대한위생학회지. 제15권 제3호(2000)
Korean J. Sanitation. Vol. 15, No. 3, pp1~7(2000)

음식점 비흡연 종업원의 간접흡연 노출량 지표로써 이산화질소 이용

양원호 · 고영림 · 한인규 · 이정민 · 정문식 · 정문호
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

Use of Nitrogen Dioxide as Exposure Marker of Passive Smoking for Non-smoking Service-workers at Restaurants

Won-Ho Yang · Young-Lim Kho · In-Kyu(Paul) Han · Chong-Min Lee · Moon-Shik Zong · Moon-Ho Chung
Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

Abstract

There is increasing evidence suggesting that passive smoking increases the risk of lung cancer and other disease, though the potential health effects of exposure to environmental tobacco smoke (ETS) is a controversial subject. Since smoking in restaurant is prevalent in Korea, the concern on passive smoking exposure of non-smoking service-workers has been requested. ETS exposure of non-smoking service-workers at restaurant was assessed because they have spent their times in restaurant indoors. The purpose of this study was feasibility of nitrogen dioxide(NO_2) as exposure marker of ETS. The results of the study were as follows;

1. Average NO_2 concentrations in indoor and outdoor at restaurants were 57.01ppb(±12.4) and 54.29ppb(±9.54), respectively. Comparing office-workers, service-workers at restaurants were exposured highly.
2. The personal NO_2 measurement as exposure marker of ETS could cause the exposure error because NO_2 can be generated by combustion appliances in indoor.
3. Service-workers spent their most time (86.6%) in indoor. Mean time spent at restaurant indoors and at home was 9.4 hours and 10.9 hours, respectively.
4. Personal NO_2 levels correlated with indoor NO_2 concentrations of restaurant (r=0.70) and of their home (r= 0.52) rather than of outdoor NO_2 concentration of restaurant (r=0.35). The causes of personal NO_2 exposure of non-smoking service-workers were considered as smoking of guests and combustion appliance indoors.
5. Personal NO_2 exposures were estimated using Monte-Carlo simulation and time-weighted model. Estimated personal NO_2 level was 47.2ppb (±8.3).

Key words : ETS marker, Passive smoking, Nitrogen dioxide, Monte-Carlo simulation

I. 서 론

전세계 흡연자는 5명 중 1명 꼴인 11억명에 달하며, 이중 5억명 이상이 담배로 인해 사망할 것으로 추정되며, 현재 남자는 세계인구의 47%, 여자는 12%가 담배를 피우고 있으며 매년 3백50만명이 흡연관련 질병으로 사망하고 있다. 2020년에는 흡연자 비율이 전체의 12%를 넘어서 매년 1천만명이 흡연으로 인한 질병 및 사망 할 것으로 전망되며 이는 AIDS 결핵 교통사고 자살 분쟁학살 등에 의한 사망자수보다 많은 것이다[1].

담배는 폐암 및 호흡기계질환을 일으키는 원인이 되는 것으로 알려져 있다. 담배는 약 4,500여개 이상의 화학물질들이 발생하는데 이들 중 약 40여종이 발암물질로 알려져 있다. 담배연기에 포함되어 있는 물질에는 벤젠, 니켈, 포름알데히드 등 방향족 화합물과 호흡성 먼지, 니코틴, 일산화탄소, 이산화탄소, 이산화질소 등이 있다[2,3]. 건물이나 공공건물에서의 농도는 매우 다양한데, 이것은 환기율, 담배를 피우는 횟수와 양, 공기청정기 사용에 따라서 달라질 수 있다[4].

지난 수 십년 동안 담배연기의 주류연(main stream)과 부류연(side stream)에서 발생하는 성분에 대한 연구들이 진행되어 왔다[5,6]. NRC(1986)에서는 부류연의 화학물질 환원속도가 주류연보다 훨씬 빠르다는 보고를 하였다[7]. 또한 벤젠은 5-10배, 일산화탄소(CO)는 2.5-4.7배, 톨루엔은 5.6-8.3배, N-nitrosodimethyllamine은 20-100배, Aniline은 30배 등 인간에게 발암성이라고 판명되거나 발암성이라고 의심되는 물질들의 농도가 부류연에서 주류연보다 높게 나타났다[8].

