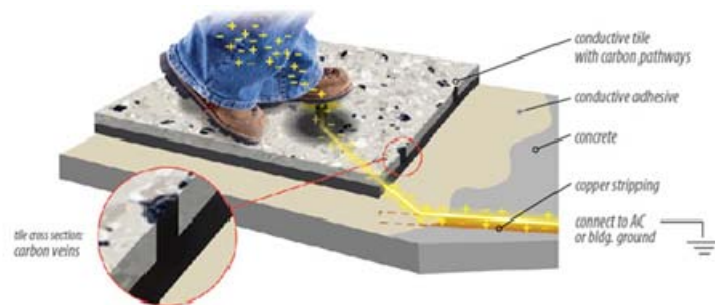


## แผ่นยางป้องกันไฟฟ้าสถิต (anti-static rubber sheet)

แผ่นยางป้องกันไฟฟ้าสถิต (anti-static rubber sheet) หรือ ESD RUBBER MAT (electro static discharged; ESD) เป็นแผ่นยางสำหรับปูพื้นป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต ลดปัญหาความเสียหายของชิ้นงาน ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตจากยางที่ไม่มีขี้ผึ้งซึ่งมีความเป็นฉนวนสูง เมื่อใช้งานเป็นเวลานานๆ ย่อมเกิดการสะสมของประจุไฟฟ้า เมื่อประจุทางไฟฟ้าที่อยู่บนพื้นผิวของวัตถุไม่เกิดการถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมย่อมทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้ ดังนั้นวัสดุที่ตั้งอยู่บนผลิตภัณฑ์ที่มีไฟฟ้าสถิตย่อมได้รับผลเสีย เช่น อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แทบจะทุกรายการผลิตต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิต เนื่องจากชิ้นงานกึ่งตัวนำ (semiconductor) นี้ค่อนข้างอ่อนไหวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 1 กลไกการถ่ายเทประจุไฟฟ้าลงดิน

### สมบัติทางไฟฟ้าของยาง

เนื่องจากยางแต่ละชนิดมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับความมีขี้ผึ้งของโมเลกุล ซึ่งยางที่มีขี้ผึ้งสูง เช่น ยางคลอโรพรีน ยางไนไตรล์ และยางฟลูออโรคาร์บอน จะมีความความเป็นฉนวนหรือความต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่ายางที่มีขี้ผึ้งต่ำ เช่น ยางธรรมชาติ ยางสไตรีนบิวทาไดอีน ยางบิวไทล์ และยางบิวทาไดอีน (ดังแสดงในตารางที่ 1) ยางที่มีขี้ผึ้งต่ำเหล่านี้เหมาะกับการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความเป็นฉนวนสูง เช่น ปลอกหุ้มสายไฟฟ้าและปลอกหุ้มสายเคเบิลต่างๆ

## ตารางที่ 1 สมบัติทางไฟฟ้าของยางชนิดต่างๆ

ยาง	ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (โอห์ม-เซนติเมตร)
ยางธรรมชาติ/โพลีไอโซพรีน	$5.0 \times 10^{15}$
สไตรีนบิวทาไดอีน	$5.0 - 8.4 \times 10^{13}$
บิวไทล์	$2.0 \times 10^{16}$
คลอโรพรีน	$1.0 \times 10^{10} - 2.0 \times 10^{13}$
ไนไทร์ล	$3.5 \times 10^{10}$
ซิลิโคน	$1.0 \times 10^{14} - 1.0 \times 10^{16}$
โพลียูรีเทน	$0.3 \times 10^{10} - 4.7 \times 10^{13}$
ฟลูออโรคาร์บอน	$2.0 \times 10^{13}$

### สารป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต

สารเคมีที่ป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต ได้แก่ เขม่าดำเกรดที่นำไฟฟ้าได้ดี (conductive black) เกลือของแอมโมเนียม (quaternary ammonium salts) และสารประกอบของเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide condensate) เป็นต้น สารเคมีดังกล่าวจะทำให้ยางมีค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงสามารถถ่ายเทต่อไปยังสิ่งแวดล้อมได้ง่าย

