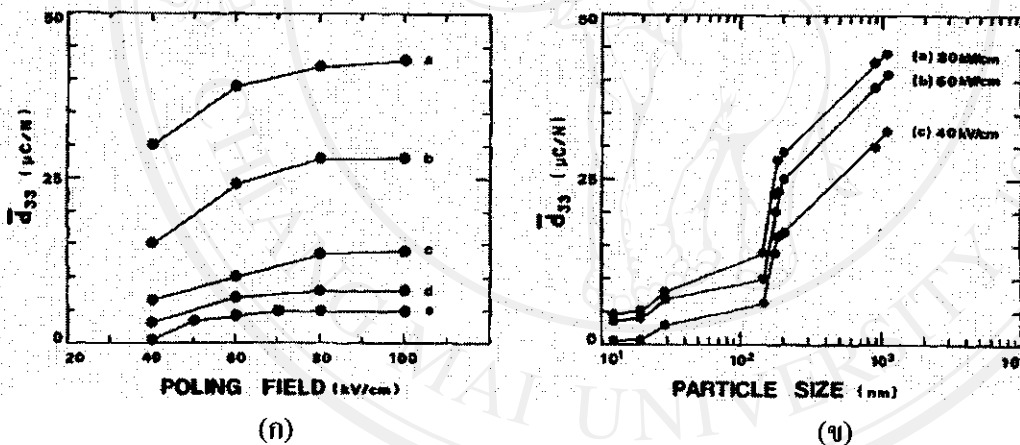


### บทที่ 3

#### วรรณกรรมปริทัศน์

สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่ได้มีการวิจัยมาก่อนหน้านี้

ปี ค.ศ. 1989 Moon-Ho Lee และคณะ [8] ได้ศึกษาถึงผลของสนามไฟฟ้า และขนาดอนุภาคที่มีต่อสมบัติไพโซอิเล็กทริกในวัสดุผสมเลดไทเทเนต-อีพอกซี แบบ 0-3 พบว่าวัสดุผสมที่มีเซรามิกขนาดอนุภาคเล็กกว่า 200 nm จะต้องใช้เวลาเพื่อให้เกิดการอิ่มตัวของ การโพล (saturation poling) มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากการหมุน (rotation) ของผลึกที่เป็น โดเมนเดี่ยว (single domain) ในระหว่างการโพลและนอกจากนี้ยังพบว่าค่า สัมประสิทธิ์ไพโซอิเล็กทริกเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ผลของสนามไฟฟ้า (ก) และขนาดอนุภาค(ข) ที่มีต่อสมบัติไพโซอิเล็กทริกในวัสดุผสมเลดไทเทเนต-อีพอกซี [8]

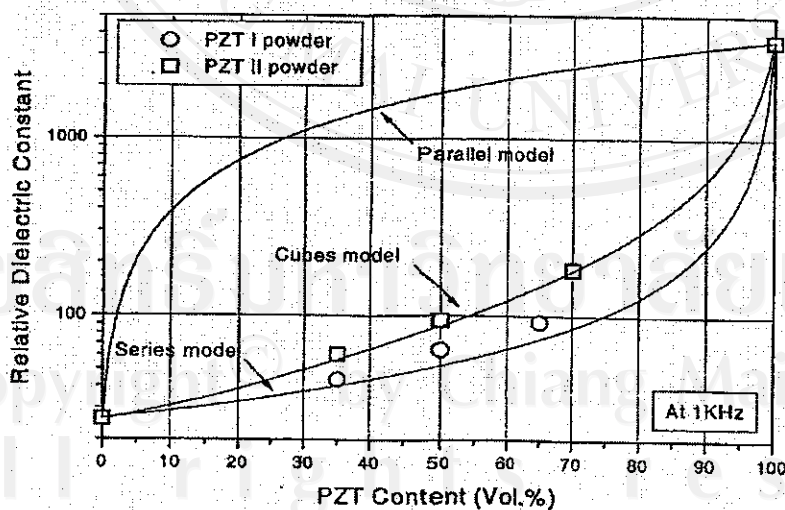
ปี ค.ศ 2002 Zongjin Li, Dong Zhang และ Keru Wu [9] ได้ทำการศึกษาวัสดุผสมแบบ 0-3 ไพโซอิเล็กทริกและปูนซีเมนต์ โดยศึกษาถึงขนาดของผงเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตที่มีต่อค่าความต้านทานเสียงเชิงซ้อน ค่าสัมประสิทธิ์คูแควไฟฟ้าเชิงกล และค่าสัมประสิทธิ์ความเครียด ไพโซอิเล็กทริก ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตาราง 3.1 และยังได้มีการแสดงค่าในเชิงทฤษฎีดังกราฟรูป 3.2, 3.3 และ 3.4 นอกจากนี้ Zongjin Li, Dong Zhang และ Keru Wu ได้พบปัญหาใน

