

송례문의 육축을 이루는 석재의 암상 특징과 박리, 박락 및 균열현상

이상헌

강원대학교 지질학과, 강원도 춘천시 효자동, ☎ 200-701

Characteristics of Rock Phase and Phenomena of Exfoliation, Breakout and Cracks Developed on the Rocks Constituting the Soongryemoon

Sang Hun Lee

Department of Geology, Kangwon National University, Hojadong, Chuncheon, Kangwon-do 200-701, KOREA

초록 조선조 태조 7년(1398년)에 창건된 후 수 차례의 중수와 보수가 이루어진 송례문은 현재에 이르러 극심한 환경의 변화에 의해 구성 암석이 매우 심하게 풍화되었을 뿐 아니라 암석 표면에 박리, 박락 및 균열 등이 발달되어 구조적 안정성에 대한 문제가 야기되어 온 것으로 생각된다. 송례문을 이루는 암석은 대부분이 화강암류이며 대체로 심하게 풍화되어 검게 변색되어 있을 뿐만 아니라 양파껍질 구조, 표면박리, 박락, 균열 및 가장자리 박락 등 여러 훼손 현상이 발달되어 있다. 육안관찰에 의해 조사되어 온 이러한 훼손양상들의 특징을 바탕으로 하여 성인적으로 구분하면 심한 풍화에 의해 나타나게 된 표면박리와 박락, 양파껍질 구조, 그리고 편중된 하중에 의한 것, 충격에 의한 것, 그리고 원인을 알 수 없는 것 등으로 분류할 수 있다. 따라서 앞으로의 보존대책 수립을 위해서는 이러한 훼손양상들에 대하여 정량적인 방법에 의해 규명되어 온 원인과 이를 바탕으로 구조적 안정성을 정밀 진단한 결과를 기초로 해야 할 것으로 생각된다.

ABSTRACT After the construction (1398 year at first, secondarily reconstructed at 1448 year), the Soongryemoon (South Gate) had been preserved to late 19c without large damages. The present shape of the gate have been kept after the repairsments of two times (1953, 1963). However, the rocks constituting the walls of the gate have been strongly weathered, exfoliated and cracked due to severe changes in the environment as traffic increase, air pollution and the subway which may seem also to cause the structural instability. The rocks composed of the walls of the gate are almost of granites. On the rocks such deteriorations as onion structure, surface exfoliation, cracks, and edge breakout are developed. These deteriorations may be caused genetically by strong weathering, differential load due to possibly structural instability, impact and unknown reasons. For the establishment of conservation plan, the factors of these deterioration phenomena and structural instability must be quantitatively analyzed and diagnosed in detail.

1. 서론

송례문은 최초 조선조 태조 7년(1398년)에 창건된 뒤 세종 30년(1448년)에는 문루와 석문을 완전히 바꾸는 등 새롭게 축조하였으며 그 후 성종 10년(1479년)에 개축한 이후 1800년대 말 조선의 개항 때까지 크게 훼손됨이 없이 유지되어 왔다. 그러나 일제에 의한 전차 운행과 도로 확장에 따른 성곽의 철거 등에 의해 송례문은 지금과 같은 모습을 갖추게 되었다. 그 후 6, 25 전쟁 등에 의해 훼손되고 구조적으로 불안정하여 1953년과 1963년 두 차례에 걸쳐 중수가 이루어 졌다.¹ 특히 1963년의 중수 때에는 부분적으로 새로운 암석 부재를 사용하여 현재에 이르고 있다.

구조적으로 볼 때 송례문은 크게 석재로 이루어진 육축과 그 위의 목조로 된 문루로 구성되어 있으며 육축의 중앙부에는 홍예를 틀어 통로를 만들고 홍예 기석 위에는 반원으로 홍예석을 올리고 홍예 내부(통로)는 목조 천장을 마련하였다.

450여 년의 역사를 가진 송례문은 현재에 이르러 주어진 환경의 극심한 변화에 의해 암석의 풍화뿐만 아니라 구조적으로 영향을 받지 않을 수 없게 되어 있다. 예를 들면 오염에 의한 대기의 변화는 암석의 풍화 및 흑화 작용 등을 촉진시키고 지하철 및 많은 차량의 통행 등은 구조적 불안정성을 야기 시킬 수 있는 요인이 되어 육축의 석재는 많이 훼손되어 있다.

송례문의 육축의 석재는 거의 대부분이 화강암류에 속하는 암석들로 이루어져 있으며 원래의 암석들은 검게 변색되어 있어 우백색을 띠는 중수 시에 보충된 부재들과는 비교적 쉽게 구분이 되어진다. 이 암석들에는 박리, 박락 및 균열들이 많이 발달되어 있으며 이들은 형태와 발달 위치 등에 있어 차이를 나타내고 있어 여러 요인에 의해 형성된 것임을 시사하고 있다. 이러한 균열과 발달 및 박락 현상들은 송례문 전체의 구조적 안정성을 반영하는 것으로 상호간의 연관성을 알기 위하여 위치별 발달 양상과 정도를 조사하고 이를 바탕으로 원인별로 분류 및 분석을 하였다.

이 연구는 2002년 서울특별시 중구청에서 한국건설안전기술원에 의뢰한 “송례문 정밀 안전 진단”²을 위한 조사의 일부로서 육축의 석재들에 발달되어 있는 균열 및 박리 현상들을 조사하여 원인 분석을 하는데 있으며 이를 통하여 구조적 안정성과 앞으로의 보존처리를 위한 기본 자료를 제시하는데 있다. 이를 위하여 2002년 3월 중 3일에 걸쳐 정밀 조사를 실시하였으며 이때 특징적인 부분에 대해서는 사진 촬영을 하였으며 실내 연구를 위하여 풍화에 의해 떨어져 나온 파편들 중에서 암석 시편들을 채취하였다.

