บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ที่ผ่านมาพบว่ามีเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดอันตรายเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลสู่ดินก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ จึงวิเคราะห์และวิจัยวิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีการต่างๆ เช่นการหาค่าลดความต้านทานของกระแสไฟฟ้าเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลลงสู่ดิน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การปรับสภาพดิน การคำนวณและการวัดค่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้น ให้มีการเกิดผลกระทบและความเสียหายน้อยที่สุดเมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว

ในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่แล้วได้มีการนำระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากมีคุณภาพและเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าดีกว่า อีกทั้งยังสามารถลดความรุนแรงของความเสียหายทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สิน และยังช่วยป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากความผิดปรกติของระบบไฟฟ้าเช่น การเกิดความผิดพร่องของการต่อลงดิน (Ground fault), การเกิดฟ้าผ่า (Lightning), การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over voltage), การเกิดเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) หรือ สัญญาณสื่อสาร (RFI) ต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นระบบไฟฟ้าที่มีการต่อลงดินนั้นต้องอาศัยการออกแบบการติดตั้ง และการตรวจสอบอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามมาตรฐานของข้อกำหนด เพื่อให้ระบบการต่อลงดินมีความน่าเชื่อถือ ปลอดภัยต่อระบบไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาพความความต้านทานของดินและขนาดพื้นที่ที่จำกัด ที่มีผลต่อความต้านทานดิน
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลของความต้านทานดิน ที่มีผลต่อแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าว
3. เพื่อทำการจำลองและเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา ผลของความต้านทานดินที่มีต่อแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวด้วยโปรแกรม ETAP

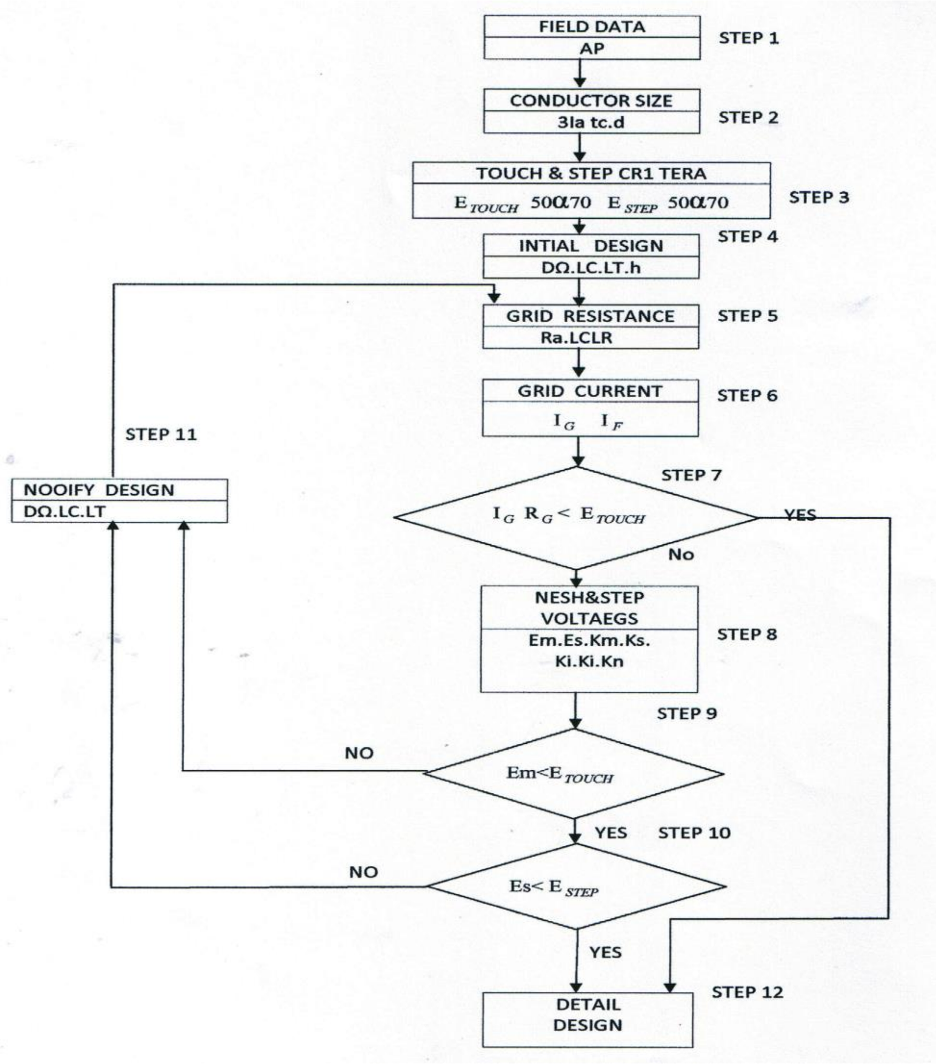
1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. สำรวจพื้นที่และทำการตรวจวัดค่าความต้านทานดินในบริเวณของสถานีไฟฟ้าย่อย
2. วิเคราะห์ความความต้านทานดินและขนาดพื้นที่ที่จำกัด ที่มีผลต่อแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวด้วยโปรแกรม ETAP
3. ทำการจำลองและเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา ผลของความต้านทานดินที่มีต่อแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวด้วยโปรแกรม ETAP

1.4 ประโยชน์ของโครงงาน

1. ป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับบุคคลที่ไปสัมผัสกับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยบังเอิญ
2. ช่วยป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าเมื่อมีกระแสลัดวงจรลงดิน
3. จำกัดแรงดันไฟฟ้าของวงจรไม่ให้สูงจนก่อให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.5 โครงสร้างการทำงาน



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างการทำงาน

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของระบบการต่อลงดิน [3][4]

ความหมาย คือ การเชื่อมต่อระหว่างวงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือโครงสร้างของระบบไฟฟ้ากับแท่งหลักดินที่ปักหรือฝังอยู่ในดิน โดยผ่านสายตัวนำไฟฟ้าและจุดต่อทางไฟฟ้า ดังนั้นนอกจากวงจรทางไฟฟ้าแล้ว สภาพของดินหรือคุณสมบัติของดินยังถือว่ามีความสำคัญต่อระบบการต่อลงดินอีกด้วย

2.2 ความปลอดภัยในการต่อลงดิน

2.2.1 วัตถุประสงค์ของการต่อลงดินที่สถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อความปลอดภัยมี 2 ประการ

ก) เพื่อให้มีการนำกระแสลงดินในสภาวะปกติและสภาวะฟอนต์ ทำให้กระแสไม่เกินขีดจำกัดในการทำงานของอุปกรณ์หรือการทำงานของระบบ หรือไม่มีผลต่อการหยุดจ่ายไฟ

ข) เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีการต่อลงดินไม่เกิดอันตราย คนมักเข้าใจผิดว่าอุปกรณ์ที่มีการต่อลงดินแล้วถือว่ามีความปลอดภัยทางไฟฟ้าซึ่งในความเป็นจริงแล้ว แม้ว่าความต้านทานดินของสถานีไฟฟ้าย่อยจะมีค่าน้อยก็ไม่ได้ประกันว่าจะมีความปลอดภัยเมื่อเทียบกับสถานีไฟฟ้าที่มีความต้านทานดินสูง

ในกรณีสถานีไฟฟ้าย่อย มีการเชื่อมต่อกับระบบสายเหนือดินที่ไม่มีสายดินเข้ามาด้วยจะมีกระแสสูงลงดินที่สถานีไฟฟ้าย่อย ดังนั้นความต้านทานดินของสถานีไฟฟ้าย่อยจึงจำเป็นต้องมีค่าต่างๆ เพราะถ้ามีสายดินหรือเคเบิลฝังดินจะทำให้กระแสไหลกลับไปที่ต้นทางได้ ทำให้กระแสที่ไหลลงดินที่สถานีไฟฟ้าย่อยมีค่าน้อยเมื่อเข้าไปในสถานีไฟฟ้าย่อย ให้พยายามเดินตามทางที่ได้มีการวางแผ่นเหล็กที่พื้นในสถานีไฟฟ้าย่อย และไม่ควรสัมผัสจุดที่มีการต่อลงดิน ไม่ว่ากรณีใดเนื่องจากจุดดังกล่าวเป็นจุดที่มีแรงดันสูงสุดเมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้น นอกจากนี้แรงดันที่สูงอาจเกิดระหว่างโครงสร้างที่มีการต่อลงดินกับเครื่องห่อหุ้มอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นซึ่งอันตรายในสถานีไฟฟ้าย่อยที่อาจเกิดขึ้นได้ดังนี้

ก) กระแสลงดินมีค่าสูง และความต้านทานดินสูง

ข) ความต้านทานจำเพาะของดินและการกระจายกระแสลงดินทำให้เกิดแรงดันเกรเดียนท์ที่ผิวของสถานีไฟฟ้าย่อย

ค) ถ้ามีคนยืนในตำแหน่งที่ร่างกายไปเชื่อมต่อระหว่างสองจุดที่มีความต่างศักย์สูง ในขณะที่เกิดกระแสลัดวงจรลงดินพอดี

ง) ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายคนนานมากพอที่ทำให้เกิดอันตรายกับคน อันตรายในสถานีไฟฟ้าย่อยที่เกิดขึ้นกับคนมีน้อยครั้ง เนื่องจากอันตรายที่เกิดขึ้นตามที่กล่าวมานั้นมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก

2.3 การออกแบบการต่อลงดิน

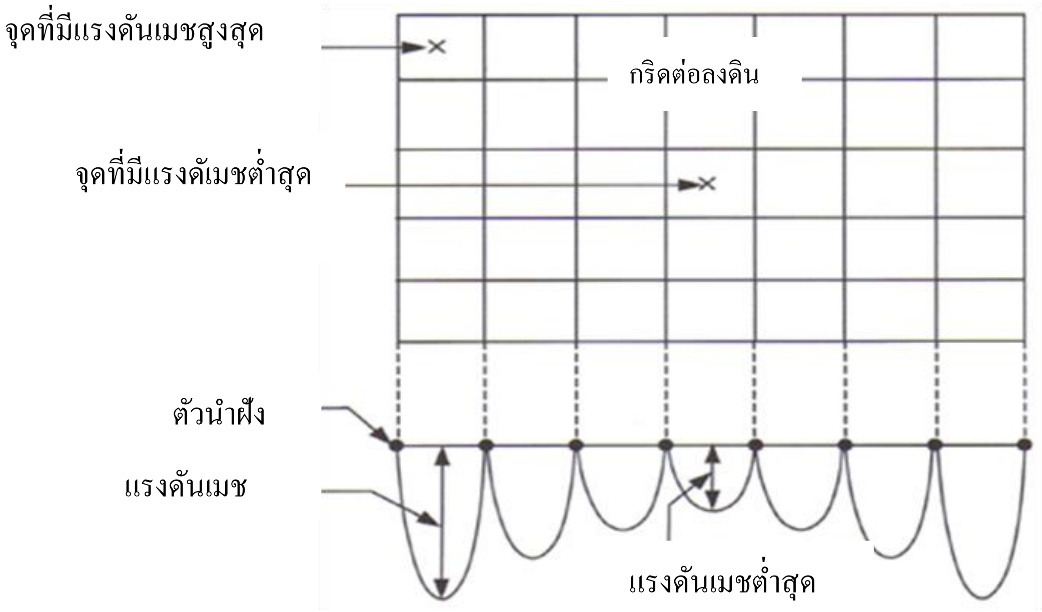
การออกแบบระบบการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย มุ่งเน้นทางด้านความปลอดภัยเนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าวทั้งในสถานีไฟฟ้าย่อยและบริเวณข้างเคียงซึ่งรวมไปถึงนอกรั้วสถานีไฟฟ้าย่อยด้วยสำหรับความปรอดภัยในสถานีไฟฟ้าย่อยพิจารณาจาก แรงดันแมช ซึ่งถือว่าเป็นแรงดันสัมผัสที่มีค่ามากที่สุด สำหรับกริดที่ทำเป็นเมชขนาดเท่าๆกันนั้น แรงดันเมชจะมีค่ามาดที่สุดที่มุมกริด ส่วนแรงดันเมชที่มีค่าน้อยที่สุดคือ ที่กลางกริด

เป้าหมายของการออกแบบการต่อลงดินในสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งในกรณีปกติหรือกรณีเกิดการลัดวงจรภายในสถานีย่อย คือ

ก) เพื่อให้กระแสลัดวงจรไหลลงดิน โดยไม่เกิดแรงดันเกินกว่าที่อุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยจะทนได้

ข) เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานในสถานีไฟฟ้าย่อยปลอดภัย เมื่อมีการเกิดกระแสลัดวงจรลงดิน

การออกแบบระบบการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยที่กล่าวถึงในที่นี้ จะพิจารณาแรงดันสัมผัสที่สูงที่สุด นั้นคือแรงดันเมชสูงสุดซึ่งอยู่ที่มุมกริด ดังที่แสดงในภาพที่ 3.1 ความแตกต่างระหว่างแรงดันเมชที่มุมกริด และ แรงดันเมชที่กลางกริด คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันเมชที่สูงสุดและแรงดันเมชที่ต่ำสุด ถ้าจำนวนเมชมาก อัตราส่วนดังกล่าวก็มีค่ามากขึ้น หากเปรียบเทียบในพื้นที่เดียวกัน ระหว่าง 10 x 10 กับเมช 30 x30 จะเห็นว่า ถ้าจำนวนเมชมาก อัตราส่วนแรงดันเมชระหว่างที่มุมกริดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 2.71 เป็น 8.85 ดังแสดงในตารางที่ 3.1



ภาพที่ 2.1 กริดและแรงดันเมช

ตารางที่ 2.1 อัตราระหว่างแรงดันเมชสูงสุดที่มุมกริดกับแรงดันเมชต่ำสุดที่กลางกริด

กริดที่	จำนวนเมช	อัตราส่วน แรงดันเมชที่มุมกริด/แรงดันเมชที่กลางกริด
1	10x10	2.71
2	20x20	5.55
3	30x30	8.85

2.4 การต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อย

การต่อลงดินที่สถานีไฟฟ้าย่อย มีวัตถุประสงค์เพื่อ ให้เกิดความปลอดภัยกับคนที่ทำงานภายในสถานีไฟฟ้าย่อย เมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นไหลลงดินที่สถานีไฟฟ้าย่อย โดยพิจารณาการออกแบบกริดในสถานีไฟฟ้าย่อยให้แรงดันย่างก้าว (Step Voltage) และแรงดันไฟฟ้าสัมผัส (Touch Voltage) ต่ำกว่าค่าที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์ กริดดังกล่าวติดตั้งฝังดินและโรยหินกรวดปิดทับด้านบน อุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อยก็ต่อลงดินจากตัวถังอุปกรณ์ลงดินไปที่กริดดังแสดงในภาพที่ 2.2 ในรูปแสดงเสาล่อฟ้าที่มุมของสถานีไฟฟ้าย่อย และอุปกรณ์ทั้งหมดอยู่ภายในรั้วของสถานีไฟฟ้าย่อย

2.5 ประเภทของการต่อลงดิน

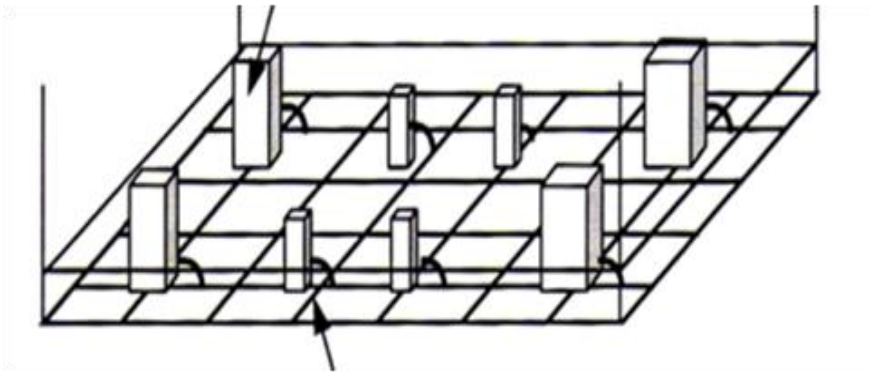
2.5.1 การต่อลงดินที่ระบบไฟฟ้า

เป็นวิธีการทำการต่อนิวทรัลที่ระบบไฟฟ้าลงดินโดยผ่านหลักสายดิน โดยหลักสายดินจะเป็นแท่งเหล็กชุบสังกะสียาว 8ฟุตมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3/4 นิ้วหรือแท่งทองแดงยาว 8 ฟุต มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว ตอกลึกอย่างน้อย 1 ฟุต

2.5.2 การต่อลงดินที่อุปกรณ์

เป็นส่วนต่อของส่วนที่เป็นโลหะที่ไม่มีกระแสไหลผ่านของสถานที่ประกอบการให้ถึงกันตลอดแล้วต่อลงดิน

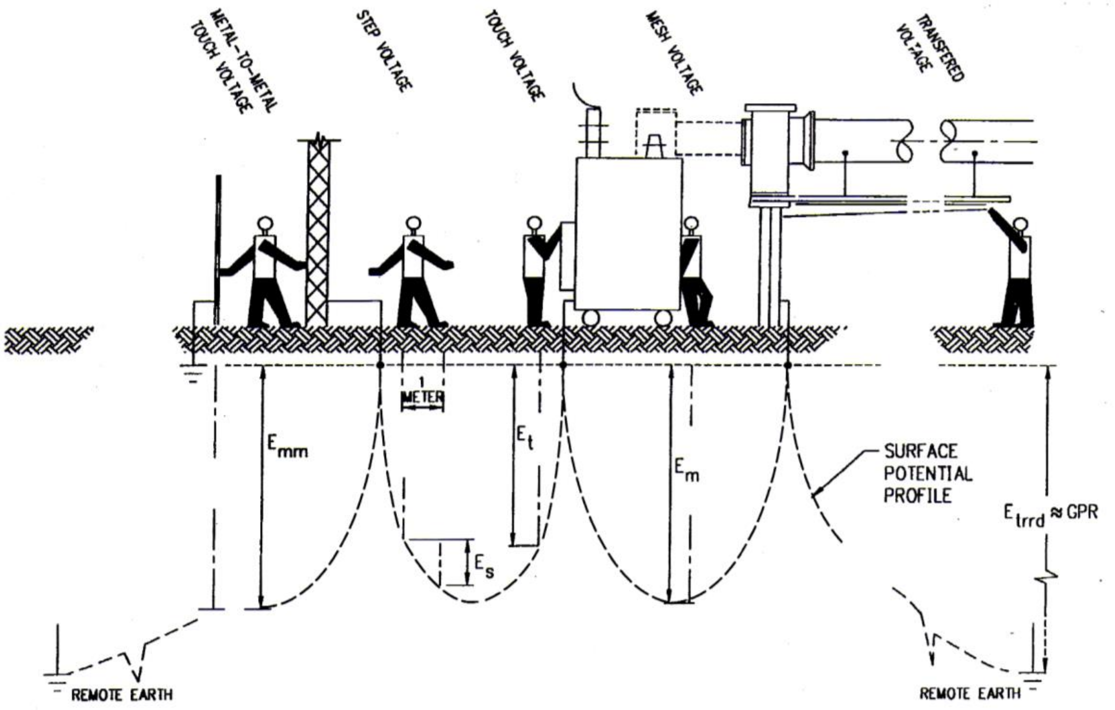
อุปกรณ์ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย



กริดฝังดินที่ใช้ในการต่อลงดินของตัวถังของ

ภาพที่ 2.2 การต่อกริดที่สถานีไฟฟ้าย่อย

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้าย่อย หรือเกิดขึ้นที่เสาส่งและจะส่งผลให้กระแสลัดวงจรลงดินมาลงที่สถานีไฟฟ้าย่อย เมื่อมีกระแสลัดวงจรลงดินเกิดขึ้นที่สถานีไฟฟ้าย่อยตำแหน่งกริดจะมีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับจุดอื่น



ภาพที่ 2.3 แรงดันแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในในสถานีไฟฟ้าย่อยเมื่อมีการลัดวงจรลงดิน

E_{mm} แรงดันระหว่างโลหะกับโลหะที่มือสัมผัส (Metal to Metal Touch Voltage)

E_S แรงดันย่างก้าว (Step Voltage)

E_t แรงดันสัมผัส (Touch Voltage)

E_m แรงดันเมช (Mesh Voltage) ซึ่งเป็นแรงดันสัมผัสที่สูงที่สุด

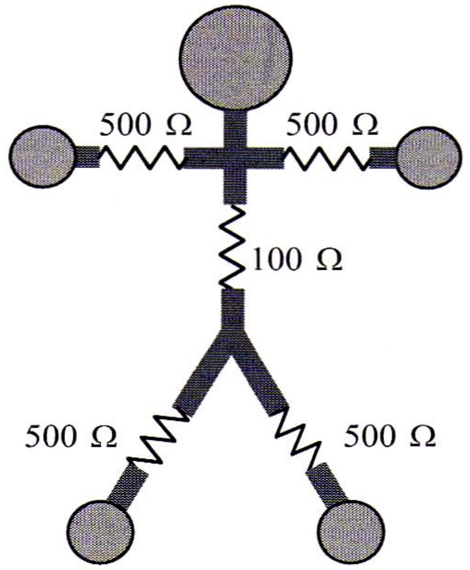
E_{trrd} แรงดันโอน (Transferred Voltage)

GPR แรงดันสูงสุดระหว่างกริดและแรงดันศูนย์ อ้างอิงของโลก (Ground Potential Rise)

