

# 觸媒에 의한 가솔린機關排氣中 CO와 HC 濃度低減에 關한 實驗的 研究

(Experimental Study on the Reduction of CO and  
HC Concentrations in the Exhaust Gas of Gasoline Engine by Catalysts)

趙珍鎬\* · 徐廷一\* · 曹鐘徹\*\*  
(Cho Jin-Ho, Seoh Jeong-Il, Jo Jong-Chull)

## Abstract

When an oxidizing catalytic converter which makes use of platinum as a catalyst is employed by means of emission control of CO and HC in gasoline engine, the effects of important factors for the purification efficiency, i. e. engine speed and secondary air rate, on the reduction of CO and HC concentrations in the exhaust gas are studied experimentally.

In the experiment, gasoline and LPG are used as a fuel, and the purification efficiency is examined and the results of both cases are compared with each other.

The experimental results showed that the purification efficiency in the case of LPG is usually higher than that of gasoline, and the optimum values of engine speed and secondary air rate for maximum purification efficiency exist in common on both cases.

## 1. 序 論

가솔린機關의 排出가스中 有害成分의 低減方法들 中에서 不完全燃焼로 因하여 生成되어 大氣로 排出되는 CO 및 HC를 再燃焼시키는 方法이 最近에 先進各國에서 活潑히 研究되고 있다. 이러한 方法들 中에서 代表的인 例로서 排出가스를 2次空氣와 混合시켜서 熱反應器로 通過시키는 方法과 酸化觸媒콘버터로 通過시키는 方法이 있다. 前者에 대하여는 처음으로 Brownson<sup>[1]</sup>, Sigworth<sup>[2]</sup> 및 Patterson<sup>[3]</sup> 등이 實驗的으로 研究하였으며 Chandler<sup>[4]</sup>, Schwing,<sup>[5]</sup> Brokaw<sup>[6]</sup> 등은 理論的으로 考察하였으나 CO나 HC는 充分한 酸素를 包含하는 空氣中에서 700℃ 以上의 高溫狀態에서 비로소 酸化反應을 하기 시작하고 反應이 充分히 일어나게 하기 위하여

는 900~1000℃로 保持하여야 하므로 實用上的 問題點이 많다.<sup>[7]</sup> 後者は 觸媒를 使用함으로써 250℃ 程度에서 急速히 酸化反應이 일어나서 短時間에 多量의 가스를 酸化處理할 수 있으므로 最近에 와서 相當히 重要的인 研究課題로 대두되어 各種 酸化 및 還元觸媒劑에 關한 研究開發이 進展됨에 따라서 實用的인 觸媒가 開發되고 觸媒를 利用한 効率的인 엔진 有害排出가스의 淨化方法이 多角的으로 研究되고 있다.<sup>[7]-[9]</sup> 本 研究에서는 4 사이클 水冷式 가솔린機關에 가솔린과 LPG를 燃料로 使用할 경우에 耐熱性이 크고 多孔性의 알루미늄( $Al_2O_3$ )磁器擔체에 觸媒金屬인 白金(Pt)을 含浸시킨 空氣펌프式 粒狀觸媒箱子를 機關의 排氣밸브와 消音器 사이에 裝着한 다음 機關의 回轉速度와 2次空氣量이 CO와 HC의 濃度低減에 미치는 影響을 調査하였다.

\* 正會員 漢陽大學校 工科學 機械科

\*\* 正會員 漢陽大學校 大學院 機械科

2. 實 験

(1) 實驗用 触媒<sup>[12]~[14]</sup>

實驗에 使用된 触媒는 比表面積 450~550m<sup>2</sup>/g의 粒狀알루미나를 空氣中에서 溫度 800~900℃로서 約 5~10時間 熱處理하여 比表面積이 150m<sup>2</sup>/g 정도인 것을 表面構造의 安定性(耐久性과 耐熱性)을 위하여 알카리토금속인 Ca의 酸化物인 CaO를 1wt%의 比率로 沈透시켜서 만든 粒狀의 擔體(直徑 2~4mm)에 貴金屬酸化 触媒로서 파라듐보다 납의 耐久性이 훨씬 더 큰 白金을 約 0.2wt%의 比率로 電氣鍍金하여 만든 것으로서 다음 Fig.1 과 같다.