환경성 담배연기(ETS:environmental tobacco smoke)의 인체 노출량에 대한 자료의 체계적인 수집과 기록이 역학연구에 있어서 필요하며, 노출량에 대한 정확한 평가는 정책적인 결정을 내리는데 과학적인 근거로 제시될 수 있을 것이다. ETS와 같이 4,500여 종 이상이 화합물 각각에 대한 독성 및 인체 위해 영향을 측정하는 것은 실용적이지 못하며 가능하지도 않다. 미세환경(microenvironment)에 존재하는 화학물질들이 모두 외부용량 및 내부용량으로 작용하는 것은 아니다. 따라서 인체에 노출되는 정확한 양(dose)을 추정하기 위해서는 지표물질(marker)이 필요하다[9]. 이러한 지표물질에는 환경중의 담배연기에 대한 추정량을 제시하는 지표(environmental marker)와 인간의 체내에 흡수된 양을 추정하게 하는 생체지표(biological marker)가 있다. 환경 중에 존재하는 ETS의 농도를 추정하는 지표물질로는 RSP(respiratory suspended particulate), 니코틴, CO, 이산화질소(NO_2), 방향족탄화수소, 알데히드, 벤젠 등이 주로 사용된다[10].

본 연구는 흡연이 일반화되어 있는 음식점의 종업원을 대상으로 NO_2의 개인노출 및 개인주택의 실내, 식당의 실내 및 실외의 농도를 동시에 측정하여, 간접흡연에 의한 노출평가를 하는데 있어서 NO_2의 이용가능성을 평가하였다.

II. 조사지역 및 방법

1. 조사지역 및 대상지역

조사기간은 2000년 1월부터 6월까지 하였으며, 조사대상지역은 서울시 종로구 및 중구에 위치하는 음식점을 대상으로 하였다. 음식점은 크게 3개의 범주로 구분하여 점심 및 저녁식사를 제공하는 음식점, 커피 및 차를 위주로 판매하는 음식점, 주류를 위주로 하는 음식점을 각각 5개씩 선택하여 조사하였다. 선택된 15곳의 음식점은 모두 흡연이 허가되는 곳 이었으며, 각 음식점에 종사하는 종업원 중에서 비흡연자를 섭외 하였다.

2. 측정 및 분석방법

NO_2의 측정은 수동식 시료채취기를 사용하였다. 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정에 의해 실내와 실외의 NO_2 농도를 측정하는 장치를 사용하였다. 수동식 시료채취기는 작으며(5x4x1cm) 가벼운 장점을 지니고 있으며(15g)[11], 수동식 시료채취기 내부에 있는 셀룰로우즈 필터에 triethanolamine 용액이 흡수되어 NO_2를 포집한다. 농도계산에 이용된 물질전환계수(mass transfer coefficient)는 0.10cm/sec를 이용하였으며[12], NO_2의 농도분석은 photospectrometer(Shimabzu UV-1201)를 이용하여 정량분석을 하였다.

수동식 시료채취기는 23명에게 프로토콜(protocol)과 기록지(data-logger)를 함께 나누어 주었으며, 설치 방법과 주의 사항을 각 종업원 23명에게 직접 설명하였다. 수동식 시료채취기는 가정에서 사람들이 가장 잘 모이는 거실에 설치가 되었으며, 샘플링 위치는 연소장치 발생원에서 3m 이상 그리고 창문 또는 문으로부터 2m 이상이 되도록 하였으며, 실외에 설치될 수동식 시료채취기는 지면으로부터 1m 이상이 되도록 하고, 비나 눈으로부터 보호될 수 있도록 했으며, 환기가 잘되는 곳에 위치하도록 하였다. 수동식 시료채취기의 설치장소는 음식점 실내 및 실외, 음식점 종업원이 개인 주택의 실내 그리고 종업원의 개인시료를 측정하였다. 또한 시간활동도를 같은 시간동안 측정하였다.

