

1-3형 복합압전체 초음파 트랜스듀서를 사용한 수중용 레벨 Limit스위치에 관한 연구

김홍근, 박경일, 신광호*, 사공 건

동아대학교 전기공학과, 경성대학교 멀티미디어공학과*

A Study on the Level Limit Switch for Underwater with 1-3 Type Ceramic/Polymer Composite Ultrasonic Transducer

H.G. Kim, K.I. Park, K.H Shin*, G. Sa-Gong

Dong-A Univ, Kyung Sung Univ*

Abstract

In this study, an ultrasonic transducer is fabricated with 1-3 type composite resonators. Pulse-echo responses of an ultrasonic transducer are investigated in underwater dependent on the variable designated water-level. LED Output signals of a level limit with changing a water level is obtained by the 1-3 type self-made composite transducer and electric measuring unit.

LED is turned on at above the up-limit level with increasing a water level, and LED is turned on at less than the down-limit level with decreasing a water level. There was good agreement between the virtual level and output LED signal by using the self-made water-detecting system.

1. 서 론

초음파 센서는 유량·유속센서, sonar, 가속도 센서, 습도 센서 등 여러 분야에 널리 사용되고 있으며 일렉트로닉스 기술의 혁신에 의하여 기기나 시스템의 고성능화가 급속히 진전되면서 그 중심적 역할을 하는 소자로서 각광을 받고 있다.¹⁾ 특히, 거리측정용 센서로 사용될 경우 초음파 센서는 기계적 가동부가 없으며, 유지 및 보수가 용이하고, 장기간 사용이 가능한 장점이 있다. 또한 초음파의 펄스-에코 신호를 이용하므로 공장자동화, 무인시스템 등에 응용이 가능하며, 국내 산업계에도 널리 쓰이고 있다.

그러나 국내 기술력 및 신뢰도의 부족으로 대부분 외국의 제품을 사용하고 있는 현실이며, 국내 기술력 재고 및 외국과의 경쟁력을 키우기 위해서는 차별화된 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 초음파 변환기를 거리측정용 센서로 사용하여 비교적 가까운 거리에서의 피측정물의 수위의 변화를 원격으로 감지하는 시스템 개발에 대한 기초연구를 행하였다. 이를 위해

초음파 변환기는 음향 임피던스 정합을 고려하여 압전성이 큰 세라믹과 비유전율이 작은 고분자 매질을 복합화한 Ceramic/Polymer 1-3형 복합압전체²⁾를 제조하여 진동자로 사용하였으며, 수중에서의 초음파 변환기의 펄스-에코 신호를 자체 제작한 Electric Unit의 입력신호로 사용하였고, LED의 출력을 통하여 피측정물의 수위변화를 감시하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 1-3형 복합압전체의 제작

PbO, ZrOCl₂·8H₂O 및 TiCl₄ 수용액을 출발 원료로 사용하여 동질이형 상경계 영역(MPB)인 Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃의 조성으로 습식-건식법에 의해 PZT 소결체를 제작하였다. 이들을 실리콘 기름중에서 30(KV/cm)의 전계로 10분간 분극처리를 행한 후 20Vol.%의 체적비로 가공하였다. 이들 PZT 소결체를 filler 로 사용하여 Epoxy resin계 (Eccogel 1365-45;Emerson & Cuming Inc.)와 조합하

여 경화한 후 표면을 마감질하여 초음파 세척기로 깨끗이 세척한 다음 상온용 은전극을 도포함으로써 1-3형 복합압전체를 제작하였다. 이때 1-3형 복합압전체 제작용 PZT rod의 크기는 0.73(mm)이며, 두께 진동모드로 제작된 트랜스듀서용 1-3형 복합압전체의 직경은 12.5(mm), 진동자 시편의 두께는 1.9(mm)이다.

2.2 1-3형 초음파 트랜스듀서의 제작

클램프(clamped) 두께 진동모드로 제작된 1-3형 복합압전체를 진동자로 사용하여 트랜스듀서용 탐촉자(probe)를 제작하였으며, 그림1에 그 구조를 나타내었다[3].

