



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคเซรามิก

ตาราง ก-1 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาค PZT

ขนาดตะแกรง (mesh)	ช่วงขนาด (μm)	ครั้งที่ 1 (μm)	ครั้งที่ 2 (μm)	ครั้งที่ 3 (μm)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)
-325	<45	26.01	26.44	26.72	26.39
-200+325	45-75	54.39	54.04	52.75	53.73
-120+200	75-125	109.53	106.56	107.22	107.77

ตาราง ก-2 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาค BT

ขนาดตะแกรง (mesh)	ช่วงขนาด (μm)	ครั้งที่ 1 (μm)	ครั้งที่ 2 (μm)	ครั้งที่ 3 (μm)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (μm)
-325	<45	16.08	16.26	16.47	16.27
-200+325	45-75	25.61	25.97	26.17	25.92
-120+200	75-125	94.62	95.70	95.40	95.24

ภาคผนวก ข

ความหนาแน่น

ตาราง ข-1 ความหนาแน่นของเซรามิก PZT และ BT ทดสอบที่อุณหภูมิ 23.8 องศาเซลเซียส

ชั้นทดสอบ	ความหนาแน่น (g/cm ³)	
	PZT	BT
1	7.548	5.434
2	7.649	5.356
3	7.549	5.374
4	7.602	5.313
5	7.582	5.436
6	7.599	5.301
7	7.775	5.256
8	7.538	5.400
9	7.517	5.209
10	7.776	5.091
Avg.	7.614	5.317
SD	0.093	0.109

ตาราง ข-2 ความหนาแน่นของ PVDF/PZT คอมโพสิตที่เติมอนุภาคเซรามิกขนาดต่างๆ

ชั้นทดสอบ	ความหนาแน่น (g/cm ³)		
	PVDF/PZT45	PVDF/PZT45-75	PVDF/PZT75-125
1	3.403	3.499	3.430
2	3.420	3.495	3.593
3	3.456	3.375	3.377
4	3.398	3.511	3.509
5	3.453	3.642	3.679
6	3.334	3.503	3.541
7	3.338	3.377	3.581
8	3.321	3.397	3.826
9	3.398	3.530	3.653
10	3.416	3.414	3.501
Avg.	3.394	3.474	3.569
SD	0.048	0.084	0.130

ตาราง ข-3 ความหนาแน่นของ PVDF/BT คอมโพสิตที่เติมอนุภาคเซรามิกขนาดต่างๆ

ชั้นทดสอบ	ความหนาแน่น (g/cm ³)		
	PVDF/BT45	PVDF/BT45-75	PVDF/BT75-125
1	2.850	2.980	2.921
2	2.879	2.971	2.965
3	2.784	3.037	2.925
4	2.789	2.973	2.889
5	2.819	3.035	2.956
6	2.865	2.839	2.928
7	2.896	2.837	2.878
8	2.901	2.890	2.866
9	2.991	2.925	2.853
10	2.853	2.875	2.915
Avg.	2.863	2.936	2.910
SD	0.061	0.074	0.037

ตาราง ข-4 ความหนาแน่นของ PVDF/PZT คอมโพสิตที่เติมอนุภาคเซรามิกปริมาณต่างๆ ที่ขนาดอนุภาค PZT 75-125 ไมครอน

ชั้นทดสอบ	ความหนาแน่น (g/cm ³)					
	PVDF	PVDF/PZT10	PVDF/PZT20	PVDF/PZT30	PVDF/PZT40	PVDF/PZT50
1	1.707	2.333	2.934	3.430	4.163	4.848
2	1.711	2.386	2.879	3.593	4.241	4.697
3	1.702	2.230	3.042	3.377	4.172	4.790
4	1.724	2.155	2.953	3.509	4.251	4.541
5	1.737	2.305	2.901	3.679	4.176	4.788
6	1.704	2.259	2.912	3.541	4.175	4.657
7	1.737	2.258	3.009	3.581	4.049	4.807
8	1.724	2.202	2.938	3.826	4.225	4.809
9	1.738	2.454	3.042	3.653	4.141	4.729
10	1.726	2.219	2.947	3.501	4.192	4.676
Avg.	1.721	2.280	2.956	3.569	4.179	4.734
SD	0.014	0.091	0.057	0.130	0.058	0.093

