

가솔린 燃料 噴射裝置 Gasoline Fuel Injection System

李 宇 振
(起亞産業(株) 開發部)

1. 序 論

最近 世界의 自動車業界에 問題가 되고 있는 燃料經濟 및 排氣公害와 더불어 出力向上을 위하여 採擇되고 있는 가솔린 機關의 燃料噴射裝置는 유럽을 中心으로 하여 美國 및 日本에서 急速하게 發展되고 있으며 상당한 數의 自動車가 이를 装着, 走行하고 있어(表1) 向後 이러한 趨勢는 더욱 늘어날 展望에 있으므로 于先 이에 對한 概要를 紹介함으로써 國產自動車의 技術的 向上에 기여코자 한다.

表1. 各國別 가솔린 燃料噴射裝置 装着車의 比率(1978年 基準)

| | 製造比率(%) | 登録比率(%) |
|-------|---------|---------|
| 서 독 | 18.0 | 8.8 |
| 서 유 럽 | 7.9 | 3.6 |
| 일 본 | 9.3 | 16.2 |
| 미 국 | 0.8 | 5.2 |

2. 歷史的 背景

가솔린 機關에 可燃混合氣를 供給하는 最初의 方法은 空氣가 燃料탱크를 通하여 吸入되는 Karl Benz의 表面氣化器(surface carburetor)였다.

以後 1890年代에 燃料噴射裝置가 Deutz Engine 工場에서 만든 플런저 펌프(Plunger pump)의 開發로 始作되어 2~3年間 정지용 엔진(stat-

ionary engine)에 使用되었으나 Maybach가 燃料의 높이를 一定하게 하고 제트로부터 燃料를 吸入하는 方法을 發見하여 滿足할만한 氣化器性能을 얻게 되었으므로 가솔린 機關은 곧 이 方式을 採択하기 始作하였다.

燃料噴射裝置는 오히려 空氣의 燃料裝置로 그 빛을 보게 되었는데 이는 氣化器系統은 空氣기에서 解決하기 困難한 問題 即, 着氷(icing) 및 高度에 따른 空燃比不適等으로 空中에서 失速의 原因이 되었기 때문이었다. 1930年代 獨逸의 Aviation Research Institute는 燃料를 燃燒室에 直接噴射하는 方法에 對하여 集中 開發하였으며 디이젤용 噴射펌프의 出現으로 많은 도움이 되었다.

自動車에서는 最初로 2 사이클 機關에 燃料噴射裝置를 使用하였는데 掃氣하는데 混合氣를 利用하였기 때문에 20~30%의 燃料가 燃燒되지 않은 狀態로 消費되었다. 그러나 空氣로 充分히 掃氣가 完了되어 排氣口(exhaust port)가 닫힌 後에 燃料를 실린더내에 噴射한다면 이 問題가 解決될 수 있는 것이었다.

1950年代初 Daimler Benz는 航空機의 經驗을 살려 競走用車에 直接噴射方式을 使用하였다. 그러나 직접분사는 빈번한 warm-up 段階에서 오일 稀積이 일어났기 때문에 Daimler Benz는 競走用車인 Mercedes-Benz 300에 直接噴射裝置 대신 포오트식 噴射裝置를 附着했다.

間接噴射裝置는 真空調節器(vacuum regulator)를 使用하여 吸入空氣量을 測定하고 噴射燃料量을 制御했다. 真空調節器는 加速器를 누를 때

不確實한 變化를 일으키고 吸氣管을 充填시키는 때 時間이 걸리며 燃料傳達通延이 일어났기 때문에 燃料傳達이 드로틀(throttle) 움직임에 따라 變하는 機械的 調節器로 바뀌었다 (Mercedes 220SE, 1958年型).

機械的 調節器를 갖춘 間接噴射裝置는 多年間 使用되었지만 갈수록 엄격해지는 排氣가스 規制問題에 부딪히게 되었다.

電子式 噴射裝置는 50年代中盤 Bendix社에서 考案되었으며 獨逸의 Bosch社에서 技術的인 面을 解決하여 汽車에 應用하였다.

