

# 吸氣管内의 液膜流動의 液膜두께 測定方法

## A Measurement Method of Liquid Film Thickness in Intake Manifold

全 興 信\*, 朴 涇 錫\*  
Heung-Shin Jeon, Kyoung-Suk Park

### 1. 序 論

가솔린機關의 燃燒狀態와 排氣特性을 改善하기 위하여서는 혼합기의 均一性을 높이고, 定常運轉時에는 물론 過渡運轉時에서도 適當한 혼합기를 실린더에 供給할 必要가 있다. 이를 위하여서는 氣化器에서 분출하는 燃料流量과 燃料의 噴霧狀態, 吸氣管内을 浮遊하는 燃料液滴과 管壁을 따라 흐르는 液膜油의 증발 및 거동을 明確히 把握할 必要가 있다. 이 중 吸氣管壁에 부착하여 흐르는 燃料液膜의 거동은 定常運轉時 및 過渡運轉時의 吸氣管内 혼합기의 量的, 質的變動이나 혼합기의 분배에 큰 영향을 미치고 있기 때문에,<sup>1,2)</sup> 그 거동을 상세히 把握하는 것은 燃料供給狀態를 解明하기 위하여 不可避하다. 따라서 이에 관한 著者<sup>3)</sup>들의 一連의 實驗研究 結果에서 물(水)의 液滴浮遊率은 常溫에서 吸氣管内 공기속도가 일정할 때 噴射노즐직경이 작을수록, 관 길이가 짧을수록, 공급유량이 적을수록 增加하는 것을 알 수 있었다. 이것은 實用機關의 吸氣管内의 平均氣流速度를 20 ~ 40 m/s 라 하고 관 길이  $L=400\text{ mm}$ 에서의 液滴浮遊率은 噴出流量이 3 ~ 4 cc/s 일때 20 ~ 40 %가 되어 噴出流量의 반 이상이 부착되는 液膜流量임을 추정할 수 있었다. 이것은 定常氣流中에 噴

射하여 液滴浮遊率에 관한 倉林<sup>4)</sup>의 實驗결과와도 잘 일치하고 있다. 한편 실기모형 實驗結果<sup>5,6)</sup>에 따르면 4 사이클기관에서 液膜流의 분리기에서 測定한 液滴浮遊率은 氣化器에서 400 mm 下流가 되면 거의 一定하게 되고 그 값은 40 ~ 70 %가 된다고 보고하고 있다. 따라서 吸氣管에서 液滴과 液膜狀에서의 증발로 상당히 진척되는 것으로 사려된다.

그러나 실제의 吸氣管에서는 단면이 일정한 직관이 아니며, 피스톤기관의 吸氣管은 단면 변화가 不可避하여 液滴은 慣性으로 인한 管壁과의 衝突로 부착하게 되고 液滴浮遊率은 더욱 작게 된다는 D. A. Trayser<sup>7)</sup>, W. E. Ranz<sup>8)</sup> 등의 보고가 있다. 또 寶諸幸男<sup>9)</sup>은 液膜流의 발생이 有害排氣가스를 增加시키고 液膜流의 減少는 氣筒사이의 燃料分配의 不均一度를 低下시키므로  $\text{NO}_x$ , HC, CO가 크게 減少된다고 보고하였다. 이와같이 液膜油의 存在는 각 실린더에 流入하는 燃料의 질적차이를 가져오기 때문에 液膜油를 分離除去하는 방법<sup>10,11)</sup>의 研究도 많이 이루어지고 있으나 아직 實用上에 問題가 많은 것으로 남아있다.

따라서 本稿에서는 이와같이 問題되고 있는 吸氣管内 液膜流動의 거동을 考察하기 위하여 液膜두께 變動을 測定하는 方法에 대하여 著者

\* 正會員, 慶熙大 機械工學科

들이 사용하였던 方法과 그의 超音波를 利用한 液膜두께 測定法을 소개하고자 한다.

## 2. 液膜두께 測定方法

보일러의 管内 蒸氣流動, 原子爐에서의 受送管内 流動 및 氯化器불이 가솔린機關의 吸機關內 혼합기의 流動은 管中心部에 液滴, 管壁에 液膜이 흐르고 있는 環狀噴霧流이다. 이와같은 流動狀況에서는 液膜流動이 管内流動을 支配할 뿐만 아니라, 性能에도 큰 영향을 미치므로 液膜流動의 解析이 不可避하다. 이를 위한 方法으로서 液膜두께 測定에 관한 많은 研究가 행하여져 왔으나 아직 이 測定方法에 대하여서는 定立되어 있지 않다. 實際 管内 微量液膜두께의 크기는 數  $\mu m$ 로부터 數  $mm$ 의 크기이므로 이 정도의 液膜두께를 測定하기에는 상당한 난점을 갖고 있다.

