

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

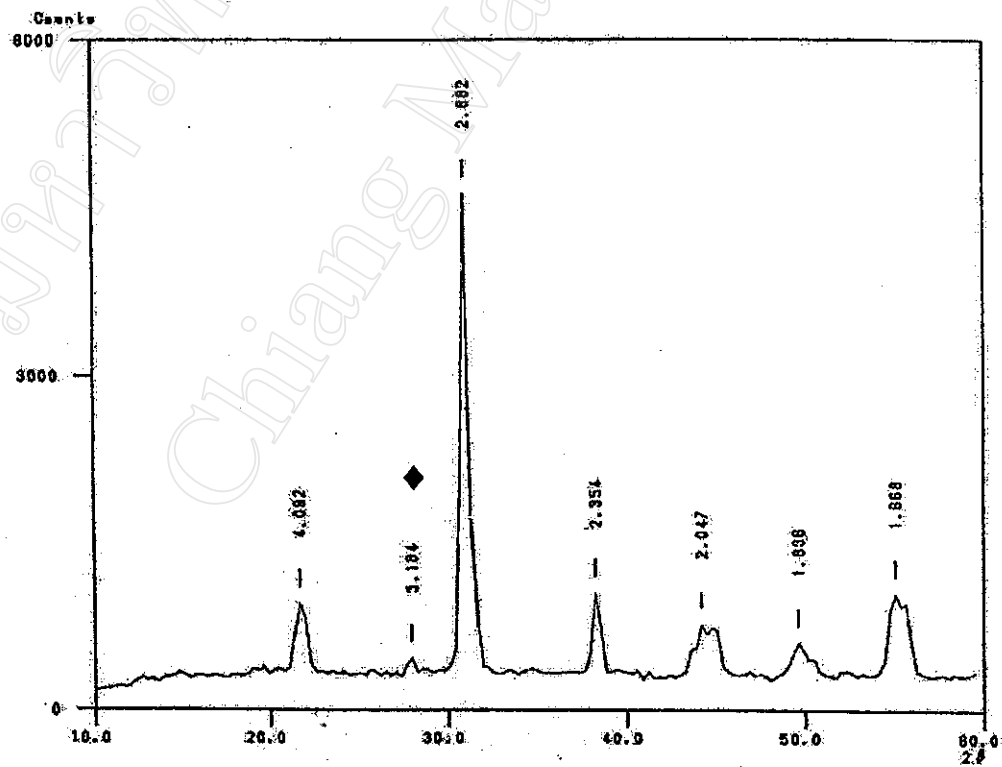
บทนี้นำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเตรียมและโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE โดยเริ่มจากการนำเสนอผลการเตรียมผง PZT และการตรวจสอบผงที่ได้ ผลการเตรียมวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 0-3 2-2 และ 1-3 พร้อมกับผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมที่เตรียมได้โดยมีรายละเอียดตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 ผลการเตรียมผง PZT

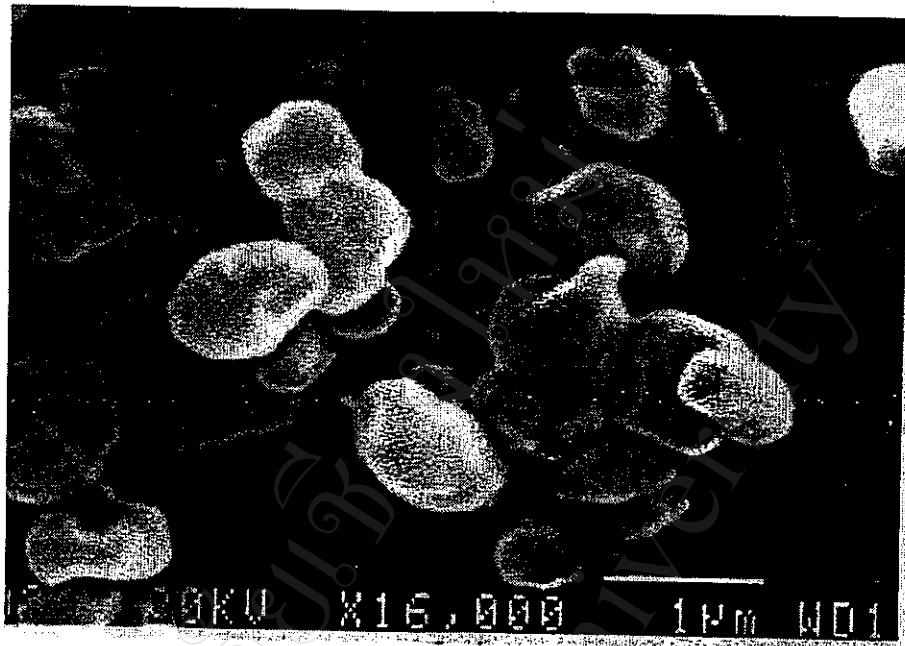
จากการทดลองสังเคราะห์ผงเลเซอร์โคเนตไทเทเนต (PZT) ด้วยวิธีการนำสารตั้งต้นคือ PbO ZrO_2 และ TiO_2 มาทำการบดย่อยผสมสารแบบเปียกด้วยเทคนิคมิกซ์ออกไซด์ แล้วนำไปทำการศึกษาหาเงื่อนไขในการเผาแคลไซน์ที่เหมาะสมต่อการเตรียมผง PZT บริสุทธิ์ โดยอาศัยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ในการตรวจสอบชนิดของเฟสที่ปรากฏ พบว่าสามารถทำการเตรียมผง PZT สูตร $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ ที่สอดคล้องกับแฟ้มข้อมูลของสาร PZT ใน JCPDS หมายเลข 33 - 784 (ดังแสดงในภาคผนวก) มีเฟสเป็นแบบเตตระโกนอล (tetragonal) ได้ ดังแสดงในตาราง 4.1 แต่พบเฟสแปลกปลอมเกิดขึ้นปะปนกับเฟส PZT ซึ่งจะมีค่า d-spacing อยู่ประมาณ 3.148 Å ซึ่งได้จากการเผาแคลไซน์สารที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการขึ้น/ลงอุณหภูมิที่ 10 °C / นาที ดังแสดงในรูป 4.1 และเมื่อนำมาทำการตรวจสอบลักษณะสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผง PZT ที่เตรียมได้ส่วนใหญ่มีรูปร่างไม่แน่นอนและจับกันเป็นกลุ่มก้อน โดยมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.25-1.00 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูป 4.2 (ก) และ(ข)

ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบค่า d-spacing ของสาร PZT ที่เตรียมได้กับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 33-784

ข้อมูล ค่า d-spacing ของสาร PZT ที่ได้จากการเตรียม	ข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 33-784
4.082	4.036
♦ 3.184	-
2.882	2.89
2.354	2.351
2.047	2.018
1.830	1.844
1.668	1.655



รูป 4.1 X-ray diffraction pattern ของผง PZT ที่เตรียมได้
(♦ คือ เฟสที่แมกปลอม)



(ก)



(ข)

รูป 4.2 ภาพถ่าย SEM ของผง PZT ที่เตรียมได้เมื่อใช้กำลังขยายสูงขึ้น

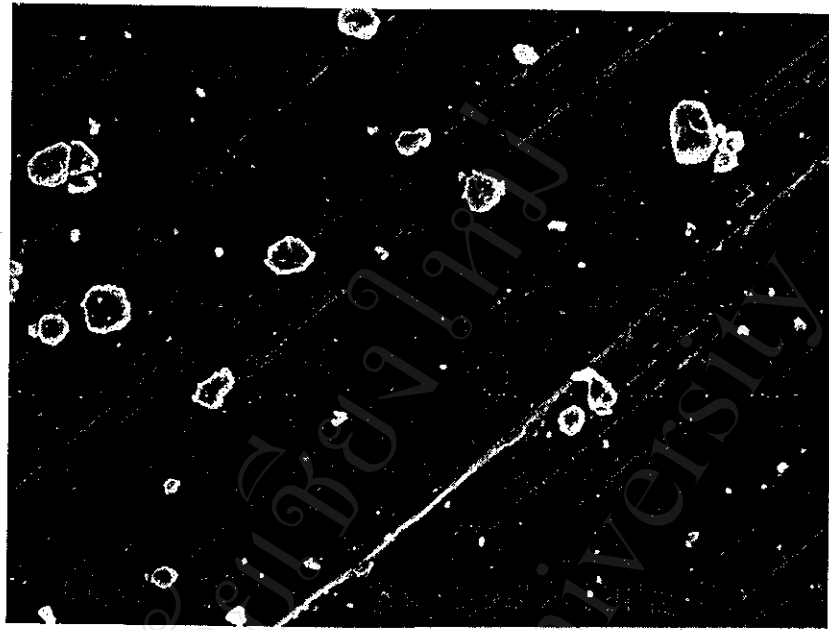
4.2 ผลการเตรียมวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE

4.2.1 วัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 0-3

เมื่อนำผง PZT มาทำการอัดขึ้นรูปแล้วนำไปทำการเผาขึ้นเตอร์ที่อุณหภูมิ 1200 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการขึ้นลงของอุณหภูมิ 3 °C / นาที จะได้เซรามิก PZT ต่อจากนั้นจะทำการนำเซรามิก PZT มาทำการบดด้วยเครื่องบดเพื่อให้ได้ผงเซรามิก PZT แล้วจึงนำมาทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงไนลอนเบอร์ 24 55 77 90 และ 120 และเมื่อนำไปตรวจสอบลักษณะพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผงเซรามิก PZT มีเนื้อแน่นทรงเหลี่ยมรูปร่างไม่แน่นอน ดังแสดงในรูป 4.3

จากผลการทดลองเตรียมวัสดุผสม PZT / PE แบบ 0-3 ด้วยการใช้เทคนิคคาเลนเดอริง พบว่าสามารถทำการเตรียมวัสดุผสม PZT / PE ที่มีรูปแบบของการเชื่อมต่อเฟสระหว่าง PZT กับ PE แบบ 0-3 ได้สำเร็จ กล่าวคือผลการควบคุมลักษณะทางโครงสร้างของวัสดุผสมทำได้โดยอาศัยการควบคุมปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิต อันได้แก่ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเฟส PZT กับ PE และขนาดของอนุภาคเซรามิก PZT ที่ใช้โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัสดุผสมที่เตรียมได้พบว่าชิ้นงานที่ได้มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับแผ่นยาง สีออกน้ำตาลปนเหลือง ดังแสดงในรูป 4.4 ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวดี สามารถบิดไปมาได้โดยไม่เกิดการแตกหัก มีสภาพทางกายภาพเหมาะแก่การนำมาแนบสัมผัสกับพื้นผิวที่ลาดโค้งของร่างกายมนุษย์เพื่อเป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณข้อมูล



(ก)



(ข)

รูป 4.3 ภาพถ่าย SEM ของผงเซรามิก PZT ที่เตรียมได้ ที่ (ก) กำลังขยาย 1500 เท่า
(ข) กำลังขยาย 6000 เท่า



รูป 4.4 ภาพแสดงลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม PZT / PE ที่เตรียมได้

เมื่อนำวัสดุผสมที่เตรียมได้ไปทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทั้งที่บริเวณผิวหน้าที่เกิดจากการขัดและภายในเนื้อของวัสดุผสมที่เกิดจากการตัดและหัก พบว่าได้ผลดังเช่นตัวอย่างแสดงในรูป 4.5-4.7 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างที่สอดคล้องกับรูปแบบของการเชื่อมต่อเฟสแบบ 0-3 ที่มีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ จะมีเฟสของเซรามิก PZT ที่เกาะกลุ่มกันเป็นก้อนจุ กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ของพอลิเอทิลีน (บริเวณสีเข้ม) ที่มีลักษณะเป็นสายเส้นใย โดยเฟสของเซรามิกและเฟสของพอลิเมอร์จะมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถสังเกตได้โดยตรงจากภาพถ่าย อนุภาคของเซรามิก PZT ที่ปรากฏในวัสดุผสมแต่ละชิ้นจะมีช่วงของความแตกต่างของขนาดอนุภาคอยู่พอสมควร เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้เซรามิก PZT ที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงต่างๆ กัน มาทดลองเตรียมเป็นวัสดุผสมด้วย โดยได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดของอนุภาคเซรามิก PZT ที่มีต่อพฤติกรรมการกระจายตัวของแต่ละเฟสของวัสดุผสมที่เตรียมได้ ซึ่งจากผลการทดลองใช้เซรามิก PZT ที่มีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงน้อยกว่า 2 ไมโครเมตร 2-6 ไมโครเมตร และ 6-10 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูป 4.8-4.17 พบว่าพฤติกรรมการกระจายตัวของเฟส PZT เซรามิกในเมทริกซ์ PE จะมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นตาม