1967年 D-Jetronic 裝置의 紹介로 噴射裝置時代가 열렸다. Bosch社는 Volkswagen에 D-Jetronic를 設置하여 美國市場에 첫선을 보였고 뒤 이어 다른 유럽 自動車會社들도 가솔린 噴射裝置車를 만들었다. 가솔린 噴射裝置는 유럽 市場에서는 出力改善을 위하여, 그리고 美國市場에서는 排氣가스 規制에 대처하기 위해 附着되었다. 排氣가스 規制가 심하지 않았을 때에는 2次空氣 펌프나 熱反應器와 같은 附加裝置없이도, 氣化器를 適當한 燃料噴射裝置로 代置하여 規制에 通過할 수 있었으나 規制가 엄격해짐에 따라 NOx를 減少시키기 위하여 EGR이必

要하게 되었고 새로운 考案이 계속적으로 開發되었다.

3. 가솔린 噴射裝置의 長点 檢討

가솔린 噴射燃料裝置는 모든 運轉條件에서 精確한 量의 燃料를 잘 霧化시키고 遲延없이 均等하게 실린더에 供給해야 한다.

噴射裝置에서는 吸入空氣量, 機関 回轉數, 機関 및 吸氣溫度, 高度等の 因子가 感知器(sensor)를 통하여 決定되며, 이 output는 最適燃料 量을 供給하도록 처리된다.

一般的으로 피이드백 制御의 氣化器 機関은 混合氣가 壓縮, 膨脹, 排氣行程 동안에는 포트(port)内에서 停滯되어 있는 “dead time”을 갖게 되며 또한 피이드백 制御에 要하는 짧은 時間内에 混合氣를 變化하는데 對하여 두가지 “時間遲延”이 追加로 생겨난다. 첫째는 버터플라이(butterfly) 사이에서 버터플라이를 통과하면서 流動을 變更하는데 있고 또다른 하나는 多岐管(manifold)을 通過하는데 있다.

Single-point裝置는 噴射器(injector)가 버터플라이의 바로 前方에 設置되어 분사각이 버터플

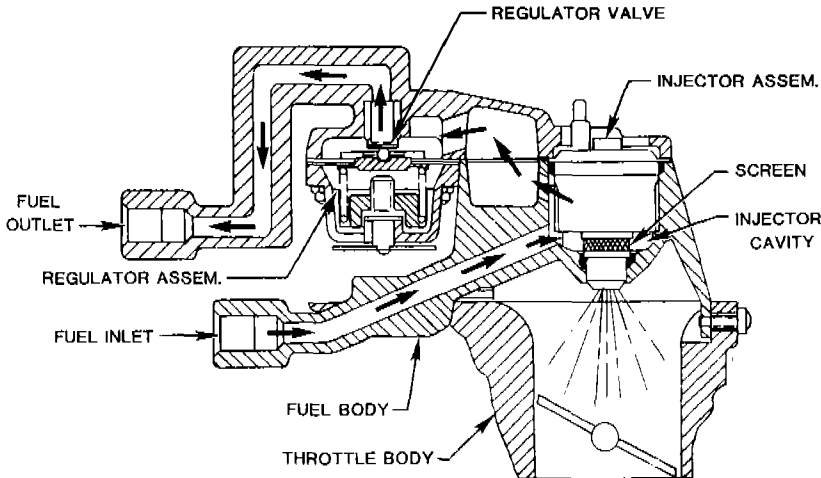


Fig. 1. Single-point injection system

라이 틸새를 向해 있으면 첫째의 遲延은 可할 수 있다. 일점시스템(single point system)은 閉鎖루우프制御氣化器(closed loop control carburetor)와 多點噴射氣化器(multi-point injection)의 中間 정도의 위치에 있어 現在는 거의 生産되지 않고 있으나 多點에 比하여 原價節減의 效果가 있고 앞으로 改善할 여지가 充分히 있으므로 期待되는 시스템이라 하겠다(그림 1).

多點시스템은 價格上의 問題가 있으나 現在로는 피이드백 制御로서 正確한 燃料制御가 可能하므로 가장 많이 採用되고 있다. 多點시스템의 長點은 다음과 같다.