เขม่าดำเกรดที่นำไฟฟ้าได้ดีจะมีพื้นที่ผิวต่ำกว่าและโครงสร้าง (ปริมาณรูพรุน) สูงกว่าเขม่าดำเกรดที่ใช้เสริมแรงทั่วไป การแบ่งเกรดเขม่าดำในปัจจุบันนิยมใช้มาตรฐาน ASTM ในการตั้งชื่อและแบ่งเกรดเขม่าดำ โดยเริ่มต้นด้วยอักษรซึ่งบ่งบอกถึงอัตราเร็วของปฏิกิริยาการดูดซับ เช่น อักษร “N” สำหรับ เขม่าดำที่ให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาการดูดซับปกติ อักษร “S” สำหรับเขม่าดำที่ให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาการดูดซับช้า และตามด้วยเลข 3 ตัว โดยตัวเลขตัวแรกจะบ่งบอกถึงขนาดของอนุภาคปฐมนุญ ตัวเลขสองตัวหลังไม่ได้มีความหมายใดๆ ยกเว้นในกรณีที่เขม่าดำเกรดนั้นมีระดับของโครงสร้างมาตรฐาน (standard level of structure) ตัวเลขตัวที่สองมักใช้ซ้ำกับตัวเลขตัวแรกและตามด้วยเลขศูนย์ เช่น N330 เป็นต้น ดังตารางที่ 2

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าของยาง โดยทั่วไปจะนิยมใช้เขม่าดำเกรดที่นำไฟฟ้าได้ดีในปริมาณเล็กน้อย (5-10 phr) ผสมกับเขม่าดำเกรดที่ใช้เป็นสารตัวเติมทั่วไป ดังตารางที่ 3 ที่มีการเลือกใช้เขม่าดำ 2 ชนิด คือ เขม่าดำเกรด N-772 และ เขม่าดำที่เป็นเกรดที่นำไฟฟ้าได้ดี คือ Ketjenblack ในปริมาณ 5 phr ซึ่ง Ketjenblack เป็นเขม่าดำที่มีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวสูง โดยดูจากพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ตามทฤษฎีของ BET (The Brunauer Emmett-Teller) อยู่ที่  $950 \text{ m}^2/\text{g}$  บ่งบอกว่าเขม่าดำมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวจำเพาะสูงสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ในรูปที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบการใช้เขม่าดำเกรดนำไฟฟ้าในปริมาณเล็กน้อยกับเขม่าดำเกรดทั่วไปที่จำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้ควรตระหนักไว้ว่าการใช้เขม่าดำเกรดที่นำไฟฟ้าได้ดีอาจส่งผลกระทบต่อลักษณะการคงรูป ความหนืด รวมถึงสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตของยาง

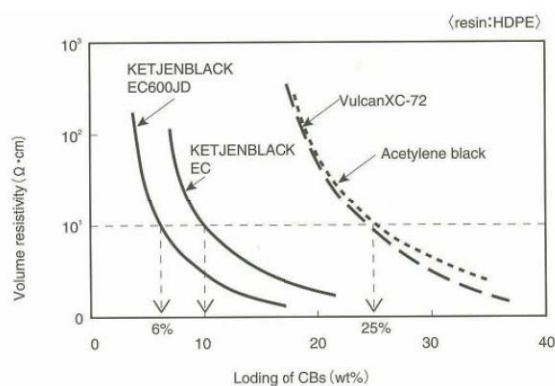
การหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ตามทฤษฎีของ BET ใช้หลักการของการดูดซับก๊าซบนพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ โดยมีสมมติฐานว่าการดูดซับของก๊าซเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวไม่จำเพาะบริเวณใด บริเวณหนึ่ง และอีกสมมติฐานหนึ่ง คือ ก๊าซที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับบนพื้นผิวได้ดีกว่าการที่ก๊าซเกิด

ตั้งจุดกันเอง (ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ใช้ก๊าซไนโตรเจน, N<sub>2</sub>) โดยปกติในการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องในการใช้ทฤษฎีของ BET กับสารตัวอย่างสามารถดูได้ที่ตัวบ่งชี้ที่ได้จากการทดสอบ ดังนี้

1. ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้ควรเป็นเส้นตรง
2. ค่าคงที่ของ C (C – Values) โดยปกติจะอยู่ในช่วง 50 – 300 ซึ่งค่าคงที่ C ที่ค่าน้อยกว่า 50 แสดงว่า ก๊าซเกิดการตั้งจุดกันเอง นอกจากจะไปดูดซับบนพื้นผิวของของแข็งตามสมมติฐานเบื้องต้นของทฤษฎีของ BET ส่วนกรณีที่ค่าคงที่ C มีค่ามากกว่า 300 มากๆ แสดงว่า การดูดซับของก๊าซบนพื้นผิวของของแข็งเกิดขึ้นได้ดีมากหรือมีบางจุดบนพื้นผิวที่ดูดซับได้ดีกว่าบริเวณอื่นๆ
3. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) ของเส้นกราฟ มีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 0.999

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการแบ่งเกรดและสมบัติพื้นฐานของเขม่าดำ

เกรด	ค่าการดูดซับไอโอดีน g/kg (ASTM D1510)	ค่า DBPA cm <sup>3</sup> /100 g (ASTM D2414)	ค่า DBPA ของตัวอย่างที่ถูกอัด cm <sup>3</sup> /100 g (ASTM D3493)	CTAB, m <sup>2</sup> /g (ASTM D3765)	ค่าการดูดซับไนโตรเจน, m <sup>2</sup> /g (ASTM D3037)
N110	145	113	98	126	143
N121	121	132	112	121	132
N220	121	114	100	111	119
N234	120	125	100	119	126
N330	82	102	88	83	83
N550	43	121	88	42	42
N660	36	90	75	35	35
N774	29	72	62	29	29



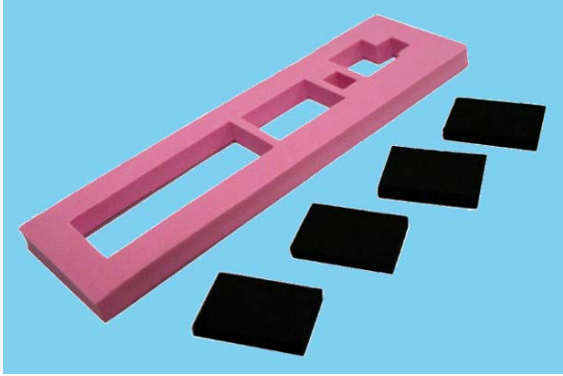
รูปที่ 2 ปริมาณเขม่าดำกับการนำไฟฟ้า

ตารางที่ 3 ตัวอย่างสูตรพื้นยางป้องกันไฟฟ้าสถิต (antistatic soles)

สูตรผสมเคมียาง	phr
ยาง NBR	100
ซิงก์ออกไซด์	5
กรดสเตียริก	1
เขม่าดำ (เกรด N-772)	40
สารพลาสติกไซเซอร์ (Vulkanol 85)	10
เรซิน	5
สารตัวเร่ง MBTS	1.5
สารตัวเร่ง TMTM	0.3
กำมะถัน	1.5
สารนำไฟฟ้า Ketjenblack EC300J	5
สารตัวเร่ง	1.5
<b>สมบัติเชิงกล 10 นาที 160 °C</b>	
ความแข็ง (Shore A)	63
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	16.2
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	440
ความทนต่อการหักงอ (รอบ)	15,000
<b>สมบัติเชิงกลหลังการบ่มเร่ง 7 วัน 70 °C</b>	
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	-6
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	-13

