

제철소 근로자의 벤젠/톨루엔/크실렌 국소환경 측정을 이용한 총 노출 예측

김영희 · 양원호 · 손부순*†

대구가톨릭대학교 산업보건학과, *순천향대학교 환경보건학과
(2007. 8. 31. 접수/2007. 10. 15. 채택)

Estimation of Total Exposure to Benzene, Toluene and Xylene by Microenvironmental Measurements for Iron Mill Workers

Younghee Kim · Wonho Yang · Busoon Son*†

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

*Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University

(Received August 31, 2007/Accepted October 15, 2007)

ABSTRACT

The aim of this study were to assess the personal exposure to volatile organic compounds (VOCs) and to estimate the personal exposure using time-weighted average model. Three target VOCs (benzene, toluene, xylene) were analyzed in personal exposure samples and residential indoor, residential outdoor and workplace indoor microenvironments samples in the iron mill 30 workers during working 5 days. Personal exposure to VOCs significantly correlated with workplace concentration $p < 0.05$, suggesting workplace had strong source and major contribution to personal exposure. Personal exposure could be estimated with time activity pattern and time weighted average (TWA) model of residential indoor and workplace concentrations measured. Time weighted mean microenvironments concentrations were close approximately of personal exposure concentrations. Total exposure for participants can be estimated by TWA with microenvironments measurements and time activity pattern.

Keywords: exposure, microenvironment, time weighted average, VOCs

I. 서 론

유해 공기오염물질의 노출평가는 생체지표(biomarkers)와 호흡기 근처에서 측정하는 개인노출인 직접적인 방법과 실내 및 실외 공기의 측정농도를 이용하는 간접적인 방법으로 구분할 수 있다.¹⁾ 또한 노출평가는 공기오염 물질의 농도와 노출 시간, 노출빈도 등을 고려한 인간의 시간별 활동을 이용하여 수학적 모델 같은 간접적 방법을 이용하여 예측할 수도 있다.^{2,3)}

그 동안 유해 공기오염물질의 개인노출은 대부분 한 장소의 국소환경(microenvironments; 작업장, 주택 실내, 지하철, 대기환경 등)을 중심으로 평가하였다.^{4,5)} 하지만 휘발성 유기화합물(VOCs) 같은 공기오염물질들은

이렇게 한장소의 국한되어 발생되는 것이 아니라 사람들이 생활하는 대부분의 장소에 발생할 수 있는 물질로서 특정 국소환경을 벗어났다고 그 물질에 대한 노출이 끝나는 것이 아니라 노출되는 양의 차이는 있더라도 지속적으로 노출될 수 있다.⁶⁾ 사람은 일반적으로 한 장소에 머물지 않고 계속적 또는 주기적으로 이동하며, 각 개별 장소에서 국소환경의 유해 공기오염물질 농도가 같이 많기 때문에 총 개인노출(total human exposure)의 개념을 도입하게 되었다.^{7,9)}

총 개인노출에 대한 연구로, Edwards 등(2001)은 성인 2523명을 대상으로 48시간 동안 호흡기 근처에서 개인노출(2일 동안의 총 노출)을 측정하였고, 동시에 48시간 동안 주택 실내, 주택 실외, 직장(사무실) 실내의 VOCs를 측정하여 주택 실내와 직장 실내 공기질이 개인노출에 대부분 기여한 것으로 보고하였다.⁹⁾ 이처럼 총 개인노출은 개인의 활동행태에 따라 각 국소환경에서의 오염물질 농도가 개인노출에 미치는 기여도가 같

†Corresponding author : Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University
Tel: 82-41-530-1270, Fax: 82-41-530-1270
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

지 않음을 알 수 있다.

양 등(2001)의 연구에 의하면 사람들이 하루 24시간 중 약 84%를 실내에서 생활하는데 그 중에서 주택 실내에서 약 53%를 생활하며, 직장 실내에서 약 27.3%를 생활하는 것으로 나타났다.³⁾ 이 경우 각 국소환경에서의 오염물질이 개인노출에 미치는 기여도는 가장 많은 시간을 생활하는 주택실내가 가장 높은 것으로 생각할 수 있다. 하지만 직업의 특성상 그렇지 못한 경우도 있다. 특정 오염물질이 발생하는 작업환경에서 근무할 경우 짧은 시간을 보내더라도 개인에게 노출되는 오염물질의 양은 더 많을 수가 있다.

