

독도 동도지역의 토질특성 및 산사태가능성 조사

송영석* · 채병곤 · 조용찬 · 이춘오

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀

Investigation of Soil Characteristics and Landslides Probability in East Island of Dok-Do

Young-Suk Song*, Byung-Gon Chae, Yong-Chan Cho, and Choon-Oh Lee

Geological & Environmental Hazards Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

본 연구에서는 독도 동도지역의 토질에 대한 공학적 특성을 조사하고, 산사태발생 가능성을 조사하였다. 이를 위하여 먼저 독도의 동도지역에 대한 토층분포 및 심도를 조사하고, 토질특성을 조사하기 위하여 시료를 채취하였다. 현장조사 결과 동도지역의 토층은 일부구간에 부분적으로 분포해 있으며, 토층의 심도는 1~50 cm로 존재하고 있음을 알 수 있다. 토층의 심도는 대부분 구간에서 10 cm 내외로 존재하고 있다. 토질은 모암의 오랜 풍화로 인하여 생성된 풍화잔류토층으로서 썩은 나무뿌리 혹은 나뭇잎과 같은 유기물 성분이 매우 많이 함유되어 있음을 알 수 있다. 토질의 함수비는 평균 23.2%, 액성한계는 평균 42.2%이며, 비소성(non-plastic)인 것으로 나타났다. 그리고 대부분 입도분포가 불량한 모래로 분류할 수 있으며, 일부 롬(loam)이 함유되어 있음을 알 수 있다. 한편, 대상지역에 대한 토층의 발달양상을 파악하여 독도 동도지역의 산사태 발생가능성을 조사하였다. 대부분의 구간에서 토층의 심도가 매우 얇고 토층의 분포지역이 넓지 않은 것으로 나타났다. 따라서 산사태가 발생할 수 있는 조건을 만족하지 못하므로 산사태 발생가능성은 매우 낮은 것으로 예측할 수 있다.

주요어 : 독도, 동도지역, 토층분포, 토질특성, 산사태발생가능성

In this study, the soil characteristics and the landslide probability are investigated in East Island of Dok-do. The distribution and depth of soil layer were investigated and the soil samples were taken from the soil layer in East Island. As the results of field investigation, the soil layer was partly distributed in specific location and the soil depth was ranged from 1cm to 50cm. Also, the soil depth was mainly ranged about 10cm in the large part of soil layer. The soils were classed as the weathered residual soils and involved many organic contents such as rotten roots and leaves. The average of water contents is 23.2%, and the average of liquid limits is 42.2%. Also, the soils is non-plastic condition. Also, the soils were mainly classed as the poor graded sand including loam contents. Meanwhile, the landslide probability was investigated through a survey of the soil layer distribution in East Island. The soil depth was very shallow in the large part of the soil layer, and the distribution area of soil layer was small. Therefore, it may predict that the landslide probability is very low due to the dissatisfaction of landslide occurrence condition.

Key words : Dok-do, East island, Soil layer distribution, Soil characteristics, Landslide probability

서 론

독도는 울릉도에서 남동쪽으로 92 km 떨어진 우리나라 최동단의 섬으로서 정확한 위치는 동경 130°52'2",

북위 37°14'18"이며, 행정구역상으로는 경상북도 울릉군 울릉읍 독도리 산1~산37번지이다. 독도는 동해에 존재하는 3개의 큰 분지중 하나인 울릉분지의 북쪽 경계부분에 위치하고 있으며 해수면 위로 약 100 m 정도 솟

*Corresponding author: yssong@kigam.re.kr

아있는 동도와 서도의 작은 화산섬으로 이루어져 있다. 독도는 전기 및 후기 플라이오세에 걸쳐 여러 차례의 화산활동에 의해 형성되었으며 주로 알칼리 현무암질의 본원 마그마로부터 분화된 조면암(trachyte) 및 조면안산암(trachyandesite)으로 이루어져 있다. 현재 해수면 위에 존재하는 독도는 화산의 서쪽 화구륜(crater rim)에 해당하는 것이며, 독도를 생성시킨 화산의 화도(volcanic conduit)는 독도로부터 북동쪽으로 수백 m 떨어진 곳에 위치한다고 보고되었다(Sohn & Park, 1994, Sohn, 1995). 그리고 독도의 하부는 수심 약 2000 m 이상인 해저면에서부터 원형의 매우 큰 화산체를 이루고 있는 것으로 밝혀져 해수면 위에 있는 독도는 하부의 화산체 정상부분 중 극히 일부가 해수면위에 노출된 것으로 예상하고 있다(Han et al., 1998). 그러나, 위와 같이 독도에 대한 연구는 해수면 상에 노출된 부분에 대한 암석학적 연구, 독도 및 그 주변지역의 해수면 아래 화산체에 대한 연구만이 수행되었을 뿐이며, 독도 내에 존재하는 토질 및 암석의 공학적 특성과 산사태발생 가능성에 대한 연구는 수행되지 않고 있다.

