

# 7대 광역시에서 대기오염과 폐암 발생 및 사망에 대한 공간 분석

황승식, 이진희, 정규원, 임정훈<sup>1)</sup>, 권호장<sup>2)</sup>

국립암센터 암등록역학연구부, 서울대학교 보건대학원 보건환경연구소<sup>1)</sup>, 단국대학교 의과대학 예방의학교실<sup>2)</sup>

## Spatial Analysis of Air Pollution and Lung Cancer Incidence and Mortality in 7 Metropolitan Cities in Korea.

Seung-Sik Hwang, Jin-Hee Lee, Gyu-Won Jung, Jeong-Hun Lim<sup>1)</sup>, Ho-Jang Kwon<sup>2)</sup>

Division of Cancer Registration and Epidemiology, National Cancer Center,  
School of Public Health and Institute of Health and Environment, Seoul National University<sup>1)</sup>,  
Department of Preventive Medicine, Dankook University College of Medicine<sup>2)</sup>

**Objectives :** We aimed to assess the relationship between long-term exposure to air pollution and lung cancer in the Republic of Korea.

**Methods :** Using the Annual Report of Ambient Air Quality in Korea, Annual Report of National Cancer Registration, and Annual Report on the Cause of Death Statistics, we calculated the standardized mortality ratio (SMR) and standardized incidence ratio (SIR) of lung cancer for both sexes in 74 areas from 7 Korean metropolitan cities. We performed random intercept, Poisson regression using empirical Bayes method.

**Results :** Both SMRs and SIRs in the 7 metropolitan cities were higher in women than in men. Mean SIRs were 99.0 for males and 107.0 for females. The association between PM<sub>10</sub> and lung cancer risk differed according to gender. PM<sub>10</sub> was not associated with the risk of lung cancer in males, but both incidence and mortality of lung

cancer were positively associated with PM<sub>10</sub> in females. The estimated percentage increases in the rate of female lung cancer mortality and incidence were 27% and 65% at the highest PM<sub>10</sub> category ( $\geq 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), compared to the referent category ( $<50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Conclusions :** Long-term exposure to PM<sub>10</sub> was significantly associated with female lung cancer incidence in 7 Korean metropolitan cities. Further study is undergoing to estimate the relative risk of PM<sub>10</sub> using multi-level analysis for controlling individual and regional confounders such as smoking and socioeconomic position.

J Prev Med Public Health 2007;40(3):233-238

**Key words :** Air pollution, Lung neoplasms, Incidence, Mortality

## 서론

2005년 현재 우리나라 인구 10만 명당 28.4명이 폐암으로 사망하여, 폐암은 전체 암사망 원인 1위이다(남자 1위, 여자 2위). 우리나라에서 폐암 사망은 계속 증가하는 추세인데, 1995년 대비 2005년 폐암사망률은 50.3% 증가하였다 [1]. 암발생의 경우, 폐암은 남자 암발생 원인 중 2위이고 여자 암발생 원인 중 5위에 해당한다 [2]. 폐암은 암사망과 암발생 두 측면 모두에서 질병 부담이 매우 큰 암종에 해당한다.

폐암 발생의 원인으로 현재 가장 잘 알려

진 주요 요인은 흡연이고, 이외에도 라돈 노출, 비소, 석면과 같은 직업성 물질 노출과 대기 오염 등이 폐암 발생을 증가시키는 것으로 알려져 있다 [3,4].

대기오염과 폐암의 관련성에 대한 대규모 역학연구들이 최근 활발히 수행되고 있다. Pope 등은 50만 명에 이르는 대규모 코호트 연구를 통해 미세먼지가  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  증가함에 따라 폐암 사망의 위험이 8% 증가한다고 보고하였다 [5]. 유럽에서도 대기오염과 폐암의 관련성에 대한 두 편의 코호트 연구가 발표된 바 있다. 네덜란드에서 수행된 연구에서는 미세먼지 증가에

따라 폐암위험이 높아지는 소견을 보이기는 하였으나 (상대위험도 1.06, 95% 신뢰구간: 0.43-2.63, black smoke  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당) 폐암 사망 숫자가 60명으로 적어 통계적으로 유의하지는 않았다 [6]. 노르웨이에서 수행된 연구에서는 암등록 자료를 활용하였는데 이산화질소  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  증가당 폐암발생 위험이 1.08배 (95% CI=1.02-1.15) 증가하는 것으로 보고하였다 [7]. 대만에서는 여성 폐암 사망자를 대상으로 수행된 환자대조군 연구에서 대기오염이 가장 심한 지역에 거주한 사람이 가장 덜한 지역에 거주하는 사람에 비해 폐암 사망 위험이 1.28배 (95% CI=1.02-1.61) 증가한 것으로 나타났다 [8]. 국내에서도 의료

보험 자료를 통해서 확인된 폐암환자들이 거주하는 지역의 대기오염 농도를 대조군과 비교 분석하여 오존과 일산화탄소가 폐암 발생과 유의하게 관련이 있음을 보고한 바 있다 [9].

