

自動車 排出가스와 그 対策 (IV) Automotive Exhaust Gas and Its Preventive Measures

李 載 淳*
Jae Soon Lee

6. 自動車 將來의 엔진 公害特性

美國의 EPA는 당초 Muskie法의 排氣規制는 대단히 엄격하므로, 종래의 가솔린엔진으로는 대책이 곤란하다고 보고 그 代替엔진, 또는 신형엔진이라 할 수 있는 것을 몇개 指定하여 그것들의 開發에 힘을 기울였다. 그 중에서 가스 터어빈과 랭킨사이클은 가장 열성적으로 연구되었다. 그러한 排氣對策上의 장점은 스테어링 엔진을 포함하여 連續燃焼方式으로, 즉 稀薄 混合氣의 燃焼가 가능하므로 CO 및 HC를 충분히 낮출 수 있고, NO_x도 燃焼器內에서 火炎길이를 짧게 하여 高溫시간을 짧게 하고, 또 火炎 가까이에 冷壁을 설치하는 등에 의하여 排氣淨化의 成果를 얻고 있다. 또 連續燃焼엔진의 또 다른 장점은 爆發騒音이 없는 것이다. 더우기 엔진 本体의 熱效率은 낮으나, 排氣熱의 一部를 再生할 수 있어, 전체 熱效率을 가솔린과 디젤의 중간정도로 높일 수 있다.

(1) 가스 터어빈

連續燃焼, 純回轉構造 內燃機關으로 回轉式 熱交換器를 사용하여 熱效率을 높이려는 構造가 그림27에 표시되었다. 이것은 Williams 研究所에서 1970年 뉴욕市의 위탁으로 만든 것이다. 그 排氣는 NO_x가 높아 規制値에 이르지 못하고, 그후 EPA의 위탁으로 Solar社가 開發한 단 하나 Muskie法에 合格한 燃焼器가 그림28에 주어저 있다.

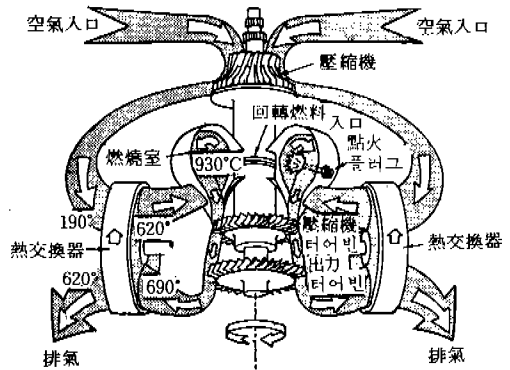


그림 27. Williams 80PS 가스 터어빈의 作動系統

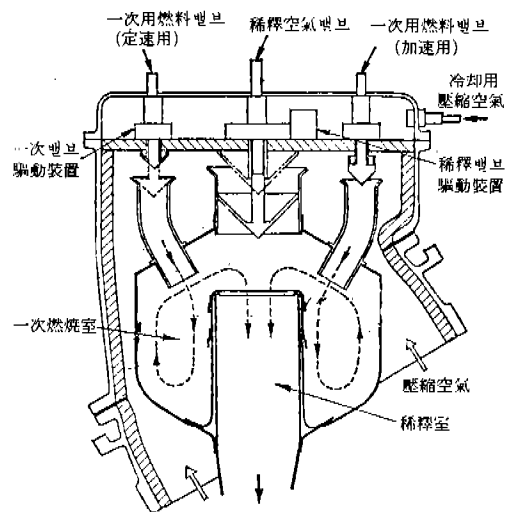


그림 28. 가장 排氣對策에 유리한 美 Solar社의 Folded annular型 연소기

이것은 연료를 압축공기에 의하여 噴出하고 一次室에서 渦流를 만들어, 火炎에 稀薄用 공기를 넣어 빨리 온도를 떨어뜨린다. 그러므로 一次室의 混合比가 NO生成에 중요하다. 이와 같이 NO_x의 0.25g/km의 規制値 達成이 쉽지는 않다. 또 가스 터어빈 實用化에의 문제점은

- (i) 연료소비율이 크다.
- (ii) 재료, 加工 등에서 生産코스트가 높다.
- (iii) 高回轉으로 인한 回轉體의 慣性이 크기 때문에 加速性이 뒤떨어진다. 또 큰 減速比의 減速裝置를 필요로 한다.
- (iv) 低速域에서 性能이 뒤떨어진다.

