

부산광역시 지하철역 지하공간의 대기오염 특성

이 화 운 · 장 난 심 · 곽 진 · 이 희 령 · 김 희 만
부산대학교 대기과학과 · 부산대학교 환경시스템학과
(2001년 6월 16일 접수; 2002년 3월 5일 채택)

Analysis of air pollution in subway area of Busan Metropolitan City

Hwa-Woon Lee, Nan-Sim Jang, Jin Kwak, Hee-Ryung Lee and Hee-Man Kim
Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 617-736, Korea
Department of Environmental System, Pusan National University, Busan 617-736, Korea
(Manuscript received 16 June, 2001; accepted 5 March, 2002)

The purpose of this study is designed to estimate the air quality of subway stations that have the underground platforms in Pusan Metropolitan City, from September to November 2000, over seventimes. The subjects include Yonsan-dong station, Somyon station, Pusan station, Nampo-dong station, and Tushil station. The samplings were conducted at three points of each station, i.e. gate, ticket gates, and platforms. The major materials for analysis were CO, NO, NO₂, and O₃. The experiment was conducted at 7:00 pm with KIMOTO HS-seven Handy sampler and Tedlar Bag of SKC INC(U.S.A). In order to more fully understand station environments, we also measured temperature at each point. The results showed that O₃ average concentration at Yonsan-dong station was higher than others with 38~51 ppb. The average concentration of NO was high at ticket gate and platform at Somyon station(119 ppb, 122 ppb), Nampo-dong station(102 ppb, 100 ppb). These results show that the air pollution of stations with underground shopping malls was higher than others. At Somyon station having a junction station, NO and NO₂ concentration level of platform-2(noncrowded) was higher than platform-1(crowded). This is most likely due to the accumulation of air pollutants and inadequate ventilation systems.

Key words : underground, gate ways, ticket gates, platforms, air pollution

1. 서 론

산업화에 따른 도시 인구의 증가는 교통, 인구집 중문제와 주거공간 확보 문제 등을 야기시켰으며, 이 문제를 해결하기 위한 대안으로 강구된 토지의 입체적 이용 방법인 건물의 고층화와 지하공간의 활용은 부족한 주거공간 확보에 절대적으로 기여하였다. 그런데 이런 곳은 환기시설이나 배기시설에 의해서만 지하공간의 실내공기를 유지할 수 있는 특수성을 감안할 때 공기오염문제는 매우 심각해질 수 있다.^{1,2)} 지하환경은 급·배기 및 온도, 습도의 조

절을 인공적으로 행하고 있지만 상가의 밀집도나 사람들의 많은 출입이 공기를 오염시키는 요인으로 작용하고 있다.^{3,4)} 게다가 지하공간은 밀폐된 상태의 공간이므로 적은 양의 유해물질이 발생되더라도 오염물질들이 축적되어 심각한 오염 현상을 초래할 수 있다.⁵⁻⁷⁾ 지하철의 가스상 오염물질의 농도는 환기에 따라 실외 공기질과 실내 배출원에 의하여 영향을 받는다고 보고 된 바 있다.⁸⁾ 우리나라 환경부에서는 지하철, 지하상가, 백화점 등 지하생활공간에 대한 전국적인 오염 파악을 위하여 '90년부터 각 시·도 보건 환경연구원에서 자체적으로 정기적인 조사를 실시하도록 하고 있다.

그러나 국내에서는 지하철 공간에 대한 연구가 소수에 불과하고 특히, 부산 지하철 공간에 대한 연구나 측정자료는 거의 없는 실정이다.

Corresponding Author : Hwa-Woon Lee, Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Busan 617-736, Korea
Phone : +82-51-510-2291
E-mail : hwlee@pusan.ac.kr

본 연구 결과는 부산시 지하철역의 쾌적한 실내 환경 조성에 필요한 기초자료를 제공함과 동시에 지역적인 오염도에 대한 관심도를 높이고 지하공간의 공기질을 높이는 데 목적을 두었다.

2. 측정 방법 및 분석

본 연구는 부산광역시에 위치하고 있는 1호선의 34 개 역 중 지하에 승강장이 있는 다섯개 역을 대상으로 사람들의 통행이 많은 네 역(연산동역, 서면역, 부산역 그리고 남포동역)과 사람들의 통행이 한산한 역(두실역)으로 구분하여 조사하였다. 실험은 2000년 9월에서 11월까지 실내 대기오염물질(CO, NO, NO₂ 그리고 O₃)에 대하여 7회에 걸쳐서 교통량과 통행량이 가장 많은 퇴근 시간인 19시에 측정하였다. 각 역에서의 sampling 지점은 역별로 준 실내로 간주되는 개찰구, 실내인 승강장 그리고 외기와 접한 입구, 즉 세 지점으로 구분하여 포함하였다.

측정에 이용된 샘플러는 KIMOTO HS-7 Handy Sampler이며, Tedlar Bag은 SKC INC(U.S.A.)의 EIGHTY FOUR, RA 15330 10ℓ 를 사용하였다. 분석기기는 Thermo Environmental Instrument사의 Model 48C, Model 42C 그리고 Model 49C를 사용하였고, 각 오염물질의 분석 방법으로서 CO는 비분산 적외선법, NO_x는 화학발광법 그리고 O₃은 자외선 광도법을 이용하였다.

또한 지하공간의 물리적인 환경을 이해하기 위하여 각 지점별로 온도계를 이용하여 온도를 측정하였다.

