

지질에 따른 토층사면의 토질공학적 특성 -부산 황령산지역-

김경수* · 이문세 · 조용찬 · 채병곤 · 이춘오
한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

Engineering Characteristics of Soil Slopes Dependent on Geology - Hwangryeong Mt. District, Busan -

*Kyeong-Su Kim · Moon-Se Lee · Yong-Chan Cho · Byung-Gon Chae
Choon-Oh Lee
Geological & Environmental Hazards Div., Korea Institute
of Geoscience & Mineral Resources

대부분이 산악지형으로 구성된 부산지역은 도시의 발달로 인해 산지의 개발이 점차 늘어가는 추세에 있으며, 연구 지역인 황령산일대도 개발이 많이 진행되고 있는 지역 중의 하나이다. 도시지역에서 많은 인명과 재산피해를 초래하는 산사태와 절취사면의 붕괴는 암반특성 못지않게 토질특성에 영향을 많이 받는다. 따라서 이 연구에서는 1999년 대규모 사면붕괴가 발생되었던 부산 황령산지역을 대상으로 지질에 따른 토질공학적 특성을 분석하였다.

연구지역의 지질은 백악기 퇴적암과 화산암이 분포하고 있다. 사면의 토층은 점토와 실트가 섞인 모래로 분류되며, 점착력과 내부마찰각은 각각 0.001~0.066kg/cm² 및 32~39°의 범위로서 전단강도가 대체로 높은 지반으로 평가되었다. 투수계수는 2.34×10^{-4} ~ 2.58×10^{-2} cm/sec로서 보통정도의 투수성을 가지며, 지질별로는 퇴적암지역의 투수계수가 화산암지역에 비해 전반적으로 큰 것으로 나타났다.

주요어 : 황령산, 지질, 토층사면, 전단강도, 투수계수

There is an increasing trend of construction works in mountainous areas by the urban development in Busan that is mainly composed of mountains. The study area, Hwangryeong Mt., is one of developing sites in the urban area, too. Landslides and cut-slope failures that occur large damages of human beings and the properties are influenced by soil characteristics as well as rock properties. This study analyzed geotechnical characteristics of soil dependent on geology at Hwangryeong Mt. where a large slope failure had been occurred in 1999.

Geology of the study area is composed of the Cretaceous sedimentary rocks and volcanic rocks. Soil layer of the slopes can be grouped into sand mixed with clay and silt. The cohesion is plotted between 0.001 and 0.066kg/cm². The friction angles are distributed in the ranges between 32° and 39°, meaning soil bearing a high friction angle. The permeability coefficients are plotted between 2.34×10^{-4} cm/sec and 2.58×10^{-2} cm/sec, indicating fine sand and loose silt with a medium grade of permeability. The sedimentary rocks area shows relatively higher permeability coefficients than those volcanic rocks area.

Key words : Hwangryeong Mountain, Geology, Soil slopes, Shear strength, Permeability

* Corresponding author : kks@kigam.re.kr

서 론

대부분이 산악지형으로 구성된 부산지역은 도시의 발달로 인해 산지의 개발이 점차 늘어가는 추세에 있으며, 연구지역인 황령산일대도 산지개발이 많이 진행되고 있는 지역 중의 하나이다. 도시지역에서 산사태 및 사면붕괴가 발생할 경우 많은 인명과 재산피해를 야기하게 된다. 황령산의 경우에도 절개사면들이 개설되고 산중턱까지 사람들이 살고 있기 때문에 산사태나 사면붕괴가 발생하게 되면 인명과 재산피해가 크게 초래될 수 있는 지역이다. 황령산의 서남부지역에 위치하고 있는 대규모 절취사면은 1999년 9월 10일 붕괴로 인하여 진입도로가 약 130m 정도 붕괴되었으며, 사망 1명과 부상자 3명이 발생하였다. 이와 같이 내적으로 취약한 지질구조를 가지고 있는 사면에 강우 및 절개 등의 외적요인이 가해질 경우 산사태 및 사면붕괴가 발생되기 쉽다. 일반적으로 산사태의 발생요인은 내적요인과 외적요인의 두 경우로 나눌 수 있으며, 이들 두 요인이 함께 작용되었을 때 산사태가 발생하게 된다(홍원표와 송영석, 2002).

황령산지역에 대한 연구는 지질학적, 지질공학적인 및 지반공학적인 연구가 다양하게 진행되어 왔다. 지질학적 연구로는 황령산 서측에 분포하는 구과상 반려암에 관한 연구(Kim et al., 1979; 윤성효 외, 1994)와 부산지역에 분포하는 백악기 화산암류에 대한 연구(김진섭과 윤성효, 1993; Paik et al., 1996) 등이 있으며, 지질공학적인 연구로는 1999년 9월 10일 발생한 황령산 절취사면 붕괴사고의 원인분석을 위한 지질공학적인 연구(최정찬과 백인성, 2002) 등이 있다. 그리고 지반공학적인 연구로는 역지말뚝을 이용하여 황령산내 절취사면을 보강 설계한 사례연구(Hong & Park, 2000) 등이 있다.

앞에서 언급한 대규모 절취사면의 붕괴를 제외하고도 황령산지역의 자연사면에서는 과거 소규모 산사태가 몇 개소에서 발생되었는데, 대부분 기반암 상부의 토층이 유실되는 유동성산사태(flow type landslide)로 분류할 수 있다. 이처럼 우리나라에서의 산사태 및 사면붕괴들은 대부분 기반암 상부의 상부토층에서 발생하고 있으므로, 이들 토층의 특성을 파악하는 것은 사면의 안정성과 관련하여 매우 중요한 사항이다. 이러한 토층은 다양한 지질조건과 풍화정도에 따라 심도, 구성매질 및 토질공학적 특성 등이 다르게 나타날 것이다. 따라서 이 연구에서는 황령산지역의 토층을 대상으로 지질조건에 따른 토질공학적 특성을 분석하고자 한다. 이를 위하여 지질분포를 고려한 토층시료

를 채취하여 시험실에서 각종 토질시험을 실시하였다.

