บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการวิจัยอย่างถูกต้อง จำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องหลายด้าน ได้แก่ ลักษณะของของนมพาสเจอร์ไรส์ การเน่าเสียของนม คุณสมบัติไดอิเล็กตริก และโครงข่ายประสาทเทียม รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

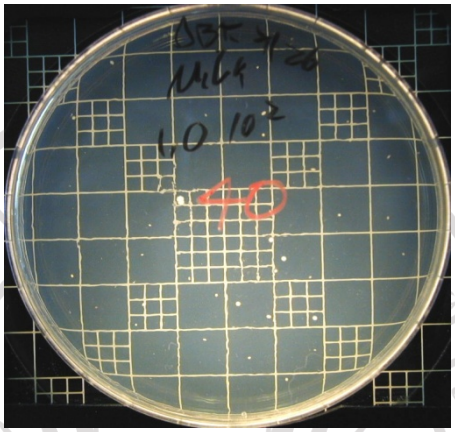
นมพาสเจอร์ไรส์

นมชนิดพาสเจอร์ไรส์ เป็นนมที่เน่าเสียได้ง่ายหากไม่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป. ก) แม้ว่านมชนิดนี้จะเสียง่ายแต่นมพาสเจอร์ไรส์เป็นนมที่มีคุณค่าทางอาหารสูงสุด เนื่องจากวิธีการพาสเจอไรส์ (Pasteurization) เป็นกระบวนการที่ช่วยทำลายเชื้อจุลินทรีย์อันตรายก่อโรค (Pathogen) ทุกชนิดกับเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และเพื่อควบคุมจุลินทรีย์ไม่ก่อโรคที่ทำให้อาหารเน่าเสียไม่ให้เพิ่มจำนวนจึงต้องเก็บรักษาไว้ในความเย็น และต้องบริโภคให้หมดภายใน 3 วัน - 1 สัปดาห์ หลังเปิดใช้ นักวิจัยระบุว่าการพาสเจอร์ไรส์เป็นวิธีที่ยังคงคุณค่าของสารอาหารรวมถึงรสชาติความสดใหม่ของอาหารไว้ตามธรรมชาติได้ที่สุด (เอฟแอนด์ เอ็นแดริ่ส์, 2559) การเสื่อมเสียของนมเกิดจากจุลินทรีย์ในนมซึ่งมีอยู่หลายลักษณะ เช่น เกิดรสเปรี้ยว เกิดลิ่มนมหวาน เหนียวข้น และเป็นเมือก เป็นต้น โดยลักษณะการเสื่อมเสียที่สังเกตได้ชัดเจน คือ การเกิดรสเปรี้ยว ซึ่งในน้ำนมวัวในธรรมชาติเป็นกรดเล็กน้อยหรือที่ระดับค่อนข้างเป็นกลาง คือที่ pH 6.6-6.8 ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม ที่สร้างกรดแล็กติก (lactic acid bacteria) ได้แก่ Lactobacillus Streptococcus Lactococcus Leuconostoc โดยการหมักน้ำตาลแล็กโทสให้ได้กรดแลกติก (lactic acid fermentation) และกรดอินทรีย์อื่น

วิธีการตรวจสอบคุณภาพของนมที่มีความแม่นยำและนิยมใช้คือ การตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ม.ป.ป. ข) ซึ่งวิธีการนี้ต้องทำในห้องปฏิบัติการและใช้เวลาในการทดสอบนาน เช่น วิธีตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐานที่เรียกว่า Standard plate count (SPC) หรืออาจเรียกว่า Aerobic plate count (APC) หรือ Total viable count (TVA) หรือปริมาณจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดที่นิยมใช้สำหรับการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ (Microbial population count) ที่มีชีวิตอยู่ในวัตถุดิบ เช่น การตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบ ผลิตภัณฑ์อาหาร สิ่งแวดล้อม บริเวณที่ผลิตอาหาร พื้นผิวสัมผัสอาหาร (Food contact surface) น้ำ อากาศ วิธีการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน มีขั้นตอนดังนี้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ (Nutrient agar) ในจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish)
2. ในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบฟิมส์แห้ง (Compact dry plate)



ภาพที่ 2.1 ค่าที่ได้จากการตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐานในนม
ที่มา: (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป. ง)

การตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน เป็นการนับปริมาณโคโลนี (Colony) มีหน่วยเป็น cfu (Colony forming unit) ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า หรือมองเห็นด้วยแว่นขยาย ดังภาพที่ 2.1 ซึ่งมาจากเซลล์ของจุลินทรีย์จะถูกตรึงอยู่กับที่ เจริญและแบ่งตัวจากเซลล์เดียวเป็นหลายเซลล์อยู่บนอาหารเลี้ยงเชื้อ

กระบวนการเน่าเสียของนม

การเน่าเสียของนมพาสเจอร์ไรส์มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในนม ซึ่งจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสมด้วยวิธีการแบ่งตัวแบบทวิภาค (Binary fission) คือ จาก 1 เป็น 2 เซลล์ จุลินทรีย์เหล่านี้ทำการย่อยโปรตีนที่อยู่ในนมซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพหรือการเน่าเสียของนม ลักษณะการเน่าเสียทางกายภาพของนมที่เกิดจากจุลินทรีย์มีหลายลักษณะ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์, ม.ป.ป. ค) ขึ้นอยู่กับประเภทของแบคทีเรีย ดังนี้

1) เกิดรสเปรี้ยว (Souring) เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำนมลดลง เกิดรสเปรี้ยว และเกิดลิ่มนม (Curd) แยกชั้น เนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation)

2) เกิดลิ่มนมหวาน (Sweet curdling) เนื่องจากค่าพีเอชของน้ำนมเพิ่มขึ้น (น้ำนมเป็นด่าง) ไม่มีรสเปรี้ยว เกิดลิ่มนมแยกชั้น เนื่องจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3) เกิดแก๊ส เนื่องจากมีการผลิตแก๊ส (Gas production) ปุดเป็นฟอง

4) เป็นเมือก (Ropiness) คือลักษณะนมเหนียวข้นเป็นเมือก (Slimy) เป็นยาง (Stringy)

5) เปลี่ยนเป็นสีแดง (Red rot) เนื่องจากแบคทีเรียสร้างรงควัตถุสีแดง ทำให้นมเปลี่ยนสี

6) เปลี่ยนเป็นสีเทา (Gray rot) และนมมีกลิ่นเหม็นเน่า

7) เกิดเชื้อราเจริญที่ผิวหน้าของน้ำนม (Dairy mould)

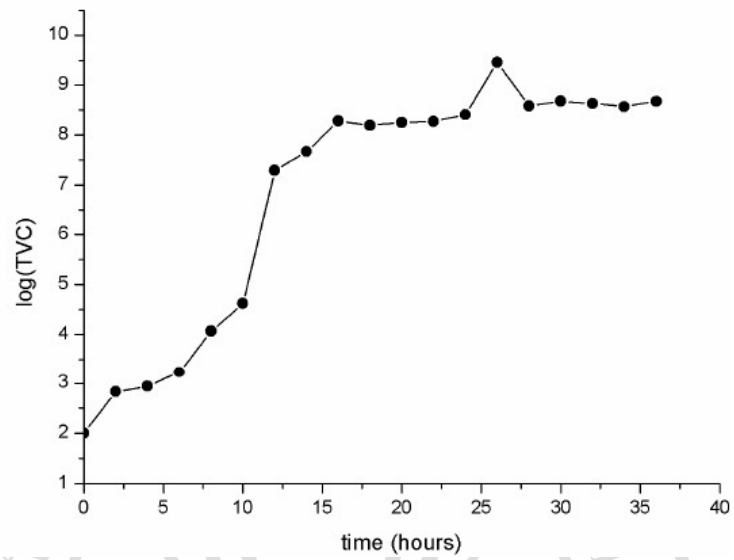
8) กลิ่นหืน เนื่องจากเอนไซม์ลิเพสที่จุลินทรีย์สร้าง ไปเร่งการย่อยสลายไขมันนม ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้โมเลกุลของไตรกลีเซอร์ไรด์ (Triglyceride) สลายตัว เป็นกลีเซอรอล และกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acid) กรดบิวทีริก (Butyric acid) ซึ่งทำให้น้ำนมมีกลิ่นผิดปกติ

