

2002년 서울시 대기오염과 출생 자료를 이용한 저체중아 환경보건감시체계 연구

서주희^{1,2)}, 하은희¹⁾, 김옥진³⁾, 김병미^{1,2)}, 박혜숙¹⁾, 임종한⁴⁾, 홍윤철⁵⁾, 김영주⁶⁾

이화여자대학교 의과대학 예방의학교실¹⁾, 이화의학글로벌챌린지 사업단²⁾, 서울대학교 보건대학원 보건학과³⁾,
인하대학교 의과대학 사회의학교실⁴⁾, 서울대학교 의과대학 예방의학교실⁵⁾, 이화여자대학교 의과대학 산부인과학교실⁶⁾

Environmental Health Surveillance of Low Birth Weight in Seoul using Air Monitoring and Birth Data

Ju-Hee Seo^{1,2)}, Eun-Hee Ha¹⁾, Ok-Jin Kim³⁾, Byung-Mi Kim^{1,2)}, Hye-Sook Park¹⁾, Jong-Han Leem⁴⁾, Yun-Chul Hong⁵⁾, Young-Ju Kim⁶⁾

Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Ewha Medical Research Center, Ewha Womans University¹⁾, Ewha Global Challenge Project for Medicine²⁾, Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Seoul National University³⁾,
Department of Occupational Medicine, Inha University⁴⁾, Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Seoul National University⁵⁾, Department of Obstetrics and Gynecology, College of Medicine, Ewha Womans University⁶⁾

Objectives : The principal objective of this study was to determine the relationship between maternal exposure to air pollution and low birth weight and to propose a possible environmental health surveillance system for low birth weight.

Methods : We acquired air monitoring data for Seoul from the Ministry of Environment, the meteorological data from the Korean Meteorological Administration, the exposure assessments from the National Institute of Environmental Research, and the birth data from the Korean National Statistical Office between January 1, 2002 and December 31, 2003. The final birth data were limited to singletons within 37~44 weeks of gestational age. We defined the Low Birth Weight (LBW) group as infants with birth weights of less than 2500g and calculated the annual LBW rate by district. The air monitoring data were measured for CO, SO₂, NO₂, and PM₁₀ concentrations at 27 monitoring stations in Seoul. We utilized two models to evaluate the effects of air pollution on low birth weight: the first was the relationship between the annual concentration of air pollution and low birth weight (LBW) by individual and district, and the second involved a GIS exposure model constructed by Arc View 3.1.

Results : LBW risk (by Gu, or district) was significantly increased to 1.113(95% CI=1.111~1.116) for CO, 1.004 (95% CI=1.003~1.005) for NO₂, 1.202(95% CI=1.199~

1.206) for SO₂, and 1.077(95% CI=1.075~1.078) for PM₁₀ with each interquartile range change. Personal LBW risk was significantly increased to 1.081(95% CI=1.002~1.166) for CO, 1.145(95% CI=1.036~1.267) for SO₂, and 1.053(95% CI=1.002~1.108) for PM₁₀ with each interquartile range change. Personal LBW risk was increased to 1.003(95% CI=0.954~1.055) for NO₂, but this was not statistically significant. The air pollution concentrations predicted by GIS positively correlated with the numbers of low birth weights, particularly in highly polluted regions.

Conclusions : Environmental health surveillance is a systemic, ongoing collection effort including the analysis of data correlated with environmentally-associated diseases and exposures. In addition, environmental health surveillance allows for a timely dissemination of information to those who require that information in order to take effective action. GIS modeling is crucially important for this purpose, and thus we attempted to develop a GIS-based environmental surveillance system for low birth weight.

J Prev Med Public Health 2007;40(5):363-370

Key words : Air pollution, Environmental health surveillance, Low birth weight

서론

최근 들어 대기오염이 건강에 미치는 영향에 관한 연구들은 일반 인구 집단뿐만 아니라 노인과 태아 및 어린이 등의 민감

집단에 대한 건강 영향을 평가하는 방향으로 진행되어 오고 있다. 특히 1990년대 이후부터 태아를 대상으로 한 대기오염 역학연구에서 산모가 임신 기간 중 높은 대기오염 농도에 노출되는 경우 좋지 않

은 출산 결과의 위험이 증가되는 것으로 나타났다 [1,4].

국내에서 대기오염 역학의 대상이 된 건강 결과는 호흡기계 질환, 심혈관계 질환, 사망, 천식 및 알레르기 등이었고 [5-8] 출산 결과에 대한 대기오염 역학 연구는 2000년경 처음 시도되었는데, 현재까지 대

기오염이 저체중아 출산과 조산의 위험과 연관되어 있다는 연구 결과들이 보고되고 있다 [1,9]. 하지만 산모와 태아를 대상으로 한 현재까지의 역학연구에 있어 부정적 임신 결과 등 환경성 질환의 발생규모와 변화 추세를 지속적으로 파악하는 체계를 갖추고 있지는 못한 실정이다.

미국에서는 1990년대 후반부터 환경성 질환 감시에 대한 중요성을 인식하고, 이를 위한 국가 차원의 정책과 네트워크를 수립하였다 [10]. 2002년 미국 질병관리본부(the Centers for Disease Control and Prevention, CDC)를 중심으로 환경보건감시(Environmental Public Health Tracking, EPHT) 프로그램을 시행하였다 [10]. 미국 질병관리본부는 환경보건감시란 환경 위해(hazards)와 이에 대한 노출, 그리고 환경 위해에 대한 노출과 잠재적으로 관련이 있는 건강 영향에 대한 자료를 계속적으로 수집하고, 통합하고, 분석하며, 해석하는 것으로 정의하고 있다 [11].

하지만 국내의 기존 연구들은 사용되는 자료가 표준화된 형식이 아닌 수집 기관의 형식에 따라 다르고, 개인의 사생활 침해 등의 이유로 인해 자료 공유가 불가능하여 기존의 연구 결과가 정책적인 의사결정으로까지 이루어지는 경우는 거의 없다. 국내에서는 2001년에 처음으로 일부 지역에서 웹을 기반으로 한 선천성이상 감시체계가 시도되었다 [12,13]. 이 시도는 병원 및 보건소를 중심으로 한 선천성이상 감시체계에 등록하는 형식으로 운영되기는 하였으나, 이 등록 자료를 활용하여 환경요인 등의 영향 분석 또는 추세 분석 등의 감시체계로 이용되지는 못하였다. 이와 같이 국내에서 제한된 자료원과 이용, 임신결과에 대한 등록 체계의 미비 등으로 인해 출생과 관련된 감시체계를 구축하기가 어려운 실정이다. 하지만 많은 역학연구를 통해서 환경오염이 출생결과에 좋지 않은 영향을 미친다는 것이 밝혀지고 있으므로, 이에 대한 추세 분석을 통해 위험의 크기를 알고 이에 대한 적절한 조치를 취할 수 있도록 정책 의사결정 체계를 지원하는 감시체계를 구축해야 할 시점이 되었다고 할 수 있다.

