

종묘 어도박석 화강암의 재질특성 연구

홍세선¹ · 윤현수^{1,*} · 이진영¹ · 이병태² · 이효민³ · 송치영⁴

¹한국지질자원연구원 제4기지질환경연구팀, ²지열자원연구실 대전시 유성구 가정동 30번지
³공주대학교 지질환경과학과, ⁴공주대학교 문화재보존과학과

Characteristics of Granitic Flagstone from the Trifurcated Path at Jongmyo Royal Shrine, Seoul, Korea

Hong, Sei Sun¹, Yun, Hyun Soo^{1,*}, Lee, Jin Young¹, Lee, Byeong Tae²,
Lee, Hyo Min¹ and Song, Chi Young⁴

¹Quaternary Geology and Environment Research Team,

²Geothermal Resource Group, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

³Department of Geoenvironments, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea

⁴Department of Cultural Heritage Conservation Sciences, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea

요약: 서울특별시 종로구 훈정동에 위치한 종묘는 세계문화유산으로 등록되어 있다. 이 연구에서는 종묘의 어도에 깔려 있는 약 2,361개의 박석에 대해 규격과 재질특성을 규명하고자 하였다. 박석에서는 암종, 암색, 입도, 광물조성, 화학조성, 대자율, 박석의 크기, 표면상태, 파손상태 등이 조사를 실시하여 박석의 특성을 해석하고, 박석의 규격조건을 설정하였다. 박석은 4종의 화강암류, 즉, 담회색 세중립질 각섬석흑운모화강암, 담회색 세중립질 흑운모화강암, 담홍색 중립질 내지 중조립질 흑운모화강암, 홍색 중립질 내지 중조립질 흑운모화강암과 페그마타이트, 편암류로 구성된다. 이들 중 화강암이 99.8%이다. 박석의 평균크기는 65 × 46 cm(표준편차 12 × 7 cm)이며, 박석의 표면상태는 양호 34.7%, 보통 41.4%, 보통 이하 23.8%이다. 종묘 삼도박석에서 2조각 이상으로 깨져 있는 박석은 약 720장 30.5%이다. 담홍색과 홍색을 띠는 흑운모화강암, 화강암 이외의 암석과 표면상태가 보통이하인 박석은 원래의 박석부재는 아니었을 것으로 생각되며 후세에 보수 과정에서 교체된 것으로 보인다. 이러한 박석의 수는 약 560여장이다. 박석의 주요 부재로 사용할 수 있는 화강암의 규격은 담회색 흑운모화강암(미량의 각섬석 허용)으로 입도는 세중립질(0.5~3 mm)이며, 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 피다이트, 흑운모 등으로 된 IUGS 분류상의 화강암 영역에 속해야 할 것으로 판단된다. 또한 SiO₂ 성분은 70wt.% 이상, 대자율은 0.1 × 10⁻³ SI 내외(최대 2 × 10⁻³ SI 내외 허용)의 암석이 가장 적절할 것으로 생각된다.

주요어: 박석, 종묘, 화강암, 박석의 규격, 재질특성

Abstract: For the characteristics of rock material and standardization, flagstones of the trifurcated path in Jongmyo Royal Shrine, registered as World Cultural Heritage, were studied on the basis of petrographic, petrochemical and magnetic properties. The flagstones are composed mainly of pale gray fine to medium grained hornblende biotite granite, pale gray fine to medium grained biotite granite, pale pink medium to coarse grained biotite granite, pink medium to coarse grained biotite granite and minor pegmatite and schist. Flagstone represents the average size of 65 cm × 46 cm (standard deviation 12 cm × 7 cm) and suitable (34.7%), common (41.4%) and unsuitable (23%) in roughness. It is interpreted that pale pink and pink granite, pegmatite, schist and other flagstones with unsuitable state are not original rock materials and were exchanged during restoration, in the past. The number of these non-original rock materials is about 560 flagstones. We suggests that the standard flagstone of the trifurcated path is pale gray fine to medium grained biotite granite (± hornblende in trace), 70 wt.% in SiO₂ content, and ±0.1 × 10⁻³ SI in magnetic susceptibility.

Key words: flagstone, Jongmyo, granite, rock type

*Corresponding author: Tel. 82-42-868-3130, hyuns@kigam.re.kr

서 론

박석은 조선 시대 궁궐인 종묘, 창덕궁, 경복궁, 창경궁 등에서 자주 볼 수 있다. 또한 수도권 지역의 궁궐과 능에 약 16만여 장 이상 깔려 있는 것으로 파악되고 있다. 박석은 경복궁의 근정전, 창덕궁의 인정전, 창경궁의 명정전, 종묘의 정전과 영녕전 등 왕이 거처하고 집무를 보던 건물 앞과 이런 건물로 가는 길에 주로 깔려 있다. 이러한 박석의 기능은 현대의 아스팔트 도로 포장과 같은 역할을 하였을 것이다. 이러한 추측은 서울의 여러 지역, 특히, 갈현동의 박석고개라는 지명에서 볼 수 있다. 조선시대에는 주요 통행지역의 도로에 박석을 깔아 통행을 원활하게 하였던 것으로 보인다.

“박석”이란 글자 그대로 얇은 암석(돌)이라는 뜻이다. 박석은 구들장이나 빨래판 정도의 크기를 갖는 넓적한 석판으로 햇빛을 난반사시켜 바라보았을 때 눈이 부신 것을 방지할 수 있는 회색계통의 돌이다. 이런 박석은 석조문화재 중에서도 유일하게 사람들이 밟고 다니고 이용할 수 있는 것이다. 이러한 사실은 박석은 언제든 인간의 행위에 의해 훼손될 수도 있고, 파손될 수도 있음을 의미한다. 그러나 박석은 옛날의 도로포장으로 사용되었으며, 궁궐을 개방하는 이상 박석이 깔려 있는 곳들에 대해 사람의 접근을 금지하기는 어려울 것이다.

이러한 이유로 박석은 전통적인 문화재 임에도 불구하고 훼손, 파손 등이 일어날 수 있으며 이에 대한 보수, 교체 등의 대비책도 마련되어야 할 것이다. 그러기 위해서는 박석에 대한 암석 부재의 특성, 규격, 산지 등에 대한 조사연구가 되어야 한다. 그러나 이러한 박석에 대한 연구는 국내에서 한번도 수행된 적이 없다. 다만 일상적인 조사에 의해 화강암이 원 부재로서 사용되었다는 것을 알고 있을 뿐 각 궁궐마다, 각 부속 건물, 도로에 깔려 있는 박석들의 크기, 규격, 암석의 종류, 암석의 성질들에 대해서는 알려진 것이 거의 없는 실정이다.

이번 연구에서는 여러 궁궐들 중 세계문화유산으로 등록되어 있는 종묘의 삼도박석을 주 대상으로 박석에 대한 종합적인 연구를 실시하였다. 먼저 종묘 삼도박석에 대한 훼손실태와 크기를 측정하여 현황을 파악하고, 박석이 손상되지 않는 범위 내에서 수행할 수 있는 연구방법들로 박석의 암석학적 특성을 밝히고자 하였다. 둘째, 교체되어 보관 중인 일부 박석 암석에 대해서는 현미경 분석, 화학 분석, 물성 시험 등의 방법으로 박석 암석의 물리화학적 특성을 밝히고자 하였으

며, 셋째, 이러한 여러 방법으로 밝혀진 박석의 재질 특성을 종합하여 종묘 삼도박석의 규격을 설정하여 보았다. 이러한 규격설정은 향후 박석의 교체나 보수작업을 수행할 때 가장 유사한 재질특성을 갖는 암석부재를 선정할 수 있는 기준이 될 수 있을 것이다.

연구방법

종묘에서는 삼도박석에 대해서 크기, 훼손정도, 표면의 거칠기 등의 실측조사와 박석의 암석 종류 구분, 색, 입자의 크기, 대자율 등의 암석학적 조사가 실시되었으며 일부 수거된 박석 시료에 대해서는 현미경 분석에 의한 광물 동정, 구성광물의 함량비(모드조성), 광물입자의 크기에 대한 연구가 진행되었으며, 암석화학적 분석(주성분원소, 미량원소)과 암석물성시험을 실시하여 박석의 특성을 파악하였다.

측정된 물성은 비중, 흡수율, 공극율, 압축강도이다. 물성시험 대상시편은 해당 지역에서 육안 감정상 가능한 한 신선한 블록 시료를 선별채취하였다. 또한 이들 시료들에 대한 박편을 제작하여 현미경 사진상에서 광물별로 입도와 함량비를 측정하였다. 입도분석은 한 시료 박편에서 한 광물당 50~100개의 입자를 선택하여 입도를 측정하였다.