ขั้นตอนของการผสม คือ เมื่อเพิ่มปริมาณเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตมากขึ้นถึง 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะเกิดการไม่เข้ากันของวัสดุผสมเกิดขึ้น

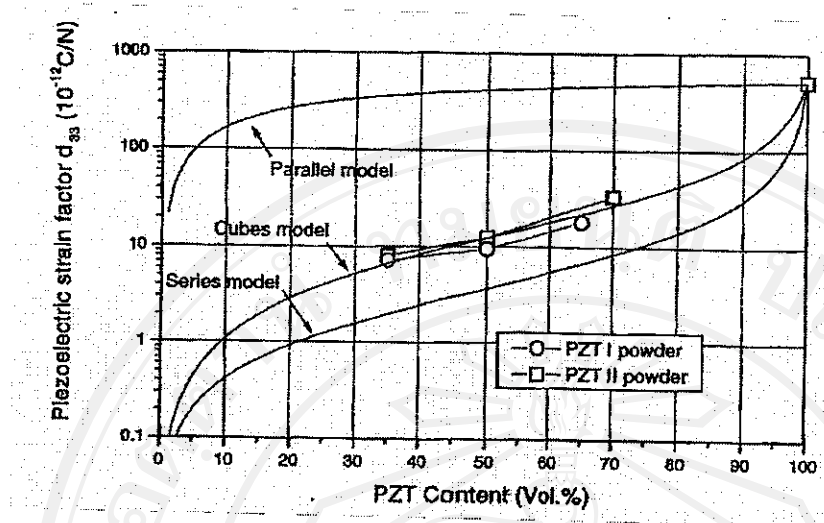
ซึ่งกลุ่มนักวิจัยดังกล่าวได้แก้ปัญหาโดยการเติมสารที่ช่วยในการยึดเหนี่ยวเข้าไป คือ ซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (superplasticizer) นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เป็นอุปสรรคอย่างมากในเรื่องของการทำขั้ว (poling) ที่ค่อนข้างยากของวัสดุผสม ซึ่งถ้าให้สนามไฟฟ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดการ breakdown ของวัสดุผสมได้

ตาราง 3.1 สมบัติของวัสดุผสม[9]

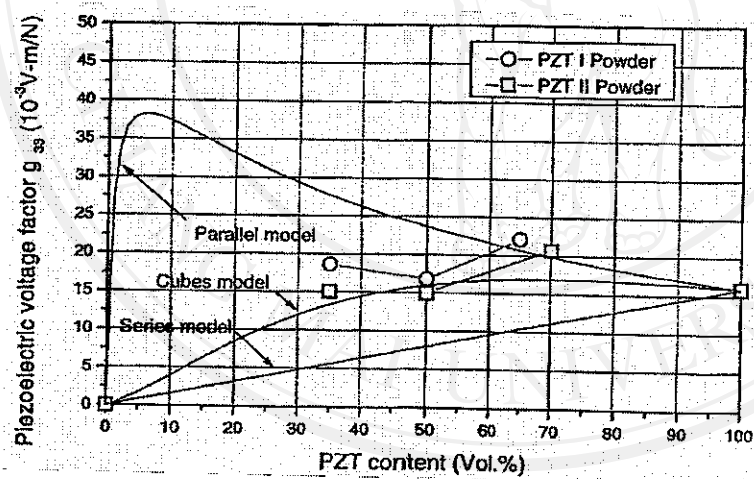
| Specimen code | PZT Particle type | PZT particle content (vol%) | Piezoelectric Strain factor, $d_{33}$ ( $10^{-12}$ C/N) | Piezoelectric Voltage factor, $g_{33}$ ( $10^{-3}$ Vm/N) | Electromechanical Coupling coefficient, $K_t$ | Dielectric constant $\epsilon_r$ |
|---------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|
| a             | PZT I             | 35                          | 7.2                                                     | 18.6                                                     | 11.6                                          | 43.5                             |
| b             | PZT I             | 50                          | 9.5                                                     | 16.8                                                     | 12.9                                          | 63.9                             |
| c             | PZT I             | 65                          | 18.0                                                    | 22.1                                                     | 18.6                                          | 92.1                             |
| d             | PZT II            | 35                          | 8.1                                                     | 15.1                                                     | 12.9                                          | 60.7                             |
| e             | PZT II            | 50                          | 12.5                                                    | 15.0                                                     | 13.2                                          | 94.2                             |
| f             | PZT II            | 70                          | 33.4                                                    | 20.7                                                     | 20.7                                          | 182.2                            |
| Matrix        |                   | 0                           | 0                                                       | 0                                                        | 0                                             | 26.2                             |



