

# EFI 시스템을 위한 吸入空氣量の 測定

## Suction Air Flow Measuring Method for EFI System

趙 珍 鎬\*

Cho, Jin - Ho

機關의 실린더 내로 흡입되는 공기의 質量이 정확히 計量 된다면 一定의 理論混合比를 얻기 위한 燃料의 噴射量은 쉽게 결정될 수 있다. 그러나 현재로서는 실린더로 흡입되는 실제의 공기량을 직접적으로 측정하는 수단은 없고 다음에 설명하는 간접적인 방법으로 그 量을 측정하고 있다.

### 1. Speed density method

기관으로 흡입되는 공기의 質量流量을 구하는 가장 일반적인 방법은 speed density method이다. 즉, 그림 1에서와 같이 일정체적  $\bar{V}$ 를 점유하는 공기의 溫度를  $T$ , 質量을  $M_a$ 라 할때 密度  $d_a$ 는

$$d_a = \frac{M_a}{\bar{V}} \dots\dots\dots (1)$$

이다.

여기서 공기의 質量  $M_a$ 의 單位를  $kg$ , 體積  $\bar{V}$ 의 單位를  $cm^3$ 이라 하면 密度  $d_a$ 의 單位는  $kg/cm^3$ 이고, 이 密度는 溫度가 낮아지면 커지고 반대로 溫度가 높아지면 그 값은 작아진다. 그림 2에서 일정체적  $\bar{V}$ 의 공기가 基準點(基準斷面)을 흐르는 데는 일정시간  $t_1$ 을 要하면 單位時間에 흐르는 體積流量  $R_v$ 는

$$R_v = \frac{\bar{V}}{t_1} \dots\dots\dots (2)$$

이고, 이를 質量流量으로 표시하면

$$R_m = \frac{M_a}{t_1} = \frac{\bar{V} \times d_a}{t_1} \dots\dots\dots (3)$$

이다. 즉,

$$R_m = R_v \times d_a \dots\dots\dots (4)$$

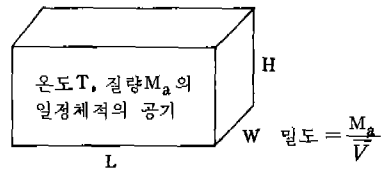


그림 1 體積流量

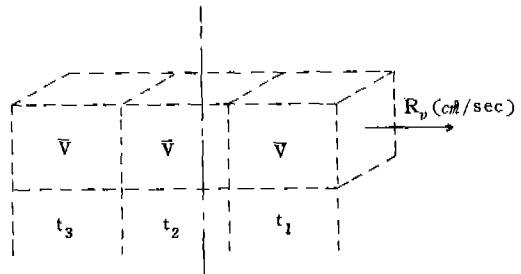


그림 2 基準點을 통과하는 空氣의 流量

의 관계가 있다.

흡入空氣의 體積流量  $R_v$ 를 직접적으로 측정하는 장치는 製作原價面에서 아직 개발된 것이 없고, 다음 방법에 의해 비교적  $R_v$ 를 정확하게 구할 수 있다. 吸入行程에서의 기관은 펌프와 같이 작용한다. 만약 이 펌프 작용이 완전하면 기관은 1사이클 즉, 크랭크軸이 2회轉하는 사이에 行程體積  $\bar{V}_h$ 에 等價인 量의 공기를 흡입한다. 따라서 그와 같이 펌프작용이 완전한 것으로 가정한다면 기관에 흡입되는 空氣流量은

$$R_v = \left(\frac{N}{60}\right) \cdot \left(\frac{\bar{V}_h}{2}\right) \dots\dots\dots (5)$$

가 된다.