화학적분 중에서 주원소는 SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 및 LOI 등이 분석되었다. 이 중에서 FeO는 습식법 그리고 나머지 성분은 XRF로 분석되었다. 미량원소 성분은 Ba, Sr, Nb, Y 등이 분석되었다. 이들 성분은 ICP-AES(Labtest 3000)로 분석되었다.

종묘에는 정전, 영녕전, 삼도 등에 약 2만여개의 박석이 깔려 있다. 이번 연구에서는 2,300여개에 달하는 삼도 박석을 중심으로 박석에 대한 규격과 암석학적 특성을 규명하였다. 삼도 박석에 대한 조사는 먼저 박석의 상태 파악을 위해 박석에 대한 크기 실측, 손상(깨짐) 정도, 박석 표면의 거칠기를 판별하였다. 두 번째로는 박석을 구성하는 암석에 대한 조사로 암종구분, 입도구분, 색도구분, 대자율 측정이 이루어졌다.

박석은 문화재 중에서 거의 유일하게 사람이 밟고 걸어 다니는 직접 접촉이 가능한 문화재이다. 그러므로 사람과의 접촉이 용이한 박석 표면은 굽힘, 신발과의 마찰에 의한 마모와 색이 변화가 있을 수 있다. 특히, 박석 표면의 색은 암석의 신선한 면에서 볼 수 있는 색깔과는 다소 차이가 나서 표면의 색이 암석 원래의 색을 지시하지 않을 수 있다. 삼도 박석도 이러한 이유로 인해 암석 고유의 색과 구성광물의 동정이 쉽

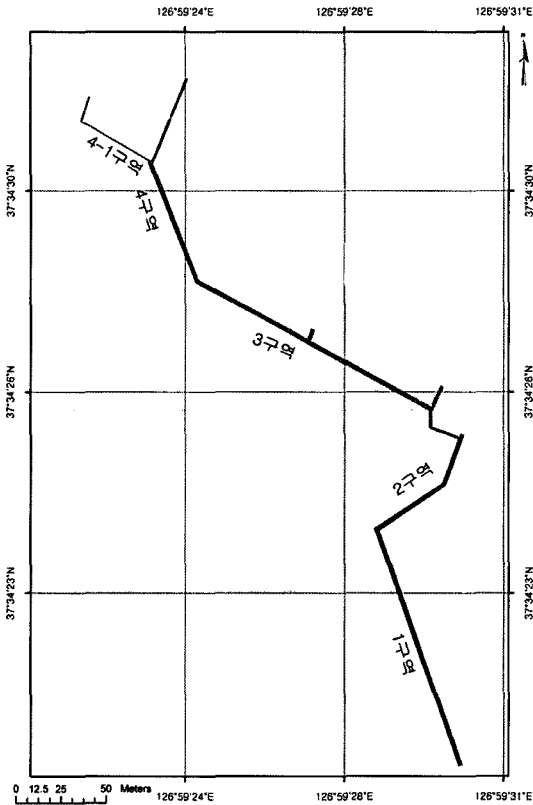


Fig. 1. Map of the trifurcated path at Jongmyo.

지 않는 경우가 많았다.

삼도 박석에 대해서는 기존에 스케치한 현황자료(Fig. 1)가 있어 이번 조사에 많은 도움이 되었다. 이 현황도에서는 삼도박석을 4개 구역으로 구분하여 정문에서 첫 번째로 갈라지는 지점(첫번째 화장실 근처) 까지를 1구역, 여기에서 어숙실 근처까지를 2구역, 어숙실에서 정전 남문을 거쳐 정전 서문 쪽으로 갈라지는 지점까지를 3구역, 4구역은 정전 앞 직선상의 삼도의 갈라지는 지점부터 영녕전까지 이다. 4구역은 박석이 두 구역으로 분산되어 있어 3구역 끝에서 영녕전 옆문으로 분포하는 박석을 4-1구역이라 하고 영녕전 옆문 근처에서 영녕전 정문까지를 4-1구역이라 하였다. 조사된 박석의 수는 총 2,361개이며 1 line은 789개, 2 line은 741개, 3 line은 831개이다. 이 수량은 이번 조사에서 자료정리와 처리를 위해 파악한 사항이므로 실제의 박석의 수량과는 다소간의 차이가 있을 수 있다.

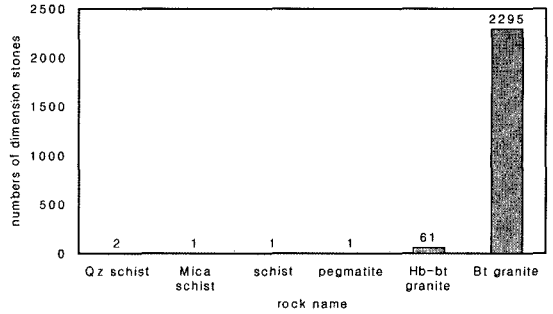


Fig. 2. Classification of the flagstone from the trifurcated path at the Jongmyo.

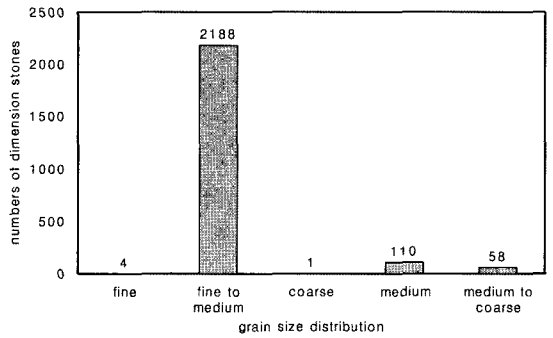


Fig. 3. Grain size distribution of the flagstone from the trifurcated path at Jongmyo.

박석의 암종 분류

2,361장의 박석에 대한 원 부재 암석의 종류는 크게 화강암류, 편암류, 페그마타이트의 3종으로 분류된다(Fig. 2). 이들 중 화강암이 99% 이상 차지하여 박석의 원 부재는 화강암임을 알 수 있다. 나머지 2종은 아마도 보수에 의해 교체된 박석으로 판단된다.

박석 암석을 입도에 따라 분류하면 세립질, 세중립질, 중립질, 중조립질, 조립질의 5개 그룹으로 나눌 수 있다. 일반적으로 화강암의 입도 분류에서 광물입자의 크기가 1 mm 이하이면 세립질, 1~5 mm는 중립질, 5 mm 이상이면 조립질로 구분하며 그 중간의 크기는 세중립질, 중조립질 등의 명칭을 사용한다. 삼도 박석의 암석은 세립질 암석이 0.2%, 세중립질 암석이 91.9%, 중립질 암석이 5.4%, 중조립질 암석이 2.5%, 조립질 암석이 0.04%이다(Fig. 3). 이 중 조립질 암석은 페그마타이트 하나이며 편암들은 모두 세립질이다. 나

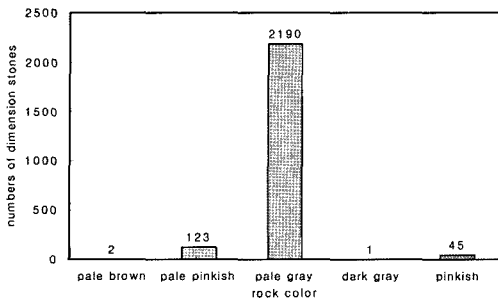


Fig. 4. Distribution of rock color of the flagstone from the trifurcated path at Jongmyo.

머지 세중립질, 중립질, 중조립질의 입도를 보이는 암석들은 모두 화강암이다. 입도의 측면에서 본다면 박석의 입도는 세중립질이 가장 우세하다.

또한 박석 암석의 색도는 5종류로 구분된다. 회백색 내지 담회색(여기에서는 담회색으로 통칭한다)계통이 98%로 가장 우세하게 분포하며, 그 다음으로는 담홍색 계통(5.2%), 홍색 계통(1.9%), 담갈색과 암회색 계통의 순이다(Fig. 4). 색도에 의한 암석 분류에서 담갈색과 암회색은 편암류에서만 볼 수 있으며 담회색, 담홍색, 홍색은 화강암에서 볼 수 있는 색이다.

