

和順너릿재 터널内の 大氣汚染成分에 關한 調査研究

申大允·宋今燮·金正圭*·宋連浩*·林晚澤**

朝鮮大學校 環境工學科, *朝鮮大學校 化學工學科, **朝鮮大學校 建築工學科

A Study on the Air Pollution Component in Hwasoon Nulitjae Tunnel

Dae-Yewn Shin, Keum-Sub Song, Jung-Kyu Kim*,
Yon-Ho Song* and Man-Taek Lim**

Department of Environmental Engineering, Chosun University

*Department of Chemical Engineering, Chosun University

**Department of Architectural Engineering, Chosun University

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the air pollution in Hwasoon Nulitjae tunnel for two months, from August 1992 to September 1992. The total suspended particles were collected by high volume air sampler at inside and outside of Hwasoon Nulitjae tunnel, of which major water soluble component and heavy metallic element were analyzed. Size distribution and respirable mass fraction of aerosol at inside were measured by filters on nine stages Andersen air sampler. The average concentration of TSP at inside was $657.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which appeared about 9.2 times as high as that of $71.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at outside. The decrease effect caused by using new tunnel was 31.2%. As a result of correlation analysis between concentration of TSP at inside of Hwasoon Nulitjae tunnel and that at outside, correlation coefficient was 0.713. The average concentrations of SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- were $43.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $19.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, those of NH_4^+ , Na^+ , K^+ $1.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and those of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Pb^{2+} $3.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. It was estimated that mass fraction rate of respirable particle at inside was about 84.54% of aerosol. The average concentration of suspended particle to be collected by Andersen sampler was $478.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, this was about 72.8% of that by high volume air sampler.

Keywords : Suspended particle, water soluble components, heavy metallic elements, respirable particle.

I. 序 論

急速한 産業의 發達과 더불어 각종 物動量의 他地域으로의 運送과 迅速하고 安全한 輸送의 要望으로 基幹道路의 擴充과 橋梁 및 터널築造가 불가피하게 되었다. 地上道路 이외에 새로운 地下空間을 確保하여 交通 手段化하는 터널은 交通混雜을 解決할 수 있을 뿐만 아니라 地上道路의 여러가지 障礙要因과 危險要素를 除去할 수 있으며, 時間的 및 經濟的으로 一益을 擔當하고 있다. 1991年 12月末 現在 全國의 터널은 總 87개이며, 總延長 52.086 km이다. 이중 高速國道에 26個所, 一般國道에 23個

所, 그리고 特別市道에 20個所, 地方道에 9個所, 郡道에 5個所, 市道에 4個所 順으로 設置되어 있다.¹⁾

一般道路와 달리 터널은 外部와 거의 遮斷되어 있어서 充分한 自然換氣를 期待할 수 없기 때문에 이곳을 지나는 車輛 等の 排氣管에서 排出되는 SO_x , NO_x , CO , HC , CO_2 等の 가스狀物質과 煤煙, 塵埃 等の 粒子狀 物質 뿐만 아니라 타이어와 아스팔트의 摩擦 그리고 自動車의 高速走行에 의한 飛散먼지 等으로 大氣汚染이 加重되고 있다. 自動車에 의한 汚染物質의 排出程度는 自動車의 走行狀態, 엔진의 構造 및 燃料의 種類에 따라 달라진다.^{2,3)}

터널을 通過하는 車輛 等에서 排出된 각종 汚染

物質이 터널 外部로 圓滑하게 排出되지 않을 경우 自動車 排出物質의 種類, 濃度, 地形 및 氣象條件 등에 따라 差異는 있으나, 閉鎖된 空間을 통해 擴散되므로 이곳을 利用하는 運轉者나 乘客의 눈이나 코 등을 刺戟하여 眼疾患, 鼻炎 등을 誘發하거나 氣管支와 肺를 刺戟하여 氣管支炎 및 肺疾患의 原因이 된다.^{4,5)} 더욱이 터널內 浮遊먼지는 여러가지 金屬成分과 有機物質 등이 흙먼지와 混在되어 있어 이러한 環境을 자주 接하게 되면 健康障害를 일으킬 뿐만 아니라 可視距離를 짧게 하므로 交通事故의 要因이 된다.

