

논문 93-07

대기조건에 둔감한 초음파 거리 측정 시스템의 설계

임영철*, 김의선*, 김태곤*, 박철수**, 김영민**

Ultrasonic Ranging System Insensitive to Atmospheric Condition

Young Cheol Lim, Eui Sun Kim, Tag Gon Kim, Chul Su Park,
and Young Min Kim

요 약

본 논문에서는 초음파 센서를 이용한 거리계의 성능개선에 대해 논하였다. 설계한 초음파 거리계는 동일 조건중에 설치한 더미센서를 이용하여 환경의 변화에 따라 값이 변화하는 기존 방식의 문제점을 해결하고 정밀한 거리측정이 가능하게 하였다. 또한 V40마이크로프로세서를 이용하여 데이터를 실시간으로 해석하고 저장 및 통신기능을 부가하여 동적인 시스템의 해석도 가능하도록 초음파의 응용범위를 확장하였다.

Abstract

This paper describes an effort of improving performances of ultrasonic ranging system using V40 microprocessor. Conventional ranging systems are somewhat inaccurate because they do not have capability of compensating changes in medium condition. The novel ranging system overcomes this disadvantage by placing a dummy sensor functioning as a standard calibrating instrument in the same medium and by providing data processing capability using V40 controller. Also data communication between V40 and personal computer via RS232C makes it possible to use the ranging system for varieties of other applications such as analysis of static and dynamic system.

Keywords : ultrasonic sensor(초음파 센서) ranging system(거리계)

I. 서 론

환경에 관한 정보와 실험데이터를 수집하기 위해 사용되는 센서는 최근 컴퓨터 기술의 발전으로 여러 분야에 다양하게 이용되고 있다.

센서의 기능은 인간의 오감에 해당하는 기본적인 기능과 인간의 오감으로는 감지할 수 없는 초감각적 기능으로 크게 나눌 수 있다. 초감각적 기능이란 적외선, 초음파, 초고압, 초저온 등 인간의 감지 영역을 초월하는 정보에 대한 감지 기능이다. 이중 초음파 센서는 군사용의 SONAR(sound navigation and

ranging)로 부터 산업용의 결합탐색 및 계측제어, 의료용으로 초음파 진단장치, 그리고 자동차 주차차시 도움을 주는 백 소나(back SONAR)에 이르기까지 매우 넓은 영역에서 사용되고 있다.^[1-5]

Wood등은 200 kHz의 수정진동자와 2kw의 발진기를 사용하여 초음파를 산업적인 프로세스에 이용할 수 있는 가능성을 제시하였지만 산업계에서 본격적으로 응용되기 시작한 것은 1942년 Fireston^[6]에 의해 펄스 에코 방식이 개발되면서 부터이다. 그러나 초음파 센서는 온도나 습도 등의 환경변화에 의해 정밀도가 큰 영향을 받으므로 이에 대한 보상이 필요하다. 1982년에 초음파센서를 거리측정 및 근접 센서로 사용하려는 시도가 Canali^[7]등에 의하여 행해졌으며, 이 방식에서는 초음파의 전파속도에 영향을 주는 요인중에서 특히 큰 영향을 주는 온도에 의해 발생하는 오차를 더미스터와 타이머 IC로 구성된 발진회로를 이

* 正會員 : 全南大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chonnam Nat'l Univ.)

