

## 탄성 표면파를 이용한 점도 센서의 개발

정우석\* · 김기범\*\* · 강형섭\*\*\* · 홍철운\*\*\*\*†

### Development of viscosity sensor using surface acoustic wave

Woo-Suk Chong\*, Gi-Beum Kim\*\*, Hyung-Sub Kang\*\*\*, and Chul-Un Hong\*\*\*\*†

#### Abstract

The purpose of this study is to materialize the viscosity sensor by using the SH-SAW sensor of which the center frequency is operated at higher than 50 MHz. In order to measure the viscosity, SAW sensor of which the center frequency is operated at 100 MHz is developed. By using the developed sensor, phase shift, delay time, insertion loss, and frequency variation are measured at different viscosity. The result shows that the phase shift difference between the viscosity variations is such that the difference between the distilled water and the 100 % glycerol solution is approximately 45 °, the change of the insertion loss is approximately 9 dB, and the difference of frequency variation is approximately 5.9 MHz. Therefore, it is shown that viscosity of unknown solution can be measured with the surface acoustic wave sensor.

**Key Words :** Surface acoustic wave (SAW), Viscosity sensor, Non-Newtonian fluid, Phase shift, Delay time

## 1. 서 론

고체의 표면을 전파하는 탄성 표면파(surface acoustic wave)는 1885년 영국의 Rayleigh에 의해 알려지게 되었고 1967년 미국의 Coquin에 의해 Quartz 위에 빗살형 형태의 전극을 설치 하여 전기적인 신호로써 기계적인 변위를 발생시켜 탄성 표면파를 여기 시키고, 또 이 탄성 표면파를 전기적인 신호로 검출 할 수 있음

이 밝혀진 이래로 이를 이용한 소자들은 현재 고주파 전자회로 부품으로서 필수 요소이며, 이동통신 시스템, 텔레비전, 비디오 데크 등에서 필터(filter)와 공진기(resonators)로서 가장 많이 사용되고 있다<sup>[1-3]</sup>.

탄성 표면파는 압전 결정체의 표면위의 빗살형 전극(IDT: interdigital transducer)에 의해 발신과 수신이 이루어진다(그림 1). 또한 탄성 표면파의 주파수는 전극의 주기 간격에 의해서 결정이 되는데 두 전극 사이인 전달 표면(delay line)에 물리적이나 화학적 변화가 일어나게 되면 출력 또한 변화 하게 된다. 따라서 출력 특성의 변화를 측정하여 센서로서 사용될 수 있다. 현재 탄성 표면파 센서의 압전 기관으로는  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$  등이 쓰이고 있는데,  $\text{LiNbO}_3$  를 사용할 경우 파는 종파를 발생하게 되고 액체를 전달 표면위에 올려놓았을 때 종파는 액체로 침투하여 들어가므로 액체 안에서 종파의 속도는 종파의 위상 속도 보다 느려지게 된다. 그러므로 종파를 이용한 액체 센서는 구현하기가 사실상 어렵다. 그러나 1977년 Nakamura 등은 36° 회전시켜 Y방향 절단 하여 X 방향으로 전파하는  $\text{LiTaO}_3(36\text{YX.LT, LT})$ 에서의 탄성 표면파의 전파는 큰 기계적 결합 계수를 가지고 전달 모드(SH-SAW)로 전파 된다는 것을 보고 하였다<sup>[4,5]</sup>. 또한 1987년 Morizumi 등은 36YX.LT 를 사용하여 전달모드 표면파를