지금까지 國內에서 遂行된 터널內의 大氣汚染度에 대한 調査研究은 김 등의 서울市內 터널의 SO_x, NO_x와 CO, HC, TSP 등 주로 가스狀 汚染物質에 대한 報告가 있으며, 터널內 代表的 汚染物質인 浮遊먼지의 粒徑分布나 成分에 대한 報告는 거의 없는 實情이다.^{6,7)}

本 研究에서는 터널의 快適性을 維持하고 運轉者의 健康保護 및 安全運轉對策을 樹立하기 위한 工學的인 基礎資料로 活用코자 1992年 8月 1日부터 2個月 동안 全南 和順郡에 位置한 너릿재 터널에서 浮遊먼지를 測定分析하였다. 和順 너릿재 제1호 터널은 1967年 着工하여 1971年 4월에 完工한 것으로 全長 400 m, 幅 10 m의 2車線 道路로 되어 있다. 이 터널은 全羅南道 南東地域과 南西地域의 交通路로 中樞的 役割을 擔當하고 있다. 最近 車輛이 增加함으로써 1992年 9月 2日 全長 620 m, 2車線 道路인 제2호 너릿재 터널을 開通하여 光州 近郊 都

市交通의 圓滑한 疏通을 圖謀하였으며, 두 터널 모두 通風裝置가 設置되지 않은 自然換氣方式으로 되어 있다.⁸⁾

II. 試料採取와 分析方法

1. 試料採取

全南 和順郡 和順邑 二十谷里 2區에 所在한 너릿재 제1호 터널은 入口로부터 터널內 200 m 地點에서 試料를 採取하였고, 제2호 터널은 入口로부터 300 m 떨어진 地點에서 試料를 採取하였다(그림 1). 또한 터널內部의 大氣汚染度와 比較하기 위하여 터널入口 周邊 樹木의 影響을 받지 않는 場所에서 環境大氣中の 먼지試料를 採取하였다.

總浮遊먼지(total suspended particulate, TSP)濃도와 浮遊먼지中の 水溶性 및 重金屬 成分濃度を 測定하기 위하여, 하이볼륨에어샘플러(high volume air sampler, Kimoto사제, Model-120, 이하 하이볼)에 실리카섬유여지(silica fiber filter, Toyo QR-100, 200 mm×250 mm)를 附着하여 터널內 空氣와 環境大氣를 流速 1200 l/min으로 24時間 連續吸入하여 大氣浮遊먼지를 捕集하였다.⁹⁻¹¹⁾

또한 먼지의 粒徑別 濃度を 測定하기 위하여 9段으로 이루어진 앤더슨에어샘플러(Andersen air sampler, Kanomax사제, Model-3351, 이하 앤더슨샘플러)를 使用하였는데, 이 裝置는 大氣中 浮遊粒子狀物質을 捕集板에 慣性衝突시킴으로써 粒子를 粒徑別로 分給 捕集할 수 있다. 試料採取時 0段~7

