

포항이암의 Slaking 및 팽창특성

(Slaking and Swelling Characteristics of Pohang Mudrock)

이 영 휘^{*1}, 우 문 정^{*2}, 정 윤 태^{*3}

요 지

포항지역에서 자주 발생하는 절취사면의 활동은 주로 이암이 풍화되어 그 전단강도가 급격히 저하되므로서 발생되고 이암의 풍화는 강우에 의한 slaking 및 팽창특성에 직결된다. 본 논문에서는 포항지역의 3개지점에서 채취된 암석시료를 대상으로 광물성분, slaking에 대한 내구성 및 팽창특성시험을 수행한 결과를 보여주고 있다. 시험결과, 각 이암시료의 광물성분은 석영과 점토광물이 대종을 이루고 있으며, 2번째 cycle에서의 slake내구성지수는 71% - 96% 범위이고 암석분말시료의 액성한계가 높을수록 내구성지수는 떨어지는 경향을 보인다. 또한 팽창압력의 크기도 액성한계가 높은 시료에서 월등히 큰 9.4 kg/cm²로 측정되었으며, 이러한 경향은 팽창변형율(최대치: 33.5%)에서도 마찬가지로 나타났다.

Abstract

Failure of the cut slope in Pohang area is chiefly attributed to weathering of mudrock, which causes abrupt changes in the shear strength. The weathering is also directly related to the slaking and swelling characteristics of mudrock. This paper shows the results of the chemical analysis and the type and proportion of chief rock-forming minerals from the X-ray diffraction analysis. It also compares the test results with regard to the slaking and swelling characteristics of the mud-

*1 정희원, 영남대학교 공과대학 토목공학과 조교수

*2 정희원, 영남대학교 공과대학 토목공학과 교수

*3 영남대학교 대학원 석사과정

rocks sampled from 3 different sites. The chief 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 highest value of liquid limit. The greatest measured values of the swelling pressure and the swelling strain are 9.4 kg/cm^2 and 33.5% respectively.

1. 서론

포항지역에 분포되어 있는 퇴적층은 지질학적으로는 신생대(Cenozoic Era)- 제3기(Tertiary Period)- 중신세(Miocene Epoch)- 연일통 - 연일층군에 속하며, 지금으로부터 2300만년 전부터 500만년 전까지 약1800만년에 걸쳐 퇴적된 층으로 보고되어있다.

특히 이 일대의 지층은 양산과 울산을 가로지르는 주향이동단층(strike-slip fault)에 의한 함몰지에 조류에 의해서 운반 퇴적된 해성퇴적물⁽²⁾로써 연약지반, 잔적토층, 풍화암층 및 연암층으로 구성되었고 연암층은 혈암과 이암이 교호적으로 나타나지만 이암(mudrock)이 훨씬 우세한 편이다. 잔적토층과 풍화암층 역시 이암이 화학적 및 물리적 작용을 받아 형성된 풍화생성물로 볼 수 있다. 이와같이 포항지층의 대종을 이루고 있는 이암은 일반적으로 고결도가 낮아 대기중에 노출되면 1-2cm 간격의 균열이 발생하고 이암을 구성하고 있는 점토광물의 영향으로 흡수시에 체적팽창량이 대단히 크다.

또한 건설반복에 의한 급속한 slaking 현상으로 말미암아 그 성질이 급격히 열화(softening)되어 이 지역의 주택단지조성, 도로건설 및 공업단지 조성을 위해 건설된 절토사면에는 예외없이 크고 작은 규모의 지반활동이 발생하고 있다. 따라서 본 논문에서는 강우등에 의한 환경변화에 기인하여 이암의 전단강도가 급격히 저하되는 근본적인 원인이 되는 slaking현상 및 팽창특성을 실험을 통하여 분석하였다.

2. 암석시료 및 물리적 성질

본 연구에서 조사대상으로 선정된 지점은 현재 이암지대를 굴착하여 주택단지 또는 공업단지를 조성하고있는 현장으로서 포항시 효자동, 지곡동 일대에 건설되고 있는 포항제철 신주택단지부지(지곡동으로 명명), 포항시 창포동 일대에서 시행되고 있는 대한주택공사의 아파트단지(창포동으로 명명) 및 경북영일군 대송면일대의 포항제철 제3연관단지내에서 한국토지개발공사가 조성하고 있는 공업단지지구(대송면으로 명명)이다.

