

유리모세관 파괴시 방출된 탄성파에 대한 PZT변환기의 응답특성

이종규
 부경대학교 물리학과

요 약 유리모세관의 파괴시에 방출되는 탄성파를 이용하여 유리평판의 진앙점에 위치한 PZT변환기의 응답특성을 연구하였다. PZT변환기는 일정한 면적을 가지고 두께가 다른 PZT세라믹(Edo사의 EC-65)을 사용하여 제작하였다. 공기 경계층을 갖는 유리평판에서 힘의 크기가 1 N이고 상승시간이 280ns인 경사 점하중이 인가된 경우에 대하여 진앙점에서 수직 성분의 변위와 속도를 이론적으로 계산하였다. PZT변환기의 과도응답은 이론적으로 계산된 수직 성분의 속도가 입사하여 PZT세라믹의 전극과 만날 때 펄스형태로 나타난다고 생각할 수 있다. PZT변환기의 응답은 PZT세라믹의 직경 대 두께의 비가 약 0.33 이하인 경우에는 두께진동모드에만 의존하고, 그 이상의 경우에는 두께진동모드와 다른 저주파수의 진동 모드의 중첩에 의해서 일어난다고 생각된다. 첫 펄스의 반폭치시간은 인가된 파괴하중과 PZT변환기의 공진주파수에 무관하게 약 280ns로서 일정하였고, 음향방출 발생원의 상승시간으로 생각할 수 있었다. 첫 펄스의 최대진폭은 PZT변환기에 입사하는 수직 성분의 속도와 PZT세라믹의 축전용량에 비례하였다. 그러므로, 동일한 PZT변환기에 대하여 음향방출 발생원의 상승시간과 크기는 첫 펄스의 반폭치시간과 최대 진폭으로 평가할 수 있다.

1. 서 론

초음파를 이용한 비파괴시험방법은 능동적인 초음파탐상법(Ultrasonic Flaw Detection)과 피동적인 음향방출시험(Acoustic Emission Testing)이 있다. 먼저 초음파탐상법은 한 개 혹은 두 개의 압전변환자를 사용하여 능동적으로 초음파를 발생시키고 수신하는 pulse-echo 방법 혹은 투과법으로 관측된 초음파의 도달시간과 진폭 등의 정보를 사용하여 기공, 균열 등과 같은 결함의 크기와 위치를 조사하는데 널리 사용되고 있다. 이와는 달리 음향방출(Acoustic Emission: AE)은 고체매질의 내부 및 표면에서 여러 요인에 의하여 국부적인 응력장의 변화로 방출되는 탄성파 혹은 넓게 사용되는 의미로서 측정계 및 관련 현상을 통칭하여 말하는 것으로¹⁾, 음향방출시험은 과도탄성파의 발생과

동시에 피동적으로 과도탄성파 신호를 검출하여 분석하는 방법이다.

음향방출 분석시스템에서는 기본적으로 (1) AE발생원, (2) 전파매질, (3) AE변환기 및 (4) 신호해석 시스템이란 4개의 영역이 포함되어 있다. 먼저 음향방출 발생원으로는 균열의 발생 및 전파²⁾, 전이의 이동³⁾, 마텐사이트 상변화시 상의 생성 및 소멸⁴⁾, 강자성체의 자화시 자화구역의 생성 및 소멸⁵⁾ 등이 있고, 이 음향방출 발생원에 의해서 국부적인 응력장의 변화가 일어나면 응력파가 방출되어 전파매질로 전파한다. 이렇게 전파한 응력파가 AE변환기에서 전기적 신호로 변환되어 신호해석시스템에서 신호처리가 행해진다. 여기서 얻어진 정보를 이용하여 AE발생원의 여러 가지 특성을 알아낼 수 있다. 그러나 검출된 신호는 AE발생원 뿐만 아니라 전파 매질과 측정계의 효과들이 포함되기 때문

에 AE신호들로서 AE발생원에 관한 정확한 정보를 얻거나 평가하는 데는 많은 어려움이 따른다. 각 부분에 있어 측정된 신호로부터 발생원의 특성을 조사하는데 있어서 나타나는 문제점은 다음과 같다.

① AE발생원: 일반적으로 음향방출 발생원의 종류를 정확히 알지 못하고, 음향방출이 고체매질의 임의의 위치에서 비반복적이고 순간적인 사건으로 일어난다.

② 전파매질: 탄성파가 고체매질 내부를 전파하는 과정에서 시편의 기하학적 형상, 고체 매질 내의 분산 관계 및 감쇄의 주파수 의존성, 시편의 경계면에서 다중 반사와 모드 변환 등의 영향을 받는다.

③ AE변환기: 검출기의 물리적 특성(변환기의 종류, 작용 모드, 감도, 크기 및 공진 주파수 및 작용 물리량-변위, 속도, 가속도 등)에 따라 음향방출 신호에 변형이 일어난다.

