

釜山市 터널内 大氣汚染度 調査研究

大氣保全科

錢大榮 · 安九見 · 金英泰 · 金成林 · 辛判世

Studies on the Air Pollution of Tunnel in Pusan Air Preservation Division

D. Y. Jeon, Y. T. Kim, S. N. Kim, K. K. Ahn, P. S. Shin

Abstract

This study was investigated air pollutants(SO₂, CO, NO_x, THC) in 5 tunnels in Pusan. The results were as follows.

1. The average concentration of SO₂ in Dae-Ti tunnel was 0.25 ppm, which was the highest of all the tunnels.
2. The average concentration of CO in Man-Duk No. 1 tunnel was 21.5 ppm, which was the highest of all the tunnels.
3. The average concentration NO_x in Dae-Ti tunnel was 0.70 ppm, which was the highest of all the tunnels.
4. The average concentration of THC in Dae-Ti tunnel was 9.04 ppm, which was the highest of all the tunnels.

I. 緒 論

産業의 持續的인 發展과 都市人口의 增加에 依한 車輛의 急激한 增加는 深刻한 都市交通의 混雜을 惹起시켜 釜山의 交通을 限界點에 다다르게 하였다. 이러한 都市交通의 迅速한 疏通을 위하여 터널이 釜山市内 곳곳에 開通되어 交通疏通에 큰몹을 擔當하고 있으나 터널을 通過하는 車輛들의 排氣가스에 依해 甚히 汚染되어 있어 이를 利用하는 市民들에 큰 不快感을 주고 있다.

터널内部空기를 汚染시키는 物質은 車輛에서 多量 排出되고 있는 有害物質인 一酸化炭素(CO), 窒素酸化物(NO_x), 亞黃酸가스(SO₂), 炭化水素(HC), 煤煙 등이 있으며, 이들은 交通量의 連續的인 흐름때문에 巨常 터널의 空氣속에 混入되어 視程障害, 不快感 및 人體에 毒性을 미치고 있다. 이에 釜山市内の 九德터널外 4個所에 對해 大氣汚染度를 調査하여 터널汚染現況을 把握하고 快適한 生活과 市民健康을 위한 基礎資料를 提供하고자 調査하여 報告하는 바이다.

II. 調査方法

調査期間은 1989. 4~1989. 11까지 月1회씩 實施하였으며 九德, 萬德1, 2, 釜山, 大峙 等 5個 tunnel을 對象으로 調査하였다. 試料는 Teflon bag으로 採取하여 分析하였으며 分析에 使用한 裝備는 다음과 같다.

- SO₂ Analyzer(Conductivity Method) KIMOTO 355
- CO Analyzer(NDIR Method) HORIBA APMA 300E
- NO_x Analyzer (Chemiluminescent Method) KIMOTO 258B
- HC Analyzer(FID Method) HORIBA APHA-300E

III. 結果 및 考察

가. 交通現況

釜山の 自動車 增加趨勢는 Table 1 과 같다. 70年代 後半以後 急激히 增加되어 1989年末 現在 234,936台이며 그중 乘用車는 130,501台, 버스는 28,398台, 貨物車 73,916台, 特殊車 2,121台로 1980年을 基準으로 할때 89年末 現在 무려 3.8倍 增加하였다.

車輛別 增加趨勢는 9年동안 버스가 6.3倍로 가장 높았으며 다음이 乘用車로 4.6倍 增加하였고, 버스와 乘用車가 全體에 차지하는 比率은 各各 12%, 56%이다. 터널別 車輛通行量과 構造는 Table 2와 같다. 車輛通行量은 大峙터널이 3,880台로 가장 많았으며 萬德1터널이 1776台로 가장 적은 量을 나타내었다.

Table 1. Trends in Number of Vehicles by Vehicle Types in Pusan.

