

# 水素의 內燃機關에 對한 適合性에 關하여

— 自動車機關을 중심으로 하여 —

## On the Possibility of the Internal Combustion Engine using Hydrogen Fuel

— For the Automobile Engine —

金 熙 喆

(仁 荷 大)

### 1. 序 論

에너지事情은 날이 갈수록 惡化一路에 있으며, 이 趨勢는 將次 그 度를 深化시켜 갈 것으로 展望된다. 이와 같은 狀況下에서 거의 石油베이스의 燃料에 依存하고 있는 內燃機關 特히 自動車는 經濟活動 및 國民生活에 不可缺의 手段으로 提供되고 있는 바, 그 需要에 若干의 制動이 걸렸다고 하지만, 長期的으로 볼 때, 需要增大와 이에 따른 供給增大는 必然的인 것으로 認定되고 있다.

內燃機關의 燃料로서 石油베이스가 아닌 新代替燃料로서 가장 有望視되고 있는 것은 메타놀과 水素로 보고 있다. 메타놀은 現在 알려진 製造法으로서, 石炭이나 石油과 같이 埋藏量이 制限되어 있는 化石의 一次製品에 左右된다는 問題를 內包하고 있는데 反하여, 水素는 물 및 核에너지로부터 얻어지므로, 長期的으로 볼 때 가솔린의 一般的인 代用으로서 炭素를 含有하는 原材料에 依存하지 않는 對象이 되는 것은 水素뿐이다.

水素의 利用에 있어서, 製造所로부터 스탠드까지의 下部組織이 없는 것이, 自動車 內 貯藏問題와 더불어, 오늘날 水素自動車의 一般的 利用을 沮止하고 있다고 하더라도, 水素動力은 그 排出가스가 거의 無害한 까닭으로, 가까운 將來에 市內交通과 같은 特殊한 경우에는 活用할 수 있을 것이다. 또한 가솔린과 水素의 混合燃料에 의한 運轉을 徐徐히 導入함으로써, 水素技術로의 轉換이 容易하게 된다.

이렇듯 炭素를 含有하는 原料에 依存하지 않는

代替燃料로서 水素가 有望視되고 있는데, 이때 新燃料의 利用 可能性만이 重要的한 것이 아니고, 燃料의 製造, 貯藏과 分配, 輸送, 그리고 自動車의 運轉에 이르기까지의 問題를 技術的 및 經濟的 觀點에서 把握하여야 한다. 그 가운데서, 특히 新燃料가 自動車機關을 中心으로 한 內燃機關의 代替燃料로서 適合하나 아니냐, 또한 機關, 燃料系統 등에 別로 改造를 加할 必要가 있느냐 없느냐 하는 技術的 把握이 먼저 提起된다. 앞으로 이 問題에 限하여 論議하기로 한다.

### 2. 貯 藏 性

自動車는 本來 定置機關이나, 라인에 拘束된 電氣自動車와는 달라서, 運轉을 繼續하는데 必要한 多量의 에너지를 貯藏하여 携行하여야 한다.

自動車에 있어서 에너지의 課題는 오늘날에서는 거의 全的으로 液體炭化水素 燃料의 携行에 依하여 解決되고 있다. 自動車의 燃料로서 水素를 導入하기 위하여 基本이 되는 前提는 實用可能的한 貯藏策의 有無가 된다. 機關에서 燃燒시키려면 水素를 直接利用할 수 있는 形態(氣體, 加壓下)로 하든가, 또는 自動車에서 放出되어 準備되어야 한다. 이것은 機關의 熱의 利用으로 이루어질 수도 있다.

3種의 水素貯藏, 즉 壓縮가스貯藏, 하이드라이드貯藏 및 液體水素貯藏<sup>1), 2)</sup>은 모두 在來의 自動車의 가솔린탱크에 比하여, 質量 및 所要空間의 觀點에서 顯著한 短點을 나타내고 있다. 그림1에 이 比較를 表示한다.

壓縮가스貯藏器의 경우, 이것은 오늘날에서는 充填壓 150bar까지는 普通으로서, 實驗車에서는 400 bar까지 使用되고 있으나,<sup>1)</sup> 重量이 무거운 點 特別 所要空間이 크다는 點이 넓은 利用을 妨害하고 있다. 將來, 新材料(例를 들어 카아본纖維強化 플라스틱)를 使用하면, 質量輕減은 可能할 것 같다. 그러나 壓縮에 많은 에너지를 必要로 한다고 하는 缺點은 남으며, 이 에너지는 거의 回收될 수 없을 것이다.

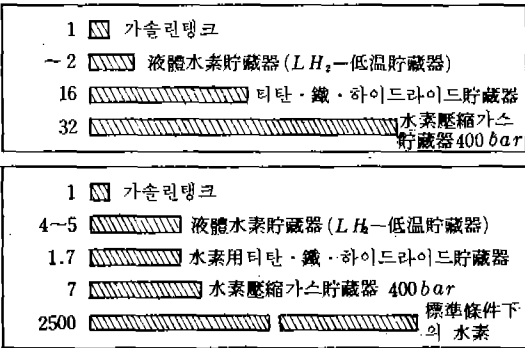


그림 1. 同一에너지 용량에 對한 各種貯藏器型式의 質量 및 體積의 比較

質量의 點에서는, 液體水素탱크(低溫탱크)가 普通의 標準가솔린탱크에 第一 가깝다. 그러나 質量의 大部分은 空탱크의 質量이며, 따라서 恒常 携行하는 셈이 된다. 所要空間이 比較의 크기 때문에 自動車의 車體를 設計하는 경우, 새로운 方向 摸索이 必要하게 된다. 自動車에서 液體水素를 準備(氣化, 冷가스의 加熱)하는데 要하는 에너지는 發熱量의 12%이다. 定置運轉의 경우에는 이 必要 에너지는 機關으로부터의 廢熱에 依하여 容易하게 얻어진다. 하이드라이드貯藏(金屬中에 水素를 貯藏)의 경우는 一般論으로 말하기는 困難한 바, 使用하는 貯藏金屬에 따라 貯藏特性이 變化하는데, 水素의 貯藏量은 貯藏質量의 2~10%가 된다. 그림 1에서 比較로 引用되고 있는 티탄·鐵하이드라이드貯藏器는 水素分量이 2%로서 下限에 있다. 그러나 오늘날에는 機能, 貯藏特性 및 所要空間의 面에서 보면, 이미 別로 困難없이 自動車의 貯藏器로서 使用될 수 있을 것이다.

이 貯藏器의 경우, 水素의 放出에 必要한 溫度와 熱量은, 定置運轉에서는 機關의 廢熱이 利用될 수 있다. 지금까지 檢討된 하이드라이드 貯藏器의

缺點은 貯藏에너지에 比하여 質量이 크다는 點으로서, 液體水素貯藏器보다 劣勢에 있다.

그림 1에서 認定되는 모든 水素貯藏器와 가솔린 탱크貯藏資料의 比較는 同一에너지容量에 關한 것인데, 萬一 同一走行距離 또는 機關의 單位일에 關하여 比較한다면, 작아질 것이다. 그렇게 되면 水素運轉에 있어서 機關效率의 改善은 水素貯藏器를 위하여 效果의 일 것이다.

貯藏의 出費가 比較의 크다는 것은 水素燃料의 缺點으로 看做된다. 그러나 水素에 依한 自動車運轉이 다른 觀點에서 有利하다면, 이 缺點은 水素를 一般交通機關의 燃料로서 使用되는데 妨害가 되지는 않을 것이다.

自動車技術에서는 重量增加, 所要空間의 增加 및 價格昂騰이 다른 特性으로 補償되는 일은 때때로 例證되고 있는 것이다.

大型荷物輸送機關의 엔진을 가솔린機關으로부터 디젤機關으로 轉換하는 것은, 이 缺點이 있음에도 不拘하고, 綜合評價에서 長點이 더 優勢하기 때문에, 現在 美國에서는 轉換이 이루어지고 있다. 歐洲과 亞細亞의 트럭 및 버스는 以前부터 디젤機關이 壓倒의이다.

自動車의 安全性을 強化하는 要求도 空間, 重量 및 價格의 犠牲을 餘分히 支拂할 必要가 있다 하더라도, 強化되고 있는 實情이다.

하이드라이드로의 水素貯藏은 電氣에너지를 蓄電池에 貯藏하는 것에 比較하면, 훨씬 有利하다고 말할 수 있다.

### 3. 內燃機關에서 水素利用의 可能性

內燃機關에서 水素를 利用할 수 있는 型式은 水素의 性質을 勘案할 때, 다음의 2型式이 있다.

(1) 水素를 稀薄炭化水素·空氣混合氣의 点火手段으로(2燃料運轉) 利用하는 型式<sup>3),4)</sup>

(2) 水素를 炭化水素 代身에 使用하는 型式<sup>5)</sup> 이 경우에는 燃焼에 必要한 酸素를 空氣로부터 取하든가, 또는 純粹한 酸素의 形態로 水素에 加할 수 있다.

