



# 工場電力設備管理와 에너지 節減 ②

## 1.2 計測·計裝·制御시스템 計劃

### 1.2.1 에너지管理를 위한 計測器와 選擇上의 주의

各種 에너지를 合理的으로 管理하기 위해서는 에너지의 흐름과 熱精算을 定量的으로 精確하게 파악하는 데서부터 시작해야 한다.

여기서는 우리들이 취급하고 있는 각종 에너지에 대한 測定方法에 관하여 주된 것을 紹介하고 그 특징과 주의해야 할 점을 살펴본다.

에너지 소비실태를 管理하기 위한 대상으로는 量과 質이 있으나, 주로 工場에서 사용하는 電氣·氣體·液體 및 固體의 各에너지를 測定하기 위한 대표적인 것을 논하고자 한다.

#### (1) 電氣에너지

電氣에너지는 다른 것과 비교할 때 熱·光·音·化學 등 온갖 에너지와의 變換이 容易한데, 그런 의미에서 電氣는 高級에너지로 볼 수 있으

며 각종 測定에도 여러 가지 方法으로 實現할 수 있다.

#### (a) 電力計

아날로그指示方法에서 디지털指示方法 또는 携帶用에서 高精密度 設置形에 이르기까지 여러 종류가 있으므로 用途에 따라 機種을 선택할 필요가 있다. 또한 測定對象의 波形이나 電壓, 電流의 개략치와 그 변동의 정도 등도 電力計를 선정할 때에 고려해야 한다.

#### (i) 直流電力 測定

直流의 경우는 電壓計와 電流計를 이용하여 각각의 指示値의 積을 취해 측정하는 電壓·電流計法과 電力計法이 있다.

電力計는 固定코일에 부하전류를 흐르게 하고 可動코일에 高抵抗을 直列로 접속하여 부하 전압을 인가하는 방식이지만, 전압단자를 전원 측에 접속하는가 부하측에 접속하는가에 따라 전류코일이나 전압코일의 損失이 負荷에 加算된다는 것에 주의할 필요가 있다.

(ii) 單相電力 測定

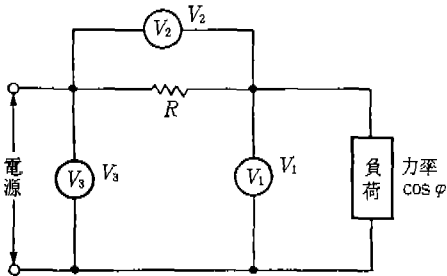
이것에는 3電壓計法, 3電流計法 및 電力計法이 있다. 3電壓計法은 3개의 전압계와 既知抵抗을 이용하여 그림1·6과 같이 접속하고 各電壓計의 指示値에서 電力  $P$ 는

$$P = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_2^2 - V_1^2)$$

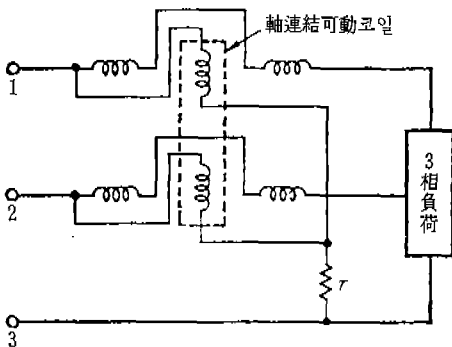
과 같이 구하는 方法이다. 電力計法에서는 直流電力과 마찬가지로 電流計形을 사용하여 固定코일에 부하 전류를, 可動코일에 高抵抗을 直列로 접속하고 負荷電壓을 인가한다. 이 경우에도 부하측에 접속된 코일의 損失이 測定値에 加算되어 있는 것에 注意를 要한다.

(iii) 3相電力 測定

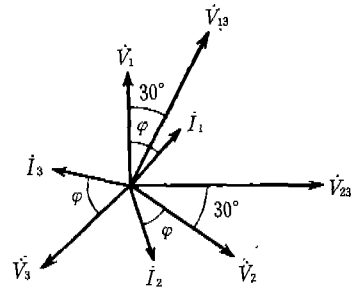
이것에는 3電力計法, 2電力計法·1電力計法 및 3相電力計法 등이 있다. 3相電力計는 2電力計法을 그대로 하나의 計器로 종합한 것(그림1·7)이며, 두 개의 電壓코일을 共通의 可動軸에 장



<그림1·6> 3電壓計法



<그림1·7> 3相電力計構成



<그림1·8> 3相電力計原理(2電力計法)

치한 것으로서 驅動力은 두 개의 코일에 作動하는 힘의 代數的合計와 같고 그대로 3相電力을 指示한다. 3相電力計의 原理가 되는 2電力計法의 原理를 그림1·8에 표시한다.

對稱 3相 平衡負荷에 대해서 각각의 電力計의 固定코일에  $I_1, I_2$ 를 흐르게 하고 可動코일에  $V_{13}, V_{23}$ 을 인가하도록 접속하였을 때 各電力計의 指示値는

$$P_1 = V_{13} \cdot I_1 \cos(\varphi - 30^\circ)$$

$$P_2 = V_{23} \cdot I_2 \cos(\varphi + 30^\circ)$$

여기서  $V_{13} = V_{23}, I_1 = I_2$ 이므로

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} V_{13} \cdot I_1 \cos \varphi$$

$$= 3 V_1 I_1 \cos \varphi$$

가 되어 兩電力計의 指示値를 合한 것에서 3相電力을 구할 수 있다.

더욱이 交流大電力의 測定에는 計器用變壓器(PT) 및 變流器(CT)를 併用하게 되며 이 경우 電力計指示値에 變壓比·變流比를 곱하여 구하게 된다.

(b) 電力量計

電力量計는 電力의 積算値를 직접 計測하는 것으로 일반적으로 유도형적산전력계가 工場用으로서 널리 사용되고 있다. 이것은 부하의 전압, 전류에 比例하여 勵磁되는 전압코일, 전류코일에 의한 移動磁界가 圓板을 회전시켜 그 회轉數를 計數하는 것으로서 電力의 積算値를 얻을 수 있으며 原理의으로도 간단하고 또한 싼

값으로 구입할 수 있으나 位相調整이나 負荷調整을 定期的으로 하지 않으면 性能이 劣化한다든가 주파수나 전압, 環境溫度의 변화로 誤差를 발생하는 일도 있다. 또한 최근 信號變換技術의 진보와 더불어 전압·전류 位相差 등에서 信號演算하여 직접 電力량을 구하여 디지털表示하는 전력량계도 있으며 오차요인도 적고 데이터處理도 쉽게 되어 合理的인 電力管理를 가능하게 하고 있다.

(c) 力率計

공장의 전력관리를 실시하는데 있어 電力供給系 또는 電氣機器의 力率管理는 대단히 중요한 要素이다.

부하의 力率을 개선하는 것은 線路損失의 경감이나 전기기기의 利用效率를 높이는 것에 直結된다.

力率은 부하전력 및 皮相電力의 측정치로부터 計算에 의해서 구할 수 있으나 보통은 이것을 직접 지시하는 計器 즉 力率計를 사용한다.