3. 지하공간의 대기오염도 측정 결과 및 고찰

3.1. 지하철역의 온도 분포

전 측정기간 동안의 온도 분포는 입구 11.0~31.2°C, 개찰구 14.3~31.6°C, 승강장 17.0~32.8°C였다. Fig. 1은 평균 온도 분포이며, 입구 13.5~26.8°C, 개찰구 16.6~29.4°C, 승강장 18.9~30.5°C를 나타내었다. 전체적인 온도 변화를 살펴보면, 실내인 개찰구와 승강장이 입구에 비해 높은 경향을 보여주었고, 9월에서 10월까지의 온도는 거의 비슷하였으나 11월은 계절적인 영향으로 9, 10월에 비해서 낮은 온도 분포를 보였다.

3.2. 역별 오염 물질 농도 분포

3.2.1. CO의 농도 분포

Fig. 2는 지하철 역별 전체 농도 범위이다. 연산동역은 입구 0.5~1.2 ppm, 개찰구 0.5~1.6 ppm, 승강장 0.9~1.8 ppm, 서면역은 입구 0.6~3.7 ppm, 개찰구 1.2~1.9 ppm, 승강장 0.7~1.8 ppm, 부산역은

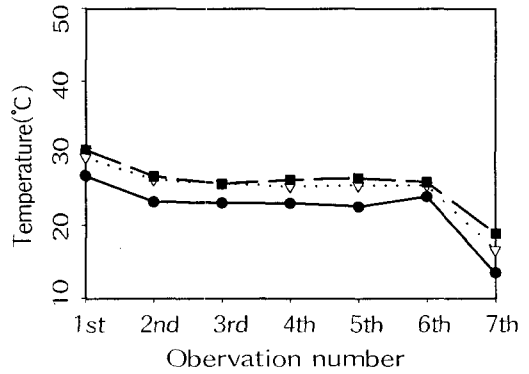


Fig. 1. Average temperature distribution.

- Gate
- ▽ Ticket gate
- Platform

입구 0.8~2.3 ppm, 개찰구 0.6~1.5 ppm, 승강장 0.9~1.9 ppm, 남포동역은 입구 0.6~1.6 ppm, 개찰구 0.9~1.6 ppm, 승강장 0.9~1.4 ppm, 두실역은 입구 0.4~1.6 ppm, 개찰구 0.5~1.3 ppm, 승강장 0.6~1.4 ppm이었다. 서면역의 입구에서 측정 기간 동안 최대 농도인 3.7 ppm이 나타났으며, 두실역의 농도 분포는 다른 역에 비하여 변화폭이 적었고, 농도도 낮은 편이었다.

이상에서, CO 농도 값은 연산동역을 제외하면 개찰구나 승강장에 비해서 실외 영역인 입구 쪽의 농도가 높았으며, 그 원인은 도로의 많은 교통량과 정차와 발차가 반복되는 과정(감속, 가속, 공회전 등)에서 CO가 다량 방출된 것으로 사료된다.⁹⁾ 우리나라 대기환경기준 중에서 CO 농도값은 8시간 평균치 9 ppm 이하이며,¹⁰⁾ 일본 환경청 기준도 1일 평균치 10 ppm 이하이다.¹¹⁾ 전 측정 지점에서의 CO 최고 농도가 서면역에서 3.7 ppm으로 모두 기준치에는 미달되며, 도로변과 가장 근접한 입구의 농도 분포는 0.4~3.7 ppm이었다. 이것은 한용수¹²⁾의 부산지역 중앙로변의 공기오염도에 대한 조사 연구에서 동·하계 모두 CO 농도가 1.05~2.57 ppm의 범위인데 비하여 최저 농도는 낮았으나 최고농도는 1.13 ppm 더 높게 나타났다. 또한 모든 역의 승강장의 농도 분포는 0.6~1.9 ppm으로 이체연 등¹³⁾의 부산지역 지하상가(국제, 대현, 부전상가)의 오염에 관한 조사연구에서 CO 농도 분포가 0.5~3.0 ppm인 것과 비교하면 최고농도가 1.1 ppm 정도 낮게 나타났다. 전 측정 지점에서 CO의 농도는 기준치에는 미달하나, 저농도일지라도 장기간 노출되면 두통, 현기증, 작업능률 저하는 물론 협심증 등 각종 관상동맥 질환을 유발할 수 있게 되므로 만성적으로 노출될 경

