명동성당 석조성물 및 기초석의 재질분석과 손상도 평가

김지영 | 하은영 | 이명성* | 이찬희¹

공주대학교 문화재보존과학과, *국립문화재연구소 보존과학연구실

Material Analysis and Deterioration Evaluation of Foundation Stones and Holy Stone Relics in Myeongdongseongdang Cathedral, Korea

Jiyoung Kim | Eun Young Ha | Myeong Seong Lee* | Chan Hee Lee¹

Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea

*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 305-380, Korea

¹Corresponding Author: chanlee@kongju.ac.kr, +82-41-850-8543

초 록 사적 제258호로 지정된 명동성당은 프랑스인 코스트 신부가 설계하여 1898년에 완성한 한국 가톨릭교회의 대표적인 성당 건축물이자 근대문화유산이다. 이 성당은 화강암 기단 위에 벽돌을 쌓아 축조한 고딕 양식의 건축물이며, 내외부에는 대리암 및 화강암으로 이루어진 성물과 기초석이 다수 존재한다. 암석광물학적 분석 결과, 석조성물은 주로 대리암과 화강암으로 이루어져 있으며, 기초석은 홍장석화강암으로 구성되어 있음을 확인하였다. 손상지도와 초음파 속도를 바탕으로 풍화도를 평가한 결과, 화강암으로 이루어진 성수반의 박리박락(40%)과 흑색변색(37%), 외부 기초석의 박리박락(6%)과 변색(46%)이 주된 문제점으로 나타났다. 한편 평균 초음파속도는 성수반에서 3,525m/s, 외부 기초석에서 2,795m/s로 산출되어 중간 풍화단계에서 심한 풍화단계에 속하는 것으로 분석되었다. 이러한 높은 손상도와 물성저하는 수분과 대기오염물에 의한 물리화학적 풍화의 결과로 해석된다.

중심어: 명동성당, 대리암, 화강암, 암석학적 분석, 풍화도, 초음파속도

ABSTRACT The Myeongdongseongdang Cathedral, which was designated as Historic Site No. 258 in Korea, is a representative cathedral of Korean Catholic church designed by a French priest Eugene-Jean Georges Coste and completed in 1898. It is a Gothic-styled architecture constructed with bricks and stones. Lithological and mineralogical analyses determined that holy stone relics were made of marble and granite, and foundation stones are of pink feldspar granite. Deterioration mapping and ultrasonic measurement revealed main weathering and damage were exfoliation (40%) and black discoloration (37%) in the holy water basin, and exfoliation (6%) and discoloration (46%) in the exterior foundation stones. Ultrasonic velocity of the stones were calculated as 3,525m/s in the holy water basin and 2,795m/s in the exterior stones that indicated these stones were sorted into moderately to highly weathered rock. This was resulted from moisture and atmospheric pollutants around the cathedral.

Key Words: Myeongdongseongdang Cathedral, Marble, Granite, Lithological analysis, Deterioration evaluation, Ultrasonic velocity

1. 서 론

1784년 한국에 최초의 천주교회가 창설된 이래 박해를 받은 초기 교회는 1876년 개항 이후 한불수호조약으로 신교의 자유가 승인되면서 프랑스 신부들에 의해 많은 종교 시설물이 전국 각지에 건축되었다. 이 중 1898년 서울 목멱 자락인 종현(현 명동)에 세워진 명동성당은 최초의 본당이자 서울 대교구 주교좌성당이다. 이 성당은 1900년 이전의 고딕을 지향한 벽돌조 양식으로 일본의 굴절을 거치지 않고 비교적 순수한 형태로 전래된 서양의 건축문화를 간직하고 있다는 점에서 역사적 중요성을 가진다.

근대건축물과 같이 조성시기가 오래되지 않은 문화유산은 보존에 대한 인식이 부족하여 역사성이 깊은 다른 문화유산에 비해 보호대상에서 상대적으로 소외되어 왔다. 또한 현재까지 사용되고 있는 근대건축물의 경우에는 건축물로서의 기능개선과 의장목적으로 보존유리에 대한 가치판단이 결여된 채 부분별한 보수 및 증개축 행위가 지속되어 왔다.

명동성당과 같은 근대 교회건축에 대해서는 건축사적 연구를 비롯하여 건축물의 보존과 활용에 관한 인문과학적 연구가 주를 이룬 반면 자연과학적인 분석과 조사에 관한 연구는 상대적으로 미진하였다¹⁻⁵. 이에 비하여 석조문화재의 보존 및 복원에 관한 연구는 구성암석의 특성, 손상도 진단, 환경분석 및 보존처리를 중심으로 꾸준히 진전되어 왔다⁶⁻⁹.

명동성당은 근대문화유산이면서 구성부재는 벽돌과 암석이 혼용된 복합문화재이다. 성당을 구성하는 석재는 건축물의 개보수 과정 중에 인위적인 훼손이 발생하였고, 자연적인 요인으로 인해 균열, 요철, 박리박락 및 탈락 등이 나타나 있다. 이로 인해 명동성당을 구성하고 있는 암석은 풍화도가 다소 높고 건축부재로서 내구성이 많이 저하되어 재질 및 풍화에 대한 자연과학적 연구가 시급하게 요구된다. 이 연구에서는 명동성당의 구성부재 중 석재를 대상으로 암석광물학적 특성을 밝히고, 풍화에 의한 손상도를 정량적으로 평가하였다.

2. 현황 및 연구방법

2.1. 현황

명동성당은 사적 제258호로 성당이 있는 명동 2가는 북

서쪽에 시청 및 덕수궁이 위치하고 바로 북쪽으로는 탑골 공원이 있는 서울의 중심지이다. 성당의 배치 형태는 일반 고딕 성당이 서쪽 입구를 가진 동서 배치와는 달리 지형과 진입로 등 주변의 환경을 반영하여 정북에서 30도 정도 서쪽으로 기울어져 북서쪽 입구를 가진 남북배치 형태에 가깝다. 건축양식은 당시 유행하였던 네오고딕(Neo-Gothic) 양식으로 볼 수 있다.

성당은 전면 중앙에 높은 통층으로 구성된 몸체와 이보다 낮은 높이의 양측 회랑으로 구성되어 삼량식을 이루고 있다(Figure 1A). 전면에는 1개의 높은 종탑을 두고, 후면은 다각형으로 구성하여 장식적 요소를 더했다. 구조방식은 벽돌조적조로 천장은 기둥과 벽체로부터 시작된 아치에 의해 궁륭천장을 이루며, 상부 지붕은 목구조로 트러스를 짜서 동판을 덮었다.

