

갱구부 진입각도에 따른 안정성 확보에 관한 연구

문성훈, 조창현, 김시격, 김정호 ((주)다산컨설팅)
윤지남 ((주)포스코건설)

1. 서론

국토의 70%가 산으로 구성되어 있는 우리나라는 도로의 효율성 및 경제성 측면에서 터널공사가 필수적이다. 터널 계획시 터널의 갱구부는 지반에 수직으로 굴착하는 것이 일반적이지만 용지 문제와 선형의 제약, 지반형상에 따라 과도한 개착부가 발생하기도 한다. 일반적인 터널 굴착에 따른 터널과 주변지반의 거동 및 안정성에 대해서는 많은 연구가 있어 왔지만 터널 갱구부 진입각도에 따른 안정성 확보에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 갱구부 진입각도에 따른 터널 및 주변지반에 발생하는 안정성 문제에 대해 검토하고자 하중 재하시 모형지반의 파괴하중을 확인하는 실험을 진행하여 안정성 확보여부를 분석하였으며, 터널 안정해석을 통해 진입각도에 따른 응력집중구간과 변위발생양상을 분석하여 적절한 보강방안과 갱구계획을 제시하고자 하였다.

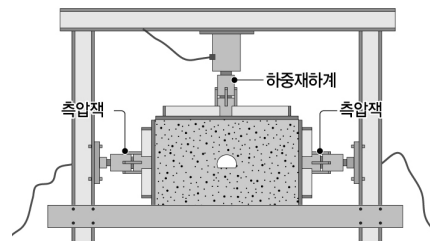
2. 터널모형 실험

2.1 모형지반과 실험장치

현지암반의 변형거동을 재현하기 위하여 축소모형실험을 실시할 때 현장성을 충분히 반영하고자 모든 제반요소들에 대한 차원해석을 실시하여 축소율을 산정하고 이에 따른 적합한 모형재료를 사용하여 축소모형을 제작하였다. 모형시험 고려된 터널단면은 직경 11.26m이며, 축소모형에서의 터널단면의 직경은 8.8cm로 길이[L]에 대한 축소율은 1/127.8, 설계 지반강도정수를 감안 연암의 단위중량은 23 kN/m³이며, 실험에서 사용한 모형재료의 단위중량이 15 kN/m³ 이므로 밀도 [ML-3]에 대한 축소율은 1/1.33을 적용하였다.



a) 모형지반



b) 실험장치 개요도

그림 2.1 모형지반 및 실험장치

2.2 실험방법

모형실험은 미리 제작된 모형지반을 실험장치안에 자립시킨 후 좌우에 설치된 측압잭을 이용하여 경계조건을 구속함과 동시에 측압을 작용하여 실제 응력상태를 구현하는 것으로 시작하였다. 초기응력상태를 구현한 뒤, 모형지반 상부에 설치된 전기식 하중재하장치를 1.00mm/min의 속도로(변위제어방식) 재하하여 모형지반이 파괴되는 시점까지 진행하였다. 연직방향으로 다이알게이지를 설치하여 시간에 따른 변위량을 보다 정확하게 측정하였으며, 재하반 위로 설치된 로드셀을 이용하여 지반에 작용하는 하중값을 측정하여 모형지반의 응력-변형율 관계를 계측하였다. 실험이 진행되는 동안에는 모형지반의 터널을 중심으로 미리 30mm간격으로 계측점을 표시하였으며, 계측 기준점에 디지털카메라를 고정, 일정한 시간간격으로 촬영하여 모형지반에 하중이 가해지는 동안의 터널주변 지반의 변위를 계측하였다.



그림 2.2 모형지반 및 보강 모식도

터널의 진입각도에 따른 편토압 발생구간의 안정성 및 터널 변형거동 분석을 위해 진입각도를 30° ~ 90°로 10°씩 변화시켰으며, 터널보강을 적용한 실험을 추가로 진행하였다.

표 2.1 모형실험 case

진입경사	30	40	50	60	70	80	90
무보강	1	1	1	1	1	1	1
보강	-	락볼트, 그라우팅보강	-	-	-	-	-

2.3 실험결과

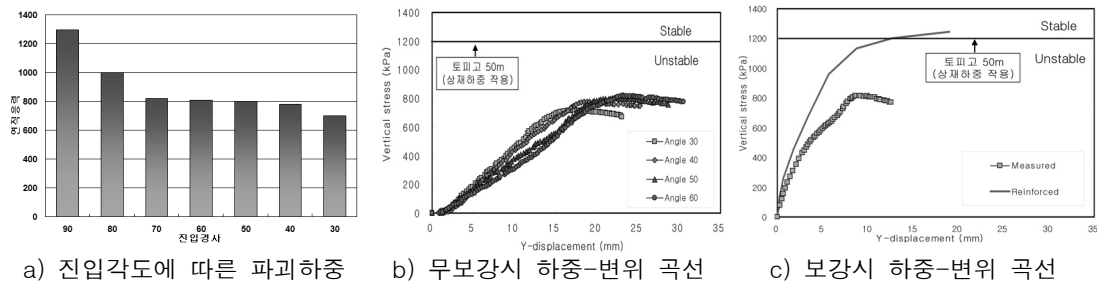


그림 2.3 지반보강 개요도

모형실험 결과 터널의 진입각도가 70° 이상인 경우가 60° 이하에 비해 안정성 증가가 뚜렷하게 나타났으며, 지반에 수직하여 굴착하는 경우는 무보강시에도 안정성 확보가 가능하였다. 하지만 지반에 경사지게 진입하는 경우 안정성 확보를 위해 터널 보강공법이 반드시 필요하며 그라우팅

보강시 터널 진입각도 40° 이상에서 터널 안정성 확보 가능한 것으로 나타났다.

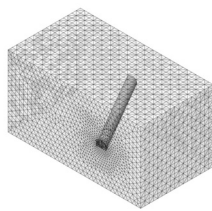
3. 터널안정해석

3.1 검토방법 및 해석조건

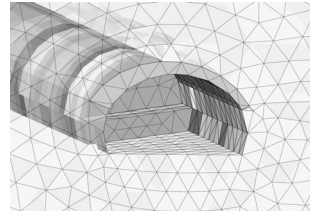
갱구부 진입각도에 따라 변위 및 응력 발생이 다르므로 3차원 수치해석을 적용하여 갱구부 진입각도에 따른 응력집중구간을 확인하여 적절한 보강영역 및 굴착방법을 찾고자 하였다. 그라우팅 보강 실시 전과 후로 나누어 보강효과를 검토하였으며, 록볼트 길이를 변화시켜 터널 안정성에 미치는 영향을 검토하였다. 추가로 터널 굴착방법에 따른 영향을 검토하였다.

표 3.1 안정해석 case

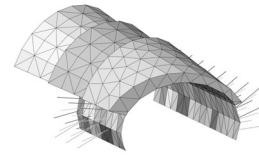
진입경사	30	60	90
무보강	락볼트 4m만 적용	락볼트 4m만 적용	락볼트 4m만 적용
그라우팅 보강	락볼트 4, 6, 12m	락볼트 4, 6, 12m	락볼트 4, 6, 12m



a) 초기지반 형성



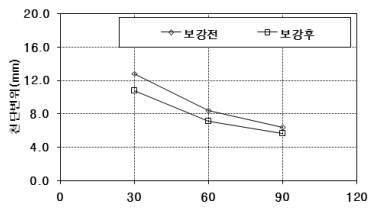
b) 지반 굴착



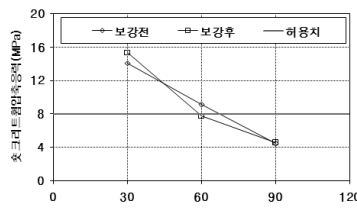
c) 지보재 설치

그림 3.1 시공단계

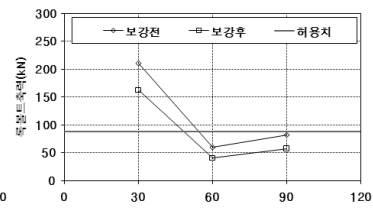
3.2 보강에 따른 해석결과



a) 천단변위 발생경향



b) 슛크리트 응력 발생경향



c) 락볼트 축력 발생경향

그림 3.2 강관다단 보강 유무에 따른 영향 검토

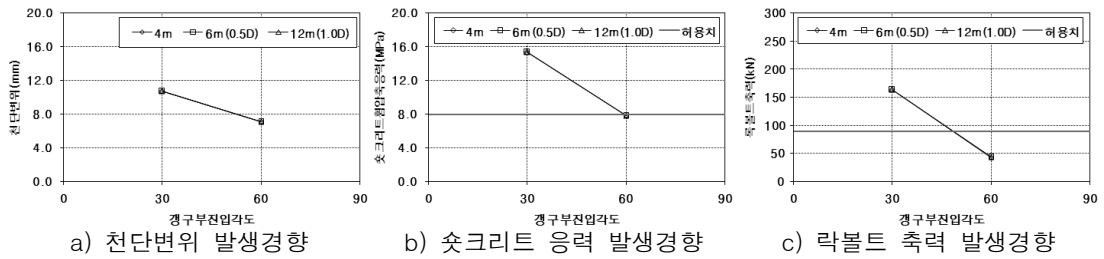


그림 3.3 락볼트 길이에 따른 영향 검토

3.3 터널 굴착방법 검토

터널 굴착방법에 따른 지반 거동특성 및 터널 안정성을 검토하여 최적굴착방법을 찾고자 하였다. 터널을 굴진방향에 맞추어 굴착을 진행하는 방법과 지반과 평행하게 굴착을 시작하여 점차 굴진방향에 맞추어 굴착을 진행하는 방법으로 나누어 안정성 검토를 실시하였다.

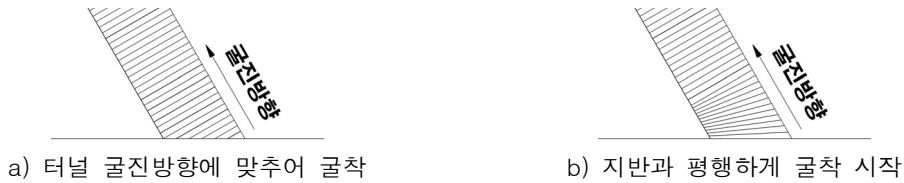


그림 3.4 터널 굴착방법 비교

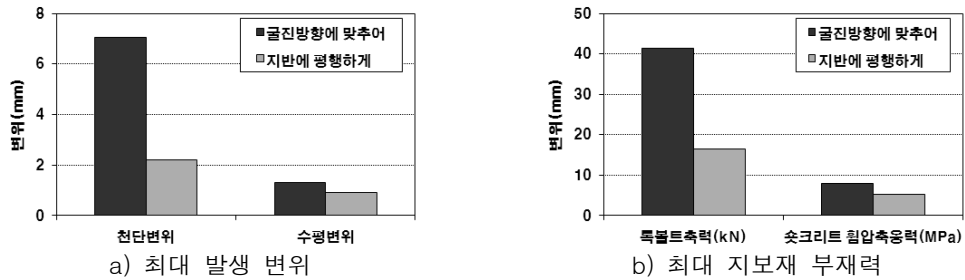


그림 3.5 터널 굴착방법에 따른 변위 및 지보재 부재력 발생경향

3.4 해석결과

터널 안정 해석결과 갱구부 진입각도가 작아질수록 부재력은 증가하는 경향을 나타내며, 진입 각도 60° 이상에서 안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 보강효과는 진입각도가 클수록 효과적인 것으로 나타났으며, 굴착방법에 따라 지반 변위 및 지보재 부재력은 크게 감소되는 것으로 나타났다.

4. 결론

갱구부 진입각도에 따른 안정성 검토결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 진입각도가 작아질수록 안정성확보가 어려운 것으로 나타났으나, 적절한 보강을 적용하는 경우 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 까지 안정성 확보가 가능한 것으로 나타났다.
- (2) 터널 굴착시 지반과 평행하게 굴착을 시작하여 점차 굴진방향에 맞추어 가는 방법이 처음부터 터널 굴진방향에 맞추어 굴착하는 방법보다 안정성 확보에 더 유리한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 적절한 터널보강과 터널굴착방법을 적용하면 충분한 안정성을 확보한 경사형 갱문 시공이 가능하며, 이로인해 친환경적이고 경제적인 터널설계가 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 고평국 외, 2006, 환경훼손 최소화를 위한 국내최초 경사갱문의 설계 적용 사례, 터널기술학회지 : Vol.8 No.2 pp.53~59
2. 한국터널공학회, 2008, 터널의 이론과 실무