

논문 2008-45SD-4-10

# 수동형 RFID 시스템 적용을 위한 SAW ID 태그 및 수신 시스템 구현

( SAW ID Tag and Receiver System for  
Passive RFID System Application )

김 재 권\*, 박 주 용\*, 범 진 욱\*\*

( Jaekwon Kim, Jooyong Park, and Jinwook Burm )

## 요 약

SAW(Surface Acoustic Waves)를 기반으로 passive RFID(Radio Frequency IDentification) tag 및 송수신 시스템을 제작하였다. Pulse position encoding 방식의 SAW ID 태그(tag)를 제작하여 amplitude on/off 방식의 SAW ID 태그에 비해 3배의 데이터 용량 증대 효과를 얻을 수 있었다. 또한, 수신 시스템을 heterodyne 방식과 direct conversion 방식으로 제작하였다. 측정 결과 direct conversion 방식으로 제작된 수신 시스템이 heterodyne 방식의 수신 시스템과 비교하여 isolation 특성이 10 dB 증가하였으며, 그 결과 무선 도달 거리가 증가했다.

## Abstract

SAW (Surface Acoustic Waves) ID (identification) tags have been designed and implemented for RFID (Radio Frequency IDentification) systems. With SAW ID tag of pulse position encoding method, the data capacity increased 3 times compared with SAW ID tag of amplitude on/off method. Two different kinds of SAW ID tag receiver systems, heterodyne and homodyne receiver systems, were made. The direct conversion receiver showed better isolation property, 10 dB improvement, than the heterodyne receiver to increase wireless interrogation distance.

**Keywords :** Surface Acoustic Wave, Passive RFID system, Heterodyne receiver, Direct conversion

## I. 서 론

기본적인 RFID 시스템은 안테나, 리더, 태그, 컴퓨터 등 기술적인 요소로 구성된다. RFID는 사물에 소형 칩을 부착하고 사물과 주변 정보를 무선 주파수로 전송·처리하는 비접촉식 인식 기술로, 바코드를 대체할 기술로 불리지만 응용 범위를 넓히면 물류, 교통, 환경 등 다양한 분야로 적용 가능하다.

RFID와 관련된 하드웨어연구는 초소형, 초저가의 태

그를 구현하기 위한 기술개발에 집중하고 있다. 현재 개발된 초저가 태그는 인피니온(Infineon)에서 개발이 진행되고 있는 폴리머 반도체를 통한 플라스틱 트랜지스터, 미국 인코다(Inkoda)가 개발한 무 칩(chipless) 태그, 표면탄성파를 이용해 무선센서와 RFID를 결합한 SAW(Surface Acoustic Wave) 태그 등이 있다<sup>[1]</sup>.

1885년 레일라이(Lord Rayleigh)가 고체표면에서 파동현상의 한 형태로 표면탄성파(SAW)를 처음으로 발견해낸 이후 표면파를 효과적이며 선택적으로 발생시키기 위해 VLSI(Very Large Scale Integration)기술에 적합한 플래너(planar) 공정을 사용한 IDT(Interdigital Transducer)전극을 제안함으로써 SAW 소자에 대한 연구가 본격적으로 이루어졌다<sup>[2~3]</sup>. 최근에는 탄성표면파의 주위 환경에 민감한 특성이 발견되어 센서로 응

\* 학생회원, \*\* 정회원, 서강대학교 전자공학과

(Dept. of Electronic Eng., Sogang University )

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 진흥 연구원의 대학 IT연구센터(차세대 RFID/USN 기술 연구센터) 육성 지원 사업의 연구결과로 수행되었음  
접수일자: 2007년5월25일, 수정완료일: 2008년3월25일

용, 개발이 되기 시작했는데 SAW 센서로서의 실질적인 연구는 70년대 중반에 들어서야 본격적으로 이루어졌다. 센서가 해내는 역할과 기능은 일일이 열거할 수 없을 만큼 다양하다. 응용분야는 놀랄 만큼 급속도로 확산되고 있으며, 이용대상의 범위 역시 대단히 넓다. 현재 SAW 센서는 산업전반, 생활전반 그리고 환경전반에 긴요하게 활용되고 있고 이는 RFID 태그에서도 많은 활용이 되고 있다.

SAW ID 태그의 경우 응답 속도가 빠르고, 가격이 싸며, DC전원을 요구 하지 않는 장점이 있다. 이러한 장점을 바탕으로 앞으로 SAW ID 태그는 RFID 태그에서 중요한 역할을 하게 될 것이다. 따라서 광범위한 시장에서의 경제성을 갖추기 위해서 SAW를 이용한 RFID 태그에 관한 연구가 이루어져야 하며, 동시에 RFID 시장의 활성화와 경쟁력 확보를 위해서는 시장 개척을 위한 마케팅, 국내·외 시장·기술 정보 공유, 기술 개발 추진 등이 필요하다.

본 연구에서는 SAW ID 태그의 반사 신호를 측정하기 위해 heterodyne 방식과 direct conversion 방식의 수신 시스템을 구성하였다. Direct conversion 방식의 수신 시스템은 heterodyne 방식의 수신 시스템과 비교하여 송수신 시스템간의 격리도를 증가시킬 수 있었으며, 증가된 격리도를 이용하여 수신 신호의 noise를 감소시킬 수 있다. 또한 수신 신호의 위상으로 SAW ID의 정보를 읽음으로 태그의 데이터 용량을 증가시킬 수 있었다. 이와 같은 연구 결과를 통하여 통신거리 증가와 데이터 용량을 증가시켜 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역의 SAW를 이용한 RFID 시스템의 상용화 가능성을 확인하였다.

## II. SAW ID 태그

### 1. SAW 소자의 동작 원리

SAW는 Surface Acoustic Wave의 약자로 표면탄성파 또는 표면음향파라고 한다. Wave 종류에는 wave의 진행방향이 입자변위와 평행한 방향으로 진행되는 종파(longitudinal wave)와 진행방향과 수직인 입자변위 운동을 하는 횡파(transversal wave), 수직과 수평의 벡터(vector) 합으로 발생하는 종단파(shear wave)로 구분된다.