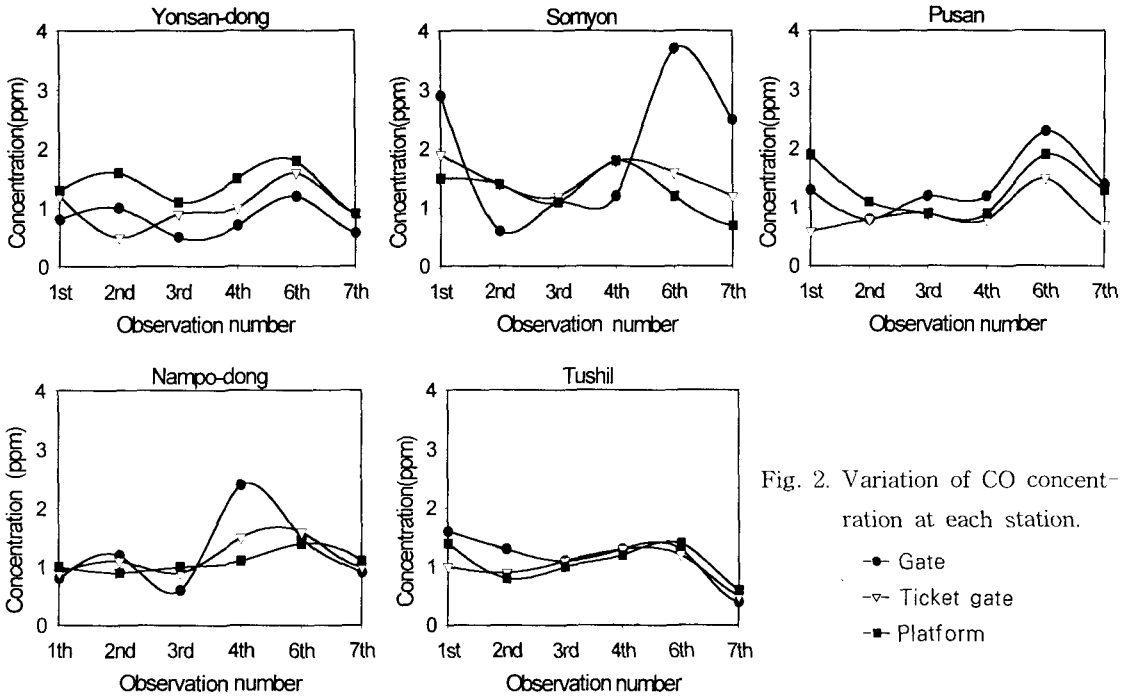


Fig. 2. Variation of CO concentration at each station.
 ● Gate
 ▽ Ticket gate
 ■ Platform

우 인체에 영향을 줄 것으로 사료된다.¹⁴⁾

3.2.2. NO의 농도 분포

Fig. 3은 지하철 역별 NO 농도 변화이다. 연산동역은 입구 72~336 ppb, 개찰구 23~121 ppb, 승강장 66~97 ppb였다. 그 중 100 ppb 이상의 고농도가 입구에서 5회, 개찰구에서 2회로 나타났고, 승강장에서 100 ppb에 가까운 경우가 2회 있었다. 서면역은 입구 150~221 ppb, 개찰구 86~130 ppb, 승강장 78~183 ppb였다. 서면역은 다른 역과는 달리 100 ppb 이상의 고농도가 측정 기간 동안 대부분 지점에서 나타났고 개찰구, 승강장 즉 지하철역 실내에서만 10회나 나타났다. 또한 실내농도의 최고치는 183 ppb로 아주 높은 편이었다. 부산역은 입구 45~229 ppb, 개찰구 37~111 ppb, 승강장 52~164 ppb였다. 남포동역은 입구 69~193 ppb, 개찰구 74~129 ppb, 승강장 58~181 ppb였다. 서면역과 남포동역의 농도 분포를 보면, 지하상가가 있는 지하철역의 오염도가 지하상가를 가지지 않는 지하철역보다 높다는 것을 알 수 있었고, 이것은 朴松學¹⁵⁾의 실내 공기오염에 관한 연구에서 NO 농도는 사무실 33~69 ppb, 지하 상점 106 ppb로 나타난 것과 유사한 점을 보여주었다. 두실역은 입구 35~132 ppb, 개찰구 51~123 ppb, 승강장 54~102 ppb였고, 입구의 농도가 가장 높았다. 이것은 지하철역 입구가 산업

도로와 접해 있는 관계로 차량의 영향을 많이 받은 것으로 사료된다.

전체적으로 보면, NO 농도는 부분적으로 승강장이 높은 경우가 있었으나, 입구에서 가장 높았으며 그 원인은 차량의 배출가스로 보여진다. 吉川友章의 연구에 의하면 CO, NO는 지하주차장이나 도로변 급기구 등에서 차 배기의 영향을 받아 농도가 높다고 하였다.¹⁶⁾

3.2.3. NO₂의 농도 분포

Fig. 4는 지하철 역별 NO₂ 농도 변화이다. 연산동역은 입구 13~143 ppb, 개찰구 14~28 ppb, 승강장 13~24 ppb였고, NO₂/NO비는 0.23~0.35 정도, 서면역은 입구 13~55 ppb, 개찰구 12~33 ppb, 승강장 21~48 ppb로 분포하였고, NO₂/NO비는 0.19~0.26 정도, 부산역은 입구 28~83 ppb, 개찰구 23~43 ppb, 승강장 19~50 ppb였고, NO₂/NO비는 0.38~0.44 정도, 남포동역은 입구 22~77 ppb, 개찰구 20~44 ppb, 승강장 21~64 ppb로 분포하였고, NO₂/NO비는 0.33~0.37 정도, 두실역은 입구 20~39 ppb, 개찰구 14~33 ppb, 승강장 15~28 ppb였고, NO₂/NO비는 0.28~0.31 정도로 분포되어 있었다.

