

논문 2006-43SC-3-6

## 송·수신 분리형 초음파 거리 측정기 개발

### ( A Development of Ultrasonic Based Distance Meter Through Detachment of Receiving and Transmitting Capacitive Ultrasonic Transducer )

김 정 훈\*, 정 정 화\*

( Junghoon Kim and Jong-wha Chong )

#### 요 약

본 논문에서는 30cm 이하의 단거리의 물체를 인식하기 어려운 초음파 센서의 특성을 개선하기 위하여 2개의 커패시터 초음파 트랜스듀서를 사용하여 송신과 수신을 분리함으로써 단거리 측정과 무선에 의한 원거리 정밀 측정이 가능한 시스템을 제안한다. 이 시스템은 무선으로 송수신 하도록 설계되었으며 무선으로 연결된 송신, 수신,의 동기를 일치시켜야 한다. 트리거 펄스는 10Hz이며, 이 주파수는 무선 모듈에서 데이터를 전송하기에 매우 낮은 주파수이므로 캐리어 신호와 트리거 신호를 합성 및 분리하는 방법을 제안한다. 개발한 시스템은 범용 마이크로프로세서인 8051을 이용하여 구현하였으며, 그 유용성을 입증하기 위한 실험 결과 송신 센서와 수신 센서를 마주보게 배치하여 송신 초음파가 수신 초음파 센서로 직접 보낼 때 센서간의 거리가 0mm부터 측정이 가능하며 송신 센서에서 초음파가 송신되고 물체에 반사한 후 수신 센서로 수신되었을 때 7cm부터 물체를 감지하였다.

#### Abstract

This paper presents a novel ultrasonic sensor system to overcome limited distance detection range that can be measured only more than 30cm by single ultrasonic transducer. This is accomplished by separation of receiving capacitive ultrasonic transducer from transmitting capacitive ultrasonic transducer. And hardwares and software of the system are described in detail. The system makes very close range as well as long range detect by wireless precisely. Frequency of trigger pulse is 10Hz, but it is very low frequency for transmitting data in wireless module. Therefore, for triggering between receiver and transmitter, an algorithm for mixing and distinguishing trigger pulse from carrier pulse by software is proposed. The system is designed by common microprocessor 8051. The performance of the proposed method has been assessed through two types. The first, transmitting and receiving transducer are put on both sides. And then, distance of two point is measured as far as 0mm. Secondly, transmitting transducer send out ultrasonic pulse and measure the time of flight(TOF) until a first echo from an object detected by the detached receiving transducer. The distance between the detached transducers and a reflecting object is measured as far as 7cm. Images of measured ultrasonic waves and TOF for two methods presented to prove effectiveness of results.

**Keywords :** Capacitive ultrasonic transducer, Detached receiving and transmitting ultrasonic sensor.

#### I. 서 론

물체의 거리를 측정하는 전통적인 방법은 전파의 전

행속도를 이용한 레이더(radar)이다. 레이더는 먼 거리에 있는 금속물체의 탐지에 적합하며 주로 항공기와 선박의 위치측정을 하기 위하여 사용된다. 최근에 주행중인 차량과 차량 사이와 같은 단거리를 측정하기 위하여 소형 레이더의 구현방법이 제안되고 있으나<sup>[1]</sup> 시스템이 매우 복잡하다. 초음파를 이용한 거리 측정 방법은 10m 거리의 물체 인식이 가능하며 출력 파형이 거리에 비례한 1 차식이므로 무인반송차량과 로봇 시스템에서 충돌방지 및 주행경로 추정용으로 적용 범위가 급속

\* 정회원, 한양대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Eng., Hanyang University)  
\* 정회원, 한양대학교 정보통신대학 미디어통신공학부  
(Major in Media Communication Eng., College of Information and Communications Hanyang University)  
접수일자: 2006년2월13일, 수정완료일: 2006년5월8일

히 증가하고 있다<sup>[2-3]</sup> 초음파를 발생하고 초음파를 수신하는 센서는 세라믹 재질로 만들어진 것과 콘덴서 마이크로와 비슷한 커패시터 방식으로 나뉘어진다. 세라믹 재질의 초음파 트랜스듀서는 고유 공진 주파수에 의한 밴드패스 필터 작용을 갖기 때문에 공진 주파수 이외의 잡음신호는 쉽게 제거되므로 필터 회로가 필요치 않다. 반면에 세라믹 트랜스듀서는 송출 주파수를 변경하기 어렵다는 문제를 가지고 있으며 수신 감도가 낮아 60dB 이상의 증폭이 필요하다.

커패시터 방식의 초음파 트랜스듀서는 Polaroid 사에서 카메라에 사용하기 위하여 개발되었으며, 세라믹 방식의 트랜스듀서보다 수신 감도가 우수하여 먼 거리의 물체인식이 가능하므로 로봇과 같이 측정 정밀도를 요구하는 분야에서 많이 응용되고 있다. 커패시터 방식의 트랜스듀서는 송신 시 400 V의 고압으로 구동해야 하며 200 V의 바이어스 전압이 필요하다.<sup>[4]</sup> 초음파 수신 시에 수신 감도는 높으나 수신 가능 주파수 대역폭이 크므로 주위 잡음을 제거하는 필터회로가 필요하다.<sup>[5]</sup> 반면에 세라믹 방식에서 어려운 주파수 변조, 듀티비 변조 및 위상변조가 가능하다. 송신과 수신을 겸한 커패시터 방식의 초음파 거리측정기는 10m 이내에서 사용되며 0.3mm의 높은 분해능이 가능하지만, 30cm 이하의 근접거리는 측정이 불가능하다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위하여 송·수신 트랜스듀서를 분리하여 근접거리 측정이 가능한 초음파 거리측정기에 대한 설계 방법을 제안한다.

## II. 단일 트랜스듀서 거리 측정방식의 최소측정 가능 거리

초음파 거리 측정기는 대상 물체를 향하여 초음파를 송신 하여야 한다. 초음파는 초음파 트랜스듀서가 초기에 충분한 크기로 진동하기 위한 시간과 공기 중에서 초음파가 흡수되므로 이를 고려하여 초음파 송출 펄스 개수를 결정한다. 일반적으로 16 개의 펄스를 송신한다. 단거리 측정의 경우 트랜스듀서가 송신과 수신을 겸할 때 송신 펄스의 개수는 단거리 측정에 직접적인 영향을 미치므로 가능한 작은 수의 펄스를 송신한다. 세라믹 트랜스듀서와 커패시터 트랜스듀서 방식은 하나의 트랜스듀서가 송신과 수신을 겸할 경우 30cm 이하의 물체는 감지할 수 없다. 이는 송신 시 강력한 펄스가 트랜스듀서에 인가되는데, 펄스 인가 뒤에도 이 주파수 성분에 의한 트랜스듀서의 공진 현상이 장시간 남아 있으며

서서히 감쇄하기 때문에 송신 모드에서 수신 모드로 전환 할 때 긴 안정화 시간을 필요로 한다. 증폭회로와 필터회로에서도 노이즈 성분을 제거하기 위하여 시간 지연이 발생한다.

