รายการอ้างอิง

1. ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. การตรวจสอบด้วยคลื่นอะคูสติก. วารสารเทคนิค 115 (กันยายน 2537): 133-139.
2. ซาโตะ ฟูจิอิ. การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) (2543):
3. P. Inacio, C. J. Dias and J. N. Marat-Mendes., Acoustic Emission Sensors Based on Ferroelectric Composites. 10th International Symposium on Electrets, IEEE, European Cultural Centre of Delphi, Greece. (1999)
4. S. Or, H. Chan and C. Choy., P(VDF-TrFE) copolymer acoustic emission sensors. J. Sensors and Actuators. 80 (2000): 237-241.
5. เรือโทอนุชา เรืองสวัสดิ์, การออกแบบและการเตรียมเพียโซอิเล็กทริกอัลตราโซนิคแทรนส์ดิวเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
6. ชัชชัย พุฒซ้อน, การพัฒนาแผ่นฟิล์มโพลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์เพื่อเป็นตัวทรานดิวเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
7. L. Kinsler, A. Frey, A. Coppens and J. Sanders, Fundamentals of Acoustic, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., 1999
8. H. Kuttruff, Ultrasonic Fundamentals and Applications, Elsevier Science Publishers, 1988
9. H. Pollard, Sound Waves in Solids. London: Pion Limited, 1977.
10. W. Smith, Materials Science and Engineering 2 nd ed. Mcgraw-Hill, 1993
11. PVDF structure, Available from: http://www.chemistry.helsinki.fi/polylab/research/labkuvat.html

12. PVDF beta phase, Piezoelectric Polymer. Available from: http://www.physics.montana.edu/piezopoly.htm

13. Hysteresis loop, Available from: http://www.epfl.ch/people/foeth/images/hysteresis.html

14. APC International. Ltd. Piezo Theory [online]. Available from: http://www.americanpiezo.com/piezo_theory/index.html

15. W. Haifeng, R. Tim, C. Wenwu, and S. Kirk, High Frequency Properties Passive Materials for Ultrasonic Transducers. IEEE Trans. Ultrason. Ferroelect. Freq. Contr. 48 (2001): 78-84.

16. R. Selfridge., Approximate Material Properties in Isotropic Materials. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonic. 32 (1985): 381-384.

17. L. Dong and J. Mistry., Acoustic emission monitoring of composite cylinders. J. Composite Structures. 40 (1998): 43-53.

18. J. Park, J. Kong, D. Kim and D. Yoon., Nondestructive damage detection and interfacial evaluation of single-fibers/epoxy composites using PZT, PVDF and P(VDF-TrFE) copolymer sensors J.Composites Science and Technology. 65 (2005): 241-256.

19. M. Duncan and J. Whittaker., Acoustic Emission Calibration Instrumentation J. Instrumentation & Measurement. 38 (1989): 827-831.

20. Standard Guide for Determining the Reproducibility of Acoustic Emission Sensor Response, ASTM Standard (1984), No. E 976-84

21. S. Haykin and B. Veen., Signals and Systems (1999): 20-21.

22. T. Kaewkongka and Y. Joe, Application of acoustic emission to condition monitoring of rolling element bearings J. Measurement & Control. 32 (2001): 245-247

23. S. Anuphap-udom, K. Ratanathammapan and T. Kaewkongka., Fabricated PVDF Acoustic Emission Sensor for Lubrication Bearing Monitoring J. Scientific Research. Chulalongkorn 30 No. 2 (2006): 115-119

24. S. Anuphap-udom, T. Kaewkongka and K. Ratanathammapan., A novel fabricated acoustic emission sensors using PVDF film. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. (2005)

25. S. Anuphap-udom, K. Ratanathammapan, and T. Kaewkongka., Pipeline leak monitoring using PVDF acoustic emission sensor. 2nd Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress, National University of Singapore. (2006)

26. S. Anuphap-udom, K. Ratanathammapan, N. Traiphol, P. Laoratanakul and T. Kaewkongka., A fabricated PZT acoustic emission sensor for pipeline leakage monitoring. 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, Queen Sirikit National Convention Center. (2006)

ผลงานตีพิมพ์

วารสาร

1. S. Anuphap-udom, K. Ratanathammapan and T. Kaewkongka "Fabricated PVDF Acoustic Emission Sensor for Lubrication Bearing Monitoring" J. Scientific Research Chulalongkorn University Vol.31 No.2 (2006): 115-119

การประชุมวิชาการ

1. S. Anuphap-udom, T. Kaewkongka and K. Ratanathammapan
   A novel fabricated acoustic emission sensors using PVDF film" 31 st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology (2005).

