

대경권 세일 비탈면 현장 재하실험



박 성 식

경북대학교
토목공학과 부교수
(sungpark@knu.ac.kr)



남 정 일

대구도시공사
부장



김 칠 환

동진건설
소장



홍 순 표

대경이앤씨
대표이사



유 철 호

대평씨앤씨
대표이사



예 성 렬

경북대학교
토목공학과 석사과정

1. 서론

대구경북지역(대경권) 지질은 대부분 세일(shale)이나 이암과 같은 퇴적암층으로 구성되어 있으며, 이로 인해 국내 다른 지역에 비해 비탈면의 안정성이 매우 취약하다. 특히 세일은 퇴적암 중에서도 절리가 발달하여 이방성이 가장 뚜렷하게 나타나며 대기노출 또는 침수와 같은 환경변화에 다소 민감하게 반응하여 slaking이나 swelling 특성을 나타낸다(곽성민 등, 2013; 김영수 등, 2001; 이영휘 등, 2000; 이승한, 2012). 기존의 국내 비탈면 안정성 연구는 주로 화강암 또는 석회암 계통을 모암으로 하는 비탈면에 대한 연구로 집중되어 있어 대경권 퇴적암층 특성을 분석하여 설계에 적용할 수 있는 실증적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 대경권의 대표적 퇴적암인 세일로 구

성된 비탈면에 다양한 종류의 쏘일네일링을 시공한 다음 실물(full-scale) 현장 모형실험을 실시하였다. 현장 모형 비탈면에 시공된 쏘일네일링의 인발저항력과 상부 하중 재하에 따른 응력 변화를 관찰하여 세일층 비탈면에 대한 쏘일네일링의 보강 효과를 평가하고자 하였다.

2. 현장 모형 비탈면

2.1 현장 지질

본 연구 실험부지는 대구광역시 달성군 현풍면 일원으로 경상계 퇴적암류가 분포하고 있으며, 낙동계통의 낙동층, 운산동층, 칠곡층과 신라계통의 신라역암

층, 성암층, 낙동층 등이 비교적 하부로부터 상부에 이르기까지 본 지역에 광범위하게 분포되어 있다. 현장 모형 비탈면의 경우 대부분 세일로 구성되어 있으며, 절리면을 따라 충전물이 많고 비탈면 좌측상단에서 하부로 1m 정도 충전층이 관입되어 있다.

2.2 현장 비탈면 제작

현장 모형실험 부지에 대한 측량을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 실스케일로 비탈면을 제작하였다. 현장 모형 비탈면 재하실험 부지는 10 x 24.5m 이며, 비탈면 최대 높이는 11m이다. 비탈면 경사는 1:0.2로 절취하였다. 그림 1과 같이 현장 지표지질조사 결과를 바탕으로 현장 부지 좌측을 Section 1, 현장 부지 정면 우측을 Section 2로 구성하였다. 그림 2는 현장 모형 비탈면 측량 결과를 3차원으로 나타내었다.

2.3 현장 비탈면 지질조사

2.3.1 Section 1 비탈면

Section 1의 경우 현장 모형 비탈면의 좌측에 해당되며 총 연장 10m이며 비탈면 최대높이는 10m이다. 비탈면은 적색 세일로 구성되어 있으며, 흑색 세일이 혼재되어 있다. 비탈면 상부는 보통~완전 풍화 상태이며, 하부는 약한~보통 풍화 상태이다. 세일층 층리

는 070~090의 방향성으로 5~10°의 경사를 이루고 있으며, 비탈면에 수직으로 절리가 발달되어 있다. 조사 결과 절리는 총 3개군으로 81/175(dip/dip direction), 75/263, 14/083으로 나타났다. 세일층 층리 사이로 점성질 또는 사질의 seam이 뚜렷이 확인되며, seam을 경계로 차별 풍화가 진행된다. 슈미트해머시험 결과 평균 15MPa의 값을 나타내었다. 그림 3(a)는 비탈면 측면 전경이고, 그림 4(a)는 비탈면 표면, 그림 5(a)는 비탈면 조사 결과이다.

