

Research Paper

여수시의 대기오염과 일별 사망의 상관성에 관한 연구

- 미세먼지와 이산화황을 대상으로 -

박희진* · 우경숙* · 정은경** · 강택신*** · 김근배*** · 유승도*** · 손부순*

순천향대학교 환경보건학과*, 서울대학교 보건대학원**, 국립환경과학원***

A Time-Series Study of Ambient Air Pollution in Relation to Daily Mortality Count in Yeosu

Park, Hee-Jin* · Kyung-Sook Woo* · Eun-Kyung Chung** · Tack-Shin Kang***
Geun-Bae Kim*** · Seung-Do Yu*** · Bu-Soon Son*

Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University*

School of Public Health, Seoul National University**

National Institute of Environmental Research, Incheon***

요약 : 본 연구는 2001년 1월부터 2011년 12월까지 국가산단인 여수시 인구집단을 대상으로 일일 사망 자료와 환경측정자료 및 기상자료를 이용하여 대기오염 물질 중 미세먼지(PM₁₀)와 이산화황(SO₂)이 일별 총 사망과 심혈관계 사망에 미치는 영향을 추정하였다. 대기오염과의 상관성분석은 S-Plus 프로그램을 이용한 generalized additive models(GAM)을 적용하여 시계열(Time-Series) 분석법을 실시하였다. 총 사망의 위해도는 65세 이상에서 SO₂의 농도가 11,67ppb(IQR) 증가함에 따라 5.0% 증가하였고, 심혈관계 사망의 위해도는 전체연령에서 8.6% 증가하는 것으로 나타났다. 지연효과는 총 사망과 심혈관계 사망의 모든 연령 그룹에서 사망 당일부터 7일 전 SO₂농도와 가장 관련성이 높은 것으로 분석되었다.

주요어 : 공기오염, 총사망, 심혈관계 사망, 시계열

Abstract : The association between daily total/cardiopulmonary mortality and air pollution in Yeosu was investigated over 11-year period (January 2001 to December 2011). The purpose of this study was to evaluate the relative importance of the major air pollutants [particulate matter (PM₁₀), sulfur dioxide (SO₂)] as predictors of daily total/cardiopulmonary mortality. People aged 65 and older showed total mortality increase by 5.0% with SO₂ concentration increase by 11.67ppb(IQR) was found to raise mortality caused by circulatory diseases by 8.6%, exhibiting a statistically significant result.

Keywords : Air pollution, Total mortality, Circulatory mortality, Time-series

I. 서론

유해화학물질은 공기라는 매체를 통하여 수환경이나 토양환경으로 이송된다. 즉, 대기환경은 유해물질이 환경으로 유입되는 일차관문일 뿐만 아니라 대기오염으로 인한 영향의 지속성이나 폭로 대상 인구가 가장 광범위하며, 인체의 노출경로에서 가장 중요한 부분을 차지한다는 점에서 수질오염이나 폐기물 오염과 같은 기타 오염에 비해 보건학적으로 매우 중요하게 취급되고 있다(백성욱과 전찬곤, 2013).

대기환경의 경우 위의 특징과 더불어 모든 사람이 쉽게 노출될 수 있으며, 대기오염물질이 눈으로 쉽게 확인할 수 없다는 특성 때문에 모든 사람이 대기오염으로 인한 피해자가 될 수 있는 잠재적인 위험성을 내재하고 있다는 점에서 매우 중요하다. 또한 최근의 기후변화 및 예상치 못한 빈번한 자연재해 등의 문제는 대기환경과 오염문제에 대한 관심을 더욱 불러일으키고 있다(정애란, 2013).

대기오염물질로 인한 환경보건학적 영향은 일반적으로 장기간에 걸친 저농도 수준에서의 장기노출로 인한 영향이 단기간의 급성노출로 인한 영향에 못지 않거나 대도시나 대규모 산업단지에서는 피해규모의 측면에서 오히려 더 심각할 수 있다고 보고되고 있다(백성욱과 전찬곤, 2013).

세계보건기구에서는 대기오염과 상관관계를 갖는 질병으로 지난 2012년 한 해 동안 전 세계적으로 700만 명이 사망한 것으로 추정하였고, 특히 아시아 및 중동 지역에서 상대적으로 사망률이 높은 것으로 보고하였다(WHO, 2014).

또한 대기 오염으로 인한 사망률과 유병률의 증가는 이미 미국이나 유럽과 같이 대기 오염 수준이 낮은 국가에서도 발표되었고, 여러 대기 오염 물질 중 특히 입자상물질은 여러 연구에서 지속적으로 사망률 증가와 관련이 있음이 보고되고 있다(Park *et al.*, 2013).

입자상 물질은 급성 및 호흡기계 사망률뿐만 아니라 심혈관계 사망률 또는 입원율도 증가시키며(Atkinson *et al.*, 2013), 어린이나 천식 환자, 고령자 등과 같이 상대적으로 취약한 환자들에게 더 큰 영향을 미친다는 결과도 발표되었다(Faustini *et al.*,

2012). 입자상 물질의 건강 영향은 기후 또는 기상 변화의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Diaz *et al.*, 2012), 기후의 변화는 입자상 물질 뿐만 아니라 오존과 이산화황, 질소산화물, 일산화탄소 등과도 중요한 연관성을 가지는 것으로 보고되고 있다(장안수, 2011).

