



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

ปริญญา

วิศวกรรมความปลอดภัย

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การลดอันตรายของไฟฟ้าสถิตสำหรับกระบวนการผ่าผ้าในโรงงานอบผ้า

Reducing of Electrostatic Hazard for Slitting Process in Textile Finishing Plant

นามผู้วิจัย นายสุรเศรษฐ์ ศรีรอด

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(รองศาสตราจารย์พิรุณ ชาญเศรษฐิกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การลดอันตรายของไฟฟ้าสถิตสำหรับกระบวนการผ่าผ้าในโรงงานอบผ้า

Reducing of Electrostatic Hazard for Slitting Process in Textile Finishing Plant

โดย

นายสุรเศรษฐ์ ศรีรอด

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย)

พ.ศ. 2552

สุรเศรษฐ์ ศรีรอด 2552: การลดอันตรายของไฟฟ้าสถิตสำหรับกระบวนการผ่าผ้าในโรงงานอบผ้า ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมความปลอดภัย) สาขา วิศวกรรมความปลอดภัย โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต คำรงกุลกำจร, Ph.D. 86 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผ่าผ้าของโรงงานอบผ้าโดยใช้หลักการของการสร้างประจุ (Air Ionizer) ร่วมกับระบบรากสายดิน เพื่อลดประจุบนผ้าที่เครื่องผ่าผ้า และรถเข็นผ้า ปัญหาสำคัญที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผ่าผ้า ได้แก่ การเกิดไฟไหม้ผ้าที่บริเวณลูกกลิ้งของเครื่องซึ่งเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากกับโรงงาน และการเกิดไฟฟ้าสถิตอย่างรุนแรงที่รถเข็นผ้า ทำให้พนักงานไม่สามารถเคลื่อนย้ายผ้าที่ผ่าแล้วไปยังกระบวนการอบผ้าต่อไปได้ทันที ต้องเสียเวลารอให้ประจุไฟฟ้าสถิตหมดไป ซึ่งใช้เวลาประมาณ 35 นาที จึงจะสามารถเข็นรถเข็นผ้าได้อย่างปลอดภัย ในการผ่าผ้าความยาว 150 เมตร ใช้เวลาในการผ่าผ้า 110 นาที และเวลาในการรอผ้าให้คายประจุไฟฟ้าสถิตอีก 35 นาที รวมเป็น 145 นาที ผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาไฟฟ้าสถิตทั้งสองด้าน โดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer ที่เครื่องผ่าผ้า เพื่อลดปัญหาการเกิดไฟไหม้ผ้า และช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่ผ้าได้ระดับหนึ่งก่อนที่ผ้าจะลงในรถเข็นผ้า และใช้ระบบรากสายดินที่รถเข็นผ้า เพื่อลดประจุไฟฟ้าสถิตให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับพนักงานเข็นรถ

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการติดตั้ง Air Ionizer เพียงอย่างเดียว เวลาในการรอการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่รถเข็นผ้าเป็น 30 นาที เมื่อมีการใช้ระบบรากสายดินเพียงอย่างเดียว เวลาในการรอการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่รถเข็นผ้าเป็น 15 นาที และเมื่อใช้ Air Ionizer ร่วมกับระบบรากสายดิน เวลาในการรอการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่รถเข็นผ้าเป็น 5 นาที ซึ่งทำให้กระบวนการทำงานปลอดภัยและรวดเร็วขึ้น โดยการผ่าผ้า 150 เมตร ใช้เวลาเพียง 115 นาที

Suraseth Srirod 2009: Reducing of Electrostatic Hazard for Slitting Process in Textile Finishing Plant. Master of Engineering (Safety Engineering) Major Field: Safety Engineering, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 86 pages.

This research studies the reducing of electrostatic hazard for slitting process in textile finishing plant by installing an air ionizer along with the grounding system in order to reduce the electrostatic charges at the machine and the cart. The main problems resulting from electrostatic in slitting process are: the burning of the textile at the machine rollers which causes serious problem to the plant; and the electrostatic shock on the employees who handle the carts. The employees have to wait about 35 minutes for the electrostatic discharge before begin able to move the cart safely. As a result, the slitting process for 150 meter sheet increases from 110 minutes to 145 minutes. The author therefore proposes the use of air ionizer and the grounding system in order to reduce the electrostatic hazard at the process. The air ionizer helps stopping the burning of the textile as well as reducing the amount of charges at the textile before being put in the cart. Then the grounding system at the cart reduces the electrostatic charges to a safety level for the employees.

The results of the research show that with the air ionizer alone, the discharge waiting time is reduced to 30 minutes. When only the grounding system is applied to the cart the discharge waiting time is 15 minutes. Finally, when both air ionizer and grounding system are applied simultaneously, the discharge waiting time is only 5 minutes. The slitting process is therefore safer and faster since the process for 150 meter sheet takes only 115 minutes.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยความสนับสนุนความช่วยเหลือและได้รับคำแนะนำปรึกษาจาก ผศ.ดร.ปานจิต คำรงกุลกำจร ประธานกรรมการที่ปรึกษา เพื่อนๆปริญาโทสาขาวิศวกรรมความปลอดภัยรุ่น 7 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ฝ่ายวิศวกรรมบริษัท แปซิฟิก กรู๊ป บิดา มาร์ดา ที่ให้กำลังใจกระผมมาโดยตลอด ณ โอกาสนี้กระผมขอขอบพระคุณท่านที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น

สุรเศรษฐ์ ศรีรอด

มกราคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	51
อุปกรณ์	51
วิธีการ	52
ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์	65
ผลการวิจัย	65
ข้อวิจารณ์	73
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก สูตรการคำนวณราคาสายดินแบบต่างๆ	77
ภาคผนวก ข ข้อมูลเครื่องจักรในโรงงาน	80
ภาคผนวก ค ข้อมูลเครื่องมือวัด	83
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าสถิตกับHBM ผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์	17
2	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	29
3	ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า	30
4	ผลของร่างกายที่มีต่อขนาดกระแสไฟฟ้าตรงกระแสสลับความถี่ 60 เฮิร์ตซ์	47
5	ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงสำหรับผ้าฝ้าย	65
6	ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงสำหรับวิสโคสเรยอน	66
7	ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer สำหรับผ้าฝ้าย	66
8	ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน	67
9	ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติดตั้งระบบสายดิน สำหรับผ้าฝ้าย	67
10	ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติดตั้งระบบสายดิน สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน	68
11	ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer และ สายดิน สำหรับผ้าฝ้าย	68
12	ค่าไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติดAir Ionizer และสายดิน สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน	69
13	การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาในการทำงานปกติ	69
14	การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาหลังติด Air Ionizer	70
15	การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาหลังติดตั้งระบบรากสายดิน	70
16	การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาหลังติด Air Ionizer และสายดิน	71
ก1	สูตรสำหรับการคำนวณค่าความต้านทานดิน	79

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ประจุแบบ ไทร โบอิลึกทริกเกิดจากวัสดุสองชิ้นสัมผัสกัน	3
2	ประจุแบบ ไทร โบอิลึกทริก เกิดจากวัสดุสองชิ้นแยกกัน	4
3	แสดงพื้นที่ที่ทำงาน	10
4	แสดงสัญลักษณ์จุดกราวด์ร่วม	12
5	สัญลักษณ์ที่แสดงความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต	13
6	สัญลักษณ์ที่แสดงว่าสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิต	14
7	แสดงวงจร HBM	16
8	แสดงวงจรตัวแบบเครื่องจักร	18
9	แสดงวงจรตัวแบบเครื่องจักร CDM	19
10	แสดงให้เห็นเรื่องคุณภาพไฟฟ้า	20
11	การต่อลงดินที่ถูกต้องกรณีไฟฟ้ารั่วคนสัมผัสก็ยังไม่ปลอดภัย	20
12	กรณีไม่มีการต่อสายดินที่ตัวอุปกรณ์	21
13	กรณีการต่อหลักดินที่ตัวอุปกรณ์	21
14	กรณีใช้สายนิวทรัลเป็นสายดิน	22
15	กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลไม่ต่อถึงกัน	22
16	กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลมีการต่อถึงกัน	23
17	ส่วนประกอบต่างๆของระบบการต่อลงดิน	24
18	ระบบไฟฟ้าที่ต้องมีการต่อลงดิน	25
19	การต่อสายต่อฝาก	26
20	การต่อสายดินเข้ากับหลักดิน	28
21	วิธีการต่อสายดินเข้ากับหลักดิน โดยใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน	28
22	ตัวอย่างการต่อสายดินเข้ากับส่วนต่างๆ	29
23	หลักดิน	31
24	การวัดค่าความต้านทานดิน	32
25	แท่งหลักดินตามแนวนอน	33

ภาพที่		หน้า
26	แท่งหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต	33
27	การใช้หลักดินเป็นวงแหวนเป็นระบบหลักดิน	34
28	การต่อเชื่อมกราวด์กริด	35
29	การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน	36
30	ตำแหน่งการวาง Current Electrode เพื่อทำการวัดความต้านทานดินของหลักดิน	37
31	การต่อลงดินด้วยรากสายดินแบบต่างๆ	38
32	ระบบรากสายดินแนวดิ่งเพื่อการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า	39
33	รากสายดินแนวนอน	40
34	รากสายดินวงแหวนรอบอาคาร	40
35	การติดตั้งระหว่างรากสายดินวงแหวนรอบอาคารและระบบป้องกันฟ้าผ่า	41
36	รากสายดินฐานรากเปรียบเทียบกับแนวดิ่ง	42
37	การทำรากสายดินแบบฐานรากคอนกรีตก่อนเทคอนกรีต	42
38	ค่าความต้านทานของร่างกาย	43
39	ค่าความต้านทานของร่างกายตามส่วนต่างๆ	44
40	เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้ากับร่างกาย	45
41	การแบ่งโซนเพื่อแยกประเภทอันตรายของกระแสไฟฟ้า	49
42	กระบวนการผลิตในโรงงานแปซิฟิก	52
43	เครื่องผ่าฟ้าด้านหลัง	53
44	รถขึ้นฟ้า	53
45	ขณะพนักงานจับรถขึ้นฟ้า	54
46	แบบการทำงานของเครื่องผ่าฟ้า	55
47	เครื่องผ่าฟ้าด้านหน้า	56
48	เครื่องผ่าฟ้าด้านหลัง	56
49	รถขึ้นฟ้า	57
50	การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต	57
51	หลักการสร้างประจุของระบบ Air Ionizer	59

ภาพที่		หน้า
52	แบบการทำงานของเครื่องฟุ้งาแสดงการติด Air Ionizer	60
53	ตัวกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง	60
54	การติดตั้งระบบ Air Ionizer	61
55	แบบการทำงานของเครื่องฟุ้งาแบบติดตั้งระบบสายดิน	62
56	รูปการติดตั้งระบบบรากสายดินตามแนวรัศมี	62
57	การต่อสายดินระหว่างทำงาน	63
58	การติดตั้งสายดิน	63
59	การวัดความต้านทานของดิน	64
60	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาในแต่ละตอน	72

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ESD	=	Electrostatic Discharge
HBM	=	Human Body Model
CDM	=	Charged Device Model
IC	=	Integrate Circuit
MM	=	Machine Model

การลดอันตรายของไฟฟ้าสถิตสำหรับกระบวนการผ่าผ้าในโรงงานอบผ้า

Reducing of Electrostatic Hazard for Slitting Process in Textile Finishing Plant

คำนำ

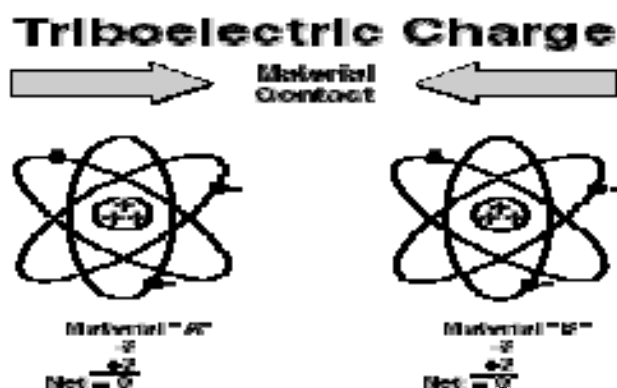
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหลักที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอก็จะประกอบไปด้วยเครื่องจักรประเภทต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตเช่น เครื่องปั่นด้าย เครื่องทอผ้า เครื่องย้อมผ้า เครื่องอบผ้า เครื่องปักผ้า ซึ่งเครื่องจักรต่างๆในการทำงานก็ต้องข้องเกี่ยวกับผ้าชนิดต่างๆ พนักงานก็ต้องมีการทำงานเกี่ยวข้องกับผ้าตลอดเวลา และสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับการทำงานก็คือความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นกับพนักงานในขบวนการผลิตคือเรื่องไฟฟ้าสถิต ดูดพนักงาน บางทีดูดแรงจนมือชา บางคนก็เจอเหตุการณ์ดูดจนผมตั้ง บางครั้งมีเสียงดังเวลาเกิดไฟฟ้าสถิต เกิดไฟลุกไหม้ผ้าเวลาทำงาน ทำให้พนักงานที่ทำงานเกิดความกังวลในการทำงานในเรื่องของความปลอดภัยจนทำให้บางคนลาออกไปทำงานอย่างอื่น เสียเวลาในขบวนการผลิตหลังจากการย้อมผ้าเสร็จแล้วก็จะไปทำการผ่าผ้าที่เครื่องผ่าผ้า และหลังจากทำการผ่าผ้าเสร็จแล้วผ้าก็จะกองรออยู่ที่รถไม่สามารถเดินไปสู่กระบวนการอบผ้าได้ต้องรอเวลาเพื่อที่จะให้ประจุของไฟฟ้าสถิตจากผ้าคายประจุ พนักงานจึงจะทำการเดินผ้าไปสู่กระบวนการต่อไปได้ ด้วยเหตุผลนี้คณะวิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพยายามศึกษาหาแนวทางในการทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตในขบวนการทำงาน โดยทำการทดลองที่เครื่องผ่าผ้า โดยเป็นเครื่องจักรหลักในอุตสาหกรรมอบผ้า ทำการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบในแต่ละกรณีดังนี้ เก็บข้อมูลต่างๆโดยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงระบบป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต เก็บข้อมูลโดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer ติดตั้งระบบกราวสายดิน ติดตั้งระบบกราวสายดินร่วมกับระบบ Air Ionizer โดยในแต่ละกรณีทำการศึกษาลักษณะของผ้าชนิดต่างๆที่นำมาผ่า เก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของชุดลูกกลิ้ง ค่าแรงดันไฟฟ้า ประจุไฟฟ้า โดยมีการออกแบบระบบกราวสายดินเพื่อที่จะนำมาทดลองติดตั้งอ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2545 สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และ ค่าทางไฟฟ้าสถิตอ้างอิงตามมาตรฐานตามสถาบันอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติในงานวิจัยนี้จะเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นที่เครื่องผ่าผ้า พร้อมทั้งรายงานผลการวิจัยที่ได้ทำมาจากการทดลองจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเกิดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผ่าผ้าในโรงงานอบผ้า
2. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ในการป้องกันและจัดการเกิดไฟฟ้าสถิตโดยใช้หลักการ Air Ionizer และการติดตั้งระบบกราวด์สายดินที่เครื่องผ่าผ้า

การตรวจเอกสาร

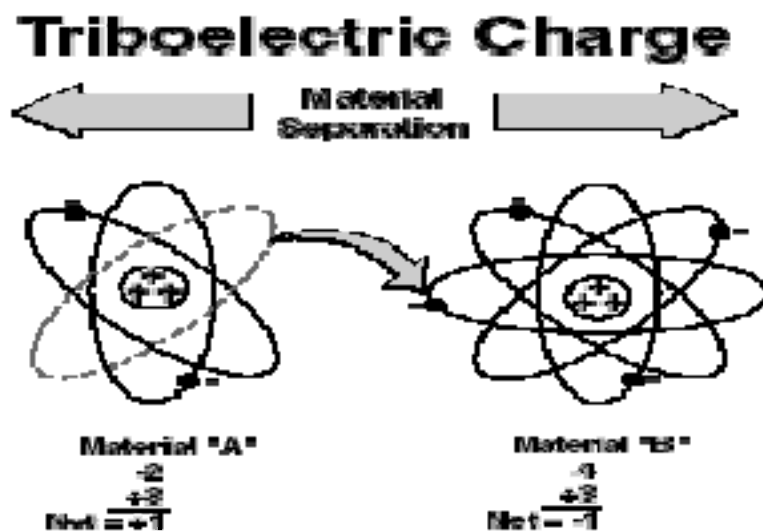
ไฟฟ้าสถิตถูกนิยามว่า ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลของอิเล็กตรอนบนพื้นผิวของวัสดุ ความไม่สมดุลของอิเล็กตรอนทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่สามารถวัดได้และสนามไฟฟ้านี้ก็จะมีผลหรือมีอิทธิพลต่อวัสดุที่อยู่รอบๆ Electrostatic Discharge ถูกนิยามว่าคือ การถ่ายประจุระหว่างวัสดุหรือชิ้นส่วนของวัสดุที่มีศักย์ไฟฟ้าต่างกันไฟฟ้าสถิตสามารถเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำ ไม่ว่าจะทำให้มันแย่งหรือว่าทำลายให้เกิดความเสียหาย ESD อาจทำให้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เสียหาย ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดปกติหรือล้มเหลว ปัญหาอื่นที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตนั้นคือปัญหาในห้องสะอาด ทำให้พื้นผิววัสดุที่มีประจุดึงดูดฝุ่นละอองไว้ ทำให้ยากต่อการทำความสะอาดหรือเอาออก เมื่อฝุ่นเหล่านี้ถูกดูดเข้าไปติดพื้นผิวของเวเฟอร์ที่ทำจากซิลิกอนหรือวงจรทางไฟฟ้า ฝุ่นเหล่านี้ก็จะทำให้เกิดการเสียบของ เวเฟอร์ และทำให้ผลผลิตต่ำการที่จะควบคุมไฟฟ้าสถิต ต้องเริ่มต้นด้วยความเข้าใจว่าไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นอย่างไรก่อน ประจุไฟฟ้าสถิตส่วนใหญ่เกิดจากการสัมผัสแล้วแยกของวัสดุอย่างเดียวกันหรือคนละอย่าง ตัวอย่างเช่นเวลาคนเดินไปตามพื้นก็จะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตเพราะว่าเส้นรองเท้าแตะแล้วก็แยกจากพื้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่บรรจุเข้าหรือนำออกจากบรรจุภัณฑ์ก็ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต แม้ว่าขนาดของประจุไฟฟ้าสถิตจะต่างกันในกรณีดังกล่าว แต่แน่นอนที่สุดคือประจุไฟฟ้าสถิตได้เกิดขึ้นแล้วไฟฟ้าสถิต และ การทำให้เกิดประจุ (พูลพงษ์, 2546)



ภาพที่ 1 ประจุแบบไตรโบอิเล็กทริกเกิดจากวัสดุสองชิ้นสัมผัสกัน

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

ประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการสัมผัส และแยกจากกันของวัสดุเรียกว่าการประจุแบบไทโรโบอิเล็กทริก เหตุการณ์เหล่านี้จะเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุทั้งสอง อะตอมของวัสดุที่ไม่มีประจุไฟฟ้าถือว่ามันมีจำนวนประจุบวก ที่นิวเคลียสเท่ากับประจุลบ ซึ่งวิ่งรอบๆนิวเคลียส ในภาพที่ 1 วัสดุ A ประกอบด้วยอะตอมที่มีจำนวนโปรตรอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน วัสดุ B ก็ประกอบด้วยอะตอมที่มีจำนวนของโปรตรอนและอิเล็กตรอนเท่ากัน ดังนั้นวัสดุทั้งสองจึงถือว่าเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อวัสดุทั้งสองถูกนำมาแตะแล้วแยกกัน ประจุลบหรืออิเล็กตรอนก็จะถูกย้ายจากผิวของวัสดุหนึ่งไปสู่ผิวของอีกวัสดุหนึ่ง วัสดุใดจะสูญเสียอิเล็กตรอนหรือจะได้รับอิเล็กตรอนมาเพิ่มก็ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของวัสดุทั้งสอง วัสดุที่สูญเสียอิเล็กตรอนก็จะมีประจุบวก วัสดุที่ได้รับอิเล็กตรอนมาเพิ่มก็จะถือเป็นวัสดุประเภทประจุลบ



ภาพที่ 2 ประจุแบบ ไทโรโบอิเล็กทริก เกิดจากวัสดุสองชิ้นแยกกัน

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

ระดับหรือความมากน้อยของประจุมิหน่วยเป็น คูลอมบ์ อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปเราพูดถึงศักดาไฟฟ้าสถิตบนวัสดุอยู่ในรูปหน่วย โวลต์เตจหรือเรียกกันทั่วไปว่า โวลต์จริงๆแล้วขบวนการที่วัสดุสัมผัส และแยกออกจากกัน อิเล็กตรอนมีการเคลื่อนย้าย เป็นกลไกที่มีความซับซ้อนมากกว่าที่อธิบายมาแล้วมาก จำนวนประจุที่เกิดจากขบวนการ ไตรโบอิเล็กทริก ขึ้นกับขนาดของพื้นที่สัมผัส ความเร็วของการแยกออกจากกัน ความชื้นสัมพัทธ์และองค์ประกอบอื่นอีกหลายอย่าง ทันทีที่มีประจุเกิดขึ้นบนวัสดุ ก็ถือว่าประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นแล้ว ประจุเหล่านี้จะเคลื่อนย้ายจากวัสดุไปสู่ที่อื่นเรียกว่าเกิดกระบวนการ ประทุ คิซาร์จของไฟฟ้าสถิต หรือเรียกกันง่ายๆ ว่าเหตุการณ์ ESD ประจุไฟฟ้าสถิตจะเกิดขึ้นบนวัสดุในขบวนการอื่นด้วย เช่น การเหนี่ยวนำ การระดม ไอออน ไล่หรือการที่วัสดุอย่างหนึ่งไปสัมผัสกับวัสดุที่มีประจุ อย่างไรก็ตามการประจุแบบไตรโบอิเล็กทริก เป็นเหตุการณ์ที่เกิดบ่อยที่สุด (พุลพงษ์, 2546)

อนุกรมไตรโบอิเล็กทริก

อนุกรมไตรโบอิเล็กทริกจะเป็นตารางแสดงว่า เมื่อวัสดุสองชิ้นมาแตะและแยกกันจะมีการจับขั้วและขนาดของประจุต่างกัน เมื่อวัสดุสองอย่างแตะและแยกกัน วัสดุตัวที่อยู่บนกว่าในตารางจะมีประจุบวก ตัวที่อยู่ต่ำกว่าจะเป็นประจุลบ วัสดุในตารางยังอยู่ห่างกันในตารางก็จะให้ประจุมาก ถ้าอยู่ใกล้กันในตารางจะให้ประจุน้อย (พุลพงษ์, 2546)

หลักการพื้นฐานการควบคุมไฟฟ้าสถิต

บางครั้งการควบคุมไฟฟ้าสถิตในวงการอิเล็กทรอนิกส์ก็ดูคล้ายกับว่าเป็นเรื่องที่สลับซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามงานออกแบบและพัฒนาแผนงานควบคุมไฟฟ้าสถิตจะเป็นเรื่องไม่ค่อยซับซ้อนเท่าใดนัก ถ้าเรามุ่งเน้นไปที่หลักการพื้นฐานการควบคุมไฟฟ้าสถิต 4 ข้อ ในการทำดังนี้เราต้องระลึกถึงกฎของเมอร์ฟีที่กล่าวว่า ไม่ว่าคุณจะทำอย่างไร ประจุไฟฟ้าสถิต ก็จะหาทางประทุอยู่ดี

1. การออกแบบที่สามารถต้านทานการดิสชาร์จของไฟฟ้าสถิต หลักการข้อแรกคือ ต้องออกแบบผลิตภัณฑ์และการประกอบ ให้มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าสถิตมากที่สุด และสมเหตุสมผลมากที่สุด หนึ่งในวิธีการที่ใช้คือ ใช้อุปกรณ์ที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตต่ำ หรือให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายการผลิต และเครื่องมือมีการป้องกันไฟฟ้าสถิตในตัว สำหรับวิศวกรและผู้ออกแบบข้อขัดแย้งประการหนึ่งคือ เมื่อผลิตภัณฑ์มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมากขึ้น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก็มีขนาดเล็กลง แต่กลับมีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตมากขึ้น

