

터널확장시 기존터널 여굴의 처리방안

권기준 · 김동백* · 이 령*

한경대학교 안전공학과 · *한경대학교 토목공학과

1. 서 론

산업의 발전과 경제규모의 확대 등에 따른 교통량의 증가는 도로의 신설 또는 확장을 요구하고 있다. 도로의 확장에 따라서 도로시설인 교량이나 터널의 규모도 또한 새로운 도로의 용량에 맞추어 커져야만 한다.

기존터널을 확대 굴착하는 경우에 터널의 품질이 문제되는 사항은 대부분 신설터널의 시공 마무리로 해결될 수 있으나 과도한 여굴이 발생하여 있을 때에는 새로이 시공하는 구조물에도 영향을 미치게 된다. 기존터널 여굴의 크기가 확대 터널의 설계단면 내에 존재할 정도로 지나치게 크지 않다면 터널굴진이나 마무리시공에 아무런 문제를 일으키지 않을 수 있으나, 다른 경우에 기존의 여굴이 지나치게 커서 설계단면보다 훨씬 큰 공동으로 존재한다면 시공과정이나 시공후 안전성에 영향을 미칠 수 있다.

여굴의 크기는 암질, 암의 갈라진 틈, 굴착방식 등에 따라 다를 수 있으나, 기존터널의 라이닝 배면에 형성되어 있는 과도한 여굴은 확장터널에 구조적인 관점에서 다음과 같은 문제를 야기한다.

첫째, 여굴의 규모가 커서 여굴의 뒷채움을 하지 않으면 토압의 측면에서 매우 불리하며, 안정화 되지 못한 여굴의 상부에서 낙반이 발생할 위험이 상존한다.

둘째, 뒷채움 시공 후 적절한 구조체를 형성하지 못하는 경우에는 뒷채움 재료의 자중이 터널의 라이닝에 영향을 미쳐 안정성에 대한 문제가 발생할 수도 있다.

이 논문에서는 기존터널의 여굴이 큰 경우에 낙반에 대비한 작업인의 안전 확보방안과 여러 가지 뒷채움 방법을 검토해보고 그에 따른 구조적인 안정성문제를 실제 여굴이 발생하여 문제가 되고 있는 터널에 대해 적용해 보기로 한다.

2. 터널의 낙반에 대비한 안전 확보방안

터널의 공정에서 라이닝은 발파와 지반굴착 및 지보공정이 끝나고 난후에 시공하게 되므로 굴착공정과 라이닝공정 사이에 발생할 수 있는 낙반사고와 더불어 터널자체의 구조적인 안정성을 확보할 수 있는 방안을 마련해야 한다. 이에 대한 방안으로는 다음과 같은 방법을 들 수 있다.

2.1 그라우팅 시공

일반적으로 터널의 여굴이 크지 않은 경우 공동을 그라우팅 하여 여굴을 채우는 데 이때 굳은 콘크리트가 Arch 작용을 하여 구조물이 안전성을 유지하게 된다. 이 방법은 암반의 균열이 적고 절리층이 없어서 Rock Bolt의 시공이 가능하고 암반의 탈락으로 인한 그라우팅 콘크리트의 중량이 라이닝에 하중으로 작용할 가능성이 작은 경우에 취할 수 있는 방법이다.

2.2 뒷채움 이후 지보재 시공

터널의 지보공은 굴착 이후 발파로 인해 약해진 암반의 안정을 위하여 슛크리트와 병행하여 시공하며, 만약 여굴이 있을 경우에는 지보재가 직접 굴착면에 닿지 않으므로 여굴을 채운 다음에 시공하게 된다.

2.3 지보재 상부에 레미콘 타설하는 방법

지보재를 보강하기 위해서 지보재 상부에 강봉과 wire mesh를 설치하고 레미콘을 타설하는 방법으로 상부 연약대에서 발생하는 낙반의 위험을 방지하는 방법이다.

2.4 슛크리트를 사용한 지보재보강 방법

뒷채움을 하기 전에 지보재로 사용되는 강arch rib 사이에 <그림 1>과 같이 종방향으로 철근을 배치하고 그 위를 wire mesh로 보강을 한 다음 슛크리트를 시공하여, 지보재로 사용되는 arch rib가 철근 및 슛크리트와 함께 구조물을 이루도록 하는 방법을 고려해 볼 수 있다.

2.5 라이닝의 보강설계

터널에서 라이닝 시공은 다른 주요 공정이 이루어진 이후 거의 최종적인 시공단계에서 이루어지므로, 낙반문제를 라이닝의 보강으로 해결하기에는 적절하지 않다.