① 回轉力 및 出力

氣化器 機關에 比하여 回轉力과 出力이 10~20%가 증가한다. 增加의 原因으로는 다음의 3 가지를 들 수 있다.

첫째, 全負荷에서 燃料分配가 良好하여 壓縮比를 높일 수 있다.

둘째, 噴射燃料의 氣化熱로 인하여 混合氣의 溫度가 내려가기 때문에 充塡效率이 높고, 따라서 壓縮比를 높일 수 있다.

셋째, 吸氣多岐管은 空氣만을 吸入하므로 多岐管(manifold)를 길게 함으로써 通常速度에서도 公명효과에 의한 充塡效率을 높일 수 있다.

② 排氣가스淨化

정확한 量의 燃料供給, 吸氣밸브前方 噴射 및

양호한 混合狀態때문에 有害가스의 發生이 減少한다. 다만 warm-up 이 이 cycle 에서 가장 困難한 부분이기에는 하나 적절한 燃料量의 調整方法, 觸媒의 warm-up, 溫度等에 관한 많은 研究가 進行되고 있다. 일반적으로 最適設計된 이들 시스템은 EGR, 酸化觸媒나 2次 空氣供給裝置없이 3 원 촉매만으로도 가장 엄격한 排氣規制值을 통과할 수 있다(그림 2).

③ 燃料經濟

燃料節減은 특히 市内走行과 같은 速度와 負荷의 變化가 심한 走行狀態에서 效果가 크다. Bosch社의 實驗에 따르면 10~20%의 出力增加에도 불구하고 氣化器를 附着한 車보다 5~15%의 燃料가 節減되었다. 또 하나의 利點은 減速時 燃料를 차단하는데 있다. 減速時에는 燃料가 完全히 遮斷되며 1200rpm에서 다시 供給이 始作되나 유연한 機關의 再起動을 爲하여 燃料를 점진적으로 增加시키며 내토키로 條件에 따라 3~7%의 節減效果를 가져온다.

燃料를 節減하는 또다른 可能性은 空轉速度의 調節에 있다. 制御루우프를 利用하여 空轉速度를 매우 낮게 維持할 수 있으며 이는 窄燃比에 影響을 주지 않도록 追加空氣만을 通過시키는 側路밸브(by-pass valve)를 使用함으로써 可能케 하고 이 空氣는 空氣流計로서 正確하게 測定된다.

④ 運轉性

가솔린 噴射裝置車는 모든 運轉條件에서 氣化器를 附着한 車보다 運轉性이 優秀하며 冷間始動, warm-up, 加速時에 특히 뛰어난 것으로 나타나고 있다.

4. 實用化된 噴射裝置

現在 一般的으로 알려진 가솔린 噴射裝置는 크게 機械式과 電子式으로 나눌 수 있는데 電子式인 EFI가 주로 많이 使用되고 있으며 이에 對한 研究가 活潑히 進行되고 있다.

Bosch의 K-Jetronic 과 D, L-Jetronic system 이 各各 機械式 및 電子式의 基本을 이루고 있으며 이를 應用한 各種裝置 附着車가 歐美 및 日

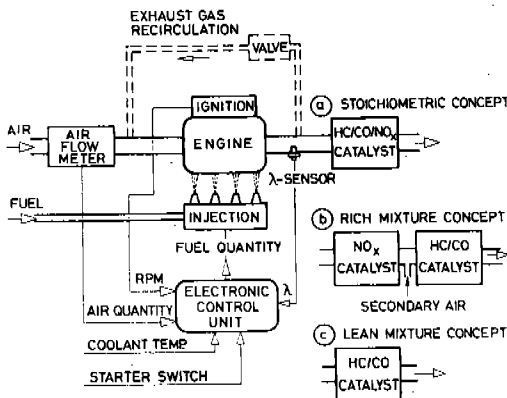


Fig. 2. Closed loop exhaust gas control system

本等地에서 生産되고 있다.

그림 3 은 1967년 이래 生産된 Bosch의 噴射 밸브를 보여준다.

