การศึกษาการลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่มีผลต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

THE STUDY OF STATIC CHARGE REDUCTION ON PERSONNEL IN ELECTRONIC INDUSTRY

อนุสรณ์ จักรแก้ว

ANUSORN CHAKKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-125-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่มีผลต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

THE STUDY OF STATIC CHARGE REDUCTION ON PERSONNEL IN ELECTRONIC INDUSTRY

อนุสรณ์ จักรแก้ว

ANUSORN CHAKKAEW

T045654

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-125-6

เลขหมู่.....................
เลขทะเบียน 45654
วัน, เดือน, ปี 12 ก.พ. 2546

.b..........................
.i..........................

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF STATIC CHARGE REDUCTION ON PERSONNEL IN ELECTRONIC INDUSTRY

ANUSORN CHAKKAEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-324-125-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการลดไฟฟ้าสถิตย์บนร่างกายที่มีผลต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
THE STUDY OF STATIC CHARGE REDUCTON ON PERSONNEL IN ELECTRONIC INDUSTRY

ชื่อนักศึกษา นายอนุสรณ์ จักรแก้ว

รหัสประจำตัว 41061029

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์	
รศ.ดร.วันชัย ริ้วรุจา	
ผศ.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ	
รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 16 กันยายน 2545 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....15.....**เดือน**.....พฤศจิกายน.....**พ.ศ.**.....2545.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การศึกษาการลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่มีผลต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์**
นักศึกษา	**นายอนุสรณ์ จักรแก้ว**
รหัสประจำตัว	**41061029**
ปริญญา	**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมไฟฟ้า**
พ.ศ.	**2545**
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	**รศ.ดร. วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง**

บทคัดย่อ

การเกิดความเสียหายของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จากไฟฟ้าสถิตที่สะสมอยู่บนร่างกายจากการเคลื่อนไหวเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบัน เนื่องจากการจับต้องชิ้นส่วนดังกล่าวโดยพนักงานในแผนกต่างๆจะมีโอกาสเกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิตจนกระทั่งส่งสินค้าไปยังลูกค้า งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการศึกษาการลดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกาย (Static Charge on Personnel) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยนำเสนอวิธีการวัดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเป็นปริมาณแรงดัน แล้วใช้วิธีดังกล่าวศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตสะสมบนร่างกายที่มีการใช้สายรัดข้อมือ (Wrist Strap) ขณะที่ความต้านทานของสายรัดข้อมือเปลี่ยนแปลงไป จำลองโดยความต้านทานปรับค่าได้ จากนั้นศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่ไม่มีการใช้สายรัดข้อมือ แต่ใช้รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรม เพื่อหารองเท้าและพื้นที่มีคุณสมบัติในการลดการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายได้ดีที่สุด จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของรองเท้าและพื้นตัวอย่างเทียบกับปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้น ความต้านทานต่ำของวัสดุที่มีผลดีในการถ่ายเทประจุออกจากร่างกายนั้น มิได้ส่งผลให้เกิดแรงดันบนสะสมร่างกายในระดับต่ำเสมอไป ค่าความต้านทานจึงไม่ใช่ปัจจัยหลักในการพิจารณาคุณสมบัติในการควบคุมไฟฟ้าสถิตของรองเท้าและพื้น การทดลองวัดระดับแรงดันที่เกิดขึ้นจริงบนร่างกายดังวิธีที่นำเสนอ จึงเป็นแนวทางการทดสอบที่เหมาะสมควบคู่ไปกับการพิจารณาค่าความต้านทานของวัสดุนั้น ๆ โดยเฉพาะในงานด้านดิสค์ไดรว์ที่ชิ้นงานมีความไวต่อระดับไฟฟ้าสถิตที่ต่ำมากและการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	**The Reduction of Static Charge on Personnel in Electronic Industry**
Student	**Mr. Anusorn Chakkaew**
Student ID.	**41061029**
Degree	**Master of Engineering**
Program	**Electrical Engineering**
Year	**2002**
Thesis Advisor	**Assoc. Prof. Dr. Wisut Titiroongruang**

ABSTRACT

Controlling voltage on personnel has long been recognized as a primary importance in preventing electrostatic discharge damages of electronic devices in electronic industry. The reason for concern is that operator's finger often contacts of ESD sensitive devices, and flow of current from personnel to the devices can partially degrade or even fully destroy them. This thesis studies a reduction of static charge on personnel by impact of resistance to ground of wrist strap, static control footwear and static control surfaces by using charge plate monitor to measure the static charge in volt. First experiment, static charge on personnel is evaluated with various resistant to ground of body through wrist strap and variable resistance. Second, different types of the static control shoes and static control surfaces are evaluated in combination to measure the static charge level on personnel and to find the best combination of the static control shoes and surfaces. Result of the experiment indicates that resistance to ground of the footwear and surfaces are not sufficient to select the surfaces which most of electronic industry currently rely on. But performance in combination by static charge evaluation on personnel should be suggested and considered for proper selection, especially in disk drive industry that read-write element is extremely sensitive to electrostatic field and discharge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาในการดำเนินการวิจัยจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณอาและคุณปู่สำหรับความห่วงใย ขอบคุณ คุณจริยา นามเสนาะ สำหรับความเป็นห่วงและดูแล คุณปาริฉัตร บัณฑิตศึกษา พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่ห้องปฏิบัติการ Superconductor ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยติดต่อและประสานงานในเรื่องเอกสารตลอดเวลาที่ทำการศึกษาอยู่ ขอขอบคุณพี่จตุพร แผนก Customer Technical Center บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย ที่มีส่วนช่วยแนะนำการทดสอบวัสดุด้วยวิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม-อินฟราเรด

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อนุสรณ์ จักรแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

รายการศัพท์เทคนิคและคำย่อ.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....1

1.1.1 ปัญหาจากไฟฟ้าสถิตต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์.....1

1.1.2 การป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิต.....7

1.1.3 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิต.....10

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....12

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....13

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....13

บทที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุและองค์ประกอบของการเกิดไฟฟ้าสถิต.....15

2.1 ความสามารถในการเกิดประจุจากการสัมผัส.....15

2.2 ความต้านทานของวัสดุ.....19

2.3 การเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายและการถ่ายเท.....20

2.4 การถ่ายเทประจุออกจากร่างกายผ่านสายรัดข้อมือ.....23

2.4.1 ชนิดไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรทดสอบแบบต่อเนื่อง.....24

2.4.2 ชนิดทำงานร่วมกับวงจรทดสอบแบบต่อเนื่อง.....25

2.5 พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิต.....28

2.6 รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต.....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุควบคุมไฟฟ้าสถิต.....31
3.1 การวัดความสามารถในการเกิดไฟฟ้าสถิตของวัสดุจากการสัมผัส.....31
3.2 การวัดความต้านทานของพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิต.....33
3.3 การวัดความต้านทานของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต.....34
3.4 การวัดความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับรองเท้าและพื้น.....35
3.5 การทดสอบสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่
ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง.....35
3.6 การทดสอบชุดคลุมที่ลดการเกิดไฟฟ้าสถิต.....37
3.7 การทดสอบเก้าอี้ที่ควบคุมการเกิดไฟฟ้าสถิต.....38
3.8 การทดสอบทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ชนิดของวัสดุด้วยวิธี FTIR.....38
3.8.1 กระบวนการดูดกลืนแสงอินฟราเรด.....38
3.8.2 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....39
3.8.3 เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....40

บทที่ 4 การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย.....42
4.1 แบบจำลองการเกิดประจุบนร่างกาย.....42
4.2 การศึกษาปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย.....43

บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....45
5.1 วิธีการดำเนินการทดลอง.....45
5.1.1 ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์
เปลี่ยนแปลง.....45
5.1.2 ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากเลือกใช้รองเท้าและพื้น
ควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ.....46
5.1.3 ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากเลือกใช้รองเท้าและพื้น
ควบคุมไฟฟ้าสถิตเป็นระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น.....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 อุปกรณ์และการเตรียมวัสดุ.....47

5.3 ผลการทดลอง.....48

5.4 ผลเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น.....54

5.4.1 ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลง.....54

5.4.2 ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ.....56

5.4.3 ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตเป็นระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น.....60

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....62

เอกสารอ้างอิง.....64

ภาคผนวก.....65

ภาคผนวก ก.....65

ภาคผนวก ข.....73

ภาคผนวก ค.....75

ประวัติผู้เขียน.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ความทนทานต่อไฟฟ้าสถิตของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์...4

2.1 Triboelectric Series ของวัสดุ...16

2.2 ความต้านทานของวัสดุที่ใช้ในงานควบคุมไฟฟ้าสถิต..20

2.3 การเปลี่ยนแปลงความจุของร่างกายที่อิริยาบทต่างๆ..22

2.4 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย...24

4.1 การจัดแบ่งกลุ่มของชิ้นงานที่เกิดความสียหายจากแบบจำลองเชิงร่างกาย..........................42

5.1 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะเดินบนพื้นที่ความต้านทานของร่างกายมีค่า
เปลี่ยนแปลงไป ที่ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55%RH และ 75%RH...............48

5.2 รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในการทดลองจากข้อมูลจำเพาะของผู้ผลิต...................................49

5.3 ข้อมูลพนักงานในส่วนการผลิตที่ร่วมทดสอบ...49

5.4 ความต้านทานของพื้นตัวอย่างแต่ละชนิด และความต้านทานรวม
ของร่างกาย ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%.......................................50

5.5 ปริมาณไฟฟ้าสถิตสูงสุดที่เกิดขึ้นบนร่างกายขณะเดิน
ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55% 53

5.6 ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกาย ที่ระยะเวลา 1 เดือน
อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%...53

5.7 ค่าความต้านทานวัดจากพื้นรองเท้าด้านในถึงพื้นรองเท้าด้านนอกและ
ความสามารถในการถ่ายเทประจุ (Decay Time)..58

ก-1 ผลการศึกษาชนิดของรองเท้าและพื้นด้วยสเปกตรัมของวิธี FTIR......................................67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปัญหาที่เกิดจากฝุ่น ในกระบวนการผลิต	3
1.2 ปัญหาจากแรงดันสูงเกินของไฟฟ้าสถิตทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เสียหาย หรือทำงานผิดปกติ	3
1.3 ความก้าวหน้าและพัฒนาการของ Semiconductor Packaging	4
1.4 การพัฒนาความจุของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ดิสก์ไดรว์	5
1.5 โครงสร้างหัวอ่าน-เขียนและขนาดที่เล็กลงด้วยเทคโนโลยี MR และ GMR	6
1.6 ความหนาแน่นของโครงสร้างหัวอ่าน-เขียนที่สูงขึ้นและขนาดที่เล็กลง ทำให้มีความทนทานต่อไฟฟ้าสถิตที่ต่ำลง	6
1.7การควบคุมไฟฟ้าสถิตโดยการถ่ายเทประจุที่เกิดขึ้นลงสู่ดินผ่านทางระบบกราวด์	7
1.8 การรบกวนของสนามไฟฟ้าและวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันการรบกวนของสนามไฟฟ้า	8
1.9 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันการรบกวนของสนามไฟฟ้า	8
1.10 การควบคุมไฟฟ้าสถิตโดยการแลกเปลี่ยนประจุด้วยพัดลม Ionizer	9
1.11 การควบคุมไฟฟ้าสถิตโดยการใช้สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์	9
1.12 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากร่างกายไปยังชิ้นงาน	11
1.13 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากชิ้นงานไปยังเครื่องมือ	11
1.14 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากเครื่องมือไปยังชิ้นงาน	12
2.1 การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสและแยกออกจากกันของวัสดุ	15
2.2 ลักษณะการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัส	17
2.3 แสดงการแลกเปลี่ยนประจุเนื่องจาก Work Function ของวัสดุที่แตกต่างกัน	17
2.4 ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น	18
2.5 ลักษณะการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายจากการสัมผัสของรองเท้าและพื้นขณะร่างกายเคลื่อนไหว	20
2.6 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะร่างกายเคลื่อนไหว	21
2.7 แบบจำลองความจุของร่างกาย	21
2.8 การทดสอบสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.9 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ที่ทำงานร่วมกับวงจร
ตรวจสอบแบบต่อเนื่อง ชนิดตรวจสอบด้วยค่าความจุ....................................26
2.10 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบ
แบบต่อเนื่อง ชนิดตรวจสอบด้วยค่าความต้านทาน....................................27
2.11 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบ
แบบต่อเนื่อง ชนิดตรวจสอบด้วยแรงดัน....................................27
2.12 การถ่ายเทไฟฟ้าสถิตโดยการใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับรองเท้า....................................28
2.13 การใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิด Vinyl Flooring....................................29
2.14 ชนิดของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน....................................30
3.1 การทดสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของชิ้นงานและบรรจุภัณฑ์....................................31
3.2 การทดสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของเทปที่ใช้ปิดบรรจุภัณฑ์....................................32
3.3 การทดสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของวัสดุด้วย Field Meter....................................32
3.4 การวัดความต้านทานแบบพื้นผิวถึงพื้นผิว....................................33
3.5 การวัดความต้านทานแบบพื้นผิวถึงจุดกราวด์....................................34
3.6 การวัดความต้านทานของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต....................................34
3.7 การวัดความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับรองเท้าและพื้น....................................35
3.8 การวัดความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับสายรัดข้อมือ....................................36
3.9 การวัดความต้านทานของสายรัดข้อมือที่สายรัดทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำ....................................36
3.10 การวัดความต้านทานของชุดคลุมที่ใช้ใยสังเคราะห์
ที่มีความนำทางไฟฟ้าถักทอร่วม แบบ Point-to-Point....................................37
3.11 การวัดความต้านทานของชุดคลุมที่ใช้ใยสังเคราะห์
ที่มีความนำทางไฟฟ้าถักทอร่วม แบบ Sleeve-to-Sleeve....................................37
3.12 การวัดความต้านทานของเก้าอี้ที่มีความนำทางไฟฟ้าที่เบาะและพนักพิง....................................38
3.13 ตัวอย่างแสดงลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีสไตรีน....................................41
4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณทดสอบเพื่อจำลองการถ่ายเทประจุจากร่างกาย....................................43
4.2 การวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว....................................44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.2 รูปแบบการเดินเพื่อวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย
อันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว..44

5.1 การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะที่ความต้านทาน
ที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลงไป..45

5.2 การติดตั้งพื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิตบนแผ่นทดสอบด้วยกาวชนิดตัวนำ.........................47

5.3 กราฟแท่งเปรียบเทียบความต้านทานของพื้นที่ใช้ทดสอบทั้ง 8 ชนิด.............................50

5.4 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A
สวมรองเท้าชนิด A เดินบนพื้นชนิด A..51

5.5 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A
สวมรองเท้าชนิด B เดินบนพื้นชนิด F 51

5.6 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A
สวมรองเท้าชนิด B เดินบนพื้นชนิด C 52

5.7 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A
สวมรองเท้าชนิด B เดินบนพื้นชนิด E 52

5.8 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่ใช้สายรัดข้อมือที่ต่อลงกราวด์
ผ่านความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% และ 75%...........................55

5.9 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% และ 75% เมื่อเปรียบเทียบ
กับผลที่ได้จากการคำนวณ..55

5.10 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่บันทึกได้จากเครื่อง X-Y Recorder
เทียบกับความต้านทานของพื้น 57

5.11 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเมื่อจับคู่ทดสอบรองเท้าร่วมกับพื้นแต่ละชนิด.....................59

5.12แรงดันสูงสุดบนร่างกายที่บันทึกได้จากเครื่อง X-Y Recorder
เทียบกับความต้านทานของร่างกาย..60

5.13 แรงดันสูงสุดบนร่างกายที่บันทึกได้จากเครื่อง X-Y Recorder
เทียบกับระยะเวลาที่ใช้งานของรองเท้า..61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการศัพท์เทคนิคและคำย่อ

ESD	Electrostatic Discharge
Static Charge on Personnel	ไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย
Static Control Footwear	รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต
Static Control Surface	พื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิต
Wrist Strap	สายรัดข้อมือที่ควบคุมไฟฟ้าสถิต
Dissipative	วัสดุประเภทดิสซิเปทีฟ
Triboelectric Charge	การเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัส
Antistatic	วัสดุที่เป็น Low Triboelectric Charge
HBM	Human Body Model
CDM	Charged Device Model
MM	Machine Model
IC	Integrated Circuit
PCB	Printed Circuit Board
EOS	Electrical Overstress
MR	Magneto Resistive
GMR	Giant magneto Resistive
HSA	Head Stack Assembly
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectrometer
MSD	Moisture Sensitive Device
ESDs	ESD Sensitive Devices

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

1.1.1 ปัญหาจากไฟฟ้าสถิตต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ไฟฟ้าสถิต คือพลังงานที่เกิดจากการสัมผัสและเสียดสีของวัสดุ ไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้นทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น การหวีผม การเคลื่อนไหวร่างกายบนเก้าอี้และการเดินบนพื้น การดึงเทปกาวออกจากม้วน หรือการบรรจุหรือดึงชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์หรือแผงวงจรออกจากบรรจุภัณฑ์ จากตัวอย่างการเกิดไฟฟ้าสถิตดังกล่าว การถ่ายเทของประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดไปยังจุดที่มีศักย์ต่ำกว่า ถูกเรียกว่า การถ่ายเทของไฟฟ้าสถิต หรือ Electrostatic Discharge (ESD)

ไฟฟ้าสถิตได้เริ่มเข้ามาเป็นปัญหาของอุตสาหกรรมตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1400 โดยชาวยุโรปและชาวคาริบเบียนได้เริ่มมีการควบคุมการเกิดประกายไฟจากการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตในห้องเก็บสารเคมีอันตราย ช่วง ค.ศ. 1860 โรงงานกระดาษได้ใช้วิธีการต่อลงกราวด์เพื่อลดประจุที่เกิดจากม้วนกระดาษขนาดใหญ่ที่ผ่านกระบวนการทำให้แห้ง ในช่วง ค.ศ. 1950 กองทัพเรือของประเทศสหรัฐอเมริกาได้เริ่มควบคุมไฟฟ้าสถิตเพื่อลดการรบกวนต่อระบบอุปกรณ์นำร่อง ในช่วง ค.ศ. 1960 ถึง ค.ศ. 1970 เป็นช่วงที่งานด้านอิเล็กทรอนิกส์มีการเจริญเติบโตสูงมาก ทำให้ทั้งการทหารและอุตสาหกรรมต้องมีการควบคุมไฟฟ้าสถิตอย่างจริงจัง และในช่วง ค.ศ.1978 ตัวแทนของกองทัพและตัวแทนจากภาคอุตสาหกรรมได้เริ่มก่อตั้งกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต และได้ริเริ่มการจัดการสัมมนาอย่างเป็นทางการครั้งแรกในปี ค.ศ. 1979 [1]

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา กล่าวได้ว่าเป็นช่วงสิบปีของระบบคุณภาพของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การแข่งขันทำให้ผู้ผลิตจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพมากขึ้น มีการนำระบบคุณภาพ (Quality System) ต่างๆ เข้ามาใช้ ไม่ว่าจะเป็นระบบ ISO9000, QS9000 หรือ Six Sigma และพื้นที่ที่ต้องการพัฒนาคุณภาพก็จะมีเรื่องของการควบคุมไฟฟ้าสถิตเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งอยู่เสมอ

ในปัจจุบัน ด้วยความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่วงจรรวมมีความหนาแน่นสูงขึ้น และมีขนาดที่เล็กลง ยิ่งทำให้วงจรรวมนั้นมีความไวและมีโอกาสที่จะเสียหายจากไฟฟ้าสถิตได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงทำให้การป้องกันปัญหาของไฟฟ้าสถิตต่อชิ้นส่วนที่มีความไวต่อไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Sensitive Devices : ESDs) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น การผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทวงจรรวม (Integrated Circuit), ผลิตภัณฑ์เก็บข้อมูล (Storage Devices) ทั้งฮาร์ดดิสค์ไดรว์ (Hard Disk Drive) และหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่าน-เขียน (Read-Write Head) ของฮาร์ดดิสก์ไดรว์ ซึ่งการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก ซึ่งการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุ (Qualification) แต่ละชนิดนั้น ESD Engineer ต้องทุ่มเทและใช้เวลาทั้งหมดเพื่อแก้ไขปัญหาด้านนี้

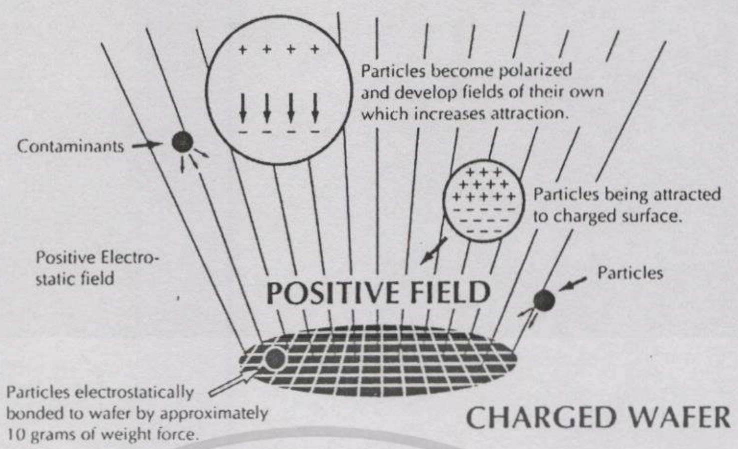
อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องได้แก่ การประกอบแผงวงจร (Printed Circuit Board), การประกอบแผงวงจรแสดงผล (Flat Panel Display), การประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมรถยนต์ อาทิเช่น ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมการทำงานของเบรค ABS ระบบควบคุมการทำงานของถุงลมนิรภัย Air Bag และการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในงานเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

นอกจากความเสียหายของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตโดยตรงซึ่งทำให้เกิดการหลอมละลายของวงจรหรือการเสียสภาพของฉนวนอันเกิดจากแรงดันสูงเกิน (Electrical Over Stress) แล้ว ไฟฟ้าสถิตยังมีผลกระทบถึงงานที่ต้องการความสะอาด (Clean Room Requirement) อาทิเช่น การฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่นำมาทำจอแสดงผล Flat Panel Display ซึ่งชนิดของพลาสติกและลักษณะการฉีดขึ้นรูปทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตสูงมาก ทำให้การสะสมของฝุ่นละอองที่ชิ้นงานมากขึ้นและทำความสะอาดได้ยาก การประกอบผลึกควอตซ์ (Quartz) ของชิ้นส่วนเพื่อควบคุมความถี่ หรือ Quartz Oscillator โดยที่การสะสมของฝุ่นละอองที่ผลึกควอตซ์ทำให้ความถี่ที่ได้จากผลึกนั้นไม่ถูกต้องตามที่ต้องการ และงานที่ต้องระวังอันตรายจากการเกิดประกายไฟ เช่น การทำงานกับสารระเหยที่ไวไฟและการทำงานกับวัตถุระเบิดอีกด้วย

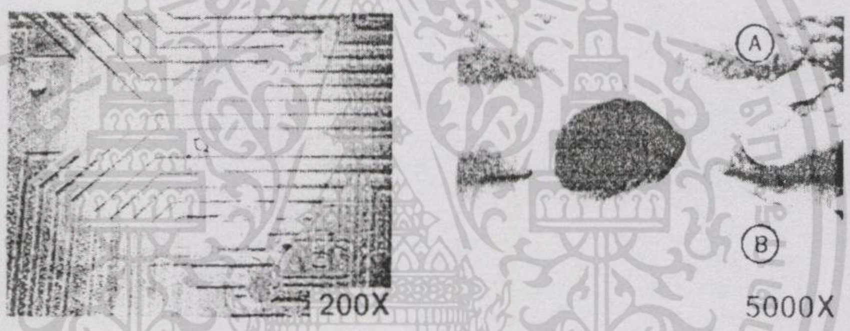
อุตสาหกรรมต่างๆ ต้องลงทุนเป็นจำนวนมหาศาลในแต่ละปีไปกับความเสียหายและการป้องกันความเสียหายจากไฟฟ้าสถิต ทั้งนี้เนื่องจากไฟฟ้าสถิตก่อให้เกิดผลกระทบดังนี้

- การสะสมของฝุ่นที่มากขึ้น (Dust and Lint Attraction) ในกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากชนิดของประจุบวกและลบบนชิ้นงานและอนุภาคของฝุ่นในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1.1
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เสียหายหรือทำงานผิดปกติ (Damaged or Malfunction) โดยทันทีหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง (Degradation) และพร้อมที่จะเสียหายในอนาคตอันใกล้ (Latent Defect) ดังแสดงในรูปที่ 1.2
- ไฟไหม้หรือระเบิด (Fire and Explosion Hazard)
- ไฟฟ้าดูด (Personnel Shock)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



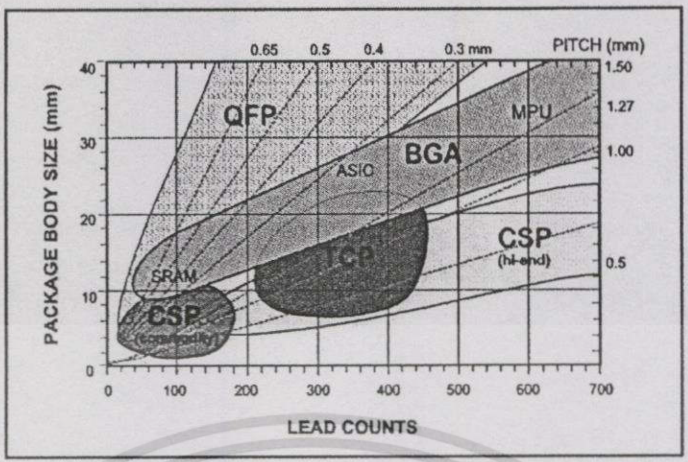
รูปที่ 1.1 ปัญหาที่เกิดจากฝุ่น (Dust and Lint Attraction) ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 1.2 ปัญหาจากแรงดันสูงเกินของไฟฟ้าสถิตทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เสียหายหรือทำงานผิดปกติ ถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ด้วยความก้าวหน้าของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันที่วงจรรวมมีความหนาแน่นสูงขึ้น มีขนาดที่เล็กลงด้วยเทคโนโลยีของซีมอส ก็ยิ่งทำให้วงจรรวมนั้นมีความไวและมีโอกาสที่จะเสียหายจากไฟฟ้าสถิตได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.3 และตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 ความก้าวหน้าและพัฒนาการของ Semiconductor Packaging

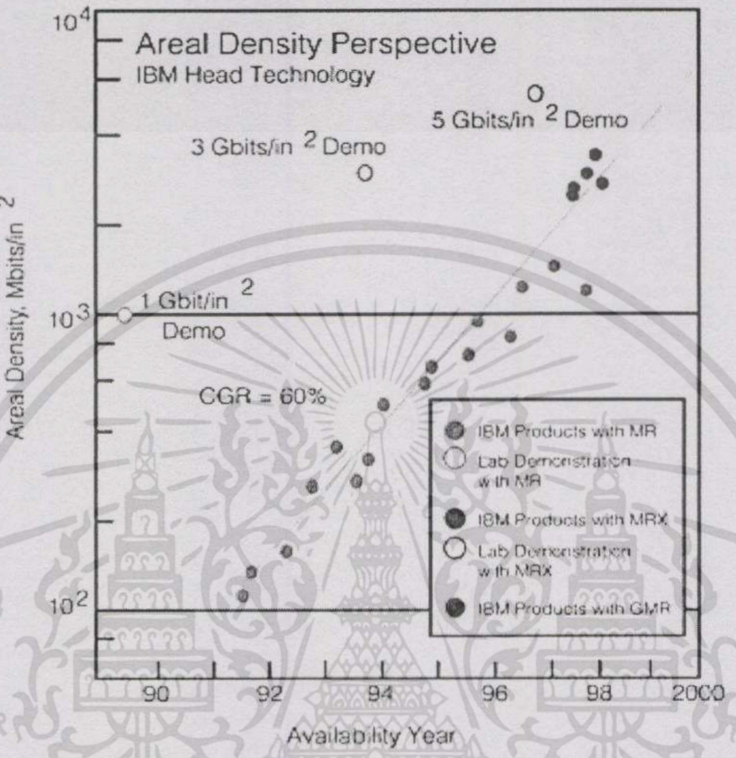
ตารางที่ 1.1 ความทนทานต่อไฟฟ้าสถิตของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

