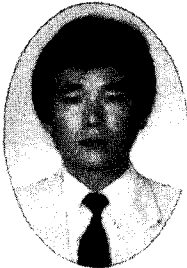


레벨미터용 초음파 센서의 특성



유갑상
(주)신창 대표이사
전공분야:전자재료



엄종학
(주)신창 차장
전공분야:초음파센서

를 가지고 있었으나 근년에 이르러 재료 및 전자회로 기술의 발달로 인하여 비접촉식 방법으로 레벨을 측정하는 기기가 급속히 확산되고 있는 추세이다. 대표적인 비접촉식 레벨미터의 방식은 초음파식, 마이크로파식, 레이저식, 방사능식 등이 있으나 현재 산업전반에 걸쳐 보편적으로 가장 활발하게 적용되고 있는 레벨미터는 초음파식이며 그 시장의 확산 속도는 날로 증가하고 있는 추세이다. 본 글에서는 초음파 레벨미터에 적용되는 초음파 센서의 기본적인 이론 및 레벨계측용으로서 지녀야 할 센서의 특성에 관하여 기술하고자 한다.

2. 초음파 레벨미터의 측정 원리

초음파란 일반적으로 인간의 귀에 들리지 않는 높은 주파수의 음(약14KHz이상)을 통칭 초음파라고 하나 인간의 귀로 듣는 것을 목적으로 하지 않는 공업분야에 적용하는 가청음도 초음파라고 부르기도 한다. 초음파 레벨계에 사용되는 주파수는 9KHz에서부터 50KHz 정도이며 이 범위의 주파수는 강력한 초음파 펄스를 발생하기 쉽고 지향특성을 얻기가 용이하다.

레벨측정 원리는 탱크 및 싸이로의 상부에 설치된 초음파센서에서 발사된 초음파 펄스가 피측정물(액체 또는 분체)의 표면에서 반사되어 다시 초음파 센서

로 되돌아올 때까지의 시간을 측정하여 레벨을 산출하는 방법을 사용한다. 따라서 공기 중에서 초음파의 음속을 산출하는 것이 매우 중요하며 일반적으로 공기 중에서의 음속은

$$V[m/s] = 331.5 + 0.6 \times t \quad (1)$$

로 산출하며 여기서 t 는 온도 [°C]이다. 위 식에서 공기 중에서는 온도가 1[°C]변화하면 음속은 0.17% 변화하기 때문에 기체의 온도를 측정하여 음속을 보정하는 것이 필요하다. 거리측정은 다음의 식으로 간단히 구할 수 있다

$$H[m] = \frac{t}{2} \times u[m] \quad (2)$$

u : 기체음속(공기)

t : 소요시간[sec]

H : 초음파센서에서 측정물체까지 거리

초음파 레벨미터의 일반적인 특징은 ① 피 측정물에 비접촉식으로 연속측정이 가능하므로 측정대상물의 물성(비중, 점도등)의 변화에 영향을 받지 않으며 ② 기계적인 가동부가 없고 보수가 용이하므로 장기간 사용이 가능하고 ③ 설치가 간편한 특징이 있다.

3. 레벨미터용 초음파 센서

3.1 초음파 센서의 종류

초음파 센서는 그 전달매질의 종류에 따라 공기중용, 액체용,

1. 서 론

액면 또는 분체의 높이를 측정하여 프로세스 제어에 사용되는 레벨계는 계측의 방법 및 용도에 따라 매우 다양한 종류가 있으나 대부분 측정하고자하는 대상에 접촉하는 방법을 적용한 경우가 대부분으로 기계적 및 화학적으로 사용에 어려움이 많고 측정 정확도 및 측정범위의 한계

