

ORIGINAL ARTICLE

고농도 오존발생시 취약계층 노출 인구 현황 및 변화

강재은 · 방진희¹⁾ · 오인보²⁾ · 김유근¹⁾*

낙동강유역환경청 측정분석과, ¹⁾부산대학교 지구환경시스템학부, ²⁾울산대학교 의과대학 환경보건센터

Estimation and Variation of an Exposed Population of a Vulnerable Group to High Ozone Episodes

Jae-Eun Kang, Jin-Hee Bang¹⁾, In-Bo Oh²⁾, Yoo-Keun Kim¹⁾*

Division of Monitoring and Analysis, Nakdong River Basin Environmental Office, Changwon 641-722, Korea

¹⁾*Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

²⁾*Environmental Health Center, University of Ulsan College of Medicine, Ulsan 682-714, Korea*

Abstract

The exposed population of a vulnerable group to high ozone episodes (exceeding 60 ppb/8h) was estimated in Busan metropolitan city from 2000 to 2010. The frequency of high ozone days at monitoring sites and the number of the population aged over 65 were used to calculate the accumulated (total, seasonal, and yearly) number of the exposed older population (EOP) to high ozone episodes during the study period based on administrative areas, by interpolation and zonal mean methods in ArcGIS software. The older population in this city had increased significantly from 2000 to 2010 (representing over 10% of the total population in 2010). The vulnerable areas (e.g. the eastern area of the city) of the EOP to high ozone episodes were different from the areas with frequent high ozone episodes (e.g., the western area) due to the increase of the older population in particular areas. The difference was more significant in spring than in any other season, and in 2010 than in previous years (2000 and 2005).

Key words : Population exposure, Ozone, Vulnerable populations, ArcGIS, Interpolation

1. 서론

기후변화는 기상 및 대기질을 변화시키고, 이는 인간 및 생태계에 영향을 주게 된다. 최근의 도시 내 기후변화는 폭염 및 열대야 발생빈도의 증가 등으로 나타나고 있으며, 기온상승은 도시 내 오존을 비롯한 유해 광화학 오염물질의 고농도 발생을 증가시켜 도시민의 건강을 악화시킨다. 실제로 최근 중국 베이징에

서는 최다빈도의 심각한 스모그 현상으로 호흡기질환자가 급증한 사례가 있으며, 국내에서는 기후변화 등의 기온상승에 의한 오존 농도 증가가 심혈관계 관련 질환 및 천식의 유병률 및 사망률 증가와 관련된다는 연구결과가 제시된 바 있다(Korea Environment Institute (KEI), 2010; Park 등, 2010).

노출은 호흡 등 인체의 외부 경계면과 유해물질이 접촉하는 것을 뜻하며, 대기오염에 관한 노출 평가시

Received 6 December, 2013; Revised 14 January, 2014;

Accepted 7 February, 2014

*Corresponding author: Yoo-Keun Kim, Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone: +82-51-510-2282
E-mail: kimyk@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

호흡기 근처의 오염농도 실측정값을 이용하는 게 가장 높은 정확도를 가지나 다수의 인구집단에 적용하기 어려우므로, 주로 대기오염 측정망 자료 값의 외삽을 통해 다수의 인구노출 추정에 이용된다(National Institute of Toxicological Research (NITR), 2007). 실내(indoor)가 아닌 실외(outdoor)의 대기질 측정자료와 주거지 인구를 이용하여 주변환경에 의한 노출을 추정할 경우, 이를 잠재적 노출(potential exposure)이라고 정의한 바 있다(Ott, 1982). 대기오염물질에 의한 노출은 노출농도와 노출빈도, 그리고 노출기간의 영향을 받게 된다. 오존 노출의 경우, 저농도에서도 기침, 가슴통증, 메스꺼움, 인후자극, 충혈과 같은 증상이 나타날 수 있으며, 심장병, 기관지염, 폐기종, 천식 악화, 폐용량 감소 및 호흡곤란을 경험할 수 있다(National Institute of Environmental Research (NIER), 1995). 그러나 오존은 다른 주요 오염물질들(미세먼지, 납 등)과 다르게 다년간의 장기간 저농도보다는 일정시간의 단기간 고농도 노출시 발생하는 급성 건강 영향(가슴통증과 기침 등)이 중요하며, 이들이 정상상태로 회복되기까지는 수일의 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다. 특히, 오존은 호흡기계에 민감하게 자극하여 급성 호흡기 질환(기관지염, 인후염 등)의 경우 오존 최고농도와 상관관계를 가지는 것으로 조사되었다(NIER, 1995). 오존을 포함한 대기오염물질의 노출에 의한 건강 피해는 일반인에 비해 호흡기 질환자와 노약자에 보다 민감하게 반응한다.

