

경천사십층석탑의 오염물분포별 현황조사를 통한 석탑 풍화도에 관한 연구

*Research of stone pagoda weathering degree from contaminated distribution
analysis of 10-storied pagoda in the temple of Kyoungchunsa*

金振亨, 李住阮, 姜大一¹⁾

Jin Hyoung Kim, Joo Wan Lee and Dai Ill Kang

<ABSTRACT>

The conservation treatments of 10-storied pagoda in the temple of Kyoungchunsa is progressed favorably to come to the finish since 1995. Most of all, the important conservation treatments are stone crack, exfoliation and partial form modification.

This pagoda has been made up a complicated structure constructed using 142 stones. Therefore, the stone crack and exfoliation have been occurred as very varied forms. Especially, the stylobate of the pagoda has 19 substitution stones of 48 stones, which is 40% of modern stone substitution. It is supposed that there is serious weathering on the stones. The other stones, which are no substitution stones, have some kinds of weathering and so we carried out inside replenishment and partial outside reconstruction of crack stones using high molecular resin and substitution stone. The stone of each storey has also partial difference, but the condition of serious weathering on the whole.

We can detect general degree through treatment of high molecule resin or distribution research of contaminated material on 10-storied pagoda in the temple of Kyoungchunsa. Especially, we are able to analyze general weathering degree and know details weathering of each storey or direction for the difference of replenishment quantity and different pattern of stone crack degree.

Also, the distribution research will accomplish very important parts of examining environment effects and use as research data of cultural heritage conservation field.

1) 한국전통문화학교 보존과학과

I. 서 론

1919년경 반환된 경천사십층석탑은 경북궁 회랑에 방치되어 있다가 1960년에 많은 부재들의 훼손이 이루어진 상태를 시멘트 모르타르를 이용하여 부분적인 보관을 하였다(김사덕, 1996년). 1960년 복원된 이후, 부재들의 원형 보존 상태가 양호한 상태였으나 도심 중심에 위치한 지리적 환경에 의해 경천사십층석탑은 직접적인 영향을 받게 되었다. 특히, 문화재의 손상요인인 온도, 습도, 광 및 공기오염물질 등의 환경 인자에 노출된 상태로 있었다(강대일, 2003년). 그 중 SO₂, NO₂, O₃ 및 분진 등의 공기오염물질은 석탑에 치명적인 영향을 주었는데, 그 원인은 대도시의 대기 상태가 급속한 산업 발전과 폭발적인 자동차 보유 대수의 증가, 대도시로의 인구 밀집 그리고 전반적인 주거 환경의 변화와 소비 증대로 인한 연료 사용량의 증가로 악화 되고 있기 때문이다(서기수 등, 1997년). 현대의 에너지원은 대부분 석유, 석탄 및 천연가스 같은 화석연료를 사용하고 있는데, 이 화석연료는 연소시 분진뿐만 아니라 대기오염물질인 SO₂, NO_x 및 HC 등이 다량 배출되어 도시 대기오염의 주범인 광화학스모그 및 산성비의 원인이 되고 있다(김희강 등, 1988년). 이러한 대기오염물질 중 SO₂는 수분과 함께 작용하여 금속재료, 대리석, 석회석 등에 부식을 야기 시키고(EPA, 1969년), 석탑과 같은 대기 중에 노출되어 있는 문화재는 대기오염물질의 침식으로 급속도로 훼손되어 흑색으로 탈바꿈하고 있다(노재식, 1980년).

1996년 1월부터 1997년 6월까지 원각사지십층석탑과 유사한 대리석 시편을 탑골공원(종로)과 광화문에서 옥외 노출 여부에 따른 산성비가 시편에 미치는 영향에 대해 실험한 결과에 의하면 옥외에 노출된 시편이 실내보다 7.7배 정도의 부식감량이 높게 나타났고 색변화 또한 노출된 시편이 옥내의 시편보다 1.2배 정도 변색도가 높게 나타났다. 또한 산성비에 대한 용해 실험 결과, 산성비는 대리석의 부식감량에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났는데(김사덕, 1997년), 이와 같은 산성비는 대기 중의 일산화탄소, 이산화황, 질소산화물 등이 빗물과 합쳐져 산酸으로써 되어 경천사십층석탑과 같은 석회암이나 대리석 재질의 노출된 구조물의 표면을 용해시켜 물에 녹기 쉬운 물질로 변화시킨다.

이러한 이유에서 도시 근교에 위치한 석조문화재들은 보호각 설치와 같은 기본적인 대책을 세우고 있는데 대기오염에 치명적인 석회암질의 석조문화재의 경우, 그 대처 방안의 대표적인 예로 원각사지십층석탑(국보 제2호)을 들 수 있다. 이 탑은 경천사십층석탑과 위치적 환경 조건이나 조성암석재질의 특성이 유사하여 좋은 예가 되고 있는데, 1993년 실측조사 및 상태조사를 실시한 결과, 산성비에 대한 피해가 심하여 산성비에 대한 보존보호대책으로 빗물과의 직접적인 접촉을 차단하기 위해 보호각을 세워 빗물 뿐만 아니라 눈에 덮이는 것까지 방지하고 보호각 설치 이후에도 습기가 차지 않도록 통풍에도 유의해야 한다(문화재관리국, 1993년)는 조사결과가 나온바가 있어 1999년 12월경 원각사지십층석탑에 대한 보호각 신축이 결정되어 현재 보호각 내부에 보존되고 있는 상태이며 비슷한 위치의 유사 암질인 원각사비(보물 제3호)도 보호각이 설치된 상태로 보존되고 있다. 이렇듯 대기 중에 노출된 석탑에 대한 보존방안이 진행되는 가운데 경천사십층석탑 또한 이러한 외부환경에 의해 재질의 풍화와 접착면의 손상으로 인해 국립문화재연구소 보존과학연구실 주관으로 1995년 6월에 해체하여 보존처리를 진행 중에 있다.