가장 근접한 측정가능 거리  $L_{min}$ 은 식(1)과 같다.

$$L_{min} = S \times \{(nP \times tP) + tW + tF\} \quad (1)$$

여기에서

$tP$  : 초음파 1 주기 시간,

$nP$  : 초음파 펄스 개수,

$S$  : 음속,

$tW$  : 트랜스듀서 안정화 시간,

$tF$  : 필터 지연시간

예를 들어 초음파 주기  $tP = 20\mu s$ , 초음파 펄스 개수  $nP = 16$ , 음속도  $S = 343.3m/sec$ , 트랜스듀서 안정화 시간  $tW = 230\mu s$ , 필터지연시간  $tF = 325\mu s$  일 때, 전체 시간은  $875\mu s$ 이므로 최소측정거리  $L_{min} = 300mm$ 가 된다. 이것은 단일 초음파 트랜스듀서로 초음파 거리 측정기를 제작할 때 300mm 이하의 근접 물체는 인식할 수 없음을 나타낸다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 송신용 트랜스듀서와 수신용 트랜스듀서를 완전히 분리하여야 한다.

## III. 송신, 수신 분리형 초음파 거리 측정기 구성

그림 1은 분리형 초음파 거리 측정기의 블록도이다.

초음파 수신부는 고압 BIAS 전압 발생회로, 무선 송신 모듈, 초음파 증폭/필터, 비교기 그리고 펄스발생과 FND에 숫자 표시를 제어하는 8051 마이크로프로세서로 구성되어있으며, 초음파 송신부는 무선 데이터를 수신하는 무선 수신 모듈, 초음파 발생 고압펄스발생회로 그리고 8051 마이크로프로세서로 구성된다.

마이크로프로세서는 무선 수신모듈에서 출력되는 트리거 펄스를 검출하여 16 개의 초음파 펄스 열을 만든다. 초음파 송신부는 반드시 초음파 수신부에서 지정한 시간에 초음파 펄스를 보내야 한다. 초음파 수신부는 1초에 10 회의 트리거 펄스를 송신부로 보내며 동시에 수신부는 시간 계수 타이머를 동작시킨다. 내부펄스는  $1\mu s$ 로 업 카운트 하며 초음파가 수신되면 카운트를 멈춘다. 트리거 펄스는  $10Hz$ 이며, 이 주파수는 대부분의 무선모듈에서 데이터를 보내기에 매우 낮은 주파수이

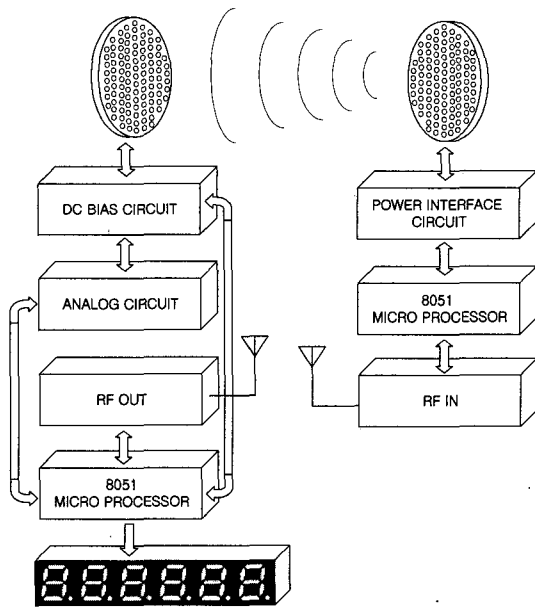


그림 1. 송·수신 분리형 초음파 트랜스듀서 구조  
Fig. 1. Block diagram of detached receiving and transmitting ultrasonic transducer.

다. 따라서 캐리어 주파수를 만들고 캐리어 주파수에 트리거 펄스를 실어 무선모듈로 보내야 초음파 송신 단의 무선 수신에서 정상적으로 트리거 신호를 확인하고 초음파를 발신할 수 있다. 이를 위하여 캐리어 주파수에 트리거 펄스를 합성, 분리하는 방법은 다음과 같다.

### 1. 캐리어 펄스와 트리거 펄스 발생

프로세서는 타이머 사용하여 측정 주기 당 100 회의 인터럽트를 발생하며 측정 주기는 초당 10회이므로 초당 1000번의 인터럽트를 발생한다. 마이크로프로세서는 인터럽트가 발생한 상태에 0부터 99까지 번호를 부여하여 각 번호에 해당하는 고유동작을 실현한다. 따라서 1초당 10 회 거리 측정이 가능해진다. 인터럽트 시간 폭은  $1ms$ 이며 인터럽트가 발생할 때마다 8 비트 인터럽트 상태(interrupt state) 카운터 변수를 업 카운트 한다. 이 변수의 최하위 비트는 인터럽트가 발생할 때마다 상태가 반전하므로  $500Hz$ 의 주파수에 해당된다. 인터럽트 상태 카운터 변수의 1번 비트(S1)는  $250Hz$ 가 되어 캐리어 펄스로 사용한다. 트리거 펄스는 인터럽트 상태 0에서  $20\mu s$  동안 1 상태를 유지한다. 캐리어 주파수와 트리거 펄스의 합성 원리는 그림 2와 같다.

### 2. 캐리어 펄스로부터 트리거 펄스의 분리

무선모듈의 동작 특성으로부터 캐리어 펄스와 트리거 펄스가 혼합된 신호가 송신모듈에서 수신된다. 송신

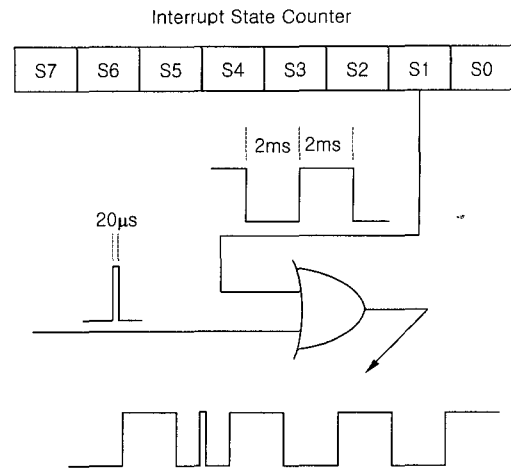


그림 2. 캐리어 펄스와 트리거 펄스 합성  
Fig. 2. Mixing of carrier pulse and trigger pulse.