Year	Passenger Cars	Buses	Truck	Special Vehicle	Total	%
1980	28,163	4,506	26,500	3,250	62,419	100.00
1981	30,287	5,100	27,885	3,540	66,812	107.04
1982	32,038	6,436	28,439	4,104	71,017	113.77
1983	37,116	8,141	31,041	4,683	80,981	129.74
1984	43,498	9,858	35,079	5,348	93,783	150.25
1985	50,189	11,346	39,085	5,737	106,357	170.39
1986	59,099	13,941	44,526	6,894	124,460	199.39
1987	75,444	18,535	51,332	7,587	152,898	244.95
1988	97,022	23,530	58,560	8,497	187,609	300.56
1989	130,501	28,398	73,916	2,121*	234,936	376.39

* Trailer has been comprised in truck since 1989.

Table 2. Construction of each tunnels

	Ku-Duk	Man-Duk NO.1	Man-Duk NO.2	Pusan	Dae-Ti
Length	1874M	820M	1740M	660M	401M
Width	9.4M	9M	9.4M	10.1M	9.6M
Height	7M	6.5M	8.1M	6.9M	6.2M
Form of tunnel	Double	Single	Double	Double	Double
Number of fan	8	20	8	4	-
Power of fan	240%	15%	430%	120%	-
Capacity of ventilation	8100 ^{m³} /min	-	140-165 ^{m³} /sec	37-50 ^{m³} /sec	-
Capacity of traffic	2950/hr	1776/hr	1505/hr	3750/hr	3880/hr

나. 汚染度 現況

터널의 主要汚染源은 車輛에 依한 것으로 네가지 主要汚染物質인 一酸化炭素, 窒素酸化物, 炭化水素, 亞黃酸가스에 對한 燃料別 排出가스 構成濃度形態는 Table 3과 같다.

Table. 3 Typical exhaust gas composition

	Mode of operation	CO(%)	HC(ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)
Gasoline	Idle	4.0~10.0	300~2,000	50~1,000	0
	Cruise	0.7~5.0	300~600	1,000~4,000	
	Acceleration	0.5~4.0	200~400	1,000~3,000	
	Deceleration	1.4~4.5	1,000~3,000	50~55	
LPG gas	Idle	2.0~5.0	150~1,000	40	0
	Cruise	0.7~2.5	190~350	120~2,000	
	Acceleration	0.4~1.0	120~200	4,500	
	Deceleration	1.5~4.0	2,000~4,000	60	
Diesel	Idle	0	300~500	50~70	20~100
	Cruise	0~0.1	200	800~1,000	
	Acceleration	0	90~150	200~1,000	
	Deceleration	0	300~400	30~55	

1) 亞黃酸가스(SO₂)

各 터널別 亞黃酸가스의 濃度는 Table 4와 같다. 平均最高濃度는 大峙터널에서 0.25 ppm 이었으며, 平均最低濃度는 釜山터널에서 0.14ppm 이었다. 大峙터널에서 SO₂의 汚染度가 높게 나타난 것은 디젤油를 使用하는 트럭 및 버스等 大形車輛의 通行과 터널構造 및 換氣方式, 道路條件, 過多한 交通量等 여러가지 要因에 依한 것으로 思料된다. 黃酸化物은 自動車의 燃料 中에 包含되어 있는 黃의 燃燒에 起因하는 것으로 보통 輕油에는 1%의 黃이 包含되어 있으나 釜山地域에서는 低硫黃油를 使用하도록 規制하고 있어 0.4%의 黃을 含有하고 있는 輕油를 使用하고 있다. 低減方法으로는 適切한 換氣施設의 設置 및 換氣方法의 改善과 터널走行車輛의 圓滑한 疏通이라고 思料된다. 터널走行車輛의 圓滑한 疏通問題는 都心 幹線道路의 與件이 좋 아야만 이루어진다고 思料됨으로 都市高速道路, 터널等의 新設로 交通量을 分散시키는 것이 重要한 課題라고 본다. 半期別 濃度差는 九德터널이 가장 컸으며 萬德1터널이 적게 나타났다.

