# การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีแทนแท่งหลักดินทองแดงในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง : จังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดบุรีรัมย์

บุญเรือง มะรังศรี[1*] หาญชัย วงศ์เที่ยง[2] และรักเกียรติ ศรีพงษ์วิไลกุล[2]

*Marungsri, B.[1*], Wongtieng, H.[2] and Sripongvilaikul, R.[2] (2002).* **The Feasibility Studies of The Replacement of Copper Ground Rod by Galvanized Steel Pipe in The Lower Notheastern Thailand: Nakhon Ratchasima and Bureerum Provinces.** *Suranaree J. Sci. Technol. 9:51-60*

## Abstract

**This paper describes the feasibility studies of replacing a copper ground rod by a galvanized steel pipe. The studies are on some confined areas of Nakhon Ratchasima and Bureerum provinces. The approach is to monitor and compare the pH level and the resistances of soil in different areas. The studies reveal that (i) the earth resistances of different areas are not equal naturally, and (ii) the earth resistance of the same area is equal no matter the steel pipe or the copper rod is used. The galvanized steel pipe is more attractive than the copper ground rod for earthing in rural areas where the soil is highly corrosive.**

**Key words : ground rod, galvanized steel pipe, earth resistance**

## บทคัดย่อ

**บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีแทนแท่งหลักดินทองแดงในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างบริเวณจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดบุรีรัมย์ โดยทำการศึกษาถึงความเป็นกรดด่างของดินและวัดค่าความต้านทานของดินในสภาพดินที่แตกต่างกันออกไป จากผลการศึกษาพบว่าค่าความต้านทานของดินเมื่อใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีเป็นแท่งหลักดินและแท่งหลักดินทองแดงไม่แตกต่างกันสำหรับพื้นที่เดียวกัน แต่ความต้านทานของดินในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันตามสภาพของดิน ดังนั้นจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีเป็นแท่งหลักดินแทนแท่งหลักดินทองแดงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในพื้นที่ชนบทที่ดินมีสภาพความกัดกร่อนสูง**

**คำสำคัญ : แท่งหลักดิน, ท่อเหล็กอาบสังกะสี, ความต้านทานดิน**

[1*] *วศ.ม., อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000.*

[2] *นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000.*

[*] *ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ*

## บทนำ

ในปัจจุบันไฟฟ้าได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก แต่ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าขาดความระมัดระวัง อันตรายเนื่องจากไฟฟ้าก็อาจเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้านั้นจะใช้พื้นดินสำหรับเป็นเส้นทางให้กระแสรั่วหรือกระแสลัดวงจรไหลครบวงจรกลับเข้าสู่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า ซึ่งการไหลเป็นการกระจายลงสู่พื้นดิน ตัวกลางที่ใช้สำหรับให้กระแสผิดพร่องลงสู่พื้นดินนั้นจะใช้ระบบสายดิน (earthing หรือ grounding) และแท่งหลักดิน (ground rod)

ในปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการออกกฎหมายให้ผู้ขอใช้ไฟฟ้าทุกประเภทจะต้องเดินสายไฟฟ้าให้มีระบบการต่อลงดินรวมทั้งเต้ารับทุกตัวที่ใช้ต้องเป็นแบบที่มีขั้วสายดิน แท่งหลักดินที่ทำจากทองแดงมีขายตามร้านรับติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ก็มีราคาแพงและหาซื้อยาก ดังนั้นการใช้แท่งหลักดินที่ทำจากทองแดงจึงไม่สะดวกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าตามชนบทที่อยู่ห่างไกล ด้วยเหตุนี้เองจึงจำเป็นต้องหาวัสดุอื่น ๆ มาใช้ทดแทนโดยที่วัสดุนั้นต้องมีคุณสมบัติเหมือนกับแท่งหลักดินที่ทำจากทองแดง และที่สำคัญต้องเป็นวัสดุที่หาง่ายในชนบท ท่อเหล็กอาบสังกะสี (galvanized steel pipe) หรือ ท่อเหล็กแป๊บน้ำ ที่ชาวบ้านเรียกกัน จึงเป็นวัสดุที่ได้ให้ความสนใจจะนำมาใช้แทนหลักดินที่ทำจากทองแดง

บทความนี้จึงทบทวนเกี่ยวกับการต่อลงดินและการวัดความต้านทานของดิน ในส่วนที่เป็นบทนำจากนั้นจึงอธิบายถึงการดำเนินงานทดสอบและบันทึกผลแล้วจึงให้การวิเคราะห์และอภิปรายผลศึกษาวิจัยจากนั้นจึงสรุปในตอนท้ายของบทความ

### *ระบบรากสายดิน*

ระบบรากสายดินหรือการต่อลงดิน คือการใช้ตัวนำต่อ (จะโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจก็ตาม) ระหว่างวงจรไฟฟ้าหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้ากับพื้นโลกหรือตัวนำอื่นที่มีขนาดใหญ่จนรับหน้าที่แทนโลกได้ ในสภาวะปกติระบบรากสายดินจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากไม่ครบวงจร