#### (1) 炭化水素·水素의 2燃料運轉

오늘날 內燃機關에 使用되는 炭化水素는 点火플

러그에 의하여 좁은 空氣燃料比의 範圍內에서만 点火된다. 炭火水素·空氣混合氣에 水素를 加하면 反應速度를 높여, 그 結果 点火限界를 擴張한다. 이 때 水素는 吸氣管內에서 混合氣에 均一하게 分配되도록 加해지든가, 또는 直接 燃燒室內로 噴射된다.

#### (2a) 水素·空氣運轉

水素만의 燃燒는 原則的으로 內燃機關에서 實施된다. 이 때 特定한 取扱 및 構造上의 制約을 考慮할 必要가 있다. 이 경우 吸入空氣와 水素의 混合은 吸氣管 또는 실린더內에서 吸入行程 또는 壓縮行程中에 이루어진다. 出力制御는 混合氣制御에 依하여 簡單히 이루어진다.

排기가스는 一般的으로 水蒸氣와 窒素 및 空氣 燃料比에 따라 多少 窒素酸化物을 包含한다. 特別히 均質한 水素·空氣混合氣는 僅少한 過剩空氣에 의 하여 吸入 및 壓縮時 自發点火하는 傾向이 있으며, 燃燒速度가 빠르기 때문에 急激한 燃燒가 되므로 이에 對한 制御技術이 要求되고 있다.

#### (2b) 水素·酸素運轉

1 kg의 水素의 燃燒에는 8 kg의 酸素가 必要한데, 이 酸素量은 定置機關이 아닌 自動車에서는 恒時 携帶輸送하여야만 하므로, 그만큼 積載荷重은 削減된다. 따라서 水素·酸素에 依한 運轉은 絶對로 無公害의 運轉이 必要한 경우라도, 都市內의 自動車에 對해서는 單純히 理想的이며 觀念的인 것으로서 實現性은 現實的으로 薄弱할 것이다. 다만 經濟性을 無視한 單純한 軍事目的을 위하여 潛水艦이나 上陸用 舟艇用의 水素·酸素原動機가 實用되고 있음은 周知의 事實이다.<sup>5), 7), 8), 9)</sup>

한편 酸素와 潤滑油 사이의 願치 않는 反應을 避하기 위하여, 混合氣에 있어서는 水素過剩의 狀態即 酸素不足의 狀態에서 燃燒가 이루어지도록 할 必要가 있다.

### 4. 混合氣生成

混合氣生成, 경우에 따라서는 層狀混合의 觀點

에서, 內燃機關에 對한 水素의 適合性與否는 燃料에 要求되는 要件과, 이에 關聯되는 重要한 水素의 性質을 對比함으로써 判斷된다.

#### 4·1 空氣 또는 炭化水素·空氣混合物과 水素의 外部에서의 混合氣生成

外部에서의 混合氣生成은 吸入混合氣의 均質性을 可能한 限 良好하게 할 수 있다. 水素의 沸騰點이  $-253^{\circ}\text{C}$ <sup>10), 11)</sup>로 낮다는 點과, 大端히 擴散能力이 크기 때문에 — 水素의 空氣中으로의 擴散係數는 標準狀態下에서  $0.63\text{ cm}^2/\text{S}$ <sup>12), 13)</sup>으로서 가솔린의 空氣中 擴散係數보다 7~8倍<sup>12)</sup> 크다 — 水素는 氣體의 炭化水素에 關하여 알려져 있는 것과 같이<sup>7), 14), 15)</sup> 液體燃料에 比하여 훨씬 有利하다.

個個의 실린더 및 사이클 마다의 分配의 均一性은 짧은 利用時間中 어떤 경우에서도 水素는 氣相으로 存在하며, 屈曲部에 있어서 加速 또는 脈動하는 吸氣流에 의한 作用下에서도, 또한 重力場의 影響下에서도 分離하는 傾向은 豫想되지 않으므로, 同一하게 잘 된다.<sup>16)</sup> 排기가스나 다른 燃料를 混合하는 경우도, 이 拳動은 變化하지 않는다.

液體燃料를 使用하는 경우에는 混合氣生成中 蒸發現象이 있으므로 混合氣의 溫度降下를 이르게, 在來의 燃料에서는 約  $20^{\circ}\text{C}$  冷却된다.<sup>14)</sup> 水素는 많은 경우 周圍의 燃燒空氣溫度의 氣體로 導入되므로, 거의 溫度變化는 일어나지 않는다.

液體水素를 導入하는 경우에는, 水素의 溫度가 大端히 낮고, 氣化熱을 必要로 하므로, 混合氣는 顯著하게 冷却된다.

火災 및 爆發의 危險性으로부터, 混合氣를 導入하는 管內에서 着火가 일어나지 않도록 하여야 한다. 이와 關聯하여 많은 著者들은 水素·空氣混合氣의 detonation (Detonation) 傾向에 關하여 報告하고 있다.<sup>12), 17), 18)</sup>

그러므로 水素는 例를 들어, 輕負荷, 機關의 低溫度水準, 高空氣燃料比( $\lambda > 1.5$  乃至  $2.5$ ) 및 低壓縮比와 같은 一定條件의 경우에 限해서 여기서 求해지는 要求를 滿足한다.

#### 4·2 空氣 또는 炭化水素·空氣混合物과 水素의 内部에서의 混合氣生成

### (1) 均質한 混合

이것은 4·1에서 論述된 內容이 그대로 適用된다. 이 경우 勿論 混合氣生成에 利用되는 時間은 外部에서 混合氣가 生成되는 경우보다도 짧기 때문에, 燃料과 空氣의 混合性이 더욱 要求된다. 水素는 이 要件을 모든 液體炭化水素나 氣體炭化水素보다도 잘 充足시키고 있다.

### (2) 不均質한 混合(層狀給氣)

不均質한 混合은 燃料가 燃燒用空氣의 一部와만 混合함으로써 생기며, 局部的으로 大端히 濃厚한 混合氣의 구름이 생긴다. 外部點火와 더불어, 모든 運轉條件下에서 噴射時期, 噴射量 및 點火時期의 關係가 正確히 維持되어야 한다. 이와 같은 事情으로부터, 燃料는 大端히 짧은 時間內에 스파이크 點火에 依하여 確實히 點火하여 燃燒할 수 있는 混合氣를 生成하는 能力을 가져야만 한다.

自然發火의 경우에는, 發火遲延을 작게 하기 위하여 빨리 氣相이 되어야 한다는 要件과 더불어 더 나아가서 이에 依하여 燃燒初 및 燃燒過程에 影響을 미치는 噴射時期 및 噴射法則을 正確하게 定한다는 것이 必要하다.

여기서 注意할 것은, 自然發火와 더불어 水素는 그 擴散能力이 크기 때문에 過早混合氣生成의 危險性을 發生하는 경우도 있고, 스파이크點火를 使用하는 경우에는 燃燒用空氣內에서 水素의 分布가 過度로 進行되고 있어서 燃燒時 壓力上昇을 急激化한 念慮가 있다.

### 4·3 連續燃燒에서의 混合氣生成

가스터어빈은 往復式內燃機關과 달리, 燃燒器內에 混合氣生成에 의한 連續燃燒가 일어난다. 原動機의 比出力을 充分히 얻으려면 燃料流量을 크게 할 必要가 있으므로, 連續水素燃燒에 있어서는 모든 狀況下에서 豫混合火炎에 의하여 作動되어야 한다. 그 理由는 擴散火炎에 의한 運轉의 경우에는 多額의 製作費를 要할 것으로 豫想되기 때문이다.

在來의 燃料를 使用하는 경우에 그렇듯이, 水素 使用時도 内部에서 連續的으로 混合氣를 生成함이 有效하다. 그러므로 이 경우에도 3·2에서 均質 混合氣에 관하여 記述한 原理가 適用되며, 混合氣의 迅速한 均質化에 重点이 놓여진다.

### 4·4 混合氣의 發熱量

代替燃料로서 新燃料를 使用하고자 할 때 (最大出力이 同一한 境遇), 既存의 內燃機關의 構造를 本質的으로 變更하지 않아도 되도록 하는 것이 바람직하다. 이 경우에 效率이 變化하지 않는다는 條件下에서는 이 新燃料로 얻어지는 混合發熱量이 적어도 現在의 燃料로 實現되고 있는 값에 到達할 必要가 있다. 뿐만 아니라 燃料·空氣混合氣는 必要한 混合氣發熱量의 範圍內에서 着火可能하여야 한다.

그러나 水素·空氣混合氣가 同一混合發熱量의 要求를 充足시킬 수 있는 것은 空氣過剩率이 1.5의 경우 뿐으로서, 空氣過剩率이 이보다도 낮은 경우에는 發熱量은 炭火水素·空氣混合氣에 依한 到達可能值를 조금 下廻하고, 空氣過剩率이 이것보다 높을 때에는 조금 上廻한다. 炭化水素·空氣混合氣와 水素·空氣混合氣와의 混合發熱量의 差異가 最大로 되는 것은 理論混合比의 경우에 나타나며, 그 크기는 13% 程度이다.

