

บทที่ 2

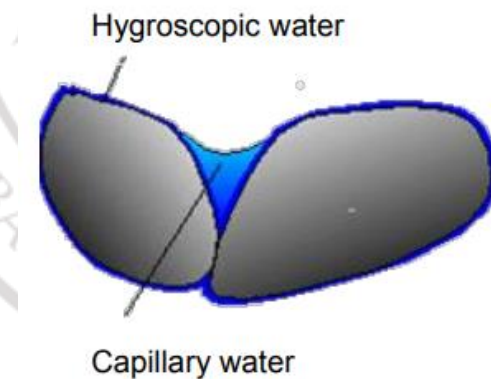
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการสำคัญที่ต้องศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับออกแบบวิธีการดำเนินการวิจัย ได้แก่ การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับสายอากาศไมโครสตริป และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความชื้นในดิน

คุณภาพของดินเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพาะปลูก ดินที่ดีนอกจากมีสารอาหารเพียงพอต่อพืช ปริมาณความชื้นในดินหรือปริมาณน้ำในดิน (Soil moisture) มีผลสำคัญต่อคุณภาพพืช หากน้ำน้อยเกินไปอาจทำให้พืชเจริญเติบโตไม่เต็มที่ หากน้ำมากเกินไปอาจทำให้ปุ๋ยและธาตุอาหารในดินถูกชะล้าง ทำให้พืชไม่ได้สารอาหารอย่างเพียงพอเพื่อรักษาคุณภาพของดิน เกษตรกรต้องติดตามและควบคุมความชื้นในดินให้เหมาะสมตลอดเวลา โดยวิธีการวัดความชื้นในดิน 3 วิธี ได้แก่ สังเกตจากลักษณะภายนอกและการสัมผัสดิน วิธีการวัดความชื้นในดิน 3 วิธี ได้แก่ สังเกตจาก

ความชื้นในดิน คือ ปริมาณน้ำที่ถูกอนุภาคของดินดูดยึดเอาไว้ ทำให้น้ำที่แรกซึมลงในดินยังคงค้างอยู่ตามช่องของเนื้อดิน (Capacity water) หรือเคลือบเป็นฟิล์มรอบอนุภาคดิน (Hygroscopic water) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การยึดปริมาณน้ำของอนุภาคดิน
ที่มา : (อนุรัตน์ ศฤศการภาษิต, 2547 : 1-4)

ความชื้นในดินมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดินทั้งพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ สำหรับพืช น้ำในดินที่ซึมลึกลงไปดินจนหยุดนิ่งระดับความชื้นในดินเริ่มคงที่ จะถูกรากของพืชดูดไปใช้และคายน้ำออกทางใบ ลักษณะของเนื้อดินมีผลต่อการใช้ประโยชน์จากความชื้นในดินของพืช ดินเหนียวที่มีเนื้อละเอียดความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืชจะมีช่วงกว้างกว่าดินทรายและดินร่วน (อนุรัตน์ ศฤศการภาษิต, 2547 : 1-4)

คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric properties) ของวัสดุเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีค่าเฉพาะของวัสดุนั้นๆ โดยมีค่าแตกต่างกันที่แต่ละความถี่ ลักษณะหรือโครงสร้างของวัสดุ คุณสมบัติไดอิเล็กตริก ประกอบด้วย ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity: ϵ) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานสนามไฟฟ้า และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability: μ) แสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน สำหรับวัสดุที่ไม่ใช่ตัวนำ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเฉพาะค่าสภาพยอมไฟฟ้า ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant: ϵ') และตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor: ϵ'') ค่าสภาพยอมไฟฟ้าของสุญญากาศ ϵ_0 มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} ฟารัดต่อเมตร ซึ่งเป็นตัวกลางที่มีค่าสภาพยอมไฟฟ้าต่ำสุด เนื่องจากค่าสภาพยอมไฟฟ้าเป็นตัวเลขที่น้อยมาก ดังนั้นจึงนิยมอธิบายถึงคุณลักษณะของวัสดุด้วยค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ ϵ_r (Relative permittivity) ซึ่งหมายถึงค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุเมื่อเทียบกับค่าสภาพยอมไฟฟ้าของสุญญากาศ ϵ_0 ดังสมการที่ (2.1) (Krupka, 2006 : R55–R70)

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ ϵ_r เป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุที่ถูกลำมาเทียบกับค่าสภาพยอมไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งค่าในรูปเชิงซ้อนแสดงดังสมการที่ (2.2)

$$\epsilon_r = \epsilon_r' + \epsilon_r'' \quad (2.2)$$

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวกลางมีผลต่อการแพร่กระจายของคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ทำให้คลื่นเกิดการลดทอนและการเปลี่ยนแปลงเฟส ตัวอย่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุแต่ละชนิด แสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ

วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r)	ความถี่ที่ใช้วัด (GHz)
อะลูมิเนียม	9.5-10	10
เซรามิค	5.6	3
แก้ว	4.82	3
ไนลอน (610)	2.84	3
พาราฟิน	2.24	10

วัสดุ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r)	ความถี่ที่ใช้วัด (GHz)
ซิลิกอน	11.9	10
น้ำ	76.7	3

ที่มา : (Pozar, 2012 : 719)

การสะท้อนของไมโครเวฟ

เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือคลื่นไมโครเวฟเดินทางจากตัวกลางที่ 1 คือ อากาศ ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์เป็น η_0 ไปตกกระทบกับตัวกลางที่สองที่มีค่าอิมพีแดนซ์เป็น η สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น Γ ซึ่งแสดงถึงกำลังงานที่สะท้อนกลับแสดงดังสมการที่ (2.3) (Pozar, 2012 : 29)

$$\Gamma = \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \quad (2.3)$$

โดยค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกลางมีค่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกดังนั้นอิมพีแดนซ์ของตัวกลางจึงสัมพันธ์กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ดังสมการที่ (2.4)

$$\eta = \sqrt{\mu / \epsilon} \quad (2.4)$$

ดังนั้นเมื่อคลื่นเดินทางไปตกกระทบกับตัวกลางที่ 2 คลื่นสะท้อนกลับจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวกลางที่ 2 ความชื้นในดิน หมายถึง ดินที่มีองค์ประกอบของน้ำของภายในซึ่งน้ำเป็นวัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ดังนั้นดินที่มีความชื้นสูงจึงมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงกว่าดินที่มีความชื้นต่ำ ทำให้สามารถตรวจสอบความชื้นในดินจากกำลังงานของคลื่นสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟได้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

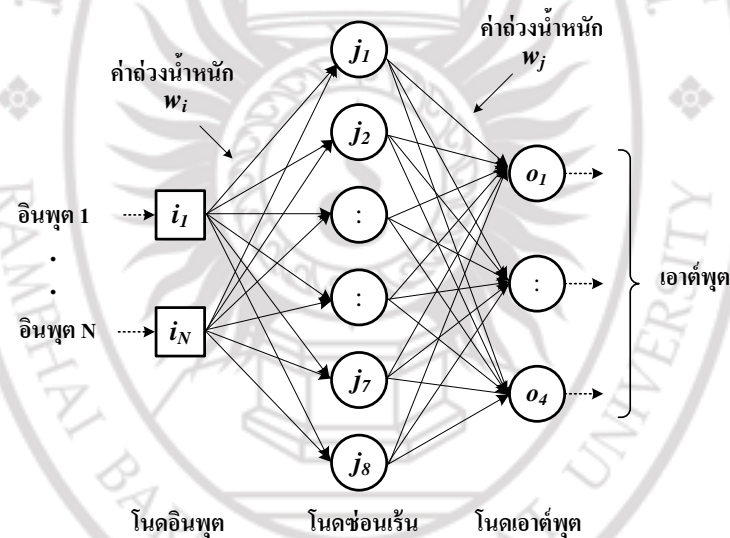
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Networks : ANNs) คือ หนึ่งในระบบปัญญาประดิษฐ์ที่เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ซึ่งได้รับการจำลองมาจากเซลล์ประสาทของมนุษย์ มีพฤติกรรมการเลียนแบบ การเข้าใจภาษา การรับรู้ได้และตอบสนอง โดยอาศัยการเรียนรู้ และจดจำรูปแบบ ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรม เช่น การจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน การใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การฝึกสอน (Training) หรือการเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือใช้งานจริง (Working) นอกจากนี้ในขั้นตอนการเรียนรู้ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1. การเรียนรู้แบบมีการฝึกสอน (Supervised learning algorithm) โดยใช้ข้อมูลที่มีอินพุตและเป้าหมายที่ต้องการ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้และปรับค่าถ่วงน้ำหนัก กลุ่มข้อมูล

ตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมต้องมีเป้าหมายที่ต้องการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการตัดสินใจ และเมื่อการตัดสินใจผิดพลาดโครงข่ายประสาทเทียมจะเรียนรู้และปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการ

2. การเรียนรู้แบบไม่มีการฝึกสอน (Unsupervised learning algorithm) วิธีการนี้โครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้โดยไม่มีเป้าหมายหรือคำตอบที่ต้องการในการตรวจสอบ จึงไม่ทราบคำตอบว่าถูกหรือผิดโครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้

โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back propagation) มีโครงสร้างการจัดเซลล์ประสาทเทียมเป็นชั้น (Layer) แสดงดังภาพที่ 2.2 โดยชั้นอินพุต (Input layer) เป็นชั้นรับข้อมูลเข้า ชั้นเอาต์พุต (Output layer) เป็นชั้นที่ให้คำตอบหรือผลลัพธ์ ส่วนชั้นที่ช่วยทำการประมวลผลอยู่ภายในเรียกว่า ชั้นซ่อนเร้น (Hidden layer) ระหว่างแต่ละชั้นมีเส้นการเชื่อมต่อ โดยกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) ให้กับทุกเส้นที่เส้นเชื่อม



ภาพที่ 2.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมเริ่มทำงาน ต้องมีการกำหนดค่าให้แก่ชั้นอินพุต โดยค่าเหล่านี้อาจได้มาจากการวัดคลื่นสะท้อนหรือคลื่นส่งผ่านของระบบ จากนั้นชั้นอินพุตจะส่งค่าที่ได้รับไปยังโนดชั้นซ่อนเร้นโดยผ่านการคูณกับค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างโนดอินพุตและโนดซ่อนเร้น ผลการคูณจากค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละการเชื่อมต่อได้รับการรวมและส่งต่อไปยังฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) จากนั้นจึงส่งค่าไปยังชั้นถัดไป การคำนวณในลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาในแต่ละชั้นและสุดท้าย คือ ชั้นเอาต์พุต

การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับนำไปใช้งานในระบบเซนเซอร์ เริ่มต้นจากการฝึกสอนเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมด้วยสมการของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งต้องกำหนดจำนวนโนดอินพุต (n) โนดเอาต์พุต (l) โนดซ่อนเร้น (d) จำนวนการวนซ้ำ (p) และกำหนดอัตรา

เรียนรู้ (α) การพัฒนาโครงสร้างและการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมใช้การฝึกสอน มีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 กำหนดน้ำหนักเริ่มต้นในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับนำไปใช้ในการประมวลผลในชั้นซ่อนเร้น เพื่อให้ได้น้ำหนักเริ่มต้นที่เหมาะสมกับจำนวนโนด อินพุตและโนดซ่อนเร้น ค่าน้ำหนักเริ่มต้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$\left(-\frac{2.4}{F_i}, +\frac{2.4}{F_i} \right) \quad (2.5)$$

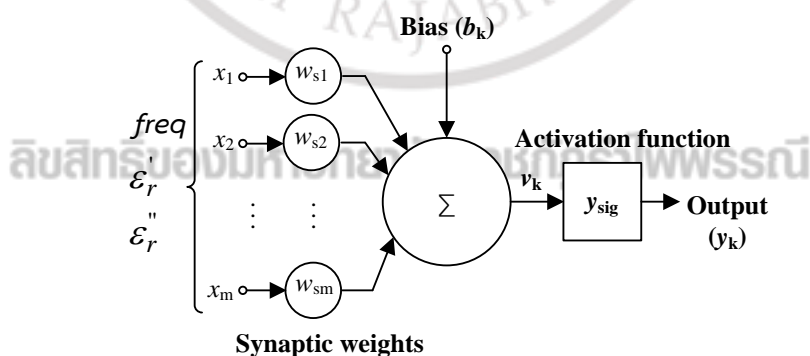
โดย i คือ จำนวนอินพุต และ F_i คือ ผลรวมของจำนวนโนดอินพุต ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าอินพุตตั้ง สมการที่ (2.6) และการกำหนดค่าเอาต์พุตที่ต้องการของโครงข่ายประสาทเทียมกำหนดได้ดังแสดงใน สมการที่ (2.7)

อินพุต $x_1(p), x_2(p), \dots, x_n(p)$ (2.6)

เอาต์พุต $y_{d,1}(p), y_{d,2}(p), \dots, y_{d,i}(p)$ (2.7)

กำหนดให้ b_k คือ ค่าไบแอส v_k คือ ผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักคูณด้วยอินพุตกับค่าไบแอส จากนั้น ผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) และได้เป็นค่าเอาต์พุต y_k ดังแสดงในสมการที่ (2.8) และโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.3

$$y_k = y_{sig} \left(\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j + b_k \right) \quad (2.7)$$