현재 성당 내에는 제구를 비롯하여 가구, 성화, 성상 등이 있다. 이 성물들은 성당 축조 당시 이미 완성되어 설치된 주제대와 벽돌조의 부제대, 그리고 성상과 14처 등을 제외하면 모두 건물 완공 이후에 제작된 것이다. 주제대는 제대판과 탑부로 구성되며(Figure 1B), 제대판 아랫면에는 건립연도인 1898이란 숫자와 뮌헨 주교의 사인이 음각되어 있다. 복자제대는 1925년 7월 5일 79위 복자의 시복을 기념하여 제작된 것으로 1926년 6월에 설치되었다(Figure 1C).

성수반은 모두 성당 건립 이후 마련된 것으로 최초의 것은 목조 세례반과 소매체에 있는 성세대이다. 특히 소매체의 것은 대리암제 몸체 위에 목조 뚜껑이 씌워져 있다(Figure 1D). 기타 성수반도 성당 건립 이후 필요에 따라 제작된 것으로 2개씩 설치되어 있다(Figure 1E). 주현관 상부에는 중앙의 십자형 장식과 양옆의 엽상형 장식이 각각 3기씩 설치되어 있다(Figure 1F). 또한 미사를 진행하는 성단과 신자석의 경계 역할을 하는 성단 오름 계단은 3단으로 구성되어 있다(Figure 1G).

명동성당에 사용된 내부 기초석은 벽체를 따라 연속적인 줄기초로 형성되어 있다. 측벽 및 불임기둥 기초석은 돌출된 여러 단의 형태를 보이고, 다발기둥은 독립기초로 이루어져 별도의 기초석을 둔 것과 같은 형태를 띤다(Figure 1H). 본당 내부 예배실 기초석의 높이는 주출입구에서 후면부 성단 쪽으로 갈수록 높아지는데, 이는 본당의 바닥경사가 주출입구 쪽이 높고 성단 쪽이 낮아 기둥의 수평 높이를 맞추기 위해 기초석의 높이를 점차 높였기 때문이다.

Figure 1. General views of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral. (A) Complete views of front, back and west sides. (B) High altar. (C) Blessed altar. (D) Font. (E) Main holy water basin. (F) Porch decoration. (G) Sanctuary stairs. (H) Interior foundation stones. (I) Exterior foundation stones.

명동성당의 주된 건축재료는 벽돌로, 벽체와 기둥의 기초석을 제외하고 모든 건축물 구성요소를 벽돌로 만들었다. 원래 성당 건립 당시에는 내부 기둥을 석조로 축조하려 했으나 석재를 구하기 어려워 계획을 변경하였고, 기둥의 두께는 구조적 안정성을 확보하기 위해 당초 계획보다 더욱 두꺼워진 것이라 전해진다¹⁰. 외부 기초석은 대부분 장대석으로 길이쌓기를 하여 벽면을 따라 줄기초로 이루어졌다(Figure 1I). 일부 노출된 장대석은 1단에서 4단 정도까지 노출되어 있다. 성단과 지하성당의 측면 기초는 지반의 경사에 따라 계단식으로 처리하였다. 석재는 상부의 모서리와 꼭지점을 빗모듬기로 다듬었다.

2.2. 연구방법

이 연구에서는 명동성당에 사용된 암석의 재질특성을

구명하고 풍화와 훼손상태를 진단하기 위해 다양한 연구기법을 적용하였다. 우선 성당 주변에 관한 사이트 환경과 지형 및 지질조사를 수행하였으며, 구성부재의 자화강도를 파악하기 위해 전압대자율을 측정하였다. 측정기기는 10^{-3} SI 단위의 측정한계를 가진 ZH Instruments사 SM30 모델을 이용하였다.

부재에서 탈락된 암편을 대상으로 Nikon사의 Eclipse E600W 편광/반사 겸용 현미경을 사용하여 광물학적 조성 및 미세조직적 특징을 관찰하였다. 또한 Bruker제 D8 Advance 고온 X-선 회절분석기를 이용하여 조암광물의 조성을 동정하였으며, 표면오염물의 조직을 관찰하기 위해 Oxford사의 에너지분산형 분석기(EDX Inca M/X)가 장착된 JEOL사 JSM 6335F의 주사전자현미경(SEM)을 사용하였다.

명동성당 구성부재의 암석학적 풍화와 훼손을 정량적으로 평가하기 위해 실측도면을 바탕으로 훼손유형을 물리적 풍화,

Table 1. Magnetic susceptibility of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral.

Group	Subgroup	Rock type	Mean	Min.	Max.
Holy stone relics	High altar	massive marble	0.93	0.01	4.83
	Blessed altar	massive marble banded marble	0.03	0.01	0.07
	Font	banded marble	0.13	0.05	0.35
	Holy water basin at main gate	granodiorite	0.06	0.03	0.12
	Holy water basin at subgate	pink feldspar granite	5.64	3.68	7.98
	Holy water basin in nave	granodiorite	0.38	0.30	0.48
	Porch decoration	biotite granite	2.90	1.36	8.65
	Sanctuary stair	biotite granite	2.20	0.03	9.20
Interior foundation stones		biotite granodiorite pink feldspar granite biotite granite	4.03	0.01	9.86
Exterior foundation stones		biotite granite pink feldspar granite	4.20	0.02	8.69

화학적 풍화로 구분하여 정량적 손상도를 작성하고, 면적에 대한 훼손유형의 점유율을 산출하여 손상율을 계산하였다. 훼손도면에 사용된 프로그램은 2D그래픽 전문 응용프로그램인 Adobe Illustrator이며, 손상을 산출은 AutoCAD를 이용하였다. 또한 각 구성부재의 풍화도 평가를 위해 초음파속도를 측정하였다. 이 측정값을 바탕으로 각 부재별 입면도에 초음파 전달 속도를 투영하여 전체적인 풍화도를 파악하였다. 사용된 초음파 탐사기는 CNS FARNELL사의 PUNDIT PLUS이며 측정된 자료는 2D 도면작성에 이용하였다.

3. 구성석재의 재질분석

3.1. 전암대자율

명동성당에 사용된 암석의 재질특성을 파악하기 위해 전암대자율을 측정하였다. 전암대자율은 암석과 광물의 전체 미세화강도를 구분하기 위해 응용된 암석학 연구의 한 수단으로 암석의 성인과 환경에 따라 측정값에 차이를 보이며 동일 마그마에서 생성된 암석들은 대부분 유사한 대자율 값을 나타낸다. 이러한 특성을 활용하여 최근에는 석조문화재 구성부재의 원산지 해석과 풍화도 분석에 활용되기도 하였다^{6,11-13}.

전암대자율은 석조성물과 내외부 기초석으로 구분하여 측정하였으며, 측정 결과를 각 대상별로 세분하여 비교하였다(Table 1). 먼저 석조성물 중 대리암으로 이루어진 주체대와 복자제대의 전암대자율 측정치는 각각 $0.01 \sim 4.83(\times 10^{-3}$ SI unit)과 $0.01 \sim 0.07(\times 10^{-3}$ SI unit)의 범위로 나타났으며, 성제대는 $0.05 \sim 0.35(\times 10^{-3}$ SI unit)의 분포 범위를 보였다.

