論 文

韓國非破壞檢査學會誌
Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing
第24號 Vol.12, No. 4 (1992)

음향방출 신호의 검출을 위한 공진형 및 광대역 센서 제작과 특성평가

김 병 극 · 김 영 환

Development and Characterization of High-Performance Acoustic Emission Sensors

B. G. Kim and Y. H. Kim

Abstract Three types of piezoelectric sensors to detect acoustic emission signals were developed and characterized. Epicentral displacement and velocity of a plate to have infinite boundary were calculated by convolution between a Green's function and a simulated source time function to show parabolic rising charateristic. The sensor calibration system set up was composed of a steel plate, a glass capillary, an indentor and a load cell indicator. The transient elastic signals were detected by the sensors. The results were compared with the theoretical results and Fast Fourier Transformed. As the results, the sensor fabricated using a disk shape of a piezoelectric PZT element showed res-onant characteristics. The sensors fabricated using a conical shape PZT element and a PVDF polymer film showed the wide band characteristics for particle displacement and velocity, respectively. The calculated results showed good agreements with the transient responses in the cases of the wide band sensors and it was confirmed that the simulated source time function had been properly assumed.

1. 서 론

음향방출(Acoustic Emission : AE)은 물체 내부나 표면에서 변형[1]이나 균열성장[2] 또는 상변태[3] 등에 의하여 응력이 급격히 변화할 때 탄성파가 방출되는 현상이다. 이러한 현상을 이용한 AE시험은 구조물의 변형이나 파괴시 방출되는 탄성파를 검출함으로서 구조물의 안전도 진단에 이용되고 있으며 근래에는 탄성파원의 해석[4]이나 재질평가[5]를 위하여 탄성파의 파형을 정량적으로 분석하는 연구에 이용되고 있다.

구조물의 안전도 진단을 위한 AE시험은 주로 공진형 AE센서를 사용하여 수신되는

한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standards and Science)
접수 : 1992년 8월 27일(Received August 27, 1992)

탄성파의 개수를 세거나 Ringdown Count, Event Duration, Peak Amplitude등의 AE변수와 구조물 상태의 상관관계에 대한 연구이다. 이 경우는 센서의 정량적인 특성이 차지하는 비중이 그리 크지 않고 단지 센서의 감도, S/N비, 공진주파수 등 정성적인 특성이 보다 큰 의미를 지닌다. 탄성파원의 특성 및 전달매질의 음향적 특성에 대한 연구에서는 수신된 파형을 정량적으로 분석해야 하므로 넓은 주파수 대역에서 탄성파의 신호를 왜곡없이 검출할 수 있는 센서가 요구된다. 최근 20년 동안 광대역 AE감지기술로서 레이저 간섭계[6], Capacitive센서[7], 압전 센서 등이 개발되어 왔다. 압전 센서는 수신 감도가 높고, 가격이 저렴하고 복잡한 설치기술을 요구하지 않는 장점이 있다. 광대역 특성이 우수한 대표적인 압전 센서로서 원추형(Conical Shape) PZT압전 소자와 PVDF(Polyvinylidene Fluoride)압전 Polymer를 이용하여 각각 시험체의 표면 변위와 표면의 운동 속도에 대한 광대역 센서로 제작될 수 있음이 보고되어 왔다.[8,9]

또한 정량적인 신호분석을 위해서는 센서를 사용하기 전에 그 센서의 정확한 특성을 파악하는 교정이 요구되는데 이를 위한 여러가지 이론적 계산과 실험이 수행되어 왔다. 무한평판형 탄성 고체의 표면에서의 이론적인 변위와 속도는 Generalized Ray Theory로부터 구해지는 Green함수를 이용하여 용이하게 계산되어 왔다.[10,11] 또한 계산된 결과와 비교가 가능하고 센서의 주파수 특성을 용이하게 파악하기 위해서 특성이 알려진 광대역 탄성파원을 이용한 실험이 수행되어 왔다. 특성이 알려진 광대역 탄성파원으로는 Delta 또는 Impulse형태의 힘을 발생하는 기술로서 전기방전[12], 고출력 펄스 레이저[13], 강철구 낙하[14] 등이 있으며 Step Force를 발생하는 기술로서 전기용량(Capacitance)에 의한 Coulomb Force[15], Step전압에 의하여 구동되는 원추형 압전소자, 연필심 파괴[16], 유리모세관(Glass Capillary Tube)파괴[17] 등이 있다. 여기에서 유리모세관 파괴에 의하여 발생된 Step Force는 비교적 높은 에너지와 짧은 Rise Time의 특성을 지닌 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 음향방출시험용 센서 개발을 위한 연구[18]에서 제작된 여러가지의 공진형 및 광대역 AE압전센서들 중 대표적인 것들의 제작과정과 특성 평가방법 그리고 평가결과에 대해서 기술하고자 한다. 먼저 표면에서의 이론적인 변위와 속도의 계산으로서 무한평판형 탄성고체에서의 Green함수와 실제로 가해지는 힘의 형태와 유사하도록 가정된 Parabolic Rising특성의 Source Time Function의 Convolution에 대하여 기술하였다. 다음으로 원판형 PZT압전소자를 사용한 공진형 AE센서, 원추형 압전소자를 사용한 광대역 변위 센서, PVDF압전 Polymer를 이용한 광대역 속도 센서와 Noise차폐 및 부착이 요구되는 현장용으로 Housing을 한 내장형 광대역 변위 센서의 제작과정에 대하여 기술하였다. 그리고 탄성파의 전달매질로서 Steel Block과 탄성파원으로서 유리모세관을 이용한 AE센서 교정계에 대하여 기술하였다. 마지막으로 제작된 센서들을 사용한 과도파(Transient Wave)신호의 검출, 측정 신호와 이론적인 결과의 비교, Fourier변환에 의한 주파수 스펙트럼 분석에 대하여 기술하였다.[19]