여러 지역에서 수행된 역학연구를 통해 대기오염과 폐암의 관련성이 큰 틀에서는 확인되고 있지만 관련성의 크기가 흡연에 비해서는 현저히 작고 각 지역마다 대기오염의 양상이 다르기 때문에 구체적으로 관련이 있는 대기오염물질의 종류와 관련성의 크기는 각 연구마다 편차를 보이고 있다. 따라서 단일 연구를 통해 대기오염과 폐암의 관련성을 확인하는 것도 중요하지만 소규모 지역별로 대기오염을 포함한 위험요인의 변화와 폐암의 발생(또는 사망) 양상을 동시에 그리고 지속적으로 관찰하면서 분석하는 것이 대기오염의 영향을 정확하게 파악하는 데 필수적이다. 암등록 사업이 안정화 단계에 들어서면서 소규모 지역별로 폐암 발생률을 산출할 수 있게 되고 공간분석 기법이 발달하면서 각 지역별 폐암발생의 차이를 환경요인을 통해 설명할 수 있는 가능성 또한 커지고 있다.

이번 연구는 우리나라 7대 광역시의 구단위로 폐암의 사망률과 발생률을 공간통계기법을 이용하여 산출하고, 해당지역의 연평균 미세먼지 농도와 비교 분석함으로써 폐암과의 관련성을 확인하는 것을 목적으로 하였다.

## 연구방법

### 1. 연구 자료

#### 1) 대기오염

국립환경연구원에서 매년 발간하는 '대기환경연보' 2004년 판 [10]에 제시되어 있는 연도별 측정소별 대기오염도 변화추이표에 근거하여 7대 광역시의 74개 구별로 아황산가스, 이산화질소, 오존, 일산화탄소 및 미세먼지의 평균 오염도를 산출하였다. 아황산가스, 이산화질소, 오존, 일산화탄소는 1989년부터 2004년도까지의 평균 오염도 값을 산출하였고, 미세먼지는 1995년부터 2004년까지의 평균값을 산출하여 해당 지역의 대표치로 이용하였다.

분석 기간 동안 측정소가 둘 이상 설치되어 있어 그 값들이 각각 다른 경우 같은 지역의 측정소 값들의 평균을 이용하였다. 또한 신규 행정구역이 분리되었거나 측정망이 설치되어 있지 않아 결측값이 생긴 지역은 이웃하는 지역들의 평균값으로 대체하였다

#### 2) 폐암 발생, 사망 및 인구 자료

보건복지부 중앙암등록본부와 지역암등록본부에서 발간하는 '국가암등록사업 연례 보고서 (2001년 암발생 현황)'에 근거하여 7대 광역시의 구별로 제시된 2001년도 남녀별 폐암 발생자수를 이용하였고 [11], 통계청에서 발표하는 사망원인통계 데이터베이스 자료에서 사망 신고서에 기록된 주소지에 근거하여 7대 광역시의 구별로 2004년도 남녀별 폐암 사망자수를 산출하였다[12]. 표준화 사망비(standardized mortality ratio, 이하 SMR)와 표준화 발생비(standardized incidence ratio, 이하 SIR)를 산출하기 위해 7대 광역시의 구별로 2001년과 2004년의 5세 간격 주민등록인구를 통계청 홈페이지에서 다운로드하여 이용하였다 [13].

## 2. 분석 방법

7대광역시 구별 오염도 측정시 측정망이 설치되어 있지 않은 지역은 이 지역과 이웃하는 지역들의 평균 오염도 값을 이용하여 결측대체(missing imputation)를 실시하였다. 이를 위하여 결측대체를 하기에 앞서 이웃하는 지역들 간의 공간상관관계를 살펴보았다. 본 논문에서는 일반적으로 공간상관을 위한 통계량으로 가장 많이 사용하는 Moran's I 값을 이용하였다 [14]. 미세먼지, 일산화탄소, 오존 그리고 이산화질소는 공간상관이 존재하므로 공간정보를 이용하여 결측값을 대체하였으나 아황산가스의 경우 공간상관이 존재하지 않아 전체 평균으로 대체하였다.

7대 광역시의 구별로 폐암에 대한 남녀별 단순(crude) SMR과 단순 SIR을 산출하였다. 이렇게 산출한 값을 바탕으로 Breslow와 Clayton [15]의 방법을 적용하여 광역시 단위의 효과를 감안한 추정(predicted) SMR과 추정 SIR을 산출하여 분

석하였다. 이를 위해 광역시구 단위의 임의 절편 포아송 회귀분석(random-intercept Poisson regression)을 수행한 다음, 경험적 베이스 기법(empirical Bayesian method)을 적용하여 산출하였다. 비모수 최대우도법(nonparametric maximum likelihood estimation)을 이용하여 추정하는 과정에서 민감도 분석(sensitivity analysis)을 수행하여 최적합 모형을 구축하였다.

$$\log(\mu_i) = \log(e_i) + \beta_1 + \zeta_i$$

$$\log(\mu_i) - \log(e_i) = \log(\mu_i/e_i) + \beta_1 + \zeta_i$$

↑  
SMR<sub>i</sub>

- $\mu_i$  : 광역시의 구별 관찰 평균
- $e_i$  : 광역시의 구별 기대 평균
- $\beta_1$  : 절편
- $\zeta_i$  : 광역시의 구별 임의 절편