ความต้านทานของรากสายดินตามมาตรฐาน NEC จะกำหนดไว้ที่ 25 โอห์มและถ้าความต้านทานของรากสายดินมากกว่านี้ต้องเพิ่มรากสายดิน ในประเทศไทยได้มีการกำหนดค่าความต้านทานของระบบรากสายดินไว้ดังนี้

ก) *การไฟฟ้านครหลวง* กำหนดไว้ไม่เกิน 5 โอห์ม
ข) *การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค* กำหนดไว้ไม่เกิน 25 โอห์ม
ค) *ระบบไฟฟ้าสื่อสารและระบบคอมพิวเตอร์* กำหนดไว้ไม่เกิน 1 โอห์ม

แต่ส่วนมากเพื่อความปลอดภัยที่แน่นอนจะอ้างอิงค่าความต้านทานของรากสายดินตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงเนื่องจากสภาพดินส่วนใหญ่ของประเทศไทยเป็นดินร่วน ไม่มีทรายหรือหินมากนัก แท่งหลักดินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบรากสายดิน จึงต้องมีการเลือกใช้ให้เหมาะสม

### *แท่งหลักดิน (ground rod)*

วัสดุที่ใช้ทำแท่งหลักดินนั้นจะต้องทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมหรือไม่ผุกร่อนเช่นแท่งทองแดง แท่งเหล็กชุบสังกะสีหรือแท่งเหล็กหุ้มทองแดง โดยต้องมีลักษณะเป็นแท่งยาวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว (16 มม.) ยาว 8 ฟุต (2.40 เมตร)

ในกรณีที่เป็นเหล็กชุบหรือหุ้มด้วยทองแดงต้องมีความหนาของทองแดงไม่ต่ำกว่า 0.25 มม. และต้องหุ้มอย่างแบบสนิทเป็นเนื้อเดียวกันโดยไม่ลอกหรือหลุดออกจากเหล็กและไม่มีส่วนของเนื้อเหล็กโผล่มาให้เห็นซึ่งต้องผ่านการทดสอบก่อนนำมาใช้งานและสิ่งที่ต้องคำนึงก็คือห้ามใช้โลหะอะลูมิเนียมและโลหะผสมของอะลูมิเนียมเป็นแท่งหลักดินเนื่องจากอลูมิเนียมผุกร่อนได้ง่าย (McPartland J.F., 1981)

### *ท่อเหล็กอาบสังกะสี (Galvanized Steel pipe)*

เป็นท่อเหล็กที่มีการเคลือบผิวด้วยแร่สังกะสีเพื่อช่วยให้ทนการกัดกร่อนได้ยืดอายุการใช้งานของท่อเหล็กให้ยาวนานขึ้น ท่อเหล็กอาบสังกะสีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันการเคลือบผิวจะใช้วิธีจุ่มท่อเหล็กที่ทำความสะอาดแล้วลงในสังกะสีหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 465

องศาเซลเซียส ความหนาของสังกะสีที่ใช้เคลือบผิวโดยเฉลี่ยจะประมาณ 70 μm สภาพนำไฟฟ้าของท่อเหล็กอาบสังกะสีประมาณ 7.0-9.5 Sm/mm$^2$ อายุการใช้งานของท่อประมาณ 20-30 ปีขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบสของดิน ท่อเหล็กอาบสังกะสีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ซึ่งมีขายทั่วไปตามท้องตลาด

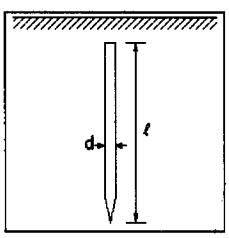
***การคำนวณความต้านทานของดินในระบบรากสายดิน***

ในการคำนวณความต้านทานของดินนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของการต่อรากสายดิน ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะระบบรากสายดินที่ใช้แท่งหลักดินแบบทรงกระบอกฝังในแนวดิ่งเท่านั้น

การคำนวณความต้านทานของดินสามารถคำนวณได้ตามจำนวนของแท่งหลักดินที่ฝังในแนวดิ่งดังนี้ (O'Riley R.P., 1999)

1) ความต้านทานดินจากการฝังแท่งหลักดิน 1 แท่งในแนวดิ่ง ($R_E$) ดังรูปที่ 1 มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 1

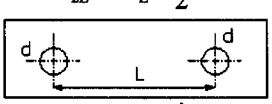
$$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi\ell} \ln\left(\frac{8\ell}{d} - 1\right) \qquad (1)$$




**รูปที่ 1. แท่งหลักดินเดี่ยวฝังในแนวดิ่ง (single ground rod buried vertically)**

2) ความต้านทานดินจากการฝังแท่งหลักดินขนาน 2 แท่งในแนวดิ่ง ($R_{2E}$) ดังรูปที่ 2 มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 2

