

암과 흙 경계면에서의 전단강도 특성 연구

이수곤, 임창호
서울시립대학교 토목공학과

1. 서론

우리나라의 지질구조를 볼 때 토층은 지표면 아래로 수미터 이내로 존재하고 그 아래에는 암반이 존재하는 경우가 대부분이며 대체로 토층과 암석의 경계가 뚜렷한 것이 특징이다. 따라서 암반사면이나 댐기초에서 암반의 안정성 문제를 다룰 때 연암층과 경계를 가지는 토층과의 경계면에 대한 전단강도특성을 파악하는 것이 사면안정성 분석에 무엇보다 중요하다. 이러한 연약면들은 잠재적인 파괴가능성을 내포하고 있다. 일반적으로 soil 이나 세일이 최소 전단강도를 나타낸다고 가정하는 것이 일반적인데 Patton(1968)은 한가지의 시험재료보다 soil-rock 접촉면에서 더 낮은 강도가 얻어질 수 있고, soil 이나 세일이 최소강도를 나타낸다는 가정은 타당하지 않을 수도 있다고 제안했다. 그 후 soil과 rock 단독으로 얻어진 전단강도와 soil-rock 접촉면에서의 전단강도 연구가 시작되었다(Kanji,1974). 본 논문에서는 화강암, 변성암, 퇴적암 사면과 각각의 잔류토를 대상으로 시험하였고, soil-rock 접촉면에서 전단강도를 측정할 수 있도록 고안된 시험법과 그 결과에 대하여 연구하였다.

2. 본론

2.1 시료의 준비

시험에 쓰인 재료의 선정은 soil-rock 접촉면의 전단강도를 얻는데 필요하고 soil 단독시험과 비교할 수 있는 최소한의 변수로 한정하였다. 기본적으로 시료채취는 현장에서 ring sample을 사용하였고, 불교란시료를 채취하여 수분증발을 막기위해 비닐 Wrap으로 포장한 뒤 아이스박스에 담아두었다. 암석시료는 연암정도의 강도를 가지며 우리나라의 대표적인 JRC(S.G. Lee, 1987)를 포함하며 JRC (0(saw cut), 2~4, 4~6, 6~8, 8~10, 10~12)를 달리 하는 암시료를 준비하였고, 다음과 같이 정확한 결과를 얻을 수 있도록 알맞은 수의 시험을 실시하였다. 추가적인 시험조건은 다음과 같다.

- 각각의 soil 과 rock 표면에 대해 4개의 다른 수직응력 조건으로 시험하였다.
- Data의 편차를 없애기 위해 각각의 시험마다 3회 반복, 평균값을 사용하였다.

2.1.1 Soil 시료 준비

실내시험에 쓰인 시료들은 우리나라에 대표적으로 분포하는 화강암(경기도 포천), 변성암

(흑운모 편마암; 서울 강남), 퇴적암(사암; 경남 진주)을 대상으로 하였으며 각 현장의 특성에 맞는 각각의 잔류토를 대상으로 시험하였고 각 잔류토에 대하여 채분석, 비중시험, 함수비, 포화도 시험을 하여 분류하였다.

표 1. 잔류토의 물성치

자연상태	단위중량 (ton/m ³)	함수비 (%)	포화도 (%)	Gs	LL	PI	USCS	포화도 시험결과 (95% 도달시간)
화강암잔류토의 평균값	1.72	14.2	51.2	2.58	N.P	N.P	SM	5
변성암잔류토의 평균값	1.65	10.8	38.3	2.57	N.P	N.P	SM	9
퇴적암잔류토의 평균값	1.76	17.9	62.1	2.62	33.2	14.8	SC	12

2.1.2 암석 시료 준비

암석시료의 천공은 내경이 60mm 인 비트를 이용하였고 Saw cut 면은 암석절단기로 자른 면이 사용되었다. 지름은 약 59.5mm으로서 전단링에 고정시키 위해 하부 전단링의 네 측면에서 나사로 단단히 고정시키고 윗부분과 밑부분의 틈은 실리콘으로 마감하였다. 표면은 비누와 표백제로 기름때를 없애기 위해 닦아냈다. 암석시료를 밑부분에 배치하였으며 표면과 거의 평행하게 배치하였다. 암석 블록샘플에서 미리 JRC를 측정 한 후 천공하여 전단될 방향을 나타내었다.