### การนำไปใช้งาน

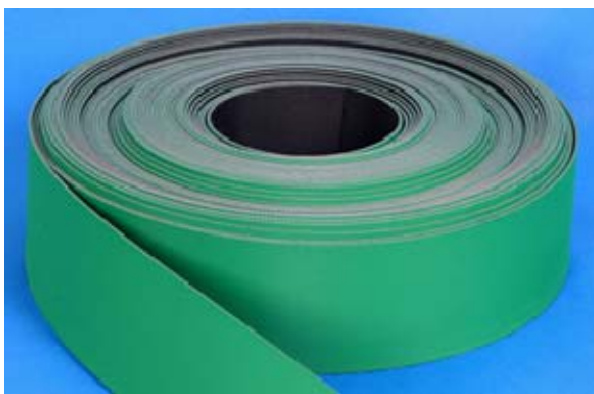
ปัจจุบันชิ้นงานผลิตภัณฑ์ยางบางจำพวก เช่น งานชิ้นส่วนทางการแพทย์ งานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่นับวันจะมีขนาดเล็กลงและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น บางชิ้นงานจำเป็นต้องใช้งานร่วมกับวงจรไฟฟ้ามากมาย ในขณะที่ขนาดของชิ้นงานที่เล็กลง ย่อมส่งผลให้ชิ้นงานยิ่งไวต่อไฟฟ้าสถิตมากขึ้น ไฟฟ้าสถิตจะถูกส่งจากคนงานในสายการผลิต เครื่องมือ และอุปกรณ์อื่นๆ ไปยังชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานเหล่านั้นเปลี่ยนไป อาจจะเป็นการลดคุณภาพลงหรือทำลายชิ้นงาน มีการศึกษาและพบว่ามากกว่า 50% ของชิ้นงานที่เสียหายล้วนมีผลมาจากไฟฟ้าสถิต ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องไม่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต เช่น สายพานลำเลียง ล้อที่ใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้าและด้าย ล้อเข็นในโรงพยาบาล แผ่นโฟม และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น อวัยวะเทียมต่างๆ เป็นต้น จึงต้องมีการควบคุมการผลิตในห้องควบคุม หรือจำเป็นต้องออกสูตรให้เหมาะสมตามสภาวะการใช้งาน หากเป็นอวัยวะเทียมที่ใช้ในทางการแพทย์จะต้องมีการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ ในเรื่องของการป้องกันไฟฟ้าสถิต และสมบัติอื่นๆ ที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ยาง



แผ่นโฟมป้องกันไฟฟ้าสถิต



ยางรัดป้องกันไฟฟ้าสถิต



สายพานลำเลียงป้องกันไฟฟ้าสถิต



ล้อรถเข็นป้องกันไฟฟ้าสถิต



สายรัดข้อมือป้องกันไฟฟ้าสถิต

## มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

ASTM D257-14 Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials

ASTM F-150-06 (2013) Standard Test Method for Electrical Resistance of Conductive and Static Dissipative Resilient Flooring

ANSI/ESD S2 0 .2 0 Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)

ANSI/ESD S7.1-2005 Resistive Characterization of Materials-Floor Materials

UL 779 Standard for Electrically Conductive Floorings

## แหล่งอ้างอิง

1. พงษ์ธร แซ่อู๋, สารเคมียาง, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548
2. Peter A.C. and Norman H., "The Rubber Formulary", William Andrew Publishing, New York, USA, 1999, P 496.
3. [https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/files/presentation/Technique\\_for\\_PC.pdf](https://www.mtec.or.th/mcu/phcl/files/presentation/Technique_for_PC.pdf)
4. <http://aimtechgen.com/index.php/article/30-the-community/27-esd-.html>  
<https://roppe.com/esd-rubber-static-control-tile/>
5. [https://th.misumi-ec.com/maker/misumi/mech/campaign/email20121108/Antistatic\\_material.html](https://th.misumi-ec.com/maker/misumi/mech/campaign/email20121108/Antistatic_material.html)  
[http://www.electricalmatsdirect.co.uk/electrical\\_insulation\\_matting](http://www.electricalmatsdirect.co.uk/electrical_insulation_matting)
6. <http://www.wjtechnology.net/knowledge-detail.php?id=1874>
7. <https://www.professionalplastics.com/th/StaticControlPlasticMaterials.html>
8. <http://www.tako.co.th>
9. <https://www.lion-specialty-chem.co.jp/en/product/carbon/carbon01.htm>
10. <http://www.nikkarubber.com/th/anti-static-rubber-sheet.html>
11. <http://acmefabrik.com/Safetyrequirements.aspx>
12. <https://www.lemaitre.co.za/shoe-dissection>