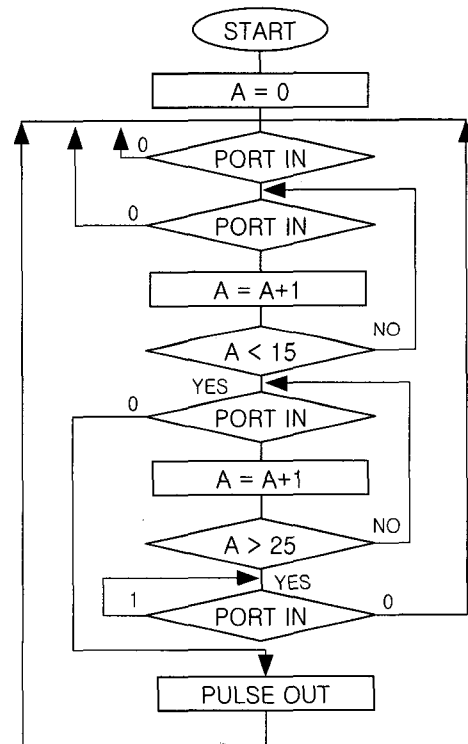


그림 3. 캐리어 펄스로부터 트리거 펄스의 분리 순서도  
Fig. 3. Software flowchart to distinguish trigger pulse from carrier pulse.

들의 마이크로프로세서는 항상 캐리어 펄스를 조사해야 하며 트리거 펄스를 찾아내야 한다. 캐리어 펄스는  $250Hz$ 의 구형파 (Duty Cycle = 50%)이며, 트리거 펄스의 주파수는  $10Hz$ 이고 펄스 폭은  $20\mu s$ 이다. 따라서 아날로그 필터링 방법으로 캐리어에서 트리거를 분리해 낼 수 없으므로 소프트웨어 방법으로 트리거 신호를 찾

아 초음파 펄스를 송신하기 위한 동기 신호로 사용한다. 무선 수신모듈에서 출력된 신호는 캐리어 펄스에 트리거 펄스가 포함되어 있으므로  $20\mu s$ 의 트리거 펄스를 분리하는 것은 어셈블리 프로그램에 의하여 실현한다.

초음파 송신부의 마이크로프로세서는  $24MHz$ 로 동작하며, 조건 분기 명령은  $1\mu s$ 의 실행시간이 소요되므로  $1\mu s$ 의 분해능으로 트리거 펄스를 검출할 수 있으며 캐리어 펄스는 무시하고  $20\mu s$ 의 펄스 하강에지를 검출한다. 트리거 펄스 검출 조건은 펄스가  $15\mu s \sim 25\mu s$ 에서 1 상태로 유지하면 트리거 펄스로 인식하며 트리거 펄스가 1에서 0으로 변할 때 초음파를 송신한다. 그림 3은 트리거 펄스를 검출하는 알고리즘에 대한 순서도이다.

### 3. 초음파 수신부 하드웨어 구성

수신부는 송신모듈, 마이크로프로세서, 디스플레이부, 아날로그 증폭회로로 구성되어 있다.

그림 4는 초음파 수신기중 고압 BIAS 전압 발생회로와 초음파 신호 증폭회로이며, 그림 5는 트리거 신호를 보내기 위한 RF 인터페이스와 측정 거리 값을 표시하는 FND 그리고 마이크로프로세서 회로이다. 마이크로프로세서는 8051(ATMEL사의 AT89C51)을 이용하였으며 측정거리 값을 FND에 표시하는 기능, 무선 모듈 동작 조건을 만족하는 트리거 펄스 발생기능, 트랜스듀서의 고압 DC 바이어스 전압을 만들기 위한 펄스 발생기능 그리고 수신된 초음파를  $1\mu s$  단위로 카운트 하는 기능을 내장하고 있으며 C 프로그램 언어로 구현하였다.

#### 가. 트랜스듀서 고압 DC 바이어스 발생회로

트랜스 듀서는 얇은 금속판으로 구성되어 있으므로 DC 바이어스를 걸어 금속판이 탄성을 가지도록 하여 신호 대 잡음비를 개선한다. 고압발생 회로는  $5V$ 의 진폭의 전압을  $400V$ 까지 승압한다. 주기가  $20\mu s$ 인 ( $500KHz$  주파수) 16 개의 펄스를 승압 트랜스에 인가하면 최대  $400V_{p-p}$ 의 고압을 만든다. 고압 커패시터로 구성된 평활 회로를 거치면 약  $300V$ 의 고압이 만들어진다. 최대 측정 주기가  $100ms$ 로 가정하면  $300V$ 에서  $150V$ 의 삼각형 바이어스 전압이 얻어진다.

#### 나. 초음파 아날로그 증폭 및 필터회로

초음파는 공기 중에서 감쇄가 심하다. 따라서 초음파 수신 단에서 정해진 증폭도의 증폭기를 사용한다면 동작영역은 심각하게 제한되므로 거리에 따라 증폭도를

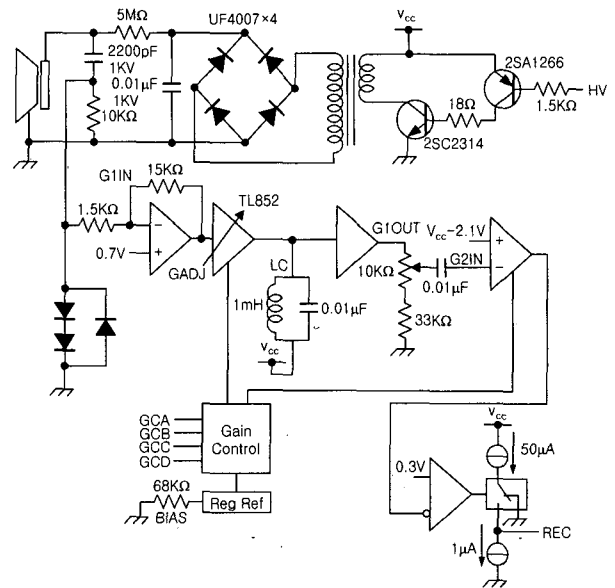


그림 4. 초음파 수신부 고압 바이어스 발생, 초음파 증폭을 위한 회로

Fig. 4. High voltage bias generation and ultrasonic signal amplifier circuit in receiver unit.

