

원심모형시험에 의한 복개터널 복공의 토압특성에 관한 연구

A Study on the Earth Pressure Characteristic of Cut-and-Cover Tunnel Lining by Centrifuge Model Experiment

이 명 욱* 박 병 수** 정 길 수*** 유 남 재****
Lee, Myung-Woog Park, Byung-Soo Jung, Gil-Soo Yoo, Nam-Jae

Abstract

This thesis is results of experimental works on the behavior of the cut-and-cover tunnel.

Centrifuge model tests were performed to simulate the behavior of the cut-and-cover tunnels having cross sections of national road and subway tunnels. Model experiments were carried out with changing the cut slope and the slope of filling ground surface. Displacements of tunnel lining resulted from artificially accelerated gravitational force up to 40g of covered material used in model tests, were measured during centrifuge model tests.

In model tests, Jumunjin Standard Sand with the relative density of 80 % and the zinc plates were used for the covered material and the flexible tunnel lining, respectively. Basic soil property tests were performed to obtain it's the property of Jumunjin Standard Sand. Shear strength parameters of Jumunjin Standard Sand were obtained by performing the triaxial compression tests. Direct shear tests were also carried out to find the mechanical properties of the interface between the lining and the covered material.

Compared results model tests estimation with respect to displacements of the lining.

키워드 : 개착식터널, 원심모형실험,

Keywords : *Cut-and-Cover Tunnel, centrifuge model test*

1. 서 론

개착식 공법이란 지표면에서 부터 굴하하여 소정의 위치에 지하구조물을 축조한 다음 그 윗부분을 되메워 지표면을 복구하는 공법을 총칭한 것이다. 이와 같은 개착공법에는 시공목적에 따라 여러 가지로 구분할 수 있으며 도시지역에서는 지하철공사가 주를 이루며 이외에도 상하수도, 전력통신구 등의 건설에 널리 적용되고 있다.

지반을 얇은 심도로 터파기 하거나 또는 지표면에 프리캐스트 콘크리트 아치 구조물을 설치하고 복개하여 완성하는 얇은 심도의 프리캐스트 복개 아치구조공법은 이미 유럽에서 1960년대부터 지하통로, 교량 및 터널 등에 널리 적용해 왔으나 국내에서는 기타 기술적인 이유로 아직까지 적용사례가 적은 실정이다.

복개터널의 장점으로는 단면이 단순하며, 대부분의 작업이 지상이나 얇은 심도에서 이루어지기 때문에 전체작용하중에서 자중이 부담이 작고 기존의 터널개념 보다는 구조물 개념으로 접근할 수 있으며 특히, 구조물을 아치형 등 구조적으로 유리한 단면으로 건설하면 구조물의 두께를 크게 줄일 수 있다. 또한 공장에서 프리캐스트 부재를 제작하여 현장으로 운반해서 조립하여 구조물을 완성하

* 동해대학교 토목공학과 전임강사 공학박사
** 강원대학교 토목공학과 연구원 공학박사
*** 강원대학교 토목공학과 대학원 박사수료
**** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

고 나서 주변을 복개하면 기존 박스형으로 현장타설하는 방법보다 경제적이며 현장타설로 야기되는 교통장애, 분진, 소음, 일기의 영향과 각종 민원의 원인을 사전에 방지할 수 있다.

이 연구에서는 산악터널의 시공에서, 터널 상부의 토피가 얇은 입·출구 부분의 Shallow Tunnel을 시공할 경우, 경제성을 감안하여 NATM 방식의 터널시공법 대신에 원지반을 경사지게 개착식으로 굴착하고 콘크리트 구조물을 시공한 후 원지반선까지 되메우기를 실시하는 복개터널에(Cut and Cover Tunneling Method, CCTM) 관한 원심모형 실험이다.

현재 많은 개착식 터널의 설계시 터널의 설계기준은 Bickel과 Kussel(1982), 일본 토목학회(1987)에서 제안한 강성뼈대해석을 따르고 있으나, 이는 개착식 터널의 특성인 단계별 시공에 따른 라이닝의 거동 및 되메움 지반의 경사나 굴착폭 등을 고려하지 못한 해석이다. 이러한 단계별시공을 고려한 연구로는 Kovari(1982), Tisa(1988)에 의해 원지반-터널라이닝-되메움 지반의 상호관계에 대한 연구가 수행되었으며, Kellogg(1933)은 되메움 지반내부의 아칭효과를 고려하여 지하에 매설된 구조물에 작용하는 연직토압에 대한 연구를 수행한 바 있다.

한편, Getzler(1968), Sherif(1982), Handy(1985), 김홍택(1993), 유건선(1996), 이상덕(1997) 등은 이러한 터널라이닝과 되메움 지반사이에서 발생하는 상호작용 및 터널라이닝과 굴착사면 사이의 좁은 공간의 되메움시 발생하는 벽면마찰에 의한 단계적인 토압 감소에 대하여 연구를 하였다.

그 외, 유건선(1997), 이대혁(1999), 김택곤(1999), 박기정(2000) 등이 개착식 터널에 대한 토압의 분포, 균열특성 등 터널의 역학적 거동에 관해 연구를 수행하였다.

따라서, 이 연구에서는 국도터널 단면에 대하여 굴착경사와 지표면의 경사를 변화시켜 되메움 자중에 따른 터널라이닝의 측벽부, 상단부, 어깨부분의 토압을 측정하였다.

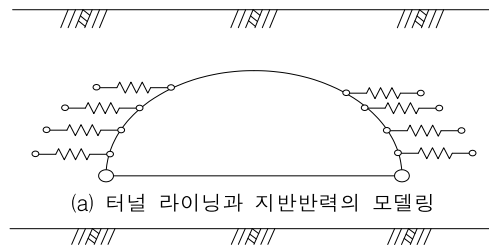
2. 터널 라이닝의 토압분포이론

복개터널의 라이닝에 대한 설계방법은, 간편성 때문에 수직 개착식 공법으로 시공되는 복개터널의 라이닝에 대한 강성뼈대해석(rigid frame analysis) 방법이 일반적으로 널리 사용되고 있으며, 최근에는 유한요소법을 이용한 수치해석을 통하여 일반 개착식 공법으로 시공되는 복개터널 라이닝의 역학적 거동에 대한 연구가 이루어지고 있다.

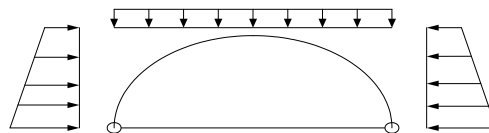
2.1 강성뼈대해석

강성뼈대 해석방법은 Brickel(1996), 일본토목학회(1987) 등이 제안한 해석방법으로써 터널 라이닝을 그림 1(a)와 같이 스프링으로 수평지지된 뼈대(frame)로 가정하고 여기에 그림 1(b)와 같은 방법으로 수직 및 수평하중을 작용시켜 강성뼈대 해석방법을 통하여 라이닝의 구조요소에 대한 전단력, 축력, 모멘트를 산정함으로써 터널 라이닝에 대한 설계가 이루어진다. 하중조건은 굴착면의 경사, 굴착폭, 되메움지반과 구조체 사이의 마찰력 등에 관계없이 되메움 지반의 자중과 되메움지반의 수평지압을 터널 구조체의 천단부와 측벽부에 각각 작용하는 수직하중과 수평하중으로 가정하도록 되었다. 특히 수평하중은 주동토압(단기 안정) 또는 정지토압(장기안정)으로 가정하고 있다.

그러나 이러한 설계방법은 되메움 지반과 터널 라이닝 사이의 상호작용(interaction)메카니즘을 적절히 반영하지 못하고 있으며 또한, 굴착면의 경사, 굴착폭 및 지표면경사 등 터널 주변의 지형적 영향을 설계에 고려하지 못하는 문제점이 있다.