2. 암상의 특징

송례문에 사용된 석재들은 거의 화강암류에 해당되는 암상을 나타내고 있으나 원래의 암석은 대부분이 진한 갈색이나 검게 변색되어 있어 정확한 암상을 구분하기 어려우며 또한 이번 조사에는 육축의 벽체나 홍예문의 위 부분은 직접 관찰할 수 없었기 때문에 암상에 대한 전체적인 분석은 이루어지지 못 하였다. 그러나 풍화에 의해 떨어져 나온 암석파편(4개)을 박편 제작하여 현미경하에서 관찰하였으며 박편을 만들 수 없는 곳(문 내부 하단 기단석, 북쪽 서측 계단 최상부, 남면 동측 하단과 기단석) 등에서 작게 박락된 시료를 채취하여 XRD를 이용하여 광물조성을 정량 분석하였다.

각 시료의 XRD 및 화학분석은 한국기초과학지원연구원 서울 분소에서 실시하였다. 구성 광물의 정량분석은 Philips Xpert MPD를 이용하여 XRD pattern의 Rietveld method에 기초한 SIRQUANT program을 이용하였다. X-선 타겟은 Cu-K α , 양극의 가속전압 및 전류는 40 KV/30 mA였다. 주 구성원소 및 F, S, Cl을 포함한 미량원소에 대한 전압분석은 Philip사의 PW 240XRF를 이용하였다.

2.1. 현미경하에서의 특징

채취된 암석시료들은(Table 1) 주로 석영(35.0% 이상), 피사이트(28.6~35.0%), 사장석(8.2~11.7%) 및 흑운모(6.7~9.8%)로 이루어져 있으며 부구성 광물로는 정장석, 백운모, 녹니석 그리고 견운모

Table 1. Sample site.

Sample name	Sampling point
04	lowermost of the inner side of the gate
05	right-lowermost of the north wall
08	uppermost of the right stair at the north
09	uppermost of the right stair at the north
11	lowermost at the west side of the south wall
13	lowermost of the east stair at the south wall
15	lowermost at the east side of the south wall

등이 산출된다(Table 2a) 석영은 중립 내지 조립으로 대부분 파동소광을 보이며 봉합상 조직을 나타내는 것이 보통이다. 석영 입자 내에 미립의 흑운모나 백운모가 포획되어 있기도 하며 견운모화된 사장석 내에 미립의 석영이 산출되기도 한다. 퍼사이트는 대체로 큰 결정으로 산출되며 심한 견운모화 작용을 받은 것이 대부분이며 이 경우 흑운모나 백운모가, 때로는 재결정된 미립의 석영이 산출되기도 한다. 정장석은 완전한 칼스바드 쌍정을 보이며 대체로 중립질이다. 사장석은 뚜렷한 칼스바드-알바이트 쌍정을 보이며 부분적으로 심하게 견운모화 작용을 받은 것이 많다(Fig. 1). 대부분의 사장석은 누대구조를 보이고 누대구조의 일부는 견운모화되어 있음을 보여준다(Figs. 2, 3). 견운모화 작용을 심하게 받은 장석류 주위에는 미르메카이트가 발달하기도 한다(Fig. 3).

흑운모는 담갈색에서 갈색의 다색성을 보이며 때로는 부분적으로 방향성을 보이며 배열되어



Fig. 1. Very fine muscovite in the sericitized plagioclase.



Fig. 2. Plagioclase show zonal structure which are partly sericitized. Myrmekite is developed around plagioclase.



Fig. 3. Very fine muscovite occurs in the sericitized perthite. Biotite, opaque mineral (possible iron oxide) and myrmekite occur.

있어 약하게 화성선리와 같은 구조선을 나타내기도 한다. 대부분이 벽개면이 잘 발달되어 있으나(Fig. 3) 간혹 벽개면이 관찰되지 않는 것도 있다. 백운모는 대체로 흑운모와 함께 산출되기도 한다. 녹니석은 대체로 흑운모의 벽개면을 따라 산출되고 있어 흑운모의 변질물로 생각된다.

이러한 장석류의 심한 견운모화 현상과 흑운모의 녹니석화 작용등은 이 화강암들이 후기에 열수변질작용을 받았음을 시사하는 것으로 생각된다. 이 화강암을 석영-알칼리 장석-사장석 분류도에 도시해 보면(Fig. 4a) 화강암 영역 내에서 알칼리 화강암 쪽으로 치우친 곳에 분포함을 알 수 있다.

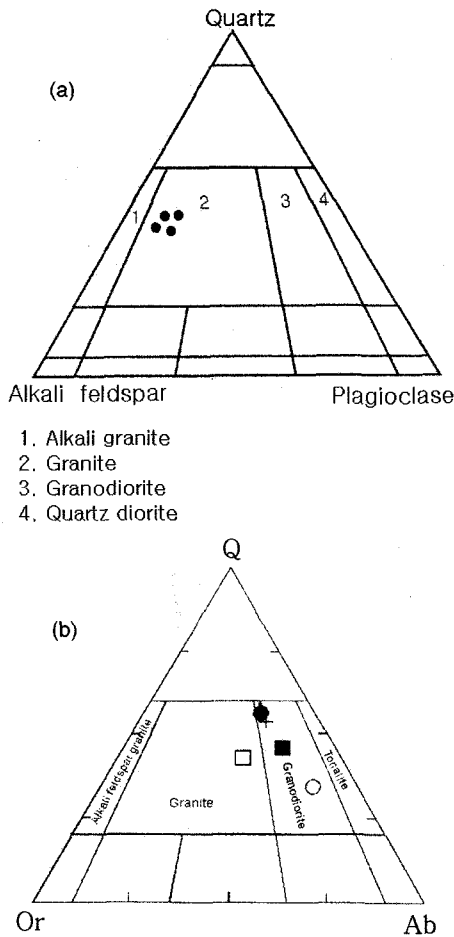


Fig. 4. a; Classification of the plutonic rocks by Streckeisen, 1967, b; Q-Or-Ab triangular diagram by the result analyzed by XRD.

2.2. XRD 정량분석

박편을 제작할 수 없으나 풍화에 의해 떨어져 나온 시료에서 흑화된 부분을 제거한 암석 시료에 대하여 XRD를 이용하여 광물의 정량분석을 실시하였다(Table 2).