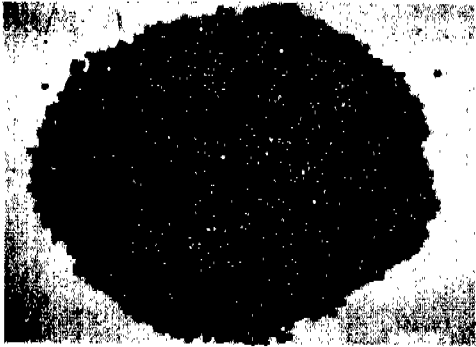


Fig. 1 Catalyst pellets

(2) 實驗用 触媒淨化裝置의 構造

實驗에 使用된 淨化裝置는 Fig. 2 와 같이 2次空氣를 空氣펌프에 의하여 供給하는 空氣펌프式으로서 電動機에 의하여 驅動되도록하여 2次空氣의 供給量을 調節할 수 있도록 하였으며 裝置의 触媒室과 外部의 슈라우드를 이루는 金屬材料로는 耐熱性과 耐蝕性이 큰 冷間壓延加工된 스테인레스 鋼版(KS D 3700)을 使用하고 裝置外部를 充分히 斷熱시켰다. 触媒室의 容積은 約 3000cc이다.

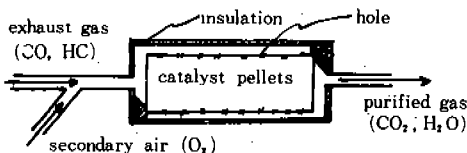


Fig. 2 Schematic diagram of air pump type catalytic converter.

(3) 實驗裝置

實驗에 使用한 機關은 Table 1 과 같은 諸元을 가진 4 사이클 水冷式 가솔린 機關이며 使用燃料는 比重 0.75, 低位發熱量 11,200kcal/kg, 組成이 C=85wt%, H=15wt%인 가솔린과 沸騰點 -0.5℃, 比重 0.581, 低位發熱量 11,830kcal/kg인 正-부탄(C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>)인 LPG이다.

實驗裝置는 Fig. 3 과 Fig. 4 와 같이 触媒콘버터를 機關과 消音器 사이에 裝着하였으며 LPG를 燃料로 使用할 경우에는 燃料탱크로부터 솔레노이드밸브→베어퍼라이저를 거쳐 既存가솔린用 氣化器에 附着한 어댑터를 통하여 LPG를 供給하였다. 排出가스溫度는 排氣매니폴드出口 플랜지로부터 出口方向으로 約 50mm 떨어진 곳에서 熱電對(Chromel-Alumel)를 附着하여 高溫度計로서 測定하였다. 2次空氣의 供給은 管路에서는 空氣펌프와 空氣流量計(CF-40375 air meter) 사이에 流量調節밸브를 裝着하였다. 또한 排出가스의 採取는 콘버터前後에서 하였으며 排出가스中의 CO와 HC의 濃度測定에 있어서는 CO-HC 測定器(YANACO EIR2108 TYPE)를 使用하였다.

Table 1 Specification of test engine

Description	Specification
Engine Type	Water Cooled 4Cycle Automobile gasoline engine
Engine model	2R
Number of Cylinder	4
Stroke × Bore	78 (mm) × 78 (mm)
Piston displacement	1,490 cc
Firing Order	1-2-4-3
Cylinder arrangement	Straight in Line Type
Compression ratio	8.3
Max. output	78ps/5700 rpm
Max. Mean effective pressure	9.87 kg/cm <sup>2</sup>
Mean piston speed	13.52 m/s
Maker	Toyota Moter Co., Ltd.

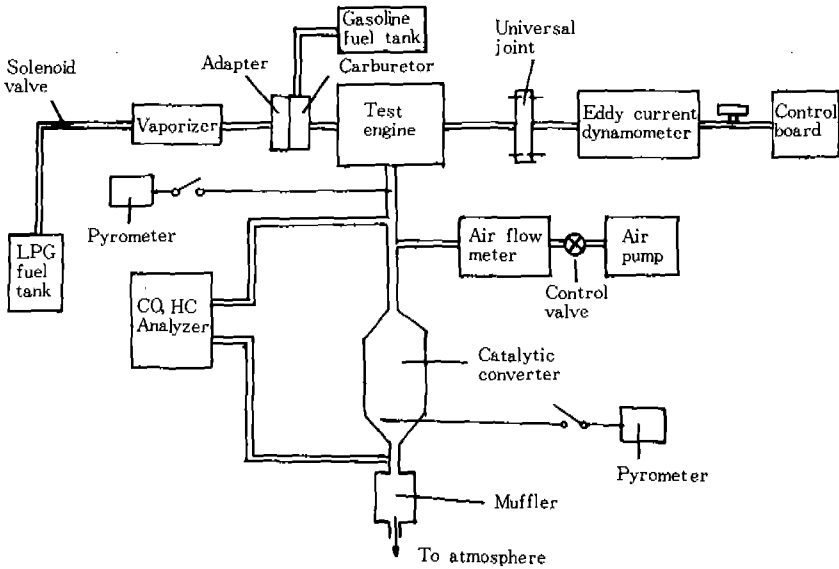


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus.