Figure 2. Histograms of magnetic susceptibility of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral.

각각의 성물은 서로 다른 대자율 분포 범위를 보여 성인으로 다른 대리암으로 이루어져 있음을 알 수 있다(Figure 2).

성수반, 주현관 상부 장식, 성단 오름 계단은 모두 화강암류로 구성되어 있으며 주출입구 성수반은 $0.03 \sim 0.12(\times 10^{-3}$ SI unit), 측면 출입구 성수반은 $3.68 \sim 7.98(\times 10^{-3}$ SI unit), 몸채기둥 성수반은 $0.30 \sim 0.48(\times 10^{-3}$ SI unit)의 대자율 분포를 보인다. 또한 주현관 상부 장식은 $1.36 \sim 8.65(\times 10^{-3}$ SI unit), 성단 오름 계단은 $0.03 \sim 9.20(\times 10^{-3}$ SI unit)의 범위에서

비교적 다양한 분포값을 보인다. 이는 여러 종류의 화강암질 암석이 혼용되어 사용되었음을 지시한다(Figure 2).

내부 기둥 기초석의 대자율 측정값은 $0.01 \sim 9.86(\times 10^{-3}$ SI unit)으로 나타났다. 측정값은 비교적 넓은 분포를 보이거나 1.00 이하와 4.00~6.00 사이에 집중적인 분포를 보였다. 이를 암종별로 세분하면, 흑운모 화강섬록암은 $0.30 \sim 0.60(\times 10^{-3}$ SI unit), 흑운모화강암은 $0.02 \sim 7.96(\times 10^{-3}$ SI unit), 홍장석화강암은 $0.04 \sim 9.86(\times 10^{-3}$ SI unit) 범위의 대자율값을 나타냈다. 흑운모화강암은 0.50 이하와 5.00 내외의 분포 경향을 나타내며, 홍장석화강암 또한 1.00 이하의 값과 5.00 내외의 두 종류의 분포 경향을 보인다.

외부 기초석도 $0.02 \sim 8.69(\times 10^{-3}$ SI unit)의 범위를 보이며 내부 기초석과 마찬가지로 흑운모화강암과 홍장석화강

암에서 0.25 이하와 5.00 내외로 두 종류의 분포 범위를 갖는다(Figure 2). 이와 같은 대자율 특성으로 보아 흑운모화강암과 홍장석화강암은 서로 다른 분포경향을 갖는 화강암 분포지역에서 공급되어 적어도 두 종류 이상의 화강암질암이 공존하는 것으로 보인다.

3.2. 암석 및 광물학적 특징

명동성당 내외부의 석조성물과 기초석을 구성하는 암석은 크게 대리암류와 화강암류로 구분된다. 성당내부의 석조성물은 대부분 대리암류로, 주제대를 구성하는 암석은 유백색을 띠는 세립질 과상대리암이다(Figure 3A). 이 암석은 전반적으로 유백색을 보이지만 풍화와 이차적 오염에

Figure 3. Lithology and polarizing microphotographs of foundation stones and holy stone relics in Myeongdongseongdang Cathedral. (A, B) Milky-white fine-grained massive marble of high altar. (C, D) Dark gray banded marble of font. (E, F) Medium-grained hornblende biotite granodiorite of holy water basins at main gate and nave. (G, F) Medium to fine-grained pink feldspar granite of holy water basin at subgate. (I, J) Fine-grained biotite granite of sanctuary stair. (K, L) Coarse-grained pink feldspar granite of interior foundation stones. (M, N) Coarse-grained pink feldspar granite of exterior foundation stones. (O, P) Newly added medium-grained biotite granite of exterior foundation stones.

의해 황갈색을 띠기도 한다. 복자제대는 다양한 종류의 대리암이 혼용되었는데, 회백색 및 유백색의 괴상대리암이 주를 이루지만 부분적으로 호상대리암 및 암회색 대리암이 사용되었다. 성세대는 암회색을 띠며 뚜렷한 호상구조를 보이는 호상대리암으로 구성되어 있다(Figure 3C).

대리암류를 편광현미경으로 관찰한 결과, 주제대의 유백색 괴상대리암은 은미정질 암회색 기질과 미립질의 타형 결정을 갖는 방해석이 괴상조직을 이루고 있음을 알 수 있다(Figure 3B). 또한 성세대를 구성하는 암석은 입상조직을 보이는 방해석과 돌로마이트로 구성되어 있어 전형적인 대리암의 특징을 보인다(Figure 3D). 이 암석들의 X-선 회절분석 결과, 공통적으로 방해석이 검출되었으며 주제대의 괴상대리암에서는 라나이트, 성세대에서는 방해석이 검출되었다(Figure 4).

성수를 담은 성수반은 성당내부에 4개, 측면 출입구에 2개가 있다. 이 중 성당내부에 있는 4개의 성수반을 구성하는 암석은 흑운모와 각섬석을 유색광물로 함유하는 중립질의 담회색 각섬석 흑운모 화강섬록암이다(Figure 3E). 이 암석의 주요 조암광물은 부분적으로 변질을 받은 사장석과 흑운모, 석영, 각섬석 등이다(Figure 3F). 측면 출입구 성수반의 구성암석은 조립질 홍장석화강암으로 석영, 변질받은 K-장석과 사장석, 흑운모 등으로 구성되어 있다(Figure 3G, 3H).

성단 오름 계단은 세립질 흑운모화강암으로 전반적으로 암회색을 띠며 광물 입자의 조직과 분포가 세립질로 아주 균질하다(Figure 3I). 조암광물은 다결정질 조직을 갖는 석영, K-장석, 사장석 등으로 구성되어 있다(Figure 3J). 이 암석들의 일부 시료를 분말화하여 X-선 회절 분석한 결과, 석영, 사장석, K-장석, 흑운모 등이 검출되었다(Figure 4).

명동성당 내부의 기초석은 대부분 조립질의 홍장석화강암으로 이루어져 있다(Figure 3K). 현재 이 암석은 표면이 암회색 오염물로 뒤덮여 원암의 색상과 조직을 육안으로 확인하기 어려운 곳이 많다. 이 암석은 등립질 조직에 열은 홍색을 띠는 장석이 우세하게 나타나며 구성 입자의 크기는 대부분 5mm 이상으로 조직과 광물 성분이 균질하다. 이 암석을 편광현미경으로 관찰하면, 거정질 석영, 사장석 및 알칼리장석으로 구성되어 있으며(Figure 3L), X-선 회절 분석한 결과에서도 동일한 종류의 조암광물이 검출되었다(Figure 4).