DEVICE TYPE	RANGE OF SUSCEPTIBILITY (VOLTS)
MOS/FET	100-200
J-FET	140-10,000
CMOS	250-2,000
SCHOTTKY DIODE	300-2,500
SCHOTTKY TTL	1,000-2,500
BIPOLAR TRANSISTORS	380-7,000
ECL HYBRID (PC BOARD LEVEL)	500
SCR	680-1,000

ในทำนองเดียวกัน ความก้าวหน้าของผลิตภัณฑ์เก็บข้อมูลที่มีการพัฒนาให้ความจุของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีค่าสูงขึ้น นอกจากการพัฒนาชนิดและสภาพความเป็นแม่เหล็กของแผ่นเก็บข้อมูล (Media) ให้มีประสิทธิภาพและสามารถเก็บข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้มากขึ้นแล้ว เทคโนโลยีของหัวอ่าน-เขียนจะต้องมีการพัฒนาให้สามารถอ่านและเขียนข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ได้ละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้นด้วย โดยเฉพาะหัวอ่าน-เขียนของดิสค์ไดรว์ที่ใช้เทคโนโลยีแม่เหล็กที่ให้ความต้านทานที่เปลี่ยนไปเมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลง ซึ่งได้แก่ Magneto Resistive Head (MR) และ Giant Magneto Resistive Head (GMR) เนื่องจากความหนาแน่นของโครงสร้างหัวอ่าน-เขียนที่สูงขึ้นและขนาดที่เล็กลงด้วยเทคโนโลยีดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 1.4 และ 1.5 ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

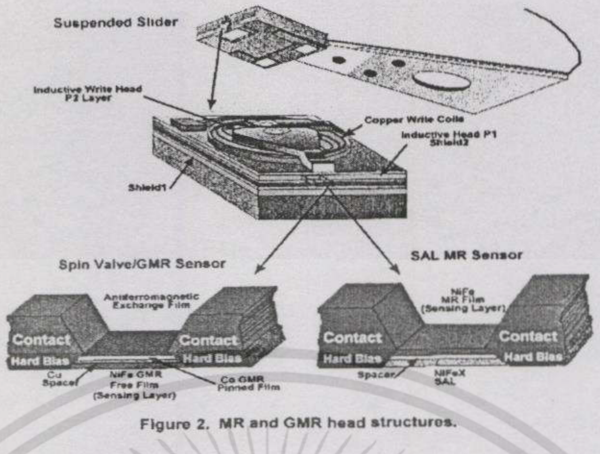
หัวอ่าน-เขียนมีโอกาสที่จะเสียหายจากไฟฟ้าสถิตได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยหัวอ่าน-เขียนประเภท Magneto Resistive Head มีระดับความทนทานอยู่ที่ 80 โวลต์ และ Giant Magneto Resistive Head มีระดับความทนทานอยู่ที่ 30 โวลต์ [2] เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.4 การพัฒนาความจุของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ดิสก์ไดรว์

การประกอบหัวอ่านเขียนดังกล่าวเข้ากับแขนที่ถูกเรียกว่า Head Gimbal Assembly หรือ HGA เป็นขั้นตอนการผลิตที่จำเป็นต้องใช้พนักงานและเป็นกระบวนการที่ต้องระมัดระวังเรื่องไฟฟ้าสถิตมากที่สุด ถัดมาเป็นการประกอบ HGA ร่วมเข้าด้วยกัน เป็น Head Stack Assembly หรือ HSA ซึ่งจะมีความไวต่อไฟฟ้าสถิตลดลง แต่ก็ยังกล่าวได้ว่ายังคงเป็นชิ้นส่วนที่มีความไวต่อไฟฟ้าสถิตมากเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนประเภทเซมิคอนดัคเตอร์ในอุตสาหกรรมวงจรรวมหรืออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น การประกอบแผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 โครงสร้างหัวอ่าน-เขียนและขนาดที่เล็กลงด้วยเทคโนโลยี MR และ GMR

รูปที่ 1.6 ความหนาแน่นของโครงสร้างหัวอ่าน-เขียนที่สูงขึ้นและขนาดที่เล็กลง ทำให้มีความทนทานต่อไฟฟ้าสถิตที่ต่ำลง

ความเสียหายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากถ่ายเทไฟฟ้าสถิต สามารถแสดงออกได้ทั้งความเสียหายแบบทันที (Catastrophic Failure) และความเสียหายแบบยังไม่แสดงความผิดปกติทันที (Latent Failure) ซึ่งความเสียหายนี้บางครั้งไม่สามารถตรวจสอบพบได้ที่ผู้ผลิตสินค้า จึงไปแสดงปัญหาในลักษณะของการลดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ หรือเสียหายที่ผู้ใช้งานใน

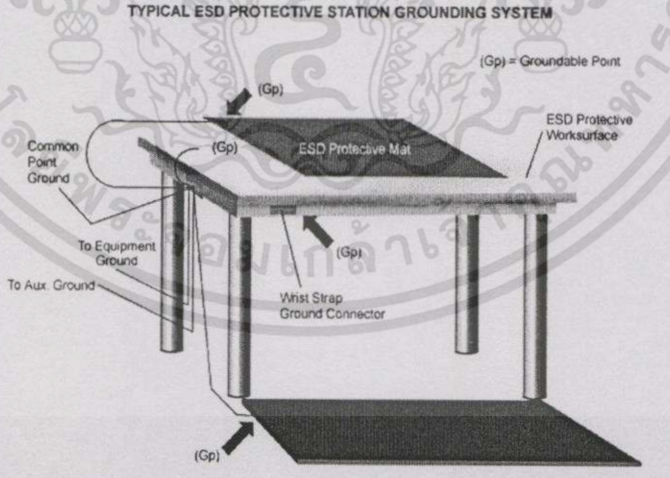
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาอันสั้น ความสูญเสียที่เกิดขึ้น เริ่มจากไดโอดที่มีราคาต่ำ จนกระทั่งถึงวงจรรวมที่มีราคาแพงมาก รวมถึงราคาที่ต้องซ่อมแซมแก้ไข การส่งของที่อาจล่าช้า ชิ้นส่วนที่ต้องทดแทน และความไม่เชื่อมั่นของลูกค้าในคุณภาพของสินค้า ทำให้ผลรวมของการสูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ทำให้เรื่องของการป้องกันและควบคุมไฟฟ้าสถิต จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาและควบคุมอย่างต่อเนื่อง

1.1.2 การป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิต

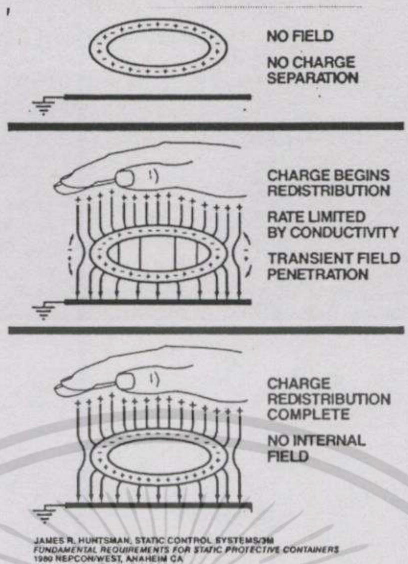
การป้องกันความเสียหายอันจะเกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิตมีอยู่หลายวิธี อาทิเช่น

- การออกแบบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความทนทานต่อไฟฟ้าสถิตมากขึ้นโดยฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์
- การหลีกเลี่ยงการเกิดประจุจากการสัมผัสจากวัสดุต่างๆที่อยู่ในกระบวนการผลิตโดยการเลือกใช้วัสดุที่เกิดไฟฟ้าสถิตต่ำ (Low Static Charge or Antistatic)
- การถ่ายเทประจุที่เกิดขึ้นลงสู่ดิน (Dissipation) เพื่อลดประจุสะสมโดยผ่านทางพื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิตและระบบกราวด์ ดังรูปที่ 1.7
- การป้องกันการรบกวนของสนามไฟฟ้า (Shielding) ดังรูปที่ 1.8 โดยการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม
- สำหรับวัสดุที่เป็นฉนวนหรือวัสดุที่เป็นตัวนำที่ไม่สามารถต่อลงกราวด์ได้ อาจใช้การแลกเปลี่ยนประจุให้วัสดุนั้นมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า (Neutralization) โดยใช้พัดลม (Ionized Air Blower) ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.7 การควบคุมไฟฟ้าสถิตโดยการถ่ายเทประจุที่เกิดขึ้นลงสู่ดินผ่านทางพื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิตและสายต่อกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

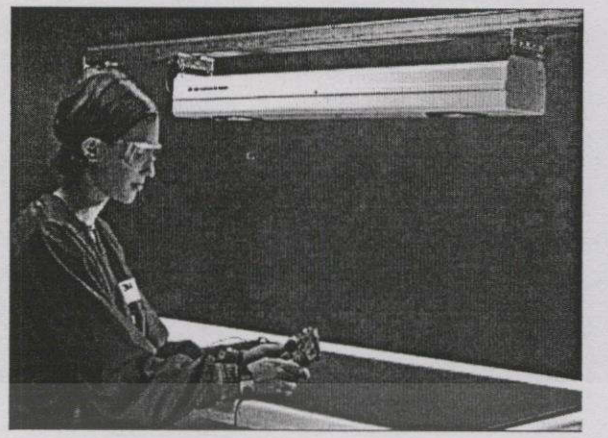


รูปที่ 1.8 การรบกวนของสนามไฟฟ้าและวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันการรบกวนของสนามไฟฟ้า

บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันการรบกวนของสนามไฟฟ้าจะใช้หลักการลูกกรงของฟาราเดย์ (Faraday Cage) โดยใช้สภาพความเป็นตัวนำของวัสดุ อาทิเช่น การผสมคาร์บอน เพาเดอร์ (Carbon Powder) หรือ คาร์บอน ไฟเบอร์ (Carbon Fiber) ลงในพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปเป็นกล่องบรรจุ (Conductive Tote Box) หรือการเคลือบโลหะบนแผ่นฟิล์ม (Metalization) ที่นำมาใช้เป็น Static Shielding Bag เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1.9

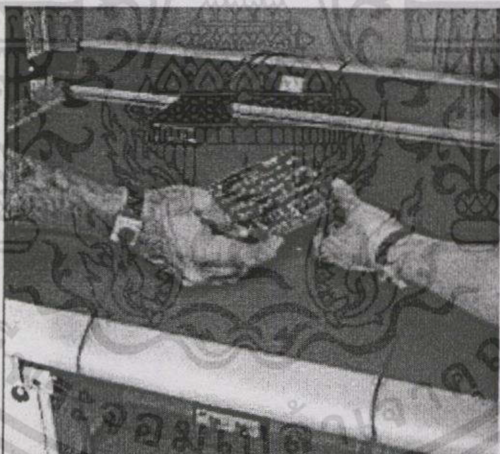
รูปที่ 1.9 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ป้องกันการรบกวนของสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.10 การควบคุมไฟฟ้าสถิตโดยการแลกเปลี่ยนประจุด้วยพัดลม Ionizer

สำหรับไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของร่างกายนั้น วิธีที่สะดวกและสามารถควบคุมปริมาณไฟฟ้าสถิตได้ดี คือการถ่ายเทประจุที่เกิดขึ้นลงสู่กราวด์โดยการใช้สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ ดังรูปที่ 1.11 ร่วมกับพื้นและรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ใช้ถ่ายเทประจุจากร่างกายลงสู่กราวด์



รูปที่ 1.11 การควบคุมไฟฟ้าสถิตโดยการใช้สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิต

ความเสียหายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตสามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลอง 3 วิธี [3] คือ

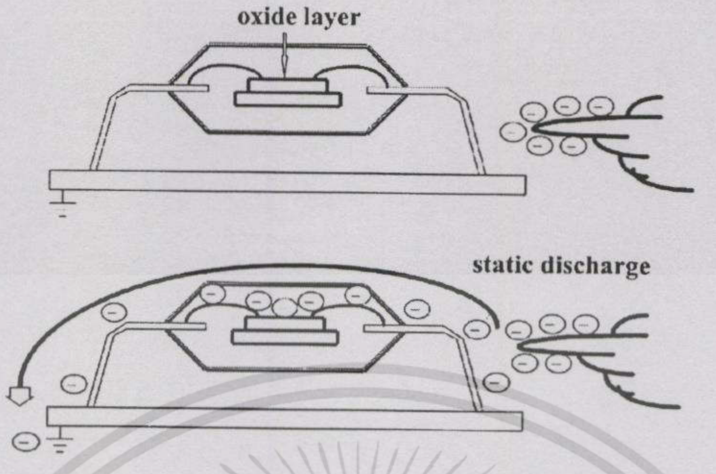
- แบบจำลองเชิงร่างกาย (Human Body Model : HBM) ซึ่งก็คือการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากร่างกายไปยังชิ้นงาน
- แบบจำลองเชิงอุปกรณ์ (Charged Device Model : CDM) ซึ่งก็คือการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากอุปกรณ์หรือชิ้นงานไปยังเครื่องมือ
- แบบจำลองเชิงเครื่องจักร (Machine Model : MM) ซึ่งก็คือการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากเครื่องมือหรือเครื่องจักรไปยังชิ้นงาน

ขณะร่างกายเคลื่อนไหวจะเกิดประจุจากการสัมผัสหรือ Triboelectric Charge ขึ้นและประจุที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่บนร่างกายเสมือนตัวเก็บประจุตัวหนึ่ง เมื่อร่างกายสัมผัสกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีศักย์ต่ำกว่า ก็จะเกิดการถ่ายเทของประจุจากร่างกายไปยังชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นอย่างรวดเร็ว เมื่อกระแสที่เกิดจากประจุไหลได้มาก ความร้อนที่เกิดจากไหลของกระแสจะสูง ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนนั้นทันที ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองเชิงร่างกาย หรือ Human Body Model ดังรูปที่ 1.12 โดยแบบจำลองนี้จะถูกนำมาใช้มากที่สุด เพราะการจับต้องชิ้นส่วนโดยพนักงานในแผนกต่างๆจะมีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการรับวัตถุดิบจนกระทั่งส่งของไปยังลูกค้า

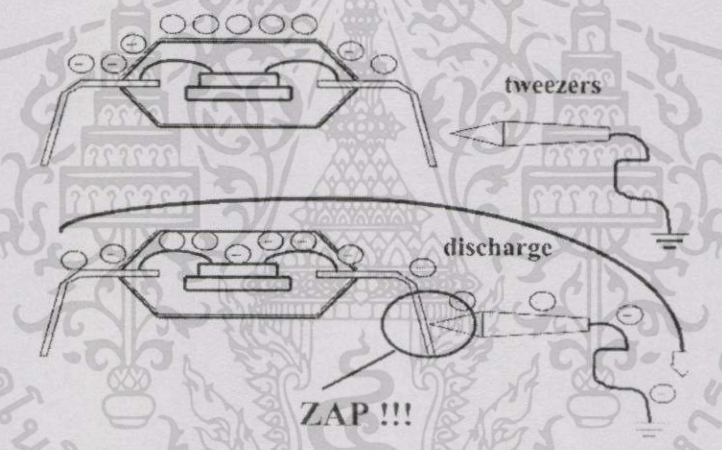
ในกรณีที่ชิ้นงานเสียดสีกับหลอดบรรจุหรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆและเกิดประจุสะสมอยู่บนชิ้นงานนั้น การถ่ายเทประจุจากชิ้นงานที่มีประจุตกค้างอยู่ดังกล่าวไปยังกราวด์อย่างรวดเร็วก็ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับชิ้นงานได้เช่นกัน นั่นคือแบบจำลองเชิงอุปกรณ์ หรือ Charged Device Model ดังรูปที่ 1.13

ในกรณีที่เป็นเครื่องจักรเช่น เครื่องทดสอบ (Tester) หรือเครื่องประกอบชิ้นงานลงบอร์ด (Surface Mount Feeder Machine) ที่มีประจุตกค้างอยู่ เมื่อเครื่องจักรจับตัวชิ้นงาน การถ่ายเทประจุก็จะเกิดขึ้นทันที จะเป็นแบบจำลองเชิงเครื่องจักร หรือ Machine Model ดังรูปที่ 1.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

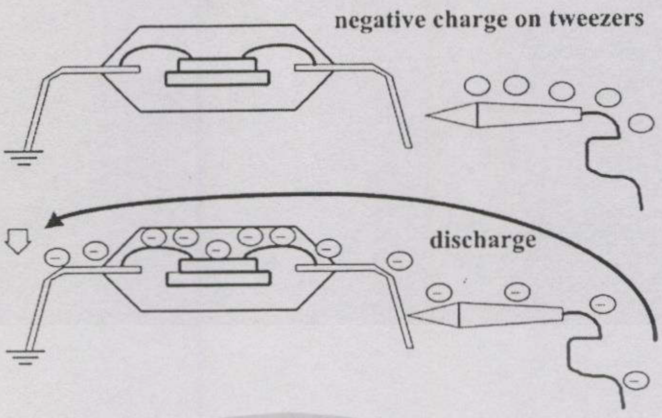


รูปที่ 1.12 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากร่างกายไปยังชิ้นงาน



รูปที่ 1.13 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากชิ้นงานไปยังเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.14 แบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตจากเครื่องมือไปยังชิ้นงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

นำเสนอหลักการวัดปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้นบนร่างกายเป็นปริมาณแรงดัน เพื่อให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและลดปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย โดยศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตสะสมบนร่างกายที่มีการใช้สายรัดข้อมือ (Wrist Strap) ขณะที่ความต้านทานของสายรัดข้อมือเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจำลองโดยความต้านทานปรับค่าได้ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความต้านทานของพื้นผิวและรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต ที่มีผลต่อปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อตอบสนองการลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย และเพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุ (Qualification) ในงานที่มีการควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ต่ำมาก เช่น งานด้านฮาร์ดดิสก์ไดรว์ ซึ่ง ESD Engineer ต้องทุ่มเทและใช้เวลาทั้งหมดเพื่อแก้ไขปัญหาด้านนี้

เปรียบเทียบกับหลักการเดิม ความเข้าใจในการป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตบนจากร่างกายจะเลือกใช้วัสดุโดยมุ่งเน้นพิจารณาเกี่ยวกับค่าความต้านทานของวัสดุ เช่นการเลือกใช้รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต และพื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิต ที่มีความต้านทานต่ำ ๆ ที่มีความสามารถในการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตได้ดีและควรที่จะลดประจุสะสมบนร่างกายได้ดี แต่มิได้มีการพิจารณาถึงปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้นจริงบนร่างกายจากการเลือกใช้อุปกรณ์หรือวัสดุควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดนั้น ๆ ว่าลดการเกิดไฟฟ้าสถิตได้มากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากที่กล่าวข้างต้นว่าความเสียหายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดจากแบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตได้ 3 กรณี แต่แบบจำลองที่มีโอกาสทำความเสียหายในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด และใช้เป็นหลักอ้างอิงในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์คือแบบจำลองของร่างกาย

งานวิจัยใช้นี้จึงทำการศึกษาการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย โดยนำเสนอหลักการวัดปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้นบนร่างกายด้วยเครื่องมือวัดประจุ ศึกษาองค์ประกอบที่ทำให้เกิดแรงดันมากน้อยและความสัมพันธ์ของการต่อลงกราวด์ของร่างกายกับปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของพื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิตและรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต ที่มีผลต่อปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้น เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นแนวทางในการควบคุมไฟฟ้าสถิตและการป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตจากร่างกายอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

งานที่มีการควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ต่ำที่สุดในปัจจุบันคืองานด้านฮาร์ดดิสก์ไดรว์ และการลดไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากร่างกายให้อยู่ในระดับที่ตำที่สุดเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการลดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกาย (Static Charge on Personnel) ขณะร่างกายเคลื่อนไหว ที่เกิดจากองค์ประกอบจากการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อันได้แก่ ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน สายรัดข้อมือ รองเท้าที่สวมใส่และพื้นของโรงงาน โดยนำเสนอวิธีการวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเป็นปริมาณแรงดัน (โวลท์) แล้วใช้วิธีการดังกล่าว ศึกษาปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่ใช้สายรัดข้อมือ ทำการจำลองค่าความต้านทานของร่างกายและสายรัดข้อมือที่เปลี่ยนแปลงไปโดยการเพิ่มความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อร่วมกับสายรัดข้อมือลงสู่กราวด์

จากนั้น ศึกษาถึงปริมาณแรงดันบนร่างกายที่ไม่ใช้สายรัดข้อมือ แต่ใช้รองเท้าร่วมกับพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ เพื่อหารองเท้าและพื้น ที่ลดการเกิดไฟฟ้าสถิตได้ดีที่สุด และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของวัสดุเทียบกับปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้น จากผลการทดลอง ความต้านทานของรองเท้าและพื้นที่มีค่าต่ำ มิได้ส่งผลให้เกิดแรงดันบนร่างกายในระดับต่ำลงเสมอไป ค่าความต้านทานจึงไม่ใช่ปัจจัยหลักในการพิจารณาคุณสมบัติในการควบคุมไฟฟ้าสถิตของรองเท้าและพื้น การทดลองวัดระดับแรงดันที่เกิดขึ้นจริงบนร่างกาย จึงเป็นการเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อเลือกใช้ชนิดของรองเท้าและพื้นควบคู่ไปกับการพิจารณาค่าความต้านทานของวัสดุนั้น ๆ

จากนั้น นำเสนอการหาช่วงเวลา Maintenance และอายุการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุ โดยศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น

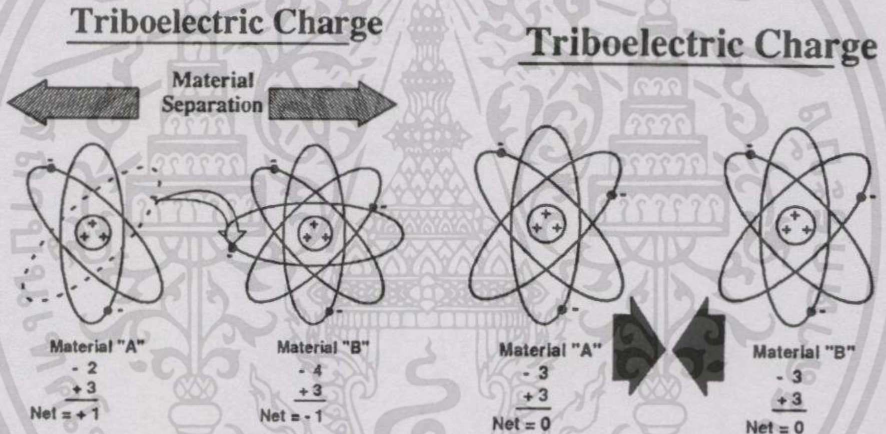
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ควบคุมการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย

2.1 ความสามารถในการเกิดประจุจากการสัมผัส

การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของวัสดุ (Triboelectric charge) เกิดจากการถ่ายเทของอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุทั้งสองขณะสัมผัส จากรูปที่ 2.1 อะตอมของวัสดุที่เป็นกลางทางไฟฟ้าจะประกอบด้วยโปรตอนที่อยู่ในนิวเคลียส ซึ่งจะมีจำนวนเท่ากับอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสนั้น จำนวนของโปรตอนที่ให้ประจุเป็นบวกที่มีจำนวนเท่ากับอิเล็กตรอนที่ให้ประจุเป็นลบทำให้อะตอมนั้นมีประจุเป็นกลาง



รูปที่ 2.1 การเกิดประจุไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสและแยกออกจากกันของวัสดุ

เมื่อวัสดุทั้งสองสัมผัสกัน อิเล็กตรอนจะถูกถ่ายเทจากผิวสัมผัสของวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่ง เมื่อวัสดุทั้งสองถูกแยกออกจากกัน วัสดุที่ไม่สมดุลโดยมีอิเล็กตรอนขาดหายไป จะแสดงคุณสมบัติเป็นบวก และวัสดุที่ไม่สมดุลโดยที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นจะแสดงคุณสมบัติเป็นลบ การที่วัสดุใดจะมีความสามารถในการให้หรือรับอิเล็กตรอนได้ดีเพียงใดเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น หรือการที่วัสดุใดจะแสดงคุณสมบัติเป็นบวกหรือลบ เมื่อสัมผัสกับวัสดุอื่น นั้นจะขึ้นอยู่กับลำดับของ Triboelectric หรือ Triboelectric Series [1] ดังตารางที่ 2.1

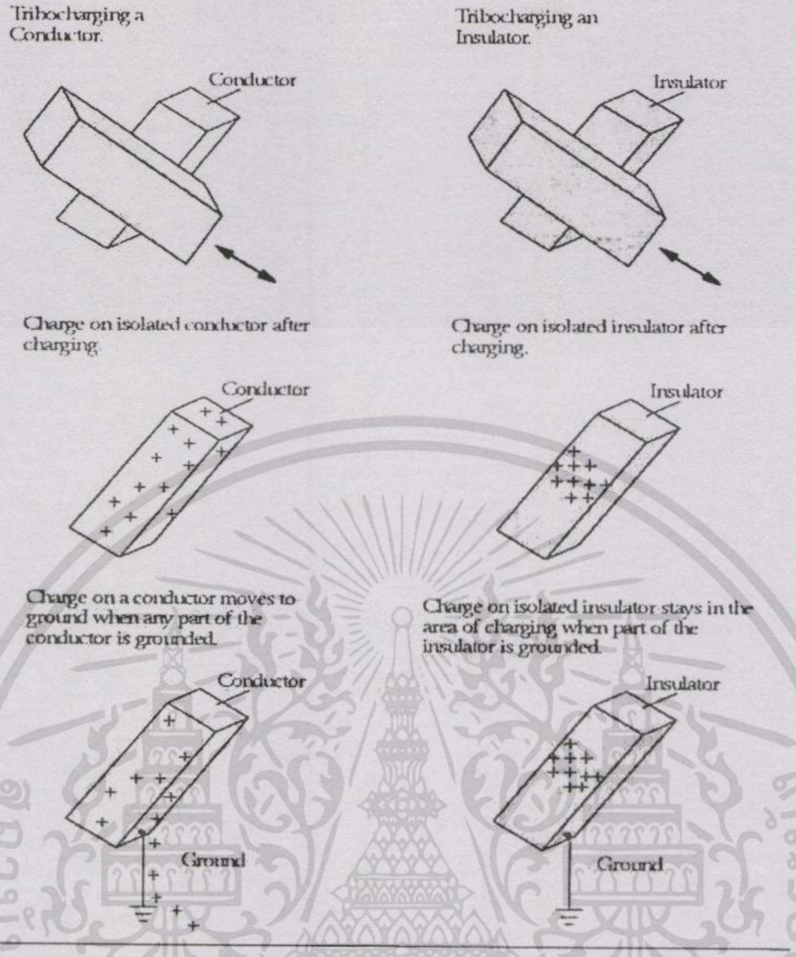
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 Triboelectric Series ของวัสดุ

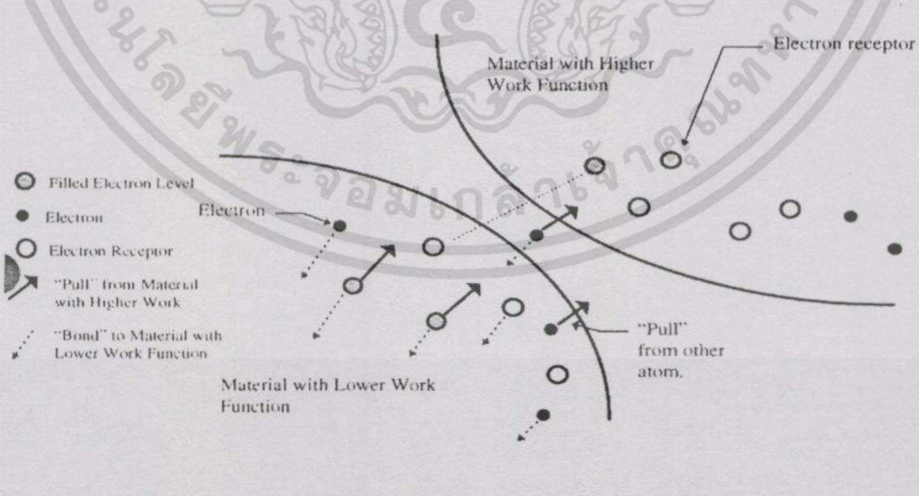
Polarity	Material
Positive (+)	Rabbit Fur
	Glass
	Human Hair
	Nylon
	Wool
	Fur
	Lead
	Silk
	Aluminum
	Paper
	Cotton
	Steel
	Wood
	Amber
	Sealing Wax
	Hard Rubber
	Nickel, Copper
	Brass, Silver
	Gold, Platinum
	Sulfur
	Acetate Rayon
	Polyester
	Celluloid
	Polyurethane
	Polyethylene
	Polypropylene
	PVC
	Silicon
Negative (-)	Teflon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัส



รูปที่ 2.3 การแลกเปลี่ยนประจุเนื่องจาก Work Function ของวัสดุที่แตกต่างกัน

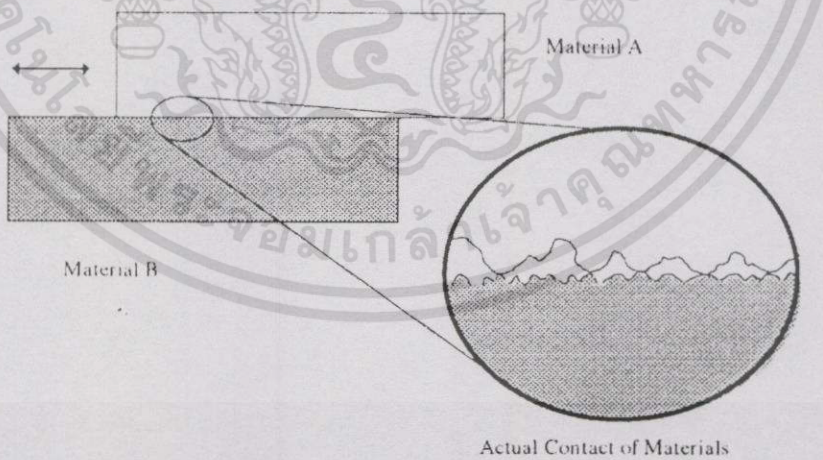
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45654

จากตารางที่ 2.1 ที่แสดงถึงลำดับของ Triboelectric อธิบายถึงประจุที่เกิดขึ้นเมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาสัมผัสกัน โดยวัสดุที่อยู่ด้านบนของตารางจะให้คุณสมบัติเป็นบวกเมื่อนำมาสัมผัสกับวัสดุที่อยู่ต่ำกว่า ตัวอย่างเช่น เมื่อนำผ้าสักหลาด (Fur) ที่อยู่ด้านบนตารางมาสัมผัสกับแท่งอำพัน (Amber) ที่อยู่ลำดับต่ำกว่า ผ้าสักหลาดจะให้ประจุที่เป็นบวก ขณะที่แท่งอำพันจะให้ประจุที่เป็นลบ เป็นต้น

ในกรณีของวัสดุที่เป็นฉนวน ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจะสูงเนื่องจากการสะสมของประจุ (Charge Accumulation) หลังจากการสัมผัส ซึ่งไม่สามารถถ่ายเทไปยังบริเวณอื่นได้ เนื่องจากความต้านทานของฉนวนที่มีค่าสูง ในกรณีของวัสดุที่เป็นตัวนำหรือมีสภาพความนำไฟฟ้าที่ดีกว่า ประจุจะสามารถถ่ายเทไปยังบริเวณอื่นได้ และสามารถถ่ายเทลงสู่กราวด์ในกรณีที่ต่อวัสดุนั้นลงสู่จุดกราวด์ ทำให้วัสดุมีประจุลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

วัสดุที่เกิดประจุไฟฟ้าสถิตต่ำจะถูกเรียกว่า วัสดุ Antistatic ซึ่งความสามารถที่จะเกิดประจุในปริมาณที่ต่ำซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดนี้ จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน ถึงแม้ว่าวัสดุที่เป็นตัวนำหรือเป็น Dissipative ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภท Antistatic ก็ตาม ปัจจัยหลักของการเป็น Antistatic ก็คือ การมีบริเวณผิวสัมผัสที่ลดการแรงเสียดทานของการสัมผัส ตัวอย่างได้แก่ ถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ที่เป็นฉนวนและให้ประจุจาก Triboelectric Charge สูง ถ้าถูกผสมหรือนำมาเคลือบด้วยสารเคมีที่ให้คุณสมบัติในการเป็น Antistatic ก็จะทำให้ผิวสัมผัสกลายเป็น Moisture Layer และลดความสามารถในการเกิดประจุได้



รูปที่ 2.4 ผิวสัมผัสของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความต้านทานของวัสดุ

จากที่กล่าวข้างต้นว่าไฟฟ้าสถิตเกิดจากการสัมผัสของวัสดุ การที่ไฟฟ้าสถิตจะสะสมอยู่บนวัสดุหรือถ่ายเทไปได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุนั้น ๆ เป็นสำคัญ อาทิเช่น ความต้านทาน

1. วัสดุที่เป็นฉนวน (Insulative Material) จะป้องกันหรือจำกัดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เป็นวัสดุที่ประจุผ่านพื้นผิวได้น้อยมากหรือไม่ได้เลยเนื่องจากมีความต้านทานสูง หมายความว่าประจุที่อยู่บนฉนวนชิ้นหนึ่ง จะมีได้ทั้งกลุ่มของประจุบวกและกลุ่มของประจุลบในเวลาเดียวกันและจะคงอยู่เป็นเวลานาน ในการควบคุมไฟฟ้าสถิต วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่เป็นฉนวนคือวัสดุที่มีความต้านทานสูงกว่า 10^{11} โอห์ม [4] เมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของ Electronic Industrial Alliance ที่ EIA 541 และสำหรับวัสดุพื้นผิวอาทิเช่น พื้นโต๊ะหรือพื้นห้อง คือวัสดุที่มีความต้านทานสูงกว่า 10^{9} โอห์ม [3] เมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของ Electrostatic Discharge Association ที่ ESD S7.1

2. วัสดุที่เป็นดิสซิเปทีฟ (Static Dissipative Material) เป็นวัสดุที่มีความต้านทานอยู่ในย่านระหว่างตัวนำและฉนวน ดังนั้นเมื่อเกิดไฟฟ้าสถิตขึ้นบนวัสดุประเภทนี้ ประจุไฟฟ้าสถิตจะสามารถถ่ายเทออกไปได้ ซึ่งจะเร็วกว่าวัสดุที่เป็นฉนวนแต่ช้ากว่าวัสดุที่เป็นตัวนำ โดยอาศัยคุณสมบัติข้อนี้ การถ่ายเทประจุจากอุปกรณ์ที่ถูกชาร์จไว้ ผ่านวัสดุที่เป็นดิสซิเปทีฟ จะเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้ลดความเสียหายอันเนื่องจากกระแสไหลรวดเร็ว (ZAP) ได้

3. วัสดุที่เป็นตัวนำ (Conductive Material) เป็นวัสดุที่ประจุไหลผ่านพื้นผิวได้สะดวก มีความต้านทานต่ำ แต่ไม่จำเป็นต้องมีความต้านทานต่ำเท่ากับกรณีของสายตัวนำในวงจรไฟฟ้า ย่านความต้านทานของตัวนำในงานควบคุมไฟฟ้าสถิตแสดงในตารางที่ 2.2 วัสดุที่เป็นตัวนำก็สามารถเกิดไฟฟ้าสถิตบนตัววัสดุจากการสัมผัสได้เช่นเดียวกับฉนวนและดิสซิเปทีฟ แต่เนื่องจากความสามารถในการถ่ายเทประจุได้ดี จึงสามารถถ่ายเทประจุไปยังจุดที่มีศักย์ต่ำกว่า และเหลือปริมาณประจุสะสมอยู่บนพื้นผิวในปริมาณที่น้อยมาก ข้อจำกัดอย่างหนึ่งสำหรับการใช้วัสดุตัวนำก็คือ ถ้าตัวนำที่เป็นกลางสัมผัสกับตัวนำที่มีประจุอยู่ ประจุจะถูกถ่ายเทอย่างรวดเร็วและอาจเกิดปัญหาเนื่องจากกระแสไหลรวดเร็ว (ZAP) ได้ ตัวอย่างเช่น การถ่ายเทประจุจากขาวงจรรวมที่มีประจุสะสมอยู่ไปยังโต๊ะที่มีผิวหน้าทำจากสเตนเลส เป็นต้น

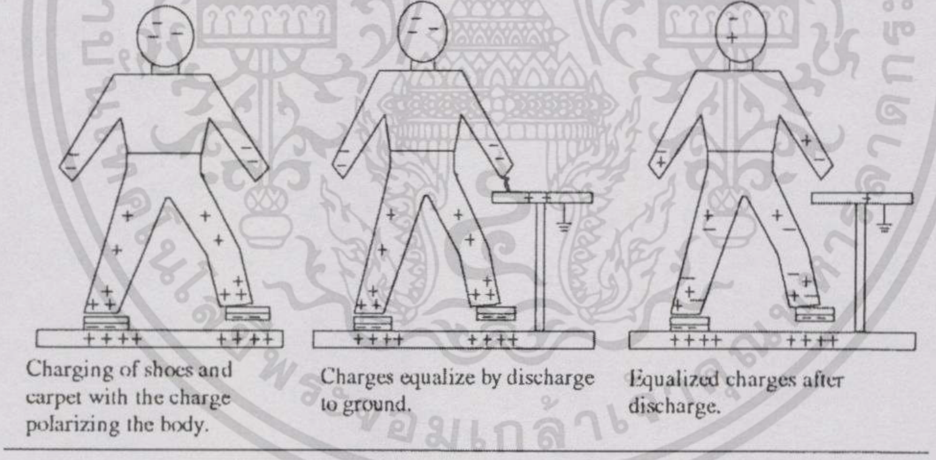
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานของวัสดุที่ใช้ในงานควบคุมไฟฟ้าสถิต

วัสดุ	ความต้านทาน	
	ข้อกำหนดที่ ESD S7.1	ข้อกำหนดที่ EIA 541
ฉนวน	$>10^9$ โอห์ม	$\geq 10^{11}$ โอห์ม
ดิสซิเปทีฟ	$10^6 - 10^9$ โอห์ม	$10^5 - 10^{11}$ โอห์ม
ตัวนำ	$2.5 \times 10^4 - 10^6$ โอห์ม	10^5 โอห์ม

2.3 การเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายและการถ่ายเท

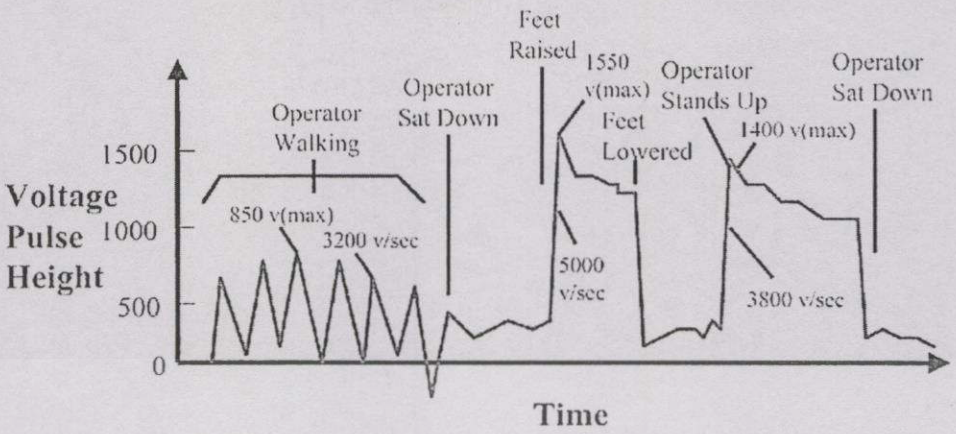
ปริมาณประจุที่เกิดขึ้นบนร่างกายจะเกิดขึ้นจากการสัมผัสของวัสดุขณะร่างกายเคลื่อนไหวในอิริยาบถต่าง ๆ เช่น ขณะเดิน องค์ประกอบสำคัญที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายก็คือการสัมผัสระหว่างรองเท้าและพื้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายจากการสัมผัสของรองเท้าและพื้นขณะร่างกายเคลื่อนไหว

ปริมาณประจุที่เกิดขึ้นบนร่างกายจะเกิดขึ้นขณะร่างกายเคลื่อนไหวในอิริยาบถต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะร่างกายเคลื่อนไหว

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้นบนร่างกาย ขณะร่างกายเคลื่อนที่จะเกิด Tribocharge ขึ้นและประจุที่เกิดขึ้นจะสะสมอยู่บนร่างกายเสมือนตัวเก็บประจุตัวหนึ่ง [5] ปริมาณแรงดันมีความสัมพันธ์กับปริมาณประจุดังสมการ

$$q = CV \tag{2.1}$$

q = ปริมาณประจุ (คูลอมป์)

C = ความจุของร่างกาย (ฟาราด)

V = ปริมาณแรงดัน (โวลต์)

โดยแบบจำลองที่จะแสดงความจุของร่างกายแสดงได้ดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 แบบจำลองความจุของร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติความจุของร่างกายจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100 – 400 พิโคฟาราด (pF) ขึ้นอยู่กับอิริยาบถ ตัวอย่างเช่น ถ้าร่างกายขณะยืนมีความจุ 200 pF มีความต้านทานเทียบกราวด์ที่ 10^{11} โอห์ม ถูกชาร์จจนมีแรงดัน 3 กิโลโวลต์ ประจุบนร่างกายจะมีปริมาณเท่ากับ

$$q = CV = (200 \times 10^{-12}) \times 3000 \text{ คูลอมป์} \quad (2.2)$$
$$= 6 \times 10^{-7} \text{ คูลอมป์}$$

จากความสัมพันธ์ของความจุของร่างกายและปริมาณแรงดัน จึงสามารถอธิบายได้เพิ่มเติมว่า ถึงแม้ร่างกายจะไม่ได้เคลื่อนที่ที่จะก่อให้เกิดประจุจากการสัมผัสในปริมาณมากขึ้น แต่ถ้าความจุของร่างกายเปลี่ยนไป อาทิเช่น เปลี่ยนอิริยาบถจากยืนเป็นนั่ง ก็จะทำให้แรงดันที่วัดได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงอิริยาบถของร่างกายที่มีผลต่อความจุ [6] แสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความจุของร่างกายที่อิริยาบทต่างๆ

CAPACITANCE CHANGES IN PERSONNEL IN A WORK AREA

DESCRIPTION OF MOVEMENT	% CHANGE IN CAPACITANCE DUE TO MOVEMENT		
	INITIAL CAPACITANCE	FINAL CAPACITANCE	% CHANGE
Person seated, raising one foot	192	163	15% Decrease
Person seated, picking up both feet placing them on the foot rest	192	129	33% Decrease
Person seated, leaning forwards in chair (desk type chair with back)	192	184	4% Decrease
Standing person raising one foot	167	141	16% Decrease
Seated person standing up	192	167	13% Decrease

เมื่อร่างกายที่มีประจุไฟฟ้าสถิตไปสัมผัสกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีศักย์ต่ำกว่า ก็จะเกิดการถ่ายเทของประจุไปยังชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้น ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองการถ่ายเทประจุ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาหาความทนทานของชิ้นส่วนอิเล็คทรอนิกส์ที่เกิดจากการดิสชาร์จของประจุจากร่างกาย (Human Body Model) ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การถ่ายเทประจุออกจากร่างกายโดยผ่านสายรัดข้อมือและสายต่อกราวด์

จุดประสงค์ของการใช้สายรัดข้อมือและสายต่อกราวด์ก็เพื่อป้องกันไม่ให้ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวในอิริยาบถต่าง ๆ สะสมอยู่บนร่างกาย การถ่ายเทประจุออกจากร่างกายต้องรวดเร็วพอที่จะไม่ก่อให้เกิดประจุสะสมจากการสัมผัสและการเคลื่อนที่ของร่างกาย รองเท้า และพื้น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความจุของร่างกายเทียบกับกราวด์ในขณะอิริยาบถต่าง ๆ

เมื่อร่างกายถูกต่อลงกราวด์ผ่านทางสายรัดข้อมือ ทำให้สามารถวัดความต้านทานของร่างกายเทียบกับกราวด์ได้ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการถ่ายเทประจุ สามารถอธิบายได้โดยสมการของการถ่ายเทประจุผ่านความต้านทานและค่าความจุ

$$V = Vo \, . \, EXP \ (-t)/RC \qquad (2.3)$$

ให้ค่าความต้านทานของร่างกายเทียบกราวด์มีค่า 10 เมกโอห์ม แรงดัน 5000 โวลต์ที่เกิดขึ้นบนร่างกายจะใช้เวลาถ่ายเทลงสู่กราวด์จนลดลงมีค่า 10 โวลต์ จะใช้เวลา 0.0125 วินาที

V = 10 โวลต์ กรณีนี้ถือเป็นแรงดันของร่างกายที่ปลอดภัยที่สามารถจับถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้โดยไม่ทำความเสียหายต่ออุปกรณ์เหล่านั้น

Vo = 5000 โวลต์ ให้เป็นแรงดันเริ่มแรกที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของร่างกาย

T = เวลาที่ใช้ในการถ่ายเทประจุจากระดับแรงดัน Vo มาจนกระทั่ง V

C = ความจุของร่างกาย มีค่า 200 พิโคฟารัด

R = ความต้านทาน 10 เมกโอห์ม

ค่าความต้านทานซึ่งปกติจะถูกต่อร่วมอยู่กับสายรัดข้อมือนั้นเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้าในกรณีที่ผู้สวมใส่สัมผัสกับระบบไฟฟ้า หรือมีกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านไปที่จุดต่อกราวด์ของสายรัดข้อมือ โดยทั่วไปจะใช้ค่าความต้านทานขนาด 0.25 วัตต์ 1 เมกโอห์ม ซึ่งค่าความต้านทานนี้ถูกเลือกมาจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะถูกจำกัดไม่ให้เป็นอันตรายต่อร่างกายผู้สวมใส่ ดังกระแสที่เกิดขึ้นจากแรงดัน 220 โวลต์ และตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงผลของกระแสไฟฟ้าที่มีผลต่อร่างกาย

$$I = V/R \qquad (2.4)$$

$$= 220 / 1 \times 10^{6} = 0.22 \text{ มิลลิแอมป์}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ผลของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อร่างกาย

ปริมาณกระแสไฟฟ้า	กระทบ
0 - 0.5 มิลลิแอมป์	ไม่รู้สึก / รู้สึกเพียงเล็กน้อย
0.5 - 1 มิลลิแอมป์	รู้สึกเพียงเล็กน้อย
1 - 5 มิลลิแอมป์	รู้สึกเจ็บปวดเล็กน้อย
5 - 10 มิลลิแอมป์	รู้สึกเจ็บปวด
มากกว่า 10 มิลลิแอมป์	ไม่สามารถขยับตัวได้
100 มิลลิแอมป์ - 2 แอมป์	กล้ามเนื้อเกร็งและอาจเสียชีวิต
มากกว่า 2 - 3 แอมป์	ผิวหนังเป็นรอยไหม้

นอกจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายรัดข้อมือดังที่กล่าวมาแล้วจากข้างต้น สายรัดข้อมือควรสวมใส่สบายไม่รัดแน่นหรือหลวมเกินไป มีประสิทธิภาพในการสัมผัสผิวหนังได้ดี และต้องไม่ระคายเคืองกับผิวหนังของผู้สวมใส่ วัสดุที่นำมาทำเป็นสายรัดข้อมือ สามารถทำได้จากผ้าที่ถักทอด้วยใยตัวนำเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการเป็นตัวนำและการสัมผัสกับผิวหนัง หรืออาจทำจากโลหะหรือพลาสติกเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน

ผู้สวมใส่ควรทดสอบความเป็นตัวนำทางไฟฟ้าของสายรัดข้อมืออย่างสม่ำเสมอ ในงานอุตสาหกรรมที่พนักงานต้องสวมใส่สายรัดข้อมือตลอดเวลา ควรมีการตรวจสอบสายรัดข้อมือทุกครั้งที่เข้ามาในส่วนการผลิตหรืออย่างน้อยวันละครั้ง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสายรัดข้อมือยังอยู่ในสภาพที่สายตัวนำไม่ชำรุดและความต้านทานผิวสัมผัสไม่สูงเกินไป ให้ค่าความต้านทานรวมอยู่ในพิกัดที่กำหนดและสามารถถ่ายเทประจุจากร่างกายลงสู่กราวด์ได้อย่างเต็มที่

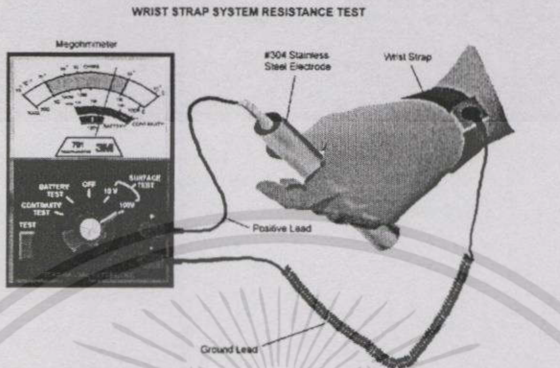
สำหรับข้อพิจารณาคุณสมบัติทางกลเพิ่มเติม ได้แก่ความสามารถในการทนการหักงอของสายตัวนำ จำนวนครั้งในการถอดและใส่ของสายรัดและสายตัวนำ ซึ่งก็คืออายุการใช้งานของสายรัดข้อมือและสายตัวนำนั่นเอง

2.4.1 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง

สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง เป็นระบบการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตจากร่างกายแบบพื้นฐานโดยผ่านสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ ข้อพิจารณาสำคัญของการใช้สายรัดข้อมือเพื่อลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายชนิดนี้คือ ต้องมั่นใจว่า ส่วนประกอบต่าง ๆ ของสายรัดรวมทั้งสายต่อกราวด์อยู่ในลักษณะพร้อมใช้งานและมีความต้านทานอยู่ในย่านที่กำหนด จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบที่บ่อยครั้งและเหมาะสมเพื่อป้องกันความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น อาทิเช่น สายรัดข้อมือสกปรก มีความต้านทานสูง สายรัดข้อมือชำรุด หรือมีความนำทางไฟฟ้าลดลง สายต่อลงกราวด์ชำรุด เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบสายรัดข้อมือ (Wrist Strap Tester)



รูปที่ 2.8 การทดสอบสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง

อย่างไรก็ดี การใช้เครื่องมือตรวจสอบความต้านทานดังกล่าว จะใช้ก่อนเข้าทำงานในส่วนการผลิต โดยจะมีการติดตั้งเครื่องทดสอบไว้บริเวณประตูทางเข้า เมื่อพนักงานตรวจสอบแล้วว่าผ่าน ก็จะสามารถเข้าไปทำงานได้ ในบางกรณีเครื่องตรวจสอบนี้อาจถูกต่อวงจรร่วมกับประตูปิดเปิดอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อตรวจสอบผ่าน พนักงานคนดังกล่าวจึงจะสามารถผ่านประตูเข้าไปทำงานได้ หรืออาจใช้งานร่วมกับระบบการ์ดอิเล็กทรอนิกส์หรือบัตรประจำตัวของพนักงานแต่ละคน และต่อพ่วงไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทาง RS-232 เพื่อเก็บบันทึกข้อมูล เป็นต้น

2.4.2 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง

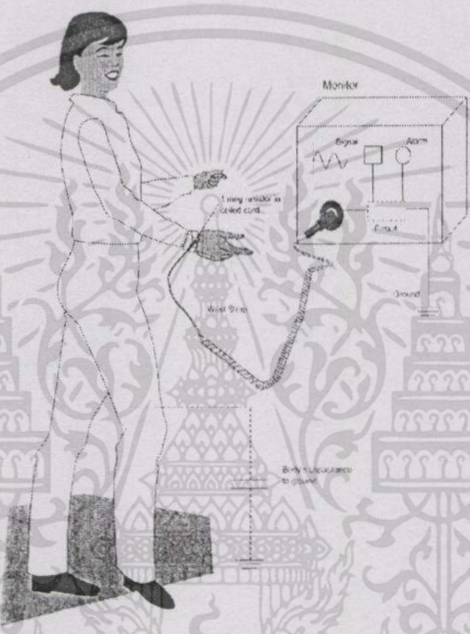
ในส่วนการผลิตที่มีการควบคุมไฟฟ้าสถิตในระดับต่ำมากและชิ้นส่วนที่พนักงานต้องจับถือมีราคาสูง อาทิเช่น การประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรว์ ซึ่งการต่อลงกราวด์ของร่างกายผ่านสายรัดข้อมือเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก และต้องการสายรัดข้อมือที่มีการตรวจสอบการต่อลงกราวด์แบบตลอดเวลา โดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาต่อร่วมกับสายรัดข้อมือ เมื่อใดที่สายรัดข้อมือชำรุดหรือจุดต่อลงกราวด์หลุด เครื่องจะแสดงความผิดปกติออกมาทันที โดยผ่านทางไฟแสดงสถานะหรือเสียงเตือน ซึ่งเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า สายรัดข้อมือชนิดตรวจสอบแบบต่อเนื่อง (Continuous Wrist Strap Monitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง [7]

2.4.2.1 ชนิดตรวจสอบด้วยค่าความจุ

เครื่องมือชนิดนี้จะใช้สายรัดข้อมือแบบปกติต่อร่วมกับชุดควบคุมที่ถูกต่อลงกราวด์ หน้าที่หนึ่งคล้ายกับสายรัดข้อมือชนิดธรรมดาคือเป็นทางให้ไฟฟ้าสถิตไหลผ่านสู่กราวด์ อีกหน้าที่หนึ่งจะวัดความจุร่างกาย ดังแสดงในรูปที่ 2.9

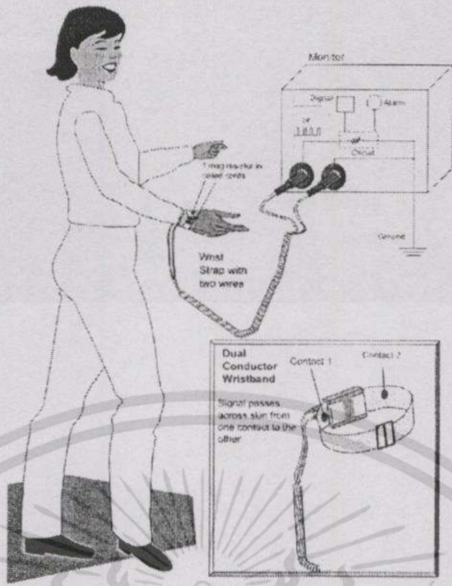


รูปที่ 2.9 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง ชนิดตรวจสอบด้วยค่าความจุ

2.4.2.2 ชนิดตรวจสอบด้วยค่าความต้านทาน

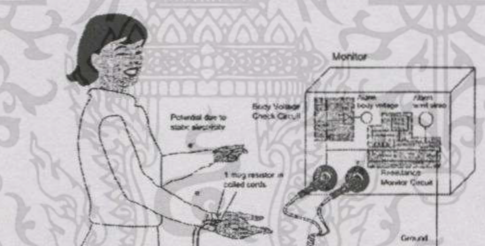
เครื่องมือชนิดนี้จะใช้สายรัดข้อมือแบบสองสายต่อร่วมกับชุดควบคุมที่ถูกต่อลงกราวด์ หน้าที่หนึ่งคล้ายกับสายรัดข้อมือชนิดธรรมดาคือเป็นทางให้ไฟฟ้าสถิตไหลผ่านสู่กราวด์ อีกหน้าที่หนึ่งจะวัดความต้านทานเป็น Loop โดยผ่านสายเส้นหนึ่งไปยังข้อมือของผู้สวมใส่ผ่านกลับมาที่วงจรสายรัดข้อมืออีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง ชนิดตรวจสอบด้วยค่าความต้านทาน

2.4.2.3 ชนิดตรวจสอบด้วยค่าแรงดันที่เกิดขึ้นบนร่างกาย



รูปที่ 2.11 สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่องชนิดตรวจสอบด้วยแรงดัน