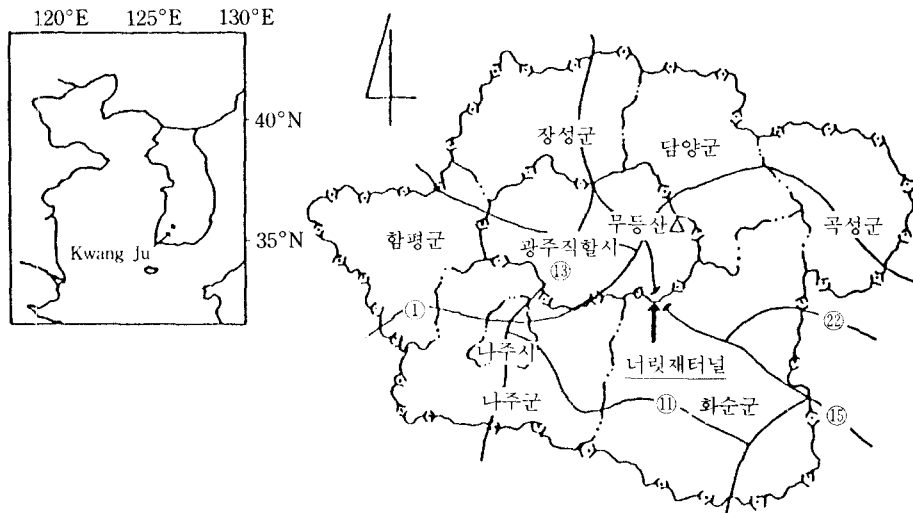


그림 1. 試料採取地點.

段에는 폴리에틸렌수지(polyethylene sheet, $\phi=11$ cm)를 附着하고 Back up段에는 실리카섬유여지(Toyo QR-100, $\phi=11$ cm)를 附着하여 流速 28.3 l/min($1 \text{ ft}^3/\text{min}$)으로 48時間 連續吸入하였다.¹²⁾

試料採取期間은 1992年 8月 1일부터 9月 30일까지 2個月 동안으로, 一週日 間隔을 週期로 하여 每週 土曜日과 日曜日を 基準으로 9日 測定하였다. 試料採取期間中 8月에는 제1호 터널만을 使用하여 上·下行線 往復 運行하였으며, 9月에는 제2호 터널의 開通과 더불어 1호 터널内部의 下部 切土作業을 施行함에 따라 使用이 中止되어 2호 터널만이 往復 運行하게 되었다.

2. 分析方法

試料採取에 使用한 濾紙는 試料를 捕集하기 前에 50% 恒濕이 維持된 데시케이터(desiccator)에서 24時間 동안 放置하여 恒量으로 한 後 0.01 mg까지 判讀이 可能한 化學天秤(Sartorius사제, Model-2434)으로 濾紙를 秤量하였으며, 試料를 捕集한 後에도 捕集前과 같이 處理하였다. 捕集前後의 濾紙의 무게 差異를 구하고 이것을 捕集期間 동안 吸引한 空氣量으로 나누어 總浮遊먼지의 濃도와 粒徑別 浮遊먼지의 濃도를 求하였다.

浮遊먼지가 捕集된 濾紙를 適當한 크기(1"×1")로 切斷한 後 100 ml 비이커에 넣고 蒸溜水를 가하여 超音波抽出(ultrasonic extraction)을 하여 이것을 Whatmann 41 濾過紙로 濾過한 後 그 濾液(filtrate)을 收容性 成分(SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , K^+ , Na^+)의 分析試料로 하였으며, 不溶性 重金屬成分(Ca^{2+} , Mg^{2+} , Pb^{2+})은 濾紙를 酸抽出(acid extraction)한 後 이것을 分析試料로 하였다. 浮遊먼지中 水溶性 陰이온 成分인 SO_4^{2-} , NO_3^- 및 Cl^- 는 吸光光度計(U. V.-240, Shimadzu)로,¹³⁾ 重金屬 成分인 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 Pb^{2+} 는 原子吸光光度計를 使用하여 分析하였으며, NH_4^+ 는 인도페놀법(indophenol blue method)으로 分析하였다.

