

## SAW 온도센서용 음향 반사판 분석 및 무선 온도 측정

### Analysis of Acoustic Reflectors for SAW Temperature Sensor and Wireless Measurement of Temperature

김기복\*†, 김성훈\*, 정재기\*\*, 신범수\*\*\*

Ki-Bok Kim\*†, Seong-Hoon Kim\*, Jae-Kee Jeong\*\* and Beom-Soo Shin\*\*\*

**초 록** 본 연구는 비접촉 무전원 표면탄성파(surface acoustic wave, SAW) 온도센서를 개발하기 위하여 수행되었다. 단일전극 구조의 IDT(inter-digital transducer)와 434 MHz의 공진주파수를 가지는 SAW 소자를 128° rot-X LiNbO<sub>3</sub> 압전기판위에 반도체 공정으로 제작하였다. SAW 온도센서의 음향 반사판에 따른 반사 신호의 특성을 분석하기 위하여 다양한 형태의 음향 반사판을 제작하여 표면탄성파 신호의 반사특성을 분석한 결과 빗살형 전극형태의 반사판이 가장 양호한 반사특성을 나타내었다. SAW 온도센서를 구동하기 위한 신호를 송신하고 온도에 따른 SAW 센서의 출력신호를 수신하기 위하여 다이폴 안테나와 마이크로프로세서에 기반한 무선 송수신 시스템을 제작하였다. 40~80 °C의 온도 범위에서 개발된 SAW 온도센서와 무선 송수신 시스템을 평가한 결과 온도증가에 따라 SAW 온도센서의 공진 주파수가 선형적으로 감소하였으며 결정계수가 0.99 이상으로 정확한 무선 온도측정이 가능한 것으로 나타났다.

**주요용어:** 표면탄성파 온도센서, 무선, 음향 반사판, 비접촉

**Abstract** In this study, a wireless and non-power SAW (surface acoustic wave) temperature sensor was developed. The single inter-digital transducer (IDT) of SAW temperature sensor of which resonance frequency is 434 MHz was fabricated on 128° rot-X LiNbO<sub>3</sub> piezoelectric substrate by semiconductor processing technology. To find optimal acoustic reflector for SAW temperature sensor, various kinds of acoustic reflectors were fabricated and their reflection characteristics were analyzed. The IDT type acoustic reflector showed better reflection characteristic than other reflectors. The wireless temperature sensing system consisting of SAW temperature sensor with dipole antenna and a microprocessor based control circuit with dipole antenna for transmitting signal to activate the SAW temperature sensor and receiving the signal from SAW temperature sensor was developed. The result with wireless SAW temperature sensing system showed that the frequency of SAW temperature sensor was linearly decreased with the increase of temperature in the range of 40 to 80 °C and the developed wireless SAW temperature sensing system showed the excellent performance with the coefficient of determination of 0.99.

**Keywords:** Surface Acoustic Wave Temperature Sensor, Wireless, Acoustic Reflector, Non-Contact

#### 1. 서 론

표면탄성파 (surface acoustic wave, SAW)는 1885년 영국의 Rayleigh경이 발견하였으며, 이후 많은 지구 물리학자들의 연구 대상이 되었다 [1]. 표면탄성파가 전자소자에 사용되게 된 것은 1960년대 중반 압전체 위에 inter-digital transducer

(IDT)를 제작하여 표면탄성파를 발생시킬 수 있게 된 후부터 급격히 발전하였다 [2]. SAW 소자는 표면탄성파가 진행되는 경로인 지연선 (delay line)의 환경변화에 따라 전파특성이 바뀌게 되는데 이러한 특성을 이용하여 SAW 소자를 센서로 사용하게 되었다 [3-8]. SAW 센서는 소형화가 가능하고 견고하며 재현성이 높을 뿐만 아니라 전

[접수일: 2013. 1. 5, 수정일: 2013. 2. 12, 게재확정일: 2013. 2. 14] \*한국표준과학연구원 안전측정센터, \*\*(주)한빛 EDS, \*\*\*강원대학교 바이오시스템공학과, †Corresponding Author: Korea Research Institute of Standards and Science, Daejeon 305-340, Korea (E-mail: kimkibok@kriss.re.kr )

