

空調·冷凍技術者를 위한 센서應用計測(5)

Applied Sensor Measurements for Air-Conditioning and Refrigerating Engineers (5)

韓 應 教*
Eung Kyo Han

7. 各種센서의 原理와 應用(5호)

7-1 힘의 센서(Load Cell)

(1) 개 요

힘의 센서로서는 오래전부터 널리 利用되고 있는 스트레인 게이지식 로오드셀(Load Cell)가 있다. 이 로오드 셀은 그림 7-1과 같은 스트레인 게이지를 힘을 받고 있는 그림 7-2 受感體(彈性體· 금속)에 부착하여 하중에 따른 微小變位가 스트레인 게이지의 抵抗變化로 되어 이 저항變化差를 測定함으로써 하중을 測定하는 方法이다.

다시 말해서 로오드 셀은 힘 또는 荷重을 직접 電氣量으로 변환하는 것이며 스트레인 게

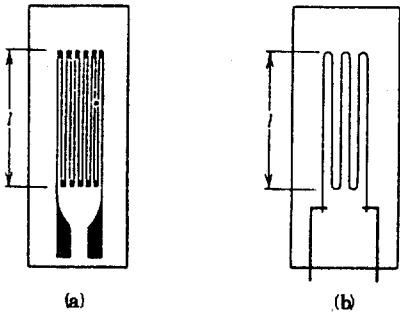


그림 7-1 스트레인 게이지

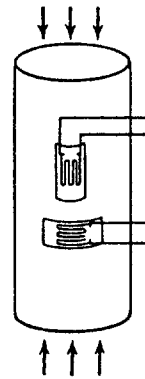


그림 7-2 円柱에서 作用하는 壓縮應力

이지를 응용한 變換器로서는 제일 먼저 개발되어 가장 많이 사용되고 있는 變換器라 하겠다.

스트레인 게이지를 사용하지 않는 다른 원리에 의존한 로오드 셀로서는 磁歪를 응용한 것, 差動變壓器를 사용한 것, 또는 油壓을 이용한 것 등이 있으나 현재 工業用 저울로서 스트레인 게이지를 응용한 것이 가장 精密度가 좋고 信賴性이 높다고 보겠다.

스트레인 게이지를 이용한 로오드 셀의 특징을 들어 보면

- i) 可動部分이 없어 保守가 용이하다.
- ii) 構造가 견고하고 防水構造이므로 사용

환경에 제한이 없다.

iii) 計量時의 힘이 작다(0.3mm 이하). 또 固有週期가 짧아서 計量의 시간이 짧다.

iv) 극히 精密度가 높아서 시스템(System) 精密度 1/10,000도 불가능하다고 볼 수 없다.

v) 탱크(液槽), 홉퍼(hopper)등에 필요한 配管한 채로 그 計量이 가능하다.

vi) 로오드 셀의 互換性이 좋으므로 既設의 測定回路를 그대로 사용해서 增設 또는 新設의 로오드 셀의 計測이 가능하다.

vii) 로오드 셀에 의한 計量裝置에 대해서는 이것의 經濟性이 크다.

ix) 疲勞特性이 좋고 半永久的인 수명을 가지고 있다.

로오드 셀은 上記와 같은 특징을 가지고 있는데다가 形狀이 작으므로 보통 機械式의 計量裝置에 비해서 附着空間이 작게 된다.

로오드 셀은 이것에 작용하는 힘의 방향에 따라서 引張型, 壓縮型이 있고 附帶金具만 같아 끼우면 引張・壓縮兼用되는 形式의 것도 있다.

로오드 셀은 용도에 따라서 精密度에 普通級과 精密級의 것이 있고 특수한 목적으로된 過負荷耐力이 큰 것이(500% 이상) 있고, 高溫用의 것(200℃ 이상), 2出力의 것등, 大容量의 것이 제작되고 있다.

로오드 셀에 가해주는 電壓은 보통 20V 이하이며 위험성은 없다. 그리고 로오드 셀에 가해지는 過負荷와 탱크 및 홉퍼 등의 熱膨脹에 의한 橫應力에만 주의한다면 설치는 매우 쉽다. 또 설치점과 計器 사이는 방식에 따라서는 300m 까지 거리를 둘 수가 있으므로 集中管理가 가능하다.

로오드 셀의 出力을 표시하는 計器類는 製作會社에서 만든 專用의 것도 있으나 一般工業用 計器 또는 增幅器 등도 活用할 수가 있고 특히 기록을 필요로 할 경우에는 市販의 디지털(digital) 電壓計와 印字裝置(printer)를 사용하면 매우 편리하다.