Table 4. Distribution of SO₂ concentration

unit : ppm

Tunnel	Ku-Duk	Man-Duk No.1	Man-Duk No.2	Pusan	Dae-Ti
1st half year	0.13	0.21	0.12	0.17	0.21
2nd half year	0.23	0.19	0.17	0.10	0.28
Mean	0.18	0.20	0.15	0.14	0.25

* The half year average 4 months' data.
 The 1st half year is 4, 5, 6, 7 months.
 The 2nd half year is 8, 9, 10, 11 months

2) 一酸化炭素(CO)

各 터널別 一酸化炭素 濃度は Table 5와 같다. 平均最高濃度は 萬德1터널에서 21.5 ppm 이었으며, 平均最低濃度は 萬德 2터널에서 4.6 ppm 이었다. 車輛排氣가스중 CO는 燃料의 不完全 燃燒에 起因하기 때문에 減速時 가장 높은 濃度を 排出하며 定速이나 加速時 가장 낮은 濃도를 排出하고 있다. 또한 一酸化炭素는 空氣比와 關係가 깊은데 空轉이나 減速狀態에서 空氣比가 적게 때문에 CO의 濃도가 增加하고 加速時에는 多少 減少하며 一定速度로 走行할때 가장 적다. 萬德1터널에서 CO의 濃도가 높게 나타난 것은 2次 외窟로서 頻繁한 車輛의 停滯 現象으로 因해 모든 車輛들이 低速하게 되어 CO의 濃도가 높게 나타나고 比較的 車輛疏通이 圓滑한 萬德2터널에서 낮게 나타난 것으로 思料된다. 半期別 濃度差는 萬德1터널이 가장 컸으며 萬德2터널이 적게 나타났다.

Table 5. Distribution of CO concentration

unit : ppm

Tunnel	Ku-Duk	Man-Duk No.1	Man-Duk No.2	Pusan	Dae-Ti
1st half year	7.4	24.0	4.3	8.6	13.2
2nd half year	8.5	18.9	4.9	7.4	14.6
Mean	8.0	21.5	4.6	8.0	13.9

3) 窒素酸化物(NO_x)

NO에 對한 各 터널別 濃度は Table 6과 같다. 平均最高濃度は 大峙터널에서 0.32 ppm 이었으며 平均最低濃度は 萬德2터널에서 0.17 ppm 이었다. 半期別 濃度差는 大峙터널이 가장 컸으며 萬德1터널이 가장 적었다.

NO₂에 대한 汚染度는 Table 7과 같다. 平均最高濃度는 NO와 마찬가지로 大峙터널에서 0.38 ppm 으로 가장 높았으며 平均最低濃度는 역시 萬德2터널에서 0.18 ppm으로 最低値를 나타내었다. 半期別 濃度差는 釜山터널이 가장 컸으며 萬德2터널에서 낮았다.

NO_x는 NO+NO₂이며 車에서 排出되는 NO_x는 NO₂보다 NO가 많다. NO는 燃料의 完全燃焼時 生成되기 때문에 自動車가 定速走行할때 더 많이 排出된다.

그런데 本 調査結果 NO와 NO₂의 差異가 크게 나타나지 않은 것은 試料 採取後 測定所까지 到着하는데 어느程度의 時間이 所要되었기 때문이라고 思料된다. 大峙터널에서 가장 높은 汚染度를 나타내는 것은 車輛의 走行狀態와 터널의 構造 및 換氣方法에 依해 差異가 나는 것으로 思料된다.

Table 6. Distribution of NO concentration

unit : ppm					
Tunnel	Ku-Duk	Man-Duk No.1	Man-Duk No.2	Pusan	Dae-Ti
1st half year	0.30	0.31	0.17	0.23	0.35
2nd half year	0.38	0.37	0.18	0.39	0.41
Mean	0.34	0.34	0.18	0.31	0.38

Table 7. Distribution of NO₂ concentration

unit : ppm					
Tunnel	Ku-Duk	Man-Duk No.1	Man-Duk No.2	Pusan	Dae-Ti
1st half year	0.19	0.26	0.14	0.19	0.26
2nd half year	0.28	0.24	0.22	0.22	0.37
Mean	0.24	0.25	0.17	0.21	0.32

4) 炭化水素(HC)

各 터널別 CH₄ 濃度는 Table 8과 같다. 平均最高濃度는 大峙터널에서 1.77 ppm으로 가장 높았으며, 平均最低濃度는 萬德2터널에서 1.42 ppm 으로 나타났는데 CH₄는 最高濃도와 最低濃도가 別差異를 나타내지 않고 있었으며 터널別 差異도 크게 없었다. 半期別 濃度差는 大峙터널이 가장 컸으며 萬德2터널이 낮게 나타났다.