(2) 랭킨 사이클기관

당초 EPA가 가장 힘을 기울인 것으로서 그림29와 같은 構造와 그림30과 같은 사이클을 들 수 있다. 이것은 作動物質로서 물 이외에 여러 가지 다른 合成有機物質, 膨脹機로서 증기터어빈과 피스톤機構가 각각 연구되었다. 예를 들면 Thermoelectron社는 그림31과 같은 構造로 Fluorinol-85라 하는 CF₃CH₂OH 85% (Volume), H₂O

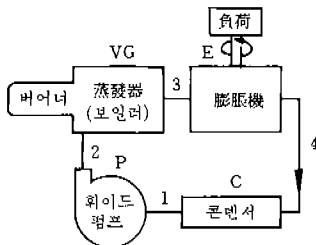


그림 29. 랭킨사이클 엔진의 系統圖

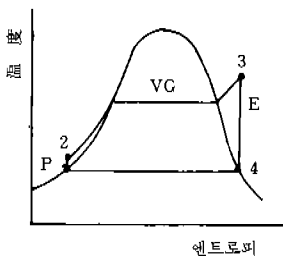


그림 30. 랭킨사이클 엔진의 사이클 線圖

15%의 作動物質을 사용하는 것을 시도하였다.

그러나 결국 水-피스톤팽창기가 가장 現實的이라는 것을 알게 되었고, 燃燒器는 가스터어빈과 달라 大氣壓에서 연소할 수 있기 때문에 한층 NO_x 對策이 有利하다는 것을 알았다. 그러나 큰 응축기를 필요로 하고, 전체적으로 길이가 大形이 되는 것과 실린더에 潤滑油를 注入하면 증기가 응축기에서 燃燒室의 파이프로 흐를때, 그 油가 高溫에서 炭火되기 때문에 그전에 물에서 분리되지 않으면 안된다는 문제가 있다. 그러나 가장 중요한 결점은 연료소비율이 지극히 나쁜 것으로 이것은 현재 가솔린機關의 2배에 達한다.

(3) 스테어링기관

前項과 같은 外燃機關이고, 1816年 스텔렌드의 牧師 R. Stirling이 發明하였으나 實用化하기 위하여 開發을 시작한 것은 1938年 네덜란드의 Philips社이며, 그후 많이 研究 開發하여 構造도 各社마다 相違點이 있다. 그림32는 Philips社 제품의 構造說明圖로 피스톤 P의 上方에 디스플레이서 D가 있고, D의 上方 V₀에는 高壓가

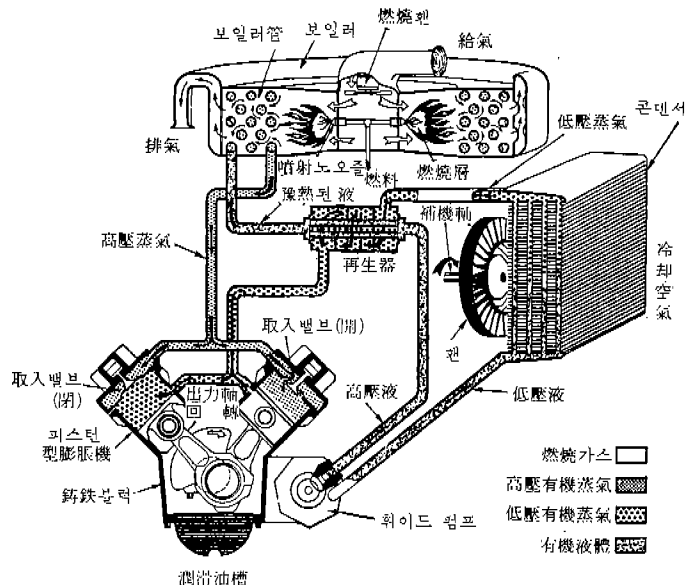


그림 31. Thermo Electron社의 有機作動物質 一往復動膨脹機 랭킨사이클 엔진 (SAE 740297)

