

포항이암층의 Slaking, 팽창 및 전단강도특성

Slaking, Swelling and Shear Strength Characteristics of Pohang Mudrocks

이 영 휘*

Lee, Young - Huy

Abstract

The weathering of mudrock in the Pohang area is mainly caused by slaking and swelling when the mudrock is absorbed with water. In this regard, this paper shows the results of chemical analysis and the identification of rock-forming minerals from XRD. It also compares the slaking and swelling characteristics of mudrocks sampled from 3 different sites. The chief rock-forming minerals are the quartz, and the several types of clay minerals. The slake durability indices are ranged from 71% to 96%, and these values are closely related to the liquid limit of the powdered rock specimen. In a similar manner to the slaking characteristics the greatest values of the swelling pressure and the swelling strain were measured from the mudrock specimen with the highest value of liquid limit. The greatest measured values of the swelling pressure and the swelling strain are 9.4 kg/cm² and 33.5% respectively. The residual shear strength of mudrock decreases as the number of wet-dry cycles increases, and the residual strength at 5 cycles are measured to $c_r=0.24\text{kg/cm}^2$ and $\phi_r=28^\circ$. The lowest residual strength is measured at the fresh rock-rock contact surface in the moist condition, of which values are $c_r \approx 0$ and $\phi_r=21.5^\circ$.

요 지

포항지역 이암의 풍화가 slaking 및 흡수팽창에 기인됨을 인식하고, 3개 지점에서 채취한 이암 시료를 대상으로 광물성분, slaking 및 팽창시험을 수행하였다. 또한 풍화로 인하여 열화된 이암의 잔류전단강도를 측정하였는데 역전식 잔류전단시험을 채택하였다. 시험결과, 각 이암시료의 광물성분은 석영과 점토광물이 대종을 이루고 있으며, 두번째 slaking cycle에서의 slake내구성 지수는 71%~96% 범위이고 암석분말시료의 액성한계가 높을수록 내구성지수는 떨어지는 경향을 보인다. 또한 팽창압력의 크기도 액성한계가 높은 시료에서 월등히 큰 9.4kg/cm²로 측정되었으며, 이러한 경향은 팽창변형률(최대치: 33.5%)에서도 마찬가지로 나타났다. 이암의 잔류전단강도는 건습반복회수가 증가될수록 감소되어 5회 건습반복후의 잔류강도는 $c_r=0.24\text{kg/cm}^2$, $\phi_r=28^\circ$ 로 측정되었다. 그리고 습윤상태에서 이암-이암 경계면을 따라 측정된 잔류강도가 최저

* 정희원, 영남대학교 공과대학 토목공학과 부교수

값인 $c_r \approx 0$ and $\phi_r = 21.5^\circ$ 로 나타났다.

Keywords : Slaking, Mudrock, Residual strength, Swelling pressure, Swelling strain

1. 서론

포항지역에 분포되어 있는 퇴적층은 영일만 일대를 관통하는 양산단층과 울산단층 같은 주향이동단층에 의하여 형성된 함몰지에 운반 퇴적된 해성점토가 고결되어 생성된 것으로 보고되고 있다.(한종환 등, 1986) 지질학적으로 현재로부터 약 7~26백만년전인 제3기(tertiary)의 마이오세(Miocene)에 생성된 포항이암 지층에서 자주 발생하는 자연사면의 활동이나 주택단지, 도로 및 공업단지건설을 위해 시공된 절취사면에 예외없이 발생하는 크고 작은 규모의 지반활동은 이암이 풍화되어 그 전단강도가 급격히 저하되기 때문이고, 이암이 풍화되는 주된 원인은 강우 또는 계절적 건습 반복 작용에 의한 slaking 및 팽창에 의한 영향으로 볼 수 있다. 또한 풍화된 점토질암(argillaceous rock) 또는 틈이 많은 견고한 점토지대에서의 산사태 또는 사면붕괴는 대부분 기존의 활동면을 따라 발생하고, 이미 파괴된 여러 사면들에 대한 역해석결과 파괴시에 발현되는 전단강도는 침투강도보다는 훨씬 작은 잔류전단강도(residual shear strength)와 같다는 사실이 판명되었다. 본 논문에서는 포항지역에 지반구조물의 설계 및 시공과정에서 반드시 고려되어야 할 풍화 및 강도열화현상을 분석하기 위하여 포항지역 3개 지점에서 채취한 시료에 대하여 slaking 및 팽창시험을 시행하고, 사면의 활동이 기존의 파괴면을 따라 발생하는 경우에 적용될 잔류전단강도를 측정하기 위하여 여러 경계조건에서의 역전식 잔류전단시험(reversal/residual shear box test)을 수행하여 그 결과를 비교 분석하였다.

2. 암석시료 및 물리적 성질

본 연구에서 조사대상으로 선정된 지점은 이암지대를 굴착하여 주택단지 또는 공업단지를 조성하고 있는 현장으로서, 포항시 지곡동 일대에 건설되고 있는 포항제철 신주택단지부지(지곡동으로 명명), 포항시 창포동에 위치한 대한주택공사의 아파트단지(창포동으로 명명) 및 대송면일대의 포항제철 제3연관단지내에서 한국토지공사가 조성하고 있는 공업단지부지(대송면으로 명명)이다. 한편 3개 지점에서 채취된 이암분말시료의 대표적인 평균 물성치는 다음 표 2.1의 내용과 같다.

