

길이변조용 압전소자의 휨 측정과 보정

김재완 · 남승희 · 한재원[†]

한국표준과학연구원 레이저계측그룹

Ⓣ 305-340 대전시 유성구 도룡동 1번지

(2001년 1월 31일 받음, 2001년 5월 28일 수정본 받음)

압전소자에 전압을 가했을 때 길이가 늘어나며 휘어지는 것을 측정하고 보정하는 방법을 제시한다. 압전소자에 부착된 거울에서 반사되는 레이저빔의 각도 변화를 0.36 μrad 의 불확도로 측정하여 압전소자가 휘는 각도와 방향을 알 수 있는 장치를 구성하였다. 압전소자의 전극을 세 부분으로 분할하고 축전기를 직렬 연결하여 하나의 전원으로도 각 전극에 인가되는 전압을 달리 조절할 수 있었다. 압전소자가 휘어지는 크기와 방향에 따라 각 전극에 연결되는 축전기의 용량을 달리함으로써 보정 전에 비해 휨을 6.3%로 줄일 수 있었다. 휨이 보정된 압전소자를 광자감쇠공동의 길이 변조에 이용하였을 때, 압전소자가 휘기 때문에 야기되었던 감쇠시간 요동이 효과적으로 제거되는 것을 확인하였다.

분류코드 : SM.030.

I. 서 론

압전소자(Piezoelectric ceramics)는 인가된 전압에 비례하여 길이가 변하는 특성이 있어서 미소 변위 조절이나^[1] 진동자^[2] 등에 널리 사용된다. 특히 간섭계 거울의 변위 조절 등과 같이 위치를 정밀하게 조절할 때는 전압에 따른 길이 변화량이 일정하고 이력 현상(hysteresis)이 작은 lead-zirconate-titanate (PZT) 계열의 물질로 만든 압전소자를 사용한다. 간섭계 거울의 변위 조절은 거울이 광축에 평행하게 이동하는 것을 가정하고 있다. 그러므로 만약 어떤 이유에 의해 거울이 광축에 수직인 이동을 하면 이는 심각한 측정오차를 유발할 수 있다. 예를 들어 간섭계를 이용한 정밀 거리측정기에서는 측정 축과 거울의 이동축의 정렬오차가 열 팽창과 함께 가장 큰 오차원 인이다.^[1,3] 또한 고분해 분광법인 공동 광자감쇠 분광법에서는 공동의 정렬 축이 변하면 공동의 손실이 달라져서 측정 감도를 심각하게 제한하게 된다.^[4]

PZT는 인가된 전압에 비례하여 길이가 늘어나는데 그 비율은 전기장의 세기와 방향, PZT의 길이와 압전상수, 그리고 각 부분에 인가된 장력 등에 영향을 받는다. 압전소자가 늘어나는 비율을 결정하는 여러 요인들이 PZT 몸체의 각 부분에서 균일하지 않으면 전압을 가했을 때 PZT는 휘게 된다. 본 연구에서는 PZT의 전극을 세 부분으로 나누고 각 전극에 축전기를 직렬 연결하여 그 부분에서 PZT에 인가되는 전압을 조절하여 휨을 보정하였다. PZT에 부착된 거울에서 반사된 레이저빔의 경로 변화를 측정하여 0.36 μrad 의 불확도로 휘는 각도를 측정할 수 있는 장치를 구성하였다. 공동 광자감쇠 분광기에 사용하는 원통관 형태의 PZT에 대해 500 V까지 전압을 가했을 때 휘는 각도가 3 μrad 이내가 되도록 보정할 수 있었다. 휨이 보정된 압전소자를 공동 광자감쇠 분광기의 공동 길

이 변조에 이용하였을 때, 공동 정렬축 변화에 의한 감쇠시간 오차가 효과적으로 제거되는 것을 확인하였다.

