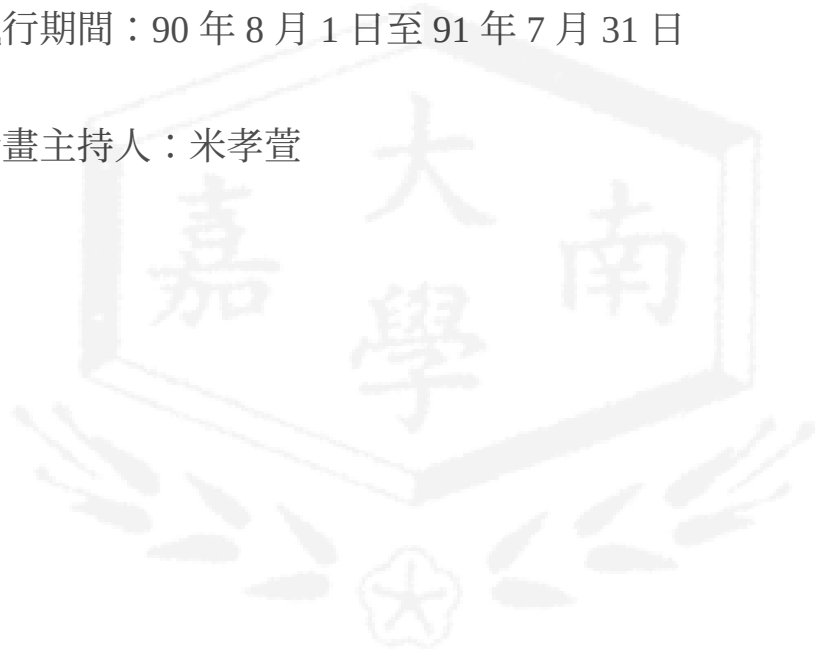


汽油中芳香烴含量對汽油引擎排放
多環芳香烴化合物及其粒徑分布之研究

計畫主持人：米孝萱



執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

1

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 90-2211-E-041-004

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：米孝萱

嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

計畫參與人員：陳峰毅、黃嶽彪

嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

一、中文摘要

機動車輛排放空氣污染物受燃料之成分組成相當大之影響。本研究係針對目前市售 C、T 兩公司所出品之 95 無鉛汽油中之多環芳香烴化合物 (PAHs) 及 Benzo[a]pyrene (BaP) 之含量與其引擎排放之數據進行分析，以探討汽油辛烷值與 PAHs 之含量等因子對排放 PAH 及 BaP 之影響。研究結果顯示，以 C95-LFG 引擎模擬運轉於 50 km/hr 速度下所排放之總 PAHs 濃度最高。此外，T95-LFG 引擎亦有相同之排放現象。整體有害空氣污染物排放則以 T95-LFG 引擎所排放之 PAHs 較高，為 C95-LFG 引擎之 1.57 倍；而高致癌性之 BaP 也是 T95-LFG 引擎較易產生，約為 C95-LFG 引擎之 1.75 倍；毒性當量仍以 T95-LFG 引擎偏高，為 C95-LFG 引擎排放之 1.6 倍。推測此一情況可能與燃油煉製及摻配程序有關聯，然而此一現象仍需更進一步驗證，未來將針對不同汽油成分與物化參數於汽油引擎燃燒所產生之廢氣特徵進行比較。

關鍵詞：無鉛汽油、辛烷值、Benzo[a]pyrene、多環芳香烴化合物

Abstract

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) emission tests for a gasoline-powered motor engine fueled with two different 95-leadfree gasoline (C95-LFG, T95-LFG) by different refinery processes, were simulated to 3 steady-state modes and operated on a dynamometer with fully automatic control system. The concentrations of 21 individual PAHs in the engine exhaust, gasoline were determined and analyzed by a GC/MS. This investigation showed that the highest PAHs emission concentration were operated under the cruising speed of 50 km/hr for both C95-LFG and T95-LFG. However, the total PAHs and BaP emitted from T95-LFG motor engine were 1.57 and 1.75 times, respectively, higher than C95-LFG motor engine. Even for BaP, T95-LFG motor engine also emitted more than 1.60 times higher than C95-LFG engine. Furthermore, an assessment on their PAH emission should be evaluated to make sure that the refinery processes and their physical and chemical specification will be discussed for the regulation and its possible risk on public health.

