

대기오염 노출이 첫 출산아 저체중에 미치는 영향에 관한 연구 -서울지역 1999년~2003년 출생코호트를 중심으로-

조용성 · 손지영 · 이종태[†]
한양대학교 일반대학원 보건학과
(2007. 4. 13. 접수/2007. 7. 24. 채택)

Air Pollution Exposure and Low Birth Weight of Firstborn Fetus -A Birth Cohort Study in Seoul, 1999-2003-

Yong-Sung Cho · Ji-Young Son · Jong-Tae Lee[†]

Department of Public Health, Graduate School of Hanyang University, Hanyang University, Seoul, Korea

(Received April 13, 2007/Accepted July 24, 2007)

ABSTRACT

Recent epidemiologic studies show that gestational exposure to air pollution adversely affects pregnancy outcomes including low birth weight in preterm birth. In this study, we evaluated the effect of air pollutants on LBW (low birth weight) on firstborn fetus throughout the gestational period using the birth cohort between 1999 and 2003 in Seoul. Using birth cohort data from the National Statistics Office of Korea we identified 288,346 firstborn births (excluded missing data on lack of information for birth weight and discordance between residential and certificated address from a total of 316,451) during 1999 to 2003 with complete covariate (gender, parity, date of birth, gestational age, parental age and educational level, maternal occupation etc.) and maternal residential history data. Our subjects were defined as more than 37 weeks and less than 44 weeks of completed gestation and we identified 5,457 persons (1.89%) by low birth weight (<2.5 kg) in this study. Using logistic regression, we estimated the risk of mean (entire pregnancy and trimester period) air pollution concentrations for CO, O₃, PM₁₀, NO₂ and SO₂. In terms of trimester-specific exposure, we found that some air pollutants exposure in each trimester would increase the risk for LBW. Results also showed that the effect size of air pollutants exposure during the first and third trimester is higher than during the second trimester. In all trimester, the estimated risk of LBW was 1.831 (95% CI=1.573-2.132) with unit increase for CO, 1.139 (95% CI=1.107-1.172) for SO₂ and 1.009 (95% CI=1.001-1.017) for O₃. Our results suggest that exposure during the gestation period to relatively low levels of some air pollutants may be associated with a reduction in birth weight on firstborn fetus. These findings implicate the effective risk management strategies should be applied to minimize the public health impacts for pregnant women.

Keywords: air pollution, low birth weight, firstborn fetus

I. 서 론

1980년 대 이후 대기오염과 사망 및 상병간의 관련성을 규명하기 위한 국내·외적인 많은 연구들이 수행되었으며, 그 결과 전세계 국가별 혹은 도시별 대기오염이 성인 및 어린이의 사망 및 상병에 통계적으로 유의한 영향을 준다고 일관되게 보고되고 있다.¹⁻⁶⁾ 특히, 흔히 대기오염에 대한 민감집단으로 인식되고 있는 어

린이, 노인, 만성질환이나 천식과 같은 질환을 앓고 있는 사람들에게 대한 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다.⁷⁻⁹⁾

일반적으로 영아(infant)는 면역기능 및 체내 조직의 미완성 등으로 인하여 생리학적으로 외부 환경요인에 대하여 저항력이 떨어지는 민감군에 속해 있으며,¹⁰⁾ 태아(fetus)는 대기오염의 영향에 대해 매우 민감한 집단으로 인식되어지면서 태아의 출생시 체중, 제태기간과 태아 발육 및 조산 등 출생결과와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다.¹¹⁾ 특히, 출생시 체중이 2.5 kg 이하인 저체중아(low birth weight)의 경우에는 유전적, 인공학적, 환경적 요인이 그 원인인 것으로 보고되고 있

[†]Corresponding author : Department of Public Health, Graduate School of Hanyang University, Hanyang University
Tel: 82-2-2220-0248, Fax: 82-2-2298-0248
E-mail : jlee@hanyang.ac.kr

다.¹²⁾ 이러한 저체중아는 출생 후의 다양한 환경적 요인과의 작용을 통해 질병 발생 및 사망에 관한 지표로 여겨져 환경보건학적 관점에서 매우 중요하게 인식되고 있다.¹³⁾

대기오염과 저체중간의 관련성은 Xu 등¹⁴⁾에 의해서 대기 중 총 부유먼지와 아황산가스 노출이 저체중과 관련이 있다고 보고한 이래로, 국내를 포함한 다수의 연구들이 보고되었다. 남부 캘리포니아 연구에서는 임신 3분기에서 CO 노출과 저체중간의 관련성을 보고하였고,¹⁵⁾ 미국 북동부 지역을 대상으로 한 연구에서는 임신 3분기 모두에서 CO와 SO₂ 노출이 저체중과 통계적으로 유의하다고 보고하였으며,¹⁶⁾ Chen 등¹⁷⁾은 임신 3분기에서 PM₁₀ 농도가 10 µg/m³ 증가에 따라 태아 체중이 11 g 감소한다고 보고하였다. 또한 또 다른 캘리포니아 연구에서는 이전 연구와 동일하게 임신 3분기에서 CO와 PM₁₀이 저체중과 관련이 있다고 보고하였으며,¹⁸⁾ 가장 최근에, Dugandzic 등¹⁹⁾은 캐나다 산모를 대상으로 임신주기별 대기오염 노출과 저체중아 출산간의 관련성을 확인한 결과, SO₂와 PM₁₀이 통계적으로 유의한 관련성을 나타내었으며 특히 임신 1분기에서 가장 높은 위해도를 나타내었다고 보고하였다. 한편, 국내의 경우에는 이 등²⁰⁾이 서울지역 산모를 대상으로 조사한 결과에서 임신 1분기와 2분기에서 O₃을 제외한 모든 대기오염물질이 저체중과 관련이 있다고 보고하였다.