n-CH₄에 대한 各 터널別 濃度는 Table 9와 같다. CH₄와 마찬가지로 大峙터널에서 가장 높았으며 萬德2터널에서 낮게 나타났다. 半期別 濃度差는 大峙터널에서 가장 컸으며 釜山터널이 가장 낮았다. 自動車 排氣가스中の 炭化水素는 여러가지 性分으로 組成되는데 크게 나

누면 Paraffin, Olefin, Aromatic으로 나눌 수 있고 Acetylene 도 存在한다. Paraffin 系는 反應性이 없기 때문에 별로 問題가 되지 않지만 Olefin系나 芳香族炭化水素는 反應性이 있고 그 自體로도 人体에 有害作用을 할 念慮가 있으며 特히 Olefin系는 光化學 Smog의 原因物質로 問題가 되고 있다.

Table 8. Distribution of CH₄ concentration

unit : ppm

Tunnel	Ku-Duk	Man-Duk No.1	Man-Duk No.2	Pusan	Dae-Ti
1st half year	1.22	1.34	1.20	1.36	1.26
2nd half year	2.14	1.79	1.64	1.97	2.27
Mean	1.68	1.57	1.42	1.67	1.77

Table 9. Distribution of n-CH₄ concentration

unit : ppm

Tunnel	Ku-Duk	Man-Duk No.1	Man-Duk No.2	Pusan	Dae-Ti
1st half year	4.72	7.83	3.03	4.44	6.05
2nd half year	5.29	6.57	4.48	4.24	8.48
Mean	5.01	7.20	3.76	4.34	7.27

調査結果를 圖式化한 것은 Fig 1~6이다.