II. 본 론

1. 조사개요

경천사십층석탑은 142개의 부재로 이루어진 형태적으로도 복잡한 구조의 석탑이다. 그리하여 균열 및 박락의 진행 양상 또한 다양한 형태로 발생되어있다. 특히 기단부의 경우 48개의 부재중 19개가 대체석으로 약40%의 신석 교체 비율을 나타내고 있어 풍화도의 심화 정도를 알 수 있다. 또한 남아 있는 기단부에 60%도 풍화가 심해 고분자수지와 대체석을 이용한 균열부분에 대한 내부충진 및 부분적 외부형태복원을 실시였고 탑신부에 각층의 부재 또한 부분적인 차이는 보이고 있으나 전체적으로 풍화가 심한 상태로 있다. 이러한 경천사십층석탑에 발생된 균열부분의 고분자수지처리에 있어서 개



체 부재별 풍화정도에 따라 균열정도가 각기 다른 양상을 보이고 있고 충전량 또한 차이를 보이고 있다. 이것은 전체적인 풍화도 해석에 있어 매우 중요한데 특히, 오염물에 대한 층별, 방향별 분포조사는 매우 중요한 부분이다.

2. 조사방법

Table 1과 같이 각 오염물의 단계를 크게 4등급으로 나누어 조사를 하였다. 먼저 단계 'A'의 경우 오염정도가 심화된 상태로써 표면적으로는 조각의 형태를 유지하고 있으나 실제로는 풍화가 심화되어 오염물 내부는 석질은 물성이 변한 상태로 존재하여(퇴화층 형성) 풍화단계에서 제일 상위의 단계이다. 그리고 단계 'B'는 오염층 형성이 된 상태지만 조각의 원형손상이 이루어지지 않아 오염층 안쪽의 조각 상태나 석질은 양호하다. 그리고 대략 1mm이상의 오염층 두께가 형성된 단계이다. 단계 'C'의 경우 오염층 형성이 1mm 이내로 비교적 양호한 상태의 오염 단계이다. 마지막으로 단계 'D'는 미세한 오염층 형성단계로 조각 표면에 얇은 도포형태의 수준이다. 이렇게 분류된 오염부분에 단계를 각각의 부재에 적용시켜 오염물의 밀도별 단계의 분포현황을 조사하였다.

그리고 Table 2은 오염층이 형성된 부재 표면오염층 면적의 대략적인 산출을 위해 10mm×10mm의 면적단위로 부재 표면에 형성된 오염물의 면적을 조사를 하였다 (Table 3).

Table 1. 경천사십층석탑 오염층 정도별 기준표

	단계별 세부사진	비 고
A		오염정도가 심화된 상태이고 표면에 형성된 오염층 뒤의 조각 면은 부식이 심화되어 원형조각을 알아 볼 수 없을 정도의 단계(퇴화층 형성)
B		오염층의 형성되어 있지만 조각의 원형의 손상이 이루어지지 않아 오염층 안쪽의 조각은 상태가 양호한 상태이며 오염층의 두께는 1mm이상 형성된 단계



	단계별 세부사진	비 고
C		오염층이 1mm이내로 형성된 단계로서 제거가 용이하며 내부조각 상태도 양호한 단계
D		미세한 오염층으로서 조각 표면에 얇게 도포 되듯이 형성된 단계