氣體水素를 使用하는 경우 混合氣發熱量과 體積 效率이 낮다고 하는 事實로부터 豫想되는 最大出力의 低下는 燃料로서 純水素를 使用하는 경우, 여러 著者의 文獻에서 驗證된 바 있지만, 높은 内部 效率 圖示熱效率에 의하여 一部 相殺된다(8), (12), (19), (20)

水素를 點火用으로 附加燃料로서 使用하는 경우, 必要한 化學的에너지는 베이스燃料에 의하여 供給되므로, 水素의 混合發熱量은 副次的인 意味를 가짐에 지나지 않는다.

水素의 混合氣發熱量의 變化 및 給氣의 惡化의 影響은 現段階로서는 定量的인 把握이 不充分하지만, 그 影響은 僅少하여, 既存의 內燃機關 또는 가스터어빈을 變更할 必要는 없는 것으로 생각된다.

### 5. 點火 및 燃燒

水素로 運轉되는 內燃機關을 特徵化하는 學動은 本質的으로는 混合氣의 性質 即 着火限界 着火溫度, 着火에너지 및 火炎傳播速度에 의하여 決定된다.

bombe內의 自由火炎 또는 管狀容器에 있어서의 實驗에 의하여 測定된 이들의 性質을, 水素·空氣 또는 水素·酸素混合氣에 관하여 炭化水素·空氣混合氣와 比較하여 記述하기로 한다.

5 · 1 着火限界

여러 實驗結果에 依하면 大氣條件下에서 水素 · 空氣混合氣의 点火領域은 水素 4 ~ 10體積% 및 60 ~ 80體積%의 사이에 있다.<sup>14)</sup> 가솔린機關의 경우에는 下限이 1.4 ~ 2.4體積%이고, 上限은 4 ~ 8 體積%로 定해져 있다.<sup>14)</sup>

空氣過剩率  $\lambda$ 로 換算하면, 다음과 같이 理論的 上限 및 下限이 된다.

	水素	가솔린
空氣過剩率 $\lambda$	0.15 ~ 10	0.27 ~ 1.7

그림 2는 水素 · 空氣混合氣의 着火限界가 混合氣溫度를 높이면, 兩側으로 上向擴張됨을 表示한다.

이에 對하여 壓力이 上昇하면, 水素 · 空氣混合氣의 着火領域은 上限은 上方으로 向하여 擴張하지만, 下限은 一定不變이다.<sup>21)</sup>

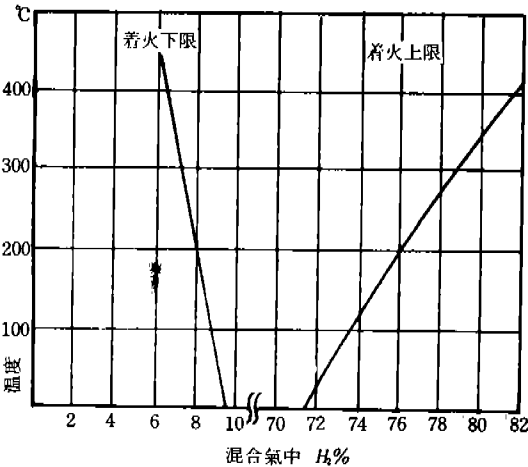


그림 2. 水素 · 空氣混合氣에 對한 着火限界와 混合氣溫度와의 關係<sup>21)</sup>

5 · 2 着火溫度

여러 實驗結果에 따르면 비슷한 着火溫度의 散布帶를 이룬다. 이에 依하여 一定한 吸入時間後에 混合氣가 着火하여 燃燒가 일어남을 알 수 있다. 水素와 가솔린의 着火溫度는 Jost<sup>21)</sup>에 依하면 다음과 같으며, 理論水素 · 空氣混合氣를 燃燒로 引導하는 着火溫度는 理論가솔린 · 空氣混合氣의 着火에 必要한 溫度보다 높은 傾向을 보인다.

水素 · 酸素 · 窒素混合氣의 斷熱壓縮은 그림 3에 表示하는 바와 같이 먼저 理論水素 · 酸素混合氣에 窒素가 附加되면, 着火混도는 上昇한다.

1 bar의 壓力下의 着火溫度<sup>21)</sup>

	空 氣 中	酸 素 中
水 素	530 ~ 630°C	450 ~ 630°C
가 솔 린	520 ~ 530°C	

그림 3 및 그림 4는 水素 · 空氣混合氣 또는 水素 · 酸素混合氣의 稀濃度 또는 空氣燃料比에 따른 着火溫度의 變化를 表示하는데, 一般的으로 稀薄한 混合氣일수록 着火溫度가 低下함을 알 수 있다.

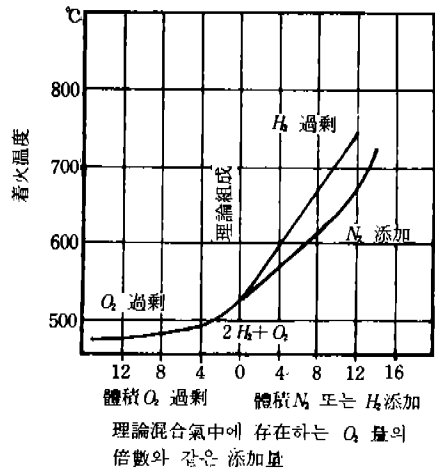


그림 3. 窒素를 包含하는것과 包含하지 않는 各種 組成의 水素 · 酸素混合氣의 着火溫度<sup>21)</sup>

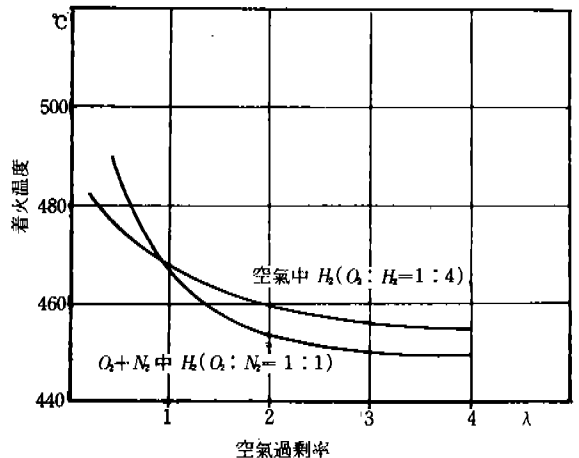


그림 4. 各種 酸素 · 窒素混合氣의 着火溫度와 空氣過剩率  $\lambda$ 와의 關係<sup>21)</sup>

5.3 着火에너지

着火에너지와 混合氣組成과의 關係는 U字型的 變化를 가진다. 最大에너지는 着火限界의 下限 및 上限領域에서 各各 얻어진다. 兩側의 最大着火에너지의 領域으로부터 理論水素·空氣混合氣의 領域으로 接近하면, 必要한 着火에너지는 減少한다. 水素·空氣混合氣에서는 最低所要着火에너지는 0.02 mJ인데, 이에 反하여 가솔린·空氣混合氣에서는 0.2~0.4mJ이 된다.<sup>6)</sup>

그림 5는 大氣壓 및 周圍溫度下에서 各種燃料에 對한 着火에너지와 空氣過剩率  $\lambda$ 와의 關係<sup>22)</sup>를 表示하고 있다. 이 경우 點火는 스파이크間隙에 依하여 이루어졌다. 그림 5로부터 一般적으로 炭化水素가 着火할 수 있는 空氣過剩率의 領域은 大端히 좁은 範圍에 限定되며, 最小着火에너지의 領域은 極端적으로 狹小함을 알 수 있다. 이에 反하여 水素는 着火可能한 空氣過剩率의 範圍가 훨씬 大 大하며, 最小着火에너지도 炭化水素보다 작아도 된다는 利點이 있다. 또한 水素를 0.3 또는 4.5의 空氣過剩率에서 着火시키는데, 炭化水素에 必要한 最小着火에너지로 充分하다.