單相力率計는 可動交叉코일을 사용하여 固定코일에 부하전류, 交叉코일에 부하전압과 同相의 전류와  $90^\circ$  遲電流를 흘려 電壓·電流의 位相差를 指示하게 하는 方法으로서, 3相力率計도 交叉코일에 다른 相의 線間전압을 인가함으로써, 相電壓과 線電流의 位相差를 직접 指示토록

한 것이 일반적으로 널리 사용되고 있다(그림 1·9 참조).

(2) 氣體에너지

氣體에너지(燃燒가스)는 電氣에너지에 비해서 熱源으로 사용할 때는 매우 사용하기 쉬우며 운반이나 저장이 가능하고 發熱量當 單價도 싸기 때문에 工場 등에서는 널리 사용되고 있다.

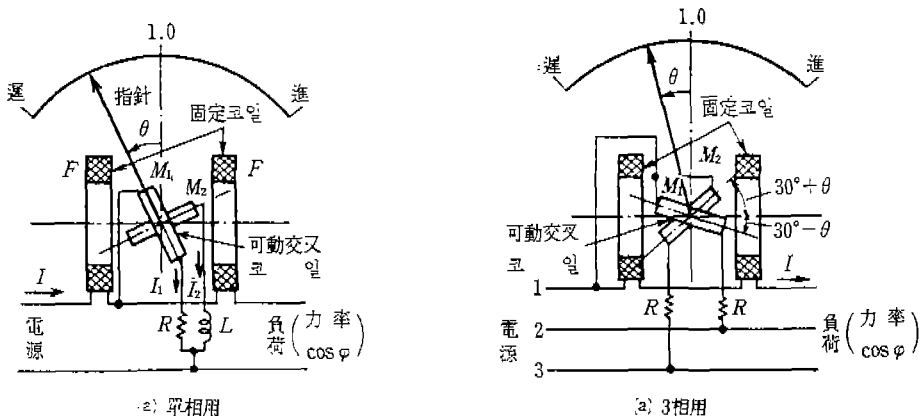
이 氣體에너지의 관리를 위한 計測器에는 量을 관리하기 위한 流量計와 質을 관리하기 위한 칼로리計와 成分을 分析하기 위한 成分分析計 등이 있다.

(a) 流量計

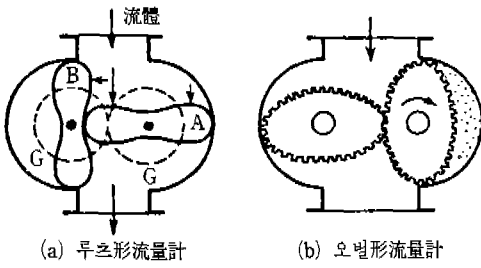
氣體流量의 측정에는 量의 大小, 測定精度의 良否, 計測器의 信賴性·保全性의 良否 등의 得失을 組合하여 여러 가지의 方式이 이용되고 있다. 일반적으로 氣體의 量을 평가하는 單位에는 重量과 體積의 두 가지가 있으나 에너지氣體의 경우는 주로 體積流量을 사용한다.

(i) 體積式流量計

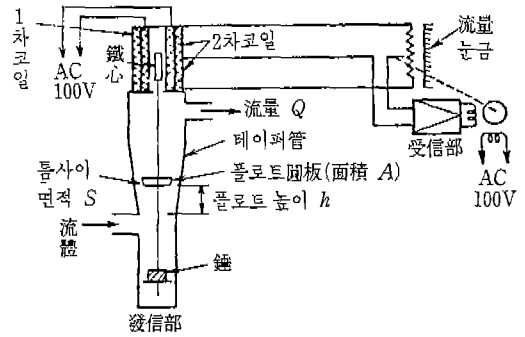
流量單位를 體積流量으로 취하는 이상 體積式流量計가 가장 직접적으로 流量을 측정하는 수단이며, 運動子와 計量室과의 사이에 생기는 空間을 소위 「그릇」으로 하여 流入·流出間에 생기는 流體差壓으로 運動子를 회전 또는 이동



<그림 1·9> 電流力計形力率計



<그림 1.10> 回轉子形流量計



<그림 1.11> 面積式流量計의 原理構成圖

시켜 그 작동회전수를 측정함으로써 통과하는體積을 計量하는 流量計이며 運動子의 形狀, 작동原理에 따라 다음과 같이 분류된다.

- ① 回轉子形
- ② 圓板形
- ③ 往復動 피스톤形
- ④ 로터리벤形
- ⑤ 로터리피스톤形

등이 있으며 工場에서 널리 사용되고 있는 回轉子形의 원리를 그림 1.10에 표시한다.

이들의 일반적인 특징으로는

- ① 정확도가 높은 流量積算을 할 수 있다.
- ② 脈流의 영향을 거의 받지 않는다.
- ③ 測定點 直後에 直管部나 整流板이 필요치 않다.
- ④ 測定範圍를 넓게 취할 수 있다.

등이지만, 사용할 때는 실제의 사용流量에 따라 적당한 形式을 선택해야 하며, 配管徑을 기준으로 形式이나 크기를 선택하면 精度劣化 등 기능이 半減하는 일이 있으므로 주의를 요한다.

(iii) 面積式流量計

垂直으로 놓여진 테이퍼管內에 플로트圓板을 뜨게 하여 그 圓板의 上下兩面에 加해지는 壓力差가 항상 一定하도록 圓板이 上下로 浮動할 수 있게 하여 그 플로트위치에서 流量을 測定하는 形式의 流量計가 面積式流量計이다. 이 流量計의 특징은 유량측정을 위한 긴 直管部를 필요로 하지 않으며 整流機構도 必要치 않아 간단하게 어디에나 設置할 수 있다. 또한 적은 流量의 測

定도 가능하며 그 壓力損失도 적다. 다만, 原理上 설치할 때는 플로트와 鐵心이 垂直이 되도록 세심한 주의를 요한다.

그림 1.11에 原理構成圖을 표시한다.

(iii) 差壓式 流量計

이것은 管路中에 적당한 조리기機構를 삽입하여 그 流速의 變化를 壓力의 變化에 의해 檢出함으로써 流量을 측정하는 것이다.

