

บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จาก Diffraction pattern ที่ได้ผงเซรามิกพีแซดที่เตรียมนำไปใช้เฟส เซรามิกในวัสดุผสมแบบ 0-3 พบว่าผงเซรามิกที่เตรียมได้เป็น $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ จากการเปรียบเทียบตำแหน่ง peak และความเข้มของ peak โดยทำการเปรียบเทียบกับ JCPDS File No 33-784 แต่ลักษณะ diffraction pattern ที่ได้ยังมี peak แปลกปลอมปรากฏขึ้น ณ ตำแหน่ง $d = 3.184^\circ \text{\AA}$ ที่มีความเข้มต่อความเข้มสูงสุดประมาณ 11 ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นสารที่เจือปนมาในขั้นตอนการเตรียมเมื่อค้นหาใน JCPDS ยังไม่พบ จึงยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารใด

โดยผงเซรามิกที่เตรียมได้เป็น $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ ที่อุณหภูมิห้องมีโครงสร้างเป็นเตตระโกนอล มี lattice parameter $a (= b) = 4.036 \text{ \AA}$ และ lattice parameter C เท่ากับ 4.146 มีค่าความเป็นเตตระโกนอลลิตี (tetragonality : c/a) เท่ากับ 1.027

จาก Diffraction pattern ที่ได้จากพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงความหนาแน่นสูงแบบความหนาแน่นสูงที่จะนำไปใช้เป็นเฟสเมตริกในวัสดุผสมแบบ 0-3 พบว่าเป็นพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงจากการเปรียบเทียบตำแหน่ง peak และความเข้มของ peak โดยทำการเปรียบเทียบกับ JCPDS File No. 11-834 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า peak ของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงมีลักษณะกว้างกว่า peak ทั่วไปของสารและการที่พอลิเมอร์ซึ่งมีโครงสร้างแบบ amorphous นั้น สามารถเกิด Diffraction pattern ได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ที่เลือกใช้เป็นพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงแบบความหนาแน่นสูงซึ่งลักษณะโครงสร้างจะเป็น Semi-Crystal อยู่ปะปนกับ amorphous ส่งผลให้เมื่อตรวจสอบด้วย X-Ray diffraction จึงเกิดลักษณะของ peak ขึ้นและ peak มีลักษณะกว้าง

จาก Diffraction pattern ที่ได้จาก Graphite ที่จะนำไปใช้เป็นเฟสดำในวัสดุผสมแบบ 0-3 พบว่าเป็น Graphite Carbon จากการเปรียบเทียบตำแหน่ง peak และความเข้มของ peak โดยทำการเปรียบเทียบกับ JCPDS File No 23-64 แต่ลักษณะ diffraction pattern ที่ได้ยังมี peak แปลกปลอมปรากฏขึ้น ณ ตำแหน่ง $3.705^\circ \text{\AA}$ มีความเข้มต่อความเข้มสูงสุดประมาณ 6 ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นสารที่เจือปนใน Graphite และยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเป็นสารใด

โดยผง Graphite ที่ใช้ ณ อุณหภูมิห้องมีโครงสร้างเป็น Hexagonal มี lattice parameter $a = 2.463$ และ lattice parameter $c = 6.714$ ตามลำดับ

จาก Diffraction pattern ที่ได้จากวัสดุผสมแบบ 0-3 ระหว่างเซรามิกพีแซดกับพอลิเอธิลีนแบบความหนาแน่นสูง ในอัตราส่วน PZT/PE เท่ากับ 60 : 40 พบว่าใน diffraction pattern ที่เกิดขึ้น