압전기판에서 표면탄성파를 가장 효율적이고 보편적으로 발생 또는 검출하는 방법으로는 IDT 구조를 만드는 것이다. IDT는 압전기판에 서로 맞물리게 배열된 금

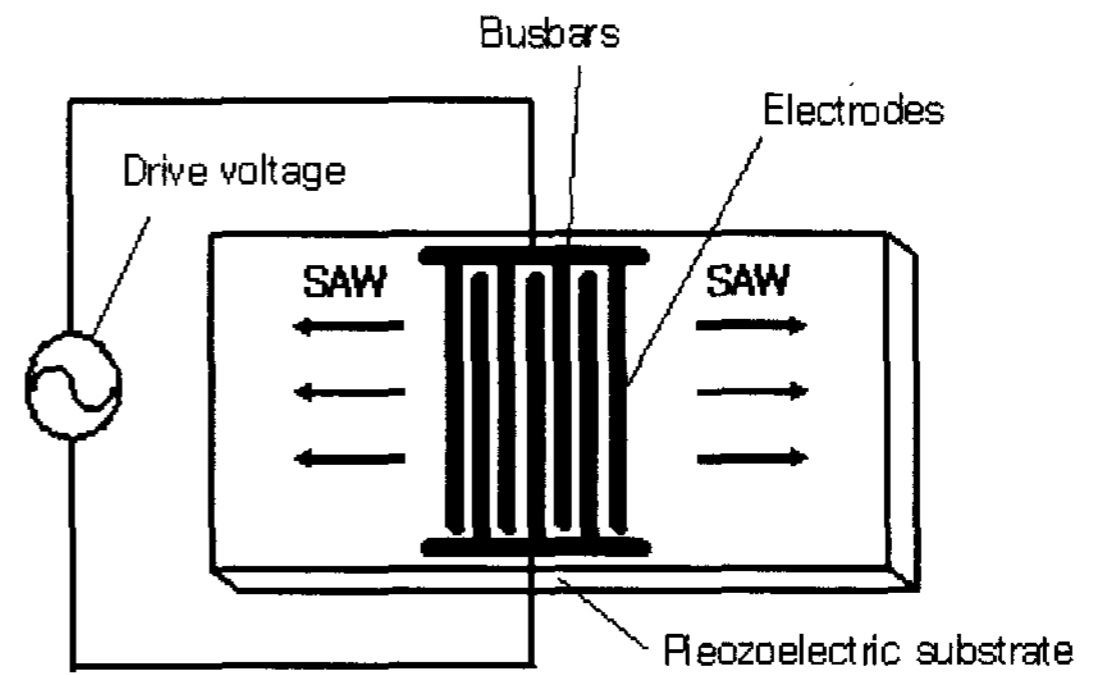


그림 1. IDT의 기본 구조<sup>[4]</sup>  
Fig. 1. IDT unit cell<sup>[4]</sup>.

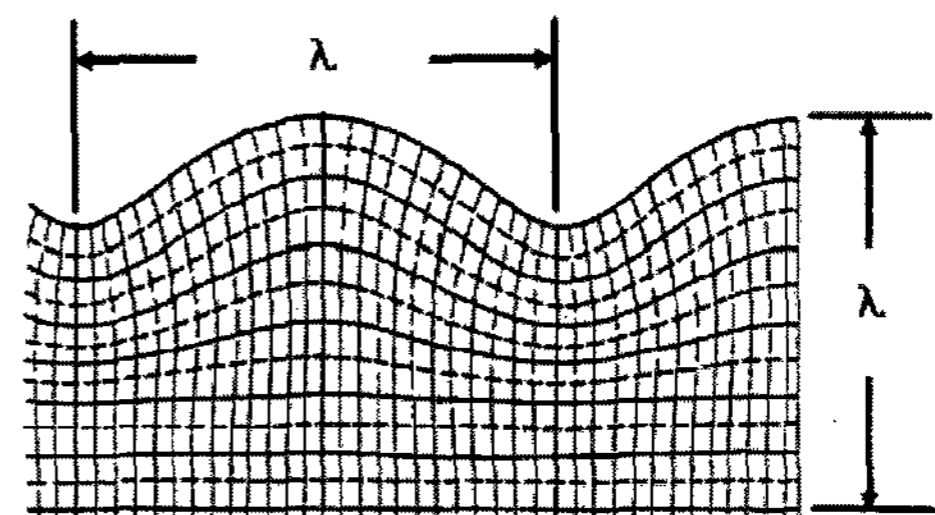


그림 2. 압전기판에서 wave의 진행 모습<sup>[5]</sup>  
Fig. 2. Representation of wave motion of a piezoelectric substrate<sup>[5]</sup>.

속 전극으로 SAW 소자의 핵심이며, 전자회로와 음파 진행지연구조(acoustic delay line)간의 매개(interface) 역할을 한다. 즉, 송신단 (electrical → acoustic)인 동시에 수신단 (acoustic → electrical)으로 동작한다. 그림 1은 IDT(Interdigital Transducer) 기본 셀의 구조를 간단하게 표현하여 IDT에 인가된 교류 전기신호가 SAW로 변형되는 과정을 설명하였고, 인가된 전기 신호에 의해 압전기판 표면에 그림 2와 같은 내부 변형이 생기면서 IDT의 양쪽 방향으로 sine wave 형태의 기계적인 표면 탄성파가 발생하여 전파된다<sup>[4]</sup>.

### 2. SAW ID 태그 설계

SAW 소자의 기본구조는 압전성이 있는 기판 상에 빗형(interdigital) 전극을 형성하는 것이다. 그림 3과 같이 입출력을 담당하는 1개의 IDT와 IDT에서 전파되는

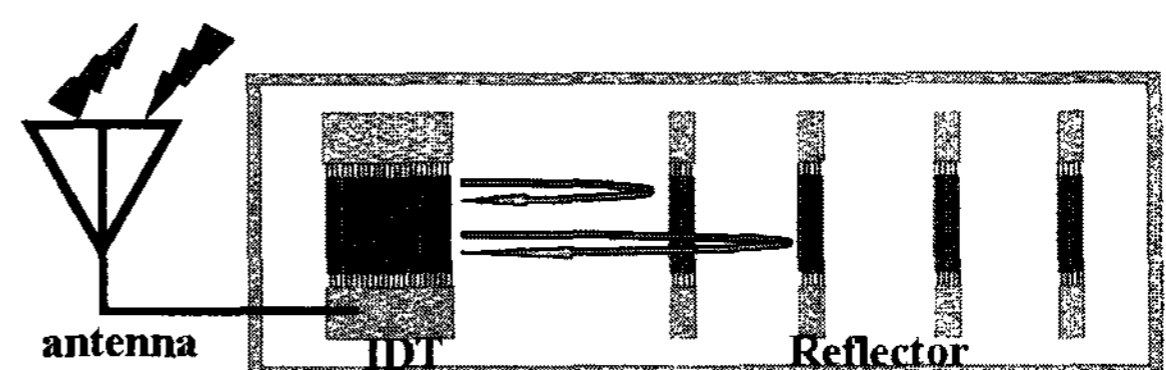


그림 3. SAW ID 태그 그림  
Fig. 3. Schematic of a typical SAW ID tag.

표면탄성파를 반사시키는 반사판(reflector)으로 delay line 형태를 갖도록 구성하였다. Delay line 방식의 SAW 소자는 전기적 신호를 기계적 신호로 바꿔주는 IDT, 기계신호를 정해진 time delay와 phase 차이를 갖고 반사시켜 다시 IDT로 보내주는 반사판으로 구성되며, IDT와 반사판의 거리에 따라 반사 신호의 delay time과 phase가 변하여 설계 시 원하는 데이터 정보를 넣을 수 있다. IDT와 반사판의 간격은 IDT에 인가되는 입력 임펄스(impulse) 신호의 폭에 의해서 결정된다. 각각의 반사판 신호를 간섭 없이 읽을 수 있게 IDT와 반사판의 간격은 2 μs, 각각의 반사판의 간격은 1 μs로 설계 하였다.

