



16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

실험적 경쟁 2015년 5월 7일

08:30-13:30 시간

실험 문제

포함하여 총 22페이지로 구성되어 있습니다.



16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

먼저 다음 지침을 주의 깊게 읽어주세요:

1. 실험 문제의 경우 사용 가능한 시간은 5시간입니다.
2. 제공된 펜과 장비만 사용하세요.
3. 데이터와 결과를 입력해야 하는 답안지 세트가 있습니다.
4. 각 답안지 및 제출하는 추가 답안지의 상단에 있는 상자에 학생 코드를 적습니다.
5. 추가 필기 시트가 제공됩니다.
6. 추가 필기 시트를 사용하는 경우 **학생 코드를** 적어 두십시오.
문제 번호와 이 추가 필기 시트의 **페이지 번호**를 입력합니다.
7. 표시하고 싶지 않은 필기장을 추가로 사용하는 경우, 필기장 전체에 큰 'X'를 표시하세요.
8. 답안에는 주로 방정식, 숫자, 기호, 그래프, 그림을 사용하고 가능한 한 텍스트를 적게 사용해야 합니다. 문제에 정의된 기호를 사용하세요.
9. 실험이 끝나면 모든 시트를 다음 순서대로 정렬합니다:
 - a. 주요 답안지
 - b. 중고 필기 시트
 - c. 'X'로 표시된 쓰기 시트
 - d. 사용하지 않는 필기 시트
 - e. 문제지
10. 모든 서류를 봉투 안에 봉투는 책상 위에 놓아둡니다.
11. **실험에 사용된 종이나 재료는 교실 밖으로 반출할 수 없습니다.**

압전 효과와 그 응용 분야

1. 소개

압전 효과는 가해진 기계적 응력에 반응하여 전하가 고체 물질에 축적되는 과정을 말합니다(그림 1(a) 참조). 압전 효과는 가역적이므로 압전 효과를 나타내는 재료는 역압전 효과, 즉 가해진 전기장으로 인해 내부적으로 기계적 변형이 발생하는 현상도 나타냅니다(그림 1(b) 참조).

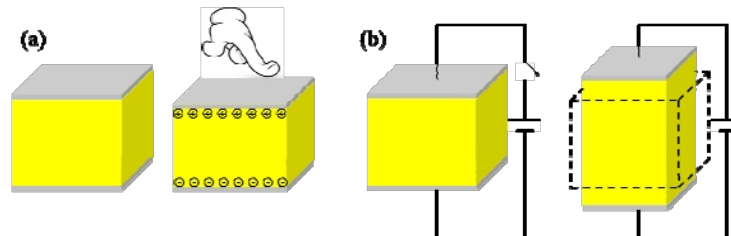


그림 1. (a) 압전 효과. 왼쪽: 기계적 응력이 없는 노란색 압전 큐브. 오른쪽: 가해진 기계적 응력에 반응하여 큐브의 반대쪽 표면에 전하가 축적됩니다. (b) 역 압전 효과. 왼쪽: 전기장을 가하지 않으면 큐브는 응력을 받지 않고 자연스러운 모양을 유지합니다. 오른쪽: 적용된 전기장으로 인해 큐브에 응력이 가해져 변형된 모습입니다.

압전 소재는 소리의 생산 및 감지, 고전압 발생, 마이크로 저울, 광학 어셈블리의 초미세 초점, 시가 라이터용 점화원, 푸시 스타트 프로판 바베큐, 쿼츠 시계 등 산업 및 제조부터 일상 생활에 이르기까지 다양한 분야에 사용됩니다.

위에서 언급한 응용 분야 외에도 압전 재료는 과학 연구에도 활발히 사용되고 있습니다. 매우 높은 전기장은 압전 재료의 치수의 미세한 변화에만 해당하기 때문에 압전 재료는 물체의 위치를 매우 정확하게 파악하는 데 가장 중요한 도구가 됩니다. 표면 과학에서 일반적으로 사용되는 도구인 주사 터널링 현미경 (STM) 및 그 변형의 기초가 됩니다. 1986년 노벨 물리학상은 게르트 비닉과 하인리히 로러가 STM을 설계한 공로로 수상했습니다.

압전 재료의 또 다른 장점은 기계, 전기, 광학 등 다양한 모드 간의 신호 변환이 가능하다는 점입니다. 연구자들은 초저온과 최첨단 전자장치의 도움으로 기계적 모드를 기저 상태로 생각하고 운동의 양자화를 관찰할 수 있습니다. 압전 알루미늄 질화물로 만든 기계적 공진기인 이러한 양자 기계를 만드는 실험은 Science 잡지에서 "2010년 올해의 혁신"이라는 제목으로 선정되었습니다.

압전 소재에는 천연 및 합성 소재가 많이 있습니다. 자연적으로 발생하는 재료로는 석영, 뼈, 실크 등이 있습니다. 합성 소재에는 세라믹, 반도체, 폴리머 등이 있습니다. PZT로 알려진 납 지르코네이트 티타네이트 ($\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{(1-x)}]\text{O}_3$)는 가장 일반적으로 사용되는 압전 세라믹입니다.



16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

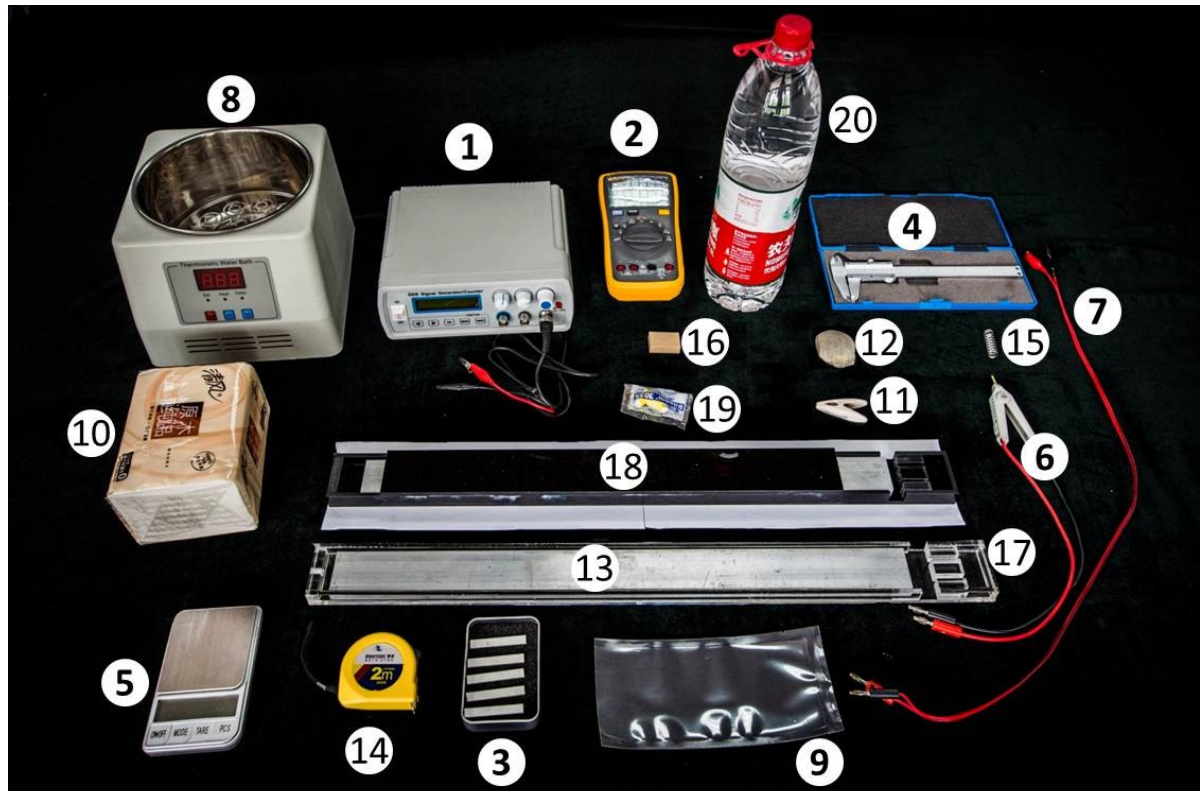
는 오늘날 강력한 압전성을 나타냅니다.