一般的으로 微量 液膜두께를 測定하는 方法으로서 고려되어져 왔던것은 液面을 검출하여 液膜두께를 測定하는 方法과 液體液膜의 電氣的인 性質을 이용하여 직접 液膜두께를 測定하는 方法으로 크게 나눌 수 있다. 먼저 液面을 검출하여 液膜두께를 측정하는 方法<sup>12)</sup>은 超音波, 波長이 짧은  $\gamma$ 線(波長  $10^{-12} m$ 以下, 振動數  $3 \times 10^{20} Hz$ 以上), 可視光線(波長  $3.8 \sim 7.7 \times 10^{-7} m$ ) 및 마이크로웨이브(波長  $10^{-4} m$ 以下) 등의 電磁波를 利用하여 波長의 크기와 取扱할 대상의 物量的인 크기에 따라 反射, 吸收, 屈折, 回折 및 干涉를 利用하는 것이다. 이러한 方法들은 液體의 導電性有無에는 關係없이 液膜에 직접 접촉하지 않고 液膜두께를 測定할 수 있고, 液膜이 흐르고 있는 경우에도 흐름을 교란시키지 않는 장점이 있다. 단점으로서의 超音波를 제외한 電磁波의 이용은 測定이 複雜할 뿐만 아니라 液膜두께의 較正이 困難하다는 것이다.

한편, 液體의 電氣的性質을 利用하여 직접 液膜두께를 測定하는 方法으로서의 液膜두께의 變動을 靜電容량의 變動으로 變換하는 方法과 電氣低抗의 變動으로 變換하는 方法이 있다. 前者는 液膜두께의 兩面에 電極을 설치하

여 兩極間의 靜電容량의 變化를 測定하는 方法이므로 液膜이 流動하거나, 液膜表面에서 液滴이 飛散하는 경우에는 正確한 液膜두께가 測定되어질 수 없는 단점이 있다. 반면에 後者의 方法은 液膜이 流動하고 있어도 正確히 測定할 수 있는 장점이 있다. 이러한 方法들은 測定이 容易하고 液膜두께의 較正을 하기 쉬우므로 많이 사용되었으나, 가솔린과 같은 石油類에 代表되는 絶緣體에서는 測定할 수 없는 단점이 있다. 따라서 絶緣體는 電氣的性質을 利用하여 測定하기 困難하므로 電導도를 높이기 위하여 適當한 電解物質을 넣어 使用할 必要가 있다.

그의 電極法이라고하는, 직접 液面을 電極프로브로 탐지하여 液膜두께를 測定하는 方法도 많이 使用되고 있다. 이 方法은 管内 液膜流動의 測定時에는 電極프로브가 직접 管内에서 測定하여야 하므로 管内 噴霧流의 流動障礙를 주는 단점은 있으나, 직접 液膜두께를 구할 수 있는 장점이 있다.

## 3. 超音波를 利用한 測定法

### 3.1 原理

招音波는 普通의 音波와 마찬가지로 反射, 屈折을 일으키지만 波長이 짧기 때문에 光에 닮은 현상을 일으키는 것이 많다. 均質한 媒質의 공간(혹은 물체)에서는, 音波는 어디까지나 直進하지만(指向性) 다른 媒質이 存在하면 媒質의 境界에서 音波는 일부는 反射하고 일부는 透過한다. 이 原理를 利用하여 吸氣管内의 液膜流의 두께를 測定할 수 있다.

그림 3.1에 表示한 바와같이 探觸子에서 反射面(液膜流 表面)까지의 거리를  $l$ , 音速을  $c$  라고 하면 超音波펄스의 왕복시간(所要時間)  $t$ 는 다음 식으로 表示된다.

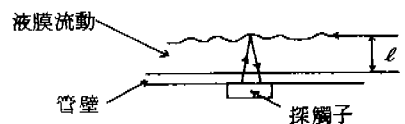


그림 3.1 超音波에 의한 液膜두께測定

$$t = \frac{2\ell}{c}, \quad \ell = \frac{c \cdot t}{2} \dots\dots\dots (3.1)$$

윗식에서 거리  $\ell$ 은 媒質에서의 音速  $c$ 를 알 수 있다면 시간  $t$ 를 測定함으로써 구할 수 있다.