(2) 受感體

로오드 셀에 있어서는 使用容量 및 使用目的에 따른 特性 좋은 힘의 센서(로오드 셀)을

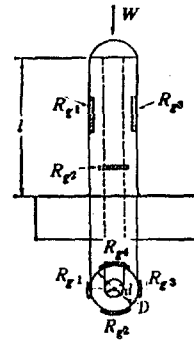


그림 7-3 中空圓筒受感體

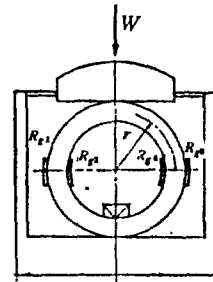


그림 7-4 가락지受感體

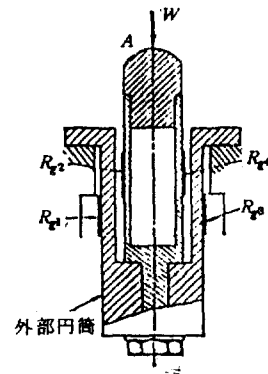


그림 7-5 內外圓筒 2개모듬된 受感體

선정함은 勿論이며 自作에 있어서는 受感體의 設計 및 스트레인 게이지의 선정이 매우 重要하다. 여기 代表的인 몇 가지의 受感體를 紹介코저 한다.

그림 7-3는 中空圓筒의 壓縮 또는 引張스트레인을 이용하는 것이며, 게이지는 圓筒母線에 따라 接觸시킨 것과 圓筒方向으로 接觸한 것과 각기 게이지가 서로 對向되게 接觸시킨다.

그림 7-4는 가락지형의 굽힘스트레인을 이용한 것이다.

그림 7-5는 中空圓筒의 모습으로 된 것이며 變換器出力을 크게 한 것이다. 즉 2개의 中空圓筒을 배치하고 있다. 變換原理는 外部 및 内部圓筒의 外面母線 方向으로 $R_{g1}, R_{g2}, R_{g3}, R_{g4}$ 의 게이지를 접촉해 두고 荷重點 A에 힘 W 가 가해지면 外部圓筒의 플랜지는 케이스로서 고정되어 다른쪽 끝은 자유롭게 되어 있어서 外部圓筒의 R_{g1}, R_{g3} 게이지는 引張스트레인을 받고 内部圓筒의 R_{g2}, R_{g4} 게이지는 壓縮스트레인을 받는다. 이와 같은 경우 內外圓筒의 斷面積을 같게 設計해 두면 각각 2개의 圓筒에는 똑같은 應力이 발생한다.

그림 7-6은 외팔보(Cantilever Beam)형으로 剪斷應力을 利用한 것이며 直線性和 許容應力을 크게 잡을수가 있어 小形化의 특징이 있다.

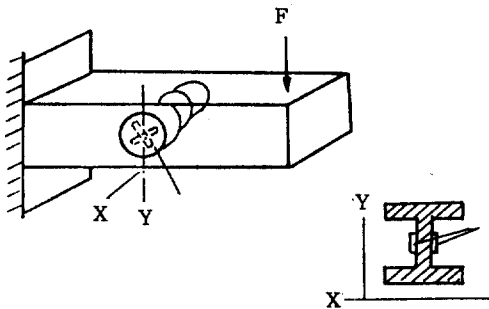


그림 7-6 Cantilever Type 수감체

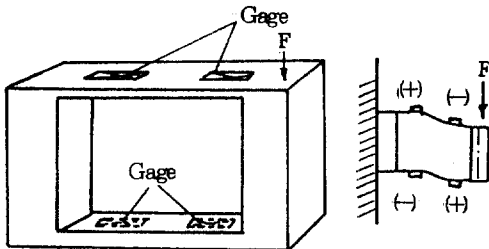


그림 7-7 저울용의 수감체

그밖에도 다음 그림과 같은 여러가지 수감체가 있다. 그 중에서 그림 7-7과 같은 것은 電子式 저울용으로 많이 使用되고 있는 쥘이다.