그러나 이러한 이전의 대기오염과 저체중 관련 연구들은 모든 출생 순위의 태아를 대상으로 한 연구이다. 일반적으로 태아를 포함한 영아 사망률의 경우에는 첫 출산아가 두 번째 출산아보다 일반적으로 높다고 보고되고 있으며,²¹⁾ 첫 출산아는 출생 순위 두 번째 이상의 영아에 비해서 저체중, 신장, 제태기간, 조산 및 자궁내 성장지연 등 출생결과에 대한 위해도가 더 큰 것으로 보고되고 있으나¹¹⁾ 이들 첫 출산아에 대한 대기오염 노출과 출생결과에 대한 연구는 진행되고 있지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 서울의 1999년부터 2003년까지의 출생료흐트 중 대기오염에 더 위해할 것으로 예상되는 첫 출산아만을 대상으로, 임신 분기별 대기오염 노출이 첫 출산아 저체중에 어느 정도의 영향을 미치는지를 확인하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 출생자료

통계청으로부터 1999년 1월 1일부터 2003년 12월

31일까지 서울 지역의 출생자료를 제공받았다. 출생자료에는 출생자의 주소·출생일시·성별·출생시 체중·출생순위, 부모의 신고지 주소·거주지 주소·생년월일·직업·학력·결혼년월일, 어머니의 제태 기간·출산아수·생존아수 등에 관한 기록이 제공되어 있었다. 이러한 출생자료는 저체중아 출생 결과와 분석 모델에 포함될 잠재적인 영향인자들을 확인하는데 이용되었다. 제태 기간이나 신생아 체중에 대한 타당한 정보를 가지고 있지 않는 자료는 제외시킨 후 이중 첫 출산아만을 연구 대상자에 포함시켰다. 최종적인 연구대상자 선정에 대한 포함 기준은 다음과 같다.

1) 제태 기간

대기오염과 저체중아의 관련성에 대한 연구들에서는 조산아 및 과숙아에 의한 영향을 배제하기 위하여 제태 기간이 36주 이하의 조산아 및 45주 이상의 과숙아를 제외한 상태에서 저체중아 연구를 수행하고 있다.^{20,22-24)} 본 연구에서도 제태 기간이 37주에서 44주 사이의 만삭아만을 연구대상으로 하였다.

2) 신생아 체중

일반적으로 본 연구기간 동안 전세계적으로 보고된 신생아의 체중범위는 0.43 kg에서 6 kg인 것으로 기록되어,²⁵⁾ 본 연구에서는 이 범위 이외의 신생아 체중 자료는 번외값 혹은 잘못된 정보로 간주하여 분석에서 제외하였다.

3) 저 체중 기준

WHO에서는 출산시 체중이 2.5 kg 미만인 경우를 저체중아로 정의하고 있으므로,²⁶⁾ 본 연구에서도 출산시 체중이 2.5 kg 미만을 저체중아로 정의하였다.

4) 임신 분기

산모의 임신분기별 대기오염물질 수준 확인 및 대기오염 노출에 따른 저체중아 출산 여부를 확인하기 위하여 본 연구에서는 임신분기를 다음과 같이 구분하였다. 임신 1분기는 태아의 착상 및 태반 형성이 이루어지는 시기로서 본 연구에서는 임신 이후부터 12주까지로 구분하였으며, 임신 2분기는 태아의 잇몸내 치아생성 시작 및 생식기관의 확인이 가능한 시기로서 임신 13주부터 26주까지, 그리고 임신 3분기는 태아의 모든 기관의 성장에 따라 체중이 증가하는 시기로서 임신 27주부터 출생까지로 구분하였다.²⁷⁾

2. 대기자료

대기자료는 서울시 소재 27개 대기오염자동측정소에서 운영되고 있는 대기중의 미세먼지(PM₁₀), 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO) 등 대기환경기준물질로 선정된 5개 항목을 대상으로