2. 진앙점 표면의 변위 및 속도의 계산

일정한 두께의 무한한 평판형의 탄성고체에 대한 전달매질의 특성을 나타내는 Green함수는 응력변화가 탄성파에 의하여 매질로 전파되어 시험체의 변형을 일으키는 것으로 가정하는 Generalized Ray Theory에 의하여 이론적으로 구할 수 있다. Fig. 1은 초음파의 감쇠 및 분산(Dispersion)이 없다고 가정된 무한평판형 탄성고체의 진앙점(Epicenter)에서의 Green함수를 보여주고 있다. 이때 Green함수의 계산은 Fortran어로 짜여진 Program[11]으로 수행되었는데 사용한 변수는 평판의 두께 30mm, 종파 전파속도 5930m/s, 횡파의 속도 3240m/s로서 센서 교정을 위하여 제작된 전달매질의 실제의 변수와 같은 값을

이용하였다.

시험체의 표면 변위 U(t)는 Green함수의 시간미분 함수 $\dot{G}$와 힘 F와의 Convolution으로 다음과 같이 시간의 함수로 주어진다.[9]

$$U(t) = \dot{G} * F = \int_{to}^{t} \dot{G}(t - t')F(t')dt' \quad \cdots(1)$$

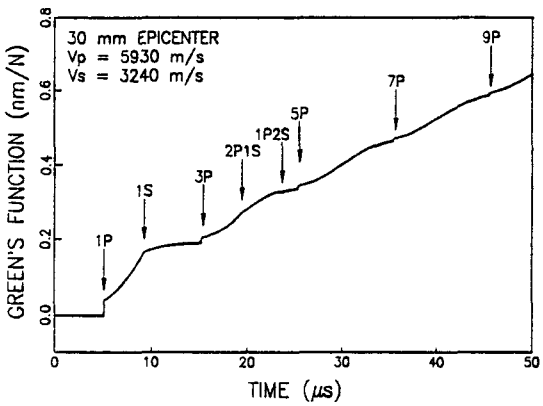


Fig. 1 Calculated green's function at the epicenter of a steel plate of thickness 30mm.

그리고 표면운동 속도 V(t)는 변위의 시간에 관한 미분으로 다음과 같이 주어진다.

$$V(t) = \frac{dU}{dt} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

Fig. 1의 Green함수는 Rise Time이 0인 이상적인 Step Force가 가해졌을 때에 진앙점에서의 변위의 시간적 변화를 보여준다고 할 수 있다. 그림에서 'P'와 'S'는 각각 종파와 횡파를 의미하며 앞에 붙은 숫자는 각 음파가 평판의 두께를 한번 경과하는데 걸리는 시간을 기준으로 평판의 상하계면에서의 음파의 총 경과시간을 나타낸다. 예로서 '2PIS'는 파원으로부터 발생된 종파가 평판의 반대편 계면에서 반사되어 되돌아와 횡파로 모드 변환된 후 평판을 가로질러 진앙점에 도달한 시간적 위치를 나타낸다. 그림에 나타나듯이 각 종파가 도달될 때 변위가 Rise Time 0으로 수직상승함을 보이고 있으며 이때 대응하는 속도는 무한대가 되어서 실제의 경우와 잘 맞지 않게 된다.

