สายโซ่ความเย็น (Cool Chain) คืออะไร?

Cool Chain หรือ สายโซ่ความเย็น หมายถึง กระบวนการใดๆ ที่ใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิของสินค้าให้เหมาะสม ตั้งแต่ออกจากแหล่งผลิตจนกระทั่งถึงมือผู้

จำหน่ายหรือผู้บริโภค เพื่อคงคุณภาพของสินค้าไว้ให้ยาวนานที่สุด [1] Cool chain มักจะถูกอ้างถึงในแวดวงอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ (หรือความเย็น) อยู่เสมอ เช่น อาหาร ยารักษาโรค เป็นต้น

สำหรับผลิตภัณฑ์สินค้าที่เป็นผักและผลไม้สดนั้น การจัดการกับระบบสายโซ่ความเย็นควรเริ่มทำตั้งแต่ภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมหรือดีที่สุดในการเก็บรักษาผักและผลไม้ชนิดนั้นๆ ซึ่งผักและผลไม้ต่างชนิดกันจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาต่างกันออกไปตามลักษณะของผักและผลไม้ชนิดนั้นๆ รวมถึงอายุของผลิตผลอีกด้วย (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาผลิตผลต่ออายุการเก็บรักษาผลไม้บางชนิด [2] [3]

ชนิดของผลิตผล	อุณหภูมิเก็บรักษา (°C)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)
มะม่วง	12	2-3
กล้วย	13	2
ส้ม	4.5	3-4
มังคุด	10	3-4
มะละกอสุก	8	2-3

หากระบบสายโซ่ความเย็นขาดช่วงไปในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง จะทำให้เกิดความเสียหายกับ

ผลิตผลสดเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้ผลิตผลสดมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง หรืออาจก่อให้เกิดโรคหลังการ

เก็บเกี่ยวได้ ดังนั้นการใช้ระบบสายโซ่ความเย็นจึงควรเริ่มตั้งแต่ภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นต้นไป ตั้งแต่เก็บเกี่ยว ควรทำในช่วงอุณหภูมิต่ำ จากนั้นผลิตผลจะต้องผ่านการลดอุณหภูมิลงให้รวดเร็วที่สุด และหากมีขั้นตอนอื่นใด เช่น การตัดแต่ง การบรรจุ การเก็บรักษา ตลอดจนการขนส่งผลิตผล จะต้องอยู่ในสภาพอุณหภูมิต่ำโดยตลอด ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของผลิตผลชนิดนั้นๆ เป็นสำคัญ

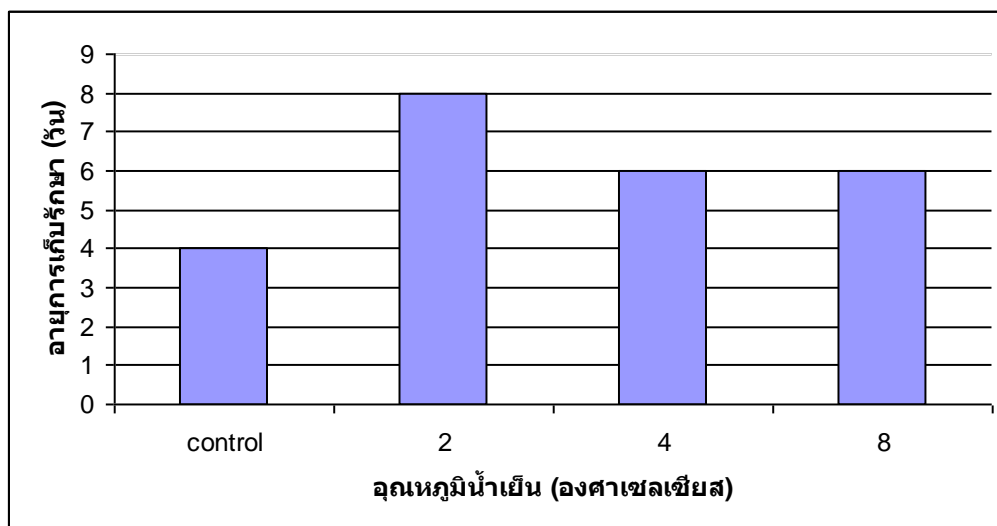
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการระบบสายโซ่ความเย็น ในผลิตผลสด

1. การลดอุณหภูมิผลิตผล (Precooling) [3] [4]