력소모가 낮은 장점이 있으며 높은 주파수에서 동작하므로 감도가 높다. 또한 SAW 소자에서 표면탄성파의 전파 에너지가 소자표면에서 약 한 파장 깊이 이내에 모여 있기 때문에 표면의 상태 변화에 매우 민감하다. 이러한 SAW 센서의 장점인 전자기파와 탄성파의 상호변환 원리를 이용하여 비접촉 무선 센서를 개발하기 위한 연구가 수행되고 있다 [9,10]. 최근에는 RF를 이용한 무선 통신 기술과 반도체 기술의 발달로 인해 무선 기술과 SAW 센서 기술을 결합하기 위한 연구가 많이 시도되고 있다. 이에 따라 제품의 크기를 소형화할 수 있고 가격을 저렴하게 할 수 있어 대량 생산이 가능할 뿐만 아니라 소형화된 무선 센싱 기술을 이용하여 접근이 곤란하거나 측정이 어려운 구조물이나 설비에 적용이 가능하다 [11]. SAW 센서를 구조 건전성 모니터링 (structural health monitoring, SHM) 등에 적용하기 위해서는 센서신호와 전원이 무선으로 송수신되는 구조가 바람직하다[10-12]. 일반적으로 온도센서는 여러 가지 다양한 분야에서 필요한 센서이며 압전기판의 온도특성을 이용하여 SAW 온도센서를 개발하기 위한 연구가 수행되고 있다[13,14]. SAW 온도센서에 대한 지금까지의 연구는 주로 표면탄성파를 발생시키기 위한 IDT의 구조나 압전기판의 영향에 대한 연구가 대부분이었으며 SAW 온도센서의 주요 구성요소 중의 하나인 음향 반사판의 영향에 대한 연구와 SAW 온도센서의 구동 및 측정 장비에 대한 연구는 다소 미흡한 실정이다. 따라서 SAW 온도센서의 주요 요소 중의 하나인 음향 반사판의 구조 등에 따른 SAW 소자의 신호 특성을 비교 분석하여 최적의 음향 반사판 구조를 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 SAW 온도센서의 주요

요소인 음향 반사판의 여러 가지 형태에 따른 신호특성을 살펴보고 SAW 온도센서에 적합한 음향 반사판의 구조를 실험적으로 제시하고자 하였다. 또한 비접촉 무선 온도 측정시스템 구현을 위한 주요검출 회로를 구성하고 선정된 음향 반사판을 이용하여 무선측정에 의한 온도측정 정확도를 분석하였다.

## 2. SAW 온도센서 설계 및 제작

### 2.1. 무선 SAW 온도센서 개념

비접촉 무선원 SAW 온도센서에 대한 개념도는 Fig. 1에서 보는바와 같다. 리더기에서 발생된 센서 구동신호 (sensor activation signal)가 리더기의 안테나를 통하여 송신되면 이 신호가 SAW 온도센서의 안테나에 수신되어 SAW 온도센서의 빗살전극 (IDT)에 입력된다. IDT에 입력된 고주파 신호에 의해 압전기판이 진동하게 되고 이에 따라 압전기판의 표면을 따라 전파되는 표면탄성파가 발생되어 지연선 (delay line)을 전파하여 반사판으로 전파된다. 이렇게 전파된 표면탄성파는 반사판에서 반사되어 지연선과 IDT를 거쳐 SAW 온도센서의 안테나에 의해 다시 송신되며 이러한 신호를 리더기에서 수신하는 원리이다. 이때 압전기판은 주위의 온도에 따라 지연선이 팽창하거나 수축할 뿐만 아니라 압전기판의 물성에도 영향을 주어 표면탄성파가 전파시간이 변하거나 공진 주파수가 변하게 되는데 이러한 특성들의 변화를 검출함으로써 온도를 측정할 수 있게 된다. 보통 IDT를 구동하는 외부 입력 고주파 신호는 IDT의 공진주파수에 맞추어져 있으며 온도변화에 따른 전파시간차를 측정하거나 전파되는 표면

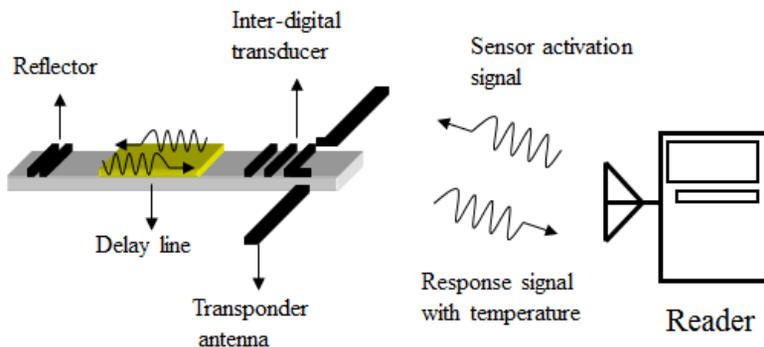


Fig. 1 Concept of wireless and non-power SAW temperature sensing system

탄성파의 위상이나 공진 주파수 변화를 측정할 수 있다.

## 2.2. 압전기판 선정

일반적으로 표면탄성파 소자는 압전효과를 이용하여 탄성파를 발생시킨다. SAW 센서 제작에 사용되는 압전기판의 재료로는 크게 압전 단결정과 압전박막, 압전 세라믹스 등이 있다. 이 중 압전 단결정 기판은 표면탄성파 특성의 재현성과 균일성이 높고 내구성이 우수하며 양산성이 좋은 장점이 있다 [11].