ขนาดของอนุภาคเซรามิก PZT ที่ใช้ เนื่องจากอนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาดเล็กจะมีพลังงานพื้นผิว (surface energy) มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดสถานะที่ไม่เสถียรทำให้อนุภาคขนาดเล็กจะพยายามลดพลังงานลงโดยการเกาะกลุ่มกันให้มีพื้นผิวลดลงเพื่อระบบที่เสถียร ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเตรียมวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่มีปริมาณของเฟส PZT ต่อปริมาณของเฟส PE แตกต่างกัน คือที่อัตราส่วนของ PZT / PE เป็น 50/50 , 40/60, 30/70, 20/80 และ 10/90 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 (ก)-(จ) ตามลำดับ ซึ่งจากภาพถ่าย SEM ดังกล่าวนี้นี้ จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการกระจายตัวของเฟส PZT เซรามิกในเมทริกซ์ PE มีแนวโน้มลดน้อยลงตามปริมาณของเฟส PZT ที่มีอยู่ในวัสดุผสม เนื่องจากเมื่อวัสดุผสมมีปริมาณของ PZT มาก ผงเซรามิกก็จะพยายามเกาะกลุ่มรวมกันลดพลังงานพื้นผิว ทำให้เกิดความเสถียรมากขึ้น

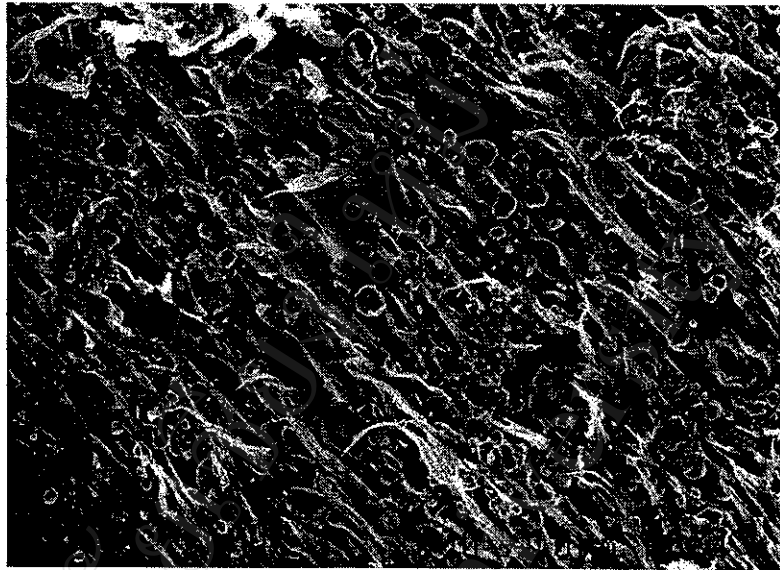


(ก)

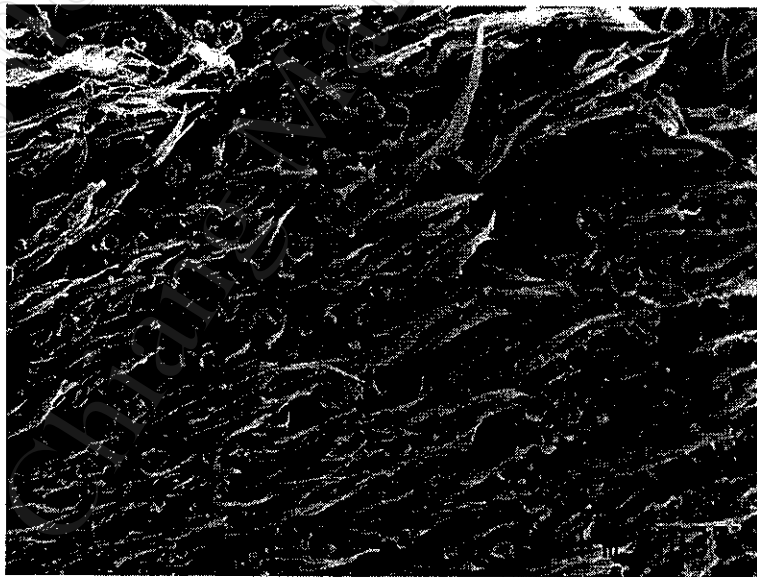


(ข)

รูป 4.5 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่บริเวณผิวหน้าที่เกิดจากการขัด

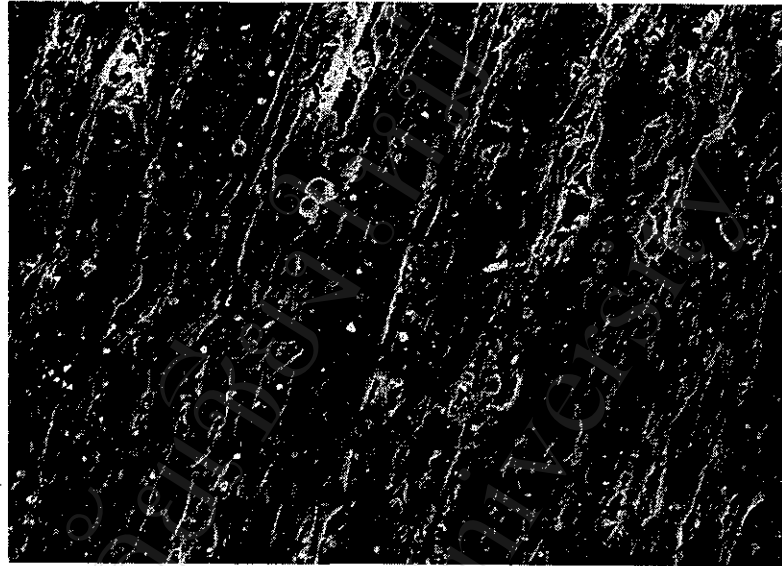


(ก)

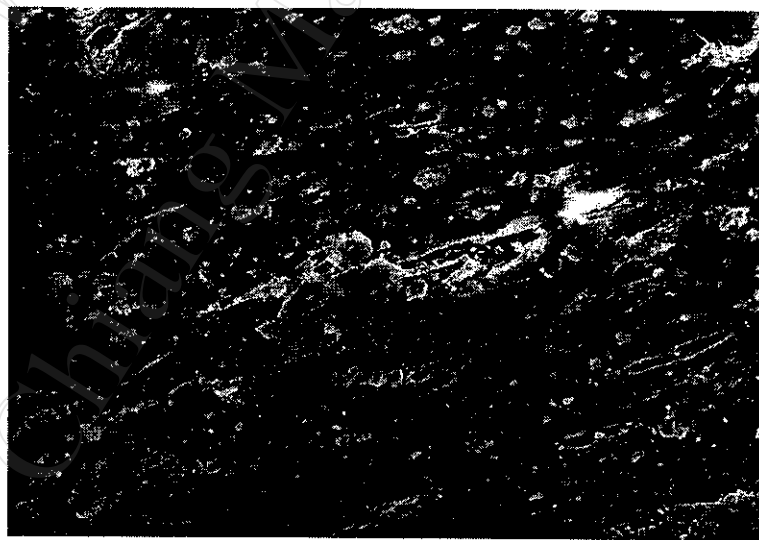


(ข)

รูป 4.6 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการหัก

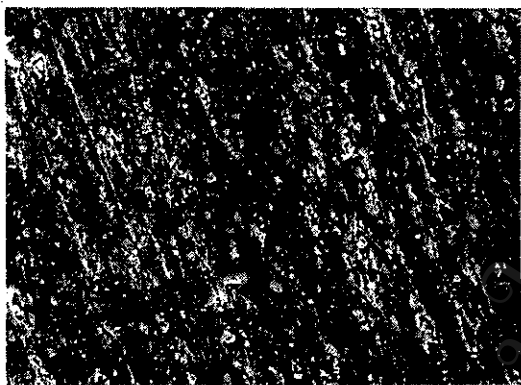


(ก)

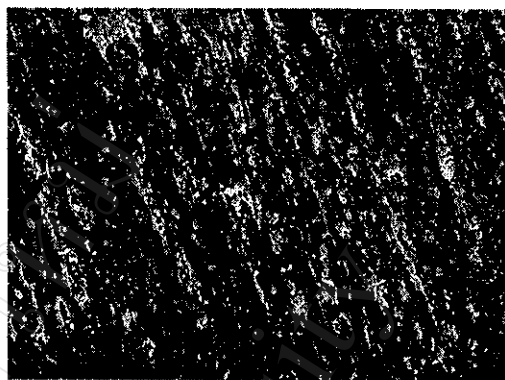


(ข)

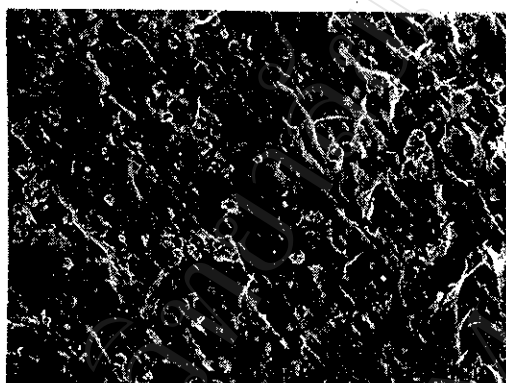
รูป 4.7 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการตัด



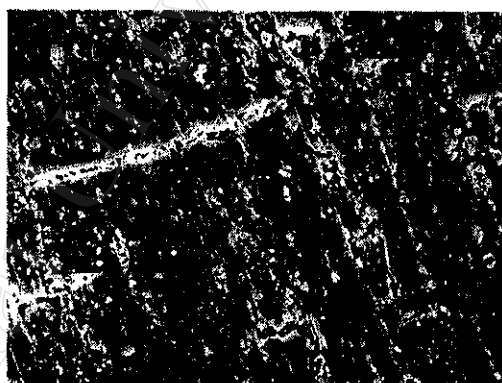
(ก)



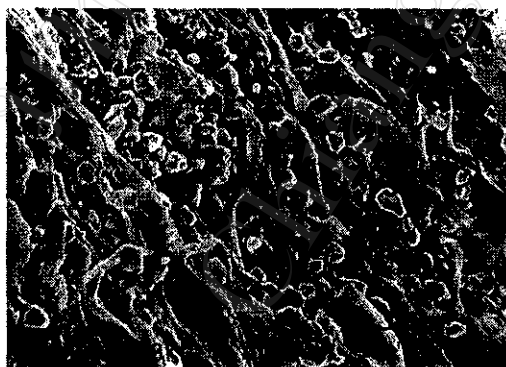
(ข)



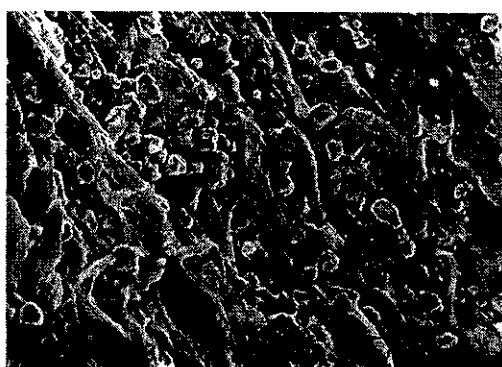
(ค)



(ง)

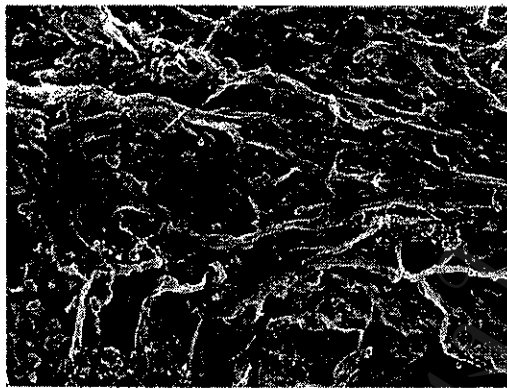


(จ)

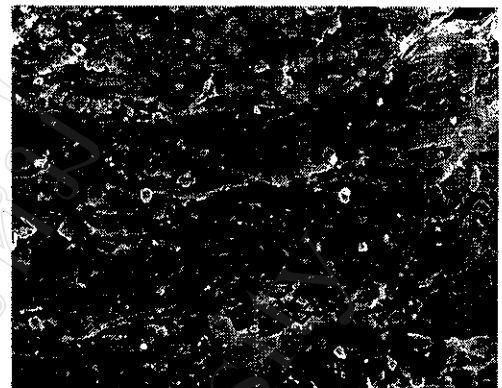


(ฉ)