(a) 터널 라이닝과 지반반력의 모델링



(b) 가정된 터널 라이닝 주변의 토압분포

그림 1 강성뼈대 해석

2.2 유한요소법에 의한 수치해석

Kovari와 Tisa(1982, 1988)은 그림 2와 같이 되메움 지반과 터널 라이닝 사이의 상호작용을 고려한 설계방법을 제안하였다. 수치해석을 위한 경계조건을 위해 세부분 ① subsoil, ② compacted backfill, ③ placement of last layer of backfill으로 나누어 터널 라이닝의 변형과 단면력을 산정하였다. 'subsoil'은 원지반으로써 기초의 하중을 지지하고 이에 따라 라이닝 하단부에 침하와 회전 발생한다. 'compacted backfill'은 먼저 성토되어 다져진 지반으로 구조체의 일부로서 작용한다. 즉, 이 되메워진 지반이 터널 라이닝 측면을 지지하는 반력을 생성시켜 라이닝의 변형에 저항하게 된다.

'placement of last layer of backfill'은 가장 마지막에 되메움한 지반이며 수직하중과 수직하중으로 작용한다.

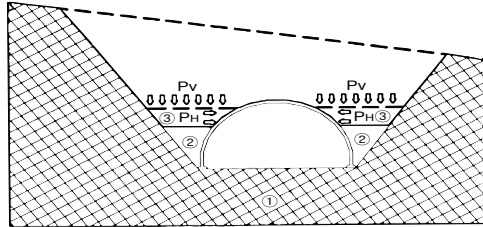


그림 2 터널아치와 뒤채움재의 상호작용

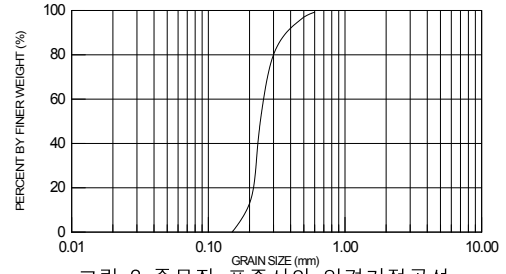


그림 3 주문진 표준사의 입경가적곡선

3. 실험

실험은 연구에서 이용된 주문진표준사의 기본물성실험과 상대밀도 80%의 시료에 대한 암밀배수(CD)의 삼축압축 실험시험, 마찰시험을 실시하였다. 원심모형실험은 복개터널의 콘크리트 아치구조체의 역학적 거동을 규명하기 위하여 터널의 단면, 굴착경사, 지표경사를 매개변수로 하여 시험을 수행하였다.

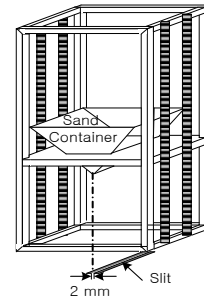


그림 4 강사장치

3.1 시료의 기본물성

원심모형실험에서 모형지반으로 사용된 공기건조된 주문진표준사의 기본적인 물성은 표 1과 같으며 시료의 입도는 그림 3에 나타난 바와 같이 통일분류법에 의한 분류결과 SP에 해당하는 균등한 중립모래이다.

한편, 원심모형실험시 균질한 초기상대밀도를 갖는 지반을 형성하기 위하여 그림 4의 강사장치를 제작하고 하여 강사법을 이용하여 초기에 균질한 지반을 형성하였다.

표 1 주문진 표준사의 기본적인 물성

Grain Size Distribution	$D_{10} = 0.21 \text{ mm}$ $C_u = 1.19$ $C_c = 1.01$
Maximum Dry Density	1.682 kg/cm ³
Minimum Dry Density	1.384 kg/cm ³
Maximum Void Ratio	0.879
Minimum Void Ratio	0.546
Specific Gravity	2.6

한편, 터널굴착면에 대한 조도는 굴착면에 No. 80의 사포를 굴착면에 부착시켜 현장에서의 굴착면의 거칠기로 모사 하였다.

상대밀도 80%의 모형지반에 대한 전단강도정수인 내부마찰각 ϕ , 점착력 C를 산정하기 위하여 삼축압축시험, 터널굴착면에 마찰각을 알아보기 위한 마찰시험을 실시 하였으며 그 결과는 표 2에 나타난 바와 같다.