이번 APhO2015 실험에서는 PZT의 특성과 그 응용에 대해 알아볼 것입니다. 주어진 PZT 판에 대해 공진법을 통해 압전 계수를 측정하고 선형 외삽법을 통해 큐리 온도를 추정할 것입니다. 매질에서 기계적 움직임과 음파를 생성하는 변환기를 만들고, 음파의 세기를 감지하는 센서를 PZT 판으로 만들 것입니다. 직접 만든 변환기와 센서를 사용하여 알루미늄 막대에서 소리의 종방향 및 횡방향 파속을 측정합니다. 마지막으로 음파를 사용하여 다른 알루미늄 막대에 인공적으로 설계된 결함을 공명적으로 찾아냅니다.

2. 일반 안전 수칙:

- 1) 전원 코드를 꽂거나 뽑기 전에 반드시 장비의 전원을 꺼야 합니다. 그렇지 않으면 손상이 발생할 수 있습니다.
- 2) 난방 장치가 물로 덮여 있지 않은 경우 온도조절 수조를 켜지 마세요.
- 3) 주변의 전자제품이나 전원 콘센트에 물을 쏟지 않도록 주의하세요.
- 4) 뜨거운 물에 주의하세요.
- 5) 감전에 주의하세요.
- 6) 실험을 위해 제공된 어떤 재료도 마시거나 섭취하지 마세요.

3. 장치



- 1) 광범위한 주파수에 걸쳐 단순 반복적인 전기 파형을 출력할 수 있는 신호 발생기입니다.
- 2) 디지털 멀티미터(DMM).
- 3) PZT 플레이트 5개. 각 플레이트의 두 개의 평평한 표면은 은박막으로 코팅되어 있습니다.
- 4) 버니어 캘리퍼.
- 5) 전자 체중계.
- 6) 켈빈 클립. 켈빈 클립은 두 개의 분리된 턱이 있는 악어 클립으로, 각각 두 개의 바나나 플러그에 연결됩니다. PZT 플레이트를 고정하는 데 사용됩니다.
- 7) 두 개의 바나나 플러그가 각각 두 개의 악어 클립에 연결되는 케이블입니다. 각 악어 클립의 한쪽 턱은 검은색 튜브로 감싸져 있으므로 고정할 때 극성을 올바르게 맞추는 것이 중요합니다.
- 8) 온도 조절 수조.
- 9) 비닐봉지.
- 10) 종이 타월.
- 11) 플라스틱 클립.
- 12) 조약돌.
- 13) 알루미늄 막대입니다.
- 14) 강철 줄자.
- 15) 스프링.
- 16) 지우개.



16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

- 17) 알루미늄 막대와 PZT 플레이트를 함께 보관할 수 있는 투명한 플라스틱 박스입니다.
- 18) 내부에 알루미늄 막대가 있는 검은색 플라스틱 상자. 상자 밖에서는 보이지 않는 결함이 막대를 따라 한 지점에 인위적으로 설계되어 있습니다.
- 19) 귀마개 한 쌍.
- 20) 생수 1.5L.

전자 저울에 대한 지침(그림 2 참조)

- 평평하고 매우 안정적인 표면에 저울을 놓습니다.
- "켜기/끄기" 버튼을 눌러 체중계를 켭니다.
- 수치가 안정될 때까지 기다립니다. 판독값이 0이 아닌 경우 'TARE' 버튼을 눌러 다시 0으로 맞춥니다.
- '모드' 버튼을 눌러 'g', 'gn', 'oz', 'ozt', 'dwt', 'ct' 및 'tl' 사이에서 단위를 전환합니다. "g"(그램) 단위를 사용하는 것이 좋습니다.



그림 2. 전자.

신호 발생기 지침(그림 3 참조)

- 기기를 켜려면 탈착식 USB 전원 코드(AC 어댑터 포함)를 후면 패널 콘센트에 연결하고 전면 패널 전원 버튼을 켭니다.
- '디스플레이 패널'에는 파동 주파수와 파동 유형(사인, 정사각형 또는 삼각형)이 표시됩니다. 실험에는 사인파를 권장합니다.
- "진폭" 노브를 사용하여 신호 진폭을 조정합니다. "조정" 노브를 사용하여 신호 주파수를 변경합니다. "◀" 또는 "▶" 버튼을 사용하여 커서를 이동합니다.
- 'DC 오프셋' 노브를 조정할 때는 주의하세요. 이 노브는 신호의 DC 오프셋을 변경합니다. DC 오프셋이 크면 신호 클리핑이 발생할 수 있습니다(그림 4 (a) 참조). 신호 발생기를 사용하기 전에 DC 오프셋을 보정하는 것이 좋습니다. DMM을 사용하여 출력의 DC 전압을 모니터링하는 동안 DC 전압이 0이 될 때까지 "DC 오프셋" 노브를 조정합니다.
- 또한 신호 클리핑을 방지하기 위해 "진폭" 노브를 최대로 조정하지 않는 것이 좋습니다(그림 4 (b) 참조). 실험을 위해 출력 진폭을 3.0V(rms)로 조정할 수 있습니다. 예를 들어 1kHz의 주파수에서 출력의 AC 전압을 모니터링하기 위해 DMM을 사용하는 동안 AC 전압이 약 3.0V(rms)에 도달할 때까지 "Amplitude" 노브를 조정합니다.
- 실수로 버튼을 눌렀는데 원래 구성으로 돌아가는 방법을 모르는 경우 컴퓨터를 다시 시작하여 기본 구성으로 복원하세요.

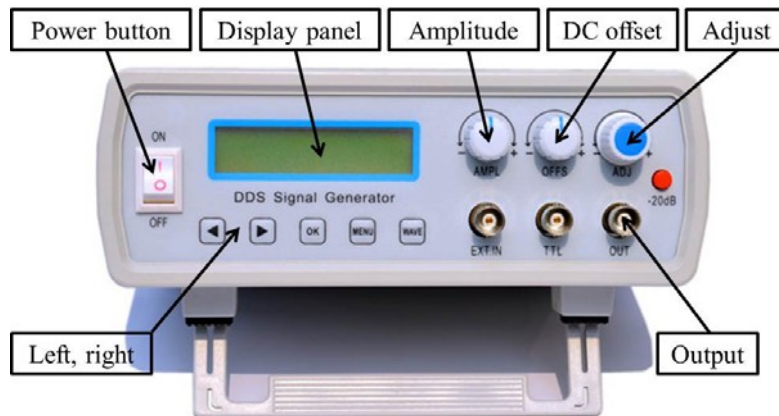


그림 3. 신호 발생기.