따라서 실제의 실험적 결과와 대응되는 표면 변위와 속도의 계산을 위해서는 어느정도 크기의 Rise Time을 가지는 Step Force(또는 Source Function)를 가정하는 것이 요구된다. 종파의 도달 시점에서 표면의 변위가 시간에 대하여 미분가능하고 표면 속도가 유한한 크기의 속도로 계산될 수 있도록 Source Time Function을 식(3)과 같이 Parabolic Rising특성[20]을 지닌 Step Function으로 가정하였으며 Fig. 2는 가정된 Source Time Function f(t)의 형태를 보여주고 있다.

$$f(t) = \frac{1}{\Delta}\left[\frac{t^2}{2} - (t-\Delta)^2 H(t-\Delta) + (t-2\Delta)^2 \frac{H(t-2\Delta)}{2}\right] \quad \cdots (3)$$

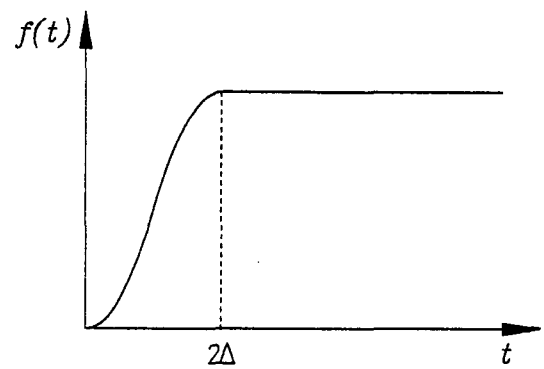


Fig. 2 The simulated source time function of parabolic rising characteristic with rise time 2Δ.

여기서 H는 Heaviside Function이며 2Δ는 Rise Time이다.

본 연구에서는 비교적 Rise Time이 짧으면서 Power가 큰 Step Force를 발생하기 위하여 유리모세관을 파괴하였는데 이때 측정된 Rise Time은 약 300ns이었다.[21] Fig. 3(a)는 Fig. 1의 Green함수와 2Δ를 300ns로 할 때 식(3)의 Source Time Function을 식(1)의 Convolution에 의하여 계산한 표면의 변위를 보여주고 있다. Fig. 3(b)는 이 결과를

시간에 대하여 미분하여 계산한 표면의 속도를 보여주고 있다. 이 결과들은 Rise Time 0인 경우에 대응하는 Fig. 1의 결과와는 달리 종파가 도달하는 위치에서 표면의 변위가 Rise Time이 있어서 기울기를 가지고 증가하며 대응하는 표면의 속도는 유한한 크기로 나타남을 보여주고 있다.

3. AE센서 제작

3.1 공진형 AE센서

Fig. 4(a)는 원판형 PZT압전소자를 사용하여 제작된 공진형 센서(센서A)의 구조를 보

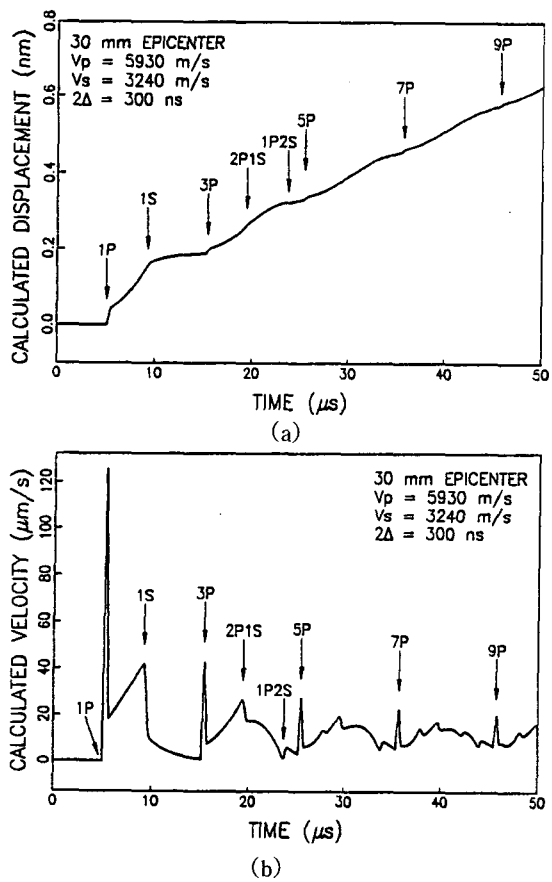


Fig. 3 (a) Displacement and (b) Velocity at the epicenter calculated using the sim-ulated step force with rise time 300 ns against a steel plate of thickness 30mm.

이고 있다. 사용된 압전소자는 EDO사의 EC-65로서 두께가 3.78mm, 직경이 12.7mm로서 두께 방향으로 분극(Polarization)된 것이었다. Wear Plate는 음향임피던스(Acoustic Impedance) Matching을 고려하여 음향임피던스 $41\times10^6 kg/m^2s$의 Alumina(Al_2O_3) 원판을 5MHz이하의 주파수 범위에서 자체의 공진 Peak가 형성되지 않도록 0.4mm의 얇은 두께로 제작하여 사용하였다. 압전소자와 Back-Load의 전선의 인출 및 부착을 위하여 0.025mm두께의 리본형 은선(Ribbon Type Silver Wire)을 사용하였으며 부착을 위하여 상온경화에폭시를 사용하여 가압하에서 경화시켰다.