대기오염물질별로 폐암의 발생과 사망에 미치는 영향을 확인하기 위해 추정 SMR와 발생비를 결과 변수로, 광역시구 단위의 연평균 미세먼지 농도를 공변량으로 하고 임의 절편 포아송 회귀분석(random-intercept Poisson regression)을 수행하였다. 최적합 모형을 구축하기 위해 가스상 오염물질을 하나씩 추가하면서 모형 적합도를 확인하였다. 연평균 미세먼지 농도는 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  미만, 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  미만, 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  미만, 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 네 범주로 구분하여 분석하였고, 50 미만을 참조 범주로 하여 다른 범주에 대한 상대 위험도와 95% 신뢰구간을 제시하였으며, 상대 위험도에 대한 경향성 검정을 수행하였다.

$$\log(\mu_i) = \log(e_i) + \beta_1 + \beta_2\chi_i + \zeta_i$$

- $\mu_i$  : 광역시의 구별 관찰 평균
- $e_i$  : 광역시의 구별 기대 평균
- $\beta_1$  : 절편
- $\beta_2$  : 연평균 미세먼지 농도에 대한 회귀계수
- $\chi_i$  : 광역시의 구별 연평균 미세먼지 농도
- $\zeta_i$  : 광역시의 구별 임의 절편

공간상관을 알아보기 위한 분석은 S-plus/SpatialStat [16]을 사용하였고 나머지 모든 분석은 Rabe-Hesketh가 Generalized Linear Latent And Mixed Models을 구동하

Table 1. Summary of air pollution from 1989 through 2004\*

Cities	No. of metropolitan areas	No. of populations, in thousands		PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	O <sub>3</sub> (ppb)	CO (ppm)
Seoul	25	9,762	Mean	68.6	14.7	33.9	14.2	1.2
			Max	77.2	30.2	41.2	18.1	2.0
Busan	16	3,512	Mean	61.2	16.5	23.7	21.1	0.9
			Max	78.7	28.8	30.0	28.2	1.3
Daegu	8	2,456	Mean	61.9	15.2	25.5	17.9	0.9
			Max	79.5	32.7	28.7	22.0	1.4
Incheon	10	2,517	Mean	57.9	14.0	26.0	17.7	1.1
			Max	63.4	23.1	31.8	29.9	1.7
Gwangju	5	1,413	Mean	51.4	9.1	19.1	16.6	1.0
			Max	58.3	12.2	23.8	19.2	1.2
Daejeon	5	1,438	Mean	52.2	10.1	23.2	14.7	1.1
			Max	56.0	19.0	28.0	16.5	1.5
Ulsan	5	1,044	Mean	48.4	14.3	16.0	21.4	0.7
			Max	50.1	32.7	23.4	23.8	1.1

\* Except PM<sub>10</sub>, which is from 1995 through 2004

Table 2. Summary of lung cancer mortality and incidence, 7 metro cities, Korean

Variables	No. of metropolitan areas	Mean	S.D.	Min	Max
Crude SMR, male	74	98.0	22.6	47.5	196.1
Predicted SMR, male	74	96.0	9.7	73.1	123.7
Crude SMR, female	74	100.7	26.7	42.0	181.5
Predicted SMR, female	74	98.4	0.4	97.6	99.1
Crude SIR, male	74	99.0	18.2	69.6	167.2
Predicted SIR, male	74	96.7	5.4	86.2	113.0
Crude SIR, female	74	107.0	32.3	41.0	220.0
Predicted SIR, female	74	108.0	12.6	88.6	172.9

기 위해 개발한 gllamm 명령어를 활용하였으며 [17,18], 통계소프트웨어는 Stata SE 9판을 이용하였다.

## 연구결과

1989년부터 2004년까지 산출한 대기오염수준을 7대 광역시별로 비교하여 제시하였다 (Table 1). 10마이크론 이하 미세먼지의 경우 서울 지역이 평균  $68.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 울산이  $48.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. 아황산가스는 부산이 평균 16.5 ppb로 가장 높았고, 광주가 평균 9.1 ppb로 가장 낮았으며, 이산화질소는 서울이 평균 33.9 ppb로 가장 높았고, 울산이 평균 16.0 ppb로 가장 낮았다. 오존은 인천이 최대값 29.9 ppb로 가장 높았고, 대전이 최대값 16.5 ppb로 가장 낮았으며, 일산화탄소는 서울이 평균 1.2 ppm으로 가장 높았고, 울산이 0.7 ppm으로 가장 낮았다.

광역시의 구별로 산출한 남녀별 폐암 단순 SMR과 단순 SIR, 그리고 경험적 베이스 방법에 의한 추정 SMR과 추정 SIR의 평균을 제시하였다 (Table 2). 단순 SMR과

단순 SIR에 비해 추정 SMR과 추정 SIR은 평균값에는 큰 차이가 없으나 표준 편차가 줄어들어 전체적인 분포가 평균값에 수렴하는 양상임을 알 수 있었는데, 특히 여성 폐암 사망비의 경우 단순 SMR의 표준편차가 26.7에서 추정 SMR의 경우 0.4로 두드러지게 감소하는 경향을 보였다.