본 연구의 대상 작업장인 제철소는 철광석과 코크스를 사용하여 철을 만드는 과정에서 여러 가지 석탄 연소물질과 흙 및 반응물질들을 대기 중으로 방출하게 되어 지역주민에게 건강영향을 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 그 동안 제철소와 관련된 국내외 연구 논문은 대부분 입자상 물질에 국한되어 있으나, 제조업의 한 분야로 다양한 VOCs를 사용하는 곳이 제철소이다. 미국 환경청(EPA)에서는 제철소에서 배출되는 VOCs를 제어하기 위한 RACT(Reasonable Available control Technology)을 제안 공표하기도 하였으며, 캐나다 환경부에서는 제철공장 공정에서 마감공정(finishing) 부분을 제외한 소성, 제철생산, 용광로, 롤링(rolling) 등 모든 공정에서 VOCs가 배출되고 있음을 보고하였다.^{13,14)}

본 연구는 제철소 근로자들을 대상으로 VOCs 중 벤젠(Benzene), 톨루엔(Toluene) 및 크실렌(Xylene)을 목적 유해물질로 개인노출과 직장 실내, 주택 실내, 주택 실외 등에 대한 노출평가를 통해 각 국소환경에서의 노출이 개인노출에 미치는 영향과 시간가중 모델에 적용하여 총노출을 추정하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 설문조사

본 연구는 A 제철소 근로자 30명을 대상으로 VOCs의 직장 노출 기여도를 추정하였다. 대상 근로자들은 유사노출그룹(Similar Exposure Group, SEG)을 고려하여 각 공정에서 반장 또는 반장 대우급 1명을 선정하여 한 공정에 치우치지 않고 전체 공정을 고려할 수 있도록 하였다. 참여 부서는 냉연부, 제강부, 품질기술부, 환경에너지부, 기계설비부, 열연부, 설비기술부의 각 공장이었다. 참여 근로자들의 개인 생활양식과 거주하고 있는 주택특성을 알아보기 위하여 흡연 여부나 근무 경력, 주택 유형, 주택 건축 년 수 등의 내용에 대한 설문조사를 실시하였다.

Table 1. GC condition when VOCs analysis

GC condition	
Column	Shimadzu-CBP1 25 m(length) × 0.22 mm(Column ID) × 0.25 μm(film thickness)
Oven	60°C(2.5 min) to 100°C(1 min) at 30°C/min
Carrier	Nitrogen(5 ml/min)
Detector	FID, 250°C
Injector	1 μl, 250°C

2. 공기오염물질 측정 및 분석

본 연구는 대상물질은 VOCs(Benzene, Toluene, Xylene)로 2006년 8월 28일(월)~9월 1일(금)까지 5일 동안 연속 측정을 하였다. 연구에 사용된 측정기는 badge type의 수동식 시료채취기(passive sampler)로 참여 근로자의 개인노출과 국소환경 즉 직장실내, 주택 실내, 주택 실외를 측정하였다. VOCs의 측정은 주택 실내에 사람들이 잘 모이는 거실에서 측정하였고, 주택 실외는 베란다 밖, 직장 실내에 각 참여자들이 주로 일하는 곳에서 측정하도록 하였다. 그리고 개인 노출 측정은 개인의 옷깃이나 가슴높이 등 호흡기에서 30 cm 이내인 곳에 착용하도록 하였다. 측정에 사용된 수동식 시료채취기는 3M사의 OVM #3500(3M, USA)이었다. 측정이 끝난 측정기는 공기중 오염물질에 노출되지 않도록 잘 밀봉한 후, 실험실에서 분석을 하였다. VOCs 농도분석은 일반 유기용제(활성탄관법)의 분석과 마찬가지로 각 샘플의 OVM 중간 포트에 CS₂를 1.5 ml를 주입하고 30분간 정치 및 부드럽게 흔들어진 후 GC(가스크로마토그래피)를 이용하여 분석하였다.¹⁵⁾ 이용된 GC의 분석 조건은 Table 1과 같다.

