

개소홀 및 디조홀의
技術現況과 展望 (I)

睦 榮 一

亞洲工大 綜合研究所(韓·佛協同研究所)

Gasohol and Diesohol:
The State of the Art and Prospects (I)

Young Il Mok

The Korean-French Cooperative

Research Institute (R&D Center/AIT), Suwon 170, Korea

要 約

深刻의 度는 激增시키고 있는 “에너지危機”는 全世界가 지나치게 偏重된 石油依存的 社會, 經濟構 造를 追求해온 結果라고 하겠다. 石油資源의 缺乏은 여러 Gasoline 및 Diesel Engine 의 燃料를 무 엇으로 代替해야 할 것인가의 當面問題의 早速한 解決을 촉구하고 있다. 여기서 Alcohol 은 輸送容 易한 無公害液體燃料이다. Alcohol 은 世界各國에서 이미 Gasoline 과 Diesel 의 部分的인 代替燃料로 서 使用되고 있다. 本 리뷰에서는 에너지中間解決策으로서 Gasoline 및 Diesel 油에 Alcohol 을 混合 한 燃料 即 Gasohol 과 Diesohol 의 技術現況을 概觀하였다. 特히 混合燃料의 物理化學的 性質 및 性能, 特性을 內燃機關 燃料의 觀點에서 살펴보았다. 散在되어 있는 試驗評價結果 및 研究內容을 綜合하면 含酸素混合燃料는 純炭水化物 燃料와 直接代替 交換할 수 있다는 結論이 誘導된다. 또한 여기서는 混合燃料의 原料인 Alcohol 은 앞으로 大部分 植物資源으로부터 生産 供給될 것이라는 可能性도 言及하였다. 本 리뷰는 前後編 두 部分으로 나누어서 다루고져 하며 우선 이번에 紹介하는 前編에서는 主로 Gasohol 에 對해서 살펴보고 다음 後編에서는 Diesohol 를 主題로 하고져 한다.

ABSTRACT

The energy crisis of recent years is primarily a petroleum shortage. Thus because the depletion of world petroleum reserves can now be foreseen, a new form of portable energy will be needed to power gasoline and diesel engines. Alcohol is a portable, clean-burning form of energy that is already in limited use as a partial replacement for gasoline and diesel. The state of the art of gasohol (a blend containing, by volume, 10~20% anhydrous alcohol and

80~90% gasoline) and diesohol (a blend containing, by volume, 10% or more anhydrous alcohol and 90% or less diesel fuel) as conventional engine fuels is reviewed in two parts, the former in Part (I) and the latter in Part (II). Physico-chemical properties and performance characteristics of the blended fuels are discussed in conjunction with conventional engines. Alcohol gasoline blends exhibit, from one stand point, near interchangeability with, and from a different stand point, better performance characteristics than gasoline. Also, economics aspects including that of producing ethyl alcohol from biomass are discussed.

I. 緒論(1~38)

1970年代 初부터 일기 시작한 “石油에너지의波動”은 점차 그 波高를 높여 마침내 세찬 波濤로 變했으며, 80年代에 들어서면서부터는 豫測할 수 없는 激浪 속에 全世界를 몰아넣을 徵候를 점점 짙게해가고 있다. 따라서 世界 모든 나라들은 제 나름대로 “石油危機”로부터 脫出을 위하여 온갖 努力을 다하고 있다. 모든 나라들이 共通으로 指向하는 “石油危機”의 克服은 過度하게 偏重된 石油에너지의 依存度を 줄이는 方案의 模索이며, 이것은 에너지源의 多元化에 그 바탕을 두고 있다.

世界 여러 나라에서는 이미 오래 前부터 새로운 代替에너지源 開發에 注力해 왔으며 “石油危機”의 深刻성이 더해감에 따라 더욱더 加速化되고 있다.

全에너지의 60% 이상을 石油에 依存하고 있는 우리나라의 경우에 있어서 에너지源의 多元化는 참으로 時急한 問題이다. 우리나라 石油需給量은 1964년부터 1978년까지 15年間 年平均 24.8%의 높은 增加率을 보였으며, 1970에서 1978 사이에는 年平均 19.5%의 增加率을 나타냈다. 그리하여 1980年度에는 2億 BBL 以上の 原油輸入이 要求되고 있다(價格: 60억 \$ 以上). 其中 개솔린과 柴油이 차지하는 比重은 各各 5.0%, 21.0%이며 그 量은 개솔린의 경우 1000萬 Bbl, 그리고 柴油은 4,200萬 Bbl 이다.

앞으로 原子力, 太陽熱 등 우리나라 에너지源의 多元化 政策이 크게 成功한다 하더라도 向後

10年間 우리나라 石油增加率은 5 내지 10%가 不可避할 것이며, 이에 따른 개솔린, 柴油의 要求量도 크게 增加될 것이다. 이와같은 狀況下에서 特別히 內燃機關燃料의 減少 및 代替方案으로 公害問題와 原料供給面을 考慮하여 外國에서 開發研究되고 있는 것으로는 메타놀, 에타놀 MTBE, LH₂(Liquid Hydrogen), LNG 등이 있으며, 其中

○LH₂와 LNG는 高壓탱크와 斷熱, 壓縮機 및 輕量 Metal Hydride 問題가 未解決이나, 原料供給面으로 볼때 長期的으로는 어느程度 成果를 期待할 수 있다고 判斷된다.

○MTBE(Methyl Ter-Butyl Ether)는 諸般特性이 가장 우수하나 2% 以上 混合時 刺戟臭의 問題가 있으며 伊太利, 西獨, 西北歐洲에서 最大 12%v 範圍로 混合使用하고 있고, 美國에서는 EPA(환경보호청)가 最大 7%v의 混合을 認定하였기 때문에 今년부터는 使用될 것으로 判斷된다.

그러나 MTBE는 메타놀과 아이소부틸을 原料로 하고 있으며, 아이소부틸린의 供給面에 問題點이 있어 量的 面과 原料의 長期供給面, 單價面에서 他代案과 比較 期待하기 힘들 것으로 展望된다.

○메타놀은 石炭 및 天然가스 資源이 豊富한 나라를 中心으로 한 中期對策燃料로서 西獨, 스위스, 캐나다, 뉴지일란드, 濠洲, 南阿, 美國 등에서 많은 研究實驗이 이루어지고 있어 實用化 可能性이 크다.

○에타놀은 太陽에너지로 養生되는 植物(사탕수수, 타피오카, 穀物 등)을 原料로 生産할 수 있기 때문에 植物資源이 豊富한 브라질, 수단, 케니아, 泰國, 필리핀 등을 비롯하여 美國, 濠洲, 南阿 등에서 生産시스템이 크게 開發되고 있으며, 이것은 原料가 非枯渴性(每年 栽培供給)이라는 點과 우수한 性能特性을 지니고 있기 때문에 實用化 可能性이 가장 큰 分野이다.

이미 에타놀을 混合한 개소홀은 여러 나라에서 크게 脚光을 받고 있다. 西獨에서는 Volkswagen 社가 1980 年부터 Neat(全) Ethanol Car 260,000 臺/年을 生産할 計劃이다.

美國 中西部에서는 1979 年 後半期부터 에타놀 10%를 混合한 개소홀을 市販하기 시작했으며, 現在는 “케이저”가 그 販賣를 施行하고 있다.

브라질은 國家施策으로 앞으로 全개솔린을 에타놀로 代替할 계를 前提로하여 85 年까지는 20% 代替를 目標로 計劃을 推進中에 있으며 全 農家部落單位로 사탕수수 등을 原料로 한 에타놀蒸溜工場의 普及를 서두르고 있다.

現在 브라질에서는 植物等 Biomass 를 利用하여 生産한 에타놀 96%+물 4%인 엘코홀燃料 自動車를 開發하여 80 年度부터 市販에 들어갔으며 車價格은 從來 개솔린車와 同一하고 燃料費는 에타놀—\$1.0/Gal 개솔린—\$2.15/Gal 로서 燃料 單位 熱量當의 價格은 거의 同一하다.