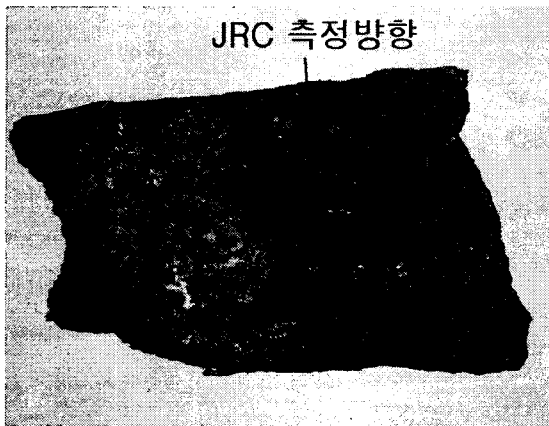


그림 1. 암석블록의 JRC측정과 전단방향

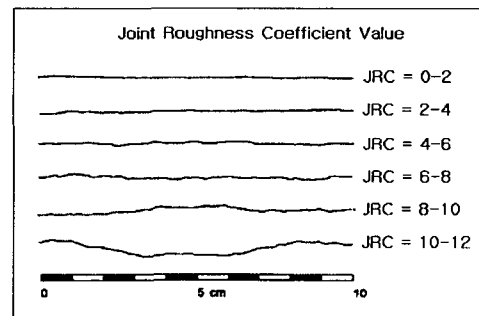


그림 2. 표준거칠기 종단면 및 JRC값

암석 시료를 제작할 때 주의해야될 점은 암석블록의 표면에서 측정 한 JRC값의 방향과 일치하도록 전단방향을 맞추어야 하며, 코어링할 때 코어비트의 다이아몬드날과 최대한 평행하도록 고정시킨 후 천공을 해야 할 것이다.

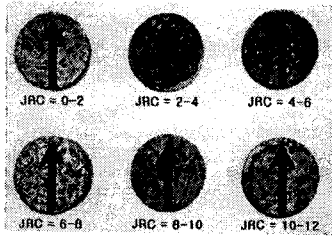


그림 3. 화강암 시료의 JRC값과 전단방향

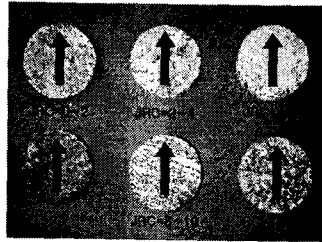


그림 4. 변성암 시료의 JRC값과 전단방향

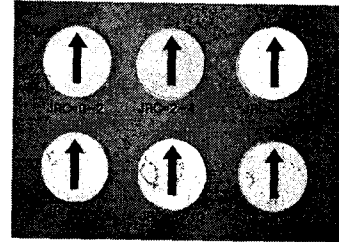


그림 5. 퇴적암시료의 JRC값과 전단방향

만약 평행하지 않을 경우 암석시료의 외경이 약 59.5mm 정도 되므로 하부링에 암석시료의 두께가 아주 얇지 않는한 전단면과의 수평이 맞지 않게 된다. 또한 암석시료를 하부링에 고정시킬 때 최대응력인 $3.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 을 올려 놓으면 약 90 kg의 하중이 가해지므로 고정나사와 암석시료의 측면사이에서 암석시료가 견디지 못할 수도 있다. 따라서 암석 시료의 밑면에 더 이상 밀리지 않도록 고정나사를 이용, 고정시켜 주어야 한다.