외부 기초석을 구성하는 암석은 신부재로 사용된 중립질의 흑운모화강암을 제외하고는 대부분 조립질의 홍장석화강암으로 구성되어 있으며 내부 기초석의 구성암석과 동일하다(Figure 3M). 이 암석은 등립질 조직에 열은 홍색을 띠며 장석이 우세하고 석영, 사장석, K-장석, 흑운모가 주 성분 광물이다(Figure 3N). 석영과 사장석, K-장석은 직경

Figure 4. X-ray powder diffraction patterns of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral. MD-1; High altar, MD-2 and MD-3; Main holy water basin, MD-4; Subgate holy water basin, MD-5; Porch decoration, MD-6; Interior foundation stone, MD-7; Exterior foundation stone, MD-8; Exterior foundation stone (new), M; mica, Q; quartz, K; K-feldspar, P; plagioclase, C; calcite, L; larnite.

이 1cm 이상인 것도 간혹 발견된다. 외부 기초석 중에는 과거 보수공사 시 교체된 신부재가 확인되는데, 이 암석은 중립질의 흑운모화강암으로 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 백운모 등으로 구성되어 있어 홍장석화강암과는 다른 특징을 보인다(Figure 3O, 3P).

내외부의 기초석에 사용된 홍장석화강암은 서울 인근에 분포하는 화강암과 암석기재적 특징이 매우 유사하다. 이 화강암은 서울화강암으로 명명되어 있으며 서울-의정부-동두천-포천-기산으로 이어지는 북북동-남남서 방향의 긴 대상분포를 한다. 이것은 우리나라 중부에 저반을 이루며 분포하는 대보 화강암이라 명명된 암체의 일부로서 중생대 주라기에 광범위하게 기반암을 관입한 것으로 알려져 있다¹⁴.

4. 손상도 정량평가

4.1. 손상 특성

명동성당 석조성물과 기초석은 전체적으로 암석의 자연적 풍화와 부재의 파손은 심하지 않으나 균열, 박리박락,

입상분해 및 변색 등 풍화현상이 관찰된다. 특히 주제대에는 제대판과 기단 부분을 중심으로 다수의 균열이 관찰되고(Figure 5A), 제대판과 탑부의 경계 부분에는 이격이 발생하였다. 복자제대도 주제대와 마찬가지로 다수의 수직 및 수평 균열이 발달하였고(Figure 5B), 부재 모서리 부분에서는 탈락이 관찰된다. 성세대는 경첩을 석조 수반에 고정하기 위한 부분에 균열과 탈락이 발생하여 다수의 작은 암편으로 분리된 상태이다(Figure 5C).

주출입구 및 측면출입구 성수반은 박리박락 및 입상분해에 의한 훼손이 매우 심각하다(Figure 5D). 이는 성수반의 용도 특성상 암석이 수반과 항상 접촉하고 있어 화학적 풍화 및 염풍화에 쉽게 노출되기 때문이다. 성수반 표면에는 연결점으로 추정되는 백색 물질이 피복되어 있고, 광물의 입상분해가 매우 심한 상태이다. 주현관 상부 장식에서는 균열, 박리박락 및 보수 흔적이 관찰되며 부재 전체가 미세 먼지로 피복되어 있고 일부에서는 유수 흔적에 따라 표면오염도가 높게 나타난다. 성단 오름 계단은 근래 보수공사 중 그라인더 작업으로 인한 인위적인 훼손이 심각하다.

명동성당의 내부 기초석도 균열, 탈락, 박리박락 등 물리

Figure 5. Weathering and damage of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral. (A) Fissure in the high altar. (B) Fissure in the blessed altar. (C) Cracking of font. (D) Flaking of holy water basin. (E) Damage of interior foundation stones by grinder. (F) Dark gray discoloration of interior foundation stones by cleaning cloth. (G) SEM-EDS result of dark gray discoloring substrates on the interior foundation stones. (H) Disjoining of interior foundation stones. (I) Crack of exterior foundation stones. (J) Scaling of exterior foundation stones. (K) Grayish dust deposits on the exterior foundation stones.

적 훼손, 변색 및 인위적 훼손이 심각하다. 탈락은 주로 부재의 모서리 부분에서 발생하였으며, 인위적 훼손은 석조기둥과 지하기둥을 제외한 대부분의 부재에서 관찰된다. 요철과 박리박락, 흑색변색은 부재 하단부에 집중적으로 분포하며 일부 부재에서는 과거 보수 시 사용한 그라인더의 톱날 흔적이 드러나 있다(Figure 5E). 특히 기초석 하단부에는 반복적인 밀결레질 과정에서 발생한 흑색변색이 집중적으로 나타났으며, SEM-EDS 결과 대부분 유기물로 이루어져 있는 것을 확인하였다(Figure 5F, 5G). 또한 부재와 부재 사이를 충전하는데 이용된 석회 모르타르가 백화 현상을 일으키거나 부분적으로 유실되어 부재간 이격이 발생하였다(Figure 5H).

외부 기초석도 균열, 이격, 박리박락, 탈락과 먼지 침착, 흑색변색 등이 관찰되며(Figure 5I), 이 중 가장 심각한 것은 부재의 박리박락과 먼지 침착이다. 외부 기초석은 내부 기초석에서 나타나는 다양한 인위적인 훼손 현상이 심하지 않은 것에 비해 자연적인 풍화에 의해 나타나는 박리가 현저하다. 이 풍화현상은 부재의 가장자리를 중심으로 나타나며(Figure 5J), 하나의 층상 박리가 수개의 부재에 걸쳐 연장되기도 한다. 또한 대부분의 부재는 비산먼지와 대기 오염물질이 석재 표면에 침착되어 원암을 알아볼 수 없을 정도로 피복 상태가 심각하다(Figure 5K).

4.2. 손상도 정량분석

명동성당 석조성물 및 기초석의 전반적인 손상도를 파악하고 이를 정량적으로 평가하기 위해 대표적인 풍화 및 손상유형을 상세하게 관찰하여 기재하고, 손상지도를 작성하였다(Figure 6). 또한 각각의 훼손유형별 점유면적을 백분율로 산출하여 비교분석하였다. 이 평가방법은 여러 연구자에 의해 국내외 석조문화재에 다수 적용된 바 있다^{6,7,9,15}.

석조성물의 손상지도를 살펴보면, 탈락은 성세대와 동쪽 주출입구 성수반에서 집중되어 발생한 것을 알 수 있다. 전체 면적에서 차지하는 비율은 성세대 3.5%, 동쪽 주출입구 성수반 2.7%이다. 박락으로 인한 표면요철은 주로 성수반에서 관찰되며 동쪽과 서쪽 몸채기둥 성수반에서 각각 12.1%와 13.7%의 손상율을 보였다(Table 2). 인위적 손상 현상은 과거 보수 시 그라인더로 석재 표면을 연마하면서 남긴 흔적이 대부분으로, 성단 오름 계단에서 집중적으로 관찰되며 전체 면적에 18.3%를 차지하였다.

