

Motor Show 에서 본 엔진의 研究動向

The R & D Trend of Engine (Tokyo Motor Show)

工學博士 宋 載 翼*
Jae Ik Song

1. 緒 論

高性能에 拍車를 加하고 있는 最近의 自動車技術은 外觀上으로는 크게 變化되지 않았지만 보이지 않는 곳의 技術은 눈부실 정도의 變遷을 해 왔다.

新技術의 變遷과 開發은 自動車의 이름을 決定하고 있으며 이는 需要者들에게 크게 影響을 미치고 있다.

最近 新開發에 주력하고 있는 것들을 살펴 보면 高性能, 需要感性에 對應하기 위한 過給, 安全性과 快適性, 乘·下車에 必要한 心理性能, 運轉者에 必要한 加速性 등으로 나눌 수 있다.

이들 중에서 엔진의 性能은 自動車의 高性能을 追求하는 激戰分野로 新開發 엔진에서 주력하고 있는 것은 加速느낌과 走行의 餘裕, 動力性能과 燃費의 均衡, 需要에 對應할 수 있고 어필할 수 있는 新規性和 高메카니즘 등에 力點을 두고 있다.

또한 엔진技術의 3潮流라 함은 DOHC 多밸브化, 新過給方式 등으로 나눌 수 있다.

엔진의 材料, 構造, 作動上의 原理, 熱平衡 등을 考慮하면 綜合的인 學問이고 經驗工學인 同時에 複雜한 人體構造와도 같은 人間工學이라 하겠다.

이들의 엔진性能을 滿足시키기 위해서 材料, 에너지, 熱·流體의 流動, 燃燒 등의 研究를 通하여 部分的으로 變化되어가는 엔진들을 어떻게 洞察할 것인가에 대해서 言及하고 最近 日本 各社들이 出現시키고 있는 엔진을 性能面에서 考察해 보고 엔진의 研究動向을 살펴 보도록 한다.

2. 엔진研究의 性能面에서의 考察

自動車에서 追求하고 있는 性能에는 ①走行性能 ②燃費性能 ③振動·騒音性能 ④操安性能 ⑤快適性能 ⑥其他 등 基本的인 6가지가 있는데 이중에서 엔진性能和 聯關성이 깊은 性能이라면 走行性能, 燃費性能으로서 각 性能과 自動車 性能과의 關係를 比較해 본다.

理解를 도모하기 위해서 간단한 式으로 展開해 보면 다음과 같다.

$$Ld = (1/270\eta_a) \cdot V \{ [\mu_r + \sin \theta + (1 + \psi) \alpha/g] \cdot W + \gamma_a \cdot C \cdot S \cdot V^2 / 2 \times 3.6^2 g \}$$

.....(1)

여기서,

μ_r : 路面 抵抗係數

θ : 登坂角度

ψ : 回轉部分 相當質量

- α : 車輪 加速度
- g : 重力 加速度
- W : 車輛 總重量
- C : 空氣 抵抗係數
- S : 車輛 前面投影面積
- η_d : 傳達效率
- γ_a : 空氣의 比重量 (kg/m^3)

따라서 車의 最高速性能은 式(1)에서 必要 驅動力 L_d 와 엔진出力 Le 가 같을때이며 自動車의 最高速度 V_{max} (km/h)와 Le 의 關係는 다음과 같다.

$$Le = (1/270\eta_d) \cdot V_{max} \{ [\mu_r + \sin\theta] \cdot W + \gamma_a \cdot C \cdot S \cdot V_{max}^2 / 2 \times 3.6^2 g \} \dots (2)$$

단, 平坦路에서의 加速性能 α (m/s^2)는 式(1)에 의해

$$\alpha = [g(1+\phi)W] (2 \times 10^3 \cdot \eta_d \cdot \beta \cdot T_e) / [D - (\gamma_a \cdot C \cdot S \cdot V^2) / 2 \times 3.6^2 g - \mu_r \cdot W] \dots (3)$$

여기서,

- β : 最終減速比
- T_e : 엔진 토-크 ($kg \cdot m$)
- D : 다이아 有效徑 (m)

