空調·冷凍技術者를 위한 센서應用計測(6)

Applied Sensor Measurements for Air-Conditioning and Refrigerating Engineers (6)

韓 應 敎*
Eung Kyo Han

7-2 (壓力센서 계속)

(9) 부루돈(Bourdon)管式 센서

① 부르돈 管式 壓力센서의 原理

부르돈 管은 일반적인 指示用 壓力計로 가장 많이 사용되고 있다. 斷面이 그림 7-25의 形狀을 한 彈性 金屬 파이프(스테인레스, 링 靑銅 등), 그림 7-26의 모양으로 加工한 것의 內部에 壓力 가하고, 壓力에 따라 變形된 半徑이 큰 方向으로 先端이 移動한다. 이 移動量만큼 변동된 힘은 壓力에 比例한다. 이러한 움직임을 利用한 것이 부르돈管式 壓力센서이다. 指示하는 計器로는 C形이 많지만 制御用의 부르돈 管은 헬리칼形, 스파이럴形을 사용하여 精度를 높이며 檢出힘도 크게 되고 感度를 向上시키기 위하여 測定 레인지(range)도 될 수 있는 한 작게 하고 있다.

② 부르돈管式 壓力센서의 特徵

ⓐ 小形이고 구조가 간단

ⓑ 임의의 모양에 따라 種類를 選擇하면, 높은 壓力用의 것도 얻게 된다.

ⓒ 강성이 크기 때문에 微壓用으로는 적합하지 않다.

ⓓ 過壓에서는 永久變形이 되기 쉽다.

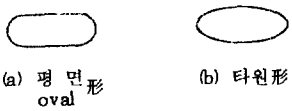


그림 7-25 부르돈管의 斷面

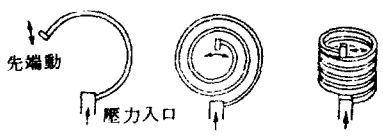


그림 7-26 부르돈管의 各種 形狀

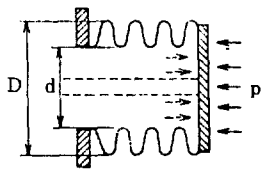


그림 7-27 벨로우즈

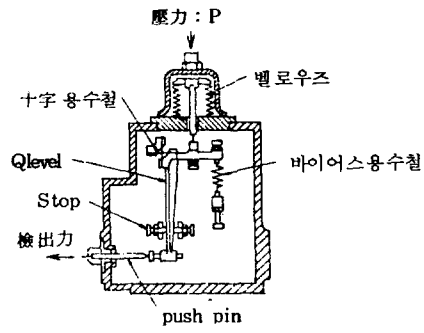


그림 7-28 벨로우즈와 pivot를 組合시킨 센서

* 正會員, 漢陽大學校 工科大學 精密機械工學科

ⓔ 差壓測定에는 適合하지 않다.

(10) 벨로우즈(bellows)式 센서

① 벨로우즈式 壓力센서의 原理

그림 7-27과 같은 波形의 壓力센서를 벨로우즈라고 稱하며, 스테인레스, 링靑銅, 베릴리움 靑銅과 같은 彈性金屬으로 만들 수 있다.

外徑 D, 內徑 d의 벨로우즈에, 壓力 또는 差壓 P가 가해질 때 발생되는 힘 f는 다음의 式으로 표현된다.

$$f=\frac{\pi}{4}\left(\frac{b+d}{2}\right)^2 P$$

그림 7-28은 벨로우즈와 피보트(pivot)을 組合한 것으로, 檢出된 壓力을 레인지(range)比로 적당한 크기로 變換할 수 있는것이 있다.

② 벨로우즈式 壓力센서의 特徵

ⓐ 中壓에서 中低壓用까지 사용되며 耐壓이 작고, 高壓에 適合하지 않다.

ⓑ 檢出하는 힘이 크다.

ⓒ 過壓에 대해 약하고, 變形되어 有效面積이 줄어든다.