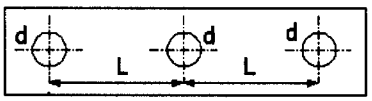
$$R_{2E} = R_E \frac{1+m}{2} \qquad (2)$$




**รูปที่ 2. แท่งหลักดินฝังในแนวดิ่งขนาน 2 แท่ง (two parallel ground rods buried vertically)**

3) ความต้านทานดินจากการฝังแท่งหลักดินขนาน 3 แท่งในแนวดิ่ง ($R_{3E}$) ดังรูปที่ 3 มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 3

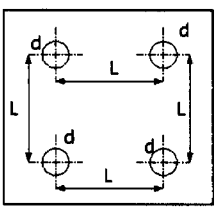
$$R_{3E} = R_E \frac{1+2m^2+n}{3-4m+n} \qquad (3)$$




**รูปที่ 3. แท่งหลักดินฝังในแนวดิ่งขนาน 3 แท่ง (three parallel ground rods buried vertically)**

4) ความต้านทานดินจากการฝังแท่งหลักดินขนาน 4 แท่งในแนวดิ่ง ($R_{4E}$) ดังรูปที่ 4 มีสูตรคำนวณดังสมการที่ 4

$$R_{4E} = R_E \frac{1+2m+q}{4} \qquad (4)$$



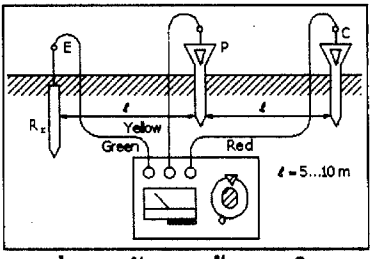

**รูปที่ 4. แท่งหลักดินฝังในแนวดิ่งขนาน 4 แท่ง (four parallel ground rods buried vertically)**

โดยที่ $\rho_E$ = สภาพต้านทานของดิน(Ω.m)
d = เส้นผ่านศูนย์กลางแท่งหลักดิน (m)
$\ell$ = ความยาวแท่งหลักดิน (m)
m = ln(x) / ln(2 $\ell$ / d)
n = ln(y) / ln(2 $\ell$ / d)
q = ln(z) / ln(2 $\ell$ / d)
x = ( $\ell$ + L) / L
y = ( $\ell$ + 2L) / 2L
Z = ( $\ell$ + $\sqrt{2}$ L) / $\sqrt{2}$ L

***การวัดความต้านทานของดิน***

การวัดความต้านทานดินของรากสายดินจะใช้เครื่องมือวัดความต้านทานดิน (Megga Earth Tester) งานวิจัยในครั้งนี้ใช้เครื่องมือวัดแบบอนาล็อก (เข็มชี้) ของบริษัทไยโกกาวา รุ่น 3235 การวัดความต้านทานดินจะต่อวงจรดังรูปที่ 5

เมื่อทราบความต้านทานของดินแล้วเราสามารถคำนวณความต้านทานจำเพาะของดิน (soil




**รูปที่ 5. การต่อวงจรวัดความต้านทานดินของรากสายดิน (resistance measurement of an earth electrode)**

resistivity) จากสมการที่ 5

$$\rho_E = \frac{2\pi R_E}{1n\left(\frac{8\ell}{d} - 1\right)} \quad (5)$$

ความต้านทานจำเพาะของดินทำให้ทราบถึงชนิดของดินซึ่งใช้ในการเลือกออกแบบระบบรากสายดินแบบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1. ความต้านทานจำเพาะของดิน ( specific resistivity of soil)**

| ชนิดของดิน | $\rho_E(\Omega.m)$ |
|---|---|
| ดินร่วนเปียก | 10...30 |
| ดินเหนียว | 50 |
| ดินร่วนชื้น | 100 |
| ดินปนทราย | 150 |
| ทรายชื้น | 200 |
| ทรายแห้ง | 1000 |
| ดินกรวดชื้น | 500 |
| ดินกรวดแห้ง | 1000 |
| หิน | 3000-10000 |

## อุปกรณ์และวิธีการ

***สถานที่ทำการสุ่มตัวอย่างวัดค่าความเป็นกรดด่างของดินและค่าความต้านทานดิน***

1) บ้านสำโรง ต.สำโรง อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์
2) บ้านโคกขมิ้น ต.โคกขมิ้น อ.พลับพลาชัย จ.บุรีรัมย์
3) เขตเทศบาลโนนสูง อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา
4) เขตอำเภอปักธงชัย จ.นครราชสีมา
5) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ. เมือง จ.นครราชสีมา
6) เขตอำเภอสีคิ้ว จ.นครราชสีมา