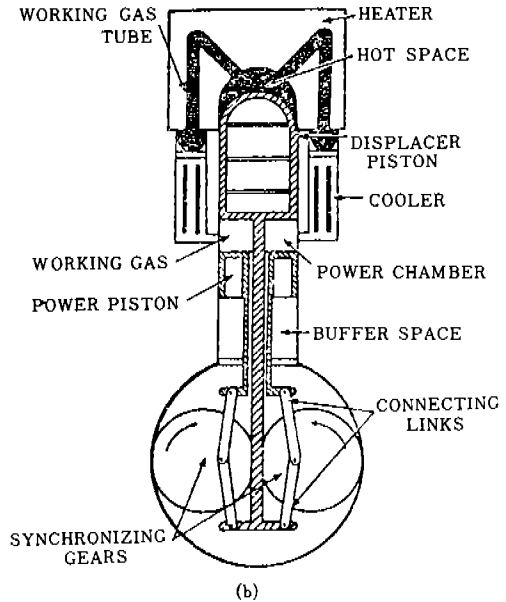
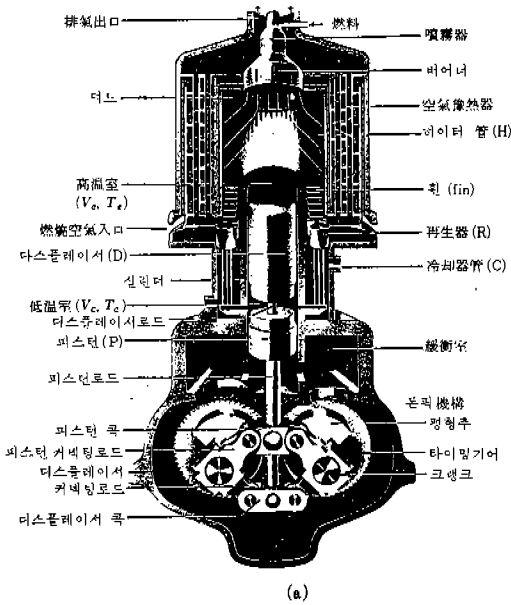


그림 32 Philips社의 스테어링 엔진의 構造 說明圖

스가 燃焼器中の 파이프 H로서 熱을 받아 들이고, 下方 V_c 의 空間은 V_h 와 再生器 R 및 쿨러 (cooler) C를 통하여 연결되어 있으므로 압력은 거의 같은 P이지만, V_h 에서 V_c 로 가스가 흐를 때는 R에서 熱을 받아 C에서 냉각된다. 또 반대 방향으로의 흐름에서는 R의 熱을 가스에 주므로 V_h 는 高温 V_c 는 低温으로

$$\frac{T_h - T_c}{T_c}$$

가 클수록 熱効率が 높다. V_h, V_c 內的 作動가스는 양 사이를 격렬하게 왕복하므로 流動 抵抗이 적은 水素 (H_2)가 사용된다.

本 機關의 長短點은 다음과 같다.

- (i) 高出力時에서는 混合氣가 濃厚化하여, 가스 온도가 상승하면 NO_x 가 증가하고, 低出力時에서는 공기량이 적으므로 流動이 낮아 混合이 不充分하여, 매연이나 HC가 증대한다. 그러나 이것은 EGR로서 전부 근소하게 생기게 할 수 있다.
- (ii) 排氣熱의 再利用이 가능하므로 히이터 파이프의 耐熱性을 높여 T_h 를 現在 약 $650^\circ C$ 에서 $1100^\circ C$ 정도(세라믹 利用)로 높이고, 또

한편 냉각성을 높여 T_c 를 낮게 保持하면 熱効率は 약 가솔린機關에서 디젤의 熱効률까지 얻을 수 있다.

- (iii) 振動, 騒音이 적다.
- (iv) 히이터部의 構造가 대단히 복잡하여 生産性이 낮다.
- (v) 內燃機關은 보통 1 사이클동안에 高壓時間이 적어, 끊임없이 새로운 작동가스가 공급되지만, 本 機關에서는 V_h, V_c 內的 壓力은 언제나 100氣壓 전후의 水素이고, 水素는 공기보다 몇배 漏洩하기 쉽다. 그러므로 피스톤 링, 디스플레이서 로드와 피스톤 사이 및 피스톤 로드와 本体 사이의 關係運動部 間격에서의 漏洩을 막는것이 중요한 과제이다.
- (vi) D. P의 피스톤링에 상당하는 部分에는 潤滑油를 使用할 수 없다.
- (vii) 기타, 냉각용 라지에이터가 큰 것을 필요로 하고, 出力調節機構가 복잡하다.

(4) 代替燃料엔진

石油가 고갈될 때가 가까워지고 있다. 그것은 石油의 埋藏量은 거의 한정되어 있는데, 水素는

더욱 증가하고 있기 때문이다.

세계의 석유 可採埋藏量은 약 10^{18} kcal이라 한다. 이는 2000년에 세계 총 인구가 50억이라 하고, 1인당 소비가 10 kw라 하면 1년간 3.8×10^{17} kcal로 계산할 수 있으며 그것을 전부 석유로 충당한다고 하면 2.6년분밖에 없는 것이 된다.