표 2.1 이암(분말)시료의 물리적성질

시료명	지곡동	대송면	창포동
물리적성질			
채취심도(m)	2~3	3~4	15~20
입자의 비중	2.48	2.46	2.51
자연함수비(%)	12.1	24.1	14.5
액성한계(%)	51.4	75.7	25.9
소성한계(%)	24.4	43.3	8.8
건조단위중량(g/cm^3)	1.76	1.58	1.88

3. 이암의 광물성분

3.1 이암의 화학분석

이암의 조성광물을 정성적 및 정량적으로 분석하는데 부수적으로 활용하기 위하여 각 시료에 대한 화학분석을 실시하였다. 분석시험은 KS E 3066에 의해서 규정된 규석분석방법과 습식분석방법(wet analysis)에 의해서 수행되었고, 시험결과는 표 3.1의 내용과 같다.

표 3.1의 결과중에서 수분(H_2O)은 $105^\circ C$ 에서 2시간, ignition loss는 $950^\circ C$ 에서 각각 1시

표 3.1 이암의 화학성분(중량백분율)

시료종류	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	H ₂ O	ign.loss
지곡동	0.42	13.50	5.50	0.73	1.17	1.94	2.46	63.44	2.67	8.00
대송면	0.41	11.82	5.50	1.62	1.83	1.15	2.08	59.89	5.82	9.62
창포면	0.28	10.10	4.20	0.45	0.73	1.00	1.59	70.50	2.84	7.60

간씩 가열한 후 측정하였다. 시험결과 3개시료의 화학성분은 모두 9개 원소로 구성되어 있고, 점토광물의 주성분인 비결정질의 silica(SiO₂)가 평균 64.08%, 산화알루미늄(Al₂O₃)이 평균 11.74%로써 대부분을 차지하고 있다.

3.2 광물성분의 종류

암석의 공학적 성질은 주로 광물 및 화학성분, 입자구조 및 배열 등의 인자에 의해서 직접적인 영향을 받게된다. 점토광물 및 비점토광물의 정성적인 식별은 통상적으로 X선 회절분석(X-ray diffraction analysis : XRD)을 통하여 가능하며, 그외의 화학분석 및 전자현미경사진에 의한 분석도 부수적으로 활용된다. 본 연구의 XRD분석에 사용된 Diffractometer는 일본 RIGAKU사 제품(모델명 : D-MAX-3C)으로 회절분석조건은 Cu target을 사용하였고 전압 및 전류는 각각 30KV와 30mA였고 scan speed는 4 deg/min이었다. X선 회절분석을 통하여 이암에 함유된 광물의 종류를 파악하기 위해서는 해당 암석시료의 X선 회절기록(X-ray diffraction pattern)과 표준시료의 X선 회절기록을 비교했을 때 같은 입사각에서 회절이 발생하는지의 여부를 검토하여 회절 첨두의 입사각이 일치하는 경우 기지의 표준시료에 해당하는 광물이 존재하는 것으로 식별되는데, 본 연구에 사용된 이암중에 포함된 광물의 종류로는 전반적으로 석영(quartz), 장석(feldspar), montmorillonite, kaolinite, illite 등의 점토광물이 식별되었다.

4. 이암의 slaking 특성

이암과 같이 연하고 점토성분을 많이 함유한 암석에서 환경변화에 따른 건조습윤 반복에 의하여 그 고결력 내지 강도가 급격히 떨어져 본래의 조직이 파괴되는 현상을 slaking이라 하는데, 이암지대에서 발생하는 사면붕괴는 대부분 slaking현상에서 기인된다고 볼 수 있다.

습도변화가 이암의 팽창수축에 미치는 영향을 조사하는 과정에서, Van Eeckhout(1976)는 건습의 반복에 의하여 진행성으로 연장된 내부의 불연속면을 통하여 암반에 함수비가 증가하게 되고, 그 결과 비교적 작은 파괴에너지만으로도 암반은 붕괴될 수 있다는 것을 발견하였다. 또한 이암의 덩어리를 공기중에 방치했을 때 높은 인장력(suction pressure)으로 인하여 외측 공극부분에 공기가 유입되고, 그 후에 암석을 포화시키면 모관현상에 의하여 물이 이암속으로 침투하기 때문에 갇혀있던 공기는 압력을 받게 된다. 이러한 slaking 과정을 통하여 암석의 골격구조에 응력이 가해지고, 여기에 건습과정이 여러번 반복되면 내부의 불연속면이 연장되어 궁극적으로는 air breakage에 의하여 파괴가 발생하게 되는 것이다.

이암의 slaking 특성을 정량적으로 분석하는 방법으로서는 다음에 기술되는 slaking 내구성지수시험(Franklin & Chandra, 1972)과 slaking량 및 속도시험(Morgenstern & Eigenbrod, 1974)이 있다.