3.2 광대역 변위 센서

Fig. 4(b)는 EDO사의 EC-65재질의 원추

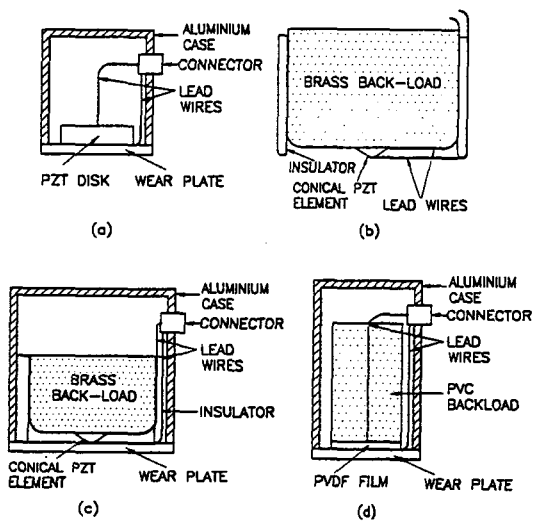


Fig. 4 Construction of fabricated AE sensors. (a) a resonant type sensor, (b) a wide band type displacement sensor, (c) a wide band type displacement sensor in a housing and (d) a wide band type velocity sensor.

형 PZT압전소자를 사용하여 제작된 광대역 변위 센서(센서B)의 구조를 보이고 있다. 사용된 압전소자는 높이가 3.5mm, Silver Coat-ing된 상하 전극면의 직경이 각각 6mm, 1

mm이었으며 높이 방향으로 분극된 것이었다. Back-Load는 직경 45mm, 높이 30mm로 제작한 Brass였다. 원추형 압전소자와 Back-Load의 전선의 인출 및 부착을 위하여 리본형 은선을 사용하였으며 전극의 마모방지와 비전도성 시험체에서의 시험을 위하여 압전소자의 작은 전극면에 리본형 은선을 Solder-ing하였다.

Fig. 4(c)는 센서B에 사용된 같은 종류의 원추형 PZT압전소자를 두께 14mm, 직경 25.8mm의 Brass Back-Load에 부착하고 이를 Housing안에 내장시킨 것(센서C)이다. 이때 사용된 Wear Plate는 0.4mm의 두께의 Alumina원판이었다.

3.3 광대역 속도 센서

Fig. 4(d)는 Pennwalt사의 PVDF압전 Polymer Film을 사용하여 제작된 광대역 속도 센서(센서D)의 구조를 보이고 있다. 제작에 사용된 압전소자는 전극의 전도성이 좋도록 금이 증착된 것으로 두께가 110μm이었으며 직경 12.7mm의 원형으로 잘라서 사용하였다. Back-Load는 PVDF와 음향임피던스가 비슷한 PVC를 높이 30mm, 직경 12.7mm로 제작하여 사용하였다. Wear Plate는 0.4mm 두께의 Alumina 원판이었고 PVDF의 양면에서의 전선 인출과 Back-Load와 Wear Plate에 부착을 위하여 리본형 은선을 사용하였다.

4. 개발된 AE센서의 특성 측정

4.1 AE센서 교정계 설치

제작된 광대역 변환기들의 특성을 평가하기 위하여 Fig. 5와 같은 실험계를 구성하였다. 탄성파의 전달매질로 두께 30mm, 직경 250mm의 Steel 원판을 사용하였으며 표면에서의 탄성파의 반사가 잘 되도록 표면을 거울같이 연마하여 준비하였다. Step Force형태의 탄성파원의 발생을 위하여 Vitro Dynam-ic사의 내경 0.15mm, 외경 0.25mm의 유리모세관을 수동으로 구동되는 Translator에 부착된 Indentor로 눌러서 파괴하였다. 이때 발생되는 Step Force의 Rise Time은 약 300ns로 측정되었다.[21] Indentor는 직경 4.65mm의 Tungsten Carbide(WC)봉으로 Steel 원판에 수평으로 유리모세관에 수직이 되도록 위치시켰다. 이때 유리관 파괴시 요구되는 최대 힘의 크기를 측정하기 위하여 Peak Detector가 부착된 Load Cell Indicator를 사용하였다. 제작된 AE센서들은 탄성파가 발생되는 위치 즉 유리모세관이 파괴되는 곳의 진앙점에 위치시켰으며 SAE Oil을 Couplent로 사용하였다. 변환기로부터의 출력신호는 사전 증폭없이 직접 Digital Oscilloscope에 50ns Sampling Rate로 기록하였으며 분석을 위하여 컴퓨터에 전송하였다.