** 全南大學校 電氣工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chonnam Nat'l Univ.)
(접수일자 : 1993년 2월 26일)

용하여 보상하려고 하였다. 그러나 보상회로 요소인 더미스터가 비선형소자이므로 보상할 수 있는 온도 범위가 한정되고, 타이머 IC 자체가 온도계수를 지니고 있기 때문에 온도에 대한 완전한 보상을 할 수 없었다. 그리고 다른 오차요인인 습도, 압력, 점도 등의 변화에 대한 대책이 없다. 또한 실제적으로 그러한 요소에 대한 전기적 보상을 실현하기 위해서는 그에 상응하는 센서, 아날로그 회로 및 실험결과 얻어진 데이터를 저장할 메모리 소자 등이 필요하고, 각 요인에 대한 보상을 전부 실시해야 하므로 마이크로프로세서의 계산시간이 길어져 실시간 처리가 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 온도, 습도, 밀도 등의 환경변화로 인한 오차를 보상하면서도 보상 회로를 간단하게 구성하여 실시간 처리가 가능한 거리계를 구현하였다. 이 거리계에서는 동일 조건의 매질중에 놓여진 더미 센서로 이미 알고 있는 거리로부터 거리측정상수를 구하므로써 미지의 거리를 대기상태의 변화와 무관하게 측정할 수 있다. 그리고 V40 마이크로컨트롤러를 채용하여 거리계로부터 얻어진 데이터를 실시간 처리하여 거리정보가 나타나게 하였으며 컴퓨터로 데이터를 받아들여 데이터의 저장뿐만 아니라 고차원적인 분석이 가능하도록 하였다.

II. 초음파에 의한 거리측정

1. 거리 측정 방법

초음파에 의한 거리측정의 원리는 펄스에코방식에 기본을 두고 있다. 그림 1에서와 같이 펄스가 공기중으로 발사되는 시각 t_0 부터 목표물에서 반사된 신호가 수신기에 감지되는 시각 t_r 까지의 시간을 측정함으로써 거리 L 을 계산할 수 있다.

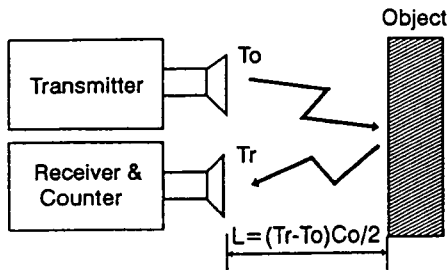


그림 1. 거리계의 원리

Fig. 1. Principle of ranging system.

$$L = (t_r - t_0) C_o / 2 \quad [m] \quad (1)$$

여기서 C_o 는 음속이다.

초음파의 거리측정은 초음파가 공기중에 주행하는 시간측정에 기본을 두고 있으므로, 정확한 주행시간 측정이 중요하다. 이 주행시간은 음속에 의존하고, 음속은 대기환경에 크게 영향을 받는다. 공기중(또는 기체)에서 음속 C_o 는,

$$C_o = \sqrt{k/p} \quad [m/s] \quad (2)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 k 는 비열비($C_p/C_v \approx 1.402$)이고 p 는 대기밀도이다.

대기압 p 가 1 atm이고 기온이 0°C 일때의 체적을 V_0 라 하면, $t^\circ\text{C}$ 일때의 체적 V 는,

$$V = V_0(1 + \sigma t) \quad (3)$$

이다. 여기서 σ 는 팽창계수($1/273$)이다.

식 (3)을 밀도로 표시하면,

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} (1 + \sigma t) \quad (4)$$

이다. 식 (4)를 식 (2)에 대입하면,

$$C_o = \sqrt{k p \frac{(1 + \sigma t)}{\rho_0}} \approx C_1 [1 + (1/2)\sigma t] \quad (5)$$

이다. 여기서 C_1 은 온도 0°C 에서 음속, p 는 대기압 [N/m^2], ρ_0 는 기온이 0°C 일때의 밀도이다.

따라서 $t^\circ\text{C}$ 에서의 음속 C_o 는,

$$C_o \approx 331.42 + 0.6t \quad [m/s] \quad (6)$$

$$\approx 20.06\sqrt{T} \quad [m/s] \quad (7)$$

이다. 여기서 T 는 절대온도 ($K = 273 + t^\circ\text{C}$)이다.