ตาราง ข-5 ความหนาแน่นของ PVDF/BT คอมโพสิตที่เติมอนุภาคเซรามิกปริมาณต่างๆ ที่ขนาดอนุภาค BT 75-125 ไมครอน

ชั้นทดสอบ	ความหนาแน่น (g/cm ³)					
	PVDF	PVDF/BT10	PVDF/BT20	PVDF/BT30	PVDF/BT40	PVDF/BT50
1	1.707	2.053	2.341	2.921	3.080	3.627
2	1.711	2.073	2.349	2.965	3.150	3.661
3	1.702	2.081	2.398	2.925	3.175	3.553
4	1.724	2.045	2.367	2.889	3.201	3.603
5	1.737	2.086	2.283	2.956	3.161	3.625
6	1.704	2.025	2.342	2.928	3.012	3.850
7	1.737	2.029	2.336	2.878	3.323	3.864
8	1.724	2.118	2.309	2.866	3.133	3.621
9	1.738	2.026	2.354	2.853	3.013	4.131
10	1.726	2.025	2.360	2.915	3.029	3.683
Avg.	1.721	2.056	2.344	2.910	3.128	3.722
SD	0.014	0.032	0.031	0.037	0.098	0.177

ภาคผนวก ค

สมบัติเชิงไฟฟ้ากล

1. การตอบสนองของค่ามอดุลัสสะสม (Storage modulus response, $\Delta G'$) ของ PVDF/PZT คอมโพลีเมอร์ที่เติมอนุภาค PZT ขนาดต่างๆ และความแรงสนามไฟฟ้าต่างๆ

ตาราง ค-1 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 0.1$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/PZT45	PVDF/PZT45-75	PVDF/PZT75-125
100	4.52×10^4	8.74×10^4	8.16×10^4
500	5.60×10^4	1.12×10^5	7.05×10^5
1,000	8.30×10^4	1.18×10^5	2.31×10^5
1,500	8.11×10^4	1.70×10^5	2.34×10^5
2,000	1.84×10^5	2.27×10^5	2.60×10^5

ตาราง ค-2 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 1.0$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/PZT45	PVDF/PZT45-75	PVDF/PZT75-125
100	2.19×10^4	5.09×10^4	1.17×10^5
500	3.83×10^4	1.26×10^5	1.61×10^5
1,000	5.51×10^4	1.06×10^5	2.30×10^5
1,500	1.27×10^5	2.23×10^5	2.50×10^5
2,000	2.08×10^5	2.85×10^5	2.84×10^5

ตาราง ก-3 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพสิตที่ $\omega = 10$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/PZT45	PVDF/PZT45-75	PVDF/PZT75-125
100	1.23×10^4	2.84×10^4	7.31×10^4
500	3.76×10^4	9.75×10^4	1.18×10^5
1,000	6.15×10^4	7.72×10^4	1.67×10^5
1,500	1.18×10^5	1.83×10^5	2.11×10^5
2,000	2.22×10^5	2.67×10^5	1.74×10^5

ตาราง ก-4 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพสิตที่ $\omega = 100$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/PZT45	PVDF/PZT45-75	PVDF/PZT75-125
100	6.62×10^3	2.38×10^4	6.02×10^4
500	2.93×10^4	9.50×10^4	1.12×10^5
1,000	5.80×10^4	7.73×10^4	1.41×10^5
1,500	1.13×10^5	1.83×10^5	1.66×10^5
2,000	2.29×10^5	2.44×10^5	1.49×10^5

2. การตอบสนองของค่ามอดุลัสสะสม (Storage modulus response, $\Delta G'$) ของ PVDF/BT คอม-
โพลีที่เติมอนุภาค BT ขนาดต่างๆ และความแรงสนามไฟฟ้าต่างๆ

ตาราง ค-5 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพลีที่ $\omega = 0.1$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/BT45	PVDF/BT45-75	PVDF/BT75-125
100	7.48×10^4	7.64×10^4	5.31×10^4
500	5.98×10^4	1.86×10^3	1.04×10^5
1,000	8.72×10^4	5.88×10^4	2.11×10^5
1,500	1.47×10^5	1.87×10^5	3.46×10^5
2,000	2.13×10^5	1.92×10^5	8.14×10^5

