บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีต มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัย

ข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับออกแบบและดำเนินการวิจัยที่ศึกษา ได้แก่ ส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับโครงสร้างของสิ่งปลูกสร้างแต่ละส่วน และค่ากำลังอัดที่ต้องการของคอนกรีตแต่ละชนิด เพื่อเลือกส่วนผสมของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ศึกษาวิธีการตรวจสอบกำลังอัดคอนกรีต ศึกษาวิธีการตรวจสอบกำลังอัดคอนกรีตในการก่อสร้างจริงเพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างการใช้งานระบบและคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของคนกรีตที่แต่ละระดับค่ากำลังอัดเพื่อนำมาใช้ในการจำลองการทำงานของระบบ

1. วิธีการทดสอบคอนกรีต

การทดสอบทำได้หลายวิธี เช่น การทดสอบกำลังอัด การทดสอบ Bulk density การทดสอบปริมาณอากาศ การวัดอุณหภูมิ โดยทั่วไปนิยมใช้วิธีการทดสอบกำลังอัด เพราะเป็นดัชนีหลักในการบ่งบอกถึงคุณภาพของคอนกรีต โดยปกติในประเทศไทยจะใช้ค่ากำลังอัดของทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เป็นมาตรฐานในการออกแบบ การทำสอบกำลังอัดจะทำได้โดยการหล่อแบบตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐานทั่วไป ซึ่งมีอยู่ 2 รูปทรง ได้แก่ รูปลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของอังกฤษ ขนาดที่ใช้ คือ 15x15x15 เซนติเมตร และรูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (ASTM C39, ASTM C192) ขนาดที่ใช้คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

ในประเทศไทยนิยมใช้รูปทรงกระบอกเป็นมาตรฐานในการทดสอบ โดยการนำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้มาทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต (Compression Machines) กำลังอัดของสองรูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ารูปทรงลูกบาศก์ เนื่องจากองค์ประกอบของแรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกด ก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลต่อค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง และองค์ประกอบเรื่องความชะลูด กล่าวคือ รูปทรงกระบอกว่าความสูงมากกว่าด้านกว้าง ทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก เมื่อทดสอบแล้ว การประเมินผลการทดสอบ ใช้การพิจารณาจาก การประเมินผลตามความผันแปรเนื่องจากกระบวนการผลิต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ถ้ามีค่าสูง แสดงว่าการควบคุมยังไม่ดีพอ ต้องปรับปรุง

2. คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของคอนกรีต

ระดับความแข็งของคอนกรีตมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Chung et al., 2017 : 1-14) ดังนั้นเมื่อคลื่นความถี่เดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่างกัน ส่งผลให้เกิดการสะสมพลังงานหรือเปลี่ยนพลังงานไปอยู่ในแบบของความร้อน รวมถึงเกิดการสะท้อน การเลี้ยวเบน และการแทรกสอดของคลื่น นักวิจัยได้ศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเทียบเทียบระยะเวลาของการบ่มคอนกรีต ซึ่งระยะเวลาการบ่มสัมพันธ์กับความแข็งของคอนกรีต สามารถสรุปค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่แต่ละอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุยึดประสาน (Water to binder: w/b) และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (Water to cement: w/c) ได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของคอนกรีต

ระยะเวลาการบ่ม (วัน)	**(Jamil et al., 2013 : 77-87)**		**(Lai et al. 2009 : 687-695)**	
	6 GHz (w/c = 0.4)		**1 GHz** (w/b = 0.48)	
	ε'_r	ε''_r	ε'_r	ε''_r
1	11.2	2.3	N/A	N/A
2	9.9	2.1	N/A	N/A
3	9.2	1.9	N/A	N/A
4	8.2	1.3	N/A	N/A
5	8	1.2	10.7	N/A
6	7.5	1.1	N/A	N/A
7	7.2	1.1	10.5	N/A
10	N/A	N/A	10.4	N/A
14	N/A	N/A	10.3	N/A

จากตารางที่ 3.1 เห็นได้ว่าระยะเวลากรบ่ม ความถี่มีผลต่อคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาความแตกต่างของวัสดุแต่ละชนิด และจากค่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของงานวิจัยก่อนหน้าที่ได้มีนักวิจัยศึกษาไว้ในตารางที่ 3.1 ผู้วิจัยใช้สำหรับวิเคราะห์ช่วงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการจำลอง

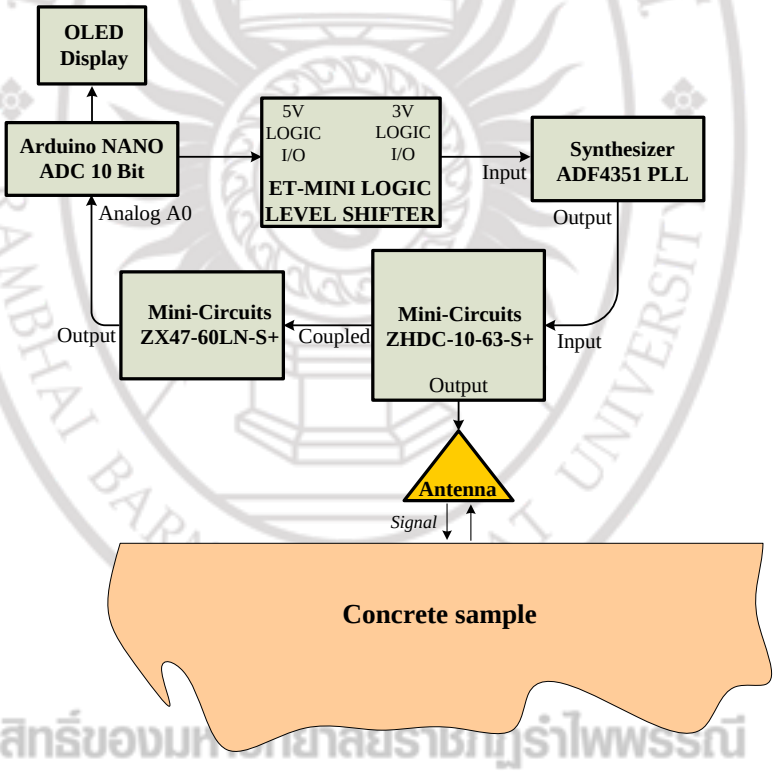
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ออกแบบการทำงานของระบบ

ระบบเซนเซอร์ตรวจสอบความแข็งของคอนกรีตทำงานโดยใช้การโมดูลส่งคลื่นความถี่ (Transmitter) ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่ไปตกกระทบกับคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ และภาครับคลื่น (Receiver) ทำหน้าที่รับคลื่นความถี่ที่สะท้อนกลับมาจากคอนกรีต

1. แผนผังการทำงานของระบบ

เซนเซอร์ตรวจสอบคุณภาพคอนกรีตทำงานโดยใช้การโมดูลส่งคลื่นความถี่ ADF4351 ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่ไปตกกระทบกับคอนกรีตที่ต้องการเพื่อให้คลื่นตกกระทบทำมุมกับผิวคอนกรีต ส่วนประมวลผล ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของภาคส่งและควบคุมการรับคลื่นสะท้อนกลับจากภาครับเพื่อนำไปประมวลผลในส่วนควบคุม จากนั้นตัดสินใจแสดงระดับความแข็งของคอนกรีตที่ส่วนแสดงผล บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนนาโนทำหน้าที่ในการควบคุมโมดูลกำเนิดสัญญาณความถี่ ADF4351 ในการสร้างสัญญาณความถี่ และกำลังงานความถี่ถูกส่งออกด้วยสายอากาศไปยังวัสดุทดสอบ เกิดคลื่นสะท้อนย้อนกลับและได้รับการตรวจจับด้วยอุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยังทำหน้าที่รับตรวจสอบข้อมูลและประมวลผล จากนั้นแสดงผลผ่านหน้าจอโอแอลอีดี ภายในเครื่องวัดมีการทำงานทั้งภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นภาคส่งคือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนาโน โมดูลสร้างสัญญาณความถี่และคัปเปอร์แบบมีทิศทางเชื่อมต่อสัญญาณ โครงสร้างของระบบถูกออกแบบไว้ดังภาพที่ 3.1



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบเซนเซอร์ตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีต

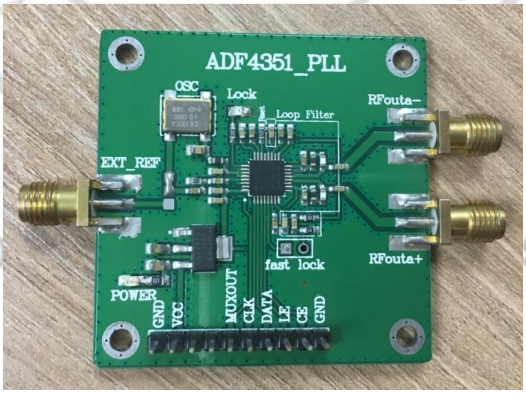
ขนาดของคลื่นสะท้อนที่รับได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้ในโปรแกรมประมวลผล เพื่อจำแนกว่าคลื่นสะท้อนกลับที่วัดได้ตรงกับระดับอ้างคอนกรีตความกำลังอัดต่ำกว่าเกณฑ์หรือกำลังอัดอยู่ในเกณฑ์ปกติ จากนั้นตัดสินใจแสดงระดับความแข็งของคอนกรีตที่ส่วนแสดงผล (Display) การทดสอบโครงสร้างของระบบที่ออกแบบเบื้องต้น ด้วยการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการแยกระดับ

ความแข็งคอนกรีตด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 2.4 ถึง 2.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยคอนกรีตที่ผ่านการบ่มด้วยการหุ้มพลาสติกเป็นคอนกรีตที่จะให้ค่ากำลังอัดสูงในงานวิจัยนี้เรียกว่าคอนกรีตคุณภาพสูง ส่วนคอนกรีตปล่อยแห้งตามธรรมชาติจะมีค่ากำลังอัดต่ำ เรียกว่าคอนกรีตคุณภาพต่ำ

2. อุปกรณ์สำหรับพัฒนาระบบ

อุปกรณ์สำหรับสร้างระบบเซนเซอร์ตรวจสอบความแข็งของคอนกรีต ประกอบด้วย บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนนาโนใช้ส่วนประมวลผล รุ่น ATMEGA328P ดังภาพที่ 3.2 ทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดสัญญาณความถี่สูงที่สามารถปรับความถี่ได้รุ่น ADF4351 ของบริษัท Analog Devices ที่สามารถสร้างความถี่ได้ช่วง 0.035 ถึง 4.4 กิกะเฮิรตซ์ และให้กำลังงานได้ในช่วง -4 ถึง +5 dBm ทำหน้าที่ส่งคลื่นความถี่ไปตกกระทบกับคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ ดังภาพที่ 3.3 โมดูล ADF4351 ใช้สัญญาณควบคุมด้วยแรงดัน 3 โวลต์ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จึงใช้โมดูลแปลงสัญญาณไฟฟ้าจาก 5 เป็น 3 โวลต์ รุ่น ET-MINI LOGIC LEVEL SHIFTER เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เพื่อควบคุมการสร้างสัญญาณความถี่ที่ 2.4 2.45 และ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และมีกำลังงานส่ง +4 dBm

ภาพที่ 3.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดุยโนนาโน



ภาพที่ 3.3 โมดูล ADF4351

คลื่นความถี่ที่สร้างขึ้นถูกส่งเข้าด้านขาอินพุตของคัปเปอร์แบบมีทิศทาง (Directional coupler) ของบริษัท Mini circuit รุ่น ZADC-13-2000-1 สัญญาณเชื่อมต่อร่วมที่ -10 dB ทำงานในช่วงความถี่

0.05 ถึง 6 กิกะเฮิรตซ์ ดังภาพที่ 3.4 และส่งออกไปยังสายอากาศแพทช์ที่ออกแบบเพื่อส่งออกกำลังงานความถี่ไปยังคอนกรีต

ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณแบบมีทิศทาง ZADC-13-2000-1

ในทางกลับกันกำลังงานที่สะท้อนจากคอนกรีตถูกส่งย้อนกลับมายังคัปเปอร์แบบมีทิศทางและให้เป็นเอาต์พุตสัญญาณคัปปิ้ง (Coupling signal) ข้อมูลสัญญาณความถี่ถูกใช้เป็นอินพุตให้กับวงจรตรวจจับกำลังงานของบริษัท Mini circuit รุ่น ZX47-60LN-S+ ที่สามารถตรวจจับกำลังงานได้ต่ำสุด -60 ในช่วงความถี่ 0.01 ถึง 8 กิกะเฮิรตซ์ และให้เอาต์พุตเป็นแรงดันฟ้ากระแสตรงในช่วง 0.5 ถึง 2.1 โวลต์ ดังภาพที่ 3.5 กำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงได้รับการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล 10 บิต ด้วยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ฝังอยู่ภายในบอร์ดอาดุยโนนาโน โดยรับเป็นอินพุตเข้าที่ขา A0 และส่งผลการตรวจวัดเพื่อแสดงค่าบนหน้าจอ การแสดงผลเลือกใช้หน้าจอแบบโอแอลอีดี ขนาด 1.5 นิ้ว ดังภาพที่ 3.6 ซึ่งเป็นจอที่ใช้งานเข้ากับบอร์ดนาโนได้ง่าย มีราคาถูก และหาซื้อได้ทั่วไป อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณแบบมีทิศทาง (Directional coupler) รุ่น Mini Circuits ZADC-13-2000-1 แล้วรับสัญญาณที่สะท้อนกลับเข้ามาจากภายนอก ส่งกลับมายังระบบเพื่อประมวลผล อุปกรณ์ที่เลือกถูกนำไปสร้างเป็นระบบเซนเซอร์ตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีตต่อไป