3. 시간활동도 측정 및 개인노출 예측

참여 근로자 각 개인의 생활행태를 분석하기 위해서 VOCs 농도를 측정하는 동시에 시간활동도(time-activity)를 작성하게 하였다. 시간활동도는 실내(주택, 직장, 기타), 실외(주택 근처, 직장 근처, 기타), 차량으로 구분하여 VOCs를 측정하는 기간 동안 하루 24시간을 1시간 단위로 표시(v)를 하게 한 것이다. 만약 1시간 내 두 장소 이상에서 머물러 있었다면 있었던 장소에 모두 표시를 하게 설명하였다. 개인 각자의 모든 국소환경에서 농도를 측정할 수는 없지만, 작성된 시간활동도와 시간가중치 모델을 이용하여 VOCs에 대한 개인노출을 예측할 수 있다.¹⁶⁾ 시간가중치 평균 모델은 다음 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$P_i = \frac{(IH_i \times I_i + OH_i \times O_i + IW_i \times W_i)}{(IH_i + OH_i + IW_i)} \quad (1)$$

여기서, P_i =개인 i 의 예측된 시간가중 평균 노출, IH_i =측정기간 동안 개인 i 가 주택실내에서 보낸 시간, OH_i =측정기간 동안 개인 i 가 주택실외에서 보낸 시간, IW_i =측정기간 동안 개인 i 가 직장에서 보낸 시간, I_i =개인 i 의 주택실내에서 측정 농도값, O_i =개인 i 의 주택실외에서 측정 농도값, W_i =개인 i 의 직장에서 측정 농도값

4. 통계분석

개인노출 및 각 국소환경인 직장실내, 주택실내, 주택실외의 평균 농도는 ANOVA test로 분석하였고, 상관분석은 Spearman correlation test를 하였다. 통계분석은 SPSS 통계프로그램(SPSS 13.0 for windows)를 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 설문지 조사 결과

총 30명의 근로자에게 설문조사를 실시한 결과 참여 근로자들의 평균 나이는 45.5±4.8세로 모두 남자였다.

Table 2. Characterization of participants according to questionnaire survey

Characteristics		Number (%)	
Smoking	Yes	1(3.3)	
	No	29(96.7)	
Passive smoking	House indoor	Yes	2(6.7)
		No	28(93.3)
	Workplace indoor	Yes	11(36.7)
		No	19(63.3)
House type	Single-family	0(0)	
	Apartment	30(100.0)	
House age	≤1 year	0(0)	
	1~4 years	2(6.7)	
	4~10 years	5(16.7)	
	10~20 years	21(70.0)	
	≥20 years	2(6.7)	
Road type near house	4 lanes	10(33.3)	
	2~3 lanes	9(30.0)	
	1 land	9(30.0)	
	Others	2(6.7)	

Table 3. Fraction of time in microenvironments

	Indoor			Outdoor			Vehicle
	Home	Workplace	Other	Near home	Near workplace	Other	
%	43.76 ± 15.31 (n=29)	36.08 ± 10.51 (n=29)	2.82 ± 2.21 (n=29)	3.19 ± 1.76 (n=29)	8.39 ± 5.32 (n=29)	1.98 ± 1.12 (n=29)	3.77 ± 2.19 (n=29)
Total (%)	82.67 ± 12.37			13.56 ± 4.92			3.77 ± 2.19

이 중에서 참여 근로자들의 주택은 아파트가 80%로 가장 많았다. 주택 건축 년 수는 10년 이상이 86.7% 이었다. 그리고 최근 6개월간 새로 구입한 가구류는 없는 것으로 조사되었다. 총 30명 중 흡연자는 단 1명으로 하루 약 8 개피를 피운다고 하였으며, 주택 실내에서의 간접흡연 경험자는 2명으로 한명은 약 주 1~2회 노출된다고 응답하였다. 따라서, 1명의 흡연자는 결과에서 제외하였다. 또한 직장 실내에서의 간접흡연 경험자는 주택 실내에서의 경험자 보다 많은 11명으로 나타났다. 이 중에서 6명은 약 주 1~2회 정도 노출된다고 하며, 주 3~4회가 4명, 매일 노출된다고 대답한 사람이 1명이었다. 총 참여자 30명은 냉연부에서 3명, 제강부 3명, 제선부 2명, 기계설비부 9명, 환경에너지부 4명, 품질기술부 2명, 열연부 1명, 설비기술부 1명, 전기제어 설비부 2명, 제품출하부 2명, 지원부 1명이었다.