2.6 ความต้านทานของร่างกายมนุษย์

ความต้านทานที่ต่ำที่สุดของร่างกายมนุษย์อยู่ระหว่าง 500 – 1000 โอห์ม ค่านี้วัดโดยไม่คิดความต้านทานของผิวหนัง ถ้าผิวหนังค่อนข้างแห้งจะให้ความต้านทานสูงมาก ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านร่างกายนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้น เส้นทางการไหลของกระแส ขนาดของร่างกาย เพศ ความหยาบของผิวหนัง ความต้านทานของร่างกายมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1000 โอห์มไปจนถึงมากกว่า 1000 โอห์ม

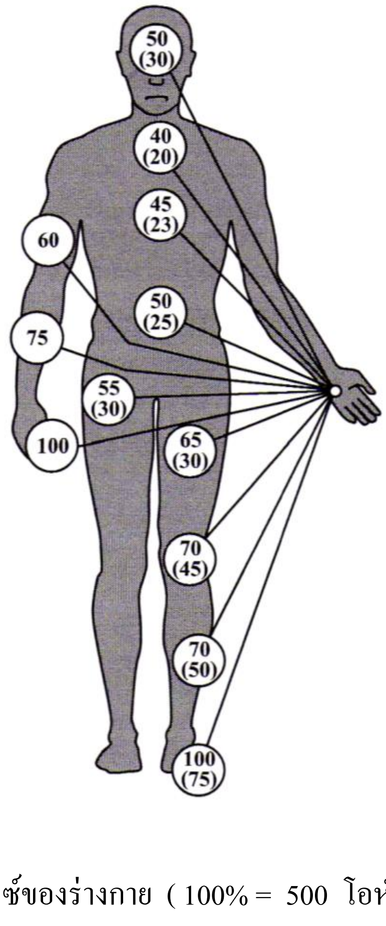
จากภาพที่ 2.3 สมมุติให้ความต้านทานจากแขนข้างหนึ่งไปถึงแขนอีกข้างหนึ่งมีค่า 500+500 = 1000 โอห์ม ที่แรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์ จะมีกระแสไหลผ่านร่างกายในเส้นทางดังกล่าวเท่ากับ 120/1000 = 0 .12 แอมแปร์ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความต้านทานของร่างกายมีค่าไม่คงที่แต่เป็นฟังก์ชันขึ้นกับเวลาและแรงดัน



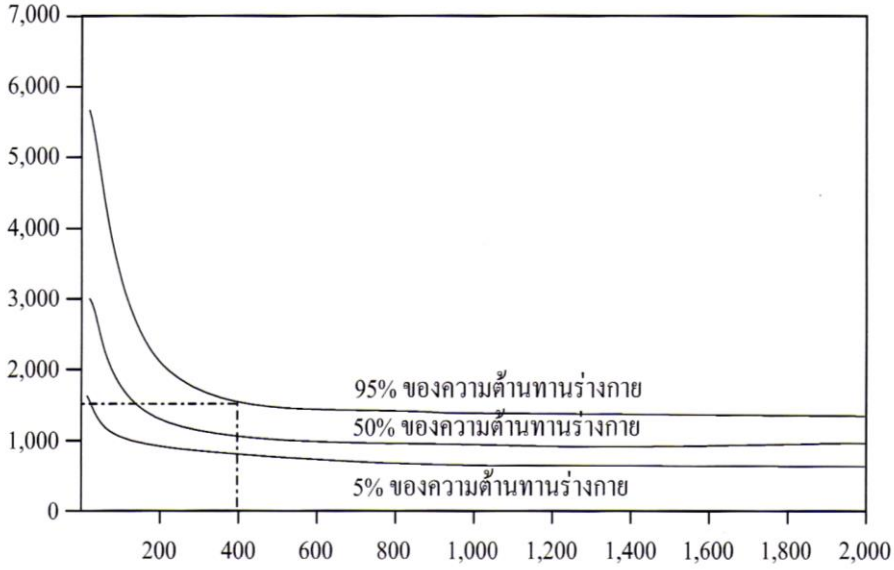
ภาพที่ 2.4 โมเดลความต้านทานร่างกายมนุษย์ตามมาตรฐาน IEEE

เมื่อพิจารณาให้ละเอียดมากยิ่งขึ้นพบว่า ร่างกายของคนประกอบด้วยเนื้อเยื่อ และ ของเหลวจำนวนมาก ย่อมมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ต่างกัน ในปี ค.ส 1984 Commission Electro-Technique International (Geneva) ได้ตีพิมพ์รายงานความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของร่างกายสำหรับพื้นที่สัมผัสขนาดใหญ่ ค่าอิมพีแดนซ์แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์เทียบกับอิมพีแดนซ์จากแขนข้างหนึ่งไปยังแขนอีกข้างหนึ่ง ซึ่งมีค่า 500 โอห์ม โดยมี 5% Percentilerank ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความต้านทานร่างกาย เมื่อคิดความต้านทานจากแขนข้างหนึ่งไปยังแขนอีกข้างหนึ่งเป็น 100% มีค่าเท่ากับ 500 โอห์ม

ตัวเลขในวงเล็บคือ เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เมื่อมีกระแสไหลจากแขนข้างหนึ่งไปยังส่วนต่าง ๆ เหล่านั้น ตัวเลขนอกวงเล็บคือ เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เมื่อกระแสไหลจากแขนทั้งสองข้างไปยังส่วนต่าง ๆ เหล่านั้นตาม IEC [3]



ภาพที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของร่างกาย (100% = 500 โอห์ม)



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของร่างกาย และ แรงดัน ที่ป้อนให้กับร่างกาย

โดยได้แบ่งกราฟออกเป็นสามส่วนเพื่อกำหนดว่าเปอร์เซ็นต์ของความต้านทานร่างกายมนุษย์เป็นอย่างไร ตัวอย่างเช่น ที่แรงดัน 400 โวลต์ ความต้านทานร่างกายของคนส่วนใหญ่ 95% มีค่าต่ำกว่า 2000 โอห์ม

2.7 ขีดจำกัดของกระแสที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกายแล้วจะเกิดอันตรายต่อมนุษย์มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสและระยะเวลา ตามมาตรฐาน IEEE 80-2000 ขนาดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านร่างกายมนุษย์ภายในระยะ 0.03-3.0 วินาที แล้วพบว่า 95 % ยังไม่เห็นอันตรายถึงชีวิต

$I_{B,50}$ = ขนาดกระแสที่ไหลผ่านร่างกาย เมื่อคนหนัก 50 กก.

$I_{B,70}$ = ขนาดกระแสที่ไหลผ่านร่างกายเมือคนน้ำหนัก 70 กก.

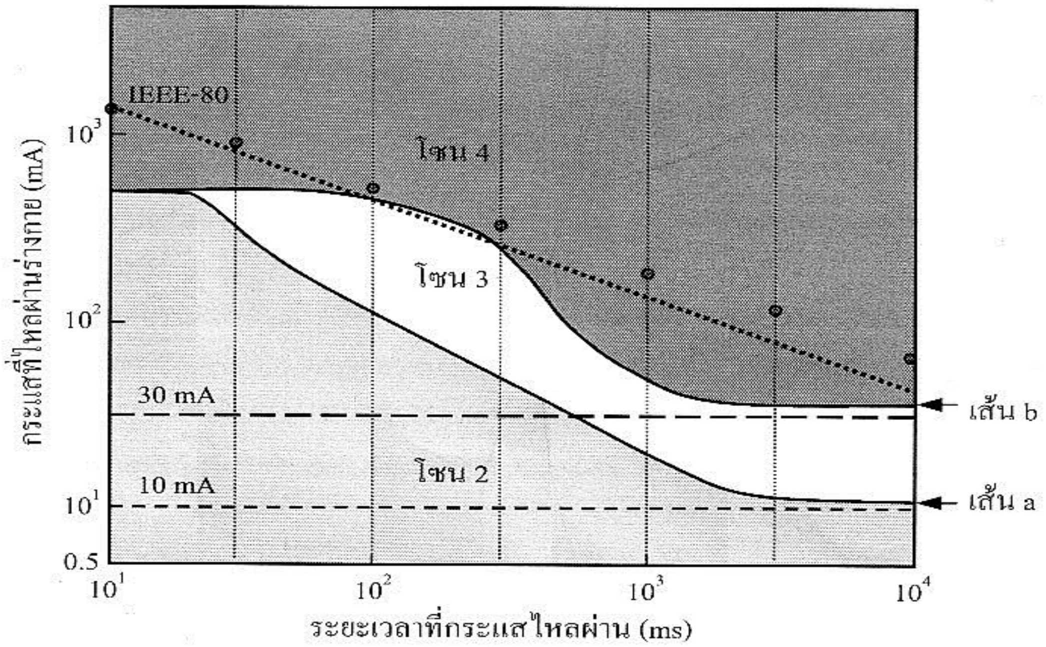
T_S = ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกาย (วินาที)

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกระแสที่ยังไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

ระยะเวลา t (ms)	10	30	100	300	1,000	3,000	10,000
ขนาดกระแส I (ms)	1,160	670	367	211	116	67	37

ตารางที่ 2.3 การแบ่งโซนของกระแสที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

โซน	ผลของร่างกายที่กระแสไหลผ่าน
1	ถ้ากระแสไฟฟ้าไม่เกิน 0.5 มิลลิแอมแปร์ จะไม่มีปฏิกิริยาต่อร่างกาย
2	เริ่มมีความรู้สึกได้ว่าได้รับกระแสไฟฟ้า แต่ยังไม่เป็นอันตราย
3	เริ่มมีผลต่อการควบคุมกล้ามเนื้อ เช่น กล้ามเนื้อหดตัวเอง
4	โอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะเสียชีวิต



ภาพที่ 2.7 กราฟการแบ่งโซนของกระแสที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

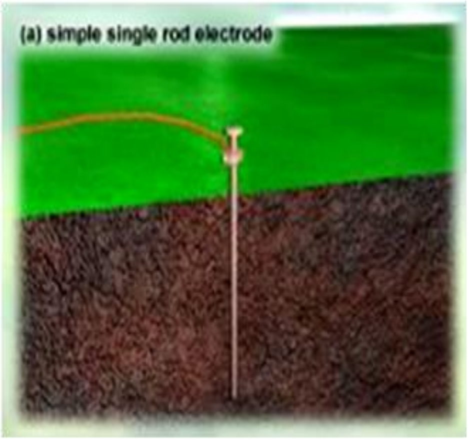
2.8 ชนิดของระบบรากรากดิน

ก) แบบแท่งเดียว (Single rod)

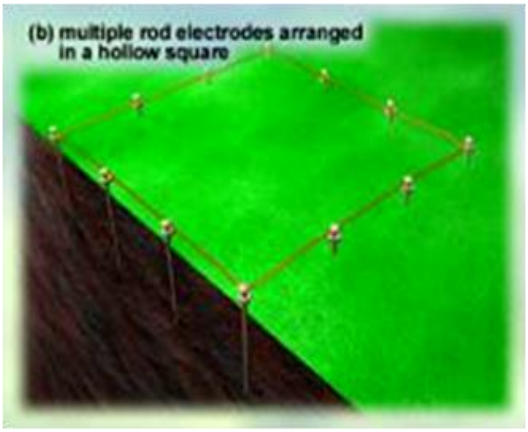
ข) แบบหลายแท่ง (Multi rod)

ค) แบบหลายแท่งหรือกริด (Network or grid)

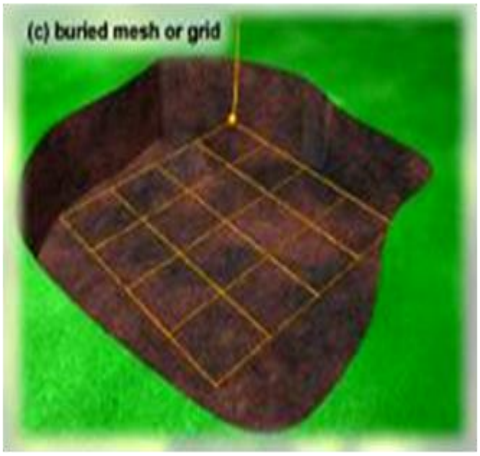
ง) แบบแผ่น (Plate)



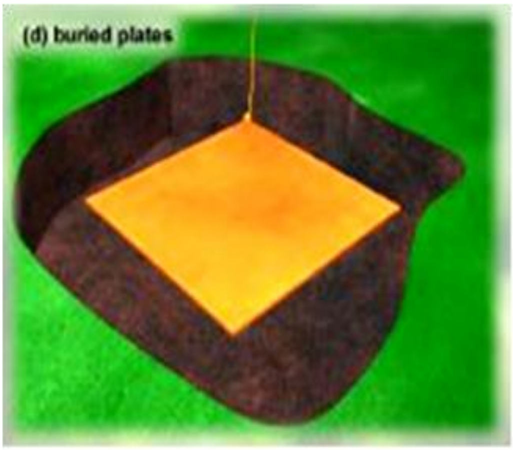
ก.



ข.



ค.



ง.

ภาพที่ 2.8 ชนิดของระบบรากดิน

2.9 ส่วนประกอบของระบบการต่อลงดิน

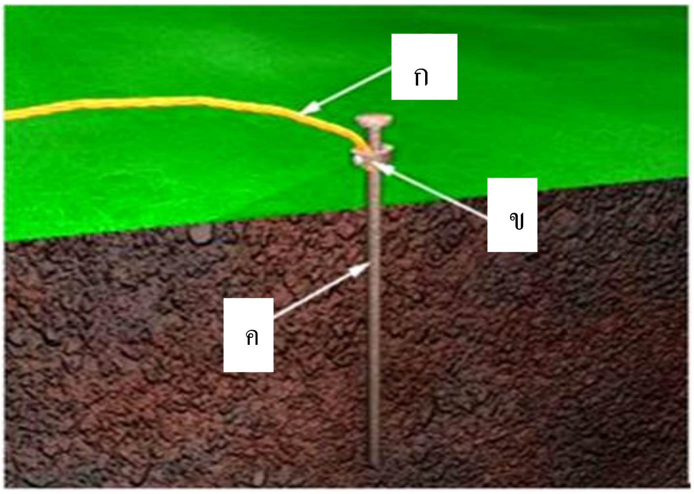
เราสามารถแบ่งส่วนประกอบของระบบการต่อลงดินได้ดังนี้คือ

ก) สายตัวนำไฟฟ้า (Grounding Conductor)

ข) ระบบการเชื่อมต่อ (A Bonding Conductor)

ค) แท่งหลักดิน (Grounding Electrode)

ซึ่งส่วนประกอบทั้งสามจะมีความต้านทานของวัสดุเช่นเดียวกัน โดยความต้านทานดินจะเป็นสิ่งแรกที่สำคัญที่สุดเนื่องจากช่วยในการกระจายหรือดิสชาร์จกระแสลงดินให้เร็วที่สุด



ภาพที่ 2.9 ส่วนประกอบของระบบการต่อลงดิน

2.10 รากสายดินแบบต่างๆ

ก) รากสายดินแนวรัศมี ได้แก่ รากสายดินแบบตัวนำติดตั้งในแนวราบ (แนวนอน) ใช้ในกรณีติดตั้งรากสายดินในแนวดิ่งได้ลำบาก เช่น บริเวณพื้นแข็งหรือบริเวณหินกรวดโดยทั่วไปความยาวจะเป็น 2 เท่า ของรากสายดินในแนวดิ่งจึงจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ดึงจากหน้าดินประมาณ 50–60 เซนติเมตร

ข) รากสายดินแนวดิ่ง ได้แก่ รากสายดินแบบแท่งเป็นแท่งเหล็กชุบทองแดงขนาด 5/8 นิ้ว ยาว 2.4-3 เมตรติดตั้งในแนวดิ่งหรือเอียง (แต่ถ้าดินไม่แข็งหรือไม่สามารถตอกในแนวดิ่งได้ ก็ต้องหาทางตอกในแนวเอียง)

ค) รากสายดินวงแหวน เป็นรากสายดินที่มีตัวนำวนรอบเป็นวงแหวน หรือวนรอบอาคาร ทำหน้าที่ให้ความต้านทานดินต่ำ นอกจากนี้ทำให้แรงดันย่างก้าวน้อยลง (Step Voltage)

ง) รากสายดินฐานรากคอนกรีต ได้แก่ ทำตัวนำทองแดงหรือเหล็กชุบสังกะสีในคอนกรีตซึ่งรากสายดินแบบนี้ต้องดำเนินการติดตั้ง ตั้งแต่เริ่มก่อสร้างอาคาร โดยทั่วไปยังไม่ค่อยนิยมใช้เนื่องจากช่างหรือวิศวกรยังไม่คุ้นเคย ทำให้เกิดไม่แน่ใจว่าใช้ได้จริงหรือไม่

จ) รากสายดินโครงโลหะ ได้แก่ โลหะที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโดยมีฐานโลหะฝั่งลงในดินหรือพื้นคอนกรีตและนำมาทำเป็นรากสายดิน ที่เห็นบ่อยได้แก่โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เสาเหล็กเป็นโครงสร้างโรงงาน

2.11 การวัดค่าความต้านทาน

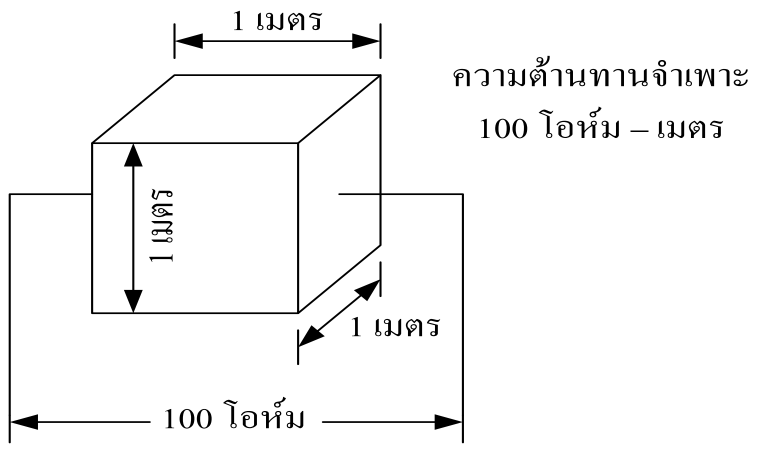
2.11.1 ขั้นตอนในการวัดความต้านทานจำเพาะ

ก) ทำการปักหลักดินของเครื่องวัดโดยหลักดินทั้ง 4 จะต้องวางในแนวเส้นตรง ดังภาพที่ 2.9 โดยความลึกและระยะห่างของหลักดินจะต้องมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งในทางปฏิบัติกำหนดให้ระยะห่าง (a) มีค่า 2 – 30 เมตร และความลึก (b) มีค่าน้อยกว่าระยะห่างประมาณ 20 เท่าหรือความลึกมีค่า 1 ใน 3 ส่วนของระยะห่าง

ข) ทำการวัดค่าความต้านทานของดิน ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นโอห์ม ดังนั้นนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (Soil Resistivity)

ค) เมื่อทำการวัดค่าได้แล้วให้ทำการเลื่อนตำแหน่งของแท่งกราวด์ที่ปักโดยหมุนแกนในแนวเดิมออกไป 90 องศา แล้วทำการวัดค่าความต้านทานอีกครั้ง

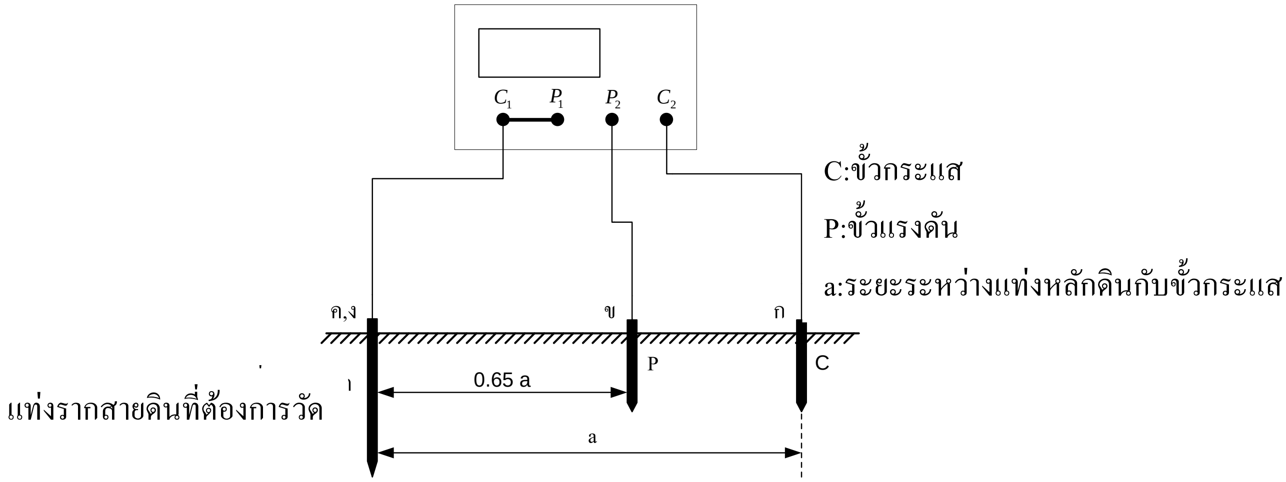
ง) ทำการเปรียบเทียบค่าทั้งสองว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ ทั้งนี้ก็เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยภายนอกเช่น Interference Voltage, EMI, RFI