2.2 암과 흙 경계면에서의 전단강도 시험방법

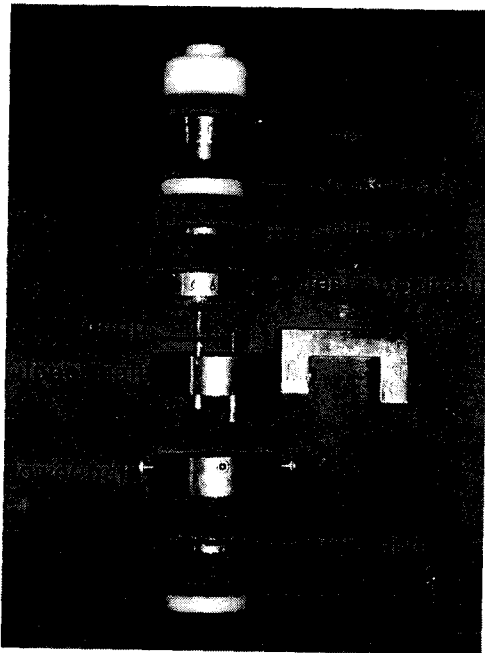


그림 6. 토질직접전단시험 조립도

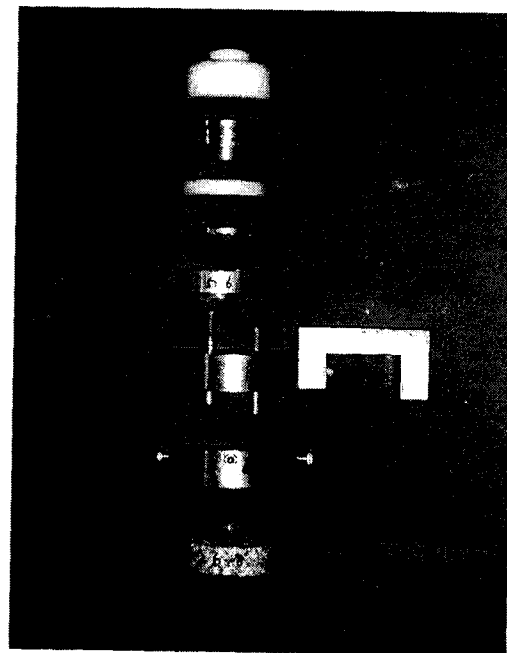


그림 7. 암과 흙 경계면시험의 조립도

기본적인 개념은 토질 전단시험과 동일하지만 암석을 고정시킬 수 있도록 고안된 하부 링, 암석시료의 배치와 암석코어 준비등이 조금 달라진다. 조립순서는 그림 7 에서와 같고 토질 전단시험(그림 6)과 다르게 하부링에 암석시료만 고정되고 solid grid와 poros plate는 들어

가지 않는다. 하부링에 암석을 고정시킬 때 효과적인 방법으로 제안된(Kanji. M. A.1974) 급속썰기를 하부링의 밑면에서 삽입시키는 방법보다 링의 네 측면에서 나사로 고정시키는 방법을 사용하였다.

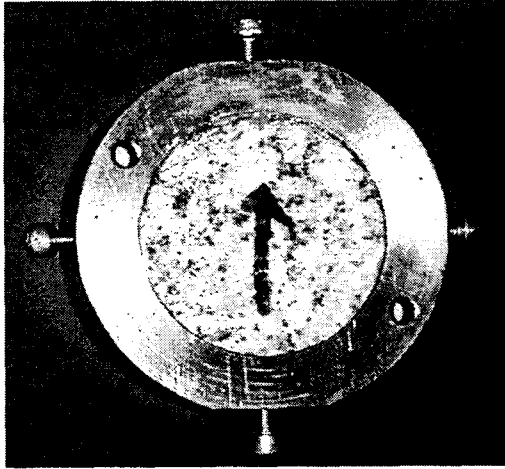


그림 8. 하부링에 시료를 고정시킨 그림

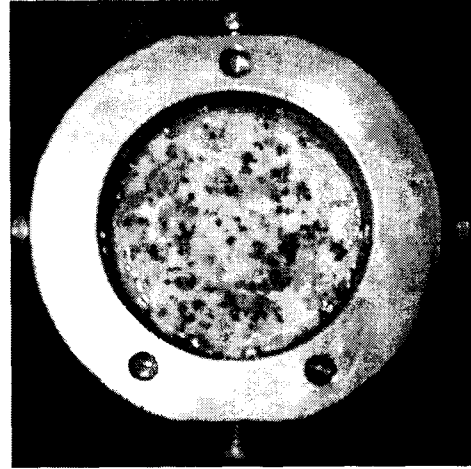


그림 9. 하부링의 밑면 그림

암석시료는 상부링과 하부링중에서 상부링은 수직하중이 일정하게 가해지는 때문에 흙시료에 생기는 수직변위에 대응하기 어렵다. 따라서 하부링에 그림과 같이 글루를 이용 밑부분을 고정을 시킨다. 시험절차는 토질전단시험과 동일하지만 soil은 수직응력의 증가에 따른 압밀이 충분히 되도록 시간을 조절하였다. 모든 시험은 현지조건과 습윤조건하에서 이루어졌고 전단속도는 0.3mm/min 로 하였다. 수직응력은 최대높이가 약 20m 인 토사사면을 기준으로 0.8kg/cm²부터 3.2kg/cm²까지 4단계로 증가시키며 재하하였다. 최대 전단 변위는 시료전체길이의 15%인 9mm로 하였다.