\*전북대학교 대학원 의용생체 공학과 · 전북대학교 임상의학연구소 · 전북대학교 헬스 케어 사업단(Department of Biomedical Engineering, Graduate School · Center for Healthcare Technology Development · Research Institute of Clinical Medicine, Chonbuk National University)  
\*\*전북대학교 수의과대학 약리학 교실 · 전북대학교 임상의학연구소 · 전북대학교 BK21사업단 질환동물모델사업팀 · 전북대학교 헬스 케어 사업단(Department of Pharmacology, College of Veterinary Medicine · Research Institute of Clinical Medicine · 2nd stage Brain Korea 21 · Center for Healthcare Technology Development, Chonbuk National University)  
\*\*\*전북대학교 수의과 대학 약리학 교실 · 전북대학교 BK21사업단 질환동물모델사업팀 · 전북대학교 헬스 케어 사업단(Department of Pharmacology, College of Veterinary Medicine · 2nd stage Brain Korea 21 · Center for Healthcare Technology Development, Chonbuk National University)  
\*\*\*\*전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부 · 전북대학교 헬스 케어 사업단(Division of Biomedical Engineering, College of Engineering · Center for Healthcare Technology Development, Chonbuk National University)

†Corresponding author: cuhong@chonbuk.ac.kr  
(Received : April 18, 2008, Revised : May 16, 2008  
Accepted : May 30, 2008)

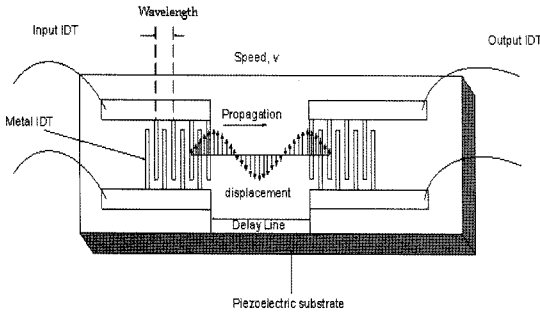


그림 1. 압전 기관 상의 변환기  
Fig. 1. Interdigital transducer on a piezoelectric substrate.

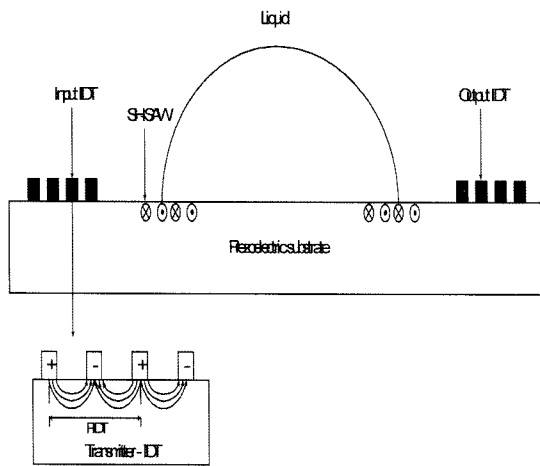


그림 2. 압전기관 상에서 SH-SAW의 전파 모드와 액체 부하 효과  
Fig. 2. Propagating mode of SH-SAW on the piezoelectric substrate and liquid loading effect.

액체 센서로 구현할 수 있다는 것을 보고 하였다<sup>[6]</sup>. 그림 2에서는 LiTaO<sub>3</sub> 압전 기관 위에서 파가 전단 모드 즉 탄성 표면파의 진동 방향이 전파되는 표면에 평행하게 전파 되는 것을 나타낸 것이다. 그러므로 파는 액체 안으로 방사 되는 것 없이 전파 될 수 있다. 따라서 전파 특성의 변화는 소자와 액체 사이의 상호 관계에 의해서 변화 하게 된다. 만일 이러한 변화를 측정 할 수 있다면 액체 상태 측정을 위한 탄성 표면파 센서를 구현 할 수 있다<sup>[7,9]</sup>. 1995년 Kondoh 등은 전단 모드 탄성 표면파를 사용하여 점도 센서를 구현 하였다 그러나 그들은 중심 주파수 50 MHz 이상의 전단 모드 탄성 표면파는 80%(v/v%) 이상의 글리세롤 용액의 점도는 측정 하기 어렵다고 보고 하였다<sup>[10,11]</sup>.