현재 국내는 고령화 사회로 접어들고 있으며, 유엔은 국내의 65세 이상 인구비율이 2050년이 되면 세계 최고 수준(37.3%)이 될 것이라고 전망했다(United Nations (UN), 2009). 최근 노년부양비(총인구 중에서 생산가능 연령층(15~64세)인구에 대한 노년인구(65세 이상)의 백분비)의 증가(2011년 기준, 10년 전에 비해 5배 증가) 및 사회복지시설의 상당부분(약 84%)이 노인복지시설임은 고령화 사회에 대한 사회경제적 대책 마련의 필요성을 보여준다(Ministry of Health and Welfare (MOHW), 2012). 즉, 고령인구 비율이 증가한 고령화 사회는 대기오염 노출 취약계층의 확대를 의미한다. 고농도 대기오염 발생시 호흡기 및 심혈관 질환의 악화로 인한 병원 내원률이 고령자에서 상대적으로 높으며, 다년간(2008~2011년) 연

령계층별 외래환자수에서도 고령인구계층이 높은 비율(17~26%)을 차지함에 따라(MOHW, 2012), 고령인구에 대한 환경보건 연구의 활성화가 필요하다.

환경부에서는 기존 매체 중심의 환경기준에서 국민건강에 기준한 환경기준으로의 변화가 필요함을 언급하며, 환경기준 초과시 노출된 인구집단을 위험인구(population at risk)라고 정의하여 위험인구를 최소화하기 위한 다년간의 환경보건 계획을 수립한 바 있다(Ministry of Environment (MOE), 2006). 즉, 기후변화에 의한 대기질 저하와 이에 동반된 취약계층 인구의 증가는 향후 대기오염 노출로 인한 건강피해 증가를 야기할 수 있으므로 이를 최소화하기 위해서는 고농도 대기오염이 빈번하고 인구가 밀집된 지역인 도시를 대상으로 대기질 자료 및 인구정보 자료의 활용을 통한 상세한 대기오염 노출인구의 현황 파악이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 대기오염에 취약한 도시 내 거주하는 65세 이상 인구계층(이후, 고령인구로 표기함)을 대상으로 최근 10여 년간 고농도 오존 발생시 노출된 고령인구수 현황 및 변화를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 대상지역은 한반도 남동연안에 위치한 부산광역시로 도시 내 다량의 인위적 오존 전구물질 배출과 해륙풍 순환에 의한 배경농도 유입 및 지역 내 오존농도의 재순환 등으로 인해 평균 오존농도가 다른 대도시에 비해 대체로 높으며 대기환경기준치를 초과하는 고농도 수준의 오존오염 발생이 빈번하다(Kim 등, 2003a; Kim 등, 2003b; Oh와 Kim, 2002). 또한 대상도시는 오존을 포함한 대기오염에 취약한 고령인구 비율이 국내 6대 광역시 중 가장 높아 2002년부터 고령화사회에 진입했으며(현재, 12.6%), 향후 2014년에는 고령사회(14%)를 2021년에는 초고령사회(20.1%)에 도달할 것으로 예상되어 고령인구에 대한 사회경제적 대책 마련이 시급한 도시이다(Statistics Korea (KOSTAT), 2010).

본 연구에 이용한 오존농도자료는 대상지역 내 위치한 환경부 산하 대기질 측정소에서 측정된 1시간 평균 농도자료이며, 신뢰성 있는 자료분석을 위해 일 측정률이 75% 이상인 시간별 자료만을 유효자료로 선

택하여 사용하였다. 인구자료는 통계청에서 5년 단위 (2000, 2005, 2010년)로 제공되는 총 조사 인구자료로 읍·면·동 행정구역별 총 인구수와 고령인구수를 이용하였다. 총 조사 인구자료 외에 연도별 제공되는 인구자료에는 읍·면·동별 고령인구수가 부재함에 따라 부산시 총 인구수에 대한 고령인구수의 비율을 읍·면·동별 총 인구수에 적용하여 해당지역별 고령인구수를 추정하였다.

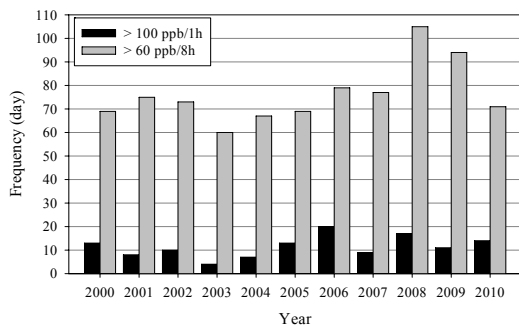
지역 내 10개 이상 측정지점에서 오존농도의 유효 자료 축적이 이루어졌으며(지점수: 2000~2001년 11개, 2002년 13개, 2003년 15개, 2004년 16개, 2005~2010년 17개), 최근 인구의 변화 파악이 가능한 2000~2010년의 11년간을 연구대상 기간으로 하였다.

본 연구에서의 고농도 오존일은 지역 내 동일한 11개 지점 중 1지점 이상에서 8시간 평균 60 ppb의 대기환경기준치를 초과한 날로, 일정시간이상 인체 노출시의 건강영향이 반영된 기준치를 적용한 것이다. 측정지점이 위치한 해당 행정구역 이외의 지역에 대한 고농도 오존일의 발생빈도는 ArcGIS 프로그램 내의 공간내삽법(Interpolation) 중 하나인 Inverse distance weighting (IDW) 기법을 적용하여 공간적인 분포값을 추정하였으며, 이후 Zonal mean 기법을 통해 행정구역별 대표값을 도출하였다. IDW의 공간분석 기법은 Son 등(2009)에서 대기오염 측정망 자료를 이용한 대기오염의 개인노출 추정을 위한 기법 중 하나로 적용하여 제시한 바 있다.