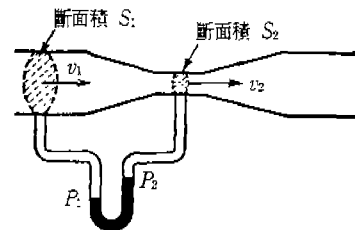
流體가 管內를 흐트러짐없이 흐르고 있을 때 管內 임의의 점에서의 壓力를 P, 流速을 v, 그 點의 基準水平面에서의 높이를 H, 또한 流體의 比重을 r이라고 하면 그 임의의 點에 관해서 베르누이의 定理에서

$$\frac{P}{r} + \frac{v^2}{2g} + H = \text{一定}$$

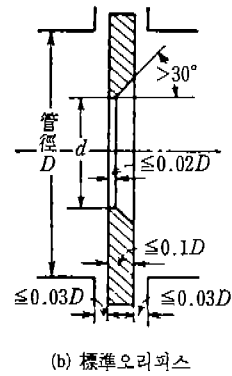
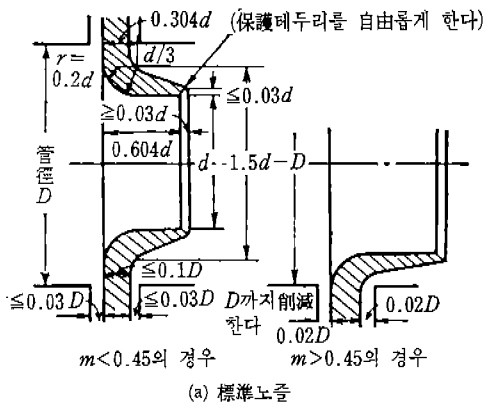
의 式이 성립한다.

지금 그림 1.12와 같은 構成을 생각하면

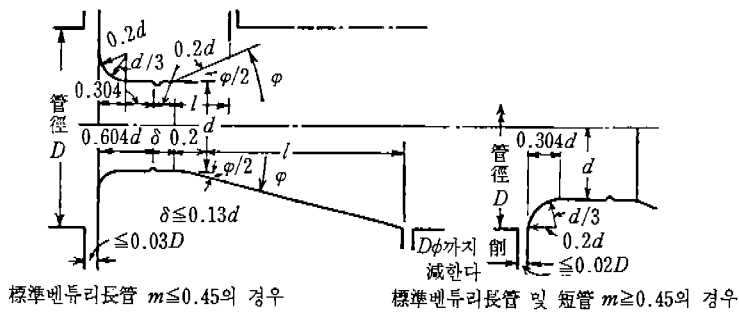
$$\frac{P_1}{r} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{r} + \frac{v_2^2}{2g}$$



<그림 1.12> 差壓式流量計의 原理



標準벤츨리短管  $m \leq 0.45$ 의 경우



<그림 1·13> 各種 조리기 機構

또한  $v_1 S_1 = v_2 S_2 = Q$  라고 하면

$$Q = \frac{S_2}{\sqrt{1 - (S_1/S_2)^2}} \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{r}}$$

가 되며  $P_1 - P_2$  요컨대  $S_1$ 부와  $S_2$ 의 差壓을 測定함으로써 流量  $Q$ 를 구할 수 있다.

流體가 氣體인 경우는 조리기 機構 통과후의 壓力變化에 의하여 密度變化가 일어나기 때문에 그 補正이나 氣體中에 水蒸氣를 포함하는 경우는 그 分壓을 고려하여 補正을 할 필요가 있다(그림 1·13).

管路中에 挿入하는 조리기 機構로서는 오리피스, 노즐, 벤츨리관이 주로 사용된다.

오리피스는 管斷面積보다 작은 同心圓의 구멍이 있는 얇은 金屬板으로서 간단한 구조로 값도 싸고 管路에 쉽게 設置 또는 철거할 수 있는 利點이 있으나, 壓力損失이 비교적 커서 流體中

에 挟雜물을 포함하고 있을 때는 그것이 오리피스 前面에 沈澱하기도 하여 誤差를 일으킨다. 오리피스의 설치위치는 가능한 한 水平管路로 충분히 긴 길이의 直管部로 渦流 등이 생기지 않는 곳을 이용할 필요가 있으며 이것이 充足되지 않을 때는 誤差가 더 크게 된다.

벤츨리관은 壓力損失은 적으며 精度높은 測定을 할 수 있으나 價格이 비싸며 管路에의 設置와 철거가 쉽지 않다.

노즐은 구조가 앞에 說明한 두 가지의 中間에 해당하기 때문에 그 長短點도 오리피스와 벤츨리의 中間에 해당한다.

이 差壓式流量計는 設計最大流量보다 使用流量範圍가 지나치게 적으면 극단적으로 誤差가 커지는 일이 있기 때문에 設計를 할 때는 필요 이상으로 큰 能力이 되지 않도록 유의할 필요가

있다.

(b) 칼로리計

工場에 있어서의 氣體에너지의 發熱量 管理 또는 制御는 効率的으로 燃燒시켜 熱에너지로 變換시키는데 중요하다. 더욱이 製鐵工場과 같이 工場 自體에서 여러 가지 燃料가스가 發生하는 경우는 발생가스의 연료로서의 質管理나 사용연소 프로세스에서의 効率化를 위해서 미리 준비한 두 종류의 가스를 混合하여 발열량을 調整하는 경우에 특히 중요한 의미를 갖는다.

(i) 燃燒形칼로리計

被測定 가스 및 연소용 空氣를 特定條件으로 調整, 燃燒시켜 이 연소온도를 測定하여 發熱量으로 換算하는 方法이다.

이 칼로리計는 被測定 가스 및 공기의 流量을 각각 오리피스를 사용하여 差壓으로 인출하여 이 差壓(流量)의 變動을 電氣的으로 演算補正하는 것으로 연소의 조건변화를 보충해 주고 있다. 이 方式의 機器構成例를 그림 1·14에 표시한다. 이 方式은 連續測定을 할 수 있는 利點이 있는 반면 被測定 가스中の 不純物이 소금이 되어 析出도 되고, 燃燒空氣와의 混合이 不完全한 경우에는 그을음이 發生하여 溫度檢出部 끝에 부착하여 精密度 또는 應答性を 劣化시키는 일

이 있으므로 주의를 要한다.

(ii) 成分分析形 칼로리計

이 形式의 칼로리計는 가스分析計를 적용하여 가스中の 可燃成分 濃도와 各可燃成分의 發熱量으로부터 演算하여 發熱量을 구하는 方式으로서, 가연성분의 變動은 물론 연소에 필요한 理論空氣量도 精確히 구할 수 있어 보다 合理的인 燃燒制御를 實現하는 일이 可能하게 된다.

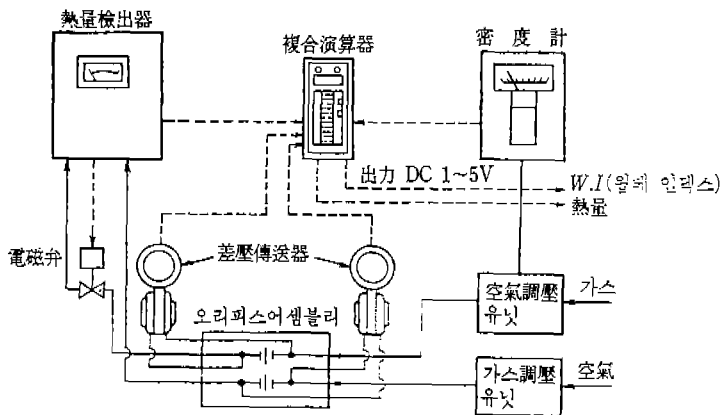
(3) 液體에너지

工場에서 사용하는 液體에너지는 重油·輕油·燈油 등이지만 單位體積當의 發熱量이 높기 때문에 일반적으로 小流量을 精確하게 측정할 필요가 있으며, 配管徑도 작으므로 오로지 體積式流量計가 사용되고 있다.