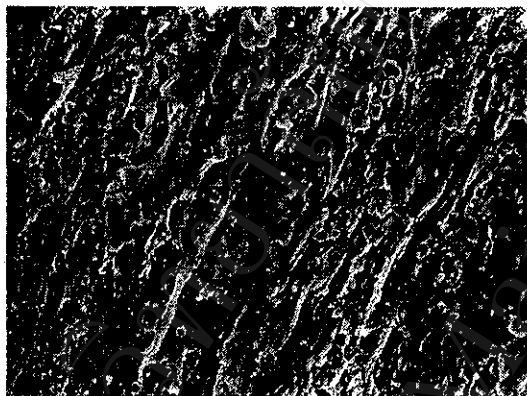
รูป 4.8 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการตัดและมีอัตราส่วนเป็น 50/50 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



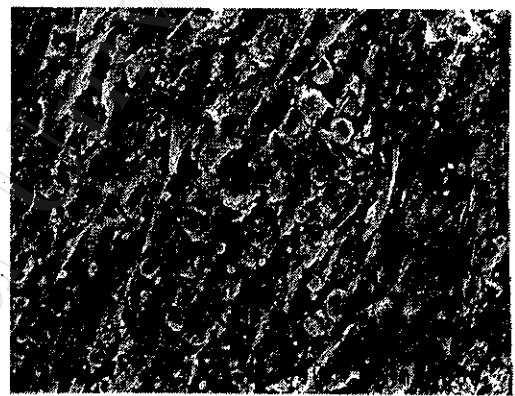
(ก)



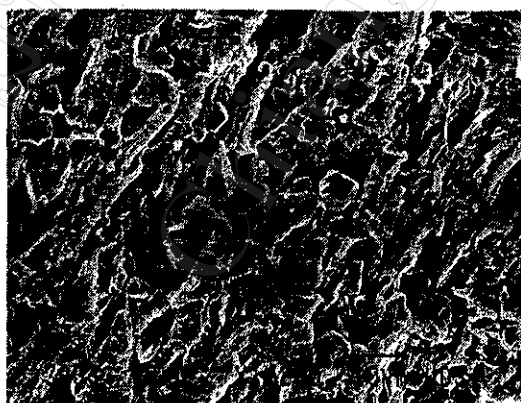
(ข)



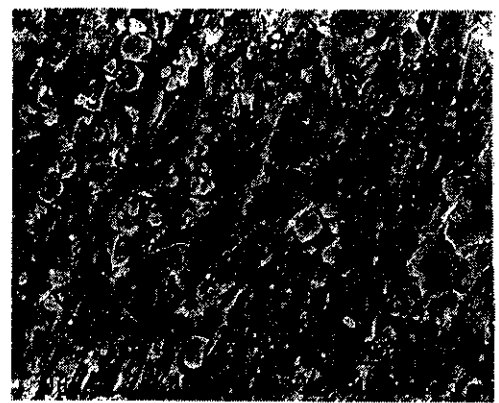
(ค)



(ง)

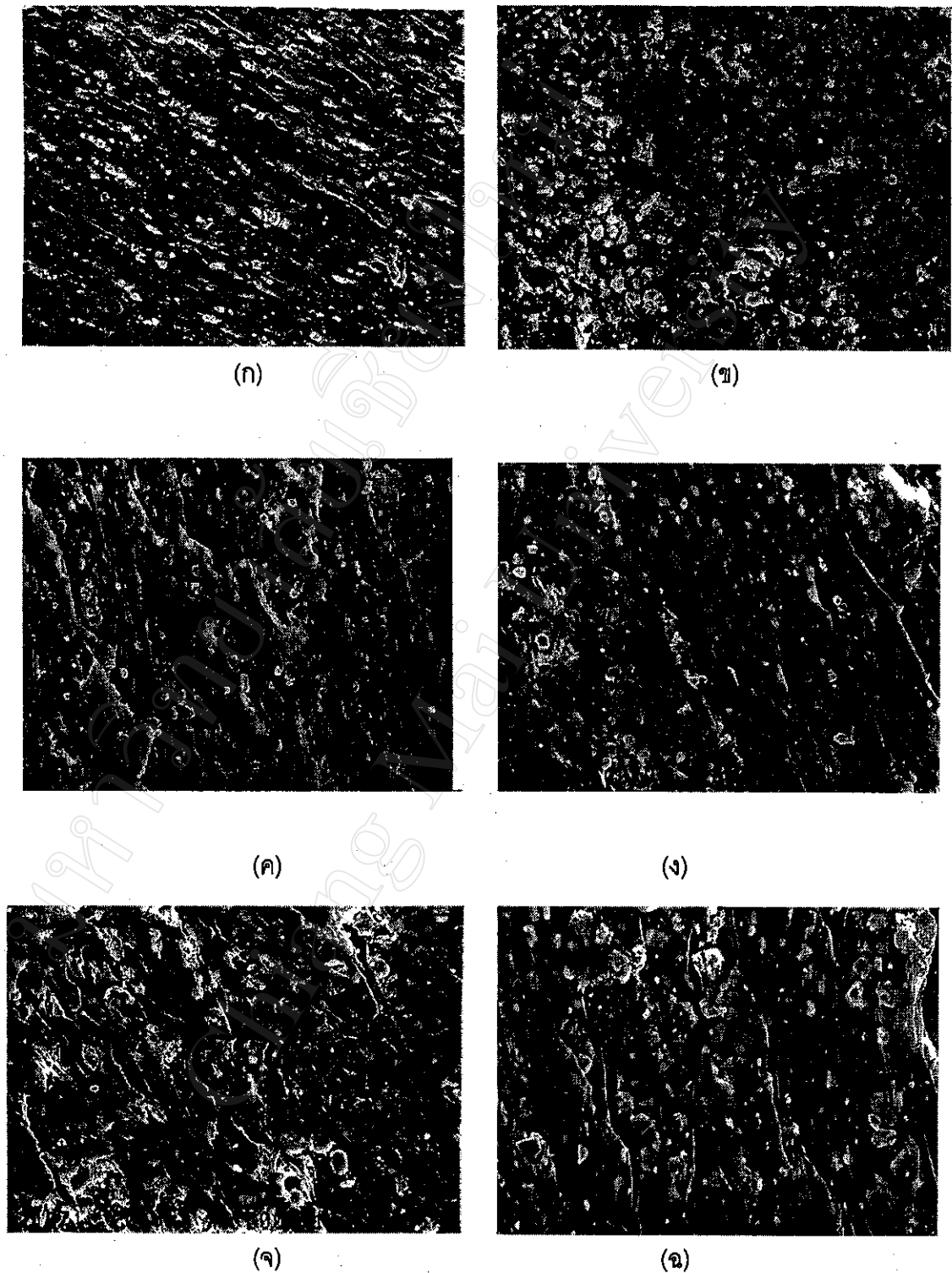


(จ)

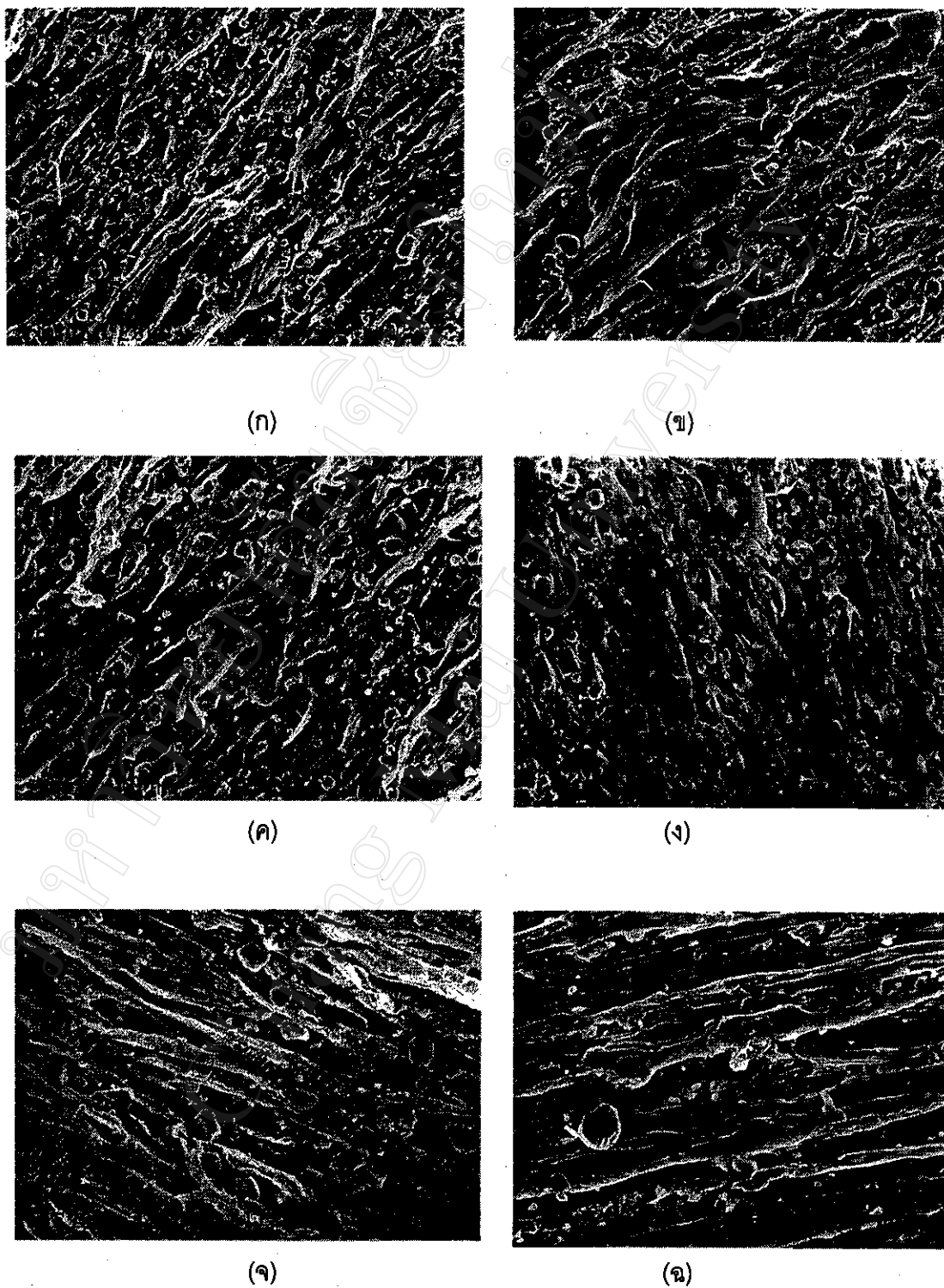


(ฉ)

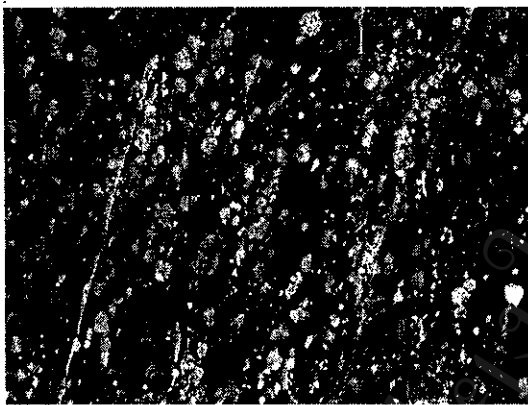
รูป 4.9 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการหักและมีอัตราส่วนเป็น 50/50 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



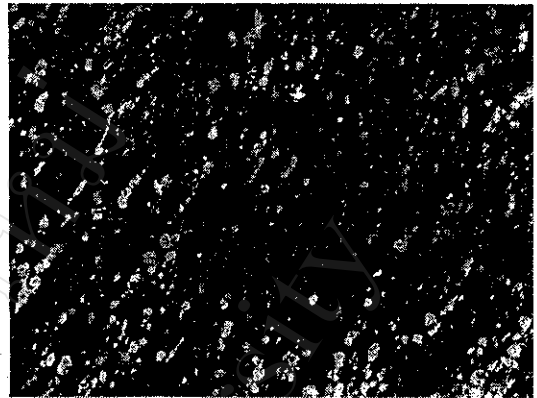
รูป 4.10 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการตัด และมีอัตราส่วนเป็น 40/60 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



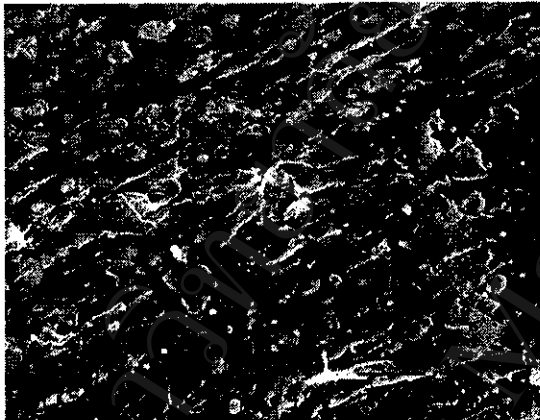
รูป 4.11 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการหักและมีอัตราส่วนเป็น 40/60 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