여기서  $\bar{V}_h$ 는 이미 알고 있어, 단지 機關의 回轉速度( $N$ )를 알면 空氣流量  $R_v$ 가 구해진다. 그러나 실제의 기관은 그 펌프 작용이 완전하지 못하고, 이를 고려한 실제 기관에 흡입되는 空氣量은

$$R_v = \left(\frac{N}{60}\right) \cdot \left(\frac{\bar{V}_h}{2}\right) \cdot \eta_v \dots\dots\dots (6)$$

가 되고, 여기서  $\eta_v$ 는 體積效率로서 이 體積效率  $\eta_v$  ( $0 < \eta_v \leq 1$ )는 吸氣管壓力( $P_b$ )과 機關回轉速度( $N$ )에 의해 결정된다. 따라서 기관의 運轉條件이 결정되면  $\eta_v$ 의 값도 정해진다. 이와 같이 하여  $\eta_v$ 의 값은 앞에서의  $P_b$ 와  $N$ 의 函數로 나타내어진다.(制御시스템에서는 溫度變化에 따른 공기의 密度變化와 制御條件에 따른  $\eta_v$ 의 값이 table로써 메모리에 기억됨) 따라서 기관의  $\bar{V}_h$ 를 알고,  $P_b$ 와  $N$ 를 측정, 이에 대한  $\eta_v$ 의 값을 table로부터 구하면 體積流量  $R_v$ 는 式(6)에 의해 계산된다.

## 2. Karmann 渦 空氣流量計

종래 사용된 空氣流量計는 베인(vane)形, 熱線形, 超音波式 칼만渦形 등을 들 수 있다. 그런데 최근에는 小形이고 計測精度가 높으면서 또한 계측범위가 넓은 空氣流量計로서 개발된 것이 光學式 칼만渦形 流量計이다.

## 2.1 測定原理

앞서 사용되어 온 베인형 空氣流量計는 그림 3에서 吸入空氣가 measuring plate를 밀고 吸氣쪽으로 流入될 때 measuring plate 開도가 바로 吸入空氣量으로 대응된다. 즉 plate의 開도는 plate와 連動하는 電位差計(potentiometer, 電氣的回路는 그림 4에 표시되어 있음)에 의해 그 量이 電壓으로 變換되어 아나로그形態로 外部에 지시된다.

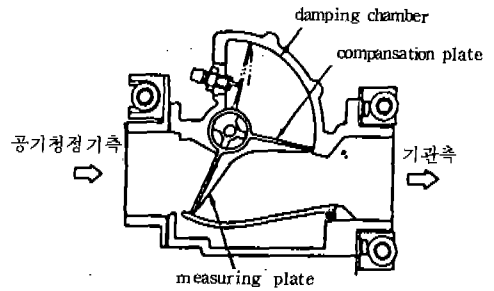


그림 3 베인形 空氣流量計의 斷面圖

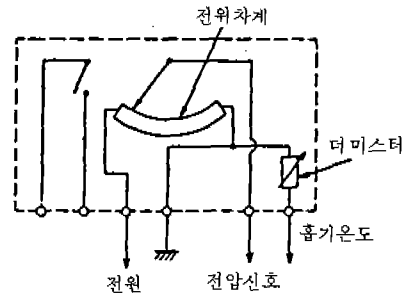


그림 4 베인形 空氣流量計의 回路

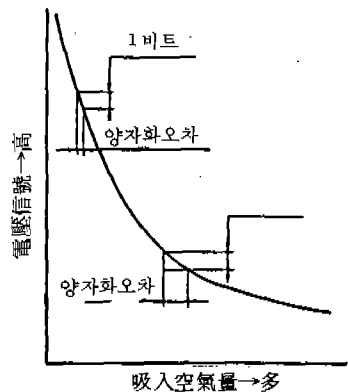


그림 5 吸入空氣量과 電壓信號

그림 5는 吸入空氣量에 대한 電壓信號의 대표적 예이다. 이 信號가 制御시스템의 컴퓨터에 入力되기 위해서는 A/D 컨버터에 의한 디지털화가 되어야 하고 이 때에 생기는 最下位비트(bit)指示의 流量을 量子化誤差라 하고 그림에서와 같이 流量이 많아짐에 따라 이 量子化誤差는 커져서 그림 6에서와 같이 計測精度가 떨어진다. 따라서 베인形 空氣流量計는 계측범위가 일정한도를 넘게되면 計測精度가 나빠지는데 따른 制約을 받게된다.