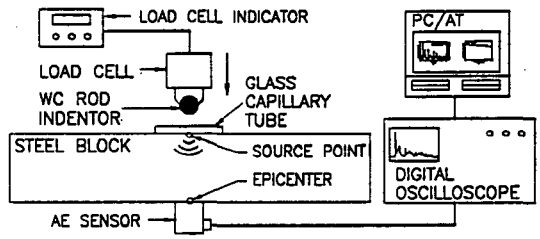
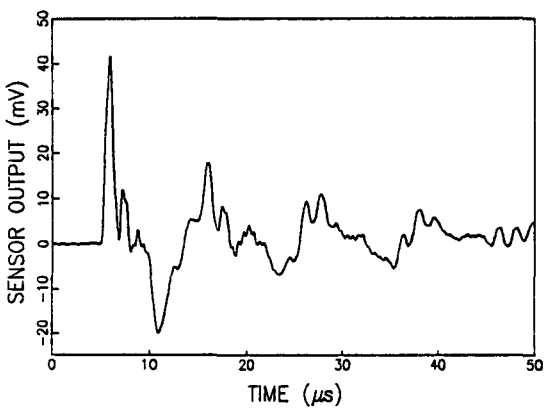


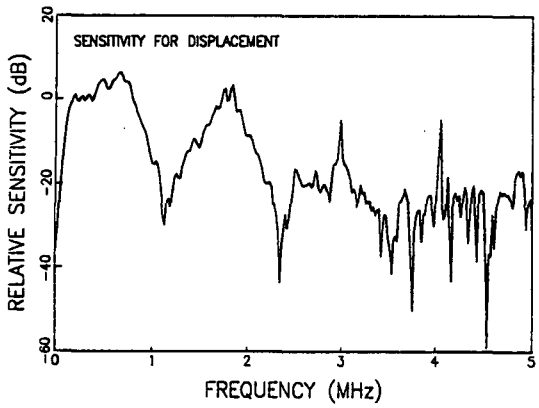
Fig. 5 Schematic diagram of the system set up to characterize AE sensors.

4.2 공진형 센서의 특성 측정

Fig. 6(a)는 유리모세관 파괴에 의해 발생된 과도파를 진앙점에서 센서A로 검출한 신호를 보여주고 있다. 여기서 센서의 출력이 Fig. 6(b)에 나타낸 이론적인 표면의 변위 신호와 다소 유사한 형태를 보이고 있으나



(a)



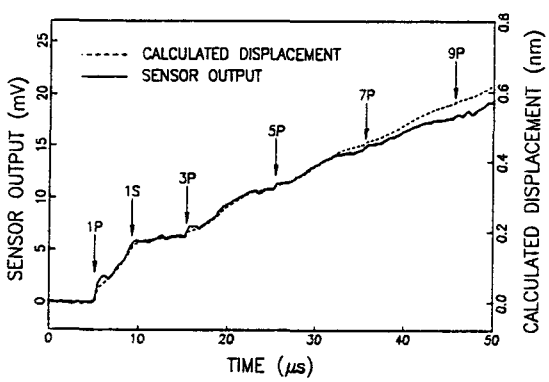
(b)

Fig. 6 (a) Transient output signal from the sensor A. (b) Its sensitivity spectrum for displacement.

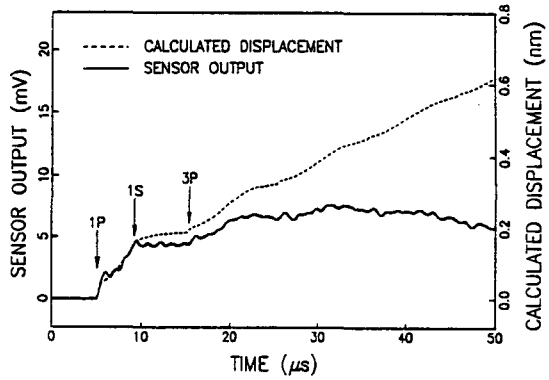
압전소자의 공진특성에 의하여 이론적인 변위나 속도 신호와는 크게 다름을 알 수 있다. Fig. 6(b)는 센서A의 표면 변위에 대한 수신감도(Sensitivity)를 DC에서 5MHz까지 주파수에 따라서 나타낸 것이다. 이 주파수 스펙트럼은 센서A에 의하여 수신된 Fig. 6(a)의 신호에 대하여 FFT(Fast Fourier Transform)한 결과를 이론적으로 계산된 변위에 대한 FFT결과로 나누어서 얻은 결과이다. 6 dB대역폭(Band Width)이 약 400kHz에서 800kHz까지이며 중심 주파수가 600kHz로서 공진 특성이 잘 나타나고 있다.

4.3 광대역 변위 센서의 특성 측정

Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각각 유리모세관



(a)



(b)

Fig. 7 (a) Transient output signal(solid line) from the sensor B and calculated displacement(dashed line). (b) Transient output signal(solid line) from the sensor C and calculated displacement(dashed line).