ภาพที่ 2.10 การวัดค่าความต้านทานจำเพาะ

2.11.2 การวัดความต้านทานจำเพาะของดินแบบสามขั้ว

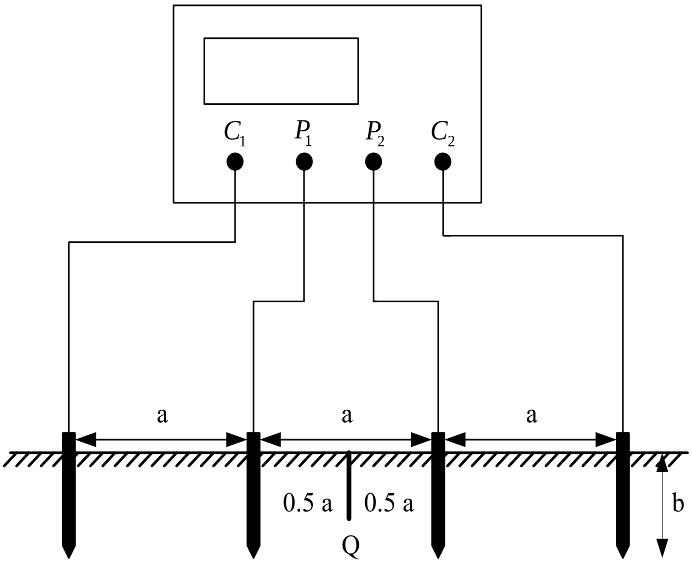
โดย ก,ง เป็นขั้วกระแสส่วน ข,ค เป็นขั้วแรงดันถ้าต้องการวัดความต้านทานแบบสามขั้วให้ต่อขั้ว ค,ง เข้าด้วยกันเพื่อไปต่อกับแท่งหลักดินหรืออิเล็กโทรดที่ต้องการวัดค่า โดยหาวางขั้วแรงดัน p ห่างจากแท่งดินที่ต้องการวัดประมาณ 65% ระหว่างขั้วกระแส และ แท่งหลักดิน a คือ 0.65 เท่าของระยะ a ในกรณีที่ต้องการวัดความต้านทานของการต่อลงดินทั้งระบบระยะ a ต้องมีค่ามากกว่าสิบเท่าของระยะห่างของอิเล็กโทรด จึงจะได้ค่าการวัดที่ถูกต้องมากขึ้น ระยะขั้วแรงดัน p ที่กำหนดไว้ให้เป็นประมาณ 65% ของระยะ a นั้นสามารถทดสอบได้โดยให้เลื่อนขั้วแรงดัน p ไปมาระหว่างระยะ a จนกระทั่งความต้านทานดินที่อ่านได้จากเครื่องไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2.11 การวัดความต้านทานจำเพาะของดินแบบสามขั้ว

2.11.3 การวัดความต้านทานจำเพาะของดินแบบสี่ขั้ว

การเพิ่มระยะ a ให้มากขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลลึกลงไปในดินจะมีค่ามากขึ้นด้วย โดยทั่วระยะระหว่างอิเล็กโทรดจะเป็นตัวกำหนดความลึกของดินที่ต้องการวัดความต้านทานเช่นระยะ a เท่ากับ 3 เมตร เป็นการวัดความต้านทานเฉลี่ยของดินด้านบนที่ลึก 3 เมตร



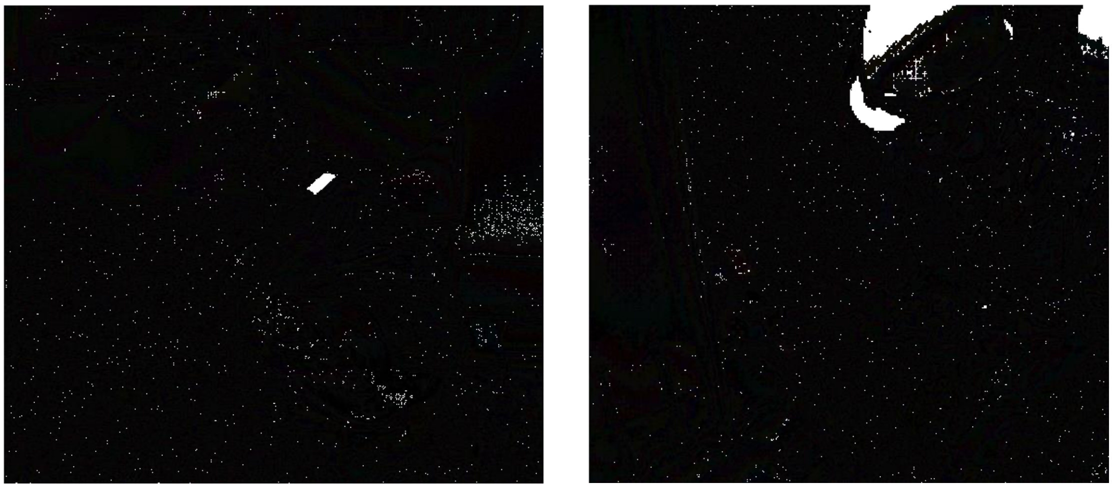
C1 : ขั้วกระแส 1
C2 : ขั้วกระแส2
P1 : ขั้วแรงดัน1
P2 : ขั้วแรงดัน2
a : ระยะห่าง
Q : จุดที่วัดความต้านทาน
b : ความลึก

ภาพที่ 2.12 การวัดความต้านทานจำเพาะของดินแบบสี่ขั้ว

2.11.4 การวัดและการทดสอบดินโดยใช้แคมป์มิเตอร์

ในการศึกษาระบบสายดินของสถานี Plan 1 และ Plan 2 จะวัดค่าโดยใช้ค่าบนเครื่องวัดความต้าน DET10C/DET20C ดังแสดงในภาพที่ 2.13 โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่จะสร้างแรงดันวัดวัตถุหรือตารางพื้น ซึ่งเชื่อมต่ออยู่ในดิน และการทดสอบปัจจุบันสามารถไหลภายในดิน ดินนั้นจึงได้ ความถูกต้องของผลนี้ได้รับการแนะนำจากมาตรฐาน IEEE วิธีนี้สะดวกมากและได้รับการนิยมใช้เพื่อค้นหาความต้านทานดินและการรั่วไหลของกระแสที่ผ่านจุดแผ่นดินของอุปกรณ์ไฟฟ้าและโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 2.14(ก) และ 2.13(ข)

ภาพที่ 2.13 เครื่องวัดความต้านทานแบบแคล้มป์มิเตอร์



ก. วัดกราวด์ที่อุปกรณ์

ข. วัดกราวด์ที่โครงสร้าง

ภาพที่ 2.14 การวัดความต้านทาน

2.12 วงจรเพื่อการวิเคราะห์หาแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าว

การออกแบบการต่อลงดินของสถานีไฟฟ้าย่อยเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น จะพิจารณาออกแบบไม่ให้กระแสที่ไหลผ่านร่างกายคนเกินกว่าระดับกระแสที่ทำให้หัวใจไม่ทำงานเมื่อมีกระแสลัดวงจรในสถานีไฟฟ้าย่อย ดังนั้นในการออกแบบจึงจำเป็นต้องพิจารณาวงจรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ตั้งแต่ ความต้านทานของร่างกายคน วงจรสมมูลแทนการเกิดอุบัติเหตุ วงจรเพื่อการวิเคราะห์แรงดันสัมผัส และวงจรเพื่อวิเคราะห์แรงดันย่างก้าว

2.12.1 วงจรสมมูลแทนการเกิดอุบัติเหตุ

จุดประสงค์ของการวิเคราะห์วงจรสมมูลแทนการเกิดอุบัติเหตุก็เพื่อหาแรงดันสัมผัสแลแรงดันย่างก้าวว่ามีความสัมพันธ์กับความต้านทานของร่างกายคน กระแสที่ไหลผ่านร่างกาย และความต้านทานจำเพาะของดินอย่างไร ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณแรงดันอันตรายระหว่างจุดสองจุดที่ร่างกายคนอาจไปสัมผัส ดังนี้

I_B คือ กระแสที่ไหลผ่านร่างกายคน

R_A คือ ความต้านทานรวมในวงจรอุบัติเหตุ (โอห์ม)

V_A คือ แรงดันรวมของวงจรอุบัติเหตุ

2.12.2 แรงดันสัมผัส(Touch Voltage)

เมื่อคนไปสัมผัสกับโลหะที่มีการต่อลงดิน ในขณะที่กระแสลัดวงจรเกิดขึ้นในระบบ ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านร่างกายคน ภาพที่ 2.15(ก) แสดงวงจรสมมูลแทนการเกิดอุบัติเหตุเพื่อจำลองหาแรงดันสัมผัส ในภาพที่ 2.15(ข) ซึ่งเป็นวงจรสมมูลเพื่อหา Z_{TH} ในวงจรเทวินินได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.16 ส่วนวงจรเทวินินเพื่อหาแรงดันย่างก้าวได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.17 ซึ่งความหมายของสัญลักษณ์ที่แสดงในภาพ และ สมการต่าง ๆ ดังนี้

I_F คือ กระแสลัดวงจรในระบบ

I_G คือ กระแสที่ไหลไปที่กริดต่อลงดิน

I_B คือ กระแสที่ไหลผ่านร่างกายคน

R_G คือ ความต้านทานดิน

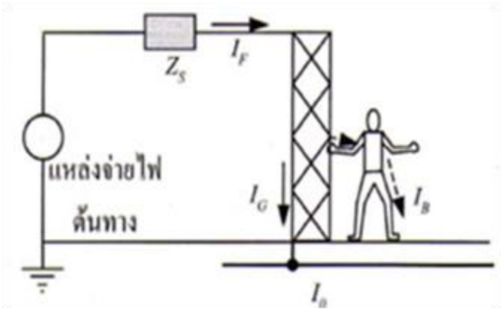
R_B คือ ความต้านทานของร่างกาย ซึ่งแทนด้วยค่า 1,000 โอห์ม

R_F คือ ความต้านทานดินของเท้าหนึ่งข้าง

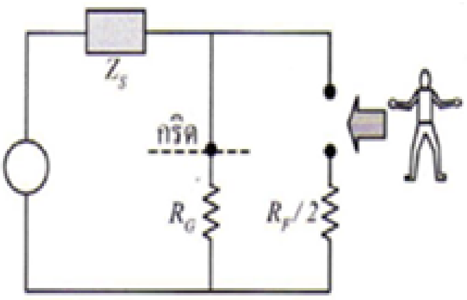
Z_S คือ อิมพีแดนซ์ของระบบ

Z_{TH} คือ อิมพีแดนซ์ในวงจรเทวินิน

V_{TH} คือ แรงดันในวงจรเทวินิน

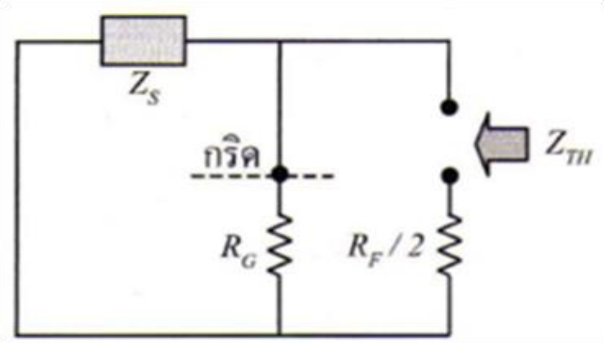


ก. กระแสลัดวงจรไหลผ่านร่างกายคนที่สัมผัสโครงสร้าง



ข. วงจรสมมูลเพื่อหาแรงดันสัมผัส

ภาพที่ 2.15 วงจรอุบัติเหตุและวงจรสมมูลเพื่อหาแรงดันสัมผัส

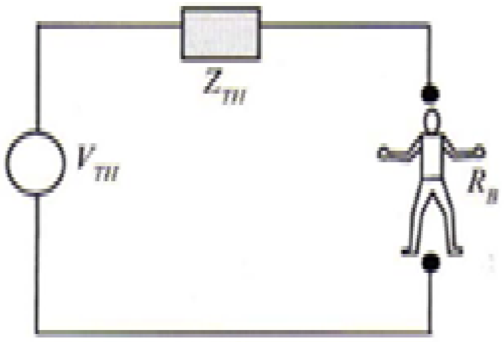


ดินอ้างอิง

ภาพที่ 2.16 วงจรหา Z_{TH} ในวงจรเทวินินเพื่อหาแรงดันสัมผัส

R_G และ Z_S มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับ $R_F/2$ ดังนั้น Z_{TH} ของวงจรมีค่าใกล้เคียงกับ $R_F/2$

$Z_{TH} = R_F/2$



ดินอ้างอิง

ภาพที่ 2.17 วงจรเทวินินของวงจรอุบัติเหตุเพื่อหาแรงดันสัมผัส

V_{TH} คือ ค่าแรงดันที่โครงโลหะก่อนที่คนจะไปสัมผัส

$$V_{TH} = I_B (R_B + Z_{TH})$$

$$E_{TOUCH} = I_B (R_B + Z_{TH}) \qquad (2.1)$$

ในภาพที่ 2.15 เนื่องจาก I_B แบ่งไหลลงไปที่เท้าทั้งสองข้างลงดิน ซึ่งเสมอ R_B สองตัวขนานกัน ดังนั้นความต้านตามเส้นทางที่กระแสไหลจึงเท่ากับ $R_F/2$

ในภาพที่ 2.16 ค่า R_G และ Z_S มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ $R_F/2$ ดังนั้น Z_{TH} จึงมีค่าโดยประมาณ $R_F/2$ และ V_{TH} ในภาพที่ 2.17 คือค่าแรงดันที่โลหะ ก่อนที่คนจะไปสัมผัสแรงดันสัมผัสตามภาพที่ 2.17 คำนวณได้ตามสมการ

$$E_{TOUCH} = I_B (R_B + Z_{TH}) = I_B (R_B + R_F/2) \qquad (2.2)$$

ถ้ารัศมีเท้าด้วย b เมตร(รัศมีที่ใช้0.08เมตร)บนพื้นผิวที่มีความต้านทานจำเพาะ ρ โอห์ม-เมตร จะได้ความต้านทานดินของเท้าหนึ่งข้างตามสมการ ทำให้สามารถหา Z_{TH} และ E_{TOUCH}

$R_F = \rho /4b$ (2.3)

$Z_{TH} = R_F/2$

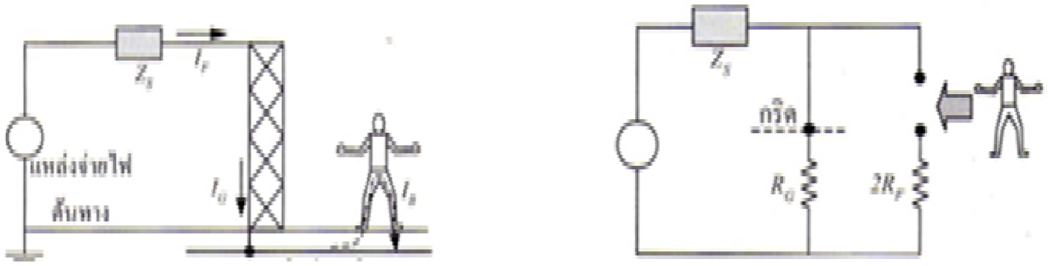
$E_{TOUCH} = I_B (1{,}000 + R_F/2)$

เมื่อ ρ ความต้านทานจำเพาะของพื้นผิว (โอห์ม-เมตร)

b รัศมีเท้า (เมตร)

2.12.3 แรงดันย่างก้าว (Step Voltage)

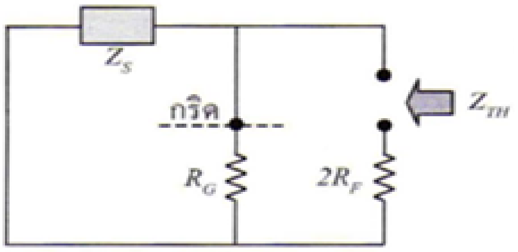
เมื่อยืนอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยในขณะเกิดกระลัดวงจรขึ้นในระบบ ทำให้แรงดันที่ผิวต่างกัน และเกิดกระแสไหลผ่านร่างกายคนดังแสดงในภาพที่ 2.18(ก) และได้แสดงวงจรสมมูลแทนการเกิดอุบัติเหตุเพื่อจำลองหาแรงดันย่างก้าวในภาพที่ 2.18(ข) ซึ่งงวงจรสมมูลเพื่อหา Z_{TH} ในวงจรเทวินินได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.19 ส่วนวงจรเทวินินเพื่อหาแรงดันย่างก้าวได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.20



ก. กระแสลัดวงจรไหลผ่านร่างกายคน ที่ยืนในสถานีไฟฟ้าย่อย

ข. วงจรสมมูลเพื่อหาแรงดันย่างก้าว

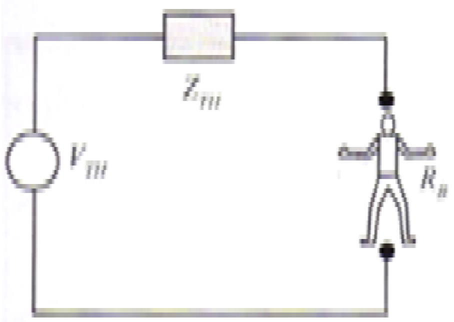
ภาพที่ 2.18 วงจรอุบัติเหตุและวงจรสมมูลเพื่อหาแรงดันย่างก้าว



ดินอ้างอิง

ภาพที่ 2.19 วงจรเพื่อหา Z_{TH} ในวงจรเทวินินเพื่อหาแรงดันย่างก้าว

R_G และ Z_S มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับ $2R_F$ ดังนั้น $\mathbf{Z_{TH}}$ ของวงจรมีค่าใกล้เคียงกับ 2R $\mathbf{Z_{TH}}$ = $2R_F$



ดินอ้างอิง

ภาพที่ 2.20 วงจรเทวินินของวงจรอุบัติเหตุเพื่อหาแรงดันย่างก้าว

V_{TH} คือ ค่าแรงดันที่ผิวดินก่อนที่คนจะย่างก้าว

$$V_{TH} = I_B(R_B+Z_{TH})$$

$$E_{STEP} = I_B(R_B+Z_{TH})$$

ในภาพที่ 2.18(ข) เนื่องจาก I_B ไหลจากเท้าข้างหนึ่งไปยังเท้าอีกข้างหนึ่ง ซึ่งเสมือน R_B สองตัวอนุกรมกัน ดังนั้นความต้านทานตามเส้นทางที่กระแสไหลจึงเท่ากับ $2R_F$

ในภาพที่ 2.18 ค่า R_G และ Z_S มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ $2R_F$ ดังนั้น Z_{TH} จึงมีค่าโดยประมาณเท่ากับ $2R_F$ และค่า V_{TH} ในรูปที่ 2.19 คือค่าความต่างศักดิ์ที่ผิวดินก่อนที่คนจะย่างก้าว แรงดันย่างก้าวตามภาพที่ 2.20

$$E_{STEP} = I_B(R_B+Z_{TH}) \tag{2.4}$$

ถ้าแทนรัศมีด้วย b เมตร (รัศมีที่ใช่ 0.08 เมตร) บนพื้นผิวที่มีความต้านทานจำเพาะ ρ โอห์ม-เมตร จะได้ความต้านดินของเท้าหนึ่งข้างตามสมการ 2.1 ทำให้สามารถหา Z_{TH} และ E_{STEP} ได้ตามสมการ 2.1

$$R_F = \rho/4b \tag{2.5}$$

$$Z_{TH} = 2R_F$$

$$E_{STEP} = I_B(1{,}000+2R_B)$$

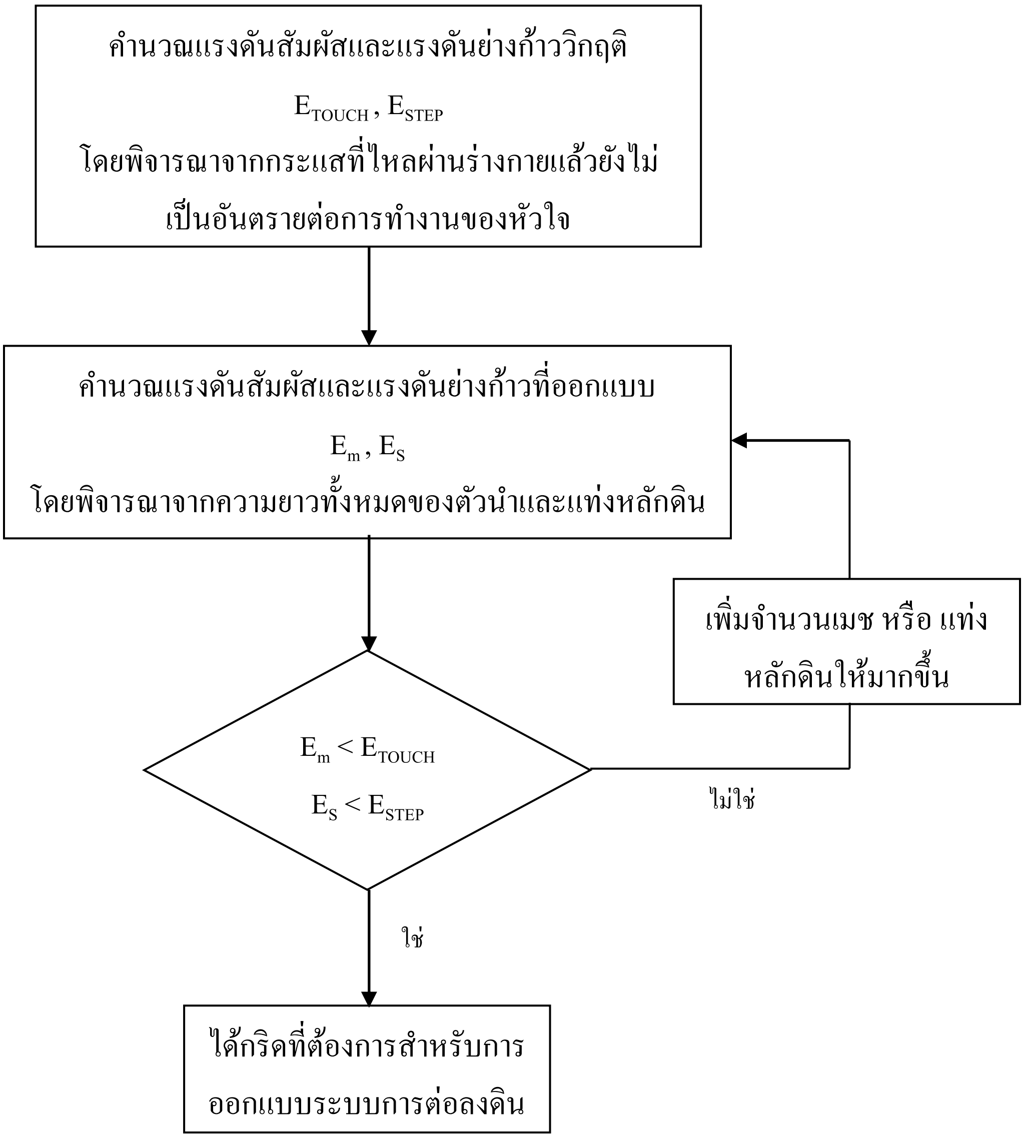
บทที่ 3
การคำนวณและการออกแบบ

3.1 การออกแบบของระบบการต่อลงดิน [3]