1. ค่าพีเอชของนม

ลักษณะการเสื่อมเสียที่สังเกตได้ชัดเจน คือ การเกิดรสเปรี้ยว ซึ่งในน้ำนมวัวในธรรมชาติเป็นกรดเล็กน้อยหรือที่ระดับค่อนข้างเป็นกลางคือ ที่ค่าพีเอช (pH) 6.6-6.8 เนื่องจากองค์ประกอบ เช่น เคซีน (casein), Albumin, Globulin นมที่เน่าเสียเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม ที่สร้างกรดแล็กติก (Lactic acid bacteria) ได้แก่ Lactobacillus Streptococcus Lactococcus Leuconostoc โดยการหมักน้ำตาลแล็กโทสให้ได้กรดแลกติก (lactic acid fermentation) และกรดอินทรีย์อื่น แบคทีเรียเหล่านี้จะย่อยโปรตีนในนมแล้วให้กรดแลคติคส่งผลให้ค่าพีเอชของนมลดลงเหลือประมาณ 4.0 – 5.0 (Lu et al., 2013)

2. ระยะเวลาการเน่าเสีย

นักวิจัยได้ทำการศึกษาถึงปริมาณของจุลินทรีย์ในนมที่เพิ่มขึ้น ทำให้นมเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากนมดีเป็นนมเสีย มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อนมไม่ได้ถูกเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส โดยดิงและคณะ (Ding et al., 2016) ได้นำเสนอถึงการศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในนมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ด้วยการวัดปริมาณจุลินทรีย์ (Total viable count: TVC) ทุกชั่วโมงเป็นเวลา 36 ชั่วโมง ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ปริมาณการเติบโตของจุลินทรีย์ในนมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
ที่มา: (Ding, Gao & Yan, 2016)

ในช่วง 1-10 ชั่วโมงแรก จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างช้าๆ แต่หลังจาก 10 ชั่วโมงไปแล้ว จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากขยายพันธุ์โดยการแบ่งตัวแบบทวิภาค ในงานวิจัยนั้นจึงเลือกใช้ที่เวลา 10 ชั่วโมง เป็นจุดสำหรับการแบ่งแยกระหว่างนมดีและนมเสีย จำนวนชั่วโมงที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตจนทำให้นมเสื่อมสภาพกลายเป็นนมเสียนี้สอดคล้องกับการทดลองของโจวและชิน (Zhou & Qin 2011) ที่ทำการทดสอบน้ำนมดิบในอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าจำนวนแบคทีเรียในช่วง 1-8 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อช่วงเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง จำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 2^{16} เท่า

คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

วัสดุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เรียกว่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric property) ที่แตกต่างกันไป จึงสามารถนำมาใช้จำแนกวัสดุจากคุณสมบัติไดอิเล็กตริกได้ คุณสมบัติไดอิเล็กตริกยังมีประโยชน์สำหรับนักพัฒนาบรรจุภัณฑ์ในการปรับปรุงสารประกอบแม่เหล็ก (Ferrite) หรือตัวดูดซับคลื่น (Absorber) นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่ใช้ไมโครเวฟเพื่ออุตสาหกรรม ได้แก่ อาหาร ผัก ผลไม้ ยาง ไม้ พลาสติก และเซรามิก เป็นต้น คุณสมบัติไดอิเล็กตริกประกอบด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity: ε) และความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability: μ) ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์เชิงซ้อน (ε_r) แสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r^{'} - \varepsilon_r^{"} \quad (2.1)$$

โดย $\varepsilon_r^{'}$ คือ ส่วนจริงหรือเรียกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) ที่เป็นค่าแสดงถึงความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานของสนามไฟฟ้าของวัสดุ $\varepsilon_r^{"}$ หรือส่วนของจินตภาพคือตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) เป็นค่าที่แสดงถึงการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบของความร้อนของวัสดุ

อิเล็กตรอนของวัสดุไดอิเล็กตริกมีแรงยึดเหนี่ยวจากนิวเคลียสสูง จึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระจากอะตอมหนึ่งไปยังอะตอมถัดไป (Hippel, 1954) ดังนั้นเมื่อมีสนามไฟฟ้าสถิตมากระทำกับวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีแรงกระทำระหว่างอิเล็กตรอนและนิวเคลียสเกิดขึ้น นอกจากนี้โมเมนต์ไดโพลทั้งหมดจะวางตัวตามแนวสนามไฟฟ้า โมเมนต์ไดโพลสนามไฟฟ้า (p) สามารถหาได้จากสมการ (2.2)

$$p = qd \text{ (C.m)} \quad (2.2)$$

เวกเตอร์โพลาไรเซชันไฟฟ้าที่เกี่ยวกับไดอิเล็กตริกเป็นผลรวมของโมเมนต์ไดโพลทั้งหมดแสดงดังสมการที่ (2.3)

$$p = \lim_{\Delta v \to 0} \left[\frac{1}{\Delta v} \sum_{i=1}^{n} p \right] \text{ (C/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$