(11) 다이어후램(diaphram)式 센서

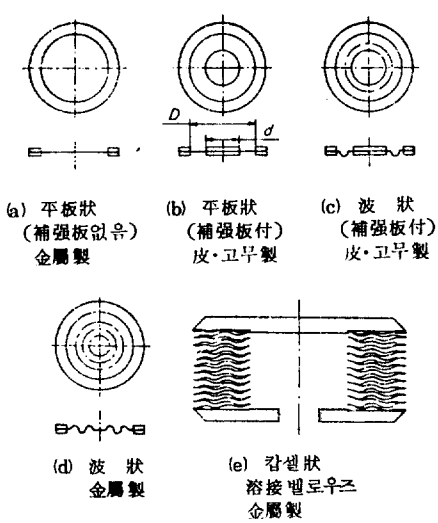


그림 7-29 다이어후램의 各種 形狀

① 다이어후램의 種類

다이어후램은 隔膜이라고도 부르고 있다. 여기에는 금속의 薄板, 合成고무板 플라스틱膜 등이 사용되고 있다.

膜의 形狀에는 그림 7-29에 표시한 種類가 있다. 다이어후램의 剛性(용수철 정수)을 작게 하고, 스트로크(stroke)를 크게 한 경우에는 고무 혹은 그림(e)의 溶接 벨로우즈를 이용한다. 다이어후램의 剛性을 利用하여, 스트로크(stroke)를 작게 한 경우에는 금속 다이어후램을 이용한다.

② 다이어후램式 差壓·壓力센서의 原理

補强板에 다이어후램의 中心이 周圍와 同一平面上에 있을 때의 有效面積 A는 벨로우즈와 같고, 近似的으로 外徑 D, 內徑 d의 平均을 구하면, 壓力 P를 받을 때의 힘 f는 다음式으로 된다.

$$f=PA=P\,\frac{\pi}{4}\left(\frac{D+d}{2}\right)^2$$

有效面積은, 다이어후램의 中立位置에서 變化한다. 이 式에서 알 수 있듯이 直徑을 크게 하면 微差壓에 대하여도 큰 힘을 얻을 수 있기 때문에 爐內壓力의 檢出 등이 용이하다.

그림 7-30에 가죽製 다이어후램의 檢出部의 例를 나타낸다.

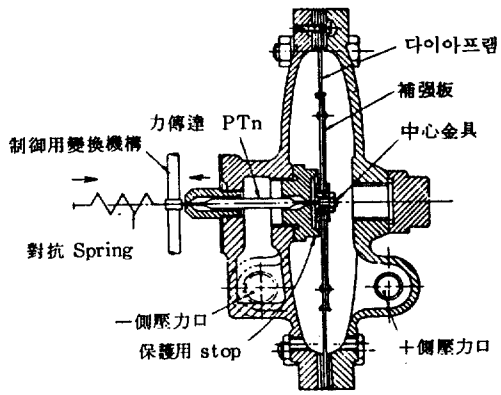


그림 7-30 다이어후램에 의한 差壓 센서

일반적 금속판의 平板狀과 波狀에서는 큰 剛性이 얻어지며 더우기 보호용 stop을 크게 하는 경우에는 큰 壓力에도 使用할 수 있다. 이때 有效面積 A_w의 近似式으로는 다음의 式이 사용되고 있다.

$$A_w=\frac{\pi}{8}(D^2+d^2)$$

③ 다이어후램式 差壓 壓力센서의 特徵

ⓐ 低壓·微壓用으로 適合하다. 方法에 따

라서는 高壓用도 可能하다.

ⓑ 過壓防止 구조를 취하기 쉽다.

ⓒ 材質의 選定이 比較的 용이하다. 固形物 混入 流體에 比較的 適用이 쉽다.

ⓓ 超高壓에서는 適用하지 못한다. 變位量은 比較的 작다.

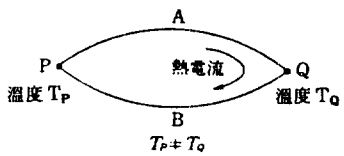
7-3 溫度 센서

(1) 溫度센서

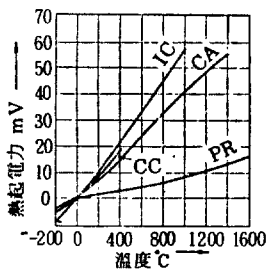
① 熱電式센서(熱電對)

그림 7-31(a)와 같이 A·B의 다른 금속으로 閉回路를 이루어 接續點 P·Q의 溫度 T_P, T_Q가 다르면 電流(熱電流)가 흐르는 것을 Seeback效果라 한다. 이것을 溫度測定에 사용하는 것을 熱電對라 부른다. 通常 A·B 금속에서는 使用溫度範圍에 따라 크로멜－알멜, 동－콘스탄탄, 백금－백금 Rh 등이 쓰이며 이때의 熱超電力特性은 그림 7-31 (b)와 같이 된다.