한편 3개 지점에서 채취된 이암시료의 대표적인 평균 물성치는 다음 표 2.1의 내용과 같다.

표 2.1 이암시료의 물리적성질

시료명 물리적성질	지 곡 동	대 송 면	창 포 동
채취심도(m)	2 - 3	3 - 4	15 - 20
입자의비중	2.48	2.46	2.51
자연함수비(%)	12.1	24.1	14.5
액성한계(%)	51.4	75.7	43.9
소성한계(%)	24.4	43.3	26.9
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 규석분석방법(Method for Chemical Analysis of Silicestone)과 습식분석방법(wet analysis)에 의해서 수행되었고, 시험결과는 표 3.1의 내용과 같다.

표 3.1 이암의 화학성분 (중량 백분율)

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

표 3.1의 결과중에서 수분(H₂O)는 105 °C에서 2시간, ignition loss는 950 °C에서 1시간 각각 가열한 후 측정하였다.

시험결과 3개시료의 화학성분은 모두 9개원소로 구성되어 있고, 점토광물의 주성분인 비결정질의 silica(SiO₂)가 평균 64.08%, 산화알루미늄(Al₂O₃)이 평균 11.74% 로서 대부분을 차지하고 있다.

3.2. 광물성분의 종류

암석의 공학적성질은 주로 광물 및 화학성분, 입자구조 및 배열등의 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.

특히 montmorillonite등과 같은 팽창성 점토광물의 식별 및 정량분석은 암석분말을 특수처리한 후의 비표면적(specific surface)을 측정함으로써 개략적으로 산정할 수 있다⁽¹⁾.

본 연구의 XRD분석에 사용된 Diffractometer는 일본 RIGAKU사 제품(모델명: D-MAX-3C)으로 회절분석조건은 Cu target을 사용하였고 voltage 및 current는 각각 30KV 와 30mA 였고 scan speed는 4 deg/min 이었다.

그림 3.1은 대송면 시료의 암석분말에 대한 X선 회절기록을 보여주고 있다. 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 peak의 입사각이 일치하는 경우 기지의 표준시료에 해당하는 광물이 존재하는 것으로 식별되는데, 본 연구에서는 ASTM의 JCPDS(Joint Committee of Powder Diffraction Standards)에서 발행한 분말 회절 data집을 이용하여 광물의 종류를 동정하였다. 동정결과, 암석중에 포함된 광물의 종류로는 전반적으로 석영(quartz), bentonite(또는 montmorillonite), kaolinite, illite 등이 식별되었다.

