

독도 암석의 역학적 특성에 관한 연구

박 찬¹⁾, 천대성^{2)*}, 정용복²⁾, 송원경¹⁾, 선우춘¹⁾, 김복철¹⁾

Mechanical Properties of Rocks in Dokdo

Chan Park, Dae-Sung Cheon, Yong-Bok Jung, Won-Kyong Song, Choon Sunwoo, Bok Chul Kim

Abstract Dokdo is a volcano edifice originating from an oceanic island that was formed around 3 million to 2.2 million years ago, and it consists of Dongdo(eastern island) and Seodo(western island). Even though Dokdo is a small volcanic island, Dokdo has infinite potential value and significant economic, social, scientific, and technical aspects due to its resources, ecological and territorial value. In addition, it is of national interest with regards to the dispute with Japan over the dominium of Dokdo. A need to evaluate the ground stability of Dokdo, especially in Dongdo, has been seriously raised recently due to the various cracks caused by the progressive weathering and corrosion. This study dealt with the geology and geological layers of Dokdo and identified the status of ground cracks as the previous research to evaluate the ground stability of zones of concern in Dongdo. Also, this study analyzed the relationships between physical and mechanical properties with rock types. The results showed that the values of rock properties in Dokdo are lower contrary to the general rocks in Korea, and tuff was especially affected by the weathering and corrosion.

Key words Dokdo, volcanic island, ground stability, weathering, mechanical properties

초 록 독도는 약 300~220만 년 전에 형성된 해양섬 기원의 화산체로서 동도와 서도로 구성되어 있다. 비록 규모는 작지만 동해의 형성 및 진화와 연관된 지질과학적 중요성 외에 자원적, 생태적, 영토적 가치, 그리고 일본과의 독도 영유권 문제와 관련한 국민적 관심 등 경제·사회·과학·기술적 측면에서 무한한 잠재적 가치와 의미를 갖고 있는 지역이다. 최근 동도 육상부에서 급속하게 진행되고 있는 풍화 및 침식작용으로 인한 각종 균열로 인하여 독도 지반의 안정성 평가의 필요성이 제기되었다. 본 논문은 독도의 지반안정성 분석을 위한 사전조사단계로서 독도의 지질과 층서, 지반불안정을 발생시키는 요인에 대하여 알아보고, 육안관찰에 의해 위험요소로 판단된 지역에서 수행되었던 독도 암석의 역학적 특성을 분석하였다. 독도의 암석은 주로 응회암, 조면암, 조면안산암으로 구성되어 있으며, 전체적으로 풍화와 침식에 의해 국내 암석의 역학적 물성수치에 비해 상대적으로 낮았다.

핵심어 독도, 화산체, 지반안정성, 풍화, 역학적 특성

1. 서 언

독도는 우리나라 영토의 동쪽 끝에 위치하는 소규모의 화산섬으로 비록 규모는 작지만 동해의 형성 및 진화와 연관된 지체구조적 의의, 울릉도와 함께 동해지역 알칼리 화산암류의 성인 연구 등의 지질과학적 중요성 외에 200해리 배타적 경제수역 체제하에서 독도 및 그

주변 해역이 갖고 있는 자원적, 생태적, 영토적 가치, 그리고 일본과의 독도 영유권 문제와 관련한 국민적 관심 등 경제·사회·과학·기술적 측면에서 무한한 잠재적 가치와 의미를 갖고 있는 지역이다.

독도는 약 300~220만 년 전(플라이오세에 해당)에 형성된 해양섬 기원의 화산체로서 동도(높이 해발 약 88 m, 장경 약 450 m)와 서도(높이 해발 약 168 m, 장경 약 500 m)로 구성되어 있다. 독도 인근 해저에서의 음향 및 탄성파 탐사자료에 의하면 독도는 높이 약 1.5-2 km, 직경 24 km의 원탁형체의 해산(독도해산, 체적 약 575 km³) 정상부에 형성된 작은 화산체의 일부인 것으로 추정된다(그림 1). 독도의 기저부 내지는 뿌리에

¹⁾ 한국지질자원연구원 책임연구원

²⁾ 한국지질자원연구원 선임연구원

* 교신저자 : cds@kigam.re.kr

접수일 : 2008년 2월 1일

심사 완료일 : 2008년 2월 20일

해당하는 독도해산의 동쪽에는 탁상형의 심홍택해산(체적 약 300 km³)과 이사부해산(체적 약 400 km³)이 분포한다. 이들 독도해산-심홍택해산-이사부해산 평정부의 평균수심은 200-300 m 정도이며, 동쪽으로 갈수록 수심이 조금씩 깊어지는 경향을 보인다. 이들 3개 해산과 울릉분지가 동해와 동시에 만들어 졌는지, 아니면 동해가 다 만들어지고 난 뒤에 단순히 지구중심의 맨틀로부터 화산분출로 만들어 졌는지는 아직 분명치 않다. 다만 이들 3개 해산에 관한 지질학적 정보는 화산폭발로 독도가 만들어질 때 용암분출과 함께 독도해산 물질의 일부가 밖으로 끌려나온 것으로 추정되는 현무암 조각들이 현재의 독도 육상에서 관찰되고 있을 뿐이며, 이들 암석조각의 연대측정 결과 독도해산은 적어도 460만년 이전에 형성되었다는 것을 유추할 수 있다(한국지질자원연구원, 2006).