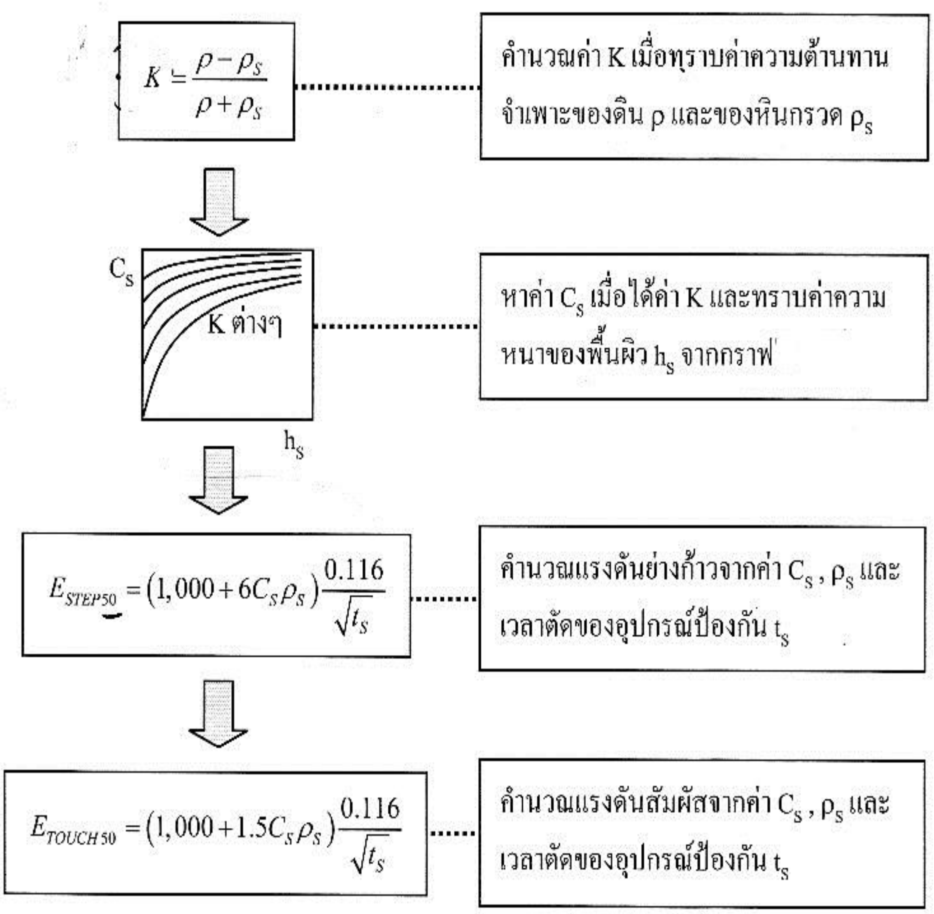
ก) คำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่ยังไม่เป็นอันตราย โดยพิจารณาจากกระแสที่ไหลผ่านร่างกายแล้วยังไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของหัวใจ

ข) คำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวจากลักษณะกริดที่ออกแบบ โดยเริ่มจากเมชเดียวครอบคลุมทั้งพื้นที่ แล้วตรวจสอบว่าแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่ออกแบบมาน้อยกว่าที่คำนวณจากข้อ (ก) หรือไม่ ถ้าแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่คำนวณมายังมีค่ามากกว่าข้อ (ก) ก็ให้เพิ่มจำนวนเมชให้มากขึ้นจนกระทั้งแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างที่คำนวณจากความยาวทั้งหมดของตัวนำที่ฝังในมี่ค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากข้อ (ก) นั้นคือผลลัพธ์ของกริดที่ออกแบบ

จากภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการคำนวณและการเปรียบเทียบ ระหว่างแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่ได้จากการคำนวณ โดยพิจารณาจากกระแสสูงสุดที่ไหลผ่านร่างกายโดยไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของหัวใจ กับแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่คำนวณได้จากความยาวทั้งหมดของตัวนำที่ฝังดิน และต้องมีค่าน้อยกว่าแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าววิกฤติที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในสถานีไฟฟ้าย่อย



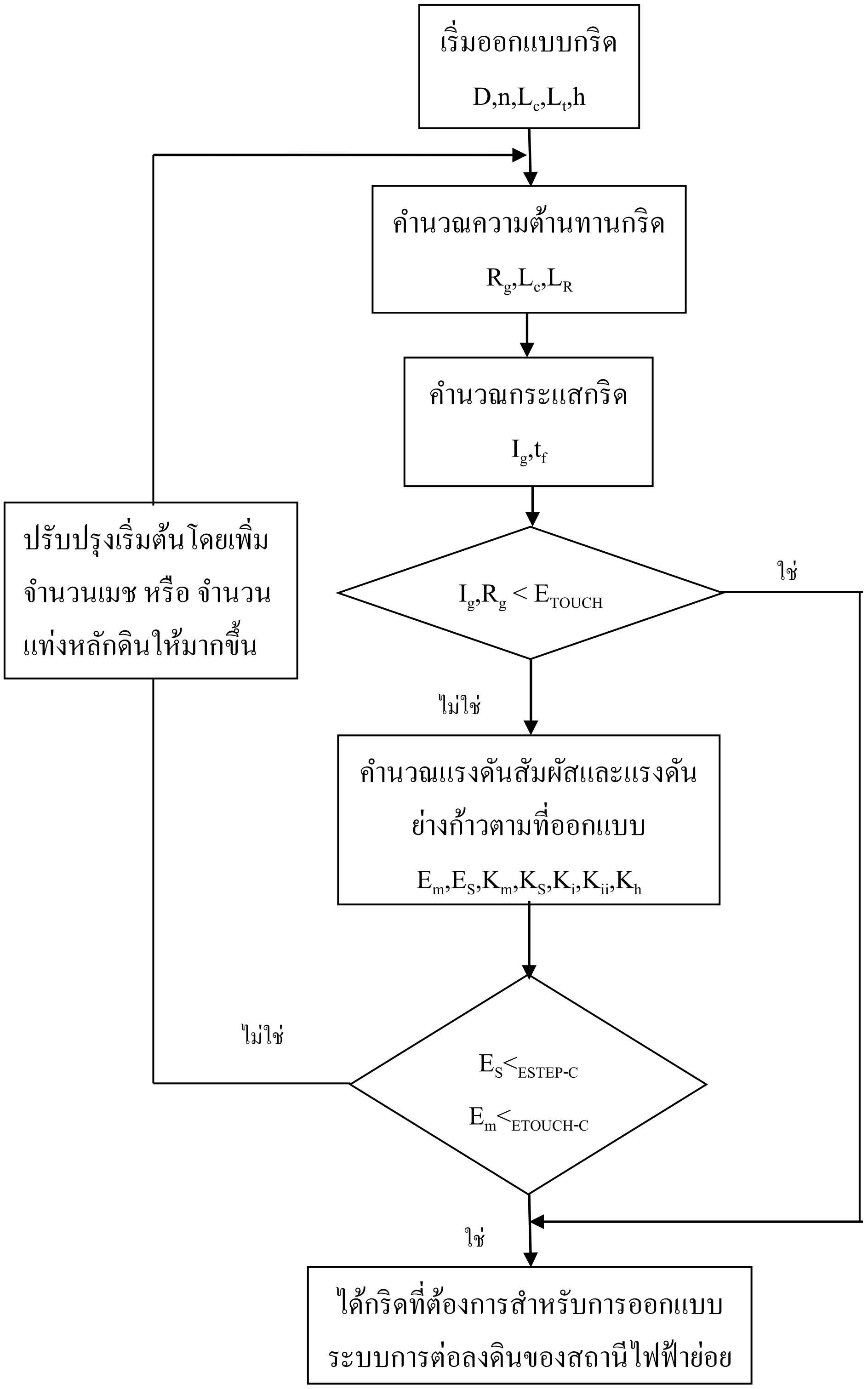
ภาพที่ 3.1 การเปรียบเทียบแรงดันเพื่อการออกแบบการต่อลงดินของโรงไฟฟ้าสถานีย่อย



ภาพที่ 3.2 แผนผังการคำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าววิกฤต

พิจารณาจากภาพ ซึ่งแสดงการคำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่ไม่เป็นอันตรายโดยรวมผลของหินกรวดที่โรยบินพื้นดินของสถานีไฟฟ้าย่อยซึ่งมีความต้านทานจำเพาะของหินกรวดและความต้านทานจำเพาะของดินโดยคำนวณมาในรูปของค่า K

หาค่า C_S จากภาพที่ 3.2 โดยหาจากค่า K ที่คำนวณได้ และ ความหนาของหินกรวดบนพื้นดิน แรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวในภาพที่ 3.2 สำหรับคนที่มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม โดยคิดที่กระแสสูงสุดที่ไม่เป็นอันตรายต่อการทำงานของหัวใจและค่า Ts เป็นระยะที่เวลาที่อุปกรณ์ป้องกันทำงานเป็นวินาที



ภาพที่ 3.3 แผนผังการคำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวจากลักษณะกริดที่ออกแบบ

จากภาพที่ 3.3 ในกรณี $I_G R_g$ มีค่าน้อยกว่าแรงดันสัมผัส ซึ่งที่ได้จากการคำนวณในภาพที่ 3.3 ก็แสดงว่ากริดที่ออกแบบนั้นมีความปลอดภัย เพราะแม้แต่ค่าแรงดันกริดสูงสุดก็มีค่าต่ำกว่าแรงดันสัมผัส แต่ถ้า $I_G R_g$ มีค่ามากกว่าแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าววิกฤต ซึ่งถ้ามีค่ามากกว่าก็ต้องเพิ่มจำนวนเมชให้มากขึ้นและคำนวณใหม่จนกระทั่งค่า $I_G R_g$ หรือแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวที่คำนวณจากกริดที่ออกแบบใหม่นั้นต่ำกว่าแรงดันย่างก้าววิกฤติ

แรงดันสัมผัสที่คำนวณจากลักษณะกริดที่ออกแบบ หรือแรงดันเมช สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.1

$$E_m = \frac{\rho K_m K_i I_G}{L_M} \tag{3.1}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi}\left[\text{In}\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dh} - \frac{h}{4d}\right] + \frac{K_{ii}}{K_h}\text{In}\left[\frac{8}{\pi(2n-1)}\right] \tag{3.2}$$

$$K_{ii} = 1$$

$$K_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_o}} \tag{3.3}$$

$ho = 1m$ ความลึกอ้างอิง

ใช้องค์ประกอบรูปตารางสี่เหลี่ยมตัวเลขที่มีประสิทธิภาพของตัวนำขนานในตารางที่กำหนด n สามารถใช้กับสี่เหลี่ยมหรือรูปที่แสดงจำนวนตัวนำขนานของตารางสี่เหลี่ยมหาได้จากสมการ

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p}$$

$n_b = 1$ = สำหรับกริดสี่เหลี่ยม

$n_c = 1$ = สำหรับกริดสี่เหลี่ยมและสี่เหลี่ยม

$n_d = 1$ = สำหรับตารางสี่เหลี่ยมและ L – รูปกริด

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \tag{3.4}$$

$$n_c = \left[\frac{L_x L_y}{A}\right]^{0.7A/L_x L_y} \tag{3.5}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L2_x + L2_y}} \qquad (3.6)$$

L_C คือ ความยาวทั้งหมดของตัวนำกริด

L_r คือ มีความยาวของตัวนำกริด

A คือ พื้นที่กริด (ตารางเมตร)

L_X คือ ความยาวสูงสุดของตัวนำกริดในทิศทาง x

L_Y คือ ความยาวสูงสุดของตัวนำกริดในทิศทาง y

D_m คือ เป็นระยะห่างสูงสุดระหว่างสองจุด ของตัวนำกริด

D คือ ระยะห่างระหว่างตัวนำขนานกัน

d คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำกริด

h คือ ความลึกของตัวนำกริด

ค่า ki ใช้ร่วมกับ n

$$k_i = 0.644 + 0.148n$$

กรณีที่มีแท่งหลักดินอยู่ที่เส้นรอบรูปของกริดหรือที่มุมกริดใช้สมการที่ 3.8

$$L_M = L_C + \left[1.55 + 1.22\left(\frac{Lr}{\sqrt{L2_x + L2_y}}\right)\right]L_R \qquad (3.7)$$

L_r คือ ความยาวทั้งหมดของแท่งหลักดิน

3.2 การคำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าว

สำหรับแรงดันย่างก้าวหาได้จากสมการดังนี้

$$E_{step} = \left(R_B + 2R_f\right)I_B \tag{3.8}$$

สำหรับน้ำหนัก 50 กก.

$$E_{step,50} = \left(1000 + 6C_s\rho_S\right)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \tag{3.9}$$

สำหรับน้ำหนัก 70 กก.

$$E_{step,70} = \left(1000 + 6C_s\rho_S\right)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \tag{3.10}$$

ในทำนองเดียวกันที่แรงดันสัมผัส

$$E_{touch} = \left(R_B + \frac{R_f}{2}\right)I_B$$

สำหรับน้ำหนัก 50 กก.

$$E_{touch,50} = \left(1000 + 1.5C_s\rho_S\right)\frac{0.116}{\sqrt{t_s}} \tag{3.11}$$

สำหรับน้ำหนัก 70 กก.

$$E_{touch,70} = \left(1000 + 1.5C_s\rho_S\right)\frac{0.157}{\sqrt{t_s}} \tag{3.12}$$

$$C_S = 1 - \frac{0.09\left(1 - \rho/\rho_S\right)}{2h_S + 0.09} \tag{3.13}$$

แรงดันย่างก้าวที่คำนวณจากกริดที่ออกแบบ (E_S)

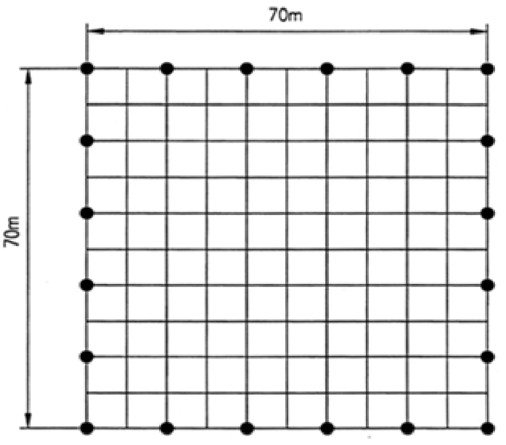
$$E_S = \frac{\rho K_s K_i I_G}{L_s} \quad (3.14)$$

$$L_S = 0.75L_C + 0.85L_R \quad (3.15)$$

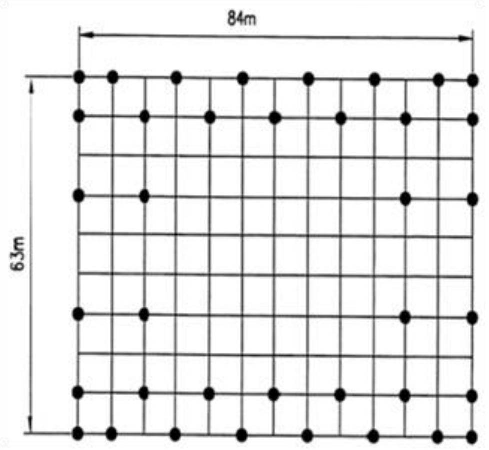
แฟกเตอร์ระยะห่าง สำหรับแรงดันย่างก้าว ที่มากที่สุดของความลึกของกริด

$$K_S = \frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D}\left(1 - 0.5^{m-2}\right)\right] \quad (3.16)$$

3.3 รูปแบบการปักแท่งหลักดินตามมาตรฐาน IEEE



ก. จุดเว้นจุด

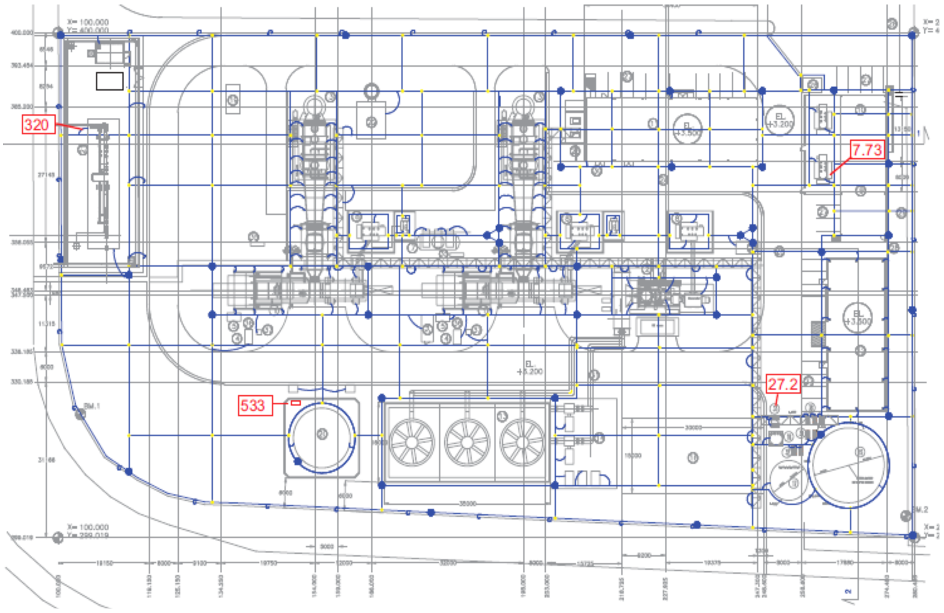


ข. สลับจุด

ภาพที่ 3.4 การปักแท่งหลักดิน

การปักจุดเว้นจุดเมื่อทำการประมวลผลออกมาแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวจะมีค่าข้างสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้แต่เมื่อทำการปักแบบสลับจุดค่าของแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวมีค่าต่ำพอสมควรและใกล้เคียงกับค่าที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับมาตรฐาน IEEE ด้วย

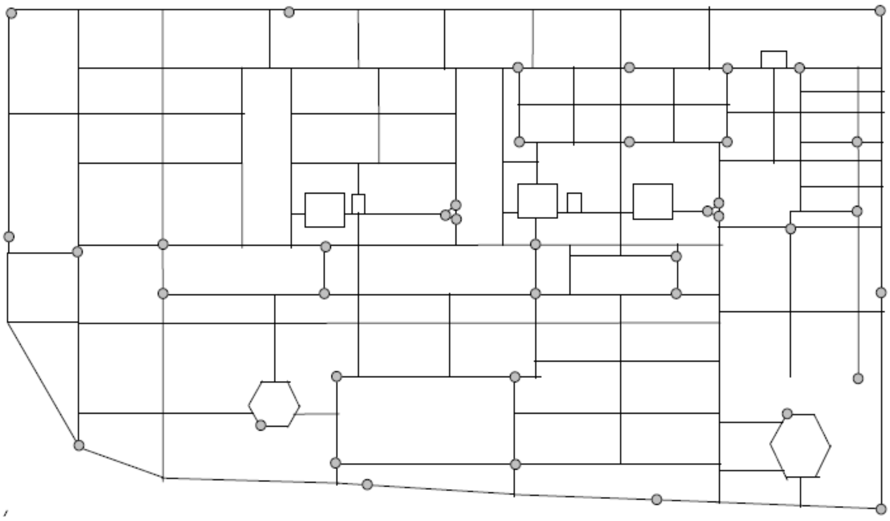
3.4 โครงสร้างของโรงไฟฟ้า LCP



ภาพที่ 3.5 Plant 1 โครงสร้างของโรงไฟฟ้า

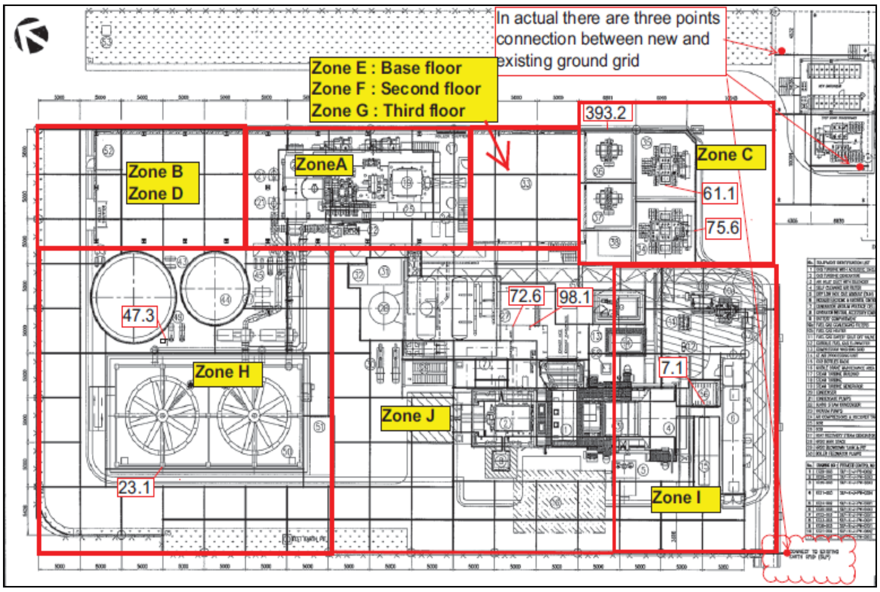
จากการวัดค่าความต้านทานภายในโครงสร้างของระบบกราวด์จะพบว่าค่าความต้านทานสูงจะมีอยู่สี่จุด มีค่าเท่ากับ 320 โอมห์ ,533 โอมห์ 7.73,โอมห์ และ 27.3 โอมห์