이와같은 狀況으로 미루어 볼 때 개솔린에 에타놀은 混合한 개소홀은 數年內 우리나라 車輛에도 適用될 것이 必然의이다. 特히 非枯渴性 植物資源을 原料로 한 에타놀은 世界的으로 그 生産시스템이 發展되고 量産化됨에 따라 現在보다도 生産原價의 低下가 크게 期待되는 反面, 石油價의 引上和 供給의 不安定은 相對的으로 개소홀의 家用化를 促進하게 될 것이 分明하다. 또 이것은 우리나라의 경우, 石油依存度를 줄이고 에너지源을 多元化하는데 가장 實効性 있는 方向의 하나임이 確實하다.

따라서 本 리뷰는 우리나라 “개소홀 時代”의 開幕을 目前에 두고 개소홀에 대한 諸般 研究結果를 檢討 分析하여, 燃料로서의 物理化學의 特性和 燃燒 및 性能特性을 詳明함으로써, 개소홀을 現內燃機關의 代替燃料로 使用할 경우에 發生할 수 있는 問題點 및 그 解決에 대한 方向을 提示함으로써 앞으로의 研究에 도움을 주는데 그 目的이 있다.

II. 개소홀의 物理化學의 特性

現在 使用中인 內燃機關의 構造를 전혀 改造하지 않거나 一部分 改造함으로써, 개소홀이 개솔린의 代替燃料로 사용될 수 있기 위해서는 燃料로서의 特性이 制限된 範圍內의 값을 가져야 한다. 燃料特性이 規格値를 벗어나는 경우에는 燃燒가 不安定하게 되어, 機關의 性能 및 耐久性을 보장할 수 없게 된다.

燃料를 機關에 使用하기 前에 測定 檢討되어야 할 特性으로는 揮發度, 粘度, 腐蝕性, 引火點, 點火溫度, 燃料—空氣比, 옥탄價, 熱含量, 비등점 등이 있으며, 이들中 燃料의 相對的인 質은 評價하는 가장 重要한 特性으로는 Antiknock

Table 1. Physical Characteristics

Fuel	Gasoline	MeOH	EtOH
Composition	—	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH
Density	0.73~0.76	0.792	0.794
Vapor Density (Air=1)	3~4	1.11	1.59
Boiling Point	30~200°C	64.6°C	78.32°C
Flash Point	40°C	12.2°C	12.2°C
Ignition Temperature	250°C	470°C	518°C
Higher Heating Value	11,000 kcal/kg	5399.5 kcal/kg	7119.6 kcal/kg
Explosive Limits % (v/v)	1.4~7.6	6.0~36.5	3.28~19.0

Quality 와 Balanced Volatility 이다. 이외에 개소홀은 알코홀과 개소린의 混合燃料이기 때문에, 이 두 물질 사이의 相應性(Compatibility) 또한 重要한 特性의 하나이다.

개소홀의 여러 特性들을 分析, 比較 評價함으로써 개소린 機關의 代替燃料로서의 可能性을 打診해 본다. Table 1 은 개소린, 메타놀 및 에타놀의 物理的 特性을 表示하고 있다.

1. 分溜特性(Distillation Curves)

燃料의 여러가지 性能特性들, 즉 始動性, Warm-up Rate, Mileage, Vapor Lock, 증발에 의한 燃料損失 및 Crankcase Dilution 을 相對的으로 評價하기 위해서 Balanced Volatility 가 이용되고 있으며, 이는 Reid Vapor Pressure 와 ASTM 分溜資料에 의해 決定된다. 따라서 燃料의 위의 여러 特性들에 대한 代表的인 測定值로서 ASTM 分溜資料가 利用되며, 各等級의 개소린에 대한 ASTM 規格이 있다.

비등점이 낮은 揮發性 炭水化物的 分率이 많을수록 始動性和 Warm-up Rate 는 改善되나, 同時에 蒸發에 의한 燃料損失과 Vapor Lock 性向을 增加시킨다. 비등점이 높은 成分들은 單位容積當의 에너지 含量이 높은 반면에, Crankcase Dilution 이 심하고, Warm-up 이 좋지 않으며, 燃燒後에 燃燒室內에 잔유물이 많이 남는다는 不利한 缺點을 지니고 있다.

Fig. 1 은 各種類의 개소린과 개소홀의 溫度에 따라서 分溜되어 나오는 成分들의 累積무게 % 를 表示하고 있다.^{17,19,40,41} 메타놀, 에타놀의 비등점이 각각 64.6°C 및 78.32°C 이기 때문에 개소홀의 낮은 溫度의 分溜分率이 개소린에 비해 훨씬 크다는 것은 當然하다.

Fig. 1 에 의하면, 高揮發成分의 含量이 개소홀의 경우, 개소린에 비해 훨씬 크기 때문에 蒸發에 의한 燃料의 損失이 증가되는 위험성이 있으나 Crankcase Dilution 및 燃燒室內의 燃燒 잔유물이 훨씬 줄어든다. 이외에 純粹개소린을 사용할 때 문제시되는 Sulfur 含量, Gum 의 含量 等的 解決에도 일환이 될뿐 아니라, 알코홀의 無公害 燃燒에 의한 利點도 同時에 內包하고

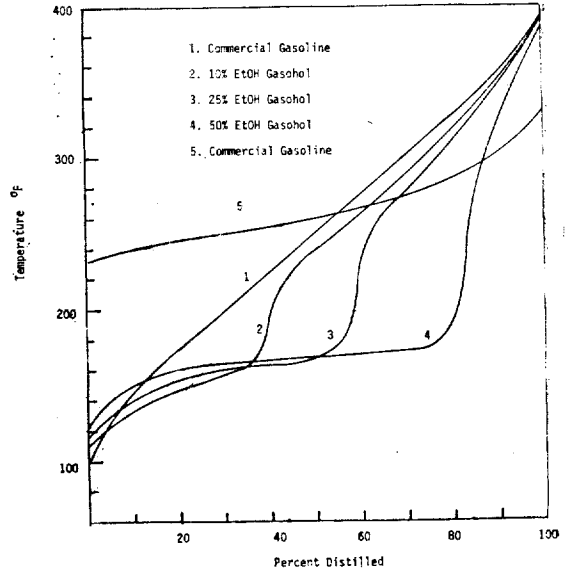


Fig. 1. ASTM Distillation Curves of Various Fuels

있다.

燃料의 分溜特性和 聯關된 또다른 特性은 Fig. 2 에 表示되어 있듯이 낮은 溫度의 分溜成分들의 Octane 價가 훨씬 크다는 것을 알 수 있다.⁴² 메타놀을 개소린에 混合시키면, 混合後의 蒸氣壓이 增加된다. 이 現象은 메타놀의 分子는 分子間의 引力에 의하여 結合된 體集集合로 行動하지만, 개소린에 溶解되면 메타놀 分子中의 分子

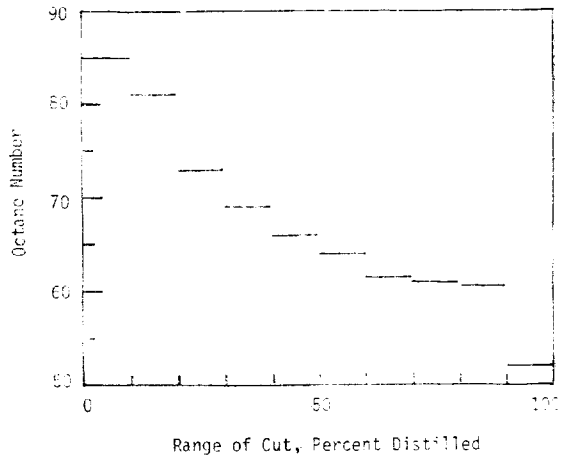


Fig. 2. Octane Numbers of Different Cuts of Distilled Gasoline

結合이 弱化되어서, 分子가 보다 活潑하게 運動하여 蒸氣壓의 上昇을 초래한다.^{24,25)} 이런 現象에 의하여 낮은 溫度의 分溜成分이 增加하여 Fig. 2에 예시된 바와 같이 Octane 價의 增加를 기대할 수 있다. 이미 發表된 여러 研究結果에 의하면 알코올이 Octane 價를 增加시킨다는 것은 주지의 事實로 되어 있다.