Hales *et al.* (2000)의 연구에 의하면 PM₁₀ 농도가 10 μ g/m³ 증가할 때 전체 사망률은 1%, 호흡기계 사망률은 4% 증가하였고, APEHA 15개 도시에서 조사한 연구에서는 오존 농도가 25.5ppb 증가할 때 전체 사망률은 1~5% 증가, 이산화질소 농도가 25.6ppb 증가할 때 전체 사망률 1% 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 대기오염 물질의 농도를 낮추려는 노력의 일환으로 우리나라에서는 이산화황, 이산화질소, 미세먼지, 오존, 일산화탄소, 납 등 6개의 물질을 대기환경 기준 물질로 선정하여 관리하고 있다. 하지만 대기오염은 비록 환경기준 이하라 하더라도 여전히 국민 건강에 위협을 주고 있으며 특히 이러한 영향은 생물학적 양자인 어린이나 노약자 등과 같은 민감집단의 천식이나 심혈관계 질환과 같은 만성질환자에게 더 큰 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(조용성 등, 2003).

이처럼 대기오염이 호흡기계와 심혈관계 질환 등의 질병과 사망을 증가시킨다는 것은 이미 널리 알려져 있으며, 많은 역학 연구가 호흡기, 심혈관 관련 사망률을 비롯한 전체 사망률과 입원율을 지표로 하여 사람의 건강과 대기오염 농도와와의 관련성을 제시하고 있다(Wong *et al.*, 2008).

환경관리의 궁극적인 목표는 불특정 다수가 비자의적으로 노출되는 환경매체를 통한 일반대중의 환경보건학적 위해성 저감에 있다. 최근까지도 유해대기오염물질의 저농도·장기간 노출에 의한 발암 등 만성적인 건강피해에 대한 민·관원이 지속적으로 제기되고 있으며, 이를 해결하기 위해 지역주민에 대한 환경오염 노출 수준 및 건강영향 등의 장기적이고 체계적인 추적조사가 필요하다(국립환경과학원, 2011).

따라서, 본 연구에서는 우리나라 국가산단인 여수 지역을 대상으로 2001년부터 2011년까지 11년간의 대기, 기상, 사망자료를 이용하여 대기오염물질인 미세먼지(PM₁₀)와 이산화황(SO₂)이 총 사망 및 심혈관계 사망에 미치는 영향을 확인하고자 한다.

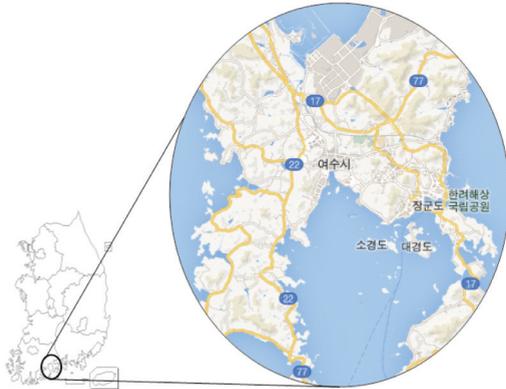


Figure 1. Map of study area in Yeosu.

II. 연구 방법

1. 연구대상지역

본 연구대상 지역인 여수지역은 대규모 국가산단 지역으로서 1967년부터 중화학공업 육성시책에 의해 조성 되었고, 안전사고 및 환경오염으로 인한 피해분쟁이 빈번한 지역이다. 또한 국가에서 지정한 오염심화지역으로 ‘환경정책기본법’에 의하여 대기보전특별대책지역으로 지정되었으며, 엄격 배출허용기준(기존시설)과 특별 배출허용기준(신규시설)을 적용하여 일반지역보다 관리를 강화하고 있는 지역이다(Fig. 1).

2. 분석방법

1) 연구자료

사망자료는 여수시에서 발생된 사망자료를 통계청으로부터 얻어 일별 사망자수를 산출하였고, 외인사(ICD, V01-Y89)를 제외한 총 사망(ICD 10th, A00-R99)과 심혈관계 사망(ICD 10th, I00-I99)으로 구분하여 분석하였다. 또한 대기오염 노출의 민감집단을 확인하기 위하여 전체연령, 소아(0~15세), 노인(65세 이상)으로 나누어 분석하였다. 대기자료는 자동 측정망에서 측정하고 있는 5개 물질 중에서 심혈관계 질환과 사망에 영향을 주는 것으로 알려져 있는 PM₁₀과 SO₂를 대기오염 노출지표로 선정하였다(Luo et al., 2013). 상시 측정된 PM₁₀과 SO₂ 물질의 자료를 국립환경과학원으로부터 얻어 일일평균값을 사용

하였으며, PM₁₀의 경우 황사일은 제외하였다. 기상자료는 기상청에서 측정한 자료 중 기온, 상대습도 및 해면기압을 이용하여 사망 발생과 동일한 날의 기상자료를 혼란변수로 적용하여 분석하였으며, 이들 자료의 일별 평균값을 이용하였다.

2) 일반화부가모델(Generalized Additive Model, GAM)

시계열 분석(time-series)의 자기상관성(autocorrelation)을 보정하고, 추세변동, 계절변동, 기상요인 및 요일 효과로 나타나는 혼란 요인들을 보정하기 위해 GAM을 이용하였다(신지혜, 2014). GAM을 이용한 시계열 연구에서는 하루의 전체인구집단과 인구집단에 영향을 주는 위해요소의 효과를 보기 때문에 연령이나 성 등과 같은 개인적인 차이를 고려하지 않아도 되는 특성이 있다. GAM은 일반적인 선형회귀 모형처럼 예측변수 X와 반응변수 Y사이의 관계를 나타내는 특정함수 형태가 있는 것이 아니라 실제 자료에 근거하여 요약된 그림의 형태로 표현해 주는 특징을 갖는데 이는 선형성을 가정하기 힘든 경우 둘 사이의 관계를 파악할 수 있다는 장점이 있으나 통계 모델이기 때문에 절대적인 의미 보다는 추정과 대표성을 갖는 경향을 제시하는 것으로 해석하는 신중함이 요구된다(주영경, 2014).

