

경주 주변지역 대기오염물질의 보건·환경 위해성 평가(I)

정종현¹, 최원준², 임헌호³, 박동소⁴, 손병현^{5*}
¹서라벌대학 보건의료행정과, ²한국에너지기술연구원 온실가스연구센터,
³부산대학교 대기과학과, ⁴한서대학교 건축공학과, ⁵한서대학교 환경공학과

Health and environmental risk assesment of air pollutants in Gyeongju and its vicinities(I)

Jong-Hyeon Jung¹, Won-Joon Choi², Heon Ho Leem³,
Tong-So Park⁴ and Byung-Hyun Shon^{5*}

¹Department of Health Administration, Sorabol College

²Greenhouse Gas Research Center, Korea Institute of Energy Research

³Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

⁴Department of Architectural Engineering, Hanseo University

⁵Department of Environmental Engineering, Hanseo University

요 약 경주 주변지역 시민들의 건강을 보호하고 보건·환경위해성 평가의 기초자료를 확보하기 위하여 기상학적 요소의 분포특성을 조사하고 RAMS 모델을 이용한 대기 유동장 수치모의를 수행하였다. 또한 대기오염물질 측정 및 분석과 ISC-AERMOD view를 이용한 대기오염물질의 거동을 예측하였으며 대기오염물질 관리를 통한 보건학적 피해 및 재산상의 피해를 예방하기 위한 보건·환경위해성 영향지역을 구분하였다. 경주 및 주변지역의 대기오염도를 조사한 결과 연평균 대기환경기준물질의 농도는 포항, 울산지역에 비해 약간 낮았으나 경주역 광장과 경주 용강사거리의 경우 미세먼지와 이산화질소 농도가 포항 및 울산지역 평균농도보다 높게 나타나는 경우도 발생하였다. 시민들의 건강에 영향을 미치는 대기오염물질의 이동 및 확산에 관한 모델링을 수행한 결과, 포항 철강공단지역은 POSCO와 함께 1공단과 2공단 및 3공단과 4공단 일부 지역이 미세먼지와 아황산가스 영향지역에 포함되었으며, 포항남구 해동동, 상대동, 제철동, 장흥동 등은 철강공업 및 대규모의 산업시설이 밀집되어 있어 다량의 대기오염물질이 배출되어 국지적인 대기환경질을 악화시키고 있는 것으로 나타났다.

Abstract To protect the citizens' health of Gyeongju and to secure basic data for the assessment of health and environmental risk, distribution characteristics of meteorological elements were investigated and numerical simulation of wind field using RAMS model was carried out. In addition, measurement and analysis of air pollutants, forecasting the behavior air pollutants using ISC-AEROMOD view, and health and environmental risk-influenced zones were defined through managing air polluting materials to prevent health damage and property damage. According to the survey results of air pollution in Gyeongju and surroundings, average annual concentration of air pollutants in Gyeongju was slightly lower than that in Pohang and Ulsan areas, but concentration of particulate matters and nitrogen dioxide at Gyeongju Station Square and Yonggang Crossing were sometimes higher than that in Pohang and Ulsan areas. Results of the modeling of moving and diffusion of air pollutants that affect citizens' health showed that parts of the 1st through 4th industrial complexes together with POSCO were included in particulate matters and sulfur dioxide influenced areas in Pohang Steel Complex area, and that Haedo-dong, Sangdae-dong, Jecheol-dong and Jangheung-dong in Pohangnam-gu represented locally worsened air quality due to a quantity of air pollutant emission from dense steel industries and large scale industrial facilities.

Key Words : Health, Influence Boundary, Risk, Assessment, Air pollutants, Gyeongju, Pohang, Ulsan

본 연구는 경북지역환경기술개발센터의 2008년 환경기술연구개발사업(08-1-40-41-3/09-2-40-41-9) 지원으로 일부 수행되었고, 이에 감사드립니다.

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 09년 08월 26일

수정일 (1차 09년 11월 24일, 2차 09년 12월 09일)

게재확정일 09년 12월 16일

1. 서론

경주지역은 역사적인 석조문화재가 많이 분포되어 있고 일부 문화재는 유네스코 세계문화유산으로 등재되는 등 인류공동의 문화유산으로 거듭나고 있다. 그러나 국내·외에서 유입되는 대기오염물질에 문화재가 노출되어 풍화가 가속되고 있으며, 경주 및 인근 지역 주민의 건강에 악영향을 끼쳐[1~4] 환경성 질환 및 호흡기계 질환이 매년 증가하고 있다.

