

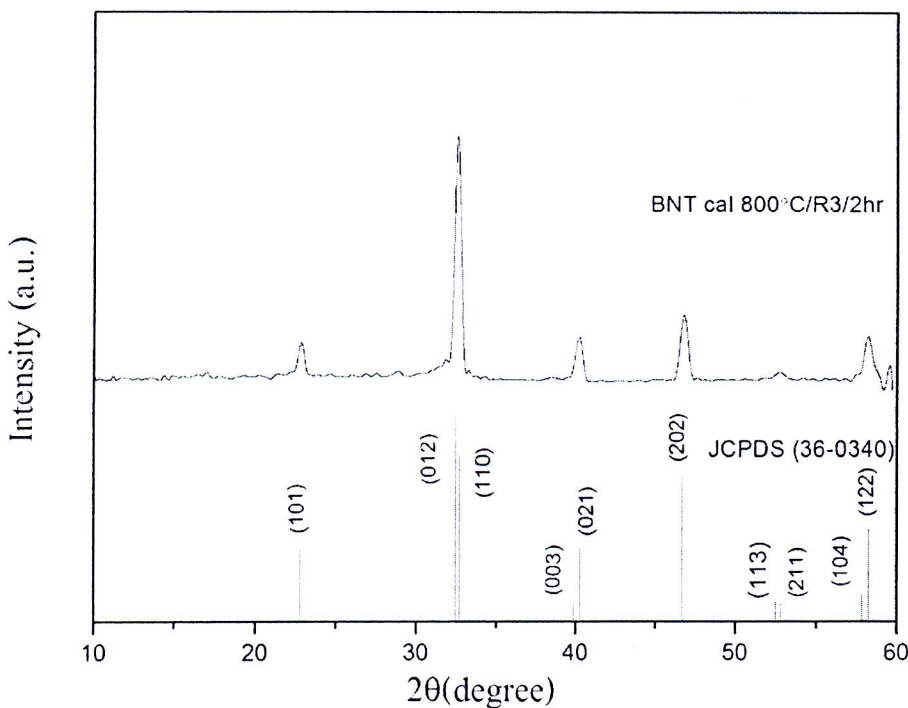
บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาสมบัติเซรามิกและท่อนาโนคาร์บอน

4.1.1 ผลการตรวจสอบเฟสของผงบีแซดทีและท่อนาโนคาร์บอน

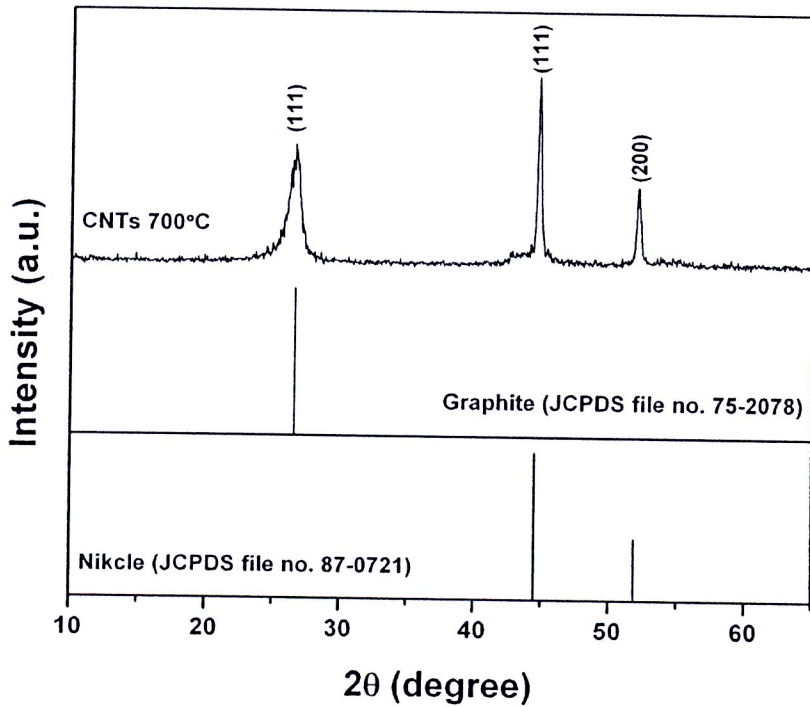
จากการตรวจสอบผง BNT ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยมีเงื่อนไขของอุณหภูมิในการแคลไซน์ที่ 800 °C โดยใช้ระยะเวลาในการเผาแช่ 2 ชั่วโมง และอัตราการขึ้น-ลงที่อุณหภูมิ 3 °C/นาที มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งพบว่าผงสารที่เตรียมได้เป็น BNT ที่มีสูตรโมเลกุลเป็น $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$ ซึ่งมีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สอดคล้องกับ JCDPS หมายเลข 36-0340 และยังพบอีกว่าการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ได้เฟส BNT ที่มีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากไม่พบเฟสแปลกปลอมเกิดขึ้นปะปนกับเฟสหลักเลย



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผง BNT ที่ผ่านการแคลไซน์ที่ 800 °C

จากการเตรียมท่อนาโนคาร์บอนด้วยเทคนิคการตกสะสมไอเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alcohol catalytic chemical vapor deposition, ACVD) มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งพบว่ามีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่สอดคล้องกับแฟ้มข้อมูล JCPDS หมายเลข 75-2078 ซึ่งเป็นสารแกรไฟต์และรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่สอดคล้องกับแฟ้มข้อมูล

JCPDS หมายเลข 87-0721 เป็น Nickel ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการสังเคราะห์ท่อนาโนคาร์บอนพบว่าในผงท่อนาโนคาร์บอนมีบางส่วนผสมของอะตอมคาร์บอนซึ่งอยู่ในรูปของ Amorphous เจือปนอยู่ด้วยเนื่องจากการสลายตัวและเกิดท่อนาโนคาร์บอนไม่หมด