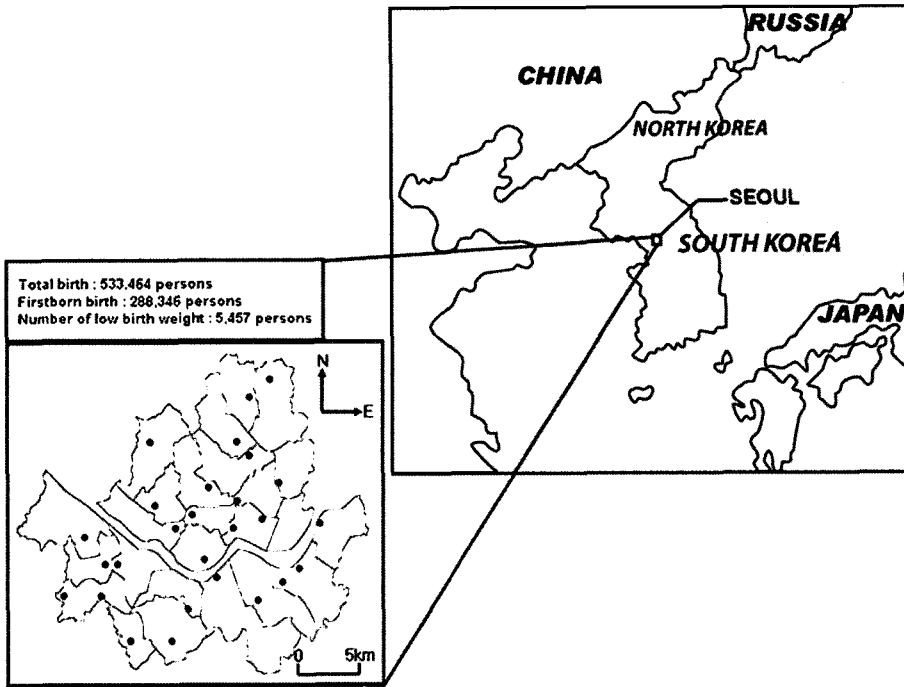


Fig. 1. Location of monitoring stations and population demographics in Seoul. The circles mark the location of 27 monitoring stations for air pollutants.

하였으며, 측정된 모든 자료는 자동감시체계(TMS)를 통해 관할 환경관리청 및 환경부로 전송되고 있다 (Fig. 1).

본 연구에서는 각 대기오염물질의 일일 평균값(daily mean)으로서, PM₁₀, 아황산가스, 그리고 이산화질소의 경우 각 측정지점에서의 일일 자료 중 24시간 평균값을, 오존과 일산화탄소는 일일 자료 중 8시간 이동평균값의 최대값을 구한 후, 이 값들을 이용하여 각 산모의 임신분기별 누적평균값을 구하였다.

3. 통계분석

통계분석은 SAS 통계 프로그램(version 9.1)을 이용하였다. 본 연구는 1999년 1월부터 2003년 12월까지의 5년간 서울시에서 출생한 신생아들을 대상으로 산모의 대기오염 노출과 저체중아 출산간의 관련성을 임신분기별로 구분하여 확인하고자 로지스틱 회귀분석(logistic regression analysis)을 수행하였다. 저체중아 출산 산모에 따른 대기오염 노출수준의 단순한 차이를 파악하기 위해서는 교차표 및 t-test를 이용하였고, 부모의 사회경제적 수준 및 인구학적 특성이 저체중아 출산과 어떠한 연관성이 있는지를 확인하기 위하여 어머니의 연령과 교육수준, 아버지의 교육수준 등을 각각 포함시킨 단순 로지스틱 회귀분석을 수행하였다.

저체중 출산에 관한 결정요인을 분석하기 위해서는 종속변수인 저체중아 출산 유무 변수가 이분값(binomial value)을 갖고 있으므로 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 이전의 단순 로지스틱 회귀분석 결과에서 선정된 신생아의 성, 어머니의 교육수준, 제태 기간, 어머니의 연령을 보정한 상태에서의 임신 중 산모의 대기오염물질 노출량을 위해요인(risk factor)에 포함하여 아래 식과 같이 다변량 로지스틱 회귀분석(multiple logistic regression) 모델로 분석하였다. 최종 저체중아 출산 유무와 산모의 임신 중 대기오염 노출 요인간의 관련성은 추정 교차비(odd ratio)와 95% 신뢰구간으로 표현하였다.

$$\log [P(Y)/(1-P(Y))] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

여기서, 종속변수 Y는 저체중아 출산 유무가 된다. β_i는 각 독립변수에 대한 회귀계수(regression coefficient)이며, X_i는 독립변수를 나타낸다.

III. 연구결과

1. 저체중 출산과 인구학적 특성 및 부모의 사회경제적 수준

본 연구는 출생 순위 중 생리학적으로 질병 발생과 관련된 위태도가 가장 큰 첫 출산아만을 대상으로 수

Table 1. Socioeconomic and demographic characteristics of firstborn fetus delivered between 1999-2003 in Seoul

Variables	N (persons)	Mean birth weight (g)	% of LBW	OR (95% CI)
Gender of the infant				
Male	147,644	3,340.8 ± 412.0	1.56	1
Female	140,702	3,240.5 ± 400.1	2.24	1.581 (1.496-1.670)
Maternal age				
age ≥ 35	12,548	3,245.3 ± 431.5	3.18	1.313 (1.181-1.459)
20 ≤ age < 35	274,063	3,294.4 ± 408.1	1.83	1
age ≤ 19	1,735	3,217.2 ± 407.0	2.25	1.307 (0.945-1.807)
Maternal education				
University	154,935	3,289.7 ± 401.5	1.77	1
High school	126,258	3,296.7 ± 417.2	1.98	1.193 (1.128-1.261)
Middle school	5,478	3,259.5 ± 428.7	2.81	1.648 (1.393-1.949)
Primary school	1,007	3,207.4 ± 448.6	3.87	2.104 (1.512-2.928)
Lack of schooling	88	3,158.0 ± 445.9	5.68	3.479 (1.358-8.915)
Paternal education				
University	177,304	3,291.7 ± 402.2	1.78	1
High school	101,030	3,295.7 ± 418.8	1.97	1.169 (1.103-1.238)
Middle school	6,897	3,265.4 ± 433.3	3.07	1.825 (1.580-2.108)
Primary school	1,571	3,222.4 ± 442.8	3.69	2.097 (1.599-2.750)
Lack of schooling	111	3,201.6 ± 474.2	5.41	3.104 (1.322-7.290)

Note) N : number of population; LBW : low birth weight (birth weight defined < 2500 g); OR : odds ratio; CI : confidence intervals.