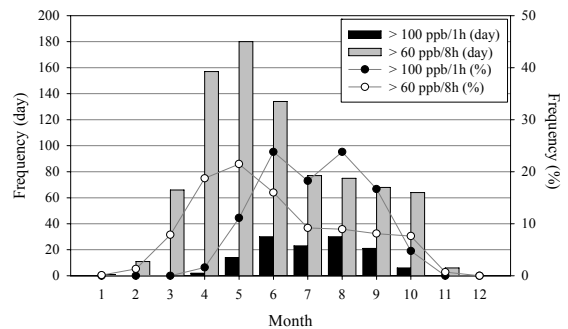
3. 결과 및 고찰

대상지역 내 오존오염 발생 현황을 보기 위해, 1시간 대기환경기준치(100 ppb) 초과일과 고농도 오존일의 연도별과 월별 발생빈도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)에서 고농도 오존일은 지역 내에서 매년 60회 이상 지속적으로 발생하였으며, 2006년 이후로는 매년 70회 이상 발생하였고, 2008년에는 100회를 초과 발생하였다(105회). 대상기간 내 고농도 오존일은 총 839회로 매년 평균적으로 76.3회 발생하는 것으로 나타났다. 100 ppb를 넘는 높은 농도값을 가지는 1시간 기준치 초과일의 경우에도 매년 5회 이상 지속적으로 발생하였으며(단, 2003년 4회), 2005년 이후로는 보다 증가된 경향으로 매년 10회 이상 발생하였고(2007년 9회), 2006년에는 최고 20회까지 발생된 바 있으며, 최근 11년간 총 126회로 연평균 11.5회의 발생빈도를 가진다. 즉, 대상지역은 단시간(1시간 또는 8시간 평균)에 대한 고농도 오존일의 발생빈도가 높은 지역임을 확인할 수 있다(특히, 최근 5~6년간).

Fig. 1(b)의 월별 발생빈도를 살펴보면, 1시간 기준치 초과는 여름철(6~8월) 발생빈도가 높으나, 고농도 오존일은 봄철(3~5월)에 가장 높은 빈도를 가지며(전체의 48.0%, 5월에 최고 180회(21.5%)) 여름철(6~8월, 34.1%)을 지나 가을철(9~11월, 16.4%)인 10월에도 여름인 7~8월과 유사한 발생빈도를 가진다(7% 이상 차지). 즉, 대상지역 내 고농도 오존일은 겨울을 제



(a)



(b)

Fig. 1. (a) Yearly and (b) monthly frequency variations (day and %) of high ozone days exceeding 100 ppb/h and 60 ppb/8h in Busan, 2000-2010.

외하고 연중 일정수준 이상의 발생빈도를 가지며, 따라서 계절별 기상특성 차이에 따라 지역 내 고농도 오존일의 계절별 오존오염 공간 분포 차이가 예상된다.

Fig. 2는 대상지역 내 연도별 총 인구수, 고령인구수, 그리고 총 인구수에 대한 고령인구수의 비율을 나타낸 것이다. 부산시 전체 총 인구수는 2000년(381만명)에서 2009년(357만명)까지 매년 꾸준히 감소한 후 2010년(360만명)에 다소 증가하였다. 총 인구수와 다르게 고령인구수의 경우는 대장기간 동안 매년 꾸준히 증가하였으며(2000년 23만명에서 2010년 40만명으로 1.75배 증가), 총 인구수에 대한 비율도 2000년 6.0%에서 2010년 11.2%까지 증가하여 최근 몇년간 전체 인구의 10% 이상이 고령인구임을 확인할 수 있다.

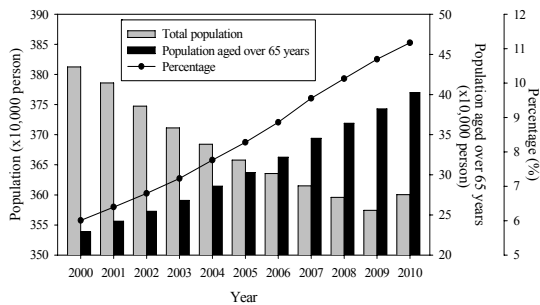


Fig. 2. Yearly variations of the number (person) of total population and population aged over 65 years, and their percentage (% , population aged over 65 years over total population) in Busan, 2000-2010.

Fig. 3은 2000년, 2005년, 2010년 각각의 행정구역별 고령인구수의 공간분포를 나타낸 것이다. 2000년의 경우 행정구역별 3,000명 미만의 대상인구 분포를 가지며, 전체영역의 절반 정도가 1000명 이하 지역이다. 2005년에는 앞서(2000년) 대상인구수가 상대적으로 높은 지역들을 중심으로 3000명 초과지역이 발생하였고(총 6곳), 1000명 이하 지역수가 감소하였다. 2010년에는 일부 지역을 제외하고 대체로 1000명을 초과하며, 북동부와 연안 지역, 그리고 도시 중심부(이후, 도심으로 표기)에서 대상인구수가 큰 폭으로 증가하였고, 2005년에 1곳이었던 4,000명(부산시 전체 고령인구수의 1/100에 해당) 초과 지역이 7곳으로 확대되었다(6,000명 초과 지역 발생). 즉, 2010년은 10년 전인 2000년과 비교시 일부 소수 지역을 제외하고는 행정구역별 대상인구수가 큰 폭으로 상승하였으며, 특정영역이 아닌 도시 전역에서 대상인구의 증가가 확대되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 연구대상기간 동안 측정된 고농도 오존일의 발생빈도 분포를 나타낸 것이다. 우선, Fig. 4(a)는 측정지점이 위치한 해당 행정구역에서의 발생빈도분포로, 해당기간동안 고농도 오존일이 300일을 초과(연평균 30회 이상) 발생한 지역은 남부 연안과 북부 내륙 지역이다. 반면 도심은 고농도 오존일 발생빈도가 100일 이하로 고농도 오존에 대한 노출이 상대적으로 적다. 그러나 도시 내 상세화된 행정구역에 비해 측정지점 수가 적어 고농도 오존일 발생에 대한 공간적 분포 이해가 어렵다. 따라서, IDW의 공간내삽법을