โดยที่ไดโพล n แสดงในเทอมของผลต่างประจุ Δv และ C มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ เวกเตอร์โพลาไรเซชันสามารถอธิบายการเกิดโมเมนต์ไดโพลไฟฟ้าในวัสดุไดอิเล็กตริกได้ และอธิบายถึงผลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อวัสดุฉนวนในระดับมหภาค ความหนาแน่นฟลักซ์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้กับประจุมีความสัมพันธ์กันด้วย ε ซึ่งเป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุไดอิเล็กตริก ดังในสมการ (2.4)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) \quad (2.4)$$

โดย ε_0 เป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้าของอวกาศว่าง (8.854x10^{12} F/m) χ_e เป็นความไวไฟฟ้าของวัสดุ เมื่อมีสนามไฟฟ้าภายนอกมากระทำ แรงดึงของอะตอมจะมีลักษณะคล้ายกับแรงดึงสปริง ทำให้เกิดพลังงานศักย์หรือเกิดการเก็บพลังงานไฟฟ้าเปรียบเสมือนกับตัวเก็บประจุ ซึ่งกลไกพื้นฐานของโพลาไรเซชันในวัสดุไดอิเล็กตริกมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. โพลาไรเซชันอิเล็กทรอนิกส์ ไดอิเล็กตริกส่วนใหญ่ประพฤติตัวแบบโพลาไรเซชัน โดยมีประจุลบ (อิเล็กตรอน) และประจุบวก (โปรตอน) ภายในอะตอม ซึ่งจะเกิดการเคลื่อนที่เมื่อมีสนามไฟฟ้า

2. โพลาไรเซชันทิศทาง วัสดุที่เป็นวัสดุโพลาร์โดยทั่วไปประกอบด้วยโมเมนต์ไดโพลไฟฟ้าที่ไม่เป็นศูนย์ เช่น โมเลกุลน้ำ เมื่อไม่มีสนามไฟฟ้าจากภายนอกมากระทำ โมเมนต์ไดโพลของวัสดุโพลาร์จะประพฤติตัวแบบไร้ทิศทาง แต่เมื่อมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกมากระทำ โมเมนต์ไดโพลจะวางตัวตามแนวเวกเตอร์สนามไฟฟ้า

3. โพลาไรเซชันไอออนิก วัสดุบางประเภทประกอบด้วยไอออนบวกและลบ เมื่อมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกมากระทำ การเคลื่อนที่ของไอออนที่สัมพันธ์กันตำแหน่งจะเหมือนกับโพลาไรเซชันอิเล็กทรอนิกส์ สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาส่งผลให้เวกเตอร์โพลาไรเซชัน คุณสมบัติไดอิเล็กตริก และความนำเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของสนามไฟฟ้าที่มากระทำ ผลกระทบนี้จะให้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกันดังฟังก์ชันของความถี่ ผลของความถี่ที่มีต่อวัสดุสามารถจำลองด้วยวงจรสมมูลสปริงโดยรวมสัมประสิทธิ์การหน่วงและเรโซแนนซ์ด้วย สำหรับโพลาไรเซชันไอออนิกเรโซแนนซ์มีแนวโน้มเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำเนื่องจากมวลที่หนักขึ้นของไอออน แต่ผลกระทบของความถี่จะมีการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์แบบคาบตามเวกเตอร์โพลาไรเซชัน เนื่องจากนิวเคลียสหนักกว่าอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียสเรโซแนนซ์ตรงมายังนิวเคลียส

ดังนั้นสำหรับสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุจะไม่เพียงเก็บพลังงานแต่ยังดูดซับพลังงาน การดูดซับพลังงานเป็นผลมาจากความนำของวัสดุ โดยความนำเกิดจากการหมุนของเวกเตอร์โพลาไรเซชันในสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุภายใต้สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแสดงดังสมการ (2.5)

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon' - j\left(\frac{\sigma e}{\omega}\right) \tag{2.5}$$

โดย ε เป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุ ε' บอกถึงความสามารถของวัสดุในการเก็บพลังงาน ε'' บอกถึงความสามารถของวัสดุในการดูดซับพลังงาน σ_e เป็นความนำสมมูล และ ω เป็นความถี่เชิงมุม คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเชิงซ้อนที่สัมพันธ์กับสุญญากาศแสดงดังสมการ (2.6)