지형 및 지질

연구지역인 황령산일대는 백악기 화산암류가 주로 분포하는 지역으로 해발고도는 최대 428m(황령산)를 보이나, 사면의 경사가 가파르고 해안과 가깝게 붙어 있어 상대적으로 높은 산세를 보인다. 서쪽으로는 북북동방향의 동래단층곡, 동북쪽으로는 북북서방향의 수영강곡, 그리고 남동쪽으로는 북동방향의 해안산 사이에 규제되어 마치 육각형의 산체모양을 보이고 있으며, 이의 주변으로는 시가지가 형성되어 있다. 또한 산체는 전체적으로 중앙부에서 남동쪽으로 열린 말발굽형태의 산세를 보이며, 북서부에서는 남북내지는 북북동방향의 산계, 중앙부에서는 황령산과 금련산(415m)을 잇는 동북동방향의 산계, 그리고 남동부에서는 북서방향의 산계로서 크게 보아 서부의 황령산체와 동부의 금련산체로 양분된다. 황령산체의 서측은 동래단층에 가까이 있어 급한 사면경사를 보인다. 그리고 황령산체는 화학적 풍화에 약한 심성암류인 화강암이 분포하는 동단부와 퇴적암층이 분포하는 남동부에 비해 화산암이 주로 분포하는 중서부의 지형이 험준한 편이다.

부산지역은 한반도 남동부 경상분지의 밀양지괴내 남동단부에 해당하며, 중생대 백악기의 비해성 퇴적층인 경상누층군(장기홍, 1975)의 퇴적암과 이를 관입 분출한 유천층군의 화산암류인 안산암질암, 백악기 최후기의 심성암인 불국사 화강암류 및 맥암류, 그리고 제 4기의 퇴적층 등이 분포한다. 따라서 황령산지역도 최하부 호성퇴적암의 퇴적, 안산암질 화산각력암의 관입과 분출, 안산암질암의 관입, 산성 화산암류의 관입과 분출, 심성암인 반려암과 화강암류의 관입이라는 층서를 보인다(장태우 외, 1983; 김진섭과 윤성효, 1993; 윤성효 외, 1994; Paik et al., 1996).

연구지역은 Fig. 1과 같이 크게 네 지역으로 구분되는데, 그림에서 보는 바와 같이 호성퇴적암의 발달이 우세한 남부지역, 화산암이 우세한 북부와 서부지역, 반려암이 분포하는 서북부지역, 그리고 화강암이 우세한 동단부지역으로 구분된다.

연구지역의 지질구조 요소는 퇴적암의 층리를 제외하고 대부분 취성변형작용의 산물인 단열들이며, 단층, 절리 및 암맥들로 구성되어 있다. 층리는 빈번히 층리면과 평행하게 상당한 틈새(aperture)를 가지면서

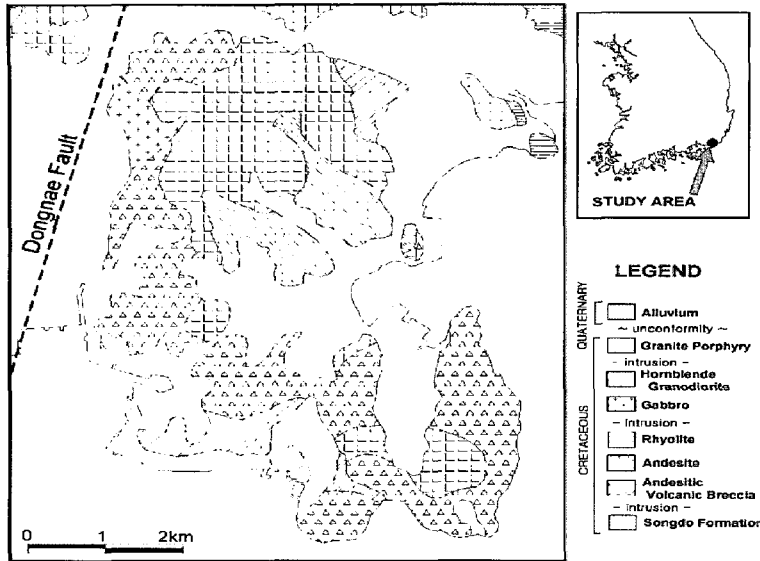


Fig. 1. Geological map of study area(after Chang et al., 1983; Kim and Yoon, 1993).

절리의 양상으로 산출된다. 절리는 대부분 70° 이상으로 고각이며 주 절리군의 주향은 N20~30°E, N10~20°W 및 N75~85°W의 방향을 갖는다. 층리는 전반적으로 N20~30°E/20°SE 내외의 일정한 방향성을 보인다. 그리고 안산암류 역시 대부분 70° 이상의 경사를 갖는 절리들이 분포하고 있다. 주 절리군의 주향은 N50~80°W가 가장 우세하며, 이차적 우세방향은 N20~40°E 방향이다. 일부 저각의 절리군들은 퇴적암 지역과는 달리 N70~80°W의 주향이다.

시료채취 및 시험

토층의 지질에 따른 물리적 및 공학적 특성을 파악하기 위하여 황령산지역의 전반에 걸쳐 총 83개소에서 토질시료를 채취하였다. 시료채취는 지형, 지질조건, 토층분포 등을 반영하였고 단위면적당의 밀도비를 고려함으로써 토층의 특성이 균등하게 평가될 수 있도록 하였다. 시료 채취위치는 Fig. 2에서 보는 바와 같다.

시료는 표토를 제거한 후 40~70cm 깊이의 토층을 대상으로 교란시료와 불교란시료로 구분하여 채취하였다. 불교란시료는 스테인레스로 제작한 직경 10cm, 높이 6cm 크기의 원통형 몰드(stainless ring sampler)를 이용하였다. 특히 투수시험용 불교란시료는 직경

10cm, 높이 13cm 크기의 원통형 몰드를 사용하였다. 그리고 교란시료는 비닐팩을 이용하여 채취하였으며, 모든 시료는 밀봉한 상태로 현장조건이 최대한 유지되도록 실험실로 운반하였다.