3) 통계처리방법

본 연구의 종속변수는 여수시에서 발생된 당일 사망자수 중 총 사망과 심혈관계 사망자료를 사용하였고, 독립변수는 대기오염물질(PM₁₀, SO₂)과 요일(day of week) 그리고 기온, 상대습도 및 해면기압 등의 기상변수를 이용하였다. 대기오염의 건강영향을 평가하는데 있어서 사망에 영향을 미치는 독립변수들은 당일뿐만 아니라 며칠 후에도 영향을 줄 수 있으므로 지연효과(lag effect 또는 induction time)를 고려하여 분석하였다. 모형의 적절성은 AIC(Akaike's information criterion)의 값이 작을수록 높아진다. 모형을 적용하는데 있어 T₁(smoothed function of date), T₂(T₁ + indicator variables for day of week)의 단계에서는 당일의 효과를 사용하였으며, W(T₂ + smoothing function of TEMP + HUMD+ PRESSURE),

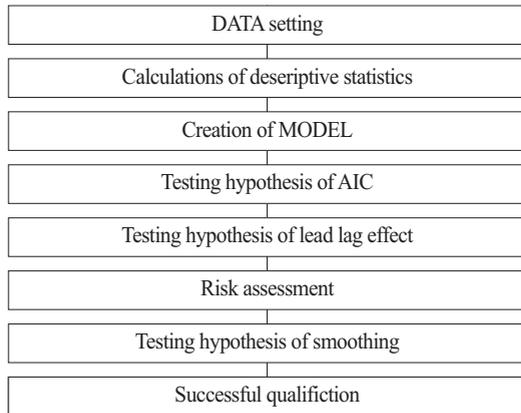


Figure 2. Method procedure.

P(Pollutant(covariate))의 단계에서는 0~7일 사이에 조합이 가능한 36가지의 평균효과 중 AIC를 가장 작게 하는 효과를 고려하였다. 전체 오염물질의 단위와 변동정도가 차이가 있기 때문에 오염물질에 대한 사망의 효과를 볼 때 일관성 있는 기준이 필요하고, 전체변동에서 25%에서 75% 사이에 해당하는 값(제3 사분위수-제1 사분위수)인 사분위수를 사용하여 사분위수(interquartile range, IQR)만큼 농도가 증가할 때 사망자가 얼마나 증가할 위험이 있는지 살펴보았다.

사망에 대한 장기추세, 계절변동, 기온, 습도, 기압, 요일 효과들이 포함된 최종 모형은 다음과 같다.

$$\text{LnE(Daily death count)} = S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + S(\text{humidity}) + S(\text{pressure}) + D(\text{day of the week})$$

+ PM₁₀, SO₂의 농도

여기서, S는 Loess 평활함수이며, D는 가변수(Dummy variable)를 나타내었다.

원자료의 분석은 SAS 8.1(SAS Institute, Inc., Cary, NC)을 이용하였고, GAM에 적합시키는 것은 SPLUS 2000(Statistical Sciences, Seattle, WA)을 사용하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 연구지역의 특성

2001년부터 2011년까지 일별 사망자수의 평균값, 대기오염물질 및 기상변수에 대한 평균값, 표준편차 및 분포는 Table 1과 같다. 광양지역의 기술통계 결과, 11년간의 일 평균 사망 중 전체연령의 총 사망과 심혈관계 사망자수는 각각 4.28명, 1.01명 이었다. 0~15세 그룹의 경우 총 사망과 심혈관계의 일 평균 사망은 각각 0.04명, 0.00명 이었고, 11년간 대상자 수는 각각 162명, 11명으로 적은 사망자수로 인하여 결과 해석시 주의가 필요하다. 65세 이상 그룹의 경우 일 평균 사망자수는 총 사망 3.09명, 심혈관계 사망 0.80명으로 나타났다. 대기오염물질 PM₁₀과 SO₂의 연평균 농도는 각각 43.23μg/m³, 12.74ppb로 대기환경기준의 연간 평균치(PM₁₀ 50μg/m³, SO₂ 20ppb)를

Table 1. Summary statistics for daily death, pollutants, weather (2001~2011)

		N ^a	Min ^b	Percentile			Max ^c	Mean	SD ^d	IQR ^e
				25 th	50 th	75 th				
Total death counts	All aged	17535	0.00	3.00	4.00	6.00	16.00	4.28	2.21	3.00
	0 ~ 15 aged	162	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.04	0.20	0.00
	≤ 65 aged	12666	0.00	2.00	3.00	4.00	15.00	3.09	1.87	2.00
Circulatory death counts	All aged	4155	0.00	0.00	1.00	2.00	7.00	1.01	1.02	2.00
	0 ~ 15 aged	11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.05	0.00
	≤ 65 aged	3287	0.00	0.00	1.00	1.00	7.00	0.80	0.91	1.00
Air pollutants	PM ₁₀ (μg/m ³)	3671	7.33	27.75	38.00	52.71	199.17	43.23	22.07	24.96
	SO ₂ (ppb)	3901	0.63	5.54	9.58	17.21	67.21	12.74	9.80	11.67
Weather	Temperature(°C)	4017	-7.13	7.58	15.56	21.55	29.19	14.51	8.29	13.98
	Humidity(%)	4017	16.96	50.21	63.79	78.63	98.83	63.90	17.40	28.42
	Barometric pressure(hPa)	4017	983.16	1010.46	1016.23	1021.81	1035.50	1016.09	7.39	11.35

^aNumber of sample size, ^bMinimum, ^cMaximum, ^dStandard deviation, ^eInterquartile range