정부는 2003년부터 2022년까지 울산지역을 대상으로 “주민대상(코호트) 환경노출 및 생태지표 모니터링”사업을 포함지역의 경우 2006년부터 향후 20년간 포항 철강산업단지 주변지역 주민대상으로 “지역주민 환경오염 노출수준 및 생태지표 모니터링”사업시행을 발표하였다[5-9]. 초기 5년 동안에는 주민 건강상태, 환경오염도 및 노출상황 등에 대한 모니터링을 바탕으로 관련자료 확보 및 기반 마련에 중점을 두어 해당지역 주민건강 및 보건·환경 영향조사와 직접영향권역에 포함된 사업장 장기 근로자의 코호트 조사 참여비율도 증가되어야 할 것이며[2], 영향지역평가에 이용 가능한 오염물질 평가자료와 보건·의학분야 자료의 체계화 작업이 요구된다.

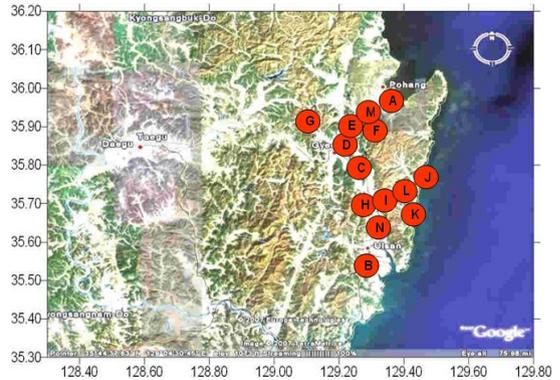
본 연구에서는 보건·환경위해성 평가의 기초자료를 확보하기 위해 경주 및 인근지역의 기상학적 특성 및 국지적 상관성을 조사하고, RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) 모델을 이용한 대기 유동장 수치모의를 수행하여 경주지역으로의 대기오염물질 이동 가능성을 살펴보았다. 또한, 오염물질 분석과 ISC-AERMOD view를 이용한 대기오염물질의 거동을 예측하고 영향권역의 조사를 통하여 보건학적 및 재산상의 피해를 사전에 예방하기 위한 보건·환경위해성 평가를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구내용 및 범위

2.1 조사 대상지역의 선정

본 연구에서는 경주 및 인근 지역을 조사 대상지역으로 선정하여 2006년 12월부터 2007년 11월까지 1년간 분기별로 조사하였다. 대기질을 파악하기 위해 경주, 포항 및 울산지역에 설치된 대기오염자동측정소 관측자료를 이용하였고 그림 1과 같이 14개 조사지점을 선정하였다. 관측지점은 포항철강관리공단사무소(A), 울산여천공단 자동차검사소(B), 경주역 광장(C), 용강동 사거리(D), 용강공단(E), 천북공단(F), 안강 두류공단(G), 외동 냉천공

단(H), 외동 문산공단(I), 대본초등학교(J), 나산초등학교(K), 양남마을회관(L), 강동면사무소(M), 태화고등학교(N)이며, 이 중 A, B, C 및 D를 대표지점으로 선정하였다[2].



[그림 1] 경주 및 인근지역 대기질 및 기상자료 조사 지점

2.2 시료분석 및 조사방법

2.2.1 기상 분석

기상특성을 살펴보기 위해 경주 및 인근지역의 최근 10년간 기상 특성을 분석하였다[10-11]. 이와 함께 바람 장미를 토대로 경주 및 인변지역의 광역바람환경을 분석하였으며, 이를 바탕으로 기온과 동서 및 남북방향 바람 성분의 상관관계를 분석하였고, 기상요소별 국지적 상관성 분석자료를 바탕으로 RAMS 모델을 이용한 대기 유동장 수치모의 연구의 기초자료로 활용하였다.

2.2.2 대기질 측정 및 분석

대기질 측정항목은 환경정책기본법상의 대기질 환경기준 항목 중 미세먼지(PM10), 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO) 등 5개 항목으로 선정하였다.