교란시료를 이용하여 비중, 함수비, 입도, 액성한계 및 소성한계 등의 물성시험을 실시하였으며, 불교란시료를 이용하여 간극비, 간극율, 포화도, 밀도, 투수 및 전단시험을 실시하였다. 시험방법은 KS 및 ASTM의 관련규정을 적용하였으며 전단시험과 투수시험은 각각 직접전단시험법과 변수위시험법에 의해 시험하였다.

이들 시험결과를 정리하면 Table 1과 같이 나타낼 수 있다. 표에서 보는 바와 같이 통일분류법에 의한 토질분류는 화산암지역의 경우 점토질모래 혹은 실트질 모래이고, 퇴적암지역의 경우는 주로 점토질모래로 분류되었으며, 비중은 화산암지역의 경우 2.61~2.78, 퇴적암지역의 경우 2.58~2.72로 나타났다. 자연함수비는 화산암지역의 경우 14.89~40.40%, 퇴적암지역의 경우 14.51~25.09% 범위이고, 간극비는 화산암지역의 경우 0.77~2.14, 퇴적암지역의 경우 0.77~1.30으로 나타났다. 그리고 투수계수는 화산암지역은 $2.34 \times 10^{-4} \sim 5.16 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$, 퇴적암지역의 경우 $1.90 \times 10^{-4} \sim 1.97 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 의 범위를 보였다.



* BS034 : topographic map No.

Fig. 2. Location map of collected samples and drainage basin in the study area.

지질조건에 따른 토질특성

흙은 암반이 물리적이거나 화학적 풍화작용(weathering), 또는 용해작용(solution)에 의해 미세한 조각들로 분리되어 이루어져 있다(김상규, 1999). 따라서 어떤 지역에 분포하는 흙의 성질은 그 지역에 분포하고 있는 암반과 밀접하게 연관되어 있을 것이고 암반의 분포현황을 파악하면 토층의 물리적 및 공학적 특성을 어느 정도 유추할 수 있을 것이다. 또한, 우리나라의 산사태 및 사면붕괴는 대부분 암반의 상부에 위치한 토층에서 발생하고 있으므로 토층의 특성을 파악하는 것은 사면의 안정성과 관련된 매우 중요한 사항이다. 연구지역의 지질은 화산암지역과 퇴적암지역으로 크게 구분할 수 있는데, 토질시험을 통하여 연구지역의 토질특성을 평가하고 이들과 지질조건과의 상관성을 분석하였다.

소성 및 입도

흙입자에 함유된 점토광물 등의 함유량은 X-ray 회절분석법 등으로 알 수 있으나 토질시험에 의하여 액

성한계와 소성지수를 소성도에 도시함으로써 흙의 종류를 개략적으로 판단할 수 있다.

Fig. 3은 연구지역에 대한 시험결과를 퇴적암 및 화산암지역으로 구분하여 소성도(Casagrande, 1948; Mitchell, 1976)에 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 총 83개 토층시료 중 6개 시료만이 활성점토인 몬모릴로나이트(montmorillonite) 영역에 위치하고, 그 외 대부분의 시료는 활성도가 낮은 일라이트(illites)와 비활성인 카올리나이트(kaolinite) 영역에 점사되는 것으로 나타났다. 따라서 대상지역의 토질은 비교적 안정적인 활성도를 지닌 것으로 해석된다.

그림에서 보는 바와 같이 화산암지역의 시료가 퇴적암지역의 시료에 비해 폭넓게 분포하고 있으며, 화산암지역의 일부시료는 활성이 큰 몬모릴로나이트 영역에 점사되는 것으로 나타났다. 화산암지역은 액성한계가 25~45%이고 소성지수는 9~20%이다. 그리고 퇴적암지역은 액성한계와 소성지수가 각각 25~37% 및 8~18%인 것으로 나타났다. 따라서 퇴적암에 비해 화산암지역의 토층이 다소 큰 소성을 지니므로써 강우 등에 의해 함수비가 증가하게 될 경우 유동성이 더 크게 변화될 것으로 판단된다.

Table 1. Physical and engineering characteristics of soils collected in the study area.

