

음향임피던스 정합을 이용한 액면레벨 Limit센서의 구현

김철한, 이수호*, 사공 건*, 이준희**

부산대학교 전자공학과, *동아대학교 전기공학과, ** 동아대학교 신소재화학공학부

Fabrication of Water Level Limit Sensor Utilizing Acoustic Impedance Matching

Cheol-Han Kim, Su-Ho Lee*, Geon Sa-Gong*, Jun-Hee Lee**

Dept. of Electronic Engr., Pusan Nat'l Univ., *Dept. of Electrical Engr, Dong-A Univ.,**Div. of Metal. Mat & Chem. Engr.,

Abstract - In this study, an ultrasonic level limit sensor with a new structure utilizing the acoustic impedance matching is proposed to be able to check it out a change of water-level. 2 PZT resonators with the same property are bonded directly on the polyethylene plate. One resonator is for transmitter as an ultrasonic transducer, the other one is for receiver. In this case, a polyethylene plate will operate as an acoustic guider to transmit a transverse wave between 2 PZT resonators in air. While in the water, a polyethylene plate having a similar acoustic impedance with the water will be emitted an acoustic energy into the water as a longitudinal wave. According to this mechanism, there was a wide difference of acoustic signal output between underwater and in air. As a summary, this proposed level limit sensor could be used as a strong candidate with low cost and more stable one.

분말을 사용, PZT진동자를 제작하였다. 압전진동자의 공진주파수는 압전소자, 진동판의 재질, 형상으로 결정된다. 압전진동자를 하나의 진동자로 생각할 경우의 등가 직경 a, 등가두께 h, 등가 Young률 Y, 등가밀도 ρ, 등가 포아송비 σ라 하면 공진주파수 f_r은 식 (1)과 같다[4].

$$f_r = \frac{a_m^2 h}{4\sqrt{3} \pi a^2} \frac{Y}{\rho(1-\sigma^2)} \quad (1)$$

여기서 a_m은 m차 기준상수이다.

자체 제작한 압전진동자는 외경을 14[mm], 두께는 0.24[mm]로 가공한 후 PZT진동자와 금속판(외경: 20 mm, 두께 :17mm)을 접착제로 부착한 후 수중에서의 측정을 위해 유성 페인트를 도포시켰다. 이때 진동 전파매질로 음향임피던스가 물과 비슷한 폴리에틸렌 평판을 사용하였다.

1. 서 론

액면레벨 Limit센서는 탱크 안의 기름 또는 물과 같은 유체의 액면에 지정한 위치에 따라 동작하는 센서이다. 액면레벨 리미트센서는 크게 기계식과 전기식으로 분류된다. 기계식은 플로트를 사용하는 것이 대부분이고, 전기식은 전기저항의 변화를 이용하는 전기저항방식과, 물질의 유전율의 차이를 이용하는 정전용량방식이 있으며, 공기 중과 액체 중에서 수신되는 초음파의 크기차를 이용하는 초음파방식이 있다[1]. 초음파방식은 공진자로 사용되는 PZT 세라믹스의 종 방향 공진주파수가 매우 높기 때문에 사용주파수가 높아지고, 전자회로가 복잡해지게 된다. 또한 송신기와 수신기의 각도를 일치시켜야 하는 등의 문제점을 가지고 있으며, 가격이 비싸다[2]. 본 논문에서는 이러한 초음파 방식 리미트센서의 단점을 극복하기 위해 압전진동자 사이를 폴리에틸렌 평판 매질이 음향가이드로서 작동하도록 직접 연결한 새로운 방식의 리미트스위치를 제작하였다. 폴리에틸렌 평판은 공기 중에서는 PZT트랜스듀스 간에 횡파를 전달하는 음향가이드로서 작용하고 있으며, 또한 액체에서는 물과 비슷한 음향임피던스를 가진 폴리에틸렌 평판이 종파로 액체 속으로 음향에너지를 방출한다. 이로써 높은 S/N비와 신호차가 크므로 전자회로가 단순해지고, 압전진동자가 평판매질을 통해 직접 연결되어있는 각도 일치 문제 해결된 일체형 새로운 구조의 액면레벨 리미트스위치를 제안한다.