④ 신호해석 시스템: 현재 신호처리 후 AE 사건발생수(Ne), AE진동횟수(Nc), AE 최대진폭(Vp)과 AE 최대진폭분포 등과 같은 AE인자를 사용하고 있고, AE인자는 AE활성도를 나타내는 인자로서 AE발생원의 크기 및 수량에 의존한다는 가정하에 널리 사용되고 있는 실정이다. 그러므로 신호해석시스템의 출력에 사용되는 AE인자에 의해서 AE발생원에 관한 정보가 왜곡된다.

현재 음향방출은 위에서 언급된 많은 문제점이 있음에도 불구하고 대형구조물과 원자력산업과 같은 기간산업의 안전성확보라는 측면에서 필요한 것으로 앞으로 지속적인 연구가 필요하다. 특히, AE발생원에 관한 정량적인 음향적 특성을 연구하기 위해서 우선 필요한 것은 음향방출시험을 할 경우에 탄성파의 파형을 넓은 주파수 대역에서 왜곡되지 않게 수신하는 음향변환기이다. 현재 레이저 간섭계⁶⁾, capacitive 탐촉자⁷⁾, 원추형 압전변환기⁸⁾ 등의 광대역 음향변환기가 개발되어 이용되고 있으나, 이러한 광대역변환자는 실험실에서만 사용되고 있는 수준이다. 그러나, 구조물의 안전도 진단 등을 위한 음향방출시험에는 변환기로서의 감도 및 S/N비 등이 좋고 설치가 간편한 공진형 압전변환기가 주로 이용되고 있다. Shibata⁹⁾에 의하면 대개 공진형 PZT변환기의 출력은 탄성파의 주파수가 변환기의 공진주파수보다 적을 경우에 입자변위에 의존하고 비슷할 경우에는 입자속도에 의존하리라는 제안을 하였지만, 공진형 PZT변환기의 과도탄성파에 대한 응답특성이 명확하게 규명되지 못하고 있다. 그러므로 과도탄성파에 대한 압전 PZT변환자의 반응에 대한 정량적인

연구가 필요하리라 생각된다.

본 논문에서는 유리평판의 진앙점에서 특성이 잘 알려진 AE발생원인 유리모세관 파괴시에 방출되는 탄성파에 대한 여러 가지의 PZT변환기의 응답특성을 조사하였다. 위에서 언급된 문제점을 최소화하기 위하여 AE발생원과 전파매질은 각각 잘 알려진 유리모세관 파괴와 두꺼운 유리평판을 선택하였고, 다만 AE변환기만을 변화시켰다. 실험에서 사용되는 PZT변환기에 대하여 면적효과를 일정하도록 하기 위하여 동일한 직경을 갖는 PZT세라믹을 선택하였고, 단지 PZT세라믹의 공진 주파수 혹은 두께를 변화시켜 과도탄성파에 대한 PZT변환기의 응답특성을 분석하였다. 첫 펄스의 반폭치시간을 정의하여 AE발생원인 유리모세관 파괴시의 상승시간과 관련지었고, 첫 펄스의 최대진폭을 이용하여 유리모세관 파괴시의 인가된 파괴하중에 대한 의존성을 조사하였고 물리적인 해석을 하였다.

2. 실험

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 유리평판의 중앙에 놓인 유리모세관은 tungsten carbide 봉이 달린 Indentor에 의하여 파괴 직전까지 지탱하다가 더 이상의 힘이 인가되면 유리모세관의 표면에 균열이 발생하여 전파하게 되고 결국 유리모세관의 파괴가 일어난다. 이때 유리모세관 파괴시의 하중은 load cell로 측정하였다. 유

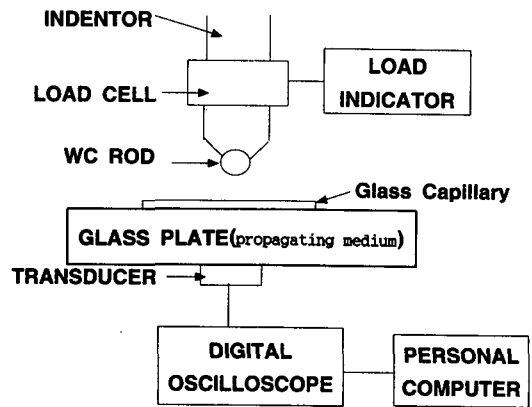


Fig. 1. Block diagram of acoustic emission system and glass capillary breakage system

리모세관의 파괴시에는 극히 짧은 시간동안에 유리표면에 하중이 제거된다. 이러한 점하중의 소거가 AE 발생원이 되어 과도탄성파가 발생하게 되고, 발생된 과도탄성파가 진원지로부터 유리매질 내로 전파하고, 진앙점에 있는 PZT변환기에서 검출하여 디지털 오실로스코프로 신호를 저장하였다.