รูป 3.2 กราฟค่าในเชิงทฤษฎีค่าสภาพยอมสัมพันธ์ ต่อปริมาณ PZT [9]



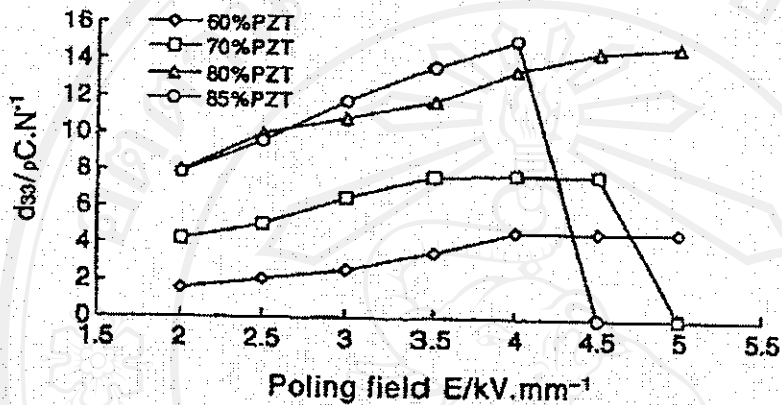
รูป 3.3 กราฟค่าในเชิงทฤษฎีค่า  $d_{33}$  ต่อ ปริมาณ PZT [9]



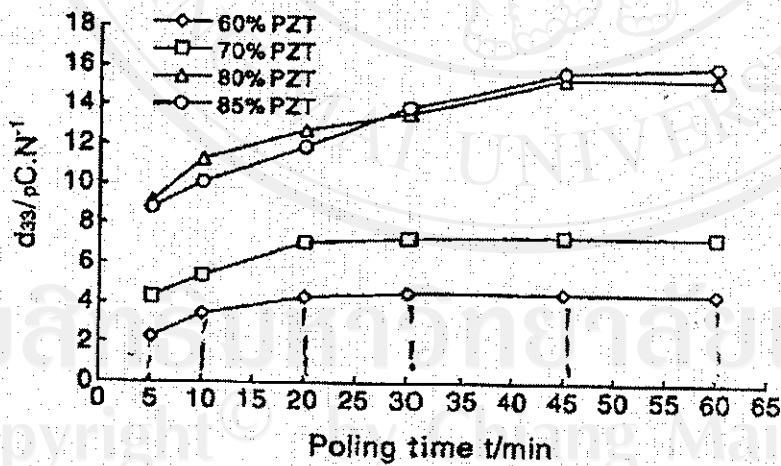
รูป 3.4 กราฟค่าในเชิงทฤษฎีค่า  $g_{33}$  ต่อปริมาณ PZT [9]

ปีค.ศ. 2003-2004 Shifeng Huang และคณะ[10] ได้ให้ความสนใจในการศึกษาวัสดุผสมพิโซอิเล็กทริกและปูนซีเมนต์ซัลเฟอร์ออลูมินเนต (sulfoaluminate cement) ซึ่งปูนซีเมนต์ซัลเฟอร์ออลูมินเนตจะมีสมบัติเด่นทางด้านมีความแข็งแรงสูงและสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา นอกจากนี้กลุ่มนักวิจัยดังกล่าวยังให้ความสนใจในเรื่องผลของสนามไฟฟ้าและเวลาในการโพล ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มสนามไฟฟ้าให้แก่วัสดุผสม จะทำให้ค่า