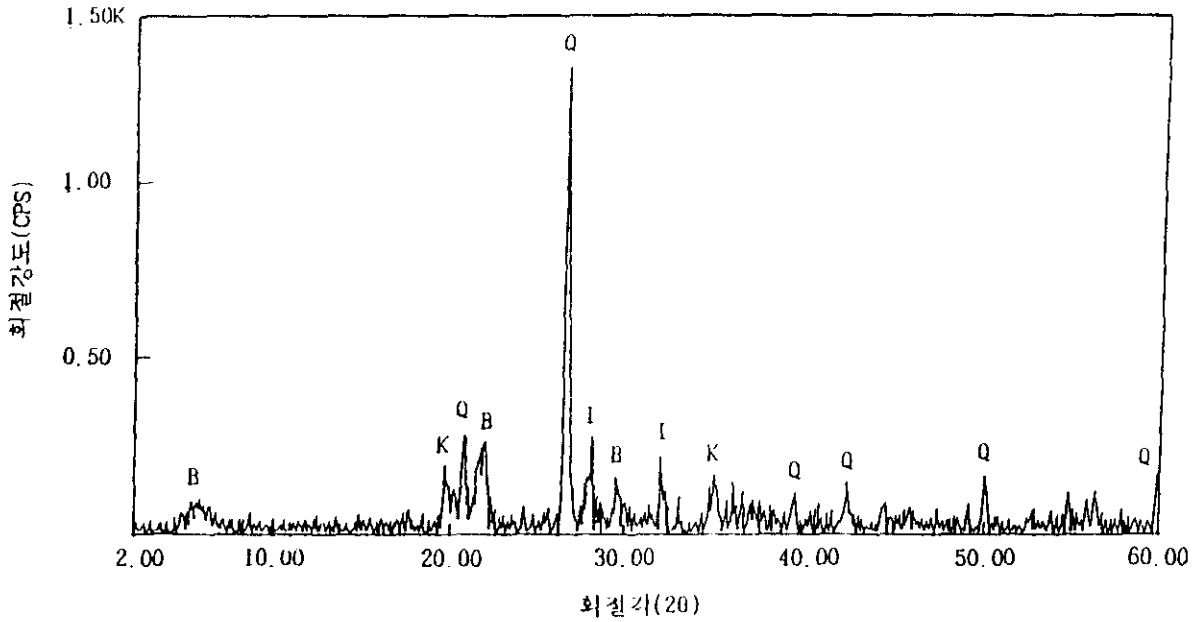


그림 3.1 이암 분말시료의 X선 회절기록(대송면)
 (Q : Quartz, B : Bentonite, I : Illite, K :Kaolinite)

3.3 구성광물의 정량분석

이암을 구성하고 있는 광물(특히 점토광물)의 정량분석은 부분적으로 X선 회절분석을 통하여 가능하지만, 단순히 회절peak의 높이나 면적을 비교하여 정량하는 방법은 각기 다른 광물의 질량흡수계수, 입자의 배열, 시료증량, 광물의 결정도등의 차이로 인하여 그 정확성이 매우 떨어진다고 알려져 있다⁽⁴⁾.

본 논문에서는 우선 석영의 결정구조가 뚜렷해서 증량비가 3% 정도만 함유되어 있어도 강도가 높은 주요 peak를 쉽게 식별할 수 있는 점을 감안하여⁽¹⁾, 3개의 암석분말 시료에 순수석영시료를 증량비로 20, 40, 60, 및 80% 혼합한 후 X선 회절분석을 실시하였다. 분석결과는 순수석영 혼합비의 증가량과 회절 peak의 면적비가 대략적으로 선형관계를 유지하는 것으로 보아 기존 암석시료의 석영함량, 즉 혼합비 0% 에서의 I_s/I_p 는 대략 표 3.2의 내용과 같이 산정되었다.

표 3.2 포항이암의 주요 광물성분

광물 시료	석영	illite	montmorillonite, kaolinite 등
지곡동	40%	27%	33%
대송면	28%	23%	49%
창포동	54%	18%	28%

또한 표 3.2에 나타난 illite의 함량은 illite만이 유일하게 K_2O 성분을 약 9% 함유하고 있다는 사실⁽⁴⁾과 화학분석시험 결과를 이용하여 산정한 것이다.

4. 이암의 Slaking 특성

이암과 같이 연하고 점토성분을 많이 함유한 암석에서 환경변화에 따른 건조·습윤 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)⁽⁷⁾은 건조의 반복에 의하여 진행성으로 연장된 내부의 불연속면을 통하여 암반에 함수비가 증가하게 되고, 그 결과 비교적 작은 파괴에너지 만으로도 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 건조과정이 여러번 반복되면 내부의 불연속면이 연장되어 궁극적으로는 air breakage 에 의하여 파괴가 발생하게 되는 것이다.

이암의 slaking 현상은 함수에 의한 팽창변형률(swelling strain) 또는 팽창압(swelling pressure)과도 밀접한 관계가 있어, 암석의 광물성분중 팽창성 점토광물 즉 Na-montmorillonite 또는 smectite의 함량이 절대적으로 중요한 인자라고 볼 수 있다.

4.1 Slake 내구성 시험(Franklin & Chandra, 1972)⁽³⁾

이 시험법은 slaking 특성을 정량적으로 나타내기 위한 대표적인 방법으로서, 그 시험장치의 개요는 105°C에서 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 철재수조 및 drum을 수조속에서 일정한 속도로 회전시킬 수 있는 motor drive의 3부분으로 구성되어 있다.

실험은 10개의 암석덩어리(건조무게: 각 40-60g, 전체시료무게: 450-550g)를 test drum속에 넣고 수조속에 수침시킨 다음 motor drive를 이용하여 약 10분간 20rpm의 속도(총 200rpm)로 회전을 시킨다. 그 후에 시료가 들어 있는 test drum을 꺼내어 oven에 넣어 건조시켜서 시험후에 잔류한 시료중량을 측정하면 내구성 지수(slake durability index, I_d)는 다음과 같이 계산되며, 일반적으로 2번째 cycle후의 지수, 즉 I_{d2} 를 많이 채택하고 있다.

$$I_d = \frac{\text{시험후의 잔류시료 중량}}{\text{초기의 건조 중량}} \times 100 (\%)$$

4.2 내구성시험결과 및 분석

그림 3.2는 3개시료에 대한 slake 내구성시험결과를 보여주고 있다. 건습반복시험회수는 5회까지 실시하였고 각시료에 대한 시험은 3번 실시하였으며 그 평균치를 취한 결과는 표 3.3에 정리되었다.

표 3.3 Slake 내구성 지수

지수 \ 시료명	지 곡 동	창 포 동	대 송 면
I_{d2} (%)	84	96	71
$\Delta I_d/\text{cycle}$ (%/회)	8.3	1.8	18.0
액성한계 (%)	51.4	43.9	75.7

표 3.3에서 전시료의 내구성지수(I_{d2})는 71-96% 로써 중간(medium) 정도 이상이고 이 결과는 이암시료의 I_{d2} 가 상당히 낮을 것이라는 예상과는 상당한 거리가 있었으며, I_{d2}

는 해당시료의 액성한계와 밀접한 관계가 있어 높은 액성한계의 시료(대송면)가 낮은 I_d 를 보이고 있다.

한편 slaking cycle 의 증가에 따른 내구성지수의 감소 추세는 그림 3.2 에서 보는바와 같이 대략적으로 선형변화를 하고 있으며, 그 기울기는 1.8-18.0 (%/cycle)로써 액성한계가 높은 시료일수록 기울기(내구성지수 감소량)도 증가하고 있다.

여기에서 slake내구성 시험이 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⁽⁶⁾. 시험과정에서 test drum안에 잔류한 암석부스러기 형상을 관찰 한 결과 본 연구에서 얻은 예상보다 높은 내구성 지수는 이상에서 언급된 문제점에 기인된 것으로 분석되었다. 이와같은 암석시료의 slake 내구성지수가 지니는 취약점을 보완하기 위하여, Morgenstern & Eigenhood(1974)⁽⁵⁾에 의해 제안된 slaking량 및 속도시험(건습반복회수의 증가에 따른 함수량의 변화와 첫번째 cycle에서의 시간경과에 따른 함수비 증가량시험) 결과가 slaking에 대한 자료로서 활용되기도 한다.

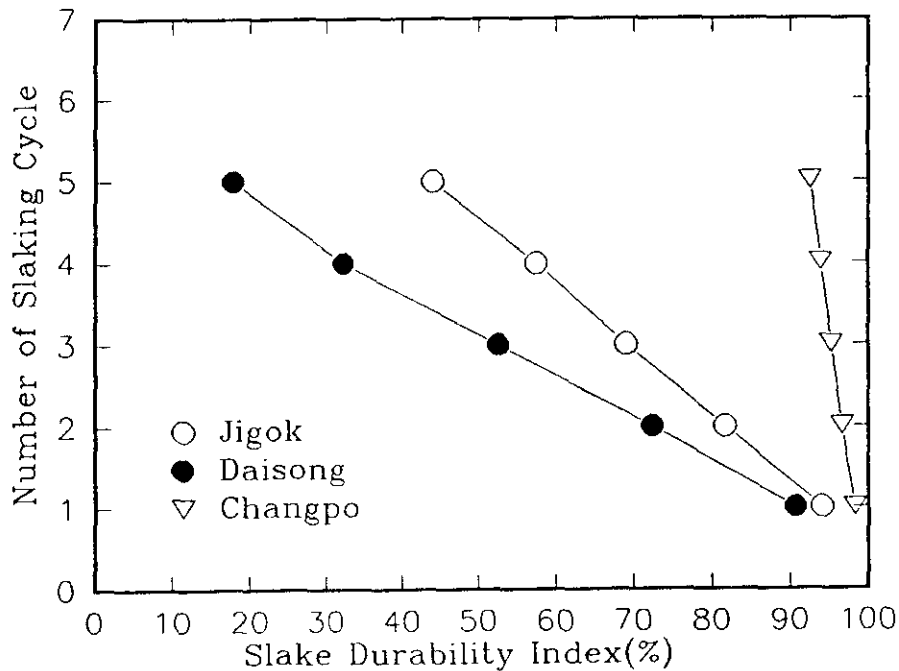


그림 3.2 포항지역 이암의 slaking cycle과 내구성지수(I_d)

5. 이암의 팽창특성

5.1 팽창압력 및 변형율시험

이암의 팽창은 점토입자의 격자구조(lattice structure)와 흡착수(connate water)의 상호작용을 통하여 발생하는 매우 복잡한 과정으로써 입자 또는 결정간의 팽창(interparticle or intercrystalline swelling)과 결정구조내의 팽창(intracrystalline swelling)에 의한 발생기구에 기인되는것으로 알려져 있다.