송신 시스템에서 송신된 임펄스 신호는 안테나와 연결된 IDT를 통하여 전기적 신호가 표면탄성파로 바뀌게 된다. 발생된 표면탄성파는 기판표면의 무손실 표면(free surface)을 따라 반사체에 전달된 후 다시 반사되어 나온 표면탄성파를 IDT에서 역 압전 효과에 의해 전기적 신호로 변환된다. 식 (1)을 이용하여 금속선(metal line)들의 간격으로 반사되는 신호의 주파수를 선택할 수 있으며, SAW 소자를 주파수 선택성 소자로 만들 수 있다. 이때  $f$ 는 SAW의 중심 주파수,  $\lambda$ 는 SAW의 파장,  $c$ 는 압전기판의 속도이다.

$$f = \frac{c}{\lambda} \tag{1}$$

SAW ID 태그의 데이터 표현 방법은 반사판의 유/무에 따라 데이터가 결정되는 amplitude on/off 방식과 반사 신호의 phase를 조절하는 pulse position encoding 방식을 주로 사용한다. Amplitude on/off 방식은 반사판 유/무에 따라 데이터가 '0'과 '1'로 결정되어 태그의 용량이 증가 할수록 반사판의 개수가 증가하여 태그의 크기가 커지는 단점이 있다. Pulse position encoding 방식은 같은 크기의 태그에서 amplitude on/off 방식보다 데이터 용량을 증가시키기 위해 사용되는 방식으로

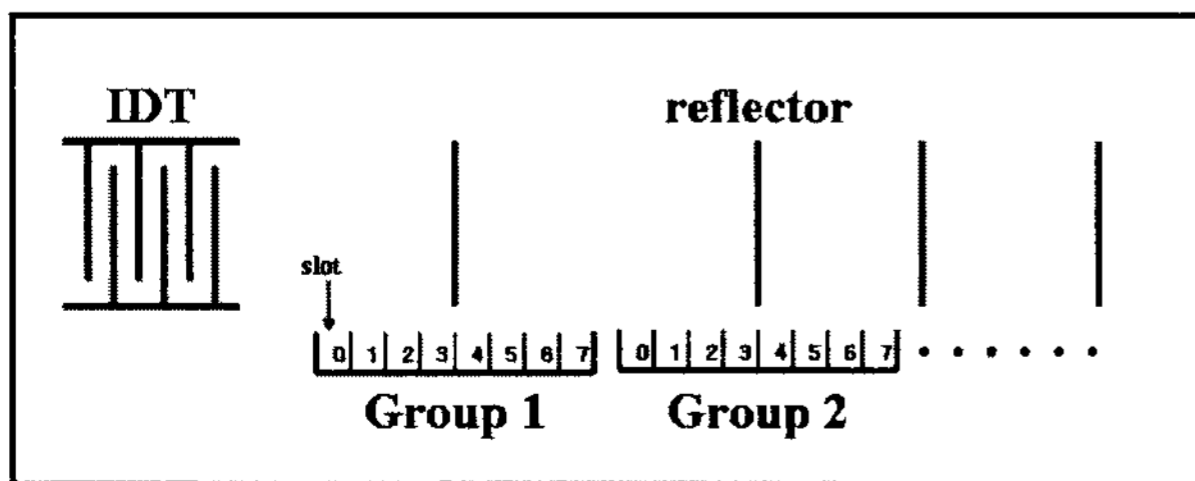


그림 4. Pulse position encoding 방식 개념도<sup>[6]</sup>  
 Fig. 4. Pulse position encoding method<sup>[6]</sup>.

SAW ID 태그 반사 신호의 phase차이를 관측하는 방법이다<sup>[6]</sup>. Phase position encoding 방식을 이용한 SAW ID 태그는 많은 개수의 반사판을 요구하는 amplitude on/off 방식의 단점을 보완하기 위해 고안 되었다. 따라서 이 방법은 태그의 면적 및 용량 측면에서 큰 장점을 갖는다. Pulse position encoding 방식은 IDT와 반사판 사이의 거리에 따라서 반사 신호의 위상이 바뀌는 것을 이용하는 방법으로 수신 시스템과 수신 신호의 phase 감지 특성에 따라서 슬롯(slot)의 phase 범위가 정해진다. 슬롯은 개별 반사판이 놓이는 자리이며, 각 반사판의 슬롯의 phase 범위는 제작된 수신 시스템의 phase 측정 오차 범위를 고려하여 설계하였다. 수신 시스템의 phase 측정 오차는 ±22.5°이며, 슬롯간의 위상 차이는 45°로 하였으며, 각각의 반사판의 위치를 조절하여 반사 신호의 한 주기 동안 8개의 슬롯으로 나눌 수 있어 3 bit의 데이터 용량을 표현할 수 있다.

Heterodyne 수신 시스템의 IF(Intermediate Frequency)가 10.7 MHz이고 압전기판의 속도가 3980 m/s이므로 식(1)을 이용하여 계산하면 한 파장의 길이는 372 μm이다. IDT에서 나온 신호는 반사판에서 반사되어 다시 IDT로 돌아가는 왕복 거리를 고려하여 실제 설계하였다. 따라서 8개의 슬롯 중 1개의 반사판을 놓아 8개의 데이터를 표현할 수 있는 그룹 하나의 범위는 1/2파장인 186 μm가 되고 슬롯 하나의 범위는 그룹 범위를 슬롯 개수로 나눈 23.2 μm가 된다. 그림 4와 같이 하나의 반사판에 할당된 8개의 슬롯이 하나의 그룹의 형성하여 한 그룹은 3 bit에 해당하는 정보를 수록한다. 이 경우 총 4개의 반사판에서 표현할 수 있는 데이터의 종류는 4096가지, 12 bit의 데이터 용량이 되도록 설계 하였다. 따라서 각 group에서 반사판이 놓인 슬롯 위치로 설계자 의도에 의해서 데이터를 encoding 할 수 있다<sup>[6]</sup>. 이 방법은 On/Off modulation 방식을 이용한 경우보다 3배의 bit 데이터 용량의 증가를 가져온다. 따라서 데이터 용량과 태그 면적의 활용 면에서 우수한 성능을 보인다.

### 3. SAW ID 태그 제작

SAW 소자 제작은 압전기판 위에 전기 신호가 흐를 수 있도록 전극을 형성하는 공정이다.

SAW 소자 제작에 사용된 압전 기판은 128° YX-LiNbO<sub>3</sub> 기판을 사용하였다. 압전기판 위에 전극으로 사용할 알루미늄을 3000 Å 두께로 스퍼터(sputter)를 이용하여 증착하였으며, 알루미늄 증착 후 포토-리소그

래피(photo-lithography)를 이용하여 패턴을 형성하였고, 형성된 패턴을 식각 마스크로 사용하여 알루미늄을 습식 식각하여 제작하였다.