2.2.3 보건·환경 영향지역 조사

보건·환경 위해성 조사를 위한 기초연구의 일환으로 경주 및 인근 지역 대기오염물질의 배출량을 산정하였다. 또한, 대기오염물질 배출량에 의한 기여 농도를 살펴보기 위하여 ISC-AERMOD view를 이용하여[2,12-15] 여러 오염원으로부터 배출된 오염물질의 확산에 관한 예측을 수행함으로써 공간농도 분포도 및 평균농도를 비교·분석하였다. 또한, RAMS 모델을 이용한 기상분석과의 상관도를 이용하였고[2,16] 대상지역에서의 상세한 바람환경을 살펴보기 위하여 대기 유동장을 수치모의 하여 경주

및 주변지역 보건·환경 영향인자를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

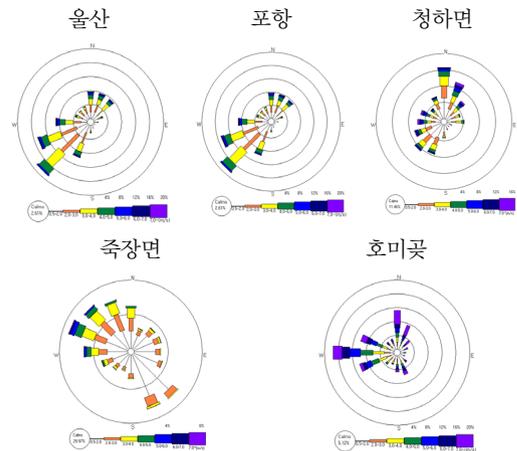
3.1 기상 분석

본 연구의 대상지역인 경주의 기상 분석결과, 연평균 기온 12.7℃로 온화하고 계절별 평균기온은 봄 12.4℃, 여름 23.8℃, 가을 13.8℃, 겨울 0.7℃로 나타났다. 연평균 강수량은 1,158.8 mm로 전국평균 보다 적고 6,7,8월의 강수량이 전체 강수량의 60.2%로 집중호우의 형태를 보였다[2].

[표 1] 경주의 기상학적 특성[2]

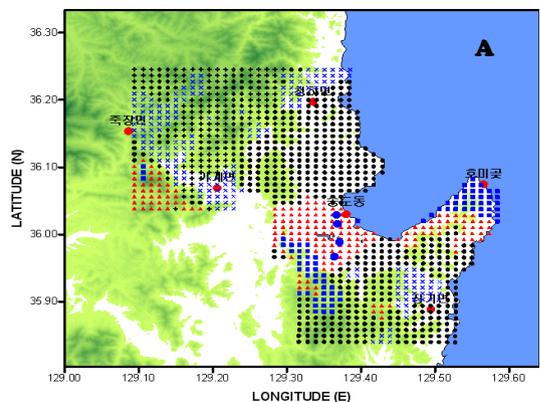
월	온도(℃)			강수량 (mm)	상대 습도 (%)	풍속 (m/sec)
	평균	최대	최소			
1	-0.6	5.4	-6.0	23.9	60	2.3
2	1.6	8.3	-4.6	23.6	57	2.1
3	6.6	13.8	-0.4	34.6	56	1.9
4	13.0	20.4	5.6	62.5	53	2.0
5	17.7	24.7	10.9	103.7	62	1.8
6	21.7	27.9	16.2	155.9	67	1.7
7	24.6	29.3	20.7	272.8	74	1.5
8	25.0	30.1	21.0	269.9	74	1.4
9	20.3	26.1	15.6	140.2	73	1.4
10	14.0	21.5	7.8	31.0	68	1.4
11	7.2	14.7	0.8	28.0	65	1.5
12	1.1	7.7	-4.6	12.8	61	2.0
평균	12.7	19.1	6.9	1,158.9	64	1.7

울산지역의 바람장미도 분석 결과, 봄·여름철은 주풍 분석이 어렵고 가을·겨울철은 북풍 및 북북서풍 계열이 주를 이룬다. 이는 울산의 복잡한 지형과 관련된 것으로 분석되며 또한 울산 북서쪽의 산지 영향으로 종관장에 의한 서쪽에서 유입되는 바람과 동시에 산곡풍 및 해륙풍에 의한 중규모의 바람이 합성되어 복합적이고 다양한 풍계가 나타난 것으로 사료된다[2]. 송도동에서 측정 한 포항지역의 풍향은 북동풍과 남서풍 계열이 우세하고, 서남서, 남남서 등 남서풍으로 인하여 대기오염물질이 바람에 의한 확산 및 이송이 원활한 것으로 확인되었다. 호미곶은 연중 서풍 계열이 우세하고 포항지역의 대표적인 국지풍계를 보여주며, 영일만으로 빠져나온 바람이 호미곶 선단을 지나며 종관기상의 영향으로 서풍으로 변곡되어 서풍 계열이 우세하게 나타난 것으로[2,17] 분석되었다.