4.1 Slake 내구성지수시험

Slake 내구성지수 시험장치의 개요는 105℃에서 견딜 수 있는 강제의 test drum(길이 : 100mm, 직경 : 140mm, 2mm의 표준 mesh의 원통)과 시료를 포함한 test drum을 그 속에

넣고 drum의 수평축 아래 20mm까지 물을 채울 수 있는 철제수조 및 drum을 수조속에서 일정한 속도로 회전 시킬수 있는 motor drive의 세부분으로 구성되어 있다. 실험은 10개의 암석덩어리(건조무게 : 각 40~60g, 전체시료무게 : 450~550g)를 test drum속에 넣고 수조속에 수침 시킨 다음 motor drive를 이용하여 약 10분간 20rpm의 속도(총 200rpm)로 회전을 시킨다. 그 후에 시료가 들어있는 test drum을 꺼내어 건조조에 넣어 건조시켜서 시험후에 잔류한 시료중량을 측정하면 내구성 지수(slake durability index, I_d)는 다음과 같이 계산되며, 일반적으로 두번째 slaking cycle 후의 지수, 즉 I_{d2} 를 많이 채택하고 있다.

$$I_d = \frac{\text{시험후의 잔류시료건조중량}}{\text{초기의 건조중량}} \times 100(\%)$$

그림 4.1은 3개시료에 대한 slake 내구성시험 결과를 보여주고 있다. 건습반복시험 회수는 5회까지 실시하였고, 각 시료에 대한 시험은 3번 실시하였으며 그 평균치를 취한 결과는 표 4.1에 정리되었다.

표 4.1 Slake 내구성지수

시료명	창포동	지곡동	대송면
물리적성질			
$I_d(\%)$	96	84	71
$\Delta I_d/\text{cycle}(\%/회)$	1.8	8.3	18.0
액성한계(%)	25.9	51.4	75.7

표 4.1에서 전시료의 내구성지수(I_d)는 71~96%로써 중간(medium)정도 이상이고 이 결과는 이암시료의 I_d 가 상당히 낮을 것이라는 예상과는 반대의 경향을 보이고 있으며, I_d 는 해당시료의 액성한계와 밀접한 관계가 있어 높은 액성한계의 시료(대송면)가 낮은 I_d 를 보이고 있다.

한편 slaking cycle의 증가에 따른 내구성지수의 감소 추세는 그림 4.1에서 보는 바와 같이 대략적으로 선형변화를 하고 있으며, 그 기울

기는 1.8~18.0(%/cycle)로써 액성한계가 높은 시료일수록 기울기(내구성지수 감소량)도 증가하고 있다.

여기에서 slake내구성시험이 갖는 한계점을 살펴보면, 비교적 고소성(high plastic)의 이암이 시험과정에서 mudball을 형성하여 허구의 높은 I_d 를 주는 경우와, 시험중에 2mm이상의 미세한 조각으로 완전히 부스러진 시료와 전혀 손상되지 않는 시료가 같은 I_d 값을 보일 수 있다는 점이다(Richardson & Long, 1987). 시험과정에서 test drum안에 잔류한 암석부스러기 형상을 관찰한 결과 본 연구에서 얻은 예상보다 높은 내구성지수는 이상에서 언급된 문제점에 기인된 것으로 분석되었다. 이와같은 암석시료의 slake 내구성지수가 갖는 취약점을 보완하기 위하여, Morgenstern & Eigenbrod (1974)에 의해 제안된 slaking량 및 속도시험이 slaking에 대한 보완자료로서 많이 활용된다.

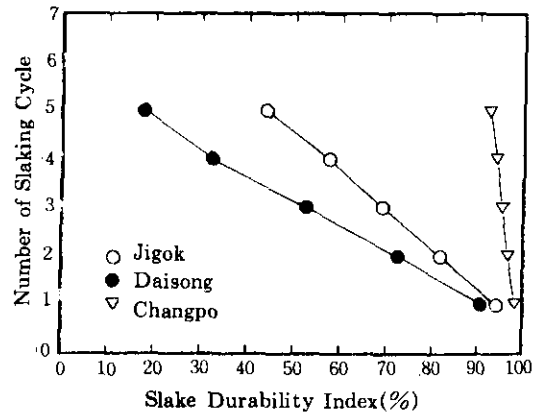


그림 4.1 포항지역 이암의 slaking cycle과 내구성지수 (I_d)

4.2 Slaking 량 및 속도시

(Morgenstern & Eigenbrod, 1974)

이 실험은 건습반복의 회수에 따른 함수비 증가 현상을 시험하여 암석의 slaking 정도를 판정하기 위한 것이다. 비교적 간단한 시험장치

(큰 수조, 시료를 담아 수침시킬 수 있는 깔대기)가 필요한 반면 실험에 상당한 시간이 걸린다. 실험은 먼저 준비된 대표적인 자연상태의 암석 덩어리(무게 : 100g~150g) 4개를 여과지를 포함한 깔대기에 넣어 수조속에서 24시간동안 수침시킨 후 약 90℃의 온도로 48시간 노건조시켜 함수비를 계산한다. 이 조작을 함수비의 증가가 멈출 때 까지 반복하고, 빠른 시기에 붕괴되는 암석에 대해서는 토사상태로 된 시점에서 중지한다. 시험결과는 반복회수의 증가에 따른 함수비의 변화를 plot하여 함수비변화율($\Delta w/\text{cycle}$)과 평형함수비(equilibrium water content)를 결정한다.