2. 相應性(Compatibility)

Howes⁴³⁾는 개소홀이 代替燃料로서 가장 問題가 되는 것은 作動溫度에서 平衡狀態 以上の 水分이 存在하는 경우에는 두 層으로 分離되는 傾向이 크다는 것을 지적하였다. 이 分離現象은 溫度에도 예민하여 外氣溫度가 低下하는 경우에도 分離가 쉽게 일어난다.⁶³⁾

여러 研究結果^{44,45,46,47)}에 의하면 알콜의 含量이 10% 以下인 경우는 별반 問題없이 대부분의 개솔린엔진에 개소홀을 장기간 使用할 수 있다는 것이 알려져 있다. Christen⁴⁴⁾ 및 Hopkins⁴⁸⁾는 알콜/가솔린/물의 三成分系 混合物를 大氣에 노출시켰을 때, 分離溫度는 變하지 않거나 약간 낮아진다는 것을 實驗的으로 提示하였다.

Kretschmer와 Wiebe⁴⁹⁾는 알콜/炭化水素의 混合物에 대한 물의 溶解度에 關하여 研究하여, 溫度와 물의 許容值사이의 函數關係인 아래式을 發表하였으며, 많은 實測值와 式의 計算值를 比較한 結果 誤差의 範圍가 0.5%라는 것을 確認 하였다.

$$\log S = a - (b/T) \tag{1}$$

S : 물의 許容值, 부피 %

a, b : 炭化水素의 構造 및 濃度에 의한 常數

T : 絕對溫度, °K

Table 2는 여러가지 炭化水素에 대한 常數 a, b의 값들이다. Table 2 및 위의 式을 利用하여, 各炭化水素에 대한 물의 限界許容值를 計算하면 Table 3과 같으며, 아이소옥테인/알코올의 混合物에 대한 물의 溶解度와 溫度와의 函數關係를 나타내면 Fig. 3과 같다. 이 結果에 의하면 알콜의 含量이 많으면 물의 許容值가 增加하나 溫度가 내려가면 許容值가 減少한다. 따라서 개소홀을 內燃機關에 使用하기 위해서는 물

의 含量이 限界許容值內의 값을 가져야 하며 作動溫度나 大氣溫度에도 限界值가 敏感한 反應을 나타낸다는 것에 注意해야 한다.

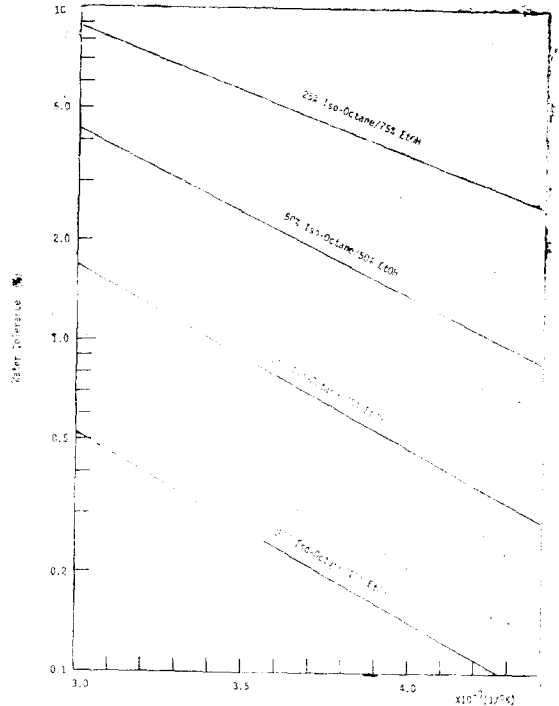


Fig. 3. Water Tolerance vs. Reciprocal Temperature-Case of Isooctane

3. 粘 度

粘度는 燃料의 噴霧化 및 高壓燃料펌프의 作動에 큰 影響을 주기 때문에 대단히 重要한 特性의 하나이다. 內燃機關의 燃燒메카니즘 및 構造의 差異 때문에 粘度特性은 디젤엔진에서는 대단히 重要한 特性이나, 개솔린 엔진에서는 디젤엔진만큼 重要한 因子는 아니다. 그러나 燃料流入의 全시스템을 考慮하면, 역시 重要한 因子이다.

Fig. 4는 아이소옥테인과 알콜 및 개소홀의 粘度와 溫度와의 函數關係를 表示하고 있으며, Fig. 5는 各溫度에서 알코올의 부피分率에 따른 粘度의 變化現象을 나타내고 있다. 이 結果에 의하면 메탄올—개솔린의 混合物인 개소홀의 경우에는 아이소옥테인의 粘度와 比較하여 그 差異가 微少하며, 에탄올—개솔린의 개소홀인

Table 2. Constants of Equation 1 for Ethyl Alcohol/Hydrocarbon/Water Mixtures

Hydrocarbon	Hydrocarbon Vol. %	a	b
2, 2, 4-Trimethylpentane (iso-octane)	90	1.383	553.5
	75	1.894	554.5
	50	2.151	504.4
	25	2.001	352.5
2, 2-Dimethylbutane (neohexane)	90	1.235	473.1
	75	1.679	444.9
	50	1.911	388.6
Iso-octene	90	0.637	220.4
	75	1.520	357.9
	50	2.120	475.2
	25	1.870	290.6
Methylcyclohexane	75	2.058	587.6
	50	2.210	504.9
	25	2.047	347.3
Cyclohexane	90	1.312	477.5
	75	2.051	530.4
	50	2.332	487.6

Table 3. Water Tolerance of Alcohol-Hydrocarbon Mixtures

Hydrocarbon	Temp., °C	Water Tolerance at Following Hydrocarbon Content:			
		90 Vol. %	75 Vol. %	50 Vol. %	25 Vol. %
2, 2, 4-Trimethyl pentane	+25	0.337	1.08	2.89	6.59
	0	0.228	0.733	2.02	5.14
	-45	0.0908	0.291	0.873	2.86
2, 2-Dimethylbutane	+25	0.446	1.54	4.05	—
	0	0.319	1.13	3.08	—
	-45	0.145	0.536	1.62	—
Iso-octene	+25	0.738	2.09	3.37	7.87
	0	0.626	1.63	2.41	6.40
	-45	0.429	0.895	1.09	3.95
Methylcyclohexane	+25	—	1.25	3.29	7.64
	0	—	0.807	2.30	5.97
	-45	—	0.304	0.995	3.35
Cyclohexane	+25	0.514	1.88	4.98	—
	0	0.367	1.29	3.52	—
	-45	0.166	0.533	1.57	—

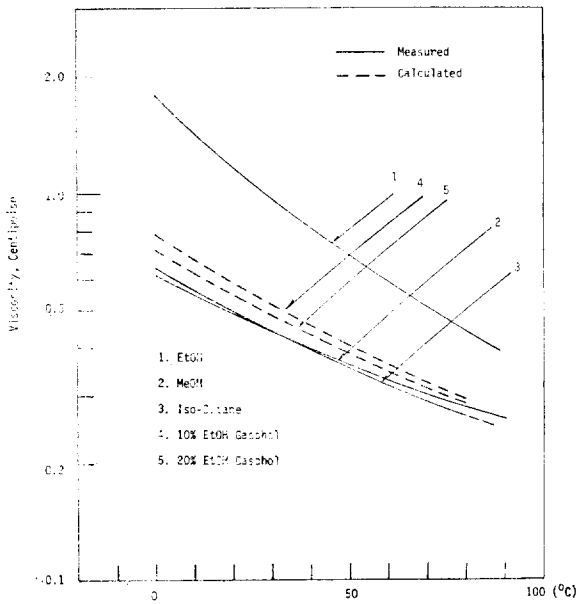


Fig. 4. Viscosity vs. Temperature

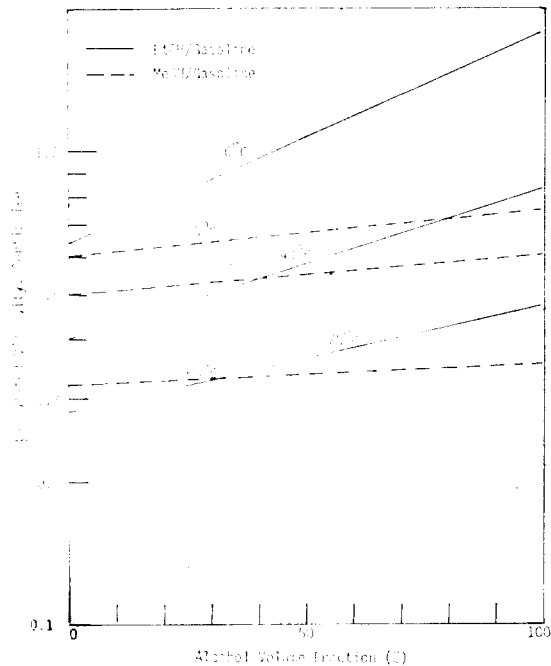


Fig. 5. Calculated Viscosity vs. Alcohol Volume Fraction at Fixed Temperature

경우에는 알콜의 含量이 20%까지는 그 差異가 역시 微小하여 粘度의 差異에 의하여 惹起되는 問題를 考慮할 必要가 없다. 개소홀의 粘度 計算은 문헌(64)의 方法을 利用하였으며, 必要한 資料는 문헌(65)에서 인용하였다. 計算된 粘度의 誤差는 實測値와 約 15%의 範圍內의 값을 갖는다는 것도 考慮하여야 한다.

4. 腐蝕性

개소홀을 內燃機關의 代替燃料로 使用하는 경우에는 알콜特有의 揮發性에 의한 影響 및 水分 滲入에 의한 層分離現象 외에도 알콜의 고무製品 플라스틱製品 및 樹脂의 溶解 및 膨脹 등의 問題를 惹起시킬 뿐만 아니라, 알콜에 包含되어 있는 水分에 의하여 金屬을 腐蝕시키는 性質이 增 大된다. 이에 대한 研究가 進行中에 있으며, 아 직 명확한 結果가 發表되지 않고 있으나 가까운 장래에는 유용한 研究結果를 期待할 수 있다.

Ⅲ. 개소홀의 燃燒 및 性能特性

特定한 엔진에 여러 種類의 燃料를 使用했을 때, 燃燒 및 性能特性에 影響을 미치는 變數로 는 다음과 같은 것이 있다.

- 速度
- 負荷
- 前進點火(Spark Advance)
- 燃料—空氣比
- 流入空氣溫度
- 壓縮比

研究發表에 의하면, 위의 모든 變數를 組合한 試驗은 거의 不可能하기 때문에 壓縮氣 및 空氣 比를 獨立變數로 하고 排氣가스, 燃料消費 및 出力을 從屬變數로 하여 이들 사이의 函數關係를 究明하는 것이 보통이다.

1. 옥탄價^{27,29,30,33,51,52,53,54}

옥탄價는 燃料의 燃燒 노크에 대한 저항성을 測定하는 相對値로서 옥탄價의 增加에 比例하여 引擎의 性能이 增加하게 된다. 옥탄價에 따라서 引擎의 出力과 函數關係를 가진 壓縮比를 制限

시켜 녹킹 現象을 防止한다. 녹킹 現象이 일어나게 되면, 그 衝擊力이 피스톤이나 실린더 및 실린더헤드 등에 作用하여 部品の 損傷을 가져오며, 燃燒室壁面 部근의 靜止가스層을 파괴하여 燃燒室內的 高溫가스로 부더의 熱傳達을 증가시켜 過早着火 等の 性能에 惡影響을 미치는 異常燃燒를 誘發시켜 피스톤헤드部를 燒損시켜 機關破損의 原因이 된다. 따라서 옥탄價에 따라서 녹킹 現象이 일어나지 않는 範圍內로 壓縮比를 制限하지 않으면 안된다. 같은 機關을 사용하는 경우에도 높은 壓縮比에서도 녹킹 現象이 發生하지 않는 高옥탄價의 燃料를 사용하게 되면, 그 機關의 性能을 增大시킬 수 있다. 옥탄價는 燃料의 性能測定의 代表值로서 개솔린 機關에서는 가장 重要한 特性中의 하나이다.

녹킹 現象을 防止하기 위해서 幾何學的·燃燒工學的 側面에서 많은 研究가 試圖되어 많은 成果를 보았다. 第一次 世界大戰을 前後하여 녹킹 抑制를 위해서 물 혹은 메칠 및 에칠알코홀, 이들과 물의 混合物이 使用되었으나 燃料에 可溶性인 Tetra-Ethyl-Lead의 出現과 더불어 그 사용이 점차 자취를 감추기 시작하였다. 그러나 近來에 접어 면서 石油燃料의 부족과 Tetra-Ethyl-Lead의 燃燒에 의하여 發生하는 납의 公害問題와 더불어 옥탄價 向上에 크게 影響을 미치는 알코홀의 사용이 크게 脚光을 받기 시작했다. Johnson⁵³⁾, Allsup⁵⁴⁾ 및 Wolfe⁵⁵⁾ 등은 메탄올/개솔린의 개소홀을 單실린더機關 및 走行試驗을 통하여, 메탄올의 含量이 5, 10, 15 및 20%인 개소홀의 옥탄價를 測定하여, 옥탄價 增加率은 元來 옥탄價가 낮은 개솔린이 높은 것보다 빨리 增加한다는 것을 發表하였다. 옥탄價의 增加現象은 알코홀의 含量이 15%까지의 개소홀에서 크게 나타났다.

Fig. 6는 여러 自動車를 이용하여 옥탄價를 試驗한 結果의 平均値로서 옥탄價 84, 87 및 97인 가솔린을 베이스로 하여 메탄올의 混合量에 따른 옥탄價의 增加를 나타내고 있다. 메탄올의 混合比가 15%인 경우 低 옥탄價 베이스의 개솔린에서는 7.3의 Road-Octane 價가 增加하는 반면 高 옥탄價 베이스의 개솔린에서는 3.8의 增

加를 보이고 있다. 이 結果는 여러 種類의 自動車의 試驗結果로 모든 自動車에 대하여 옥탄價가 다 增加하는 것이 아니며, 어떤 경우에는 베이스가솔린의 옥탄價보다 減少하는 경우도 있다. 全體的인 傾向은 옥탄價 增加추세를 나타내고 있으나, 特定한 自動車에 개소홀을 使用하기 위해서는 工學的으로 設計된 試驗評價가 수반되어야만 한다.

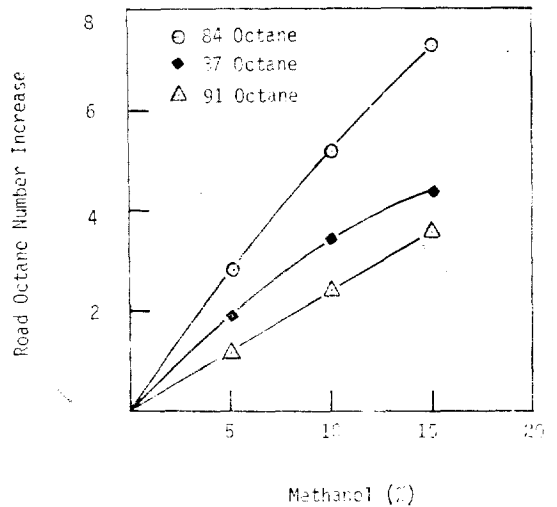


Fig. 6. Octane Quality Increase due to Methanol Addition to Gasoline

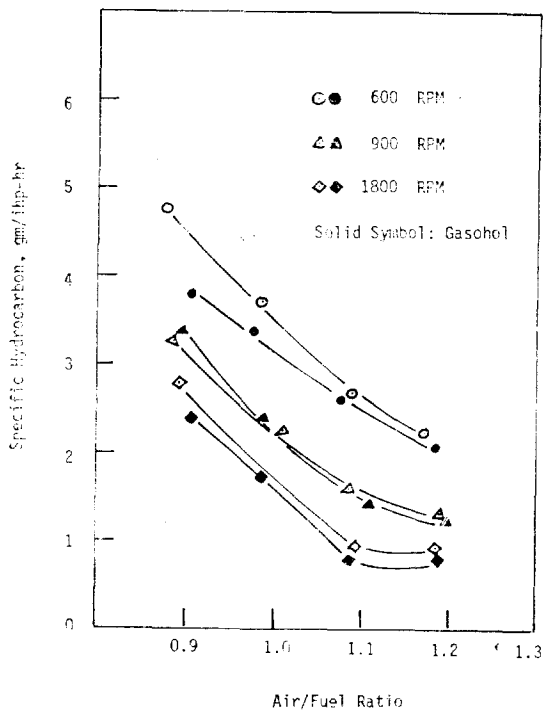
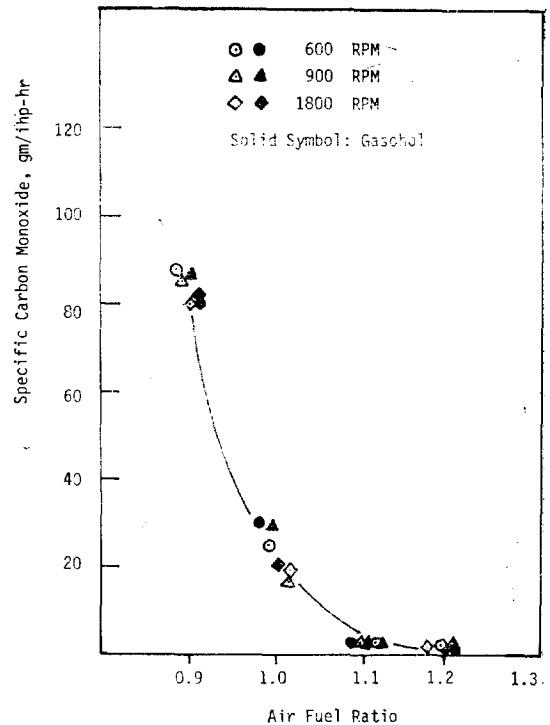
2. 排氣개스(Emission)^{8, 17, 29, 30, 33, 34, 53, 54, 58, 59, 60)}