2. การกำจัดและลดการก่อเกิดไฟฟ้าสถิต การออกแบบในข้อแรกไม่ใช่คำตอบที่สมบูรณ์แบบสำหรับเรื่องไฟฟ้าสถิต หลักการในข้อที่สองคือ กำจัดและลดการเกิด การสะสมของไฟฟ้าสถิตเป็นอันดับแรก พื้นฐานง่าย ๆ ก็คือ เมื่อไม่ประจุก็ไม่ดิสชาร์จ เริ่มต้นด้วยการลดวัสดุหรือวิธีการที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต เช่น ลดพลาสติกที่ไม่จำเป็น หรือลดการสัมผัส และแยกจากกันของวัสดุต่างชนิดกัน ในที่ทำงาน เราต้องเก็บรักษากระบวนการผลิต และวัสดุในที่ที่มีศักดาไฟฟ้าเท่ากับไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้าสถิตจะไม่เกิดระหว่างวัสดุ 2 อย่างที่เก็บในที่ที่มีศักดาไฟฟ้าเท่ากัน หรือปลอดภัยศักดาไฟฟ้า เราต้องจัดเตรียมเส้นทางการกราวด์ เช่น wrist strap พื้น และที่ทำงาน เพื่อที่จะลดการเกิดไฟฟ้าสถิต และการสะสมไฟฟ้าสถิต

3. ทำให้การถ่ายประจุเป็นไปอย่างช้าๆ และเป็นกลาง เพราะว่าเราไม่สามารถกำจัดการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตในที่ทำงานได้ หลักการข้อที่สามก็คือทำให้เกิดการถ่ายเทประจุอย่างช้าๆ ที่ปลอดภัยหรือทำให้ประจุไฟฟ้าสถิตเป็นกลาง การกราวด์ที่ถูกต้อง และการใช้วัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเป็นความจำเป็นยิ่ง ตัวอย่างเช่น พนักงานนำประจุไฟฟ้าสถิตเข้าที่ทำงาน เขาสามารถทำให้ประจุไฟฟ้าสถิตหมดไปโดยการใส่ Wrist strap หรือ โดยการเหยียบไปบนพื้นที่มีคุณสมบัติในการลดการสะสมประจุไฟฟ้าสถิตในขณะที่สวมใส่อุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าสถิตที่เท้า ประจุจะประทุลงกราวด์แทนที่จะประทุลงสู่ชิ้นส่วนที่เปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต อัตราของการประทุสามารถควบคุม

ด้วยวัสดุที่เป็น Dissipative เพื่อป้องกันความเสียหายจากประจุไฟฟ้าสถิต สำหรับวัตถุนางชนิด เช่น พลาสติกทั่วไป และฉนวนตัวอื่นๆ การกราวด์ไม่สามารถเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าสถิตได้เนื่องจากวัตถุเหล่านั้นไม่มีเส้นทางที่จะนำไฟฟ้าสถิตลงกราวด์ วิธีไอออไนเซชันจึงถูกนำมาใช้เพื่อให้ประจุเป็นกลางสำหรับวัสดุที่เป็นฉนวน กระบวนการของวิธี ionization ก็คือการสร้างละอองของประจุไฟฟ้าบวก และลบดึงดูดประจุบนพื้นผิวของวัตถุที่เป็นฉนวนทำให้เกิดความเป็นกลางทางไฟฟ้า

4. ปกป้องผลิตภัณฑ์ หลักการข้อสุดท้ายของการควบคุมไฟฟ้าสถิต คือ ป้องกันการประทุที่เกิดจากการสัมผัสกันเองของชิ้นส่วนต่างๆ และขั้นตอนการประกอบที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต วิธีแรกคือการจัดเตรียมชิ้นส่วนและขั้นตอนการประกอบที่เกี่ยวกับการกราวด์เพื่อทำให้เกิดการถ่ายเทประจุอย่างช้าๆ ออกจากผลิตภัณฑ์ วิธีที่สองคือการบรรจุ และการขนส่งอุปกรณ์ที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตในขั้นตอนของการบรรจุวัสดุที่มีการปกป้องผลิตภัณฑ์จากประจุไฟฟ้าสถิตจะช่วยลดการประจุไฟฟ้าสถิตจากการเคลื่อนย้ายไปยังที่เก็บผลิตภัณฑ์ได้ (พูลพงษ์, 2546)

หลักการพื้นฐานการควบคุมไฟฟ้าสถิต

การควบคุมไฟฟ้าสถิตจะง่ายและมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นไปที่หลักการพื้นฐานการควบคุมไฟฟ้าสถิต 4 ข้อดังนี้

1. การออกแบบที่สามารถต้านทานการประทุของไฟฟ้าสถิตเป็นอย่างดีและสมเหตุผล
2. กำจัดและลดการเกิดไฟฟ้าสถิตโดยการกำจัดหรือลดวิธีการที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต จากการ จัดการให้วิธีการและวัสดุที่ใช้ในการผลิต มีศักดาไฟฟ้าเทียบเท่ากัน และจากการจัดการให้มีการกราวด์ที่เหมาะสมเพื่อลดการเกิดและการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต
3. ทำให้การถ่ายเทประจุเป็นไปอย่างช้าๆ และเป็นกลาง โดยการกราวด์ การไอออไนเซชัน และการใช้วัสดุที่เป็นตัวนำ
4. ป้องกันผลิตภัณฑ์จากไฟฟ้าสถิต โดยการกราวด์หรือการชั่งที่ที่เหมาะสม และใช้วัสดุ , การบรรจุ ที่ป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

โดยทั่วไปตามสถานที่ต่างๆที่ต้องควบคุมไฟฟ้าสถิต เราจะเน้นไปที่หลักการ 3 ข้อสุดท้าย ต่อไปนี้ เราจะกล่าวเน้นถึงวัสดุและวิธีการที่จะกำจัดและลดการเกิดไฟฟ้าสถิตการทำให้การถ่ายประจุเป็นไปอย่างช้าๆ และเป็นกลาง หรือการปกป้องผลิตภัณฑ์ที่เปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตจากไฟฟ้าสถิต

การเคลื่อนที่ของบุคลากรและเครื่องมือ เครื่องจักร

ในโรงงานส่วนใหญ่ สิ่งที่จะก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตมากที่สุดคือบุคลากรในโรงงานเอง การเดินไปรอบๆของบุคลากรหรือผู้ที่กำลังซ่อมแซมวงจร สามารถที่จะก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตนับหลายพันโวลต์บนตัวของเขา ถ้าขาดการควบคุมที่ดีประจุไฟฟ้าจะประทุเข้าหาอุปกรณ์ที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า HBM แม้กระทั่งในสายการผลิตที่เป็นระบบอัตโนมัติทั้งหมดบุคลากรที่ทำงานก็ต้องมีการจับจนวนอุปกรณ์ที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต ไม่ว่าจะเป็นห้องเก็บของ โกดัง ห้องซ่อม หรือในขณะขนย้าย ด้วยเหตุผลดังกล่าวแผนงานควบคุมไฟฟ้าสถิตจึงเน้นไปที่การควบคุมดูแล บุคลากรที่มีโอกาสที่จะก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตและก่อให้เกิดการประทุของไฟฟ้าสถิต เช่นเดียวกันกับรถเข็น รถลาก ไม่ว่าจะเป็นล้อหรือไม่มีล้อก็ตามที่เคลื่อนที่อยู่ที่โรงงาน ก็จะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตแล้วประจุเหล่านั้นก็จะประทุเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ที่เคลื่อนที่ไปบนรถเข็นหรือรถลากเหล่านั้น

Wrist Straps

โดยหลักแล้ว วิธีการพื้นฐานที่จะควบคุมไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นโดยบุคลากรก็คือการใช้ Wrist Strap หากมีการใช้และการกราวด์ที่ถูกต้อง Wrist Strap จะทำให้บุคลากรที่สวมใส่มีสศักดาไฟฟ้าเข้าใกล้กราวด์ ในเมื่อบุคลากรและวัตถุต่างๆ มีการกราวด์ และเมื่อมีศักดาไฟฟ้าใกล้ๆกันแล้วการประทุที่เป็นอันตรายของไฟฟ้าสถิตก็จะไม่เกิดขึ้น นอกจากนี้ประจุไฟฟ้าสถิตก็จะถูกทยอยส่งลงกราวด์และจะไม่ก่อให้เกิดการสะสมขึ้นโดยทั่วไป Wrist Strap จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วน 2 ชิ้นหลักๆคือ สายข้อมือที่เรียกว่า “cuff หรือ wrist band” และสายไฟที่เชื่อมจากสายข้อมือไปจุดกราวด์ร่วม Wrist Strap ส่วนใหญ่จะมีตัวต้านทาน อยู่ 1 ตัวเพื่อจำกัดกระแส และมักจะอยู่บนสายไฟใกล้ๆกับข้อมือ ตัวต้านทานส่วนใหญ่ที่ใช้จะมีขนาด 1 ล้านโอห์ม 1/4 วัตต์ 250 โวลต์ Wrist Strap ควรจะได้รับการทดสอบอย่างสม่ำเสมอว่ายังใช้การได้ดีอยู่ ควรจะตรวจสอบทุกๆวันหรือถ้าเป็นไปได้ควรใช้การตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

Floors Floor Mats Floor Finishes

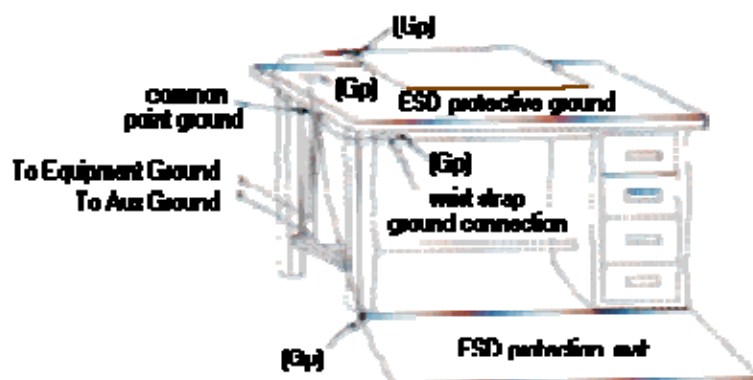
วิธีที่สองของการควบคุมไฟฟ้าสถิตอันเกิดจากตัวบุคคลก็คือ การใช้พื้นโรงงานที่มีการป้องกันไฟฟ้าสถิตแล้ว ผสมกับการใส่รองเท้าหรืออุปกรณ์ยึดเท้าที่ช่วยควบคุมไฟฟ้าสถิตได้ การใช้คู่กันระหว่างพื้นโรงงานและอุปกรณ์ยึดเท้าจะทำให้มีการเคลื่อนย้ายประจุไฟฟ้าสถิตลงสู่พื้นอย่างช้าๆ เป็นการลดการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิตที่จะสะสมบนตัวบุคคล และไม่ทำให้ระดับของไฟฟ้าสถิตสูงเกินกว่าค่าที่ปลอดภัย นอกจากนี้จะช่วยเคลื่อนย้ายประจุแล้วพื้นโรงงานประเภทนี้ยังช่วยลดการเกิดไทรโบอิเล็กทริกได้อีก การเน้นไปที่การควบคุมพื้นโรงงานนี้จะมีความเหมาะสมมากที่สุด เมื่อการทำงานในพื้นที่โรงงานเจ้าหน้าที่มีการเคลื่อนที่หรือเดินกันมากๆ นอกจากนี้พื้นโรงงานดังกล่าวก็จะลดการสะสมของประจุบนเก้าอี้ รถลาก รถเข็น หรือสิ่งอื่นๆ ที่อยู่บนพื้น อย่างไรก็ตามสิ่งต่างๆ เหล่านี้ต้องมีล้อหรือจุดที่สัมผัสกับพื้นที่ด้วยวัสดุประเภท dissipative หรือตัวนำ

Shoes Grounders Casters

เมื่อใช้รองเท้าป้องกันไฟฟ้าสถิต ล้อที่ปลอดภัยต่อไฟฟ้าสถิต ร่วมกับพื้น ที่เหมาะสมก็จะทำให้บุคลากรหรือสิ่งต่างๆ ที่อยู่บนพื้นสัมผัสกับพื้นได้ดี การกราวด์ก็จะมีประสิทธิภาพ หากใช้วัสดุที่เป็นฉนวนเช่นรองเท้าที่เป็นฉนวน บุคคลที่ผู้นั้นก็จะสะสมไฟฟ้าสถิตบนตัว เพราะไม่มีทางเดินไฟฟ้าที่จะให้ประจุลงพื้นไปได้

เสื้อผ้าที่สวมใส่

เสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณา ในบางพื้นที่ที่ต้องการการปกป้องจากไฟฟ้าสถิต โดยเฉพาะในห้องสะอาด และในที่ที่มีอากาศแห้งมากๆ วัสดุที่ใช้ทำเสื้อผ้าสามารถกักประจุไฟฟ้าสถิตได้เมื่อสัมผัสและแยก กับวัสดุอื่นๆ หรือแม้กระทั่งตัวเสื้อผ้าเอง ประจุเหล่านี้อาจประจุไปที่ชิ้นส่วนที่เปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตหรือสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตซึ่งจะนำไปให้เกิดประจุบนร่างกายมนุษย์ แม้ว่าบุคคลนั้นจะมีการกราวด์นั้นก็ไม่ได้หมายความว่าเสื้อผ้าที่เป็นฉนวนจะคลายประจุอย่างช้าๆ ไปสู่บุคคลนั้นและลงกราวด์ไปในที่สุดได้ ส่วนใหญ่เสื้อผ้าใช้วัสดุที่เป็นฉนวน ดังนั้นเสื้อผ้าที่สามารถควบคุมไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตหรือการประจุที่อาจเกิดขึ้นที่ตัวบุคคลน้อยลง



ภาพที่ 3 แสดงพื้นที่ทำงาน

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

พื้นที่ทำงานและพื้นผิวที่ทำงาน

พื้นที่ทำงานและพื้นผิวที่ทำงานเป็นส่วนที่สำคัญของแผนงานป้องกันไฟฟ้าสถิตซึ่งอุปกรณ์และกระบวนการที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตต้องใช้ เช่นการประกอบหรือการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ในพื้นที่ทำงานพื้นที่ทำงานที่ต้องได้รับการปกป้องจากไฟฟ้าสถิตหมายถึงพื้นที่เฉพาะบุคคลใดบุคคลหนึ่งที่สร้างหรือบรรจุวัสดุหรือเครื่องมือที่ต้องกำหนดขอบเขตความเสี่ยงจากรายการที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต อาจเป็นพื้นที่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่วนอื่นๆในห้องเก็บของ โกดัง พื้นที่ประกอบชิ้นส่วน หรือพื้นที่ในลักษณะที่คล้ายๆกัน หรือเป็นพื้นที่ที่ต้องอยู่ในความควบคุมดูแลเช่นห้องสะอาดพื้นที่ทำงาน ต้องมีการจัดเตรียมการเชื่อมต่อระหว่างพื้นผิวที่ทำงาน เครื่องไม้เครื่องมือต่างๆ และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการกราวด์ไปยังจุดกราวด์ร่วมนอกจากนี้อาจเพิ่มการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์กราวด์ส่วนบุคคล เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ground monitors และ ionizers องค์ประกอบที่สำคัญในการควบคุมไฟฟ้าสถิตประกอบด้วย พื้นที่ทำงานที่มีพื้นผิวที่ทำงานเป็นวัสดุประเภท static dissipative อุปกรณ์กราวด์ส่วนบุคคล การเชื่อมต่อกราวด์ร่วมน และการทำแผ่นป้ายที่เหมาะสม ตัวอย่างของพื้นที่ทำงานแสดงในภาพที่ 3 พื้นผิวที่ทำงานที่ต้องได้รับการปกป้องจากไฟฟ้าสถิตมีความต้านทานพื้นผิวที่ใช้ในการกราวด์อยู่ในช่วง 10^6 ถึง 10^9 ซึ่งต้องมีศักดาไฟฟ้าที่เท่าเทียมกันกับรายการที่ต้องได้รับการปกป้องจากไฟฟ้าสถิตอื่นๆ พื้นผิวที่ทำงานจะต้องจัดเตรียมเส้นทางการกราวด์เพื่อที่จะควบคุมการประจุของประจุให้เป็นไปอย่างช้าๆและปลอดภัยบนวัสดุที่ต้องสัมผัสกับพื้นผิวที่ทำงาน และพื้นผิวที่ทำงานต้องเชื่อมต่อกับจุดกราวด์ร่วมน

เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและเครื่องทุ่นแรง

แม้ว่าโดยทั่วไปบุคคลจะเป็นผู้ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต แต่กระบวนการผลิตและการทดสอบแบบอัตโนมัติก็ทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าสถิตได้เช่นกัน ดังตัวอย่าง อุปกรณ์เกิดประจุไฟฟ้าสถิตจากการเลื่อนลงของตัวรางป้อน ถ้าอุปกรณ์เหล่านั้นสัมผัสกับหัวใส่ หรือพื้นผิวตัวนำอื่นๆ การประทุก็จะเกิดจากอุปกรณ์ไปสู่วัสดุที่เป็นโลหะ เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า ตัวแบบเครื่องจักร นอกจากนี้เครื่องทุ่นแรงต่างๆก็ทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าสถิตได้

การบรรจุและขนย้ายวัสดุ

การปกป้องผลิตภัณฑ์ที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตโดยตรงได้แก่ การจัดเตรียมวัสดุที่ใช้บรรจุ เช่น ถัง ลูกฟูก ,บรรจุภัณฑ์ชนิดแข็งหรือชนิดที่ไม่แข็งแต่คงรูปได้ เราจะใช้การบรรจุเพื่อปกป้องผลิตภัณฑ์จากไฟฟ้าสถิตเมื่อเราต้องเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ออกจากโรงงาน โดยเฉพาะเมื่อส่งให้กับลูกค้า นอกจากนี้ บรรจุภัณฑ์อื่นๆ ที่ใส่ผลิตภัณฑ์ขณะเคลื่อนย้ายทั้งภายในโรงงานเองหรือระหว่างโรงงาน ก็ต้องมีการป้องกันไฟฟ้าสถิตเช่นกันหน้าที่หลักที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าสถิตของบรรจุภัณฑ์และวัสดุที่ใส่ผลิตภัณฑ์ข้อแรกคือจำกัดความเป็นไปได้ของผลกระทบของไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากประจุแบบไทโรโบอิเล็กทริก การประทุโดยตรง และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิต ข้อพิจารณาขั้นแรกคือใช้วัสดุที่มีการเกิดของประจุไฟฟ้าสถิตต่ำในการบรรจุชิ้นส่วนที่เปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่มีการเกิดของประจุไฟฟ้าสถิตต่ำจะสามารถควบคุมผลของประจุแบบไทโรโบอิเล็กทริกจากการลื่นไถลไปบนแผ่นกระดาน หรือตู้เก็บสินค้าได้ ข้อพิจารณาข้อที่สองคือวัสดุที่ใช้ควรที่จะป้องกันผลิตภัณฑ์จากการประทุของไฟฟ้าสถิตได้ โดยตรงดีกว่าที่จะป้องกันผลิตภัณฑ์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตหลายๆ วัสดุที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ควรมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ข้อคือ ข้อแรกเป็นวัสดุที่มีการเกิดของประจุไฟฟ้าสถิตต่ำ ป้องกันการประทุ และป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ชั้นในของวัสดุที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ควรเป็นวัสดุที่มีการเกิดของประจุไฟฟ้าสถิตต่ำแต่ชั้นนอกควรเป็นวัสดุที่มีช่วงความต้านทานเป็นวัสดุประเภท dissipative การบ่งบอกว่าวัสดุใดมีคุณสมบัติของการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตต่ำไม่สามารถบ่งบอกได้ด้วยค่าของความต้านทานแต่อย่างไรก็ตามค่าของความต้านทานช่วยให้เราแยกแยะว่าวัสดุใดมีความสามารถในการป้องกันไฟฟ้าสถิตหรือมีความสามารถในการถ่ายเทประจุอย่างช้าๆ และปลอดภัย การป้องกันไฟฟ้าสถิตจะช่วยลดความชื้นของสนามไฟฟ้าสถิตที่มีต่อพื้นผิวของวัสดุที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อันเป็นการป้องกันการเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกกับภายในบรรจุภัณฑ์ การป้องกันไฟฟ้าสถิตทำได้โดยการใช้วัสดุที่มีความต้านพื้นผิวไม่เกิน 1.0×10^3 เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EOS/ESD-S11.11

หรือใช้วัสดุที่มีความต้านทานเชิงปริมาตรไม่เกิน 1.0×10^3 โอห์มต่อเซนติเมตร เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EIA 541 วัสดุประเภท dissipative จะมีความต้านทานพื้นผิวระหว่าง 1.0×10^4 ถึง 1.0×10^{11} เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EOS/ESD-S11.11 หรือมีความต้านทานเชิงปริมาตรระหว่าง 1.0×10^5 ถึง 1.0×10^{12} โอห์มต่อเซนติเมตร เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EIA 541

การกราวด์



ภาพที่ 4 แสดงสัญลักษณ์จุดกราวด์ร่วม

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

1. จากหัวข้อที่ผ่านมา เราได้เห็นความสำคัญของการกราวด์ต่อการควบคุมไฟฟ้าสถิตอย่างมีประสิทธิภาพมาแล้ว สิ่งที่ยังตามมาก็คือ การกราวด์ไฟฟ้าสถิตอย่างมีประสิทธิภาพเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งในการทำงานทุกขั้นตอน การกราวด์ไฟฟ้าสถิตควรที่ได้รับการนิยามและตรวจสอบอยู่เสมอ มาตรฐานของสมาคม ESD ในหัวข้อ Grounding ได้ระบุว่า มี 2 ขั้นตอนในการกราวด์เพื่อป้องกันเครื่องมือจากไฟฟ้าสถิต ทำการกราวด์ทุกส่วนของพื้นที่ที่ทำงานไม่ว่าจะเป็น พื้นผิวที่ทำงาน ตัวบุคคล , เครื่องมือต่างๆ และอื่นๆ ลงไปที่จุดกราวด์ร่วม จุดกราวด์ร่วมคือจุดที่ระบบงาน หรือวิธีการตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไปเชื่อมต่อผ่านตัวนำมายังจุดที่มีศักดาไฟฟ้าเท่ากัน จุดกราวด์ร่วมนี้ควรที่จะได้ทำการกำหนดสัญลักษณ์ให้ชัดเจนซึ่งมาตรฐานของสมาคม ESD ได้กำหนดสัญลักษณ์ของจุดกราวด์ร่วมแสดงดังภาพที่ 4

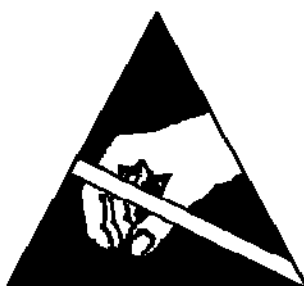
2. เชื่อมต่อจุดกราวด์ร่วมไปยังสายกราวด์ของเครื่องจักรเพื่อทำให้ศักย์ไฟฟ้าของพื้นผิวที่ทำงาน ตัวบุคคล เครื่องมือต่างๆ เครื่องจักร และอื่นๆ มีขนาดเท่ากัน ถ้าไม่ได้เชื่อมต่อจุดกราวด์ร่วมกับสายกราวด์ของเครื่องจักรเข้าด้วยกันแล้วอาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากศักดาไฟฟ้าไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดการประทุของไฟฟ้าสถิต

กระบวนการ Ionization

ได้เห็นแล้วว่าพื้นฐานของการควบคุมไฟฟ้าสถิตคือการเชื่อมต่อวัสดุที่เป็นตัวนำ static dissipative และบุคลากรผู้ปฏิบัติงาน แต่อย่างไรก็ตามแผนงานควบคุมไฟฟ้าที่สมบูรณ์จะต้องควบคุมไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนวัสดุตัวนำที่ไม่สามารถกราวด์ หรือวัสดุประเภทฉนวน ได้ มีบ้างเหมือนกันที่มีการใช้น้ำยาเคลือบบนผิวของวัสดุประเภทฉนวน เพื่อทำให้เกิดการควบคุมประจุไฟฟ้าสถิต แต่ส่วนใหญ่ใช้กระบวนการ ionization เพื่อทำให้ประจุที่อยู่บนพื้นผิววัสดุ เป็นกลาง โดยการดึงประจุตรงข้ามเข้ามาหักล้าง ไม่ว่าประจุที่อยู่บนพื้นผิวจะเป็นประจุบวกหรือประจุลบก็ตาม เนื่องจากว่าอากาศมีอยู่ในที่ทำงานทุกแห่ง ระบบ ionization ที่ใช้อากาศจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางรวมทั้งห้องสะอาดซึ่งการใช้สเปรย์ ควบคุมไฟฟ้าสถิตไม่มีความเหมาะสมระบบ ionization ที่ใช้อากาศไม่ใช่สิ่งทดแทนการกราวด์แต่เป็นเพียงส่วนหนึ่งของแผนงานควบคุมไฟฟ้าสถิต ionizer หรือเครื่องทำ ionization จะถูกนำมาใช้ก็ต่อเมื่อไม่สามารถกราวด์ทุกสิ่งในโรงงานได้ในห้องสะอาดระบบ ionization ที่ใช้อากาศเป็นหนึ่งในหลายๆวิธีการที่จะควบคุมไฟฟ้าสถิต