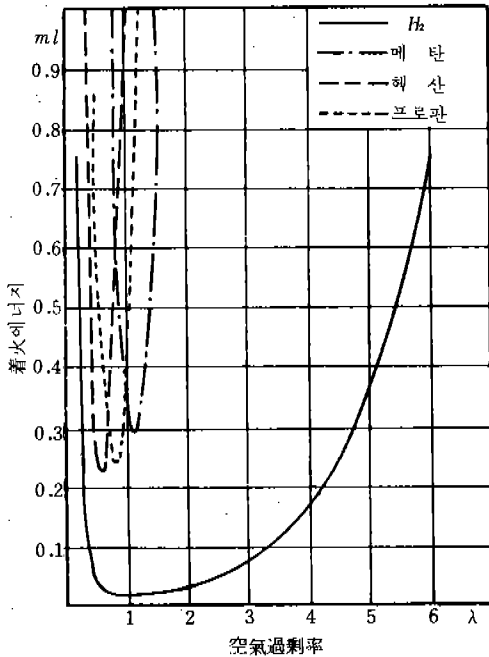


그림 5. 大氣壓 및 周圍溫度下에서 各種混合氣의 着火에너지와 空氣過剩率  $\lambda$ 와의 關係<sup>22)</sup>

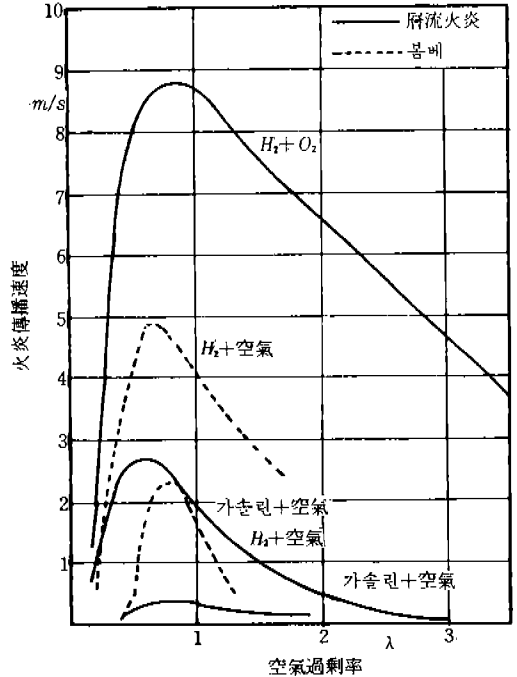


그림 6. 水素·空氣混合氣, 水素·酸素混合氣 및 가솔린·空氣混合氣의 大氣壓 및 周圍溫度下에서의 火炎傳播速度<sup>22), 14), 41)</sup>

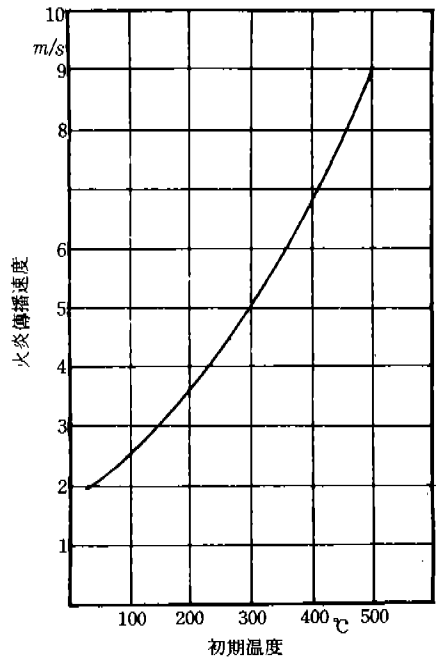


그림 7. 大氣壓下에서 水素·空氣混合氣 ( $\lambda = 1.05$ )의 豫熱에 따른 初期溫度와 火炎傳播速度와의 關係<sup>39)</sup>

### 5·4 火炎傳播速度

火炎面の傳播速度即火炎傳播速度는 混合氣의 物理的 및 化學的性質에 左右된다.

그림 6 은 水素 및 가솔린의 空氣 또는 酸素와의 混合氣에 對하여, 層流火炎 및 紊亂中에서의 火炎傳播速度 對 空氣過剩率의 關係를 表示한다. 그림 6 으로부터 水素·空氣燃焼時의 火炎傳播速度는 가솔린·空氣燃焼時보다 數倍의 空氣過剩率의 範圍에 걸쳐 있으므로, 可用混合比는 훨씬 廣大함을 알 수 있다.

그림 7 에서는 水素·空氣混合氣의 豫熱을 높였을 때, 火炎傳播速度가 上昇하는 狀態를 表示하고 있다.

炭化水素·空氣混合氣에 關한 研究의 경우와 마찬가지로, 水素의 경우도 火炎傳播速度가 混合氣의 擾亂의 增加와 더불어 增加한다고 생각된다.

### 5·5 內燃機關에서의 点火 및 燃焼

水素反應에 關한 前述의 性質은 內燃機關에 있어서 水素·空氣混合氣의 点火와 燃焼에 關한 定性的記述에 지나지 않는다. 水素를 理論上 燃焼시킬 수 있는 点火限界의 넓이는 實際上, 即 機關에서의 條件下에서는 空氣過剩率  $\lambda = 1 \sim 5$  에 限定된다.<sup>3)</sup> 이 경우에 稀薄한 混合氣는 가솔린에 比하여 火炎傳播速度가 크므로, 充分히 急速히 燃焼를 完了한다. 勿論 理論混合比( $\lambda = 1$ )의 近處에서는 燃焼經過는 水素·空氣混合氣의 경우, 火炎傳播速度가 大端히 크므로 激甚한 燃焼音 및 機關의 熱的 및 機械的 負荷가 높아지는 缺點을 同伴한다.

点火에너지가 작다고 하는 事實로부터 더욱 短점이 發生한다. 即, 燃焼室內의 局部的인 加熱箇所(点火플러그電極, 灼熱된 오일·카아본, 高溫殘留가스等)는 吸入된 水素·空氣混合氣를 스파이크 点火와는 關係없이 無制御的으로 着火시킬 수 있다. 特히 理論混合氣의 근방에서 自動車機關의 普通程度의 壓縮比의 경우 發生하는 周知의 現象은 吸氣管内로 逆火 또는 壓縮段階에서의 早期着火이다. 이와 같은 現象때문에 理論水素·空氣混合氣의 경우, 壓縮比를 높이는 觀點에서 가솔린·空氣混合氣보다 着火溫度가 높다고 하는 利點을 完全히 利用할 수 없게 된다. 그러므로 水素·空氣混合氣 또는 水素·酸素混合氣를 吸入하는 內燃機關에서는

燃焼室의 熱負荷를 可能한 限 낮게 하여야 한다.

一般的인 傾向으로 보아, 水素·空氣混合氣의 燃焼의 경우, 開放火炎의 加熱半徑은 炭化水素火炎에 比하여 約 1/10이므로,<sup>23), 24)</sup> 아마 燃焼室壁의 熱負荷는 가솔린·空氣混合氣의 燃焼의 경우보다 작아진다. 그러나 熱負荷가 確實히 低下하기 始作하는 것은 燃焼溫度가 이에 相應하는 過剩空氣에 의하거나, 또는 不活性가스의 還流에 의하여 떨어지는 경우이다. 이 때 不利한 點은 出力密度의 損失이고, 反面 有利한 點은 熱效率의 改善이다.

水素를 燃焼室로 直接 導入하는 경우, 点火時期를 最大限으로 늦추면, 無制御的인 自發点火의 危險性은 없다. 이 경우에는 混合氣를 吸入하는 內燃機關보다 確實히 高出力密度가 얻어진다.<sup>25)</sup>

混合氣를 吸入하는 로터엔진의 경우, 原理上 그 燃焼室表面이 크기때문에, 無制御的 自發点火의 問題는 抑制하기 쉬울 것으로 생각된다. 가스터 어빈에 있어서는 이와 같은 問題에 關한 困難性은 생각할 수 없다.

点火特性 및 燃焼에 關한 水素·空氣混合氣의 性質에 關한 考察로부터, 水素는 內燃機關의 運轉에 適合한 燃料이라고 看做된다.

## 6. 排氣汚染物

水素燃焼의 燃焼生成物은 本質上 有害物質로 看做되지 않는 水蒸氣이다. 炭化水素運轉時의 CO와 같은 不完全燃焼生成物은 水素機關의 排氣中에는 생기지 않는다. 그러나 炭化水素燃焼의 경우와 마찬가지로 水素機關의 排氣는 未燃焼의 燃料成分即 水素를 包含한다(그림 8<sup>26)</sup> 參照). 이것은 空氣不足의 領域에 該當하는데, 炭化水素로 運轉하는 自動車機關과는 反對로, 運轉範圍로서는 重要하지 않다. 그리고 濃厚点火限界와 稀薄点火限界의 領域에서는 炭化水素燃焼의 경우와 같이, 未燃焼燃料의 急激한 濃度上昇이 일어나는데, 이것은 失火에 起因한다.

理論混合氣와 稀薄点火限界와의 사이의 水素機關의 重要한 運轉領域에서는 排氣中에 包含되는 水素는 僅少하다. 그 理由는 炭化水素로 運轉한 때 發生하는 不完全燃焼에 미치는 다음의 두 가지 影響이 水素機關의 경우에는 同範圍에서는 別로 効

果가 없기 때문이다.

第1의 影響 卽 燃燒室壁에서의 火炎의 消失은 水素機關의 경우에는 大端히 좁은 範圍에서 存在할 뿐이므로, 水素混合氣는 比較的 좁은 間隙에서도 完全燃燒한다.