3.2 超音波의 指向性

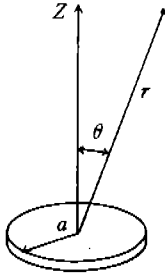


그림 3.2 圓板音源

計測器에서 使用되고 있는 超音波의 發生裝置는 電氣的인 方法이고, 振動子로서 使用되어지는 것은 水晶, Piezo電氣結晶 및 電歪振動子が 많다. 그림 3.2와 같이 반경  $a$ 가 圓板音源이 피스톤狀으로 振動하고 있으면 이 音源의 前方에 音場이 생기지만 반경  $a$ 가 波長  $\lambda$ 에 비하여 큰 경우에는  $Z$ 축상의 音波의 波面은 音源面에 平行이 된다고 생각해도 좋다.<sup>13)</sup> 音波의 強度分音源의 중심에서 거리  $r$ 가  $a$ 에 比較하여 充分히 크면 壓力振幅  $P$ 는 다음 식으로 表示된다.

$$P(r, \theta) \sim \frac{e^{-jrk}}{r} \frac{J_1(Ka \sin \theta)}{Ka \sin \theta} \dots\dots\dots (3.2)$$

여기에서,  $K$  ;  $2\pi/\lambda$   
 $\theta$  ;  $Z$ 에서의 경사각도  
 $J_1$  ; Bessel 함수  
 Bessel 함수  $J_1$ 가 최초로 0이 되는 것은,  
 $Ka \sin \theta = 3.83 \dots\dots\dots (3.3)$

즉,  $\sin \theta = 0.61\lambda/a \dots\dots\dots (3.4)$   
 따라서 超音波는 식 (3.4)에 나타내는 각도  $\theta$ 방향으로서 進行하지만, 앞에서 記述한 바와같이  $\lambda \ll a$ 인 條件에서는  $\theta$ 도 작아 指向性을 갖게 된다.

3.3 平面波의 反射와 透過

媒質의 密度  $\rho$ 와 그 媒質中에서의 速度  $u$ 와 의 곱  $\rho u$ , 즉 比音響임피던스가 각각  $Z_1, Z_2$ 인 媒質 I, II의 境界面에 수직으로 平面波가 入射하면 일부는 反射하고 일부는 透過한다. 이때 音壓反射率  $R_p$ , 에너지反射率  $R_I$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$R_p = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad R_I = R_p^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2 \dots\dots\dots (3.5)$$

또 音壓透過率  $T_p$ , 에너지透過率  $T_I$ 는 다음 식이 된다.

$$T_p = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad T_I = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

윗식에서 音響임피던스가 크게 다른 媒質間에는 反射가 강하고, 반대로 유사한 物質들과의 境界面에서는 音이 잘 透過하는 것을 알 수 있다. 따라서 氣體(예를들면 공기)에서 液體(물)로, 液體에서 氣體로 入射할 때에는 거의 100% 反射하게 된다.

3.4 吸氣管内의 液膜表面의 檢出모델

吸氣管内 壁面위에 부착하여 흐르는 液膜流를 그림 3.3에 表示하였다. 그림 3.3은 4부분으로 나눌 수 있다. 먼저 吸氣管外의 媒質 I(공기), 管壁媒質 II(예를들면, 투명염화비닐, 아크릴등), 媒質 III(液膜流動燃料, 水) 및 管内의 媒質 IV(混合氣)이다. 그림 3.4에서는 吸氣管外 壁面에 探觸子를 부착시켰을때의 쉘스反射의 基本構成例를 表示하였다.

探觸子를 管壁面上에 附着시키면 이 境界面에서 反射波는 무시할 수 있다. 여기에서 反射波의 에너지反射率을 계산하기 위하여 管壁은 염화비닐, 液膜流動은 물이라고 가정한다.따