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' \tag{2.6}$$

โดยเทอมแทนเจนต์การสูญเสีย $\tan\delta$ เป็นอัตราส่วนของค่าตัวประกอบสูญเสียต่อค่าสภาพยอมไฟฟ้า วัสดุที่มีค่าแทนเจนต์การสูญเสียเท่ากับศูนย์เป็นวัสดุที่ปราศจากการสูญเสีย ขณะที่ $\tan\delta << 1$ แสดงถึงวัสดุที่มีการสูญเสียน้อย และวัสดุที่มีค่า $\tan\delta >> 1$ หมายถึงวัสดุที่มีการสูญเสียมาก คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นค่าที่แปรผันตามความถี่ อุณหภูมิ การจัดเรียงขั้วประจุส่วนผสม ความดัน และโครงสร้างโมเลกุลของวัสดุได้ดังนั้นการนำคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริกมาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต้องผ่านการวัดที่มีความแม่นยำ (Hippel, 1954) ค่าสภาพยอมไฟฟ้าเชิงซ้อนในรูปแบบฟังก์ชันของความถี่เป็นดังสมการของเดอบาย (Debye equation) ในสมการที่ (2.7) (Agilent, 2006)

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\alpha} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\alpha}}{1 + j\omega\tau} \tag{2.7}$$

โดย ε_s หมายถึงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่เป็นศูนย์ (DC) ε_{α} คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่สูงมาก ω คือ ความถี่เชิงมุม τ คือเวลาในการผ่อนคลายของวัสดุ (Relaxation time) การหาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุได้มีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานาน เพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการ แต่ละเทคนิคขึ้นอยู่กับธรรมชาติของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่ต้องการวัด ทั้งทางด้านกายภาพ ทางด้านไฟฟ้า ความถี่ที่สนใจ และระดับของความแม่นยำที่ต้องการ

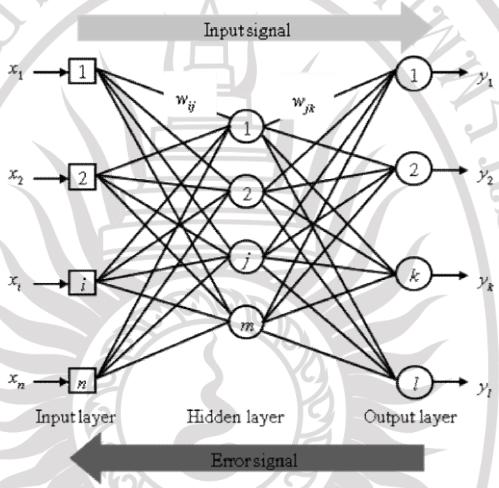
ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์มีลักษณะเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่จำลองการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ อาศัยการเรียนรู้และจดจำรูปแบบคล้ายกับสมองมนุษย์ จึงทำให้โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายเพื่อตัดสินใจคัดแยกหรือแบ่งกลุ่มข้อมูลออกจากกันในงานทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ และวิศวกรรมที่หลากหลาย เช่น การจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน ลายมือ ลายเซ็น ตัวอักษร รูปหน้า รวมถึงการทำนายต่างๆ เช่น ทำนายระดับน้ำ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation) มีลักษณะโครงสร้างการจัดเซลล์ประสาทเทียมเป็นชั้น (Layer) ดังภาพที่ 2.3 โดยชั้นที่รับข้อมูลเข้าเรียกว่าชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นที่ผลิตผลของโครงข่ายเรียกว่าชั้นเอาต์พุต (Output layer) ส่วนชั้นอื่นๆ ที่มีส่วนในการช่วยประมวลผลภายในเรียกว่า ชั้นซ่อนเร้น (Hidden layer) ในระหว่างชั้นมีการเชื่อมต่อโดยกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) กำกับอยู่ที่เส้นเชื่อมทุกเส้น เมื่อข่ายงานเริ่มทำงานจะกำหนดค่าให้แก่