실험에 사용된 유리 모세관의 내경 및 외경은 각각 0.33 mm 및 0.4 mm이고, 유리모세관의 파괴시에 발생하는 탄성파가 전파되는 전파매질은 상용유리를 사용했다. 이 유리의 밀도는 $3.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 이고, 직경과 두께는 각각 290mm와 43.7mm이다. 또 초음파 펄스-에코 방법으로 측정된 유리평판에서의 종파 및 횡파의 속도는 각각 5,552 m/sec 및 3,152 m/sec이다. 본 연구에 사용한 PZT변환자는 미국 Edo사에서 공급한 디스크형의 EC-65 PZT 세라믹을 사용하여 제작하였고, 사용된 세라믹의 전기기계적인 물성은 Table 1과 같다. 마모의 방지를 위해 전면재로서 백색 알루미늄(두께=0.66 mm 혹은 0.13 mm, 밀도= $3.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 종파속도= $10.6 \times 10^3 \text{ m/sec}$)를 사용하였고, 후면재로는 공기층을 이용하였다. 이 PZT 압전 변환자의 사양 및 공진주파수는 Table 2에 주어져 있다. D형 변환기는 오실로스코프의 접지가 각각 PZT세라믹의 전면에, N형 변환기는 PZT세라믹의 후면에 연결된 경우이다.

Table 1. Physical properties of EC-65 PZT ceramic.

Density	$7.65(\times 10^3 \text{ kg/m}^3)$
Young's Modulus	$6.6(\times 10^{10} \text{ N/m}^2)$
Dielectric constant @ 1kHz	1725
k^{31}	0.34
k^{33}	0.70
k^{13}	0.69
d^{31}	$-170(\times 10^{-12} \text{ Meter/Volt})$
d^{33}	$355(\times 10^{-12} \text{ Meter/Volt})$
d^{13}	$584(\times 10^{-12} \text{ Meter/Volt})$
g^{31}	$-11.5(\times 10^{-3} \text{ Volt Meter/Newton})$
g^{33}	$25.0(\times 10^{-3} \text{ Volt Meter/Newton})$
g^{13}	$38.2(\times 10^{-3} \text{ Volt Meter/Newton})$

3. 결과 및 고찰

3.1. 유리평판의 진앙점에서 이론적인 수직 변위와 속도

공기층을 경계면으로 갖는 유리평판에 Heaviside 계단함수의 힘이 점하중으로 인가된 경우에 대하여

Table 2. Specifications of the piezoelectric PZT transducers

Transducer	D1	D2	D3	N1	N2
diameter of the PZT ceramic(mm)	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7
thickness of the PZT ceramic(mm)	3.78	7.56	11.8	4.20	6.20
thickness of the front plate(mm)	0.66	0.66	0.66	0.13	0.13
ratio of thickness to diameter of PZT ceramic	0.30	0.60	0.89	0.33	0.49
resonant frequency(kHz)	595	297	192	543	367

Knopoff의 적분식을 이용하여 종파가 유리평판내를 7회 전파한 시간동안의 진앙점에서 이론적인 변위를 계산하였다¹⁰⁾. 힘의 크기는 1 N이고 280 ns의 상승시간을 갖는 경사함수라고 가정하였고, 실험에서 사용된 유리평판의 밀도, 종파속도 및 횡파속도를 이용하여 계산하였다. 유리평판의 진앙점에서 계산된 수직성분의 변위와 속도는 각각 Fig. 2와 Fig. 3에서 보여주고 있다. 이 그림에 나타난 mPnS은 평판사이로 종파로 m회, 횡파로 n회 전파한 파를 말한다. 즉 1P2S는 유리평판내를 1회는 종파로 전파하고 2회는 횡파로 전파한 경우를 말한다. Fig. 2에서 P파의 도착 시간인 7.9us에서 수직성분의 변위는 계단함수 형태로 주어지고, 그 이후에서는 수직성분의 변위가 S파의 도착 시간까지 급속히 증가하였다. S파가 도착한 후는 수직성분의 변위의 기울기가 급격히 감소하였고, S파는 반대 극성을 갖는 수직

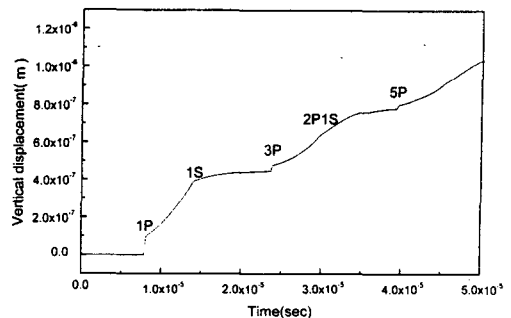


Fig. 2. Vertical displacement at the epicenter of glass plate due to a point loading with a ramped functional dependence (force strength=1N and rise time=280ns)

성분의 변위를 갖고 있음을 알 수 있다. Fig. 3에서 1P, 3P 및 5P의 수직성분의 속도가 7.9, 23.7 및 39.5us에 도달하였고, 점하중에 의하여 발생한 탄성파는 구면파로 전파하므로 진앙점에서 계산된 수직성분의 속도는 전파거리에 반비례함을 알 수 있다. 즉, 1P, 3P 및 5P의 수직성분의 속도의 크기는 각각 1, 1/3 및 1/5 배임을 알 수 있다.