III. 結果 및 考察

1. 總浮遊먼지濃도 및 化學的 成分濃도

和順너릿재 터널에서 1992年 8月 1일부터 2個月 동안 浮遊먼지를 測定한 結果 터널안과 터널밖 總浮遊먼지의 濃도를 그림 2에 測定日字別로 나타내었다. 터널內 總浮遊먼지의 平均濃도는 $657.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($503.21 \sim 852.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로서 터널밖 環境大氣中的 平均濃도인 $71.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($48.61 \sim 102.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다

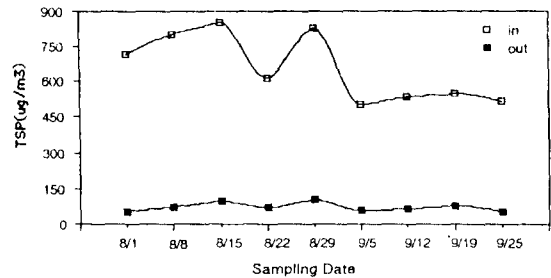


그림 2. 터널안과 터널밖 總浮遊먼지의 測定日字別 濃도.

約 9.2(8.35~13.20)倍, 그리고 地下空間 勸告値인 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 2倍 程度 높게 나타나, 和順너릿재 터널의 먼지의 發生程度가 상당히 深刻함을 알 수 있었다. 이는 터널을 지나는 車輛 등에서 化石燃料 燃焼時 排出되는 SO_x , NO_x , CO , HC , CO_2 , 煤煙, 검댕 및 기타 粒子狀物質 뿐만 아니라 타이어와 아스팔트의 摩擦과 自動車의 高速走行에 의한 飛散 먼지 등이 發生하기 때문으로 생각된다. 또한 터널 内部는 地下空間과 같이 양쪽 出口만 開放되어 있고 나머지는 閉鎖되어 環境大氣와의 空氣循環이 어렵기 때문에 터널內의 大氣汚染이 深刻한 것으로 推定된다. 더욱이 이 터널은 通風裝置가 設置되어 있지 않기 때문에 터널內 空氣 汚染度가 더욱 加重된 것으로 推定되며, 將次 換氣施設이 設置되어야 할 것으로 생각된다.

터널內 總浮遊먼지의 月別 平均濃도는 8月과 9월에 各各 $763.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $525.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 8월이 9월보다 1.5倍 程度 높은데, 이는 8월이 여름 피서철이어서 피서객의 移動에 의한 車輛 通行이 增加하였을 뿐만 아니라 9월 2일부터 제2호 터널의 開通으로 제1호 터널 使用이 中止되고, 새로만든 제2호 터널이 上·下行線 往復 運行되었기 때문으로 생각된다. 새로운 터널 使用으로 인한 總浮遊먼지濃도의 低減結果는 31.2%인 $238.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 使用前 平均 $763.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 使用後 $525.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 減少되었다. 터널밖 環境 大氣中 浮遊먼지의 平均濃도도 8월과 9월에 各各 $79.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $61.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 터널內 浮遊먼지의 平均濃도와 같은 傾向을 나타내었다.

터널內 總浮遊먼지濃도와 터널밖 總浮遊먼지濃도의 相關性을 알아보기 위하여 多變量統計分析法(multivariate statistic analysis method)中 相關分析(correlation analysis)을 實施한 結果 그림 3과 같이 相關係數(correlation coefficient)가 0.713으로 나타났는데, 이는 有意水準(significance level) 5%에서

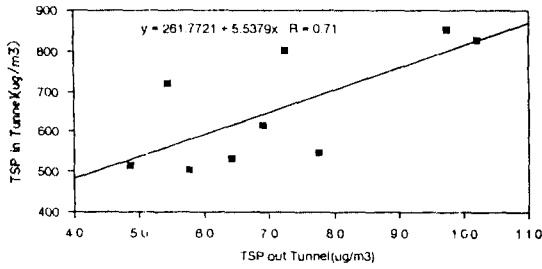


그림 3. 터널內 總浮遊먼지濃도와 環境大氣中 總浮遊먼지濃도의 相關關係.

相關性이 있는 것으로 나타났다.