현재 많이 사용되는 대표적인 단결정 재료는 Quartz, LiNbO<sub>3</sub>, LiTaO<sub>3</sub> 등을 들 수 있다. SAW 필터가 아닌 센서로 이용하기 위한 압전기판의 선정에 있어서 중요한 요소로는 전기-기계 결합계수 ( $K^2$ )와 시간지연온도계수 (temperature coefficient of delay, TCD), 주파수 온도계수 (temperature coefficient of frequency, TCF), 압전특성 등이 있으며 [4] TCD와 TCF 사이에는 다음과 같은 관계가 있다 [15].

$$TCD \cong -TCF \quad (1)$$

$$TCF = f^{-1} \cdot (\partial f / \partial T) \quad (2)$$

여기서  $f$ 는 표면탄성파의 공진 주파수와  $T$ 는 온도를 각각 나타낸다.

본 연구에서는 SAW 온도센서의 압전기판으로서 TCD가 75 ppm/°C로서 비교적 큰 값을 나타내는 128° rot X LiNbO<sub>3</sub> 압전기판을 사용하였다.

## 2.3. IDT 설계

SAW 센서의 설계에 필요한 IDT의 특성을 결정하기 위해 고려해야 할 중요한 요소는 전극 형상, 전극 쌍의 개수, 압전기판의 특성을 들 수 있다. IDT의 형상은 단일전극 (single IDT) 구조와 이중전극 (double IDT) 구조가 있으며, IDT의 개별 빗살전극 (finger) 사이의 간격은 파장에 의해 계산된다. 단일전극 구조의 경우 구조가 간단하고 전극 폭이 상대적으로 넓기 때문에 전극 구현을 위한 사진공정이 비교적 단순하며 개별 빗살 전극의 간격은 파장의 1/4배로 설계된다. 반면 이중전극의 경우 빗살전극 사이의 간격은 파

장의 1/8배로서 상대적으로 전극 폭이 좁기 때문에 정교한 사진공정이 요구된다는 단점이 있지만 IDT 자체의 브래그 반사를 최소화시킬 수 있기 때문에 정확한 제어가 필요한 주파수 응답소자에 많이 사용된다 [16]. 표면탄성파 파장 ( $\lambda$ )은 식 (3)과 같이 압전기판의 속도 ( $v_s$ )와 SAW 센서의 중심 주파수 ( $f$ )에 의해 결정된다.

$$\lambda = v_s / f \quad (3)$$

빗살전극 쌍의 개수는 표면탄성파의 세기와 주파수 대역폭을 결정하는 중요한 요소로서 전극 쌍의 개수가 많아지면 중첩의 원리에 의해 각 전극 쌍마다 발생된 변형률이 더해지게 되어 진행되는 표면탄성파의 세기가 더욱 커지게 된다.

본 연구에서는 이와 같은 설계 요소들을 고려하여 SAW 센서의 IDT는 구조가 비교적 간단하고 사진공정이 용이한 단일전극 구조로 제작하였으며 Fig. 2와 같이 전극 쌍의 개수는 적절한 세기의 표면탄성파를 얻기 위해 30쌍으로 설계하였다. 중심 주파수는 433 MHz로 설계하였는데 이 주파수는 산업, 과학, 의료분야 등에서 사용가능한 주파수 대역인 ISM (industrial scientific medical) 대역에 해당되는 주파수이기 때문이다. 이상의 설계조건과 선정된 128° rot-X LiNbO<sub>3</sub> 압전기판의 전파속도(약 4000 m/s)를 고려하면 식(3)에 의해 표면탄성파의 파장이 9.21  $\mu$ m로 계산되며 이때 단일전극 구조의 전극 폭은 2.3  $\mu$ m으로 결정된다.

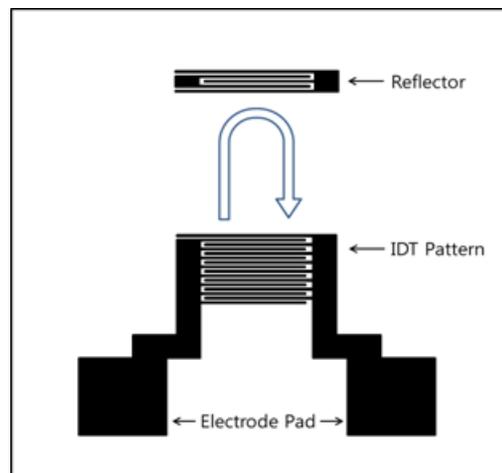


Fig. 2 Design of SAW temperature sensor

2.4. 음향 반사판 설계

음향 반사판은 IDT에서 생성된 표면탄성파가 지연선을 통과하여 지연선의 끝 부분에서 표면탄성파를 반사시켜 IDT로 다시 전파시키는 역할을 한다. 따라서 이러한 음향 반사판을 설계할 때 반사력, 반사 대역폭, 반사판의 형상 등을 고려하여야 한다. 반사판의 반사력은 개별 반사판의 스트립 개수 ( $N$ )에 의해 결정된다. 각각의 반사판은 작은 반사력 ( $r$ )을 가지고 있으며 스트립 개수에 의해 증폭되며 반사계수 ( $R$ )는 다음과 같이 표현이 가능하다 [16].