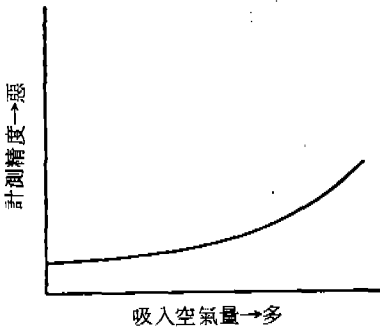


그림 6 吸入空氣量과 計測精度

앞에서와 같은 베인形 空氣流量計의 결점을 보완한 것이 칼만渦 空氣流量計이고 그 計測原理는 다음과 같다.

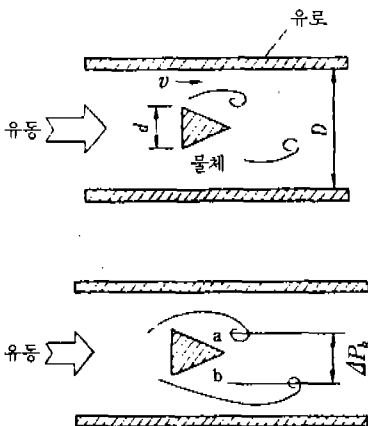


그림 7 칼만渦列과 渦差壓

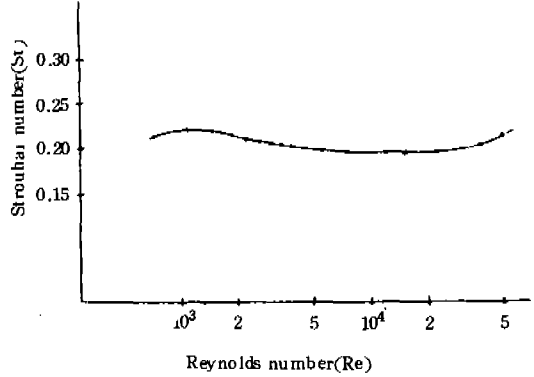


그림 8 Reynolds數에 대한 Strouhal數의 특성

그림 7에서와 같이 均一한 流路속에 渦發生體를 놓으면 渦發生體의 後流에는 空氣의 流速에 비례하는 周波數의 칼만渦가 발생한다. 이 칼만渦의 周波數를  $f$ 라 할 때  $f$ 와 空氣流速  $v$ 와는 다음의 관계에 있다.

$$f = S_t \frac{v}{d} \dots\dots\dots (7)$$

여기서,  $d$ 는 渦發生體의 幅이고,  $S_t$ 는 Strouhal數라고 불리우는 無次元數이다. 그림 8에서와 같이 Strouhal數는 一定한 레이놀드(Reynolds)數의 범위 ( $Re = 10^3 \sim 10^5$ )에서는 거의 一定하므로, 칼만渦의 發生周波數와 空氣流速과는 근본적으로 대응관계가 성립한다. 또 流路(円管)의 內徑을  $D$ 라고 할 때 吸入空氣의 每時間當 體積流量  $Q(m^3/h)$ 는

$$Q = \frac{3600 \cdot \pi \cdot d \cdot D^2}{4 \cdot S_t} \cdot f \dots\dots\dots (8)$$

로 된다.

칼만渦의 발생과 함께 渦發生體의 後流에는 壓力差( $\Delta P_k$ )가 생긴다. 이 壓力差는 渦周波數에 同期되어 그림 7에 나타낸  $a, b$ 부근에서 交互的으로 발생하므로 이 交互差壓을 검출하면 渦周波數  $f$ 를 알 수 있고 式(8)에 의해 流量이 계산된다(交互差壓은 檢出素子の 종류에 따라 힘이나 流速의 변화 등으로 轉換되어 檢出된다).

표 1은 실용화된 檢出素子和 檢出原理를 나타낸 것이다.

