

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษาสำหรับออกแบบวิธีการดำเนินการวิจัย ได้แก่ การแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของคลื่นเมื่อเดินทางไปในตัวกลางที่มีคุณสมบัติไดอิเล็กตริกต่างๆ วงจรผสมสัญญาณเป็นวงจรสำหรับแปลงความถี่ที่ตั้งอยู่ในรูปแบบของคลื่นความถี่กลาง เพื่อถ่ายทอดการนำไปประมวลผล โครงข่ายประสาทเทียมเป็นรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์คุณสมบัติของคลื่นความถี่กลางที่ได้จากการส่งคลื่นผ่านสารละลาย ศึกษาเครื่องมือวัดความหวานประเภทต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของงานวิจัย และศึกษา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความหวานเพื่อศึกษาถึงงานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน นำไปการออกแบบวิธีการทดลองในงานวิจัยนี้ รวมถึงเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของงานวิจัยกับงานวิจัยที่มีมาก่อน

การแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟ

คุณลักษณะการแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟ สามารถอธิบายได้ด้วยค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น (Propagation constant) ดังสมการที่ (2.1) (Pozar, 2012)

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.1)$$

ซึ่ง คือ α คือ ค่าคงที่การลดทอน (Attenuation constant) และ β คือ ค่าคงที่เฟส (Phase constant) คลื่นสนามไฟฟ้าในแนวแกน x เดินทางในตัวกลางเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟส ตลอดระยะทางที่คลื่นเดินทางแกน z การอัตราเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูด E_0 เรียกว่าค่าคงที่การลดทอน ตามสมการที่ (2.2)

$$\bar{E}_x(z) = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \quad (2.2)$$

ในวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำ ($\sigma = 0$) ค่าคงที่การแพร่กระจายคลื่น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ คุณสมบัติไดอิเล็กตริกประกอบด้วย ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ϵ) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (μ) ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นไมโครเวฟ เป็นไปตามสมการที่ (2.3) (Pozar, 2012)

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon'}(1 - j\tan\delta) \quad (2.3)$$

เมื่อ ϵ' คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ ซึ่งเป็นปริมาณที่บอกถึงการเก็บสะสมพลังงานสนามไฟฟ้าในวัสดุ $\tan\delta$ คือ ค่าแทนเจนต์ของการสูญเสียทางไดอิเล็กตริก (Loss tangent) หรืออัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก เป็นปริมาณแสดงถึงการสูญเสีย

พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในวัสดุ เป็นพลังงานความร้อน โดยทั่วไปวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำจะไม่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กค่าความซึมซาบแม่เหล็กจึงมีค่าเท่ากับอากาศ (Kaye & Laby, 1986)

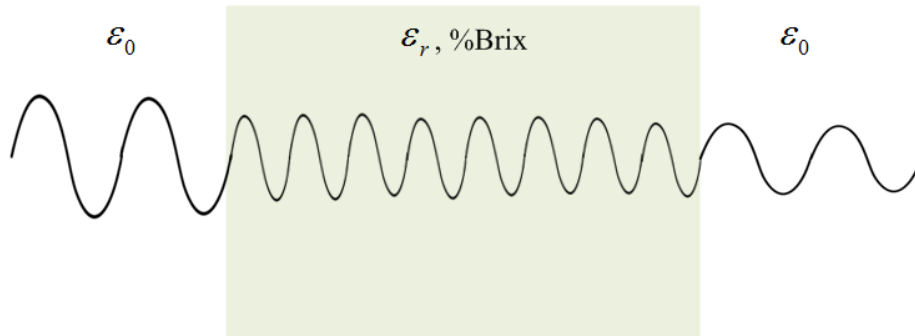
ในสารละลายความหวานค่าคงที่การลดทอนเนื่องมาจากคุณสมบัติวัสดุไดอิเล็กตริกของสารละลายมีค่าดังสมการที่ (2.4) และค่าคงที่เฟสดังสมการที่ (2.5) เมื่อ $\tan \delta$ คือ ค่าการสูญเสียแทนเจนต์

$$\alpha_d = \frac{\omega \sqrt{\mu \epsilon} \tan \delta}{2} \quad (2.4)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \quad (2.5)$$

เห็นได้ว่าค่าคงที่การลดทอนแปรผันโดยตรงกับความถี่และคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวกลาง เช่นเดียวกับค่าคงที่เฟสดังนั้นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสของคลื่นจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของสารละลายความหวานที่คลื่นเดินทางผ่าน ดังภาพที่ 2.1 ความยาวคลื่นในตัวกลางที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) สูงกว่าอากาศ (ϵ_0) จะลดลง ตามสมการที่ (2.6) และแอมพลิจูดของคลื่นจะค่อยๆ ลดลงดังสมการที่ (2.2)