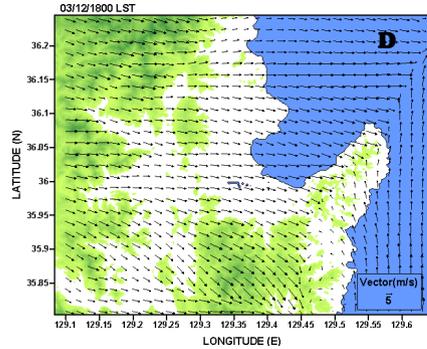
[그림 2] 경주 및 주변지역의 바람장미도

그림 3은 최근 5년 동안의 풍향·풍속 관측자료를 토대로 K-평균 군집분석을 통해 바람권역을 분석하였다. 죽장면과 기계면의 경우 유클리드 거리가 0.1로 포항지역 북서쪽의 산악지역에 위치하여 다른 지점에 비해 지형적 마찰이 강해 상대적으로 저 풍속대가 나타나는 바람권역으로 분석되었으며, 청하면과 장기면은 유클리드 거리가 0.25로 각각 남북방향으로 상당히 이격되어 있지만 동쪽으로 동해와 인접하고 서쪽은 낮은 구릉이 위치한 동일한 바람환경임을 확인하였다. 호미곶의 경우 유클리드 거리가 1.0으로 해상 바람환경에 가까운 또 다른 하나의 바람권역으로 이해할 수 있다. 송도동은 유클리드 거리가 1.5로 상대적으로 분지인 포항 도심지이면서 영일만과 근접하고 동시에 경주가 있는 남서쪽으로 저지대가 형성되어 국지 순환계의 수렴 지역임과 동시에 북동 및 남서 방향으로 바람길이 탁월하게 형성된 바람권역으로 확인되었다.



[그림 3] 경주 주변지역의 바람권역 분석[2, 16]

K-평균 군집방법을 이용한 상세 바람권역 분석 결과 7%에 해당하는 권역(그림의 ● 표시)은 포항 남구 대송면 및 송도리 일부가 제1상세 바람권역에 해당되며, 다음으로 ▲로 표시된 지역으로 상세 바람권역 분석 결과 48%에 해당하는 권역으로 포항 남구의 내이동과 장흥동 등을 포함한다. 장흥동과 대송면 부근 지역의 계절별 농도변동이 일부 확인되며, 이는 장흥동과 대송면 부근에 위치한 포항철강산업 1~4단지의 영향이다[2,16]. 장흥동과 달리 대송면은 포항지역 주요 배출원이 주변지역에 있고, 지형적인 영향으로 오염물질들이 활발히 분산되지 못하기 때문에 농도변동이 클 것으로 판단된다.



[그림 4] 경주 및 인근 지역의 수평 바람장 분포[2, 16] (A:09시, B:12시, C:15시, D:18시)