석조성물에서 발생한 균열은 총 92개로 확인되었다. 이 중 주제대와 복자제대에서 각각 43개 및 29개로 가장 많이

발달한 것을 알 수 있다. 박리박락은 화강암으로 만들어진 성물 대부분에서 높은 비율을 차지하며, 특히 동쪽 측면출입구 성수반은 전체 면적의 88.5%에서 박락이 확인되어 풍화가 상당히 진전되었음을 확인할 수 있었다.

백화현상은 성단 오름 계단에서 2.2%로 산출되었으며 박리박락된 부재와 계단의 철판에 집중적인 분포양상을 보였다. 황갈색 변색은 동쪽과 서쪽 측면출입구 성수반에서 각각 17.8%와 25.4%로 나타나는데 주로 수분의 유동 흔적을 따라 현저하게 보인다. 흑색변색은 화강암질암 성물에서 집중적으로 발생하였고 전체 성물 중 서쪽 주출입구 성수반(45.6%), 서쪽 몸채기둥 성수반(48.4%), 성단 오름 계단(43.6%)에서 점유율이 높게 나타났다. 이는 구성광물의 화학적 풍화에 수반되는 반응생성물과 외부로부터 유입된 대기오염물과 같은 물질의 흡착이 초래한 결과로 판단된다.

명동성당 내부 기초석의 탈락은 다발기둥(4)에서 2.3%, 요철은 불임기둥(7)에서 14.9%를 보여 가장 높은 풍화훼손율을 보였다. 그라인더 연마로 인한 훼손은 석조기둥(1)과 지하기둥(9)을 제외한 대부분의 내부 기초석에서 관찰되었다. 균열은 다발기둥(4)과 지하기둥(9)에서 우세하며 박리박락은 내부 기초석 모두에서 발생하는 훼손유형으로 불임기둥(3), 불임기둥(7), 지하기둥(9)에서 발생비율이 높다.

백화현상은 불임기둥(3)과 다발기둥(4)에서 각각 1.9%, 황갈색 변색은 불임기둥(3)과 불임기둥(7)에 각각 11.0%와 8.4%로 가장 높은 손상율을 보였다. 흑색변색은 석조기둥(1)과 다발기둥(4)에서 높은 분포양상을 보인다. 특히 기초석 하부에 집중적으로 흑색변색이 나타나는 것으로 보아 반복적인 밀결레질에 의해 오염이 발생한 것을 알 수 있다. 먼지 피복은 석조기둥1(90.9%), 불임기둥2(99.1%), 불임기둥3(98.2%)에서 100%에 가까운 피도를 보였다.

명동성당 외부 기초석의 탈락은 9~10구역에서 0.6%로 우세하게 나타났으며 방위별로는 남측면에서만 관찰되었다. 외부 기초석의 주된 풍화현상인 박리와 박락은 9~10구역에서 17.8%로 가장 높게 나타났으며, 7~8구역과 10~11구역에서도 각각 13.5%와 10.4%의 높은 비율을 보였다. 이 구역은 모두 남측면에 해당한다.

외부 기초석에서는 백화현상 또한 두드러진다. 11~12구역에서 20.2%의 가장 높은 점유율을 차지하였으며, 방위별로는 동측면이 평균 14.9%로 가장 높게 나타났다. 흑색변색은 6~7과 15~16구역에서 각각 43.9%와 46.6%로 높은 손상율을 보였다. 방위별로는 서측면이 평균 24.4%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 먼지의 피복 또한 외부 기초

Figure 6. Deterioration maps of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral.

Table 2. Summary on deterioration rate of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral.

Location*	Physical weathering					Inorganic discoloration				Dust (%)
	break-out (%)	relief (%)	anthropogenic damage(%)	crack (number)	exfoliation (%)	white (%)	yellowish brown(%)	black (%)	red (%)	
Holy stone relics										
HA	-	-	0.3	43	0.3	0.1	0.4	3.1	-	0.5
BA	0.2	-	-	29	-	0.2	0.6	3.4	-	-
F	3.5	-	-	15	1.5	0.8	2.1	0.2	-	-
ME	2.7	-	-	-	27.9	-	-	39.0	-	-
MW	-	-	-	-	31.1	-	-	45.6	-	-
SE	-	2.2	-	-	88.5	-	17.8	35.3	-	-
SW	-	4.2	0.2	-	88.2	-	25.4	22.1	-	-
NE	-	12.1	-	-	1.5	0.3	0.6	32.1	-	-
NW	-	13.7	-	-	0.2	-	0.5	48.4	-	-
PD	0.1	-	-	2	2.8	0.5	1.0	8.1	-	100.0
SS	0.7	-	18.3	3	14.6	2.2	0.4	43.6	-	-
Interior foundation stones										
1	-	-	-	-	0.7	1.0	0.7	30.0		90.9
2	1.2	13.1	37.3	-	2.4	1.3	2.7	20.5		99.1
3	-	11.0	76.5	-	9.0	1.9	11	9.8		98.2
4	2.3	12.4	100.0	16	1.5	1.9	1.2	28.2		-
5	1.8	12.1	76.8	1	5.6	1.5	3.0	12.1		-
6	1.0	13.9	81.7	2	2.8	0.5	2.1	14.5		-
7	1.6	14.9	73.4	1	9.6	1.0	8.4	9.5		-
8	0.2	-	14.3	-	1.6	-	0.2	22.3		-
9	0.1	-	-	12	11.8	-	3.1	3.4		-
Exterior foundation stones										
16~1	-		-	-	5.9	2.3	-	12.3	0.6	71.1
1~2	-		-	5	1.3	1.5		3.5	-	78.5
2~3	-		1.5	10	2.0	2.6		5.3	4.8	49.5
3~4	-		-	1	8.6	8.0	1.3	12.1	4.5	11.5
4~5	-		-	1	2.8	5.6	0.5	29.1	4.3	12.4
5~6	-		-	11	4.3	4.3	1.4	12.4	0.9	55.9
6~7	-		-	2	4.8	14.0	0.5	43.9	2.3	29.4
7~8	-		-	4	13.5	9.5	2.7	15.8	-	69.1
8~9	-		-	7	9.7	4.4	1.6	14.4	-	99.0
9~10	0.6		-	-	17.8	2.2	1.6	1.7	-	87.4
10~11	0.1		-	2	10.4	2.9	0.5	20.5	-	73.0
11~12	-		-	-	0.9	20.2	1.2	8.3	-	72.5
12~13	-		-	2	0.9	14.5		36.0	3.5	20.1
13~14	-		-	-	4.5	15.0	5.0	17.3	3.8	1.4
14~15	-		0.1	-	8.2	9.9	5.3	28.2	-	-
15~16	-		-	-	0.9	-	-	46.6	-	-

*HA; high altar, BA; blessed altar, F; font, ME; main holy water basin(east), MW; main holy water basin(west), SE; subgate holy water basin(east), SW; subgate holy water basin(west), NE; nave holy water basin(east), NW; nave holy water basin(west), PD; porch decoration, SS; sanctuary stair.