ภาพที่ 2.3 โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

โดยค่า y_{sig} คือ ฟังก์ชันแอคติเวทแบบไม่เชิงเส้น และสมการคุณลักษณะของฟังก์ชันซิกมอยด์ดังสมการที่ (2.9)

$$y_{sigmoid} = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.9)$$

เอาต์พุตที่ชั้นซ่อนเร้น ซึ่งเกิดจากข้อมูลของชั้นอินพุตคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมระหว่างชั้นอินพุตและชั้นซ่อนเร้น ดังสมการที่ (2.10)

$$y_j(p) = sigmoid \left[\sum_{i=1}^n x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \right] \quad (2.10)$$

เอาต์พุตที่ชั้นเอาต์พุต ซึ่งเกิดจากข้อมูลของชั้นซ่อนเร้นคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมระหว่างชั้นซ่อนเร้นและชั้นเอาต์พุตดังสมการที่ (2.11)

$$y_k(p) = sigmoid \left[\sum_{j=1}^n x_{jk}(p) \times w_{jk}(p) - \theta_k \right] \quad (2.11)$$

ขั้นตอนที่ 3 คือ การหาน้ำหนักที่เหมาะสมดังสมการที่ (2.12)–(2.16) โดยกำหนดให้ δ คือ เกรเดียนความผิดพลาด (Error gradient) e คือ ค่าความผิดพลาด k คือ จำนวนเอาต์พุต α คือ อัตราการเรียนรู้ i คือ จำนวนอินพุต j คือ จำนวนโนดซ่อนเร้น p คือ จำนวนรอบการวนซ้ำ

$$(a) \quad \delta_k(p) = y_k(p) \times [1 - y_k(p)] \times e_k(p) \quad (2.12)$$

$$e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p) \quad (2.13)$$

$$\Delta w_{jk}(p) = \alpha \times y_j(p) \times \delta_k(p) \quad (2.14)$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \quad (2.15)$$

$$(b) \quad \delta_j(p) = y_j(p) \times [1 - y_j(p)] \times \sum_{k=1}^l \delta_k(p) \times w_{jk}(p) \quad (2.16)$$

ขั้นที่ 4 ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight: w_{ij} , w_{jk}) ที่นำไปใช้งานควรให้ค่าอัตราความผิดพลาดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เพื่อให้สามารถในการเรียนรู้และตัดสินใจได้อย่างแม่นยำ หรือขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่นำไปประยุกต์ใช้ ดังสมการที่ (2.17) และ (2.18)

$$\Delta w_{ij}(p) = \alpha \times x_i(p) \times \delta_j(p) \quad (2.17)$$

$$w_{ij}(p+1) = w_{ij}(p) + \Delta w_{ij}(p) \quad (2.18)$$

ขั้นสุดท้าย คือ การวนซ้ำเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับการตัดสินใจ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ให้ค่าความแม่นยำสูงและโครงสร้างที่ใช้ทรัพยากรน้อยจึงได้รับการเลือกไปใช้งานเนื่องจากใช้หน่วยประมวลผลน้อย ขั้นตอนการออกแบบข้างต้นเป็นการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับโครงสร้างที่มีโนดซ่อนเร้น 1 ชั้น อย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมสามารถมีโนดซ่อนเร้นมากกว่า 1 ชั้น เช่น โครงข่ายประสาทเทียมชนิดเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron: MLP)

สายอากาศไมโครสตริบ

สายอากาศไมโครสตริบ (Microstrip antenna) เป็นสายอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นตัวนำขนาดเล็ก เรียกว่าส่วนแพร่กระจายคลื่น (Patch) มีระนาบกราวด์อยู่ด้านหลัง คั่นกลางด้วยวัสดุฐานรอง (Substrate) ดังนั้นจึงนิยมเรียกสายอากาศไมโครสตริบว่าสายอากาศแพทช์ (Patch antennas) ข้อดีของสายอากาศชนิดนี้ คือ น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อน ติดตั้งเข้ากับระบบหรือต่อร่วมกับอุปกรณ์เช่นเซอร์ได้สะดวก รูปร่างของส่วนแพร่กระจายคลื่นมีหลายรูปร่าง โดยสายอากาศไมโครสตริบรูปสี่เหลี่ยมเป็นรูปทรงพื้นฐานที่ออกแบบง่ายที่สุด การออกแบบสายอากาศไมโครสตริบที่มีส่วนแพร่กระจายคลื่นเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ต้องกำหนดความถี่ที่ใช้งาน (f_r) และคุณลักษณะของวัสดุที่นำมาสร้างสายอากาศก่อนการออกแบบ ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองเริ่มต้นออกแบบด้วยการคำนวณค่าความยาวคลื่น (λ) ดังสมการที่ (2.19) โดย c คือความเร็วคลื่นของแสงในสุญญากาศมีค่า 2.99×10^8 เมตรต่อวินาที