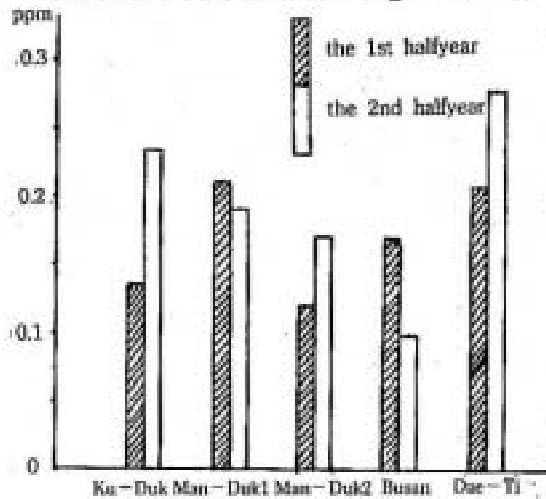


Fig1. Distribution of SO₂

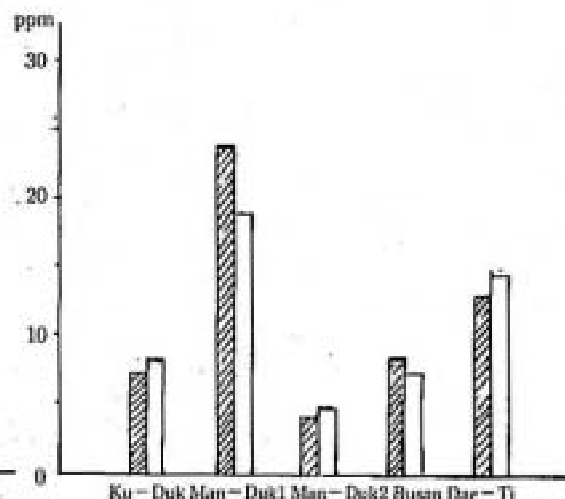


Fig2. Distribution of CO

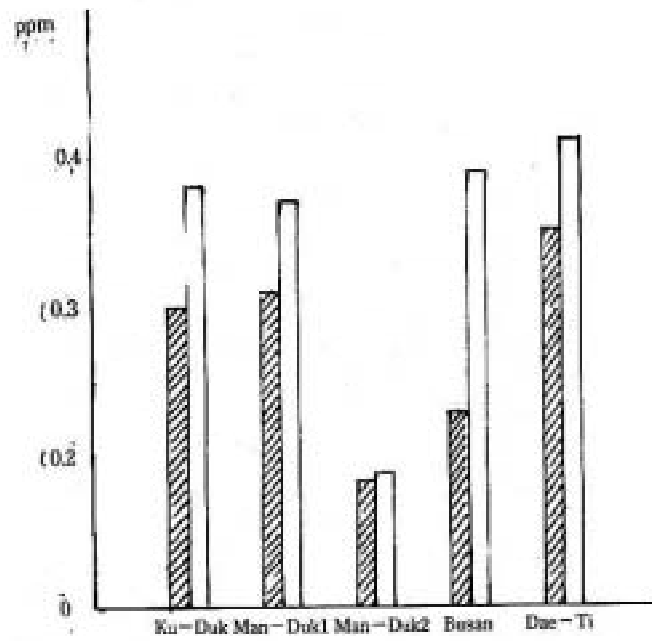


Fig3. Distribution of NO

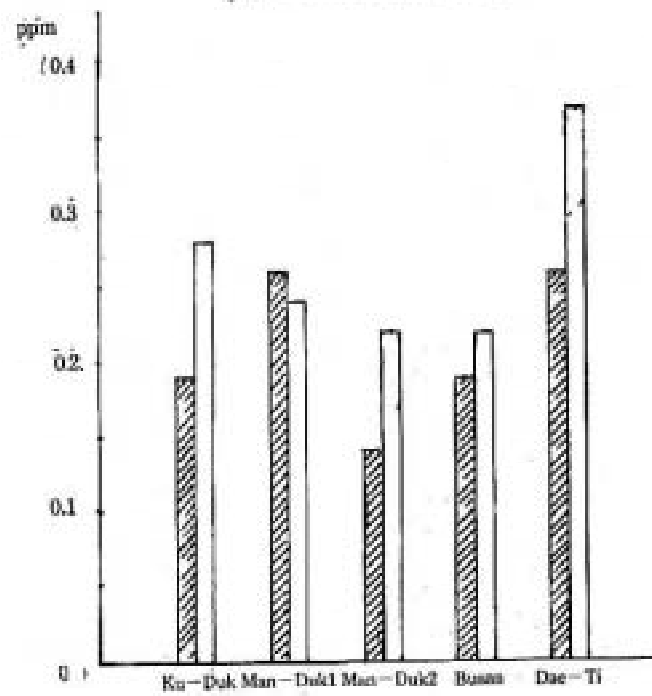


Fig4. Distribution of NO₂

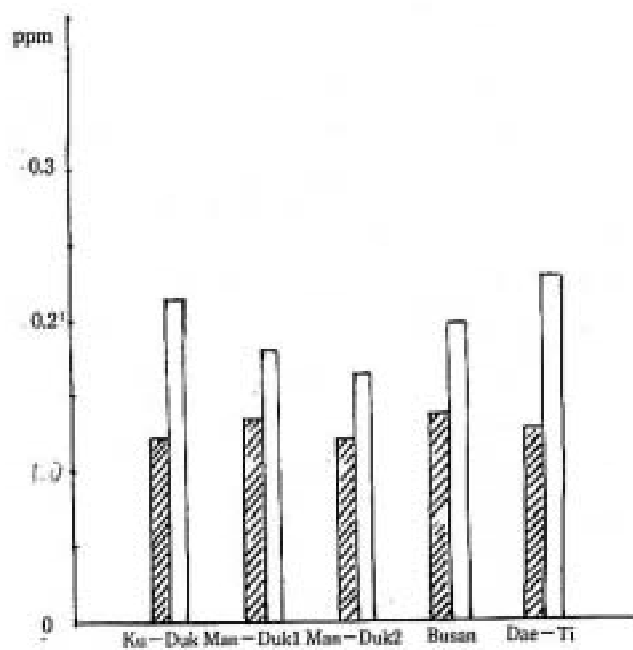


Fig5. Distribution of CH₄

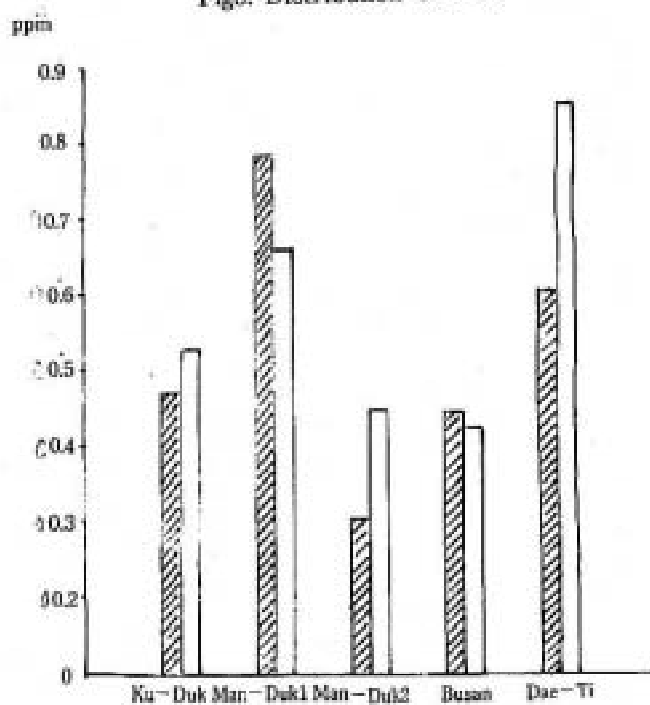


Fig6. Distribution of n-CH₄

IV. 結 論

釜山市内に 있는 5個 tunnel을 對象으로 1989. 4~1989. 11까지 月1回씩 SO₂ 등 4個 項目에 對하여 調査한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) SO₂의 平均汚染度는 九德, 萬德1, 萬德2, 釜山, 大峙 tunnel에서 各各 0.18ppm, 0.20ppm, 0.15ppm, 0.14ppm, 0.25ppm 이었다.
- 2) CO의 平均汚染度는 九德, 萬德1, 萬德2, 釜山, 大峙 tunnel에서 各各 8.0ppm, 21.5ppm, 4.6ppm, 8.0ppm, 13.9ppm 이었다.