행되었다. 최초 연구대상 기간 중에 출생한 총 신생아는 572,530명이었으나, 출생자료에서 출생시 제태 기간이나 신생아 체중에 대한 타당한 정보를 가지고 있지 않는 자료는 제외시킨 후 정산 제태 기간에 속하지 않은 조산아와 과숙아를 제외한 신생아 수는 533,464명이었다. 이후 출생 순위 두 번째 이상을 제외한 최종 첫 출산아는 총 288,346명이었으며, 이 중 출생시 체중이 2.5 kg 미만인 저체중아는 5,457명(1.9%), 정상아는 282,889명(98.1%)이었다.

Table 1은 첫 출산아 중 인구학적 특성 및 부모의 사회경제적 수준에 따른 첫 출산아 중 저체중아 출산의 교차비를 제시한 표이다. 20세에서 35세 미만의 정상 산모 연령에 비해 19세 이하의 미성년인 경우 제태 기간을 보정한 교차비가 1.307(95% CI, 0.945-1.807)로 나타났으며, 노산 연령인 35세 이상의 산모의 첫 출산아 중 저체중아 교차비는 1.313(95% CI, 1.181-1.459)로 나타나 정상 분만 연령층에 비해 20세 미만 미성년과 35세 이상 노산인 경우 첫 출산아 중 저체중아 출산의 위험이 큰 것으로 나타났다. 한편, 부모의 교육수준의 경우에는, 어머니의 교육수준이 대학이상인 경우에 비해 고등학교의 경우 제태기간을 보정한 교차비가 1.193(95% CI, 1.128-1.261), 중학교의 경우 1.648(95% CI, 1.393-1.949), 초등학교의 경우 2.104

(1.512-2.928), 무학의 경우가 3.479(95% CI, 1.358-8.915)로 어머니의 교육수준이 낮을수록 첫 출산아 중 저체중 출생 위험이 더 높았다. 이러한 경향은 아버지의 교육수준도 같은 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 부모의 교육수준 및 산모의 연령과 첫 출산아 중 저체중 출생과 관련이 있음을 확인한 결과이다.

2. 저체중 출산과 임신 분기별 대기오염 노출수준의 영향

Table 2는 첫 출산아 중 저체중 출산 유무에 따른 산모의 대기오염 노출 수준을 비교한 것으로서, SO₂, O₃, CO는 첫 출산아 중 저체중아를 출산한 산모의 대기오염 노출수준이 정상아를 출산한 산모의 대기오염 노출수준에 비해서 높은 것으로 나타났으나, PM₁₀과 NO₂는 반대의 결과를 나타내었다. 또한 이러한 경향은 모든 임신 분기에서 동일하게 나타났다. 특히, CO와 SO₂의 경우에는 임신 3분기에서 통계적으로 유의하게 첫 출산아 중 저체중아를 출산한 산모의 노출수준이 정상아를 출산한 산모의 노출수준보다 높게 나타났으며, 반대로 NO₂의 경우에는 임신 1분기와 2분기에서 반대의 경향이 통계적으로 유의하게 나타났다.

Fig. 2는 산모의 대기 중 일산화탄소 노출 수준과 첫 출산아 중 저체중아의 체중 위해도 변화간의 관계를 비모수적인 방법을 통해 살펴본 나타난 그림으로서, 산모

Table 2. Comparison of air pollutants average by status of low birth weight on firstborn fetus in Seoul bwtween 1999 and 2003

Pollutant	LBW Status	First trimester		Second trimester		Third trimester		All trimester	
		Mean ± SD	P-value	Mean ± SD	P-value	Mean ± SD	P-value	Mean ± SD	P-value
PM ₁₀ (mg/m ³)	No	68.401 ± 15.866	0.674	69.506 ± 14.698	0.209	68.987 ± 14.831	0.856	68.987 ± 6.532	0.227
	Yes	68.308 ± 16.102		69.253 ± 15.036		68.948 ± 15.507		68.879 ± 6.317	
SO ₂ (ppb)	No	5.990 ± 1.776	0.174	5.914 ± 1.700	0.609	5.793 ± 1.783	0.018	5.900 ± 1.202	0.069
	Yes	6.023 ± 1.774		5.926 ± 1.741		5.851 ± 1.834		5.930 ± 1.211	
NO ₂ (ppb)	No	34.421 ± 5.895	0.044	35.005 ± 5.234	0.002	35.037 ± 5.310	0.084	34.838 ± 3.061	<0.001
	Yes	34.260 ± 5.858		34.783 ± 5.362		34.912 ± 5.157		34.670 ± 3.043	
O ₃ (ppb)	No	26.687 ± 9.518	0.823	26.257 ± 8.962	0.035	25.160 ± 9.146	0.552	26.050 ± 3.573	0.204
	Yes	26.716 ± 9.455		26.515 ± 8.992		25.237 ± 9.384		26.112 ± 3.358	
CO (ppm)	No	1.073 ± 0.321	0.490	1.066 ± 0.309	0.933	1.043 ± 0.327	0.017	1.061 ± 0.206	0.151
	Yes	1.076 ± 0.317		1.067 ± 0.313		1.054 ± 0.332		1.065 ± 0.204	

Note) LBW: low birth weight (birth weight defined < 2500 g); First trimester: from conception to 12 weeks; Second trimester : from 13 weeks to 26 weeks; Third trimester : from 27 weeks to birth; All trimester : from conception to birth; SD : standard deviation.