ตาราง ค-6 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพลีที่ $\omega = 1.0$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/BT45	PVDF/BT45-75	PVDF/BT75-125
100	9.45×10^4	9.60×10^3	1.37×10^4
500	7.51×10^4	3.10×10^4	1.14×10^5
1,000	1.04×10^5	6.59×10^4	2.60×10^5
1,500	1.87×10^5	8.55×10^4	3.89×10^5
2,000	3.03×10^5	1.51×10^5	9.85×10^5

ตาราง ก-7 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 10$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/BT45	PVDF/BT45-75	PVDF/BT75-125
100	1.79×10^4	1.50×10^3	1.18×10^4
500	4.43×10^4	2.11×10^4	1.41×10^5
1,000	8.11×10^4	1.03×10^5	2.91×10^5
1,500	1.50×10^5	1.22×10^5	4.87×10^5
2,000	2.86×10^5	1.18×10^5	1.02×10^6

ตาราง ก-8 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 100$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)		
	PVDF/BT45	PVDF/BT45-75	PVDF/BT75-125
100	8.81×10^3	6.00×10^2	1.33×10^4
500	2.71×10^4	1.48×10^4	7.71×10^4
1,000	5.81×10^4	3.08×10^4	1.71×10^5
1,500	1.36×10^5	5.78×10^4	3.36×10^5
2,000	2.75×10^5	8.85×10^4	7.11×10^5

3. การตอบสนองของค่ามอดุลัสสะสม (Storage modulus response, $\Delta G'$) ของ PVDF/PZT คอม-
โพลีเมอร์ที่เติมอนุภาค PZT ปริมาณต่างๆ และความแรงสนามไฟฟ้าต่างๆ

ตาราง ค-9 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 0.1$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/PZT10	PVDF/PZT20	PVDF/PZT30	PVDF/PZT40	PVDF/PZT50
100	-	9.60×10^4	8.16×10^4	1.39×10^5	3.33×10^2
500	-	1.20×10^5	7.05×10^4	2.62×10^5	1.90×10^3
1,000	-	1.46×10^5	2.31×10^5	4.76×10^5	3.63×10^3
1,500	-	1.42×10^5	2.34×10^5	6.63×10^5	2.96×10^3
2,000	-	1.64×10^5	2.60×10^5	1.11×10^6	2.31×10^3

ตาราง ค-10 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 1.0$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/PZT10	PVDF/PZT20	PVDF/PZT30	PVDF/PZT40	PVDF/PZT50
100	-	6.05×10^4	1.17×10^5	1.57×10^5	2.92×10^3
500	-	7.68×10^4	1.61×10^5	2.12×10^5	3.66×10^3
1,000	-	1.21×10^5	2.30×10^5	4.03×10^5	4.99×10^3
1,500	-	1.35×10^5	2.50×10^5	5.10×10^5	5.66×10^3
2,000	-	1.81×10^5	2.84×10^5	9.63×10^5	4.75×10^3

ตาราง ก-11 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพสิตที่ $\omega = 10$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/PZT10	PVDF/PZT20	PVDF/PZT30	PVDF/PZT40	PVDF/PZT50
100	-	3.75×10^4	7.31×10^4	5.25×10^4	1.29×10^3
500	-	5.70×10^4	1.18×10^5	5.70×10^4	2.63×10^3
1,000	-	7.36×10^4	1.67×10^5	1.88×10^5	4.69×10^3
1,500	-	1.07×10^5	2.11×10^5	4.62×10^5	5.49×10^3
2,000	-	8.73×10^4	1.74×10^5	9.77×10^5	3.88×10^3

ตาราง ก-12 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพสิตที่ $\omega = 100$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/PZT10	PVDF/PZT20	PVDF/PZT30	PVDF/PZT40	PVDF/PZT50
100	-	1.58×10^4	6.02×10^4	7.53×10^4	1.05×10^3
500	-	1.67×10^4	1.12×10^5	1.17×10^5	9.96E+02
1,000	-	4.84×10^4	1.41×10^5	2.20×10^5	3.28×10^3
1,500	-	7.46×10^4	1.66×10^5	5.81×10^5	2.91×10^3
2,000	-	6.98×10^4	1.49×10^5	9.67×10^5	2.62×10^3