II. PZT의 길이 보정

PZT는 인가된 전기장의 세기에 비례하여 길이가 변하는 특성이 있다. 전극의 방향과 PZT가 늘어나는 방향에 따라 PZT의 압전상수(Piezoelectric constants)는 다른 값을 가지므로 그 형태를 먼저 결정할 필요가 있다. 페브리 페로 간섭계는 거울을 통해 레이저빔이 두과 해야하므로 원통관 형태의 PZT를 많이 사용한다. 그림 1과 같이 원통관의 내의 벽에 전극이 있을 때 전극에 인가된 전압 V 와 관의 길이 방향으로 늘어나는 길이는(Δl) 다음과 같은 관계가 있다.^[2,5]

$$\Delta l = \frac{2d_{31}l}{t} V \quad (1)$$

식에서 l 과 t 는 각각 PZT의 길이와 두께를 나타내고 d_{31} 은 전극에 수직인 길이 방향의 압전상수를 나타낸다.

일반적으로 압전상수, 두께, 길이, 인장력 등은 PZT의 각 부분에서 균일하지 않으므로 동일한 전압이 가해졌어도 PZT의 각 부분에서 늘어나는 길이는 서로 다를 수 있고 결과적으로 PZT가 휘게 된다. 식 (1)에 의하면 PZT가 늘어나는 길이는 전압에 비례하므로 그림 1과 같이 전극이 3개로 분리되어 있다면 각 전극의 전압을 독립적으로 조절하여 전체적인 휘어짐을 조절할 수 있을 것이다. 실질적인 측면에서 세 개의 독립된 전원장치를 만드는 것은 효율적이지 못하므로 본 연구에서는 하나의 고전압 전원을 사용하고 축전기를 각 전극에 직렬 연결하여 전압을 조절하였다. PZT의 정전용량을 C_{ip} 라고 하고($i=1, 2, 3$) 전압 보정을 위해 각 전극에 직렬로 연결된 축전기의 정전용량을 C_i 라고 하면 전체에 인가된 전압 V 에 대해 PZT에 인가되는 전압은

[†]E-mail: jwhahn@kirss.re.kr

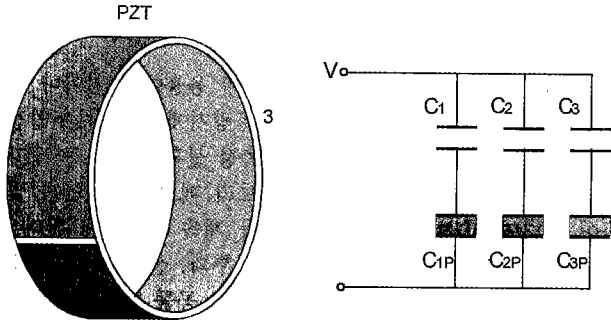


그림 1. PZT의 전극과 보정용 축전기의 연결. 원통관 형태의 PZT에 외부 전극을 식각에 의해 세 부분으로 분리했다. C_{iP} 는 PZT 각 전극의 정전용량을 나타내며 C_i 는 보정을 위해 연결한 축전기의 용량이다.

$$V_{iP} = \frac{C_i}{C_i + C_{iP}} V \quad (2)$$

가 된다. 그러므로 C_i 를 조절하면 전체 전압 V 중 일정 비율만 C_{iP} 에 인가되도록 조절할 수 있다. PZT의 각 부분의 정전용량을 알면 PZT가 휘어지는 방향과 크기를 측정하여 보정을 위해 각 전극에 연결해야 할 정전용량을 결정할 수 있다.

III. PZT의 휨는 각도 측정과 불확도

PZT의 길이 변화는 일반적으로 수 μm 이내로 작으므로 각 부분에서 늘어난 길이를 직접 측정하여 휘어지는 정도를 알기는 용이하지 않다. 이에 비해 휘어지는 각도는 PZT에 부착된 거울에서 반사된 빛의 위치 변화를 측정하여 쉽게 구할 수 있다. 거울에서 반사된 레이저빔의 위치를 충분히 먼 거리에서 측정하면 그림 2에서처럼 거울의 휨는 각도 θ_y 와 측정 화면에서의 위치 변화 $S_0S_1 = \Delta y$ 는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\theta_y = \frac{\Delta y}{2L} \quad (3)$$

여기서 L 은 거울에서 전자결합소자까지의 거리를 나타내고 거울이 z 방향으로 이동한 거리 Δz 는 L 보다 충분히 작아 무시하고 있다.