2. 시간활동도 조사결과

참여 근로자들의 시간활동도 조사결과 5일의 측정기간 동안 근로자들은 실내와 실외에서 각각 약 82.67%, 13.56%를 생활하였고, 3.77%는 차량을 이용한 것으로 나타났다. 실내 중에서도 43.76%를 주택 실내에서 보내고 그것보다 다소 적은 36.08%를 직장 실내에서 생활하는 것으로 나타났다(Table 3).

3. VOCs 측정 농도 및 상관성 분석

개인노출 및 국소환경에서의 VOCs의 농도를 Table 4 및 5에 나타내었다. 개인노출 및 각 국소환경에서 측정된 농도는 대수정규분포를 나타내었다($p < 0.05$). Benzene의 개인노출 평균 농도와 직장 실내에서의 농도는 각각 2.58±5.11 ppb, 2.05±3.79 ppb로 주택 실내와 실외 노출 농도인 0.91±0.91 ppb, 0.75±0.79 ppb보다 2배 이상 높게 나타났다. 그러나 주택 실내와 실외, 직장 실내의 평균 농도에는 유의한 차이가 보이지 않았다($p=0.171$). Toluene의 평균 개인노출 농도는 23.10±43.0 ppb, 직장에서의 농도는 18.04±21.24 ppb로 주택 실내 9.44±5.65 ppb, 주택 실외 8.18±2.71 ppb보다 높게 나타나 Benzene와 비슷한 경향을 보였다. 그러나 분산분석결과 주택 실내와 직장 실내 농도

Table 4. Personal exposure and workplace indoor concentrations (ppb)

	Personal					Workplace				
	%ND ^a	M ± SD	GM ^b	Median	Range	%ND ^a	M ± SD	GM ^b	Median	Range
Benzene		2.58 ± 5.11	0.8	0.84	0.02~26.04	3.33	2.05 ± 3.79	0.74	0.87	0.03~19.91
Toluene		23.10 ± 43.00	13.88	10.77	7.27~228.62		18.04 ± 21.24	13.72	12.46	6.86~118.13
Xylene	3.45	0.18 ± 0.19	0.14	0.12	0.07~1.02	13.33	0.19 ± 0.19	0.14	0.12	0.07~0.89

^aPercentage of samples in which compound was not detected, ^bGeometric mean.

Table 5. Residential indoor and residential outdoor concentrations (ppb)

	Indoor					Outdoor				
	%ND ^a	M ± SD	GM ^b	Median	Range	%ND ^a	M ± SD	GM ^b	Median	Range
Benzene	41.38	0.91 ± 0.91	0.37	0.4	0.01~2.25	26.67	0.75 ± 0.79	0.36	0.29	0.02~2.12
Toluene		9.44 ± 5.65	8.61	7.93	5.79~34.32		8.18 ± 2.71	7.87	6.95	5.68~17.70
Xylene	55.17	0.11 ± 0.06	0.1	0.08	0.07~0.29	53.33	0.10 ± 0.03	0.1	0.09	0.06~0.18

^aPercentage of samples in which compound was not detected, ^bGeometric mean.

간($p=0.029$)과 주택 실외와 직장 실내 농도간($p=0.010$)에 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있었다. 그리고 주택 실내와 직장 실내 농도에서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이것은 직장에서는 주택 실내나 실외와는 달리 Toluene의 발생요인이 있어 주택 실내와 주택 실외보다 더 높은 농도 분포를 나타내고 있는 것으로 생각한다. 그러나 주택 실내와 실외 농도간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 주택 실내·외의 경우 실내/실외 농도비가 1.15로 두 장소간에 환기로 인해 주택 실내공기가 실외공기의 영향을 받아 두 국소환경사이에서의 농도차이는 나타나지 않은 것으로 보이며, 실내발생원이 존재함을 나타낸다.¹⁷⁾

Xylene은 개인노출 농도와 직장 실내에서의 농도는 각각 0.18 ± 0.19 ppb, 0.19 ± 0.19 ppb이었고, 주택 실내 및 실외 농도는 각각 0.11 ± 0.06 ppb, 0.10 ± 0.03 ppb이었다.