다음으로, 광역시의 구별로 산출한 남녀별 폐암에 대한 SMR과 SIR을 나타내었다 (Table 3). 단순 SMR과 단순 SIR을 제시하였고, 경험적 베이스 방법에 의해 추정된 추정 SMR과 추정 SIR을 함께 제시하였다. 남자 폐암 사망비의 경우 단순 SMR로는 울산 북구가 196.1로 가장 높았고, 인천 옹진군이 47.5로 가장 낮았다. 추정 SMR로 비교하였을 때는 남성의 경우 대구 북구가 123.7로 가장 높았고, 서울 강남구가 73.1로 가장 낮았다. 여자 폐암 사망비의 경우 단순 SMR로는 남자와 마찬가지로 울산 북구가 181.5로 가장 높았고, 인천 옹진군이 42.0으로 가장 낮았다. 추정 SMR로는 울산 중구, 대전 중구, 대구 달서구가 99.1로 가장 높았고, 서울 노원구와 송파구가 97.6으로 가장 낮았다. 남자 폐암 발생

비의 경우 단순 SIR로는 대구 달성군이 167.2로 가장 높았고, 부산 사상구가 69.6으로 가장 낮았으며, 추정 SIR로 비교하였을 때는 대구 달성군이 118.9로 가장 높았고, 서울 노원구가 86.2로 가장 낮았다. 여자 폐암 발생비의 경우 단순 SIR로는 대구 수성구가 220.0으로 가장 높았고, 인천 옹진군이 41.0으로 가장 낮았으며, 추정 SIR로는 대구 수성구가 172.9로 가장 높았고, 서울 동작구가 88.6으로 가장 낮았다. 추정 SMR과 추정 SIR의 경우 전체적으로 표준 편차가 줄어들어 평균값에 수렴하는 결과였으며, 분포의 범위가 줄어들었지만 추정 SMR과 추정 SIR의 순위는 단순 SMR 및 단순 SIR의 경우와 비교하여 크게 다르지 않았다.

남녀별 폐암 추정 SMR과 추정 SIR에 대한 임의 절편 포아송 회귀분석 결과를 Table 4에 제시하였다. 최적합 모형에서는 가스상 오염물질 중 이산화질소가 포함된 모형이었다. 이 결과에 따르면 연평균 미세먼지 농도가 50 미만인 지역을 기준으로 할 때 농도가 더 높은 지역에서 남자 폐암 사망과 발생이 증가하지 않았다. 그러나 여자 폐암 사망은 연평균 미세먼지 농도가 50 미만인 지역에 비해 60 미만인 지역은 9%, 70 미만인 지역은 16%, 70 이상인 지역은 27% 증가한 결과를 보였다. 각각의 상대 위험도가 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 값은 아니었으나, 경향성 검정 결과 상대 위험도가 유의하게 증가하는 결과를 확인할 수 있었다. 그리고 여자 폐암 발생은 50 미만인 지역에 비해 60 미만인 지역은 95%, 60 미만인 지역은 130%, 70 이상인 지역은 65% 증가하는 결과를 보였고, 각각의 상대 위험도는 통계적으로 유의한 값이었다.

## 고찰

대기오염의 폐암 발생의 위험을 증가시킨다는 사실은 비교적 잘 알려져 있다 [19,20]. 여러 종류의 대기오염 물질이 폐암 발생과 관련이 있을 수 있지만 가장 영향이 큰 것은 미세먼지이다. 미세먼지 속에는 PAHs를 포함한 다양한 발암물질이 흡