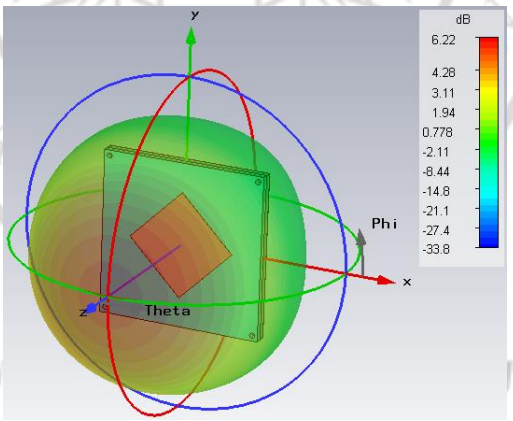
ลิขสิทธิ์ของ ... รรณี

ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์ตรวจจับกำลังงาน Mini Circuits ZX47-60LN-S+

ภาพที่ 3.6 หน้าจอโอแอลอีดี ขนาด 1.5 นิ้ว

3. ออกแบบสายอากาศ

สายอากาศที่ใช้ในการสร้างระบบถูกออกแบบด้วยการจำลอง โดยโดยสายอากาศแพทช์ได้รับการนำมาใช้ในการจำลองเนื่องจากมีขนาดกะทัดรัดและติดตั้งเข้ากับระบบได้สะดวก คุณสมบัติของสายอากาศในการจำลองใช้แผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR 4 มีความหนาของวัสดุฐานรอง 4.8 มิลลิเมตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 4.1 โครงสร้างตัวนำรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความกว้างและสูง ประมาณ $\lambda/2$ ระยะจุดป้อนสัญญาณประมาณ $\lambda/4$ สายอากาศที่ออกแบบจะถูกนำไปใช้สำหรับจำลองการทำงานของระบบ การจำลองการทำงานของระบบเริ่มด้วยการออกแบบสายอากาศ โดยสายอากาศที่ต้นแบบมีโครงสร้างดังภาพที่ 3.7 สายอากาศได้รับการปรับขนาดและโครงสร้างด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้สายอากาศทำงานได้ในช่วงความถี่ใช้งานและให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับ ($|S_{11}|$) ต่ำ



ภาพที่ 3.7 โครงสร้างพื้นฐานสายอากาศแพทช์

พัฒนาโครงสร้างระบบต้นแบบ

การพัฒนาระบบต้นแบบเริ่มจากการพัฒนาสายอากาศตามที่ออกแบบ จำนวน 2 ตัว ทดสอบประสิทธิภาพของสายอากาศด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย(Vector network analyzer: VNA) เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ $|S_{11}|$ ในช่วงความถี่ 2 ถึง 3 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับ

การนำมาสร้างเป็นระบบ นำมาสร้างระบบต้นแบบซึ่งสามารถส่งและรับคลื่นสะท้อนกลับมาจากคอนกรีตทดสอบได้ แต่ยังไม่มีส่วนประมวลผล ระบบนี้ถูกนำไปวัดคลื่นสะท้อนที่แต่ละระดับกำลังอัดเพื่อนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในส่วนประมวลผลของระบบต่อไป

ทดสอบการทำงานของระบบ

สร้างคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบ 2 ตัวอย่าง ที่มีส่วนผสมเหมือนกัน และมีขนาดเท่ากัน ตัวอย่างที่ 1 เป็นตัวอย่างที่ไม่ได้ถูกบ่ม โดยปล่อยให้แห้งในอุณหภูมิห้องปกติ ตัวอย่างที่ 2 เป็นตัวอย่างที่ถูกบ่ม ใช้พลาสติกปกคลุมไว้ตลอดเวลา ใช้ระบบต้นแบบที่สร้างขึ้นวัดค่ากำลังงานของคลื่นสะท้อนกลับในแต่ละความถี่จากคอนกรีตตั้งแต่เริ่มสร้างคอนกรีตจนถึง 120 ชั่วโมง

พัฒนากระบวนการตัดสินใจของระบบ

ค่ากำลังงานของคลื่นสะท้อนกลับที่แต่ละความถี่มาวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของระดับกำลังงานคลื่นสะท้อน จากคอนกรีตที่ผ่านการบ่ม และคอนกรีตที่ไม่ผ่านการบ่ม เพื่อนำไปใช้ในการประมวลของระบบ เพื่อให้ได้เป็นระบบเซนเซอร์ตรวจสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่สมบูรณ์เมื่อนำไปใช้งานจริงขนาดของคลื่นสะท้อนที่รับได้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี