

대단면 급속시공을 위한 최적의 곡면막장형상개발에 관한 현장실험

Field Experiment on the Optimization of Concave-Shaped Face Development for Rapid Tunnel-Whole-Face Excavation

김태형*¹, 윤지선²

Kim, Tae-hyoung · Yoon, Ji-sun

Abstract

In this study, NATM can reduce the loosened ground near the tunnel face more than the other pre-existing tunnelling methods, because of rapid supporting by means of shotcrete and rock bolts. However, this method sometimes can not help for a unstable tunnel face with a unsupported caondition. In order to keep from that dangerous case, some excavation methods such as bench cut and drift advancing method are introduced, despite of high construction cost and period. So, this thesis is intended to introduce the new tunnel face shape, that is concave shaped face, and discusses its effects on the tunnel stabilization.

Keywords: Concave-shaped face, plane-shaped face, horizontal inclinometer

요 지

기존의 NATM과 같은 터널공법에서는 굴착 직후 벽면은 슛크리트나 록볼트에 의하여 지지되기 때문에 재래공법과 비교하여 암반의 느슨함을 감소시킬 수 있으나, 막장은 통상 무지보 상태로 놓여있기 때문에 붕괴의 위험성을 항상 내포하고 있는 것이 현실이다. 현재 국내 터널시공시에는 막장이 굴진방향에 직립함으로써 응력의 집중이 발생하며 또한 막장의 안정성을 우려하여 단면분할공법을 채택하는 것이 일반적 공법으로 되어왔다. 그러나 이러한 방법은 경제적으로 큰 부담이 되며 공사기간 연장의 한 원인이 된다. 따라서 곡면막장 굴착공법을 개발하여 적용한다면 보다 나은 응력상태를 유지할 수 있어 1회 굴진장의 증대 및 분할공법을 피함으로써 공사비절감 및 공사기간 단축에 매우 유리할 것이라 판단된다.

주요어: 곡면막장, 직립막장, 수평경사계

1. 서론

1.1 개요

최근에 도로의 고속화 및 터널의 이용도가 증가하면서

점차 터널의 초장대화가 필요한 시점에서 터널시공의 공사기간 단축 및 공사비 절감의 중요도가 크게 대두되고 있다. 기존의 NATM과 같은 터널공법에서는 굴착 직후 벽면은 슛크리트가 있으나, 막장은 통상 무지보 상태로나 록 볼트에 의하여 지지되기 때문에 재래공법과 비교하여

*1 학생회원, 인하대학교 토목공학과 대학원 (kimtae313@hanmail.net)

2 정회원, 인하대학교 환경토목공학과 교수

암반의 느슨함을 감소시킬 수 있으나, 막장은 통상 무지보 상태로 놓여있기 때문에 붕괴의 위험성을 항상 내포하고 있는 것이 현실이다. 특히, 연질하고 또는 붕괴성 암반이나 팽창성 암반 등에서는 막장의 밀려나옴이나 붕괴가 발생하는 경우가 있어 막장의 안정을 위해 굴진 길이의 단축, 중심부 남침, 굴착단면축소, face shotcrete, face rock bolts 등의 보조공법을 채택하는 것이 현실이다. 하지만, 이러한 보조공법은 공사기간 및 공사비를 증대시키는 원인이 되며, 또한 굴착단면축소의 방법인 단면분할공법은 막장주변의 암반에 대한 응력의 재분배 횡수를 증가시켜 암반상태를 불량하게 하는 원인이 된다. 따라서 이러한 문제점들을 피하기 위해서는 전단면굴착공법이 유리하지만, 막장의 응력집중 및 자립성 등의 안정성에 문제로 제약받는 경우가 빈번하다. 따라서 막장을 곡면(반구형)으로 형성하여 양호한 응력상태로 유지함으로써 이러한 문제점을 해결하는 것이 시급한 과제이다(임영국, 1994 ; 윤지선 1991).

또한 굴착공법은 암반조건, 터널의 단면형상, 연장, 공사기간, 등을 고려해서 안전하고 경제적인 공법을 선정할 필요가 있지만, 일반적으로는 막장이 자립하는 단면의 크기에 의해 결정되는 경우가 많다. 따라서 막장의 자립정도가 경제적 터널 굴착공법을 선정하는데 중요한 역할을 한다. 하지만 현재 국내 터널 시공 시에는 막장이 굴진방향에 직립함으로써 응력의 집중이 발생하며 또한 막장의 안정성을 우려하여 단면분할공법을 채택하는 것이 일반적 공법으로 되어왔다. 그러나 이러한 방법은 경제적으로 큰 부담이 되며 공사기간 연장의 한 원인이 된다. 특히 장대터널과 같은 경우에는 공사기간 및 공사비용이 더욱 중요하므로 곡면막장 굴착공법을 개발하여 적용한다면 보다 나은 응력상태를 유지할 수 있어 분할공법을 피함으로써 공사비절감 및 공사기간 단축에 매우 유리할 것이며 시공 후에도 관리측면에서 경비절감의 효과를 얻을 수 있을 것이다(윤지선, 1996).

따라서, 본 연구는 현장실험을 통하여 곡면막장의 안정성을 막장면의 천단, 측벽변위양상에 의거 기존의 직립막장과 비교 검토하였고, 변위측정을 위해 수평경사계(digitilt horizontal inclinometer)를 사용하였다. 변위 관독을 위해 사용된 프로그램은 실시간 원격제어 자동 계측관리 프로그램 HAMSPRO ver 2.5를 사용하였

다. 본 연구에서는 직립막장과 곡면막장의 암반상태는 절리 등의 불연속면 상태를 고려하지 않고 건전한 탄성체 암반으로 가정한다. 특히 본 연구에서는 변위 측정을 위해 기본적으로 대표 6개소의 측정지점을 설정하였고, 위치는 center line (CL) 3개소와 spring line (SL) 3개소에 위치하고 터널벽면의 수평 방향으로 설치하였다. 수평 경사계의 길이는 5m, 간격은 50cm로 하였고, 천공의 직경은 최소 85mm이상, 천공장은 5.5m이상으로 실험을 수행하여 그 결과 비교 분석함으로써 응력 집중 현상을 완화 하고 직립막장에 대한 곡면막장의 효과 및 최적곡면형상 개발하는 것이 본 연구의 추진 목적이다.

2. 기본이론

2.1 곡면막장(concave face)의 정의

그림에 나타나듯이 기존의 막장은 굴착방향에 직립으로 형성되고 있으나, 곡면막장이라 함은 직립막장으로 인한 모서리부분의 응력집중을 감소시키고 막장부근의 응력을 골고루 분포시킴으로써 자립성을 증가시키기 위하여 막장면을 그림과 같이 굴착방향으로 오목하게 들어가는 형상으로 유지시킨 막장면을 말한다. 여기서 0.1D 라 함은 곡면막장의 최전방 굴진 점의 거리가 직립막장면의 거리로부터 터널직경의 0.1배임을 의미한다.

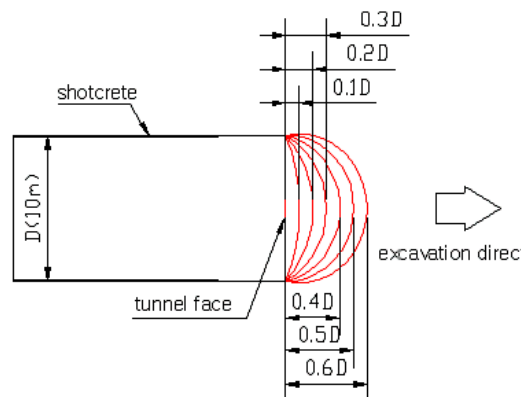


Fig. 1 Longitudinal view of a plane face and concave faces

Table 1. Cases for numerical analysis

구분		측압계수					지반구성조건
		K=0.5	K=1.0	K=1.5	k=2.0	k=2.5	
plane face		○	○	○	○	○	TYPE III(연암)
concave face	0.1D	○	○	○	○	○	
	0.2D	○	○	○	○	○	
	0.3D	○	○	○	○	○	
	0.4D	○	○	○	○	○	
	0.5D	○	○	○	○	○	
	0.6D	○	○	○	○	○	

Table 2. Model properties

구분	변형계수	단위중량	포아송비	점착력	내부마찰각	
단위	10 ³ t/m ²	t/m ³	-	t/m ²	Deg.(□)	
지반	연암	80.0	2.4	0.28	15.0	35.0
지보재	shotcrete	100.0	2.4	0.20	두께 : 0.08m	
	rockbolt	20,000.0	길이 : 4.0m , 간격 :2.0m			

3. 수치해석적 연구

3.1 연속체 해석

본 해석에서 사용된 프로그램(*FLAC*^{3D})은 유한차분법의 이론을 바탕으로 하고 있으며, 이는 지반을 각 절점에서 연결된 요소로 이산화된 연속체로 간주한다는 점에서 유한요소법과 유사하나 미지수를 구하기 위해 채택하는 방법에서 그 차이점을 찾을 수 있다. 일반적으로 유한요소법을 음해법(implicit method)이라고 하면 유한차분법은 양해법(explicit method)라고 하는데 양해법은 매우 작은 시간간격(time step)에서 임의의 절점에서 발생하는 disturbance는 오직 인접한 절점에만 영향을 미친다는데 근본 개념을 갖고 있다. 따라서 각 절점에서 ‘해’를 구하기 때문에 유한요소법과 같이 행렬을 작성하여 문제를 풀 필요가 없으며, 따라서 요구되는 컴퓨터의 용량 또한 작은 이점이 있다(임한옥, 김치환, 2003). 연산과정에서 필요한 법칙은 Newton의 운동법칙과 재료의 구성 법칙이며 각 절점에서 얻어진 가속도를 적분하여 속도를 얻고 이로부터 변형률의 변화량 ⇒ 응력

증분 ⇒ 절점하중 ⇒ 불평형 하중 ⇒ 평형조건 검토를 일련의 연산과정으로 채택한다. 국내 터널 및 지하굴착 해석에 많이 적용되고 있는 *FLAC*, *FLAC*^{3D}가 유한차분법에 근거하고 있다.

3.2 해석조건

기존의 직립막장과 곡면막장을 비교 검토하기 위해, 우선 굴착방향으로 곡면의 최고 전진점을 기존의 직립막장면 으로부터 터널 직경의 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6배로 증가 증가시켜감으로써 곡면막장면을 형성하였다. 또한, 측압계수에 따른 변위양상을 검토하기 위해 K 값을 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5로 하여 해석을 실시하였다. 적용대상암반으로는 일반적으로 전단면굴착이 가능하나 전단면굴착 시 가장 불안정한 막장자립조건을 갖고 있는 암반인 연암을 대상으로 하여 해석을 실시하였으며 지보재는 일반적인 연암에서의 지보재 타설 조건을 적용하였다. 적용대상암반 및 지보재의 특성 치는 아래의 표와 같다. 본 해석에 적용된 단면은 직경 10M의 원형터널을 적용하였으며, 경계조건에 의한 해석에의 영

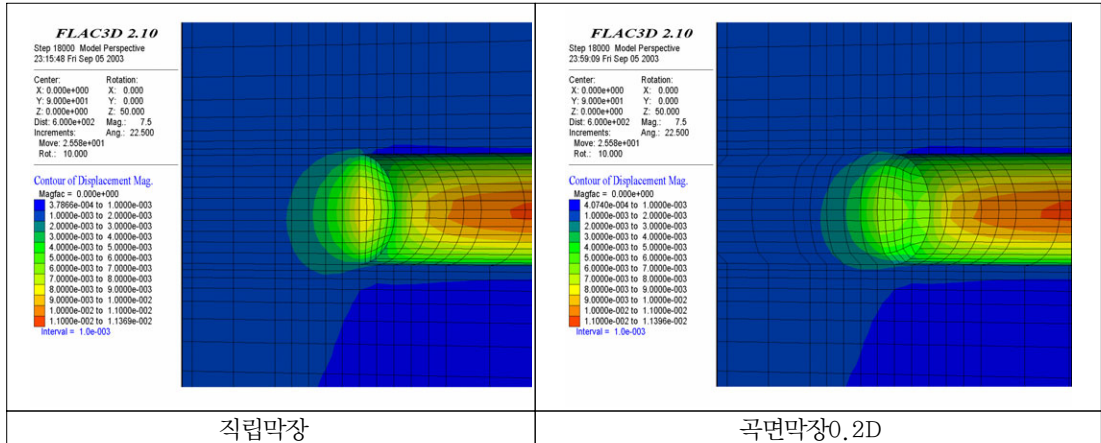


Fig. 2 Contour of displacement magnitude of each tunnel face(k=2.5)

향을 최소화하기 위하여 충분한 경계(10D)를 두었으며, 초기응력은 지하 100M 압반에서의 값을 적용하였고 이 값에 대하여 축압계수를 여러 조건으로 나누어 적용함으로써 초기수평응력에 따른 곡면막장의 안정성에 대해 해석을 실시하였다.

3.3 수치해석결과에 대한 고찰

K=0.5 의 경우 막장면의 최대변위 및 천단침하는 직립막장의 경우가 곡면막장보다 적게 나타났으나 각각의 변위크기 차이는 매우 작게 나타났다. 그러나 K=1.0 이상의 경우 막장면의 최대변위는 직립막장보다 곡면막장에서 적은 값을 나타내며 K값이 증가할수록 0.5D이하의 곡면막장에서 더욱 작은 최대 변위 값을 나타냈다. 특히 0.2D의 곡면막장면에서의 최대 변위 값은 직립막장면에서의 최대 값의 0.71(K=1.0), 0.73(K=1.5), 0.74(K=2.0), 0.74(K=2.5)배로 가장 작은 값을 나타냈다(Hoek, Brown, 1980).

천단변위는 K값이 증가할수록 적게 나타나며 크기는 막장면에서의 최대 변위값 보다 적음을 알 수 있으며, 이는 기존의 2차원 해석의 단점을 나타내고 있다(Hoek, Brown, 1980).

수직응력이 수평응력보다 큰 경우에서는 직립막장면이 곡면막장보다 효과적인 것으로 판단되나, 수평응력이 수직응력보다 큰 경우에는 곡면막장이 더 효과적인 것으로

나타나며, 특히 0.2D의 곡면막장면을 형성하였을 때가 가장 효과적인 것으로 판단된다(신희순 등, 2000).

4. 모형실험 연구

4.1 실험조건

기존의 직립막장과 곡면막장을 비교 검토하기 위해, 우선 굴착방향으로 곡면의 최고 전진점을 기준으로 기존의 직립막장면 으로부터 터널 직경의 0.2, 0.5배의 곡면막장면을 형성하였다. 또한, 축압계수에 따른 응력분포 양상을 검토하기 위해 K값을 각각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5로 하여 실험을 실시하였다. 실험조건은 다음과 같다.

4.2 3D 삼축재하장치

실험에 사용된 재하장치는 그림 3에서 보는 바와 같이

Table 3. Case for the model test

Case	K					Material
	K=0.5	K=1.0	K=1.5	k=2.0	k=2.5	
Plane Face	○	○	○	○	○	아크릴
Concave Face	0.2D	○	○	○	○	
	0.5D	○	○	○	○	

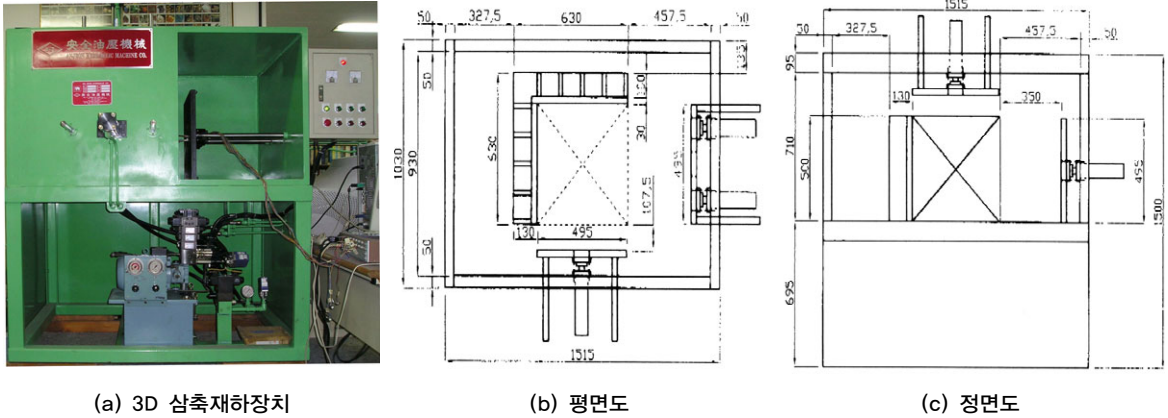


Fig. 3 Photograph and Schematic diagram of triaxial compression test apparatus

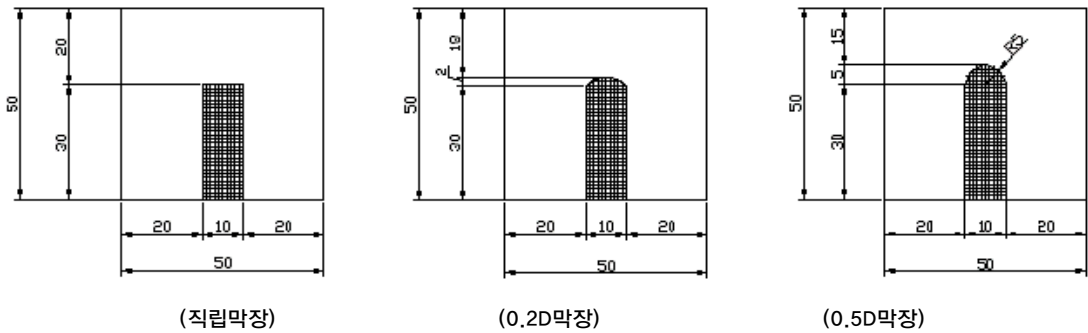


Fig. 4 Schematic diagram of the model

공시체에 맞도록 제작한 것으로, 유압식 3차원 삼축재하 장치로서 세 방향에 1톤 용량의 램(ram)이 부착되어 있으며, 각 램의 실린더 직경은 5cm로 균등하다. 실험장치의 크기는 높이 150cm, 폭 103cm, 가로 151.5cm 이다. 시험기의 우측에는 각방향의 실린더를 조절할 수 있는 전기제어장치가 장착되어 있다. 시험기 하부에는 수직 및 수평압을 자동으로 제어할 수 있는 유압펌프와 압력계가 장착되어 있다.

또한 터널공시체에 등분포 하중을 가하기 위하여 단면이 49.5cm □49.5cm이고 두께가 2cm인 정사각형 가압판을 제작하였고, 우측 가압판은 터널 갱구부분을 터널 단면과 똑같이 원형으로 잘라내었다.

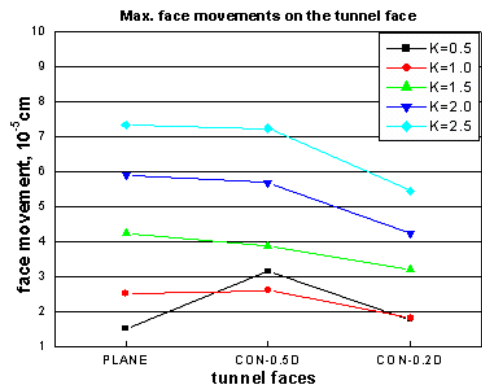


Fig. 5 Max. face movements on the whole tunnel face

4.3 막장형태별 터널 모형

모형터널은 지반을 완전탄성체인 등가재료로 가정하여 아크릴 직경 10cm의 원형터널을 경계조건 2D를 두어 막장형태별로 폭, 길이, 높이가 50cm의 정육면체인 공시체를 제작하여 실험을 실시하였다.

4.4 모형실험결과에 대한 고찰

모형실험 결과, 수치해석 결과와 최대 변위 값 및 천단 침하는 같은 양상을 보였으며, 특히 0.2D의 곡면막장면에서의 최대 변위 값은 직립막장면에서의 최대 값의 0.72(K=1.0), 0.76(K=1.5), 0.72(K=2.0), 0.74(K=2.5) 배로 가장 작은 값을 나타내고 있다(Hoek, Brown, 1980).

천단변위는 K값이 증가할수록 적게 나타나며 크기는 막장면에서의 최대 변위 값 보다 적음을 알 수 있으며, 0.2D 곡면막장의 경우 K=0.5~2.0까지는 7~42%크나 2.5일 때 10% 적은 값을 나타내고 있다(Hoek, Brown, 1980).

수직응력이 수평응력보다 큰 경우에는 직립막장면이 곡면막장보다 효과적인 것으로 판단되나, 수평응력이 수직응력보다 큰 경우에는 곡면막장이 더 효과적인 것으로 나타나며, 특히 0.2D의 곡면막장면을 형성하였을 때 가장 효과적인 것으로 판단된다(신희순 등, 2000).

5. 현장 실험

5.1 현장 실험 개요

본 연구에 수행하는 막장은 강원도 영월군 중도면 녹전

리 산 1번지 옥동 석회석 광산에 위치하고 있으며, 실험을 위한 막장규모는 3□로 한다. 가능한 동일한 조건에서 시험을 수행하기 위해 막장은 동일 pillar(12□4)에 이격거리 6m을 두어 위치하였다. 실험 조건으로는 암반 상태는 절리 등의 불연속면 상태를 고려하지 않고 건전한 탄성체 암반으로 가정하였고, 수치해석 및 모형 시험 결과 곡면 막장을 형성하여 막장면 변위가 가장 적은 곡면 선형은 0.2D일 경우 이를 시험에 반영하여 직립막장의 경우와 비교 시험발파와 변위 측정을 수행하도록 한다. 또한 시공성 문제에 의한 곡면막장 형성 후 기존 직립막장 발파 방법에 의한 곡면 막장형성을 검증하도록 하였다.

5.2 발파 시험회수 방법 및 수평경사계 설치 방법

시험회수는 직립막장과 곡면막장에 대하여 0.9~1.0m 천공장으로 각각 3회 수행하며 Center line(CL), Spring line(SL)에 수평 경사계 매설을 위한 천공을 5.0~5.5m 범위에서 하고 일반 발파공은 1.0m 단공 천공하여 1회 굴진장을 0.9~1.0m 범위에서 작업을 수행한다. 막장의 천공패턴과 사용폭약, 기폭패턴은 동일한 방법으로 수행하여 가능한 동일한 조건에서 시험을 수행하도록 한다. 심발 패턴은 $\phi 02$ mm공공을 4공 활용한 Cylinder-cut으로 하며 굴착이 진행됨에 따른 장비의 천공 난이도를 줄이고, 천공의 정확도를 기하기 위하여 평행공 심발을 원칙으로 한다. 본 연구에서 수행하는 직립막장과 곡면막장의 시험회수 및 단면규모, 1회 굴진장 및 수평 경사계 설치심도는 아래 표 4과 같다.

곡면막장 형성을 위해서 실시하는 최초 갓추기 시험발파는 본 시험발파에 비하여 천공간격 및 저항선 비율을

Table 4. Test blasting size

구분	심발 공법 (Cut)	단면규모 (H□W) m	발파 회수 (회)	경사계 설치 및 발파패턴				비고
				변위공		발파공		
				공수	천공장	공수	천공장	
직립막장	Cylinder	3□4	3~5회	6공	5.5m	55~60	1.0m	
곡면막장	Cylinder	3□4	3~5회	6공	5.5m	55~60	1.0m	

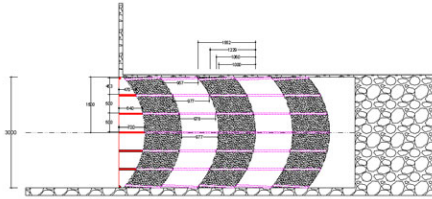


Fig. 6 Test blasting (concave face)

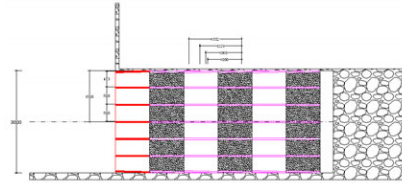


Fig. 7 Test blasting (plane face)

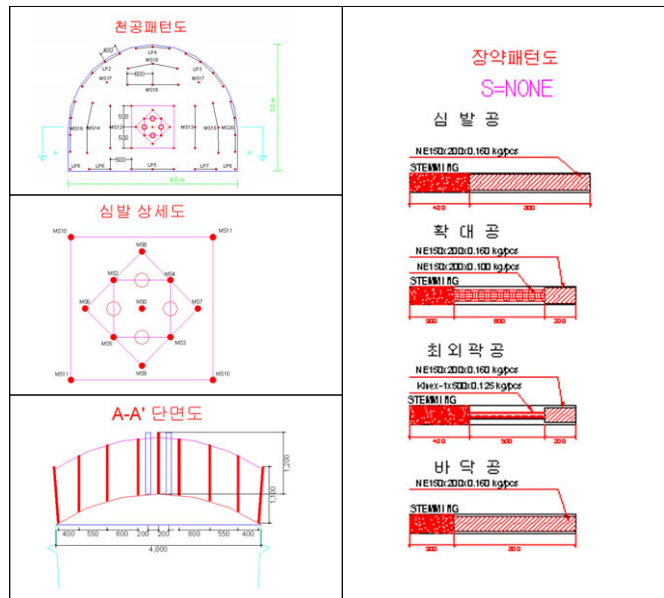


Fig. 8 Test blasting design scheme

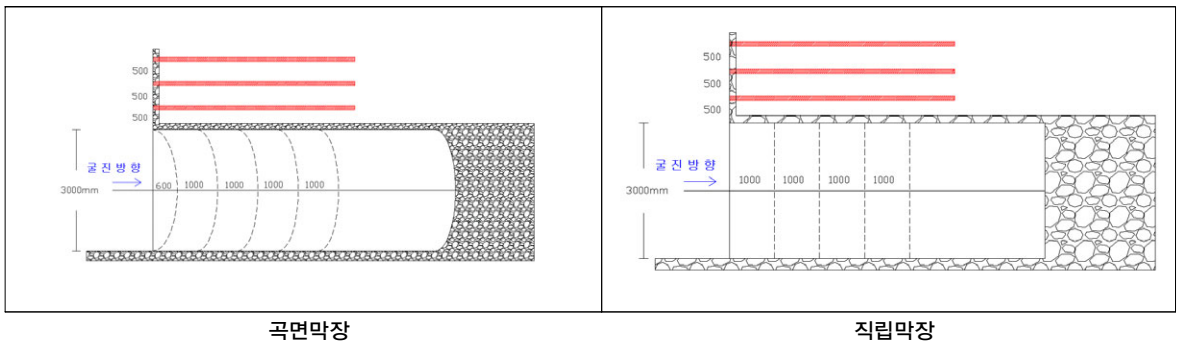


Fig. 9 Detail drawing of Horizontal inclinometer install

조정하여 직립막장을 기준으로 중심선에서 0.2D가 되는 곡면부(직경 3m 경우 약 60cm)를 형성할 수 있도록 한

다. 발파로 인한 작업이 여의치 않을 경우 Breaker나 백호 작업으로 곡면 막장부를 형성할 수 있다. 곡면 막장

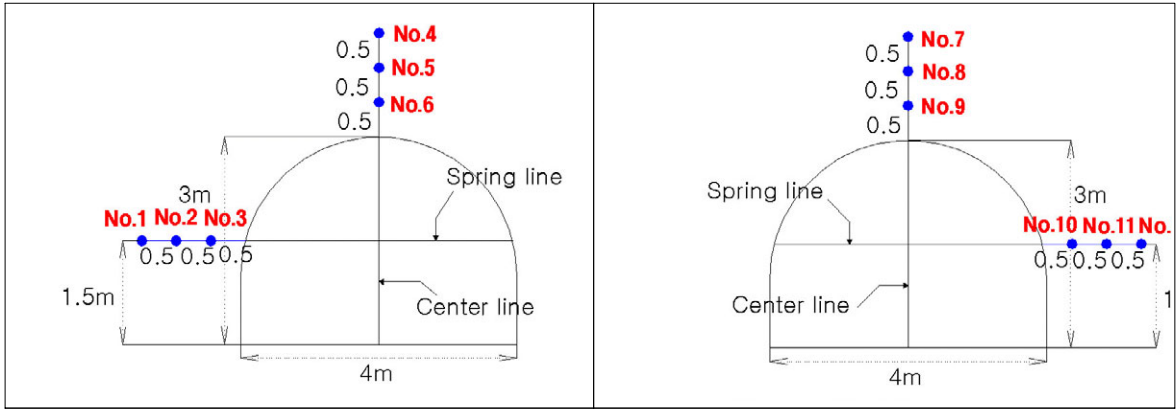


Fig. 10 Detail drawing of Horizontal inclinometer number

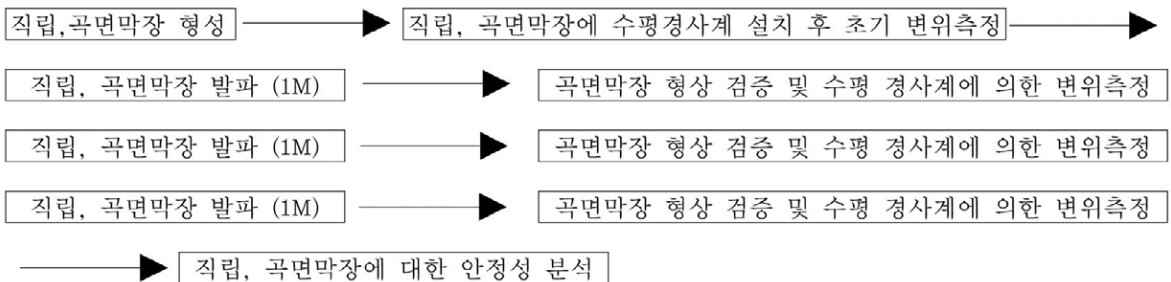
이 갖추어 지면 이후 천공장은 동일한 심도를 유지하고 외곽부의 외향 각은 5도 유지하여 굴진에 따른 단면적이 감소되는 현상을 방지한다. 외곽부의 착점은 굴착 예정선 으로부터 8~9cm후방으로 하고 이는 직립막장의 경우도 동일한 방법으로 수행한다.

기본적으로 대표 6개소의 측정지점을 설정하였고, 위치는 Center line (CL) 3개소와 Spring line (SL) 3개소에 위치하고 터널벽면의 수평 방향으로 설치한다. 수평 경사계의 길이는 5m, 간격은 50cm로 하며 천공의 직경은 최소 85mm이상, 천공장은 5.5m이상으로 한다. 직립막장과 곡면막장의 설치 위치는 동일하게 한다. Spring line은 (터널 직경3m)높이 1.5m부근에 설치하고, 수평 경사계 매설 후 grouting으로 경사계를 고정시킨다.

5.3 실험 공정

5.4 실험장치 (digitilt horizontal inclinometer, 판독기)

Digitilt inclinometer의 수평버전은 inclinometer 케이싱과, 컨트롤 케이블, pull 케이블, 그리고 판독기로 이루어져있다. inclinometer 케이싱은 도랑이나 시추공에 수평으로 배열된 홈 한세트로 설치된다. 케이싱 끝부분이 영향받지 않을때 끝부분 도르래와 되돌아오는 케이블이 케이싱을 따라 설치된다. 계측기와 컨트롤 케이블, pull케이블, 그리고 판독기는 케이싱을 측정한다. 초기측정은 케이싱의 정보를 설정한다. 그리고 이후 측정들은 지반의 변화가 일어나면 케이싱의 정보에서 변화들을 들어낼것이다. 수평경사계는 계측기 축의 수평면에



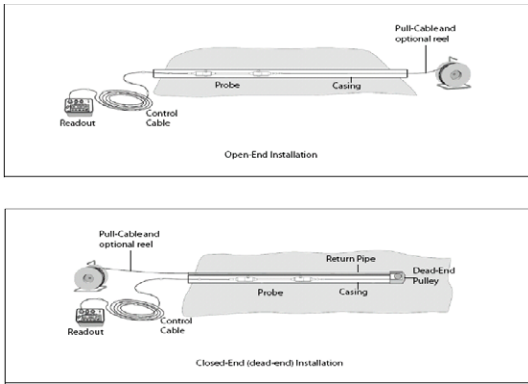


Fig. 11 Horizontal inclinometer

프로그램의 명칭: 실시간 원격제어 자동 계측관리 프로그램 HAMPRO ver 2.5.

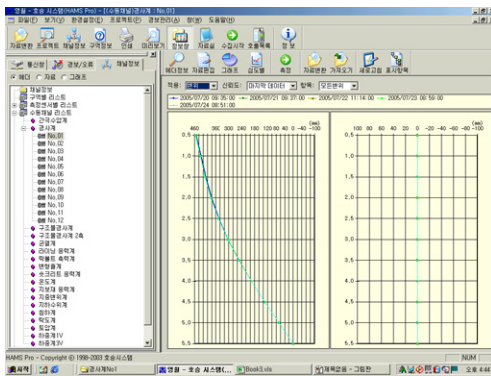


Fig. 12 Hamspro ver 2.5

서 tilt를 측정하기 위해서 force-balanced servo-accelerometer를 채택한다.

계측하는동안 tilt측정값들은 케이싱의 한쪽끝에서 다른쪽 끝까지 계측기에 그려짐으로서 2피트 간격이나 50cm 간격으로 얻어진다. 계측기는 이후 끝과 다른끝이 순서가 바뀌어서 케이싱을 따라 두번 그려진다. 역으로 된 계측기로부터의 tilt측정값들은 센서성향과 계측을 확인하기 위한 checksums를 만들어냄으로서 어떠한 오류도 없앤다. 침하와 용기는 $L(\sin\theta - \sin\phi)$ 로서 계산된다. L은 측정간격이고 θ 은 현재 tilt이고 ϕ 는 초기 tilt이다.

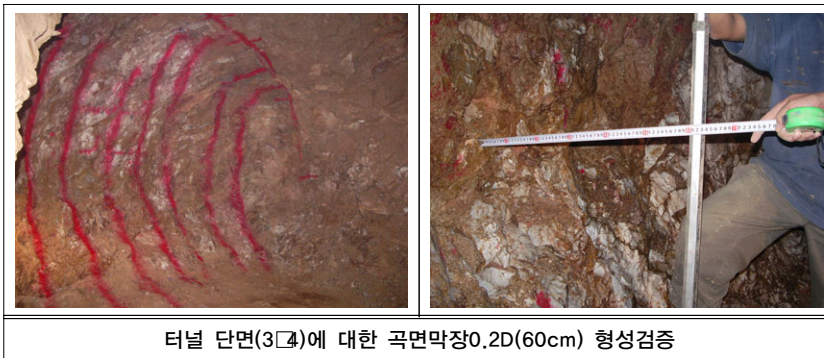
5.5. 결 과

5.5.1 곡면막장 형성 검증

직립막장과 곡면막장 형성 검증을 위한 측정을 아래와 같이 나타내었다. 터널 단면(3-4)에 대한 곡면막장 0.2D(60cm)를 검증하였고, 곡면 형성을 위한 시험 발파 후 기존 발파 방법(직립막장)에 의한 곡면 형성을 위해 매번 발파 후 곡면 형성을 검증하였다. 이에 최초 곡면막장 형성 후 기존 직립막장 발파 방법에 의한 곡면막장 형성은 어려움 없이 나타났다.

5.5.2 곡면막장 직립막장 터널 막장면에서의 SL, CL 변위양상그래프

곡면막장 직립막장 터널 막장면에서의 변위 양상그래프를 나타내면 다음과 같다.



터널 단면(3-4)에 대한 곡면막장0.2D(60cm) 형성검증

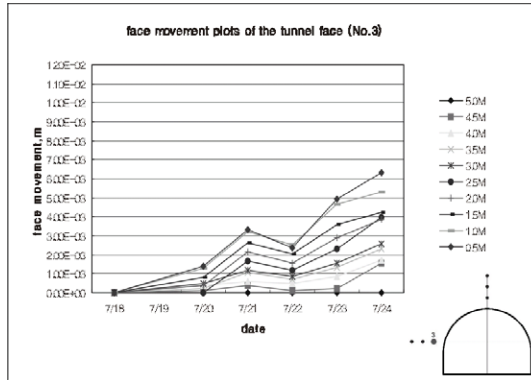


Fig. 13 face movement plots of the tunnel face no.3

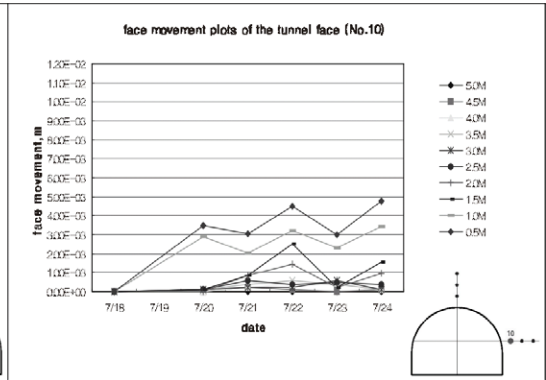


Fig. 14 face movement plots of the tunnel face no.10

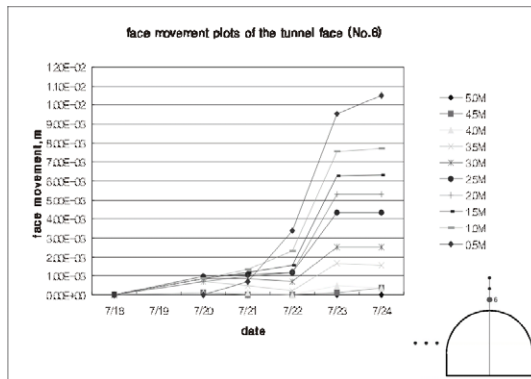


Fig. 15 face movement plots of the tunnel face no.6

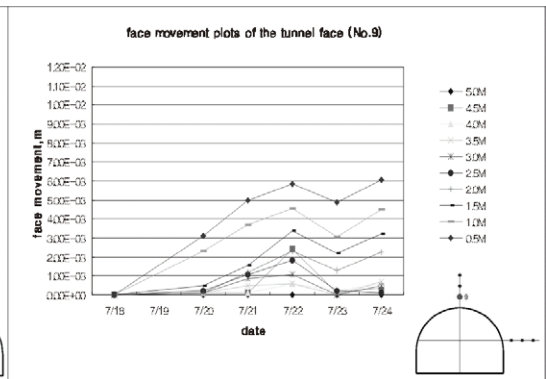


Fig. 16 face movement plots of the tunnel face no.9

No.5 수평 경사계 공은 사용이 불가능하였으며, 실험 발파일은 7/20, 7/22, 7/24일이다. 본 논문에서는 대표적인 측벽변위와 천단변위 그래프만 나타내었다.

측벽 변위의 경우, 직립막장과 곡면막장의 변위 최대 값은 비슷하며 발파에 의한 탄성적 거동을 볼 수 있었다. 그러나 곡면막장의 경우 2.5M 이상에서는 직립막장에 비해 변위 거동이 작은 것을 알 수 있다. 천단 변위의 경우, 직립막장의 최대 변위가 곡면막장의 최대 변위 보다 40% 정도 큰 것을 나타내고 있다. 또한 직립막장에 경우 발파에 의한 탄성적 거동을 볼 수 없었으며, 반면 곡면막장의 경우 발파에 의한 탄성적 거동을 찾을 수 있었다.

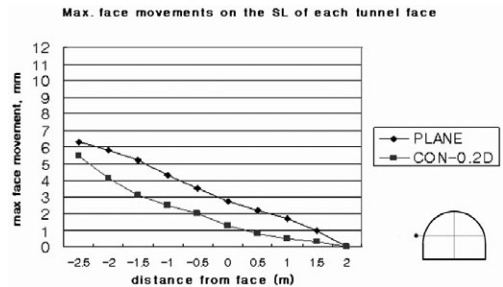


Fig. 17 Max. face movements on the SL of each tunnel face

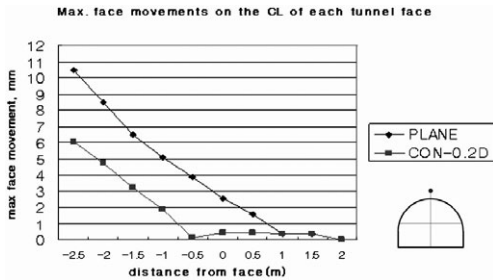


Fig. 18 Max. face movements on the CL of each tunnel face

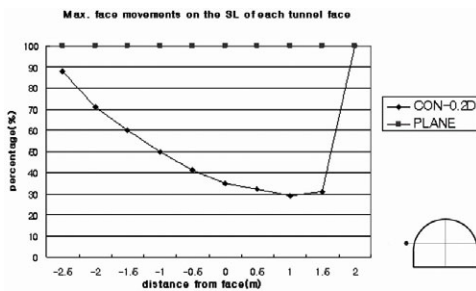


Fig. 19 Max. face movements on the SL of each tunnel face(%)

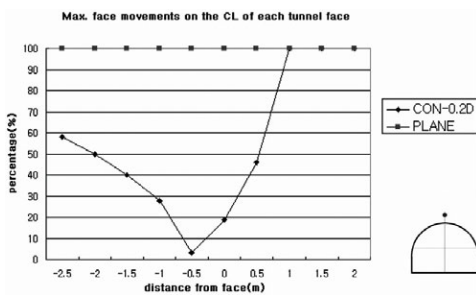


Fig. 20 Max. face movements on the CL of each tunnel face(%)

6. 고찰

본 연구에서는 기존의 직립막장면으로 인한 막장면 부근의 응력집중현상과 이로인한 불안전성의 결과를 줄이

기 위하여 막장면의 곡면형상화로 인하여 응력집중현상 완화를 유도하였다. 이는 각각의 측정구간에 따른 막장면 부근의 최대변위값을 비교검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

측벽 최대 변위의 경우 직립막장과 곡면막장은 비슷한 기울기를 보이며 감소 현상을 나타내고 있다. 직립막장과 곡면막장의 변위 차이는 곡면막장이 20% 작은 값을 나타내었다. 천단 최대 변위의 경우는 0.2D의 곡면막장은 막장 후방 0.5M까지는 직립막장과 비슷한 기울기를 보이며 감소를 하나 그 이후에는 변위가 거의 없다. 직립막장의 천단 최대 변위는 막장 전방 1M까지 변위의 감소를 보이고 있다. 막장 후방 0.5M에서의 천단 최대 변위 차이는 40% 곡면막장이 작은 값을 나타내었다. 최대 변위를 토대로 직립막장을 100%로 하여 곡면막장을 백분율로 나타내었을 때 측벽의 최대 변위는 막장 전방 1M에서 가장 큰 차이를 보이며, 천단의 경우는 막장 후방 0.5M에서 가장 큰 차이를 보였다.

7. 결론

완전 탄성체로 가정한 수치해석, 모형실험 결과 0.2D의 곡면막장면에서의 최대 변위 값은 직립막장면에서의 최대값의 30% 작은 값을 나타내고 있다.

건전한 탄성체 암반으로 가정한 현장실험 결과 곡면형성을 위한 시험 발파 후 기존 발파 방법(직립막장)에 의한 0.2D 곡면 형성은 어려움이 없이 나타났다. 변위양상에서는 측벽의 경우 0.2D의 곡면막장과 직립막장의 최대변위 차이는 22%로 곡면막장이 작은 값을 나타냈다. 또 천단구간에서의 0.2D의 곡면막장과 직립막장의 최대변위 차이는 42%로 곡면막장이 더 작은 값을 나타내었다. 터널 단면이 3m x 4m 인 경우 3m 굴진 시, 측벽변위는 막장 전방 2M, 천단변위는 막장 전방 1M에서 직립막장과 곡면막장이 같음을 알 수 있으며 최대변위차 이(%)는 측벽의 경우 막장전방 1M(42%), 천단의 경우 막장 후방 1M(97%)으로 나타났다. 위 결과를 검토한 결과 수치해석, 모형실험, 현장실험에서 0.2D의 곡면막장을 형성하였을 때의 막장주변 변위가 효과적으로 나타났으며, 곡면막장을 이용한 막장주변 응력상태를 개선 시

막장 자립조건을 높일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 막장 자립 조건 이용에 따른 대단면 터널 급속시공에 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 사업인 “미래형 초장대 터널의 최적화 건설기술 시스템 개발연구”의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 신희순외 2명 (2000), 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, 구미서관, pp. 471-476.
2. 임영국 (1994), 알기쉬운 터널역학, 원기술, pp. 37-41, 321.
3. 임한욱, 김치환 (2003), 터널공학, 구미서관, pp. 126-133.
4. 윤지선 (1991), NATM공법의 조사, 설계, 시공, 구미서관, pp. 216-217.
5. 윤지선, (1996), 지하공간건설공학, pp. 39-51.
6. 신희순, 선우춘, 이두화 (2000), 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반분류, pp. 471-476.
7. E. Hoek and E.T.Brown (1980), “Underground excavations in rock”, pp. 221-223.



김태형

인하대학교 토목공학과 대학원
kimtae313@hanmail.net



윤지선

인하대학교 환경토목공학과 교수
jyoons@inha.ac.kr