**Table 3.** Lung cancer mortality and incidence, both sexes, 74 areas, 7 metro cities, Korean

Cities	Metropolitan areas	Crude SMR, male	Predicted SMR, male	Crude SMR, female	Predicted SMR, female	Crude SIR, male	Male predicted SIR, female	Crude SIR, female	Predicted SIR, female
Seoul	Jongno-gu	123.3	108.7	120.8	98.6	92.1	95.3	63.1	93.0
	Jung-gu	100.2	97.4	140.6	98.8	90.7	95.2	75.0	98.6
	Yongsan-gu	98.0	96.8	54.9	97.7	86.9	93.2	84.5	98.5
	Seongdong-gu	82.2	88.2	74.4	97.9	97.3	96.8	82.4	96.9
	Gwangjin-gu	101.2	98.6	72.9	97.9	108.9	101.2	87.5	99.0
	Dongdaemun-gu	77.8	84.9	120.1	98.8	90.8	94.1	111.2	109.1
	Jungnang-gu	64.0	77.3	96.1	98.3	82.5	90.7	84.5	96.6
	Seongbuk-gu	84.0	88.1	110.9	98.7	88.7	92.8	107.3	107.2
	Gangbuk-gu	95.8	95.7	85.3	98.1	95.4	96.1	100.9	104.3
	Dobong-gu	71.8	82.1	117.9	98.8	102.1	98.7	107.7	107.4
	Nowon-gu	86.9	89.6	77.1	97.6	75.5	86.2	85.3	94.7
	Eunpyeong-gu	81.3	86.3	79.7	97.9	87.3	92.2	106.0	106.5
	Seodaemun-gu	62.4	76.6	128.3	99.0	88.3	93.1	134.3	120.3
	Mapo-gu	103.8	100.5	90.7	98.2	89.4	93.6	105.0	106.1
	Yangcheon-gu	82.4	87.7	75.8	97.8	94.5	95.7	91.7	99.7
	Gangseo-gu	70.4	80.0	102.7	98.5	87.0	92.3	71.2	89.2
	Guro-gu	90.7	92.7	63.1	97.7	86.0	92.4	83.2	96.7
	Geumcheon-gu	107.7	101.3	94.2	98.3	94.0	95.8	57.8	91.6
	Yeongdeungpo-gu	75.2	83.5	110.9	98.6	72.3	86.7	127.1	116.6
	Dongjak-gu	84.1	88.6	74.5	97.8	85.2	91.7	66.5	88.6
	Gwanak-gu	74.8	82.4	102.6	98.5	97.0	96.7	85.1	96.0
Seocho-gu	78.0	85.6	94.8	98.3	74.8	88.1	123.0	114.5	
Gangnam-gu	58.0	73.1	109.5	98.7	91.2	94.1	101.4	104.0	
Songpa-gu	83.6	87.8	70.3	97.6	79.8	88.5	80.4	92.5	
Gangdong-gu	80.3	86.7	106.0	98.5	89.0	93.4	107.5	107.3	
Busan	Jung-gu	89.3	94.4	77.8	98.3	121.4	99.8	105.6	107.4
	Seo-gu	109.9	101.7	84.0	98.2	112.7	100.9	116.8	110.5
	Dong-gu	124.9	107.2	101.9	98.4	112.0	100.3	182.0	130.0
	Yeongdo-gu	103.5	99.1	84.3	98.2	90.1	94.8	121.6	112.2
	Dongnae-gu	78.4	86.8	93.8	98.3	78.7	90.4	107.1	107.2
	Nam-gu	104.5	100.5	122.0	98.8	102.0	98.6	100.9	104.6
	Buk-gu	111.4	103.6	104.3	98.5	87.9	94.0	133.5	117.5
	Haeundae-gu	88.5	91.4	110.2	98.6	97.8	97.1	129.9	118.2
	Saha-gu	107.8	102.5	76.1	97.9	86.8	92.9	82.3	96.3
	Geumjeong-gu	95.4	95.5	124.8	98.8	99.2	97.5	119.0	112.1
	Gangseo-gu	102.6	97.4	120.3	98.5	85.3	95.2	77.5	102.5
	Yeonje-gu	106.3	100.7	118.5	98.6	75.8	90.4	109.0	107.9
	Suyeong-gu	84.6	90.7	57.3	97.9	82.6	92.8	88.3	101.4
	Sasang-gu	121.8	107.9	127.1	98.8	69.6	97.2	99.1	104.4
Gijang-gu	116.2	101.6	119.0	98.5	100.2	66.1	99.7	89.0	
Daegu	Jung-gu	83.7	92.1	157.2	98.8	108.6	98.9	168.8	122.7
	Dong-gu	107.3	102.6	89.5	98.2	132.1	111.4	139.9	122.8
	Seo-gu	119.4	107.4	122.7	98.7	123.9	105.6	140.6	120.6
	Nam-gu	112.9	103.8	72.3	98.0	86.2	93.5	131.5	116.1
	Buk-gu	141.5	123.7	87.6	98.1	102.6	98.9	94.8	101.5
	Suseong-gu	81.9	87.2	87.1	98.1	118.5	106.5	220.0	172.9
	Dalseo-gu	108.8	104.0	124.4	99.1	117.1	105.8	124.1	116.3
	Dalseong-gu	131.7	109.7	88.8	98.3	167.2	113.0	118.9	110.7
	Jung-gu	125.8	104.7	134.4	98.6	97.2	96.7	182.6	122.5
	Dong-gu	139.2	108.6	128.4	98.5	104.1	97.8	97.0	105.6
Incheon	Nam-gu	88.2	91.0	77.2	97.9	113.1	104.0	114.4	110.8
	Yeonsu-gu	116.5	104.4	79.3	98.1	122.1	103.0	150.9	122.0
	Namdong-gu	108.2	102.5	115.7	98.7	134.6	111.0	155.6	129.4
	Bupyeong-gu	104.6	101.2	79.6	97.9	109.2	102.2	128.8	118.5
	Gyeyang-gu	115.3	104.6	96.0	98.3	78.8	91.8	179.5	134.7
	Seo-gu	114.5	105.1	83.9	98.1	93.2	95.5	76.4	96.2
	Ganghwa-gu	83.8	91.5	91.8	98.3	92.5	95.8	59.6	96.2
	Ongjin-gu	47.5	90.7	42.0	98.2	166.4	100.5	41.0	103.0
	Dong-gu	107.0	100.0	135.8	98.7	107.2	99.0	91.1	103.2
	Seo-gu	76.0	86.4	79.7	98.1	88.4	94.2	79.3	97.0
Gwangju	Nam-gu	108.8	101.7	82.3	98.1	107.9	99.9	104.2	106.2
	Buk-gu	92.6	93.8	100.8	98.4	102.3	98.9	119.8	113.5
	Gwangsan-gu	96.7	96.1	121.5	98.7	97.7	96.9	110.3	108.4
	Dong-gu	108.7	102.3	74.3	98.0	90.6	94.6	131.6	116.8
	Jung-gu	85.6	90.4	141.4	99.1	100.9	98.1	98.5	103.8
Daejeon	Seo-gu	87.5	90.9	87.7	98.1	86.7	92.7	117.5	112.1
	Yuseong-gu	84.7	91.8	75.0	98.1	104.1	98.0	82.0	101.5
	Daedeok-gu	119.6	105.4	98.5	98.4	100.9	97.6	61.7	94.5
	Jung-gu	111.3	102.1	169.2	99.1	127.6	104.2	110.2	108.3
	Nam-gu	92.8	94.4	106.2	98.5	107.5	99.6	150.4	122.7
Ulsan	Dong-gu	65.8	87.6	75.8	98.2	113.7	99.3	99.0	105.8
	Buk-gu	196.1	121.2	181.5	98.8	106.8	97.8	88.0	104.7
	Ulju-gu	129.9	109.9	145.5	98.9	104.4	98.5	90.6	102.5

착되어 있는데 미세먼지의 가장 중요한 발생원은 자동차 배기가스로 알려져 있다 [21]. 우리나라 역시 서울과 대도시에서는 미세먼지 중 자동차가 차지하는 비중이 74%에 이르는 것으로 보고되고 있다 [22].