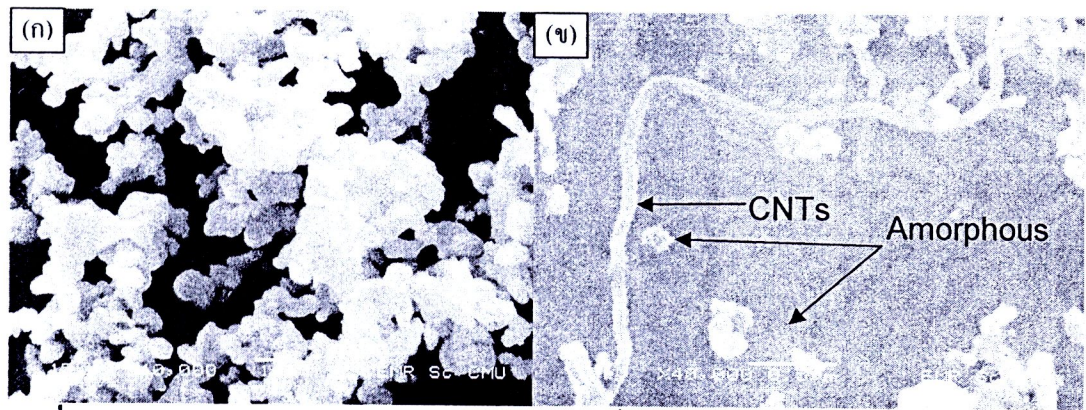


รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผง CNTs ที่เตรียมด้วยเทคนิคการตกสะสมไอเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alcohol catalytic chemical vapor deposition, ACVD)

4.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาพโดย Scanning Electron Microscope (SEM)

ผง BNT ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีบดย่อยด้วยลูกบด (Ball mill) เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) พบว่า ขนาดของผง BNT มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 0.23 ± 0.067 ไมโครเมตร โดยผง BNT ที่เตรียมได้มีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular shape) อนุภาคจับตัวกันเป็นก้อน (Agglomerate) ดังรูปที่ 4.3 (ก)

ท่อนาโนคาร์บอน (CNTs) ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการตกสะสมไอเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alcohol catalytic chemical vapor deposition, ACVD) พบว่าขนาดของท่อนาโนคาร์บอนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 62 ± 4.3 นาโนเมตรเป็นท่อนาโนคาร์บอนที่มีผนังแบบ Multi-walled และยังพบว่ามี NiO ที่เป็นอะตอมคาร์บอน (Catalysts) ปะปนอยู่เนื่องจากการสลายตัวออกไปไม่หมด ดังรูปที่ 4.3 (ข)



รูปที่ 4.3 (ก) ภาพแสดงขนาดอนุภาคของผงอีพ็อกซีที่เตรียมด้วยการบดย่อยด้วยลูกบด
(ข) แสดงรูปร่างของท่อคาร์บอนนาโนทิว (Carbonnanotubes: CNTs)

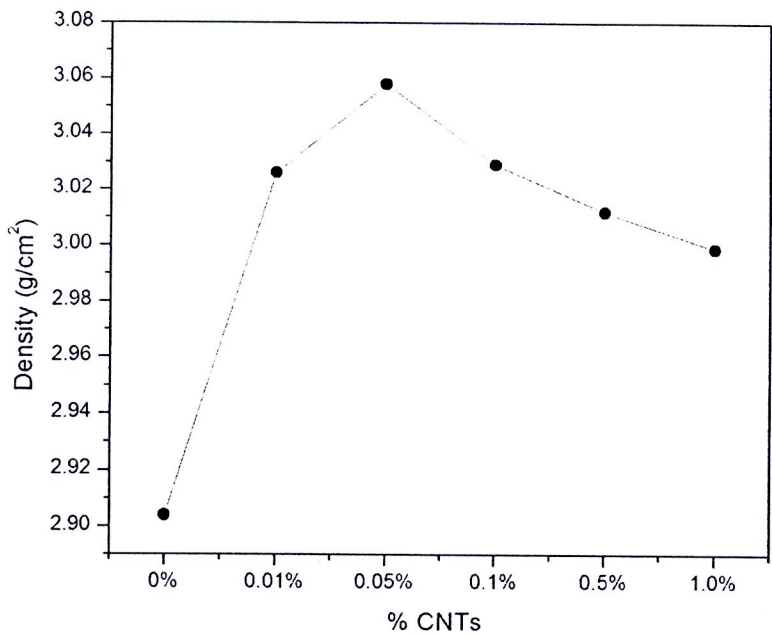
4.2 ผลการศึกษาสมบัติวัสดุผสม

4.2.1 ผลการวัดค่าความหนาแน่น

ในการเตรียมวัสดุผสม ค่าความหนาแน่นของสารเซรามิกมีความสำคัญต่อการคำนวณหาปริมาณของเซรามิก ท่อนาโนคาร์บอนและพอลิเมอร์ที่ใช้ เนื่องจากสารแต่ละชนิดที่ใช้มีค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ความหนาแน่นของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 2.0 g/cm^3 [11] และทำการวัดค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ความหนาแน่นของน้ำคือ 997.294 kg/m^3

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาแน่นของวัสดุผสม 0-0-3

ชิ้นงาน	$W_1\text{ (N)}$	$W_2\text{ (N)}$	ความหนาแน่น ของวัสดุผสม (g/cm^3)
0%	0.395	0.259	2.904
0.01%	0.433	0.289	3.026
0.05%	0.474	0.319	3.058
0.1%	0.640	0.429	3.029
0.5%	0.541	0.362	3.012
1.0%	0.581	0.387	2.999



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นของวัสดุผสมกับปริมาณการเติมท่อนาโนคาร์บอน (CNTs)

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 พบว่า ความหนาแน่นของวัสดุผสมจะเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่ท่อนาโนคาร์บอนมีขนาดเล็กมาก สามารถเข้าไปในบริเวณช่องว่างระหว่างผงเซรามิกได้จึงทำให้ความหนาแน่นของวัสดุผสมมีค่ามากขึ้น โดยวัสดุผสมที่มีเปอร์เซ็นต์ของท่อนาโนคาร์บอนเท่ากับ 0.05% จะมีความหนาแน่นที่สูงสุดเนื่องจากมีปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนที่เหมาะสม ที่ท่อนาโนคาร์บอน 0.1% 0.5% และ 1.0% ความหนาแน่นลดลงเรื่อยๆตามปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนที่ผสมเข้าไป ซึ่งความหนาแน่นของท่อนาโนคาร์บอนมีค่าน้อย เมื่อผสมท่อนาโนคาร์บอนเข้าไปมากขึ้นส่งผลให้วัสดุผสมที่ได้มีค่าความหนาแน่นลดลงด้วยและความหนาแน่นของวัสดุผสมที่ไม่ได้ผสมท่อนาโนคาร์บอนมีค่าต่ำสุดเนื่องจากผง BNT มีรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน

4.2.2 ค่า Volume Fraction ของวัสดุผสม

ค่า Volume Fraction ของวัสดุผสมและค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมมีความสอดคล้องกันซึ่งจะเห็นว่าวัสดุผสมที่ ท่อนาโนคาร์บอน 0.05% มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด และมีค่า Volume Fraction ของ BNT สูงที่สุดด้วย แสดงว่าในวัสดุผสมนี้มีปริมาณของผง BNT มาก จึงทำให้ค่าความหนาแน่นสูงตามไปด้วย อีกทั้งยังสามารถนำไปอธิบายสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุผสมได้อีกด้วย จากกราฟรูปที่ 4.5 ในวัสดุผสมที่ 0.05% มีค่าไดอิเล็กตริกสูงกว่าวัสดุผสมอื่นๆ

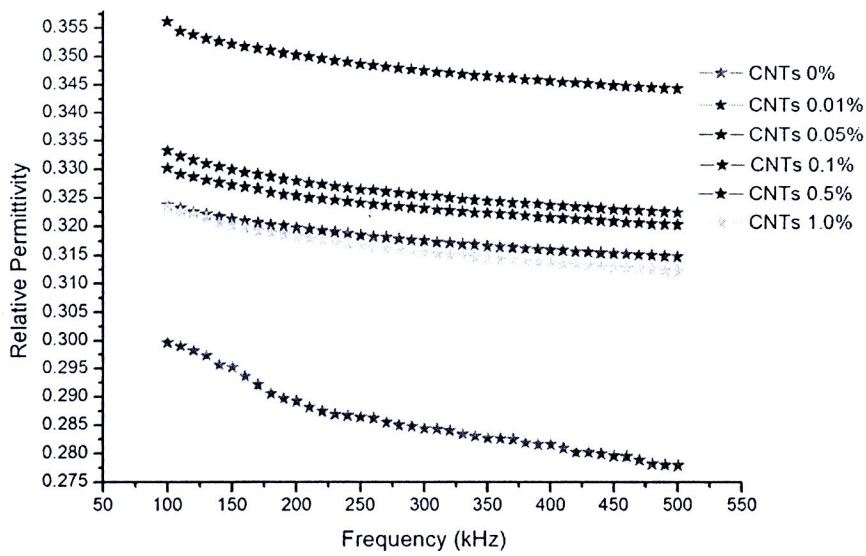
ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Volume Fraction ของวัสดุผสม

วัสดุผสม	ความหนาแน่น ของวัสดุผสม (g/cm ³)	Volume Fraction		
		BNT	Epoxy resin	CNTs
CNTs 0%	2.904	0.4147	0.5853	0
CNTs 0.01%	3.026	0.4438	0.5561	0.0001
CNTs 0.05%	3.058	0.4795	0.5200	0.0005
CNTs 0.1%	3.029	0.4443	0.5547	0.001
CNTs 0.5%	3.012	0.4395	0.5555	0.005
CNTs 1.0%	2.999	0.4354	0.5546	0.01

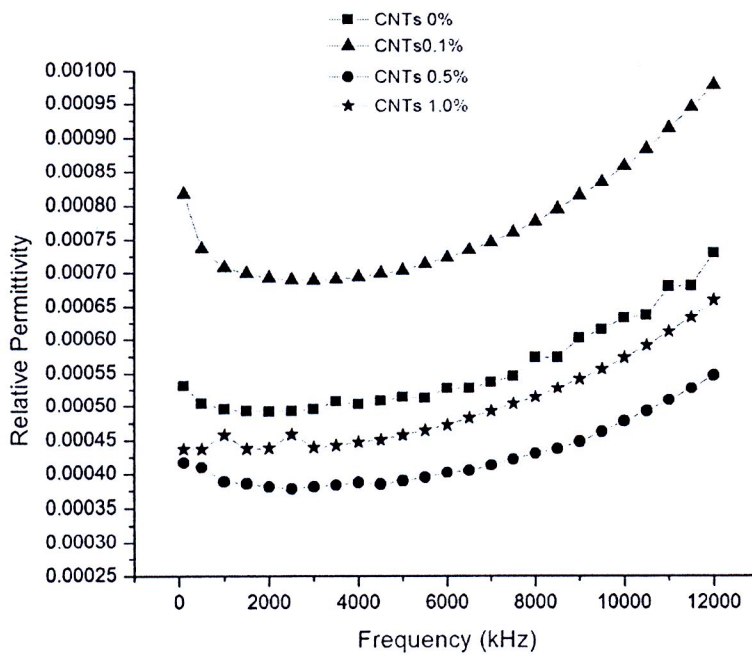
4.2.3 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้า

4.2.3.1 ผลการวัดสมบัติทางไดอิเล็กตริก

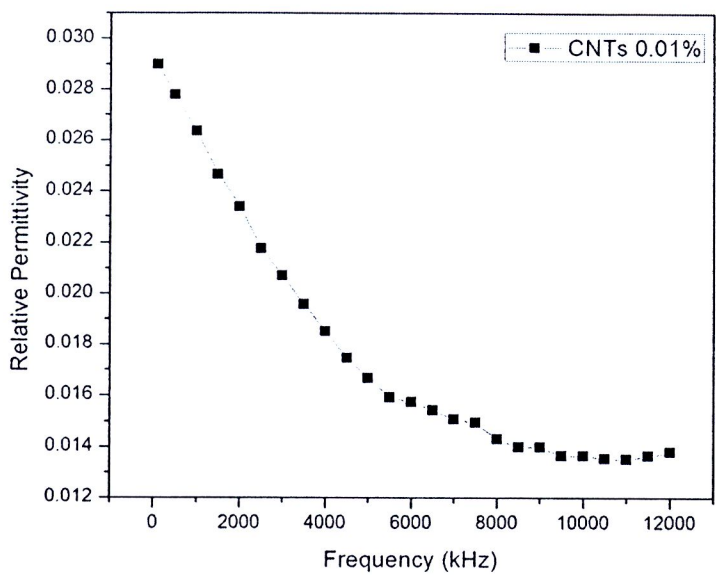
ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0%, 0.05% 0.1%, 0.5% และ 1.0% ดังรูปที่ 4.5 พบว่ามีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงตามความถี่ ในช่วงความถี่ 100 ถึง 500 kHz โดยวัสดุผสม CNTs ที่ 0.05% มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงที่สุด 0.1%, 0.5% 0.01% 1.0% มีค่าลดลงตามลำดับ ซึ่งวัสดุผสมที่ CNTs 0% มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้อยที่สุด และเมื่อให้ความถี่เพิ่มขึ้นในช่วง 1000 ถึง 13000 kHz พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นตามความถี่ แต่ที่ CNTs 0.01% มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงตามความถี่ดังรูปที่ 4.7 เมื่อนำวัสดุผสม BNT/CNTs/ อีพ็อกซีเรซิน เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3] ที่ทำการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 4 ถึง 24 kHz พบว่ามีค่าลดลง ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวถ้าเพิ่มความถี่มากๆ เหมือนกับในงานวิจัยนี้อาจจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงขึ้นได้ ดังนั้นท่อนาโนคาร์บอนที่ผสมเข้าไปมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมเช่นกัน ถ้าผสมท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกโดยจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากท่อนาโนคาร์บอนมีสมบัติในการเป็นตัวที่นำไฟฟ้าได้ดีจึงทำให้วัสดุผสมนี้มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงขึ้นได้



