

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ความมุ่งหมาย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.5 ข้อจำกัดของการศึกษา	3
1.6 ชนิดตัวแปรของการวิจัย	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของสายอากาศ	4
2.2 คลื่น	12
2.3 นิยามการทดสอบแบบไม่ทำลาย	20
2.4 การทดสอบสิ่งก่อสร้างคอนกรีต	24
2.5 การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	27
2.6 วัสดุโลหะ	29
2.7 MATLAB	31
2.8 พื้นฐานการทำงานของระบบตรวจหาโลหะ	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	36
3.1 แผนการดำเนินงาน	36
3.2 หลักการออกแบบ	37
3.3 ขั้นตอนการสร้าง	37
3.4 การทดสอบ	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การวัดสัญญาณ	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง	52
4.1 ผลการดำเนินงาน	52
4.2 การวิเคราะห์	65
บทที่ 5 ผลการทดลอง	67
5.1 สรุป	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	70
ประวัติผู้ทำปริญญานิพนธ์	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สเปคตรัมของแสง	16
2.2	ค่าคงที่ของวัสดุ	30
3.1	แผนการดำเนินงานการระบบตรวจหาตำแหน่งโลหะในคอนกรีตด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	36
3.2	คุณลักษณะจากการจำลองของสายอากาศรูปปากแตรต้นแบบที่ความถี่ 4 GHz	43
4.1	ผลการจำลองแบบและผลการวัดสายคุณสมบัติของสายอากาศรูปปากแตรที่ความถี่ 4 GHz	55
4.2	การตรวจหาโลหะในอากาศที่ระยะต่างๆ	56
4.3	การตรวจหาโลหะในเนื้อคอนกรีตที่ระยะการฝังโลหะที่ความลึกต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตโดยขนาดโลหะที่ฝังมีขนาด 21x24 ซม.	57
4.4	การตรวจหาโลหะในเนื้อคอนกรีตที่ระยะการฝังโลหะที่ความลึกต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตโดยขนาดโลหะที่ฝังมีขนาด 20x20 ซม.	59
4.5	การตรวจหาโลหะในเนื้อคอนกรีตที่ระยะการฝังโลหะที่ความลึกต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตโดยขนาดโลหะที่ฝังมีขนาด 15x15 ซม.	60
4.6	การตรวจหาโลหะในเนื้อคอนกรีตที่ระยะการฝังโลหะที่ความลึกต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตโดยขนาดโลหะที่ฝังมีขนาด 10x10 ซม.	61
4.7	การตรวจหาโลหะในเนื้อคอนกรีตที่ระยะการฝังโลหะที่ความลึกต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตโดยขนาดโลหะที่ฝังมีขนาด 5x5 ซม.	62
4.8	สรุปค่าที่ได้จากการวัดทดสอบระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีตที่แผ่นโลหะขนาดต่างๆ และความหนาของแผ่นคอนกรีตที่ต่างกัน	63

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบพิกัดที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่พลังงานของสายอากาศ	7
2.2	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศไดโพลแบบครึ่งคลื่น	8
2.3	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบรอบทิศทางในระนาบเดียว	9
2.4	แบบรูปการแผ่พลังงานแบบมีทิศทางโดยมีแบบรูปการแผ่กระจายคลื่นหลักในระนาบสนามไฟฟ้าและระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศปากแตร	10
2.5	การแบ่งบริเวณทั้ง 3 บริเวณของสายอากาศ	11
2.6	มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบและหน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้นหน้าตรง	17
2.7	การเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน	18
2.8	ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน	18
2.9	การสะท้อนของคลื่นหน้าตรงจากผิวสะท้อนหน้าตัดเรียบตรง	19
2.10	การสะท้อนของคลื่นหน้าโค้งจากผิวสะท้อนเรียบตรง	19