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (2.6)$$

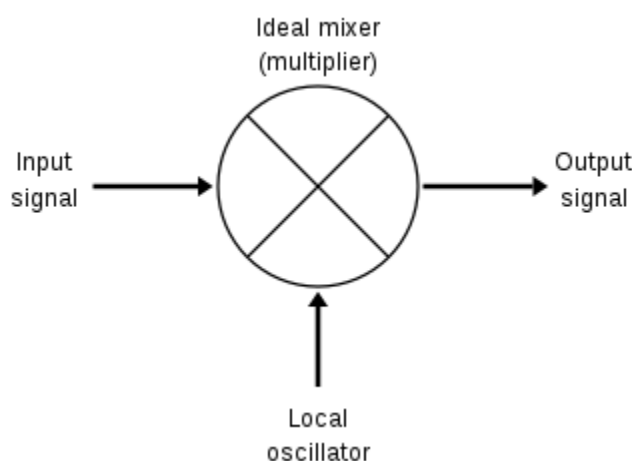


ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของคลื่นเมื่อเดินทางผ่าน 2 ชนิด

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงและตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกมีค่าลดลง เมื่อความหวานของสารละลาย (%Brix) เพิ่มมากขึ้น (Thomason & Bialkowski, 2018) คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของสารละลายความหวานในงานวิจัยนี้ คือ ที่ความถี่ 10 กิกะเฮิรตซ์

วงจรผสมสัญญาณ

การผสมสัญญาณ (Mixer) ในย่านความถี่วิทยุเป็นกระบวนการแบบไม่เป็นเชิงเส้นเกิดจากการคูณกันของสัญญาณ 2 สัญญาณ ณ ที่เวลาใดๆ ผลลัพธ์หรือเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นที่ซับซ้อนกัน โดยเมื่อพิจารณาภาพที่ 2.2 สัญญาณจากแหล่งกำเนิดความถี่ และสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับวงจรผสมสัญญาณ ถูกคูณกันและได้ออกมาเป็นสัญญาณทางขวามือเป็นสัญญาณเอาต์พุตของวงจรผสมสัญญาณ



ภาพที่ 2.2 การผสมสัญญาณ (Herres, 2016)

องค์ประกอบทางความถี่ของสัญญาณ 2 สัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรผสมสัญญาณ พบว่าหลังจากผสมกันของสัญญาณ 2 สัญญาณแล้วจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความถี่ที่เกิดความถี่ของอินพุตทั้ง 2 ค่าบวกกัน ($f_1 + f_2$) และความถี่ผลต่างของความถี่อินพุตทั้ง 2 ค่า ($f_1 - f_2$) สำหรับการวิเคราะห์วงจรผสมสัญญาณย่านความถี่วิทยุในเชิงคณิตศาสตร์นั้นสามารถทำได้โดยพิจารณาว่าสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรผสมสัญญาณเป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีค่าดังสมการที่ (2.7) และ (2.8)

$$v_1 = A \cos(2\pi f_1 t) \quad (2.7)$$

$$v_2 = B \cos(2\pi f_2 t) \quad (2.8)$$

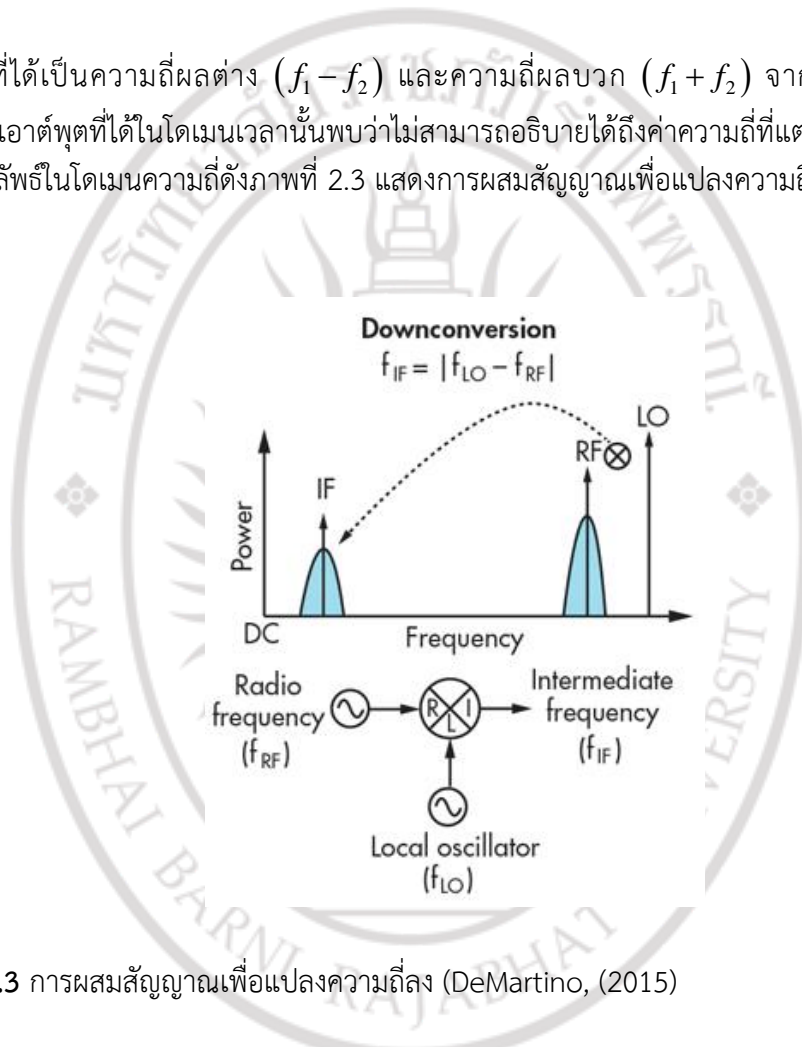
ดังนั้นจะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นการนำสัญญาณ 2 สัญญาณมาคูณกัน ดังสมการที่ (2.9)