자연사면에서 발생하는 산사태는 토층이나 풍화대 또는 붕적층(colluvium) 등의 미고결층 물질이 강우에 의하여 유실 및 붕괴되는 현상을 의미한다. 그런데 암석을 구성하는 물질은 암석의 생성과정이나 지질시대를 거치는 동안의 지질작용 등에 의하여 서로 다른 특성을 가지게 되므로 암석의 종류에 따라 산사태를 발생시키는 토층과 풍화대, 또는 붕적층의 붕괴특성이 서로 달라지게 된다. 즉, 강우, 지형, 산질 등 산사태 발생조건이 동일한 지역이더라도 암석을 구성하는 지질조건이 다를 경우 산사태 특성도 다르게 나타나게 된다.

독도의 동도지역은 주요시설물이 분포하고 있으며, 독도 경비대 및 등대 관리요원이 상주하는 곳이므로, 산사태가 발생할 경우 시설과 인명의 심각한 피해를 발생시킬 위험성이 상존하는 곳이다. 그러므로 독도 동도지역의 자연사면에 대한 산사태 평가는 동도 자체의 안정성과 보존을 위해서도 필요하지만, 동도에 설치된 시설물과 인명의 안전을 위해서도 필수적으로 수행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 독도의 동도지역에 토층분포와 토질의 공학적 특성을 조사하고, 산사태발생 가능성을 조사하고자 한다. 이를 위하여 먼저 현장조사를 통한 독도의 동도지역에 대한 토층분포 및 심도를 조사하고, 지질조건을 고려하여 시료채취를 실시한다. 그리고 채취된 시료에 대하여 함수비시험, 비중시험, 액소성한계시험, 입도분석시험 등을 실시하여 독도 동도지역 토질의 물

리적 특성을 조사 및 분석한다. 암반 상부에 존재하는 토층은 산사태를 일으키는 물질이므로, 대상지역에 대한 토층의 발달양상을 파악하는 것은 산사태 발생가능성을 평가하는데 매우 중요한 요소로 작용한다. 그러므로 이들 자료를 토대로 독도 동도지역의 산사태 발생가능성을 파악하고자 한다.

현장조사 및 시료채취

Fig. 1은 독도의 전경을 촬영한 것으로 좌측에 있는 섬이 서도이고, 우측에 있는 것이 동도이다. 본 연구에서는 동도내 존재하는 토층의 공학적 특성과 산사태발생 가능성을 조사하기 위하여 현장조사 및 시료채취를 수행하였다. 현장조사를 통하여 독도의 동도지역내 토층

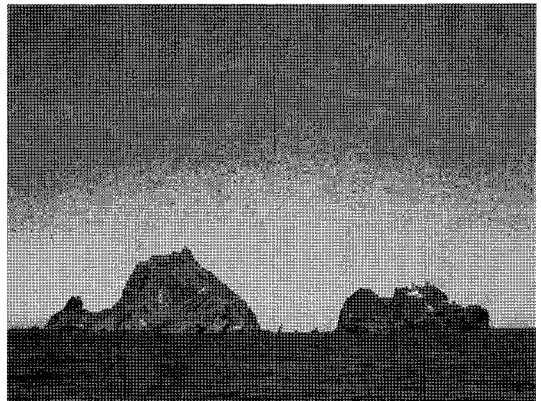


Fig. 1. A general view of Dok-do.