Table 2에서 보는 바와 같이 거의 대부분이 석영(34.3~5.65%)과 사장석(알바이트)(28.6~54.1%) 및 알칼리 장석(11.3~25.0%)으로 구성되어 있으며 흑운모와 백운모가 소량 함유되어 있다. 이를 모드분석(Table 2a)에 의한 결과와 비교해 보면 석영과 사장석의 함량은 상대적으로 매우 많이 증가하였으나 알칼리 장석(페사이트와 정장석)은 반대로 감소하였음을 알 수 있다. 특히 동

Table 2. Result of the modal analysis (a) and analyzed by XRD (b).

MINERAL	NUMBER	
	9-1	4
Quartz	35	35.7
Plagioclase	11.7	10.7
Orthoclase	5	3.6
Perthite	33.3	28.6
Biotite	6.7	8.9
Muscovite	3.3	5.4
Chlorite	1.7	1.8
Sericite	3.3	5.3
Total	100	100

Sample ore number	04	05
Plagioclase	54.1	31.9
Biotite	0.3	0.4
Muscovite	-	-
Alkali feldspar	11.3	25.0
Quartz	34.3	42.8

일한 부재에서 채취한 시료 9의 경우(동일한 시료는 아님) 석영은 36.1 : 52.5, 사장석(알바이트)은 8.2 : 31.8, 알칼리 장석(정장석 + 페사이트)은 36.1 : 13.2, 그리고 흑운모는 9.8 : 1.1의 함량 차이를 나타내고 있다. 이를 석영-알칼리 장석-사장석(Q-Or-Ab) 분류도(Fig. 4b)에 도시해 보면 화강섬록암과의 경계 부근에 분포함을 알 수 있다. 이는 화강암내의 알칼리 장석이 풍화에 의해 유실된 결과로 생각된다. 즉 알칼리 장석의 풍화에 의한 결과로 생각된다.^{4,5} 알칼리 장석은 산성을 띠는 물에 의해 용해되어 바람이나 비에 의해 유실되고 고령토가 풍화산물로 남지만 이는 X-선 회절분석에 의해 인지되어지지 않기 때문으로 생각된다. 모드분석과 비교할 때 운모류의 함량이 감소한 것도 역시 화학적 풍화에 의해 많이 유실된 결과라고 생각된다.

2.3. 지화학적 특징

암석들의 지화학적 특징을 알기 위하여 흑화되어 박리된 시료를 채취하여 흑화된 표면을 제

Table 3. Major chemical composition of the selected rock, the Soongryemoon. (wt%)

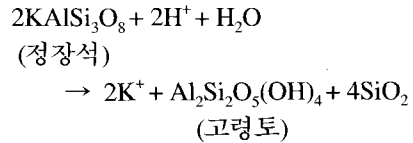
Sample	Granite						
	04	05	08	09	11	13	15
Al ₂ O ₃	13.17	12.03	12.92	13.23	11.51	13.03	13.21
CaO	0.82	0.61	0.97	1.14	0.58	0.60	1.42
Fe ₂ O ₃	0.85	0.69	1.22	1.04	0.63	0.86	1.02
K ₂ O	5.28	4.56	4.24	4.30	3.84	4.66	4.44
MgO	0.14	0.14	0.25	0.26	0.10	0.12	0.29
MnO	0.06	0.05	0.06	0.05	0.02	0.07	0.05
Na ₂ O	2.79	2.88	2.65	3.81	2.91	2.82	3.66
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.10	0.05	0.03	0.03	0.04
SiO ₂	75.10	77.94	75.43	75.82	79.27	75.91	74.83
TiO ₂	0.10	0.09	0.18	0.15	0.06	0.12	0.14
L.O.I	0.76	0.57	0.53	0.22	0.60	0.40	0.49
Total	99.69	99.63	98.54	100.09	99.54	98.61	99.60

거하고 주 구성 화학성분을 분석하였다(Table 3).

Table 3에서 보는 바와 같이 SiO₂는 74.8~79.3%, Al₂O₃는 11.5~13.7%, Fe₂O₃는 0.6~1.2%, K₂O는 3.84~5.28%, Na₂O는 2.65~3.81%, CaO는 0.58~1.42% 그리고 MgO는 0.12~0.29% 사이에서 변화함을 알 수 있다. SiO₂ 함량이 증가함에 따른 각 산화물의 변화양상은 Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO 및 CaO는 감소하는 경향을 보인다. 또 AFM(Fe₂O₃-Na₂O+K₂O-MgO 삼각도)(Fig. 5)에서 보는 바와 같이 알칼리 성분이 극단적으로 농집된 양상을 보인다.

비교적 신선한 암석과 풍화정도가 심한 암석과의 주 원소성분의 차이를 보면 K₂O의 경우 후자에서 0.06~0.72% 정도 손실이 있었음을 알 수 있는데 이것은 알칼리 장석의 가수분해에 의한

결과로 생각된다. 알칼리 장석은 산성을 띠는 물과 반응하면 가수분해에 의해 용해되고 K⁺ 성분은 유실되고 고령토만 남게 된다. 이의 반응식을 보면 다음과 같다.^{4,5}



반응산물인 K⁺은 물 속에 녹아 있는 HCO₃⁻와 반응하여 K₂CO₃를 형성하는데 이는 물에 매우 잘 용해된다. 따라서 CO₂가 물에 녹아 H₂CO₃(\rightleftharpoons H⁺ + HCO₃⁻)가 형성되어 있는 약한 산성을 띠는 물과 정장석이 반응하면 대부분의 K⁺ 성분은 유실된다. 또 반응산물인 SiO₂는 HSiO₄⁻로 물에 용해되거나 미립의 입자로 물에 콜로이드 상태로 떠 있게 되어 일부의 SiO₂는 유실되어질 수 있다. 따라서 상기의 반응식에서 반응의 정도는 H⁺의 함량정도에 따라 좌우됨을 알 수 있다.