表 1 渦檢出素子の 檢出原理

檢出素子名	檢 査 原 理			
壓電素子	渦 發生 →	差壓 發生 →	힘의 변화	壓電素子の 應力 변화 → 電荷 發生
스트레인게이지			힘의 변화	스트레인 게이지의 스트레인 변화 → 抵抗 變化
電子코일			流速의 변화	피스톤의 上下 움직임 → 電壓 發生
더어미스터			流速의 변화	더어미스터의 온도 변화 → 周波數 變化
超音波센서			流速의 변화	

2.2 構造

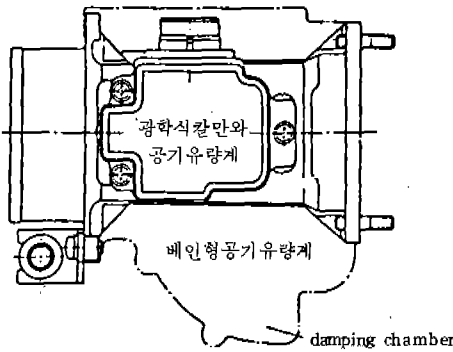


그림 9 光學式 칼만渦 空氣流量計의 外觀圖

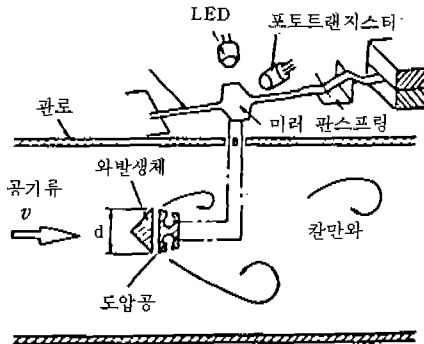


그림 10 칼만渦 空氣流量計의 原理

그림 9는 칼만渦 空氣流量計의 構成을 나타낸 것이다. 一點鎖線은 베인形 공기유량계의 骨格을 나타낸 것이며, 本 流量計에는 베인形 공기유량계에서와 같은 댐핑챔버가 필요치 않아, 小形 輕量으로 될 수 있다.

그림 10은 本 流量計의 渦檢出方法을 나타

낸 것이다. 얇은 미러(金屬箔)표면의 導壓孔을 통하여 칼만渦의 壓力을 유도, 그渦의 壓力에 의한 미러의 振動을 한 쌍의 受發光素子에 의해 光學的으로 검출한다. 이 방식은 베인形 공기유량계에서 電位差計와 같은 미끄럼 운동부분이 없고 칼만渦 발생에 대응하여 진동하는 미러가 光反射를 信號로 하고 있으므로 쉽게渦에 대응하는 전기적 펄스 信號를 얻을 수 있다.

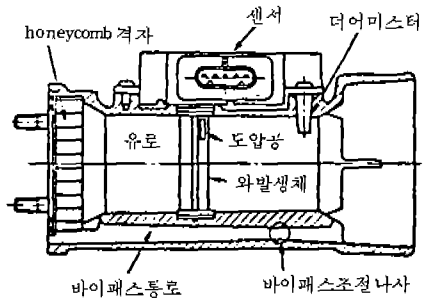


그림 11 光學式 칼만渦 空氣流量計의 斷面

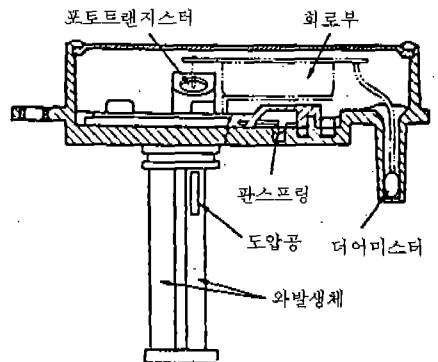


그림 12 센서의 斷面(吸入空氣의 流動方向)

그림 11은 본 流量計 流路의 斷面을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이 流量計는 渦發生體와 檢出部를 포함하는 센서부분과 공기의 流路部分이 분리되어 있어, 계측범위에 따라 流路部分의 치수가 변경되어도 센서부분은 共用토록 되어있다.

2.2.1 流 路

流路는 Al 다이캐스트로 一體成形되어 있고 그림에서와 같이 流路의 윗 쪽에 honeycomb 形 格子가 부착되어 있어 흡입공기가 이 格子를 지날 때 整流되어 칼만渦의 발생이 安定되도록 하고 있다. 流路 및 센서의 製作上의 公差로 인하여 생기는 流量特性의 不整분에 대해서는 그림에서 바이패스 통로를 지나는 空氣量을 조정하여 흡수토록 하고 있다.