석 전반에 걸쳐 나타나며 8~9에서 99%의 피도를 보여 가장 심각함을 알 수 있다.

명동성당 석조성물과 기초석에 발생한 손상정도의 분포 양상을 종합할 때, 물리적 풍화와 손상이 가장 심한 것은 측면출입구의 성수반과 주제대, 내부기초석의 다발기둥

(4), 외부기초석의 7~8 구역과 9~10 구역이며, 가장 우세한 풍화 현상은 박리박락, 균열 및 인위적 훼손이다. 반면 변색 상태가 가장 심각한 것은 주현관 상부 장식과 성수반, 성단 오름 계단, 석조기둥(1)과 불임기둥(2, 3), 외부기초석의 11~12구역으로 확인되었다(Table 2, Figure 6).

4.3. 초음파 물성분석

이 연구에서는 초음파 측정을 통하여 명동성당 석조성물 및 기초석의 암석 물성을 파악하고 풍화도지수와 풍화등급을 산출하여 손상도를 정량적으로 평가하였다¹⁶⁾. 또한 측정된 초음파속도를 도면에 도시하여 손상지도에 의한 평가 결과를 보완하였다. 초음파 측정은 석재 전면에 걸쳐 실시하였으며 측정지점은 석조성물 552지점, 내부 기초석 642지점, 외부 기초석 633지점이다. 측정은 간접전달방식을 이용하였고, 탐촉자 사이의 거리를 15cm 간격으로 일정하게 유지하였다.

석조성물의 초음파속도 측정 결과, 대리암으로 만들어진 주계대, 복자계대 및 성세대의 초음파속도 평균값은 3,921m/s~5,296m/s의 분포를 보이며, 풍화도지수는 평균 0.04~0.22로 대부분이 신선한 상태(FR)이다(Table 3). 따라서 균열과 탈락을 제외하면 주계대, 복자계대 및 성세대의 물리적 풍화상태는 양호한 것으로 판단된다. 성수반의 평균 초음파속도는 3,105m/s~4,033m/s의 범위를 보이며, 풍화도지수는 0.20~0.38로 중간 풍화등급(MW)에 속한다. 이를 바탕으로 초음파속도를 일축도면에 등고밀도선 방식으로 나타낸 결과, 육안으로 관찰된 풍화상태와 같이 수분으로 항상 젖어 있는 곳이 저속도대를 보여 암석의 강도와 내구성이 상당히 떨어진 것으로 판단된다(Figure 7).

야외에 위치한 주현관 상부 장식의 초음파 속도 평균값은 2,670m/s이며, 풍화도지수는 0.47로 상당히 풍화된 단계(HW)에 해당한다. 이는 육안으로 관찰된 것보다 실제 부재 내부의 풍화가 더욱 진전되었음을 지시한다. 성단 오름 계단의 초음파속도 평균값은 3,020m/s이며, 풍화도지수는 평균 0.40으로 중간 풍화 단계(MW)와 상당한 풍화단계(HW)로 나타났다. 특히 그라인더 흔적이 있는 부재와 계단의 동측면과 서측면에서 초음파 속도가 낮게 나타났으며, 층위별로는 1층이 풍화가 더 진행된 것으로 확인되었다. 이는 육안으로 관찰된 풍화상태와 일치된 결과이다(Figure 7).

내부 기초석의 초음파속도 평균값은 2,272m/s~3,566m/s이며, 풍화도지수는 0.29~0.55로 중간정도로 풍화된 단계(MW)에서 상당히 풍화된 단계(HW)에 속한다. 내부 기초석의 전체적인 초음파속도 분포경향을 자세히 파악하기 위해 평면도에 초음파속도의 평균값을 투영한 결과, 총 44개의 내부 기초석 중 중간정도로 풍화된 단계(MW)는 10개이고 나머지 34개는 상당히 풍화된 단계(HW)로 나타났다(Figure 7). 특히 불임기둥 2-4, 2-5, 2-6, 2-9와 다발기둥 4-4, 지하기둥 9-3에서 풍화도가 가장 높았다.

외부 기초석의 초음파속도 범위는 1,841m/s~5,219m/s로 평균속도가 2,815m/s로 분석되었다(Table 3). 풍화도 지수는 0.00~0.63의 범위로 평균 0.44로 산출되어 상당히 풍화(HW)되었음을 알 수 있다. 이는 외부 기초석이 옥외의 환경에 항상 노출되어 박리박락과 같은 풍화가 많이 일어났기 때문이다. 평균 초음파속도를 방위별로 살펴보면, 북측면 3,610m/s, 서측면 2,683m/s, 남측면 2,457m/s, 동측면 2,509m/s로 남측면이 최저속도대를 보였다(Figure 7). 이 결과는 앞선 손상지도에 의한 손상도 평가 결과와 일치하는 것으로, 원인은 남측면에 신부재로 교체되지 않은 구부재의 비율이 높는데 있다.

위의 결과들을 종합해 보면, 명동성당 계대 및 성세대는 대부분이 신선한 단계에 속하고 성수반과 성단 오름 계단은 중간 풍화된 단계이나 주현관 상부 장식은 외부 환경의 직접적인 영향으로 다른 성물 보다 월등히 풍화되어 있다. 내부 기초석은 대부분 보통 풍화단계에서 상당히 풍화단계에 속하고, 외부 기초석도 부재가 이미 상당히 풍화된 단계를 겪고 있으며, 방위별로는 남측면에서 가장 저속도대를 나타내었다. 따라서 훼손유형 분포양상과 상관관계를 바탕으로 실제 훼손상태에 따른 취약부분을 파악하여 손상된 부재에 대한 적절한 보존처리가 이루어져야 할 것이다.

5. 보존과학적 고찰

명동성당의 석조성물과 내외부 기초석에 발생한 풍화는 균열, 박리박락 및 변색이 주된 유형이다. 실내에 위치한 석조성물과 내부 기초석은 외부 기상환경의 영향을 받지 않기 때문에 암석의 물리적 및 화학적 풍화가 상대적으로 미약한 반면 외부 기초석은 풍화가 더욱 진전된 양상을 보인다. 균열은 대부분 인위적 요인과 석재의 구조적 문제로 인해 발생하였으며, 박리와 박락은 암석과 수분과의 작용에 의해 나타난 것으로 해석된다.

성물 중 성수반의 박락과 물성저하가 현저하게 나타났는데, 이는 성수반에 항상 고여 있는 물이 암석 내부로 침투하여 광물의 물리화학적 풍화를 일으키고 염성분의 정출을 야기하였기 때문이다. 특히 성수반의 표면에서는 수분의 증발작용이 함께 일어나 습윤과 건조상태가 반복되면서 박락과 염풍화가 진행된 것으로 해석된다.