식 (3)으로부터 음속은 p 의 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, p 에 관련된 식 (8)에서 상대습도의 영향을 고찰할 수 있다. 건조공기에서 음속 C_d 는,

$$C_d = C_h \sqrt{1 - \frac{e}{p} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_a} - \frac{5}{8} \right)} \quad (8)$$

이다. 여기서 C_d 는 건조공기에서 음속, C_h 는 습공기에서의 음속, e 는 수증기압, p 는 대기압, γ_w 는 수증기에 대한 열용량, γ_a 는 공기에 대한 열용량이다.

p 를 1 atm으로 가정하고 유도한 식 (7)으로부터 음속은 절대온도의 평방근에 비례함을 알 수 있다. 위에서 고찰한 바와 같이 대기압, 습도, 온도 등이

변함에 따라 음속이 달라지므로 이에 대한 보상이 필요하다.^[8-10]

2. 제안한 거리측정방법

거리를 측정하기 위해서는 초음파의 주행시간을 측정해야 하는데, 이 주행시간은 음속에 의존하며 음속은 공기의 상태에 큰 영향을 받는다.

기존의 거리계는 온도에 대한 오차보정을 더미스터와 타이머 IC 555를 사용하여 시도하였지만^[7] 그밖의 원인에 대한 보상은 이루지를 못하였고 실제적으로 그런 요인에 대한 하드웨어적인 보상은 쉽지 않다. 그래서 본 시스템에서는 부가적으로 더미센서를 이용함으로써 완전한 보상을 실현하였다. 즉 그림 2와 같이 측정센서와 동일한 더미센서를 시스템 후방에 설치함으로써 측정센서와 같은 대기환경에 놓이게 하여 거리 D_x 를 측정하기 전에, 먼저 더미센서를 이용해 표준거리로 부터 거리측정상수 K_m ,

$$K_m = D_s / N_s \quad (9)$$

을 구한 후 측정센서로 전환하여 미지의 거리를 측정한다. 여기서 D_s 는 표준거리, N_s 는 D_s 에 대한 카운터값이다. 미지의 거리 D_x 는

$$D_x = K_m \times N_x \quad (10)$$

이다. 여기서 N_x 는 미지의 거리에 대한 카운터값이다.

윗식에서 알 수 있듯이 대기환경과는 무관하게 미지의 거리를 정확하게 측정할 수 있다.

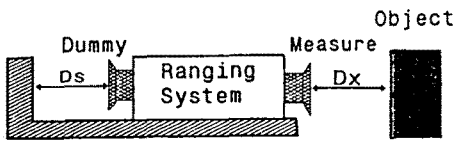


그림 2. 제안된 거리계의 센서배치
Fig. 2. The sensor arrangement of proposed ranging system.

그러나 이렇게 구성한 거리계는 정확한 거리를 측정할 수 있지만 거리에 대한 순시적인 정보밖에 나타낼 수 없으므로, 본 시스템에서는 초음파 거리계에 V40 마이크로 프로세서를 이용하여 다양한 기능을 수행할

수 있도록 하였으며 통신기능을 활용하여 다른 시스템과 정보교환이 가능하도록 하였다.

2. 1 주행시간 측정회로

본 시스템은 25Hz 클럭으로 동작되며, 25Hz의 상승에지에서 송신회로가 동작하여 0.4ms동안만 40kHz 센서구동펄스가 가해지도록 송신하고, 이 신호의 하강에지신호를 이용하여 시간 측정 카운터를 동작시킨다. 그러면 플립플롭의 출력과 논리곱이 취해진 표준주파수의 펄스가 카운터의 클럭으로 입력되며, 16비트 카운터는 업 카운트를 시작한다. 초음파가 반사되어 수신되면 컴퍼레이터의 출력이 반전되며, 그 순간 RS플립플롭이 리셋되어 카운터는 정지하게 되고 래치회로의 동작으로 거리에 비례하는 최종 카운터 값이 유지된다. 이 데이터를 소프트웨어로 처리하여 거리를 산출하면 된다. 그림 3은 이 회로에 대한 블록도이며 그림 4는 전체 타임차트이다.

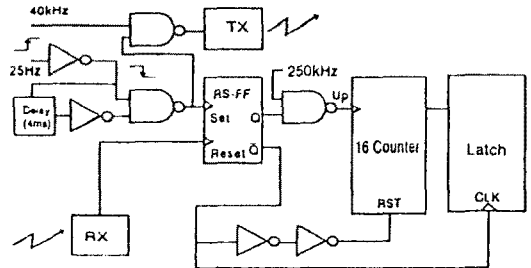


그림 3. 전체 회로의 블록도
Fig. 3. Block diagram for the complete circuit.