$$R \approx \tan Nr \tag{4}$$

스트립 개수가 많으면 반사력을 증폭시켜 줄

수 있지만 스트립의 개수가 증가함에 따라 반사 대역폭이 작아지므로 두 요소간의 관계를 고려하여 적당한 개수를 설계하여야 한다. 한편 대역폭 ( $B$ )은 아래의 식(5)에 의해 결정된다 [16].

$$\frac{B}{f} = \frac{2|r|}{\pi} \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{Nr|}\right)^2} \tag{5}$$

반사판의 형상과 스트립 개수에 따른 반사력을 분석하기 위하여 Fig. 3과 같이 총 4가지 형태의 반사판을 고려하였다. Bar type을 제외하고는 반사판이 닫혀 있는 close type, 반사판의 스트립 끝단이 개방된 open type, 그리고 IDT type의 경우 반사판의 스트립 개수를 서로 다르게 하여 2가지 종류로 설계하였다. 이렇게 고려한 반사판들을 Fig. 4에서 보는 바와 같이 음향 지연선의 길이가 서로 다른 2종류(110λ 및 220λ)에 적용하였다.

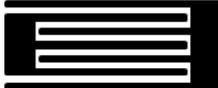
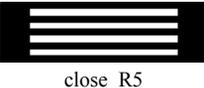
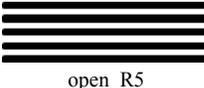
Close type	Open type	IDT type	Bar type
 close_R3	 open_R3	 IDT_R7	
 close_R5	 open_R5	 IDT_R9	

Fig. 3 Design of various reflectors for SAW temperature sensor

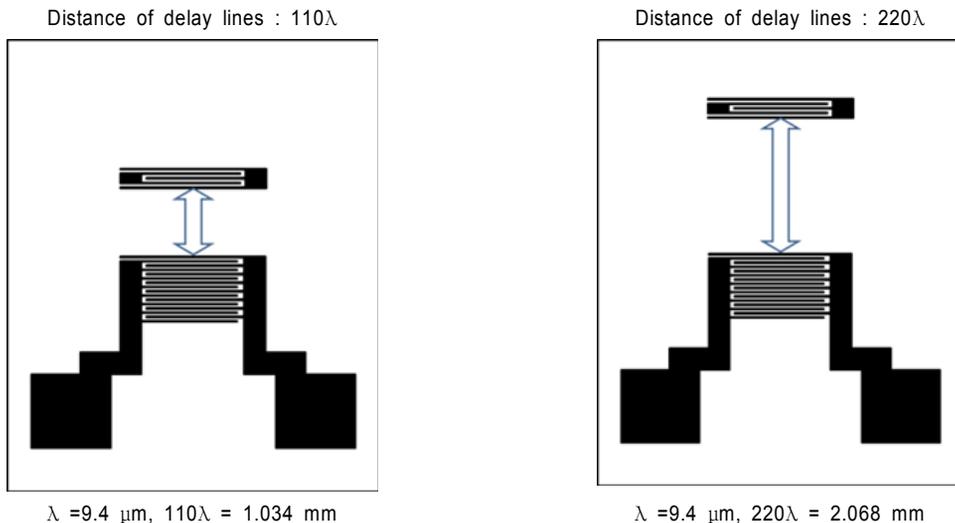


Fig. 4 The structures of SAW devices with two kinds of delay line

## 2.5. SAW 온도센서 제작

여러 가지의 반사판 구조와 음향 지연선을 가지는 SAW 온도센서를 제작하기 위하여 먼저 IDT, 음향 반사판, 전극패드가 구현된 마스크를 설계·제작한 Fig. 5에서 보는바와 같은 공정으로 SAW 센서를 제작하였다. SAW 센서는 압전기판 세척→전극증착→감광제 증착→IDT 및 반사판 마스크→노광 및 현상→전극식각→감광제 제거의 순서로 제작되었다. 압전기판 표면을 테코넥스(deconex)와 탈이온수로 세척한 다음 세척된 압전기판 위에 IDT 및 반사판을 형성하기 위해 Ti과 Au를 각각 200Å과 1000Å 씩 E-beam lithography (JBX9300FS, JEOL Co. Ltd., US)를 사용하여 증착한 다음 Ti/Au가 증착된 LiNbO<sub>3</sub> 압전기판 위에 스핀코팅 장비(Track III, MSX1000, SVS Co. Ltd., US)를 이용하여 감광제(photo resistor, PR)를 균일하게 코팅하였다. 사용된 감광제는 네거티브 감광제이며 잔류 수분을 제거