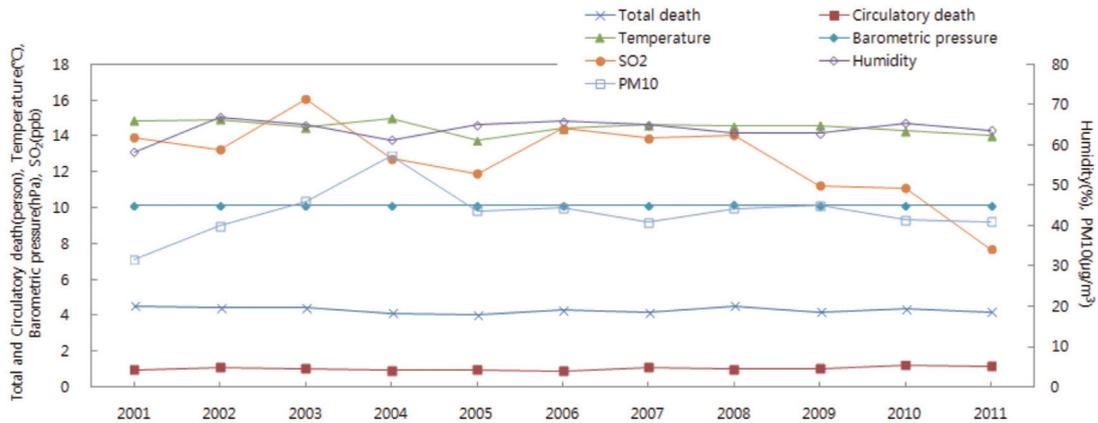


Figure 3. Annual average concentration in Yeosu.

초과하지 않았다. 대기오염물질의 농도가 환경기준을 초과하고 있지는 않지만 환경기준치 이하의 대기오염물질에 노출되었음에도 불구하고 인체위해성이 규명되고 있어 안전하다고 말할 수 없으며, 앞으로 우리나라 환경 기준에 대한 검토가 필요하다고 생각된다(주영경, 2014). 기온, 상대습도 및 해면기압의 일평균은 각각 14.51°C, 63.89%, 1016.09hPa로 나타났다.

2. 모델 적합도 검정(AIC) 결과

Table 2는 사망과 환경오염과의 상관성 분석에서 이용된 모델의 종속변수로 사용한 총 사망자수 및 심혈관계 사망자수와 독립변수로 사용된 날짜, 요일, 기온, 습도, 대기 중 오염물질 SO₂농도의 관련성을 평가하기 위한 포아송 회귀모델식의 적절성을 확인하기 위하여 AIC를 통해 평가한 결과이다. AIC 값이 작을수록 모델 적합성이 증가하는 결과를 나타내는 것이며, Table 2에서 제시된 바와 같이 독립 변수들을 추가할수록 AIC값이 작아져 최종적인 모델에서는 가장 적은 결과를 나타내었다.

3. 대기오염물질의 영향 분석

1) 미세먼지(PM₁₀)

여수지역의 사망원인 별 대기오염물질의 영향분석 결과, 총사망의 경우 전체연령과 65세 이상, 그리고 심혈관계 사망의 모든 연령 그룹에서 사망의 위해도

가 오히려 감소하는 경향을 보였으나 모두 유의한 결과는 아니었다. 총 사망에서의 0~15세 그룹에서 PM₁₀농도가 24.96µg/m³(IQR)만큼 증가함에 따라 총 사망의 위해도가 12.9% 증가하였으나 유의하지는 않았다. 이는 여수의 전체연령 사망자수는 17,535명이었으나 0~15세의 사망자수는 162명밖에 되지 않았기 때문에 이러한 결과가 나타날 가능성이 있는 것으로 생각되며, 해석의 신중함이 요구된다.

PM₁₀농도가 높아짐에 따라 총 사망과 심혈관계 사망의 위해도가 유의하지는 않지만 감소하는 경향을 보였다. PM₁₀의 지연효과는 총 사망과 심혈관계 사망의 모든 연령 그룹에서 사망 당일부터 7일 전 SO₂농도(lagM7)와 가장 관련성이 높은 것으로 나타났다. PM₁₀ 농도가 10µg/m³ 증가함에 따라 미국의 Birmingham(ER(excess risk): -0.01%)과 Canton(ER:-0.02%)(Schwartz, 2004), 독일의 Erfurt(ER:-0.07%)(HEI, 2012), 스페인의 Santa Cruz de Tenerife(ER:-0.57%)(López-Villarrubia *et al.*, 2012)을 대상으로 한 연구에서도 PM₁₀농도가 증가할수록 유의하지는 않지만 총 사망률이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 심혈관계 사망의 경우 PM₁₀ 농도가 10µg/m³ 증가시 타이완의 Taipei(ER:-0.10%)(Yang *et al.*, 2004), 칠레의 Concepción(ER:-0.37%)(HEI, 2012), 쿠웨이트(ER:-0.10%)(Al-Taiar and Thalib, 2012)의 연구결과에서도 PM₁₀농도 증가시 심혈관계 사망률이 감소하는 것으로 나타나 본 연구

Table 2. Schematic procedure of building a model to describe the variation

	Description of model	Total death AIC ^a	Circulatory death AIC
All aged	Time		
	T ₁ : smoothed function of date	4855.996	4364.658
	T ₂ : T ₁ + indicator variables for day of week	4848.019	4364.854
	Weather		
	W: T ₂ + smoothing function of TEMP ^b + HUMD ^c + PRESSURE ^d	3948.297	4155.792
	Pollutant(covariate)		
	W + PM ₁₀	3310.996	3468.370
	W + SO ₂	3760.321	3935.405
0 ~ 15 aged	Time		
	T ₁ : smoothed function of date	727.294	68.273
	T ₂ : T ₁ + indicator variables for day of week	729.076	70.543
	Weather		
	W: T ₂ + smoothing function of TEMP ^b + HUMD ^c + PRESSURE ^d	719.336	60.097
	Pollutant(covariate)		
	W + PM ₁₀	592.785	49.164
	W + SO ₂	692.567	58.315
≤ 65 aged	Time		
	T ₁ : smoothed function of date	4848.780	4620.281
	T ₂ : T ₁ + indicator variables for day of week	4850.459	4622.580
	Weather		
	W: T ₂ + smoothing function of TEMP ^b + HUMD ^c + PRESSURE ^d	4094.678	4299.972
	Pollutant(covariate)		
	W + PM ₁₀	3310.810	3563.040
	W + SO ₂	3912.669	4055.787