또한 slaking속도시험을 위해서는 여러 개의 건조된 시료를 수침시킨 후, 시간의 경과에 따른 함수비증가를 측정해야 한다. 이 시험과정에서 중간 또는 높은 정도의 slaking암석에서는 수침으로 인한 시료의 팽창과 더불어 구조의 분해가 급속도로 발생하기 때문에 이것을

극복하기 위해서 건습반복시험에서와 마찬가지로 한 덩어리의 대기 건조무게가 60~80g되는 암석시료를 30개를 여과지를 포함한 깔대기를 넣어 수침시키고 30분, 1, 2, 4, 8, 15, 24, 36, 60, 100, 380시간 후에 시료를 꺼내어 함수비 증가를 측정하게 된다.

그림 4.2와 그림 4.3은 3개시료의 건습반복회수(wet and dry cycle)의 증가에 따른 slaking량(함수비) 변화와 첫번째 건습반복에서의 시간경과에 따른 함수비 증가량, 즉 slaking 속도를 각각 보여주고 있다. 그림 4.2에서 각 시료는 건습반복회수가 늘어남에 따라 함수비도 대략 선형적으로 증가하고 있으며 함수비 증가율과 최종단계에서의 평형함수비는 표 4.2의 내용과 같은데, 각 시료의 평형함수비는 액성한계와 거의 같은 값을 보이고 있다. 또한 그림 4.3은 첫번째 건습반복에서 함수비의 경시변화를 보여주고 있는데 3개시료 모두 대략 4시간 후의 함수비의 증가가 급격히 둔화되고 있음을

표 4.2 Slak량과 속도

시료명	건습반복시험		Slaking 속도시험		액성한계(%)	Slaking분류
	평형함수비(%)	함수비증가율(%/회)	$\Delta w(\%)$	ΔL		
지곡동	60.2	4.8	21.5	0.80	51.4	M, F
창포동	20.5	0.6	18.8	1.10	25.9	L, F
대송면	80.5	5.6	32.5	1.00	75.7	M, F

볼 수 있으며, 그 값은 18.8%~32.5%였다.

표 4.2에서 ΔL 은 수침후 4시간후의 함수비 증가율을 의미하며 다음식으로 표시된다.

$$\Delta L = \frac{\Delta w}{w_1 - w_p} \quad (4.2)$$

이상의 시험결과를 종합적으로 분석하여 Morgenstern & Eigenbrod(1974)에 의해서 분류된 slaking량 및 속도는 지곡동 및 대송면 시료가 Medium, Fast이고 창포동 시료가 Low, Fast에 해당된다.

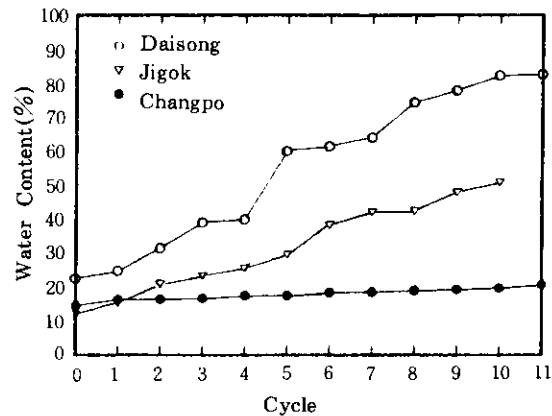


그림 4.2 포항지역 이암의 건습반복회수증가와 함수비변화의 관계도

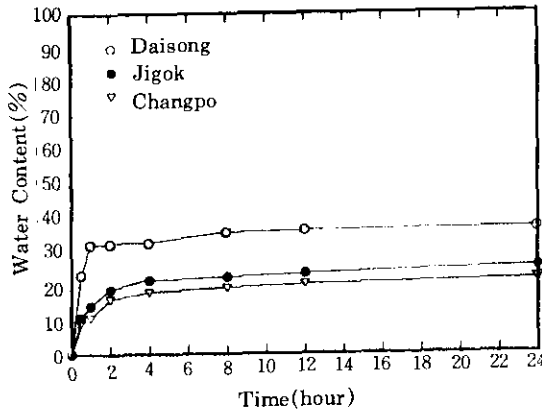


그림 4.3 포항지역 이암의 시간경과에 대한 함수비 증가량의 관계도

5. 이암의 팽창특성

본 연구에서 시행한 팽창특성시험은 ISRM에서 제시한 팽창압력과 팽창변형률 시험지침에 준하여 실시하였으며, 시험에 사용한 장비는 일차원 압밀시험기(oedometer)로써 시료의 직경은 63mm, 높이는 16~18mm이다.

