Structural Challenges of the Eastern Thai Durian Industry: Cambodian Labor Crisis, Vietnamese Competition, and Strategic Adaptation through Precision Agriculture Technology

Thanaporn Talabhat[1], & Sanong Ekgasit [2*]

1 Technology Management and Innopreneurship Program, Chulalongkorn University, Thailand
2 Technology Management and Innopreneurship Program, Chulalongkorn University, Thailand
** Corresponding author. E-mail: sanong.e@chula.ac.th*

Abstract

This academic article provides a comprehensive analysis of the critical structural challenges currently undermining the Thai durian industry in the Eastern region. The industry operates within an increasingly volatile environment characterized by a "quadruple threat": a severe Cambodian migrant labor crisis, an over-reliance on the Chinese market, stringent sanitary and phytosanitary (SPS) measures, and aggressive competition from regional neighbors. By synthesizing a decade of multi-disciplinary literature—ranging from international agricultural labor studies to supply chain resilience and non-tariff measures (NTMs)—this analysis uncovers a fundamental paradox. The industry's primary vulnerability is not its production capacity, but its deep-seated structural dependence on human-skilled labor for intricate quality sorting and orchard management. The research highlights that traditional reliance on human experience in quality assessment is becoming a liability as international trade demands rigorous, science-based evidence. To mitigate this, the article explores the transformative potential of Non-Destructive Testing (NDT) technologies, particularly Near-Infrared Spectroscopy (NIR) and hyperspectral imaging. These tools offer high precision in predicting dry matter content and internal quality without damaging the fruit. Furthermore, the integration of Smart Farming technologies—including drones, soil sensors, automated irrigation, and spatial data analytics—presents a viable solution to labor shortages by reducing repetitive manual tasks and optimizing resource allocation. Consequently, the article proposes a multi-dimensional strategic framework. This model integrates advanced quality assessment tech with smart management systems, supported by human capital development and collaborative investment models. It also flags vital, underexplored research avenues: creating a national spectral database for Thai durian, conducting real-world packinghouse trials, and performing rigorous cost-benefit analyses of technology adoption. By transitioning from traditional, experience-based operations toward a data-driven scientific ecosystem, Thailand can ensure its durian industry maintains global dominance, fostering sustainable trade confidence through verifiable quality standards in an increasingly competitive global landscape.

Keywords: Near-Infrared Spectroscopy (NIR), Smart Farming, Durian Supply Chain, Migrant Labor

Received: 2026-03-24; **Revised:** 2026-04-12; **Accepted:** 2026-04-12

ความท้าทายของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยในภาคตะวันออก: ผลกระทบจากวิกฤตแรงงานกัมพูชา การแข่งขันจากเวียดนาม และการปรับตัวเชิงยุทธศาสตร์ด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ

ธนพร ตะละภัฏ[1] และสนอง เอกสิทธิ์[2*]

1 *หลักสูตรสหสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมผู้ประกอบการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

2 *หลักสูตรสหสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมผู้ประกอบการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*

* *Corresponding author. E-mail: sanong.e@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความวิชาการฉบับนี้มุ่งวิเคราะห์เจาะลึกถึงความท้าทายเชิงโครงสร้างที่สำคัญของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยในเขตพื้นที่ภาคตะวันออก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะวิกฤตการขาดแคลนแรงงานข้ามชาติชาวกัมพูชา การพึ่งพิงตลาดส่งออกจีนเพียงรายใหญ่อย่างเข้มข้น แรงกดดันจากมาตรการด้านสุขอนามัยพืช (SPS) ที่เข้มงวดขึ้น และการแข่งขันที่ทวีความรุนแรงจากประเทศเพื่อนบ้าน การวิเคราะห์นี้อาศัยการสังเคราะห์วรรณกรรมวิชาการในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งครอบคลุมประเด็นแรงงานเกษตรระหว่างประเทศ ความยืดหยุ่นของห่วงโซ่อุปทาน มาตรการทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษี (NTMs) เทคโนโลยีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ผ่าน Near-Infrared Spectroscopy (NIR) ตลอดจนการประยุกต์ใช้เกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) และ IoT ผลการศึกษาพบว่า ปัญหาที่เป็นรากเหง้าของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยไม่ได้เกิดจากปริมาณผลผลิตหรือการขาดตลาด แต่เกิดจาก "โครงสร้างการผลิตที่พึ่งพาทักษะแรงงานมนุษย์" ในสัดส่วนที่สูงเกินไป ทั้งในขั้นตอนการคัดกรองคุณภาพและการบริหารจัดการสวน การพึ่งพาเช่นนี้กลายเป็นจุดเปราะบางที่สำคัญเมื่อต้องเผชิญกับความผันผวนของแรงงานและข้อกำหนดทางการค้าสากลที่ต้องการการพิสูจน์คุณภาพด้วยหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ งานวิจัยด้าน NIR และการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการทำนายค่าเนื้อแห้งและคุณภาพภายในได้อย่างแม่นยำโดยไม่สร้างความเสียหายต่อผลผลิต ซึ่งสามารถทดแทนการประเมินด้วยประสบการณ์ส่วนบุคคลได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่นวัตกรรมโดรนและระบบเซนเซอร์จะช่วยลดภาระงานซ้ำซากและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรในระดับสวน บทความจึงได้นำเสนอกรอบยุทธศาสตร์เชิงรุกที่ผสานการใช้เทคโนโลยีตรวจสอบคุณภาพเข้ากับการจัดการสวนอัจฉริยะ พร้อมทั้งเสนอให้มีการลงทุนในรูปแบบทรัพยากรร่วม (Shared Resources) และการพัฒนาทักษะทุนมนุษย์เพื่อสร้างภูมิคุ้มกันต่อความเสี่ยงด้านแรงงานและการค้า นอกจากนี้ยังระบุถึงทิศทางการวิจัยที่จำเป็นต่อระดับนโยบาย ได้แก่ การจัดทำฐานข้อมูลสเปกตรัมทุเรียนแห่งชาติ การทดลองใช้ระบบในสภาพแวดล้อมโรงคัดบรรจุ (ล้ง) จริง และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินเปรียบเทียบกับต้นทุนแรงงาน การเปลี่ยนผ่านจากรูปแบบดั้งเดิมไปสู่ระบบที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลและวิทยาศาสตร์ จะเป็นกุญแจสำคัญในการยกระดับทุเรียนไทยสู่การเป็นต้นแบบอุตสาหกรรมผลไม้เขตร้อนที่มีมาตรฐานและความน่าเชื่อถือในระดับสากลอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: NIR, เกษตรอัจฉริยะ, ห่วงโซ่อุปทานทุเรียน, แรงงานข้ามชาติ

บทนำ

ทุเรียน (Durio zibethinus L.) ได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย สร้างรายได้มหาศาลทั้งในระดับประเทศและระดับครัวเรือนเกษตรกร โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกที่ประกอบด้วยจังหวัดจันทบุรี ระยอง และตราด ซึ่งมีสภาพภูมิศาสตร์ ดิน น้ำ องค์ความรู้การจัดการสวน และระบบการค้า/โลจิสติกส์ที่เอื้อต่อการผลิตทุเรียนคุณภาพสูงสำหรับการส่งออก โดยเฉพาะไปยังตลาดจีนที่เป็นตลาดหลักของการส่งออกทุเรียนไทยมากกว่า 70% ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมดในปีที่ผ่านมา (Bangkok Bank, 2024) โดยโครงสร้างความสำเร็จนี้ตั้งอยู่บนฐานที่เปราะบางอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการพึ่งพาแรงงานเกษตรข้ามชาติ โดยเฉพาะแรงงานจากกัมพูชา และการพึ่งพาตลาดส่งออกเพียงตลาดเดียวอย่างจีนในสัดส่วนสูงเกิน 90% ซึ่งทำให้ระบบการผลิตต้องเผชิญกับความเสี่ยงสูงต่อการเปลี่ยนแปลงด้านแรงงานและนโยบายการค้าระหว่างประเทศ (Richardson and Pettigrew, 2022; Reuters, 2025) อย่างไรก็ดี ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความเปลี่ยนแปลงในภูมิรัฐศาสตร์ชายแดนและนโยบายแรงงานได้เผยให้เห็นความเปราะบางของห่วงโซ่อุปทานทุเรียนอย่างชัดเจน โดยเฉพาะผลกระทบที่เกิดจากการขาดแรงงานจากกัมพูชาในช่วงฤดูการผลิต ทำให้เกิดปัญหาการเก็บเกี่ยว การคัดแยกคุณภาพ และความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของตลาดส่งออก (Bangkok Post, 2025; Thairath, 2025) โดยมีประเด็นการวิเคราะห์เชิงลึกถึงความท้าทายเชิงโครงสร้างที่สำคัญของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยในเขตพื้นที่ภาคตะวันออก ตามลำดับต่อไปนี้