Table 2. 오염물 면적 단위표

단위 \ 단계	1	2	3	4	5	연속	비고
10mm×10mm	100mm ²	200mm ²	300mm ²	400mm ²	500mm ²	연속	

※단위산출근거: 부정형 오염물형태에 대한 대략적 산출

Table 3. 부재별 오염물 분포현황

번호	부 재 명	오염유무	오염정도별	오염총단위	비 고
1	하대 저석(북)	X	-	-	A type
2	하대 저석(북동)	X	-	-	
3	하대 저석(동)	X	-	-	
4	하대 저석(남동)	X	-	-	
5	하대 저석(남)	X	-	-	
6	하대 저석(남서)	X	-	-	
7	하대 저석(서)	X	-	-	
8	하대 저석(북서)	X	-	-	
9	하대 중석(북)	O	C	2	A type
10	하대 중석(북동)	O	D	1	
11	하대 중석(동)	O	B	8	
12	하대 중석(남동)	O	B	10	
13	하대 중석(남)	O	B	8	
14	하대 중석(남서)	O	C	8	
15	하대 중석(서)	O	C	4	
16	하대 중석(북서)	O	C	1	
17	하대 갑석(북)	X	-	-	A type
18	하대 갑석(북동)	X	-	-	
19	하대 갑석(동)	O	D	1	
20	하대 갑석(남동)	X	-	-	
21	하대 갑석(남)	X	-	-	
22	하대 갑석(남서)	X	-	-	
23	하대 갑석(서)	O	D	2	
24	하대 갑석(북서)	X	-	-	
25	중대 중석(북)	O	C	10	A type
26	중대 중석(북동)	O	C	3	
27	중대 중석(동)	O	B	16	
28	중대 중석(남동)	O	C	5	
29	중대 중석(남)	O	B	7	
30	중대 중석(남서)	O	B	5	
31	중대 중석(서)	O	B	14	
32	중대 중석(북서)	O	B	3	
33	중대 갑석(북)	O	D	3	A type
34	중대 갑석(북동)	X	-	-	
35	중대 갑석(동)	O	D	1	
36	중대 갑석(남동)	X	-	-	
37	중대 갑석(남)	O	D	2	
38	중대 갑석(남서)	X	-	-	
39	중대 갑석(서)	O	D	2	
40	중대 갑석(북서)	X	-	-	

번호	부재명	오염유무	오염정도별	오염층단위	비고
41	상대 중석(북)	○	B	1	A type
42	상대 중석(북동)	○	B	2	
43	상대 중석(동)	○	B	1	
44	상대 중석(남동)	○	B	4	
45	상대 중석(남)	○	C	3	
46	상대 중석(남서)	○	C	4	
47	상대 중석(서)	○	B	3	
48	상대 중석(북서)	○	B	2	
49	1층 난간석(북)	○	C	5	
50	1층 난간석(북동)	×	-	-	
51	1층 난간석(동)	○	C	8	
52	1층 난간석(남동)	×	-	-	
53	1층 난간석(남)	○	B	15	
54	1층 난간석(남서)	○	B	5	
55	1층 난간석(서)	○	B	8	
56	1층 난간석(북서)	○	B	8	
57	1층 탑신석(북)	○	B	8	A type
58	1층 탑신석(북동)	○	C	8	
59	1층 탑신석(동)	○	C	10	
60	1층 탑신석(남동)	○	C	6	
61	1층 탑신석(남)	○	B	12	
62	1층 탑신석(남서)	○	C	14	
63	1층 탑신석(서)	○	C	8	
64	1층 탑신석(북서)	○	B	10	
65	1층 옥개석(북)	○	B	20	
66	1층 옥개석(북동)	○	B	10	
67	1층 옥개석(동)	○	B	20	
68	1층 옥개석(남동)	○	B	10	
69	1층 옥개석(남)	○	B	20	
70	1층 옥개석(남서)	○	B	10	
71	1층 옥개석(서)	○	B	20	
72	1층 옥개석(북서)	○	B	10	
73	2층 난간석(남)	○	B	16	A type
74	2층 난간석(북)	○	B	6	
75	2층 난간석(북동)	○	B	3	
76	2층 난간석(동)	○	B	5	
77	2층 난간석(서)	○	B	5	
78	2층 난간석(북서)	○	B	3	
79	2층 탑신석(북)	○	B	15	A type
80	2층 탑신석(북동)	○	B	5	

번호	부 재 명	오염유무	오염정도별	오염층단위	비 고
81	2층 탐신석(동)	○	B	10	A type
82	2층 탐신석(남동)	○	B	2	
83	2층 탐신석(남)	○	B	8	
84	2층 탐신석(남서)	○	B	6	
85	2층 탐신석(서)	○	B	8	
86	2층 탐신석(북서)	○	B	6	
87	2층 옥개석(북)	○	B	25	A type
88	2층 옥개석(북동)	○	B	10	
89	2층 옥개석(동)	○	B	25	
90	2층 옥개석(남동)	○	B	10	
91	2층 옥개석(남)	○	B	25	
92	2층 옥개석(남서)	○	B	10	
93	2층 옥개석(서)	○	B	25	B type
94	2층 옥개석(북서)	○	B	10	
95	3층 난간석(북)	○	B	10	
96	3층 난간석(동)	○	B	8	
97	3층 난간석(남)	○	B	10	A type
98	3층 난간석(서)	○	B	7	
99	3층 탐신석(북)	○	A	8	
100	3층 탐신석(북동)	○	A	2	
101	3층 탐신석(동)	○	A	5	
102	3층 탐신석(남동)	○	B	8	
103	3층 탐신석(남)	○	B	5	
104	3층 탐신석(남서)	○	B	5	
105	3층 탐신석(서)	○	B	8	
106	3층 탐신석(북서)	○	B	6	
107	3층 옥개석 下(북)	○	A	25	A type
108	3층 옥개석 下(북동)	○	A	5	
109	3층 옥개석 下(동)	○	B	32	
110	3층 옥개석 下(남동)	○	A	5	
111	3층 옥개석 下(남)	○	B	32	
112	3층 옥개석 下(남서)	○	B	5	
113	3층 옥개석 下(서)	○	B	32	B type
114	3층 옥개석 下(북서)	○	B	5	
115	3층 옥개석 上(북)	○	B	7	
116	3층 옥개석 上(동)	○	B	7	
117	3층 옥개석 上(남)	○	B	8	B type
118	3층 옥개석 上(서)	○	B	8	
119	4층 난간석 (북)	×	-	-	
120	4층 난간석 (동)	×	-	-	