測定期間동안 터널内部에서 捕集한 浮遊먼지의 化學的 成分을 分析한 結果는 表 1과 같다. 터널內 浮遊먼지中 SO_4^{2-} 의 平均濃度는 $43.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($26.67 \sim 65.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 서울시 環境大氣의 浮遊먼지中 平均濃度인 $19.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 約 2.3倍 程度 높게 나타났다.^{14, 15)} 이는 터널内部 車輛 走行時 化石燃料의 燃燒에 의해 排出되는 SO_2 가 쉽게 環境大氣中으로 擴散되지 않고 터널内部에서 酸化되어 蓄積되기 때문인 것으로 思料된다. NO_3^- 의 平均濃度는 $19.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($9.78 \sim 44.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 서울시 環境大氣의 總浮遊먼지濃度인 $4.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 4.9倍 程度 높았다. 또한 이것은 SO_4^{2-} 의 約 2.3倍보다 높아 터널内部的 汚染도가 車輛에서 排出된 汚染物質에 의한 것임을 反映하고 있다. Cl^- 의 平均濃度는 $4.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($4.56 \sim 5.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 最小値와 最大値의 差異가 거

의 없이 一定한 濃度를 나타내었다. 鹽化物的 發生源은 海鹽 및 火山과 같은 自然發生源과 鹽酸이나 鹽素化合物의 製造時 또는 石炭 및 石油와 같은 化石燃料 燃燒 等과 같은 人爲的 發生源으로 나눌 수 있는데, 터널內의 鹽化물은 自動車 燃料인 石油 속에 Cl^- 이 0.1~4.6% 程度 包含되어 있으므로 이것의 燃燒時 發生한 것이라고 생각된다.

NH_4^+ 의 平均濃度는 $1.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.75 \sim 2.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 서울시 大氣浮遊먼지中의 값 $2.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.5倍 程度 낮게 나타났다. 이와 같이 터널內 NH_4^+ 의 濃度가 낮은 것은 이것이 주로 土壤 有機物의 分解時 發生하기 때문으로 생각된다. 터널內 浮遊먼지中 重金屬成分인 Na^+ , Ca^{2+} , K^+ 및 Mg^{2+} 의 平均濃度는 $4.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $3.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $2.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 서울시 環境大氣浮遊먼지인 $1.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $0.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 2~4倍 程度 높은데 이는 터널內에서 疾走하는 自動車의 타이어와 路面의 磨耗에 의해 空氣中으로 휘말려 올라가는 土砂(soil dust)에 의한 影響으로 推定된다. Pb^{2+} 의 平均濃度는 $1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.94 \sim 2.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 나타났는데, 이것은 大氣環境基準值인 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 거의 類似한 水準이었다. 이와 같이 터널內의 Pb^{2+} 의 濃度가 낮은 이유의 하나는 自動車 燃料인 揮發油의 옥탄가를 向上시키기 위하여 유기납(Tetra Ethyl Lead, TEL)을 添加하는데 觸媒裝置 附着 自動車에 使用時 觸媒裝置의 性能을 低下시키기 때문에 납을 添加하지 않은 無鉛揮發油를 燃料로 使用