เป็นลักษณะการรบกวนกันของ diffraction pattern ระหว่างเซรามิกพีแซดทีและพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงและลักษณะ peak ของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงจะเห็นไม่เด่นชัดนักซึ่งที่สังเกตเห็นได้คือ ณ ตำแหน่ง 4.595°A และตำแหน่ง 4.092°A ซึ่งน่าจะเป็นการซ้อนกันระหว่าง peak 4.149°A ของกับ peak 4.037°A ของเซรามิกพีแซดทีซึ่งการที่ peak ของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงปรากฏอยู่ใน diffraction pattern ของวัสดุผสมน้อยกว่า peak ของเซรามิกพีแซดทีน้อย เนื่องจากอัตราส่วนของเซรามิกพีแซดทีที่สูงกว่าของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงและน่าจะเป็นไปได้ว่าโครงสร้างของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงนั้นเป็นลักษณะของ Semi-Crystal รวมกับ amorphous เมื่อผสมเข้ากับเซรามิกพีแซดทีซึ่งมีโครงสร้างเป็น crystal ส่งผลให้ Semi-crystal ในพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับ crystal ของเซรามิกพีแซดทีทำให้ X-Ray ไม่สามารถตรวจสอบได้หรือตรวจสอบได้น้อย เช่นเดียวกับวัสดุผสมแบบ 0-3 ระหว่างเซรามิกพีแซดทีกับพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงโดยการเจือ Graphite carbon ในแบบต่างๆ 3 แบบ ดังนี้

1. 58.5PZT / 40HDPE / 1.5C
2. (1.5C)58.5 PZT / 40HDPE
3. (0.75 C)59.25 PZT / 40HDPE / 0.75 C

พบว่า Diffraction pattern ที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายกับ Diffraction Pattern ของวัสดุผสม PZT/HDPE แต่มี peak แปลกปลอมเกิดขึ้น ณ ตำแหน่ง $d = 3.056^{\circ} \text{A}$ ทั้ง 3 แบบ และ diffraction pattern ของวัสดุผสมทั้ง 3 แบบเลย น่าจะเป็นไปได้ว่าปริมาณของ Graphite ในวัสดุผสมมีน้อยเกินกว่าที่ X-Ray diffraction จะตรวจสอบพบ

การวิเคราะห์ผลการหดตัวของเซรามิกพีแซดที

กระบวนการเผาซินเตอร์เป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้อะตอมของสารเคลื่อนที่เข้าใกล้กัน ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลงหรือหายไปส่งผลให้สารเกาะกันแน่นขึ้น มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการเช่นนี้ จะทำให้สารมีการหดตัวเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนเผาซินเตอร์ ในการทดลองพบว่าค่าการหดตัวของเซรามิกพีแซดทีเฉลี่ยประมาณ 1.279 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวค่อนข้างน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซินเตอร์เพียงพอที่จะทำให้อะตอมของพีแซดทีเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น Neck ขึ้นระหว่างแต่ละอนุภาคแต่ไม่เพียงพอที่จะทำให้เซรามิกพีแซดทีกำจัดรูพรุนได้ ซึ่งทำให้เซรามิกพีแซดทีมีรูพรุนสูง สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกลาด ทำให้ค่าความหนาแน่นของเซรามิกพีแซดทีมีค่าน้อยตามไปด้วย

การวิเคราะห์ผลการหาค่าความหนาแน่นของเซรามิกพีแซดที, พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง ความหนาแน่นสูง, และวัสดุผสมพีแซดที-พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงความหนาแน่นสูง

พิจารณาค่าความหนาแน่นของเซรามิกพีแซดทีที่หาได้เท่ากับ 7.226 และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าตามทฤษฎีซึ่งหาได้มาก

$$\rho_{\text{theory}} = \frac{M_n}{V_{abc} N_a}$$

M	คือ	มวลโมเลกุลของสารที่เป็นผลึก
n	คือ	จำนวนโมเลกุลในหน่วยเซลล์
V _{abc}	คือ	ปริมาตรของหน่วยเซลล์ประกอบด้วยด้าน a, b และ c
N _a	คือ	เลขอวอกาโดร (Avogadro constant) มีค่าเท่ากับ $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

เมื่อแทนค่า M ของสาร Pb (Zr_{0.52}Ti_{0.48}) O₃ มีค่าเท่ากับ 325.6 g โครงสร้างผลึกของพีแซดทีเป็นเตตระโกนอลมีปริมาตร $6.749 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$ และมีโมเลกุลเดียวในหน่วยเซลล์ เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ค่าความหนาแน่นตามทฤษฎีคือ 8.011 g/cm^3

จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างนั้นน้อยกว่าความหนาแน่นตามทฤษฎีซึ่งในหลักความเป็นจริงแล้วค่าความหนาแน่นของสารตัวอย่างก็ควรจะน้อยกว่าเนื่องจากภายในสารตัวอย่างมีความบกพร่องต่างๆ ภายใน เช่น สิ่งเจือปนต่างๆ (impurity) ที่สำคัญคือ open pore และ close pore เนื่องจาก open pore และ closed pore เป็นความบกพร่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากรูปถ่าย SEM จะเห็นว่ามี open pore เกิดขึ้นแลยังมี closed pore อีกซึ่งเราไม่สามารถกำจัดได้นอกจากการทุบสารตัวอย่าง การที่เกิด open pore มาจากภาพ SEM จะเห็นว่าขนาดของเกรนนั้นค่อนข้างเล็ก มีรูพรุนเปิดมากสาเหตุอาจเกิดจากอุณหภูมิในการเผา Sinter น้อยเกินไปหรืออาจลดรูพรุนโดยการเติมสารเจือปนบางตัวเพื่อให้เกิด liquid phase sintering ขึ้น

สำหรับการศึกษาความหนาแน่นของวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่เตรียมขึ้นด้วยกรรมวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน โดยใช้อัตราส่วนผงเซรามิกพีแซดที 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรนั้นพบว่า

สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมกับอัตราส่วนโดยปริมาตรของผงเซรามิกพีแซดทีและพอลิเอธิลีนได้จากกฎทรงมวลของสาร

$$M = M_{\text{PZT}} + M_{\text{HDPE}}$$

โดยที่ M	คือ	มวลของวัสดุผสมเซรามิกกับพอลิเมอร์
M _{PZT}	คือ	มวลของเซรามิกพีแซดทีในวัสดุผสม
M _{HDPE}	คือ	มวลของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงในวัสดุผสม

จากนิยามความหนาแน่น

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$M = \rho V$$

แทนค่าใน

$$\rho V = \rho_{PZT} V_{PZT} + \rho_{HDPE} V_{HDPE}$$

โดยที่ V คือ ปริมาตรของวัสดุผสมเซรามิกกับพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง
ความหนาแน่นสูง

V_{PZT} คือ ปริมาตรของเซรามิกพีแซดทีในวัสดุผสม

V_{HDPE} คือ ปริมาตรของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงความหนาแน่นสูงใน
วัสดุผสม

ρ_{PZT} คือ ความหนาแน่นของเซรามิกพีแซดทีในวัสดุผสม

ρ_{HDPE} คือ ความหนาแน่นของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงความหนาแน่น
สูงในวัสดุผสม

ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพมีความสัมพันธ์เชิงเส้น

$$V = V_{PZT} + V_{HDPE}$$

แทน V_{HDPE} ลงในสมการ

$$\rho V = \rho_{PZT} V_{PZT} + \rho_{HDPE} (V - V_{PZT})$$

$$\rho = (\rho_{PZT} - \rho_{HDPE})$$

$$\rho = (\rho_{PZT} - \rho_{HDPE}) \frac{V_{PZT}}{V} + \rho_{HDPE}$$

ดังนั้นจากสมการนี้จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของผงเซรามิกพีแซดทีกับพอลิเมอร์กับความหนาแน่นของวัสดุผสมจะเป็นลักษณะเส้นตรงมีความชันเท่ากับ $(\rho_{PZT} - \rho_{HDPE})$ พิจารณาการวิเคราะห์ความหนาแน่นของวัสดุผสมแบบ 0-3 ของ เซรามิกพีแซดทีกับพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง ในอัตราส่วน 60 : 40 โดยปริมาตร โดยเทคนิคในการเจือคาร์บอนแกรไฟต์ในแบบต่างๆ โดยเปรียบเทียบความหนาแน่นทางทฤษฎีกับความหนาแน่นที่วัดได้จากการทดลอง โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของวัสดุผสมกับอัตราส่วน โดยปริมาตรของเซรามิกพีแซดทีและพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงจากกฎทรงมวลของสาร

$$M = M_{PZT} + M_{HDPE} + M_{Graphite}$$

M	คือ	มวลของวัสดุผสม
M_{PZT}	คือ	มวลของเซรามิกพีแซดทีในวัสดุผสม
M_{HDPE}	คือ	มวลของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในวัสดุผสม
$M_{Graphite}$	คือ	มวลของแกรไฟต์ในวัสดุผสม

จากนิยามของความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของมวลต่อหน่วยปริมาตรจะได้

$$\rho V = \rho_{PZT} V_{PZT} + \rho_{HDPE} V_{HDPE} + \rho_{Graphite} V_{Graphite}$$

โดยที่ V	คือ	ปริมาตรของวัสดุผสม
V_{PZT}	คือ	ปริมาตรของเซรามิกพีแซดทีในวัสดุผสม
V_{HDPE}	คือ	ปริมาตรของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในวัสดุผสม
$V_{Graphite}$	คือ	ปริมาตรของแกรไฟต์ในวัสดุผสม
ρ	คือ	ความหนาแน่นของวัสดุผสม
ρ_{PZT}	คือ	ความหนาแน่นของเซรามิกพีแซดทีในวัสดุผสม
ρ_{HDPE}	คือ	ความหนาแน่นของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงในวัสดุผสม
$\rho_{Graphite}$	คือ	ความหนาแน่นของแกรไฟต์ในวัสดุผสม

ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

$$V = V_{PZT} + V_{HDPE} + V_{Graphite}$$

การวิเคราะห์ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่า Dielectric loss

วัสดุผสมพีแซดทีกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงความหนาแน่นสูงในความหนาต่างๆ และวัสดุผสมพีแซดทีกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงโดยเจือแกรไฟต์ในแบบต่างๆ

จากการศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกนั้น มีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของความหนาที่มีต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งทำการวัดที่อุณหภูมิคงที่ และทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ รวมถึงวัสดุผสมที่ใช้เทคนิคการเจือแกรไฟต์ในแบบต่างๆ

- ผลของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุผสม ณ ความหนาต่างๆ เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิคงที่ และทำการเปลี่ยนแปลงความถี่พบว่า เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มที่คงที่

ไม่เพิ่มหรือลดตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุผสมเป็นการผสมระหว่างพีแซดทีซึ่งเป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริกแบบ Normal Ferroelectric กับพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง สมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสารเฟอร์โรอิเล็กทริกแบบ Normal Ferroelectric คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ ดังนั้นเมื่อนำมาเป็น phase disperse ในวัสดุผสม จึงส่งผลให้สมบัติของวัสดุผสมคล้ายกับเฟสที่ประกอบขึ้น

- เมื่อพิจารณาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับอุณหภูมิพบว่าแนวโน้มของค่าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตัวพอลิเมอร์มีการขยายตัวเนื่องจากมีค่า Thermal expansion สูงกว่า PZT มากส่งผลให้การเชื่อมต่อกันบริเวณรอยต่อไม่ดีทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าลดลงซึ่งจะสังเกตเห็นว่า ณ.ที่ 80°C ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าลดลงเร็วมาก ซึ่งถ้าพิจารณาช่วงอุณหภูมิแล้วจะเห็นว่าเป็นช่วงที่ PZT แทบจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าไดอิเล็กตริกเลย หรือถ้าเปลี่ยนก็จะมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นมากกว่าที่จะลดลง

เมื่อพิจารณา ณ ความหนาต่างๆ พบว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามความหนาของ เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นสมบัติเฉพาะของสารแต่ละตัว ดังนั้นไม่ว่าความหนาของวัสดุผสมจะเพิ่มค่าคงที่ไดอิเล็กตริกก็ยังคงที่เสมอ ซึ่งค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุผสมแบบ 0-3 ที่มีสารไดอิเล็กตริกเป็นทรงกลม กระจายอยู่ในสารไดอิเล็กตริกอีกชนิดหนึ่ง ในกรณีนี้ J.W. Rayleigh ได้แสดงให้เห็นถึงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุผสม (ϵ_r) ที่มีสารไดอิเล็กตริกเป็นรูปทรงกลม กระจายตัวอย่างสุ่มโดยมีค่าคงที่เป็น (ϵ_1) อยู่ในเมตริกซ์ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_2) จะได้ว่า

$$\epsilon_r = \epsilon_2 \left(\frac{2\epsilon_2 + \epsilon_1 + 2V_1(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{2\epsilon_2 + \epsilon_1 + V_1(\epsilon_1 - \epsilon_2)} \right)$$