전체적으로 NO₂ 농도가 NO 보다 낮았으며, 평균 NO₂/NO비는 0.19~0.44 정도로 분포했고, 실내 NO₂/NO비는 실외 NO₂/NO비 보다 작았다. 그 원인

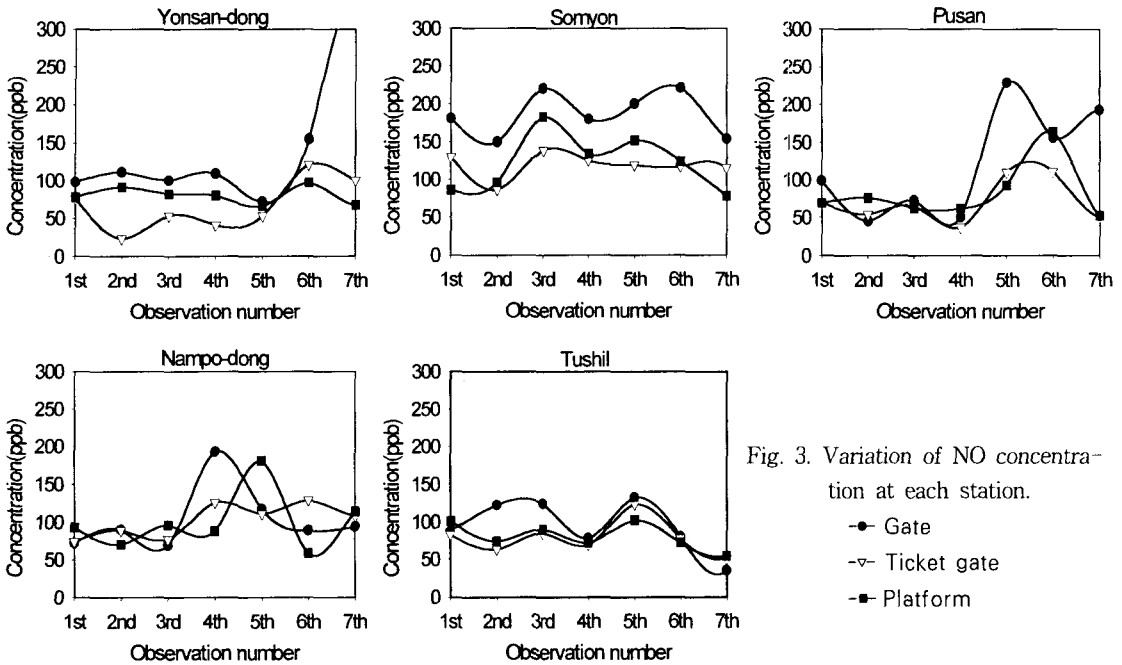


Fig. 3. Variation of NO concentration at each station.

- Gate
- ▽ Ticket gate
- Platform

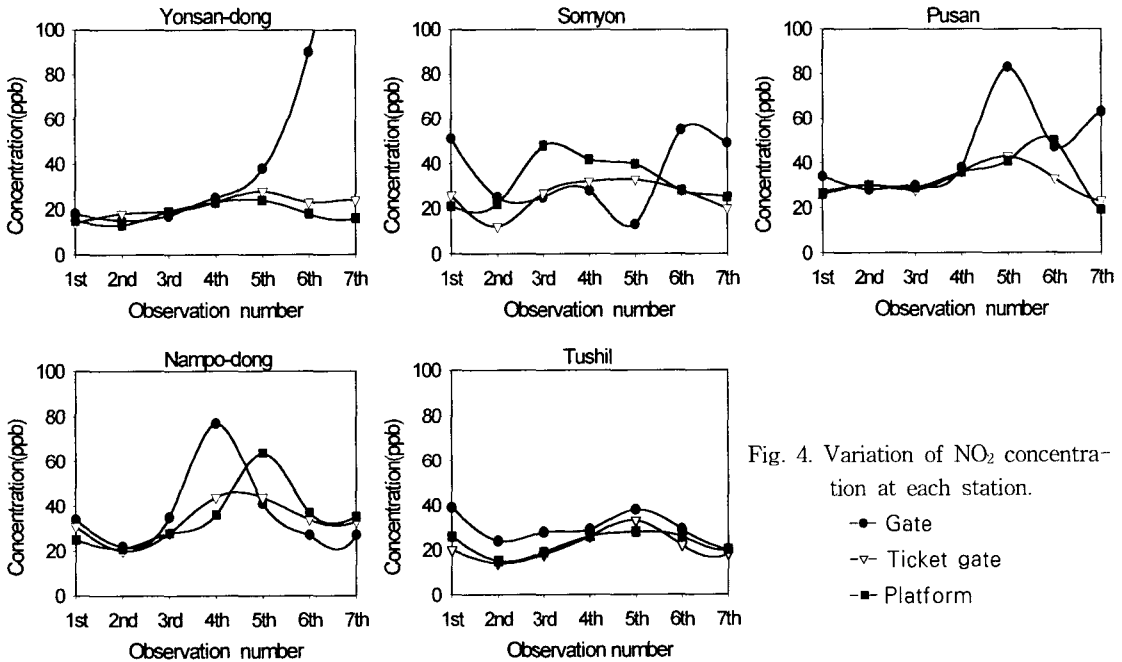


Fig. 4. Variation of NO₂ concentration at each station.