Sample No.	Moisture content (%)	Specific gravity	coefficient		USCS	Void ratio	Sat. degree (%)	Dry density (g/cm ³)	Permeability (cm/sec)	Friction angle (°)	Geology
			C_u	C_g							
034-002	20.24	2.68	19.2	1.5	SW-SC	1.08	50.51	1.29	1.91E-03	36	Volcanic
034-003	22.10	2.66	12.8	1.8	SW	0.78	75.70	1.50	5.89E-03	38	"
034-004	24.28	2.61	10.7	1.1	SW-SC	0.79	80.68	1.46	4.32E-03	38	"
034-005	25.01	2.63	11.0	1.5	SW-SC	0.77	85.58	1.49	5.08E-03	37	"
034-006	37.52	2.63	25.3	2.4	SW-SC	1.36	73.24	1.12	5.22E-03		"
034-007	33.19	2.64	28.8	1.4	SC	1.44	60.73	1.08	1.72E-03		"
034-008	33.29	2.66	11.3	1.2	SW-SC	1.22	72.56	1.20	2.58E-02	37	"
034-009	20.81	2.65	22.7	1.4	SW-SC	1.27	43.54	1.17	8.64E-03		"
034-010	37.86	2.65	10.0	1.1	SC	2.14	46.85	0.84	6.29E-03	35	"
034-011	18.46	2.69	45.0	1.3	SC	1.13	44.24	1.26	2.39E-04		"
034-012	30.50	2.66	12.0	1.3	SW-SC	1.36	59.69	1.13	9.44E-03	35	"
034-013	24.68	2.70	11.7	1.1	SW-SM	1.52	43.91	1.07	9.88E-03	38	"
034-014	22.78	2.68	18.5	1.6	SC	1.42	43.06	1.11	2.19E-03		"
034-015	29.23	2.66	37.5	1.5	SM	1.68	46.59	1.00	6.20E-04		"
034-016	24.97	2.61	10.4	1.3	SW-SC	0.93	70.10	1.35	1.95E-02		"
034-017	21.64	2.63	12.6	1.3	SW-SC	1.10	51.91	1.25	1.01E-02		"
034-018	26.38	2.63	18.1	1.2	SW-SC	1.08	64.52	1.27	5.77E-03		"
034-019	29.89	2.64	21.5	1.4	SW-SC	1.20	65.95	1.20	6.82E-03		"
034-020	23.26	2.66	8.7	1.1	SW-SC	1.39	44.60	1.11	5.16E-02		"
034-021	26.17	2.65	8.5	1.5	SW-SC	1.10	62.93	1.26	2.95E-02		"
034-022	26.78	2.65	21.4	2.4	SW-SC	1.06	66.77	1.28	2.50E-03		"
034-023	20.43	2.69	15.0	1.4	SW-SC	1.02	54.06	1.33	8.91E-03		"
034-024	29.48	2.66	20.1	1.9	SW-SC	1.13	69.51	1.25	4.00E-03		"
034-025	26.03	2.64	25.7	2.0	SC	1.42	48.31	1.09	1.27E-03		"
035-001	33.03	2.68	18.0	1.4	SC	1.54	64.87	1.05	3.15E-03	39	"
035-002	29.56	2.66	17.1	1.3	SC	1.21	31.97	1.20	1.63E-03	36	"
035-003	25.09	2.61	16.2	1.4	SC	2.05	53.81	0.86	2.07E-03	36	"
035-004	16.87	2.63	21.6	1.6	SC	0.87	49.23	1.42	4.74E-04	35	"
035-005	22.91	2.63	13.5	1.4	SM	1.22	53.03	1.18	1.66E-03	33	"
035-006	31.33	2.64	17.6	1.6	SC	1.56	44.33	1.03	1.09E-03	34	"
035-007	17.17	2.66	18.4	1.6	SC	1.03	43.54	1.31	8.76E-04	34	"
035-008	14.89	2.70	14.1	1.1	SW-SC	1.34	30.02	1.15	4.40E-03	39	"
035-009	20.81	2.65	13.6	1.4	SC	1.27	45.97	1.17	1.73E-03	35	"
035-010	17.01	2.65	20.3	2.1	SC	0.98	44.24	1.34	3.73E-04	33	"
035-011	18.46	2.69	21.4	1.6	SC	1.13	32.13	1.26	7.32E-04	32	"
035-012	13.68	2.66	17.4	1.4	SC	1.14	39.94	1.24	7.52E-04	36	"
035-013	16.55	2.62	10.0	0.9	SC	1.09	56.81	1.26	2.70E-03	36	"
035-014	30.34	2.66	33.3	1.5	SM	1.42	57.41	1.10	2.34E-04	36	"
035-015	21.26	2.65	15.9	1.2	SM	1.04	54.47	1.30	8.12E-04	33	"
044-001	21.00	2.67	9.7	1.6	SW	0.92	61.25	1.39	1.49E-02	39	"
044-002	28.16	2.69	11.4	1.7	SW-SC	1.16	65.54	1.25	6.90E-03	37	"
044-003	22.08	2.71	14.7	1.2	SW-SC	0.86	70.02	1.46	1.74E-03	37	"

continued.

Sample No.	Moisture content (%)	Specific gravity	coefficient		USCS	Void ratio	Sat. degree (%)	Dry density (g/cm ³)	Permeability (cm/sec)	Friction angle (°)	Geology
			C_u	C_g							
044-004	21.60	2.74	13.3	1.4	SW-SC	0.90	65.84	1.44	2.71E-03	36	Volcanic
044-005	23.36	2.66	26.4	2.2	SW-SC	0.90	69.50	1.40	1.03E-03	35	"
044-019	26.95	2.67	16.8	1.8	SW-SC	1.19	60.59	1.22	8.14E-03	36	"
044-020	26.31	2.67	28.8	2.5	SC	1.13	62.37	1.26	9.44E-04	36	"
044-021	27.01	2.62	23.5	2.1	SC	1.13	62.51	1.23	6.91E-04		"
044-022	27.16	2.78	27.5	1.6	SW-SC	1.18	64.19	1.28	2.36E-03		"
044-023	28.31	2.61	26.7	1.7	SC	1.13	65.37	1.22	5.37E-04		"
044-024	27.70	2.64	12.7	1.7	SW-SC	1.11	65.78	1.25	9.64E-03	36	"
044-025	40.40	2.73	17.5	1.2	SW-SC	1.56	71.23	1.07	2.36E-02		"
044-026	37.84	2.62	29.0	1.7	SW-SC	1.10	76.75	1.26	1.46E-03		"
044-027	26.52	2.67	16.0	1.1	SW-SC	1.58	44.91	1.04	7.48E-03		"
044-028	28.05	2.70	20.0	1.2	SW-SC	1.35	56.30	1.15	3.27E-03		"
034-001	22.58	2.70	20.0	1.6	SW-SC	0.89	68.32	1.43	6.45E-03	38	Sedimentary
035-016	15.52	2.68	17.3	1.7	SW-SC	1.18	35.23	1.23	8.07E-03	35	"
044-006	16.37	2.65	14.4	1.4	SW-SC	0.85	51.11	1.43	2.35E-03	38	"
044-007	21.78	2.65	10.5	1.6	SW	0.85	68.28	1.44	1.14E-02	38	"
044-008	21.48	2.67	17.03	1.7	SW-SC	0.77	75.15	1.51	2.72E-03	39	"
044-009	20.71	2.67	9.9	1.1	SW-SC	0.91	60.57	1.40	3.48E-03	38	"
044-010	24.92	2.65	15.5	1.8	SW-SC	1.12	59.20	1.25	6.93E-03	35	"
044-011	17.76	2.62	16.2	1.4	SW-SC	0.89	52.18	1.38	3.61E-03	36	"
044-012	19.92	2.65	10.6	1.2	SW-SC	1.22	43.10	1.19	5.21E-03	35	"
044-013	21.86	2.63	18.0	1.4	SW-SC	1.17	49.08	1.21	6.46E-03		"
044-014	23.78	2.60	13.7	1.6	SW-SC	1.19	52.05	1.19	1.50E-02	36	"
044-015	19.76	2.61	23.0	2.0	SW-SC	1.05	49.78	1.28	2.71E-03	37	"
044-016	19.61	2.71	16.7	1.2	SW-SC	1.15	46.75	1.26	2.23E-03		"
044-017	19.89	2.61	20.0	2.0	SC	1.09	47.99	1.25	1.98E-03		"
044-018	24.82	2.72	26.2	2.2	SC	1.05	64.41	1.33	9.95E-04	39	"
045-001	17.29	2.72	18.9	2.2	SW-SC	1.08	43.47	1.31	4.85E-03		"
045-002	19.64	2.60	35.3	2.1	SC	1.30	39.69	1.14	1.01E-03	36	"
045-003	14.51	2.64	13.2	1.7	SW	1.09	35.20	1.26	1.97E-02	37	"
045-004	20.83	2.68	13.3	1.4	SW-SC	0.88	63.12	1.42	2.60E-03	38	"
045-005	21.64	2.65	42.1	0.9	SC	1.08	53.31	1.28	1.90E-04		"
045-006	20.68	2.58	21.2	1.6	SW-SC	1.23	43.30	1.15	5.33E-03		"
045-007	18.14	2.61	25.3	2.5	SW-SC	1.12	42.30	1.23	3.25E-03	37	"
045-008	17.59	2.59	47.1	2.7	SC	1.24	36.69	1.16	8.64E-04	37	"
045-009	25.09	2.67	11.4	1.8	SW-SC	1.02	65.84	1.32	5.52E-03	37	"
045-010	19.29	2.58	13.3	1.7	SW-SC	1.25	39.85	1.15	1.72E-02		"
045-011	18.67	2.64	18.5	1.6	SW-SC	1.17	42.28	1.22	2.74E-03	37	"
045-012	18.54	2.64	20.5	3.0	SP-SC	1.00	49.06	1.32	4.35E-03		"
045-013	12.89	2.69	20.0	2.5	SW-SC	1.19	29.06	1.23	6.77E-03	38	"
045-014	21.52	2.67	22.5	1.1	SW-SC	0.80	72.10	1.49	1.59E-03		"