3.4.1 รูปแบบระบบกราวด์ของ LCP



ภาพที่ 3.6 ระบบกราวด์ของ Plant1

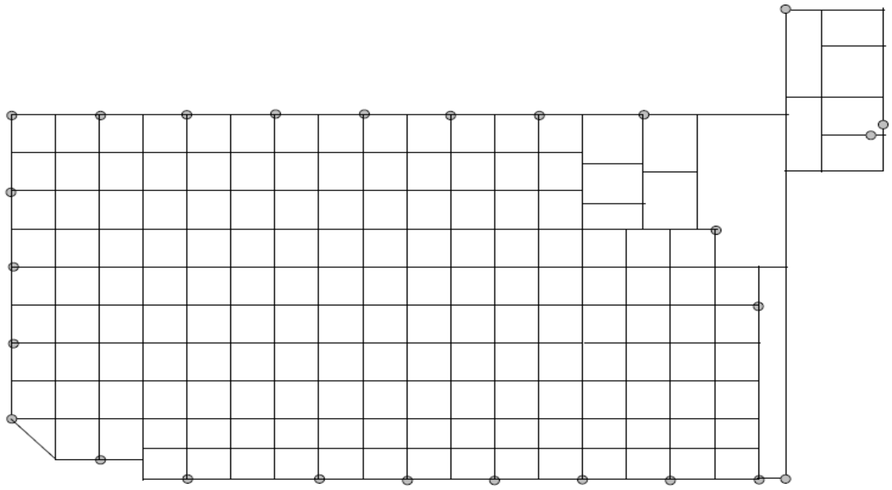
3.5 โครงสร้างของโรงไฟฟ้า SLP



ภาพที่ 3.7 Plant 2 โครงสร้างของโรงไฟฟ้า

การวัดค่าความต้านทานจะแบ่งการวัดเป็นโซน A, B ,C, J, H และ I แต่จะพบว่าโซนที่มีความต้านทานสูงที่สุดจะอยู่ที่โซน C

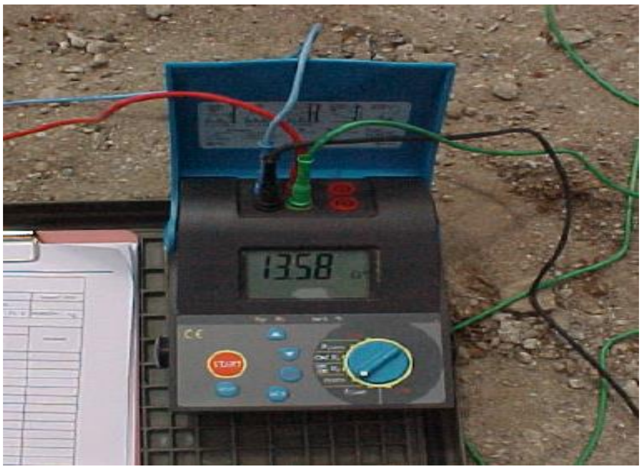
3.6 รูปแบบระบบกราวด์ของ SLP



ภาพที่ 3.8 ระบบกราวด์ของ Plant2

3.7 การวัดความต้านทานดินในสถานที่จริง [1][2]

การวัดความต้านทาน ซึ่งมิเตอร์ในภาพเป็นมิเตอร์ที่ใช้วัดได้ทั้งการหาความต้านทานจำเพาะแบบสี่ขั้วหรือการวัดหาความต้านทานจำเพาะแบบสามขั้วโดย ก . และ ง. เป็นขั้วกระแสส่วนขั้ว ข. และ ค. เป็นขั้วแรงดันถ้าต้องการวัดความต้านทานจำเพาะดินแบบสามขั้วก็ให้ต่อขั้ว ค. และ ง. เข้าด้วยกันเพื่อไปต่อกับแท่งรากสายดินหรืออิเล็กโทรดที่ต้องการวัดค่าการวัดความต้านทานจำเพาะดินแบบสามขั้วได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดความต้านทานดิน

ก. ภายนอกพื้นที่ LCP และ SLP

ข. ภายในพื้นที่ LCP และ SLP

ภาพที่ 3.10 การวัดความต้านทานดิน

นอกจากนี้การวัดความต้านทานดินและทดสอบในพื้นที่นอก LCP และ SLP ดังแสดงในภาพที่ 3.11(ก) ที่อยู่ไกลจากโรงงาน 0.5 km ในตรงข้ามด้านหลังของ LCP เรายังวัดพื้นที่ภายใน LCP และ SLP ดังแสดงในรูปที่ 3.11(ข) ผลของความต้านทานดินและความต้านทานดินที่ทำการวัดสองกิจกรรมดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการวัดความต้านทานของดินโดยวิธีการวัดแบบสามขั้ว

First time Measurement		**Last time Measurement**	
Ground Resistance, R Ohms	Soil Resistivity, (kΩ-m)	Ground Resistance, R Ohms	Soil Resistivity, (kΩ-m)
First point		Front of plant	
23.40	1.47	33.8	2.12
23.70	1.49	33.8	2.13
Second point		Back of plant	
11.67	0.81	22.2	1.39
11.67	0.73	22.3	1.39
11.91	0.75		

แสดงผลการวัดความต้านทานดินที่มีค่าค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับความต้านทานของพื้นดินของการทดสอบความจากการศึกษาก่อนหน้าโดยการวัดความต้านทานดินเป็น 6.18 ohm- m ในปี 2000 ดังนั้นการตรวจสอบดินในระบบการศึกษานี้จะกำหนดค่าความต้านทานของดิน 6.18 ohm m

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของระบบดินของสถานี LCP และ SLP

LCP Plant	SLP Plant
1. พื้นแผ่นคือ 95 mm^2 การติดตั้งทองแดงเปลือย 50 ซม. ติดด้านล่าง subgrade และดินถูกอัดดี	1. พื้นพรมจะทองแดงดิน 185 mm^2 เปลือยติดตั้งตัวนำ 50 ซม. ด้านล่าง subgrade และดินถูกอัดดี
2. ขนาดของพื้นทองแดงเป็นแกน 19 mm (5 / 8x10)	2. ขนาดของพื้นทองแดงเป็นแกน 19 mm (5 / 8x10)
ข้อมูลการศึกษา	
3. กระแสลัดวงจรลงดิน (I_G)	20 kA
4. ระยะเวลาในการพิจารณา(t)	0.5 s
5. ความลึกของหลักดิน	0.5 m
6. ความต้านทานของหลักดิน	6.18 Ohm-m
7. ความยาวของหลักดิน	3 m
8. อุณหภูมิห้อง (Ta)	40 ^{o}C

บทที่ 4

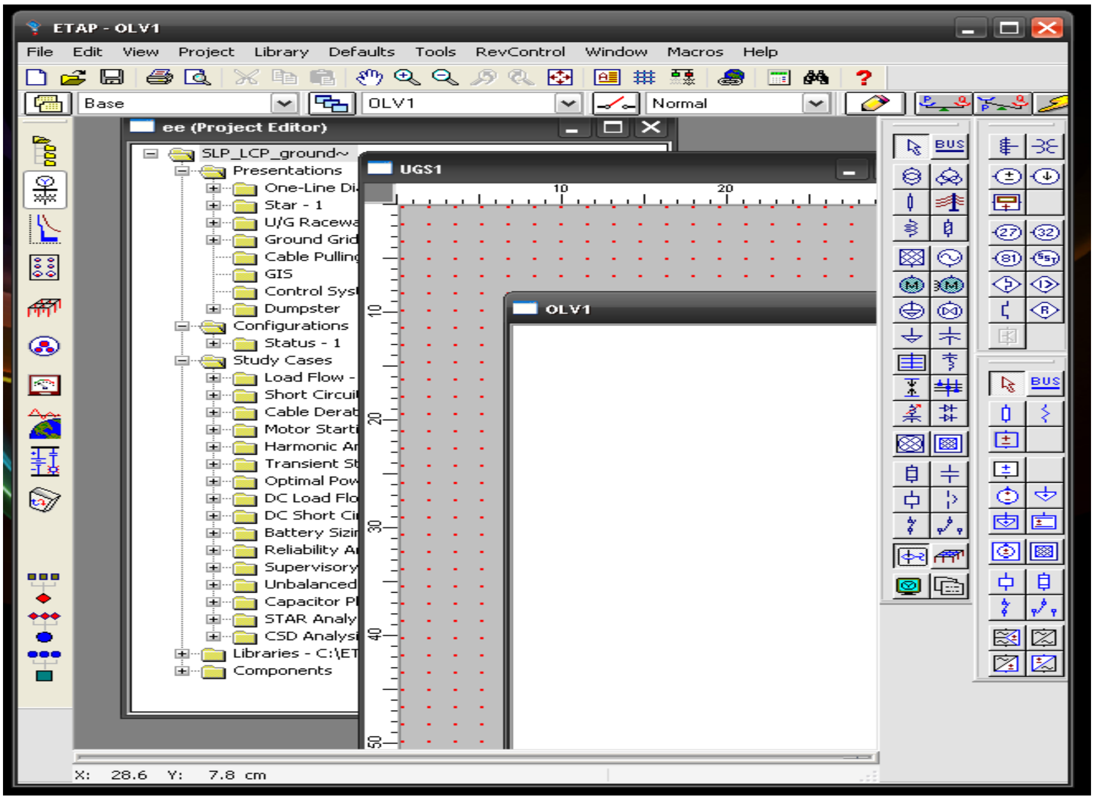
โครงสร้างของโปรแกรมและผลการทดลอง

สำหรับการคำนวณแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวของโรงไฟฟ้าสถานีย่อยเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบการต่อลงดินโดยการใช้โปรแกรม ETAP

4.1 รูปแบบการใช้โปรแกรมเพื่อการคำนวณ [1][2]

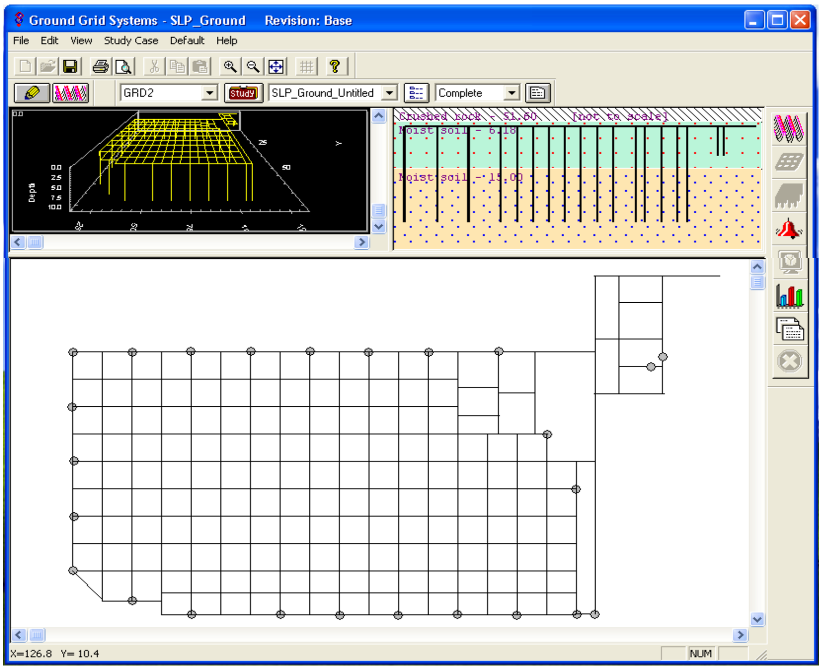
4.1.1 เปิดโปรแกรม ETAP

4.1.2 เปิด file ชื่อ project SLP LCP ground ในกรณีศึกษาไปที่เครื่องมือด้านซ้ายและเลือกเปิดเมนูต่างๆ

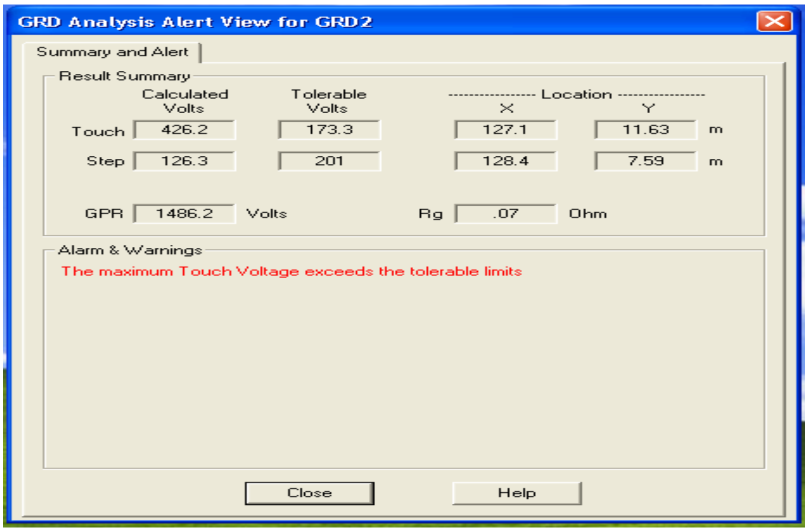


ภาพที่ 4.1 แสดงเมนูของโปรแกรมของฟังก์ชั่นต่างๆ

4.2 รูปแบบของกราวด์กริดของ SLP



ก. กราวด์กริดของ SLP

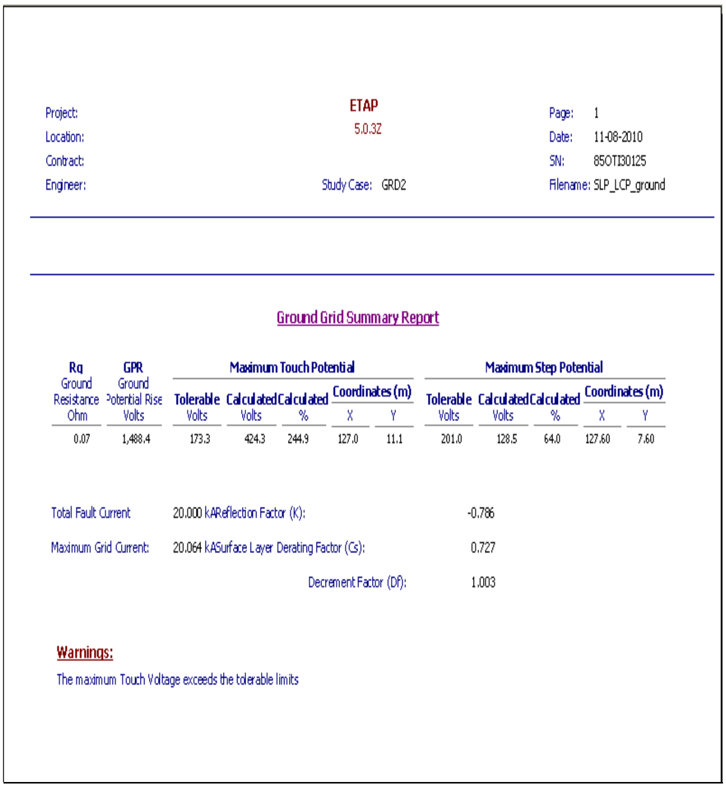


ข. ผลที่ได้จากการ Run ของ SLP

ภาพที่ 4.2 กราวด์กริดและผลที่ได้จากการ Run ของ SLP

ระบบเดิมของ SLP ก่อนทำการแก้ไขของเดิมใช้แท่งหลักดินยาว 3 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร จะได้ค่าจากการ Run จากโปรแกรม ETAP ออกมาจะมีแรงดันสัมผัสเท่ากับ 426.2 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 126.3 โวลต์ จะเห็นว่าค่าแรงดันที่ยอมรับได้คือแรงดันย่างก้าว จึงต้องทำการปรับปรุงแรงดันสัมผัสจนกว่าจะได้ค่าที่ยอมรับได้โดยการเพิ่มแท่งหลักดิน

4.2.1 ค่าของระบบกราวด์ SLP



Project:
Location:
Contract:
Engineer:

ETAP
5.0.3Z

Study Case: GRD2

Page: 1
Date: 11-08-2010
SN: 85OTI30125
Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance	GPR Ground Potential Rise	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)	
Ohm	Volts	Volts	Volts	%	X	Y	Volts	Volts	%	X	Y
0.07	1,488.4	173.3	424.3	244.9	127.0	11.1	201.0	128.5	64.0	127.60	7.60

Total Fault Current 20.000 kA Reflection Factor (K): -0.786

Maximum Grid Current: 20.064 kA Surface Layer Derating Factor (Cs): 0.727

Decrement Factor (Df): 1.003

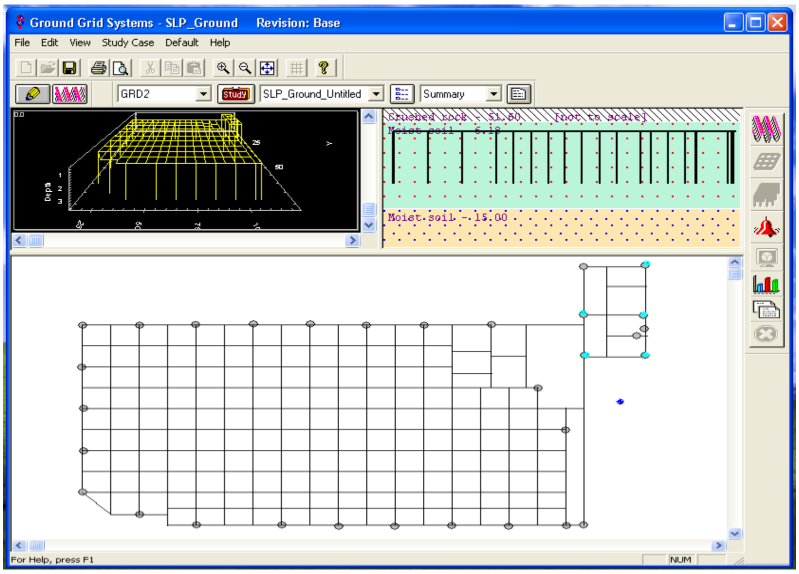
Warnings:

The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits

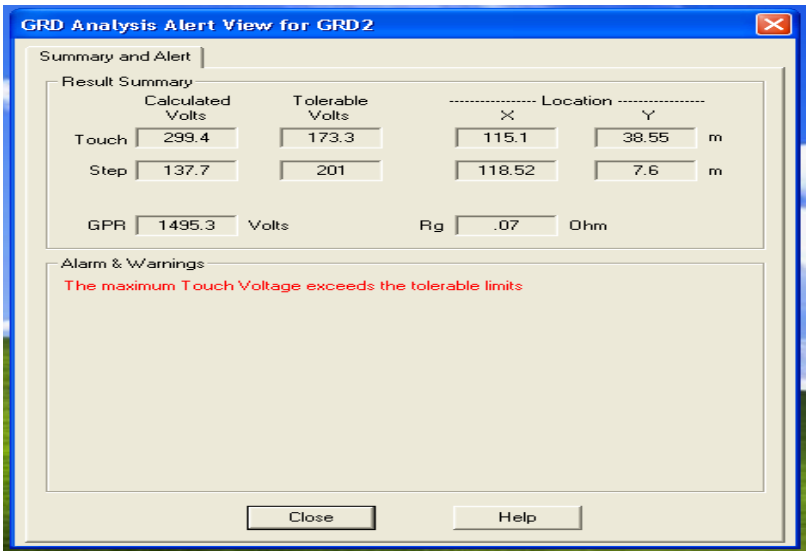
ภาพที่ 4.3 ค่าของระบบกราวด์ SLP

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 424.3 โวลต์ แต่ค่าที่ยอมรับได้อยู่ที่ 173.3 โวลต์ แรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 128.5 โวลต์ ค่าที่ยอมรับ 210 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และในส่วนของแรงดันสัมผัสต้องทำการปรับปรุงจนกว่าจะได้ค่าที่ยอมรับได้โดยการเพิ่มแท่งหลักดิน

