

## 2000~2002년 서울시 저체중 출생감시: 대기오염을 중심으로

김옥진<sup>1)</sup>, 하은희<sup>2)</sup>, 서주희<sup>2)</sup>, 김병미<sup>2)</sup>, 박혜숙<sup>2)</sup>, 임중환<sup>3)</sup>, 홍윤철<sup>4)</sup>

1)서울대학교 보건대학원 보건학과

2)이화여자대학교 의과대학 예방의학교실

3)인하대학교 의과대학 사회의학교실

4)서울대학교 의과대학 예방의학교실

### 서론

미국에서는 2000년 초반부터 환경성 질환 감시에 대한 중요성을 인식하고, 이를 위한 국가 차원의 정책과 네트워크를 수립하였다(CDC). 2002년 미국 질병관리본부(the Centers for Disease Control and Prevention, CDC)를 중심으로 환경보건감시(Environmental Public Health Tracking, EPHT) 프로그램을 시행하였다(CDC). 미국 질병관리본부는 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(National Center for Environmental Health, 2003). 국내에서는 1990년대 후반부터 환경성 질환, 특히 대기오염 역학연구에 대한 관심이 높아지기 시작했다. 국내에서 대기오염 역학의 대상이 된 건강 결과는 호흡기계 질환, 심혈관계 질환, 사망, 천식 및 알레르기 등이었다(Lee et al, 2001; Sung et al, 2001; Kwon and Cho, 1999; Ju and Cho 2001). 국내에서 출산 결과에 대한 대기오염 역학 연구는 2000년경 처음 시도되었는데, 현재까지 대기오염이 저체중아 출산과 조산의 위험과 연관되어 있다는 연구 결과들이 보고되고 있다(Ha et al, 2001; Lee et al, 2003). 하지만 기존의 연구들은 특정한 인구집단을 대상으로 했다는 것과 연구에 사용할 수 있는 자료의 한계점으로 인해 일관된 연관성이 아직 밝혀지지 않고 있으며, 명확한 인과관계를 규명하기에는 기존의 연구 결과들이 충분치 않은 상태이다. 또한 연구에 사용되는 자료가 표준화된 형식이 아닌 수집 기관의 형식에 따라 다르고, 개인의 사생활 침해 등에 이유로 인해 자료 공유가 불가능해 기존의 연구 결과가 정책적인 의사결정으로까지 이루어지는 경우는 거의 없다. 국내에서는 2001년 처음 웹을 기반으로 일부 지역에서 선천성이상 감시체계를 시도한 적이 있었다(Leem et al, 2001; 2002). 하지만 이 시도는 병원 및 보건소를 중심으로 한 선천성이상 감시체계에 등록하는 형식으로 운영되기는 하였으나, 이 등록자료를 활용하여 환경요인 등의 영향분석 또는 추세 분석 등의 감시체제로 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 추세분석을 통해 위험의 크기를 알고 이에 대한 적절한 조치를 취할 수 있도록 정책 의사결정 체계를 지원하는 감시체계를 구축해야 할 시점이 되었다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국내의 실정을 감안하여 출산결과 감시체계의 가능성을 타진해보고, 실제 수행하기 위한 감시체계 구축 방법을 제시하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 연구자료

연구에 사용된 자료들은 출생아 감시체계를 운영하는데 사용될 수 있는 자료로서, 가능하며 현재 전국을 대상으로 수집되며, 자료 구입이나 공식 요청으로 공개 가능한 자료를 사용하였다.