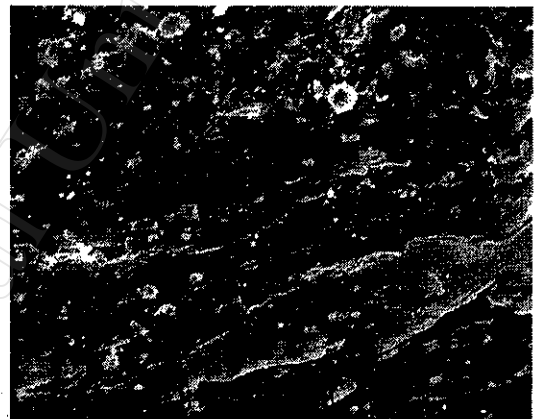
(ก)



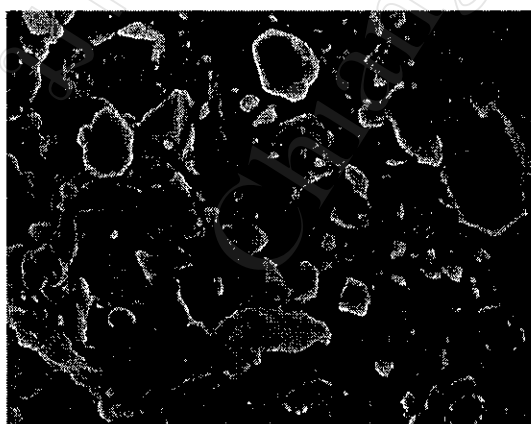
(ข)



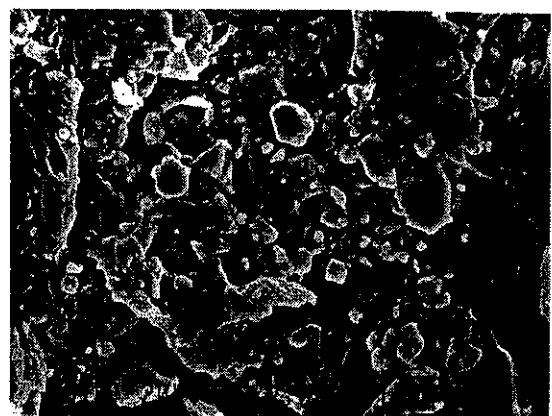
(ค)



(ง)

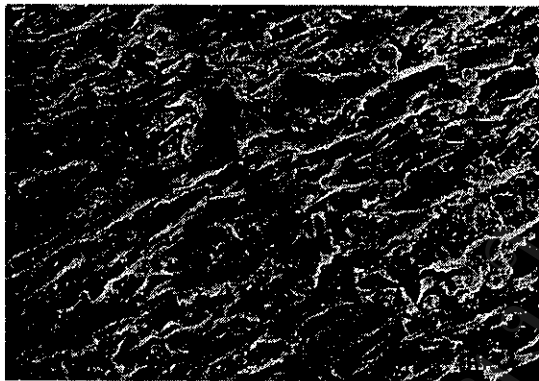


(จ)

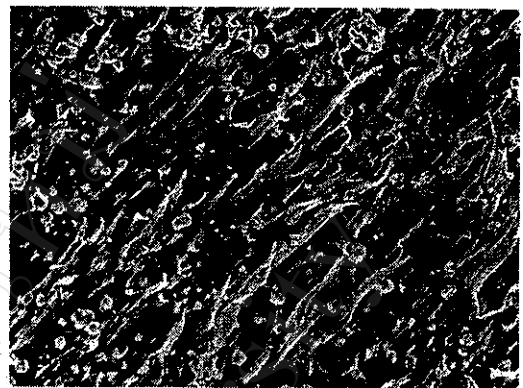


(ฉ)

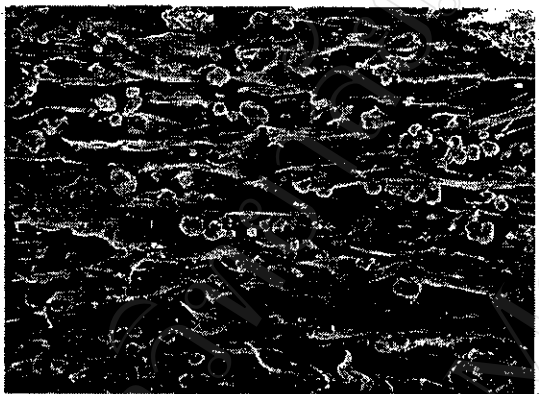
รูป 4.12 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการตัดและมีอัตราส่วนเป็น 30/70 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



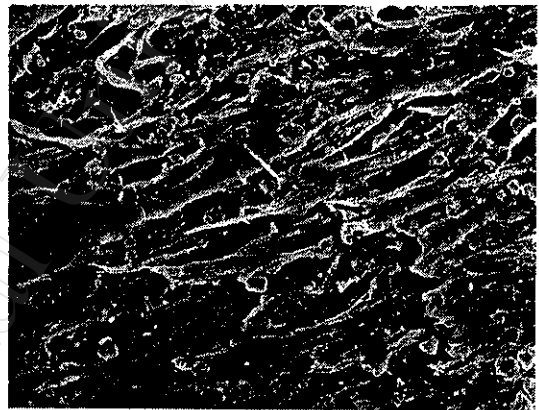
(ก)



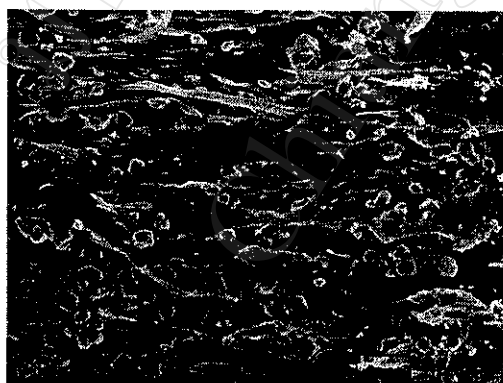
(ข)



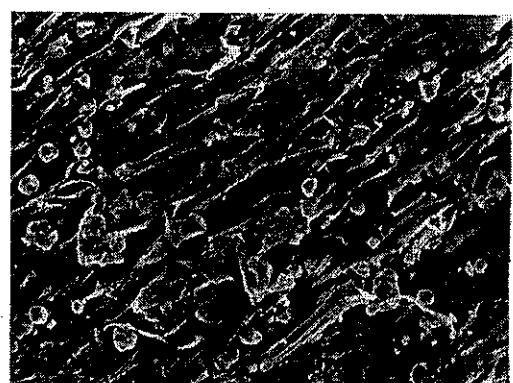
(ค)



(ง)

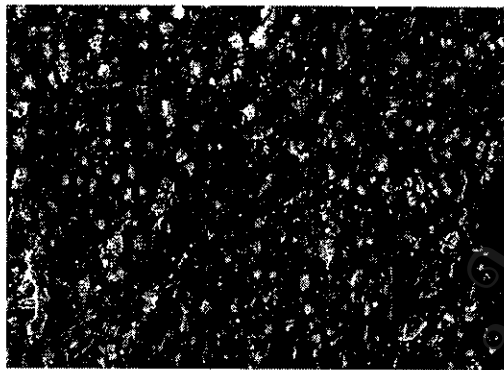


(จ)

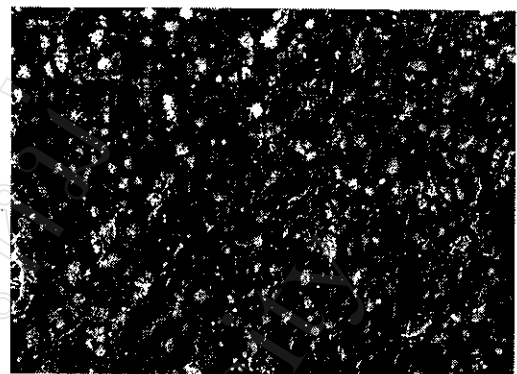


(ฉ)

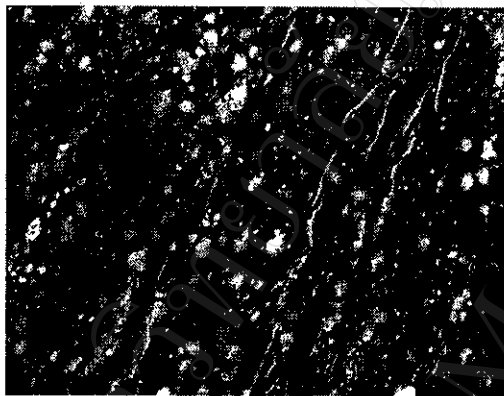
รูป 4.13 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการหักและมีอัตราส่วนเป็น 30/70 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



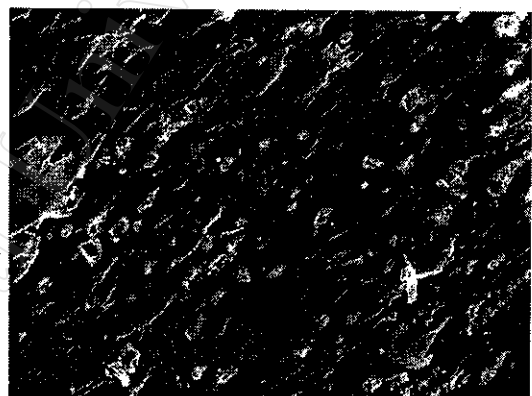
(ก)



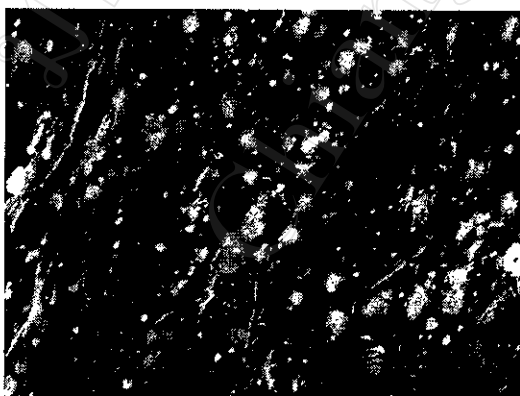
(ข)



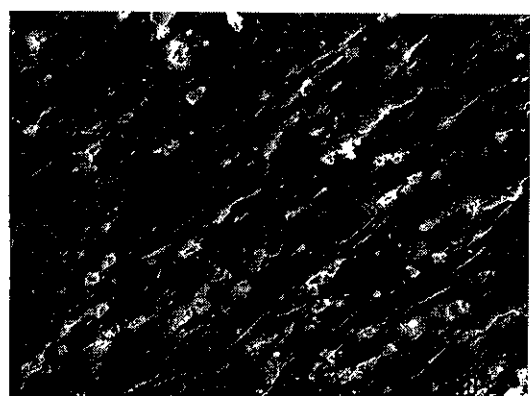
(ค)



(ง)

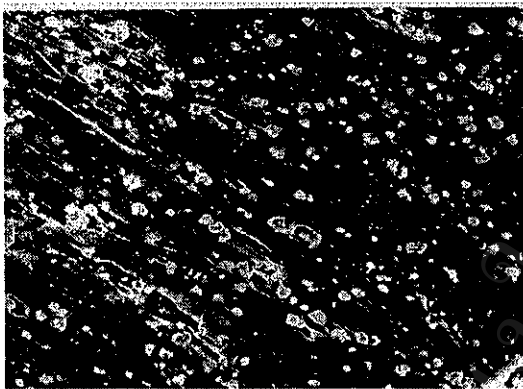


(จ)

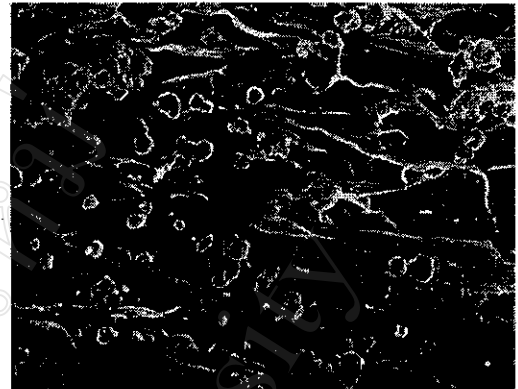


(ฉ)

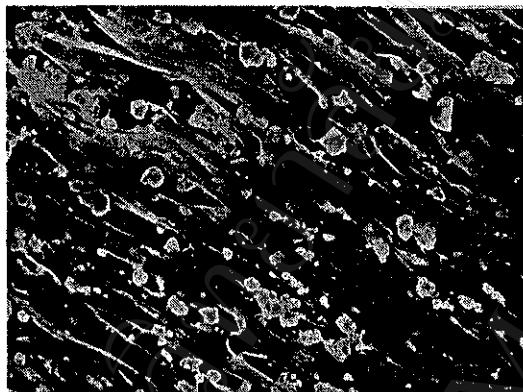
รูป 4.14 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการตัดและมีอัตราส่วนเป็น 20/80 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