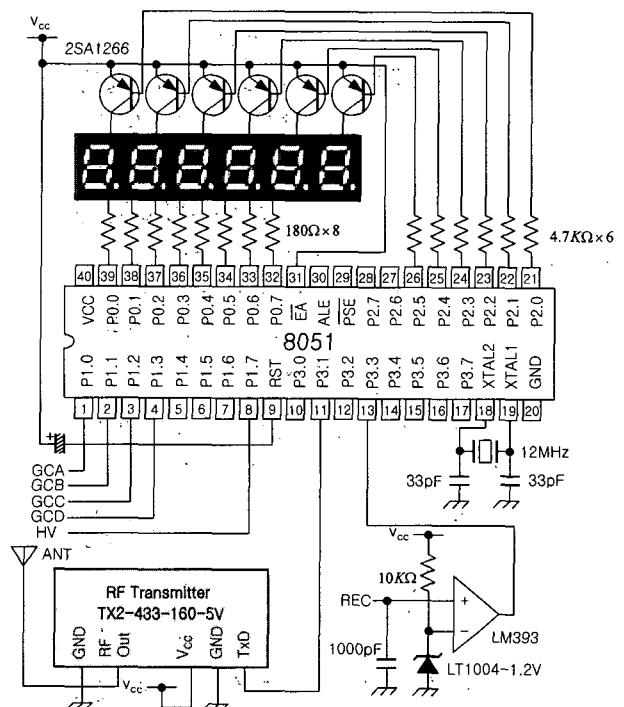


그림 5. 초음파 수신부 마이크로프로세서

Fig. 5. Microprocessor, RF module and FNDs in receiver unit.

변화시키는 것이 바람직하다. 먼 거리에서 반사된 신호는 크게 증폭하고 근거리 반사된 신호는 작게 증폭한다. 신호 반사 시간은 초음파 트랜스듀서와 물체와의 거리에 비례하기 때문에 증폭 도는 시간에 따라 변화시켜 감쇄 비율에 따라 신호를 증폭하면 먼 거리의 물체

의 거리측정이 정확하게 된다. 수신된 신호전압은 거리, 구성요소, 그리고 물체의 표면 구성에 따라 수  $\mu V$ 에서 수  $mV$  범위이다. 요구되는 다이내믹 레인지는  $60dB$ 이다. 두 개의 앰프는 시간에 따라 게인이 변화된다.

초음파 수신회로는 디지털제어 가능한 가변 이득 증폭기가 내장된 TI사의 TL852를 사용하였다. TL852는 그림 6과 같은 커브에 근사화 된 16 단계의 개별 게인 스텝이 가능하며  $20KHz \sim 80KHz$  범위의 주파수 증폭 용도로 설계되어 있다. TL852 내부에는 4 개의 전압 증폭기와 1 개의 버퍼(전류증폭)가 있다. 첫 번째 게인 앰프의 증폭 게인은 그림 4에서 G1IN과 GADJ 사이에 연결된 피드백 저항에 의하여 결정된다. TL852 는 디지털 설정에 의한 게인 증폭기가 내장되어 있다.

초음파는 거리에 따라서 공기 중에 흡수되는 비율이 높기 때문에 시간에 따라 게인을 다르게 하여야 한다. 물체가 초음파 센서와 근거리에 위치하고 있을 때는 수신 신호가 크므로 낮은 증폭도로 설정하고 원거리에 있을 때 증폭 도를 크게 설정한다.

정전용량 방식의 초음파 트랜스듀서는 감도가 예민하다는 특징을 갖지만 세라믹 방식의 진동자처럼 특정 공진 주파수를 갖고 있지 않아서 밴드 패스 필터를 구성하여 다른 노이즈 신호를 제거할 필요가 있다. LC 단자에  $50KHz$ 에 해당하는  $L(1mH)$ 과  $C(0.01mF)$ 를 부차하여 밴드패스 필터 회로를 구성한다. C는 가변 할 수 없으므로  $0.01mF$ 로 선택하고 이에 따른 L을 식 (2)로부터 구한다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

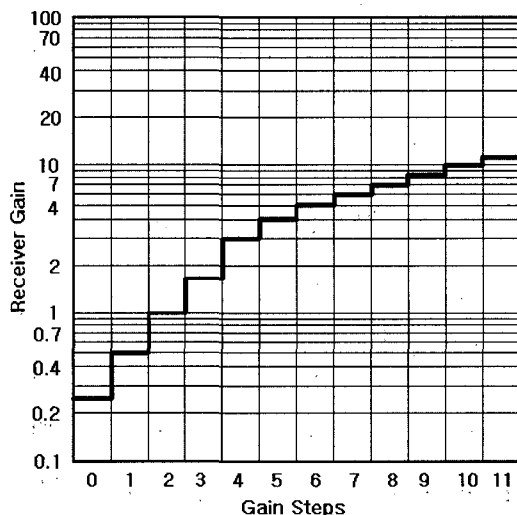


그림 6. 디지털 값 설정에 따른 게인  
Fig. 6. Receiver gain to gain steps.

밴드 패스 필터를 통과한 신호를 2 단에서 증폭하여 가변 저항기를 거쳐 G2IN에 연결된다. 출력은  $50mA$ 의 소스 드라이버와  $1mA$ 의 싱크회로로 구성되어 있다. 스파이크 노이즈를 제거하기 위하여  $1000pF$ 의 커패시터를 연결한다. 이 커패시터 용량은 초음파 펄스 1 ~ 2개 분을 상쇄시킬 수 있는 값이다. 컴퍼레이터 LM393과  $1.2V$  기준 전압원 LT1004-1.2V를 사용하여 REC 출력의  $1.2V$  이상을 신호로 받아들여 프로세서에 내장된 16비트 업 카운터 타이머 단자 P3.3로 입력된다. High 상태에서 카운터 가능상태가 되며 Low 상태에서 카운터를 정지시킨다. 프로세서는 이 타이머 값을 계산하여 FND에 출력한다.

#### 4. 수신부 소프트웨어 구성

마이크로프로세서는 8051을 사용하였다. 8051의 구조는 XTAL 주파수를 12 분주하여 타이머의 입력신호로 사용하도록 정해져 있으므로 초음파 수신 신호의 시간을  $1\mu s$  단위로 카운팅 하기 위하여 XTAL 주파수를  $12MHz$ 로 설정하였다. 타이머는 16 비트이므로 최대 측정 카운트 수는 65536이며, 따라서 초음파의 최대 측정시간은  $65.536ms$ 가 된다. 반사모드에서 최대 측정 가능거리  $L_{r,max}$ 와 분리모드에서 최대 측정거리  $L_{d,max}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$L_{r,max} = \frac{S \times 65536 \times 10^{-6}}{2} \quad (3)$$

$$L_{d,max} = S \times 65536 \times 10^{-6} \quad (4)$$

음속  $S$ 는  $20^\circ$ 에서  $343m/sec$  이므로  $L_{r,max}$ 는  $11.236m$ 이고,  $L_{d,max}$ 는  $22.478m$ 가 된다.

8051 내부의 타이머 0 은  $1ms$ 마다 인터럽트가 발생하도록 설정하여 측정된 거리 정보를 FND에 다이내믹 방식으로 표시한다.  $1ms$ 마다 인터럽트가 발생할 때 인터럽트 상태 번호 0 부터 99 까지 번호를 부여한다. 인터럽트 상태 0 에서 고압 DC 바이어스 전압을 만들기 위한 펄스를 만들어내고  $20\mu s$  트리거 펄스를 포함한  $250Hz$ 의 캐리어 펄스를 RF 모듈에 보낸다. 그리고 Timer 1 을 동작 가능한 상태로 만들어 초음파가 수신될 때까지  $1\mu s$  단위로 시간을 계수한다. 초음파 증폭기 TL852의 REC 출력은 기준 전압원  $1.2V$ 와 함께 LM393 비교기에 입력된다. 비교기 출력 신호는 8051 포트의 P3.3 (Timer 1 입력)에 연결되며 신호가 H를

유지하는 동안 Timer 1 이 카운트한다. 8051은 인터럽트 처리시간 이외에는 P3.3 의 신호를 검사하여 L 레벨이면 Timer 1 의 기능을 정지 시켜 H 신호가 오더라도 Timer 1이 카운트 하지 못하도록 한다. Timer 1 이 카운트할 수 있는 65ms 이후에 Timer 1 값을 읽어 십진수로 변환한 후 FND에 출력한다. 표 1은 인터럽트 상태 번호에 따른 프로세서의 동작 내용이다.

모든 인터럽트 발생시 FND에 숫자 데이터를 출력한다. 6자리의 FND이므로 초당 166회의 리프래쉬가 된다. 인터럽트가 발생할 때 상태 번호가 업데이트되며 해당 인터럽트 상태마다 표 1과 같은 정해진 동작을 실행한다. 초음파 측정 가능 범위 내에 측정 대상 물체가 있을 때 인터럽트 상태 65 이전에 초음파 신호가 수신되어야 한다. 인터럽트 상태 65 이후는 타이머가 오버플로우 되는 상태이다. 동작이 지정되지 않은 인터럽트 상태는 FND 업데이트와 인터럽트 상태 번호 증가 이외에는 아무것도 실행하지 않는다.

측정 주기는 인터럽트가 100회 발생하여 종료되며 1초에 10회 연속적으로 측정한다. 인터럽트 상태 번호가 정의되지 않은 구간은 1ms의 시간을 소비하며 아무런 데이터 처리도 하지 않는다. 프로그램의 main 함수에서 비교기를 거친 초음파 수신레벨이 0이 되면 타이머를 멈추어 카운터가 오버랩 되지 않도록 한다. 그림 7은 수신부와 송신부의 동작관계를 표시한 타이밍도이다.

그림7-(1) : 인터럽트는 1 초에 1000회 발생하도록 되어 있으므로 인터럽트 한 구간의 시간은 1ms이다. 인터럽트 상태는 0부터 99까지 정해지며 BIAS 전압 생성용 펄스발생 트리거 펄스 발생수신 계인 앰프의 11단계 증폭도 변경 그리고 FND에 거리 값을 표시하기 위한 타이머 측정값의 16진 10진 변환이 100 개의 인터럽트 구간 내에서 실행된다.

그림7-(2) : 무선 모듈에 의하여 트리거 신호를 전달하기 위하여 캐리어 펄스와 트리거 펄스가 혼합된 것이다.

그림7-(3) : BIAS 전압 발생용 펄스이다.

그림7-(4) : 송신부에서 트리거 신호가 입력된 후 만드느 초음파 구동 펄스이다.

그림7-(5) : 수신 초음파 트랜스듀서에서 수신된 초음파 신호를 증폭하고 필터기를 통과한 후의 파형이다.

그림7-(6) : (5)의 신호가 비교기 LM393을 통과했을 때의 파형이며, 마이크로프로세서의 타이머 입력으로 사용된다.

표 1. 초음파 수신부의 인터럽트 상태 동작

Table 1. Operation of respective interrupt states in receive mode.

인터럽트 번호	동작 내용
0	수신 증폭이득 = Step 0 BIAS 고압 발생 펄스출력 트리거 펄스 출력 내부 카운터 리셋
2	수신 증폭 = Step 1
5	수신 증폭 = Step 2
7	수신 증폭 = Step 3
10	수신 증폭 = Step 4
13	수신 증폭 = Step 5
16	수신 증폭 = Step 6
18	수신 증폭 = Step 7
21	수신 증폭 = Step 8
27	수신 증폭 = Step 9
32	수신 증폭 = Step 10
38	수신 증폭 = Step 11
92	타이머 값(측정 거리) 변환
93	FND 1 단위 디지트 값
94	FND 10 단위 디지트 값
95	FND 100 단위 디지트 값
96	FND 1000 단위 디지트 값
97	FND 10000 단위 디지트 값
98	FND 100000 단위 디지트 값
99	FND에 측정 거리표시

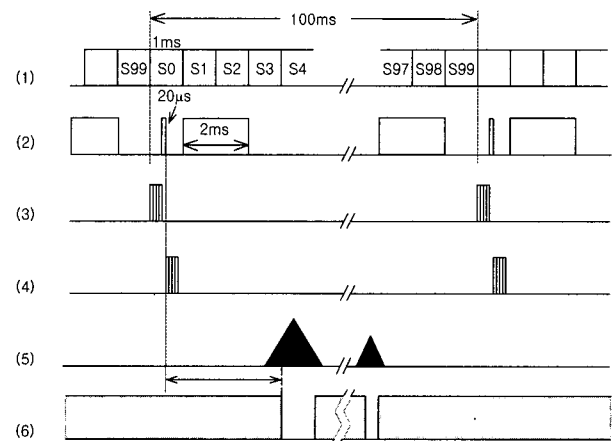


그림 7. 초음파 수신부의 타임 차트

Fig. 7. Time chart of receiver unit.

## 5. 초음파 송신부

그림 8에 초음파 송신회로를 나타냈으며, 마이크로프로세서 8051 (AT89C 2051), 433MHz 무선 수신모듈, Polaroid 초음파 트랜스듀서(PID602246), 제너다이오드 (EZD200), 커패시터(Cs), 트랜스포머(T), 2 개의 트랜지스터로 구성된다. 트랜지스터 2SA1266, 2SC2314는 선택한 송신 주파수에 해당하는 펄스 열로 구동된다. 제너다이오드는 시스템 게인을 일정하게 하기 위한 방법으로 과도한 peak-peak 전압을 제한하기 위하여 사용한다.

초음파 송신부는 수신부에서 무선으로 보내온 동기 신호를 캐리어 신호로부터 분리한다. 트리거 신호를 받으면 즉시 16개의 초음파를 송출한다. 트리거를 검출하는 방법은 소프트웨어에 의하여 250Hz의 구형파에 포함된 10Hz, 20μs의 펄스를 찾아낸다. 20Pin 패키지 8051을 사용하였으며 수신부와 달리 트리거 펄스의 정시성을 높이기 위하여 24MHz의 오실레이터를 사용하였다. 타이밍이 중요하기 때문에 프로그램은 어셈블리어로 작성되었으며, 조건부 점프 명령(Conditional Jump Instruction)을 이용하여 트리거 신호를 1μs 오차로 검출할 수 있게 구성하였다. 무선모듈에서 수신된 캐리어 신호와 트리거 신호를 8051의 Port 3.2로 입력한다. 마이크로프로세서는 그림 3과 같은 방법으로 트리거 신호를 분리해낸다.

## IV. 실험 및 측정 결과

본 논문에서 개발한 송·수신 분리형 초음파 거리 측정기의 성능 비교를 위하여 한 개의 초음파 센서로 송신 및 수신을 행하는 Senscomp 사의 초음파 모듈 smart series 600에서 트랜스듀서의 동작파형을 측정하였으며 측정파형은 그림 9와 같다. 이 그림에서 송신된 파형과 수신된 파형이 만나는 시간이 최소 측정 가능 거리가 되며, 여기에 증폭과 필터회로의 지연시간이 합해지면 실제로 측정 가능한 근접거리는 매우 커진다는 것을 알 수 있다. 개발한 송·수신 분리형 초음파 거리 측정기의 외관은 각각 그림 10, 그림 11과 같다. 그림 10은 수신부이고, 그림 11은 송신부이다. 초음파 송신부는 수신부에서 보내온 트리거 신호를 기준 하여 16개의 초음파 펄스를 송신한다. 표시되는 수치는 마이크로프로세서 8051의 Timer0 계수 값을 표시한 것이며, 입력 기준 주파수가 1MHz이므로 표시된 수치의 단위는 1μs가 된다. 그림 12는 송신부의 트랜스듀서에서 관

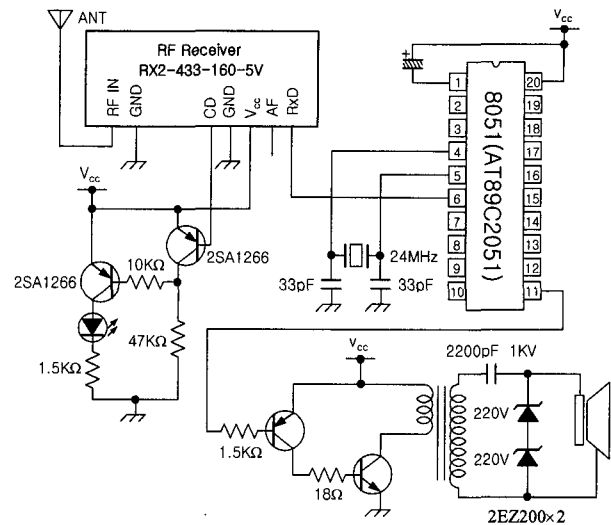


그림 8. 초음파 송신부

Fig. 8. Transmitter unit.

측한 것으로 10Hz 주기로 초음파가 송신되는 것을 보여주며, 그림 13은 16개의 초음파 송신 파형을 확대한 것이다. 그림 14는 수신 트랜스듀서에서 관측한 초음파 입력 파형이다. 그림 15는 수신부에서 보낸 트리거 펄스 파형을 송신부 무선 수신 단에서의 관측한 파형이며 캐리어 주파수 250Hz 안에 10Hz의 트리거 펄스가 포함된 것을 알 수 있다. 그림 16의 상단 파형은 무선 송신펄스 열이며 하단 파형은 무선 수신 모듈에서 수신된 신호이다. 7μs의 지연 시간이 있음을 확인할 수 있으며 편차는 약 200ns 이내임이 측정결과 확인되었다. 그림 17은 송신 트랜스듀서와 수신 트랜스듀서를 마주 보게 붙여놓아 0mm에서의 시스템 지연시간 nD를 측정한 것이다. 69μs의 지연시간이 관측되며, 이 값은 모든 측정에서 오프셋(offset) 값으로 교정해 주어야 한다. 분리형과 반사형에서의 측정거리  $L_d$ 와  $L_r$ 은 각각 다음 식으로 표시된다.

$$L_d = S \times (T0 - nD) \quad (5)$$

$$L_r = \frac{S \times (T0 - nD)}{2} \quad (6)$$

여기에서 T0는 8051프로세서 Timer0의 카운트 값이며 단위는 μs이다.

그림 18은 송신기와 수신기를 5cm의 간격으로 서로 마주 보게 하여 그 거리를 측정한 분리형 송수신기에 대한 실험이며, 식(5)와 같이 오프셋 값을 빼주고 음속 S(343m/sec)을 곱하면 실측거리가 50.0078mm임을 알 수 있다. 그림 19는 반사형으로 7cm의 물체거리

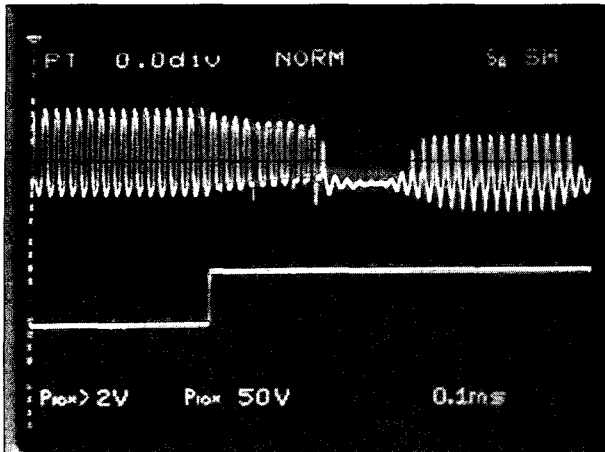


그림 9. 단일 트랜스듀서에서 송신 및 수신 파형  
Fig. 9. Receive and transmit ultrasonic signal of single transducer.

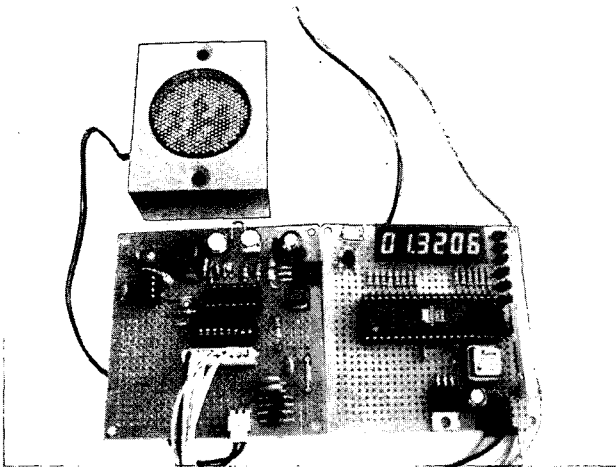


그림 10. 초음파 수신부  
Fig. 10. Ultrasonic receiver.

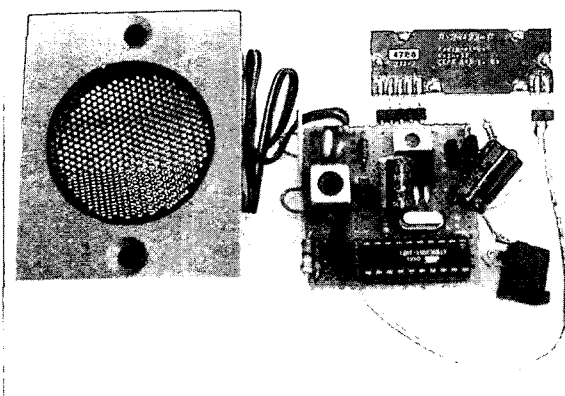


그림 11. 초음파 송신부  
Fig. 11. Ultrasonic transmitter.

를 측정한 것이다. 식(6)에 의하여  $69.8005mm$ 로 측정되었다. 제작한 초음파 거리 측정기는 반사방식으로 사용할 때  $7cm$ 의 거리 측정이 가능함이 확인되어 현재

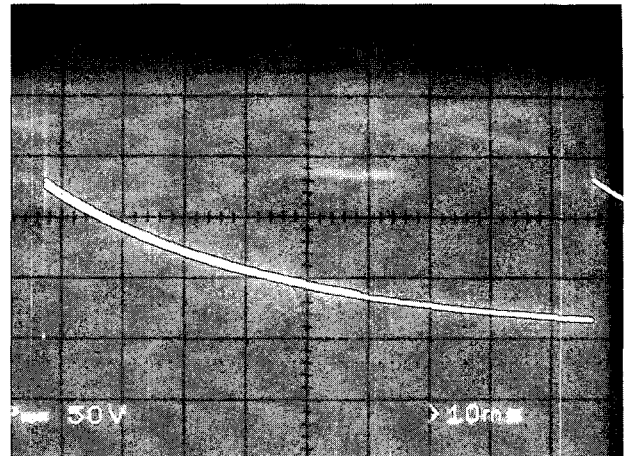


그림 12. 초음파 고압 발생 1 주기  
Fig. 12. One cycle of generated high voltage ultrasonic signal.

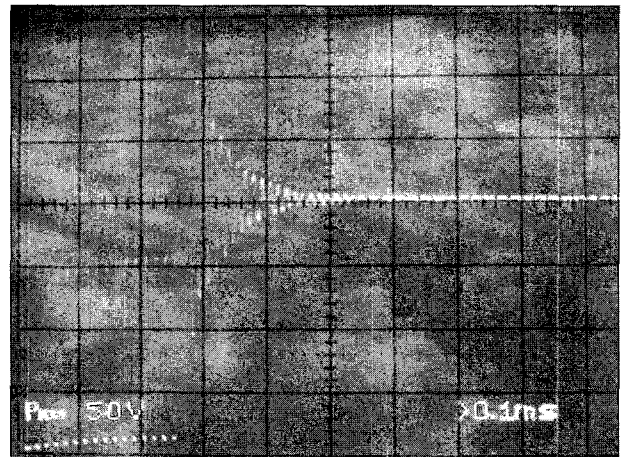


그림 13. 초음파 16 개 펄스 고압 발생  
Fig. 13. Generation of sixteen high voltage ultrasonic pulse.

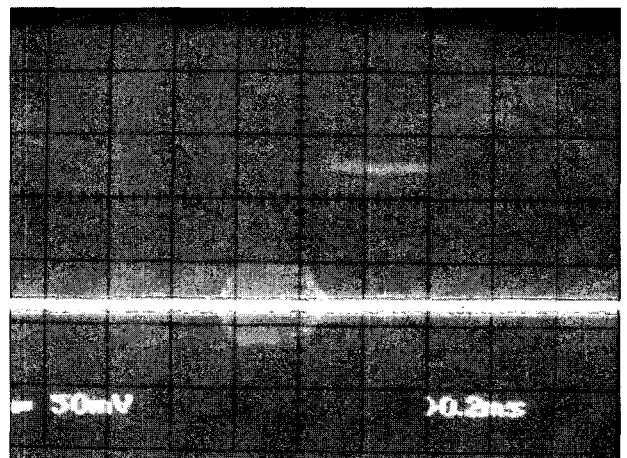


그림 14. 수신된 초음파  
Fig. 14. Received ultrasonic signal.

상용화된 초음파거리 측정기의 측정 한계인  $30cm$ 보다 근거리 측정이 가능하므로 성능이 크게 개선됨을 알 수

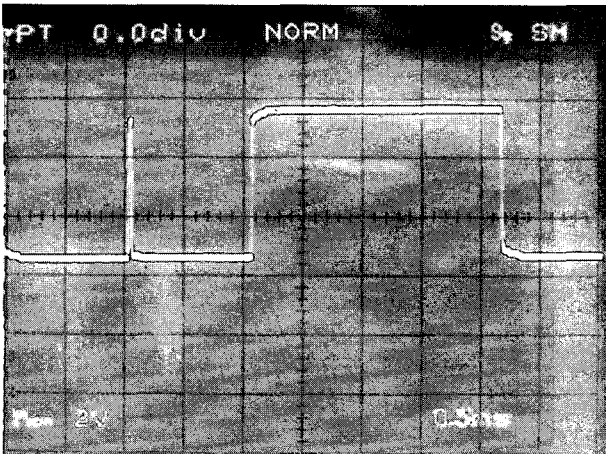


그림 15. 트리거 펄스 전송 (250Hz carrier pulse + 20μs trigger pulse)

Fig. 15. Transmitted trigger pulse (250Hz carrier pulse + 20μs trigger pulse).

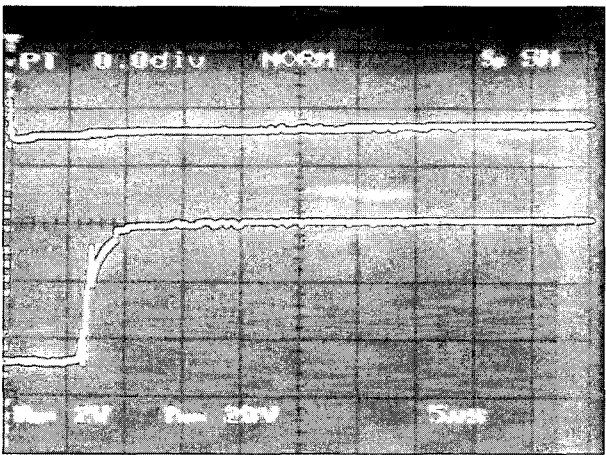


그림 16. 트리거 송신과 수신 지연시간

Fig. 16. Transmitted trigger pulse and delay of receive pulse.

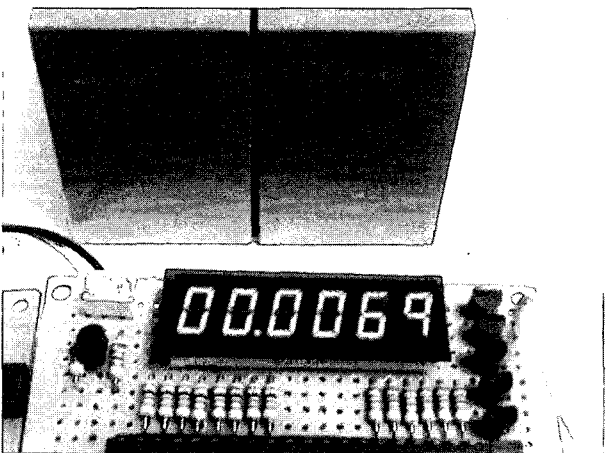


그림 17. 송·수신 트랜스듀서를 밀착 : 0mm

Fig. 17. Measurement of distance 0mm when transmitting and receiving transducer are stuck closely.

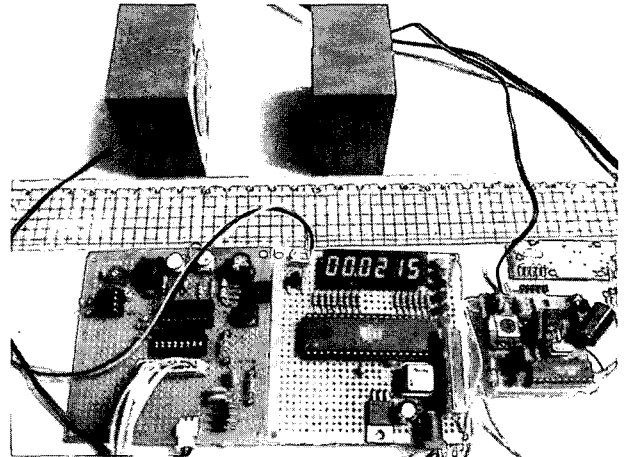


그림 18. 송신 수신을 마주 보게 배치하고 5cm 거리 측정

Fig. 18. Measurement of distance 5cm when transmitting and receiving transducer are put on both sides.

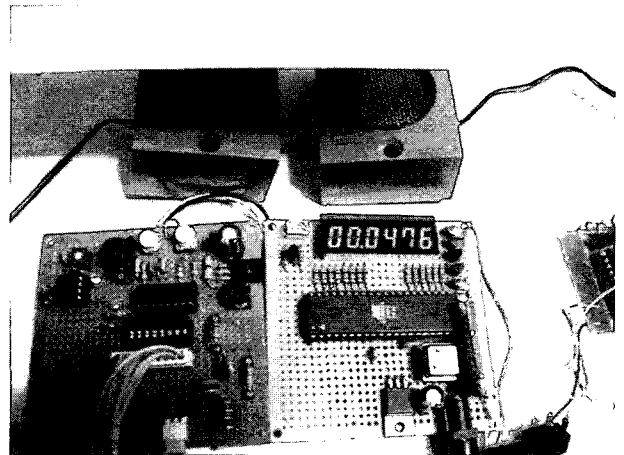


그림 19. 반사 방식으로 7cm 거리의 물체 측정

Fig. 19. Measurement of distance 7cm between sensors and a reflecting object using detached transmitting and receiving transducer.

있으며, 분리형으로 사용할 때 0mm부터의 정밀한 거리 측정이 가능함을 알 수 있다.

## V. 결 론

커패시터 방식 초음파 거리 측정기는 실용상 10m까지 거리 측정이 가능하지만 30cm 이내의 단거리에서 사용되지 못하였다. 본 연구는 초음파 트랜스듀서를 송신과 수신으로 분리하여 근접 물체도 거리 인식이 가능하도록 하였다. 송신 트랜스듀서와 수신 트랜스듀서를 무선에 의하여 동기화 하여 모바일 로봇, 자동화 라인에서의 정확한 거리 측정, 건축물에서 거리 측정, 탐사 장비 등에 적용 가능하며, 거리 측정에 개인오차 없이 측정

값에 정확성을 줄 수 있고, 비용절감 및 생산성 향상에 기여할 수 있다. 수신 트랜스듀서의 DC 바이어스 회로와 무선으로 트리거 신호를 보내기 위한 캐리어 주파수와 트리거 주파수의 합성 및 분리방법을 제안하였다. 제안된 방법을 8051 마이크로프로세서 제어에 의한 하드웨어로 구현하여 실험하였으며 근거리 측정 및 송·수신 분리형 거리측정의 유용성이 있음을 보였다. 앞으로 주파수 변조, 펄스 진폭 변조 등을 통하여 측정 대상 물체의 형상에 따른 측정 오차를 감소시키는 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Igor V. Komarov, Sergey M. Smolskiy, *Fundamentals of Short-Range FM Radar*, ARTECH HOUSE INC., pp. 7-12, 2003.
- [2] 진태석, 이장명, "단일 초음파 센서모듈을 이용한 이동로봇의 위치추정 및 주행," *전자공학회 논문지*, 제42권 SC편, 제2호, 47-56쪽, 2005년 3월
- [3] 임종환, "초음파 센서를 이용한 이동로봇의 위치추적," *제주대학교 산업기술연구소 논문집*, 제12권, 1호, pp. 32-38쪽, 2001년 6월
- [4] Alessandro Caronti, Giosue Caliano, Antonio Iula, Massimo Pappalardo, "An Accurate Model for Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers," *IEEE Transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, Vol.49, no. 2, pp. 159-168, Feb. 2002.
- [5] Polaroid Corporation, *Ultrasonic Ranging System*, pp. 22, May 1992.

### 저 자 소 개



김 정 훈(정회원)  
1984년 단국대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
1995년 한양대학교 산업대학원  
전자공학과 석사 졸업.  
1995년~현재 한양대학교  
전자공학과 박사과정  
수료.

<주관심분야 : 센서 및 센서신호처리, 마이크로프로세서, 로보틱스>



정 정 화(정회원)  
1975년 한양대학교  
전자공학과 학사 졸업.  
1977년 한양대학교  
전자공학과 석사 졸업.  
1981년 일본 와세다대학교 전자  
통신공학과 박사 졸업.

1986년 6월~1987년 9월 미국 Berkeley대학  
박사후 과정  
2000년 10월~2002년 8월 한양대학교 정보통신  
대학원 원장겸 대학학장  
2002년~2005년 대한전자공학회 부회장  
2006년~현재 대한전자공학회 수석부회장  
1981년 3월~2000년 2월 한양대학교 공과대학  
전자전기컴퓨터공학부 교수  
2000년 3월~현재 한양대학교 정보통신대학  
미디어통신 공학부 교수 재직 중

<주관심분야 : VLSI CAD, SoC Design  
Methodology, ASIC Emulation System, Image  
Compression Algorithm, WPAN, WiBro 등>