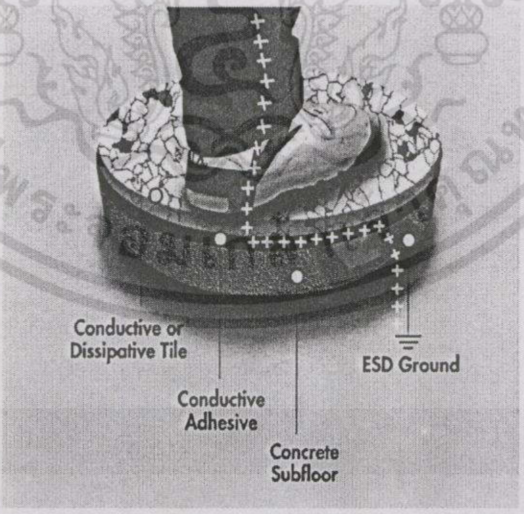
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเพิ่มเติมของสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดที่ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง

1. สามารถวัดการต่อลงกราวด์ของโต๊ะทำงาน
2. สามารถวัดการต่อลงกราวด์ของเครื่องจักร
3. การบันทึกข้อมูลของความผิดปกติ, เวลา หรือรายละเอียดอื่น ๆ โดยต่อร่วมกับคอมพิวเตอร์และซอฟท์แวร์ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะผ่านทางระบบสื่อสาร ทางสาย RS232 หรืออื่น ๆ ไปยังห้องควบคุมหรือแผนกควบคุมคุณภาพสินค้า

2.5 พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิต

สาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของการเกิดไฟฟ้าสถิตในการทำงานก็คือการเคลื่อนไหวของร่างกายโดยเฉพาะการสัมผัสของรองเท้าและพื้นขณะนั่งหรือเดิน ซึ่งการลดและควบคุมไฟฟ้าสถิตให้ได้ผลมากที่สุดคือการใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับรองเท้าตัวนำ ดังรูปที่ 2.12 โดยเฉพาะในลักษณะงานที่พนักงานไม่ได้นั่งอยู่กับที่ หรือเคลื่อนไหวตลอดเวลา ซึ่งไม่สามารถใช้สายรัดข้อมือได้ หรือลักษณะงานที่พนักงานทำงานอยู่ใกล้เครื่องจักรและอาจเกิดอันตรายจากสายรัดข้อมือกับเครื่องจักรที่อยู่รอบข้าง เป็นต้น นอกจากนี้การใช้พื้นชนิดดังกล่าวยังมีประโยชน์ในการถ่ายเทประจุและลดไฟฟ้าสถิตจากเคลื่อนที่ของรถเข็นหรือเก้าอี้บนพื้นนั้นได้อีกด้วย คุณลักษณะของพื้นที่ใช้ควบคุมไฟฟ้าสถิตจึงมีอยู่ 2 ประการคือ ลดการเกิดประจุจากการสัมผัส และเป็นทางผ่านในการถ่ายเทประจุที่เกิดขึ้นนั้นลงสู่กราวด์



รูปที่ 2.12 การถ่ายเทไฟฟ้าสถิตโดยการใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับรองเท้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดในการใช้พื้นมีอยู่ 2 ประการ ประการแรกคือ ในการทำงานที่พนักงานนั่งบนเก้าอี้ พนักงานควรใส่สายรัดข้อมือร่วมด้วยตลอดเวลา เพราะถ้าพนักงานนั่งโดยไม่ได้วางเท้าบนพื้นก็จะไม่สามารถถ่ายเทประจุที่เกิดขึ้น ผ่านรองเท้าสู่พื้นได้

ข้อจำกัดที่สอง คือราคาของพื้นและการติดตั้ง ราคาของพื้นที่ติดตั้งแบบถาวรจะมีราคาแพงมากและเป็นการลงทุนครั้งแรกที่สูง รวมทั้งการติดตั้งบนพื้นผิวคอนกรีตต้องมีการระมัดระวังเรื่องความชื้น ถ้าเป็นอาคารใหม่ควรจะมีการก่อสร้างที่ป้องกันความชื้นไว้แต่แรก ถ้าพื้นมีความชื้นสูง อาจมีความจำเป็นต้องใช้กาวชนิดพิเศษที่มีแรงยึดติดมากขึ้น หรืออาจจำเป็นต้องใช้สารเคมีป้องกันความชื้นทาทับคอนกรีตก่อนจะมีการติดตั้งพื้น เป็นต้น

ชนิดและการเลือกใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิต [1]

1. พื้นชนิดอิพอกซี่ (Epoxy Flooring) แสดงดังรูปที่ 2.13

ข้อดี บำรุงรักษาง่ายทนทานต่อรอยขีดข่วน ความนำไฟฟ้าที่ค่าคงที่ ทนทานต่อสารเคมีรับแรงกดได้สูง สะอาด ใช้ในห้องสะอาดได้ ไม่มีรอยต่อของแผ่นต่อแผ่น

ข้อเสีย การติดตั้งต้องอาศัยผู้ชำนาญงานและราคาสูง

2. พื้นชนิดไวนิล (Vinyl Flooring)

ข้อดี ทนทานรอยขีดข่วนได้ปานกลาง ติดตั้งง่าย ติดตั้งบนพื้นชนิดยกสูง (Raised Access) ได้

ข้อเสีย มีรอยต่อแผ่นต่อแผ่น รับแรงกดจากเครื่องจักรได้จำกัด ต้องทำความสะอาดและบำรุงรักษาสม่ำเสมอ

รูปที่ 2.13 การใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิด Vinyl Flooring

3. พื้นชนิดแผ่นม้วน (Floor Mat)

ข้อดี ติดตั้งและเคลื่อนย้ายสะดวก ราคาถูกโดยเฉพาะติดตั้งในบริเวณเล็กๆ ค่าความต้านทานสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียไม่ทนทานต่อรอยขีดข่วน ราคาสูงถ้าติดตั้งบริเวณกว้าง รับแรงกดได้จำกัด ไม่ทนทานต่อสารเคมี

4. พรม (Carpet)

ข้อดี ติดตั้งและเคลื่อนย้ายสะดวก ดูดซับเสียงได้ สะดวกสบาย (Personnel Comfort) ดูดซับเสียงได้
ข้อเสีย ไม่สามารถใช้งานกับบริเวณที่มีน้ำหรือความชื้นได้ ไม่สามารถใช้ใน Clean Room ได้ ไม่ทนทานต่อแรงกด

5. สี ใช้งานง่าย ราคาถูกแต่ต้องบำรุงรักษาบ่อย

2.6 รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต

ในลักษณะงานที่ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้นั่งอยู่กับที่ ซึ่งไม่สามารถใช้สายรัดข้อมือสำหรับถ่ายเทประจุลงกราวด์ได้ การใช้รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตเป็นสิ่งที่สำคัญมาก และถึงแม้ว่าผู้ปฏิบัติงานจะสวมสายรัดข้อมือก็ตาม การใช้รองเท้าถือเป็นการถ่ายเทประจุอีกทางหนึ่งที่ช่วยให้ความเชื่อถือของระบบควบคุมไฟฟ้าสถิตสูงขึ้น

ชนิดของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน สามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ชนิดสายรัดปลายเท้าหรือส้นเท้าที่ใช้ร่วมกับรองเท้าปกติ (Heel or Shoes Strap) เป็นสายรัดที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าบริเวณฝ่าเท้าที่สัมผัสพื้น และมีสายรัดตัวนำเข้ากับข้อเท้าของผู้สวมใส่ เหมาะสำหรับการปฏิบัติงานชั่วคราว หรือผู้มาเยี่ยมชมโรงงาน

รูปที่ 2.14 ชนิดของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

2. ชนิดสวมคลุมเท้า (Booties) ร่วมกับชุดคลุม (Smock or Jump Suit) ใช้ในลักษณะงานที่ต้องระมัดระวังเรื่องฝุ่นละออง และความสะอาด
3. ชนิดรองเท้า (Shoes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

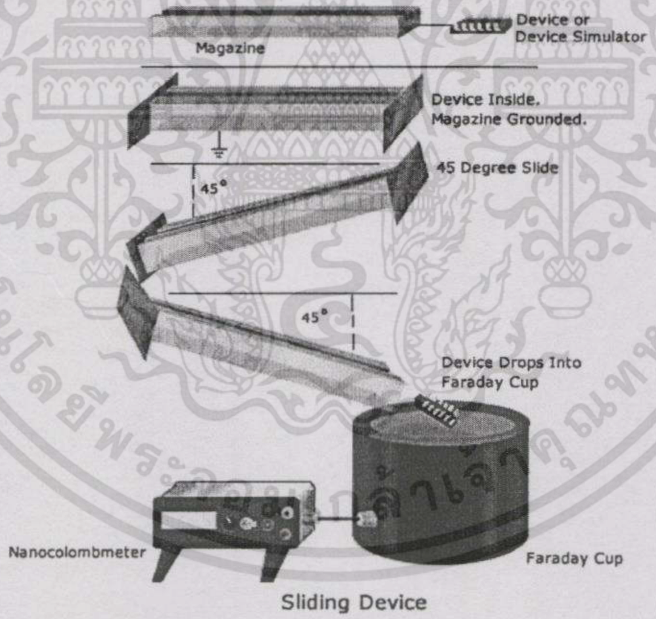
บทที่ 3

วิธีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุควบคุมไฟฟ้าสถิต

3.1 การวัดความสามารถในการเกิดไฟฟ้าสถิตของวัสดุจากการสัมผัส

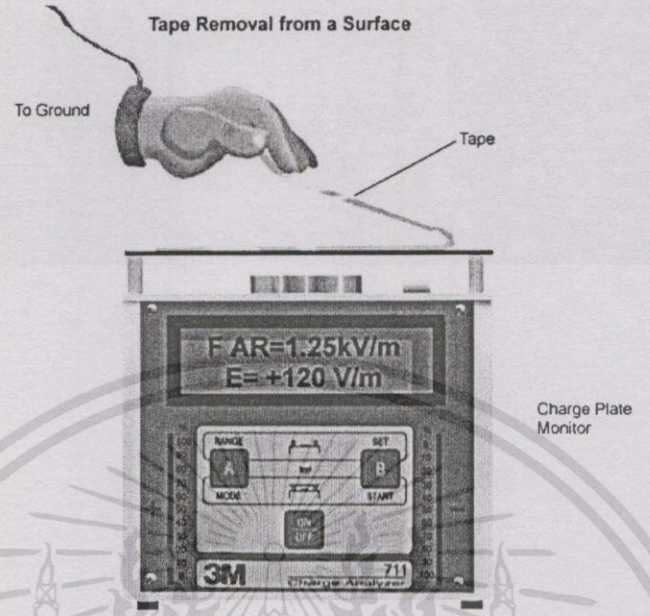
การวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการสัมผัสหรือการทดสอบความเป็น Antistatic ของวัสดุหนึ่งเมื่อเทียบกับวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่เหมาะสมที่สุดก็คือ การวัดหรือการทดสอบในลักษณะจำลองการใช้งานจริง ตัวอย่างเช่น การวัดคุณสมบัติของถุงพลาสติกที่จะนำมาเป็นบรรจุภัณฑ์ของ Printed Circuit Board (PCB) เพื่อขนส่ง ก็ควรจะมีการทดสอบโดยนำแผ่น PCB ดังกล่าว บรรจุในถุงพลาสติกแล้วดึงออกที่จำนวนครั้งต่างๆ กัน แล้ววัดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น แล้วจึงพิจารณาว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ เป็นต้น

ตัวอย่างอื่น ได้แก่การทดสอบหลอดบรรจุภัณฑ์ (Plastic Tube) ที่ใช้บรรจุและขนส่งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือการทดสอบเทปกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ [8] ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

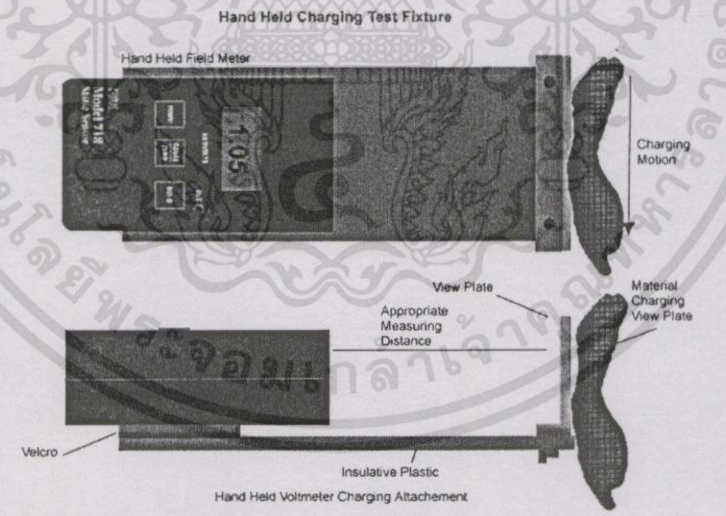


รูปที่ 3.1 การทดสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของชิ้นงานและบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การทดสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของเทปที่ใช้ปิดบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3.3 การทดสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตจากการสัมผัสของวัสดุด้วย Static Field Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

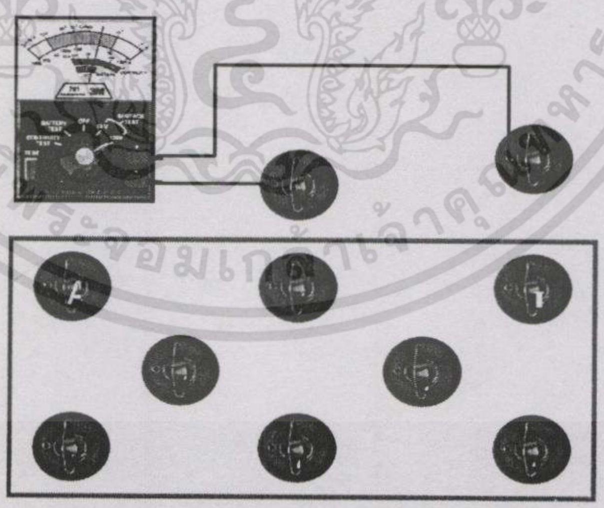
3.2 การวัดความต้านทานของพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิต

สาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของการเกิดไฟฟ้าสถิตในการทำงานก็คือการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยเฉพาะการสัมผัสกันระหว่างรองเท้าและพื้นขณะนั่งหรือเดิน ซึ่งการลดและควบคุมไฟฟ้าสถิตให้ได้ผลมากที่สุดคือการใช้พื้นร่วมกับรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต โดยเฉพาะในลักษณะงานที่พนักงานไม่ได้นั่งอยู่กับที่ หรือเคลื่อนไหวตลอดเวลา ซึ่งไม่สามารถใช้สายรัดข้อมือได้ หรืออาจเกิดอันตรายจากสายรัดข้อมือกับเครื่องจักรที่อยู่รอบข้าง เป็นต้น การใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตยังมีประโยชน์ในการถ่ายเทประจุและลดไฟฟ้าสถิตจากเคลื่อนที่ของรถเข็นหรือเก้าอี้บนพื้นนั้นได้อีกด้วย การวัดความต้านทานของพื้นมีข้อกำหนดดังนี้ [3]

1. เครื่องมือวัดความต้านทาน (Megohm Meter) ที่มีความแม่นยำในการทดสอบ ±10% มีแรงดันในการวัดเมื่อเปิดวงจร (Open Circuit Test Voltage) ที่ 10 โวลต์และ 100 โวลต์ ที่ ± 10% และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เครื่องมือวัดควรมีการกำจัดกระแสในการวัดอยู่ที่น้อยกว่า 5 มิลลิแอมแปร์

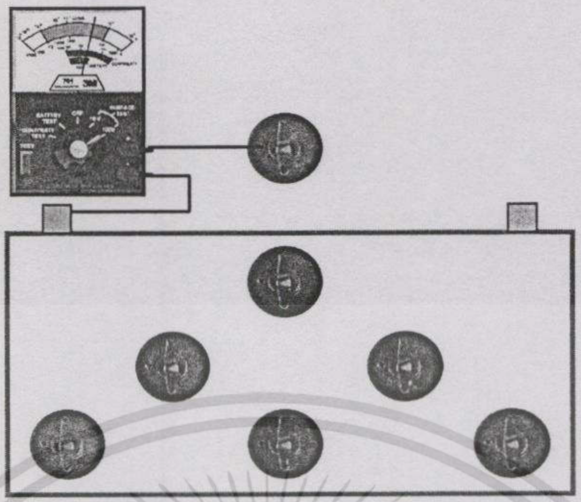
อิเล็กโทรดที่ใช้วัดต้องมีน้ำหนัก 2.27 กิโลกรัม (5 ปอนด์) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร (2.5 นิ้ว) และส่วนที่สัมผัสกับพื้นที่จะใช้วัด จะต้องรองด้วยวัสดุตัวนำที่มีความแข็ง 50-70 shore A

2. วิธีการวัด มีวิธีการวัด 2 วิธี คือ วัดความต้านทานจากพื้นผิวถึงพื้นผิว (Surface to Surface) ดังรูปที่ 3.4 และการวัดความต้านทานจากพื้นผิวสู่จุดกราวด์ (Surface to Ground) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การวัดความต้านทานแบบพื้นผิวถึงพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การวัดความต้านทานแบบพื้นผิวถึงจุดกราวด์

3.3 การวัดความต้านทานของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต

การใช้รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิตก็เพื่อจุดประสงค์ในการลดไฟฟ้าสถิตจากการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยเฉพาะการสัมผัสกันระหว่างรองเท้าและพื้นขณะนั่งหรือเดิน การวัดความต้านทานของรองเท้ามีข้อกำหนดดังนี้ [3]

เครื่องมือวัดความต้านทานที่ต่อร่วมกับอิเล็กโทรดน้ำหนัก 2.27 กิโลกรัม (5 ปอนด์) เส้นผ่านศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตร (2.5 นิ้ว) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การวัดความต้านทานของรองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต

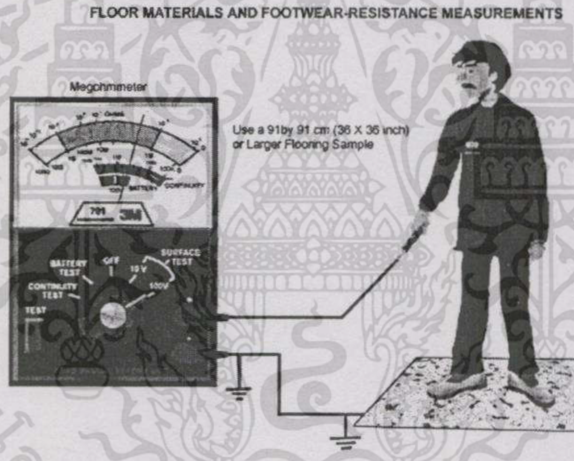
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวัดความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับรองเท้าและพื้น

องค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของการลดไฟฟ้าสถิตจากการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยเฉพาะการสัมผัสกันระหว่างรองเท้าและพื้นขณะนั่งหรือเดิน คือการใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับรองเท้าตัวนำโดยพิจารณาถึงความสามารถและความเร็วในการถ่ายเทประจุและลดไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นลงสู่กราวด์ ซึ่งก็คือความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับรองเท้าและพื้น การวัดความต้านทานของร่างกายมีข้อกำหนดดังนี้ [3]

เครื่องมือวัดความต้านทานที่มีแรงดันในการวัดเมื่อเปิดวงจร (open circuit test voltage) ที่ 10 โวลต์และ 100 โวลต์ ที่ ± 10% และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน เครื่องมือวัดควรมีการกำจัดกระแสในการวัดอยู่ที่น้อยกว่า 5 มิลลิแอมแปร์

เครื่องมือวัดความต้านทานจะต่อร่วมกับอิเล็กโทรดกลมสำหรับจับถือ เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 นิ้ว และปลายอีกด้านหนึ่งต่อร่วมกับจุดต่อกราวด์ของพื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 3.7



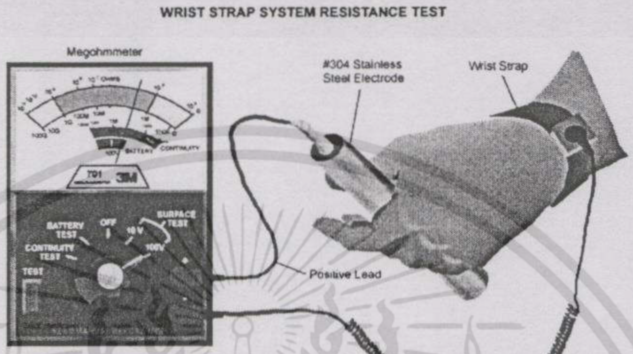
รูปที่ 3.7 การวัดความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับรองเท้าและพื้น

3.5 การทดสอบสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง

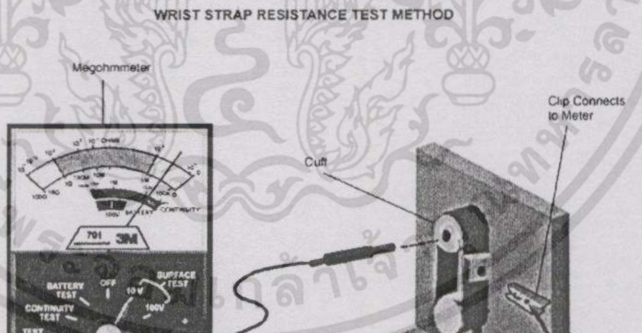
สายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ชนิดปกติที่ไม่ได้ทำงานร่วมกับวงจรตรวจสอบแบบต่อเนื่อง เป็นระบบการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตจากร่างกายแบบพื้นฐานโดยผ่านสายรัดข้อมือพร้อมสายต่อกราวด์ ข้อพิจารณาสำคัญของการใช้สายรัดข้อมือเพื่อลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายชนิดนี้คือ ต้องมั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใจว่า ส่วนประกอบต่าง ๆ ของสายรัดรวมทั้งสายต่อกราวด์อยู่ในลักษณะพร้อมใช้งานและมีความต้านทานอยู่ในย่านที่กำหนด จึงจำเป็นต้องทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบสายรัดข้อมือ ดังรูปที่ 3.8 [3] และเพื่อลดปัญหาจากความต้านทานสูงผิวสัมผัสสูงอันเนื่องมาจากพนักงานที่ใส่สายรัดข้อมือไม่แน่น การใช้สายรัดที่ทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำก็จะทำให้ความเชื่อถือได้ (Reliability) สูงขึ้น โดยมีการทดสอบดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 การวัดความต้านทานรวมของร่างกายร่วมกับสายรัดข้อมือ

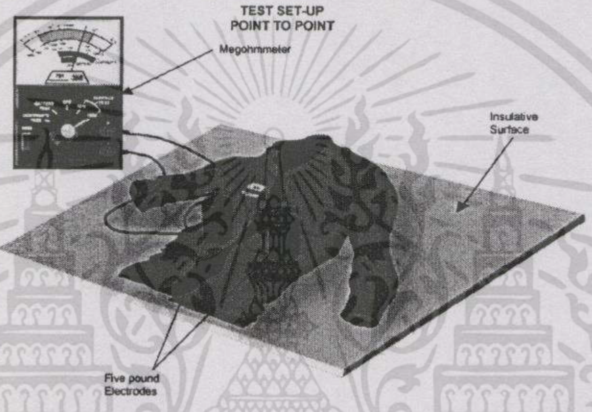


รูปที่ 3.9 การวัดความต้านทานของสายรัดข้อมือที่สายรัดทำจากวัสดุที่เป็นตัวนำ

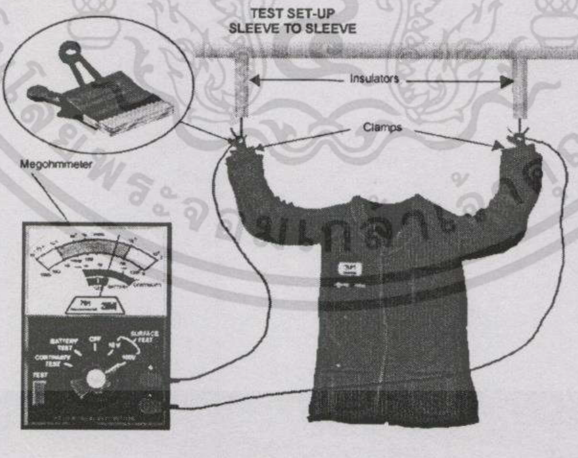
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทดสอบชุดคลุมที่ลดการเกิดไฟฟ้าสถิต

ถึงแม้ว่าร่างกายจะถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตผ่านทางสายรัดข้อมือแล้วก็ตาม แต่ประจุอาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสและเสียดสีของชุดคลุมได้เช่นกัน ดังนั้นชุดคลุมที่ใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบันนอกจากการพิจารณาด้านความสะอาดและความสามารถในการป้องกันฝุ่นละอองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงการเกิดไฟฟ้าสถิตและความสามารถในการถ่ายเทด้วย ปัจจุบันจึงใช้ใยสังเคราะห์ที่มีความนำทางไฟฟ้าถักทอร่วมไปกับใยผ้าปกติด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าดังกล่าวยังคงอยู่ถึงแม้ชุดคลุมจะผ่านการใช้งานและซักล้างแล้วจึงจำเป็นต้องวัดค่าความต้านทานของชุดคลุมด้วย [3] ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และ 3.11



รูปที่ 3.10 การวัดความต้านทานของชุดคลุมที่ใช้ใยสังเคราะห์ที่มีความนำทางไฟฟ้าถักทอร่วม แบบ Point-to-Point

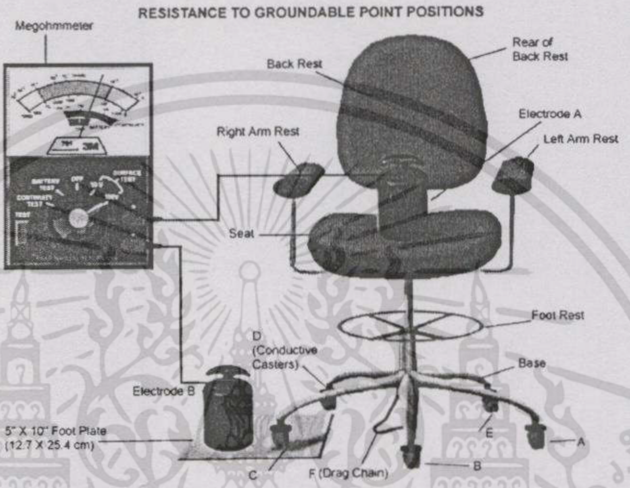


รูปที่ 3.11 การวัดความต้านทานของชุดคลุมที่ใช้ใยสังเคราะห์ที่มีความนำทางไฟฟ้าถักทอร่วม แบบ Sleeve-to-Sleeve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การทดสอบเก้าอี้ที่ควบคุมการเกิดไฟฟ้าสถิต

องค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการลดไฟฟ้าสถิตจากการเคลื่อนไหวของร่างกายขณะนั่งคือการใช้พื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมกับเก้าอี้ โดยพิจารณาถึงความสามารถและความเร็วในการลดและการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นลงสู่กราวด์ การทดสอบใช้เครื่องมือวัดความต้านทานที่ต่อร่วมกับอิเล็กโทรดดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การวัดความต้านทานของเก้าอี้ที่มีความนำทางไฟฟ้าที่เบาะและพนักพิง

3.8 การทดสอบทางเคมีเพื่อวิเคราะห์ชนิดของวัสดุด้วยวิธี FTIR

3.8.1 กระบวนการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (The Infrared Absorption Process)

โมเลกุลของสารเคมีจะดูดกลืนแสงในช่วงของอินฟราเรดได้เช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิล เพียงแต่ต่างกันที่ IR มีพลังงานน้อยกว่า ดังนั้น โมเลกุลเมื่อดูดกลืนแสง IR โมเลกุลจะถูกกระตุ้นเป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ที่สภาวะพื้น โดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ในราว 2-10 Kcal/mole ซึ่งเป็นพลังงานพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (vibration) หรือเกิดการหมุน (rotation) เท่านั้น การดูดกลืนแสง IR ของโมเลกุลมิใช่ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนแสง IR ได้หมด แต่จะต้องมีลักษณะเฉพาะ สภาวะก็ต้องเหมาะสมด้วย คือ [9]