### III. 송수신 시스템 설계 및 제작

SAW ID 태그를 사용하는 RFID 송신 시스템 구조는 PLL에서 발생한 신호는 스위치를 통해 on/off 변조(modulation)되어 임펄스 신호로 변환된다. 스위치는 송신 시스템 및 수신 시스템의 변조와 신호의 격리(isolation)를 위해 사용한다. 스위치를 통과하여 변조된 송신 신호는 power amp를 이용하여 증폭 한 후 안테나를 통해 SAW ID 태그로 송신된다. SAW ID 태그에서 반사되어 나온 신호는 수신 시스템을 이용하여 데이터로 변환된다. Passive RFID 수신 시스템을 간단하게 구현하기 위하여 주로 사용하는 수신 방식에는 heterodyne 방식과 direct conversion 방식이 사용된다.

Passive RFID 시스템의 인식거리를 증가하기 위해 큰 전력의 송신 신호를 사용하고, 송신 신호의 leakage 성분이 수신 시스템으로 유입되어 수신 신호의 노이즈 성분이 되며, 수신 시스템의 sensitivity 특성에 좋지 않은 영향을 미치므로 인식거리가 짧아진다<sup>[7]</sup>.

#### 1. Heterodyne 수신 시스템 설계 및 제작

Heterodyne 방식의 수신 시스템은 SAW ID 태그를 이용하여 pulse position encoding으로 ID 신호를 처리할 때 많이 사용되는 방식이다.

Heterodyne 수신 시스템의 block diagram을 그림 5에 나타내었으며, 제작에 사용된 부품의 이득과 잡음지수를 표 1에 나타내었다<sup>[7]</sup>. 저잡음 증폭기(LNA)의 기능은 안테나를 통해 수신된 신호 중 설계된 주파수의 신호만을 증폭시킨다. 저잡음 증폭기를 통해 증폭된 수신 신호는 믹서를 이용하여 IF (Intermediate Frequency) 주파수로 down conversion되고, BPF와 증폭기를 지나

표 1. Heterodyne 수신 시스템에 사용된 부품의 이득과 잡음지수

Table 1. Gain and noise figure of component used to heterodyne receiver system.

	Gain	Noise Figure
LNA	23 dB	1.3 dB
Mixer	-5.2 dB	5.2 dB
BPF	-1.5 dB	1.5 dB
IF Amp.	30 dB	6.5 dB

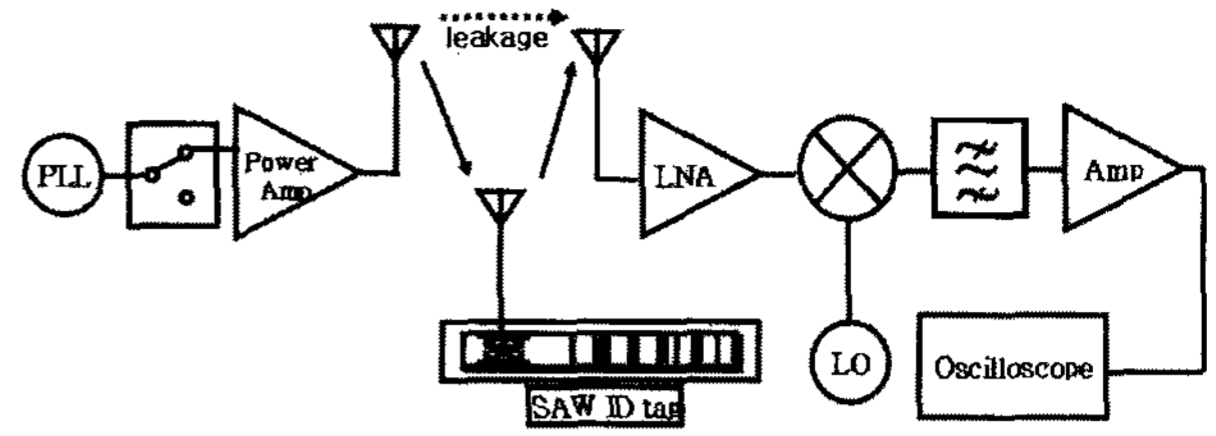


그림 5. Heterodyne 송수신부 block diagram  
Fig. 5. Block diagram of heterodyne transceiver.

오실로스코프를 이용하여 관측 한다. 이때 저잡음 증폭기의 잡음 지수(noise figure)와 BPF의 대역폭(bandwidth)은 수신 시스템의 sensitivity를 증가시키는데 중요하다.

Heterodyne 수신 시스템의 잡음 지수는 각각 구성된 부품의 잡음 지수와 이득을 식 (2)을 이용하여 계산할 수 있다. 제작된 부품의 잡음 특성과 이득으로 계산된 수신 시스템의 잡음 지수는 1.6 dB 이다.

$$F = F_1 + \frac{|F_2 - 1|}{G_1} + \frac{|F_3 - 1|}{G_1 G_2} + \frac{|F_4 - 1|}{G_1 G_2 G_3} \quad (2)$$

송신 시스템에서 전송되는 송신 신호  $T(t)$ 가  $A(t)\cos(\omega_{RF}t)$ 라고 하면 수신 시스템에서 나타나는 수신신호  $R(t)$ 는 식 (3)과 같다.

$$R(t) = A'(t)\cos(\omega_{RF}t) + B(t)\cos(\omega_{RF}t + \Phi) \quad (3)$$

여기서  $A'(t)$ 는 leakage 신호,  $B(t)$ 는 태그에서 반사되는 신호,  $\Phi$ 는 태그에서 반사되는 신호의 위상 변화를 나타낸다. 또한 heterodyne 시스템에서 mixer에 입력되는 LO(Local Oscillator) 신호는 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$LO(t) = A_{LO}\cos(\omega_{LO}t + \delta) \quad (4)$$

여기서  $\delta$ 은 송신 신호와의 LO 신호의 위상차 이며,  $A_{LO}$ 는 LO의 진폭이다.  $A_{LO}=1$ 이라 할때 수신된 신호는 mixer와 band pass filter를 거치면 수식 (5)와 같이 나타낼 수 있으며, 이때  $\omega_{IF}t = \omega_{RF}t - \omega_{LO}t$ 이다. 식 (5)를 정리하면 식(6)과 나타낼 수 있으며  $\delta$ 의 값과 상관 없이 송신 신호의 leakage 신호  $A'(t)$ 가 수신 시스템을 통과 하여도 제거되지 않고 출력 신호에서 태그 반사 신호의 노이즈로 작용함을 알 수 있다.

$$R(t) = \frac{A'(t)\cos(\omega_{IF}t + \delta)}{2} + \frac{B(t)\cos(\omega_{IF}t + \Phi - \delta)}{2} \quad (5)$$

$$R(t) = \frac{A'(t)}{2} (\cos(\omega_{IF}t)\cos(\delta) + \sin(\omega_{IF}t)\sin(\delta)) + \frac{B(t)}{2} (\cos(\omega_{IF}t + \Phi)\cos(\delta) + \sin(\omega_{IF}t + \Phi)\sin(\delta)) \quad (6)$$

2. Direct conversion 수신 시스템 설계 및 제작

Direct conversion 방식은 송신 신호와 LO(Local oscillator) 신호의 주파수를 같게 사용하여 수신된 신호가 mixer 통과하면서 0 Hz로 바뀌고 sharp cutoff 특성을 갖는 low pass filter를 사용하는 방식으로 그림 6에 block diagram을 나타내었다<sup>[7]</sup>.