2.2.2 센 서

그림 12는 센서의 吸入空氣 流動方向斷面(그림 11 참조)을 그림 13은 流動方向에 直角인 斷面을 나타낸 것이다.

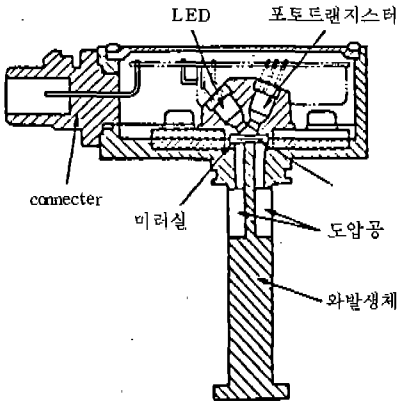


그림 13 센서의 斷面(吸入空氣의 流動과 直角方向)

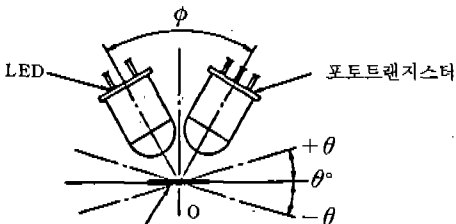


그림 14 LED, 포토트랜지스터와 emitter의 흔들림角

流路 下流側 渦發生體에 만들어진 導壓孔을 통하여 渦에 의한 壓力變化가 미리室로 유도된다. 앞에서의 그림 10에서와 같이 미리가 spanbend로 만들어져 이 spanbend는 軸돌레 방향으로 자유롭게 진동할 수 있도록 되어 있다. 미리室에 유도된 渦에 의한 壓力變化는 미리의 표면에 작용하고 이에 따라 미리는 spanbend의 방향으로 진동한다.

그림 14에 나타낸 바와 같이 미리의 윗 쪽 면에는 LED (發光다이오드)와 포토 트랜지스터(photo transistor)가 부착되어 있어 LED로부터 나오는 빛이 미리에 의해 反射되어 포토 트랜지스터로 들어가 電氣信號로 바뀌어진다. 그림에서와 같이 LED의 發光軸의 中心線과 포토 트랜지스터의 受光軸의 中心線과 이루고 있는 對抗角 φ로 하고, 두 개의 中心軸의 交點 O를 통하여 對抗角 φ의 두 分割線에 直角인 線과 미리가 이루는 角을 θ라 할 때 이 θ를 미리의 흔들림 角이라 한다.

LED의 發光電流를 一定하게 유지하고 미리의 흔들림 角 θ를 변화시켰을 때의 포토 트랜지스터의 emitter 電流 I<sub>e</sub>는 그림 15의 實線과 같이 변화한다. 이 emitter 電流特性曲線의 傾斜가 거의 일정한 부분(그림 15의 A 부분)의 中心이 미리의 振動中心이 되도록 θ<sub>0</sub>를 결정하고 있다. 칼만渦의 壓力에 의해 振

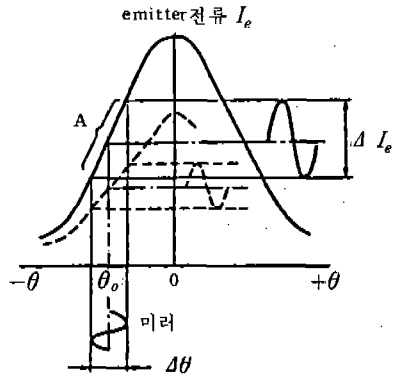


그림 15 미리의 흔들림角과 포토트랜지스터의 emitter 電流

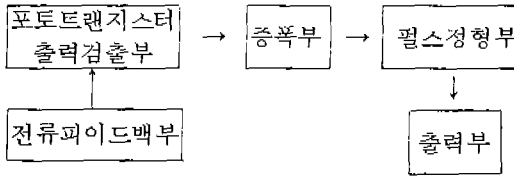


그림 16 信號處理回路的 블럭圖

動하는 미러의 흔들림 각 변화  $\Delta\theta$ 가 포토 트랜지스터의 emitter 電流의 變化  $\Delta I_e$ 로써 檢出되므로, 이것을 펄스信號로 변환하여 칼만渦의 發生信號로 하고 있다.

