

# 액정의 상전이 측정에 대한 초음파 spectroscopy 시스템의 적용

## — The Application of Ultrasonic Spectroscopy System for Phase Transition of Liquid Crystal —

한서대학교 방사선학과

김정구 · 임청환

### — 국문요약 —

PVDF [poly(vinylidene fluoride)] 압전소자로 제작된 초음파 변환기를 이용하여 초음파 spectroscopy 측정시스템을 제작하였다. 이 장치를 이용하여 MBBA(p-methoxy benzylidene-p-n-butylaniline) 액정의 nematic-isotropic 상전이 현상을 관측한 결과 상전이 온도가 47°C임을 확인하였으며, 기존의 광학적 방법에 의해 관측된 값과 잘 일치하였다. 한편으로 상전이 점의 주파수 의존성을 확인하였으나 이는 관측되지 않았으며, 단지 PVDF 압전소자의 공진주파수인 2 MHz에서 초음파의 진폭이 최대로 나타났으며, 다른 주파수에서는 진폭이 감소함을 알 수 있었다. 이와 같이 온도의 변화에 따른 액정의 상전이 현상을 초음파 감쇠의 변화로 확인하여 보았다. 이것은 액정의 상전이 메커니즘을 해석함에 있어 PVDF 초음파 변환기를 이용한 spectroscopy 측정 시스템은 매우 유용한 도구로 이용될 수 있음을 확인하였으며, 의료용으로 이용할 경우 결상세포 빈혈증이나 동맥 경화증과 같은 질병 진단에 이용 가능하리라 여겨진다.

### I. 서 론

초음파 spectroscopy 측정 시스템은 매질내부를 전파하여 매질의 물리적 특성에 관한 연구에 아주 좋은 도구로 널리 알려져 왔다<sup>1,2,3</sup>. 현재 매질의 특성에 관한 정보를 얻는 초음파 spectroscopy 측정 시스템으로 주로 펄스에코법이 가장 많이 이용된다. 펄스에코법은 매질에 초음파 신호를 보내면 그 매질의 음파물성에 따라 반사되어 오는 신호로부터 반사계수의 크기나 위상 변화 등에 의해 물질의 물성에 관한 특성을 조사한다<sup>4,5</sup>. 그러나 이러한 측정 시스템은 온도나 압력, 자기장의 함수로서 몇몇 고정된 주파수에서만 이루어졌다. 이와 같은 주파수는 매질에 대한 여러 가지 메커니즘 연구에 중요한 요소가 된다. Krautkramer가 광대역 주파수를 갖는 초음파 펄스와 주파수 스펙트럼의 해석을 처음 제안한 이후 매질에 대한 초음파 응답특성의 주파수 의존성을 얻기 위한 여러 장치들이 개발되어 왔다. 그러나 종래의 초음파 spectroscopy 측정 시스템은 여러 가지 실험적 어려움

로 인하여 넓은 주파수 범위에서 초음파 측정을 할 수 있는 장치를 거의 구성하지 못하였다.

초음파 spectroscopy에 있어서 초음파를 발생시키고 검출하는 부품인 초음파 변환기는 가청 주파수 영역의 스피커와 마이크로폰과 같은 역할을 하는 매우 중요한 부품이다. 현재 초음파 변환기의 압전소자로 사용되는 것은 세라믹스나 수정 등의 무기물 압전소자가 주종을 이루고 있다. 그러나 이러한 무기물 압전소자는 공진주파수 대역만을 사용하므로 대역폭이 좁아 매질의 주파수 특성을 조사하는 초음파 spectroscopy 측정 시스템에는 사용할 수 없다. 따라서 이러한 무기물 압전소자의 단점을 보완하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 그 중에서도 PVDF [poly(vinylidene fluoride)] 고분자 재료에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다<sup>6,7</sup>. PVDF는 결정화도가 50% 정도인 반결정성 고분자로서  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 주된 두 종류의 결정을 가지며<sup>7</sup> MHz 주파수 대역 뿐만 아니라 GHz 대역까지도 응용 가능한 우수한 압전소자로 알려져 있다<sup>8,9,10</sup>. 따라서 이러한 광대역의 특성을 지니는 PVDF 고분자 압

전 필름을 이용하여 초음파 변환기를 제작하여 초음파 spectroscopy 측정 시스템에 적용할 경우 매질의 주파수 특성을 관측할 수 있음을 예상할 수 있다.