2. 실험방법

2.1 진동자 제작

본 연구에서는 평판매질을 진동시키는 소자로는 선행된 Flux법[3]에 의해 제조된 Nb5+ 0.75 wt%첨가된 PZT

2.2 특성실험

제작된 시편이 수중에 잠겼을 때 신호가 감쇠되는 것을 확인하기 위하여 공진주파수에서 공기 중과 수중에서의 신호를 측정하였다. 입력신호 공급장치로는 METEX MXG-9802 function generator/frequency counter를 사용하여 ±5 [Vp-p]의 정현파 신호를 입력하였으며, Tektronix TDS-3014 디지털 오실로스코프로 출력신호를 측정하였으며 그 결과를 그림 1에 나타내었다. 출력신호의 크기는 공기 중에서는 2.2V이었고 수중에서는 60mV이므로 입력전압으로 환산한 이득은 공기 중에서는 0.44배, 수중에서는 0.012배 이었다.

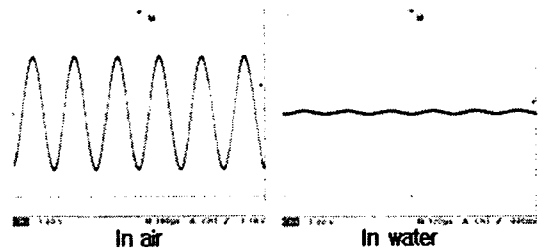


그림 1 매질에 따른 출력신호

공기 중에서 약 5.95 [kHz]에서 공진이 일어나 최대 출력을 나타내었으며, 수중에서는 진폭이 크게 감쇠됨을 확인하였다. 위상은 공진주파수 부근에서 -180° 이었는데, 이것은 폴리에틸렌평판이 횡파로 전달되고 반파장이 되는 지점에서 최대 진폭이 되기 때문이라 생각된다. 또한 수중에서는 종파로 액체 속으로 음향에너지를 방출하기 때문에 댐핑효과에 의해 주파수에 따른 진폭의 변화가 작음을 보여주고 있다. 대역폭은 180[Hz], Q는

32.8이었다. 또한 공진주파수 보다 높은 6.62[kHz]에서 또 다른 제2 피크치가 나타나고 있다.

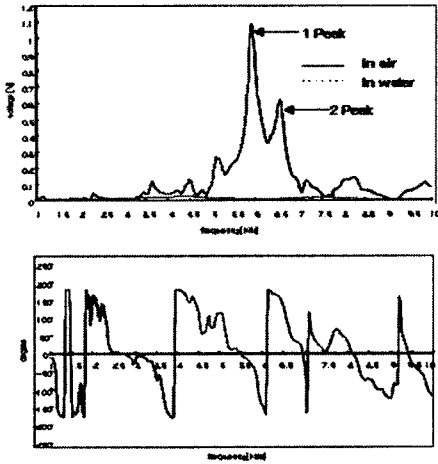


그림 2 센서의 음향전달함수 그래프

2.3 회로 구현

자체 제작한 진동자의 시편이 비교적 높은 Q값을 가지므로 송신측 주파수를 센서의 공진주파수에 정확히 일치시켜야 한다. 그러나 센서의 개별특성과 시간 및 온도와 같은 외부환경에 의해 공진주파수의 변화가 유발될 수 있다. 본 연구에서는 안정된 동작을 유지하기 위하여 공기 중에서는 센서의 공진특성을 이용하여 발진시키고 수중에서는 발진을 멈추게 하였다. 이러한 동작을 수행하기 위한 블록도는 그림 2와 같다.

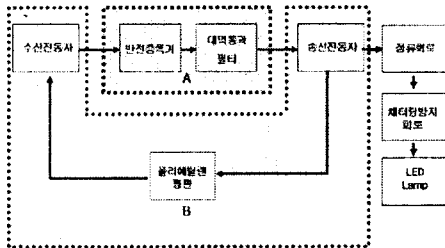


그림 3 전체 블록도

블록도에서 진동자 시편, 즉 송신진동자, 폴리에틸렌 음향가이드, 수신진동자의 연결된 전달함수를 B, 반전증폭기 및 대역통과필터의 종합 전달함수를 A라고 할 때 그림 3에서와 같은 피드백된 회로망이 된다. 이때 발진의 조건은 그림 4에서와 같이 $AB=1$ 이고 V_{in} 과 V_{out} 이 동일 위상이어야 한다.

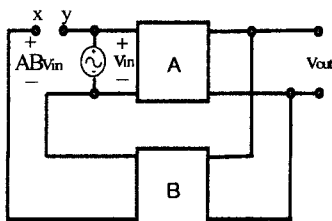


그림 4 센서 발진조건의 모식도

본 연구에서는 V_{in} 과 V_{out} 이 동일 위상으로 만들기 위해 이득이 -0.2 인 반전증폭기를 삽입하였다. 또한 제2피크에 따르는 이상발진을 방지하기위하여 대역필터로 중심주파수는 6.02[kHz]이며, 대역폭은 300, Q는 20인 상태변수필터를 사용하였다. 상태변수필터의 중심주파수에서의 위상변이는 영이다. 중심주파수에서 A의 최대이득은 2배이며, 그림 4에 회로와 필터의 특성을 나타내었다. 그러므로 AB의 공기 중의 특성은 그림 5와 같다.

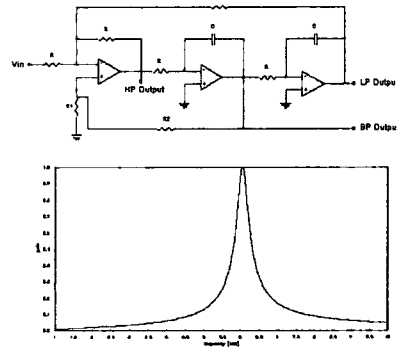


그림 5 대역통과 상태변수필터와 특성

그림 6 에서와 같이 공기 중에서는 $AB=1$ 선을 기준으로 1보다 크면 발진이 일어나고 1보다 작으면 발진이 정지한다. 그림 2에서와 달리 제2 Peak는 대역필터에 의해 감소되어 $AB=1$ 선 아래에 있게 된다. 이러한 이유로 중심주파수 근방에서 안정된 발진이 이루어진다. 수중에서는 B의 이득이 0.012이고 A의 최대 이득이 2배이므로 발진이 일어나지 않았다.

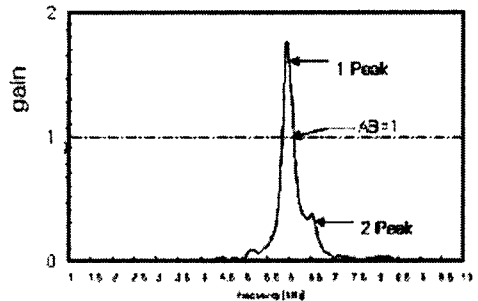


그림 6 주파수에 따른 AB 특성

매질에 따른 출력전압을 오실로스코프로 측정 한 파형을 그림 7에 나타내었다. 신호의 감쇠를 관찰한 그림 2와는 달리 발진의 유무는 명확한 신호차를 나타내었고, 이 신호를 정류하고 외부의 기계적 노이즈에 강인하도록 차터링 방지 회로를 거쳐 LED 램프로 표시하였다.

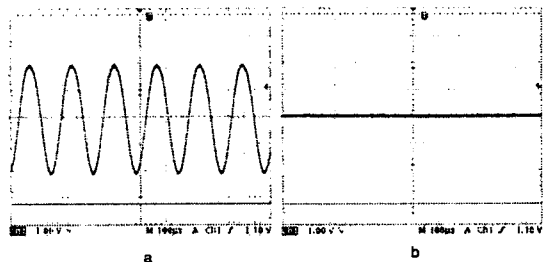


그림 7 매질에 따른 출력전압 (a) 공기 중 (b) 수중

3. 결 론

본 연구에서는 폴리에틸렌 평판 매질에 두 개의 압전진동자를 부착하여 새로운 센서를 제작하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공기 중에서는 횡파로 송수신 진동자 간에 효율적인 음향전달을 보였다.
2. 수중에서는 종파로 액체 속에 음향에너지를 방출함으로써 출력신호가 급감하였다.
3. 공기 중에서는 진동자의 공진특성에 의해 발진되고, 수중에서는 댐핑효과에 의해 발진을 멈추게 함으로서 명확한 신호를 검출하였다.
4. 대역통과 상태변수필터를 삽입하여 이상발진을 저지하였고 기계적 노이즈에 강인하도록 채터링 방지 회로를 구성하였다.

이상의 결과로부터 저렴하고 안정된 임피던스 정합을 이용한 액면 레벨 센서를 구현할 수 있었다.

[감사의 글]

본 연구는 과학기술부 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황규영, “센서 活用技術”, 기전연구사, p.243, 1985.
- [2] 양운석, 김철한, 사공건, “수중용 레벨메터의 제작 및 펄스에코특성”, 대한전기학회학술대회논문집, p.935, 1999.
- [3] 이수호, 조현철, 류주현, 사공건, “용융염합성법에 의해 제조된 압전세라믹(PZT)의 미세구조 및 첨가물의 효과”, 한국전기전자재료학회지, 11권 5호, p.378, 1998.
- [4] 박창엽, “전기전자용 세라믹스”, 반도출판사, p.152, 1997.