또, 車速 V 로 走行中에 自動車의 燃料消費率 Be (km/l)는 다음과 같다.

$$Be = 10^2 \cdot \gamma_f \cdot V / b_e \cdot L_d \dots (4)$$

여기서

- γ_f : 燃料의 比重量 (kg/m^3)
- b_e : 엔진의 燃料消費率 ($g/ps \cdot h$)

그리고 車速 V 로 走行中에 自動車의 排出 가스性能 G_{ex} (g/km)는 다음과 같다.

$$G_{ex} = g_{ex} \cdot L_d / V \dots (5)$$

여기서,

- g_{ex} : 엔진의 CO, HC, NO_x 排出率 ($g/ps \cdot h$)

따라서 式(1)~(5)에서 自動車 및 엔진性能을 向上시키기 위해서 要求되는 因子들을 整理하

면 다음과 같다.

① 自動車의 燃費性能을 向上시키기 위해서는 엔진의 燃料消費率(b_e)과 自動車가 必要로 하는 動力(Le)를 減少시키는 方法이다.

이를 위해서는 μ_r, W, C, S 의 低減과 傳達效率(η_d)의 向上이 必要하다.

② 登坂性能의 向上을 위해서는 車輛總重量(W), 空氣抵抗係數(C), 車輛 前面投影面積(S)의 低減과 傳達效率의 向上

③ 自動車의 最高速度 性能의 向上을 위해서는 $\mu_r \cdot W \cdot C$ 의 低減과 η_d 의 向上

④ 加速性能의 向上을 위해서는 回轉部分의 相當質量(ϕ), W, C, S 의 低減과 η_d 의 向上

⑤ 排出가스性能의 向上을 위해서는 G_{ex} 와 L_d 의 低減을 行할 必要가 있다.

以上の 關係에서 明白한 것과 같이 上記의 各 性能을 追求하기 위해서 共通되는 因子는 W, C, S, η_d 이고, 特히 最近 車輪의 輕量化(W 의 低減)의 傾向은 單純히 소자원의 目的만이 아니고 前述한 式(2)~(5)의 性能向上에 考慮되지 않을 수 없는 因子이기 때문이다.

最近 自動車의 展示중에 선보인 車 中には 乘用車가 보다 線型的으로 空氣의 抵抗係數를 0.22까지 低減시키고 있으며, 貨物車에도 C 의 低減이 顯著함은 前述한 式에서 言及된 燃費, 登坂, 最高速度 等の 全性能을 向上시키고 있음을 보여 주고 있다. (그림 1)

車輛 前面投型面積에 대해서도 性能面에서는 低減한 傾向이 있겠으나 乘降性이나 住居性を 低下시키기 때문에 그림 2와 같이 엔진總排氣量에서 比較하면 最近 10年間은 反對로 增加하는 傾向을 보이고 있다.

車輛重量(W)에 관해서도 車가 高級化됨에 따라 顯著한 減少는 보이지 않으나 엔진의 馬力(ps/l)이 向上되므로 그림 3에서 보는 바와 같이 相對的으로 W 는 減少하는 傾向을 나타내고 있다.

이와 같이 自動車의 $\mu_r, \phi, W, C, S, \eta_d$ 는 自動車의 性能을 決定하는 重要한 因子이지만 特히 Le, Be, G_{ex} 等の 엔진性能은 自動車性能을 決定짓는데 基本이 되는 것들이므로 대단히 重要하다.