그림 16은 신호처리회로부의 블럭圖이다. 흡입공기중 카본이나 먼지 등에 의해 미러의 빛 反射率이 저하되면 포토 트랜지스터의 emitter 電流變化  $\Delta I_e$ 가 그림 15의 破線으로 나타내는 것과 같이 작아진다. 이 때문에 블럭圖에서 電流 피이드백 回路에 의해 포토 트랜지스터의 emitter 電流變化의 平均값이 一定值로 되도록 LED의 電流值를 제어하여, 항상 安定된 信號를 얻도록 하고 있다.

### 3. 特 性

#### 3.1 空氣流量 - 周波數 特性

그림 17은 光學式 칼만渦 空氣流量計의 空氣流量 - 周波數 特性을 나타낸 것이다. 空氣流量과 칼만渦 發生 周波數가 空氣量에 관계없이 넓은 범위에 걸쳐 直線의으로 나타나 있다.

#### 3.2 大氣條件의 影響

칼만渦 空氣流量計는 그 원리가 體積流量計이다. 그런데 기관의 燃料制御를 해 필요한 空氣量 情報는 質量流量計이므로, 칼만渦 空氣流量計로부터의 情報는 吸氣密度 補正을 필요로 하며 이에 대한 大氣條件의 影響은 다음과 같다.

##### 3.2.1 吸氣溫度의 영향

그림 18은 吸氣溫度의 影響을 나타낸 것이다. 橫軸은 吸氣溫度이고, 縱軸은 質量流量을 一定으로 하여 吸氣溫度를 변화시켰을 때의 基準狀態(20℃)에 대한 計測信號의 오차이다.

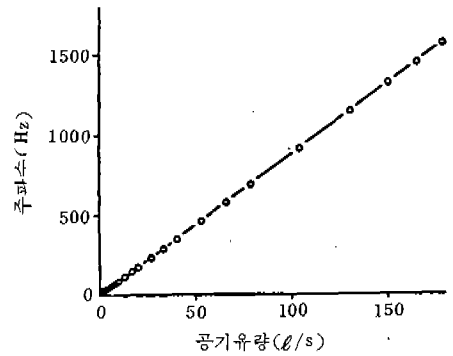


그림 17 空氣量 - 周波數 特性

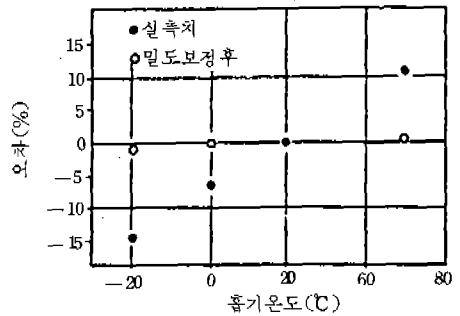


그림 18 吸氣溫度의 影響

$$\text{오차} = \left( \frac{f_t}{f_{20}} - 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

$f_t$  : 吸氣溫度가  $t$ ℃일 때 渦發生 周波數  
 $f_{20}$  : 吸氣溫度가 20℃일 때 渦發生 周波數  
 吸氣溫度가 달라지면, 그림 18에 黑點으로 나타낸 바와 같이 오차가 생기고, 예를 들어 吸氣溫度 50℃인 경우는 20℃일 때에 비하여 10%이상의 오차가 생긴다. 이 오차는 온도에 따른 공기의 密度變化에 의한 것이므로 샤를(Charles)法則에 의해 데이터의 補正을 하면 式(10)으로 되고 그림에서 흰 점으로 나타낸 바와 같이 완전한 補正이 가능하다. 式(10) 중의  $t$ 는 吸入空氣溫度이고 그림 11에 있는 더미스터(thermistor)에 의해 계측된다.