표 2 삼축압축(CD)시험 및 마찰시험결과

Triaxial Frictional Test							
RD (%)	Confining Pressure (kg/cm ²)				Slope of Failure Line in p-q Space tan α	Frictional Angle in σ - τ Space ϕ	C
	Deviator Stress at Failure $\sigma_1 - \sigma_3$ (kg/cm ²)						
	0.2	0.3	0.4	0.6			
80	1.083	1.535	1.590	2.316	0.699	42.00	0

Direction Shear Test								
RD (%)	Normal Stress (kg/cm ²)					Slope of Failure Line in σ - τ Space tan δ	Frictional Angle in σ - τ Space ϕ	C
	Peak Strength (kg/cm ²)							
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0			
80	0.384	0.654	0.739	1.016	1.189	1.028	45.8	0

그림 5는 삼축시험 결과의 Mohr원을 그림 6는 마찰시험 결과 이다.

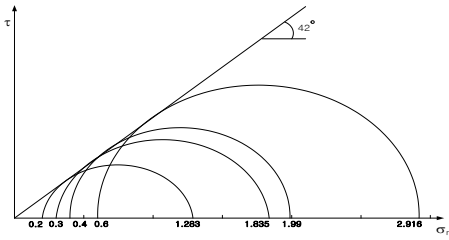


그림 5 삼축압축 시험결과 Mohr (Dr=80%)

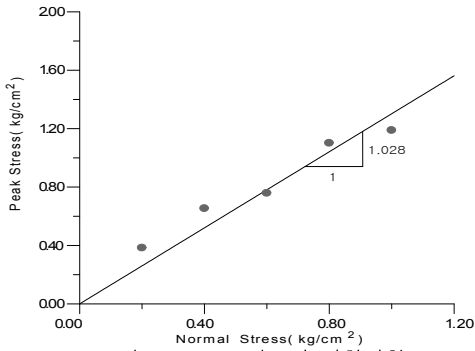


그림 6 No. 80 사포의 마찰시험

3.2 원심모형실험

실내에서 축소된 모형을 사용하여 인위적으로 모형을 가속시킴에 따라 토립자의 자중을 증가시켜 현장상태의 응력을 재현시킴으로써 현장 응력 상태에서 경제적으로 실험을 수행할 수 있는 원심 모형실험기법을 이용하여 개착식터널중 국도터널 단면 그림 7의 단면에 대해 표 3에 나타난 굴착면의 각도, 지표면의 경사를 매개변수로 하여 되메움 자중의 원심모형실험을 실시하였다. 원심모형실험을 통해 되메움 자중에 의한 터널 라이닝의 측벽부, 상단부, 어깨부에 대한 토압을 측정하였다.

그림 7의 국도터널단면의 제작은 표준단면의 1/40 크기로 두께 0.06 mm의 아연도강판을 이용하여 길이 19.5 cm의 터널을 축소제작하여 사용하였으며 그림 8의 알루미늄으로 제작된 직사각형 박스 내에(길이 : 45 cm, 폭 : 20 cm, 높이 : 70 cm) 설치하여 실험을 수행하였다. 한편, 원심모형 실험 중 벽면에 마찰력을 최소화 하기 위하여 Grease를 묻힌 비닐을 모형토조 벽면에 부착하여 벽면의 마찰력을 최소화 하였다.

모형터널에 작용하는 토압의 측정위치는 그림 8에 나타난 바와 같이 터널의 상부, 터널의 어깨, 터널의 측벽부에 각각 1개씩 토압계를 설치하여 토압을 측정하였다.

토압의 측정은 일본 NTS사의 Type PCG-10K의 토압계로, 허용용량 10 kgf/cm²의 토압계를 사용

하였다. 각각 토압계의 Calibration은 그림 8의 응력수준에 따른 토압분포(Mv)를 실험을 통해 구한 뒤 그림 10의 전기신호를 연직토압으로 변형시켜 그림 10와 같이 나타내었으며 원심모형 실험을 통해 획득되는 전기신호의 토압을 실제의 압력으로 변환시키기위하여 그림 9의 그래프를 회귀분석을 실시하여 일반화 하여 사용하였다.

한편, 표 4는 그림 10의 그래프에 나타난 각각의 계측기의 값을 회귀분석 하여 일반화한 수식이다.