관심을 갖는 측정 각의 변화는 수 μrad 에 불과하므로 θ_y 를 정밀하게 측정을 위해서는 측정오차에 대한 분석이 병행되어야 한다. 광축이 거울에 경사지게 입사 할 때 거울이 이동을 하면 입사광의 반사점 O_0 이 변하게 된다. 그림 2와 같이 거울이 Δz 만큼 이동할 때 입사각 ϕ_y 로 입사하는 빛은 표면에서 반사위치가 O_0 에서 O_1 로 이동하고 반사점의 y 축 방향의 변위 Δy_r 는

$$\Delta y_r = \phi_y \Delta z \quad (4)$$

가 되며 측정화면에서 빔의 위치도 이 만큼 변하게 된다.

압전소자가 휘는 것은 거울의 부착상태에 의해서도 영향을 받으므로 휨에 대한 측정은 실제 사용할 거울이 부착된 상태에서 하는 것이 유리하다. 일반적으로 곡면 거울을 사용하여 측정한다면, 거울의 이동하여 반사점의 위치가 달라질 때 거

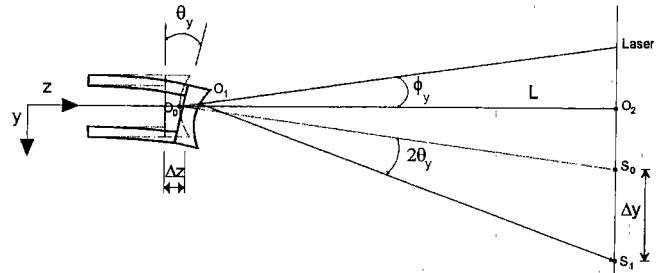


그림 2. 거울에서의 반사각 변화 측정. 입사각 ϕ_y 는 빛의 입사각, θ_y 는 y 방향으로 PZT가 휘어진 각도, Δy 는 측정 화면에서 빔의 위치변화, Δz 는 PZT가 늘어난 길이, L 은 거울과 CCD 사이의 거리, S_0 과 S_1 는 CCD에서 레이저 빔의 위치를 나타낸다.

울 면에서의 입사각도 변하게 된다. 곡률 반경이 R 인 거울을 사용할 경우에는 z 방향으로의 거울의 이동 Δz 에 의한 레이저 빔의 입사각 ϕ_y 는

$$\Delta \phi_y = (\Delta z \tan \phi_y) / R \quad (5)$$

만큼 변하게 된다. 그러므로 입사각의 변화에 의해 야기되는 측정화면에서 빔의 위치변화는

$$\Delta y_\phi = \frac{\Delta z \tan \phi_y}{R} L \quad (6)$$

가 된다.

본 연구에서 구성한 측정장치의 경우에 대해 휨는 각도 측정의 불확도를 구해보면 다음과 같다. 입사각 ϕ_y 는 5° 이고 곡률 반경이 4m인 거울이 부착된 PZT가 $1 \mu\text{m}$ 늘어날 때 L 이 5m인 위치에서 레이저빔의 위치를 측정하는 경우, 반사점의 이동과 입사각의 변화에 의해 전자결합소자사진기(charge coupled device, CCD)에서의 위치 측정오차는 각각 식 (4)와 (6)에 의해 $0.09 \mu\text{m}$ 와 $0.11 \mu\text{m}$ 가 된다. 측정화면으로 사용한 CCD의 화소(pixel) 간격은 $11.5 \mu\text{m}$ 로 거리 L 이 5m일 때 화소간의 각도는 $2.3 \mu\text{rad}$ 이 된다. 실험에서는 CCD에서 측정된 입사광 세기의 분포를 가우스 함수에 곡선맞춤을 해서 그 중심 위치를 정하게 된다. 그러므로 가우스 함수의 반치폭 안에 N 개의 데이터가 있는 경우 CCD의 최종적인 위치 측정 분해능은 화소 간격에 비해 $1/\sqrt{N}$ 만큼 줄어든다. 데이터의 개수 N 이 100개 일 때 CCD에 의해 결정되는 분해능은 위치와 각도 분해능은 각각 $1.15 \mu\text{m}$ 와 $0.23 \mu\text{rad}$ 이 된다. 실험에서 빔 위치 측정의 반복 불확도는 $1.8 \mu\text{m}$ ($0.36 \mu\text{rad}$)이었으며 이 값은 CCD의 분해능과 비슷함을 알 수 있다. 앞서 계산한 반사점의 변화와 거울의 곡률 반경 때문에 생기는 오차는 우리가 사용한 CCD의 분해능에 비해 충분히 작으므로 더 이상 고려하지 않았다.