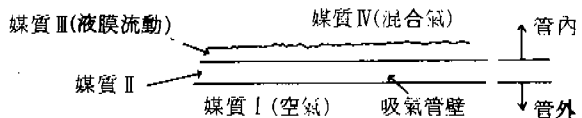


그림 3.3 吸氣管内외의 모델

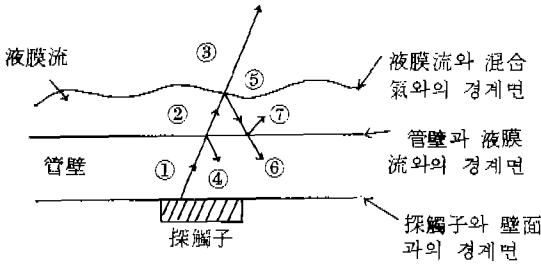


그림 3.4 펄스反射의 基本構成例

라서 열화비닐의 음향임피던스는 20℃에서  $Z(III) = 3.015$ , 물은  $Z(III) = 1.842$ 이며, 管内의 혼합기는 실제로는 공기와 물(噴霧狀)로 이루어졌으나 液膜流와의 경계면에서는 공기만이라고 가정할 수 있다. 이때 공기의 임피던스는  $Z(IV) = 0.0004142$ 이다. 式(3.5)을 사용하여 그림 3.4의 反射波④, ⑥의 에너지反射率을 계산하면 각각 11.6%, 78%가 된다. 즉, 探觸子에서 受信되는 第1, 第2의 反射波를 오실로스코프로서 받아보면 그림 3.5와 같이 畫面波形을 형성한다.

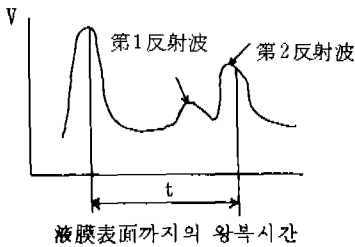


그림 3.5 Osc.의 畫面波形

### 3.5 測定回路

液膜두께 測定回路의 系統圖는 그림 3.6에 表示하였다.

#### (1) Gate 回路

Gate 回路는 發振器에서 나오는 連續펄스를 전부 사용하는 것은 적고, 發振器의 펄스를 떨어뜨려 반복측정을 하는 것이 대부분이므로 發振器의 펄스를 떨어뜨리는 回路이다.

#### (2) 微分回路

Gate 回路에서 나온 펄스를 微分하는 回路이다.

#### (3) 펄스增幅回路

短形波의 펄스를 微分하면 正, 負의 直流펄스가 얻어지지만 이 중 負펄스를 增幅하여 큰 正펄스로 하는 回路이다.

### 3.6 超音波를 사용할 때 發生하는 問題點

#### (1) 空洞現象

一般的으로 超音波를 사용하면 空洞現象이 發生한다. 이러한 空洞現象의 影響은 超音波의 振動數가 增加하면 減少한다.<sup>14)</sup>

#### (2) 超音波에 의한 發熱

超音波의 에너지가 吸收되면 결국은 熱로 變換되기 때문에 超音波를 이용한 實驗은 반드시 發熱이 동반된다. 또 媒質속에서의 音速은 溫度에 의하여 變化하기 때문에 測定值에 溫度補償을 하지 않으면 謬된다. 이를 위하여서는 미리 吸氣管内의 定位點까지의 反射往復時間을 測定하여, 그 값을 基準으로 하여 測定值과 比較하므로써 補償할 수 있다.

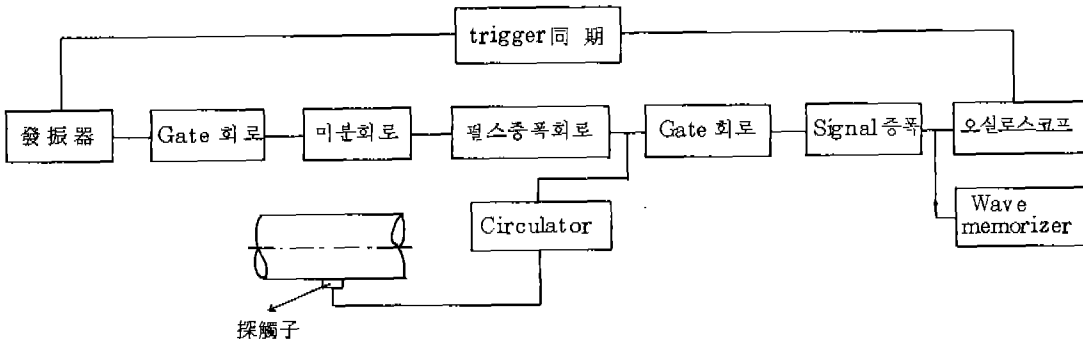


그림 3.6 測定回路의 系統圖

## 4. 電氣低抗을 이용한 測定法

### 4.1 原理

液膜을 形成하고 있는 液體가 導電性을 띠고 있으면 液膜두께의 鉛直方向의 깊이, 혹은 깊이를 電氣量으로 變換하여 測定하는 方法이다. 즉 液膜두께에 따른 電氣低抗의 變化를 測定함으로써 液膜두께를 구하는 것이다. 그림 4.1에 液膜두께 測定에 대한 等價回路를 表示하였다.