3. 시간가중치 모델

공기오염물질의 누적 개인 노출량은, 각 개인이 어떤 장소에 농도와 그 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[13].

$$E_c = \int_{t_2}^{t_1} C(t)\,dt \qquad (1)$$

(식 1)을 이용하여 식당종업원의 누적노출량은 음식점 실내, 음식점 실외, 음식점 종업원의 개인집 실내의 농도와 종업원이 각 장소에서 머무른 시간을 곱하여 (식 2)로 나타낼 수 있다. (식 2)는 시간가중치 모델로 정의할 수 있다.

$$P_i = (I_i \cdot IH_i + O_i \cdot OR_i + W_i \cdot IR_i) / (IH_i + OR_i + IR_i) \qquad (2)$$

여기서,

P_i : 종업원의 이산화질소 개인 노출 예측치 (ppm)

I_i : 종업원 개인집 실내의 NO_2 농도 (ppm)

O_i : 음식점 실외의 NO_2 농도 (ppm)

W_i : 음식점 실내의 NO_2 농도 (ppm)

IH_i : 종업원이 개인집에서 보낸 시간 (hr)

OR_i : 음식점 실외에서 보낸 시간 (hr)

IR_i : 음식점 실내에서 보낸 시간 (hr)

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 음식점 실내 실외 농도 및 개인 노출 농도

음식점 15곳의 실내 및 실외의 NO_2 농도와 종업원 23명의 개인 NO_2 농도를 Table 1에 나타내었다. 음식점 실내의 NO_2의 농도가 실외보다 평균적으로 높았으며, 그 원인중의 한가지는 손님들의 흡연 때문인 것으로 생각된다. 1998년 서울의 NO_2의 1년간 평균농도는 30ppb인 점을 고려할 때 음식점과 종업원 개인 노출 농도가 높은 것으로 나타났다. 음식점의 실내 농도는 손님들의 흡연, 주방의 가스레인지 사용으로 높은 농도로 나타났으며, 더불어 음식점이 도로변에 위치하여 실외의 농도도 높게 나타났다.

Yang등[14]에 의한 한국의 서울의 사무실 근로자와 호주의 사무실 근로자와 비교했을 때 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 노출은 상당히 높은 것을 알 수 있다(Table 2). 음식점 실내와 실외의 NO_2 농도의 차이가 ETS의 원인으로 판단할 수 있지만, 음식점 실내에서 조리에 사용되는 가스레인지의 연소에서 발생될 수 있기 때문에 간접흡연의 지표로써 NO_2를 이용하는 것은 누출오류를 일으킬 수 있을 것으로 사료된다. 또한 음식점이 대부분 도로근처에 위치하여 차량에 의한 NO_2 실내유입도 영향을 끼칠 것이다[15].

Table 1. Indoor, outdoor and service-worker's NO_2 concentrations

Mean and standard deviation of NO_2 measurements (ppb) (n=23)				
Restaurant indoors	Restaurant outdoors	I/O ratio	Personal exposure	Personal home indoors
57.01(±12.42)	54.29(±9.54)	1.07(±0.22)	53.03(±9.29)	39.20(±5.53)

Table 2. Indoor, outdoor and office-worker's NO_2 concentrations

Mean and standard deviation of NO_2 measurements (ppb)					
	Personal home indoors	Personal home outdoors	I/O ratio	Personal exposure	Office indoors
Brisbane in Australia (n= 57)	10.5(±5.6)	14.5(±5.8)	0.8(±0.6)	15.0(±5.2)	18.2(±5.0)
Seoul in Korea (n= 31)	43.2(±14.8)	52.5(±20.0)	1.0(±0.5)	47.9(±15.5)	25.0(±16.1)

Table 3. Time activity of service-workers

	Indoor			Outdoor			Transport
	Home	Restaurant	Other	Near home	Near Restaurant	Other	
Mean hours	10.9 (±2.9)	9.4 (±2.5)	0.5 (±0.7)	0.4 (±0.5)	1.2 (±1.5)	0.3 (±0.4)	1.3 (±1.1)
%	45.4	39.2	2.0	1.7	5.0	1.3	5.4
Total (%)	86.6			8.0			5.4