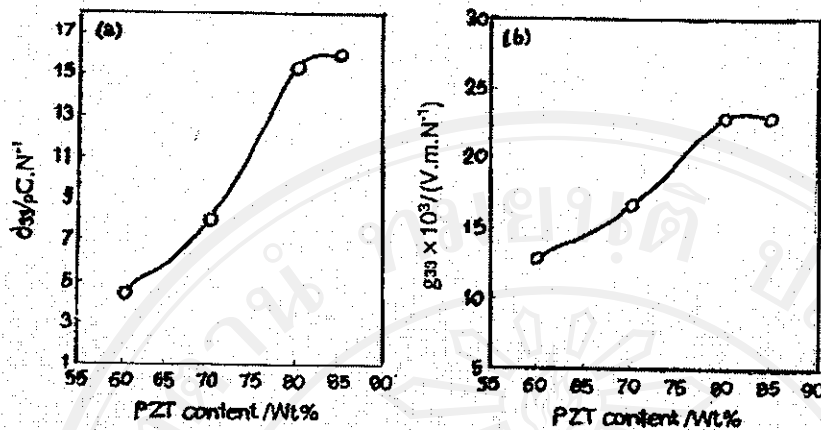
$d_{33}$  สูงขึ้น จนถึง 4 kV ต่อ mm ค่า  $d_{33}$  จะเริ่มคงที่และลดลง และเวลาในการโพล พบว่าที่ 45 นาที ค่า  $d_{33}$  จะเริ่มคงที่ เกิดจากการอิ่มตัวของไดโพลโมเมนต์ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูป 3.5 และ 3.6 นอกจากนี้ Shifeng Huang และคณะ ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ PZT ในวัสดุผสม จะทำให้ค่า  $d_{33}$  สูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zongjin Li, Dong Zhang และ Keru Wu ในปี ค.ศ 2002



รูป 3.5 ผลของค่า  $d_{33}$  ต่อ สนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพล [10]

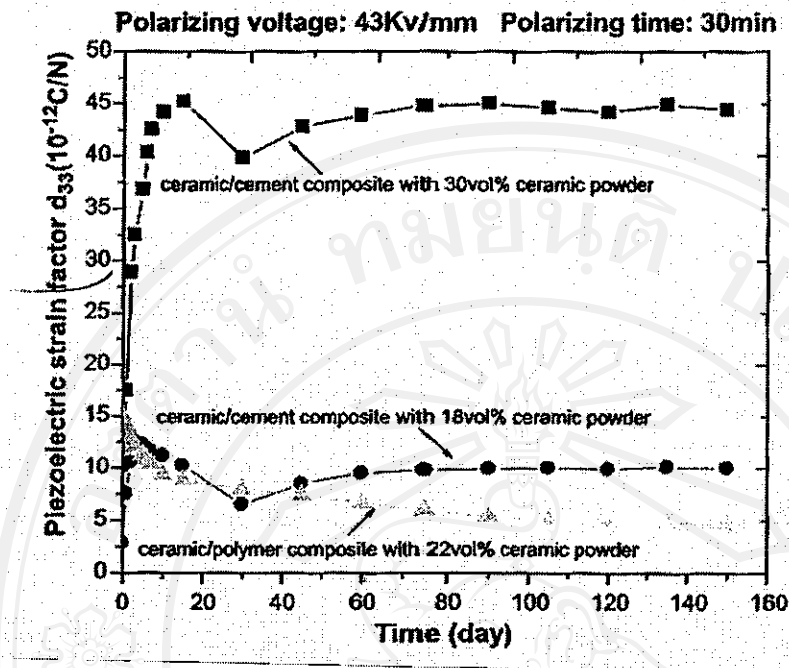


รูป 3.6 ผลของค่า  $d_{33}$  ต่อ เวลาที่ใช้ในการโพล [10]

