

# 터널 汚染度와 그 影響因子에 關한 研究

廢棄物分析科

金光洙 · 金英泰 · 朴炳燾 · 崔圭相 · 裴基哲

## Study on the Air Pollution of Tunnel and its Influencing Factors

Industrial Waste Analysis Division

K. S. KIM, Y. T. KIM, B. J. PARK, K. S. CHOI, K. C. BAE

### Abstract

In this study, air pollution level(SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC) in T-tunnel and its influencing factors, the concentrations of air pollutants, meteorological factors(wind speed, wind direction, relative humidity etc.), traffic volume, velocity of vehicle at T-tunnel among five tunnels in Pusan city area, were measured during December in 1990 and November in 1991 to investigate the pollution level in T-tunnel and the future(2000yr) concentration of each pollutant in T-tunnel were predicted by statistical prediction model. Results obtained in this study were as follows.

1. The minimum, maximum, mean concentration of each pollutant, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC showed 0.032, 0.260, 0.129±0.057, 0.910, 2.315, 1.650±0.317, 6.9000, 11.4000, 7.603±2.067 and 4.980, 9.901, 7.754±1.417ppm.

Among them, the concentrations of SO<sub>2</sub> and CO satisfied underground space environmental standards, concentration of NO<sub>x</sub> exceeded that standard.

2. Correlation coefficients between SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC concentration and each of the inf-

luencing factors, r value was appeared as 0.032~0.66, 0.14~0.44, 0.11~0.79, 0.18~0.63. But decision coefficients of multi regression analysis, R<sup>2</sup> value was appeared as 0.54, 0.48, 0.93, 0.78 and its(R<sup>2</sup> Value) had a significant combined effect on the SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC.

3. Multi-Regression-Equations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC concentration obtained in this study, were as follows.

$$Y_{SO_2} = -0.08639 + 6.266E-05X_1 + 3.586E-03X_2 - 0.02533X_3$$

$$Y_{NOx} = 0.92335 + 3.970E-04X_1 + 0.33168X_2$$

$$Y_{CO} = -5.47869 + 2.566E-03X_1 + 0.91038X_2 + 0.12957X_3 + 0.39637X_4$$

$$Y_{THC} = -1.32104 - 0.05092X_1 + 0.16210X_2 + 0.10172X_3 + 1.03064X_4$$

4. The concentration of SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC in 2000 year was predicted as 0.44, 3.57, 21.41 and 11.07 ppm.
5. Judging from the results of this sutdy, comprehensive and proper tunnel pollution control programs and plans should be established.

## I. 緒 論

육의 대기 환경에 비해 한정된 확산 능력과 자동차 통행량 증가 등으로 인해서 터널내에는 차량들의 배기가스인 여러가지 방향성 탄화수소 물질, 아황산 가스, 질소 산화물, 일산화탄소, 매연 등의 각종 오염물질의 농도가 높아 운전자와 승객들에게 시정장애 및 불쾌감을 주며, 특히 터널내 교통체증시에는 장시간 노출로 인한 인체 건강상의 문제들을 야기시키고 있다.

부산의 경우, 최근 급증된 자동차 운행 등으로 인하여 출·퇴근 시간대에는 물론이며 하루 중에도 수시로 시내 전역과 터널내에서 교통체증이 일어나고 있는 실정이다. 특히 산업의 고도 성장과 더불어 생활 수준이 향상됨에 따라 서비스레벨에 대한 사회적 요구가 점차 강조되는 경향이 있어 터널 오염도도 처음엔 차량주행의 안정성과 소통에만 중점을 두었으나, 점차 쾌적성을 중요시 하게 되었으며, 선진외국에서는 터널 설계시 오염물질 설계목표치를 점차 강화하고 있으며, 우리나라에서도 지하공간 환경기준 권고치<sup>1)</sup>를 제정한 실정에 이르렀다.

따라서 본 연구에서는 부산 시내에 산재해 있는 터널 중에서 T터널을 대상으로 하여 대표적인 자동차 배출 오염물질인 아황산 가스(SO<sub>2</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 일산화탄소(CO), 총탄화수소(THC)의 터널내 농도와 그 농도에 영향을 끼친다고 판단되는 외부농도 및 풍향, 풍속, 온도, 상대습도 등의 주변환경요소와 교통량, 차량통과속도 등의 오염원에 관련된 요소 등을 실측

하여, 그 실험결과를 근거로 대상터널의 이동오염원에 대하여 주변물질의 농도에 대한 현 광고찰 및 중회귀분석을 통하여 각 오염물질별로 오염물질농도에 주된 영향을 미치는 영향인자들을 선별하여 통계적 예측모형을 수립하였고, 선택된 주영향인자들의 장래(2000년)의 값을 예측하여 터널내 오염도를 추정하므로써 심각한 터널오염 문제에 대처하기 위한 적절한 대책 수립에 기초 자료를 제공하고자 한다.

## II. 試料採取 및 分析方法

### II-1. 試料採取方法

본 연구에서는 T터널을 대상으로 삼았으며, 조사기간은 1990년 12월 19일(수요일), 12월 22일(토요일), 12월 23일(일요일) 3일과 1991년 11월 16일(토요일), 11월 17일(일요일), 11월 20일(수요일) 3일간, 총 6일간에 걸쳐서 시간대별로 40회 조사하였다.

기구를 고정 설치하여 시료를 채취할 수 없어 20ℓ 용량의 Teflon bag 용기에 흡입Pump (최대 유량 2.5ℓ/min)를 이용하여 T터널 중앙 지점과 터널 진입 전 50m지점(대신동방면→괴정방면)에서 시간대별로 구분하여, 위생시험법<sup>2)</sup>을 참조하여 약 1.5m 높이에서 15분간 시료를 채취한 다음, 즉시 실험실로 옮겨 자동 분석기로 측정하였다.

### II-2. 測定 項目 및 分析 方法

터널내 대기오염물질 측정항목으로써 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC를 분석하였으며, 또한 터널내 대상 오염물질의 농도에 영향을 미친다고 판단되는 요소로써 외부농도, 풍향, 풍속, 온도, 상대습도, 교통량 및 차종별 통과속도 등을 아울러 실험하였다.

본 연구에 사용된 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THC의 분석방법<sup>2)</sup> 및 분석기기는 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of analysis method and instrument<sup>b)</sup>

| Pollutants      | Method                                    | Instrument         | theory  |
|-----------------|---|--------------------|---|
| SO <sub>2</sub> | conductivity method                       | KIMOTO Model 135   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 희석한 과산화 수소 용액에 시료용액을 통과시켜 아황산가스를 흡수 반응 시킨다.</li> </ul>   |
| CO              | NDIR method                               | HORIBA APMA 300 E  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 일산화 탄소의 적외선 영역에서의 광흡수를 이용하여 일산화탄소를 비분산형적외선 가스분석기로 측정한다.</li> </ul>   |
| NO <sub>x</sub> | chemiluminescence method (Salzman method) | KIMOTO Model 300 E | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 흡수발색액(Salzman 시약)에 대기중의 이산화 질소를 흡수시킨다.</li> </ul>  |
| THC             | gas chromatography (FID method)           | HORIBA APMA 300 E  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 시료용기를 FID가 부착된 GC에 도입하여 탄화수소가 CH<sub>4</sub> 및 n-CH<sub>4</sub>로 분리되어 수소열 중에서 연소할 때 발생하는 이온에 의한 미소전류를 측정함으로써 탄화수소 농도를 측정한다.</li> </ul> |

실측자료의 통계적 분석을 위해서, 총 40회의 시간대별 실측자료 중에서 각 실측기간의 조건이 다른 차량정체 시의 2개 실측자료와 실측시 오차가 많이 발생했다고 생각되는 3개 자료를 제외한 35개의 실측자료에 대해서, 터널내 각 오염물질농도와 그 농도에 영향을 끼치는 요소들에 대해 단순 상관관계를 조사하였으며, 증회귀분석의 단계분석방법(Stepwise method)<sup>17-19)</sup>에 의하여, 터널내 각 오염물질에 대한 통계적 예측식을 수립하였으며, 모든 통계처리는 SPSS (Statistical Package for Social Science)<sup>18)</sup>를 이용하였다.