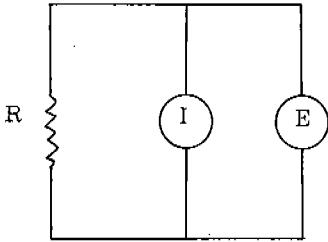


그림 4.1 液膜두께測定 等價回路

이것은 液膜流의 方向에 垂直方向으로 2개의 電極프로브를 삽입할 때, 이 兩電極프로브에 一定한 電壓(E)를 걸어 주면 液膜두께의 變動에 따른 電氣低抗(R)의 變化가 일어나는 것을 나타낸 것이다. 이때 電氣低抗의 變化가 일어나면 兩電極사이 에 흐르는 電流(I)가 變化하여, 이 電流의 變化를 測定하여 液膜두께를 구할 수 있다.

### 4.2 液膜두께 較正方法

液膜이 停止, 혹은 흐르고 있는 管壁에 2개의 電極프로브를 挿入하는 方法은 그림 4.2에 나타낸 바와같이 2가지가 있다. 첫번째 방법은

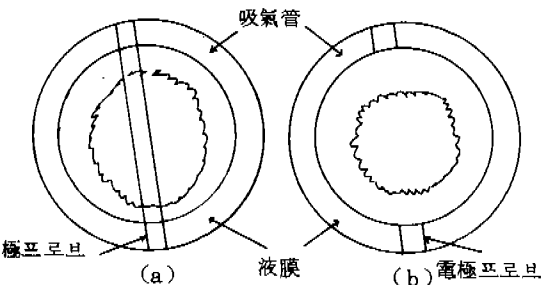
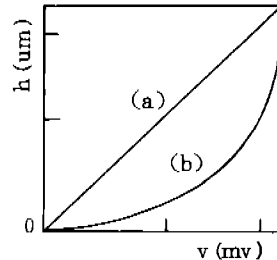


그림 4.2 電極프로브의 設置方法

液膜을 拘束하는 壁面에 液膜이 흐르는 方向과 平行하게 2개의 가는 線을 垂直으로 세워 電極을 이루게 하는 方法(a)과 둘째는 液膜의 流動에 影響을 주지 않고 液體를 拘束하는 壁에 埋沒하여 拘束壁과 같은 狀態로 加工한 形式의 電極을 使用하는 方法(b)이다. 前者(a)의 方法은 液膜流動方向에 垂直인 2개의 電極線에 의하여 流動障害를 주는 결점이 있고, 兩電極線에 液滴이 접촉, 응축되어 실제 液膜두께를 測定하는 것은 困難하지만, 液膜두께에 대한 出力電壓과의 關係가 直線的으로 正比例하는 長點이 있다.

한편 後者(b)는 管内 噴霧 및 液膜流動에 어떠한 影響을 주지 않는 장점은 있으나 實際의 液膜두께에 대한 出力電壓과의 關係가 그림 4.3에 나타낸 바와같이 非線形的인 關係가 되어 그 較正이 매우 困難하다. 이때는 非線形的인 關係를 線形的關係로 할 線形化回路를 별도로 設計製作하여야 한다.

較正方法은 그림 4.4에 나타낸 바와같이 電



(a) a 프로브 (b) b 프로브

그림 4.3 液膜두께에 대한 出力電壓特性

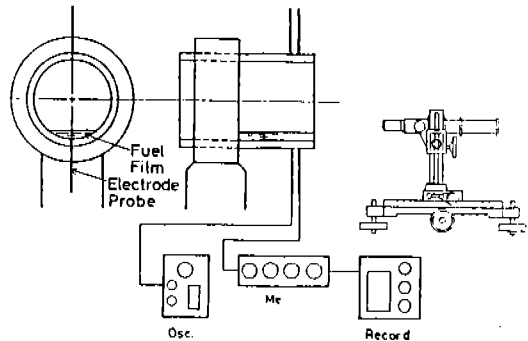


그림 4.4 電極프로브 較正裝置의 系統圖

極프로브위에 靜止狀態의 液膜을 形成시켜 該取顯微鏡을 사용하여 液膜두께를 量고, 이때의 電極프로브의 電壓特性을 Poly-Recorder 로 測定하여 구할 수 있다.

電極프로브는 一般的으로 耐부식도가 높고, 쉽게 구할 수 있으며, 가공성이 좋은 백금, 스텐레스 스틸 (SUS 304)이 사용되고 있다.