$$f_{tc} = f_t \times \frac{295}{273 + t} \dots\dots\dots (10)$$

##### 3.2.2 大氣壓의 영향

그림 19는 大氣壓의 影響을 나타낸 것이다. 橫軸은 大氣壓이고 縱軸은 質量流量을 一定으로

로 하여, 吸氣壓力을 변화시켰을 때의 基準狀態(760 mmHg)에 대한 計測信號의 오차이다.

$$\text{오차} = \left( \frac{f_p}{f_{760}} - 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots (11)$$

$f_p$  : 大氣壓  $P$  mmHg 일 때 渦發生 周波數  
 $f_{760}$  : 大氣壓 760 mmHg 일 때 渦發生 周波數

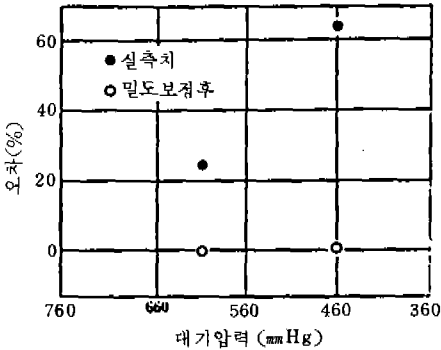


그림 19 大氣壓力의 影響

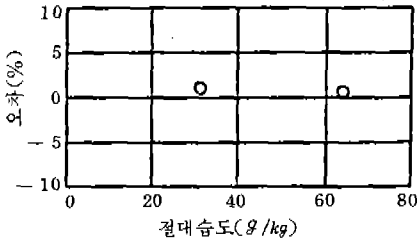


그림 20 濕度の 影響

이 오차는 壓力에 의한 공기의 密度變化에 의한 것이므로 보일(Boyle)法則에 의해 데이터의 補正을 하면 式(12)로 되고 그림속에 흰 점으로 나타낸 바와 같이 거의 完全한 補正이 됨을 알 수 있다.

$$f_{pc} = f_p \times \frac{P}{760} \dots\dots\dots (12)$$

式(12) 중의  $P$ 는 吸氣壓力이고 이 補正은 吸氣壓力 센서가 필요하나 자동차가 走行하는 地域의 海拔 高度差가 비교적 적은 경우는  $O_2$  센서에 의한 空燃比 補正으로 吸入空氣量 信號의 오차에 충분히 대응될 수 있다.

### 3.2.3 大氣濕度の 影響

그림 20은 大氣濕度の 影響을 나타낸 것이다. 橫軸은 絕對濕度이고, 縱軸은 空氣의 質量流量을 一定으로 하여 絕對濕度를 변화시켰을 때의 乾空氣에 대한 計測信號의 오차를 나타낸 것이다.

$$\text{오차} = \left( \frac{f_x}{f_0} - 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots (13)$$

$f_x$  : 絕對濕度  $x$  g/kg일 때 渦發生 周波數  
 $f_0$  : 絕對濕度 0 g/kg일 때 渦發生 周波數

그림에 의하면 濕度에 의한 오차는 거의 무시될 수 있으므로 濕度變化에 따른 데이터의 補正은 필요치 않음을 알 수 있다.

### 參 考 文 獻

1. T. Sasaki, Y. Asayama, "A Karman Vortex Airflow Sensor", SAE 820322, 1982.
2. T. Sasayama, T. Hirayama, "A New Electronic Engine Control System Using a Hot-Wire Air Flow Sensor", SAE 820323, 1982.
3. B. C. Cartmell, F. L. Zeisler, "Engine Mass Air Flow Meter", SAE 760017, 1976.
4. William B. Ribbens, Norman P Mansour; "Understanding Automotive Electronics", Texas Instruments Learning Center, 1982.
5. 田坂一美, "EFI用新型空氣流量計의 開發", 自動車學術, Vol. 39, No. 10, 1985.
6. 小林哲二, "自動車用各種 센서", 自動車技術, Vol. 37, No. 2, 1983.
7. 志賀擴, "カーエレクトロニクス", 出海堂, 1986.
8. 林田洋一, "カーエレクトロニクス", 大河出版, 1984.
9. 森村正直, "センサ工學", 朝倉書店, 1982.
10. 片岡照榮, "センサバンドブック", 培風館, 1986.