

암반공학적 측면에서본 신생대 암반비탈면의 공학적 문제 및 대책

신희순¹⁾, Hee-Soon Shin

¹⁾ 한국지질자원연구원 지반안전연구부장, Director, Division of Geotechnical Engineering, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

SYNOPSIS : The Cenozoic Era consists of two period , the Tertiary and the Quaternary Period. Weak rock types may include areas containing: 1) poorly cemented or uncemented sediments, 2) highly weathered rock, or 3) fault lines. Especially this paper deal with poorly cemented or uncemented sedimentary rocks in slope. Mechanical weathering is caused by physical processes such as absorption and release of water, and changes in temperature and stress at or near the exposed rock surface. It results in the opening of discontinuities, the formation of new discontinuities by rock fracture, the opening of grain boundaries, and the fracture or cleavage of individual mineral grains. Decomposition causes some silicate minerals such as feldspars to change to clay minerals. There was a strong negative correlation between water absorption and important engineering properties such as strength and durability.

Keywords : mudstone, tuff, montmorillonite, Cenozoic era,

1. 서 론

신생대 제3기의 이암, 응회질 실트암, 응회암 등은 고결도가 낮으나 균열이 적기 때문에 신선할 때는 고결된 암반과 같이 보인다. 굴착직후는 가파른 기울기에도 안정되어 있으나 절토에 의한 응력해방에 의해 급속히 풍화되고 점토화 되는 경우가 많다. 특히 이러한 암석에는 몬모리로나이트(montmorillonite)와 같은 흡수에 따라 팽윤되는 점토광물이 포함되어있으며 단시간 중에 흡수 팽윤하여 역학적으로 약화되어 비탈면붕괴를 일으키는 수가 있다. 파쇄되어 점성토화 되기 쉬우므로 비탈면의 안정성에 문제가 발생하는 경우가 많다. 또한 한번 건조 되었다 흡수되면 급속히 열화되는 슬레이킹(slaking) 현상에 의하여 세편화, 점토화 된다. 미고결층과 기반암과의 경계는 역학적으로 약한 면으로 물이 통하기 쉽기 때문에 비탈면의 활동을 일으키기 쉬우므로 주의를 하여야 한다.

2. 신생대 암반의 분포

신생대는 6,500만 년 전부터 현재에 이르는 지질시대의 마지막 시기이다. 크게 제3기와 제4기로 나뉘고, 제3기는 차례로 팔레오세·에오세·올리고세·마이오세·플라이오세로 세분되며, 제4기는 홍적세와 충적세로 구분된다. 제3기는 6500만년전~250만년전까지 6250만년간으로 조산운동이 활발하였고, 제4기는 250만년전~현재까지 약 250만년간으로 빙하기가 엄습하는 한랭한 기후가 형성되었다.

표 1. 한국 신생대 지질계통표

신생대	제 4 기	충적층 신양리층(제주도)		불국사 화강암 관입
	신 제3기	서귀포층		
		연일층군		
		장기층군		
		양북층군		
	고 제3기			
경상누층군		유천층군		

2.1 신생대 3기

한국의 신생대 3기의 면적은 전국토의 약 1.5%로 매우 협소하다. 동해안으로 따라 울산, 포항, 영해, 북평지역 약 10개처에 분포하고 서해안에는 2개처에 분포한다. 신생대 3기의 구성암석은 고화가 불충분한 사암, 셰일, 역암이고, 용암류, 암상의 동반도 곳에 따라 우세하다. 3기에는 한반도의 지체가 국부적으로 용기와 침강을 몇 번 반복하였기 때문에 각 단위지층은 각각 부정합으로 나누어지게 되었다.