또한, 지질별 토질시료의 소성도 및 점토광물의 차이는 토층의 풍화양상이나 변질상태에 따른 결과이기 보다는 주로 모암의 성인에 기인된 것으로 판단된다.

Fig. 4는 토층시료의 입도분석 결과 중 지질조건을 감안하여 대표적으로 선정된 16개 시료에 대한 입도

분포곡선을 나타낸 것이다. 입도분포곡선은 유효경 (effective size), 균등계수 및 곡률계수 등과 함께 기본적인 토질정수를 결정하는 요소이다. 그림에서 보는 바와 같이 입도분포곡선은 대체로 완만한 기울기를 보인다. 그리고 균등계수는 9~47의 범위이며 곡률계

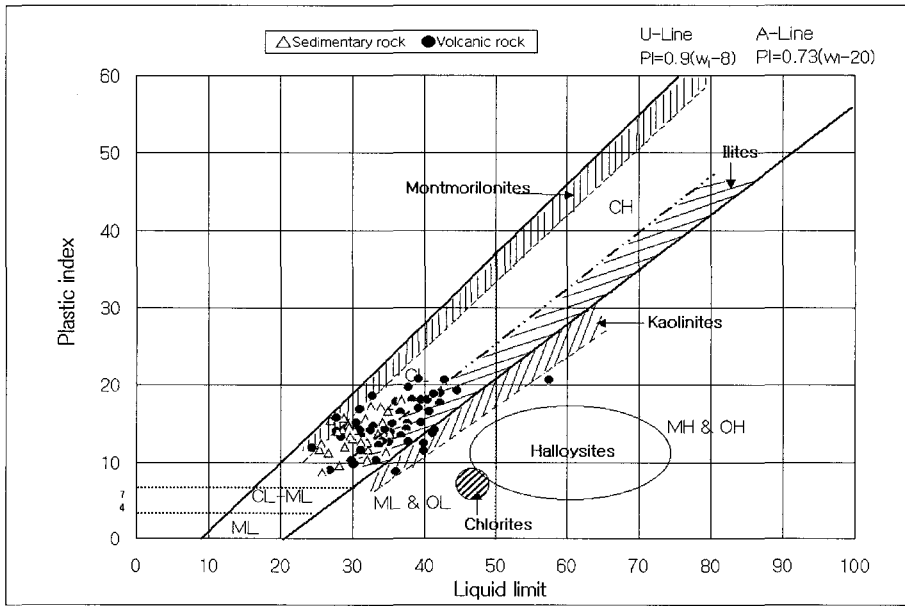


Fig. 3. Relationship between liquid limit and plastic index of soils by plasticity diagram.

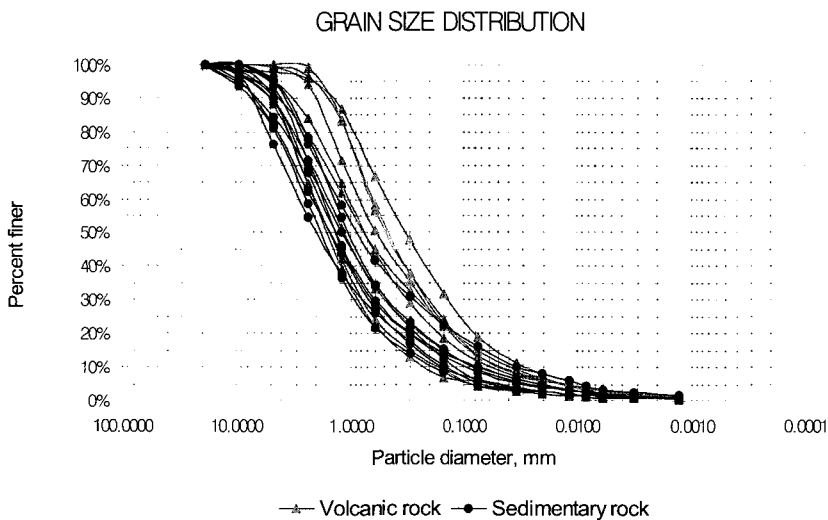


Fig. 4. Grain size distribution curves of typical geological different from soil samples.