第2의 影響은 火炎傳播速度로서, 이것은 水素의 경우, 大端히 빠르므로, 燃燒條件이 나쁜 경우에도 燃燒室의 各處에 火炎이 到達한다.

高温에서 空氣에 의한 燃燒過程에서 恒常 그렇듯이, 水素機關에서도 窒素酸化物이 生成된다. 炭化水素로 運轉되는 機關과는 對照的으로, 水素機關에서는 NO와 더불어 NO<sub>2</sub>도 顯著하게 生成된다.<sup>27)</sup> 酸化窒素排出物이 어느 程度인가에 關係해서는 水素·空氣混合氣의 生成方法이나 實驗機關에 따라 相異하여 全體的으로 確實히 믿을만한 實驗結果는 아직 나와 있지 않는 狀態로서, 研究段階에 있는 現實情이다.

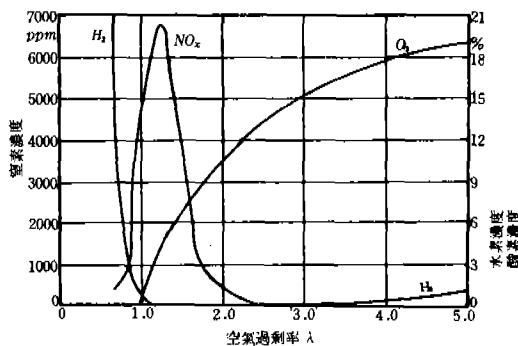


그림 8. 空氣過剩率 λ에 依存하는 水素機關의 排氣組成<sup>28)</sup>

理論上으로는 酸化窒素排出物은 그림 9에 의하면 炭化水素로 運轉되는 機關에서 알려져 있는 것과 같은 樣相을 나타낸다.<sup>28)</sup> 그림 9에 表示된 酸化窒素의 實測值가 大端히 작은 것은, 아마 實驗機關의 特殊性에 起因하는 것으로서, 이 경우에는 外部로부터 点火後, 水素噴射에 의하여 燃燒를 制御하였으며, 이와 같은 混合氣生成으로는 燃燒室內에 均質한 混合氣는 存在하지 않는다. 그러므로 酸化窒素排出物이 적은 것은, 아마 이 機關의 경우에 豫想되는 燃燒溫度의 피이크值가 낮다는 點 및 層狀給氣에 起因할 것이다.

이에 反하여 그림 8은 外部에서 混合氣를 生成하는 實驗機關<sup>26)</sup>에 對한 것인데, 酸化窒素最大値의 位置가 조금 달라지고 있는 點을 度外視하면, 그림 9에 있어서의 理論上의 NO<sub>x</sub> 排出物曲線과 一致한다.

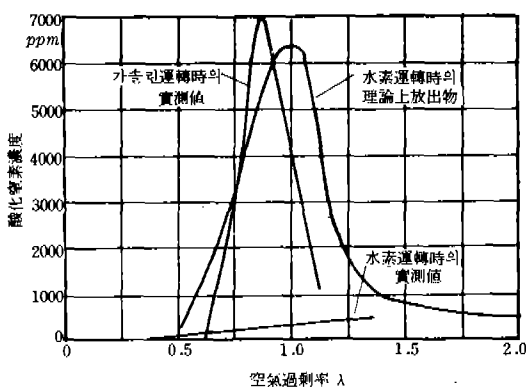


그림 9. 가솔린運轉 및 水素運轉時의 酸化窒素와 空氣過剩率 λ와의 關係<sup>29)</sup>

그림 10은 그림 9를 土台로 한 機關에 對한 單位出力當 酸化窒素排出量을 表示하고 있다. 水素運轉에서 일어난 酸化窒素值는 加솔린이나 메타놀運轉에서의 實測值보다 낮다. 그림 10에서 出力을 考慮할 때 水素는 有効出力(實出力)을, 그리고 가솔린이나 메타놀의 경우에는 内部出力(圖示出力)을 適用하였으나, 이 差異로 生기는 NO<sub>x</sub>排出量의 差異는 크지 않다. 水素運轉時의 NO<sub>x</sub>值가 작은 것은 이미 前述한 理由로부터, 모든 水素機關을 代表하는 것은 아니다.

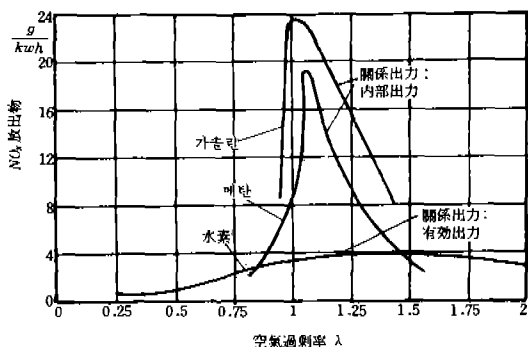


그림 10. 各種燃料에 關하여 出力當單位時間에 排出되는 酸化窒素量과 空氣過剩率 λ와의 關係<sup>30)</sup>



그림 11에서는 가솔린연轉과 水素연轉의 경우의 酸化窒素排出物과 平均有効壓力과의 關係를 比較 對照하고 있다.<sup>27)</sup> 이 경우 水素연轉에서는  $\lambda=1.6$  보다 濃厚한 空氣過剩率 ( $\lambda < 1.6$ )에서는 連轉되지 않았다. 稀薄한 쪽의  $\lambda$ 의 領域에 對해서는 그림 8에서 마찬가지로 酸化窒素排出物이 적음을 表示하고 있다. 그림 11에서 가솔린연轉의 경우의 不規則한 曲線의 形狀은 一定負荷段階로부터 始作되는 排氣淨化裝置의 使用에서 오는 影響 때문이다. 그림 11에서 水素機關은 가솔린연轉보다도 稀薄化할 수 있으므로, 本質적으로 酸化窒素排出物이 적은 連轉이 可能하게 됨을 明示하고 있다.

純粹한 混合氣制御의 경우, 比較的 高負荷時에 비로소 酸化窒素排出物이 많아지는 空氣燃料比가 되지만, 法定排氣테스트에 重要한 部分負荷領域에서는 酸化窒素濃度は 낮다.

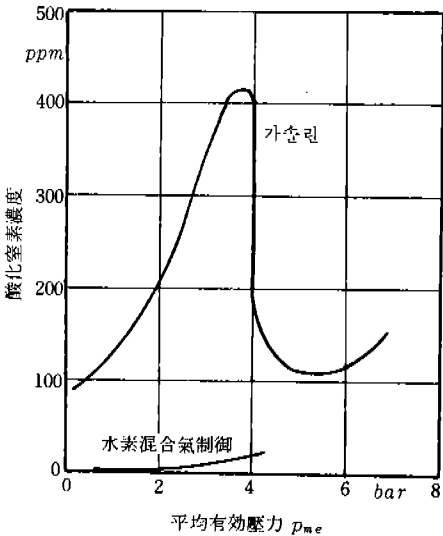


그림 11. 混合氣制御를 한 가솔린連轉 및 水素連轉에 對한 排氣의 酸化窒素濃도와 平均有効壓力  $P_{me}$ 와의 關係<sup>27)</sup>

表 1에 水素自動車의 各開發段階에 關한 CVS테스트의 結果를 表示하고 있다.<sup>29)</sup>

含炭素排氣成分의 一酸化炭素(CO) 및 炭化水素(HC)는 潤滑油로부터 發生할 뿐이므로 排氣中の 濃度は 大端히 작은 것으로 생각된다. Murray 등은 CO의 體積濃度は 0.01%以下, 炭化水素의 濃度は 30ppm으로 報告하고 있다.<sup>28)</sup>

反노크劑로서 4 에틸鉛을 使用하는 경우—水素

連轉에도 使用可能<sup>12), 30)</sup>—이에 따른 鉛분이 檢出된다. 따라서 노크防止를 위해서는 다른 可能한 方法을 講究함이 바람직하다.

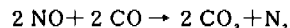
表 1. 水素自動車의 各開發段階에 對한 CVS테스트에 依한 排氣排出物<sup>29)</sup>

	1972年 7月	1972年 8月	1974年 4月	1978年의 美國의規 制値
NO <sub>x</sub> g/mile	0.21	0.85	0.04	0.40
HC g/mile	0	0.20	0.09	0.41
CO g/mile	0	0.44	0.15	3.4

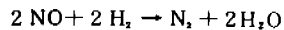
그을음 其他의 固形排出物은 燃料水素에서는 생 考할 수 없다.

排氣淨化裝置는 水素機關의 경우, 主로 酸化窒素 排出物處理에 關心이 集中된다. 이와 併行하여 點火遲延, 排氣再循環 및 水混合等에 依하여 燃燒 溫度를 低下시켜 酸化窒素排出物의 減少를 圖謀하는 手段은 모두 炭火水素連轉機關의 경우와 마찬가지로 效果를 가진다.