박석의 주 부재인 화강암은 암색, 입도, 구성광물에 따라 4 종류로 세분할 수 있다(Table 1 and Fig. 5). 구성광물에 따라서는 각섬석을 함유한 것과 함유하지 않은 화강암으로 구분될 수 있다. 각섬석을 함유한 화강암은 전체 중 2.6%에 불과하며, 각섬석을 함유하지 않은 화강암은 97.2%를 점한다. 암색에 따라서는 담회색을 띠는 화강암, 담홍색을 보이는 화강암, 짙은 홍색을 띠는 화강암으로 나눌 수 있다. 담회색을 띠는 화강암은 전체 박석 중 92.7% 이지만 이 중에서도 대부분은 각섬석을 함유하지 않은 화강암이 90.1%를 차지한다. 담홍색 혹은모화강암은 전체 박석의 1.9%를 점하며, 홍색 혹은모화강암은 1.9%에 불과하다.

박석의 형태와 크기

박석은 사람들이 걸어 다니기 편하게 하기 위하여 흙으로 된 길이나 마당과 같은 공간에 끼는 포장용으로 사용되는 보도블럭의 역할을 하는 포장재이다. 따라서 박석은 어느 정도 사람의 무게를 견딜 수 있을 정도의 두께가 있어야 할 것이며, 둘째, 종묘는 조선 왕조의 왕이 제사를 지내는 곳이며, 삼도는 왕과 세자가 정전과 영녕전을 가는 길로서 왕과 세자만이 다닐 수 있는 도로이었다. 그러므로 걷는데 불편하지 않을

Table 1. Classification of the flagstones according to rock color and rock types

Rock	Numbers of stones	Proportion (%)
Pale gray hornblende biotite granite	61	2.6
Pale gray biotite granite	2127	90.1
Pale pinkish biotite granite	123	5.2
Pinkish biotite granite	45	1.9
Others	5	0.2

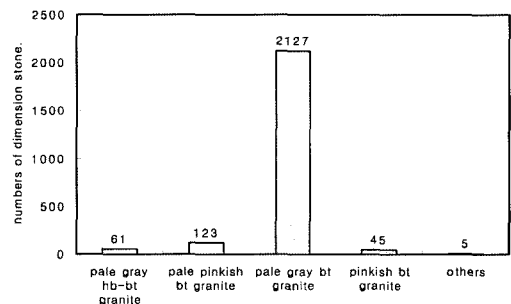


Fig. 5. Classification of the flagstone according to rock type and color.

정도로 박석의 굴곡이 적어야 했을 것이다. 셋째, 사람의 걷는 보폭과 발의 크기 등을 고려한다면 박석은 일정 규격을 갖는 형태의 규격이 있었을 것으로 생각된다. 마지막으로 박석은 문화재이지만 사람들이 자유롭게 밟고 다닐 수 있는 암석이므로 파손이나 훼손이 되는 것은 불가피하다.

이러한 관점에서 삼도박석에 대한 크기, 표면상태, 그리고 훼손상태(깨짐)를 측정 조사하였다. 박석의 크기 실측은 대부분의 박석이 직사각형 형태로 제작되어 있으므로 장축길이와 단축길이를 측정하고 이를 통계 처리하여 평균 박석크기를 추정하였다.

표면상태는 박석표면의 요철 상태에 따라 양호, 보통, 보통이하의 3단계로 구분하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 박석의 표면의 편평도가 50% 이상으로 보행시 촉감이 부드럽고 발바닥에서 울퉁불퉁한 느낌을 주지 않으며 바닥에 전체적으로 고른 힘이 주어지는 상태를 양호상태로 판별하였으며, 보통이하의 박석의 표면이 울퉁불퉁하여 보행시 불편을 느끼거나 박석과 발바닥이 접하였을 때 어느 한 쪽으로 힘이 쏠리는 느낌을 주는 상태이다. 그 중간 상태는 보통상태로 구분하였다.

또한 훼손 상태는 박석이 주로 몇 개의 암편으로 분리되었는가의 깨짐상태를 조사하였다. 하나의 박석이 2 개 이상으로 분리되어 있고 각각의 암편이 없어지지 않

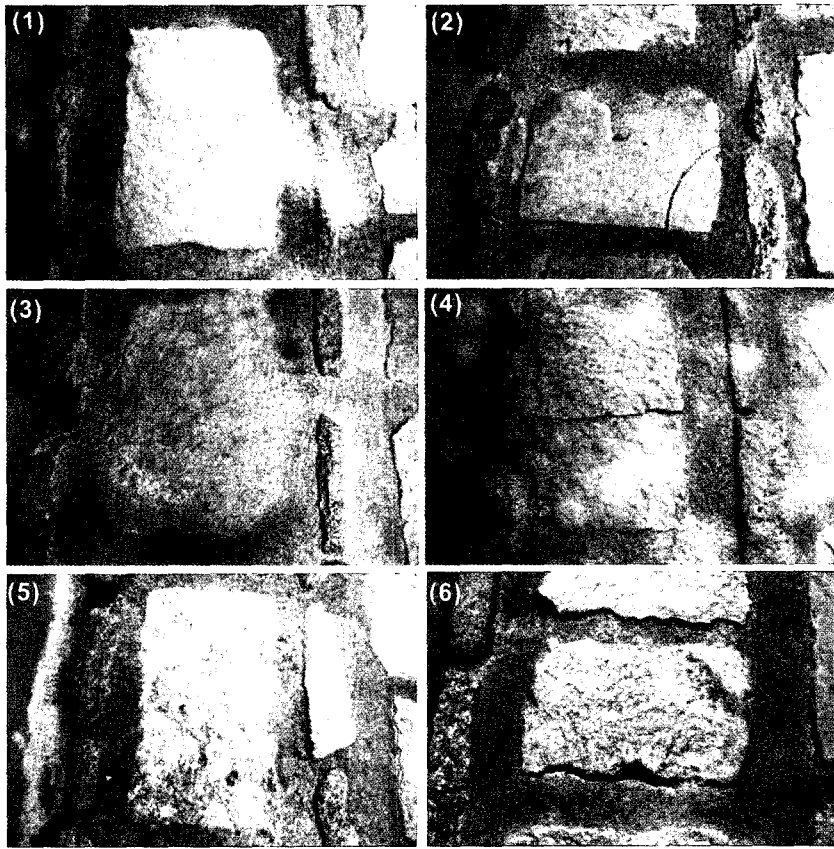


Fig. 6. Roughness of the flagstone from the trifurcated path at Jongmyo. (1) and (2) suitable, (3) and (4) common, (5) and (6) not suitable.

고 보존되어 있는 경우 깨짐으로 분류하였다. 박석의 모서리 등 일부만 파손되어 있고 파손된 조각이 없으며, 박석의 기능이 가능한 경우는 하나인 상태로 보았다.

박석의 크기에 대한 결과는 다음과 같다(Table 2). 가장 큰 박석은 장축길이 114 cm, 단축길이 94 cm(이하 장축길이/단축길이)이며 가장 작은 박석은 32/17 cm이며, 평균 크기는 65/46 cm이다. 이에 대한 표준편차는 12/7 cm로 박석의 크기는 60~70/40~50 cm가 가장 우세하다(Fig. 7).

박석 구성암석의 중 가장 높은 점유율을 보이는 화강암의 종류에 따라 세분하면 담회색 각섬석흑운모화강암은 평균 63/45 cm의 크기를 나타내며, 담회색 흑운모화강암은 평균 64/45 cm를 보인다(Fig. 8). 그러나 담홍색 흑운모화강암과 홍색 흑운모화강암은 각각 77/48 cm, 82/50 cm의 크기를 보여 담회색을 띄는 화강암들 보다는 10 cm 이상 큰 박석크기를 보임을 알 수 있다(Fig. 8).

박석의 표면 상태에 따른 분류(Table 3)를 보면 양호 상태가 34.7%, 보통상태가 41.4%, 보통이하 상태는 23.8%이다(Fig. 9). 박석의 주 구성암석인 화강암의 암종 구분에 따른 박석의 표면상태를 보면 담회색 각섬석흑운모화강암은 양호 상태보다는 그렇지 못한 상태의 박석이 많다. 담회색 흑운모화강암은 양호상태 약 40%, 보통상태 약 45%, 보통이하 상태가 15% 정도로 다른 화강암들에 비해 양호상태의 비율이 가장 크다. 담홍색 흑운모화강암의 경우 대부분이 보통이하로서 표면상태가 아주 좋지 못함을 알 수 있다. 또한 홍색 흑운모화강암은 깔려 있는 박석 모두가 보통이하의 상태이다.