Table 1. Descriptive statistics of socioeconomic factors by districts in Seoul, 2002

Region	Whole	Down town	NE district	NW district	SW district	SE district
*Low birth weight (<2500g,%)	1.4	1.3	1.5	1.3	1.3	1.1
*Births of male infant (%)	52.0	52.0	51.7	51.7	52.4	52.0
*Teens mother (%)	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2
*Teens father (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
*Maternal college education (%)	52.7	53.8	47.4	51.8	50.9	66.7
*Paternal college education (%)	61.2	60.2	55.7	61.3	60.7	73.9
*Births outside marriage (%)	0.9	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9
*Jobless mother (%)	3.9	6.3	3.4	2.9	3.7	3.8
*Jobless father (%)	2.4	2.6	2.5	2.3	2.4	2.2

Down town: Chongro-gu, Chung-gu, Youngsan-gu
 NE district: Sungdong-gu, Kwangjin-gu, Dongdeamun-gu, Chungrang-gu, Sungbuk-gu, Kangbuk-gu, Dobong-gu, Nowon-gu
 NW district: Eunpyoung-gu, Seodeamun-gu, Mapo-gu
 SW district: Yangcheon-gu, Kangseo-gu, Kuro-gu, Keumchoen-gu, Youngdeungpo-gu, Dongjak-gu, Kwanak-gu
 SE district: Seocho-gu, Kangnam-gu, Songpa-gu, Kangdong-gu
 Source: * The birth registration

따라서 본 연구에서는 대기오염과 이로 인해 발생하는 저체중 출산 간의 인과관계를 규명하고, 예방을 위한 의사결정과 정책을 수립하고 평가하는데 기여할 수 있는 출생 결과 감시체계의 가능성을 타진하여, 실제 국내에서 수행하기 위한 감시체계 구축 방법을 제시하고자 한다.

연구방법

1. 연구자료

연구에 사용된 자료들은 출생아 환경보건 감시체계를 운영하는데 사용될 수 있는 자료로 전국을 대상으로 수집되었으며, 자료 구입이나 공식 요청으로 공개 가능한 자료를 사용하였다.

1) 출생 자료

통계청으로부터 2002년 1월 1일부터 2002년 12월 31일까지 전국의 출생 신고자료 490,182건 중 서울 지역을 대상으로 출생 신고지와 주소지의 행정 구역이 동일한 대상자를 선택하였는데, 이를 통해 산모가 주소지로부터 다른 지역에서 임신 기간을 보내는 경우를 연구에서 제외시키려 하였다. 서울 지역의 전체 출산 중 37~44주에 태어난 단태아로 출생 시 체중이 기입된 경우인 총 93,253건의 출산을 연구 대상으로 선택하였다.

출생신고자료는 출생 신고지와 주소지, 신고일, 아이의 성별과 출생일, 그리고 출생 장소, 부모의 결혼상태, 생일과 연령, 교육수준과 직업, 결혼기념일, 등거 기간, 임신 주수, 태아 수, 출생순위, 신생아 체중, 현재까지의 총 출산아 수와 이중 생존, 사

망아 수에 대한 자료가 기록되어 있었다.

본 연구에 주요한 결과변수로 사용되는 저체중 출산은 정의에 따라 출생 시 체중이 2,500 g 미만인 경우로 분류하였고, 구별 저체중 출산 비율을 월과 년 단위로 계산하였다.

분석을 위해 출생신고자료를 다음과 같이 범주화 하였다. 아이의 성별은 남과 여, 부모의 결혼상태는 혼 외 출산과 혼 중 출산으로 구분하였다. 부모의 연령은 20세 미만, 20~24세, 25~29세, 30~34세, 35~39세, 40~44세, 45~49세, 50세 이상으로 총 7단계로 구분하였다. 부모의 교육수준은 초졸 이하, 중졸, 고졸, 대학교육 이상의 4단계로 구분하였다. 부모가 직업을 가진 여부에 따라 유직과 무직으로 구분하였다. 출생신고자료를 이용하여 지역별 비율로 전체 출생아 중 남아의 비율, 혼 외 출산 비율, 20세 미만 부모의 비율, 대학이상 교육 받은 부모의 비율, 직업이 없는 부의 비율을 각각의 원 자료를 이용하여 구 단위로 점수나, 대상자수, 비율 등으로 계산하였다.

2) 대기오염자료

(1) 대기오염 측정망 자료

국립환경과학원에서 제공받은 2002년 전국 대기오염측정망 자료 중 서울 지역의 총 27개 측정소에서 기록된 자료만 이용하였다. 이 자료는 CO, SO₂, NO₂, PM₁₀의 농도를 시간마다 측정된 자료이며, 이를 이용하여 구별 일 평균 대기오염 농도로 계산하였다.

서울지역의 25개 구는 도심권은 종로구, 중구, 용산구, 동북권은 성동구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구,

노원구, 서북권은 은평구, 서대문구, 마포구, 서남권은 양천구, 강서구, 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구, 동남권은 서초구, 강남구, 송파구, 강동구로 5개 권역을 포함하였고 하나의 구에 2개의 측정망 자료값이 있는 경우에는 평균값을 이용하였다.

(2) GIS 노출 모델링에 사용된 자료들: 지표기상자료, 고층 기상자료, 지리정보, 배출량 자료

CO, NO₂, SO₂, PM₁₀에 대한 배출량 자료는 국립환경과학원에서 제공하는 대기보전정책수립지원시스템 (CAPSS) 자료를 활용하였으며, 먼 오염원은 2002년 배출량을 전국을 대상으로 1 km×1 km격자별로 산출한 자료를 이용하였고, 점 오염원은 2002년 자료가 부정확하여 2001년 자료를 이용하였다. 대기확산모델링에 사용된 고도자료와 토지이용도는 환경부에서 제공하는 GIS자료를 이용하였으며, 기상자료는 서울, 수원, 인천, 강화, 동두천, 양평, 이천 기상대의 6곳의 지표기상자료와 오산 고층기상대의 고층기상자료를 이용하여 모델링 영역의 3차원 바람장을 계산하였다.

2. 분석방법

1) 통계적인 모형

본 연구에서는 임신기간 동안 노출된 대기오염 노출 농도가 저체중 출산에 미치는 영향을 살펴보기 위해 연평균 구별 대기오염 농도와 구별 저체중 출산 건수간의 연관성을 선형회귀모형을 이용하여 파악하였고, 연평균 구별 대기오염 농도와 개인의 저체중 출산 여부 간의 연관성을 로지스틱 회귀모형을 이용하여 파악하였다.