- Gate
- ▽ Ticket gate
- Platform

은 실내와 연결된 도로의 환기구가 NO_x 발생원에 가까이 있는 데다, 실내는 일사가 없기 때문에 NO-NO₂로의 화학반응이 일어나기 어렵기 때문에 사료된다.¹⁶⁾

3.2.4. O₃의 농도 분포

Fig. 5는 지하철 역별 O₃ 농도 변화이다. 연산동 역은 입구 8~80 ppb, 개찰구 20~77 ppb, 승강장 21~88 ppb였고, 세 지점 모두 다른 역보다 높은 농도를 보이는 것이 특징이었다. 서면역은 입구 12~

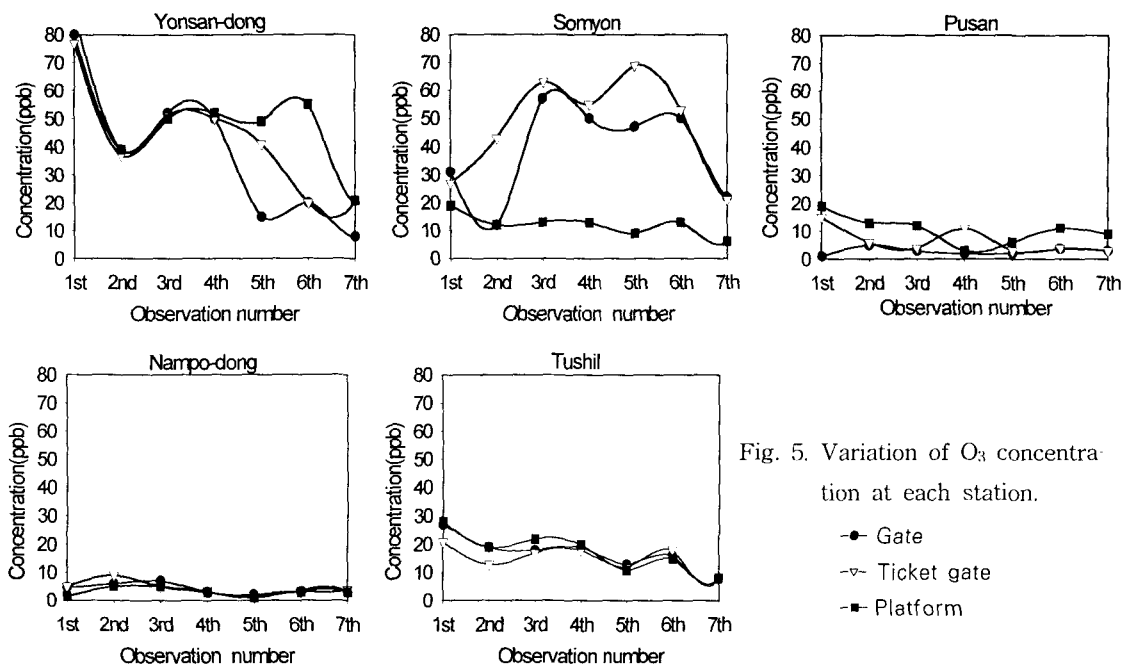


Fig. 5. Variation of O₃ concentration at each station.

● Gate
▽ Ticket gate
■ Platform

57 ppb, 개찰구 21~69 ppb, 승강장 6~19 ppb였고, 개찰구의 농도가 세 지점 중에서 가장 높게 나타났다. 부산역은 입구 1~5 ppb, 개찰구 3~15 ppb, 승강장 3~19 ppb, 남포동역은 입구 2~7 ppb, 개찰구 1~9 ppb, 승강장 1~5 ppb, 두실역은 입구 8~27 ppb, 개찰구 8~21 ppb, 승강장 8~28 ppb였다.

O₃의 대기환경기준은 8시간 평균치 60 ppb이하, 1시간 평균치 100 ppb 이하이므로 측정된 대기환경 기준보다는 낮았으나, O₃은 불안정한 물질로서 농도 변화가 심하고 실내에 관한 기준이 없으므로 실내 오존에 대한 연구가 앞으로 지속적으로 진행되어야 할 것이다. 그리고 연산동역의 오존농도가 높은 현상 등에 대한 그 원인 분석이 필요할 것으로 생각된다.

3.2.5. 오염물질별 평균 농도 분포

Fig. 6은 역별 CO, NO, NO₂ 그리고 O₃ 오염물질의 평균 농도를 나타낸 것이다.

CO의 평균 농도 분포를 보면, 연산동역을 제외하고는 모든 역에서 입구의 농도가 높았다. 그 중에서도 서면역 입구가 2.0 ppm으로 가장 높게 나타났으며, 이것은 서면에 롯데호텔, 롯데백화점 등의 대형 건물과 밀집된 고층빌딩들이 위치하고 있어 이에 따른 자동차 통행량 증가 때문으로 사료된다.

NO의 평균 농도 분포는 모든 역에서 입구의 농도가 높게 나타났다. 개찰구와 승강장의 경우는 서면역과 남포동역이 다른 역에 비해 높게 나타나 지

상가가를 가진 지하철역내의 오염도가 높다는 것을 보여주었다.

NO₂의 평균 농도 분포도 NO와 마찬가지로 모든 역에서 입구의 농도가 높게 나타났고, 특히 연산동역과 부산역 입구의 농도가 특히 높게 나타났다.

O₃의 평균 농도 분포는 연산동역은 다른 역에 비해 상당히 높아 다른 오염물질과는 다른 경향을 나타내었다. 특히 서면역은 세 지점 중 개찰구의 평균 농도가 가장 높게 나타났으며, 이것은 개찰구 주변의 상가에서 발생하는 오염물질 방출로 인한 영향으로 사료된다.

3.3. 오염물질별 지하철역 실내의 평균 농도

지하철 역내인 실내의 평균 농도 분포를 알아보기 위해서 각 지하철역의 개찰구와 승강장을 지하철역 실내로 정의하였고, 개찰구와 승강장 전체 농도를 평균하였다. Fig. 7은 오염물질별 각 지하철역 실내의 평균 농도를 나타낸 것이다.

