สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการรูป	(10)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(16)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ยางธรรมชาติ	4
2.2 ยางคลอโรซัลโฟเนตเตตพอลิเอทธิลีน	18
2.3 ยางธรรมชาติอิพ๊อกซิไดซ์	21
2.4 คลื่น	22
2.5 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	26
2.6 ทฤษฎีการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	33
2.7 กลไกการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	36
2.8 สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ	37
2.9 การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานด้านการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	42
3. วิธีการวิจัย	48
3.1 สารเคมี	48
3.2 อุปกรณ์	50
3.3 วิธีการทดลอง	52
3.3.1 วิธีการเตรียมยางคอมปาวด์	52
3.3.2 การเตรียมมาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.3 การวัดค่าประสิทธิภาพการกำบังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	58
3.3.4 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า	65
3.3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยาง	67
3.3.6 การตรวจสอบการกระจายของผงโลหะในยางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	71
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	72
4.1 ผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเบื้องต้น	72
4.2 ผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพการกำบังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตามมาตรฐาน EN 50147–1	84
4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า	98
4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยาง	108
4.5 ผลการตรวจสอบการกระจายของผงโลหะในยางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	130
5. สรุปผลการทดลอง	133
5.1 สรุปผลการทดลอง	133
5.2 ข้อเสนอแนะ	140
บรรณานุกรม	141
ภาคผนวก	148
ก. การทำ impedance matching ของเครื่องมือสำหรับวัดค่าประสิทธิภาพการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเบื้องต้น	149
ข. ค่า SE ของชิ้นทดสอบอ้างอิง	151
ค. ผลการทดสอบค่าสภาพนำไฟฟ้า	154
ง. เวลาการวัลคาไนซ์ของยางสูตรต่าง ๆ	156
ประวัติผู้เขียน	157

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด และยางแห้ง	6
2.2 สมบัติทางกายภาพบางประการของยางธรรมชาติ	7
2.3 ตัวอย่างเขม่าดำ	16
2.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงความถี่ไมโครเวฟ	30
2.5 ช่วงคลื่นต่างๆ ของแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า	31
2.6 ค่าสภาพนำไฟฟ้า (σ) โดยประมาณ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นซีเมนต์ต่อเมตร	38
2.7 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ	42
3.1 สมบัติของเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า Ketjenblack EC-300J	49
3.2 สูตรยางธรรมชาติที่ใช้ในการทดลอง	53
3.3 สูตรยาง ENR ที่ใช้ในการทดลอง	53
3.4 สูตรยาง CSM ที่ใช้ในการทดลอง	54
3.5 สูตรการเตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าในยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอิพ๊อกซิไดซ์	57
3.6 สูตรการเตรียมยางมาสเตอร์แบทช์ของเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าในยางคลอโรซัลโฟเนตเตดพอลิเอทธิลีน	58
4.1 ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มุมต่างๆ ทั้งในทิศทางบวกและลบ	86
4.2 ค่ามุมที่ให้ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3 เดซิเบล ที่ความถี่ 8.5, 10.0 และ 12.0 จิกะเฮิรตซ์	87
4.3 ค่า SE ในช่วงความถี่ 8.5 – 12 จิกะเฮิรตซ์ ของยางสูตรต่างๆ โดยชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	93
4.4 ค่า SE ในช่วงความถี่ 8.5 – 12 จิกะเฮิรตซ์ ของยางสูตรต่างๆ โดยชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	94
4.5 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของยางสูตรต่างๆ	99
4.6 ค่าอิมพิแดนซ์ของยางสูตรต่างๆ	105
4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าความทนต่อแรงดึงและค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางสูตรต่างๆ หลังจากการบ่มเร่งด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง	118

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.8 ค่าความแข็งของยางสูตรต่างๆ มีหน่วยเป็น shore A	129
4.9 ค่าความถ่วงจำเพาะของยางสูตรต่างๆ	130
5.1 ค่า SE ในช่วงความถี่ 8.5 – 12 จิกะเฮิรตซ์ ของยางสูตรต่างๆ โดยชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	134
5.2 ค่า SE ในช่วงความถี่ 8.5 – 12 จิกะเฮิรตซ์ ของยางสูตรต่างๆ โดยชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	135
5.3 ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าอิมพิแดนซ์ ของสูตรยางธรรมชาติ	136
5.4 ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าอิมพิแดนซ์ ของสูตรยาง ENR50	136
5.5 ค่าสภาพนำไฟฟ้า ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าอิมพิแดนซ์ ของสูตรยาง CSM	137
5.6 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ	138
5.7 สมบัติเชิงกลของยาง ENR50	139
5.8 สมบัติเชิงกลของยาง CSM	139
ข.1 ค่า SE ของยางสูตร NR 20/0 ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง เมื่อทดสอบด้วยวิธีเบื้องต้น	151
ข.2 ค่า SE ของยางสูตร NR 20/0 ชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง เมื่อทดสอบด้วยวิธีเบื้องต้น	152
ข.3 ค่า SE ของยางสูตร NR 30/0 ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EN 50147-1	152
ข.4 ค่า SE ของยางสูตร NR 30/0 ชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน EN 50147-1	153
ค.1 ค่าสภาพนำไฟฟ้าของยางสูตรต่างๆ	155
ง.1 เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางสูตรต่างๆ	156