ชั้นอินพุต ค่าอินพุตเหล่านี้อาจเป็นค่าที่มนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้นหรือเป็นค่าที่วัดมาจากเซ็นเซอร์ หรือเป็นผลมาจากการทำงานของโปรแกรม ค่าจากชั้นชั้นอินพุตนี้จะถูกส่งต่อที่ได้รับไปตามเส้นที่เชื่อมของขาออกโดยนำไปคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของเส้นเชื่อม จากนั้นส่วนของในชั้นที่อยู่ถัดไปจะทำงานรับข้อมูลซึ่งเป็นผลรวมของชั้นต่างๆ แล้วคำนวณผลอย่างง่าย โดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) แล้วส่งค่าไปยังชั้นถัดไป การคำนวณลักษณะนี้จะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ ทีละชั้นจนถึงชั้นเอาต์พุต (Livingstone, D. J., 2008)



ภาพที 2.3 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม
ที่มา: (Haykin, 1994)

กระบวนการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการฝึกหัด (Training) หรือการเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือใช้งานจริง (Working) ซึ่งในขั้นตอนการเรียนรู้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ

1. การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised learning algorithm) เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจสอบคำตอบว่าถูกหรือผิด โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้จะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้

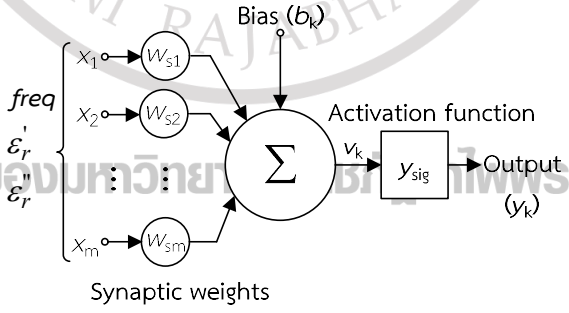
2. การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised learning algorithm) เป็นการเรียนรู้แบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจสอบดูว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก โครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed forward back propagation) หรือของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron: MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบมีครูสอน ที่มักใช้ทำงานกับงานคาดเดาสามารถช่วยกำหนดลำดับความสำคัญได้ สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้เป็นที่นิยมสูงสุดและมีประสิทธิภาพสูง รวมถึงมีความง่ายสำหรับเป็นต้นแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความซับซ้อนมากขึ้นแบบหลายเลเยอร์ จุดเด่นที่สำคัญของโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้คือ มีวิธีการทำงานแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) (กีรติ บุญโชติ, 2549) วิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประเภทนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นแรกเรียกว่า การแพร่ไปข้างหน้า (Forward pass) ซึ่งเกี่ยวกับค่าน้ำหนักของโครงข่ายเริ่มต้นที่ได้มาจากการสุ่ม การแพร่สัญญาณอินพุตไปยังชั้นต่างๆ จนถึงชั้นเอาต์พุต และการคำนวณเอาต์พุตออกมา ขั้นตอนที่ 2 เรียกว่าการแพร่ย้อนกลับ (Backward pass) ซึ่งเกี่ยวกับการแพร่ย้อนกลับของความผิดพลาด (The error backward) ไปในแต่ละชั้นก่อนหน้านี้ (เช่นชั้นซ่อนเร้นซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นเอาต์พุต) พร้อมกับการปรับค่าน้ำหนักจากชั้นซ่อนเร้นไปยังชั้นเอาต์พุตตามกฎของความลาดเอียง (The gradient descent rule) การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมจะทำซ้ำจนกระทั่งเอาต์พุตจริงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเอาต์พุตที่ต้องการ ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โครงสร้างประกอบด้วย

1. ชั้นอินพุตแทนด้วย i
2. ชั้นซ่อนเร้นจำนวน 1 ชั้น แทนด้วย j
3. ชั้นเอาต์พุต แทนด้วย k

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย อินพุตจำนวน m ค่า คือ $x_1, x_2, \dots, x_m$ ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{s1}, w_{s2}, \dots, w_{sm}$ ค่าไบแอสของระบบคือ b_k ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ภาพที่ 2.4 โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

v_k คือ ผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักคูณด้วยอินพุตกับค่าไบแอส จากนั้นจึงผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) จึงได้เป็นค่าเอาต์พุต y_k ดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$y_k = y_{sig}\left(\underbrace{\sum_{j=1}^{m} w_{sj}x_j + b_k}_{v_k}\right) \tag{2.8}$$