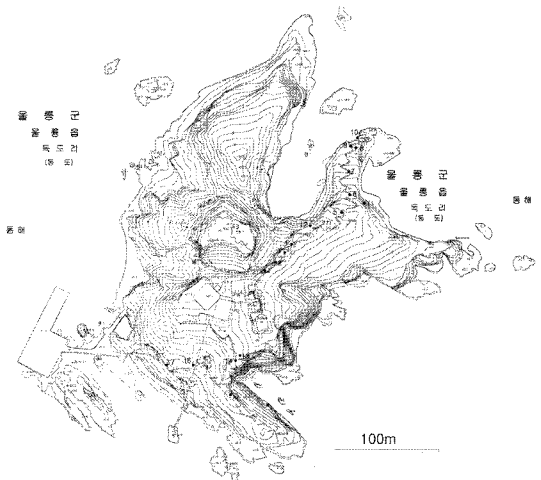


Fig. 2. Location of field investigation and soil sample.

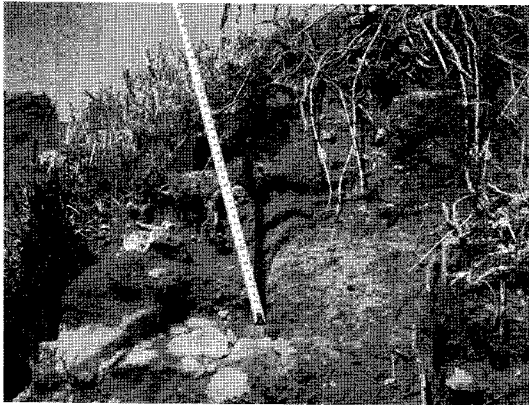


Fig. 3. Weathered residual soils on trachyte rock (Location of No. 3 referred from Fig. 2).

의 분포 및 토층심도를 조사하였으며, 토질의 공학적 특성을 조사하기 위하여 현장에서 직접 시료를 채취하였다. Fig. 2는 동도의 현장조사 및 시료채취가 수행된 17개소의 위치를 나타낸 것으로 도보가 가능한 지역을 대상으로 수행되었다. 토질시료의 채취는 대상지역에 대한 지질조건을 고려하여 총 6개소에서 수행되었다. 즉, 조면암 및 조면안산암 구간에 3개의 토질시료를 채취하였으며, 스크리아성 라필리용회암 및 라필리용회암 구간에서도 3개의 토질시료를 채취하였다. 현장조건상 불교란 시료의 채취가 불가능하므로 교란시료를 채취하였다. 교란시료는 비닐팩을 이용하여 현장조건이 최대한 유지되도록 밀봉한 상태로 운반하였다. 대상현장에서 채취된 토층에는 많은 식물뿌리와 압편이 존재하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 채취된 교란시료를 이용하여 토질의 함수비, 비중, 입도, 액성한계 및 소성한계 등의 물리적 특성을 조사하였다. Fig. 3은 No. 3위치에서의 토층을 나타낸 것으로 조면암 상부에 위치한 풍화잔류토이며, 식물이 많이 자생하고 있음을 알 수 있다. 다른 위치에서의 토층도 모두 풍화잔류토로서, 일부 토층에서는 많은 식물뿌리와 압편이 존재하고 있음을 알 수 있다.

토층분포 및 심도

동도지역의 토층에 대한 분포 및 심도를 조사하기 위하여 토층이 존재하는 위치에 일정간격으로 토층의 심도를 측정하였다. 토층은 전체적으로 분포하는 것이 아니라 일부구간에 부분적으로 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 토층은 모암의 오랜 풍화로 인하여 생성된 풍화잔류토로 판단되며, 모암의 특성을 간직하고 있을 것으로 예상된다. 특히, Fig. 4는 등대와 경비로 사이에 발달한 토층을 나타낸 것으로, 대상구간에 토층이 많이 분포하고 있으며, 토층심도는 대부분 얇게 분포되어 있음을 알 수 있다.

Table 1은 구간별 토층심도를 나타낸 것으로 토층의 심도는 1~50 cm로 존재하고 있으며, 대부분 구간에서는 10 cm 내외로 존재하는 것으로 나타났다. Fig. 5는 토층심도가 가장 깊게 존재하는 No. 15 위치의 토층을 나타낸 것으로, 층상라필리용회암과 조면안산암의 경계부인 것으로 조사되었다. 이 위치에서의 토층심도는 50 cm 정도로 토층이 두껍게 발달하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 토층분포 및 심도를 종합하여 동도지역의 토

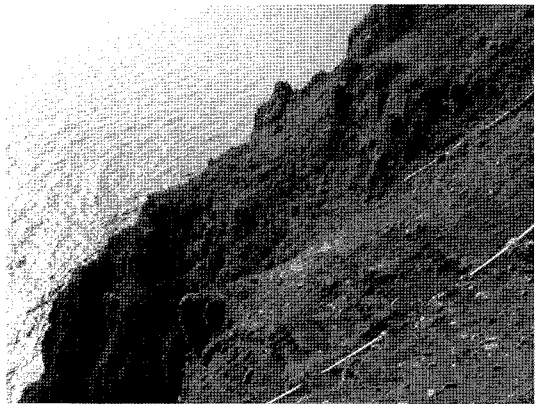


Fig. 4. Soil layer existed between lighthouse and guard road.