$$v_0 = AB \cos(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_2 t) \quad (2.9)$$

จากเอกลักษณ์ทางตรีโกณมิติก็กระจายเอาต์พุต จากผลคูณให้อยู่กันรูปของผลบวกและผลลบ ได้ตั้งสมการที่ (2.10)

$$v_0 = \frac{AB}{2} [\cos\{2\pi(f_1 - f_2)t\} + \cos\{2\pi(f_1 + f_2)t\}] \quad (2.10)$$

ผลลัพธ์ที่ได้เป็นความถี่ผลต่าง $(f_1 - f_2)$ และความถี่ผลบวก $(f_1 + f_2)$ จากการพิจารณารูปสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ในโดเมนเวลานั้นพบว่าไม่สามารถอธิบายได้ถึงค่าความถี่ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงแสดงผลพรีในโดเมนความถี่ดังภาพที่ 2.3 แสดงการผสมสัญญาณเพื่อแปลงความถี่ลง หรือค่าความถี่ผลลบ



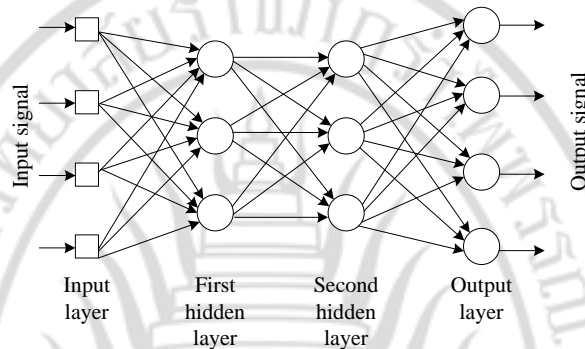
ภาพที่ 2.3 การผสมสัญญาณเพื่อแปลงความถี่ลง (DeMartino, (2015))

ลักษณะของวงจรผสมสัญญาณที่ใช้งานจริงมีอยู่หลากหลายรูปแบบ วงจรผสมสัญญาณแบบใช้ไดโอดเดี่ยว (Single-ended diode mixer) เป็นวงจรพื้นฐานของวงจรผสมสัญญาณชนิดอื่นๆ ซึ่งมีองค์ประกอบไม่มาก ต้นทุนต่ำ สร้างง่าย และไม่ซับซ้อน

โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองของมนุษย์ โดยอาศัยการเรียนรู้ และจัดจำรูปแบบคล้ายกับสมองมนุษย์ ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ และวิศวกรรมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น การจัดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน ลายมือ ลายเซ็น ตัวอักษร

รูปหน้า รวมถึงการทำนายต่างๆ โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation) มีลักษณะหลักๆ คือมีการจัดเซลล์ประสาทเทียมเป็นชั้น (Layer) โดยชั้นที่รับข้อมูลเข้าเรียกว่าชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นที่ผลิตผลของโครงข่ายเรียกว่าชั้นเอาต์พุต (Output layer) ส่วนชั้นอื่นๆ ที่มีส่วนในการช่วยทำการประมวลผลอยู่ภายในเรียกว่า ชั้นซ่อนเร้น (Hidden layer) ในระหว่างชั้นมีการเชื่อมต่อ โดยกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) กำกับอยู่ที่เส้นเชื่อมทุกเส้น แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น (Haykin, 2009)