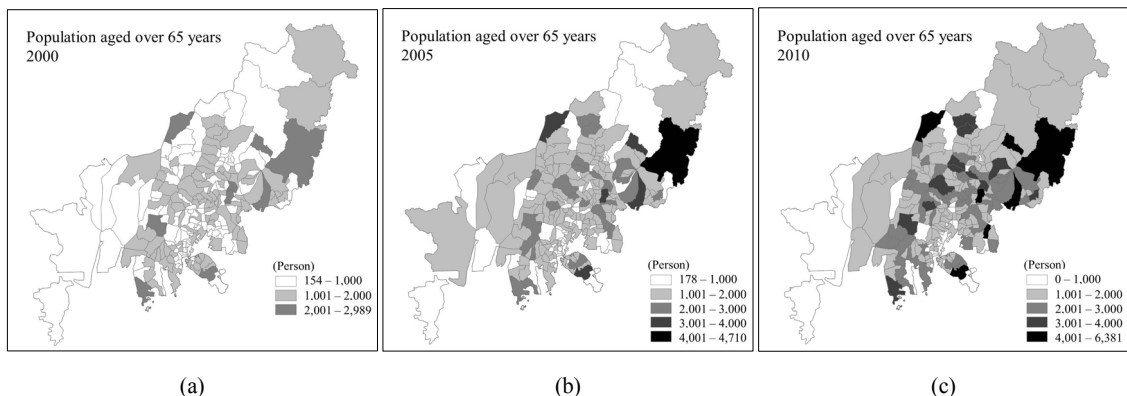


Fig. 3. Spatial distribution of population aged over 65 years in (a) 2000, (b) 2005, and (c) 2010 in Busan.

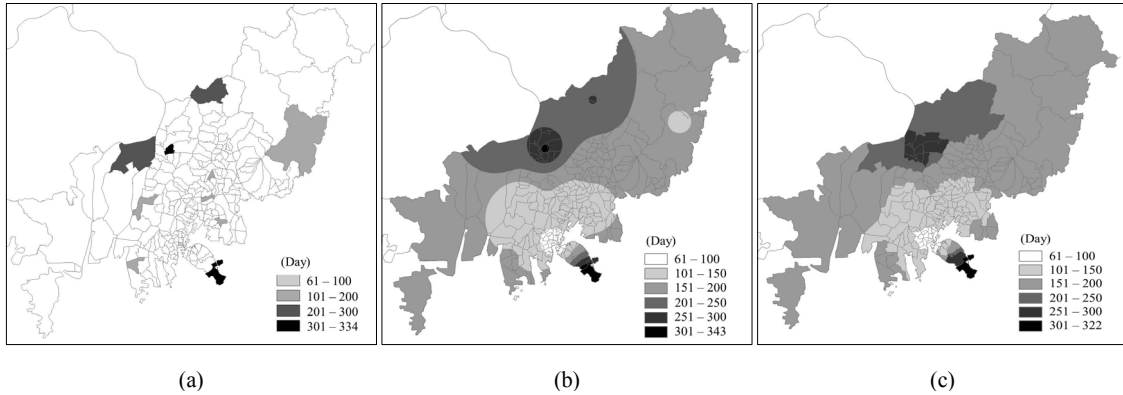


Fig. 4. Spatial distribution of total frequency (day) of high ozone day exceeding 60 ppb/8h by (a) the observed value at the monitoring site areas, (b) the IDW interpolation method, and (c) the zonal mean method in ArcGIS software in Busan, 2000-2010.

이용해 Fig. 4(b)와 같이 각 측정지점에서의 값을 중심으로 도시 전체에 대한 공간분포를 생성한 후, Zonal mean 기법을 통해 인구정보와 동일한 면적단위인 행정구역별 고농도 오존일 발생빈도 분포를 Fig. 4(c)와 같이 도출하였다. 즉, Fig. 4(c)를 통해 대상지역은 해상 배경농도 유입 영향이 큰 남부 연안 일부지역을 제외하고 연안에서부터 내륙으로 갈수록 고농도 오존일의 발생빈도가 증가하는 경향을 가지는 것으로 나타났다. 이는 도심에서 다량 배출된 오존전구물질들이 낮동안 해풍 방향의 이동을 통해 도심 풍하측에 위치한 내륙에서 고농도 오존을 빈번히 발생시킨 것으로 보여진다. 즉, 지난 10여년간 도시 내 발생된 고농도 오존일은 지역별 큰 차이를 가지며, 지역별 동일한 인구수를 가정할 시 연안보다 내륙에서의 고농도 오존 노출 피해가 클 것으로 예상되었다.