บอกหรือกำหนด

องค์ประกอบสุดท้ายของแผนงานควบคุมไฟฟ้าสถิตคือ การกำหนดสัญลักษณ์เพื่อระบุอุปกรณ์และกระบวนการที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต มาตรฐานของสมาคม ESD ได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในการระบุอุปกรณ์และกระบวนการที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิตไว้ 2 สัญลักษณ์ ดังนี้



ภาพที่ 5 สัญลักษณ์ที่แสดงความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

สัญลักษณ์ในภาพที่ 5 ประกอบด้วย รูปเครื่องหมายเลขทับริปมือ ขณะกำลังหยิบฉวยตลอดทั้งมือ วางอยู่ บนรูปสามเหลี่ยม ซึ่งรูปสามเหลี่ยมหมายความว่า การเตือน ส่วนรูปเครื่องหมายเลขทับริปมือ ขณะกำลังหยิบฉวยหมายความว่า ห้ามสัมผัส สัญลักษณ์นี้ใช้กับ IC แผ่นวงจร และกระบวนการที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต เพื่อที่จะระบุนว่าการสัมผัสสิ่งเหล่านี้อาจทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าสถิตได้



ภาพที่ 6 สัญลักษณ์ที่แสดงว่าสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิต

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

สัญลักษณ์ในภาพที่ 6 ประกอบด้วย รูปมือขณะกำลังหยิบฉวยบนพื้นสามเหลี่ยม คลอบด้วยเส้น ส่วนโค้งแทนเครื่องหมายเลข ซึ่งหมายความว่า การป้องกัน สัญลักษณ์นี้ใช้ระบุว่าเป็นวัสดุที่ป้องกันไฟฟ้าสถิต มักใช้กับ แก้ว ี เสื้อผ้า บรรจุภัณฑ์ และอื่นๆ แผนงานควบคุมไฟฟ้าสถิตที่มีประสิทธิภาพต้องใช้วัสดุและวิธีการหลายๆอย่างเพื่อที่จะให้บรรจุจุดประสงค์

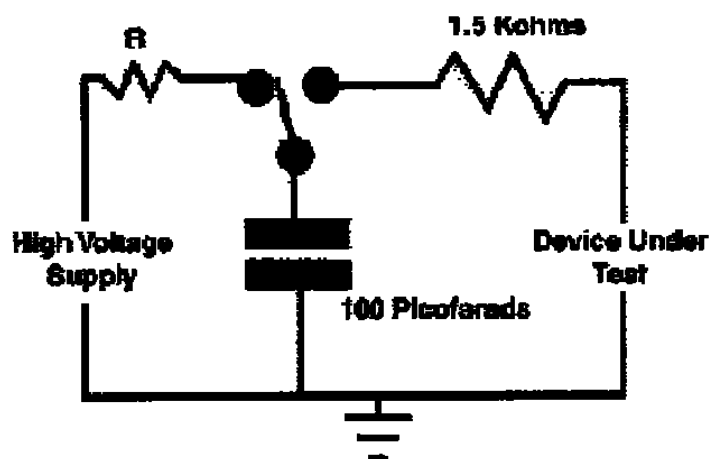
เครื่องมือการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตพื้นฐาน

1. Electrostatic field meter เราสามารถวัดค่าประจุไฟฟ้าสถิตในสภาพแวดล้อมตามที่เรากำหนด ขอบเขตปัญหาและติดตามค่าได้ เครื่องมือนี้จะวัดค่าสนามไฟฟ้าสถิตที่เกี่ยวข้องกับวัตถุที่มีประจุ มิเตอร์ส่วนใหญ่จะวัดระดับของสนามไฟฟ้าสถิต และใช้เป็นตัวบ่งชี้ค่าประจุ และระดับที่เหมาะสม ส่วนจุดประสงค์อื่น ๆ คือ วัด ประเมินเปรียบเทียบค่าประจุของวัสดุต่าง ๆ ถ้าต้องการความถูกต้องสูงขึ้นในเชิงการประเมินระดับห้องปฏิบัติการต้องใช้ตัววัด ตามแผ่นประจุ ซึ่งคิดเข้ากับ Field meter หรือ Volt meter ในห้องทดลอง เพื่อช่วยประเมินประสิทธิภาพของวัสดุที่ทำงานหรือสมดุลเชิงประจุของเครื่องมือ (พูลพงษ์, 2546)

2. Resistance meter คือตัววัดความต้านทาน ความต้านทานเป็นปัจจัยหลัก เพื่อประเมินวัสดุในแง่ ESD เครื่องมือนี้สำคัญยิ่ง มาตรฐานวัดค่าความต้านทานเกือบทั้งหมด กำหนด ณ 100 โวลต์ บางทีก็ 10 โวลต์ คุณต้องเลือกให้เหมาะกับโวลต์ของวัสดุที่จะใช้ มิเตอร์ต้องสามารถวัดค่าได้ในช่วง 105 ถึง 1,011 โอห์ม ถ้าใช้ electrodes และสายไฟที่เหมาะสม เราก็สามารถวัดค่าความต้านทานได้ เช่น วัสดุทำพื้นห้อง พื้นผิวที่ทำงาน เครื่องมือ เฟอร์นิเจอร์ เสื้อผ้า และภาชนะบรรจุ ground และ circuit tester เป็นเครื่องมือวัดความต่อเนื่องของการถ่ายประจุลงกราวด์ และตรวจสอบความหน่วงทางไฟฟ้า และค่าประจุเป็นกลางที่จะลงกราวด์

โมเดลที่เกี่ยวข้องกับตัวคน

สาเหตุหลักที่เกิดขึ้นบ่อยและมีผลทำให้เกิดการเสียหายจากไฟฟ้าสถิตก็คือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ผ่านตัวต้านทานแบบอนุกรมคือไปตามร่างกายมนุษย์ หรือจากวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ที่มีความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต ซึ่งต่อไปเราจะเรียกว่า ESDS เมื่อมีใครเดินไปตามพื้นโรงงานประจุไฟฟ้าสถิตก็จะสะสมอยู่ในร่างกาย เพียงแต่เขาสัมผัสกับวัตถุที่เป็น ESDS หรือชุดประกอบที่มี ESDS อยู่ การประทุของประจุไฟฟ้าก็จะเกิดขึ้นและก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์เหล่านั้นได้ นี่คือรูปแบบหนึ่งของความเสียหาย รูปแบบนี้เราเรียกว่า “HBM” HBM เป็นรูปแบบที่ใช้กันมานานและกว้างขวางเพื่อใช้จัดลำดับความเปราะบางต่อไฟฟ้าสถิต การทดสอบแบบ HBM เป็นตัวแทนของการประทุจากปลายนิ้วไปสู่อุปกรณ์ โมเดลที่ใช้ก็คือ ให้ตัวเก็บประจุขนาด 100 pF ประทุผ่านสวิตช์และตัวต้านทานขนาด 1,500 โอห์ม ไปสู่อุปกรณ์ที่ต้องการจะทดสอบ โมเดลนี้ใช้กันมานานนับศตวรรษแล้ว เพื่อศึกษาขบวนการ การเกิดการระเบิดของก๊าซในเหมืองแร่ กองทหารของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ถือเป็นมาตรฐานปฏิบัติ โดยระบุไว้ในมาตรฐานที่ชื่อว่า MIL-STD-883 Method 3015 และสมาคม ESD ก็ได้บรรจุไว้ในมาตรฐาน ESD-STM5.1-1998-Device Testing : Human Body Model



ภาพที่ 7 แสดงวงจร HBM

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

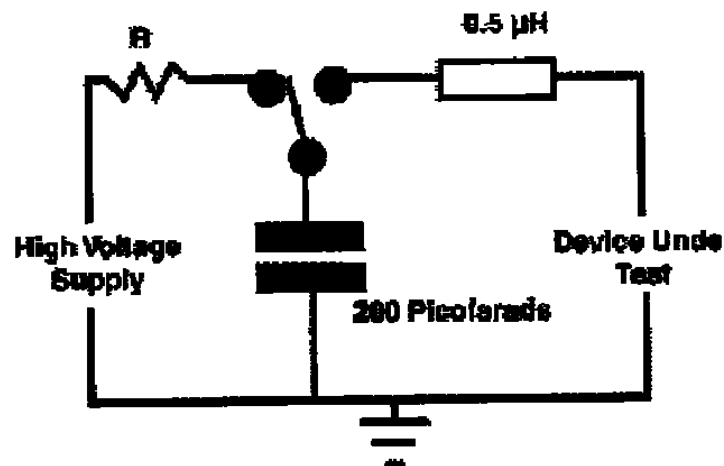
การตรวจหาความเปราะบางต่อ ESD แบบ HBM โดยปกติจะทำเป็นแบบระบบอัตโนมัติ จะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของวงจร เหตุการณ์ ESD ถูกจำลองโดยการใส่ กระแสและแรงดันที่ระดับต่างๆ และดูว่าอุปกรณ์ชิ้นนั้นเสียหายหรือไม่ มาตรฐานการทดสอบแบบ HBM ของสมาคม ESD ได้ถูกเปลี่ยนไปหลายๆจุด ประการแรกจำนวนครั้งของการเลียนแบบการ ประทุ ซึ่งทำที่ระดับความหนาแน่น และคนละข้อได้เปลี่ยนจาก 3 ครั้งมาเป็น 1 ครั้ง และการ zaps แต่ละครั้ง ถูกเปลี่ยนระยะเวลาจาก 1 วินาทีเป็น 300×10^{-3} วินาทีเท่านั้น การเปลี่ยนนี้มีผลทำให้การ ทดสอบ HBM ใช้เวลาน้อยลง ประการที่สองได้เปลี่ยนเครื่องทดสอบ HBM กล่าวคือรูปคลื่นที่ผ่าน โหลดขนาด 500 โอห์ม ได้ถูกเปลี่ยนให้มีช่วงขาขึ้นจาก 20×10^{-9} วินาทีเป็น 25×10^{-9} วินาที อันมี ผลทำให้ผู้ผลิตเครื่องทดสอบ HBM สามารถบรรจุชิ้นส่วนที่มีจำนวนมากลงในเครื่องทดสอบได้ ผลก็คือ รูปคลื่นที่ผ่านโหลดขนาด 500 โอห์มก็จะเข้ากันตามต้องการ

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าสถิตกับHBM ผลที่เกิดขึ้นกับมนุษย์

HBM (kV)	อาการ
1.0	ไม่มีความรู้สึก
2.0	รู้สึกลูบที่มือ
3.0	เหมือนโดนเข็มแทงที่มือ
5.0	รู้สึกลูบทั้งท่อนแขน
6.0	มือและแขนขาไม่มีแรงถึงข้อมือ
7.0	มือและแขนขาไม่มีแรงถึงท่อนแขน
8.0	มือและแขนขาไม่มีแรงถึงข้อศอก
9.0	มือและแขนขาไม่มีแรงถึงรักแร้
10.0	มีกระแสไหลผ่านมือ
11.0	มือไม่มีความรู้สึกเกิดการกระตุกที่ท่อนแขน
12.0	แขนไม่สามารถตั้งการได้

โมเดลของเครื่องจักร

การประทุแบบ HBM ก็สามารถเกิดขึ้นได้จากวัตถุที่เป็นตัวนำแต่มีประจุอยู่ เช่นเครื่องมือหรืออุปกรณ์จับชิ้นงานที่ทำด้วยโลหะ Machine Model ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น ขณะที่ทำการทดลองหา HBM ที่รุนแรงที่สุด โมเดล Machine Model จะใส่ตัวเก็บประจุขนาด 200 pF และปล่อยให้มีการประทุเข้าสู่ชิ้นงานที่มีการทดสอบโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่ บางที MM จะเป็น โมเดลที่ค่อนข้างจะรุนแรงเกินไป อย่างไรก็ตามในโลกของความเป็นจริงเหตุการณ์เช่นนี้ก็เกิดขึ้นได้อย่างเช่น การประทุของแผงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประจุหรือการประทุจากสายเคเบิลของเครื่องทดสอบอัตโนมัติมีประจุอยู่ สำหรับสมาคมไฟฟ้าสถิตแล้วการทดสอบอุปกรณ์แบบ MM ตามมาตรฐาน ANSI/ESD5.2-1994-Device Testing : Machine Model ก็เหมือนกับการทดสอบแบบ HBM เครื่องทดสอบก็เหมือนกัน แต่จะต่างกันตรงหัวทดสอบเพียงเล็กน้อย และเครื่องทดสอบแบบ Machine Model จะมีตัวต้านทานขนาด 1,500 โอห์ม

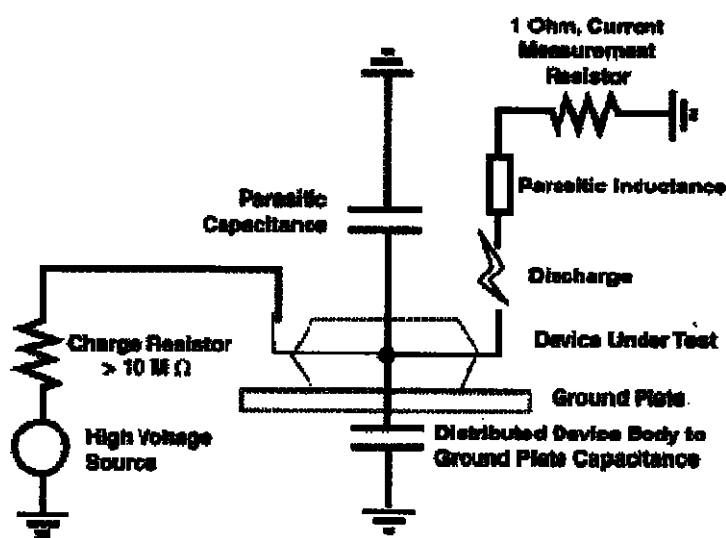


ภาพที่ 8 แสดงวงจรตัวแบบเครื่องจักร MM

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

โมเดลของอุปกรณ์ที่มีประจุ

การถ่ายประจุจาก ESDS ถือว่าเป็นเหตุการณ์ ESD เช่นกัน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีประจุขึ้นได้จากการวิ่งบนรางเลื่อนอัตโนมัติ หากว่าอุปกรณ์ชิ้นนี้ได้สัมผัสกับพื้นผิวหรือวัสดุอื่นที่เป็นตัวนำไฟฟ้า การประทุอย่างรวดเร็วก็จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์นั้นลงสู่โลหะชิ้นนั้น เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า “CDM” เหตุการณ์ CDM นั้นสร้างความเสียหายได้รุนแรงกว่า HBM สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางประเภท แม้ว่าช่วงเวลาของการประทุจะสั้นมาก และส่วนใหญ่ก็สั้นกว่า 1×10^{-9} วินาที กระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นได้อาจสูงถึงหลายสิบบอมแปร์ socket



ภาพที่ 9 แสดงวงจรตัวแบบเครื่องจักร CDM

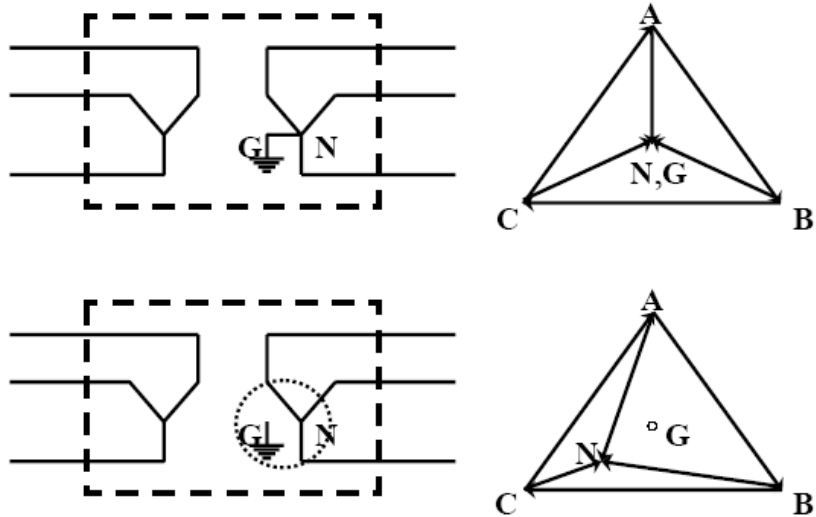
ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

มีเหตุการณ์ศึกษามากมายเพื่อจะสำรวจและเรียนแบบเหตุการณ์ CDM เพื่อจะนำไปสู่การหาวิธีทดสอบที่สมเหตุผลมากที่สุด ในปัจจุบันมี 2 วิธีการเท่านั้นที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ CDM มากที่สุด วิธีแรกยังคงเรียกว่า CDM ซึ่งถือว่าเหมาะสมและสอดคล้องกับเหตุการณ์จริงมากที่สุด ประการที่สองเรียกว่า SDM เหตุการณ์นี้จำลองแบบของการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใส่ลงใน socket ขณะที่ใส่ลงไปอุปกรณ์อาจจะได้รับประจุเข้ามาและอาจประจุประจุออกไปสู่ร่างมาตรฐานสำหรับ CDM ได้ถูกตีพิมพ์ขึ้นในปี 1996 คาดว่า ร่างมาตรฐานนี้จะเสร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ในปี 1999 วิธีการทดสอบแบบ SDM นั้นก็คือเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นั้นวางลงบนแผ่นที่มีสนามไฟฟ้า โดยให้ขาของอุปกรณ์ชิ้นนั้นชี้ขึ้นข้างบนแล้วก็ปล่อยให้ประจุประจุออกไปสู่อุปกรณ์ วิธีการนี้ยังไม่ที่สรุปแน่นอนเพราะมีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือการออกแบบเครื่องแต่ละครั้งหามาตรฐานอ้างอิงลำบาก

การต่อลงดิน

การต่อลงดินมีประโยชน์ 3 ประการคือ

1. เพื่อให้เกิดคุณภาพทางไฟฟ้า

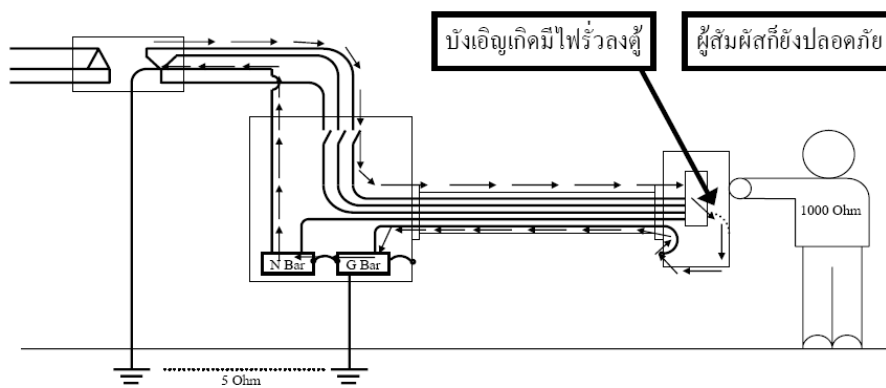


ภาพที่ 10 แสดงให้เห็นเรื่องคุณภาพไฟฟ้า

ที่มา: วสท. (2545)

2. เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน

3. เพื่อให้เกิดความปลอดภัย

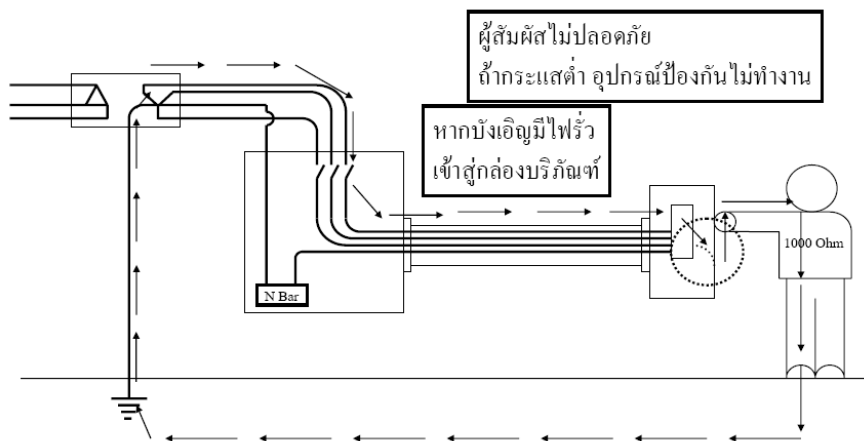


ภาพที่ 11 การต่อลงดินที่ถูกต้องกรณีไฟฟ้ารั่วคนสัมผัสก็ยังไม่ปลอดภัย

ที่มา: วสท. (2545)

การต่อกราวด์แบบต่างๆที่ใช้อีกกันในปัจจุบัน

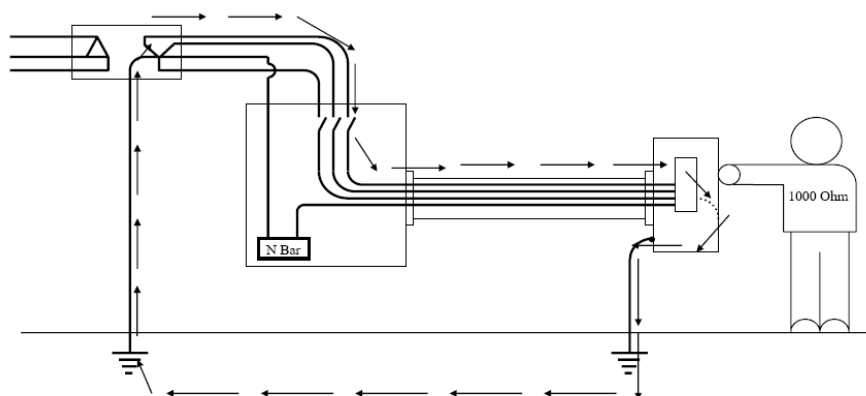
1. กรณีไม่มีการต่อสายดินที่ตัวอุปกรณ์



ภาพที่ 12 กรณีไม่มีการต่อสายดินที่ตัวอุปกรณ์

ที่มา: วสท. (2545)

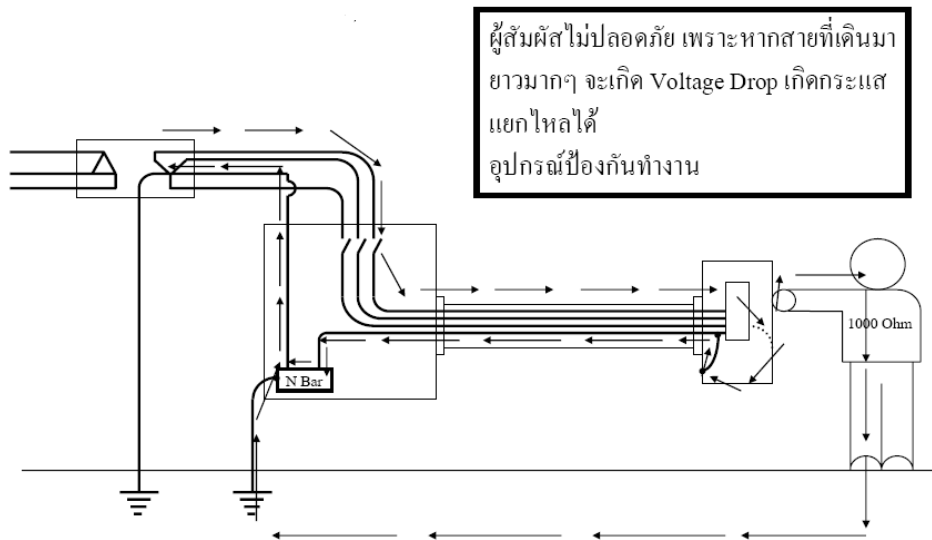
2. กรณีการต่อหลักดินที่ตัวอุปกรณ์



ภาพที่ 13 กรณีการต่อหลักดินที่ตัวอุปกรณ์

ที่มา: วสท. (2545)

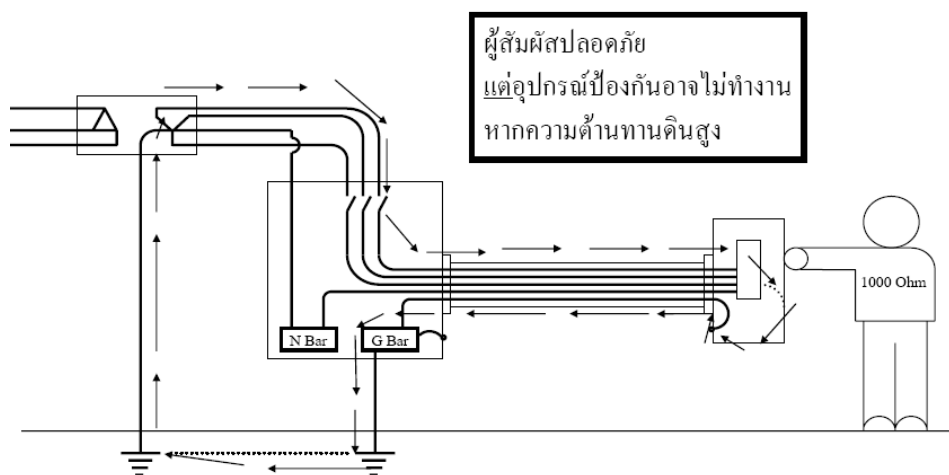
3. กรณีใช้สายนิวทรัลเป็นสายดิน



ภาพที่ 14 กรณีใช้สายนิวทรัลเป็นสายดิน

ที่มา: วสท. (2545)