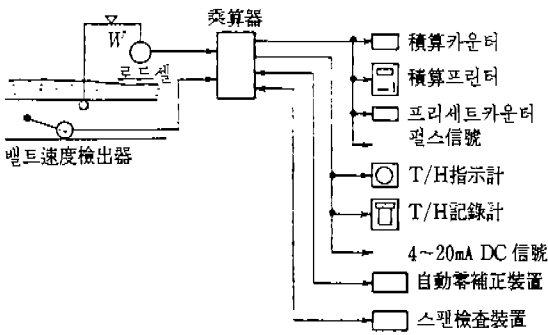
氣體에 비해서 壓縮性이나 溫度에 의한 팽창·수축도 없고 측정범위를 精確하게 선택하면 高精密度 및 高信賴性의 流量測定이 可能하다.

(4) 粉粒體에너지

製鐵工場 등에서는 石炭·코크스는 불가분의 에너지源이며 또한 多量 사용되고 있다. 이들은 통상 重量으로 평가되어 連續式 또는 배치式 秤量機를 사용하고 있으며 동시에 粉粒體中の 水



<그림 1·14> 칼로리計機器構成例



<그림 1·15> 로드셀식 컨베이어 스케일

분도 정확하게測定하여補正할 필요가 있다.

(a) 連續式 秤量機(컨베이어 스케일)

벨트컨베이어로의 연속수송 도중에 벨트의 단위길이당 粉粒體重量과 벨트의 進行 길이를 측정하여 서로를 곱하면 通過積算重量을 計測할 수 있다.

이 대표적인 것으로 오래전부터 메릭식 컨베이어 스케일이 있으나 최근에는 그림 1·15에서 보는 바와 같은 構成으로 重量檢出에 로드셀을 이용한 것이 보급되어 오고 있다.

이 방식은 構造가 간단하며 遠隔指示나 遠隔校正操作, 自動校正 등의 機能을 附加하는 것이 용이하고 裝置 전체의 精密度나 信賴性을 維持하기 쉬운 특징이 있으나, 컨베이어 스케일의 속명인 벨트의 張力變化 또는 蛇行의 영향을 받기 때문에 설치할 때는 벨트의 傾斜나 設置場所를 충분히 檢討할 필요가 있다.

(b) 배치(Batch)式 秤量機(호퍼 스케일)

연속공급이나 순간유량을 管理할 필요가 없는 경우에 高精度로 秤量하고자 할 때는 배치식 즉 호퍼스케일을 적용한다.

지금까지는 저울대식이나 振子式의 機械式을 사용하고 있었으나 高精度·高安定의 로드셀이 入手되고 또한 信號變換技術의 進歩에 의하여 지금까지의 機械式에 못지 않는 高精度의

로드셀식 秤量機를 實現할 수 있게 되었다. 로드셀식은 직접 電氣信號로 出力되기 때문에 指示의 遠隔化 또는 制御시스템에의 旣넣기가 容易하여 工場의 자동화 및 합리적인 에너지관리에 기여하고 있다.

1.2.2 에너지使用合理化를 위한 制御

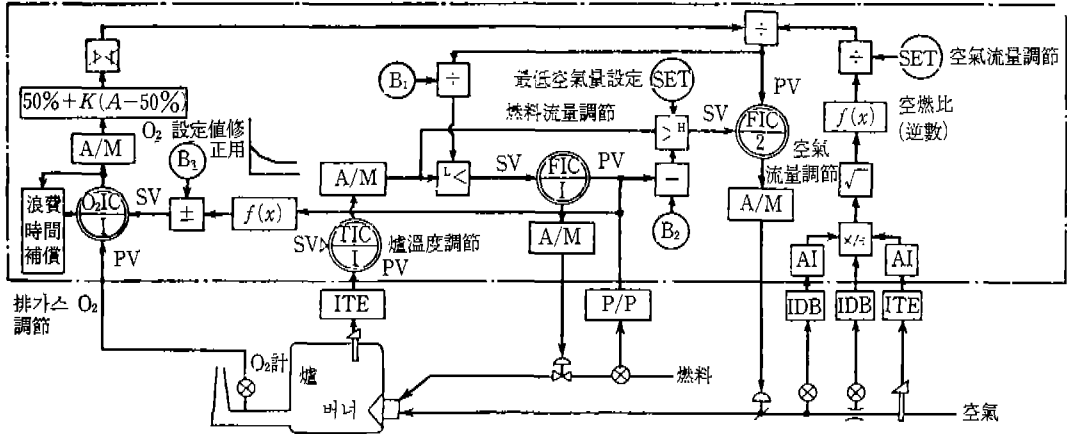
에너지利用合理化法 및 工場에서의 에너지利用合理化에 관한 事業者의 判斷基準에 의하면, 工場에서의 에너지 사용에 관하여 다음 사항의 合理化를 위해 努力하도록 권고되고 있다.

- (i) 燃料 燃燒의 合理化
- (ii) 加熱, 冷却 및 傳熱의 合理化
- (iii) 放射, 傳熱 등에 의한 熱損失의 防止
- (iv) 廢熱의 回收利用
- (v) 熱의 動力 등への 變換의 合理化
- (vi) 抵抗 등에 의한 電氣損失 방지
- (vii) 電氣動力, 熱 등への 變換의 合理化

이들의 方策에 대하여 視角을 바꾸면, 熱에너지의 有效利用과 動力에너지의 利用率 向上을 도모하는 것으로 分類된다. 전자는 열관리의 강화, 조업개선, 설비개선, 기술개발 등에서 熱效率의 向上을 도모하는 것과 排熱回收 등의 未利用에너지의 有效利用으로 大別할 수 있다. 이 중에서 制御의 관점에서는 보일러나 加熱爐 등 연소설비의 열효율 向上 및 反應裝置나 蒸溜裝置 등 各種 프로세스에서의 증기, 가스 등의 所要에너지 節減 등에 制御의 대상이 존재한다. 후자 즉 動力에너지의 利用率 向上에 관해서는 各章에 기술하고 있으므로 여기서는 주로 전자 즉 熱에너지의 熱效率 向上 및 熱에너지의 有效利用에 관련된 사항의 制御에 대하여 기술하기로 한다.

(1) 燃燒爐의 O<sub>2</sub> 制御

石油精製·石油化學·鐵鋼 등의 플랜트에는 原料를 어느 목적으로도 加熱 또는 均熱하여 희망하는 成品을 얻는 工業用加熱爐, 혹은 자가용



<그림 1·16> 低空氣過剩率 燃燒制御시스템 플로

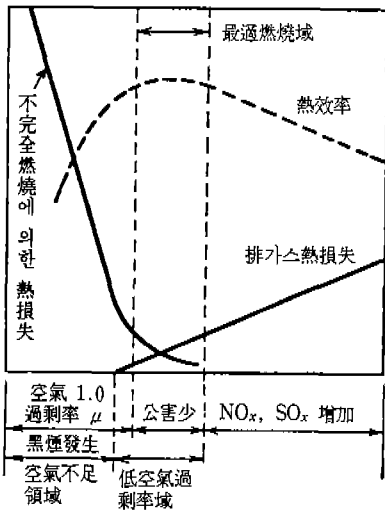
증기발생을 위한 보일러 등 연료연소식의 加熱 爐나 보일러가 多數 存在한다.