중요의 삼도박석은 앞에서 언급한 바와 같이 왕과 왕세자만이 걸어 다닐 수 있는 길이다. 그러므로 삼도의 박석은 아마도 표면이 평평하고 밟았을 때의 느낌이 부드러워야 했을 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 박석의 표면 상태가 보통이하인 박석들은 원래의 박석으

Table 2. Statistical analyses of the flagstone sizes from the trifurcated path at Jongmyo

Rock types	Variables	Width (cm)	Length (cm)
All stones	Maximum	114	94
	Minimum	32	17
	Average	65	46
	Standard deviation	12	7
Pale gray honrblende biotite granite	Maximum	85	60
	Minimum	44	27
	Average	63	45
	Standard deviation	10	7
Pale gray biotite granite	Maximum	100	79
	Minimum	32	17
	Average	64	45
	Standard deviation	12	7
Pale pink biotite granite	Maximum	114	94
	Minimum	42	25
	Average	77	48
	Standard deviation	10	6
Pink biotite granite	Maximum	89	55
	Minimum	50	40
	Average	82	50
	Standard Deviation	6	3

로 사용되었던 것은 아니었을 것으로 생각된다. 아마도 최근에 교체, 보수되었을 것으로 보인다. 담홍색, 홍색 혹은모화강암 재질의 박석 대부분이 보통이하의 상태를 나타낸다.

박석의 훼손상태를 보면 다음과 같다(Fig. 10). 박석이 한 장으로만 구성되어 있는 것은 69.5%이며, 나머지는 적어도 2조각 이상으로 깨져 있는 상태이다. 최대 11조각까지 깨진 상태를 보이는 것이 있으며 훼손

된 박석은 약 720장 정도이다. 이러한 훼손 정도는 암종에 따라 큰 차이를 보인다. 담회색 각섬석흑운모화강암은 한 장으로 된 박석이 59%이며, 깨진 박석은 41%이다. 2조각인 박석은 23%, 3조각인 박석은 11.5%로 최대 5조각으로 깨진 박석도 관찰된다. 담회색 혹은모화강암 박석은 68%인 1,447장의 박석이 하나의 상태를 보이며 2조각과 3조각으로 갈라진 박석은 각각 380장(17.9%), 153장(7.2%)이며 그 이상으로 깨진 박석은 약 5%이다. 최대 11조각으로 깨진 박석도 관찰된다. 담홍색 흑운모화강암 박석은 87.8%(108장)가 하나의 상태를 보이며 부서진 박석은 12% 정도(15장)에 불과하다. 홍색 흑운모화강암 박석은 훼손된 박석이 하나도 없으며 44개의 박석 모두 하나의 상태를 나타낸다.

박석의 대자율 분석

일반적으로 석조문화재의 연구에 있어서 가장 어려운 부분은 석재에 대한 감정이다. 문화재인 만큼 조금이라도 훼손시킬 수 없고, 육안으로 그 표면만을 관찰해야 하므로 사실상 석재의 정확한 감정은 어렵다. 또한 석재의 표면은 대부분의 경우 풍화면으로 그 풍화면에서 관찰할 수 있는 것은 입자의 크기, 대략적인 조암광물, 암색 등이다. 여기에서는 육안관찰과 더불어 전암 대자율 측정을 실시하였다. 화강암에서의 대자율의 이용은 화강암류의 자철석계열과 티탄철석계열이라는 계열구분에 이용되는 등 잘 알려진 연구 방법이다(도성재, 김광호, 1989; Clark, 1999; Ishihara, 1977; Tarling, 1993). 암석에 외부자기장을 가하면 유도자기가 생성되는데 그 관계를 $M = kH$ 로 표시할 수 있다(여기서 H: 외부자기장, M: 유도자기). 이 때의 비례상수 k를 그 암석의 대자율이라 한다. 일반적으로 암석에서 대자율의 값을 지배하는 광물은 자철석이다. 그러므로

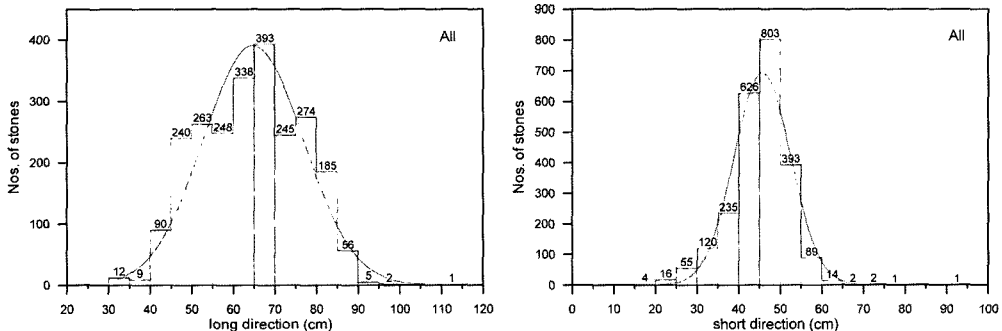


Fig. 7. Size of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo.

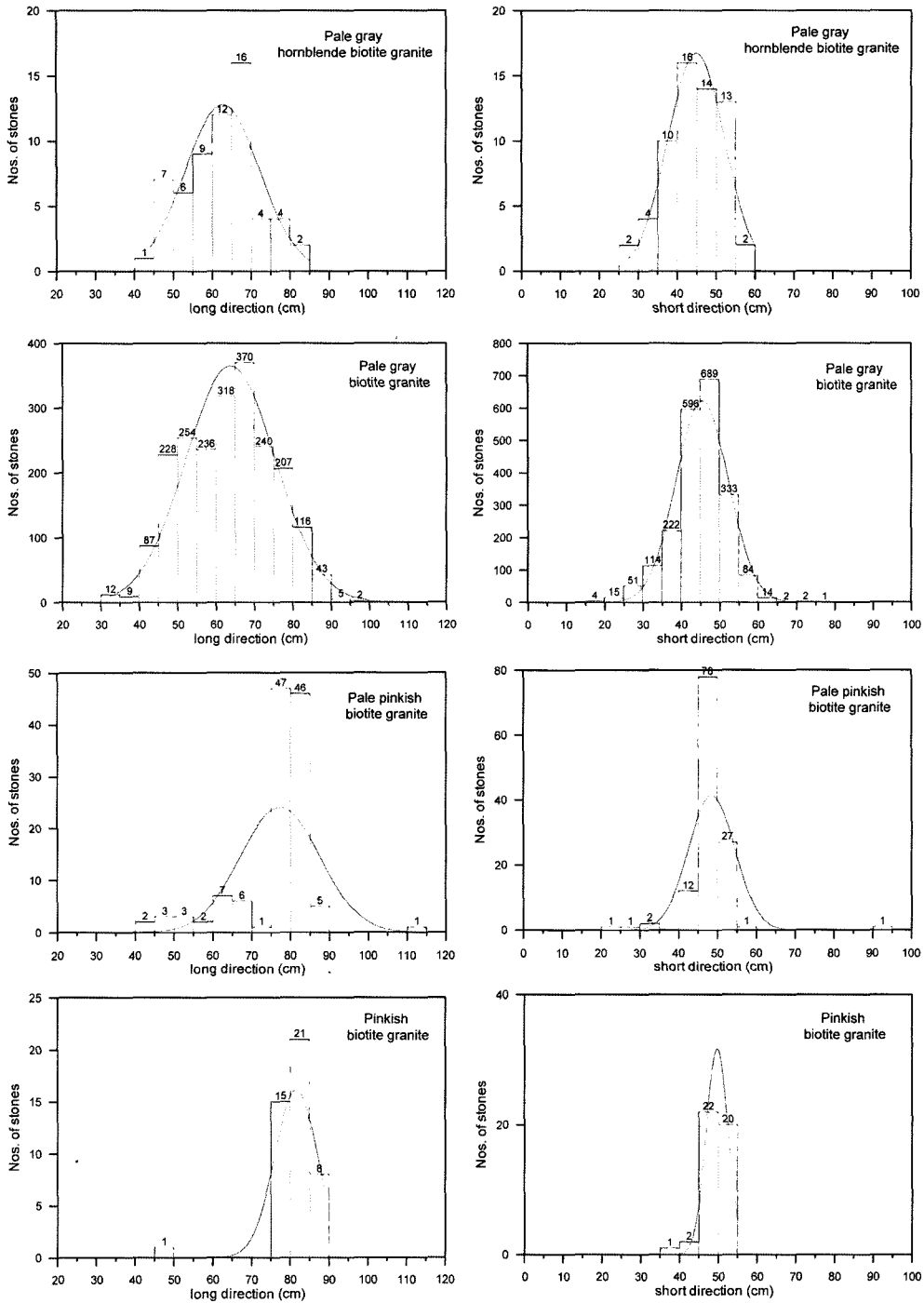


Fig. 8. Size distribution of the flagstone from the trifurcated path at Jongmyo.