3. 균열, 박리 및 박락현상

원래의 암석들은 균열, 박리, 박락, 흑화 및 표백현상 등 여러 형태로 훼손되어져 있다. 이들 중에는 자연적인 풍화에 의한 것도 있지만 하중의 편중 또는 인위적인 충격⁶ 및 보수 시 사용된 시멘트나 쇠 쇄기 등의 풍화물의 영향에 의한 것

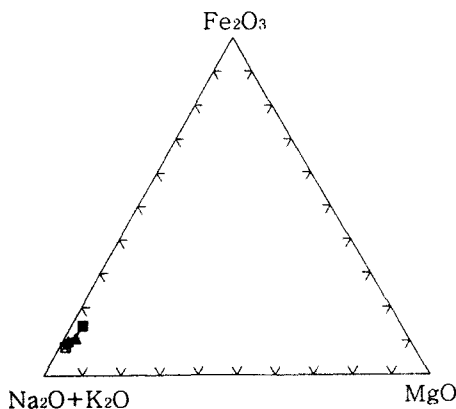


Fig. 5. AFM triangular diagram.

들도 많이 관찰할 수 있다.

균열은 그 형태를 바탕으로 할 때 ① 양파껍질 구조선, ② 편중하중에 의한 것, ③ 충격에 의한 것, 및 ④ 원인불명의 것으로 구분되어지며, 박리현상은 ① 표면박리, ② 편중하중에 의한 것, 그리고 ③ 충격에 의한 것들로 분류할 수 있다. 또 부재들 사이의 접촉부를 따라 잘게 박락되는 가장자리 박락(edge breakout)도 많이 발달되어 있으며 여러 곳에 흠이 패인 것 같은 것들은 총탄 흔적으로 생각되며 이들에 대해서는 특별한 분석을 하지 않았다.

상기한 원인별로 분류된 훼손양상들을 각각 간단히 살펴보면 다음과 같다.

3.1. 균열(crack)

균열은 생성원인으로 볼 때 풍화에 의해 걸로 나타나게 된 양파껍질 구조선(1), 부분적으로 편중된 하중(3), 인위적인 충격(5), 그리고 원인을 알 수 없는 것(7) 등으로 구분할 수 있다 (각 번호들은 모두 Table에서의 번호와 동일함). 이들은 양파껍질 구조선을 제외하고는 그 형태가 비슷하여 정확히 구분하기 어려우나 부재에서의 위치와 발달 양상을 바탕으로 분류한 것으로 정량적인 분석을 거친 것은 아니다. 이들을 벽체면, 문 내부, 그리고 홍예문(남문, 북문)으로 나누어 분석하였다.

(1) 벽체면(Fig. 7, 8, 9)

육축의 벽체면에는 1963년의 보수 시 새로운

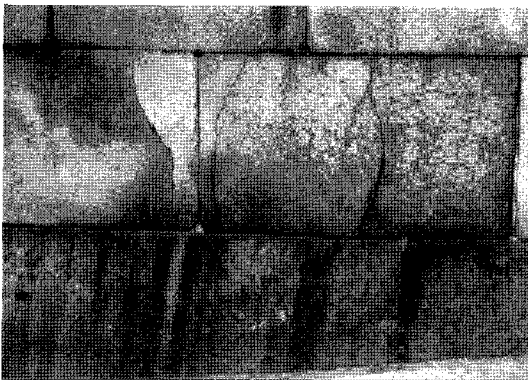


Fig. 6. Exfoliation and cracks by the onion structure at the lower-most of the central part, west side of the north wall.

암석 부재가 많이 보충되었는데 이들에게는 아직 육안으로 관찰할 수 있을 정도의 균열은 발달되어 있지 않다. 따라서 원래의 암석 부재에 발달된 균열들을 남면과 북면으로, 그리고 각 면을 동측, 중앙부 그리고 서측으로 나누었으며, 홍예문 안의 내벽도 또 한 면에서도 상부(위에서 4단까지), 하부(아래에서 3단까지) 및 중부로 나누어 정리하면 Table 4와 같다(균열의 경사가 30° 이상인 경우 대각선으로 처리).

Table 4의 내용을 간단히 정리하면

남면: ① 수평방향의 양파껍질 구조선이 특히 중부 아래에서 우세

② 동측 면에 서측 면 보다 더 많이 발달

③ 발달 정도는 중부 - 상부 - 하부 순으로 많음

북면: ① 수직 및 대각선 방향의 양파껍질 구조선이 하부에서 우세(Figs. 6, 10)

② 동측 면이 서측 면 보다 약간 더 많이 발달

③ 전체적으로 볼 때 남면 보다 약 2배 정도 더 발달

④ 상부보다 중부 이하에 더 많이 발달되어 있음을 알 수 있다.

(2) 홍예문 안의 내벽(Fig. 11)

홍예문 안쪽의 내벽은 동측과 서측으로, 그리고

Form	Color	Contents
(CRACK)	■	ON ONION STRUCTURE
	■	BY DIFFERENTIAL LOAD PRESS
	■	BY IMPACT
	■	UNKNOWN
(EXFOLIATION)	■	BY SURFACE EXFOLIATION
	■	BY DIFFERENTIAL LOAD PRESSURE
	■	BY IMPACT
	■	EDGE BREAK OUT
	■	BLEACHED

Fig. 7. Legend.

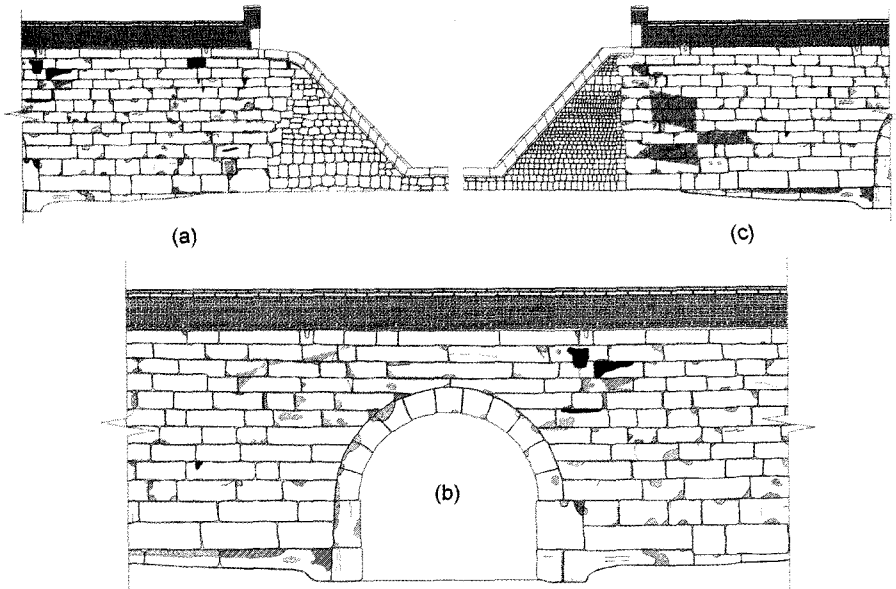


Fig. 8. a; east, b; central, and c; west sides of the south wall.