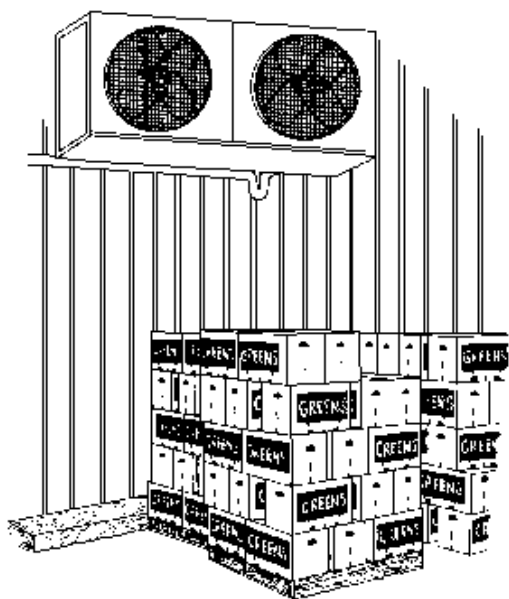
การลดอุณหภูมิผลิตผล คือ การลดอุณหภูมิหรือความร้อนของผลิตผลให้เย็นลง เป็นกระบวนการเพื่อช่วยลดอัตราการหายใจของผลิตผลทำให้มีอายุการเก็บรักษาหรือการวางจำหน่ายสินค้าให้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวยังมีความร้อน

จากในแปลงอยู่ จึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของผลิตผลลง การลดความร้อนในผลิตผลทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ลมเย็น การใช้น้ำเย็น การใช้ระบบผ่านความเย็น การใช้ระบบสุญญากาศ เป็นต้น

การลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็น (Room cooling) เป็นวิธีการลดอุณหภูมิหรือความร้อนของผักและผลไม้โดยนำไปไว้ในห้องเย็นธรรมดาที่มีอุณหภูมิต่ำ อากาศเย็นจะช่วยลดอุณหภูมิของผักและผลไม้ให้ต่ำลงได้ วิธีนี้ทำได้โดยการตั้งภาชนะบรรจุผลิตผลไว้ในห้องเย็นเท่านั้น และจัดให้มีช่องระหว่างแถวของภาชนะพอสมควรเพื่อให้อากาศเย็นไหลผ่าน อุณหภูมิของอากาศไม่ควรต่ำเกินไป เพราะจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (Chilling injury) ในผลิตผลสดได้ โดยเฉพาะผลไม้เขตร้อน (tropical fruit)



รูปที่ 1 ผลของการใช้น้ำเย็นต่ออายุการเก็บรักษาบร็อคโคลี่
ดัดแปลงจากงานวิจัยของ ไพโร สุตจิตร 2547 [5]



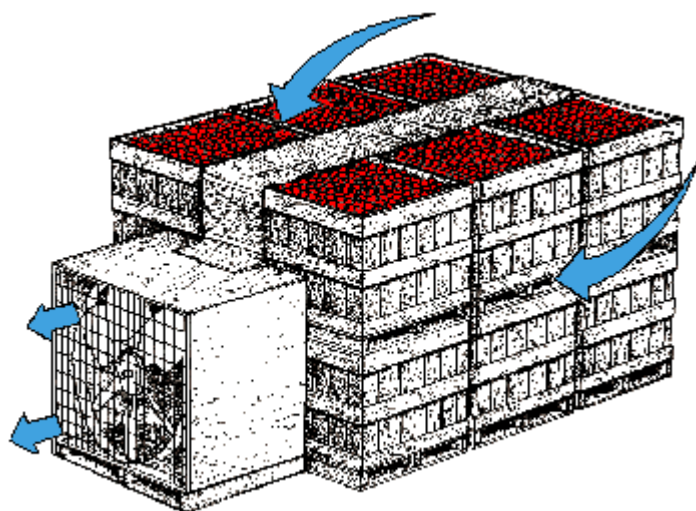
รูปที่ 2 การลดอุณหภูมิแบบ Room cooling
ที่มา www.bae.ncsu.edu [6]

การลดความร้อนโดยการผ่านอากาศเย็น (Forced air cooling) เป็นการลดความร้อนคล้ายกับ room cooling แต่แตกต่างกันที่วิธีการนี้ใช้การดูดหรือเป่าอากาศเย็นเข้าไปในท่อหรืออุโมงค์ (tunnel) ที่มีลักษณะยาวและแคบ ความดันของอากาศทางด้านหน้าและด้านหลังของภาชนะบรรจุจะแตกต่างกัน ทำให้อากาศไหลผ่านช่องว่างระหว่างภาชนะบรรจุและพาเอาความร้อนออกไปจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิต่ำลง การลดความร้อนวิธีนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้