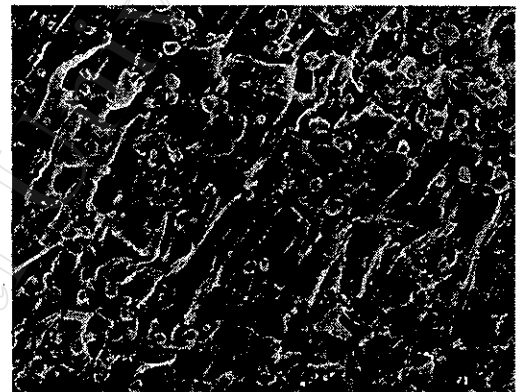
(ก)



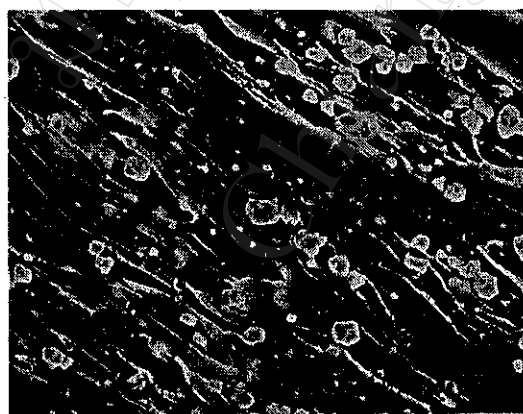
(ข)



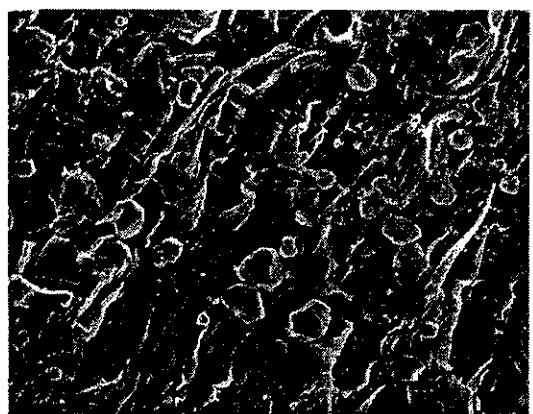
(ค)



(ง)

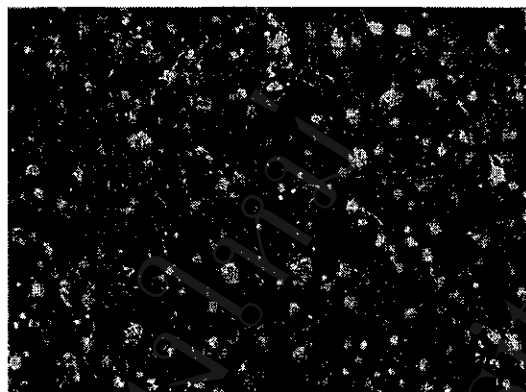


(จ)

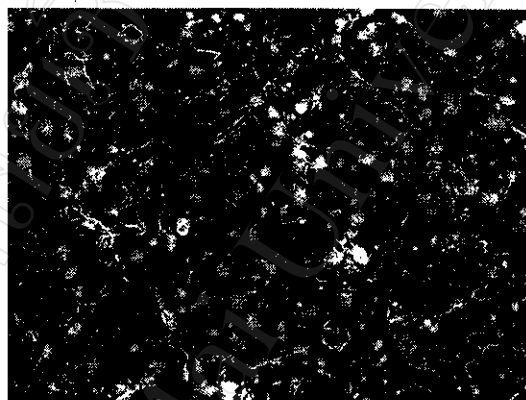


(ฉ)

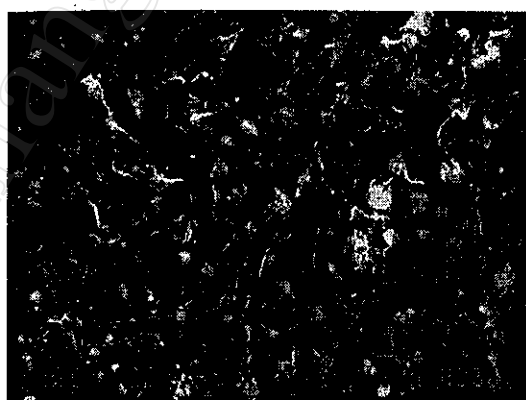
รูป 4.15 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการหักและมีอัตราส่วนเป็น 20/80 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



(ก)

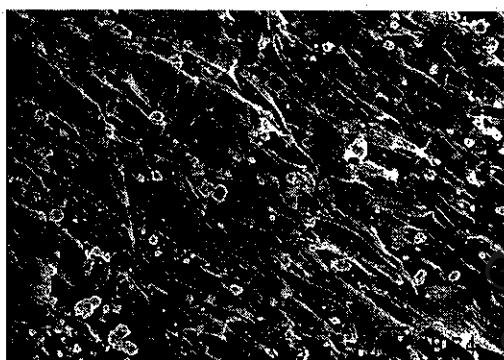


(ข)

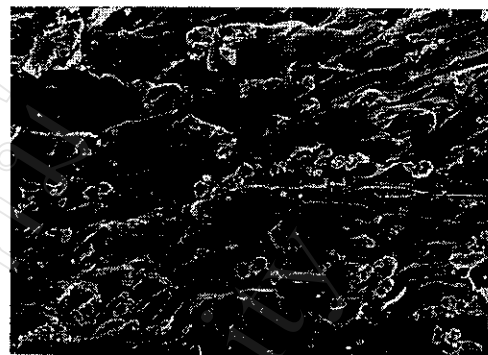


(ค)

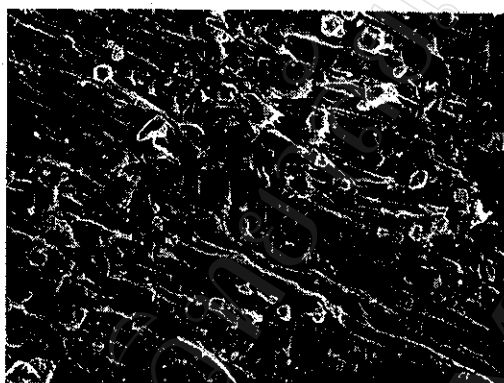
รูป 4.16 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการตัดและมีอัตราส่วนเป็น 10/90 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ข) 2-6 ไมโครเมตร และ (ค) 6-10 ไมโครเมตร



(ก)



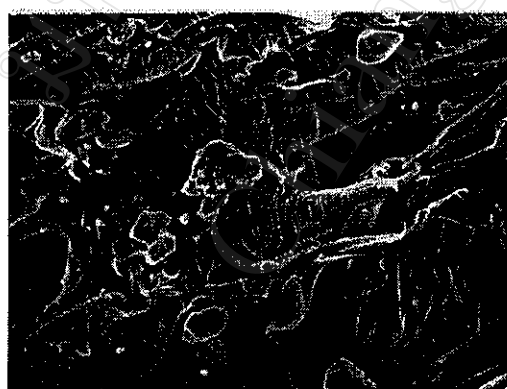
(ข)



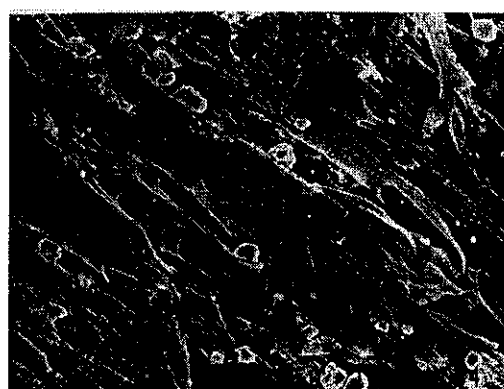
(ค)



(ง)

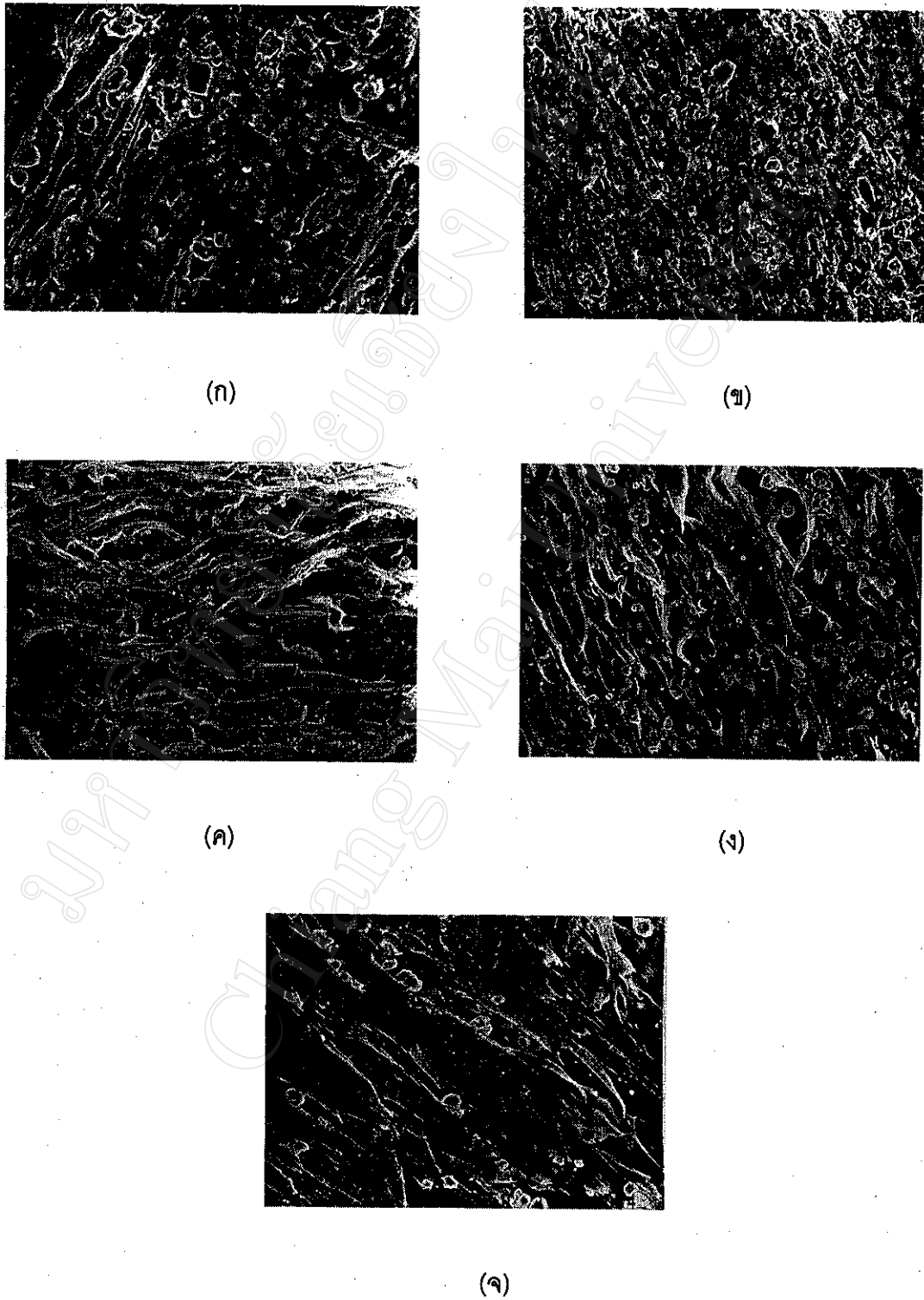


(จ)



(ฉ)