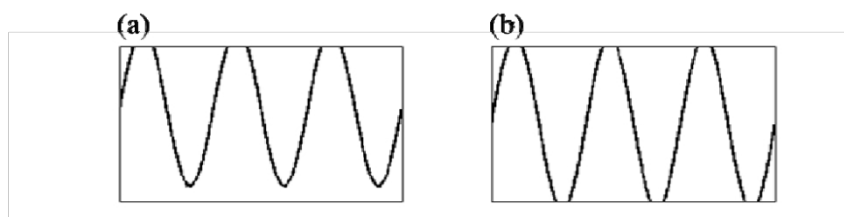


그림 4. 신호 클리핑의 두 가지 증상. (a) DC 오프셋이 0이 아닌 경우의 신호 클리핑. (b) 출력 진폭이 너무 클 때 신호 클리핑.

디지털 멀티미터(DMM. 그림 5 참조)에 대한 지침

- 전압, 저항 및 커패시턴스를 측정하려면 "VΩ" 및 "COM" 입력 단자를 사용합니다.
- 전류를 측정하려면 "mA" 및 "COM" 입구를 사용합니다.
- 로터리 스위치를 사용하여 적절한 기능과 측정 범위를 선택합니다.
- 노란색 버튼을 눌러 AC 모드와 DC 모드 사이를 전환합니다.
- DMM이 20분 이상 비활성 상태로 있으면 "절전 모드"로 전환되고 디스플레이가 공백으로 표시됩니다. 로터리 스위치를 꺼짐으로 돌렸다가 다시 돌리면 DMM이 절전 모드를 비활성화하려면 DMM을 켜는 동안 노란색 버튼을 길게 누릅니다.
- 주의: 최대 40kHz의 주파수 실험에는 사용할 수 있지만, DMM은 1kHz 이상의 AC 신호의 진폭 값을 정확하게 측정하도록 설계되지 않았습니다. DMM을 사용하여 신호 발생기의 출력 전압을 보정하려면 신호 주파수를 1kHz 이하로 설정해야 합니다.

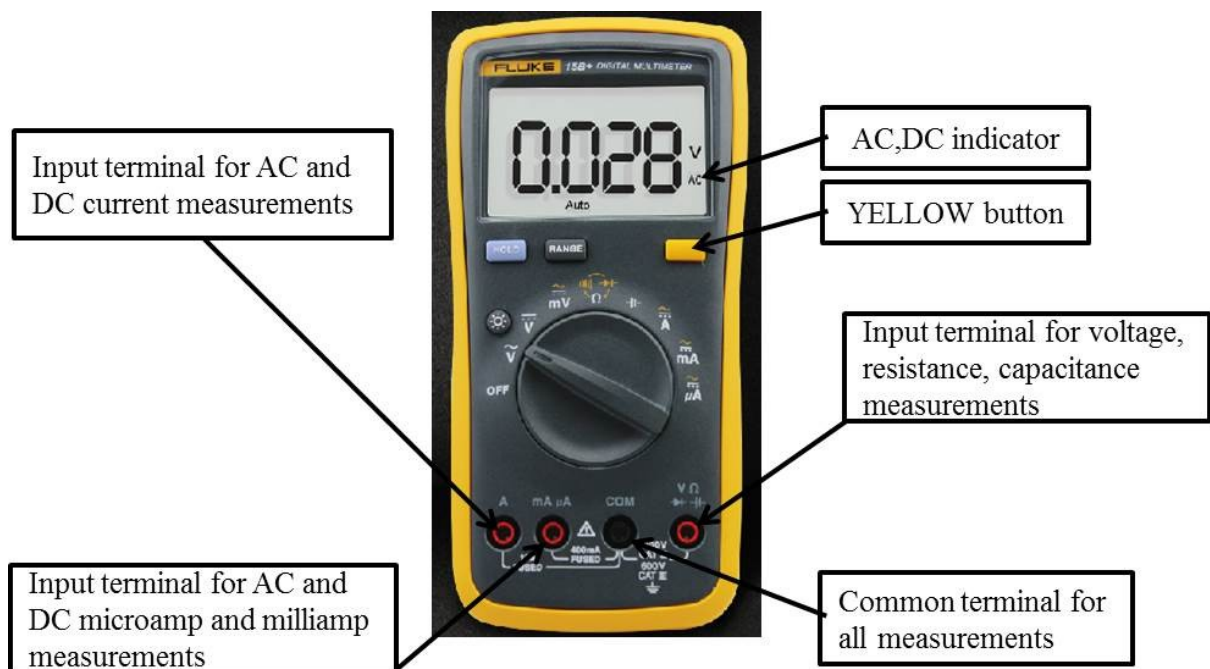


그림 5. 디지털 멀티미터.

온도 조절기 수조 지침(그림 6 참조)

- 사용 중 표면이 뜨거워질 수 있습니다.
- 난방 장치가 물로 덮여 있지 않은 경우 기기를 켜는 것은 엄격히 금지되어 있습니다.
- 주변의 전자제품이나 전원 콘센트에 물을 흘리지 않도록 주의하세요.
- 욕조에 생수를 절반 정도 수 있을 정도로 채웁니다. 전원 코드를 올바르게 연결하고 욕조를 켭니다.
- 목표 온도를 설정하려면 "설정" 버튼을 눌러 "설정" 모드로 들어가면 "설정" 표시등에 불이 들어옵니다. "증가"("감소") 버튼을 사용하여 표시된 값을 목표 온도까지 증가(감소)합니다. "설정" 버튼을 다시 누르면 "설정" 모드가 종료되고 수조가 자동으로 가열을 시작합니다. "온도 표시"에서 실제 온도 수치를 확인하세요.
- 가열 중에는 "가열" 표시등이 켜집니다. 설정 온도에 도달하면 "유지" 표시등이 켜지고 가열이 중지됩니다.
- 실험하는 동안 온도를 낮은 온도에서 높은 온도로 서서히 올리는 것이 좋습니다.