Keyword: 95-Leadfree Gasoline, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Gasoline powered motor

二、緣由與目的

機動車輛排放有害性空氣污染物受燃料油之成分組成相當程度之影響[1~5]。面對國內汽油油品

市場開放自由競爭後，各石油煉製公司推出相當規範(如辛烷值)卻不同煉製程序所生產之汽油。由於汽油市場耗用量甚大，因此對車輛引擎排放有害性空氣污染物之特徵更有必要加以分析了解，並深入探究其可能影響之健康風險。本研究係針對目前市售之兩款九五無鉛汽油(C95-LFG 及 T95-LFG)進行 PAH 成分分析，並針對兩款汽油於四行程車用機車引擎進行測試，同時進行排放尾氣中 PAHs 之採樣分析，其目的為比較兩款 95 無鉛汽油以不同重組及裂解程序所摻配生產之油品對車輛排放有害性空氣污染物之特性加以研究，同時以風險評估概念比較 Benzo[a]pyrene 毒性當量之差異，以作為未來有害性空氣污染物管制之參考。

三、研究方法與設備

1. 汽油引擎之 PAHs 採樣設備[2]

汽油引擎排放廢氣之採樣以煙道採樣器為之，本採樣設備可同時收集粒狀物相與氣相中之 PAHs。其所利用之原理為：於入口處裝置圓筒狀玻璃纖維濾紙用以過濾粒狀物相之顆粒，並以二段串聯式玻璃套筒以吸附氣相之 PAHs，套筒內填充泡棉(PUF)和 XAD-16 樹脂，吸附前以氣冷式冷凝器冷卻收集之採樣氣體。

2. PAH 分析方法[2]

PAHs 之樣品經過樣品萃取、濃縮、淨化及再濃縮等過程，再以氣相層析質譜儀(GC/MS)進行 PAHs 之分析；氣相層析儀之型式為美國 HP 公司出品之 HP5890，配有 HP7673 自動注射器及電腦工作站，質譜儀之型式為 HP5972。PAHs 分析之種類共 21 種，包括其中二環僅有 Nap，三環包括 AcPy, AcP, Flu, PA 及 Ant，四環之 PAHs 為 FL, Pyr, BaA 及 CHR，而五環集合包含 CYC, BbF, BkF, BeP, PER, DBA 及 BbC，六環之 PAHs 為 BaP, IND 及 BghiP，七環則僅有 COR。

3. 汽油引擎操作條件[3,4]

本實驗採用之汽油引擎為光陽豪邁 125 水平式 4 行程 OHC，排氣量為 124.6cc。本引擎試台加裝馬力試驗機以控制引擎操作，包含引擎轉速與扭力。汽油引擎分別於 1800、5570 及 6275 rpm 轉速下進行操作，模擬之行車狀態分別為怠速惰轉、30 及 50 km/hr。每種轉速之操作條件至少進行三次採樣以上。

4. 燃料油品與潤滑用油[3]

本研究選用市售 C、T 兩公司所出品之 95 無鉛汽油(C95-LFG, T95-LFG)作為燃料，C95-LFG 為重組汽油(Refinery Gasoline)，含有較高比例之芳香烴成分，而 T95-LFG 則為裂解汽油(Cracking Gasoline)，含有較高的烯烴含量。車用機油則為