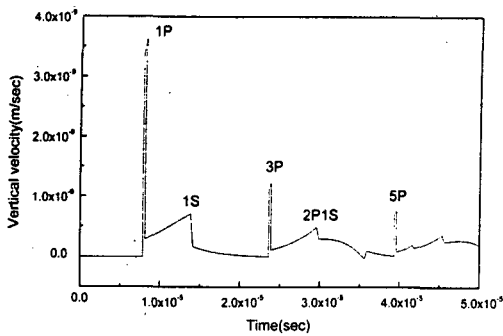


Fig. 3. Vertical velocity at the epicenter of glass plate due to a point loading with a ramped functional dependence (force strength=1N, rise time=280 ns and sampling time=10ns)

3.2. PZT변환기의 탄성과 응답특성

Fig. 4, Fig. 5 와 Fig. 6은 각각 유리평판의 진앙점에서 유리모세관 파괴시에 발생한 과도탄성파를 D1변환기, D2 변환기와 D3 변환기가 수신한 파형을 인가된 파괴하중의 변화에 대하여 나타내고 있다. 동일한 변환기에 대하여 전반적인 파형은 인가된 파괴하중이 증가하면 파형의 기본적인 형태는 그대로 유지하고 다만 진폭만이 증가하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4에서는 7.9us에서 음전압펄스가 처음 도달하고 다음에는 음전압펄스의 진폭보다 큰 양전압펄스가 나타났고, 그 이후는 음전압 및 양전압의 펄스가 교대로 나타남을 보이고 있으며 점차 진폭이 줄어들고 있다. 특히 Fig. 3에서 도출된 결과와 비교하면, 7.9us에서 도달한 첫 음전압 펄스는 1P의 수직성분의 속도에 의해서 생겨났음을 알 수 있고, 교대로 나타나는 전압 펄스는 탄성파가 D1 변환기의 내부에서 PZT압전매질의 전면과 후면에 있는 전극을 만날 때에 나타난다고 생각할 수 있다. 마찬가지로, 23.7us와 39.5us에서 관찰된 첫 펄스는 각각 3P와 5P의 수직성분의 속도가 도달한 펄스라고 생각할 수 있다. 압전매질의 직경대 두께의 비가 0.1 이하인 경우

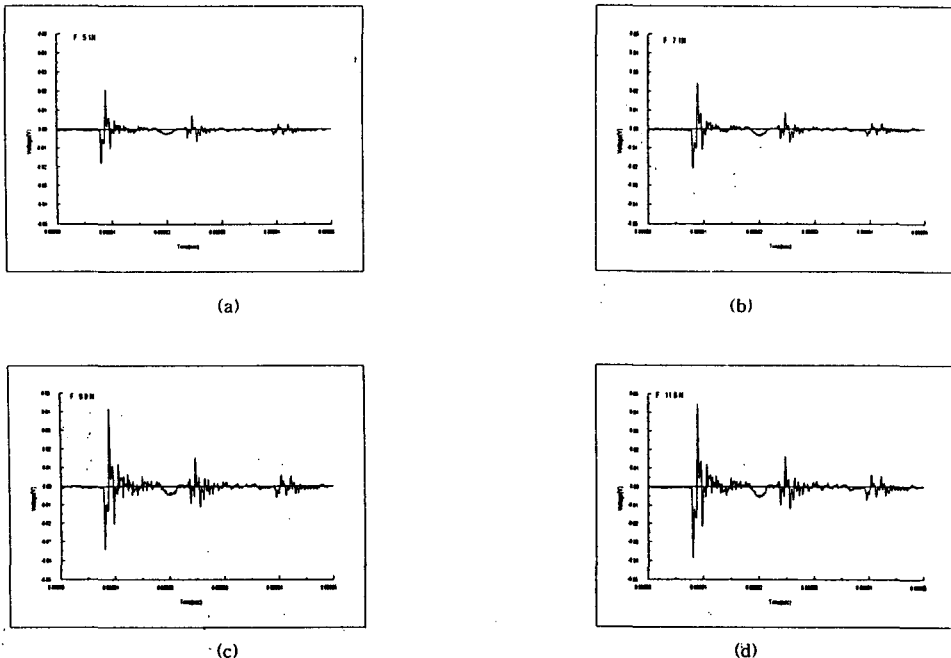


Fig. 4. Transient responses of D1 transducer at the epicenter during glass capillary breakage with different loads of (a) 5.1N, (b) 7.1N, (c) 9.9N and (d) 11.8N