본 연구에서는 Kondoh 등이 연구한 센서와는 다른 이중 지연 구조를 가지는 탄성 표면파 센서를 제작하

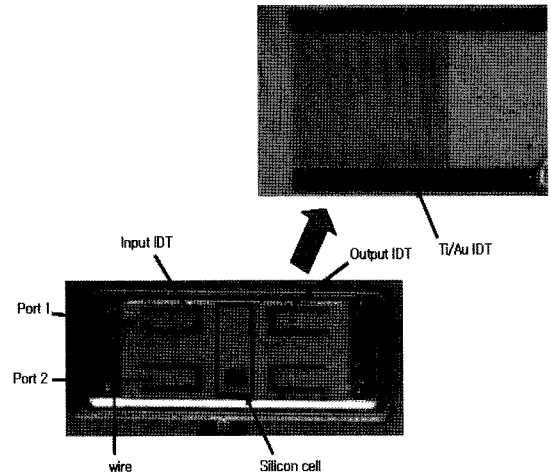


그림 3. 제작된 점도 센서  
Fig. 3. Manufactured viscosity sensor.

여 글리세롤 용액의 점도를 측정 하고자 하였다. 점도의 측정을 위해 중심 주파수 100 MHz에서 동작 하는 탄성 표면파 센서를 제작하였다. 제작된 센서를 이용하여 위상 변화, 삽입 손실, 주파수 변화 등을 측정 하여 미지 점성 유체와 탄성 표면파와 상호 관계를 규명 하고 탄성 표면파를 이용한 고감도 점도 센서를 구현 하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

본 연구에서는 글리세롤의 점도의 변화에 따른 탄성 표면파의 변화 특성을 측정하기 위하여 탄성 표면파 센서를 제작 하였다. 탄성 표면파 센서는 LT 기관 위에 반도체 기관을 제작하는 공정과 동일한 Photolithograph 방법을 사용하여 제작 하였다. 전극은 타이타늄(Ti)를 기관 위에 200 Å 그 위에 금을 2800 Å 증착 시켜 제작하였다. 그림 3은 제작된 센서를 나타낸 것이다. 또한 실험에 사용되어진 센서의 특성은 표 1에 나타내었다. 제작된 센서는 중심 주파수가 100 MHz에서 동작 되도록 제작 되었다. 그림 3에서 센서는 Port 1, Port 2 를 갖는 이중 전달 구조로 이루어 져 있고 이중 Port 2 의 전달 면에 금을 증착 시켰다. 실험은 금을 증착 하지 않은 Port 1 전달 면에서만 이루어 졌고 Port 2는 환경적 변수를 측정 하는데 사용 되었다. 점성 물질(viscosity fluid)이 탄성 표면파의 전달면 즉 압전재료의 표면에 올려놓았을 때 탄성 표면파의 전달 속도와 다른 변수들의 측정을 위하여 그림 4와 같은 실험 장치를 구성하였다. 그림 4(a)은 입력 포트와 출력 포트

표 1. 실험에 이용된 SH-SAW 설계 변수  
Table 1. Design Variable SH-SAW Using Experimental

Input Frequency (MHz)	100
Wavelength ( $\lambda$ , $\mu\text{m}$ )	40
IDT center distance (mm)	8
Cross distance (mm)	1.6
Number of pairs	20

의 위상 변화를 측정하기 위한 시스템을 나타낸 것이다. 여기서 위상차를 측정하기 위하여 벡터 전압계(HP 8508A)를 사용하였으며, 그림 4(b)는 주파수 차이를 측정하기 위한 시스템을 나타낸 것이다.