### III. 結果 및 考察

#### III-1. 실측 결과

실측항목으로는 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 총탄화수소의 터널내 농도와 터널 외부농도, 풍향, 풍속, 온도, 상대습도 등과 교통량 및 차량 통과속도 등이며 이를 6일간에 걸쳐 시간대별로 구분하여 실측하였으며, 그 결과치를 Table 2,3,4,5에 정리하였다.

Table 2. The results of measurement('90. 12. 19, 22)

| Measured time                |                       | '90년 12월 19일 (수) |                |                |                |                | '90년 12월 22일 (토) |                |                |                |                |       |
|------------------------------|-----------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                              |                       | 05:00<br>06:00   | 08:00<br>09:00 | 12:00<br>13:00 | 18:30<br>19:30 | 22:00<br>23:00 | 05:00<br>06:00   | 08:00<br>09:00 | 12:00<br>13:00 | 18:30<br>19:30 | 22:00<br>23:00 |       |
| Concentration (ppm)          | SO <sub>2</sub>       | *                | 0.041          | 0.098          | 0.089          | 0.110          | 0.090            | 0.032          | 0.120          | 0.230          | 0.186          | 0.081 |
|                              |                       | **               | 0.032          | 0.036          | 0.027          | 0.041          | 0.049            | 0.027          | 0.042          | 0.048          | 0.041          | 0.032 |
|                              | CO                    | *                | 3.900          | 6.200          | 5.800          | 9.900          | 14.70            | 2.600          | 7.700          | 48.90          | 24.50          | 6.600 |
|                              |                       | **               | 2.400          | 3.400          | 1.700          | 2.700          | 8.600            | 2.000          | 2.200          | 2.400          | 2.700          | 3.800 |
|                              | NO <sub>x</sub>       | *                | 1.291          | 1.562          | 2.315          | 1.919          | 1.749            | 1.137          | 1.414          | 4.219          | 5.450          | 1.549 |
|                              |                       | **               | 0.091          | 0.390          | 0.462          | 0.192          | 0.485            | 0.130          | 0.332          | 0.151          | 0.188          | 0.168 |
|                              | THC                   | *                | 6.190          | 6.990          | 6.790          | 8.990          | 9.510            | 5.640          | 7.080          | 15.12          | 13.45          | 6.990 |
|                              |                       | **               | 3.570          | 3.950          | 4.110          | 4.320          | 4.610            | 3.160          | 4.370          | 4.890          | 4.480          | 3.820 |
| Meteorological factor (대/hr) | wind direction        | **               | 북동             | 남서             | 남동             | 서              | 남서               | 서              | 남서             | 북동             | 남서             | 북동    |
|                              | wind velocity (m/sec) | *                | 4.3            | 2.8            | 2.5            | 3.1            | 3.0              | 2.5            | 2.9            | 0              | 0              | 2.4   |
|                              |                       | **               | 0.1            | 0              | 0              | 0              | 0                | 0              | 0              | 3.5            | 3.0            | 1.0   |
|                              | temperature (°C)      | *                | 4.0            | 5.0            | 10.0           | 7.8            | 7.1              | 6.8            | 8.0            | 16.2           | 11.0           | 5.3   |
|                              |                       | **               | 1.0            | 3.0            | 12.6           | 5.6            | 6.0              | 5.5            | 8.0            | 9.1            | 5.0            | 2.5   |
|                              | relative humidity (%) | *                | 50.8           | 43.3           | 34.5           | 52.7           | 61.0             | 43.0           | 46.5           | 34.1           | 36.5           | 44.2  |
| **                           |                       | 55.5             | 49.6           | 31.3           | 57.2           | 70.0           | 47.5             | 45.7           | 48.2           | 46.0           | 52.2           |       |
| Traffic volume (대/hr)        |                       |                  | 325            | 1,789          | 1,750          | 1,758          | 1,743            | 327            | 1,726          | 1,478          | 963            | 1,589 |
| Vehicle velocity (km/hr)     |                       |                  | 51.6           | 25.3           | 26.7           | 24.1           | 22.9             | 53.5           | 24.1           | 9.8 (정체)       | 8.0 (정체)       | 24.5  |

\* : inside, \*\* : outside.

Table 3. The results of measurement('90. 12. 23, '91. 11. 16)

| Measured time                |                       | '90년 12월 23일 (일) |                  |                  |                  |                  | '91년 11월 16일 (토) |                  |                  |                  |                  |       |
|------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                              |                       | 05:00<br>} 06:00 | 08:00<br>} 09:00 | 12:00<br>} 13:00 | 18:30<br>} 19:30 | 22:00<br>} 23:00 | 08:00<br>} 09:00 | 09:00<br>} 10:00 | 10:00<br>} 11:00 | 11:00<br>} 12:00 | 12:00<br>} 13:00 |       |
| Concentration (ppm)          | SO <sub>2</sub>       | *                | 0.038            | 0.057            | 0.062            | 0.089            | 0.076            | 0.140            | 0.110            | 0.260            | 0.171            | 0.130 |
|                              |                       | **               | 0.031            | 0.039            | 0.048            | 0.049            | 0.041            | 0.052            | 0.038            | 0.062            | 0.052            | 0.044 |
|                              | CO                    | *                | 2.500            | 3.600            | 4.200            | 5.000            | 4.700            | 8.200            | 7.900            | 9.100            | 8.200            | 7.800 |
|                              |                       | **               | 1.800            | 1.200            | 1.900            | 2.000            | 2.900            | 3.000            | 3.300            | 3.500            | 3.500            | 2.900 |
|                              | NO <sub>x</sub>       | *                | 1.732            | 1.382            | 1.536            | 1.558            | 1.422            | 1.431            | 1.321            | 1.880            | 1.811            | 1.722 |
|                              |                       | **               | 0.168            | 0.255            | 0.189            | 0.177            | 0.182            | 0.121            | 0.110            | 0.141            | 0.140            | 0.171 |
|                              | THC                   | *                | 4.980            | 5.290            | 5.600            | 6.160            | 5.950            | 7.011            | 6.091            | 8.641            | 8.361            | 7.901 |
|                              |                       | **               | 3.510            | 3.780            | 4.110            | 4.440            | 4.540            | 3.810            | 2.091            | 3.091            | 4.271            | 4.111 |
| Meteorological factor (대/hr) | wind direction        | **               | 북                | 북동               | 북동               | 남                | 남서               | 동                | 북서               | 남서               | 북동               | 북동    |
|                              | wind velocity (m/sec) | *                | 2.4              | 3.3              | 3.2              | 2.5              | 1.7              | 1.1              | 0.8              | 1.4              | 1.0              | 0.7   |
|                              |                       | **               | 0.2              | 3.3              | 3.0              | 0                | 0                | 4.0              | 4.1              | 3.6              | 3.3              | 3.4   |
|                              | temperature (°C)      | *                | 3.5              | 2.5              | 8.0              | 4.2              | 1.9              | 14.4             | 14.1             | 15.3             | 15.0             | 15.8  |
|                              |                       | **               | 2.0              | 2.0              | 11.2             | 3.3              | 1.2              | 13.7             | 13.8             | 14.4             | 13.8             | 14.9  |
|                              | relative humidity (%) | *                | 43.0             | 45.3             | 24.2             | 36.5             | 46.3             | 46.3             | 46.5             | 45.8             | 40.6             | 36.9  |
| **                           |                       | 48.0             | 46.0             | 24.7             | 35.0             | 48.9             | 48.5             | 47.8             | 49.5             | 50.1             | 53.9             |       |
| Traffic volume (대/hr)        |                       |                  | 372              | 1,231            | 1,963            | 1,689            | 838              | 1,611            | 1,519            | 1,732            | 1,681            | 1,331 |
| Vehicle velocity (km/hr)     |                       |                  | 42.5             | 35.2             | 23.3             | 24.9             | 45.1             | 28.6             | 30.0             | 27.1             | 28.2             | 27.3  |

\* : inside, \*\* : outside.