2. 식당 종업원의 시간활동도

비흡연 종업원의 1일(또는 2일) 동안의 시간대별 활동도를 조사하였다(Table 3). 시간활동표는 오전 6시부터 오후 12까지는 30분 단위로 표시하도록 하였으며, 오전 0시부터 오전 6시까지는 일반적으로 사람들이 잠을 자는 시간대이기 때문에 1시간 단위로 표시하도록 하였다. 각 종업원은 시간활동표에서 같은 시간대에 두 장소에 있는 경우는 두 곳에 표시를 하도록 하였다. 평균적으로 음식점에서 보내는 시간은 9.4hr 였으며, 종업원 개인집에서 보내는 시간은 평균적으로 10.9hr으로 종업원의 대부분은 실내(86.6%)에서 보낸 것으로 나타났다. 따라서, 음식점 비흡연 종업원은 NO_2의 농도가 높은 음식점에서 많은 시간을 활동하므로 NO_2 개인노출이 전체 노출량에서 차지하는 비중이 높을 것으로 생각된다.

3. 개인 NO_2 노출의 상관성 분석

비흡연 종업원 개인의 NO_2 노출은 음식점의 실내 NO_2 농도와 상관성이 가장 높았으며(r=0.70), 다음으로 종업원 개인집의 NO_2 농도(r=0.52)였다. 종업원 개인의 NO_2 노출농도는 실외 NO_2 농도와 상관성은 낮았다(r=0.35). 따라서 식당 비흡연 종업원의 NO_2 개인노출은 음식점 실내공기에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며 그 원인은 음식점의 손님들의 흡연과 음식점 조리에 의한 연소도구에 의한 발생원 때문으로 생각된다(Fig. 1).

4. 음식점 종업원의 NO_2 노출 예측

시간가중치 모델(식 2)을 이용하여 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 개인노출의 예측된 값은 47.2ppb (±8.3)였다. 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 개인노출은 53.0ppb(±9.5)였다. 이것은 음식점 종업원이 시간을 보낸 장소 모두를 측정한 것이 아니기 때문에 차이가 난 것이다. 예측된 NO_2 개인노출과 실측된 NO_2 개인노출 사이의 차이는 음식점 종업원의 출퇴근때의 차량과 음식을 배달하는 과정의 차량 때