번호	부 재 명	오염유무	오염정도별	오염층단위	비 고
121	4층 난간석 (남)	○	B	3	B type
122	4층 난간석 (서)	×	-	-	
123	4층 탑신석 (북)	○	B	20	B type
124	4층 탑신석 (동)	○	B	10	
125	4층 탑신석 (남)	○	B	15	
126	4층 탑신석 (서)	○	B	5	
127	4층 옥개석 (북)	×	-	-	B type
128	4층 옥개석 (동)	○	B	10	
129	4층 옥개석 (남)	○	B	20	
130	4층 옥개석 (서)	○	B	10	
131	5층 난간석 (북)	×	-	-	B type
132	5층 난간석 (동)	×	-	-	
133	5층 난간석 (남)	×	-	-	
134	5층 난간석 (서)	×	-	-	
135	5층 탑신석 (북)	○	B	5	B type
136	5층 탑신석 (동)	○	B	3	
137	5층 탑신석 (남)	○	B	5	
138	5층 탑신석 (서)	○	B	3	
139	5층 옥개석 (북)	○	B	15	B type
140	5층 옥개석 (동)	○	B	15	
141	5층 옥개석 (남)	○	B	15	
142	5층 옥개석 (서)	○	B	15	
143	6층 난간석 (북)	○	C	3	B type
144	6층 난간석 (동)	×	-	-	
145	6층 난간석 (남)	○	B	5	
146	6층 난간석 (서)	×	-	-	
147	6층 탑신석 (북)	○	A	5	B type
148	6층 탑신석 (동)	○	B	8	
149	6층 탑신석 (남)	○	B	10	
150	6층 탑신석 (서)	○	B	5	
151	6층 옥개석 (북)	○	B	15	B type
152	6층 옥개석 (동)	○	B	15	
153	6층 옥개석 (남)	○	B	15	
154	6층 옥개석 (서)	○	B	15	
155	7층 난간석 (북)	○	C	1	B type
156	7층 난간석 (동)	○	B	2	
157	7층 난간석 (남)	○	B	3	
158	7층 난간석 (서)	○	C	1	
159	7층 탑신석 (북)	○	B	3	
160	7층 탑신석 (동)	○	B	3	

번호	부재명	오염유무	오염정도별	오염층단위	비고
161	7층 탑신석 (남)	○	C	3	B type
162	7층 탑신석 (서)	○	B	3	
163	7층 옥개석 (북)	○	B	15	
164	7층 옥개석 (동)	○	B	15	B type
165	7층 옥개석 (남)	○	B	15	
166	7층 옥개석 (서)	○	B	15	
167	8층 난간석 (북)	○	B	3	B type
168	8층 난간석 (동)	×	-	-	
169	8층 난간석 (남)	○	B	3	
170	8층 난간석 (서)	×	-	-	B type
171	8층 탑신석 (북)	○	B	3	
172	8층 탑신석 (동)	○	B	2	
173	8층 탑신석 (남)	○	C	3	B type
174	8층 탑신석 (서)	○	B	1	
175	8층 옥개석 (북)	○	C	10	
176	8층 옥개석 (동)	○	B	10	B type
177	8층 옥개석 (남)	○	C	10	
178	8층 옥개석 (서)	○	B	10	
179	9층 난간석 (북)	○	B	1	B type
180	9층 난간석 (동)	○	B	1	
181	9층 난간석 (남)	○	B	3	
182	9층 난간석 (서)	×	-	-	B type
183	9층 탑신석 (북)	○	B	5	
184	9층 탑신석 (동)	○	C	2	
185	9층 탑신석 (남)	○	C	5	B type
186	9층 탑신석 (서)	○	B	2	
187	9층 옥개석 (북)	○	B	10	
188	9층 옥개석 (동)	○	C	10	B type
189	9층 옥개석 (남)	○	C	10	
190	9층 옥개석 (서)	○	B	10	
191	10층 난간석 (북)	○	A	3	B type
192	10층 난간석 (동)	○	B	1	
193	10층 난간석 (남)	○	B	3	
194	10층 난간석 (서)	○	B	1	B type
195	10층 탑신석 (북)	○	B	2	
196	10층 탑신석 (동)	○	B	3	
197	10층 탑신석 (남)	○	C	3	B type
198	10층 탑신석 (서)	×	-	-	
199	10층 옥개석 (북)	○	B	10	
200	10층 옥개석 (동)	○	B	12	B type
201	10층 옥개석 (남)	○	B	12	
202	10층 옥개석 (서)	○	B	10	