Table 4. The results of measurement('91. 11. 16, 17)

| Measured time                      |                          | '91년 11월 16일 (트) |            |            |            |            | '91년 11월 17일 (일) |            |            |            |            |       |
|------------------------------------|--------------------------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------|------------|-------|
|                                    |                          | 14:00<br>}       | 15:00<br>} | 16:00<br>} | 17:30<br>} | 18:00<br>} | 07:00<br>}       | 08:00<br>} | 09:00<br>} | 10:00<br>} | 11:00<br>} |       |
|                                    |                          | 15:00            | 16:00      | 17:00      | 18:30      | 19:00      | 08:00            | 09:00      | 10:00      | 11:00      | 12:00      |       |
| Concentration<br>(ppm)             | SO <sub>2</sub>          | *                | 0.161      | 0.170      | 0.180      | 0.211      | 0.180            | 0.062      | 0.086      | 0.088      | 0.102      | 0.084 |
|                                    |                          | **               | 0.058      | 0.059      | 0.053      | 0.058      | 0.056            | 0.053      | 0.068      | 0.070      | 0.082      | 0.072 |
|                                    | CO                       | *                | 8.000      | 8.400      | 8.900      | 9.800      | 8.000            | 6.900      | 7.900      | 7.700      | 7.600      | 7.600 |
|                                    |                          | **               | 3.100      | 3.400      | 3.700      | 4.100      | 5.200            | 3.000      | 3.800      | 3.800      | 2.700      | 2.400 |
|                                    | NO <sub>x</sub>          | *                | 1.761      | 1.821      | 1.971      | 2.011      | 1.621            | 1.009      | 1.224      | 1.289      | 1.492      | 1.600 |
|                                    |                          | **               | 0.191      | 0.181      | 0.141      | 0.110      | 0.101            | 0.130      | 0.336      | 0.339      | 0.548      | 0.742 |
| THC                                | *                        | 8.871            | 8.971      | 9.721      | 9.901      | 7.811      | 5.190            | 6.901      | 6.220      | 8.401      | 8.201      |       |
|                                    | **                       | 4.321            | 4.521      | 4.680      | 4.711      | 4.511      | 3.081            | 3.721      | 3.080      | 4.061      | 4.011      |       |
| Meteorological<br>factor<br>(대/hr) | wind direction           | **               | 북동         | 북서         | 남서         | 북동         | 북동               | 서          | 남서         | 북동         | 북서         | 남서    |
|                                    | wind velocity<br>(m/sec) | *                | 0.7        | 0.9        | 0.9        | 1.0        | 1.0              | 0.7        | 1.0        | 0.9        | 1.3        | 1.1   |
|                                    |                          | **               | 2.2        | 3.5        | 4.6        | 3.2        | 3.1              | 3.8        | 4.1        | 4.3        | 4.2        | 3.8   |
|                                    | temperature<br>(°C)      | *                | 15.1       | 14.5       | 13.9       | 14.0       | 14.2             | 14.2       | 14.5       | 14.0       | 15.0       | 14.8  |
|                                    |                          | **               | 11.8       | 13.0       | 11.4       | 11.9       | 12.1             | 13.4       | 13.6       | 14.1       | 14.2       | 14.1  |
|                                    | relative humidity<br>(%) | *                | 38.9       | 49.8       | 49.8       | 47.3       | 45.0             | 46.1       | 47.2       | 46.2       | 44.5       | 43.2  |
| **                                 |                          | 51.7             | 42.3       | 55.6       | 50.6       | 47.7       | 49.4             | 48.4       | 48.2       | 48.5       | 51.3       |       |
| Traffic volume (대/hr)              |                          |                  | 1,463      | 1,632      | 1,669      | 1,701      | 1,695            | 1,057      | 1,186      | 1,147      | 1,317      | 1,305 |
| Vehicle velocity<br>(km/hr)        |                          |                  | 24.1       | 28.9       | 28.6       | 26.5       | 27.6             | 36.8       | 32.0       | 32.9       | 29.9       | 30.6  |

\* : inside, \*\* : outside.

Table 5. The results of measurement('91. 11. 17, 20)

| Measured time                |                       | '91.11.17.(일)  |                | '91년 11월 29일 (수) |                |                |                |                |                |                |                |       |
|------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                              |                       | 12:00<br>13:00 | 13:00<br>14:00 | 10:00<br>11:00   | 11:00<br>12:00 | 13:00<br>14:00 | 14:00<br>15:00 | 15:00<br>16:00 | 16:00<br>17:00 | 17:00<br>18:00 | 18:00<br>19:00 |       |
| Concentration (ppm)          | SO <sub>2</sub>       | *              | 0.098          | 0.106            | 0.201          | 0.182          | 0.196          | 0.174          | 0.188          | 0.184          | 0.199          | 0.210 |
|                              |                       | **             | 0.079          | 0.086            | 0.056          | 0.042          | 0.050          | 0.038          | 0.046          | 0.043          | 0.055          | 0.058 |
|                              | CO                    | *              | 8.400          | 8.500            | 9.800          | 8.600          | 9.200          | 8.400          | 9.600          | 9.400          | 8.500          | 11.40 |
|                              |                       | **             | 3.200          | 3.600            | 4.100          | 3.500          | 3.600          | 3.400          | 3.800          | 3.500          | 3.400          | 6.300 |
|                              | NO <sub>x</sub>       | *              | 1.917          | 1.920            | 1.914          | 1.900          | 0.910          | 1.811          | 1.942          | 1.927          | 1.891          | 1.922 |
|                              |                       | **             | 0.848          | 0.850            | 0.146          | 0.138          | 0.140          | 0.140          | 0.144          | 0.148          | 0.148          | 0.152 |
| THC                          | *                     | 8.511          | 9.671          | 8.938            | 8.796          | 8.810          | 8.871          | 8.900          | 8.821          | 8.707          | 9.110          |       |
|                              | **                    | 4.720          | 4.920          | 3.108            | 4.518          | 4.110          | 4.509          | 3.120          | 4.211          | 4.507          | 4.010          |       |
| Meteorological factor (대/hr) | wind direction        | **             | 북동             | 북동               | 북동             | 북동             | 북              | 북동             | 남서             | 북동             | 북동             | 북     |
|                              | wind velocity (m/sec) | *              | 1.5            | 1.6              | 1.2            | 1.0            | 1.0            | 0.9            | 1.0            | 1.1            | 1.1            | 1.5   |
|                              |                       | **             | 4.0            | 4.4              | 4.4            | 4.4            | 3.8            | 4.0            | 4.1            | 3.9            | 4.6            | 4.4   |
|                              | temperature (°C)      | *              | 15.8           | 15.7             | 14.7           | 14.4           | 14.4           | 14.4           | 14.5           | 14.5           | 14.3           | 14.9  |
|                              |                       | **             | 15.0           | 14.9             | 13.2           | 13.3           | 13.9           | 13.8           | 13.6           | 13.3           | 12.8           | 12.7  |
| relative humidity (%)        | *                     | 39.9           | 40.4           | 46.9             | 46.4           | 47.9           | 45.4           | 49.7           | 49.3           | 45.8           | 48.0           |       |
|                              | **                    | 49.5           | 51.9           | 49.3             | 49.3           | 50.1           | 47.6           | 55.7           | 55.6           | 49.3           | 57.2           |       |
| Traffic volume (대/hr)        |                       |                | 1,571          | 1,659            | 1,726          | 1,635          | 1,650          | 1,607          | 1,699          | 1,672          | 1,632          | 1,796 |
| Vehicle velocity (km/hr)     |                       |                | 28.8           | 28.3             | 26.2           | 29.0           | 28.9           | 29.0           | 26.4           | 28.9           | 28.9           | 25.9  |

\* : inside, \*\* : outside.



### III-2. 아황산가스

총 40개의 시간대별 실측자료 중 유효하다고 생각되는 35개 자료에 대해서 터널내 평균, 최대, 최소 농도치를 Table 6에 정리하였다.