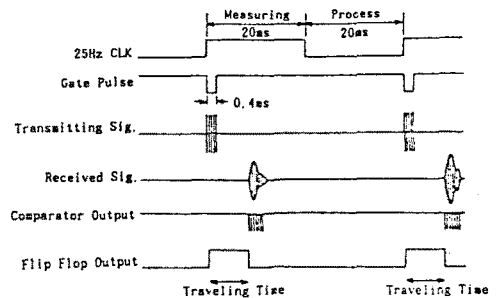


그림 4. 전체 회로의 타이밍도
Fig. 4. Timing diagram for the complete circuit.

2. 2 카운터 값의 입력과 거리계산

본 시스템은 기본적으로 25Hz의 주기로 거리에 비례하는 카운터 값이 래치되어 있다. 이 값은 컨트롤러와 인터페이스되어 있는 PPI로 입력되며, 이때 별도로 입력시의 카운터값이 유효한지를 판단하기 위해 거리계 자체에 내장된 오차 발생부를 검사하여 오차가 발생했는지를 검사하며, 만약 오차가 발생했을 경우에는 그 때의 카운터 값을 취소시키고 오차를 보정할 수 있도록 보정회로를 구동시킨 후 다시 입력하도록 하였다.

거리를 측정하기 위해서 먼저 이미 알고 있는 표준거리에 설치되어 있는 반사판으로부터 거리를 측정하고 이를 이용하여 대기상태에 무관한 거리상수를 구하고 난 후 실제 거리를 측정하여 앞에서 구한 거리상수를 대입하여 실제 거리를 구해낸다.

III. 초음파 거리 측정 시스템의 개발

1. 하드웨어의 구성

전체 하드웨어의 구성은 그림 5에서와 같다.

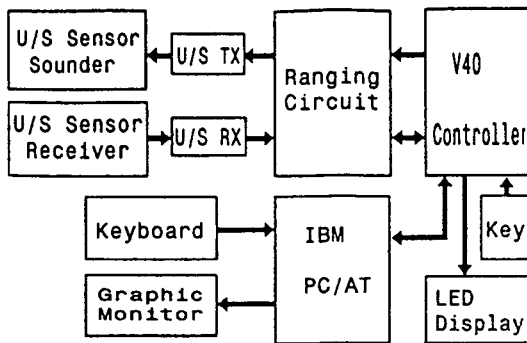


그림 5. 거리계의 블럭도

Fig. 5. Block diagram of ranging system.

1. 1 주 컴퓨터

시간에 대한 거리의 변화를 시각적으로 관찰하기 쉽도록 그래픽처리를 한다든지, 데이터를 영구 보관할 수 있도록 하기 위해서 모니터와 보조기억장치가 연결된 PC와의 접속이 필요하다. 이를 연결하기 위해서 본시스템에서는 RS232C로 V40과 IBM-PC를 연결하여 직렬전송방식으로 데이터를 주고 받을 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

1. 2 V40컨트롤러

거리계로부터의 정보를 컨트롤러로 전송해 오고 이 데이터를 표시부에 표시되도록 바꾸어 주는 역할을 한다. 또한 기능 키보드로부터 입력을 받아서 필요에 따라 통신이나 수동동작을 가능하게 해주며, 자동모드를 이용하면 항상 정확한 거리를 디지털 값으로 읽을 수 있도록 하였다.

1. 3 초음파 센서

실험에 사용한 초음파 센서는 일본 무라타제작소의 MA40S2R/S로서, 송신용 센서는 41.25kHz와 44.875kHz가, 수신용 센서는 37.625kHz와 40.875kHz의 공진주파수가 있다.^[11]

그런데 이들 센서의 공칭주파수는 40kHz이므로 송신용 센서는 직렬공진주파수에서, 수신용 센서는 병렬공진주파수에서, 수신용 센서는 병렬공진주파수에서 최대감도를 갖는다는 것을 알 수 있다. 이 사실로부터 전기적 등가회로의 파라미터를 산출하면 표 1과 같다.