โดยที่ V_1 คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของสารไดอิเล็กตริกที่กระจายตัวอยู่

- ในการศึกษาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกกับความถี่โดยเทคนิคการเจือแกรไฟต์ในแบบต่างๆ 3 แบบ ของวัสดุผสม 60/40 PZT/HDPE พบว่าเมื่อเจือแกรไฟต์ลงไปทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นกว่าไม่ได้เจือคาร์บอนแกรไฟต์และยังพบว่า เมื่อปริมาณคาร์บอนแกรไฟต์เพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนด้วย เนื่องจากคาร์บอนเป็นตัวนำมีอิเล็กตรอนอิสระอยู่มากอยู่ในสนามไฟฟ้าสนามสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดโพลาไรเซชันได้ ส่งผลให้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

- ในการศึกษาค่า Dielectric loss กับความถี่เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความหนา พบว่าในช่วงความถี่ระหว่าง 1 kHz ถึง 2000 kHz ค่า Dielectric loss มีการส่ายของค่าค่อนข้างมากและเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นการส่ายของค่าจะลดลงและเมื่อทำการเพิ่มความถี่ค่า Dielectric loss มีค่าเพิ่มขึ้นทุกๆ ความหนาและหากพิจารณาความหนากับค่า Dielectric loss พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาค่า Dielectric loss ลดลง

การวิเคราะห์ผลค่า Piezoelectric Charge coefficient D_{33} ของเซรามิกพีแซดทีและวัสดุผสม

การศึกษาค่า D_{33} ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของเวลาและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพล โดยการโพลที่อุณหภูมิคงที่เท่ากับ 80°C เป็นเวลา 10 นาที, 20 นาที, 30 นาที ตามลำดับ และใช้สนามไฟฟ้าในการโพลเท่ากับ 4 kv/mm, 6 kv/mm, 8 kv/mm ตามลำดับ

โดยศึกษา 1. ผลของความหนาต่อค่า D_{33} เมื่อใช้สนามในการโพลคงที่เท่ากับ 8 kv/mm เป็นเวลา 30 นาที

2. ผลของการเจือแกรไฟต์ในแบบต่างๆ ต่อค่า D_{33} เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาและ เปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า

พบว่า

- ค่า D_{33} เพิ่มขึ้น เมื่อใช้เวลาในการโพลยาวนานขึ้น
- ค่า D_{33} เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มสนามไฟฟ้าในการโพล
- การเติมสารเจือพวกเฟสตัวนำเช่น แกรไฟต์นั้นเฟสตัวนำแกรไฟต์จะเข้าไปช่วยในการโพลให้ง่ายขึ้นส่งผลให้ค่า D_{33} สูงขึ้น และจากการทดลองจะเห็นได้ว่า การเพิ่มเฟสตัวนำการเพิ่มทั้งในเฟสเซรามิกและเฟสเมตริกเพื่อช่วยให้เกิดโพลไรเซชันได้ง่ายขึ้นทั้งสองเฟสของวัสดุผสม

เมื่อพิจารณากราฟแสดงค่า D_{33} โดยใช้สนามที่ใช้ในการโพลเท่ากับ 8kv/mm คงที่พบว่า ถ้าใช้สนามไฟฟ้าที่เพียงพอเวลาในการโพลไม่มีผลต่อค่า D_{33} และเมื่อพิจารณากราฟแสดงค่า D_{33} โดยโพลที่ 6 kv/mm คงที่เปลี่ยนแปลงเวลาพบว่า ถ้าสนามไฟฟ้าที่ใช้ไม่เพียงพอต้องเพิ่มเวลาในการโพลให้มากขึ้น