4.3 測定回路

一例로 著者들이 液膜두께를 測定하기 위하여 製作한 測定回路를 大別하면 電源回路, 發振回路, 主回路, 出力調整回路이다. 그림 4.5 에 測定回路의 Block Diagram을 나타내었다.

그림 4.6은 Ground (GND)을 基準으로  $\pm 15$  Volts 電源을 各 回路를 구동시키기 위하여 供給하는 電源回路이다. 發振回路는 그림 4.7에 나타내었다.

出力電極端子에서 安定한 시그널을 얻기위해서는 直流電壓을 付加하는 것이 바람직 하지만 直流電壓을 供給하면 分極作用이 發生하기 때문에 本 實驗에서는 靜電誘起의 교류電壓을 液膜두께 測定프로브에 供給한다. 電極사이를 흐르는 電流(I)는 許容電壓에 比例하여 增加한다. 그 반면에 送起電力도 增加하여 溫度上昇, 氣泡發生에 의한 不安定度 및 부식도의 增加를 가져온다. 따라서 交流電壓은 豫備實驗結果  $\pm 6$  Volts로 하였고, 周波數는 分極作用에 의한 逆起電力의 影響을 무시하기 위하여 높은 周波數를 사용하였다. 本 實驗에서는 液膜두께 變動때와는 周波數特性을 考慮하여 38KHz로 하였다. 또 發振回路를 製作하는 대신에 發振器 (Oscillator)를 사용하여도 無關하다고 생각된다. 電極프로브로부터 液膜두께 變動에 따른 電流의 變化가 主回路로 보내어 진다. 그림 4.8은 電極프로브로부터 出力電流를 供給받는 主回路이다. 이 回路는 整流回路, 電流電壓變換回路 및 Filter 回路로 이루어져 있다. 그림 4.9는 出力調整回路를 表示한 것으로, 이 回路는 主回路로부터 出力을 받아 各 電極프로브의 出力게인을 같게하는 回路와 出力의 Off-set를 調整하는 回路로 이루어졌다.

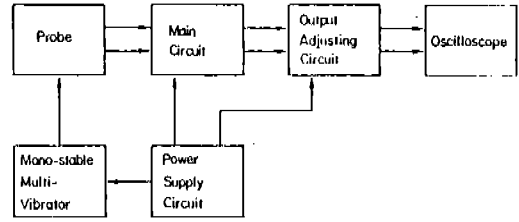


그림 4.5 Block Diagram

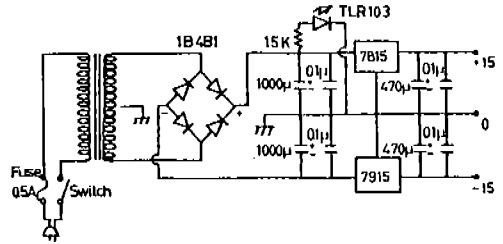


그림 4.6 電源回路

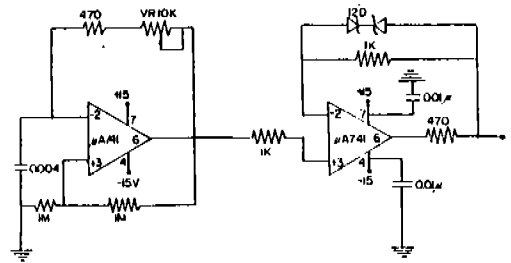


그림 4.7 發振回路

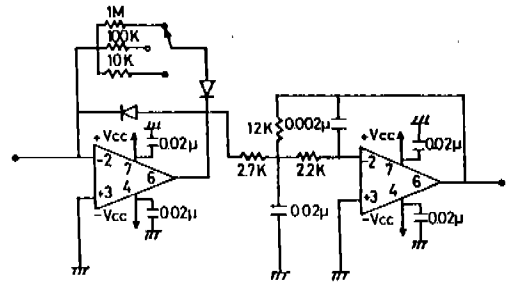


그림 4.8 主回路

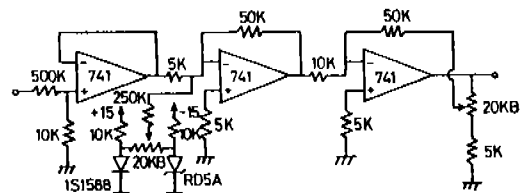


그림 4.9 出力調整回路

4.4 測定結果

지금까지 기술했던 方法으로 液膜두께 測定 結果를 그림 4.2에 表示한 電極프로브의 設置 方法 (a),(b)에 따른 예를 그림 4.10에 나타 내었다.<sup>15,16)</sup>