파괴에 의해 발생된 과도파를 진앙점에서 센서B와 센서C로 검출한 신호들을 실선으로 이론적으로 계산된 변위를 점선으로 비교하여 나타낸 것이다. 센서B의 경우 7P파가 도달하는 35μs까지 그리고 센서C의 경우는 1S파가 도달하는 10μs까지 정량적으로 이론적인 결과와 잘 일치하고 있으며 그 이후에도 정성적으로 일치하고 있음을 보이고 있다. 또한 300ns의 Rise Time을 가지고 Parabolic Rising특성을 지닌 것으로 Source Time Function을 가정함으로서 나타난 결과인 P1파의 도달시점에서의 이론적인 변위의 증가율과 두 센서의 출력 신호의 증가율과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 제작된 센서들이 표면의 변위를 정량적으로 검출하는 광대역 변위 센서로 제작되었음을 의미한다.

Fig. 8은 센서B와 센서C의 표면 변위에 대한 수신 감도를 DC에서 2MHz까지의 주파수 범위에서 나타낸 주파수 스펙트럼으로 각각 실선과 점선으로 나타내었다. 이 주파수 스펙트럼들은 센서에 의하여 수신된 신호에 대하여 FFT한 결과를 이론적으로 계산된 변위에 대한 FFT결과로 나누어서 얻은 결과들이다. 6dB대역 폭이 센서B의 경우는 DC에서

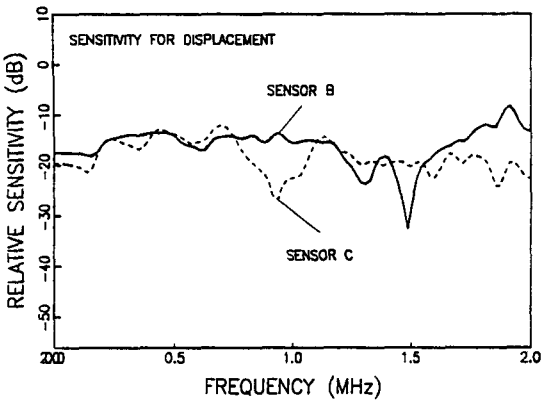


Fig. 8 Sensitivity spectra for displacement of the sensor B(solid line) and the sensor C(dashed line).

1.2MHz까지이고 센서C의 경우는 DC에서 0.8MHz까지로 광대역 특성을 지님을 보이고 있다.

Fig. 7과 Fig. 8에 나타난 센서의 출력들과 주파수 스펙트럼들을 비교할 때 센서C가 센서B에 비하여 감도가 상대적으로 약간 낮으나 근소한 차이만 보임을 알 수 있다. 이것은 센서C가 내장형임에도 수신 감도가 저하됨이 없이 변위에 대한 광대역 특성을 지니도록 효율적으로 제작되었음을 의미한다. 센서C의 감도가 약간 낮게 나타나는 것은 Wear Plate와 압전소자 사이 그리고 Steel Block과 Wear Plate의 사이의 얇은 접합층에서의 탄성파의 손실과 Steel, Wear Plate, 압전소자의 구조로된 탄성파의 전파체계에서의 탄성파의 투과율과 다중반사의 영향으로 이해될 수 있을 것이다.

4.4 광대역 속도 센서의 특성 측정

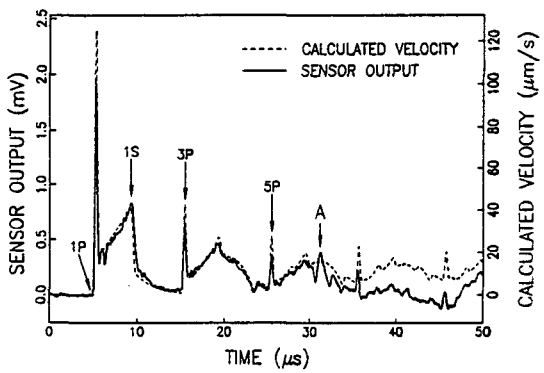
Fig. 9(a)는 유리모세관 파괴에 의해 발생된 과도파를 진앙점에서 센서D로 검출한 신호를 실선으로 이론적으로 계산된 속도를 점선으로 나타낸 것이다. 센서의 출력 신호가 Rise Time을 고려하여 계산된 이론적인 속도 신호와 5P파의 도달 이전인 25μs까지는 구별할 수 없을 정도로 일치하고 있으며 그 이후에도 정성적으로 일치하고 있음을 알 수 있다. 센서의 출력 신호에서 종파가 진앙점에 도달한 시간이 1P, 3P, 5P, 7P, 9P에 정확히 대응하여 유한한 크기의 Peak들이 나타나고 있으며 이 Peak들의 폭과 크기가 이론적인 결과와 잘 일치하고 있다. 이는 센서D가 표면의 운동 속도를 정량적으로 그리고 직접적으로 검출하는 광대역 속도 센서로 제작되었음을 의미한다.