제작에 사용된 부품의 이득과 잡음 지수를 표 2에 나타내었다. 수신 시스템의 잡음 지수는 각각 구성된 부품의 잡음 지수와 이득을 식 (2)을 이용하여 계산하였으며, 제작된 부품의 잡음 특성과 이득으로 계산된 수신 시스템의 잡음 지수는 2.1 dB 이다.

Direct conversion 방식을 사용하면 leakage 성분을 감소시킬 수 있다. 송신 신호와 수신 신호는 heterodyne 수신 시스템에서와 같이 식 (3)으로 나타낼 수 있다. 또한 direct conversion에서 mixer에 입력되는 LO 신호의 주파수가 같으므로 식 (7)과 같이 LO의 I/Q 신호를 나타낼 수 있다.

$$LO(t) \begin{cases} I = A_{LO} \cos(\omega t + \delta) \\ Q = A_{LO} \sin(\omega t + \delta) \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $A_{LO}$ 는 LO의 진폭이며,  $\delta$ 은 송신 신호와 LO 신호의 위상차이다. 송수신단에 사용된 LO 신호는 differential로 각각의 신호는 송신 시스템과 수신 시스템의 LO 신호로 사용하여  $\delta=180^\circ$ 이다.  $A_{LO}=1$ 이라 할때 수신된 신호는 mixer와 low pass filter를 거치면 수식 (8)와 같이 나타낼 수 있다. 결과적으로  $\delta$ 의 상태에 따라 식 (9)와 같이 송신 신호의 leakage 신호  $A'(t)$ 가 제거되어 수신 시스템의 출력에서는 제거됨을 알 수 있으며, 인식 거리를 증가 시킬 수 있다.

$$R(t) \begin{cases} I_{lpf} = \frac{A'(t)\cos(\delta)}{2} + \frac{B(t)\cos(\delta - \Phi)}{2} \\ Q_{lpf} = \frac{A'(t)\sin(\delta)}{2} + \frac{B(t)\sin(\delta - \Phi)}{2} \end{cases} \quad (8)$$

$$R(t) \begin{cases} \delta = 0^\circ, 180^\circ \Rightarrow Q_{lpf} = -\frac{1}{2} \cdot B(t)\sin(\Phi) \\ \delta = 90^\circ \Rightarrow I_{lpf} = \frac{1}{2} \cdot B(t)\sin(\Phi) \\ \delta = 45^\circ \Rightarrow I_{lpf} + Q_{lpf} = K \cdot B(t)\sin(\Phi) \end{cases} \quad (9)$$

IV. 측정 결과

1. 수신 시스템 측정 결과

SAW ID 태그의 반사 신호를 측정하기 위해 heterodyne 방식과 direct conversion 방식의 수신 시스템을 구성하였다. 송신 시스템의 송신 전력은 30 dBm, heterodyne 수신 시스템의 IF는 10.7 MHz로 구현하였으며, direct conversion 수신 시스템에서 송신 신호와 수신단의 LO 신호는 differential 신호를 사용하여  $\delta=180^\circ$ 인 조건에서 측정하였다. Heterodyne 방식과 direct conversion 방식으로 제작된 수신 시스템으로 50 cm 거리에서 측정한 결과를 그림 7에 나타내었다. Direct conversion 방식의 수신 시스템 결과가 heterodyne 방식의 수신 시스템의 측정 결과와 비교하여 leakage에 의한 noise가 10 dB 감소함을 측정 결과를 통하여 알 수 있었다. 표 3은 송신 신호의 전력이 30 dBm일 때 두 시스템의 leakage 신호 전압과 전력, 송신 시스템과 수신시스템 사이의 isolation 측정 결과를 나타낸 것이다. Direct conversion 방식과 heterodyne 방식의 leakage  $V_{pp}$ 는 각각 0.4 V와 1.25 V 이며 이를 전력으로 환산하면 -41 dBm과 -31 dBm이고 송신 전

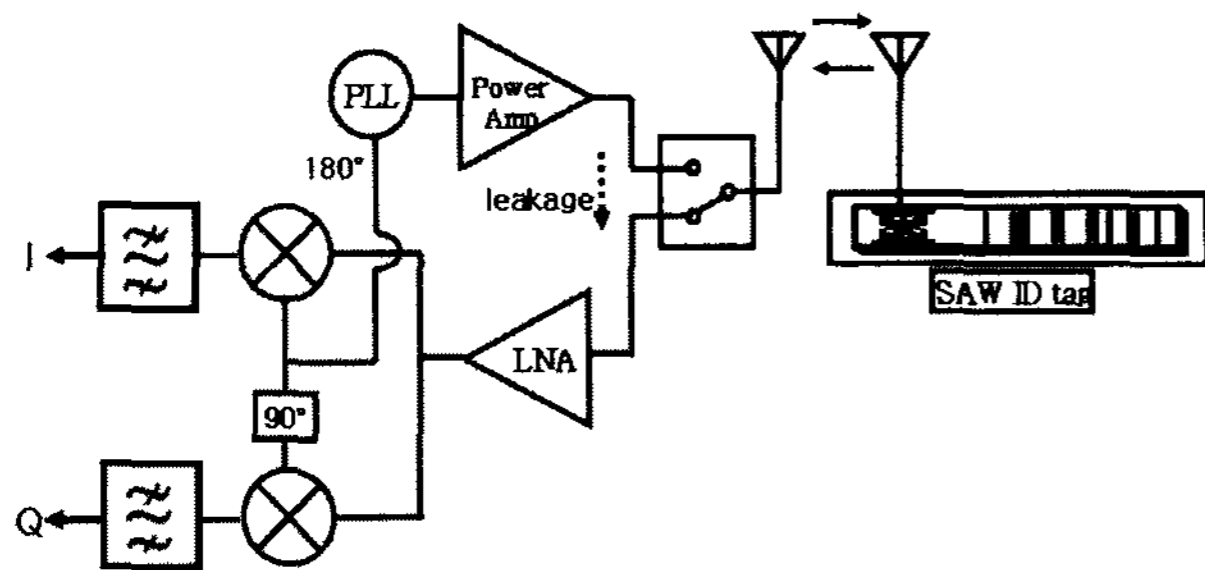
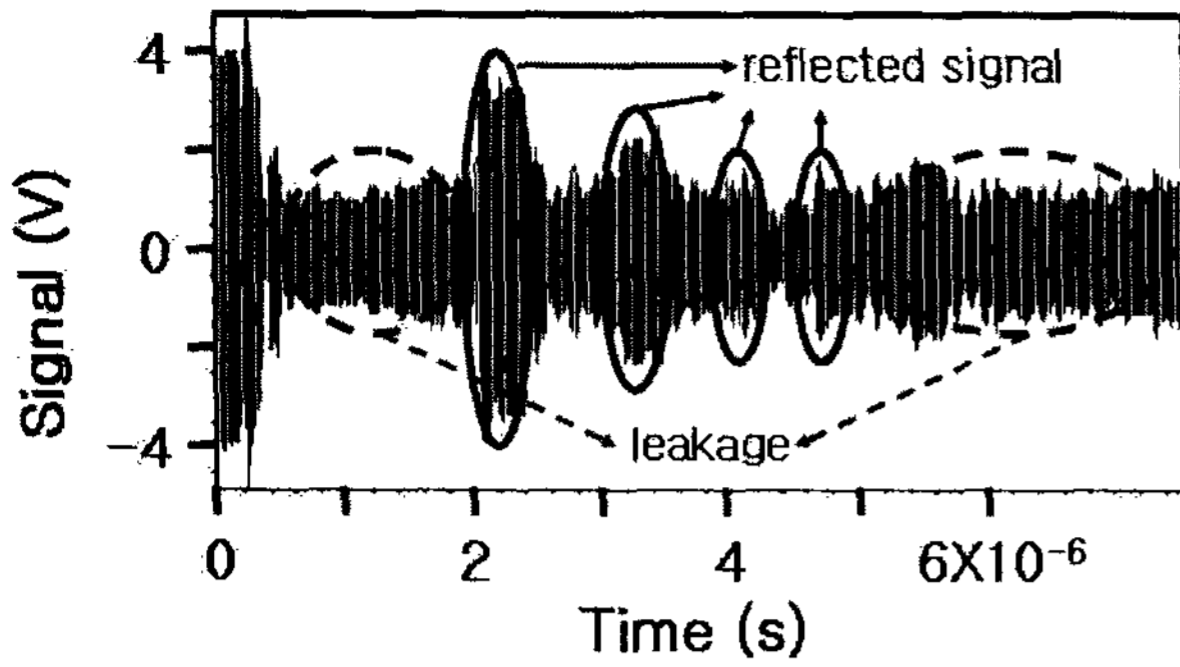