이러한 전암 대자율 측정은 암석의 표면에서 이루어지므로 문화재에 전연 손상을 입히지 않는 장점이 있다.

전암 대자율 측정은 체코제의 휴대용 대자율 측정기 중에서 모델 SM-30을 이용하였다. 이 기기의 측정 한

Table 3. Roughness of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo

Rock types	Color	State of surface	Numbers of stones
Hornblende biotite granite	Pale gray	Common	38
		Not suitable	19
		Suitable	4
Biotite granite	Pale pink	Common	2
		Not suitable	119
		Suitable	2
Biotite granite	Pale gray	Common	937
		Not suitable	377
		Suitable	813
	Pink	not suitable	45

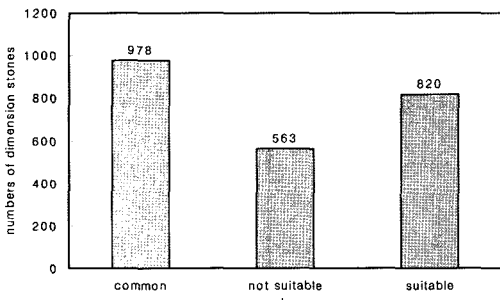


Fig. 9. Roughness of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo.

계는 10^{-6} SI 단위로 정밀하다. 박석의 대자율값은 각각의 박석에서 5회 측정하여 이를 평균하였다. 종묘 삼도박석의 대자율은 매우 특징적인 값과 분포특성을 보인다(Fig. 11).

박석의 전체 대자율은 대부분 $0.07\sim 0.2 \times 10^{-3}$ SI에서 정규분포곡선을 보이며 이보다 높거나 낮은 대자율을 보이는 박석은 매우 적다. 최하 0.05×10^{-3} SI의 값을 보이며 일부 암석의 경우 1×10^{-3} SI 내외를 나타내는 박석과 $5\sim 8 \times 10^{-3}$ SI의 높은 값을 보이는 박석들도 관찰된다. 이러한 대자율은 거의 전적으로 암석내 자철석의 함유량에 의존하며, 박석의 부재가 되는 화강암들은 자철석을 거의 함유하지 않는다는 사실을 알 수 있다. 이러한 특징은 박석의 규격을 설정하는 하나의 기준이 될 수 있다.

화강암을 좀더 암종별로 세분하여 비교하면 다음과 같다(Fig. 11). 담회색 각섬석흑운모화강암은 $0.09\sim 1.2 \times 10^{-3}$ SI의 대자율을 나타내며 $0.3\sim 0.5 \times 10^{-3}$ SI 내외와 1×10^{-3} SI 내외에서 가장 많은 분포를 보이는 북봉형

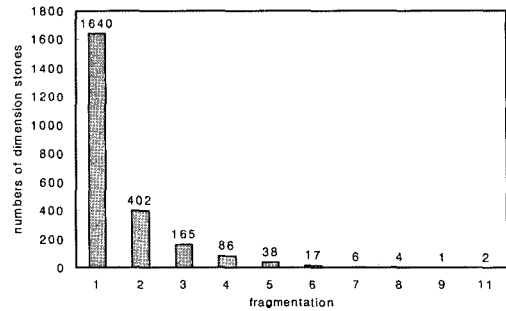


Fig. 10. Fragmentation of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo.

태를 보인다. 담회색 흑운모화강암은 대부분 0.1×10^{-3} SI 내외의 값을 나타내며 극히 일부 1×10^{-3} SI를 보이는 경우도 있다. 담홍색 흑운모화강암은 0.05×10^{-3} SI 내외와 $3\sim 5 \times 10^{-3}$ SI 내외의 뚜렷한 두 종류의 분포경향을 나타낸다. 이는 대자율의 특성으로 보아 담홍색 흑운모화강암은 적어도 두 종류이며, 서로 다른 분포경향을 보이는 화강암지역에서 공급되었음을 의미한다. 홍색 흑운모화강암의 대자율은 0.1×10^{-3} SI 근처에 집중된다.

그러므로 삼도 박석은 대자율의 특성에 따라 0.05×10^{-3} SI 내외, 0.1×10^{-3} SI 내외, 1×10^{-3} SI 내외, 4×10^{-3} SI 내외의 4개 그룹으로 나눌 수 있으며, 이들은 각각 삼도박석을 화강암 종류별로 세분한 특성과 거의 일치한다.

박석의 암석기재

분석과 실험에 사용된 박석 시료는 담회색 흑운모화강암과 담회색 각섬석흑운모화강암 시료이며, 담홍색, 홍색 흑운모화강암, 기타 암석에 대해서는 시료가 확보되지 못하였다. 그러므로 여기에서는 확보된 담회색 흑운모화강암과 담회색 각섬석흑운모화강암에 대해서만 광물학적 특성과 암석화학적 특성을 언급하고자 한다.

담회색 흑운모화강암의 주구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 페다이트, 흑운모 등이며, 부구성광물로는 저어콘, 녹염석, 불투명광물, 녹니석, 견운모 등이 나타난다. 석영은 대부분 타형의 형태를 보이며 1mm 내외의 크기를 보인다. 석영은 구성광물 중 30~40%의 함량을 보이고 있다. 사장석은 자형내지 반자형의 형태로서 나타나며 대부분 1mm 내외의 크기이지만 간혹 3~4mm의 크기를 보이는 결정들도 관찰된다. 대부분 알바이트 쌍정을 보이며 결정의 중앙부는 간혹 견운모화 작용과 같은 변질작용으로 지저분한 모습을 보이기

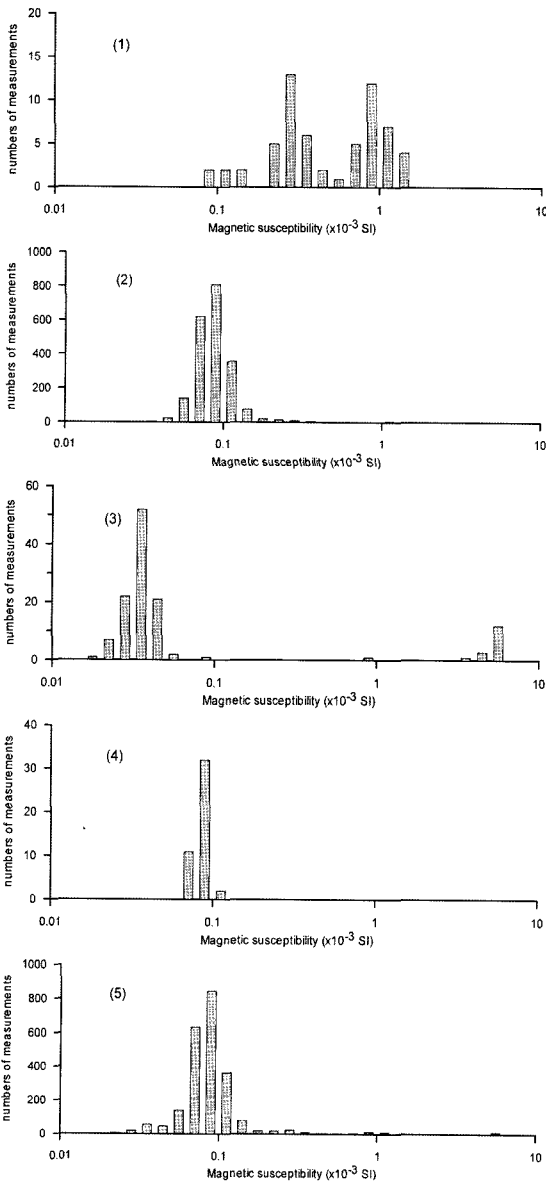


Fig. 11. Magnetic susceptibility of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo. (1) pale gray fine to medium grained hornblende biotite granite, (2) pale gray fine to medium grained biotite granite, (3) pale pink medium grained biotite granite, (4) pink medium grained biotite granite. (5) all flagstones.