그동안 독도에 대해서는 독도가 갖고 있는 국가적, 사회적 상징성 및 중요성에 따라 지질학, 지형학, 생물학, 지리학, 인문학 등 여러 분야에서 다양한 연구가 이루어 졌으며, 실제로 의미 있는 많은 자료들이 발표된 바 있다. 최근 수 년 동안에는 일본과의 영유권 문제 등으로 독도에 대한 정부와 국민들의 관심이 고조되고 있고, 또한 독도 일부지역이 일반인들에게 개방되면서 학계, 언론계, 시민단체 등 사회 각계각층에서 독도에 대하여 이전보다도 훨씬 다양한 조사 및 연구를 진행 하고 있다.

특히 최근 들어 독도(특히 동도) 육상부에서 급속하게 진행되고 있는 풍화 및 침식작용으로 인한 각종 균열로 인하여 독도 지반의 안정성 평가의 필요성이 사회 일각에서 심각하게 제기됨에 따라 해양수산부에서는 독도 보존과 관리차원에서 보다 체계적인 계획을 수립 하고 이를 추진하기 위한 과학적인 근거를 확보하기 위하여 독도 전반의 지반균열, 특히 동도 내 경비/개방구역에 대한 정밀지반평가를 실시하기로 결정하면서 본 연구가 시작되었다. 본 논문에서는 독도의 지반안정성 분석을 위한 사전조사단계로서 독도의 지질과 층서, 지반불안정을 발생시키는 요인에 대하여 알아보고, 육안 관찰에 의해 위험요소로 판단된 지역에서 수행되었던 독도 암석의 역학적 특성에 대해서 다룬다.

2. 독도의 지질

독도는 알칼리 화산암류의 화산섬으로서 동해의 형성과 관련된 학문적 중요성을 갖는다. 그러나 육지에서 떨어져 접근하기 어렵고, 문화재로 지정되어 있어 야외 지질조사가 용이하지 않아 최근까지 화산암류에 대한 연구는 제한적이었다. 그간의 주요 연구는 김윤규 외

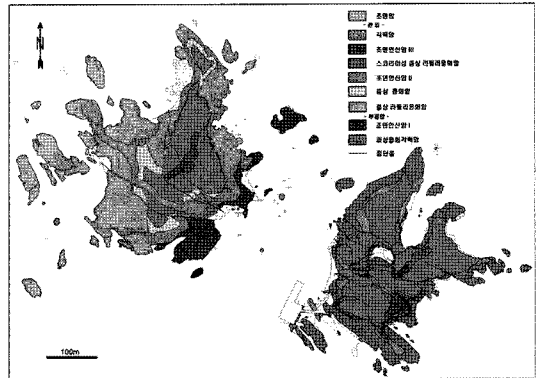


그림 1. 독도의 지질도

(1987), Yoon(1992), Sohn and Park(1994), 김규한(2000), 송영석 외(2007) 등이 있었다.

독도에 분포하는 지층들은 하부로부터 괴상 응회각력암, 조면안산암 I, 층상 라필라용회암, 층상응회암, 조면안산암 II, 스킨리아성 층상 라필라용회암, 조면안산암 III, 각력암, 조면암, 염기성 암맥 등 총 9개 화산암층 단위로 구성되어 있다(그림 1). 독도의 화산암류는 각각 3회에 걸친 용암분출과 화산쇄설성 분출 의해 형성된 조면안산암과 응회암층이 서로 교호하여 분포하고 있는 것이 특징으로서, 이것은 서로 다른 성격의 화산활동이 번갈아가며 발생했음을 보여준다.

3. 지반불안정 요인과 조사대상지역

3.1 지반불안정 요인

독도 지반에는 단층과 절리들이 매우 발달하고 있으며, 단층 부근에서는 단층작용으로 인해 주변에 연약층이 형성되어 썩기파괴나 낙반을 일으키게 된다(그림 2a). 절리들은 풍화작용을 받을 때 균열이 생성, 확장되고 암석의 점착력을 떨어뜨려 낙석이 쉽게 발생할 수 있는 원인이 된다(그림 2b).

낙석이나 낙반을 일으키는 또 다른 지질 구조는 균열이다. 독도에 발달해 있는 균열은 화산활동 시 형성된 것(그림 3a)과 지층이 만들어진 이후에 자연 현상에 의해 형성된 것(그림 3b)으로 대별된다. 어떤 식으로 형성되었든 균열은 대형 암괴의 모암 분리를 초래하여 대규모 낙석의 위험을 내포하고 있다. 그러나 이러한 균열들은 단시간 내에 확대되는 것이 아니라 오랜 시간동안 서서히 발전하기 때문에 낙반 시기를 예측하기 어렵다. 따라서 낙반시 재해가 우려되는 균열에 대해서는 감시 장치를 설치하여 지속적으로 모니터링을 해야 할 것이다.



(a) 동도에 발달하는 단층들.



(b) 동도 구역 내 조면안산암에 발달하는 절리구조.

그림 2. 동도에 발달하는 단층 및 절리구조.



(a) 화산활동시 형성된 균열



(b) 암괴 이동에 의한 균열

그림 3. 동도에서 관찰되는 균열양상.

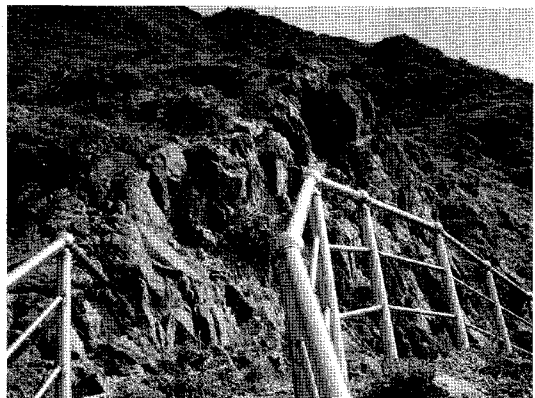


그림 4. 불완전한 공사로 인해 낙석 위험이 초래된 사면.