#### 1) 출생 자료

통계청으로부터 2000년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지 전국의 출생신고자료 978,422건을 구입하였다. 이 중 서울 지역을 대상으로 출생 신고지와 주소지의 행정 구역이 동일한 대상자 195,269명을 선택하였는데, 이를 통해 산모가 주소지로부터 다른 지역에서 임신 기간을 보내는 경우를 연구에서 제외시키려 하였다. 서울 지역의 전체 출산 중 37~44주에 단태로 태어난 아이로 출생 시 체중이 기입된 총 185,508건을 최종 연구 대상으로 선택하였다. 출생신고자료는 출생 신고지와 주소지, 신고일, 아이의 성별과 출생일, 그리고 출생 장소, 부모의 결혼상태, 생일과 연령, 교육수준과 직업, 결혼기념일, 동거 기간, 임신 주수, 태아 수, 출생순위, 신생아 체중, 현재까지의 총 출산아 수와 이중 생존, 사망아 수에 대한 자료가 기록되어 있었다. 본 연구에 주요한 결과변수로 사용되는 저체중 출산은 정의에 따라 출생아의 체중이 2500g 미만인 경우를 저체중 출산으로 분류하고, 월별, 구별 저체중 출산 비율을 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, 25~39세, 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.

#### 2) 대기오염자료

##### (1) 대기오염 측정망 자료

국립환경과학원으로부터 1999년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지 전국 대기오염측정망 자료를 제공받았고, 이 중 서울 지역의 총 27개 측정소에서 기록된 자료만 이용하였다. 이 자료는 CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>의 농도를 시간마다 측정한 자료이며, 이를 이용하여 구별 일 평균 대기오염 농도로 계산하였다.

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

CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>에 대한 배출량 자료는 국립환경과학원에서 제공하는 대기보전정책지원시스템 (CAPSS) 자료를 활용하였으며, 먼 오염원은 2002년 배출량을 전국을 대상으로 1km x 1km 격자별로 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 고층 기상자료를 이용하여 모델링 영역의 3차원 바람장을 계산하였다.

### 3) 지역 특성 자료

현재 국내에서 사회·문화·경제적인 요인에 대한 전국 자료는 거의 없거나, 자료에 대한 접근이 어려운 상황이다. 따라서 구별 지역 특성 자료를 활용하기 위하여 같은 기간동안에 서울 지역에서 실시된 조사 자료, 2차 자료 등을 사용하여 지역 특성 자료로 대체하였다. 25개 구는 5개 권역으로 구분되었다. 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 포함되었다.

#### (1) 서울 서베이

2003년 서울시는 지역사회 특성과 주민들의 삶의 질 평가하고, 지속적인 모니터링 체계를 구축하기 위해 서울 서베이를 실시하였다(서울특별시A). 서울 서베이는 크게 인적자본의 개발, 경제자본의 강화, 사회적자본의 축적, 문화자본의 확장 등의 범주로 조사되었는데, 사회 인구학적 요인들과 보건 관련 요인들을 구 단위로 조사한 일반 공개 자료를 이용하였다. 서울 서베이 자료 중 부채비율, 평균 행복지수, 주거환경 만족도, 도시위험도, 음주율, 흡연율 자료를 이용하였다.

#### (2) 서울통계연보자료

서울시에서는 통계연보(서울특별시B)에 공개된 자료를 이용하여 구를 단위로 가구 이혼율, 구별 자가용 대수, 총 의료기관수 등을 계산하였다.

#### (3) 기타 자료

출생신고자료를 이용하여 전체 출생아 중 남아의 비율, 혼 외 출산 비율, 20세 미만 부모의 비율, 대학이상 교육 받은 부모의 비율, 직업이 없는 부의 비율을 구별로 계산하였다. 본 연구에 사용된 지역 변수는 남아 출생 비율, 혼 외 출산 비율, 20세 미만 출산 부모 비율, 교육수준이 대학 이상인 부모의 비율, 무직인 부의 비율, 생활보호대상자수, 부채비율, 주거환경만족도, 도시위험도, 평당 아파트 가격, 음주율, 흡연율, 이혼율, 자가용대수, 총 의료기관 수이며, 분석에 사용하기 위해 각각의 원 자료를 이용하여 구 단위로 점수나, 대상자 수, 비율 등으로 계산되었다.