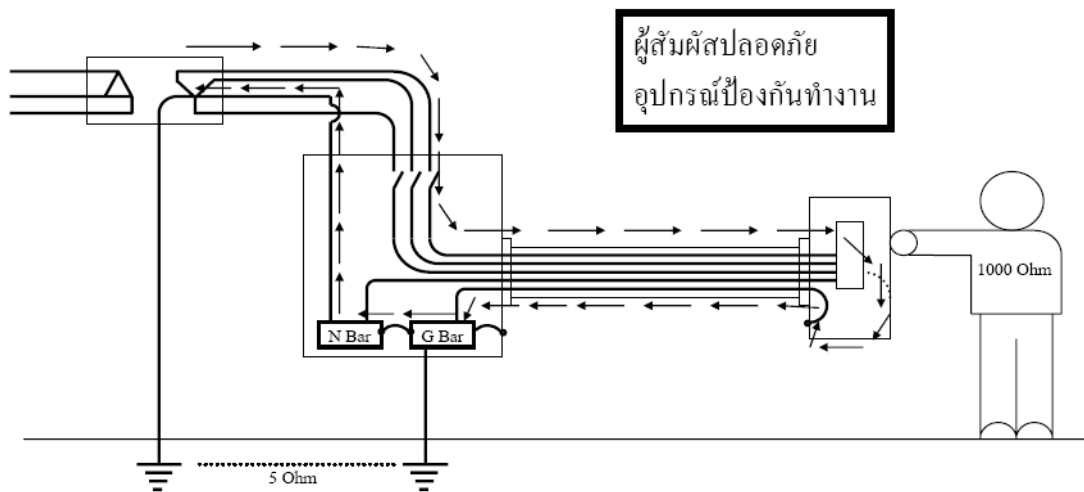
4. กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลแต่ไม่ต่อถึงกัน



ภาพที่ 15 กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลไม่ต่อถึงกัน

ที่มา: วสท. (2545)

5. กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลมีการต่อถึงกัน

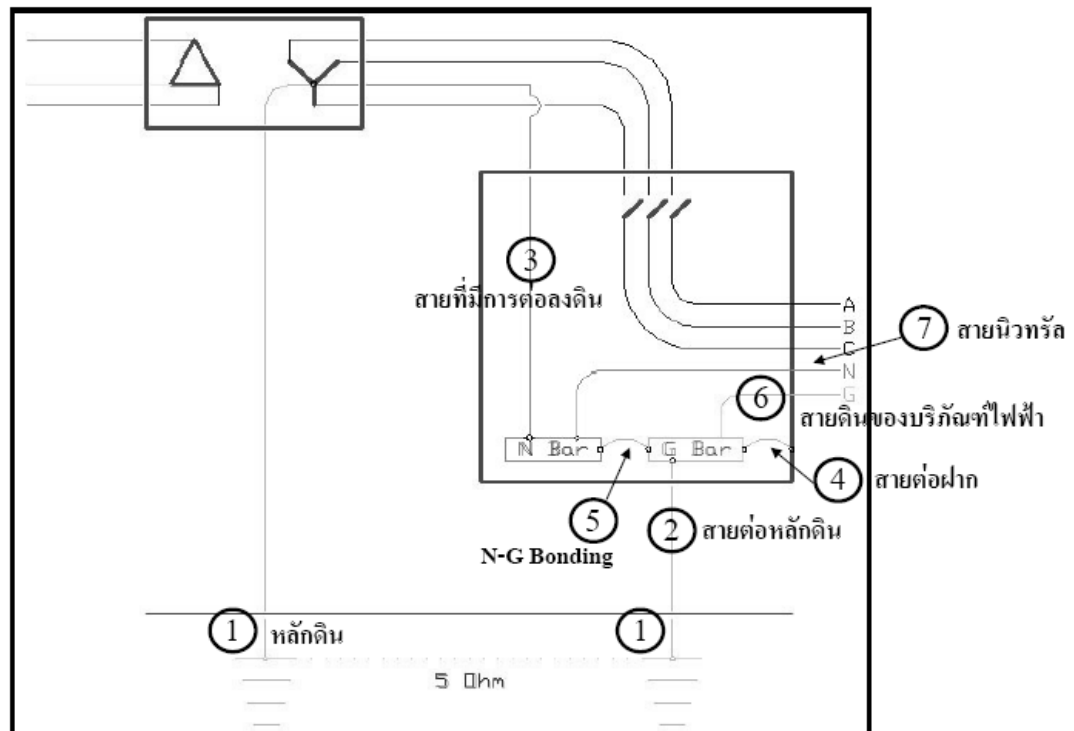


ภาพที่ 16 กรณีมีสายดินและสายนิวทรัลมีการต่อถึงกัน

ที่มา: วสท. (2545)

ส่วนประกอบของการต่อลงดินที่สมบูรณ์แบ่งออกเป็น 5 ส่วนดังนี้

- 1.หลักดินหรือระบบหลักดิน
2. สายต่อหลักดิน
3. สายที่มีการต่อลงดิน
4. สายต่อฝาก
5. N-G Bonding
- 6.สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า
- 7.สายนิวทรัล



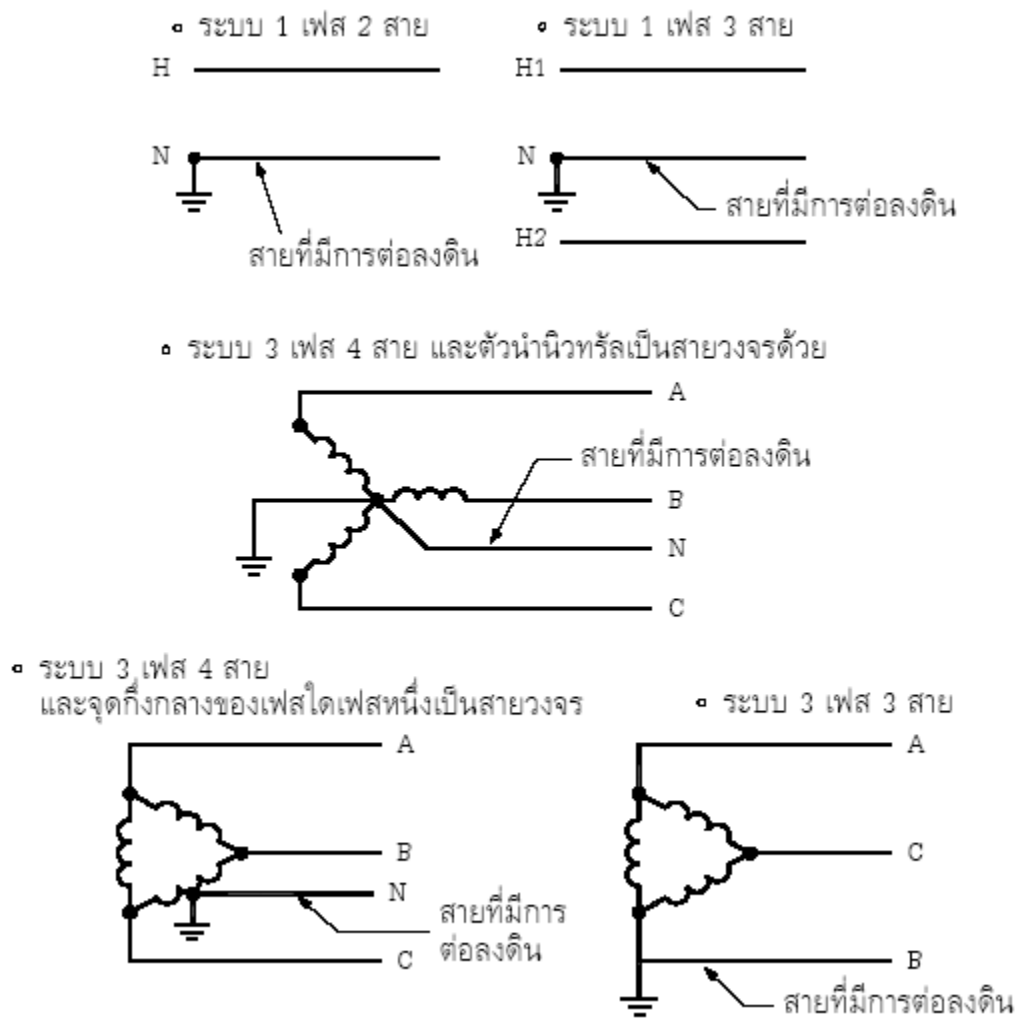
ภาพที่ 17 ส่วนประกอบต่างๆของระบบการต่อลงดิน

ที่มา: วสท. (2545)

ชนิดการต่อลงดิน การต่อลงดินแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ (วิวัฒน์, 2547)

1. การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า
2. การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่ต้องการมีการต่อลงดิน (50-1000 V)

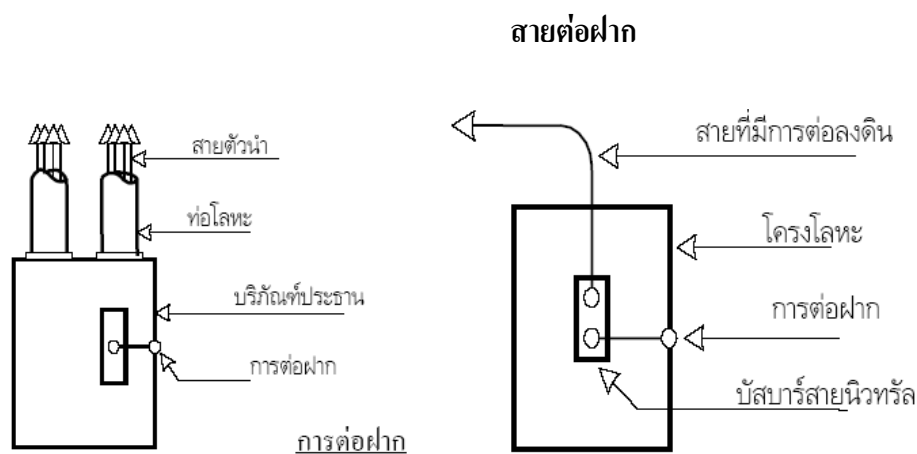


ภาพที่ 18 ระบบไฟฟ้าที่ต้องการมีการต่อลงดิน

ที่มา: วสท. (2545)

วิธีการต่อลงดินที่ถูกต้อง

1. ต้องมีลักษณะดังนี้
 - 1.1 ต้องเป็นชนิดติดตั้งถาวรและมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า
 - 1.2 มีขนาดเพียงพอรับกระแสลัดวงจร
 - 1.3 มีอิมพีแดนซ์ต่ำ
2. ใช้หลักดินร่วมกัน
3. ใช้สายดินถูกชนิด เดินสายดินร่วมไปกับสายวงจร จะเป็นสายเปลือยหรือสายมีฉนวนก็ได้ ต้องเป็นสีเขียวหรือสีเขียวแถบเหลืองก็ได้ ยกเว้น มีขนาดมากกว่า 10 mm^2 ให้ใช้แถบสีแทนได้
4. ยึดติดแน่นกับโครงสร้างโลหะ
5. สายบริเวณที่ต่อต้องยึดกับตัวเสียบเป็นการถาวร



ภาพที่ 19 แสดงการต่อสายต่อฝาก

ที่มา: วสท. (2545)

สายต่อฝากจุดประสงค์เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าและรับกระแสลัดวงจรได้

การต่อฝากที่บรืกัณฑ์

1. ส่วนที่เป็นโลหะหรือเครื่องห่อหุ้มต้องมีการต่อถึงกัน
2. ท่อสายโลหะรางเคเบิล และเปลือกโลหะของสายเคเบิลและสายต่อหลักดิน
3. บุขซึ่งที่ไ้ใช้ต้องมีการต่อสายดิน
4. เกลียวหรือหน้าสัมผัสต้องมีการชุบสีที่เคลือบออกก่อนที่จะต่อ

ชนิดของสายต่อฝากและวิธีการต่อ

1. ต้องเป็นชนิดตัวนำทองแดง
2. ต้องใช้วิธี Exothermic Welding
3. ต้องมีขนาดสายไม่น้อยกว่าตาราง 8
4. สายต่อฝากบรืกัณฑ์ไฟฟ้าด้านไฟออกให้ใช้ตาราง 9

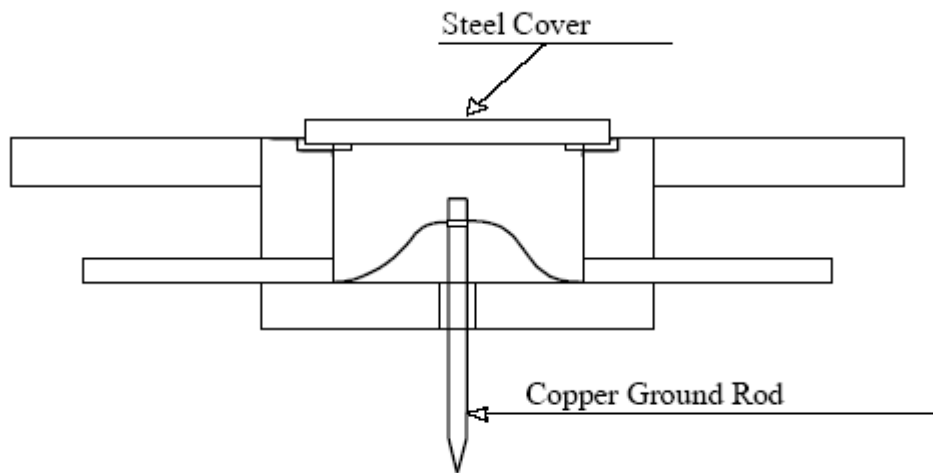
สายต่อหลักดินต้องมีลักษณะดังนี้

1. ต้องเป็นตัวนำทองแดง
2. เป็นชนิดตัวนำเดี่ยวหรือตัวนำตีเกลียว
3. หุ้มฉนวน
4. ต้องเป็นสายเส้นเดียวไม่มีการตัดต่อ

สายดินของบรืกัณฑ์ไฟฟ้าต้องมีลักษณะดังนี้

1. ตัวนำทองแดงหุ้มฉนวนหรือไม่หุ้มก็ได้
2. สามารถใช้เปลือกโลหะของสายชนิด AC MI MC เป็นตัวนำลงดินได้

สายที่มีการต่อลงดินจากหม้อแปลงไฟฟ้ามาสู่ห้อง MDB ต้องมีขนาดดังนี้ให้คิดตามตารางที่ 3 ถ้าโตกว่าให้คิด 12.5% ของสายประธาน วิธีการติดตั้งสายต่อหลักดินและสายดินบรืกัณฑ์ต้องยึดแน่นกับสิ่งรองรับ มีท่อสายไฟฟ้าหรือใช้เคเบิลแบบมีเกราะเมื่อใช้ในสถานที่ที่เสี่ยงต่อความเสียหายเครื่องห่อหุ้มโลหะของสายดินจะต้องมีความต่อเนื่องทางไฟฟ้า สายดินของบรืกัณฑ์ไฟฟ้าต้องติดตั้งโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสมและขันให้แน่นจุดต่อของสายดินต่อหลักดิน ต้องอยู่ในที่เข้าถึงได้ ยกเว้นในกรณีคอนกรีตหรือฝังดิน ต้องเลือกจุดต่อและวิธีการต่อเพื่อให้มีความคงทนและใช้ได้

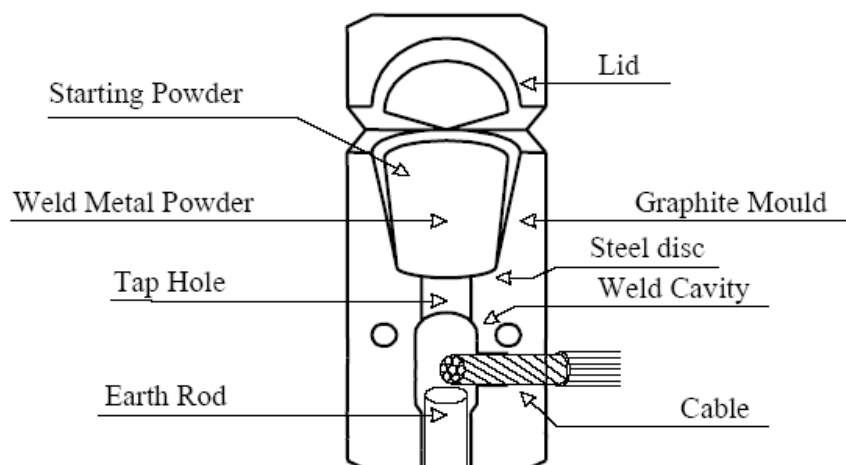


ภาพที่ 20 แสดงการต่อสายดินเข้ากับหลักดิน

ที่มา: วสท. (2545)

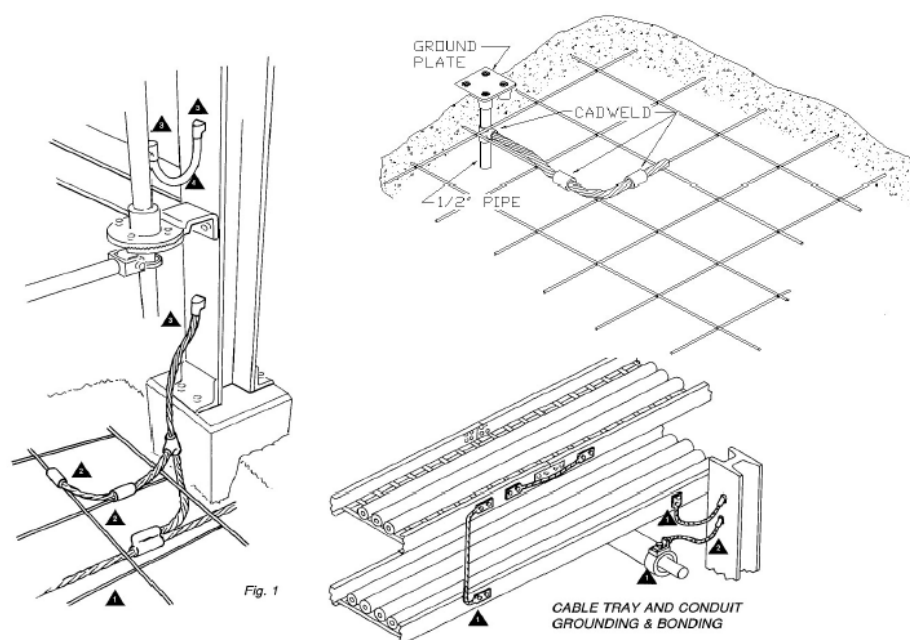
สายต่อหลักดินเข้ากับหลักดิน

การต่อสายดินเข้ากับสายหรือบริภัณฑ์ไฟฟ้าต้องใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน ใช้หัวต่อแบบ บีบ ประกับจับสาย ห้ามต่อโดยการใช้บัดกรีเป็นหลัก



ภาพที่ 21 แสดงวิธีการต่อสายดินเข้ากับหลักดินโดยใช้วิธีเชื่อมด้วยความร้อน

ที่มา: วสท. (2545)



ภาพที่ 22 แสดงตัวอย่างการต่อสายดินเข้ากับส่วนต่างๆ

ที่มา: วสท. (2545)

ตารางที่ 2 ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดินในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

ขนาดตัวนำประธาน (ตัวนำทองแดง) (mm ²)	ขนาดต่ำสุดของสายต่อหลักดิน(ตัวนำทองแดง) (mm ²)
ไม่เกิน 35	10
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	16
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	25
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	35
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	50
เกิน 35 แต่ไม่เกิน 50	70
เกิน 500	95

ตารางที่ 3 ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของ เครื่องป้องกันกระแสเกินไม่เกิน(แอมแปร์)	ขนาดต่ำสุดของสายดินสายบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (mm ²)
16	1.5
20	2.5
40	4
70	6
100	10
200	16
400	25
500	35
800	50
1000	70
1250	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

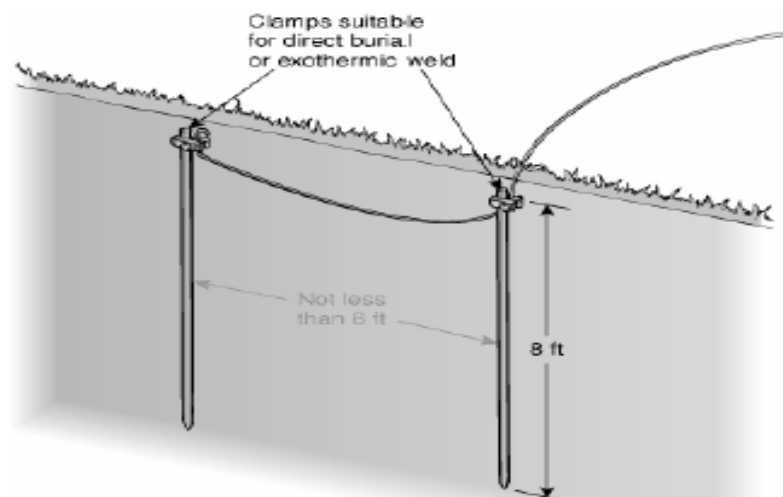
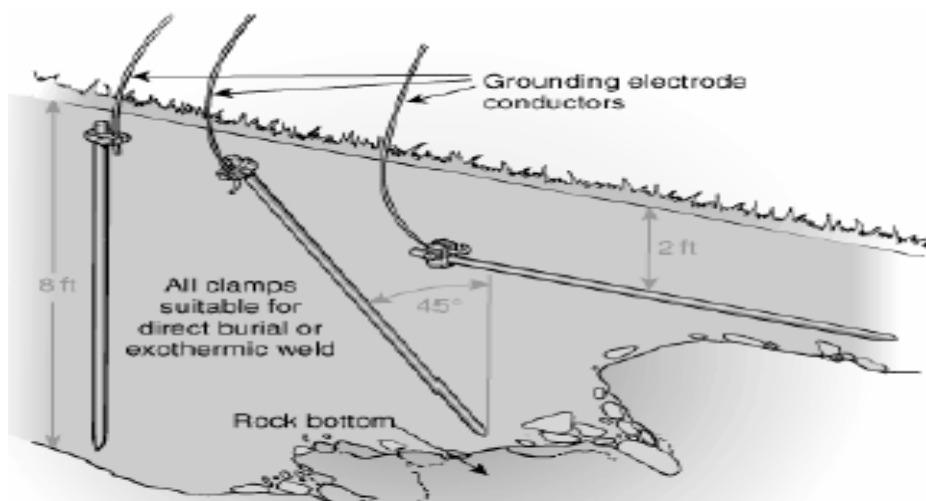
ระบบหลักดิน

สภาพการนำไฟฟ้าของดิน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆดังนี้ สัดส่วนของเกลือแร่ที่ละลายในดิน องค์ประกอบของดิน ขนาดของอนุภาคดิน ความหนาแน่นของดิน อุณหภูมิ ความชื้น เงื่อนไขสภาพอากาศ ชนิดของหลักดินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. หลักดินที่มีอยู่แล้ว ท่อโลหะใต้ดิน โครงโลหะของอาคาร เสาเข็มเหล็ก โครงสร้างโลหะใต้ดิน
2. หลักดินที่สร้างขึ้น แท่งดิน หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต แผ่นโลหะ ระบบหลักดินแบบวงแหวน กริด

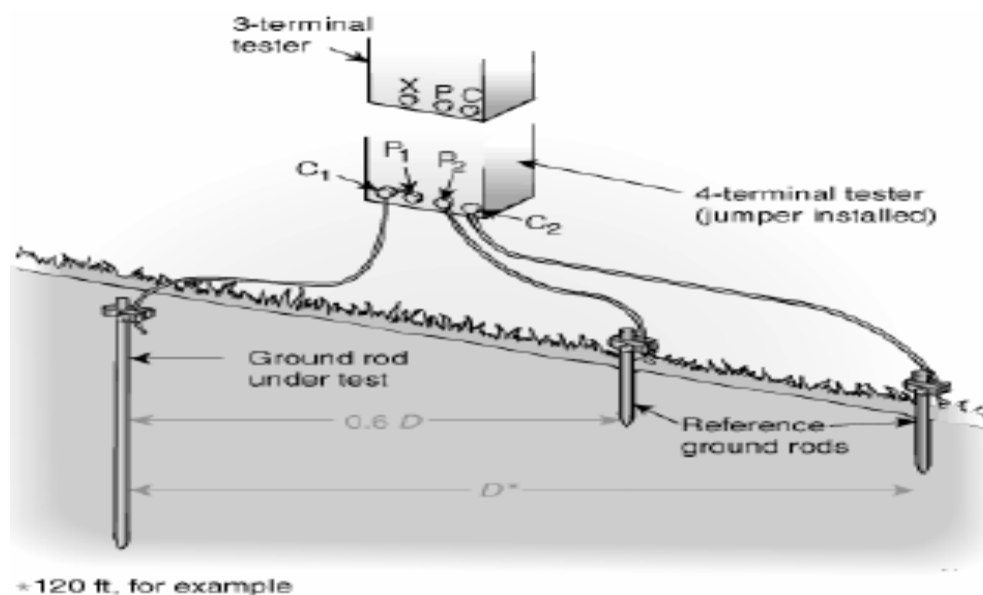
ระบบหลักดินที่ทำขึ้นแบบต่างๆ

1. แท่งดิน นิยมใช้กันมากที่สุด ราคาถูก ติดตั้งง่าย เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5/8 นิ้วและยาวไม่น้อยกว่า 2.4 เมตร ทองแดงเป็นโลหะที่ดีที่สุดที่ใช้ทำหลักดิน เพื่อให้ความแข็งแรงทางกลดี ขึ้นควรเป็นเหล็กหุ้มด้วยทองแดง