(1) 구별 정상 출산 100명당 발생한 저체중 출산 건수와 연평균 구별 대기오염 노출간의 연관성 파악

구별 100건의 정상출산 당 발생한 저체중 출산 건수와 당해의 구별 대기오염 농도 간의 연관성을 알아보기 위해 선형 회귀모형을 이용하였다. 이 모형을 적용하기 위해서 통계청 출생 자료에 구로 표기된 주소지와 대기오염 측정망 자료로부터 지리정보체계(GIS)를 이용하여 추정된 대

Table 2. Descriptive statistics of CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀ by districts in Seoul, 2002

Region		Seoul	Down town	NE district	NW district	SW district	SE district
CO ppb	Mean	688.0	614.1	1044.8	539.6	518.8	437.1
	Min	147.9	448.0	179.0	245.7	281.0	147.9
	25%	356.3	478.0	610.6	245.7	356.3	238.6
	Median	663.1	664.9	979.0	663.1	464.9	331.0
	75%	840.8	699.4	1523.8	710.0	713.4	635.7
	Max	1952.9	699.4	1952.9	710.0	840.8	938.6
NO ₂ ppb	Mean	33.1	111.0	32.8	32.9	9.0	17.6
	Min	1.4	23.0	4.3	15.7	1.4	6.2
	25%	9.9	23.0	13.0	15.7	2.9	10.6
	Median	16.6	108.7	37.7	16.6	9.9	15.8
	75%	41.7	201.4	49.1	66.4	13.8	24.7
	Max	201.4	201.4	58.2	66.4	16.7	32.7
SO ₂ ppb	Mean	3.9	5.5	4.7	5.0	2.1	3.2
	Min	0.6	3.2	1.5	3.0	0.6	1.9
	25%	2.1	3.2	3.2	3.0	1.2	2.0
	Median	3.2	5.5	4.9	6.0	2.1	2.8
	75%	5.2	7.8	5.7	6.0	2.9	4.4
	Max	9.0	7.8	9.0	6.0	3.6	5.2
PM ₁₀ µg/m ³	Mean	69.7	81.0	79.1	65.5	57.6	66.8
	Min	50.5	63.7	64.1	59.6	50.5	57.6
	25%	60.3	63.7	67.0	59.6	53.6	62.6
	Median	66.6	82.7	74.4	60.3	56.1	69.0
	75%	74.4	96.7	78.1	76.7	62.6	70.9
	Max	129.5	96.7	129.5	76.7	66.6	71.4

Down town: Chongro-gu, Chung-gu, Youngsan-gu
 NE district: Sungdong-gu, Kwangjin-gu, Dongdeamun-gu, Chungrang-gu, Sungbuk-gu, Kangbuk-gu, Dobong-gu, Nowon-gu
 NW district: Eunpyoung-gu, Seodeamun-gu, Mapo-gu
 SW district: Yangcheon-gu, Kangseo-gu, Kuro-gu, Keumchoen-gu, Youngdeungpo-gu, Dongjak-gu, Kwanak-gu
 SE district: Seocho-gu, Gangnam-gu, Songpa-gu, Kangdong-gu

기오염 노출자료의 구를 연결하여 자료를 구성한 후 분석하였다. 첫 번째는 구별 연평균 대기오염 농도가 저체중 출산 건수에 미치는 영향을 알아보기 위해 단변량 분석을 실시하였고, 두 번째로 사회 인구역적 변수들의 영향을 보정하기 위해 구별 남아 출생률, 20세 미만 부모 비율, 대학이상 교육을 받은 부모의 비율, 무직인 부 비율, 혼외 출산 비율을 모형에 포함하였다.

(2) 개인의 저체중 출산여부와 연평균 구별 대기오염 노출간의 연관성 파악

개인의 저체중 출산 여부와 당해의 대기오염 노출 간의 연관성을 알아보기 위해 로지스틱 회귀모형을 이용하였다. 이 모형을 적용하기 위해서 통계청 출생 자료의 주소지와 지리정보체계(GIS)를 이용하여 추정된 대기오염 노출자료의 구를 연결하여 자료를 구성한 후 분석하였다. 첫 번째는 구별 연평균 대기오염 농도가 산모의 저체중 출산 여부에 미치는 영향을 알아보기 위해 단변량 분석을 실시하였고, 두 번째로 사회 인구역적 변수들의 영향을 보정하기 위해 개인 수준의 요인들을 모형에 포함하였다. 포함된 변수들은 출생아의 성별, 부모의 연령과 교육수준, 직업유무, 결혼 상태이다.

2) GIS 노출 모델링과 mapping

2002년도의 동별 및 구별 대기오염농도를 추정하기 위하여 대기 확산 모델링 기법을 이용하여 추정하는 것으로 대기확산모델은 실제 대기의 비정상상태를 모사할 수 있으며, 3차원 바람장을 사용함으로써 정합도가 높은 것으로 보고되고 있는 CALPUFF(California Puff) 모델을 이용하여 대기 오염도를 예측하였다. 3차원 바람장 자료는 수도권지역의 6개 기상대(인천, 서울, 수원, 강화, 양평, 이천)와 오산 고층 측정 자료를 이용하여 2002년 1년 동안 CALMET 모델을 수행 작성하였다. CALMET은 진단적 기상모델로서, CARB (California Air Resources Board)의 Sigma Research Corporation에서 개발되었고, CALPUFF에서 필요한 기상 요소인 3차원 바람장을 생성하는 기상 전처리 프로그램이다.

동별 및 구별 대기오염농도 추정 방법은 2002년도를 CALPUFF 모델을 이용하여 관심지점으로 동 중심좌표 291개, 구 중심좌표 35개, 측정소 좌표 36개를 계산하고, 측정소의 측정 자료와 모델링 농도의 상관도를 구하여 각 관심지점의 모델링 농도에 가장 가까운 측정소의 상관도로 보정

Table 3. Odds ratios (95% confidence interval) of low birth weight rate for each interquartile change of CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀ by district in Seoul, 2002

Variable	Odds Ratio (95% confidence interval)					
	Crude			Adjusted*		
	OR	Lower	Upper	OR	Lower	Upper
CO	1.113	1.111	1.116	1.110	1.108	1.112
NO ₂	1.004	1.003	1.005	1.004	1.002	1.005
SO ₂	1.202	1.199	1.206	1.200	1.197	1.203
PM ₁₀	1.077	1.075	1.078	1.076	1.074	1.077

*: Adjusted by infant sex, maternal and paternal age, education level and job status.

Table 4. Odds ratios (95% confidence interval) of low birth weight for each interquartile change of CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀ by individual in Seoul, 2002

Variable	Odds Ratio (95% confidence interval)					
	Crude			Adjusted*		
	OR	Lower	Upper	OR	Lower	Upper
CO	1.081	1.002	1.166	1.067	0.987	1.153
NO ₂	1.003	0.954	1.055	0.996	0.946	1.048
SO ₂	1.145	1.036	1.267	1.125	1.016	1.246
PM ₁₀	1.053	1.002	1.108	1.044	0.991	1.099

*: Adjusted by infant sex, maternal and paternal age, education level and job status.

Table 5. Comparison of measured PM₁₀ and predicted PM₁₀ in Seoul during 2000-2002

		Measured PM ₁₀ ^a	Predicted PM ₁₀ ^b
Seoul	Mean(STD)	69.9 (11.2)	63.5 (23.1)
	Range	49.0 (47.0-96.0)	164.4 (10.2-199.6)
	Median	71.0	59.7
Downtown	Mean(STD)	74.8 (14.6)	85.3 (52.3)
	Range	40.0 (56.0-96.0)	152.5 (47.0-199.6)
	Median	73.0	52.5
NE district	Mean(STD)	76.4 (7.3)	66.4 (7.0)
	Range	27.0 (63.0-90.0)	24.5 (55.4-79.9)
	Median	76.0	65.8
NW district	Mean(STD)	65.1 (10.5)	61.4 (20.3)
	Range	31.0 (47 ~78.0)	58.0 (35.2-93.2)
	Median	66.0	56.3
SW district	Mean(STD)	64.6 (7.7)	52.6 (8.0)
	Range	24.0 (52.0-76.0)	28.0 (38.0-66.0)
	Median	65.0	53.2
SE district	Mean(STD)	65.4 (14.8)	62.2 (20.1)
	Range	42.0 (47.0-89.0)	60.27 (42.37-103.14)
	Median	71.0	55.6

difference between 5 regions : ^ap<0.01 ^bp<0.01 by ANOVA

하여 관심지점의 2002년도 농도를 추정하였다. 2000년과 2001년은 보정된 2002년도의 관심지점 농도에 해당 측정소의 2002년도 연평균 농도의 비율을 곱하여 추정하였다.

CALMET 모델로 작성된 바람장은 서울을 포함하는 88 km × 52 km 영역으로 2 km 간격으로 작성되었으며, 상층으로는 7 개로 나누었다. 바람장을 검증하기 위하여 서울기상대의 위치에 해당하는 지점의 지층 풍향, 풍속을 구하여 바람장미를 그려서 비교한 결과 서울 기상대와 유사한 결과를 얻었다. 오염물질은 대기확산모델링 적용이 가능한 CO, NO₂, SO₂, PM₁₀에 한

하여 분석을 시행하였다.

이렇게 GIS 노출 모델링을 통해 얻어진 구별 연평균 대기오염 농도는 2002년 구별 1,000건의 정상 출생 당 저체중 발생 건수와의 연관성을 파악하고자, 이들 자료를 Arc View 3.1을 이용하여 지도상에 도시하였다 [14].

연구결과

1. 지역별 저체중 출산 발생 건수와 대기오염 농도

서울에서 2002년 1월 1일부터 2002년 12월 31일 기간 동안 총 93,253건의 출산이

발생하였고, 이중 1,254건(1.3%)이 저체중 출산이었다. 서울 내에서 사회 인구학적 변수들의 분포를 살펴보기 위해 25개 구를 도심지, 동북권역, 서북권역, 서남권역, 동남권역의 5개 권역으로 구분하였다. 정상 출생 100명당 발생한 저체중 출산은 1.5건으로 동북권역이 가장 높았으며, 1.1건으로 동남권역이 가장 낮게 나타났다. 다른 변수들의 경우에도 동북권이 대부분 낮은 사회경제적 지위를 갖고 있는 반면 동남권은 높은 사회경제적 지위를 갖는 것으로 나타났다 (Table 1).

연구기간 동안 서울의 평균 대기오염 농도는 CO는 688.0 ppb, NO₂는 33.1 ppb, SO₂는 3.9 ppb, PM₁₀은 69.7 µg/m³ 이었다. 5개 권역별로 대기오염 농도를 살펴보면, 차량과 관련이 있는 NO₂와 SO₂ 그리고 PM₁₀은 도심권이 가장 높은 농도를 보이며, CO의 경우 동북권이 높은 경향을 보이고 있다 (Table 2).

2. 대기오염 물질이 구별 저체중 건수에 미치는 영향

2002년 평균 대기오염 농도가 2002년 서울의 구별 정상 출생 100명당 발생한 저체중 건수에 미치는 영향을 분석한 결과 CO의 농도가 사분위범위 즉 484.5 ppb 증가함에 따라 저체중 건수의 위험은 1.113 (95% CI=1.111~1.116), NO₂의 경우 31.8 ppb 증가함에 따라 1.004 (95% CI=1.003~1.005)으로 통계적으로 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다. SO₂는 3.1 ppb 증가함에 따라 1.202 (95% CI=1.199~1.206), PM₁₀은 14.1 µg/m³ 증가함에 따라 1.077 (95% CI=1.075~1.078)로 유의하게 증가되는 것으로 나타났다. 개인 요인으로 통제된 후에도 CO의 증가는 저체중 건수의 위험을 1.110 (95% CI=1.108~1.112), NO₂의 증가는 1.004 (95% CI=1.002~1.005), SO₂의 증가는 1.2 (95% CI=1.197~1.203), PM₁₀의 증가는 1.076 (95% CI=1.074~1.077)으로 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다 (Table 3).

또한 2002년 평균 대기오염 농도가 2002년 서울에 거주하는 산모 개인의 저체중 출산 여부에 미친 영향을 분석한 결과 CO의 농도가 사분위범위 즉 484.5 ppb 증가함

에 따라 저체중 출산의 위험은 1.081 (95% CI=1.002~1.166), SO₂는 3.1 ppb 증가함에 따라 1.145 (95% CI=1.036~1.267), PM₁₀은 14.1 μg/m³ 증가함에 따라 1.053 (95% CI=1.002~1.108)으로 유의하게 증가되는 것으로 나타났다. NO₂의 경우 31.8 ppb 증가함에 따라 저체중 출산의 위험을 1.003 (95% CI=0.954~1.055)으로 증가시키는 것으로 나타났지만 통계적으로 유의한 증가는 아니었다. 개인 요인으로 통제한 후에도 SO₂의 증가는 저체중 출산의 위험을 1.125 (95% CI=1.016~1.246)로 유의하게 증가시켰으며, CO와 PM₁₀도 저체중 출산의 위험을 증가시켰지만 유의한 증가는 아니었다 (Table 4).