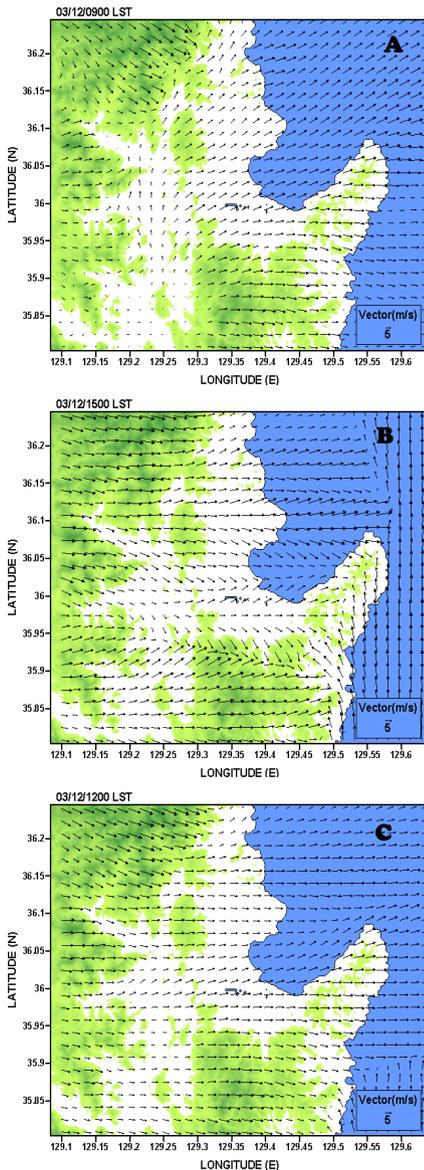


그림 4는 계절별 수치모의 사례일에 대한 09시부터 18시까지 3시간 간격의 지표부근 수평 바람장 분포(해발고도 35 m)를 분석한 것이다. 봄철 해당지역의 09시 바람장의 경우 산악지역인 북서부 및 남동부 지역에서 산풍의 풍계와 육풍이 도심지로 수렴되어 영일만을 통해 동해상으로 배출되는 양상이며, 작은 기압경도력으로 인한 미미한 종관풍의 영향과 함께 국지 순환풍으로 내륙지역은 북서와 남서풍, 도심지는 서풍이 주를 이루어 수렴한 것이 영일만을 통해 북동쪽으로 배출되는 모습을 나타내어 종관장 및 지형의 특성에 따른 바람장이 적절하게 모사된 것으로 판단된다. 12시의 경우 지표면 및 해수면의 비열차이가 크게 형성되어 해풍 및 곡풍의 영향으로 09시에 비해 전반적으로 풍계가 동풍으로 전환됨과 동시에 풍속은 감소한 형태를 보인다. 15시의 경우, 누적된 지표일사가 지표면 및 해수면의 최대 비열차 및 온도차를 발생시켜 산풍과 곡풍이 최대를 이루고 따라서 대부분의 포항지역에 걸쳐 동풍이 주를 이루는 가운데 상대적으로 지형이 낮은 도심지 및 경주 방향으로의 남서쪽으로 기류가 형성되어 있음을 보이고 있다. 18시의 경우 15시에 비해 풍속이 약화되며 국지 순환계가 다소 약화된 모습을 나타내어 포항권역의 대기오염물질은 저지대인 형산강 수계, 경주와 포항간 7번 국도, 주변 분지 및 기타 도로를 따라 대기오염물질이 유입되는 것으로 판단되며, 해당지역에서 시작된 해풍은 포항에서부터 동서방향으로 내륙까지 형성된 저지대의 깊은 골을 따라 이동하게 대구와 구미지역까지도 영향을[2,16] 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

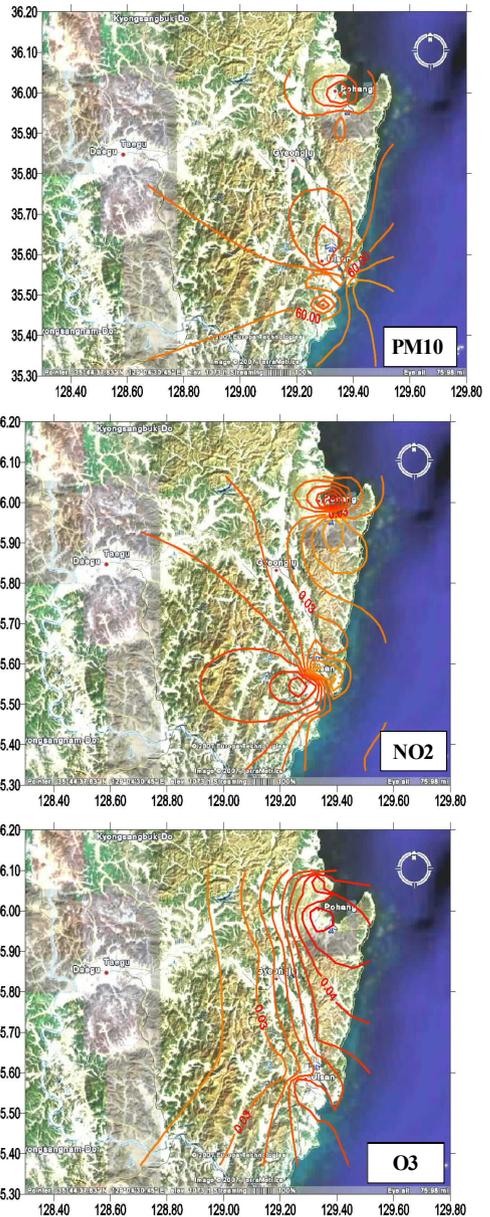
3.2 경주 및 주변지역 대기질 분석

경주 및 주변지역에 대한 대기질 5개 항목에 대하여 대기측정차량을 이용하여 2006년 12월부터 2007년 11월 까지 분기별 측정하고, 자동측정망 자료와 비교하여 표 2

