

세일암을 이용한 고속철도 암석쌓기 장기침하 연구

A Study on a long-term settlement of the embankment using shale rock in High Speed Railway

오탈환*, 김종주**, 이성혁***, 조국환†

Tae-hwan Oh*, Jong-Ju Kim**, Seong-Hyeok Lee***, Kook-Hwan Cho†

Abstract The sedimentary rock shale is mainly constituted in the region of Daegu, Gyeongju and Ulsan. Those shales are usually used as a embankment material to save construction costs from tunnel excavation. The allowable settlement of concrete slab track is only 30mm and very strictly controlled. If settlement is over the allowable value, costs for maintenance are much higher than ballast track bed. The shale rock in this region has easily breakable characteristics after 1-year exposed but those characteristics cannot be investigated from cycle durability test result. Thus, the standards of durability quality test for the shale that could be overrated as an embankment material. The basic data for the requirements of a particle size and applicable shale embankment sections are provided in this study.

Keywords: sedimentary rock shale, ISRM 2 cycle durability test, slaking

초록 대구, 경주, 울산지역은 지질 특성상 퇴적암 세일이 주를 이루며, 터널굴착시 발생하는 버력(세일)을 유용하여 고속철도 암석쌓기로 사업효과를 극대화하였다. 콘크리트궤도의 경우 허용침하량이 30mm 이하로 쌓기재료는 매우 엄격하게 관리되어야 하며, 침하발생시 유지보수 측면에서 시간과 노력, 비용 등이 많이 소요된다. 이 지역 세일의 경우 1년 이상 풍수에 직접영향을 받는 자연환경에 노출될 경우 층리면을 따라 부서지는 슬레이킹 현상이 발생되나, ISRM 2 주기 내구성 시험결과는 층리가 없는 암석을 채취하여 시험하므로 높게 평가된다. 따라서, 암석쌓기 재료로서 과대평가 될 수 있는 세일에 대한 내구성 품질시험 기준과 암석쌓기 입도요건, 세일 암석쌓기 적용개소에 대한 기초자료를 제시하였다.

주요어 : 퇴적암 세일, ISRM 2주기 내구성 시험, 슬레이킹

1. 서론

대구, 경주, 울산지역 지질은 주로 경상분지 점성토 퇴적암 세일이 주를 이루며, 층리면에 평행한 전단강도가 매우 약하며, 대기노출 및 침수와 같은 환경변화에 민감하여 강도저하와 슬레이킹 현상이 발생한다. 경부고속철도 2단계구간은 2010년 개통하여 운행중에 있으며, 콘크리트궤도 적용으로 허용침하량은 30mm 이하로 쌓기재료는 매우 엄격하게 되어야 하며 침하발생시 유지보수 측면에서 시간과 노력, 비용 등이 많이 소요된다.

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 석사과정(thoh@kr.tc.co.kr)

** 케이알티씨 지반공학부서장

*** 한국철도기술연구원 수석연구원, 공학박사

† 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수(khcho@seoultech.ac.kr)

이 지역은 터널굴착시 발생한 버력(세일)을 일부 브레이커로 소할 암석쌓기로 사업효과를 극대화하였으나 현재 일부구간에서 침하가 발생하고 있으며, 침하 원인으로서는 입도조건이 불량한 상태의 공극발생 조건에서 수분공급이 빈번하거나 오랜 기간이 경과하면 암이 약화되어 응력이 집중된 부분이 파괴되어 성토체 침하의 원인 중 하나로 판단된다.

철도시설공단 KR-CODE(2015)에 “역학적 특성에 의해 쉽게 부서지거나, 수침반복시 연약해지는 재료는 공사감독자의 승인을 받은 후 사용해야 한다” 로 되어 있으나 세부적인 기준이 없는 상태이며, 따라서, 암석쌓기 재료로서 과대평가 될 수 있는 세일에 대한 내구성 품질시험을 통하여 세일 암석쌓기 적용개소에 대한 기초자료를 제시하였다.

2. 연구동향 및 암석쌓기설계기준

2.1 퇴적암 세일에 대한 연구동향

김영수(1999)는 대구지역의 퇴적암 세일에 대한 KS에서 규정하고 있는 골재시험을 실시하여 각 시험결과의 상관성을 희귀분석 실시한 결과 흑색세일은 Slaking 시험결과 손실이 없었으며, 파쇄직후 골재의 공학적 특성시험결과 보조기층재료로 KS규정에 적합하게 판정되었다. 하지만, 암석을 파쇄하여 자연상태로 노출시킨 후 6개월 시간경과에 따라 손실율이 높아졌으며, 1년 후 골재의 KS규정치에 부적합한 실험결과로 측정되었다.

박준영(2006)은 Slaking 내구성 시험은 기존의 ISRM 기준에 따르면 Slaking 시험의 2주기 실시하도록 제안하고 있으나 이질암의 경우 2주기의 시험으로는 변화의 변별력이 약하므로 내구성을 평가하기 어렵기 때문에 3주기 이상의 시험이 필요한 것으로 알려지고 있다. 퇴적암에 특화되어 개선된 3주기 1000회전의 Slaking시험법을 적용하였다.

김현수(2012)는 내구성시험에서는 사암 및 세일 모두 극히 높은 내구성을 가지고 있는 것으로 평가 되었다. 그러나 풍화민감도 분석결과 세일은 풍화취약 광물이 다량 함유되어 풍화에 취약한 것으로 평가되었다. Slaking 시험결과는 단시간 동안 수행되는 시험결과로 수개월에서 수년동안 발생하는 장기적인 풍화 측정을 확인할 수 없으므로 불연속체 설계지반 정수 산정시 풍화민감도 분석결과를 반영하여 시험 값의 20%를 감소시켰다.

이승환(2013)은 실험 결과, 블랙세일은 옥외 폭로 4개월 경과 후 모암의 모서리 부분에서 박리 현상이 발생되었으며, 6개월 경과 후 층리의 방향에 따라 균열이 발견되었다. 레드세일의 경우 직접 폭로 2개월 경과 후 층리의 방향에 따라 균열이 시작하여 시간 경과에 따라 균열이 진행되었으며, 점차 넓어졌다. 4개월 후에는 모암의 모서리 부분에서 박리현상이 발생되었으며, 8개월 경과 후 약 80% 정도의 질량 감소 및 잘게 부스러지는 현상이 뚜렷하게 나타났다.

2.3 철도노반 암석쌓기 시공기준

KR CODE(2015)에 의하면 콘크리트궤도용 암쌓기 입도재료 요건은 현장 시험시공 등을 거쳐 소요 지지강성 및 안정성 검증을 만족할 경우 별도의 입도요건을 적용할 수 있다. 암쌓기 재료로서 셰일 등 암석의 역학적 특성에 의해 쉽게 부서지거나, 수침반복시 연약해지는 재료는 공사감독자의승인을 받은 후 사용하여야 한다. 암쌓기시 각극이 충분히 메워질 수 있는 재료를 선정하여 깔기 후 다짐을 하여야 한다.

2.4 고속도로 암성토 시공기준

암재료가 풍화암이나 약암(셰일 등)의 경우 아래 Fig. 1(a)과 같은 상태에서 수분공급이 빈번하거나 오랜 기간이 경과하면 암이 약화되어 응력이 집중된 부분이 파괴되어 Fig.1(b)와 같은 상태로 암성토체의 침하를 유도하게 된다. 따라서 이러한 재질의 암재료는 일반성토재료의 기준과 기타 부득이 약암재료를 암성토 방법으로 시공하여야 할 경우 충분한 사전 검토 후 성토고가 높거나 수분의 공급우려가 있는 성토부위를 피하고 다짐회수를 적정하게 증가시켜야 한다.

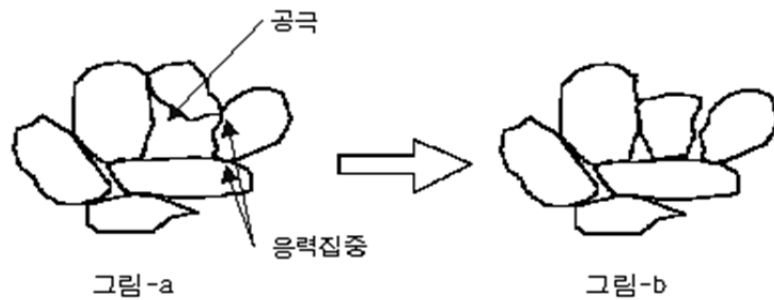


Fig. 1 암성토체침하발생과정

3. 현장조건에 따른 Slaking 내구성 지수시험

3.1 Slaking 내구성 지수시험(ISRM)

암석이 대기에 노출되어 침수와 건조상태를 반복적으로 받게되면 열화하게 된다. 특히 셰일이나 풍화된 화성암의 경우 열화현상이 심하게 나타난다. 이러한 침수와 건조상태의 반복에 대한 암석의 저항 척도를 나타내기 위해 마모저항지수(slaking durability index)를 사용한다. 이를 측정하는 마모저항시험에서는 아래 Fig. 2와 같이 회전하는 체망 드럼을 사용한다. 시료를 체망에 넣고 20rpm으로 10분간 회전시킨 후 드럼 속에 남아있는 암석편을 건조시키고 다시 똑 같은 과정을 거쳐 남겨진 시료의 무게를 측정한다. 처음 암석편의 무게에 대한 남겨진 시료 무게의 백분율을 마모저항지수라 한다. 마모저항지수의 값이 작으면 대상 암석은 열화되기 쉽다.

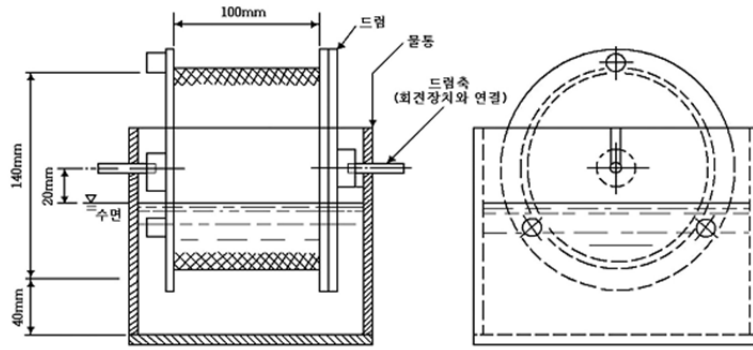


Fig. 2 Slaking 내구성 시험장치

Gamber(1971)은 대표성을 갖는 다수의 세일과 점토암 시편들에 대한 마모 저항시험을 실시한 결과 마모저항지수가 0에서 100%까지 넓게 분포함을 보였다. 위 실험결과를 바탕으로 암석의 마모저항치에 대한 분류기준을 아래Table. 1과 같이 제안하였다.

Table. 1 암석의 마모저항도 분류

분 류	첫 10분 회전 후 잔류량 (중량비)×100%	2회의 회전 후 잔류량 (중량비)×100%
매우 큰 저항성	> 99	> 98
큰 저항성	98~99	95~98
비교적 큰 저항성	95~98	85~95
중간의 저항성	85~95	60~85
작은 저항성	60~85	30~60
매우 작은 저항성	< 60	< 30

3.2 Slaking 내구성 지수시험(경부고속철도 11-1 공구)

3.2.1 현장 지질특성(경부고속철도 11-1 공구)

경상분지 일대를 넓게 분포하는 경상누층군은 화산활동에 의한 백악기의 퇴적분지로서 거의 고결도가 높은 역암, 상암, 이암, 세일 등으로 이루어져 있고, 주로 세일층이 분포하며, 비교적 층리 및 층리 절리가 발달되어 있다.

Fig. 3(b)와 같이 흑색세일은 풍화에 취약하여 표면에 있는 암반은 세편화 되거나 가루로 변화였다. 강도도 매우 낮아 손으로 힘을 주면 부서러 진다. 그러나 표면을 제거하고 나오

는 암반은 햄머를 약간 튕겨낼 정도의 강도를 가지고 있다.



(a) 암깎기구간 전경

(b) 암깎기구간(풍화진행)

Fig. 3 현장현황(경부고속철도 11-1 공구)

3.2.2 Slaking 내구성 시험결과(경부고속철도 11-1 공구)

Slaking 내구성 시험결과, Table. 2에 따르면 대상 세일의 마모 저항값은 비교적 큰저항성을 가지는 것으로 분류된다

그러나 ISRM 지침에 따라 내구성 시험을 수행하기 위해서는 중량 40~60g 정도의 구형 시료를 성형해야 하며, 본 현장 암반과 같이 층리가 발달한 경우 시료의 형성이 어렵다. 즉, 채취된 현장 시료 중 내구성 시험을 위한 공시체 성형이 가능한 암석에 대해서만 시험을 하였으므로 내구성이 실제보다 높게 평가되었음을 알 수 있었다.

Table. 2 암석 내구성 지수 시험결과(경부고속철도 11-1 공구)

Sample Number	Rock Type	Id ₁ (%)	Id ₂ (%)	Depth(m)
NO. 1	Shale	96.32	93.74	노출사면
296K-140	Shale	99.79	99.55	노출사면
294K(R)	Shale	99.90	99.71	노출사면
294K(R)	Shale	99.70	99.39	노출사면

3.3Slaking 내구성 지수시험(울산신항인입철도)

3.3.1 현장 지질특성(울산신항인입철도)

경상분지 내 백악기 사암 및 셰일이 호층으로 분포되어 있는 지역으로 신생대 제3기의 퇴적암 중 이암이나 응회암은 팽창성이 매우 큰 몬모릴로나이트와 같은 점토광물을 포함하고 있기 때문에 대기 중에 노출될 경우, Fig. 4와 같이 강우 또는 계절적 건습 반복 작용 등에 의해 강도를 잃고 쉽게 부지지는Slaking 현상이 발생하는 특성을 가지고 있다.



(a) 암깎기구간 전경

(b) 암깎기구간(풍화진행)

Fig. 4 현장현황(울산신항인입철도)

3.3.2 Slaking 내구성 시험 결과(울산신항인입철도)

시간에 따른 강도변화를 고려한 암반사면의 풍화민감특성 분석 Slaking 내구성 시험은 기존의 ISRM 기준에 따르면 Slaking 시험의 2주기 실시하도록 제안하고 있으나 경부고속철도 11-1공구와 같이 변별력이 약하므로 내구성을 평가하기 어렵기 때문에 Fig. 5와 같이3주기 이상의 시험을 실시하였다.



(a) Sh-5(1 회 시험 후)

(b) Sh-5(2 회 시험 후)

(c) Sh-5(3 회 시험 후)

Fig. 5 Slaking 내구성 시험(울산신항인입철도)

Table. 3에 따르면 대상 셰일의 파쇄직후 단시간 동안 2주기에서 3회 이상 실시하여도 큰 차이가 없음을 확인하였으며, 이는 층리가 없는 양호한 암석을 채취하여 시험하는 영향

도 크다는 것을 유의해야 한다. SH-5는 6개월간 풍수에 직접 영향을 받은 암석으로 손실이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 단시간 동안 수행하는 마모저항 회수 증가 보다는 시간경과에 따른 풍화도가 크다는 것을 확인하였다.

Table. 3 암석 내구성 지수 시험결과(경부고속철도 11-1 공구)

Sample Number	Rock Type	Id ₁ (%)	Id ₂ (%)	Id ₃ (%)	Id ₄ (%)	Depth(m)
SH-1	세 일	99.40	98.92	98.59	98.39	노출사면
SH-2	세 일	99.41	99.01	98.75	98.65	노출사면
SH-3	세 일	99.50	98.97	98.77	98.54	덕하터널
SH-4	세 일	99.55	98.93	98.53		덕하터널
SH-5	세 일	79.39	61.10	48.68		6 개월 야적암
S-1	사 암	99.60	99.15			덕하터널

4. 결 론

본 연구에서는 암석쌓기 재료로서 과대평가 될 수 있는 세일에 대한 내구성 품질시험을 통하여 세일암석쌓기 적용개소에 대한 기초자료를 제시하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. KR CODE(2015)에 의하면 암쌓기 재료로서 세일 등은 세부적인 시험방법 및 기준이 명확하지 않음을 알 수 있었다. 이에 세일 암쌓기를 한 구간에서는 Slaking에 의한 침하가 지속적으로 발생하고 있음을 알 수 있었다.
2. 세일 내구성 시험결과 Slaking시험주기를 2주에서 3주 이상으로 증가하여도 단시간 동안에 수행하는 시험결과는 큰 차이가 없이 높은 내구성을 가지고 있는 것으로 평가되었다. 암석을 파쇄하여 자연상태로 노출시킨 후 6개월 이상 수년 동안 장기적인 풍화측정에는 한계가 있으므로 풍화민감도 분석결과를 반영한 내구성 감소를 적용 등 추가적인 기준이 필요함을 알 수 있었다.
3. 수침 또는 수침반복 시 풍화작용으로 세편화가 예상되는 취약개소에서는 세일 암쌓기를 제한하여 Slaking에 의한 침하를 방지하여야 한다.

참고문헌

- [1] 김영수등 4명(1999), 시간경과에 따른 퇴적암 쇄석골재의 특성, 대한토목학회 학술발표회논문집4, 137~140(4pages)
- [2] 박준영 등 6명(2006), 시간에 따른 강도변화를 고려한 암반사면의 풍화민감특성 분석 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제16권 제2호, 109~134(26pages)
- [3] 김현수등 5명(2012), 퇴적암 특성을 고려한 합리적인 비탈면 설계방법, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 90~95(6pages)
- [4] 이승환등 4명(2013), 대경권 세일골재의 풍화특성 및 세일골재 사용량에 따른 콘크리트 동결융해 특성, 한국산학기술학회논문집 제14권 제8호4033~4038(6pages)
- [5] 한국철도시설공단(2015), KR-CODE(KR C - 04020 쌓기)
- [6] 한국도로공사(2015), 도로설계기준