## 2. 분석방법

### 1) 통계적인 모형

본 연구에서는 임신기간 동안 노출된 대기오염 노출량이 저체중 출산에 미치는 영향을 살펴보기 위해 두개의 통계적 모형을 이용하였다. 연평균 구별 저체중 출산율과 당해 연도의 대기오염 노출 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 대기오염 노출자료의 구를 연결하여 자료를 구성한 후 분석하였다. 이 모형은 다시 세가지 방법으로 분석되었다. 첫번째는 구별 연평균 대기오염 농도가 저체중 출산율에 미치는 영향을 알아보기 위해 단변량 분석을 실시하였고,

두 번째로 사회 인구학적 변수들의 영향을 보정하기 위해 구별 남아 출생률, 20세 미만 부모 비율, 대학 이상 교육을 받은 부모의 비율, 무직인 부 비율, 혼 외 출산 비율을 모형에 포함하였다. 마지막으로 사회 인구학적 변수들 뿐만 아니라 다른 대기오염 물질들의 농도도 함께 보정하였다. 개인의 저체중 출산 여부와 당해 연도의 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. 이 모형은 다시 세가지 방법으로 분석되었다. 첫번째는 구별 연평균 대기오염 농도가 산모의 저체중 출산 여부에 미치는 영향을 알아보기 위해 단변량 분석을 실시하였고, 두 번째로 사회 인구학적 변수들의 영향을 보정하기 위해 개인 수준의 요인들을 모형에 포함하였다. 포함된 변수들은 출생아의 성별, 부모의 연령과 교육수준, 직업유무, 결혼 상태이다. 마지막으로 사회 인구학적 변수들 뿐만 아니라, 다른 대기오염 농도도 함께 보정하였다. 서울 서베이와 서울통계연보에서 얻은 자료는 두 가지 모형 분석에 모두 이용하였으나 유의한 결과를 얻지 못해 결론 제시에선 제외되었다.

## 2) GIS 노출 모델링과 mapping

2000년부터 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 대기오염도를 예측하였다. 3차원 바람장 입력자료는 수도권지역의 6개 기상대(인천, 서울, 수원, 강화, 양평, 이천)와 오산 고층 측정자료를 이용하여 2002년1년 동안 CALMET모형을 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 CALPUFF모형을 이용하여 관심지점으로 동 중심좌표 291개, 구 중심좌표 35개, 측정소 좌표 36개를 계산하고, 측정소의 측정자료와 모델링 농도의 상관도를 구하여 각 관심지점의 모델링 농도에 가장 가까운 측정소의 상관도로 보정하여 관심지점의 2002년도 농도를 추정하였다. 2000년과 2001년은 보정된 2002년도의 관심지점 농도에 해당 측정소의 2002년도 연평균 농도의 비율을 곱하여 추정하였다.

CALMET모дел로 작성된 바람장은 서울을 포함하는 88km x 52km 영역으로 2km간격으로 작성되었으며, 상층으로는 7개로 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, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>에 한하여 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 3.1(ESRI, 1998)을 이용하여 지도상에 도시하였다.

## 연구결과

### 1. 저체중 출산 발생 건수와 대기오염 농도

서울에서 2000년 1월 1일부터 2002년 12월 31일 기간동안 총323,027건의 정상 출산이 발생하였고, 이중 4,741건(1.47%)이 저체중 출산이었다. 서울 내에서 사회 인구학적 변수들의 분포를 살펴보기 위해 25개 구를 도심지, 동북권역, 서북권역, 서남권역, 동남권역의 5개 권역으로 구분하였다. 1,000건의 정상 출생 당 발생한 저체중 출산은 1.56건으로 동북권역이 가장 높았으며, 1.37건으로 동남권역이 가장 낮게 나타났다. 다른 변수들의 경우에도 동북권이 대부분 낮은 사회경제적 지위를 갖으며, 나쁜 건강 행태를 보임을 알 수 있었다. 반면 동남권은 높은 사회경제적 지위를 갖는 것으로 나타났지만, 동남권이 가장 높은 음주자의 비율이 보여주었다 (표 1).