Fig. 5는 대상기간 내 계절별 누적된 고농도 오존일의 발생빈도 분포이다. 봄철에는 남부 연안과 북부 내륙에서 상대적으로 높은 발생빈도(100일 초과) 분포를 도심으로는 낮은 빈도(50일 이하) 분포를 가진다. 여름철 역시 북부 내륙 지역을 중심으로 상대적 고빈도 분포를 가지나 봄철과 비교시 동부 연안 및 서부의 발생빈도가 감소하였으며(특히, 70일 초과지역), Fig. 4의 장기간 발생빈도 분포에서 나타났듯이 연안에서 내륙으로 갈수록 고농도 오존일의 발생빈도가 증가된 분포를 가진다. 가을철에는 봄과 여름에 비해 발생빈도가 전체적으로 낮아(남부 연안 일부지역 제외하고

50일 이하) 지역별 빈도분포 차이가 크지 않으며, 북부 내륙지역의 상대적 고빈도 지역 역시 나타나지 않는다. 계절에 따른 대상지역 내 고농도 오존일 발생빈도의 공간적 분포차이를 확인할 수 있으며, 다른 계절에 비해 빈번한 봄철 고농도 오존일은 넓은 지역에 걸쳐 발생됨에 따라 노출에 의한 피해 역시 가장 클 것으로 예상된다.

Fig. 6은 고농도 오존일 발생빈도의 연도별 공간분포 변화 특성을 보기 위해 2000년, 2005년, 2010년의 고농도 오존일 발생빈도 분포를 나타낸 것이다. 2000년에는 남부 연안의 일부지역을 제외하고는 연중 20일 이하의 상대적 저빈도 분포를 가지며, 지역 내 발생빈도의 분포차이가 크지 않다. 2005년은 2000년과 비교시 북동부와 서부 지역 일대에서는 발생빈도가 증가하여 고빈도 지역이 확대(연중 20일 초과지역이 2000년 4곳에서 2005년 8곳으로 2배 증가)되었으나 도심에서는 발생빈도가 감소하여 저빈도 지역이 확대됨에 따라 지역 내 발생빈도의 공간분포 차이가 매우 크다. 가장 최근인 2010년에는 북동부에서 동부 연안까지 발생빈도가 크게 증가하였고(20일 초과지역이 34곳으로 확대되어 2005년의 4.3배) 도심의 빈도 역시 증가하여 다른 해에 비해 고농도 오존일의 발생빈도가 전체 영역에 걸쳐 보다 높은 수준에 있음을 알 수 있다. 2000년 남부 연안의 한 지역에서 나타난 연중 30일 초과지역이 2005년에는 북동지역에서도 나타났으며, 2010년에는 동부 연안에서도 나타나 8곳으로

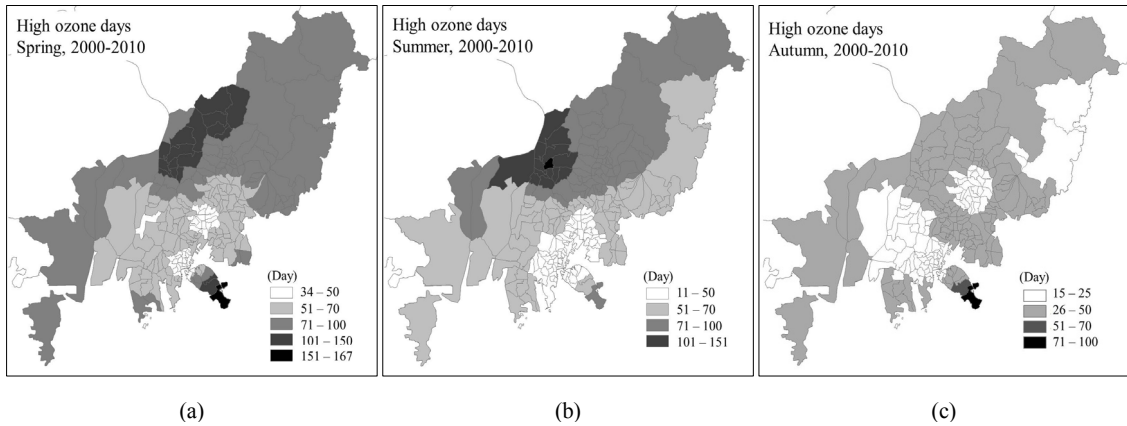


Fig. 5. Spatial distribution of total frequency (day) of high ozone day exceeding 60 ppb/8h in (a) spring (March to May), (b) summer (June to August), and (c) autumn (September to November) in Busan, 2000-2010.