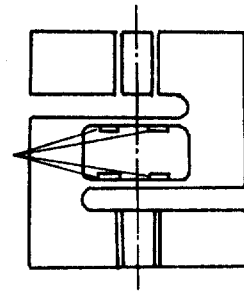


그림 7-8 剪斷力을 利用한 것

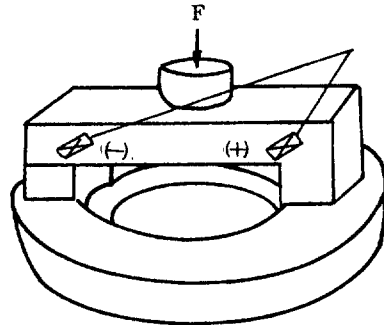


그림 7-9 剪斷力을 利用한 것

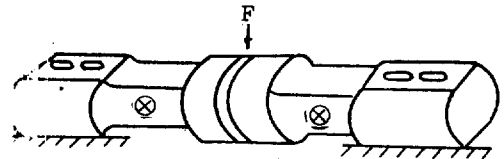


그림 7-10 剪斷力을 利用한 것

(3) 應 用

로오드 셀이 가장 많이 使用되는 곳은 전자식 저울의 센서로써 利用되고 있으며 省力化에 따른 自動化의 檢出部 역할을 하는 등 널리 利用되고 있다. 그 외에도 Crane 등의 過荷重에 대한 安全裝置의 檢出部로 使用되고 있다. 그림 7-10은 標準計量시스템의 예를 提示하고 있다.

7-2 壓力센서(Pressure Transducer)

(1) 개 요

壓力檢出用的 變換기로서의 스트레인 게이지 응용의 壓力計(Pressure-head)는 종래의 버어든(bourdon)管式에 비교해 보면 가격

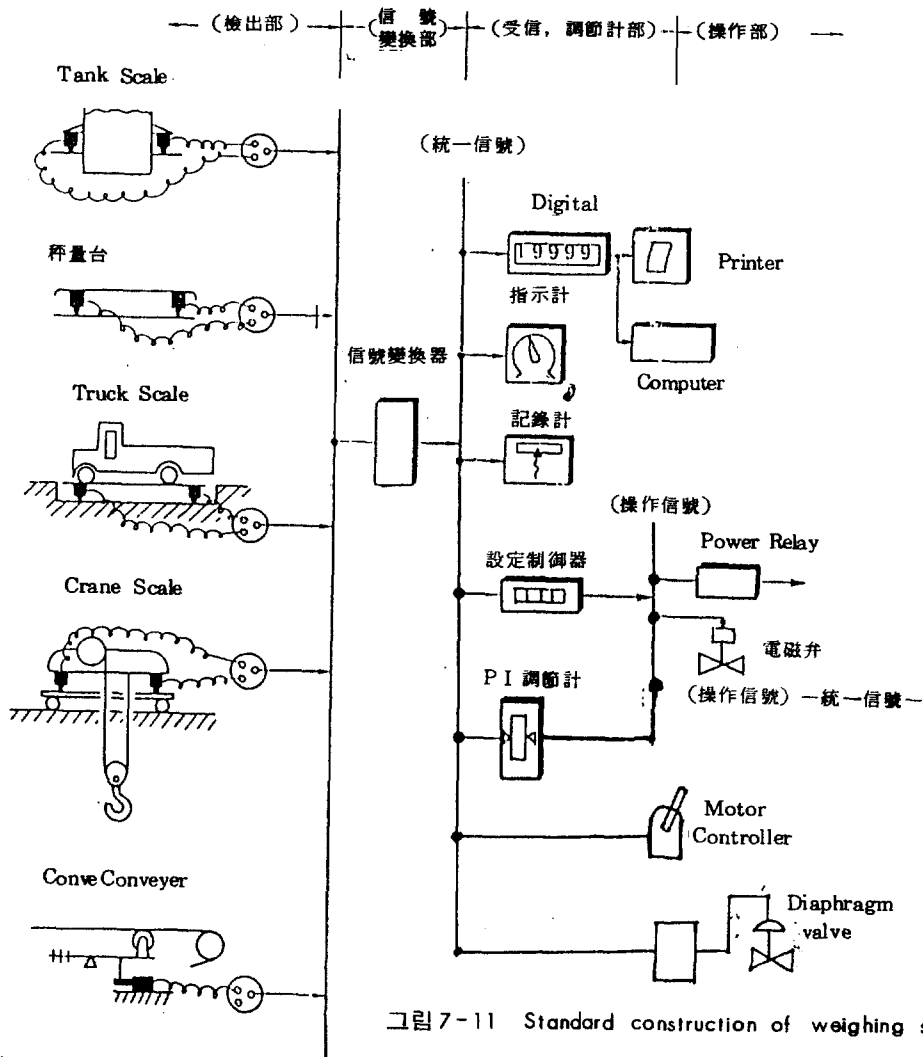


그림 7-11 Standard construction of weighing system.