도 한다. 미사장석과 퍼다이트는 알칼리장석들로서 생성되는 결정화온도가 약간씩 다르다. 미사장석은 격자상의 쌍정을 보이는 것이 특징이며, 대부분 반자형내지 타형의 형태를 띤다. 퍼다이트는 K-성분을 갖는 장

석내에 알바이트 성분을 갖는 사장석이 용리되어 공존하는 광물로서 여기에서는 비교적 큰 결정형태를 가지며 산출되나 미사장석보다는 다소 적은 함량비를 보인다.

흑운모는 10% 내외의 함량비를 보이며 대부분 판상으로 산출되는 것이 특징이다. 흑운모 내에는 보통 부수광물들이 자주 관찰되는데 여기에서는 할로 현상을 보이는 저어콘이 자주 관찰된다. 할로 현상이란 저어콘에 함유되어 있는 우라늄 등의 방사성 원소들이 붕괴되면서 주변의 흑운모 격자를 파괴시켜 저어콘 주위가 검게 보이는 현상을 말한다.

불투명광물은 거의 관찰되지 않거나 1% 미만의 적은 양만이 함유된다. 불투명광물이란 편광현미경에서 빛을 투과시키지 않는 광물로 현미경 상에서는 검게 나타난다. 이러한 광물로는 금속광석광물, 산화철광물이 있다. 이들 중 산화철 광물의 하나인 자철석은 자성을 띄며 특히, 화강암과 같은 암석에서는 대자율의 크기를 결정해주는 가장 중요한 광물이다. 박석 화강암에서 불투명광물은 보통 1% 내외로 함유된다. 그럼에도 불구하고 박석 시료에서 대자율이 낮다는 것은 암석 내 불투명 광물의 종류가 자철석이 아니라는 것을 의미한다. 가능성이 있는 불투명광물로는 적철석이나 티탄철석 등이 있으며 이들의 대자율은 매우 낮다.

각섬석흑운모화강암의 구성광물은 앞서 기술한 흑운모화강암과 거의 비슷한 함량비를 보이지만 석영의 함량이 다소 적으며 사장석의 함량이 다소 많은 편이다. 각섬석은 마름모 형태 또는 직사각형 형태로 자형 내지 반자형으로 산출되며 1~2 mm의 크기를 보인다. 그러나 각섬석의 함량비는 흔적량~1% 내외로 매우 적은 편이다. 각섬석흑운모화강암은 흑운모화강암에 비해 사장석이 다소 많으며 알칼리장석은 약간 적은 편이다.

이들 화강암의 구성광물들 중 석영-사장석-알칼리장석(미사장석+퍼다이트)의 삼각도에 정확한 암석명을 정하기 위해 도시하여 보았다(Table 4). 이러한 도시법은 IUGS에서 채택한 국제 표준의 암석 명명법 중 화강암 조성의 암석에 적용되는 분류법이다(Streckeisen, 1976). 이 명명법에 따르면 (1)은 알칼리장석 화강암, (2)는 화강암, (3)은 화강섬록암, (4)는 토날라이트로 분류되며 석영의 함량이 이들 영역의 하한선보다 낮으면 몬조나이트 계열로 분류된다.

Fig. 12에 제시한 바와 같이 중요 삼도박석 시료는 모두 화강암 영역에 점시되며 대부분의 시료가 화강암 영역 중에서도 일정 구역에 집중되어 있는 형태를 볼 수 있다.

이러한 것로부터 중요 삼도박석의 화강암은 비교적 균질한 함량비를 갖는 화강암이었으며, 만일 서로

Table 4. Modal compositions of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo

Sample name	Qtz	Pl	Mi	Per	Bt	Hb	Sph	Opq	Chl	others	
Pale gray biotite granite	1-1	40.4	24.6	14.8	13.6	6.6			Zircon, chlorite, opaque		
	1-2	35.6	29.0	13.8	14.2	7.2		0.2	zircon		
	1-3	35.4	29.5	14.4	13.5	6.6		0.6	Sericite, chlorite, zircon		
	1-4	38.3	30.8	15.0	11.5	4.4			Chlorite		
	1-5	32.8	32.6	19.2	11.6	3.8			Sericite, zircon		
	2-1	36.4	33.6	10.6	12.0	7.4			Zircon		
	2-2	34.4	30.4	13.8	12.0	8.0		1.4	Sericite, chlorite, zircon		
	2-3	26.4	36.8	16.2	13.6	7.0			Chlorite		
	4-1	33.4	38.4	11.4	10.0	6.8			Zircon, chlorite, opaque		
	4-2	34.2	34.6	11.6	15.0	4.6			Zircon		
	4-3	37.4	37.4	14.8	5.6	4.8			Sericite, zircon		
	4-4	42.6	34.8	10.6	9.2	2.8			Chlorite		
	4-5	32.5	36.7	15.8	10.4	4.6			Zircon		
	Pale gray hornblende biotite granite	3-1	30.2	33.6	19.0	12.2	4.6	0.2	0.2	Zircon, chlorite, opaque	
		3-2	30.6	39.4	15.8	9.4	4.8			Chlorite	
3-3		27.2	41.2	12.4	10.6	7.2	1.4		Zircon, chlorite, opaque		

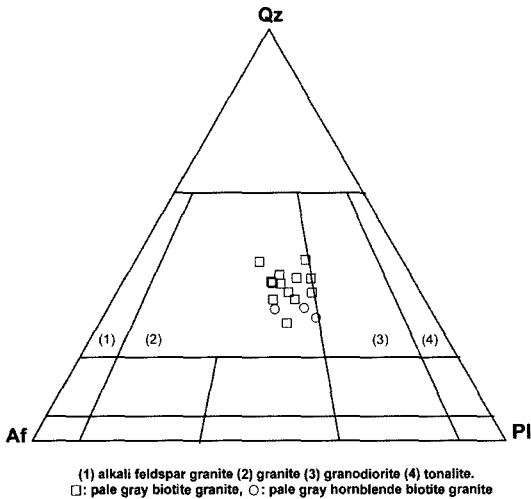


Fig. 12. Modal compositions of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo.

다른 지역에서 공급이 되었다 하더라도 비슷한 물리화학적 성질을 갖는 화강암들이 사용되었을 것으로 추측할 수 있다.

박석의 암석화학

현미경 분석이 실시된 동일한 시료에 대하여 주원소 성분과 미량원소 성분 분석이 실시되었다(Table 5). 주원소 성분은 X-선 형광분석장비를 이용하여, FeO는 습

식분석법으로 실시되었다. 미량원소 성분들은 ICP-AES(Labtest 3000)으로 분석되었다.

SiO₂ 함량은 71~74 wt.% 사이로 매우 좁은 값의 범위를 나타낸다(Fig. 13). TiO₂는 0.1~0.3 wt.% 내외, Al₂O₃는 14~15 wt.%의 역시 매우 좁은 값의 범위를 나타낸다. 각섬석흑운모화강암은 흑운모화강암보다 SiO₂ 함량이 다소 낮은 분포를 보이며 MnO, MgO, CaO는 다소 높으며 K₂O는 다소 낮은 함량 변화를 보인다.

미량원소 성분 역시 대체로 좁은 범위의 변화폭을 나타내어 Nb는 30~40 ppm 사이, Y는 5 ppm 내외의 변화를 보이며 Sr은 역시 300 ppm 내외의 변화를 나타낸다. Ba의 경우 900 ppm 내외의 범위를 보이며 일부 시료는 1,300 ppm 이상의 높은 값을 보이는데 이는 아마도 흑운모화강암 내 국부적으로 함유된 알칼리장석의 반정에 의한 영향으로 생각된다(Fig. 14).

대부분의 박석 시료는 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 다른 원소의 함량이 직선상으로 감소하거나 증가하는 경향을 보여준다. 이러한 경향은 두 화강암이 서로 비슷한 분화과정을 겪었으며 서로 다른 기원을 보이는 화강암은 아닐 것이라는 추론을 할 수 있게 한다.

암석학적 고찰

박석은 특정 상품명이나 특정 품질의 물품을 지칭하여 사용되는 고유명사 형태의 용어가 아니다. 단지, 일반적인 암석들 중에서 두께에 비해 면적이 넓은 판상의 암석에 적용되는 일반 용어이다.