表 1. 너릿재 터널内部 浮遊먼지中 化學成分의 濃度

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Sampling date | SO_4^{2-} | NO_3^- | Cl^- | NH_4^+ | Na^+ | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Pb^{2+} |
|---------------|-------------|----------|--------|----------|--------|-------|-----------|-----------|-----------|
| '92. 8. 1 | 28.27 | 15.93 | 4.73 | 1.01 | 3.98 | 1.32 | 3.51 | 2.91 | 1.14 |
| 8 | 51.28 | 17.10 | 5.11 | 1.62 | 3.72 | 1.48 | 3.02 | 2.16 | 1.06 |
| 15 | 65.80 | 44.18 | 4.98 | 2.91 | 3.86 | 2.50 | 5.27 | 2.81 | 0.94 |
| 22 | 48.84 | 15.08 | 5.22 | 1.33 | 5.27 | 2.90 | 6.10 | 2.90 | 1.81 |
| 29 | 46.04 | 26.10 | 4.56 | 0.75 | 3.11 | 5.11 | 3.87 | 2.70 | 1.16 |
| Ave | 51.72 | 23.68 | 4.92 | 1.52 | 3.99 | 2.66 | 4.35 | 2.70 | 1.22 |
| '92. 9. 5 | 40.87 | 15.19 | 4.63 | 1.29 | 3.72 | 2.52 | 4.50 | 1.32 | 1.31 |
| 12 | 41.79 | 17.99 | 5.22 | 1.27 | 7.18 | 3.31 | 3.20 | 1.98 | 2.48 |
| 19 | 37.60 | 17.35 | 4.69 | 0.99 | 4.88 | 4.70 | 2.81 | 2.15 | 1.96 |
| 25 | 26.67 | 9.78 | 5.49 | 1.58 | 4.33 | 2.13 | 3.03 | 1.53 | 1.80 |
| Ave | 36.73 | 15.08 | 5.01 | 1.28 | 5.03 | 3.17 | 3.38 | 1.75 | 1.89 |
| Total | | | | | | | | | |
| Min | 26.67 | 9.78 | 4.56 | 0.75 | 3.11 | 1.32 | 2.81 | 1.32 | 0.94 |
| Max | 65.80 | 44.18 | 5.49 | 2.91 | 7.18 | 5.11 | 6.10 | 2.91 | 2.48 |
| Ave | 43.02 | 19.86 | 4.96 | 1.42 | 4.45 | 2.89 | 3.92 | 2.27 | 1.52 |
| Std | 11.31 | 9.48 | 0.30 | 0.59 | 1.14 | 1.23 | 1.08 | 0.56 | 0.49 |

表 2. 너릿재 터널内部 浮遊먼지의 粒經別 濃度

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Stage No. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Backup | Total |
|--------------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-------------|--------|
| Size range Date | (30)-11 | 11-7.0 | 7.0-4.7 | 4.7-3.3 | 3.3-2.1 | 2.1-1.1 | 1.1-0.65 | 0.65-0.43 | 0.43-(0.08) | |
| 8. 1-8. 2 | 44.43 | 58.09 | 18.77 | 29.45 | 46.50 | 42.76 | 23.56 | 19.14 | 274.10 | 556.80 |
| 8. 8-8. 9 | 67.93 | 47.23 | 29.99 | 68.09 | 40.46 | 53.90 | 70.09 | 64.12 | 142.81 | 584.62 |
| 8. 15-8. 16 | 118.09 | 47.09 | 51.79 | 38.86 | 76.93 | 61.02 | 21.43 | 37.41 | 168.21 | 620.83 |
| 8. 22-8. 23 | 89.57 | 11.17 | 5.03 | 17.55 | 19.39 | 24.42 | 19.51 | 11.41 | 309.80 | 507.85 |
| 8. 29-8. 30 | 54.47 | 16.83 | 22.63 | 40.21 | 44.16 | 44.90 | 35.97 | 35.79 | 285.63 | 580.59 |
| 9. 5-9. 6 | 86.74 | 5.64 | 5.64 | 9.69 | 20.98 | 23.68 | 18.53 | 15.95 | 160.97 | 347.82 |
| 9. 12-9. 13 | 24.02 | 10.05 | 7.28 | 17.81 | 20.78 | 18.08 | 13.22 | 28.07 | 184.08 | 323.39 |
| 9. 19-9. 20 | 106.66 | 13.29 | 18.48 | 31.77 | 38.73 | 33.29 | 17.99 | 10.91 | 119.62 | 390.74 |
| 9. 25-9. 26 | 74.20 | 33.57 | 37.10 | 28.26 | 49.46 | 37.10 | 8.83 | 24.73 | 104.24 | 397.49 |
| Ave | 74.01 | 26.99 | 21.85 | 31.29 | 39.71 | 37.68 | 25.45 | 27.50 | 194.38 | 478.90 |
| Percent | | | 40.48% | | | | | 59.52% | | 100 |

하기 때문이라고 생각된다.