3. GIS를 이용한 구별 연평균 저체중 건수와 대기오염 농도 비교

GIS를 이용하여 구별 대기오염 농도와 저체중 건수간의 관계를 파악하기 위해 CALPUFF 모형을 이용하여 구별 대기오염 농도를 예측하였다. 먼저 모형을 통해 예측된 값이 의미가 있는지를 확인하기 위해 실측치와의 비교를 실시하였다. 파악된 오염원 외에 자연 발생할 가능성이 높은 PM₁₀에 대하여 대기측정소의 실측농도와 모델링을 통해 예측된 농도를 비교하는데 있어 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 3개년 자료를 통해 확인하였다. 2000~2002년 사이 PM₁₀의 실측농도와 표준편차를 살펴보면 69.9±11.2 μg/m³이고, 모델링을 통해 예측된 농도와 표준편차는 63.5±23.1 μg/m³으로 실측된 농도가 예측된 농도보다 높다는 것을 알 수 있다 (Table 5).

이렇게 신뢰검증을 거친 CALPUFF모형을 이용하여 예측한 2002년 서울의 연평균 CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ 농도와 정상출산 1,000건 당 발생한 저체중 출산의 건수의 지역적 분포를 구별로 나타낸 결과이다 (Figure 1-4). 예측된 대기오염 물질 농도와 저체중 출산 발생 양상 간의 패턴이 정확히 일치하지는 않지만, 4개 오염물질의 농도가 매우 높은 구 주변 지역일수록 저체중 출산 발생 건수도 높아짐을 확인할 수 있다.

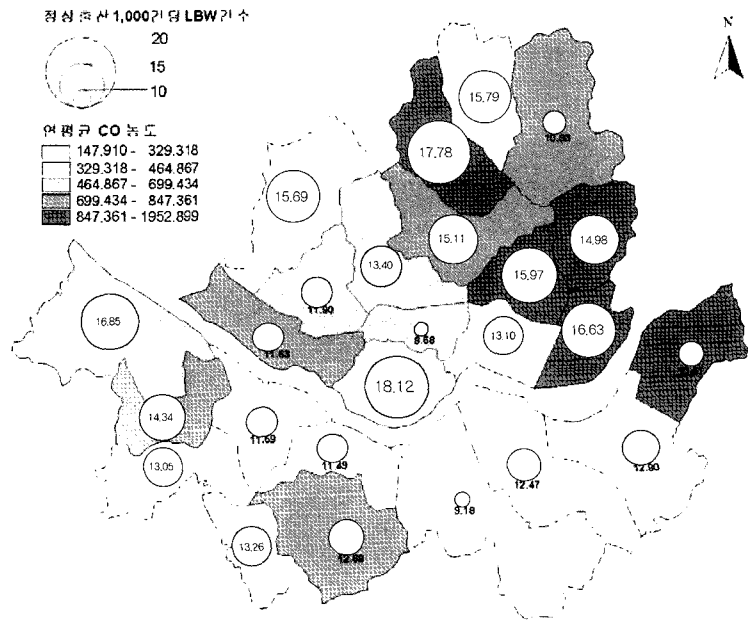


Figure 1. The number of low birth weight deliveries(per 1,000 births) and annual mean of CO concentrations estimated by CALPUFF model in Seoul, 2002.

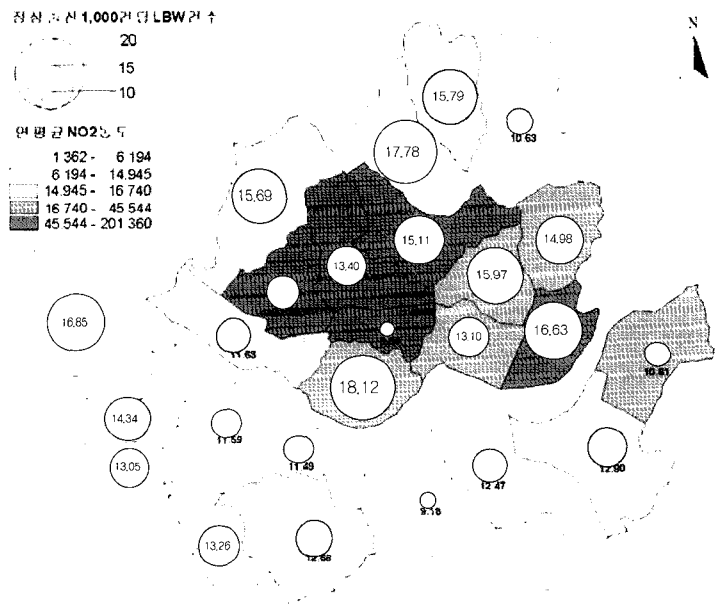


Figure 2. The number of low birth weight deliveries(per 1,000 births) and annual mean of NO₂ concentrations estimated by CALPUFF model in Seoul, 2002.

고찰

미국뿐만 아니라 유럽과 일본 등 다른 국가에서도 환경성 질환에 대한 감시가 다양한 형태로 이루어지고 있다 [15-18]. 즉, 환경과 건강결과 간의 관련성을 지속적으로 확인하며, 더 나아가 이러한 결과를 국민들에게 알려줌으로써 건강 결과에 대한 예방을 촉구하고자 환경보건감시체계를

운영하고 있다. 그 중에서도 출생아 감시 체계가 활발히 실행되고 있는 미국의 캘리포니아 환경 보건 감시체계 프로그램 (CEHTP)에서는 2004년에 개최된 워크샵에서 언급된 Alameda County Demonstration Project (ACDP)에서 교통량 대기오염물질과 조산, 저체중아와 같은 출생 결과와의 관계를 살펴보기 위하여 출생 증명서를 이용한 생정 통계자료와 대기오염 물질

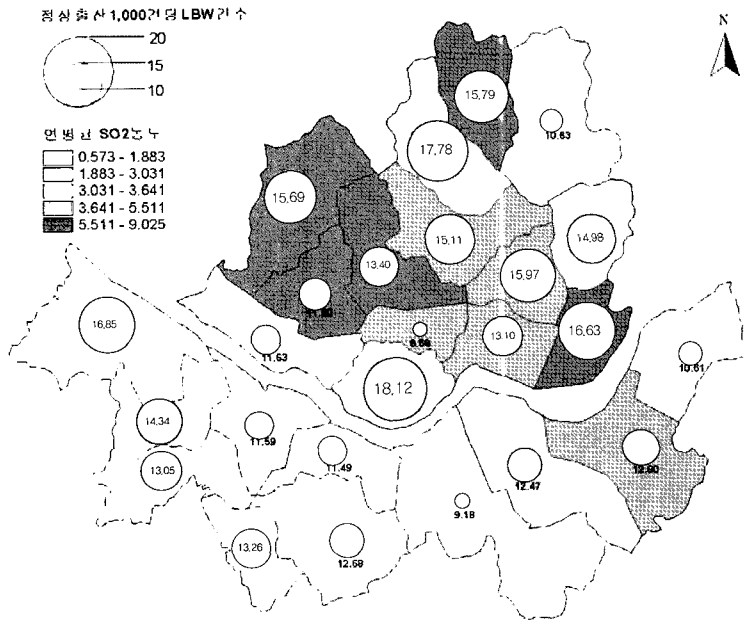


Figure 3. The number of low birth weight deliveries(per 1,000 births) and annual mean of SO₂ concentrations estimated by CALPUFF model in Seoul, 2002.