주파수 차이 방법은 입력에서 주어진 주파수가 점성 물질에 의해 변화된 주파수를 출력포트에서 주파수 카운터(HP53132A)를 사용하여 측정하였다. 또한 주파수 측정법에서는 발진을 얻기 위한 RF 증폭기를 제작하여 사용하였다. 증폭기의 제작에는 범용의 금속 캔형 트랜지스터를 이용하여 고주파용 회로를 제작 하였다. 증폭기는 같은 구조를 2단으로 연결하였으며, 그 사이에서 신호를 감지하여 측정 하였다. 증폭기에서 앞단의 트랜지스터는 Common Emitter 구조로서 전압 증폭을 하였고, 뒷단의 트랜지스터는 Common Collector 구조로서 전압 안정과 전류 증폭을 할 수 있게 설계하였다. 그림 5는 제작된 고주파용 증폭기를 나타낸 것이다. 또한 탄성 표면파 소자와 증폭기의 연결은 고주파용 BNC 커넥터 동축 케이블을 사용하였다. 신호의 획득을 위하여 Labview 8.0을 사용하여 프로그램 하였고

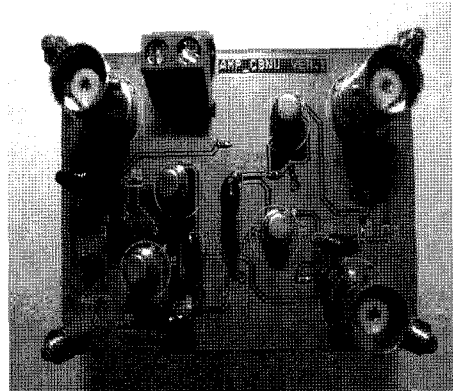


그림 5. 제작된 고주파 증폭기  
Fig. 5. Manufactured high-frequency amplifier.

GIPIB 통신 케이블을 이용하였다. 삽입 손실은 네트워크 분석기(HP8753C)를 사용하여 측정 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 6은 압전재료 표면에 글리세를 수용액을 올려 놓았을 때 압전재료 에서 발생하는 탄성표면파가 부하된 글리세를 수용액의 어느 지점까지 전달되는지를 나타낸 그림이다. 이 결과는  $\delta_r = \frac{2\eta}{\sqrt{\rho\pi\omega}}$  식을 사용하여 계산한 결과이다. 이 식에서 여기서  $\eta$ ,  $\rho$ 는 액체의 점성율과 밀도,  $\omega$ 는 각주파수이다. 이 식을 사용하여 계산한 결과, 동일 주파수에서는 액체의 점도가 커질수