① D-Jetronic

D-Jetronic 은 機關速度와 吸氣多岐管 壓力을 主變數로 하여 燃料을 制量하는 電子式 燃料噴射裝置이다. 그림 4 는 이 裝置의 概略圖를 보여 준다.

噴射밸브는 다른 電子制御裝置에서와 마찬가지로 매우 중요하며, 噴射밸브에서 精確한 量의 燃料가 噴射되게하기 위해서는 噴射밸브에 일정한 壓力이 유지되어야 한다. 燃料은 roller-cell pump에 의해 供給되고 壓力調整器에 의해서 일정한 壓力으로 維持되는데 調整器의 넓은 sur-

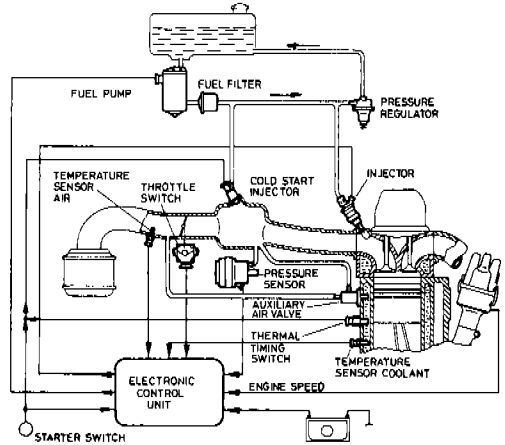


Fig. 4. D-Jetronic

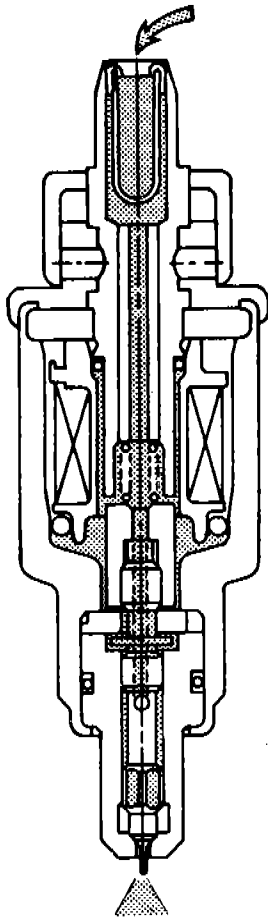


Fig. 3. Injection valve

face diaphragm 은 밸브의 開閉에 관계없이 일정하게 制御된 壓力이 유지되게 한다.

솔레노이드로 作動되는 噴射밸브는 병렬로 연결된 2개의 그룹으로 되어 있으며, 點火順序에서 서로 인접한 실린더의 噴射밸브는 같은 그룹이 된다. 噴射밸브는 캠축이 1회전 할 때 1번 噴射되기 때문에 各그룹의 噴射밸브중 하나는 吸入밸브가 열려있을 때 噴射하고 나머지 밸브의 噴射燃料은 밸브가 닫혀있을 때 噴射되기 때문에 일시적으로 吸入밸브의 前方에 저장된다. 솔레노이드가 열리는 時間은 ECU(Electronic Control Unit)에 의해 制御된다.

機關速度는 配電器로부터 檢出되며 負荷狀態를 檢出하기 위하여는 吸氣多岐管壓力을 測定한다. 그러나 壓力 感知器(sensor)는 全負荷 特性을 나타낼 수 없기 때문에 微小한 變化特性問題는 드로틀의 움직임에 따른 보조신호에 의하여 수정되고 機關 및 吸氣溫度에 따른 신호도 ECU에 보내어 燃料噴射量制御에 影響을 주도록 되어 있다.

② L-Jetronic

L-Jetronic 은 그림 5 에서 보여준다. 이 裝置는 吸入空氣量을 直接 測定하여 機關負荷를 결정해 준다.

空氣量 感知器(sensor)는 獨立的으로 構成되며 空氣量測定에 따른 電氣的 出力信號는 매우 精確하다. 이것은 空氣量에 따라 편향되는 flap과 flap의 편향각에 따라 작동되는 potentiometer로 구성되어 있으며 flap 편향각은 potentiometer에서 直 流電壓信號로 바뀌어 ECU에 보내어 진다.