1. รังสีหรือแสงนั้นจะต้องมีพลังงานพอเหมาะพอดีที่จะทำให้เกิดการทรานซิชัน
2. จะต้องเกิดการควบคู่พอดีระหว่างสนามไฟฟ้าจากการแผ่รังสีกับสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เมื่อใช้ IR ผ่านเข้าไปในโมเลกุลของสารใดก็ตาม แล้วเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างข้างต้นนี้เรียกสารนั้นว่า IR Active ถ้าไม่มีการเปลี่ยนโมเมนต์ขั้วคู่ แสดงว่าสารนั้นเป็น IR inactive ถือว่าไม่มีการดูดกลืนแสง IR ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่มากจะได้ IR absorption peak สูง ถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ absorption peak ต่ำ

3.8.2 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (IR Spectrophotometer)

ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรด (IR Source)
2. เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample Cell)
3. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator)
4. เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Detector)
5. เครื่องบันทึกสเปกตรัม (Recorder หรือ Readout Devices)

ต้นกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟฟ้าจนมีอุณหภูมิประมาณ 1,500 – 2,000 เคลวิน ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงมีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ประมาณ 5,000 cm^{-1}

โมโนโครเมเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยช่องแสงผ่าน (slits) เกรติง (grating) หรืออาจมีฟิลเตอร์ (filter) ประกอบด้วยก็ได้ ซึ่งส่วนนี้จะมีลักษณะเหมือนกับระบบโมโนโครเมเตอร์ในเครื่องยูวี- วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทุกประการ

เครื่องวัดแสงอินฟราเรด (IR Detector) เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ผลิตได้ในปัจจุบันนี้ล้วนเป็นพวกที่ให้ความเข้มต่ำ ประกอบกับแสงอินฟราเรดเป็นแสงที่มีพลังงานต่ำ จึงทำให้การตรวจวัดค่อนข้างยุ่งยากกว่าการตรวจวัดแสงยูวีและวิสิเบิล เพราะพลังงานไม่พอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนในหลอดวัดแสง (phototube) ได้

เทอร์มอลดีเทคเตอร์ (Themal Detector) โดยอาศัยสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของสารเมื่อได้รับแสงอินฟราเรด ได้ถูกนำมาใช้สำหรับทำดีเทคเตอร์เพื่อวัดแสงอินฟราเรด ซึ่งอาจจำแนกออกได้เป็น 4 แบบด้วยกัน คือ แบบเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) แบบเทอร์มิสเตอร์ (Thermister) แบบโกเลย์ (Golay) และแบบที่ 4 เรียกว่า ไพโรอิเล็กทริกดีเทคเตอร์ (Pyroelectric Detector) ซึ่งดีเทคเตอร์ชนิดนี้ให้ response time เร็วกว่า จึงเป็นที่นิยมใช้ทำดีเทคเตอร์ของเครื่องใน Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

เครื่องบันทึกสเปกตรัม หรือ Read Out Devices สัญญาณที่ได้จากดีเทคเตอร์ซึ่งเป็นสัญญาณที่น้อยจำเป็นจะต้องเข้าเครื่องขยายสัญญาณเสียก่อน ๆ ที่จะเข้าเครื่องบันทึกหรือเครื่องอ่านสัญญาณเช่นเดียวกับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งอาจเป็นเครื่อง recorders, printers, video display terminals หรือ xy plotters เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

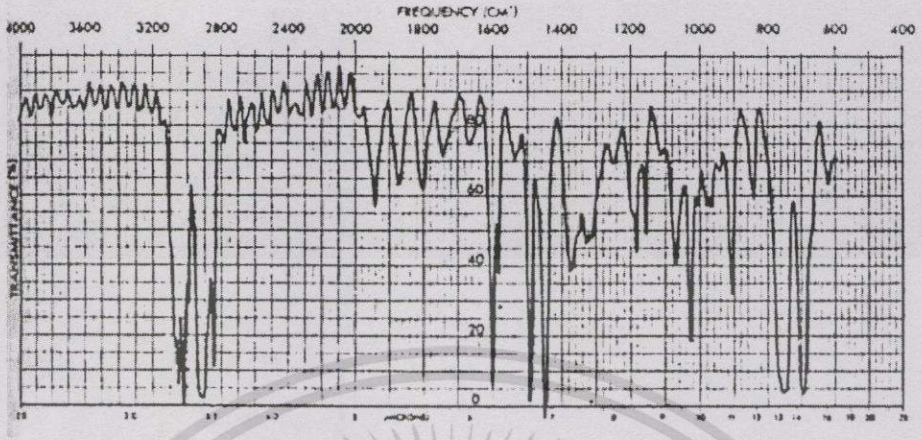
3.8.3 เครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infraed Spectrometer, FT – IR)

โดยทั่วไปเครื่องมือทางสเปกโทรสโกปีนั้นมักจะใช้หลักการกระจายแสงของสเปกตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่สนใจเป็นตัวกำหนด เช่น ในช่วงของอินฟราเรดดังได้กล่าวมาแล้ว จากการบันทึกผลของค่าความเข้มของแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น หรือ wave number ซึ่งได้ออกมาเป็นสเปกตรัมเรียกว่า frequency-domain spectrum ดังที่เห็นกันอยู่ทั่วไป แต่ถ้าใช้วิธีการวัดที่ต่างไป โดยวัดความเข้มของแสง หรือกำลังของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันอย่างต่อเนื่องเทียบกับเวลา เรียกว่า Time-Domain Spectroscopy หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Fourier Transform Spectroscopy จากนั้น time-domain spectrum จะถูกเปลี่ยนเป็น frequency-domain spectrum ด้วย Fourier Transform จากการใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ สิ่งที่สเปกตรัมทั้งสองแตกต่างกันจริง ๆ ก็คือ frequency domain spectrum เป็นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กันทีละครั้งในช่วงระยะเวลาอันหนึ่ง แต่ Fourier Transform Spectrum ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กัน พร้อมกันหมด ดังนั้น Fourier Transform จึงช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น การแยก (resolution) ก็ดี

ข้อดีของการใช้เทคนิค Fourier Transform ที่เห็นได้ชัด ๆ ก็คือ ช่วยให้การวิเคราะห์หรือการวัดสเปกตรัมของสารตัวอย่างทำได้เร็วกว่าเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ธรรมดาหลายเท่า เพราะการวัดด้วยเครื่องธรรมดาจะเป็นแบบวัดทีละความถี่ แต่ FT – IR วัดที่ความถี่ต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง FT – IR ยังช่วยทำให้การวิเคราะห์ง่าย และสะดวกขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและทำงาน ข้อเสียที่สำคัญก็คือ FT – IR เป็นเครื่องที่มีราคาแพง และต้องเสียค่าทะนุบำรุงสูง อย่างไรก็ตาม เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ควรจะต้องอยู่ในห้องที่ควบคุมความชื้นตลอดเวลา แต่มีเครื่อง FT – IR Spectrophotometer ที่ผลิตจากบางบริษัทสามารถตั้งอยู่ในห้องที่ไม่ต้องควบคุมความชื้น

กราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกตรัมจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟต้นแบบเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของกราฟและค่าสูงสุด (peak) ตัวอย่างเช่น รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีสไตรีน (Polystyrene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแสดงลักษณะของอินฟราเรดสเปกตรัมของโพลีสไตรีน (Polystyrene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย

4.1 แบบจำลองการเกิดประจุบนร่างกาย

ในบทนำได้กล่าวถึงแบบจำลองการเกิดและการถ่ายเทประจุที่จะทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ไว้ 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลองเชิงร่างกาย (Human Body Model :HBM) แบบจำลองเชิงเครื่องมือหรือเครื่องจักร (Machine model :MM) และแบบจำลองเชิงชิ้นงาน (Charged Device Model : CDM) ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาแบบจำลองการเกิดประจุบนร่างกายเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 การจัดแบ่งกลุ่มของชิ้นงานที่สามารถเกิดความเสียหายได้จากแบบจำลองเชิงร่างกาย

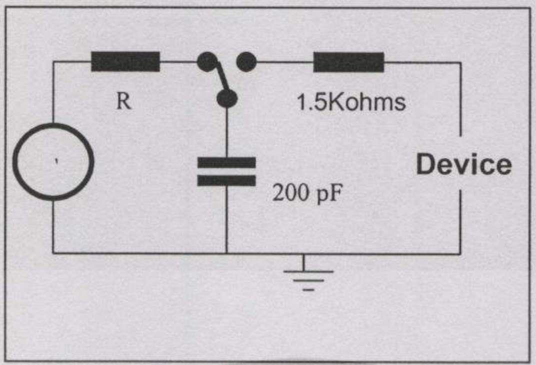
Class	ระดับแรงดัน
0	< 250
1A	250 – 500
1B	500- 1000
1C	1000- 2000
2	2000 – 4000
3A	4000 – 8000
3B	>8000

ขณะร่างกายเคลื่อนที่จะเกิดประจุจากการสัมผัสขึ้น และประจุจะสะสมอยู่บนร่างกายเสมือนตัวเก็บประจุตัวหนึ่ง ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100 – 400 พิโคฟาราด ขึ้นอยู่กับอิริยาบถ เมื่อร่างกายสัมผัสกับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีศักย์ต่ำกว่า ก็จะเกิดการถ่ายเทของประจุไปยังชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดจากไหลของกระแสจะสูง ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองเชิงร่างกาย

แบบจำลองนี้จะถูกนำมาใช้มากที่สุด เพราะการจับต้องชิ้นส่วนโดยพนักงานในแผนกต่างๆจะมีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการรับวัตถุดิบ จนกระทั่งส่งของไปยังลูกค้า

การจำลองการถ่ายเทประจุจากร่างกายและการทดสอบความเสียหายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการถ่ายเทดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



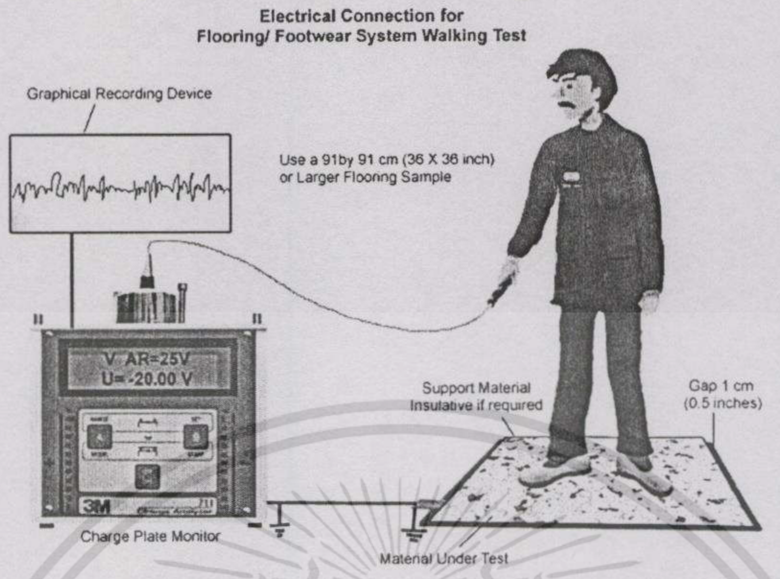
รูปที่ 4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณทดสอบเพื่อจำลองการถ่ายเทประจุจากร่างกาย

4.2 การศึกษาปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย

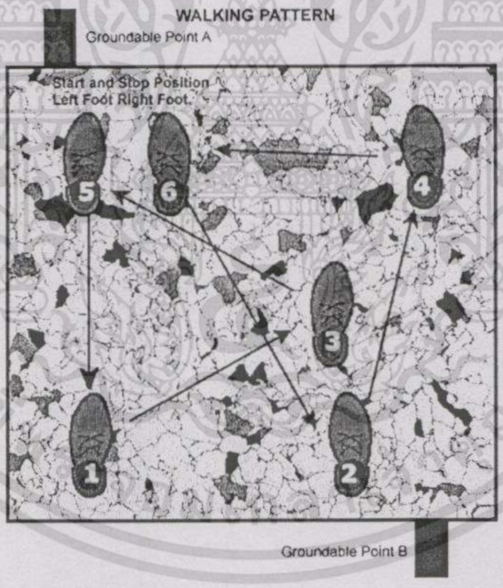
เพื่อให้การวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวมีค่าที่แน่นอนและสามารถทำซ้ำได้ วิธีการทดลองจึงได้ถูกกำหนดขึ้นดังนี้

1. เครื่องมือวัดประจุชนิดที่มี Input Impedance สูงกว่า $1x10^{14}$ โอห์ม และมีค่าความจุน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 พิโคฟาราด สามารถวัดแรงดันได้ตั้งแต่ 10 ถึง 5000 โวลต์ ที่มีความแน่นอน +/- 10% และสามารถต่อเชื่อมกับอุปกรณ์แสดงผลชนิดกราฟ (X-Y Recorder) ได้ อิเล็กโทรดสำหรับจับถือ จะต้องทำจาก Stainless Steel ทองเหลือง หรือทองแดง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซ็นติเมตร ยาว 7.5 เซ็นติเมตร และต่อเชื่อมไปยังเครื่องมือวัดประจุได้ด้วยสายเสียบชนิด Banana Jack ดังรูปที่ 4.2
2. เพื่อให้การแสดงผลชัดเจนและสะดวกในการวิเคราะห์ อุปกรณ์แสดงผลชนิดกราฟ (X-Y Recorder) ควรใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดประจุเพื่อบันทึกค่า
3. พื้นผิวที่จะใช้ทดสอบจะต้องถูกติดตั้งอยู่บนวัสดุที่เป็นฉนวน หนา 5 มิลลิเมตร กว้าง 36 นิ้ว ยาว 36 นิ้ว ทำการ Condition ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมงก่อนทำการทดสอบ
4. ต่อพื้นผิวที่จะทดสอบและเครื่องมือวัดประจุลงกราวด์ร่วมกัน
5. เพื่อให้การวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวมีค่าที่แน่นอนและสามารถทำซ้ำได้ รูปแบบการเดินจึงได้ถูกกำหนดขึ้นดังรูปที่ 4.3
6. บันทึกกราฟและค่าแรงดันสูงสุดที่ได้จากอุปกรณ์แสดงผลชนิดกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว



รูปที่ 4.2 รูปแบบการเดินเพื่อวัดปริมาณแรงดันไฟฟ้าสถิตบนร่างกายอันเนื่องมาจากการเคลื่อนไหว

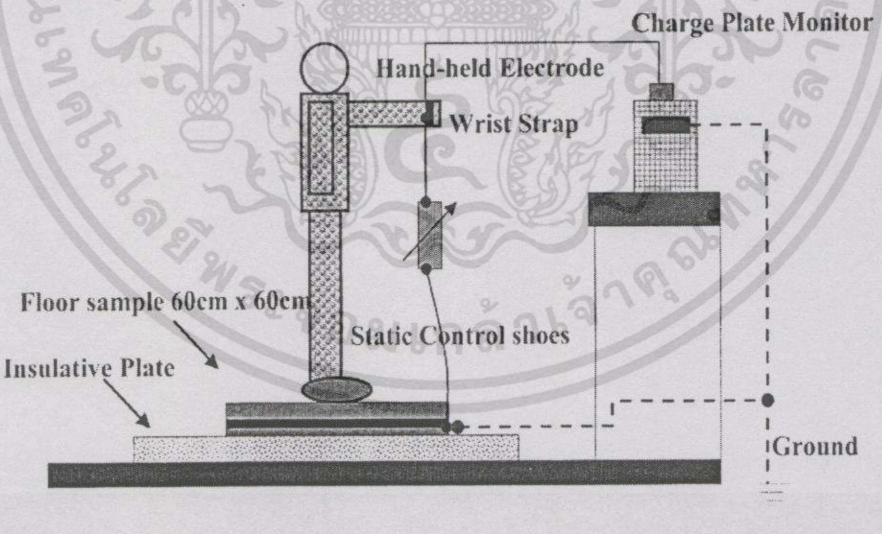
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ผลการทดลองและวิเคราะห์

5.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

5.1.1 ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลง

เป็นการศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจำลองระบบการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สายรัดข้อมือเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมด้วย การทดลองนี้จำลองโดยให้ผู้ทดลองใส่สายรัดข้อมือ แต่ไม่ใช้สายต่อกราวด์แบบปกติที่มีความต้านทานขนาด 1 เมกโอห์มต่ออนุกรมอยู่ภายใน แล้วต่อสายรัดข้อมือนั้นอนุกรมกับความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 0 ถึง 200 เมกโอห์ม วิธีการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตจากการเคลื่อนไหวของร่างกายจำลองโดยผู้ทดสอบสวมรองเท้ายางเดินบนแผ่นกระเบื้องยาง แล้วทำการเปลี่ยนค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อร่วมกับสายรัดข้อมือเพื่อจำลองแทนค่าความต้านทานที่สูงขึ้นของร่างกายเทียบกับกราวด์ และทำการทดลองอีกครั้งโดยไม่ใช้สายรัดข้อมือ บันทึกค่าที่วัดได้และวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ

เป็นการศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ ที่มีจำหน่ายและใช้อยู่แพร่หลายในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจำลองระบบการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมด้วย การทดลองนี้จำลองโดยการไม่ใช้สายรัดข้อมือต่อร่วมด้วยเพื่อจะวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นเท่านั้น วิธีการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3

การออกแบบการทดลอง ใช้การจับคู่ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากผู้ทดสอบที่สวมรองเท้าที่ใช้ทำการทดลอง 2 ชนิด เดินบนพื้นที่ใช้ทำการทดลองทั้ง 8 ชนิดที่ติดตั้งอยู่บนแผ่นทดสอบที่ต่อลงกราวด์ บันทึกค่าความต้านทานของพื้นและแรงดันที่วัดได้ แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองและหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของวัสดุ เทียบกับปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.4 และ 5.5

จำนวนครั้งในการทดสอบโดยจับคู่วัสดุ = ชนิดของรองเท้าตัวอย่าง x ชนิดของพื้นตัวอย่าง x จำนวนพนักงานที่ใช้ทดสอบ

= 2 x 8 x 2 = 32 ครั้ง

เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมจริงในการทำงานของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งสภาพแวดล้อมในด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จึงทำการทดลองนี้ในห้องสะอาด (Clean Room) ที่เป็นบริเวณการผลิตจริงของสายการผลิตฮาร์ดดิสค์ไดรว์ และผู้ปฏิบัติการทดลองทั้งสองท่านก็คือพนักงานในสายการผลิตนั้น

5.1.3 ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น

เพื่อจำลองการใช้งานของรองเท้าร่วมกับพื้นในงานอุตสาหกรรม ซึ่งเมื่อเลือกใช้รองเท้าชนิดใดๆ ก็จะใช้งานไปจนกระทั่งรองเท้านั้นชำรุด หรือตรวจสอบเพียงค่าความต้านทาน แต่มิได้ศึกษาถึงการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเมื่อรองเท้านั้นถูกใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง เพื่อหาวิธีการทำความสะอาด และช่วงระยะเวลาที่พนักงานควรทำความสะอาดรองเท้า หรือช่วงระยะเวลาที่โรงงานควรกำหนดให้พนักงานนำรองเท้ามาส่งให้เพื่อนำไปทำความสะอาด รวมทั้งอายุการใช้งานที่เหมาะสมของรองเท้าชนิดนั้นๆ จึงกำหนดให้พนักงานทั้งสองคนจากการทดลองข้างต้น นำรองเท้าทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองชนิดไปใส่ปฏิบัติงานในสายการผลิต แล้วทดลองวัดการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเมื่อใช้งานไปแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.6

5.2 อุปกรณ์และวิธีการเตรียมวัสดุ

1. เครื่องวัดปริมาณไฟฟ้าสถิต ชนิด Charge Plate รุ่น 711 Charge Analyzer บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด

2. เครื่องบันทึกกราฟ ชนิด X-Y Recorder รุ่น 3036 บริษัท Yokogawa Electric Works จำกัด

3. เครื่องมือวัดความต้านทาน Surface Tester พร้อมอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว หนัก 5 ปอนด์ รุ่น 701 บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด

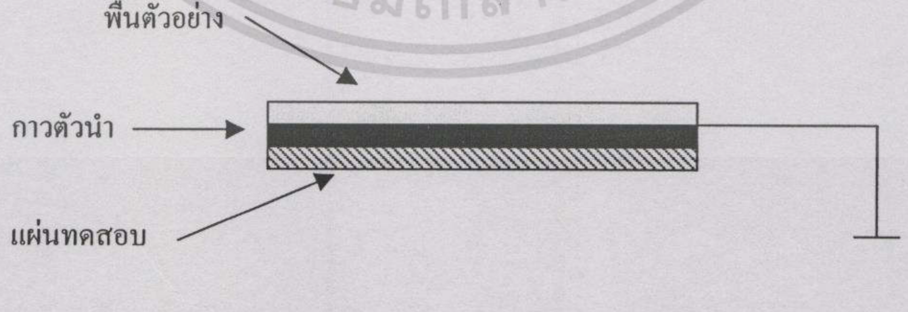
3. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น

4. สายรัดข้อมือชนิดผ้าและสายต่อกราวด์ รุ่น 2214 บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด

5. ความต้านทานปรับค่าได้ แบบ 0-200 เมกโอห์ม (+/- 10% Resistor)

6. พื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิตจำนวน 8 ชนิด ติดตั้งอยู่บนแผ่นทดสอบดังรูปที่ 5.2 ที่มีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ด้วยกาวชนิดตัวนำ (Conductive Adhesive) ตามข้อกำหนดของแต่ละผู้ผลิตเพื่อการถ่ายเทประจุ ทำความสะอาดพื้นผิวด้วยส่วนผสม 70% แอลกอฮอล์-น้ำ และวางไว้ในบริเวณทดสอบเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น อย่างน้อย 72 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ

4. รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต 2 ชนิด ซึ่งต้องทำความสะอาดพื้นผิวด้วยส่วนผสม 70% แอลกอฮอล์-น้ำ และวางไว้ในบริเวณทดสอบเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น อย่างน้อย 72 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 5.2 การติดตั้งพื้นผิวควบคุมไฟฟ้าสถิตบนแผ่นทดสอบด้วยกาวชนิดตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สายรัดข้อมือเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิต โดยให้ผู้ทดลองใส่เฉพาะสายรัดข้อมือ แต่ไม่ใช้สายต่อกราวด์แบบปกติที่มีความต้านทานขนาด 1 เมกโอห์มต่ออนุกรมอยู่ภายใน แล้วต่อสายรัดข้อมือนั้นอนุกรมกับความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 0 ถึง 200 เมกโอห์ม ดังรูปที่ 5.1 เพื่อจำลองแทนค่าความต้านทานที่สูงขึ้นของร่างกายเทียบกับกราวด์ และทำการทดลองอีกครั้งโดยไม่ใช้สายรัดข้อมือ

เพื่อศึกษาผลของค่าความชื้นสัมพัทธ์หรือปริมาณความชื้นในอากาศที่มีผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต ได้ทดลองควบคุมสภาพแวดล้อม แต่เพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ของบริเวณที่ทำการทดลองโดยทำการทดลองสองครั้งที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% และ 70% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะเดินบนพื้น ที่ความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออนุกรมผ่านสายรัดข้อมือมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จาก 0-200 เมกโอห์ม และที่ไม่ใช้สายรัดข้อมือ ทดสอบที่ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55%RH และ 75%RH

ค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่ออนุกรมผ่านสายรัดข้อมือ (โอห์ม)	แรงดันสูงสุดที่วัดได้ (โวลต์)	
	ที่ความชื้น 55% RH	ที่ความชื้น 75% RH
0	0.5	0.2
100 K	0.7	0.2
500 K	1.0	0.5
1 M	1.5	0.6
5 M	15	5
10 M	30	12
50 M	150	65
100 M	330	180
200 M	700	350
ไม่ใช้สายรัดข้อมือ	**2200**	**950**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของวัสดุที่ใช้ในการทดลองจากข้อมูลจำเพาะ (Specification) ของผู้ผลิต และจากการวิเคราะห์สเปกตรัมของวิธี FTIR ในภาคผนวก ก.

ตัวอย่างวัสดุ	รายละเอียด
พื้น A	พื้นชนิด Dissipative Tile ความหนา 3.2 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with China clay and calcium carbonate filler
พื้น B	พื้นชนิด Dissipative Mat ชนิด 2 ชั้น ความหนา 3.0 มิลลิเมตร ชั้นบนเป็น Dissipative สีเขียว วัสดุ : Blended PVC with Polyurethane and calcium carbonate ชั้นล่างเป็น Conductive สีดำ
พื้น C	พื้นชนิด Conductive Tile ความหนา 3.2 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with calcium carbonate filler
พื้น D	พื้นชนิด Conductive Tile ความหนา 2.0 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with silica and calcium carbonate filler
พื้น E	พื้นชนิด Conductive Tile ความหนา 3.0 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with calcium carbonate filler
พื้น F	พื้นชนิด Conductive Tile ความหนา 3.2 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with China clay and calcium carbonate
พื้น G	พื้นชนิด Conductive Tile ความหนา 2.0 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with silica and calcium carbonate filler
พื้น H	พื้นชนิด Dissipative Tile ความหนา 3.2 มิลลิเมตร วัสดุ : Plasticized - PVC with silica and calcium carbonate filler
รองเท้า A	รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต ชนิดสวมปกติ Supplier A วัสดุ : Polyurethane
รองเท้า B	รองเท้าควบคุมไฟฟ้าสถิต ชนิดสวมคลุมถึงขา Supplier B วัสดุ : Plasticized Polyvinyl Chloride (PVC)

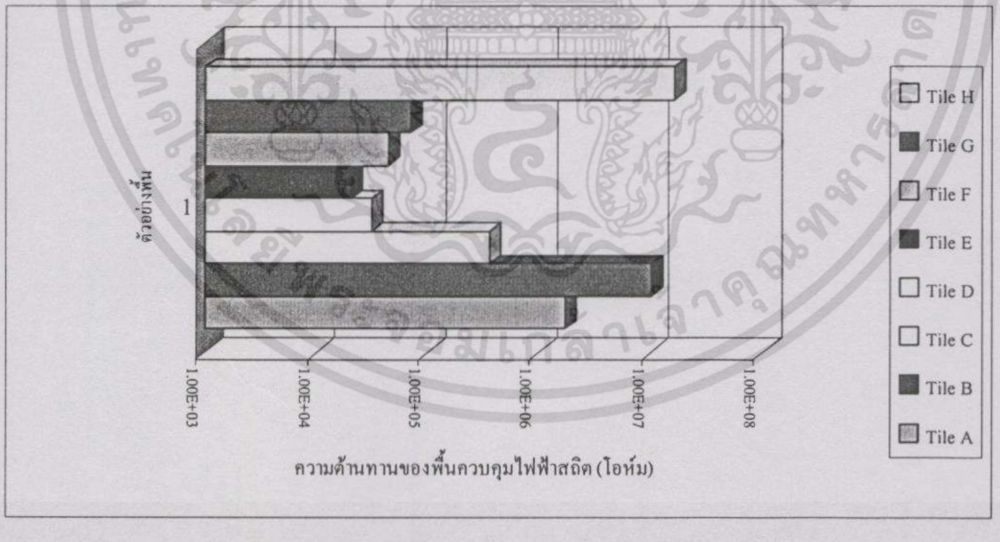
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลพนักงานในส่วนการผลิตที่ร่วมทดสอบ

ผู้ทดสอบ	รายละเอียด
Operator A	พนักงานสุภาพสตรี สูง 158 เซ็นติเมตร น้ำหนัก 51 กิโลกรัม
Operator B	พนักงานสุภาพสตรี สูง 151 เซ็นติเมตร น้ำหนัก 45 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