***วิธีการวัดค่าความเป็นกรดด่างของดิน***

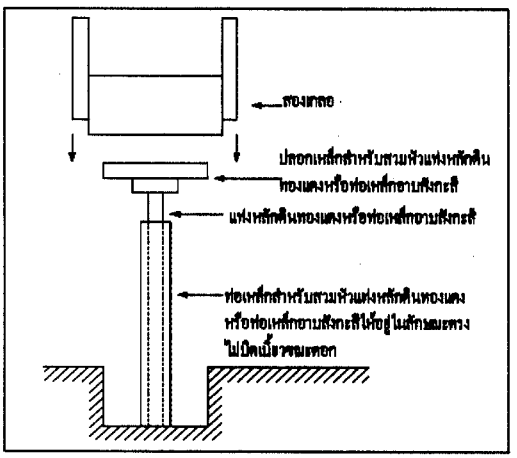
1) เก็บตัวอย่างดินจากสถานที่ที่เลือกแล้วเก็บใส่ภาชนะที่ปิดผนึกมิดชิดแล้วนำมาทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2) เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เพื่อใช้ในการปรับเทียบอิเลกโตรดของ pH มิเตอร์
3) นำตัวอย่างดินที่เตรียมมาชั่งนำหนักแล้วผสมน้ำด้วยอัตราส่วน 1:1
4) นำดินและน้ำที่ผสมกันแล้วไปเขย่าเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องเขย่าประมาณ 5 นาที
5) เมื่อเขย่าเสร็จแล้วทิ้งไว้ 5 นาที
6) ทำการปรับเทียบอิเลกโตรดของ pH มิเตอร์ ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH เท่ากับ 7.0
7) หลังจากทิ้งสารผสมระหว่างดินกับน้ำไว้ 5 นาที แล้ว วัดค่า pH ของดินทันที
8) บันทึกผลการทดลองและทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง ดินจากสถานที่ที่สุมตัวอย่างทุกที่ใช้วิธีการเดียวกันในการวัดค่า pH

***วิธีทำการทดลองวัดความต้านทานของดิน***

1) ขุดหลุมลึกจากผิวดิน 50 cm โดยมีขนาดของปากหลุม 50 X 50 cm
2) ตอกฝังแท่งหลักดินทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้วยาว 2.40 เมตรในหลุมที่ขุดเตรียมไว้ในข้อ 1) ดังแสดงในรูปที่ 6
3) วัดความต้านทานของดินด้วยเครื่องวัดความต้านทานดินด้วยวงจรที่แสดงในรูปที่ 5
4) ถ้าค่าความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าเกิน 5 โอห์มให้ทำการลดค่าความต้านทานดินด้วยการตอกฝังแท่งหลักดินทองแดงขนานเข้าไปอีกหนึ่งแท่งโดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1) และข้อที่ 2) โดยให้มีระยะห่างระหว่างแท่งหลักดินทองแดง 3 เมตรวัดค่าความต้านทานดินด้วยเครื่องวัดความต้านทานดิน ถ้าความต้านทานดินที่อ่านค่าได้ยังเกิน 5 โอห์ม ให้ทำการตอกขนานแท่งหลักดินทองแดงเพิ่มขึ้นอีกจนกว่าจะได้ค่าความต้านทานดินไม่เกิน 5 โอห์ม
5) ทำการทดลองในข้อที่ 2) ถึงข้อที่ 4) ซ้ำอีกครั้งแต่ใช้แท่งหลักดินทองแดงความยาว 1.2 เมตร

6) ทำการทดลองในข้อที่ 2) ถึงข้อที่ 4) ซ้ำอีกครั้งแต่ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ความยาว 2.4 เมตร

7) ทำการทดลองในข้อที่ 2) ถึงข้อที่ 4) ซ้ำอีกครั้งแต่ใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ความยาว 1.2 เมตร




**รูปที่ 6. วิธีการตอกแท่งหลักดิน (ground rod buried technique)**

## ผลการทดลอง

***1) จากผลการทดลองในตารางที่ 2***

จะพบว่า สภาพของดินในสถานที่แตกต่างกันจะมีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกัน ค่า pH ของดินในสถานที่สุ่มตัวอย่างจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.0-7.5 ในการทดลองนี้ ค่า pH ที่วัดได้อาจคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากสถานที่หลายแห่งที่สุ่มตัวอย่างดินนั้นอยู่ห่างไกลห้องทดลอง ทำให้อาจมีองค์ประกอบบางอย่างของดินสลายตัวไป จากผลการทดลองในตารางที่ 2 สามารถระบุความเป็นกรดด่างของดินได้ดังนี้

pH < 4.0 เป็นกรดจัดมาก
4.0 < pH < 5.0 เป็นกรดจัดได้แก่เขตอำเภอกระสัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และอำเภอพลับพลาชัย
5.0 < pH < 6.0 เป็นกรดปานกลางได้แก่เขตอำเภอสีคิ้ว
6.0 < pH < 7.0 เป็นกรดอ่อนได้แก่เขตอำเภอโนนสูง
7.0 < pH < 8.0 เป็นเบสอ่อน ได้แก่เขตอำเภอปักธงชัย
8.0 < pH < 9.0 เป็นเบสปานกลาง
9.0 < pH < 10.0 เป็นเบสจัด
pH > 10.0 เป็นเบสจัดมาก