동도에는 통행로 개설을 위하여 원지반을 일부 굴착한 것으로 판단되는데 이 때 안전을 고려하지 않은 채 무분별하게 공사를 함으로써 지반의 약화를 초래한 곳

이 여러 군데 발견되었다. 특히 선착장쪽에 위치한 구역은 그림 4에서 보는 바와 같이 사면이 매우 불안정한 상태에 놓여 있다.

3.2 조사대상지역

정밀조사 대상 구역을 선정하기 위해 조사 지역의 지반 상태를 육안 관찰한 결과 총 14군데에서 낙석 또는

사면 붕괴 징후가 발견되었다. 이 구역들에 관한 내역과 불안정을 초래하고 있는 원인들을 아래 표 1과 그림 5에 제시하였다.

표 1. 지반불안정 개소 현황

구역	위 치	불안정 요소	암종
1	선착장	단층 교차로 인한 썩기파괴	응회암
2	선착장 통행로 1	-균열 진행 -튼돌 낙하 위험	응회암
3	선착장 통행로 2	-균열 진행 -튼돌 낙하 위험	응회암
4	선착장 통행로 3	-불완전 깎기 -암반 풍화	조면안산암
5	선착장 통행로 4	단층 균열	응회암
6	식당 아래쪽	구조물 상재하중	조면안산암
7	탱크바위	균열, Cementing 되어있음	응회암
8	등대 좌측 1	균열로 인한 암블록 낙하 위험	응회암
9	등대 좌측 2	풍화 균열, 낙석 위험	안산암
10	등대 아래쪽	단층 발달, 기반암 견고	안산암
11	포대좌측 절벽 1	중력에 의한 균열	응회암
12	포대좌측 절벽 2	중력에 의한 균열	응회암
13	포대좌측 절벽 3	중력에 의한 균열	응회암
14	구 선착장	수직균열 따라 암블록 이동	응회암

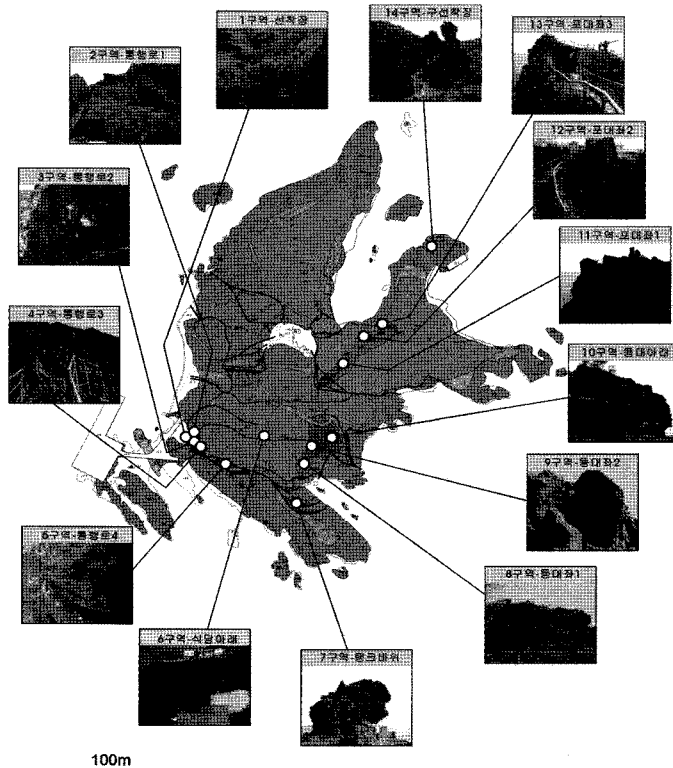


그림 5. 지반 불안정 개소

선착장에서 경비대 식당 사이의 통행로상에 5 개소 (1-5구역)이 존재하고 있어 재해우려 개소가 상대적으로 밀집해 있는데, 이는 단층과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 또한 분화구 절벽주위에는 3군데의 붕괴우려개소(11-13구역)가 존재하는 것으로 관찰되었는데 이곳에는 10 cm 내외의 균열들이 형성되어 있다. 이 균열들은 절벽면 암괴의 자중으로 인하여 균열로서 지층형성과는 무관한 것으로 조사되었다.

4. 독도 암석의 역학적 특성

본 논문에서는 독도 동도지역 암석의 대표성 등을 고려하여 그림 6에서 보는 바와 같이 20개 지점에서 시료를 채취하여 기본 물성시험을 실시하였으며, 절리면 전단시험은 10개 지점에서 각 1개의 시료에 대하여 절리

면 전단시험을 수행하였다. 시료의 채취는 독도의 자연 경관을 훼손하지 않도록 주의하였다. 시료를 채취함에 있어서는 시험편 성형이 용이하도록 대상 암반에서 비교적 신선한 부분을 선택하였다.

4.1 암석학적 특성

독도에서 관찰된 대표적 암종은 응회암, 조면안산암, 조면암으로, 응회암의 경우 지층상 스킨리아성 층상 라필리응회암, 층상 응회암, 괴상응회각력암을 포함한 통칭이며, 지질학적으로 현무암질암으로 표현될 수 있다. 그림 7은 이들 암석에 대한 편광현미경사진이다.

응회암은 암회색 또는 담회색의 화산암으로서, 현미경하에서 불투명 산화광물의 반정, 각섬석과 단사휘석의 미반정(그림 7a), 사장석, 단사휘석, 불투명 산화광물 등의 석기로 이루어진다.