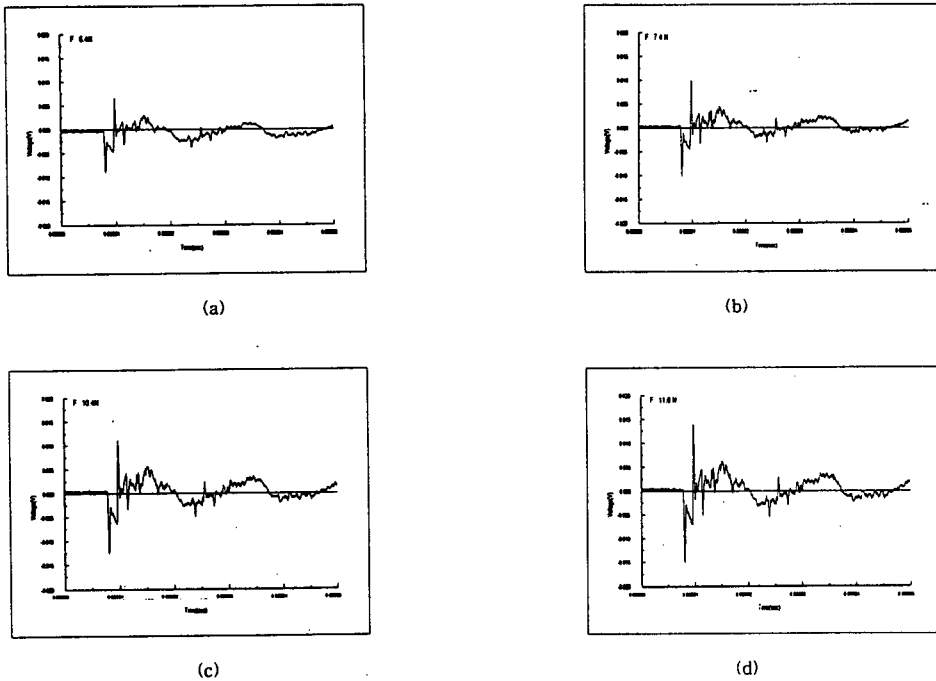


Fig. 5. Transient responses of D2 transducer at the epicenter during glass capillary breakage with different loads of (a) 6.4N, (b) 7.4N, (c) 10.4N and (d) 11.6N

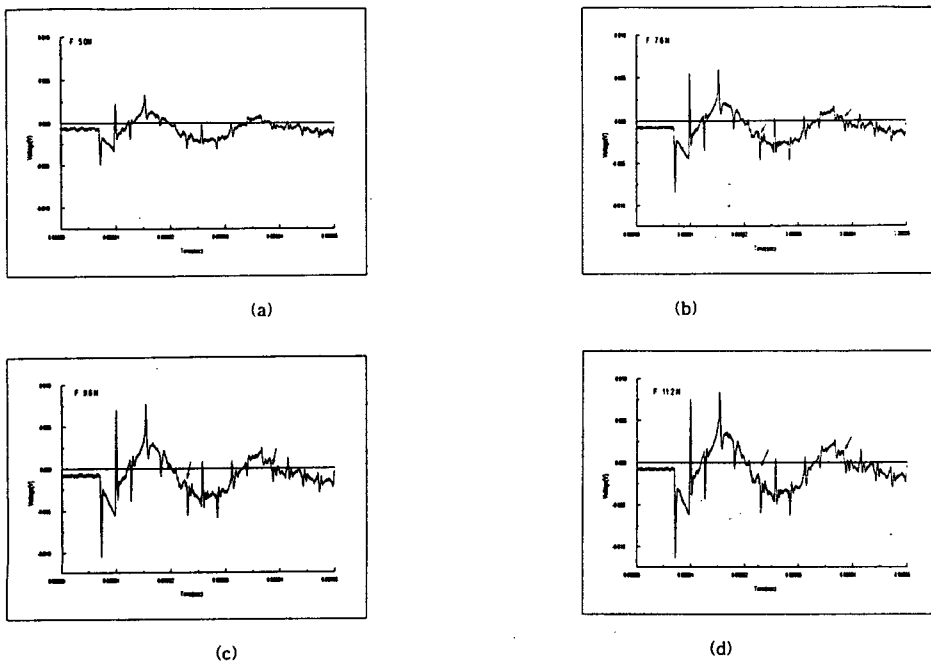


Fig. 6. Transient responses of D3 transducer at the epicenter during glass capillary breakage with different loads of (a) 5.0N, (b) 7.6N, (c) 9.5N and (d) 11.2N