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \quad (2.19)$$

การออกแบบสายอากาศต้องใช้ความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง (λ_g) ซึ่งมีคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ϵ_r ดังนั้นสามารถคำนวณความยาวคลื่นในวัสดุไดอิเล็กตริกได้ดังสมการที่ (2.20)

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.20)$$

เมื่อ ϵ_{eff} คือค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผล ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของอากาศและวัสดุฐานรอง สามารถหาค่าได้จากสมการ (2.21)

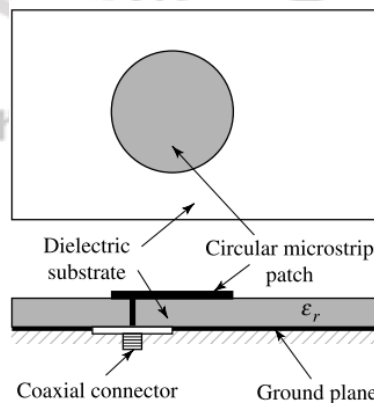
$$\epsilon_{eff} = \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} \quad (2.21)$$

ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่เหมาะสมกับการแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง หรือ $\lambda_g/2$ เมื่อได้ขนาดของสายอากาศแล้ว

ขั้นตอนต่อมาคือการคำนวณระยะจุดป้อนสัญญาณส่วนป้อนสัญญาณ(Feed line) ให้กับสายอากาศไมโครสตริป เป็นส่วนมีผลต่อการโพลาไรเซชัน (Polarization) ของสายอากาศและการแมทชิง (Matching) เทคนิคการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปมีหลายเทคนิค เช่น การป้อนแบบโพรบโคแอกเซียล (Coaxial probe) ป้อนแบบใช้สายนำสัญญาณไมโครสตริป และการป้อนสัญญาณแบบช่องเปิด (Aperture coupled) เป็นต้น ทั้งนี้การป้อนสัญญาณแบบโพรบโคแอกเซียลเป็นเทคนิคที่นิยมนำไปใช้งานเนื่องจากสร้างง่ายและลดการแพร่กระจายคลื่นเทียม (Spurious radiation) (Raithatha & Kashyap, 2015) สามารถต่อสายนำสัญญาณของสายอากาศกับสายนำสัญญาณรูปแบบอื่นได้สะดวก ระยะจุดป้อนสัญญาณแบบโพรบสามารถคำนวณเบื้องต้นได้จากสมการที่ (2.22)

$$\text{ระยะจุดป้อนสัญญาณ} = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.22)$$

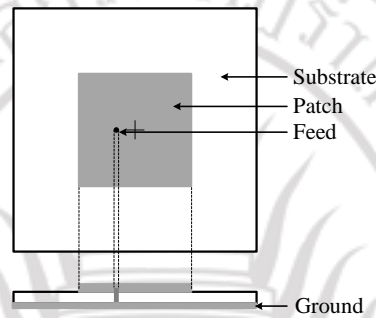
วิธีนี้จะใช้สายแกนคู่ (Coaxial) ต่อสายนำสัญญาณกับส่วนแพร่กระจายคลื่นอยู่ในมุมที่ 90 องศา กับระนาบกราวด์เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวน ตัวแปรหลักที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ป้อนสัญญาณแบบโพรบ ประกอบด้วยคุณสมบัติไดอิเล็กตริกและความหนาของชั้นวัสดุฐานรองเมื่อพิจารณาในกรณีที่คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเท่ากันแต่ความหนาต่างกัน วัสดุฐานรองที่หนากว่า ช่วงความถี่ในการแพร่กระจายคลื่นสามารถทำงานได้ดีกว่าวัสดุฐานรองที่มีความหนาน้อย ลักษณะการเชื่อมต่อจุดป้อนสัญญาณแบบโพรบแสดงดังในภาพที่ 2.4 การป้อนสัญญาณลักษณะนี้ทำให้เกิดรูบนแผ่นตัวนำส่งผลต่อประสิทธิภาพของการโพลาไรเซชันและการแพร่กระจายของสัญญาณ



ภาพที่ 2.4 การป้อนสัญญาณแบบโพรบ

ที่มา: (Balanis, 2016 : 814)

