

RFID ในบรรจุภัณฑ์อาหาร: เทคโนโลยีอัจฉริยะที่ช่วยยกระดับความปลอดภัยและลดขยะอาหาร (RFID in Food Packaging: Smart Technology Enhancing Food Safety and Reducing Food Waste)

ในยุคอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง หรือ IoT บรรจุภัณฑ์ไม่ได้เป็นเพียงภาชนะสำหรับห่อหุ้มหรือเก็บรักษาสินค้าเท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการส่งต่อข้อมูลระหว่างผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และผู้บริโภค โดยเฉพาะในสินค้าอาหารที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับความสด คุณภาพ และความปลอดภัยมากขึ้น

แม้ว่าบรรจุภัณฑ์แบบเดิมจะมีบทบาทสำคัญต่อห่วงโซ่อุปทานอาหารมาโดยตลอด แต่ก็เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการในปัจจุบัน ทั้งในด้านการลดการใช้วัตถุดิบเสีย การปฏิบัติตามข้อกำหนดด้านกฎหมาย การแข่งขันในตลาดโลก และการรับมือกับปัญหาอาหารสูญเสียและอาหารเหลือทิ้ง จึงเกิดการพัฒนารูปแบบบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะที่สามารถตรวจสอบและสื่อสารข้อมูลของสินค้าได้ดียิ่งขึ้น

หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมคือ RFID หรือระบบระบุข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ เมื่อผสมผสานเข้ากับเซนเซอร์ บรรจุภัณฑ์จะสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวภาพ หรือกายภาพของอาหาร และแปลงผลเป็นข้อมูลที่วัดได้ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และก๊าซต่างๆ ทำให้ติดตามสภาพอาหารได้แม่นยำขึ้น เทคโนโลยีนี้ยังช่วยป้องกันการโจรกรรม คัดกรองแบคทีเรีย และสนับสนุนการควบคุมคุณภาพตลอดห่วงโซ่อุปทาน

RFID ร่วมกับเซนเซอร์สามารถทำงานได้ 2 แนวทางหลัก คือ ใช้เซนเซอร์ดิจิทัลที่ติดตั้งอยู่ภายในหรือภายนอกชิป RFID หรือใช้วัสดุไวต่อการเปลี่ยนแปลงเคลือบบนเสาอากาศของแท็ก เพื่อให้แท็กตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป วิธีนี้ช่วยให้บรรจุภัณฑ์อาหารทำหน้าที่เสมือนฐานข้อมูลขนาดย่อม ที่เก็บและส่งข้อมูลสำคัญของสินค้าได้อย่างต่อเนื่อง