2.3.2 Section 2 비탈면

Section 2는 현장 모형 비탈면 정면에 위치해 총 연장 24.5m 구간 중 우측 13m 구간에 해당되며, 비탈면 최대높이는 11m이다. 비탈면 정면의 경우 좌측은 풍화가 심하며, 비탈면 우측 쓰일네일 시공 시 영향 범위를 고려하여 시험부지에서 제외하였다. 비탈면은 적색 세일로 구성되어 있다. 비탈면 상부는 완전 풍화이며, 하부는 약한 풍화상태이다. Section 1과 동일하게 세일층 층리가 존재하며 층리 사이에 사질의 seam이 뚜렷이 확인되며 이를 경계로 차별 풍화가 진행된다. 조사결과 절리는 총 3개군으로 83/172(dip/dip direction), 76/264, 12/084으로 나타났으며, 슈미트해머시험 결과 평균 22MPa의 값을 나타내었다. 그림 3(b)는 비탈면 정면 전경이고 그림 4(b)는 비탈면 표면, 그림 5(b)는 비탈면 조사 결과이다.

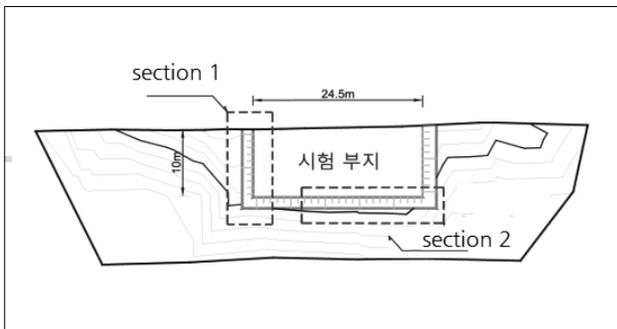


그림 1. 현장 모형 비탈면 구성

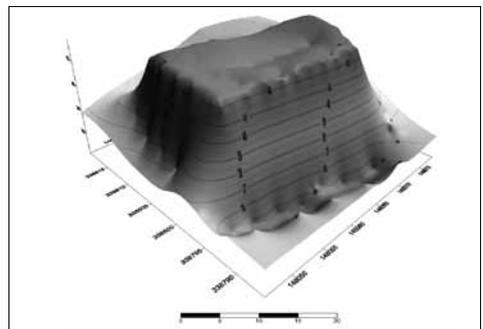


그림 2. 현장 모형 비탈면 3차원 형상



(a) Section 1(비탈면 측면)

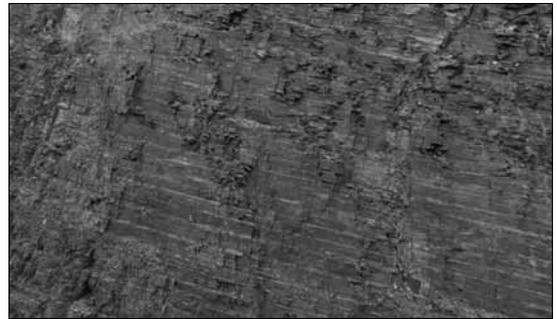


(b) Section 2(비탈면 정면)

그림 3. 현장 모형 비탈면 전경

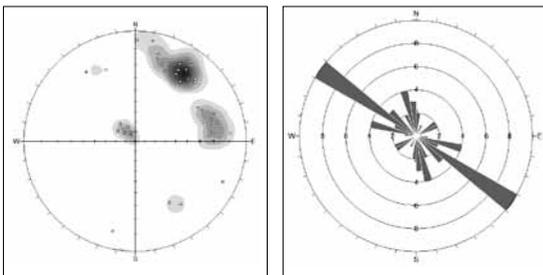


(a) Section 1(seam 발달)

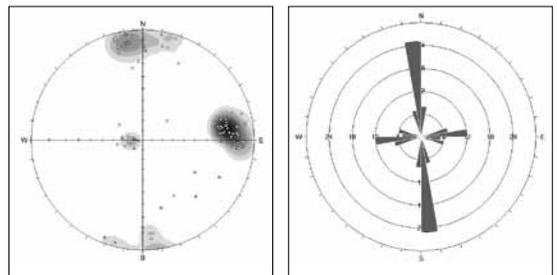


(b) Section 2

그림 4. 현장 모형 비탈면 표면



(a) Section 1



(b) Section 2

그림 5. 현장 모형 비탈면 조사 결과

3. 쏘일네일링 시공 및 종류

3.1 쏘일네일링 시공

비탈면 조사결과를 바탕으로 네일의 세일층 비탈

면 보강효과를 규명하고자 그림 6과 같이 네일을 시공하였다. 보강재는 D25 이형철근을 사용하였으며, Section 1에 12공을 비탈면 상부에 수직으로 4m 길이로 시공하였고, Section 2는 12공을 비탈면에 15°의 각도로 3m 시공하였다. 네일의 종류는 일반 쏘일네