터널内 浮遊먼지中 月別 SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 의 平均濃度는 8월에 높게 나타난 반면 Cl^- , Na^+ 및 Pb^{2+} 는 9월에 높았다.

터널内 總浮遊먼지濃도와 터널 밖의 浮遊먼지中 化學成分間의 相關關係를 알아보기 위하여 相關分析을 實施한 結果 터널内 總浮遊먼지濃도와 有意한 陽의 相關性을 나타내는 것은 SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_3^- 및 Mg^{2+} 로서 相關係數는 各各 0.611, 0.693 및 0.694이었다. 반면 自動車 燃料添加劑에 含有되어 있는 Pb^{2+} 와 總浮遊먼지濃도의 相關係數는 -0.758 로서 높은 陰의 相關性을 나타내었다. 터널内 浮遊먼지中 化學成分間의 相關分析 結果 SO_4^{2-} 는 NO_3^- 와 NH_4^+ 間 相關係數가 各各 0.799와 0.654로 높은 陽의 相關性을 나타내었다. 또한 NO_3^- 와 NH_4^+ 및 Na^+ 와 Pb^{2+} 의 相關係數도 各各 0.676 및 0.898로 높은 相關性을 보여 주었다.

2. 粒經別 浮遊먼지濃度

터널内 浮遊먼지의 粒經別 濃度を 알아보기 위하여 앤더슨샘플러로 測定한 結果를 表 2에 나타내었다. 터널内 總浮遊먼지의 平均濃度는 $478.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 하이볼로 測定한 總浮遊먼지濃度 $657.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 72.8%에 該當되는데, 이는 앤더슨샘플러의 捕集 粒經이 $0.08 \sim 30 \mu\text{m}$ 인데 반해 하이볼의 捕集粒經은 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 으로 훨씬 넓기 때문인 것으로 생각된다. 즉 터널内部에서 $30 \sim 100 \mu\text{m}$ 에 속하는 巨大粒了는 약 27.2%인 것으로 推定되며, 人爲的 發生源인 自動車 排기가스에 의한 煙霧이나 煤煙 等과 같은 微細 粒子狀物質의 寄與가 甚을 端的으로 알 수

있었다.

浮遊먼지에 대한 現在 우리나라 大氣環境保全上의 基準은 總浮遊먼지(年平均 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下, 24時間 平均 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)를 대상으로 하고 있으나 일반적으로 有害한 먼지는 呼吸에 의하여 人體内에 沈着될 수 있는 呼吸性먼지(respirable particulate)로, 美國 OSHA(occupational safety and health administration)에서는 肺氣管(lung airway)内的 沈着 可能性 및 그 測定方法 等を 勘案하여 $5 \mu\text{m}$ 以下の 먼지를 呼吸性 먼지라고 定義하고 있으나 주로 $10 \mu\text{m}$ 以下 크기의 먼지를 呼吸性 먼지도 適用하고 있다.^{16,17)}

本 研究에서는 앤더슨샘플러의 粒度分給 特性 때문에 呼吸性 먼지를 $11 \mu\text{m}$ 以下로 計算하였다. 이때 呼吸性 먼지의 平均濃度는 $404.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 總濃度の 84.54%인 매우 높은 比重을 차지하여 交通手段에 의한 터널 通過時 車輛의 玻璃窓을 닫는 것이 바람직하며, 自動車를 利用하지 않고 터널을 지날 경우 塵肺를 誘發하는 먼지의 潛在 有害度가 상당히 클 것으로 推定된다. 보다 具體的으로 健康上의 有害性을 評價하기 위하여 浮遊먼지의 粒度別 調査와 그 成分別調査, 그리고 危害性評價(risk assessment)에 따른 基準設定 等 對策이 要望된다고 하겠다.

