

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงรามิกและท่อนาโนคาร์บอน

5.1.1.1 ผลการตรวจสอบเฟสของผง BNT และท่อนาโนคาร์บอน

ผลการตรวจสอบเฟสของผง BNT

จากผลการทดลอง พบว่า สาร BNT ที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูง โดยพบเฟสเชิงเดี่ยว (single phase) ของ BNT ได้ในทุกเงื่อนไขของการเตรียม ซึ่งเฟสของ BNT ที่ได้นั้นสอดคล้องกับฐานข้อมูล JCPDS file no. 36-0340

ผลการตรวจสอบเฟสของท่อนาโนคาร์บอน

จากผลการทดลองจะเห็นว่าผงของท่อนาโนคาร์บอนที่ได้จากการเตรียมเทคนิคการตกสะสมไอเคมีโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alcohol catalytic chemical vapor deposition, ACVD) มีเฟสของคาร์บอนที่เป็นแกรไฟต์เกิดขึ้น และยังพบว่ามีเฟสของนิกเกิลเกิดขึ้นด้วย ซึ่งแสดงว่านิกเกิลที่ใช้เป็นตัวกระตุ้น (Catalyst) ยังสลายออกไปไม่หมดหรือไม่เกิดท่อนาโนคาร์บอน กลายเป็น Amorphous ซึ่งปะปนอยู่ในเฟสของท่อนาโนคาร์บอนที่เตรียมได้

5.1.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาพโดย Scanning Electron Microscope (SEM) ของ ผง BNT และท่อนาโนคาร์บอน (CNTs)

ขนาดของผง BNT มีขนาดอนุภาคเท่ากับ $0.23 \text{ ไมโครเมตร} \pm 0.067 \text{ ไมโครเมตร}$ โดยผง BNT ที่เตรียมได้มีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular shape) อนุภาคจับตัวกันเป็นก้อน (agglomerate)

ขนาดของท่อนาโนคาร์บอนเมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $62 \text{ นาโนเมตร} \pm 4.3 \text{ นาโนเมตร}$ เป็นท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้น (Multi-walls) และยังพบว่ามี NiO ที่เป็นคะตะลิสต์ (Catalysts) ปะปนอยู่

5.1.2 ผลการศึกษาสมบัติวัสดุผสม

5.1.2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของวัสดุผสมแบบ 0-0-3 ที่ 0% มีความหนาแน่นของวัสดุผสมเฉลี่ยเท่ากับ $2.904 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ที่ 0.01% มีความหนาแน่นของวัสดุผสมเฉลี่ยเท่ากับ $3.026 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ที่ 0.05% มีความหนาแน่นของวัสดุผสมเฉลี่ยเท่ากับ $3.058 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ที่ 0.1% มีความหนาแน่นของวัสดุผสมเฉลี่ยเท่ากับ $3.029 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ที่ 0.5% มีความหนาแน่นของวัสดุผสมเฉลี่ยเท่ากับ $3.012 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ ที่ 1.0% มีความหนาแน่นของวัสดุผสมเฉลี่ยเท่ากับ $2.999 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

5.1.2.2 สมบัติไดอิเล็กตริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมที่มีปริมาณท่อนาโนคาร์บอน 0%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ โดยความถี่ที่ใช้อยู่ในช่วงที่สูงมากๆ คือ ช่วง 100 – 500 kHz

ค่าสูญเสียไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมที่มีปริมาณท่อนาโนคาร์บอน 0%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ โดยสมบัติไดอิเล็กตริกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาของชิ้นงานด้วย

5.1.2.3 ค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริก

ค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริกของวัสดุผสม มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ปริมาณท่อนาโนคาร์บอน 0%, 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% และ 1.0% มีค่าสัมประสิทธิ์พีโซอิเล็กตริกหลังโพลเท่ากับ 6,5,4,5,5,6 และหลังโพล 24 ชั่วโมงเท่ากับ 4,5,3,4,5,5 ตามลำดับ

5.1.2.4 วงวนฮิสเทอรีซิส

จากการศึกษาวงวนฮิสเทอรีซิสพบว่าที่สนามไฟฟ้าเดียวกันคือ 45 kV พบว่าวงวนฮิสเทอรีซิสของวัสดุผสมแบบ 0-3 ของเซรามิก BNT กับอีพ็อกซีเรซิน มีวงวนที่กว้างที่สุด และวัสดุผสมที่มีปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนมากขึ้นมีขนาดลดลง แสดงว่าสภาพการมีขั้วของวัสดุผสมมีค่าลดลง

5.1.2.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาพโดย Scanning Electron Microscope (SEM) และ Optic Microscope ของวัสดุผสม

เซรามิกในอีพ็อกซีเรซินจะถูกเคลือบด้วย อีพ็อกซีเรซินและสามารถสังเกตเฟสของเซรามิก และเฟสของอีพ็อกซีเรซินได้ชัดเจน แต่สำหรับวัสดุผสมที่ท่อนาโนคาร์บอนเข้าไปจะไม่เห็นเฟสของ ท่อนาโนคาร์บอนเนื่องจากว่ามีการผสมในปริมาณที่น้อยมากๆ อีกทั้งท่อนาโนคาร์บอนยังมีขนาด ที่เล็กมากถึงระดับนาโนเมตรจึงทำให้มองเห็นได้ยาก แต่เราสามารถเห็นความเปลี่ยนแปลงของ วัสดุได้โดยสีของวัสดุผสมเองโดยสีจะเข้มขึ้นตามปริมาณของท่อนาโนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นและพื้นผิว ของวัสดุผสมที่วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงจะเห็นจุดที่เป็นกลุ่มก้อนท่อนาโนคาร์บอนที่ผสม เข้าไปได้ชัดเจน