IV. 휨는 각도 측정과 보정

표본으로 보정하기 위해 사용한 PZT(Morgan Metroc, Inc., PA5)는 광자감쇠분광기에^{14,6)} 사용하고 있는 것으로 외경이 10

mm, 두께가 0.5 mm, 길이가 10 mm인 원통관 모양이고 관의 내/외벽에 전극이 있다. 압전상수 d_{31} 는 $1.71 \times 10^{-7} \text{ mm/V}$ 로 길이와 두께를 고려하면 단위 전압 당 늘어나는 길이는 $6.84 \times 10^{-6} \text{ mm/V}$ 다. 지름이 12.7 mm고 곡률 반경이 4 m인 거울이 접착제로 PZT에 부착되어 있다. 식각에 의해 PZT의 외부 전극을 세 부분으로 나누었으며 각 부분의 정전용량은 약 4.8 nF로 측정되었다. 광원으로는 헬륨 네온 레이저(Spectra Physics 117A, beam divergence = 1.8 mrad, beam diameter = 0.5 mm)를 사용하였고, 빔의 위치를 측정하는 전자결합소자 사진기(COHU 4800)는 가로와 세로의 화소간격이 각각 11.5 μm 와 13.5 μm 이고 유효 측정화면은 8.7 mm와 6.6 mm다. PZT가 부착된 거울과 CCD 사이의 거리는 4.57 m다.

거울에서 반사된 레이저빔의 위치를 결정하기 위해서 8개의 CCD 영상을 평균한 후 빔 모양을 가우스 함수에 곡선 맞춰서 중심점의 위치를 구했다. PZT에 인가되는 전압을 0 V에서 500 V까지 매 100 V 간격으로 변화시키며 측정된 CCD에서의 위치의 변화를 식 (3)에 대입하여 계산한 휘는 각도를 그림 3에 나타내고 있다. 속이 빈 원(○)으로 표시된 측정값은 PZT의 세 전극에 동일한 전압을 가했을 때(보정 전) $6.5 \times 10^{-8} \text{ rad/V}$ 의 비율로 기울어지고 있다. 이는 PZT의 부분에 따라 늘어나는 길이가 최고 약 10% 차이가 남을 의미한다. PZT의 두 전극에 직렬 연결해야 할 축전기의 정전용량을 식 (1)과 (2)를 이용하여 구하였고 실제 보정에서는 계산 값과 유사한 용량의 축전기를 사용하였다. 축전기로 보정한 후의 측정값은 속이 찬 사각형(■)으로 표시되어있고, 전압에 대한 휘어지는 각도 변화율은 $4.1 \times 10^{-9} \text{ rad/V}$ 로 보정 전에 비해 6.3% 정도로 줄어들었다. 휘어짐을 측정하면서 우리는 PZT와 거울 또는 PZT와 창 of 접착 상태가 휘어지는 정도와 방향에 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 압전소자의 휨을 보정을 더 잘하기 위해서는 실제 사용할 상태에서 휘는 각도를 측정하는 것이 필요하다.

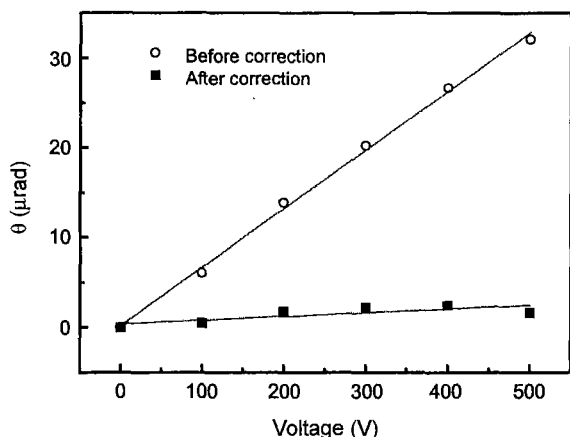


그림 3. 보정 전후에 PZT의 휨는 정도 비교. 전압을 변화시키며 PZT가 기울어지는 각도를 보정 전 (○)과 보정 후 (■)에 측정된 결과를 나타낸다. 보정 전에는 전압에 따른 θ 의 기울기가 $6.5 \times 10^{-2} \mu\text{rad/V}$ 이었으나 보정에 의해 $4.1 \times 10^{-3} \mu\text{rad/V}$ 가 되어 PZT의 휨이 보정에 의해 6.3%로 줄어들었다.