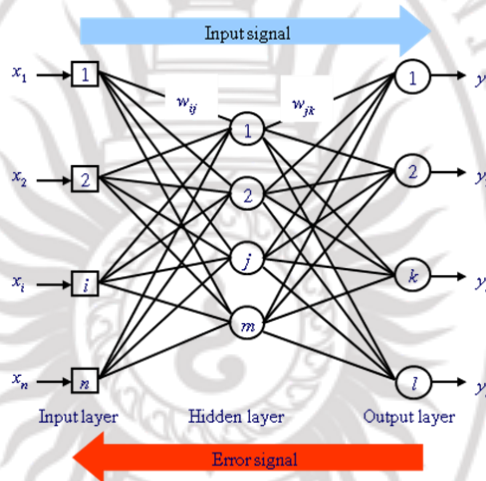
เมื่อโครงข่ายงานเริ่มทำงานจะมีการกำหนดค่าให้แก่ชั้นอินพุต โดยค่าเหล่านี้อาจได้มาจากการกำหนดโดยมนุษย์ หรือจากเซนเซอร์ หรือเป็นผลที่ได้มาจากโปรแกรมอื่น จากนั้นชั้นอินพุตจะส่งค่าที่รับมาตามเส้นทางขาออก ซึ่งค่านี้จะถูกนำไปคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของเส้นทางนั้น ในชั้นถัดไปจะรับค่ามาจากทุกอินพุต แล้วจึงคำนวณผลลัพธ์อย่างง่าย โดยทั่วไปใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) จากนั้นส่งค่าไปยังชั้นต่อไป หากโครงข่ายมีหลายชั้น การคำนวณลักษณะเช่นเดียวกันไปที่ละชั้น จนถึงชั้นเอาต์พุต (Livingstone, 2008) ขั้นตอนการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการฝึกหัด (Training) หรือการเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือใช้งานจริง (Working) นอกจากนี้ในขั้นตอนการเรียนรู้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ

1. การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised learning algorithm) เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัวชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้ตรวจสอบความถูกต้องการหาคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียม หากพบว่าคำตอบไม่ถูกต้อง โครงข่ายประสาทเทียมจะปรับโครงสร้างใหม่เพื่อให้หาคำตอบได้ถูกต้อง

2. การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised learning algorithm) เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ หมายถึง ไม่มีข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบโครงข่ายประสาทเทียมจะจัดโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูลอินพุตซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feedforward backpropagation) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบมีครูสอน วิธีการเรียนรู้ของโครงข่ายประเภทนี้ประกอบด้วย

2 ขั้นตอนหลักๆ โดยขั้นแรกเรียกว่า การแพร่ไปข้างหน้า (Forward pass) ซึ่งเกี่ยวกับค่าน้ำหนักของโครงข่ายเริ่มต้นที่ได้มาจากการสุ่ม การแพร่สัญญาณอินพุตไปยังชั้นต่างๆ จนถึงชั้นเอาต์พุต และการคำนวณเอาต์พุตออกมา ขั้นตอนที่ 2 เรียกว่า การแพร่ย้อนกลับ (Backward pass) ซึ่งเกี่ยวกับการแพร่ของความผิดพลาดย้อนกลับ (The error backward) ไปในแต่ละชั้นก่อนหน้านี (เช่นชั้นซ่อนเร้นซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นเอาต์พุต) พร้อมกับการปรับค่าน้ำหนักจากชั้นซ่อนเร้นไปยังชั้นเอาต์พุตตามกฎความลาดเอียง (The gradient descent rule) การทำงานของโครงข่ายจะทำซ้ำจนกระทั่งเอาต์พุตจริงมีค่าใกล้เคียงกับเอาต์พุตที่ต้องการ ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับโดยโครงข่ายประกอบด้วยชั้นอินพุตแทนด้วย i ชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นแทนด้วย j และชั้นเอาต์พุตแทนด้วย k ขณะที่ w_{ij} แทนด้วยค่าน้ำหนักแสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงข่ายประสาทเทียม (Haykin, 2009)

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้ฝึกสอนก่อนนำไปใช้งาน มีทั้งหมด 5 ขั้นตอนตามลำดับ ดังสมการที่ (2.11) – สมการที่ (2.22) ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1: กำหนดค่าเริ่มต้น

$$\left(-\frac{2.4}{F_i}, +\frac{2.4}{F_i} \right) \quad (2.11)$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดค่าอินพุต (Input) และเอาต์พุต (Output)

$$\text{อินพุต} \quad x_1(p), x_2(p), \dots, x_n(p) \quad (2.12)$$

$$\text{เอาต์พุต} \quad y_{d,1}(p), y_{d,2}(p), \dots, y_{d,l}(p) \quad (2.13)$$

$$\text{ชั้นซ่อนเร้น (a)} \quad y_j(p) = \text{sigmoid} \left[\sum_{i=1}^n x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \right] \quad (2.14)$$

$$\text{ชั้นเอาต์พุต (b)} \quad y_k(p) = \text{sigmoid} \left[\sum_{j=1}^n x_{jk}(p) \times w_{jk}(p) - \theta_k \right] \quad (2.15)$$