PVDF 초음파 변환기는 음향 임피던스가  $4.02 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$ 으로 물( $1.48 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$ )과 생체계의 음향 임피던스와 거의 같기 때문에 임피던스 매칭이 좋아 의료용 진단장비의 초음파 센서로서 사용할 경우 효율 좋은 초음파의 송,수신을 알 수 있는 특징이 있다. 또한 기존의 초음파 진단장비의 압전센서로 사용되는 PZT는 제조 공정상의 어려움이나, 유연성, 공진주파수 부근 이외에는 송,수신이 안되는 단점을 가지지만, PVDF 압전소자는 필름 형태로서 유연하고, 공진주파수의 이외의 영역에서도 송,수신이 가능한 광대역의 특성을 가진다. 따라서 PVDF로 초음파 변환기를 제작하여 의료용 초음파 영상 장치의 probe나 수중 하이드로폰 등에 사용할 경우 뛰어난 성능을 발휘할 것으로 여겨진다. 그러나 PVDF 압전 필름은 전기적 신호를 인가할 수 있는 전극 제작의 어려움으로 인하여 초음파 변환기로서의 제작이 어려웠다. 본 연구에서는 초음파 spectroscopy 측정 시스템에서 가장 중요하고 핵심적인 부품인 초음파 변환기를 기존의 무기질 세라믹이나, 수정 등과 같은 압전소자의 단점을 보완한 PVDF 고분자 압전 필름을 이용하여 초음파 변환기를 제작하였으며, 이를 이용한 새로운 초음파 spectroscopy 측정 시스템을 개발하였다. 또한 제작된 초음파 spectroscopy 측정 시스템을 이용하여 LCD용으로 상온에서 상당히 안정한 최초의 액정물질인 MBBA(p-methoxybenzylidene-p-n-butylaniline)에 대한 nematic-isotropic 상전이 변화를 관측하여 보았다.

## II. 실험

Fig. 1은 본 연구에서 제작한 PVDF 고분자 압전 초음파 변환기의 개략도이다. 이와 같이 제작된 초음파 spectroscopy 측정 시스템에서 초음파 송수신용으로 사용된다<sup>11)</sup>.

Fig. 2는 MBBA 액정의 nematic-isotropic 상전이 변화를 관측하기 위한 PVDF 초음파 변환기를 이용한 초음파 spectroscopy 시스템의 개략도이다. 먼저 펄스발생기(HP 8116A)에서 나온 burst 파는 감쇄기(TRA-601D)를 거쳐 전기적 신호를 증폭하기 위하여 파워앰프(ENI A150)를 통하여 PVDF 초음파 변환기에 공급되며 샘플을 투과한 초음파는 수신용 PVDF 초음파 변환기에 의해 다

시 전기적 신호로 변환되며, 이것은 저장형 오실로스코프(TEXTRONIX 468)에서 spectrum으로 관측된다. Fig. 3은 액정의 상전이를 관측하기 위해 제작된 초음파 셀을 나타내었다. 셀 내부의 온도를 조절하기 위하여 셀의 외부에 물이 순환하는 이중구조로 되어 있으며, 외부의 온도조절장치와 연결되어 0.1°C까지 조절할 수 있도록 하였다. 다시 그 속에 시료를 넣을 수 있는 셀을 크기가 50×50×50 mm이며 직경 20 mm, 깊이 20 mm인 원통형으로 제작된 작은 셀을 삽입하여 그 속에 시료를 채운다. 이때의 작은 셀은 열전도가 좋은 동으로 제작하였다.