ภาพที่ 23 หลักดิน

ที่มา: วสท. (2550)



ภาพที่ 24 การวัดค่าความต้านทานดิน

ที่มา: วสท. (2550)

การคำนวณความต้านทานดินแบบแท่งดินตามแนวลึก

ถ้าดินมีความจำเพาะสม่ำเสมอค่าความต้านทานดินของแท่งดินที่ฝังตามแนวลึกในเนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอ(สำรวจ, 2528)

$$R = \rho / 2\pi L [\ln(4L/r) - 1] \quad (\Omega) \quad (1)$$

ความหมายของค่าตัวแปรต่างๆ

R คือ ความต้านทานดิน

L คือ ความยาวของแท่งดิน (m)

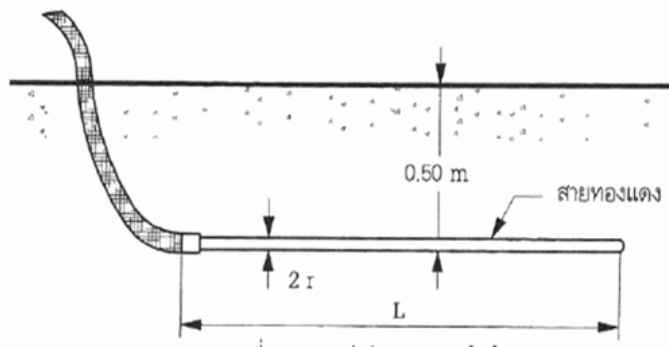
R คือ รัศมีสมมูลของหลักดิน (m)

ρ คือ ความต้านทานเฉพาะของดิน ($\Omega \cdot m$)

ln คือ Natural Logarithm

การคำนวณความต้านทานดินแบบแท่งดินตามแนวผิวดินถ้าดินมีความต้านทานจำเพาะสม่ำเสมอ ค่าความต้านทานดินของแท่งดินที่ฝังตามแนวลึกในเนื้อดินที่มีความสม่ำเสมอ

$$R = \rho / \pi L [\ln(2L/r) - 1] \quad (2)$$

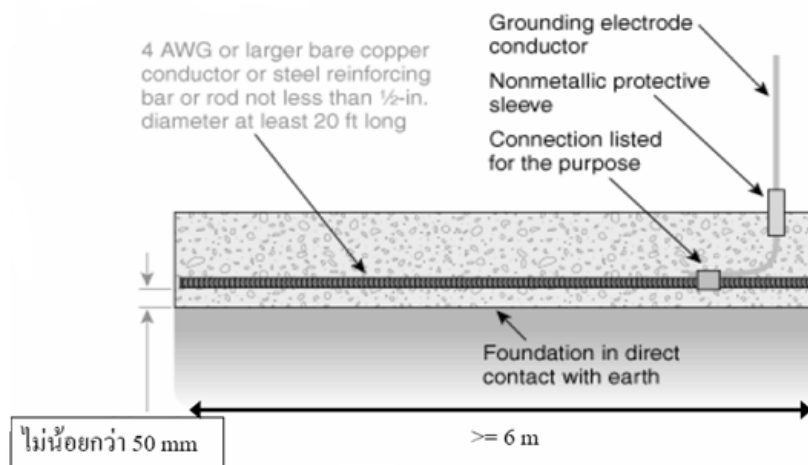


ภาพที่ 25 แท่งหลักดินตามแนวนอน

ที่มา: ตำราฯ (2528)

2. หลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

คอนกรีตที่อยู่ต่ำกว่าระดับดินซึ่งมีความชื้นอยู่รอบๆเป็นวัสดุกึ่งตัวนำไฟฟ้า



ภาพที่ 26 แท่งหลักดินที่หุ้มด้วยคอนกรีต

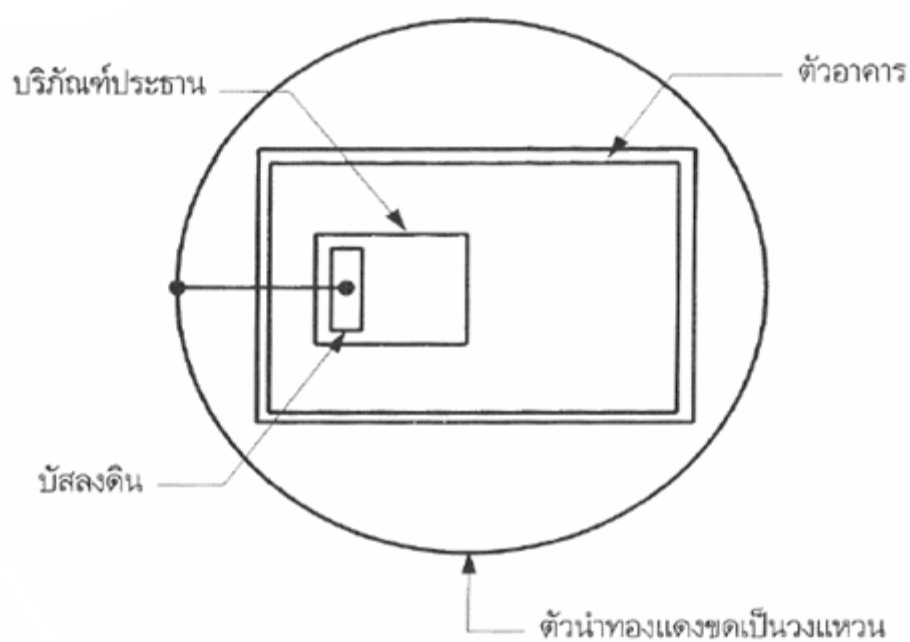
ที่มา: ตำราฯ (2528)

3. แผ่นโลหะ

ต้องเป็นชนิดกันการกัดกร่อน พื้นผิวสัมผัส ไม่น้อยกว่า 0.18 m^2 เหล็กอาบโลหะชนิดกันการผุกร่อนต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โลหะกันการผุกร่อนชนิดอื่นที่ไม่ใช่เหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร

4. หลักดินแบบวงแหวน

ตัวนำทองแดงเปลือยยาวไม่น้อยกว่า 20 ฟุตขนาดไม่เล็กกว่า 35 mm^2 มาขุดเป็นวงแหวน

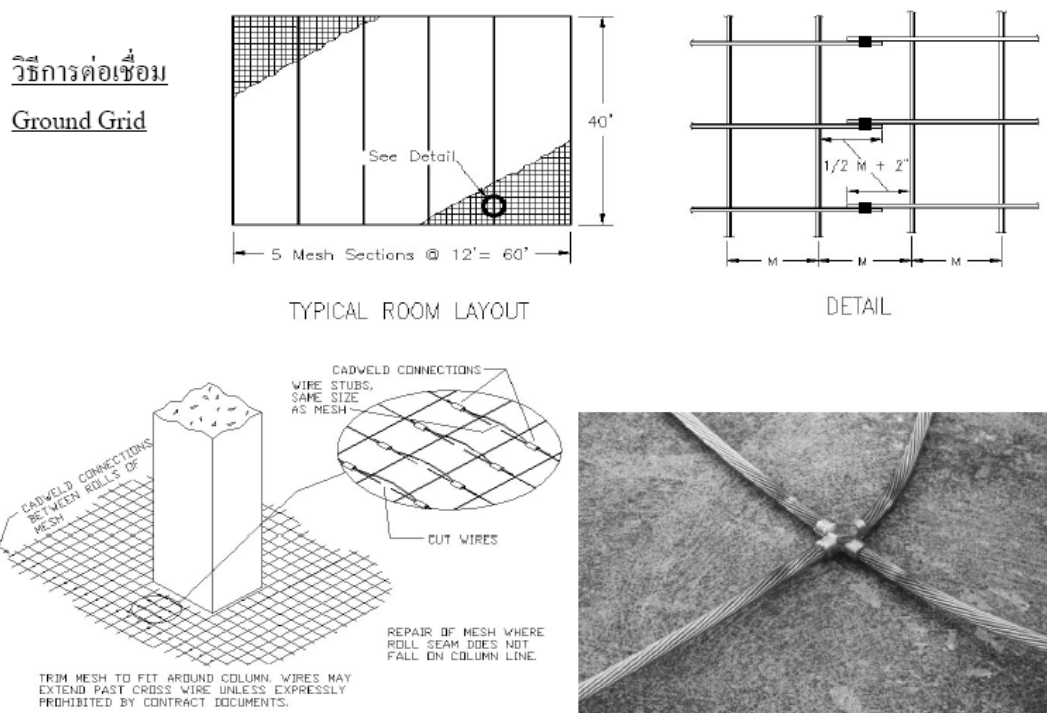


ภาพที่ 27 การใช้หลักดินเป็นวงแหวนเป็นระบบหลักดิน

ที่มา: ตำรวจ (2528)

5. กริด

ใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อย ครอบคลุมสถานีไฟฟ้า อาจเลี้ยวออกมา ตัวนำฝังลึกประมาณ 0.5 ฟุต จัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม 10 – 12 ฟุต ใช้หिनกรวดโรยทั่วบริเวณเพื่อลดแรงดันช่วงก้าว



ภาพที่ 28 การต่อเชื่อมกราวด์กริด

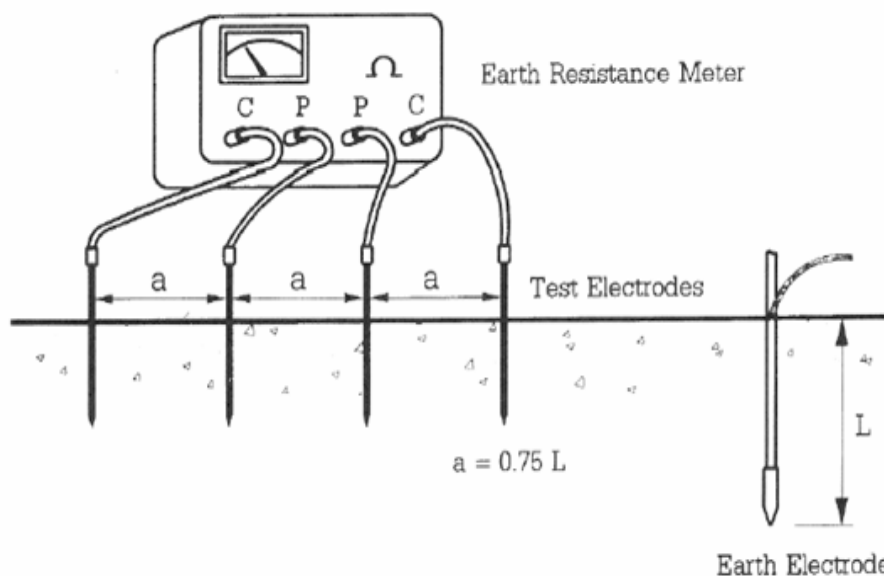
ที่มา: ตำราฯ (2528)

การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

ใช้วิธีของเวนเนอร์โดยอาศัยหลักการการเปรียบเทียบแรงดันของ Bridge Meter เครื่องวัดชนิดนี้เรียกว่า “Earth Resistance Meter” ประกอบด้วยขั้วออก 4 ขั้ว พร้อมกับอิเล็กโตรดช่วยอีก 4 ตัวอิเล็กโตรดจะถูกตอกลงดินในแนวตั้งด้วยระยะห่าง “a” เท่ากันลึกประมาณ 0.3–0.5 m (วสท, 2550)

$$\rho = 2\pi a R \quad (\Omega.m) \quad (3)$$

ระยะห่าง a เพิ่มขึ้นกระแสทดสอบจะไหลทะลุไปตามชั้นของดินที่อยู่ลึกกว่า ดังนั้นค่าความต้านทานจำเพาะที่วัดได้อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานจำเพาะของดินที่กระแสนั้นไหลผ่าน

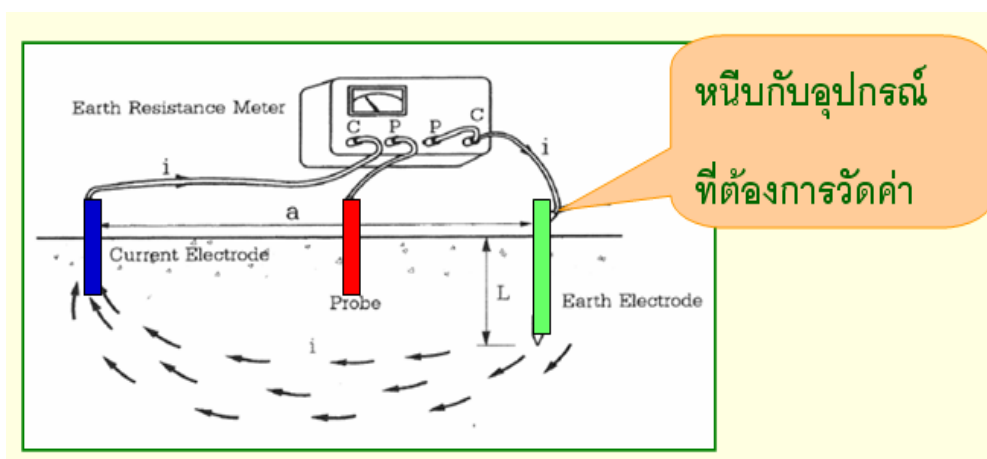


ภาพที่ 29 การวัดความต้านทานจำเพาะของดิน

ที่มา: สำรวย (2528)

การวัดความต้านทานดินของหลักดิน

เครื่องวัดความต้านทานดินจะเป็นชนิดเดียวกันกับเครื่องวัดความต้านทานจำเพาะของดิน ความถูกต้องขึ้นอยู่กับความสามารถในการไหลของกระแสทดสอบและลักษณะการวาง Current Electrode เมื่อทำการวัดในดินที่มีความต้านทานจำเพาะสูง มากกว่า $100 \Omega.m$ ต้องลดความต้านทานที่ Current Electrode ลง เพื่อเพิ่มกระแสทดสอบ โดยการนำ Current Electrode หลายๆตัวมาต่อขนานกันทำให้ดินบริเวณ Current Electrode เปียกขึ้นขณะที่กำลังทำการวัดได้เมื่อทำให้การไหลของกระแสทดสอบเป็นไหลได้ดีแล้ว เราก็สามารถอ่านค่าความต้านทานจากมิเตอร์โดยตรง



ภาพที่ 30 ตำแหน่งการวาง Current Electrode เพื่อทำการวัดความต้านทานดินของหลักดิน

ที่มา: ตำรวจ (2528)

ข้อพิจารณาในการวัดความต้านทานดิน Current Electrode และ Probe ต้องตอกในแนวตั้ง และอยู่ในแนวเดียวกันกับ Earth Electrode ถ้าดินมีลักษณะการแบ่งเป็นชั้น จะต้องทำการวัดซ้ำ โดยเปลี่ยนระยะห่างของ Electrode แล้วเลือกใช้ค่าที่มากกว่าความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัดจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ External Current Probe และ Probe ค่าระยะห่างที่ให้ไว้ จะให้ผลการวัดที่ถูกต้อง

$$\text{Earth Electrode} - \text{Current Electrode} = a$$

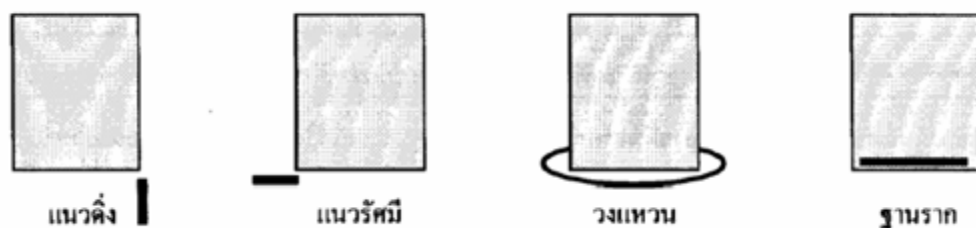
$$\text{Earth Electrode} - \text{Probe} = 0.6a$$

$$a \geq 40 \text{ m ถ้า } L \leq 4 \text{ m}$$

$$a \geq 10.1 \text{ m ถ้า } L > 4 \text{ m}$$

หรือ a ต้องไม่น้อยกว่า 40 เมตรนั่นเอง

ส่วนใหญ่เมื่อพูดถึงการต่อลงดินมักนึกถึงรากสายดินแนวดิ่ง เพราะใช้กันบ่อยมากจนแทบไม่ทราบว่ามีวิธีการต่อลงดินของรากสายดินแบบอื่นๆ อีกหลายแบบการต่อลงดินไม่จำเป็นต้องเป็นแท่งโลหะยาวตอกในแนวดิ่งเท่านั้น แต่อาจอยู่ในรูปแบบต่างๆ ได้เพื่อให้ได้เป้าหมายเหมือนเดิม รากสายดินแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการต่อลงดินมีทั้งแบบรากสายดินแนวดิ่ง แนวรัศมี วงแหวน และฐานรากคอนกรีต

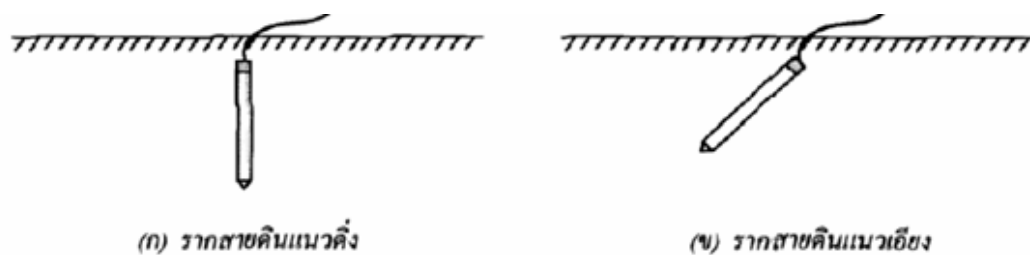


ภาพที่ 31 การต่อลงดินด้วยรากสายดินแบบต่างๆ

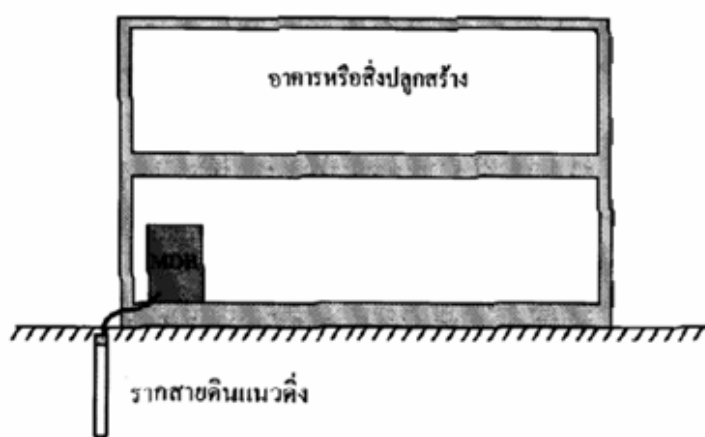
ที่มา: สำรวย (2528)

รากสายดินแนวดิ่ง

รากสายดินแนวดิ่ง ได้แก่ รากสายดินแบบแท่ง เป็นแท่งเหล็กชุบทองแดง ขนาด 5/8 นิ้ว ยาว 2.4-3 เมตรติดตั้งในแนวดิ่งหรือแนวเอียง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมาก สะดวกและง่ายต่อการติดตั้ง แต่บางครั้งก็มีปัญหาเนื่องจากดินแข็งไม่สามารถตอกในแนวดิ่งได้ ก็ต้องหาทางตอกในแนวดิ่ง แต่ถ้าไม่สามารถตอกในแนวดิ่งหรือแนวเอียงได้ ก็ ต้องสร้างรากสายดินด้วยวิธีการอื่นแทนระบบ รากสายดินแนวดิ่งใช้กับอาคารหรือบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็กที่ต้องการให้มีการต่อลงดินของระบบ ไฟฟ้า แต่ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่ามักใช้ระบบรากสายดินวงแหวนซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป(วสท, 2550)



รูปที่ 4.1.1 รากสายดินติดตั้งในแนวดิ่งและแนวเอียง

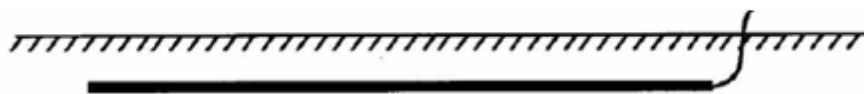


ภาพที่ 32 ระบบรากสายดินแนวดิ่งเพื่อการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

ที่มา : วสท. (2546)

รากสายดินแนวรัศมี

รากสายดินแนวรัศมี ได้แก่ รากสายดินแบบตัวนำติดตั้งในแนวราบ ใช้ในกรณีที่ติดตั้งรากสายดินในแนวดิ่งได้ลำบาก เช่น บริเวณที่ พื้นดินแข็ง หรือเป็นบริเวณหินกรวด เป็นต้น โดยทั่วไปความยาวของรากสายดินในแนวราบจะต้องยาวประมาณสองเท่าของรากสายดินในแนวดิ่ง จึงจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน เช่น รากสายดินแนวดิ่งใช้ความยาว 3 เมตร รากสายดินในแนวราบให้ใช้ 6 เมตร เป็นต้น แต่ต้องการคำนวณค่าอย่างละเอียดว่ารากสายดินแนวรัศมีควรมีความยาวเท่าใด เมื่อเทียบกับรากสายดินแนวดิ่ง ก็ สามารถคำนวณได้จากสูตรคำนวณ



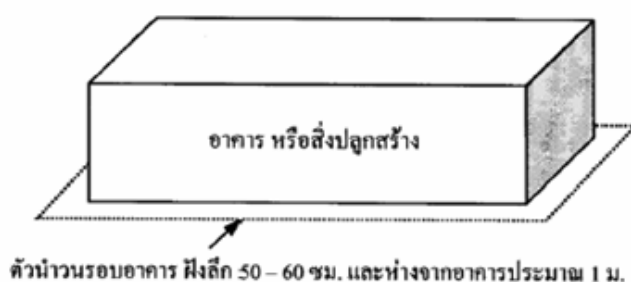
ภาพที่ 33 รากสายดินแนวนัศมี

ที่มา: วสท. (2546)

ระบบรากสายดินแนวนัศมีใช้กับอาคารหรือบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็กที่มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นหินกรวด ซึ่งไม่สามารถติดตั้งระบบรากสายดินแนวนัศมีได้ นอกจากนี้ระบบรากสายดินแนวนัศมียังใช้กับเสาสูงที่ติดตั้งบนเขา หรือบนพื้นหินกรวด ซึ่งสามารถติดตั้งระบบรากสายดินแนวนัศมีที่สามารถฝังตัวนำได้ยาวในพื้นที่ของตนเอง

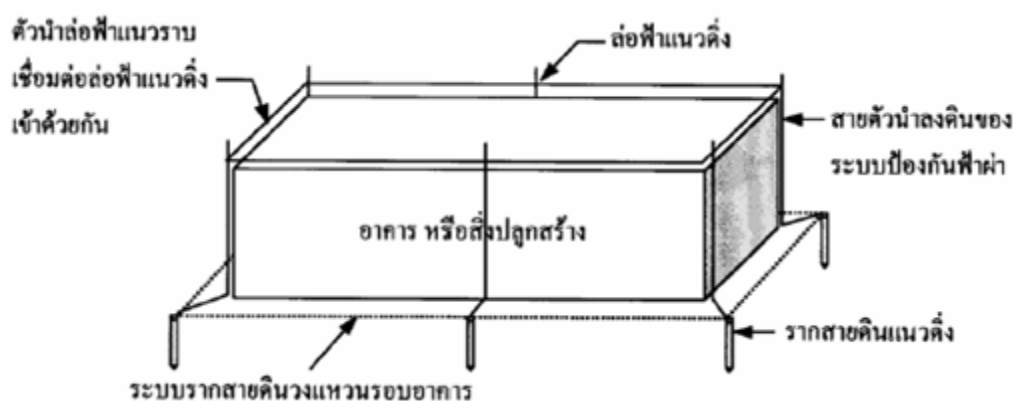
รากสายดินวงแหวน

รากสายดินวงแหวนเป็นรากสายดินที่มีตัวนำวนรอบเป็นวงแหวน หรือวนตัวนำรอบอาคาร ทำหน้าที่ให้ความต้านทานดินต่ำ นอกจากนี้ทำให้แรงดันอย่างต่ำน้อยลงสำหรับคนที่ก้าวออกจากตัวอาคารในขณะที่เกิดฟ้าผ่าหรือเกิดลัดวงจรระบบไฟฟ้าลงดินระบบรากดินวงแหวนรอบอาคารมักใช้กับอาคารขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วย เพื่อรองรับการต่อสายตัวนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าเข้ากับรากสายดินแบบนี้