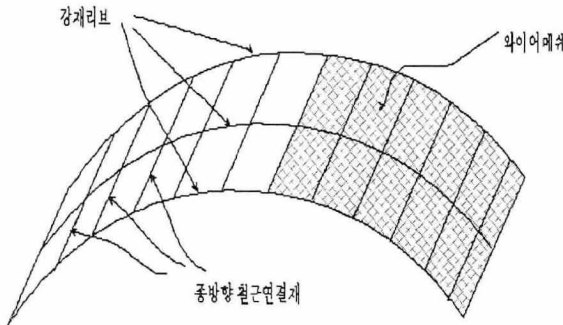
3. 여굴 공동의 뒷채움

터널 내부에 공동이 존재하는 경우에 이를 방치하면 라이닝 구조에 낙반이 발생하여 손상을 입히거나, 공동의 함몰로 인하여 상부지반의 침하 등으로 지반의 안정이 훼손될 수 있다. 따라서 여굴 공동의 arch구조가 해체되지 않도록 보강해야 할 필요가 있으며 이에 대한 대책으로는 여굴의 뒷채움이 가장 좋은 답이 된다.

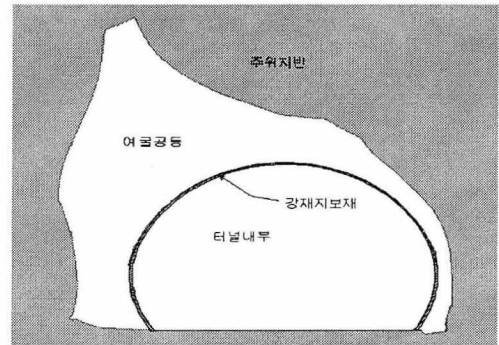
3.1 콘크리트를 이용한 뒷채움

라이닝, 특히 arch crown부와 원지반과의 사이에 발생한 공동에는 모르타나 기타의 주입으로 반드시 충전(뒷채움)을 해야 하는데, 주입을 효과적으로 하기위해 공사계획이나 설계에 포함시켜 미리 고려할 필요가 있으며, 라이닝의 두께를 설계할 때 종합적으

로 검토하는 것이 좋다. 또한 뒷면의 공극 충진을 위한 주입 외에도 원지반이나 암반의 고결강화, 물길의 폐쇄 등을 위하여 직접 라이닝 뒤의 원지반 속에 주입하는 경우도 있다. 일반적으로 여굴의 크기가 작으면 라이닝을 타설 할 때 함께 여굴을 뒷채움 하지만, 여굴이 많거나 그 크기가 너무 크면 경제적으로 또는 구조적으로 적용하기 곤란한 방법이다.



<그림 5.1> 지보재의 보강 개략도



<그림 2> 화악터널 여굴형상 개략도

3.1.1 모르타의 주입

주입재료로는 건조한 모래나 콩자갈 등을 쓰는 경우도 있으나 일반적으로 모르타 (mortar)가 쓰인다. 모르타는 주입작업시 분리, 고형물의 침전, 주입 후에 체적수축 등이 적어야 하며, 이를 위해서 혼화재료를 첨가하여 그 성능을 개선하기도 한다. 주입재의 강도는 콘크리트와 동등한 강도는 필요하지 않으며 주입 후의 상태에서 10kgf/cm^2 정도가 되면 좋다.

3.1.2 경량 콘크리트의 타설

뒷채움 재료는 일반적으로 mortar가 쓰이고, 공동이 작을 때는 라이닝 타설시 콘크리트를 함께 타설하기도 한다. 그러나 여굴이 클 때는 콘크리트나 보통의 mortar를 충전하면 뒷채움재의 자중으로 라이닝에 손상을 줄 우려가 있으며 공사비도 상승하므로 다른 방법을 생각해야 한다.

3.2 슛크리트 타설

일반적으로 여굴이 발생하는 경우에는 공동부분에 경량의 슛크리트를 타설 하여 공동을 뒷채움하는 것도 한 방법이다. 그러나 공동의 규모가 큰 경우에는 슛크리트를 여러 번에 걸쳐서 타설 해야 하는데, 나중에 타설하는 슛크리트는 먼저 타설 되어 있는 부분에 하중으로 작용하게 되며, 슛크리트의 용량이 증가하게 되면 그에 따라 지반과 슛크리트와의 사이에 발생하는 부착력이 커져야 한다.

그러나 실체는 부착력의 한계로 인해 슛크리트의 자중이 하중으로 작용하게 되어 탈락하게 되면 오히려 터널 구조물에 손상을 가할 수 있다. 또한 많은 량의 콘크리트가 소요됨으로 공사비도 상당히 증가하는 결과를 초래할 수도 있다.

상부에 슛크리트 뿔어붙이기를 하는 경우에는 부착이 확실히 이루어져서 그 자체로 아치를 형성하는 것을 목적으로 하고 있으나, 이러한 작용이 제대로 이루어지지 않을 경우에는 탈락이 발생할 여지가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 여굴의 하부에 지보구조물을 설치한 다음에 지보구조물의 상부면에 슛크리트를 타설하여 지보구조물의 아치를 보강하는 기법으로 하부구조물의 강성을 키워가는 방법을 고려해 볼 수 있다.

4. 실제터널에 대한 적용 검토

검토대상터널은 경기도 가평과 강원도 사이의 화악산을 관통하는 지방도에 있는 화악터널이다.

터널에서 전 구간에 걸쳐 상당한 여굴이 <그림 2>와 같이 형성되어 있으며, 여굴이 크게 발생한 부분은 절리를 따라 지하수가 스며들면서 점토질 성분이 혼입되어 있는 부분이 비스듬한 각을 이루면서 터널 단면을 절단하고 있는 파쇄대를 형성하고 있다. 절리면에서 켜기를 형성하고 있던 상부는 모두 낙석으로 떨어지게 되었고, 그 결과 여굴의 높이는 터널 바닥으로부터 3-7m까지 이르고 길이는 약 25m에 달하며, 형상은 터널의 좌측부분에 치우쳐 있다.

4.1 낙반에 대한 안전대책

화악터널은 강지보재가 터널의 종방향으로 1.5m의 간격을 두고 설치되어 있다. 낙반에 대한 안전조치로 각 지보재 사이를 D-19 철근으로 연결하고 그 위에 wire mesh를 얹은 후, 슛크리트를 타설하여 전체가 하나의 arch구조물을 형성하도록 시공한다. 이러한 시공이 이루어지고 난 다음에 뒷채움이 되지 않은 상황에서 100kgf 암석이 떨어지는 경우를 고려하였으며, 안전의 판단은 강지보재에 발생하는 처짐의 정도를 근거로 하였다.

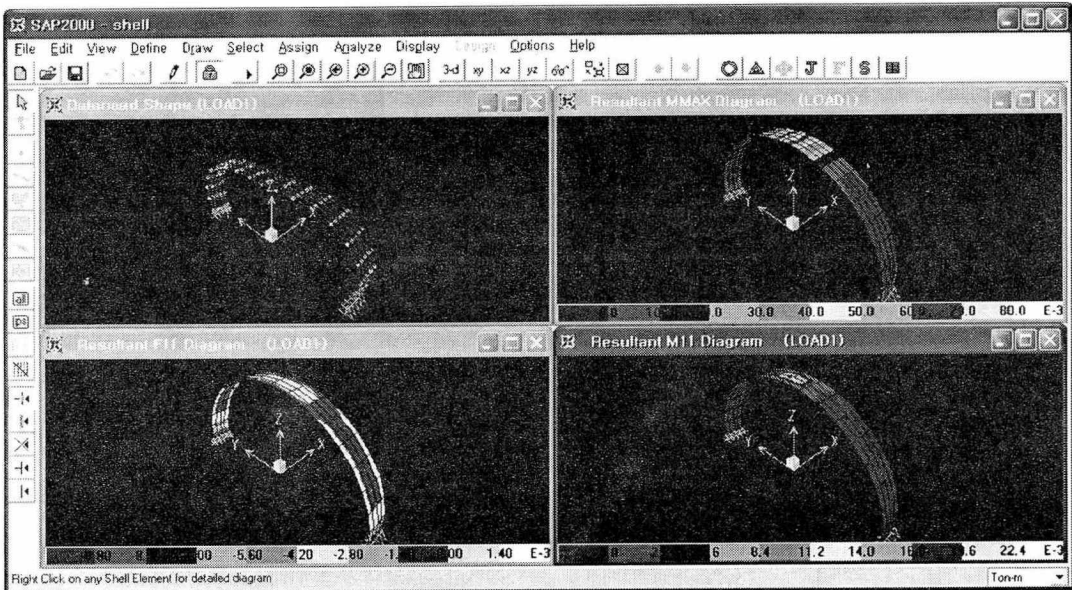
4.1.1 지보재의 modeling

지보구조물의 arch는 슛크리트가 30cm 두께로 타설되어 합성구조물로 거동을 한다고 모델링하였으며, 낙석이 이루어지는 지점 즉, 가장 변위가 크게 나오는 정점부에 하중을 가하여 해석하였다.

4.1.2 구조해석에 따른 응답분포

해석방법은 정적해석을 한 다음, 정적처짐으로부터 충격계수를 구하고, 그 충격계수

를 해석결과에 곱하여 구조물의 안정성을 검토하였으며 동적하중이 작용할 때의 최대 응력은 $f_{max} = 8.05445 \text{kg/cm}^2$ 이 되고 응력분포는 <그림 3>과 같다. 그러므로 이 방법으로 낙반대책을 세운다면 최소한 100kgf의 암반이 3m에서 떨어지는 경우는 안전하다고 판단된다.



<그림 3> 낙반에 대한 해석결과도

4.2 여굴 뒷채움 방안

뒷채움을 하기 전에 지보구조물을 보강한 다음, 보강된 구조물이 뒷채움 재료의 자중에 의해 안정성 문제가 발생하는지의 여부를 구조해석을 수행하여 판단할 필요가 있다. 뒷채움 재료는 슛크리트, 경량콘크리트, 그리고 경량발포수지 등을 고려할 수 있으며, 이들 각각의 뒷채움 재료에 대한 구조적 안정성을 해석에 의하여 검토하였다.

4.2.1 구조해석을 위한 Modeling

해석에 사용된 슛크리트의 자중은 2tf/m^3 , 경량콘크리트의 자중은 mortar와 스킨로 폼 ball의 부피 비를 4:6로 가정하여 1.0tf/m^3 , 경량발포수지는 35kgf/m^3 으로 일반적으로 가장 많이 사용되는 값들이다.

4.2.2 여굴 뒷채움 후의 구조해석 결과

본 구조해석은 상용프로그램인 SAP2000을 이용하여 2차원 frame 해석을 수행하였으며, 강지보재 위에 타설되는 슛크리트가 arch형태의 지보구조로 작용한다고 가정하였다. 이 경우 작용하중은 여굴에 타설되는 뒷채움재를 슛크리트와 폴리우레탄 폼 및 경

량콘크리트로 나누어 수행하였다. 숯크리트와 폴리우레탄 폼 및 경량콘크리트로 채우는 경우 지보에 작용하는 최대내력 및 응력은 <표 1>에 나타나있다.

화악터널의 여굴 뒷채움 후의 해석결과는 모든 뒷채움 재료에 대해 안전하지만, 콘크리트의 횡압축에 대한 결과를 볼 때, 숯크리트로 뒷채움을 할 경우 지점부에서 횡에 의한 파괴의 가능성을 배제할 수 없으므로 경량의 재료를 사용하는 것이 안전할 것으로 판단된다. 그러나 지보구조물을 구성하고 있는 강지보재, 지보재를 연결하고 있는 철근, 그리고 그 위의 wire mesh의 역할을 제외하고 해석한 것이므로 여타의 응력은 상당한 안전한 결과로 생각 할 수 있다.

<표 1> 여굴 뒷채움 후의 구조해석 결과

뒷채움 종류	최대내력	응 력 (kgf/cm ²)	지보재 응력	판 정	뒷채움 종류	최대 내력	응 력 (kgf/cm ²)	지보재 응력	판 정
숯크리트	104.92 tf	34.82	압 축	OK	포화된 우레탄폼	52.46 tf	17.49	압 축	OK
	24.29tf·m	65.15	횡압축	OK		12.1tf·m	32.58	횡압축	OK
		130.30	횡인장	OK			65.18	횡인장	OK
우레탄폼	5.25 tf	1.75	압 축	OK	경량 콘크리트	41.97 tf	13.92	압 축	OK
	1.21 tf·m	3.25	횡압축	OK		9.72tf·m	26.07	횡압축	OK
		0.649	횡인장	OK			52.14	횡인장	OK

결 론

터널을 확장하는 상황에서 기존터널에서 과도한 여굴이 존재하는 경우 작업자의 안전과 터널구조물의 안정성에 나쁜 영향을 미치므로 이에 대한 대책을 세우는 것이 필요하다.

본 논문에서는 기존터널에 과도한 여굴이 존재하는 경우 이에 대한 여러 가지 대책을 비교 검토 하였으며, 실제 상황에서 여굴이 크게 발생한 경우에 대해 여러 가지 대책에 대한 안전성검토를 수행하였다.

터널의 안전성해석결과는 상황에 따라서 다른 결과가 나타날 수 있으나 위에서 제시하고 검토한 방법을 사용하여 안전성을 판단할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 터널공사 표준시방서,
2. 도서출판과학기술, 최신터널공법핸드북, 1999.
3. 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 2003.
4. Computers & Students Inc, SAP2000 student version 7.40, 2000.