우리나라 대도시 대기오염의 기본 특성이 선진국과 비슷하기 때문에 폐암과 대기오염의 관련성도 미국이나 유럽연구와 유사하게 나타나야 한다. 미국에서 수행된 코호트 연구에서는 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 10 µg/m<sup>3</sup> 증가 당 폐암 사망이 8% 증가한 것으로 보고되고 있다 [5]. 본 연구에서는 미세먼지(PM<sub>10</sub>)의 농도가 70 µg/m<sup>3</sup> 이상인 지역의 여성 폐암 사망률이 50 µg/m<sup>3</sup> 미만인 지역보다 27% 가량 높게 나타나는 것을 관찰하였다. 개인 차원에서 산출한 위험률이 아니기 때문에 코호트 연구결과와 바로 비교하기는 어렵지만 이번 연구에서 관찰한 여성 폐암 발생 및 사망위험의 증가가 국외연구결과와 같은 추세를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 통계적으로 유의하지는 않았지만 이산화질소 10 ppb 증가 당 여성의 폐암 발생위험이 4% 정도 증가하는 것으로 나타났는데(결과는 제시되지 않았음) 노르웨이에서 수행된 연구에서 관찰된 이산화질소 10 µg/m<sup>3</sup> (약 5.3 ppb) 증가에 따라 폐암발생 위험이 8% 가량 증가한 결과 [7]와 비교하면 상대적으로 낮은 수준이다.

본 연구의 결과로 대기오염과 폐암의 관련성을 평가하기에는 몇 가지 제한점이 있다. 우선 지역단위의 생태학적 연구로서 흡연과 같이 중요한 교란요인의 영향을 평가하지 못했다. 노출 지표를 사용한 대기오염 측정 자료는 자료의 제한성으로 인해 1989년 이후 (PM<sub>10</sub>은 1995년 이후)의 자료를 사용하였기 때문에 발암물질 노출에서 폐암이 발생하기까지의 잠복기가 충분히 고려되었다고 볼 수 없다. 또한 발병(또는 사망) 당시의 주소에서 측정된 대기오염 자료를 사용하였기 때문에 이사로 인한 주소지 변경이 고려되지 못했다. 즉 노출 오분류의 가능성이 있는데 이러한 요인들이 대기오염과 폐암의 관련성을 낮추는 쪽으로 작용했을 것이다.

최근 환경역학 연구에서 지리 정보 시스템

템(Geographic Information System, GIS)을 활용하여 노출을 평가하는 연구가 다양하게 수행되고 있다. 역학 연구에서 연구 대상 인구집단을 정의하거나, 노출원 및 잠재적 노출 경로를 확인하거나, 연구 대상 오염물질의 환경적 수준을 추정하여 분석에 적용하거나, 개인별 노출 정도를 추정하는 방식으로 이용되고 있다 [23]. 본 연구에서도 폐암 사망자 및 발생자의 주소지를 기준으로, 구별 모니터링 데이터로부터 수집된 대기오염 물질을 노출에 대한 대리 변수로 하여 미세먼지 노출과 폐암 발생 및 사망의 관련성을 알아보았다. 그러나 개인별 노출을 평가할 수 없는 한계가 있으므로 위에 지적한 노출에서의 분류 오류 문제는 여전히 남는다. 따라서 대기오염 물질에 대한 모델링 작업을 통해 세분화된 노출 변수를 구성하여 적용되어야 한다. 또한 폐암 사망자 및 발생자의 개인별 거주력에 대한 정보를 확인하여 정확한 노출 기간을 설정하여 반영하여야만 분류 오류를 최소화할 수 있을 것이다.

본 연구에서 구별 폐암 사망비와 발생비를 산출하기 위해, 소지역 단위에서 건강영향에 대한 공간분석을 수행하는데 주로 이용되는 경험적 베이스 방법에 의해 추정된 추정 SMR과 발생비로 회귀분석을 수행하였다 [24]. 소지역 단위로 사망비와 발생비를 산출하는 경우 모집단의 규모가 작기 때문에 추가적인 무작위 변이 때문에 오류가 커지는 경향이 있다. 이에 본 연구에서는 각 지역별로 무작위 변이의 일부를 제거시켜 평활 추정치 (smoothed estimate)를 제공하기 위해 베이스 방법을 사용하였다. 베이스 방법은 지역 단위의 국지적 수치와 평균값 사이의 타협점으로 보수적인 추정치를 제공한다 [25]. 본 연구 결과에서도, 단순 SMR과 단순 SIR에 비해 추정 SMR과 추정 SIR의 범위가 훨씬 좁게 추정됨을 알 수 있었다. 또한 인근 지역에 비해 계산된 값이 지나치게 낮거나 높은 값일 경우 추정된 값은 인근 지역과의 차이를 고려하여 변동시키게 된다. 이를테면, 단순 SMR과 단순 SIR이 가장 낮은 지역에 속했던 인천 용진군의 경우 인