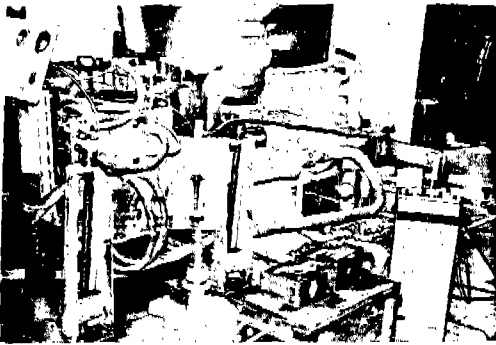


Fig. 4 Overall view of experimental apparatus.

燃料消費量, 吸入空氣溫度, 冷却水温 및 드로틀밸브의 開度を 各各 測定하였다.

- (c) 各 回轉速度에 대하여 2次空氣量を 0, 30, 60, 90ℓ/min로 變化시키고 同時に 콘버터内部溫度를 測定하였다.
- (d) 위의 各 경우에 대하여 CO-HC分析器를 30分間 暖機시킨 다음 CO 1.00%, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 800 ppm인 標準가스로 較正한 다음 排出가스中の CO 및 HC의 濃度を 콘버터前後의 採取部에서 4回씩 測定하여 그 平均値를 求하였다.

(4) 實驗方法

가솔린과 LPG를 燃料로 使用하는 各 경우에 대하여 測定에 앞서 試驗用 機關을 約 30分間 空運轉狀態로 運轉하여 暖機시킨다음 다음과 같은 方法으로 實驗하였다.

- (a) 無負荷狀態에서 機關回轉速度를 1 000, 1500, 2000, 2500, 3000 rpm으로 變化시켰다.
- (b) 위의 各 回轉速度에 대하여 排出가스溫度,

3. 實驗結果 및 考察

實驗에서 設定된 各 回轉速度와 2次空氣量과 의 各種 組合條件의 경우에 대하여 測定值들을 Table 2와 3에 表示하였다. 여기서 冷却水温과 吸入空氣溫度는 大氣溫度에 影響을 받을 뿐이고 이들은 酸化觸媒콘버터의 性能에 直接的으로 큰 影響을 주는 因子가 될 수 없으므로 考慮하지 않았다.

Table 2 Experimental data for gasoline.

Engine speed (rpm)	Secondary air rate (ℓ/min)	Throttle valve open (%)	Fuel Consumption (cc/sec)	Cooling Water temperature ℃	Inlet air temperature (℃)	Converter inlet gas temperature (℃)	Converter temperature (%)	Before converter		After converter	
								CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)
1000	0	20	0.345	75	15	390	415	1.825	617.5	1.6	110
	30						530			1.5	100
	60						485			1.4	50
	90						430			1.4	60
1500	0	22	0.508	76	16	420	465	2.775	317.5	1.75	200
	30						415			0.1	50
	60						525			0.125	20
	90						555			0.11	15
2000	0	25	0.682	76	16	437	455	5	500	4.6	340
	30						490			1	220
	60						540			1.5	200
	90						545			2.25	260
2500	0	28	0.769	78	16.9	450	505	8.29	613	7.25	400
	30						545			6.5	430
	60						515			5.8	400
	90						515			4.25	300
3000	0	32	1.25	79	18	501	540	7.83	950	5.8	600
	30						495			5.8	700
	60						510			5.75	900
	90						530			5.4	850

(1) 機関回轉速度가 CO의 濃度低減에 미치는 影響

Fig. 5~8은 回轉速度變化에 따른 콘버터 前後에서의 CO濃度變化를 가솔린과 LPG 燃料에 대하여 나타낸 것이다. 가솔린燃料의 경우에 2次空氣量이 0 일 때는 2500rpm까지는 CO의 濃도가 增加하다가 그 以上の 回轉數에 대하여는 減少함을 보이며 LPG의 경우는 콘버터 前의 CO濃도가 1500rpm 以上에서 急激하게 떨어지며 触媒콘버터에 依하여 淨化되는 경우 즉 콘버터 後의 CO濃도는 回轉速度變化에 큰 關係없이 約 0.01~0.03%程度만 排出되어서 事實上 거의 問題가 되지 않는다. 또한 2次空氣量 30, 60 및 90 ℓ/min에 대하여 살펴보면 가솔

린燃料의 경우는 콘버터를 지난 排出가스中の CO濃도의 最小値가 機関回轉速度 1500rpm 附近에서 나타남을 알 수 있다.

(2) 機関回轉速度가 HC의 濃度低減에 미치는 影響

Fig. 9~12은 각 2次空氣量에 대하여 回轉速度가 콘버터 前後에서의 HC濃度變化에 미치는 影響을 가솔린燃料使用時와 LPG 燃料使用時에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 경우 모두 콘버터前에서는 HC濃도가 1500rpm 附近에서 最小로 나타나고 있다. 가솔린燃料의 경우에서 2次空氣量 0에 대한 콘버터 後의 HC濃도는 回轉速度에 比例하여 增加하며 LPG燃料의 경우에는 1500rpm 附近에서 最

Table 3 Experimental data for LPG.

Engine speed (rpm)	Secondary air rate (%)	Throttle valve open (%)	Cooling water temperature (°C)	Inlet air temperature (°C)	Inlet gas temperature (°C)	Converter temperature (°C)	Before converter		After converter	
							CO (%)	HC (ppm)	CO (%)	HC (ppm)
1000	0	20	77	22	402	442	1.75	400	0.09	80
	30					477			0.02	50
	60					502			0.03	30
	90					522			0.01	25
1500	0	22	76	21.5	438	457	1.59	268.8	0.05	60
	30					462			0.01	50
	60					457			0.01	70
	90					447			0.01	75
2000	0	26	76	19.8	476	480	0.123	455	0.03	200
	30					450			0.02	150
	60					450			0.02	200
	90					455			0.01	100
2500	0	31	74	22.5	531	552	0.17	550	0.015	250
	30					492			0.01	220
	60					492			0.015	210
	90					502			0.01	210
3000	0	34	79	23	558	547	0.19	675	0.03	200
	30					542			0.025	250
	60					537			0.025	250
	90					532			0.02	280

小, 2500 rpm 附近에서 最大가 될을 나타낸다. 2 次空氣量 30ℓ/min 의 경우에는 1,500 rpm 附近에서 가솔린과 LPG 의 두 경우 모두 最小의 HC 濃度を 가진다. 2 次空氣量 60ℓ/min 와 90ℓ/min 일 때를 살펴 보면 淨化後 HC 濃도가 1500 rpm 附近에서 가솔린燃料使用時보다 LPG 의 경우가 크게 나타나나 約 2000 rpm 以上부터는 반대로 LPG 의 경우가 작음을 알 수 있으며 機関回轉速度 3000 rpm 以上으로 커짐에 따라 HC 의 濃度 低減效果가 없어진다. 그 理由는 排氣量의 增加와 2 次空氣量의 過剩供給으로 콘버터의 空間速度가 커지고 2 次空氣로 因하여 콘버터内部 溫度가 낮아지기 때문이라고 생각된다.

(3) 2 次空氣量이 CO 와 HC 의 濃度低減에 미

치는 影響

Fig. 13~16은 機関의 各 回轉速度에 대하여 2 次空氣量이 酸化触媒에 의한 淨化效率(轉換率)에 미치는 效果를 나타내었으며 淨化效率(轉換率)을 百分率로 表示하였다.

여기서 淨化效率 또는 轉換率이란 触媒에 의한 反應으로 低減된 가스濃度の 처음-가스濃도에 대한 比率를 말하며 淨化效率를  $\eta$ , 콘버터前後의 가스濃度を 各各  $C_{in}$ ,  $C_{out}$  라고 하면,

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} = 1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}$$

$$\text{또는 } \eta = \left(1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}\right) \times 100\%$$

으로 表示된다.

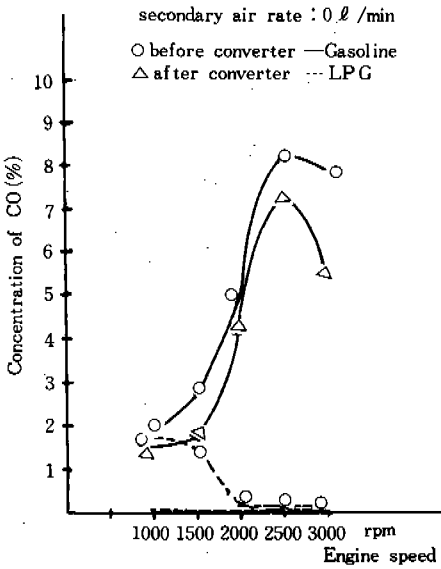


Fig. 5 The effect of engine speed on CO concentration

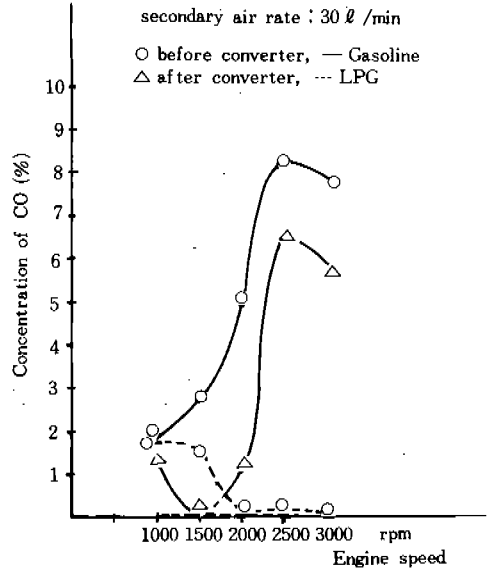


Fig. 6 The effect of engine speed on CO concentration.

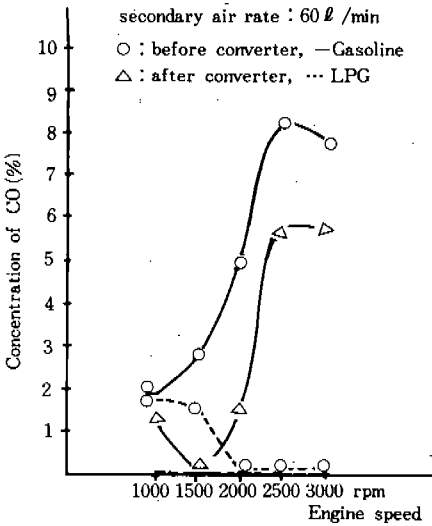


Fig. 7 The effect of engine speed on CO concentration.

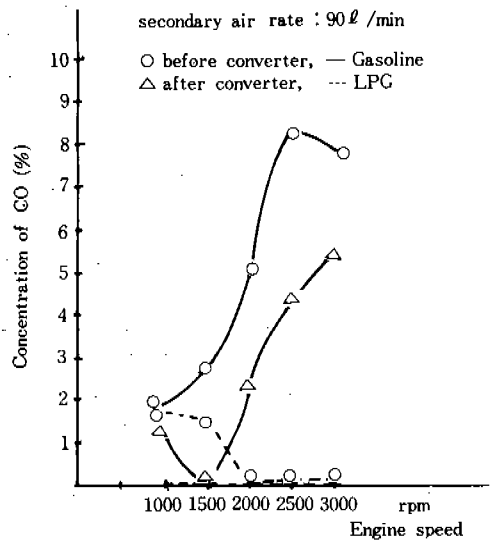


Fig. 8 The effect of engine speed on CO concentration.

Fig. 13은 機閃回轉速度 1000 rpm의 경우이며 2次空氣量이 增加할수록 淨化率도 높아지나 空氣量이 60 l/min로 되었을 때에는 淨化率이 오히려 減少하기 시작한다. 이것은 2次 空氣量이 必要以上으로 많아 converter內的 溫度를 低下시

키고 空間速度를 增大시켜 酸化反應速度를 低下시키기 때문이다. 또한 CO의 淨化率이 LPG燃料에 대하여는 거의 90% 이상이 되나 가솔린에 대해서는 20% 程度의 淨化率을 보였다. HC의 淨化率은 가솔린과 LPG의 두 경우에서 모두 80

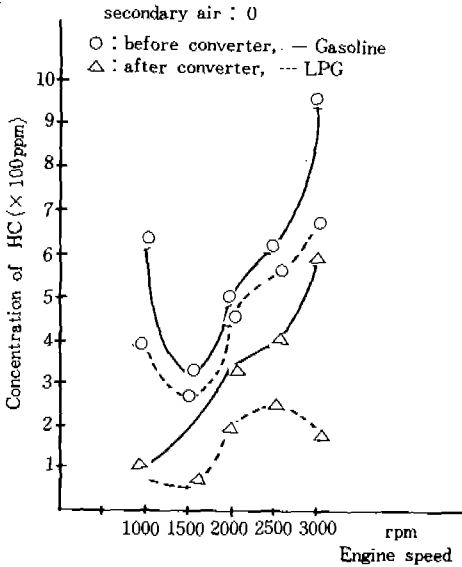


Fig. 9 The effect of engine speed on HC concentration.

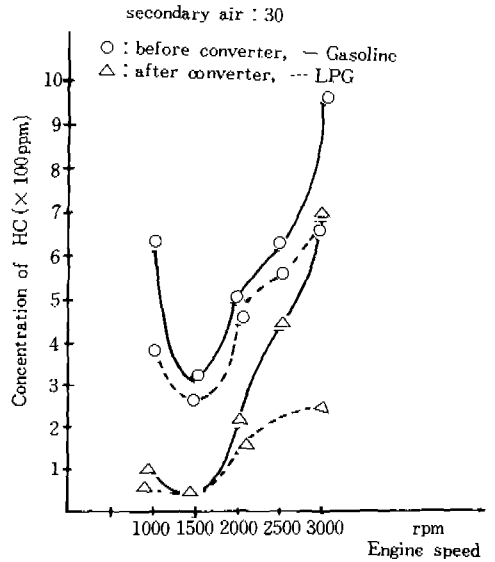


Fig. 10 The effect of engine speed on HC concentration.

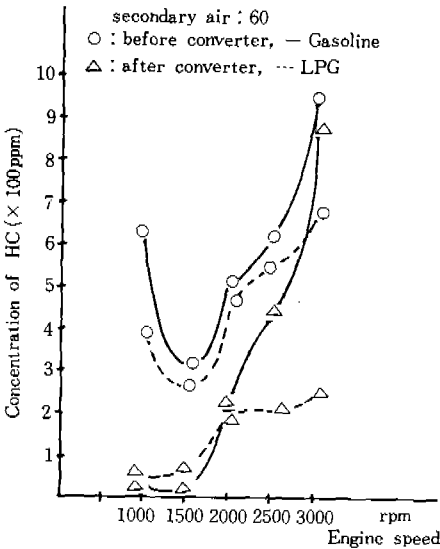


Fig. 11 The effect of engine speed on HC concentration.

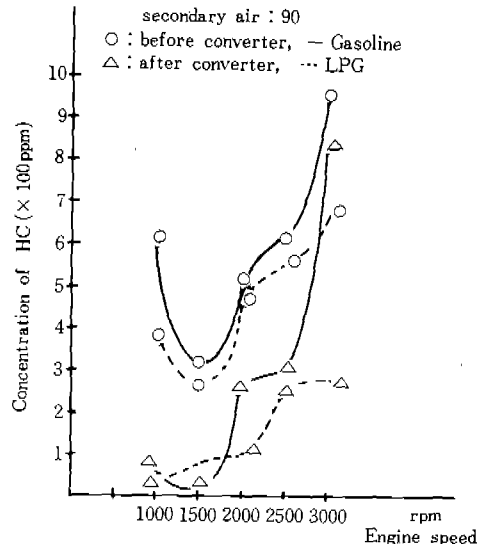


Fig. 12 The effect of engine speed on HC concentration.

~90%에 相當하는 傾向을 나타낸다. 따라서 触媒淨化裝置를 裝着하였을 경우 LPG 燃料에 대한 淨化率は 더욱 높아진다.

Fig. 14는 機閥回轉速度가 1500 rpm 인 경우로서 가솔린燃料使用時에는 2次空氣의 供給으로 淨化率이 크게 改善되고 있으며 LPG 使用時에

는 機閥의 回轉速度와 無關係하게 CO의 淨化率은 2次空氣量 30 l/min에서 最大로 되며 2次空氣量이 增加할수록 淨化率은 오히려 나빠진다.

Fig. 15는 機閥回轉速度가 2000 rpm의 경우로서 가솔린燃料使用時에 CO와 HC의 淨化率은 各各 30 l/min, 60 l/min程度에서 最大値를 나타낸다.

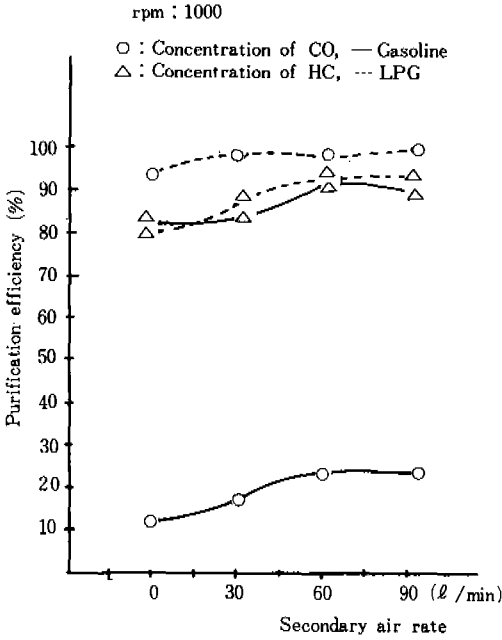


Fig. 13 The effect of secondary air rate on purification efficiency.

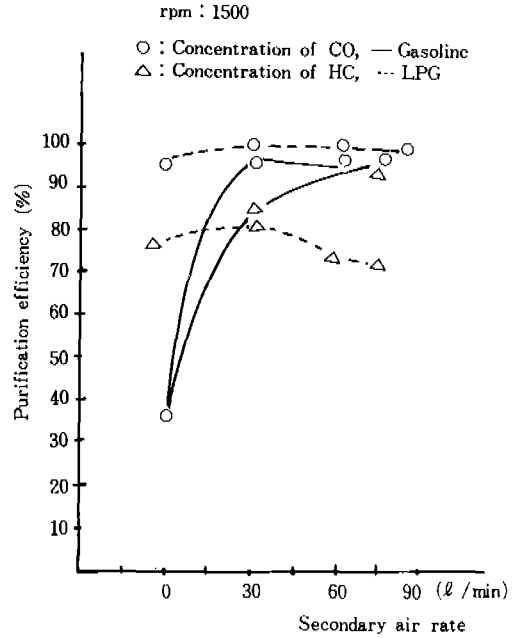


Fig. 14 The effect of secondary air rate on purification efficiency.

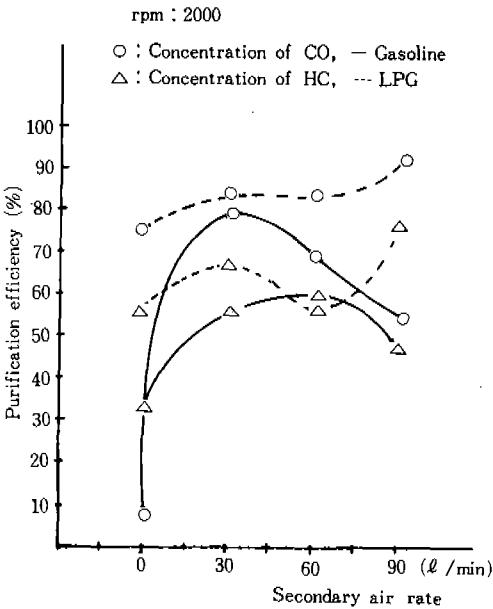


Fig. 15 The effect of secondary air rate on purification efficiency.

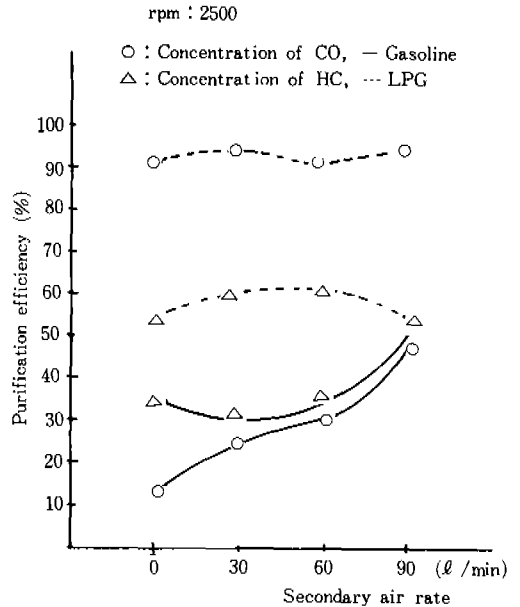


Fig. 16 The effect of secondary air rate on purification efficiency.



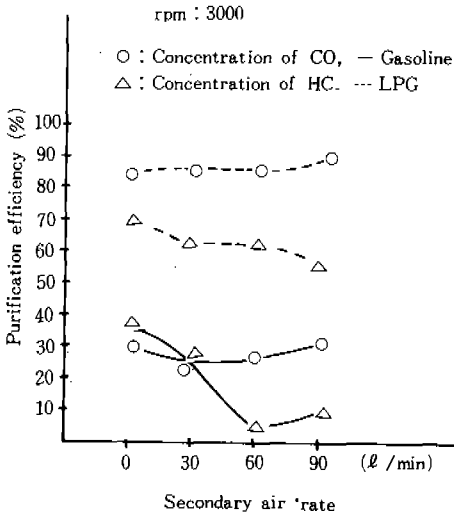


Fig. 17 The effect of secondary air rate on purification efficiency.

Fig. 16, 17은 機閥回轉速度가 2500rpm, 3000 rpm의 경우로서 가솔린 사용 때에는 低速領域에서 보다 全体的으로 淨化率이 낮아지고 回轉速度가 2500 rpm 일 때는 2次空氣량을 증가시킴으로써 淨化率이 높아지는 傾向을 나타낸다. 그리고 3000 rpm으로 높아질 경우는 가솔린燃料 사용 HC濃도의 淨化率은 크게 低下되고 2次空氣량이 60 l/min 일 때부터 약간 높아진다. 그러나 CO의 淨化率에는 큰 變化가 없는 것으로 나타난다. 그리고 實驗結果에 의하면 各 運轉條件에 따라서 다르나 2次空氣가 適正量으로 供給될 경우에는 CO와 HC의 酸化反應에 最適狀態가 存在하며 反應에서 생기는 發熱量이 커짐으로써 converter의 溫度는 上昇된다. 그러나 2次空氣량이 必要以上으로 過多한 경우에는 排出가스를 冷却시켜서 converter內의 溫度가 떨어지고 이로 인하여 淨化率도 低下된다.