고체용으로, 그 구조에 따라 개방형, 밀폐형, 정합기 부착형 등으로 분류할 수 있으며 사용 주파수 대역에 따라 저주파용, 고주파용, 초고주파용으로 분류하는 등 사용 목적 및 요구정도에 따라 매우 다양한 종류가 있다. 이러한 초음파 센서는 전자유도현상, 자왜현상, 압전현상중 하나를 이용하여 전기신호를 초음파 신호로 변환하는 송신기와 그 역변환을 하는 수신기로 구성되며 이는 일반적으로 동일한 구조로도 초음파의 발생 및 감지가 모두 가능하다. 각각의 특징으로는 전자유도형 센서는 자계 중의 전자가 받는 힘(로렌츠의 힘)을 이용한 것으로 비공진형 이므로 센서의 공진주파수에 좌우 되지 않고 임의의 주파수에서도 간단하게 구동할 수 있으나 노이즈에 취약하고 고주파수에서는 효율이 저하되는 단점을 지녀 현재에는 그다지 잘 사용되지 않고 있다. 자왜형 센서는 페라이트나 니켈 등을 가공하여 코일을 감은 구조로 이 코일에 전류를 흘리면 재료의 물리적 성질이나 구조에 따라 결정되는 고유진동수에서 공진하여 초음파를 발생하는 센서이다. 특히 페라이트를 사용한 자왜형 초음파 센서는 고주파의 자장에 대하여 와전류의 발생이 적고 에너지 변환 효율이 양호하

기 때문에 강력 초음파 발생용 트랜스듀서 등에도 사용되고 있다. 특징으로는 견고하나 외력에 의한 저항력이 약하여 충격에 주의할 필요가 있으며 용도에 따른 주파수 선정에 유념하여야 한다. 압전형 센서는 초기에는 수정, 로셀염, BaTiO₃, Pb(Ti,Zr)O₃ 등에서 발생하는 압전효과를 이용한 센서로 현재 초음파 센서로 가장 많이 사용되고 있다. 특징으로는 구조가 간단하며 출력전압이 높고 양호한 온도 및 습도 특성을 지니고 있다.

3.2 압전 진동자

압전물질이란 그에 가해지는 기계적 에너지와 전기적 에너지를 서로간에 변환시킬 수 있는 특성을 지닌 재료를 말하며 압전 효과는 전기기계 결합계수(K)를 사용하여 가해진 전기적 에너지에 대한 기계적 에너지로 변환된 양으로 정의된다.

따라서 우수한 전기기계 결합계수를 가진 압전소자의 장점은 전기, 기계 에너지간의 선형적 변환이 가능하므로 기계적 변환량의 정확한 제어가 가능하며, 역으로 외부의 진동신호를 정확한 선형적인 전기신호로 받을 수 있다. 또한 이러한 변환이 재료 자체의 특성으로 인해 나타나므로 구조가 간단해지는 장점이 있

다. 이러한 압전재료를 가지는 압전재료에는 압전 세라믹과 압전 폴리머로 대별 할 수 있으며 그중 압전 폴리머는 유연성, 높은 감도, 형상변화의 용이성 등의 장점을 지니는 재료로 응용분야가 증가 될 것으로 예측되나 압전변위 상수가 세라믹에 비하여 매우 작다는 단점 등으로 응용분야가 한정되어있다, 압전 세라믹은 압전 단결정과 압전 다결정으로 다시 분류되며 압전 단결정은 높은 순도, 재료특성의 균일성, 낮은 온도계수 등의 장점이 있으나 압전효율이 낮고 가격이 고가여서 응용분야가 한정되어있다. 반면에 압전 다결정은 순도나 온도 안정성, 특성의 균일성은 떨어지나 압전특성이 크고 가격이 저렴하며, 다양한 형상의 세라믹 제조가 가능하여 가장 광범위하게 사용되고있으며 압전 다결정 재료에는 PZT, PbTiO₃, BaTiO₃ 등 여러 가지 종류가 있으나 최근의 고효율용 압전재료로는 PZT가 가장 많이 사용되고 있다. 따라서 PZT의 고유진동수를 필요로 하는 초음파 진동수에 맞추면 양호한 특성을 갖는 초음파 발생기를 얻을 수 있으며 나아가 소자 하나로서 초음파의 송신 및 수신을 병용할 수 있는 센서의 제작도 가능하다. 한편 초음파 센서를 구성하는