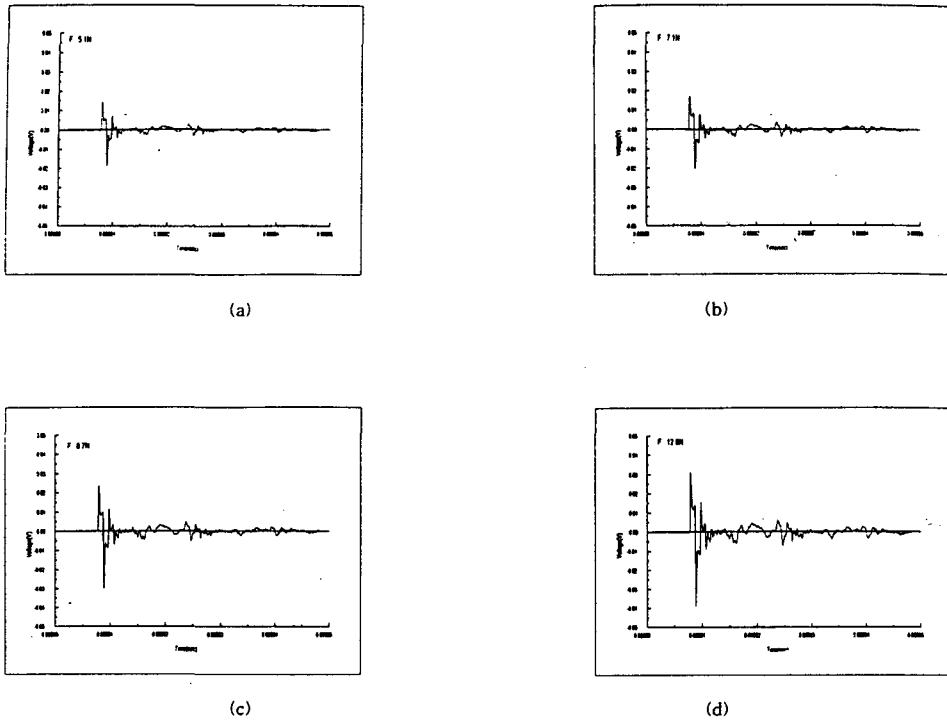


Fig. 7. Transient responses of N1 transducer at the epicenter during glass capillary breakage with different loads of (a) 5.1N, (b) 7.1N, (c) 8.7N and (d) 12.8N

경대 두께의 비가 0.1 이하인 경우에 두께진동모드만이 존재하여 관찰되는 전압펄스는 수직성분으로 입사하는 속도에 비례하는 응답특성을 갖고 있다고 가정하고 있으나, Fig. 4에서 관찰된 펄스들은 D1 변환기의 경우에 직경 대 두께의 비가 0.3으로 위에서 언급된 가정과는 약간 다르지만 PZT 변환기의 두께진동모드에 의한 결과라고 생각되어진다.

Fig. 5와 Fig. 6은 Fig. 4에서 언급한 내용과 동일하게 설명할 수 있으나, 펄스들 사이의 간격이 다르고 저주파수의 진동이 포함된 2가지의 차이점이 존재하고 있다. 펄스간의 간격이 서로 다른 이유는 D2와 D3 변환기에서는 D1 변환기에 사용된 PZT세라믹의 두께보다 두껍기 때문에 PZT세라믹에서 수직성분의 속도가 전파하는 경로가 길어져서 나타난 것이다. 그리고, 저주파수의 진동이 포함된 이유로는 사용한 PZT세라믹의 직경 대 두께의 비가 0.60(D2) 및 0.89(D3)로 0.1보다 큼으로 공진주파수가 두께진동의 공진주파수보다 아주 낮은 두께진동모드 외의 다른 모드가 포함되어

나타나는 현상으로 생각된다. 그러므로, D2와 D3변환기의 경우에는 두께진동모드에 의하여 일어나는 펄스와 두께진동모드 외의 다른 모드가 중첩되어 나타나는 것이라고 생각되고, PZT세라믹의 직경 대 두께의 비가 클수록 저주파수의 두께진동 외의 다른 모드의 영향이 크게 나타난다고 생각된다.

Fig. 7 과 Fig. 8은 Fig. 4, Fig. 5 및 Fig. 6에서 언급한 내용과 비슷하나 극성이 반대임을 알 수 있고, 이는 D변환기에 대하여PZT세라믹의 전면에 있는 전극에 접지하였으나 N변환기는 PZT세라믹의 후면에 있는 전극에 접지하여 나타나는 현상이다. 특히, N변환기의 전면재 두께는 0.66mm인 D변환기의 전면재 두께에 비하여 대단히 얇은 0.13mm였으나, 전면재 두께의 변화에 대한 과도탄성파에 대한 PZT변환기의 응답 특성의 변화를 감지할 수 없었다. Fig. 7은 위에서 기술된 두께진동모드 외의 저주파수를 갖는 다른 진동모드의 영향은 크지 않지만, Fig. 8은 두께진동모드 외의 저주파수를 갖는 다른 진동모드의 영향이 약간 있다고 볼 수 있다.