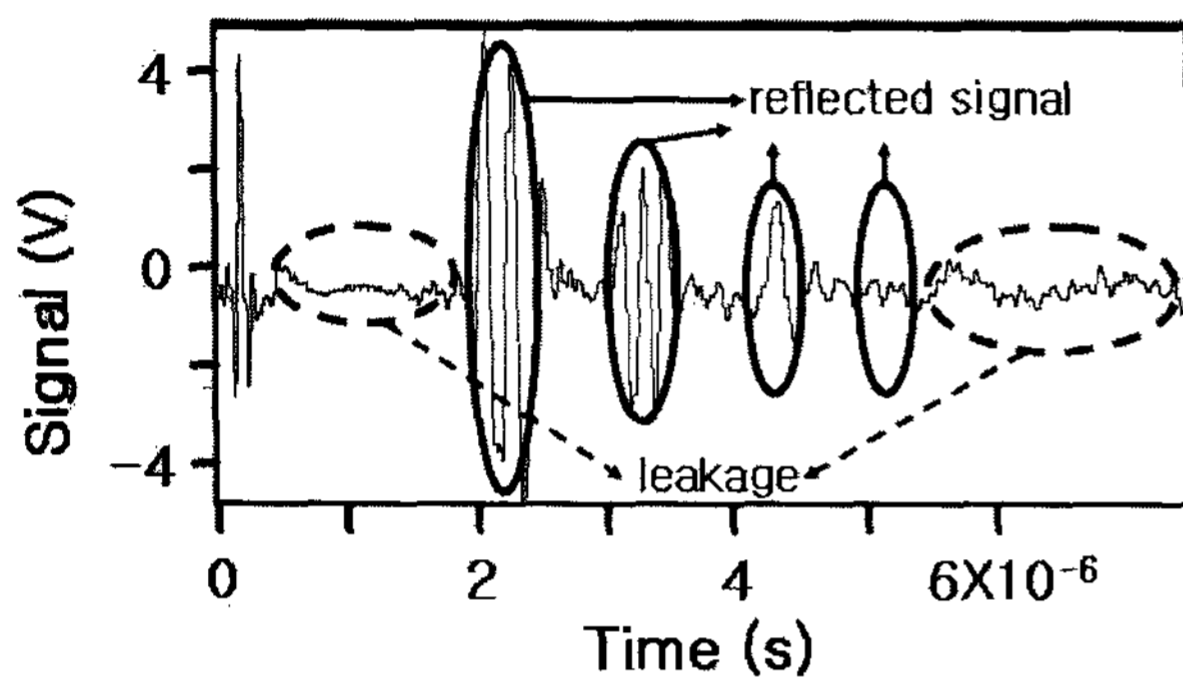
그림 6. Direct conversion 송수신부 block diagram  
Fig. 6. Block diagram of direct conversion transceiver.

표 2. Direct conversion 수신 시스템에 사용된 부품의 이득과 잡음지수  
Table 2. Gain and noise figure of component used to direct conversion receiver system.

	Gain	Noise Figure
LNA	23 dB	1.3 dB
Mixer	-5.2 dB	5.2 dB
LPF	-6 dB	6 dB
IF Amp.	30 dB	6.5 dB



(a) Heterodyne 수신 시스템 측정 결과  
(a) Measurement result of the heterodyne receiver.



(b) Direct conversion 수신 시스템 측정 결과  
(b) Measurement result of the direct conversion receiver.

그림 7. Heterodyne 방식과 direct conversion 방식 수신 시스템의 측정 결과  
Fig. 7. Measurement result of the heterodyne and direct conversion receiver.

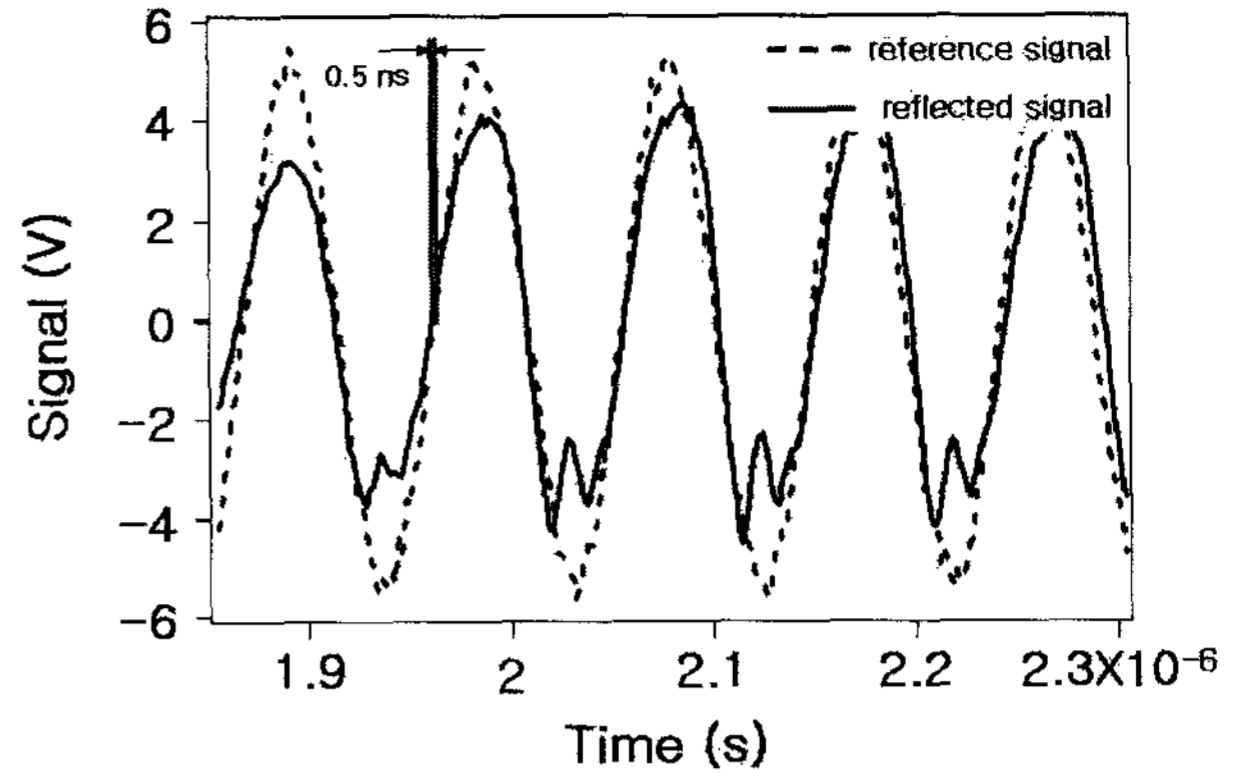
표 3. Heterodyne 방식과 direct conversion 방식의 leakage 측정 결과  
Table 3. Leakage measurement result of the heterodyne and the direct conversion receiver.