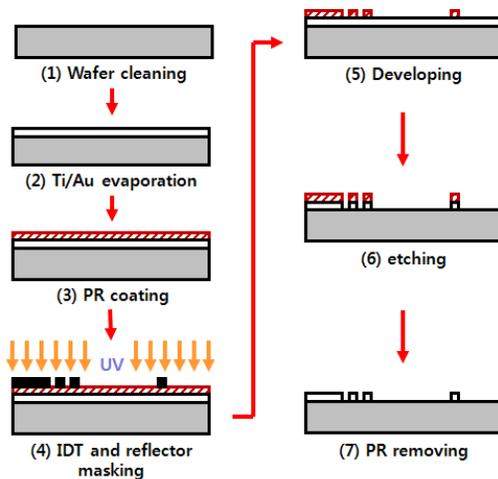


Fig. 5 Fabrication process of SAW temperature sensor

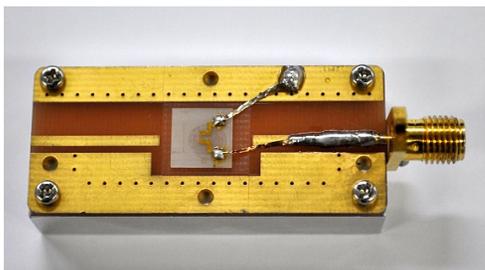


Fig. 6 SAW sensor mounted on jig

하고 감광제의 접착력을 높이기 위해 오븐에서 10분간 건조하였다. 감광제가 코팅된 압전기판 위에 IDT 패턴과 반사판 패턴을 형성하기 위해 제작된 마스크를 mask aligner에 장착하여 근접 모드로 4초간 노광하였다. 노광된 감광제는 현상액으로 적정시간 동안 현상하였으며 현상 후 기판에 남아있는 잔류 솔벤트와 수분을 제거하기 위해 110°C에서 1분간 건조하였다. 그 다음 IDT 패턴과 반사판 패턴을 형성하기 위하여 습식식각 방법을 적용하여 Ti/Au를 식각하였다. Ti의 식각률은 20°C에서 2Å/sec, Au의 식각률은 25°C에서 28Å/sec로서 Au를 식각한 다음 Ti를 식각하였다. Ti/Au 식각 후 아세톤, 알코올 용액 등으로 감광제를 충분히 제거하고 증류수와 질소 가스를 이용하여 SAW IDT 패턴과 반사판이 제작된 압전기판을 세척하였다.

Fig. 6은 최종적으로 제작된 SAW 온도센서를 임피던스 차에 의한 전기적인 손실을 최소화하기 위하여 제작된 지그위에 장착한 그림을 나타낸다.

## 3. 반사판에 따른 SAW 센서 특성 분석

### 3.1. 실험장치 및 방법

제작된 여러 종류의 반사판을 가지는 SAW 온도센서의 반사판에 따른 센서 신호를 분석하기 위하여 Fig. 7에서 보는바와 같은 실험장치를 구

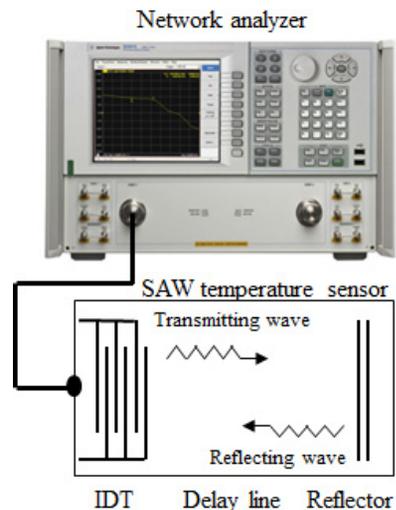


Fig. 7 Experimental setup for measurement of reflection characteristics of SAW temperature sensor

성하였다. 먼저 회로망 분석기 (E8361C, Agilent, US)의 2-단자 회로망의 출력단자와 Fig. 6의 커넥터를 연결하여 출력단자에서 나오는 434 MHz의 고주파 신호가 SAW 센서에 입력되어 반사되는 신호를 분석하였다. 반사판의 종류에 따라 반사되는 신호에 대하여 시간영역에서 신호크기를 서로 비교하였다.

