

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	12
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	13
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	13
2.2 การดำเนินการศึกษาวิจัยในภาคสนาม	21
2.2.1 การเก็บข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน	24
2.2.2 การเก็บข้อมูลค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก	26
2.2.3 การเก็บข้อมูลเรดาร์หยังความลึกศึกษาชั้นดิน	27
2.2.4 การทำรังวัดความสูงของพื้นที่สำรวจ	27
2.3 การดำเนินการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ	28
2.3.1 การวัดและวิเคราะห์ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของเศษวัสดุเตาเผา	28
2.3.2 การวัดและวิเคราะห์ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	30
2.3.3 การวัดและวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	31
2.3.4 การวัดและวิเคราะห์หาสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	36
2.3.5 การวัดและวิเคราะห์หาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเศษภาชนะโบราณ	38
2.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน	40
	(6)

2.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก	44
2.3.8 การวิเคราะห์ข้อมูลเรดาร์หยังความลึก	45
3 ผลการทดลอง	54
3.1 ผลการวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของเศษโบราณวัตถุในห้องปฏิบัติการ	54
3.1.1 ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	54
3.1.2 ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	56
3.1.3 ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	58
3.1.4 ผลการหาสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	59
3.1.5 ผลการหาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผาโบราณ	62
3.2 ผลการศึกษาทางธรณีฟิสิกส์ในภาคสนาม	63
3.2.1 ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของชั้นดิน	63
3.2.1.1 ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏในพื้นที่โคกไผ่	64
3.2.1.2 ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏในพื้นที่ TM III	68
3.2.2 ผลการศึกษาค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก	73
3.2.2.1 ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในพื้นที่โคกไผ่	73
3.2.2.2 ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กในพื้นที่ TM III	73
3.2.3 ผลการศึกษาเรดาร์หยังความลึกศึกษาชั้นดิน	76
3.2.3.1 ผลการวัดเรดาร์หยังความลึกในพื้นที่โคกไผ่	76
3.2.3.2 ผลการวัดเรดาร์หยังความลึกในพื้นที่ TM III	82
3.2.4 ผลการเจาะกำหนดความลึกของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา	85
4 การวิเคราะห์และการวิจารณ์ผลการทดลอง	93
4.1 การวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการวัดสมบัติทางฟิสิกส์ของเศษโบราณวัตถุในห้องปฏิบัติการ	93
4.1.1 การวิเคราะห์ผลค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	93
4.1.2 การวิเคราะห์ผลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	93
4.1.3 การวิเคราะห์ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	94
4.1.4 การวิเคราะห์ผลการหาสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ	94
4.1.5 การวิเคราะห์ผลการหาสเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเศษภาชนะโบราณ	95

4.2 การวิเคราะห์ผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของชั้นดิน	95
4.3 การวิเคราะห์ผลการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ผิวดิน	96
4.4 การวิเคราะห์ผลการใช้เรดาร์หยังความลึกศึกษาชั้นดิน	97
4.5 การเปรียบเทียบผลการวัดทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ศึกษา	98
4.5.1 การเปรียบเทียบผลการวัดทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่โคกไผ่	98
4.5.2 การเปรียบเทียบผลการวัดทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ TM III	106
4.6 ผลการขุดค้นทางโบราณคดีเพื่อยืนยันผลการวัดทางธรณีฟิสิกส์	112
4.6.1 ผลการขุดค้นทางโบราณคดีเพื่อยืนยันผลการวัดทางธรณีฟิสิกส์ ในพื้นที่โคกไผ่	113
4.6.2 ผลการขุดค้นทางโบราณคดีเพื่อยืนยันผลการวัดทางธรณีฟิสิกส์ ในพื้นที่ TM III	114
4.7 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการขุดสำรวจทางโบราณคดี กับข้อมูลจากการวัดทางธรณีฟิสิกส์	120
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	123
บรรณานุกรม	127
ภาคผนวก ก. การหาลายพิมพ์รังสีเอกซ์เรืองของธาตุภูมิหลัง ที่เกิดจากชุดหัววัดรังสี	132
ภาคผนวก ข. ลายพิมพ์รังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างเศษวัสดุเตาเผาโบราณ ในพื้นที่ ศึกษา	133
ภาคผนวก ค. การทดสอบทางสถิติของสมบัติทางกายภาพ ของเศษเตาเผาโบราณ	137
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการวัดสภาพต้านทานไฟฟ้า	142
ภาคผนวก จ. ข้อมูลการวัดสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก	244
ประวัติผู้เขียน	261