경상북도 장기지역에는 제3기층인 장기층군과 이를 부정합으로 덮는 연일층군이 분포되어 있다. 장기층군은 밑으로부터 역암(두께 700m)·화산암류(조면암 및 안산암)·사암·셰일·응회암의 호층으로된 함탄층(약 700m)의 순으로 되어있다. 연일층군은 포항부근에 분포하며 하부로부터 역암(두께 200m)·셰일(두께 400m)·이암으로 되어 있으며 석화작용이 완성되지 않아 암석이 매우 연약하다. 서귀포층은 사암 및 이암으로 되어 있으며 이층의 두께는 28m이다. 이층의 상하부에는 거의 동시대에 분출된 알칼리유문암질 조면암이 있다. 이들 암석은 제4기에 분출된 조면안산암·현무암에 의하여 덮혀있다.

2.2 신생대 4기

신생대 4기는 고화되지 않은 자갈·모래·점토·토탄으로 되어 있으며, 현무암 류, 곳에 따라서는 조면암류가 동반되어 있다. 플라이스토세에 분출된 현무암 중 현저한 것은 강원도 철원부근의 현무암 대지, 경상북도 영일군의 현무암 노출지가 있다. 제주도의 현무암, 울릉도의 조면암과 응회암도 플라이스토세의 분출물일 것으로 보고있다.



그림 1. 한탄강 주변 미고결층

그림 1에서와 같이 한탄강 주변 미고결층의 경우와 같이 화산암은 암석자체는 단단하나 그 밑에 퇴적물이 존재하는 경우가 있다. 이곳에 댐 등 토목구조물을 건설할 경우, 암반층이 고결도가 낮고 강도가 작아 물길이가 되는 이층에서 붕괴될 수가 있다.

2. 신생대 암반의 공학적 특성

2.1 물리·역학적 특성

신생대 암반의 대표적인 현무암과 이암, 응회암의 대표적인 물성은 대략적으로 다음 표 2에서와 같다. 본 물성치는 일부 지역에 한 한 것임을 밝혀둔다.

표 2. 암석의 물리·역학적 특성

암 종	위 치/ 시료수	밀도 (gr/cm^3)	공극율 (%)	탄성파속도(m/s)		일축압축강도 (kg/cm^2)
				P-wave	S-wave	
현무암	2/24	2.48 ± 0.15	18.6 ± 12.8	$3,900 \pm 700$	$2,360 \pm 230$	520 ± 380
이 암	15/50	2.28 ± 0.20	-	$4,080 \pm 890$	$2,560 \pm 230$	$1,050 \pm 350$
응회암	4/70	2.63 ± 0.07	2.33 ± 1.82	$4,510 \pm 670$	$2,570 \pm 340$	$1,550 \pm 500$

신생대 마이오세 중기 및 후기에 포항분지에서 퇴적된 연일층군 두호층의 이암을 살펴보면, 석화작용이 불완전한 암석으로 간극비가 0.41로 크며, illite, chlorite 등 점토광물이 26% 정도로 함유하고 있고, 밀도는 $1.79 \text{ g}/\text{cm}^3$, 간극비 0.41, 간극률 29.1%, 흡수율 15.5% 였다. 완전 건조상태에서의 일축압축강도는 $462 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 탄성계수는 $2.89 \times 10^4 \text{ kg}/\text{cm}^2$, 포아송비는 0.30을 보였으며, 중생대 백악기 이암에 비하여 단위중량과 고결도가 상대적으로 낮았다(김광식, 2003)

2.2 응회암의 풍화특성

응회암은 몬모리로나이트(montmorillonite)와 같은 흡수에 따라 팽윤되는 점토광물이 포함되어있어 한번 건조 되었다 흡수되면 급속히 열화되는 슬레이킹(slaking) 현상에 의하여 세편화, 점토화 되는 경향이 있다. 다음은 응회암에 대한 외국의 내구성시험 사례를 살펴보기로 한다(그림2). 호주의 Glennies Creek 댐현장에서 채취된 응회암 사례이다. 시험 3개월 후에 완전히 분해되어 토질화 되었음을 보여준다.



(a) 시험 1주일 후



(b) 시험 1개월 후



(c) 시험 2개월 후



(d) 시험 3개월 후

그림 2. 응회암에 대한 내구성 시험

그림 3은 응회암의 수분 흡수에 따른 일축압축강도의 변화양상을 나타내고 있다. 수분흡수에 따라 강도가 급격히 감소됨을 알 수 있다.