4. การตอบสนองของค่ามอดุลัสสะสม (Storage modulus response, $\Delta G'$) ของ PVDF/BT คอม-
โพลีเมอร์ที่เติมอนุภาค BT ปริมาณต่างๆ และความแรงสนามไฟฟ้าต่างๆ

ตาราง ก-13 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/PZT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 0.1$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/BT10	PVDF/BT20	PVDF/BT30	PVDF/BT40	PVDF/BT50
100	4.20×10^4	1.20×10^5	5.31×10^4	9.23×10^4	2.98×10^5
500	3.32×10^4	1.81×10^5	1.04×10^5	2.04×10^5	3.58×10^5
1,000	3.21×10^4	1.93×10^5	2.11×10^5	4.24×10^5	1.21×10^6
1,500	2.62×10^4	5.21×10^5	3.46×10^5	7.21×10^5	1.40×10^6
2,000	2.42×10^4	7.15×10^5	8.14×10^5	8.06×10^5	1.88×10^6

ตาราง ก-14 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพลีเมอร์ที่ $\omega = 1.0$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/BT10	PVDF/BT20	PVDF/BT30	PVDF/BT40	PVDF/BT50
100	9.34×10^4	1.46×10^5	1.37×10^4	7.15×10^4	2.25×10^5
500	9.80×10^4	2.39×10^5	1.14×10^5	1.81×10^5	6.44×10^5
1,000	5.15×10^4	2.61×10^5	2.60×10^5	3.77×10^5	1.23×10^6
1,500	2.26×10^4	5.58×10^5	3.89×10^5	7.49×10^5	1.91×10^6
2,000	1.18×10^4	9.66×10^5	9.85×10^5	9.94×10^5	2.60×10^6

ตาราง ก-15 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพสิตที่ $\omega = 10$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/BT10	PVDF/BT20	PVDF/BT30	PVDF/BT40	PVDF/BT50
100	8.21×10^4	9.81×10^4	1.18×10^4	7.08×10^4	1.67×10^5
500	6.88×10^4	1.37×10^5	1.41×10^5	1.89×10^5	2.78×10^5
1,000	4.78×10^4	1.95×10^5	2.91×10^5	3.67×10^5	1.20×10^6
1,500	1.78×10^4	3.48×10^5	4.87×10^5	7.83×10^5	1.97×10^6
2,000	5.10×10^3	4.67×10^5	1.02×10^6	9.53×10^5	2.08×10^6

ตาราง ก-16 ค่า $\Delta G'$ ของ PVDF/BT คอมโพสิตที่ $\omega = 100$ rad/s

E-field (V/mm)	$\Delta G'$ (Pa)				
	PVDF/BT10	PVDF/BT20	PVDF/BT30	PVDF/BT40	PVDF/BT50
100	2.97×10^4	4.93×10^4	1.33×10^4	5.99×10^4	1.55×10^5
500	1.53×10^4	8.99×10^4	7.71×10^4	2.10×10^5	2.48×10^5
1,000	1.08×10^4	1.05×10^5	1.71×10^5	3.52×10^5	1.11×10^6
1,500	2.80×10^3	1.31×10^5	3.36×10^5	7.55×10^5	1.72×10^6
2,000	2.20×10^3	2.66×10^5	7.11×10^5	9.25×10^5	2.01×10^6

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล

นางสาวดารณี โพธิ์อยู่

วัน เดือน ปีเกิด

16 มกราคม 2529

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนิคมศิลปอุตสาหกรรม
จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีการศึกษา 2546

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2550

ผลงานวิจัย

- Daranee Phoyu, Datchanee Pattavarakorn and Supatta Wongsanmai,
Electrical and Electromechanical Properties of Piezoelectric Energy
Harvesting Barium Titanate/PVDF Composite, The proceedings of The
17th Regional Symposium on Chemical Engineering (2010).