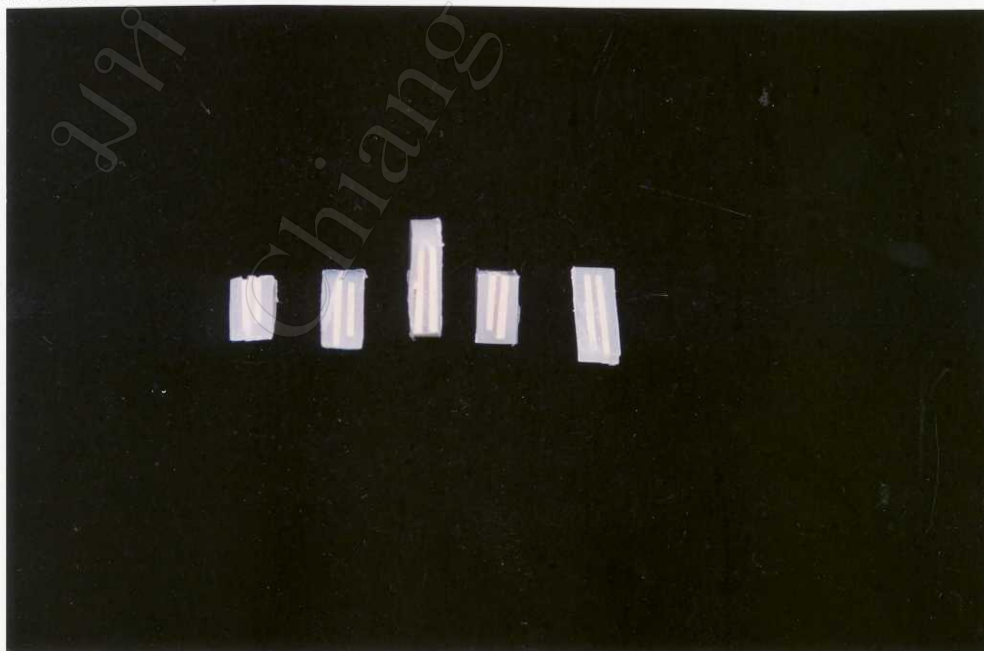
รูป 4.17 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 0-3 บริเวณเนื้อในที่เกิดจากการหักและมีอัตราส่วนเป็น 10/90 โดยใช้อนุภาคเซรามิก PZT ที่มีขนาด (ก,ข) น้อยกว่า 2 ไมโครเมตร (ค,ง) 2-6 ไมโครเมตร และ (จ,ฉ) 6-10 ไมโครเมตร



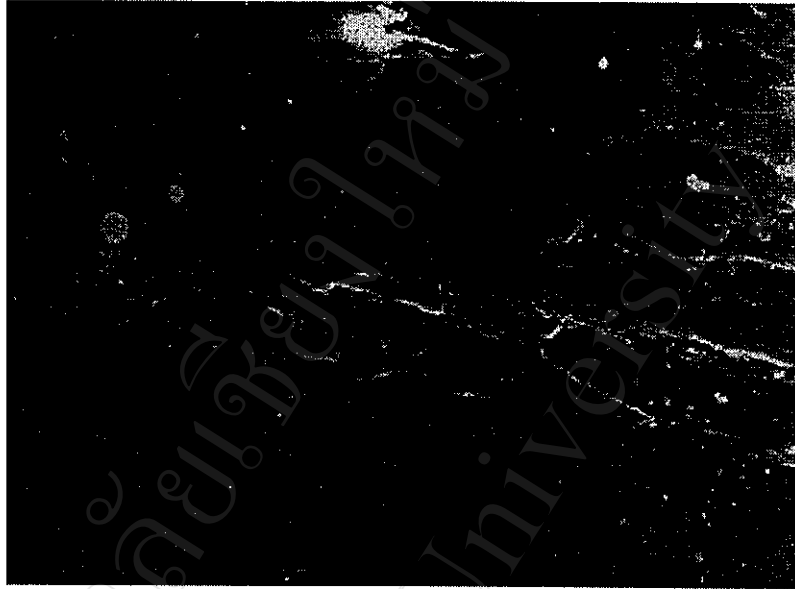
รูป 4.18 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่มีอัตราส่วนของ PZT/PE เป็น (ก) 50/50 (ข) 40/60 (ค) 30/70 (ง) 20/80 และ (จ) 10/90

4.2.2 วัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 2-2

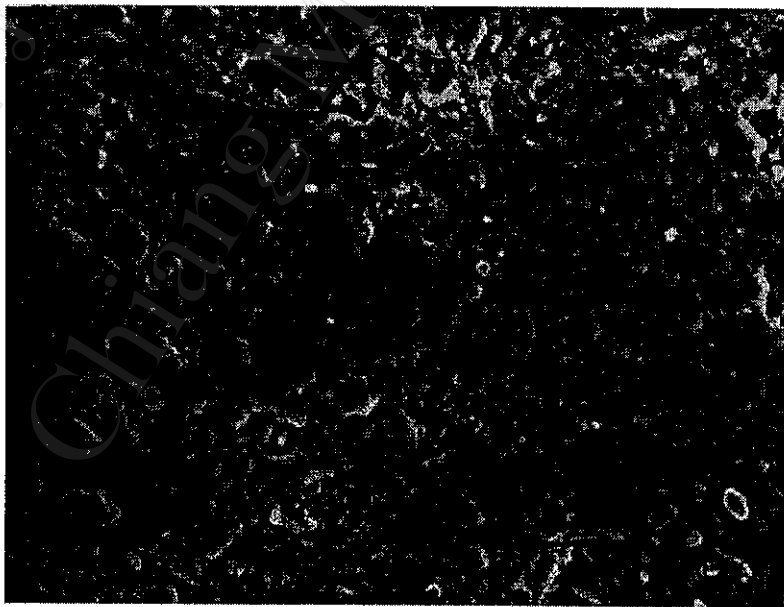
จากการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 2-2 พบว่าชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นเซรามิก PZT กับแผ่น PE ซ้อนสลับกัน บริเวณของชั้น PE จะมีลักษณะสีขาวขุ่น แต่บริเวณชั้นเซรามิก PZT จะมีสีน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในรูป 4.19 และมีลักษณะแข็งไม่ยืดหยุ่น เมื่อนำวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 2-2 ไปทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่บริเวณชั้นของพอลิเมอร์ PE และชั้นของเซรามิก PZT ของวัสดุผสมแบบ 2-2 พบว่าได้ผลดังรูป 4.20 เมื่อใช้กำลังขยายต่ำ ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสม พบว่าจะเห็นชั้นเซรามิก PZT (สีอ่อน) สลับกับชั้น PE (สีเข้ม) ดังรูป 4.21 และเมื่อตรวจสอบบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นทั้งสอง พบว่าที่กำลังขยายต่ำจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าเฟสทั้งสองจะเชื่อมต่อกันดี (รูป 4.22) โดยชั้นของเซรามิก PZT ที่พบมีความหนาประมาณ 1.2 มิลลิเมตร ในขณะที่ชั้นของพอลิเมอร์ PE มีความหนาประมาณ 1-1.2 มิลลิเมตร แต่ที่กำลังขยายสูงพบว่ารอยต่อของเฟสทั้งสองไม่ได้ยึดติดกันแน่นสนิทจริงเพราะพบว่าช่องว่างระหว่างเฟสทั้งสองปรากฏอยู่ และยังพบว่าที่บริเวณรอยต่อเฟสมีการแตกหักของเซรามิกเกิดขึ้นเล็กน้อยด้วย ซึ่งอาจจะเกิดจากแรงที่ใช้ในการอัดและเฟสของ PE ก็ไม่ได้แทรกเข้าไปในช่องว่างของชั้นเซรามิก PZT เนื่องจากเฟสของ PE ไม่ได้อยู่ในสภาพของเหลวในขณะที่เตรียมทำให้การแทรกตัวของพอลิเมอร์เข้าไปอยู่ในเนื้อเซรามิกทำได้ยาก เพราะความร้อนที่ใช้ในการเตรียมไม่ได้ให้แบบทุกทิศทาง แต่ให้เฉพาะด้านล่างของแม่พิมพ์โลหะที่วางบนเครื่องให้ความร้อน ทำให้การหลอมตัวของ PE แต่ละชั้นเกิดความไม่สม่ำเสมอขึ้นนั่นเอง



รูป 4.19 ภาพถ่ายวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 2-2



(ก)

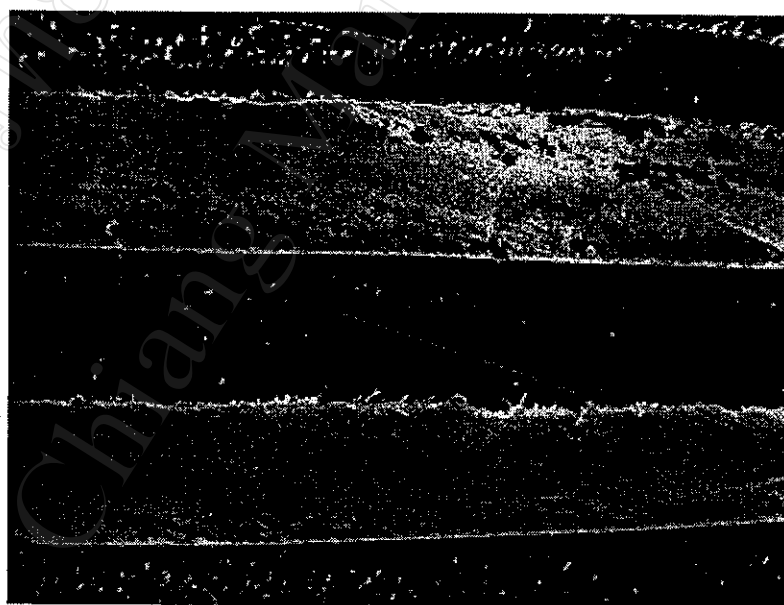


(ข)

รูป 4.20 ภาพถ่าย SEM บริเวณ (ก) ชั้นพอลิเมอร์ PE (ข) ชั้นเซรามิก PZT



(ก)



(ข)

รูป 4.21 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 2-2 ที่กำลังขยาย (ก) 40 เท่า (ข) 20 เท่า

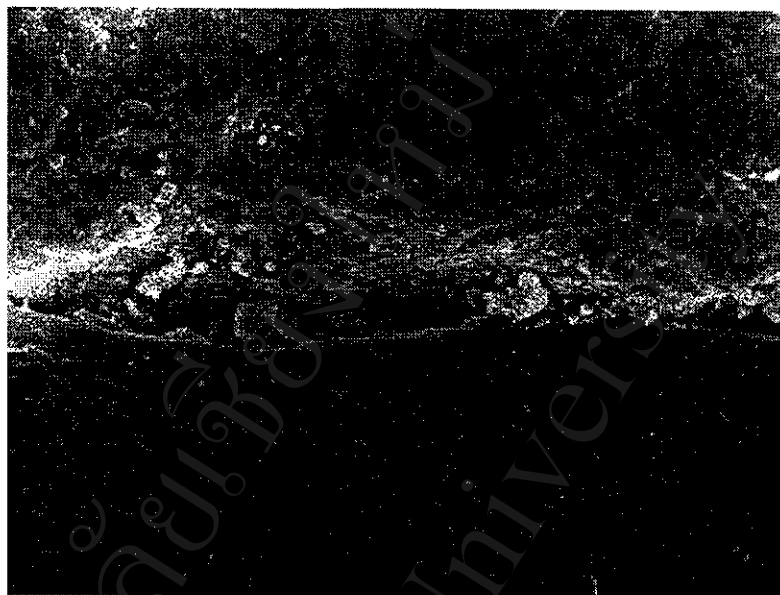


(ก)

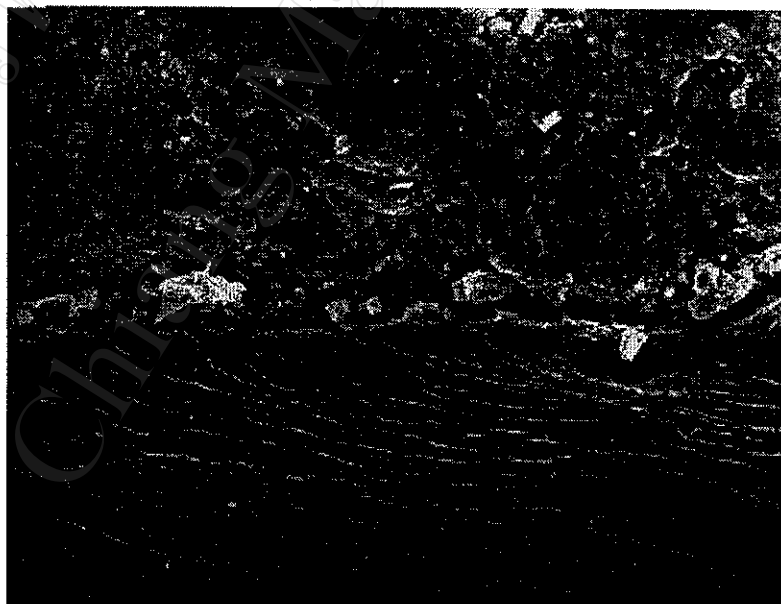


(ข)

รูป 4.22 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 2-2 บริเวณรอยต่อของชั้น PE และ PZT ที่กำลังขยาย (ก) 170 เท่า (ข) 300 เท่า



(ก)