모델吸氣管内에서 液膜두께의 測定結果를 예 들들면 각각 물 및 메탄올에 대하여 그림 4. 11, 4.12에 나타내었다. 그림에서 황속 1,

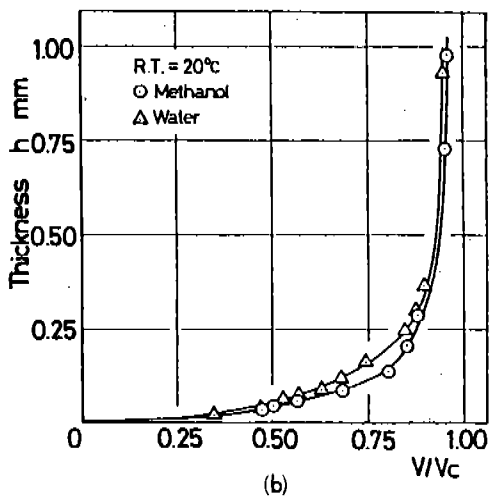
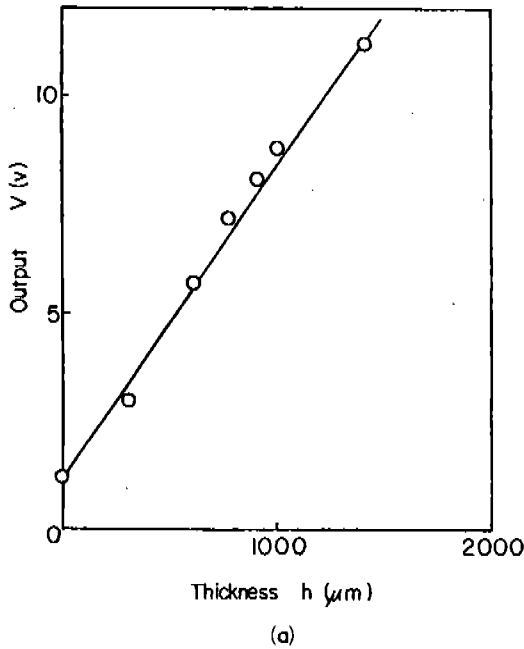


그림 4.10 電極프로브의 特性曲線

2, 3, 4...로서 表示한 것은 吸氣管内 凹出方向 의 位置를 나타낸 것이고, 종축 a, b, c...는 축방향 위치를 表示한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 液膜두께는 本 方法으로 測定可能한 것을 알 수 있다.

5. 結 論

微量 液膜두께 測定方法은 지금까지 記述한 方法 以外에도 다른 많은 方法이 試圖되고있 으며, 舊 方法을 使用하더라도 測定時에는 많 은 어려움과 교정의 困難이 뒤따른다. 特히, 溫度에 따른 電氣 導電性의 影響과 관내 모 든 位置에서 동시 測定의 어려움 및 특히 가 솔린과 같은 絶緣體에서의 測定은 다른 特別 한 考慮가 必要하다.

실제 液膜두께의 測定の 가장 바람직한 것

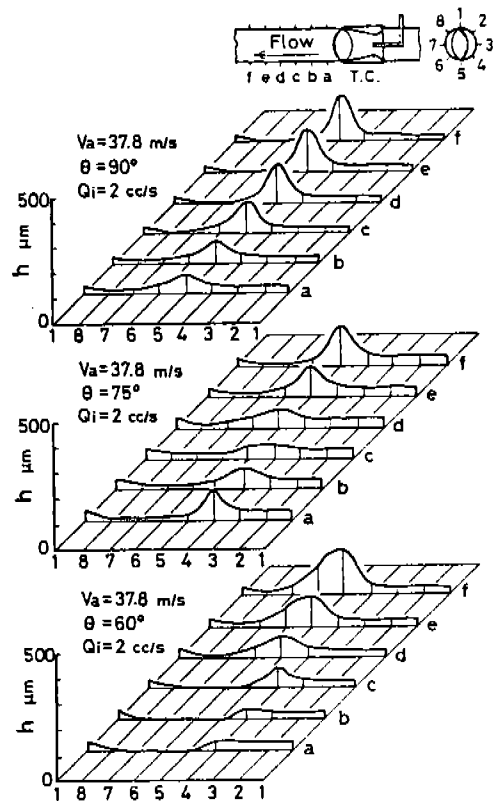


그림 4.11 스톨름뿔브開度에 의한 液膜두께의 變化(水)