※ A-type: 여러 부재로 조합된 층, B-type: 단일부재로 이루어진 층

Ⅲ. 조사결과

경천사십층석탑의 오염물은 주로 흑색을 띠며 오염층의 형성부위는 노출된 탑 부재의 표면에 주를 이루고 있는데 석탑의 드잡이 공사에 사용되었던 층과 층사이의 균형이나 요동을 막기 위해 철판에 의해 발생된 수평적인 공간에도 흑색 오염물이 생성되어 있다. 그리고 흑색오염물의 발생은 석탑의 북쪽 부재들의 오염현황이 대체적으로 심한 편이며 남측면의 부재는 북측면의 부재보다 오염물의 진행 상태나 오염물의 넓이에서 차이를 보이며 분포된 것을 알 수 있다. 그리고 서측면과 동측면의 부재는 오염물의 발생 상태나 표면의 훼손진행 상태가 두드러진 차이를 보이고 있진 않지만 북측면 부재의 상태보다는 양호하였다. 그리고 남쪽 부재들의 오염상태에 있어서 오염물의 분포를 살펴보면 한 부재의 조각면 안에서도 수직적인 면에 비해 안쪽으로 경사면을 이루는 부재면 일수록 오염부위가 넓고 두꺼운 층으로 형성되어 있다. 그에 반해 바깥쪽으로 완만한 각이 형성된 조각면 일수록 오염물의 면적이나 두께에서 현격한 차이를 보이고 있으며, 대체적으로 오염층의 형성이 이루어진 것을 볼 수 있다.

그러나 석탑의 옥개석 밑면의 경우 방향성에 상관없이 오염층이 큰 두께로 발생된 것을 조사되었는데 이와 같은 현상이 일어날 수 있는 이유는 대기오염으로 인한 대기 중의 오염물질이 빗물과 함께 석재에 내부로 침투되었다가 외부로 방출되는 과정에서 석회암 재질인 석탑이 화학적인 반응과 결부되면서 내부의 침출물이 석재표면에 생성된 것이다. 옥개석 밑면에 오염층의 심화는 앞에서와 같은 현상이 반복되면서 수분에 의한 옥개석 밑면으로의 집중현상이 일어난 것으로 추정된다. 그리하여 빗물이나 채광에 직접 접촉되는 면인 옥개석의 낙수면에선 대조적으로 오염물질의 생성이 이루어지지 않은 것이다. 또한 오염이 심화된 일부 탑신석을 살펴보면 오염물 형성의 일정한 패턴을 찾아 볼 수 있는데 부재표면에 오염물이 발생한 부분에 마치 물길 같은 모양의 부분에는 오염물이 생성되지 않은 것을 볼 수 있다. 이 같은 현상은 주변과 같이 오염층이 생성되었거나 과정 중에 2차적으로 우기와 같은 다량의 빗물이 연속적으로 유입되면서 조각에 의해 자연스럽게 형성된 굴곡으로 배수되면서 조각부분이 배수로 역할을 하여 생성되었거나 생성중인 오염층과 직접적인 접촉이 이루어지면서 자연 제거가 이루어진

것이다. 이러한 부분은 오염층만 없을 뿐이고 풍화정도는 주변 면과 같았다.

그리고 석탑의 방향성과 관계하여 오염물의 정도가 차이가 나는 것은 주변 환경적인 상황, 즉 수분이나 채광에 의한 직접적인 영향권에 속해 있는지, 구조적인 조건에 의하여 유입된 수분의 배출이 원활히 이루어지는지에 따라 오염층의 발생 빈도가 차이를 보이고 있다.

1. 오염물의 단계별 면적분포 조사 결과

경천사십층석탑의 오염층에 대한 단계별 면적을 조사한 결과는 Fig. 1~3과 같다. 먼저 Fig. 1의 오염층 단계별 오염면적 비율을 보면, 전체적으로는 B(83%) > C(12%) > A(4%) > D(1%)의 순서로 오염면적의 대부분이 B단계임을 알 수 있다. 그리고 전체를 기단부와 탑신(1층~상륜부)으로 나누어 분석한 결과, 기단부에서는 B(60%) > C(31%) > D(9%) > A(0%), 탑신(1층~상륜부)에서는 B(85%) > C(10%) > A(5%) > D(0%) 로 기단부[(A+B):(C+D)=60:40]보다 탑신[(A+B):(C+D)=90:10]의 오염단계가 높게 나타났다.

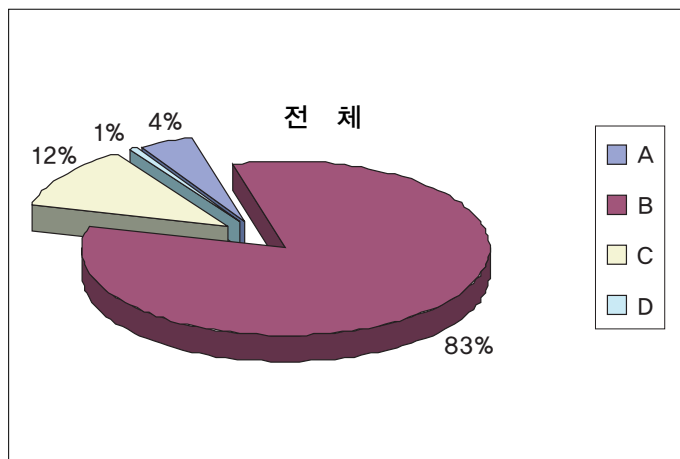


Fig. 1. 경천사십층석탑 오염 단계별 면적 분포도

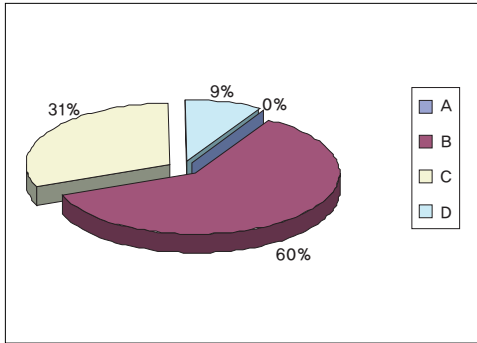


Fig. 2. 오염단계별 면적분포도(기단부)