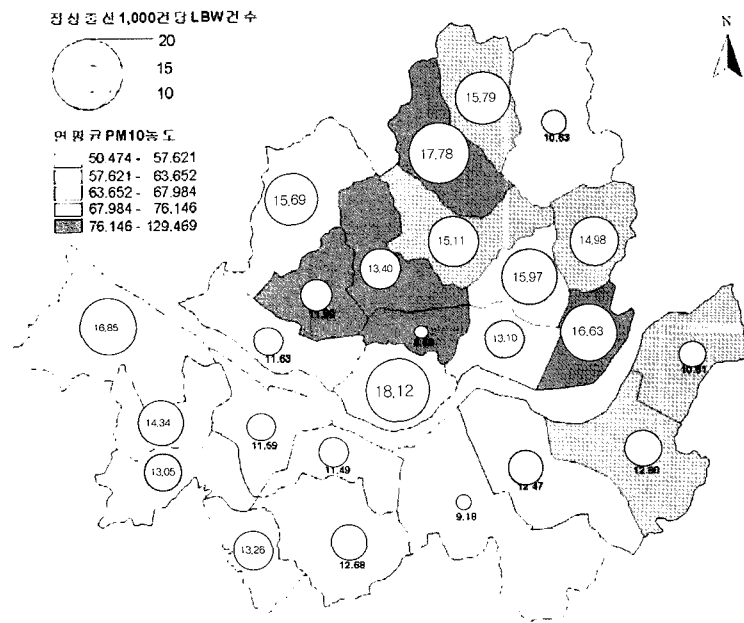


Figure 4. The number of low birth weight deliveries(per 1,000 births) and annual mean of PM₁₀ concentrations estimated by CALPUFF model in Seoul, 2002.

자료를 가지고 GIS를 이용하여 대기오염 물질의 농도 변화에 따른 조산율을 표현 하였다 [19]. 국외의 출생아 감시체계는 많지 않지만 점차 실행되고 있으며 발전해 나가고 있다. 하지만 국내에서는 현재까지 대기오염과 감시체계 분야에 대한 연구는 이루어지지 않았으며 본 연구가 처음으로 시도되는 것이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 대기오염과 저체

중아 발생과의 인과 관계를 점검하고 이러한 결과를 바탕으로 국내 실정에 맞는 저체중아 환경보건감시체계 모형을 제시하고자 하였다. 특히 저체중아 감시체계는 민감집단인 태아와 산모를 대상으로 하여 대기오염으로 인한 좋지 않은 임신 결과에 대한 자료를 수집하고 분석 결과를 배포하는 것이며 이러한 감시체계는 이미 선행적으로 대기오염으로 인한 저체중아에 대한 연관성으로 밝혀진 위험도를

기반으로 구축되어 질 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 외국의 연구 결과를 검토하고 우리나라 자료를 통하여 대기오염이 저체중아 발생 위험을 증가시킨다는 연관성을 점검하고 이를 바탕으로 감시체계 구축과 방법을 제시하고자 한다.

대기오염이 출산 결과에 미치는 영향에 대한 국외 연구들은 활발히 보고되고 있지만 [20,21] 국내에서는 몇몇 연구 결과가 발표되었을 뿐이다 [1,9]. 본 연구에서는 대기오염이 좋지 않은 임신 결과, 특히 저체중아의 위험을 증가시킨다는 것을 구별, 개인별로 확인한 결과 대기오염물질이 사분위범위 증가시 CO의 증가는 저체중 건수의 위험을 1.081-1.11(1.002-1.166), NO₂는 1.004(1.002-1.005), SO₂는 1.125-1.200(1.016-1.267), 그리고 PM₁₀은 1.053-1.076(1.002-1.108) 증가시키는 것으로 나타났다.

이는 Wang 등의 연구에서 SO₂ 농도가 100 µg/m³ 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.11 (95% CI 1.06-1.16)이었고 [22], Bobak and Leon은 사회경제학적인 요인들을 통제 한 후에 SO₂의 연평균 농도가 50 µg/m³ 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.10 (95% CI 1.02-1.17)이었던 것과 일치한다 [23]. 또한 Bobak은 임신 1분기에 SO₂의 연평균 농도가 50 µg/m³ 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.20 (95% CI 1.11-1.30)으로 나타났다 [24], Lin 등은 SO₂의 농도가 7.1-11.4 ppb인 경우 저체중 발생의 위험은 1.16 (95% CI 1.02-1.33)이었고, 11.4 ppb 이상인 경우 저체중 발생의 위험은 1.26 (95% CI 1.04-1.53)이었으며 임신 3분기에 SO₂의 농도가 11.4 ppb 이상인 경우 저체중 발생의 위험은 1.20 (95% CI 1.01-1.41)로 나타났다 [25]. 또한 Dugandzic 등의 연구에서는 SO₂ 농도가 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.17 (95% CI 1.02-1.33)이었고, 출생성별, 재태기간, 산모의 나이, 출산력, 임신 중 흡연, 몸무게 변화, 사산력, 저체중출산력, 이웃의 가족 소득을 통제 한 후에 SO₂ 농도가 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.20 (95% CI 1.05-1.38)으로 나타났으며, PM₁₀농도가 19 µg/m³ 이상 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.33 (95% CI 1.02-1.74)이었다 [26]. 또한 Ritz and Yu는 임신 1분기

에 CO농도가 5.5 ppm 이상 증가할 때 저체중 발생의 위험은 1.22 (95% CI 1.03-1.44)이었고 [27], Ha 등은 임신 1분기에 저체중 발생의 위험은 CO에서 1.08 (95% CI 1.04-1.12), NO₂에서 1.07 (95% CI 1.03-1.11), SO₂에서 1.06 (95% CI 1.02-1.10)으로 본 연구 결과를 뒷받침 해주고 있다 [1].