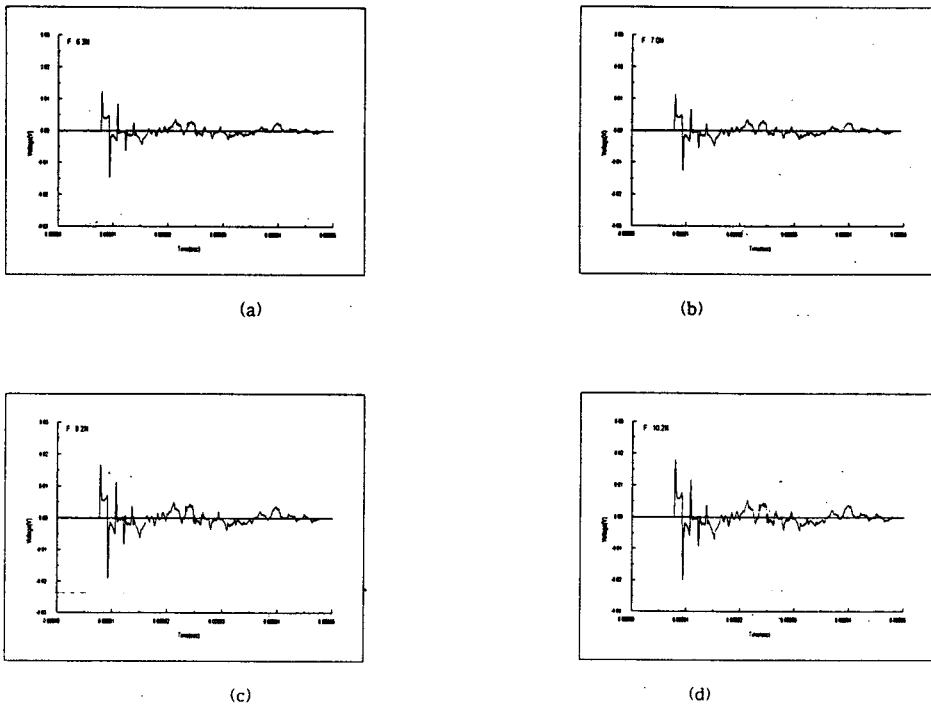


Fig. 8. Transient responses of N2 transducer at the epicenter during glass capillary breakage with different loads of (a) 6.3N, (b) 7.0N, (c) 9.2N and (d) 10.2N

3.3. 첫 펄스의 반폭치시간과 최대 진폭의 인가된 파괴 하중의 의존성

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8에 나타나는 첫 펄스는 PZT세라믹의 두께에 대한 영향이 없다고 생각되므로 정량적 분석을 위해 첫 펄스의 반폭치시간과 최대진폭을 이용하였다. 먼저, 첫 펄스의 반폭치시간은 최대진폭의 반인 진폭을 갖는 시간폭으로 정의하며, Fig. 9는 여러 가지의 PZT변환기에 대하여 인가된 파괴하중에 대한 첫 펄스의 반폭치시간을 나타낸 것이다. 인가된 파괴하중에 관계없이 반폭치시간은 약 280 ns으로 거의 일정하였고, 뿐만 아니라 사용된 PZT세라믹의 종류에 무관하다는 것을 알 수 있다. Fig. 3에서 280ns의 상승시간을 갖는 경사함수의 형태의 접하중에 대한 이론적인 수직성분의 속도 펄스에 대한 반폭치시간이 약 280ns로 주우지므로, 음향방출 발생원의 상승시간은 첫 펄스의 반폭치시간으로 간주하여도 무방하리라 생각된다. 그러므로, 외경 0.4mm인 유리모세관의 파괴시 방출되는 음향방출 발생원의 상승시간은 약 280ns로 생각할 수 있다.

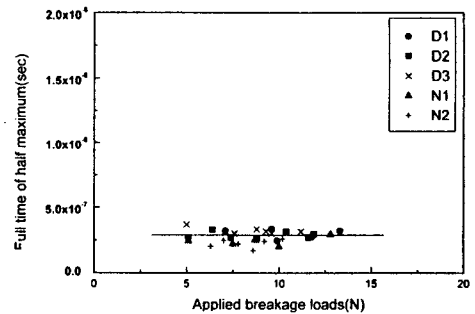


Fig. 9. Full time of half maximum of the 1st pulse vs applied breakage loads

Fig. 10은 변환기에 나타난 첫 펄스의 최대 진폭과 인가된 파괴하중의 관계를 여러 가지의 PZT변환기에 대하여 나타내었다. 동일한 PZT변환기에 대하여 첫 펄스의 최대 진폭은 인가된 파괴하중이 증가하면 선형적으로 증가하였고, 기울기는 Table 3에서 주어진 사용된 PZT세라믹의 직경대 두께의 비가 작을수록 커짐을

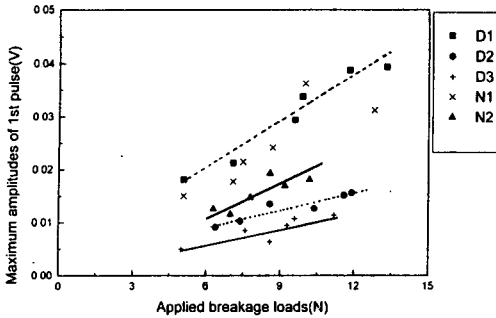


Fig. 10. Maximum amplitudes of the 1st pulse vs applied breakage loads

알 수 있다. 즉 Fig. 11은 인가된 파괴하중에 대한 첫 펄스의 최대진폭의 변화율인 기울기를 PZT세라믹의 축전용량 C_0 와 비교하였고, 인가된 파괴하중에 대한 첫 펄스의 최대진폭의 변화율인 기울기는 PZT세라믹의 축전용량 C_0 와 비례하는 관계를 갖고 있다. 그리고, Mason 등가회로에서 PZT세라믹의 양단에 걸리는 전압 $V_3(\omega)$ 는 입사하는 탄성파의 속도 v_1 에 비례하는 관계식은

$$V_3(\omega) = \frac{I_3}{j\omega C_0} + \frac{e}{j\omega \epsilon^s} (v_1 + v_2)$$

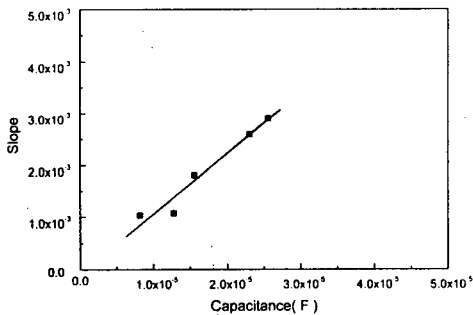


Fig. 11. The slope of maximum amplitude of the 1st pulse for applied breakage load vs capacitance of PZT ceramics