팽창시험을 위한 시편의 제작은 현장에서 채취한 이암의 block sample을 특수톱을 사용하여 일정한 두께와 크기로 절단하여 시편이 압밀링에 들어갈 수 있도록 가공한다. 그 다음 여러종류의 사포를 사용하여 시편을 매끄럽게 연마한 후, 벽면마찰을 감소시키기 위하여 압밀링 내부에 high vacuum silicon grease를 도포하고 가공된 시료를 링안에 설치하였으며, 이때 횡방향의 변형을 구속하기 위하여 시편과 링 사이의 틈속에 paraffin을 녹여서 주입시켰다.

팽창압력의 측정은 cell에 물이 넘치도록 채우고나서 부터 시작되며, 축방향의 변형률이 1/100mm 진행 될 때 축하중을 증가시키는데, 이때 사하중은 축방향변형이 0(zero)으로 회복 될 때까지 증가시킴으로서 실질적으로 체적변화를 허용하지 않는 상태의 팽창압력을 측정하였다. 본 시험에서 채택된 축하중재하는 사하중(모래 및 추)을 사용하였으며, 측정에 사용

된 dial gauge는 그 정도가 1/1000mm이었고 시간의 경과에 따른 팽창(재하)하중을 기록하였다. 시험은 축방향변형이 더 이상 발생하지 않을 때까지 계속하고 최종단계에서의 하중인 최대팽창하중(F)를 얻게되면, 이 암석의 팽창압력지수(swelling pressure index), S.P.I = $F/A(\text{kg/cm}^2)$ 로 계산된다. 여기서 A는 시편의 단면적이다.

아울러 팽창변형률 시험의 시편제작 및 설치 과정도 팽창압력시험과 거의 동일하며, 횡방향 구속상태하에서 축방향의 변형량은 그 값이 일정할 때까지 계속해서 측정하고 팽창변형률지수(swelling strain index)는 최종변형률을 초기의 시료 두께로 나눈 값을 %로 표시하였다.

그림 5.1에서는 3개시료에 대한 팽창압력의 변화를 경과시간의 함수로 나타내고 있으며, 팽창압력은 모든 시료에서 초기 10시간 이내에 급속한 증가를 보이다가 그 이후에는 증가속도가 점진적으로 둔화되어 경과시간이 약 60시간 정도에 도달했을때 최대치를 기록하고 있다.

또한 각 시료의 최대팽창압력은 대송면의 9.40kg/cm^2 , 지곡동의 1.65kg/cm^2 및 창포동의 0.15kg/cm^2 로서 시료간에 상당한 차이를 보이는데, 다른 시료에 대하여 월등히 높은 팽창력을 보이는 대송면의 시료는 팽창성의 혼합층점토광물(expandable mixed-layer clay mineral)을 많이 함유한 것으로 추정할 수 있

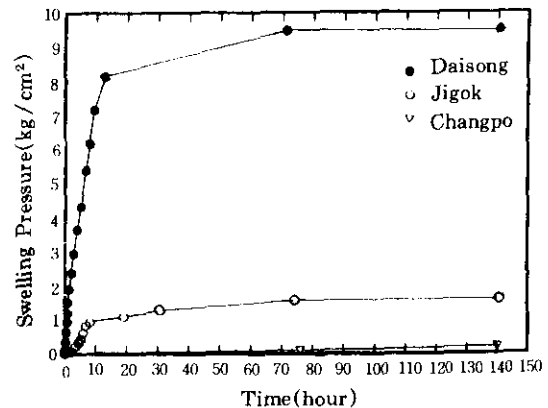


그림 5.1 시간경과에 따른 이암의 팽창압력변화

는데, 이것은 대송면 시료가 상대적으로 높은 액성한계(75.7%)를 보이는 것으로 설명될 수 있다.

또한 그림 5.2는 연직하중이 없는 상태에서 의 3개 시료에 대한 연직방향 팽창변형률을 시간의 함수로 나타내고 있다. 팽창변형률도 팽창압력의 경시변화와 마찬가지로 경과시간이 약 50시간정도까지는 팽창속도가 매우 빠르고 그 후로는 비교적 완만한 증가경향을 나타낸다. 한편, 실질적인 팽창이 거의 완료된 것으로 판단되는 경과시간 280시간에서의 각 시료별 팽창변형률은 대송면 33.5% 지곡동의 3.9% 및 창포동의 0.4%로 측정되었는데, 팽창변형률의 증가경향은 팽창압력의 변화와 거의 같은 경향을 보이고 있다.