지하철역 실내의 CO 평균 농도는 서면(1.4 ppm), 연산동역(1.2 ppm), 부산역·남포동역(1.1 ppm) 그리고 두실역(1.0 ppm)순으로 높았으며, 서면역의 평균 농도가 가장 높았다.

NO 평균 농도는 서면(120 ppb), 남포동역(101 ppb), 부산역(77 ppb), 연산동역(73 ppb) 그리고 두실역(80 ppb)으로 서면역이 가장 고농도였다.

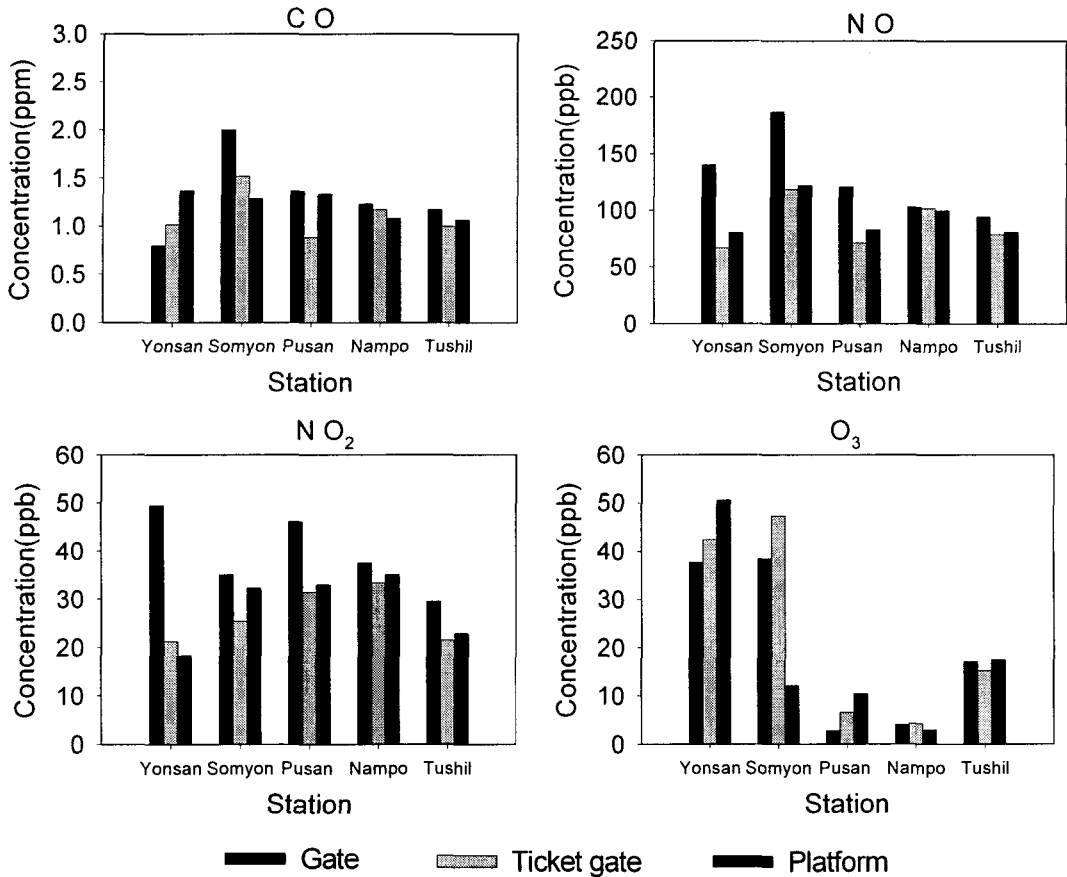


Fig. 6. Average concentration of CO, NO, NO₂, and O₃ at each station.

NO₂ 평균 농도는 남포동역(34 ppb), 부산역(32 ppb), 서면역(29 ppb), 두실역(22 ppb) 그리고 연산동역(20 ppb) 순이었고, 남포동역이 가장 높은 농도였다. O₃ 평균 농도는 연산동역(47 ppb), 서면역(30 ppb), 두실역(16 ppb), 부산역(9 ppb) 그리고 남포동역(4 ppb) 순으로, 연산동역의 농도가 훨씬 높았다. 즉 CO와 NO는 서면역의 실내가 높았고 NO₂는 남포동역 실내, O₃는 연산동의 실내 농도가 높았다. 역별로 실내의 오염물질의 평균 농도 분포가 상당히 다르게 나타났는데 이에 대한 정확한 이유에 대해서는 더욱 상세한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

3.4. 환승역이 있는 서면역의 승강장 농도 분포

본 연구대상인 지하철 1호선과 2호선이 연결되는 서면역은 통행량이 많은 호포역 방향 승강장(Platform-1)과 통행량이 적은 구석진 승강장(Platform-2)으로 구분하여 포집·분석하였다. Fig. 8은 두 승강장의 CO, NO, NO₂ 그리고 O₃의 농도 분포이고, Fig. 9

는 두 승강장의 평균 농도를 비교한 것이다(단 Fig. 2에서와 같이 CO의 경우 5회의 측정치는 제외시켰다). CO는 두 승강장의 평균 농도 값이 1.3 ppm으로 같았고, NO는 1회와 7회 측정치를 제외하고는 5회 모두 구석진 승강장이 현저히 높은 농도를 나타내고 있었다. 그 원인으로서 서면역의 환기 시스템이 구석진 승강장까지 제대로 전달되지 않은 것으로 판단된다.