수분은 외부 기초석의 풍화에도 크게 관여하였다. 기초석은 토양지반에 면하고 있어 항상 습윤한 상태를 유지하고 있고, 강우 시에는 원활하지 못한 배수로 습윤시간이 장

Table 3. Mean values of ultrasonic velocity for foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral.

Group	Location*	Ultrasonic Velocity (m/s)	Weathering coefficient (K)	Weathering grade**	Location*	Ultrasonic Velocity (m/s)	Weathering coefficient (K)	Weathering grade**
Holy stone relics	HA(north)	4,255	0.15	SW	HA(south)	3,921	0.22	MW
	BA	4,540	0.11	SW	F	5,296	0.04	FR
	ME	3,448	0.31	MW	MW	3,545	0.29	MW
	SE	3,105	0.38	MW	SW	3,137	0.37	MW
	NE	3,883	0.22	MW	NW	4,033	0.20	SW
	PD	2,670	0.47	HW	SS	3,020	0.40	MW
Interior foundation stones	1-1	3,492	0.31	MW	1-2	3,566	0.29	MW
	1-3	2,638	0.47	HW	1-4	2,619	0.48	HW
	2-1	3,044	0.39	MW	2-2	3,136	0.37	MW
	2-3	2,901	0.42	HW	2-4	2,272	0.55	HW
	2-5	2,353	0.53	HW	2-6	2,433	0.51	HW
	2-7	2,634	0.47	HW	2-8	2,595	0.48	HW
	2-9	2,511	0.50	HW	2-10	3,166	0.37	MW
	3-1	2,791	0.44	HW	3-2	3,218	0.36	MW
	3-3	2,878	0.42	HW	3-4	3,043	0.39	MW
	4-1	2,559	0.49	HW	4-2	2,930	0.41	HW
	4-3	2,982	0.40	HW	4-4	2,468	0.51	HW
	4-5	2,893	0.42	HW	4-6	2,903	0.42	HW
	4-7	3,203	0.36	MW	4-8	2,722	0.46	HW
	5-1	2,885	0.42	HW	5-2	2,632	0.47	HW
	5-3	2,790	0.44	HW	5-4	2,897	0.42	HW
	6-1	2,849	0.43	HW	6-2	2,951	0.41	HW
	6-3	2,787	0.44	HW	6-4	2,720	0.46	HW
	8-1	2,779	0.44	HW	8-2	2,816	0.44	HW
	9-1	2,856	0.43	HW	9-2	2,708	0.46	HW
	9-3	2,445	0.51	HW	9-4	2,688	0.46	HW
	9-5	2,611	0.48	HW	9-6	2,808	0.44	HW
	9-7	3,139	0.37	MW	9-8	3,111	0.38	MW
Exterior foundation stones	16 ~ 1	3,499	0.30	MW	1 ~ 2	3,991	0.21	MW
	2 ~ 3	3,214	0.36	MW	3 ~ 4	2,758	0.45	HW
	4 ~ 5	2,649	0.47	HW	5 ~ 6	2,778	0.44	HW
	6 ~ 7	2,538	0.49	HW	7 ~ 8	2,553	0.49	HW
	8 ~ 9	2,323	0.54	HW	9 ~ 10	2,339	0.53	HW
	10 ~ 11	2,494	0.50	HW	11 ~ 12	2,396	0.52	HW
	12 ~ 13	2,507	0.50	HW	13 ~ 14	2,459	0.51	HW
	14 ~ 15	2,654	0.47	HW	15 ~ 16	3,574	0.29	MW

*HA; high altar, BA; blessed altar, F; font, ME; main holy water basin(east), MW; main holy water basin(west), SE; subgate holy water basin(east), SW; subgate holy water basin(west), NE; nave holy water basin(east), NW; nave holy water basin(west), PD; porch decoration, SS; sanctuary stair.

**Weathering grade¹⁶; Fresh (FR), Slightly weathered (SW), Moderately weathered (MW), Highly weathered (HW), Completely weathered (CW).

Figure 7. 2D contour maps showing ultrasonic velocity of foundation stones and holy stone relics in the Myeongdongseongdang Cathedral.

기화되고 있다. 또한 과거 보수공사 시 성당의 지면을 낮추면서 땅 속에 매몰되어 있던 기초석이 지면 위로 노출되었는데, 미관 문제를 개선하기 위해 화단을 조성하면서 기초석 하단부가 항시 음지를 이루고 있어 암석 표면의 수분증발이 저해되는 결과를 초래하였다. 이로 인해 기초석의 풍화는 지반과 접하는 최하단부에서 가장 심각하게 진행된 것으로 해석된다(Figure 5I, 5J).

명동성당 석조물의 또 다른 풍화현상은 변색이다. 내부 기초석의 변색은 대부분 인위적인 요인에 의한 것으로 판단되지만, 외부 기초석과 석조성물의 변색은 대기오염물질과 광물의 화학적 풍화로부터 기인한 것으로 추정된다. 명동성당이 위치한 지역은 도심의 변화화로 유동인구와 차량통행이 매우 빈번한 지역이다. 따라서 산성우, 미세먼지, 질산 및 황산가스 등의 대기오염물 농도가 높다.

이러한 대기오염물질은 석재 표면에 건성 침착되어 미세먼지막을 형성하기도 하고(Figure 5K), 수분과 함께 화학반응의 결과로 염을 정출시키기도 한다(Figure 5D). 이러한 과정은 석조성물과 내외부 기초석 표면에 흑색변색을 일으킨 근본적 요인으로 판단된다^{17,18}. 이렇듯 명동성당 석조성물 및 기초석의 풍화와 손상은 보존환경에 의해 기인한 결과이며, 손상을 제어하기 위해서는 환경개선이 시급하다.

외부 기초석의 수분 문제를 해결하기 위해서는 지반에 조성된 토양을 일부 자갈로 교체하여 배수를 원활히 유도하고 배수관을 자갈층 하부까지 설치하여 지반 배수로와 집수구를 직접 연결시키는 작업이 필요하다. 또한 지반에 차수시설을 시공하여 근본적인 수분의 유입을 차단하는 방법도 고려될 수 있다. 한편 풍화가 이미 심각하게 진행된 부재에 대해서는 세정, 탈염, 보강 및 강화처리가 실시되어야 한다.

6. 결 론

1. 명동성당 석조성물과 기초석을 구성하는 암석은 크게 대리암류와 화강암류로 구분된다. 성당 내부의 주재대, 복자제대 및 성세대는 괴상대리암과 호상대리암으로 구성되어 있고, 성수반과 성단오름계단은 각각 각섬석 혹은 모 화강섬록암과 세립질 화강암으로 이루어져 있다. 또한 성당 내외부의 기초석은 대부분 홍상석화강암을 사용하였다.