V. 광자감쇠분광기에의 적용

압전소자의 휨을 보정하는 것이 실제 응용에서 얼마나 효과가 있는지 살펴보기 위해 광자감쇠분광기에 사용하는 압전소자를 보정하기 전과 후에 분광기의 측정 불확도를 비교하였다.

반사율이 높은 거울로 구성된 페브리 페로 공동 안에 빛이 들어 있다면 이 빛은 두 거울 사이를 계속 왕복하게 된다. 거울에서 반사될 때 마다 빛의 일부는 투과, 산란, 또는 흡수되므로 외부에서 광자가 유입되지 않으면 공동 내부의 빛의 세기는 시간이 지남에 따라 일정 비율로 감소한다. 공동을 투과해 나온 빛을 검출기로 측정하면 지수함수 형태의 감쇠신호 $\exp(-t/\tau)$ 를 얻을 수 있고 이 신호의 감쇠 비율 τ 를 광자감쇠 시간이라고 부른다. 광자감쇠시간을 측정하면 빛이 공동을 한 번 왕복할 때 겪는 손실률을 알 수 있고, 손실률에는 매질에서의 흡수율과 거울에서의 투과와 산란이 포함되어 있다. 투과와 산란은 입사광의 주파수에 무관하게 일정하다고 볼 수 있으므로 레이저의 주파수를 변화시키면 매질의 흡수 스펙트럼을 구할 수 있다. 반사율이 높은 거울을 사용하므로 공동 내부에서 광경로 길이가 수 km가 되도록 만드는 것이 용이하다. 매질에서 흡수 경로가 길기 때문에 광자감쇠분광법은 (Cavity ringdown spectroscopy, CRDS) $10^{-7}/\text{pass}$ 이하의 손실도^[6-8] 쉽게 측정할 만큼 민감한 측정 방법이다.

CRDS의 감도가 민감하므로 미세하게 PZT가 휘어져서 생기는 공동의 손실도 측정이 되고 이런 측정값의 변화는 결과적으로 분광기의 감도를 떨어트리는 역할을 하게 된다. 우리는 이미 광자감쇠분광법으로 분광선을 측정하였을 때 파장에 따라 흡수가 주기적으로 요동하는 것을 보고한 바 있다.^[4] 광자감쇠 신호를 얻기 위해서는 입사광이 공동에 공진하도록 만들어 충분히 많은 광자가 공동 안으로 들어가야 한다. 연속발진 레이저를 이용하는 경우에는 공동의 길이를 일정한 크기와 주기로 변조하여 변조 주기의 특정 위상에서 공진이 일어나도록 만들게 된다. 만약 흡수 스펙트럼을 얻기 위해서 레이저 파장을 변화시키는데 공동의 기준길이 변화가 없다면 공진이 일어나는 위상이 달라진다. 감쇠신호의 요동을 줄이기 위해서는 공진이 일어나는 위상은 일정한 값을 갖는 것이 필요하다. 그러므로 레이저 파장이 변할 때 변조 전압에 더해진 직류 바이어스 전압을 조절하여 기준길이를 변하게 함으로써 공진 위상을 일정하게 유지한다. 바이어스전압을 측정해 보면 그림 4(a)에서와 같이 공동의 free spectral range(FSR)를 주기로 반복적으로 변하는 것을 볼 수 있다. 공동의 길이는 약 30 cm고 FSR는 500 MHz이다. 만약 전압이 가해질 때 PZT가 휘어지면 공동의 손실이 달라지므로 그 공동의 감쇠시간은 바이어스 전압과 동일한 주기로 요동을 할 것이다. 그림 4(a)의 감쇠시간을 살펴보면 바이어스 전압과 동일한 주기의 요동이 보인다. 감쇠시간 요동과 바이어스 전압 사이의 상관관계를 좀 더 명확히 보기 위하여, 보정 전후에 측정된 감쇠시간을 바이어스 전압의 함수로 하여 다시 그린 것이 그림 4(b)다. 십자로 (+) 표시된 데이터는 휘어짐을 보정하지 않은 PZT를 사용하였을 때이고 ×로 표시된 데이터는 보정된 PZT를 사용하여 측정된 감쇠시간이다. 보정 전후의 측정값을 쉽게 비교하기 위