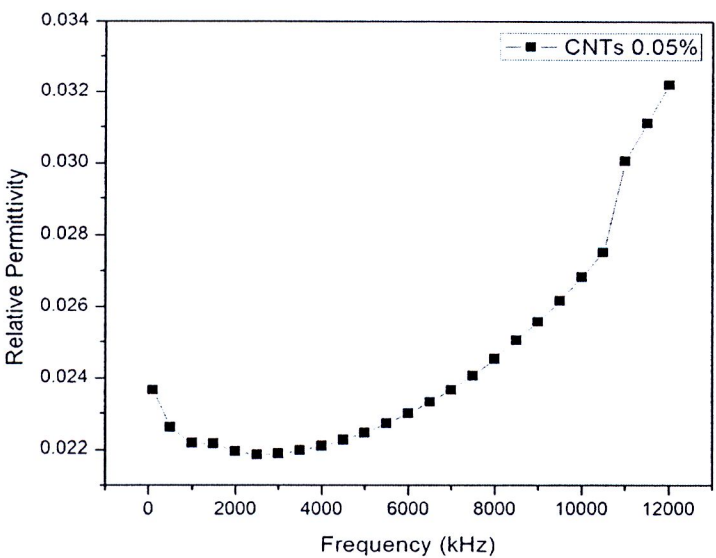
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 100-500 kHz ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0%, 0.01%,0.05%,0.1%, 0.5%และ 1.0%



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 1000-13000 kHz ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0%, 0.1%, 0.5%และ 1.0%



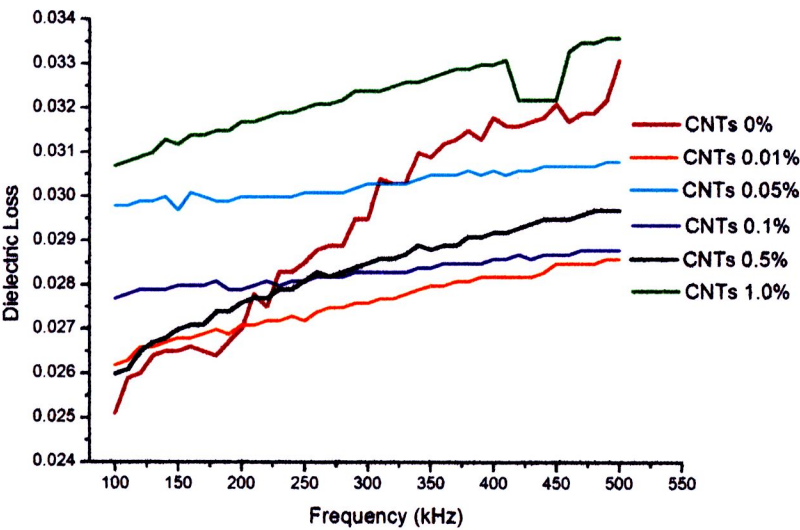
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 1000-13000 kHz ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0.01%



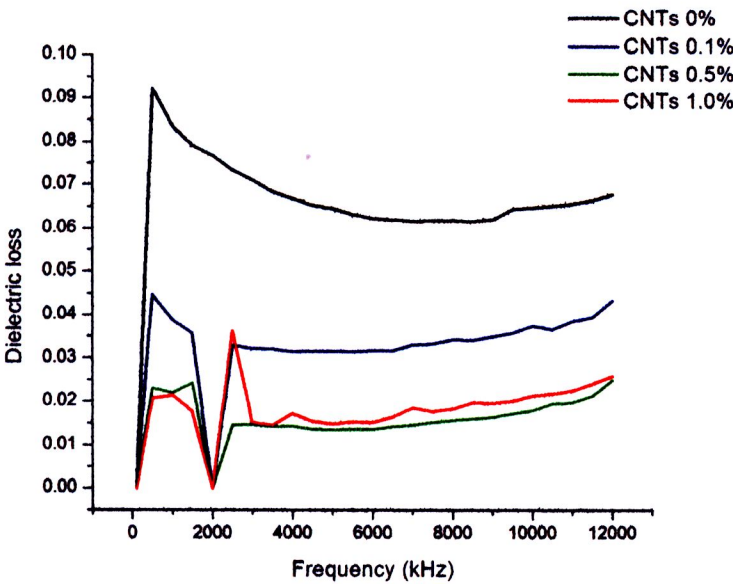
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 1000-13000 kHz ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0.05%

4.2.3.2 ผลการวัดสมบัติทางการสูญเสียไดอิเล็กตริก

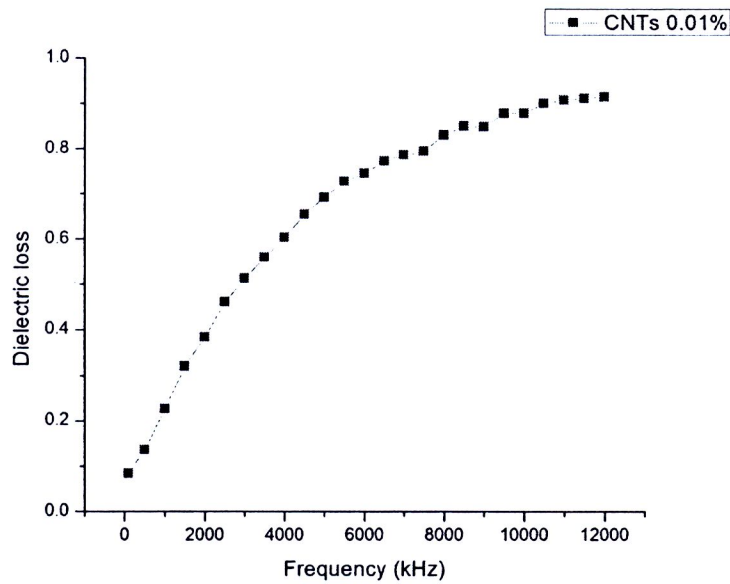
การสูญเสียไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ในช่วง 100 ถึง 500 kHz และมีค่าแสดงในรูปที่ 4.8 แต่ในความถี่ในช่วง 1000 ถึง 13000 kHz ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมนี้ลดลงตามความถี่ดังรูปที่ 4.10 – 4.12



