

# 電氣應用 計測技術



## Electrical Measurement Methods for Engineers

韓 應 教

漢陽大學校 精密機械工學科 教授

### 1. 緒 言

計測機器의 重要性은 어느 면에서 보든간에 마치 食事時에 식탁 위의 수저와 같은 必須不可缺한 것으로 본다.

計測機器의 産業과 그 活用に 있어서는 그 어느 때보다 重要하다고 본다. 우리나라 産業이 急成長은 하고 있으나 그 大部分이 모방 또는 노동集約的인 것의 比重이 크고, 創造 또는 技術개발에 있어서는 아직 未及한 點이 또한 많아 앞으로 獨自的으로 開發創造해 나가야할 問題가 山積되고 있다.

이와같은 時點에서 가장 重要한 基礎科學産業에 해당하는 計測機器의 國産化 및 開發은 先進國에 比해서 다른 分野와 比較해 훨씬 뒤떨어져 있다고 생각해도 지나친 말은 아니다. 特히 最近에 와서 電子工業, 高分子工業의 눈부신 發展으로 센서를 爲始하여 增幅器, 指示, 記錄器, Computer, 畫像處理裝置 등이 하루가 달리 변모, 발전하여 새로운 모델로서 홍수처럼 쏟아져

나오고 있는 實情이다.

이와 같은 상황하에서 우리나라에는 아직도 많은 시험 計測機器가 導入되고 있어, 우리나라 計測機器 生産業체의 成長에 있어서 明暗 兩面의 커다란 영향을 주고 있는 형편에 비추어 볼 때 計測機器의 效率的인 活用은 勿論, 國産化가 시급히 이루어져야 될 것으로 본다.

이러한 點을 감안해서 本論述이 計測機器分野의 發展에 조금이나마 도움이 되길 바라면서 “Transducer의 종류와 原理 및 應用”이란 내용을 가지고 說明코자 한다.

### 2. 變換器의 原理와 應用

#### 가. 概 要

測定對象에서 計測情報를 잡아낸 다음 이를 電氣量으로 變換시키는 變換器(Transducer)는 計測系에 있어서 檢出部(變換)에 해당하는 가장 중요한 부분이다. 計測情報는 힘, 變位, 速度,

加速度등 참으로 많은 종류에 걸쳐 있어 測定對象도 천차만별이다. 그렇기 때문에 變換器도 그 測定對象, 주변환경에 따라 적절한 것을 사용할 필요가 있다.

여기서는 이와 같은 다양한 變換器를 方法論적으로 여러가지 예를 들어 해설하고자 한다. 最近에는 超音波, 빛 또는 레이저(Laser), 放射線 등을 응용한 計測技術이 急速度로 진전되어 計測工學에 있어서 중요한 한부분을 차지하고 있어, 이것도 計測情報를 電氣量으로 변환하는 技術에는 틀림이 없다. 그래서 이것도 일종의 변환기이지만, 紙面關係로 각종 計測情報의 直接 變換器에 대해서 記述코자 한다. 變換器의 分類를 方法論적으로 보면 임피던스(Impedance) 變化法과 起電力法으로 나눌 수 있다. 즉,

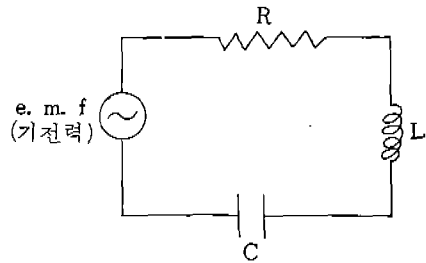
- i) 임피던스 變化法(抵抗變化法, 인덕턴스 變化法, 容量變化法)
- ii) 起電力法

이다. 임피던스 變化法은 計測情報를 임피던스(抵抗, 인덕턴스, 容量)의 변화량인 電氣量(電壓, 電流)으로 변환하는 것이며, 起電力法은 計測情報를 起電力의 크기로 검출하는 것이다. 이와 같은 것은 모두 電磁氣學의 基本法測 또는 物質의 物理的 特性을 잘 이용한 것이라고 보겠다. 이하, 이와 같은 變換器의 原理와 실제적인 응용例를 들어서 記述해 보고자 한다.

#### 나. 變換器의 뜻

變位, 힘, 스트레인, 壓力, 溫度, 流量, 粘度, 振動加速度, 速度 등의 機械量(物理量이라고도 함)을 그림 1과 같은 電氣 基本回路에 있어 起電力(e. m. f)과 임피던스(R, L, C)의 量으로, 다시 말해 電氣量으로 變換해 주는 一種의 Sensor, 즉 變換素子라고 볼 수 있다.

廣範圍하게 그 뜻을 풀이할 때에는 그 反對로 電氣量을 機械量으로 變換하는 뜻도 되나, 實際 實用面에서는 기계량을 電氣量으로 變換하여 電



e. m. f : Electro Motive Force  
 R : Resistance  
 L : Inductance  
 C : Capatitance

〈그림 1〉 電氣基本回路要素

氣의 特徵을 충분히 活用하여 計測情報를 보다 正確하고 신속히 信賴度가 높은 計測이 이루어 지게 하는 것을 말한다.

특히 Computer가 생긴 以來 電氣信號를 저장, 기억하여 演算處理 하는 등, Computer 時代를 맞이하여 더욱 變換器를 포함한 計測 시스템 기술의 開發에 關心이 집중되고 있다. 最近에 와서 모든 產業分野와 研究開發分野에 있어서 計測을 통해 Sensor時代를 맞이하게 된 것도 偶然은 아니라고 본다.

#### 다. 變換器의 理論과 構造

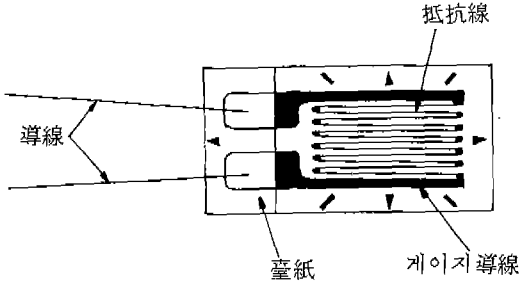
##### (가) 임피던스形 變換素子

그림 1의 電氣基本回路要素중 한가지 要素를 이용하는 변환소자로서 구체적인 것은 다음과 같다.

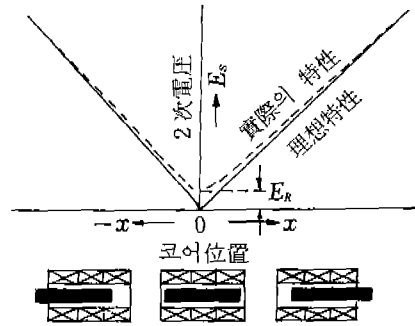
##### (1) 抵抗變換素子

###### ① 抵抗線 스트레인 게이지

금속저항선에 스트레인을 주었을 때 생기는 抵抗變化에 의해서 기계적인 스트레인을 計測하기 위한 變換器이다. 應力해석, 材料強度評價, 信賴性評價 및 安全度 측정, Load Cell, Pressure Transducer, 變位計, 振動加速度計 등에 應用



〈그림 2〉 抵抗線 스트레인 게이지



〈그림 4〉 차동변압기의 中心 코어 부근의 특성

된다.

② 더미스터 (Thermistor)

온도檢出, 体温計, 工作機械의 異常溫度 檢출에 使用된다.

(2) 誘導形 變換素子

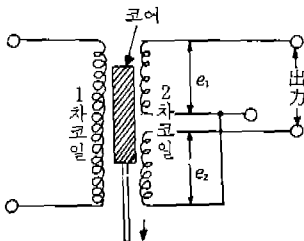
RLC 기본회로要素 중 인덕턴스  $L$ 을 이용한 것으로 理論은 다음과 같다.

$$\text{전위차 } e = L \frac{di}{dt}, \quad L = K \frac{\pi a^2 \mu N^2}{l}$$

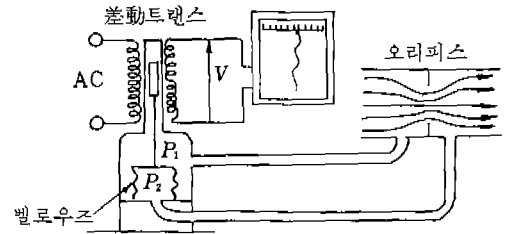
( $\therefore L$ 은 투자율  $\mu$ 의 함수)

① 差動變壓器 (Differential Transformer)

자기저항의 변화 혹은 투자율의 변화를 이용하여 變位를 電壓으로 바꾸어주는 기구이다. 材質로는 페라이트 같은 磁媒가 전류의 영향이 적은 것을 사용하며 精度, 感度, 直線性, 安定性이 우수한 變換기이다.



〈그림 3〉 차동변압기의 回路表示



〈그림 5〉 오리피스 차압유량계

응용예로는 오리피스 차압유량계, 표면거칠기 측정기, 관두계측정기 등이 있으며, 그림5는 오리피스 차압유량계의 예이다.

(3) 容量形 變換素子

임피던스 (Impedance) 變化形 變換器의 마지막 하나는 容量變化形 變換器이다.

그림6과 같이 2장의 電極 사이에는  $d$ 가 극소할 경우가 되는 靜電容量이 있다. 여기서  $\epsilon_0 = 8.855 \times 10^{-12} (F/m)$ 은 眞空의 誘電率이고,  $\epsilon_s$ 는 比誘電率이다. 理論式은 式(1)과 같다.

$$C = \epsilon_s \epsilon_0 \frac{S}{d} \quad (1)$$

$d$ 가 크면 容量  $C$ 는 式(1)에 적용되지 못한다. 따라서 2장의 圓板으로 된 蓄電器 (Condensor)

에 대해서 반지름  $r$ 와  $d$ 사이의 관계는  $r > 2000d$ 가 필요하다.

理論式에서 보는 바와 같이 容量變化形 變換器에는 원리적으로 다음 3가지 형이 있다.

- (i) 電極間隔( $d$ ) 變化形
- (ii) 넓이( $S$ ) 變化形
- (iii) 誘電率( $\epsilon$ ) 變化形

電極構造는 단순히 平行平板 이외에도 同心圓筒, 그 밖에도 여러 形狀의 것이 목적하는 바에 따라 사용되고 있으며, 각각의 變化형의 예를 그림 7, 그림 8, 그림 9에 나타내었다.

#### (나) 起電力形 變換素子

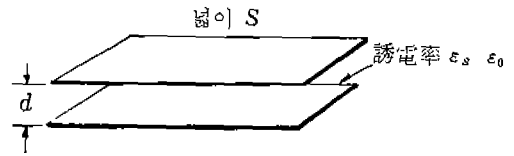
起電力形 變換器는 測定量 자체부터 起電力이 發生하므로 별도의 電源을 필요치 않는다. 그 대신, 측정을 위한 Energy가 소비되어 그것에 의해 측정대상이 현저하게 영향을 받는 경우에는 사용치 않는다.

起電力法에 의한 變換器에는 電磁誘導起電力 變換, 熱起電力變換, 圧電氣變換, 홀 소자에 의한 變換 등이 있다. 어느 것이나 電磁氣의 基本的인 現象 또는 재료의 基本的인 物理的 性質, 그리고 物質과 場의 相互作用인 基本적 性質을 잘 이용해서 變換器로서 사용한 것이다.

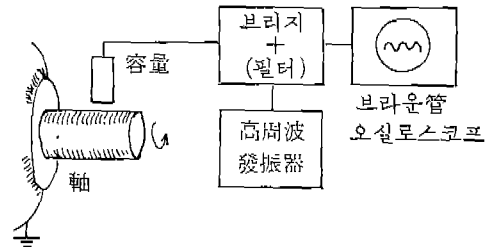
다음에, 차례로 설명코자 한다.

#### (1) 電磁誘導起電力 變換

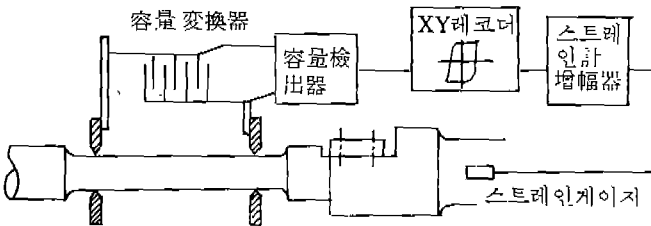
電磁誘導는 한개의 코일에 磁束( $\Phi$ )이 교차할 때  $\Phi$ 가 시간적으로 변화하면 그 변화에 대해서 起電力( $U$ )은  $U = -d\Phi/dt$ 되는 관계로 發生한다. 이의 이용은 참으로 광범위하며 機械的 에너지를 電氣的 에너지로 變換하는 것으로 이 變換 방식은 動電形과 電磁形으로 나뉘어지며, 回



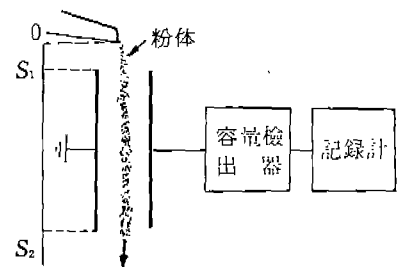
〈그림 6〉 용량 변화형



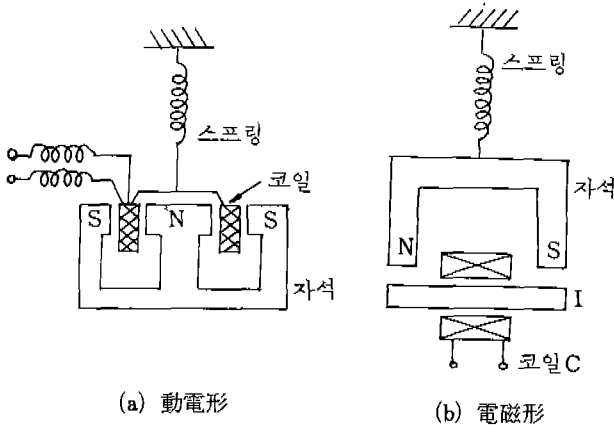
〈그림 7〉 電極間隔 變化에 의한 軸의 偏心測定



〈그림 8〉 넓이 變化형 각도변환기의 재료시험에의 응용



〈그림 9〉 유전율 변화에 의한 분체 유량 측정



〈그림 10〉 振動計

轉速度計, 振動計, 전자유량계 등에 실용되고 있다.

(2) 熱起電力 變換

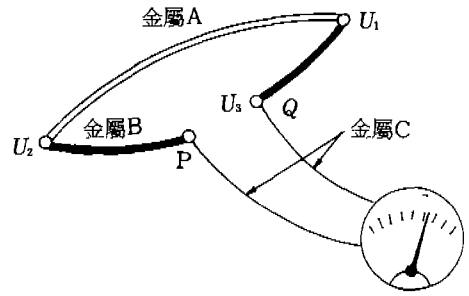
熱起電力 變換器의 대표적인 것은 熱電對 (Thermo Couple)이며, 이는 두가지 성질을 달리하는 금속선을 接續해서 回路를 構成, 두가지 금속선의 接續點의 溫度變化에 따라 熱電流가 흐르는데, 이와 같은 現象은 일찌기 獨逸의 Seeback에 依해서 發見되어 Seeback 效果라고 불리우고 있음은 有名하다.

(3) 壓電氣 變換素子 (Piezo)

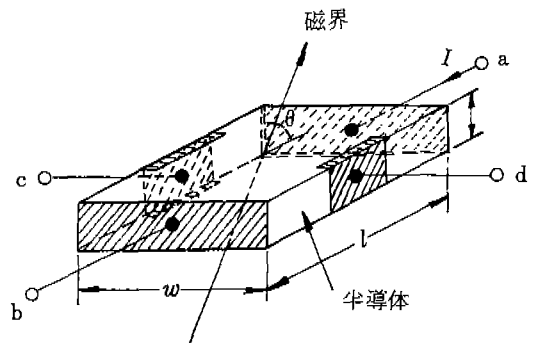
壓電變換器로서의 이용방향은 本質의 由로 힘의 計測이다. 特히 變化가 빠른 振動 및 爆發時의 衝擊力과 같은 과도적인 힘의 計測에는 有效하다. 壓電體에 가하는 힘과 出力電壓의 關係는 다음과 같이 說明된다. 結晶兩端에 電極을 붙여 두면 이것은 콘덴서 (Condenser)가 된다.

여기서 結晶體에 힘 ( $F$ )을 加하면 壓電材料에서는 이 콘덴서에 電荷 ( $Q$ )가 發生한다. 여기서  $d$ 를 壓電常數라 하면 電荷  $Q$ 는  $Q=dF$ 가 된다.

콘덴서의 容量을  $C$ 라 하고, 端子電壓을  $V$ 라 하면,  $V=Q/C$  또  $C=\epsilon A/t$ 가 된다. 여기서  $\epsilon$ 은 絶對誘電率,  $A$ 는 넓이,  $t$ 는 두께이다. 따라



〈그림 11〉 열전대 (Thermocouple)



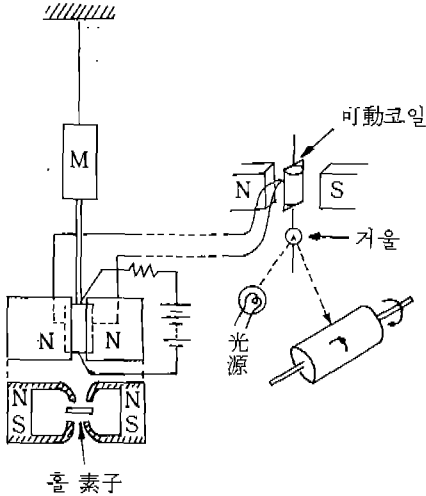
〈그림 12〉 Hall 소자의 說明圖

서  $V=d, t/\epsilon A \cdot F=gt F/A$ 가 된다.

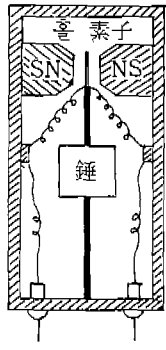
여기서  $g(=d/\epsilon)$ 는 電壓感度이다.  $g$ 의 값은 재료의 종류 또는 結晶의 Cut 방향에 따라서 다르다.

(4) 홀 소자에 의한 變換

반도체에 그림12와 같이 전극을 붙여 전극 a, b에 電流를 흘리고, 동시에 그림과 같이 자계를 주면 전극 c, d 사이에 電壓이 發生한다. 이 현상을 Hall Effect라 한다. 홀 기전력을  $V_H$ 라 하면,  $V_H=R_H IB \sin \theta f(L/\omega)/t$ 이고, 여기서  $R_H$ 는 홀계수,  $B$ 는 자속밀도이며, 材料는 Ge, Si 등이며, 계수가 크고, 자체의 阻性이 적고, 온도계수가 작은 것이 소자의 重要요건이며,



〈그림 13〉 Hall 소자를 사용한 地震計



〈그림 14〉 Hall 소자에 의한 가속도계

基本的 應用은 變位の 測定用 變換器이다. 응용 레로는 지진계, 加速度計, 마이크로폰 등이 있다.

### 3. 結 言

以上과 같이 計測의 基礎概念에 초점을 두고, 變換器(Transducer)의 原理와 應用을 講述하였으며, 計測이야말로 工學을 實驗的으로 이끌어가는 것이며, 즉 다시 말해서 實際상황을 그대로 實行하는 行爲라 할 수 있다.

計測技法이 發展함으로써 工學의 發展을 가져오게 하는 것이다. 즉 「計測없이는 科學이 없다」라고 해도 過言은 아니다.

특히, 우리나라는 노사문제로 現在 많은 어려움을 겪고 있다. 그리고 국제 무역마찰 또한 심각한 位置에 있어, 우리는 보다 좋고, 보다 값싼 제품을 만들어서 세계시장에 내놓고, 부강한 나라로, 즉 經濟大國으로 전진해야 되는 기로에 있다고 생각된다. 따라서, 지금이야말로 가장 時急한 것이 自動化라고 볼 수 있다.

이 自動化의 大部分을 차지하고 있는 計測機器는 종류도 多樣하고, 使用되는 材料의 종류도 여러가지인데 比해서 使用量은 적고 또한 시장도 民生機器와는 달리 制限되어 있고 品質面에서도 各별히 高度의 信賴度를 요구하는 등 企業化하기 어려운 條件이 많아 우리나라 計測機器 메이커의 零細性和 그 數가 작은 것은 이런데서 基因된다고 생각된다. 따라서 政府 關係部處에서는 보다 積極的이고도 과감한 支援이 요망된다.

#### 〈참고도서〉

1) 韓應教：計測工學, 光林社	7) T. G. Beckwith：Mechanical Measurements, Addison Wesley
2) 韓應教：計測工學演習, 光林社	8) J. P. Holman：Experimental Methods for Engineerings, McGraw-Hill.
3) 山内二郎：計測工學用語事典, オーム社	9) R. S. Lion：Electrical Input Transducers, McGraw-Hill.
4) 電氣學會(日本)：電氣應用計測	
5) 高木相：應用計測通論	
6) 平井：工業電子計測便覽, 日刊工業	