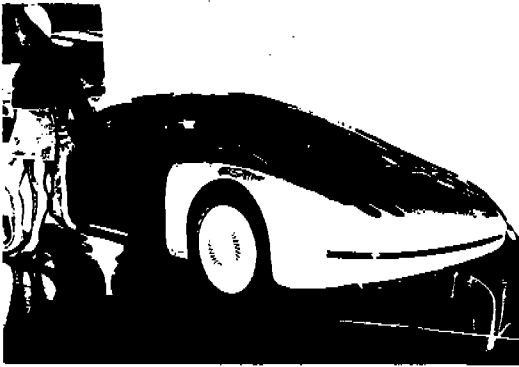


그림 1

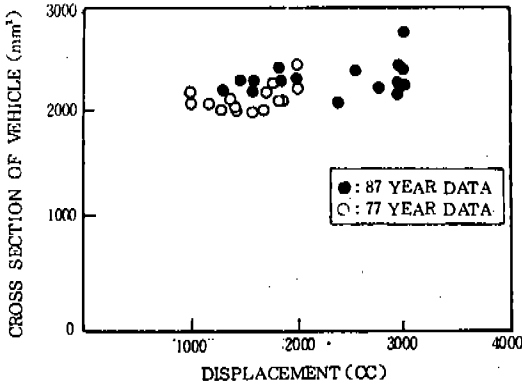


그림 2

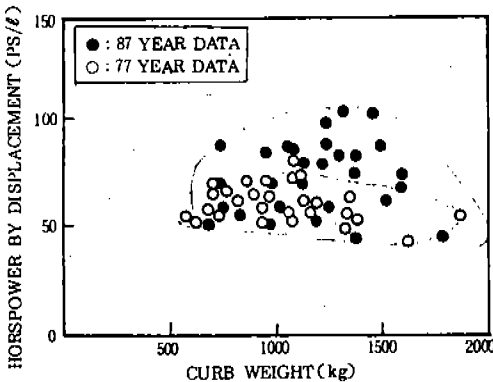


그림 3

엔진에서 발생하는 동력 Le (PS)는 다음과 같다.

$$Le = (V_s \cdot N \cdot n / 4.5 \times 10^3 \cdot A \cdot i \cdot Y) (P_s / R \cdot T_s) \cdot H_u \cdot \eta_v \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_b \cdot \eta_u \cdot \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_m \quad (6)$$

단,

V_s : 行程體積(m^3)

- N : 실린더 數
- n : 엔진의 回轉速度 (rpm)
- A : 일의 熱當量 ($1/426 \cdot PCal/kg \cdot m$)
- Y : 空燃比
- i : 사이클 數
- P_s : 吸入壓力 (kg/m^2)
- R : 가스정수 ($29.27 kg \cdot m/kg \cdot K$)
- T_s : 吸氣溫度 (K)
- H_u : 燃料의 低發熱量 ($Kcal/kg$)
- η_v : 體積效率
- η_{tr} : 摩擦效率
- η_b : 燃燒效率
- η_u : 熱利用效率
- η_{th} : 理論熱效率
- ϵ : 有效壓縮比
- η_i : 時間損失效率
- η_m : 機械效率

또, 엔진의 燃料消費率 b_e ($g/ps \cdot h$)는 식 (6)에 의해 다음의 식으로 주어진다.

$$b_e = 2.7 \times 10^8 \cdot A / H_u \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_b \cdot \eta_u \cdot \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_m \quad \dots \dots \dots (7)$$

엔진의 排出性能인 有害排出率 g_{ex} ($g/ps \cdot h$)는 Fuel Based 法을 使用하면 다음의 식으로 나타내진다.

$$g_{ex} = [2.7 \times 10^{-3} \cdot m \cdot A / (CO + CO_2 + 3C_3H_8)] \times (V_{ex} \cdot \gamma_{ex} / C_m H_m) / (H_u \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_b \cdot \eta_u \cdot \eta_{th} \cdot \eta_t \cdot \eta_m) \quad \dots \dots (8)$$

여기서,

- m : 燃料中の 炭素原子數 (= 8)
- CO : 排氣中の 一酸化炭素 濃度 (%)
- CO_2 : 排氣中の 二酸化炭素 濃度 (%)
- C_3H_8 : 排氣中 HC의 프로판 환산濃度 (%)
- V_{ex} : 排氣中 CO, C_3H_8, NO_x 의 各 排氣濃度 (%)
- γ_{ex} : 排氣中 CO, C_3H_8, NO_x 의 比重量 (g/mol)
- $C_m H_m$: 燃料의 比重量 (= $113 g/mol$)

以上の 식 (6)~(8)에서 나타낸 것과 같이 엔진의 燃料消費率 (b_e), 有害排出率 (g_{ex})의

向상을 기하기 위해서 式中の $\eta_{ir}, \eta_b, \eta_u, \eta_{th}$ η_t, η_m 을 改善하고, 出力 Le 의 改善을 위해서는 $V_s, N, n, P_s, T_s, \eta_v$ 등의 改善을 行할 必要가 있다.