Fig. 9(a)에서 32μs되는 위치에서 이론적인 속도 신호와 다른 Peak 'A'를 출력하고 있음을 알 수 있다. 종파가 최초로 센서에 도달된 시간인 5μs 이후로부터 'A'까지의 시간은 27μs로서 센서D에 사용된 30mm 높이의 PVC에서의 종파의 속도를 2200m/s로 계산했을 때 Back-Load에서의 종파의 왕복시간 27μs와 정확히 일치하고 있다. 이는 Peak 'A'가 PVC Back-Load의 뒷면으로부터의 종파의 반사에 기인한 것임을 의미한다. AE센서의 교정은 3P파가 도달하기 전의 시간 영역에서의 측정으로 수행할 수 있어서 Peak 'A'와 같은 Back-Load의 영향에 의한 반사파의 출력은 센서를 교정하거나 짧은 시간 범위에서 표면의 속도를 측정하는데 영향을 주지 않는다. 그러나 더 충분한 시간동안 속도를 측정해야 하는 필요성이 있다면 Back-Load의 길이를 더 길게하여 제작하면 해결될 것이다.

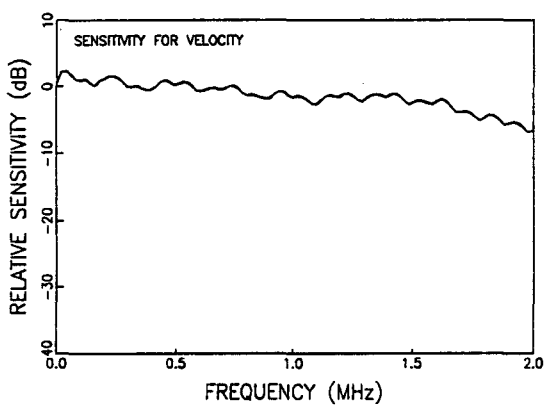
Fig. 7과 Fig. 9(a)에서 나타난 이론적인 계산 결과와 측정된 과도파 신호가 잘 일치하고 있는 것은 Rise Time 2Δ를 300ns로 가정한 Source Time Function이 적절하였음을 의미한다. 즉 Fig. 3(a)의 계산된 변위 신호에서 1P종파의 도달시 급격히 증가하는 변위에 대응하는 시간 또는 Fig. 3(b)의 속도 신호에서의 1P파에 대응하는 Peak신호의 폭은 Rise Time 2Δ와 정확히 일치하게 되는데 이는 Source Time Function을 어떻게 가정하는 가에 따른 것이다. 또한 Fig. 7의 변위 검출신호와 Fig. 9(a)의 속도 검출신호에서 대응하는 시간은 사용된 유리모세관 파괴시 발생하는 응력이완 신호의 Rise Time에 의하여 결정된다. 따라서 Rise Time 2Δ를 300ns로 가정하여 계산된 이론적인 결과들이 광대역 센서들로부터의 검출신호와 잘 일치한다는 것은(특히 속도신호의 Peak의 폭으로부

터 분명하게 나타나고 있다.) 가정된 Source Time Function이 유리모세관에 의하여 발생된 실험적인 Ramp Force와 잘 일치하고 있음을 알게 한다. 이는 같은 원리를 이용하여 내경 0.15mm, 외경 0.25mm의 유리모세관 파괴시 발생하는 Ramp Force의 Rise Time을 측정한 보고[21]와도 잘 일치하는 결과이다.

Fig. 9(b)는 센서D의 표면 속도에 대한 수신 감도를 DC에서 2MHz까지의 주파수 범위에서 나타낸 주파수 스펙트럼이다. 이는 센서에 의하여 수신된 신호에 대하여 FFT한 결과를 이론적으로 계산된 속도에 대한 FFT 결과로 나누어서 얻은 결과이다. 6dB대역 폭(Band Width)이 약 DC에서 2MHz까지의 전



(a)



(b)

Fig. 9 (a) Transient output signal(solid line) from the sensor D and calculated velocity(dashed line). (b) Its sensitivity spectrum for velocity.

구간으로 표면 속도에 대한 광대역 수신 특성이 우수하게 센서가 제작되었음을 나타내고 있다.

5. 결 론

이상과 같이 본 연구에서는 표면 변위 및 속도를 이론적으로 계산하였고 음향방출 신호의 검출을 위한 공진형 및 광대역 압전 센서들을 제작하고 특성을 조사하였다.

센서의 특성을 평가를 위한 이론적인 접근으로 Parabolic Rising특성을 지닌 Source Time Function과 Green함수의 Convolution을 수행하여 표면에서의 변위와 속도를 계산하였다. 그 결과 Rise Time 0의 Source Time Function에 의한 표면의 변위와 속도의 계산 결과에서 보여지는 속도가 무한대가 되고 변위의 시간 미분이 불가능했던 문제점을 해결할 수 있었다. 또한 센서들의 출력 신호와 계산 결과가 잘 일치하여 Source Time Function이 적절히 가정되었음을 확인할 수 있었다.

