

경주지역 석조문화재 풍화에 미치는 대기오염물질의 영향

정종현¹, 정민호², 최원준³, 서정호², 황인조⁴, 손병현^{5*}

¹서라벌대학 보건의료행정과, ²공주대학교 문화재보존과학과, ³한국에너지기술연구원, 온실가스연구센터,
⁴대구대학교 환경공학과, ⁵한서대학교 환경공학과

Effects of air pollutants on the weathering of stone cultural properties in Gyeongju

Jong-Hyeon Jung¹, Min-Ho Jung², Won-Joon Choi³, Jung-Ho Seo²,
In-Jo Hwang⁴ and Byung-Hyun Shon^{5*}

¹Dept. of Health and Medical Administration, Sorabol College

²Dept. of Cultural Health Conservation Sciences, Kongju University

³Greenhouse Gas Research Center, Korea Institute of Energy Research

⁴Dept. of Environmental Engineering, Daegu University

⁵Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University

요약 경주시의 1~3종에 해당하는 고정배출원에서 배출되는 오염물질 배출량은 PM-10 0.70 ton/yr, SO₂ 13.95 ton/yr, NO_x 37.12 ton/yr로 조사되었고, 면오염원의 경우 PM-10 1.02 ton/yr, SO₂ 13.44 ton/yr, NO_x 21.10 ton/yr로 나타났다. 또한 이동오염원의 오염물질 배출량은 PM-10 963.91 ton/yr, SO₂ 1415.02 ton/yr, NO_x 5612.70 ton/yr로 조사되었다. 경주, 포항 및 주변지역의 대기 중 PM-10, SO₂ 및 NO₂의 농도분포를 확인한 결과, 고농도 지역은 주로 포항철강공단 및 이동오염원 주변이었다. 경주지역의 SO₂ 농도는 2006년 0.002 ppm에서 2015년 0.005 ppm으로, NO₂는 2006년 0.004 ppm에서 2015년 0.010 ppm으로 증가할 것으로 예측되었다. 이에 대기오염물질을 저감하기 위한 실천방안과 석조문화재를 환경오염물질 및 기타 화학적, 물리적, 생물학적 요인으로 부터 보호하기 위한 실천관리 프로그램이 적극적으로 도입되어야 할 시점으로 사료된다.

Abstract The amount of pollutants from stationary sources of businesses classified into 1-3 type in Gyeongju was found to be 0.70 ton/yr for PM-10, 13.95 ton/yr for SO₂, and 37.12 ton/yr for NO_x; with respect to area sources, 1.02 ton/yr for PM-10, 13.44 ton/yr for SO₂, and 21.10 ton/yr for NO_x; and with respect to mobile sources 963.91 ton/yr for PM-10, 1415.02 ton/yr for SO₂, and 5612.70 ton/yr for NO_x. This study surveyed the concentration distribution of PM-10, SO₂, and NO₂ in the air in around Gyeongju and Pohang, and found that high concentration was mainly distributed around Pohang Steel Industrial Complex and the around of mobile sources. In Gyeongju area, SO₂ was predicted to increase from 0.002 ppm in 2006 to 0.005 ppm in 2015, and that of NO₂ was predicted to increase from 0.004 ppm to 0.010 ppm during the same period. At this point, practicing guidelines to reduce air pollutants and management plan for environmental pollutants should be devised, and also practicing and management programs to protect the stone cultural properties from environmental pollutants and other chemical, physical, and biological factors should be actively introduced.

Key Words : Weathering, Stone cultural property, Air pollutants

본 연구는 경북지역환경기술개발센터의 2008년 환경기술연구개발사업(08-1-40-41-3)과 2009년 환경기술연구개발사업(09-2-40-41-9) 지원으로 일부 수행되었고, 이에 감사드립니다.