Table 6는 개인노출 및 각 국소환경에서 측정된 VOCs 농도간의 상관분석 결과를 보여주고 있다. 개인노출 농도와 작업장 실내에서 Benzene, Toluene, Xylene의 Spearman r 값은 각각 0.544, 0.639, 0.833 ($p<0.01$)로 높은 상관성을 나타내고 있었다. 그리고 주택 실내와 실외간의 Benzene과 Toluene의 Spearman r은 각각 상관계수 값이 0.811과 0.541($p<0.01$)로 높은 상관성을 나타내고 있었는데 이것은 측정시기가 여

Table 6. Spearman correlation coefficients between personal exposure and microenvironments concentrations of VOCs

		Personal			Indoor			Outdoor			Workplace		
		Benzene	Toluene	Xylene	Benzene	Toluene	Xylene	Benzene	Toluene	Xylene	Benzene	Toluene	Xylene
Personal	Benzene	1											
	Toluene	.585**	1										
	Xylene	.405*	.613**	1									
Indoor	Benzene	.350	.029	-.054	1								
	Toluene	.213	.149	-.025	.659**	1							
	Xylene	.446	.154	.561	.401	.625**	1						
Outdoor	Benzene	.183	.083	.192	.811**	.544**	.228	1					
	Toluene	.384*	.329	.316	.801**	.541**	.521	.626**	1				
	Xylene	.556*	.545	.656*	.317	.110	.442	.490	.735**	1			
Workplace	Benzene	.544**	.275	.244	.221	-.004	-.022	.218	.335	.497	1		
	Toluene	.210	.639**	.513**	-.069	.007	.278	.006	.049	.519	.322	1	
	Xylene	.089	.451*	.833**	.181	.066	.529	-.011	.330	.455	.190	.764**	1

** $p<0.01$, * $p<0.05$

Table 7. Estimated VOCs concentrations by fraction of time in three microenvironments (ppb)

	Benzene	Toluene	Xylene
M ± SD	1.10 ± 1.51	13.18 ± 11.01	0.09 ± 0.08
GM ^a	0.42	10.95	0.09
Median	0.40	9.56	0.07
Range	0.04~5.91	5.91~51.70	0~0.31

^aGeometric mean.

름임을 고려했을 때 주택 실내·외간의 환기의 영향으로 생각할 수 있다.

4. 개인노출 예측

시간가중치모델에 적용한 VOCs의 예측농도는 Benzene 1.10 ± 1.51 ppb, Toluene 13.18 ± 11.01 ppb, Xylene 0.09 ± 0.08 ppb이었다(Table 7). VOCs를 개인노출 실측농도와 예측농도간의 t-test 분석결과 Benzene (p=0.206), toluene(p=0.250), Xylene(p=0.179)는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 이 결과는 작업장 실내 및 주택 실내환경을 측정함으로써 개인노출을 추정할 수 있음을 나타내는 것이며, VOCs 노출에 주요 국소환경이 작업장과 주택이라고 할 수 있다.¹⁸⁾ 이 결과는 Edwards 등(2001)이 직장 성인의 VOCs 개인노출의 주된 국소환경이 주택실내와 직장실내라고 보고한 것과 비슷한 결과를 나타내었다.⁹⁾

IV. 결 론

본 연구는 제철소 근로자 30명을 대상으로 월요일에서 금요일까지 총 5일 동안 참여 근로자의 개인노출 및 국소환경(주택 실내, 주택 실외, 직장 실내)에서 VOCs의 농도를 측정하고, 으로 총 개인노출 중 VOCs의 직장 노출 기여도를 추정하였다. Benzene와 Toluene은 개인노출 농도와 직장 실내에서의 농도가 주택 실내나 실외보다 2배 이상 높게 나타났다. 이때 Benzene는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나, Toluene는 유의한 차이가 있는 것으로 나타내었다. VOCs 농도의 개인노출 및 국소환경들간의 상관분석 결과 모두 개인노출과 직장 실내간에 유의한 상관관계를 보였다(p<0.01). 시간가중치 모델을 이용하여 예측된 개인노출 농도와 실측 농도는 모두 통계적으로 유의한 차이를 없었으며, 이것은 실내환경이 총 노출에서 주요 국소환경이며 직장실내와 주택실내의 측정으로 개인노출을 예측할 수 있음을 나타내는 것이다.