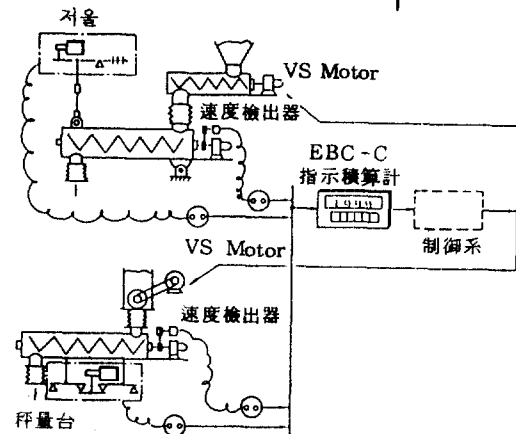


그림 7-12 Block-diagram of constant feeding control conveyor system.

이 매우 高價하여 그 보급이 로오드 셀에 비하면 낮은 감이 있다. 그러나 近年에 와서는 高分子合成工業의 發達에 따라 이것의 管理, 補修用으로서 스트레인 게이지式 壓力變換器가 많이 使用되어 특히 高壓, 高溫, 高精度의 물질을 취급하는 石油化學에 있어서는 스트레인 게이지式 壓力計의 需要는 더욱 增大되고 있다. 이 점은 로오드 셀의 경우와 마찬가지로 특히 고압 (3,000 ~ 4,000kg/cm²)의 경우는 다른 방식에서는 실현 곤란하다. 또 압출성형기의 最積壓을 決定하는데 있어서 스트레인 게이지式 壓力計가 잘 利用되고 있다. 壓力計의 경우 分布力인 압력을 직접 다이어

프램 (diaphragm)으로 받아서 변환하는 것과 한번 集中力로 변환하여 이 힘을 檢出하는 두 가지 방법이 사용되고 있다. 일반적으로 전자의 방식으로 된 것이 精密度가 높다. 스트레인 게이지도 반도체의 출현에 따라 반도체 스트레인 게이지壓力計도 開發되고, 또 高溫度에 견딜 수 있는 스트레인 게이지의 개발로서 水銀柱數cm의 미압에서 10,000 기압의 넓은 범위의 것, 使用溫度도 220°C까지 사용할 수 있는 것이 있다. 그 용도도 重·輕工業 重化學의 분야는 물론 生化學, 醫學部門까지 그 應用은 擴大되고 있다.

로오드 셀과 마찬가지로 압력을 電氣信號로 변화시킴으로써 그 전송을 용이하게 하여 그 신호를 指示, 記錄, 演算에 사용할 수가 있고 그 결과를 가지고 반대로 신호원을 제어할 수도 있다. 이리하여 生産工程의 집중관리감시를 할 수 있고 위험장소에서는 원격조작 (telemetry)도 할 수 있다. 火氣危險이 있는 석유화학공업의 경우에도 스트레인 게이지용의 壓力計는 低電壓이고 防爆構造로 되어 있어서 문제없이 사용할 수가 있다.

(2) 變換原理

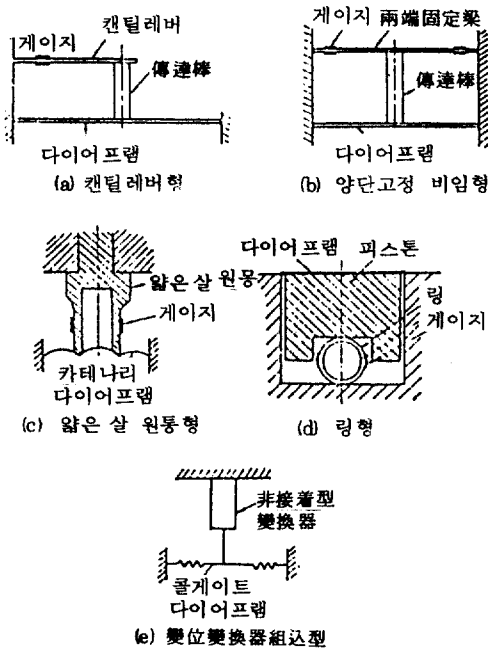


그림 7-13 다이어프램型 壓力變換器의 각종

압력변환기에서 게이지를 접착시켜서 변화시키는 變換部는 前述한 바 있는 로오드 셀의 경우와 같은 방법이다. 受壓部와 變換部는 다이어프램의 壁으로 격리되어 있다. 그림 7-13에서 그 기본구조의 대표적인 것을 例示하였다.