*교신저자 : 손병현(bhshon@hanseo.ac.kr)

접수일 09년 11월 23일

수정일 10년 02월 22일

게재확정일 10년 02월 24일

1. 서론

경주지역을 포함한 우리나라 전역에 분포하고 있는 대부분의 석조문화재는 특별한 보호 시설 없이 수 천년동안 옥외에 위치하고 있어 대기오염물질에 의한 풍화현상, 자연적 기상 변화 및 미생물학적 요인에 의한 풍화-훼손이 급격하게 진행되고 있다. 또한 종교적인 이유로 인위적인 훼손현상과 함께 최근 수십년간 산업화로 인한 환경오염이 가속화되면서 석조문화재의 풍화-훼손이 가중되고 있어 이에 대한 과학적인 보존대책 및 접근방법이 매우 시급한 실정이다[1-8].

경주 주변지역의 대기오염물질에 의한 석조문화재의 풍화 및 훼손 특성에 관한 연구는 본 연구팀의 연구결과(1998~2009)를 기점으로 활발하게 연구되고 있으며, 최근에는 석조문화재 보존을 위한 기본조사와 보존과학 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다[2-8]. 경주를 비롯한 경상북도 지역의 석조문화재를 대상으로 보존과학 기초조사 연구로서 지역의 석조문화재 현상 파악 및 보존 관리방안에 대한 연구가 문화재청과 한국문화재보존과학회 등에서 진행되었고, 정중현 등은 석조문화재의 생물학적 훼손 현상에 대해 진행과정과 원인을 구체적으로 제시하였다[1-3]. 최근 대기오염물질로 인한 지구온난화와 현상과 산성우 등에 의한 석조문화재의 풍화에 대한 연구는 세계는 물론 우리나라에서도 활발하게 연구되고 있다. 정중현 등[9]은 대기오염에 의한 석조문화재 훼손에 따른 피해 현황을 조사하고 보다 실질적이고 친환경적인 측면에서 석조문화재 보존의 접근 방법을 제시하였으며, 경주, 포항, 울산 권역의 산업구조, 지형, 대기물질, 기상자료를 바탕으로 경주권역으로의 대기오염물질 이동 및 유입가능성을 예측하였다. 또한, 토양 산성화의 진행 상황을 조사하여 경주권역에 유입되는 대기오염물질에 의한 석조문화재 훼손 현황을 일부 규명하였다[10].

본 연구에서는 경주 주변지역의 석조문화재를 환경오염으로부터 보존하기 위하여 경주지역에서 발생하는 오염물질의 배출현황을 조사하였다. 또한, 다양한 오염원에 대하여 최근의 국내·외 배출량 산정기법을 적용하여 오염물질 배출량을 체계적으로 산정하였고, 이를 바탕으로 석조문화재 풍화-훼손 인자로 작용하는 다양한 오염원을 확인, 제시하여 석조문화재 보존대책 수립의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구대상 및 방법

본 연구에서는 이동오염원과 공단지역에서 배출되는

오염물질의 영향을 많이 받고 있는 경주역과 시외버스터미널 인근지역에 위치한 노서동 석불입상(문화재자료 11호)과 황오동 삼층석탑(문화재자료 8호)의 풍화상태를 확인하였다. 노서동 석불입상과 황오동 삼층석탑에서 탈락된 암석을 EDX (energy dispersive X-ray analyser)가 부착된 주사전자현미경(SEM, JEOL JSM-6380LV)을 이용하여 변색된 부위에 대한 광물의 조성, 조직 및 화학조성의 변화를 확인하였다.