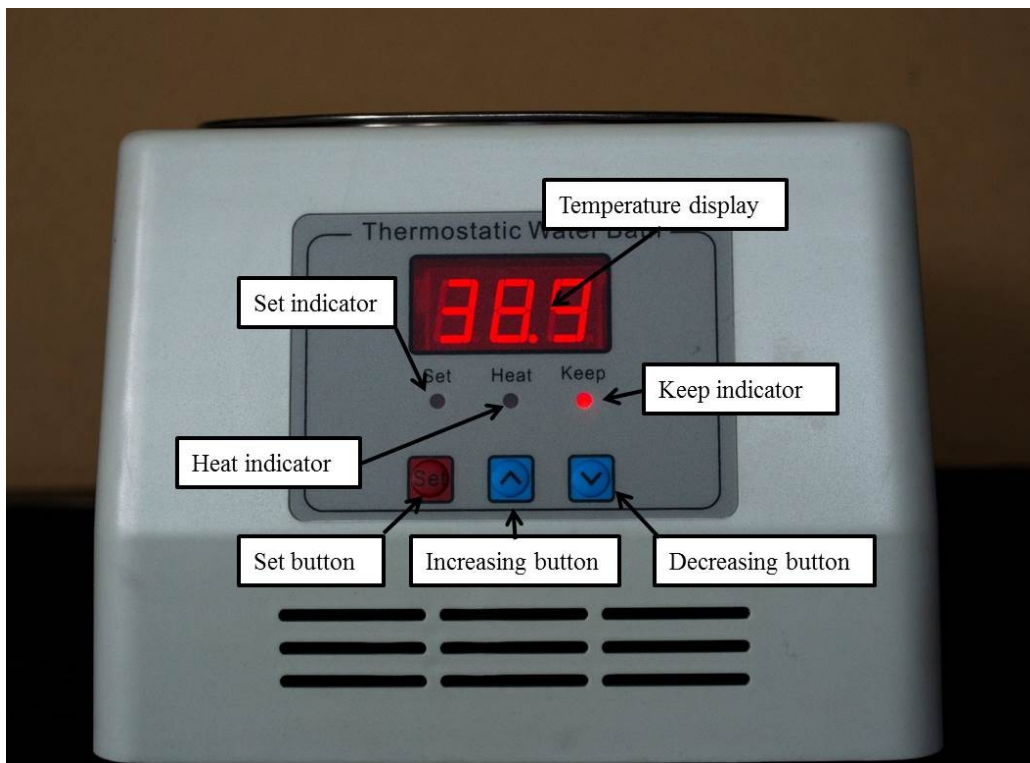


그림 6. 온도 조절.



16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

실험 A

기본 측정 [3.0pts]

이 실험에서는 PZT 판의 치수, 질량 및 정전 용량을 측정한 다음 밀도 ρ 와 상대 유전율 ϵ_r 을 계산해야 합니다.

PZT 플레이트를 선택하세요. 동일한 플레이트를 사용하여 실험 A, B, C를 수행해야 합니다.

실험 A~E에서 오류 분석은 명시적으로 명시된 경우 필요하며, 명시되지 않은 경우 필요하지 않습니다.

A.1	PZT 판을 선택하고 버니어 캘리퍼를 사용하여 길이 l, 너비 w, 두께 t를 측정합니다. 전자 저울을 사용하여 질량 m을 측정합니다. DMM과 켈빈 클립을 사용하여 정전용량 C(주변 온도에서)를 측정합니다. PZT 플레이트 치수의 약간의 불균일성과 기기 판독값의 불확실성을 고려하여 각 측정을 여러 번 반복한 다음 다음을 계산합니다. 평균과 표준 오차.	1.6pts
-----	--	--------

주의: PZT 플레이트의 상대 정전 용량은 온도에 따라 달라집니다(**실험 C** 참조). 커패시턴스 측정은 상온에서 수행해야 합니다. 손으로 직접 플레이트를 예열하지 마세요.

A.2	이제 PZT 플레이트의 밀도 ρ와 상대 유전율 ϵ_r을 계산합니다. A.1에서 얻은 표준 오차를 기반으로 오차 분석을 수행하여 ρ 및 ϵ_r의 불확실성을 추정합니다(진공 투과율 $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12}\text{F/m}$).	1.4pts
-----	--	--------

실험 B

압전 계수를 측정하는 공진 방식 [4.5pts]

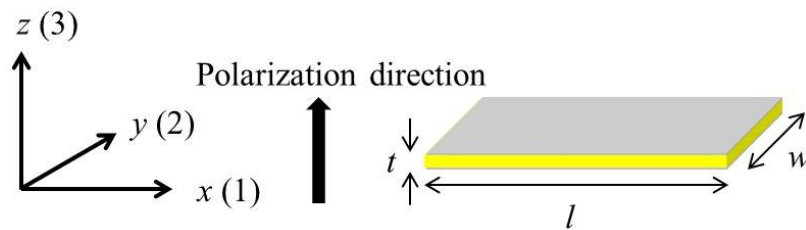


그림 7. PZT 플레이트.

소개 섹션에서 설명한 것처럼 압전판은 전기장을 받으면 왜곡(변형률 S 과 d 의 곱)을 일으킵니다. 전기장 강도 E 에 대한 변형률 S 의 비례 계수 d 를 압전 계수라고 정의합니다.

$$d = \frac{S}{E}$$

실제로 PZT 플레이트는 이방성입니다. 편광 방향이라는 특별한 방향이 있습니다. PZT 플레이트를 생산하는 동안 두께 방향(그림 7의 z 축)을 따라 강한 직류 전기장을 가하여 퀴리 온도보다 높은 온도에서 세라믹의 분자 쌍극자를 정렬합니다(실험 C 참조). 이 분극은 온도가 퀴리 온도 이하로 내려간 후 DC 전기장이 제거된 후에도 유지됩니다.

플레이트의 상단과 하단의 평평한 표면은 전극으로 은막으로 코팅되어 있습니다(그림 7 참조). 전극이 전압원에 연결되었을 때 전기장은 z 축(3)을 따라 흐르며, 이를 E_3 로 표시합니다. 여기서 우리는 다음을 정의합니다.

$$\begin{aligned} d_{31} &= \frac{(S)_1}{E_3}, \\ d_{33} &= \frac{(S)_3}{E_3}, \end{aligned}$$

여기서 $S_1 = \Delta l / l$ 및 $S_3 = \Delta t / t$ 는 각각 x 축(1) 및 z 축(3)에 따른 변형률입니다.

변형률이 반드시 전기장 E_3 과 평행할 필요는 없습니다. PZT 재료의 경우 $d_{(31)} \neq d_{33}$ 의 약 절반입니다. 실험 A의 파라미터에 따르면, 전극에 전압 V 가 인가될 때 길이 l 가 가장 크게 변한다는 것을 알 수 있습니다,

$$\Delta l = \frac{1}{31.3} d E = \frac{1}{31} \frac{V}{t},$$

$$\Delta w = \frac{w}{31} d V,$$

$$\Delta t = t d_{33} E_3 = d_{33} V = 2 d_{31} V,$$

여기서 $L/T \gg W/T \gg 2$. 이론적 처리를 단순화하기 위해 이러한 긴 박판의 경우 폭(y축) 및 두께(z축) 방향의 진동을 무시할 수 있으며 문제는 1차원 진동 문제로 축소됩니다. 따라서 실험 D와 E에서는 폭(y축) 방향을 따라 무시된 진동으로 인해 측정에 약간의 불완전성이 발생할 수 있으므로 중복된 첨자를 제거하고 $d_{(31)}$ 로 간단히 표시합니다.

저주파 신호로 구동될 때 PZT 플레이트는 순수 커패시터(커패시턴스 C 가 A.1)처럼 작동합니다. 그러나 주파수가 증가하면 PZT 플레이트의 진동으로 인해 회로 동작이 크게 달라집니다. 공진 주파수라고 하는 특정 주파수에서는 플레이트가 강하게 진동하고 임피던스가 최소에 도달합니다. 공진 주파수와 함께 임피던스가 최대에 도달하는 주파수도 있는데, 이를 반공진 주파수라고 합니다.