표 1. 센서의 파라미터

Table 1. Parameter of sensor

sensor	L	C	C'
MA40S2S	54 [mH]	278[pF]	1600[pF]
MA40S2R	64 [mH]		

1. 4 초음파의 송신기와 수신기

센서의 동작 주파수인 40kHz 펄스열은 펄스폭이 0.4ms이고 주파수가 20Hz인 트리거 신호와 논리곱이 되어 버스트파(Burst wave)가 된다. 이 +5V/0V 버스트파는 버퍼와 콘덴서 커플링에 의해 +5V/-5V로 센서를 구동하며, 20 PPS(Pulse per second)로 0.4ms(16개의 펄스)동안 초음파가 공기중으로 발사된다.

수신기에 도달한 신호를 약 50dB 증폭하여 노이즈 필터를 거쳐 다시 컴퍼레이터로 정형한 다음 거리 측정회로 RS플립플롭의 리셋신호를 입력하였다.

1. 5 거리측정회로

송신되는 순간 RS플립플롭이 세트되고 동시에 주파수 250kHz가 카운터의 클럭펄스로 입력되며, 반사 신호가 감지되는 순간 플립플롭은 리셋되는 동시에 카운터는 최종값을 유지한 채 정지한다. 그러면 V40 컨트롤러는 래치된 카운터 값을 읽어 들어 거리값으로

환산하여 표시부에 나타내준다.

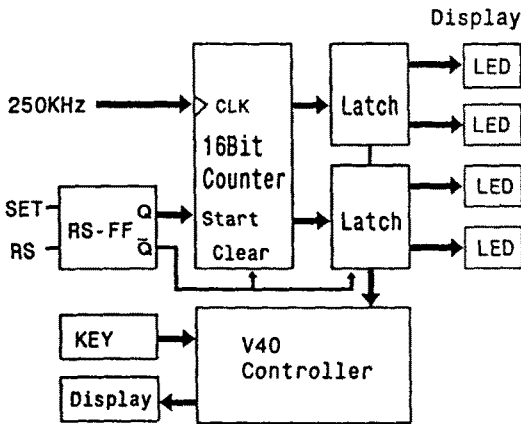


그림 6. 거리계의 개략도
Fig. 6. Schematic diagram of ranging system.

2. 소프트웨어 구성

본 시스템을 구현하기 위해서 두가지의 프로그램을 개발하였다. 그림 7은 V40컨트롤러에서 운영되는 거리측정프로그램이고, 그림 8은 IBM-PC/AT에서 구동되는 통신프로그램이다.

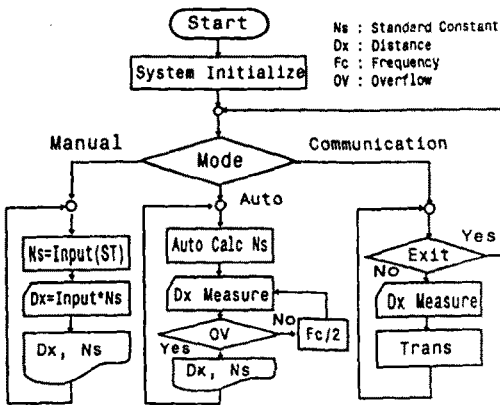


그림 7. 거리계의 측정프로그램 흐름도
Fig. 7. Flowchart of the ranging system program.

IV. 실험결과 및 고찰

초음파 거리계를 실험 공간내에 설치하고, 더미센

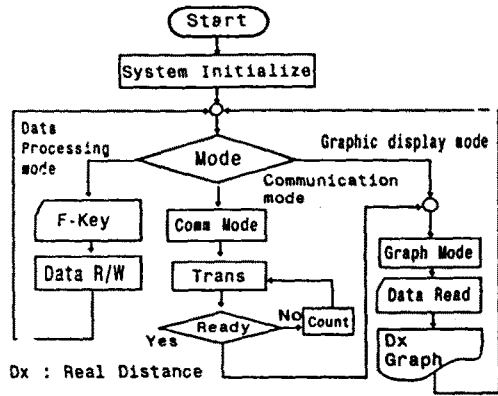


그림 8. 컴퓨터의 통신프로그램 흐름도
Fig. 8. Flowchart for communication with computer.

서로부터 거리가 500mm인 곳에 반사판을 부착하여 거리를 측정하였다. 그리고 그 값이 대기상태의 변화에 따라 얼마나 변화하는가를 조사하였다. 첫번째는 대기상태의 변화를 고려하지 않은 기존방식으로 거리를 측정하였고, 두번째는 제한한 측정방법으로 거리를 측정하여 두 방식의 결과를 비교하였다. 음속에 영향을 주는 여러 요소중에서 특히 큰 영향을 주는 온도와 상대습도를 변화시켜가며 실험하였다.

1. 온도 영향에 대한 고찰

실험에 사용하는 실험공간내의 상태를 아래와 같이 가정하였다.

- ① 실험공간내는 외부와 완전 밀폐되어 있다.
- ② 실험공간내의 기압은 온도 변화에 무관하다.
- ③ 실험공간내의 상대습도는 온도 변화에 무관하다.

그림 8에서 5°C에서 35°C까지의 온도변화에 대해 기존방식에서는 +11.2mm에서 -16.6mm의 오차가 발생함을 나타내고 있다. 최저 온도 5°C와 최고온도 35°C에서 오차가 크며, 10°C에서 16°C까지는 거의 변하지 않았다. 그림 9에서 알수 있듯이 온도가 상승할수록 음속이 빨라져, 같은 거리를 측정해도 높은 온도에서 측정된 거리가 더 짧게 측정되므로 이에 대한 보정이 필요하다. 그러나 제한된 방식으로 측정된 경우에는 온도변화에 무관하게 항상 정확한 거리를 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

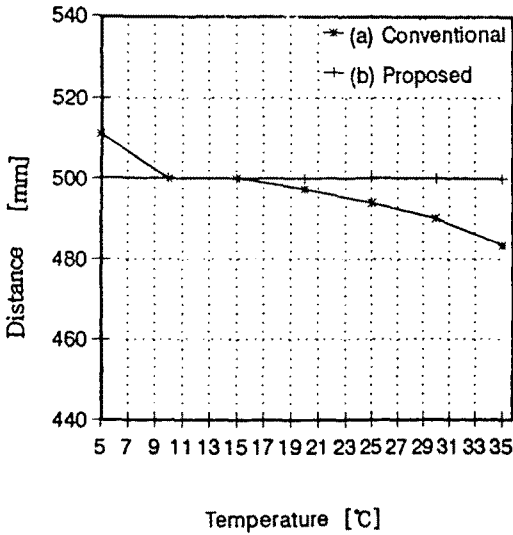


그림 9. 거리 대 온도의 그래프
 Fig. 9. Graph of distance vs temperature.

2. 상대습도 영향에 대한 고찰

상대습도를 40%부터 90%까지 10% 간격으로 변화시키면서 거리를 측정하였다.

상대습도를 올리거나 내릴때 공기의 흐름이 변화하므로, 실험공간에 습기를 공급 또는 감소시킨 후에 공기의 흐름이 거의 멈출때까지 기다린 다음 거리를 측정하였다. 여기서 상대습도의 변화에 따라 발생하는 다른 대기요소의 변화는 매우 작다고 가정하여 고려하지 않았다. 대기압은 1atm, 온도는 17°C로 하였다.

그림 10에서 상대습도를 40%에서 90%까지 변화시켰는데, 그 결과 +1mm에서 -5mm의 오차가 발생하였으며 상대습도가 10% 변화함에 따라 대략 1mm 정도의 오차가 발생함을 알 수 있었다. 온도의 경우에서와 같이 상대습도가 증가할수록 음속은 빨라져 표준거리보다 더 짧게 측정함을 알 수 있다. 그래서 상대습도에 대해서도 보정이 필요하며 온도와 비교하면 상대습도의 변화에 따라 발생된 오차를 훨씬 더 작음을 알 수 있었다. 그러나 제안된 방식으로 측정된 경우에는 상대습도 변화에 무관하게 항상 정확한 거리를 측정할 수 있음을 알 수 있었다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 기존방식의 거리계에 있어서는 대기상태(온도, 상대습도등) 변화에 따라 오차가 발생하여 이에 대한 보정이 필요하지만, 본

논문에서 제안한 측정 방법으로는 대기상태 변화와 거의 무관하게 오차를 현저하게 줄일 수 있었다.

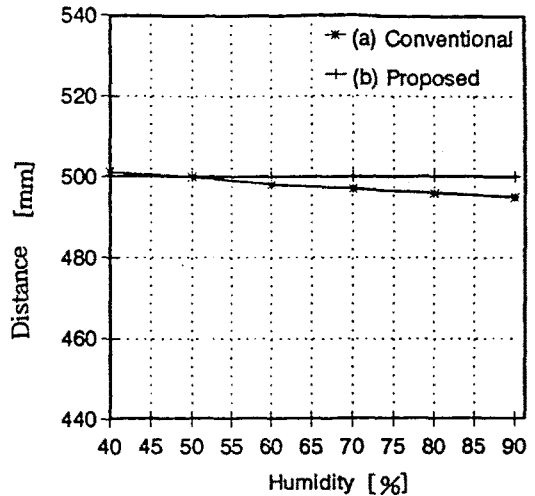


그림 10. 거리 대 상대습도의 그래프
 Fig. 10. Graph of distance vs relative humidity.

3. 정확도 측정

센서를 실제 측정용으로 전환하고 면이 고른 1m×1m의 반사판을 이동하면서 거리를 측정하였다. 표2는 거리계로 측정된 거리값과 실제 거리와의 오차를 비교한 것이다.

센서의 지향각을 예민하게 하기 위해 설치한 지수형 혼이 거리계 앞에 돌출되었기 때문에 0.25m 부터 측정이 가능하였다. 설계에 의하면 최대측정거리를 6m로 설정하였지만, 4.5m를 넘는 거리에서는 측정값의 변화가 심하므로 이 거리계의 사용 가능 거리는 4.5m 이내임을 알 수 있었다.

표 2. 측정된 거리값과 실제 거리값의 비교
 Table 2. Measured distance and error
 (p=1atm, tem.=17°C, R.H.=50%)

실제값 [cm]	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450
측정값 [cm]	25.3	50.2	100.4	150.4	200.2	250.6	300.8	350.7	400.9	450.8
오차 [cm]	+0.3	+0.2	+0.4	+0.4	+0.2	+0.6	+0.8	+0.7	+0.9	+0.8

본 시스템을 이용하여 동적인 거리를 측정하는 경우를 그림 11에 나타내었다. 일정한 주기를 갖고 반복 운동을 하는 물체를 대상으로 거리를 측정한 결과이다. 이와같이 정적인 물체의 거리측정 뿐만 아니라 동적인 물체의 거리를 측정하여 대상물체의 진동주기나 진폭등의 동특성도 파악할 수 있었다.

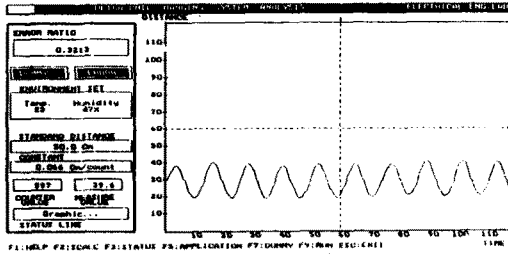


그림 11. 진동 물체의 측정
Fig. 11. Measurement of oscillation object.