수는 1~3의 범위로서 양입도의 정량적 판별기준이 되는 균등계수(4내지 6이상) 및 곡률계수(1~3)의 조건을 모두 충족하는 것으로 나타났다. 따라서 연구지역 토층의 입도조성은 비교적 양호(well grading)함을 알 수 있다.

화산암지역의 토질은 퇴적암지역에 비해 비교적 세립질로 분류되고 대체로 실트보다는 점토의 함유량이 더 높은 것으로 분석되었다. 이를 통하여 황령산지역의 북동편에 속하는 망미동과 광안동일대 화산암지역은 다소 세립질의 토층임을 알 수 있으며, 황령산지역의 남서편에 속하는 전포동, 대연동 및 문현동일대의 퇴적암지역은 비교적 조립질의 토층이 분포하고 있음을 알 수 있다.

간극 및 밀도

연구지역에서 채취된 시료의 간극비는 0.77~2.14의 범위이고 평균적으로 1.13의 값을 갖는다. 그리고 간극율은 51.59~89.51%의 범위로서 평균치는 73.82%이다. 그리고 건조밀도, 습윤밀도 및 포화밀도는 각각 0.84~1.51g/cm³, 1.07~1.86g/cm³ 및 1.53~1.93g/cm³의 범위값을 가지는데, 평균치는 1.22g/cm³, 1.53g/cm³ 및 1.78g/cm³의 값을 갖는 것으로 나타났다.

건조밀도, 습윤밀도 및 포화밀도는 상호간 밀접한

관련성이 있는 물성으로 정비례관계에 있다. 그리고 이들 밀도는 간극비와 상호 반비례관계에 있다(김경수, 2001; 김경수 외, 2003). Fig 5는 연구지역 토층시료에 대한 시험결과 간극비와 건조밀도의 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연구지역의 토층 또한 간극비와 건조밀도가 상호 반비례적 관계에 있음을 알 수 있다.

지질에 따른 간극비와 건조밀도의 상관관계를 살펴 보면, 화산암지역에서의 평균 간극비는 1.21로서 퇴적암지역에서의 평균치 1.06에 비해 다소 높은 경향성을 보인다. 그리고 화산암지역의 건조밀도는 0.84~1.46g/cm³로서 비교적 넓은 범위에 산포되는 반면, 퇴적암지역의 건조밀도는 1.14~1.51g/cm³로서 비교적 좁은 범위에 밀집됨을 알 수 있다. 또한, 부분적으로는 물성치가 크게 다른 토층이 분포하는 것으로 나타났다. 즉, 시료번호 034-005는 간극비와 간극율이 각각 0.77과 51.59%로서 매우 낮으며, 그 주변에 위치한 034-003과 034-004에서도 낮은 것으로 나타났다. 이들 토층시료들은 모두 화산암지역에 해당된다. 그리고 시료번호 034-010 및 035-004의 간극비는 각각 2.14와 2.05로서 매우 느슨한 상태에 있으며, 간극율 또한 각각 85.09% 및 89.51%로서 가장 높은 값을 갖는 것으로 나타났는데, 이들도 모두 화산암지역에 해당된다.

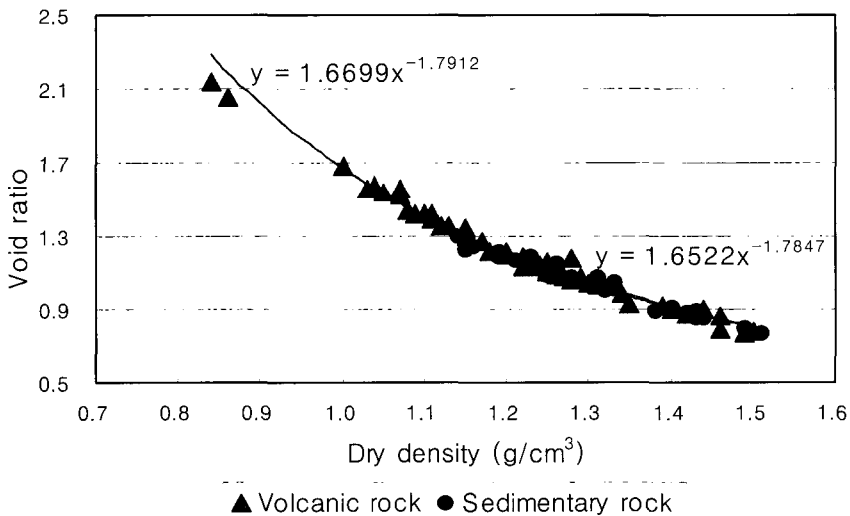


Fig. 5. Relationship between dry density and void ratio of soil samples.

투수계수

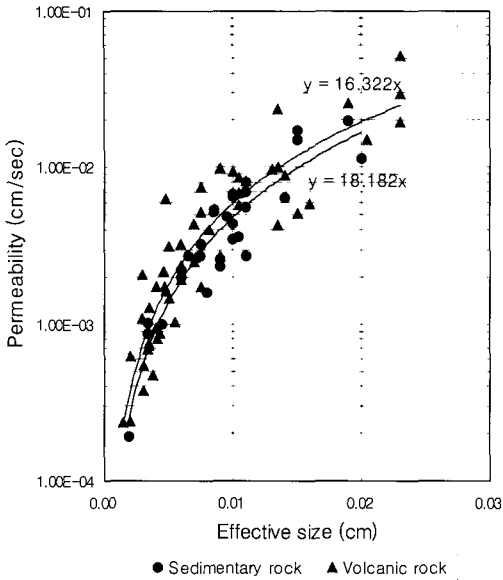


Fig. 6. Relationship between effective size and permeability of soil samples.

전단강도

사면의 기하학적 형태와 더불어 사면파괴를 결정하는 중요 요소는 파괴면에서의 전단강도이다. 암반사면에서의 전단파괴는 암석의 불연속면 특성에 좌우되므로 파괴불연속면의 전단강도 특성을 규명하는 것이 중요하고, 토층사면에서의 전단파괴는 토층내 잠재적인 사면활동면에서의 전단강도 특성을 규명하는 것이 중요하다. 특히, 토층사면의 경우 사면활동면상에서 활동력과 저항력의 비를 계산하여 사면안전율을 계산하게 되는데, 이 때 가장 중요한 영향인자가 바로 전단강도 정수 즉, 점착력과 내부마찰각이다.