- Tunnel Cooler เป็นการลดอุณหภูมิผลิตภัณฑ์โดยการดันอากาศเย็นผ่านผลิตภัณฑ์ในกล่องโดยใช้อุโมงค์ลม ผลิตภัณฑ์บรรจุในภาชนะบรรจุซึ่งอยู่บนแท่นรองรับสินค้า (pallet) ซึ่งจัดเรียงเป็นสองแถวเท่าๆกัน พัดลมที่อยู่ตรงช่องผนังจะดูดอากาศภายในช่องว่างนั้น แล้วดึงอากาศเย็นให้ผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ ระบบนี้สามารถลดความร้อนของผลิตภัณฑ์ได้จำนวนมากในแต่ละครั้ง

- Serpentine Cooler เป็นวิธีการลดความร้อนเมื่อผลิตภัณฑ์อยู่ในภาชนะขนาดใหญ่ ซึ่งมีรูระบายอากาศที่ด้านล่าง รูเปิดด้านล่างเป็นช่องทางการไหลของอากาศ การเรียงช่องระบายบรรจุต้องเป็นเลขคู่และผนังของห้องมีช่องซึ่งตรงกับช่องทางด้านล่างของภาชนะบรรจุ เพื่อให้การไหลเวียนของอากาศสมดุล วิธีการนี้อากาศเย็นสามารถไหลเวียนกลับไปสู่ระบบทำความเย็นได้อีก เพราะช่องลมผ่านทางด้านล่างของภาชนะบรรจุมีขนาดเล็กไม่ใหญ่มาก การลดความร้อนของผลิตภัณฑ์โดยวิธีนี้จึงใช้เวลาค่อนข้างนาน

- Cold-wall Cooler เป็นวิธีการลดความร้อนซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสำหรับผลิตภัณฑ์จำนวนน้อย โดยวางแท่นรองรับสินค้าที่มีภาชนะบรรจุอยู่ข้างบนเรียงกันไป ผนังของห้องจะมีรูหรือช่องภายในผนังมีช่องซึ่งอากาศถูกดูดหรือดันทำให้เกิดการไหลของอากาศเย็นผ่านผลิตภัณฑ์ ลักษณะเด่นของวิธีนี้คือ มีช่องไหลกลับของอากาศและพัดลมดูดอากาศในแต่ละช่องอย่างถาวร การลดอุณหภูมิแบบนี้มีประโยชน์ตรงที่ช่วยให้สามารถทำให้เย็นได้ทันทีโดยไม่ต้องเรียงให้ได้ 2 แถวเหมือน tunnel cooler



รูปที่ 3 การใช้ Forced air cooling แบบ tunnel cooler
ที่มา www.bae.ncsu.edu

การลดความร้อนโดยใช้น้ำเย็น (Hydrocooling) วิธีนี้สามารถลดความร้อนได้รวดเร็วกว่าการใช้อากาศเย็นประมาณ 15 เท่า วิธีนี้จะช่วยทำให้ผักมีเนื้อสัมผัสและความสดดีขึ้น สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์จำนวนมากหรือปรับให้เข้ากับจำนวนน้อยๆ ได้ แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อการเปียกน้ำเท่านั้น และโรคพืชหลายชนิดสามารถเจริญได้ดีเมื่อผลิตภัณฑ์เปียกน้ำ เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องใช้น้ำที่สะอาดหรือเติมสารเคมีบางชนิด เช่น คลอรีน ลงในน้ำเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรค การลดอุณหภูมิวิธีนี้สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น

- แบบ Flooding หรือการปล่อยให้น้ำเย็นไหลผ่านผลิตภัณฑ์บรรจุในบรรจุภัณฑ์ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านสายพาน หรือผ่านรางเคลื่อนที่ในลักษณะอุโมงค์น้ำ (Water tunnel)

- แบบ Spray หรือ การฉีดพ่นด้วยน้ำเย็นออกมาจาก sprinkler ที่ติดตั้งด้านบนของผลิตภัณฑ์

- แบบ Immersion หรือ การจุ่มผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะลงในถังน้ำเย็น หรือจุ่มผลิตภัณฑ์ลงในถังน้ำที่แช่ในถังน้ำแข็งก็ได้

การลดความร้อนโดยใช้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Cooling) เป็นวิธีการลดความร้อนที่รวดเร็วกว่าวิธีอื่น นิยมใช้กับผักใบต่างๆ โดยเฉพาะผักกาดหอม ห่อ หลักการทำ vacuum cooling แตกต่างจาก air cooling คือ น้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดความร้อนเมื่อน้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ในภาชนะที่ปิดมิดชิดไม่ให้อากาศเข้าออก จากนั้นดูดอากาศออกเพื่อลดความดันให้ต่ำลงเรื่อยๆ น้ำจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิตั้งที่ประมาณ 0 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์จะนำความร้อนออกมาด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 0 องศาเซลเซียส ได้อย่างรวดเร็ว