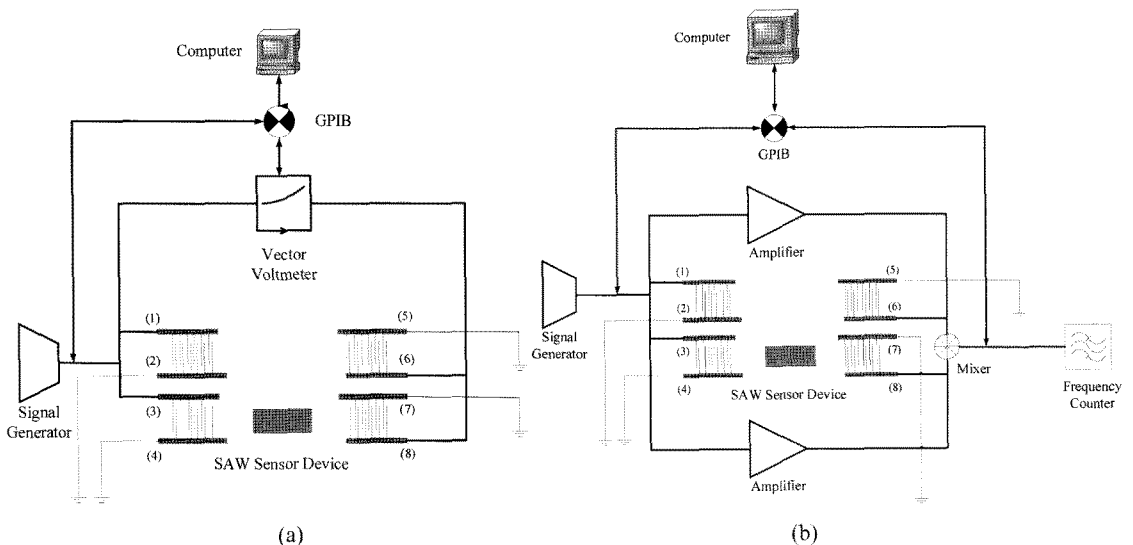


그림 4. 검출을 위한 측정 시스템 (a)위상변화 측정 (b) 주파수 측정  
Fig. 4. Measurement system for detecting. (a) Phase shift measurement, (b) Frequency counting measurement.

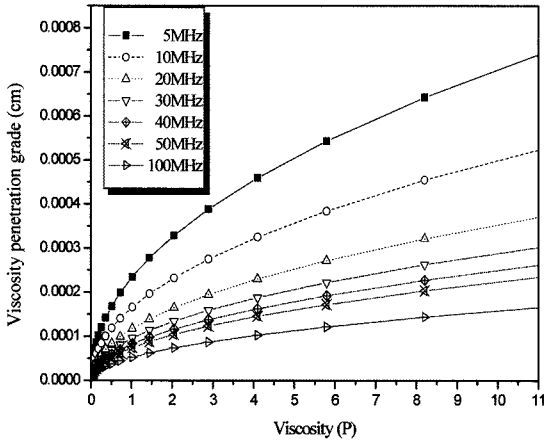


그림 6. 탄성 표면파가 글리세롤 수용액에 전달되는 거리  
Fig. 6. Surface acoustic wave delivery distance in glycerol solution.

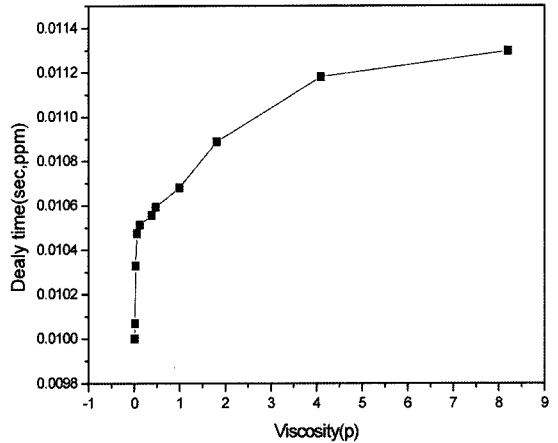


그림 8. 점성의 변화에 따른 지연시간의 변화  
Fig. 8. Results of the delay time in various viscosity.

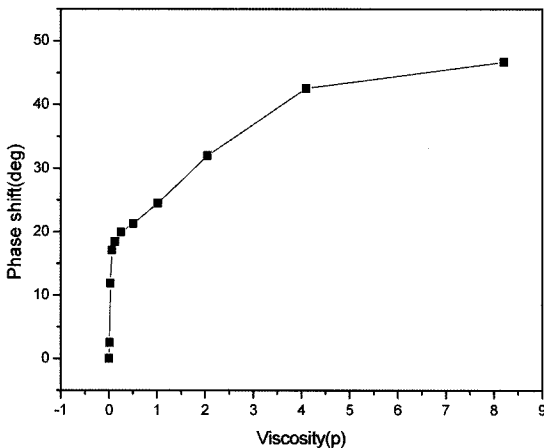


그림 7. 점성의 변화에 따른 위상차 측정 결과  
Fig. 7. Results of the phase shift in various viscosity.