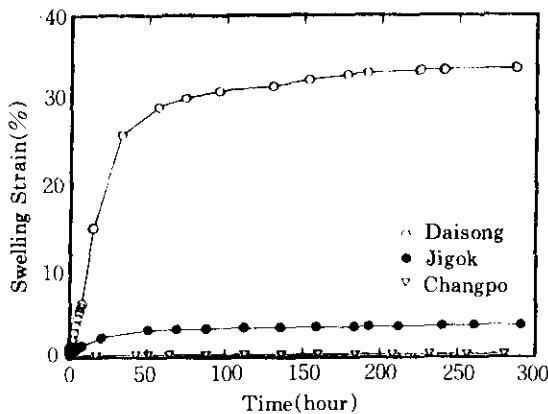


그림 5.2 시간경과에 따른 이암의 팽창변형률

6. 잔류강도특성

6.1 시험조건 및 방법

본 연구에서 채택된 잔류강도의 측정방법은 역전식 잔류전단시험(Head, 1982, Skempton, 1985, Van Eeckhout, 1976)으로서, 전단상자의 크기는 60mm×60mm×20mm이고 다음과 같은 조건하에서의 잔류강도 시험을 수행하였으며, 대상시료는 지곡동 시료로 국한시켰다.

i) 잔적토 시료의 잔류강도

ii) Slaking에 의하여 열화된 이암의 잔류강도

iii) 이암과 잔적토 경계면에서의 잔류강도

iv) 이암과 이암 경계면에서의 잔류강도

시험에 사용된 잔적토 시료는 현장에서 교란 상태로 채취되어 실험실에서 건조밀도가 1.5 g/cm³(함수비:30%)가 되도록 다짐하여 성형하였고, 시험에 채택된 연직하중은 3.0, 6.0 및 9.0t/m²이었으며, 전단속도가 잔적토의 잔류강도에 미치는 영향을 조사하기 위하여 0.25, 0.50 및 1.00 mm/min의 세가지 속도를 적용하였다.

한편, 건습반복과정에 의하여 열화된 이암의 잔류강도를 측정함에 있어서, block 형태로 채취된 이암을 자연함수비 상태에서 belt-disk sander 장비를 이용하여 전단상자의 규격에 맞게 가공하였다. 이암시료가 부스러지는 것을 방지하기 위하여 가공된 시편을 전단상자에 넣은 상태에서 건습과정(2시간 수침후 2시간 건조)을 반복시켜 그 회수가 3회, 5회 및 7회 일때의 잔류강도를 측정하였다. 본 시험에서도 잔적토에서와 같은 연직하중(3, 6, 9 t/m²)을 적용시켰고 전단속도는 0.50 mm/min이었으며, 이 시험조건은 이암-잔적토 및 이암-이암 경계면에 대한 시험에서도 동일하게 적용되었다.

6.2 시험결과 및 분석

이암이 풍화되어 파생된 잔적토를 실험실에서 인공으로 성형한 시료(LL=56.7%, PL=30.3%)의 역전식 잔류전단시험 결과로서, 그림 6.1은 수평변위의 증가에 따른 전단강도의 감소경향을 보여주고 있다. 본 잔적토 시료에서는 전반적으로 수평변위량이 30mm~40mm에 도달했을때 잔류강도가 발현되는 것으로 밝혀졌다.

그림 6.2에서 평균건조밀도가 1.55g/cm³(함수비:30%)인 잔적토 시료의 침투강도는 $\phi_c = 23.0^\circ$, $c_c = 0.29\text{kg/cm}^2$ 이었으며, 잔류강도로

볼 수 있는 수평변위량 40mm에서의 전단강도는 $\phi=14.5^\circ$, $c_r=0.25\text{kg/cm}^2$ 로써 침투강도보다 훨씬 작게 측정되었다.

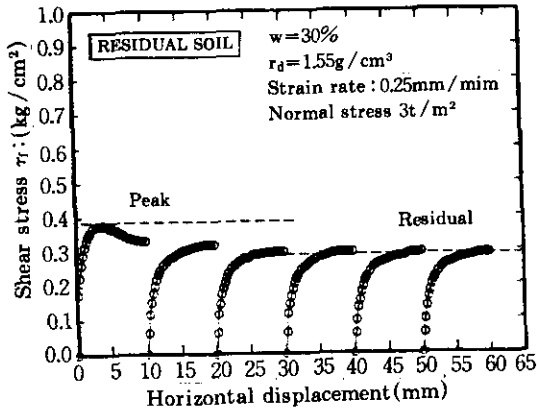


그림 6.1 역전식 전단시험에서의 전단응력-수평변위 관계도(풍화잔적토시료, 연직하중: 3t/m²)

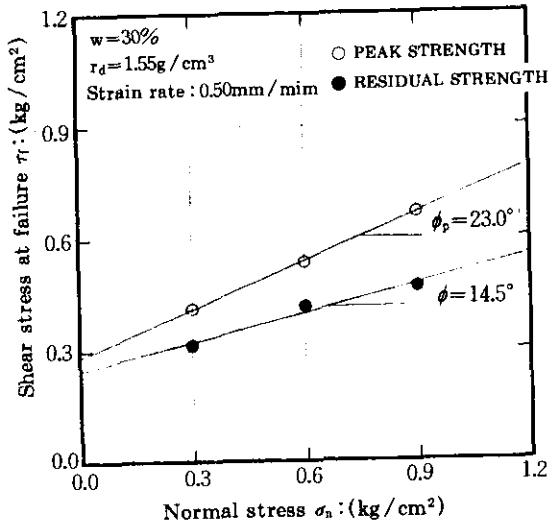


그림 6.2 풍화잔적토의 침투 및 잔류상태에서의 포락선

이암시료를 전단상자에 장착한 상태에서 전습반복회수를 늘려 가면서 slaking을 촉진시킨 후, cycle수 5회에 해당되는 열화된 이암시료의 전단응력도 전적토에서와 마찬가지로 수평변위가 증가함에 따라 현저히 감소하는데, 잔류