Table 4. Results of random-intercept Poisson regression

Variables	adjusted RR*	95% CI	p-value
Predicted SMR, male			
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )			
< 50.0	1.00	-	-
50.0 - 59.9	1.01	0.86 - 1.19	0.90
60.0 - 69.9	1.04	0.88 - 1.24	0.65
≥ 70.0	1.01	0.83 - 1.22	0.92
			Ptrend = 0.86
Predicted SMR, female			
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )			
< 50.0	1.00	-	-
50.0 - 59.9	1.09	0.88 - 1.35	0.41
60.0 - 69.9	1.16	0.93 - 1.44	0.20
≥ 70.0	1.27	0.99 - 1.61	0.06
			Ptrend = 0.03
Predicted SIR, male			
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )			
< 50.0	1.00	-	-
50.0 - 59.9	0.97	0.84 - 1.11	0.63
60.0 - 69.9	0.95	0.82 - 1.10	0.47
≥ 70.0	0.96	0.82 - 1.13	0.63
			Ptrend = 0.67
Predicted SIR, female			
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )			
< 50.0	1.00	-	-
50.0 - 59.9	1.95	1.30 - 2.91	<0.001
60.0 - 69.9	2.30	1.49 - 3.56	<0.001
≥ 70.0	1.65	1.03 - 2.66	0.04
			Ptrend = 0.20

RR; relative risk, CI; confidence interval  
\*adjusted for gaseous pollutant (NO<sub>2</sub>)

천 광역시 내의 다른 지역과 비교하면 상대적으로 매우 낮은 값인 관계로 추정 값을 산출한 결과 큰 폭으로 증가하게 됨을 알 수 있다. 반면 대구 광역시의 경우, 광역시 전체적으로 단순 SMR과 단순 SIR이 높은 값이므로 추정 SMR과 추정 SIR이 여전히 높게 추정됨을 알 수 있다.

그러나, 추정 SMR과 추정 SIR을 이용한 베이저인 방법의 지도화(Bayesian disease-mapping)는 단순 SMR과 단순 SIR을 이용한 방법에 비해 본질적으로 표준 오차를 작게 만들어 민감도를 떨어뜨리고, 대부분의 환경성 노출과 같이 위험의 정도가 낮은 경우 심각하게 연구의 검정력(power)을 떨어뜨린다는 보고가 있다 [26]. 본 연구 결과에서도 단순 SMR과 단순 SIR 분포에 비해 추정 SMR과 추정 SIR의 표준 오차가 매우 작게 산출되었다. 본 연구의 경우 경험적 베이스 기법을 통해 추정하기 위한 사전 확률 선정을 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통해 선정하여 분석하였으므로, 경험적 베이스 기법의 적용 과정에서 연구의 검정력이 심각하게 떨어졌을 가능성은 낮다고 생각된다.

본 연구는 7대 광역시에서 장기간의 대

기오염 물질 노출과 폐암 사망과 발생의 관련성을 살펴본 생태학적 연구이다. 7대 광역시에 거주하고 있는 대상 인구 집단의 규모가 우리나라 인구의 대략 절반에 해당하고, 미세먼지의 경우 10년 동안의 장기간 노출을 평가하였으며, 미세먼지와 폐암 사망뿐만 아니라 발생의 관련성을 확인해봤다는 장점이 있다. 이번 분석에서 남성의 경우 표준화비가 모두 100 이하인 반면에 여성에서는 표준화발생비가 상대적으로 높게 나타났다. 즉 광역시의 남성에서는 폐암발생 및 사망의 비율이 전국보다 높지 않지만 여성에서는 높게 나타났다는데 여성의 경우 흡연율이 매우 낮은 것을 감안하면 상대적으로 대기오염의 영향을 많이 반영한 결과일 수도 있을 것이다. 또한 여성의 경우 폐암 발생이 미세먼지가 낮은 지역에 비해 높은 지역에서 상대 위험도가 높은 결과를 보였으므로, 현재 우리나라의 연평균 미세먼지 농도 규제수준인 70 μg/m<sup>3</sup>를 더 낮춰야 한다는 주장에 대한 근거를 제시하는 실증적 연구 결과가 된다.

이번 연구는 생태학적 연구 설계상의 한계로, 개인별 노출을 평가하지 못했고, 폐

암 사망 및 발생의 가장 큰 위험 요인인 흡연과 같은 교란 변수를 통제하지 못했으며, 개인별 해당 거주지의 거주력을 평가하지 못했다는 한계가 있다. 현재 국민건강보험공단 건강검진 수검자를 대상으로 흡연을 통제하고 광역시 구별 대기오염과 폐암의 발생과 사망의 상대 위험도를 산출하는 연구를 수행 중이므로, 본 연구의 한계를 보완한 연구 결과를 산출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 요약 및 결론

이번 연구에서는 우리나라 광역시의 구별로 남녀별 폐암의 SMR와 SIR을 산출하고 대기오염과의 관련성을 분석하였다. 폐암의 단순 SMR과 단순 SIR은 구별로 큰 편차를 보이고 있었는데 경험적 베이스 방법을 사용하면 무작위변이를 감소시킴으로서 편차가 줄어드는 것을 관찰하였다.