본 연구에서 시행한 팽창특성시험은 ISRM⁽⁸⁾에서 제시한 팽창압력(swelling pressure)과 팽창변형율(swelling strain)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 들어 갈 수 있도록 가공한다. 그 다음 여러종류의 사포를 사용하여 시편을 매끄럽게 연마한 후, 벽면마찰을 감소시키기 위하여 압밀링 내부에 high vacuum silicon greese를 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 변형율이 1/100mm 진행 될 때마다 축하중을 증가시키는데, 이때 사하중은 축방향변형이 0(zero)으로 회복 될 때까지 증가시킴으로서 실질적으로 체적변화를 허용하지 않는 상태의 팽창압력을 측정하였다. 본 시험에서 채택된 축하중 재하는 사하중(모래 및 추)을 사용하였으며, 측정에 사용된 dial gauge는 그 정도가 1/1000mm이었고 시간의 경과에 따른 팽창(재하)하중을 기록하였다. 시험은 축방향변형이 더이상 발생하지 않을 때 까지 계속하고 최종단계에서의 하중인 최대팽창하중(F)를 얻게되면, 이 암석의 팽창압력지수(Swelling Pressure Index), S.P.I = F/A (kg/cm^2) 로 계산된다. 여기에서 A는 시편의 단면적이다.

아울러 팽창변형율 시험의 시편제작 및 설치과정도 팽창압력시험과 거의 동일하며, 횡방향 구속상태하에서 축방향의 변형량은 그 값이 일정할 때까지 계속해서 측정하고 팽창변형율지수(Swelling Strain Index)는 최종변형량을 초기의 시료 두께로 나눈 값을 %로서 표시하였다.

5.2 시험결과 및 분석

그림 3.3에서는 3개시료에 대한 팽창압력의 변화를 경과시간의 함수로 나타내고있으며, 팽창압력은 모든 시료에서 초기 10시간 이내에 급속한 증가를 보이다가 그 이후에

는 증가속도가 점진적으로 둔화되어 경과시간이 약 60시간 정도에 도달했을때 최대치를 기록하고 있다.

또한 각 시료의 최대팽창압력은 대송면의 9.40 kg/cm^2 , 지곡동의 1.65 kg/cm^2 및 창포동의 0.15 kg/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 있는데, 이것은 대송면 시료가 상대적으로 높은 액성한계(75.7%)를 보이는 것으로 설명될 수 있다.

또한 그림 3.4는 연직하중이 없는 상태에서의 3개 시료에 대한 연직방향 팽창변형율을 시간의 함수로 나타내고 있다. 팽창변형율도 팽창압력의 경시변화와 마찬가지로 경과시간이 약 50시간정도까지는 팽창속도가 매우 빠르고 그 후로는 비교적 완만한 증가경향을 나타내며, 실질적인 팽창이 거의 완료된 것으로 판단되는 경과시간 280시간에서의 각 시료별 팽창변형율은 대송면 33.5% 지곡동의 3.9% 및 창포동의 0.4%로 측정되었다. 여기에서 측정된 팽창변형율의 증가 경향은 팽창압력의 변화와 거의 같은 경향이고, 또한 시료별 변형율의 크기순서도 팽창압력의 것과 유사한 양상을 보이고 있다.

그림 3.4에서 대송면 시료가 다른시료(지곡, 창포)들 보다 월등히 많이 팽창한 이유는 팽창압력에서와 마찬가지로 액성한계가 높은 대송면 시료가 더 높은 값의 ESP 값을 갖는 팽창성 점토광물에 의한 것으로 판단된다.