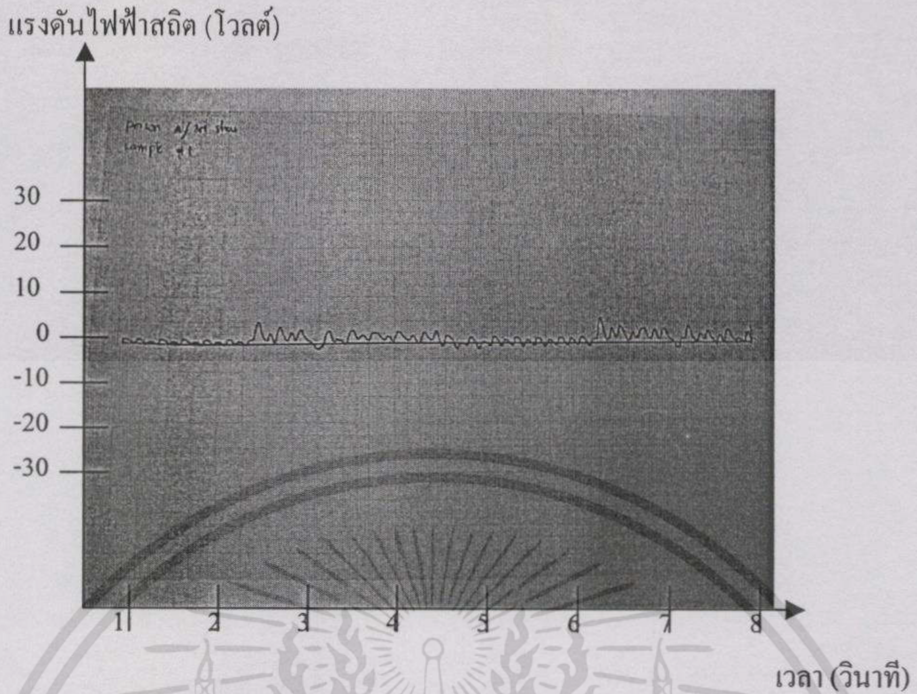
ตารางที่ 5.4 ความต้านทานของพื้นตัวอย่างแต่ละชนิด และความต้านทานรวมของร่างกาย ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

	ตัวอย่าง	ความต้านทานพื้นตัวอย่าง (เมกโอห์ม)	ความต้านทานรวมของร่างกาย (เมกโอห์ม) พนักงาน A		ความต้านทานรวมของร่างกาย (เมกโอห์ม) พนักงาน B	
			สวมรองเท้าชนิด A	สวมรองเท้าชนิด B	สวมรองเท้าชนิด A	สวมรองเท้าชนิด B
1	พื้น A	1.77	8.37	48.0	29.2	70.5
2	พื้น B	10.37	20.4	57.5	49.5	56.4
3	พื้น C	0.373	7.1	40.4	34.1	51.5
4	พื้น D	0.032	7.02	40.5	35.5	67.4
5	พื้น E	0.021	7.90	50.5	36.5	52.3
6	พื้น F	0.046	6.96	34.6	28.8	45.9
7	พื้น G	0.072	7.52	42	36.9	56.2
8	พื้น H	16.34	23.51	62	43.7	62.5



รูปที่ 5.3 กราฟแท่งเปรียบเทียบความต้านทานของพื้นที่ใช้ทดสอบทั้ง 8 ชนิด

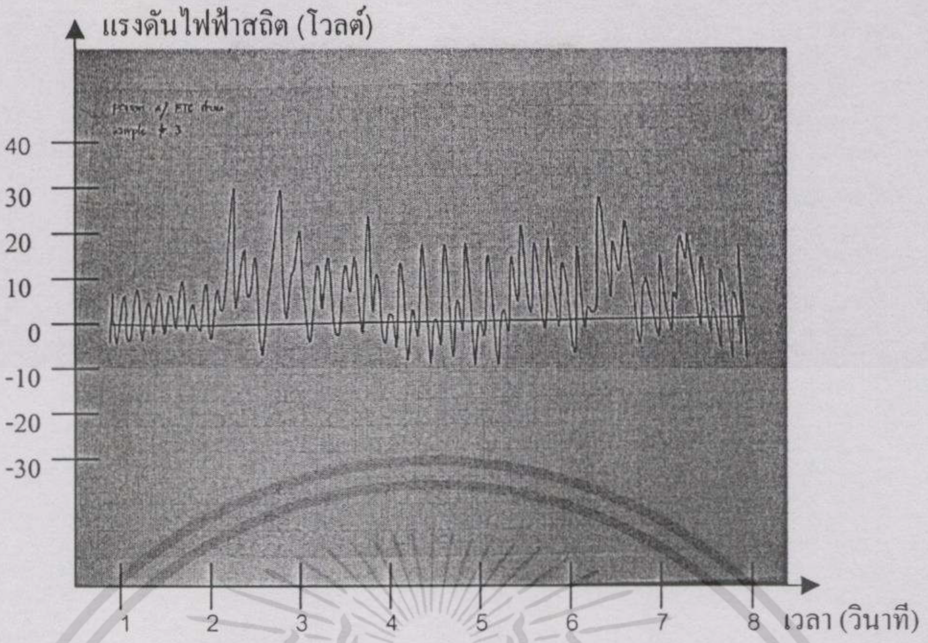
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A สวมรองเท้าชนิด A เดินบนพื้นชนิด A ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

รูปที่ 5.5 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A สวมรองเท้าชนิด B เดินบนพื้นชนิด F ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A สวมรองเท้าชนิด B เดินบนพื้นชนิด C ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายพนักงาน A สวมรองเท้าชนิด B เดินบนพื้นชนิด E ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ปริมาณไฟฟ้าสถิตสูงสุดที่เกิดขึ้นบนร่างกายขณะเดิน ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

	ตัวอย่าง	พนักงาน A (โวลต์)		พนักงาน B (โวลต์)	
		รองเท้า A	รองเท้า B	รองเท้า A	รองเท้า B
1	พื้น A	6	23	2	12
2	พื้น B	3.5	27	1	9
3	พื้น C	6.5	28.5	2.5	10
4	พื้น D	6.5	35	2.5	14
5	พื้น E	6.5	46	5	31
6	พื้น F	0.8	14	1	10
7	Tile G	2.5	65	2.5	35
8	Tile H	14	75	4.5	38

ตารางที่ 5.6 ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกาย ที่ระยะเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

วันที่ทำการทดสอบ	ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกาย (โวลต์)		หมายเหตุ
	พนักงาน A / รองเท้า A	พนักงาน B / รองเท้า B	
08-May	10	8	ใช้งานปกติเป็นเวลา 1 สัปดาห์
09-May	15	13	
10-May	20	15	
12-May	22	18	
14-May	25	23	
16-May	9	9	ใช้งานปกติเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ทำความสะอาดรองเท้าด้วยเครื่องทำความสะอาดทุกเช้า
18-May	10	12	
19-May	10	13	
24-May	9	14	
30-May	11	13	
06-Jun	13	14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น

5.4.1 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลงไป

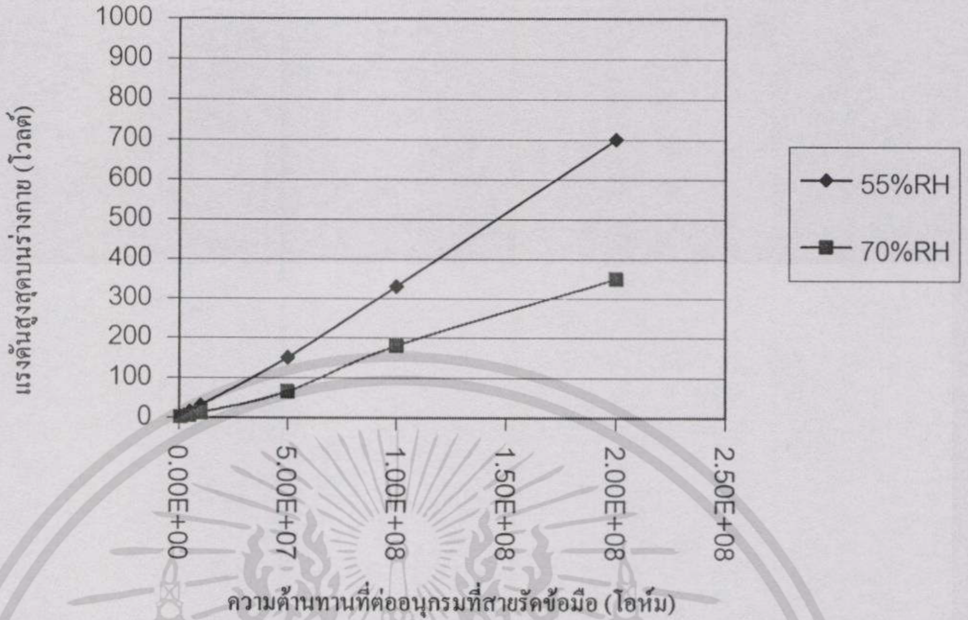
จากการศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายขณะที่ความต้านทานที่ต่อลงกราวด์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจำลองระบบการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สายรัดข้อมือเพียงอย่างเดียว โดยไม่ใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมด้วยนั้น การทดลองนี้จำลองโดยให้ผู้ทดลองใส่สายรัดข้อมือ แต่ไม่ใช้สายต่อกราวด์แบบปกติที่มีความต้านทานขนาด 1 เมกโอห์มต่ออนุกรมอยู่ภายใน แล้วต่อสายรัดข้อมือนั้นอนุกรมกับความต้านทานอีกชุดหนึ่งที่ปรับค่าได้ขนาด 0 ถึง 200 เมกโอห์ม และทำการทดลองอีกครั้งโดยไม่ใช้สายรัดข้อมือ

การเปลี่ยนค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อร่วมกับสายรัดข้อมือเพื่อจำลองแทนค่าความต้านทานของร่างกายเมื่อเทียบกับกราวด์ที่เปลี่ยนแปลงนั้น ที่ความต้านทานของร่างกายที่สูงขึ้น ร่างกายจะมีประจุสะสมสูงขึ้นโดยสามารถวัดระดับแรงดันบนร่างกายได้สูงกว่าที่ค่าความต้านทานต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากลักษณะลดลงของการถ่ายเทประจุจากตัวนำ ตามสมการ $V = V_o. Exp(-t / RC)$ ซึ่งแสดงได้ว่าถ้าค่าความจุของร่างกายและแรงดันที่เกิดขณะร่างกายเคลื่อนไหวมีค่าคงที่ ค่าความต้านทานที่ต่อลงกราวด์ที่มีค่าสูงขึ้น ร่างกายจะใช้เวลาในการถ่ายเทประจุนานขึ้น จึงสามารถวัดแรงดันสะสมบนร่างกายได้สูงกว่าที่ค่าความต้านทานต่ำ

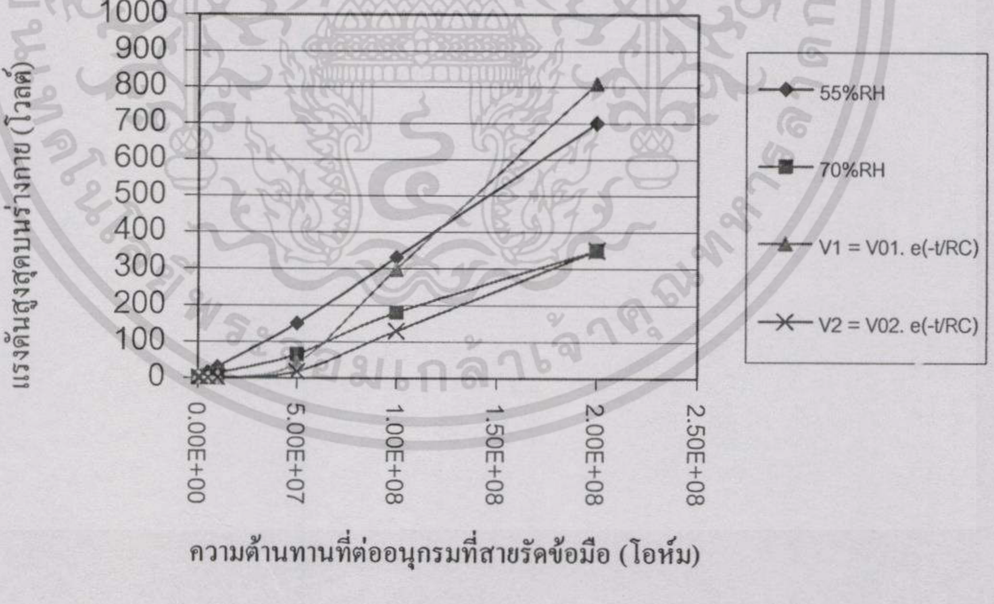
ยังเป็นเหตุผลได้ว่า เหตุใดสายรัดข้อมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบัน จึงใช้ค่าความต้านทาน 1 เมกะโอห์มอนุกรมอยู่ภายใน ซึ่งนอกจากจุดประสงค์ในการป้องกันผู้สวมสายรัดข้อมือจากอันตรายของกระแสไฟฟ้ารั่วจากระบบไฟฟ้า (110 โวลต์/220 โวลต์) ขณะที่ผู้สวมใส่นำสายต่อลงดิน โดยจำกัดกระแสไฟฟ้ารั่วให้น้อยกว่าระดับที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์แล้ว จะเห็นได้ว่าแรงดันบนร่างกายที่วัดได้ขณะความต้านทานมีค่า 1 เมกะโอห์ม มีค่าประมาณ 1 โวลต์ ซึ่งน้อยมากจนยอมรับได้ว่าไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรรวมที่มีความไวต่อการดิสชาร์จของไฟฟ้าสถิต (ESD Sensitive Devices : ESDs)

ค่าความชื้นสัมพัทธ์หรือปริมาณความชื้นในอากาศทำให้วัสดุมีความสามารถในการเกิดไฟฟ้าสถิตได้น้อยลง อาจกล่าวได้ว่า ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลดีต่อการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าสถิต แต่ผลจากความชื้นดังกล่าวจะทำให้เกิดปัญหาการสะสมของความชื้นกับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อความชื้น (Moisture Sensitive Device : MSD) และปัญหาการกัดกร่อนของโลหะหรือเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่ใช้สายรัดข้อมือที่ต่อลงกราวด์ผ่านความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55% และ 75%



รูปที่ 5.9 ผลการทดลองปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% และ 75% จากรูปที่ 5.8 เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อแสดงผลของค่าความชื้นสัมพัทธ์หรือปริมาณความชื้นในอากาศที่มีผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต ได้ทดลองควบคุมสภาพแวดล้อม แต่เพิ่มค่าความชื้นสัมพัทธ์ของบริเวณที่ทำการทดลอง โดยทำการทดลองสองครั้ง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 55% และ 70% ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.8

เพื่ออธิบายลักษณะการลดลงของการถ่ายเทประจุจากตัวนำ ตามสมการ V = Vo. Exp (-t / RC) ซึ่งแสดงได้ว่าถ้าค่าความจุของร่างกายและแรงดันที่เกิดขณะร่างกายเคลื่อนไหวมีค่าคงที่ แต่ค่าความต้านทานที่ต่อลงกราวด์ที่มีค่าสูงขึ้น ร่างกายจะใช้เวลาในการถ่ายเทประจุนานขึ้นและสามารถวัดแรงดันสะสมบนร่างกายได้สูงกว่าที่ค่าความต้านทานต่ำนั้น แสดงได้ดังรูปที่ 5.9

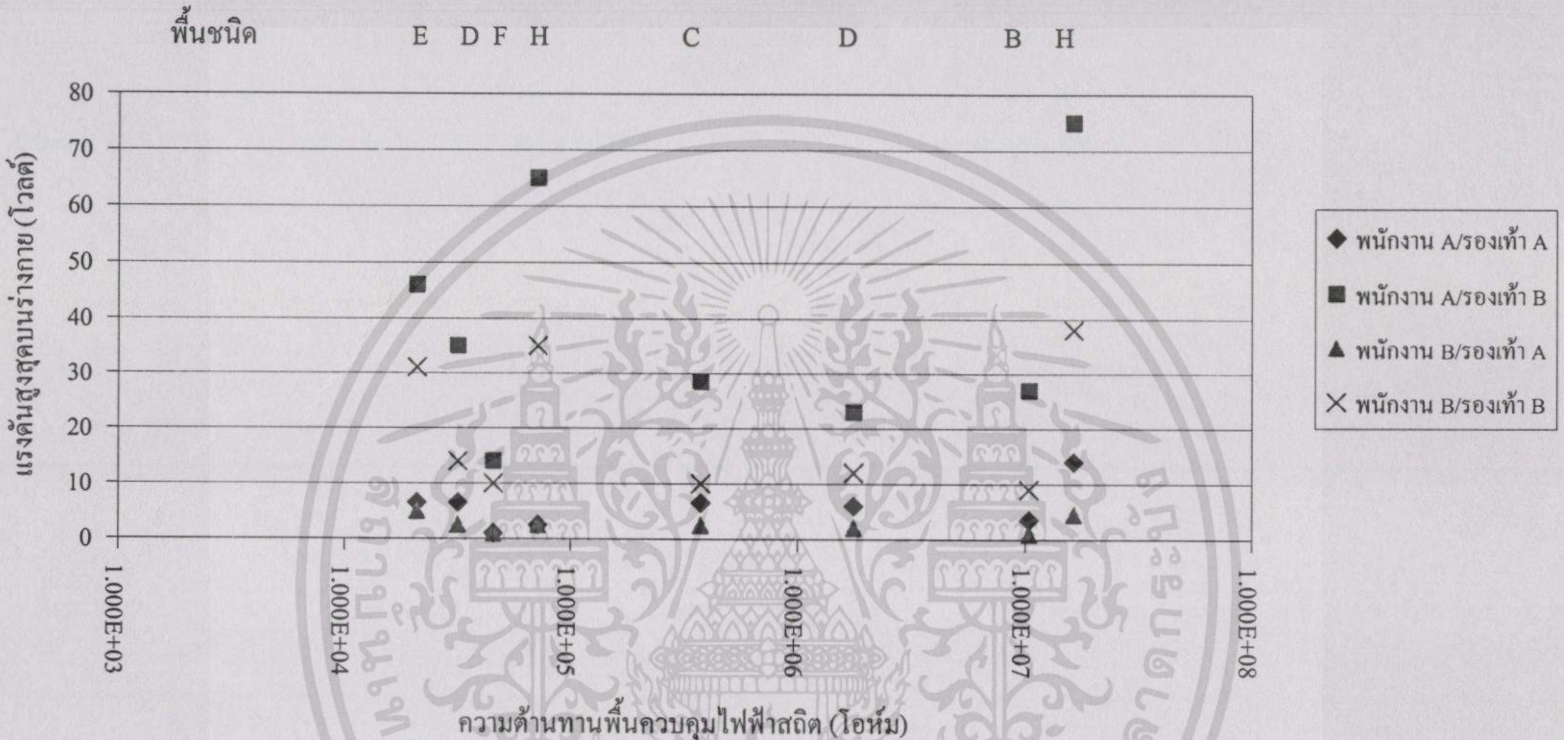
โดยกราฟ V1 แสดงค่าของแรงดันบนร่างกายที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 55% ที่ได้จากการคำนวณ โดยแทนค่าแรงดันสูงสุด (Vo) ด้วยแรงดัน 2200 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันสูงสุดบนร่างกายขณะไม่ใส่สายรัดข้อมือที่ 55% RH และทำนองเดียวกันกราฟ V2 แสดงค่าของแรงดันที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70% ที่ได้จากการคำนวณ โดยแทนค่าแรงดันสูงสุด (Vo) ด้วยแรงดัน 950 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันสูงสุดบนร่างกายขณะไม่ใส่สายรัดข้อมือที่ 70% RH

5.4.2 ปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 5.5 เป็นการศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าทั้ง 2 ชนิดและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตชนิดต่างๆ ทั้ง 8 ชนิด ซึ่งจำลองระบบการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตร่วมด้วย การทดลองนี้จำลองโดยการไม่ใช้สายรัดข้อมือต่อร่วมด้วยเพื่อจะวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการเลือกใช้รองเท้าและพื้นเท่านั้น ใช้การจับคู่ศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากผู้ทดสอบทั้งสองคน

ความสัมพันธ์ของปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนร่างกายเทียบกับความต้านทานของพื้นแสดงได้ดังรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่บันทึกได้จากเครื่อง X-Y Recorder เทียบกับความต้านทานของพื้น ที่อุณหภูมิ 23.5 C, ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

จากตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.10 เป็นการศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่มีความสัมพันธ์กับความต้านทานของพื้น โดยพื้นชนิด D เป็นพื้นที่มีความต้านทานต่ำที่สุด (0.021 เมกโอห์ม) และควรจะมีปริมาณประจุสะสมน้อยที่สุด หรือพื้นชนิด A ที่มีความต้านทานสูง (1.77 เมกโอห์ม) ควรจะมีปริมาณประจุสะสมสูง แต่จากผลการทดลอง พื้นชนิด F ให้ปริมาณประจุสะสมหรือปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายต่ำที่สุด (0.8 โวลต์) และพื้นชนิด A ก็ให้ปริมาณไฟฟ้าสถิตต่ำ (6 โวลต์) เช่นกัน

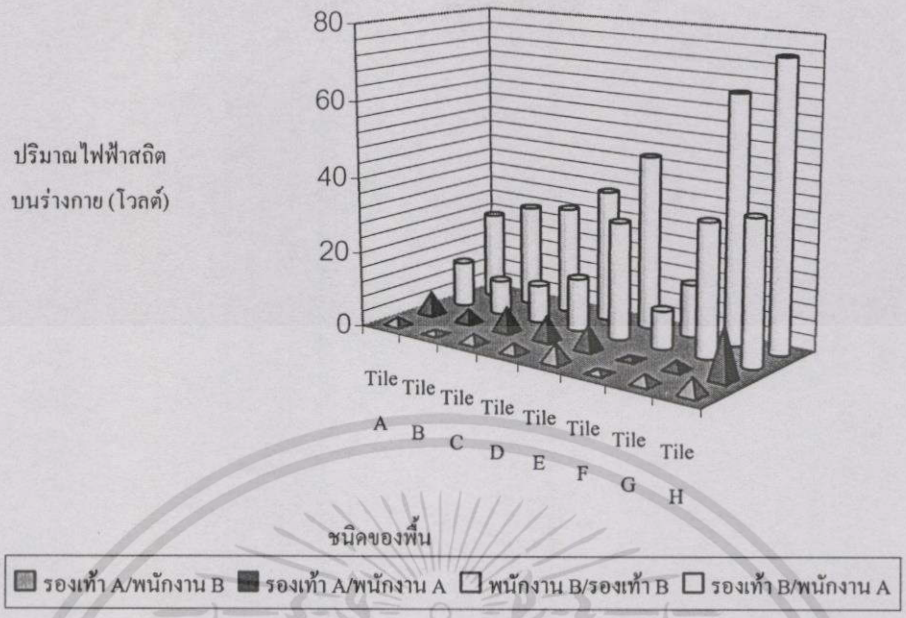
ดังนั้น พื้นชนิดที่มีความต้านทานต่ำ ถึงแม้จะมีความสามารถในการถ่ายเทประจุดี แต่ความสามารถในการเกิดประจุหรือปริมาณประจุสะสมไม่ได้มีค่าต่ำ เช่นเดียวกับแนวโน้มการทดลองของสายรัดข้อมือดังรูปที่ 5.2 ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 ดังนั้นพื้นชนิดที่มีความต้านทานต่ำ จึงมิได้ส่งผลให้เกิดแรงดันบนร่างกายในระดับต่ำลงเสมอไป ค่าความต้านทานจึงไม่ใช่ปัจจัยหลักในการพิจารณาคุณสมบัติในการควบคุมไฟฟ้าสถิตของพื้น การทดลองวัดระดับแรงดันที่เกิดขึ้นจริงบนร่างกายจึงเป็นแนวทางการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อเลือกใช้ชนิดของพื้น ควบคู่ไปกับการพิจารณาค่าความต้านทานของพื้นนั้น ๆ

ในทำนองเดียวกัน จากการทดสอบด้วยรองเท้าทั้งสองชนิดด้วยวิธีการทดสอบดังรูปที่ 3.6 ถึงแม้ว่ารองเท้าชนิด A มีค่าความต้านทาน โดยวัดจากพื้นรองเท้าด้านในถึงพื้นรองเท้าด้านนอกสูงกว่ารองเท้าชนิด B และมีความสามารถในการถ่ายเทประจุ (Decay Time) โดยวัดจากเวลาในการถ่ายประจุจาก 1000 โวลต์ ถึง 100 โวลต์ มากกว่ารองเท้าชนิดB ดังตารางที่ 5.7 แต่รองเท้าชนิด A มีความสามารถในการป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตได้ดีกว่ารองเท้าชนิด B ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.11

ตารางที่ 5.7 ค่าความต้านทานวัดจากพื้นรองเท้าด้านในถึงพื้นรองเท้าด้านนอกและความสามารถในการถ่ายเทประจุ (Decay Time) โดยวัดเวลาในการถ่ายเทประจุจากพื้นรองเท้าด้านในถึงพื้นรองเท้าด้านนอกจาก 1000 โวลต์ ถึง 100 โวลต์

ตัวอย่าง	ความต้านทาน (โอห์ม)	เวลาในการถ่ายประจุจาก 1000 โวลต์ ลดลงถึง 100 โวลต์ (วินาที)
รองเท้า A	14400000	0.2
รองเท้า B	14000	0.0

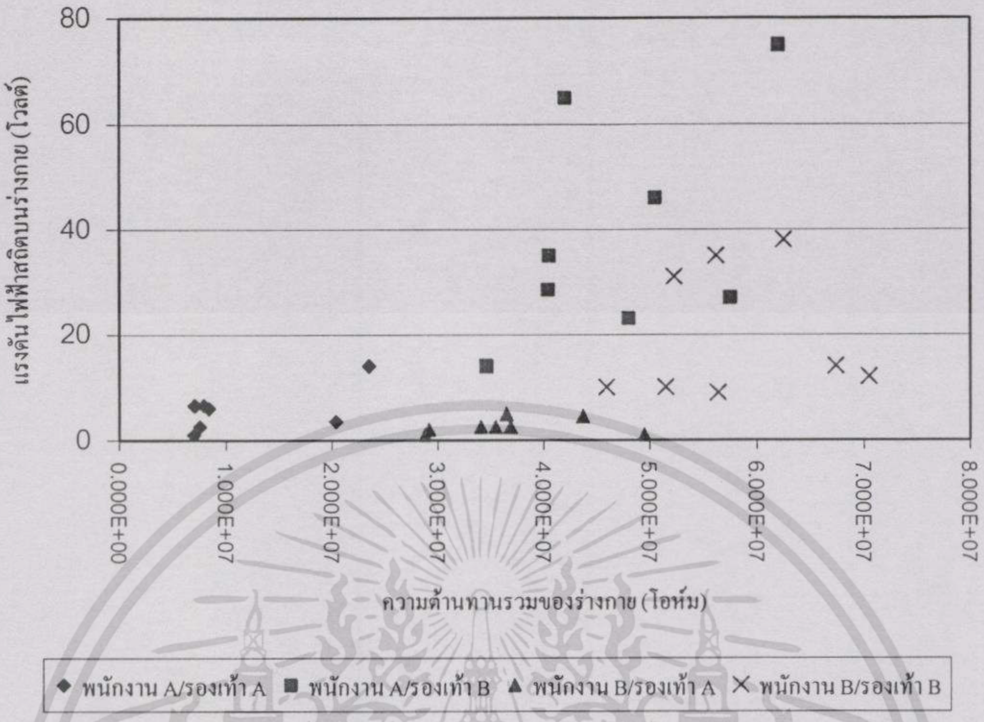
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเมื่อจับคู่ทดสอบรองเท้าร่วมกับพื้นแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

จากการศึกษาความต้านรวมของร่างกายเทียบกับปริมาณไฟฟ้าสถิตดังรูปที่ 5.12 ได้ความสัมพันธ์ของความต้านรวมของร่างกายเทียบกับปริมาณไฟฟ้าสถิต เช่นเดียวกับแนวโน้มของการทดลองสายรัดข้อมือ ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 นั่นคือ ความต้านทานของร่างกายที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถในการเกิดประจุหรือปริมาณประจุสะสมบนร่างกายมีค่าสูงขึ้น อธิบายได้ว่าถ้าค่าความจุและปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขณะร่างกายเคลื่อนไหวมีค่าคงที่ ค่าความต้านทานที่สูงขึ้นจะใช้เวลาในการถ่ายเทประจุนานขึ้น จึงสามารถวัดแรงดันสะสมบนร่างกายได้สูงกว่าที่ค่าความต้านทานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