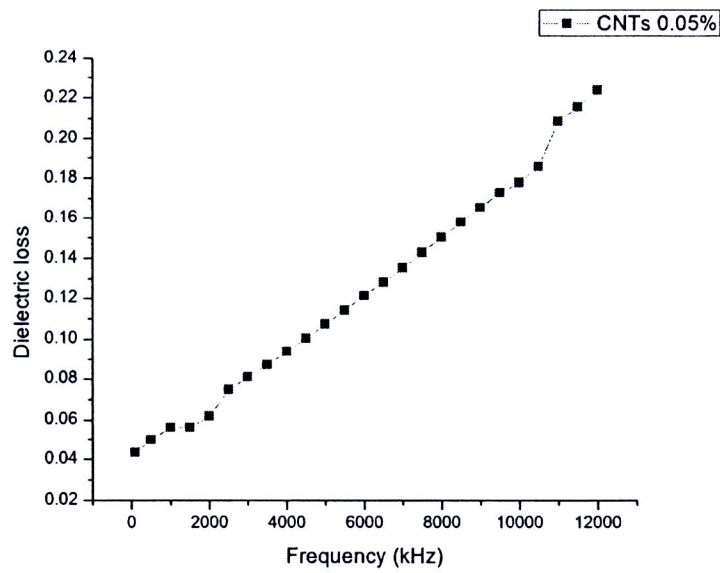
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 100-500 kHz ที่อุณหภูมิ 25°C ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0%



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 1000-13000 kHz ที่อุณหภูมิ 25°C ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0%, 0.1%, 0.5% และ 1.0%



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 1000-13000 kHz ที่อุณหภูมิ 25°C ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0.01%



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกกับความถี่ 1000-13000 kHz ที่อุณหภูมิ 25°C ของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 BNT/CNTs/ Epoxy resin ที่ผสม CNTs 0.05%

4.2.3.3 ผลการวัดค่า piezoelectric constant (d_{33})

จากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริกที่ทำการโพลโดยใช้สนามไฟฟ้า 4.5 กิโลโวลต์ ต่อ มิลลิเมตร ในน้ำมันซิลิโคนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ผ่านการโพลแล้วมาวัดค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริก (d_{33}) แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จึงนำมาวัดค่าอีกครั้งได้ค่าตามตารางที่ 4.2 หลังจากปล่อยให้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริกจะลดลงเนื่องจากเมื่อเราให้สนามไฟฟ้าค่าหนึ่งแก่ชิ้นงาน โดเมนภายในจะจัดเรียงตัวให้เป็นระเบียบและหันไปทางทิศเดียวกับสนามไฟฟ้าที่ให้ เมื่อลดสนามไฟฟ้าจนกลายเป็น 0 แล้ว ชิ้นงานยังคงสภาพเป็นวัสดุเฟอร์โรอิเล็กตริก หรือยังคงสภาพการมีขั้วภายในอยู่ แต่เมื่อเวลาผ่านไป อาจมีการกลับทิศของขั้วภายในทำให้สภาพการมีขั้วของชิ้นงานนั้นลดลง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริก หลังจาก 24 ชั่วโมง มีค่าลดลง

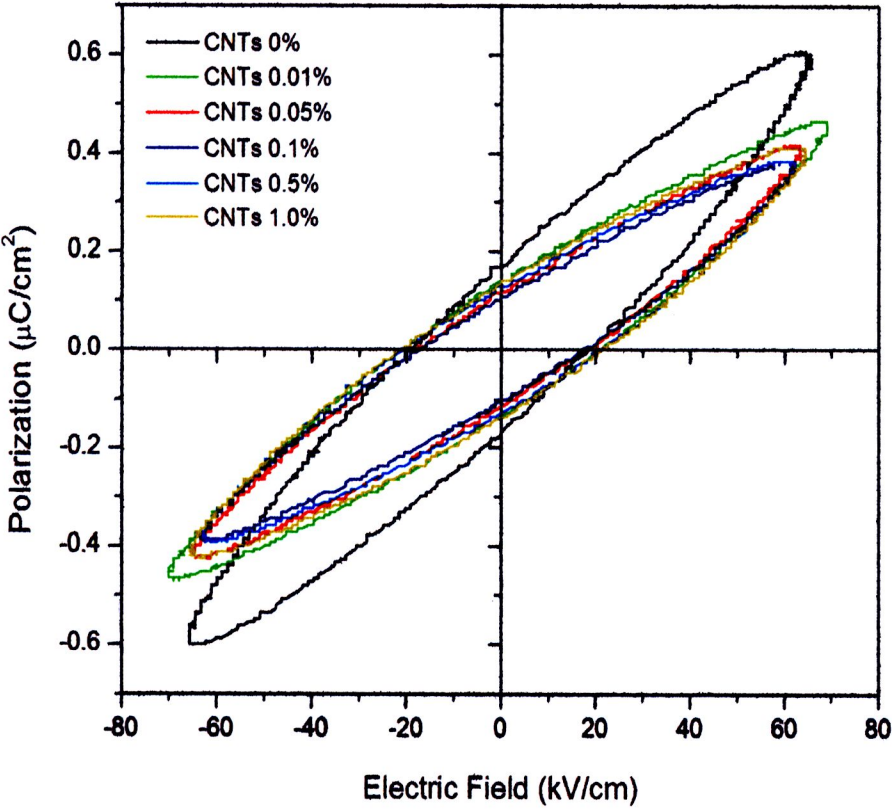
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริก

ชิ้นงาน	ความหนา (ม.ม)	Piezoelectric constant (d_{33}) pC/N (วัสดุผสมที่วัดค่าไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 100-500 kHz)		Piezoelectric constant (d_{33}) pC/N (วัสดุผสมที่วัดค่าไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 1000-13000 kHz)	
		หลังจากโพล	หลังจากโพล 24 ชม.	หลังจากโพล	หลังจากโพล 24 ชม.
0%	1.10	6	4	116	110.5
0.01%	1.05	5	5	115	111.5
0.05%	1.08	4	3	114	109.5
0.1%	1.07	5	4	114	109
0.5%	1.06	5	5	115	108
1.0%	1.05	6	5	114	112.5