다이어프램型 壓力變換器는 이 외에도 가장 構造가 간단한 것으로서는 다이어프램의 양면에 직접 게이지를 접착시킨 것이 있다. 이 게이지는 특히 주위에 固定型 다이어프램 전용으로 설계된 것이며, 그 패턴 (pattern)을 그림 7-14에 表示한다. 이 패턴은 4개의 素子로 되어 있고 다이어프램의 彎曲點에서는 스트레인이 零이 되어 그 안쪽 中心部까지의 스트레인과 바깥쪽 周緣部까지의 스트레인은 부호를 달리함으로써 同一面上에서 4개의 素子를 접속하여 브리지 구성을 한다.

이 패턴의 다이어프램에 의한 출력전압은

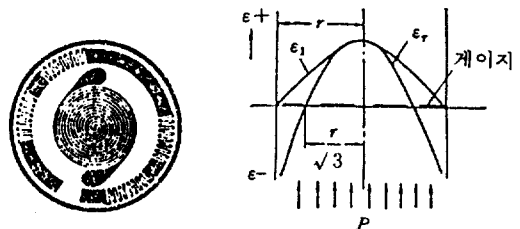


그림 7-14 다이어프램 게이지와 스트레인分布

$$e_0 = \frac{\epsilon_i}{2} F, \frac{3P(1-\nu^2)}{4h^2 E} \left\{ \frac{1}{a_1} \int_0^{a_1} (r^2 - 3x^2) dx + \frac{1}{(a_2 - a_1)} \int_{a_1}^{a_2} (r^2 - 3x^2) dx \right\} \quad (7-1)$$

로써 표시된다.

여기서, P: 壓力

r: 다이어프램의 반지름

h: 다이어프램의 두께

E: 彈性係數

ν: 포아손의 比

a₁, a₂: 게이지의 반지름

壓力變換器中에는 다이어프램 대신 벨로우스 (bellows)를 사용한 것도 있다. 이것은 주로 低壓力用과 差壓型壓力計 또는 絕對壓力測定用的 것으로 使用되고 있다. 그림 7-15

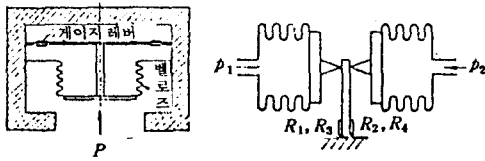


그림 7-15 벨로우즈型 壓力變換器

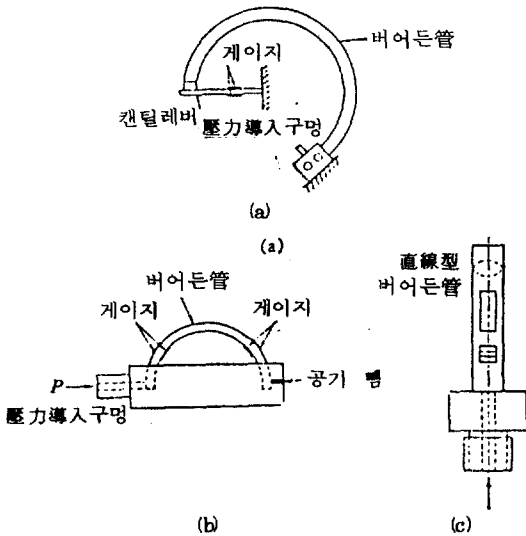


그림 7-16 버어든管型 壓力變換器

가 바로 代表的인 構造를 例示한 것이다.

그리고 直接 壓力를 얇은 살튜우브에 導入하여, 管의 彈性變形를 게이지로 檢出하여 電氣量으로 變化시키는 形式의 것도 있다. 이와 같은 種類의 버어든 (Bourdon) 管의 變형을 이용한 것을 그림 7-16 에서 보여 주고 있다.

(3) 性能

앞서 說明한 바와 같이 壓力變換器의 性能은 로오드 셀과 比較할 경우 스트레인 게이지를 사용해서 變換하는 方式은 같으나 로오드 셀의 경우는 集中荷重을 되도록 1 점에 집중시켜서 단순히 引張力 또는 壓縮力으로서 작용시키는데 대해서 壓力計는 어느 特定한 面에서 壓力를 받아 여기서 變換시킴으로 變換에 의한 오차가 커서 性能面에서 로오드 셀보다 떨어지고 있다.

모회사제 壓力計 20kg/cm²에 대한 檢定例에 대해서 數値로써 표시한 것이 표 7-1 이다.
 示方; 정격출력: 20kg/cm²일 때 3mv/V
 온도보상범위: -10 ~ 150℃
 사용온도범위: -25 ~ 200℃
 (압력표준발생기의 정밀도: 0.1%)

표 7-1 標準壓力發生器로서 實測한 결과

壓力 [kg/cm ²]	0	10	20	10	0
出力 [μV/V]	0	1,500.5	2,999.5	1,503.5	1.5

표 7-2 GP-H形 壓力計 實測例

項目	直線性 Full scale의 %	Hysteresis Full scale의 %	Creep Full scale의 %	再現性 Full scale의 %	定格出力 μ스트레인
壓力容量 [kg/cm ²]					
20	0.234	0.104	0.086	0.034	5,999.0
100	0.221	0.048	0.020	0.028	6,000.8
100	0.229	0.047	0.024	0.020	5,998.7
500	0.169	0.015	0.007	0.022	6,000.7
1,500	0.014	0.029	0.016	0.012	5,999.0
許 容 誤	0.25	0.15	0.10	0.05	6,000 ± 1.50%

直線성은 최초의 영점과 20kg/cm²의 출력을 직선으로 그으면 1/2 荷重의 곳에서

1/3,000 또 히스테리시스는 1/1,000이다.

표 7-3은 壓力計를 여러 온도 (18℃, 100℃,

표 7-3 壓力計 20kg/cm² 溫度試驗

項目	試驗溫度	18 °C	100 °C	200 °C
直線性		8.4 μ 0.14 %	15.2 μ 0.25 %	16.7 μ 0.28 %
hysteresis		3.1 μ 0.051 %	0.7 μ 0.011 %	4.8 μ 0.08 %
creep		3 μ 0.05 %	4.0 μ 0.067 %	45 μ 0.075 %
零點移動		2.5 μ 1.041 %	1.0 μ 0.017 %	5.5 μ 0.091 %
再現性		1.0 μ 0.017 %	1.5 μ 0.025 %	3 μ 0.05 %
出力		5985 μ	6005 μ	5975 μ

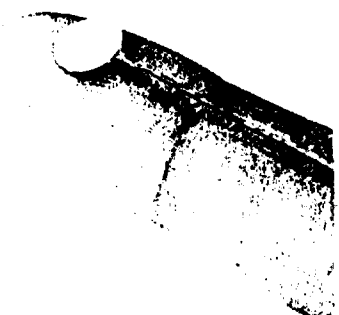


그림 7-17 소형 압력계 2kg/cm², 무게 7g_r

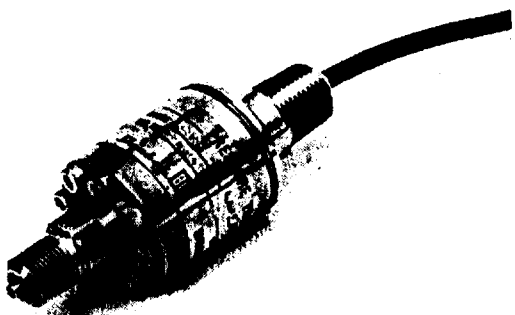


그림 7-18 20kg/cm² 압력센서

200 °C) 시에 出力特性을 측정 한 결과이다.

(4) 半導體壓力變換器

반도체의 전자현상을 검출원리로 한 압력센서가 있다. 그림 7-17은 반도체 감압소자로서 피에조 (Piezo) 저항효과를 이용한 미소압력 검출기이며 실리콘 (silicon) 基板위에 고순도의 불순물을 확산시켜서 만든것. 이 얇은 확산층이 피에조 저항효과에 의한 게이지 역할을 하고 있다.

構造上으로 접착형, 매입형, 증착형, 확산

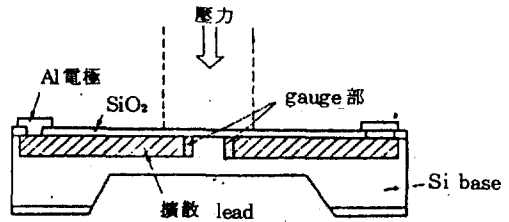


그림 7-19 반도체 감압素子の 구조

형 등이 있으며, IC 제조기술의 발전에 따라 제조수법의 하나인 전기한 확산형 반도체식 壓力센서가 가장 많이 생산되고 있다. 응용되는 부분은 특히 電子血壓計, 자동차의 연료제어, 산업용 압력제어 등에 사용되고 있다.

(5) 靜電容量式 壓力센서

두개의 物體 (극판) 사이의 정전용량변화 사이에서의 變位를 測定하는 方法을 기본으로

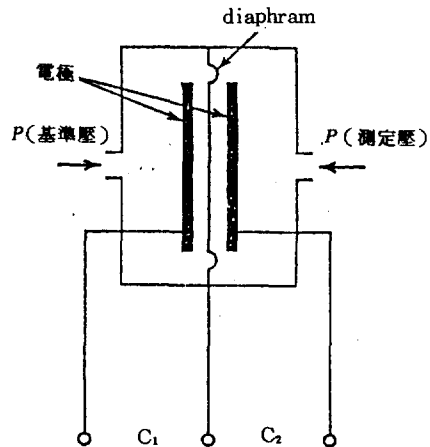


그림 7-20 靜電容量式 壓力센서

한다. 기계적인 bellows 또는 다이어프램(dia-phram)의 압력에 의해 변형되어 可動極板을 변위시키고 그것에 의해 정전용량 변화로 변환되는 것으로서 壓力를 전기적으로 검출한다. 이 검출방식으로는 기동극판으로서, 예를들면 다이어프램을 直接 利用하는 경우로서, 판 스프링에 의해 支持되어 이동전극이 연속축으로 다이어프램에 접속되는 경우도 있다.

그림 7-20에 다이어프램을 이용한 예를 나타낸다. 일반적으로 그림과 같은 하프 브릿지를 구성하고 있는 단순한 구조가 많고, 다이어프램이 中央극판에 相當하며, 외부 잡음의 보상과 감도증대가 생길 수 있다.

力平衡式壓力센서는 측정압력에 비례해서 생긴 힘으로서 電磁的 힘에 의해 평형되고, 측정압력을 전류와 전압등으로 읽는 센서이다. 압력검출소자로서는 다이어프램, bellows, 브르돈 (broudon)관을 이용한다.

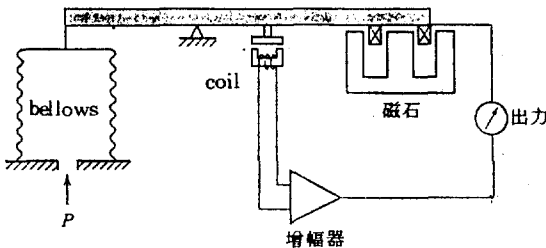


그림 7-21 力平衡式 壓力센서

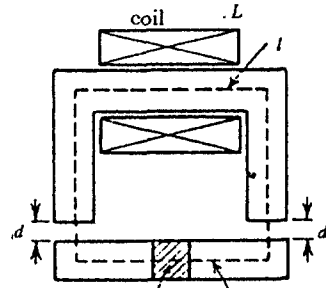
그림 7-21에서 bellows를 이용하는 경우의 예를 나타낸다. 검출소자가 측정압력에 의해서 변위되지 않으므로 전자적 外力을 素子에 작용시키고, 힘의 평형을 유지해서 필요한 電流와 電壓이 측정압력에 比例하는 것에서 측정압력을 검출한다.

(6) 인덕턴스形 變位센서

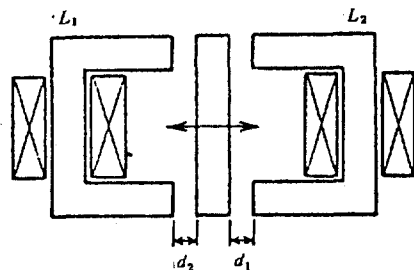
그림 7-22에 原理圖를 나타냈다. (a)의 집선을 따르는 전기회로로 생각하면, 전기저항 R_m 은 式 (7-2)으로 주어진다.

$$R_m = l/\mu S + 2d/\mu_0 S \quad (7-2)$$

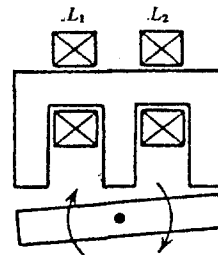
(a)의 인덕턴스를 L 이라 하면 L 은 (L/R_m) 에 비례하는 것이므로 L 에서 d 가 구해진다.



(a) 原理圖



(b) 差動 인덕턴스形 直線變位센서



(c) 差動인덕턴스形 回轉變位센서

그림 7-22 인덕턴스形 變位센서

단 μ , μ_0 는 코어 및 공기의 透磁率, S 는 코어의 단면적, d 가 코어와 코어사이의 간극이다.

d 를 전기신호로 변환하는 변환기의 구조를 그림 7-22 (b), (c)등에 나타냈다. 이것은 차동용량형과 같이 대칭구조이다. 可動코어와 靜止코어 사이의 간극이 변하면 코일 L_1 , L_2 의 인덕턴스가 차동적으로 변한다.

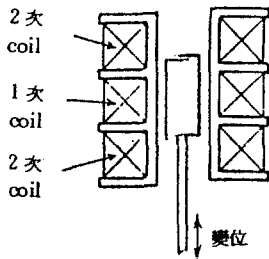
인덕턴스形은 容量形과 양대 관계에 있고, 모두 기계적으로 대상물에 비접촉으로 변위가

교류신호로 변환되어 진다.

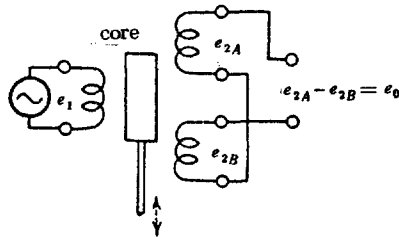
(7) 差動變壓器

인덕턴스의 변화를 利用한 변위센서로서 그림 7-23 에 나타낸 차동변압기가 널리 사용되고 있다. 그림에서와 같이 1차 권선에 대해서 上下로 1쌍인 2개의 2차 권선이 있고 그것이 차동적으로 접속되어 있다. 1차와 2차의

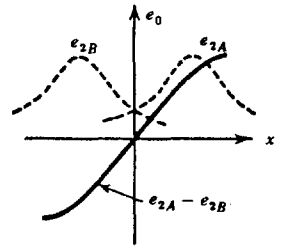
권선간의 전자적 결합이 강자성체인 코어의 상하방향의 변위에 의해서 변화한다. 코어가 중앙에 위치하면 2차 권선의 전압은 서로 같고 출력전압은 0이지만 코어가 변위하면 변위에 비례한 교류전압이 얻어진다. 출력이 변위에 비례하는 범위는 2~100mm 정도의 것이 제작되어져 있다.



(a) 構造(斷面圖)



(b) 結線圖



(c) 特性

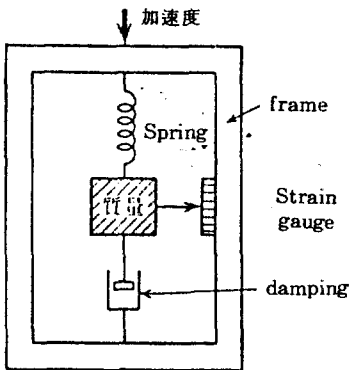
그림 7-23 差動變壓器

(8) 加速度센서

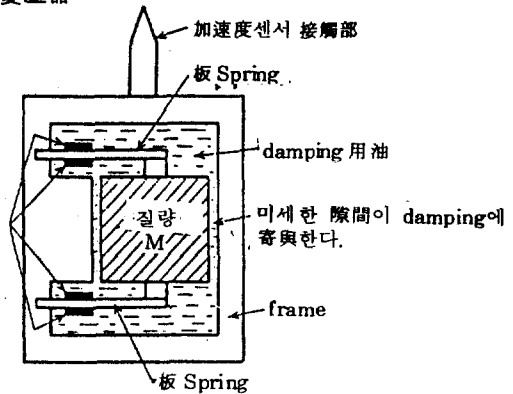
뉴우턴의 운동방정식에서 알 수 있듯이 힘과 가속도는 질량을 중개로 해서 결부되어지기 때문에 한쪽에서 다른쪽을 구할 수 있다. 특히 진동의 가속도를 구할 때는 그림 7-24에 나타낸 것과 같은 damping 기능을 갖는 스프링-질량계가 센서로서 사용되어 진다. frame에 외부에서 가속도를 가한 때에 frame과 질량 m와의 상대변위 x에서 가속도 \ddot{x} 가 구하여 진다.

그림의 진동계 운동방정식은

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = F \tag{7-3}$$



(a) 스프링 質量系



(b) Strain gauge를 사용한 加速度센서

그림 7-24 加速度센서

이고 용수철 질량계의 고유각 진동수 w_0 와外力 F 의 각진동수 w 와의 대소에 따라서 상대변위 x 는 다음과 같이 된다.

- ① 가속도 ($w < w_0$)
- ② 속도 ($w \approx w_0$)
- ③ 변위 ($w > w_0$)

단, $w_0 = \sqrt{k/m}$, k ; 용수철 상수
 r ; 댐핑 상수

가속도 센서로 하기 위해서는 $w < w_0$ 의 범위로 사용하지 않으면 안된다. 상대변위 x 는 전에 서술한 인덕턴스 변환에 의해 전기신호로 변환되어진 것이다. (다음號 계속)