대기오염과 저체중아 발생 위험을 다른 다른 연구들의 결과를 종합하여 봤을 때, SO₂가 50-100 μg/m³ 증가시 저체중아 발생 위험의 범위는 1.10-1.20 (95% CI 1.02-1.30), 6.2-11.4 ppb인 경우에는 1.06-1.26 (1.01-1.53)으로 각각 나타났고, CO의 농도는 4.2-5.5 ppm 인 범위 내에서 위험비가 1.08-1.22 (1.03-1.44), NO₂에서 4.6 ppb인 경우 1.07 (95% CI 1.03-1.11), 그리고 PM₁₀ 19 μg/m³ 이상 증가시 1.33 (95% CI 1.02-1.74)으로 농도의 변화에 따라 저체중아 발생의 위험비도 변화하는 것으로 나타났다.

이러한 일관된 결과는 대기오염의 영향으로 인한 임신부의 좋지 않은 임신결과, 특히 저체중아 발생 위험의 작은 증가이지만 여기서 주목해야 할 것을 의미한다. 즉, 비자발적으로 노출되는 대기오염노출이 민감한 임신부와 태아에게 미치는 영향이 현재 증명할 수 있는 것이 전부가 아니기에 이러한 집단의 건강을 감시하고 예측하는 것은 상당히 중요한 공중보건학적 의미를 지닌다. 대기오염으로 인한 질병 발생 위험도의 환경보건지표가 확립되고 있지만 저체중아 발생의 경우에는 단 0.01%라도 그 발생 위험이 존재한다면 발생 위험이 존재하기 시작하는 대기오염 농도의 그 시점부터를 지표로 삼아야 할 것이며 이는 지속적인 추후 연구 결과들이 바탕이 되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 제한적인 자료이나 현재까지 우리나라에서 구축할 수 있는 자료를 바탕으로 저체중아 환경보건감시체계를 구축할 수 있도록 다음과 같이 제안하고자 한다.

1. 출생자료

출생 자료는 현재 접근성이 확보되어 있는 통계청의 출생신고 자료로 출생아의 성별, 임신 주수, 출생 시 체중, 출생 장소, 출

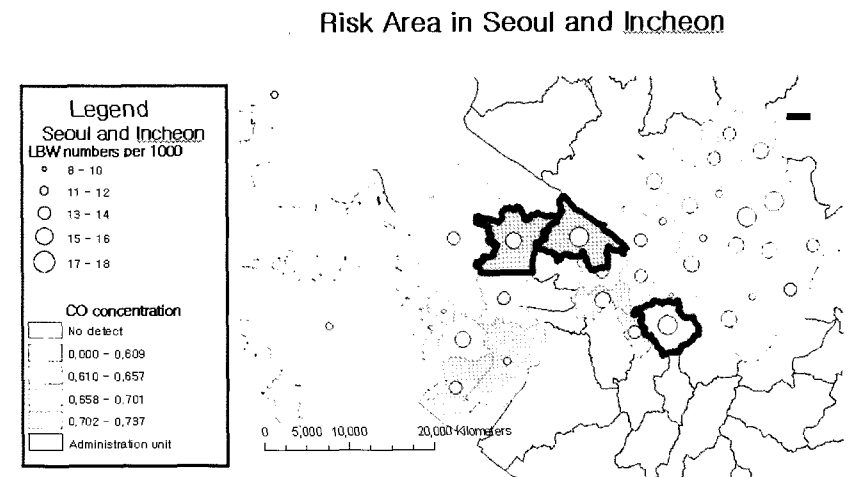


Figure 5. An example of risk area monitoring for low birth weight by air pollution.

생 순서, 출생지 뿐만 아니라 부모의 연령과 교육수준, 직업 등의 자료들을 포함하고 있다. 출생결과 감시체계를 구축할 시 임신 주수와 출생 시 체중이 개인의 신고 기록에 의존하고 있어 정확성이 떨어진다는 제한점이 있지만 전국적으로 수집되는 자료이므로 좋은 자료원으로 활용해야 한다.

2. 대기자료 (대기오염측정망 자료)

국내에서는 대기오염기준물질의 농도를 주기적으로 측정하여 개인과 기관에게 배포하고 있다. 서울의 경우 총 27개의 공식 대기오염 측정소가 설치되어 있으며, 이렇게 측정된 자료는 서울 전체의 대기오염 농도를 추정하는데 매우 적합한 것으로 알려져 있다. 그러나 측정소는 특정 지점의 오염물질을 측정하는 것이므로 측정소가 없는 지점의 오염물질 농도를 추정하기 위해서는 지리정보체계 (Geographic Information System, GIS) 모형을 이용하여 대기오염농도를 추정하는 방법의 보완이 필요하다. GIS(Geographic Information System)는 환경유해물질(hazard), 민감집단, 노출, 그리고 건강영향의 지리적인 분포에 대한 모델링을 지원함으로써, 환경보건감시(environmental health surveillance)에 기여한다. GIS를 활용하면, 대기오염의 노출 특성, 인구특성을 고려하여, 일정 지역에 대기오염으로 인한 위험 인구 파악이 가능하다. 어느 지역에 대기오염과 관련된 질환이 발생할 수 있는 인구 집단의 특성을 자세히 파악할 수 있고 건강영향

특히 저체중아 발생의 규모 파악이 가능해지며, 예방가능한 이들 질환의 규모를 추정할 수 있으며 위험지역에서 이들 질환을 예방하기 위한 중요한 정보도 얻을 수 있다.

또한 감시체계는 정책 입안자들과 연구자, 시민들에게 환경위해와 노출, 그리고 이로 인한 건강결과의 추세를 파악할 수 있도록 하며, 이를 기반으로 이 현상에 대한 조치를 취할 것인지의 1차적인 의사결정을 할 수 있도록 하는데 있다. 그렇기 때문에 전문가뿐만 아니라 비전문가들이 쉽게 알아볼 수 있도록 하는 시각적 도구로 GIS를 이용할 수 있다.

3. 데이터베이스 구축

대기오염을 중심으로 한 출생 결과 감시체계를 구축하기 위해서는 기본적으로 이를 구축하기 위한 자료의 데이터베이스화가 필수적이다. 이를 위해서는 각 자료의 주무기관 간의 협력관계를 형성하고, 이를 뒷받침하기 위한 법적 지원과 이를 관리하기 위한 주무기관 뿐만 아니라 전문 관리 요원 등이 필요하다. 또한 자료를 체계화하기 위한 표준화(standardization)가 필수적이다.