이며, 여기서 e 와 ϵ^s 는 각각 piezoelectric stress 상수와 clamped dielectric 상수이다¹¹⁾. AE발생원의 상승시간인 반폭치시간이 인가된 파괴하중에 관계없이 일정하므로, 인가된 파괴하중이 증가하면 진앙점에서 수직성분의 속도가 증가하여 첫 펄스의 최대 진폭이 증가한다고 생각할 수 있다. 즉, 동일한 물성을 가진 PZT세

라믹을 사용한 PZT변환기는 첫 펄스의 최대진폭은 PZT세라믹에 입사하는 탄성파의 수직성분의 속도와 PZT세라믹의 축전용량에 선형적으로 비례한다고 생각할 수 있다. 그러므로 동일한 PZT변환기에서는 음향방출발생원의 상승시간과 크기는 각각 첫 펄스의 반폭치시간과 최대진폭이라고 간주할 수 있다.

4. 결론

외경 0.4mm인 유리모세관의 파괴시에 방출되는 과도탄성파를 이용하여 유리평판의 진앙점에 위치한 PZT변환기의 응답특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PZT변환기의 과도응답은 이론적으로 계산된 수직성분의 속도가 입사하여 PZT세라믹의 전극을 만날 때 펄스형태로 나타난다고 생각할 수 있다. PZT변환기의 응답은 PZT세라믹의 직경대 두께의 비가 약 0.33 이하인 경우에는 두께진동모드에만 의존하여 나타나지만, 그 이상의 경우에는 두께진동모드와 두께진동모드 외에 저주파수의 다른 진동모드의 중첩에 의해서 주어진다고 생각된다.

2. 첫 펄스의 반폭치시간은 인가된 파괴하중과 PZT변환기의 공진주파수에 무관하게 약 280ns로서 일정하였고, 이를 음향방출발생원의 상승시간으로 생각할 수 있었다. 첫 펄스의 최대진폭은 변환기에 입사하는 수직성분의 속도와 압전매질의 축전용량에 비례한다. 그러므로 동일한 PZT변환기에서는 음향방출발생원의 상승시간과 크기를 각각 첫 펄스의 반폭치시간과 최대진폭이라고 간주할 수 있다.

참고 문헌

- 1) R. W. B. Stephens and H. C. Kim, "Ultrasonic Testing (edited by J. Szilard) Chapter 12 Acoustic Emission - A Diagnostic Tool in Non-destructive Testing", John Wiley & Sons Ltd, (1982), pp. 459-493
- 2) W. W. Gerberich and C. E. Hartbower, Int. J. Fract. Mech., 3, (1967), pp. 185
- 3) R. T. Sedgwick, J. Appl. Phys., 39,(1968), pp. 3
- 4) J. K. Lee and H. C. Kim, J. Mat. Sci. Lett, 7, (1988), pp. 722
- 5) H. C. Kim and C. G. Kim, J. Phys. D: Appl. Phys., 22, (1989), pp. 192

- 6) R. A. Kline, R. E. Green Jr. and C. H. Palmer, J. Acoustic. Soc. Am. 64, (1978), pp. 1633
- 7) A. N. Ceranoglu and Y. H. Pao, J. of Appl. Mech., vol. 48, (1980), pp. 125-132
- 8) Y. H. Kim, D. J. Yoon, S. K. Lee and H. C. Kim, "Korean Applied Physics", 3, (1990), pp. 374,
- 9) M. Shibata, Mat. Eval., 42, (1984), pp. 107
- 10) L. Knopoff, J. Appl. Phys., 29, (1958), pp.661
- 11) Velimir M. Ristic, "Principles of Acoustic Devices", John Wiley & Sons, (1983)

Response Characteristics of the PZT Transducers during Glass Capillary Breakage

Jong-Kyu Lee

Pukyong National University, Pusan 608-737

Abstract The response characteristics of the PZT transducers during glass capillary breakage were studied at the epicenter of the glass plate. The PZT transducers had been made by using EC-65 PZT ceramics(supplied by Edo co.) with a constant area and a various thickness. The theoretical displacement and velocity at the epicenter of glass plate with an air boundary condition were calculated by assuming the point load of 1N force strength and a rise time of 280 ns with a ramped functional dependence, and the 1st pulses of the PZT transducer may be considered as the vertical velocity incident on the electrode of the PZT ceramic. The responses of the PZT transducer may be depended on the thickness mode of the PZT ceramic below 0.33 in the ratio of the thickness to the diameter of PZT ceramic, but the reponse of the PZT transducer may be depended on the other modes of PZT transducer in the addition of the thickness mode of the PZT ceramic above 0.33. The full time of half maximum at the 1st pulse was nearly 280 ns without a variation of applied breakage load and the resonant frequency of the PZT transducer, and then may be considered as the rise time of a AE source. The maximum amplitude of the 1st pulse depended on the incident vertical velocity and capacitance of the PZT transducer. Therefore, the full time of half maximum and maximum amplitude of the 1st pulse may be considered as the rise time and strength of acoustic emission source respectively.