一般的으로 CO 및 HC가 空氣와 酸化反應하기 위한 條件은 700℃ 以上의 高溫度를 必要로 하나 本 實驗에서 밝혀진 바와 같이 触媒를 使用할 경우에는 그보다 훨씬 낮은 溫度 即 400℃ 程度에서도 充分히 反應을 일으키고 酸化反應에 의한 反應熱로 인하여 converter內部的 溫度가 上昇됨을 알 수 있다.

#### 4. 結 論

(1) 触媒converter를 使用하지 않을 때에 즉, converter前에서의 排出가스中 CO의 濃도에 대하여 살펴 보면 가솔린燃料인 경우에는 回轉速度 2500 rpm附近에서 最大値로 나타나고 LPG 燃料인 경우에는 回轉速度 1500 rpm 以上에서 急激히 減少하는 傾向을 보인다. 또한 HC의 排出濃도는 가솔린과 LPG 두 경우 모두 共通的으로 1500 rpm附近에서 最小가 되는 것으로 보아 最適運轉條件이 存在함을 알 수 있다.

(2) 触媒converter를 裝着하였을 때 LPG를 燃料로 使用하면 대체로 가솔린의 경우보다 淨化率이 높다. 따라서 LPG를 燃料로 使用하는 機閥에서의 CO濃도는 事實上 거의 問題가 되지 않을 程度이며 HC는 2次空氣量 60 l/min와 90 l/min에서 回轉速度 1500 rpm 附近을 除外하고는 가솔린使用時보다 그 淨化率이 높다.

(3) 2次空氣의 供給量이 增加함에 따라 CO와 HC의 淨化率이 높아지다가 어느 一定値에서 最大淨化效率을 나타내고 2次空氣가 그 以上으로 過多하게 供給되면 淨化效率이 낮아진다. 이것은 2次空氣량이 空間速度와 converter 溫度와 相關關係를 가져서 酸化反應에 複合적으로 作用하기 때문이다.

(4) 触媒淨化裝置를 使用할 경우에는 各 使用燃料에 대하여 排出가스中 CO와 HC의 濃도는 運轉條件에 따라서 低減效果가 달라진다. 또한 LPG를 燃料로 使用할 경우에 CO 및 HC의 淨化率은 2次空氣의 影響을 크게 받지 않으나 가솔린燃料에 대하여는 2次空氣가 淨化率에 미치는 影響이 크다. 그 理由로는 앞에서 記述된 바와 같이 converter內에서의 排出가스의 滯留時間短縮, 反應溫度低下뿐만 아니라 CO와 HC의 濃度低下로 인한 反應速度의 遲延 등을 들 수 있다.

#### 參 考 文 獻

1. Brownson, D. A. and Stebar, R. F., SAE Paper, No. 650526, 1965.

2. Sigworth, H. W., et al., SAE Paper, NO. 700472, 1970.
3. Patterson, D. J. and Kandlec, R. H., Autom. Engng., 80 (1972-2), 26.
4. Chandler, J. M., et al, SAE Paper, No. 486 M, 1962.
5. Schwing, R. C., SAE Paper, No. 700109, 1970.
6. Brokaw, R. S. and Bittker, D. A., NASA TN D-7024, 1970.
7. 伊藤幹司, “排出ガス浄化装置” 内燃機関, Vol. 15, No. 175, pp. 47~58, 2, 1972.
8. 小林勝, 自動車の排気浄化装置とその整備, 山海堂, pp. 8~14, pp. 40~43, 6, 1978.
9. 柳原茂, 自動車公害とその対策技術, ナツメ社, pp. 116~198, 3, 1973.
10. 齊藤, “LPG燃料と排気組成” 内燃機関, Vol. 10, No. 112, pp. 11~18, 7, 1971.
11. 林洋, “日本車の53年排出ガス対策(5)” 内燃機関, Vol. 17, No. 213, pp. 77~85, 8, 1978.
12. Klimisch, “The Control of Automotive Exhaust Emissions by Catalysis” First Automotive Emissions Conference, Michigan Section of American Ceramic Society, Flint, Sept. 15, 1972.
13. Barnes, G. J. and Klimisch, R. L., SAE Paper, No. 730570, 5, 1973.
14. McDermott, J., “Catalytic Conversion of Automotive Exhaust 1971” p. 208, Noyes Data Corp., Park Ridge, N. J.
15. McEvoy, “Catalysts for the Control of Automotive Pollutants” Advances in Chemistry Series 143, p. 24, ACS, 1975.
16. Falk, C. D. and Mooney, J. J., SAE Paper, No. 800462, 4, 1980.