ภาพที่ 34 รากสายดินวงแหวนรอบอาคาร

ที่มา: วสท. (2546)

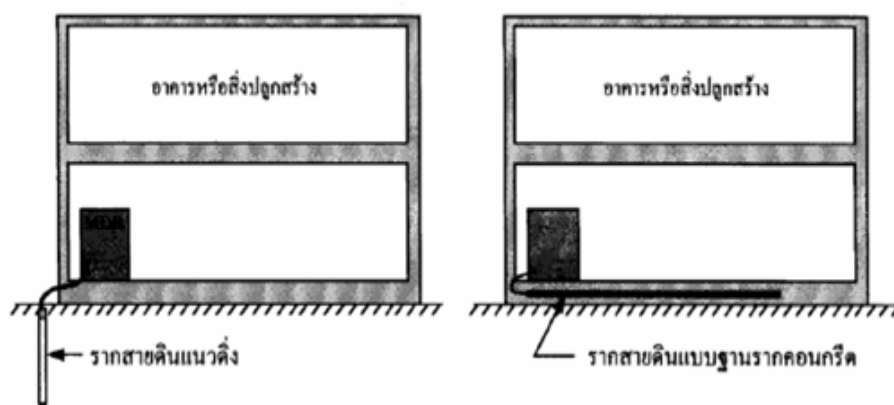


ภาพที่ 35 การติดตั้งระหว่างรากสายดินวงแหวนรอบอาคารและระบบป้องกันฟ้าผ่า

ที่มา: วสท. (2546)

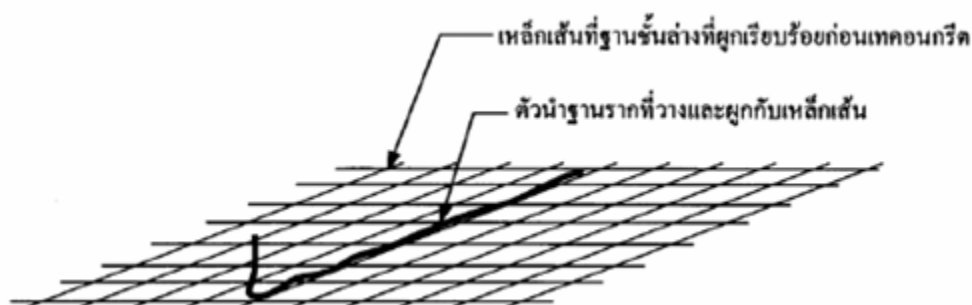
รากสายดินฐานรากคอนกรีต

รากสายดินฐานรากคอนกรีต ได้แก่ ตัวนำทองแดง หรือเหล็กชุบสังกะสีฝังในคอนกรีต ซึ่งรากสายดินแบบนี้ต้องดำเนินการติดตั้งตั้งแต่ตอนที่เริ่มก่อสร้างอาคาร โดยทั่วไปรากสายดินแบบนี้ยังไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้ เนื่องจากช่างหรือวิศวกรยังไม่คุ้นเคย ทำให้เกิดความไม่แน่ใจว่าใช้ได้จริงหรือไม่ รากสายดินฐานรากดังกล่าวต้องติดตั้งตั้งแต่ตอนเริ่มก่อสร้างอาคาร โดยดินตัวนำทองแดงหรือเหล็กชุบสังกะสีขนานไปกับเหล็กเส้น โครงสร้างที่พื้นคอนกรีตชั้นล่างและผูกเข้ากับเหล็กโครงสร้าง ความยาวของตัวนำให้ยาวอย่างน้อย 6 เมตร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับรากสายดินแนวตั้งลึก 3 เมตร แต่โดยทั่วไปก็ติดตั้งตัวนำดังกล่าวให้ยาวเท่ากับความกว้างหรือความยาวของอาคารตลอดแนว เนื่องจากก็ไม่ได้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้นเท่าใดนัก ถ้าอาคารไม่ใหญ่โตมาก ตัวนำทองแดงหรือเหล็กชุบสังกะสีที่ติดตั้งต้องไม่เชื่อมกับเหล็กเส้นของโครงสร้างยกเว้นจะได้รับอนุญาตจากวิศวกร โครงสร้างตัวนำทองแดงหรือเหล็กชุบสังกะสีที่ผูกเข้ากับเหล็กเส้นก็ถือว่าเป็นเพียงพอ เพราะตัวนำดังกล่าวถือว่าเป็นหน้าที่รากสายดินแล้ว ส่วนถ้าเหล็กเส้น โครงสร้างช่วยเป็นตัวนำกระแสเพื่อให้กระจายไหลไปก็ถือว่าเป็นผลพลอยได้สำหรับอาคารที่อยู่บนเขาหรือพื้นที่เป็นหินกรวดส่วนใหญ่ก็ควรติดตั้งตัวนำวนรอบอาคารเพิ่มเพื่อลดแรงดันอย่างก้าว



ภาพที่ 36 รากสายดินฐานรากเปรียบเทียบกับแนวดิ่ง

ที่มา: วสท. (2546)



ภาพที่ 37 การทำรากสายดินแบบฐานรากคอนกรีตก่อนเทคอนกรีต

ที่มา: วสท. (2546)

รากสายดินโครงโลหะ

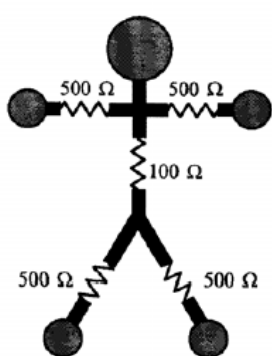
รากสายดินโครงโลหะได้แก่โครงโลหะที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารโดยมีฐานโลหะฝังลงในดิน หรือพื้นคอนกรีต และนำมาทำเป็นรากสายดิน ที่เห็นบ่อยได้แก่โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เสาเหล็กเป็นโครงสร้างโรงงานและเสาเหล็กดังกล่าว ฝังลงดินที่พื้นดังนั้นเสาเหล็กดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นรากสายดิน

ความต้านทานร่างกายมนุษย์และกระแสที่อันตราย

การต่อลงดินเพื่อความปลอดภัย จำเป็นต้องทราบค่าความต้านทานร่างกายมนุษย์ เพื่อไปใช้คำนวณหากระแส และต้องทราบว่ากระแสขนาดเท่าใดที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์แล้วทำให้เสียชีวิตได้ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงความต้านทานร่างกายมนุษย์ว่าแทนได้ด้วยความต้านทานหรืออิมพีแดนซ์เท่าใด และกระแสที่ไหลผ่านร่างกายแล้วทำให้มนุษย์เสียชีวิตมีค่าเท่าใด โดยศึกษาจากทั้งมาตรฐาน IEEE IEC ประกอบและเปรียบเทียบกัน

ความต้านทานร่างกายมนุษย์

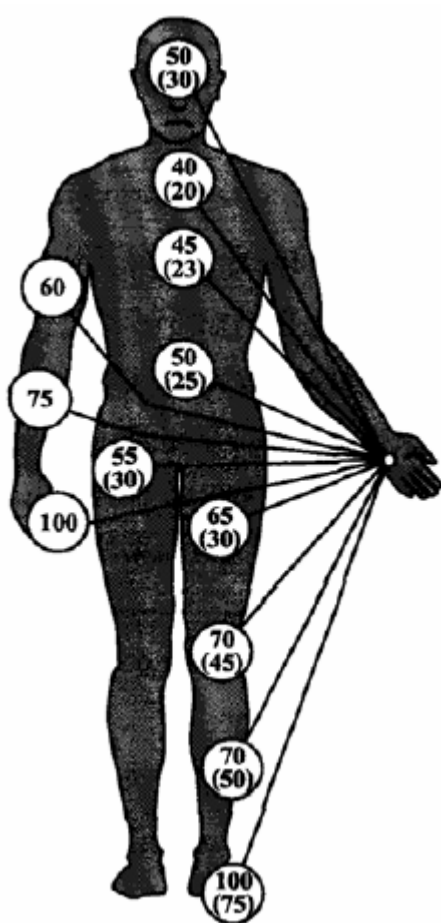
ความต้านทานที่ต่ำที่สุดของร่างกายอยู่ระหว่าง 500 – 1,000 โอห์ม คำนี้นี้วัดโดยไม่คิดความต้านทานของผิวหนัง ถ้าผิวหนังค่อนข้างแห้งจะให้ความต้านทานสูงมากปริมารกระแสที่ไหลผ่านร่างกายได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้น เส้นทางการไหลของกระแส ขนาดของร่างกาย เพศ ความหยาบของผิวหนัง ความต้านทานของร่างกายมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1,000 โอห์มไปจนถึงมากกว่า 100,000 โอห์มจากรูปที่สมมติให้ความต้านทานจากแขนข้างหนึ่งถึงแขนอีกข้างหนึ่งมีค่า $500 + 500 = 1,000$ โอห์ม ที่แรงดันกระแสสลับ 120 โวลต์จะมีกระแสไหลผ่านร่างกายในเส้นทางดังกล่าวเท่ากับ $120/1,000 = 0.12$ แอมแปร์ จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความต้านทานของร่างกายมีค่าไม่คงที่แต่เป็นฟังก์ชันขึ้นกับเวลาและแรงดัน (พูลพงษ์, 2546)



ภาพที่ 38 แสดงค่าความต้านทานของร่างกาย

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

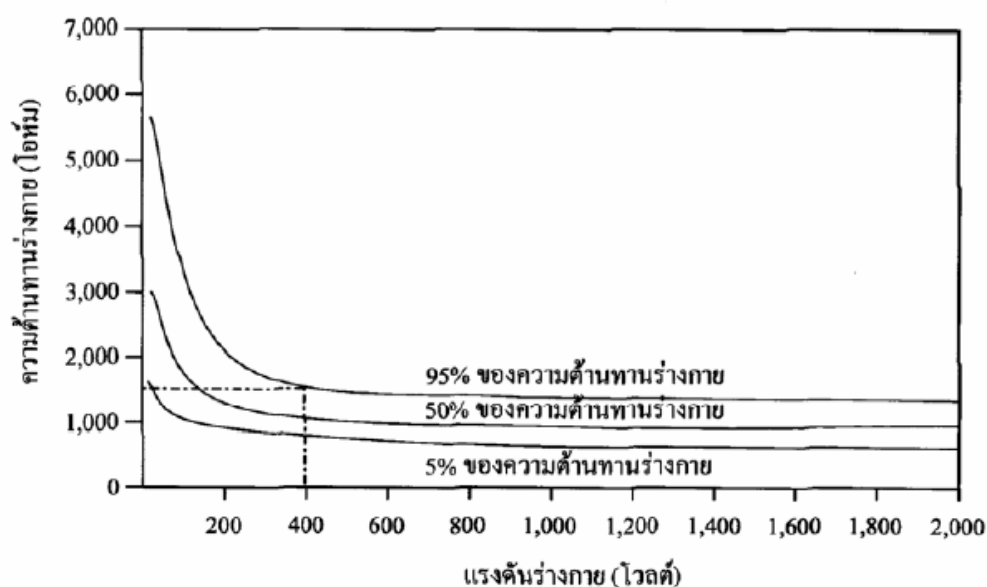
เมื่อพิจารณาให้ละเอียดมากยิ่งขึ้นพบว่า ร่างกายของคนประกอบด้วยเนื้อเยื่อและของเหลวมากมายซึ่งมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าต่างกัน ในปี ค.ศ. 1984 Commission Electro technique International ได้ตีพิมพ์รายงานความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของร่างกายสำหรับพื้นที่สัมผัสขนาดใหญ่ ค่าอิมพีแดนซ์ แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์เทียบกับอิมพีแดนซ์จากแขนข้างหนึ่งไปยังแขนอีกข้างหนึ่ง ซึ่งมีค่า 500 โอห์ม โดยมี 5% percentile rank ซึ่งแสดงในรูปที่ ค่าเปอร์เซ็นต์ความต้านทานร่างกายเมื่อคิดความต้านทานจากแขนข้างหนึ่งไปยังแขนอีกข้างหนึ่งเป็น 100% มีค่าเท่ากับ 500 โอห์ม



ภาพที่ 39 แสดงค่าความต้านทานของร่างกายตามส่วนต่างๆ

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

ตัวเลขอวกงเล็บคือเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เมื่อกระแสไหลจากแขนข้างหนึ่งไปยังส่วนต่างๆ เหล่านั้น ตัวเลขในวงเล็บคือเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เมื่อกระแสไหลจากแขนทั้งสองข้างไปยังส่วนต่างๆ เหล่านั้นตาม IEC



ภาพที่ 40 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ความต้านทานของร่างกายและแรงดันที่ป้อนให้กับร่างกาย

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

กระแสที่เป็นอันตรายกับมนุษย์

ปริมาณกระแสที่ผ่านร่างกายนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้น เส้นทางของร่างกายที่กระแสไหลผ่าน เช่น จากแขนซ้ายไปแขนขวา เพศ ขนาดของร่างกาย สภาพผิวหนัง หรือแม้แต่อาหารและเครื่องดื่ม ล้วนมีผลทั้งสิ้น ความต้านทานของร่างกายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 1,000 ถึง มากกว่า 100,000 โอห์ม ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น

ผลของเส้นทางการไหลของกระแส

เส้นทางการไหลของกระแสที่ต่างกันให้ผลต่อร่างกายมนุษย์ต่างกัน เช่น กระแสที่ไหลผ่านร่างกายระหว่างเท้า-เท้า มีอันตรายน้อยกว่ากระแสนาเดียวกันที่ไหลผ่านร่างกายจากมือถึงเท้าทั้งสองข้าง ซึ่ง Loucks ได้ทดสอบเรื่องนี้แล้วพบว่า อัตราส่วนระหว่างกระแสที่ไหลผ่านระหว่างเท้า-เท้า กับกระแสที่ไหลผ่านมือเท้าโดยที่มีกระแสที่ไหลผ่านบริเวณหัวใจเท่ากันมีอัตราส่วนของกระแสเท่ากับ 25 : 1

ผลของความถี่

ผลของกระแสที่ไหลผ่านร่างกายคนและทำให้เกิดอันตราย ขึ้นกับระยะเวลา และความถี่ของกระแสอันตรายที่เกิดขึ้นมากที่สุด ได้แก่ หัวใจเต้นผิดปกติ เนื่องจากเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจทำงานไม่สัมพันธ์กันทำให้ไม่สามารถสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจได้มนุษย์จะได้รับอันตรายเนื่องจากไฟฟ้าที่ความถี่ 50 – 60 เฮิร์ตซ์ เมื่อความถี่สูงกระแสจะทำให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ก็จะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งในมาตรฐาน IEC 60479-2 (1987-03) ได้มีการกำหนดขนาดกระแสที่มีอันตรายกับมนุษย์ตามฟังก์ชันของความถี่อันตรายจากปริมาณกระแสพิจารณาที่ความถี่ 50/60 เฮิร์ตซ์ และความถี่อื่นๆ ได้

ผลของขนาดกระแส

ผลของกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์ตามขนาดกระแสที่เพิ่มขึ้น คือ รู้สึกถึงไฟดูด กล้ามเนื้อเกร็ง ไม่รู้สึกตัว หัวใจไม่ทำงาน ระบบประสาทควบคุมการหายใจไม่ทำงาน และการเผาไหม้ตามลำดับ ซึ่งระดับของกระแสที่พิจารณามีตั้งแต่ กระแสเริ่มรับรู้ กระแสปลดปล่อยให้กระแสที่ทำให้กล้ามเนื้อเกร็งและกระแสที่ทำให้หัวใจไม่ทำงาน การเสียชีวิตที่ระดับแรงดันต่ำเช่น 120/240 โวลต์ เชื่อว่าเกิดจากอาการกล้ามเนื้อหัวใจเกร็ง โดยขึ้นอยู่กับชนิดของการสัมผัสทางไฟฟ้าและระดับกระแสที่สร้างขึ้นจากแรงดัน

ก. การรับรู้ถึงกระแส ค่าเฉลี่ย 1 มิลลิแอมแปร์ เป็นขนาดกระแสที่ทำให้มนุษย์รับรู้ได้ถึงกระแสที่ไหลผ่าน

ข. กระแสปลดปล่อย ค่าเฉลี่ย 1-6 มิลลิแอมแปร์ เป็นขนาดกระแสที่ทำให้รู้สึกไม่พอใจที่จะจับต่อ แต่ไม่ทำให้สูญเสียการควบคุม

ค. กล้ามเนื้อเกร็ง ค่าเฉลี่ย 9-25 มิลลิแอมแปร์ เป็นขนาดกระแสที่ทำให้กล้ามเนื้อเกร็งและไม่สามารถควบคุมกล้ามเนื้อได้ ผลไม่ถาวรและหายได้เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่าน

ง. หัวใจไม่ทำงาน ค่าเฉลี่ย 60-100 มิลลิแอมแปร์ เป็นขนาดกระแสที่ทำให้ หัวใจไม่ทำงาน หรือ ทำงานไม่สัมพันธ์ ทำให้ไม่สามารถสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงร่างกายได้ผลของการศึกษาวิจัยผลของไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ ที่มีต่อร่างกายมนุษย์ พบว่า ผลตอบสนองของร่างกายที่มีผลต่อกระแสตรงและกระแสสลับแตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ผลของร่างกายที่มีต่อขนาดกระแสไฟฟ้าตรงกระแสสลับความถี่ 60 เฮิร์ตซ์

ผลที่เกิดขึ้น	กระแสตรง(mA)		กระแสสลับ(mA)	
	ชาย	หญิง	ชาย	หญิง
ไม่มีความรู้สึก	1	0.6	0.4	0.3
รับรู้ว่ามีกระแสไหลผ่าน	5.2	3.05	1.1	0.7
ซ็อก ไม่เจ็บปวดและควบคุมกล้ามเนื้อได้	9	6	1.8	1.2
ซ็อก เจ็บปวดและควบคุมกล้ามเนื้อได้	62	41	9	6
ซ็อก เจ็บปวดแต่ยังปลดออกจากไฟได้	76	51	16	10.5
ซ็อก เจ็บปวดรุนแรงและเกิดการเกร็งของกล้ามเนื้อและหายใจลำบากขึ้น	90	60	23	15

จากค่ากระแสข้างต้นพบว่าช่วงกระแสที่ทำให้ร่างกายได้รับบาดเจ็บมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ขนาดกระแสในช่วง 20-30 มิลลิแอมแปร์ ทำให้เกิดอาการหายใจติดขัด หายใจไม่ออก ขนาดกระแสในช่วง 50-200 มิลลิแอมแปร์ จะทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อหัวใจเกร็ง คือ การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจไม่สัมพันธ์กัน หัวใจเต้นไม่เป็นจังหวะ มักจะพบเมื่อกระแสไหลผ่านหน้าอก เช่น ไหลระหว่างแขนไปแขน หรือ แขนไปขา

ผลของระยะเวลา

ขนาดกระแสที่ระบุในตารางที่เป็นกระแสที่ไหลต่อเนื่องและไม่มีอุปกรณ์ป้องกันตัดวงจร แต่ในกรณีที่มียุอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วตัดวงจรออก กระแสที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ก็มีค่าสูงขึ้นกว่าที่กำหนดข้างต้นความเร็วในการตัดวงจรเป็นตัวจำกัดระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายมนุษย์เมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นในระบบเมื่อมนุษย์ไปสัมผัสโครงโลหะหรือส่วนอื่นในขณะที่มีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้นในระบบจะทำให้กระแสไหลผ่านร่างกาย ซึ่งมนุษย์จะสามารถทนกระแสได้มากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นกับระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายนานมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันตัดวงจรพิจารณาได้สองระดับ คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันหลัก ทำงาน และระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันเสริม ทำงาน ซึ่งเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันหลักทำงานมีค่าน้อยกว่าเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันเสริมทำงาน โดยทั่วไปจะพิจารณาเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันหลักทำงาน เพราะส่วนใหญ่จะใช้อุปกรณ์ป้องกันหลักในการตัดวงจร ยกเว้นกรณีที่ต้องการให้มีความปลอดภัยมากก็ต้องใช้ระยะเวลาในการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันเสริมมาวิเคราะห์จากการวิจัยของ Biegelmeier และ Lee พบว่า ระยะเวลาการตัดวงจรที่น้อยกว่า 0.5 วินาทีเมื่อมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้น ทำให้ร่างกายมนุษย์ได้รับอันตรายเนื่องจากหัวใจไม่ทำงานมากเมื่อมีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกายมนุษย์อยู่ระหว่าง 0.06 – 0.3 วินาที ก็จะเกิดอันตรายเนื่องจากหัวใจไม่ทำงานน้อยลง เพราะค่าระยะเวลาดังกล่าว ใกล้เคียงกับจังหวะที่หัวใจทำงาน

ขีดจำกัดกระแสที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

เมื่อมีกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านร่างกายแล้ว จะเกิดอันตรายต่อมนุษย์มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับขนาดกระแสและระยะเวลา นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิด ว่าเป็นไฟฟ้า กระแสสลับหรือกระแสตรง แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะที่เกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น ซึ่งตามมาตรฐาน IEEE 80-2000 ขนาดกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ผ่านร่างกายมนุษย์ภายในระยะเวลา 0.03 – 3.0 วินาที แล้วพบว่าประชากร 99.5% ยังไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต สำหรับคนน้ำหนัก 50 กิโลกรัม และ สำหรับคนน้ำหนัก 70 กิโลกรัม

$$I_{B,50} = 0.116/\sqrt{t_s} \quad (4)$$

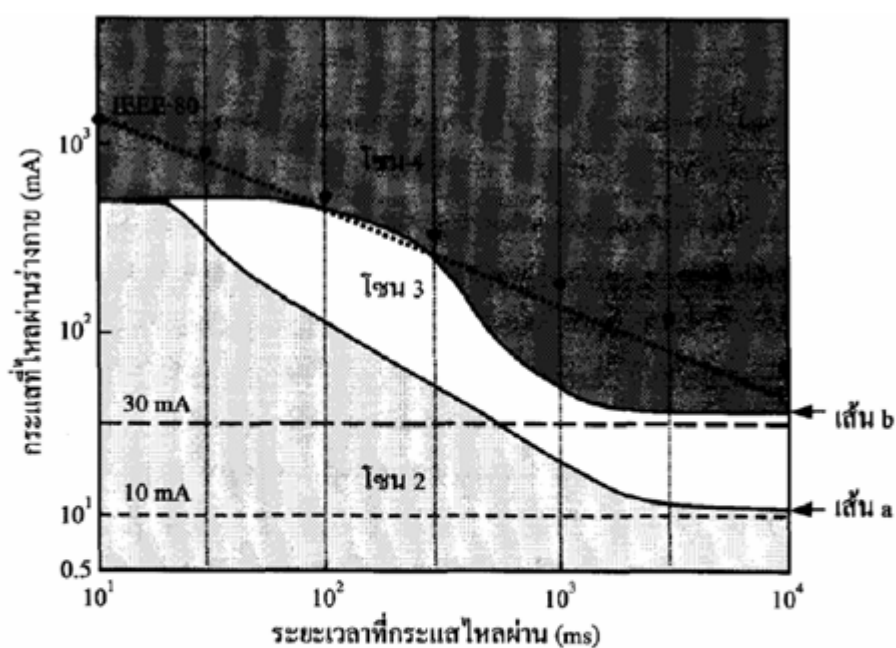
$$I_{B,70} = 0.157/\sqrt{t_s} \quad (5)$$

$I_{B,30}$ คือ ขนาดกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์เมื่อคนมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัมต่อ แอมแปร์

$I_{B,70}$ คือ ขนาดกระแสที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์เมื่อคนมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัมต่อ แอมแปร์

t_s คือ ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านร่างกาย วินาที

เมื่อนำ มาเขียนตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกระแสได้ตามตารางที่ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาดัตถวจรของอุปกรณ์ป้องกัน จะได้ขนาดกระแสต่ำสุดที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์น้ำหนัก 50 กิโลกรัม และไม่ทำให้เกิดอันตรายเนื่องจากหัวใจหยุดเต้น



จากกราฟ เมื่อแบ่งโซนด้วยเส้นทึบ ตามผลของร่างกายที่กระแสไหลผ่าน ดังนี้

- โซน 2 (ระหว่าง 0.5 mA และ เส้น a) - โดยทั่วไปไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย
- โซน 3 (ระหว่างเส้น a และ เส้น b) - โดยทั่วไปจะไม่พบความเสียหายต่ออวัยวะ
- โซน 4 (เหนือเส้น b) - อาจเกิดอาการกล้ามเนื้อหัวใจเกร็ง

ภาพที่ 41 การแบ่งโซนเพื่อแยกประเภทอันตรายของกระแสไฟฟ้า

ที่มา: พูลพงษ์ (2546)