ซึ่งการโพลโดยใช้สนามไฟฟ้าเป็นตัวทำให้ไดโพลโมเมนต์ในเนื้อสารเกิดการจัดเรียงตัวไปตามสนามไฟฟ้าที่ใช้ทำให้เกิดโพลไรเซชันแก่ก้อนสาร สารจึงแสดงสมบัติพิโซอิเล็กทริกได้เด่นชัดขึ้น ถ้าให้สนามไฟฟ้าแก่สารน้อย การเกิดโพลไรเซชันจะไม่อิ่มตัว แต่ถ้าให้สนามไฟฟ้ามากพอจะสามารถทำให้เกิดโพลไรเซชันอิ่มตัวได้ นั่นคือถึงแม้ว่าจะให้สนามไฟฟ้าแก่สารมากขึ้น โพลไรเซชันก็จะไม่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มสนามไฟฟ้านี้ต้องคำนึงถึงการเกิดเบรคดาวน์ทางไฟฟ้า (electric breakdown) หรืออาจอธิบายได้ในรูปแบบของพลังงานคือ สารต้องการพลังงานค่าหนึ่งที่เข้าไปทำ

ให้เนื้อสารเกิดจัดเรียงไดโพล ถ้าพลังงานที่ให้เพียงพอเวลาที่ใช้ในการจัดเรียงก็จะน้อย แต่ถ้าพลังงานที่ให้ไม่เพียงพอเวลาที่ใช้ในการจัดเรียงก็จะยาวนานขึ้น

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า D_{33} กับความหนาพบว่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางทฤษฎีค่า D_{33} เป็นค่าเฉพาะของสารแต่ละชนิดไม่ขึ้นกับรูปร่าง แต่จากการทดลองพบว่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากขั้นตอนการจัดเนื่องจากการเตรียม ใช้การจัดเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการดังนั้นเวลาที่ใช้ในการจัดจึงไม่เท่ากันอาจส่งผลต่อโครงสร้างภายในของวัสดุผสมได้ หรืออาจทำให้ค่าสัดส่วนในอัตราส่วนผสมแตกต่างกันออกไป เนื่องจากจากการวัดค่าความหนาแน่นพบว่าค่าที่ได้มีค่าแตกต่างกันซึ่ง ณ.ที่ส่วนผสมเดียวกันค่าความหนาแน่นควรมีค่าเท่ากันแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของการผสมได้เปลี่ยนไปเนื่องจากการจัด ซึ่งถ้าพิจารณาว่า Elastic modulus ของพีแซดทีและพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง เห็นได้ว่าค่าของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงมีค่าสูงดังนั้นจึงทนต่อการจัดได้สูงกว่าพีแซดทีเนื่องจาก พีแซดทีเป็นเซรามิกค่า Elastic modulus จึงต่ำเมื่อถูกจัด โอกาสที่เม็ดพีแซดทีจะหลุดก็มีสูงกว่า พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง

การวิเคราะห์ผลจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง

จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงนั้นสามารถสังเกตเหตุเฟสของเซรามิกพีแซดทีและเมตริกซ์ของพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงได้อย่างชัดเจนและสามารถสังเกตเห็นเฟสของแกรไฟต์ที่กระจายตัวอยู่ในเมตริกซ์และวัสดุผสมที่เตรียมขึ้น ทั้งนี้มีรูพรุนเกิดขึ้นมากทั้งรูพรุนระหว่างอนุภาคสารเซรามิกและที่เกาะกันเป็นกลุ่มแต่กล้องจุลทรรศน์แสงก็ไม่สามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจนว่าบริเวณใดเป็นรูพรุนและบริเวณใดเป็นเฟสของแกรไฟต์ เนื่องจากมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก

การวิเคราะห์ผลจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกลาด

จากภาพถ่ายของวัสดุผสมจากจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกลาดพบว่าสามารถสังเกตและแยกแยะเฟสของพีแซดทีและเมตริกซ์พอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูงและแกรไฟต์ได้มากขึ้น สามารถแยกเฟสของแกรไฟต์กับรูพรุนได้ดีกว่ากล้องจุลทรรศน์แสง เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพถ่ายของผงแกรไฟต์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกลาดกับภาพของวัสดุผสมที่ทำการเจือผงแกรไฟต์ลงไปสามารถบ่งชี้เฟสของแกรไฟต์ในวัสดุผสมได้แน่ชัดนี้