ขั้นตอนที่ 3: หาน้ำหนักที่เหมาะสม

$$(a) \quad \delta_k(p) = y_k(p) \times [1 - y_k(p)] \times e_k(p) \quad (2.16)$$

$$e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p) \quad (2.17)$$

$$\Delta w_{jk}(p) = \alpha \times y_j(p) \times \delta_k(p) \quad (2.18)$$

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \quad (2.19)$$

$$(b) \quad \delta_j(p) = y_j(p) \times [1 - y_j(p)] \times \sum_{k=1}^l \delta_k(p) \times w_{jk}(p) \quad (2.20)$$

ค่าผิดพลาดที่นำไปใช้งานไม่เป็น 0 แต่ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานที่นำไปใช้ ดังสมการที่ (2.21) และ (2.22)

$$\Delta w_{ij}(p) = \alpha \times x_i(p) \times \delta_j(p) \quad (2.21)$$

$$w_{ij}(p+1) = w_{ij}(p) + \Delta w_{ij}(p) \quad (2.22)$$

ขั้นตอนที่ 4: วนซ้ำ เพื่อหาน้ำหนักที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วิธีการวัดความหวาน

1. หน่วยของการวัดความหวาน

หน่วยของการวัดความหวานแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ องศาบริกซ์ (Degrees Brix) และ องศา (Degrees Baumé) (David, 2006) ทั้งนี้หน่วยองศาบริกซ์ เป็นที่นิยมใช้งานมากกว่า หน่วยบริกซ์ถือกำเนิดในศตวรรษที่ 19 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Adolf F. Brix (ค.ศ. 1798–1870) ได้พัฒนาสเกลของไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ให้สามารถวัดเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลและของแข็งอื่นๆ ในสารละลาย เรียกว่า บริกซ์ หรือองศาบริกซ์เขียนแทนด้วย °Bx การวัดความหวานในสารละลาย

หลายกรณีประมาณให้ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่เป็นน้ำตาลทั้งหมด ดังนั้นสารละลาย 100 กรัม ที่มีความหวาน 25 องศาบริกซ์ หมายถึงในสารละลายมีน้ำตาลและของแข็งอื่นๆ 25 กรัม ผสมกับน้ำ 75 กรัม หน่วยบริกซ์นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเบียร์และไวน์ เนื่องจากองศาบริกซ์ของน้ำผลไม้ที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิต เพื่อนำไปหมักเป็นเบียร์หรือไวน์มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดในกระบวนการผลิต โดยประมาณให้ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่เป็นน้ำตาลทั้งหมด

หน่วยองศาโบเม แทนด้วยสัญลักษณ์ °B หรือ °Bé เป็นหน่วยที่สัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density) หรือค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) อ่านค่าได้จากไฮโดรมิเตอร์ ถูกพัฒนาขึ้นโดย Baumé (ค.ศ. 1728–1804) สเกลของหน่วยโบเมแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ สเกลของของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ และสเกลของของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ในกรณีของสเกลความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ทุกองศาโบเมคือประมาณ 0.0128 หน่วยความถ่วงจำเพาะ (David, 2006) ความสัมพันธ์ของหน่วยโบเม และบริกซ์ ดังสมการที่ (2.23)

$$^{\circ}\text{Brix} = (1.905)^{\circ}\text{Bé} - 1.6 \quad (2.23)$$

2. เครื่องมือวัดความหวาน

1) โครมาโทกราฟี

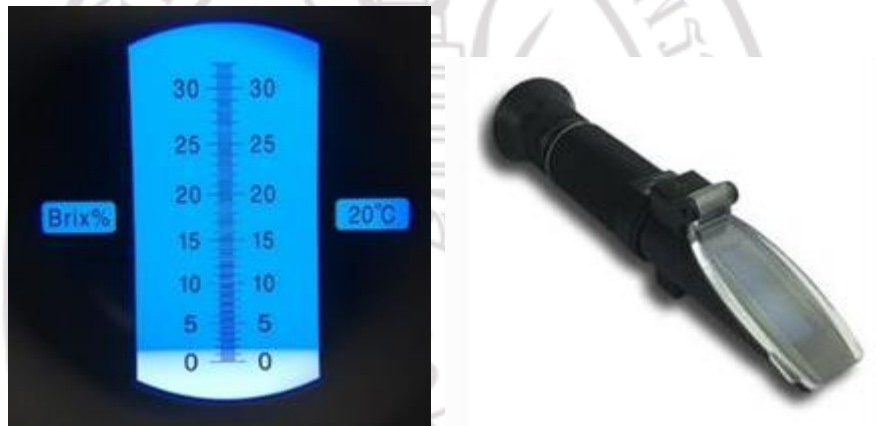
กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในอาหารและเครื่องดื่มด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง ได้แก่ เครื่องโครมาโทกราฟี (Chromatography) (Damayanti, 2012; Kelebek, 2009; Walker, 2015) การวัดด้วยกระบวนการทางเคมี เป็นการวัดแบบทำลาย ต้องเตรียมตัวอย่างก่อนการวัดมีขั้นตอนมากใช้เวลานาน และต้องทำในห้องปฏิบัติการจึงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ในภาคการผลิตอาหาร

