

PS56 (IA 6) 확률론적 모의실험기법을 이용한 일부 지하철 근무자들의 NO₂ 개인노출시나리오 분석

김 윤 신 · 박 재 설 · 손 부 순¹⁾ · 이 철 민²⁾

한양대학교 의과대학 계량외과학교실, ¹⁾순천향대학교 환경보건학과,

²⁾한양대학교 환경 및 산업의학연구소

1. 서 론

최근 지하공간에서 체류하는 시간이 점차 증가됨에 따라 지하공간상의 특성상 지하공간내 실내공기오염에 따른 위해성에 대한 논의가 계속되고 있다. 지하공간으로 대표적인 지하철 역사의 경우 근무자들이 노출되는 NO₂를 포함한 여러 가지 실내공기오염물질들이 역사에 설치된 각종 공조설비의 운영이 적절치 못할 경우 근무자들 뿐만 아니라 지하철 이용 승객들에게도 건강상 악영향을 미칠 우려가 있으므로 그 실태 파악이 요구된다. 몬테카를로 모의실험(monte carlo simulation)은 가능한 상황을 확률분포로 가정하여 이들 분포를 이루는 자료들이 예측 모델내에서 계산되어 그 결과물 또한 특정 분포로 예측을 하는 기법으로(Copeland et al., 1993; 박재성, 1997). 위해성 평가와 관련된 연구들에서 위해도 예측시 존재하는 불확실성을 다소나마 해소하기 위하여 위의 방법이 적용되어지고 있다(Su et al., 1998). 국내의 경우 다이옥신, VOCs, PAHs 등의 환경오염물질로 인한 위해성 평가에 있어서 이미 사용되어진 바 있다(환경부, 1997). 그러나 이들 발암 위해도에 기초한 물질들에 대해서는 많은 연구들이 진행되고 있는 반면 실내공기오염에 있어 오히려 그 노출빈도와 기간이 상대적으로 중요한 NO₂에 대하여(Spengler et al., 1983; Ryan et al., 1991; Levy et al., 1998) 확률론적 노출 시나리오를 적용한 연구사례가 국내외에 아직 보고된 바가 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 서울시 소재 일부 지하철 노선의 각 역사에서 근무하는 역무원 및 매표원을 대상으로 NO₂의 개인 노출도를 조사하고 각 근무공간별 체류 시간과 NO₂를 조사하여 이들을 토대로 확률론적인 방법으로 지하철내 NO₂ 노출 시나리오를 통해 지하철내 근무자들의 NO₂ 총 노출량을 추정하고자 하였다.

2. 연구 방법

지하철 실내 공기중 NO₂의 지하철내 근무자들에 대한 노출평가를 수행하고자 1999년 2월 10일부터 동년 3월 12일까지 서울시 제2기 지하철인 5호선의 7개역사(마포, 충정로, 서대문, 광화문, 종로3가, 을지로4가, 동대문운동장)와 7호선의 9개역사(노원, 중계, 하계, 공릉, 태릉입구, 먹골, 중화, 상봉, 면목)의 승강장, 역무실 및 외기에서 각 역사별로 하루 24시간 동안 NO₂의 실내공기중 농도와 개인노출농도를 badge-type의 NO₂ personal sampler를 이용하여 측정하였다. 근무자의 근무형태와 일중 근무양상(daily time activity patterns)은 각 역사별 총 73명의 역무원을 대상으로 설문조사하였다. 조사된 실제 NO₂ 노출도 측정결과와 각 근무공간에서의 근무시 체류시간 분석결과에 확인된 분포특성을 토대로 몬테카를로 모의 실험의 입력변수를 설정하고 근무중 역무실, 매표실, 승강장, 실외 공간내 체류시간을 노출시간으로 하여 각 근무공간에서 측정된 NO₂농도를 노출농도로 하였다. 역무실과 매표실은 근무패턴에 큰 차이가 없어 동일공간으로 가정하여 역무실로 통일하였다. 모의실험에 적용된 모델은 시간가중평균(time weighted average, TWA)식을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

개인노출도 측정조사결과 근무지내 평균 NO₂ 노출 측정치는 각각 역무실내 27.87±7.15ppb, 승강장 33.60±8.64ppb, 외기 50.13±13.04ppb, 24시간 개인노출 29.40±9.75ppb로 각각 정규분포, 비확률분포, log-정규분포 및 log-정규분포이었으며(표 1) 각 근무공간내 체류시간은 역무실 7.94±3.00시간, 승강장 2.82±1.63시간, 외부 1시간이었다.