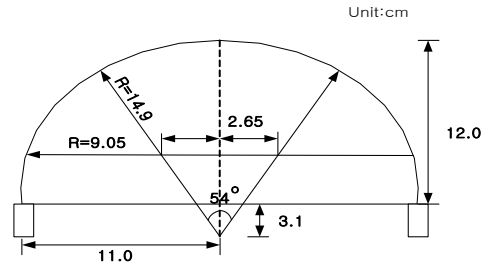


그림 7 국도 2차선 터널단면 (1/40 Scale)

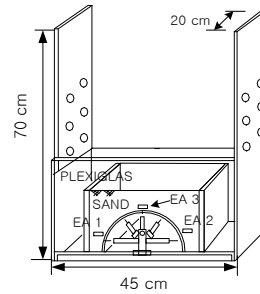


그림 8 모형실험에 사용된 알루미늄토조

표 3 각각의 매개변수에 따른 원심모형실험

원심모형실험				
단면 형상	굴착면의 각도	상대밀도 (%)	지표면의 경사	지 반
국도 2차선	90°	80	0°	사질토
			15°	
			30°	
	75°	80	0°	사질토
			15°	
			30°	
60°	80	0°	사질토	
		15°		
		30°		

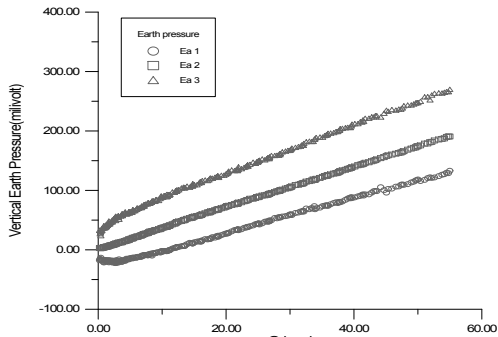


그림 9 응력수준-연직토압(Mv)

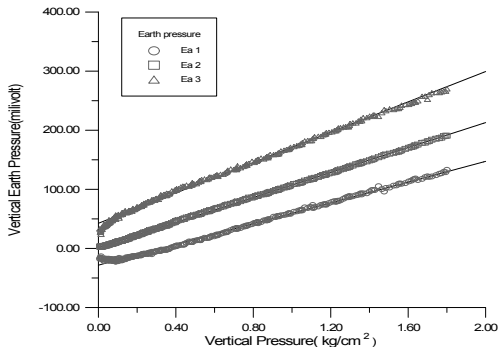


그림 10 연직토압(Mv) - 토압

표 4 각각의 계측기의 회귀분석값

계측기	회귀분석값
EA. Cell 1	$Y = 87.8119 * X + -28.3424$
EA. Cell 2	$Y = 100.5561 * X + 1.75144$
EA. Cell 3	$Y = 128.393 * X + 42.5789$

3.3 원심모형시험 방법

개착식터널의 원심모형시험은 표준단면의 1/40 Scale의 국도터널에 대하여 그림 11 ~ 그림 13의 모형에 보인바와 같이 굴착면의 경사, 지표면의 경사를 변화시켜 중력수준 40 G의 원심모형시험을 실시하였다. 모형지반의 형성은 터널의 중앙 상단으로 부터 터널높이(D)의 1D의 만큼의 성토를 기본으로 하였으며 지표면의 경사를 주는 경우 모형토조가 허용하는 범위내에서 성토높이를 조정하였다. 그림 12와 그림 13의 굴착경사 75° 와 60° 의 경우 지표면의 경사가 0° 일때는 문제가 없으나 지표면의 경사가 15° 와 30° 로 증가하는 경우 토

조의 크기 때문에 굴착면이 성토면 까지 미치지 못하는 단점이 있었다. 따라서, 이러한 경우 모형토조 벽면에 No. 80의 사포를 벽면에 부착시켜 굴착면의 조도만을 모사하였다.