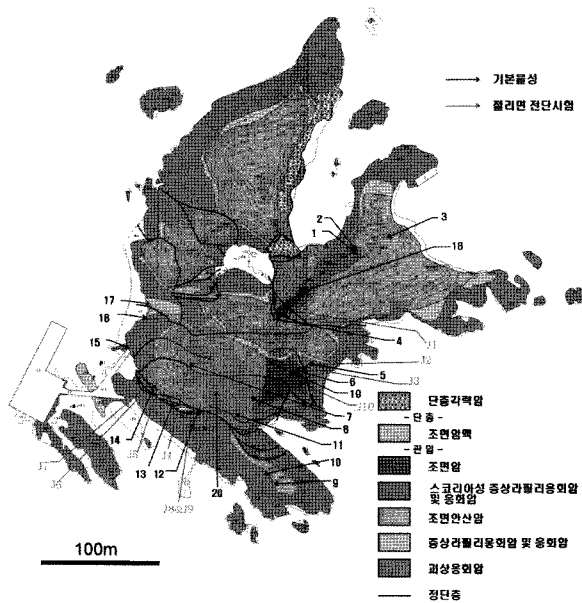


그림 6. 암석물성시험 및 절리면 직접전단시험 시료채취 위치.

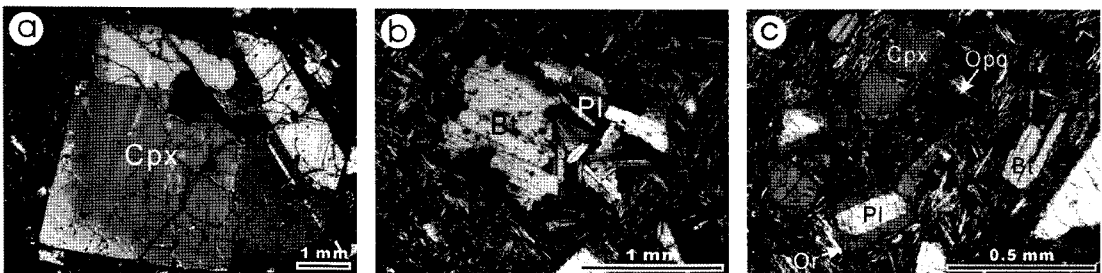


그림 7. 독도의 응회암(a), 조면안산암(b), 조면암(c)의 편광현미경사진 (Cpx: 단사휘석, Bt: 흑운모, Pl : 사장석, Or: 정장석, Opx: 불투명 산화광물)

조면안산암은 녹회색을 띠며, 1~4 mm의 반정을 균질하게 포함하는 반상조직이 특징적이다(그림 7b). 현미경하에서 단사휘석, 흑운모, 정장석, 사장석, 불투명 산화광물의 반정이 관찰되며, 이들은 서로 집합체를 이루는 취반정의 양상을 나타낸다. 흑운모는 흔히 용식되어 있고, 사장석은 제조직을 나타내는 코어를 갖는다. 특징적으로 장석은 사장석의 코어를 둘러싸는 정장석 맨틀의 안티라파카비조직을 보인다.

조면암은 담녹색 또는 담회색의 치밀한 암상이며, 비교적 드물게 수 mm의 유색광물과 장석류의 반정을 포함한다. 현미경하에서 반정을 이루는 광물은 단사휘석, 흑운모, 각석, 불투명 산화광물, 사장석, 정장석 등이고(그림 7c), 이들은 흔히 취반상조직을 나타낸다. 석기는 정장석, 단사휘석, 불투명 산화광물 등으로 구성된다.

4.2 물리적, 역학적 특성

채취한 시료에 대하여 비중, 흡수율, 탄성파속도(P, S 파)와 같은 물리적 특성과 삼축압축시험, 일축압축시험, 인장강도 등의 역학적 특성을 측정하고, 일련의 시험으로부터 탄성계수, 포아송비, 내부마찰각, 점착력 등을 계산하였다. 또한 절리면에 대한 직접전단시험을 실시하여 마찰각, 점착력, 절리면 수직강성(K_N), 절리면 전단강성(K_S) 등을 구하였다(표 2와 표 3).

4.3 기본물성간의 상관관계

그림 8에서 그림 17은 실내시험으로부터 구해진 역학적 물성과 암종사이의 관계를 도시한 그래프이다. 물리적, 역학적 물성사이의 상관성은 암반공학의 기본특성이 되는 일축압축강도를 기준으로 하여 분석하였다.

밀도의 경우 조면안산암과 조면암에서는 일축압축강도와 선형적인 관계를 유지하고 있으며, 약 40 MPa 이상의 경우 선형성은 더욱 명확하게 나타났다(그림 8, 표 4). 반면, 40 MPa이하의 범위에서 밀도는 일축압축강도와 상관성이 거의 없는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 일축압축강도가 낮은 응회암에서 명확하게 확인할 수 있었다. 응회암의 밀도는 약 1.6 g/cm^3 에서 2.2 g/cm^3 사이의 수치를 나타냈으며, 이는 일반 암석의 평균 밀도인 2.5 g/cm^3 보다 상대적으로 낮은 수치로서, 독도에 존재하는 다른 암석에 비해 풍화의 영향을 많이 받고 있는 것으로 판단할 수 있다. 표 4는 기본물성간의 상관관계에 대한 회귀식으로, 각 물성의 단위는 그림에서 제시된 단위를 사용하였다.

흡수율의 경우 일축압축강도의 증가에 따라 지수적으로 감소함을 알 수 있다(그림 9). 지수적인 감소는 일축

표 2. 기본물성시험 결과.