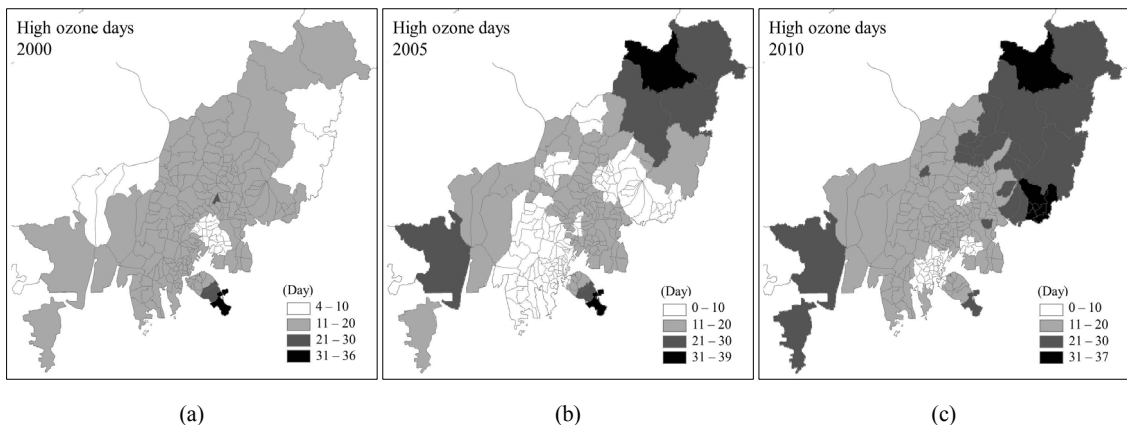


Fig. 6. Spatial distribution of total frequency (day) of high ozone day exceeding 60 ppb/8h in (a) 2000, (b) 2005, and (c) 2010 in Busan.

확대되었다. 즉 Fig. 1에서 2000, 2005, 2010년 각각의 연중 고농도 오존일 발생빈도는 유사하였으나 공간적인 분포차이를 확인할 수 있으며, 대상지역 내 고농도 오존에 노출되는 인구수가 2000년과 비교시 2010년에 크게 증가할 것으로 볼 수 있다.

Fig. 7(a)는 전체 대상기간 동안 고농도 오존에 노출된 누적 고령인구수 분포이다. 행정구역별 누적 노출인구수가 40만명(2010년 총 고령인구수에 해당)을 초과하는 다(多)노출인구 지역과 이의 1.5배에 해당하는 60만명 초과 지역도 존재하였다. 다노출인구 지역은 Fig. 4의 고농도 오존일 발생빈도가 높았던 북서 내

륙지역을 포함하며, 이외에 동부 연안지역 일대도 다노출인구 지역으로 나타나며 이 지역은 고농도 오존일 발생빈도보다 고령인구수의 영향이 보다 크게 작용한 것이다.

봄철 역시 해당계절의 고농도 오존일 발생빈도가 높았던 북서 내륙지역에서 노출인구수가 20만명(2010년 총 고령인구수의 1/2에 해당)을 초과하였다. 그러나 북서 내륙 일부에서는 고령인구수가 적어 노출인구수가 5만명 이하로 나타났다. 반면, 고농도 오존일 발생빈도가 낮은 동부 연안지역 일대는 고령인구수가 많아 다노출인구 지역에 포함되었다. 여름철은 봄철

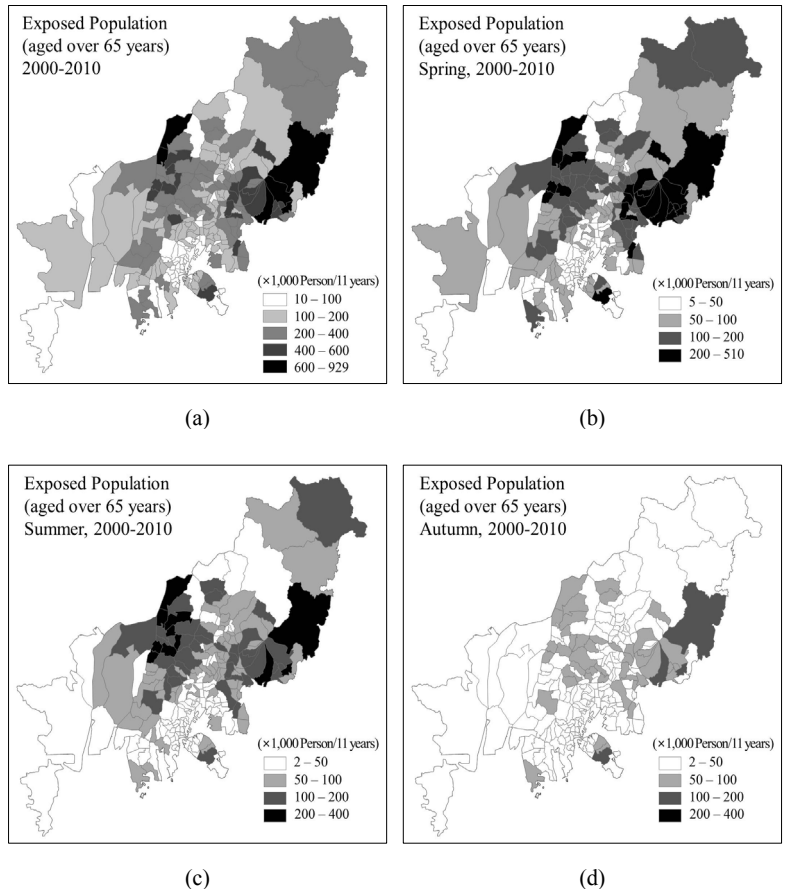


Fig. 7. Spatial distribution of the accumulated number of the exposed older population (person/11 years) on high ozone day exceeding 60 ppb/8h in (a) the total, (b) spring (March to May), (c) summer (June to August), and (d) autumn (September to November) in Busan, 2000-2010.