직접전단시험결과 화산암지역의 경우 점착력은 0.001~0.066kg/cm², 내부마찰각은 32~39° 범위에 있으며, 퇴적암지역의 점착력과 내부마찰각은 각각 0.006~0.046kg/cm² 및 35~39° 범위인 것으로 분석되었다. 그리고 화산암지역의 점착력 및 내부마찰각의 평균치는 각각 0.0216kg/cm²와 35°로서 퇴적암지역의 평균점착력 0.0196kg/cm² 및 평균내부마찰각 38°에 비해 낮은 것으로 나타났다.

연구지역 토층시료의 투수계수는 2.34×10^{-4} ~ 2.58×10^{-2} cm/sec 범위에 있으며, 평균은 5.79×10^{-3} cm/sec의 값을 갖는 것으로 나타났다. Darcy(1856)에 의하면 대상지역의 투수계수는 대부분 세립질모래~실트점토 정도에 해당하는 것이며, 투수계수가 중간~큰 정도의 지반인 것으로 평가된다. 앞에서도 언급한 바와 같이 투수계수는 균등계수, 간극비 및 밀도 등과 연관지어 나타낼 수 있으며, 유효경과도 관계가 있다. 따라서 토질공학 분야에서는 투수계수의 개략적 산정을 위해 일반적으로 Hazen(1930), Amer and Awad(1974) 및 Samarasinghe et al(1982)에 의해 제안된 경험식들을 사용한다. 이들 경험식에 이용된 주요 토질인자들로써는 균등계수, 밀도, 간극비 및 유효경을 들 수 있다.

Fig. 6은 연구지역 토층시료의 시험결과에 의한 유효경과 투수계수간의 관계를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 유효경과 투수계수는 서로 비례관계에 있음을 알 수 있으나, 지질별로 특징적인 차이점은 관찰되지 않는다.

Fig 7은 투수계수에 유의한 영향인자인 곡률계수 및 균등계수와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 곡률계수와 투수계수사이에 두드러진 상관성이 관찰되지는 않는다. 그러나 곡률계수에 비해서 균등계수는 투수계수와 비교적 높은 상관성을 갖는 것으로 분석되었다. 즉, 균등계수가 크면 투수성이 낮아지고 균등계수가 작으면 높은 투수성을 갖는 반비례관계를 갖는다. 따라서 균등계수 또한 토층에서의 투수성을 예측하는 판별인자로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

황령산지역은 전반적으로 투수계수가 큰 지반인 것으로 확인되었는데, 이는 대체로 강우의 증발산량을 적게하고 상대적으로 강우가 토층을 빠르게 이동하여 암반에 도달할 수 있음을 의미한다. 암반까지 도달한 물은 풍화대 및 불연속면 등을 따라 침투가 계속되어 포화대인 지하수면까지 이동하여 사면의 불안정성 요인으로 작용될 수 있을 것이다. 지질조건에 따른 투수계수는 화산암지역의 경우 2×10^{-4} ~ 5×10^{-2} cm/sec의 범위이고, 퇴적암지역은 8×10^{-4} ~ 2×10^{-2} cm/sec의 범위를 갖는다. 따라서 토층의 투수계수는 퇴적암지역이 화산암지역에 비해 더 높은 것으로 나타났다.

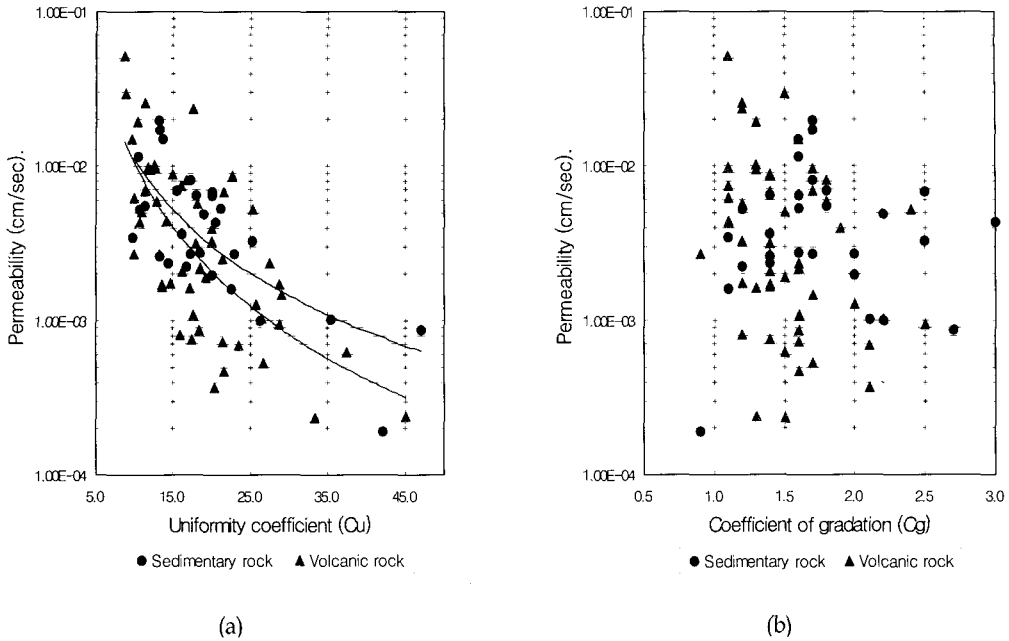


Fig. 7. Relationship between permeability and coefficients of soil samples. (a) uniformity coefficient, and (b) coefficient of gradation.