결론적으로 본 연구결과를 이용하여 출생아 감시체계를 구축하고자 한다면 캘리포니아 환경 보건 감시체계 프로그램 (CEHTP)의 출생아 감시체계와 같이 구별 대기오염물질의 분포와 저체중아 발생 건수를 GIS를 이용하여 지도화하여 표현하

고 다른 구에 비해 대기오염물질이 높고 저체중아 발생 건수가 높은 지역을 위험 지역(risk area)으로 지정해줌으로써 그 지역에 사는 인구 집단, 특히 산모들에게 경각심을 줄 수 있다 (Figure 5). 또한 더 나아가 대기오염물질과 저체중아 건수 자료 이외에 사회인구학적인 요인들을 고려하여 대기오염물질 증가량에 비해 저체중아 발생의 위험이 얼마만큼 더 증가하는지를 예측해 볼 수 있다. 따라서 본 연구결과를 토대로 한국에서의 출생아 환경보건감시 체계의 가능성을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- Ha EH, Hong YC, Lee BE, Woo BH, Schwartz J, Christiani DC. Is air pollution a risk factor for low birth weight in Seoul? *Epidemiol* 2001; 12(6): 643-648
- Ritz B, Yu F, Fruin S, Chapa G, Shaw GM, Harris JA. Ambient air pollution and risk of birth defects in Southern California. *Am J Epidemiol* 2002; 155(1): 17-25
- Lee BE, Ha EH, Park HS, Kim YJ, Hong YC, Kim H, Lee JT. Exposure to air pollution during different gestational phases contributes to risks of low birth weight. *Hum Reprod* 2003; 18(3): 638-643
- Maisonet M, Bush TJ, Correa A, Jaakkola JJ. Relation between ambient air pollution and low birth weight in the Northeastern United States. *Environ Health Perspect* 2001; 109(Suppl 3): 351-356
- Kwon HJ, Cho SH. Air pollution and daily mortality in Seoul. *Korean J Prev Med* 1999; 32(2): 191-199 (Korean)
- Lee YJ, Lee JT, Ju YS, Shin DC, Im HJ, Cho SH. Short-term effect of air pollution on respiratory disease in Seoul: A case-crossover study. *Korean J Prev Med* 2001; 34(3): 253-261 (Korean)
- Ju YS, Cho SH. Effect of air pollution on emergency room visits for asthma: A time series analysis. *Korean J Prev Med* 2001; 34(1): 61-72 (Korean)
- Sung JH, Kim H, Cho SH. Summertime heat waves and ozone: An interaction on cardio-pulmonary mortality? Based on the 1994 heat wave in Korea. *Korean J Prev Med* 2001; 34(4): 316-322 (Korean)
- Ha EH, Lee BE, Park HS, Kim YS, Kim H, Kim YJ, Hong YC, Park EA. Prenatal exposure to PM₁₀ and preterm birth between 1998 and 2000 in Seoul, Korea. *J Prev Med Public Health* 2004; 37(4): 300-305 (Korean)
- CDC. CDC's strategy for the National Environmental Public Health Tracking Program: Fiscal years 2005-2010. [cited 2006 Aug 13] Available from: URL: <http://www.cdc.gov/nceh/tracking/pdfs/strategy.pdf>
- National Center for Environmental Health. 2003 Environmental Public Health Tracking Program: Closing America's Environmental Public Health Gap. NCEH 03-0051. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention; 2003. p. 1-4
- Leem JH, Ha EH, Lim MH, Kim KJ, Hong YC. Establishing web-based birth defects monitoring system in Incheon. *J Korean Soc Med Inform* 2001; 7(4): 75-82 (Korean)
- Leem JH, Ha EH, Im MW, Kim KJ, Hong YC, Lee BE, Moon HS, Ahn JJ, Woo BH. Birth defects monitoring systems utilizing public and private medical resources in Incheon. *Korean J Obstet Gynecol* 2002; 45(7): 1145-1154 (Korean)
- Environmental System Research Institute. Getting to Know Arcview GIS. Redlands: Environmental Systems Research Institute; 1998. p. 450
- Environmental Restoration and Conservation Agency of Japan (ERCA). [cited 2006 Aug 17] Available from: URL: <http://www.erca.go.jp/index.html>
- Morris GP. The development of an Environmental Health Surveillance System for Scotland (EHS3). A application for funding to Scottish Neighbourhood Statistics. [cited 2006 Aug 17] Available from: URL: <http://www.scotland.gov.uk/stats/scotstats/committees/natural/meetings/nesac-02-02-annex2.pdf>
- Sram RJ, Benes I, Binkova B, Dejmeck J, Horstman D, Kotesovec F, Otto D, Perreault SD, Rubes J, Selevan SG, Skalik I, Stevens RK, Lewtas J. Teplice Program-The impact of air pollution on human health. *Environ Health Perspect* 1996; 104(Suppl 4): 699-714
- Bowen HJ, Palmer SR, Fielder HM, Coleman G, Routledge PA, Fone DL. Community exposures to chemical incidents: development and evaluation of the first environmental public health surveillance system in Europe. *J Epidemiol Community Health* 2000; 54(11): 870-873
- Environmental Health Tracking Workshop for Environmental Justice Organizations. [cited 2006 Aug 20] Available from: URL: <http://www.catracking.com/sub/ucb.htm>
- Glinianaia SV, Rankin J, Bell R, Pless-Mulloli, Howel D. Particulate air pollution and fetal health. A systematic review of the epidemiologic evidence. *Epidemiology* 2004; 15(1): 36-45
- Maisonet M, Correa A, Misra D, Jaakkola JJK. A review of the literature on the effects of ambient air pollution on fetal growth. *Environ Res* 2004; 95(1): 106-115
- Wang X, Ding H, Ryan L, Xu X. Association between air pollution and low birth weight: A community-based study. *Environ Health Perspect* 1997; 105(5): 514-520
- Bobak M, Leon DA. Pregnancy outcomes and outdoor air pollution: An ecological study in districts of the Czech Republic. *Occup Environ Med* 1999; 56(8): 539-543
- Bobak M. Outdoor pollution, low birth weight, and prematurity. *Environ Health Perspect* 2000; 108(2): 173-176
- Lin CM, Li CY, Yang GY, Mao IF. Association between maternal exposure to elevated ambient sulfur dioxide during pregnancy and term low birth weight. *Environ Res* 2004; 96(1): 41-50
- Dugandzic R, Dodds L, Stieb D, Smith-Doiron M. The association between low level exposures to ambient air pollution and term low birth weight: A retrospective cohort study. *Environ Health* 2006; 5: 3
- Ritz B, Yu F. The effect of ambient carbon monoxide on low birth weight among children born in Southern California between 1989 and 1993. *Environ Health Perspect* 1999; 107(1): 17-25