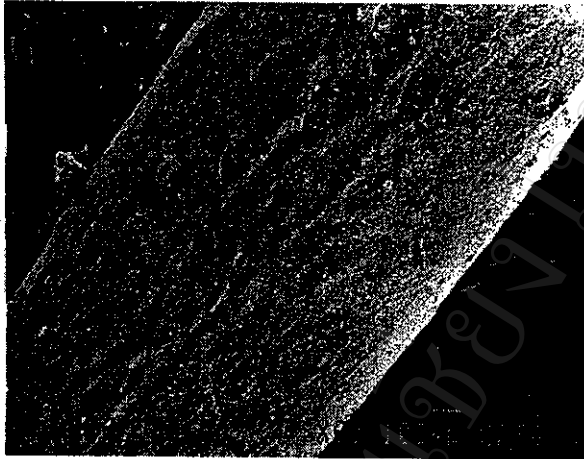


(ข)

รูป 4.23 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสม PZT/PE แบบ 2-2 บริเวณรอยต่อของชั้น PE และ PZT ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

4.2.3 วัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3

เมื่อนำแท่งเซรามิก PZT ที่เตรียมได้ไปตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ พบว่ามีลักษณะเปราะแตกหักง่ายและมีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อนำไปตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาค พบว่าแท่งเซรามิกที่เตรียมได้นี้มีรูพรุนอยู่จำนวนมาก และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1-1.2 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อสังเกตที่บริเวณผิวของแท่งเซรามิก PZT ด้วยการใช้กำลังขยายที่สูงขึ้น พบว่าประกอบไปด้วยเกรนขนาดเล็กจำนวนมากที่มีรูปร่างไม่แน่นอน โดยมีขนาดของเกรนเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1-5 ไมโครเมตร และมีช่องว่างระหว่างเกรนอยู่จำนวนมาก ดังแสดงในรูป 4.24-4.25 ซึ่งคาดว่ารูพรุนเหล่านี้เกิดขึ้นมาจากการหลุดออกไปของสารยึดเหนี่ยว (binder) จำนวนมากที่นำมาใช้ผสมกับผง PZT เพื่อให้สามารถทำการอัดฉีดได้ง่ายในระหว่างกระบวนการเผาซินเตอร์แท่งเซรามิกที่อุณหภูมิสูงนั่นเอง



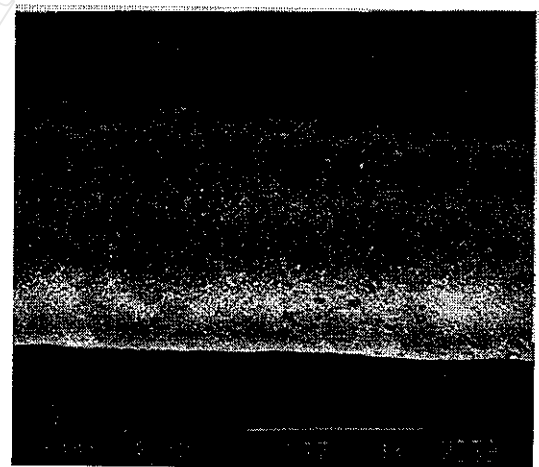
(ก)



(ข)

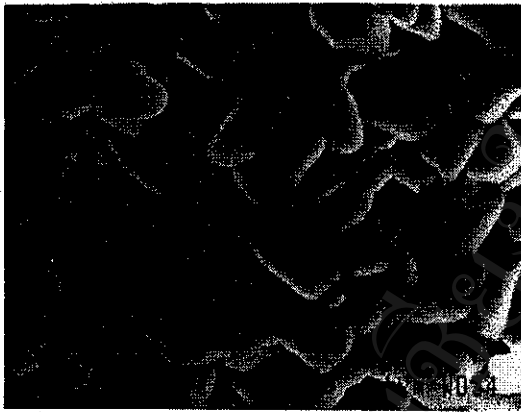


(ค)

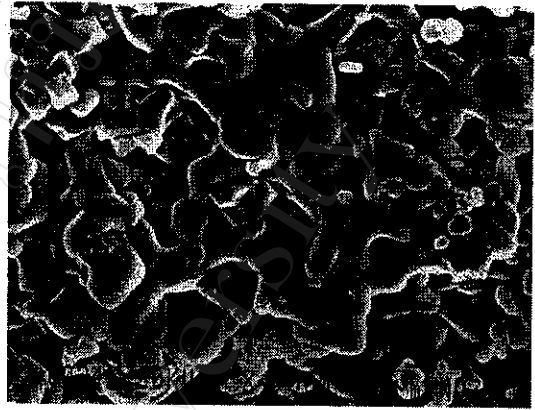


(ง)

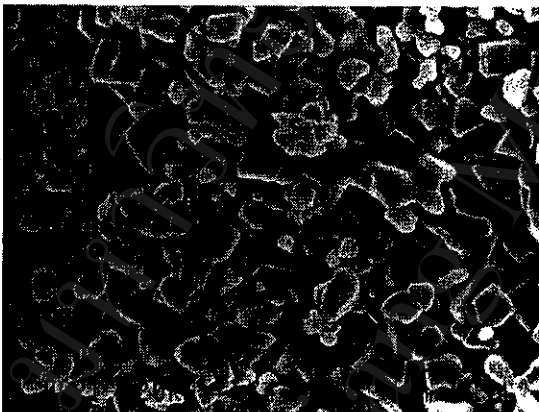
รูป 4.24 ภาพถ่าย SEM ของแท่งเซรามิก PZT ที่กำลังขยาย (ก) 60 เท่า (ข) 22 เท่า (ค,ง) 37 เท่า



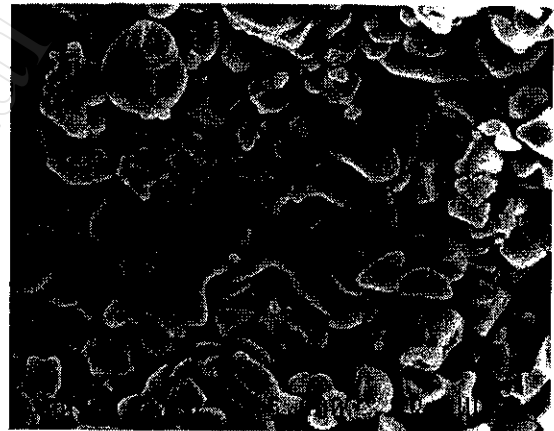
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

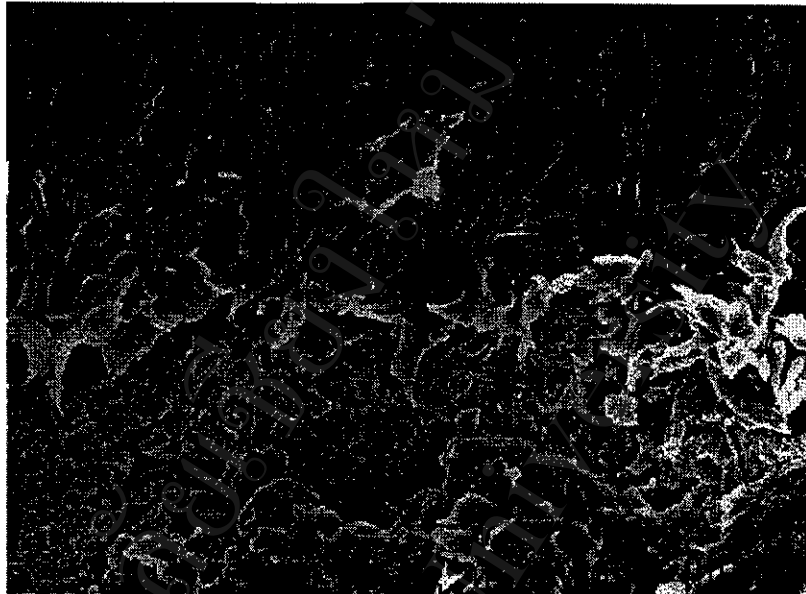
รูป 4.25 ภาพถ่าย SEM ของแท่งเซรามิก PZT ที่กำลังขยาย (ก) 8000 เท่า (ข,ค) 4000 เท่า
(ง) 5000 เท่า

จากผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 พบว่ามีลักษณะแข็งและเหนียว เนื่องจากมีพอลิเมอร์ PE ห่อหุ้มแท่งเซรามิก PZT อยู่ และเมื่อนำชิ้นงานมาตัดตามแนวยาว พบว่าจะเห็นชั้นของเซรามิก PZT ที่มีสีน้ำตาลอ่อนสลับกับชั้นสีเหลืองของพอลิเมอร์ PE แต่พอตัดตามขวางจะพบวงกลมสีน้ำตาลอ่อนของแท่งเซรามิก PZT กระจายตัวในพื้นที่สีเหลืองที่เป็นเมทริกซ์ของพอลิเมอร์ PE ดังแสดงในรูป 4.26

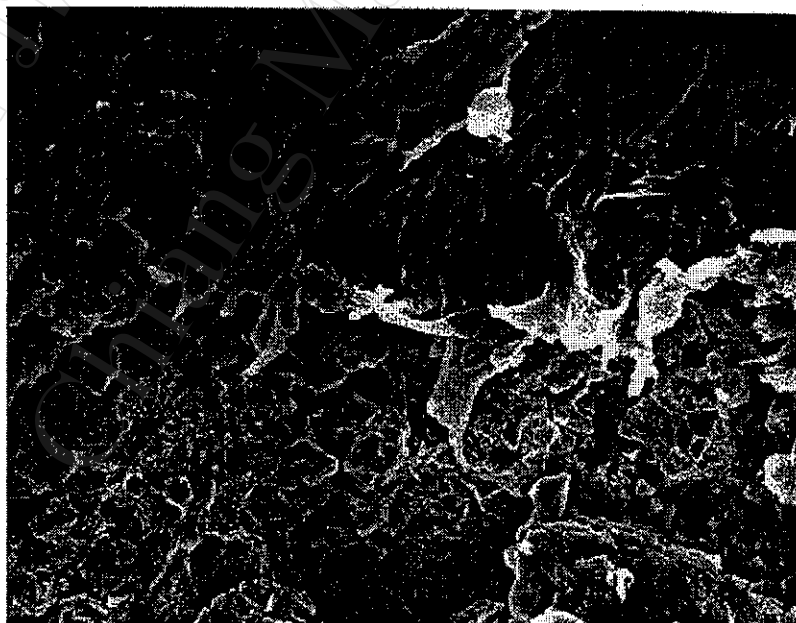
เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 ตามแนวยาว ที่บริเวณรอยต่อระหว่างเฟสที่เป็นของพอลิเมอร์ PE กับของเซรามิก PZT พบว่าเฟส PE (บริเวณสีเข้ม) กับเฟสเซรามิก PZT (บริเวณสีอ่อนที่มีเกรนลักษณะเป็นก้อนเกาะติดกัน) ไม่ได้เชื่อมยึดติดกันแน่น ดังในรูป 4.27 จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคตามแนวขวางที่กำลังขยายต่ำ พบว่าบริเวณวงกลมที่เป็นเซรามิก PZT กระจายในเฟสที่เป็นพอลิเมอร์ PE (รูป 4.28) และเมื่อสังเกตที่กำลังขยายสูง พบว่าบริเวณเฟสของเซรามิก PZT ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมและภายในวงกลมจะมีช่องว่างกระจายตัวอยู่มาก และมีบางจุดในวงกลมที่มีสีเข้ม ซึ่งบริเวณดังกล่าวคือเฟสของ PE ที่อาจเกิดจากขั้นตอนการตัด เพราะอาจมีเศษชิ้นส่วนของ PE ติดบนผิวที่ขรุขระบริเวณที่เป็นรูพรุนของเซรามิก PZT ดังในรูป 4.29-4.30 และเมื่อทำการศึกษารอยต่อของเฟสเซรามิก PZT กับพอลิเมอร์ PE ตามแนวขวาง (รูป 4.31) พบว่ามีช่องว่างขนาด 1-100 ไมโครเมตร ปรากฏอยู่ระหว่างเฟสทั้งสองด้วย



รูป 4.26 ภาพถ่ายวัสดุผสมเซรามิก PZT / พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3