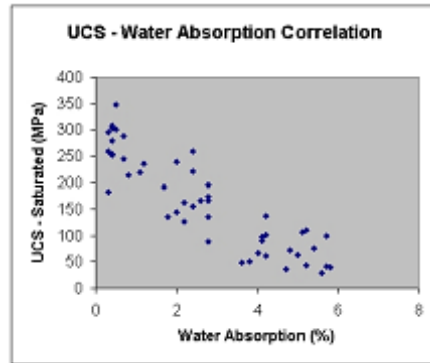


그림 3. 흡수율과 일축압축강도와의 관계(시료수=49, $R^2=0.89$)

3. 비탈면붕괴가 발생하기 쉬운 지질 및 지질구조

1) 신제3기층의 이암과 응회암

몬모리로나이트 등의 팽윤성 점토광물을 포함하는 이암이나 응회암 층은 절취에 의한 상재하중의 제하→ 응력해방→ 균열발생→ 지표수 및 지하수의 침투→ 점토광물의 팽윤→ 지층의 강도 약화의 과정을 거쳐 비탈면붕괴나 미끄러짐이 발생된다. 이암과 응회암은 굴착후의 풍화 및 slaking 이 빠르고 단기간에 점토화가 되는 경우가 많다. 응회암은 이암에 비해 풍화속도가 느려서 대규모의 미끄러짐이 발생하기 쉽다. 사암과 이암의 호층조건에서는 비탈면붕괴가 발생하기 쉽다.

2) 고제3기층의 세일

풍화에 대한 저항력은 강하고 비탈면붕괴 토괴는 사암이 혼합된 각력 또는 암석이 파쇄된 형상이며, 운동은 돌발적이고 미리 발생가능성을 예측하기 어렵고 강수량과 밀접하게 관계된다.

3) 비교적 연암의 3기층을 균열이 많은 현무암이나 사력층 등이 덮고 있는 지질조건에서 발생하기 쉽다.

4) 경암과 연암의 호층에서 사암, 이암 또는 사암, 세일 및 점판암 등이 호층을 이루고 있는 경우는 이질암의 풍화가 빨리 진행되어 이것들이 붕락되어 사암을 동반하는 큰 붕괴로 발전하기 쉽다.

5) 화산재나 풍화가 진행된 응회암등의 piping 현상을 일으키기 쉬운 비탈면에서는 지하수에 의해 유실되기 쉽다.

4. 경주지역 3기 역암퇴적층의 공학적 특성 사례(김택곤외, 2004)

경상북도 경주시 마동에서 양북면 장항리에 이르는 터널구간 종점부에서 발견된 역암퇴적층의 성분으로는 전체적으로 화강암 역을 90%이상 함유하고 있다. 기질 성분 분석결과는 기반암인 화강암과 유사한 석영, 사장석, 정장석 및 운모류가 주구성 광물이며 점토광물은 카올리나이트가 주를 이루고 있는 것으로 나타났다(그림 4). 역암층의 일축압축강도 측정결과는 다음 그림 5에서와 같다.

역암 중 암석에 해당하는 역의 일축압축강도는 종점부 TB-13을 제외하고는 900~2,500 kg/cm²의 높은 강도값을 가진다. 이에 비해 기질 부분을 포함한 역암의 일축압축강도는 변질된 부분은 낮은 값을, 변질되지 않고 암석은 다소 높은 값을 나타내어, 전체적으로 38~485 kg/cm² 범위의 강도값을 나타내었다. 역암퇴적층은 코아 내부에 부분적인 균열만 발달하고 있을 뿐 연장성이 있는 절리면의 발달이 거의 없어 절리간격이나 절리면 상태를 평가할 수 없는 괴상의 약한 암반이라고 볼 수 있다