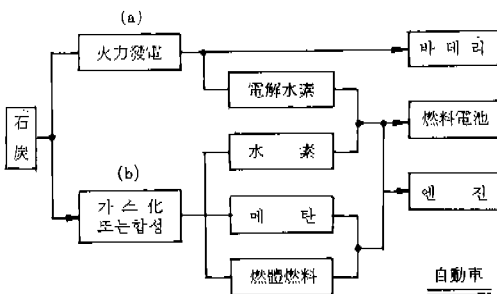
석유 이외의 化石燃料의 埋藏量은 천연가스(주성분은 CH_4)가 석유의 반, Oil Shell 및 타르산드는 석유의 數倍의 에너지량이 존재하지만, 그것에서 석유를 채취하기 위해서는 약 90%의 廢棄物이 나오기 때문에 그 實用化는 아직 의문시 된다. 또 石炭의 可採量은 석유의 5배 정도이다.

따라서 石油 이외의 모든 다른 化石燃料을 직접 엔진에 사용하지 않고 다른 형태의 에너지源으로서 바꾸어 사용하는 것이 많이 개발되었다.

그 예로서는

- (i) 電力으로 사용하는 것이다. 자동차 동력으로서로는 배터리(battery), 燃料電池로 사용할 수 있으나 표 2와 같이 水素이외는 중량이 매우 무겁기 때문에 實用이 곤란하다. 만약 石炭을 직접 엔진에 사용할 수 있으면 効率は 물론 유리하다.
- (ii) 石炭의 H_2 , CO화 메타놀이나 석유로 液化시켜 사용할 수 있다. 이 경우는 水素가 가장 効율이 높다.

표 2 石炭을 自動車用 에너지로 변환시키는 經路



그러나 중요한 것은 이와 같은 化石燃料의 사용의 증대는 公害物質을 排出한다는 것이다. 그 중에서 참으로 不可避한 CO_2 의 增大는 大氣 溫度를 上昇(CO_2 는 지구의 反射赤外線을 흡수)시켜 문제시 되고 있다.

이중 메타놀(CH_3OH)은 石炭외에 천연가스에서 비교적 간단하게 얻어질 수 있으며, 더우기 植物에서도 만들어 지므로, 이것을 연료로 하는 방법이 다음과 같이 연구되고 있다.

1) 가솔린에 混合시킨다. 이때는 약간의 水分이 들어가도 가솔린과 메타놀이 分離되는 缺點이 있으므로 메타놀을 15% 混入시키는 것이 適當하다고 되어 있다. 이 경우 옥탄價가 증가하여 稀薄化되어도 유리한 장점이 있다.

2) 메타놀만 사용 稀薄燃焼를 시킬 수 있어, 排氣對策上 유리하고, 엔티녹성도 높아지나, 氣化熱이 크기 때문에 始動性이 나쁘다. 또 燃料의 發熱量이 낮으므로 약 2배의 연료를 운반할 필요가 있고, 알데히드가 排氣中에 나오게 되는 등의 문제가 있다.

3) 메타놀에 물을 混入 : 水噴射가 NO_x 를 떨어뜨리는 効果는 크지만, 噴射裝置에 難點이 있고, 알코올은 물을 잘 용해하기 때문에 50% 混入하면 가스 냉각 效果로서는 가솔린의 100%에 거의 대등하다. 그럼 33, 34는 體積比率로서 40%까지 물을 混入했을 때의 性能과 排氣의 特性을 나타낸 것이다. HC는 惡化되지만, NO_x 低減에는 매우 큰 效果가 있음을 알 수 있다. 또 NO_x 를 억제하기 위해서는 $\lambda = 1.1 \sim 1.2$ 에서 물 混合에 의한 다른 性能의 희생이 적어 좋다는 것을 알 수 있다. 그러나 물의 氣化熱도 필요하기 때문에 低負荷 運轉性이 나쁜 것과 물이 潤滑油에 混入하는 등의 문제점이 있다.

無公害에너지源으로서의 原子力 및 태양 에너지와 水素를 이용하는 研究가 널리 행하여지고 있다. 이중 水素는 自動車엔진의 燃料로서 다음 2가지 장점을 가지고 있어 가장 활발히 연구되고 있다

1) 모든 에너지로서 물을 분해시켜 얻을 수 있고 燃焼에 의하여 에너지를 방출하고, 다시 물을 환원하는 循環性 燃料이며, 연소할 때 NO 를 제외하고는 CO_2 , CO , HC, 매연, 악취 등을 방출하지 않으며 또 NO_x 도 稀薄燃焼로서 충분히 낮게 할 수 있다. 즉, 無公害 燃料이다.