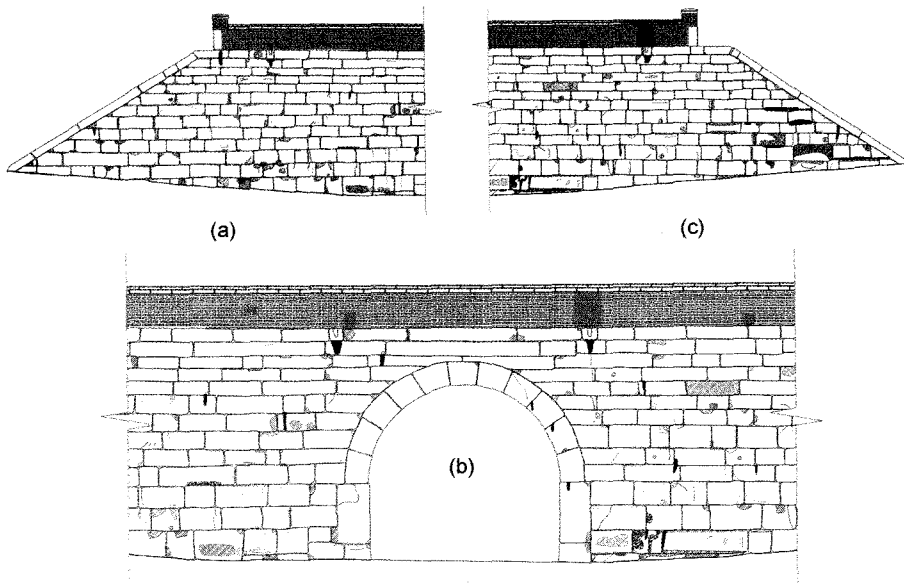


Fig. 9. a; west, b; central, and c; east sides of the north wall.

각 측면에 있어서 상부(위에서 4단까지)와 하부로 구분하여 균열들의 발달정도를 정리하면 Table 5 와 같으며 이를 간단히 설명하면 다음과 같다.

동측과 서측에 관계없이 양파껍질 구조선이 가장 우세하며 특히 하부에 잘 발달되어 있다.

서측의 경우 하부에 대각선 방향의 양파껍질 구조선이 잘 발달되어 있는데 이는 원형으로의 표면박리가 잘 발달되어 있는 것과 연관성이 있는 것으로 생각된다. 동측의 경우 하부에 하중의 편중에 의한 수직균열이 비교적 많이 발달되어 있

Table 4. Cracks on the rocks of the south and north walls (south/north).

position	type	1			3			5			7			total
		hori- zontal	ver- tical	diago- nal	hori- zontal	ver- tical	diago- nal	hori- zontal	ver- tical	diago- nal	hori- zontal	ver- tical	diago- nal	
the upper part	east side	3/1		4/1					1/1		1/1		8/4	
	west side	1/		1/		1/1			1/		1/		5/1	
	total	4/1		5/1		1/1			1/1		2/1		13/5	
the middle part	east side	6/	1/4	1/4		1/1	1/1			1/1	1/3	1/6	1/4	6/24
	west side	1/3	1/3	1/3		1/2	1/1					2/5		3/15
	total	6/3	1/7	1/7		1/3	1/2			1/1	1/3	2/11	1/4	9/39
the lower part	east side	12/7	1/7	1/7	1/1	1/1						3/3		18/26
	west side	3/1	1/8	1/8		2/1	1/1			1/1	1/4	1/1		6/21
	total	15/8	1/15	1/15	1/1	3/2	1/1			1/1	3/7	1/1		24/47
total		25/12	1/22	1/22	1/1	4/6	1/3		1/1	1/1	2/5	5/18	1/5	46/91



Fig. 10. Exfoliation and cracks by the onion structure at the lower-most of the central part, west side of the north wall.

음을 알 수 있다. 이는 구조적 안정성과 연관성이 있을 것으로 생각된다.

(3) 홍예문(Fig. 12)

양파껍질 구조선이 대부분이며 남문과 북문의 서쪽 기단부에 잘 발달되어 있다(Table 6). 북문의 경우 홍예 부분에도 많이 관찰된다. 특히 홍

예의 정상부 오른쪽 부재에는 대각선 방향으로 균열이 크게 발달되어 있는데 이는 2차적으로 생성된 것으로 생각된다(조사 후 이 균열을 따라 암석이 크게 박락되었음; 2002년 8월 중). 남문의 서쪽 기단부에는 하중의 편중에 의한 것으로 생각되는 균열이 약간 발달되어 있는데 이는 구조적 안정성과 연관이 있을 것으로 생각된다.

3.2. 박리(exfoliation)

표면이 얇게 떨어져 나간 박리현상은 풍화가 진행됨에 따라 광물입자들의 박락이나 화성선리 또는 양파껍질 구조선을 따라 일어나는 표면박리(2), 약해진 표면이 편중된 하중의 영향에 의해 일정한 면적이 박리된 것(4), 그리고 충격에 의해 부분적으로 박리된 것(6) 들로 구분할 수 있다(각 Table에서의 번호와 동일함) 이러한 면의 박리에는 부재의 가공시의 충격에 의한 영향이 중첩되어 있는 경우도 있지만 여기에서는 구분할 수가 없다.