2. S. Anuphap-udom, K. Ratanathammapan, N. Traiphol, P. Laoratanakul and T. Kaewkongka "A fabricated PZT acoustic emission sensor for pipeline leakage monitoring" 32nd Congress on Science and Technology of Thailand, Queen Sirikit National Convention Center (2006).

3. S. Anuphap-udom, K. Ratanathammapan, and T. Kaewkongka "Pipeline leak monitoring using PVDF acoustic emission sensor" 2nd Mathematics and Physical Sciences Graduate Congress, National University of Singapore (2006).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ตารางแสดงสมบัติของฟิล์ม PVDF

Table 1. Typical properties of piezo film

Symbol	Parameter		PVDF	Copolymer	Units
t	Thickness		9, 28, 52, 110	<1 to 1200	μm (micron, 10^{-6})
d_{31}	Piezo Strain Constant		23	11	10^{-12} $\frac{m/m}{V/m}$ or $\frac{C/m^2}{N/m^2}$
d_{33}			-33	-38	
g_{31}	Piezo Stress constant		216	162	10^{-3} $\frac{V/m}{N/m^2}$ or $\frac{m/m}{C/m^2}$
g_{33}			-330	-542	
k_{31}	Electromechanical Coupling Factor		12%	20%	
k_t			14%	25-29%	
C	Capacitance		380 for 28μm	68 for 100μm	pF/cm^2 @ 1KHz
Y	Young's Modulus		2-4	3-5	10^9 N/m^2
V_0	Speed of Sound	stretch:	1.5	2.3	10^3 m/s
		thickness:	2.2	2.4	
p	Pyroelectric Coefficient		30	40	10^{-6} C/m^2 °K
ε	Permittivity		106-113	65-75	10^{-12} F/m
$\varepsilon/\varepsilon_0$	Relative Permittivity		12-13	7-8	
ρ_m	Mass Density		1.78	1.82	10^3kg/m
ρ_e	Volume Resistivity		>10^{13}	>10^{14}	Ohm meters
$R_\square$	Surface Metallization Resistivity		<3.0	<3.0	Ohms/square for NiAl
$R_\square$			0.1	0.1	Ohms/square for Ag Ink
tan δ_e	Loss Tangent		0.02	0.015	@ 1KHz
	Yield Strength		45-55	20-30	10^6 N/m^2 (stretch axis)
	Temperature Range		-40 to 80...100	-40 to 115...145	°C
	Water Absorption		<0.02	<0.02	% H_2O
	Maximum Operating Voltage		750 (30)	750 (30)	V/mil(V/μm), DC, @ 25°C
	Breakdown Voltage		2000 (80)	2000 (80)	V/mil(V/μm), DC, @ 25°C