白金－白金로듐, 크로멜－알멜, 鐵－콘스탄탄, 구리－콘스탄탄이다.



(a) seebeck 효과



(b) 熱電對의 特性

그림 7-31 Thermo-couple

표 7-1 熱電對의 種類와 性能

材　　料	記　號	溫 度 範 圍	感度〔μV/deg〕	備　　考
白金－白金 Rh	PR	0～1,450	5(0℃)	低溫에는 不適合
(Pt-$Pt_{90}Rh_{10}$)			12(1,500℃)	
			0(－138℃)	
크로멜－알멜	CA	－200～1,200	40～50	
($Ni_{90}Cr_{10}$-$Ni_{90}Al+\alpha$)				
鐵－constantan	IC	－200～800	45(0℃)	
(Fe-$Cu_{57}Ni_{43}$)			57(750℃)	
구리－constantan	CC	－200～350	15(－200℃)	感度는 直線的으로 增加
(Cu-$Cu_{57}Ni_{43}$)			60(350℃)	

표 7-1은 이것을 표시했다. 특히 高溫度의 測定用으로 사용한 것은 Ir－Ir_{60}(2,000℃ 까지), W－Ir(2,100℃까지) 등이 있다. 그림 7-31(b)는 熱電對와 溫度와 熱起電力의 관계를 말해 준다. 이 특성은 기준이 되는 接點(冷接點)을 0℃로 한 것이다.

② 서어미스터(thermistor)

서어미스터는 Ni, Co, Mn, Fe, Cu 등의 金屬酸化物의 粉末을 混合壓縮 燒結시킨 半導體素子이다. 이 素子는 陰(－)의 큰 溫度係數를 가지고, 비교적 低溫度(－100～300℃)의 測

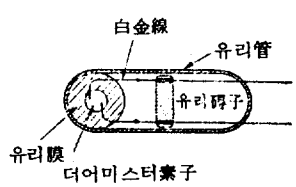
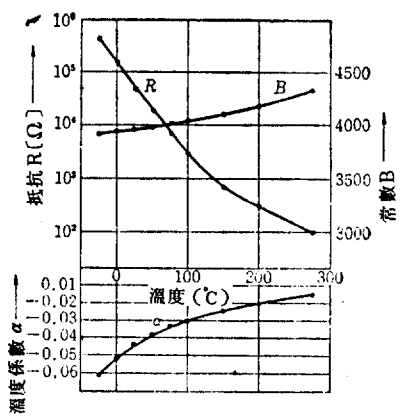


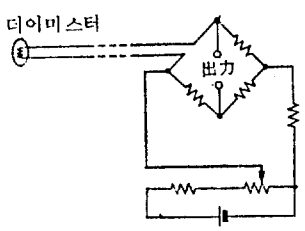
그림 7-32 더어미스터

溫體로서 현재 가장 感度가 높고 安定性이 있는 점에서 널리 사용되고 있다. 서어미스터의 구조는 극히 간단하며 그림 7-32와 같이 金屬酸化物에 白金線과 같은 導線을 붙인 것이다.

사용목적에 따라 여러가지 種類의 形狀이 있다. 서어미스터素子는 0.3~0.5 mmϕ 정도인 극히 작은 球形體로 되어 있다. 測溫用 서어미스터는 熱을 有效하게 素子에 傳達할 必要性에서 保護用 유리膜으로 되어 있어 보통 사용되고 있는 서어미스터의 外形은 지름 2 mmϕ, 길이는 수 mm 정도의 크기이다. 실용적인 것은 더욱 이것을 보호하기 위하여 金屬保護管을 덮어 씌워서 기계적 강도를 견고하게 하고 있다.