โดยค่า y_{sig} คือ ฟังก์ชันแอคติเวทแบบไม่เชิงเส้น และสมการคุณลักษณะของฟังก์ชันซิกมอยด์แสดงในสมการที่ (2.9)

$$y_{sigmoid} = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{2.9}$$

เริ่มต้นของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนสำคัญคือการกำหนดน้ำหนักเริ่มต้น เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลในชั้นซ่อนเร้น เพื่อให้ได้นำหนักเริ่มต้นที่เหมาะสมกับจำนวนโนดอินพุตและโนดซ่อนเร้น ค่าน้ำหนักเริ่มต้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$\left(-\frac{2.4}{F_i}, +\frac{2.4}{F_i}\right) \tag{2.10}$$

การกำหนดค่าเอาต์พุตที่ต้องการของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังแสดงในสมการที่ (2.11)

$$y_{d,1}(p), y_{d,2}(p), ..., y_{d,l}(p) \tag{2.11}$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์หาค่า w_i, w_j, θ_j, θ_k และจำนวนข้อมูลอินพุตที่เหมาะสม ที่ทำให้สามารถทำตัดสินใจได้อย่างแม่นยำและใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบกระบวนวิจัยที่ดีจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องถึงเพื่อให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย และข้อเสนอแนะที่มีอยู่ก่อนหน้า สำหรับนำมาปรับใช้ในการออกแบบกระบวนการวิจัยให้มีความรัดกุม และพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น หัวข้องานวิจัยซึ่งเกี่ยวข้องกับ

งานวิจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพนม การศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของนมดีและนมเสีย และการใช้โครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบคุณภาพนม

การควบคุมคุณภาพนมหรือการตรวจสอบคุณค่าทางอาหารของนมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ฟาร์มโคนมสมัยใหม่มีการนำระบบอัตโนมัติหลายประเภทมาใช้งาน จึงสามารถเก็บข้อมูลที่สนใจในฟาร์มเพื่อนำมาให้บริหารจัดการและปรับปรุงผลผลิต (Tsenkova, 2000) ในปี 2008 คารอสและคณะได้ใช้เทคนิค NIR ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 1100 นาโนเมตร ในการวัดคุณสมบัตินมและใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial least squares) ในการตรวจสอบไขมัน แลคโตส และโปรตีนรวมในน้ำนมดิบ (Carleos, 2008) ซึ่งเทคนิค NIR ที่ใช้ในการตรวจสอบนมยังคงมีราคาสูงเมื่อจะนำไปใช้งานจริง รวมถึงในขั้นตอนการใช้งานยังคงมีความซับซ้อน ต่อมาในปี 2011 เฉินโจวและคณะ ได้ใช้เทคนิคการวัดค่าอิมพีแดนซ์ ในการตรวจสอบแบคทีเรียในน้ำนมโดยใช้ออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal conditioning) เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นของสัญญาณไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์จากแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในน้ำนม รวมถึงการออกแบบวงจรขยายเพื่อให้สัญญาณที่ได้จากการวัดชัดเจน (Zhou, 2011) การตรวจสอบคุณภาพนมถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในปี 2015 อัวชาและคณะ นำเสนอเทคนิคการวัดคุณภาพนมแบบไม่ทำลายโดยใช้คลื่นอัตราโซนิคในการตรวจสอบ ซึ่งได้ตรวจสอบนมยูเอชทีที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ รวมถึงได้ศึกษาถึงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ 35 องศาเซลเซียส แบคทีเรียสามารถเติบโตได้ดีที่สุด (Ouacha, 2015) ในปี 2016 ฮุสเซนและคณะได้นำเสนอระบบเฝ้าระวังการเสียของนมที่ราคาประหยัดในลักษณะจมูกอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เซนเซอร์ตรวจสอบกลิ่นทั้งหมด 3 ตัว และนำค่าที่ได้ไปประมวลผลและตัดสินใจคุณภาพของนม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ARM 7) ในการควบคุมและตัดสินใจ รวมถึงแสดงผลบนการตรวจสอบหน้าจอแอลซีดี (Hussain et al., 2016)

2. คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของนม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การตรวจสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของนมได้มีนักวิจัยให้ความสนใจศึกษากันอย่างแพร่หลาย เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของนมที่ช่วงแต่ละช่วงความถี่อุณหภูมิ เช่น ในปี 2006 นูนาสและคณะได้ศึกษาค่าสภาพยอมไฟฟ้าเชิงซ้อนของนมที่อุณหภูมิ 17 ถึง 20 องศาเซลเซียส ในช่วงความถี่ 10 ถึง 20 กิกะเฮิรตซ์ นมที่นำมาทดสอบมี 4 ประเภท ได้แก่ นมยูเอชที นมไขมันต่ำ นมพร่องมันเนย และน้ำนมดิบจากถัง นมเหล่านี้ถูกนำมาปล่อยทิ้งไว้ให้เน่าเสียในอุณหภูมิห้อง แล้วจึงทำการวัดสเปคตรัมของนมเหล่านี้ที่มีระดับความเข้มข้นต่างๆ ผลที่ได้คือ ค่า

