

초음파준위계의 최소측정거리한계를 낮추기 위한 연구

리의환, 리철수

우리는 공기중초음파에 의한 준위측정의 최대측정거리를 보장하면서도 최소측정거리한계를 낮추기 위한 한가지 방법에 대하여 연구하였다.

선행연구들[1-3]에서는 초음파송수파기정수소개에서 최소거리측정한계를 제시하고 있으나 측정거리는 송수파기와 구동회로특성에 의존하므로 송수파기의 평가정수로는 되지 않는다.

우리는 송수파기와 구동회로를 결합하여 최소측정거리한계를 평가하고 주파수가 40kHz, 측정거리가 0.3~15m인 초음파준위계를 제작하였다.

1. 이론적연구

초음파준위계는 리용목적에 따라 여러가지 형태들이 연구되고있으며 송수파기와 신호처리부의 특성개선에 대한 연구를 심화시켜 61m까지 측정가능한 초음파준위계들이 출현하고있다.[2] 최소측정한계를 낮추는것은 초음파준위계의 유효기능을 보다 높일수 있는 조건으로 될뿐아니라 송수파기와 대상물까지의 설치공간을 짧게 할수 있으므로 중요한 기술적지표로 되고있다. 공기중초음파준위계에서 최소측정한계는 송수파기의 내부잔향과 구동회로의 임펄스과도응답에 의한 측정불가능한 시간공간의 존재로 하여 결정된다.

송수파기의 임펄스구동때 높은 우량도를 보장하며 외부환경으로부터 그것을 보호하기 위하여 주어진 크기의 작은 함안에 송수파기를 설치하는데 이때 발생하는 잔향은 측정불가능한 시간공간의 원인으로 된다.

우리가 연구한 송수파기의 복사면과 등가회로는 그림 1과 같다.

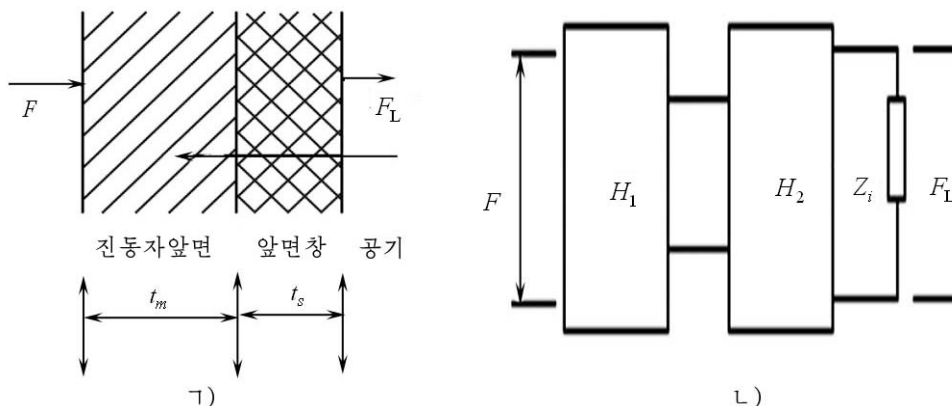


그림 1. 송수파기의 복사면(Γ)과 등가회로(L)

그림 1에서 송수파진동자앞면은 파동저항이 낮은 알루미늄으로, 환경보호를 위한 앞면창은 아크릴수지로 하고 진동자의 능동요소는 PZT계 압전사기로 하였다.

압전사기로부터 발생된 출력 F 는 두경계매질을 통하여 공기중으로 복사되고 일부는 재반사된다.

등가회로를 전달함수로 표시하면 다음과 같다.

$$H = H_1 + H_2 = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$F_L = \frac{Z_L}{A \cdot Z_L + B} \cdot F \quad (2)$$

식 (2)를 dB로 표시한 복사출력 F_L 은 다음과 같다.

$$F_L = \left| 20 \lg \left(\frac{Z_L}{A \cdot Z_L + B} \cdot F \right) \right| \quad (3)$$

이로부터 잔향성분으로 되는 F_f 는 다음과 같이 표시할수 있다.

$$F_f = F - F_L \quad (4)$$

알루미늄의 음속도가 $C_m = 6260\text{m/s}$, 밀도가 $\rho_m = 2700\text{kg/m}^3$, 아크릴수지의 음속도가 $C_s = 2720\text{m/s}$, 밀도가 $\rho_s = 1180\text{kg/m}^3$, 공기속에서의 음속도가 $C_a = 343.7\text{m/s}$, 밀도가 $\rho_a = 1.2\text{kg/m}^3$, 알루미늄의 두께가 $t_m = 8\text{mm}$, 아크릴수지의 두께가 $t_s = 2\text{mm}$, 공기의 파동저항이 $Z_L = \rho_a C_a$ 인 경우 주파수에 따르는 잔향출력 F_f 를 계산하면 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 입구출력이 두배 증가하면 잔향출력 F_f 는 약 4dB 정도 증가한다. 이로부터 송수파기내에서 잔향의 크기는 구동신호의 출력에 비례하므로 측정불가능한 최소거리를 짧게 하기 위하여서는 구동출력을 낮추어야 한다는것을 알수 있다.