Table 5. Major and trace element analyses of the flagstones from the trifurcated path at Jongmyo

Pale gray biotite granite								
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	2-1	2-2	2-3
Major element (unit: wt.%)								
SiO ₂	72.96	73.44	72.74	73.09	73.22	73.44	72.49	73.29
TiO ₂	0.22	0.22	0.25	0.22	0.09	0.2	0.33	0.22
Al ₂ O ₃	14.43	14.23	14.44	14.46	15.11	14.36	14.51	14.29
Fe ₂ O ₃ (t)	1.57	1.51	1.77	1.57	0.78	1.44	2.11	1.61
Fe ₂ O ₃	0.56	0.65	0.76	0.70	0.49	0.74	0.79	0.29
FeO	0.91	0.77	0.91	0.78	0.26	0.63	1.19	1.19
MnO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
MgO	0.27	0.27	0.33	0.29	0.09	0.26	0.34	0.28
CaO	1.50	1.45	1.59	1.53	1.48	1.48	1.85	1.50
Na ₂ O	3.06	3.07	3.08	3.15	3.57	3.14	3.35	3.08
K ₂ O	5.08	4.98	4.99	5.02	4.95	4.93	4.18	4.93
P ₂ O ₅	0.06	0.06	0.06	0.05	0.02	0.05	0.09	0.05
Ig.loss	0.58	0.53	0.50	0.44	0.47	0.44	0.37	0.52
Total	99.66	99.70	99.68	99.76	99.77	99.70	99.52	99.67
Trace elements (unit: ppm)								
Ba	879	835	850	812	1020	830	1359	862
Nb	34	33	34	33	32	31	32	34
Sr	270	257	284	270	350	273	573	296
Y	6	6.2	5.5	5.1	1.2	4.4	3.1	5.9
Co	1.6	1.4	1.5	1.5	0.5	1.8	1.7	1.5
Hf	4.7	4.2	4.3	4.6	3.2	4.2	5.2	4.1
Rb	245	236	212	214	202	240	121	211
Th	29.6	30.7	32.6	25.9	8.2	26.5	15.4	31.1

현재에는 박석은 자연석의 일종으로 단독주석이나 건물의 정원이나 잔디를 입힌 넓은 광장에 잔디의 보호, 조경을 위해, 사람들의 보행을 편리하게 하기 위하여 일정한 거리를 두고 까는 것이 보편적이다. 요즘에 사용되는 박석으로는 호상편마암, 사암, 슬레이트, 편암 등이 사용되며 화강암은 거의 이용되지 않는 편이다. 자연상태에서 박석이 될 수 있는 암석은 화성암보다는 층리와 편리가 잘 발달되어 순서적으로 지층이 잘 형성되는 퇴적암과 이들이 변성되어 형성되는 변성퇴적암이다. 퇴적암은 물에서 광물입자들이 가라앉고, 이들이 지표상에 노출되어 굳어져서 형성된 암석으로 층리가 잘 발달된다. 이 층리 사이로는 약간의 틈이 있어 물의 이동이 가능하며 외부압력에 의해 힘을 받을 때 우선적으로 갈라지기 쉽다. 변성퇴적암에서 볼 수 있는 편리나 편마구조는 퇴적암에서의 층리보다는 좀 더 크고 비교적 암석면이 불규칙하나 역시 갈라지기는 쉬운 형태이다. 그러므로 가장 손쉽게 박석 형태의 암석을 구하려면 사암, 이암, 편암, 편마암에서 찾으려

면 다. 사암과 이암은 상대적으로 물성이 약하여 외부의 힘에 의해 쉽게 깨지는 경향이 있으며, 편암, 편마암은 암석표면이 대체로 거칠며, 일정 규격으로 만들기가 상대적으로 어려운 단점이 있다. 이들 암석들의 쪼개짐을 층리나 편리를 따라 잘 쪼개지거나 부스러지는 현상이 심하며, 이들 층리, 편리의 수직방향으로는 갈라져도 매끈한 면을 보기가 어렵다(장재훈, 2002). 화강암과 같은 심성암에서는 박석이 형성될 수 있는 조건이 훨씬 줄어들다. 대부분의 심성암은 괴상의 형태로 형성되며 층리나 편리와 같은 층상구조는 극히, 예외적인 경우를 제외하고는 형성되지 않는다. 화강암이 층상의 형태를 보일 수 있는 경우는 쉬팅과 같은 수평절리가 형성되는 경우에 한한다. 또한 자연상태로서 화강암 박석을 채취하여 이용할 수 있을 정도가 되려면 암석의 풍화상태도 하나의 조건이 된다. 암석의 물성은 암석의 풍화에 따라 달라진다. 암석의 풍화는 암석에서 광물의 입자가 클수록 쉽게 일어난다. 화강암체에서는 쉬팅을 어디에서든지 관찰할 수는 있지만

Table 5. Continued

	pale gray biotite granite					pale gray hornblende biotite granite		
	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	3-1	3-2	3-3
Major element (unit: wt.%)								
SiO ₂	73.28	73.74	73.79	73.86	73.88	71.41	72.92	71.8
TiO ₂	0.18	0.16	0.17	0.17	0.17	0.3	0.24	0.29
Al ₂ O ₃	14.37	14.3	14.23	14.2	14.24	14.39	14.29	14.51
Fe ₂ O ₃ (t)	1.37	1.24	1.29	1.34	1.27	2.43	1.70	2.20
Fe ₂ O ₃	0.41	0.46	0.53	0.93	0.89	1.06	0.77	1.02
FeO	0.86	0.70	0.68	0.37	0.34	1.23	0.84	1.06
MnO	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.04
MgO	0.21	0.19	0.21	0.22	0.21	0.93	0.56	0.80
CaO	1.35	1.33	1.33	1.34	1.33	2.25	1.75	2.09
Na ₂ O	3.16	3.16	3.20	3.17	3.19	3.40	3.40	3.39
K ₂ O	4.94	4.78	4.82	4.75	4.86	3.99	4.32	4.17
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.09	0.07	0.08
Ig.loss	0.94	0.79	0.65	0.63	0.61	0.58	0.49	0.49
Total	99.78	99.68	99.68	99.72	99.79	99.68	99.68	99.74
Trace elements (unit: ppm)								
Ba	750	720	695	712	688	735	791	807
Nb	32	30	32	32	31	33	31	34
Sr	256	241	236	242	232	353	330	367
Y	3.1	3.1	3	3.1	2.8	6.3	3.9	5.5
Co	1.2	1.0	1.4	1.4	1.5	3.7	2.3	2.7
Hf	3.4	3.7	3.9	4.0	4.0	3.5	4.7	3.2
Rb	216	205	175	177	162	173	180	158
Th	22.2	24.6	21.8	27.9	21.9	16.8	20.7	15.7

대체로 지표에 노출된 쉬팅들은 풍화를 받아 약한 편이다. 또한 쉬팅의 두께도 보통 1m 이상으로 두꺼워 풍화에 영향을 받지 않아 신선하더라도 박석으로의 이용한 어려운 편이다.

편마암, 편암, 사암, 이암 등의 변성암이나 퇴적암들은 박석으로서 사용하기 위해서는 다양산 암색과 표면의 요철 등으로 다량의 균질한 조건과 규격을 갖은 암체를 찾기가 힘들었을 것을 생각된다. 또한 대부분 궁궐의 석조 건축물, 탑들은 화강암 부재를 이용하여 건축되어 이러한 건축물들과의 균형을 위해서도 화강암 박석을 사용하였을 것으로 판단된다. 물론 조선왕조실록의 기록에서 보듯이 박석을 생산할 수 있었던 채석장이 강화도, 황해도 해주 등 서울에서 수송거리가 가까운 곳에 있었던 것도 큰 요인으로 작용하였을 것이다.

앞의 결과를 종합하여 박석, 특히 종묘의 삼도박석에 대한 크기, 형태, 압중, 화학성 등에 대한 표준 규격을 설정하여 보았다(Table 6).

결론

1. 종묘 삼도박석은 2,361장으로 구성되었으며 암색, 입도, 광물조성 등에 따라 담회색 세중립질 흑운모화강암(90.1%), 담회색 세중립질 각섬석흑운모화강암(2.6%), 담홍색 중립질 흑운모화강암(5.2%), 홍색 중립질 흑운모화강암(1.9%), 편암, 페그마타이트의 6개 암종으로 구분된다.

2. 종묘 삼도박석의 평균크기는 65×46cm(표준편차 12×7cm)이다. 박석의 표면상태는 양호 34.7%, 보통 41.4%, 보통이하 23.8%이다. 화강암 재질의 박석들 중 담홍색과 홍색을 띠는 박석은 거의 대부분 보통이하의 상태를 보인다. 보통이하의 상태를 보이는 박석은 후세에 교체 또는 보수되었던 것으로 생각된다.