(a) 서어미스터의 特性



(b) 서어미스터에 의한 溫度測定

그림 7-33 Thermistor

溫度變化에 대한 서어미스터의 특성을 그림 7-33(a)에 표시하였다. 이 그림에서 抵抗은 작은 溫度變化에 대해서도 크게 變化함을 알 수 있다. 이와 같이 高感度와 形狀이 작고 熱容量이 작기 때문에 速應答性이 있어 溫度計測에는 없어서는 안될 素子라 하겠다. 測定回路로서는 역시 브리지를 사용하는 것이 편리하다. 그림 7-33(b)는 이 回路이며 서어미스터는 自己加熱로 특성에 變化가 생기므로 抵抗測定用 電流는 될수록 작게 하여 自己加熱의 影響이 없도록 할 必要가 있다. 보통 서어미스터에서 소비되는 電力을 60μW 정도로 설계한 것이 좋다. 장점으로서는 특히 서어미스터가 소형이므로 微小部分의 溫度測定이 可能하고 높은 感度를 낼 수가 있어 0.001℃ 정도의 溫度變化測定도 可能하다.

③ 赤外線溫度센서

공간에서는 溫度를 가진 물체로부터 방사된 赤外線(波長 0.72~103μm)이 항상 방사되고 있다. 물체에서 방사되는 전체에너지 W는 스테판-볼쯔만식에서 물체의 絶對溫度의 4승에 比例한다. 赤外線溫度 센서는 이방사 에너지를 검출하여 溫度로 變化하는 것이다.

7-4 流量센서

(1) 電磁式 센서

① 電磁式 流量센서의 原理

패러디(farady)의 電磁誘導에 따라, 그림 7-34의 左上과 같이, 磁束 B 가운데에 파이프 內徑 d에 平均流速 v로서 電導性의 물체가 직교하여 운동하고 있을 때는, 垂直方向으로 다음式의 電壓 E를 발생한다.

$$E = Bdv$$

이 原理를 이용해 미소한 出力電壓 E를, 磁場 B를 만드는 여자코일에 흐르는 電流로 나뉘어진 값으로 流速 v를 구한다. 그림 7-34에 있는 發信器에서의 出力 e_s는 比較電壓線의 信號 e_r(여자코일 電流에 比例) 및 出力信號에 對應하는 F를 곱한 값 e_x와 增幅器 A_3의 入口에서 비교되어 差가 제로(0)로 되도록 增幅器가 동작하기 때문에, F는 e_s/e_r에 比例한 값이 된다.

測定電壓은 電氣分解의 影響을 없애기 위해 交流를 이용한다. 最近은, 低周波의 交流를 이용해 直流로 測定하는 것과 같은 안정한 狀態로 檢出하는 것도 행한다.

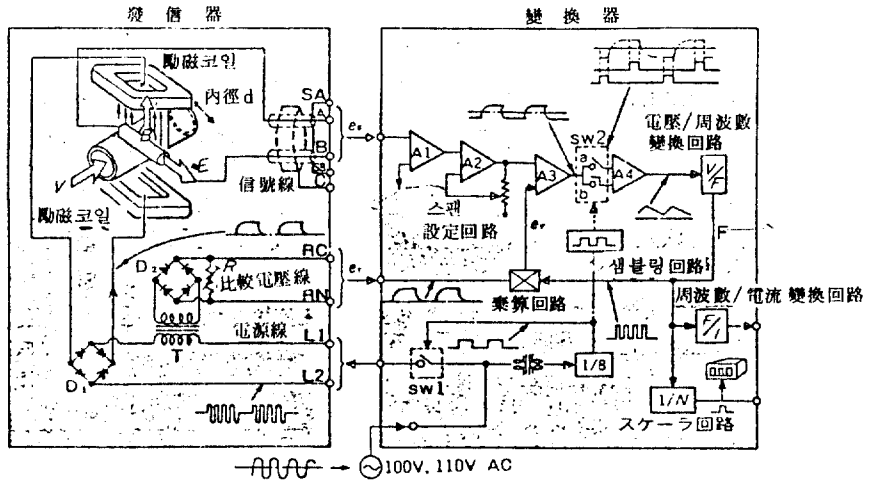


그림 7-34 電磁流量센서 블록다이어그램의 예
(北辰電機製作所 提供)

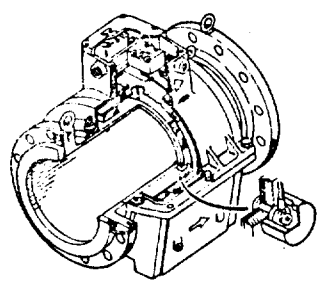


그림 7-35 流量計 內部構造

② 電磁式 流量센서의 구조

ⓐ 壓損이 없고 異物이 混入한 液體에도 檢出된다.