경주 주변지역 석조문화재의 풍화에 영향을 미치는 대기오염물질 발생원별 배출량 산정은 국립환경과학원의 CAPSS(대기보전정책수립지원시스템) 대기배출량 자료를 활용하였다. 배출규모가 큰 1~3종 배출업소에 대한 공간할당은 각 배출원의 TM 좌표를 GIS상에 입력시킴으로서 공간위치를 배분시켰으며, 시간 할당은 365일 24시간 연속 가동하는 것으로 가정하여 시간적 배출량을 산출하였다. 또한 본 연구에서는 차량이동이 많은 경주역 광장과 용강공단 사거리에서 대기측정차량을 이용하여 1년간 분기별로 대기질을 조사하였으며 경주시 성건동의 환경부 측정 자료와 비교 및 분석하였다. 대기질 측정 항목은 환경정책기본법상의 대기질 환경기준 항목 중 미세먼지(PM₁₀), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO) 등 5개 항목을 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

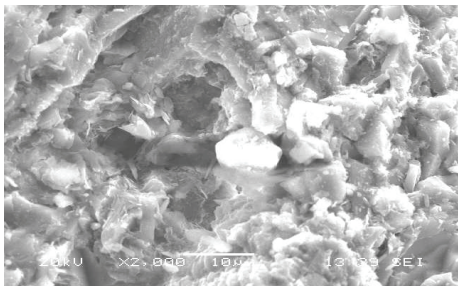
3.1 석조문화재 풍화 및 훼손

암석의 풍화는 오랜 기간 동안 지표의 환경과의 끊임 없는 반응에 의하여 일어나며, 석조문화재의 풍화, 훼손 원인을 제거하여 더 이상 훼손되지 않도록 하는 것이 석조문화재를 보존하는 최적의 방안이 되기 때문에 암석의 훼손 원인을 정확히 밝히는 일은 석조문화재의 보존방안을 세우는데 대단히 중요하다.

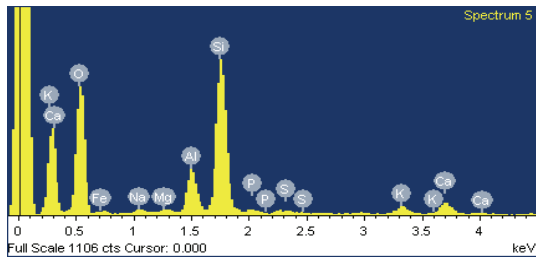
표 1은 노서동 석불입상의 EDS 분석결과를 나타낸 것이고 그림 1과 그림 2는 노서동 석불입상의 SEM 및 EDX를 나타낸 것이다. 그림 1, 그림 2 및 표 1에서 확인한 바와 같이 노서동 석불입상은 결정들의 결합력이 많이 약해져 있음을 확인할 수 있었고 또한 S성분이 검출되어 인위적인 오염물질(황산화물)이 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 이유는 경주 및 인근지역의 각종 산업공정 및 산업시설 등에서는 대기 중으로 오염물질을 배출하고 있기 때문으로 판단되며, 자동차 배출가스와 산성비 등에 의하여 석조문화재 풍화·훼손이 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

[표 1] 노서동 석불입상과 황오동 삼층석탑의 물성치

성분	무게(%)		분자식
	노서동 석불입상	황오동 삼층석탑	
Na	0.96	-	Na ₂ O
Mg	0.53	1.26	MgO
Al	7.58	7.04	Al ₂ O ₃
Si	29.95	21.44	SiO ₂
P	1.17	3.01	P ₂ O ₅
S	0.44	3.12	SO ₃
K	2.04	1.46	K ₂ O
Ca	3.40	10.31	CaO
Fe	6.55	3.04	FeO
O	47.37	46.25	-



[그림 1] 노서동 석불입상 SEM 사진

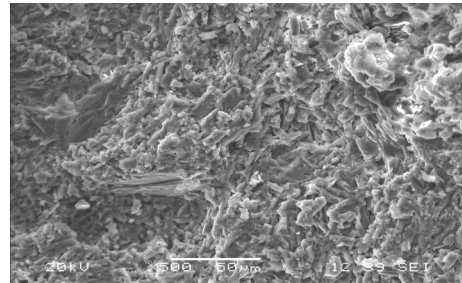


[그림 2] 노서동 석불입상 EDS 사진
(분석: 국립경주문화재연구소 보존과학실)