รายการรูป

รูป		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 5,000 ถึง 15,000	4
2.2	ลักษณะพันธะเชื่อมโยงในโครงสร้างยางที่วัลคาไนซ์แล้ว (a) โมโนซัลไฟด์ (b) ไดซัลไฟด์ (c) พอลิซัลไฟด์ และ (d) ไซคลิกโมโนซัลไฟด์และไดซัลไฟด์	8
2.3	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเขม่าดำชนิดต่างๆ (a) thermal black (b) channel black และ (c) furnace black	14
2.4	การรวมตัวกันของเขม่าดำ	17
2.5	โครงสร้างของยางคลอโรซัลโฟเนตเตตพอลิเอทธิลีน	19
2.6	ปฏิกิริยาการเตรียม ENR	22
2.7	คลื่นและส่วนประกอบของคลื่น	24
2.8	สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	27
2.9	สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	28
2.10	กลไกการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	37
2.11	สารไดอิเล็กตริกในสนามไฟฟ้า	39
2.12	ตัวเก็บประจุชนิดแผ่นขนานอย่างง่าย	40
3.1	การจัดเครื่องมือในการวัดค่าประสิทธิภาพการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเบื้องต้น	59
3.2	เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงความถี่ 8.5 ถึง 12.0 จิกะเฮิรตซ์ รุ่น HP 83620B	60
3.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวัดค่าประสิทธิภาพการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ซ้าย) สายอากาศตัวส่ง (ขวา) สายอากาศตัวรับ	60
3.4	เครื่องบ่งชี้ระดับสัญญาณ โดยใช้เครื่อง V.S.W.R. Amplifier MK III	60
3.5	การนำชิ้นทดสอบปิดหน้าสายอากาศตัวรับ	61
3.6	การจัดเครื่องมือในการวัดหาค่าลำกว้างของสายอากาศที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	62
3.7	กราฟสำหรับเขียนรูปแบบการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	63
3.8	การจัดเครื่องมือในการทดสอบวัดค่าประสิทธิภาพการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน EN 50147 – 1	64
3.9	เครื่องวัดกำลัง (power meter) Agilent รุ่น 53147A Power meter	64

รายการรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3.10	การวัดค่าประสิทธิภาพการกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีชิ้นทดสอบกั้นระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับ	65
3.11	(a) เครื่อง HP4263B LCR meter (b) หัววัด (probe)	67
3.12	ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ สำหรับการทดสอบความทนต่อแรงดึง	68
3.13	ชิ้นทดสอบแบบมุม เพื่อใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด	69
3.14	เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด	70
4.1	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่แปรปริมาณผงอลูมิเนียมขนาด 13 μm 0, 30, 50 และ 70 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	74
4.2	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่แปรปริมาณผงอลูมิเนียมขนาด 30 μm 30, 50 และ 70 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	74
4.3	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่แปรปริมาณผงดีบุกขนาด 30 μm 30, 50 และ 70 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	75
4.4	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมผงโลหะทั้งสามชนิดในปริมาณ 30 phrโดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	76
4.5	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมผงโลหะทั้งสามชนิดในปริมาณ 50 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	76
4.6	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมผงโลหะทั้งสามชนิดในปริมาณ 70 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	77
4.7	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0 – 50 phr โดยไม่เติมผงโลหะชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	78
4.8	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0 – 50 phr โดยไม่เติมผงโลหะชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	78
4.9	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมผงอลูมิเนียมขนาด 30 μm ปริมาณ 30 และ 50 phr (0/30/Al30, 0/50/Al30) เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 30 และ 50 phr (30/0, 50/0) ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	79

รายการรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.10	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมผงอลูมิเนียมขนาด 30 μm ปริมาณ 30 และ 50 phr (0/30/Al30, 0/50/Al30) เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 30 และ 50 phr (30/0, 50/0) ชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	80
4.11	ค่า SE ของยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr ร่วมกับผงโลหะ (Al13, Al30 และ Sn30) ปริมาณ 30 และ 50 phr ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	81
4.12	ค่า SE ของยางธรรมชาติสูตร NR 20/0 ที่ความหนา 1, 3, 6 และ 15 มิลลิเมตร	82
4.13	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยาง ENR25 ยาง ENR50 และยาง CSM (a) เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0 และ 30 phr (b) เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0 และ 50 phr ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	83
4.14	ลำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากสายอากาศลักษณะแบบปากแตร มีลักษณะลู่ออก (divergent beam)	85
4.15	รูปแบบการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (radiated pattern)	85
4.16	รูปแบบการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 8.5 จิกะเฮิรตซ์	86
4.17	การหาขนาดของชิ้นทดสอบจากลำกว้างของสายอากาศที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	88
4.18	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณผงอลูมิเนียม 0, 30 และ 50 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	89
4.19	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr โดยไม่เติมผงอลูมิเนียม ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	91
4.20	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr โดยไม่เติมผงอลูมิเนียม ชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	91
4.21	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า หรือเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 50 phr เพียงอย่างเดียว ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	92
4.22	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยางENR50 และ ยางCSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 30 และ 50 phr ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	94
4.23	ค่า SE ของยางธรรมชาติ และ ยางENR50 ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 30 และ 50 phr ชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	95

รายการรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.24	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยางENR50 และ ยางCSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 50 phr ชิ้นทดสอบหนา 1 มิลลิเมตร	97
4.25	ค่า SE ของยางธรรมชาติ ยางENR50 และ ยางCSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 50 phr ชิ้นทดสอบหนา 3 มิลลิเมตร	97
4.26	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่ไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าและผงโลหะ	100
4.27	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณผงอลูมิเนียม 0, 30 และ 50 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า	100
4.28	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr โดยไม่เติมผงอลูมิเนียม	101
4.29	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่เติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 50 phr และเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	102
4.30	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	103
4.31	ค่าอิมพิแดนซ์ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่ไม่เติมทั้งผงอลูมิเนียมและเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า	106
4.32	ค่าอิมพิแดนซ์ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณผงอลูมิเนียม 0, 30 และ 50 phr โดยไม่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า	106
4.33	ค่าอิมพิแดนซ์ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 30 และ 50 phr โดยไม่เติมผงอลูมิเนียม	107
4.34	ค่าอิมพิแดนซ์ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่เติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 50 phr และเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 30 และ 50 phr	107
4.35	ค่าอิมพิแดนซ์ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	108
4.36	ค่าความทนต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	110

รายการรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.37	ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	111
4.38	ค่าความทนต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	113
4.39	ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	113
4.40	ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณ เขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	115
4.41	ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	116
4.42	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความทนต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	120
4.43	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	120
4.44	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความทนต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	122
4.45	ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า 0, 30 และ 50 phr และผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr	123

รายการรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.46	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr ที่อุณหภูมิห้อง	125
4.47	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และ ยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	126
4.48	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr ที่อุณหภูมิห้อง	128
4.49	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางธรรมชาติ ยาง ENR50 และยาง CSM ที่แปรปริมาณเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 0, 30 และ 50 phr และเติมผงอลูมิเนียมปริมาณ 0, 30 และ 50 phr ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	128
4.50	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr และผงโลหะปริมาณ 50 phr (a) อลูมิเนียมขนาด 13 μm (b) อลูมิเนียมขนาด 30 μm และ (c) ดีบุกขนาด 30 μm	131
4.51	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดง secondary electron image และ x-ray mapping image ของยางธรรมชาติที่เติมเขม่าดำชนิดนำไฟฟ้าปริมาณ 50 phr และผงโลหะปริมาณ 50 phr (a) อลูมิเนียมขนาด 13 μm (b) อลูมิเนียมขนาด 30 μm และ (c) ดีบุกขนาด 30 μm	132
ก.1	เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงความถี่ 8.5 ถึง 12 จิกะเฮิรตซ์	149
ก.2	เครื่องบ่งชี้ระดับสัญญาณ V.S.W.R. Amplifier MK III	150
ก.3	ปุ่มปรับบนตัวตรวจหาสัญญาณ	150
ก.4	ท่อนำคลื่น และตัวตรวจหาสัญญาณที่สามารถเลื่อนซ้าย ขวาได้	150