트랜스듀서는 음향 임피던스가 비교적 큰 내경이 15(mm)인 알루미늄 파이프를 사용하였으며, 파이프의 한쪽은 진동자를 고정하였고, 다른 한쪽은 BNC 콘넥터를 부착하였으며, 진동자 주위는 silicon 고무로 밀폐시킴으로써 수중에서의 각종 초음파 특성을 조사할 수 있는 구조로 제작하였다.

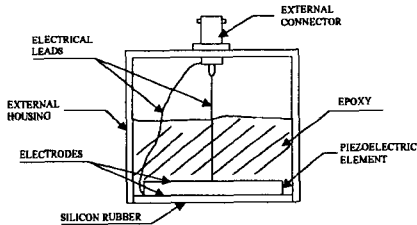


그림 1. 1-3 초음파 트랜스듀서의 전체 구조.

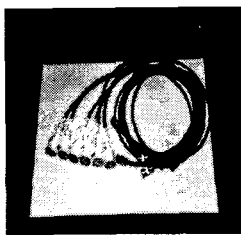


그림 2. 1-3형 초음파 트랜스듀서.

2.3 Electric Unit

본 연구에서는 자체 제작한 초음파 트랜스듀서의 펄스-에코 응답신호를 이용하여 피측정물의 레벨을 측정하였다. 트랜스듀서의 송수신 신호의 시간차를 전압으로 연산하고, 디지털화 하기 위하여 Electric Unit을 자체 제작하였으며, 이들의 블록선도를 그림 2에 나타내었다. 초음파 변환기의 발진

부는 LM555(비안정발진기)를 사용하였으며, 발진 신호를 임펄스화하기 위하여 단안 발진기와 펄스 트랜스를 사용하였다. 수신된 펄스신호는 clamping 부와 증폭기를 거쳐 comparator에 의해 기준레벨(0.01V)과 비교하여 선택된다. 이 신호들은 gate와 적분기를 거쳐 sample holder에 의해 저장되며, 초음파 트랜스듀서의 자체 공진에 의한 dead time을 보상하는 보상기를 거쳐 피측정물의 수위를 측정하게 된다.

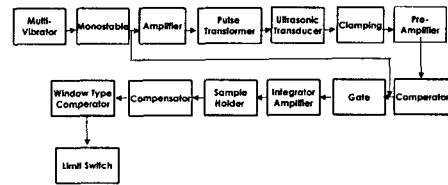


그림 3. Electric Unit 의 블록선도.

2.4 측정 방법

본 연구에서의 수위 변화를 감지하기 위한 시스템의 블록선도는 그림 3과 같다. 50cm×50cm의 수조 내에 자체 제작한 1-3형 초음파 트랜스듀서를 설치하였고, 펄스-에코 신호는 RS232 통신프로토콜을 사용하여 오실로스코프 (Tektronix TDS 3021, 100MHz, 1.25GS/s)와 컴퓨터를 인터페이스시켜 확인하였다. 그리고 수위의 변화에 따른 펄스-에코 신호를 이용하여 Electric Unit부에서 연산된 실제 측정값을 변환기와 수위와의 기준 거리값과 Time Comperator로서 비교하여 변화된 수위를 검출할 수 있도록 하였다. 또한, 수위의 증감 변동을 시각적으로 확인하기 위하여 수위가 상승할 경우 BLUE LED, 하강할 경우 RED LED가 점등하도록 하였다.

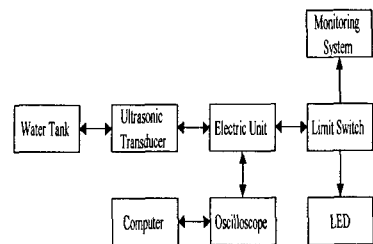


그림 4. 수위변화 감시 시스템의 블록선도.

3. 결과 및 고찰

3.1 1-3형 트랜스듀서의 공진특성

본 연구에서 제조한 1-3형 복합압전체는 PZT의

체적비가 20Vol.%이고, 두께가 1.9(mm)인 1-3형 복합압전체를 진동자로 사용하여 초음파 트랜스듀서를 제작하였으며, 공진주파수는 그림 5에서와 같이 약 750(KHz)이었다.

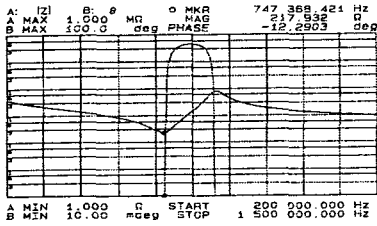


그림 5. 1-3형 복합압전체의 공진특성

3.2 펄스-에코 응답특성

본 연구에서는 1-3형 복합압전체 트랜스듀서를 사용하여 초음파특성을 조사하기 위하여 측정 시스템에 그림 5와 같은 임펄스(impulse)를 인가하여 pulse-echo 응답특성을 얻었다. 이때 인가된 임펄스 신호의 크기는 1/100로 감소시킨 것이다.

그림 6(a), (b)는 자체 제작한 1-3형 복합압전체 트랜스듀서의 pulse-echo 응답특성을 나타낸 것이다. 그림 5에서 나타난 입력 임펄스를 트랜스듀서에 가하면 트랜스듀서는 여기되어 음파가 수중으로 전달된다. 전달된 음파는 반사면에 의해 반사되어 트랜스듀서에 수신되며, 이와 같은 과정의 반복을 거쳐 음파는 점차 감쇠되어 소멸된다. 그림 6(a), (b)의 첫번째 파형군에 나타나는 파형군(波形群)은 인가된 임펄스에 의해 진동자 자체의 진동에 의해 반복되어 나타난 파형이며, 두번째 파형군은 진동자의 진동에 의해 수중으로 진행하여 반사되어 오는 수신파로, 이 또한 앞의 경우와 같은 과정의 반복에 의해 파형군으로 나타난다.

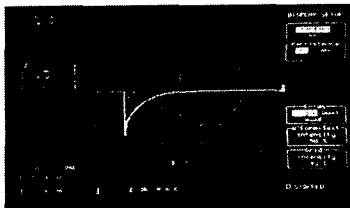
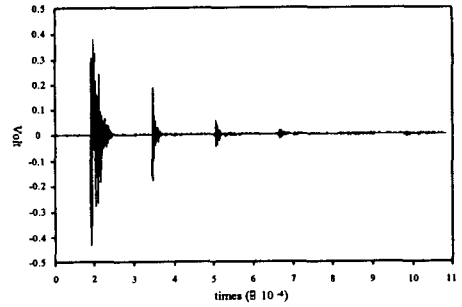


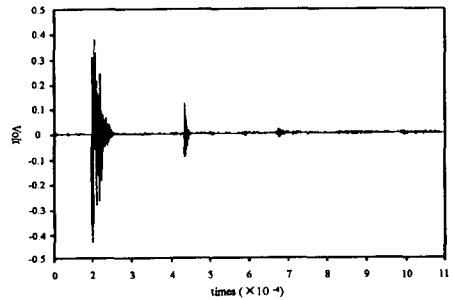
그림 6. 트랜스듀서에 인가된 임펄스의 파형.

그리고 인가된 임펄스에 의해서 초음파 트랜스듀서에서 얻어진 펄스-에코 신호를 LED의 입력으로 사용하였으며, LED의 출력을 통하여 피측정물의

수위변화를 감시하고자 하였다. 이때, 기준수위는 20cm로 하였으며 이것을 기준으로 피측정물의 수위가 상한 기준수위(10cm)이상 증가할 경우에는 Blue LED가 점등하도록 하고, 수위가 하한 기준수위(6cm)이하로 감소할 경우에는 Red LED가 점등하도록 회로를 구성하였다.



(a) 피측정물의 수위가 9cm 하강하였을 경우



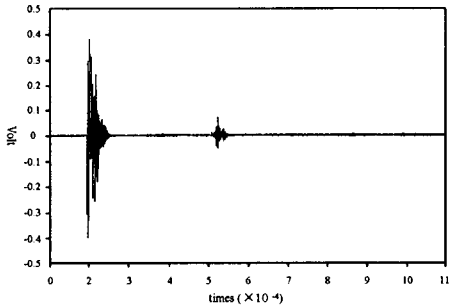
(b) 피측정물의 수위가 3cm 하강하였을 경우

그림 7. 펄스-에코 응답 특성(수위 감소시).

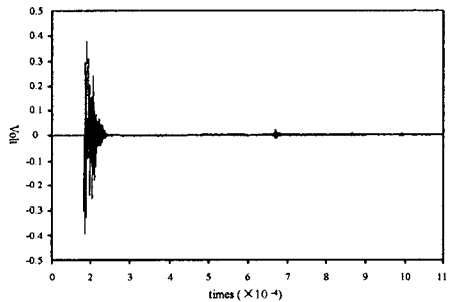
그림 6은 수위가 하강하였을 경우의 펄스-에코 응답특성을 나타낸 것으로, 그림 6(a)는 피측정물의 수위가 9cm 하강하여 하한기준수위를 벗어난 경우로 Red LED가 점등하였다. 즉 입력 임펄스에 대한 pulse-echo 응답의 주기는 약 1.5(μs)로 수위레벨 약 11cm를 나타내고 있으며, 이때 Red LED가 점등하였다. 그림 6(b)는 피측정물의 수위가 기준수위에서 3cm 하강하여 하한기준을 벗어나지 않았으므로 Red LED의 출력은 나타나지 않았다.

그림 7은 수위가 상승하였을 경우의 펄스-에코 특성을 나타낸 것으로, 그림 7(a)는 피측정물의 수위가 4cm 상승하여 상한기준을 벗어나지 않았으므로 Blue LED의 출력은 나타나지 않았다. 한편, 그

림 7(b)는 피측정물의 수위가 14cm 상승하여 상한 기준수위를 벗어난 경우이므로 Blue LED가 점등 하였다. 즉 입력임펄스에 대한 pulse-echo 응답의 주기는 약 4.5(μ s)로 수위 레벨 약 34cm를 나타내고 있다



(a) 피측정물의 수위가 4cm 증가하였을 경우



(b) 피측정물의 수위가 14cm 증가하였을 경우

그림 8. 펄스-에코 응답특성(수위 증가시).

표 1은 피측정물의 수위변동에 따른 LED의 출력을 나타낸 것으로 실제 레벨측정값과 LED 출력값이 비교적 잘 일치하였다.

표 1. 수위변동에 따른 LED의 출력.

수위 변화 검출 신호	감 소 ←		기준 레벨	증 가 →	
	-9cm	-3cm	0	+4cm	+14cm
RED LED	○	×	×	×	×
BLUE LED	×	×	×	×	○

(○ : 점등, × : 소등)

4. 결 론

본 연구에서 자체 제작한 근접거리 변동 측정 시스템을 사용한 비교적 가까운 거리범위(수cm~수십cm)에서의 피측정물의 수위변동에 대한 LED의 출력결과와 다음과 같다.

1. 수위가 상승할 경우 기준 레벨 이상에서 상한레벨(+10cm)미만의 범위에서는 출력이 나오지 않았으나, 상한레벨 (+10cm)이상일 경우에는 Blue LED 출력신호가 나타났다.
2. 수위가 하강할 경우 기준레벨 이하에서 하한레벨(-6cm) 미만에서는 출력이 나오지 않았으나, 하한레벨 (-6cm) 초과 하강할 경우에는 Red LED의 출력신호가 나타났다.

이상의 결과로부터 수위의 변동에 따른 검출신호가 비교적 정확하여 얻어져 비교적 근접한 거리에서 피측정물의 변화만을 감시하고자 하는 시스템에 적용이 가능함을 확인할 수 있었다.

본 연구결과물은 과학기술부·한국과학재단에서 지정한 지역협력연구센터(RRC)및 산업자원부·한국산업기술평가원에서 지정한 지역기술혁신센터(TIC)인 동의대학교 전자세라믹스센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

1. 황규변, "센서활용기술", 機電研究社, pp 134~139, 1995.
2. R.E. Newnham, A. Safari, G. Sa-Gong & I. Giniewicz, "FlexibleComposites Piezoelectric Sensors", IEEE Proc., Int'l Ultrason. Sympo., p.501, 1984.
3. 최현일, 사공진, "사전분극처리된(Prepoled) 유연한 1-3 세라믹/고분자 복합압전체의 PZT 체적비에 따른 전기적 특성", 대한전기학회 논문지, 42권 11호, pp.100~106, 1993.