개소홀의 燃燒物性中 하나는 公害 排氣개스의 減少에 있다. 알코올이 排氣개스에 미치는 影響에 대하여서는 Bolt⁵⁶⁾, Hetrich⁵⁷⁾ 및 Starkman⁵⁸⁾ 등이 1973年까지의 試驗 結果를 分析 檢討하였으나, 이들의 資料는 近來의 公害개스의 基準에 根據를 두며 排氣개스가 조절된 自動車에서 어떤 影響을 미칠지에 대하여서 크게 도움을 주지 못하고 있다. Johnson⁵³⁾ 및 Allup⁵⁴⁾는 개소홀의 排氣개스에 대한 影響을 考察하기 위하여 單실린더機關, 模寫自動車 및 各種 車를 이용하여 性能試驗을 하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

Fig. 7, Fig. 8 및 Fig. 9는 單실린더 試驗에 의한 개소홀의 排氣개스에 대한 結果이며 Table 4는 이 試驗에 使用된 燃料物性이다. Fig. 7

Table 4. Fuel Properties for Single Cylinder Engine Test

Property	Fuel	Indolene (Base Fuel)	Indolene +10% Methanol	Methanol
Research Octane Number		98.1	101.2	109.5
Motor Octane Number		87.6	87.9	86
Hydrogen/Carbon Ratio(γ) (Mole Basis)		1.85	1.96	4
Relative Molecular Weight for CH γ		13.88	14.76	32.04
Heating Value BTU/lb		18,530	17,480	8,666
Specific Gravity		0.744	0.747	0.796
Hydrocarbon Distribution Based on Analysis Before Blending (Vol %)				
Saturates		55.0	49.5	—
Olefins		10.0	9.0	—
Aromatics		35.0	31.5	—
Methanol		0.0	10.0	100
Stoichiometric Air-Fuel Ratio		14.53	13.68	6.45

**Fig. 7.** Specific Hydrocarbon vs. Air Ratio at MBT Timing**Fig. 8.** Specific Carbon Monoxide vs. Air Ratio at MBT Timing

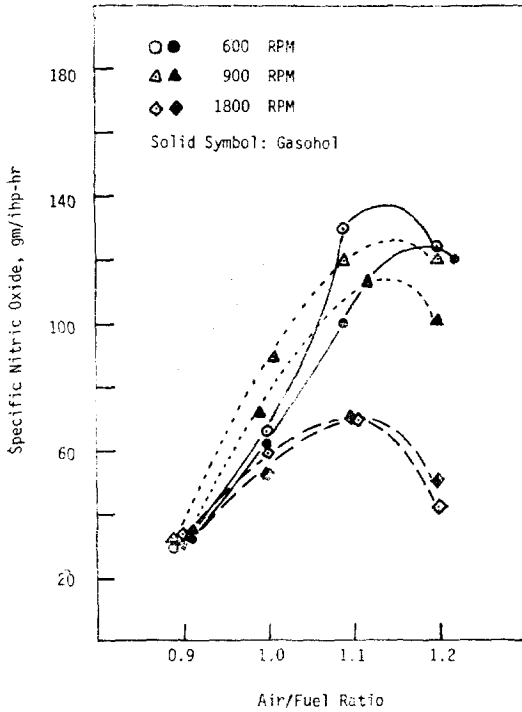


Fig. 9. Specific Nitric Oxide vs. Air Ratio at MBT Timing

에 의하면, 개솔린에 10%의 메탄올을 添加시켰을 때 HC의 排氣는 純粹개솔린의 경우에 비해 差異를 거의 나내지 않는다. 또한 同一한 機關 速力 및 空氣比에서 點火遲延에 의한 개솔린과 개소홀 사이의 HC 排出에도 差異를 發見하기 힘들었다. 그러나 速力 및 空氣比의 增加에 따른 HC의 排氣는 減少傾向을 보이고 있다.

Fig. 8은 메탄올 10%의 개소홀 및 純粹개솔린의 CO 排出에 대한 試驗結果이다. 메탄올이 CO 排氣에 미치는 影響은 거의 없으며, 速力에 의한 影響도 微細하다. 이에 반해, 空氣比가 增加함에 따라서 CO의 排出이 減少되는 傾向이 크며, 空氣比 1.1 以上에서는 CO의 排出이 거의 없다.

NO 排氣問題는 HC 및 CO 排氣問題와는 달리 개소홀의 경우가 純粹개솔린에 비해 減少되는 傾向이 있다. 이 傾向은 速力이 낮은 경우가 速力이 높은 경우에 비해 크며, 같은 空氣比에서 速力이 增加하면 NO의 排出이 減少한다.

單실린더 機關의 試驗結果에 따르면, 公害 排氣개스側面에서 볼 때에 개소홀이 개솔린에 비해 有利하지도 不利하지도 않았다. 그러나 單실

Table 5. Fuel Properties for Simulated Vehicle Test

Property	Base Fuel B	Base Fuel B+10% Methanol	Methanol
Research Octane Number	89.9	94.7	109.5
Motor Octane Number	82.1	83.1	86
Hydrogen/Carbon Ratio(y) (Mole Basis)	1.93	2.03	4
Relative Molecular Weight for CHy	13.96	14.87	32.04
Heating Value BTU/lb	18,550	17,500	8,666
Specific Gravity	0.725	0.731	0.796
Hydrocarbon Distribution Based on Analysis Before Blending (Vol %)			
Saturates	65.0	58.5	—
Olefins	13.0	11.7	—
Aromatics	22.0	19.8	—
Methanol	0.0	10.0	100
Stoichiometric Air-Fuel Ratio	14.66	13.75	6.45

린더 機關의 試驗結果가 덜티실린더인 自動車機關의 試驗結果와는 반드시 同一하지 않는다는 點을 감안하여야 한다.

實際 가솔린엔진 性能에 접근하기 위하여 4-실린더機關, 積分式 4-스피드 오토매틱-트랜스미션 등을 장치한 模寫自動車를 사용하여 개소홀의 排氣가스 影響을 調查한 結果 單실린더 機關의 結果와 약간 差異를 보였다.

Table 5 는 이 試驗에 사용된 燃料의 特性이며, Fig. 10 은 試驗結果를 表示하고 있다. 메탄올의 含有量이 10%인 개소홀의 경우 CO 排氣는 基準가솔린에 비해 30%의 減少를 나타냈다. Wigg⁵⁹⁾와 Brinkman⁶⁰⁾도 同一한 結果를 얻었다. 이 試驗結果에 의한 HC 排氣가스의 影響은 純粹가솔린에 비해 10% 內외의 減少效果를 나타내었으나, NO_x 排出에 대한 影響은 微少하였다.

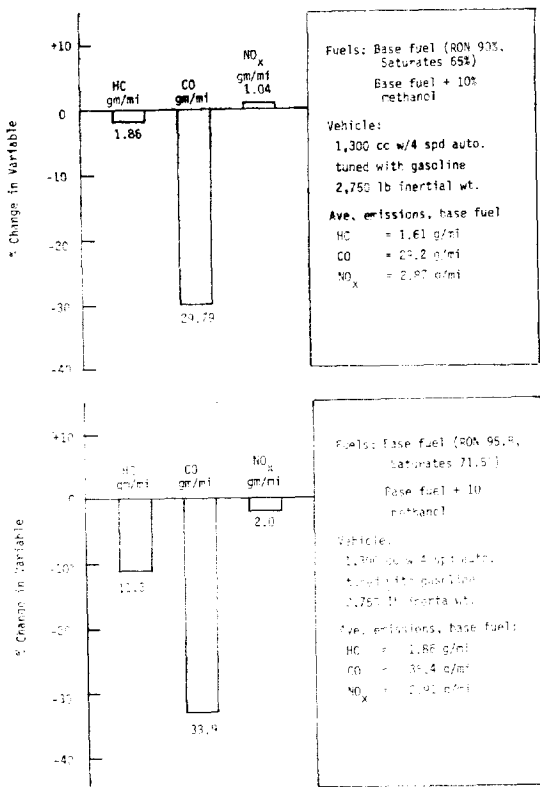


Fig. 10. Changes in Simulated Vehicle Test Results due to Methanol Addition

Allup 는 1972 年에서부터 1975 年에 걸쳐 生産된 여러 種類의 自動車를 使用하여 메탄올의 含有量이 5, 10, 15%인 개소홀이 CO, NO, HC의 排氣가스에 미치는 影響을 試驗하여, 알콜의 含有量이 증가함에 따라서 微少하나마 CO, NO, HC의 排出量이 減少한다는 結論에 이르게 되었다.

3. 出力 및 燃料經濟性^{8, 17, 29, 30, 33, 34, 53, 54)}

알콜의 Heating Value 는 가솔린의 約 1/2 이나 蒸發잠열은 約 3 배이기 때문에 Manifold 에서의 流入燃料는 상당히 冷却되어서 부피效率를 높게 한다. 그 結果로 熱效率는 增加한다. 그러나 空氣의 最適流入溫度는 개솔린에 비해 높아야 된다는 缺點도 있다. Rogowski¹⁷⁾의 試驗結果에 의하면 메탄올/개솔린의 개소홀인 경우 알코올의 混合比率 25%까지는 純粹가솔린의 空氣最適溫도와 同一하였으나, 알콜의 含有量이 50%, 95%인 경우에는 각각 30°F, 140°F가 증가되어야만 된다.

Fig. 11 은 最適 空氣溫度 및 最適 前進條件

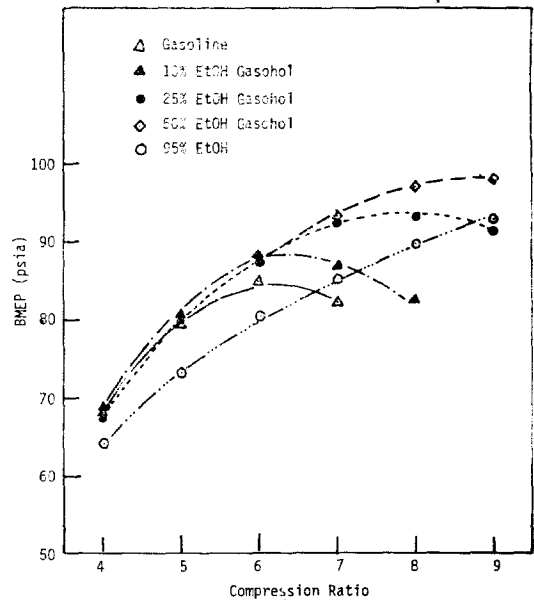


Fig. 11. Effect of Compression Ratio on the Maximum b.m.e.p. Obtainable with Various Blends. 1400 RPM; Optimum Inlet Air Temperature; Optimum Spark Advance

下에서 C.F.R 엔진에 개솔린과 개소홀을 사용하여 얻은 壓縮比와 BMEP(Brake Mean Effective Pressure)사이의 函數關係를 나타내고 있다. 이 結果에 의하면 알콜의 混合率이 10%인 경우에는 最大出力을 내는 壓縮比는 純粹한 개솔린의 壓縮比와 同一한 6이며, 알콜의 含量이 增加하면 壓縮比도 增加하게 된다. 壓縮比에 따라서 變化하는 개소홀의 개솔린에 대한 BMEP의 相對値는 알콜의 含量이 10%일 때는 1에서 1.07 사이의 分布를 나타내었으며, 알콜의 含量이 25%인 경우에는 0.97 내지 1.138 사이의 分布를 形成하므로써 약간의 出力增加現象을 나타내고 있다.

Fig. 12는 最適條件下에서 壓縮比에 따른 BSFC(Brake Specific Fuel Consumption)의 傾向을 表示하고 있다. 純粹개솔린 最適壓縮比 6

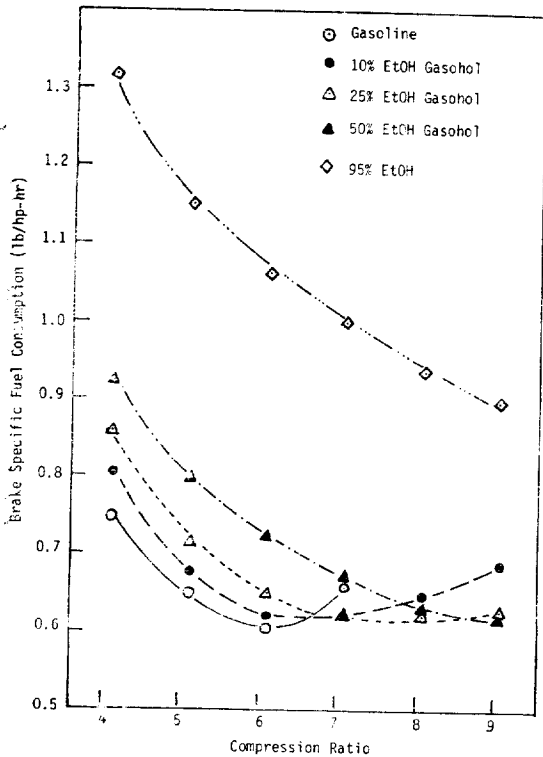


Fig. 12. Effect of Compression Ratio on the Minimum b.s.f.c. Obtainable with Various Blend. 1400 RPM; Optimum Inlet Air Temperature; Optimum Spark Advance

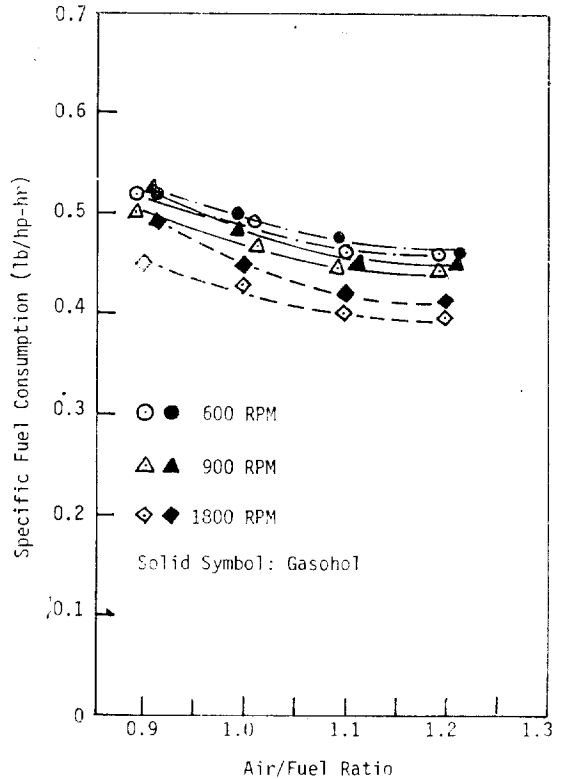


Fig. 13. Specific Fuel Consumption vs. Air Ratio at MBT Timing

에서 알콜의 含有量이 10%인 개소홀과는 거의 差異를 나타내고 있지 않으며, 壓縮比가 增加하게 되면 개소홀의 BSFC가 純粹개솔린에 비해 작아지는 傾向을 나타내고 있다.

10%메탄올/개솔린의 경우 燃料消費에 대한 單실린더 試驗結果에 의하면 Fig. 13에서 알 수 있듯이, 개소홀의 燃料消費가 개솔린에 비해 差異를 發見할 수 없을 정도이다. 實際 Road 試驗 結果에 의하면 개솔린機關을 전혀 改造하지 않는 경우에는 개솔린에 대한 개소홀의 相對的 燃料消費가 0.9에서 1.05 사이에서 分布를 形成하여 自動車에 따라서 增加現象과 減少現象을 나타내었으나 機關을 개소홀에 適合하게 最適化 시킨 경우에는 10⁵Btu 當 주행거리가 개솔린에 약간씩 增加하였다.

IV. 生産現況 및 經濟性^{26,29,32,34,37,2,15,23,66)}

1. 生産現況

現在 우리나라에서 生産되고 있는 알콜은 約 30%가 고구마等 植物을 原料로 하고 있으며, 나머지 70%가 石油을 原料로 한 合成알콜이다. 合成法에 依해 生産되는 알콜은 大部分(85%)이 메탄올이며 에탄올은 15%程度이다(Table 6 參照).

우리나라 알콜醱酵技術은 舊世紀의 在來式方法에서 크게 改善 發展되지 못하고 있는 實情이다. 우리나라에서 使用하고 있는 植物原料는 고구마, 타피오카, Molasses이며 이들을 原料로한 알콜生産工程은 澱粉質인 고구마, 타피오카(캐사파根)의 경우는 通常의으로 澱粉糖化過程과 醱酵過程의 二段階를 거쳐야 하나 糖蜜(Molasses)의 경우는 醱酵過程만이 必要하다.

이와같은 植物을 原料로 한 알콜의 年 生産量은 13萬kl이다.

Table 6. 石油을 原料로 한 알콜需給實績(78年度)

	需 給 實 績		
	生 産	輸 入	計
메탄올	258,083%	77%	258,160% (323,474kl)
에탄올	3,630%	1,610%	5,240% (6,600kl)
計	261,713% (327,954kl)	1,687% (2,120kl)	263,400% (330,074kl)

資料：韓國石油化學工業協會

前述한 바와 같이 現在 우리나라 알콜所要量은 메탄올과 에탄올을 合하여 約 47萬kl로써 主로 工業用과 酒精用으로 使用되고 있으며 에너지로서의 使用은 우리나라의 경우 아직 經濟性이 큰 問題가 되고 있다.

合成알콜의 資源은 石油과 石炭이 主가 되며 最近 先進諸國에서는 都市에서 排出되는 各種

廢棄物을 利用한 메탄올 工程이 開發되어 그 實用化를 서두르고 있다. 한편 우리나라의 경우 賦存資源인 石炭은 量的인 制限뿐 아니라 質에 있어서도 熱量이 낮고 灰分이 많은 無煙炭으로 이를 利用한 메탄올 生産은 效率面에게 크게 期待할 수 없는 實情이다. 또한 各種 廢棄物을 利用한 代替燃料 生産은 앞으로 開發할만한 對象 分野이긴 하지만 外國의 技術現況으로 보아 短時日內에 適用할 수 있는 單純한 技術은 아니다.

現在 우리의 立場으로 가장 開發이 容易하고 實効性이 높은 分野는 穀物等을 包含한 Biomass의 變轉으로 알콜을 生産하는 것이다. 이 分野는 이른바 High Technology 또는 尖端技術을 要하지 않고, 또 栽培, 工場建設等 初期投資가 적으며(原子力發電에 비해 100分の1程度로 低廉) 費用對效果의 比가 크다는 點이다. 原料供給의 問題는 國內供給 및 廉價輸入도 可能하며 또한 植物資源이 豊富한 熱帶地方 現地에서 生産하여 輸入하는 方法도 考慮할만하다.

2. 經濟性

1973년부터 시작된 原油의 指數函數的인 價格引上은 世界經濟에 恢復할 수 없는 큰 打擊을 주고 있으며, 이에 對處하는 方案으로써 石油의 消費節減과 代替에너지의 開發 및 이에 對한 迅速한 適應밖엔 없음이 明白해졌다.

여기에서 알콜을 內燃 또는 外燃機關에 代替燃料로 使用하는데는 다음과 같은 條件을 滿足시키지 않으면 안된다. 即 上述한 여러 技術의 條件은 勿論, 適切한 價格과 充分한 供給量의 持續的인 確保, 그리고 에너지源 즉 植物資源으로부터 最終 製品까지 轉換하는 過程에서의 經濟性, 生産 및 原料栽培, 輸送等 流過程에 있어서의 他產業과의 調和性, 排氣가스 規制等 負의 效果에 對한 長期的인 考慮等이다.

여기서 우선적으로 考慮될 問題는 經濟性이며 이것은 알콜이 代替에너지인 만큼 알콜單獨으로 決定되는 것이 아니며 그것이 代替하고자 하는 石油과 또한 다른 代替에너지와의 相對的 關係에서 決定된다 하겠다. 現時點에서 보면 알콜을 燃料로 代替할 경우 가장 큰 問題點은 그 價格

이다. 그러나 原油價格은 繼續的인 上昇推移를 보이고 있는 反面, 알콜은 豊富한 植物資源을 原料로 보다 効率的인 生産技術(工程의 單純化, 反應조의 대폭축소, 증류대신 멤브레인공정 또는 액액추출 등)이 發展됨에 따라 그 生産價가 계속 下降하고 있다. 따라서 늦어도 1982년까지는 알콜이 石油에 비해 價格面에서도 比較優位의 位置를 占하게 될 것으로 判斷하고 있다.

이와같은 低廉한 알콜이 國內植物原料에서 生産된다면 이것은 우리나라 에너지源 多元化 政策에 있어 가장 希望的인 分野의 하나가 될 것이다.

V. 結 言

알콜의 混合비가 15%까지인 개소홀의 경우, 엔진의 性能, 排氣가스 및 燃料의 經濟性 등 諸般特性은 純粹개솔린에 비해 大同小異하거나 微細하게나마 優勢하였다. 그러나 아직도 解決해야 할 問題들로 다음 事項을 指摘할 수 있다.

1. 舍酸素炭化水素인 알콜이 개솔린中の 非芳香족 炭化水素에는 녹기 어려우며, 개소홀中 알콜 含量에 따라서 水分의 許容值가 限定되기 때문에 溫度變化 및 水分의 含量變化에 따라서 相分離 現象이 큰 問題로 登場하게 된다.

2. 개소홀의 蒸氣壓(RVP)과 %E 70이 顯著히 增加하여 車種에 따라서는 여름철과 같이 外氣溫度가 높을때는 Vapor Lock 을 일으킬 可能性이 있다.

3. 蒸發潛熱이 크기 때문에 低溫에서는 始動성이 나빠지나 試驗結果에 의하면 10%의 알콜을 含有하는 개소홀인 경우 外氣溫度 0°C 前後에서는 影響이 別로 없다.

4. Driveability 는 개소홀인 경우 外觀上 50% 溜出溫度가 低下되지만 實際로는 蒸發潛熱이 크고 燃料/空氣의 比가 變化하기 때문에 惡化되는 傾向이 있다.

5. 吸入水分에 의한 金屬類의 腐蝕성과 알콜의 溶解性에 의한 고무 및 플라스틱製品の 老化

를 促進시킨다.

6. 개소홀은 여러 개솔린 內燃機關에 使用될 수 있다. 그러나 각기 다른 엔진設計마다 廣範圍한 運轉條件 및 環境下에서 長期間의 試驗評價를 實施하여 이를 確認하여야 한다.

7. 各樣의 相異한 엔진設計들을 한 組成의 燃料에 可能한 限 많이 包括시키기 위해서는 混合燃料의 適正化를 위한 “工學的 配合(Engineered Fuel Formulation)”이 必要하다.

8. 알콜의 燃料가 에너지 中間解決策으로서 定着되기 위해서는 經濟的 因子가 가장 重要하지만 政府 및 産業體의 理解와 이니셔티브 그리고 行動이 要望된다.

9. 또한 알코홀에너지의 迅速한 産業化를 위해서는 工程指向的인 研究開發이 要求되며, 散在해 있는 새 技術의 組立과 시스템化를 통해서 알콜生産技術 을 크게 改善 發展시켜야 한다.

References

1. 石炭化學と工業, 木村英雄, 藤井修治, 三共出版(1977).
2. T.B. Reed, "Use and Production of Methanol as a Synthetic Fuel," M.I.T. Ind., Liaison Program, 4-54-75.
3. R.E. Bosecker et al., SAE 710672.
4. C.J. Walder, SAE 730214.
5. W.F. Marshall et al., SAE 710836.
6. T. Ando, J. of SAE, Japan, 27-4.
7. "Methanol-Gasoline Blends," P.K. Pefley, H.G. Adelman & M.C. Cormack, The Methanol Conference, Hennikers, New Hampshire, June (1974).
8. "Comparative Investigation of Methanol and Gasoline Performance in Motor Vehicles," H. Heitland, W. Bernhardt & W. Lee, NATO CCMS Symposium, Dusseldorf, Nov. (1974).
9. "Methanol from Coal for the Automotive Market," H. Jalfe et al., (Atomic Energy Commission, Washington, D.C.) Draft, 1.

- Feb. 1974.
10. "A Survey of Alcohol as a Motor Fuel," J.A. Bolt, Society Engineers Special Pub. No. 254, June (1964).
 11. "Methanol and Methanol/Gasoline Blends as Automotive Fuels," J.M. Colucci, Proceedings of the EPA Conference on Alternate Fuels and Combustion Research, Ann Arbor, Mich, Oct. 15(1974).
 12. "Conference Proceedings Including Recommendations for Direct Combustion, Alcohol Fuels, Anerobic Digestion and Gasification," Mid-American Biomass Energy Workshop, May 21-23(1979).
 13. "Cold Starting Abilities of Various Substitute Motor Fuels," R.E. Streets, J. of Research, Vol, 39, July (1947).
 14. "Boosting Engine Performance with Alcohol-Water Injection," J.C. Porter, W.B. Roth & R. Wiebe, Automotive & Aviation Ind. Vol. 98, 8(1948).
 15. "Brazil's Gasohol Program," V. Yand & S.C. Trindade, CEP, April (1979).
 16. "Biomass: Untapped Energy," G. Wood.
 17. "Comparative Performance of Alcohol-Gasoline Blends in a Gasoline Engine," A.R. Rogowski and C.F. Taylor.
 18. "Evaluation of MTBE as a Gasoline Blending Component," Alc. Tech. 3rd Intern. Symp., May (1979).
 19. 新 Energy System: 笛木和雄, 田川博章, 技幸反堂出状(1977).
 20. "Hydrogen Injection Two-Stroke Spark Ignition Engine," S. Furuham, et al., Proc. 2nd World H₂ Energy Conf., Vol. 4, Aug. (1978).
 21. "Liq. H₂ Car with Two-Stroke Fuel Injection Spark Ignition Engine," S. Furuham, et al., XV Int. Cong. of Refrigeration, Sep. (1979).
 22. "Gas from Coal as an Automotive Fuel," J.R. Allsup, SAE-730802.
 23. "Alcohols as Automotive Gasoline Extenders," Shell.
 24. Energy Vol. 12, No. 9, 39(1979-9).
 25. Energy Vol. 12, No. 9, 36(1979-9).
 26. "Future Scenariso of Alcohols as Fuels in Brazil," A.V. Carvalho Jr., Alcohol Fuels Tech. 3rd Intern. Symp. May (1979-5).
 27. "Ethanol Gasoline Blends as Automotive Fuels," J.R. Allsup, Alcohol Fuels Tech. 3rd Intern. Symp. May (1979-5).
 28. The Physical Propertios of Gasoline/Alcohol Automotive Fuels," F.W. Cox, Alcohol Fuels Tech. 3rd Intern. Symp. May (1979-5).
 29. "Methanol as Gasoline Extender," E. Wigg, Science Vol. 156, No. 4166 (1974).
 30. "Gasoline-Methanol Fuels," R.W. Hooks, et al., Intern. Symp. on Alcohol Fuels, Nov. (1977-11).
 31. "Methanol/Gasoline Mixtures in Four Stroke Otto Engines," L.G. Goran Svahn, et al., Alcohol Fuel Tech. 3rd Intern. Symp. May (1979-5).
 32. "50,000 Mile Methanol/Gasoline Blend Fleet Study," K.R. Stamper, A Progress Report, Alcohol Fuel Tech. 3rd Inern. Symp. May (1979-5).
 33. "MtoBILE Process Efficiently Converts Methanol to Gasoline," J.J. Wise, et al., Oil & Gas J., 22, Nov. (1976-11).
 34. "Alternative Fuels for Today's Tech. Internal Comb. Eng.," S.R. Epton, Shell European Automotive Symp. (1978-5).
 35. Weiss, M.E., and Rudd, B.E.: Automobile Engineer 49, 424(1959).
 36. E. Plassmann, et al., "Neuen Kraftstoffen auf der Spur," JARI (1974).
 37. O.H. Eastland, "Fuel and Energy Uses of Methanol," Univ. of Pittsburgh School of Eng. 2nd Ann. Symp. on Coal Gasif. and Liquif., Aug. 5(1975).
 38. T. Yamashida, 自動車技術學 Vol. 34, No. 1, p.19 & p.43.
 39. ASTM D439-60T.
 40. ASTM D86-67.
 41. V.L. Maleev, Internal-Combustion Engine, McGraw-Hill, p.49 (1945).
 42. Bartholomew, E., Chalk, E., and Brewster, B., Carburetion, Manifolding, and

- Fuel Anti-knock Value, SAE Journal Vol. 42, pp.141, 148 (1938).
43. Howes, D.A., Science of Petroleum, Vol. IV, pp.2822-9, London, Oxford Univ. Press (1938).
 44. Christensen, L.M., et al., J. Sci., 7461 (1933).
 45. Hubendick, E., Spiritusmotoren, Forschungsheft zur Auto Technik, Vol. VI, Berlin, Klasing & Co. (1930).
 46. J.M. Colucci, Methanol and Methanol/Gasoline Blends as Automotive Fuels, Proceedings of the EPA Conference on Alternate Fuels and Combustion Research, Ann Arbor, Mich. Oct. 15, (1974).
 47. ASTM Manual for Rating Motor, Diesel and Aviation, Fuels, 1973-74 Edition.
 48. Hopkins, C.P. et al., Preliminary Rept. on Use of Grain Alcohol in Motor Fuel in Canada, Ottawa, Natl. Research Council (1933).
 49. C.B. Kretschmer and Richard Wiebe, Solubility of Water in Alcohol-Hydrocarbon Mixtures, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 37, No. 11, (1945).
 50. Gasohol U.S.A., Jan. (1980).
 51. C.H. VanHartesveldt, Antidetonant Injection, SAE, Vol. 13, No. 2(1949).
 52. Automotive Industries, pp.269-272, March 15(1940).
 53. Johnson, R.T. et al., Single Cylinder Spark Ignition Engine Study of the Octane, Emissions, and Fuel Economy, SAE Paper No. 760377.
 54. J.R. Allup, Bartlesville Energy Research Center Report (BERC-RI-76-15).
 55. K. Wolfe et al., University of California, Berkely Report (PB 249088).
 56. J.A. Bolt, A Survey of Alcohol as a Motor Fuel, Society of Automotive Engineers Special Publication No. 254, June (1964).
 57. S.S. Hetrich, The Effect of Oxy-Hydrocarbon Fuels on Exhaust from Spark Ignition Engines, Science & Engr., Vol. 28, No. 6, Dec. (1967).
 58. E.S. Starkman et al., Alternative Fuel for Engine Emission, Journal of the Air Pollution Control Association, Vol. 20, No. 2, Feb. (1970).
 59. E.E. Wigg et al., Methanol as a Gasoline Extender-Fuel Economy, Emissions, and High Temperature Driveability, Society of Automotive Engineers Paper 741008 (1974).
 60. Federal Register, Environmental Protection Agency, New Motor Vehicles and New Motor Vehicle Engines, Vol. 37, No. 221, Part II, Nov. 15(1972).
 61. C.A. Stascancky et al., Custom CMOS Approach to Automotive Instrumentation, SAE Paper, 790338(1979).
 62. J.R. Crewshaw, Design of a Linear Step Actuator, SAE Paper, 790121(1979).
 63. B.H. List, TI View of Automotive Engine Control System Approach, SAE Paper, 780839(1978).
 64. Reid, Prausnitz, and Sherwood, The Properties of Gases and Liquids, pp.457-463(1977).
 65. Technical Data Book-Petroleum Refining, American Petroleum Institute, Chapter II (1972).
 66. Newsweek, May 14(1979).