- 3) NO_x의 平均汚染度는 九德, 萬德1, 萬德2, 釜山, 大峙 tunnel에서 各各 0.58ppm, 0.59ppm, 0.35ppm, 0.52ppm, 0.70ppm 이었다.
- 4) THC의 平均汚染度는 九德, 萬德1, 萬德2, 釜山, 大峙 tunnel에서 各各 6.69ppm, 8.77ppm, 5.18ppm, 6.01ppm, 9.04ppm 이었다.

參 考 文 獻

1. 趙康來外 4名, 自動車 排出가스로 인한 터널 및 地下車道の 大氣汚染度實態調査研究, 國立環境研究所(1982).
2. 金光振外 5名, 서울市 터널內 空氣汚染度 調査(第5報), 서울特別市 保健環境研究院 報, 399-415(1988).
3. 渡邊征夫, 大喜多敏一, 土田均, 高速道路 Tunnel 및 地下駐車場內的 가스測定結果에 依한 自動車排出 低級炭化水素成分의 種類 및 量의 推定, 大氣汚染研究 第10卷 第5號 (1976).
4. 西田耕地助, 山本達之, 奥澤將行, 道路 Tunnel의 交通換氣量의 推定에 對하여 公害와 對策 Vol. 17, No. 11(1981).
5. 自動車 からの 窒素酸化物 排出量의 推定と 問題點, 大氣汚染學會(1985).
6. 金光振外 3名, 서울市 터널內 大氣汚染度 調査研究(第2報), 서울特別市 保健環境研究所 報, 237-246(1985)
7. 金光振外 5名, 서울市 터널內 大氣汚染度 調査(第5報) 서울特別市 保健環境研究所 報, 399-415(1988).
8. Henry. C. Perkins : Air Pollution(1974)
9. 釜山直轄市 統計年報. (1988)
10. 環境廳, 80年代의 環境施策.(1987).