^aAkaike's information criterion, ^bAir temperature, ^cRelative humidity, ^dBarometric pressure

결과와 같은 결과를 보였다. 정애란 (2013)의 PM₁₀ 증가에 따른 사망률 변화에 대한 문헌고찰을 한 연구에 따르면, 아시아가 상대적으로 총 사망률에서 낮은 증가율을 보였는데, 이는 상대적으로 높은 PM₁₀ 농도와 선진화되지 못한 사망률 보고 체계로 인하여 누락된 사망 데이터, 그리고 선진국에 비해 늦게 시작된 아시아의 대기 오염 연구 결과가 누적 되고 있기 때문일 것이라는 가능성을 제기하였다. 또한 PM₁₀ 농도가 높아질수록 총 사망 및 심혈관계 사망 증가율이 낮아져(Wong *et al.*, 2008), 높은 농도에 노출된 인구집단일수록 낮은 농도에 노출된 인구집단에 비해 민감도가 낮아질 것이라는 가설을 제시하였다. 이러한 가설과 더불어 대기 중 입자상 오염물질이 건강에 영향을 줄 수 있는 다른 영향요인들에 대해서도 연구

가 필요할 것으로 생각된다.

2) 이산화황(SO₂)

SO₂의 영향분석 결과, 총 사망의 경우 농도가 11.67ppb(IQR) 증가함에 따라 전체연령과 0~15세는 각각 3.0%, 22.4%로 사망률이 증가하는 것으로 나타났으나 유의하지는 않았다. 65세 이상의 경우에는 SO₂ 농도가 11.67ppb(IQR) 증가함에 따라 사망 위험도가 5.0%(CI: 1.012-1.090) 증가하였고, 통계적으로도 유의하였다. 심혈관계 사망의 경우 전체연령은 SO₂ 농도가 IQR 증가함에 따라 심혈관계 사망의 위험도가 8.6% 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 민감집단인 0~15세와 65세 이상은 SO₂ 농도가 11.67ppb(IQR) 증가함에 따라 심혈관계 사망의 위해

Table 3. Poisson regression analysis of daily mortality and PM₁₀, SO₂ pollutant with selected best lag time

		Total mortality		Cardiovascular mortality	
		RR ^a	95% CI ^b	RR	95% CI
PM ₁₀	All aged	0.983	(0.954-1.014)	0.965	(0.904-1.029)
	0 ~ 15 aged	1.129	(0.706-1.807)	0.395	(0.030-5.268)
	≤ 65 aged	0.991	(0.955-1.027)	0.957	(0.891-1.029)
SO ₂	All aged	1.030	(0.998-1.063)	1.086	(1.017-1.159)
	0 ~ 15 aged	1.224	(0.737-2.033)	1.525	(0.453-5.126)
	≤ 65 aged	1.050	(1.012-1.090)	1.068	(0.993-1.149)

^aRelative risk, ^bConfidence interval.

도가 각각 52.5%, 6.8% 증가하는 경향을 보였다. SO₂의 지연효과는 PM₁₀과 같이 총 사망과 심혈관계 사망의 모든 연령 그룹에서 사망 당일부터 7일 전 SO₂농도(lagM7)와 가장 관련성이 높은 것으로 분석되었다. 본 연구결과, 11년간 여수지역의 SO₂의 연평균 농도는 12.74ppb로 대기환경기준치 이하임에도 불구하고 총 사망 및 심혈관계 사망에 유의하게 영향을 주는 것으로 나타났다.

SO₂의 영향분석 결과, 총사망과 심혈관계 사망 모두 SO₂ 농도가 증가할수록 사망의 위험도가 증가하였다. 총 사망의 경우 독일의 Erfurt는 14.3 μ g/m³ (IQR) 증가함에 따라 총 사망의 위험도가 6.0% 증가하였다(HEI, 2012). 또한 SO₂ 농도가 10 μ g/m³ 증가함에 따라 태국의 Bangkok(ER:1.61%), 중국의 Wuhan(ER:1.19%)의 총 사망의 위험도가 증가하였다(Wont *et al.*, 2008). 심혈관계 사망의 경우 SO₂ 농도가 10 μ g/m³ 증가시 중국의 홍콩(ER:0.10%)과 Wuhan(ER:1.47%)(Wong *et al.*, 2008)의 연구에서도 심혈관계 사망의 위험도가 증가하는 양상으로 나타나 본 연구와 같은 결과를 보였다.

SO₂의 농도 수준과 총 사망의 전 65세 이상 및 심혈관계 사망의 전 연령층에 대한 사망과 상대위험도 간의 관계를 비모수적 방법에 의해 Fig. 1에 나타내었다. 총 사망의 65세 이상에서는 저농도에서는 상대위험도가 증감을 반복하다가 일정농도 이상에서는 증가하는 추세로 나타났고, 심혈관계 사망의 경우 전체연령에서는 30ppb이하에서는 증가 및 감소를 반복하다가 이후부터 상대위험도가 증가하는 양상을 보였다.