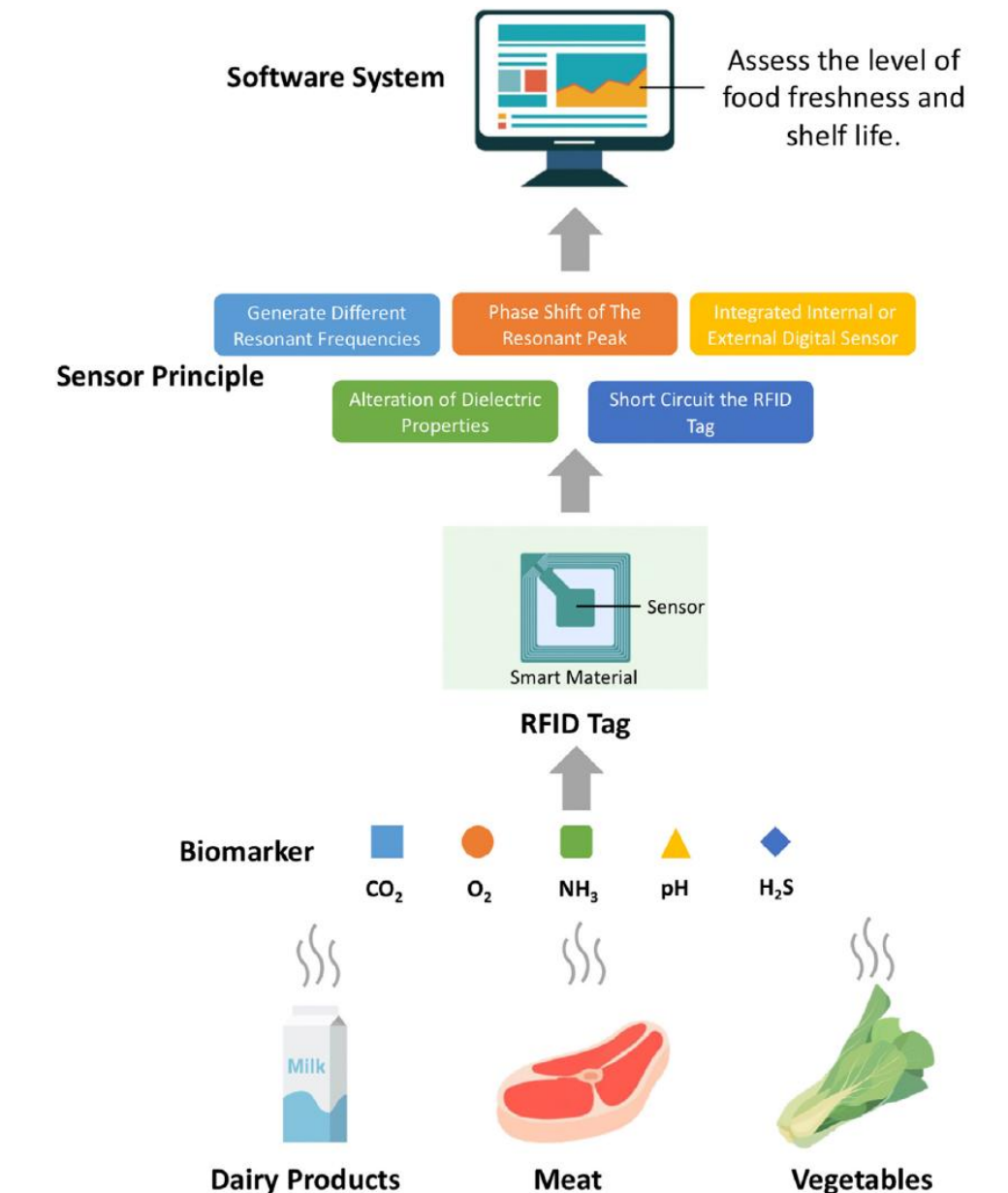
บทบาทสำคัญของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ RFID คือการช่วยลดขยะอาหาร ซึ่งพบมากในอาหารที่เน่าเสียง่าย เช่น เนื้อสัตว์ ผัก และผลิตภัณฑ์นม ความสดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจบริโภคอาหาร โดยในเนื้อสัตว์มักใช้สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์และแอมโมเนีย เป็นตัวบ่งชี้ความสด ส่วนผลิตภัณฑ์นมและผักนิยมประเมินจากค่า pH รวมถึงระดับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในบรรจุภัณฑ์ เมื่อ RFID ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ เหล่านี้ได้ ก็จะช่วยให้จัดการอาหารที่เน่าเสียได้ง่ายมีประสิทธิภาพขึ้น และลดการทิ้งอาหารโดยไม่จำเป็น

นอกจากนี้ RFID ยังช่วยลดความสูญเสียในห่วงโซ่อุปทานได้หลายด้าน เช่น การแบ่งปันข้อมูลระหว่างหน่วยงาน การเรียกคืนสินค้า การควบคุมอายุสินค้า การบริหารสินค้าคงคลัง และการติดตามความผิดพลาดระหว่างขนส่ง เพราะระบบสามารถตรวจสอบย้อนกลับสินค้าและส่งข้อมูลได้แบบต่อเนื่อง รวมทั้งเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ที่วัดอุณหภูมิ ความชื้น และค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอาหาร

จากรูป แสดงให้เห็นลำดับการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้ประเมินความสดของอาหาร เริ่มจากอาหารแต่ละประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อสัตว์ และผัก ซึ่งระหว่างการเก็บรักษาจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของตัวบ่งชี้สำคัญบางชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ CO₂, ออกซิเจน O₂, แอมโมเนีย NH₃, ความเป็นกรด-ด่าง pH และไฮโดรเจนซัลไฟด์ H₂S เมื่อค่าของสารเหล่านี้เปลี่ยนไป วัสดุอัจฉริยะหรือเซนเซอร์ที่ติดอยู่บน RFID tag ก็จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทันที

ตัวอย่าง เช่น ในกรณีของเนื้อสัตว์ อาจติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และแอมโมเนียร่วมกับ RFID tag เพื่อใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับความสดของอาหาร ข้อมูลที่ตรวจวัดได้สามารถนำมาใช้ประเมินระดับความสดของเนื้อสัตว์ได้ เช่น สดมาก ปานกลาง เริ่มเสื่อมคุณภาพ หรือเน่าเสีย ซึ่งช่วยให้ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และผู้บริโภคสามารถตัดสินใจได้แม่นยำขึ้นว่าอาหารยังเหมาะสมต่อการจำหน่ายหรือบริโภคหรือไม่

การตอบสนองของเซนเซอร์จะส่งผลต่อสมบัติของแท็กในหลายรูปแบบ เช่น ทำให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนไป จุดสูงสุดของสัญญาณเลื่อนตำแหน่ง หรือทำให้คุณสมบัติทางไดอิเล็กทริกเปลี่ยนแปลงไป ในบางระบบอาจใช้เซนเซอร์ดิจิทัลที่ติดตั้งอยู่ภายในหรือภายนอกแท็กโดยตรง จากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งต่อไปยังระบบซอฟต์แวร์เพื่อวิเคราะห์และประเมินระดับความสดรวมถึงอายุการเก็บรักษาของอาหาร ดังนั้น RFID tag จึงทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำคัญในการ “รับรู้การเปลี่ยนแปลง แปลงเป็นสัญญาณ และส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบวิเคราะห์” เพื่อช่วยให้การตรวจสอบคุณภาพอาหารทำได้รวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 1 กระบวนการหลักของระบบบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อประเมินความสดของอาหาร
(อ้างอิงจาก J. Zuo และคณะ, Future Foods 6 (2022) e100198)

ในกรณีของผัก ก็สามารถใช้หลักการเดียวกันในการติดตามความสดได้ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากผักยังคงมีการหายใจหลังการเก็บเกี่ยว จึงมีการใช้ O_2 และปล่อย CO_2 ออกมาอย่างต่อเนื่อง หากระดับของก๊าซทั้งสองชนิดเปลี่ยนแปลงไป ก็อาจสะท้อนว่าความสดของผักลดลงได้ ดังนั้นจึงอาจติดตั้ง RFID tag ที่รวมเซนเซอร์ตรวจวัดออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ เพื่อช่วยติดตามคุณภาพของผักระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง

เทคโนโลยี RFID มีบทบาทสำคัญในการลดขยะอาหาร เพราะช่วยอัปเดตข้อมูลคุณภาพสินค้าได้อย่างใกล้เคียงเวลาจริงตลอดห่วงโซ่อุปทาน ทำให้ลดความผิดพลาดในการจัดเก็บ ขนส่ง ควบคุมอายุสินค้า และบริหารสินค้าคงคลัง ส่งผลให้ลดทั้งอาหารหมดอายุคงค้างและการสูญเสียอาหารที่ยังบริโภคได้

ที่มาของข้อมูล

1. Zuo, J., Feng, J., Gameiro, M.G., Tian, Y., Liang, J., Wang, Y., Ding, J., He, Q. (2022), RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Future Foods*, 6: e100198. (<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100198>)