最近 엔진에 行程體積 V_s 가 크게되고, 실린더數 N 이 增加하는 것은 式(6)에서 나타낸 것과 같이 Le 의 增加를 目的으로 한 것이다.

또, 엔진에 Intercooler 附着 Turbo-Charge 가 搭載되는 것도 給氣溫度를 낮추어 給氣壓力을 높이므로 體積效率 η_v 을 向上시켜 Le 를 增加시키기 위한 目的이다.

엔진에 밸브數의 增加 및 可變 밸브調整裝置 等은 η_v 를 向上시키고 低負荷時에 吸入部에 絞축을 行함으로 실린더內에 空氣의 流動을 降下시키고 同時에 η_t 의 改善을 行하기 위한 目的이다.

한편, 엔진에서 燃料의 供給을 電子制御 燃料噴射方式으로 行하는 것은 性能面에서 엔진에 供給되는 空燃比를 精密하게 調節하여 η_b 의 改善을 行하기 위한 것이다.

그리고 壓縮比를 增加시키고 있는 傾向은 理論熱效率 η_{th} 의 向上과 精密한 冷却系統의 採擇 및 세라믹系 新材料의 採擇 等 엔진의 斷熱化 傾向은 η_u 의 向上을 目的으로 한 것이다.

따라서 出力, 燃費, 排기가스의 性能을 向上시키기 위해서 重要한 因子인 $\eta_v, \eta_b, \eta_u, \eta_{th}, \eta_t, \eta_m$ 에 주목하면서 最近 日本의 自動車展示會 等에 보여준 各社의 엔진을 中心으로 엔진의 研究動向을 살펴 보도록 하겠다.

3. 各社들이 보여준 엔진의 動向

1) ISUZU 自動車 株式會社

'85 東京 自動車展示會에 있어서 ISUZU 自動車(株)가 가장 注力시 하고 있는 엔진은 當時 參考 出品車 CERAMIC ASUKA 에 載한 세라믹을 多用途로한 "ISUZU 세라믹 斷熱엔진, 세라믹 Turbo·複合엔진"이다.

지금까지 鐵系에서 알루미늄系 合金으로 엔진의 材料가 變化해 오던것이 세라믹系 材料

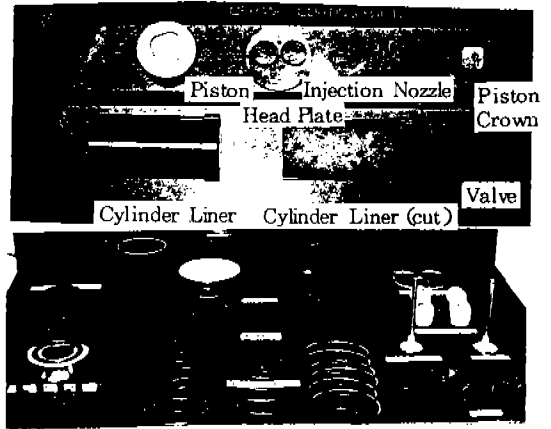


그림 4

로 變化해 가는 傾向을 보여주고 있다.(그림 4)

이 엔진은 京세라(株), 石川가스켓(株), 帝國피스톤링(株) 및 泉自動車工業(株)의 協力에 依해 開發된 것으로 엔진의 諸元은 다음과 같다.

直列 4 氣筒, 排氣量 1.817 cm^3 , Bore \times Stroke 84 \times 82 이며, 이 엔진은 피스톤, 라이너, 피스톤링, 캠샤프트, 排氣터어린, 吸·排氣밸브 等の 運動部分과 內熱 斷熱部에 세라믹이 使用되어져 있다.

이와같이 세라믹이 엔진에 使用된 理由는 다음과 같다.

① 엔진의 斷熱化가 利用熱效率 (η_u), 펌프損失 (η_p) 을 向上시켜 燃費向上을 期待하고 있다.