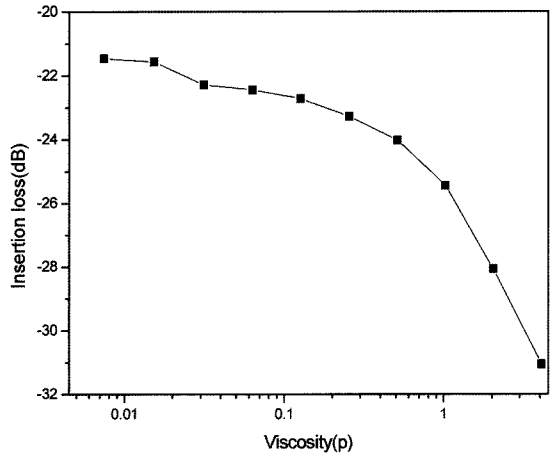


그림 9. 글리세롤 용액의 점도에 따른 삽입 손실의 변화  
Fig. 9. Insertion loss change in the glycerol viscosity.

록 침투거리 커진다는 사실을 알 수 있다. 또한 인가되는 주파수가 커지면 점성용액에 침투하는 거리는 줄어든다. 이와 같은 현상이 나타나는 이유는 인가되는 주파수가 낮을 경우 인가되는 주파수가 클 때보다 상대적으로 장파장이 발생하므로 침투거리가 커지기 때문이다. 이와 같이 점성용액에 전달되는 파장이 점성용액에 섭동현상을 발생시키기 때문에 전달되는 주파수가 빨라짐을 알 수 있었다.

그림 7은 글리세롤 수용액의 점도의 변화에 따른 탄성 표면파 센서에서의 위상차를 측정 한 결과이다. 이때 기준물질은 증류수로 하였으며 증류수를 사용하였을 때의 위상과 각각의 글리세롤 수용액에서 발생하는

위상을 비교한 결과 그림 7을 얻을 수 있었다. 실험에서 기준물질을 증류수로 선정한 이유는 센서의 보정값을 설정하고자 하였다. 실험에 사용한 탄성 표면파 센서를 상용화하기 위해서는 증류수를 사용하여 보정값을 설정하고 미지의 점성물질을 올려놓았을 때의 위상 측정 결과와 보정값과의 차이를 계산하여 미지의 점성물질의 점도를 측정할 수 있을 것이다. 본 실험에서 증류수와 100%의 글리세롤 용액의 위상 값 차이는 약 45°의 차이를 보여 주었다.

그림 8은 글리세롤 용액의 점도의 변화에 따른 탄성 표면파 센서에서 발생하는 지연시간을 그림 7에서의 위상값을 이용하여 그림 8과 같이 나타낼 수 있었다.

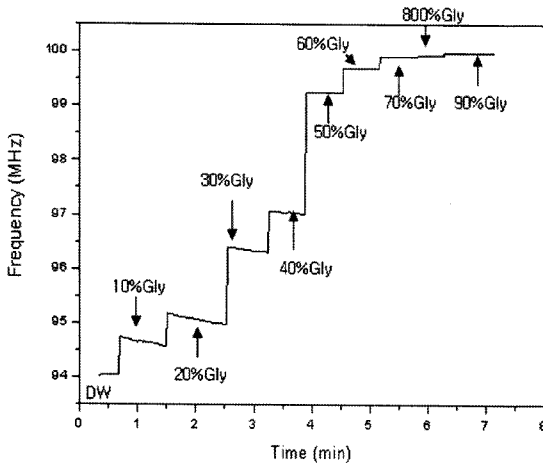


그림 10. 점도 변화에 따른 주파수 결과  
 Fig. 10. Results of frequency in various viscosity.