표 1. Descriptive data on socioeconomic factors by districts

Region	Whole	Down town	NE district	NW district	SW district	SE district
Low birth weight (<2500g,%)	1.47	1.39	1.56	1.36	1.47	1.37
Births of male infant (%)	51.85	51.78	51.71	51.52	52.13	51.91
Teens mother (%)	0.37	0.31	0.43	0.35	0.42	0.24
Teens father (%)	0.10	0.12	0.10	0.08	0.12	0.06
Maternal college education (%)	48.92	50.64	43.07	48.40	46.92	63.22
Paternal college education (%)	58.49	57.88	52.53	58.87	57.93	71.59
Births outside marriage (%)	0.89	1.05	0.85	0.86	0.89	0.84
Jobless mother (%)	4.07	6.13	4.09	3.53	3.29	4.23
Jobless father (%)	2.90	2.94	3.10	2.73	3.05	2.33
Smoker (%)	22.96	22.63	24.14	22.50	22.57	21.85
Alcohol drinker (%)	63.86	63.93	63.98	60.37	64.34	65.33
Divorces (%)	41.47	44.09	45.61	38.93	39.29	36.97

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

연구기간 동안 서울의 평균 대기오염 농도는 일산화탄소 895.07 ppb, 질소산화물 32.79 ppb, 4.537 ppb, 63.41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이었다. 5개 권역별로 대기오염 농도를 살펴보면, 차량과 관련이 있는 NO2와 SO2의 경우 도심권이 가장 높은 농도를 보이며, CO와 PM10의 경우 동북권이 높은 경향을 보이고 있다(표 2).

표 2. Descriptive statistics on air pollution by districts

Region		Seoul	Down town	NE district	NW district	SW district	SE district
CO	Mean	895.071	764.301	1406.111	690.206	646.313	560.045
	Min	147.910	477.962	178.962	245.703	281.012	147.910
	25%	433.50	664.878	705.903	341.804	433.505	287.748
	Median	713.39	758.56	1211.401	709.981	552.810	392.622
	75%	1055.02	898.511	1904.592	939.055	840.816	751.452
	Max	4217.56	1066.46	4217.564	1129.282	1055.028	1397.668
NO <sub>2</sub>	Mean	32.790	111.631	31.760	32.475	8.718	18.081
	Min	1.232	20.239	3.567	13.537	1.232	5.281
	25%	10.462	23.558	12.735	15.288	3.003	10.570
	Median	15.904	108.721	34.655	15.904	9.862	16.774
	75%	36.881	174.897	46.584	59.160	13.765	24.662
	Max	232.706	232.706	63.506	74.875	16.680	36.482
SO <sub>2</sub>	Mean	4.537	7.223	5.555	6.002	2.261	3.369
	Min	0.403	3.231	1.520	3.031	0.403	1.658
	25%	2.343	4.041	3.844	3.994	1.159	1.964
	Median	3.994	7.414	5.071	6.012	2.063	2.813
	75%	6.012	8.586	6.475	7.686	3.274	4.797
	Max	13.236	13.002	13.236	8.827	5.007	7.083
PM <sub>10</sub>	Mean	63.412	64.899	76.265	56.592	53.485	59.076
	Min	31.046	54.035	31.046	39.914	39.573	41.215
	25%	53.519	55.952	64.751	53.215	48.920	50.054
	Median	59.953	59.357	67.484	56.369	53.647	56.224
	75%	67.631	63.652	79.359	59.553	59.856	69.040
	Max	137.359	96.657	137.359	76.668	66.573	82.126