본 연구결과, 특히 65세 이상 노인그룹에서는 SO₂가 증가할수록 심혈관계 사망에 영향을 받는 것으로 나타났고 중국, 상하이에서 2001년부터 2004년까지 일별 사망을 분석한 연구에서도 65세 이상 노인그룹이 대기오염에 가장 취약한 것으로 보고되었고, 이는 어린 연령에 비하여 호흡기계 및 심혈관계 질환에 이미 노출되어 있을 가능성이 있으며, 심혈관 및 폐질환 등의 질환자와 중복될 수 있는 것으로 설명하였다(Kan *et al.*, 2008). 노인과 함께 대기오염에 민감한 집단이라고 보고되고 있는 15세 미만 어린이는 총 사망 위험도가 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이는 2000년부터 2006년 서울시 지역을 대상으로 연구한 손지영 등(2009)의 연구결과와 같은 경향을 보였다. 15세 미만어린이의 경우 유의한 결과를 나타내지는 않았으나 총 사망의 위험도가 22.4%, 심혈관계 사망의 위험도는 52.5%로 SO₂가 민감군인 어린이에게 영향을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

일반적으로 폭로수준이 낮고 폭로범위가 광범위한 대기오염의 건강영향연구에서는 노출평가의 정확성 여부, 대상지역의 고도, 인구밀도, 흡연 등의 강력한 교란요인 보정 문제, 대기오염물질 상호간 및 상병, 사망 양상의 자기상관성(autocorrelation)등이 해결해야 할 중요 요인으로 제시되고 있다(Romieu *et al.*, 2012). 본 연구는 시단위로 분석하여 사망자 수, 특히 0~15세가 상당히 적어 위험도를 확인하는데 있어 신중함이 요구되고, 실외의 측정망 자료만을 이용하여 실내오염이 사망에 미치는 영향을 고려하지 못하였다. 이러한 제한점에도 불구하고 대기오염물질이 사망에 줄 수 있는 영향이 실제로 존재한다고 평

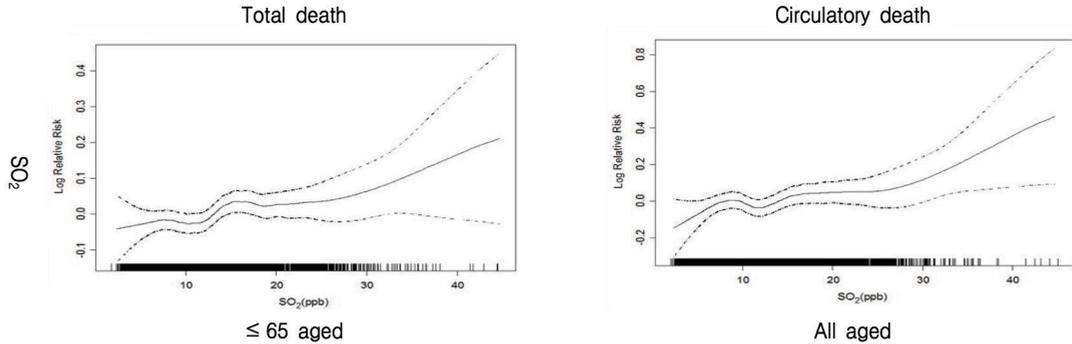


Figure 4 . Log relative risk of total death count and Circulatory death of SO₂ for long-term time trends and weather information in Yeosu, 2001-2011.

가할 수 있다.

본 연구결과, 11년간의 여수의 평균 대기오염 농도 수준은 대기환경기준을 만족하고 있으나 최근에는 현재의 대기환경 기준이 대기오염으로부터 건강을 보호해줄 수 있을 만큼 안전한 지에 대해서 많은 의문점들이 제기되는 등 대기오염의 중요성은 갈수록 커지고 있다(윤석준 등, 2002). 특히, 여수의 경우 국가적으로 인정한 오염심화지역으로 최종적인 환경오염원의 건강영향 종착점인 사망간의 관련성을 볼 때는 이와 같은 일부 오염물질이 고농도 노출이 아닌 일상생활에서의 낮은 수준의 노출이지만 이러한 저농도의 노출에서도 건강에 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났고(박희진 등, 2014), 우리나라를 포함한 선진국의 대도시를 대상으로 한 연구(조용성 al., 2003; Kan et al., 2008)에서도 장기적으로 허용기준을 만족하는 대기오염 수준이라 할지라도, 단기적 대기오염 수준의 변동이 대기오염 관련 질환의 사망률, 입원건수, 응급실 방문건수, 외래 방문 건수 등에 유의한 영향을 주는 것으로 보고된 바 있어 사망자료에 비해 데이터의 양이 방대한 상병자료와 대기오염물질간의 상관성 분석을 실시하여 지속적인 관찰이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 2001년 1월부터 2011년 12월까지의 여수시 일일 사망자료와 환경측정자료 및 기상자료를 이용하여하여 대기오염(PM₁₀, SO₂)이 일별 총 사망

과 심혈관계 사망에 미치는 영향을 추정하였다.

1. 대기오염과의 상관성분석은 S-Plus 프로그램을 이용한 generalized additive models(GAM)을 적용하여 시계열(Time-Series) 분석법을 실시하였다.
2. 대기오염물질 PM₁₀과 SO₂의 연평균 농도는 각각 43.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 12.74ppb로 두 물질 모두 대기환경기준치를 초과하지 않았다.
3. PM₁₀의 영향분석 결과, 총사망은 0~15세 그룹에서 PM₁₀농도가 24.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 증가함에 따라 총 사망의 위험도가 12.9% 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았고, 전체연령과 65세 이상에서는 사망에 대한 영향이 감소하였다.
4. 심혈관계 사망은 PM₁₀농도가 24.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 증가할수록 모든 연령 그룹에서 사망 위험도에 영향을 주는 정도는 통계적으로 명확하게 나타나지 않았다.
5. SO₂의 영향분석 결과, 총 사망은 11.67ppb 증가함에 따라 전체연령과 0~15세는 각각 3.0%, 22.4%로 사망의 위험도가 증가하였고, 65세 이상은 5.0% 유의하게 증가하는 것으로 나타났다.
6. 심혈관계 사망의 경우 SO₂농도가 11.67ppb 증가시 전체연령은 사망의 위험도가 8.6% 유의하게 증가하였고, 0~15세와 65세 이상은 각각 52.5%, 6.8% 증가하는 경향을 보였다.