還元觸媒裝置를 使用함에 있어서 水素機關의 경우 一酸化炭素는 없으므로 다음의 反應



은 問題가 되지 않고, 代身 다음의 反應



이 現在 觸媒에 의하여 可能하므로, 이것에 의하여 적어도 理論上으로는 還元の 可能性이 주어질 것이다. 實際 走行連轉에서 어느 程度 還元되는지, 現在의 文獻으로는 資料가 不充分하여 豫見될 수 없다. 關心이 있는 連轉領域에서 排氣中에 水素가 위의 反應에 適應할만큼 充分히 包含되어 있는지 如否도 調査되어야 한다. 萬一 充分치 않다고 하면, 觸媒前에 水素를 불어 넣어야 할지 모른다.

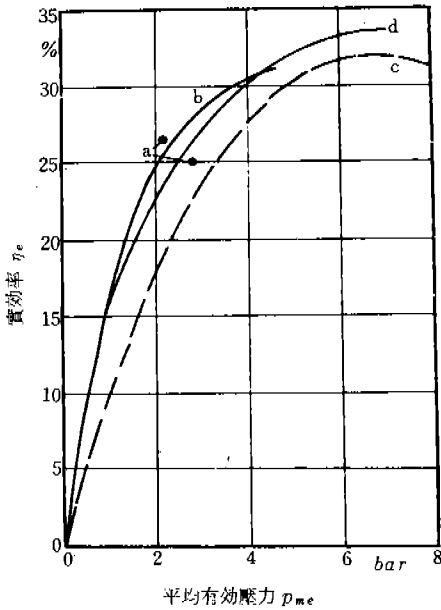
水素燃燒의 경우에 還元の 對象으로 생각되는 다른 排氣成分은 암모니아(NH<sub>3</sub>)인데, 이것은 炭化水素로 連轉되는 機關의 還元觸媒中에 發生하지만, 水素連轉의 自動車의 排氣中에는 NH<sub>3</sub>은 檢出되지 않았다.<sup>22)</sup> NH<sub>3</sub>生成은 特히 空氣不足의 領域에서 일어난다고 생각되며, 이 경우에는 排氣가 未燃燒

水素를 多量으로 包含하는데, 水素機關의 自動車 利用에 있어서는 稀薄한 混合比에서 主要 運轉되므로, 이 問題는 그리 重要하지 않는 것 같다.

7. 効 率

多數의 水素機關에서 求해진 効率は 匹敵하는 가솔린機關의 効率보다도 確實히 良好하다. 文獻에서 入手된 水素機關의 典型的인 効率을 그림 12 및 그림 13에 表示한다. 그림 12는 平均有效壓力에 對한 機關의 實効率의 變化를 나타내고, 그림 13은 各種 空氣燃料比에 따른 圖示熱効率의 變化를 나타내고 있다.

그림 14는 Finegold<sup>27)</sup>의 實驗結果로부터 取한 것인데, 同一機關을 使用하여 가솔린運轉과, 調整된 水素運轉을 連續運轉하였다. 이 그림으로부터 (熱) 効率의 觀點에서, 水素機關의 優越性은 中間負荷 領域에서 顯著하며, 低負荷時에서도 大端히 높다. 이때 使用한 水素機關은 外部에서 混合氣를 生成한 것으로서, Finegold는 高負荷로 할 수가 없어서



a: Adt et al<sup>31)</sup>  
 b: Finegold and Van Vorst<sup>27)</sup>  
 c: Oehmichen<sup>32)</sup>  
 d: Oehmichen<sup>32)</sup>

그림 12. 實効率  $\eta_e$ 와 平均有效壓力  $p_{me}$ 와의 關係

中負荷以下로 實驗을 制限하였다. 한편 Oehmichen<sup>32)</sup>은 水素오토機關이 가솔린 오토機關에 比하여 効率面에서 約 20% 上廻한다고 하는 結論에 到達하였다. 따라서 水素오토機關은 自動車用機關의 領域에서는 디젤機關以外에는 알려져 있지 않는 高効率에 到達한다.

水素機關이 가솔린機關에 比하여 効率面에 優秀하다는 事實에는 많은 理由가 있다. 하나의 重要한 理由는 가솔린機關에 比하여 實際의 사이클이 等積過程에 一層 近似하다는 點으로서, 이 確證은 Oehmichen<sup>32)</sup> 및 Waston<sup>26)</sup>에 의하여 特히 強調되고 있다.

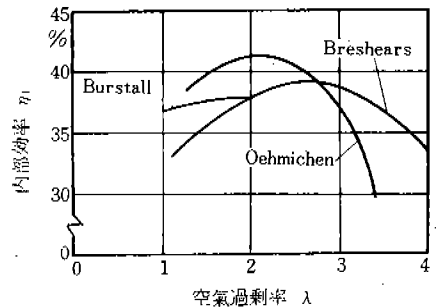


그림 13. Oehmichen<sup>32)</sup>, Snyder<sup>39)</sup> 및 Breshears<sup>40)</sup>의 測定에 의한 水素運轉에 있어서의 圖示熱効率  $\eta_i$ 와 空氣過剩率  $\lambda$ 와의 關係

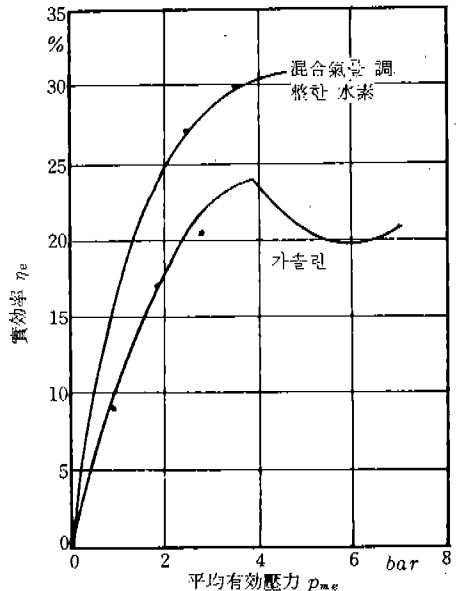


그림 14. 가솔린運轉과, 混合氣를 調整한 水素運轉의 實(熱)効率  $\eta_e$ 와 平均有效壓力  $p_{me}$ 와의 關係<sup>27)</sup>

오토機關의 性能比較의 方便으로 때때로 使用되는 等積過程은 上死점에 있어서 給氣의 完全燃燒을 前提로 한다. 그렇기 위해서는 燃燒速度가 無限히 커야만 할 것이다. 水素機關의 경우 뚜렷하게 燃燒速度가 크다는 것은 等積過程과 잘 一致하는 原因인데, 이 過程은 燃燒遲延이 있는 여러 過程보다도 經濟性的의 觀點에서 優越하다.<sup>33)</sup>

水素機關과 가솔린機關의 效率을 全負荷의 경우 뿐만 아니라, 走行燃料消費率에 重要な 關聯이 있는 部分負荷에 있어서도 比較考察한다면, 水素機關의 (熱)效率이 確實히 優越性을 나타내는데, 여기에는 다른 理由가 있다. 即 앞서 記述한 바와 같이, 水素機關은 가솔린機關과는 對照적으로 大端히 空氣過剩狀態, 換言하면 稀薄한 混合比에서 運轉할 수 있다는 점이다. 그러므로 水素機關의 경우에는 部分負荷에 있어서, 效率이 既知와 같이 空氣過剩率에 크게 依存한다는 점이 有利하다.

溫度上昇에 따른 比熱의 增加에 의하여, 僅少한 空氣過剩率로 運轉되는 가솔린機關은 一定比熱로 看做되는 所謂 完全機關의 過程에 比하여 (熱)效率에서 顯著的한 損失을 받게 된다.<sup>33)</sup> 이 不利한 影響은 잘 調整된 水素機關의 部分負荷에서는, 特히 그 最大效率의 領域에서 空氣過剩率이 約 2.5의 경우, 大端히 弱화된다.

작은 部分負荷의 경우에 給氣制御하면, 絞縮損失이 效率에 惡影響을 미친다. 이 경우에 水素機關에서는 質調整에 의하여 稀薄한 混合氣로 運轉可能하므로 效率面에서 有利한 立場에 서게 된다.

通常의 走行運轉에 있어서 走行燃料消費率中, 特히 過渡的走行狀態에서의 燃料消費率도 重要な 役割을 演出한다. 가솔린機關의 경우에 過渡的인 運轉으로 가솔린에 의하여 吸氣管壁을 濕潤함으로써 燃料消費量이 增加한다고 하는 不利益은 水素機關의 경우에는 回避할 수 있다. 또한 冷始動時에 가솔린機關이 必要로 하는 燃料의 濃化도 水素機關에서는 明白히 不必要하다.

以上과 같은 水素機關의 效率에 미치는 有利한 影響 以外에도, Finegold<sup>12)</sup>은 水素機關에 있어서 燃燒時에 輻射에너지가 적다는 事實을 명시하고 있는데, 이것은 燃燒室壁에서 放出되는 熱損失을 어느 程度 輕減시킨다.

## 8. 潤滑 및 材料

### 8.1 水素機關의 潤滑

水素로 運轉되는 自動車機關에 있어서 在來의 技術로 充分히 潤滑可能한 것으로 생각된다. 다만 크랭크室掃氣의 오토2 사이클機關 또는 오토로터리機關의 경우의 混合潤滑은 水素機關에서는 實現되지 않는다.

潤滑油에 對한 要件은 機關의 作動行程間의 條件에 따라, 또한 關與하는 物質 特히 燃燒生成物의 性質에 依하여 決定되는데, 이 점에 關해서 水素運轉의 機關은 가솔린機關 및 디젤機關과 다르다.

近年 純水素運轉으로 얻어진 實際經驗은 比較的 短時間에 限定되어 있지만, 潤滑의 困難性은 言及되어 있지 않다.

또한 가스燃料中の 水素分量을 많이 하여 運轉되고 있는 定置式 大型機關에 關한 實務에서도 마찬가지로 別로 問題視되는 潤滑油의 困難性은 發見되지 않았다. 一般적으로 디젤機關의 潤滑法에 比하여 오히려 가스機關의 潤滑法의 경우가 問題가 적다.<sup>34)</sup>

燃料로서 水素만에 限定하면, 潤滑油에 對한 要求는 훨씬 緩和된다. 純水素運轉의 경우 潤滑油의 顯著的한 粘性低下는 일어나지 않는다. 가스機關에서는 濕氣를 가진 天然가스(多量의 가솔린분과 더불어)를 使用하는 경우에는 潤滑油 稀釋에 따른 粘性低下가 認知된다.<sup>35)</sup> 同一한 稀釋現象은 가솔린機關의 경우에도 잘 알려져 있다.

水素機關의 排氣中에 少量의 酸性燃燒生成物이 內包될 때에는 潤滑油의 中性化能力을 減退시킨다. 殘渣가 없고 燃燒時 灰분이 없는 潤滑油가 使用된 것이며, 이 때에는 摩滅을 增大하고 灼熱點火를 일으키게 하는 可能性을 가진 堆積物은 回避될 수 있을 것이다.<sup>34), 35)</sup>

一般적으로 潤滑油에서 다음 두 가지 支障이 發生할 可能性은 水素機關의 경우에도 完全히 排除할 수는 없다. 即,

첫째로 高熱負荷時에는 潤滑油特性은 酸化(酸化重合)에 依한 劣化가 생각된다.

둘째로 潤滑油膜中の 炭化水素의 二重結合 및 芳香族에 酸化窒素의 附着(窒素固定)이 發生하고, 有

機硝酸塩의 發生으로 泥狀物生成 및 粘度上昇이 일어난다. 飽和炭化水素(파라핀族)를 베이스로 하는 潤滑油를 使用함으로써, 이 危險性은 輕減된다.<sup>35)</sup> 또한 水素機關의 排氣中の 酸化窒素量을 적게 維持할 수 있으면, 이 危險性도 減少될 수 있다.

潤滑油는 0.5~1體積%의 水分含有가 許容되는 것으로 認定되고 있는데, 그 이상이 되면 分散能力이 大端히 弱화되고 粘度가 높아지기 때문에, 그 이상의 水分含有는 抑制되어야 한다. 水素機關에 있어서 排氣의 높은 水蒸氣含有量이 潤滑油의 吸水量을 높이는지에 關한 調査研究는 아직 別로 이루어진 바 없다. 萬一 機關潤滑中の 水分이 不得已 많다면, 早期에 潤滑油 交換을 必要로 할 수 밖에 없을 것이다.

定置式大型機關의 潤滑에 關한 經驗은 水素運轉이 自動車機關에 轉用되는데, 普通 運轉條件이 不利하게 되므로, 그 경우에는 潤滑油特性의 劣化를 考慮에 넣어야 한다.

水素機關의 特殊型, 即 水素와 酸素를 密閉사이클로 運轉하는 機關에서는 潤滑에 따른 難點 및 燃燒過程에 미치는 影響이 發生하는 수가 있을 것이다. 稀薄한 混合氣를 使用하는 경우, 混合氣中の 過剩의 酸素가 潤滑油를 燃燒시켜, 給氣를 無制御의 으로 灼熱點火시킨다. 이와 같은 機關은 原則의 으로 濃厚한 混合氣로 運轉되도록 함으로써 이런 弊端를 排除할 수 있다. 따라서 出力制御는 酸素配合에 依하여 이루어진다.<sup>36)</sup>

## 8.2 水素機關의 材料

水素運轉에 依한 自動車에 있어서는 材料에 對하여 氣密性和 強度의 觀點에서 在來燃料에 依한 運轉의 경우보다도 高度의 要件이 要求된다. 그런데 다만 이와 같은 氣密性和 強度要件의 強化를 追求함으로써 解決되는 것이 아니고, 媒體로서 水素가 使用될 때에는, 때때로 이들 要件을 惡化시키는 困難性이 일어난다.

그 理由의 하나는 水素의 擴散性이 높다는 점인데, 普通 氣密性이 높다고 看做되고 있는 金屬도 通過한다.

다른 理由는 金屬材料의 脆性化 또는 崩壞로서, 特別히 鋼은 純粹水素에 依하여 影響을 받는다.<sup>37), 38)</sup>

非可逆的인 脆性化는 세멘타이트를 가진 鋼의 組

織中에서 化學的으로 反應하여, 鐵과 메탄을 生成할 때 發生한다. 이로 말미암아 龜裂의 生成과 急速한 成長이 促進되어, 顯著한 強度의 低下를 나타낸다. 이와 같은 金屬組織內의 化學反應은 高溫 및 水素壓力의 上昇에 따라 一層 促進된다. 이와 같은 脆性化의 傾向은 세멘타이트의 安定性을 改善하는 適當한 合金成分의 使用으로 回避될 수 있다.

可逆的인 脆性化는 吸收한 水素에 依하거나, 또는 表面效果에 依하여 惹起된다.

이와같은 脆性化에 敏感한 材料는 純粹水素雰圍氣中에서 塑性變形性의 低下를 가져와서, 純彈性應力에 依한 表面龜裂의 傾向을 나타낸다. 이 龜裂의 成長은 交番荷重과 같은 持續荷重의 경우에는 不活性雰圍氣中보다도 빠르다.

脆性化는 또한 大氣壓下에서도 顯著하지만, 水素壓力의 增加에 따라 增大한다. 強度特性의 劣化는 室溫附近에서 特別히 尖銳화한다.

이상과 같은 事實로 미루어 볼 때, 純粹한 水素에 接觸하는 경우의 使用材料는 그 特殊使用條件下에서 생각되는 應力에 따라 正確히 選擇되어야 한다. 危急한 경우에는, 特別히 脆性化에 敏感한 材料로 成立되는 支持部材는 被覆이나 또는 保護被膜에 依하여 水素와 直接 接觸하지 않도록 講究하여야 할 것 같다.

그러나 水素運轉에 依한 自動車에서는 實際로는 이 脆性化現象은 그리 深刻한 問題로 登場하지 않을 것이다. 왜냐 하면 少量의 不純物이 包含되어 있어도 水素의 脆性化의 影響을 弱화시킨다는 事實이 明白하게 되어, 例를 들어 水素壓力 100bar 일 때에 水素中에 酸素分이 0.1ppm만 있어도 顯著한 保護作用을 미친다.<sup>38)</sup>

自動車燃料로서 水素를 大規模로 製造하는 경우에, 이와 같은 保護作用을 保有하는 不純物이 內包되지 않을 때에는 有害한 副作用없이 水素에 抑制劑를 少量 附加할 수 있을 것이다.

水素와 關聯한 非金屬材料의 特殊한 性質에 關해서는 아직 別로 調査研究된 바 없다.

## 9. 要 約

지금까지의 記述을 土臺로 總評한다면, 水素를

代替燃料로 使用하는 경우, 그 適用하는 近接目標(都市内 自動車)에 있어서는 技術的으로 克服困難한 問題는 없다고 말할 수 있다. 그러나 長期的으로 보면, 廣範圍한 水素의 下部組織을 만들어야 할 것이고, 또한 貯藏問題 - 金屬中에 水素를 貯藏(하이드라이드)하든가, 또는 液體水素로서 貯藏(低温技術)하든가 한가지 - 는 滿足스러운 狀態까지 解決되어야 할 것이다.

水素에 依한 運轉을 在來燃料에 의한 運轉과 比較하여, 基本이 되는 知識은 다음과 같이 된다.

### 9 · 1 機關 및 自動車

(1) 在來燃料탱크에 比하여 하이드라이드 貯藏器의 現狀은 同一行動半徑일 때, 탱크體積은 約 2배이고, 탱크重量은 10~20배가 된다.