中油出品之國光牌特優級機油(SG/CC, 15W/40)。

四、結果與討論

1. 汽油油品中 PAHs 之含量

本研究就市售 C、T 兩款 95-LFG 進行至少三次 PAHs 分析，成分結果顯示 C95-LFG 之總 PAHs 含量介於 24.2~35.4 mg/L 之間，平均為 30.5 mg/L(如表 1 所示)；T95-LFG 之總 PAHs 含量介於 19.5~24.7 mg/L 之間，平均為 21.4 mg/L(如表 2 所示)。本研究分析之 21 種 PAHs 可依其環狀化學結構分為二環至七環之 PAHs 族，進行其分布比例之分析，以說明引擎排氣中 PAHs 分佈之趨勢。其中二環包括 Nap，三環包括 AcPy、Acp、Flu、PA 及 Ant，四環 PAHs 為 FL、Pyr、BaA 及 CHR，而五環包含 CYC、BbF、BkF、BeP、PER、DBA 及 Bbc，六環有 BaP、IND 及 BghiP，而七環僅 COR。C95-LFG 之個別 PAHs 之平均含量以 Nap 最高，佔總 PAHs 含量之 61.6%以上，二環次之，佔 29.5%(如表 3 所示)；T95-LFG 之個別 PAHs 之平均含量以 Nap 最高，佔總 PAHs 含量之 99.4%以上，二環只佔 0.3%，其餘高環數僅佔 0.3%。此外，C95-LFG 之 BaP 含量介於 0.15~0.31 mg/L 之間，平均為 0.24mg/L(如表 1 所示)，BaP_{eq} 毒性當量介於 0.25~0.40 mg/L 之間平均為 0.33 mg/L；T95-LFG 之 BaP 含量則為偵測極限以下，BaP_{eq} 毒性當量介於 0.02~0.031 mg/L 之間，平均為 0.33 mg/L。若以總 PAHs 含量進行比較顯示，C95-LFG 較 T95-LFG 中含有較高之 PAHs，若以 PAHs 質量 Input/Output 比值而言[1]，C95-LFG 有可能會提高排放廢氣中之 PAHs。

2. 汽油引擎排放 PAHs 之濃度

經由引擎排氣分析 PAHs 之數據顯示，C95-LFG 為燃料油之情況下，汽油引擎排放廢氣之 PAHs 分析結果如表 4 所示。在汽油引擎排氣之 PAHs 總平均濃度以二環之 Nap 最高，其平均值為 932 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為三環之 AcPy、Acp、Flu、PA，其平均值為 64.8、9.84、6.67、5.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，五環以上之高分子量 PAHs 排放濃度均在 0.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，BbF 及 BaP 之平均濃度則分別為 0.15 及 0.057 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在不同引擎操作條件下，以模擬 50 km/hr(引擎轉速 6275 rpm)之行駛速度下，總 PAHs 濃度最高，為 1249 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為模擬 30 km/hr(引擎轉速 5570 rpm)行駛速度產生之 PAHs，其總濃度為 1097 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，排放濃度最低的則為模擬怠速(引擎轉速 1800 rpm)行駛速度，其總濃度為 727 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而各別 PAHs 之排放情況則隨操作條件之變化較不規則，其中 Nap、AcPy、Flu、IND、DBA、BbC 及 COR 等物種隨著轉速增加而有增加的趨勢；而 BaA、BaP 及 BghiP 等則有隨轉速上升而下降的趨勢。從毒性當量 BaP_{eq} 來看，模擬 50 km/hr(引擎轉速 6275 rpm)有較高的毒性當量，為 1.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，模擬 30 km/hr(5570 rpm)次之，為 1.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，怠速(1800rpm)時最低，為 0.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，總平均則為 1.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。以排放係數而言，單位行駛距離所排放之總 PAHs 量則以行駛速度 30 km/hr(引擎轉速 5570 rpm)最高，為 764 $\mu\text{g}/\text{km}$ ，相對的，行駛速度於 50 km/hr(6275rpm)所排放之

表 1. C95-LFG 中 PAHs 之平均含量(n=3)

PAHs	C95-LFG		
	範圍 (mg/L)	平均值 (mg/L)	RSD (%)
Nap	31.2~45.7	37.3	19.6
AcPy	0.70~0.76	0.80	14.8
Acp	2.4~3.21	2.79	14.5
Flu	3.47~4.73	4.18	5.00
PA	5.31~7.16	6.29	14.8
Ant	3.26~4.33	3.85	14.2
FL	0.34~0.45	0.41	14.9
Pyr	0.71~0.98	0.86	16.0
CYC	1.31~2.97	2.57	24.9
BaA	0.18~0.29	0.25	25.2
CHR	0.07~0.14	0.12	31.6
BbF	0.08~0.12	0.09	22.0
BkF	ND	ND	--
BeP	0.15~0.31	0.24	33.9
BaP	0.14~0.25	0.20	28.1
PER	0.07~0.26	0.14	74.3
IND	0.02~0.04	0.03	43.1
DBA	0.001~0.02	0.01	129
BbC	0.03~0.58	0.23	128
BghiP	0.03~0.1	0.06	62.2
COR	0.09~0.26	0.19	45.6
總 PAHs	24.2~35.4	30.5	6.40
BaP _{eq}	0.25~0.40	0.33	22.4

註：N.D.表示為 non-detectable，--表 un-available.

PAHs 量較低，為 558 $\mu\text{g}/\text{km}$ ，總平均則為 616 $\mu\text{g}/\text{km}$ ；於 30 km/hr(引擎轉速 5570 rpm)有較高的毒性當量(BaP_{eq})為 0.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，模擬 50 km/hr(6275 rpm)為 0.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，總平均則為 0.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。整體而言在行駛相同的距離條件下，運轉速度越高，所排放之 PAHs 有呈現下降的趨勢。以 T95-LFG 油品為燃料油之情況下，汽油引擎排放廢氣之 PAHs 分析結果如表 5 所示。在汽油引擎排氣之 PAHs 總平均濃度以二環之 Nap 最高，其平均值為 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為三環之 AcPy、Flu、Acp、PA，其平均值為 257、21.1、17.4、4.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，五環以上之高分子量 PAHs 排放濃度均在 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，BeP 及 BaP 之平均濃度則分別為 0.07 及 0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在不同引擎操作條件下，以模擬 50 km/hr(引擎轉速 6275 rpm)之行駛速度下，總 PAHs 濃度最高，為 1604 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為模擬 30 km/hr(5570 rpm)行駛速度產生之 PAHs，其總濃度為 1556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，排放濃度最低的則為模擬怠速(1800 rpm)行駛速度，其總濃度為 1117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。與 C95-LFG 汽油引擎不同的是，各別 PAHs 之排放情況則隨操作條件之變化較為規則，其中 Nap、AcPy、Acp、Flu、PA、Ant、FL、BbF、BeP、BaP 及 PER 等物種隨著轉速增加而有增加的趨勢；而 CYC 及 CHR 等則有隨轉速上升而下降的趨勢。其餘各別 PAHs 則隨操作條件之變化較不規則。從毒性當量 BaP_{eq} 來看，模擬 50 km/hr(引擎轉速 6275 rpm)有較高的毒性當量，為 2.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，模擬 30 km/hr(5570rpm)次之，為 1.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，怠速(1800rpm)時最低，為 1.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，總平均則為 1.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。以排放係數而言，單位距離所生成之總 PAHs 量則以模擬 30 km/hr(引擎轉速 5570 rpm)較高，為 1083 $\mu\text{g}/\text{km}$ ，而模擬 50 km/hr(6275rpm)生

表 2. T95-LFG 中 PAHs 之平均含量(n=3)

PAHs	T95-LFG		
	範圍 (mg/L)	平均值 (mg/L)	RSD (%)
Nap	19.4~24.5	21.2	13.3
AcPy	0.005~0.006	0.005	14.9
Acp	0.008~0.01	0.009	15.6
Flu	0.015~0.023	0.019	21.3
PA	0.026~0.038	0.03	21.3
Ant	0.016~0.026	0.02	28.9
FL	0.001~0.004	0.003	52.9
Pyr	0.001~0.003	0.002	46.0
CYC	0.008~0.035	0.018	79.7
BaA	ND	ND	--
CHR	0.001~0.008	0.004	90.5
BbF	0.002~0.025	0.012	98.2
BkF	ND	ND	--
BeP	ND~0.01	0.005	123
BaP	ND	ND	--
PER	ND	ND	--
IND	ND~0.004	0.002	173
DBA	ND~0.006	0.002	173
BbC	ND	ND	--
BghiP	ND~0.11	0.005	122
COR	ND	ND	--
總 PAHs	19.5~24.7	21.4	13.5
BaP _{eq}	0.02~0.031	0.024	27.16

註：N.D.表示為 non-detectable, --表 un-available.

成之 PAHs 量較低，為 1007 $\mu\text{g}/\text{km}$ ，總平均則為 1045 $\mu\text{g}/\text{km}$ ；模擬 30

km/hr(引擎轉速 5570 rpm)之毒性當量(BaP_{eq})為 1.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，模擬 50 km/hr(6275rpm)為 1.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，總平均為 1.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其趨勢與 C95-LFG 汽油引擎相同，亦即在行駛相同的距離時，行駛時速越高，所排放之 PAHs 越低。

若以 C95-LFG 及 T95-LFG 汽油引擎所排放之 PAHs 加以比較後發現，T95-LFG 引擎所產生之總 PAHs 平均濃度較高，為 C95-LFG 引擎之 1.75 倍，而兩款汽油引擎排放之個別 PAHs 濃度則各有高下，其中 Nap、AcPy、Acp、Flu、BbF、BaP、PER、IND、DBA 及 BghiP 以 T95-LFG 引擎較高；另外 PA、Ant、FL、Pyr、CYC、BaA、CHR、BkF、BeP、BbC 及 COR 則以 C95-LFG 較高。從 C95-LFG 及 T95-LFG 汽油引擎排放廢氣中不同環數 PAHs 之百分比由表 6 可知，C95-LFG 引擎廢氣中之 PAHs，二環就佔了 91.0%，三環佔 8.52%，其餘高環數僅佔 0.48%；T95-LFG 引擎廢氣中之 PAHs，二環佔 81.0%，三環佔 18.8%，其餘高環數僅佔 0.18%。

五、結論與建議

本研究係針對目前市售 C95-LFG、T95-LFG 兩油品於四行程汽油引擎於不同運轉條件下排放 PAHs 之背景研究，其主要結果分述如下：

1. 目前市售之 C95-LFG 無鉛汽油之總 PAHs 含量介於 24.2~35.4 mg/L 之間，平均為 30.5 mg/L；而對 T95-LFG 無鉛汽油之總 PAHs 介於 19.5~24.7 mg/L 之間，平均為 21.4 mg/L。C95-LFG 有較高成分之 PAHs，為 T95-LFG 之 1.43 倍。此數據顯示重組製程之油品有較裂解製程油品高之 PAHs 成分。
2. 以 C95-LFG 為燃料油之情況下，模擬 50

表 3.市售 95-LFG 中不同環數 PAHs 之含量百分比

PAHs	C95-LFG 百分比(%)	T95-LFG 百分比(%)	95-LFG[1] 百分比(%)
二環	61.55	99.36	76.7
三環	29.54	0.30	17.9
四環	2.69	0.04	1.33
五環	5.42	0.17	1.33
六環	0.48	0.03	2.60
七環	0.31	ND	0.02

km/hr(6275 rpm)條件所排放之總 PAHs 濃度最高，為 1249 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為模擬 30 km/hr(5570 rpm)，其排放之 PAHs 濃度為 1097 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，排放濃度最低的則為模擬怠速(1800 rpm)，為 727 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