3. 부서진 조각이 없는 한 장의 상태로 된 박석은 전체의 69.5%로서 2조각 이상으로 부서진 박석은 약 720장이다. 박석의 주요 부재로 사용할 수 있는 화강암의

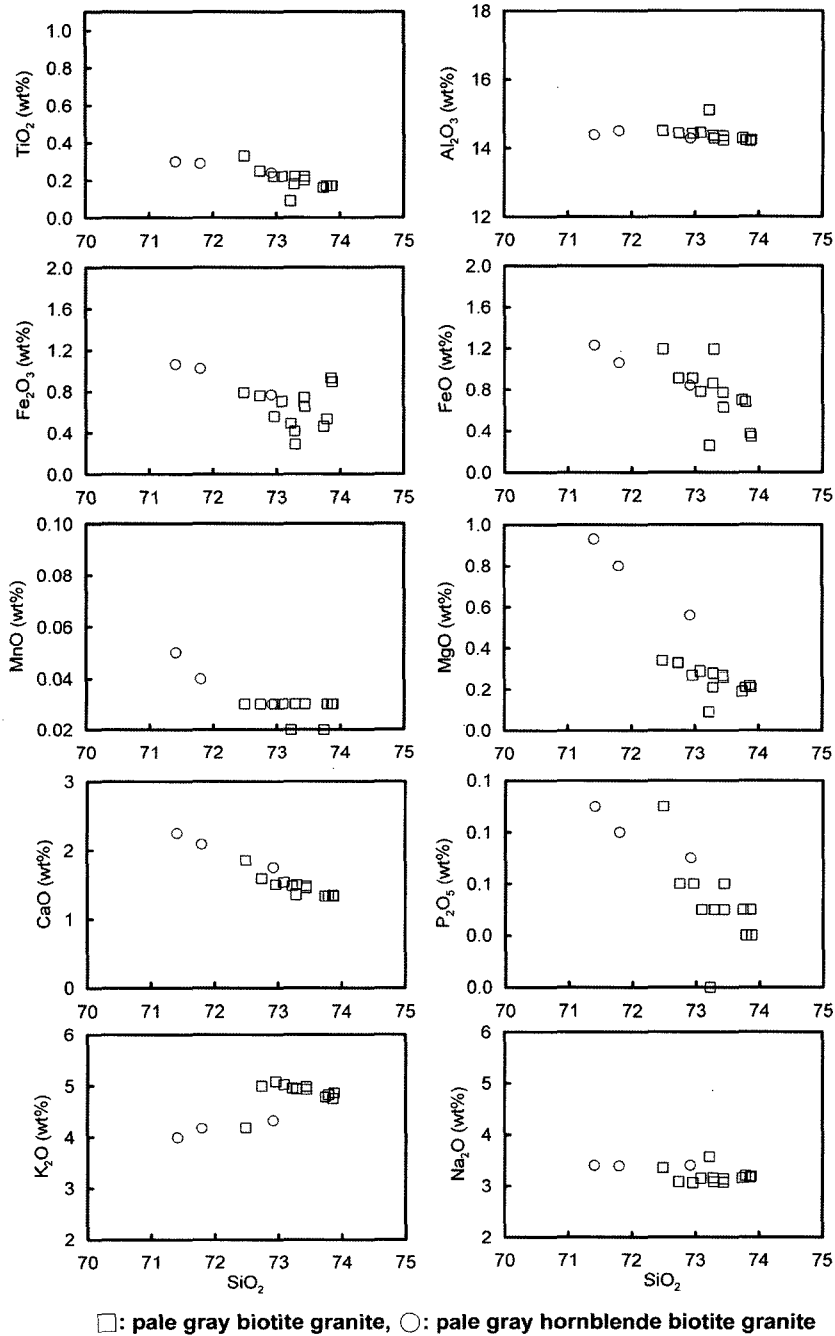
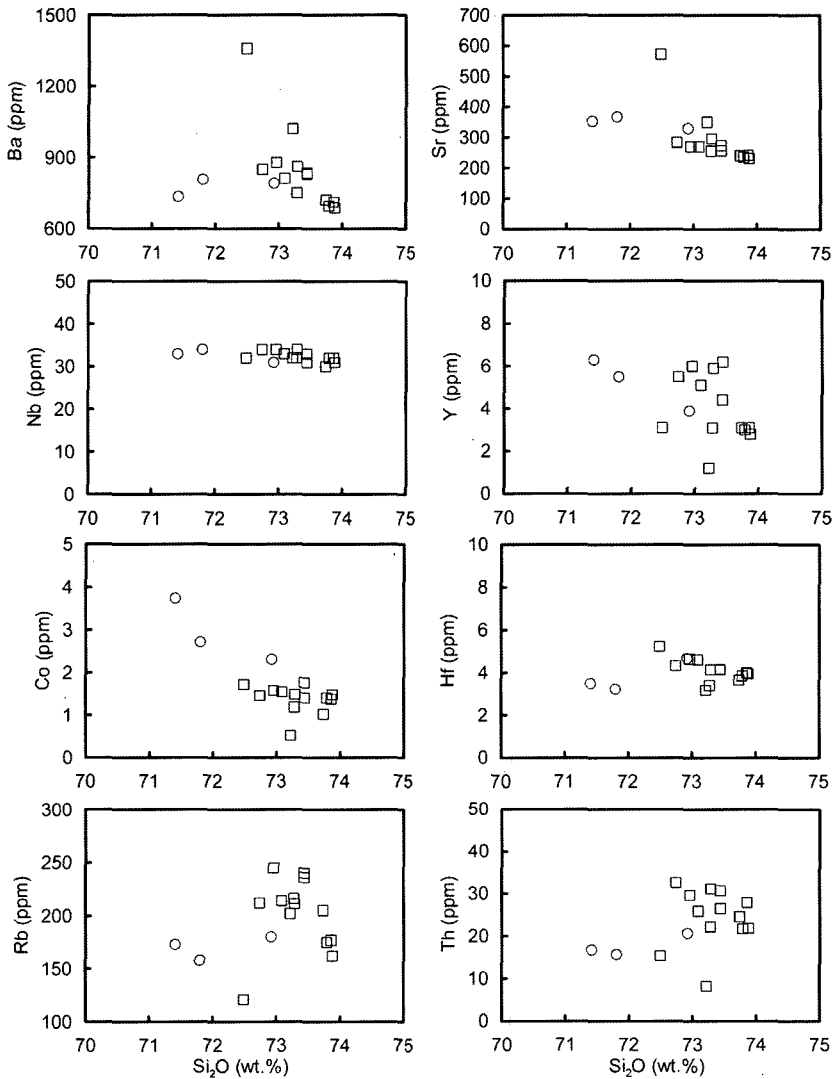


Fig. 13. Harker diagrams for major elements.

규격은 담회색 흑운모화강암(미량의 각섬석 허용), 세 중립질(0.5~3 mm), 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 페다이트, 흑운모 등으로 된 IUGS 분류상의 화강암 영

역에 속해야 한다. 또한 SiO₂ 성분은 70wt.% 이상, 대 자율은 0.1 × 10⁻³ SI 내외(최대 2 × 10⁻³ SI 내외 허용) 이어야 한다.



□: pale gray biotite granite, ○: pale gray biotite hornblende granite

Fig. 14. Harker diagrams for trace elements.

Table 6. Standardization of the flagstone from the trifurcated path at Jongmyo

Rock type	Granite (according to IUGS nomenclature)
Grain size	Fine to medium grained (below 1 mm~3 mm)
Color	Pale gray
Minerals	Quartz, plagioclase, K-feldspar, biotite (±hornblende in trace)
Chemistry	SiO ₂ : above 70wt.%
Magnetic susceptibility	Below 0.1×10^{-3} SI (to 2×10^{-3} SI in maximum)
Surface condition	Suitable or over common (roughness in surface ± 0.5 cm)
Size	64 cm × 45 cm (error range ± 10 cm). thickness 8~10 cm
Shape	Rectangle

참고문헌

- 도성재, 김광호, 1999, 고지자기학. 대우학술총서 439. 327p.
- 장재훈, 2002, 한국의 화강암 침식지형. 성신여자대학교 출판부 544p.
- Clark, D. A., 1999, Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation: Exploration Geophysics, v.30, p.5-26.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Mining Geol., 75th Anniversary volume, 458-484.
- Streckeisen, A., 1976, To each pluton rocks its proper name. Earth Sci. Rev., 12, p.1-33.
- Tarling, D.H., Hrouda, F., 1993, The magnetic anisotropy of rocks. Chapman & Hall. 217p.
-
- (2006년 7월 27일 접수; 2006년 8월 24일 채택)