展示會에 出品된 上記의 엔진에 對한 說明에 의하면 電子技術(排氣 Turbine 으로 初高速發電機를 驅動시켜 Energy 回收 等)의 利用에 依해 出力, 燃費 共히 30%의 向上을 기할 수 있었다고 한다.

② 세라믹의 比重量이 알루미늄系 材料보다 약간 크고 鐵보다는 약간 작으나 엔진의 輕量化를 기하는 反面, 엔진 各部의 斷熱化에 依해 冷却을 줄이고, 冷却에 必要한 만큼의 重量을 줄이므로 엔진總重量을 減少시킨다.

③ 運動部分의 抵抗이 적으므로 機械效率 (η_m) 의 向上이 기대되고 耐磨性, 耐腐蝕性의 向上으로 엔진의 耐久性을 기할 수 있다.

④ 熱膨脹係數가 鐵 등의 金屬材料에 비해 1/8 以下이므로 耐熱性이 優秀하므로 運動部

의 潤滑의 必要性이 低減하게 된다.

2) 鈴木 自動車 ㈱

注目할 수 있는 엔진으로서 TWIN CAM 550 엔진으로 性能諸元은 紹介되지 않았지만 輕自動車 엔진도 Turbo 化가 加速化되고 있음을 알 수 있다.

4WD, Intercooler 附着 4 Valve / Cylinder, 電子制御燃料噴射裝置 等の 新技術의 接合을 엿볼 수 있고, 알루미늄 실린더 헤드 등의 採用으로 엔진의 輕量化, η_i 및 η_m 의 向上을 기하고 있다.

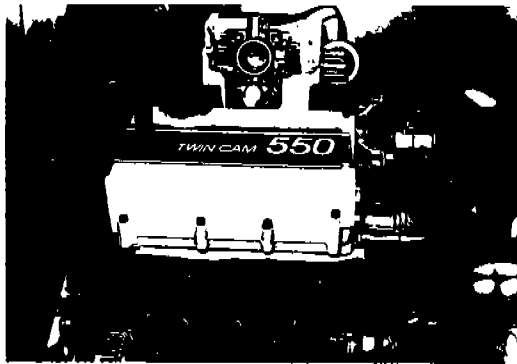


그림 5

다이젤 엔진은 鈴木自動車㈱에서는 처음으로 始作한 程度라 메카니즘 및 性能의 정도는 앞으로도 주목할 만한 것으로 느껴진다.

3) TOYOTA 自動車 ㈱

尖端技術을 集約시킨 4WD, TOYOTA FV X (全長 4,785 mm, 全幅 1,800, 全高 1,270 mm) 搭載의 LASRE & EXPERIMENTAL II 엔진



그림 6

은 Intercooler 부착 Super and Turbo Charge System을 가진 twin Cam, 4Valve 엔진이다.

이 엔진은 양 Charge 에 의해 回轉速度 全領域에 걸쳐 η_b 를 向上시켜 높은 應答性과 高性能을 얻고 있다.

過給은 電子制御로 行하고 있으며 吸氣port는 Straight port와 herical port로 構成²⁾되어 있으며 Straight port에는 SCV (Swirl Control Valve)가 配置되어 있다.

이 SCV에 의해 低負荷時에는 Straight port가 닫히는 同時에 herical port를 使用하여 Cylinder內에 Swirl을 發生시켜 η_i 를 向上시키고 出力 및 燃費性能을 改善하고 있다.

4) 日產 自動車 ㈱

新世代에 對應하기 위한 企業의 意味라고 하면 “더욱 즐거움을 느끼는 日產의 技術”이라는 表現을 使用하고 있다.

前/後論의 驅動力配分을 電子制御하는 4WD車 “NISSAN CUE-X” (全長 4,860 mm, 全幅 1,850 mm, 全高 1,305 mm)는 V6型 3,000 cm³ Twin Cam Turbo 엔진 PLANMA-V GOX를 搭載한 車이다.