NO₂는 1회 측정치를 제외하고는 항상 구석진 승강장 쪽이 높았고 NO₂/NO 비는 각각 0.25, 0.27로 거의 비슷하였다. O₃의 평균 농도를 비교해 보면 호포역 방향 승강장이 28 ppb, 구석진 승강장이 12 ppb로 호포역 방향 승강장 쪽이 높게 나타났다.

쾌적한 실내환경을 유지하기 위해서는 외부의 신선한 공기를 유입시켜 실내의 충분한 환기가 이루어져야 하지만 외부 공기 자체가 오염되어 있는 실정으므로 적절한 공기청정장치를 사용하여 유입되는 공기를 정화시켜야 한다.⁹⁾

부산광역시 지하철역 지하철역 지하공간의 대기오염 특성

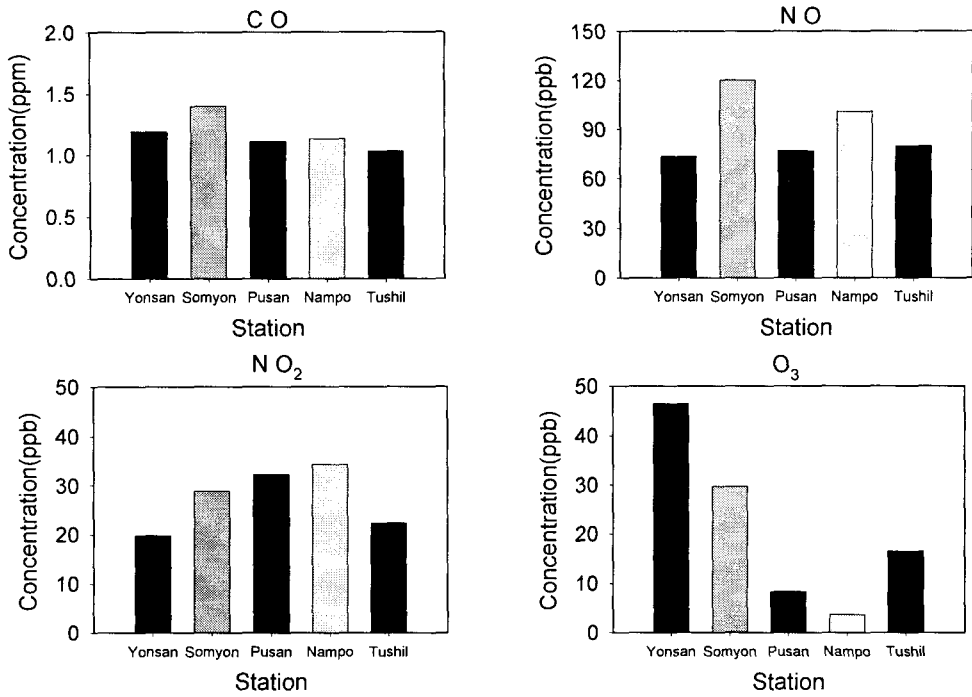


Fig. 7. Average indoor concentration of CO, NO, NO₂, and O₃ at each station(indoor ; ticket gate, platform).

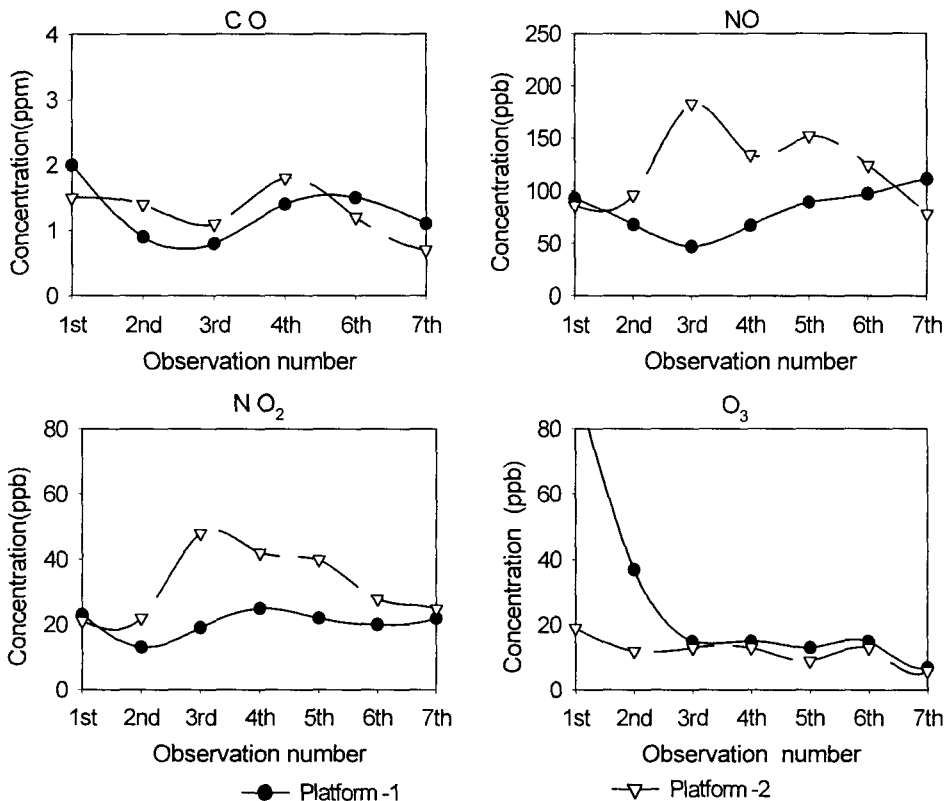


Fig. 8. Variation of concentration between the platform-1(crowded platform) and the platform-2 (less crowded platform) at Somyon station.