2) เครื่องวัดความหวานแบบส่อง

เครื่องมือวัดความหวานชนิดที่นิยมการผลิตเครื่องดื่ม เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการหักเหของแสงในตัวกลางเพื่อวัดค่าเปอร์เซ็นต์น้ำตาลที่เรียกว่ารีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) หรือเครื่องวัดความหวานแบบส่อง มีขนาดเล็กราคาถูก ขั้นตอนการวิเคราะห์น้อยกว่า และแสดงผลการวัดได้ทันที (David, 2006) รีแฟรคโตมิเตอร์แบบทั่วไปอ่านค่าความหวานด้วยตาข้างเดียวโดยมองผ่านเลนส์ซึ่งทำหน้าที่คล้ายปริซึมเพื่ออ่านค่าบนสเกล (Serpen, 2012) ในหน่วยบริกซ์ (°Brix) อาจเรียกเครื่องมือชนิดนี้ว่า Brix reflectometer ส่วนรีแฟรคโตมิเตอร์แบบดิจิตอลสามารถแสดงผลเป็นตัวเลขได้โดยไม่ต้องส่องแต่รีแฟรคโตมิเตอร์ยังคงเป็นการวัดแบบทำลายต้องนำตัวอย่างสารละลายที่ต้องการวัดมาหยดลงในเครื่องมือ อีกทั้งอุณหภูมิมีผลต่อการวัดปริมาณความหวาน

รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) มีประโยชน์ในการวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำผลไม้คั้นสด (Serpen, 2012) น้ำเชื่อมหรือเครื่องดื่ม การใช้รีแฟรคโตมิเตอร์วัดน้ำคั้นจากผัก ผลไม้ หรือน้ำผลไม้เป็นการวัดค่า Total soluble solids หรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร) เนื่องจากในน้ำผลไม้ ประกอบด้วยน้ำตาลซึ่งละลายได้ในน้ำ เช่น กลูโคส (Glucose) ฟรุคโทส (Fructose) ซูโครส (Sucrose) นอกจากน้ำตาลแล้ว ในน้ำผลไม้ยังมีกรดอินทรีย์ ที่ละลายในน้ำได้ดี เช่น กรดซิตริก (Citric acid) กรดมาลิก (Malic acid) กรดทาร์ทาริก

(Tartaric acid) กรดแอมิโน และวิตามินซี ซึ่งค่าที่วัดได้ เป็นค่ารวมของความเข้มข้นน้ำตาลทุกชนิด และกรดอินทรีย์ที่ละลายได้ในน้ำผลไม้ นั้นการทำงานของรีแฟรกโตมิเตอร์เป็นการวัด ดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากอากาศสู่น้ำ หรือน้ำสู่อากาศ (Crystal) ทำให้ มุม ความเร็ว (Velocity) ของแสงแตกต่างกันสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกันซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ ลักษณะด้านนอกของเครื่องวัดความหวานแบบส่องสร้างจากพลาสติกที่ทนทานและโลหะเพื่อป้องกันเลนส์ ปริซึม และกระจก เมื่อถึงปลายด้านหนึ่งจะมีสไลด์พร้อมฝาปิดเพื่อวางของเหลวลักษณะการใช้งานแสดงดังภาพที่ 2.6

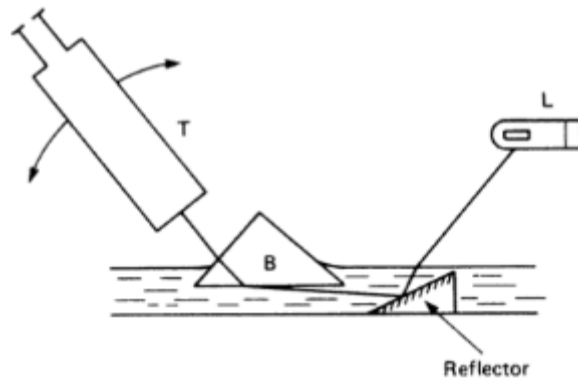


ภาพที่ 2.6 เครื่องวัดความหวานแบบส่อง (ก) แถบอ่านค่า (ข) ตัวเครื่อง (Meywes, 2019)