플레이트의 첫 번째 공진 주파수 f_r 은 길이 방향(x축)을 따라 기본 진동 모드와 연관됩니다. 그림 8과 같이 두 개의 커패시터(C_0 및 C_1)와 인덕터(L_1)가 배치된 간단한 회로로 f_r 근처에서 PZT 판을 근사화할 수 있습니다.

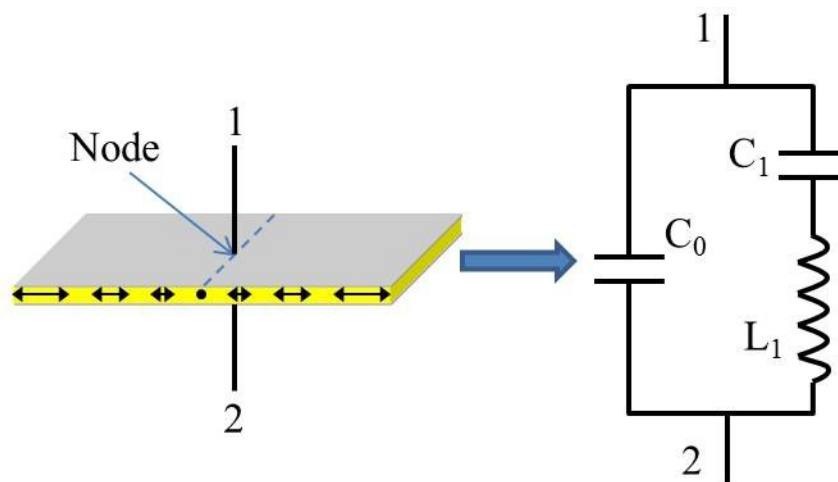


그림 8. 첫 번째 공진 주파수 근처에서 PZT 플레이트의 등가 회로 모델(외부 신호 드라이브에 대한 반응). PZT 플레이트는 기본 모드에서 진동합니다. 자유 경계 조건에서 길이 방향을 따라 중간 지점이 노드입니다.

B.1	등가 회로의 공진 주파수 f_r 와 반공진 주파수 f_a 에 대한 식을 유도합니다.	1.0pts
-----	--	--------

압전 계수 d 는 다음 공식으로 계산할 수 있습니다.

$$d = \sqrt{\frac{\epsilon_{(0)} \epsilon_r}{128 f l_p^4 \left[\frac{1}{(2\pi f_a)^2} - \frac{1}{(2\pi f_r)^2} + \frac{1}{32 f_r^2} \right]}}$$

이제 f_r 와 f_a 를 구하는 실험을 수행합니다. 그림 9의 회로도를 참조하세요. 신호 발생기의 출력 진폭(전압 V)을 일정하게 유지하여 PZT 플레이트의 임피던스가 회로의 교류 전류와 상관관계를 갖도록 합니다.

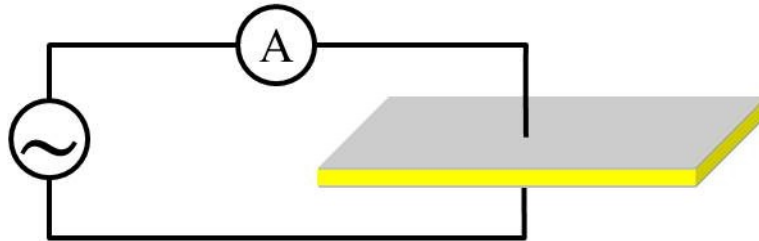


그림 9. 공진 및 반공진 주파수 측정을 위한 회로도.

B.2	신호 주파수 f 의 함수로서 PZT 플레이트를 통과하는 교류 전류 I 를 측정합니다. I-f 곡선을 그리고 공진 주파수 f_r 및 반공진 주파수 f_a 를 구합니다. 다음을 계산합니다. 그에 따라 압전 계수 D 를 입력합니다.	3.5pts
-----	--	--------

지침:

- (1) 그림 9에 따라 신호 발생기, DMM 및 PZT 플레이트를 연결합니다. 중간 지점이 자유 경계 조건의 노드이므로 켈빈 클립을 사용하여 길이 방향을 따라 중간 지점에 PZT 플레이트를 고정해야 합니다.
- (2) 신호 발생기의 "진폭" 노브를 건드리지 않으면 출력 신호의 진폭은 주파수에 따라 거의 변하지 않습니다. 그러나 DMM은 40kHz 이상의 주파수를 가진 신호에는 응답하지 않을 수 있습니다. 40kHz 이상의 데이터는 필요하지 않습니다.
- (3) 주의: 실험 중에는 고정된 PZT 플레이트를 그대로 유지하세요. 조금만 움직여도 현재 판독값이 드리프트될 수 있습니다.
- (4) 주의: A.1에서 언급했듯이 상온에서 측정을 수행해야 합니다. 손으로 접시를 직접 예열하지 마세요.
- (5) 주의: 스위칭 주파수 후 테스트 플레이트에서 고음 소리가 들리지 않고 측정 설정에 자신이 있는 경우, 계측기에 결함이 있을 수 있으므로 주최 측에 문의해야 합니다.

실험 C

PZT 플레이트의 퀴리 온도 [4.0pts]

대부분의 절연체는 온도 변화에 민감하지 않은 유전체 감수성을 가지고 있습니다. 그러나 PZT 세라믹의 정적 상대 유전율은 다음과 같은 관계에 따라 온도에 따라 변합니다.

$$\epsilon_r = 1 + \frac{B}{T - T_c} \quad \text{여기서 } T > T_c.$$

여기서 A와 B는 온도와 무관한 상수입니다. 이 관계를 **퀴리-바이스 법칙**이라고 합니다. 매개변수 B와 T_c 각각 퀴리 상수 및 퀴리 온도라고 불리며, **피에르 퀴리의** 이름을 따서 명명되었습니다.

상 전이는 전이 온도인 T_c 에서 발생합니다. T_c 이상에서 물질은 준전도체 상에 있으며, 결정 내 다양한 단위 셀의 기본 쌍극자가 무작위로 배향되어 있습니다. T_c 아래에서 기본 쌍극자는 서로 상호 작용하여 다음과 같이 발생합니다.

를 내부 장으로 변환하여 쌍극자를 정렬합니다. 인가된 전기장이 없을 때 자발적인 분극이 나타납니다. T_c 아래의 상대 유전율은 다음과 같이 주어집니다.

$$\epsilon_r = 1 + \frac{B}{2(T_c - T)} \quad \text{여기서 } T < T_c.$$

실험 A에서 우리는 $\epsilon_r \gg 1$. 상수 무시하고 다음과 같이 정적 상대 유전율의 근사치를 구할 수 있습니다.

$$\epsilon_r = \frac{B}{2(T_c - T)} \quad \text{여기서 } T < T_c.$$

따라서 A.1에서 얻은 PZT 플레이트의 커패시턴스도 온도에 따라 달라질 수 있습니다. PZT 플레이트의 퀴리 온도는 물의 끓는 온도보다 훨씬 높기 때문에 선형 외삽을 통해 퀴리 온도를 추정합니다.

C.1	이제 다양한 온도에서 PZT 플레이트의 커패시턴스를 측정하고 데이터를 기록합니다.	1.5pts
-----	---	--------

지침:

(1) 바나나 플러그 2개와 크로커다일 클립 2개가 있는 케이블을 사용하여 PZT 플레이트를 연결합니다.