Table 1. Soil depth in each location.

location	remark	rock	soil depth(cm)
No. 1		trachyte	12.5
No. 3	ridge	trachyte	10
No. 4		Scoriaceous lafilli tuff	10
No. 5		trachyandesite	7
No. 6	slope	trachyandesite	30
No. 8		Stratified lafilli tuff	18
No. 14	slope	trachyandesite	12
No. 15	ridge	Interface between stratified lafilli tuff and trachyandesite	50

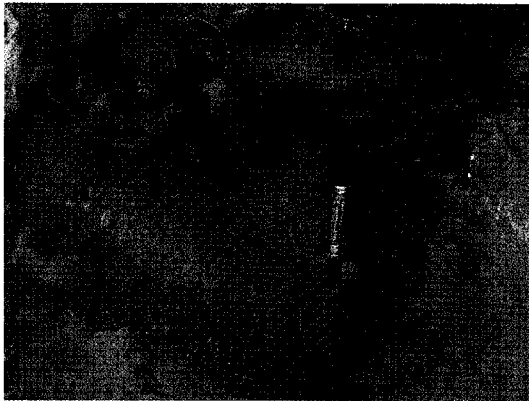


Fig. 5. Location of No. 15 with the maximum soil depth.

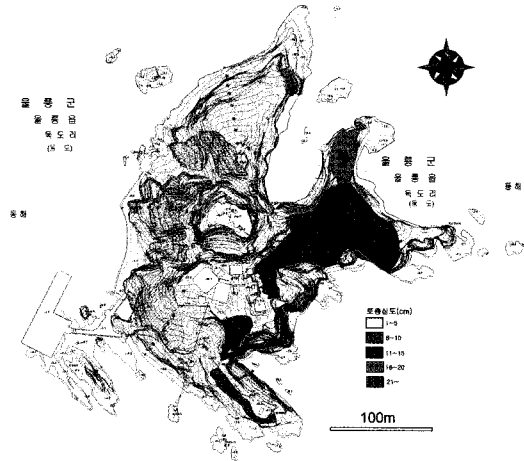


Fig. 6. Distribution of soil depth in east island.

층심도를 깊이별로 구분하여 나타낸 것이다. 그림에서 토층심도는 5 cm 깊이별로 구분하여 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 토층심도는 1~5 cm인 구간 및 11~15 cm인 구간이 대부분인 것으로 나타났다. 그리고

No. 15 및 No. 6위치에서는 부분적으로 토층심도가 30 cm 이상인 것으로 나타났다.

토층의 공학적 특성

비중, 함수비 및 액소성한계

동도의 토질에 대한 물리적 특성을 조사하기 위하여 현장에서 시료를 채취하고 각종 토질시험을 실시하였다. 토질 시료채취는 대상지역에 대한 지질조건을 고려하여 총 6개소에서 수행되었다. 즉, 조면암 및 조면안산암 구간에 3개소(DDS-1, 3, 5), 스크리아성 라필리용회암 및 라필리용회암 구간에서 3개소(DDS-2, 4, 6)에서 각각 시료채취가 이루어졌다. 동도지역에 존재하는 토질은 토질내 썩은 나무뿌리 혹은 나뭇잎과 같은 유기물 성분이 매우 많이 존재하고 있는 것으로 조사되었다. Table 2는 대상지역에서 채취된 토질시료의 비중, 함수비 및 액소성한계 시험결과를 나타낸 것이다. 표에서 보는 바와 같이 비중은 DDS-5의 시료에 대해서만 측정 가능하였으며, 이때 비중은 2.58인 것으로 나타났다. 그리고 함수비는 17.38~35.06%의 범위에 존재하며, 평균 23.2%인 것으로 나타났다. 한편, 액성한계는 40.73~46.61% 범위에 있으며, 평균 42.2%인 것으로 나타났으나, 소성한계는 조립질의 성분이 많아 비소성(non-plastic)인 것으로 나타났다. 따라서 액성한계와 소성한계의 차이로 정의되는 소성지수(PI)는 산정이 불가능한 것으로 나타났다. 함수비 시험결과를 살펴보면 조면암 및 조면안산암 구간에서 채취된 토질(DDS-1, 3, 5)에서 함수비가 약간 작은 것으로 나타났다. 그러나 액소성한계는 지질조건에 따라 차이가 없는 것으로 나타났다.

