บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการสำคัญที่ต้องศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับออกแบบวิธีการดำเนินการวิจัย ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน คุณสมบัติไดอิเล็กตริก สายอากาศไมโครสตริป ไมโครคอนโทรลเลอร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปฏิกิริยาไฮเดชันในคอนกรีต

การก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์นั้น เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) ขององค์ประกอบในซีเมนต์ การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะ ได้แก่

1. ใช้น้ำเป็นสารทำละลายซีเมนต์ เมื่อซีเมนต์ละลายในน้ำจึงเกิดเป็นไอออนขึ้นในสารละลาย โดยไอออนที่เกิดขึ้นนี้จะผสม และทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น

2. การเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย ปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า (Solid State Reaction)

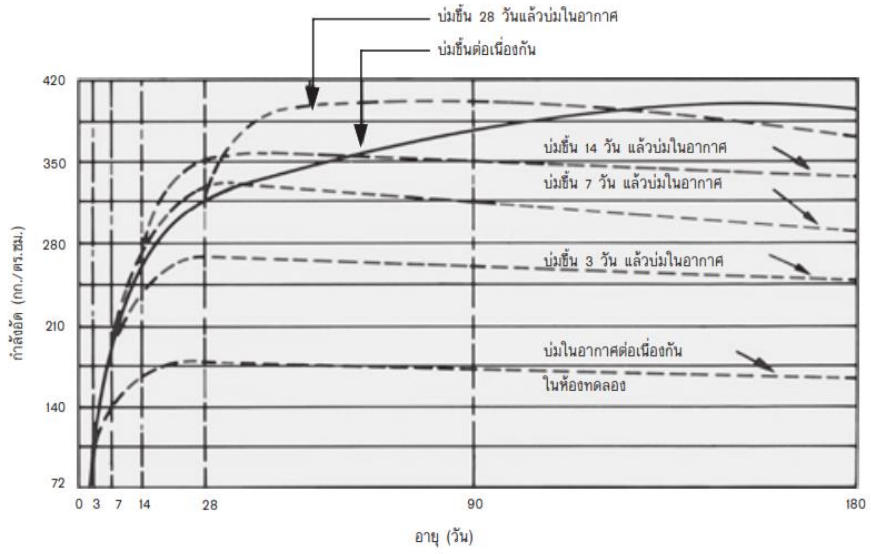
การพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะเกิดสาร Calcium silicate hydrate (CSH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสาน มาเคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์ เมื่อกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเข้าสู่จุดแข็งตัวเริ่มต้น ซึ่งเป็นช่วงที่ CSH ที่เคลือบอยู่บนเม็ดซีเมนต์จะแตกตัวออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันต่อไป ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะมีขนาดใหญ่กว่า 2 เท่าของซีเมนต์ก่อนทำปฏิกิริยา ผลก็คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยานี้จะเข้าอุดช่องว่างระหว่างซีเมนต์ และเกิดผิวสัมผัสก่อให้เกิดการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์จะมีมากขึ้น ก่อให้เกิดความเข้มข้นของจุดสัมผัส จำกัดการเคลื่อนที่ของเม็ดซีเมนต์ ส่งผลให้ซีเมนต์การเป็นของแข็ง นั่นคือ การเข้าสู่ช่วงจุดแข็งตัวสุดท้าย สารใหม่ที่เกิดมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สำคัญคือ CSH และ $Ca(OH)_2$ ซึ่ง CSH เป็นสารหลักที่ให้กำลังแก่คอนกรีตและ $Ca(OH)_2$ จะทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก มี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมนั่นเอง นั่นคือ สาร CSH จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ ซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้ว หากไม่มีการบ่มคอนกรีตหลังจากเทเสร็จ คอนกรีตจะสูญเสียน้ำไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนกระทั่งไม่มีน้ำไปทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ การเกิดปฏิกิริยาใน 2 ลักษณะดังกล่าวจึงเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ สาร CSH จะเกิดขึ้นน้อยลงในช่วงหลัง ทำให้มีช่องว่างระหว่างซีเมนต์มาก จุดสัมผัสระหว่างซีเมนต์จะมีน้อย เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว จะทำให้โครงสร้างคอนกรีตไม่มีความแข็งแรง เกิดการแตกร้าวได้ง่าย และรับกำลังได้น้อย นอกจากนี้คอนกรีตที่ไม่ได้รับการบ่ม สารเคมีอันตรายต่าง ๆ จะสามารถซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ง่ายขึ้น จนทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม (ซีแพคอะคาดิมี, 2543 : 14)

การบ่มคอนกรีต

คอนกรีตมีองค์ประกอบหลักคือ ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) และ มวลรวม หรือ Aggregate ซึ่งซีเมนต์เพสต์เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ มีสถานะข้นเหลว ทำหน้าที่ในการ

ผสานมวลรวมเข้าด้วยกัน เมื่อเวลาผ่านไป ซีเมนต์เพสจะค่อย ๆ เปลี่ยนสถานะไปเป็นของแข็ง ช่วงเวลาระหว่างการเปลี่ยนสถานะนั้น จะเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชันซึ่งมีน้ำเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการเกิดปฏิกิริยานี้ และมีการคายพลังงานความร้อนออกมา ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เป็นสารหลักที่ให้กำลังแก่คอนกรีต มีอยู่ปริมาณร้อยละ 50-70 โดยปริมาตร ปฏิกิริยาไฮเดรชันสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเมื่อมีน้ำมาทำปฏิกิริยา ยิ่งปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นมากเท่าไร คอนกรีตก็จะได้กำลังอัดที่ดีขึ้นนเรื่อย ๆ และการที่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์นั้น จะต้องมีน้ำมาเป็นปัจจัยในการทำปฏิกิริยาร่วมกับปูนซีเมนต์อยู่ตลอดเวลา การบ่มคอนกรีตจึงเป็นวิธีการรักษาความชื้นในคอนกรีตให้เหมาะสม เพื่อให้เกิด ปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ ส่งผลโดยตรงกับกำลังของคอนกรีต ทำให้ได้กำลังตามที่ต้องการ

คอนกรีตทุกชนิดเมื่อได้รับการเทเสร็จแล้วควรได้รับการบ่มทันที่ คอนกรีตแต่ละชนิดจะใช้ระยะเวลาในการบ่มแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ กำลังที่ต้องการ หรืออัตราส่วนผสมของคอนกรีต เป็นต้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายทั่วโลก เป็นวัตถุดิบหลักๆในการผลิตคอนกรีต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หรือ มอก. 15 เล่ม 1 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท แต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว การนำไปใช้งานจะแตกต่างกันออกไปในงานแต่ละประเภท เช่น ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ปูนประเภทนี้เมื่อทำเป็นคอนกรีตและนำไปเทเสร็จแล้ว ควรได้รับการบ่มทันที หากเป็นงานธรรมดาทั่วไปอย่างงานประเภทเสา คาน กำแพง ควรจะได้รับการบ่มอย่างน้อย 7 วัน จึงจะได้กำลังอัดที่เหมาะสมกับประเภทของงานนี้ แต่สำหรับงานพิเศษอาจจะต้องใช้เวลาในการบ่มมากกว่างานธรรมดาทั่วไปหากใช่ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้เทในงานพิเศษ เช่น แผ่นพื้นบาง ๆ จะต้องใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน แต่ถ้าใช้ประเภทที่ 3 ซึ่งเป็นปูนปอร์ตแลนด์ที่ให้กำลังอัดสูงเร็ว สามารถใช้ระยะเวลาในการบ่มได้น้อยกว่าประเภทแรกที่ 7 วัน ผลของการบ่มที่มีต่อกำลังอัดคอนกรีตที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีตดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ผลของการบ่มที่มีต่อกำลังอัดคอนกรีต
ที่มา : (ซีแพคอะคาดิมี, 2543 : 112)

คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะหรือโครงสร้างของวัสดุ โดยคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ประกอบด้วย ค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity: ε) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability: μ) ในวัสดุที่ไม่ใช่ตัวนำ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเฉพาะค่าสภาพยอมไฟฟ้า ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant: ε') และตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor: ε'') ค่าสภาพยอมไฟฟ้าสัมพัทธ์ ε_r เป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้าของวัสดุที่ถูกนำมาเทียบกับค่าสภาพยอมไฟฟ้าของอากาศ ซึ่งค่าในรูปเชิงซ้อนแสดงดังสมการที่ (2.1)

$$\varepsilon_r = \varepsilon_r^{'} + \varepsilon_r^{''} \tag{2.1}$$

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุหรือตัวกลางส่งผลต่อการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางที่ 1 คือ อากาศ ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกลาง (Intrinsic impedance) เป็น η_0 ไปตกกระทบกับรอยต่อตัวกลางที่สองที่มีค่าอิมพีแดนซ์เป็น η สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่น Γ แสดงดังสมการที่ (2.2) (Pozar, 2012 : 29)

$$\Gamma = \frac{\eta - \eta_0}{\eta + \eta_0} \tag{2.2}$$

โดยค่าอิมพีแดนซ์ของตัวกลางมีค่าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวกลาง ดังสมการที่ (2.3)

$$\eta = \sqrt{\mu / \varepsilon} \tag{2.3}$$

เมื่อคลื่นเดินทางไปตกกระทบกับตัวกลางที่ 2 คลื่นสะท้อนกลับจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของตัวกลางที่ 2 สำหรับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของคอนกรีตได้จากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาและนำเสนอไว้ที่ 6 เมกะเฮิรตซ์ ถึง 10 กิกะเฮิรตซ์ ที่แต่ละระดับกำลังอัดของคอนกรีต พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับกำลังอัดเดียวกัน ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าสูงขึ้นเมื่อวัดที่ความถี่สูงขึ้น (Chung, et al., 2017 : 1-14) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะตรวจวัดกำลังอัดของคอนกรีตด้วยคุณสมบัติไดอิเล็กตริก หรือการเปลี่ยนแปลงของคลื่นสะท้อนกลับจากคอนกรีต

สายอากาศไมโครสตริป

สายอากาศไมโครสตริป (Microstrip antenna เป็นสายอากาศที่มีลักษณะเป็นแผ่นตัวนำขนาดเล็ก เรียกว่าส่วนแพร่กระจายคลื่น (Patch) มีระนาบกราวด์อยู่ด้านหลัง คั่นกลางด้วยวัสดุฐานรอง (Substrate) ดังนั้นจึงนิยมเรียกสายอากาศไมโครสตริปว่าสายอากาศแพทช์ (Patch

antennas) ข้อดีของสายอากาศชนิดนี้ คือ น้ำหนักเบา โครงสร้างไม่ซับซ้อน ติดตั้งเข้ากับระบบหรือต่อร่วมกับอุปกรณ์เซนเซอร์ได้สะดวก รูปร่างของส่วนแพร่กระจายคลื่นมีหลายรูปร่าง โดยสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมเป็นรูปทรงพื้นฐานที่ออกแบบง่ายที่สุด การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปที่มีส่วนแพร่กระจายคลื่นเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ต้องกำหนดความถี่ที่ใช้งาน (f_r) และคุณลักษณะของวัสดุที่นำมาสร้างสายอากาศก่อนการออกแบบ ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุฐานรอง เริ่มต้นออกแบบด้วยการคำนวณค่าความยาวคลื่น (λ) ดังสมการที่ (2.4) โดย c คือ ความเร็วคลื่นของแสงในสุญญากาศ

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \tag{2.4}$$

การออกแบบสายอากาศต้องใช้ความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง (λ_g) ซึ่งมีคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ε_r ดังนั้นสามารถคำนวณความยาวคลื่นในวัสดุไดอิเล็กทริกได้ดังสมการที่ (2.5)

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \tag{2.5}$$

เมื่อ ε_{eff} คือค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประสิทธิผล ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของอากาศและวัสดุฐานรอง สามารถหาค่าได้จากสมการ (2.6)

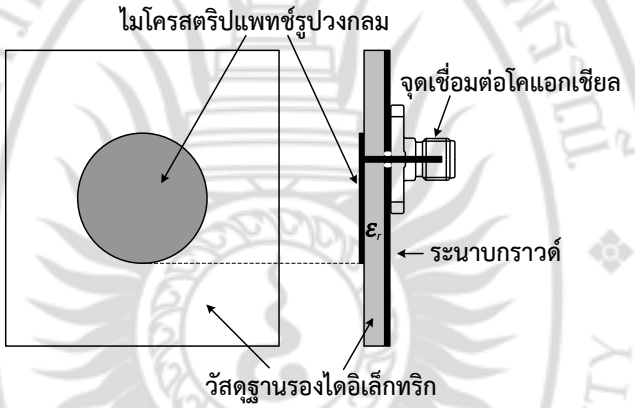
$$\varepsilon_{eff} = \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}} \tag{2.6}$$

ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่เหมาะสมกับการแพร่กระจายคลื่นจะมีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นในวัสดุฐานรอง หรือ λ_g /2 เมื่อได้ขนาดของสายอากาศแล้ว

ขั้นตอนต่อมาคือการคำนวณระยะจุดป้อนสัญญาณ ส่วนป้อนสัญญาณ (Feed line) ให้กับสายอากาศไมโครสตริป เป็นส่วนมีผลต่อการโพลาไรเซชัน (Polarization) ของสายอากาศ และการแมตชิง (Matching) เทคนิคการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศไมโครสตริปมีหลายเทคนิค เช่น การป้อนแบบโพรบโคแอกเชียล (Coaxial probe) ป้อนแบบใช้สายนำสัญญาณไมโครสตริป และการป้อนสัญญาณแบบช่องเปิด (Aperture coupled) เป็นต้น ทั้งนี้การป้อนสัญญาณแบบโพรบโคแอกเชียลเป็นเทคนิคที่นิยมนำไปใช้งานเนื่องจากสร้างง่ายและลดการแพร่กระจายคลื่นเทียม (Spurious radiation) (Raithatha & Kashyap, 2015) สามารถต่อสายนำสัญญาณของสายอากาศกับสายนำสัญญาณรูปแบบอื่นได้สะดวก ระยะจุดป้อนสัญญาณแบบโพรบสามารถคำนวณเบื้องต้นได้จากสมการที่ (2.7)

$$\text{ระยะจุดป้อนสัญญาณ} = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.7)$$

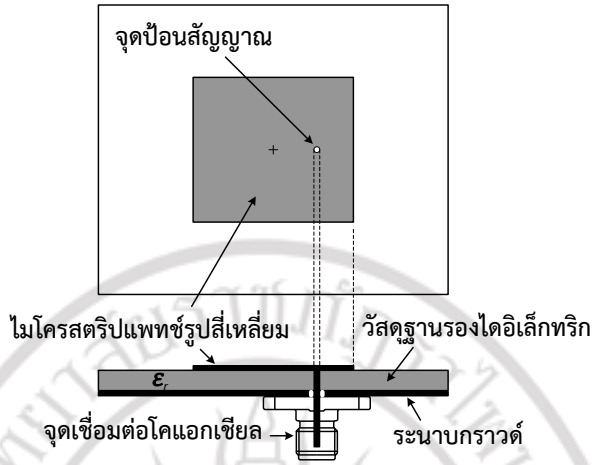
วิธีนี้จะใช้สายแกนคู่ (Coaxial) ต่อสายนำสัญญาณกับส่วนแพร่กระจายคลื่นอยู่ในมุมที่ 90 องศา กับระนาบกราวด์เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวน ตัวแปรหลักที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่ป้อนสัญญาณแบบโพรบ ประกอบด้วยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกและความหนาของชั้นวัสดุฐานรอง เมื่อพิจารณาในกรณีที่คุณสมบัติไดอิเล็กทริกเท่ากันแต่ความหนาต่างกัน วัสดุฐานรองที่หนากว่า ช่วงความถี่ในการแพร่กระจายคลื่นสามารถทำงานได้ดีกว่าวัสดุฐานรองที่มีความหนาน้อย ลักษณะการเชื่อมต่อจุดป้อนสัญญาณแบบโพรบแสดงดังในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การป้อนสัญญาณแบบโพรบ
ที่มา : (Balanis, 2016 : 814)

การป้อนสัญญาณลักษณะนี้ทำให้เกิดรูบนแผ่นตัวนำ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการโพลาไรเซชันและการแพร่กระจายของสัญญาณ พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณในสมการข้างต้น ได้แก่ ระยะความกว้าง ระยะความยาว และระยะจุดป้อนสัญญาณ ได้ถูกใช้สำหรับการพัฒนาโครงสร้างของสายอากาศ โครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมแสดงดังภาพที่ 2.3 จุดกลางของส่วนแพร่กระจายคลื่น คือ จุดป้อนสัญญาณแบบโพรบ (Probe feed)

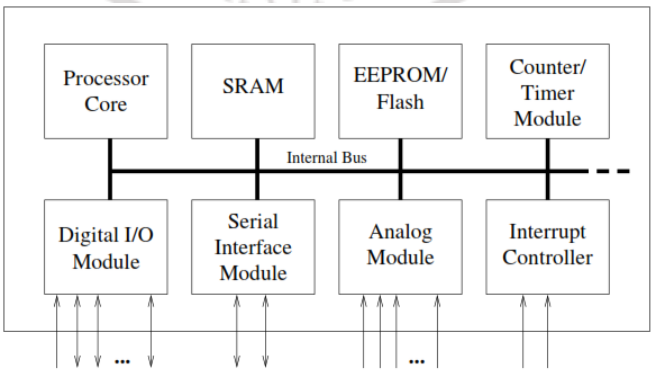
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยม

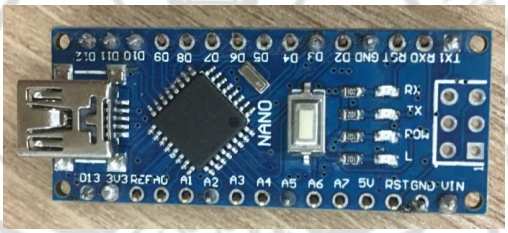
ไมโครคอนโทรลเลอร์

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 Stampและ PSoC เป็นต้น โดยสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาแอสเซมบลี ภาษาเบสิก ภาษาซีหรือภาษาอื่น ๆ ที่บริษัทผู้ผลิต ไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตระกูลได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกัน เพื่อควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติที่นำไป ใช้ในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์มีลักษณะการทำงานในแบบเดียวกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ประกอบด้วย หน่วยความจำ ซีพียู และการเชื่อมต่ออินพุตและเอาต์พุตพอร์ต คล้ายกับระบบคอมพิวเตอร์ที่มีส่วนประกอบหลักเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในโครงสร้างเดียวกันแสดงดังในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา: (Gridling & Weiss, 2007: 5)

บอร์ดอาดุยโน่ (Arduino) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์อื่น ๆ พร้อมใช้งาน มีหน่วยประมวลเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมแบบเปิดเผยคำสั่ง (Open source) ซึ่งผู้ผลิตเปิดเผยข้อมูลทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับที่ผู้เริ่มต้นศึกษาการเขียนโปรแกรมเบื้อต้น ผู้ใช้งาน สามารถดัดแปลง พัฒนาต่อยอดฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ได้ Arduino นำมาใช้งานเช่นเดียวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่น ๆ เพื่อใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานตามต้องการ สามารถนำบอร์ดอาดุยโนไปประยุกต์ใช้งานในระบบอัตโนมัติได้หลากหลาย และยังสามารถพัฒนาโปรแกรมได้บนหลายระบบปฏิบัติการ และราคาไม่สูง และตัวอย่างโครงสร้างของบอร์ดอาดุยโนนาโน แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 บอร์ดอาดุยโนนาโน

บอร์ดอาดุยโนรุ่น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega168 หรือ ATmega328 บอร์ดรุ่นนี้ คือ มีขนาดเล็กเพียง 45x18 มิลลิเมตร น้ำหนัก 5 กรัม พอร์ต Digital I/O14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output) พอร์ต Analog Input6 พอร์ต นอกจากนี้ยังมีบอร์ดรุ่นอื่น ๆ เช่น รุ่น UNO R3 เป็นบอร์ดที่มีพอร์ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่หลากหลาย บอร์ดรุ่น Mega 2560 R3 เป็นบอร์ดอาดุยโนเป็นบอร์ดที่มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุตมาก คือ มีพอร์ตแบบดิจิทัล 54 พอร์ต เที่ส่งสัญญาณ PWM ได้ 14 พอร์ต ในขณะที่บอร์ดรุ่นอื่นมีพอร์ต PWM เพียง 6 พอร์ตพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบแอนะล็อก 16 พอร์ต บอร์ด Arduino Leonardo ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmaega2560 จุดเด่นคือมีไอซี USB Host เบอร์ MAX3421e มาให้บนบอร์ด ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยผ่าน OTG เป็นต้น

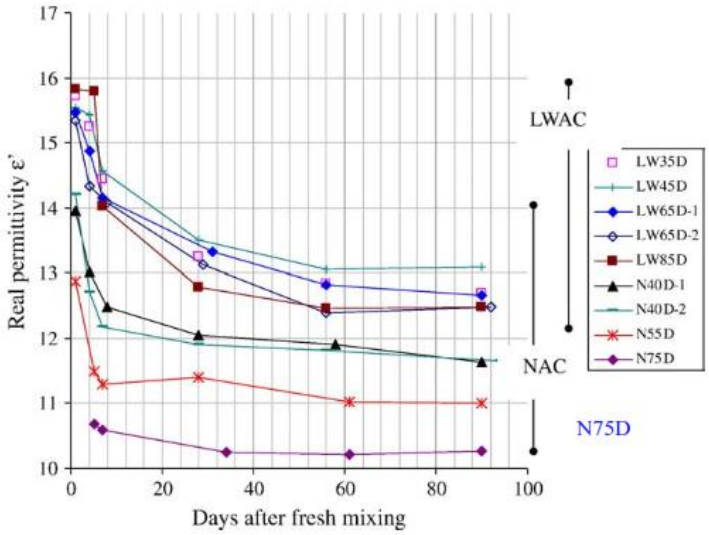
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีต โดยเฉพาะการวัดค่ากำลังอัดคอนกรีตแบบไม่ทำลาย โดยได้นำเสนอเทคนิคต่างๆ ไว้หลายเทคนิค ยกตัวอย่างดังนี้

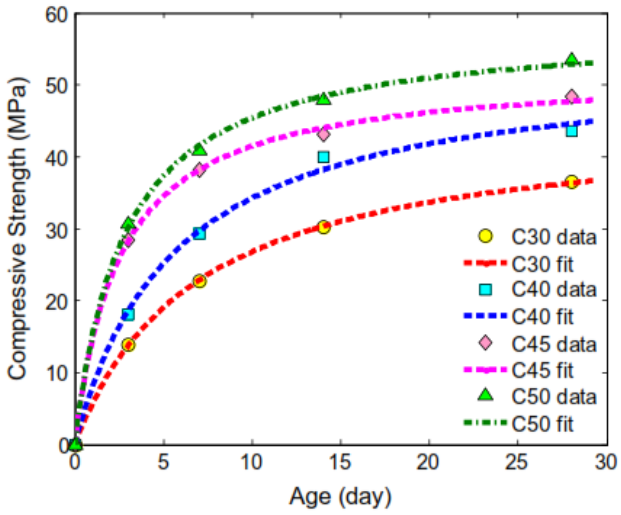
1) Hannachi และ Guetteche (2012 : 16-21) นำเสนอการวัดกำลังอัดคอนกรีตโดยการใช้ 2 วิธีควบคู่กัน คือ Ultrasonic pulse velocity ร่วมกับค้อนกระแทกแบบสมิดท์ และใช้การประมวลผลแบบการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งวิธีนี้สามารถวัดคอนกรีตบนโครงสร้างจริงได้ไม่ทำลาย ใช้วิธีการวัดที่ใช้งานอยู่ทั่วไปจึงง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริง ให้ผลการทดสอบที่ความแม่นยำมากขึ้น แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์กำลังอัดยังไม่สามารถแสดงผลได้ทันที

2) Khormani et al. (2020) ได้นำเสนอการใช้เครื่องแสกนด้วยรังสีเอ็กซ์ (X-ray computed tomography) เพื่อแสกนภาพ และวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์ (Finite element method) ซึ่งสามารถประเมินค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตได้จากคอนกรีตที่เพิ่งสร้าง เหมาะสำหรับผู้ตรวจงานก่อนสร้าง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ใช้อุปกรณ์ที่ราคาสูงและไม่สามารถแสดงผลได้ทันที

3. คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของคอนกรีต ได้มีนักวิจัยทำการศึกษาไว้โดยเปรียบเทียบค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกกับอายุคอนกรีต หรือจำนวนวันที่ทำการบ่ม แสดงดังภาพที่ 2.6 ซึ่งจำนวนวันที่บ่มนี้มีผลต่อกำลังอัดคอนกรีตเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและจำนวนวันในการบ่ม
ที่มา: (Lai et al., 2009 : 687–695)



ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตและจำนวนวันในการบ่ม
ที่มา: (Gao et al., 2021 : 1-19)