(1) 벽체면(Fig. 13, 14)

벽체면에 발달된 박리현상을 정리하면 Table

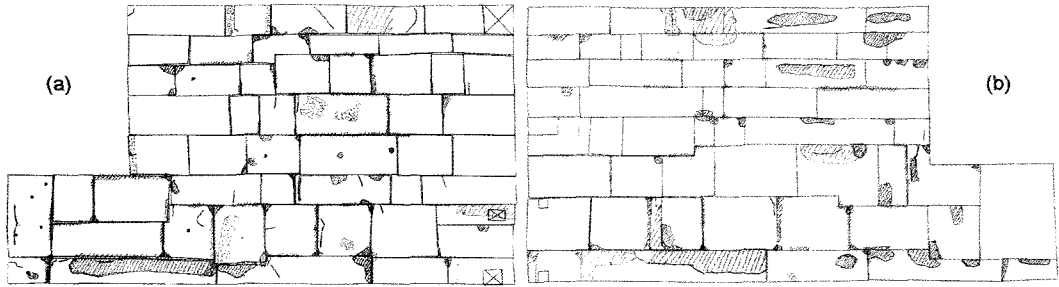
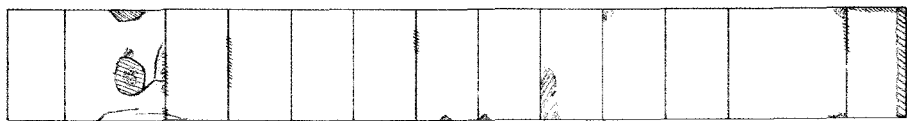


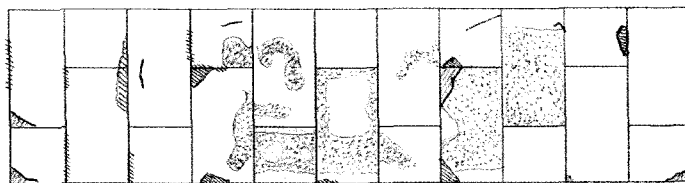
Fig. 11. a; east and b; west sides of the inner walls of the arches.

Table 5. Cracks on the rocks of the inner side of the gate.

position	type	1			3			5			7			total
		hori- zontal	ver- tical	diago- nal	hori- zontal	ver- tical	diago- nal	hori- zontal	ver- tical	diago- nal	hori- zontal	ver- tical	diago- nal	
the east side	the upper part		4	2		1			1					8
	the lower part	3	7	5		8	2		1		1			26
	total	3	11	7		9	2				1			34
the west side	the upper part	1	1	3			1							6
	the lower part		6	12		1					1	2		22
	total	1	7	15		1	1				1	2		28
total		4	18	22		10	3		1		2	2		62



(a)



(b)

Fig. 12. a; south arch, b; north arch.

Table 6. Cracks and exfoliation on the rocks of the south and north arches.

position	type	crack				exfoliation				
		1	3	5	7	total	2	4	8	total
the south gate	west-most	4	3			7			4	4
	east-most						1	1		2
	arch									
	total	4	3			7	1	4		5
the north gate	west-most	6				6			3	3
	east-most	2				2	1			1
	arch	5				5	2	1	4	7
	total	13				13	3	4	4	11
total		17	3			20	4	4	8	16

7과 같으며 이를 간단히 설명하면 다음과 같다.

남면: ① 전체적으로 볼 때 편중된 하중에 의한 것이 가장 우세하며 동측에 서측보다 더 많이 발달

② 서측에 충격에 의한 박리가 우세하며 특히 중부와 하부에 많이 발달

③ 동측의 하부에는 편중된 하중에 의한 것이, 서측의 하부에는 충격에 의한 것이 각각 많이 발달

④ 박리현상은 거의 하부에 집중적으로 발달.

⑤ 충격에 의한 것은 서측의 중-하부에 집중적으로 발달

북면: ① 남면보다 박리된 면이 더 많이 발달

② 동측과 서측에 관계없이 편중하중에 의한



Fig. 13. Cracks and exfoliation by the differential load and edge-breakout at the right-uppermost, west side of the south wall.



Fig. 14. Surface exfoliation and breakout by the differential load at the left-uppermost, east side of the north wall.

것이 가장 우세하게 발달

③ 편중된 하중에 의한 것은 특히 동측의 중부와 하부에 집중적으로 발달

④ 박리현상은 거의 중부에 많이 발달(약 79%)

⑤ 충격에 의한 것은 동-서 측 각각 중부에 많이 발달

위에서 설명한 바와 같이 박리작용은 편중된 하중에 의한 것이 가장 우세하며 다음으로 충격에 의한 것이다. 또한 이들은 주로 벽체의 중-하부에 집중적으로 발달되어 전체적으로 볼 때 구조적 불안정에 기인하는 것이 아닌가 생각하게 한다.

Table 7. Exfoliation on the rocks of the south and north walls.

position	type	the south wall				the north wall				total
		2	4	8	total	2	4	8	total	
the upper part	east side	5	7	2	14	2	7	2	11	25
	west side	2		9	11		5	2	7	18
	total	7	7	11	25	2	12	4	18	43
the central part	east side	2	12	2	16	4	20	11	35	51
	west side	8	9	14	31	3	6	8	17	48
	total	10	21	16	47	7	26	19	52	99
the lower part	east side	7	31	9	47	7	14	2	23	70
	west side	14	12	20	46	3	4	2	9	55
	total	21	43	29	93	10	18	4	32	125
total		38	71	56	165	19	56	27	102	267

Table 8. Exfoliation on the rocks of the inner side of the arches.

position		type			
		2	4	8	total
the east side	the upper part		9	1	10
	the lower part	3	9	21	33
	total	3	18	22	43
the west side	the upper part	4	6	1	11
	the lower part	9	11	2	22
	total	13	17	3	33
total		16	35	25	76

(2) 홍예문 안의 벽체(Fig. 11)

문안의 내벽을 동측과 서측, 그리고 각각 상부(위에서 4단까지)와 하부로 구분하여 정리하면 Table 8과 같다. Table에서 보는 바와 같이 전체적으로 볼 때 편중된 하중에 의한 것이 가장 우세하나(약 46%) 동측의 하부에는 충격에 의한 것이 집중적으로 발달되어 있다(약 28%). 또한 동측에 서측보다 약간 더 많이 발달되어 있으며 서측의 하부에는 편중된 하중에 의한 것이 가장 우세하게 발달되어 있음을 알 수 있다. 상기의 내용으로 볼 때 내벽에서는 주로 편중된 하중과 충격에 의한 것이 우세하여 구조적 안정성과 연관성이 있음을 시사한다.