입도분석

토층에 대한 입도분석 특성을 조사하기 위하여 체분석시험을 실시하였다. Fig. 7은 체분석시험을 통한 입도 분포곡선을 지질조건별로 나타낸 것이다. 즉, Fig. 7(a)

Table 2. Specific gravity, moisture content, liquid and plastic limits.

Sample No.	Geology	Specific Gravity	Moisture Content (%)	Atterberg Limits		
				LL(%)	PL(%)	PI
DDS-1	Trachyandesite	-	18.06	43.42	NP	-
DDS-2	Scoriaceous lapilli tuff	-	19.08	42.20	NP	-
DDS-3	Trachyandesite	-	17.38	42.36	NP	-
DDS-4	Lapilli tuff	-	30.99	41.71	NP	-
DDS-5	Trachyandesite	2.58	18.57	40.73	NP	-
DDS-6	Lapilli tuff	-	35.06	46.61	NP	-

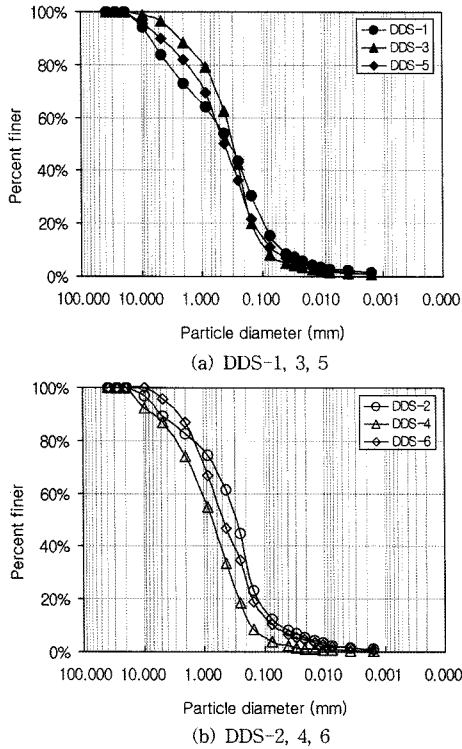


Fig. 7. Grain size distribution curve.

는 조면암 및 조면안산암 구간에서 채취된 토질(DDS-1, 3, 5)의 입도분포곡선이고, Fig. 7(b)는 스크리아성 라필리용회암 및 라필리용회암 구간에서 채취된 토질(DDS-2, 4, 6)의 입도분포곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 토질내 모래는 68~88% 정도로 존재하므로, 대상지역의 토질은 모래질 흙임을 알 수 있다.

이와 같은 입도분포곡선을 이용하여 각각에 대한 균등계수와 곡률계수를 계산하였다. 일반적으로 균등계수가 모래에서는 6이상, 자갈에서는 4이상이고, 곡률계수가 1~3이면 입도분포가 양호한 흙이라고 정의할 수 있다. Fig. 8은 균등계수와 곡률계수를 이용한 입도분포특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 DDS-2 및 DDS-5 시료의 경우 입도분포가 양호(well-graded)한 것으로 나타났으나, 나머지 시료에서는 입도분포가 불량(poorly-graded)한 것으로 나타났다. 특히, 유효입경은 0.046~1.05 mm의 범위에 존재하며, 평균 0.084 mm인 것으로 나타났다.

한편, 대상지역의 토질은 소성한계시험결과 모두 비소성(non-plastic)의 흙이므로 일반적인 통일분류법(U.S. Army waterways experiment station, 1967) 대신에 흙

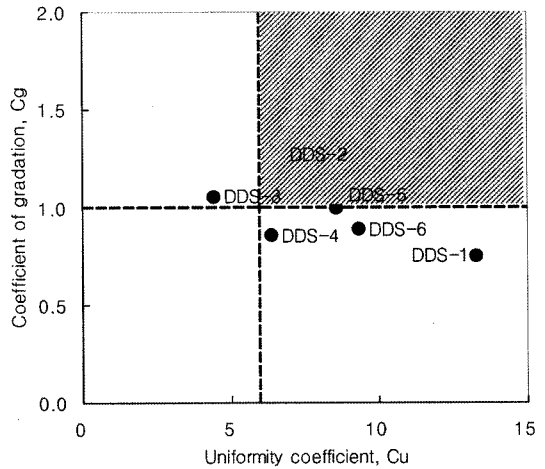


Fig. 8. Grain size distribution characteristics.