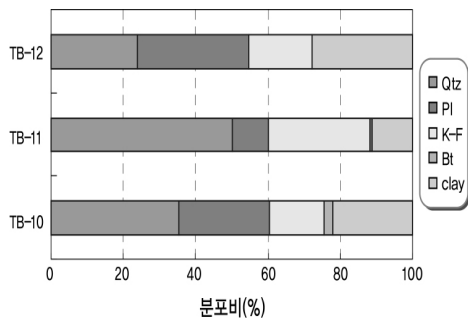


그림 4. 역과 기질의 성분분석

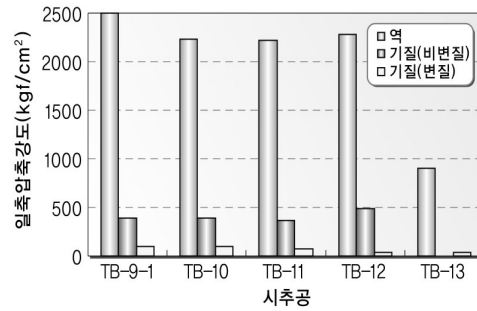


그림 5. 역암층의 일축압축강도

5. 절취비탈면 기울기

제3기의 이암, 사문암 등은 절취후에 강도가 급작스럽게 저하되므로 안정성에 대하여 장기간의 관찰이 필요하다. 건습반복시험(24시간 수침, 48시간 강제건조)1회에서 토사화 되는 암석은 대붕괴를 일으킬 위험성이 있다. 일본 고속도로에서의 실적으로부터 암반 비탈면의 적정기울기를 소개하면 다음 표 3과 같다.

표 3. 흡수팽창이나 풍회되기 쉬운 암반의 적정 비탈면 기울기

관찰에 의한 분류	암 종	건습반복에 위한 흡수량증가율(%/회)	비탈면 기울기	
			지하수 없음	지하수 있음
고결도가 극히 낮은 것	응회질 이암 등	2.0 이상	1: 1.2	1: 1.5
고결도가 비교적 낮은 것	신제3기층, 사문암	1.0-2.0	1: 1.0	1: 1.2
고결도가 높은 것	고제3기 이전의 셰일, 고결응회암	1.0 이하	1: 0.8	1: 1.0

6. 맺는말

- (1) 신생대 미고결 암석에는 몬모리로나이트와 같은 흡수에 따라 팽윤되는 점토광물이 포함되어있으며 단시간 중에 흡수 팽윤하여 역학적으로 약화되어 비탈면 붕괴를 일으키는 수가 있다. 미고결층과 기반암과의 경계는 역학적으로 약한 면으로 물이 통하기 쉽기 때문에 비탈면의 활동을 일으키기 쉬우므로 주의를 하여야 한다. 토목구조물 설계시에는 암종의 파악은 물론 풍화의 분포와 정도 및 그 특성의 변화에 대한 상세한 검토가 요구된다.
- (2) 고결도가 낮은 신 제3기의 이암 등은 절취직후에는 안정했을 지라도, 새로운 응력조건에서 강도가 낮아지고, 수개월 경과함에 따라 파괴되는 경우가 많다. 시공중에 이상이 없어도 많은 강우후에는 반드시 상태를 관찰해야 할 필요가 있다.
- (3) 역암퇴적층은 연장성이 있는 절리의 발달이 거의 없고 부분적인 균열만 존재하므로 기존의 경험적 암반분류방법인 RMR분류나 Q분류방법의 적용이 곤란한 지층이므로 새로운 방법의 지반평가방법이 요구된다.

참고문헌

1. 김택곤, 최성순, 정의진(2004), “경주지역 3기 역암퇴적층의 공학적 특성및 암반분류사례”, *터널물리 탐사 2004 기술심포지움*, 한국터널공학회.
2. 김광식, 김교원(2003), “포항분지 제3기 두호층 이암의 크리프 거동”, *지질공학회지*, 제13권, 제2호, pp.227 ~ 238.
3. 선우춘, 신희순, 조두희(2000), *토목건설공사에서의 지질지단과 처방*, (주) 희송지오텍 사내교재.
4. 정창희(2000), *지질학 개론*, 박영사. pp.616 ~ 621.