강도에 도달하는데 요구되는 변위량은 20~30mm로써 잔적토시료에서의 변위량보다 약간 작게 나타났으며, 이는 아직까지 완전히 풍화되지 않은 이암시료의 취성파괴(brittle failure)로 인하여 파괴면의 형성이 비교적 빨리 이루어진 때문으로 판단된다.

또한 slaking cycle이 각기 다른 이암시료의 잔류강도정수(c_r, ϕ)는 그림 6.3에서 보인 바와 같이 3 cycle 시료는 비교적 큰 값($c_r=0.24\text{kg/cm}^2$, $\phi=39^\circ$)의 잔류강도를 보이는데 비하여 5 cycle 시료에서의 $c_r=0.25\text{kg/cm}^2$, $\phi=28^\circ$ 로써 3 cycle 시료보다 훨씬 작은 잔류강도특성을 보인다. 그리고 7 cycle 시료의 잔류강도도 5 cycle 시료의 것보다는 약간 작게 측정되었다.

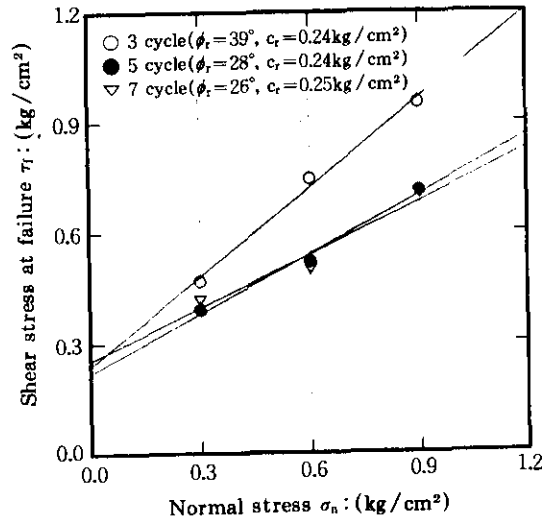


그림 6.3 전습반복회수에 따른 이암의 잔류강도특성

그림 6.4에서는 앞에서 설명된 잔적토시료와 3회 및 5회의 전습반복과정을 거친 이암시편에 대한 잔류강도를 보이고 있으며, 이와함께 잔적토-이암의 경계면과 비교적 신선한 이암-이암 경계면에서 측정된 잔류강도를 종합적으로 비교하고 있다. 여기에서 열화된 이암의 강도가 가장 높게 나타났고, 습윤상태에 있는 이암-이암 경계면에서의 잔류강도가 $c_r \approx 0$, $\phi = 21.5^\circ$ 로써 가장 작은 값을 보이고 있다. 또

한 잔적토-이암 경계면에서의 잔류강도는 $c_r=0.17\text{kg/cm}^2$, $\phi_r=22.0^\circ$ 이고, 열화된 이암시편의 경우에도 건습반복회수의 증가에 따라 그 값이 점진적으로 감소되어 잔적토의 잔류강도에 접근할 것으로 보여진다.

퇴적암층에 위치한 사면안정해석을 위하여 가장 필요로 하는 것은 사면을 형성하고 있는 지층내부에 발달되어 있는 기존파괴면을 정확히 파악하는 것이다. 그러나 육안관찰 및 개략조사만으로 기존의 파괴면을 현장에서 찾아내는 것은 쉬운일이 아니므로, 중요한 사면의 안정해석은 가급적 안전측에 해당하는 강도정수의 사용이 추천된다. 이러한 측면을 종합해 볼 때 습윤상태에서의 이암-이암 경계면에 작용하는 잔류강도를 이암지대의 사면안정해석에 적용하면 비교적 안전한 설계가 될 것으로 판단된다.

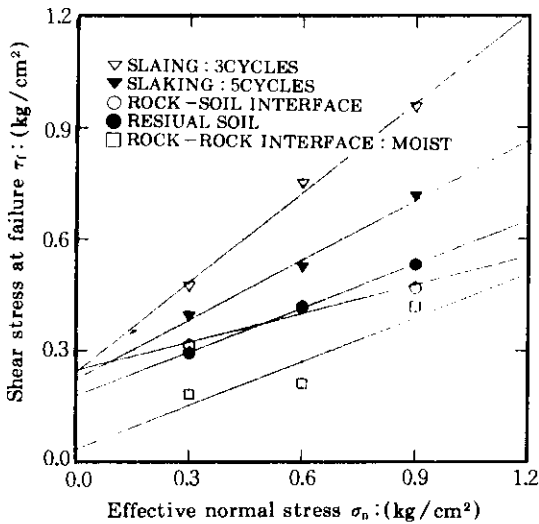


그림 6.4 잔류전단강도의 상호비교

7. 결론

점토질로 구성된 퇴적암은 건습이 반복되는 환경변화로 인하여 slaking과 팽창이 발생하고, 그에 따른 풍화의 진전으로 급속한 강도열화현상이 나타나게 된다. 이러한 퇴적암층에