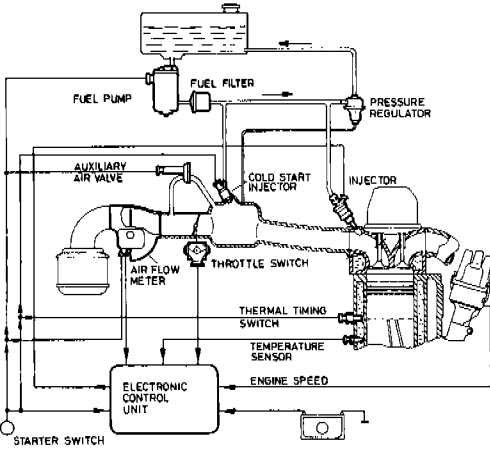


Fig. 5. L-Jetronic.

燃料制量과 噴射는 空氣流量計와 ECU를 계의 하고는 D-Jetronic 과 거의 비슷하다. L-Jetronic에서는 실린더 數에 관계없이 모든 噴射밸브가 병렬로 연결되고 캠축 1회轉當 2번 噴射한다. 즉 機關사이클當 要하는 燃料量을 2개 部分量으로 나누어 크랭크角 360°의 차이로 따로 따로 噴射한다. 따라서 2개 실린더의 燃料의 半은 各各 吸入行程 동안에 噴射되고, 나머지 半은 일시적으로 저장된다.

L-Jetronic은 空氣量을 直接 測定하기 때문에 燃燒室內의 마멸이나 퇴적물 또는 밸브調整變化에 따른 公差가 보상되어 D-Jetronic에서와 같은 많은 수정요인이 없어서 電子回路가 간단하다.

作動部分은 대부분 on-off 狀態로 作動된다. 이 유도 스위치의 作動은 點火점스에 의해 일어

나며 여러개의 변환단계를 통하여 燃料噴射밸브까지 傳達된다. 이 펄스의 폭에 따라 噴射밸브가 열리는 時間이 定해져 噴射量이 決定된다.

③ K-Jetronic

K-Jetronic은 機械式 燃料噴射裝置로 空氣量을 直接 測定하는 連續噴射裝置이다. 空氣量은 원추형 벤츄리에 設置된 둥근 flap에 의해 制御된다. 이 flap의 움직임은 레버에 의하여 燃料分配器의 制御플런저에 傳達되며 제어플런저의 位置에 따라 직사각형으로 된 燃料制量 슬릿(slit)의 단면 크기가 決定된다. 실린더의 數와 같은 數의 制量슬릿이 있고 制量슬릿에는 供給 펌프壓力變化, 노즐開壓 및 燃料의 흐름에 관계 없이 슬릿에서의 壓力降下를 일정하게 維持하기 위한 差壓밸브가 있다.

制御壓力는 感知器 板(sensor plate)에 作用하는 空氣흐름에 대한 反力으로 플런저에 作用한다. 空燃比는 이 制御壓力에 따라 影響을 받는다. 制御壓力이 減少하면 주어진 空氣흐름에 對하여 感知器板의 이동이 增加하며 制御슬릿의 단면이 커지게 되어 混合氣가 濃厚해진다. 燃料分配器의 슬릿에서 制量된 燃料은 噴射밸브로 供給된다.

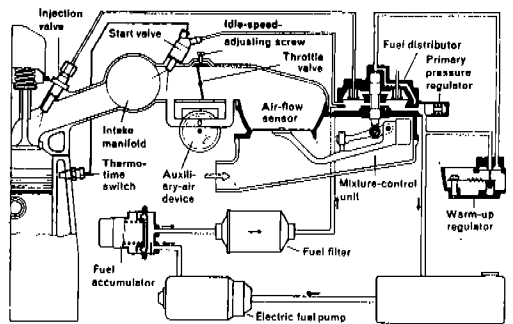


Fig. 6. K-Jetronic

冷間始動時에는 바이메탈이 warm-up regulator의 스프링을 누르게 하여 制御壓力을 줄이고 始動後에는 바이메탈을 加熱하여 스프링에 作用하는 힘을 줄인다.

