한국대기환경학회 2008 춘계학술대회 논문집
Proceeding of the 46th Meeting of KOSAE(2008)
Korean Society for Atmospheric Environment

PA51) 대기 중 입자상 물질에 의한 석조문화재 영향

Effect of Airborne Particles on Stone Cultural Properties

김 경 원 · 도 진 영[1)]
경주대학교 환경계획학전공, [1)]경주대학교 문화재보존학전공

1. 서 론

문화유산의 보전은 사회적 및 경제적 이해와 함께 성장되어야 할 고귀한 가치이다. 그러나 온전하게 후세대에게 전달해야 하는 문화유산은 다양한 내재적 및 외향적 요인에 의해 손상된다. 문화재 훼손의 주요한 원인은 문화재를 구성하고 있는 재질의 물리적 및 화학적 특성에 따라 다양하게 나타나며, 원인 물질의 종류에 따라 크게 물리적인 손상과 화학적인 손상 및 생물학적인 손상으로 나눌 수 있다. 이러한 문화재 훼손의 요인은 문화재가 처한 환경과 밀접한 관련이 있으며 단일 요인에 의하여 손상이 발생되기도 하지만, 대부분은 여러 가지 요인이 복합적으로 작용되어 문화재의 훼손을 가속화시킨다. 문화재 훼손의 원인은 고의적 파손을 제외하면 동식물 환경 및 기상요인에 의한 영향이 대부분을 차지한다. 즉 자연현상이 주요한 원인이다. 그러나 인구가 증가하고 산업이 발전됨에 따라 문화재 훼손에 영향을 미칠 수 있는 인위적인 대기오염물질의 배출이 증가되었다. 문화재에 영향을 미치는 대기오염물질은 여러 가지 발생인자에 의해 다양한 형태로 발생된다. 산업이 고도화되고 자동차가 늘어남에 따라 입자상 물질의 발생이 더욱 증가하는 추세이다. 황산화물, 질소산화물, 암모늄 이온 등은 습기와 결합하여 문화재에 많은 피해를 준다. 공장의 매연이나 자동차에서 많이 배출되는 아황산가스는 대리석을 침식시키고 종이, 섬유 등의 손상을 초래할 수 있으며, 질소산화물은 면이나 양모로 제작된 문화재의 셀룰로오스에 있는 염료를 변질시킬 수 있고, 암모니아는 안료의 색상변화를 유발시킬 수 있다. 본 연구에서는 대기 중 입자상 물질의 화학적 조성과 석조문화재 표면 오염물질의 화학적 조성 간의 상관성을 통해 대기오염에 의한 석조문화재의 영향을 조사하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 경주시 국립공원 지역 대기 중 입자상 물질의 채집을 위하여 각각 3월 12일부터 5월 9일까지 59일간 집중관측이 수행되었다. 국립공원 지역 대기질관측소는 국립공원 서악지구 부근의 경주대학교 공학관 옥상에 조립식 건물로 설치되었다. 1㎛ 이하의 입자상물질을 채집하기 위하여 경주시 효현동 소재의 경주대학교 대기질관측소에 URG사 $PM_{1.0}$(model URG-2000-30EHB) 및 $PM_{2.5}$(model URG-2000-30EH) cyclone 관측 장비가 설치되었다. $PM_{1.0}$ cyclone에 의해 24시간 간격으로 채집된 1㎛ 이하의 나노입자(D_p<1.0㎛)는 원소 분석이 실시되었다. 원소분석을 위하여 Costar사 47mm 0.4㎛ pore polycarbonate 재질의 모델 Nuclepore 필터를 사용하여 PIXE(proton induced X-ray emission) 분석법으로 알루미늄(Al), 규소(Si), 인(P), 황(S), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 티타늄(Ti), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 구리(Cu), 아연(Zn), 셀레늄(Se), 카드뮴(Cd) 및 납(Pb)의 총 15개 원소가 정성 및 정량 분석되었다. PIXE 분석은 서울대학교 기초과학공동기기원의 정전가속기연구센터에서 운영 중인 3MV Tandetron 정전형 양성자가속기로부터 이온원(ion beam)을 획득하여 3.0MeV 양성자의 직경 1mm, 4~5nA 이온빔을 조사하여 수행되었다. 나노입자의 이온분석은 TOA사 IA-300을 이용하여 ion chromatograpy법으로 수용성 이온성분 Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, F^-, Cl^-, NO_2^-, Br^-, NO_3^-, SO_4^{2-}이 분석되었다. 또한 1㎛ 이하의 나노입자의 물리 · 화학적 특성을 규명하기 위하여 주사전자현미경(scanning electron microscope) 분석법이 도입되었다. 대기오염물질이 석조문화재 표면에 축적되는 경향을 살펴보기 위하여 집중관측기간 시작 전에 석조문화재 표면을 붓을 이용하여 표면물질을 전처리 한 후에 쌓인 시료를 채취하였다. 본 연구에서는 유사한 환경에 위치하고 있으나 그 표면조직은 미생물의 서식으로 인하여 상이한 차이를 보이