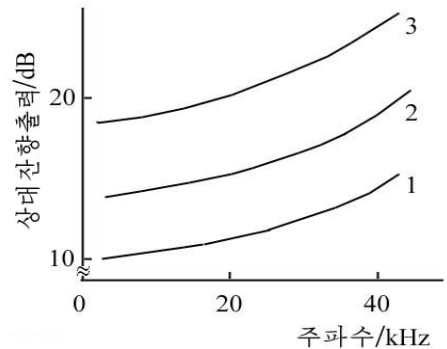


그림 2. 주파수에 따르는
상대잔향출력의 변화
1-3은 F 가 각각 2, 4, 8dB인 경우

2. 실험 및 결과분석

송수파기에서의 잔향과 과도응답관계를 명백히 구분하여 연구하는것은 매우 어려우므로 우리는 송수파기설계에서 잔향을 낮출수 있는 기하학적구조와 우량도를 충분히 고려하면서 한면복사구조를 만족시키도록 하였다.

실험에 리용된 란쥬반형복합진동자는 앞뒷판으로 음향저항이 낮은 알루미늄을, 뒤뒷판으로 강3을 리용하고 압전사기요소로는 자체로 개발한 저우량도재료인 1S를 리용하였다. 그리고 진동자보호합안에 음향저항이 1Mrayl이하인 발포우레탄수지와 공기층을 가진 2개의 경계면을 형성하였다.

이와 같이 제작된 송수파기는 공진주파수가 40kHz, 고유용량이 2.1nF, 력학적우량도가 12, 송파감도가 93dB, 수파감도가 -180dB이었다.

우리는 제작된 송수파기의 구동전압을 30~110V에서 변화시키고 1.2ms의 변조된 임펄스신호를 복사시키면서 73dB의 증폭기와 수자식오실로스코프(《TDS-2022B》), 컴퓨터를 리용하여 구동전압에 따르는 신호의 잔향관계를 연구하였다.

실험에 의하면 구동전압이 30~50V일 때 임펄스너비는 1.5ms이하로 기본적으로 유지되었으나 그 이상에서는 복사임펄스너비가 잔향의 영향으로 점차 길어져 구동전압이 110V일 때에는 5ms까지 증가하였다.(그림 3) 즉 신호임펄스에 비하여 4배이상으로 임펄스폭이 길어진다. 이것은 구동출력에 따라 송수파기의 내부잔향이 증가한다는 이론적해석과 잘 일치한다.

이로부터 우리는 송신주기변화방식을 리용할 때 콘덴사의 충방전시상수에 따르는 구동전압공급체계로 준위계의 출력회로에 공급되는 전원회로를 구성하고 구동전압을 가변하는 방법으로 최소거리를 개선하여 거리대역가변체계가 없이 0.3~15m까지 넓은 범위에서 측정정확도가 0.1%인 초음파준위계를 제작하였다.

제작한 초음파준위계의 구성도는 그림 4와 같다.

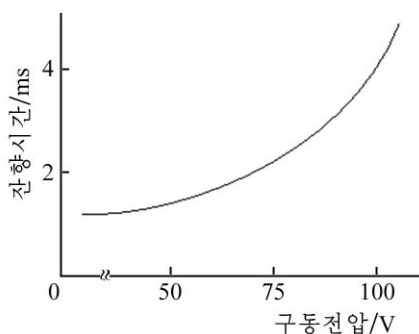


그림 3. 구동전압에 따르는
임펄스너비변화

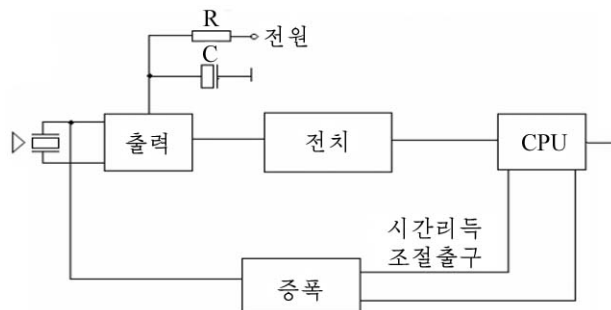


그림 4. 초음파준위계의 구성도

맺는 말

1) 측정대역이 넓은 초음파준위계설계에서 우량도가 비교적 높은 압전사기송수파기를 리용하는 경우 신호의 잔향과 과도응답현상이 필수적으로 존재하며 이를 극복하기 위하여서는 송수파기와 회로체계를 잘 구성하여야 한다.

2) 우리는 측정거리에 따르는 송신주기변화방식을 리용할 때 콘덴사의 충방전시상수에 따르는 구동전압공급체계로 준위계출력회로에 공급되는 전원을 조절하여 측정거리가 0.3~15m, 측정정확도가 0.1%인 초음파준위계를 제작하였다.

참고문헌

- [1] S. Lin et al.; Ultrasonics, 52, 103, 2012.
- [2] 华亮; 仪表技术与传感器, 4, 12, 2008.
- [3] 村川誠; セソサ技術, 10, 12, 45, 1990.

주체103(2014)년 11월 5일 원고접수

A Method for Decreasing the Limit of a Minimum Measuring Distance of the Ultrasonic Level Meter

Ri Ui Hwan, Ri Chol Su

In case of using a piezoelectric transducer, the signal reverberation and the transient response phenomenon essentially exist. In order to overcome these phenomenons it has to compose a piezoelectric transducer and a circuit system excellently.

When we used a changing method of a transmitting period according to the measuring distance, we manufactured an ultrasonic level meter with the distance range 0.3~15m and the measuring accuracy 0.1% using the driving system of the voltage supply according to the charging and the discharging time of the capacitor.

Key word: ultrasonic level meter