피에르 퀴리





16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

을 DMM에 고정합니다. PZT 플레이트를 고정할 때 두 크로커다일 클립의 극성에 주의하세요. **켈빈 클립은 열을 받으면 ABS 플라스틱이 부드러워지므로 사용하지 마십시오.**

- (2) 비닐봉지 안에 PZT 플레이트를 넣습니다. 플라스틱 클립을 사용하여 케이블과 가방을 고정합니다. **경고: 가방의 한쪽 면이 열려 있습니다. 다른 쪽을 찢지 마세요!**
- (3) 1.5L 생수를 수조에 붓습니다. 비닐봉지를 물에 담급니다. 조약돌을 이용해 비닐봉지를 물속에 담급니다.
- (4) 수조를 켜고 목표 온도를 설정하세요. **경고: 가열 장치가 물로 덮여 있지 않은 경우 기기를 켜는 것은 엄격히 금지되어 있습니다.**
- (5) **경고: 수조의 뜨거운 물은 매우 조심하세요. 50°C 보다 높은 온도의 물은 화상을 입을 수 있다는 점을 기억하세요. 안전을 위해 온도를 90°C 보다 높게 설정하지 마세요.**
- (6) 온도가 천천히 상승합니다. 다양한 온도에서 PZT 플레이트의 커패시턴스 C 를 기록하세요.
- (7) 측정이 끝나면 수조를 끄고 전원 소켓에서 전원 코드를 뽑습니다.
- (8) 힌트: 실험 속도를 높이려면 목표 온도를 90°C 으로 설정하고 온도가 상승함에 따라 커패시턴스를 기록하도록 선택할 수 있습니다.

C.2	데이터를 분석하고, 적절한 그래프를 그리고, 쿼리 온도를 적절히 조절합니다.	2.5pts
-----	--	--------

실험 D

애플리케이션: 알루미늄의 음속 측정 [6.5pts]

고체에서 소리는 종파와 횡파 모두로 전달될 수 있습니다. 두 가지 유형의 파동을 담당하는 매체의 움직임은 아래 그림과 같습니다.

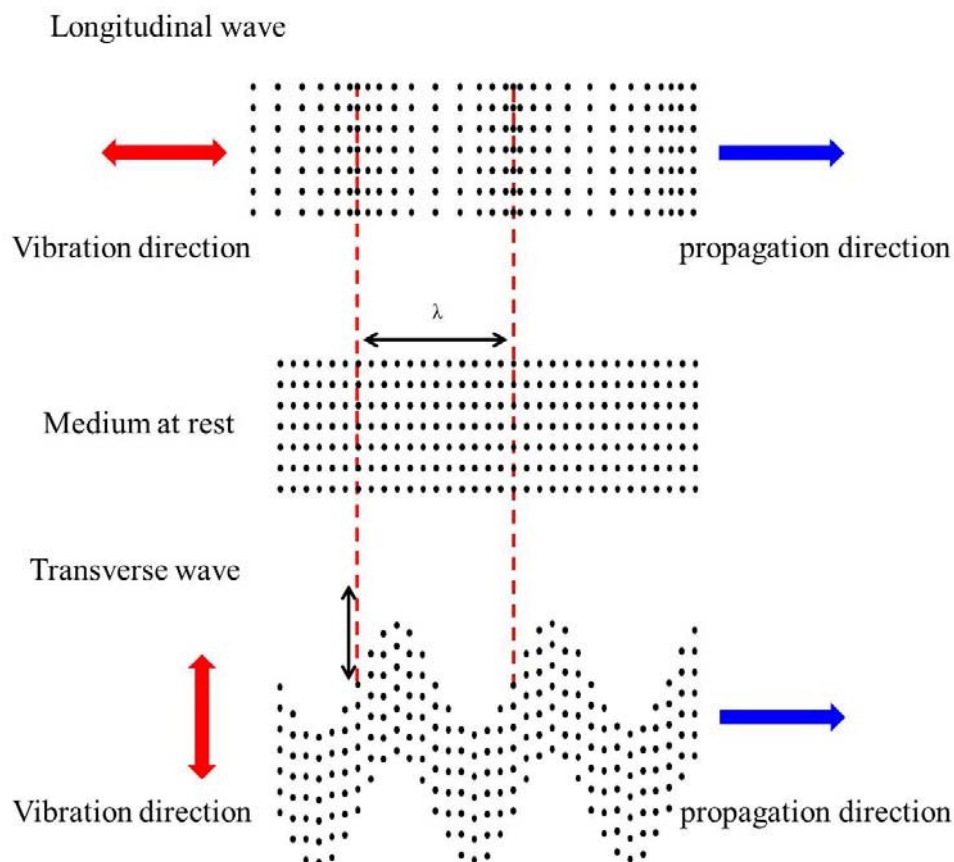


그림 10. 고체의 종파 및 횡파.

종파에서 진동은 종 방향 또는 파동 전파 방향으로 발생합니다. 종파는 에너지가 일련의 압축 및 팽창 운동에 의해 원자 구조를 통해 이동하기 때문에 고체뿐만 아니라 액체에서도 생성될 수 있습니다.

횡파에서 매체의 변위는 파동 전파 방향에 수직입니다. 횡파는 전파를 위해 고체 매질이 필요하며 액체나 기체에서는 효과적으로 전파할 수 없습니다.

이 실험에서는 알루미늄 막대에서 소리의 종파 속도와 횡파 속도를 측정합니다. 먼저 횡파 속도를 측정한 다음 종파 속도를 측정합니다.

D.1	알루미늄 막대의 길이가 L이고 파동 속도는 다음과 같다고 가정합니다. u. 자유 경계 조건에서 긴 막대를 따라 정상파(공진파)의 주파수 f_n에 대한 방정식을 유도합니다. 그런 다음 f_n에서 파동 속도 u에 대한 방정식을 유도합니다.	0.6pts
-----	--	--------

이제 알루미늄 막대에서 음파를 발생시키는 변환기로 PZT 플레이트를 사용하고, 반사된 음파를 감지하는 진동 센서로 또 다른 PZT 플레이트를 사용합니다.

먼저 횡파 속도를 측정합니다. **실험 B**에서 설명한 것처럼 길이 방향을 따라 진동이 지배적입니다. 그림 11과 같이 트랜스듀서와 센서를 막대의 한쪽 끝에 배치합니다. 트랜스듀서의 진동은 마찰을 통해 막대 안으로 전파되어 횡파를 형성합니다.