3) เครื่องวัดความหวานแบบจุ่ม

เครื่องวัดความหวานชนิดจุ่มสัมผัสกับอาหาร (Dip or immersion refractometer) วัดได้รวดเร็ว โดยไม่ต้องสูมตัวอย่าง สามารถวัดความหวานในอาหารที่เป็นของแข็งได้ แสดงค่าความหวานเป็นตัวเลข เหมาะกับการวัดในปริมาณมาก แต่ราคาค่อนข้างสูง มักใช้ในอุตสาหกรรมน้ำตาลนม และยาหลักการทำงานของเครื่องวัดความหวานชนิดนี้ ใช้การสะท้อนของแสงร่วมกับปริซึมที่ถูกจุ่มลงไปในการอาหาร B ดังภาพที่ 2.7

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.7 การทำงานของเครื่องวัดความหวานแบบจุ่ม (Boyes, 2010)

นอกจากนี้ยังมีรีแฟรกโตมิเตอร์ดิจิทัลแบบแช่ สำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหวานแบบเรียลไทม์ โดยอ่านค่าในหน่วยบริกซ์ ได้ตั้งแต่ 0.0 ถึง 42.0% และวัดอุณหภูมิได้ 10.0 ถึง 99.9°C แต่มีราคาสูง \$1,830.00 (Paul N. Gardner, 2019) ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 รีแฟรกโตมิเตอร์ดิจิทัลแบบแช่ (Paul N. Gardner, 2019)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวัดความหวานเป็นหัวข้อที่นักวิจัยให้ความสนใจหลากหลาย ทั้งในวัตถุที่เป็นของแข็ง เช่น ผลไม้ ของเหลว เช่น นม โวไรน์ น้ำสมสายชู หรือของกึ่งเหลว เช่น โยเกิร์ต เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

1. งานวิจัยด้านเทคนิคการวัดความหวาน

การวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการวัดปริมาณน้ำตาลหรือปริมาณความหวานในอาหารและเครื่องดื่มแบบไม่ทำลาย ใช้งานง่าย และมีความแม่นยำ เทคนิคที่มีนักวิจัยนำเสนอไว้ เช่น เทคนิค NIR

spectroscopy ถูกนำมาใช้วัดความหวานในโยเกิร์ต (He, 2007) หรือความหวานในนมจากพืช (Marrubini, 2017) เทคนิค NIR มีความแม่นยำสูง เนื่องจากใช้สเปกตรัมแสงหลายความยาวคลื่น ราคาต่ำเมื่อเทียบกับวิธีทางเคมี สามารถวัดได้แบบเรียลไทม์ในระหว่างกระบวนการผลิต แต่ข้อจำกัดของ NIR คือ ได้ผลดีเฉพาะในห้องปฏิบัติการ ราคาแพงสูงหากใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือ SME มีข้อจำกัดต้องใช้งานในที่มืด และระบบมีความซับซ้อนเนื่องจากข้อมูลที่ต้องวิเคราะห์จำนวนมาก เทคนิคการวัดปริมาณน้ำตาลด้วยเซนเซอร์ค่าความจุประจุเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่มีผู้แนะนำเสนอ เช่น การวัดความหวานในสารละลายน้ำตาลด้วยเซนเซอร์ค่าความจุประจุ ทำงานได้ดีที่ความถี่ 120-300 กิโลเฮิร์ตซ์ สร้างจากแผ่นวงจรมีพิมพ์ (PCB) การใช้งานต้องนำเซนเซอร์จุ่มลงไปในการวัด (Angkawisitpan & Manasri, 2012) จึงไม่เหมาะกับการวัดปริมาณน้ำตาลในอาหาร การวัดปริมาณน้ำตาลในผลส้มด้วยเทคนิคการวัดอัตราส่วนของค่าความจุประจุน้ำหนัก ร่วมกับการวัดสี (Bhosale, 2017) ระบบที่นำเสนอต้องวัดผลส้มกับเซนเซอร์ทีละตัว ไม่สามารถวัดพร้อมกันได้ และใช้เวลาวัดนาน อีกทั้งระบบนี้เป็นการทดสอบความสัมพันธ์เท่านั้น ยังไม่มีการสร้างส่วนประมวลผลเพื่อตัดสินใจ เทคนิคการวัดความหวานของแตงโมด้วยข้อมูลภาพถ่ายและประมวลผลด้วยการเรียนรู้เชิงลึก โดยข้อมูลภาพถ่ายได้มาจากกล้องสมาร์ทโฟน และประมวลผลด้วยสมาร์ทโฟน วิธีการนี้มีความแม่นยำในการจำแนกแตงโม 4 ประเภทอยู่ที่ 97.2% (ณัฐดี หงษ์บุญมี และณัฐพงศ์ จันตะวงศ์, 2020) วิธีการนี้มีความแม่นยำและสะดวกในการใช้งาน ไม่ทำลายตัวอย่างที่วัด เหมาะกับการวัดตัวอย่างที่มีสีแตกต่างกันที่แต่ละความหวาน ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการวัดสารละลายที่มีคล้ายคลึงกันมากที่แต่ละระดับความหวาน