3. 以 T95-LFG 油品為燃料油之情況下，亦有相同之趨勢，模擬 50 km/hr(6275 rpm)之總 PAHs 濃度最高，為 2140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次為模擬 30 km/hr(5570 rpm)，其排放之 PAHs 濃度為 1556 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，排放濃度最低的則為模擬怠速(1800 rpm)，為 1117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
4. 整體排放以 T95-LFG 引擎所產生之總 PAHs 較高，為 C95-LFG 之 1.57 倍。對於高致癌性之 BaP 而言，以 T95-LFG 引擎較 C95-LFG 引擎易產生，約為 C95-LFG 之 1.75 倍。毒性當量亦以 T95-LFG 引擎偏高，為 C95-LFG 引擎之 1.6 倍。
5. 目前市售無鉛汽油內 PAHs 含量以 C95-LFG 較高，推測此一情況可能與汽油煉製程序有關聯。然而，高烯烴含量之汽油在引擎內燃燒時有可能會形成自由基，進而反應形成 PAHs，似乎利於有害性污染物之生成排放。然而此一現象仍需更進一步驗證，未來將針對其他燃料油於汽油引擎燃燒所產生之廢氣特徵進行比較。

六、計畫成果自評

本研究之研究成果均達成預期之目標，並已將研究之成果發表於空氣污染控制技術研討會及氣膠學研討會，寄送國際期刊之論文初稿亦已完成。

七、參考文獻

1. Graunper, J. O., McArragher, J. S., Morgan, T. D. B., "The Effect of MTBE in Gasoline on Regulated Exhaust Emission from Current European Vehicles", SAE Paper 962025 (1996).
2. Mi, H. H., "Emission Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Mobile Sources", Ph. D. Dissertation, Department of Environmental Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan, pp.27-45 (1998).
3. 米孝萱、黃弘紹、王怡靜、張嘉寶、馮乾明、陽錫賢，"汽油中 PAH 含量對汽油引擎排放 Benzo[a]pyrene 之影響"，第十七屆空氣污染控制技術研討會論文集，第 460-467 頁，斗六市(2000)。
4. Mi, H. H., Lee, W. J., Chen, S. J., Lin, T. C., Wu, T. L., and Hu, J. C., "Effect of The Gasoline Additives on PAHs Emission", Chemosphere, Vol. 36, No. 9, pp.2031-2041 (1998).
5. Mi, H. H., Lee, W. J., Wu, T. L., Lin, T. C., Wang, L. C., and Chao, H. R., "PAH Emission from a Gasoline-Powered Engine", Journal of Environmental Science and Health, Part A:

表4 C95-LFG 引擎於不同行駛速度下排放廢氣中 PAHs 之濃度及行駛里程排放係數

PAHs	Idling (0 km/hr)		5570rpm (30 km/hr)		6275rpm (50 km/hr)		總平均 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	總平均排放 係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)
	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)		
Nap	661	--	1010	704	1123	529	932	616
AcPy	45.1	--	51.2	35.7	98.2	46.2	64.8	40.9
Acp	3.92	--	16.5	11.5	9.10	4.28	9.84	7.89
Flu	4.32	--	7.44	5.2	8.26	3.89	6.67	4.53
PA	6.28	--	4.10	2.86	5.23	2.46	5.21	2.66
Ant	0.92	--	0.55	0.38	0.84	0.40	0.77	0.39
FL	0.81	--	1.06	0.74	0.35	0.16	0.74	0.45
Pyr	0.89	--	1.53	1.07	0.27	0.13	0.90	0.60
CYC	0.77	--	0.82	0.57	0.04	0.02	0.54	0.29
BaA	0.07	--	0.015	0.01	0.005	0.002	0.03	0.006
CHR	0.01	--	0.04	0.03	ND	ND	0.016	0.014
BbF	0.33	--	0.68	0.48	0.60	0.29	0.54	0.38
BkF	0.30	--	0.015	0.01	0.65	0.31	0.32	0.16
BeP	0.19	--	0.10	0.07	0.16	0.08	0.15	0.07
BaP	0.079	--	0.055	0.04	0.04	0.02	0.057	0.03
PER	0.13	--	0.16	0.11	0.13	0.06	0.14	0.09
IND	0.08	--	0.014	0.01	0.19	0.09	0.09	0.05
DBA	0.007	--	ND	ND	0.014	0.007	0.007	0.003
BbC	0.16	--	0.29	0.20	0.80	0.38	0.42	0.29
BghiP	0.14	--	0.05	0.03	ND	ND	0.062	0.02
COR	0.62	--	1.89	1.32	1.03	0.49	1.18	0.9
總 PAHs	727	--	1097	764	1249	588	1024	616
BaP _{eq}	0.68	--	1.16	0.81	1.38	0.65	1.14	0.73