구분	Heterodyne	Direct conversion
Leakage (V <sub>pp</sub> )	1.25	0.4
Leakage (dBm)	-31	-41
Isolation (dB)	61	71

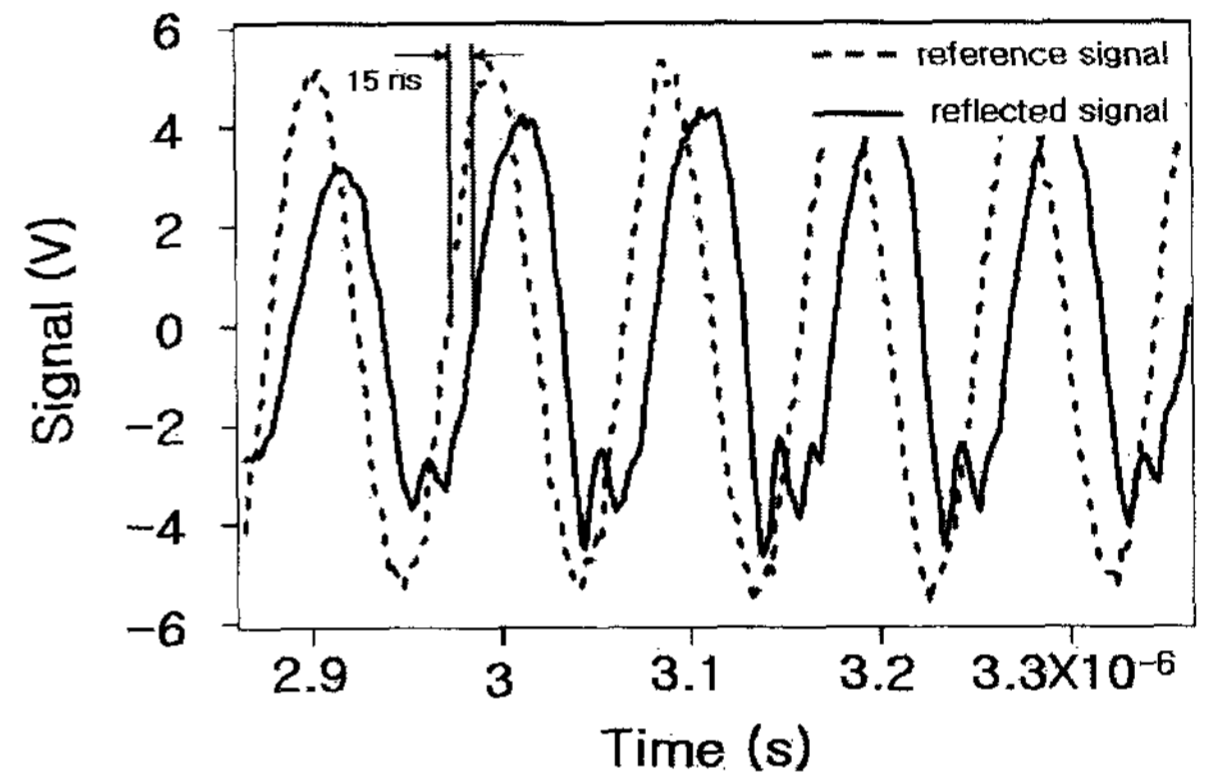
력이 30 dBm 이므로 송수신 시스템의 격리도는 각각 71 dB와 61 dB로 측정되었다. 이 결과 direct conversion 방식의 수신 시스템이 heterodyne 방식의 수신 시스템과 비교하여 leakage에 의한 noise 성분이 10 dB 감소되었다.

## 2. SAW ID 태그 측정 결과

제작된 SAW ID 태그는 pulse position encoding 방법으로 II장 2절 SAW ID 태그 설계 방법을 이용하였다. 첫 번째 반사판은 0번 슬롯, 두 번째 반사판은 1번



(a) SAW ID 태그의 첫 번째 반사판의 측정 결과  
(a) Measurement result of the SAW ID tags first reflector.



(b) SAW ID 태그의 두 번째 반사판의 측정 결과  
(b) Measurement result of the SAW ID tags second reflector.

그림 8. Pulse position encoding 방법의 SAW ID 태그 측정 결과  
Fig. 8. SAW ID tag measurement result of the pulse position encoding method.

표 4. SAW ID 태그 측정 결과  
Table 4. Measurement result of SAW ID tag.

	설계 슬롯 위상±오차범위	측정 슬롯 측정 위상	측정 오차
첫 번째 반사판	1번 0°± 22.5°	1번 1.9°	1.9°
두 번째 반사판	2번 45°± 22.5°	2번 57.8°	12.8°
세 번째 반사판	3번 90°± 22.5°	3번 101.7°	11.7°
네 번째 반사판	4번 135°± 22.5°	4번 142.3°	7.3°

슬롯, 세 번째 반사판은 2번 슬롯, 네 번째 반사판은 3번 슬롯에 위치하도록 설계하였다. 각 슬롯의 위상 차이는 45°이고, 8개의 슬롯을 1개의 그룹으로 하여 1개 반사판 데이터 용량은 3 bit이며, 4개의 반사판으로 구성된 SAW ID 태그는 12 bit의 데이터 용량을 갖도록

하였다. 앞에서 기술한 heterodyne 수신 시스템으로 측정된 결과를 그림 8에 나타내었다.