본 연구는 시단위로 분석하여 사망자 수가 적어 위험도를 확인하는데 있어 신중함이 요구되고, 실외의 측정망 자료만을 이용하여 실내오염이 사망에 미치

는 영향을 고려하지 못하였다. 이러한 제한점에도 불구하고 대기오염물질이 사망에 줄 수 있는 영향이 실제로 존재한다고 평가할 수 있으며, 추후 사망자료에 비해 데이터의 양이 방대한 상병자료와 대기오염물질간의 상관성 분석을 실시하여 지속적인 관찰이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

- 국립환경과학원. 2011. 주요 국가산단 주민건강영향조사 사업평가 및 개선방안 연구.
- 박희진, 문찬석, 우경숙, 김근배, 강택신, 정은경, 김용배, 손부순. 2014. 요증 비소농도와 혈압과의 관련성에 관한 연구. 한국산업위생학회지, 24(2), 137-145.
- 백성욱, 전찬근. 2013. 우리나라 유해대기오염물질의 관리현황과 개선방향 -환경대기 모니터링 문제를 중심으로-, 한국대기환경학회지, 29(5), 513-527.
- 손지영, 조용성, 김윤신, 이종태, 김연정. 2009. 도시 대기오염의 위해 평가에 있어서 황사효과 분석 -서울시 총 사망 및 원인별 사망률에 미치는 영향-, 한국환경보건학회지, 35(4), 249-258.
- 신지혜. 2014. 동아시아 4개국(한국, 중국, 일본, 대만)에서 일교차가 심혈관계 및 호흡기계 질환 사망에 미치는 영향. 석사학위 논문. 서울대학교 보건대학원.
- 윤석준, 하범만, 강종원, 권호장. 2002. 장애에 따른 상실생존년수를 활용한 대기 중 총먼지와 아황산가스가 심혈관계질환에 미치는 영향 측정, 예방의학회지, 35(2), 92-98.
- 장안수. 2011. 기후변화와 대기오염, 대한의사협회지, 54(2), 175-180.
- 정애란. 2013. 미세먼지 PM₁₀ 증가에 따른 사망률 변화에 대한 체계적 문헌고찰, 석사학위 논문, 연세대학교 대학원.
- 조용성, 이종태, 김윤신, 홍승철, 김호, 하은희, 박혜숙, 이보은. 2003. 서울시 대기오염과 일별 사망의 상관성에 관한 시계열적 연구 (1998~2001년), 한국대기환경학회지, 19(6), 625-637.
- 주영경. 2014. 메타 분석을 이용한 국내 국가 산업단지 대기오염과 호흡기 및 심혈관계 사망간의 관련성, 석사학위 논문, 한양대학교 대학원.
- Al-Ta'iar A, Thalib L. 2012. Short-term effect of dust storms on the risk of mortality due to respiratory, cardiovascular and all-causes in Kuwait. International Journal Of Biometeorology, 58(1), 69-77.
- Atkinson R, Carey I, Kent A, van Staa T, Anderson H, Cook D. 2013. Long-term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases. Epidemiology (Cambridge, Mass.), 24(1), 44-53.
- Díaz J, Tobías A, Linares C. 2012. Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality: a case-crossover analysis in Madrid (Spain), Environmental Health: A Global Access Science Source [serial online], March 8, 11: 11.
- Faustini A, Stafoggia M, Cappai G, Forastiere F. 2012. Short-term effects of air pollution in a cohort of patients with chronic obstructive pulmonary disease, Epidemiology (Cambridge, Mass.), 23(6), 861-879.
- Hales S, Salmond C, Town G, Kjellstrom T, Woodward A. 2000. Daily mortality in relation to weather and air pollution in Christchurch, New Zealand. Australian & New Zealand Journal Of Public Health, 24(1), 89-91.
- Health Effects Institute (HEI). 2012. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA Study), Research Report 171, Boston, Massachusetts.

- Kan H, London S, Chen G, Zhang Y, Song G, Zhao N, Jiang L, Chen B. 2008. Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China: the Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study, *Environmental Health Perspectives*, 116(9), 1183-1188.
- López-Villarrubia E, Iñiguez C, Peral N, García MD, Ballester F. 2012. Characterizing mortality effects of particulate matter size fractions in the two capital cities of the Canary Islands. *Environmental Research*, 112, 129-138.
- Luo Y, Zhang Y, Liu T, Rutherford S, Xu Y, Xu X, Wu W, Xiao J, Zeng W, Chu C, Ma W. 2013. Lagged Effect of Diurnal Temperature Range on Mortality in a Subtropical Megacity of China. *Plos ONE*, 8(2), 1-10.
- Park HY, Bae SH, Hong YC. 2013. PM₁₀ exposure and non-accidental mortality in Asian populations: a meta-analysis of time-series and case-crossover studies, *Journal Of Preventive Medicine And Public Health*. 46(1), 10-18.
- Romieu I, Gouveia N, Cifuentes LA, de Leon AP, Junger W, Vera J, Hurtado-Diaz M, Miranda-Soberanis V, Rojas-Bracho L, Carbajal-Arroyo L, Tzintzun-Cervantes G. 2012. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study), *Research Report (Health Effects Institute)*, 171, 5-86.
- Schwartz J. 2004. The effects of particulate air pollution on daily deaths: a multi-city case crossover analysis, *Occup Environ Med*, 61, 956-961.
- Wong C, Vichit-Vadakan N, Kan H, Qian Z. 2008. Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): a multicity study of short-term effects of air pollution on mortality, *Environmental Health Perspectives*, 116(9), 1195-1202.
- World Health Organization (WHO). 2014. Burden of disease from Household Air Pollution for 2012.
- Yang C, Chang C, Chuang H, Tsai S, Wu T, Ho C. 2004. Relationship between air pollution and daily mortality in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *Environment International*, 30(4), 519-523.