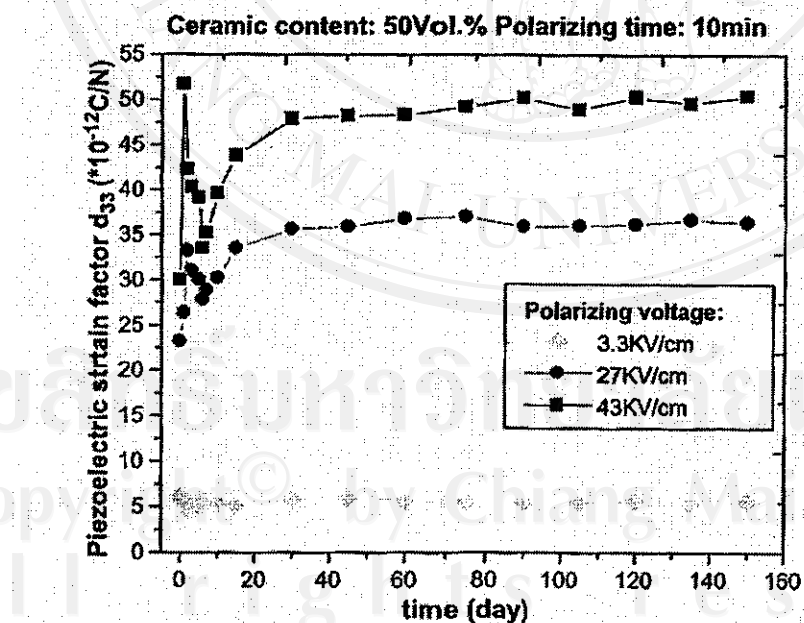


รูป 3.7 ผลของค่า  $d_{33}$  และ  $g_{33}$  ต่อ ปริมาณ PZT ในวัสดุผสม [10]

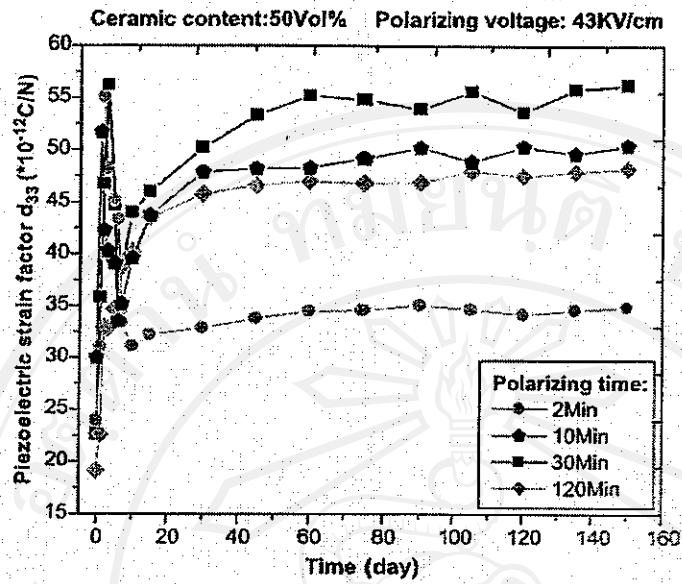
ปีค.ศ. 2004 Zongjin Li, Biqin Dong และ Dong Zhang [11] ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติพิโซอิเล็กทริกและลักษณะเฉพาะของวัสดุพิโซอิเล็กทริก ซึ่งจะเน้นไปทางความสัมพันธ์ของปัจจัยในการโพล เช่น สนามไฟฟ้าที่ให้ เวลาที่ใช้ในการโพล หรือ ปริมาณเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตในระบบและได้มีการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับ วัสดุผสม เซรามิก-พอลิเมอร์อีกด้วย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มสนามไฟฟ้า และ เวลา ในการโพล เมื่อเพิ่มปริมาณเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตในระบบ จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดพิโซอิเล็กทริกที่ดีขึ้น แสดงดังกราฟรูป 3.8-3.11 ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shifeng Huang และคณะ ในปีค.ศ. 2003-2004 เช่นกัน และยังให้ค่าที่สภาพยอมสัมพัทธ์ และค่า  $d_{33}$  ดีกว่าวัสดุผสม เซรามิก-พอลิเมอร์อีกด้วย ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตาราง 3.2



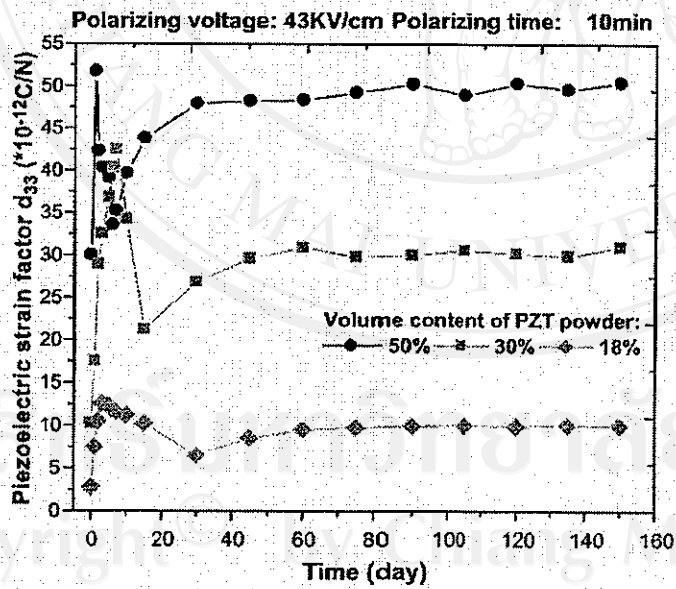
รูป 3.8 ความสัมพันธ์ของค่า  $d_{33}$  ต่อเวลาและปริมาณ PZT ในวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ และวัสดุผสมเซรามิก-พอลิเมอร์ [11]