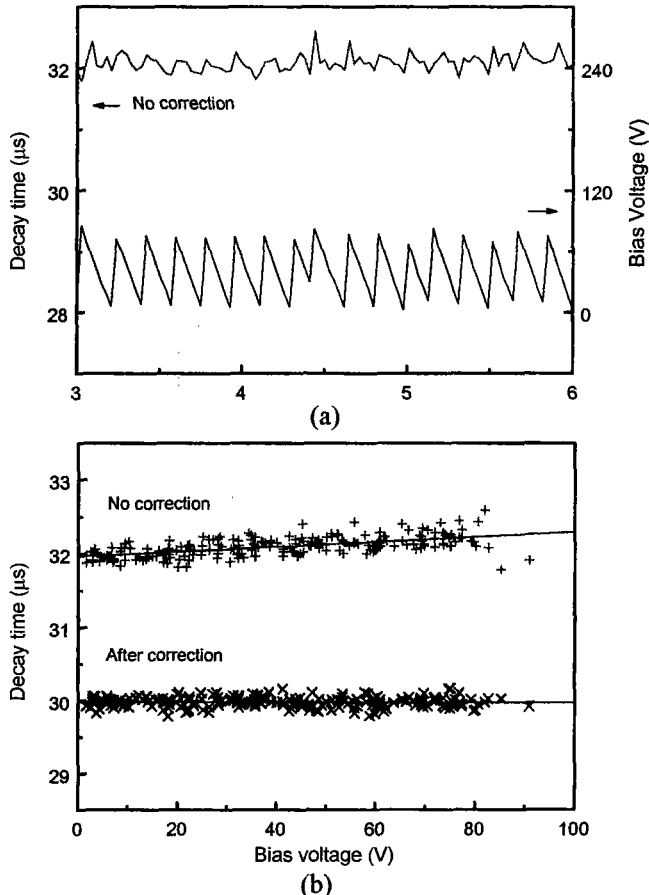


그림 4. PZT가 휘어서 생긴 광자감쇠신호의 요동제거. (a) PZT의 휨을 보정하기 전에 레이저 파장 변화에 따른 감쇠시간의 요동이 바이어스 전압의 주기적인 요동과 일치함을 볼 수 있다. (b) 감쇠시간을 바이어스 전압의 함수로 표시하여 두 측정값의 상관관계를 나타낸다. 신호의 구별을 쉽게 하기 위해 보정전의 감쇠시간 측정값은 일률적으로 2μs를 더해서 그렸다. +와 ×는 각각 보정 전과 후의 측정값으로 바이어스 전압에 따른 감쇠시간의 변화율이 $3.3 \times 10^{-3} \mu\text{s/V}$ 에서 $1.0 \times 10^{-4} \mu\text{s/V}$ 로 3%로 줄어들어 PZT가 휨으로써 생긴 감쇠시간 요동이 대부분 제거되었다.

해서 보정전의 감쇠시간은 일률적으로 2μs를 더해 그림에 표시하였다. 보정전의 측정값은 바이어스 전압이 증가하면 감쇠시간도 따라서 증가하는 것을 명확히 보여주고 있다. 그림의 실선은 감쇠시간을 직선에 곡선맞춘 결과로서 직선의 기울기는 보정 전과 후에 각각 $0.0033 \mu\text{s/V}$ 와 $0.0001 \mu\text{s/V}$ 가 되었다. PZT가 휘기 때문에 생긴 감쇠시간 변화가 보정에 의해 보정전의 3%로 줄어들었다. 그러므로 PZT가 휘어서 생긴 감쇠시간 요동의 대부분은 제거되었음을 알 수 있다. 감쇠시간의 상대 불확도 σ_r/τ 는 보정 전에 0.43%이던 것이 보정에 의해 0.24%로 줄어들었다. 보정에 의해 PZT가 휘어져서 생긴