표 1. 압전세라믹 재료의 특성별 분류

대분류	기본 특성	대표 재료	주요 특성
HARD 계열	High Power	PZT-4 PZT-8	- 기계 및 유전손실이 적으며 큰 음향 출력을 얻을 수 있음 - 초음파 크리닝, SONAR 고효율 음향 발생용
SOFT 계열	High Sensitivity	PZT-5	- High Sensitivity 특성 - 다양한 센서 및 저출력용 초음파 트랜스듀서
CUSTOM 계열			- 특수용 - 용도에 따라 온도안정성, Low Aging Rate등을 실현

송신기 및 수신기에 적용할 수 있는 압전재료가 지녀야할 기본 특성으로는

- ① 전기음향변환효율이 좋을 것
 - ② 기계적 품질계수가 클 것
 - ③ 온도변화에 안정할 것
- 등이 있으며 특히 수신기로 사용할 경우에는 압전정수 g 가 큰 재료가 유리하다.

현재 세계적으로 널리 이용하고 있는 PZT세라믹의 특성별 종류는 크게 나누어 HARD계열, SOFT계열 및 부분적인 특성개선을 한 CUSTOM계열 등 3종류로 나눌 수 있으며 표1에 압전세라믹의 특성별 분류를 나타내었다.

3.3 레벨용 초음파 센서의 구성

일반적으로 초음파 센서는 초음파의 발사 및 발사된 초음파 반사파를 검지하는 ACTIVE방식과 주로 수신전용인 PASSIVE방식이 있으며 초음파 레벨계, 두께측정기, 어군탐지기, 측심기, 소나, 의료용 진단 장치 등에는 주로 ACTIVE방식이 사용되고 있으며, 배관의 가스 누출, 수도관의 누수, 절연불량등에 따른 코로나 방전, AE파의 검출 등에는 PASSIVE방식이 사용되고 있다.

초음파 레벨센서의 일반적인 구조는 그림 1. 과 같다.

일반적으로 초음파 레벨메터에 적용되는 초음파 센서의 구조는 그림 1.과 같이 음향신호를 발신하고 수신하는 압전 진동자와 광대역, 고감도, 잠음감소를 위해 진동자의 앞뒤에 음향 정합층과 후면층을 두며 또한 외부 측정기기와의 원활한 접속을 위한 정합회로로 구성되며 초음파 레벨메터의 사용 환경이 주로 실외 또는 화학 공장등 환경이 열악한 장소에 주로 사용되므로 내화학성이 강하며 방수 방폭 구조

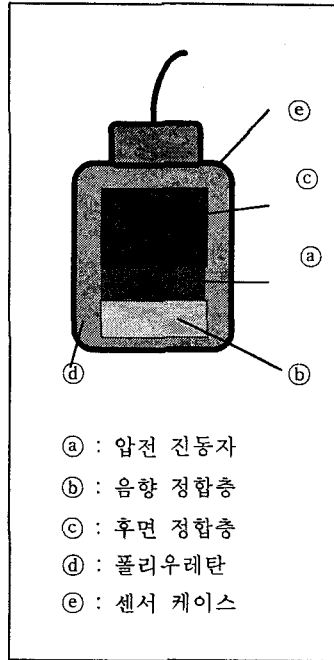


그림 1. 초음파센서의 구조

로 설계된 외부 하우징 속에 넣어 밀봉 수지로 충진된 구조를 하고 있다

레벨메터에 적용되는 압전 진동자는 구동회로에서 발생하는 펄스 전압을 초음파 에너지로 변환하는 역할을 하며 종류는 크게 나누어 Langevin형 압전 진동자와 bulk형 압전 진동자가 주로 사용되고 있다. Langevin형 압전 진동자는 1922년 프랑스의 Langevin에 의해 최초로 고안되어 현재 강력 초음파 발생용 트랜스듀서로서 전 세계적으로 활용되고 있다 특징으로는 ①10 ~ 50KHz의 비교적 저주파의 초음파 에너지를 얻을 수 있으며 ② 기계적 품질계수(Qm)이 크며 ③ 기계적 강도가 크고 ④형상의 자유도가 높아 다양한 형태의 진동자 제작이 가능하며 ⑤비교적 낮은 구동임피던스 특성을 지니고 있다. 트랜스듀서의 구조는 임의의 두 개의 금속 블록과 두 개의

세라믹을 전기적으로는 병렬, 기계적으로는 직렬로 설치하여 그 중앙 또는 외주면을 볼트로 일체화 시킨 구조를 하고 있으며 양 금속 단면에서의 Particle Velocity Amplitude는 그 금속 블록의 밀도 및 음파 전달 속도에 영향을 받게된다. 따라서 금속 블록의 재질을 선택함으로써 트랜스듀서의 진동변위 크기를 조절하는 것이 가능하며 이 관계를 수식적으로 표현하면 세라믹의 길이를 l_c , 금속의 길이를 l_i , 세라믹의 음속을 v_c , 금속의 음속을 v_i 라 할 때 다음과 같다. 진동자의 공진조건은

$$\tan \frac{\omega l_i}{v_i} \cdot \tan \frac{\omega l_c}{v_c} = q_i \quad (3)$$

단, $0 < \frac{\omega l}{v} < \frac{\pi}{2}$ 이며

특성임피던스의 비 q_i 는

$$q_i = \frac{\rho_{mc} v_c A_c}{\rho_{mi} v_i A_i} \quad (4)$$

여기서 A_c 는 세라믹의 단면적, A_i 는 금속의 단면적이다. 음파강도이득계수 G_i 는

$$G_i = q_i^2 - (q_i^2 - 1) \sin^2 \frac{\omega l_c}{v_c} \quad (5)$$

으로 표시된다.

Langevin 형 초음파 트랜스듀서에서의 초음파 방사강도의 크기는 음향임피던스의 비(q_i) 및 음파강도 이득계수(G_i)의 크기에 의해 결정되며 G_i 및 q_i 는 금속 재질의 밀도 및 단면적의 크기를 조정하여 필요한 값을 얻을 수 있으므로 재질선택에 의해서 초음파의 방사강도를 조절할 수 있다. 따라서 실용적인 측면을 고려하면 세라믹의 양면에 설치되는 금속에서 방사측 금속의 재질은 세라믹의 음향임피던스보다 훨씬 작은 음향임피던스를 갖는 재질을 선정하는 것이 일반적이거나, 재질의 허용 인장응력, 기계적 강도, 방사면적의 크기 등을 고려하여 적합한 재질을 선정하

여야 한다. 또한 세라믹과 금속 블록의 조립시에는 조립 토오크가 세라믹의 전기적 및 기계적 특성에 많은 영향을 미치므로 적절한 조립 토오크 조절이 필요하며 트랜스듀서의 효율 및 신뢰성을 향상시키기 위하여 금속블럭의 표면 연마등이 고려되어야 한다.

BULK TYPE의 압전세라믹 진동자는 세라믹의 형태에 따라 디스크형, 링형, 원통형등이 있으며 이는 초음파 센서의 설계구조 및 적용 주파수, 용도에 따라 선정하여 사용한다. 센서의 공진 주파수는 압전세라믹의 주파수 상수 중에서 적용하고자 하는 진동방향에 대한 주파수 상수 값에 의하여 결정되며 초음파 레벨미터의 경우 사용 주파수 대역이 수십KHz 부근이므로 두께방향 진동모드를 사용할 경우에는 세라믹의 두께를 키워야 하나 제작이 어려우며 소요 재료비의 과다 등 경제적인 면에서 불리하므로 일반적으로 경방향 진동모드에의

한 진동 에너지를 사용하는 경우가 많다. 표 2.에 레벨미터에 사용되는 대표적인 압전 세라믹의 물성을 나타내었다. 한편 초음파 센서는 제작에 앞서 사용용도와 기능에 따라 성능의 최적화를 이룰 수 있도록 이론적인 모델 및 설계과정을 거치며, 초음파 센서의 해석에 일반적으로 이용되는 방법은 MASON이나 KLM등가 회로를 구성하여 주파수 특성을 구하고 그 결과를 역 Fourier 변환하여 시간영역에서의 특성을 예측하여 초음파 센서를 설계하나 이 방법은 선형모델에 한정되어 적용되므로 센서의 3차원적 특성이나 비선형적 특성을 해석하기 위해서 유한요소법, 경계요소해석법 등이 사용되기도 한다. 음향정합층은 압전 진동자와 음파매질(공기) 사이의 원활한 음향결합이 이루어질 수 있도록 압전 진동자의 앞면에 붙이는 층으로 고출력의 초음파 센서를 제작할 경우 정합층의 재질 및 두께의 선정과정이 매우 중요하다.

음향정합층의 설계에 관련한 연구는 C. S. Desilets의 결과가 대표적으로 알려져 있으며, 일반적으로 압전진동자와 음향정합층, 공기사이의 손실은 무시한다고 가정하면 초음파의 전달과정은 그림 2. 와 같이 3층으로 된 계에서 평면음파가 매질1에 입사한 것으로 근사할 수 있다.

이때 각각의 층에서 매질 I 으로부터 매질 III으로 투과되는 음파의 비율을 나타내는 투과계수 T의 완전 투과 조건은

$$Z_2 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_3} \quad (6)$$

$$L = \frac{\lambda}{4} \quad (7)$$

이다. 여기서 ρ 는 밀도, c 는 음파의 속도, L 은 음향정합층의 두께, λ 는 초음파의 파장을 나타낸다. 표 3.에 각종매질의 음향 임피던스의 특성을 나타내었다.

후면 정합층은 압전물질에서 발생된 초음파중 후면 방향으로 방사된 성분은 적당히 흡수시키고 다시 되돌아오는 음파를 최소로 할 수 있는 즉 후면층 내에서 초음파의 손실이 충분히 큰 재료를 선정하여야 하나 보통의 경우 손실이 크게되면 센서의 감도 또한 너무 저하되는 경향이 있으므로 적당한 정도의 음향임피던스를 갖는 재료를 선정한다. 또한 레벨용 초음파 센서일 경우는 후면정합층의 구조에 따라 센서

표 2. 압전 재료의 특성

항 목	PZT-5	PZT-4
밀 도	7.5	7.5
기계적 품질계수	100	400
유전상수	1725	1300
유전손실	2.0	0.4
전기기계결합계수 K_p [%]	0.62	0.6
전기기계결합계수 K_{33} [%]	0.72	0.71
전기기계결합계수 K_{31} [%]	0.36	0.35
압전상수 d_{31} [$\times 10^{-12}$ M/V]	-173	-127
압전상수 d_{33} [$\times 10^{-12}$ M/V]	380	295
압전상수 g_{31} [$\times 10^{-12}$ M/V]	-11.5	-10.7
압전상수 g_{33} [$\times 10^{-12}$ M/V]	25.0	25.0
주파수상수 N_2 [KHz · M]	1.778	2.026
주파수상수 N_3 [KHz · M]	0.876	1.012
주파수상수 N_p [KHz · M]	1.994	2.149

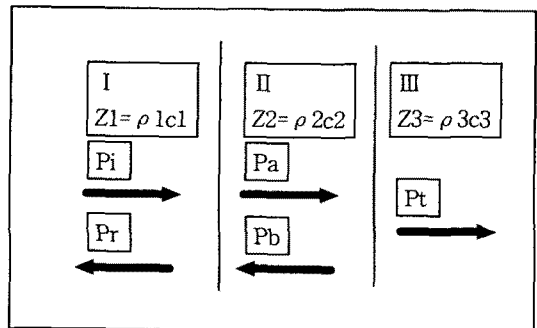


그림 2. 매질 경계에서의 초음파의 투과 및 반사

표 3. 각종매질의 음향임피던스 특성 (at 20℃)

매 질	음향임피던스($\rho \cdot c$) [Pa · s/m]=[N · s/m ³]=[Kg/m ² s]	밀도 ρ [Kg/m ³]	음파 전달 속도(종파) C[m/s]
강 철	39 × 10 ⁹	7700	5000
알루미늄	14 × 10 ⁹	2700	5200
용융석영	12 × 10 ⁹	2700	4400
경질고무	0.067 × 10 ⁹	950	70
물	1.44 × 10 ⁹	1000	1440
공기	410	1.2	340

의 기본 특성중 Ring Down Time 및 주파수 대역폭 특성에 결정적인 영향을 미치므로 유념하여 선정하여야 한다.

한편 레벨용 초음파 센서는 열악한 환경에 노출될 경우가 많아 내화학적(내산성, 내알카리성, 내유기용제성 등) 특성이 우수한 하우징 재료를 사용 하여야 하며 사용 온도의 범위도 -40 ~ 90℃ 범위에서 안정된 특성을 발휘 할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 정유시설, 화학물 처리 시설 등에 사용할 경우에는 센서의 방폭 기능을 위하여 초음파 센서 내부를 우레탄 몰딩 재료로 밀봉하는 것이 필요하다.

레벨메터용 초음파 센서는 주변 공간의 온도에 따라 음속을 보상하는 것이 필요하다. 따라서 초음파 센서의 가장 끝단 부분에 온도 측정용 센서를 탑재하는 경우가 많다.

3.4 레벨용 초음파 센서의 특성

초음파 센서의 종류는 전술한 바와 같이 그 사용 환경에 따라서, 탐지 분해능에 따라서, 용도에 따라서 각각 다양한 종류가 있으나 기본적으로 초음파 센서의 설계 시 고려 하여야 할 제반 특성은 표 4와 같다. 그러나 표 4의 특성을 모두 만족하는 센서의 제작은 현실적으로는 기술적인 어려움과 가격적인 제약이 따

표 4. 초음파 센서의 요구 특성

항 목	검토 내용
입력특성	검출범위, 입력레벨, 입력형태
출력특성	출력레벨, 출력형태, S/N비
응답성	감도, 분해능, 응답속도
정밀도	온도보상, 습도보상, 노이즈보상, 교정 및 히스테리특성, 영점조정
신뢰성 안전성 내환경성 수명 가격	온도사이클특성, 내전압성, 내충격성, 사용온도범위, 사용습도범위, 사용압력범위, EMC, 화학적 안정성(내약품성), 호환성, 방폭성, 실장용이성, 취급용이성, Fail safe 기능, maintenance free

르므로 일반적으로는 용도에 따라 필요한 성능을 선택하는 경우가 많다. 레벨용 초음파 센서가 갖추어야 할 특성으로는 ①송수신 감도가 커서 원거리 탐지가 용이하여야 하며 ②사용 및 설치가 용이하기 위하여 초음파의 빔 각도가 좁은 것이 유리하며 ③주변의 전자파 노이즈에 대한 S/N비 특성이 우수하여야 하며 ④짧은 Ring Down Time 특성을 지니고 ⑤장기간에 걸쳐 산업용 설비의 프로세스 제어에 사용되므로 고도의 신뢰성을 지녀야 한다. 또한 사용 장소에 따라 내 화학성 및 방폭 특성이 요구되기도

한다. 따라서 레벨용 초음파 센서의 설계에는 상기 항목에 대하여 반드시 고려되어야 한다.

따라서 원거리 감지가 가능하고, 예리한 지향특성을 갖는 센서의 제작을 위하여 적용 주파수의 선정 및 센서의 초음파 방사면적의 크기를 우선적으로 고려하여야 한다. 따라서 압전 진동자는 사용 주파수의 범위 및 목표표로 하는 지향성 등을 고려하여 경방향 진동모드 또는 두께방향 진동모드중 선택하여 이용하고, 초음파의 감쇄율이 사용 주파수, 습도, 온도, 대기의 오염물질 등에 의하여 변화되며 특히 주파수

가 증가함에 따라 급격히 증가하는 특성이 있고, 감지 가능한 물체의 크기도 초음파의 파장에 따라 결정되므로 레벨용으로 적용할 경우에는 주파수 선정에 유념하여야 한다. 또한 센서의 설계시 중요한 요소 중 하나로 초음파의 원거리음장(far-field)내에서의 지향특성이 있다. 이는 초음파의 음압의 크기와 함께 초음파 센서로서 물체를 탐지할 수 있는 범위의 한계를 결정짓는 요소로서 초음파 센서의 음파 방사 단면적 D와 방사면의 굴곡진동 변위 분포, 공기중에서의 초음파의 파장 λ 에 의하여 결정되며 다음 식으로 표현된다.

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\lambda}{D} = \frac{v}{D \cdot f} \quad (8)$$

여기서 v는 공기중의 음속이며 f는 초음파 센서의 동작 주파수이다.

제작된 초음파 센서의 특성 평가 항목으로는 송신 음압 특성, 감도 특성, 지향특성이 있다. 음압특성은 일반적으로 음압 데시벨로 정량화 되어 있으며 이것은 임의의 점에서 측정된 음압과 기준 음압과의 비를 상용대수로 취하고 이 값을 20배 한 값으로 나타낸다. 여기서 기준음압(0dB)는 공기중의 음압 경우 $0.0002 \mu\text{bar}$ 이다. 또한 이 값은 평면진동파 음원으로부터 수 파장 이상 떨어진 거리에서는 $10^{-10}[\text{W}/\text{cm}^2]$ 에 거의 대응한다. 음압레벨 S.P.L.(Sound Pressure Level)은 음의 크기를 표시하는 단위이며 아래와 같은 식으로 표시된다.

$$\text{S.P.L.} = 20 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}} \quad (9)$$

여기서 P는 실효음압 [μbar], P_{ref} 는 기준음압 [$0.0002 \mu\text{bar}$]를 나타낸다.

감도 특성(sensitivity)은 출력량에 대한 입력량의 비로 나타내며 음의 수신레벨을 표시하는 단위로 사용된다.

$$\text{sensitivity} = 20 \log \frac{E}{P} [\text{V}/\mu\text{bar}] \quad (10)$$

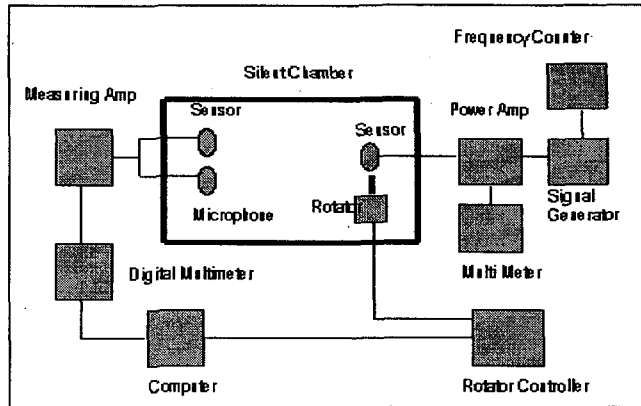


그림 3. 초음파 음향특성 측정 시스템

여기서 E는 초음파 센서의 수신 출력 단에서 발생하는 전압을, P는 수신센서에 입력되는 음압의 크기를 의미한다.

초음파 센서의 지향특성의 측정법은 회전이 가능한 턴테이블 위에 피측정센서를 올려놓고 초음파 센서의 각도를 변화 하면서 음압의 감도를 측정하여 각도가 0° 일 때의 값을 기준으로 각도에 따라 상대값을 도출하는 방법으로 측정하며 이는 초음파 센서의 빔 지향성의 예리한 정도를 간단히 표현할 수 있는 방법이다. 또한 일반적으로 지향각 크기의 기준은 음압감도 레벨이 각도가 0° 일 때에 비하여 -3dB 또는 -6dB (약50%) 감쇄할 때의 각도를

일컬으며 특히 -6dB 감쇄할 때까지의 각도를 반각각 이라고 부르며 $\theta^{1/2}$ 로 표시한다.

초음파 센서의 제반 특성(송신 음압, 수신감도, 지향성)의 측정은 기본적으로 초음파 센서를 주변 소음으로부터 차단한 무향 챔버 내에서 측정되어야 한다. 그림 3.은 일반적인 초음파 음향 특성 측정 시스템의 구성도이다.

초음파 센서의 수신감도 측정은 송신감도의 측정법과 거의 동일하나 무향챔버 내의 초음파 수신감도 측정용 지그에 피측정 센서를 콘덴서 마이크로폰과 나란히 놓고 초음파 송신기에서 발생한 초음파 신호를 수신하여 그 측정 값을 콘덴서 마이크로폰의 감도

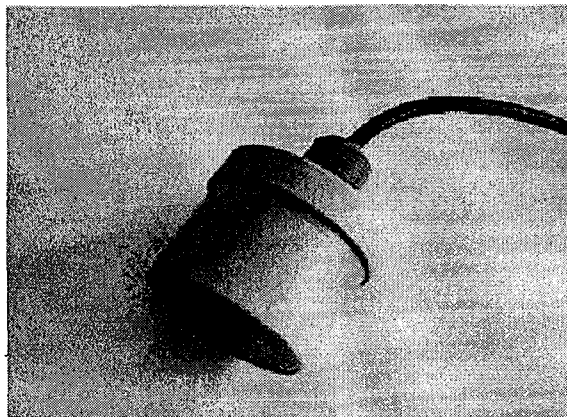


그림 4. 레벨미터용 초음파 센서

와 비교하여 수신감도를 환산하는 방법을 주로 사용한다. 초음파 센서의 지향각 측정시 필요한 시스템의 구성은 송신음압 및 수신감도의 측정시와 동일하나 지향각을 측정 하고자 하는 센서를 회전 턴테이블위에 올려놓고 초음파 센서를 구동시키면서 테이블을 회전시켜 각도에 따라 측정된 감도를 각도가 0° 일 때 감도와 비교하여 초음파 빔의 지향성을 측정한다. 그림 4. 및 표 5.는 현재 자사에서 6[M]급으로 양산되고 있는 레벨용 초음파 센서의 사진 및 특성표이다.

4. 맺음말

초음파 센서에 관한 연구는 국내에서도 활발하게 진행되고 있으나 계장제어 부분에 적용되는 초음파 센서의 개발 연구는 미흡하여 전량 수입에 의존하고있는 실정이다. 따라서 본 글은 국내의 계장계측산업의 경기 활성화 및 초음파 응용기술의 발전을 위해서 초음파 레벨미터용 센서 등 각종의 계측기기용 초음파센서의 개발이 필요하다 판단되어 계장용 초음파 센서의 특성을 소개하였다.

표 5. 레벨미터용 초음파센서의 특성

항 목	Specifications
공칭주파수	50[KHz]
송신 감도	125[dB] re 1 μ Pa/V 이상
수신 감도	-162[dB] re 1V/ μ Pa 이상
Q(송신)	23
Q(수신)	17
공진임피던스	220[Ω] \pm 20%
지향각	12° (-3dB full angle)
정전용량 at 1KHz	1800pF \pm 15%
최대 구동 전압	1500 Vpp(2% Duty Cycle burst)
사용 온도 범위	-20 °C ~ 60°C
저장 온도 범위	-30°C ~ 80°C
표준 케이블	RG62 A/U 동축케이블 10[m]
표준 하우징 재료	PVC
무게	385g

참고문헌

1. 谷腰欣司, 超音波 とその 使い方, 日刊工業新聞社, 1994
2. yoshimitsu kikuchi, ultrasonic transducers, corona publi-

shing, tokyo, 1969

3. ニューケラスシリーズ編輯委員會, 壓電セラミックスの應用, 學獻社, 1989

< 송준태 이사 >