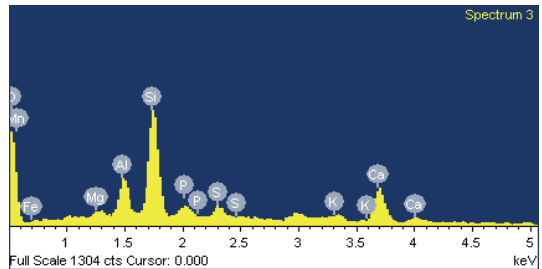
석조문화재의 풍화·훼손에 영향을 미치는 대기오염 물질은 황산화물, 질소산화물, 미세먼지, 매연 등이 있으며, 이러한 대기오염물질은 지상에 건조된 상태 또는 빗물 및 수분에 녹아 산성우와 산성안개 및 산성눈 등의 형태로 석조문화재에 영향을 미치게 된다. 노서동 석불입상의 주요성분은 다양한 광물질로 구성되어 있고, 이들 성분 중 많은 부분을 차지하고 있는 Ca²⁺ 성분은 SO₄²⁻ 등 황산을 함유한 산성비, 산성눈 및 산성안개와 접촉하게 되면 화학반응에 의해 CaSO₃·2H₂O(s)와 CaSO₄(s) 등을 생성하여 화학적 풍화가 진행되게 된다.

그림 3과 그림 4는 황오동 삼층석탑의 SEM 및 EDS 분석 결과를 그리고 표 1은 물성분석 결과를 타나낸 것이

다. 황오동 삼층석탑은 전형적인 알칼리 화강암으로 주요 조암 광물은 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 흑문모 등으로 이루어져 있고, 부성분 광물로는 각섬석, 인회석 등 불투명 광물 등으로 구성되어 있다. 또한 노서동 석불입상과 마찬가지로 S성분이 검출되어 인위적인 오염물질(황산화물)이 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 함께 황오동 삼층석탑의 표면에 풍화에 의해 이차적으로 생성된 철수산화물 및 점토광물이 관찰되었다.



[그림 3] 황오동 삼층석탑 SEM 사진



[그림 4] 황오동 삼층석탑 EDS 사진
(분석: 국립경주문화재연구소 보존과학실)

표 2는 차량이동이 많은 경주역 광장(A)과 공단지역 오염물질을 배출하고 있는 용강공단 사거리(B)에서 측정 한 대기질 현황을 나타낸 것이며, 경주시 성건동의 대기 오염자동측정소 측정자료와 비교하였다. 경주지역 대기 오염자동측정소에서 조사된 이산화질소 연평균 값은 0.020±0.003 ppm이었고, 경주역 광장(A)과 용강공단 사거리(B)에서 측정한 이산화질소 농도는 0.018~0.034 ppm이었다. 경주역(A)과 경주 용강사거리(B)에서 미세먼지의 농도가 53~67 µg/m³이었으며, 연평균 값은 51.2±20.8 µg/m³으로 환경기준 범위 내에 해당되어 것으로 나타났다.

경주시 성건동에서 조사된 아황산가스의 연평균값은 0.003±0.002 ppm이었고 측정한 아황산가스 농도는 0.002~0.009 ppm이었다. 오존과 일산화탄소의 연평균값과 경주역(A)과 경주 용강사거리(B)에서 측정된 농도 또한 경

주와 올산이 비슷하였고 대기환경기준을 만족하였다. 그러나 노서동 석불입상과 황오동 삼층석탑의 표면에서 확인된 바와 같이 대기환경기준을 만족하더라도 석조문화재 표면광물의 결합력은 급격하게 약화되고 있으며, S 성분과 SO₄²⁻ 등 황산을 함유한 산성비와 화학작용에 의하여 화학적 풍화와 함께 인위적인 영향을 복합적으로 받고 있으므로 향후 이러한 문제점을 해결하기 위한 지속적인 연구가 수반되어야 할 시점이다.