***2) จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และในตารางที่ 5***

จุดทดสอบที่ 1 บ้านสำโรง ต. สำโรง อ. กระสัง จ. บุรีรัมย์ นั้นความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ค่าความต้านทานดินน้อยกว่า 5 โอห์ม ทั้งสองชนิดแท่งหลักดินที่ทำการวัด ดังนั้นบริเวณนี้ใช้แท่งหลักดินเพียงแท่งเดียวก็เพียงพอจะเป็นแบบแท่งหลักดินทองแดงหรือท่อเหล็กอาบสังกะสีก็ได้ จากค่าสภาพต้านทานของดินที่วัดได้ในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ชนิดของดินจะเป็นแบบกรวดปนทรายชื้นซึ่งสอดคล้องกับสถานที่จริง

**ตารางที่ 2. ผลการวัดความเป็นกรดด่างของดิน (soil pH of sampling areas)**

| พื้นที่เก็บตัวอย่างดิน | ผลการวัดความเป็นกรดด่างของดิน | | | ค่าเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | pH |
| 1. เขตเทศบาลโนนสูง อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา | 6.93 | 6.75 | 6.93 | 6.87 |
| 2. เขตอำเภอปักธงชัย จ.นครราชสีมา | 7.28 | 7.31 | 7.23 | 7.27 |
| 3. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา | 4.75 | 4.85 | 4.94 | 4.85 |
| 4. เขตอำเภอสีคิ้ว จ.นครราชสีมา | 5.1 | 5.15 | 5.09 | 5.11 |
| 5. ตำบลสำโรง อ.กระสัง จ.บุรีรัมย์ | 4.94 | 4.89 | 4.84 | 4.89 |
| 6. ตำบลโคกขมิ้น อ.พลับพลาชัย จ.บุรีรัมย์ | 4.45 | 4.4 | 4.45 | 4.43 |

***3) จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และในตารางที่ 5***

จุดทดสอบที่ 2 บ้านโคกขมิ้น ต.โคกขมิ้น อ.พลับพลาชัย จ.บุรีรัมย์ นั้นความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ค่าความต้านทานดินน้อยกว่า 5 โอห์ม ทั้งสองชนิดแท่งหลักดินที่ทำการวัด ดังนั้นบริเวณนี้ใช้แท่งหลักดินเพียงแท่งเดียวก็เพียงพอจะเป็นแบบแท่งหลักดินทองแดงหรือท่อเหล็กอาบสังกะสีก็ได้ จากค่าสภาพต้านทานของดินที่วัดได้ในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ชนิดของดินจะเป็นแบบดินกรวดชื้นซึ่งสอดคล้องกับสถานที่จริง

***4) จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และในตารางที่ 5***

จุดทดสอบที่ 3 เขตเทศบาลโนนสูง อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา นั้นความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ค่าความต้านทานดินน้อยกว่า 5 โอห์ม ทั้งสองชนิดแท่งหลักดินที่ทำการวัด ดังนั้นบริเวณนี้ใช้แท่งหลักดินเพียงแท่งเดียวก็เพียงพอจะเป็นแบบแท่งหลักดินทองแดงหรือท่อเหล็กอาบสังกะสีก็ได้ จากค่าสภาพต้านทานของดินที่วัดได้ในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ชนิดของดินจะเป็นแบบดินกรวดชื้นซึ่งสอดคล้องกับสถานที่จริง

***5) จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และในตารางที่ 5***

**ตารางที่ 3. ผลการวัดความต้านทานดินโดยใช้แท่งหลักดินความยาว 1.2 เมตรเปรียบเทียบระหว่างแท่งหลักดินทองแดงกับท่อเหล็กอาบสังกะสี (soil resistance compare between copper ground rod 1.2 m and galvanized steel pipe 1.2 m)**

| สถานที่ | แท่งหลักดินทองแดง | | | | ท่อเหล็กอาบสังกะสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง |
| จุดทดสอบที่ 1 | 2.6 | - | - | - | 2.5 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 2 | 3.6 | - | - | - | 3.5 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 3 | 3.2 | - | - | - | 3.2 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 4 | 7.5 | 4.0 | - | - | 10.5 | 4.2 | - | - |
| จุดทดสอบที่ 5 | 8.0 | 3.8 | - | - | 7.2 | 3.6 | - | - |
| จุดทดสอบที่ 6 | 22.4 | 12 | 8.8 | 6.7 | 22.5 | 12.2 | 8.8 | 6.65 |