또한 K-Jetronic 에서도 附加의 電子信號裝置가 附着될 수 있는데, 特殊한 油壓調整方式과 동기 솔레노이드 밸브로서 制御슬릿에서의 差壓을 變化시켜 燃料噴射량을 制御할 수 있으며, 이 경우 λ -sensor 信號를 追加할 수도 있다. 즉 基本燃料傳達裝置는 K-Jetronic 을 쓰고 制御는 電子裝置를 使用하는 것이 可能하다.

④ Ford CFI 裝置

이것은 closed loop λ -control 이 附着된 一點(실제로는 二重點式임)噴射裝置이다. 氣化器 대신 throttle body 裝置가 附着되어 多點噴射裝置보다 큰 噴射角을 가진 2개의 噴射밸브가 드로플 밸브 윗쪽에 設置된다. Throttle body 와 같은 하우징내에 壓力調節器가 들어 있어 裝置의 壓力을 調節하며 燃料탱크내에는 로올러형 電氣式 燃料펌프가 設置되어 있다. Ford 의 digital ECU 는 실린더의 各 吸入行程마다 동일한 噴射時期를 맞추기 위하여 캠축 1 回轉當 2개의 噴射밸브를 4번 作動시킨다.

⑤ GM 一點裝置 (single-point system)

GM 의 一點噴射裝置는 Ford 것과 비슷하나 低壓의 燃料시스템을 利用한 裝置이며 燃料탱크내에 2段 배압펌프를 設置하였다. 低壓때문에 니이들핀(middle pin)으로부터 霧化가 잘 되지않아 渦流造成에 의해 霧化를 촉진시킨다.

⑥ Motronic

이 裝置는 獨逸에서 開發한 것으로서 L-Jetronic 과 電子點火裝置를 조합한 것이다. 噴射制

御技能은 L-Jetronic 과 비슷하나 ECU에서의 계산은 analog 回路 대신 microprocessor 에 의하여 이루어진다.

5. 閉鎖루우프 排出家스制御 (Closed loop emission control)

現行 및 앞으로의 美國과 日本의 排出家스 規制에 對한 해결책으로는 λ -閉鎖루우프 制御와 3원 触媒의 使用이 가장 適當하다. 3원 촉매는 排氣의 空燃比를 理論空燃比 근처로 制御할 때 淨化效果가 크다. 따라서 精確한 空燃比 制御裝置와 λ -sensor, 3원 촉매 및 ECU 가 必要하다.

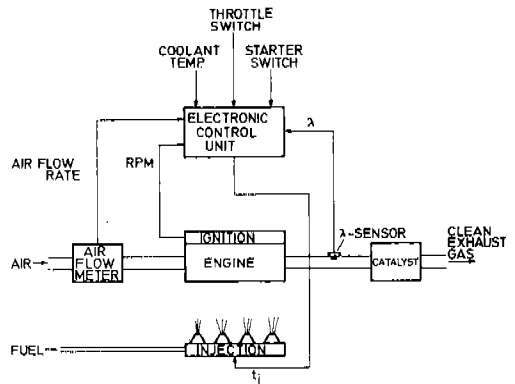


Fig. 8 Closed loop EFI

3원 촉매의 效果가 큰 空燃比 범위는 開放루우프로서는 正確性을 維持할 수 없을 정도로 좁기 때문에 排氣 造成이 계속 測定되고 이에 따라 供給燃料量을 變化시키는 閉鎖루우프 制御에 의해서만 最適 空燃比가 얻어질 수 있다.