[표 2] 경주역과 용강공단의 대기질 분석결과

오염물질		PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	CO (ppm)
환경기준		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
	1차	67.0	0.009	0.039	0.011	1.1
경주 역 (A)	2차	57.0	0.008	0.030	0.010	0.9
	3차	53.0	0.005	0.034	0.035	0.3
	4차	55.0	0.007	0.020	0.018	0.3
용강 공단 (B)	1차	-	-	-	-	-
	2차	62.0	0.009	0.027	0.010	1.0
	3차	61.0	0.002	0.021	0.027	0.3
	4차	59.0	0.008	0.018	0.019	0.2

경주시 대기오염물질 배출업소는 해당업소의 대기오염물질 배출량에 따라 1종(대형)에서 5종(소형)사업장으로 분류되며, 경주시의 대기오염물질 배출업소는 2006년 기준으로 481개 업소가 있으며, 3종 26개소, 4종 157개소, 5종 298개소가 입지하고 있는 것으로 나타났다. 또한 경주시의 자동차 등록대수가 2002년부터 최근까지 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 관광객의 증가로 인한 자동차와 버스 등 이동오염원 배출가스가 석조문화재에 풍화훼손에 일부 영향을 미치는 것으로 사료된다.

3.2 오염물질 배출

대기오염물질 발생원은 형태에 따라 크게 고정오염원(점오염원과 면오염원)과 이동오염원으로 분류된다. 표 3에서 제시하였듯이, 경주지역의 1~3종 고정배출원에서 오염물질 배출량을 산정한 결과 PM-10 0.70 톤/년, SO₂ 13.95 톤/년, NO_x 37.12 톤/년으로 조사되었다. 면배출원은 주거 및 상업 활동의 연료 연소는 주로 난방과 취사행위에 따른 것이 대부분이다. 배출량 산정은 통계청 홈페이지에서 제시한 인구자료와 에너지통계연보에서 제시한 가구당 연료 사용량 자료를 이용하여 수행하였다. 난방부문은 연탄, 등유, 경유, B-C유, LNG 사용량에 대해 연료별 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하고, 취사부분은 난방부문과 동일한 방법으로 LPG 사용량 자료를 토대로 배출량을 산정할 수 있다. 본 연구에서 면배출원의 배출량 산정은 대기배출량자료가 확보되어 있는 국립환경과학원의 CAPSS(대기보전정책수립지원시스템)의 대기배출량 자료를 기준년도의 자료로 수집·활용하였다. 경주 주변지역의 면오염원에 기인한 대기오염물질 배출량을 산정한 결과 PM-10 1.02 톤/년, SO₂ 13.44 톤/년, NO_x 21.10 톤/년으로 조사되었다.

또한, 자동차에 의한 대기오염 배출량 산정방법은 크게 4륜차와 2륜차를 구분하였으며, 본 연구에서의 자동차에 의한 미세먼지 배출량 산정은 교통안전공단에서 실시한 연구 자료를 바탕으로 차종별 일 평균 주행거리와 차량등록대수를 기준으로 배출계수를 적용하여 자동차의 배출량을 산정하였다. 도로이동 오염원 중 자동차 외에 중요한 부분을 차지하는 것은 이륜차이며, 대기오염물질 배출량 산정시 사용된 배출계수는 국립환경연구원, 자동차공해연구소의 이륜자동차 배출계수를 이용하였고, 도로이동오염원에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 산정한 결과, 경주주변지역 시민의 건강에 영향 인자로 작용하는 도로이동오염원에 대한 오염물질 배출량을 산정한 결과 PM-10 963.91 톤/년, SO₂ 1415.02 톤/년, NO_x 5612.70 톤/년으로 나타났다.