Table 6. Concentration of SO<sub>2</sub> in T-Tunnel (unit : ppm)

| No. of cases observed | Arithmetic Mean±SD | Max. value | Min. Value |
|-----------------------|--------------------|------------|------------|
| 35                    | 0.1293±0.0573      | 0.260      | 0.032      |

실측자료의 시간대는 하루중에 걸쳐서 거의 균등하게 형성되어 있으며, 시료채취 시간은 15분간으로써 환경처 대제 31711-4296호(90. 4. 16)로 제시된 지하공간 환경기준 권고치(0.5 ppm/15분)와 비교할 때 모든 실측치가 지하공간 환경기준 권고치를 만족함을 알 수 있다.

각 실측자료에 대한 터널내 아황산가스농도(Y<sub>SO2</sub>)와 각 영향인자 사이의 상관계수(r)값을 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Correlation coefficients between SO<sub>2</sub> Concentration and influencing factors in T-tunnel

| Influencing factors        | Traffic Volume (대/hr) | Velocity (km/hr) | Outside conc. (ppm) | Wind direction (0-1) | Wind speed (m/sec) | Temperature (°C) | Relative humidity (%) |
|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| Correlation coefficient(r) | 0.66                  | -0.60            | 0.032               | 0.28                 | -0.51              | 0.61             | 0.25                  |

터널내 아황산가스 농도(Y<sub>SO2</sub>)와 양의 상관관계를 나타내는 요소는 교통량, 외부농도, 풍향, 온도, 상대습도이며, 상관계수치가 0.25~0.66으로 나타났다. 이는 교통량의 경우에는 교통량이 많아지므로서 아황산가스 배출량이 많아지며 따라서 농도의 증가가 일어나기 때문이다. 외부농도의 경우에는, 실측치 모두에서 터널내 농도가 터널외부 농도보다 높게 분석되었다. 따라서 터널외부농도가 커질에 따라 농도구배에 의한 확산능력이 저하되기 때문에 터널내 Y<sub>SO2</sub>가 상대적으로 증가되기 때문인 것으로 생각된다. 기상학적 요인 중 풍향, 온도 및 상대습도의 경우에는 그 자체로서의 의미보다는 다른 요인과의 관련성 때문으로 생각 되는데, 즉 온도의 경우 교통량이 증가하면 차량의 배출가스 온도에 영향을 받아서 터널내의 온도가 높아지며 따라서 양의 상관관계를 갖는 것으로 판단된다.

터널내  $Y_{SO_2}$ 와 역의 관계를 나타내는 요소로는 차량통과속도 및 풍속 등으로, 그 상관계수치는 통과속도가 -0.60, 풍속이 -0.51로 비교적 높은 역상관성을 갖는 것으로 나타났다. 이의 이유를 보면, 차량통과속도의 경우에는 통과속도가 빠를수록 오염물질 배출량이 상대적으로 작아지기 때문이며, 풍속의 경우는 풍속이 커질수록 수평방향의 확산능력이 증대되어 농도가 낮아지기 때문으로 생각된다.

Table 8에 독립변수로서 차량통과속도, 교통량, 온도, 상대습도, 풍향, 풍속, 터널외부농도 등 7개변수를 택하여 중회귀분석 방법 중 계단분석법(Stepwise method)를 사용하여 나온 결과를 정리하였다.

Table 8. Stepwise analysis for  $SO_2$  in T-tunnel

| Step | Variable entered  | Multiple R | R square | Significance F |
|------|-------------------|------------|----------|----------------|
| 1    | Traffic volume    | 0.59       | 0.34     | 0.0000         |
| 2    | Wind speed        | 0.59       | 0.47     | 0.0000         |
| 3    | Relative humidity | 0.74       | 0.54     | 0.0000         |

Table 8에서 보는 바와 같이 터널내  $Y_{SO_2}$ 와 가장 큰 관련을 갖는 요소는 교통량으로 나타났으며, 다음이 풍속, 상대 습도 순으로 분석되었다. 계단분석법으로 선정된 3개변수에 의한 터널내  $Y_{SO_2}$  추정식의  $R^2$ 은 0.54로써 비교적 높은 값을 나타내고 있다. 또한 터널내  $Y_{SO_2}$ 에 대한 중회귀 방정식은 다음식(1)과 같이 구해졌다.

$$Y_{SO_2} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 \dots \dots \dots (1)$$

여기서 각 편회귀계수값과 설명변수의 단위는 다음과 같다.

- $\alpha_0$  : -0.03639                       $X_1$  : 교통량(대/hr)
- $\alpha_2$  : 6.266E-05                     $X_2$  : 상대습도(%)
- $\alpha_3$  : 3.586E-03                     $X_3$  : 풍속(m/sec)
- $\alpha_7$  : -0.02533

식(1)에서 교통량의 경우,  $Y_{SO_2}$ 에 양의 기여를 하는데, 이는 앞에서 고찰된 바와 같이 교통량이 많아질수록 오염물질 배출량이 많아지므로 인하여  $Y_{SO_2}$ 가 높아지기 때문이다. 또한 풍속의 경우에는 풍속이 클수록 수평방향으로의 확산능력이 증대됨에 따라서  $Y_{SO_2}$ 에 부의 영향을 주는 것과 잘 일치되고 있다. 상대습도의 경우, 상대습도가 높을수록 대기오염물질농도가 높다는 연구보고<sup>20)</sup>와 일치함을 알 수 있다. 여기에 대한 정확한 메카니즘은 잘 알려져 있지 않는데 차후 이 부분에 대한 관련 연구가 필요하다고 생각된다.

식(1)과 같이 추정된 예측식에 의한 예측치(calculated value)와 실측치(measured value)와의 관계를 Fig.1에 나타냈었다

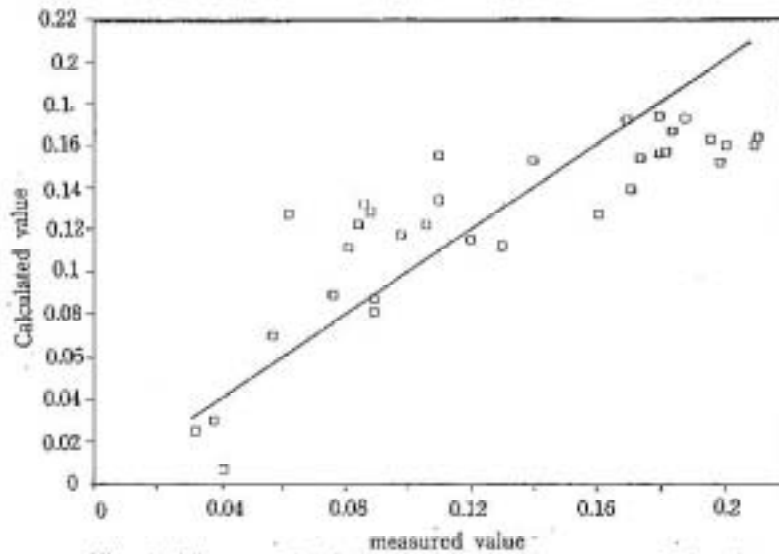


Fig. 1. The trend of deviation between measured value and calculated value of SO<sub>2</sub>.

Fig.1에서 보면 저농도범위(0.15ppm)에서는 예측치가 실측치보다 높게 나타나며, 고농도로 갈수록 예측치가 실측치보다 낮게 나타나므로써, 고농도의 경우, 예측식에 의해 장래(2000년)를 예측할 경우에는 과소평가(underestimate)됨을 알 수 있다.

Y<sub>200</sub>의 예측모형의 (1)번 예측식의 3개변수에 대한 결정계수값 R<sup>2</sup>는 0.54로 비교적 높은 값을 나타내어 실측자료(35개)에 대한 상관계수값 R<sup>2</sup>가 약 0.48로 나타남을 고려할 때, 장래(2000년)의 터널내 Y<sub>200</sub> 예측식으로 사용해도 무방할 것으로 생각된다. 따라서 이 예측모형을 이용해 2000년의 터널내 Y<sub>200</sub>를 추정하였다. 이때, 입력자료로써 2000년대의 대상 터널의 시간당 통과차량대수를 관련자료<sup>14)</sup>를 이용하여 추정하면 23,918대이나, 이는 실제 터널의 차량소통능력의 한계가 있기 때문에 실제 최대교통량이 될 때는 차량길이, 차간거리 및 통과속도를 고려하여, 통과속도는 정체시간대로 보아 25km/hr, 최대 차간거리는 8m로 적용하여 다음식(2)에 의해서 구하면 6,250대로 추정되었다.

$$NT = 1(\text{hr}) \div \frac{S}{V} \times N \dots\dots\dots (2)$$

- NT : 통과차량수(교통량) (대/hr)
- S : 터널길이(km)
- V : 포화시 터널통과속도(km/hr)
- N : 터널내 포화차량수(대/터널내)

또한 기상변수인 풍속과 상대습도는 장래에도 크게 변화되지 않을 것으로 판단되며, 실측자료 중에도 이들 값의 변화가 특별한 경향을 따르지 않으므로 풍속, 상대습도의 입력치는 실측치의 평균값을 대입시켜 예측하였다.

Table 9. Prediction of future Concentration of SO<sub>2</sub>(2000year)

| Variavle              | X <sub>2</sub> | X <sub>4</sub> | X <sub>7</sub> |
|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Values of variavles   | 6,250          | 46.8           | 1.38           |
| Prediction conc.(ppm) | 0.438          |                |                |

그 추정된 값은 Table 9에서와 같이 예측농도가 0.438로 지하공간 환경기준 권고치(0.5ppm/15분)와 비교할 때 기준치를 다소 밑돌고 있으나, 이는 앞에서 고찰된 바와 같이 예측모형이 고농도 부분에서는 과소평가 되는 것을 감안할 때, 이상에서 고찰된 바와 같이, 현재의 경우에서는 지하공간 환경기준 권고치를 만족하고 있으나, 장래(2000년)에는 지하공간 환경기준 권고치를 크게 벗어날 가능성이 클 것으로 판단되어 이에 대한 대책이 요구된다.

### III-3. 질소산화물

총 35개의 시간대별 측정 자료에 대한 질소산화물의 농도범위와 시간대별 평균농도에 대한 일중 변화경향을 Table 10에 나타내었다.

Table 10. Concentration of NO<sub>x</sub> in T-Tunnel (unit : ppm)

| No. of cases observed | Arithmetic Mean ± SD | Max. value | Min. Value |
|-----------------------|----------------------|------------|------------|
| 35                    | 1.6496 ± 0.3172      | 2.315      | 0.910      |

Table 10에서 보면 질소산화물의 터널내 농도는 0.91~2.315의 값을 나타내고 있으며, 그 평균치는 1.6496 ± 0.3172로써 지하공간 환경기준 권고치 0.5ppm/15분보다 훨씬 높게 나타나 현재의 터널내 질소산화물 농도는 매우 심각한 상태에 있음을 알 수 있다.

Table 11에 터널내 질소산화물 농도와 각 영향인자 사이의 상관계수(r)값을 정리하였다.

Table 11. Correlation coefficients between NO<sub>x</sub> Concentration and influencing factors in T-tunnel

| Influencing factors        | Traffic Volume (대/hr) | Velocity (km/hr) | Outside conc. (ppm) | Wind direction (0~1) | Wind speed (m/sec) | Temperature (°C) | Relative humidity (%) |
|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| Correlation coefficient(r) | 0.443                 | -0.505           | 0.135               | 0.291                | -0.039             | 0.265            | -0.187                |

터널내 질소산화물의 농도( $Y_{NOx}$ )와 양의 상관관계를 갖는 요소는 교통량, 외부농도, 풍향, 온도 등이며 상관계수값  $r$ 은 0.14~0.44를 나타내고 있으며, 역의 상관관계를 갖는 요소는 통과속도, 풍속, 상대습도 등으로 상관계수( $r$ )값은 -0.04~-0.51의 값을 나타냈다. 이들 영향 인자 중  $Y_{NOx}$ 와 상대적으로 높은 상관성을 갖는 인자는 교통량 및 차량통과속도로 나타났으며, 그 외의 인자는 거의 상관성이 미약함을 알 수 있다. 교통량과는 양의 상관성을 나타내며, 통과속도와는 거의 역의 상관관계를 나타내는 것은 앞서 고찰한 아황산가스의 경우와 동일하게 설명될 수 있다.

Table 12에 7개의 독립변수를 선택하여 계단분석방법에 의해서 나온 결과를 정리하였다.

Table 12. Stepwise analysis for  $NO_x$  in T-tunnel

| Step | Variable entered | Multiple R | R square | Significance F |
|------|------------------|------------|----------|----------------|
| 1    | Traffic volume   | 0.630      | 0.397    | 0.0000         |
| 2    | Wind direction   | 0.690      | 0.476    | 0.0000         |

Table 12에서 보는 바와 같이  $Y_{NOx}$ 와 관련성이 있는 큰 인자는 교통량, 풍향순으로 분석되었으며, 이들 두 변수에 의한 결정계수값  $R^2$ 은 0.48로 나타났다.

또한 이방법에 의해서 도출된 중회귀 방정식은 다음식(3)과 같다.

$$Y_{NOx} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

- $\alpha_0$  : 0.92335                       $X_1$  : 교통량(대/hr)
- $\alpha_1$  : 3.970E-04                  $X_2$  : 풍향(0~1)
- $\alpha_2$  : 0.33168

식(3)에서 교통량과 풍향인자 모두가  $Y_{NOx}$ 에 양의 기여를 하고 있는데, 교통량의 경우는 앞에서 고찰한 바와 같이, 교통량 증가에 따라 질소산화물 배출량이 증대되어  $Y_{NOx}$ 의 증가가 일어나기 때문이다. 풍향의 경우<sup>10)</sup> 변형을 터널방향을 기준으로 0°, 180°일 때를 1로, 90°, 270°일 때를 0으로, 45°, 135°의 경우를 0.5로 하였기 때문에 180° 차이의 대면방향에 의해서 해륙풍의 경우와 같이 중심부의 농도가 높아지는 것과 같은 현상인 것으로 판단된다.

또한 식(3)과 같이 추정된 예측 모형에 의한 예측치와 실측치 사이의 관계를 그래프로 나타내면 Fig.2와 같다.

Fig.2에서 판단할 때 아황산가스의 경우와 같이 고농도 영역에서 예측치가 실측치보다 낮게 추정되는 경향을 알 수 있다. 한편 실측치와 예측치간의 관계는 상관계수값  $r$ 이 0.63으로 계산되어졌으며 (3)번 예측식의 2개변수에 대한 결정계수값  $R^2$ 이 0.48로서  $Y_{NOx}$ 의 예측식과, 거의 비슷한 수준을 나타내어 장래(2000년)의 터널내  $Y_{NOx}$ 를 추정해 보았다. 이때 필요한 입력자료로써 시간당 T터널의 교통량은 식(2)에 의해, 앞에서 계산된 바와 같이 6,250대를 적용시켰으

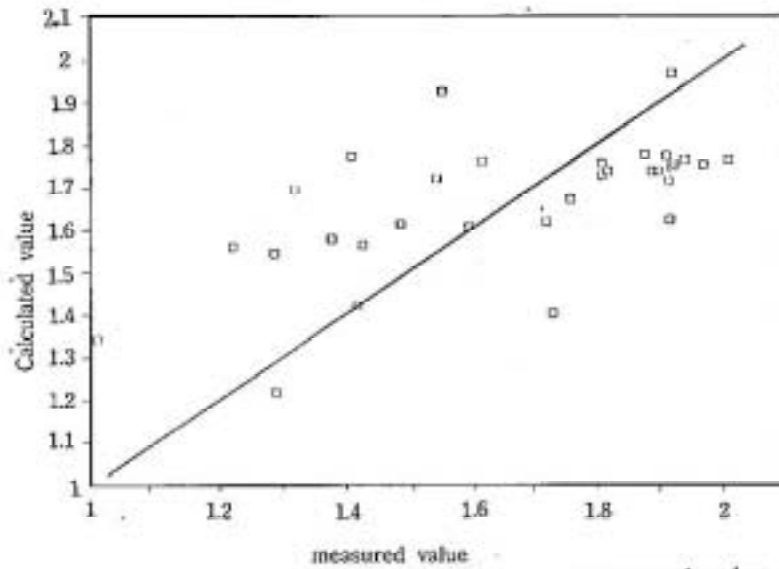


Fig. 2. The trend of deviation between measured value and calculated value of  $\text{NO}_x$ .

며, 중항의 경우에는 대상구역내에서 국지조건에 따라 random하게 변하므로 이역시 다른 기상요소의 경우와 같이 평균치를 산정하여 적용시켰으며 Table 13에 정리하였다.

Table 13. Prediction of future Concentration of  $\text{NO}_x$ (2000year)

| Variable              | $X_0$ | $X_1$ |
|-----------------------|-------|-------|
| Values of variavles   | 6,250 | 0.5   |
| Prediction conc.(ppm) | 3.570 |       |

장래(2000년)의 T-터널내 예측  $Y_{\text{NO}_x}$ 는 3.57ppm으로서, 실측당시('90~'91)의  $Y_{\text{NO}_x}$ 보다 훨씬 높게 예측되어, 현재의 평균농도와 비교하면 약 2배 정도의 수준을 나타낼 것으로 예측된다. 또한 예측식이 고농도 부분에서 과소 평가되는 점을 고려한다면  $Y_{\text{NO}_x}$  역시  $Y_{\text{SO}_2}$ 와 같이 적절한 대책 마련이 필요하다고 생각된다.

### III - 4. 일산화탄소

총 실측자료 35개에 대한 터널내 일산화탄소 농도( $Y_{\text{CO}}$ )에 대한 최대 및 최소, 평균농도를 Table 14에 정리하였다.

Table 14. Concentration of CO in T-Tunnel (unit : ppm)

| No. of cases observed | Arithmetic Mean $\pm$ SD | Max. value | Min. Value |
|-----------------------|--------------------------|------------|------------|
| 35                    | 7.6029 $\pm$ 2.0672      | 11.4000    | 6.9000     |

Table 14에서 보면 일산화탄소의 터널내 농도는 6.9000~11.4000의 값을 나타내고 있으며, 그 평균치는 7.6029 $\pm$  2.0672로써 지하공간 환경기준 권고치 0.5ppm/15분을 만족함을 알 수 있다.

Table 15에서 터널내 Y<sub>CO</sub>와 각 영향인자 사이의 상관계수(r)값을 정리하였다.

Table 15. Correlation coefficients between CO Concentration and influencing factors in T-tunnel

| Influencing factors        | Traffic Volume (대/hr) | Velocity (km/hr) | Outside conc. (ppm) | Wind direction (0~1) | Wind speed (m/sec) | Temperature (°C) | Relative humidity (%) |
|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| Correlation coefficient(r) | 0.785                 | -0.730           | 0.772               | 0.109                | -0.561             | 0.779            | 0.317                 |

터널내 Y<sub>CO</sub>와 양의 상관관계를 갖는 요소는 교통량, 외부농도, 상대습도 등이며 상관계수값 r은 0.11~0.79를 나타내고 있다. 역상관관계를 갖는 요소는 통과속도, 풍속 등으로 상관계수값은 차량통과속도가 -0.73, 풍속이 -0.56의 값을 나타냈다. 이들 영향인자 중에서 Y<sub>CO</sub>와 상대적으로 높은 상관성을 갖는 인자는 교통량 및 차량통과속도, 외부농도, 온도, 풍속 등으로 나타났으며, 그 외의 인자는 거의 상관성이 미약함을 알 수 있다. 교통량, 외부농도, 온도 등과는 양의 상관성을 나타내고 통과속도 및 풍속과는 역의 상관관계를 나타내는 것은 앞서 고찰한 아황산가스의 경우와 동일하게 설명된다.

Table 16에 7개의 독립변수를 선택하여 계단분석방법에 의해서 나온 결과를 정리하였다.

Table 16. Stepwise analysis for CO in T-tunnel

| Step | Variable entered  | Multiple R | R square | Significance F |
|------|-------------------|------------|----------|----------------|
| 1    | Traffic volume    | 0.800      | 0.640    | 0.000          |
| 2    | Temperature       | 0.903      | 0.816    | 0.000          |
| 3    | Relative humidity | 0.957      | 0.916    | 0.000          |
| 4    | Outside conc.     | 0.966      | 0.934    | 0.000          |

Table 16에서처럼  $Y_{CO}$ 와 관련성이 큰 인자는 교통량, 온도, 상대습도, 외부농도 순으로 분석되었으며, 이들 네개 변수에 의한 결정계수 값  $R^2$ 은 0.93로 상당히 높게 나타났다. 한편 이 방법에 의해서 도출된 증회귀 방정식은 다음 식(4)와 같이 구해졌다.

$$Y_{CO} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 \dots \dots \dots (4)$$

여기서 각 편회귀 계수값과 설명변수의 단위는 다음과 같다.

- $\alpha_0$  : -5.47869                       $X_1$  : 교통량(대/hr)
- $\alpha_1$  : 2.566E-03                     $X_2$  : 온도(C)
- $\alpha_2$  : 0.19038                       $X_3$  : 상대습도(%)
- $\alpha_3$  : 0.12957                       $X_4$  : 외부농도(ppm)
- $\alpha_4$  : 0.39637

식(4)에서 교통량, 온도, 상대습도, 외부농도-등 모든 인자가  $Y_{CO}$ 에 양의 기여를 하고 있으며, 이들에 대한 이유는 앞서 고찰된 아황산가스 및 질소산화물의 경우와 동일하게 설명된다. 또한 식(4)와 같이 추정된 예측 모형에 의한 예측치와 실측치 사이의 관계를 그래프로 나타내면 Fig. 3과 같다.

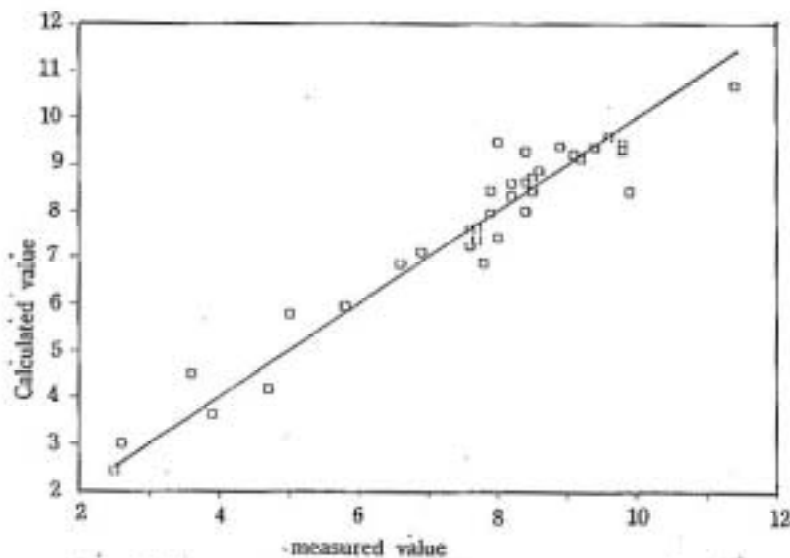


Fig. 3. The trend of deviation between measured value and calculated value of CO.

Fig.3에서 생각해 볼때 고농도 및 저농도 영역에서 모두 예측치와 실측치가 거의 비슷하게 추정되는 경향을 볼 수 있다. 실측치와 예측치간의 관계는 상관계수값  $r$ 이 0.80으로 계산되었으며, (4)번 예측식의 4개변수에 대한 결정계수값  $R^2$ 이 0.93으로 상당히 높은 수준을 나타내므로 장래(2000년)의 터널내  $Y_{CO}$ 를 추정해 보았다.