이와 같은 燃燒爐의 熱效率 向上을 위한 대책의 하나로서 그림 1·16에서 보는 바와 같은 低 空氣過剩率 燃燒制御시스템의 도입이 고려된다. 물론 熱效率의 向上을 위해서는 放射·傳熱 등에 의한 熱損失을 最小로 하기 위한 爐構造·爐 機 등의 개량대책 또는 排가스 顯熱低減을 위한 대책 등 검토해야 할 사항이 있으나 여기서는 制御에 한정해서 설명하기로 한다.

일반적으로 연료연소식의 燃燒爐에서는 그림 1·17에 표시하는 바와 같이 空氣過剩率(實際 空氣量/理論空氣量)  $\mu$ 가 最適燃燒域보다 높으면 排가스 顯熱량이 늘어나 熱損失이 增大하고 또 最適燃燒域보다 낮아지면 不完全燃燒에 의한 熱損失이 增大한다. 따라서 이들 損失의 合計가 最小가 되는  $\mu$ 의 값을 구하여 制御하게 된다. 이 경우 연소가스中의 산소농도를 空氣過剩率  $\mu$ 의 指標로 하고 이 산소 농도가 一定하게 되도록 空燃比를 制御하는 것이 O<sub>2</sub> 피드백 制御이다.

이 制御方式은 爐의 燃燒傳達關數의 遲時間 혹은 時定數에 비해서 完만한 燃料칼로리 變動이나 爐壓變化에 起因하는 침입공기변동 등의 外亂에 대해서도 有效하다. 그러면서도 실제의 爐에서는 연소가스中의 산소농도를 一定하게 制御하는 것이 항상 效率를 最大로 유지하는 것과는 一致하지 않기 때문에 效率를 最大로 하도록 空燃比를 操作하는, 이른바 最適制御의 도입을 고려하게 된다. 이 경우 사전에 熱效率特性이 把握되므로 부하변동에 대해서 追從할 수 있는 시스템인가 아닌가를 확인해둘 필요가 있다.

電力用 보일러 등에서는 이 종류의 制御가 도입되어 있으나 일반적으로는 對流傳熱部가 큰 燃燒爐에서는 熱效率이 燃料流量에 영향을 주



<그림 1·17> 空氣過剩率과 熱效率



게 되므로 부하에 따라 사전에 구해둔 최적한  
空燃比가 되도록 O<sub>2</sub> 피드백制御에 다시 연소가  
스中的 산소농도目標值를 修正하는 피드·포워  
드制御를 追加한 O<sub>2</sub> 制御가 도입되고 있다. 또  
한 O<sub>2</sub> 制御의 컨트롤部는 디지털演算制御器 등  
의 보급으로 비교적 쉽게 具現化가 가능하지만  
檢出端이 특히 문제가 되므로 그에 대한 각 주  
의사항을 설명한다.

燃焼가스中的 산소농도 測定에 있어서 그 良  
否를 左右하는 것은 샘플링시스템이다.

다음 사항을 배려해서 設計하는 것이 중요하다.

(a) 연소가스의 代表性, 그림1·16에서는 버너  
를 簡略化하여 나타내고 있으나 대개는 멀티버  
너, 멀티존이 일반적이다. 이와 같은 경우 연소  
가스의 특성을 대표하는 檢出位置 및 插入深度  
의 결정을 신중하게 할 것.

경우에 따라서는 實驗에 의해서 결정하지 않  
으면 안되는 경우도 있다.

(b) 制御對象의 傳達特性에 整合한 샘플링配  
管徑, 필터容량을 선택할 것.

(c) 추출위치에서의 가스溫度, 더스트, 드레  
인, 腐蝕性 등 信賴性을 고려한 후 프로브·샘  
플링裝置를 선택할 것.

(d) 프로브의 교체, 維持保修點檢, O<sub>2</sub> 分析計  
의 自動校正裝置 附加 등 保全性을 고려할 것.

더욱이 멀티버너, 멀티존 등에 있어서는 空燃  
比制御를 本管에서 하고 각 버너에의 配分은 手  
動밸브로 하고 있는 燃焼爐도 볼 수 있으나 이  
경우 각 버너 配分은 공기비를 고려하여 신중하  
게 하는 것이 중요하다.

## (2) 送排風機의 風量制御

燃焼爐의 送排風機, 工場內의 副生가스 回收  
또는 集塵裝置에 사용되고 있는 블로어 등에 요  
구되는 風量을 定風量인 것보다는 오히려 間歇  
的 또는 變動하는 風量인 것이 많다. 지금까지  
이와 같은 負荷에 대해서도 이니셜코스트 低減  
을 위해서 最大所要風量을 마련하는데 필요한

能力의 送排風機를 선정하여 定速度電動機로  
驅動하여 負荷側에서 어떠한 對策을 세우는 일  
이 많았다. 최근에는 風量制御에 의해서 電力節  
約을 도모하고자 하는 思考方式이 일반화되어  
왔기 때문에 그 개요를 설명한다.

要求風量에 따라서 風量을 制御하는 方法은  
다음과 같다.

### (a) 送排風機選擇 制御方式

여러 대의 送排風機를 가지고 所要風量을 필  
요에 따라 선택 운전하는 方式이다.

### (b) 댐퍼制御方式

吐出風量을 댐퍼로 制御하는 경우 송배풍  
기의 서징特性을 고려하여 서징防止를 위한 風  
量 바이패스制御 등의 對策이 필요하게 된다.

### (c) 回轉數制御方式

送排風機의 回轉數를 調節하여 吐出風量을  
制御하는 것으로 다음의 方法이 있다.

#### (i) 流體커플링

#### (ii) 油壓클러치(오일프릭스)

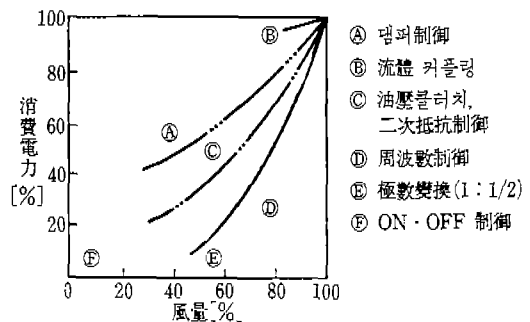
#### (iii) 周波數制御

#### (iv) 極數變換

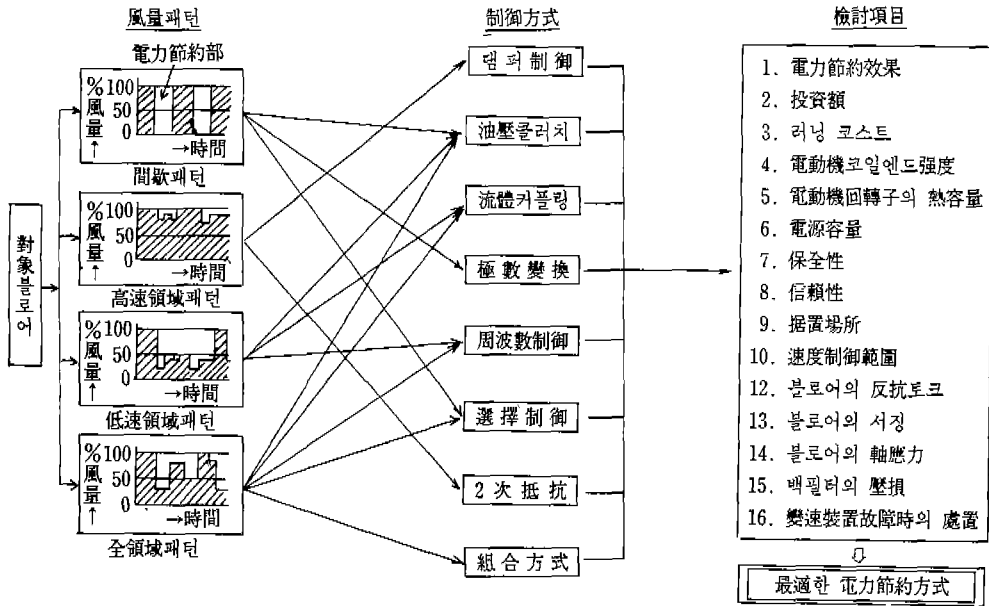
#### (v) 2次抵抗制御

### (d) 組合方式

방범위한 所要風量에 대처하기 위해서 上記



<그림1·18> 各方式의 消費電力比較



<그림 1·19> 제어 방식 결정의 순서예

한 (a)~(c) 중 어느 것을 적절하게 조합하여 풍량을 제어하는 방식이다.

이들 각 방식의 풍량제어범위와 소비전력이 틀리는 것을 개념적으로 표시한 것이 그림 1·18이다. 풍량제어방식을 계획할 때 가장 중요한 것은 송배풍機的 所要風量 패턴, 流量, 壓力 등 사용조건 및 송배풍機의 특성을 명확하게 파악하는 것이다.

그림 1·19에 제어 방식을 결정하기 위한 순서예를 참고로 표시하였다.

### (3) 칼로리제어

製鐵所에 있어서는 高爐, 코크스爐, 轉爐에서 高爐가스(BFG), 코크스爐가스(COG), 轉爐가스(LDG) 등의 각 副生가스가 발생한다. 그 중 BFG는 發熱量이 낮으므로 COG 또는 購入가스인 LPG, LNG 등 高發熱量의 가스를 混合하여 各工場의 燃燒爐가 필요로 하는 발열량 混合가스로 成生하여 供給하고 있다.

또한 都市가스 工業에 있어서도 需要의 增減에 대응하여 複數種의 可燃性氣體(예를 들어 나

프타 改質設備, LNG 設備, LPG 設備 등에서 가스를 제조한다)를 混合하여 需用家에 供給하고 있다.

이와 같은 混合가스 제조설비에 의해서 제조된 混合가스의 發熱量變動을 여하히 적게 하는 가가 에너지使用合理化上 중요한 포인트가 된다. 이 경우 制御의 指標를 混合가스의 發熱量(H), 워베指標(WI; Wobbe Index)의 어느 것으로 할 것인가는, 燃燒設備에서의 燃燒性, 使用量의 精確한 파악如否 등에서 決定할 필요가 있다.

일반적으로 WI란 燃燒設備에 대한 燃料가스의 互換性을 표시하는 값이며

$$WI = \frac{N}{\sqrt{\rho}}$$

H : 發熱量(kcal/Nm³)

ρ : 가스密度(kg/Nm³)

로 구할 수 있다. 燃料變更을 하였을 경우 이 WI를 一致시키면 同一投入熱量時에는 同一計裝設備가 사용되며, 供給管內 壓力損失도 같아진다. 즉 工業用가스 流量計測은 一般적으로 오

리피스로 하게 되지만 이 경우의 연소설비에의  
投入熱量은 다음 式으로 표시된다.

$$Q = H \cdot F = H \cdot \left( K \cdot \sqrt{\frac{2g\Delta P}{r}} \right)$$

Q : 投入熱量(kcal/s),

F : 投入가스量(Nm<sup>3</sup>/s)

H : 發熱量(kcal/s),

g : 重力의 加速度(m/s<sup>2</sup>)

K : 定數, r : 가스密度(kg/Nm<sup>3</sup>)

ΔP : 오리피스差壓(kg/m<sup>2</sup>)

여기서 燃料 A, B를 等熱量 投入(Q<sub>A</sub>=Q<sub>B</sub>)  
하기 위한 조건은

$$H_A \cdot \left( K \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta P_A}{\gamma_A}} \right) = H_B \cdot \left( K \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta P_B}{\gamma_B}} \right)$$

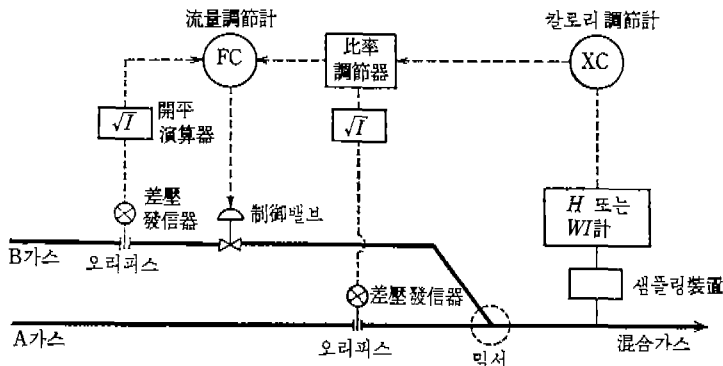
에서 다음 식이 얻어진다.

$$\frac{\sqrt{\Delta P_A}}{\sqrt{\Delta P_B}} = \frac{H_B / \sqrt{\gamma_B}}{H_A / \sqrt{\gamma_A}}$$

이 式의 右邊이 1, 즉 燃燒 A, B의 WI가  
같으면 左邊=1이 되어 오리피스差壓이 같아진  
다. 이것은 混合가스製造에 있어서 各種 可燃性  
가스의 混合比率이 變化하여 混合가스密度가 變  
化하여도 연소설비에의 投入熱量은 오리피스流  
量計의 外觀上의 流量으로 컨트롤이 된다는 것  
을 나타내고 있다.

표 1·2는 混合가스制御에 있어서 指標의 相  
違에 의한 特性比較를 표시한 것이다.

그림 1·20에 대표적인 2種混合에 의한 칼로  
리 제어시스템



<그림 1·20> 二種混合에서의 칼로리 제어시스템

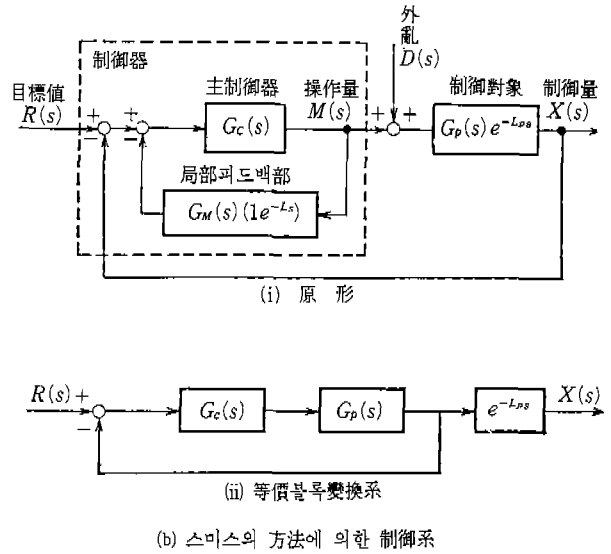
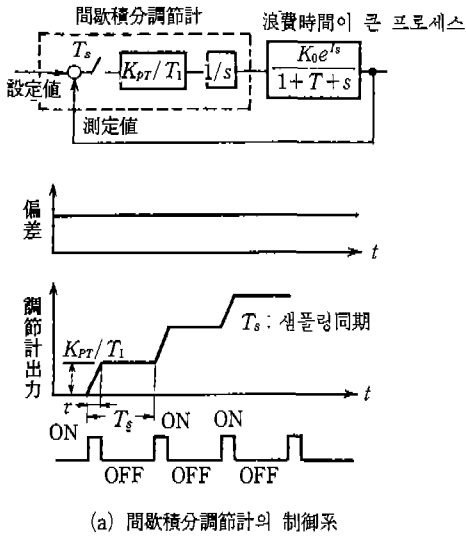
<표 1·2> 混合가스制御方式의 比較

項 目	發熱量 一定制御	WI 一定制御
1. 流 量 計 測	○各單味가스의 混合比率 如何에 따라서 오리피스의 差 壓이 6.7~22.3% 달라지므로 實流量은 一定해도 計 器指示値는 같은 比率로 變化한다. ○積算計 또는 入力信號를 密度補正할 需要가 있다.	○實流量은 불명하지만 消費發熱量으로서의 計量이 가 능하다. ○實流量이  필요한  경우, 오리피스設計時의  가스로 換 算한 假流量으로서의 把握 可能 ○積算值도 發熱值로서 管理 可能
2. 空 氣 比	○가스流量이 同一하더라도 密度의 變動에 依하여 오리 피스差壓이 變動하기 때문에 空氣比가 變動한다. ○따라서 空氣比設定信號의 補正이  필요	○同一한 投入熱量下에서는 單味가스의 混合比率이 變 化해도 거의 一定해진다. ○따라서 爐內雰圍氣는 安定
3. 配 管 壓 損	○同一投入熱量에 대하여 0~22.3%의 範圍로 變動한 다.	○同一投入熱量에 對하여 不變
	○WI의 變動範圍를 可能한 限  좁게한 狀態에서 運用 이 必要 ○또는 正確히 空氣比를 補正할  수 있는 計裝設備가  필 요하게 된다.	○空氣比의 變動이 거의 없으므로 연소관리는 單味가스 의  경우와 같은 感覺으로 할  수 있다.

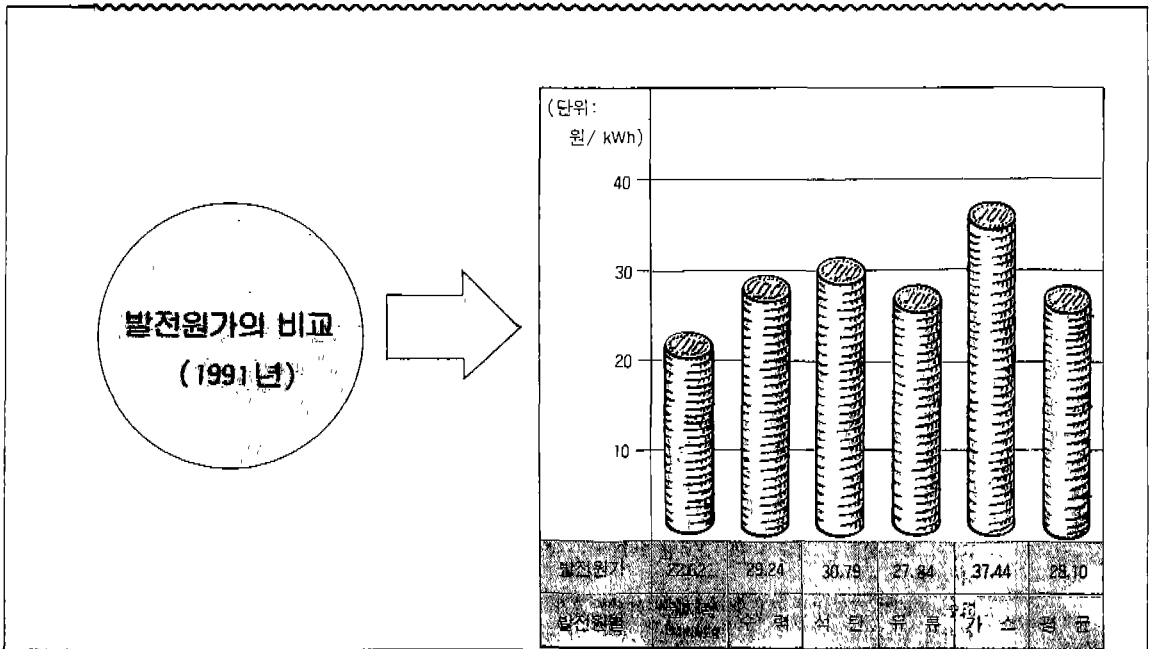
리제어시스템을 표시하였다.

칼로리제어를 실시할 때에 제어의 관점에서 주의해야 할 사항을 몇 가지列舉한다. 즉,

- ① 프로세스의 浪費時間이 크다.
- ② 넓은 레인지 어빌리티가 要求된다  
는 것이다.



<그림 1·21> 浪費時間이 큰 프로세스의 制御



①의 例로서는 믹서에서 混合가스 샘플링點까지의 距離, 샘플링裝置, 칼로리計 등이 갖고 있는 프로세스의 浪費時間(操作量을 변경한 후 測定量에 영향을 주기까지의 시간)이 크다. 이와 같은 浪費時間은 極力 減少하도록 각각에 대해서 대책을 세울 필요가 있으나, 아무리 하여도 減少시킬 수 없는 경우에는

(a) 間歇積分調整計 등에 의하여 샘플링·피드백制御

(b) O.J.M Smith가 提案한 ‘스미스法’에 의한 피드백制御

등의 도입이 고려된다.

그림 1·21에 그 計劃을 표시한다.

②의 例로서는 混合가스의 負荷變動幅이 클 때에 넓은 레인지 어빌리티의 流量計測이 요구된다. 통상적으로 울리피스의 레인지 어빌리티는 3:1 정도이지만 그림 1·22에서 보는 바와 같이 2대의 差壓發信器를 사용한 스펀릿 레인지方式을 採用하면 27:1의 넓은 레인지 어빌리티를 얻을 수 있다.

### 1.2.3 計裝시스템의 개요 소개

프로세스制御에 있어서의 計裝시스템을 볼 때 그 시스템은 이날로그計裝이나 디지털計裝이나 하는 말을 많이 듣게 된다. 여기서는 計裝 시스템 具現化에 어떠한 것이 사용되고 있는가 그 개요를 설명하기로 한다.

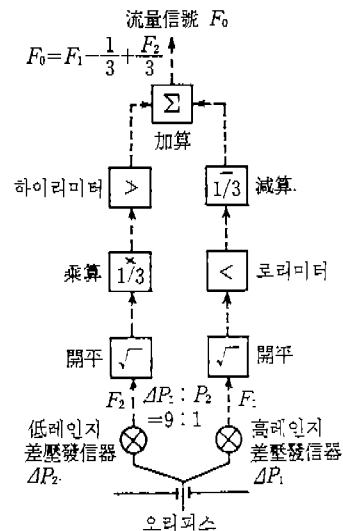
#### (1) 아날로그計裝

計裝의 制御對象은 溫度, 流量, 液位, 壓力 등 그 대부분은 프로세스 狀態量이다. 여기에 대해서 電動力의 制御對象은 回轉體의 速度, 物體의 位置 등이며 양자의 큰 差異는 制御對象의 動特性, 操作端 등에 있다.

例를 들면 操作端을 볼 때 전자의 그것이 밸브·실린더 동인 것에 대해서 후자의 그것은 電動機이다. 한편 전자의 動特性은 표 1·3에 표시하는 바와 같이 대개는  $ke^{-Ls}/1+Ts$ ,  $ke^{-Ls}/$

$Ts$  등으로 나타남으로 해서 프로세스의 피드백 制御에서의 調節計의 P(比例) 動作, I(積分) 動作, D(微分) 動作의 最適調節法이 Ziegler, Nichols 등에 의해서 이론적으로 확립된 것도 있으며, 소위 PID 調節計가 標準化市販되어 ‘유저’는 이 PID 調節計를 各種 프로세스의 피드백 制御에 적용하여 왔다. 우선은 標準化 市販된 것이 노즐플래퍼, 베로즈 등의 素子를 사용한 空氣壓式調節計이다. 계속해서 일렉트로닉스의 進歩에 수반하여 演算增幅器를 사용한 電子式調節計가 市販되게 되었다. 이 空氣壓式 및 電子式調節計에 代表되는 것이 소위 아날로그 計裝이라고 하는 것이다. 空氣壓式을 그 操作端에의 操作信號는  $0\sim 1.2\text{kg/cm}^2$ 의 空氣形信號이며 電子式은  $4\sim 20\text{mA}$ 의 電流信號이다. 따라서 이들 周邊機器도 空氣壓式과 電子式과는 相違한 것으로 되어 있다.

空氣壓式과 電子式의 特徵을 비교하면 전자는 耐熱性, 防爆性, 防塵性, 耐노이즈性, 調整 밸브와의 結合性에 있어서 有利하며 또 후자는 應答性, 복잡한 制御, 計算機와의 인터페이스에 있어서 有利하다. 計裝化에 있어서 이와 같은



<그림 1·22> 高레인지 어빌리티를 얻는 流量計測

<표 1·3> 대표적인 프로세스의 動特性

	프로세스形	例	動 特 性		適當한 制御動作	
			인식시일 應答	線形時的 傳達關數		
定 位 性	1	容量없는 프로세스 (Shower-bath Process)	液流量制御, 드래프트 壓制御 등		$k$	I動作 單速度 P.I動作 動作
	2	單容量 프로세스 (Bath-tub Process)	回分加熱岳의 溫度制 御 등		$\frac{k}{1+Ts}$	P動作 二位置動作
	3	多容量 프로세스	溫度制御가 많은 경우 등		$\frac{\pi(1+T_s)}{\pi(1+T_s)}$	P.I動作 P.I.D動作
	4	浪費時間이 있는 프로 세스	流動系(連續플랜트)에 서의 檢出의 지연 등		$e^{-Ls} \cdot G$	P.I.D動作
無 定 位 性	5	自己平衡性이 없는 프 로세스	보일러 드럼의 液位制 御 등		$\frac{k}{s}$	P動作
	6	自己平衡性 없이 지연 이 있는 프로세스	反應溫도의 制御 등		$\frac{e^{-Ls} \pi(1+T_s)}{s\pi(1+T_s)}$	P動作 P.D動作

長短點외에 保全性·信賴性·經濟性 등 종합적 인 견지에서 선택할 필요가 있다.

(2) 디지털計裝

근년, 半導體技術의 進歩에 의해서 마이크로 컴퓨터를 위시하여 素子の 性能向上, 機能面の 充實, 信賴性的의 向上, 低廉한 價格 등에 의하여, 電力應用面에서 지금까지의 릴레이 組合에 의한 와이어로직에 대신하는 PLC(프로그램머블 로직 컨트롤러)가 시퀀스制御로 活用되고 또한 電動機應用的의 各種制御에 있어서도 복잡한 演算制御가 필요하게 되면 마이크로컴퓨터에 의한 演算이나 DDC(디지털 다이렉트 컨트롤)가 實現되게 된다. 計裝面에서도 마찬가지로 마이크로컴퓨터를 內藏한 디지털計裝品이 商品化 되고 있다. 아날로그計裝項에서 설명한 電子式 PID 調節計는 프로세스變數를 入力으로 하여 目標值와의 偏差를 PID 演算하여 操作端에 制御出力을 내서 컨트롤하는 것으로 이것을 1루프 컨트롤러라고도 하며 이와 같은 관점에서 디

지털計裝의 規模를 分類하면 1 유닛으로 32루프, 16루프, 8루프, 1루프의 컨트롤러를 內藏하고 있는 것으로 나눌 수가 있다. 또 이와 같은 調節計는 制御對象의 動特性에 따라 連續 PID, 샘플링 PID, 2位置 온·오프 등의 最適한 制御 演算機能을 선택할 필요가 있으나, 아날로그計裝에서는 그들 各自가 專用的의 하드웨어로 되어 있는데 대해서 디지털計裝에서는 일반적으로 어떤 종류의 制御演算, 算術演算, 警報處理, 시퀀스制御 등의 機能과 아날로그에서는 具現하기가 곤란했던 浪費時間 發生機能 등도 소프트웨어로 內藏하고 있으므로, 플렉시블한 制御系의 構成이 될 수 있도록 한 것이 最大의 특징이다. 에너지使用合理化를 위한 프로세스의 制御限界를 追求하게 되면 制御系는 보다 복잡하게 될 것이 豫想되며 또한 1루프 컨트롤러의 出現에 의하여 시스템의 危險分散도 確保될 수 있도록 되어 왔기 때문에 디지털計裝은 금후 더욱더 적용범위가 擴大될 展望이다.

☞ 다음 호에 계속