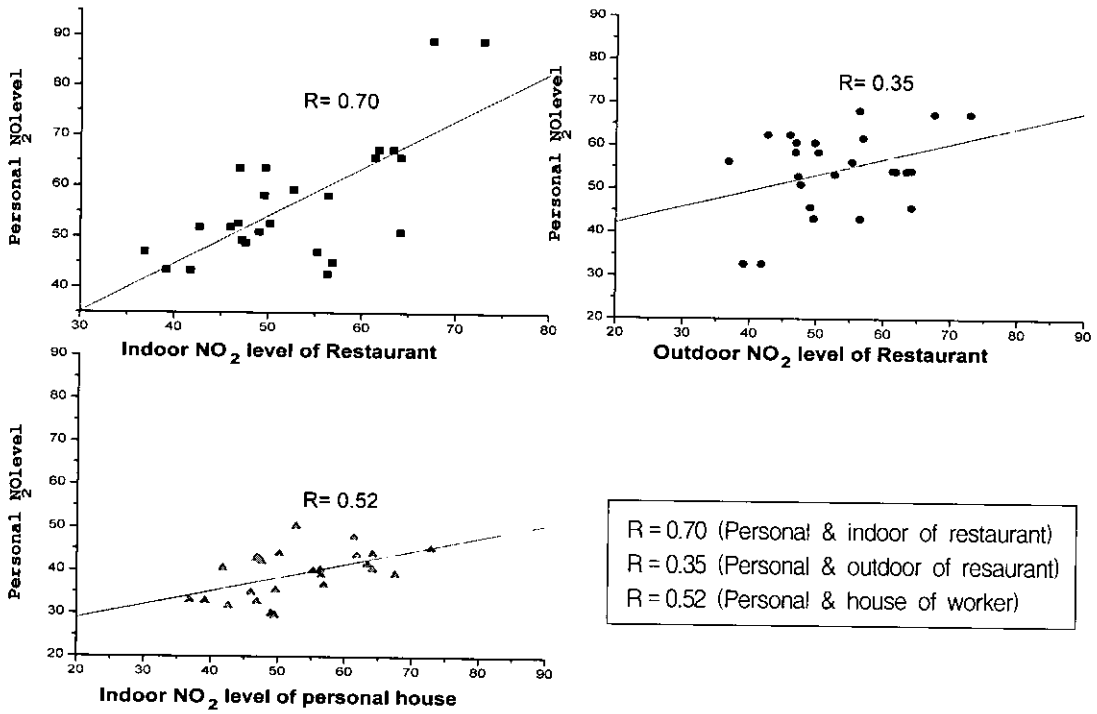

Fig. 1. Correlation between personal NO_2 exposure and microenvironments.

문일 것으로 사료된다. 본 연구는 23명의 종업원의 NO_2 농도를 측정하였다. 비록 측정된 종업원의 수가 적지만, 시간가중치 모델과 시간활동도를 이용하여 음식점 종업원의 NO_2 개인노출을 @Risk (Palisade Co.) 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 (simulation)을 1000회 하였다[16]. 즉, 서울시와 같은 대도시에서 종사하는 종업원 1000명의 NO_2 개인노출의 농도분포를 예측한 결과 Fig. 2와 같았다.

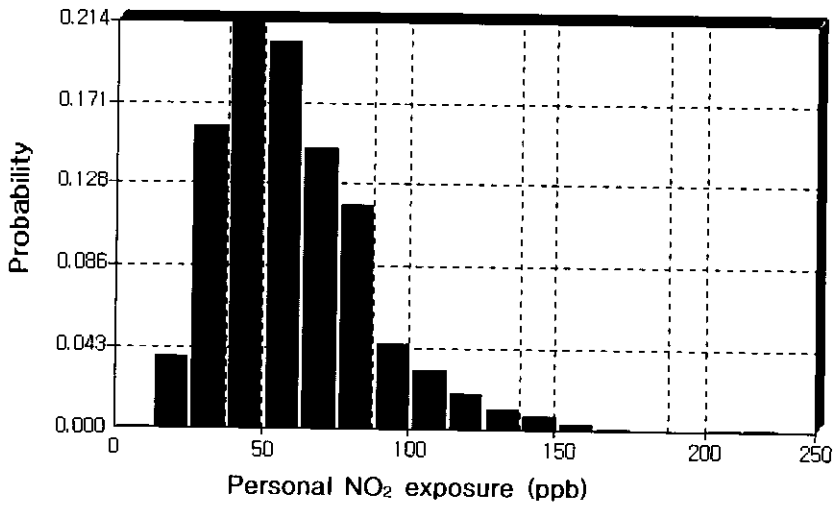

Fig. 2. Monte-Carlo simulation using time-weighted model and time activity.