이때, 필요한 입력자료로서 시간당 T터널의 교통량은 식(2)에 의해 계산된 바와 같이 6,250대를 적용시켰으며, 기상학적 요인인 온도와 상대습도 및 외부온도는 장래에도 크게 변화되지 않을 것으로 판단되어 실측자료의 평균값을 적용시켰다. 외부농도의 경우, 장래 한정된 공간 내의 각종 배출원에 의한 배출량이 증가될 것으로 보이며 장래 농도 증가경향 파악을 위해 충분한 자료가 미비하기 때문에 1991년의 외부 CO농도의 최대치를 적용시켰다.

Table 17. Prediction of future Concentration of CO(2000year)

| Variable              | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Values of variavles   | 6,250 | 12.01 | 46.8  | 6.3   |
| Prediction conc.(ppm) | 21.41 |       |       |       |

이에 대한 결과는 Table 17에서 정리된 바와 같이 2000년대 T-터널내의 예측 CO농도는 21.41 ppm으로 지하공간 환경기준 권고치에는 훨씬 못 미치나 1991년  $Y_{CO}$ 의 3배 정도의 수준에 이를 것으로 예측된다. 그러나 지하공간 환경기준 권고치를 근거로 장래의  $Y_{SO_2}$ ,  $Y_{NOx}$  등과 비교하면 상당히 양호한 수준을 나타내었다.

### III-5. 총탄화수소

총 실측자료 35개에 대한 터널내 총탄화수소( $Y_{THC}$ )에 대한 최대 및 최소, 평균농도를 Table 18에 정리하였다.

Table 18. Concentration of THC in T-Tunnel (unit : ppm)

| No. of cases observed | Arithmetic Mean $\pm$ SD | Max. value | Min. Value |
|-----------------------|--------------------------|------------|------------|
| 35                    | 7.754 $\pm$ 1.417        | 9.901      | 4.980      |

Table 18에서 보면 총탄화수소의 터널내 농도는 4.980~9.901의 값을 나타내고 있으며, 그 평균치는 7.754  $\pm$  1.417이다. 총탄화수소 중 메탄계의 경우 인체에 거의 영향이 없으며, 비메탄계가 각종 광화학 반응에 의해 인체에 영향을 미치는 부차적인 물질로 전환되어 영향을 미친다. 터널내의 경우 외부와는 달리 태양광선이 거의 차단되므로 실제적으로 인체에 직접적인 영향은 거의 없으리라고 판단되며 따라서 지하공간 환경기준 권고치로써 기준설정이 되어 있지 않은 실정이다.

Table 19에 터널내  $Y_{THC}$ 와 각 영향인자 사이의 상관계수값  $r$ 을 정리하였다.

Table 19. Correlation coefficients between THC Concentration and influencing factors in T-tunnel

| Influencing factors        | Traffic Volume (대/hr) | Velocity (km/hr) | Outside conc. (ppm) | Wind direction (0~1) | Wind speed (m/sec) | Temperature (℃) | Relative humidity (%) |
|----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| Correlation coefficient(r) | 0.629                 | -0.611           | 0.481               | 0.246                | -0.401             | 0.655           | 0.183                 |

터널내  $Y_{THC}$ 와 양의 상관관계를 갖는 요소는 교통량, 외부농도, 상대습도, 온도, 풍향 등이며, 상관계수값  $r$ 은 0.18~0.63를 나타내고 있으며, 역상관관계를 갖는 요소는 통과속도, 풍속 등으로 상관계수값  $r$ 은 차량통과 속도가 -0.61, 풍속이 -0.40의 값을 나타냈다. 이들 영향인자 중에서  $Y_{THC}$ 와 상대적으로 높은 상관성을 갖는 인자는 교통량 및 외부농도, 온도 등으로 나타났다으며, 그 외의 인자들은 거의 상관성이 미약함을 알 수 있다. 교통량, 차량통과속도 및 온도 등과는 양의 상관관계를 나타내며, 차량 통과 속도 및 풍속과는 역의 상관관계를 나타내는 것은 앞서 고찰한 아황산가스의 경우와 동일하게 설명된다.

Table 20에 7개의 독립변수를 선택하여 계단분석방법에 의해서 나온 결과를 정리하였다.

Table 20. Stepwise analysis for THC in T-tunnel

| Step | Variable entered  | Multiple R | R square | Significance F |
|------|-------------------|------------|----------|----------------|
| 1    | Temperature       | 0.663      | 0.440    | 0.000          |
| 2    | Outsidel conc.    | 0.814      | 0.663    | 0.000          |
| 3    | Relative humidity | 0.857      | 0.735    | 0.000          |
| 4    | Velocity          | 0.881      | 0.777    | 0.000          |

Table 20에서처럼  $Y_{THC}$ 와 관련성이 큰 인자는 온도, 외부농도, 상대습도, 차량통과속도 순으로 분석되었으며, 이들 네개 변수에 의한 결정계수값  $R^2$ 은 0.78로 나타났다.

한편 이방법에 의해서 도출된 회귀 방정식은 다음식(5)과 같이 구해졌다.

$$Y_{THC} = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 \quad \dots \dots \dots (5)$$

여기서 각 회귀계 계수값과 설명변수의 단위는 다음과 같다.

- $\alpha_0$  : -1.32104                       $X_1$  : 차량통과속도(km/hr)
- $\alpha_1$  : -0.05092                       $X_2$  : 온도(℃)
- $\alpha_2$  : 0.16210                         $X_3$  : 상대습도(%)
- $\alpha_3$  : 0.10172                         $X_4$  : 외부농도(ppm)
- $\alpha_4$  : 1.03064

식(5)에서 각 편회계수의 부호에 대한 고찰은 앞서 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소에서 여러인자들에 대해서 고찰한 내용과 동일하게 설명된다. 온도, 습도, 외부농도 등이 클수록, 차량통과속도가 작을수록, 터널내 총탄화수소의 농도는 증가됨을 알 수 있다.

식(5)와 같이 추정된 예측모형에 의한 예측치와 실측치 사이의 관계를 그래프로 나타내면 Fig4와 같다.

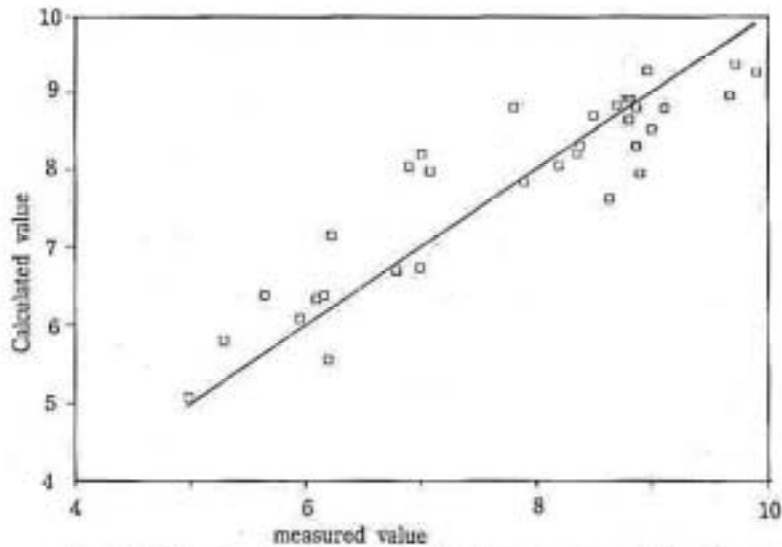


Fig. 4. The trend of deviation between measured value and calculated value of THC.

Fig4에서 판단할 때, 아황산가스와 마찬가지로 고농도 영역에서 예측치가 실측치보다 다소 낮게 추정되는 경향을 알 수 있다.