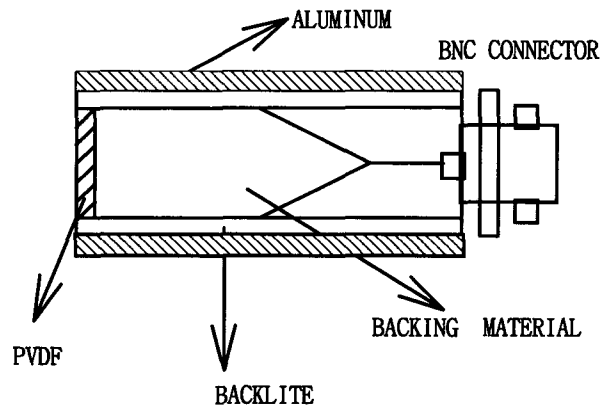


Fig. 1. Schematic construction of PVDF ultrasonic transducer

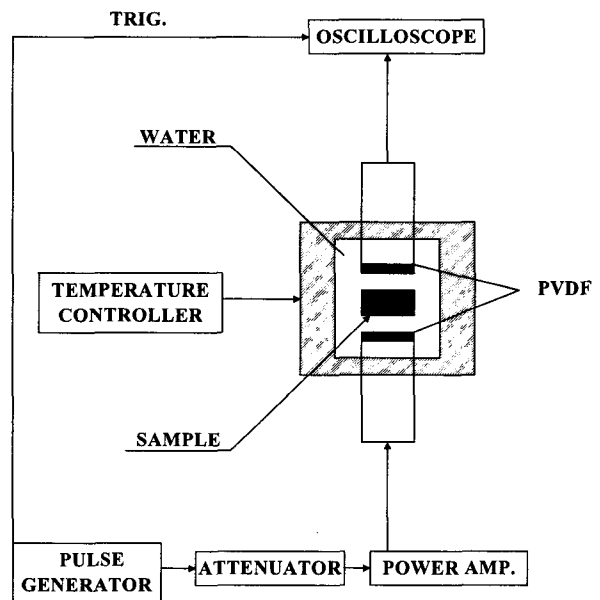


Fig. 2. Block diagram of the ultrasonic spectroscopy measuring system

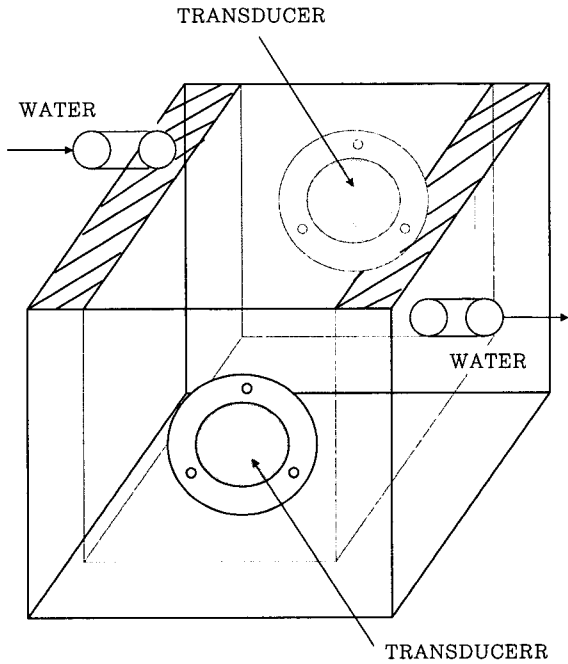


Fig. 3. Frequency and temperature variation for the ultrasonic power spectra of MBBA liquid crystal

### III. 결과 및 논의

일부 결정성 물질에 열을 가하면 일정한 온도에서 용융하여 탁한 액체가 되며, 더욱 가열하면 또 다른 일정한 온도에서 투명한 액체로 변한다. 이러한 탁한 액체가 광학적으로 복굴절을 일으키는 물체를 액정이라 하며, 일반적인 액체가 광학적으로 등방성임에 비하여 액정은 비등방성을 나타낸다. 이러한 상태에서는 분자들의 모양이 긴

막대기 형태를 띠며 유연성이 없고 뻣뻣한 상태로 일정한 온도 범위 내에서 긴 축을 일정한 방향으로 향하고 있으며 일반적인 액체와 같이 불규칙한 분포를 이루는 상태가 되는데 이를 nematic이라 한다. 그러나 일반적으로 액정에 열이 가하면 비등방성을 잃어버리고 투명한 액체로 상태가 변하게 된다 이러한 상태를 isotropic이라 한다. 이와 같이 특정한 온도에서 일어나는 갑작스런 변화를 상전이이라 한다. 이러한 액정의 nematic-isotropic 상전이 변화를 광대역의 특징을 지니는 PVDF 초음파 변환기를 이용한 초음파 spectroscopy 측정 시스템을 사용하여 관측하여 보았다.