시료 번호	일축압축 강도 (MPa)	탄성 계수 (GPa)	포아송 비	인장 강도 (MPa)	점착력 (MPa)	내부 마찰각 (°)
1	62	12.5	0.16	8	-	-
2	10	1.81	0.22	1	2	39.5
3	21	5.23	0.12	4	4	41.3
4	8	1.31	0.25	1	1	41.0
5	56	9.92	0.19	5	10	41.8
6	109	18.9	0.20	7	15	53.2
7	77	10.5	0.25	4	10	51.6
8	91	16.8	0.19	9	15	51.6
9	10	0.90	0.23	1	2	44.4
10	15	1.99	0.26	2	3	37.4
11	98	16.6	0.18	6	14	52.5
12	21	4.18	0.12	3	4	36.5
13	86	16.5	0.16	7	14	47.0
14	145	26.1	0.21	15	26	48.0
15	10	2.11	0.15	2	2	44.4
16	13	3.02	0.18	2	2	44.2
17	34	7.02	0.20	5	6	49.4
18	24	6.05	0.14	4	5	48.6
19	89	15.0	0.14	9	16	47.8
20	48	7.96	0.13	5	8	44.3

표 3. 절리면 전단시험 결과.

시료 번호	JRC	JCS (MPa)	점착력 (MPa)	마찰각 (°)	절리면 수직강성, K_N (GPa/m)	절리면 전단강성, K_S (GPa/m)
J1	8-10	51	0.00	45.8	6.63	11.81
J2	6-8	60	0.07	37.3	4.94	11.04
J3	6-8	54	0.05	35.5	5.72	8.84
J4	6-8	43	0.05	43.4	4.28	9.30
J5	2-4	93	0.02	34.3	5.04	7.23
J6	2-4	85	-0.05	38.5	5.88	7.89
J7	8-10	82	0.07	47.8	5.33	12.50
J8	10-12	83	0.11	43.7	5.92	11.08
J9	10-12	70	0.01	37.8	5.72	9.89
J10	6-8	71	0.03	37.8	3.84	7.43

압축강도의 범위가 넓은 조면안산암에서 확연하게 나타나고 있으나, 일축압축강도의 범위가 좁은 응회암 자체만으로는 상관성을 파악하기 어렵다.

그림 10은 흡수율과 밀도의 상관관계에 대해 도시한 그래프이다. 흡수율과 밀도는 모든 암종에 대해 음의 선형관계를 보이고 있다. 즉, 밀도가 증가할수록 흡수율은 선형적으로 감소하고 있다. 특히, 흡수율은 밀도가 약 2.2 g/cm^3 를 기점으로 기울기가 완만해지는 경향을 보였으며, 이에 해당하는 일축압축강도는 40 MPa 이하였다.

표 4. 상관관계 회귀식

상관 물성	회귀식	R ²	유형	비고
밀도 vs. 일축압축강도	$Y = 0.0047X + 1.98$	0.65	선형	밀도: Y, 응회암 제외
흡수율 vs. 일축압축강도	$Y = 14.43\exp(-x/27.30)+1.49$	0.72	지수	흡수율: Y
흡수율 vs. 밀도	$Y = -16.96X + 43.26$	0.92	선형	흡수율: Y
탄성계수 vs. 일축압축강도	$Y = 0.17X + 0.49$	0.96	선형	탄성계수: Y
	$Y = 0.22X + 6.27$	0.68	선형	국내 암석 D/B
P파 vs. 일축압축강도	$Y = 14.72X + 2540.10$	0.70	선형	P파: Y, 응회암 제외
S파 vs. 일축압축강도	$Y = 6.04X + 1397.97$	0.68	선형	S파: Y, 응회암제외
P파 vs. 밀도	$Y = 2846.61X - 3094.97$	0.70	선형	P파: Y
S파 vs. 밀도	$Y = 1350.74X - 1347.08$	0.76	선형	S파: Y

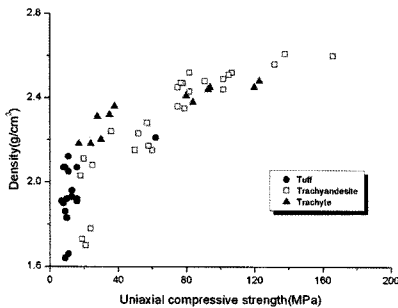


그림 8. 밀도와 일축압축강도의 상관관계

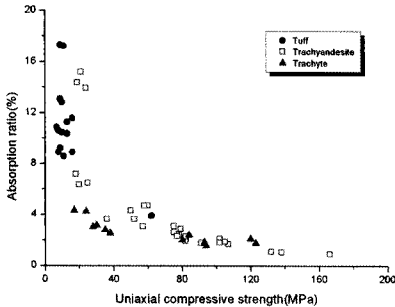


그림 9. 흡수율과 일축압축강도의 상관관계

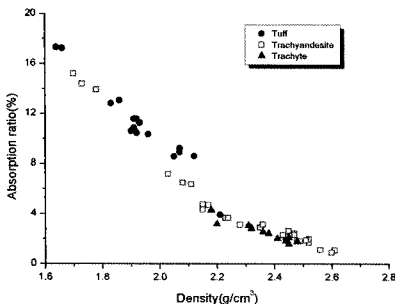
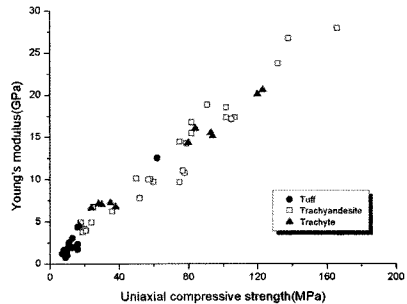
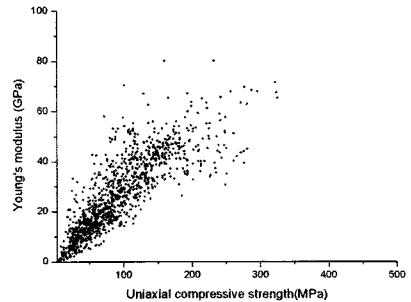