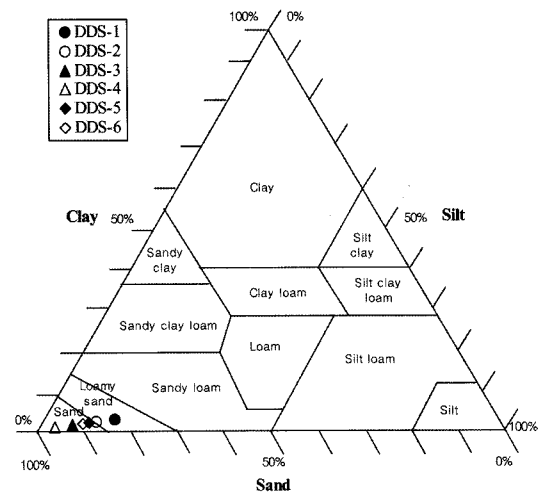


Fig. 9. U.S.D.A. textural classification chart.

의 입도조성에 의한 분류법인 미국 농무성(U.S.D.A.)에서 제안한 삼각도표 분류법(Soil survey staff, 1951)을 사용하여 흙을 분류하고자 한다. Fig. 9는 시험결과를 삼각도표 분류법에 적용하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 자갈성분을 제외한 수정된 모래, 실트 및 점토성분을 이용하면 DDS-1, 2 시료는 톱질 모래(loamy sand)이고, 나머지는 모래로 분류됨을 알 수 있다. 특히, DDS-1 시료의 경우 자갈함유량이 15%이상이므로 자갈섞인 톱질 모래로 분류할 수 있다. 따라서 입도분포곡선과 삼각도표를 이용한 분류법을 적용하여 동도 토질의 입도분포를 정의하면 DDS-1의 흙은 입도분포가 불량한 자갈섞인 톱질 모래, DDS-2의 흙은 입도

Table 3. Result of grain size analysis.

Sample No.	Grain size analysis									Result	U.S.D.A. classification
	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	C _u	C _g		
DDS-1	16.16	68.55	12.90	2.39	0.046	0.145	0.610	13.3	0.7	Poor	Poorly-graded loamy sand with gravel
DDS-2	10.91	76.83	10.35	1.91	0.060	0.175	0.400	6.7	1.3	Well	Well-graded Loamy sand
DDS-3	3.41	88.51	6.87	1.21	0.090	0.195	0.400	4.4	1.1	Poor	Poorly-graded sand
DDS-4	13.14	83.15	3.24	0.47	0.165	0.385	1.050	6.4	0.9	Poor	Poorly-graded sand
DDS-5	9.89	79.09	9.30	1.72	0.070	0.200	0.600	8.6	1.0	Well	Well-graded sand
DDS-6	4.12	85.62	8.69	1.57	0.073	0.210	0.680	9.3	0.9	Poor	Poorly graded sand

분포가 양호한 림질 모래, DDS-3, 4, 6의 높은 입도분포가 불량한 모래, 그리고 DDS-5의 높은 입도분포가 양호한 모래로 구분할 수 있다. 이상의 입도분포특성 결과를 정리하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다.

산사태발생 가능성 조사

토층분포조사 및 토질시험결과를 토대로 동도지역의 자연사면에 대한 산사태발생가능성을 평가하였다. Fig. 10은 동도 동측 초소하부의 사면을 나타낸 것으로 토층이 매우 얇은 것을 알 수 있다. 일반적으로 산사태가 발생하기 위해서는 사태물질인 토층이 두껍게 발달하여야 한다. 그러나 토층분포조사에서 나타난 바와 같이 동도지역 토층의 평균 두께는 10~15 cm로 상당히 얇은 토층이 분포하고 있다. 그러므로 지표로부터 암반의 심도가 매우 얇고 사태물질이 될 수 있는 토층이 매우 빈약하므로 산사태가 발생할 수 있는 조건이 형성되어 있지 않아 산사태 발생가능성은 상당히 낮은 것으로 예측할 수 있다.