รูป 3.9 ความสัมพันธ์ของค่า  $d_{33}$  ต่อเวลาและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการโพล [11]



รูป 3.10 ความสัมพันธ์ของค่า  $d_{33}$  ต่อเวลาและระยะเวลาในการโพล [11]

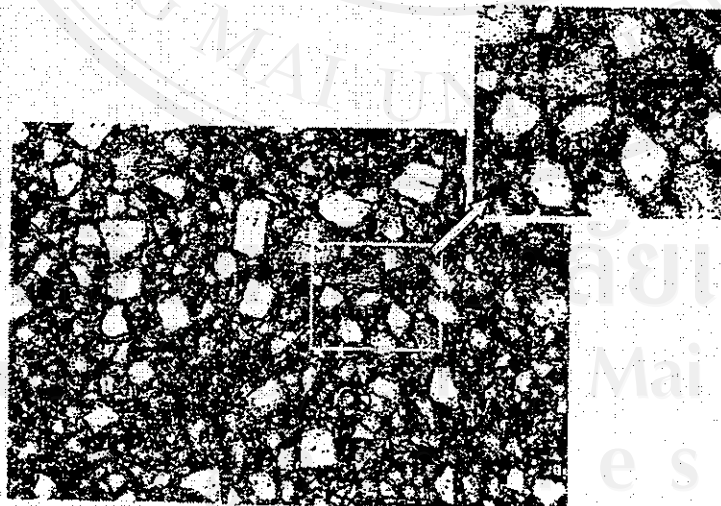


รูป 3.11 ความสัมพันธ์ของค่า  $d_{33}$  ต่อเวลาและปริมาณ PZT ในวัสดุผสม [11]

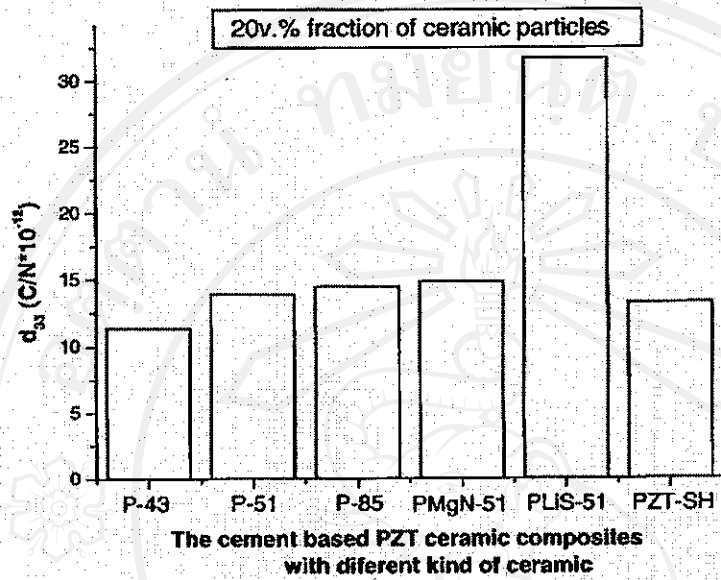
ตาราง 3.2 การเปรียบเทียบค่า  $\epsilon_r$  และ  $d_{33}$  ของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์และวัสดุผสมเซรามิก-พอลิเมอร์ [11]

| Material    | $\epsilon_r$ | $d_{33}$ |
|-------------|--------------|----------|
| Ceramic PZT | 3000         | 500      |
| PZT/PVDF    | 120          | 20       |
| PZT/rubber  | 55           | 35       |
| PZT/POM     | 95           | 17       |
| PZT/cement  | 300          | 55       |