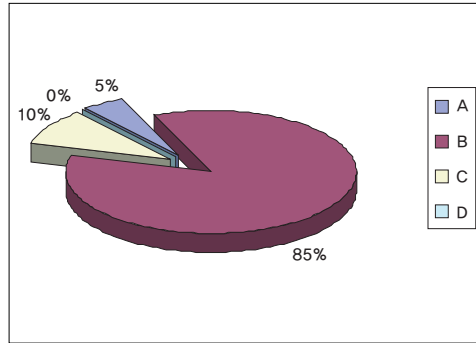


Fig. 3. 오염단계별 면적분포도(1층~상륜부)

2. 오염물의 방향별 분포 조사 결과

또한 Fig. 4를 보면, 전체적으로는 남쪽이 24%로 가장 넓었고, 다음으로 북쪽과 동쪽이 각각 20%, 서쪽이 19% 그리고 북서쪽과 남서쪽이 각각 5%, 북동쪽과 남동쪽이 각각 4%로 나타났다.

각 층별로 나누어 보면, 8방향으로 부재가 있는 기단부~3층까지 중 기단부는 서→남→동쪽면, 1층은 북→서→남쪽면의 오염면적이 넓게 있었고, 2층과 3층은 동·서·남·북쪽면이 넓게 나타났다. 또한 4방향으로만 부재가 있는 4층~10층은 남(31%) > 북(25%) > 동(24%) > 서(20%)로 나타났지만, 4층은 남쪽면이 41%로 다른 면과의 오염면적 비율 차이가 다른 층보다 컸고, 5층과 7층은 모든 방향으로 별 차이 없이 비슷하게 나타났다.

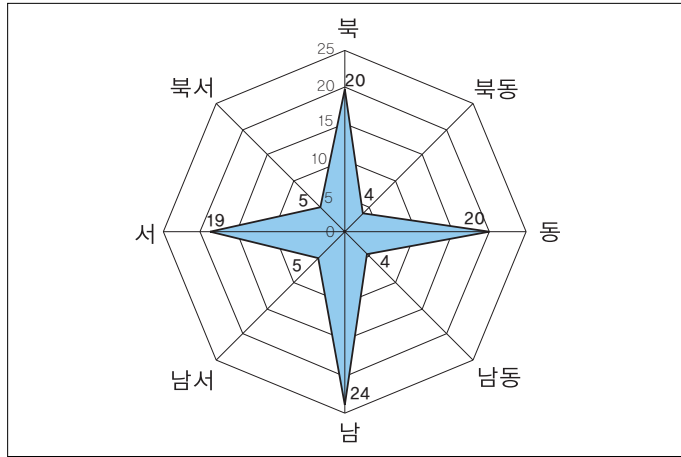


Fig. 4. 경천사십층석탑 오염물의 방위별 분포도(전체)

