

시간의존성을 고려한 터널지반과 숯크리트의 상호반응거동에 관한 연구

이상준¹⁾ · 문현구²⁾

1. 서론

암반 내에 터널을 굴착하게 되면 그로 인한 응력의 해방으로 굴착된 터널의 주변 암반은 변형거동을 보이는데 암반은 본질적으로 유동적인 특성을 가지므로 암반의 변형은 시간에 의존하게 된다. 유동적 특성이 약한 암반일지라도 굴착과 보강으로 이루어지는 일련의 터널 시공과정으로 인해 암반의 변형거동이 시간에 따르는 것은 필연적이며 막장의 효과로 인하여 3차원적 거동을 보이게 된다. 암반의 지나친 변형은 터널의 안정성에 심각한 문제를 유발할 수 있으므로 터널 주변 암반의 변위를 적절하게 제어하여 안정된 값으로 수렴시켜 터널의 안정성을 확보하기 위해서 터널의 보강이 실시된다. 터널이 굴착되는 암반의 특성을 해석하고 굴착 및 보강 방식의 평가를 위해 암반과 보강재의 상호반응거동을 연구함으로써 내공변위와 보강압의 관계를 파악하는 것이 필요하다. 지금까지의 연구는 복합적인 시간의존성 인자의 고려와 이론적인 정립이 충분하지 못하였다. 특히, NATM의 주 지보재로 사용되고 있는 숯크리트는 시간에 따른 경화현상으로 인해 역학적 성질이 변화하는 특성을 지닌 지보재로서 숯크리트로 보강된 터널의 암반-보강 상호반응거동 해석 시에는 시간의존성에 대한 고려가 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 여러 가지 시간의존성을 고려한 암반-보강 상호반응거동에 관한 기존 연구들의 특징 및 장·단점을 파악하고 문헌에 나타난 시간의존성 인자들을 종합적으로 고려할 수 있도록 기존 연구들 간의 특징과 장점을 접목하였다. 또한 계측이 불가능한 터널 막장면에서의 반경방향 벽면변위를 이론적으로 고찰하여 적용함으로써 보다 현실적으로 암반과 숯크리트의 상호반응거동을 해석할 수 있도록 하였다.

2. 본론

암반-보강 상호반응거동 해석에서 시간의존성을 나타내는 인자는 크게 암반의 유동적 성질, 막장에 의한 3차원 효과, 숯크리트의 경화현상으로 요약할 수 있다. 무지보 터널의 시간 의존적인 내공변위는 Panet(1982), Sulem(1987a) 등에 의해 연구되었으며 이들은 수치 해석 결과와 현장 계측자료의 분석을 통해 막장에 의한 3차원 효과와 암반의 유동적 성질을 고려한 식을 제안하였고, 숯크리트로 지보된 터널에서 시간 의존적인 암반-보강 상호반응거동은 Sulem(1987b), Cristescu(1987), Pan & Dong(1991), Pan & Huang(1994) 등에 의해 이론적으로 연구되었다.

본 연구에서는 시간의존성을 나타내는 인자들 중 암반의 유동적 성질은 암반을 선형 점탄성 암반으로 가정하고 Panet, Sulem, Cristescu 등의 이론을 따라 고려하였고 막장에 의한 3차원 효과는 Panet과 Sulem이 제안한 가상보강압계수에 thick wall cylinder의 변위해를 적용하여 막장면에서 굴착 직전 이미 감소되는 자체지압을 결정할 수 있는 가상하중계수를 제안하여 고려하였으며 숯크리트의 경화현상은 Weber(1979)가 제안하여 Pan & Huang이 적용한 시간에 따른 숯크리트의 영률 변화식에 우리나라 1일 기준 강도에 적합한 물질상수를 제시하여 적용하였다. 시간의존성을 나타내는 인자를 기준으로 각 연구들의 결과와 본 연구와의 비교를 표 1에 나타내었다.

표 1. 기존 연구들의 결과 및 본 연구와의 비교

연구자 인자	Panet (1982)	Sulem (1987a)	Sulem (1987b)	Cristescu (1987)	Pan-Dong (1991)	Pan-Huang (1994)	This Study
암반의 유동적 성질	○	○	○	○	○	○	○
막장에 의한 3차원 효과	○	○	○	×	○	○	○
숏크리트 설치여부	×	×	○	○	○	○	○
숏크리트 경화현상	×	×	×	×	×	○	○

표 1에서 보듯이 Pan-Huang의 연구는 본 연구의 성격과 유사하나 본 연구는 그들의 연구보다 변수선정이 용이하고 막장 전진에 따른 소성영역의 발달 양상을 파악할 수 있으며, 특히 기존의 모든 연구에서 고려하지 못한 막장면에서의 반경방향 벽면변위를 고려하였다.

3. 결론

본 연구내용을 토대로 1일 굴진장과 터널반경에 따른 암반과 숏크리트의 상호반응거동을 해석하였다. 암반과 숏크리트의 시간의존성을 무시한 경우와 모든 시간의존성 인자를 고려한 경우를 비교한 결과 시간의존성을 고려한 경우 전반적인 변위의 증가로 3단계 하중 분배율이 현격히 크게 나타났다. 1일 굴진장이 클수록 초기변형이 크며 숏크리트의 변위 억제 효과는 적게 나타났고, 터널반경이 작을수록 터널반경에 대한 초기상대변위는 크며 변위 억제 효과는 크게 나타났다.

2차원 유한차분 수치해석 코드인 FLAC^{2D}를 사용하여 암반의 유동적 성질만을 고려하지 않은 경우, 즉 막장에 의한 3차원 효과와 숏크리트의 경화현상만을 고려한 경우에 대해 이론에 의한 해석과 동일한 모델로 축대칭 단성해석을 수행하였다. 굴착단계에 따른 숏크리트의 물성변화는 일반적으로 적용되는 연한 숏크리트, 강한 숏크리트의 물성이 아닌 Weber가 제시한 식에 의해 시간에 따라 변하는 물성을 적용하였다. 이론에 의한 해석 결과와 수치해석에 의한 해석 결과가 대부분 5% 이내에서 잘 일치하는 결과를 얻었다. 따라서, 본 연구 결과 전단면 굴착에서 암반의 변형특성, 터널의 크기, 1일 굴진장, 숏크리트의 성질 등에 따른 정량적인 하중분배율을 결정할 수 있다. 앞으로 암반의 유동적 성질을 고려할 수 있는 수치해석 프로그램과의 비교를 위한 연구와 숏크리트의 파괴로 인한 지보 기능의 상실을 고려할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

주요어: 암반-보강 상호반응거동, 시간의존성, 가상하중계수, 유한차분, 축대칭 단성해석, 하중분배율

- 1) 한양대학교 일반대학원 자원환경공학전공 석사과정 (E-mail: jun4all@hotmail.com)
- 2) 한양대학교 시스템융용공학부 교수 (E-mail: hkmoon@email.hanyang.ac.kr)