3. 결론

최대 전단강도 발생시에 soil 과 soil-rock 접촉면의 시험에서 Coulomb과 지수함수 파괴규준에 의한 c (마찰계수)값과 ψ (전단저항각)값은 다음과 같다.

시험결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. soil-rock 시험에서는 soil 단독시험에서 보다 c , ψ 값이 작으며, JRC값이 작아짐에 따라 전단저항각이 작아짐을 알 수 있다.
2. soil alone에서의 전단저항각을 1 로 볼 때 soil-rock 시험에서는 JRC에 따라 현지함수비 조건에서 약 67%~98% , 습윤조건에서 약 67%~96% 까지 산출되었다..
3. Coulomb과 지수함수 파괴규준을 비교할 때 수직응력수준이 낮은 범위(0~2kg/cm²)에서는 지수함수 파괴규준의 전단저항각이 높게 나오지만 높은 수직응력수준(5~10kg/cm²이상)에서는 Coulomb의 파괴규준의 전단 저항각이 높아진다.
4. 흙 입자가 작아질수록 전단저항각이 낮아지는 경향이 있다.

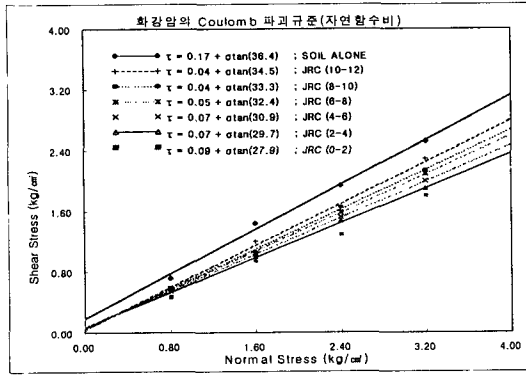


그림 10. 화강암의 자연함수비에서 Coulomb 파괴규준

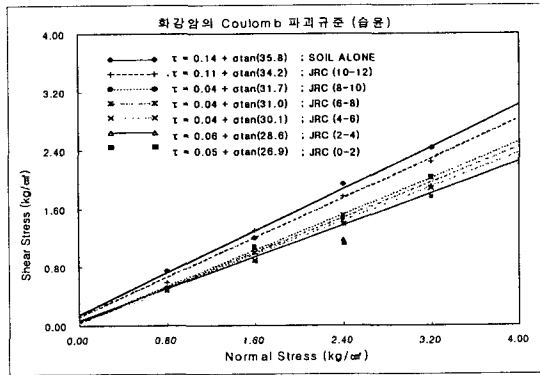


그림 11. 화강암의 습윤함수비에서 Coulomb 파괴규준

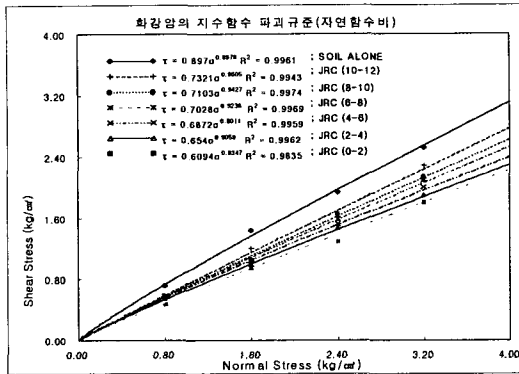


그림 12. 화강암의 자연함수비에서 지수함수 파괴규준

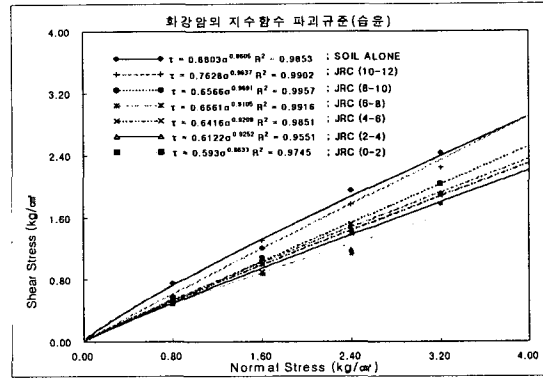


그림 13. 화강암의 습윤함수비에서 지수함수 파괴규준

표 2. Coulomb 파괴규준에서의 종합비교

JRC	마찰각 ϕ (°) : 토질시험에 대한 백분율					
	화강암		변성암		퇴적암	
	자연	습윤	자연	습윤	자연	습윤
토질	36.4(100%)	35.8(100%)	37.0(100%)	33.8(100%)	32.8(100%)	31.3(100%)
10~12	34.5(94%)	34.2(96%)	32.9(89%)	32.3(96%)	32.0(98%)	30.2(96%)
8~10	33.3(91%)	31.7(89%)	31.1(84%)	30.2(89%)	31.2(95%)	29.7(95%)
6~8	32.4(89%)	31.0(87%)	29.9(81%)	27.5(81%)	29.6(90%)	27.9(89%)
4~6	30.9(85%)	30.1(84%)	28.5(77%)	24.7(73%)	27.9(85%)	26.2(84%)
2~4	29.7(82%)	28.6(80%)	26.7(72%)	23.0(68%)	25.1(76%)	23.6(75%)
0~2	27.9(77%)	26.9(75%)	24.8(67%)	22.5(67%)	24.5(75%)	22.3(71%)

암과 흙 접촉면에서의 전단시험결과로부터 유출된 결론은 다음과 같다.