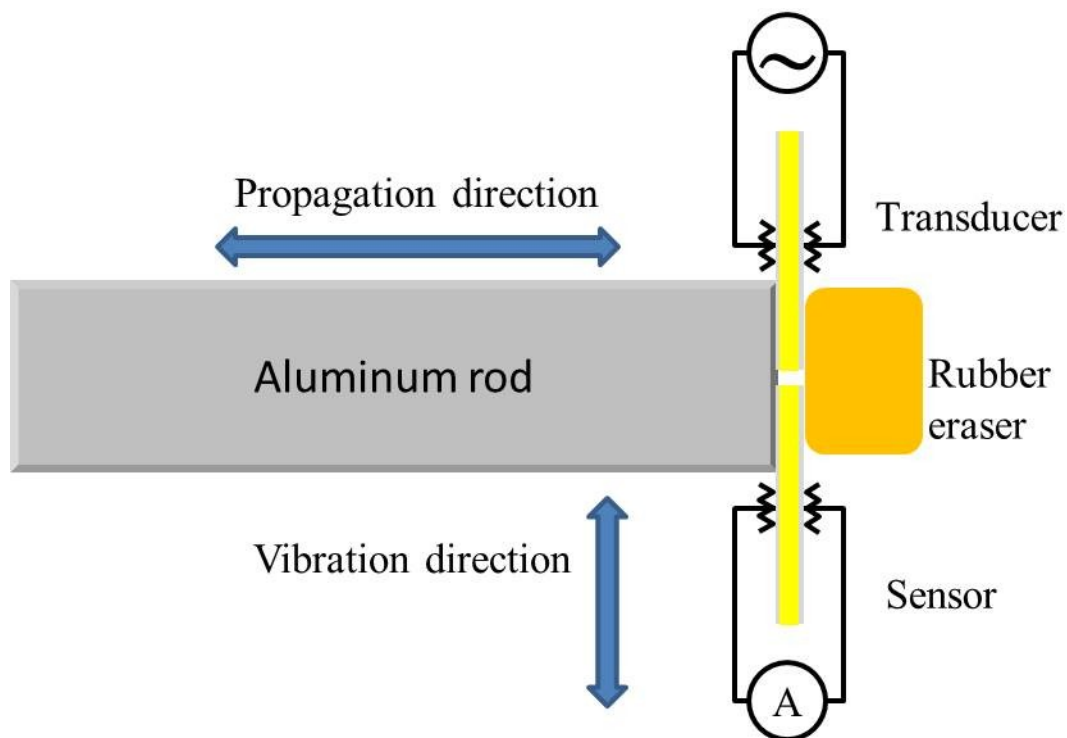


그림 11. 횡파 속도 측정을 위한 설정 그림(상단 보기).

D.2	강철 줄자를 사용하여 알루미늄 막대의 길이 L을 읽습니다. 측정을 여러 번 반복하여 평균과 표준 오차를 계산하세요. 트랜스듀서에서 생성되는 음파의 주파수를 변경하면서 센서가 모니터링하는 피크 값을 기록합니다. 그림 12에 표시된 것과 유사하게 측정된 모든 공진 피크를 포함하는 스펙트럼을 그립니다.	1.6pts
-----	---	--------

지침:

- (1) 그림 11에 표시된 대로 2~4단계에 따라 실험 설정을 준비합니다. 플라스틱 상자는 설정을 수용하도록 특별히 설계되었습니다.
- (2) 알루미늄 막대를 플라스틱 상자의 긴 홈통에 넣고 그림 11과 같이 지우개를 사용하여 알루미늄 막대의 한쪽 끝을 PZT 플레이트에 대고 누릅니다. 두 플레이트가 서로 닿지 않아야 합니다.
- (3) 트로프의 다른 쪽 끝에 스프링을 대고 막대를 PZT 플레이트에 부드럽게 밀어 넣습니다.
- (4) 하나의 PZT 플레이트를 신호 발생기에 트랜스듀서로 연결합니다. 다른 PZT 플레이트를 DMM에 센서로 연결합니다. 악어 클립을 사용할 때는 극성에 주의하세요.
- (5) PZT 플레이트는 깨지기 쉬우며 추가 공급이 없습니다.**
- (6) 높은 소리가 거슬린다면 귀마개를 사용하세요.
- (7) 0~40kHz 범위에서 주파수를 스윕하는 것이 좋습니다.

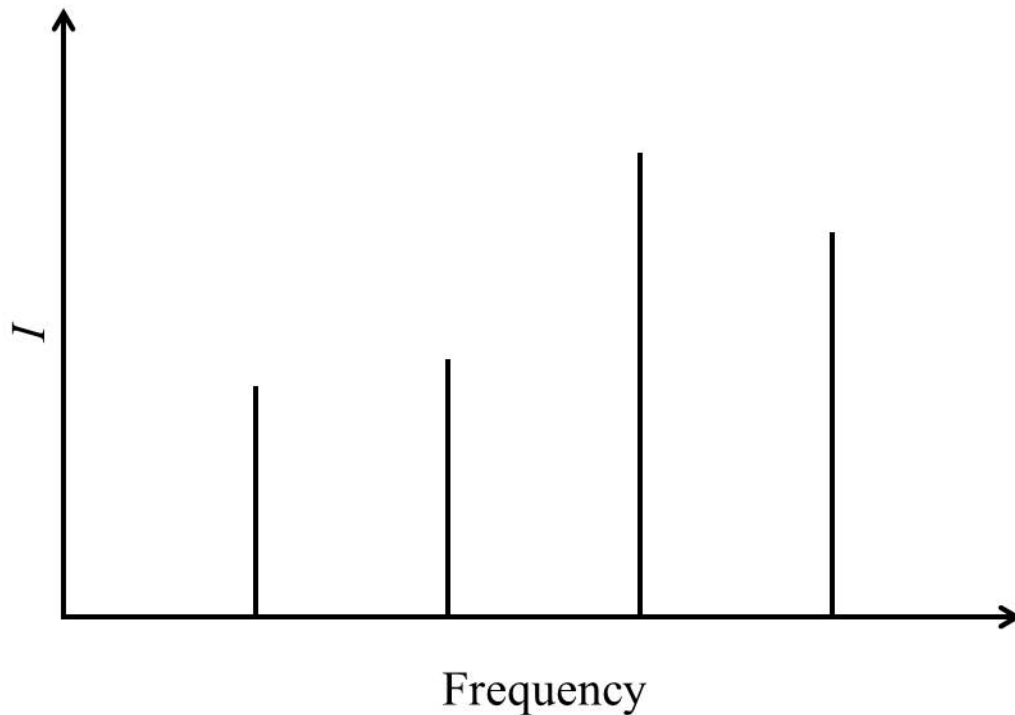


그림 12. 모든 공진 피크를 보여주는 예시적인 스펙트럼.

D.3	횡파에서 발생할 수 있는 공진 피크를 식별합니다. 그에 따라 횡파 속도를 계산하고 오차 분석을 수행합니다. 주의: 불완전한 자유 경계 조건과 같은 실험 설정의 불완전성으로 인해 관련 없는 피크가 발생할 수 있습니다. 다음을 수행해야 합니다.	1.4pts
-----	--	--------

	판단을 내리고 분석 중에 관련 없는 피크는 무시하세요.	
--	--------------------------------	--

PZT 플레이트와 막대 사이의 접촉 스타일을 변경하면 막대의 종파 속도도 측정할 수 있습니다. 그림 13과 같이 트랜스듀서와 센서를 막대에 부착합니다. 트랜스듀서의 길이 방향을 따라 진동이 압축을 통해 막대 안으로 전파되어 종파를 형성합니다.