지역 간 폐암 사망과 발생의 차이를 설명할 수 있는 요인으로서 미세먼지와 관련성을 평가하였다. 남자에서는 관련성을 발견하지 못했으나, 여자에서는 미세먼지가 높은 지역에서 낮은 지역에 비해 사망과 발생이 증가하는 경향이 있음을 확인하였다. 하지만 폐암발생에 큰 영향을 미치는 흡연 등의 개인적 변수가 고려되지 못했고 노출수준이 정확하게 평가되지 못한 점이 감안되어야 할 것이다.

이번 연구는 환경성 질환 감시체계 연구의 일환으로 수행된 것으로, 대기오염 물질에 의한 폐암 사망 및 발생의 양상을 평가하기 위한 예비 연구의 결과이다. 추후 정기적인 간격으로 장기간에 걸쳐 관련성을 살펴보고, 현재 수행중인 개인별 위험요인을 고려한 연구 결과와 종합하여 평가한다면, 대기오염으로 인한 폐암 발생과 사망을 감소시키기 위한 적절한 규제수준과 같은 정책 마련을 위한 근거로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. National Statistics Office. Annual Report on the Cause of Death Statistics (2005), National Statistics Office; 2006. p. 17 (Korean)
2. Ministry of Health and Welfare. Cancer Incidence in Korea (1999-2001). Ministry of Health and Welfare; 2005. p. 38 (Korean)
3. Alberg AJ, Samet JM. Epidemiology of lung cancer. *Chest* 2003; 123(1 Suppl): 21S-49S
4. International Agency for Research on Cancer: Tobacco Smoke and Involuntary Smoking. IARC Monograph 83. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2004. p. 161
5. Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002; 287(9): 1132-1141
6. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: A cohort study. *Lancet* 2002; 360(9341): 1203-1209
7. Nafstad P, Haheim LL, Oftedal B, Gram F, Holme I, Hjermann I, Leren P. Lung cancer and air pollution: A 27 year follow up of 16 209 Norwegian men. *Thorax* 2003; 58(12): 1071-1076
8. Chiu HF, Cheng MH, Tsai SS, Wu TN, Kuo HW, Yang CY. Outdoor air pollution and female lung cancer in Taiwan. *Inhal Toxicol* 2006; 18(13): 1025-1031
9. Sung JH, Cho SH, Kang DH, Yoo KY. Lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease and air pollution. *Korean J Prev Med* 1997; 30(3): 585-598 (Korean)
10. Ministry of Environment, National Institute of Environmental Research. Annual Report of Ambient Air Quality in Korea 2004. Ministry of Environment; 2005. pp. 151-165 (Korean)
11. Ministry of Health and Welfare. Annual Report of National Cancer Registration 2001. Ministry of Health and Welfare; 2005. (Korean)
12. National Statistics Office. Annual Report on the Cause of Death Statistics 2004. National Statistics Office; 2005. (Korean)
13. National Statistics Office. [cited 01 JAN 2007]; [Available from URL: <http://www.nso.go.kr>] (Korean)
14. Cressie, NAC. Statistics for Spatial Data. New York: John Wiley & Sons, Inc; 1993
15. Breslow NE, Clayton DG. Approximate inference in generalized linear mixed models. *J Am Stat Assoc* 1993; 88(421): 9-25
16. Stephen PK, Silvia CV, Tamre PD, Alice AS. S+SpatialStats User's Manual. New York: Springer; 1998
17. Rabe-Hesketh S, Skrondal A. Generalized Latent Variable Modeling: Multilevel, Longitudinal, and Structural Equation Models. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC; 2004
18. Rabe-Hesketh S, Skrondal A. Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata. College Station: Stata Press; 2005
19. Vineis P, Forastiere F, Hoek G, Lipsett M. Outdoor air pollution and lung cancer: Recent epidemiologic evidence *Int J Cancer* 2004; 111(5): 647-652
20. Cohen AJ, Ross Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Kunzli N, Gutschmidt K, Pope A, Romieu I, Samet JM, Smith K. The global burden of disease due to outdoor air pollution. *J Toxicol Environment Health A* 2005; 68(13-14): 1301-1307
21. International Agency for Research on Cancer. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Diesel and Gasoline Engine and Some Nitroarenes. Vol. 46. Lyon: IARC; 1989. p. 458
22. Korean Ministry of Environment. Environment White Paper 2006. Korean Ministry of Environment; 2006. p. 388 (Korean)
23. Nuckols JR, Ward MH, Jarup L. Using geographic information systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies. *Environ Health Perspect* 2004; 112(9): 1007-1015
24. Elliott P, Wakefield JC, Best NG, Briggs DJ. Spatial Epidemiology: Methods and Applications. Oxford: Oxford University Press; 2000. pp. 431-432
25. Elliott P, Wartenberg D. Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges. *Environ Health Perspect* 2004; 112(9): 998-1006
26. Richardson S, Thomson A, Best N, Elliott P. Interpretation posterior relative risk estimates in disease-mapping studies. *Environ Health Perspect* 2004; 112(9): 1016-1025