토의 및 결론

우리나라에서의 산사태 및 사면붕괴들은 기반암의 상부에 위치한 토층에서 발생하는 유동성산사태가 대부분이다. 따라서 토층의 특성을 파악하는 것은 사면의 안정성과 관련하여 매우 중요한 사항이다. 이러한 기반암 상부의 토층은 다양한 지질조건과 풍화정도에 따라 토질공학적 특성이 다르게 나타날 것이다. 연구 대상인 황령산지역의 지질조건은 화산암지역과 퇴적암지역으로 크게 구분할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 연구지역 토층시료에 대한 토질시험을 통하여 지질조건과 여러 토질특성간의 상관성을 분석하고, 토질의 물리적 및 공학적 특성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 지질별 분포비를 감안하여 토층시료를 채취하고 각종 실내 토질시험을 실시하였다. 이 연구에서 수행된 시험으로는 물리적 특성을 측정하기 위한 입도, 함수비, 비중, 밀도시험 등과 공학적 특성을 측정하기 위한 직접전단시험, 변수위투수시험 등이다. 이상의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 통일분류법에 의하면 연구지역의 토층은 화산암

지역의 경우 점토질모래 혹은 실트질모래로 분류되며, 퇴적암지역은 점토질모래로 분류된다. 토층은 비교적 안정적인 활성도를 갖는 것으로 나타났다. 또한, 화산암지역의 토층은 퇴적암지역에 비해 다소 큰 소성을 지님으로써 집중강우 등에 의해 함수비가 증가하게 될 경우 유동성도 따라서 증가될 수 있다.

2) 연구지역은 입도조성이 비교적 양호한 토층으로 평가된다. 그리고 지질별로는 화산암지역의 토층이 퇴적암지역에 비해 비교적 세립질로 분류되는데, 대체로 실트보다는 점토의 함유량이 더 높은 것으로 분석되었다.

3) 간극비와 건조밀도는 서로 반비례적 관계를 보이며, 지질별로는 화산암지역의 간극비가 퇴적암지역의 간극비에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. 그리고 연구지역 내에서도 부분적으로 간극비가 매우 큰 지역이 존재하는데, 이들은 모두 화산암지역에 해당한다.

4) 전단강도는 점착력과 내부마찰각으로 표현되는데, 연구지역 토층의 점착력은 0.001~0.066kg/cm²이고 내부마찰각은 32~39°범위인 것으로 나타났다. 그리고 지질별로는 화산암지역의 점착력 및 내부마찰각이 퇴적암지역에 비해 낮은 것으로 나타났다.

5) 투수계수는 2.34×10⁻⁴~2.58×10⁻²cm/sec로서 연구

지역의 토층은 투수계수가 중간~큰 정도의 지반인 것으로 평가되었다. 지질별로는 퇴적암지역의 투수계수가 화산암지역에 비해 큰 것으로 나타났다. 그리고 유효경과 투수계수는 서로 비례관계에 있으며, 균등계수는 투수계수와 비교적 높은 상관성을 갖는다. 따라서 균등계수 또한 투수성을 판단하는 중요한 토질인자로 고려될 수 있다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 기본연구사업인 '대도시 사면 통합관리시스템 구축(부산지역)' 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

김경수, 2001, 지형 및 토질특성을 고려한 산사태 예측, 한국지질자원연구원 논문집, 제5권 제4호, 29-41.
 김경수, 조용찬, 최영섭, 이준오, 채병곤, 김원영, 이문세, 2003, 부산 황령산지역의 지질공학적 특성, 한국지질자원연구원 논문집, 제7권 제2호, 10-21.
 김상규, 1999, 토질역학 이론과 응용, 청문각, 434.
 김진섭, 윤성효, 1993, 부산일원에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구 (I), 암석학회지, 2, 2, 156-166.
 윤성효, 김진섭, 김영라, 1994, 부산일원에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 연구 (II): -조구적 위치 및 성인-, 지구과학회지, 15, 5, 356-365.
 장기홍, 1975, 한반도 동남부의 백악계 층서, 지질학회지, 11, 1, 1-23.
 장태우, 강필중, 박석환, 황상구, 이동우, 1983, 한국지질도 (1:50,000), 부산가덕도폭 및 설명서, 한국동력자원연구소, 1-21.
 최정찬, 백인성, 2002, 황령산 산사태 원인분석에 대한 연구, 대한지질공학회지, 12, 2, 137-150.
 홍원표, 송영석, 2002, 우리나라에서의 사면안정대책 공법 적용사례연구, 사면안정학술발표회 논문집, 한국지반공학회, 1-28.
 Amer, A. M., and Awad, A. A., 1974, "Permeability of Cohesionless Soils", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 100, No. GT12, 1309-1316.

Casagrande, A., 1948, Classification and Identification of Soils, Transactions, ASCE, Vol. 113, 901-930.
 Darcy, H., 1856, Les Fontaines Publiques de la Ville de Digon, Dalmont, Paris.
 Hazen, A., 1930, "Water Supply" in American Civil Engineers Handbook, Wiley, New York.
 Hong, W. P. and Park, N. S., 2000 "A design of slope stabilization using piles; A case study on the slopes of Hwangryung-mountain in Pusan, Korea, Proc. of 8th International Symposium on Landslides, Cardiff, UK, pp.725-730.
 Mitchell, J. K., 1976, Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons, Inc., New York, 422p.
 Paik, I. S., Kim, H. J., Kim, J. Y., Jin, S. I., 1996, Paleoenvironments of the Cretaceous lacustrine deposits (Yucheon Group), Mt. Hwangryeong, Pusan, Korea. J. Paleont. Soc. Korea, 12, 2, 181-202.
 Samarasinghe, A. M., Huang, Y. H., and Drnevich, V. P., 1982, "Permeability and Consolidation of Normally Consolidated Soils", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 108, No. GT6, 835-850.

투 고 일 2004년 11월 15일
 심 사 일 2004년 11월 16일
 심사완료일 2004년 12월 2일

김경수
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
 305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
 Tel : 042-868-3054
 Fax : 042-861-9723
 E-mail : kks@kigam.re.kr

이문세
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
 305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
 Tel : 042-868-3068
 Fax : 042-861-9723
 E-mail : eoehehr@hanmail.net

조용찬

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel : 042-868-3059
Fax : 042-861-9723
E-mail : choych@kigam.re.kr

이춘오

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel : 042-868-3131
Fax : 042-861-9723
E-mail : lco@kigam.re.kr

채병곤

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30
Tel : 042-868-3052
Fax : 042-861-9723
E-mail : bgchae@kigam.re.kr