참고문헌

1. Maroni, M., Fait, A. and Colosio, C. : Risk assessment and management of occupational exposure to pesticides. *Toxicology Letters*, **107**, 145-153, 1999.
2. Lee, K., Yang, W. and Bofinger, N. D. : Impact of microenvironmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **50**(10), 1739-1744, 2000.
3. 양원호, 이선화, 백도영 : 시간가중치 평균모델을 이용한 이산화질소의 노출평가 및 예측. *한국대기환경학회지*, **17**(3), 251-258, 2001.
4. Tichenor, B. A. and Sparks, L. E. : Managing exposure to indoor air pollutants in residential and office environments. *Indoor Air*, **6**, 259-270, 1996.
5. Afridi, H. I., Kazi, T. G., Jamali, M. K., Kazi, G. H., Arain, M. B., Jalbani, N., Shar, G. Q. and Sarfara, R. A. : Evaluation of toxic metals in biological samples (scalp hair, blood and urine) of steel mill workers by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Toxicology and Industrial Health*, **22**, 381-393, 2006.
6. 김운신, 노영만, 이철민, 김기연, 김종철, 전형진 : 다양한 실내환경 중 휘발성 유기화합물 오염의 패턴 분류. *한국환경보건학회지*, **33**(1), 49-56, 2007.
7. Ott, W. R. : Total human exposure. *Environmental Science & Technology*, **19**(10), 880-886, 1985.
8. Liroy, P. J. : Assessing total human exposure to contaminants. *Environmental Science & Tehcnology*, **24**(7), 938-945, 1990.
9. Edwards, R. D., Jurvelin, J., Saarela, K. and Jantunen, M. : VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*, **35**, 4531-4543, 2001
10. Blindauer, K. M., Erickson, L., Mcelwee, N., Sorenson, G., Gren, L. H. and Lyon, J. : Age and smoking-adjusted lung cancer incidence in a Utah County with a steel mill. *Archives of Environmental Health*, **48**(3), 184-190, 1993.
11. Pope, C. A. : Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah valley. *American Journal of Public Health*, **79**(5), 623-628, 1989.
12. Burra, T. A., Elliott, S. J., Eyles, J. D., Kanaroglou, P. S., Wainman, B. C. and Muggah, H. : Effect of residential exposure to steel mills and coking works on birth weight and preterm births among residents of Sydney, Nova Scotia. *The Canadian Geopgrapher*, **50**(2), 242-255, 2006.
13. US. EPA : Approval and promulgation of air quality implementation plans; Maryland; RACT for the control VOC emissions form iron and steel production installations. <http://www.epa.gov>.
14. Environment Canada : Steel plant processes and their significant pollutant types. <http://ncrweb.ncr.ec.gc.ca/>

- cleanair-airpur/.
15. 김문현, 양원호 : 농업폐기물 소각에 따른 대기오염 실태 및 위해성평가. 한국환경보건학회지, **33**(1), 30-35, 2007.
 16. Son, B., Yang, W., Breysse, P., Chung, T. and Lee, Y. : Estimation of occupational and nonoccupational nitrogen dioxide exposure for Korean taxi driver using a microenvironmental model. *Environmental Research*, **94**(3), 291-296, 2004.
 17. Bae, H., Yang, W. and Chung, M. : Indoor and outdoor concentrations of RSP, NO₂ and selected volatile organic compounds at 32 shoe stalls located near busy roadways in Seoul, Korea. *Science of the Total Environment*, **323**, 99-105, 2004.
 18. Moschandreas, D. J., Watson, J., D'Abreton, P., Scire, J., Zhu, T., Klein, W. and Saksena, S. : Chapter three: methodology of exposure modeling. *Chemosphere*, **49**, 923-946, 2002.