### 3.2. 반사 신호 분석

반사판의 구조와 지연선 길이에 따른 반사력을 측정하고 비교하기 위해 총 7가지 구조의 반사판에 지연선의 길이가 각각 110λ과 220λ인 2종류의 SAW 센서에 대하여 회로망 분석기에서 측정되는 반사되는 신호의 크기를 시간영역에서 측정하였다. 음향 지연선이 110λ일 때 IDT와 반사판까지의 거리는 1.034 mm로서 IDT에 의해 발생되어 전파된 신호가 반사판에서 반사되어 IDT로 되돌아 올 때 파의 총 진행거리는 2.068 mm가

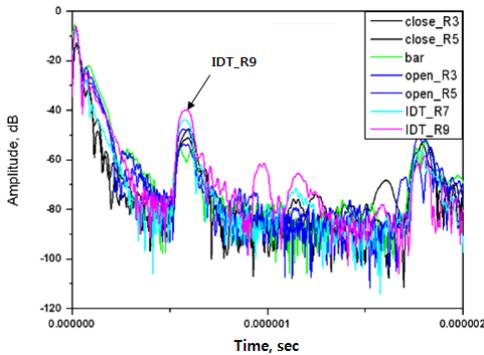


Fig. 8 Response signals of SAW devices with 110λ delay line at various indicated reflectors

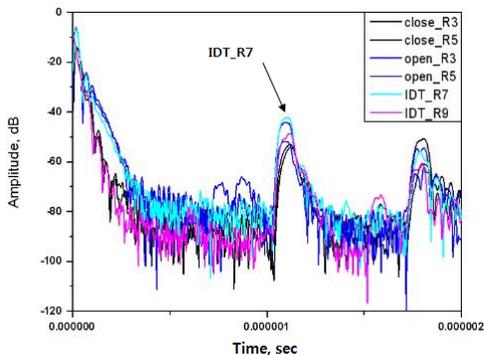


Fig. 9 Response signals of SAW devices with 220λ delay line at various indicated reflectors

Table 1 Comparisons of amplitude of reflected signals of SAW temperature sensor with two different delay lines among various reflectors

Reflector Type	Amplitude (dB)	
	110λ delay line	220λ delay line
close_R3	-50.99	-43.99
close_R5	-47.42	-51.68
bar	-55.26	-
open_R3	-53.67	-53.98
open_R5	-47.48	-52.99
IDT_R7	-43.83	-42.19
IDT_R9	-39.94	-48.47

된다. 이때 128° rot-X LiNbO<sub>3</sub> 압전기판의 표면탄성과 전파속도가 약 4000 m/s이므로 첫 번째 반사되어 돌아오는 신호의 도달시간은 약 0.52 μs로 계산된다. Fig. 8은 110λ 지연선을 갖는 SAW 온도센서의 반사판 종류에 따른 반사 신호의 측정결과를 나타낸다. 한편, 음향 지연선이 220λ인 경우 IDT와 반사판까지의 거리는 2.068 mm이며 IDT에서 발생되어 전파된 표면탄성파가 반사판에서 반사되어 IDT로 되돌아오는 전체 진행거리는 4.136 mm가 되며 이때의 신호 도달시간은 약 1.04 μs로 계산된다. Fig. 8 및 9는 각각 110λ와 220λ 지연선을 갖는 SAW 온도센서에서 반사판의 종류에 따른 반사 신호의 측정결과를 나타낸다. Table 1에 각각의 반사판에 따른 첫 번째 반사 신호의 신호크기를 비교하여 나타내었다. Fig. 8, 9 및 Table 2에서 나타난 바와 같이 110λ 및 220λ 지연선에서 모두 반사판의 형태가 IDT 구조일 경우 반사판에서 반사되는 신호크기가 가장 크게 나타났으며 특히 220λ 지연선에서는 bar 구조의 반사판에서는 반사 신호가 거의 나타나지 않았다.

## 4. 무선 SAW 온도센서 제작 및 시험

### 4.1. 검출회로 제작

Fig. 1에서 기술한 무선 SAW 온도센서의 개념으로부터 본 연구에서는 표면탄성파의 전파 시간차를 이용하는 방법보다 회로구성이 상대적으로 용이한 공진주파수의 변화를 이용하여 온도를 측