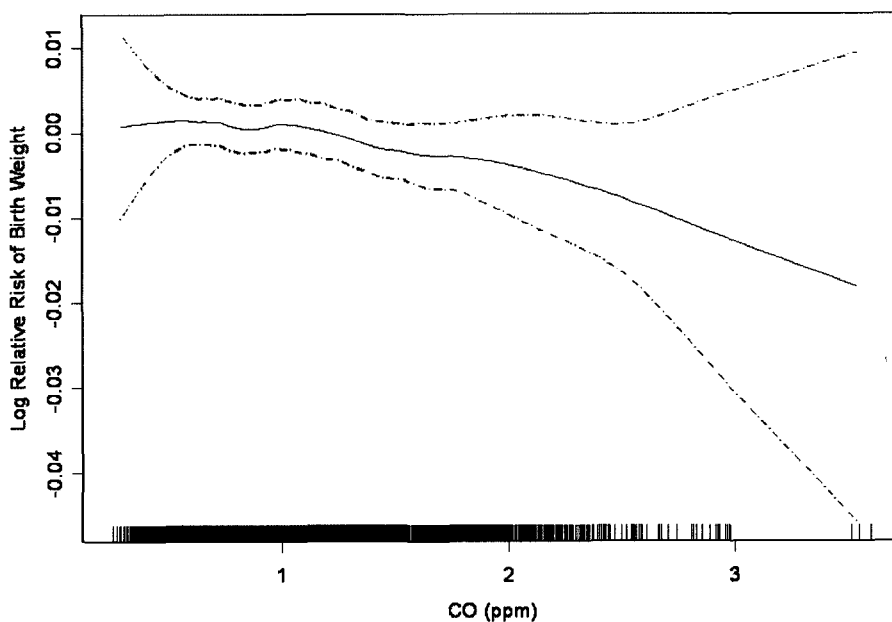


Fig. 2. Relationship between log relative risk of birth weight among low birth weight less than 2.5 kg and the concentration of CO in the pregnancy. RRs are adjusted for sex of firstborn fetus, level of maternal education, gestational period and maternal age.

의 일산화탄소 노출 수준이 증가함에 따라 첫 출산아 중 저체중아의 체중 위해도의 변화가 비교적 선형적으로 감소함을 나타내어 본 연구에서 가정된 대기오염 노출과 신생아의 체중 변화가 역선형성이 타당함을 제시 하였다. 또한 대기 중 일산화탄소 노출 수준의 전 범위에 걸쳐 이러한 역선형성이 나타난다는 의미는 대기오염 수준의 저감을 통해 첫 출산아 중 저체중아의 체중 증가 및 정상아로의 개선 효과를 얻을 수 있을 가능성

을 제시한 것이라 할 수 있다.

Table 3은 태아의 성별, 산모의 교육수준, 제태기간 및 산모의 연령을 보정한 후 임신 각 분기에서의 대기오염 노출로 인한 첫 출산아 중 저체중아 출산의 영향 크기를 나타낸 것이다. SO₂와 CO의 경우에는 모든 임신 분기에서 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, O₃의 경우에는 임신 2분기를 제외한 1분기와 3분기에서 유의한 영향을 나타내었다. 반면, PM₁₀

Table 3. Odds ratios and their 95% confidence intervals of LBW on firstborn fetus for unit increase of air pollutants during pregnancy in Seoul b/wtween 1999 and 2003 (Number of total population : 288,346 persons)

Pollutant	First trimester	Second trimester	Third trimester	All trimester
PM ₁₀	0.997 (0.994-0.999)	0.999 (0.997-1.001)	0.998 (0.995-1.000)	0.995 (0.990-0.999)
SO ₂	1.064 (1.042-1.086)	1.028 (1.007-1.049)	1.057 (1.036-1.079)	1.139 (1.107-1.172)
NO ₂	0.986 (0.981-0.992)	0.994 (0.989-1.000)	0.986 (0.980-0.992)	0.972 (0.961-0.982)
O ₃	1.015 (1.009-1.021)	1.001 (0.998-1.004)	1.017 (1.011-1.023)	1.009 (1.001-1.017)
CO	1.407 (1.251-1.582)	1.096 (0.983-1.222)	1.343 (1.197-1.507)	1.831 (1.573-2.132)

Note) OR adjusted for sex of firstborn fetus, level of maternal education, gestational period and maternal age. LBW : low birth weight (birth weight defined < 2500 g); First trimester : from conception to 12 weeks; Second trimester : from 13 weeks to 26 weeks; Third trimester : from 27 weeks to birth; All trimester : from conception to birth; SD : standard deviation.