는 보물 제65호 서악리삼층석탑과 보물 제67호 효현리삼층석탑이 연구대상으로 선정되었다.

3. 결과 및 고찰

석탑 표면침착물질의 주요 구성화학성분을 표 1에 나타내었다. 황사현상 전, 황사현상 당시 및 황사현상 이후로 석탑에 침착되는 입자들의 질량농도에서 뚜렷한 차이가 관측되었다. 황사현상 시 석조문화재의 표면에서는 측정된 성분의 질량농도가 황사현상 전과 비교하여 약 10% 정도 증가되었으며, 황사현상 후에 측정된 자료에서는 황사현상 전의 값에 비하여 약 3% 증가된 값을 나타내었다. 이는 황사현상이 지나간 후의 대기 중의 입자상 물질의 질량농도는 25.5μg/m^{3}에서 7.1μg/m^{3}으로 감소하였지만 석조문화재의 표면에는 황사현상 시 축적된 입자상 물질들이 잔류하고 있음을 나타낸다.

Table 1. Major elemental concentrations of the stone surface samples observed before Asian Dust(AD) storm event, under AD event, and after AD event in the national park area of Gyeongju.

Samples	Sampling time	Element(wt.%)					
		Sum	Al	Si	Ca	Fe	S
Seoakri	Before AD	40.76	1.43	16.84	11.01	3.01	2.47
	AD	54.58	3.88	34.77	4.25	3.26	4.30
	After AD	43.55	3.02	23.12	3.49	4.19	4.29
Hyohyunri	Before AD	37.99	1.72	20.18	9.01	3.08	0.84
	AD	50.70	2.58	23.31	16.20	1.46	5.19
	After AD	40.29	1.84	14.75	10.57	3.25	4.55

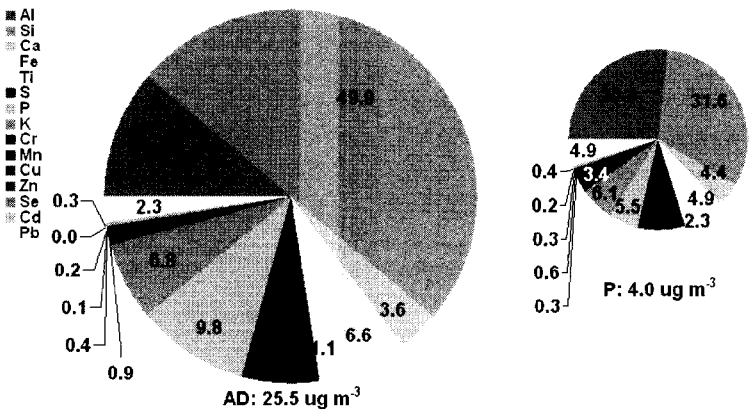

Fig. 1. Variations of elemental compositions with Asian Dust(AD) and precipitation(P) events.

사 사

본 연구의 일부는 과학기술부의 21세기 프론티어 연구개발 프로그램의 일환으로 추진 중인 양성자기반공학기술개발사업의 이용자프로그램과 환경부 "차세대 핵심환경기술개발사업"으로 지원받은 과제(010020055)의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.