[표 3] 경주시 오염원별 장래 배출량 예측(톤/년)

구분	PM ₁₀			SO ₂			NO ₂		
	2006	2010	2015	2006	2010	2015	2006	2010	2015
점오염원	0.70	0.74	0.82	13.95	14.63	15.61	37.12	37.31	38.42
면오염원	1.02	1.09	1.19	13.44	14.10	15.04	21.10	21.21	21.84
도로이동 오염원	963.91	1,025.6	1,124.06	1,415.02	1,484.36	1,583.81	5,612.70	5,640.76	5,809.98
비도로 이동오염원	237.19	252.37	276.60	351.89	369.13	393.86	915.84	920.42	948.03
계	1,202.82	1,279.8	1,402.67	1,794.3	1,882.22	2,008.32	6,586.76	6,619.7	6,818.27

비도로 이동배출원에 기인한 오염물질의 배출량 산정은 작업현장에서 발생하는 배출량만을 산정 하였으며, 이 중에서 발생하는 배출량은 제외하였다. 배출량 산정식은 미국 EPA의 비도로 오염원 배출량 산정 방법론(US-EPA. Nonroad Engine and Vehicle Emission Study-Report. 1991)을 이용하였고, 배출량을 산정하기 위한 배출계수는 국립환경연구원 자동차공해연구소에서 연구 조사한 배출계수를 인용하였다.

경주시의 대기오염물질은 다른 도시지역과 마찬가지로 도로 이동오염원이 주요 원인의 하나인 것으로 추정된다. 시민의 건강과 석조문화재의 풍화인자로 작용하는 오염물질 장래배출량을 예측하기 위하여 기준년도 배출량에 각 부문별 배출영향 인자의 증가율(growth factor) 및 규제관리계수(control factor)를 반영하여 경주시의 장래 배출량을 추정하였으며, 표 3에서는 경주시 오염원별 오염물질 장래 배출량을 예측하여 기술하였다. 비산업연소와 용제사용부문은 인구수 변화를 고려하여 산정하며, 도로이동오염원과 주유소부문은 자동차 증가추이 및 장래 통행수요 예측을 이용하여 산정하고, 폐기물 소각부문은 폐기물 발생량 추이를 이용하여 산정하였다.

또한, 기본적인 자료가 제시되어 있지 않은 건설장비와 용제사용 중 세정과 도장시설 부문은 환경부 「대기보전 정책수립 지원 시스템(CAPSS : Clean Air Policy Support System)」의 부문별 경주시 장래배출량의 증가비율을 적용하여 산정하였다. 분석결과 2006년에서 2015년의 대기오염물질 배출량은 PM₁₀의 경우 1202.82 톤/년에서 1402.67 톤/년으로, SO₂는 1,794.30 톤/년에서 2,008.32 톤/년으로 확인되었으며, NO₂는 6,586.76 톤/년에서 6,818.27 톤/년으로 지속적으로 증가하는 추세로 예측되어 향후 대기오염물질의 발생을 저감하기 위한 기술 및 대책이 새롭게 강구되어야 할 시점으로 판단된다.

경주지역의 대기질 변화 전망을 예측하기 위하여 U.S. EPA에서 개발 보급한 장래 대기질 장·단기 예측 모델인 ISC3(Industrial Source Complex Version 3)를 사용하였다. 그림 5와 그림 6에서는 오염물질별(SO₂, NO₂) 경주 및 포항 주변지역의 장래 대기질 농도 분포도를 나타낸 것으로 고농도 지역은 주로 포항철강공단 및 도로이동오염원 주변으로 확산이 일어나는 것을 확인하였다. SO₂ 및 NO₂의 확산은 포항철강공단 및 도로이동오염원 주변으로 확산이 일어나는 것을 알 수 있으며, 경주시 지역의 SO₂ 농도분포는 2006년 0.002 ppm에서 2015년 0.005 ppm으로 NO₂ 농도분포는 0.004 ppm에서 2015년 0.010 ppm으로 증가할 것으로 예측되었다.