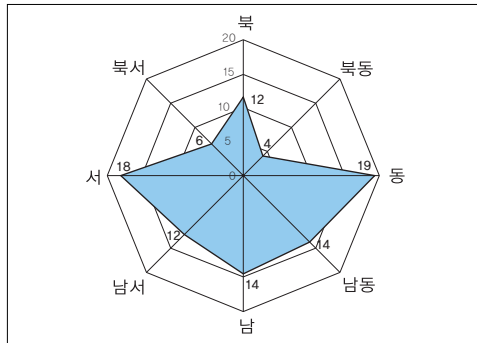


Fig. 5. 기단부 오염층 분포

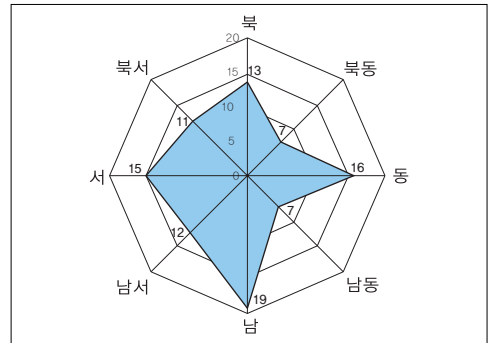


Fig. 6. 1층 오염층 분포

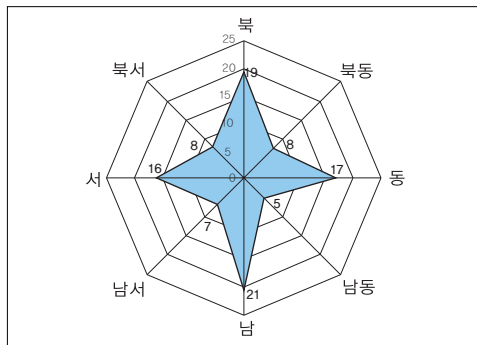


Fig. 7. 2층 오염층 분포

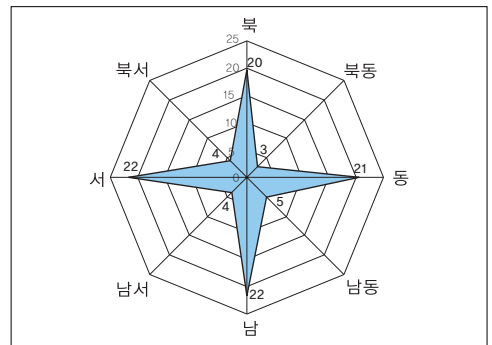


Fig. 8. 3층 오염층 분포

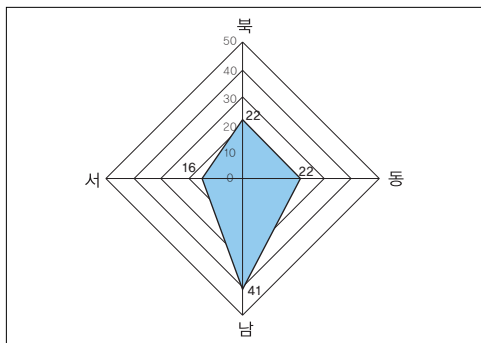


Fig. 9. 4층 오염층 분포

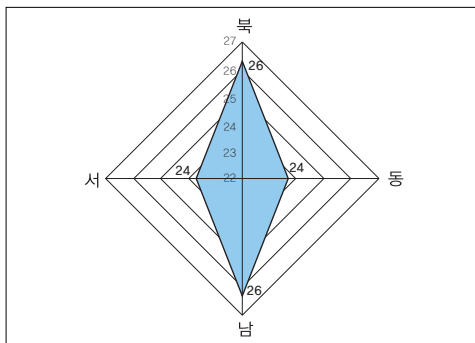


Fig. 10. 5층 오염층 분포

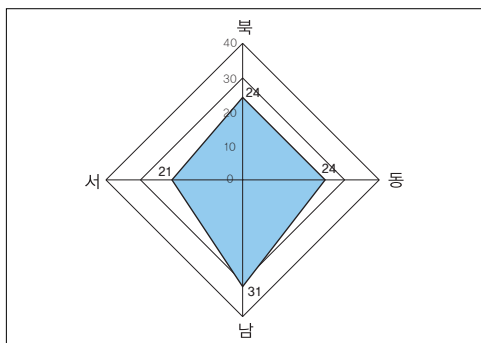


Fig. 11. 6층 오염층 분포

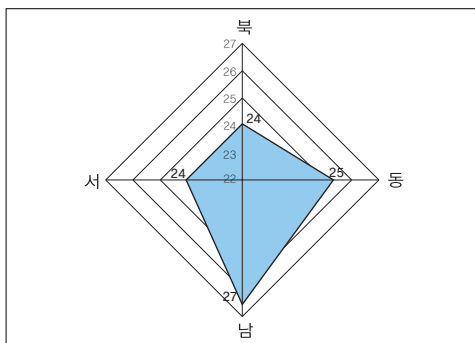


Fig. 12. 7층 오염층 분포

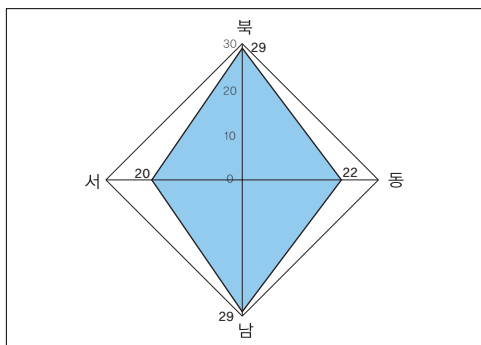


Fig. 13. 8층 오염층 분포

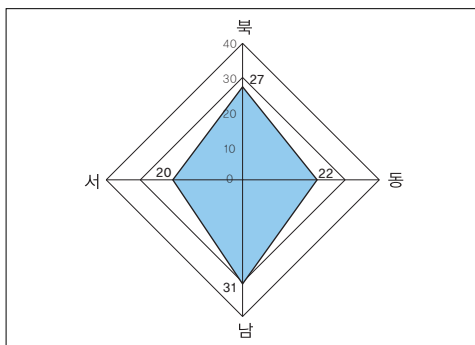


Fig. 14. 9층 오염층 분포

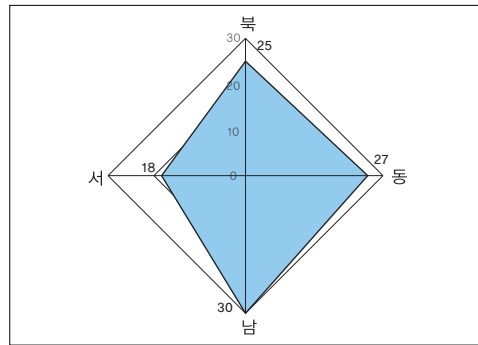


Fig. 15. 10층 오염층 분포

3. 오염물의 단계별 방위분포

Fig. 16~19를 보면, 표면의 오염정도가 심화되어 조각면도 부식되어 조각원형을 알아볼 수 없는 단계인 A단계는 북(71%) > 북동(12%) > 동 = 남동(9%) 로 존재하고 있었으며, 남→서→북서쪽면은 A단계가 없었다. 또한 표면의 오염층은 형성되어 있으나 조각원형은 부식되지 않은 단계인 B단계는 남(25%) > 동 = 서(21%) > 북(17%)로서 84%를 차지하고 있는데, 이는 4층~10층까지는 4방향으로만 부재가 존재하며 각 옥개석받침 부분의 오염정도가 심하기 때문이다. 그리고 오염층의 제거가 용이한 단계인 C단계는 남(23%) > 북(19%) > 동(18%) > 남서(16%), 미세한 오염층만이 존재하는 D단계는 서(33%) > 북(25%) > 동 = 남동(17%) 로 조사되었다.