(3) 홍예문(Fig. 12)

Table 6에서 보는 바와 같이 남문의 경우 주로 서쪽의 기단부에 충격에 의한 것이 주로 발달되고 홍예 부분에는 거의 관찰되지 않는다. 그러나 북문에서는 서쪽 기단부에는 편중된 하중에 의한 것이 잘 발달되어 있는 반면에 동쪽 기단부에는 거의 발달되지 않는다. 대신에 홍예부에서는 충격에 의한 것이 많이 발달되어 있어 남

문과는 대조적인 양상을 보이고 있다. 즉 남문의 홍예부에는 거의 박리현상이 없는데 북문의 경우에는 대부분 홍예부에 발달되어 있는 것이 다른 점이다.

2.3. 가장자리(edge) 박락

부재의 가장자리(edge)들이 얇게 깨어져 나가는 것은 풍화에 의한 입자박락에 의해서 뿐만 아니라 하중의 편중 및 충격에 의해서도 일어나는 현상으로 승레문의 경우 보수 전의 상황을 시사할 뿐만 아니라 보수시의 시멘트 작업중에 의해서도 일부 일어난 것으로 생각된다. 또한 접착 시멘트가 풍화에 의해 박락되어질 때 부분적으로 영향을 받은 경우도 있는 것으로 생각된다.

(1) 벽체면(Fig. 8, 9, 13)

Table 9에서 보는 바와 같이 전체적으로 볼 때 남면 보다 북면에 박락현상이 더 많은 것은 보수 시 남면 쪽에 새 부재가 보다 많이 보충되었기 때문으로 생각된다. 대체로 부재 사이의 접착부의 양쪽에 비슷하게 발달되어 있는 것이 보통이다. 전체적으로 볼 때 남면에서는 상부에, 그리고 북면에서는 중부에 가장자리 박락이 잘 발달되어 있다. 각 부재에서의 위치로 볼 때는 주로 하단과 좌·우단에 주로 발달되어 있음을 알 수 있다. 남면의 경우 서측 상부의 각 부재의 하단에 그리고 북면에서는 동측 중부의 각 부재의 좌·우단에 가장 많이 발달되어 있다.

(2) 홍예문 안의 벽체(Fig. 11, 15)

매우 심하게 풍화되고 부분적으로 표백되기도 한 곳이 많으나 전체적으로 매우 검게 변색되어 있는 문안의 내벽에는 Table 10에서 보는 바와 같이 동측과 서측에 거의 비슷하게 가장자리 박락이 관찰되어진다. 벽체에서의 위치는 주로 하

Table 9. Edge-breakout on the rocks of the south and north walls.

position in each rock	the south wall				the north wall				total
	upper edge	lower edge	right and left edge	total	upper edge	lower edge	right and left edge	total	
the upper part	2/1	11/3	5/5	18/9	1/2	2/	1/1	4/3	22/12
the middle part	2/2	3/5	4/2	9/9	2/1	10/12	4/26	16/39	25/48
the lower part	/1	1/2	3/5	4/8	2/1	1/2	3/3	6/6	10/14
total	4/4	15/10	12/12	31/26	5/4	13/15	8/30	26/48	57/74



Fig. 15. Edge-breakout on the rocks at the east wall of the inner side of the gate.

부에 잘 발달되며 각 부재에서는 하단에 조금 더 발달되어 있다. 이는 하부 쪽에 더 많은 하중이 주어진 것에 기인한 것으로 생각된다.

(3) 홍예문(Fig. 12)

남문에서는 홍예부에서 가장자리 박락이 거의 관찰되지 않는다(Table 11). 남문에서는 서쪽 기단부에, 그리고 북문에서는 동쪽 기단부에 비교적 잘 발달되어 있다. 각 부재에서의 위치로 볼 때 남문의 경우 서쪽 기단부에서는 부재의 상단 및 하단에 그리고 북문의 경우 동쪽 기단부에서 부재의 하단과 좌·우단에 많이 발달되어 있다.

4. 구조적 안정성에 대한 고찰

승례문의 구조적 안정성과 연관성이 있는 것으로 판단되는 훼손현상은 편중하중에 의해 발달된 것으로 생각되는 균열과 박리현상 및 각 부재의 가장자리 박락을 들 수 있다. 편중하중에 의한 균열은 전체적으로 다른 원인에 의한 것에 비하여 발달 정도가 미약하나 편중하중에 의해 박리된 면은 벽체면 전체에 걸쳐 매우 많이 발달되어 있다. 이는 전체 박리면중 약 48%에 달하며 특히 북면의 동측 중-하부에 집중적으로 발달되어 있다(Table 7, Fig. 3c). 이러한 현상은 문 안쪽의 동·서 양쪽 벽체에서도 볼 수 있다. 또한 대부분이 보수 전에 형성되었거나 보수 시의 충격 등에 의해 생성된 것으로 생각되는 부재들의 가장자리 박락현상은 새로 보충된 부재가 상대적으로 적은 북면의 벽체에서 많이 발달되어 있다. 동측과 서측을 비교해 보면 남면의 경우 거의 비슷하지만 북면에서는 동측에 거의 배 이상 발달되어 있음을 알 수 있다(Table 9).