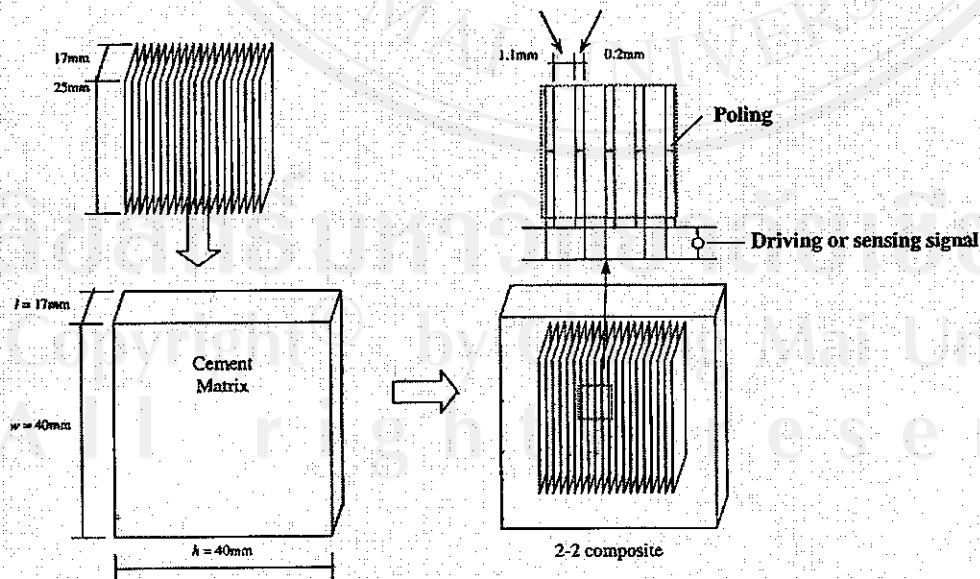
ปีค.ศ. 2005 Biqin Dong และ Zongjin Li [12] ได้ทำการศึกษาถึงการเชื่อมต่อของวัสดุผสมในแบบ 2-2 เพิ่มเข้ามาอีกด้วย และยังศึกษาถึงผลการทดสอบความสามารถในการเป็นตัวขับเคลื่อน (actuator) และเซ็นเซอร์ (sensor) ซึ่งผลที่ได้เป็นที่น่าสนใจแต่ยังไม่ดีพอในการนำไปใช้งานได้จริง ซึ่ง Biqin Dong และ Zongjin Li ได้นำเสนอ โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM ดังรูป 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า  $d_{33}$  ของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ที่มีประเภทของเซรามิกที่ต่างกัน ดังรูป 3.13 และยังแสดงแบบจำลองการวัดค่าของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ แบบ 2-2 ดังรูป 3.14



รูป 3.12 โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM [12]

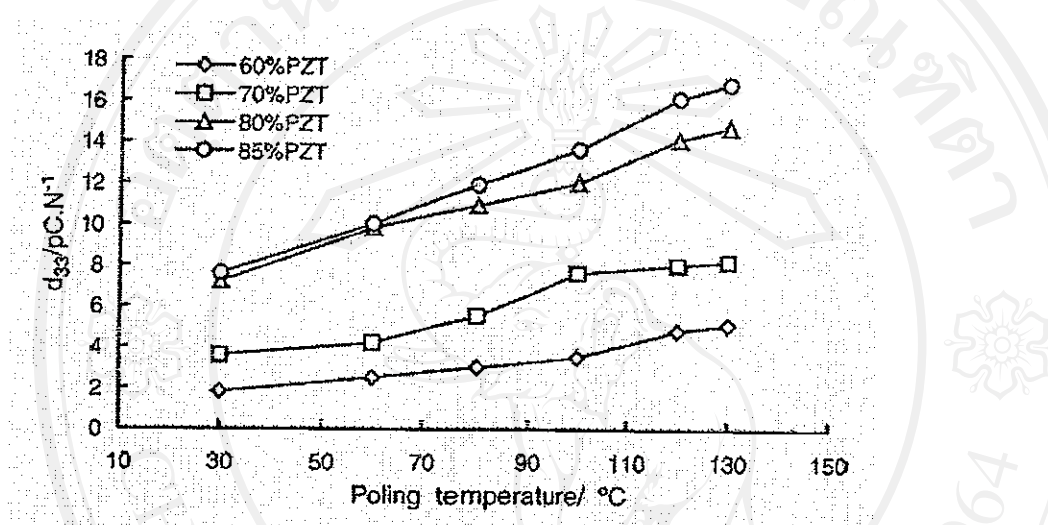


รูป 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า  $d_{33}$  ของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ที่มีประเภทของเซรามิกที่ต่างกัน [12]