註：N.D.表示為 non-detectable, -- 表示為 un-available.

- Environmental Science and Engineering, Vol. 31, No. 8, pp.1981-2003 (1996).
6. 米孝萱, “移動性污染源排放多環芳香烴化合物之特徵”, 博士論文, 國立成功大學環境工程系, 台南(1998)。
7. 孔廣宸、林坤海, “不同類型汽油對車輛性能與排放污染之影響”, 石油季刊, 第 36 卷第 3 期, PP.43~50 (2000)。
8. 王怡靜, “含氧添加劑對車用無鉛汽油引擎排放多環芳香烴特徵之影響”, 碩士論文, 國立成功大學環境工程系, 台南(2002)。
9. 王怡靜、米孝萱、楊錫賢、彭國忠、顏湘倫, “Effect of Fuel MTBE Content on PAH Emission from a Gasoline-Powered Engine”, The 2001 Conference on Aerosol Science and Technology, 第 230-234 頁, (2001)。

表5 T95-LFG 引擎於不同行駛速度下排放廢氣中 PAHs 之濃度及行駛里程排放係數

PAHs	Idling (0 km/hr)		5570rpm (30 km/hr)		6275rpm (50 km/hr)		總平均 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	總平均 排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)
	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)	濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	排放係數 ($\mu\text{g}/\text{km}$)		
Nap	971	--	1320	919	1610	758	1300	838
AcPy	122	--	196	136	455	214	257	175
Acp	10.0	--	14.4	10.0	27.8	13.1	17.4	11.5
Flu	10.7	--	17.9	12.4	34.6	16.3	21.1	14.4
PA	2.19	--	5.08	3.53	7.61	3.58	4.96	3.56
Ant	0.24	--	0.82	0.57	1.12	0.53	0.73	0.55
FL	0.28	--	0.37	0.26	0.46	0.22	0.37	0.24
Pyr	0.25	--	0.31	0.21	0.28	0.13	0.28	0.17
CYC	0.073	--	0.07	0.05	0.015	0.007	0.05	0.03
BaA	0.007	--	0.001	0.001	0.003	0.001	0.004	0.001
CHR	0.012	--	0.004	0.003	ND	ND	0.006	0.001
BbF	0.15	--	0.59	0.41	1.06	0.50	0.60	0.46
BkF	0.35	--	0.09	0.06	0.30	0.14	0.25	0.10
BeP	0.06	--	0.07	0.05	0.08	0.04	0.07	0.04
BaP	0.03	--	0.24	0.17	0.035	0.02	0.10	0.09
PER	0.05	--	0.072	0.05	0.32	0.15	0.15	0.10
IND	0.10	--	0.04	0.03	0.16	0.07	0.10	0.050
DBA	0.02	--	0.024	0.02	0.003	0.002	0.015	0.01
BbC	0.095	--	0.065	0.05	0.10	0.05	0.09	0.05
BghiP	0.03	--	0.004	0.002	ND	ND	0.012	0.001
COR	0.39	--	0.62	0.43	1.18	0.56	0.73	0.50
總 PAHs	1117	--	1556	1083	2140	1007	1604	1045
BaP _{eq}	1.21	--	1.84	1.28	2.23	1.05	1.76	1.17

註：N.D.表示為 non-detectable, -- 表示為 un-available.