ภาคผนวก ข. สมการ AE_{RMS}

$$AE_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2 dt}$$

เมื่อ AE_{RMS} คือ พลังงานของคลื่นอะคูสติก

$v(t)$ คือ ค่าแอมปลิจูดของคลื่นอะคูสติก

T คือ คาบของสัญญาณ

ภาคผนวก ค. สมการ Fourier Transform และ algorithm ของ FFT

สมการ Fourier Transform

$$Y(t)=\int_{0}^{t} y(t)e^{-j\omega t}dt$$

เมื่อ Y(t) คือ แอมปลิจูดในแกนความถี่

y(t) คือ แอมปลิจูดในแกนเวลา

T คือ คาบของสัญญาณ

ω คือ ความเร็วเชิงมุม

รายละเอียดของ Algorithm ของ FFT

```
>> load test1.txt;                  // โหลดข้อมูลชื่อ test1
>> fs = 500000;                     // กำหนดค่า sampling rate เท่ากับ 500000
>> t = 0:1/fs:1.25;                 // กำหนดตัวแปร t คือ เวลา
>> A = test1(:,2);                  // กำหนดตัวแปร A คือ แอมปลิจูดจากข้อมูลชื่อ test1
>> subplot(121)
>> plot(1000*t(1:2500),A(1:2500))  // เขียนกราฟระหว่าง t กับ Aโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 2500 จุด
>> title('Acoustic emission raw signal')  // กำหนดชื่อเรื่อง
>> xlabel('time (ms)')              // กำหนดชื่อแกน x
>> ylabel('Amplitude(V)')           // กำหนดชื่อแกน y
>> n = length(A);                   // กำหนดตัวแปร n คือจำนวนข้อมูลของตัวแปร A
>> Y = fft(A,n);                    // กำหนดตัวแปร Y คือค่าที่ได้จากการแปลง FFT ของ A
>> Py = Y.*conj(Y)/n;               // กำหนดตัวแปร Py คือ ค่ากำลัง
>> f = (1:n/2)*fs/(n);              // กำหนดตัวแปร f คือค่าความถี่
>> subplot(122)
>> plot(f/1000,Py(1:n/2))           // เขียนกราฟระหว่าง f กับ Py
>> title('Power spectrum density')
>> xlabel('Frequency (kHz)')
>> ylabel('Power (V^2/Hz)')
```

ภาคผนวก ง. ผลการวัดค่าความหนาแน่น อัตราเร็วเสียงและค่าอิมพีแดนซ์ทางเสียงในวัสดุผสมกาวอีพอกซีและทังสเตน

สัดส่วนปริมาตรของทังสเตน (%)	วัดครั้งที่	ความหนาแน่น (kg/m^3)	อัตราเร็วเสียง (m/s)	อิมพีแดนซ์ทางเสียง (MRayl)
0	1	1,125.40	2,635.63	2.96614
	2	1,133.90	2,631.71	2.98409
	3	1,138.41	2,619.46	2.98201
	4	1,141.12	2,605.01	2.97262
	5	1,123.25	2,637.89	2.96301
2	1	1,988.34	1,596.92	3.17522
	2	1,983.75	1,603.81	3.18156
	3	1,941.20	1,639.23	3.18207
	4	1,944.62	1,639.06	3.18735
	5	1,917.87	1,660.46	3.18455
5	1	2,939.45	1,245.67	3.66158
	2	3,026.32	1,221.45	3.69650
	3	2,955.87	1,231.83	3.64113
	4	3,017.04	1,226.64	3.70082
	5	2,966.15	1,228.37	3.64353

ภาคผนวก จ. ผลการวัดค่าพลังงาน AE $_{RMS}$ และค่าความถี่ต่อการตอบสนองที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ PVDF แต่ละตัว

ตัวตรวจจับ	วัดครั้งที่	ค่า AE $_{RMS}$ (V)	ความถี่ต่อการตอบสนอง (kHz)
T1	1	0.0292	48.34
	2	0.0261	48.29
	3	0.0309	48.35
	4	0.0244	48.34
	5	0.0234	48.42
T2	1	0.0155	38.02
	2	0.0111	37.88
	3	0.0088	38.00
	4	0.0092	38.15
	5	0.0105	37.67
T3	1	0.0133	29.15
	2	0.0170	29.25
	3	0.0138	28.99
	4	0.0198	29.12
	5	0.0143	28.87

ภาคผนวก ฉ. ผลการวัดค่าพลังงาน AE_{RMS} และค่าความถี่ต่อการตอบสนองที่ตรวจจับได้จากตัวตรวจจับ PZT แต่ละตัว

ตัวตรวจจับ	วัดครั้งที่	ค่า AE_{RMS} (V)	ความถี่ต่อการตอบสนอง (kHz)
T4	1	0.0334	50.04
	2	0.0237	50.05
	3	0.0256	50.05
	4	0.0337	49.98
	5	0.0383	49.93
T5	1	0.0247	105.25
	2	0.0343	105.31
	3	0.0243	105.77
	4	0.0409	105.63
	5	0.0252	105.40
T6	1	0.0216	209.11
	2	0.0189	209.03
	3	0.0156	208.85
	4	0.0140	209.54
	5	0.0086	208.68

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสิทธิชัย อนุภาพอุดม เกิดเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบ้านฉางกาญจนกุลวิทยา จังหวัดระยอง ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีในปีการศึกษา 2542 ในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ หลังจากจบการศึกษาในระดับปริญญาตรีแล้ว ได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546