2. การเก็บรักษา

เมื่อลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงแล้ว การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพอุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งจำเป็นใน

ระบบสายโซ่ความเย็น เพราะเป็นการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ให้มีความเย็นอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาควรอยู่ที่ประมาณ ± 1 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิที่ต้องการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่น ผัก ผลไม้ในเขตร้อนอย่างประเทศไทยเรา ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส ขึ้นไป วัตถุประสงค์ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ คือ

1. ชะลอกระบวนการทางชีวเคมีที่จะเกิดกับผลิตภัณฑ์ เช่น การหายใจ การสุกในผลไม้บางชนิด ตัวอย่างเช่น มะม่วง มะละกอ เป็นต้น
2. ชะลอการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ผักกาดหัวและราก เป็นต้น
3. ลดการสูญเสีย น้ำ
4. ลดการตอบสนองต่อเอทิลีน ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สุกเร็วหรือมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง

3. การขนส่ง [7]

การขนส่งผลิตภัณฑ์สดนั้น เป็นขั้นตอนหนึ่งของการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญ เพราะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดเลือก การทำความสะอาด การบรรจุ ฯลฯ และมีคุณภาพดีแล้ว หากขนส่งไม่ดี จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายขึ้น ทำให้การเตรียมผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มมาเกิดการสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจโดยสูญเปล่า โดยเฉพาะในปัจจุบันที่ต้นทุนการขนส่งมีมูลค่าสูงขึ้นมาก ดังนั้น การขนส่งจึงต้องทำด้วยความประณีตและถูกต้อง และต้องขนส่งเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการคัดคุณภาพแล้วเท่านั้น

ในระบบสายโซ่ความเย็น การขนส่งถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์สดถูกลดอุณหภูมิผ่านขั้นตอนต่างๆ มาแล้ว จนพร้อมส่งถึงมือลูกค้า ดังนั้นการขนส่งจึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิหรือความเย็นด้วยเช่นกันเพื่อมิให้ห่วงโซ่ความเย็นถูกระทบกระเทือน การขนส่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ด้วยกัน คือ

3.1 ทางบก ได้แก่ รถยนต์ รถไฟ

- รถยนต์

เป็นวิธีที่นิยมที่สุด มีตั้งแต่ รถกระบะ 4 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งระบบทำความเย็นจะมีทั้งติดมากับตัวรถหรือเป็นตู้คอนเทนเนอร์ที่มีระบบทำความเย็นในตัว

- รถไฟ

มีข้อดี คือ สามารถขนได้ในปริมาณมาก แต่ประเทศไทยไม่นิยมใช้ในการขนส่งผักและผลไม้ เพราะเสียเวลาขนถ่ายสินค้า ไปยังตลาดอีกช่วง ในประเทศสหรัฐอเมริกา นิยมใช้รถไฟในการขนส่งผลิตภัณฑ์ เช่น ผักกาดหอมห่อ เนื่องจากมีขนาดของประเทศที่ใหญ่มาก ใช้เวลาเดินทางนาน

3.2 ทางน้ำ ได้แก่ เรือขนาดเล็ก และ เรือขนส่งขนาดใหญ่

การขนส่งทางน้ำ (เรือ) เป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด และได้รับความนิยมสูงสุด โดยแต่ละประเทศจะมีท่าเรือขนาดใหญ่ไว้คอยให้บริการ ในการขนถ่ายสินค้าลงเรือ ซึ่งประเทศไทยก็มีท่าเรือแบบนี้ เช่น ท่าเรือคลองเตย ท่าเรือแหลมฉบัง เป็นต้น

สำหรับการส่งออกผักและผลไม้ไปยังต่างประเทศ ส่วนใหญ่จะบรรจุใส่ตู้ container ที่มีระบบทำความเย็น เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการขนส่งยาวนาน และขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างประเทศด้วย ผลไม้บางชนิดอาจจำเป็นต้องใช้ตู้ที่มีระบบควบคุมสภาพบรรยากาศภายใน (CA) ข้อดีของการขนส่งทางเรือ คือ สามารถบรรทุกสินค้าได้ปริมาณมาก แต่มีข้อจำกัดคือ ใช้ระยะเวลานาน

3.3 ทางอากาศ ได้แก่ เครื่องบิน

เป็นการวิธีการขนส่งผักและผลไม้ ที่สิ้นเปลืองที่สุด แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงที่สุด เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง บอบบางและมีอายุการเก็บรักษาสั้น เช่น เห็ด สตอร์เบอร์รี่ ผักสลัด เป็นต้น ข้อจำกัดที่สำคัญของการขนส่งทางอากาศ คือ การควบคุมอุณหภูมิทำได้ยากและบรรทุกผลิตผลได้ปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการขนส่งวิธีอื่นๆ โดยอาศัยอากาศเย็นจากภายนอกให้ไหลผ่านส่วนของเครื่องยนต์ เพราะตู้สินค้าสำหรับบรรทุกสินค้าขึ้นเครื่องบินส่วนใหญ่จะไม่มีเครื่องทำความเย็น เหตุผลเนื่องจากการระบายความร้อนออกจาก condenser บนเครื่องบินทำได้ยาก



รูปที่ 4 การขนส่งทางเครื่องบิน

นอกจากนี้แล้ว ในปัจจุบันยังมีการขนส่งอีกประเภทหนึ่งซึ่งเป็นรูปแบบของการผสมผสานการขนส่งหลายอย่างเข้าด้วยกัน (Multimodal Transport) [8] การขนส่งแบบนี้จะเป็นการผสมผสานการขนส่งสินค้าจากที่หนึ่งทีใด (One Point) หรือจากประเทศหนึ่งประเทศใด ไปสู่อีกที่หนึ่งหรืออีกประเทศหนึ่งที่เป็นจุดพบสุดท้าย (Interface Final Point) โดยใช้รูปแบบการขนส่งตั้งแต่ 2 รูปแบบขึ้นไป ภายใต้การบริหารจัดการของผู้ขนส่งรายเดียว และมีสัญญาขนส่งฉบับเดียวหรือเป็นวิธีการขนส่งสินค้าแบบเบ็ดเสร็จที่ครอบคลุมการขนส่งทุกประเภท โดยผู้ประกอบการเพียงรายเดียว ในการสนองความต้องการของกระบวนการในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์ โดย Multimodal Transport เป็นการผสมผสานการขนส่งสินค้า เช่น ทางถนน ทางรถไฟ ทางน้ำ ฯลฯ โดยแนวคิดและเป้าหมายในการใช้การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ มุ่งเน้นไปที่การทดแทนการขนส่งทางถนนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เกิดประสิทธิภาพด้านต้นทุนและระยะเวลาในการขนส่งที่รวดเร็ว จะต้องดำเนินการในลักษณะที่ไม่มีการถ่ายเปลี่ยนสินค้า เข้า-ออกจากรถคอนเทนเนอร์ โดยในการขนส่งจะมุ่งเน้นไปที่การขนส่งทางรถไฟ ทางแม่น้ำ และทางทะเลเป็นหลัก เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด ถ้าจำเป็นจะต้องมีการใช้การขนส่งทางถนนก็จะจำกัดระยะทางที่ใช้ให้น้อยที่สุด โดยอาจจะใช้การขนส่งทางถนนเพียงระยะทางสั้นๆ ที่ต้นทางหรือปลายทางในการขนส่งสินค้านั้น

บทสรุป ประเทศไทยถือเป็นหนึ่งในประเทศที่ผลิตอาหารสด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักและผลไม้ที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก และมีขีดความสามารถในการส่งออกผลิตผลสดได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุณภาพ ดังนั้นการจัดการระบบสายโซ่ความเย็นในผลิตผลจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นในอุตสาหกรรมส่งออกผลิตผลสด เพราะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการรักษาคุณภาพของสินค้าไว้จนถึงมือผู้บริโภคทั้งในและต่างประเทศ อันเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในแง่ของรายได้และชื่อเสียง

รวมถึงประโยชน์ต่อประเทศไทยเองในการเผยแพร่ชื่อเสียงรวมถึงนำรายได้เข้าสู่ประเทศอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.postharvest.com.au/Sydney Postharvest Laboratory Information Sheet
- [2] Adel A. Kader. 1992. Postharvest Technology of Horticultural Crops. University of California. p.240
- [3] A.K.Thompson . 1996. Postharvest Technology of Fruit and vegetables. Blackwell Sciences. Inc.
- [4] ดนัย บุญยเกียรติ. 2550. ระบบสายโซ่ความเย็นในการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 37 หน้า.
- [5] ไพโร สุตจิตร์ .2547. ผลของการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเย็นต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของบร็อคโคลี่ วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา เทคโนโลยี หลัง การเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] <http://www.bae.ncsu.edu>
- [7] จรินทร์ ศิริพานิช . 2532. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. นครปฐม. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. หน้า 324-340
- [8] <http://www.logisticsdigest.com>