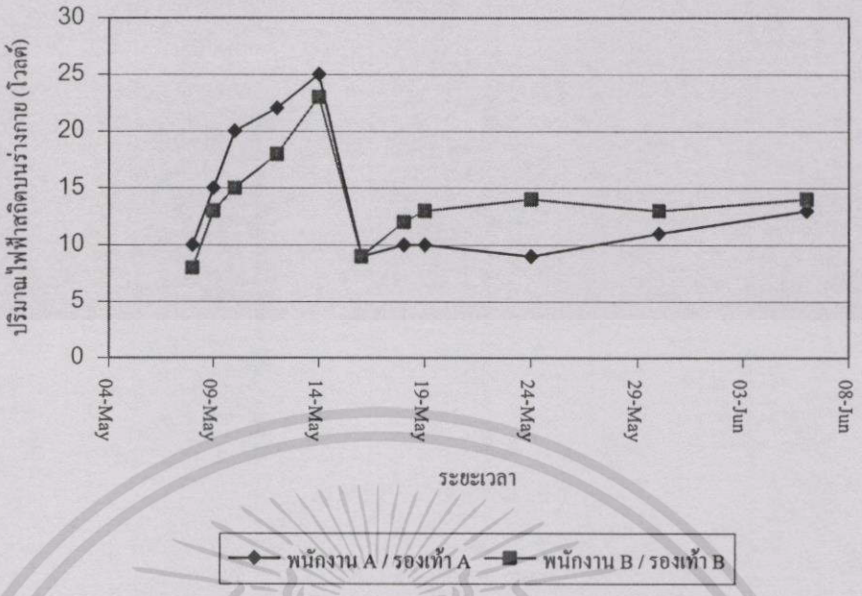
รูปที่ 5.12แรงดันสูงสุดบนร่างกายที่บันทึกได้จากเครื่อง X-Y Recorder เทียบกับความต้านทานของร่างกาย ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

5.4.3 การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการใช้รองเท้าและพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตในสายการผลิตเพื่อศึกษาอายุการใช้งาน

จากการทดลองให้พนักงานทั้งสองคนจากการทดลองข้างต้น นำรองเท้าทั้งสองชนิดไปใส่ปฏิบัติงานในสายการผลิต แล้วทดลองวัดการเกิดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเมื่อใช้งานไปแต่ละวัน โดยทำการทดสอบทุกวันในช่วง 4 วันแรก และทุก 2 วัน และ 4 วัน ในช่วงสัปดาห์ถัดมา เพื่อจำลองการใช้งานของรองเท้าร่วมกับพื้นในการปฏิบัติงานในอุตสาหกรรม

ถ้าใช้งานโดยไม่ได้ทำความสะอาดดังช่วงสัปดาห์แรก การเกิดไฟฟ้าสถิตมีแนวโน้มสูงขึ้น หลังจากนั้น ให้พนักงานนำรองเท้ามาทำความสะอาดก่อนทดสอบหรือก่อนเข้าปฏิบัติงานทุกวัน การเกิดไฟฟ้าสถิตมีแนวโน้มที่คงที่ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แรงดันสูงสุดบนร่างกายที่บันทึกได้จากเครื่อง X-Y Recorder เทียบกับระยะเวลาที่ใช้งานของรองเท้า ที่อุณหภูมิ 23.5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 55%

จากการทดลองดังรูปที่ 5.13 ที่ให้ผู้ทดสอบสวมรองเท้าทำงานต่อเนื่องนั้น ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น การตรวจสอบประสิทธิภาพของรองเท้า รวมทั้งการทำความสะอาดและช่วงระยะที่ควรทำความสะอาดรองเท้าจึงควรเป็นกรณีศึกษาเพิ่มเติมของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อหาอายุการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุชนิดนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

ความเสียหายของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เกิดจากแบบจำลองการถ่ายเทของไฟฟ้าสถิตได้หลายกรณี แต่แบบจำลองที่มีโอกาสทำความเสียหายในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด และใช้เป็นหลักอ้างอิงในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์คือแบบจำลองเชิงร่างกาย งานวิจัยใช้นี้จึงศึกษากรณีการลดไฟฟ้าสถิตบนร่างกายซึ่งเกิดจากการเดินหรือเคลื่อนไหวร่างกาย โดยนำเสนอหลักการวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือวัดประจุที่แสดงผลเป็นแรงดันไฟฟ้าสถิต (โวลต์) เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมใช้เป็นแนวทางในการศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายใช้และเป็นแนวทางในการลดไฟฟ้าสถิตนั้น ปัจจุบันความเข้าใจในการป้องกันไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเดินหรือเคลื่อนไหวของร่างกายจะเลือกใช้รองเท้าและพื้นชนิดที่สามารถลดการเกิดไฟฟ้าสถิต โดยพิจารณาเพียงค่าความต้านทานของวัสดุ โดยเลือกใช้วัสดุที่มีความต้านทานต่ำ ๆ ที่สามารถถ่ายเทไฟฟ้าสถิตได้ดีซึ่งควรจะสามารถลดประจุสะสมบนร่างกายได้ดีเช่นเดียวกัน แต่จากผลการทดลอง ความต้านทานต่ำของวัสดุมิได้ส่งผลให้เกิดแรงดันบนร่างกายในระดับต่ำลงเสมอไป ตัวอย่างเช่นผลการทดลองรูปที่ 5.10 ที่พื้นชนิด D เป็นพื้นที่มีความต้านทานต่ำที่สุด และควรจะมีปริมาณประจุสะสมน้อยที่สุด หรือพื้นชนิด A ที่มีความต้านทานสูง ควรจะมีปริมาณประจุสะสมสูง แต่จากผลการทดลอง พื้นชนิด F ให้ปริมาณประจุสะสมหรือปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายต่ำที่สุด (0.8 โวลต์) และพื้นชนิด A ก็ให้ปริมาณไฟฟ้าสถิตต่ำ (6 โวลต์) เป็นต้น

ดังนั้น พื้นชนิดที่มีความต้านทานต่ำ ถึงแม้จะมีความสามารถในการถ่ายเทประจุดี แต่ความสามารถในการเกิดประจุหรือปริมาณประจุสะสมไม่ได้มีค่าต่ำ เช่นเดียวกับแนวโน้มการทดลองของสายรัดข้อมือดังผลการทดลองรูปที่ 5.8 และ 5.9 ค่าความต้านทานจึงไม่ใช่ปัจจัยหลักในการพิจารณาคุณสมบัติในการควบคุมไฟฟ้าสถิตของรองเท้าและพื้น การทดลองวัดระดับแรงดันที่เกิดขึ้นจริงบนร่างกาย เป็นแนวทางการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อเลือกใช้ชนิดของรองเท้าและพื้นควบคู่ไปกับการพิจารณาค่าความต้านทานของวัสดุนั้น ๆ โดยเฉพาะในโรงงานประกอบหัวอ่าน-เขียนชนิดเทคโนโลยีแม่เหล็กของดิสก์ไดรว์ ซึ่งได้แก่ Magneto Resistive Head (MR) และ Giant Magneto Resistive Head (GMR) ที่มีความไวอยู่ในระดับต่ำกว่า 5 โวลต์ ซึ่งการควบคุมไฟฟ้าสถิตบนร่างกายเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก ซึ่งการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุ (Qualification) แต่ละชนิดนั้น ESD Engineer ต้องทุ่มเทและใช้เวลาทั้งหมดเพื่อแก้ไขปัญหาด้านนี้

จากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความชื้นต่อปริมาณไฟฟ้าสถิตแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าในภูมิอากาศที่ชื้น แต่ถ้าไม่มีการใช้วัสดุควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ถูกต้องเหมาะสม ปริมาณแรงดันที่เกิดขึ้นบนร่างกายก็มากเพียงพอที่ทำความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ที่ความชื้นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุมีความสามารถในการเกิดไฟฟ้าสถิตได้น้อยลงและมีส่วนช่วยในการควบคุมไฟฟ้าสถิต แต่ผลจากความชื้นดังกล่าวจะทำให้เกิดปัญหาการสะสมของความชื้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความชื้น (Moisture Sensitive Device : MSD) และปัญหาการกัดกร่อนของโลหะหรือเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมที่สูงขึ้นด้วย

จากการทดลองเพิ่มเติมที่ให้ผู้ทดสอบสวมรองเท้าทำงานต่อเนื่องเพื่อหาอายุการใช้งานของรองเท้าและวิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น การตรวจสอบประสิทธิภาพของรองเท้า รวมทั้งการทำความสะอาดและช่วงระยะที่ควรทำความสะอาดรองเท้าจึงควรเป็นกรณีศึกษาเพิ่มเติมของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อหาอายุการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุชนิดนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Electrostatic Discharge Association, ESD-ADV 2.0-1994, ESD Handbook, USA, 1994.
2. David E. Swenson, "Grounding of Personnel in ESD Sensitive Environments", Data Storage Asia, Penny Well Publishing Company, 1998.
3. Electrostatic Discharge Association, ANSI/ESD S20.20-1999, Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices), USA, 1994.
4. Electrostatic Discharge Association, ANSI/ESD S7.1-1994, Resistive Characterization of Floor Materials, USA, 1994.
5. Niels Jonassen, Electrostatic, New York, Chapman & Hall, International Thomson Publishing, 1998
6. Donald Yenni, "Basic Electrical Considerations in The design of a Static-safe Work Environment", Nepcon/West Conference, Anaheim, California, USA, 1971.
7. Electrostatic Discharge Association, ESD TR 12-01, Survey of Constant (Continuous) Monitors for Wrist Strap, USA, 2001.
8. Electrostatic Discharge Association, ESD-ADV11.2-1995 Triboelectric Charge Accumulation Testing, USA, 1995.
9. แม้น อมรสิทธิ์, Principle of Techniques of Instrumental Analysis, ภาควิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

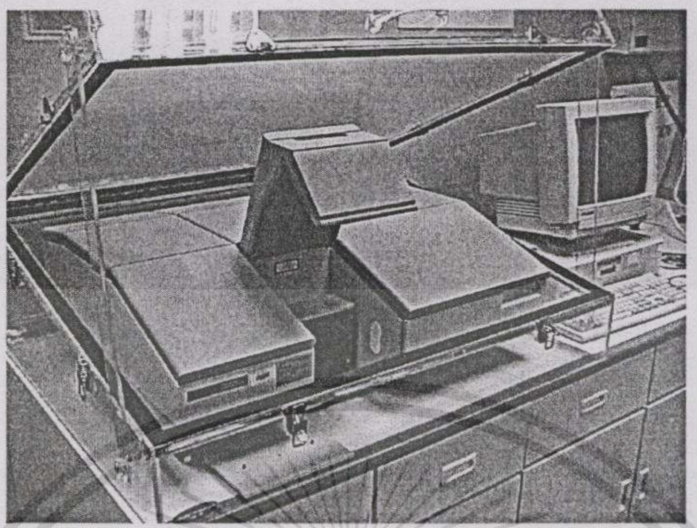
การศึกษาชนิดของวัสดุด้วยสเปกตรัมของวิธี Fourier Transform-Infrared (FTIR)

โดยทั่วไป เครื่องมือทางสเปกโทรสโกปีนั้นมักจะใช้หลักการกระจายแสงของสเปกตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่สนใจเป็นตัวกำหนด เช่น ในช่วงของอินฟราเรดดังได้กล่าวมาแล้ว จากการบันทึกผลของค่าความเข้มของแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น หรือ Wave Number ซึ่งได้ออกมาเป็นสเปกตรัมเรียกว่า Frequency-Domain Spectrum แต่ถ้าใช้วิธีการวัดที่ต่างไป โดยวัดความเข้มของแสง หรือกำลังของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กันอย่างต่อเนื่องเทียบกับเวลา เรียกว่า Time-Domain Spectroscopy หรือโดยทั่วไปเรียกว่า Fourier Transform Spectroscopy จากนั้น Time-Domain Spectrum จะถูกเปลี่ยนเป็น Frequency-Domain Spectrum ด้วย Fourier Transform จากการใช้ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ สิ่งที่สเปกตรัมทั้งสองแตกต่างกัน ก็คือ Frequency Domain Spectrum เป็นสเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กันทีละครั้งในช่วงระยะเวลาอันหนึ่ง แต่ Fourier Transform Spectrum ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ กัน พร้อมกันหมด ดังนั้น Fourier Transform จึงช่วยทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น

จากการศึกษาชนิดของรองเท้าและพื้นด้วยสเปกตรัมของวิธี FTIR ด้วยเครื่องมือทดสอบ FTIR ของ PERKIN ELMER รุ่น PARAGON 1000PC ดังรูปที่ ก-1 โดยใช้เซลเพื่อทดสอบของแข็ง ดังรูปที่ ก-2 ซึ่งสารตัวอย่างจะต้องถูกตัดให้เป็นแผ่นบางๆ ที่หนาประมาณ 0.1 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงส่องผ่านได้

จากการบันทึกผลของค่าความเข้มของแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น หรือ Wave Number ซึ่งได้ออกมาเป็นสเปกตรัม ดังผลการทดลองที่ ก-3 ถึง ก-13 โดยแกน X จะแสดงความถี่หรือความยาวคลื่น (cm^{-1}) และแกน Y จะแสดงเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการส่งผ่าน หรือ Transmittance (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 เครื่องมือทดสอบ FTIR ของ PERKIN ELMER รุ่น PARAGON 1000PC

รูปที่ ก-2 เซลทดสอบวัสดุชนิดของแข็ง ของเครื่อง FTIR รุ่น PERKIN ELMER รุ่น PARAGON 1000PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาชนิดของรองเท้าและพื้นด้วยสเปกตรัมของวิธี FTIR ดังรูปที่ ก-1 ถึง ก-10 ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

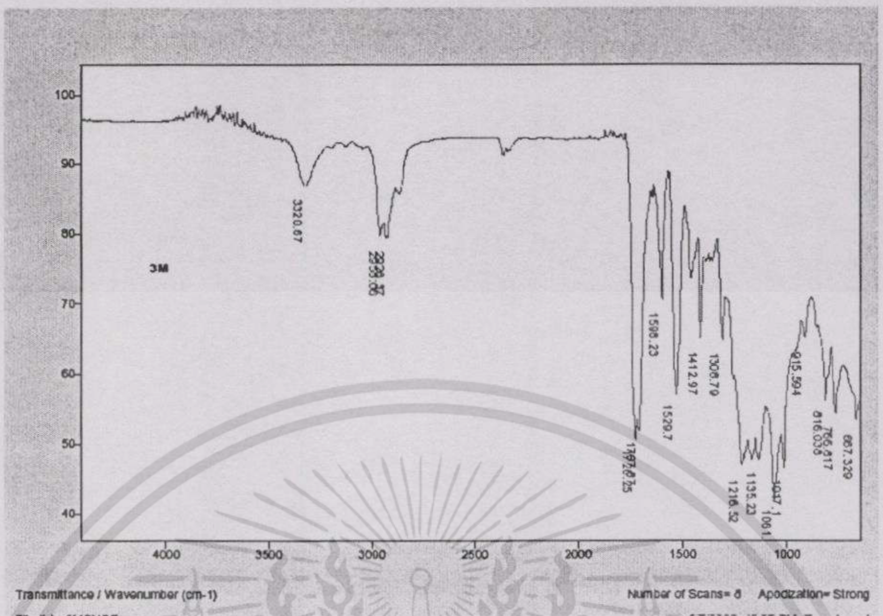
ตาราง ก-1 ผลการศึกษาชนิดของรองเท้าและพื้นด้วยสเปกตรัมของวิธี FTIR

ชนิดของวัสดุ	ผลการวิเคราะห์ชนิดของวัสดุด้วยวิธีการเทียบสเปกตรัมของ FTIR
รองเท้า A	Polyurethane
รองเท้า B	Plasticized Polyvinyl Chloride (PVC)
พื้นชนิด A	Plasticized - PVC with China clay and calcium carbonate filler
พื้นชนิด B	Blended PVC with Polyurethane and calcium carbonate filled
พื้นชนิด C	Plasticized - PVC with calcium carbonate filler
พื้นชนิด D	Plasticized - PVC with silica and calcium carbonate filler
พื้นชนิด E	Plasticized - PVC with calcium carbonate filler
พื้นชนิด F	Plasticized - PVC with China clay and calcium carbonate filler
พื้นชนิด G	Plasticized - PVC with silica and calcium carbonate filler
พื้นชนิด H	Plasticized - PVC with silica and calcium carbonate filler

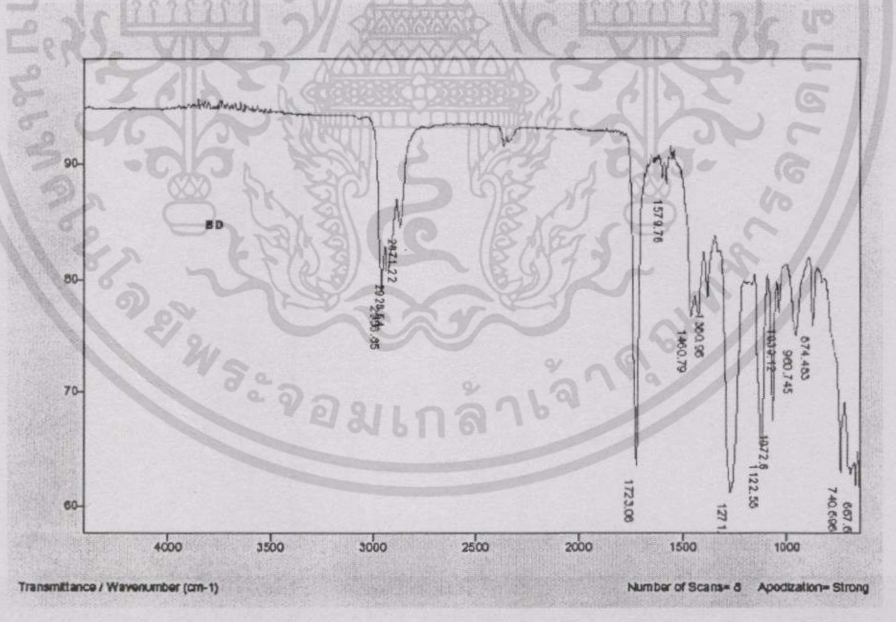
จากการศึกษาชนิดของรองเท้าและพื้นด้วยสเปกตรัมของวิธี FTIR ผลการวิเคราะห์แสดงว่าพื้นควบคุมไฟฟ้าสถิตที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมและเลือกนำมาทดสอบทั้ง 8 ชนิด มีวัสดุที่เป็นส่วนประกอบหลักคือ พลาสติกประเภท พีวีซี และอาจผสมเพิ่มเติมด้วยฟิลเลอร์ที่เป็นเคลย์หรือแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีสัดส่วนแตกต่างกันไป ซึ่งชนิดและประเภทโดยละเอียดและกรรมวิธีการผลิตต่างเป็นเทคโนโลยีที่ผู้จำหน่ายที่ถือเป็นข้อมูลที่ปกปิด อย่างไรก็ดี ด้วยความแตกต่างที่ไม่อาจสืบค้นได้ดังกล่าวทำให้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชนิดของวัสดุเทียบกับปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นไม่อาจระบุถึงชนิดของวัสดุที่ผู้ใช้สามารถนำมาเป็นองค์ประกอบในการพิจารณาเลือกใช้ได้ ซึ่งโดยปกติแล้วผู้จำหน่ายจะไม่ระบุชนิดของวัสดุโดยละเอียดลงในข้อมูลจำเพาะ (Specification)

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในลักษณะข้างต้น อาจมีประโยชน์ในการหาองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อความสะอาด (Cleanliness) เช่น การทดสอบเพื่อหาปริมาณของซิลิโคนด้วยวิธี FTIR หรือการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อหาปริมาณของ Outgassing ด้วยวิธี Static Headspace หรือ Dynamic Headspace หรือความสามารถในการเกิดฝุ่น ด้วยวิธี Liquid Particle Count (LPC) ซึ่งเป็นความสะอาดที่จำเป็นของวัสดุในการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะในงานด้านการประกอบดิสก์ไดรว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

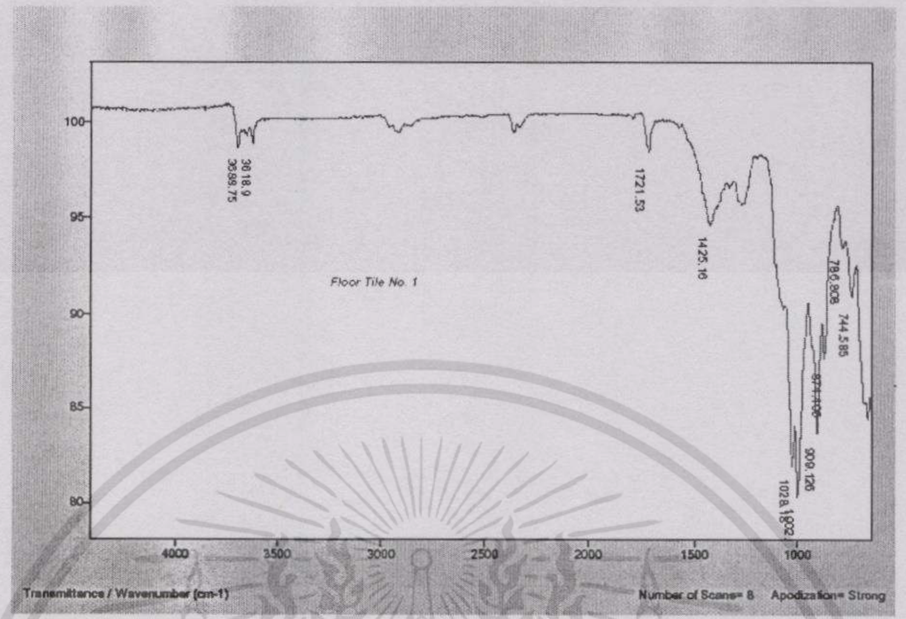


รูปที่ ก-3 กราฟสเปกตรัมของรองเท้าชนิด A ด้วยวิธี FTIR

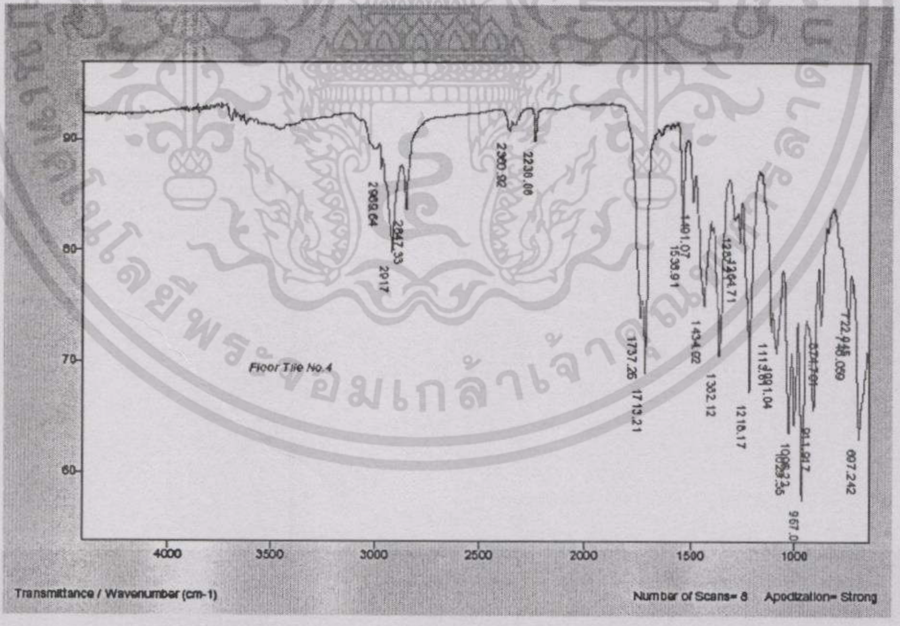


รูปที่ ก-4 กราฟสเปกตรัมของรองเท้าชนิด B ด้วยวิธี FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

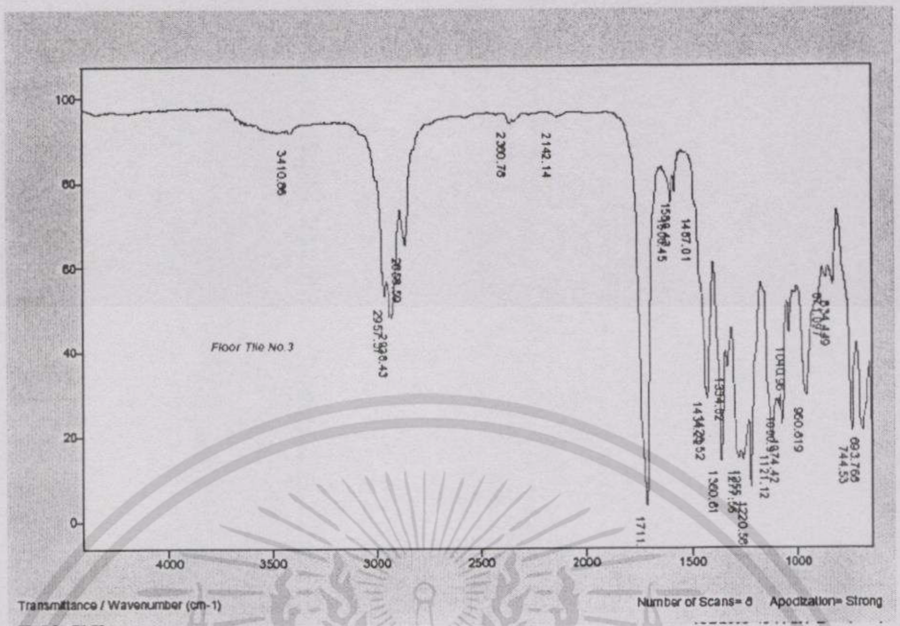


รูปที่ ก-5 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด A ด้วยวิธี FTIR

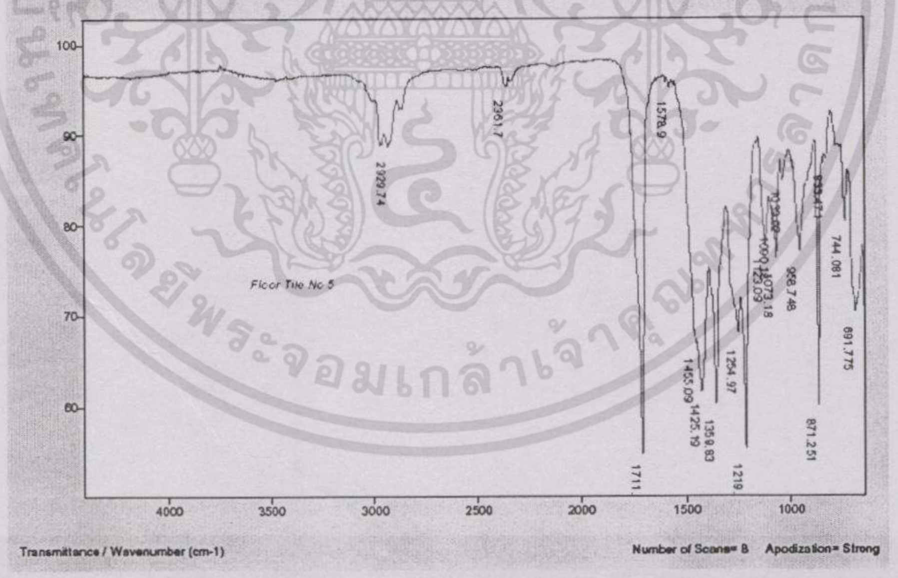


รูปที่ ก-6 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด B ด้วยวิธี FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

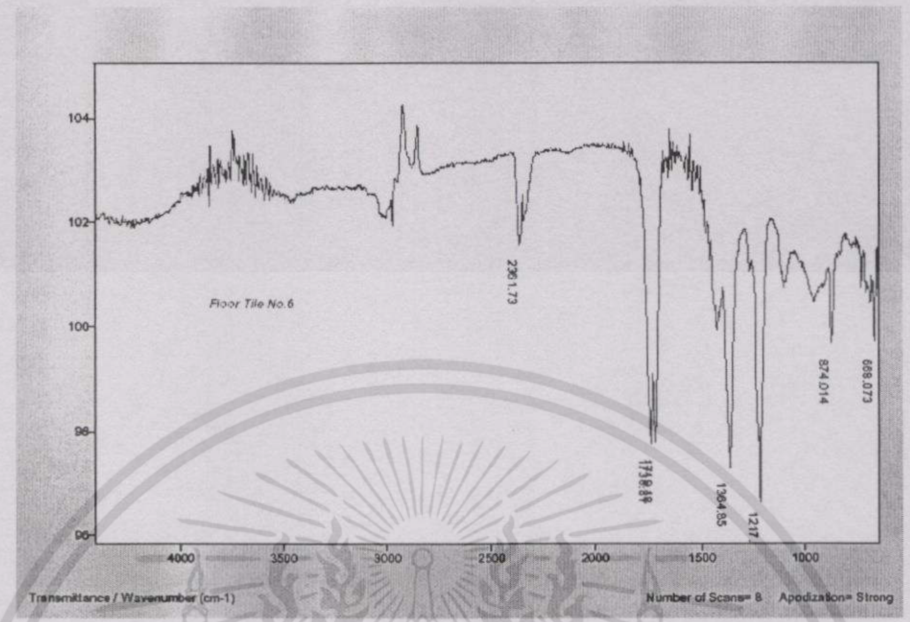


รูปที่ ก-7 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด C ด้วยวิธี FTIR