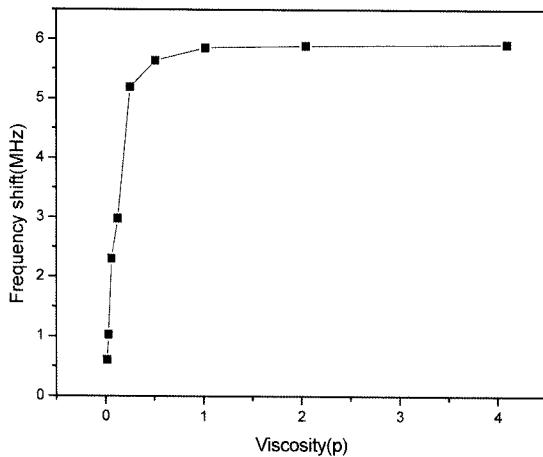


그림 11. 글리세롤 점도에 따른 주파수 변화  
 Fig. 11. Result of Frequency change in glycerol viscosity.

위상값을 계산한 결과 글리세롤의 점도가 커지면 지연 시간도 증가함을 알 수 있었다. 이 결과는 위상값과 지연 시간과는 비례 관계가 있음을 보여준다.

그림 9는 네트워크분석기(HP8753C)를 이용하여 글리세롤 용액의 점도 변화에 따른 삽입 손실의 변화를 보여주고 있다. 이 결과는 100 MHz 주파수에서의 삽입 손실을 나타낸 것이다. 결과에서 용액의 점도가 커짐에 따라서 삽입 손실이 커지는 것을 알 수 있다. 이 결과로서 용액의 점도가 변화하게 되면 삽입 손실이 변화가 일어나게 되고 이로 인하여 위상의 변화와 지연 시간이 일어난 것임을 알 수 있다.

그림 10은 글리세롤 용액의 점도 변화에 따른 출력

주파수의 변화를 보여 주고 있는 그림이다. 이는 입력 포트에 100 MHz의 주파수를 인가한 후 점도에 따른 영향으로 인한 주파수의 변화를 출력 포트에서 측정 한 결과를 나타낸 것이다.

그림 11은 글리세롤 용액의 점도에 따른 주파수의 차이를 나타낸 것이다. 이것은 증류수를 측정 했을 때를 기준으로 하여 각각의 점도에서의 측정 했을 때의 주파수 측정 결과와 증류수 측정값의 차이를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 저 점도에서는 주파수의 차이가 크게 나타났지만 고 점도로 갈수록 주파수의 차이는 작아지는 것을 볼 수 있었다. 그러나 고 점도에서도 약간의 주파수 변화는 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 탄성 표면파를 이용하여 주파수 변화를 측정함으로써 미지의 점도를 측정 할 수 있다는 것을 보여 주는 것이다. 본 실험에서 증류수와 90 %의 글리세롤 용액의 주파수 차이는 약 5.9 MHz 정도의 차이를 보여 주었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Kondoh 등이 보고한 50 MHz의 탄성 표면파 센서로는 80 % 이상의 글리세롤 점도를 측정하기 어렵다는 보고를 검증하기 위하여 중심주파수 100 MHz에서 작동 하는 탄성 표면파 센서를 개발 하였고 이를 이용하여 각기 다른 점도에서 위상변화, 지연시간, 삽입 손실 마지막으로 주파수 변화를 측정 하였다. 실험결과 점도 변화에 따른 위상 값 차이는 증류수와 100 % 글리세롤 용액의 차이는 약 45°의 차이가 나타나는 것을 볼 수 있었고, 삽입 손실의 변화는 약 9 dB 정도를 보여 주었고 주파수 변화의 차이는 약 5.9 MHz의 차이를 나타내는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과들을 바탕으로 미지의 점성의 용액은 삽입 손실이 발생하고 이로 인하여 위상 변화와 지연시간 변화가 일어나게 되고 그 결과로서 주파수의 변화가 일어나는 것으로 판단된다. 따라서 탄성 표면파 센서를 이용하여 미지의 점성 용액의 점도를 측정 할 수 있다는 것을 보여주었다. 개발된 센서는 산업 현장에서 미지의 점도를 측정 할 때 유용하게 사용 될 수 있으리라 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 보건 복지부 주관 신개념바이오/피지오 센서기술연구센터 지원에 의해 이루어진 것임(02-PJ3-PG6-EV05-0001).