2) 點火 可能한 混合比 범위가 매우 넓어 공기를 교촉시키지 않고 無負荷의 水素量($\lambda = 5$)

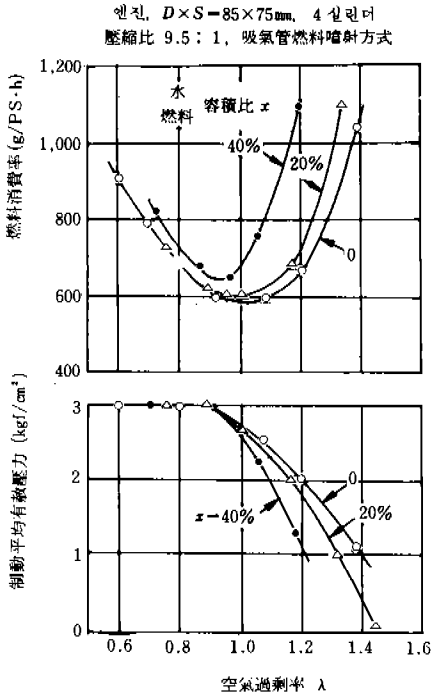


그림 33. 메타놀에 물을 混入시킨 경우의 엔진性能

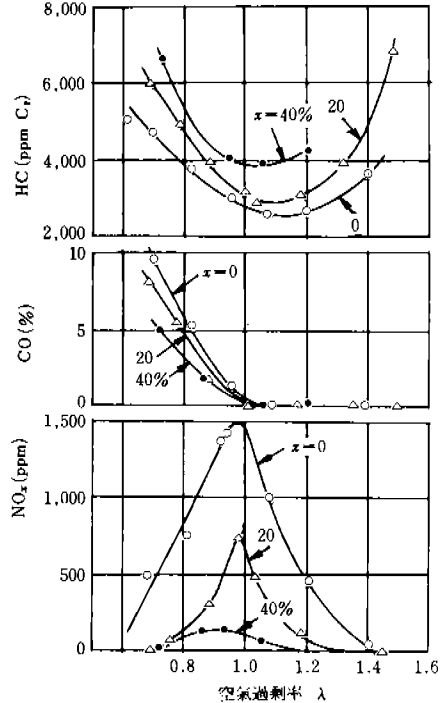


그림 34. 메타놀에 물을 混入시킨 경우의 排氣特性

에서도 운전할 수 있어 NO_x 가 低下됨과 동시에 열효율을 높일 수가 있다.

이와 같은 장점은 稀薄混合氣, 즉 低負荷상태로서, 高負荷時에는 水素가 증가되어 當量比 ϕ 가 증가되면 點火遲延이 짧아지고, 연소 속도가 증대하여 압력상승도 빠르게 된다.

ϕ 가 1에 가까운 高負荷時에는 반대로 다음과 같은 문제점이 있다.

1) 점화하기 쉬워, 早期點火 또는 그 點火가 吸氣밸브가 닫히기 전에 일어나 吸氣系 내에서 폭발하는 백·파이어(back·fire)가 일어나기 쉽게 된다.

2) 그러나 自發火온도가 높으므로 디젤 연소는 곤란하다.

3) 豫混合氣를 吸入할 때는 실린더 體積의 약 30%를 수소가 차지하므로 同一行程體積에서 가솔린(증기는 전체의 1.7%)의 84%의 發生熱量이므로, 최대출력은 그것만큼 떨어진다.

이상을 요약하면 水素엔진은 低負荷에서 稀薄

燃燒時는 극히 우수한 性能을 가지지만 高出力성에 問題가 있어 그 대책은 過給과 동일한 것에 의하여 稀薄混合氣에서 고회력을 얻을 수 있다. 그 一例로서 공기만을 흡입하여 밸브가 닫힌 후 水素를 噴射하면 豫混合에 대하여 42% 공기량이 증가하고, 가솔린과 반대로 약 18%의 發生熱량이 增大한다. 단 이때는 高壓水素를 壓縮機로서 만들 때의 동력이 크게 들고 또 분사 장치의 耐久性에 問題가 있다.

參 考 文 獻

1. 長尾不二夫; 內燃機關, 上下, 養賢堂(1981)
2. 古濱庄一; 內燃機關, 森北出版株式會社(1979)
3. C. F. Taylor; Internal Combustion Engine in Theory and Practice I, II, Second Edition, MIT Press(1981)
4. N. A. CHIGIER; "Energy and Combustion Science," Student Edition I, Pergamon Press (1979)