สภาพยอมไฟฟ้าเชิงซ้อนทั้งส่วนจริงและส่วนจินตภาพจะมีค่าค่อยๆ เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอในช่วงความถี่ที่ทดสอบนี้ จากนั้นปรับปรุงข้อมูลด้วยเพิ่มเทอมตัวแปรการสูญเสียเนื่องมากจากความนำไฟฟ้าโดยไอออนในความสัมพันธ์ตามสมการของเดอบาย แล้วดึงพารามิเตอร์ออกมา 6 ตัวเพื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์เหล่านี้กับปริมาณไขมันและความเข้มข้นเพื่อใช้สำหรับตัดสินใจองค์ประกอบของนมในรูปแบบของกลุ่มวัสดุ (สารประกอบไอออนิก ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน) และสเปคตรัมที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับการเน่าเสีย (Nunes et al., 2006) แต่การวิเคราะห์มีความซับซ้อนเนื่องจากลักษณะทางกายภาพและปฏิกิริยาทางเคมี ต่อมาในปี 2010 กูโอและคณะได้ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของนมวัวซึ่งถูกเจือจางด้วยน้ำที่มีความเข้มข้นของนมอยู่ที่ 70% ถึง 100% นำมาเก็บอยู่ในที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 144 ชั่วโมง ทำการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิห้องในช่วงความถี่ 10 ถึง 4500 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้การวัดแบบโคแอคเชียลปลายเปิด พร้อมกับการวัดค่าความนำไฟฟ้าและค่า pH ผลการทดสอบพบว่าน้ำนมดิบมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำสุดที่ความถี่สูงกว่า 20 เมกะเฮิรตซ์ และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกสูงที่สุดที่ทุกความถี่ ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่สูงสุดจากการคำนวณ คือ 0.955 ระหว่างความเข้มข้นของนมแต่ละระดับและค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 915 เมกะเฮิรตซ์ การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกจะผกผันกับค่า pH ของนมในช่วงระยะเวลาที่เก็บนมไว้ โดยที่ความถี่ 1100 เมกะเฮิรตซ์ ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นมีค่าดีที่สุดคือ R^2 = 0.983 ดังนั้นค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ความเข้มข้นและความสดของนมได้ (Guo et al., 2010) การทดสอบของกูโอเป็นการทดสอบกับน้ำนมดิบและไม่ได้วิเคราะห์เพื่อจำแนกคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของนมดีและนมเสียให้เห็นชัดเจน

3. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อจำแนกข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกัน นักวิจัยได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย เช่น ในปี 2001 ซานซอกนี ได้นำเสนอการคาดการณ์ผลผลิตนมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด ffan (Feed forward artificial neural network) ที่มีความแม่นยำ ข้อมูลผลผลิตนมที่ผ่านมาถูกใช้เป็นข้อมูลอินพุตเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนายผลผลิตนมของฟาร์มโดยใช้ ffann Sanzogni, 2001) ในปี 2010 โจวและคณะได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาถึงวิธีการจดจำรูปแบบ โครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลวีคิว (Learning vector quantization: LVQ) ในระบบลิ้นอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบให้สามารถจำแนกตัวอย่างของเบียร์ น้ำผลไม้ และนมได้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบแอลวีคิว สามารถประยุกต์ใช้กับการจดจำรูปแบบของระบบลิ้น

อิเล็กทรอนิกส์ และสามารถใช้ในเงื่อนไขที่ใช้เซนเซอร์รวมตัวกันเป็นแบบแถวลำดับ วิธีการจดจำรูปแบบของลิ้นอิเล็กทรอนิกส์หลายรสชาติถูกนำเสนอในบทความนี้ ซึ่งประสิทธิภาพของลิ้นอิเล็กทรอนิกส์หลายรสชาติมีข้อดีมากกว่า เช่น เป็นวิธีที่ง่ายต่อการจดจำรูปแบบและจำแนก มีวิธีการเรียนรู้ที่ง่ายและประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย (Zhou, et al., 2010)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี