

미고결된 이암층의 Swelling 방지 그라우팅에 대한 연구 A Study on the Grouting Using a Anti-Swelling of mud stone

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 정경식²⁾, Kyoung-Sik Jung, 도종남³⁾, Jong-Nam Do,
이중재⁴⁾, Jung-Jae Lee, 김창근⁵⁾, Chang-Geun Kim, 김종호⁶⁾, Jong-Ho Kim,

- 1) 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Eng., Hanyang Univ
- 2) 한양대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University (ksic2000@s-tech.co.kr)
- 3) 한양대학교 대학원 토목공학과 석박사과정, Graduate Student, M.S. & Dept. of Civil Engineering, Hanyang University
- 4) (주)에스텍 컨설팅 그룹 대표이사, President, S-TECH Consulting Group
- 5) (주)에스텍 컨설팅 그룹 이사, Director, S-TECH Consulting Group
- 6) (주)에스텍 컨설팅 그룹 이사, Director, S-TECH Consulting Group

SYNOPSIS : Grouting operate to reinforce expanded clay ground. Cement grouting is one of the most frequently used techniques for underground construction. This work is going to use to add an electrolytic ion to boring water for expanded reduction. To construct underground structures on expanded clay ground is operated pre-grouting that it is the barrier wall previous excavation to prevent an accident. Grouting for early compressive strength development is made a type of suspension. That grouting aims to prevent the swelling magnification in length of time. From now on, grouting is became a type of higher strength suspension to develop early compressive strength.

Key words : Swelling, Slaking, Grouting, pF

1. 서론

신 제3기 퇴적암류(특히 이암)는 생성시대가 짧기 때문에 토사의 압밀 영역으로부터 cementation 영역에 이르는 도중의 과정(미고결상태)에 있다. 미고결이암은 연질한 성상을 나타내는 연암에 속하는 것이 대부분이며 원지반의 강도는 매우 낮으며, 층리면에 의한 이방성을 가지고 있지만 절리 등의 틈이 적어 비교적 등방등질한 성상을 나타내는 경우가 많다. 또한 이러한 미고결 이암층에 지하구조물 시공 시 공간 확보로 인해 유도되는 응력해방과 공내로 유입되는 지하수의 재해를 예방하기 위해서는 굴착 전에 차수 그라우팅이 선행 되어야 할 것이다(천병식, 1998).

특히, 신생대 마이오세 중기 및 후기에 포항분지에서 퇴적된 연일층군 두호층의 이암은 암석화작용(lithification)이 불완전한 암석으로 간극비가 크며 점토광물을 다량 함유하고 있어 큰 크리프 변위거동을 보이는 암석으로 보고된 바 있다.(김 등, 2003)

따라서 본 논문은 국내의 미고결 이암층의 증진 점토의 Swelling으로 인한 문제점에 대해 실내시험을 통하여 확인함과 동시에 이러한 미고결 이암의 Swelling 현상을 억제할 수 있는 그라우팅의 적용성에 대하여 검토하였다.

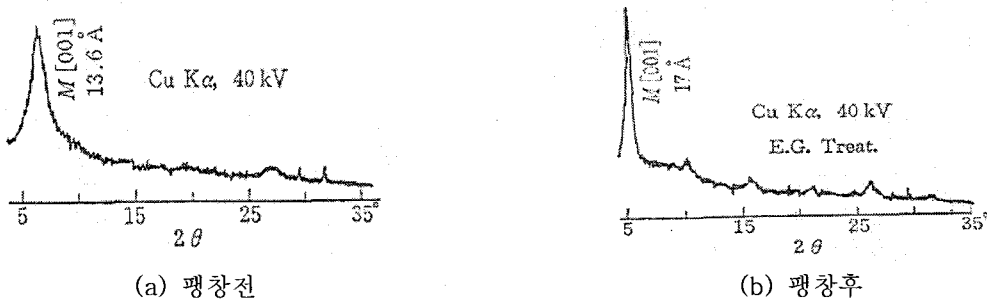
2. 점토광물의 특성

2.1 점토광물의 결정

대부분의 점토 광물은 층간의 결합력이 강해서 결정이 비교적 안정하지만 팽창성 점토 광물은 층간 결합력이 약해서, 용이하게 물(H₂O)이 침입된다. 그 결과 그림 1, 2와 같이 결정이 팽창되는 것이다.



(a) 팽창전의 결정 (b) 팽창후의 결정
그림 1. 팽창 전후의 점토광물의 결정(일본토질공학회, 1986)



(a) 팽창전 (b) 팽창후
그림 2. X선 회절도(일본토질공학회, 1986)

2.2 점토입자간의 상호 작용

그림 3과 같이 점토 입자간 근접 상태일 때에는 입자간에 인력과 반발력이 작용한다. 입자간 작용력은 인력과 반발력의 합이다. 인력이 반발력 보다 크면 점토 입자는 응집(면모화) 현상을 일으켜 침전 된다.

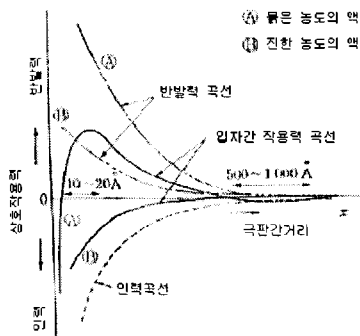
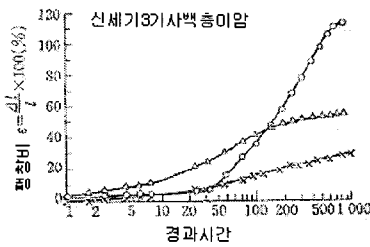


그림 3. 인력, 반발력, 입자간 작용력 곡선(일본토질공학회, 1986)

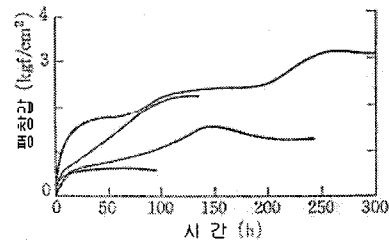
2.3 팽창량과 팽창압

Swelling은 팽창성이 강한 점토를 함유한 이암이 물과 만나게 되면 체적이 증가하는 현상으로, 체적 팽창에 의하여 지보압이 증대하면서 지보재의 파괴(숏크리트 균열, 강지보재 좌굴 등)를 발생시킨다(그림 4 참조).

터널굴착 후 갱내로 발생하는 팽창량과 팽창압은 굴착에 의한 응력해방과 물이 흡수되는 원인에 의한 것이며 이러한 현상을 방지하기 위해서 터널 굴착 전에 차수 그라우팅을 실시하여 최대한 억제하는 것이 필요하다.



(a) 흡수시간과 팽창비의 변화

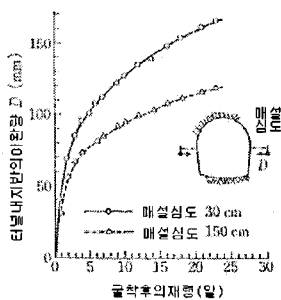


(b) 흡수시간과 팽창압력변화

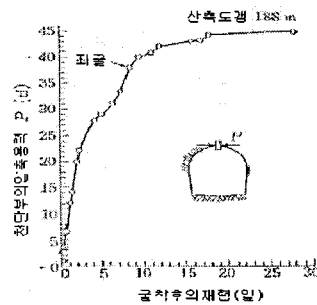
그림 4. 흡수시간과 팽창의 상관관계(일본토질공학회,1986)

팽창성 지압은 터널시공에 의해 이전의 지반내 응력평형이 붕괴되고 장시간에 걸쳐 큰 변위나 지압이 발생하는 것을 말한다. 그 원인으로서는 강도 부족 때문에 생기는 소성변형 유동, 몬모리로나이트 등의 광물에 의한 팽창, 화학변화에 의한 강도 약화, 지질 운동에 구속되었던 잠재 에너지의 해방 등으로 구분된다(그림 5 참조).

이들 현상은 신생대 이암, 사문암, 편암, 단층점토 등에서 쉽게 관찰되어진다(김 등, 1994).



터널내 지반의 이완상태



재령별 압축응력

그림 5. 터널 내 지반의 이완상태 및 천단부의 재령별 압축응력(일본토질공학회,1986)

2.4 토중수의 포텐셜에너지에 관한 용어와 실용단위

2.4.1 포텐셜에너지 제량

토중수의 포텐셜에너지 표시는 그 이론전개의 역사적 경과에 따라 각종의 용어가 사용되며 여러가지 단위가 사용되고 있다. 토중수를 취급하는 경우에는 포텐셜에너지는 (-)치를 취하는 경우가 많고 그 단위도 토중수를 비압축성으로 간주하여 체적포텐셜로 표시하는 경우가 많다. 즉 단위체적마다의 에너

지량을 표시하는 압력을 단위로서 부호를 생략하기 때문에 흡인압, 부압, 혹은 장력이라는 형태로 흔히 표시된다.

모관 포텐셜이라는 용어는 메니스커스에 기인되는 포텐셜로 오해되기 쉽기 때문에 최근에는 별로 이용되지 않고 오직 매트릭포텐셜이라는 호칭명이 이용된다. 매트릭포텐셜은 토립자의 순수와 상호 작용의 결과로 생기는 걸보기 포텐셜에너지이며 용액자체가 갖는 침투포텐셜과 위치포텐셜을 합하여 전 포텐셜을 형성한다. 이것들의 관계 개요는 그림 6을 참조하면 용이하게 이용된다(정성택 역, 2003).

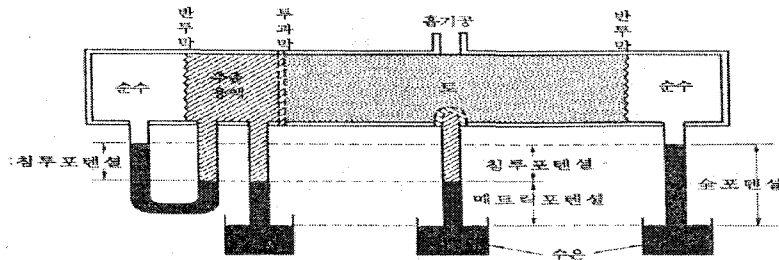


그림 6. 포텐셜 성분의 가법성을 나타낸 개념도

2.4.2 에너지 단위

포텐셜에너지의 단위에는 단위질량마다의 에너지인 비포텐셜, 단위체적마다의 체적포텐셜, 단위중량마다의 중량포텐셜, 혹은 1몰마다의 몰포텐셜 등이 있다. 이것들의 단위간 관계 및 실용단위를 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 토중수 포텐셜의 각종 단위

* SI 단위계에서는 에너지를 J, 따라서 비포텐셜은 J·kg⁻¹ 로 취급한다.

포텐셜	영어명	정의	실용단위	환수식
비포텐셜	specific potential	에너지/단위질량	ergs/g(joules/kg)	(÷ 10 ⁻⁴)
체적포텐셜	volumetric potential	에너지/단위체적	ergs/cm ³ =dynes/cm ² (bars)	비포텐셜 × 밀도 (÷ 10 ⁶)
중량포텐셜	weight potential	에너지/단위중량	ergs/dyne=cm(cmHg)	비포텐셜 /중력가속도 (÷ 13.6)
몰포텐셜	molarpotential	에너지/몰 무게	ergs(mole)	비포텐셜 × 몰 무게

2.4.3 토중수의 흡인압(pF)

토중수의 흡인압은 pF로 표시하는 것이 가장 일반적이다. 토중수의 화학포텐셜 저하량(기준으로 하는 순수에 대한 저하량)을 수주높이(cm)로 나타내어(중량포텐셜), 그 상용대수치를 pF라 부르며 식(1)과 같이 정의된다.

$$pF = \log_{10}(\Delta\mu) = \log_{10}(\mu_0 - \mu) \quad (1)$$

여기서, $\Delta\mu$, μ_0 , μ 는 각각 토중수의 화학포텐셜의 저하량, 기준이 되는 순수의 화학포텐셜, 토중수의 화학포텐셜로 cmH₂O(중량포텐셜)로 표시한 것이다.

표 2. 토중수 포텐셜의 각종 표시값

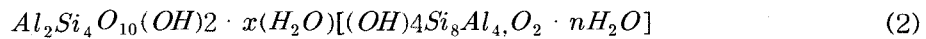
토중수포텐셜		토중수의흡인압		상대증기압
erg·g ⁻¹	J·kg ⁻¹	bar	cmH ₂ O	% 20℃
0	0	0	0	100.000
-1× 10 ⁴	-1	0.1	10.2	99.999
-2× 10 ⁴	-2	0.02	20.4	99.998
-5× 10 ⁴	-5	0.05	51.0	99.996
-1× 10 ⁵	-10	0.10	102.0	99.993
-2× 10 ⁵	-20	0.20	204	99.985
-5× 10 ⁵	-50	0.50	510	99.963
-1× 10 ⁶	-100	1.00	1 020	99.926
-2× 10 ⁶	-200	2.00	2 040	99.852
-5× 10 ⁶	-500	5.00	5 100	99.631
-1× 10 ⁷	-1 000	10.00	10 200	99.264
-2× 10 ⁷	-2 000	20.00	20 400	98.533
-5× 10 ⁷	-5 000	50.00	51 000	96.373
-1× 10 ⁸	-10 000	100.00	102 000	92.877
-2× 10 ⁸	-20 000	200.00	204 000	86.262
-5× 10 ⁸	-50 000	300.00	510 000	69.110

3. 미고결이암의 흡수시험결과 분석

미고결 이암은 일반 고결암에 비하여 강도가 낮고, 변형계수가 작으며, 함수에 의한 slaking,swelling 현상이 현저하게 발생한다.

미고결 이암은 코어상태를 보면 획득시(수침전)상태는 매우 양호하나 수침시(18시간 경과 후)상태는 코어 형상 유지가 힘들 정도로 흐트러지는 특성을 보이고 있다(그림 7 참조).

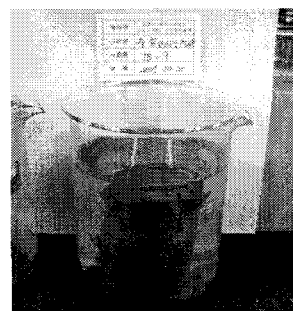
일반적으로 팽창지수제로 많이 사용되는 벤토나이트의 주성분인 몬모리로나이트 점토광물의 화학식은 식(2)와 같다.



몬모리로나이트는 전해질 이온 및 시멘트현탁액이 존재 시에는 팽창성이 없고 응집 및 고결화 현상을 일으킨다. 따라서, 몬모리로나이트와 유사한 화학식의 스멕타이트(Smectite)지역에서 천공(Ø100mm)시 우려되는 Swelling현상을 억제할 수 있는 대책은 청수에 전해질이온(예:해수성분등)을 첨가하여 제조된 천공수를 사용하면 효과적으로 Swelling현상을 억제할 수 있을 것으로 사료된다.



(a) 수 침 전



(b) 수 침 후(18시간 경과)

그림 7. 미고결 이암 수침 전·후의 코어상태

이러한 현상을 통해 판단 해 보면 팽윤성 점토는 전해질 이온이 첨가되면 응집현상을 일으키므로 미고결된 이암 팽윤성 점토의 Swelling을 억제하기 위해서는 Grouting이 응용될 수 있다. 특히, 시멘트 현탁액의 전해질 이온은 그림 8과 같이 점토와 강한 결합을 보이므로 가장 적절한 방법으로 판단되어진다.

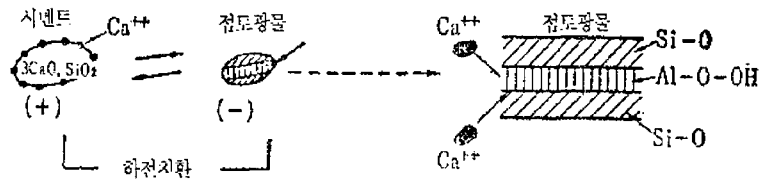


그림 8. 시멘트와 점토광물의 하전치환

4. 결론

국내의 미고결 이암층의 충전 점토의 Swelling으로 인한 문제점에 대해 실내시험을 통하여 확인함과 동시에 이러한 미고결 이암의 Swelling 현상을 억제할 수 있는 그라우팅의 적용성에 대하여 검토한 내용을 요약·정리 해 보면 다음과 같다.

- 1) 미고결된 이암 지반은 암석화작용(lithification)이 불완전한 암석으로 간극비가 크며 점토광물을 다량 함유하고 있어 큰 크리프 변위거동을 보이고 실제 사면, 흙막이공사, 터널, 도로, 철도 등의 지하구조물 시공 시에는 공간 확보로 인해 많은 문제가 예상되어지는 지층이다.
- 2) 이러한 미고결 이암층 충전점토의 Swelling을 방지하기 위해서는 Grouting이 응용될 수 있는데 특히, 시멘트 현탁액의 전해질 이온은 점토와 강한 결합을 보이므로 가장 적절한 방법으로 판단되어진다.
- 3) 시간경과에 따른 팽윤성 확대를 방지할 목적으로 조기강도 발현의 현탁액형 그라우팅을 시행하여야 될 것이다.
- 4) 향후 국내의 대표적인 미고결성이암지역(포항, 동해, 제주도등)에 적용되는 그라우팅은 강도가 조기 발현 될 수 있는 고강도의 현탁액형 Grouting으로 시행될 것으로 사려된다.

참고문헌

1. 김광식, 김교원, “포항분지 제3기 두호층 이암의 크리프 거동”, *The Journal of Engineering Geology*, 2003
2. 김성균 외 7인(1994), *지질공학원론*, 교학연구사 pp. 135, 255.
3. 일본 토질공학회(1986), *점토의불사의*, 신일본인쇄(주), pp51~80.
4. 천병식(1998), *최신지반주입 - 이론과 실제 -*, 원기술 pp. 313~317.
5. 정성택 역(2003), *토양의물리학*, 건설정보사, pp184~186.