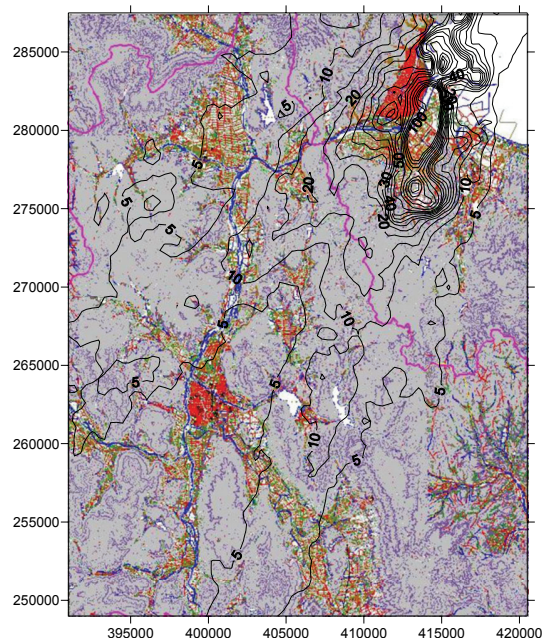
향후 대기오염물질을 저감하기 위한 실천방안과 석조문화재를 환경오염물질 및 기타 화학적, 물리적, 생물학

적 요인으로 부터 보호하기 위한 실천관리 프로그램이 적극적으로 도입되어야 할 시점으로 사료되며, 장래 대기오염물질 저감방안 및 환경성 질환 및 호흡기계 질환 등을 유발하는 오염물질 간접 평가지표로 활용하기 위한 다양한 방안을 강구하여야 할 시점으로 사료된다.

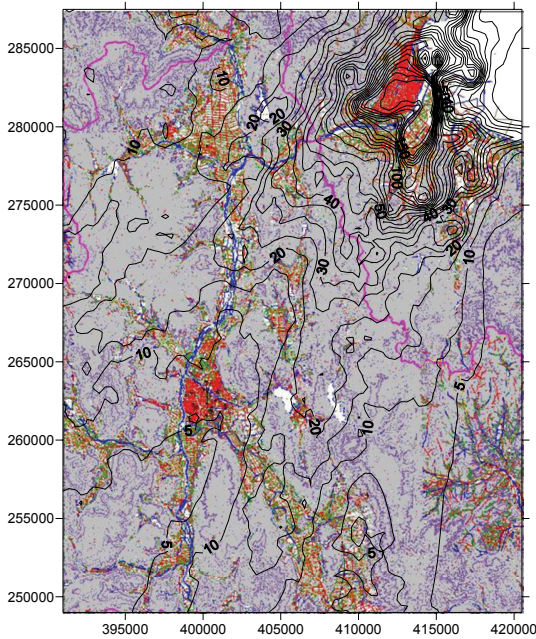
4. 결론

경주 주변지역의 석조문화재를 환경오염으로부터 보존하기 위해 경주지역에서 발생하는 대기오염물질을 대상으로 대기질 배출원 및 배출량 등을 조사하였으며, 결론은 다음과 같다.

1. 노서동 석불입상 및 황오동 삼층석탑의 SEM 및 EDS 물성분석 결과, 광물의 결합이 많이 약해져 있음을 확인할 수 있었고 S성분이 검출되어 노서동 석불입상에 인위적인 오염원이 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 황오동 삼층석탑의 표면에서 풍화작용에 의하여 이차적으로 생성된 철수산화물 및 점토광물이 관찰되었다.