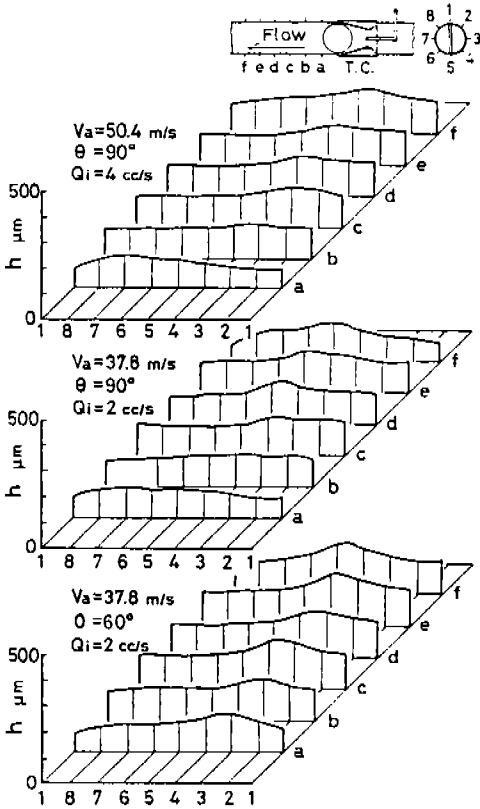


그림 4.12 메탄올을 사용한 경우의 液膜 두께의 變化

은 測定의 正確性 및 간편성 그리고 測定部位를 동시에 立體的으로 測定할 수만 있다면 그 이상 좋은 것이 없다고 하겠다.

끝으로 이에 대한 연구가 많은 研究者들에 의하여 行하여지고, 또 새로운 方法이 開發되어지길 바란다.

參 考 文 獻

1. 田中宗信, 土居三郎, 細井賢三: “過渡時  
의 燃料供給狀態에 關する 研究”, 日本自動車  
研究所, 研究速報, No. 2, pp. 23~28.  
(1981).
2. L. C. Lichty: “Combustion Engine  
Process”, Mc Grow-Hill Book Co.,

- Inc. pp. 335~338(1967).
3. 全興信, 李圭瑩, 朴涇錫, 梁玉龍, 成煥泰  
: “吸氣管内 液膜流의 舉動에 關한 研究”  
品質管理學會誌 제 9권제 2호, (1981-11).
4. 倉林俊雄, 柄澤降夫: “管内 氣流中에 噴  
射された 液體의 浮遊液量에 關하여”, 日本  
機械學會論文集 25卷 275號 (1972-7).
5. 田中宗信: “吸氣管壁에 附着する 燃料流에 關  
する 研究”, 日本自動車研究所 研究速報,  
No. 2, (1971-9).
6. 澤測弘: “2 사이클 機關의 吸氣管内 液膜  
流의 測定”, 第 7回 JARI 研究集會 前刷  
集 (1972-10).
7. D. A. Trayser: “Effect of Induction-  
System Design on Automotive Engine  
Emissions”, ASME Paper 69-WA/  
AP-C-7 (1969).
8. W. E. Ranz: “Principles of Inertial  
Impaction”, Department of Engineer-  
ing Research, Pennsylvania State  
University, Bulletin No.66(1965).
9. 寶諸幸男, 大山宣茂, 鈴木敏, 西村豊: “希  
薄混合氣에 對하여 壁面附着流의 排氣 への  
影響”, 自動車用機關의 燃燒と 排氣, 騒音  
山海堂 (1974).
10. 朴涇錫: “吸入燃料 霧化促進에 依한 가  
솔린 機關 性能向上에 關한 實驗的 研究”,  
仁荷大學院 工學博士學位請求論文 (1981  
-2).
11. クワイエットコカリツク: 日本特許出願公告  
番號, 1968-11335.
12. 小宮勸一: “液面”, コロナ社, 1985. pp.  
4~27.
13. 丹羽登著: “超音波計測”, 昭晃堂, 1984  
pp. 216~218.
14. 實吉純一, 菊池喜充, 能本乙彦監修: “超  
音波技術便覽”, 日刊工業新聞社, 1978.
15. 全興信: “吸氣管内 液膜流動에 關한 基礎  
的 研究”, 慶熙大學校 碩士學位論文, 1982.
16. 李圭瑩: “液體微粒化에 關한 基礎的 研究”  
仁荷大學校 碩士學位論文, 1981.