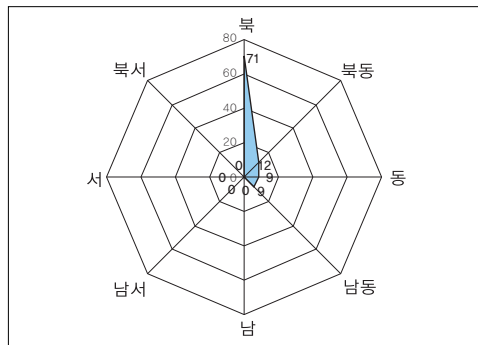


Fig. 16. A단계오염층분포

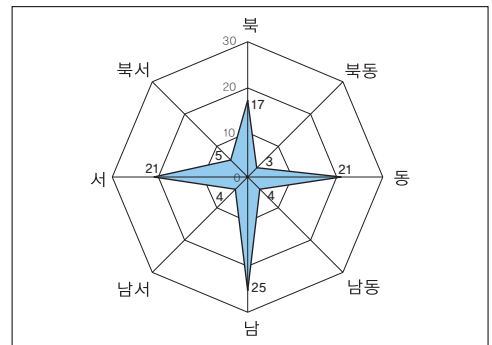


Fig. 17. B단계오염층분포

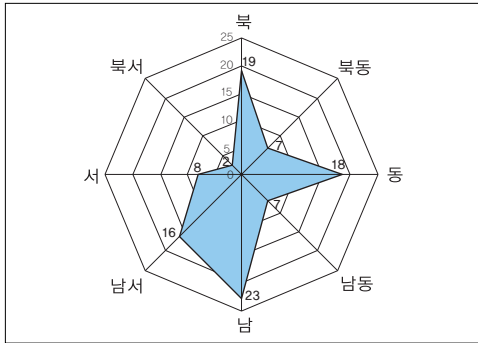


Fig. 18. C단계오염층분포

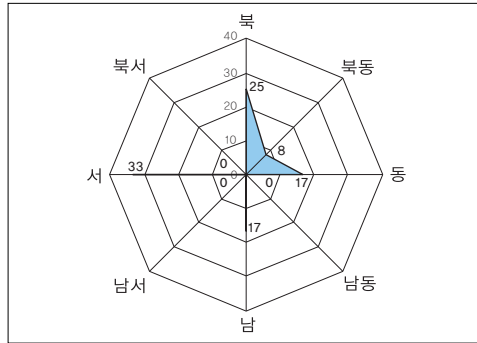


Fig. 19. D단계오염층분포

IV. 고 찰

전체적으로 표면의 오염층은 형성되어 있으나 조각원형은 부식되지 않은 단계인 B 단계가 오염면적 중 83%를 차지하고 있으며, 남쪽면이 가장 넓은 오염면적을 차지하고 있었다. 하지만 오염단계가 가장 심한 단계인 A단계는 남쪽면에서는 나타나지 않았고, 북쪽면이 71%를 차지하고 있었다. 이것으로서 경천사십층석탑의 오염면적은 남쪽이 가장 넓지만, 북쪽의 오염정도가 심한 것을 알 수 있었다.

본고에서 오염물의 면적조사를 위한 결과를 유추한 하기 위해 조사방법은 다소 주관적일 수 있는 산출방법을 적용하였으나 대략적인 오염물의 면적이나 오염정도별 방위 조사는 차후 노출된 석조문화재가 대부분인 상황에서 오염물에 대한 발생원인 분석이나 풍화에 대한 원인규명에 있어서 절대적인 영향을 줄 수 있는 중요도가 높은 조사라 할 수 있다. 그리하여 보다 방법적인 기술방법을 도입하여 정확한 오염면적이나 훼손정도를 조사한 데이터구축이 필요한 시점에 있다.

참고문헌

1. 강대일, 2003, 문화재와 보존환경, 보존과학기초연수교육, 국립문화재연구소.
2. 김사덕, 1996, 산성비에 의한 대리석 문화재의 부식에 관한 연구.
3. 김윤신, 1999, 국내 대기오염의 부식영향에 관한 연구, 환경운동연합 녹색생명 대기오염 토론회 자료집.
4. 김희강 외, 1988, 대기오염과 제어, 동화기술.
5. 국립환경연구원, 1992, 대기오염과 산성비에 대한 피해조사 및 평가에 관한 연구 (II).
6. 노재식, 1980, 대기환경이 문화재에 미치는 영향 연구, 보존과학연구 제1집.
7. 문화재관리국, 1993, 원각사지십층석탑 실측조사보고서.
8. 서기수 외, 1997, 국지 기상 특성에 따른 군산, 대구 및 포항의 대기질의 일변화, 한국환경과학회지, 제6권(제6호).
9. 동력자원부, 1991, 에너지 통계연보.