그림 10. 흡수율과 밀도의 상관관계



(a) 독도암석



(b) 국내 암석 D/B (한국지질자원연구원, 2007)

그림 11. 탄성계수와 일축압축강도의 상관관계

그림 11a는 독도 암석에 대해 탄성계수와 일축압축강도의 상관관계를 도시한 그래프로써, 탄성계수는 암종이나 풍화에 관계없이 일축압축강도에 가장 좋은 선형 관계를 보이며, 국내 암석의 일반적 경향(그림 11b)보다 상당히 높은 상관성을 보였다. 포와송비의 경우, 탄성계수와 달리 일축압축강도에 대해 상관성을 찾을 수 없었으며, 응회암의 경우 유사한 일축압축강도에서 약 0.13에서 0.28까지의 넓은 분포를 나타내고 있다.

그림 13과 14는 P, S파속도와 일축압축강도, 밀도와

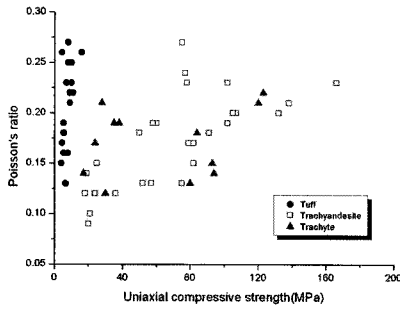


그림 12. 포와송비와 일축압축강도의 상관관계

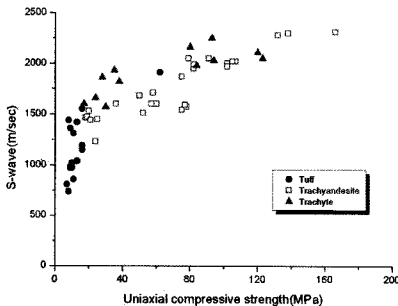
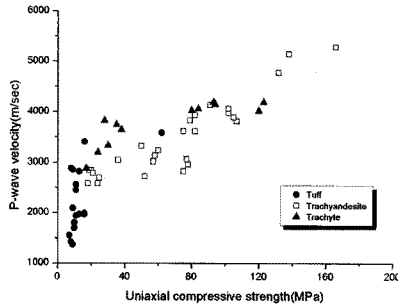


그림 13. P파, S파와 일축압축강도의 상관관계

의 관계를 도시한 그래프이다. 조면안산암과 조면암의 P, S파속도는 일축압축강도와 선형적인 관계를 보이고 있으나, 응회암의 경우는 상관성을 파악하기 어려웠다. 전파속도와 일축압축강도에 대해 선형회귀한 결과, 조면안산암의 P파속도의 기울기는 조면암에 비해 상대적으로 크게 나타났으나, S파속도의 경우 두 암종에서 유사한 기울기를 보였다. P, S파속도의 밀도와의 상관성은 응회암을 포함한 모든 암종에 대해 일축압축강도보다 높게 나타났으며, 밀도에 대한 선형회귀의 기울기는 S파속도의 경우 세 암종 모두 유사하였으나, P파속도의 경우 일축압축강도와 의 관계와 달리 조면안산암에 대

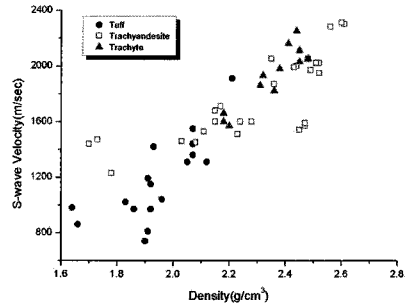
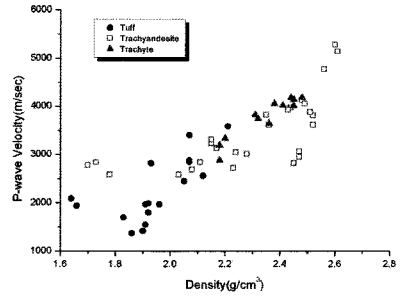


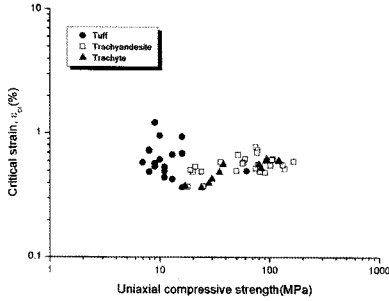
그림 14. P파, S파와 밀도와의 상관관계

한 기울기가 조면암에 비해 낮게 나타남을 보였다. 따라서 밀도 또는 P, S파속도로부터 암석의 강도를 유추하는 경우 암종 뿐 아니라 고려된 물성의 상관성 등에 대한 충분한 검토가 요구된다.

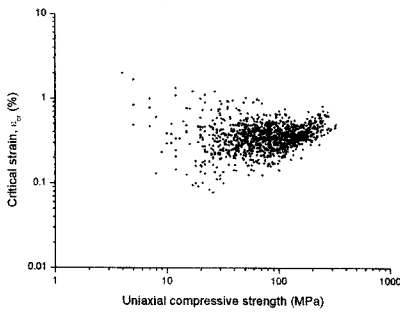
그림 15는 임계변형률과 일축압축강도와의 상관관계를 도시한 그래프이다. 흉과 암석에 대한 임계변형률과 일축압축강도를 분석한 박시현 외(2007)의 연구에 따르면 임계변형률은 일축압축강도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 암석의 경우 임계변형률이 0.1%에서 1%의 범위를 보인다고 보고하였다. 또한 다른 연구(한국지질자원연구원, 2007, 그림 15b)에서는 약 40 MPa 이하의 일축압축강도를 제외한 범위에서 임계변형률은 일축압축강도에 크게 영향을 받지 않는다고 보고하였다. 독도 암석역시 기존 연구와 같이 임계변형률은 0.1%에서 1% 사이에 존재하며, 특히 20 MPa 이상의 일축압축강도를 갖는 조면안산암과 조면암의 경우 임계변형률은 0.3%에서 0.8%로 보다 일정한 값을 보였다.