4.3 การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดิน



ก. การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดิน

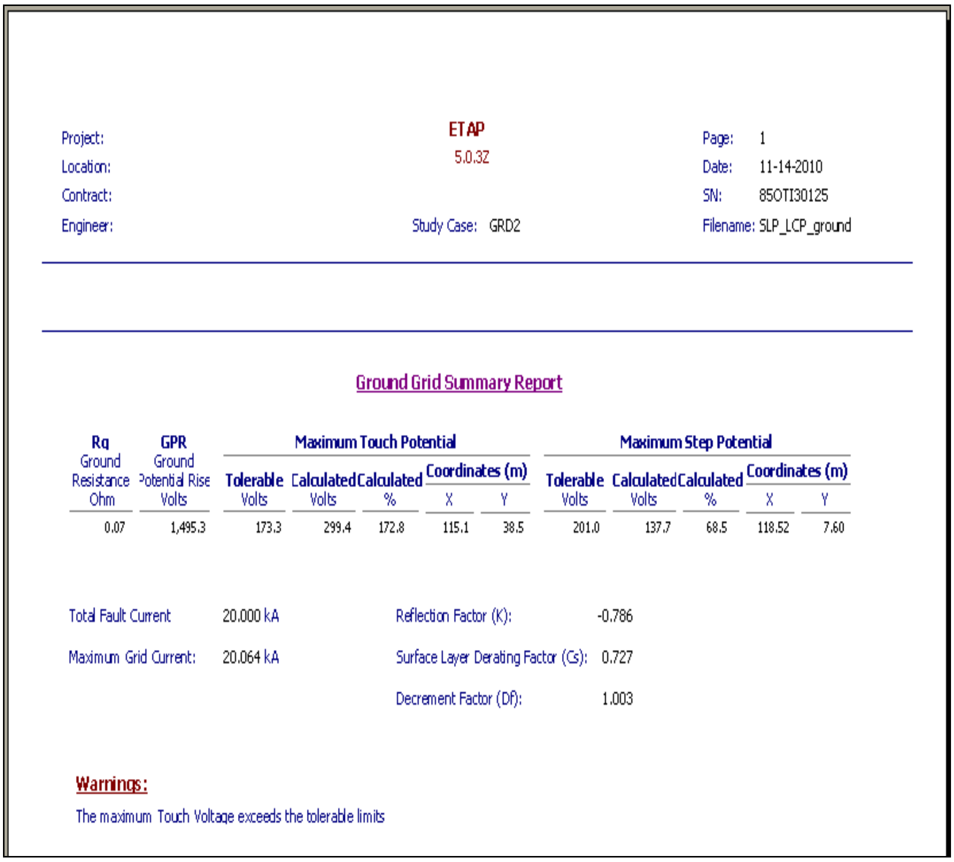


ข. ผลจากการ Run ที่ออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดิน

ภาพที่ 4.4 การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและผลของแรงดัน

จากการปรับปรุงโดยเพิ่มแท่งหลักดินจากของเดิมอีก 5 แท่ง เพิ่มบริเวณที่เกิดแรงดันสัมผัสในแนวแกน X = 118.52 เมตร แกน Y = 7.6 เมตร แรงดันสัมผัสจะลดลงจากเดิมพอสมควรมีค่าเท่ากับ 299.4 โวลต์ ก็จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มแท่งหลักดินจะทำให้แรงดันลดลง แต่ก็ยังไม่สามารถยอมรับได้

4.3.1 ค่าที่ได้จากการออกแบบ



Project: ETAP 5.0.3Z Page: 1
Location: Date: 11-14-2010
Contract: SN: 85OTI30125
Engineer: Study Case: GRD2 Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance Ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Maximum Touch Potential Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Coordinates (m) X	Y	Maximum Step Potential Tolerable Volts	Calculated Volts	Calculated %	Coordinates (m) X	Y
0.07	1,495.3	173.3	299.4	172.8	115.1	38.5	201.0	137.7	68.5	118.52	7.60

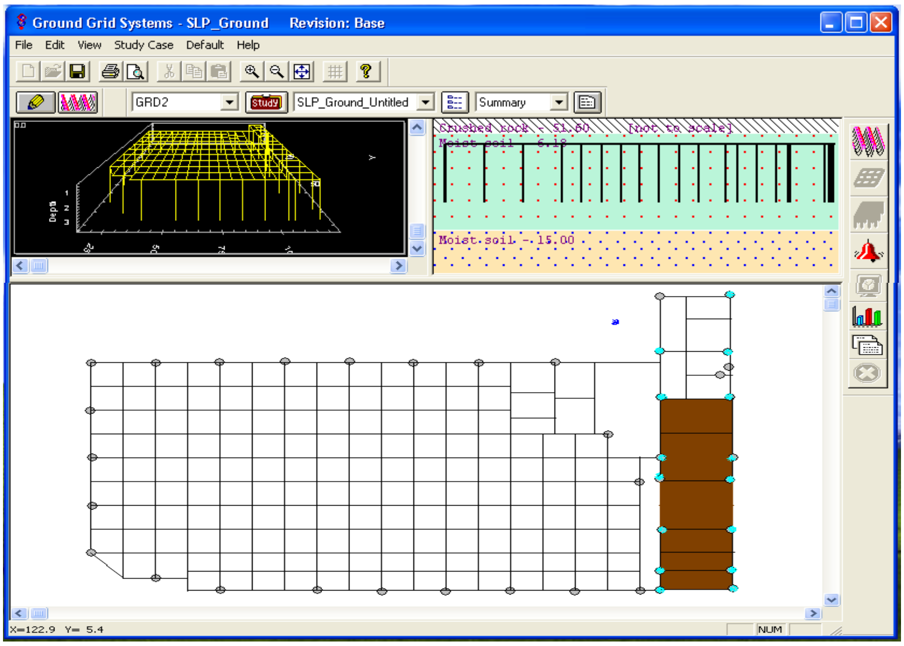
Total Fault Current 20.000 kA
Maximum Grid Current: 20.064 kA
Reflection Factor (K): -0.786
Surface Layer Derating Factor (Cs): 0.727
Decrement Factor (Df): 1.003

Warnings:
The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits

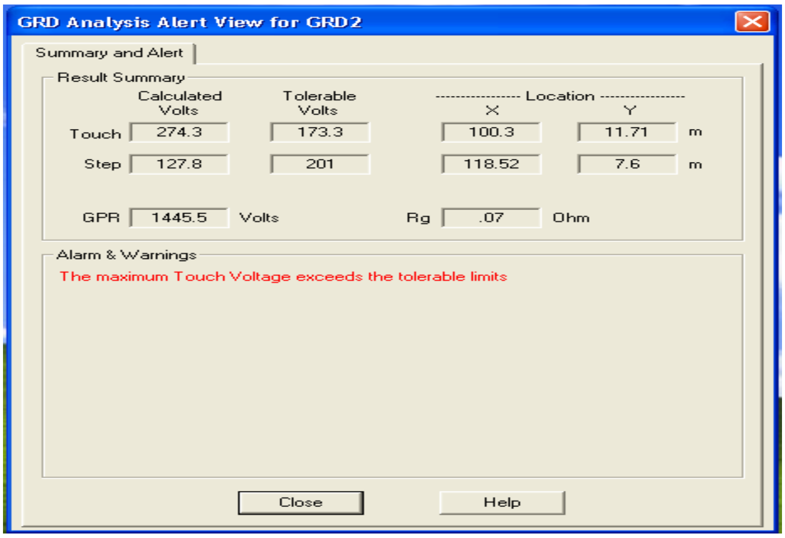
ภาพที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดิน

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 299.4 โวลต์ แต่ค่าที่ยอมรับได้อยู่ที่ 173.3 โวลต์ แรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 137.7 โวลต์ ค่าที่ยอมรับ 201 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และในส่วนของแรงดันสัมผัสต้องทำการปรับปรุงจนกว่าจะได้ค่าที่ยอมรับได้

4.4 การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำ



ก. การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำ



ข. ผลที่ได้จากการ Run ที่ออกแบบโดยเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำ

ภาพที่ 4.6 การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินตัวนำและผลแรงดัน

จากการปรับปรุงโดยเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำจากของเดิมอีก 10 แท่ง เพิ่มบริเวณที่เพิ่มตัวนำจะเป็นสีน้ำตาลแรงดันสัมผัสและแท่งหลักดินจะเป็นสีฟ้า ที่แนวแกน X = 100.3 เมตร และแกน Y = 11.7 เมตร แรงดันสัมผัสจะลดลงจากเดิมพอสมควรมีค่าเท่ากับ 274.3 โวลต์ ก็จะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มแท่งหลักดินจะทำให้แรงดันลดลงแต่ก็ยังไม่สามารถยอมรับได้

4.4.1ค่าที่ได้จากการออกแบบ

Project: | ETAP 5.0.3Z | Page: 1
Location: | | Date: 11-14-2010
Contract: | | SN: 85OTI30125
Engineer: | Study Case: GRD2 | Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance Ohm	GPR Ground Potential Rise Volts	Maximum Touch Potential Tolerable Volts	Maximum Touch Potential Calculated Volts	Maximum Touch Potential Calculated %	Touch Coordinates (m) X	Touch Coordinates (m) Y	Maximum Step Potential Tolerable Volts	Maximum Step Potential Calculated Volts	Maximum Step Potential Calculated %	Step Coordinates (m) X	Step Coordinates (m) Y
0.07	1,445.5	173.3	274.3	158.3	100.3	11.7	201.0	127.8	63.6	118.52	7.60

Total Fault Current	20.000 kA	Reflection Factor (K):	-0.786
Maximum Grid Current:	20.064 kA	Surface Layer Derating Factor (Cs):	0.727
		Decrement Factor (Df):	1.003

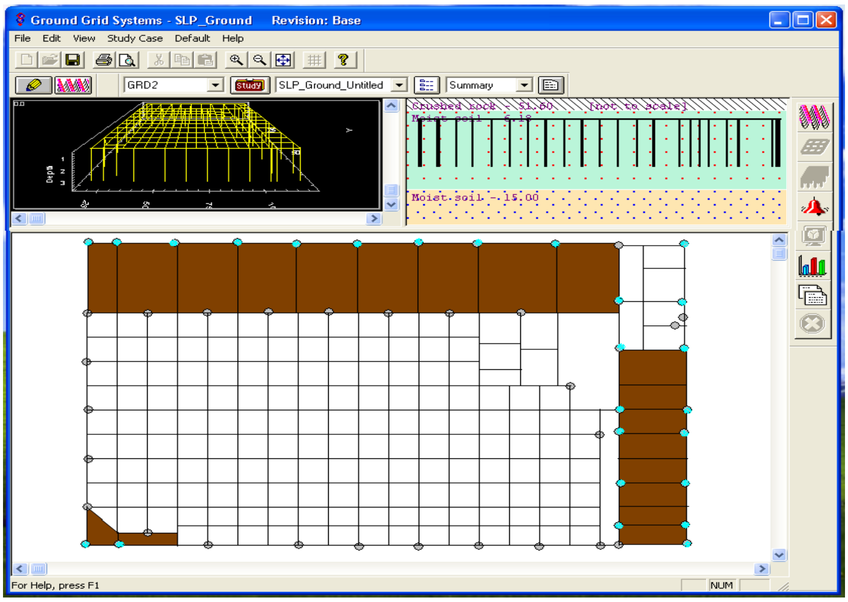
Warnings:

The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits

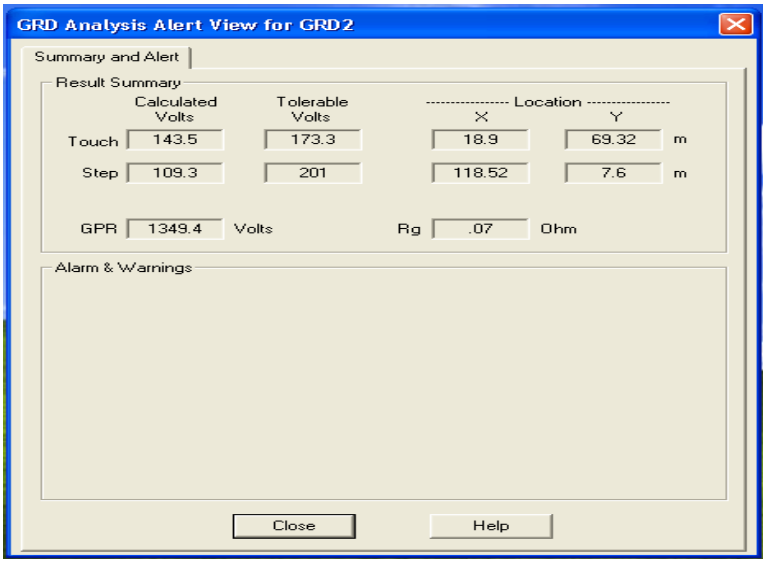
ภาพที่ 4.7 ค่าที่ได้จากการออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำ

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 274.3 โวลต์ แต่ค่าที่ยอมรับได้อยู่ที่ 173.3 โวลต์ แรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 127.8 โวลต์ ค่าที่ยอมรับ 201 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และในส่วนของแรงดันสัมผัสต้องทำการปรับปรุงจนกว่าจะได้ค่าที่ยอมรับได้ จะสังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มแท่งหลักดินแรงดันจะลดลงเรื่อย

4.5 การออกแบบการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำทั้งระบบ



ก. การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำทั้งระบบ



ข. ผลที่ได้จากการ Run โดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำทั้งระบบ

ภาพที่ 4.8 เพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำทั้งระบบและผลของแรงดัน

จากการปรับปรุงโดยเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำจากของเดิมอีก 10 แท่ง เพิ่มบริเวณที่เพิ่มตัวนำจะเป็นสีน้ำตาลแรงดันสัมผัสและแท่งหลักดินจะเป็นสีฟ้า ที่แนวแกน X = 19 เมตร และแกน Y = 69.3 เมตร แรงดันสัมผัสจะลดลงจากเดิมพอสมควรมีค่าเท่ากับ 150.7 โวลต์ ก็จะค่าของแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้ เพราะแรงดันที่ได้น้อยกว่าแรงดันที่ยอมรับได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 173.3 โวลต์

4.5.1 ค่าที่ได้จากการออกแบบ

Project:	ETAP 5.0.3Z	Page:	1
Location:		Date:	11-08-2010
Contract:		SN:	85OTI30125
Engineer:	Study Case: GRD2	Filename:	SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

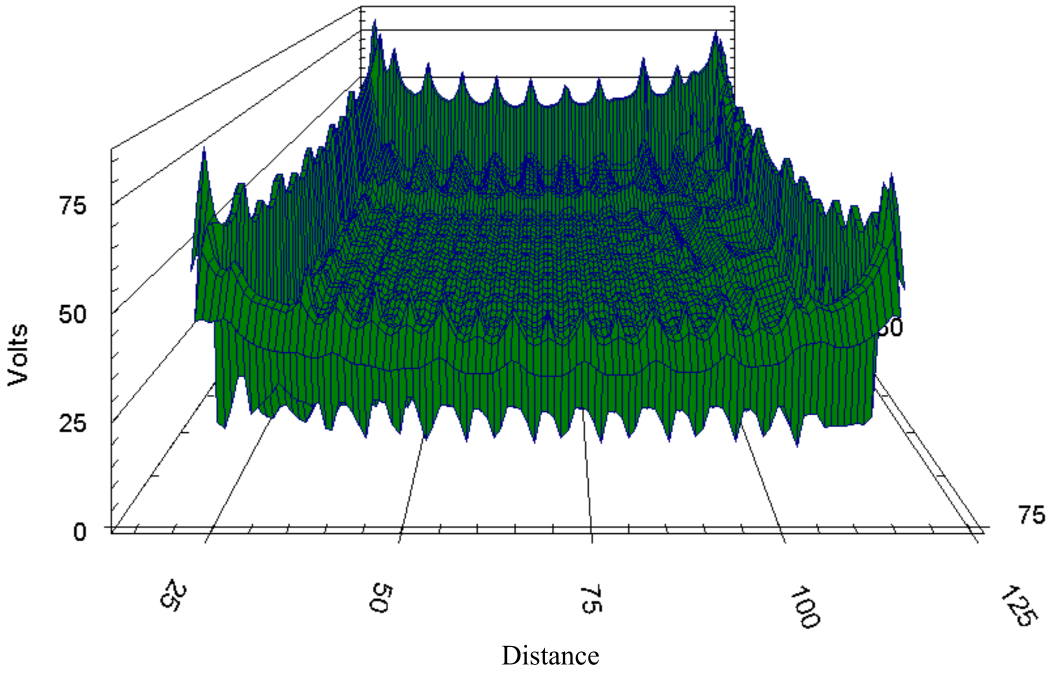
Rq	GPR	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
Ground Resistance	Ground Potential Rise	Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)	
Ohm	Volts	Volts	Volts	%	X	Y	Volts	Volts	%	X	Y
0.07	1,353.2	173.3	150.7	87.0	19.0	69.3	201.0	114.1	56.8	118.60	7.60

Total Fault Current	20.000 kA	Reflection Factor (K):	-0.786
Maximum Grid Current:	20.064 kA	Surface Layer Derating Factor (Cs):	0.727
		Decrement Factor (Df):	1.003

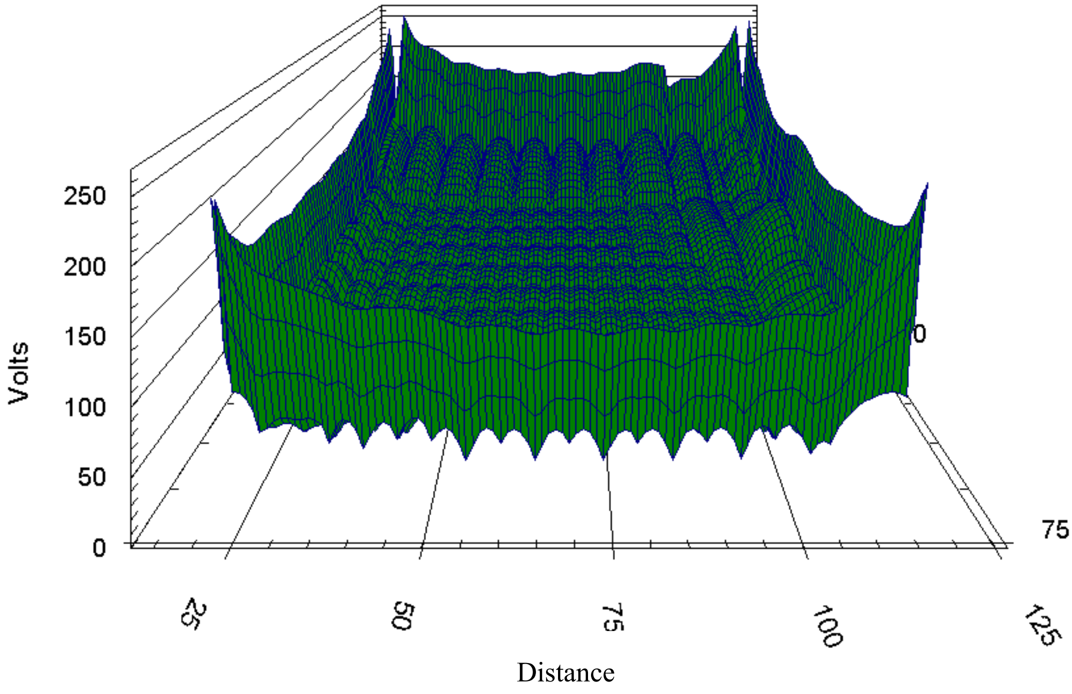
ภาพที่ 4.9 ค่าที่ได้จากการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำทั้งระบบ

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 150 โวลต์ สามารถยอมรับได้ เพราะมีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ยอมรับได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 173.3 โวลต์