에 나타내었다[2]. 표 2와 같이 경주, 포항 및 울산지역 대기오염자동측정소에서 조사된 이산화질소 연평균은 각각 0.020 ppm, 0.023 ppm, 0.025 ppm이었으며[2,18] 포항·울산·경주 순으로 높게 나타났다. 포항철강관리공단 사무소(A), 울산·여천공단 자동차 검사소(B), 경주역 광장(C), 용강동 사거리(D)에서 측정된 이산화질소의 평균 농도는 0.012~0.039 ppm으로 경주역에서 측정된 이산화질소의 평균 농도가 울산과 포항지역에서 측정된 농도보다 다소 높게 나타났다. 이와 함께 오존과 일산화탄소의 연평균 농도는 포항이 가장 높았으며, A, B, C, 및 D지점에서 측정된 오존과 일산화탄소의 연평균 농도는 각각 0.010~0.035 ppm과 0.2~2.7 ppm으로 오존의 경우 C지점과 D지점에서, 일산화탄소의 경우 A지점에서 다소 높은 것으로 나타났다. 이는 철강공단 및 주변지역 각종 연소 시설의 불완전연소에 의한 영향으로 사료된다. 한편, 미세먼지는 포항, 울산, 경주 순이었으며 대기오염 측정차량을 이용한 분석 결과 경주역(C)과 경주 용강사거리(D)에서 미세먼지의 평균농도가 울산·여천공단 자동차 검사소에서 측정된 결과치보다 높게 나타나[2, 18~19], 주민의 생활건강에 악영향을 유발하는 미세먼지를 적극 관리하여야 할 것으로 판단된다.

[표 2] 경주 및 인근 지역의 대기오염물질의 분포 특성[2]

구분	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)	
대기환경기준	100	0.150	0.1	0.1	25	
경주 평균	51.2± 20.8	0.003± 0.002	0.020± 0.003	0.022± 0.007	0.4± 0.1	
포항 평균	61.2± 20.2	0.007± 0.003	0.023± 0.008	0.026± 0.007	0.7± 0.4	
울산 평균	55.8± 19.5	0.007± 0.002	0.025± 0.008	0.021± 0.004	0.4± 0.1	
포항A	75.3	0.021	0.028	0.017	1.5	
울산B	56.8	0.010	0.023	0.017	0.9	
경주	C	58.0	0.007	0.031	0.019	0.7
	D	60.7	0.006	0.022	0.019	0.5
	E	69.4	0.006	0.026	0.026	0.4
	F	36.5	0.010	0.021	0.024	0.4
	G	47.2	0.006	0.022	0.034	0.3
	H	48.1	0.004	0.014	0.033	0.2
	I	40.7	0.004	0.016	0.030	0.2
	J	38.7	-	0.010	-	-
	K	40.3	-	0.015	-	-
	L	39.7	-	0.010	-	-
	M	58.9	0.004	0.015	0.017	0.4
	N	42.1	0.003	0.012	0.017	0.3



[그림 5] 경주 및 인근 지역의 3가지 대기오염물질의 등농도 분포 특성[2, 19]

그림 5는 PM₁₀, NO₂, O₃의 대기질 등농도 분포 현황을 나타낸 것이다[2,19]. 미세먼지 연평균 값은 경주 51.2±20.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 포항 61.2±20.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 울산 55.8±19.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 포항철강공단의 미세먼지 발생이 울산 지역 석유화학공업보다 높게 나타났다. 이산화질소의 경우 경주 0.020±0.003 ppm, 포항 0.023±0.008 ppm, 울산 0.025±0.008 ppm으로 공업지역인 울산·포항·경주 순으로 높은 분포를 보인다. 마찬가지로 경주 포항간 7호선

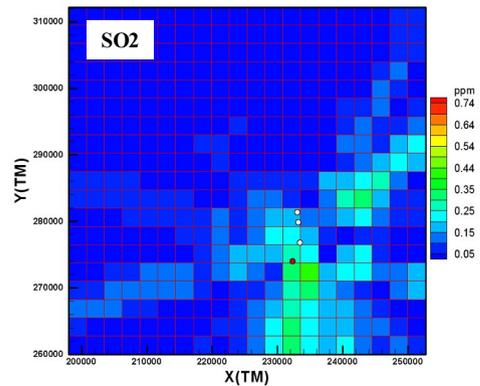
국도와 경주 울산간 14호선 국도를 따라 0.030 ppm 정도의 연평균 등농도 분포곡선을 나타내고 있다. 오존의 경우 경주 0.022±0.007 ppm, 포항 0.026±0.007 ppm, 울산 0.021±0.0040 ppm으로 포항이 가장 높고 경주와 울산 순으로 나타났다[2, 18~19]. 오존의 연평균 농도는 경주와 울산이 비슷하며 공업지역과 비공업지역의 특성차이를 보이지 않았다.