2.11	การสะท้อนของคลื่นหน้าตรงจากผิวสะท้อนโค้ง	19
2.12	การสะท้อนของคลื่นหน้าโค้งจากผิวสะท้อนโค้ง	20
2.13	การสะท้อนของคลื่นวงกลมจากผิวสะท้อนโค้งรูปพาราโบลา	20
2.14	ชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของรอยเชื่อมประสาน	21
2.15	ชิ้นงานทดสอบงอด้านข้าง	22
2.16	วิธีการทดสอบความทนทานต่อการดัดงอ	22
2.17	ชิ้นงานทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก	22
2.18	การตรวจสอบด้วยสายตา	23
2.19	การตรวจสอบด้วยรังสี	23
2.20	การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยอัลตราโซนิก	23
2.21	การตรวจสอบรอยบกพร่องด้วยผงแม่เหล็ก	23
2.22	การทดสอบรอยเชื่อม	24
2.23	ลักษณะการเกิดสนิมในเหล็กโครงสร้าง และการแตกร้าวของคอนกรีต	26
2.24	รูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของโพรบ	27
2.25	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของเฟสและเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม	28
2.26	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของเฟสและเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม	29
2.27	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของคอนกรีตกับความสูงของคลื่น	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ Voltage Controlled Oscillator	38
3.2	ขนาดของสายอากาศรูปปากแตรที่ได้จากการคำนวณ	40
3.3	ขนาดของสายอากาศในส่วนปลายปากแตรและส่วนท่อนำคลื่นที่ได้จากการคำนวณ	41
3.4	สายอากาศปากแตรที่จำลองในโปรแกรม CST	41
3.5	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศรูปปากแตรต้นแบบ	42
3.6	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (S_{11}) ของสายอากาศ	42
3.7	ค่า VSWR ของสายอากาศรูปปากแตร	43
3.8	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต	44
3.9	ระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต	45
3.10	สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร Voltage Controlled Oscillator	46
3.11	สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร Down Converter ภาคส่ง	46
3.12	สัญญาณเอาต์พุตจากวงจร Down Converter ภาครับ	47
3.13	การวัดทดสอบระบบเพื่อหาคุณสมบัติการทะลุของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านวัสดุคอนกรีต	48
3.14	สัญญาณเอาต์พุตของระบบที่มีแผ่นโฟมกั้นระหว่างสายอากาศสองตัว	48
3.15	สัญญาณเอาต์พุตของระบบที่มีแผ่นไม้กั้นระหว่างสายอากาศสองตัว	49
3.16	สัญญาณเอาต์พุตของระบบที่มีแผ่นโลหะกั้นระหว่างสายอากาศสองตัว	49
3.17	การทดสอบระบบตรวจหาโลหะในคอนกรีต	50
3.18	สัญญาณที่เอาต์พุตของระบบตรวจหาโลหะเมื่อไม่พบโลหะภายในคอนกรีต	50
3.19	สัญญาณที่เอาต์พุตของระบบตรวจหาโลหะเมื่อตรวจพบโลหะภายในคอนกรีต	51
4.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ XZ	52
4.2	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบ YZ	53
4.3	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับจากการวัดของสายอากาศ	53
4.4	ค่า VSWR จากการวัดของสายอากาศรูปปากแตร	54
4.5	การตรวจหาโลหะในอากาศ	55
4.6	การตรวจหาโลหะที่ฝังในคอนกรีตที่ระยะความลึกต่างๆ	57
4.7	ผลการตรวจหาโลหะกรณีไม่เจอโลหะในคอนกรีต	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	ผลการตรวจหาโลหะในกรณีพบโลหะในคอนกรีตที่ความลึกระยะ 5 ซม.	64
4.9	ผลการตรวจหาโลหะในกรณีพบโลหะในคอนกรีตที่ความลึกระยะ 10 ซม.	
4.10	ผลการตรวจหาโลหะในกรณีพบโลหะในคอนกรีตที่ความลึกระยะ 15 ซม.	64
4.11	ผลการตรวจหาโลหะในกรณีพบโลหะในคอนกรีตที่ความลึกระยะ 20 ซม.	65