

개방식초음파거리측정기의 특성과 성능개선

최경수, 권철호, 박래화

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《경제발전에서 전략적의의를 가지는 원료와 연료를 국내자원으로 보장하는 생산기술 공정을 확립하며 첨단설비를 비롯하여 절실히 요구되는 기술수단들을 우리의 실정에 맞게 자체로 생산보장하여야 합니다.》

선행연구들[1, 2]에서는 개방식초음파수감부의 구조와 거리수감원리를 밝히고 측정기 제작과 실험자료들에 대해서는 소개하였지만 측정기의 동작에 영향을 주는 인자들을 분석하고 그 성능을 개선하는 방법에 대해서는 고찰하지 못하였다.

우리는 개방식초음파수감부를 리용한 거리측정기의 정확성, 재현성, 안정성, 측정범위에 영향을 주는 요인들을 분석하고 그 극복방도를 밝혔다.

1. 측정오차원인과 극복방법

초음파거리측정기는 한소편컴퓨터, 전원단, 초음파발사단, 초음파접수단, 온도보상단, 현시단 등으로 구성되어있다.(그림)

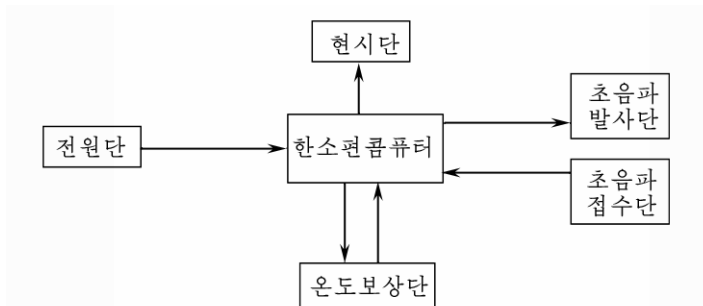


그림. 초음파거리측정기의 구성

모든 단들은 한소편컴퓨터로부터 조종된다. 리용한 초음파수감부는 발사와 접수가 분리된 형식으로서 발사기는 《TCT40-16T》이고 접수기는 《TCT40-16R》이다. 초음파신호는 초음파발사기를 통하여 공기중에 발사되고 장애물을 만나 반사된 다음 접수기에 접수된다.

초음파거리측정기의 측정오차원인은 한소편컴퓨터의 시간계수분해능의 한계, 대기온도의 변화, 초음파수감부진동의 감쇠특성, 초음파수감부의 배치 등에 있다.

한소편컴퓨터의 한 기계주기가 $1\mu s$ 이므로 시간계수분해능은 $\pm 0.5\mu s$ 이다. 이로부터 생기는 측정오차는 $\pm 0.17mm$ 이다. 이 오차는 계통오차로서 반복측정실험을 진행하고 변화경

향성만 알면 없앨수 있다. $\pm 0.17\text{mm}$ 는 장치의 측정오차에 비하여 훨씬 작기때문에 무시할 수 있다.

대기온도변화는 측정오차의 기본원인이다. 온도가 10°C 만큼 변한다면 2m 거리를 측정할 때 속도변화로부터 생기는 거리차는

$$\Delta S = 60.2 \cdot \Delta T \cdot \frac{2}{343} = 3.5(\text{cm})$$

이다. 여기서 343m/s 는 19.17°C 에서 초음파의 속도이다. 즉 온도보상을 하지 않으면 측정 정확도를 cm급이상으로 높일수 없다. 측정기에서는 수자식온도수감부 《DS18B20》을 리용하여 실시간온도보상을 진행한다. 온도보상은 CPU의 부담을 덜고 온도측정속도를 보장하기 위하여 거리측정 100회당 한번 진행한다. 한번의 거리측정시간이 150ms이면 15s 간격으로 온도보상을 진행한것으로 된다.

온도수감부는 12bit이므로 온도분해능은 0.0625°C 이다. 대기온도 19.17°C 에서 5m의 거리를 측정할 때 온도수감부의 분해능으로부터 생기는 측정오차는 $\pm 0.6^\circ\text{C}$ 이다.

초음파수감부진동의 감쇠특성은 장치에 불감구역이 있게 되는 중요한 요인이다. 이 특성으로 생기는 《거짓》초음파에 의하여 기본파가 접수되기 전에 《거짓》파가 접수되면서 측정에 영향을 준다. 감쇠특성을 장치적으로 감소시키기 위하여 초음파발사기의 두 단자에 똑같은 크기의 저항을 거쳐 전원과 연결하였다. 이것은 초음파발사가 끝난 후 진동자의 감쇠진동감쇠률을 높여 《거짓》초음파를 없앤다.

감쇠특성을 프로그램적으로 없애기 위하여 초음파발사가 끝난 후 1ms의 지연을 주고 외부새치기를 열어놓는다. 1ms의 지연으로 장치는 17.2cm의 불감구역을 가진다.

초음파수감부의 발사기와 접수기는 일정한 거리를 두고 떨어져 배치하는데 이것으로 발송파와 반사파전파방향사이에 일정한 크기의 각 2α 가 존재하게 된다. 이 각의 크기에 따라 측정되는 거리가 변하므로 반드시 거리를 보정하여야 한다. 보정식은 다음과 같다.