λ -sensor 의 出力電壓은 空燃比에 따른 함수이며 混合氣가 $\lambda = 1$ 보다 濃厚한가 稀薄한가를 나타내는 信號를 ECU 에 보낸다. λ -sensor 는 내외측 孔隙가 얇은 백금층으로 도금되고 내부에 ZrO_2 가 들어 있는 튜브로 되어 있다. 금속과 마찬가지로 세라믹도 다공질로 되어 있으므로 고온에서 酸素이온이 통과할 수 있다. 튜

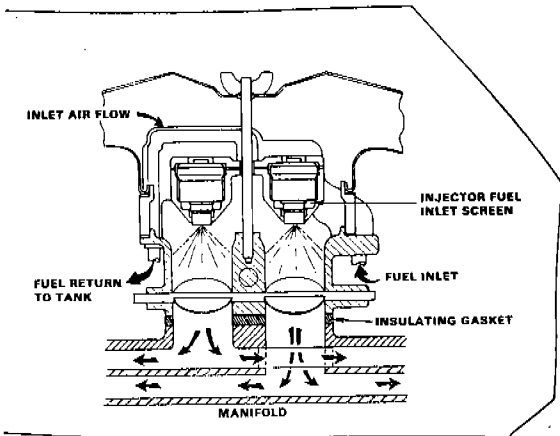


Fig. 7 Fuel body and throttle body assembly

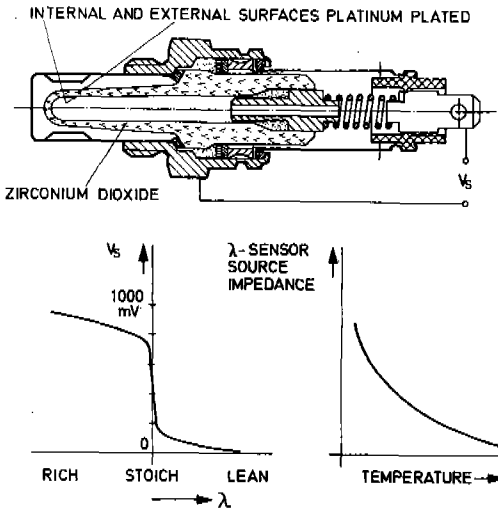


Fig. 9. λ -sensor and λ -sensor's characteristics

우브의 양쪽에 산소의 분압차가 발생하면 이 압력차에 비례하는 전압이白金電極에 發生한다.

設置狀態에서 感知器의 내측부는 대기에 연결되며 排氣와 吸인 외측부의의 酸素分壓差에 의하여 그림 9에서 보여주는 것과 같은 특성을 나타낸다. $\lambda = 1$ 인 理論空燃比에서 약 500mv의 急激한 變換이 일어나며, 이 變換은 溫度에 無關하기 때문에 閉鎖루우프制御用 感知器 信號로 아주 적합하다.

λ -sensor는 溫度가 300℃를 넘어야 작동한다. 따라서 낮은 온도에서는 開放루우프로 작동하고 感知器가 作動溫度에 到達했을 때 閉鎖루우프로 轉換되어야 한다. λ -sensor는 그림 9에서 보여 주는 것과 같이 온도가 증가함에 따라 임피던스가 減少하는 특성이 있기 때문에 이 임피던스를 측정하여 感知器의 warm-up 狀態를 예측할 수 있으나, 이 방법은 機關이 理論空燃比에 比하여 稀薄 또는 濃厚하게 운전되고 있는지 알 수 없기 때문에 복잡하다.

λ -sensor는 混合氣의 空燃比를 理論空燃比로 制御하기 위한 附加裝置이기 때문에 始動時와 같이 진한 混合氣가 必要할 때에는 λ -sensor가 作動되지 않도록 하는 裝置가 必要하며 有害가스를 最小化하기 위해서는 가능한 빨리 開放루우프로부터 閉鎖루우프로 轉換되어야 한다. 이

轉換點은 initialization 回路에 의해 決定되며 感知器가 正確하게 作動될 條件이 되었을 때 閉鎖루우프로 轉換된다. 閉鎖루우프 동안의 排氣가스는 상당히 改善되며 燃料消費狀態도 좋아진다.

6. 開發展望分野

世界的으로 가솔린 噴射裝置에 對한 開發活動은 크게 3가지로 分類된다.