과 NO₂는 모든 임신 분기에서 유의한 영향을 나타내지 않았다. 특히 영향효과가 가장 크게 나타난 CO의 경우에는 임신 1분기에 CO 농도가 1 ppm 증가할 때 첫 출산아 중 저체중아 출산이 정상아 출산에 비해 통계적으로 유의하게 40.7% 증가하는 결과(95% CI, 1.251-1.582)를 나타내었으며, 임신 3분기에도 CO 농도가 1 ppm 증가할 때 첫 출산아 중 저체중아 출산이 정상아 출산에 비해 통계적으로 유의하게 34.3% 증가하는 결과(95% CI, 1.197-1.507)를 나타내었다. 이상의 결과로 볼 때, 대기 중 입자상 물질보다는 가스상 물질이 첫 출산아 저체중아 출생과 관련이 더 있음을 제시한 결과라 할 수 있다.

IV. 고 찰

본 연구는 서울지역을 대상으로 1999년부터 2003년까지의 출생코호트를 대상으로 부모의 사회경제적 수준이 낮을수록, 산모의 연령이 미성년이거나 노산인 경우 첫 출산아 중 저체중아 출산의 위험이 높음을 확인하였다. 또한, 산모의 임신분기 모두에서 대기중 가스상 오염물질인 CO, O₃, SO₂ 노출 증가에 따라 첫 출산아 중 저체중아 출산의 위험이 높은 것을 확인하였다.

이러한 결과는 대기오염 노출과 저체중아 출산과의 관련성을 조사한 이전의 연구결과들과도 일치하였다. Ritz 등¹⁵⁾은 남부 캘리포니아의 125,573명을 대상으로 임신분기별 대기오염 노출과 저체중아 출산에 관한 연구를 수행한 결과, 임신 3분기에서 CO 농도가 5.5 ppm 이상에 노출된 산모의 신생아에서 CO 농도가 1 ppm 증가할 때 저체중아 출산이 정상아 출산에 비해 통계적으로 유의하게 22% 증가(95% CI, 1.03-1.44)하였다고 보고하였다. 또한, Maisonet 등¹⁶⁾은 미국 북동부 지역에서 태어난 89,557명의 태아를 대상으로 분석한 결과, 임신 1분기와 임신 3분기에서 CO와 SO₂ 노출이

저체중과 통계적으로 유의하다고 보고하였다. 한편, 국내의 경우에는 하 등²⁴⁾이 서울지역을 대상으로 1996년부터 1997년까지의 2년간의 출생자료를 근거로 산모의 임신분기별 대기오염 노출과 저체중아 출산에 관련성을 제태기간, 산모의 연령, 부모의 교육수준 및 태아의 성 등을 보정한 후에 시계열 방법으로 조사한 결과, 임신 1분기에서 O₃을 제외한 모든 대기오염물질이 통계적으로 유의하게 저체중 출산과 관련이 있다고 보고하였으며, 동일한 방법으로 이 등²⁰⁾이 1년의 기간을 연장하여 재분석한 결과에서는 임신 1분기 뿐만 아니라 임신 2분기에서도 O₃을 제외한 모든 대기오염물질이 저체중과 관련이 있다고 보고하였다. 비록 현재까지 진행된 연구결과로는 대기오염 노출에 따른 저체중아 출산의 인과적 관련성을 확증할 수는 없지만 환경보건학적 측면에서의 건강영향을 고려할 때 간과할 수 없는 결과들이라고 사료된다. 또한, 이전의 연구결과들이 일반적으로 대기오염물질 중 특히 CO 노출이 저체중아 출산과 관련성이 있다고 보고하였으며 이러한 결과는 본 연구결과와 일치하는 결과이다.

대기 중 CO 노출이 저체중아 출산에 있어 어떠한 생물학적 기전에 영향을 주는지는 확실히 규명되고 있지 않으나, 일반적으로 CO는 산소보다 헤모글로빈에 대한 친화력이 200배 이상 높기 때문에 임신 기간동안 대기중의 CO 노출은 산모와 태아의 일산화탄소헤모글로빈의 농도를 증가시켜서 태아의 혈액순환 저해 및 저산소증을 일으킬 가능성이 있다고 보고되고 있다.²⁸⁾ 일부 연구에서는 산모의 CO 노출은 산모를 통해 태아의 혈액내 산소운반 능력을 감소시키고 혈액의 산화헤모글로빈 조직의 산소화를 방해한다고 보고하였다.²⁹⁾

본 연구는 대기오염과 저체중간의 관련성을 확인한 이전의 연구와 비교하여 몇몇 추가적으로 고려되어진 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 연구대상을 총 출생아 중 첫 출산아로 제한하여 분석하였다. 일반적으로 저체중아 출산은 둘째아보다 첫 출산아에서 더 높고 출