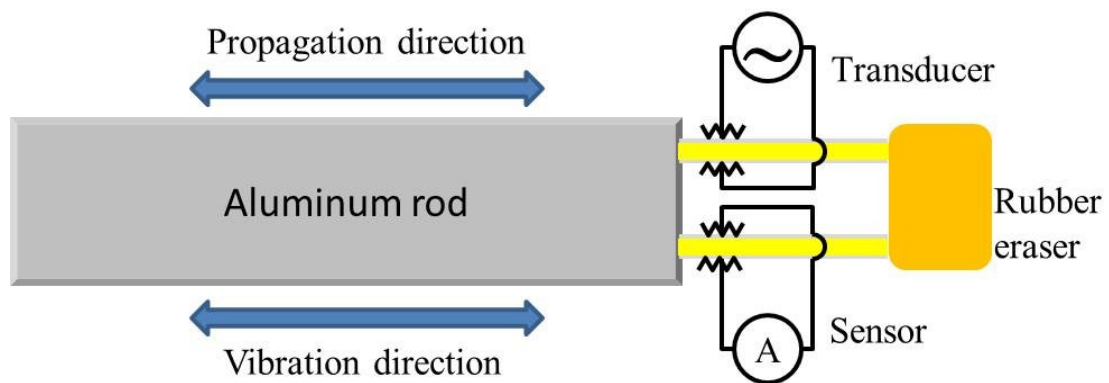


그림 13. 종파 속도 측정을 위한 설정 그림.

실험 B에서 설명한 것처럼 길이 방향을 따른 진동이 지배적이지만 다른 방향을 따른 진동도 존재하며, 이는 막대에 음파를 생성하고 스펙트럼에 추가 공진 피크를 도입할 수 있습니다. 다른 방향의 진동은 횡파만 발생한다는 점에 유의하세요. 따라서 추가 공진 피크는 종방향 정재파로 인한 피크와 일치하지 않습니다.

D.4	트랜스듀서에서 생성되는 음파의 주파수를 변경하면서 센서가 모니터링하는 피크 값을 기록합니다. 측정된 모든 공진 피크를 포함하는 스펙트럼을 다음과 같이 그립니다. 그림 12에서	1.5pts
-----	--	--------

지침:

- (1) 그림 13에 표시된 대로 2~5단계에 따라 실험 설정을 준비합니다. 플라스틱 상자는 설정을 수용하도록 특별히 설계되었습니다.
- (2) 플라스틱 상자의 한쪽 끝에 있는 두 개의 슬림 슬롯에 각각 두 개의 PZT 플레이트를 정렬합니다.
- (3) 트로피에 있는 긴 알루미늄 막대를 쿠션으로 사용하여 지우개를 막대의 한쪽 끝에 대고 PZT 플레이트를 누릅니다.
- (4) 다른 쪽 끝에 스프링을 삽입하여 막대를 PZT 플레이트에 부드럽게 밀어 넣습니다.
- (5) 하나의 PZT 플레이트를 신호 발생기에 트랜스듀서로 연결합니다. 다른 PZT 플레이트를 DMM에 센서로 연결합니다. 악어 클립을 사용할 때는 극성에 유의하세요.
- (6) 주의: PZT 플레이트와 막대 사이의 접촉 스타일이 중요합니다.



16th ASIAN PHYSICS OLYMPIAD 2015
3rd-11th MAY, HANGZHOU, CHINA

PZT 플레이트의 가장자리가 봉의 측면에 완전히 닿도록 하여 점 또는 부분적으로 접촉하지 않도록 하세요.

- (7) 주의: 스펙트럼에서 너무 많은 공진 피크를 발견하면 신호 발생기의 신호 진폭을 줄이거나 PZT 플레이트와 막대 사이의 압력을 약간 풀어 횡파 발생을 줄일 수 있습니다. 스프링이 없어도 PZT 플레이트와 막대 사이의 접촉이 여전히 괜찮은 경우 반대쪽 끝의 스프링을 제거해 볼 수도 있습니다.

- (8) 0~40kHz 사이의 주파수를 스윕하는 것이 좋습니다.

D.5	D.2의 결과와 비교하여 횡파에 의한 공진 피크를 식별합니다. 종파에 의한 공진 피크를 선택하고 종파 속도를 계산합니다. 에 따라 오류 분석을 수행합니다.	1.4pts
-----	---	--------

실험 E

애플리케이션: 알루미늄 막대의 결함 찾기 [2.0pts]

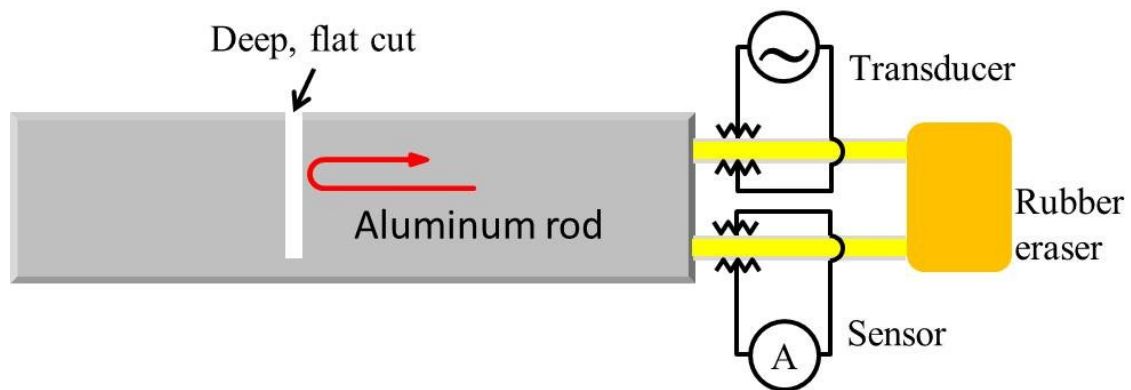


그림 14. 알루미늄 막대의 결함을 찾기 위한 설정 그림.

실험 D에서 종파 속도를 알고 나면, 여기서는 긴 알루미늄 막대를 따라 인위적으로 설계된 결함, 즉 깊은 상처를 찾으려고 합니다.

고체 물질을 통과하는 음파는 금속, 복합재, 플라스틱 및 세라믹의 숨겨진 균열, 공극 및 기타 내부 불연속성을 감지하는 데 사용되어 왔습니다. 산업용 초음파 테스트는 최대 수백 볼트의 진폭을 가진 수 메가헤르츠의 짧은 펄스를 반복적으로 생성하여 변환기를 구동한 다음 수신된 신호를 증폭하여 결함으로 인한 반사가 있는지 확인하는 방식으로 이루어집니다. 이는 현재 설정에서는 기술적으로 너무 복잡합니다. 대신 간단한 데모로 공진 방법을 다시 사용하여 막대의 깊고 평평한 상처를 감지합니다. **실험 D**의 경우와 달리 음파는 막대의 맨 끝이 아닌 깊은 절단 지점에서 다시 반사됩니다. 따라서 스펙트럼에서 공진 피크의 배열이 **실험 D**의 경우와 달라지며, 이는 깊은 절단 지점을 찾는 기준이 될 수 있습니다.

종파를 사용하여 감지할 수 있습니다.

E.1	트랜스듀서에서 생성되는 음파의 주파수를 변경하면서 센서가 모니터링하는 피크 값을 기록합니다. 측정된 모든 공진 피크를 포함하는 스펙트럼을 다음과 같이 그립니다. 그림 12에서	1.2pts
E.2	측정된 스펙트럼에서 딥 컷의 존재에 해당하는 공진 피크를 식별합니다. 지점으로부터의 거리를 추정합니다. PZT 플레이트와 접촉하는 끝부분을 잘라냅니다.	0.8pts