이러한 편중하중에 의한 균열이나 박리, 그리고 가장자리 박락 등이 풍화가 심하게 진행되었거나 부재가 직접 접하고 있지 않은 경우 보수 후에 야기된 것으로 생각되는 구조적 불안정에

Table 10. Edge-breakout on the rocks of the inner side of the arches.

position \ type	east side				west side				total
	upper edge	lower edge	right and left edge	total	upper edge	lower edge	right and left edge	total	
the upper part	2	5	3	10	1	1	2	4	14
the lower part	6	6	6	18	9	2	6	27	45
total	8	11	9	28	10	13	8	31	59

Table 11. Edge-breakout on the rocks of the south and north arches.

position \ type	the south gate				the north gate				total
	upper edge	lower edge	right and left edge	total	upper edge	lower edge	right and left edge	total	
west-most	3	3		6					6
east-most		1	2	3		3	5	8	11
arches					1	2	2	5	5
total	3	4	2	9	1	5	7	13	22

의해 생성된 것이라고 단정할 수는 없다. 그러나 현재 서측의 흙 축대 부분과 누각 및 벽체와의 사이가 약 1 cm 정도 벌어져 있으며(그 사이의 시멘트는 떨어져 나가고 있음)(Fig. 16, 17) 이러한 현상은 동측에서도 비슷하다. 동측의 누각의 담벽(보수 시 만든 것으로 생각된)의 북쪽에 많은 수직균열들이 1~3 mm 폭으로 발달되고 있는 것으로 볼 때 적어도 동서 측의 흙 축대 부분은 부분적으로 구조적으로 불안정해지고 있음을 나타내는 것으로 생각된다. 흙 축대 부분(급경사를 이루고 있음)과 송례문 자체 사이에

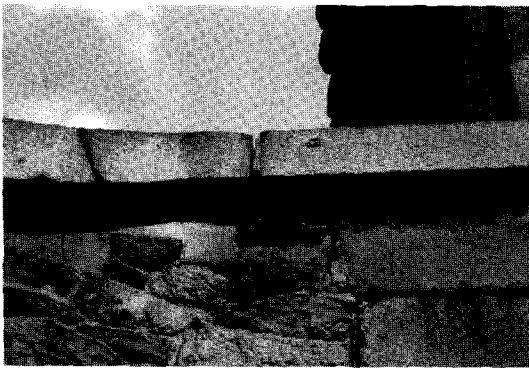


Fig. 16. Contact between the west side of the south wall and the soil embankment.

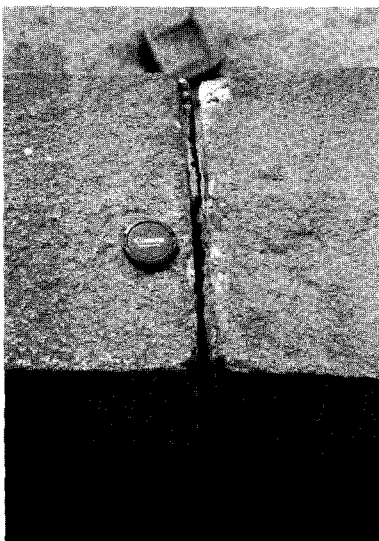


Fig. 17. Contact between the west side of the south wall and soil embankment.

간격이 벌어지고 있는 것이 흙 축대를 이루고 있는 흙의 포행 현상에 의한 것인지 또는 다른 원인에 의한 것인지를 알기 위해서는 정밀조사가 필요하다라고 생각된다.⁷

5. 결론

송례문의 균열, 박리, 가장자리 박락등의 훼손 양상과 풍화현상에 대하여 종합 정리한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

① 송례문을 이루는 암석들은 대부분이 화강암류에 해당된다.

② 암석들은 오랜 세월에 걸쳐 심한 풍화를 받아 많이 훼손되어 있다.

③ 풍화에 의해 진한 갈색이나 검게 변색되어 있으며 입자 박락에 의해 표면의 요철이 심하다.

④ 훼손양상은 주로 균열과 박리, 그리고 가장자리 박락으로 구분된다.

⑤ 성인적으로 볼 때 균열은 양파껍질 구조선, 편중된 하중에 의한 것, 충격에 의한 것, 그리고 원인불명의 것으로, 박리현상은 표면박리, 편중 하중에 의한 것, 그리고 충격에 의한 것 등으로 분류되어진다.

⑥ 각 부재에서는 가장자리가 박락된 곳이 많다.

⑦ 동-서측의 흙 축대 부분과 송례문과의 사이가 벌어지고 있으며 동측 누각의 북쪽 담에는 작은 수직 균열들이 많이 발달되어 있어 구조적으로 불안정함을 나타내고 있는 것으로 생각된다. 그러나 이것이 송례문 자체의 구조적 불안정에 의한 것인지 흙 축대 부분의 포행현상에 의한 것인지는 정밀안전진단이 필요하다고 생각된다.

감사

이 조사를 할 수 있는 기회를 제공하고 균열 및 박리 현상도를 작성하는데 많은 도움을 준 한국건설안전기술원의 윤원규 박사님과 관계자 여러분, 그리고 암석의 화학분석과 XRD 분석을 해준 한국기초과학지원연구원 서울분소의 박찬수 박사에게 감사를 드린다.

참고문헌

1. 서울남대문 수리 보고서, 서울특별시 교육위원회, 1965.
2. 승례문 정밀 안전 진단 보고서, 서울중구청, 한국건설안전기술원, 2002.
3. Streckeisen, A. S., Classification and nomenclature of igneous rocks, Neues Jahrb. Mineral. Abhandl, 107, 144-240, 1967.
4. 이상현, “감은사지 3층 석탑(동탑)과 나원리 5층 석탑의 암석의 풍화현상의 특징에 대한 연구”, *보존과학회지*, 5(1), 20-40 (1996).
5. 이상현, “석굴암을 이루는 암석의 풍화현상”, *보존과학회지*, 1(9) (1999).
6. 이상현, “중원 마륙리사지 입상석불 보호석실의 암석의 풍화와 균열의 발달현상”, *보존과학회지*, 7(2), 68-79 (1998).
7. 이상현, “국내 석조문화재의 보전대책 수립을 위한 지질학적 고찰”, *보존과학회지*, 7(1), 9-18 (1998).