생순위가 높아질수록 그 위험도 증가하는 것으로 보고 되고 있다.³⁰⁾ 미국 질병관리본부(CDC)의 2003년 국가생명통계자료에 따르면 첫 출산아 영아사망률이 둘째아의 영아사망률보다 15% 더 높았다고 보고하였으며, 또한 첫 출산아인 경우에는 영아사망 이외에도 저체중이나 자궁내 성장 지연 등의 위험이 더 높은 것으로 보고되고 있다.^{31,32)} 한편, 환경 노출과 출생결과(birth outcome) 간의 관련성을 조사한 이전의 많은 역학연구에서는 노출에 대한 수단으로서 산모의 출산시 주소지를 사용하였다. 그러나 저체중아 출산과 같은 출생결과는 임신 후 8주 이내의 노출 수준에 따라 결정되므로 단순히 산모의 출산시 주소지를 사용하는 것은 노출정보에 대한 잘못된 분류 오차(misclassification bias)를 발생시킬 수 있다. 왜냐하면 사회경제적인 수준의 향상과 더불어 산모 및 태아의 건강을 유지하기 위한 수단으로서, 최상의 의료서비스와 산후조리 등을 위해 산모가 산모의 부모의 집이나 산후조리원 등으로의 거주지를 일시적으로 이동하는 등 일반적으로 임신 시점의 주소지와 출산 시점의 주소지가 다르기 때문이다. 최근 미국 텍사스에서는 임신 기간 중의 부모의 사회경제적 수준에 따른 태아의 상병율을 임신과 출산시의 주소지 차이에 따라 조사한 결과, 산모의 주소지 변화에 태아의 상병율이 32.9% 변화하였다고 보고하였다.³³⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 잘못된 분류 오차를 최소화하기 위하여 출생자료에서 산모의 거주지 주소와 등록지 주소가 같은 출산자료만을 이용하였다. 본 연구의 대상기간인 1999년 1월 1일부터 2003년 12월 31일까지 태어난 총 첫 출산아는 316,451명에서 산모의 거주지 주소와 등록지 주소가 동일한 첫 출산아 288,346명을 연구대상으로 선정(91.1%)하였다.

한편, 본 연구에서 분석한 대기오염물질 중 PM₁₀과 NO₂는 저체중아 출산과 관련성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 PM₁₀과 NO₂의 경우에는 산모의 대기오염 노출 수준이 정상아 출산 산모가 저체중아 출산 산모에 비해서 더 높았기 때문인 것으로 판단되며 (Table 2), 향후 이에 대한 좀 더 구체적인 후속 연구가 필요할 것으로 생각되어진다.

이상의 결과를 근거로, 산모의 임신 중 대기오염 노출은 첫 출산아 중 저체중아 출산과 관련이 있음을 확인하였다. 따라서 태아의 저체중 출산을 예방하기 위해서는 대기오염에 대한 관리 및 개선이 필요하며, 특히, 환경보건학적 측면에서 임신부들에 대한 건강영향을 최소화하기 위한 효과적인 대기질 개선 정책이나 대기오염에 관한 위해성 관리의 전략이 요구된다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 1999년에서 2003년까지의 서울지역 출생 코호트를 대상으로 대기오염이 첫 출산아 저체중에 미치는 영향을 평가한 연구로서 연구결과 결론은 다음과 같다. 첫째, 부모의 사회경제적 수준이 낮을수록, 그리고 산모의 연령이 미성년이거나 노산인 경우에 첫 출산아 중 저체중아 출산의 위험이 높음을 확인하였다. 둘째, 대기중 가스상 오염물질인 CO, O₃, SO₂ 노출 증가에 따라 첫 출산아 중 저체중아 출산의 위험이 높은 것을 확인하였다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 생리학적으로 건강상의 위해가 가장 크다고 보고된 첫 출산아를 대상으로 대기오염 노출로 인한 저체중아 출산의 영향을 확인한 결과이다. 따라서 태아의 저체중 출산을 예방하기 위해서는 대기오염에 대한 관리 및 개선이 필요하며, 특히, 환경보건학적 측면에서 임신부들에 대한 건강영향을 최소화하기 위한 효과적인 대기질 개선 정책이나 대기오염에 관한 위해성 관리의 전략이 요구된다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

참고문헌

1. Dominici, F., McDermott, A., Daniels, M., Zeger, S. L. and Samet, J. M. : Mortality among residents of 90 cities. Revised analyses of time-series studies of air pollution and health. In: Health Effects Institute, Boston, MA, 2003.
2. Dockery, D. W., Speizer, F. E., Stram, D. O., Ware, J. H., Spengler, J. D. and Ferris, B. G. : Effects of inhalable particles on respiratory health of children. *The American Review of Respiratory Disease*, **139**, 587-594, 1989.
3. Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J. P., Ponka, A. and Anerson, H. R. : Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities : results from time series data from the APHEA project. *British Medical Journal*, **314**, 1658-1663, 1997.
4. 조용성, 이종태, 손지영, 김윤신 : 메타분석을 적용한 전국 7개 대도시의 대기오염과 일일사망발생의 상관성 연구(1998년-2001년). *한국환경보건학회지*, **32**, 304-315, 2006.