측정 결과 reference 신호와 비교하여 첫 번째 반사판과 두 번째 반사판의 시간차이가 그림 8에서와 같이 0.5 ns와 15 ns로 측정되었다. 반사 신호의 위상을 측정하는데 reference 신호에 따라 측정 결과가 달라지므로 매우 중요하다. Reference 신호를 얻는 방법에는 (1) 송신 시스템 PLL (Phase Locked Loop)의 신호를 이용하는 방법과, (2) 송신 신호가 SAW ID 태그의 IDT에서 바로 반사되어 나오는 신호를 사용하는 방법, (3) 제일 앞부분 반사판의 반사 신호를 reference 신호로 이용하는 방법이 있으며 실험에서는 송신 시스템의 PLL 신호를 reference 신호로 이용하는 방법을 사용하였다. 측정 결과를 reference 신호와 비교하여 첫 번째 반사판의 위상 차이는 1.9°, 두 번째 반사판의 위상 차이는 57.8°, 세 번째 반사판의 위상차는 101.7°, 네 번째 반사판의 위상차는 142.3°가 측정된다. 각각의 위상 오차는 각각 1.9°, 12.8°, 11.7°, 7.3°로 설계 시 고려한  $\pm 22.5^\circ$ 의 오차범위를 만족하는 데이터를 얻을 수 있으며, 0번 슬롯( $0^\circ \pm 22.5^\circ$ )과 1번 슬롯( $45^\circ \pm 22.5^\circ$ ), 2번 슬롯( $90^\circ \pm 22.5^\circ$ ), 3번 슬롯( $135^\circ \pm 22.5^\circ$ )에 해당하는 데이터가 측정되어 설계했던 슬롯 데이터와 일치하는 결과를 얻었으며 그 결과를 표 4에 나타내었다.

## V. 결 론

현재 수동형 RFID 시스템은 저가와 소형화, 인식 거리 증대가 이슈가 되고 있다. SAW ID 태그는 응답 속도가 빠르고, 가격이 싸며, DC전원을 요구 하지 않는 장점이 있다. 이러한 장점을 이용하여 RFID 시스템에 적용하기 위해 900 MHz 대역의 SAW ID 태그 및 송수신 시스템을 설계, 제작하여 특성을 평가 하였다.

송수신 시스템은 무선 송수신 거리를 증가시키기 위하여 heterodyne 방식과 direct conversion 방식의 수신 시스템을 제작, 측정하여 결과를 비교 분석하였다. Direct conversion 방식이 heterodyne 방식의 수신 시스템 측정 결과와 비교하여 leakage에 의한 noise의 전압은 0.85 V 감소하였다. Noise가 감소하여 송수신 시스템의 격리도는 10 dB 증가하여 RFID 시스템에서 중요한 인식 거리를 증가시킬 수 있었다.

SAW ID 태그의 데이터 용량을 증가시키기 위해 반사 신호의 phase 정보로 데이터를 식별하는 pulse position encoding 방법으로 제작 측정하여 적용가능성

을 검토하였으며 이 방법을 통하여 900 MHz 대역에서 위상차를 이용한 SAW ID 태그의 가능성을 제시하였다. 따라서 pulse position encoding 방식을 사용하게 되면 같은 수의 반사판을 이용하여 amplitude on/off 방식과 비교하여 3배의 데이터 용량을 증가시킬 수 있었다. 설계했던 SAW ID 태그의 반사판은 차례대로 0번부터 3번까지의 슬롯에 놓여있고 각각의 슬롯은 45°의 위상 차이를 두었다. 측정 결과 reference 신호와 비교하여 각 반사판의 위상은 설계 시 고려했던  $\pm 22.5^\circ$ 의 phase 마진을 모두 만족하였으며, 설계했던 슬롯 데이터와 측정 데이터가 일치하였다.

SAW ID 태그는 read only의 passive 형태 ID 태그로 active 형태의 ID 태그와 달리 내부 전원이 필요 없다. 또한 기존의 passive ID 태그와는 달리 무 칩의 태그로써 저가의 태그 제작이 가능하다. SAW ID 태그가 다른 수동형 RFID 태그와 경쟁력을 갖기 위해서는 소형화와 인식 거리의 증대에 대한 연구가 지속적으로 필요하다.

SAW 태그의 저가 및 소형화를 위해서는 하나의 반사판로 더 많은 수의 데이터를 표현할 수 있는 연구와, 수신된 반사판의 위상 신호를 작은 오차 범위 내에서 처리할 수 있는 수신 시스템의 연구가 요구된다. 또한 인식 거리의 증대를 위해서는 SAW 소자의 손실을 최소화 할 수 있도록 구조와 제작 공정에 대한 연구와, 수신 시스템에 사용되는 mixer의 LO leakage 및 IF filter의 bandwidth를 줄여 수신 시스템의 sensitivity 성능을 향상 시켜야겠다. SAW 소자 및 주변 물질에 의한 RFID 태그 안테나의 특성 변화를 고려하여 안테나의 이득을 증가시키는 연구가 병행 된다면 현재보다 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Steindl, A. Pohl, F. Seifert, "Impedance loaded SAW sensors offer a wide range of measurement opportunities," *Microwave Theory and Techniques. IEEE Transactions on*, Vol. 47 Issue 10, pp. 314-316, Oct. 1965.
- [2] R. M White, F. W. Voltmer, "Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves," *Appl., Phys. Lett.*, Vol. 7, pp. 314-316, 1965.
- [3] 이찬우, 노용래, 정종석, 백성기, "SOx 가스감지용 SAW 가스 센서 개발," *센서학회지*, 제 5권, 제 3호, 논문 96-5-3-06, 1996년 5월
- [4] J. Koskela, "Analysis and Modeling of

Surface-Acoustic wave Resonators," *Report TKK-F-A804*, Helsinki University of Technology Materials Physics Laboratory, Finland, Jan. 2001.

- [5] D. S. Ballantine, Jr. R. M. White, S. J. Martin, E. T. Zellers, H. Wohltjen, "Acoustic Wave Sensors Theory, Design, and Physico-Chemical Applications," ACADEMIC PRESS, pp. 11. 1996.
- [6] C. S. Hartmann, P. Brown, J. Bellamy, "Design of Global SAW RFID Tag Device," *Proceeding of the Second International Symposium on Acoustic Wave Device for Future Communication Systems*, Chiba Univ. Japan, March 2004.
- [7] B. Razavi, *RF microelectronics*, Prentice Hall PTR, pp. 122, 1998.

————— 저 자 소 개 —————



김 재 권(학생회원)  
 2000년 청주대학교 전자공학과  
 공학사  
 2002년 서강대학교 전자공학과  
 공학석사  
 2003년 서강대학교 전자공학과  
 박사과정

<주관심분야 : RFID, RFIC, Remote Sensing>



범 진 욱(정회원)  
 1987년 서울대학교 물리학과  
 이학사  
 1989년 미시간대학교 물리학  
 이학석사  
 1995년 코넬대학교 응용물리학  
 이학박사

1995년~1996년 코넬 대학교 박사 후 연구원  
 1996년~1998년 Bell Labs. PMTS  
 1998년~현재 서강대학교 전자공학과 조·부교수  
 <주관심분야 : RFIC, RFID, Remote Sensing>



박 주 용(학생회원)  
 2005년 서강대학교 전자공학과  
 공학사  
 2007년 서강대학교 전자공학과  
 공학석사  
 <주관심분야 : RFID, RFIC,  
 Remote Sensing>