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

## 2. 대기오염 물질의 영향

당해 평균 대기오염 농도가 2002년 서울의 구별 1000건의 정상 출생 당 저체중 발생건수에 미친 영향을 평가한 결과, 일산화탄소의 농도가 1 사분위범위 증가함에 따라 저체중 발생이 0.68건 유의하게 증가되는 것으로 나타났다. SO<sub>2</sub>와 PM<sub>10</sub>은 각각 0.39(95% CI=-0.37~1.14), 0.06(95% CI=-0.39~0.51)건 증가시키고, NO<sub>2</sub>의 경우 오히려 0.17(95% CI=-0.54~0.19)건 감소시키는 것으로 나타났지만 통계적으로 유의하진 않았다. 이를 지역 특성 변수들을 보정하고 난 후 살펴본 결과 CO는 1.23(95% CI=-0.24~2.71)건, NO<sub>2</sub>는 0.08(95% CI=-0.67~0.83)건, SO<sub>2</sub>는 1.12(95% CI=-0.65~2.88)건, PM<sub>10</sub>은 0.57(95% CI=-0.32~1.47)건 저체중 출산을 증가시키는 것으로 나타났으며, 4개의 오염물질을 동시에 모형에 포함시켜 보정한 결과 CO와 SO<sub>2</sub>만 저체중 출산의 위험을 증가시키는 것으로 나타났고 이는 모두 통계적으로 유의한 증가는 아니었다(표 3).

표 3. Changes in the number of low birth weight for 1 interquartile change in the average concentration of air pollutant in Seoul, 2002

Variable	Increase of low birth weight (95% Confidence interval)								
	Crude			Adjusted*			Adjusted†		
	OR	Lower	Upper	OR	Lower	Upper	OR	Lower	Upper
CO	0.677	0.193	1.162	1.231	-0.243	2.705	2.138	-0.177	4.453
NO2	-0.174	-0.535	0.187	0.081	-0.665	0.828	-0.364	-1.215	0.487
SO2	0.389	-0.365	1.142	1.115	-0.652	2.882	2.269	-0.019	4.557
PM10	0.062	-0.388	0.511	0.571	-0.323	1.465	-0.481	-1.973	1.011

\* : adjusted by , Adjusted†, ‡

2002년 발생한 출산 중 당해 평균 대기오염이 저체중 출산에 미친 영향을 평가한 결과, 사분위범위 증가에 따라 CO는 8.1%(95% CI=2~16.6%), SO2는 14.5%(95% CI=3.6~ 26.7%), PM10은 5.3%(95% CI=0.2~10.8%) 저체중의 위험을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났고, NO2의 경우 0.3%(95% CI=-4.6~5.5%) 증가시키는 것으로 나타났지만 유의한 증가는 아니었다. 개인 요인으로 통제된 후에도 SO2의 증가는 저체중 출산의 위험을 12.5%(95% CI=1.6~24.6%) 유의하게 증가시켰으며, CO와 PM10도 저체중 출산의 위험을 증가시켰지만 유의한 증가는 아니었다. 다른 대기오염물질의 효과를 모두 통제 한 후에도 NO2는 25%(95% CI=9.1~43.4%), PM10은 13.9%(95% CI=1.9~27.5%) 저체중 출산의 위험을 높였으며, 다른 오염물질은 유의한 결과를 보이지 않았다(표 4).

표 4. Odds ratios(and 95% confidence intervals) of low birth weight for a inter-quartile range change in the annual average air pollutant concentration in Seoul, 2002

Variable	Odds Ratio (95% confidence interval)								
	Crude			Adjusted			Adjusted		
	OR	Lower	Upper	OR	Lower	Upper	OR	Lower	Upper
CO	1.081	1.002	1.166	1.067	0.987	1.153	0.933	0.874	0.996
NO2	1.003	0.954	1.055	0.996	0.946	1.048	1.250	1.091	1.434
SO2	1.145	1.036	1.267	1.125	1.016	1.246	0.974	0.902	1.053
PM10	1.053	1.002	1.108	1.044	0.991	1.099	1.139	1.019	1.275