ⓑ 平均流速만으로 관계된 값 즉, 體積流量이 얻어지기 때문에 密度, 壓力, 溫度, 流體 등의 影響을 받지 않는다.

ⓒ 라이닝에 의해 耐食, 耐摩耗, 耐壓力의 對策이 쉽다.

ⓓ 導電性이 같은 液體에 한정된다. 水溶液과 導電性 化學物質에 適用한다.

ⓔ 管內는 滿液에서 泡 등을 包含하지 않는 것.

ⓕ 導電性이 같기 위해서는, 脈動을 피하고, 直管 와 整流裝置에 의한 均一化가 必要한 것이 있다.

ⓖ 미약한 信號電壓을 다루기 때문에, 靜電誘導, 電磁誘導 등의 노이즈를 방지하는 對策이 必要하다. 이 때문에 중간에 周波數變換을 하는 경우에는 그대로 디지탈 檢出을 할 수 있다.

(2) 超音波式 센서

超音波式 流量센서에는 順方向과 逆方向의 時間差에 의한 것, 싱어라운드法(sing around method), 도플러法의 3가지 방식이 있다.

① 順方向과 逆方向의 時間差에 의한 方法

그림 7-36과 같이 2組의 發信器, 受信器가 있고, 音速을 C, 流體速度를 v, 간극을 l이라 하면, 順方向의 도달시간 t_1과 逆方向의 到着時間 t_2의 差 Δt는 다음의 式이 된다.

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2lv}{C^2 - v^2} \fallingdotseq \frac{2lv}{C^2}$$

즉, 到着所要時間의 差는 流速에 比例하기 때문에 Δt를 알면 流速이 檢出된다.

② 싱어라운드(sing-around)法

위의 方法에서 受信器가 受信하면 동시에 增幅되고, 發信器에 돌아와서 發信시키면, 그 周波數 f_1, f_2는 時間 t_1, t_2의 역수로 되고, 그 差 Δt는 다음의 式이 된다.

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{C+v}{l} - \frac{C-v}{l} = \frac{2v}{l}$$

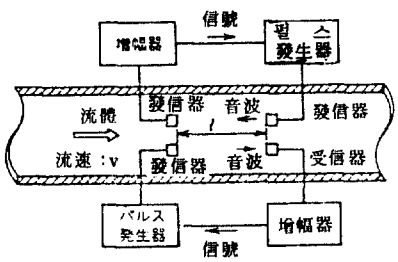


그림 7-36 超音波式의 原理(싱어라운드)

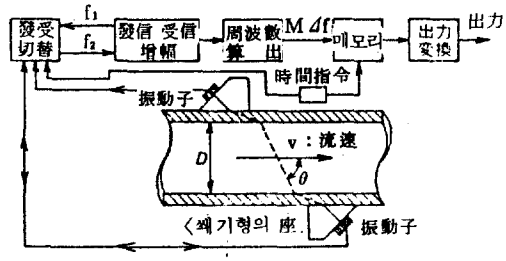


그림 7-37 超音波式 流量센서의 配置 例

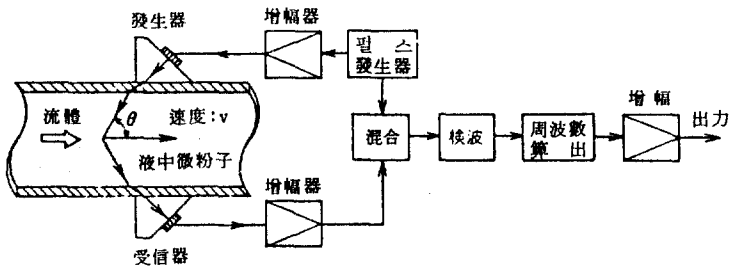


그림 7-38 도플러法에 의한 超音波式 流量센서의 例

즉, 音速에 관계된 Δf는 流速에 比例한다. 實際 裝置에서는 發信器와 受信器의 振動子는 공통으로서 교대로 사용하고, 그림 7-37 처럼 管의 밖에 설치하고, 環境이 좋은 場所에 附着하도록 한다.