과 유사한 노출인구 분포 패턴을 가지나, 봄철에 비해 고농도 오존일 발생빈도가 낮았던 북동부와 서부 내륙, 그리고 동부 연안에서 노출인구수가 감소하였다. 또한 여름철 고농도 오존일 발생빈도는 연안에서 내륙으로 갈수록 증가하는 경향을 가졌으나(Fig. 5 참고), 고농도 오존의 노출인구는 북서부와 동부 지역으로 구분되는 경향을 보인다. 가을철에는 고농도 오존일 발생빈도 감소에 의해 노출인구가 전체적으로 감소하였으며, 북서 지역 및 도심에서의 노출인구가 보다 큰 폭으로 감소하였다. 동부 연안지역 역시 가을의 고농도 오존일 발생빈도가 크게 감소하였으나(Fig. 5 참고) 다수의 밀집된 고령인구로 인해 노출인구는 일정수준을 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 고농도 오

존에 노출된 인구수는 고농도 오존 발생빈도와 대상 인구수 모두의 영향에 의해 결정되게 된다.

Fig. 8은 2000, 2005, 2010년의 고농도 오존시 노출 인구수 분포이다. 2000년에는 상대적으로 낮은 고농도 오존일 발생빈도와 적은 고령인구수로 인해 대상 도시 전체에 걸쳐 행정구역별 노출인구수가 4만명 이하로 나타났다(남부 연안 일부 지역 제외). 2005년에는 5년 전과 비교시 북동부 및 서부 지역의 노출인구수 증가가 뚜렷하며, 북동부 지역의 경우 고령인구수 증가보다 고농도 오존일 발생빈도 증가 영향이 보다 큰 지역으로 해당지역의 노출인구가 2000년에 2만명 이하(1만3천명)에서 약 4만명(3만9천명, 2010년 총 고령인구수의 1/10에 해당)으로 크게 증가하였다(약 3

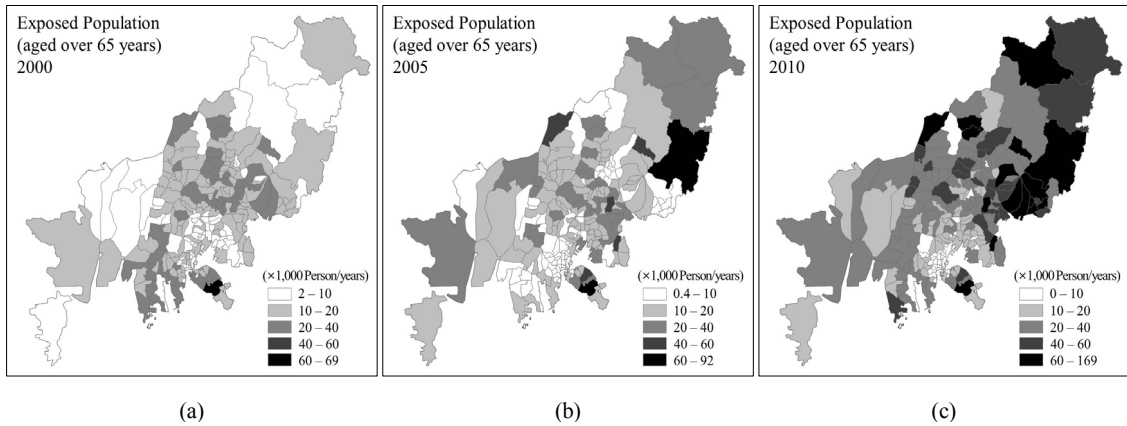


Fig. 8. Spatial distribution of the accumulated number of the exposed older population (person/11 years) on high ozone day exceeding 60 ppb/8h in (a) 2000, (b) 2005, and (c) 2010 in Busan.

배). 이전에 비해 고농도 오존일의 발생빈도가 감소한 2005년의 도심지역은 고령인구수의 증가 영향으로 인해 노출인구수 증가지역이 오히려 확대되었다. 유사하게 해당연도에 고농도 오존일 발생빈도는 상대적으로 낮으나 다수의 고령인구수를 가진 동부 연안지역에서 역시 해당지역에서만 6만명을 초과하는 인구수가 고농도 오존에 노출되는 것으로 나타났다. 2010년의 경우, 북동부에서 동부 연안, 그리고 도심에서는 2005년에 비해 증가된 고농도 오존일 발생빈도와 함께 고령인구수의 증가로 인해 노출인구수가 크게 증가하였다. 2010년 1만명 이하의 노출인구수 지역이 10년 전인 2000년과 비교시 크게 감소되었음을 확인할 수 있으며, 2010년 총 고령인구수인 40만명의 1/10에 해당하는 4만명 초과 지역이 2000년 1곳, 2005년 7곳에서 2010년에는 43곳으로 크게 증가하였으며, 6만명을 초과하는 지역 역시 16곳으로 확대되었다.