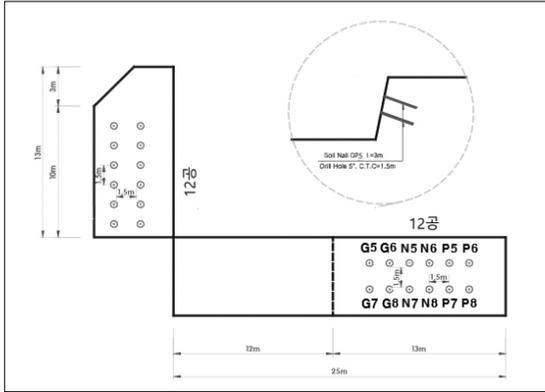


그림 6. 비탈면 네일 시공 도면

일, 무그라우팅 쏘일네일, 섬유혼합 그라우트 쏘일네일 3가지로 하였으며, 각각에 대하여 G, N, P로 표시하였다.

3.2 쏘일네일링 종류

본 연구에서는 대경권 세일 비탈면에 가장 효과적인

쏘일네일링의 종류와 새로운 쏘일네일링 공법의 성능을 시험하기 위해 현장 모형 비탈면에 3 종류의 쏘일네일링을 시공하였다. 쏘일네일링의 종류는 앞서 언급한 것처럼 일반 쏘일네일링, 그라우팅에 섬유를 혼합한 쏘일네일링, 무그라우팅 쏘일네일링 3 종류를 시공하였다. 일반 쏘일네일링의 경우 비탈면 천공 후 인장재 삽입, 그라우팅 순으로 진행하였으며, 섬유혼합 그라우팅 쏘일네일링의 경우 그라우팅 시 PVA 섬유를 1% 혼합하여 그라우팅하였다. 무그라우팅 쏘일네일링의 경우 그라우팅을 실시하지 않는 대신 본 연구에서 개발 중인 별도의 썬치를 사용하였으며, 이는 쏘일네일링의 인발저항력을 증가시키기 위해서이다. 그림 7과 8은 무그라우팅 쏘일네일링의 개략도와 실제 모습을 나타내고 있다.

3.3 변형률계(Strain gauge) 설치

본 연구에서는 혈암 비탈면에 대하여 재하실험 후 이에 따른 네일링 보강 효과를 규명하기 위하여 철근에 변

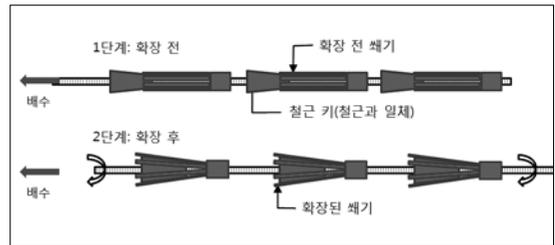
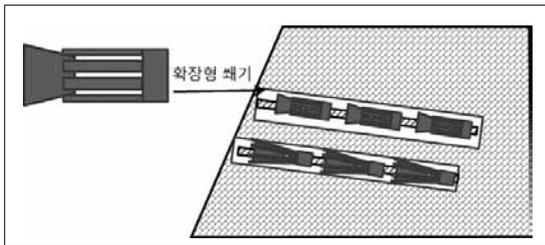


그림 7. 무그라우팅 쏘일네일링 개략도 및 원리



그림 8. 무그라우팅 쏘일네일링의 실제 모델

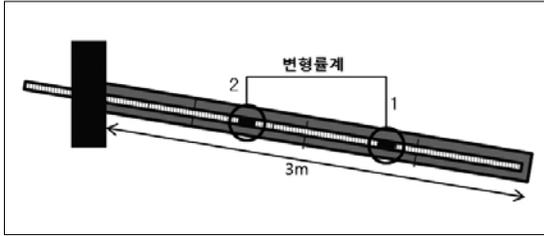


그림 9. 변형률계 위치

형률계를 설치하였다. 변형률계는 1m간격으로 2개를 설치하였으며 선단에서 가까운 곳을 1, 먼 곳을 2로 나타내었다(그림 9). 그림 10은 변형률계 부착과정이다.

4. 쏘일네일링 인발시험

4.1 인발시험

인발시험은 쏘일네일링 시공전의 천공작업, 네일장착, 그라우팅 작업이 제대로 이루어 졌는지 판단하기 위한 필수적인 요소이다. 인발 시험의 기준은 각 국가에서 규정한 시방서에 따라 차이가 있으며 구체적으로 단계별 하중증가량, 단계별 하중 적용 시 시간간격, 하중 적용 시 변위측정 회수 등 각 국가 인발시험 규정에 명기된 시험 종류에 의해 결정된다. 본 연구에서는 네



1. strain gauge 부착



2. M-coat A 도포(방수처리)



3. VM Tape 피복(방수처리)



4. 방수스프레이 도포



5. 청테이프 피복(게이지 보호)



6. 스트레인게이지 작동검사

그림 10. 스트레인게이지 부착과정

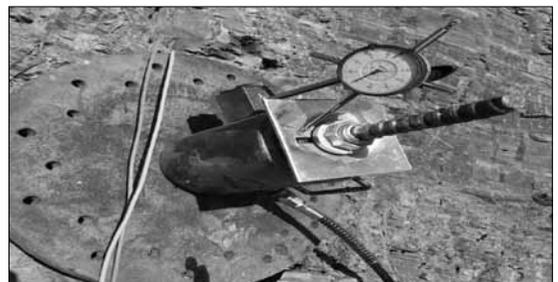


그림 11. 네일링 인발시험

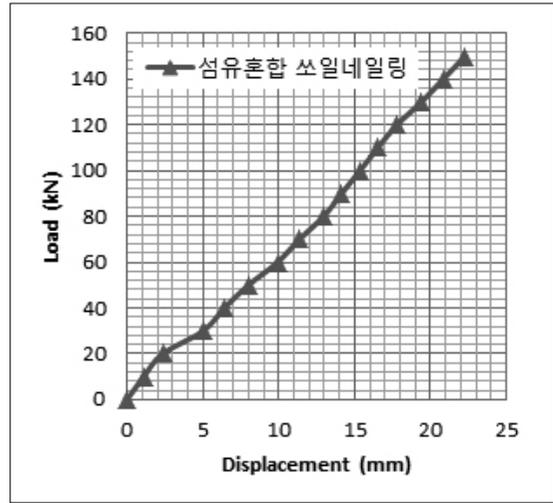
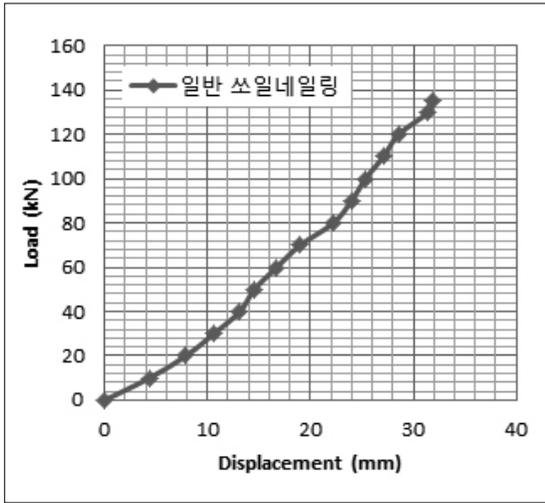


그림 12. 하중-변위 곡선

일에 하중을 적용시킨 후 더 이상 변위가 발생하지 않을 때 수치를 읽고 다음 단계의 하중을 작용시키는 방식으로 진행되었다. 그림 11은 현장 모형 비탈면에 시공된 쏘일네일링에 대한 인발시험 장면이다.

흘러들어가 각 네일공 마다 그라우팅 양에 차이가 있음을 고려해 볼 때 네일 종류에 따른 인발특성에 대한 연구는 향후 좀 더 수행할 필요가 있다. 그림 12는 각 네일에 대한 인발시험 하중-변위 곡선이다.

4.2 쏘일네일링 인발시험 결과

인발시험 결과 저항력의 크기는 섬유 혼합 그라우트 쏘일네일, 일반 쏘일네일, 무그라우팅 쏘일네일 순으로 나타났다. 섬유 혼합 그라우트 쏘일네일의 경우 최대시험 하중이 150kN/본으로 나타났으며 최대하중 단계에서 인발량은 22.27mm로 나타났다. 일반 쏘일네일의 경우 최대시험 하중이 135kN/본으로 나타났으며, 최대하중 단계에서 인발량은 31.88mm로 나타났다. 무그라우팅 쏘일네일링의 경우 인발에 저항하지 못하고 손쉽게 뽑혀 나오는 것을 확인하였다. 섬유 혼합 그라우트 쏘일네일이 일반 쏘일네일 보다 더 큰 저항력을 가지며 인발량에 있어서 더 작은 변위를 가지는 것은 PVA 섬유로 인하여 지반과 네일사이의 마찰 저항력이 증가한 것으로 판단되지만, 실험 개수가 적고 그라우팅 당시 절리면을 따라 시멘트 페이스트가

5. 하중재하 실험

5.1 하중재하방법 채택

본 연구에서는 세일 비탈면에 대하여 재하시험 후 이에 따른 네일링 보강 효과를 규명하기 위하여 비탈면 상부에 인위적인 하중을 주었다. 그 방식에는 물탱크를 이용한 재하, 콘크리트 블록을 이용한 재하, 건설장비를 이용한 재하 등 다양한 방법을 고려해 보았으나, 현장여건에 따라 건설장비를 이용한 재하방법을 채택하였다. 뿐만 아니라, 비탈면 정상부 전면 후방 3m 지점에 트렌치를 시공함으로써 비탈면의 상부에 추가 하중으로 작용하도록 유도하였다. 그림 13은 하중재하실험 장면이다.



그림 13. 하중재하 실험

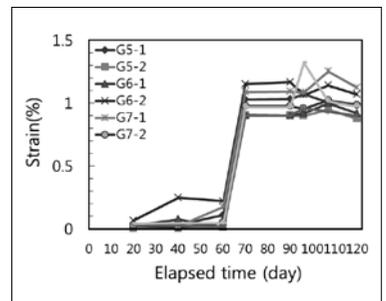
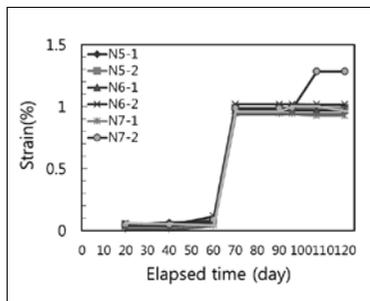
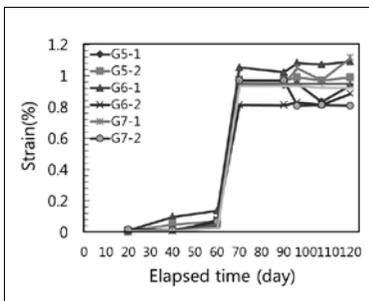


그림 14. Section 2 변형률 계측결과

5.2 하중재하실험 결과

변형률은 120일간 10~20일 간격으로 측정하였으며, 처음 60일간은 하중재하 없이 시간에 따른 변형률의 변화를 측정하였다. 네일시공 후 70일이 되는 시점에는 도저(dozer)를 이용하여 하중 재하를 실시하였다. 그 결과, 일반 쏘일네일링은 최대 1.05%, 무그라우팅 쏘일네일링은 1.01%, 섬유혼합 그라우트 쏘일네일링은 1.17%의 변형률을 보였다. 네일시공 후 120일이 되는 시점에서는 도저가 비탈면에 미치는 영향을 증가시키기 위하여 비탈면 상부 2m 가량의 표토를 제거하였으며, 재하 중 진동을 가하는 방식 등으로 실험을 진행하였다. 그 결과, 일반 쏘일네일링은 최대 1.12%, 무그라우팅 쏘일네일링은 1.28%, 섬유혼합 그라우트 쏘일네일링은 1.32%의 변형률을 보였다(그

림 14). 그라우트에 적정량의 섬유를 혼합하면 휨 및 전단저항력이 증가한다는 기존 다수의 연구 결과에 따라 섬유혼합 그라우트 쏘일네일링의 변형률이 가장 작을 것으로 예상하였지만 실험 결과 섬유혼합 그라우트 쏘일네일링의 변형률이 가장 크게 측정되었다. 이것은 실험 대상 비탈면에 대하여 50ton의 도저가 미치는 영향이 작고 하중재하 시 등분포하중이 아닌 도저의 캐터필러 궤도에 의한 집중하중의 영향으로 판단된다. 또한 실험 결과 비탈면 상부에 시공된 네일과 하부에 시공된 네일의 변형률이 자중 및 상재하중에 관계없이 비슷한 것을 보아 단단한 암반층에서는 네일에 작용하는 인장력이 상·하단에 상관없이 일정한 것을 볼 수 있다. 그림 15는 네일링 종류에 따른 변형률 계측 결과이다.

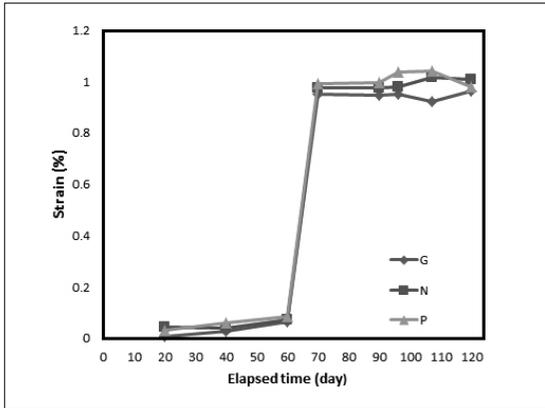


그림 15. 네일 종류에 따른 변형률 계측결과

6. 결론

본 연구에서는 대경권 세일층 비탈면에 대하여 실 스케일 현장 모형실험을 실시하였으며, 쏘일네일링의 종류에 따른 세일층 비탈면 보강 효과에 대하여 평가하고자 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 네일링 종류에 따른 변형률의 경우 하중 재하 시 일반 쏘일네일은 최대 1.12%, 무그라우팅 쏘일네일은 1.28%, 섬유혼합 그라우트 쏘일네일은 1.32%의 변형률을 보였다. 이는 하중재하 시 등분포하중이 아닌 도저 캐터필러 궤도의 집중하중 영향으로 판단된다.
2. 또한, 비탈면 상부에 시공된 네일과 하부에 시공된 네일의 변형률이 자중 및 상재하중에 관계없이 비슷한 것을 보아 단단한 암반층에서는 네일에 작용하는 인장력이 상·하단에 상관없이 일정한 것을 알 수 있다.
3. 섬유 혼합 그라우트 쏘일네일, 일반 쏘일네일, 무그라우팅 쏘일네일 등의 인발시험 결과 각각 최대시험 하중이 150kN/본, 135kN/본으로 나타났다. 최대하중 단계에서 인발량은 22.27mm, 31.88mm 로 나타났다. 무그라우팅 쏘일네일의 경우 인발에 저항하지 못하고 손쉽게 뽑혀 나오는 것을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통기술 지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(과제번호: 14RDRP-B076268)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 광성민, 정용욱, 김교원(2013). "대구지역 적색 세일과 흑색 세일의 공학적 특성" The Journal of Engineering Geology, Vol.23, No.4, pp.341-352.
2. 김영수, 서인식, 허노영, 이재호, 김병택(2001). "층리면을 고려한 세일의 공학적 특성" 한국지반공학회논문집, 제17권 제1호, pp.5-13.
3. 이승한, 정용욱, 여인동, 최종오, 차용순(2012) "대경권 세일 골재의 풍화특성과 세일 골재가 콘크리트의 동결융해저항특성에 미치는 영향" 2012 대한토목학회 정기학술대회, pp.2505-2508.
4. 이영희, 김용준, 박준규(2000) "압축강도와 풍화도에 관련된 퇴적암의 공학적 특성" 한국지반공학회논문집, 제16권 제1호, pp.5-17.