3.3 경주 인근지역 보건·환경 영향지역

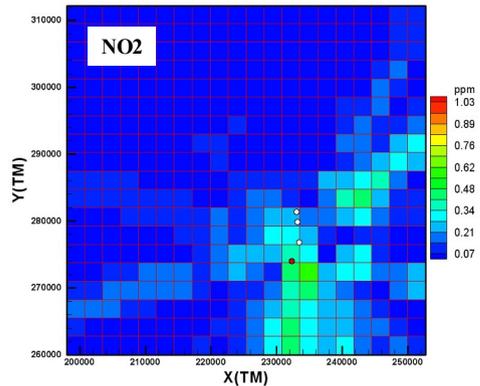
경주 인근지역의 대기오염물질 농도분포 및 보건·환경 영향지역을 살펴보기 위하여 대기오염물질의 이동 및 확산에 관한 모델링을 수행하였다. 대표적으로 주민의 보건·환경에 영향을 미치는 총부유분진, SO₂, NO₂에 대하여 조사하였으며, 그림 6에서와 같이 연평균 농도를 예측해 보았다. 먼저 mesh 영역은 계절적으로 측정치의 영향이 동일한 영역을 나타내며, 그 값이 적을수록 그 지점의 측정치가 기상조건 변동에 관계없이 평균농도를 의미한다. 중앙에 표시된 흰색의 점은 위로부터 차례로 대도동, 죽도동, 장흥동 자동측정소를 나타낸 것이며, 적색의 점은 대송리 측정소를 나타낸 것이다.

그림 6(A)는 경주 인근지역 SO₂의 년 농도편차를 나타낸 것으로 각 mesh의 농도분포를 활용하여 평균농도 변동폭이 적은 지역은 다른 지역에 비해 대기질 변동폭이 적은 지역이다. SO₂ 오염농도가 높은 지역인 철강공단지역에 위치한 장흥동과 대송면 측정소 부근은 계절에 관계없이 다른 지역에 비해 높은 SO₂ 농도가 배출되는 지역으로 계절에 따른 포항지역 SO₂ 평균농도의 편차가 다른 지역에 비해 크다는 것을 확인하였다. 특히 포항 철강공단지역은 POSCO와 함께 1공단과 2공단 및 3공단과 4공단이 모두 SO₂ 영향지역에 해당되는 것으로 판단되며 지속적으로 관리하기 위한 방안이 요구된다.

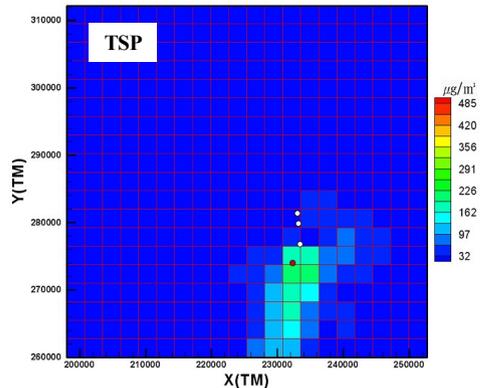
그림 6(B)는 이산화질소 농도의 계절별 및 년간 농도편차를 나타낸 것으로 아황산가스의 농도편차와 동일한 경향을 나타내었으며, 대송면 인근지역과 POSCO 부근해상이 다른 지역에 비해 계절에 따른 NO₂ 농도 변동폭이 크다는 것을 확인하였다. 이는 대기오염물질의 이송 및 확산을 결정하는 가장 중요한 인자는 바람에 의하여 대기오염물질의 정성적인 특징이 결정되게 되며 대송면 측정소의 경우 행정구역상 포항시 남구 대송면 및 송도리 일대가 동일 상세 바람권역에 해당되어 기타 측정소와는 다른 바람환경을 나타내고 있기 때문으로 판단된다. 그림 6(C)는 분진농도의 년 농도편차를 나타낸 것으로 농도분포를 비교한 결과, SO₂, NO₂의 농도분포와는 달리 농도편차가 소폭 감소하는 것으로 확인되었다.



(A)



(B)



(C)

[그림 6] 경주 및 인근 지역의 3가지 오염물질의 연 평균 농도분포 예측

4. 결론

본 연구에서는 경주 인근지역 시민의 건강을 보호하고 보건·환경위해성 평가의 기초자료를 확보하기 위하여

기상특성 및 국지적 상관성을 조사하고, 모델링 기법을 이용하여 대기오염물질의 거동 예측을 통해 보건·환경위해성 영향지역을 구분하고자 하였다. 이상의 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 경주 및 인근지역의 대기오염도 조사 결과, 연평균 대기환경기준물질의 농도는 경주지역이 상대적으로 포항, 울산지역 보다 낮은 경향을 보였으나, 경주지역의 대기오염 수준이 주변 공업도시의 대기질 오염 수준에 근접한 것으로 조사되었다. 특히 경주역 광장과 경주지역 용강사거리의 경우 PM10과 NO₂ 농도가 특정기간에 포항 및 울산지역 평균농도보다 높은 수준으로 나타났다.
2. 경주 및 주변지역 대기오염물질의 이동 및 확산에 관한 모델링을 수행한 결과, 포항철강공단지역은 POSCO와 함께 1·2·3·4공단 일부 지역이 PM10과 SO₂ 영향지역에 포함되는 것으로 판단되며, 포항 남구 해도동, 상대동, 제철동, 장흥동 등은 철강공업 및 대규모 산업시설이 밀집하여 다양한 형태의 대기오염물질이 고밀도로 배출되어 국지적 대기질을 악화시키고 있는 실정으로 대기오염물질에 직·간접적인 영향을 받고 있는 지역으로 판단된다.