한편 液體水素탱크의 現狀은 同一行動半徑에서, 在來燃料탱크에 比하여 탱크體積은 4~5 배, 탱크重量은 約 2 배가 된다.

(2) 燃料系의 部品은 水素에 견딜 수 있는 材料를 使用한다.

(2) 氣化器 및 噴射裝置를 氣運轉用으로 改造한다.

(4) 混合氣는 豫熱하지 않는다(液體水素貯藏의 경우에는 必要한 때도 있다.)

(5) 冷始動裝置는 없다.

### 9 · 2 機關出力 및 效率

(1) 오토機關은 水素運轉에서는 本質的으로 效率이 向上한다. 이것은 部分負荷에서 顯著하다.

(2) 디젤機關은 高壓水素로 運轉하는 경우, 特別히 良好하다.

### 9 · 3 排氣特性和 環境面

(1) 實際上 排氣中에 有害成分은 없다.

(2) 機關内에서 水素가 燃焼하는 경우, 實際上 CO도 HC도 排出하지 않는다.

(3) 鉛排出物의 問題도 回避되며, SO<sub>2</sub>나 黑鉛도 排出하지 않는다.

(4) 水素 · 空氣混合氣의 着火範圍가 넓으므로, NO<sub>x</sub>의 發生率을 大端히 작게 할 수가 있다.

(5) 發癌의 可能性이 있는 多環의 芳香族炭化水素를 排出하지 않는다.

(6) 特別히 排氣中에 알데히드가 生成되지 않는다.

### 9 · 4 毒性 및 安定性

(1) 完全히 無毒하다.

(2) 金屬하이드라이드를 使用하는 경우, 가솔린의 경우와 같은 安全上의 危險性이 加해지는 일은 없다.

(3) 그러나 可燃가스에 對한 安全規則을 考慮하여야 할 것이다(都市가스, 天然가스와 같이)

### 9 · 5 代替原動機

(1) 各種 新型原動機에 잘 適合한다.

(2) 特別히 로터엔진 및 디젤機關에 잘 適合한다.

(3) 各混合比에서, 各種混合運轉(가솔린, 메타놀, 프로판 등과 더불어)에 適合하며, 效率 및 有害物質의 排出은 改善된다.

끝으로 本文中에 引用된 參考文獻(文章의 上端에 ( )表示로 하고, 數字를 記入하였음)을 列記하여 둔다.

(1) Finegold, J. G. et. al., The UCLA Hydrogen Car: Design Construction and Performance. Trans. SAE. 730507, 1973.

(2) Billings, R. E., Hydrogen Storage for Automobiles Using Cryogenics and Metal Hydrides, Theme-Conference 1974.

(3) Breshears, R., Hydrogen Injection for Internal Combustion Engines. EPA Alternate Automotive Power Systems Coordination Meeting, May 13 - 16, Ann Arbor, Michigan.

(4) Hattingen, U., Jordan, W., Wasserstoff als Zusatzkraftstoff. VDI-Nachr, 21, 1974.

(5) Reese, R. M., Carmichael, A. D., A Proposed Hydrogen-Oxygen Fueled Steam Cycle for the Propulsion of Deep Submersibles, SAE-paper 719079.

(6) Dinkel, J., Hydrogen Power for Cars. Road and Track, März 1974, Nr. 7.

(7) Underwood, P., Dieges, P., Hydrogen and Oxygen Combustion for Pollution Free Opera-

- tion of Existing Standard Automotive Engines. Intersoc. Energy Conv. Eng. Conf. Boston/Massachusetts, 1971. s. a. SAE-paper 719046.
- (8) Weil, K. H., The Hydrogen J. C. Engine- Its Origins and Future in the Emerging Energy-Transportation-Environment System. Intersoc. Energy Conv. Eng. Conf., Paper 729212, 1972.
- (9) Seikel, G. R.,  $H_2-O_2$  Combustion Powered Steam-MHD Central Power Systems. Theme Conference, March 1974.
- (10) Jones, L. W., Liquid Hydrogen as a Fuel for the Future. Science 174, 367, Oct. 22, 1971.
- (11) Baehr, H. D., Thermodynamic, Springer-Verlag 1966.
- (12) Finegold, J. G., Van Vorst, W. D., Hydrogen Engine Technology. FISITA Paris 1974 B-2 - 4.
- (13) Jost, W., Diffusion. Academic Press Inc., Publishers, New York, 1960.
- (14) Löhner, K., Müller, H., Gemischbildung und Verbrennung im Ottomotor, Springer 1967.
- (15) Mengelkamp, R. A., Hudson, A. C., LP-Gas Fuel Systems Affect Engine Performance. SAE-paper 670052, 1967.
- (16) Ullmanns Encyklopädie der Chemischen Technik, München, 3. Auflage Band 2 / I
- (17) Swain M. R., Adt, R. R., The Hydrogen- Air Fueled Automobiles. Intersoc. Energy Conv. Eng. Conf., Paper 729127, 1972.
- (18) King, R. O., et. al., The Hydrogen Engine: Combustion Knock and Related Flame Velocity. Trans. E. J. C. Vol.2 Nr. 4.
- (19) King R. O., Rand, M., The Oxidation, Decomposition, Ignition and Detonation of Fuel Vapors and Gases. XXVII. The Hydrogen Engine. Canadian Journal of Technology 33 / 1955.
- (20) Hydrogen-Oxygen Fuel System Raises Engine Thermal Efficiency. Automotive Engineering, Nov. 1972.
- (21) Jost, W., Explosions-und Verbrennungsvorgänge in Gasen. Springer-Verlag 1939.
- (22) Lewis, B., von Elbe, G., Combustion Flames and Explosions of Gases. 2nd Edition Academic Press Inc. Publ., New York 1961.
- (23) Trotter, R. J., Is Hydrogen the Fuel of the Future? Science News, July 1972.
- (24) Lessing, L., The Coming Hydrogen Economy. Fortune, Nov. 1972, S. 138 - 146.
- (25) Murray, R. G., Shoepel, R. J., Emission and Performance Characteristics of an Air-Breathing Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engine. Intersoc. Energy Conv. Eng. Conf., Boston/Mass., 1971. s. a. SAE paper 719009.
- (26) Watson, H. C., Milliken, E. E., Deslandes, J. V., Efficiency and Emissions of a Hydrogen or Methane Fueled Spark-Ignition Engine. FISITA Paris 1974 B-1-9.
- (27) Finegold, J. G., Van Vorst, W. D., Engine Performance with Gasoline and Hydrogen Fuels-A Comparative Study. Theme-Conf. 1974.
- (28) Murray, R. G., Shoepel, R. J., Gray, C. L., The Hydrogen Engine in Perspective. Intersoc. Energy Conv. Eng. Conf. 1972, S. 1375 - 1381. s. a. SAE-paper 729216.
- (29) Environmental Protection: Exhaust Emission Standards and Test Procedures. Federal Register Volume 36 No.128, Friday, July 2, 1971, Washington D. C.
- (30) Downs, D., Walsh, A. D., Wheeler, R. W., A Study of the Reactions that Lead to "Knock" in the Spark-Ignition Engine. Phil. Trans. Roy. Soc. London A 243 : 463-524, 1951.
- (31) Adt, R. R., et. al., The Hydrogen / Methanol-Air Breathing Automobile Engine. Theme-Conference 1974.
- (32) Oehmichen, M., Wasserstoff als Motortreibmittel. Deutsche Kraftfahrtforschung, Heft 68 /1942.
- (33) Schmidt, F. A. F., Verbrennungskraftmaschinen. Springer-Verlag, 4. Auflage, 1967.
- (34) Leiker, M., Gas-und Zweistoffmotoren in der heutigen Energiewirtschaft - Betriebsmittel, Probleme, Aussichten, MTZ 28 (1967).
- (35) Vögtle, G., Betrachtungen über die Zweckmä-

- ssige Auswahl von Schmierölen für Gasmotoren. MTZ 28 (1967).
- (36) Kurzak, K. H., Rössler, E., Unterseeboote und Torpedos mit Kreislaufantrieb, FKFS - Buch 1969.
- (37) Johnson, H. H., Hydrogen and the Integrity of Structural Alloys. Theme - Conference 1974.
- (38) Chandler, W. T., Walter, R. J., Hydrogen-Environment, Embrittlement of Metals and its Control. Theme-Conference 1974.
- (39) Snyder, A. D., Skinner, G. B., Flame Speeds of Preheated Hydrogen-Air-Ethylene Mixtures. Combustion and Flame Vol. VII (1963), S. 390-392.
- (40) Breshears, R., Contrill, H., Rupe, J., Partial Hydrogen Injection into Internal Combustion Engines - Effect on Emissions and Fuel Economy. EPA - First Symposium on Low Pollution Power Systems Development, Ann Arbor Michigan, 1973.
- (41) Swain, M. R., Thesis, M. S., Hydrogen - Air Internal Combustion Engine. University of Miami. August 1973.