สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิจัย	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ญ
สารบัญกราฟ	ฎ
ลำดับสัญลักษณ์	ฐ
บทที่1 บทนำ	1
1.1 หัวข้อโครงงาน	1
1.2 หลักการและเหตุผล	1
1.3วัตถุประสงค์	1
1.4 ขอบข่ายของงาน	1
1.5 กิจกรรมการดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.7 งบประมาณที่ต้องใช้	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการศึกษาค่าความต้านทานของดิน	3
2.1 ความจำเป็นของระบบการต่อลงดิน(Grounding System)	3
2.2 ความต้านทานการต่อลงดิน(Grounding Resistance)	3
2.3 สภาพดิน	5
2.4 การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน	5
2.5 วิธีเก็บตัวอย่างดิน	7
2.6 ส่วนประกอบของระบบดิน	8
2.7 การดำเนินงานของแท่งสายดิน(Performance of Earth Electrode)	9

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.8 ลักษณะการต่อลงดิน	23
2.9 ทฤษฎีการแก้ไขโดยตอกแท่งกราวด์รอด(Deep Driven Method)	26
2.10 การตอกแท่งรอดและสารเคมี	35
2.11 แบบเติมสารเคมี	39
2.12 การวัดค่าความต้านทานจำเพาะดิน	41
2.13 การหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน	42
2.14 การวัดความต้านทานสายดิน	44
2.15 วิธีปรับเปลี่ยนสภาพดิน	49
บทที่3 วิธีการหาสูตรสารเคมีเพื่อปรับปรุงค่าความต้านทานของกราวด์	56
3.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น	56
3.2 การทดสอบค่าความนำไฟฟ้า	59
3.3 การทดสอบค่าความเป็นกรดและเบส	59
3.4 การทดสอบปริมาณแมกนีเซียมและแคลเซียม	64
บทที่4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	71
บทที่5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	98
5.1 สรุปผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย	98
5.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างการแก้ไขค่าความต้านทานระบบสายดิน โดยวิธีตอกแท่งสายดินและวิธีใช้สารเคมี	99
5.3 ปัญหาที่พบในช่วงที่ทำโครงงานวิจัย	99
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	100
บรรณานุกรม	102
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก	104
ภาคผนวก ข	107
ภาคผนวก ค	108
ประวัติผู้ทำโครงงาน	109

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่2.1 ค่าความต้านทานจำเพาะของวัสดุ 5

ตารางที่2.2 ความลึกของกระแสที่ไหลเข้าไปในดิน 17

ตารางที่2.3 ค่าความต้านทานการต่อลงดินเนื่องจากจำนวนแท่งที่ต่างกัน 24

ตารางที่2.4 มาตรฐานในการต่อลงดิน 25

ตารางที่3.1 ความเป็นกรดด่างของดิน 59

ตารางที่3.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ 61

ตารางที่4.1 ตัวอย่างข้อมูลดินทำการเก็บที่จังหวัดนครสวรรค์และกำแพงเพชร 72

ตารางที่4.2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานระบบสายดินกับปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทาน 76

ตารางที่4.3 ผลที่ได้จากการแก้ไขโดยวิธีตอกแท่งกราวด์รอด 81

ตารางที่4.4 แสดงค่า pH ค่าความนำไฟฟ้าของสารเคมี 82

ตารางที่4.5 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 84

ตารางที่4.6 ข้อมูลค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 85

ตารางที่4.7 ข้อมูลปริมาณแคลเซียมกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 86

ตารางที่4.8 ข้อมูลปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 87

ตารางที่4.9 เปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 88

ตารางที่4.10 เปอร์เซ็นต์ปริมาณแคลเซียมกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 89

ตารางที่4.11 ข้อมูลค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 90

ตารางที่4.12 ข้อมูลปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 91

ตารางที่4.13 ข้อมูลค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่เชียงใหม่ 92

ตารางที่4.14 ข้อมูลปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่เชียงใหม่ 93