เมื่อนำสมการ ของ IEEE 80-2000 มาเขียนในภาพที่ 41 จะได้เส้นประที่มีความชันคงที่ดังแสดงในภาพที่ 41 ซึ่งความหมายของเส้น IEEE-80 หมายถึง กระแสและเวลาที่มีอันตรายต่อมนุษย์ถึงขั้นหัวใจไม่ทำงานหรือทำงานไม่สัมพันธ์กัน ซึ่งจะมีความหมายเดียวกับเส้นแบ่งระหว่างโซน 3 และโซน 4 ของ IEC 497-1 นั่นเองนอกจากนี้ในรูปที่ให้สังเกตเส้นประ เมื่อขนาดกระแส 10 มิลลิแอมแปร์ และ 30 มิลลิแอมแปร์ซึ่งมักกำหนดไว้สำหรับการทำงานของเครื่องป้องกันไฟรั่ว จะพบว่าถ้าใช้เครื่องป้องกันไฟรั่วแบบ 10 มิลลิแอมแปร์ ก็จะไม่เกิดอันตรายต่อมนุษย์เลย เมื่อถูกดูดด้วยกระแสไฟฟ้าขนาดดังกล่าว หรือถ้าเป็นขนาด 30 มิลลิแอมแปร์ ก็จะเห็นว่าไม่ว่ากระแสจะไหลผ่านร่างกายเป็นระยะเวลาานเท่าใดก็ตามก็ยังอยู่ในโซน 3 เท่านั้นการต่อลงดินมีไว้เพื่อให้มีความต้านทานดินมีค่าต่ำ ซึ่งมีการต่อได้หลายแบบขึ้นอยู่กับสถานการณ์และความสะดวกในการใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องผ่าผ้า Model BT 205 1ผู้ผลิต บริษัท ชิง เซ็น ประเทศ ไต้หวัน
2. เครื่องวัดความต้านทานของดิน
3. เครื่องมือวัดค่าไฟฟ้าสถิต รุ่น STATIZON DZ3 บริษัท SHISHIDO Electrostatic, Ltd.
4. สายไฟฟ้า THW 1x4 mm² ยาว 2 เมตร
5. แผ่นเหล็กขนาด 450 x 450 x 6 mm.
6. รถเข็นผ้า 1.50 x 2.0 x 1.50 m. วัสดุเหล็กกลมหนา 1.2 mm.
7. Air ionizer ยาว 2.40 เมตร ปรับลมได้ 0-6 บาร์
8. ผ้าที่ใช้ทดลองคือ ผ้าฝ้าย และ ผ้าวิสโคสเรยอน
9. Computer PC
10. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น Daichi Model TH-302

วิธีการ

วิธีการของการวิจัยครั้งนี้ เริ่มต้นด้วยการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิตกับเครื่องผ่าผ้า ที่ใช้งานในโรงงานอบผ้า ทำการเก็บข้อมูลจากการผ่าผ้าในโรงงาน โดย เก็บข้อมูลต่างๆ โดยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงระบบป้องกันไฟฟ้าสถิต เก็บข้อมูลข้อมูลทางไฟฟ้าสถิตหลังติดตั้งระบบ Air Ionizer เก็บข้อมูลการติดตั้งระบบบรากสายดิน และเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าสถิตหลังติดตั้งระบบ Air Ionizer ร่วมกับระบบบรากสายดิน โดยทำการทดลองกับผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอน ทำตารางบันทึกค่าความชื้น อุณหภูมิของผ้าแต่ละชนิด ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานก่อนและหลังการติดตั้งระบบ ค่าแรงดันของไฟฟ้าสถิตก่อนและหลังการติดตั้งระบบป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตและนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาเวลาในการคายประจุของไฟฟ้าสถิตที่ทำให้ค่าทางไฟฟ้าสถิตลดลงจนไม่เป็นอันตรายต่อพนักงาน

ขั้นตอนการทำงานในโรงงานย้อมผ้า

ลูกค้าจะส่งผ้าดิบมาให้ทางโรงงานย้อม โดยจะส่งผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอนมาหลังจากทำการย้อมผ้าตามสีที่ลูกค้าต้องการแล้วนำมาผ่าผ้าให้ได้ตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ หลังจากนั้นจึงทำการอบผ้าเพื่อให้ผ้าได้คุณสมบัติตามที่ลูกค้าต้องการ จึงนำผ้าจากขบวนการต่างๆ ส่งให้กับลูกค้าดังแสดงกระบวนการตั้งแต่รับผ้ามาจากลูกค้าจนส่งให้กับลูกค้าในภาพที่ 42 ปัญหาที่พบเวลาที่ทำการผ่าผ้าเสร็จแล้วจะต้องเก็บผ้าใส่รถเข็นผ้าและให้พนักงานเข็นผ้าจากเครื่องผ่าผ้าเพื่อไปทำการอบผ้าอีกทีดังนั้นเวลาที่พนักงานจับที่รถเข็นผ้าจะโดนไฟฟ้าสถิตคู่ต้องเสียเวลาในการรอให้ไฟฟ้าสถิตคายประจุก่อนทำการเข็นรถได้



ภาพที่ 42 กระบวนการผลิตในโรงงานแปซิฟิก



ภาพที่ 43 เครื่องผ่าผ้าด้านหลัง



ภาพที่ 44 รถเข็นผ้า



ภาพที่ 45 ขณะพนักงานจับรถเข็นผ้า

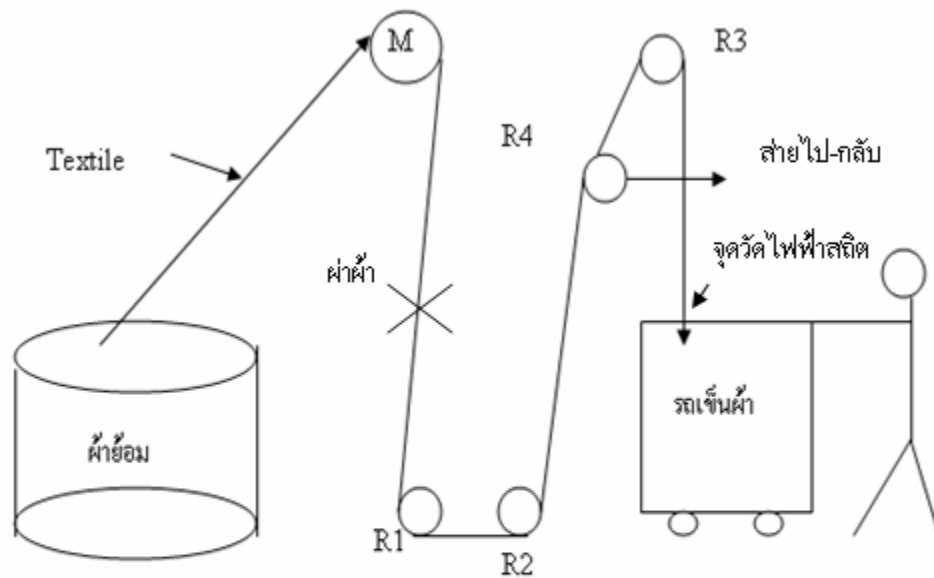
วิธีการวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดยี่ห้อ Daichai รุ่น TM-302 ทำการวัดที่ผ้า หลังจากผ้าตกลงในรถเข็นผ้าก่อนนำไปสู่กระบวนการอบผ้าและการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตใช้เครื่องวัดยี่ห้อ Shishido รุ่น Stadizon DZ3

การวิจัยแบ่งเป็น 4 ตอนตามวิธีการปรับปรุงค่าทางไฟฟ้าสถิตดังต่อไปนี้

1. เก็บข้อมูลโดยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงค่าทางไฟฟ้าสถิต
2. เก็บข้อมูลเมื่อมีการติดตั้งระบบ Air Ionizer
3. เก็บข้อมูลเมื่อมีการติดตั้งระบบรากสายดิน
4. เก็บข้อมูลเมื่อมีการติดตั้งระบบ Air Ionizer ร่วมกับ ระบบรากสายดิน

ตอนที่ 1 เก็บข้อมูลโดยที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงค่าทางไฟฟ้าสถิต

เก็บข้อมูล ความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มทำงานจนจบกระบวนการ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่รถเข็นผ้า โดยยังไม่ได้มีการแก้ไขปรับปรุงค่าทางไฟฟ้าสถิต



$$M = 10 \text{ m/s}, R1 = 12 \text{ m/s}, R2 = 12 \text{ m/s}, R3 = 12 \text{ m/s}, R4 = 15 \text{ m/s}$$

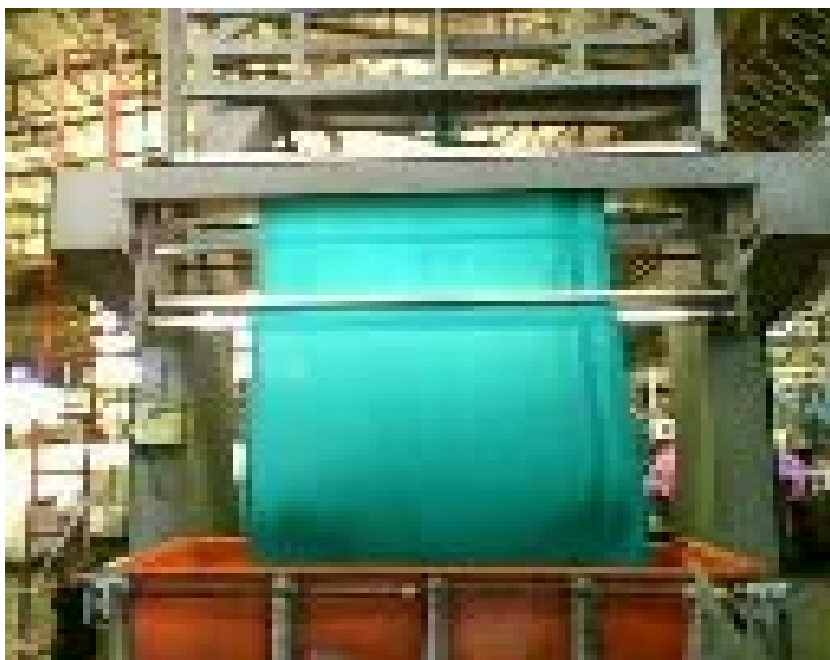
$M =$ มอเตอร์ดึงผ้าขนาด 2.2 กิโลวัตต์ แรงดัน 380 โวลต์ 3 เฟส

$R1 =$ Metal Roller, $R2 =$ Metal Roller, $R3 =$ Metal Roller, $R4 =$ Metal Roller

ภาพที่ 46 แบบการทำงานของเครื่องผ้าผ้า



ภาพที่ 47 เครื่องผ่าฟ้ายด้านหน้า



ภาพที่ 48 เครื่องผ่าฟ้ายด้านหลัง



ภาพที่ 49 รถเข็นผ้า



ภาพที่ 50 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต

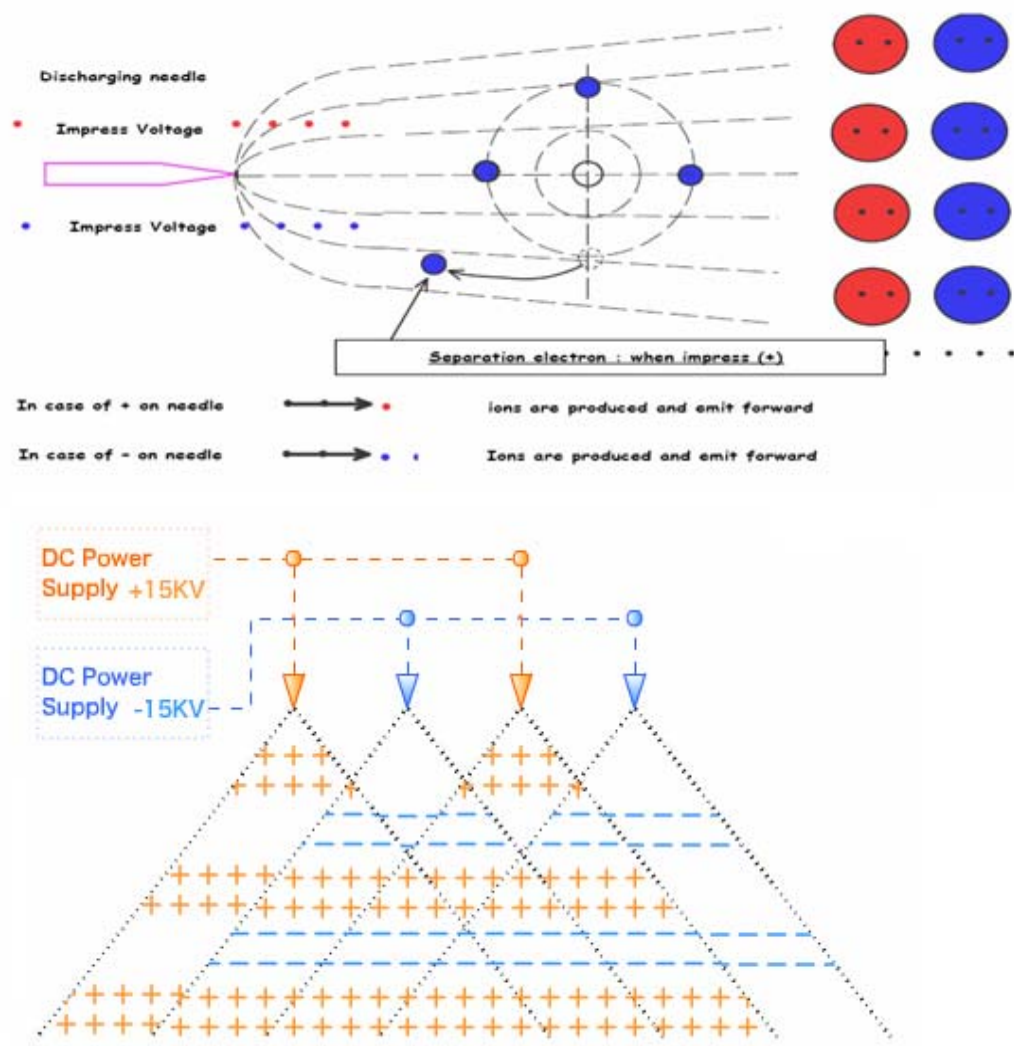
การทำงานของเครื่องผ่าผ้า

ผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอนที่ย้อมเสร็จแล้วจะถูกดึงโดยมอเตอร์ M ขึ้นไปด้านบนและหลังจากนั้นจึงทำการผ่าผ้าโดยมีลูกกลิ้ง R1, R2, R3 เป็นตัวดึงผ้าโดยมีตัว R4 เป็นลูกกลิ้งสายผ้าเพื่อให้ผ้ากองเป็นพับที่รถเข็นผ้าและพนักงานก็จะทำการเข็นรถเข็นผ้าไปกระบวนการต่อไปซึ่งการทำงานทั้งหมดสำหรับผ้ายาว 150 เมตรใช้เวลาทั้งหมด 110 นาที และเกิดไฟฟ้าสถิตดูดพนักงานระหว่างเข็นผ้าโดยจับที่รถเข็นผ้าต้องรอบประมาณ 30 นาทีหลังจากผ่าผ้าเสร็จจึงจะสามารถทำการเข็นผ้าโดยปลอดภัยได้ทั้งผ้าวิสโคสเรยอนและผ้าฝ้าย รวมเวลาในการผ่าผ้าต่อครั้งใช้เวลา 145 นาที

ตอนที่ 2 เก็บข้อมูลโดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer

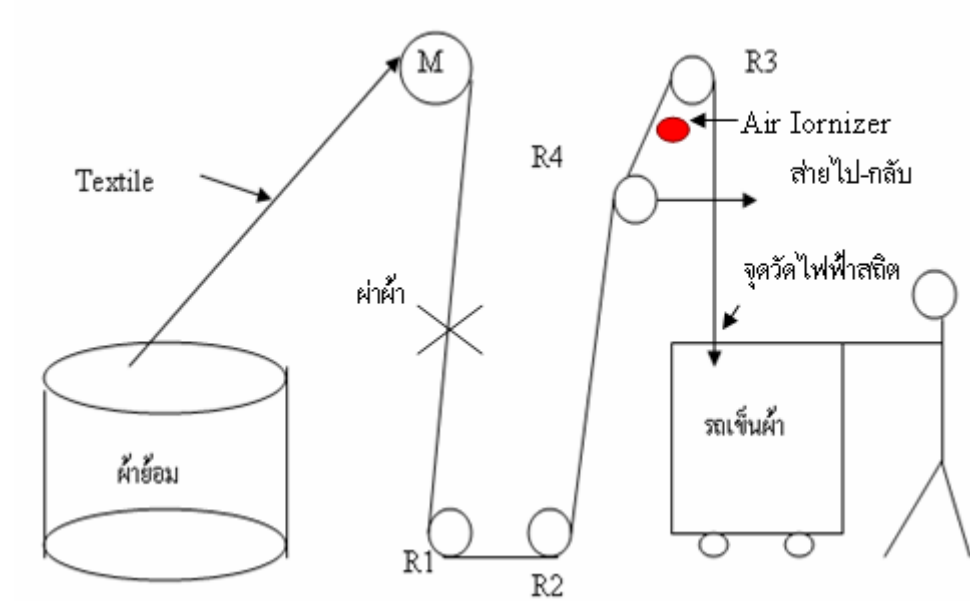
เก็บข้อมูลความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มทำงานจนสิ้นสุดการทำงาน วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่รถเข็นผ้า โดยการติดตั้งระบบ Air ionizer ที่ตำแหน่งปล่อยผ้าสุดท้ายก่อนใส่รถเข็นผ้า การทำงานของเครื่องผ่าผ้าหลังติดตั้ง Air Ionizer ผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอนที่ย้อมเสร็จแล้วจะถูกดึงโดยมอเตอร์ M ขึ้นไปด้านบนและหลังจากนั้นจึงทำการผ่าผ้าโดยมีลูกกลิ้ง R1, R2, R3 เป็นตัวดึงผ้าโดยมีตัว R4 เป็นลูกกลิ้งสายผ้าเพื่อให้ผ้ากองเป็นพับที่รถเข็นผ้าและพนักงานก็จะทำการเข็นรถเข็นผ้าไปกระบวนการต่อไป

หลักการทำงานของระบบ Air Ionizer คือการทำให้ประจุที่อยู่ในอากาศเกิดการแตกตัวออกจากกันโดยใช้ระบบการสร้างไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงปล่อยออกมาที่ปลายเข็มแล้วอากาศที่วิ่งเข้ามาชนเข็มจะเกิดการแตกตัวของประจุขึ้นโดยมีหลักการทำงานดังภาพที่ 51 โดยวงจรการทำงานใช้หลักการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงความถี่สูงจ่ายเข้าไปที่หัวเข็ม ที่หัวเข็มมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงก็จะเกิดการแตกตัวของประจุและใช้ลมพัดประจุไปสู่ผ้าก็จะเกิดปรากฏการณ์สมมูลไอออน โดยการใช้ท่อขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ยาว 2.40 เมตร และมีวาล์วปรับลมได้ 0 – 6 บาร์



ภาพที่ 51 หลักการสร้างประจุของระบบ Air Ionizer

ที่มา: พูลพงษ์ (2530)



ภาพที่ 52 แบบการทำงานของเครื่องผ้าฝ้ายแสดงการติด Air Ionizer



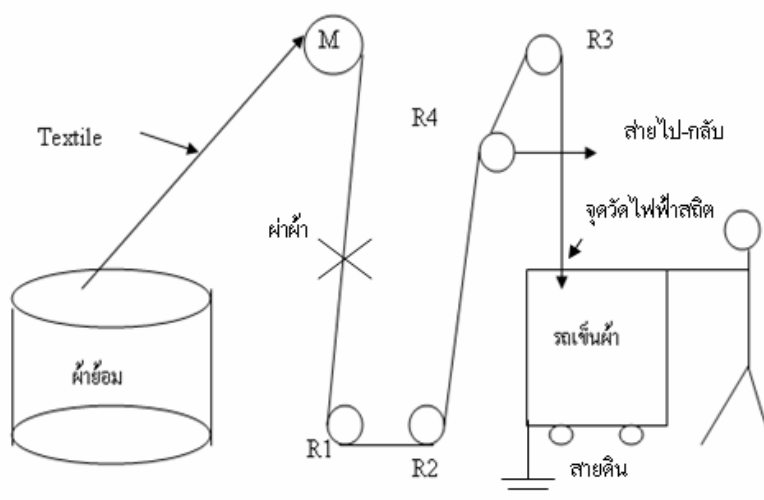
ภาพที่ 53 ตัวกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง



ภาพที่ 54 กาคิดตั้งระบบ Air Ionizer

ตอนที่ 3 เก็บข้อมูลโดยการติดตั้งระบบรากสายดิน

เก็บข้อมูลความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มทำงานจนจบการทำงาน วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่รถเข็นผ้า โดยการติดตั้งระบบ Ground ที่รถเข็นผ้า การทำงานของเครื่องผ่าผ้าหลังติดตั้งระบบสายดิน ผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอนที่ย้อมเสร็จแล้วจะถูกดึงโดยมอเตอร์ M ขึ้นไปด้านบนและหลังจากนั้นจึงทำการผ่าผ้าโดยมีลูกกลิ้ง R1, R2, R3 เป็นตัวดึงผ้าโดยมีตัว R4 เป็นลูกกลิ้งสายผ้าเพื่อให้ผ้ากองเป็นพับที่รถเข็นผ้าและพนักงานก็จะทำการเข็นรถเข็นผ้าไปกระบวนกรต่อไป

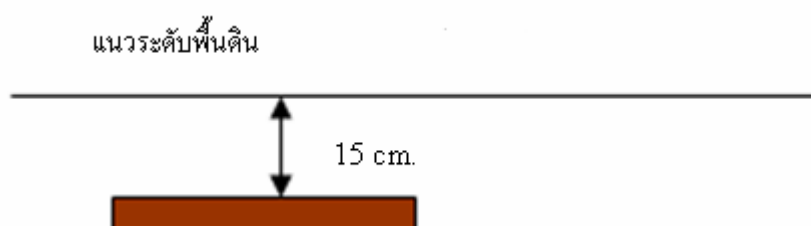


ภาพที่ 55 แบบการทำงานของเครื่องผ่าผ้าแบบติดตั้งระบบสายดิน

รายละเอียดการออกแบบระบบกราดสายดิน

ข้อมูลการออกแบบระบบกราดสายดินตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าของสมาคมวิศวกรสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2545 กรณีใช้แผ่นโลหะดังนี้

1. ต้องเป็นชนิดกันการผุกร่อน
2. พื้นผิวสัมผัสไม่น้อยกว่า 0.18 m^2
3. เหล็กอาบโลหะหนาไม่น้อยกว่า 6 mm.
4. โลหะกันการผุกร่อนหนาไม่น้อยกว่า 1.5 mm.
5. ควรทำการต่อสายดินให้สั้นที่สุด
6. ความต้านทานต้องน้อยกว่า 5 โอห์ม
7. ใช้สายไฟฟ้าขนาด $1 \times 4 \text{ mm}^2$ สีเขียว



ภาพที่ 56 แสดงรูปการติดตั้งระบบกราดสายดินตามแนวนรัศมี

ใช้เหล็กแผ่นโลหะขนาด 450x450x6 mm. ทำการติดตั้งโดยใช้สายไฟฟ้าขนาด 4 sqmm². ยาว 1 ม.
 ฝังลึก 15 cm. วัดความต้านทานได้ 1 โอห์ม คำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสต้องไม่น้อยกว่า 0.18 m²
 แผ่นเหล็กขนาด 450 x 450 mm. = 0.2025 m² สายไฟฟ้าขนาด 4 sqmm² ทนกระแสไฟฟ้าได้ = 25 A



ภาพที่ 57 แสดงการต่อสายดินระหว่างทำงาน



ภาพที่ 58 แสดงการติดตั้งสายดิน



ภาพที่ 59 แสดงการวัดความต้านทานของดิน

ตอนที่ 4 เก็บข้อมูลโดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer ร่วมกับ ระบบรากสายดิน

เก็บข้อมูลความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่มทำงานจนจบกระบวนการ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่รถเข็นผ้า โดยการติดตั้งระบบ Air ionizer ที่ตำแหน่งปล่อยผ้าสุดท้ายก่อนไถรถเข็นผ้าและติดตั้งระบบรากสายดินเพิ่มเติม การทำงานของเครื่องผ่าผ้าหลังทำการติดตั้งระบบสายดินและ Air Ionizer ผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอนที่ย้อมเสร็จแล้วจะถูกดึงโดยมอเตอร์ M ขึ้นไปด้านบนและหลังจากนั้นจึงทำการผ่าผ้าโดยมีลูกกลิ้ง R1, R2, R3 เป็นตัวดึงผ้าโดยมีตัว R4 เป็นลูกกลิ้งสายผ้าเพื่อให้ผ้ากองเป็นพับที่รถเข็นผ้าและพนักงานก็จะทำการเข็นรถเข็นผ้าไปกระบวนการต่อไป

ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลการวิจัย

หลังการทำวิจัยโดยการเก็บค่าความชื้น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าสถิต เวลาในการทำงานของเครื่องฆ่าเชื้อโดยการแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 4 ตอนดังนี้ ตอนที่ 1 เก็บค่าต่างๆโดยยังไม่ได้ทำการปรับปรุงระบบป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต ตอนที่ 2 เก็บค่าโดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer ตอนที่ 3 เก็บค่าโดยการติดตั้งระบบสายดิน และตอนที่ 4 ทำการเก็บค่าโดยการติดตั้ง ระบบสายดินร่วมกับระบบ Air Ionizer โดยใช้ผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอนในการทดลอง ได้ผลดังต่อไปนี้

ผลการทดลองตอนที่ 1 ก่อนทำการปรับปรุงระบบป้องกันไฟฟ้าสถิต

ทำการวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าสถิต ของผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 5 สำหรับผ้าฝ้าย และตารางที่ 6 สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน ส่วนตารางที่ 7 เป็นผลการทดลองเทียบมาตรฐานอ้างอิงตารางที่ 1 โดยสมาคมอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติ

ตารางที่ 5 ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงสำหรับผ้าฝ้าย

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	35	12
62	35	10
65	35	8
65	36	7
70	35	5
75	35	4
75	36	4
80	35	3
80	36	3

ตารางที่ 6 ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงสำหรับวิสโคสเรยอน

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	36	11
62	36	10
65	35	8
65	36	7
70	35	6
75	35	4
75	36	4
80	35	3
80	36	3

ตารางที่ 7 การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาในการทำงานปกติ

เวลาหลังจากผ้าสำเร็จ(นาที)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ้าฝ้าย	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ้าวิสโค สเรยอน	ผลการทดลอง	เทียบกับตารางที่ 1
0	10,000	98,000	ไม่สามารถจับรถได้	มีกระแสไหลผ่านมือ
5	8,000	7,900	แขนขา	มือและแขนขาถึงข้อศอก
15	6,000	5,900	มือขาถึงข้อศอก	มือแขนขาถึงข้อมือ
20	4,200	4,100	ฝ่ามือทั้งหมดชา	รู้สึกชาทั้งท่อนแขน
25	2,500	2,400	เหมือนโดนเข็มแทงที่มือ	เหมือนโดนเข็มแทงที่มือ
30	1,500	1,400	เจ็บผ้าได้ตรงนิ้วมือ โดนคูด	รู้สึกชาที่มือ
35	1,000	1,000	เจ็บผ้าได้โดยไม่	ไม่มีความรู้สึก

ผลการทดลองตอนที่ 2 หลังติดตั้งระบบ Air Ionizer

ทำการวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าสถิต ของผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 8 สำหรับผ้าฝ้าย และตารางที่ 9 สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน ส่วนตารางที่ 10 เป็นผลการทดลองเทียบมาตรฐานอ้างอิงตารางที่ 1 โดยสมาคมอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติ

ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer สำหรับผ้าฝ้าย

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	35	7
62	35	5
65	35	3
65	36	3
70	35	2
75	35	1
75	36	1
80	35	0.8
80	36	0.8

ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	36	6
62	36	5
65	35	3
65	36	3
70	35	2
75	35	1
75	36	1
80	35	0.8
80	36	0.7

ตารางที่ 10 การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาหลังติด Air Ionizer

เวลาหลังจากผ้า ผ้าเสร็จ(นาท)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ้าฝ้าย	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ้าวิสโคสเรยอน	ผลการทดลอง	เทียบกับตารางที่ 1
0	6,000	5,900	โดนคูอย่างแรง	มือและแขนขาไม่มีแรงถึงข้อมือ
5	4,500	4,400	แขนขาถึงข้อศอก	รู้สึกขาทั้งท่อนแขน
15	3,000	3,000	มือขา	เหมือนโดนเข็มแทงที่มือ
20	1,700	1,600	เหมือนโดนเข็มแทง	รู้สึกขาที่มีมือ
25	1,300	1,200	เข็นผ้าได้ตรงนิ้วมือโดนคู	รู้สึกขาที่มีมือ
30	900	850	เข็นผ้าได้โดยไม่โดนคู	ไม่มีความรู้สึก
35	700	600	เข็นผ้าได้โดยไม่โดนคู	ไม่มีความรู้สึก

ผลการทดลองตอนที่ 3 หลังติดตั้งระบบรากสายดิน

ทำการวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าสถิต ของผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 11 สำหรับผ้าฝ้าย และตารางที่ 12 สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน ส่วนตารางที่ 13 เป็นผลการทดลองเทียบมาตรฐานอ้างอิงตารางที่ 1 โดยสมาคมอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติ

ตารางที่ 11 ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติดตั้งระบบสายดิน สำหรับผ้าฝ้าย

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	35	11
62	35	10
65	35	8
65	36	7
70	35	6
75	35	4
75	36	4
80	35	3
80	36	3

ตารางที่ 12 ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติดตั้งระบบสายดิน สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	36	10
62	36	9
65	35	8
65	36	7
70	35	6
75	35	4
75	36	4
80	35	3
80	36	3

ตารางที่ 13 การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาหลังติดตั้งระบบสายดิน

เวลาหลังจากผ่า ฟ้าเสร็จ(นาท)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ้าฝ้าย	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ้าวิสโคสเรยอน	ผลการทดลอง	เทียบกับตารางที่ 1
0	8,000	8,000	โคนคูอย่างแรง	มือและแขนขาไม่มีแรงถึง ข้อศอก
1	6,000	5,900	แขนขาถึงข้อศอก	มือและแขนขาไม่มีแรงถึง ข้อมือ
2	4,000	4,000	มือชา	รู้สึกชาทั้งท่อนแขน
5	1,900	1,800	เหมือนโคนเข็ม แทง	รู้สึกชาที่มือ
10	1,300	1,200	เข็นผ้าได้ตรงนิ้วมือ โคนคู	รู้สึกชาที่มือ
15	900	900	เข็นผ้าได้โดยไม่	ไม่มีความรู้สึก
20	700	700	เข็นผ้าได้โดยไม่ โคนคู	ไม่มีความรู้สึก

ผลการทดลองตอนที่ 4 ติดตั้ง ระบบสายดินร่วมกับระบบ Air Ionizer

ทำการวัดค่าความชื้น อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าสถิต ของผ้าฝ้ายและผ้าวิสโคสเรยอน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 14 สำหรับผ้าฝ้าย และตารางที่ 15 สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน ส่วนตารางที่ 16 เป็นผลการทดลองเทียบมาตรฐานอ้างอิงตารางที่ 1 โดยสมาคมอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติ

ตารางที่ 14 ข้อมูลค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer และ ระบบสายดิน สำหรับผ้าฝ้าย

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	35	6
62	35	4
65	35	3
65	36	3
70	35	2
75	35	1
75	36	0.9
80	35	0.8
80	36	0.7

ตารางที่ 15 ค่าทางไฟฟ้าสถิตเมื่อมีการติด Air Ionizer และระบบสายดิน สำหรับผ้าวิสโคสเรยอน

ความชื้นสัมพัทธ์(%RH)	อุณหภูมิ(องศา C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต(kV)
60	36	5
62	36	4
65	36	3
65	35	3
70	35	2
75	35	1
75	36	1
80	35	0.8
80	36	0.7

ตารางที่ 16 การบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาหลังติด Air Ionizer และรากสายดิน

เวลาหลังจาก ผ่าฟ้าเสร็จ (นาท)	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ่าฟ้า	แรงดันที่วัดได้ (โวลต์) ผ่าวิสโคสเรยอน	ผลการทดลอง	เทียบกับตารางที่ 1
0	5,000	5,000	แขนชาถึงข้อศอก	รู้สึกชาทั้งท่อนแขน
1	3,800	3,700	มือชา	รู้สึกชาทั้งท่อนแขน
2	2,200	2,100	เหมือนโดนเข็มแทง	เหมือนโดนเข็มแทงที่มือ
3	1,700	1,600	แขนชาได้ตรงนิ้วมือโดน ดูด	รู้สึกชาที่มือ
4	1,200	1,100	แขนชาได้ตรงนิ้วมือโดน ดูด	รู้สึกชาที่มือ
5	800	800	แขนชาได้โดยไม่โดนดูด	ไม่มีความรู้สึก
10	600	600	แขนชาได้โดยไม่โดนดูด	ไม่มีความรู้สึก

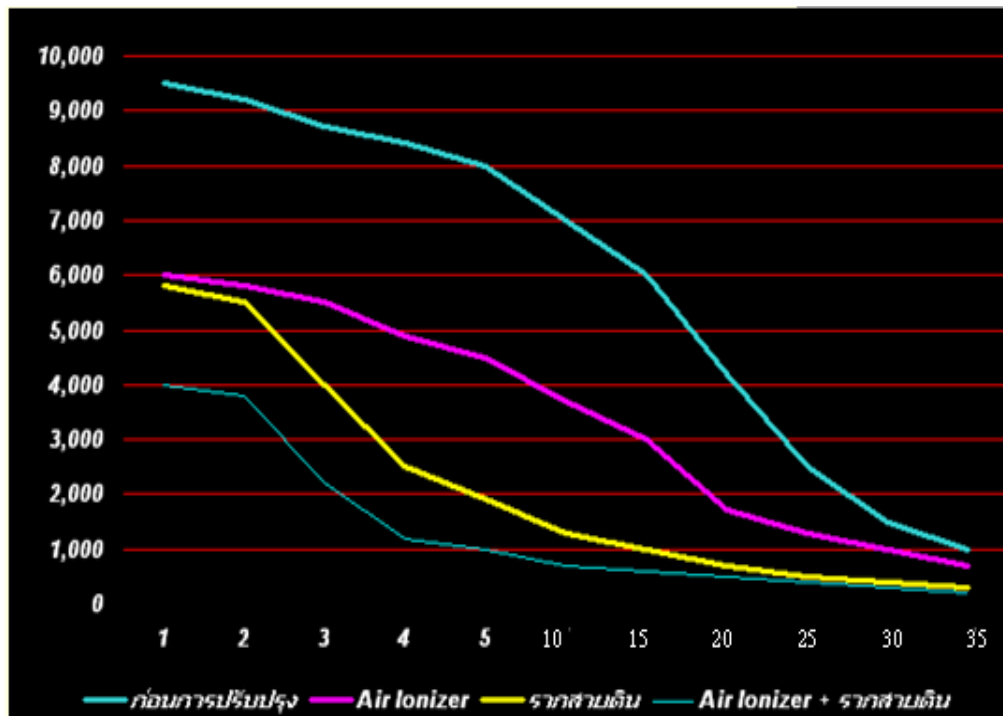
หลังจากทำการทดลองเก็บผลการทดลองทั้งหมด 4 ตอนนำมาพล็อตกราฟในระดับเดียวกัน ก็จะเห็นความชัดเจนและง่ายในการวิเคราะห์การลดลงของไฟฟ้าสถิตดังแสดงในภาพที่ 60

1. ก่อนการปรับปรุงค่าทางไฟฟ้าสถิต เส้นสีฟ้าแสดงการลดลงของค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตซึ่งใช้เวลามากกว่า 35 นาทีค่าแรงดันไฟฟ้าจึงลดลงต่ำกว่า 1,000 โวลต์ถึงจะสามารถเซ็นรถได้

2. การติดตั้งระบบ Air Ionizer เส้นสีชมพู แสดงการลดลงของค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตซึ่งใช้เวลามากกว่า 30 นาทีค่าแรงดันไฟฟ้าจึงลดลงต่ำกว่า 1,000 โวลต์ถึงจะสามารถเซ็นรถได้

3. การติดตั้งระบบรากสายดิน เส้นสีเหลือง แสดงการลดลงของค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตซึ่งใช้เวลามากกว่า 15 นาทีค่าแรงดันไฟฟ้าจึงลดลงต่ำกว่า 1,000 โวลต์ถึงจะสามารถเซ็นรถได้

4. การติดตั้งระบบรากสายดินร่วมกับระบบ Air Ionizer เส้นสีเขียว แสดงการลดลงของค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตซึ่งใช้เวลามากกว่า 5 นาทีค่าแรงดันไฟฟ้าจึงลดลงต่ำกว่า 1,000 โวลต์ถึงจะสามารถเซ็นรถได้



ภาพที่ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าสถิตเทียบกับเวลาในแต่ละตอน

ข้อวิจารณ์

ในการแก้ปัญหาเรื่องไฟฟ้าสถิตที่เครื่องผ่าผ้าโดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer และการติดตั้งระบบกราวด์สายดินให้กับรถเข็นผ้า ตัวแปรที่มีผลกับค่าไฟฟ้าสถิตคือค่าความชื้นและอุณหภูมิของการทำงานที่เครื่องจักร เครื่องผ่าผ้าวางไว้ในที่โล่ง ฝุ่นเยอะ ทำให้ง่ายต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต รวมทั้งต้องใช้พนักงานทดลองจับรถเข็นผ้า การติดตั้งระบบกราวด์สายดินโดยใช้แผ่นเหล็กที่มีภายในโรงงานไม่ติดตั้งแบบรูดเพราะว่าพื้นที่จำกัดและการติดตั้งทำยาก ต้องซื้อแท่งทองแดง ขนาดมาตรฐาน จึงมีแนวคิดในการนำแผ่นเหล็กมาติดตั้งแต่ต้องสามารถรับกระแสที่เกิดขึ้นและถูกหลักวิชาการของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ส่วนการติดตั้งระบบ Air Ionizer ต้องใช้แบบสร้างประจุความถี่สูงแบบกระแสตรงเพราะว่าสามารถทำให้เกิดประจุได้ทั้งบวกและลบและได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าชนิดอื่นและราคาในการติดตั้ง เหมาะสมกับการใช้งานเนื่องจากกระบวนการผ่าผ้าในการทำงานมีการเสียดสีตลอดเวลาทำให้เกิดประจุทั้งประจุลบและประจุบวก เมื่อนำค่าใช้จ่ายมาคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนการติดตั้งระบบกราวด์สายดิน 400 บาท ค่า Air Ionizer 20,000 บาท รวมเป็นเงินทั้งหมด 20,400 บาท จากการทำงานก่อนการปรับปรุงได้ผลผลิตต่อ 1 วัน เท่ากับ 67,500 บาท(ผ้า 7 พับ) หลังจากทำการปรับปรุงค่าทางไฟฟ้าสถิตได้ผลผลิตต่อวัน เท่ากับ 90,000 บาท(ผ้า 9 พับ) จะเห็นได้ว่าได้กำไรเพิ่มขึ้น 22,500 บาทต่อวันหรือ 675,000 บาทต่อเดือน ดังนั้นคิดค่าจากงานวิจัยคงอธิบายได้ว่าการติดตั้งเครื่องจักรที่ทำงานที่มีการเสียดสีของวัตถุต่างๆก็ควรจะมีมาตรการควบคุมค่าความชื้นและอุณหภูมิเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดไฟฟ้าสถิตได้เพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้และควรวางแผนในการติดตั้งระบบกราวด์สายดินของเครื่องจักรด้วยและยังช่วยในเรื่องของการเพิ่มผลผลิตและเกิดความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการวิจัยพบว่าการลดแรงดันไฟฟ้าสถิตของเครื่องผ่าผ้าเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ติดตั้งระบบ Air Ionizer ติดตั้งระบบรากสายดิน โดยการทำงานปกติผ้ายาว 150 เมตรใช้เวลาในการผ่า 110 นาที ยังไม่ทำการปรับปรุงเครื่องจักร ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงถึง 10 kV ใช้เวลาในการทำงานเพิ่มขึ้นอีก 35 นาทีหลังจากทำการผ่าเสร็จจึงจะทำการเข็นผ้าไปยังกระบวนการอบผ้าได้ หลังทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบ Air Ionizer พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเริ่มต้นลดลงเหลือ 6 kV หลังผ่าผ้าเสร็จ แต่ยังใช้เวลาในการรอเข็นผ้า 30 นาที หลังทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งระบบรากสายดินค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตเริ่มต้นลดลงเล็กน้อยเหลือ 8 kV แต่ใช้เวลาในการรอเข็นผ้า 15 นาที ส่วนการติดตั้งระบบ Air Ionizer ร่วมกับระบบรากสายดินแรงดันไฟฟ้าสถิตเริ่มต้นเหลือ 5 kV และใช้เวลาในการรอเข็นผ้า 5 นาที ดังนั้นการลดอันตรายจากไฟฟ้าสถิตที่เครื่องผ่าผ้าโดยใช้ระบบ Air Ionizer กับ ระบบรากสายดินช่วยแก้ปัญหาได้ตามจุดประสงค์ของงานวิจัย

ข้อเสนอแนะ

ควรจะนำระบบป้องกันไฟฟ้าสถิตไปติดตั้งกับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตผ้าที่มีการเสียดสีของผ้าและมีการทำงานของชุดลูกกลิ้ง และโรงงานควรจะมีการทบทวนแผนการตรวจสอบ ตรวจวัดค่า ความต้านทานของดิน ค่าของไฟฟ้าสถิต การต่อสายดินของระบบไฟฟ้าเครื่องจักรต่างๆ ตลอดทั้งปีเพื่อเก็บข้อมูลทางด้านไฟฟ้าสถิตเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเป็นผลให้ลดค่าไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องจักรเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้อย่างเต็มที่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

พลพงษ์ บุญพราหมณ์. 2530. ไฟฟ้าสถิตในงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์. 2547. การออกแบบการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า. สำนักพิมพ์วสท. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2545. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2545. สำนักพิมพ์วสท. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2546. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับ สิ่งปลูกสร้าง. สำนักพิมพ์วสท. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2550. มาตรฐานการป้องกัน แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า. สำนักพิมพ์วสท. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.

ตำรวจ สังข์สะอาด. 2528. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

สูตรการคำนวณความต้านทานของรากสายดินแบบต่างๆ

สูตรการคำนวณความต้านทานของรากสายดินแบบต่างๆ

ตารางผนวกที่ 1 แสดงสูตรในการคำนวณค่าความต้านทานดินของรากสายดินรูปแบบต่างๆ ซึ่งรัศมี (a) เส้นผ่านศูนย์กลาง (D, d) ความยาว (L) ระยะห่าง (s) และความลึก ($s/2$) ที่ใช้ในการคำนวณต้องมีหน่วยเป็นเซนติเมตร ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (ρ) ต้องมีหน่วยเป็น โอห์ม – เซนติเมตร ค่าความต้านทานดิน (R) ที่คำนวณได้มีหน่วยเป็นโอห์ม โดยสูตรดังกล่าวได้คิดผลของจินตภาพแล้วสำหรับรากสายดินยาว 3 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1/2$, $5/8$ และ $3/4$ นิ้ว ค่าความต้านทานดินสามารถหาได้รวดเร็วโดยหารความต้านทานจำเพาะของดินด้วยค่า 288, 298 และ 307 ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ ก1 สูตรสำหรับการคำนวณค่าความต้านทานดิน

	ครึ่งทรงกลม รัศมี a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
•	แท่งหลักดิน ยาว L , รัศมี a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• • $s > L$	แท่งหลักดิน 2 แท่ง ยาว L , ระยะห่าง s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• • $s < L$	แท่งหลักดิน 2 แท่ง ยาว L , ระยะห่าง s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
—	ลวดตัวนำฝังแนวราบ ยาว $2L$, ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
L	ลวดหักฉาก ความยาวจากแต่ละด้าน L , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	คาวสามแฉก ความยาวแฉก L , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+	คาวสี่แฉก ความยาวแฉก L , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
*	คาวหกแฉก ความยาวแฉก L , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.490 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
*	คาวแปดแฉก ความยาวแฉก L , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
○	ตัวนำเป็นวงแหวน เส้นผ่านศูนย์กลางวงแหวน D , เส้นผ่านศูนย์กลางขดลวด d , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
—	แถบตัวนำฝังดิน แนวราบยาว $2L$, ขนาด $a \times b$, $b < a/8$ ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	แผ่นกลมฝังแนวราบ รัศมี a , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$
	แผ่นกลมฝังแนวตั้ง รัศมี a , ความลึก $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

หมายเหตุ a รัศมีตัวนำ (เซนติเมตร)

L ความยาวตัวนำ (เซนติเมตร)

$s/2$ ความลึกของการฝัง (เซนติเมตร)

ρ ความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์ม-เซนติเมตร)

ที่มา: ตำราวย (2528)

ภาคผนวก ข
ข้อมูลเครื่องจักรในโรงงาน

Slitting Machine Model BT 205 1

1. Fabric Cage

Diameter variable	320 mm. to 795 mm.
Speed variable	1.2 rpm to 25 rpm
Maximum torque	25 Nm.

2. BT 02 Slitter

Blade Diameter	200 mm.
Slitting Speed	1320 rpm.

3. Photoelectronic drop stitch sensor with VK 4101 aplifier

Voltage	12 V
Current consumption	50 mA
Voltage transmitter	2.5 – 5 V
Current consumption	2.5 A
Drop stitch signal	8 V
Controller signal for transmitter	-5 to 7 V

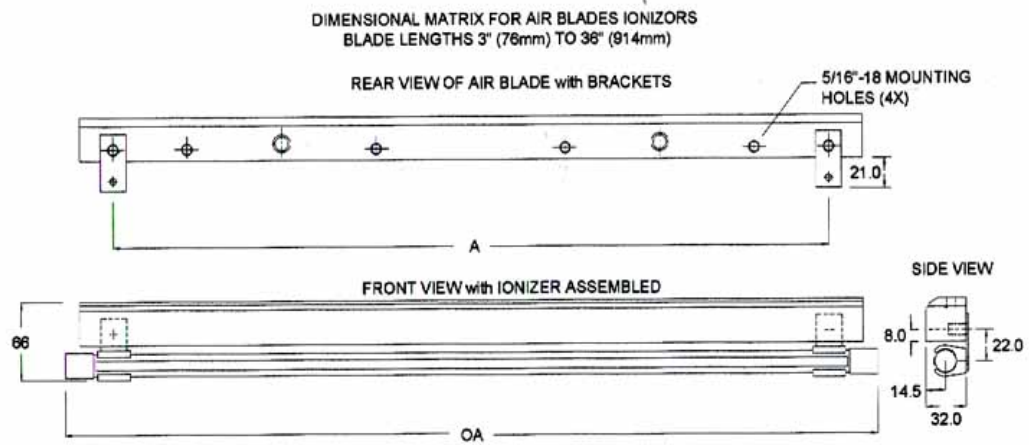
4. SG 2610 control unit

Voltage	3x380, 50/60 Hz
Power input	0.18 kVA
Motor current	0.83 A
Control voltage	220 V, 50 Hz
Power input	0.12 kVA
Switching output for machine drive	220 V, 2 A
Protection type	IP 54

5. Air Ionizer



Static Elimination - Dimensions



Specifications

Input voltage: 220V AC/50 Hz

Output voltage: 7KV DC

OA = 2,400 mm. A = 2,200 mm.

For air ionizer, combination ion generator

ภาคผนวก ค
ข้อมูลเครื่องมือวัด

Static Field Meter

Feature of the Product

Statiron DZ3 is a handy-type static field meter with digital display, capable of measuring ESD checking. This is an epoch-making single-unit measuring instrument that can perform measurement of static potential in 3 different modes: normal (instantaneous value), peak value hold, and AC potential

1. 3 different modes (instantaneous value, peak value, and AC potential).
2. High sensitivity and high precision, and is able to display values in 3 1/2 digits, and has a resolution by 10 V
3. Highly reliable measurement can be performed as it uses red LED light for setting the measuring position and the distance
4. Size about the same as Card, and extremely compact, lightweight, and handy for carrying
5. It provides an output terminal for connecting to a recorder etc

SANWA Earth Tester

Model PDR-301

General Specification

Earth resistance measuring range	10/100/1000Ω Accuracy : ×1 range ±5% of full scale : ×10, ×100 range ±2.5% of full scale
Earth resistance measuring range	0~30V Accuracy ±2.5% of full scale
Display	Analog
Operation	Constant current system (tripolar or bipolar)
Battery	R6PX6
Size / Weight	W175×H118×D55mm/Approx. 500g
Standard accessories included	Earth bar set (SET-PDR201), Instruction manual

Daiichi เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น

รุ่น: TH-302

รายละเอียด

1. จอแสดงผล LCD ขนาดใหญ่ 2 บรรทัด และแสดงค่าอุณหภูมิภายในห้องและความชื้น
2. แสดงอุณหภูมิได้ทั้ง °C และ °F
3. มีหน่วยความจำสำหรับบันทึกค่าสูงสุด หรือต่ำสุดของอุณหภูมิและความชื้น
4. ติดตั้งได้ทั้งแบบแขวนผนังและตั้งวางบนโต๊ะ
5. ช่วงการวัด -50°C ถึง 70°C (-58°F ถึง 158°F)
6. ช่วงการวัดความชื้น 10% ถึง 99%RH
7. แบตเตอรี่ 1.5V(AAA) 1 ก้อน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	สุรเศรษฐ์ ศรีรอด
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 ธันวาคม 2520
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้จัดการส่วนงานขายประเทศไทย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไทยสิน จำกัด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	