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ	5
2 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษาเตาเผาโบราณชุมชนปะโอ	6
3 ส่วนประกอบเครื่องเรดาร์หยังความลึก RAMAC/GPR	14
4 เครื่องวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ABEM TERRAMETER SAS 300B	15
5 เครื่องวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(ภาคสนาม)	15
6 เครื่องวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก(ห้องปฏิบัติการ)	16
7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบตัวเลข	17
8 การขังมวลของเศษวัสดุเตาเผาโบราณเมื่อจมอยู่ในน้ำ	17
9 เครื่องอัดไฮโดรลิกของบริษัท HERZOG	18
10 (ก) แหล่งกำเนิดรังสีพร้อมที่ใส่ตัวอย่าง	18
10 (ข) ชุดระบบหัววัดรังสีชนิด EDXRF	18
11 เครื่องวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก HP 16451B	19
12 เครื่องอัดไฮโดรลิก RIIC	19
13 กล่องวัดระดับและไม้สตาฟสำหรับทำรังวัดระดับ	20
14 ตำแหน่งพื้นที่ศึกษา ต.วัดขนุน อ.สิงหนคร จ.สงขลา	22
15 ผังการกำหนดแนววัดทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่โคกโพ	23
16 ผังการกำหนดแนววัดทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ TM III	24
17 การจัดขบวนขั้วไฟฟ้าแบบไดโพล-ไดโพล และการพลอตข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า	25
18 การทำรังวัดระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา	27
19 การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ	30
20 การเกิดโพลาริเซชันในสารไดอิเล็กตริก	32
21 แบบจำลองการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	35
22 การจัดระบบวิเคราะห์แบบ coaxial geometry	37

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
23 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากระนาบตัวอย่าง	39
24 การแพร่ของกระแสไฟฟ้ากรณีขั้วไฟฟ้ากระแส 1 ขั้ว	40
25 ขั้วไฟฟ้ากระแส 2 ขั้วและขั้วกระแสศักย์ 2 ขั้ว บนผิวดินที่มีความเอกพันธ์	41
26 การจัดขบวนขั้วแบบไดโพล-ไดโพล(Dipole-dipole Array)	42
27 (ก) ลักษณะของคลื่นดลในเรดาร์หึ่งความลึก	46
27 (ข) "square"GPR pluse	46
28 กำลังของสเปกตรัมคลื่นดลที่มีคาบ 5 ns	47
29 การตกกระทบ การสะท้อน การส่งผ่าน ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตรงผิวยอยต่อของตัวกลางที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่างกัน	50
30 แบบจำลองการสะท้อนของคลื่นเรดาร์ตรงรอยต่อของตัวกลาง	51
31 (ก) ตำแหน่งของจุดวัดเรดาร์หึ่งความลึก	53
31 (ข) ภาพตัดขวางของสัญญาณสะท้อนตลอดแนววัด	53
32 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของเศษวัสดุเตาเผาโบราณในพื้นที่ศึกษา	55
33 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของเศษวัสดุเตาเผาโบราณในพื้นที่ศึกษา	57
34 ค่าคงที่ได้อิเลกตริกของเศษวัสดุเตาเผาโบราณในในพื้นที่ศึกษา	59
35 สเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของเศษวัสดุเตาเผาโบราณตัวอย่าง A11	60
36 สเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของเศษวัสดุเตาเผาโบราณตัวอย่าง A21	60
37 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผาโบราณตัวอย่าง K1	63
38 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเศษภาชนะเครื่องปั้นดินเผาโบราณตัวอย่าง K2	63
39 แผนทีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่โคกโพ ที่ระดับความลึกของ n=1	65
40 แผนทีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่โคกโพ ที่ระดับความลึกของ n=2	65
41 แผนทีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่โคกโพ ที่ระดับความลึกของ n=3	66
42 แผนทีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่โคกโพ ที่ระดับความลึกของ n=4	66

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
43 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่โคกโพ ที่ระดับความลึกของ n=5	67
44 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่โคกโพ ที่ระดับความลึกของ n=6	67
45 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ TM III ที่ระดับความลึกของ n=1	70
46 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ TM III ที่ระดับความลึกของ n=2	70
47 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ TM III ที่ระดับความลึกของ n=3	71
48 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ TM III ที่ระดับความลึกของ n=4	71
49 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ TM III ที่ระดับความลึกของ n=5	72
50 แผนที่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของพื้นที่ TM III ที่ระดับความลึกของ n=6	72
51 แผนที่ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ผิวดินในพื้นที่โคกโพ	74
52 แผนที่ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กที่ผิวดินในพื้นที่ TM III	75
53 เรดาร์แกรมของแนววัด 1 ถึงแนววัด 5 ในพื้นที่โคกโพ	77
54 เรดาร์แกรมของแนววัด 6 ถึงแนววัด 10 ในพื้นที่โคกโพ	78
55 เรดาร์แกรมของแนววัด 11 ถึงแนววัด 16 ในพื้นที่โคกโพ	79
56 เรดาร์แกรมของแนววัด 17 ถึงแนววัด 22 ในพื้นที่โคกโพ	80
57 เรดาร์แกรมของแนววัด 1 ถึงแนววัด 6 ในพื้นที่ TM III	83
58 เรดาร์แกรมของแนววัด 7 ถึงแนววัด 12 ในพื้นที่ TM III	84
59 เรดาร์แกรมของแนววัด 1 ถึงแนววัด 5 ในพื้นที่โคกโพ	87
60 เรดาร์แกรมของแนววัด 6 ถึงแนววัด 10 ในพื้นที่โคกโพ	88
61 เรดาร์แกรมของแนววัด 11 ถึงแนววัด 16 ในพื้นที่โคกโพ	89
62 เรดาร์แกรมของแนววัด 17 ถึงแนววัด 22 ในพื้นที่โคกโพ	90
63 เรดาร์แกรมของแนววัด 1 ถึงแนววัด 6 ในพื้นที่ TM III	91
64 เรดาร์แกรมของแนววัด 7 ถึงแนววัด 12 ในพื้นที่ TM III	92
65 เรดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 1 ถึงแนววัด 3 ในพื้นที่โคกโพ	99