**ตารางที่ 4. ผลการวัดความต้านทานดินโดยใช้แท่งหลักดินความยาว 2.4 เมตรเปรียบเทียบระหว่างแท่งหลักดินทองแดงกับท่อเหล็กอาบสังกะสี (soil resistance compare between copper ground rod 2.4 m and galvanized steel pipe 2.4 m)**

| สถานที่ | แท่งหลักดินทองแดง | | | | ท่อเหล็กอาบสังกะสี | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง |
| จุดทดสอบที่ 1 | 1.5 | - | - | - | 1.6 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 2 | 1.6 | - | - | - | 1.6 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 3 | 1.7 | - | - | - | 1.6 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 4 | 5.0 | - | - | - | 4.8 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 5 | 4.5 | - | - | - | 4.4 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 6 | 12.5 | 6.3 | 4.8 | 3.85 | 12.0 | 6.2 | 4.6 | 3.8 |

จุดทดสอบที่ 4 เขตอำเภอปักธงชัย จ. นครราชสีมา นั้นความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดถ้าใช้แท่งหลักดินทั้งสองแบบความยาว 1.2 เมตร แต่เมื่อทำการขนานแท่งหลักดินเป็น 2 แท่ง ค่าความต้านทานดินน้อยกว่า 5 โอห์ม ทั้งสองชนิดแท่งหลักดินที่ทำการวัด ดังนั้นบริเวณนี้ใช้แท่งหลักดิน 2 แท่งยาว 1.2 เมตรขนานกันก็เพียงพอจะเป็นแบบแท่งหลักดินทองแดงหรือท่อเหล็กอาบสังกะสีก็ได้ แต่ถ้าแท่งหลักดินยาว 2.4 เมตรใช้แค่แท่งเดียวก็เพียงพอ จากค่าสภาพต้านทานของดินที่วัดได้ในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ชนิดของดินจะเป็นแบบดินกรวดแห้งปนหินซึ่งสอดคล้องกับสถานที่จริง

***6) จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และในตารางที่ 5***

จุดทดสอบที่ 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา นั้นความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดถ้าใช้แท่งหลักดินทั้งสองแบบความยาว 1.2 เมตร แต่เมื่อทำการขนานแท่งหลักดินเป็น 2 แท่ง ค่าความต้านทานดินน้อยกว่า 5 โอห์ม ทั้งสองชนิดแท่งหลักดินที่ทำการวัด ดังนั้นบริเวณนี้ใช้แท่งหลักดิน 2 แท่งยาว 1.2 เมตรขนานกันก็เพียงพอ จะเป็นแบบแท่งหลักดินทองแดงหรือท่อเหล็กอาบสังกะสีก็ได้ แต่ถ้าแท่งหลักดินยาว 2.4 เมตรใช้แค่แท่งเดียวก็เพียงพอ จากค่าสภาพต้านทานของดินที่วัดได้ในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ชนิดของดินจะเป็นแบบดินกรวดแห้งปนหินซึ่งสอดคล้องกับสถานที่จริง

**ตารางที่ 5. สภาพต้านทานของดิน ณ จุดที่ทำการทดสอบ (soil resistivity at sampling area)**

| จุดทดสอบ | $\rho_E$ (Ω.m) |
|---|---|
| จุดทดสอบที่ 1 | 362.7 |
| จุดทดสอบที่ 2 | 502.2 |
| จุดทดสอบที่ 3 | 446.4 |
| จุดทดสอบที่ 4 | 1046.3 |
| จุดทดสอบที่ 5 | 1116.1 |
| จุดทดสอบที่ 6 | 3125.05 |

***7) จากผลการทดลองในตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และในตารางที่ 5***

จุดทดสอบที่ 6 เขต อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา นั้นความต้านทานดินที่วัดได้มีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดถ้าใช้แท่งหลักดินทั้งสองแบบความยาว 1.2 เมตร แต่เมื่อทำการขนานแท่งหลักดินเป็น 2 แท่ง ก็ยังเกินมาตรฐาน จึงทำการขนานแท่งหลักดินเป็น 3 แท่งก็ยังเกินมาตรฐาน จึงทำการขนานแท่งหลักดินเป็น 4 แท่งก็ยังเกินมาตรฐาน ทั้งสองชนิดแท่งหลักดินที่ทำการวัด ดังนั้นบริเวณนี้จึงไม่ควรใช้แท่งหลักดินยาว 1.2 เมตรไม่ว่าจะเป็นแบบแท่งหลักดินทองแดงหรือท่อเหล็กอาบสังกะสี แต่ถ้าแท่งหลักดินยาว 2.4 เมตรต้องใช้แท่งหลักดิน 4 แท่งขนานกัน ค่าที่ได้จึงเป็นไปตามมาตรฐาน จากค่าสภาพต้านทานของดินที่วัดได้ในตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ชนิดของดินจะเป็นแบบดินปนหินซึ่งสอดคล้องกับสถานที่จริง