그리고, 다른 직업군에 비해서 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 노출이 심각한 상태임을 알 수 있으며 이에 대한 음식점내 흡연금지 등의 적절한 조치가 있어야 할 것으로 사료된다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 서울시에 위치하는 음식점을 대상으로 그곳에 근무하는 비흡연 종업원의 개인 NO_2 노출, 음식점 실 · 외 NO_2 농도 및 종업원 개인 집의 실내 NO_2 농도를 측정하여 ETS의 지표로서 NO_2 이용 가능성을 연구하였다. 또한 시간활동도를 조사하여 시간가중치 모델에 적용하고 대도시의 도로변 근처에 근무하는 음식점 종업원의 NO_2 노출 정도를 예측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 음식점 실내의 NO_2 농도(57.01±12.42ppb)가 실외(54.29±9.54ppb)보다 평균적으로 높았으며, 실내 및 실외(I/O) 비는 1.07(±0.2)였다. 일반 사무실 근로자에 비해서 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 노출이 상당히 높았다.
2. 음식점 실내와 실외의 NO_2 농도의 차이가 ETS의 원인으로 판단할 수 있지만, 음식점 실내에서 조리에 이용되는 연소도구에서 발생될 수 있기 때문에 간접흡연의 지표로써 NO_2를 이용하는 것은 노출오류를 일으킬 수 있을 것으로 생각된다.
3. 음식점 종업원이 평균적으로 음식점에서 보내는 시간은 9.4hr 였으며, 종업원 개인집에서 보내는 시간은 평균적으로 10.9hr이였다. 종업원의 대부분은 시간을 실내(86.6%)에서 보낸 것으로 나타났다.
4. 비흡연 종업원 개인의 NO_2 노출은 음식점의 실내 NO_2 농도와 상관성이 가장 높았으며(r=0.70), 다음으로 종업원 개인집의 NO_2 농도(r=0.52)였다. 비흡연 종업원 개인의 NO_2 노출농도는 실외 NO_2 농도와 상관성은 낮았다(r=0.35). 따라서 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 개인노출은 음식점 실내공기에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
5. 시간가중치 모델을 이용하여 음식점 비흡연 종업원의 NO_2 개인노출의 예측된 값은 47.2ppb(±8.3)였으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 음식점 종업원의 NO_2 개인노출은 53.0ppb(±9.5)였다. 이는 음식점 종업원의 출퇴근 때의 차량과 음식을 배달하는 과정의 차량 때문일 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부에서 시행한 국민건강증진 연구사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. WHO Report, 1999
2. Leon Gordis : Epidemiology and Health Risk Assessment, Oxford Univ. Press, 1988.
3. Scherer, G. and Richter, E. : Giomonitoring exposure to environmental tobacco smoke(ETS) : A *critical reappraisal*, Human & Experimental Toxicology, 16, 449-459, 1997.
4. Jaakkola, M. D. and Jaakkola, J. J. : Assessment of exposure to environmental tobacco smoke, European Respiratory J., 10, 2384-2397, 1997.
5. Roger, A.J., Palausky, M.A., Counts, R.W., Guerin, M.R., Dindal, A.B. and Bayne, C.K.: Determination of personal exposure of non-*smoking to environmental tobacco smoke* in the United States, Lung Cancer, 14 Suppl. 1, 195-213, 1996.
6. Wang, F.L., Love, E.J., Liu, N. and Dai, X.D. : Childhood and adolescent passive smoking and the risk of female lung cancer, International Journal of Epidemiology, 23(2), 1994.
7. National Research Council : Environmental tobacco smoke : measuring exposures and assessing *health effects*, Washington D.C., National Academy Press, 1986.
8. U.S. Department of Health and Human Services : The health consequences of smoking : cancer, A report of the surgeon general, U.S.

DHHS, 1983.

9. Cummings, K.M., Markello, S.J., Mahoney, M.C. and Marshall, J.R. : Measurement of current exposure to environmental tobacco smoke, Archives of Environmental Health, 45(2), 1990.
10. Benowitz, N.L. : Biomakers of environmental tobacco smoke exposure, Environmental Health Perspective, 107, suppl. 2, 1999.
11. Yanagisawa, Y. and Nishmura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO_2 and NO in ambient air, Environment International, 8, 235-242, 1982.
12. Lee, K., Yanagisawa, and Y., Spengler, J.D. : Sampling rate evaluation for NO_2 badge : (I) in indoor environment. Indoor Air, 4(2), 124-130, 1993.
13. Levy, J. I., et al. : Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure : An international study, J. Air & Waste Manage. Assoc., 48, 553-560, 1998.
14. Yang, W., Lee, K., Son, H. and Chung, M. : Estimation of personal exposure on nitrogen dioxide using time activity - comparative study between Brisbane, Australia and Seoul, Korea -, 대한위생학회지, 15(2), 10-17, 2000.
15. Sparks, L.E., Molhave, L., and Dueholm, S. : Source testing and data analysis for exposure and risk assessment of indoor pollutant sources. American Society for Testing and Materials, 367-375, 1996.
16. Thompson, K.M., Burmaster, D.E. and Crouch E.A. : Monte carlo techniques for quantitative uncertainty analysis in public health risk assessments. Risk Analysis, 12(1), 53-53, 1992.