③ 도플러法

그림 7-38에서 發信周波數 f_t의 波가 液體중에서 반사하여 受信周波數 f_r로 될 때, 그 周波數의 差 f_α는 다음 式으로 된다.

$$f_\alpha = f_r - f_t = \left(\frac{C + v\cos\theta}{C - v\cos\theta} - 1\right) \fallingdotseq \frac{2 f_t\, v\cos\theta}{C}$$

④ 超音波式 流量센서의 特徵

ⓐ 管의 밖에 설치하기 때문에 追加 設置가 되고, 壓損, 腐蝕, 耐壓, 溫度, 粘度의 문제가 생길 때 補修가 쉽다.

ⓑ 流體의 音波傳達條件(泡와 混入物)의 影響과, 流速分布의 影響을 받는다.

7-5 其他 變換素子(센서)

(1) 광 센서

半導體에 빛을 비추면 抵抗이 감소하고, 빛을 가리면 抵抗이 무한대로 되는 작용을 하는 效果(半導電效用)를 應用하는 것이다. 종래부터 대표적인 것으로 포토다이오드, 포토트란지스터 등이 있다. 最近에는 平面上의 明暗을 變換하는 이미지센서 및 레이저光을 쓴 裝置가 汎用되게 됐다.

① 포토트란지스터

일반적으로 포토 다이오드의 出力은 작게 增幅하여 쓰여지는 것이 보통이다. 포토트란지스터는 포토 다이오드를 NPN 트란지스터로 增幅한 것으로써 近似할 수 있다.

그림 7-39 (a)에 표시한 포토 트란지스터에 入射하는 光量과 그 때에 커렉터에서 에미터로 흐르는 光電流와의 관계를 그림 7-39 (b)에 나타냈다. 이 例에서 알 수 있듯이 커렉터·에미터 사이의 電壓 V_{CE} 및 入射光量이 큰만큼 光電流는 크다고 할 수 있는 특성을 갖고 있다.

② 이미지센서(포토 다이오드 배열)

一次元的(直線性) 혹은 二次元的(平面狀)으로 포토 다이오드를 병렬시킨 IC타입의 센서이다. 檢出이 非接觸, 高速, 高精度이며, 小形, 輕量이며 또 컴퓨터와의 接續이 용이한 것 등의 特徵이 있다.

배열중의 포토 다이오드 수는 비트수로 表

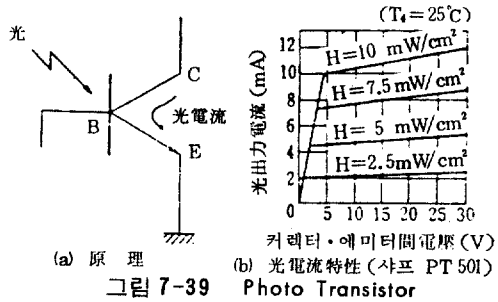


그림 7-39 Photo Transistor

現되며 一次元 센서에서는 수+수천비트, 二次元 센서에서는 수백×수백비트인 것이었다. 1개의 포토 다이오드의 크기는 10 μm 정도이다.

예를 들면 그림 7-40과 같은 카메라에서는 렌즈를 열어 포토 다이오드 배열에 이른 빛은 電荷의 量(電壓)으로 變換되어 크록에서의 신호(수 10 MHz)에 의해 순차 시프트 레지스