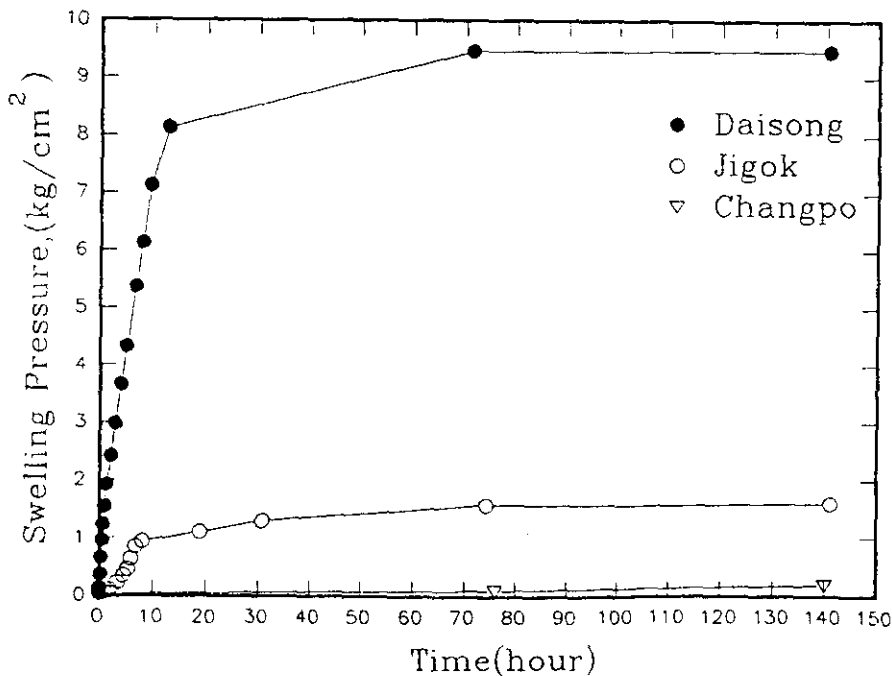


그림 3.3 시간경과에 따른 이암의 팽창압력변화

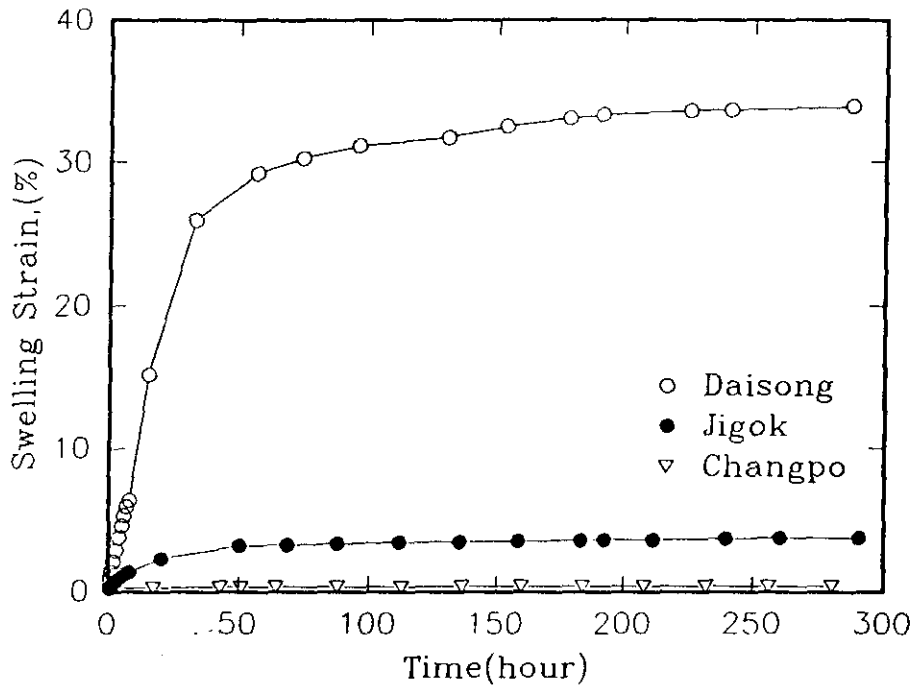


그림 3.4 시간경과에 따른 이암의 팽창변형율

6. 결론

지질학적으로 제3기에 퇴적되어 고결도가 상대적으로 낮은 이암으로 기반암이 형성된 포항지역에서 전형적으로 발생하는 자연 및 인공사면의 붕괴 또는 산사태와 관련하여, 이암의 slaking 현상과 팽창특성시험을 통하여 얻은 연구결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 이암의 광물성분

이암의 slaking 및 팽창특성에 매우 큰 영향을 미치는 조성광물의 분석을 실시하였으며, 그 주요내용은 다음과 같다.