I. 既存裝置의 採擇 및 改善

- λ -control loop의 더욱 精巧한 warm-up過 濃化 改善
- 小型機關에, 특히 空轉速度에서의 燃料消費率이 甚低 낮은 가솔린 噴射裝置의 採用
- 自動高度補償

II. 小型車에서도 使用할 수 있는 經費 節減型的 簡素한 裝置開發

III. ECU가 點火制御, EGR 등과 같이 부수적 技能을 수행하는 複合裝置의 開發

II의 例로는 現在開發중인 L-N Jetronic 이라 불리우는 L-Jetronic의 低壓型이 있다. L-Jetronic 裝置의 壓力이 2.5~3 kg/cm²인데 比하여 L-N Jetronic 裝置 壓力은 0.7kg/cm² 以下에 목표를 두고 있다. 이 壓力은 現在 使用하고 있는 roller-cell pump 만큼 部品이 精밀하지 않아도 되는 2-stage side channel pump에 의하여 얻어질 수 있다.

이 低壓裝置에는 完全히 再設計된 噴射밸브가 必要하나 噴射밸브, 燃料펌프 및 壓力調整器等만을 修正했기 때문에 다른 制御裝置와 組合하기가 쉽다.

I의 예로, 많은 提案中에서 가장 將來性이 밝은 것으로 나타난 것이 hot wire mass air meter로 볼 수 있는데, 이것은 순수한 質量式 流量測定方式이기 때문에 傳達 및 空氣速度脈動을 逆流가 일어나는 點까지 正確하게 다룰 수 있다. 이 計器는 定溫律(constant temperature principle)을 利用한 것으로 熱線(hot wire)은 連結回路(bridge circuit)의 일부가 된으로써, 回路의 出

力은 加熱電流을 空氣流量의 指示值로서 制御하는데 使用되기 때문에 낮은 流量率에서도 出力이 매우 敏感한 利點이 있다.

電子制御式 燃料噴射裝置에서는 ECU의 技術이 限界가 되므로 L-Jetronic ECU에서는 初期부터 經費를 節減하고 確實한 制御를 하기 위하여 複合回路가 使用되었다. 그러나 排氣規制가 엄격해짐에 따라 ECU의 機構와 機能이 복잡하게 되므로 IC 回路를 포함한 混成回路(hybrid circuit)가 開發되었으며 이러한 回路의 使用으로 信賴性이 改善되고 같은 ECU 空間으로 더 많은 機能을 發揮할 수 있게 될 것이다.

熱線計器(hot wire meter)를 利用한 새로운 LH-Jetronic 의 ECU는 거의 注文型 microprocessor 에 匹敵하는 것으로서 信號의 處理뿐만 아니라 裝置의 性能向上을 위한 복잡한 機能을 實現하게 되었으며 다음과 같은 性能向上이 期待된다.

- Warm-up 過濃化, 加速過濃化 및 피이드백 制御에 있어서 複合的 方法을 使用한 排出 가스의 制御.
 - 보다 複合的인 加速過濃化에 의한 運轉性의 改善
 - 특히 warm-up 時의 보다 複合的인 warm-up 過濃化에 의한 燃料消費의 改善
- 또한 마이크로 컴퓨터의 使用으로 ECU에서

는 附加的인 機能制御, 즉 電子點火, EGR 制御 및 空轉速度制御 등의 追加遂行이 매우 쉬워질 것으로 期待된다.

參 考 文 獻

1. "Gasoline Fuel Injection," Automotive Engineering Jan. 1981, pp.66~74.
2. "Throttle Body Fuel Injection," Automotive Engineering Oct. 1980, pp.102~110.
3. Hermann Eisele, "Application of Electronics to Fuel Management and Emission Systems: Electronic Fuel Injection in Europe," SAE Conference Proceedings, Oct. 1974.
4. Jerome G. Rivard, "Electronic Fuel Injection in the U. S. A.," SAE Conference Proceedings, Oct. 1974.
5. I. Gorille, N. Rittmansberger, and P. Werner, "Bosch Electronic Fuel Injection with Closed Loop Control," SAE 750368, 1975.
6. J. Gyorki, "Fundamentals of Electronic Fuel Injection," SAE 740020, 1974.
7. "Gasoline Injection," Automotive Handbook (Bosch), pp.283~288.
8. "EGI System," MAZDA 技術通信, Nov. 1980, pp.6~22.