동도 북측(대공포~구선착장 접근계단 인근)의 경우 15 cm 이상의 상대적으로 두꺼운 층후를 가진 토층이 일부 발달하지만 그 분포가 넓지 않은 것으로 조사되었다. 또한, 토층이 분포한 위치에는 구선착장으로 내려가는 콘크리트 계단이 설치되어 있는데, 이 콘크리트 구조물이 토층의 붕괴를 저지하는 일종의 사면보강공법 역할을 하므로 산사태 발생가능성이 극히 낮은 것으로 판단된다. Fig. 11은 동도 북측에 위치한 구선착장 인근사면에 설치되어 있는 콘크리트 계단을 나타낸 것이다.



Fig. 10. Slope condition in eastern part of east island.



Fig. 11. Slope located at adjacent non-used dock in northern part of east island.

결 론

본 연구에서는 독도의 동도지역에 토층분포와 토질의 공학적 특성을 조사하고, 산사태발생 가능성을 조사하였

다. 이를 위하여 먼저 독도의 동도지역에 대한 토층분포 및 심도를 조사하고, 토질특성을 조사하기 위하여 시료를 채취하였다. 채취된 시료에 대하여 각종 토질시험을 실시하여 독도 동도지역 토질의 물리적 특성을 조사 및 분석하였다. 그리고 대상지역에 대한 토층의 발달양상을 파악하여 독도 동도지역의 산사태 발생가능성을 파악하였다. 이상의 결과들을 정리하면 다음과 같다.

1. 동도지역의 토층은 일부구간에 부분적으로 분포해 있으며, 토층의 심도는 1~50 cm로 존재하고 있음을 알 수 있다. 토층의 심도는 대부분 구간에서 10 cm 내외로 존재하여, 토질은 모암의 오랜 풍화로 인하여 생성된 풍화잔류토층인 것으로 판단된다.

2. 동도지역의 토질은 썩은 나무뿌리 혹은 나뭇잎과 같은 유기물 성분이 매우 많이 함유되어 있으며, 함수비는 평균 23.2%인 것으로 조사되었다. 액성한계는 평균 42.2%이고, 비소성(non-plastic)인 것으로 나타났다.

3. 동도지역 토질의 입도분포특성은 대부분 입도분포가 불량한 모래로 분류할 수 있으며, 일부 롬(loam)이 함유되어 있음을 알 수 있다.

4. 대부분의 구간에서 토층의 심도가 매우 얇고 토층의 분포지역이 넓지 않아 산사태가 발생할 수 있는 조건을 만족하지 못하므로 산사태 발생가능성은 매우 낮은 것으로 예측할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 해양수산부 수탁사업인 “독도 균열발생에 따른 지반안정성 조사연구” 와 “독도 서도 지반안정성 정밀조사 및 지반안정성 평가자료의 통합 DB구축 용역” 과제 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Han, H.C., Lee, C.W., Kim, S.P., Kim, J.H., Yoo, D.G., Kim, K.O. and Kang, M.H. 1998. Morphometric characteristics of seamounts around the Dok island, Int. J. Korean Soc. Oceanogr., Spring S., 89-90
 Sohn, Y.K. 1995. Geology of Tok island, Korea: eruptive and depositional processes of a shoaling to emergent island volcano. Bull. Volcanol., 56, 660-674.
 Sohn, Y.K. and Park, K.H. 1994. Geology and evolution of Tok Island, Korea. Jour. of Geol. Soc. Korea, 30, 242-261.
 Soil Survey Staff. 1951. Soil survey manual. U.S.D.A.

Handbook No.18. Supt. of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
 U.S. Army Waterways Experiment Station. 1967. The Unified Soil Classification System. Tech. Mem. No.3-357, Office of the Chief of Engineers, U.S. Army. (reprinted)

2007년 11월 19일 원고접수, 2007년 12월 14일 게재승인

송영석

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀

305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3035

Fax: 042-868-3415

E-mail: yssong@kigam.re.kr

채병곤

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀

305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3052

Fax: 042-868-3415

E-mail: bgchae@kigam.re.kr

조용찬

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀

305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3059

Fax: 042-868-3415

E-mail: choych@kigam.re.kr

이춘오

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 산사태재해연구팀

305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92

Tel: 042-868-3131

Fax: 042-868-3415

E-mail: lco@kigam.re.kr