2. 대리암질 석조성물의 전암대자율 범위는 $0.01 \sim 4.83(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$ 이며, 화강암질 성물과 내외부 기초석의 전암대자율 범위는 $0.03 \sim 9.86(\times 10^{-3} \text{ SI unit})$ 이다. 같은 종류의 암석에서도 넓은 대자율 범위를 보여 다양한 기원의 대

리암질암과 화강암질암이 혼용되어 사용되었음을 지시한다.

3. 명동성당 석조성물과 기초석에 발생한 손상양상을 종합할 때, 물리적 풍화 상태가 가장 심각한 것은 측면 출입구 성수반과 주재대, 내부기초석의 다발기둥(4), 외부기초석의 7~8 구역과 9~10 구역이며, 가장 우세한 풍화 현상은 박리, 박락, 균열 및 인위적 훼손이다. 반면 화학적 풍화와 표면 변색 상태가 가장 심각한 것은 주현관 상부 장식, 성수반, 성단 오름 계단, 석조기둥과 불입기둥(2, 3), 외부 기초석의 11~12구역으로 판명되었다.

4. 석조성물 및 기초석을 대상으로 초음파 측정을 실시한 결과, 대리암 성물 초음파속도와 신부재 초음파속도를 제외한 모든 부재가 중간 풍화~상당히 풍화 단계에 있는 암석으로 확인되었다. 특히 내부 기초석과 외부 기초석의 대부분은 상당히 풍화된 단계이므로 차후 보존처리 시에 강화처리와 같은 적절한 보존방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

5. 명동성당 구성암석의 물리화학적 풍화는 수분에 의한 박락과 염풍화로 인해 발생하였으며, 변색은 미세먼지와 같은 대기오염물질의 침착으로부터 기인하였다. 이는 명동성당이 위치한 도심환경과 지반의 습윤환경의 영향이며, 이를 차단하기 위해서는 성당 주변의 배수환경을 개선하고 차수설비를 시공함으로써 제어가 가능할 것으로 판단된다.

6. 물리적인 풍화도가 높은 암석에 대해서는 탈염, 보강 및 강화처리를 실시하여 물성을 증대하고, 화학적 풍화 생성물로 인한 변색은 세정처리를 통해 원형을 회복하는 것이 필요하다. 아울러 문화유산으로서 명동성당에 대한 재인식과 보존의식 고취를 통해 인위적 훼손을 근본적으로 차단하고, 효율적인 보존관리체계를 수립해야 한다.

참고문헌

1. Kim, D.S. and Kim, T.Y., "The Preservation and Management of Modern Architecture as Cultural Properties". *Journal of Architectural Institute of Korea*, **18**, p127-134, (2002).
2. Kim, J.H., Kim C.D., Kim, T.N. and Kim, T.W., "A Study on the Analysis of Lime Mortar Composition for the Preservation of Myung Dong Cathedral Church : Focused on the East Brick Wall". *Journal of Architectural History*, **14**, p89-100, (2005).
3. Kim, J.S., "A Study on Repairing and Preservation of the Early Western Style Architecture in Korea : Focused on the

- Case Study on the Church Buildings Which are Registered as National Cultural Properties". *Journal of Architectural History*, **10**, p55-72, (2001).
4. Lee, G.W. and Kim, J.D., "A Study on the Repair and Conservation of Modern Buildings in a brick". *The Journal of Architectural and Urban Environmental Research*, **9**, p1-16, (2001).
5. Woo, N.S., Kwon, S.C. and Kim, T.Y., "A Study on the Techniques of Preservation Technology in the Brick Structure of Modern Architectural Properties". *Korean Institute of Rural Architecture*, **13**, p37-44, (2011).
6. Jo, Y.H., Lee, C.H. and Chun, Y.G., "Material characteristics and deterioration evaluation for the 13th century Korean stone pagoda". *Environmental Earth Sciences*, **66**, p915-922, (2012).
7. Kim, J., Lee, C.H. and Lee, M.S., "Quantitative Deterioration Assessment and Microclimatic Analysis of the Gyeongju Seokbinggo (Ice-storing Stone Warehouse), Korea". *Journal of Conservation Science*, **25**, p25-38, (2009).
8. Lee, C.H., Lee, M.S., Kim, Y.T. and Kim, J., "Deterioration assessment and conservation of a heavily degraded Korean stone Buddha from the 9th Century". *Studies in Conservation*, **51**, p305-316, (2006).
9. Lee, C.H., Jo, Y.H. and Kim, J., "Damage evaluation and conservation treatment of the tenth century Korean rock-carved Buddha Statues". *Environmental Earth Sciences*, **64**, p1-14, (2011).
10. Cultural Heritage Administration in Korea, "Detail description of Myeongdongseongdang Cathedral". www.ocp.go.kr, (2012).
11. Jo, Y.H., Lee, C.H., Yu, J.H., Kang, M.K. and Kim, D.M., "Petrological classification and provenance interpretation of the Sungnyemun stone block foundation, Korea". *Journal of Cultural Heritage Studies*, **45**, p174-193, (2011).
12. Lee, C.H., Kim, M.Y., Jo, Y.H. and Lee, M.S., "Conservation treatment based on material characteristics, provenance presumption and deterioration diagnosis of the Seven-storied Jungwon Tappyeongri stone pagoda, Chungju, Korea". *Journal of Cultural Heritage Studies*, **43**, p36-57, (2010).
13. Uchida, E., Cunin, O., Suda, C., Ueno, A. and Nakagawa, T., "Consideration on the construction process and the sandstone quarries during the Angkor period based on the magnetic susceptibility". *Journal of Archaeological Science*, **34**, p924-935, (2007).
14. Kim, S.J., Lee, M.S., Kim, W.S. and Lee, S.J., "The Change of Natural Environment in the Seoul Area: Environmental Mineralogy of the Granite Weathering". *Journal of the Geological Society of Korea*, **30**, p284-296, (1994).
15. Fitzner, B., Heinrichs, K. and La Bouchardiere, D., "The Bangudae petroglyph in Ulsan, Korea: studies on weathering damage and risk prognosis". *Environmental Geology*, **46**, p504-526, (2004).
16. Iliev, I.G., "An attempt to measure the degree of weathering of intrusive rocks from their physico-mechanical properties". *Proceedings of the First International Congress*, International Society of Rock Mechanics, Lisbon, **1**, p109-114, (1967).
17. Leysen, L., "Air-Pollution-Induced chemical decay of a Sandy-Limestone Cathedral in Belgium". *The Science of the Total Environment*, **78**, p263-287, (1989).
18. Roekens, E. and Van Grieken, R., "Rates of Air Pollution Induced Surface Recession and Material Loss for a Cathedral in Belgium". *Atmospheric Environment*, **23**, p271-277, (1989).