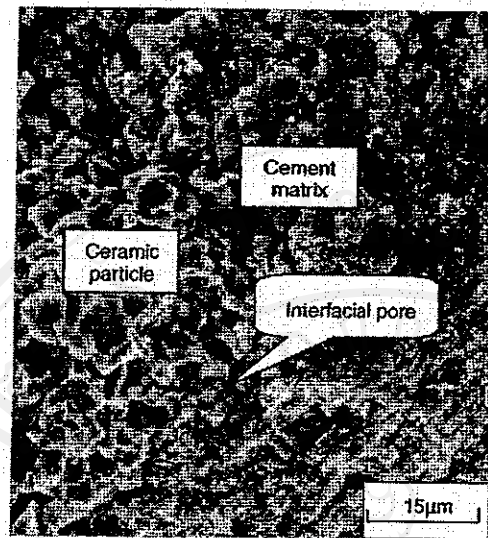
รูป 3.14 แบบจำลองการวัดค่าของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์ แบบ 2-2 [12]

ปีค.ศ. 2005 Shifeng Huang และคณะ[13] ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของอุณหภูมิในการโพล แสดงดังรูป 3.15 ก่อนที่จะทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดพิโซอิเล็กทริก ซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทำโพลที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากว่าที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดพิโซอิเล็กทริกจะมีค่าลดลง

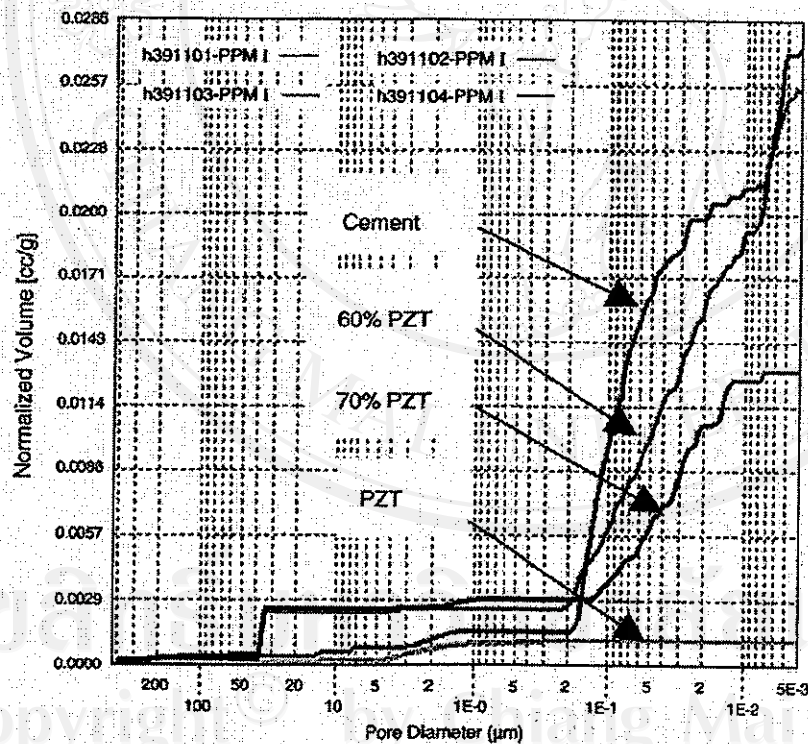


รูป 3.15 ค่า  $d_{33}$  และอุณหภูมิในการโพล [13]

นอกจากนี้ Shifeng Huang และคณะ ยังได้ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุผสมพิโซอิเล็กทริกและปูนซีเมนต์ซัลเฟอร์อัลูมินัต และโครงสร้างของรูพรุน ด้วยกล้อง SEM แสดงดังรูป 3.16 และ 3.17 ซึ่งพบว่ารูพรุนที่มีภายในโครงสร้างของวัสดุผสมและที่อยู่บริเวณรอยต่อระหว่างเฟสของวัสดุผสม จะส่งผลทำให้เกิดกระแสรั่ว (leakage current) ในการโพล ทำให้โพลได้ยาก



รูป 3.16 รูปพรุนระหว่างรอยต่อของเซรามิก PZT และซีเมนต์เมทริกซ์[13]



รูป 3.17 การวิเคราะห์โครงสร้างรูพรุนของ PZT, วัสดุผสม และ ซีเมนต์ด้วย Quanta Chrome POREMASTER-60 Automatic Pore Size Analyzers[13]