4. 결론

본 연구는 대기오염에 취약한 도시 내 거주하는 고령인구를 대상으로 최근 10여 년간(2000~2010년) 고농도 오존 발생시(8시간 평균 60 ppb 초과시) (잠재적으로) 노출된 인구수 현황 및 변화를 분석한 것이다. 대기질 측정자료와 주거지 인구자료를 이용하였으며, 행정구역(읍·면·동)에 비해 공간적 저해상도인 측정지점지점 값은 ArcGIS 프로그램의 내·외삽과 공

간평균 기법을 통해 행정구역별 값으로 도출하였다. 행정구역별 고농도 오존 발생일 빈도와 인구수 값의 곱을 통해 고농도 오존에 노출된 인구수를 추정하였다. 대상도시 부산은 고령인구가 매년 꾸준히 증가하여 2010년에는 전체인구의 10%를 초과하였고, 특정 지역만이 아닌 도시 전체에서 증가하였으며 특히 북동부 내륙 및 연안, 도심에서 큰 폭으로 증가하였다. 고농도 오존일은 지난 11년간 연안에서 북서 내륙으로 갈수록 발생빈도가 높아 동일한 인구수를 가정할 시 해당지역에서의 노출피해가 가장 클 것으로 예상되었다. 그러나, 고농도 오존에 노출된 누적 인구수는 북서 내륙지역과 함께 고농도 오존 발생일수는 적으나 고령인구수가 많은 동부 연안지역 일대에서 높은 값을 가졌다(40만명 초과). 계절별로는 봄철 노출인구수가 다른 계절에 비해 높으며 다노출지역이 다수로 확대됨에 따라 노출에 의한 피해가 가장 클 것으로 예상되었고, 여름을 지나 가을철 노출인구수도 일정수준(20만명 초과)을 유지하였다. 대표적 비교연도인 2000, 2005, 2010년은 대상도시의 고농도 오존일 발생빈도수는 유사하나 2000년의 경우 일부 특정 지역에서만 높은 빈도수를 가진 반면 2005년과 2010년에는 북동부와 동부 연안 일대의 발생빈도가 크게 증가하여 공간적 분포 차이가 뚜렷함을 확인하였다. 이로 인해 2000년에는 상대적으로 낮은 고농도 발생빈도와 적은 고령인구수로 도시 전역의 행정구역별 노출인구수가 4만명 이하였으나 2005년에는 북동부 지역

일대로 노출인구수가 크게 증가되었으며, 4만명 초과 지역이 다수 나타났다(7곳). 가장 최근인 2010년에는 고농도 발생빈도와 함께 보다 더 큰 폭의 고령인구수 증가로 인해 북동부와 동부 연안, 그리고 도심 모두에서의 노출인구수가 큰 폭으로 증가하여, 4만명 초과지역(2010년 총 고령인구수의 1/10 수준)이 43곳으로 확대되었다.

즉, 대상기간 동안 고농도 오존 발생분포와 이에 노출되는 민감(취약)계층의 분포에는 뚜렷한 차이가 있음을 확인하였으며, 고령화사회로 인한 취약계층의 증가로 오염물질에 취약한 계층의 노출인구수에 대한 급격한 증가를 확인하였다. 따라서, 고농도 오염물질에 노출되는 인구의 현황 파악에 관한 보다 상세한 연구의 확대가 필요한 것으로 보여진다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER_2012-6140)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Kim, Y. K., Oh, I. B., Hwang, M. K., 2003a, Meteorologically adjusted ozone trends in the Seoul and Busan metropolitan areas, *J. KOSAE*, 19(5), 561-568.
- Kim, Y. K., Oh, I. B., Hwang, M. K., 2003b, Numerical simulation of ozone using UAM-V on summer episode in the coastal urban area, Busan, *J. KOSAE*, 19(1), 1-11.
- Korea Environment Institute (KEI), 2010, Climate change and air pollution effects on environmentally related disease - Interactive effects of temperature and ozone on environmentally related disease, 121 pp.
- Ministry of Environment (MOE), 2006, 10 Years master plan environmental health (2006-2015), Ministry of Environment, Korea, 114 pp.
- Ministry of Health and Welfare (MOHW), 2012, Ministry of health and welfare year book 2012, 57, 803 pp.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 1995, Effects of ozone on the human body, 35 pp.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2010, A study of temporal and spatial distributions of health effect on climate change and air pollution, 188 pp.
- National Institute of Toxicological Research (NITR), 2007, Guidance for human exposure assessment, 115 pp.
- Oh, I. B., Kim, Y. K., 2002, Surface ozone in the major cities of Korea : Trends, diurnal and seasonal variations, and horizontal distributions, *J. KOSAE*, 18 (4), 253-264.
- Ott, W. R., 1982, Concepts of human exposure to air pollution, *Environmental International*, 7, 179-196.
- Park A. K, Hong, Y. C., Kim, H., 2011, Effect of changes in season and temperature on mortality associated with air pollution in Seoul, Korea. *J. Epidemiol. Community Health*, 65(4), 368-375.
- Son, J. Y., Kim, Y. S., Cho, Y. S., Lee, J. T., 2009, Prediction approaches of personal exposure from ambient air pollution using spatial analysis : A pilot study using Ulsan cohort data, *J. KOSAE*, 25(4), 339-346.
- Statistics Korea (KOSTAT), 2010, 2010 Elderly statistics (http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/2/1/index.board?bmode=read&aSeq=180000).
- United Nations (UN), 2009, World population prospects, the 2008 revision (<http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>).