감쇠시간 요동은 대부분 제거되었으므로 0.24%는 광검출기의 shot noise 등 CRDS 장치의 다른 오차 요인에 의한 불확도임을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 PZT 전극을 삼등분하고 각 전극에 축전기를 직렬 연결하여 PZT의 길이 변화율을 조절함으로써 휨을 줄일 수 있음을 보였다. PZT에 부착된 거울에서 반사된 레이저빔의 위치를 CCD를 사용하여 측정함으로써 PZT가 휘는 각도를 $0.36 \mu\text{rad}$ 의 불확도로 측정할 수 있는 장치를 구성하였다. 견본으로 측정된 원통 관 형태의 PZT는 보정에 의해 휨는 정도가 보정전의 6%로 줄일 수 있었다. 휨이 보정된 PZT를 공동 광자감쇠 공동의 길이 변조에 이용하였을 때, 바이어스 전압에 따른 감쇠시간 변화가 보정전에 비해 3%로 줄었고 휨으로 인한 오차는 대부분 제거되었음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

전기장치의 제작에 도움을 주신 이흥순씨께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] U. Brand and K. Herrmann, "A laser measurement system for the high-precision calibration of displacement transducers," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 6, pp. 911-917, 1996.
- [2] 박영현, 압전 세라믹을 이용한 음향 탐촉자 설계 및 제작에 관한 연구 (한국과학기술원 박사학위논문, 1994).
- [3] S. F. C. L. Wetzels and P. H. J. Schellekens, "Development of a traceable laser-base displacement calibration system with nanometer accuracy," *Annals of the CIRP*, vol. 46, no. 1, pp. 481-484, 1997.
- [4] 김재완, 이재용, 한재원, 유용심, 공홍진, 이해웅, "연속발전 레이저를 이용한 광자감쇠 분광기의 오차요인 분석," 한국광학회지, 제10권 3호, pp. 214-220, 1999.
- [5] Morgan Matroc Inc., PZT reference manual.
- [6] Jae Won Hahn, Yong Shim Yoo, Jae Yong Lee, Jae Wan Kim, and Hae-Woong Lee, "Cavity ring-down spectroscopy with a continuous wave laser: calculation of coupling efficiency and a new spectrometer design," *Appl. Opt.*, vol. 38, no. 9, pp. 1859-1866, 1999.
- [7] D. Romanini, A. A. Kachanov, N. Sadeghi, and F. Stoeckel, "CW cavity ring down spectroscopy," *Chem. Phys. Lett.*, vol. 264, no. 4, pp. 316-322, 1996.
- [8] K. W. Busch and M. A. Busch, *Cavity-ringdown spectroscopy: An ultratrace-absorption measurement technique* (American Chemical Society, Washington, USA, 1999).

Characterization and correction of bending deformation in piezoelectric ceramics displacement

Jae Wan Kim, Seung Hee Nam, and Jae Won Hahn[†]

*Laser Metrology Group, Division of Optical Metrology,
Korea Research Institute of Standards and Science, Taejeon 305-600, KOREA*
[†]*E-mail: jwhahn@kriss.re.kr*

(Received January 31, 2001 ; Received manuscript received May 28, 2001)

We suggest a method to measure and correct bending deformation in piezoelectric ceramics displacement. The angle and direction of the bending deformation are measured by monitoring the position of a laser beam reflected on a mirror which is attached to the piezoelectric ceramics with the uncertainty of the angle measurement of $0.36 \mu\text{rad}$. We divided the electrode of a piezoelectric ceramic into 3 parts and connected 3 capacitors to each electrode in order to apply different voltage to each electrode with one voltage supplier. The deformation was corrected by adjusting the capacitance of each capacitor and was reduced to 6.3%, comparing to the uncorrected case. By using this corrected piezoelectric ceramic to modulate the length of the ringdown cavity, the fluctuation of the decay time caused by the change in optic axis of the cavity was removed.

Classification code : SM.030.