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่2.1 เครื่องมือการเก็บตัวอย่างดิน	6
รูปที่2.2 การเก็บตัวอย่างดิน	7
รูปที่2.3 สายดิน	8
รูปที่2.4 แท่งหลักดิน	9
รูปที่2.5 แรงดันสัมผัสและแรงดันระยะก้าว	14
รูปที่2.6 ลักษณะการปักแท่งตัวนำตัวเดียว	23
รูปที่2.7 แท่งทรงกระบอกสัมพัทธ์ของดิน	24
รูปที่2.8 ลักษณะการฝังแท่งทองแดงทรงกลมในดิน 1 ชั้น	26
รูปที่2.9 ลักษณะการฝังแท่งทองแดงทรงกลมในดิน 2 ชั้น	27
รูปที่2.10 เครื่องเจาะดินแบบไฮโดรลิก	34
รูปที่2.11 แท่งทองแดง (Ground Rod)	36
รูปที่2.12 การเจาะแบบน้ำบาดาลสามขา	36
รูปที่2.13 การลากสายดินจากฐานล่าง (Stub)ของทาวเวอร์(Tower)	37
รูปที่2.14 การต่อกราวด์กับสายดินโดยวิธีหนีบในกรณีใช้วิธีเคาน์เตอร์พอยส์	38
รูปที่2.15 การทดสอบค่าความต้านทานของดิน	38
รูปที่2.16 ส่วนประกอบภายในของแท่งอิเลคโตรด	39
รูปที่2.17 การฝังแท่งอิเลคโตรดในดิน	40
รูปที่2.18 การเชื่อมต่อสายกราวด์	40
รูปที่2.19 การฝังแท่งอิเลคโตรดเสร็จเรียบร้อยแล้ว	41
รูปที่2.20 เครื่องมือวัดค่าความต้านทานจำเพาะของดิน	42
รูปที่2.21 การวัดค่าความต้านทานโดยวิธี Wenner	43
รูปที่2.22 การวัดแบบสามขุด	43
รูปที่2.23 การวัดแบบสี่ขุด	44
รูปที่2.24 เครื่องวัดค่าความต้านทาน	45
รูปที่2.25 การวัดค่าความต้านทานสายดิน	47
รูปที่2.26 การวัดค่าความต้านทานโดยวิธีแบบ Megger	48

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่2.27 การติดตั้งอุปกรณ์	51
รูปที่2.28 การปฏิบัติการลดค่าความต้านทานกราวด์	52
รูปที่2.29 การใช้เกลือฝังรอบแท่งกราวด์	53
รูปที่2.30 การขุดร่อง	54
รูปที่2.31 การขุดหลุม	54
รูปที่2.32 การใช้ภาชนะบรรจุ	55
รูปที่3.1 การเก็บตัวอย่างดิน	56
รูปที่3.2 ดินในกระป๋องในพลาสติก	57
รูปที่3.3 การนำดินไปชั่งที่เครื่องชั่ง	58
รูปที่3.4 การนำดินไปอบ	58
รูปที่3.5 การคนสารเคมีแล้วทิ้งไว้ 10 นาที	63
รูปที่3.6 การวัดค่าความนำไฟฟ้า	63
รูปที่3.7 การวัดค่า pH	64
รูปที่3.8 การนำดินเข้าเครื่องเขย่าสาร	65
รูปที่3.9 การนำดินมากรองด้วยกระดาษกรอง	65
รูปที่3.10 การนำสารมาเติมน้ำกลั่น	66
รูปที่3.11 วิธีการหาส่วนประกอบของแมกนีเซียมและแคลเซียม	66
รูปที่3.12 ขนาดหลุมที่ใช้	67
รูปที่3.13 ลักษณะของกราไฟต์	68
รูปที่3.14 การเทสารเคมีลงในหลุม	68
รูปที่3.15 การขุดหลุมเป็นร่องโดนัท	69
รูปที่3.16 วิธีการผสมสารเคมี	69
รูปที่3.17 การเทสารเคมีลงในหลุมโดนัท	70

สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่2.1 ค่าความต้านทานกับความยาวของแท่งทรงกลม 18
กราฟที่2.2 ค่าความต้านทานกับความยาวของแท่งทรงกลมในดิน 19
กราฟที่2.3 ค่าความต้านทานกับความยาวของตัวนำในแนวนอน 20
กราฟที่2.4 ค่าความต้านทานกับขนาดด้านของรูปสี่เหลี่ยม 20
กราฟที่2.5 ค่าความต้านทานกับรัศมีของแท่งทรงกลม 21
กราฟที่2.6 การเชื่อมค่าความต้านทานของแท่งทรงกลมในแนวดิ่งกับระยะห่างต่างๆ 22
กราฟที่2.7 ค่าความต้านทานของแท่งกราวด์ในระดับความลึกต่างๆ 33
กราฟที่2.8 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทาน 33
กราฟที่2.9 พล๊อตการกระจาย 33
กราฟที่2.10 การเปรียบเทียบในแต่ละปี 34
กราฟที่4.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 84
กราฟที่4.2 ค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 85
กราฟที่4.3 ปริมาณแคลเซียมกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 86
กราฟที่4.4 ปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 87
กราฟที่4.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 88
กราฟที่4.6 ปริมาณแคลเซียมกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 89
กราฟที่4.7 ค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 90
กราฟที่4.8 ปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 91
กราฟที่4.9 ค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่เชียงใหม่ 92
กราฟที่4.10 ปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่เชียงใหม่ 93
กราฟที่4.11 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานที่นครสวรรค์ 94
กราฟที่4.12 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับค่าความต้านทานที่กำแพงเพชร 95
กราฟที่4.13 ความสัมพันธ์ของค่าความนำไฟฟ้ากับค่าความต้านทานที่เชียงใหม่ 96
กราฟที่4.14 ความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมกับค่าความต้านทานที่เชียงใหม่ 96

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	ระยะห่างระหว่างอิเลคโตรดข้างเคียงที่อยู่ติดกัน	metre
B	ความลึกของอิเลคโตรดใต้ผิวดิน	metre
C1	เคอร์เรนท์ เทอร์มินอล	-
C2	เคอร์เรนท์ เทอร์มินอล	-
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งสายดิน	metre
d	ระยะระหว่างอิเลคโตรด	metre
d_0	เส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งกลมทรงกระบอก	metre
E(r)	สนามไฟฟ้าในตัวกลางที่มีรัศมี r	volt/metre
E1,E2	ขั้วต่อแท่งสายดินที่ต้องการวัด	-
f	ความถี่ของกระแส	herze
G	เครื่องกำเนิดแรงดันกระแสสลับ	-
h	ความยาวของแท่งทองแดงในชั้นดิน ρ_1	metre
h_1	ความลึกที่กระแสความถี่สูงไหลเข้าไปในพื้นดิน	metre
I	กระแสไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกไปจาก สายดิน	ampere
i_x	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าบนแท่งทองแดงที่อยู่บนชั้นดิน	ampere/metre
K	โปแตสเซียม	-
L	ความยาวของแท่งสายดิน	metre
L-h	ความยาวของแท่งทองแดงในชั้นดิน ρ_2	metre
l	ความยาวยังผลของแท่งสายดิน	metre
M	เครื่อง megger ground	-
Mg	แมกนีเซียม	-
N	กัลวานอมิเตอร์หรือมิเตอร์สมดุลย์วงจร	-
Na	โซเดียม	-
P	ขั้วต่อของโพรบ	-
Pot	โพเทนซิโอมิเตอร์	-

ลำดับสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
P1	โพเทนเชียล เทอร์มินอล	-
P2	โพเทนเชียล เทอร์มินอล	-
ppm	ปริมาณสารเคมี 1 กรัมในสารทั้งหมด 1 กิโลกรัม	กรัมต่อกิโลกรัม
R	ค่าความต้านทานดิน	ohm
Ra	ความต้าน	-
Re	ความต้านทานสายดิน	ohm
Rp	ความต้านทานโพรบ	-
T	หม้อแปลงแรงดัน	-
U	แรงดันระหว่างทรงกลมรัศมีใดๆ	volt
Ue	ศักย์ไฟฟ้าของแท่งสายดินเทียบกับจุด ที่ไกลออกไปเท่ากับอนันต์	volt
Ur	ศักย์ไฟฟ้า ณ จุดที่เทียบกับจุดที่ระยะอนันต์	volt
Us	แรงดันช่วงก้าว	volt
U	แรงดันสัมผัส	volt
u	แรงดันตกคร่อมสายดิน	volt
V	ศักย์ไฟฟ้าของแท่งสายดิน	volt
V(r)	ศักย์ไฟฟ้าที่อิเลคโตรดทรงกลม	volt
X	จุดที่ต้องการทดสอบ	-
ρ	ค่าความต้านทานจำเพาะ	ohm.metre
ρ_x	พิกัดค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดิน	ohm/metre
μ	ค่าความซึมซาบ ได้ของดิน	henry/metre
σ	สภาพนำไฟฟ้า	-