電子制御 System의 綜合的 意味는 (1)低速力에서 高速力까지 폭넓은 η_b 의 向上을 爲해서 ①可變 Valve Timing System ②長/短 2 吸氣系에 대한 吸氣制御 Valve에 의한 可變吸氣 Control System (NISSAN INDUCTION CONTROL SYSTEM) ③可變容量式의 液冷 Intercooler 附着 Twin Jet Turbo Charge ④最適 Cylinder 壁溫에 의해 制御되는 液冷式 電子制御液冷 System (2) η_b 의 向上을 爲해서는 ⑤點火能力 向上을 爲한 NISSAN IGNITION SYSTEM (3) η_i 의 向上을 爲해서 ⑥Knocking Sensor에 依한 最適點火時期 制御用 氣筒別 燃焼制御 System 등을 採擇하여 出力과 燃費에 注力하고 있음을 알 수 있다.

그외 日產 다이젤, 日野, 本田 등의 各社는 前述한 各社와 같이 電子制御 System이 各社

의 엔진名을 決定하고 있으므로 이들의 電子制御의 將來에 對해서 간단히 살펴 보도록 하겠다.

4. 엔진 電子制御의 將來

自動車の 電子理論은 需要者 뿐만아니라 人間에게 價値感의 多樣化에 잘 對應시켜 주는 意味에서 成長해 왔다.

特別히 自動車用 엔진에 있어서의 電子制御 噴射는 社會的 要求인 大氣汚染 및 燃費의 低減과 需要者의 要求에 對應하는 觀點에서 燃料供給의 System으로서 確固한 地位를 構築하고 있다.

이러한 電子制御의 技術中에서도 電子制御 Gasoline 噴射는 自動車全體中에 核心으로서 앞으로는 量과 質的인 面에서 擴大할 것으로 본다.

이 電子制御 噴射의 將來를 생각하면 ①Gasoline Engine ②Gasoline의 質과 量 ③電子技術과 周邊技術의 動向을 考慮할 必要가 있다.

即, 人間과의 價値感, 여러가지의 法的인 規制等を 考慮할 必要가 있다.

따라서 前述한 3項目에 對해서 直接的인 要因別 項目을 나누어서 電子制御 Gasoline機關의 將來를 살펴 보도록 한다.

1) Gasoline Engine의 動向

自動車用 엔진으로서 Gasoline Engine의 優位性은 當분간은 持續될 것으로 본다.

왜냐하면 Gasoline의 供給量이 當분간은 不安치 않다는 점이다. 또한, Diesel 엔진 및 Gas turbine 등의 다른 엔진도 Gasoline Engine을 대신하기에는 아직 많은 技術的인 問題를 가지고 있다는 점이다.

앞으로 Gasoline Engine의 動向은 高度化한 感性에 滿足시키기 위해서 高應答性과 高性能에 對應하는 것이 重要視되고 있다.

한편 燃料의 經濟性이 좋을 것과 排出가스 가 보다 淨化된 狀態가 繼續的으로 要求될 것이다.

이들 要求를 滿足하기 위해서는 高精度로 높은 電子制御의 利用에 엔진 各機能에 對해서 繼續的인 研究가 進行되리라 생각된다.

車輛의 住居性을 確保하고 空氣抵抗係數(C)를 적게하기 위해서는 엔진은 보다 작게 될 것으로 생각된다.

2) Gasoline의 動向

Gasoline에 대해서는 1970年代는 2회의 Oil Shock로 不安한 樣狀을 나타냈지만 1980年代에 들어와서는 不安한 狀況이 解消되고, 이는 1990年代에도 크게 變하지 않을 것으로 보는것이 最近의 Gasoline 消耗量의 分析으로 推測되고 있다.

그러나 石油을 使用하는 全 產業界內에서의 需要構造의 變化에 따른 Gasoline의 質의 變化도 限定되어 使用해 왔지만 代替燃料의 登場도 考慮하지 않으면 안된다.

3) 周邊技術의 動向

Micro-Computer를 使用한 엔진 制御技術이 Gasoline Engine의 性能 및 應答性을 發展시켰다.

그러나 앞으로는 Computer의 機能擴大는 물론 엔진制御는 Gasoline 噴射機能의 發展과 同時에 엔진 作動의 全 部分에 걸쳐서 集中制御化가 될 것으로 展望된다.

엔진에 있어서의 制御量의 變位를 年度別³⁾로 살펴 보면 다음과 같다.

① 1979年을 點火時期, EGR, ISC (Idle Speed Control), - Fuel Injection pump Control, O₂ Sensor에 의한 EFI.

② 1981年을 起點으로 Knocking Control, 電流制制, 獨立噴射, 1982年을 起點으로 Group噴射 (O₂ Sensor 기준), 自己故障診斷, 燃料壓力制御

③ 1984年을 起點으로 2 Knocking Sensor CPU (Central Processing Unit) 性能向上, 可變 System, 吸氣管長制御 등으로 나눌 수 있다.

自動車全體의 性能向上, 燃費等に 關해서 集中制御에 依해 向上되리라 생각된다.

以上の 電子制御中 空燃比制御에 關해서는

앞으로豫想되는 보다 理想的인 研究方向에 對해서 다음과 같이 2개의 項目으로 생각해 본다.

첫째는 現代制御理論의 應用面이다. Computer의 發展과 同時에 制御理論을 應用하는 것이 可能하게 될 것으로 본다.

이것은 종래의 古典制御理論과는 달리 多入力, 多出力을 處理할 수 있는 現代制御理論은 예를들면 空氣와 燃料의 量을 서로 制御해서 恒常 燃費最小點에서 엔진 運轉을 行하는 方法이 豫想된다.

둘째로, Cylinder 內 現狀을 直接 檢出해서 空燃費制御를 行하는 方法이 豫想된다.

이러한 方法으로서는 Combustion flame front⁴⁾를 利用하거나 Combustion flame 의 색깔⁵⁾을 考慮하는 方法이 있겠다.

5. 맺는말

1) 本 報告는 '85, '87 東京 Motor Show 를 본 著者의 見解를 言及한 것이나 內容面에서 보다 現實的이고 極限된 한 部分의 實例를 探求하지 못한 점을 著者의 역부족으로 애석하게 생각한다.

全般的으로 엔진이 高메카니즘化되고 高性能化됨은 實感할 수 있으리라 믿으며, 以後 出現되는 엔진에 對해서 性能面을 分析하는데 어떻게 評價의 基準을 設定할 것인가에 대해서 도움이 되었으면 한다.

2) 한편 보다 간단하고, 보다 低廉하면서도 安全한 엔진 性能을 追求하는 엔진도 엔진開發의 한 方法이라 할 수 있겠다.

即, 高價인 高메카니즘을 採用한 結果 얻어진 性能面을 생각하면 보다 基本的이고도 값싼 Spec 으로 充分한 性能을 發揮할 수 있는 엔진開發에 注力하는 것도 新開發의 한 方法이 아닌가 한다.

3) Gasoline 엔진의 電子制御 技術은 尖端分野의 一環으로 高度化, 複合化 되어지고 앞으로도 飛躍的인 發展을 가져오리라 豫想된다. 이 경우 周邊技術의 進歩를 利用·促進하여 高度化 및 複合化가 이루어지리라 믿는다.

4) 空燃比制御에 對한 新技術의 發展을 위해 言及한 2個項目의 基礎研究(空氣와 燃料의 兩面 Control 에 必要한 現代制御理論)를 Computer 機能에 適用, 燃燒室內의 Combustion 狀態의 直接檢出에 依한 空燃費의 制御 等に 期待하고자 한다.

參考文獻

1. '85, '87 東京 Motor Show
2. 松下ほか; トヨタ希薄燃焼システムの開發 內燃機關, Vol. 23, No12. p. 33 山海堂, 1984.
3. 五十嵐伊勢美; 自動車とセンサ技術, 機械の研究, Vol. 88, No1. p. 221, 1986.
4. M. G. May; Flame Arrival Sensing Fast Response Double Closed Loop Engine Management, SAE Paper, 840441
5. 宋載翼外 4名; Radical의 發光強度による 瞬時空燃比의 計測. 日本機械學會 52卷 481號 (1986).