## วิเคราะห์และอภิปราย

***1) ผลของค่า pH ของดินกับความต้านทานดิน***

ค่า pH ของดินเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะของดินว่ามีสภาพเป็นกรดหรือด่างแตกต่างกันอย่างไร และบอกถึงความสามารถในการกระจายตัวของประจุไฟฟ้าได้ดีเพียงใด ในสภาพของดินที่มีค่า pH บ่งบอกถึงสภาพเป็นกรดนั้นจะมีการแตกตัวของเป็นไอออนสูง ทำให้การกระจายตัวของประจุไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น แต่จากผลการทดลองจะเห็นว่า ค่า pH ต่ำค่าความต้านทานดินที่วัดได้ค่าจะไม่ต่ำด้วยอย่างเช่น จุดทดสอบที่ 2 บ้านโคกขมิ้น อ.พลับพลาชัย จ.บุรีรัมย์ ค่า pH ของดิน 4.43 โดยใช้แท่งหลักดินความยาว 1.2 เมตร วัดความต้านทานดินได้ 3.6 โอห์ม จุดทดสอบที่ 3 อำเภอโนนสูง จ.นครราชสีมา ค่า pH ของดิน 6.87 โดยใช้แท่งหลักดินความยาว 1.2 เมตร วัดความต้านทานดินได้ 3.2 โอห์ม ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า pH ของดินไม่ได้มีผลต่อความต้านทานดินเสมอไป แต่ความต้านทานดินยังขึ้นอยู่กับสภาพและองค์ประกอบอื่นๆ ของดินอีกเช่น ความหนาแน่นของดิน ความพรุนของดิน ลักษณะของดินว่ามี

**ตารางที่ 6. ความต้านทานดินจากการใช้แท่งหลักดินทองแดงยาว 1.2 เมตร (soil resistance from copper ground rod 1.2 m)**

| สถานที่ | ค่าที่ได้จากการทดลอง | | | | ค่าที่ได้จากการคำนวณ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง |
| จุดทดสอบที่ 1 | 2.6 | - | - | - | 2.5 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 2 | 3.6 | - | - | - | 3.6 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 3 | 3.2 | - | - | - | 3.2 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 4 | 7.5 | 4.0 | - | - | 7.5 | 4 | - | - |
| จุดทดสอบที่ 5 | 8 | 3.8 | - | - | 8 | 4.268 | - | - |
| จุดทดสอบที่ 6 | 22.4 | 12 | 8.8 | 6.7 | 22.4 | 11.95 | 8.47 | 6.63 |

**ตารางที่ 7. ความต้านทานดินจากการใช้แท่งหลักดินทองแดงยาว 2.4 เมตร (soil resistance from copper ground rod 2.4 m)**

| สถานที่ | ค่าที่ได้จากการทดลอง | | | | ค่าที่ได้จากการคำนวณ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง |
| จุดทดสอบที่ 1 | 1.5 | - | - | - | 1.47 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 2 | 1.7 | - | - | - | 2.03 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 3 | 1.7 | - | - | - | 1.80 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 4 | 5.0 | - | - | - | 4.23 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 5 | 4.5 | - | - | - | 4.51 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 6 | 12.5 | 6.3 | 4.8 | 3.85 | 12.5 | 6.89 | 5.03 | 4.02 |

**ตารางที่ 8. ความต้านทานดินจากการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสียาว 1.2 เมตร (soil resistance from galvanized steel pipe 2.2 m)**

| สถานที่ | ค่าที่ได้จากการทดลอง | | | | ค่าที่ได้จากการคำนวณ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง |
| จุดทดสอบที่ 1 | 2.5 | - | - | - | 2.5 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 2 | 3.5 | - | - | - | 3.5 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 3 | 3.2 | - | - | - | 3.2 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 4 | 10.5 | 4.2 | - | - | 10.5 | 5.62 | - | - |
| จุดทดสอบที่ 5 | 7.2 | 3.6 | - | - | 7.2 | 3.86 | - | - |
| จุดทดสอบที่ 6 | 22.5 | 12.2 | 8.8 | 6.65 | 22.5 | 12.05 | 8.56 | 6.72 |

หินเป็นส่วนประกอบหรือไม่ และความชื้นของดิน เป็นต้น

*2) ผลของพื้นที่สัมผัสดินต่อความต้านทานของดิน* พื้นที่ผิวสัมผัสดินของแท่งหลักดินจะมีผลต่อการกระจายตัวของประจุไฟฟ้า กล่าวคือพื้นที่สัมผัสดินมากการกระจายตัวของประจุไฟฟ้าจะดีทำให้ความต้านทานดินต่ำ แท่งเหล็กอาบสังกะสีจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสดินมากกว่าแท่งเหล็กดินทองแดง ดังนั้นความ

ตารางที่ 9. ความต้านทานดินจากการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสียาว 2.4 เมตร (soil resistance from galvanized steel pipe 2.4 m)

| สถานที่ | ค่าที่ได้จากการทดลอง | | | | ค่าที่ได้จากการคำนวณ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง | 1 แท่ง | 2 แท่ง | 3 แท่ง | 4 แท่ง |
| จุดทดสอบที่ 1 | 1.6 | - | - | - | 1.42 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 2 | 1.6 | - | - | - | 1.99 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 3 | 1.6 | - | - | - | 1.82 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 4 | 4.8 | - | - | - | 5.96 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 5 | 4.4 | - | - | - | 4.08 | - | - | - |
| จุดทดสอบที่ 6 | 12.0 | 6.2 | 4.6 | 3.8 | 12.0 | 6.65 | 4.87 | 3.9 |

ต้านทานดินจากการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีจะต่ำกว่าใช้แท่งหลักดินแบบทองแดง จากผลการทดลองที่ได้ก็สอดคล้องกับทฤษฎีมีเพียงบางแห่งเท่านั้นที่ผลการวัดออกมาแตกต่างนั่นคือจุดทดสอบที่ 4 เขตอำเภอปักธงชัย จ. นครราชสีมา เนื่องจากสถานที่ที่เลือกสุ่มวัดดินมีองค์ประกอบของหินอยู่มาก ดังนั้นพื้นที่ผิวท่อเหล็กอาบสังกะสีจะสัมผัสหินมากกว่าแท่งหลักดินแบบทองแดงความต้านทานดินจากการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีจึงสูงกว่าแบบแท่งหลักดินทองแดง

***3) การเพิ่มความยาวของแท่งหลักดินทำให้ความต้านทานดินลดลงมากว่าการเพิ่มจำนวนแท่งหลักดิน***

จากผลการวัดความต้านทานดินในจุดทดสอบที่ 4 จุดทดสอบที่ 5 และจุดทดสอบที่ 6 ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ความต้านทานดินของแท่งหลักดินชนิดเดียวกันถ้าความยาวมากกว่าความต้านทานดินจะต่ำกว่าแท่งหลักดินที่ความยาวสั้น

***4) ค่าความต้านทานดินที่ได้จากการวัดและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน***

จากตารางที่ 6 ถึงตารางที่ 9 ค่าความต้านทานดินที่ได้จากการวัดในแท่งหลักดินแต่ละแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ในทางทฤษฎีซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวิจัย

***5) ความแตกต่างของความต้านทานดินจากการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีและแท่งหลักดินทองแดง***

จากผลการทดลองที่ได้ ความต้านทานของดินจากการใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีเป็นแท่งหลักดินและแท่งหลักดินแบบทองแดงมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แม้ว่าคุณสมบัติทางกายภาพจะแตกต่างกัน

## สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองวัดค่าความต้านทานดินด้วยการใช้แท่งหลักดินแบบท่อเหล็กอาบสังกะสีและแท่งหลักดินทองแดง ค่าความต้านทานดินที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันทุกสภาพของดิน จำนวนของแท่งหลักดินทองแดงและท่อเหล็กอาบสังกะสีที่ใช้แล้วทำให้ได้ความต้านทานของดินตามมาตรฐานคือน้อยกว่า 5 โอห์มเท่ากันทุกสถานที่ที่ทำการวัดความต้านทานของดิน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าท่อเหล็กอาบสังกะสีสามารถนำมาใช้เป็นแท่งหลักดินแทนแท่งหลักดินแบบทองแดงได้และยังเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายในชนบทและมีราคาถูกอายุการใช้งานยาวนานเทียบเท่ากับแท่งหลักดินที่ทำจากทองแดง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่อนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องวัดความต้านทานดินสำหรับใช้ในการวิจัย และ รศ. ไพบูลย์ ไชยนิล ที่ให้คำปรึกษาในโครงการวิจัย และ รศ. ดร. สราวุฒิ สุจิตจร หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนบทความในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง


ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. (2532). การออกแบบระบบไฟฟ้า. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่, ฝ่ายวางแผนและพัฒนาระบบไฟฟ้า. (2543). ชีวิตปลอดภัยเมื่อติดตั้งระบบสายดิน.การไฟฟ้านครหลวง, พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ.

มานะศิษฏ์ พิมพ์สาร. ระบบท่อสุขภัณฑ์. หจก. นำอักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ศุลี บรรจงจิต. (2540).หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำรวย สังข์สะอาด. (2528). วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Chulalongkorn University. (1994). A Seminar on Electromagnetic Compatibility Related Lightning and Transient Protection and Earthing. Bangkok,Thailand.

Chulalongkorn University. (2000). A Seminar on Recent Development in Lightning Protection: New Research and Practical Application. Bangkok,Thailand.

IEEE. (1983). Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potential of a Ground System. IEEE. Inc., New York.

IEEE. (1997). Guide for Improving the Lightning Performance of the Transmission Lines. IEEE. Inc., New York.

McPartland, J.F. (1981). National Electrical Code Handbook., McGraw-Hill, New York.

O'Riley, R.P. (1999). Electrical Grounding. Delmar Publ., New York.

Verlag, S. and Stahleisen,V. (1992). Steel: A Handbook for Material Research and Engineering Volume 1: Fundamental. Mercedes-Druck GmbH,

Verlag, S. and Stahleisen, V. (1992). Steel: A Handbook for Material Research and Engineering Volume 2: Application. Mercedes-Druck GmbH.