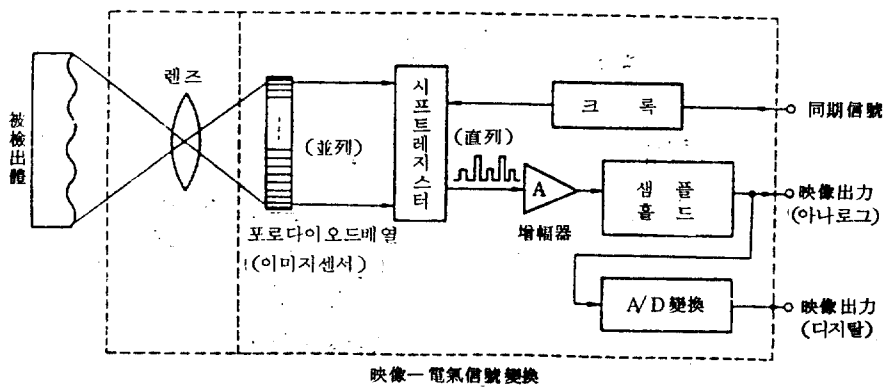


그림 7-40 Image Sensor를 使用한 Video Camera

터에 따라 傳送되고 外部處理를 위한 映像信號가 出力된다.

(2) 超音波센서

超音波는 빛 및 전파와 유사한 성질을 갖고 있다. 또 送信, 受信에서는 주로 압전 소자를 쓰고 있으므로 電氣變換이 용이하다. 이상과 같은 特徵을 이루어 變位, 두께, 流速, 의료물성 測定 등으로 應用된다.

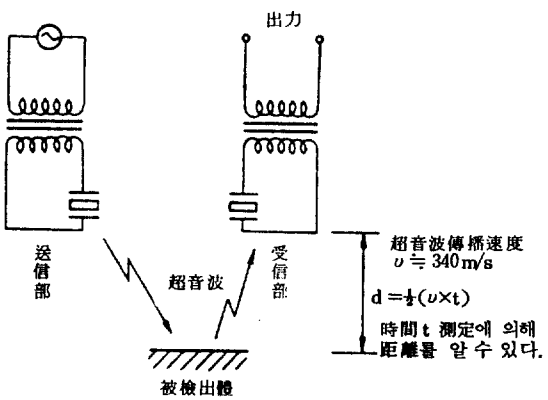


그림 7-41 超音波센서

센서의 구조로서는 1개의 振動素子에서 送受信하는 것을 1탐상법이라 한다. 또 그 탐상법은 送信用과 受信用으로 분리되어 音響的으로 실시된 센서이며 그 구조와 使用例를 그림 7-41에 나타냈다.

(3) 레이저光

레이저光은 單一波長을 갖는 파로, 지향성, 간섭성, 강도가 좋으므로 환경도 좋으면 高精度測定이 可能하게 된다. 종래의 光, 超音波 등 대신에 레이저光을 쓰면 1木行 이상의 測定精度를 기대할 수 있다. 變位, 角度, 振動, 速度, 形狀測定 등 많은 應用面이 있다.

(4) 가스센서

家庭에서의 가스事故, 化學프랜트에서의 가스事故와 大氣汚染 등을 豫期하기 위해서 가스센서가 開發되어 있다. 그러나 對象으로 하는 가스(NOx, COx, SOx, Clx, CnH_2m, NH_3 등)가 특히 많고 가스 각각의 특성이 다르므로 測定方式이 여러 가지로 나눠져 있다.

가스檢知法으로는 電氣化學的 方法, 光學的

方法, 電氣的 方法, 가스크로마트 그라프법 등이 있다. 여기서는 最近 주목되고 있는 電氣的 方法 중 하나인 半導體가스 센서의 예에 대해서 설명한다.

가스가 檢出素子로 吸着하면 소자에서 正이온을 주는가, 혹은 負이온을 주는가로 素子의 抵抗이 變化하는 效果를 이용하고 있다. 예를 들면 酸化形가스(O_2, NOx 등)가 N형 반도체에, 還元形가스(H_2, CO, 탄화수소 등)가 P형 반도체에 吸着하면 抵抗은 增加한다. 반대의 경우에서는 抵抗은 감소한다. 그 抵抗値變化의 특성 예를 그림 7-42에 나타냈다. 이런 半導體센서의 利點은 低廉, 製作, 取扱容易, 濃度變化에 敏感한 것 등이 있다.