Table 1. Occupational NO2 exposure distribution in Seoul subway stations

Location	N ^a	Type	Parameter (ppb)	Goodness-of-fit test			
				X ²	p-value	Kolmogorov -Smirnov	Anderson -Darling
Office	16	Normal	27.87 ± 7.15 ^b	0.5000	0.4795	0.1667	0.4625
		Lognormal	26.76 ± 1.36 ^c	5.5000	0.0190	0.2228	1.0244
		Extreme	31.00, 5.25 ^d	1.5000	0.2207	0.0890	0.1355
Platform	13	Normal	33.60 ± 8.64	2.4615	NA ^e	0.2265	0.8286
		Lognormal	32.33 ± 1.34	2.4615	NA	0.2418	1.1520
		Extreme	37.30, 5.71	2.9231	NA	0.2054	0.6087
Outdoor	16	Normal	50.13 ± 13.04	2.5000	0.1138	0.2091	0.8923
		Lognormal	48.77 ± 1.25	1.5000	0.2207	0.1533	0.5442
		Extreme	44.17, 8.41	1.0000	0.3173	0.1479	0.4417
Personal	32	Normal	29.40 ± 9.75	8.2500	0.0828	0.1342	0.6309
		Lognormal	27.97 ± 1.37	6.5000	0.1648	0.1169	0.3738
		Extreme	25.04, 7.45	4.7500	0.3139	0.1147	0.3871

a Number of samples

b Mean ± S.D.

c Geometric Mean ± S.D.

d Mode, Scale

e Not available for insufficient sample size

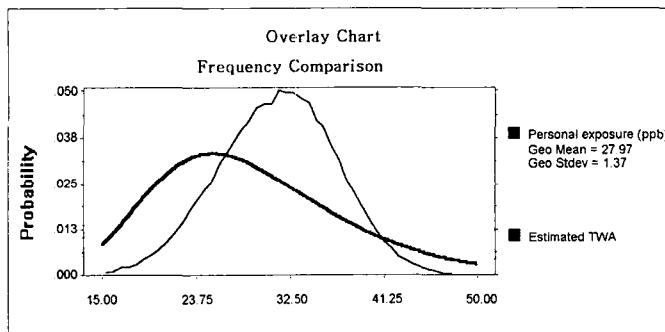


Fig. 1. Estimated 24hr personal exposure and TWA NO2 in Seoul subway stations

모의 실험을 통해 추정된 지하철 역무원들의 근무중 NO₂의 TWA 분포와 실제 24시간 동안 personal sampler를 부착하여 분석한 결과에서 추정된 노출분포를 그림 1과 같이 비교하였다. 조사대상자인 역무원들의 하루동안 NO₂ 노출분포 추정결과는 log-normal 분포하는 반면 근무중 노출 추정치는 normal 분포에 근사한 것으로 나타나 노출특성이 서로 상이하였다. 이들 결과의 산술 평균치를 비교하여볼 때 24시간 개인노출은 29.40±9.75이며 TWA 노출 추정치는 31.29±5.57로서 두 분포상의 특성이 다르다는 점을 감안치 않을 경우에는 TWA 노출 추정치가 더 높은 것으로 나타났다. 그러나 그림 1에서 보듯이 노출특성이 다른 점을 고려하면 정규분포하는 TWA 노출 추정치는 0.02%가 대기기준치인 0.05ppm(50ppb)를 초과하는 반면 log-정규분포하는 24시간 개인노출치는 3.23%가 대기기준치를 초과하여 24시간 실제 개인노출치가 지하철 역사나 근무중 역무원들이 경험할 노출추정치에 비해 대기기준을 초과할 가능성이 더 높았다. 현재 대기환경 기준치를 적용한 경우 서울시 일부 지하철 역사내 역무원들의 근무중 근무공간내 노출은 24시간 NO₂ 개인노출과 비교했을 때 산술 평균상으로는 더 높게 추정되었으나 노출분포양상을 고려하면 직업적인 노출이외의 일반 생활환경에서 노출되는 NO₂로 인해 대기기준을 초과할 확률이 더 큰 것으로 나타나므로 NO₂ 개인노출요인 및 노출량 관리에 있어서 실내외에서의 노출도와 노출양상을 종합적으로 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 박재성 (1997) 대기오염에 따른 건강영향지수의 평가-대기오염모델의 몬테카를로 시뮬레이션 적용, 연세대학교 보건대학원 석사학위논문.
- 환경부 (1997) 대기오염물질의 위해성평가 및 관리기술, 환경위해성평가 및 관리기술 제2단계 1차년도 보고서.
- Copeland, T.L., Paustenbach, D.J., Harris, M.A., Otani, J. (1993) Comparing the results of a monte carlo analysis with EPA's reasonable maximum exposed individual(RMEI): A case study of a former wood treatment site, *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 18, 275-312.
- Levy, J.I., Lee, K., Yanagisawa, Y., Hutchinson, P., Spengler, J.D. (1998) Determinants of nitrogen dioxide concentrations in indoor ice skating rinks, *Am. J. Public Health*, 88(12), 1781-1786
- Ryan, P.B., Lambert, W.E. (1991) Personal exposure to indoor air pollution, *Indoor air pollution-A health perspective*, The Johns Hopkins University Press. 109-127
- Spengler, J.D., Duffy, C.P., Letz, R., Tibblits, T.W., and Ferris B.G. (1983) Nitrogen dioxide inside and outside 137 homes and implications for ambient air quality standards and health effects research, *Environ. Sci. Technol.*, 71(3), 164-168.
- Su, S.H., Little, R.M., and Gudka, N.J. (1998) *Charaterization of Uncertainty, Risk assessment and indoor air quality*, Lewis Publishers, 137-160.