1. 암사면이나 댐기초에서 암반의 안정성 문제를 다룰 때 연암층, 풍화암층 위에 존재하는 토사를 자주 접하게 된다. 토사가 경사진 암반 사면 위에 존재하게 되면 지질학적인 요인에 의해 soil-rock 접촉면이 평탄하게 되거나 낮은 JRC값을 갖게 된다. 이들은 JRC가 낮을 수록 전단저항각이 낮아지게 되는데 이는 현장에서 안전진단시 시험이 반드시 검토되어야 할 것이다.
2. 전단시험결과에서 Coulomb과 지수함수 파괴규준을 비교할 때 시험결과에서도 알 수 있듯이 수직응력 수준이 $5\sim 10\text{kg/cm}^2$ 이 되려면 상부에 약 30m 이상의 토사가 존재할 때 가능할 것이다. 따라서 암석 절리면 전단시험이 아닌 이상 Coulomb의 파괴규준을 사용하여도 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.
3. 마지막으로 soil-rock 접촉면에서 낮은 JRC를 갖는 암이 존재할 경우 파괴는 기대한 것보다 적은 값에서 발생할 수 있기 때문에 soil 자체보다도 위험하다.

참 고 문 헌

1. Kanji M.A. (1974). Unconventional Laboratory Tests for the Determination of the Shear Strength of Soil-Rock Contacts. *Proc. of the 3rd Congress of ISRM*. Denver 2, pp.241-247
2. Fred G. Bell (2000). *Engineering Properties of Soils and Rocks*(4th Edition), pp 17~23
3. H. Ehrle (1990). Model materials for shear tests of filled joints. *Proceedings of the international conference on Mechanics of Jointed and Faulted Rock*
4. S. G. Lee. (1987). *Weathering and geotechnical characterization of Korean granites*. PhD thesis, Imperial College, University of London.
5. K. H. Head (1981). *Manual of soil laboratory testing vol.2*. second edition. pp509~580, vol.1.pp159~234.
6. Jeager, C. (1972), *Rock Mechanics and Engineering*, Cambridge University Press.
7. 김용필외 2인 (1997). *지반공학 시험법 및 응용* pp 37~50, pp 283~310
8. 한국암반공학회, 한국지구물리탐사학회, 한국자원연구소 (1999) . *건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술*. pp 474.
9. 임창관. (1999). 화강암과 풍화토 경계면에서의 전단강도 특성. 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원, pp.23-25