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
Al	aluminium	อลูมิเนียม
CBS	N – cyclohexyl benzthiazyl sulphenamide	นอร์มอล-ไซโคลเฮกซิล เบนไธอะซิล ซัลฟีนาไมด์
CCB	conductive carbonblack	เขม่าดำชนิดนำไฟฟ้า
CSM	chlorosulfonated polyethylene	คลอโรซัลโฟเนตเตดพอลิเอทธิลีน
DPG	diphenyl guanidine	ไดฟีนิว กัวนิดีน
DOTG	di – O – tolyl guanidine	ได-ออกตะ-โทลิว กัวนิดีน
dB	decibel	เดซิเบล
EMI shielding	electromagnetic interference shielding	การป้องกันการแทรกแซงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
ENR	epoxidized natural rubber	ยางธรรมชาติอิพ๊อกซิไดซ์
EPDM	ethylene-propylene-diene rubber	ยางเอทธิลีนโพรพิลีนไดอีน
EVA	ethylene vinyl acetate rubber	ยางเอทธิลีน ไวนิว อะซิเตต
F	farad	ฟาหรัด
GHz	gigahertz	จิกะเฮิรตซ์
Hz	hertz	เฮิรตซ์
kHz	kilohertz	กิโลเฮิรตซ์
Magnesia	high activity magnesium oxide	แมกนีเซียมออกไซด์
MBT	mercaptobenzthiazole	เมอแคปโตเบนไธอะโซล
MBTS	mercaptobenzthiazole sulphite	เมอแคปโตเบนไธอะโซล ซัลไฟด์
MDR	moving die rheometer	เครื่องทดสอบหาเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง
MHz	megahertz	เมกะเฮิรตซ์
mV	millivolt	มิลลิโวลต์
N	newton	นิวตัน

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
NR	natural rubber	ยางธรรมชาติ
PANI	polyaniline	พอลิแอนนิลีน
PPy	polypyrrole	พอลิไพโรล
phr	part per hundred rubber	ส่วนต่อยางร้อยส่วน
ppm	part per million	ส่วนต่อล้านส่วน
S	sulfur	กำมะถัน
SE	shielding effectiveness	ค่าประสิทธิภาพการกำบัง
SEM	scanning electron microscopy	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
Sn	tin	ดีบุก
Tetrone® A	dipentamethylene thiuram tetrasulfide	ไดเพนตะเมทธิวลีน ไธยูแรม เตตระซัลไฟด์
TMTD	tetramethyl thiuram disulphide	เตตระเมทธิว ไธยูแรมไดซัลไฟด์
Wingstay®L	butylated reaction product of p-cresol and dicyclopentadiene	บิวทิวเลต รีแอคชั่น โพรดักซ์ ออฟ พารา-ครีซอล แอนด์ ไดไซโคลเพนตะไดอีน
ZDC	zinc diethyl dithiocarbamate	ซิงค์ ไดเอทธิว ไดไธโอคาร์บาเมต
ZIX	zinc isopropyl xanthate	ซิงค์ ไอโซโพรพิว แซนเธส
ZnO	zinc oxide	ซิงค์ออกไซด์

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
A	area of probe	พื้นที่ของหัววัด
A_{dB}	absorption	ค่าการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้า
C	compression set	ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด
C_p	parallel capacitance	ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นโลหะขนาน
D	density	ความหนาแน่น
d	diameter of probe	เส้นผ่าศูนย์กลางหัววัดของเครื่อง HP4263B LCR meter
d	separation distance	ระยะห่าง
d	thickness of material	ความหนาของชิ้นทดสอบ
F	force	แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด
F	frequency	ความถี่
F/m	farad per meter	ฟาหรัดต่อเมตร
L	observed distance between bench marks on the entended specimen	ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด
L_0	original distance between bench marks	ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ
M	mass	มวลหรือน้ำหนัก
P_e	transmitted power density at measuring point after the shield	ค่าความหนาแน่นกำลังของคลื่นตกกระทบที่สะท้อนออกจากวัสดุ
P_i	incident power density at measuring point before the shield	ค่าความหนาแน่นกำลังของคลื่นตกกระทบก่อนการกำบัง
Scm^{-1}	siemens per centimeter	ซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
Sm^{-1}	siemens per meter	ซีเมนต์ต่อเมตร
T_s	tear strength	ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
t, t_0	thickness of material	ความหนาของชิ้นทดสอบ
t_i	final thickness of specimen	ความหนาหลังการทดสอบ
t_n	thickness of the spacer bar used	ความหนาของโลหะกั้นระยะ
V	volume	ปริมาตร
ε	dielectric constant	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
ε_0	permittivity of free space	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} ฟาหรัดต่อเมตร
ε_r	dielectric constant of material	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุ
λ	wavelength	ความยาวคลื่น
μ	relative permeability	ค่าสภาพให้ซึมได้สัมพัทธ์
μm	micrometer	ไมโครเมตร
Ω	ohm	โอห์ม
σ	conductivity	ค่าสภาพนำไฟฟ้า