Fig. 4는 MBBA 액정의 상전이 점을 주파수 및 온도의 관계로 조사한 것이다. 상전이 온도인  $47^{\circ}\text{C}^{(12)}$ 에서 진폭이 최소가 됨을 알 수 있다. 이것은 초음파의 진폭이 최소치가 되는 온도가 액정의 상전이 점과 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 한편 상전이 점의 주파수 의존성을 확인하려고 하였으나 이는 관측되지 않았으며, 단지 PVDF 압전소자의 공진주파수인 2 MHz에서 초음파의 진폭이 최대로 나타났으며, 다른 주파수에서는 진폭이 감소함을 확인할 수 있었다.

Fig. 5는 MBBA 액정의 상전이 변화를 약  $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 온도에 따른 초음파의 투과파에 대한 진폭 스펙트럼의 최대값의 변화를 관측한 것이다. 온도가 상전이 온도  $47^{\circ}\text{C}$ 에 근접할수록 투과된 초음파의 강도는 점차 감소하며, 상전이 온도 이후 다시 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 초음파 spectroscopy 측정 시스템으로 얻어진 결과는 다른 기존의 광학적 방법으로 얻어진 결과<sup>(12)</sup>와 잘 일치함을 알 수 있었다. 이로서 초음파 감쇠가 변화하는 것을 이용하여 액정의 상전이 메카니즘을 해석

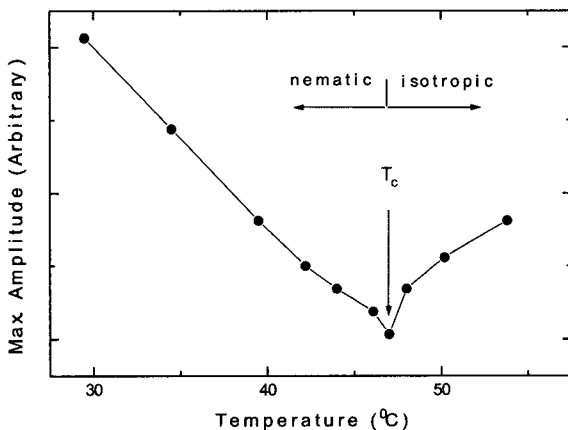


Fig. 4. Block diagram of the ultrasonic spectroscopy measuring cell

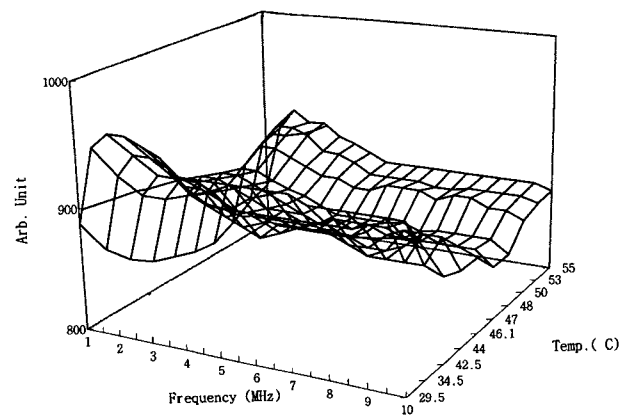


Fig. 5. Temperature dependence for the maximum amplitude in the ultrasonic spectra of MBBA liquid crystal

함에 있어 초음파 spectroscopy 측정 시스템이 매우 유용한 도구로 이용될 수 있음을 확인 할 수 있었다. 이러한 초음파 spectroscopy 측정 시스템을 의료용으로 이용할 경우 동맥경화를 유발시키는 지방산의 일종인 콜레스테릴 미리스테이트의 상전이 변화를 확인 할 수 있으리라 예상되며, 이러한 상전이에 대한 이해가 진보됨에 따라 빈혈증이나 동맥 경화증과 같은 질병 진단의 가능성을 예상할 수 있다.

#### IV. 결 론

광대역 고분자 초음파 변환기를 이용하여 새로운 초음파 spectroscopy 측정시스템을 제작하였다. 이 장치를 MBBA 액정의 nematic-isotropic 상전이 현상을 관측한 결과 상전이 온도가 47°C임을 확인하였으며, 이것은 기존의 광학적 방법에 의한 결과와 잘 일치하였다. 이로써 초음파 감쇠가 변화하는 것을 이용하여 액정의 상전이 메커니즘을 해석함에 있어 PVDF 초음파 변환기를 이용한 spectroscopy 측정 시스템은 매우 유용한 도구로 이용될 수 있음을 확인하였으며, 의료용으로 이용할 경우 겸상세포 빈혈증이나 동맥 경화증과 같은 질병 진단에 이용 가능하리라 여겨진다.

#### 참 고 문 헌

1. S. Hayashi and A. Imamura: A study of the polarization reversal in poly(vinylidene fluoride) using molecular orbital calculations, *J. Poly. Sci. Part B*, 30, 769-773, 1992
2. J. Krautkramer and H. Krautkramer: *Ultrasonic testing of materials*, Berlin, Springer Verlag, 245-246, 1977
3. X. F. Gong, F. Feng, C. Y.Y. Zhu and T. Shi: Ultrasonic investigation of the nonlinearity parameter B/A of biological media, *J. Acoust. Soc. Am.*, 76, 949-950, 1984
4. K. Takagi and K. Negishi: High resolution bragg reflection method for measuring UHF ultrasonic velocity in liquids, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 14, 149-153, 1975
5. J. Hunt, M. Arditi and F. Foster: Ultrasound transducer for pulse-echo medical imaging, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 30, 453-461, 1983
6. B. A. Newman, C. H. Yoon, K. D. Pae, and J. I. Scheinbem: Piezoelectric activity and field-induced crystal structure transitions in poled poly(vinylidene fluoride) films, *J. Appl. Phys.*, 50, 6095-6100, 1979
7. Naohiro Mutayama and Hiroshi Obara: Piezoelectric polymers and their applications, *Jpn. J. of Appl. Phys.*, 49, 5130-5139, 1983
8. K. Shiloh, L. J. Bond and A. K. Som: Detection limits for single small flows and groups of flows when using focused ultrasonic transducer, *Ultrasonics*, 31, 395-404, 1993
9. M. A. Josserand and C. Maerfeld: PVD2 velocity hydrophone, *J. Acoust. Soc. Am.*, 78, 861-867, 1985
10. M. Tamura, K. Ogasawara, N. Ono, S. Hagiwara: Piezoelectricity in uniaxial stretchhed Poly(vinylidene fluoride), *J. Appl. Phys.*, 45, 3768-3771, 1974
11. 김정구, 배종림: 광대역 고분자 초음파 변환기를 이용한 초음파 비선형 파라메타 B/A의 측정 응용물리, 9, 278-283, 1996
12. Peter J. Collings: *Liquid Crystals*, Princeton University Press, New Jersey, 52-53, 1990

• Abstract

---

## The Application of Ultrasonic Spectroscopy System for Phase Transition of Liquid Crystal

Jeong-Koo Kim · Cheong-Hwan Lim

*Department of Radiological Science, Hanseo University*

A new measuring system for ultrasonic spectroscopy was constructed, utilizing PVDF [poly(vinylidene fluoride)] polymer films as wideband transducers. In a test of its performance, this measuring system was successfully applied to study of the nematic-isotropic phase transition in MBBA(p-methoxybenzylidene-p-n-butylan iline) liquid crystal. We could be confirmed that the phase transition in MBBA is 47°C, which is agree with the exciting optical method. The dependence of frequency on the phase transition was not observed, and but Maximum ultrasonic amplitude is measured for the resonance frequency 2MHz in PVDF transducers, These results shows that the spectroscopy with PVDF transducers takes advantage of studying the transient phenomena. When our apparatus is applied in medical purposes, It will be possible diagnostic for sickle-cell anemia and arterial sclerosis

---

**Key words** : ultrasonic spectroscopy, PVDF, liquid crystal, MBBA