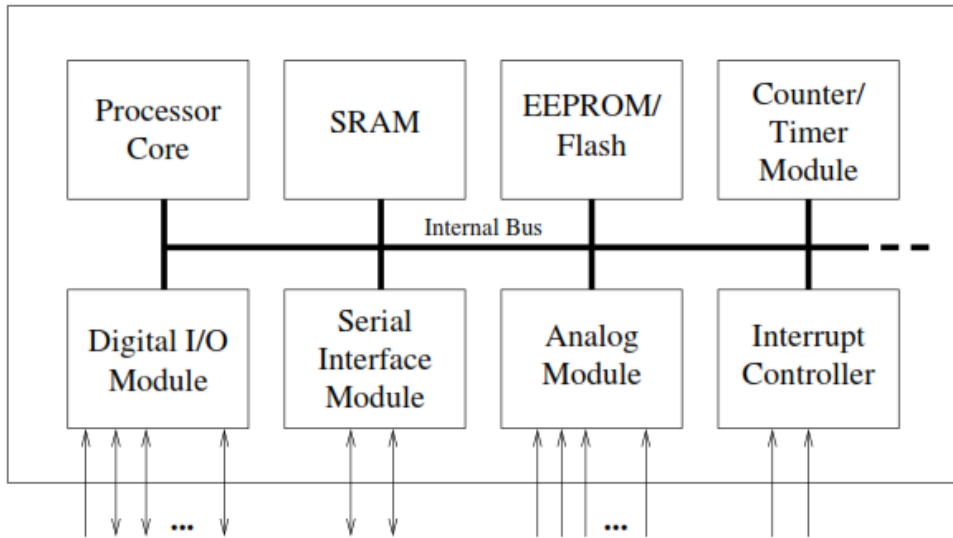
พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณในสมการข้างต้น ได้แก่ ระยะความกว้าง ระยะความยาว และระยะจุดป้อนสัญญาณ ได้ถูกใช้สำหรับการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศ โครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมแสดงดังภาพที่ 2.5 จุดกลางของส่วนแพร่กระจายคลื่นคือจุดป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe feed)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีโครงสร้างภายนอกเป็นวงจรรวมหรือไอซี (Integrate Circuit : IC) ซึ่งมีโครงสร้างภายในเหมือนกับไมโครคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วย หน่วยประมวลผล (Processor unit), หน่วยความจำ (Memory unit) และหน่วยเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (I/O Port unit) มีหลายตระกูลให้เลือกใช้งาน เช่น MCS-51, PIC, AVR, ARM, Basic Stamp และ PSoC เป็นต้น โดยสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาแอสเซมบลี ภาษาเบสิก ภาษาซีหรือภาษาอื่น ๆ ที่บริษัทผู้ผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตระกูลได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกัน เพื่อควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติที่นำไปใช้ในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีลักษณะการทำงานในแบบเดียวกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ประกอบด้วย หน่วยความจำ ซีพียู และการเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุตพอร์ต คล้ายกับระบบคอมพิวเตอร์ที่มีส่วนประกอบหลักเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในโครงสร้างเดียวกันแสดงดังในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา: (Gridling & Weiss, 2007: 5)

อาดุยโน (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล AVR ที่ถูกพัฒนาเป็นแบบโอเพ่นซอร์ซ (Open Source) ซึ่งผู้ผลิตเปิดเผยข้อมูลทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ บอร์ดอาดุยโนถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับที่ผู้เริ่มต้นศึกษาการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น ผู้ใช้งาน สามารถดัดแปลง พัฒนาต่อยอดฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ได้ อาดุยโนนำมาใช้งานเช่นเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆ เพื่อใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานตามต้องการ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ อาดุยโนในชีวิตประจำวัน เช่น ควบคุมการเปิด/ปิดไฟในบ้านอัตโนมัติ, วงจรวัดค่าอุณหภูมิ, ควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ ควบคุมการเปิด/ปิดประตูอัตโนมัติควบคุมเครื่องซักผ้าหยอดเหรียญ หรือควบคุมความเร็วและทิศทาง การหมุนของมอเตอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย และราคาไม่แพง ตัวอย่างโครงสร้างของบอร์ดอาดุยโนรุ่น UNO R3 แสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 บอร์ดอาดุยโน รุ่น UNO R3

บอร์ดอาดูยโน รุ่น UNO R3สร้างมาจากไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัทATMEL รุ่น ATmega328 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรแกรมและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมารองรับมักอ้างอิงกับบอร์ดรุ่นนี้ เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ อาดูยโนและมีอุปกรณ์เสริม ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ดอาดูยโน รุ่นอื่นๆที่ออกแบบมาเฉพาะมากกว่า โดยบอร์ดอาดูยโนUno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซีเป็นแบบ SMD และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนได้ง่ายข้อมูลจำเพาะอื่นๆ ของบอร์ด Arduino UnoR3 มีดังนี้ (มายอาดูยโน, 2015)

ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40mA
กระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V	50mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32KB พื้นที่โปรแกรม, 500B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1KB
ความถี่คริสตัล	16MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

นอกจากบอร์ดอาดูยโนรุ่น UNO R3 แล้วยังมีบอร์ดรุ่นอื่นอีก เช่น บอร์ดอาดูยโนรุ่น Mega 2560 R3 เป็นบอร์ดอาดูยโน ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากกว่า Arduino Uno R3 บอร์ดอาดูยโน Leonardo ใช้ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ATmega2560 มีชิปไอซี USB Host เบอร์ MAX3421e มาให้บนบอร์ด ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์ผ่าน OTG บอร์ด Arduino Mini 05 เป็นบอร์ด Arduino ขนาดเล็กที่ใช้ MCU เบอร์เดียวกับบอร์ดอาดูยโนUNO R3 และบอร์ด Arduino Ethernet with PoE module เป็นบอร์ดอาดูยโนที่ใช้ MCU เบอร์เดียวกับ อาดูยโนUno SMD ในบอร์ดมีชิป Ethernet และช่องสำหรับเสียบ SD Card รวมทั้งโมดูล POE ทำให้บอร์ดนี้สามารถใช้แหล่งจ่ายไฟจากสาย LAN ได้โดยตรง เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบความชื้นดินจึงเป็นที่สนใจกันอย่างแพร่หลายในหมู่นักวิจัย เทคนิคการวัดความชื้นดินด้วยวิธีทางอ้อมจึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยพัฒนาไว้หลายเทคนิค ดังนี้

1) เทคนิคการกระเจิงนิวตรอน (Neutron scattering) (Badr & Abuarab, 2013 : 317–332), (Zreda et al., 2012 : 4079–4099) เป็นเทคนิคสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างธาตุของวัสดุ

โดยการใช้แหล่งกำเนิดนิวตรอนให้ตกกระทบกับดิน จากนั้นวัดปริมาณของนิวตรอนที่เลี้ยวเบนในลักษณะกระจายตามมุมกระเจิงเทียบกับมุมตกกระทบเริ่มต้น รูปแบบการเลี้ยวเบน (Diffraction pattern) ที่เกิดขึ้นสามารถแสดงถึงปริมาณน้ำในดิน (อดิศักดิ์ บุญพงษ์, ทิพธัญญา พูลประเสริฐ และ รพพน พิชา, 2554) เทคนิคนี้มีข้อจำกัดด้านความไว ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อวัดใกล้กับผิวดิน และการเคลื่อนย้ายเครื่องมือวัดมีความยุ่งยาก (Lekshmi et al., 2014 : 92–105)

2) การใช้รังสีแสงและอินฟราเรด (Xu et al., 2018 : 4587-4594) (Burton et al., 2020 : 1-8) เป็นเทคนิคที่ให้ผลแม่นยำ แต่การใช้รังสีอินฟราเรดมีข้อจำกัดเมื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริง เนื่องจากอุปกรณ์ราคาสูง และทำงานได้ดีในห้องปฏิบัติการเท่านั้น (Lekshmi et al., 2014 : 92–105)

3) เทคนิคการวิเคราะห์ความชื้นดินจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยม และมีรูปแบบการใช้งานหลากหลาย ได้แก่ เซนเซอร์ค่าความต้านทาน (Kalita et al., 2016 : 582–590) และเซนเซอร์ค่าอิมพีแดนซ์ (Pandey et al., 2018 : 43179-43191) ใช้หลักความแตกต่างของค่าความต้านทานของดินที่มีความชื้นต่ำมีค่าสูงกว่าความต้านทานของดินที่มีความชื้นสูง ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ราคาไม่สูงและสามารถวัดที่บริเวณเดิมได้โดยไม่ขึ้นกับฤดูกาล แต่ต้องทำการปรับเทียบเซนเซอร์เพื่อวัดดินแต่ละประเภท และความเค็มของดินมีผลต่อการวัด (Lekshmi et al., 2014 : 92–105)

4) คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของดินเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ถูกนำมาวิเคราะห์ความชื้นดินในหลายงาน เนื่องจากเมื่อความชื้นดินสูงส่งผลให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของดินสูงขึ้น (Curtis, 2001 : 125-128), (Bouksila et al., 2008 : 253-265), (Lakhankar et al., 2009 : 81-91), (Salam et al., 2019: 31-41) การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของดินเพื่อวิเคราะห์ความชื้นดินโดยตรง (Bhat, Rao. & Singh, 2007 ; 1-12) ต้องใช้เครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้จริงภาคสนาม ดังนั้นจึงใช้คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นหลักการทำงานพื้นฐานของอุปกรณ์วัดความชื้น ได้แก่ เซนเซอร์ความจุประจุ (Orangi et al., 2019), (Zhen et al., 2014 : 56-60) ใช้การวัดความชื้นดินจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ทำงานของวงจรกำเนิดความถี่ เนื่องจากค่าความจุประจุในวงจรเปลี่ยนแปลง เมื่อความชื้นของดินเปลี่ยน (Lekshmi et al., 2014 : 92-105) วิธีการนี้ราคาไม่สูง และสามารถประยุกต์ใช้งานภาคสนาม แต่การใช้งานเซนเซอร์ต้องฝังเซนเซอร์ลงในดินเพื่อวัด เทคนิคเอฟดีอาร์ (Frequency domain reflectometry) (Yao et al., 2016 : 1-18) เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการเดียวกับเซนเซอร์ความจุประจุ แต่ให้ความแม่นยำมากกว่า (Lekshmi et al., 2014 : 92-105) ทั้งนี้เทคนิคเอฟดีอาร์ทำงานได้ไม่ดีเมื่อใช้วัดความชื้นในดินเค็ม และจำเป็นต้องปรับเทียบใหม่เมื่อใช้วัดดินต่างชนิด เทคนิคการใช้โพรมิโนโพล (You et al., 2013 : 2563-2570) วัดความชื้นโดยส่งคลื่นความถี่ 1.35 ถึง 1.95 กิกะเฮิรตซ์ ให้แพร่กระจายไปในดินที่ต้องการวัด และประมวลผลความชื้นดินจากระดับแรงดันคลื่นสะท้อนกลับ เทคนิคนี้สามารถวัดได้แม่นยำ แต่ยังคงต้องฝังโพรบลงในดินที่วัด เห็นได้ว่าเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นแม้ให้ความแม่นยำสูง แต่รูปแบบการวัดต้องฝังเซนเซอร์ลงในดิน ซึ่งเกิดความซับซ้อนในขั้นตอนการใช้งาน ดังนั้นเทคนิคการวัดความชื้นแบบไม่ฝังลงในดินจึงได้รับการพัฒนา ได้แก่ เทคนิคการวัดด้วยทีดีอาร์ (Time domain reflectometry) (Rezaei et al., 2012 : 1723–1728), (Suchorab et al., 2018 : 1-20) เป็นเทคนิคที่ใช้วัดค่าเวลา

ที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางในดิน เนื่องจากความเร็วของคลื่นสัมพันธ์กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของดิน การวัดด้วยทีดีอาร์มีความแม่นยำ ลดความผิดพลาดเนื่องจากความนำไฟฟ้าและอุณหภูมิ ได้ดีกว่าเทคนิคเอฟดีอาร์แต่ข้อจำกัดของเทคนิคทีดีอาร์ คือ ไม่สามารถวัดได้ลึก ความขรุขระของผิวดินและต้นไม้บนผิวดินมีผลต่อการวัด รวมถึงราคาสูง เทคนิคการใช้ท่อนำคลื่น (Luciani et al., 2017 : 236-245), (Franceschelli et al., 2020 : 1-18) โดยใช้ขนาดและเฟสของคลื่นสะท้อนกลับจากดินด้วยท่อนำคลื่นปลายเปิดสำหรับวิเคราะห์ความชื้นดิน ซึ่งเทคนิคท่อนำคลื่นและทีดีอาร์แม้ไม่ต้องฝังเซนเซอร์ลงในดิน แต่ยังคงต้องสัมผัสกับผิวดินเพื่อทำการวัด

5) เทคนิคการวัดความชื้นผิวดินด้วยระบบการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ใช้พื้นฐานจากความแตกต่างของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของดินถูกนำเสนอไว้หลายระบบ ได้แก่ การใช้เซนเซอร์เรดาร์ (Bindlish et al., 2009 : 644-648), (Kim & van Zyl, 2009 : 2519-2527) ระบบการสำรวจระยะไกลด้วยแสงที่มองเห็นได้และอินฟราเรด (Visible and near-infrared remote sensing) (Lekshmi et al., 2014 : 92-105) ระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global navigation satellite system: GNSS) (Shekhar et al., 2021 : 183-194) เทคนิคการวัดด้วยระบบสำรวจระยะไกลสามารถวัดความชื้นดินโดยไม่ต้องสัมผัสกับดิน อย่างไรก็ตามการวัดความชื้นด้วยระบบสำรวจระยะไกลค่อนข้างซับซ้อน ความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างต่ำ เหมาะกับการวัดพื้นที่ขนาดใหญ่