References

- Al-Taiar A, Thalib L. 2012. Short-term effect of dust storms on the risk of mortality due to respiratory, cardiovascular and all-causes in Kuwait. *International Journal Of Biometeorology*, 58(1), 69-77.
- Atkinson R, Carey I, Kent A, van Staa T, Anderson H, Cook D. 2013. Long-term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 24(1), 44-53.
- Baek SO, Jeon CG. 2013. Current Status and Future Directions of Management of Hazardous Air Pollutants in Korea - Focusing on Ambient Air Monitoring Issues -, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(5), 513-527.
- Cho YS, Lee JT, Kim YS, Hong SC, Kim H, Ha EH, Park HS, Lee BE. 2003. A time-series study of ambient air pollution in relation to daily mortality in Seoul, 1998~2001년, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 19(6), 625-637.

- Díaz J, Tobías A, Linares C. 2012. Saharan dust and association between particulate matter and case-specific mortality: a case-crossover analysis in Madrid (Spain), *Environmental Health: A Global Access Science Source* [serial online], March 8, 11:11.
- Faustini A, Stafoggia M, Cappai G, Forastiere F. 2012. Short-term effects of air pollution in a cohort of patients with chronic obstructive pulmonary disease, *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 23(6), 861-879.
- Hales S, Salmond C, Town G, Kjellstrom T, Woodward A. 2000. Daily mortality in relation to weather and air pollution in Christchurch, New Zealand. *Australian & New Zealand Journal Of Public Health*, 24(1), 89-91.
- Health Effects Institute (HEI). 2012. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA Study), Research Report 171, Boston, Massachusetts.
- Jang AS. 2011. Climate change and air pollution, *Journal of Korean Medical Association*, 54(2), 175-180.
- Joo YK. 2014. Relationship among the mortality of cardiovascular, respiratory and Nation Industrial complex air pollution using meta analysis. M. S dissertation, University of Hanyang, Seoul.
- Jung AR. 2013. Effect of PM₁₀ on mortality: systematic review and Meta-analysis, M.S dissertation, University of Yonsei, Seoul.
- Kan H, London S, Chen G, Zhang Y, Song G, Zhao N, Jiang L, Chen B. 2008. Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on the daily mortality in Shanghai, China: the Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study, *Environmental Health Perspectives*, 116(9), 1183-1188.
- López-Villarrubia E, Iñiguez C, Peral N, García MD, Ballester F. 2012. Characterizing mortality effects of particulate matter size fractions in the two capital cities of the Canary Islands. *Environmental Research*, 112, 129-138.
- Luo Y, Zhang Y, Liu T, Rutherford S, Xu Y, Xu X, Wu W, Xiao J, Zeng W, Chu C, Ma W. 2013. Lagged Effect of Diurnal Temperature Range on Mortality in a Subtropical Megacity of China. *Plos ONE*, 8(2), 1-10.
- National Institute of Environmental Research. 2011. Major National Industrial complex health survey impact assessment and improved research studies.
- Park HJ, Woo KS, Moon CS, Kim GB, Kang TS, Chung EK, Kim YB, Son BS. 2014. Association Between Blood Pressure and Urinary Arsenic Concentration in Industrial Areas. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*, 24(2), 137-145.
- Park HY, Bae SH, Hong YC. 2013. PM₁₀ exposure and non-accidental mortality in Asian populations: a meta-analysis of time-series and case-crossover studies, *Journal Of Preventive Medicine And Public Health*, 46(1), 10-18.
- Romieu I, Gouveia N, Cifuentes LA, de Leon AP, Junger W, Vera J, Hurtado-Diaz M, Miranda-Soberanis V, Rojas-Bracho L, Carbajal-Arroyo L, Tzintzun-Cervantes G. 2012. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study), Research Report

- (Health Effects Institute), 171, 5-86.
- Schwartz J. 2004. The effects of particulate air pollution on daily deaths: a multi-city case crossover analysis, *Occup Environ Med*, 61, 956-961.
- Shin JH. 2014. The Effect of Diurnal temperature range on Cardiovascular and Respiratory Mortality in East Asia(Korea, China, Japan, Taiwan), M.S dissertation, University of Seoul, Seoul.
- Son JY, Cho YS, Kim YS, Lee JT, Kim YJ. 2009. An Analysis of Air Pollution Effect in Urban Area Related to Asian Dust on All-cause and Cause-specific Mortality in Seoul, Korea, 2000-2006, *Journal of Environmental Health Sciences*, 35(4), 249-258.
- Wong C, Vichit-Vadakan N, Kan H, Qian Z. 2008. Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA): a multicity study of short-term effects of air pollution on mortality, *Environmental Health Perspectives*, 116(9), 1195-1202.
- World Health Organization (WHO). 2014. Burden of disease from Household Air Pollution for 2012.
- Yang C, Chang C, Chuang H, Tsai S, Wu T, Ho C. 2004. Relationship between air pollution and daily mortality in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *Environment International*, 30(4), 519-523.
- Yoon SJ, Ha BM, Kang JW, Kwon HJ. 2002. Quantifying the burden of cardiovascular disease attribution to total suspended particulate and sulfur dioxide using years lived with disability, *Korean Journal of Preventive Medicine*, 35(2), 92-98.