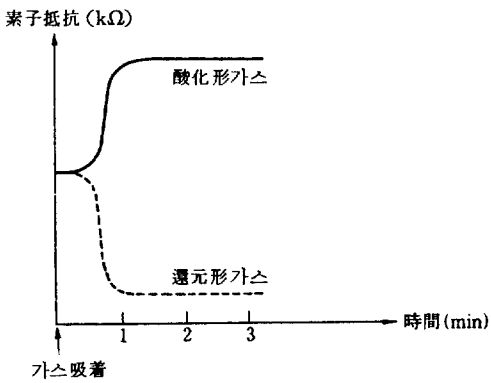


그림 7-42 N形 半導體 가스센서의 特徵

(5) 感濕素子(濕度센서)

일반적으로 電解質은 水蒸氣를 吸收하면 그 電氣抵抗이 大幅 變化하는 성질을 가지고 있다. 이와 같은 성질로 말미암아 感濕素子로 사용된다. 따라서 간단한 相對濕度의 測定에 사용된다. 感濕素子로서는 半導體膜을 이용하는 것도 可能하나 半導體로서는 濕度 뿐만 아니라 半導體膜에 吸着하는 가스(gas)에 의하여 半導體電氣傳導度가 變化되는 것을 이용한 가스 성분 檢出을 할 수도 있다. 感濕素子로서 사용되는 材料는 여러 種類가 있으나 鹽化리튬, 燐酸칼륨 등의 電解質을 絶緣板 위에 2개의 電極 사이에 얇은 層으로 칠하여 乾燥成形 또는 眞空蒸着한 것 등이 좋은 특성을 가지고 있다. 그림 7-43은 그 구조의 한 예를

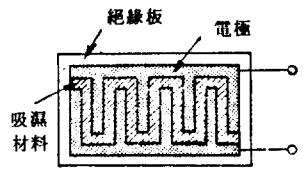


그림 7-43 感濕素子

보인 것이다. 메라燐酸칼륨을 眞空蒸着한 것은 20~100%(相對濕度)의 범위에서 10^5 ~ $10^{12}\Omega$이 變化하고 應答時間도 20℃에서 0.1~0.4초, −20℃에서 2~3.5초라는 비교적 빠른 동작을 하는 工業用濕度計이다. 이와 같은 種類의 濕度計는 長時間 방치하여 두면 感濕膜이 變化한다든지 溫度係數가 커져 큰 溫度變化가 있는 곳에서 사용하면 誤差가 크게 생기는 결점이 있다.

8. 맺 음 말

空調機 冷凍機에 관한 센서 중에서 比重을 많이 차지하는 것이 溫·濕感素子와 Load 壓力센서 등을 손꼽을 수가 있다. 이러한 면에서 이와 같은 센서에 力點을 두고 설명을 할 생각이었으나 센서의 기초적인 지식과 幅넓은 센서와의 관계지식 등이 공저 기술자에게는 생소하고도 必要한 지식으로 생각되어 주서없이 소개하다보니 벌써 예정된 호수가 다가와서 좀 더 空氣調和와 密接한 센서를 심도있게 소개 못한 것이 좀 아쉬운 감이 있으나 讀者 여러분의 理解와 도움이 되기를 기대하며 나머지는 文獻圖書 소개로서 마무리질까 합니다.

參 考 文 獻

1. 菅原 ; 「新しい空調環境制御法」(1), (2), 月刊 「暖房」, No.305, 306.
2. 韓應敎 ; 「計測工學」, 光林社.
3. 韓應敎 ; 「最新制御시스템工學」, 喜重堂.
4. 山崎 ; 「センサ工學の基礎」, 昭晃壹.
5. 增田 ; 「機械制御のセンサ技術入門」, 近代圖書.
6. 高橋 ; 「センサ工學概論」, 朝倉書店.

7. 韓應教 ; 「스트레인게이지 理論과 應用」, 普成文化社.
8. 技術調査會 ; 「Sensor Technology」, Vol. 8, No. 11, 1988.
9. 高橋 ; 「空調設備制御とセンサ技術」, Sensor Teachnology, Vol. 7, No. 5, 1987, p.26.
10. H. Grance C. Bieth, H. Boucher and G. Dllapierre ; A Capacitive Humidity Sensor with very Fast Response Time and very low Hysteresis, Sensor and Actuators 12, 291~296, 1987.