참고문헌

[1] Jung, J. H. : A study on reaction characteristic of SO₂/NO_x simultaneous removal for alkali absorbent/additive in FGD and waste incinerator process, Pusan National University, Ph,D Dissertation, 1999.

[2] Jung, J. H. : Effects of air pollutants on the health/environmental risk assessment and weathering of stone cultural properties in Gyeongju and its vicinities, Daegu Haany University, Ph,D Dissertation, 2008.

[3] 정중현, 정민호, 손병현, 이근직, 서정호, 김현규 : 佛國寺 石造文化財 風化·毀損 特性-多寶塔과 佛國寺 三層石塔을 中心으로, 신라문화, Vol 31, pp. 107~135, 2008.

[4] 정중현, 정민호, 손병현 : 慶州地域 石造文化財 風化·毀損 特性, 신라문화, Vol 30, pp. 243~272, 2007.

[5] 국립환경과학원, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생태지표 모니터링(포항/1차), 2007.

[6] 국립환경과학원, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생태지표 모니터링(포항/2차), 2008.

[7] 국립환경과학원, 지역 주민 코호트 환경오염 노출수준 및 생태지표 모니터링(울산/1차년도), 2004.

[8] 국립환경과학원, 지역 주민 코호트 환경오염 노출수준 및 생태지표 모니터링(울산/3차년도), 2006.

[9] 국립환경과학원, 지역 주민 코호트 환경오염 노출수준 및 생태지표 모니터링(울산/4차년도), 2007.

[10] 기상청, 기상 대기질 자료(경주, 포항, 울산, 영천 외), 1997~2008.

[11] 국립환경과학원, 인터넷 제공자료, 2007~2009.

[12] Lakes Environmental Inc., User's guide CALRoads View, air dispersion models for roadways, 2002.

[13] Lakes Environmental Inc., User's guide ISC-AERMOD View, 2004a.

[14] Lakes Environmental Inc., User's guide ISC-AERMOD View Tutorials, 2004b.

[15] Lakes Environmental Inc., User's guide CALPUFF View, 2004c.

[16] 정중현 : 포항 철강공단지역 대기자동측정소 위치 재조정 조사연구. 경북지역환경기술개발센터, 최종보고서, 2007.

[17] 정중현, 임현호, 이화운, 장혁상, 손병현, 포항지역에 대한 바람권역 분석, Part I : 기상관측자료를 토대로 분석한 성긴 바람권역 분석, 한국환경과학회지, 2008.

[18] 김경원, 방소영, 정중현 : 기단 역계적 분석에 의한 경주시 대기오염물질의 농도 변화, 한국대기환경학회지, 2008.

[19] 손병현, 최원준, 최복용, 임현호, 정중현 : 경주 및 인근 지역의 기상 및 대기질 현황, 경주환경운동연합, 환경연구논문집, Vol. 2, pp. 57-82, 2007.

정 중 현(Jong-Hyeon Jung)

[정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 1999년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 2월 : 대구한의대학교 보건학과(보건학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 서라벌대학 보건의료행정과 조교수

<관심분야>

보건학, 환경학, 보건·환경역학, 문화재보존과학, 대기

최 원 준(Won-Joon Choi)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한국해양대학교 환경공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 2008년 10월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 온실가스연구단 연구원

<관심분야>

대기오염제어, 이산화탄소 흡수

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



- 1990년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 부산대학교 환경공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

대기오염제어, 폐기물처리, 이산화탄소 흡수

임 현 호(Heon-Ho Lim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 대기과 학과(공학사)
- 2000년 2월 : 부산대학교 대기과 학과(공학석사)
- 2006년 2월 : 부산대학교 대기과 학과(공학박사)
- 2007년 2월 ~ 현재 : 부산대학교 기초과학연구원 전임연구원

<관심분야>

항공기상, 대기모델링, 대기과학

박 동 소(Tong-So Park)

[정회원]



- 1998년 8월 : 연세대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건물에너지시스템, 도시환경