실측치와 예측치간의 관계는 상관계수값  $r$ 이 0.66으로 계산되어 졌으며, (5)번 예측식의 4개 변수에 대한 결정계수값  $R^2$ 이 0.78로서 비교적 높은 수준을 나타내므로 장래(2000년)의 터널내  $Y_{THC}$ 를 추정해 보았다. 이때, 필요한 입력변수로서 통과속도는 앞서 아황산가스의 고찰에서 2000년의 포화교통량을 산정할 때 가정된 통과속도(25km/hr)를 적용시켰으며, 온도와 상대습도 등 기상학적 요소는 실측치의 평균치(온도 12.0℃, 상대습도 46.8%)를, 외부농도는 실측치의 최대치(4.290ppm)를 적용시켰다. 2000년의  $Y_{THC}$ 를 예측하여 보았더니, 장래 예측농도가 9.18 ppm으로 예측되어 1991년의  $Y_{THC}$ 와 큰 차이를 나타내지는 않았다. 이러한 이유는, 이 예측식 (5)번이 고농도 부근에서는 다소 과소평가 되어지는 이유와 차량통과속도 및 온도, 상대습도 등의 기상학적 변수 입력치가 1991년과 거의 같은 값을 대입시킨 결과인데 실제로는 급격한 교통량의 증대에 의해서 터널내 차량정체가 있을 경우(실제 8~9.8km/hr)와 교통량이 증대되면 배출가스의 영향에 의해서 터널내 온도도 대입시킨 값보다 높은 값을 갖는 이유 등에 의해서 설명된다. 이러한 영향을 줄이기 위해 실측치로부터  $Y_{THC}$ 의 최대농도가 산정되기 위해 Fig4

에서 판단할 때 아황산가스와 마찬가지로 고농도 영역에서 예측치가 실측치보다 다소 낮게 추정되는 경향을 알 수 있다. 실측치와 예측치 사이의 관계는 상관계수값  $r$ 이 0.66으로 계산되어졌으며, (5)번 예측식의 4개의 변수에 대한 결정계수값  $R^2$ 이 0.78로서, 비교적 높은 수준을 나타내므로, 장래(2000년)의 터널내  $Y_{TAC}$ 를 추정해 보았다.

이때 필요한 입력변수로서 통과속도는 앞서 아황산가스의 고찰에서 장래(2000년)의 포화교통량을 산정할 때 가정된 통과속도 25km/hr를 적용시켰으며, 온도와 상대습도 등의 기상학적 요소는 실측치의 평균치를, 외부농도는 실측치의 최대치를 적용시켰다. 장래(2000년)의  $Y_{TAC}$ 는 9.18ppm으로 예측되어 1991년  $Y_{TAC}$ 와 크게 다른 차이를 나타내지 않았다. 이러한 이유는, 이 예측식(5)이 고농도 부근에서 다소 과소평가되는 이유와 통과속도 및 온도, 습도 등의 변수 입력치가 지금과 거의 같은 값을 대입시킨 결과인데, 실제로 급격한 차량증대에 의해 터널내 차량정체가 있을(실제 8~9.8km/hr) 경우 및 교통량, 차량통과속도는 차량정체시의 8km/hr, 온도 및 상대습도는 각기 최대값인 15.8℃, 50.8%, 외부농도는 실측치의 최대치인 4.920ppm을 식(5)에 대입시켜, 장래(2000년)의  $Y_{TAC}$ 를 추정하면 11.07ppm으로 추정되며 이를 Table 21에 정리하였다.

Table 21. Prediction of future Concentration of THC(2000year)

| Variable              | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Values of variables   | 8     | 15.8  | 50.8  | 4.920 |
| Prediction conc.(ppm) | 11.07 |       |       |       |

장래(2000년)의 T-터널내  $Y_{TAC}$ 는 1991년의 농도보다 약 1.5배 수준으로 다른 대기오염물질에 비하면 양호한 수준으로 생각된다. 장래(2000년)의 T-터널내  $Y_{TAC}$ 가 11.07ppm으로 현재 평균농도와 비교하여 1.5배 수준을 보이고 있는 것으로 예측되며, 또한 예측식이 고농도 영역에서 과소평가 되는 점을 고려한다면  $Y_{TAC}$ 역시 앞의  $Y_{SO_2}$ 나  $Y_{NOx}$ 처럼 적절한 대책마련이 필요하다고 판단된다.

## IV. 結 論

본 연구는 부산시내에 산재해 있는 5개 터널 중 T-tunnel을 대상으로 1990년과 1991년 12월~11월에 아황산가스 등 대기오염 물질과 기상인자, 교통량, 차량통과속도 등을 측정하여, 그 실측치를 근거로 터널오염현황을 고찰하고, 아울러서 통계적 예측모형을 수립, 장래(2000년)의 터널 오염도를 추정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 총탄화수소의 최소, 최대, 평균농도는 각각 0.032, 0.260,  $0.129 \pm 0.057$ , 0.910, 2.315,  $1.650 \pm 0.317$ , 6.9000, 11.4000,  $7.603 \pm 2.067$  및 4.980, 9.901,  $7.754 \pm 1.417$ ppm으로 나타났다.

위 인자들을 지하공간 환경기준 권고치에서 살펴보면, 아황산가스와 일산화탄소는 만족하고, 질소산화물은 훨씬 상회하였다.

2. 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소 농도와 각 영향인자 사이에 T-터널에 있어서의 중회귀 분석을 통한 계단분석은 교통량이 첫째 영향인자로 나타났고, 총탄화수소만은 첫째 영향인자로서 온도가 나타났다. 그리고 T-터널에서 측정된 모든 오염물질들은 단순회귀분석에 있어서, 교통량이 가장 큰 양의 상관관계를 나타냈다.

3. 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 총탄화수소 농도의 중회귀방정식은 다음과 같다.

$$Y_{SO_2} = -0.08639 + 6.266E-05X_1 + 3.586E-03X_2 - 0.02533X_3$$

$$Y_{NOx} = 0.92355 + 3.970E-04X_1 - 0.33168X_2$$

$$Y_{CO} = -5.47869 + 2.566E-03X_1 + 0.91038X_2 + 0.1295X_3 + 0.39637X_4$$

$$Y_{TMC} = -1.32104 - 0.05092X_1 + 0.16210X_2 + 0.10172X_3 + 1.03064X_4$$

4. 장래(2000년)의 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소, 총탄화수소의 예측농도는 각각 0.44, 3.57, 21.41 및 11.07ppm으로, 아황산가스, 질소산화물, 일산화탄소의 경우에는 지하공간 환경기준 권고치를 크게 벗어날 가능성이 크며, 총탄화수소는 1991년 현재의 평균농도에 비해서 약 1.5배 정도로 나타났다.

5. 본 연구 결과로 판단할 때, 포괄적이며 진정한 터널오염 통계프로그램과 계획이 수행되어져야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

1. 환경처, "지하공간 환경기준 권고치", (1990. 4).
2. 日本藥學會編, "衛生試驗法·註解", 金原出版, pp. 980-981, (1980).
3. 환경처, "환경오염 공정시험법", (1988).
4. 박성현, "회귀분석", 대영사, pp. 171-199, (1986).
5. 임준근, "선형회귀분석", 자유아카데미, pp. 86-287, (1987).
6. 許文烈, "數理統計學", 경문사, pp. 217-218, 397-461, (1987).
7. 金宇哲 외 6명, "現代統計學", 영지문화사, pp. 218-279, (1980).
8. MARIJA J. NORUSIS, "SPSS/PC+", SPSS Inc.
9. 오택섭, "사회과학 데이터분석법", 나남출판사, pp. 285-289, (1985).
10. 金秉洙 외 3명, "SPSS를 이용한 통계자료분석", 박영사, (1987).
11. 김조천, "광화학산화제의 통계적 단기예측모형에 관한연구(서울시를 대상지역으로)", 서울대학교 환경대학원 도시계획학과 석사학위논문, pp. 15-23, (1988).
12. 김화일, "서울시 광화학스모그의 영향인자 분석에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 도시계획학과 석사학위논문, (1987).
13. 정용 외 2명, "서울시 대기 중 오존의 오염도와 그 영향인자 분석", 대기보전학회지, Vol.2, No.1, pp. 73-79, (1986).
14. 부산시, "'91 차량 교통량 조사결과", (1991).
15. 서울시, "서울시 대기오염 감축대책 연구", pp. 4-15, (1986).