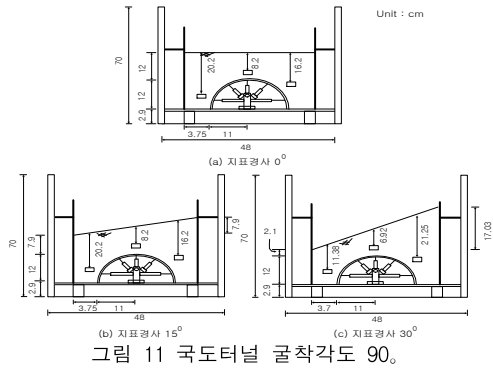


그림 11 국도터널 굴착각도 90°

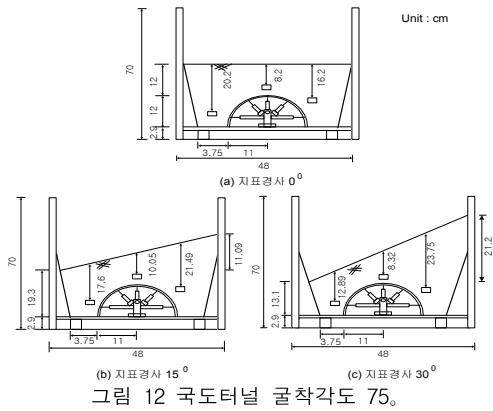


그림 12 국도터널 굴착각도 75°

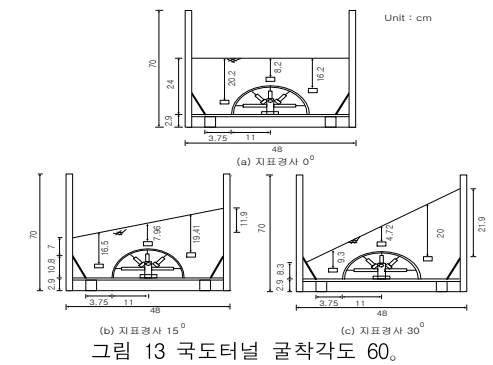


그림 13 국도터널 굴착각도 60°

이 연구에서 수행된 원심모형시험 순서는 다음과 같다.

- ① 직사각형 토조에 실험조건에 맞는 터널단면을 설치한 뒤 터널되메움시 강사장치를 이용하여 상대밀도 80 %의 지반을 형성한다. 되메움시 터널에 발생하는 변형을 고려하여 좌우측을 번갈아 가며 조성한다.
- ② 터널주변의 되메움시 터널 측벽부, 상단부, 어깨부의 토압을 측정하기 위해 강사중에 토압계를 위치별로 설치한다.
- ③ 터널의 상단까지 되메움 완료되면 터널의 높이(D)와 동일한 높이로 터널상단에 되메움을 한다. 만일, 터널의 상단이 경사진 경우 경사면을 조성하되 중앙부는 1D 높이로 한다.
- ④ 터널모형이 완성되면 계측기를 원심모형시험기 내부에 장착된 기록장치에 연결하고 외부에 있는 컴퓨터와 데이터 전송상태를 점검 확인한다.
- ⑤ 실험준비가 완료되면 분당회전수(RPM)를 조절하여 원심모형시험기를 가속시키고 원심력을 증가시켜 중력수준 40g에 도달시킨 뒤 터널내부의 토압계가 수렴하는지 여부를 판단한 뒤 Slip Ring을 통해 기록장치로 전송되는 토압이 일정하게 수렴하면 실험을 종료한다.

4. 원심모형실험 결과분석

국도터널 및 지하철터널 단면에 대하여 개착식 터널공법을 재현하여 굴착각도의 각도를 90., 75., 60. 로 변화시키고 지표면의 경사를 0., 15., 30. 로 변화시켜 그림 11 ~ 그림 13의 모형에 대하여 원심모형실험을 실시하였다. 이 실험을 통해 라이닝 각 부분에 대한 토압 특성을 알아보았다. 결과분석에서는 국도터널은 NT로, 굴착경사는 CS로, 지표경사는 SS로 표기하고자 한다.

4.1 국도터널

국도터널에 대해 터널굴착각도를 90. 로 하고 지표면의 경사를 0., 15., 30. 변화시켜 수행된 중력수준 40g의 되메움자중의 원심모형실험을 통해 그림 14 ~ 그림 16의 결과를 얻었다. 여기서, Ea 1은 터널의 좌측 측벽부의 토압, Ea 2는 터널 우측부 어깨부의 토압, Ea 3는 터널의 상단부의 토압을 나타내고 있다. 한편, 그림 17의 국도터널 굴착각도 90. 에 대한 지표경사에 따른 토압의 변화결과는 표 4의 회귀분석식을 사용하여 실험을 통해 측정된 토압을 정리하여 계산된 표 6을 도시한 결과이다.