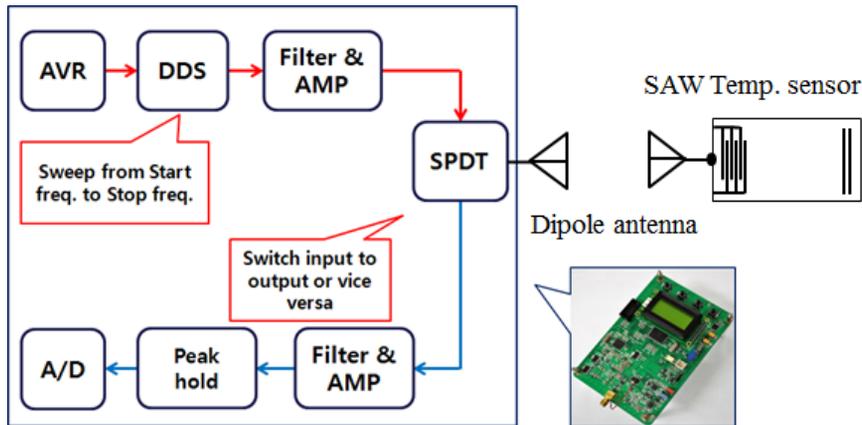


Fig. 10 Block diagram of AVR circuit for SAW temperature sensor

정하고자 하였다. Fig. 10에서 보는바와 같이 ATMEL (미국)사의 마이크로컨트롤러 (Atmega128)를 이용하여 SAW 온도센서 구동 신호 발생 및 수신 시스템을 제작하였다. DDS (digital data storage)를 통해 설정된 시작 주파수에서 종료 주파수까지 256 index 간격으로 주파수를 스위칭하게 된다. 이때 송신되는 주파수는 필터와 증폭기를 거쳐 3로 스위치 (single pole double throw, SPDT)에 연결된 무선 안테나를 통하여 SAW 온도센서에 송신된다. 송신된 신호는 SAW 온도센서의 반사판에 의해 반사되어 다시 SPDT로 수신된다. 수신된 신호는 마찬가지로 필터와 증폭기를 거쳐 A/D로 변환되어 저장된다. AVR 회로는 400~440 MHz의 주파수 범위에서 송수신 대역폭을 조절할 수 있게 설계하였으며 SAW 온도센서의 송수신을 위한 주파수 스캔 범위는 419.3~422.3 MHz로 하였으며 이때 하나의 index당 간격은 11.72 kHz로 설정되었다. 한편, AVR 회로와 SAW 온도센서 사이의 신호 송수신을 위한 안테나는 주파수의 범위가 400~430 MHz, 2 dB의 이득을 가지는 다이폴 안테나를 사용하였다.

#### 4.2. 무선 온도 측정 실험

제작된 무선 SAW 온도측정 시스템을 이용하여 온도측정 실험을 수행하였다. 먼저 다이폴 안테나가 장착된 SAW 온도센서를 항온항습기 내에 설치한 다음 다이폴 안테나가 장착된 AVR 회로를 마주보게 위치시켜 송수신 안테나가 같은

방향으로 정렬되게 하였다. 이때 송수신용 다이폴 안테나의 간격은 약 1 cm 정도로 가깝게 유지시킨 후 항온항습기 내의 습도를 25 %RH로 고정 한 다음 온도를 40~80 °C까지 10 °C씩 증가시켜 가면서 온도변화에 따른 SAW 온도센서의 공진 주파수 변화를 제작된 AVR 회로로 측정하였다. 한편 개발된 무선 SAW 온도센서 시스템의 성능을 비교하기 위하여 SAW 온도센서의 다이폴 안테나를 제거한 후 회로망분석기를 연결하여 무선 온도 측정실험과 동일한 조건으로 온도 변화에 따라 변화하는 SAW 온도센서의 주파수 변화를 측정하였다.

#### 4.3. 무선 SAW 온도 측정 결과

다이폴 안테나를 통해 AVR 회로에서 송신되는 신호를 전원으로 사용하여 SAW 온도센서를 구동한 후 발생하는 표면탄성파가 반사판에 의해 반사되는 신호를 다시 다이폴 안테나를 통해 AVR 회로로 수신하여 온도변화에 따른 주파수 index의 변화를 측정 한 결과는 Table 2에서 보는 바와 같으며 각각의 온도조건에서 10회 반복 측정한 평균값을 나타낸다. 이러한 주파수 index를 수신신호의 주파수 변화로 환산한 결과는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 온도 변화에 따라 거의 선형적으로 감소하여 정확한 온도 측정이 가능한 것으로 분석되었다. 또한 회로망분석기와 SAW 온도센서를 유선으로 연결하여 얻어진 실험결과와 거의 동일한 정확도를 나타내었다.

Table 2 Measured frequency index of SAW temperature sensor according to the temperature

Temp. Repetition	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃
1	168	130	104	74	49
2	165	131	103	74	49
3	168	134	104	73	49
4	164	132	104	69	49
5	164	134	100	69	49
6	165	130	104	73	49
7	164	128	103	71	49
8	163	135	105	73	49
9	167	134	104	71	49
10	164	135	104	72	49
Average	165.2	132.3	103.5	71.9	49

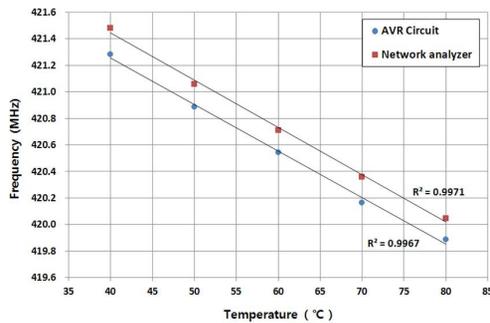


Fig. 11 Relationship between temperature and frequency changes of SAW temperature sensor measured by AVR circuit and network analyzer