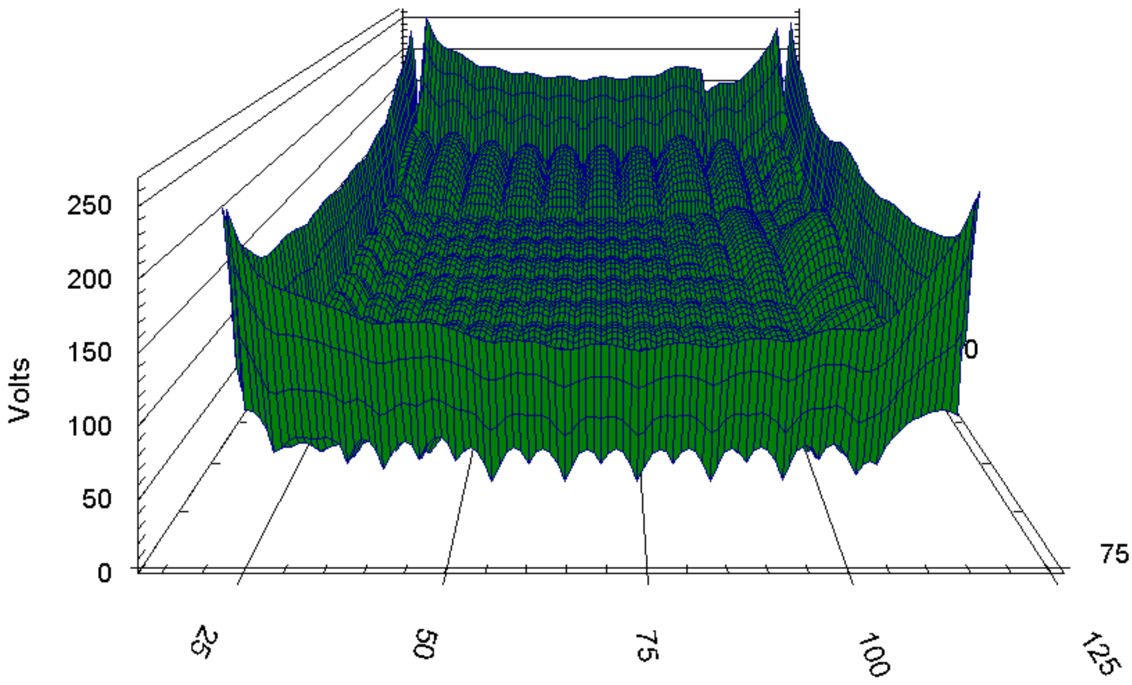
4.5.2 แรงดันทั้งหมดของระบบ



ก. แรงดันย่างก้าว



ข. แรงดันสัมผัส



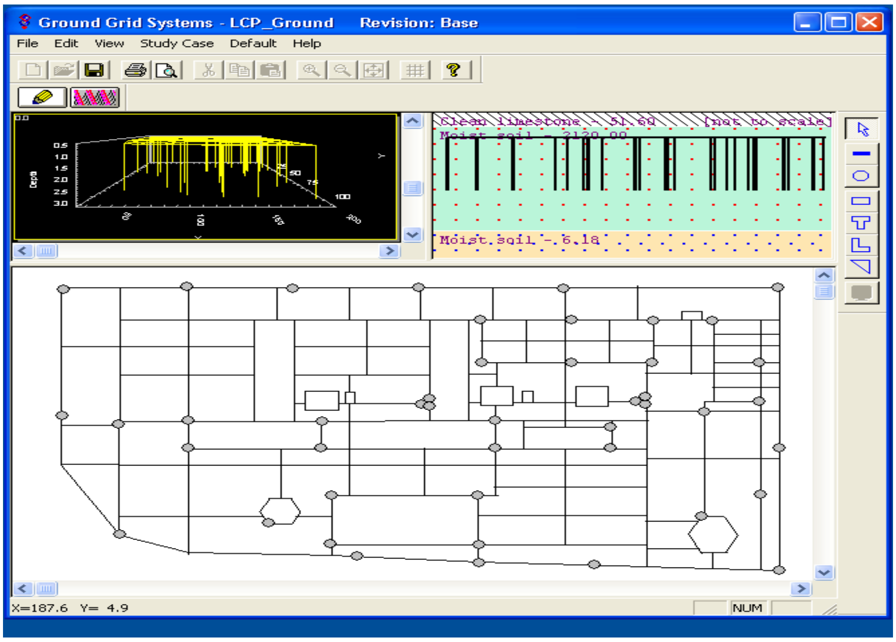
ค. ผลรวมแรงดันทั้งหมดของระบบ

ภาพที่ 4.10 แรงดันย่างก้าวแรงดันสัมผัสและผลรวมของแรงดัน

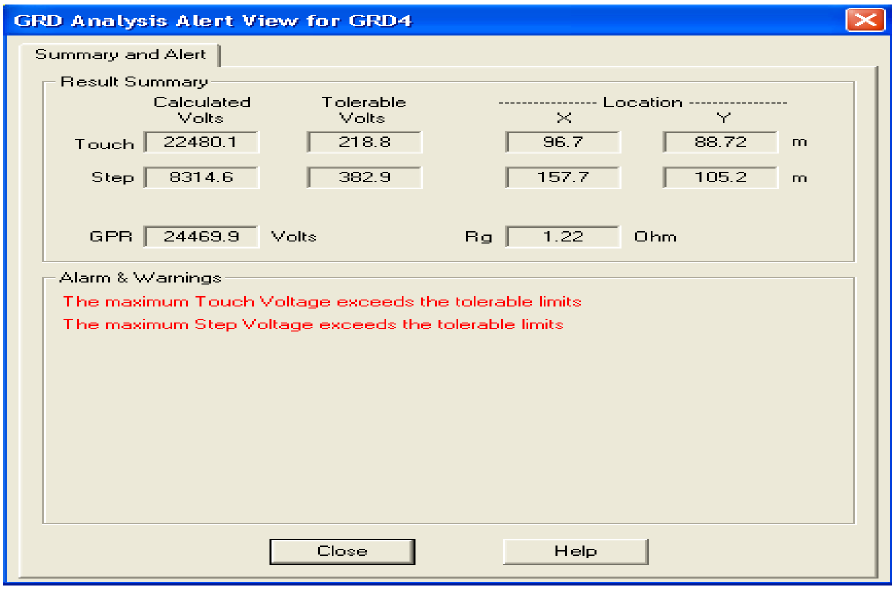
สรุปผลที่ได้จากการทดลองและการออกแบบของ Plant SLP

จากการ Run ของ Plant เดิมจะได้ค่าแรงดันที่เกินกว่าค่าที่สามารถยอมรับได้โดยที่แรงดันสัมผัสอยู่ที่ 462.2 โวลต์ แต่ที่ยอมรับได้ คือ 173 โวลต์ และแรงดันย่างก้าว 126 โวลต์ ที่ยอมรับได้ 201 โวลต์ โดยใช้แท่งหลักดินลึกที่ 3 เมตร จะเห็นว่าแรงดันย่างก้าวสามารถยอมรับได้ได้เลย แต่แรงดันสัมผัส ต้องทำการแก้ไขอีกครั้งจนกว่าจะได้ค่าที่สามารถยอมรับได้ และทำการแก้ไขโดยเพิ่มแท่งหลักดินที่บริเวณด้านบนมุมขวาจำนวน 5 จุด แรงดันสัมผัสจะลดลงเหลือ 299.4 โวลต์ แต่แรงดันสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งมาอยู่ที่มุมตรงกลางด้านขวา จากนั้นได้ทำการออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำบริเวณดังกล่าวจำนวน 9 จุด แรงดันสัมผัสจะลดลงเหลือ 274 โวลต์ จากนั้นแรงดันสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งไปอยู่บริเวณด้านบน จึงได้เพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำบริเวณด้านบนและมุมล่างด้านซ้ายจำนวน 11จุด แรงดันสัมผัสลดลงจนได้ค่าที่ยอมรับได้คือ 143.5 โวลต์

4.6 รูปแบบของกราวด์กริดของ LCP



ก. กราวด์กริดของ LCP



ข. ผลที่ได้จากการ Run ของ LCP

ภาพที่ 4.11 กราวด์กริดและผลของแรงดัน

ระบบเดิมของ LCP ก่อนทำการแก้ไขของเดิมใช้แท่งหลักดินยาว 3 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร จะได้ค่าจากการ Run จากโปรแกรม ETAP ออกมาจะมีแรงดันสัมผัสเท่ากับ 22,480.1 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 8,314.6 โวลต์ ที่ตำแหน่งแกน X = 96.7 เมตร และแกน Y 88.72 เมตร แต่ค่าแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 209.4 โวลต์ แรงดันย่างก้าวที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 366.9 โวลต์ จะเห็นว่าแรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวมีค่าสูงจึงต้องทำการปรับปรุงให้แรงดันสัมผัสและแรงดันย่างก้าวมีค่าที่ยอมรับได้โดยการเพิ่มแท่งหลักดิน

4.6.1 ค่าที่ได้จากระบบกราวด์ LCP

Project:	ETAP 5.0.3Z	Page: 1
Location:		Date: 11-08-2010
Contract:		SN: 85OTI30125
Engineer:	Study Case: GRD2	Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rg	GPR	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
Ground Resistance	Ground Potential Rise	Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)	
Ohm	Volts	Volts	Volts	%	X	Y	Volts	Volts	%	X	Y
1.22	24,794.0	209.4	22,778.0	10,879.2	96.7	88.7	366.5	8,424.8	2,298.8	157.70	105.20

Total Fault Current 20.000 kA Reflection Factor (K): 0.952

Maximum Grid Current: 20.316 kA Surface Layer Derating Factor (Cs): 4.310

Decrement Factor (Df): 1.016

Warnings:

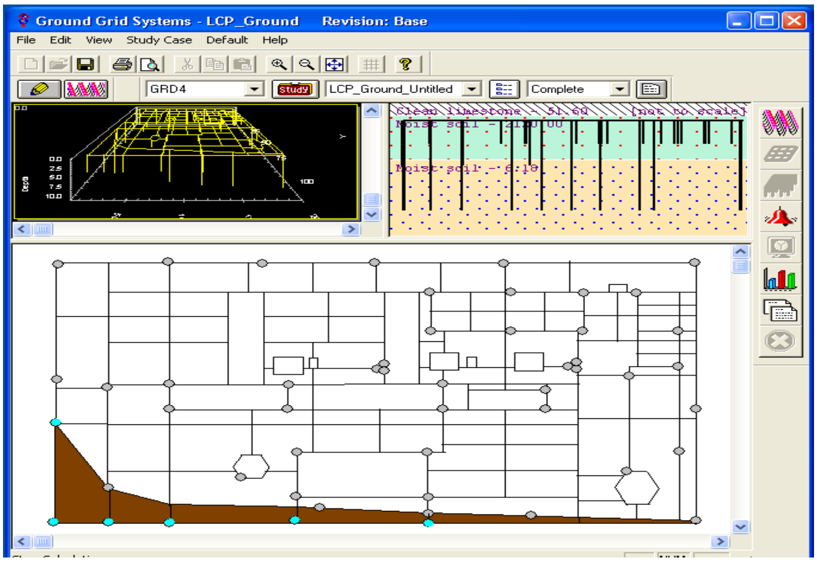
The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits

The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits

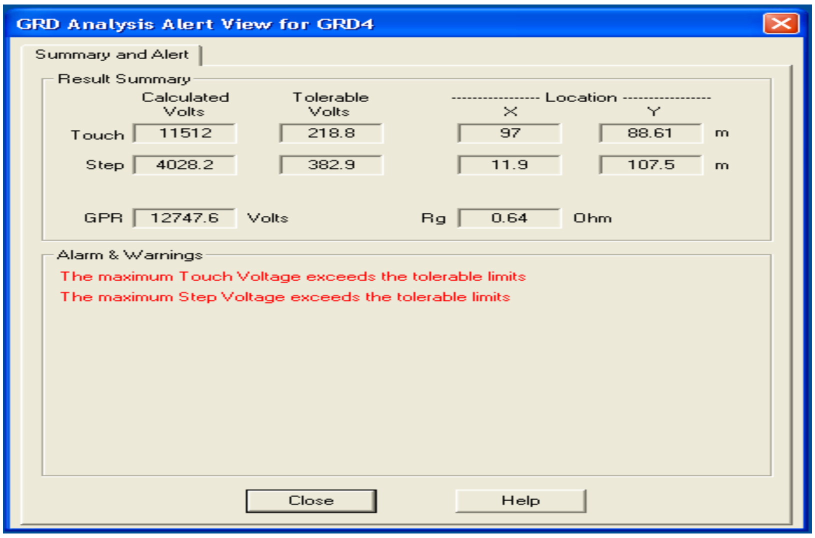
ภาพที่ 4.12 ค่าที่ได้จากระบบกราวด์ LCP

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 22,778 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 8,424.8 โวลต์ ค่าความต้านทานของกราวด์กริดมีค่าเท่ากับ 1.22 โอห์ม

4.7 การออกแบบโดยเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำ



ก. เพิ่มแท่งหลักดินยาว 5 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร



ข. ผลที่ได้จากการ Run โดยการเพิ่มแท่งหลักดินยาว 5 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร

ภาพที่ 4.13 เพิ่มแท่งหลักดินยาว 5 เมตร ตัวนำลึก 0.5 เมตร และผลของแรงดัน

เมื่อเพิ่มแท่งหลักดิน 5 แท่ง ยาว 5 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร บริเวณที่เพิ่มแท่งหลักดินจะมีสีฟ้าและตัวนำจะเป็นมีน้ำตาล ค่าที่ได้ได้ค่าจากการ Run ออกมาจะมีแรงดันสัมผัสเท่ากับ 11,512.5 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 4.28.2 โวลต์ ที่ตำแหน่งแกน X = 97 เมตร และแกน Y = 88.61 เมตร แต่ค่าแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 209.4 โวลต์ แรงดันย่างก้าวที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 366.9 โวลต์ สังเกตได้ว่าแรงดันทั้งสองจะมีค่าลดแต่ยังไม่ถึงค่าที่ยอมรับไม่ได้

4.7.1 ค่าที่ได้จากการออกแบบ

Project:	ETAP 5.0.3Z	Page: 1
Location:		Date: 11-21-2010
Contract:		SN: 85OTI30125
Engineer:	Study Case: GRD4	Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rq	GPR	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
Ground Resistance	Ground Potential Rise	Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)	
Ohm	Volts	Volts	Volts	%	X	Y	Volts	Volts	%	X	Y
0.64	12,747.6	218.8	11,512.0	5,262.1	97.0	88.6	382.9	4,028.2	1,051.9	11.90	107.50

Total Fault Current	20.000 kA	Reflection Factor (K):	0.952
Maximum Grid Current:	20.064 kA	Surface Layer Derating Factor (Cs):	4.310
		Decrement Factor (Df):	1.003

Warnings:

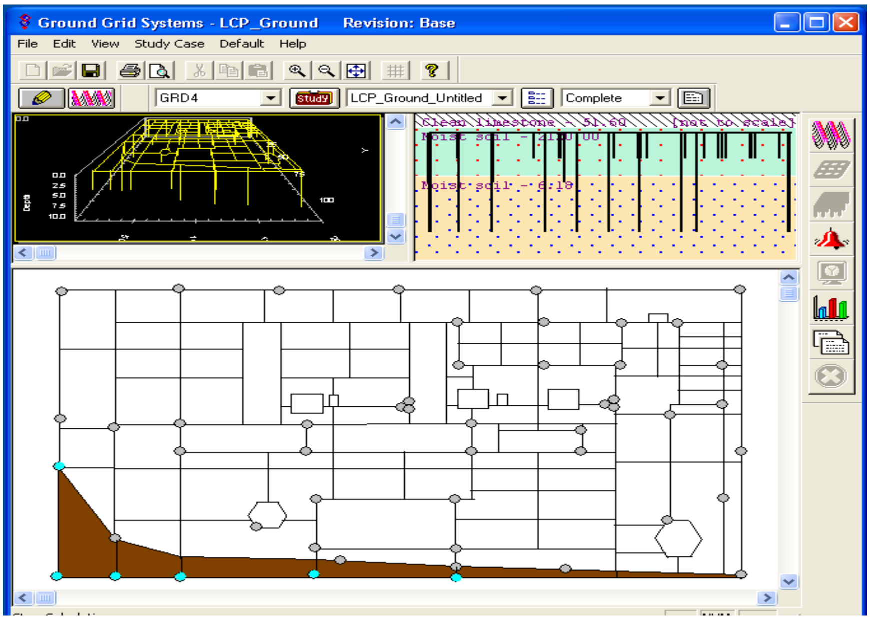
The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits

The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits

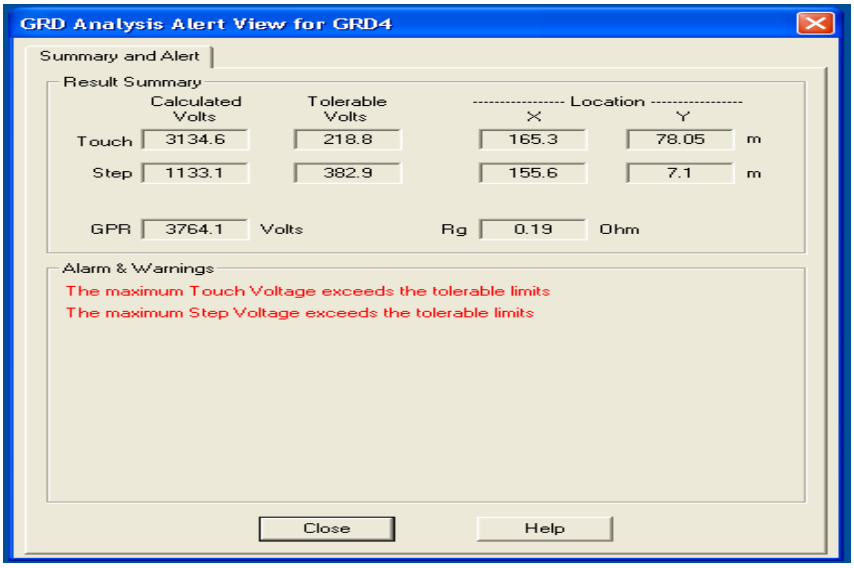
ภาพที่ 4.14 ค่าที่ได้จากการเพิ่มแท่งหลักดินยาว 5 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 11512.0 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 4028.2 โวลต์ ค่าความต้านทานของระบบมีค่าเท่ากับ 0.64 โอห์ม

4.8 การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดินและตัวนำ



ก. เพิ่มแท่งหลักดินยาว10 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร

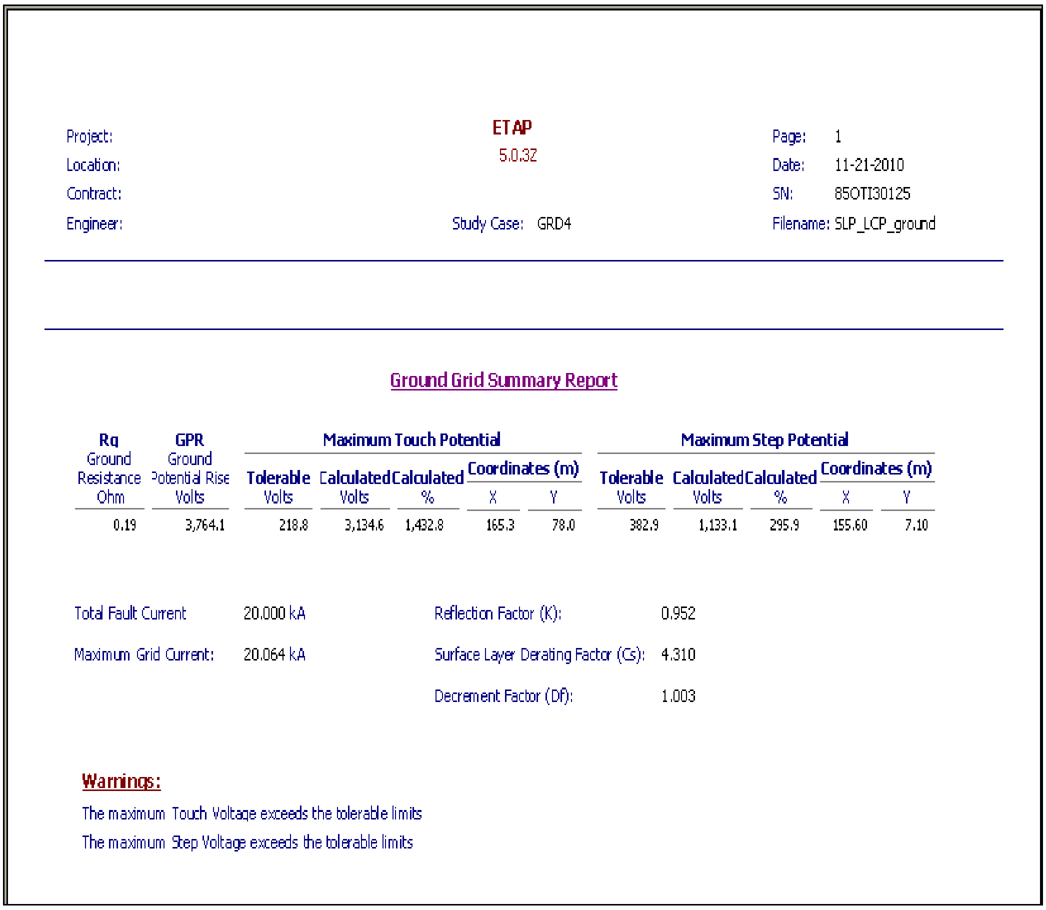


ค. ผลที่ได้จากการเพิ่มแท่งหลักดินยาว 10 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร

ภาพที่ 4.15 เพิ่มแท่งหลักดินยาว10 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร และผลของแรงดัน

เมื่อเพิ่มแท่งหลักดิน 5 แท่ง ยาว 10 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร บริเวณที่เพิ่มแท่งหลักดินจะมีสีฟ้าและตัวนำจะเป็นมีน้ำตาล ค่าที่ได้ได้ค่าจากการ Run ออกมาจะมีแรงดันสัมผัสเท่ากับ 3,134.6 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 1,133.1 โวลต์ ที่ตำแหน่งแกน X = 165.3 เมตร และแกน Y = 78.05 เมตร แต่ค่าแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 209.4 โวลต์ แรงดันย่างก้าวที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 366.9 โวลต์ สังเกตได้ว่าแรงดันทั้งสองจะมีค่าลดแต่ยังไม่ถึงค่าที่ยอมรับไม่ได้

4.7.1 ผลที่ได้จากการออกแบบ



Project: | ETAP 5.0.3Z | Page: 1
Location: | | Date: 11-21-2010
Contract: | | SN: 85OTI30125
Engineer: | Study Case: GRD4 | Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance	GPR Ground Potential Rise	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)	
Ohm	Volts	Volts	Volts	%	X	Y	Volts	Volts	%	X	Y
0.19	3,764.1	218.8	3,134.6	1,432.8	165.3	78.0	382.9	1,133.1	295.9	155.60	7.10

Total Fault Current 20.000 kA

Maximum Grid Current: 20.064 kA

Reflection Factor (K): 0.952

Surface Layer Derating Factor (Cs): 4.310

Decrement Factor (Df): 1.003

Warnings:

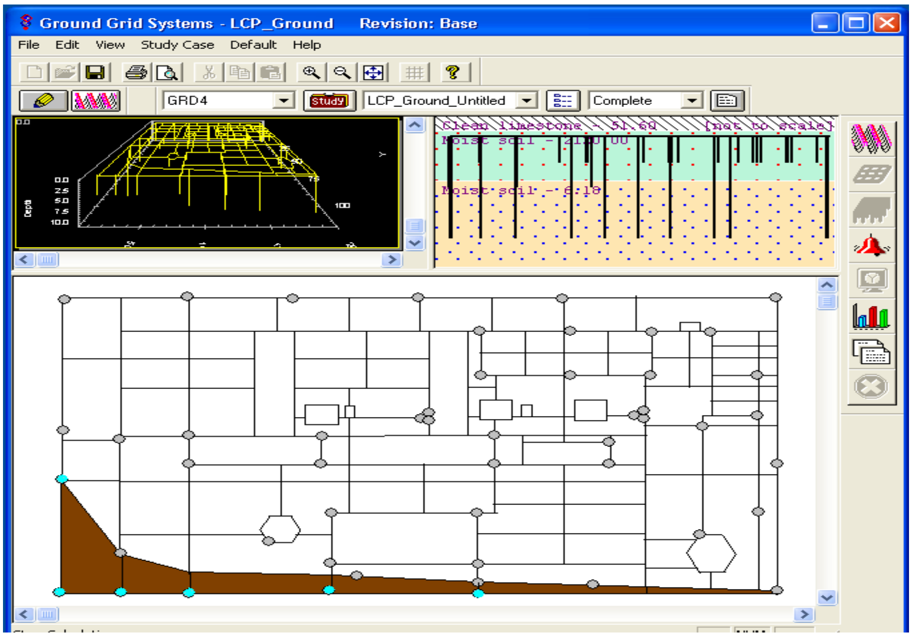
The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits

The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits

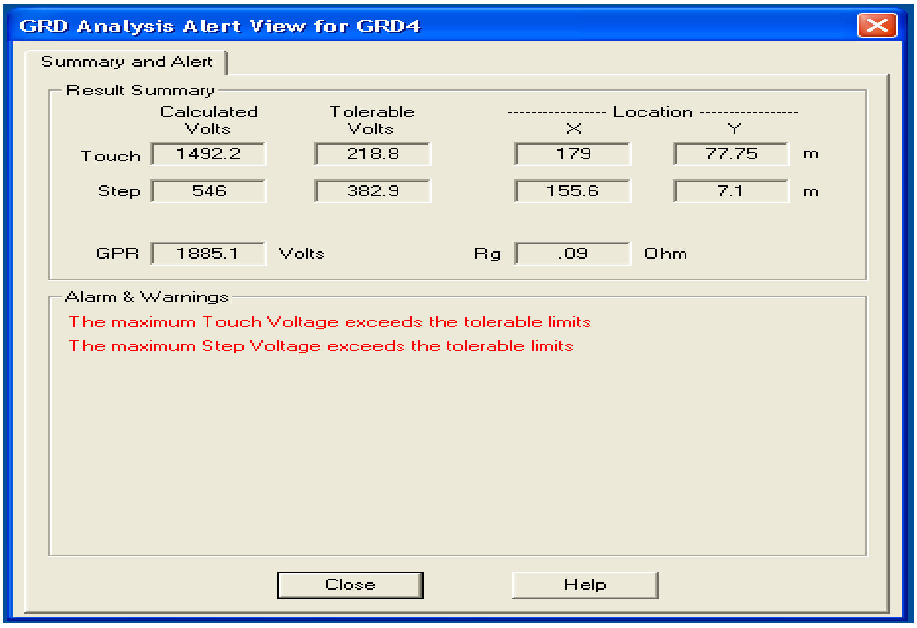
ภาพที่ 4.16 ค่าที่ได้จากการเพิ่มแท่งหลักดินยาว 10 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร

ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 3,134.6 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 1,133.1 โวลต์ ค่าความต้านทานของระบบมีค่าเท่ากับ 0.19 โอห์ม

4.8 การออกแบบโดยการเพิ่มแท่งหลักดิน



ก. เพิ่มแท่งหลักดินยาว 20 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร

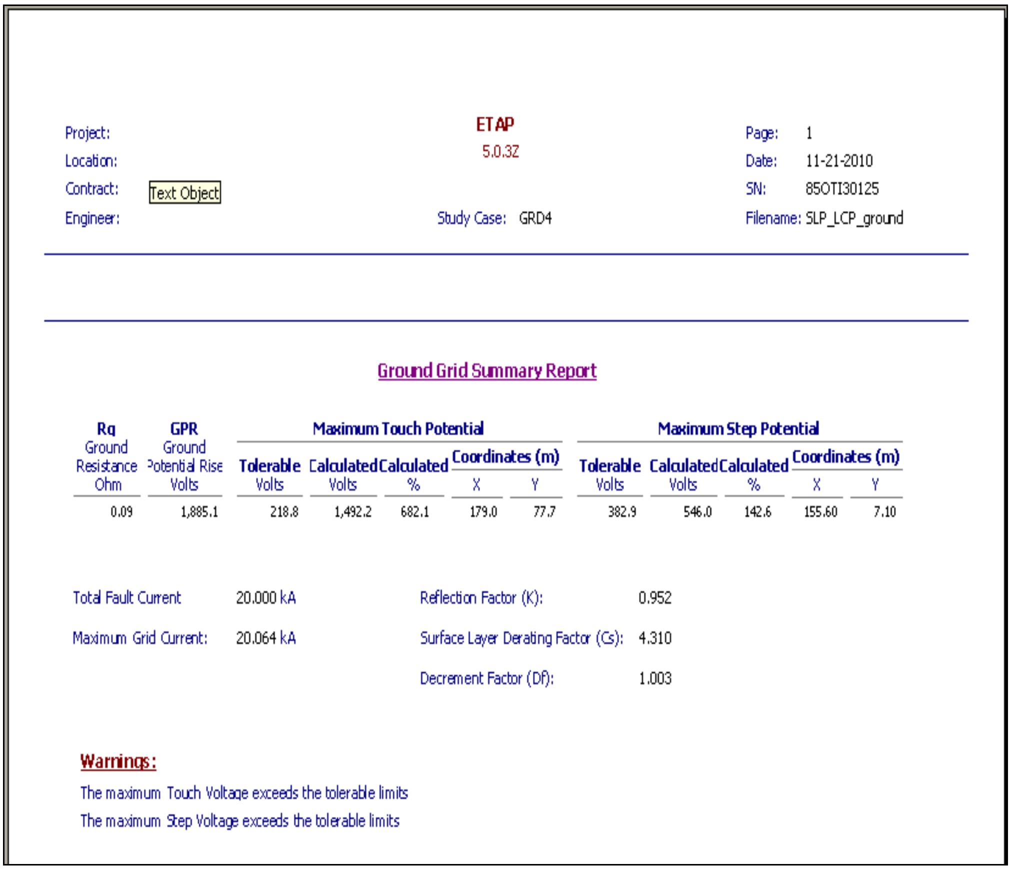


ข. ผลที่ได้จากการ Run เพิ่มแท่งหลักดินที่ 20 เมตร และตัวนำที่ 0.5 เมตร

ภาพที่ 4.17 เพิ่มแท่งหลักดินยาว 20 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร และผลของแรงดัน

เมื่อเพิ่มแท่งหลักดิน 5 แท่ง ยาว 20 เมตร และตัวนำลึก 0.5 เมตร บริเวณที่เพิ่มแท่งหลักดินจะมีสีฟ้าและตัวนำจะเป็นมีน้ำตาล ค่าที่ได้ได้ค่าจากการ Run ออกมาจะมีแรงดันสัมผัสเท่ากับ 1,492.2 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 546.2 โวลต์ ที่ตำแหน่งแกน X = 179.3 เมตร และแกน Y = 77.75 เมตร แต่ค่าแรงดันสัมผัสที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 209.4 โวลต์ แรงดันย่างก้าวที่ยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 366.9 โวลต์ สังเกตได้ว่าแรงดันทั้งสองจะมีค่าลดแต่ยังไม่ถึงค่าที่ยอมรับไม่ได้จะต้องปรับปรุงแก้ไขจนจะได้ค่าที่ยอมรับได้

4.8.1 ค่าที่ได้จากการออกแบบ



Project: | ETAP 5.0.3Z | Page: 1
Location: | | Date: 11-21-2010
Contract: Text Object | | SN: 85OTI30125
Engineer: | Study Case: GRD4 | Filename: SLP_LCP_ground

Ground Grid Summary Report

Rg Ground Resistance	GPR Ground Potential Rise	Maximum Touch Potential					Maximum Step Potential				
		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)		Tolerable	Calculated	Calculated	Coordinates (m)	
Ohm	Volts	Volts	Volts	%	X	Y	Volts	Volts	%	X	Y
0.09	1,885.1	218.8	1,492.2	682.1	179.0	77.7	382.9	546.0	142.6	155.60	7.10

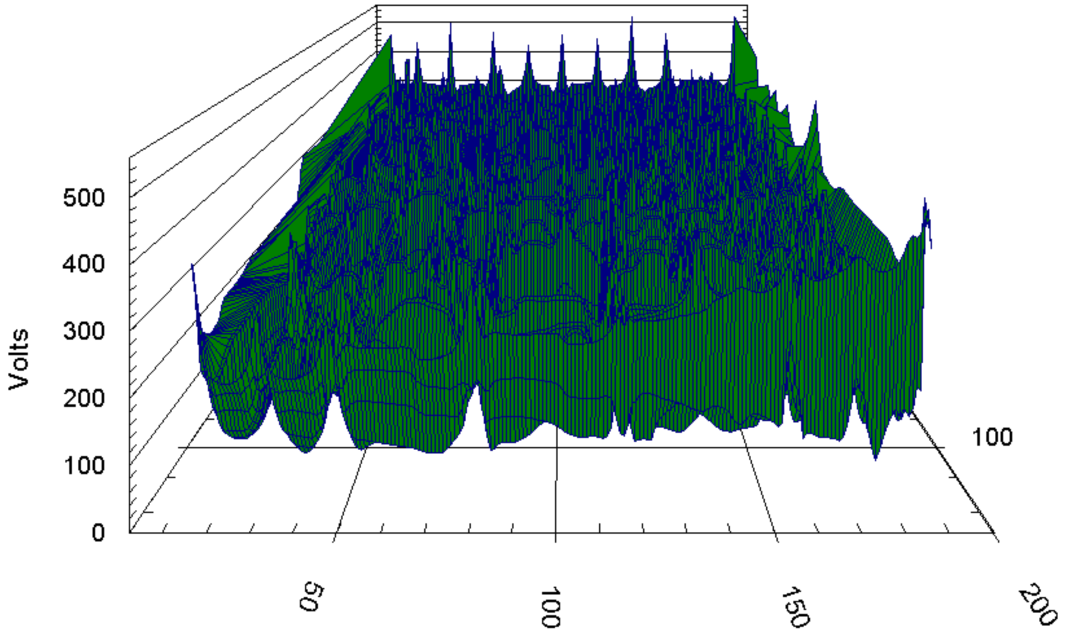
Total Fault Current 20.000 kA
Maximum Grid Current: 20.064 kA
Reflection Factor (K): 0.952
Surface Layer Derating Factor (Cs): 4.310
Decrement Factor (Df): 1.003

Warnings:
The maximum Touch Voltage exceeds the tolerable limits
The maximum Step Voltage exceeds the tolerable limits

ภาพที่ 4.18 ค่าที่ได้จากการเพิ่มแท่งหลักดินที่ 20 เมตร และตัวนำที่ 0.5 เมตร

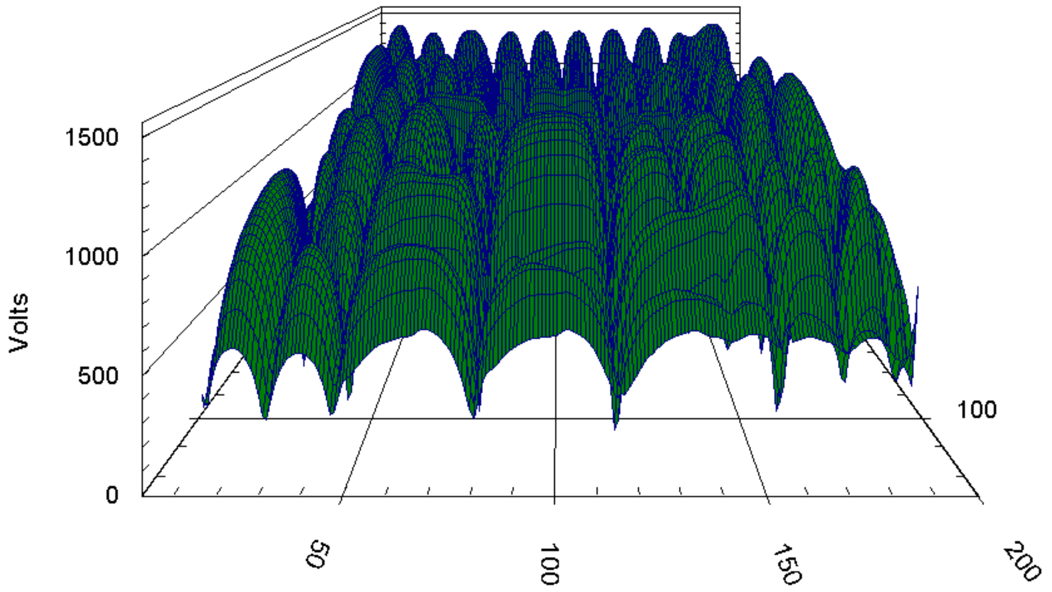
ผลที่ได้จากการ Run โปรแกรมจะแสดงค่าของระบบกราวด์ออกมา โดยค่าแรงดันสัมผัสมีค่าเท่ากับ 1,492.2 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวมีค่าเท่ากับ 546.1 โวลต์ ค่าความต้านทานของระบบมีค่าเท่ากับ 0.09 โอห์ม

4.8.2 กราฟแสดงแรงดันทั้งหมดของระบบ



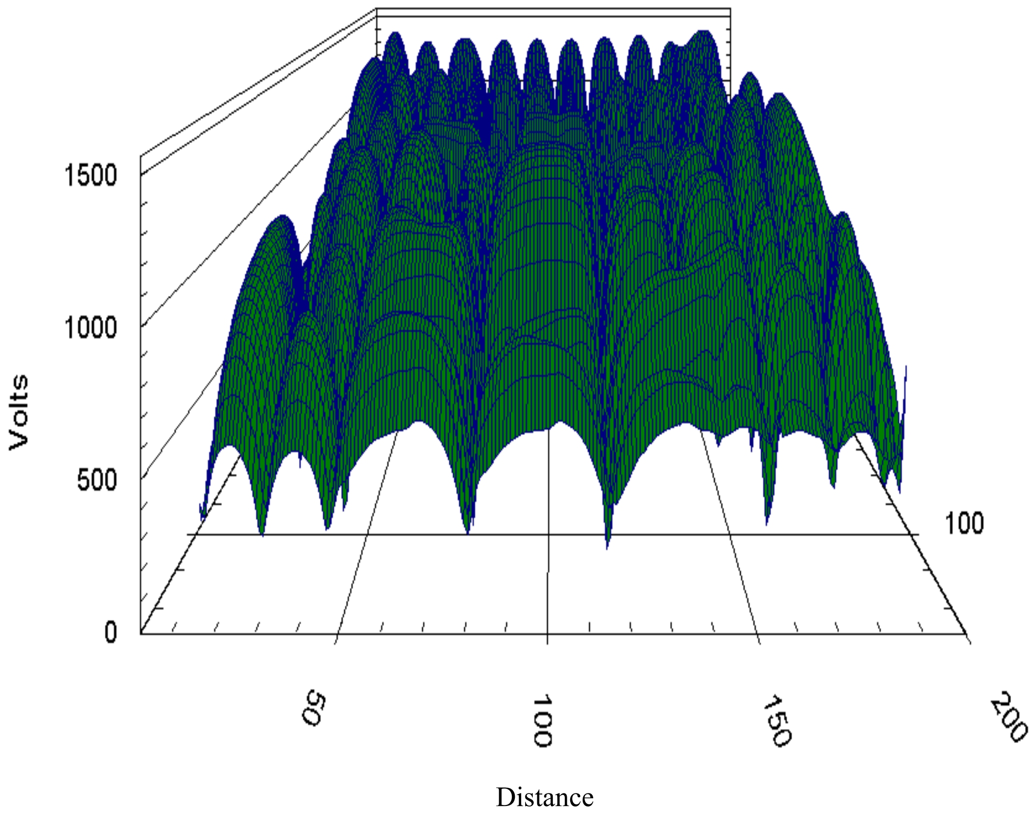
Distance

ก. แรงดันย่างก้าว



Distance

ข. แรงดันสัมผัส



ค. แรงดันทั้งหมดของระบบ

ภาพที่ 4.19 แรงดันย่างก้าวแรงดันสัมผัสและแรงดันทั้งหมดของระบบ

สรุปผลที่ได้จากการทดลองและการออกแบบของ Plant LCP

จากการทำการ Run ระบบกราวด์ของ Plant LCP เดิม จะได้ค่าแรงดันสัมผัสออกมาที่ 22,480 โวลต์ แรงดันย่างก้าวที่ 8,314 โวลต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าที่ออกมามีค่าที่สูงมาก ซึ่งเกินกว่าค่าที่สามารถยอมรับได้ โดยที่แรงดันสัมผัสยอมรับได้ที่ 218 โวลต์ แรงดันย่างก้าวยอมรับได้ที่ 382 โวลต์ ซึ่งแรงดันจะสูงกว่า Plant SLP อยู่มากพอสมควร ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับระบบกราวด์ เช่น จุดต่อของกราวด์อาจต่อกันไม่แน่น หรือ อาจจะมีการกัดกร่อนเกิดขึ้น ทั้งหมดนี่มีผลต่อระบบกราวด์ทั้งสิ้น แต่ในแนวทางที่จะทำการแก้ไขของ Plant LCP นี้ โดยเพิ่มแท่งล็อตลึก 10 เมตร และตัวนำลึกที่ 0.5 เมตร และทำการปักแท่งล็อตเพิ่มที่โซนด้านล่างที่เป็นพื้นดินอีก 6 จุด เพราะในโซนด้านในไม่สามารถทำการแก้ไขได้เนื่องจากเป็นบริเวณที่เป็นพื้นคอนกรีต เมื่อทำการเพิ่มที่บริเวณโซนด้านล่างแล้ว และทำการรันโดยผลที่ออกมาคือ แรงดันสัมผัสอยู่ที่ 3,134 โวลต์

แรงดันย่างก้าวอยู่ที่ 1,133 โวลต์ แค่ก็ยังเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้อยู่ แต่จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนความยาวของแท่งหลักดินโดยของเดิม 2.5 เมตร มาเป็น 10 เมตร ค่าแรงดันจะลดลงมาพอสมควรถึงแม้ยังจะเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้

จากนั้นจึงทำการเปลี่ยนความยาวของแท่งหลักดินจาก 10 เมตร เป็น 20 เมตร เมื่อทำการรันโปรแกรมจะได้ค่า แรงดันสัมผัสที่ 1,492 โวลต์ และแรงดันย่างก้าวที่ 546 โวลต์ ก็จะเห็นได้ว่าแรงดันลดลงอีกและใกล้เคียงกับค่าที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่ว่าถ้าทำการเพิ่มแท่งหลักดินมากเท่าไหร่ ก็จะเสียค่าใช้จ่ายมากด้วย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลของการทำโครงงาน

ในพื้นที่ที่ดินมีสภาพความต้านทานสูงและสภาพดินที่มีความแห้งแล้งหรือไม่มีที่ว่างเพียงพอที่จะสร้างโครงข่ายใต้ดินหรือการขนานไปตามพื้นดินโครงงานนี้สามารถทำได้ในสถานการณ์แบบนี้มันเป็นสิ่งที่ดีที่สุดที่จะใช้เป็นตัวลดความต้านทานของพื้นดิน และมีการจัดวางตำแหน่งของตัวลดความต้านทานที่อยู่ในพื้นดินลักษณะแตกต่างกันไป และการจับตัวกันแน่นของตัววัสดุลดความต้านทานได้ถูกนำมาศึกษาเพื่อหาตำแหน่งของตัวลดความต้านทานที่ดีที่สุด โดยทำการศึกษาตำแหน่งของตัวลดความต้านทาน 3 ตำแหน่งเพื่อเปรียบเทียบกับแท่งรากสายดินฝังดินปกติ

ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างจะมีค่าความต้านทานน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแท่งรากสายดินฝังดินปกติ ถ้าความชื้นของตัวลดความต้านทานลดน้อยลงจะทำให้ค่าความต้านทานแปรผกผันกับความชื้น ทำให้มีความต้านทานสูงในทางกลับกัน เมื่อตัวลดความต้านทานมีความชื้นมากก็จะทำให้ค่าความต้านทานมีค่าต่ำเมื่อค่าความต้านทานมีค่าต่ำจะทำให้กระแสสามารถไหลลงดินได้มากเมื่อเกิดการลัดวงจรจะทำให้กระแสไหลลงดินได้มากทำให้เกิดความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ผลจากการคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ ค่าความต้านทานที่คำนวณได้แสดงให้เห็นว่าจากทฤษฎีการลดความต้านทานของแท่งรากสายดินโดยใช้ตัวลดความต้านทานสามารถลดความต้านทานได้จริงเพราะว่าค่าความต้านทานที่คำนวณได้ของแท่งรากสายดินที่มีตัวลดความต้านทานห่อหุ้มแท่งตัวนำ มีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินปกติ แต่ในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ ไม่สามารถคำนวณหาตำแหน่งของตัวลดความต้านที่ให้ค่าความต้านทานต่ำที่สุดได้ เนื่องจากพื้นดินมีค่าความ ต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ ตำแหน่งของตัวลดความต้านทานจึงไม่มีผลกับค่าความต้านทานของแท่งรากสายดิน แต่ในกรณีที่ค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นไม่สม่ำเสมอ ตำแหน่งของตัวลดความต้านทานมีผลกับค่าความต้านทานของแท่งรากสายดิน ตำแหน่งที่ดีที่สุดควรจะอยู่ที่ชั้นดินที่มีค่าความต้านทานจำเพาะสูงๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Li-Hsing Chen, Jiann-Fuh Chen, Tsorn-Juu Liang, and Wen-I Wang, “A Study of Grounding Resistance Reduction Agent Using Granulated Blast Furnace Slag”, July. 2004.

[2] Dr. P.Y. Okyere, George Eduful Kwame, “Reducing earth electrode Resistance by Replacing Soil in Critical Resistance Area” Kwame Nkrumah University of Technology Kumasi, Ghana

[3] รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทพกัญญา ขัติแสง, “การต่อลงดิน” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จรัสสนิทวงศ์, ตุลาคม 2549

[4] รติโรฒม์ นุ่นสง, “แท่งรากสายดินชนิดความต้านทานต่ำ” ปริญญานิพนธ์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม