



초음파 센서 기술

남익현·김인수*
(아이에스텍(주))

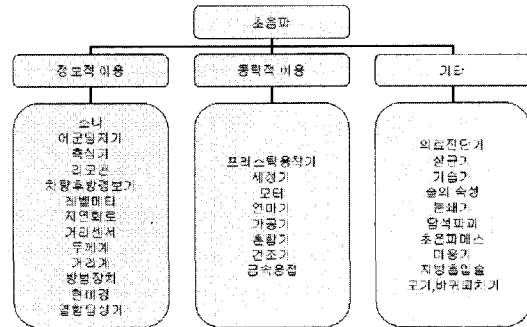
1. 머리말

오늘날 센서는 계측제어 뿐만 아니라 현장의 공업계측 및 자동화 생산 LINE 구축에 없어서는 안될 필수 불가결한 요소이다.

센서란 온도, 압력, 유속, 광 등과 같이 환경적 요인에 따라 변하는 물리량을 계측하고 이를 전기적인 양 “전하·전압” 등으로 변환하여 기초지식이 없이도 적용이 용이한 형태로 발전하고 있다.

변하는 물리량을 잘 측정하기 위해서는 그 변화에 잘 감응할 수 있는 센서 재료가 이용되어야 한다. 우선 측정 대상량을 전기량으로 변환시키는 재료와 변환기능이 필요하고, 변환 후의 신호처리, 보수의 용이성, 정밀도 등의 관계에서 모든 측정 대상물 전기적 출력(전류, 전압, 주파수 등)으로 가변시킬 수 있어야 한다.

이와 같은 여러 가지 여건을 고려하여 현재 센서의 재료로 개발되고 있는 것은 그 종류가 많고 다양하다. 지금까지 가장 많이 사용되어 온 것은 반도체 재료로 반도체 센



서 기술은 광센서 분야를 중심으로 큰 발전을 해 왔다. 한편 신 재료로 내열, 내식, 내마모성이 특징인 세라믹의 개발로 이 재료의 압전 원리를 이용한 초음파 센서들이 여러 분야에 활발히 이용되게 되었다. 이용 분야는 위의 표와 같이 다양하다.

본 글에서는 이와 같이 현장의 공정제어, 구조물의 결함탐지(비파괴 탐촉자 및 AE센서)에서 많이 활용되고 있는 초음파 센서의 기술에 대해 살펴보고자 한다.

2. 초음파 센서의 원리와 활용

2.1 초음파 센서의 원리

(1) 압전 세라믹

압전 세라믹(piezoelectric ceramics)은 지

* E-mail : iskim@istec21.com

금까지 가장 많이 사용되어 오고 있는 압전 소자이며, 그 자체로서는 사용할 수 없고 원하는 방향으로 전극을 입힌 후 강한 직류 전계를 가하여 극성을 갖게 하여야 한다.

압전 현상(piezoelectricity)은 결정의 비대칭성에 의해 생긴 permanent dipole을 매개로 한 에너지의 변환을 말하며, 어떠한 결정체가 압력을 받거나 혹은 부압이 작용하고

있을 때, 하전입자를 방출하는데 이를 “정압전 효과”라 하고, 역으로 전기장에서 제어된 변위를 일으키는 것을 역압전 효과라고 한다. 전하의 극성은 힘의 방향과 결정의 방향성에 의하여 결정된다.

가장 흔히 볼 수 있는 압전 소자인 PZT는 티탄산 납($PbTiO_3$)과 지르코산 납($PbZrO_3$)을 일정한 비율로 섞어서 여기에 사용 온도에 따라 불순물을 첨가시켜 고온에서 소결하여 만들어진다.

(2) 세라믹 음향 트랜스듀서

세라믹 음향 트랜스듀서(ceramic acoustic transducer)는 압전 효과를 갖는 세라믹을 이용하여 음향 에너지를 전기 에너지로 변환하거나 전기 에너지를 음향 에너지로 변환하는 기능을 갖는 것으로서 송신음압, 수신감도, 지향성 등의 중요 파라미터로 표현된다. 세라믹 음향 트랜스듀서를 전기적인 등가 회로로 표현 한 것이다.

그림 3의 C_p 는 세라믹과 전극에 의하여 형성되는 축전기의 용량이 되며 L_m 은 음향 트랜스듀서의 질량을 등가적으로 나타낸 것이며 C_c 는 음향 트랜스듀서를 구성하는 구성품들의 탄성을 의미한다.

R_i 는 기계적인 저항 성분으로 이것이 크면 손실이 크게되며 음향 트랜스듀서의 선

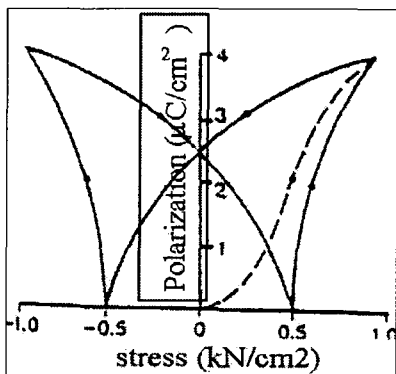
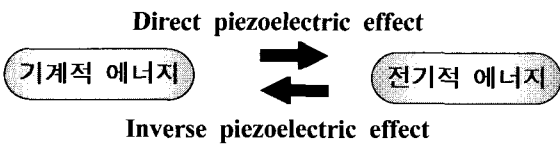


그림 1 기계적 응력에 의해 분극발생

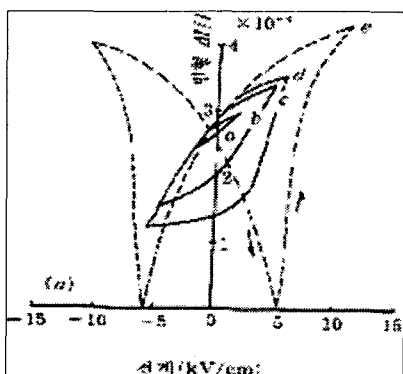


그림 2 인가되는 전기에 의해 변형 발생

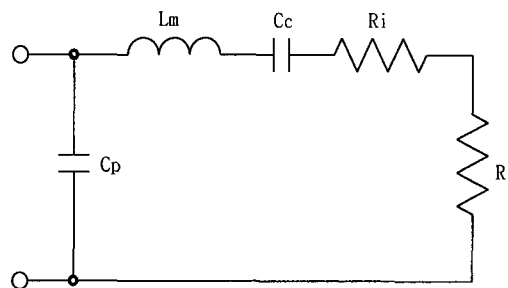


그림 3 세라믹 음향 트랜스듀서의 등가회로

택도도 저해된다. R은 음향의 방사 임피던스로 음의 방사 면적과 매질에 의하여 결정된다.

송신음압 (source level : SL): 전기적인 에너지를 음향 에너지로 변환하는 능력을 의미하며 식 (2~6)과 같다.

$$SL = 171.5 + 10 \log P + DI + \eta$$

$$[\text{db.uPa}/1 \text{ m}]$$

(P = 전기적인 입력 전력 (W), DI = 송신 지향지수, η = 효율) (1)

그림 3의 등가 회로에서 보면 대역통과 특성을 가지게 되므로 임피던스는 특정 주파수(공진 주파수)에서는 낮은 값을 가지게 되나 공진 주파수를 중심으로 하여 전,후의 주파수에서는 임피던스가 상승되는 특성을 갖는다.

그러므로 일정한 전압을 음향 트랜스듀서에 공급하게 되는 경우 주파수에 따라 공급되는 전력이 변화 하게되어 결과적으로 식 (1)에 의하여 주파수에 따라 송신음압이 변화 하게되며, 송신 지향지수(DI)와 효율(η)도 트랜스듀서의 구조와 제조 방법에 따라 다르게 된다.

따라서 결국 송신음압은 음향 트랜스듀서마다 다르게 되어 사용에 있어서는 음향 트랜스듀서의 제조 회사에서 제공하는 데이터에 의존하게 된다.

음향 트랜스듀서의 송신 음압을 나타내는 단위로는 1 V의 인가 전압에 대하여 송신 음압을 나타내는 [uPa/V]의 단위와 1 A의 전류에 대하여 송신 음압을 나타내는 [uPa/A]의 단위에 의하여 동시에 표현된다.

수신감도: 음향 에너지를 전압으로 변환

하는 능력을 의미하는 것으로서 이것은 송신 음압이 결정되는 것과 같이 형상 및 크기 등에 따라서 그 값이 결정되는 것으로 음향 트랜스듀서의 제조 회사에서 제공하는 데이터에 의존하게 된다. 사용하는 단위는 1 uPa의 음압에 대하여 얼마의 전압으로 변환되는가를 나타내는 [dB.V/upa]를 사용한다.

지향성: 음향 트랜스듀서는 형상과 크기 및 주파수에 따라 전 방향 또는 일정 방향으로만 음파를 보내거나 받는 특성을 나타내게 되는데 이것을 지향성이라고 한다.

지향성을 나타내는 크기는 전방향으로 음파를 방사할 때에 대하여 제한된 방향으로만 음파를 방사하는 경우의 크기를 비율로 나타낸다.

$$DI = 10 \log \frac{I_d}{I_0} [\text{dB}]$$

(I_d : 지향성 음파의 강도, I₀ : 전방향 음파의 강도)

일정 방향으로만 음파를 방사하는 경우는 전 방향에 비하여 크기가 크게 되는데 이것을 지향계수(directivity index : DI)라 한다. 방사 각도에 따른 지향계수는 다음의 수식으로 표현된다.

$$DI = 10 \log \frac{4\pi}{2\pi \int b(\theta) \cos(\theta) d\theta}$$

$$= 10 \log \frac{4\pi}{\theta} [\text{dB}]$$

이때 θ는 방위각을 나타낸다.

(3) SONAR 방정식

음향 트랜스듀서의 경우도 적용하는 환경에 따라 공기 중 초음파 센서와 수중 초음

파 센서로 구분할 수 있으며 이들의 성능을 검증하기 위한 수단으로 전술한 송신 음압, 수신 감도 및 지향성을 검증하여야 한다. 수중 초음파 센서는 이외에도 아래의 SONAR (sound navigation and ranging) 방정식에 근거한 성능 검증이 필요하다.

해당 SONAR가 얼마만큼의 탐지 확률을 가질 수 있고 탐지거리가 얼마나 되는가를 계산하는 가장 기본적인 이론은 SONAR 방정식에 의하여 표현된다.

이와 같은 SONAR 방정식은 기능에 따라 능동 SONAR 방정식과 수동 SONAR 방정식으로 되는데 거리를 측정하는 것은 음파를 방사하고 물체에 반사되는 음파를 탐지하는 것으로서 능동 SONAR의 구성을 갖게되므로 여기에서는 능동 SONAR 방정식을 고려하기로 한다. 기본적으로 SONAR 방정식이란 시스템이 요구하는 신호대 잡음비를 구하는 것으로서 다음과 같이 나타낸다.

$$SL - 2TL + TS - (NL - DI) + DT = 0 \quad (4)$$

이때 SL은 음원 준위, NL은 잡음준위, TS는 표적강도, TL은 전송손실, DI는 지향지수, DT는 검출한계를 의미한다.

식 (4)의 의미로는 반사 신호의 크기가 전송손실과 배경소음 크기에 검출한계를 합한 것과 동일한 값이 되도록 송신 음압을 결정 해야하며, 음원준위는 송신되는 음압의 크기를 나타내는 것으로서 음향 트랜스듀서에 인가되는 전력을 증가시킴으로서 크게 할 수 있으나 음향 트랜스듀서의 허용 전력에 의하여 제한된다.

잡음준위는 잡음의 크기를 의미하며 잡음

은 크게 음향적인 것과 신호를 처리하는 회로의 전기적인 잡음으로 구분할 수 있으며 다시 음향적인 잡음은 주변 환경에 의한 주변잡음(back ground noise)과 송신되는 음파가 표적외의 물체에 반사되거나 산란에 의한 영향으로 발생하는 반사잡음(reverbration noise)으로 구분된다. 여기에서 반사잡음은 송신 음압이 증가되면 같이 증가되는 성질이 있으므로 반사잡음에 의한 신호대 잡음비(S/N)는 송신 음압의 증가로는 개선할 수 없으며, 단지 반사소음의 감소는 지향성을 높임으로서 가능하다. 만일 표적이외는 반사되는 물체가 없는 큰 공간이거나 고 지향 특성으로 표적이외의 반사파가 없는 경우는 (거리 측정기로 사용시의 일반 조건)주변소음만을 고려하면 되고 주변소음은 실제의 사용 환경에서 측정하게 된다.

표적강도는 음파가 표적으로부터 반사되는 양을 표현하는 것으로서 표적에 입사되는 음압과 반사되는 음압의 비를 데시벨(dB)로 환산하여 표시하는데 반사 물체를 구로 가정하면 반사되는 음압은 구의 중심에 가상의 음원을 가정하고 이 음원으로부터 방사된 것으로 생각할 수 있다. 바로 이 가상의 음원이 갖는 음원준위를 표적에서 반사되는 음원으로 정의하게 되므로 입사되는 음원 준위보다 크게 표현될 수 있다.

식 (1~10)은 구의 경우에 표적강도를 계산하는 수식이다.

$$TS = 10 \log \frac{I_r}{I_i} \quad r=1 = 10 \log \frac{\pi^2 T^2}{\lambda^4} \left(\frac{5}{2}\right)^2 \\ = 10 \log \left[(1,082) \frac{a^6}{\lambda^4} \right] \text{ [dB]} \quad (5)$$

(T : 구의 체적, a : 구의 반지름, λ : 파장)

SONAR 방정식을 이용하여 시스템의 기본적인 설계가 이루어진다.

2.2 초음파 센서의 활용

초음파(ultrasound 또는 ultrasonic)란 음향 진동의 일종으로서 주파수가 높은 음파를 말한다. 음파란 공기, 수중, 및 고체 속을 전파하는 기계적 진동인데, 그 중에서 주파수가 20 Hz~20 kHz 범위의 것은 인간이 귀로 들을 수 있기 때문에 가청음이라 부른다. 대개 초음파라고 하면 가청음보다 주파수가 높아서 인간이 귀로 직접 들을 수 없는 주파수를 말하는데 20 kHz 이상을 말한다.

초음파는 빛이나 전파와 같은 파동 에너지이지만 비교적 전파속도가 낮고, 음향 임피던스(밀도)차이가 있는 매질에서 쉽게 반사하는 특성 때문에 일반적으로 거리계, 진단 장치 등에 이용되고 있는 것으로 인지되어 있으나, 이러한 특성 이외에 초음파가 매질을 통과할 때 야기되는 신호의 감쇄나 위상변화, 시간차와 같은 특성을 이용하여 매질의 농도나 점도, 유량 등을 측정하는 측정기의 한 분야로 산업계에 응용되고 있으며, 신호처리 기술을 발달로 그 사례가 점점 확대되어 가고 있다. 또한, 초음파 센서는 철강, 조선, 중공업, 항공, 세라믹, 반도체산업에서 품질·공정관리에 널리 사용되고 원자력 및 화력발전소, 교량, 군사시설의 대형구조물 안전진단, 군사용 수중음파 탐지기, 상수도나 송유관의 유량측정기, 어군 탐지기도 사용되고 있다.

본 문헌에서는 위에서 언급한 초음파 센서의 활용 예 중 산업현장에서 주로 적용되고 있는 몇몇의 응용 예를 기술하고자 한다.

초음파 수위계(ultrasonic level meter)

기계식 레벨계에 비해 높은 정밀도와 유지 보수가 쉬운 장점을 가진 초음파 레벨계는 음파를 펄스 형태로 변조하여 방사하고 측정 물체에 반사되어 들어오는 것을 검출하여 음파가 방사된 시간으로부터 반사파의 검출까지의 시간을 측정하여 그 시간에 음속을 곱하여 거리를 계산함으로써 거리를 측정하는 원리이다.

이와 같은 관계는 다음의 수식으로 나타낸다.

$$R = \frac{T_d}{2} \times C \quad [\text{m}] \quad (6)$$

(T_d = 반사파의 경과시간(sec), C = 공기중의 음속)

이때 음속은 다음의 수식과 같이 구해진다.

$$C = 331.5 + 0.60714 \times T_c \quad (7)$$

(T_c : 온도 [°C])

위의 식을 보면 주위 온도에 따라 음속이 차이가 나므로, 온도 보정이 반드시 필요하다.

계측 가능 거리가 멀어질수록 낮은 주파수를 사용하며, 수십 kHz대역의 초음파 펄스 신호를 송신하여 반사체에 반사된 수신 신호와의 시간차를 이용하여 거리를 표시하게 된다.

음파가 진행하는 매질의 특성에 의하여 각기 다른 음향 임피던스가 존재하는데 음파가 반사하게 되는 것은 음파가 진행하는 매질과 반사되는 매질의 음향 임피던스의 차이에 의한 것으로서 한 매질에서 다른 매질로 입사될 때 각 매질의 음향 임피던스에 의하여 아래의 식 (3)과 같이 반사계수가

계산된다.

$$\gamma = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (8)$$

(Z_1 : 진행중인 매질의 음향임피던스,

Z_2 : 입사되는 매질의 음향임피던스)

여기에서 음향 임피던스는 식 (9)로 표현된다.

$$Z = \rho \times C \quad (9)$$

($\text{kg/m}^2 \cdot \text{S}$ 또는 $\text{g/cm}^2 \cdot \text{S} = \text{ubar/cm/s}$ 의 단위)

- * 공기의 음향임피던스 = 40.8, 물의 음향임피던스 = 1.44×10^5
- * 공기중에서 물로 음파가 입사하는 경우에 반사계수는 0.9994가 되어 99.94 % 반사된다.
- * 대부분의 물질은 물보다 음향 임피던스가 크다.

또한, 센서와 반사면 간의 각도에 따라 수신신호가 크게 영향을 받으므로, 설치 시 측정하고자 하는 대상체와 센서의 방사면 평행하도록 유의하여야 한다. 특히, 분체 등이 퇴적되는 공정에 적용하였을 경우, 수신신호를 충분히 수용하도록 퇴적물의 적층각도를 고려하여 센서를 설치하여야 한다. 또한, 주위 소음이 큰 경우 소음 속에 펄스신호와 같은 주파수 성분으로 인해 계측기기가 오동작할 수 있으며, 밀폐된 공간이나 탱크 내 압이 존재하는 경우는 초음파 펄스의 방사를 저해할 수 있으므로, 설치 시 이점을 유의하여 적용하여야 할 것이다.

특히, 그림 4에서와 같이 탱크나 저장고의 돌출부에 설치할 경우 사이드 빔에 의해 벽면에 반사되어 수신되어 적절한 레벨 값을

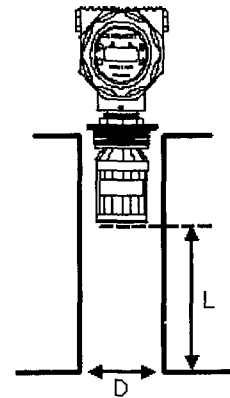


그림 4 초음파 레벨계 설치에



그림 5 초음파 레벨계의 적용사례

표시하지 못하는 경우가 있으므로, 현장 설치시 D값에 따라 L값을 충분히 고려하여 설치하여야 하며, 일반적으로 제조사들의 사양서에 나와 있는 빔각도는 메인 빔(main beam)의 최대 크기에 대해 -3 dB가 되는 빔의 각도를 의미하고 있으므로, 아래와 같이 사이드 로브(side lobe)의 영향을 받는 곳에는 동일하게 적용하여서는 안된다. 따라서, 초음파 레벨센서는 사이드 빔이나 주위

소음에 의한 영향을 적도록 설계되어야 하며, 용제 탱크나 질산, 황산과 같은 강산에 적용될 경우에는 하우징의 내화확성이 매우 중요하다. 그림 5에서는 초음파 레벨계를 이용한 여러 가지 적용 예를 보여주고 있다.

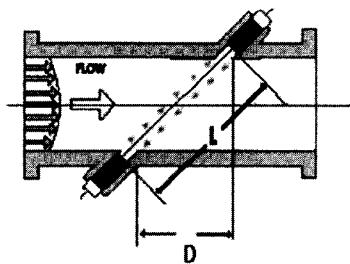
초음파와 가스 유량계(ultrasonic gas flowmeter)

초음파 유량계의 원리는 유체의 흐름의 방향에 따라 upstream과 downstream간 수신 신호의 전달시간차를 이용하여 관로내의 평균 유속을 측정하는 것으로, 관내의 온도와 압력에 대한 정보가 있으면 계산식에 의해 보정된 유량값을 산출한다.

그림 6을 보면 간단하게 초음파 유량계에서 유량을 측정하는 방식을 알 수 있다.

$$t_u = \frac{L}{C + \frac{X}{L}}, t_D = \frac{L}{C - \frac{X}{L}} \quad (10)$$

식 (10)에서 다음의 평균유속을 구하는 식을 도출해낼 수 있다.



$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{L}{C + V \cos \theta} \\ t_2 &= \frac{L}{C - V \cos \theta} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{L^2}{2d} \times \frac{(t_2 - t_1)}{t_1 \times t_2}$$

그림 6 기체유량계 측정원리

$$\therefore V = \frac{L}{2X^2} \cdot \frac{t_u - t_D}{t_u t_D} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \therefore Q &= V \cdot A = V \cdot \frac{\pi D^2}{4} \\ &= \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{L}{2X^2} \cdot \frac{t_u - t_D}{t_u t_D} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, t_u : Ustream에서 측정한 시간

t_D : Dwnstream에서 측정한 시간

V : 평균유속

위 식은 간단하게 나타낸 초음파 유량계에서 평균유속을 구하여 유량을 계산하는 식이지만 실제로는 상당히 복잡한 식이 사용된다. 그 이유는 실제 배관 내 유속분포가 일정하지 않기 때문이다. 일반적으로 배관 내에서는 유체의 흐름이 층류(배관의 중심에서 속도가 가장 빠르고, 관 벽에서 속도가 가장 느림)라고 가정을 하는데 실제로는 난류일 경우가 대부분이다. 관내 유동의 분포에 영향을 미치는 인자로는 Reynolds수(유체의 점성력에 대한 관성력의 비), 배관의 조도, 배관 입출구의 상태, 상류측의 유동현황, 유체의 온도 및 압력, 밀도 및 점도 등 다양하다. 위에 열거한 여러 요인들이 서로 상관되어 있으면서도 각각이 미치는 영향이 조금씩 다르다. 그러나 유속분포를 결정하는 가장 큰 요인은 Reynolds수라는 것이 일반적으로 알려져 있다.

초음파 유량계는 관로내의 압력손실이 없고, 유체의 흐름에 방해가 없으며, 측정범위(2500 A 이상)가 매우 넓은 장점을 가지고 있다. 신호처리 기술의 발달에 따라 분해능은 향상되고 있으며, 보다 정밀한 유량값을 알기 위해서 다회선(multipath)를 선정하고 각 회선별 가중치를 부가하여 평균유속을

측정하기도 한다. 초음파 유량계는 수신신호의 전달시간차를 이용하므로, 특히 직경이 큰 관에 대해 적용이 용이하며, 다른 방식의 유량계에 비해 유지 보수가 쉽다. 일반적으로 배관외벽에 설치하는 clamp-on형과 배관내에 삽입되는 spool형 초음파 유량계가 있는데, 삽입형(spool)의 경우에는 유체로 인해 센서면이 오염되어, 센서의 감도를 저하시킬 우려가 있으므로, 자기 세정기능을 갖추어야 한다. 또한 현장 적용시 관내 난류 유동이 심한 지점은 유속 측정이 부적합하므로, 밸브나 곡관, 확관 등의 배관내 난류 유동이 심한 곳에서는 반드시 매뉴얼에 제시된 대로 일정 거리이상 떨어진 곳에 설치하여야 한다.

그림 6에서는 초음파 유량계의 측정원리를 나타내고 있으며, 그림 7은 실제 현장에 설치되어 있는 기체유량계이다. 기체 유량계의 경우, 관내가 매우 고열(150 °C 이상)인 현장에 설치되는 경우가 많으므로, 센서는 고열에 견디며 특성이 변화하지 않도록 설계되어야 한다. 또한, 현장에서 관 외벽을 통해 직접 삽입하여야 하는 경우도 있으므로, 가스 누출이나 공정의 정지없이 설치할

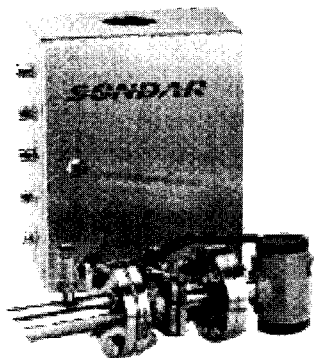


그림 7 기체유량계(실물사진)

수 있는 기술(hot tap/cold tap)도 매우 중요하다.

초음파 농도계(ultrasonic sludge density meter)

초음파 농도계는 일반적으로 송신 신호에 대한 수신신호의 감쇠정도를 이용하여 매질의 농도를 측정한다. 그림 8과 같이 매질 내에 입자가 존재하게 되면, 매질을 통과하는 초음파는 입자에 의해 산란되게 되어 수신신호의 크기는 감소하게 되므로, 수신신호의 감쇠를 이용하여 물 등에 섞여진 용해물 또는 부유물(suspended solid) 및 유기 액체의 농도를 산출한다.

이러한 초음파 농도계는 그림 9와 같이 배관에 설치되어 배관내의 상대농도를 측정하거나 현가형(tank mount)으로 설치되어

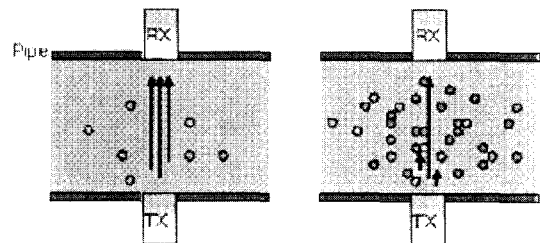


그림 8 초음파 농도계 측정원리

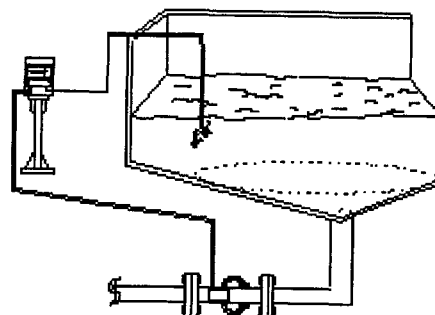


그림 9 초음파 농도계 설치 예

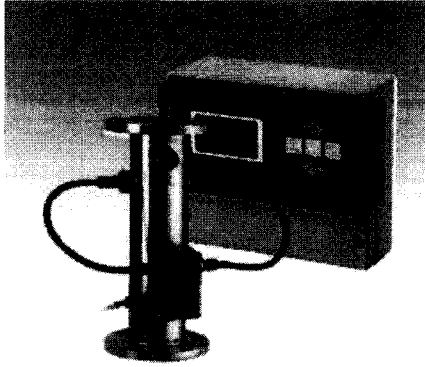


그림 10 초음파 농도계

일정 지점의 농도를 알려주는 스위치 역할을 하게 된다. 현재, 하수처리나 축산폐수처리(오니, 슬러지)시설 및 펄프, 제지산업에 주로 적용되고 있으며, 식품 및 화학 공정으로도 적용이 확대되고 있다. 유체의 흐름에 방해없이 공정과정에서 농도를 측정하는 장점이 있으며, 유지 보수가 용이하다.

운용시 유의해야 할 점은 매질내의 기포는 입자와 마찬가지로 초음파신호의 산란을 유도하므로, 관내에 기포가 많은 경우에는 높은 농도값을 산출하므로, 이러한 경우에는 적용할 수 없으며, 압축이나 자력 등을 이용하여 관내의 기포를 제거하는 공정을 추가하여 농도를 측정하기도 한다. 또한, 농도계용 초음파 센서는 비교적 높은 주파수대역(1 MHz 이상)을 사용하므로 온도에 민감하다. 따라서 가능한 온도에 의한 영향이 적도록 설계하여야 하며, 배관과 센서가 접촉하고 있으므로, 전기적으로 연결되지 않도록 접지를 분리시켜야 한다.

수중 청음기(SONAR)

SONAR는 sound navigation and ranging의 약어로 좁은 뜻으로는 수중청음기·음향

탐지기를 말한다. 수중청음기는 잠수함 탐지를 위해 제1차 세계대전 이래 개발되어, 특히 제2차 세계대전 중과 전후에 급속히 발달하였다. 가시광선 등의 전자파와 레이더파는 바다 속에는 전달되지 않으므로 수중에서 감쇄효과가 적은 초음파를 써서 표정한다. 바다 속에 전달되는 소리의 빠르기는 바다의 상황에 따라 다르나 약 1,500 m/s이며, 물체에 닿으면 반사하여 되돌아오는 성질이 있어 각종 소나는 이것을 이용한다.

SONAR에는 음향탐신기형과 같이 스스로 소리를 내어 물체를 표정하는 것과(active SONAR), 수중청음기형과 같이 음원으로부터의 소리를 측정하여 그것을 표정하는 것(passive SONAR)의 두 종류가 있다. 전자에는 음향탐신기·음향측탐기가 있는데, 음향탐신기는 초음파를 짧은 단속음으로서 발사하고 이것이 물체에 부딪쳐 반사하여 되돌아오는 데 걸리는 시간을 재어 물체까지의 거리를 측정한다. 또 송파기를 회전시켜 그 방향을 탐지한다. 실제로는 레이더의 PPI 스크opf 방식과 같으며, 브라운관 위에 거리, 주위에 방위를 눈금으로 새겨 주사선이 송파기의 회전과 함께 회전하도록 되어 있으며, 반향음이 되돌아오면 브라운관 위에 광점으로서 물체가 나타나 거리 및 방위를 탐지하게 된다. 음향측탐기·어군탐지기·잠수함 및 지뢰탐지용 소나·해저의 구조를 탐측하는 사이드스캔(side scan) 소나 등은 이와 같은 본체가 음파를 내는 소나의 일종이다.

SONAR는 지향성이 높은 청음기를 여러 개 조합하여 도달음의 시간차로부터 방위를 알 수 있다. 조건이 좋을 때는 이 종류의 소나는 160 km 앞의 선박을 탐지할 수 있다

고 하며, 선박의 종류·형태에 따라서 나타내는 소리가 달라 음향 탐신기형에 비하여 배의 종류까지도 식별이 가능하다. 이들은 주로 바다의 표면 가까이에서 사용되는데, 수온의 구조가 복잡한 변온층이 있어서 음파의 굴곡과 속도의 변화가 일어나 유효거리의 제한을 받게 된다. 일반적으로 여름보다 겨울이 유효거리가 길며, 열대해와 한대해로서는 열대해 쪽이 길다. 최근에는 함선에 장치되는 것 외에 비행기로부터 투하되는 잠수함 탐지용인 음파탐지기 부호에도 이용된다. 음향 탐신기형인 소나에서는 보통 매초 5천~5만 Hz인 초음파 펄스를 사용하고 있다.

초음파 진단장치

초음파 진단장치의 진단원리는 펄스에코를 이용하며 어군탐지기나 레이더와 동일한 원리를 사용하고 있다. 초음파를 발생시켜 원하는 방향으로 진행시킨 후 대상 물체에서 반사되어 나오는 파의 시간과 위치에 따른 강도변화로부터 화면을 형성하여 진단하는 장치이다.

또한 미세한 신호를 수신하여야 하므로 탐침(probe)에 고성능 압전재료를 이용하며 초음파의 발생방식과 신호처리방식에 따라 sector scanning transducer, linear array transducer, converse transducer, phased array transducer, annular array transducer로 나누어진다.

신호처리순서는 아래와 같다.

초음파 펄스 송신 → 인체내부의 각 부위에서 에너지를 반사, 산란, 흡수하면서 전파 → 반사 및 산란 성분을 어레이 형상으로 배열된 진동자로 수신 → 수신강도에 따른

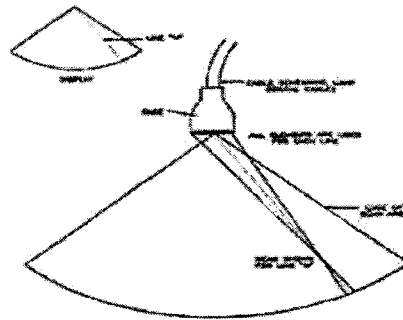


그림 11 초음파 진단 원리

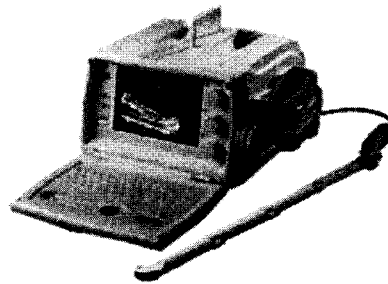


그림 12 초음파 진단장치

회도 변조 → 초음파 단층화상 형성

초음파모터(ultrasonic motor)

정밀공학의 발달에 따라 micron order의 변위량을 제어하는 기술이 필요로 하게 되었다. 하지만 기존의 모터는 관성의 영향으로 정밀제어에 문제점이 발생되었다.

압전체의 공진주파수의 전압이 압전체에 입력되면 압전체의 표면이 mm 크기의 타원 운동을 하게 되고 이동자가 미끄러지면서 구동하게 된다. 실제 이동자의 이동속도는 수cm - 수십cm/sec 안팎이다.

초음파 모터는 기존의 모터구동방식에 비해 미세구동이 가능하며 홀딩 토크가 커서 순간적으로 정지하며 (반응시간 <10 ms) 전체 크기가 소형화된다는 장점이 있지만,

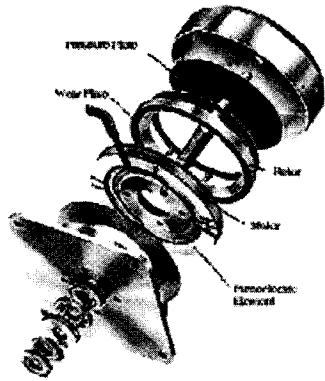


그림 13 초음파 모터

마찰력에 의하여 움직이므로 인가전압을 증가시키더라도 일정 속도 이상으로의 고속이동이 불가능하다는 단점이 있다.

오늘날 초음파 모터는 카메라 셔터, 자동 초점조절, 잉크젯 프린터헤드 등의 응용되어 정밀제어 부품으로 사용되고 있다.

온라인 초음파 점도계(ultrasonic viscosity meter)

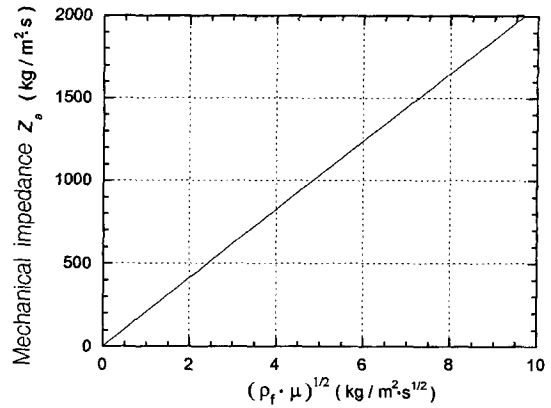


그림 14 점성저항의 역학적 임피던스

초음파 점도계의 측정원리를 살펴보면, 봉(rod)이나 축(shaft)이 유체에 잠겨 있을 때, 그 진동특성이 인접 유체에 의해 영향을 받게 되는데, 특히 비틀림 진동은 인접 유체가 점성을 갖고 있으면, 고체의 운동이 인접 점성유체에 전단응력을 가하고 유체로부터 점성 저항을 받아 고유진동특성이 변화하게 된다. 즉, 점성유체에 잠겨있지 않을 때에 비해 고유진동수가 감소하고 감쇠가 증가하

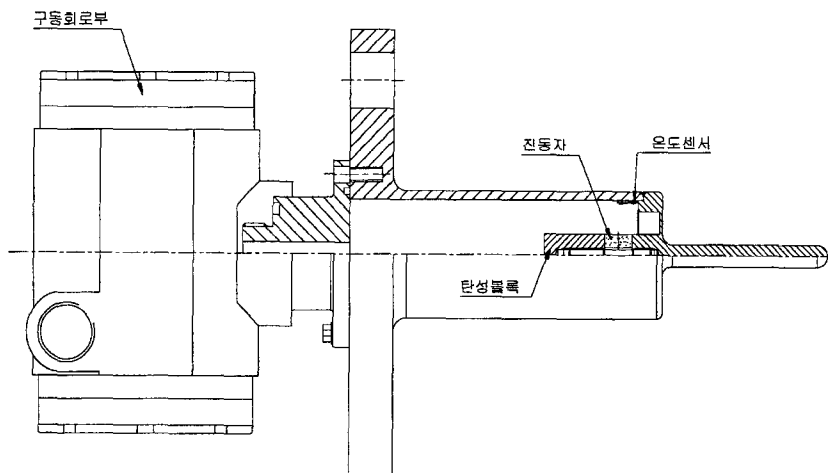


그림 15 온라인 초음파 트랜스듀서

므로, 인접 유체의 진동속도에 따른 비틀림 진동자의 역학적 임피던스를 측정하여 유체의 점도를 측정할 수 있다. 수지 종합공정, 도료, 접착제, 잉크, 유기재, 에폭시 수지, 실리콘 오일, 고분자 모노머, 등유 등의 화학산업의 제조공정 및 유제품, 당, 유지, 전분, 커피, 벌꿀, 초콜릿 등의 식품산업, 형광체 슬러리, 포토레지스터 등의 전자산업, 선박용 등유, 오일 등의 기계산업에 이르기까지 그 적용 범위가 매우 넓으나, 현재 온라인 초음파 점도계는 전량 외국제품을 수입하여 설치하고 있어 설치비용이 상당하므로, 국내 개발이 매우 시급한 현실이다.

그림 14에서는 점성저항의 역학적 임피던스를 나타내고 있으며, 인접 유체의 밀도와 점도의 제곱근에 비례함을 알 수 있다. 그리고, 그림 15는 온라인 초음파 점도계의 내부 구조를 보여주며, 그림 16은 개발된 온라인 점도계의 실물사진이다.

이 기술을 이용하여 파이프의 진동 관찰에 의한 상태 진단 및 결함 탐지기술 개발

에 연계하거나 회전 운동하는 액추에이터 개발에 적용할 수도 있을 것이다.

3. 맺음 말

초음파 센서 기술은 고전적인 기술임에도 불구하고 현대에서 새로운 적용환경 및 분야를 찾아 개발이 가속화되고 있으며 이를 대체하는 측정기술도 등장하고 있으나 기존 시장의 적용영역 광역화로 이를 단기간에 대체할 수는 없을 것으로 생각된다. 또한 초음파 센서에서 핵심요소인 압전소자의 온도에 따른 한계를 극복하고자 새로운 능동소자인 Lithium Niobate 등의 소자가 개발되었고 센서의 감도 및 효율성을 극대화 하고자 PMN-PT 등의 신소재를 개발하고 있으며 양산에 따른 경제적 부담 및 센서 제보 및 검사에 투입되는 시간적 손실을 줄이고자 마이크로 머시닝을 활용한 센서도 해외의 연구소 및 업체들이 개발하여 현장 적용시험을 하는 것으로 알고 있다.

그러나 국내의 경우, 이와 같이 활발히 연구를 추진하고 있지 못한 실정이며 몇몇 대학교 연구실과 한, 두개 업체에서 이를 전담하고 있다. 센서를 설계하고 구현하는 기술을 무시하더라도 기초소자(에폭시, 성형수지, 금속재료) 및 관련 기술의 부족 또한 해외와의 경쟁에 제한점을 던지고 있으므로 국가적인 차원에서의 기초소자 및 개발자에 관한 대폭적인 지원만이 경쟁력 확보의 관건이라고 생각된다.

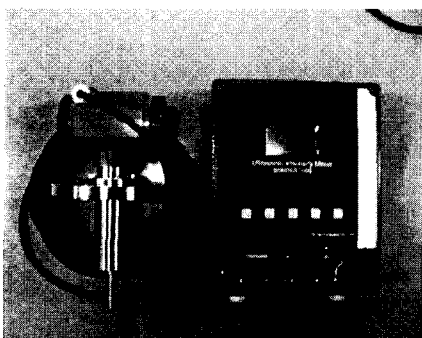


그림 16 온라인 초음파 점도계