5. Park, J. and Bae, H. : Assessing the health benefits of the Seoul air quality management plan using BenMAP. *Korean Journal of Environmental Health*, **32**, 207-214, 2006.
6. 서원호, 장성실, 권호장 : 대전지역 대기오염물질 농도와 천식 환자수의 관련성. *한국환경위생학회지*, **26**, 80-90, 2000.
7. Schwartz, J. : What are people dying of on high air pollution days? *Environmental Research*, **64**, 26-35, 1994.
8. Lee, J. T., Kim, H., Song, H., Hong, Y. C., Cho, Y. S., Shin, S. Y., Hyun, Y. J. and Kim, Y. S. : Air pollution and asthma among children in Seoul, Korea. *Epidemiology*, **13**, 481-484, 2002.
9. Lee, J. T., Kim, H., Cho, Y. S., Hong, Y. C., Ha, E. H. and Park, H. : Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease among individuals 64+ years of age residing in Seoul, Korea. *Archives of Environmental Health*, **58**, 617-623, 2003.
10. Glinianaia, S. V., Rankin, J., Bell, R., Pless-Mulloli, T. and Howel, D. : Does particulate air pollution contribute to infant death? A systematic review. *Environmental Health Perspectives*, **112**, 1365-1370, 2004.
11. Miller, J. E. : Birth outcomes by mother's age at first birth in the Philippines. *International Family Planning Perspectives*, **19**, 98-102, 1993.
12. Kramer, M. S., Olivier, M., McLean, F. H., Dougherty, G. E., Willis, D. M. and Usher, R. H. : Determinants of fetal growth and body proportionality. *Pediatrics*, **86**, 18-26, 1990.
13. Joseph, K. S. and Kramer, M. S. : Recent trends in Canadian infant mortality rates - effect of changes in registration of live newborns weighing less than 500 g. *Canadian Medical Association Journal*, **155**, 1047-1052, 1996.
14. Su, S., Ding, H. and Wang, X. : Acute effects of total suspended particles and sulfur dioxides on preterm delivery: a community-based cohort study. *Archives of Environmental Health*, **50**, 407-415, 1995.
15. Ritz, B. and Yu, F. : The effect of ambient carbon monoxide on low birth weight among children born in Southern California between 1989 and 1993. *Environmental Health Perspectives*, **107**, 17-25, 1999.
16. Maisonet, M., Correa, A., Misra, D. and Jaakkola, J. K. : A review of the literature on the effects of ambient air pollution on fetal growth. *Environmental Research*, **95**, 106-115, 2004.
17. Chen, L., Yang, W., Jennison, B. L., Goodrich, A. and Omaye, S. T. : Air pollution and birth weight in northern Nevada, 1991-1999. *Inhalation Toxicology*, **14**, 141-157, 2002.
18. Wilhelm, M. and Ritz, B. : Local variations in CO and particulate air pollution and adverse birth outcomes in Los Angeles county, California, USA. *Environmental Health Perspectives*, **113**, 1212-1221, 2005.
19. Dugandzic, R., Dodds, L., Stieb, D. and Smith-Doiron, M. : The association between low level exposures to ambient air pollution and term low birth weight: a retrospective cohort study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, **5**, 1-8, 2006.
20. Lee, B. E., Ha, E. H., Park, H. S., Kim, Y. J., Hong, Y. C., Kim, H. and Lee, J. T. : Exposure to air pollution during different gestational phases contributes to risks of low birth weight. *Human Reproduction*, **18**, 638-643, 2003.
21. Mathews, T. J. and MacDorman, M. F. : Infant mortality statistics from the 2003 period linked birth/infant death data set. *National Vital Statistics Reports*, **54**, 1-32, 2006.
22. Ritz, B., Yu, F., Chapa, G. and Gruin, S. : Effect of air pollution on preterm birth among children born in Southern California between 1989 and 1993. *Epidemiology*, **11**, 502-511, 2000.
23. Maisonet, M., Bush, T. J., Correa, A. and Jaakkola, J. K. : Relation between ambient air pollution and low birth weight in the Northeastern United States. *Environmental Health Perspectives*, **109**(s3), S351-S356, 2001.
24. Ha, E. H., Hong, Y. C., Lee, B. E., Woo, B. H., Schwartz, J. and Christiani, D. C. : Is air pollution a risk factor for low birth weight in Seoul? *Epidemiology*, **12**, 643-648, 2001.
25. Guinness World Records, 2004.
26. World Health Organization : International statistical classification of diseases and related health problems, 10th revision, World Health Organization, Geneva, 1992.
27. Mittendorf, R., Williams, M. A., Berkey, C. S. and Cotter, P. F. : The length of uncomplicated human gestation. *Obstetrics and Gynecology*, **75**, 929-32, 1990.
28. Gabrielli, A., Layon, A. J. and Callarher, T. J. : Carbon monoxide intoxication during pregnancy: a case presentation and pathophysiologic discussion, with emphasis on molecular mechanisms. *Journal of Clinical Anesthesia*, **7**, 82-87.
29. Longo, L. D. : The biological effects of carbon monoxide on the pregnant women, fetus, and newborn infant. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **129**, 69-103, 1977.
30. Mathews, T. J., Menacker, F. and MacDorman, M. F. : Infant mortality statistics from the 2001 period linked birth/infant death data set. *National Vital Statistics Reports*, **52**, 2003.
31. Adair, L. S. and Popkin, B. M. : Birth weight, maturity, and proportionality in Filipino Infants. *Human biology*, **60**, 319-339, 1988.
32. Kramer, J. S. : Intrauterine growth and gestation determinants. *Pediatrics*, **80**, 502-511, 1987.
33. Canfield, J. A., Ramadhani, T. A., Langlois, P. H. and Waller, D. K. : Residential mobility patterns and exposure misclassification in epidemiologic studies of birth defects. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, **16**, 538-543, 2006.