IV. 結 論

터널의 快適性을 維持하고 運轉者의 健康保護 및 安全運轉對策을 樹立하기 위한 工學的인 基礎資料로 활용코자 1992年 8月 1日부터 2個月 동안 和順 너릿재 터널의 大氣汚染物質을 測定·分析한 結果 다

음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 터널내 TSP의 평균濃度は 657.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 터널밖 環境 大氣中の 평균濃度인 71.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 約 9.2倍가 높게 나타나, 和順너릿재 터널의 먼지의 發生程度가 상당히 深刻한 것으로 推定되었다.
- ② 새로운 터널 使用으로 인한 總浮遊먼지의 低減 效果는 31.2%로서 濃度 238.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 減少를 가져왔다.
- ③ 터널내 總浮遊먼지濃도와 터널밖 環境 大氣中 總浮遊먼지濃도의 相關係數는 0.713으로 有意한 陽의 相關性이 있었다.
- ④ 터널내 浮遊먼지中 水溶性 成分인 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 平均濃度は 各各 43.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 19.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, NH_4^+ , Na, K는 1.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 重金屬 成分中 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Pb^{2+} 의 平均濃度は 3.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 各各 나타났다.
- ⑤ 앤더슨샘플러로 測定한 터널내 浮遊먼지의 總濃度は 하이볼로 測定한 總浮遊먼지濃도의 72.8%에 해당되며 30 μm 以上の 巨大粒子 濃도가 約 27.2%로 推定되어, 人爲的 發生源인 自動車 排出가스에 의한 塵埃이나 煤煙 等の 微細 粒子狀物質의 寄與가 크다.
- ⑥ 터널내 呼吸性먼지의 平均濃度は 404.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 總먼지濃도의 84.54%를 차지하여 塵肺를 誘發하는 먼지의 潛在有害度가 상당히 클 것으로 推定된다.

참고문헌

- 1) 국토유지 건설사무소 : 전국터널 현황. 1991.
- 2) 조강래 외 4명 : 자동차 배기가스로 인한 터널 및 지하차도의 대기오염 실태조사연구. 국립환경연구
- 3) 조강래 외 4명 : 자동차 주행 Pattern에 관한 조사연구. 국립환경연구소, 5, 1983.
- 4) WHO : Guideline on studies in environmental epidemiology, 147-157, 1983.
- 5) 노재식 외 6명 : 대기오염. 녹원출판사, 101-127, 1985.
- 6) 김광진, 이상철, 김장열, 김민영 : 서울시터널내 대기오염도 조사연구(제2보). 서울특별시 보건환경연구소보, 21, 237-246, 1985.
- 7) 김광진, 이상철, 신동천, 신재영, 김민영 : 서울시터널내 대기오염도 조사연구. 서울특별시 보건환경연구소, 1984.
- 8) '91 화순군 도로교통량 조사결과, 1991.
- 9) APHA Intersociety Committee : Methods of air sampling and analysis. American Public Health Association, Washington, DC. p. 578, 1977.
- 10) World Health Organization : Selected Methods of Measuring Air Pollutions, Geneva, 1979.
- 11) Methods of Air Sample and Analysis : Interdisciplinary Books & Periodicals, 1977.
- 12) Andersen, A. A. : A Sampler for Respiratory Health Hazard Assessment, Amerind, Hyg J2p.
- 13) 공해계측기술위원회 : 선정공해계측 기술지도서 코코나社. 東京, 444-620, 1979.
- 14) 申殷相 : 대기부유분진에 대한 토양입자의 기여율에 관한 연구. 건국대학교 대학원, 29, 1990.
- 15) 김민영, 정문식 : 서울시내 대기중 중금속농도조사. 공중보건잡지, 11-130, 1974.
- 16) Kadowaki, S. : Size Distribution of Atmospherical Total Aerosols Sulfate Ammonium and Nitrate Particles in the Nagoya Area. Atmos. Environ., 39-43, 1976.
- 17) Willeke, K. and White, K. T. : Atmospheric Aerosole-site Distribution Interpretation. J. Air Pollut. Control Assoc., 25, 529-23, 1975.