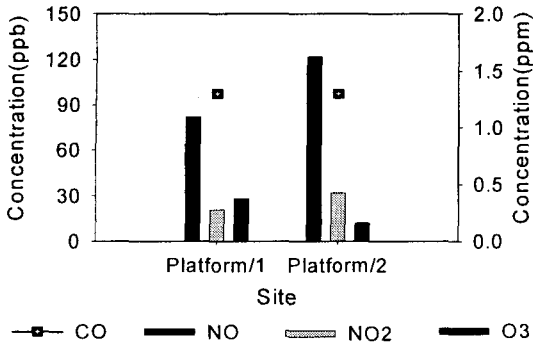


Fig. 9. Comparison of average concentration of CO, NO, NO₂, and O₃ between the platform-1 and the platform-2 at Somyon station.

4. 결 론

2000년 9월에서 11월에 걸쳐 부산광역시 지하철 1호선 다섯 개 역을 대상으로 CO, NO, NO₂ 그리고 O₃을 측정하고 분석한 결과는 다음과 같다.

오염물질별 농도 분포를 살펴보면, CO는 연산동역이 다른 역과는 달리 개찰구와 입구보다 실내 영역인 승강장의 농도가 더 높았다. NO는 대부분 입구 쪽의 농도가 가장 높았으나, 개찰구나 승강장의 경우는 지하상가가 있는 서면역과 남포동역의 농도가 다른 역에 비해 월등히 높았고, 실내 NO₂/NO 비는 실외 NO₂/NO 비보다 더 작았다. O₃는 연산동역의 평균 농도가 38~51 ppb로 높았는데, 특히 승강장의 O₃ 농도가 가장 높았다. 그 원인 분석은 앞으로의 연구과제이다.

실내인 개찰구와 승강장의 평균 농도를 보면, CO와 NO는 서면역, NO₂는 남포동역 그리고 O₃은 연산동역이 높았다.

환승역이 있는 서면역에서 오염물질 중 NO와 NO₂의 농도는 통행량이 많은 호포역 방향 승강장보다 구석진 승강장의 농도가 높았다.

이와 같이 지하철역 지하공간의 오염도는 지하철역 입구의 통행량과 같은 외부의 영향과 지하철 내부의 환기시스템 그리고 지하공간의 상권이 있는 경우, 환승역이 있는 경우 등과 같이 복잡한 영향을 받고 있으므로 이에 대한 상세한 분석이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) National Academy of Science, 1980, Committee of Toxicology, Formaldehyde - An assessment of its health effects, Report to the Consumer Product Safety Commission, Washington, D. C.
- 2) Liao, S. S. T. and Bacon - shone J., 1991, Factors influencing indoor air quality in Hong Kong, Measurements in Offices and Shops., Environ. Tech., 12, 737-745.
- 3) 新山惠三, 1977, 都市生活空間としての地下環境の基礎的考察, 公害と對策, 13, 946-949.
- 4) 吉川友章, 1977, 地下街道路の空氣汚染現況, 公害と對策, 13(9), 18-29.
- 5) 本田えり, 1977, 浮遊細菌による地下環境空氣汚染の現況, 公害と對策, 13(9), 6-16.
- 6) B., A. Tichenor and Sparks, L. A., 1990, Evaluating sources of indoor air pollution, Air Waste Manage. Assoc., 40(4), 487-492.
- 7) Nero, A. V., 1988, Controlling indoor air pollution, Sci. Ameri., 258(5), 43-48.
- 8) Phillips, J. L., R. Field, M. Goldstone, G. L. Reynolds, J. N. Lester and R. Perry, 1993, Relationships between indoor and outdoor air quality in four naturally ventilated office in the United Kingdom, Atmos. Environ., 27(A), 1743-1753.
- 9) 송희봉, 민경섭, 한계희, 김종우, 백성욱, 1996, 대구지역 공중이용시설 실내·외 공기중 기준성 오염물질의 농도, 한국대기보전학회지, 12(4), 429-439.
- 10) 환경부, 환경부 홈페이지, 2000.
- 11) 日本環境廳, 2000, 日本 環境基準法, 16條 1項.
- 12) 한용수, 1990, 부산지역 중앙로변의 공기오염도에 대한 조사연구, 인제대학교 대학원 석사 논문, 9-10.
- 13) 이채언, 문덕환, 조병만, 김준연, 배기철, 1989, 부산지역 지하상가의 대기오염도에 관한 조사연구, 한국대기보전학회지, 5(1), 22-32.
- 14) Zimmerman, S. S. and B. Truxal, 1981, Carbon monoxide poisoning, pediatrics, 68, 215-224.
- 15) 朴松學, 1986, 室內空氣汚染の關する研究, 大氣汚染學會誌, 21(3), 236-252.
- 16) 吉川友章, 1977, 地下街道路の空氣汚染現況, 公害と對策, 13(9), 18-29.