일축압축강도 대 인장강도로 표현한 취성지수(Brittleness index)는 조면암을 제외하고 분산이 심하나, 일축압축강도에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였다(그림 16). 일반적인 암석의 취성지수가 20 전후에 분포하는 경향에 비해 독도암석의 경우 풍화로 인하여 낮은 취성지수를 보였다. 내부마찰각의 경우, 조면안산암만 일축압축강도가 증가함에 따라 커지는 경향을

보이나, 그 외 다른 암종의 경우 상관성을 찾을 수 없었다(그림 17).



(a) 독도암석



(b) 국내 암석D/B (한국지질자원연구원, 2007)

그림 15. 임계변형률과 일축압축강도의 상관관계

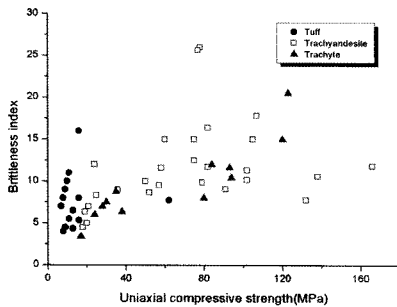


그림 16. 취성지수와 일축압축강도의 상관관계

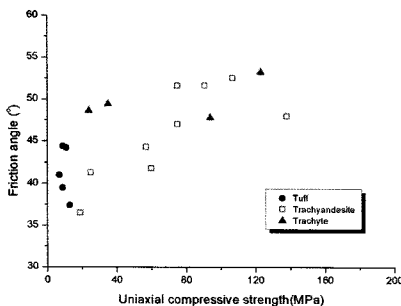


그림 17. 마찰각과 일축압축강도의 상관관계

4.4 절리면 물성간의 상관관계

절리면 전단시험에서 얻어진 결과를 중심으로 절리면 물성간의 상관성을 알아보았다. 절리의 역학적 특성은 절리 표면의 거칠 정도를 표현하는 JRC(Joint Roughness Coefficient)를 기준으로 분석하였다. 그림 18은 마찰각과 JRC의 상관관계를 나타내는 것으로, JRC가 증가할수록 마찰각 역시 커지는 경향을 보이지만 상관도가 매우 낮게 나타났다. 이는 JRC가 절리면의 프로파일로부터 주관적으로 판단되고, 시험에 사용된 시료의 JRC가 평균이하의 낮은 범위로서 마찰각과의 관계가 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

전단강성과 JRC의 상관관계 역시 대체적으로 JRC가

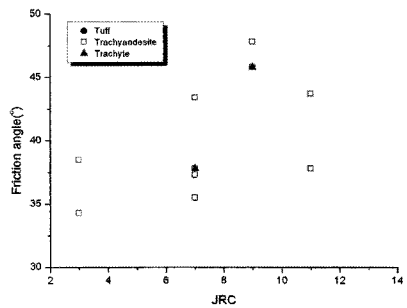


그림 18. 절리면 마찰각과 JRC와의 상관관계

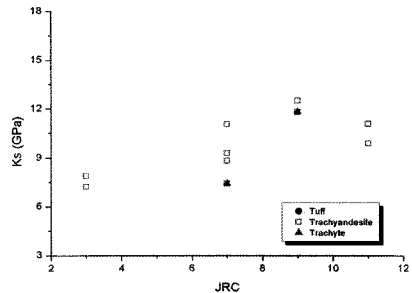


그림 19. 전단강성과 JRC와의 상관관계

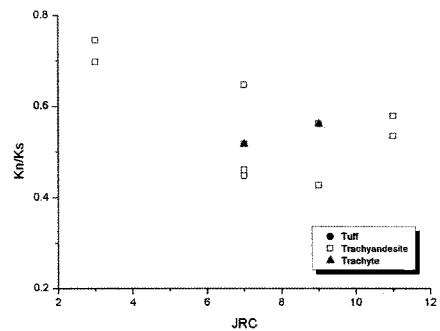


그림 20. 수직강성 대 전단강성비와 JRC와의 상관관계

높을수록 증가하는 경향을 보이나(그림 19), 수직강성 대 전단강성의 비는 JRC가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 그 값은 1이하의 낮은 값을 보였다(그림 20).

5. 결론

최근 들어 독도(특히 동도) 육상부에서 급속하게 진행되고 있는 풍화 및 침식작용으로 인한 각종 균열로 인하여 독도 지반의 안정성 평가를 실시하고 지반평가결과에 따른 보강대책이 요구되고 있다. 본 보고에서는 지반 평가를 위한 기본조사의 일환으로 수행된 독도 암석의 실내시험으로부터 압축과 역학적 특성사이의 상관관계를 분석하였으며, 얻어진 주요내용은 다음과 같다.