V. 결 론

초음파 거리계의 성능개선에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 더미 센서를 사용하여, 초음파 전파속도에 영향을 주는 대기상태 변화에 무관하게 $\pm 1\text{mm}$ 의 오차범위 내로 거리를 측정할 수 있었다.
2. V40컨트롤러를 채용하여, 정적인 거리에 대한 데이터뿐만 아니라 동적인 운동도 처리할 수 있는 거리계를 실현하였다.
3. 초음파센서 특성상 낮은 동작주파수(40kHz)로는 비교적 원거리 측정이 가능하지만, 공간 분해능과 지향성이 저하되므로 송신기로부터 방사된 파가 직접 옆에 있는 수신기로 돌아 들어가는 현상이 발생하였다. 이에 대한 대책으로 각 센서자체를 탄성체로 고정하였고, 센서사이에 장벽을 설치하였으며, 혼을 부착하여 문제점을 해결하였다.
4. 측정 데이터를 보존하고 PC의 그래픽 기능을 이용할 수 있도록 거리계와 PC간에 통신이 가능하도록 하였다. 그리고 이를 위해 C언어를 이용하여 V40컨트롤러용 제어프로그램과 PC용 응용프로그램을 개발하였다.
5. 본 시스템은 주행 로봇트에 있어서 거리측정 및 물체 유무검출 등에 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Wanuge, "Era of Sonics And Ultrasonics," *IEEE Trans. So. Ultra.*, vol. SU-23, p. 223, 1976.
- [2] W. P. Mason, "Sonics and Ultrasonics : Early History and Applications," *IEEE Trans. So. Ultra.*, vol. SU-23, pp. 224-232, 1976.
- [3] A. Shoh, "Industrial Applications of Ultrasound A Review ; I. High Power Ultrasound," *IEEE Trans. So. Ultra.*, vol. SU-22, pp. 60-70, 1975.
- [4] L. C. Lynnworth, "Industrial Applications of Ultrasound A Review ; II. Measurements, Tests, and Process Control Using Low Intensity Ultrasound," *IEEE Trans. So. Ultra.*, vol. SU-22, pp. 71-101, 1975.
- [5] 成廣模, "超音波 공학의응용," 전기학회지 제32권 제11호, pp. 649-654, 1983.
- [6] A. P. Cracknell, *Ultrasonics*, London : Wylceham LTD., pp. 2-10, 1980.
- [7] C. Calani, G. D. Cicco, B. Morten, M. Prudenziati, and A. Taroni, "A Temperature Compensated Ultrasonic Sensor Operating in Air for Distance and Proximity Measurements," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. IE-29, Now. pp. 336-341, 1982.
- [8] D. M. Emilio Savolini, and A. Taroni, "Ultrasonic Distance Measurment for Linear and Angular Position Control," *IEEE Trans. Inst. and Meas.*, vol.37, no.4, pp. 578-581, 1988.
- [9] M. Kohno, Y. Nakagawa, T. Yamamoto, and Y. Irmano, "An Fully Intelligent Ultrasonic Flowmeter," *IECON'84*, pp. 1066-1069, 1984.
- [10] P. K. Chande, K. R. PAL, and T. S. Rathore, "A Microcomputer -Based Ultrasonic Flow-Velocity Measurement System," *IEEE Trans. Inst. and Meas.*, vol. IM-34, no.3, pp. 456-458, 1985.
- [11] Murata Technical Bulletin, "Ultrasonic Sensors and Their Application," cat. no. S15E.

著 者 紹 介



임 영 철

1953년 4월 23일생. 1975년 전남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1977년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1990년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1993년 현재 전남대학교 전기공학과 부교수.



박 철 수

1966년 11월 13일생. 1989년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1991년 8월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년 현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중.



김 의 선

1959년 9월 2일생. 1981년 2월 전남대학교 계측제어공학과 졸업(공학사). 1987년 8월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년 현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중. 서남대학교 전기공학과 전임강사.



김 영 민

1967년 9월 10일생. 1990년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1992년 2월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년 현재 전남대학교 전기공학과 박사과정 재학중.



김 태 곤

1963년 2월 25일생. 1985년 2월 전남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1991년 2월 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1993년 현재 전남대학교 대학원 전기공학과 박사과정 재학중.