### 3. GIS를 이용한 구별 연평균 저체중 출산율과 대기오염 농도 비교

표 1은 2002년 서울의 연평균 CO 농도와 정상출산 1,000건 당 발생한 저체중 출산의 건수의 지역적 분포를 구별로 나타낸 결과이다. CO의 농도와 저체중 출산 발생 양상이 정확히 일치하지는 않지만 CO 농도가 매우 높은 구 주변 지역의 저체중 출산 발생 건수도 높은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

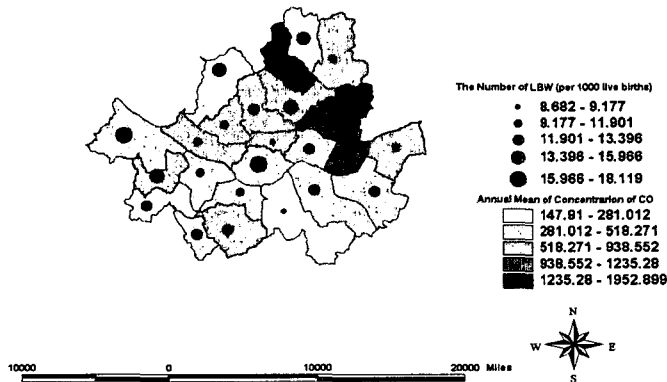


그림 1. Annual means of CO concentrations and percentage of low birth weight in Seoul, 2002

그림 2는 2002년 서울의 연평균 NO<sub>2</sub> 농도와 정상출산 1,000건 당 발생한 저체중 출산의 건수의 지역적 분포를 구별로 나타낸 결과이다. NO<sub>2</sub>의 농도와 저체중 출산 발생 양상이 정확히 일치하지는 않지만 NO<sub>2</sub> 농도가 매우 높은 구의 저체중 출산 발생 건수도 높은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

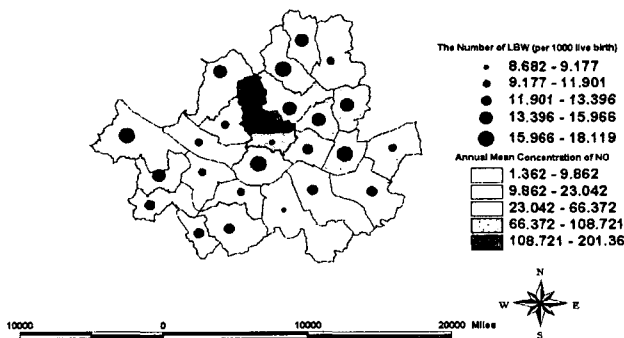


그림 3. Annual mean concentration of NO<sub>2</sub> and number of low birth weight in Seoul, 2002

그림 3은 2002년 서울의 연평균 SO<sub>2</sub> 농도와 정상출산 1,000건 당 발생한 저체중 출산의 건수의 지역적 분포를 구별로 나타낸 결과이다. SO<sub>2</sub>의 농도와 저체중 출산 발생 양상이 정확히 일치하지는 않지만 SO<sub>2</sub> 농도가 매우 높은 구를 중심으로 주변의 저체중 출산 발생 건수도 높은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

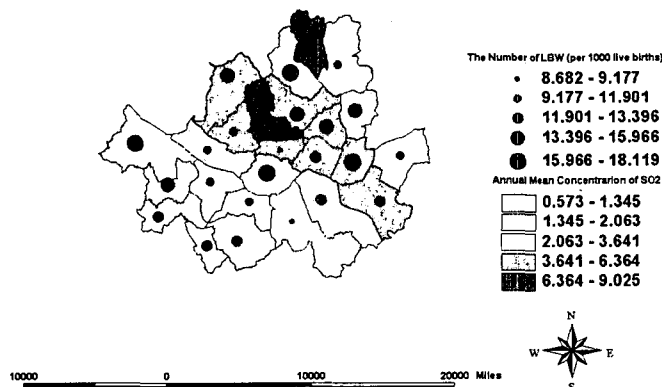


그림 4. Annual means of SO<sub>2</sub> concentrations and percentage of low birth weight in Seoul, 2002