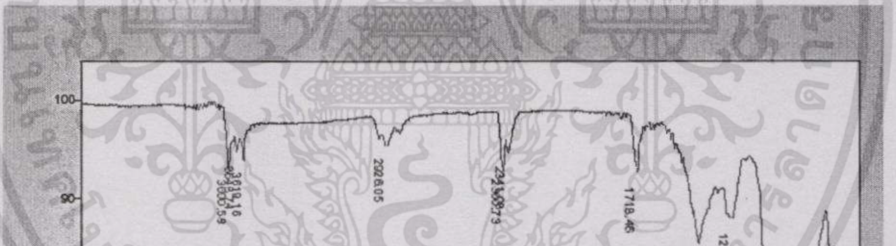


รูปที่ ก-8 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด D ด้วยวิธี FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

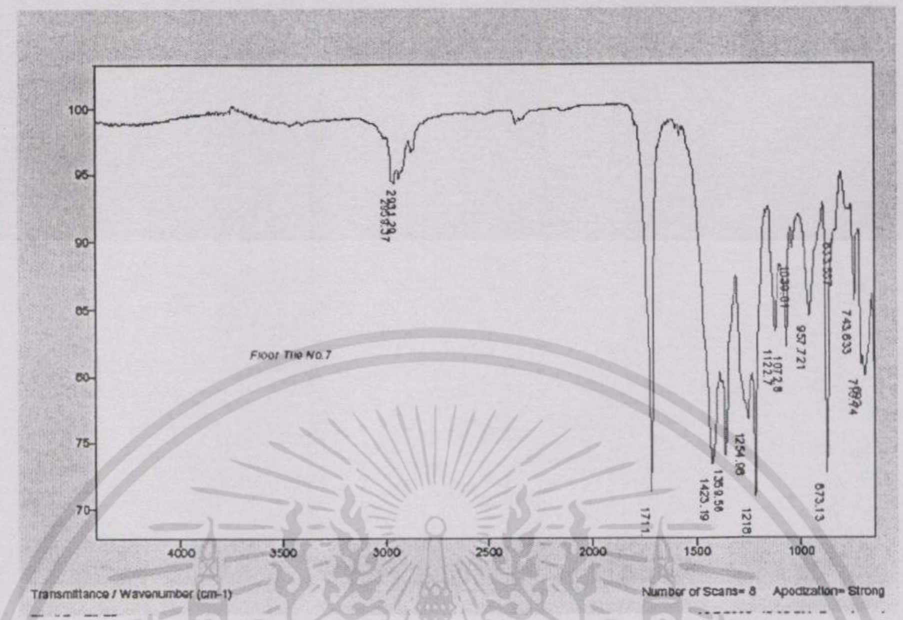


รูปที่ ก-9 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด E ด้วยวิธี FTIR

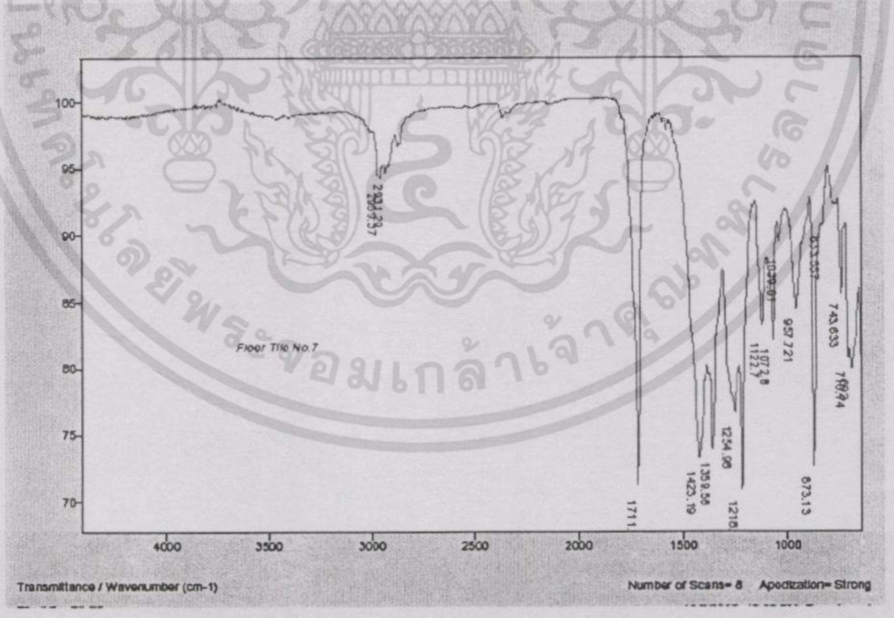


รูปที่ ก-10 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด F ด้วยวิธี FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-11 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด G ด้วยวิธี FTIR

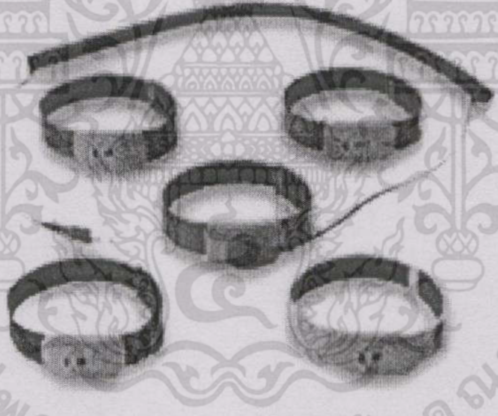


รูปที่ ก-12 กราฟสเปกตรัมของพื้นชนิด H ด้วยวิธี FTIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปที่ ข-1 เครื่องมือทดสอบประจุไฟฟ้าสถิต รุ่น 711 ของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด



รูปที่ ข-2 สายรัดข้อมือ รุ่น 2214 ของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-3 เครื่องมือวัดความต้านทานพื้นผิว รุ่น 701 ของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการเรื่อง " The Reduction of Static Charge on Personnel in Electronic Industry" ที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมทางวิชาการ FIRST INTERNATIONAL CONFERENNCE ON MECHATRONICS (ICOM '01), KUALA LUMPUR, MALAYSIA 12-13 FEBRUARY 2001

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceedings of the FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONICS - ICOM '01

MECHATRONICS - AN INTEGRATED ENGINEERING FOR THE NEW MILLENNIUM

VOLUME II

Kuala Lumpur, Malaysia
12 – 13 February 2001

Sponsored by:

APEX Communications Group
SAPURA
EXCEL
Bridgeport Quality Machine Tools
DMG Malaysia
Kosijaya
Perodua
Malaysia Airlines

Organized by:
Faculty of Engineering
International Islamic University Malaysia

Co-organized by:
CEE

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IS-11 Autonomously Chasing Robot Controlled With Fuzzy Algorithm 588
Itsuya Muta, Kazuya Matsuda and Yoshiro Higuchi- Kyoto University, Japan

IS-12 Hardware Implementation Of Intelligent Braking System 600
S.N. Sidek and M.J.E. Salami- International Islamic University Malaysia, Malaysia

IS-13 Movement Analysis For Building Intelligent Reactive Navigation Behaviours For Legged Robot 605
Adel Ali Al-Jumaily- International Islamic University Malaysia, Malaysia

APPLICATIONS IN MECHATRONICS

AP-1 Mechatronics, System and Applications; its technology transfer to Pakistan 619
Obaid R. Khan - King Fahd University of Petroleum & Minerals, Saudi Arabia

AP-2 Active Bridge Technique For Measuring Low Capacitance Over Wide Frequency Range 632
Tariqul Islam and Moinuddin - Jamia Millia Islamia University, India

AP-3 Synchronous Reluctance Drives As Viable Option In Mechatronics Applications 641
M H Nagrial and M. A. Mohamed -University of Western Sydney, Australia

AP-4 The Reduction Of Static Charge On Personnel In Electronic Industry 651
Anusorn Chakkaew , Kachapong Sumanon ,and Wisut Titiroongruang - King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

AP-5 Micro-Controller Based Voice Messaging System 659
Jamal Ahmad Dargham, Ali Chekima, and Nour-Eddine Belkhamza- University Malaysia Sabah, Malaysia

AP-6 Development Of The Internet Interface For Leg Motion Control Of A Mobile Robot 665
Norhayati A.Majid, Shamsudin H.M.Amin and Rosbi Mamat - Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Reduction of Static Charge on Personnel in Electronic Industry

Anusorn Chakkaew , Kachapong Sumanon , Assoc. Prof. Dr. Wisut Titiroongruang
Electronic Research Center, Faculty of Engineering
King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Tel. (662) 739-2385 Fax. (662) 739-2384
E-mail : achakkaew@mmm.com

ABSTRACT

This paper presents the reduction of static charge on personnel in electronic industry by influence of relative humidity, resistance of body to ground, static control footwear and static control surfaces. In the first experiment, static charge on personnel while walking and scuffing are evaluated in elevated humidity with various resistance to ground of body through wrist strap and adjustable resistance. The changes in relative humidity and human resistance to ground are shown to have a major impact to the static charge. Further experiment, different types of the static control footwear and static control floor tiles are evaluated in combination to measure static charge level on personnel. This experiment has shown that overall performance of the static control flooring in conjunction with footwear can provide effective control of static generation and dissipation. However, resistance to ground of the surface is not sufficient to select the surfaces which most of electronic industry currently relies on. Performance in combination of the footwear and surfaces by static charge evaluation should be considered for proper selection, especially in disk drive industry that read-write elements are extremely sensitive to electrostatic field and discharge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. INTRODUCTION

Static damage of components by operating personnel is fast becoming one of the most significant problems in electronic industry, especially data storage products and integrated circuit. Starting from the data storage products which has certainly become an area of significant development in recent years, it has moved to IC assemblies and related manufacturing such as printed circuit board assemblies and OEM manufacturing.

Controlling of voltage on personnel has long been recognized as of primary in preventing electrostatic discharge (ESD). The contacts of ESD sensitive devices and flow of current from person can partially degrade or even fully destroy the device. Relation between resistance to ground of personnel and peak voltage created by movement is fundamental and generally be known that lower resistance to ground people would create lower static charge, and grounded people through wrist strap is a principle method and strongly recommended for those industries.

Static control flooring or surfaces are more commonly used in those electronic industries as part of their static protective work area for reliable grounding in order to successfully manufacture products. The purpose of the static control surfaces is primarily to remove static charge from transient personnel on the surfaces, and it does provide a significant amount of protections around the well traveled areas. These surfaces previously had resistance range available in the amount that we call dissipative, and recently available in a lower range of resistance in conductive [1]. By minimizing the static charge on personnel from principle of dissipation of the static charge through the surfaces. Lower resistance range of surfaces is understood to have better level of charge dissipation and they are being selected from industries with only resistance consideration. But surface tendency to have charge generation, in combination of the floor surfaces with static control footwear has not been evaluated. Especially in disk drive industry, read-write head elements are extremely sensitive to electrostatic field and discharge, and people are still required to do the majority of assembly due to complexity of wire attachment to the head elements. The grounding considerations adequate for conventional electronic parts are insufficient for protection and reliable production.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Apparatus requirements

2.1.1. Resistance measuring apparatus in the appropriate configuration for resistance measurement with +/- 10% accuracy and 100 volts open circuit is being used to measure resistance to ground of static control surfaces with provided 2.5 inches diameter and 5 lb. weight electrode. A stainless steel with hand-held electrode, 2.5 inches diameter, 3 inches long with banana plug receptacle attached to one end of the cylinder is being used to measure human resistance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 A charge plate monitor or equivalent with input resistance of greater than $1x10^{14}$ ohms and capacitance less or equal to 20pF with +/- 10% accuracy. This can be interfaced with plotter or x-y recorder for record keeping.

2.1.3. Floor finished installed in 2 ft x 2 ft. with compliance conductive adhesive with manufacturer's recommended procedure and ground connection. Static control footwear, clean twice following manufacture's recommendation or clean with minimum 70% isopropanal-water solution using a clean, low-lint cloth.

2.1.4. An enclosed cleanroom environmental with appropriate relative humidity and temperature that can reflect working environment of disk drive manufacturing. Pre-conditioning the surface and footwear materials in the cleanroom for 72 hrs. minimum.

2.2. Evaluation procedure

2.2.1. For floor resistance, connect the weight electrode to the surface and the other end to ground and apply test voltage according to test procedure of ESD S7.1 [2]. For personnel resistance, wear the test footwear on both feet and stand on the floor specimen, grasp the hand held electrode and apply test voltage.

2.2.2 For voltage measurement on body in first experiment. Wear one test footwear and attach conventional wrist strap to a wrist, grasp the hand held electrode which is connected to charge plate monitor and continuously walk on the acrylic plate. Adjust resistance of body to ground using the adjustable resistance box which connected to ground from the wrist strap.

2.2.3 For voltage measurement on body from different floor specimens and footwear, wear the test footwear, grasp the hand held electrode which is connected to the charge plate monitor and continuously walk on each floor specimen. Scuffing is also required for each specimen. Before starting each test, touch ground to remove any charge on the body and check to make sure the instrumentation is also zeroed.

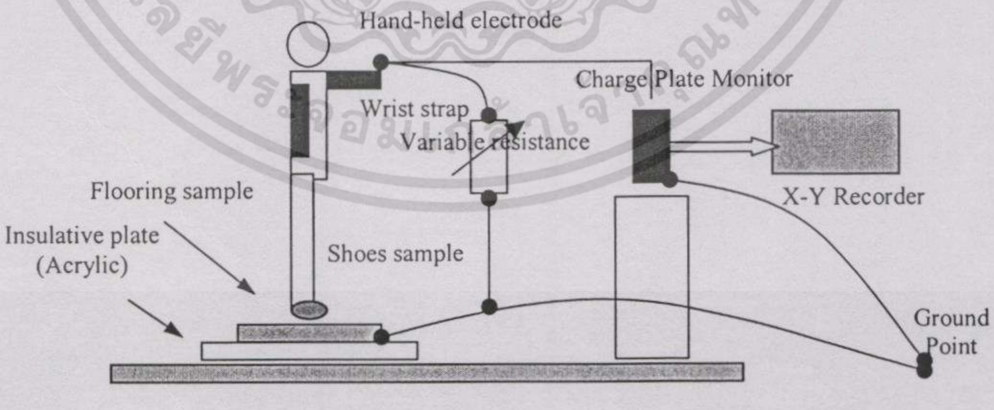


Fig. 2 Connection for static charge evaluation to charge plate monitor and graphical recording device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. TEST RESULT

Resistance to ground of personnel through wrist strap (ohm)	Peak voltage on personnel (volt)	
	60% RH Humidity	75% RH Humidity
0	0.5	0.2
100 K	0.7	0.2
500 K	1.0	0.5
1 M	1.5	0.6
5 M	15	0.8
10 M	30	4.5
50 M	150	10
100 M	250	180
200 M	700	250
∝	>2000	850

Table 1 Electrical potential generated by vigorous movements of personnel at various resistance to ground level through wrist strap, at 23.5 C, 60%RH and 75%RH

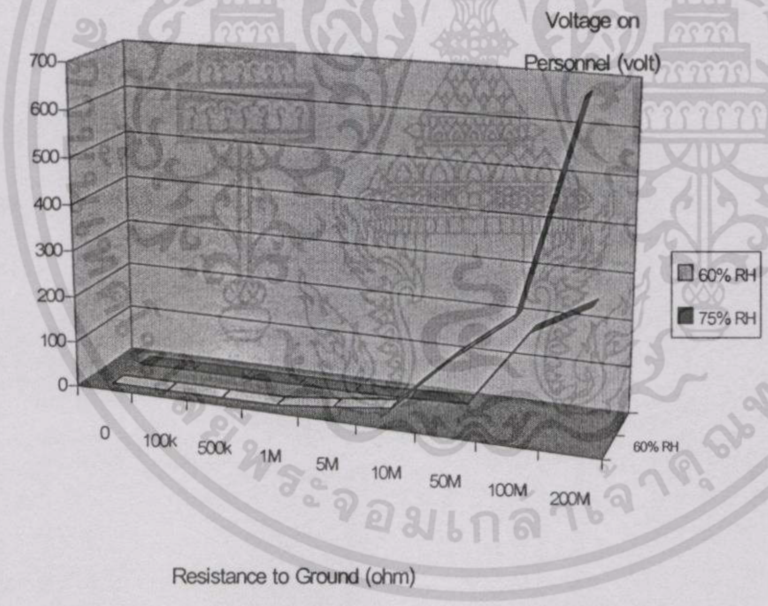


Figure 1. Static charge on personnel at various resistance to ground, 60%RH and 75%RH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flooring	Structure
Tile A	**Dissipative tile, Homogeneous, 3.2 mm thickness**
Tile B	**Dissipative floor mat, 2 layers**
Tile C	**Conductive tile, Homogenous, 3.2 mm thickness**
Tile D	**Conductive tile, Homogenous, 2 mm thickness**
Tile E	**Conductive tile, Homogenous, 3 mm thickness**
Tile F	**Conductive tile, Homogenous, 3.2 mm thickness**
Tile G	**Conductive tile, Homogenous, 2 mm thickness**
Tile H	**Dissipative tile, Homogeneous, 2 mm thickness**
Footwear A	**White conductive shoes, supplier A**
Footwear B	**White conductive shoes, supplier B**

Personnel	Description
Operator A	Lady, 50 kg weight
Operator B	Lady, 46 kg weight

Table 2. Details of materials and personnel involved in the experiment

	Floor Samples	Resistance to ground of floor samples (ESD S7.1) : ohm	Total resistance of Personnel to ground (ohm) : Person A		Total resistance of personnel to ground (ohm) : Person B	
			Footwear A	Footwear B	Footwear A	Footwear B
1	A	1.77 M	12.37 M	68 M	29.2 M	70.5 M
2	B	10.37 M	20.4 M	24.5 M	49.5 M	46.4 M
3	C	0.373 M	7.1 M	40.4 M	34.1 M	51.5 M
4	D	0.032 M	7.02 M	40.5 M	35.5 M	67 M
5	E	0.021 M	7.90 M	68 M	36.5 M	92 M
6	F	0.046 M	6.96 M	34.6 M	28.8 M	45.9 M
7	G	0.072 M	7.52 M	81 M	36.9 M	60.5 M
8	H	16.34 M	10.51 M	65 M	40.7 M	62.5 M

Table 3. Resistance to ground of floor specimens and total resistance to ground of personnel standing on the floors. The total resistance includes human body, socks, footwear and flooring materials, at 23.5 C, 55% RH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

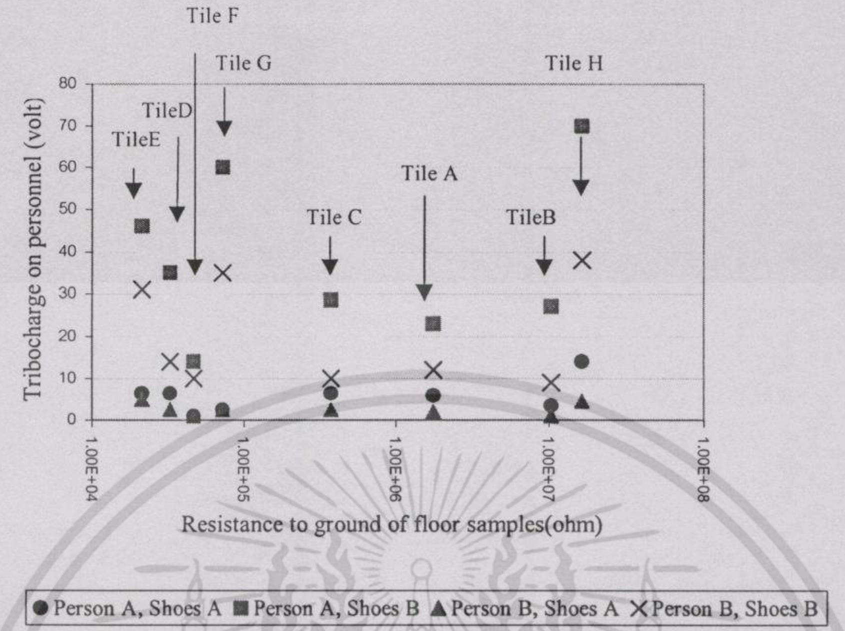


Fig. 2 Static charge measurement on personnel from X-Y Recorder in relative with resistance to ground of floor samples, at 23.5 C, 55% RH.

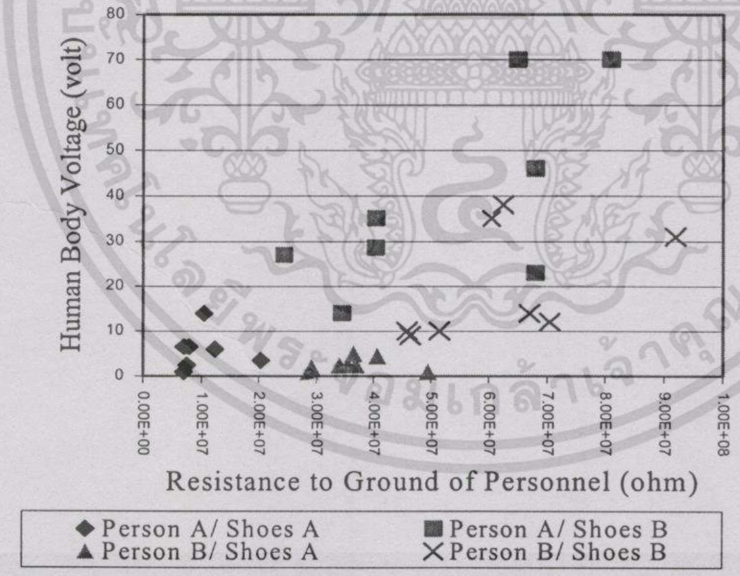


Figure 3. Static charge measurement on personnel from X-Y Recorder in relative with total resistance, at 23.5 C, 55% RH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. CONCLUSION

4.1 The resistance to ground of personnel in the first part of the study provided valuable information about how charges can be dissipated, based on resistance value. Grounding of people is one of the most important measures that can be taken in establishing any sort of electrostatic control plan for protection of static sensitive items. What should be emphasized is the fact that people are not an exceptional electrical conductor since people have inherent skin resistance, and adding with footwear, socks and clothing that cannot possibly obtain zero resistance to ground. Some electrical potential will exist, at least for short time. The relationship between charge on personnel with respect to decay time is shown by V = Vo. exp (-t / RC). Where Vo is the potential on a body that result immediately after contact and separation in the absence of discharge path, and V is potential on a body with resistance in the discharge path [3].

The balance between the charge generation and the charge decay processes determines the peak voltage attained in any practical system. The resistance between a person and ground increases, the ability to develop and electrical potential increases proportionally. But this should be noted that the 1 megaohm resistance to ground which is normally attached or built-in in conventional wrist strap cuff is considered for safety reasons of personnel from electrical hazards. Moreover, the charge influences from this resistance value is considerably to be low enough to protect static sensitive devices such as MOSFET that has ESD sensitivity level at 100-200 volts [4]. Anyway, higher level of ESD sensitivity can demand lower total resistance to ground, such as MR and GMR sensors at read-write element used in hard disk drive [5].

4.2. Changes in relative humidity are shown to have an impact to the static charge accumulated. Table 1, voltage on personnel in higher relative humidity (75%RH) decreases significantly compare to the 65%RH. The higher relative humidity can reduce the likelihood of charges in the first place, but humidification this tends to be expensive and too high level can cause corrosion and other undesirable effects [6]. Therefore, electronic industry prefers to maintain the humidity above 40% with an upper limit at 65%, and a sound of ESD control program with optimum materials and operator disciplines would be focused substantially. However, the humidification now can be seen in some cases in very dry areas of plastic injection molding industry, it makes antistatic material with sweat layers function to reduce the high static charge in the working environment.

4.3 As previously stated in item 4.1 on a fundamental relationship between resistance to ground and static charge generation. If the electrical resistance is decreased between a person and ground, the tendency to generate and hold the charge is reduced in most cases. However, there are some instances where the resistance to ground values do not predict low static charge generation. This situation can be observed by evaluation of eight different flooring samples in combination with 2 different footwear, where resistance to ground data was collected for each individual floors and persons stand on the floors.

Figure 2 shows electrostatic charge on personnel in relative with resistance to ground of floor samples. The series of tests show there are unexpected static level, such as Tile E which has a lowest resistance to ground value and would have better charge dissipation performance, but this tile allows the generation of higher than expected. Also Tile F has a relatively high

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

resistance to ground compared to Tile D but allows a lower static charge with both types of footwear tested. The distribution of conductive elements in the floor material and insulation area between the conductive elements, together with the area of contact with the sole of footwear seems to be a factor of static charge generation on personnel. This set of evaluations has shown that overall performance of dissipative or conductive flooring in conjunction with footwear can provide effective control of static generation and dissipation. However, care must be taken in the selection process to ensure that the floor and footwear system will function correctly. Especially in the areas that very sensitive items are handled, specifying the resistance to ground of the floor is not sufficient for static safe operations. From the experiment, Footwear A and Tile F is the set that has the best static control performance compared to others.

Figure 3 shows electrostatic charge on personnel in relative with total resistance of personnel through footwear, floor tiles and ground. This seems to be more realistic information to predict higher static charge level from higher total human resistance to ground. It should be considered important in actual practice to verify the actual system used, rather than measure only resistance of some individual components, such as footwear or floor tiles.

4.4 The size and shape of person tend to determine where their weight is carried. In most cases, the majority of the person weights are on the heel of the footwear but may be more uniformly distributed over their foot area in some cases. For those individuals with their weight distributed over the large area, their resistance to ground was lower than a person wearing the same footwear but their weight concentrated on their heels. This information can be observed in table 3, operator A and B are about the same size but human resistance to ground are quite different with the same footwear type.

By the way, walking and scuffing pattern of operators is one of the factor influences the static charge level. A standard walking pattern should be considered in test procedures to standardize and minimize the difference. Anyway, the walking pattern of each operator in this experiment should reflect her actual movement in production floor. Operator should not scuff their feet unnecessarily to minimize the static charge.

5. REFERENCE

1. Electrostatic Discharge Association, ESD-ADV 2.0-1994, ESD Handbook, USA, 1994.
2. Electrostatic Discharge Association, ANSI/ESD S7.1-1994, Resistive Characterization of Floor Materials, USA, 1994.
3. Don Yenni, "Basic Electrical Considerations in The design of a Static-safe Work Environment", Nepcon/West Conference, Anaheim, California, USA, 1971.
4. Jorg Thurmer, "Functional Methods to Determine the EPA Compatibility of Mechanical Tools", EOS/ESD Symposium Proceeding, 1996, pp. 338-349.
5. David E. Swenson, "Grounding of Personnel in ESD sensitive Environments", Data Storage Asia, Penny well Publishing Company, 1998.
6. John M. Kolyer, Donald E. Watson, William E. Anderson, "Controlling Voltage on Personnel", EOS/ESD Symposium Proceeding, 1989, pp.23-31.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย อนุสรณ์ จักรแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 25 ตุลาคม พ.ศ. 2514 ที่จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2537

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. การศึกษาปริมาณไฟฟ้าสถิตบนร่างกายที่มีผลจากค่าความต้านทานและความชื้นสัมพัทธ์ การประชุมทางวิชาการครั้งที่ 38 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2543
2. THE REDUCTION OF STATIC CHARGE ON PERSONNEL IN ELECTRONIC INDUSTRY, FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONICS (ICOM '01), KUALA LUMPUR, MALAYSIA, FEBRUARY 2001

ประวัติการทำงาน

- พ.ศ. 2538-2540 วิศวกร บริษัท Seagate Technology (Thailand)
- พ.ศ. 2540-ปัจจุบัน วิศวกรฝ่ายบริการทางเทคนิคขั้นสูง บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด

ประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญพิเศษ

- สมาชิกของ Electrostatic Discharge Association , USA , since 1997
- ฝึกอบรม ESD S20.20 Pre-Assessment Trained, Electrostatic Discharge Association, June 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้