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \cos \alpha$$

여기서 α 는 초음파발사기와 접수기의 설치위치와 관계된다. 실지응용에서는 두 수감부의 중심축이 평행이어야 하며 그사이 거리는 2~4cm일 때 제일 적합하다. 각도보정은 가까운 거리를 측정할 때 α 가 크기때문에 더욱 필요하다.

초음파수감부진동자의 진동특성으로부터 측정값의 비선형성이 나타나는데 이런 현상을 없애기 위하여 거리 5m에서 물체를 1~2cm 간격으로 변화시키면서 거리보정실험을 진행하였다. 거리보정을 진행하였을 때 비선형성으로부터 생기는 측정오차는 $\pm 0.5\text{mm}$ 이다. 그러므로 장치의 측정오차는 온도보정이 정확히 진행된 조건에서 한소편컴퓨터의 시간분해능에 의한 오차, 온도분해능에 의한 오차, 초음파수감부의 비선형성에 의한 오차들의 합으로 표시된다. 즉 $\pm(0.17 + 0.35 + 0.50)\text{mm} \approx \pm 1\text{mm}$ 이다.

2. 재현성과 안정성을 떨구는 요인과 개선방법

초음파거리측정기의 재현성과 안정성은 접수회로의 신호처리회로를 구성하는 전자요소들의 특성값, 수감부와 목표물체의 요동, 목표물체의 거치름도, 초음파의 발산각에 의하

여 결정된다.

측정의 재현성과 안정성을 높이기 위하여 CX20106의 단자에 연결되어있는 전자요소들의 특성값들을 조절하여 장치와 정합을 보장하였다.

이 값들은 반복측정실험을 통하여 결정하였다. 측정대역(0~5m)에 맞는 입구단자에 연결된 러파용량은 47nF, 증폭조절단자에 연결된 저항은 5.1Ω 이다. 그리고 대역러파단자에 연결된 저항값을 초음파수감부의 중심주파수 40.7kHz에 맞게 197Ω 으로 설정하였다.

또한 현장의 외부잡음영향을 받지 않도록 하기 위하여 접수회로를 금속통으로 차폐하였다.

거리를 측정할 때 초음파의 발산각과 수감부와 목표물체의 요동, 목표물체표면의 거치름은 장치의 불안정성을 증대시키는 요인이다. 이 요인에 의하여 측정값의 mm자리수가 변화되는데 이런 우연오차를 줄이기 위하여 통계처리를 진행하였다. 이 처리는 측정값에 대한 빈도수곡선에서 빈도수밀도가 큰 측정값구간에서 평균하여 진행하였다. 구체적으로 보면 N 개의 측정값중에서 제일 큰 $n_{\text{최대}}$ 개의 측정값과 제일 작은 $n_{\text{최소}}$ 개의 측정값은 버리고 나머지 $N - n_{\text{최대}} - n_{\text{최소}}$ 개의 측정값을 평균하여 목표물체까지의 거리를 구한다. 여기서 표본수 N 은 측정정확도의 요구수준, 목표물체위치의 변화속도, 한소편컴퓨터의 기억용량을 고려하여 설정한다.

최대측정거리는 초음파를 띄엄띄엄 발사할 때 이웃한 초음파의 최소시간간격과 초음파의 세기에 관계된다. 발사단의 임펄스개수가 많고 세기가 클수록 측정할 수 있는 거리는 길어지지만 측정거리는 무한대로 커지게 할 수 없다. 장치의 최대측정거리는 계수기 T0의 넘침시간 65.535ms에 의하여 결정되는데 20°C 에서 그 거리를 구하면 약 11.272m이다. 초음파를 주기적으로 발사하는 장치에서 최대측정거리를 10m로 하려면 이웃한 두 초음파사이의 시간간격을 60ms로 하면 된다.

이외에 전자소자자체의 주파수특성과 잡음특성도 측정오차에 일정한 영향을 준다. 구체적인 응용대상에 따라 적합한 출력의 초음파수감부를 선택하고 프로그램으로 주파수와 임펄스너비, 개수 등을 조절하여 측정오차와 측정범위를 변화시켜 응용대상에 맞게 리용할 수 있다.

맺 는 말

1) 측정오차의 주요인자로 되는 대기온도변화를 온도보상방법으로 없애고 초음파접수기와 발사기위치의 불일치로부터 생기는 오차는 보상식을 리용하여 개선하였다.

2) 측정기의 안정성과 재현성을 높이기 위해 전용신호처리소자의 주변회로요소정수값들을 반복실험과정을 통하여 결정하고 측정빈도수가 높은 값들의 평균값을 구하는 방법으로 통계처리를 진행하였다.

3) 불감구간과 최대측정거리를 구하여 측정기의 측정범위를 결정하고 그 범위에서 정수들을 결정하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Krautkramer; Ultrasonic Testing of Materials, Springer, 23~30, 2013.
- [2] 陈平; 微计算机信息, 34, 67, 2010.

주체108(2019)년 3월 5일 원고접수

On Characteristics and Improving Performances of an Opening Type Ultrasonic Range Finder

Choe Kyong Su, Kwon Chol Ho and Pak Thae Hwa

We explained configuration of an opening type ultrasonic range finder and analyzed the main causes influencing on the accuracy, the recurrence and the stability of it. And we established improvement methods.

Key words: ultrasonic range finder, recurrence