4.2.3.4 ผลการศึกษาของวงวนฮิสเทอรีซิส

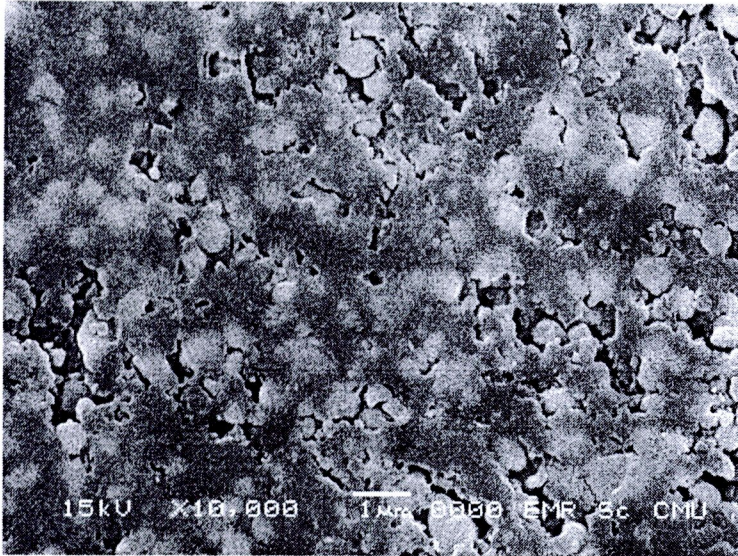
ผลการศึกษาสมบัติฮิสเทอรีซิสของวัสดุผสม 0-0-3 BNT/CNTs/epoxy resin ที่สนามไฟฟ้า 45 kV พบว่า มีสภาพการมีขั้วที่ต่ำ เนื่องจากมีเฟสของอีพ็อกซีเรซินผสมอยู่ ซึ่งไปขวางกั้นการเหนี่ยวนำของสารไพโซอิเล็กทริกและท่อนาโนคาร์บอนทำให้เกิดขั้วทางไฟฟ้าได้ยาก โดยลักษณะของวงวนฮิสเทอรีซิสเป็นแบบรีียวแคบ มีพื้นที่และความเป็นเหลี่ยมค่อนข้างน้อย โดยจากกราฟรูปที่ 4.11 วัสดุผสมที่ไม่ได้ผสมท่อนาโนคาร์บอนจะมีลักษณะของวงวนที่มีพื้นที่มากที่สุดและพื้นที่จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อผสมท่อนาโนคาร์บอนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ถ้าวงวนมีลักษณะแคบลงและความเป็นเหลี่ยมลดลง แสดงว่ามีการสูญเสียพลังงานค่อนข้างน้อยและสามารถถูกเหนี่ยวนำรวมถึงคลายสภาพไฟฟ้าได้ง่าย



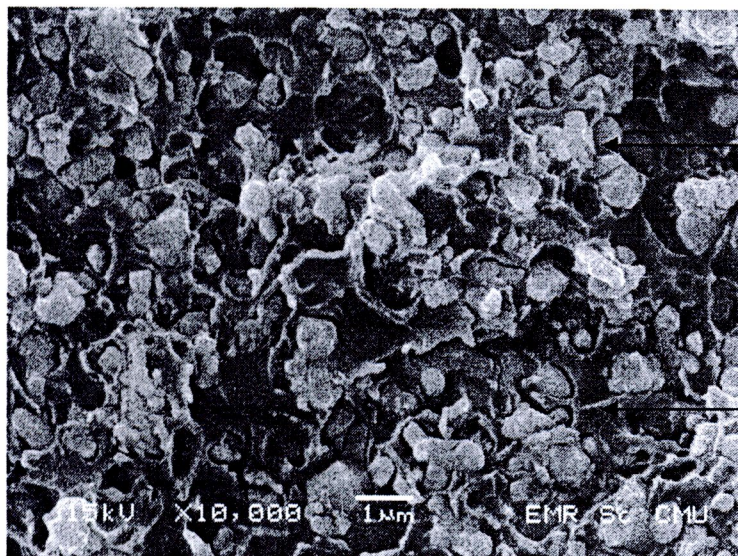
รูปที่ 4.13 แสดง P-E Loop ของ 0-0-3 BNT/CNTs/epoxy resin

4.2.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคโดย Scanning Electron Microscope (SEM) และ Optic Microscope (OM)

1. วัสดุผสม BNT/CNTs 0%/Epoxy resin



(ก)



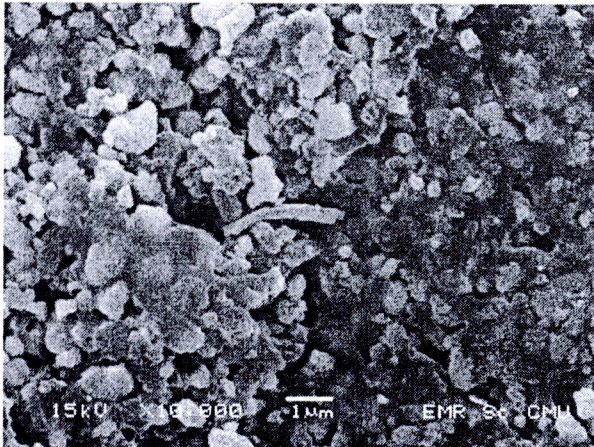
(ข)

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงของวัสดุผสม BNT/epoxy resin แบบ 0-3 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

(ก) ผิวหน้าของวัสดุผสม

(ข) รอยหักของวัสดุผสม

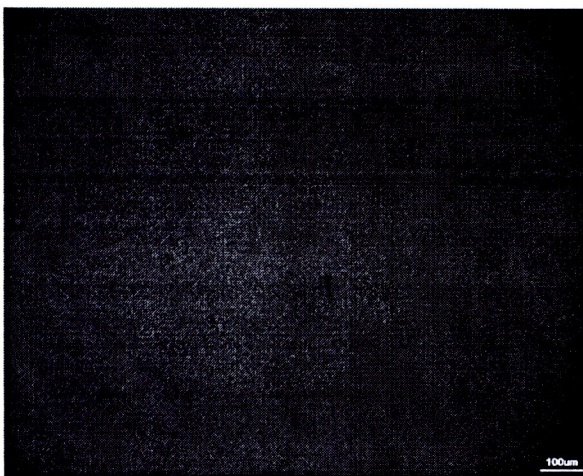
2. วัสดุผสม BNT/CNTs 0.01%/Epoxy resin



(ก)