[그림 5] 2015년 경주 및 인근지역의 SO₂ 농도 예측



[그림 6] 2015년 경주 및 인근지역의 NO₂ 농도 예측

2. 고정오염원의 배출현황을 조사한 결과, 경주시의 1~3층에 해당하는 고정배출원에 배출되는 오염물질의 배출량은 PM-10 0.70 톤/년, SO₂ 13.95 톤/년, NO_x 37.12 톤/년으로 조사되었고, 면오염원 대기오염물질 배출량은 PM-10 1.02 톤/년, SO₂ 13.44 톤/년, NO_x 21.10 톤/년으로 조사되었다. 도로 이동오염원에 대한 각각의 오염물질 배출량을 산정한 결과, 배출량은 PM-10 963.91 톤/년, SO₂ 1415.02 톤/년, NO_x 5612.70 톤/년으로 조사되었다.
3. 경주, 포항 및 주변지역의 대기질 농도분포를 확인한 결과, 고농도 지역은 주로 포항철강공단 및 도로 이동오염원 주변으로 확산이 일어나는 것을 알 수 있었으며, 경주지역의 SO₂ 농도는 2006년 0.002 ppm에서 2015년 0.005 ppm으로 증가하고 NO₂ 농도는 0.004 ppm에서 2015년 0.010 ppm으로 증가할 것으로 예측되었다.

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, 서정민, 김현규 : 불국사 석조문화재 풍화·훼손 특성-다보탑과 불국사 삼층석탑을 중심으로-, 신라문화, 제31집, 107-135, 2008.

[4] 정중현, 정민호, 최원준, 손병현, 장혁상 : 경주 원원사지 동·서 삼층석탑 풍화·훼손 요인, 신라문화, 제33집, 175-206, 2009.

[5] 정중현, 손병현, 정민호, 임현호, 김경원, 김현규 : 해수와 대기오염물질이 석조문화재에 미치는 영향-감은사지 삼층석탑을 중심으로, 한국환경보건학회지, 33(4), Vol. 33, No. 4, pp. 325-337, 2007.

[6] 정중현, 정민호, 손병현 : 경주지역 석조문화재 풍화·훼손 특성, 신라문화, 제30집, Vol. 30, pp. 243-272, 2007.

[7] 최봉욱, 정중현, 최원준, 전창재, 손병현 : 발생원에 근거한 울산지역의 대기중금속 분포특성 및 발암위해성 평가, 한국환경보건학회지. Vol. 32, No. 5, pp. 522-531, 2006.

[8] 최봉욱, 정중현, 최원준, 손병현, 오광중 : 오염원 및 기상 조건에 따른 울산지역의 고농도 대기오염 분포 특성, 한국환경보건학회지, Vol. 32, No. 4, pp. 324-335, 2006.

[9] 정중현, 최석규, 손병현, 이강우, 이형근 : 대기오염에 의한 경주권역 석조문화재 훼손 현황 조사. *대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집II*, pp. 161~162, 2002.

[10] 정중현, 최석규, 손병현, 이강우, 정우식, 이형근 : 경주권역으로의 대기오염물질 이동 및 석조문화재 훼손. *대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집II*, pp. 1016~1018, 2004.

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, 산업보건, 환경역학, 문화재 보존과학, 학교보건 및 실내오염, 대기

정 민 호(Min-Ho Jung)

[정회원]



- 2006년 2월 : 공주대학교 문화재 보존과학과(이학석사)
- 2009년 7월 : 공주대학교 문화재 보존과학과(이학박사 수료)
- 1981년 3월 ~ 현재 : 국립경주 문화재연구소 보존과학실 전문위원

<관심분야>

석조문화재, 금속문화재 보존기술, 문화재 수복기술

황 인 조(In-Jo Hwang)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경희대학교 환경학과 (이학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 환경학과 (이학박사)
- 2007년 9월 ~ 현재 : 대구대학교 환경공학과 조교수

<관심분야>

대기오염 모니터링, 수용모델, 실내공기 오염, 이차 에어로졸, OC/EC 분석

서 정 호(Jung-Ho Seo)

[정회원]



- 1991년 8월 : 단국대학교 건축공학과(공학석사)
- 1997년 3월 : 일본九州대학 건축학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 문화재보존과학과 교수

<관심분야>

고건축, 문화재 수복기술, 단청

손 병 현(Byung-Hyun Shon)

[정회원]



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

<관심분야>

대기오염제어(탈황 및 탈질), 폐기물처리, 이산화탄소 흡수, 대기화학

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