원판형 PZT압전소자를 사용하여 제작한 AE센서의 경우 과도파의 출력신호가 이론적인 속도 신호와 다소 유사한 형태를 보였으나 이론적인 변위나 속도 신호와는 크게 다른 압전소자의 공진 특성이 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한 표면 변위에 대한 수신 감도의 주파수 특성에서 6dB대역 폭이 400 kHz에서 800kHz로서 좁은 공진 특성을 지님을 알 수 있었다.

원추형 PZT 압전소자를 사용하여 제작한 센서의 경우 과도파 신호의 출력이 7P파가 도달하는 긴 시간까지 정량적으로 이론적인 결과와 잘 일치하는 신호를 출력하였고 그 이후에도 정성적으로 일치하여 표면 변위를 정량적으로 검출하는 광대역 센서로 제작되었음을 알 수 있었다. 제작된 센서는 DC에서 1.2MHz까지 최대 감도편차 ±3dB이내로 표면 변위에 대하여 일정한 수신감도를 보였다.

Housing에 내장된 광대역 변위 센서의 경우 내장되지 않은 경우에 비하여 감도 차이

가 거의 없었으며 6dB대역 폭이 DC에서 0.8 MHz로 여전히 표면변위에 대하여 광대역 특성을 지니고 있음을 알 수 있었다. 이는 전자파 Noise에 노출되어 있고 구조물의 부착이 요구되는 현장에서는 용이하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

PVDF압전 Polymer를 이용하여 제작한 센서의 경우 이론적으로 계산된 결과와 센서의 과도파 출력 신호가 5P파가 도달되는 긴 시간까지 구별할 수 없을 정도로 일치하였고 그 이후에도 정성적으로 일치하여 센서가 표면의 운동 속도를 정량적으로 그리고 직접적으로 검출하는 광대역 센서로 제작되었음을 알 수 있었다. 속도에 대한 센서의 감도 특성에서 6dB대역 폭이 DC에서 2MHz로 우수한 광대역 특성을 지닌 것으로 나타났다. 제작된 광대역 변위센서 및 속도센서는 음향방출 시험용 센서의 교정을 위한 표준센서로 활용될 수 있을 것이다.

References

1. S. H. Carpenter and F. G. Higgins, Met. Trans. Vol. 8A(1977) pp. 1629
2. Y. Nakamura, Mat. Eval. Vol. 29(1971) pp. 1239
3. J. Baram and M. Rosen, Acta Metall. Vol. 30(1982) pp. 655
4. J. E. Michaels, T. E. Michaels and W. Sachse, Mater. Eval. Vol. 39(1981) pp. 1032
5. W. Sachse and K. Y. Kim, Point-Source/Point-Receiver Materials Testing, Progress in Acoustic Emission III, Jap. Soc. NDI(1986) pp. 750
6. R. A. Kline, R. E. Green, Jr. and C. H. Palmer, J. Acous. Soc. Am. Vol. 64(1978) pp. 1633
7. K. Y. Kim and W. Sachse, Rev. Sci. Instrum. Vol. 57(1986) pp. 264
8. T. M. Proctor, Jr., J. Acoust. Em. Vol.1 (1982) pp. 173
9. I. Grabec, M. Platte, Sensors and Actuators, Vol. 3(1982/83) pp. 187
10. Y. H. Pao and R. R. Gajewski, The Generalzed Ray Theory and Transient Response of Layered Elastic Solids, Academic Press, Ny, Vol. 13(1977) pp. 188
11. N. N. Hsu, Dynamic Green's Function of an Infinite Plate-A Computer Program, NBS-IR-85-3234(1985)
12. C. C. Feng, Acoustic Emission Transducer Calibration-Spark Impulse Calibration Method, Eng. Rep. 74-7-C, Dunegam/Endevco(1974)
13. D. M. Egle and A. E. Brown, J. Test, Eval. Vol. 4(1976) pp. 196
14. C. Chang and C. T. Sun, Exp. Mech. Vol. 29(1989) pp. 414
15. F. R. Breckenridge, T. M. Proctor, N. N. Hsu, S. E. Fick and D. G. Eitzen, Transient Sources For Acoustic Emission Work, Progress in Acoustic Emission V, Jap. Soc. NDI(1990) pp. 10
16. N. N. Hsu, Acoustic Emission Simulator, U. S. Patent 4018084(1976)
17. F. R. Breckenridge, C. E. Tschiegg and M. Greenspan, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 57(1975) pp. 626
18. B. G. Kim and Young H. Kim, Mechanical and Electrical Behavior of High-Performance Acoustic Emission Transducers, First Far East Nondestructive Testing Conf., Seoul, Korea(1991) pp. 312-318
19. Young H. Kim, B. G. Kim, Y. K. Park and D. J. Yoon, Development of Acoustic Emission Sensors, KRISS-92-079-IR (1992)
20. T. T. Wu and C. L. Kuo, J. Vibration and Acoustics, Vol. 113(1991) pp. 551-557
21. Y. H. Kim and H. C. Kim, Source Function Determination of Glass Capillary Breaks, Submitted to J. of Physics D : Applied Physics(1992)