위치한 사면의 안정해석을 위해서 기본적으로 요구되는 암석의 광물성분을 분석하고, slaking 및 팽창특성시험과 여러 경계조건에서의 역전식 잔류전단시험결과를 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 화학분석시험에 의하여 측정된 이암의 화학성분은 9개의 원소로 구성되어 있으며 그중 주된 성분은 SiO_2 (63.44%), 산화알루미늄(13.5%)순으로 나타났다. 또한 X선 회절분석에 의하여 식별된 조성광물의 종류는 석영, 장석 그리고 팽창성 점토광물이 대종을 이루고 있다.
- 2) slaking 내구성지수 시험결과 두번째 cycle에 해당하는 내구성지수(I_x)는 비교적 높은 값인 71~96(%)이었고, 시료분말의 액성한계가 클수록 내구성지수는 낮게 나타났다. 아울러 내구성지수는 cycle의 증가에 따라 선형적으로 감소하고 있었는데, 그 감소율은 1.8~18.0(%/cycle) 범위로서 액성한계가 높을수록 감소율이 증가하는 현상을 보였다.
- 3) 3개 시료에 대한 팽창압력시험 결과 초기 10시간 이내에 급속한 증가를 보이다가 그 이후에는 증가속도가 급격히 둔화되었으며, 약 60시간 후에 최대팽창압력이 기록되었는데 그 값은 대송면의 9.40kg/cm^2 , 지곡동의 1.65kg/cm^2 및 창포동의 0.15kg/cm^2 이다. 여기에서 팽창압력의 크기는 액성한계의 크기와 같은 경향을 보이는 것으로 미루어 보아, 각 시료에 포함되어 있는 팽창성 점토광물의 함량에 의해 좌우되는 것으로 추정된다. 또한 이암의 팽창변형률도 대송면의 33.5% 지곡동의 3.9% 및 창포동의 0.4%로서 액성한계의 크기와 같은 경향이다.
- 4) 잔적토시료에 대한 역전식 잔류전단시험 결과, 잔류강도는 수평변위가 30~40mm 도달했을 때 발현되었으며, 그 크기는 $\phi_r=14.5^\circ$, $c_r=0.25\text{kg/cm}^2$ 로써 침투강도($\phi_r=28^\circ$, $c_r=0.29\text{kg/cm}^2$)보다 훨씬 작게

측정되었다.

- 5) 건습반복에 의하여 열화된 이암의 잔류강도는 건습반복회수에 많은 영향을 받게 되고, 5 cycle 후의 잔류강도는 $\phi=28^\circ$, $c=0.25\text{kg/cm}^2$ 로 측정되었으며 건습반복의 cycle 수가 증가될수록 잔류강도는 저하되었다. 또한 습윤상태에 있는 이암-이암 경계면에서의 잔류강도가 가장 낮은 값인 $c=0$, $\phi=21.5^\circ$ 로 측정되었다.

감사의 말

본 연구는 한국과학재단 1992년도 연구지원(과제번호: 92-29-00-07)에 의하여 이루어진 연구이며, 동 재단에 감사드리는 바이다.

참고 문헌

1. 한중환, 광영훈, 손진담, 손병국(1986), 한국 동남부지역 제3기 퇴적분지의 지체 구조 발달 및 퇴적환경연구, 과학기술처, 연구보고서, KR-86-2-(B)-4, pp. 20~49.
2. Bromhead, E.N.(1978), "Large Landslides in London Clay at Herne Bay, Kent", *Quart. J. Eng. Geology*, Vol. 11, pp. 291~304.
3. Franklin, J.A. & Chandra, A.(1972), "Slake-durability Test", *Int. J. Rock Mechanics and Mining Science*, Vol. 9, pp. 325~341.
4. Head, K.H.(1982), *Manual of Soil Laboratory Testing*, Engineering Laboratory Equipment Limited, Vol. 2, pp. 509~580.
5. Morgenstern, N.R. & Eigenbrod, K.D.(1974), "Classification of argillaceous soils and rocks", *J. Geotech. Div., ASCE*, Vol. 100, pp. 1137~1156.
6. Richardson, D.N. & Long, J.D.(1987) "The sieved slake durability test", *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, Vol. 24, No.2, pp. 247~258.
7. Skempton, A.W.(1985), "Residual Strength of Clays in Landslides, Folded Strata and the Laboratory", *Geotechnique*, Vol. 35, No. 1, March, pp. 1~18.
8. Van Eeckhout, L.(1976), "The mechanisms of strength reduction due to moisture in coal mine shales", *Int. J. Rock Mechanics and Mining Science*, Vol. 13, pp. 61~67.
(접수일자 1995. 9. 29)