(i) 화학분석시험

화학분석 시험결과 3개시료의 화학성분은 모두 9개의 원소로 구성되어 있었으며, 석영과 점토광물의 주성분인 비결정질의 silica(SiO_2)와 산화알루미늄(Al_2O_3)이 각각 64.61%, 11.81% 로서 대부분을 차지하고 있다.

또한 점토광물 중에서 유일하게 illite 만이 K_2O 성분을 8 - 10% 함유하고 있다는 사실로 미루어, 이암의 illite 함량을 계산하는데 화학분석 결과를 이용하였다.

(ii) 광물성분의 종류

이암을 구성하고 있는 광물성분을 정성적으로 식별하기 위하여 X선회절분석을 실시하였는데, 식별방법은 ASTM의 JCPDS data file을 이용하여 표준시료와 암석 시료의 회절기록을 비교하고 이때 입사각이 서로 일치하는 경우의 광물을 찾아냈다. 분석결과 이암에 포함된 광물의 종류는 석영, illite, kaolinite, bentonite (montmorillonite)등이 표출되었다.

(iii) 구성광물의 정량분석

X선 회절분석을 이용해서 점토광물의 함량을 동정하는데는 많은 오차가 수반된다는 지금까지의 알려진 사실을 감안하여, 결정구조가 다른 광물에 비하여 뚜렷한 석영의 함량만을 XRD에 의해서 분석한 결과, slaking량 및 흡수팽창량이 월등히 높은 대송면 시료에서는 대략 28% 이었고, 흡수팽창이 거의 발생하지 않은 창포동 시료에서의 석영함량은 대략 54% 로 높게 나타났다. 또한 illite의 함량은 화학분석결과에 의해서 계산되었으며, 기타 점토광물(montmorillonite 등)의 함량을 비교적 정확하게 동정하기 위해서는 정교한 비표면적측정 시험방법이 요구된다.

(2) 이암의 slaking특성

slaking 내구성지수 시험결과 2번째 cycle에 해당하는 내구성지수(I_{d2})는 예상보다는 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) 이암의 팽창특성

3개 시료에 대한 팽창압력 시험결과 초기 10시간이내에 급속한 증가를 보이다가 그 이후에는 증가속도가 급격히 둔화되었으며, 약 60시간 후에 최대팽창압력이 기록되었는데 그값은 대송면의 9.40 kg/cm^2 , 지곡동의 1.65 kg/cm^2 및 창포동의 0.15 kg/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 팽창은 실질적으로 약 280시간 후에는 거의 완료되는 것으로 관측되었고, 이때의 팽창변형율도 대송면의 33.5% 지곡동의 3.9% 및 창포동의 0.4%로서 액성한계의 크기와 같은 추세이며, 팽창변형율의 경시변화도 팽창압력의 그것과 매우 흡사한 경향을 보였다.

참 고 문 헌

1. 문희수, 유장한, 김국환(1986), "비금속 광상 조사연구(1)", 한국동력자원 연구소, 연구보고서, KR-86-8, 68p.
2. 한종환, 박영훈, 손진담, 손병국(1986), "한국 동남부지역 제3기 퇴적분지의 지체 구조발달 및 퇴적환경연구", 과학기술처, 연구보고서, KR-86-2-(B)-4 109p.
3. Franklin, J.A & Chandra, A.(1972), "Slake-durability Test", Int. JI Rock Mechanics and Mining Science, Vol.9, pp. 325-341.
4. Mitchell, J.K.(1976), "Fundamentals of Soil Behaviour", John Wiley & Sons, Inc., 422p.
5. Morgerstern, N.R. & Eigenbrod, K.D.(1974), "Classification of argillaceous soils and rocks", JI. 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. Van Eeckhout, L.(1976), "The mechanisms of strength reduction due to moisture in coal mine shales," Int. JI. Rock Mechanice and Mining Science, Vol.13, pp. 61-67.
8. Vutukuri, V.S., Lama, R.D. & Saluja, S.S (1974), "Handbook on mechanical properties of rocks", Vol. IV, Trans Tech Publ.