그림 4는 2002년 서울의 연평균 PM10 농도와 정상출산 1,000건 당 발생한 저체중 출산의 건수의 지역적 분포를 구별로 나타낸 결과이다. PM10의 농도와 저체중 출산 발생 양상이 정확히 일치하지는 않지만 PM10 농도가 매우 높은 구의 저체중 출산 발생 건수도 높은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

## 고찰

환경보건감시체계는 환경성 질환에 대한 시기 적절하고 정확한 자료를 제공함으로써 보건 관리자가 질병 영향과 추세, 질병의 대규모 유행과 질병군집(disease cluster) 발생 여부, 영향 지역을 확인할 수 있도록 하며, 보건 사업의 효율성을 평가하는데 기여할 수 있다(Teutsch SM, 2000).

미국뿐만 아니라 유럽과 일본 등 다른 국가에서도 환경성 질환에 대한 감시가 다양한 형태로 이루어지고 있다. 일본은 1960년대부터 환경성 주도하에 대기오염 역학조사가 실시되었고, 1996년에는 환경보건감시체계를 실시하였다(ERCA). 현재에는 아동을 대상으로 한 검진과 학교보건 자료를 이용한 건강조사 자료와 대기환경측정 자료를 이용하여 이들간의 연관성을 규명하고, 대기오염으로 인한 환경성 질환 관리를 지속하고 있다(ERCA). 스코트랜드는 1998년 완성된 시범사업 단계를 포함하여 총 3단계의 환경보건감시 시스템(Environmental Health Surveillance System for Scotland, EHS3)을 진행하였다(Morris). 체코에서는 심각한 대기오염 문제가 있었던 테플리스(Teplice) 지역을 중심으로 대규모의 환경성 질환 프로그램이 실행된 바 있으며(Sram et al, 1996), 유럽 전지역을 대상으로 한 화학 물질 사고에 노출된 지역사회를 감시하는 것을 시작으로 환경보건감시체계를 수립하였다(Bowen et al, 2000).

하지만 국내에서는 현재까지 환경보건감시체계, 특히 환경성 출산결과 감시체계 분야에 대한 연구는 이루어지지 않았으며 본 연구가 처음으로 시도되는 것이라 할 수 있다. 본 연구결과 대기오염 물질의 농도 뿐만 아니라, 십대 부모의 비율, 무직 아빠의 비율 등이 구별 저체중 출산 건수와 유사한 지역적 분포를 보임을 알 수 있었다. 따라서 대기오염을 중심으로 한 출산결과 감시체계에서 출산 결과 자체가 개인 수준의 위험요인이 큰 비중을 차지하는 것을 고려하여 이에 대한 자료를 수집하는 것도 간과해서는 안될 것이다.

본 연구결과를 토대로 다음과 같은 한국에서의 출생아 환경보건감시체계의 가능성을 제시하고자 한다. 대기오염을 중심으로 한 출산결과 감시체계는 다음의 자료와 방법을 통해 구축될 수 있다.

### 1. 사용자료

#### 1) 출생자료

출생 자료는 현재 접근성이 확보되어 있는 통계청의 출생신고 자료를 이용할 수 있다. 본 자료에는 출생아의 성별, 임신 주 수, 출생 시 체중, 출생 장소, 출생 순서, 출생지 뿐만 아니라 부모의 연령과 교육수준, 직업 등의 자료들을 포함하고 있다. 출생결과 감시체계를 구축할 시 본 자료를 이용하여 사용할 수 있지만, 본 자료의 경우 저체중과 조산 외에 다른 출생 결과는 확인할 수 없어 제한적이며, 이를 판단하는 기준이 되는 임신 주 수와 출생 시 체중이 개인의 신고 기록에 의존하고 있어 정확성이 떨어진다는 제한점이 있다.

## 2) 대기자료

### (1) 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. 만약 이 자료를 구별, 동별 단위로 나누어 모형화 하는 경우 그 지역의 대기오염 노출량에 대한 대표성이 확보되지 않을 가능성이 있어 지리정보체계(Geometric Information System, GIS) 모형을 이용한 소지역의 대기오염농도를 추정하는 방법이 필요하다.

### (2) GIS 노출 모델링을 통해 추정된 세부지역별 대기오염 농도

GIS기반의 대기확산모델은 실제 대기의 비정상상태를 모사할 수 있으며, 3차원 바람장을 사용함으로써 정합도가 높은 것으로 보고되고 있는 CALPUFF(California Puff) 모델을 이용하면 세부지역별 대기오염도를 예측할 수 있다. 이는 대기 측정소가 존재하지 않는 지역의 세부 대기오염농도를 추정해 특정 지역의 특정인구집단의 대기오염물질의 폭로정보를 파악할 수 있게 할 뿐만 아니라, 대기오염농도에 영향을 미치는 대기오염 배출량, 해당지역의 기상자료, 지리정보를 축적해 놓고 있어, 이후 환경오염물질 관리 등의 예방관리분야에 적극 활용할 수 있다.

계산된 모델링 농도는 CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>는 광화학 반응으로 소멸되는 양을 고려하지 않아 측정소 농도보다 높게 나타났으며, 자연적으로 발생하는 비율이 큰 미세먼지농도는 측정소 농도보다 낮게 나타나는 경향이 있어 대기측정자료를 통한 보정이 필요하다. 또한 국내에서 환경오염물질 관리에 활용할 수 있도록 배출량 데이터베이스를 체계적으로 보완 관리하는 것이 필요하다.

## 2. 방법

### 1) 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 지원이 필요하다. 또 이를 관리하기 위한 주무기관 뿐만 아니라 전문 관리 요원 등이 필요하다. 자료를 체계화하기 위한 표준화(standardization)가 필수적이다.

### 2) GIS로 표현되는 감시체계

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 전문가 뿐만 아니라 비전문가들이 쉽게 알아볼 수 있도록 하는 시각적 도구가 필요하다.

현재 서울시와 국립환경과학원에서 모두 지리정보체계를 이용한 서비스를 제공하고 있다. 서울시의 경우 서울시에서 생성한 통계량 중 이용자가 선택한 자료에 대해 지도에 표시해주는 서비스를 하고 있으

며, 국립환경과학원의 경우 선택 지역에 대해 대기오염 농도를 실시간으로 지도에 표시해주는 서비스를 제공하고 있다. 이와 같은 서비스를 연계하고, 관심이 있는 자료의 수집을 할 수만 있다면 지리정보체계를 이용한 출생결과 감시체계를 구축할 수 있을 것이다.

### 3. 정책적 의사결정 활용 방안

때때로 환경오염으로 인한 건강문제가 발생한 경우 이를 증명할 수 있는 자료가 없거나, 이에 대한 접근성이 떨어져 정책적인 의사결정으로까지 연결될 수 없는 한계점이 있었다. 하지만 어떤 사건과 관계없이 지속적으로 환경 위해와 노출, 그리고 건강결과에 대한 자료가 수집되고, 분석되며, 그 결과가 보고되는 경우 순간적인 환경 문제에도 쉽게 대응할 수 있을 것이다.

따라서 향후 출산결과 환경보건감시체계가 운영될 때 환경부 뿐만 아니라 국가 전체의 국민건강 보호를 위한 중요한 수단이 될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 말씀 : 본 연구는 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업 (Eco-technopia, 2004, 091-042-036)의 지원으로 수행되었습니다.