1. 독도는 약 300~220만 년 전에 형성된 해양섬 기원의 화산체로서, 독도에 분포하는 지층들은 하부로부터 괴상 응회각력암, 조면안산암 I, 층상 라필리 응회암, 층상응회암, 조면안산암 II, 스코리아성 층상 라필리응회암, 조면안산암 III, 각력암, 조면암, 염기성 암맥 등 총 9개 화산암층 단위로 구성되어 있다.
2. 독도(특히 동도) 지반의 불안정은 단층과 절리, 균열 그리고 불완전한 공사 등에 기인한다. 독도 지반에는 단층과 절리들이 매우 발달하고 있으며, 단층 부근에서는 단층작용으로 인해 주변에 연약층이 형성되어 썩기파괴나 낙반을 일으키게 된다. 또한 화산활동이나 암괴이동에 의해 생성된 균열 역시 낙석이나 낙반의 요인이 된다. 또한 통행로 개설공사로 인해 선착장을 중심으로 일부구간 사면에서 불안정한 상태를 야기하였다.
3. 독도의 암석은 주로 응회암, 조면안산암, 조면암으로 이루어져 있으며, 전체적으로 풍화와 침식에 의해 국내 암석의 역학적 물성수치에 비해 상대적으로 낮은 수치를 보였다. 또한 조면안산암과 조면암은 응회암에 비해 상대적으로 높은 역학적 물성수치를 나타냈다. 풍화의 영향을 많이 받는 것으로 추정되는 응회암은 역학적 물성사이의 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다.
4. 밀도, 탄성계수, P, S파속도는 일축압축강도가 증가할수록 선형적으로 증가하였으나, 흡수율은 지수적으로 감소하였으며, 일축압축강도보다 밀도와 밀접한 상관성을 보였다. 반면, 포아송비는 일축압축강도와 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다.
5. 임계변형률은 0.1 %에서 1 %사이에 존재하며, 특히 20 MPa이상의 일축압축강도를 갖는 조면안산

암과 조면암의 경우 임계변형률은 0.3 %에서 0.8 %로 보다 일정한 값을 보였다. 취성지수는 조면암을 제외하고 분산이 심하나, 일축압축강도에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 일반적인 암석의 취성지수가 20 전후에 분포하는 경향에 비해 독도암석의 경우 풍화로 인하여 낮은 취성지수를 보였다.

6. 마찰각과 절리면 전단강성은 JRC가 높을수록 대체적으로 증가하는 경향을 보이나, 수직강성 대 전단강성의 비는 JRC가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 그 값은 1이하의 값을 보였다. 이는 시험에 사용된 시료의 JRC가 평균이하의 낮은 범위로서 마찰각 등과의 관계가 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

본 연구에서 측정된 동도의 역학적 특성과 지반불안정요인 등을 기반으로 향후 지반안정성 해석과 재해위험도 평가, 그리고 독도의 특성을 고려한 보수, 보강방안을 제시할 예정이다. 또한 조사예정인 서도지역의 재해 예상지점 선정과 재해위험도 평가 등에도 활용될 예정이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 해양수산부의 해양수산연구개발사업인 “독도 균열발생에 따른 지반안정성 조사 연구”과제에서 지원되었습니다.

참고문헌

1. 김규한, 2000, 독도 알칼리 화산암류의 K-Ar 연대와 Nd-Sr 조성. 지질학회지, Vol. 36, pp. 313-324.
2. 김윤규, 이대성, 이경호, 1987, 독도의 분별결정작용, 지질학회지, Vol. 23, pp. 67-82.
3. 박시현, 신용석, 배규진, 안명운, 우상백, 2007, 한계변형률 개념을 활용한 터널 역해석 기법 연구, 한국터널공학회 학술발표회, pp. 47-57.
4. 송영석, 채병곤, 조용찬, 이춘오, 2007, 독도 동도지역의 토질특성 및 산사태가능성 조사, Vol. 17, pp. 657-663.
5. 한국지질자원연구원, 2006, 독도 균열발생에 따른 지반안정성 조사 연구.
6. 한국지질자원연구원, 2007, 해저지반 조사 및 계측기술개발
7. Sohn, Y.K. and Park, K.H., 1994, Gology and evolution of Tok Island, Korea. J. of Geol. Soc. Korea, Vol. 30, pp. 242-261.
8. Yoon, S., 1992, Geology of Tokto, Korea. Island Res. Soc. of Korea, Vol. 7, pp. 4-81.

박 찬



1988년 한양대학교 공과대학 자원공학과
공학사
2000년 수원대학교 공과대학 토목공학과
공학석사
2006년 충남대학교 공과대학 토목공학과
공학박사
Tel: 042-868-3245
E-mail: chan@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부
선임연구원

천 대 성



1997년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1999년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2006년 서울대학교 대학원 지구환경시
스템공학부 공학박사
Tel: 042-868-3248
E-mail: cds@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구
부 선임연구원

정 용 복



1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
2000년 서울대학교 대학원 지구환경시스템
공학부 공학박사
Tel: 042-868-3097
E-mail: ybjung@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부
선임연구원

송 원 경



1982년 서울대학교 공과대학 자원공학
과 공학사
1986년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1966년 프랑스 에콜데민 지질공학과 공
학박사
Tel: 042-868-3247
E-mail: songwk@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 책임연구원

선 우 촌



1978년 서울대학교 공과대학 자원공학
과 공학사
1984년 서울대학교 대학원 자원공학과
공학석사
1985년 Paris VI 대학(France) DEA
1988년 Paris VI 대학 지구구조학과
(France) 공학박사
Tel: 042-868-3235
E-mail: sunwoo@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부
책임연구원

김 복 철



1983 연세대학교 지질학과 이학사
1985 연세대학교 본대학원 지질학과 이
학석사
1997 연세대학교 본대학원 지질학과 이
학박사
Tel: 042-868-3033
E-mail: kbc@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지질기반정보
연구부장