(ข)



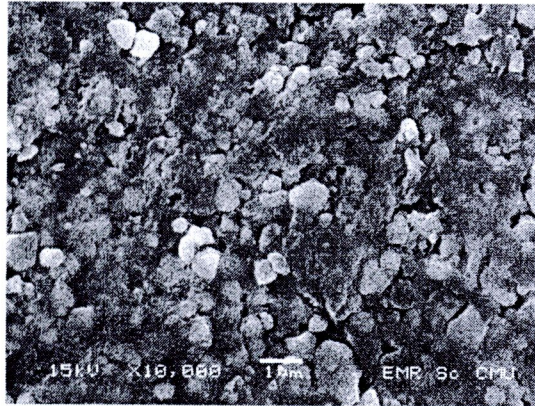
(ค)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงของวัสดุผสมBNT/CNTs

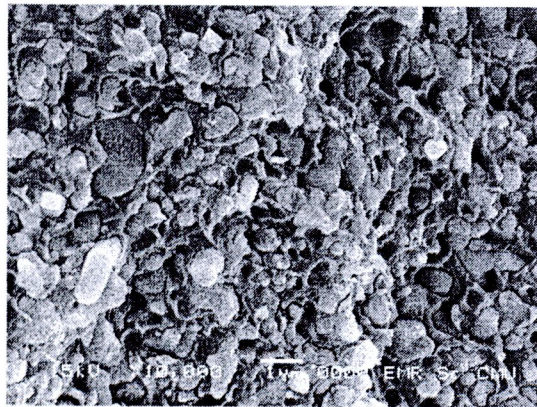
0.01%/epoxy resin แบบ 0-0-3 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

(ก) ผิวหน้าของวัสดุผสม (ข) รอยหักของวัสดุผสม (ค) ผิวหน้าของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (OM)

3. วัสดุผสม BNT/CNTs 0.05%/Epoxy resin



(ก)



(ข)

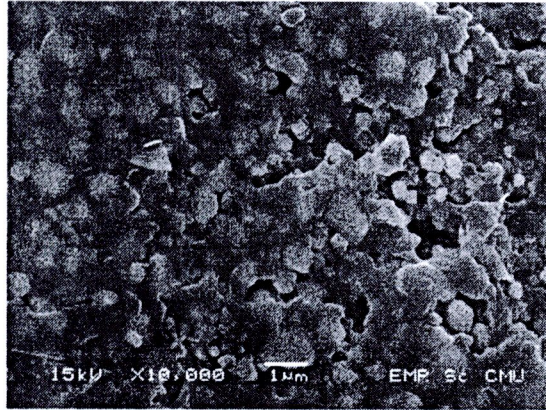


(ค)

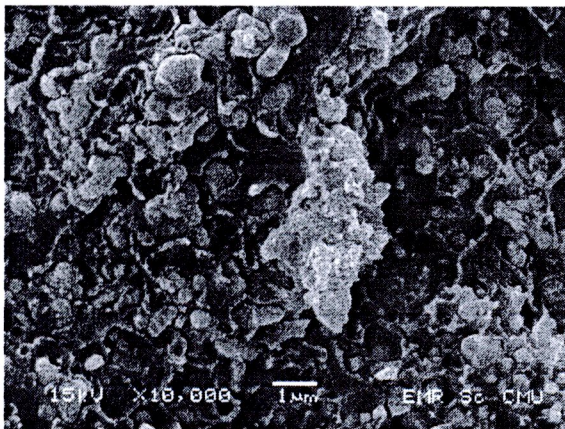
รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงของวัสดุผสมBNT/CNTs 0.05%/epoxy resin แบบ 0-0-3 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

(ก) ผิวหน้าของวัสดุผสม (ข) รอยหักของวัสดุผสม (ค) ผิวหน้าของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง

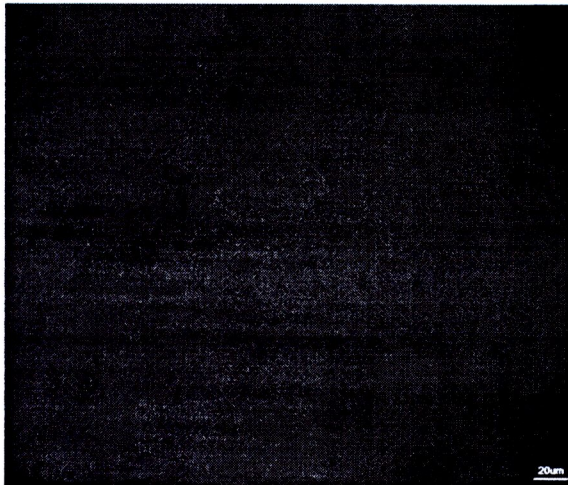
4. วัสดุผสม BNT/CNTs 0.1%/Epoxy resin



(ก)



(ข)



(ค)

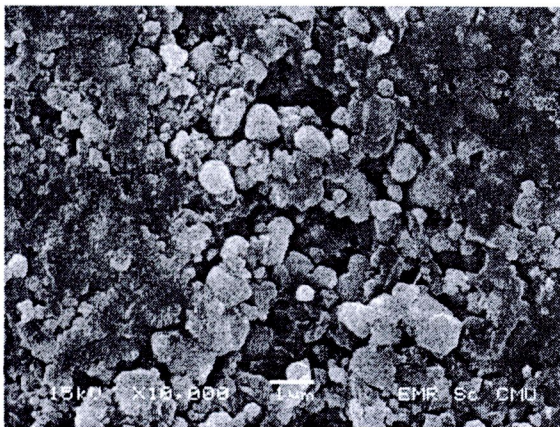
รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงของวัสดุผสมBNT/CNTs 0.1%/epoxy resin แบบ 0-0-3 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