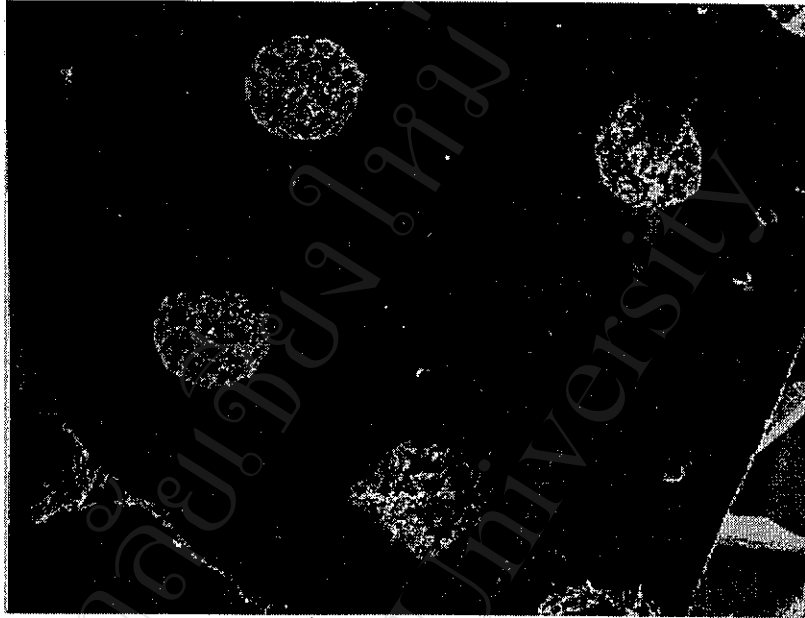


(ก)

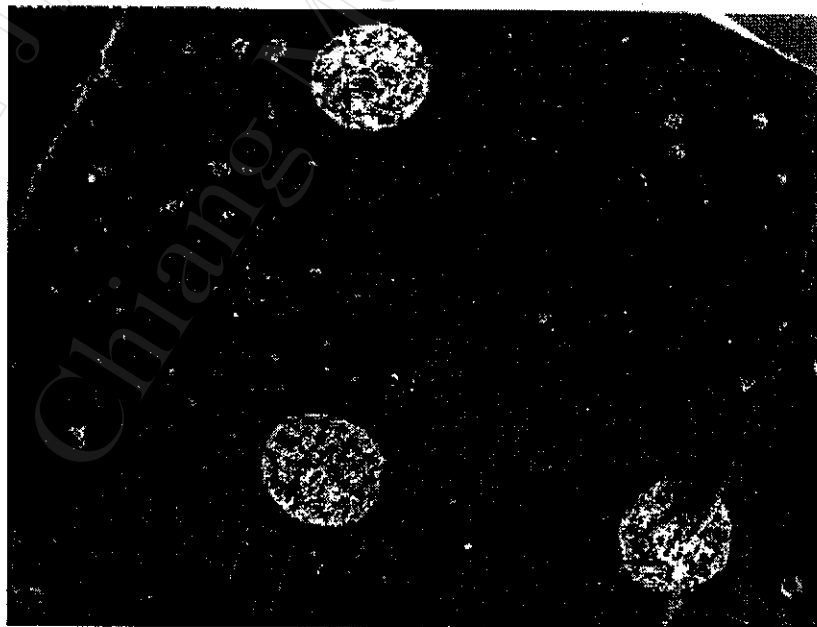


(ข)

รูป 4.27 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมเซรามิก PZT/พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 ที่บริเวณผิวซึ่งทำการตัดตามยาว

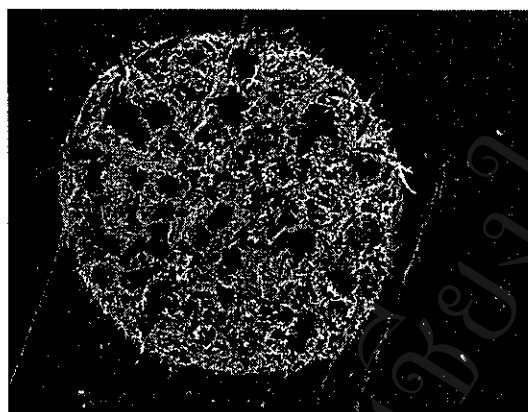


(ก)

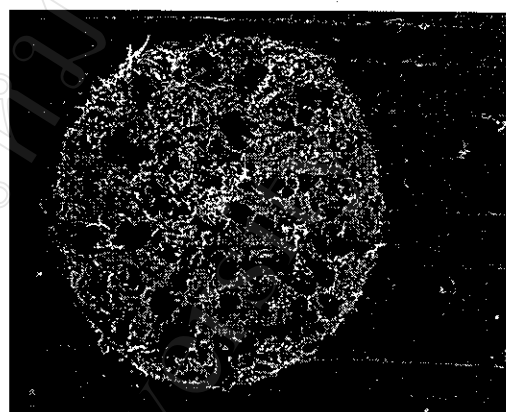


(ข)

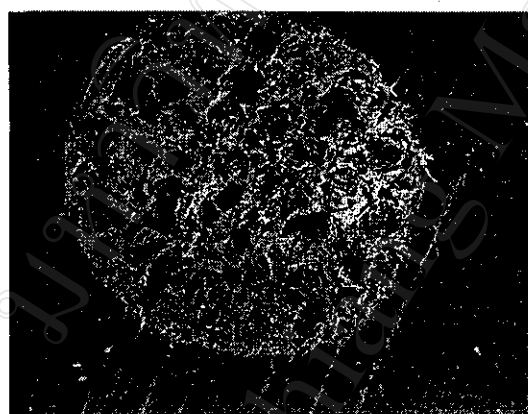
รูป 4.28 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมเซรามิก PZT/พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 ที่บริเวณผิวซึ่งทำการตัดตามขวางที่กำลังขยาย 12 เท่า



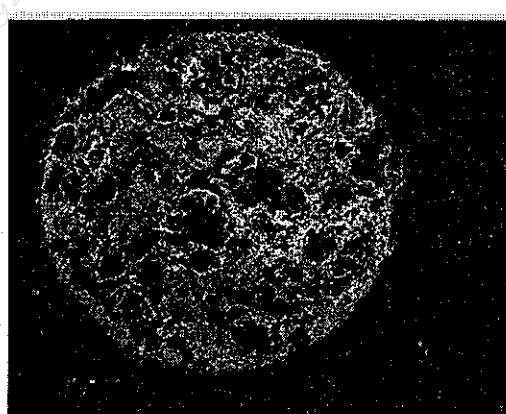
(ก)



(ข)

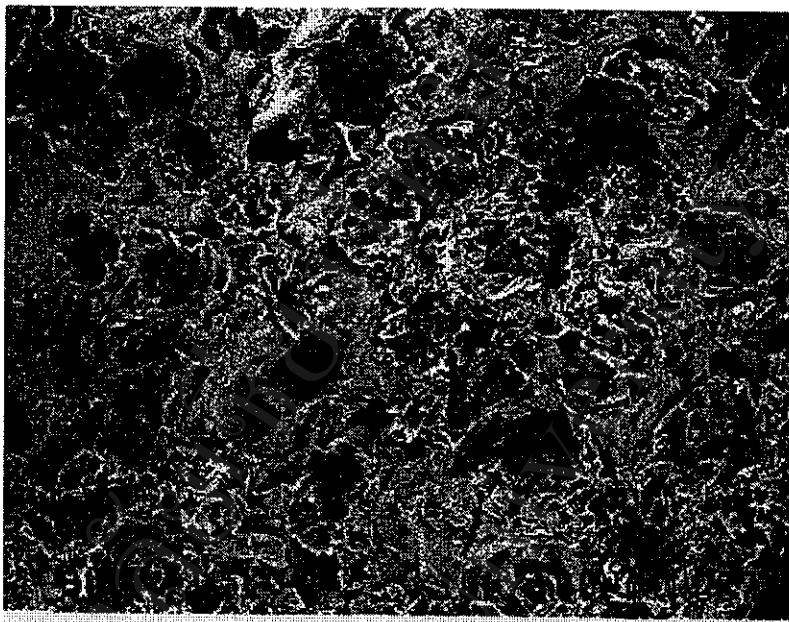


(ค)

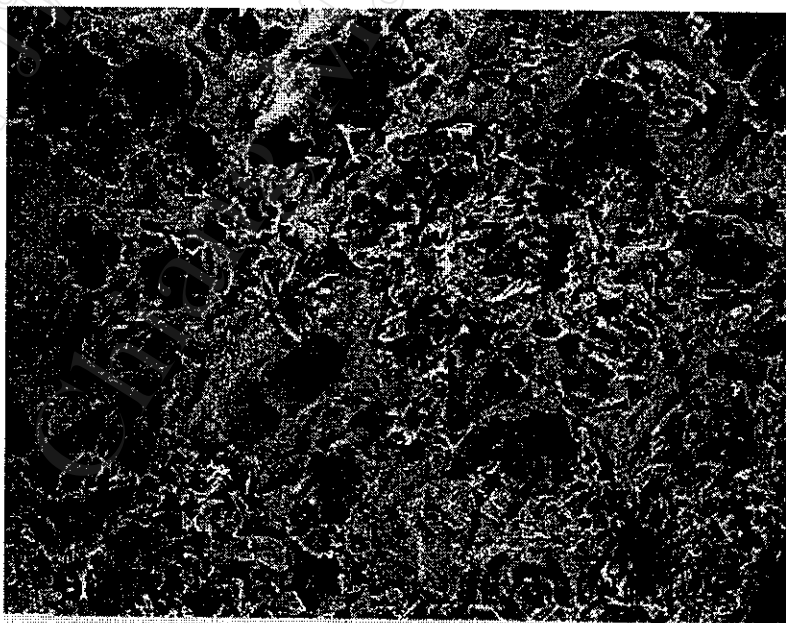


(ง)

รูป 4.29 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมเซรามิก PZT/พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 ที่บริเวณผิวซึ่งทำการตัดตามขวางที่กำลังขยาย 60 เท่า

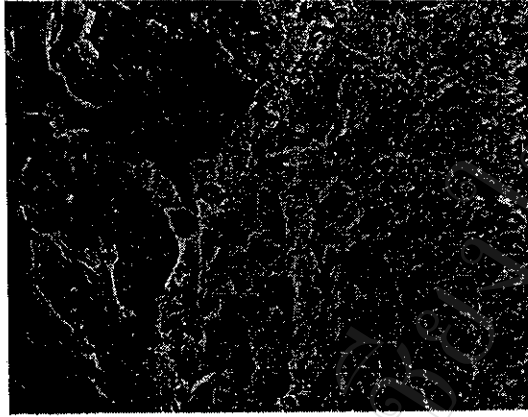


(ก)

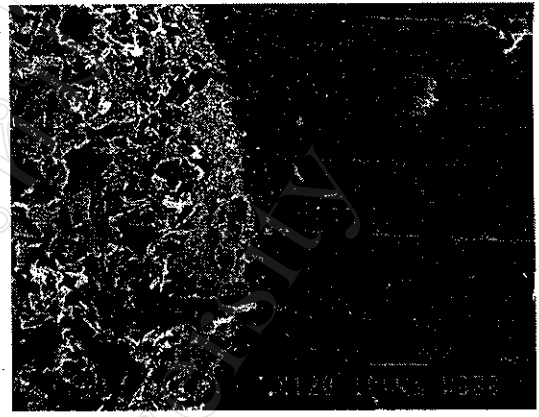


(ข)

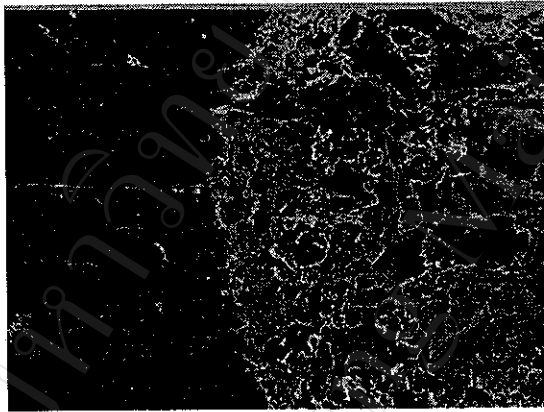
รูป 4.30 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมเซรามิก PZT/พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 ที่บริเวณเฟสเซรามิก



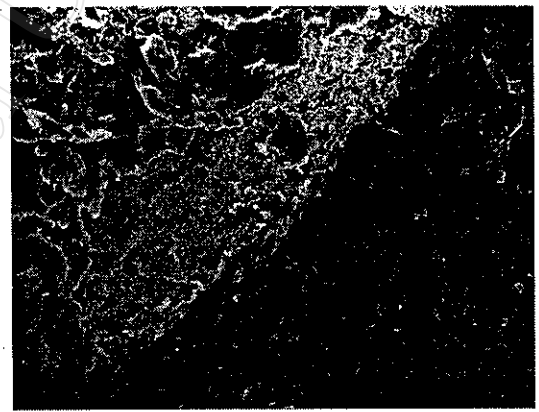
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูป 4.31 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุผสมเซรามิก PZT/พอลิเมอร์ PE แบบ 1-3 ที่บริเวณรอยต่อระหว่างเฟสเซรามิก PZT และเฟสพอลิเมอร์ PE