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
66 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 4 ถึงแนววัด 6 ในพื้นที่โคกไผ่	100
67 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 7 ถึงแนววัด 9 ในพื้นที่โคกไผ่	101
68 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด10 ถึงแนววัด12 ในพื้นที่โคกไผ่	102
69 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 13 ถึงแนววัด 15 ในพื้นที่โคกไผ่	103
70 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 16 ถึงแนววัด 18 ในพื้นที่โคกไผ่	104
71 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 19 ถึงแนววัด 22 ในพื้นที่โคกไผ่	105
72 การเปรียบเทียบผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก เสดาร์หยังความลึกศึกษาชั้นดินในพื้นที่โคกไผ่	106
73 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 1 ถึงแนววัด 3 ในพื้นที่ TM III	108
74 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 4 ถึงแนววัด 6 ในพื้นที่ TM III	109
75 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 7 ถึงแนววัด 9 ในพื้นที่ TM III	110
76 เสดาร์แกรมและภาพตัดขวางค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของแนววัด 10 ถึงแนววัด 12 ในพื้นที่ TM III	111

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
77 การเปรียบเทียบผลการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กเรดาร์หยังความลึกศึกษาชั้นดินในพื้นที่ TM III	112
78 ฐานของเตาเผาโบราณในแนววัด 13 ระยะ 10.0-11.0 เมตร พื้นที่โคกไผ่	113
79 กลุ่มเศษโบราณวัตถุที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 1 (แนววัด 2 ระยะ 6.0-7.0 เมตร พื้นที่ TM III)	114
80 กลุ่มเศษโบราณวัตถุที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 2 (แนววัด 2 ระยะ 9.0-10.0 เมตร พื้นที่ TM III)	115
81 กลุ่มเศษโบราณวัตถุที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 3 (แนววัด 4 ระยะ 7.5-8.5 เมตร พื้นที่ TM III)	115
82 รากไม้และชั้นดินที่สองที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 4 (แนววัด 7 ระยะ 1.0-2.0 เมตร พื้นที่ TM III)	116
83 กลุ่มเศษโบราณวัตถุที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 5 (แนววัด 7 ระยะ 5.0-6.0 เมตร พื้นที่ TM III)	117
84 กลุ่มเศษโบราณวัตถุและชั้นดินที่สองที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 6 (แนววัด 8 ระยะ 2.5-3.5 เมตร พื้นที่ TM III)	117
85 กลุ่มเศษโบราณวัตถุและชั้นดินที่สองที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 7 (แนววัด 8 ระยะ 9.0-10.0 เมตร พื้นที่ TM III)	118
86 ผังของชั้นดินในตำแหน่งขุดค้นที่ 8 (แนววัด 9 ระยะ 4.0-5.0 เมตร พื้นที่ TM III)	119
87 กลุ่มเศษโบราณวัตถุและชั้นดินที่สองที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 9 (แนววัด 9 ระยะ 9.5-10.5 เมตร พื้นที่ TM III)	119
88 กลุ่มเศษโบราณวัตถุและชั้นดินที่สองที่พบในตำแหน่งขุดค้นที่ 10 (แนววัด 9 ระยะ 4.0-5.0 เมตร พื้นที่ TM III)	120

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของชั้นดิน โดยวิธี Dipole-dipole จากแนววัด 1 พื้นที่โคกโพ	26
2 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็ก จากแนววัด 1 พื้นที่โคกโพ	26
3 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลรังวัดระดับจากแนววัด 1 พื้นที่โคกโพ	28
4 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของตัวกลางทางธรณีวิทยาประเภทต่างๆ	43
5 ค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของหินและแร่	45
6 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก สภาพนำไฟฟ้า ความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และการลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางทางธรณีวิทยาประเภทต่างๆ	52
7 ค่าทางสถิติจากการวัดค่าสภาพรับไว้ได้ทางแม่เหล็กของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ ในพื้นที่ศึกษา	55
8 ค่าทางสถิติจากการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรากฏของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ ในพื้นที่ศึกษา	57
9 ค่าทางสถิติจากการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของเศษวัสดุเตาเผาโบราณ ในพื้นที่ศึกษา	58
10 ผลการวิเคราะห์แบบ Semi-quantitative measurement จากสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรือง ของตัวอย่าง A11 ในพื้นที่โคกโพ	61
11 ผลการวิเคราะห์แบบ Semi-quantitative measurement จากสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรือง ของตัวอย่าง A21 ในพื้นที่ TM III	62
12 ตำแหน่งการขุดค้นทางโบราณคดีในพื้นที่ TM III	107