(ก) ผิวหน้าของวัสดุผสม

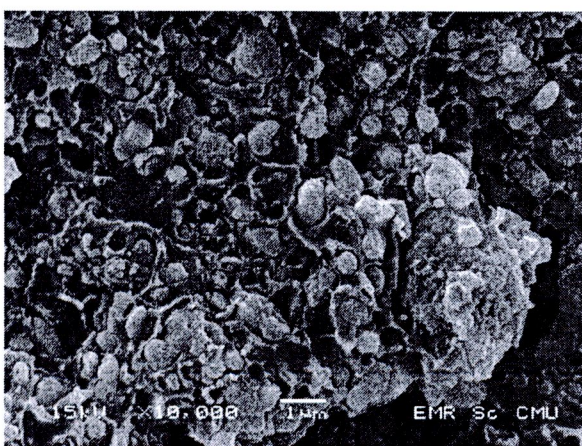
(ข) รอยหักของวัสดุผสม

(ค) ผิวหน้าของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง

5. วัสดุผสม BNT/CNTs 0.5%/Epoxy resin



(ก)



(ข)



(ค)

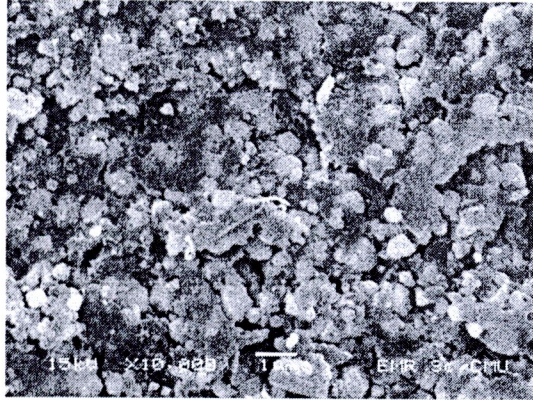
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงของวัสดุผสมBNT/CNTs 0.01%/epoxy resin แบบ 0-0-3 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

(ก) ผิวหน้าของวัสดุผสม

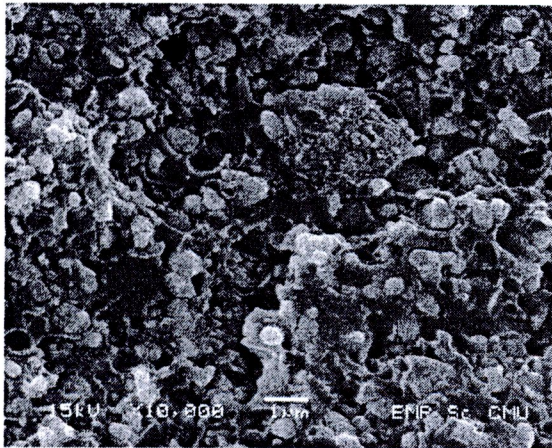
(ข) รอยหักของวัสดุผสม

(ค) ผิวหน้าของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์

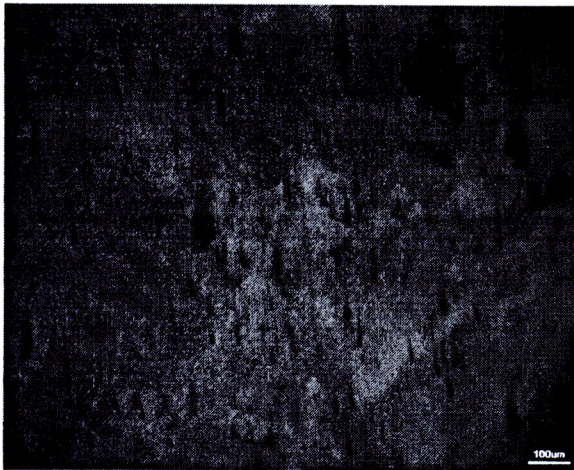
6. วัสดุผสม BNT/CNTs 1.0%/Epoxy resin



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงของวัสดุผสมBNT/CNTs 0.01%/epoxy resin แบบ 0-0-3 ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

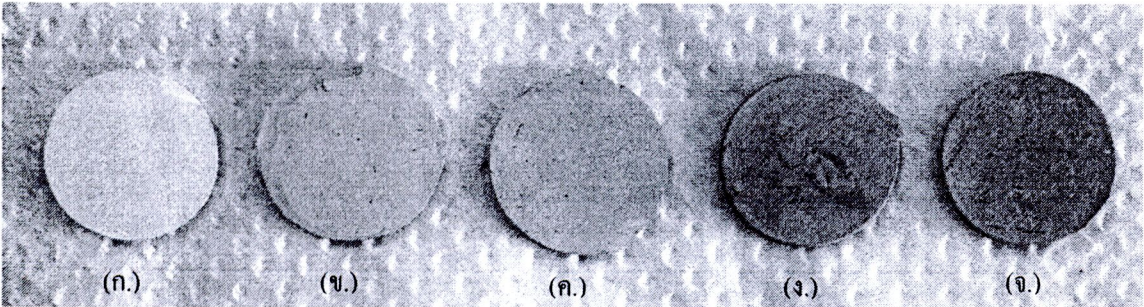
(ก) ผิวหน้าของวัสดุผสม

(ข) รอยหักของวัสดุผสม

(ค) ผิวหน้าของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (OM)

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสม พบว่ามีเฟสของเซรามิก BNT กระจายตัวอยู่ในเฟสของอีพ็อกซีเรซินโดยเม็ดเซรามิกบางส่วนและท่อนาโนคาร์บอนที่ผสมเข้าไปอาจถูกเคลือบด้วยอีพ็อกซีเรซิน ผลจากการถูกเคลือบของเม็ดเซรามิกนี้ จะส่งผลต่อสมบัติของวัสดุผสมได้ด้วยเช่นกันคือเม็ดเซรามิกเป็นวัสดุพีซีอีเล็กตริกและท่อนาโนคาร์บอนที่นำไฟฟ้าได้ดีเมื่ออีพ็อกซีเรซินเข้าไปเคลือบทำให้สมบัติเหล่านี้ลดลงได้

จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมโดยกล้องจุลทรรศน์แสงพบว่า การกระจายตัวของท่อนาโนคาร์บอนในวัสดุผสมไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะสังเกตจากเม็ดสีดำบนผิวของชิ้นงานซึ่งบางจุดมีขนาดใหญ่บางจุดมีขนาดเล็ก เนื่องจากการบดท่อนาโนคาร์บอนที่ไม่ละเอียดเท่าที่ควรและไม่ได้ทำการ Disperse ผงก่อนทำให้ผงเกาะกลุ่มกัน เมื่อเพิ่มปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนเพิ่มขึ้น สีของชิ้นงานจะเข้มขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.20 รูปแสดงลักษณะโดยรวมของเม็ดวัสดุผสมแบบ 0-0-3 (ก.) CNTs 0.01% (ข.) CNTs 0.05% (ค.) CNTs 0.1% (ง.) CNTs 0.5% (จ.) CNTs 1.0%