## 참고 문헌

- [1] M. Thompson, and D. C. Stone, "Surface-launched acoustic wave sensor", *John Wiley & Sons*, New York, 1997.
- [2] D. H. Choi, "Fabrication and characteristics of surface-acoustic-wave sensors for detecting NO<sub>2</sub> Gas", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 8, no. 2, pp. 14-20, 1999.
- [3] Y. R. Lim, B. H. Park, S. K. Choi, K. D. Song, and D. D. Lee, "A study on the Fabrication of polymer-coated SAW sensors and their sensing properties for some toxic chemical compound", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 17, no. 2, pp. 143-146, 2008.
- [4] J. Kondoh, Y. Matsui, and S. Shiokawa, "New bio-sensor using shear horizontal surface acoustic wave device", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, no. 5B, pp. 3095-3099, 1994.
- [5] K. Nakamura, M. Kazumi, and H. Shimizu, "SH-type and rayleigh-type surface waves on rotated Y-cut LiTaO<sub>3</sub>", *Proc. IEEE US Symp.*, pp. 819-822, Phonix, 1977.
- [6] T. Moriizumi, Y. Unno, and S. Shiokawa, "New sensor in liquid using leaky SAW", *Proc IEEE US Symp*, pp. 579-582, 1987.
- [7] H. Woholtjen and R. Dessy, "Surface acoustic wave probe for chemical analysis. I. Introduction and instrument description", *Anal. Chem.*, vol. 51, no. 9, pp. 1458-1464, 1979.
- [8] H. Woholthen and R. Dessy, "Surface acoustic wave probe for chemical analysis. III. Thermomechanical polymer analyzer", *Anal. Chem.*, vol. 51, no. 9, pp. 1470-1475, 1979.
- [9] F. Josse, F. Bender, and R. W. Cernosek, "Guided shear horizontal surface acoustic wave sensor for chemical and biochemical detection in liquids", *Anal. Chem.*, vol. 73, pp. 5937-5944, 2001.
- [10] J. Kondoh and S. Shiokawa, "Liquid sensor using SH-SAW device", *Trans. I.E.I.C.E.*, vol. 75, no. 5, pp. 224-234, 1992.
- [11] J. Kondoh, "Development of liquid-phase sensor using surface acoustic wave devices and applications for identification system", Doctoral Thesis, Shizuoka University, 1995.



정우석

- 2000년 원광대학교 전기·전자공학부 (공학사)
- 2002년 전북대학교 의용생체공학과 (공학석사)
- 2003년~현재 전북대학교 의용생체공학과(박사과정)
- 주관심분야 : 바이오센서, 시스템 개발



김기범

- 1997년 전북대학교 화학공학과(공학사)
- 1999년 전북대학교 화학공학과(공학석사)
- 2004년 전북대학교 화학공학과(공학박사)
- 2006년~현재 전북대학교 대학원 의학과 의학박사과정
- 현 전북대학교 수의과대학 수의학과 질환동물모델사업팀 신진연구자
- 주관심분야 : 단백질센서, 폐암진단센서, 호흡기계 질환



강형섭

- 1993년 전북대학교 수의학과(수의학사)
- 1995년 전북대학교 수의학과(수의학석사)
- 1999년 전북대학교 수의학과(수의학박사)
- 현 전북대학교 수의과대학 수의학과 (부교수)



홍철운

- 1989년 전북대학교 물리학과(이학사)
- 1995년 일본 오사카대학교 물성물리학과 (공학석사)
- 1998년 일본 과학기술원 대학원 대학 재료과학과 물리전공(공학박사)
- 2002년~현재 전북대학교 공과대학 바이오메디컬공학부(부교수)
- 주관심분야 : 바이오센서, SAW 디바이스 설계 및 개발