2. งานวิจัยด้านการวัดความหวานด้วยคลื่นไมโครเวฟ

เทคนิคการวัดปริมาณน้ำตาลด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกใช้วัดความหวาน เนื่องจากมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ข้อมูลต่ำกว่า ราคาไม่สูง อีกทั้งเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงนอกห้องปฏิบัติการ เทคนิคนี้อาศัยพื้นฐานคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุที่แตกต่างกันที่แต่ละระดับความหวาน ส่งผลให้การแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟมีคุณลักษณะเปลี่ยนแปลง เช่น วัดปริมาณน้ำตาลในน้ำผึ้งจากการตรวจวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกในช่วงความถี่ 10 ถึง 4500 เมกะเฮิร์ตซ์ (Guo et al., 2010) การวัดปริมาณน้ำตาลในน้ำด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากสายอากาศไมโครสตริปที่ความถี่ 2.50 ถึง 18 กิกะเฮิร์ตซ์ โดยสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าลดลงเมื่อความหวานในสารละลายเพิ่มขึ้น (Islam, 2018) หรือการวัดความหวานของส้มมาเลเซีย จากความสัมพันธ์ระหว่าง S_{11} ที่ได้จากเซนเซอร์โมโนโพลและรีเฟล็กโตมิเตอร์ ซึ่งความถี่ 2.2 กิกะเฮิร์ตซ์ให้ความสัมพันธ์ระหว่าง S_{11} กับความหวานของส้มที่ดีที่สุด (Rosman, 2018) การวัดความหวานของสายละลายโดยใช้สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ได้ถูกนำเสนอมาแล้วก่อนหน้านี้ โดยทดสอบกับสารละลายที่ผสมระหว่างน้ำเชื่อมกับน้ำสะอาดจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่ระดับความหวาน 0 – 30 %Brix ผลการทดสอบสารละลายตัวอย่างพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ สารละลายตัวอย่าง ที่มีระดับความหวานตั้งแต่ 0 -30 %Brix มีค่าอยู่ในช่วง 2.420 - 2.549 โวลต์ แต่ละระดับความหวานมีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยแตกต่างกันชัดเจน อยู่ที่ 0.02 โวลต์ และจากข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมด 10 ค่า มีค่าใกล้เคียงกันทำให้มีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ ต่ำมาก

เพียงพอสำหรับการคัดแยกระดับความหวานของสารละลาย ระบบที่นำเสนอมี ความเหมาะสม สำหรับการตรวจสอบปริมาณความหวาน (พรพิมล ฉายแสง, 2559) ดังนั้นแนวความคิดนี้จึงเป็นไปได้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจวัดความหวานของเครื่องดื่มสมุนไพรน้ำเห็ดหลินจือโดยเพิ่มส่วนประสมผลเพื่อสร้างเป็นระบบที่สมบูรณ์พร้อมใช้งานจริง

3. งานวิจัยด้านการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อวิเคราะห์ความหวาน

ข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนหรือ S_{11} ที่ได้จากการวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟต้องนำไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจแสดงระดับความหวาน โครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้สำหรับปรับเทียบ/ตัดสินใจ วิเคราะห์ระดับความหวานในระบบเซนเซอร์ไมโครเวฟ เช่น การวัดปริมาณน้ำตาลในแอปเปิลแบบไม่ทำลายด้วยวิธีรีเฟลกโตมิเตอร์ของคลื่นมิลลิเมตรสำหรับสร้างรูปแบบการปรับเทียบค่า (Calibration curve) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed forward artificial neural network) (Oda et al., 2011) การวิเคราะห์ระดับความหวานในแตงโมจากการลดทอนของคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz จากสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Adedayo, 2012) นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังถูกพัฒนาให้มีความซับซ้อนน้อยลงในการวิเคราะห์ระดับความหวานในระบบเซนเซอร์ไมโครเวฟ (Leekul et al., 2014) การศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการสะท้อนของคลื่นไมโครเวฟสามารถนำมาบ่งชี้ระดับความหวานได้ แต่ทั้งนี้ยังคงเป็นเพียงการทดสอบด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ข้อดีของการวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กับการวัดความหวานของสารละลาย หรือเครื่องดื่มสมุนไพรเห็ดหลินจือ และใช้ข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้สร้างเป็นระบบประมวลผลเพื่อให้มีความแม่นยำในการวัดสูงสุด