โครงสร้างอุตสาหกรรมทุเรียนภาคตะวันออกและความเปราะบางเชิงโครงสร้าง

ห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมทุเรียนประกอบด้วย สวนทุเรียนของเกษตรกรรายย่อย แรงงานเก็บเกี่ยวและคัดเลือกผลผลิต (คัดฝาด/คัดเกรด) ล้งรับซื้อ ผู้ส่งออก โลจิสติกส์ข้ามแดน และตลาดค้าส่งในประเทศปลายทาง โดยเฉพาะจีน (Likhitpichitchai, Khermkhan and Kuhaswonvetch, 2023) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่เชื่อมโยงองค์ประกอบทั้งห่วงโซ่คือ “แรงงานทักษะ” ได้แก่ คนมีด คนรับผล และคนเคาะ ซึ่งเป็นทักษะเฉพาะที่ต้องใช้เวลาในการฝึกฝนและมีความสำคัญต่อการกำหนดคุณภาพของผลผลิต (Bangkok Post, 2025). แรงงานกลุ่มนี้มักเป็น Seasonal Migrants จากประเทศเพื่อนบ้าน โดยแรงงานกัมพูชามีสัดส่วนสูงถึง 70–80% ในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออก (Winrock International, 2023) โดยมีงานวิจัยเปรียบเทียบแรงงานเกษตรในระดับสากลพบว่าการพึ่งพาแรงงานข้ามชาติในภาคเกษตรเป็นเรื่องปกติในหลายประเทศ แต่แรงงานกลุ่มนี้เผชิญกับความเสี่ยงด้านสิทธิแรงงาน ความไม่แน่นอนของสถานะทางกฎหมาย และความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงนโยบายแรงงานของรัฐ (Richardson & Pettigrew, 2022) บ่งชี้ให้เห็นว่าการพึ่งพาแรงงานกัมพูชาในอุตสาหกรรมทุเรียนไทยจึงเป็นตัวอย่างหนึ่งของ “ความเปราะบางเชิงโครงสร้าง” ที่เกิดจากการรวมตัวกันของปัจจัยแรงงาน รูปแบบการจัดการแรงงาน และระบบนโยบายแรงงานที่ยังไม่เสถียรพอที่จะรองรับความผันผวนในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค (Winrock International, 2023; Reuters, 2025) มีประเด็นสำคัญควรพิจารณาดังนี้

วิกฤตแรงงานกัมพูชา 2568 กับปรากฏการณ์ Labor Supply Shock

ในช่วงกลางปี พ.ศ. 2568 เกิดสถานการณ์ความตึงเครียดระหว่าง ไทย–กัมพูชา ซึ่งนำไปสู่การ ปิดด่านชายแดนหลักหลายแห่ง ส่งผลให้แรงงานกัมพูชาที่เดินทางเข้ามาทำงานในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคเกษตรของภาคตะวันออกต้องตัดสินใจกลับประเทศอย่างฉับพลัน (2025 Cambodian–Thai border crisis, 2026) รายงานข่าวระบุว่าเหตุการณ์ทางชายแดนมีการปะทะและข้อจำกัดการเดินทาง ทำให้แรงงานนับแสนทั้งที่มีสถานะถูกกฎหมายและนอกระบบ กลับประเทศอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ภาคเกษตรไทยเผชิญ ขาดแคลนแรงงานอย่างเฉียบพลัน โดยเฉพาะในช่วงที่เป็นฤดูการเก็บเกี่ยวของพืชหลายชนิด รวมถึง ทุเรียน ซึ่งต้องการแรงงานจำนวนมากในช่วงเวลาสั้นๆ ของฤดูกาลเก็บเกี่ยว เหตุการณ์นี้เป็นตัวอย่างชัดเจนของ Labor Supply Shock ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของปริมาณแรงงานในตลาดแรงงานที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ส่งผลให้การจัดสรรแรงงานในระบบห่วงโซ่อุปทานเกษตรเกิดช่องว่างทันที เหตุการณ์แบบนี้ไม่ต่างจากภาวะที่งานวิจัยแรงงานข้ามชาติสะท้อนให้เห็นก่อนหน้านี้ ว่าแรงงานข้ามชาติมีบทบาทสำคัญในภาคเกษตรของไทย และเมื่อแรงงานเหล่านี้หายไป ตลาดแรงงานเกษตรจะเกิดการสะดุดทันที (Richardson & Pettigrew, 2022) ถึงแม้จะยังไม่มีการศึกษาเชิงปริมาณที่เฉพาะเจาะจงเรื่องแรงงานกัมพูชาในอุตสาหกรรมทุเรียนโดยตรงในฐานข้อมูลวิชาการต่างประเทศ แต่จาก ข้อมูลข่าวและรายงานภาคสนาม พบว่าการขาดแคลนแรงงานได้เริ่มทำให้เกษตรกรหลายรายเผชิญปัญหาการเก็บเกี่ยวทุเรียนในปีนั้น และมีแรงงานต้องใช้เวลามากขึ้นในการฝึกแรงงานท้องถิ่นที่มีทักษะไม่เพียงพอเพื่อทดแทนแรงงานเดิม ซึ่งเป็นต้นทุนสำคัญที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในระบบการผลิต (Bangkok Post, 2025; Thairath, 2025) ซึ่งรายงานเชิงนโยบายทั้งจากองค์กรภาคประชาสังคมยังสะท้อนให้เห็นว่า การขาดแคลนแรงงานข้ามชาติทำให้ภาคเกษตรในพื้นที่ชายแดนต้องร้องขอมาตรการพิเศษจากภาครัฐเพื่อแก้ปัญหาการไหลกลับของแรงงานทักษะและความท้าทายที่เกิดขึ้นต่อเศรษฐกิจทั้งระบบ ดังนี้

ผลกระทบเชิงลูกโซ่ต่อคุณภาพและความเชื่อมั่นตลาดจีน

การขาดแรงงานทักษะในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวส่งผลกระทบอย่างมากใน ห่วงโซ่อุปทาน ตั้งแต่จุดต้นทางในสวนไปจนถึงการคัดแยกและจัดเก็บที่ล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการคงคุณภาพและมาตรฐานสินค้าส่งออก โดยเฉพาะคุณภาพด้านความสุกและ Dry Matter ของทุเรียนที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค รวมถึงการผ่านมาตรฐานความปลอดภัยของจีน เมื่อแรงงานทักษะลดลง ส่งผลให้การ คัดเกรดและคัดฝาดมีข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้น เพิ่มโอกาสที่ผลผลิตที่ยังไม่ถึงมาตรฐานจะถูกส่งออกไป เช่น ทุเรียนอ่อนที่หากเข้าตลาดจีนจะถูกประเมินว่ามีคุณภาพต่ำกว่าที่ต้องการ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความเชื่อมั่นของตลาดจีนสั่นคลอน และอาจเสี่ยงต่อการถูกระงับการนำเข้าเพื่อคุมคุณภาพและความปลอดภัยของสินค้า โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่จีนได้ยกระดับมาตรการตรวจตราสารปนเปื้อนและมาตรฐาน GAP/GMP อย่างเข้มงวดมากขึ้น (Office of Agricultural Economics, 2026) ซึ่งจากรายงานของ Department of Internal Trade ยังระบุว่า ปัญหาการขาดแรงงานคัดเกรดทุเรียนจำเป็นต้องหาวิธีทดแทนแรงงานจะต้องฝึกแรงงานใหม่ซึ่งต้องใช้เวลาและทรัพยากร จึงอาจทำให้ผลผลิตทุเรียนที่ออกสู่ตลาดปีนั้นต้องเผชิญกับ ความเสี่ยงค่าคุณภาพต่ำและราคาตกในตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ (Thairath, 2025) ดังนั้น การขาดแคลนแรงงานในจุดวิกฤตนี้ไม่ได้เป็นเพียง

ปัญหาด้านแรงงานเท่านั้น แต่ยังส่งผลให้ ระบบวางแผนผลิตและการควบคุมคุณภาพในห่วงโซ่อุปทานทั้งหมดสะดุด ซึ่งเป็นปัญหาเชิงระบบที่ต้องการแก้ไขทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

การเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์การแข่งขัน: การขยายตัวของตลาดทุเรียนเวียดนาม

ในระดับภูมิภาค ตลาดทุเรียนสดสำหรับการส่งออกไปยังจีนเริ่มสะท้อนการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์การแข่งขัน โดยเวียดนามเป็นหนึ่งในประเทศที่กำลังขยายตัวอย่างรวดเร็วในตลาดนี้ งานวิจัยด้านการวิเคราะห์ศักยภาพการแข่งขันระหว่างไทยกับคู่แข่งอื่น ๆ ระบุว่า เวียดนามและมาเลเซียกำลังเพิ่มส่วนแบ่งตลาดในจีนอย่างต่อเนื่อง แม้ไทยจะยังคงมีสัดส่วนการส่งออกสูงที่สุดในช่วงหลายปีที่ผ่านมา (Likhitpichitchai, Khermkhan & Kuhaswonvetch, 2023) ดังตัวอย่างการขนส่งสินค้าทางถนนผ่านด่านชายแดนของจีนในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าทางถนนผ่านด่านชายแดนของจีน

ที่มา: Xinhua News Agency (2024), ภาพโดย Lu Boan (陆波岸)

และเนื่องจากเวียดนามมีพรมแดนติดจีน ขนส่ง 1–2 วัน ต้นทุนต่ำกว่า ~15% ผลิตนอกฤดูได้ดี และทำงานเชิงรุกกับมาตรฐาน SPS ทำให้ส่วนแบ่งตลาดจีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ไทยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จุดแข็งของเวียดนามที่มีผลต่อการแข่งขันคือ ระยะทางขนส่งที่สั้นกว่าเนื่องจากมีชายแดนติดกับจีน ซึ่งทำให้สามารถส่งออกทุเรียนสดได้อย่างรวดเร็วและมีต้นทุนโลจิสติกส์ต่ำกว่าไทยหลายเท่า ส่งผลให้ผู้ซื้อในตลาดจีนเริ่มให้ความสนใจและมองเห็นความต่อเนื่องของการส่งมอบตลอดทั้งปีมากขึ้นกว่าเดิม ขณะที่ไทยต้องเผชิญทั้งปัญหาการขาดแรงงานและความผันผวนด้านต้นทุนที่สูงขึ้นจากเหตุการณ์แรงงานและต้นทุนแรงงานที่แพงขึ้น (Likhitpichitchai, Khermkhan & Kuhaswonvetch, 2023) ในขณะเดียวกัน เวียดนามยังพยายาม พัฒนามาตรฐานความปลอดภัยและการจัดการคุณภาพสินค้าให้สอดคล้องกับมาตรฐาน SPS ของจีน ซึ่งช่วยสร้างความมั่นใจให้กับผู้ซื้อจีน ในขณะที่ไทยต้องเผชิญต้นทุนที่สูงขึ้นจากทั้งแรงงานและข้อจำกัดด้านการควบคุม

คุณภาพที่เกิดจากการขาดแรงงานทักษะ ทำให้ไทยอาจสูญเสียส่วนแบ่งตลาดในระยะยาวหากไม่สามารถปรับตัว (Likhitpichitchai, Khermkhan & Kuhaswonvetch, 2023)

กับดักการพึ่งพาตลาดจีน

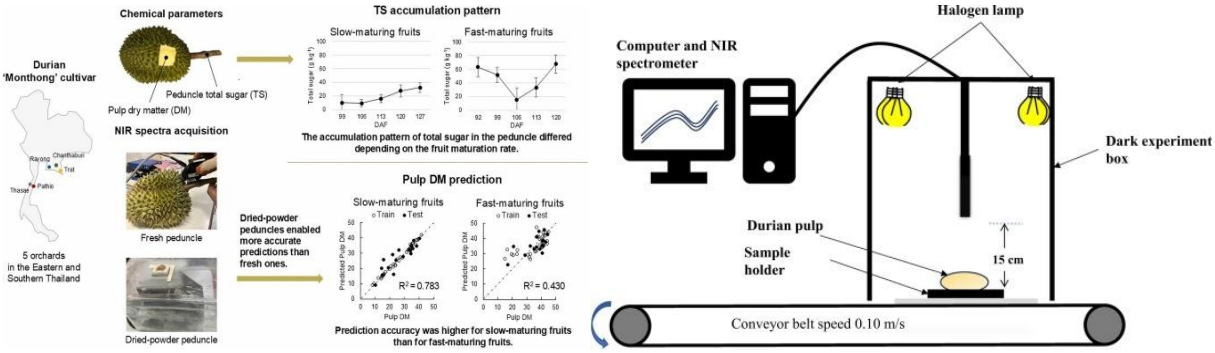
การพึ่งพาตลาดส่งออกเพียงตลาดใหญ่เดียว (China-centric export concentration) เป็นความเสี่ยงเชิงระบบสำหรับสินค้าเกษตรสดที่ต้องรักษาคุณภาพและเวลาส่งมอบ (time-sensitive fresh produce). หลักฐานเชิงวรรณกรรมแสดงอย่างชัดเจนว่าเมื่อผู้ส่งออกพึ่งพาตลาดเป้าหมายเพียงตลาดเดียว จะทำให้ความยืดหยุ่น (resilience) ของห่วงโซ่อุปทานลดลง และการเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบ (regulatory tightening), การตรวจสารตกค้าง, หรือเหตุการณ์เชิงนโยบาย (เช่นการเพิ่มมาตรการ SPS/COA, หรือมาตรการปิดพรมแดนชั่วคราว) จะมีผลกระทบทันทีกับราคาและปริมาณส่งออก (Shepotylo, 2016; Doan et al., 2023; Yuan, 2024) มีงานวิจัยที่วิเคราะห์ผลของมาตรการ SPS/TBT พบว่า SPS มักทำหน้าที่เป็น Non-Tariff Measure (NTM) ที่มีผลกระทบต่อการค้าได้มาก โดยเฉพาะสินค้าเกษตรสดซึ่งต้องผ่านการตรวจพิถีพิถัน (Tao et al., 2016; Akune, 2023). แปลเป็นบริบททุเรียน: เมื่อจีนเพิ่มความเข้มงวดในข้อกำหนด COA (Certificate of Analysis), สารตกค้าง, หรือเงื่อนไขการรับรองความปลอดภัยของอาหาร (เชิงเทคนิค) ผู้ส่งออกไทยที่พึ่งพาการคัดแยกด้วยแรงงาน (labour-intensive sorting) จะพบความเสี่ยงเพิ่มเพราะการควบคุมคุณภาพแบบ manual มีความแปรปรวนสูงกว่าเทคนิค NIR/Hyperspectral ที่ให้ข้อมูลเชิงปริมาณและตรวจจับได้อย่างสม่ำเสมอ (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023)

นอกจากนี้ การวิเคราะห์ Supply Chain Resilience ระบุว่าอุปสงค์/อุปทานที่มีความเข้มข้นกับคู่ค้ารายเดียว (market concentration) ส่งผลให้ chain vulnerability เพิ่มขึ้น และการกระจายช่องทางตลาด (market diversification) เป็นหนึ่งในมาตรการที่สำคัญเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการช็อกจากนโยบายต่างประเทศ (Roque Júnior et al., 2023; Yuan, 2024). สรุปคือ: ไทยที่พึ่งพาจีน >90% ในบางช่วงปี อยู่ในสถานะกับดักการพึ่งพาซึ่งทำให้ความเสี่ยงจาก SPS/COA และการเปลี่ยนแปลงนโยบายของจีนมีผลลบอย่างรุนแรงและรวดเร็วต่ออุตสาหกรรมทุเรียน โดยการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์การค้าจำนวนหนึ่งชี้ให้เห็นผลกระทบเชิงปริมาณของ NTM/SPS ต่อปริมาณและคุณภาพการส่งออก ซึ่งชี้แนวทางนโยบายสองแกนคือ (1) ปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพภายใน (internal quality control, traceability) และ (2) กระจายตลาดเพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาตลาดเดียว (Shepotylo, 2016; Doan et al., 2023)

เทคโนโลยี NDT/NIR: วิทยาศาสตร์ทดแทนทักษะมนุษย์

1. หลักการและศักยภาพของเทคโนโลยี Near-Infrared Spectroscopy (NIR) และเทคนิคภาพสเปกตรัม (vis-NIR, hyperspectral imaging) เป็นเทคโนโลยี non-destructive testing (NDT) ที่อ่านสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของเนื้อผลไม้ เพื่อประเมินคุณลักษณะภายในเช่น Dry Matter Content (DMC), Soluble Solids Content (SSC), ความชื้น และสารประกอบสำคัญอื่นๆ (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023). เทคนิคเหล่านี้เมื่อนำมาประยุกต์กับโมเดลเชิงสถิติหรือ deep learning จะสามารถทำนายค่า DMC/SSC ได้ด้วยความแม่นยำสูง (R^2 สูง และ RPD ที่น่าพอใจในหลายงาน) และทำงานได้แบบ ไม่ทำลาย ซึ่ง

เหมาะกับการคัดและจัดเกรดผลไม้สดเพื่อการส่งออก (Walsh, 2020; Fodor, 2024) เช่น แนวคิดและขั้นตอนการใช้ NIR บริเวณขั้วผลทุเรียนเพื่อทำนายค่า Dry Matter ของเนื้อผลแบบไม่ทำลาย ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวคิดและขั้นตอนการใช้ NIR บริเวณขั้วผลทุเรียนเพื่อทำนายค่า Dry Matter ของเนื้อผลแบบไม่ทำลาย
ที่มา: Imai et al. (2025)

2. หลักฐานจากงานวิจัย (รีวิวและงานทดลอง) เมื่อพิจารณาในเชิงระบบและงานวิจัยทดลองในช่วงปีหลัง ๆ สรุปตรงกันว่า NIR/Vis-NIR/Hyperspectral imaging ให้ผลการทำนายวัสดุภายในผลไม้ได้ดี และลดความผันแปรจากการประเมินแบบ subjective ของคนคัด (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023; Fodor, 2024) เช่น มีงานวิจัยล่าสุดที่ทดลองใช้ NIR กับผลไม้เขตร้อน (รวมถึงมะม่วง อโวคาโด มะพร้าวเชิงทดลอง ฯลฯ) แสดงประสิทธิภาพที่ดีและแนะให้พัฒนาโมเดล calibration ให้ครอบคลุมความหลากหลายของสายพันธุ์และสภาวะการเติบโต (Aline et al., 2023; Li et al., 2022) และ มีงานวิจัยเฉพาะที่ทดลองกับทุเรียนหรือผลไม้เขตร้อนขนาดใหญ่ (ตัวอย่างบทความในช่วงปีล่าสุดระบุการทดลอง NIR กับทุเรียน แนวโน้มผลเชิงบวกในการคาดการณ์ Dry Matter จาก peduncle/outer shell spectrum) ซึ่งแสดงว่าหลักการ NIR สามารถถ่ายโอนมาใช้กับทุเรียนได้จริง (Imai et al., 2025; Pitak et al., 2026)

3. ข้อจำกัดเชิงปฏิบัติการและการออกแบบการนำไปใช้ มีดังนี้

1) Calibration and transferability โดยโมเดล NIR ต้องการการเทรนบนตัวอย่างที่ครอบคลุมความแตกต่างทางพันธุ์/ฤดูกาล/พื้นที่ มิฉะนั้น accuracy จะตกเมื่อนำไปใช้ภาคสนาม (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023)

2) Sampling geometry & penetration สำหรับผลไม้ที่มีเปลือกหนาหรือหนาม (เช่นทุเรียน) การวัดสเปกตรัมต้องออกแบบตำแหน่งและเทคนิค (peduncle approach, probe positioning, or hyperspectral imaging of cut surfaces) เพื่อให้ได้สัญญาณที่สะท้อนคุณภาพภายในจริง (recent durian NIR trials; Imai et al., 2025)

3) Throughput & cost-effectiveness เครื่องมือสแตนด์-อโลนระดับห้องปฏิบัติการมีความแม่นยำสูงแต่ต้นทุนและความเร็วอาจไม่เหมาะกับล้งขนาดเล็ก ปัจจุบันความก้าวหน้าทำให้มีพกพา/handheld NIR และ inline conveyor NIR ที่ throughput สูงขึ้น (Walsh et al., 2020; Fodor, 2024)

4) Regulatory acceptance การยอมรับโดยผู้ซื้อ/ผู้ตรวจสอบ (importing country) ต้องมีกระบวนการพิสูจน์และมาตรฐาน (validation) แต่หลายงานเสนอว่าการใช้ NIR ช่วยเพิ่มความโปร่งใสและ traceability ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติตาม SPS ของจีน (Fodor, 2024; Aline et al., 2023)

4. สรุปเชิงเทคนิค-นโยบาย งานวิจัยระดับสากลสรุปว่าการนำ NIR/NDT มาใช้เชิงพาณิชย์ในห่วงโซ่ผลไม้สดสามารถ ลดข้อผิดพลาดจากการคัดโดยแรงงานมนุษย์ (subjectivity), เพิ่มสเถียรภาพของมาตรฐานคุณภาพ, และลดโอกาสการถูกปฏิเสธที่ชายแดน ซึ่งตรงกับความต้องการของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยที่กำลังเผชิญช็อกแรงงานและข้อกำหนดด้านคุณภาพที่เข้มงวดจากจีน (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023; Fodor, 2024)

Smart Farming และ IoT: ลดแรงงานในกระบวนการผลิต

1. แนวคิดและเทคโนโลยีหลัก Smart Farming ครอบคลุมระบบ IoT (soil moisture sensors, weather stations), automated irrigation (precision irrigation), drones (UAV) สำหรับ mapping/monitoring/spot-spraying, และระบบการจัดการข้อมูล เพื่อวางแผนการจัดการผลผลิตและลดการพึ่งพาแรงงาน manual (Guebsi et al., 2024; Yuan, 2024)

2. หลักฐานประสิทธิผล (ผลลัพธ์เชิงประจักษ์) การทบทวนงานวิจัยเชิงระบบระบุว่าโดรนที่ติดกล้อง multispectral/thermal ช่วยให้การตรวจจับความเครียดของพืช (water stress, nutrient deficiency, early disease) เป็นไปได้เร็วขึ้นและแม่นยำขึ้น ซึ่งนำไปสู่การลดการใช้สารและปรับการให้น้ำเป็นแบบ target-based (Guebsi et al., 2024) การทดลองในระดับฟาร์ม (case studies) พบว่า precision irrigation และ sensor-based scheduling สามารถลดการใช้น้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ และลดงานซ้ำซากที่ต้องใช้แรงงานมาก เช่นการรดน้ำด้วยมือ (Guebsi et al., 2024; Yuan, 2024) โครงการนำร่องในหลายประเทศแสดงว่า automation (รวมถึง robotic harvesters สำหรับผลไม้บางประเภท) และการใช้โดรน/เครื่องมือความแม่นยำสามารถลดต้นทุนแรงงานและเพิ่ม productivity ถึงระดับที่ธุรกิจขนาดกลาง-ใหญ่เห็นผลตอบแทนการลงทุน (Fieldwork/Robocrop ต้นแบบสำหรับเบอร์รี่/soft fruit งานสาธิต 2023–2024; Guebsi et al., 2024)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Smart Farming ในภาคเกษตร ได้แก่ ระบบให้น้ำและตรวจวัดแบบ IoT และการใช้โดรนพ่นสารทางการเกษตร

ที่มา: ภาพซ้ายดัดแปลงจาก Thongnim & Srinil (2025); ภาพขวาใช้ภาพถ่ายจริงจาก Ehlers (2025)



(a) Weather sensor. (b) Control circuit box. (c) Network gateway.

ภาพที่ **4** องค์ประกอบของระบบ **IoT** สำหรับสวนผลไม้ ได้แก่ เซนเซอร์สภาพอากาศ กล่องควบคุม และเกตเวย์เครือข่าย

ที่มา: ดัดแปลงจาก Thongnim & Srinil (2025)

3. ข้อจำกัดเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม ต้นทุนลงทุน (CAPEX): ฟาร์มขนาดเล็กอาจไม่มีทุนพอที่จะลงทุนใน IoT/โดรน/ระบบบริหารจัดการข้อมูล โดยต้องการการสนับสนุน/กลุ่มรวมทรัพยากร (co-ops / shared services) (Guebsi et al., 2024) ทักษะและการยอมรับของแรงงาน: แรงงานต้องได้รับการพัฒนาทักษะเพื่อบริหารระบบ (operator for drone, sensor maintenance) ซึ่งงานวิจัยชี้ว่าการฝึกอบรม (re-skilling) เป็นองค์ประกอบสำคัญของการเปลี่ยนผ่าน (Yuan, 2024) ข้อจำกัดด้านกฎระเบียบ: BVLOS (beyond visual line of sight) flight regulations, data privacy, และการรับรองมาตรฐานการใช้อุปกรณ์ทางการเกษตรบางชนิดยังเป็นอุปสรรค (Guebsi et al., 2024)

4. ผลสังเคราะห์ (สำหรับบริบททุเรียนไทย) งานวิจัยร่วมสมัยชี้ว่าการผสมผสานเทคโนโลยี NIR (สำหรับ quality-grading) เข้ากับ Smart Farming tools (sensor-based orchard management, drone surveillance, data analytics) จะช่วย ลดการพึ่งพาแรงงานทักษะที่หายไปได้ใน 2 ระดับ: (1) ลดแรงงานสำหรับงานซ้ำซาก (irrigation, spraying, mapping) และ (2) ลดความจำเป็นของแรงงานทักษะสำหรับการคัดเกรดด้วยการนำ NIR มาใช้ในล้ง/จุดคัดแยก (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023; Guebsi et al., 2024; Fodor, 2024) จากมุมมองต้นทุน-ผลตอบแทน (CBA) งานสังเคราะห์หลายชิ้นชี้ว่าระบบ Smart Farming + NIR จะคืนทุนได้ในช่วง 3–7 ปี (ขึ้นกับขนาดฟาร์มและการรวมกลุ่มการลงทุน) และจะเพิ่มความยืดหยุ่นต่อการช็อก (labor shocks, SPS shocks) เมื่อเทียบกับ business-as-usual ที่พึ่งพาแรงงาน manual เพียงอย่างเดียว (Yuan, 2024; Guebsi et al., 2024)

การเชื่อมโยงเชิงนโยบายและหลักฐานเชิงปฏิบัติ

จากงานวิจัยข้างต้นสามารถสังเคราะห์ข้อเสนอเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติได้เป็นชุดมาตรการที่สอดคล้องกับหลักฐาน ดังนี้

1. สนับสนุนการลงทุนกลุ่ม (shared infrastructure) บริการเช่า NIR-grading (NIR as a service) ในรูปแบบล้งรวม (packing-house shared services) เพื่อให้ฟาร์มขนาดเล็กสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีโดยไม่ต้องแบกรับ CAPEX เต็มจำนวน (Walsh et al., 2020; Fodor, 2024)

2. สร้างระบบมาตรฐานการทดสอบ-รับรอง (validation & traceability) พัฒนามาตรฐาน calibration และ validation protocols สำหรับ NIR กับทุเรียน (สายพันธุ์หลัก / ฤดูกาล / พื้นที่) เพื่อให้ผลการวัดยอมรับในตลาดจีน/ตลาดต่างประเทศ (Aline et al., 2023)

3. สนับสนุนการพัฒนาทักษะ (re-skilling) และกลไกการเงิน หลักสูตรปฏิบัติการสำหรับการใช้ NIR/โดรน/IoT และการสนับสนุนสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำสำหรับการลงทุนร่วม (Guebsi et al., 2024; Yuan, 2024)

4. กระจายตลาดและเพิ่มมูลค่า (market diversification & value-added) ลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาจีนโดยขยายตลาดไปยัง EU/ASEAN/ตลาดกลางตะวันออก รวมถึงผลไม้แปรรูป (value-added), และการสร้างตราสินค้าประเทศ (country branding) ที่ยึดมาตรฐานความปลอดภัย (Shepotylo, 2016; Doan et al., 2023)

5. สนับสนุนงานวิจัยภาคสนาม (R&D & pilots) ระดมทุนเพื่อโครงการทดลองเชิงพาณิชย์ (pilot commercial trials) ของ NIR สำหรับทุเรียน (peduncle vs shell measurement studies) และ integrated smart orchard management ที่ออกแบบสำหรับสวนทุเรียน (Walsh et al., 2020; Imai et al., 2025)

ความท้าทายของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยในภาคตะวันออก

อุตสาหกรรมทุเรียนไทยในภาคตะวันออกกำลังยืนอยู่บน “จุดเปลี่ยนเชิงประวัติศาสตร์” ที่ไม่อาจอธิบายได้ด้วยตรรกะการผลิตแบบเดิมอีกต่อไป โครงสร้างที่เคยทำให้อุตสาหกรรมเติบโตอย่างรวดเร็วแรงงานข้ามชาติทักษะสูงในฤดูเก็บเกี่ยว การคัดเกรดด้วยประสบการณ์มนุษย์ และการส่งออกไปยังตลาดจีนเป็นหลัก กำลังกลายเป็น จุดอ่อนเชิงระบบ เมื่อเผชิญทั้งความผันผวนของแรงงาน นโยบาย SPS/COA ที่เข้มงวดขึ้น และการแข่งขันจากประเทศเพื่อนบ้าน งานวิจัยในช่วง 4–10 ปีที่ผ่านมา แสดงภาพที่ชัดเจนว่า “ทางออก” ไม่ได้อยู่ที่การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า แต่คือการ เปลี่ยนโครงสร้างเทคโนโลยีและการจัดการทั้งระบบ โดยเฉพาะการนำ NIR/NDT, Hyperspectral, IoT, และ Smart Farming เข้ามาแทนบทบาทแรงงานทักษะ และยกระดับมาตรฐานคุณภาพให้สอดรับกับข้อกำหนดทางการค้าสมัยใหม่ (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023; Fodor, 2024; Guebsi et al., 2024; Yuan et al., 2024) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ภาพรวมความท้าทายเชิงโครงสร้างของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยภาคตะวันออก และทิศทางนโยบายสู่การยกระดับด้วยเทคโนโลยีสเปกตรัมและเกษตรอัจฉริยะ

ประเด็นวิกฤต	หลักฐานจากงานวิจัย	ช่องว่างที่พบ	ทิศทางวิจัยอนาคต	นัยเชิงนโยบาย
พึ่งพาแรงงานข้ามชาติแบบ Seasonal	แรงงานข้ามชาติคือแกนหลักภาคเกษตร แต่เปราะบางต่อช็อก (Richardson & Pettigrew, 2022)	ยังไม่มีระบบทดแทนทักษะมนุษย์	ทดลอง NIR แทนการเคาะ/คัด	ลงทุนเทคโนโลยีทดแทนแรงงาน

ประเด็นวิกฤต	หลักฐานจากงานวิจัย	ช่องว่างที่พบ	ทิศทางวิจัยอนาคต	นัยเชิงนโยบาย
พึ่งพาตลาดจีนสูง	SPS/NTM ส่งผลต่อการค้าสินค้าเกษตรสดทันที (Shepotylo, 2016)	QC แบบ manual ไม่สอดคล้องมาตรฐานใหม่	ระบบ QC เชิงสเปกตรัม + traceability	ยกระดับมาตรฐานด้วย NIR
ความผันผวนคุณภาพจาก human error	รีวิว NIR/Hyperspectral ชี้แม่นยำสูงกว่า (Walsh, 2020)	ยังไม่ถูกใช้เชิงพาณิชย์กับทุเรียนไทย	Pilot NIR peduncle/shell	สร้าง NIR service hub ระดับจังหวัด
ต้นทุนแรงงานสูงขึ้น	Automation/precision ลดต้นทุนระยะยาว (Guebsi, 2024)	ฟาร์มเล็กลงทุนเองไม่ได้	Shared service / co-op model	สนับสนุนเงินทุน/ภาษี
การจัดการสวนยังใช้แรงงานซ้ำซาก	IoT/Drone ลดงาน manual ได้จริง	ขาดทักษะและการยอมรับ	Smart orchard pilot	หลักสูตร reskilling

จากความท้าทายเชิงโครงสร้าง ดังกล่าว “จุดวิกฤต” ที่กำลังกดทับอุตสาหกรรมทุเรียนภาคตะวันออก โดยเชื่อมหลักฐานจากงานวิจัยสากลเข้ากับช่องว่างการประยุกต์ใช้จริงในบริบทไทย และแปลงเป็นทิศทางวิจัย–นโยบายที่นำไปปฏิบัติได้ เน้นการยกระดับจากการพึ่งพาทักษะมนุษย์และตลาดเดี่ยว ไปสู่ระบบคุณภาพที่ตรวจสอบได้ด้วยเทคโนโลยีสเปกตรัม (NIR/Hyperspectral) และเกษตรอัจฉริยะ (IoT/Smart orchard) เพื่อเพิ่มความสอดคล้องกับมาตรฐานการค้าสมัยใหม่ ลดความผันผวนเชิงแรงงาน และสร้างขีดความสามารถการแข่งขันระยะยาว

ข้อเสนอเชิงนโยบาย (Policy Proposals grounded in evidence)

จากการสังเคราะห์หลักฐานวิชาการทั้งหมด สามารถออกแบบข้อเสนอเชิงนโยบายได้เป็น 4 แกนหลัก ที่สัมพันธ์กันอย่างเป็นระบบ ดังนี้

1. นโยบายเทคโนโลยีคุณภาพผลผลิต: “NIR as National QC Standard” งานวิจัยจำนวนมากยืนยันว่า NIR/NDT และ Hyperspectral ให้ความแม่นยำสูงในการทำนาย Dry Matter, SSC และตัวชี้วัดคุณภาพผลไม้ (Walsh et al., 2020; Aline et al., 2023; Fodor, 2024) ซึ่งตรงกับปัญหา “มือเคาะ” ของทุเรียนไทยโดยตรง ซึ่งมีข้อเสนอแนะ คือ 1) จัดตั้ง NIR Grading Hub ในระดับจังหวัด (ล้งรวม) 2) พัฒนา ฐานข้อมูล spectral reference ทุเรียนไทย ร่วมกับมหาวิทยาลัย และ3) ผลักดันให้ผล NIR เป็นส่วนหนึ่งของเอกสาร QC/COA สำหรับส่งออกจีน

2. นโยบายลดการพึ่งพาแรงงานทักษะ: “Technology replaces tacit skill” งานด้านแรงงานเกษตรชี้ชัดว่าแรงงาน seasonal migrants คือจุดเปราะบางของระบบ (Richardson & Pettigrew, 2022) มี

ข้อเสนอแนะ คือ เปลี่ยนบทบาทแรงงานจาก “ผู้คัด” เป็น “ผู้ควบคุมเครื่องมือ” และหลักสูตร Reskilling Smart Farmer / NIR operator / Drone operator

3. นโยบาย Smart Orchard: “Precision replaces repetition” งานด้านโดรนและ IoT แสดงชัดว่าสามารถลดงานซ้ำซากและเพิ่มความแม่นยำ (Guebsi et al., 2024; Yuan et al., 2024) ข้อเสนอแนะ คือ สนับสนุนเงินลงทุน IoT irrigation / soil sensors / drone mapping และโมเดล equipment-as-a-service สำหรับสวนขนาดเล็ก

4. นโยบายความยืดหยุ่นการค้า: “Quality + Diversification” งาน NTMs/SPS ชี้ว่าการพึ่งตลาดเดียวคือความเสี่ยง (Shepotylo, 2016) โดยมีข้อเสนอแนะ คือ ใช้มาตรฐาน NIR/traceability เป็นจุดขายเปิดตลาด EU/ASEAN และผลักดันภาพลักษณ์ “Thai Durian = Scientifically Verified Quality”

จาก Business as Usual สู่ Tech-Driven Durian Industry

ภาพรวมของหลักฐานเชิงวิชาการที่ถูกบูรณาการเข้าด้วยกันตลอดบทความนี้ชี้ไปในทิศทางเดียวกันอย่างเด่นชัดว่า ความท้าทายที่แท้จริงของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยมิได้อยู่ที่ปริมาณผลผลิต มิได้อยู่ที่ศักยภาพของตลาด และมิได้อยู่ที่องค์ความรู้การทำสวนของเกษตรกร หากแต่อยู่ที่ “โครงสร้างการพึ่งพาแรงงานมนุษย์” ในระบบการผลิตและคัดคุณภาพ ที่กำลังสวนทางกับโลกการค้าเกษตรยุคใหม่ซึ่งขับเคลื่อนด้วยการวัดผลเชิงวิทยาศาสตร์และความแม่นยำของเครื่องมือ ในขณะเดียวกัน รูปแบบการดำเนินงานแบบเดิมที่ยึดถือกันมานาน คือการเคาะทุเรียนด้วยประสบการณ์ การจัดการสวนด้วยแรงงานจำนวนมาก การคัดเกรดด้วยสายตาและทักษะเฉพาะบุคคล และการส่งออกด้วยชื่อเสียงที่สั่งสมมาในอดีต วิธีคิดเช่นนี้เคยเพียงพอในยุคที่ตลาดยังเชื่อในความชำนาญของผู้ผลิต แต่ในบริบทการค้าปัจจุบันที่มาตรฐาน SPS และข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของอาหารถูกยกระดับอย่างเข้มงวด ความเชื่อมั่นไม่สามารถตั้งอยู่บน “ทักษะมนุษย์” เพียงอย่างเดียวได้อีกต่อไป ทิศทางใหม่ของอุตสาหกรรมเกษตรโลกกำลังเคลื่อนไปสู่การวัดด้วยสเปกตรัม การจัดการด้วยเซนเซอร์ การตัดสินใจด้วยข้อมูล และการสร้างความเชื่อมั่นด้วยหลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีอย่าง NIR, Hyperspectral, IoT และระบบ Smart Farming จึงไม่ใช่นวัตกรรมเสริม แต่กำลังกลายเป็น “โครงสร้างพื้นฐานใหม่” ของการผลิตอาหารคุณภาพสูงในตลาดโลก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สังเคราะห์หลักฐานงานวิจัยอธิบายความท้าทายเชิงโครงสร้างของอุตสาหกรรมทุเรียนไทย และทิศทางการปรับตัวด้วยเทคโนโลยีเกษตร

กลุ่มปัญหาในอุตสาหกรรมทุเรียน	งานวิจัยหลัก	ผลการศึกษาที่ค้นพบแล้ว (What we know)	ช่องว่างที่ยังไม่มีใครทำ (Gap)	สิ่งที่ควรเกิดขึ้นในบริบททุเรียนไทย
การพึ่งพาแรงงานข้ามชาติแบบ Seasonal	Richardson & Pettigrew (2022); Mortensen (2024); Jespersen et al.	ภาคเกษตรทั่วโลกพึ่งพาแรงงานข้ามชาติสูง และระบบ	ไม่มีงานใดศึกษา “แรงงานทักษะคัดผลไม้” และ	วิจัยผลกระทบการขาดแรงงานคัดทุเรียนต่อ

กลุ่มปัญหาในอุตสาหกรรมทุเรียน	งานวิจัยหลัก	ผลการศึกษาที่ค้นพบแล้ว (What we know)	ช่องว่างที่ยังไม่มีใครทำ (Gap)	สิ่งที่ควรเกิดขึ้นในบริบททุเรียนไทย
	(2022); Swift et al. (2024)	เปราะบางเมื่อเกิด border shock	ผลต่อคุณภาพสินค้า	คุณภาพและราคา
ความเสี่ยงจาก SPS / NTM / มาตรฐานการค้า	Shepotylo (2016); Doan et al. (2023); Zhang (2025)	SPS ส่งผลต่อคุณภาพและต้นทุนผู้ส่งออกโดยตรง โดยเฉพาะสินค้าเกษตรสด	ยังไม่มีงานเชื่อม SPS กับ “วิธีคัดคุณภาพแบบ manual”	พัฒนา QC เชิงวิทยาศาสตร์ด้วย NIR เพื่อรองรับ SPS
ความผันผวนคุณภาพจาก Human error	Walsh (2020); Aline (2023); Fodor (2024)	NIR / Hyperspectral แม่นยำกว่าการประเมินด้วยมนุษย์	ยังไม่ถูกทดลองเชิงพาณิชย์กับทุเรียนไทย	ทดลอง NIR ในล้งทุเรียนจริง
การใช้ NIR กับผลไม้จริง	Li et al. (2022); Imai et al. (2025); Park et al. (2025)	ใช้ทำนาย Dry Matter / SSC ได้แม่นยำแบบไม่ทำลาย	งานกับ “ทุเรียน” มีน้อยมาก และยังไม่ในบริบทล้ง	สร้าง spectral database ทุเรียนไทย
Smart Farming / IoT ลดแรงงาน	Guebsi (2024); Yuan (2024); Thongnim & Srinil (2025)	IoT, drone, sensor ลดงานซ้ำซาก เพิ่ม precision	ยังไม่มี smart orchard model สำหรับทุเรียน	ออกแบบ Smart Orchard สำหรับทุเรียนโดยเฉพาะ
Supply chain resilience	Roque Júnior (2023); Yuan (2024)	การกระจุกตัวตลาดและแรงงานทำให้ supply chain เปราะบาง	ยังไม่มี case study ทุเรียน	วิเคราะห์ resilience ของห่วงโซ่ทุเรียนไทย
การแข่งขันด้านคุณภาพกับประเทศอื่น	Likhitpichitchai et al. (2023)	เวียดนามเพิ่มส่วนแบ่งตลาดจากโลจิสติกส์และมาตรฐาน	ยังไม่เชื่อมกับเทคโนโลยีคัดคุณภาพ	ใช้ NIR เป็นจุดขายเชิงมาตรฐาน

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หากแต่ทำหน้าที่อธิบายโครงสร้างปัญหา ของอุตสาหกรรมทุเรียนไทย ออกมาให้เห็นอย่างเป็นระบบว่า ความท้าทายที่กำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบันวิกฤตแรงงานข้ามชาติ ความเข้มงวดของมาตรฐาน SPS/NTM ความผันผวนของคุณภาพจากการคัดด้วยมนุษย์ การแข่งขันจากเวียดนาม และความเปราะบางของห่วงโซ่อุปทานแท้จริงแล้วล้วนเชื่อมโยงกันด้วยแกนเดียว คือการพึ่งพาแรงงานมนุษย์ เป็นศูนย์กลางของการควบคุมคุณภาพและการจัดการระบบผลิต ในขณะที่หลักฐานจากงานวิจัยสากลชี้ชัดว่า ภาคเกษตรสมัยใหม่กำลังขยับเข้าสู่ยุคที่ความเชื่อมั่นของตลาดตั้งอยู่บนเครื่องมือวัดเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อมูล และระบบอัตโนมัติที่

ตรวจสอบซ้ำได้ ซึ่งสิ่งที่โดดเด่นจากการสังเคราะห์นี้คือ งานวิจัยทั่วโลกได้ให้คำตอบเกือบครบถ้วนแล้ว ทั้งในมิติแรงงานข้ามชาติ ความยืดหยุ่นของห่วงโซ่อุปทาน ผลกระทบของ SPS ต่อสินค้าเกษตรสด และศักยภาพของ NIR/IoT/Smart Farming ในการลดความแปรปรวนจากมนุษย์ แต่กลับยังไม่มีงานใดนำองค์ความรู้เหล่านี้มาบูรณาการในบริบททุเรียนไทย อย่างจริงจัง ช่องว่างดังกล่าวจึงมิใช่เพียงช่องว่างเชิงวิชาการ หากเป็นช่องว่างเชิงยุทธศาสตร์ของประเทศ ดังนั้น หากอุตสาหกรรมทุเรียนไทยยังคงดำเนินไปภายใต้รูปแบบเดิม ความเปราะบางจะยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นตามแรงกดดันจากภายนอก แต่หากสามารถนำบทเรียนจากงานวิจัยเหล่านี้มาปรับใช้ โดยเปลี่ยนศูนย์กลางจาก “ทักษะมนุษย์” ไปสู่ “เทคโนโลยีแม่นยำ” ผ่านการพัฒนา NIR grading ในล้ง อย่างไรก็ดี ยังมีช่องว่างวิจัยที่ยังไม่มีการศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของทุเรียนไทยดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ช่องว่างวิจัยที่ยังไม่มีการศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของทุเรียนไทย

ช่องว่างวิจัยสำคัญ	เหตุผลที่สำคัญมาก
ฐานข้อมูลสเปกตรัมทุเรียนไทย (spectral database)	เป็นรากฐานของ NIR grading เชิงพาณิชย์
ทดลอง NIR ที่ peduncle / shell ในล้งจริง	งาน Imai มีใน lab แต่ยังไม่มีใน packing house
วิเคราะห์ CBA: NIR vs ค่าแรงมือเคาะ	เป็นหลักฐานเชิงนโยบายที่ยังไม่มี
Smart Orchard Model สำหรับทุเรียน	ยังไม่มีต้นแบบในวรรณกรรมโลก
Resilience model ของห่วงโซ่ทุเรียน	เชื่อมแรงงาน + SPS + เทคโนโลยี

จากตารางดังกล่าว จะเห็นว่าในบริบทของทุเรียนไทยมีช่องว่างทางวิชาการที่สำคัญยังรอการศึกษาอย่างเป็นระบบ ได้แก่ การจัดทำฐานข้อมูลสเปกตรัมของทุเรียนไทยในระดับชาติ การทดสอบการใช้ NIR บริเวณขั้วผลหรือเปลือกผลในสภาพการทำงานจริงของล้ง การวิเคราะห์ต้นทุน-ประโยชน์ระหว่างการลงทุนเทคโนโลยีกับต้นทุนแรงงานที่เพิ่มสูงขึ้น และการออกแบบรูปแบบสวนทุเรียนอัจฉริยะที่เหมาะสมกับบริบทเกษตรกรไทย เมื่อพิจารณาจากหลักฐานเชิงวิชาการทั้งหมดเข้าด้วยกัน ภาพที่ปรากฏชัดคือ ความท้าทายที่แท้จริงของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยไม่ได้อยู่ที่ผลิตได้น้อย หรือตลาดไม่ต้องการ และไม่ได้อยู่ที่การที่เกษตรกรขาดความรู้ หากแต่อยู่ที่โครงสร้างการทำงานทั้งระบบที่ยังยึดโยงกับทักษะมนุษย์เป็นแกนกลาง ในขณะที่โลกการค้าเกษตรร่วมสมัยได้ขยับไปสู่ระบบที่สร้างความเชื่อมั่นด้วย การวัดผลเชิงวิทยาศาสตร์ ความแม่นยำของเครื่องมือ และหลักฐานข้อมูลที่ตรวจสอบได้

จากรูปแบบการดำเนินงานแบบดั้งเดิมเคาะทุเรียนด้วยประสบการณ์ คัดเกรดด้วยสายตา จัดการสวนด้วยแรงงานจำนวนมาก และส่งออกด้วยชื่อเสียงที่สั่งสมมาเคยเพียงพอในยุคที่มาตรฐานการค้าระหว่างประเทศยังไม่เข้มงวดนัก แต่เมื่อมาตรการ SPS/NTM และข้อกำหนดด้านความปลอดภัยอาหารถูกยกระดับ ความเชื่อมั่นของตลาดไม่อาจตั้งอยู่บน ความชำนาญของคน เพียงอย่างเดียวได้อีกต่อไป ระบบที่พึ่งพาแรงงานข้ามชาติแบบ seasonal ยิ่งเพิ่มความเปราะบาง เมื่อเกิดภาวะช็อกด้านแรงงาน ห่วงโซ่อุปทานทั้งระบบจึงสะดุดในทันที

ในขณะเดียวกัน จากงานวิจัยจากหลากหลายสาขาชี้ไปในทิศทางเดียวกันว่า เทคโนโลยีอย่าง NIR, Hyperspectral, IoT, โดรน และ Smart Farming ไม่ใช่เพียงนวัตกรรมเสริม แต่กำลังกลายเป็น โครงสร้าง

พื้นฐานใหม่ของการผลิตอาหารคุณภาพสูง ที่ตลาดโลกยอมรับ เพราะเทคโนโลยีเหล่านี้สามารถทดแทนความแปรปรวนจากมนุษย์ด้วยการวัดผลที่แม่นยำ ตรวจสอบซ้ำได้ และเชื่อมโยงกับระบบควบคุมคุณภาพที่สอดรับกับมาตรฐานการค้า การทบทวนงานวิจัยยังเผยให้เห็นช่องว่างสำคัญ ที่ยังไม่มีใครศึกษาในบริบททุเรียนไทยอย่างเป็นระบบ ไม่ว่าจะเป็นการสร้างฐานข้อมูลสเปกตรัมของทุเรียนไทย การทดลองใช้ NIR บริเวณขั้วผลหรือเปลือกผลในล้งจริง การวิเคราะห์ต้นทุน-ประโยชน์ระหว่างเทคโนโลยีกับต้นทุนแรงงาน และการออกแบบ Smart Orchard ที่เหมาะสมกับบริบทสวนทุเรียนในภาคตะวันออก ช่องว่างเหล่านี้ไม่ใช่เพียงประเด็นเชิงวิชาการ หากแต่เป็น กุญแจเชิงนโยบาย ที่สามารถกำหนดทิศทางอุตสาหกรรมทั้งระบบได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับปัจจัยแรงกดดันจากวิกฤตแรงงานข้ามชาติ การยกระดับมาตรฐาน SPS ของจีน และการแข่งขันจากเวียดนาม จะเห็นได้ว่าคำตอบมิได้กระจายอยู่คนละทิศ หากแต่บรรจบกันที่แนวคิดเดียว คือ การลดการพึ่งพามนุษย์ด้วยเทคโนโลยีแม่นยำ และยกระดับความเชื่อมั่นของคุณภาพผลผลิตด้วยหลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์

ดังนั้น หากประเทศไทยสามารถก้าวผ่านจากวิธีคิดแบบ Business as Usual ไปสู่การเป็น Tech-Driven Durian Industry ได้อย่างแท้จริง ทุเรียนไทยจะไม่เพียงรับมือกับวิกฤตแรงงานและการแข่งขันระดับภูมิภาคได้เท่านั้น แต่ยังสามารถยกระดับตนเองเป็นต้นแบบของอุตสาหกรรมผลไม้เขตร้อนที่สร้างความได้เปรียบทางการค้าด้วยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และข้อมูลที่ตรวจสอบได้ในระดับสากลอย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะจากการศึกษา

จากการศึกษาวิเคราะห์ดังกล่าวที่นำเสนอในเบื้องต้น มีประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณา ดังนี้

1. ควรเร่งจัดทำ ฐานข้อมูลสเปกตรัมทุเรียนไทยระดับชาติ ครอบคลุมสายพันธุ์ พื้นที่ปลูก และช่วงความสุก เพื่อเป็นรากฐานของการใช้ NIR/Hyperspectral เชิงพาณิชย์ในระบบคัดเกรด

2. ควรดำเนิน โครงการนำร่องติดตั้ง NIR ในล้งทุเรียนจริง ทั้งแบบวัดที่ขั้วผลและผ่านเปลือกผล เพื่อทดสอบความแม่นยำ ความเร็ว และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในสภาพการทำงานจริง

3. ควรศึกษาเชิงลึก ต้นทุน–ประโยชน์ (CBA) ระหว่างการลงทุนเทคโนโลยี NIR กับต้นทุนแรงงานคัดทุเรียน เพื่อสร้างหลักฐานเชิงนโยบายสำหรับการสนับสนุนภาครัฐ

4. ควรผลักดันให้ ผลการตรวจ NIR เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน QC/COA ที่สามารถเชื่อมโยงกับข้อกำหนด SPS ของประเทศคู่ค้า โดยเฉพาะจีน

5. ควรออกแบบและทดสอบ Smart Orchard Model สำหรับสวนทุเรียนภาคตะวันออก ที่ผสาน IoT, เซนเซอร์ดิน, ระบบน้ำอัจฉริยะ และโดรน เพื่อลดแรงงานซ้ำซากและเพิ่มความแม่นยำการจัดการ

6. ควรพัฒนา โมเดลการลงทุนแบบใช้ทรัพยากรร่วม (shared service / equipment-as-a-service) สำหรับเกษตรกรรายย่อยและล้งขนาดกลาง เพื่อให้เข้าถึงเทคโนโลยีได้จริง

7. ควรจัดทำ หลักสูตร Reskilling แรงงานท้องถิ่น จากผู้คัดผลไม้แบบดั้งเดิมไปสู่ผู้ควบคุมและดูแลระบบเทคโนโลยี

8. ควรวิจัยและพัฒนา Resilience Model ของห่วงโซ่อุปทานทุเรียนไทย ที่เชื่อมโยงปัจจัยแรงงาน มาตรฐานการค้า และเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน

9. ควรใช้เทคโนโลยีการคัดคุณภาพเชิงวิทยาศาสตร์เป็น จุดขายเชิงยุทธศาสตร์ เพื่อเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันกับประเทศคู่แข่ง เช่น เวียดนาม

10. ควรบูรณาการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัย หน่วยงานรัฐ ล้ง และเกษตรกร เพื่อสร้าง ระบบนิเวศนวัตกรรมทุเรียน (Durian Innovation Ecosystem) ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลและวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง

บทสรุป

องค์ความรู้ใหม่ที่สำคัญที่สุดของบทความนี้คือ การนำเสนอข้อเสนอเชิงวิพากษ์ที่ให้เปลี่ยนผ่านศูนย์กลางอำนาจควบคุมในห่วงโซ่อุปทานทุเรียนไทย จากเดิมที่ผูกติดอยู่กับความชำนาญเฉพาะตัวของแรงงานทักษะมนุษย์อาทิ การเคาะฟังเสียงหรือคัดด้วยสายตา ซึ่งมีความแปรปรวนสูงและสูญเสียได้ง่ายเมื่อเกิดภาวะช็อกทางพรมแดน ไปสู่โครงสร้างพื้นฐานใหม่ที่เรียกว่า "ระบบนิเวศที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลและวิทยาศาสตร์" (Data-Driven Ecosystem) การบูรณาการเทคโนโลยีสเปกตรัมอย่าง NIR เข้ากับระบบเกษตรอัจฉริยะ (IoT และ Drone) ไม่เพียงแต่ช่วยทดแทนแรงงานที่ขาดแคลน แต่ยังทำหน้าที่แปลงคุณภาพของผลผลิตให้กลายเป็น "ข้อมูลดิจิทัลที่ตรวจสอบซ้ำได้" (Verifiable Evidence) ซึ่งสอดรับกับความต้องการของตลาดยุคใหม่ที่มีข้อกำหนดด้านสุขอนามัยพืช (SPS) เข้มงวดขึ้น การเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างนี้คือปัจจัยชี้ขาดที่จะสร้าง ความยืดหยุ่น (Supply Chain Resilience) ช่วยให้อุตสาหกรรมสามารถทนทานต่อความผันผวนทางภูมิรัฐศาสตร์ การกีดกันทางการค้า หรือวิกฤตแรงงานในอนาคตได้อย่างยั่งยืน และจากการศึกษาวิเคราะห์บทความวิชาการเรื่อง "ความท้าทายของอุตสาหกรรมทุเรียนไทยในภาคตะวันออก: ผลกระทบจากวิกฤตแรงงานกัมพูชา การแข่งขันจากเวียดนาม และการปรับตัวเชิงยุทธศาสตร์ด้วยเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ" สามารถสรุปองค์ความรู้ใหม่และแนวทางการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมได้ดังอนาคตทุเรียนไทยจากทักษะมนุษย์สู่เทคโนโลยีแม่นยำในภาพที่ 5

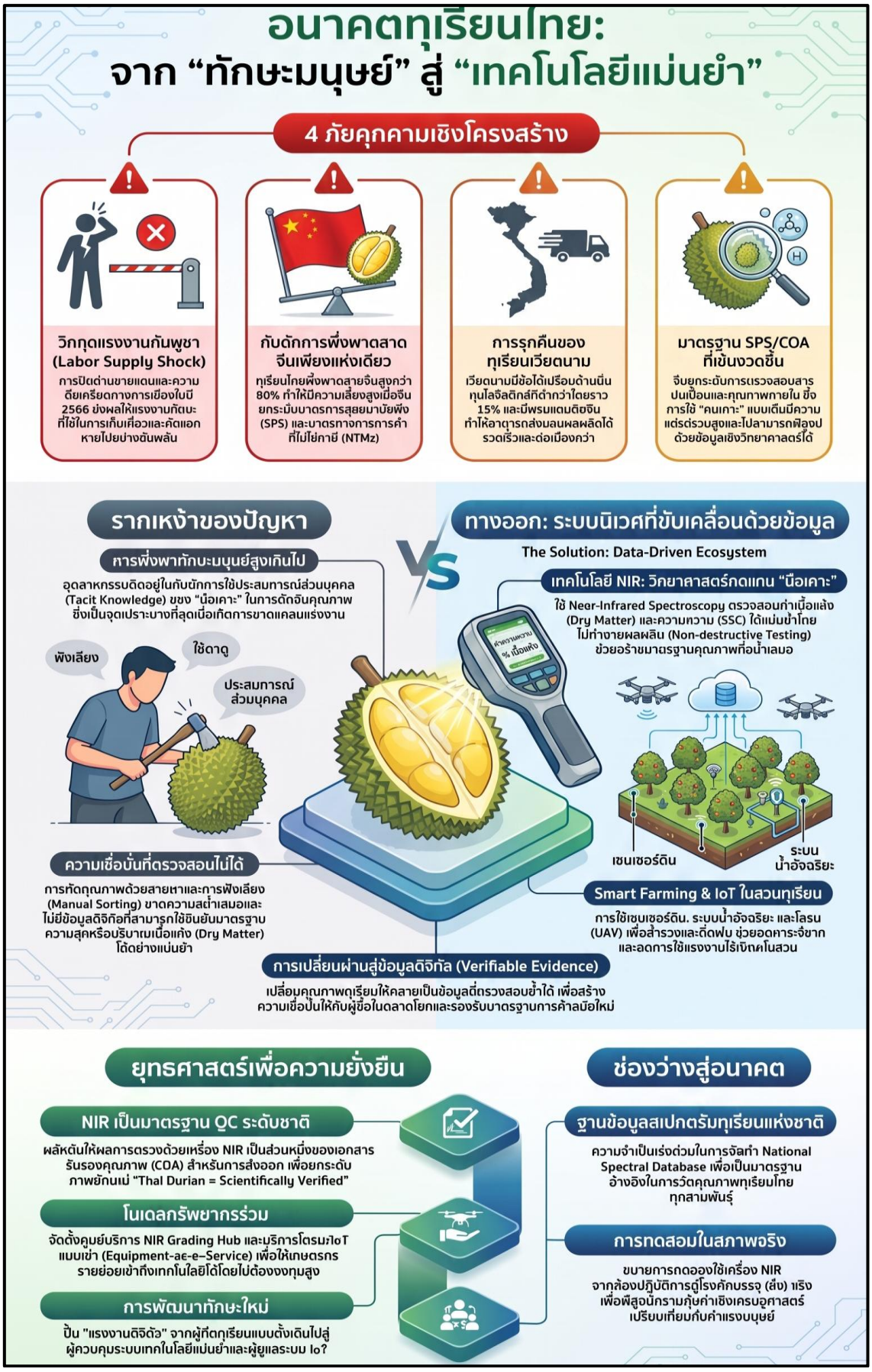
1. การระบุรากเหง้าของปัญหาเชิงโครงสร้าง การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าจุดเปราะบางที่แท้จริงของทุเรียนไทยไม่ใช่ปริมาณผลผลิตหรือการขาดแคลนตลาด แต่คือ "โครงสร้างการผลิตที่พึ่งพาทักษะแรงงานมนุษย์" สูงเกินไป ทั้งในการบริหารจัดการสวนและการคัดกรองคุณภาพ ซึ่งกลายเป็นความเสี่ยงเมื่อเกิดวิกฤตแรงงานข้ามชาติและมาตรการทางการค้าที่เข้มงวดขึ้น

2. การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบนิเวศที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven Ecosystem) บทความนำเสนอแนวคิดการเปลี่ยนจาก "ทักษะประสบการณ์ส่วนบุคคล" (เช่น การเคาะทุเรียน) ไปสู่การใช้ หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ตรวจสอบได้ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในระดับสากล

3. ศักยภาพของเทคโนโลยี NDT และ NIR: การใช้เทคโนโลยี Near-Infrared Spectroscopy (NIR) และภาพสเปกตรัม สามารถทำนายค่าเนื้อแห้ง (Dry Matter) และคุณภาพภายในได้แม่นยำโดยไม่ทำลายผลผลิต ซึ่งสามารถทดแทนการใช้แรงงานทักษะมนุษย์และลดความผิดพลาด (Human Error) ในการส่งออกทุเรียนอ่อนได้

4. การประยุกต์ใช้เกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming): การนำ IoT และโดรน มาใช้ช่วยลดภาระงานซ้ำซากในสวน เช่น การให้น้ำแม่นยำและการพ่นสารเคมี ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาแรงงานไร้ทักษะและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร

5. โมเดลการจัดการเชิงยุทธศาสตร์ใหม่ เสนอให้มีการลงทุนในรูปแบบ ทรัพยากรร่วม (Shared Resources) หรือ "NIR as a Service" เพื่อให้เกษตรกรรายย่อยเข้าถึงเทคโนโลยีได้โดยไม่ต้องแบกรับต้นทุนสูงเพียงลำพัง พร้อมกับการ Re-skilling แรงงานให้เป็นผู้ควบคุมเทคโนโลยีแทน



ภาพที่ 5 อนาคตทุเรียนไทยจากทักษะมนุษย์สู่เทคโนโลยีแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

เครือข่ายองค์กรด้านประชากรข้ามชาติ. (2569). *ข้อกังวลและข้อเสนอผลกระทบภาคเกษตรจากด่านชายแดนไทย–กัมพูชา*. https://mwgthailand.org/th/press/1751250512

Aline, U., Bhattacharya, T., Faqeerzada, M. A., Kim, M. S., Baek, I., & Cho, B.-K. (2023). Advancement of non-destructive spectral measurements for the quality of major tropical fruits and vegetables: A review. *Frontiers in Plant Science, 14*, Article 1240361. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1240361

Bangkok Bank Economic Research. (2024). *Thailand durian export report 2024: Economic impact and trade flows*. Bangkok Bank. https://www.bangkokbank.com/th-TH/-/media/a4be6005ca354249aed043ca228bba58.ashx?r=1

Cambodian–Thai border crisis. (2026, January). In *Wikipedia*. https://en.wikipedia.org/wiki/2025_Cambodian%E2%80%93Thai_border_crisis

Doan, H. T. T., Kim, K., & Ghodsi, M. (2023). *Divergence in non-tariff measures and the quality of traded products* (ERIA Discussion Paper No. DP-2023-02). Economic Research Institute for ASEAN and East Asia. https://ideas.repec.org/p/era/wpaper/dp-2023-02.html

Fodor, M., Kovács, Z., & Sipos, L. (2024). The role of near-infrared spectroscopy in food quality assurance: A review of the past two decades. *Foods, 13*(21), Article 3501. https://doi.org/10.3390/foods13213501

Guebsi, R., Mami, S., & Chokmani, K. (2024). Drones in precision agriculture: A comprehensive review of applications, technologies, and challenges. *Drones, 8*(11), Article 686. https://doi.org/10.3390/drones8110686

Imai, M., Sangsoy, K., Blasco, J., Kittiwachana, S., Rittiron, R., Chaiwong, S., Munera, S., Arwatchananukul, S., Saengrayap, R., Lerslerwong, L., Mahajan, P., Di, W., & Luengwilai, K. (2025). Enhancing dry matter prediction in durian using peduncle-based NIR spectroscopy across maturation rates. *Postharvest Biology and Technology, 230*, Article 113773. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2025.113773

Jespersen, S., Sok, S., & Chan, S. (2022). *Labour migration in Cambodia, Laos, Thailand and Vietnam: Thematic brief*. ODI. https://odi.org/documents/8422/Thematic_brief_4_FINAL_MR.pdf

Li, M., Pullanagari, R. R., Yule, I. J., & East, A. (2022). Segregation of 'Hayward' kiwifruit for storage potential using Vis-NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology, 189*, Article 111893. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111893

Likhitpichitchai, P., Khermkhan, J., & Kuhaswonvetch, S. (2023). The competitiveness of Thai durian export to China's market. *GMSARN International Journal, 17*(4), 371–378. https://gmsarnjournal.com/home/wp-content/uploads/2023/03/vol17no4-3.pdf

Mortensen, S. (2024). Rightless rurality: The illegalization of Myanmar migrant labour in Thailand. *The Journal of Peasant Studies*. https://doi.org/10.1080/03066150.2024.2340648

Office of Agricultural Economics. (2026). *Thailand durian export quality and safety compliance report*. https://www.nationthailand.com/business/trade/40060853

Park, H., Eo, H. J., Kim, C.-W., Stewart, J. E., Lee, U., & Lee, J. (2025). Soluble solids content-based fruit maturity affects postharvest fruit quality by mediating metabolic alterations in cold-stored 'Autumn Sense' hardy kiwifruit. *Food Chemistry: X, 32*, Article 103373. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103373

Reuters. (2025, August 19). *Thailand turning to Sri Lankan workers to cope with Cambodian worker exodus, official says*. https://www.reuters.com/world/asia-pacific/thailand-turning-sri-lankan-workers-cope-with-cambodian-exodus-official-says-2025-08-19/

Richardson, L., & Pettigrew, R. N. (2022). Migrant agricultural workers: A comparative analysis of policies and COVID-19 responses in Thailand, Italy, and Canada. *SN Social Sciences, 2*, Article 236. https://doi.org/10.1007/s43545-022-00548-9

Roque Júnior, L. C., Frederico, G. F., & Costa, M. L. N. (2023). Maturity and resilience in supply chains: A systematic review of the literature. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management, 5*(1), 1–25. https://doi.org/10.1108/IJIEOM-08-2022-0035

Shepotylo, O. (2016). Effect of non-tariff measures on extensive and intensive margins of exports in seafood trade. *Marine Policy, 68*, 47–54. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.02.014

Swift, P., Htoo, S. E., Klay, S. M., & Rueff, H. (2024). COVID-19 migrant returnees, access to land, and subsistence under uncertain times in Karen State, Myanmar. *Land Use Policy, 146*, Article 107293. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107293

Thairath. (2025). *Labour shortages and durian production risk*. https://en.thairath.co.th/news/governmentpolicy/2910851

Thongnim, P., & Srinil, P. (2025). Smart farming solutions for durian cultivation using IoT and chatbot integration for precision agriculture. *Discover Internet of Things, 5*, Article 227. https://doi.org/10.1007/s43926-025-00227-0

Walsh, K. B., McGlone, V. A., & Han, D. H. (2020). The uses of near infra-red spectroscopy in postharvest decision support: A review. *Postharvest Biology and Technology, 163*, Article 111139. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111139

Winrock International. (2023). *Cambodian seasonal migrant workers in Thailand: Policy and practices*. https://winrock.org/wp-content/uploads/2023/07/Asia-CTIP-Cam-Tha-Seasonsal-Migration-Research.pdf

Xinhua News Agency. (2024, August 27). 友谊关见闻 [Scenes at Friendship Pass]. *Xinhuanet*. https://www.news.cn/20240827/ddd9b0b10f144d0b8cbdc351c0833452/c.html

Yuan, M., Hu, H., Xue, M., & Li, J. (2024). Framework for resilience strategies in agricultural supply chain: Assessment in the era of climate change. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*, Article 1444910. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1444910

Zhang, R., & Zhang, X. (2025). Substitution effects between agricultural tariffs and SPS measures: Evidence from the structural characteristics of measures. *Sustainability, 17*(17), 7933. https://doi.org/10.3390/su17177933