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 비접촉 무전원 SAW 온도센서를 개발하기 위하여 수행되었다. 이를 위하여 온도센서의 성능에 영향을 미치는 인자 중의 하나인 음향 반사판을 다양한 형태로 제작하여 반사되는 신호의 크기를 비교하였다. SAW 온도센서의 압전기판으로는 시간지연온도계수(TCD)가 양호한  $128^\circ \text{rot X LiNbO}_3$  압전기판을 선정하여 중심주파수가 434 MHz인 SAW 소자를 반도체 공정으로 제작하였다. SAW 온도센서의 음향 반사판으로서 IDT 구조가 가장 양호한 신호특성을 나타내었다. SAW 온도센서를 무선으로 구동하고 온도에 따라 변화하는 SAW 온도센서의 신호를

무선으로 수신하여 분석할 수 있는 송수신 시스템을 제작하여 항온항습기 내에서 비접촉 무전원 온도 측정실험을 수행하였다. 40℃~80℃의 온도 범위에서 온도 변화에 따라 SAW 온도센서의 주파수가 온도에 따라 선형적으로 감소하였으며 결정계수 0.99 이상의 정확도로 비접촉 온도측정이 가능한 것으로 분석되었다. 그러나 이 결과는 신호 송수신용 안테나를 1 cm 이내로 근접하여 얻은 결과로서 향후 SAW 온도센서와 무선 송수신 시스템 사이의 송수신 거리를 증가시키더라도 정확한 무선 온도 측정이 가능한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- [1] R. Rayleigh, "Theory of Sound," Macmillan, New York (1924)
- [2] R. M. White and F. W. Voltmer, "Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves," *Applied Physics Letters*, Vol. 7, No. 12, pp. 314-316 (1965)
- [3] H. Wohltjen and R. Dessy, "Surface acoustic wave probe for chemical analysis," *Analytical Chemistry*, Vol. 51, pp. 1458-1475 (1975)
- [4] S. Curtin, B. Jakoby, A. Berthold, V. K. Varadan, V. V. Varadan and M. J. Vellekoop, "A micromachined wet cell for a Love-wave liquid sensor", *Smart Electronics and MEMS*, San Diego, CA, USA, pp. 194-200 (1988)
- [5] I. I. Leonte, G. Sehra, M. Cole, P. Hesketh and J. W. Gardner, "Taste sensors utilizing high-frequency SH-SAW devices," *Sensors and Actuators B*, Vol. 118, pp. 349-355 (2006)
- [6] S. Lee, K. B. Kim and D. S. Yee, "Development of surface acoustic wave sensor for viscosity measurement of low viscous liquid using Love wave," *Journal of Biosystems and Engineering*, Vol. 33, No. 4, pp. 282-287 (2008)
- [7] S. Lee, K. B. Kim, Y. I. Kim and J. M. Lee, "Love wave biosensors for detection of antigen-antibody binding and comparison with SPR biosensor," *Food Science and Biotechnology*, Vol. 20, No. 5, pp. 1413-1418 (2011)

- [8] S. Lee, K. B. Kim and Y. I. Kim, "Mass sensitivity calculation of protein layer using Love wave SAW biosensor," *Journal of Nanoscience and nanotechnology*, Vol. 12, pp. 1-6 (2012)
- [9] G. Scholl, F. Schmidt, T. Ostertag, L. Reindl, H. Scherr and U. Wolff, "Wireless passive SAW sensor systems for industrial and domestic applications," *In Proc. 1998 IEEE International Frequency Control Symposium*, pp. 595-601 (1998)
- [10] W. E. Bulst, and G. Fisherauser, "State of the art in wireless sensing with surface acoustic waves," *IEEE Tans. on Industrial Electronics*, Vol. 48, No. 2, pp. 265-271 (2001)
- [11] K. Hashimoto, "Surface Acoustic Wave Devices in Tele-Communications : Modeling and Simulation," Springer, New York (2000)
- [12] R. B. Ward, "Temperature coefficients of SAW delay and velocity for Y-cut and rotated  $\text{LiNbO}_3$ ," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.*, Vol. 37, pp. 481-483 (1990)
- [13] X. Q. Bao, V. V. Varadan and V. K. Varadan, "SAW temperature sensor and remote reading system," *IEEE Ultrasonics Symp.*, Vol. 2, pp. 583-585 (1987)
- [14] X. Q. Bao, V. V. Varadan and V. K. Varadan, "Wireless surface acoustic wave temperature sensor," *J. Wave Material Interact.*, Vol. 9, pp. 19-27 (1994)
- [15] W. S. Suh, K. A. Jose, P. B. Xavier, V. V. Varadan, and V. K. Varadan, "Design optimization and experimental verification of wireless IDT based micro temperature sensor," *Smart Materials and Structure*, Vol. 9, No. 6, pp. 890-897 (2000)
- [16] D. S. Ballantine and R. M. White, "Acoustic Wave Sensors," Academic Press, Inc., New York (1997)