표 5. 실험결과 각각 위치에서의 토압 (NT, CS= 90.)

굴착경사	지표경사	EA1		EA2		EA3	
		mv	kg/cm ²	mv	kg/cm ²	mv	kg/cm ²
90	0.	81	1.244	130	1.27	109.6	0.52
	15.	68	1.1	161	1.58	98	0.43
	30.	57	0.97	190	1.87	110	0.53

그림 17의 굴착각도 90. 에 대해 지표면의 경사를 0., 15., 30. 로 증가시키면서 측정된 토압에 의하면 터널의 좌측 측벽부에 위치한 위치한 토압계 Ea 1의 경우는 지표면의 경사가 증가함에 따라 터널 되메움 두께가 감소하여 토압이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 어깨부의 토압계 Ea 2의 경우 지표면의 경사가 증가함에 따라 되메움의 두께가 증가함으로 인해 토압이 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편, EA 3의 경우 지표경사와 상관없이 매우 유사한 토압의 크기를 보이고 있으며 이는 기본적으로 터널중앙부의 되메움 두께를 터널 높이 D의 1D 함으로써 되메움 두께의 변화가 그리 크지 않음에 기인하는 것으로 판단된다

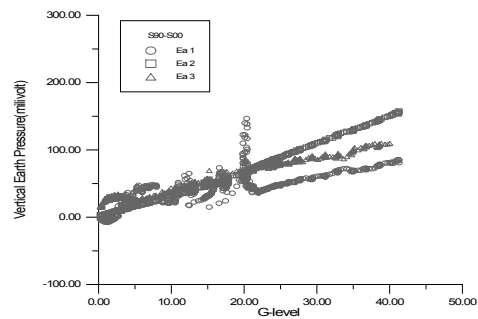


그림 14 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=90., SS=0.)

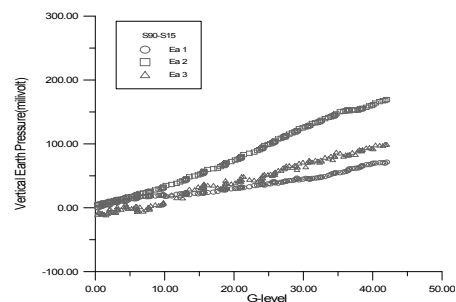


그림 15 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=90., SS=15.)

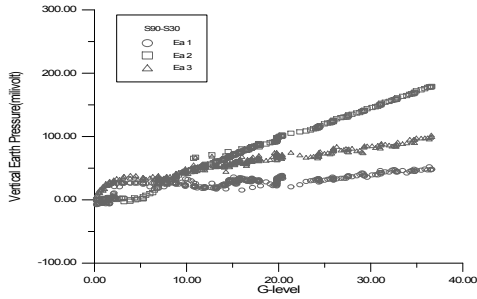


그림 16 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=90, SS=30.)

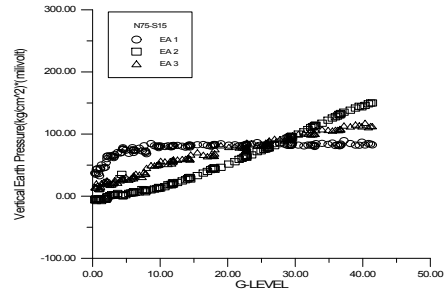


그림 18 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=75, SS=0.)

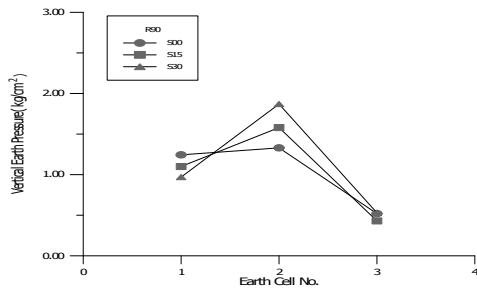


그림 17 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=90)

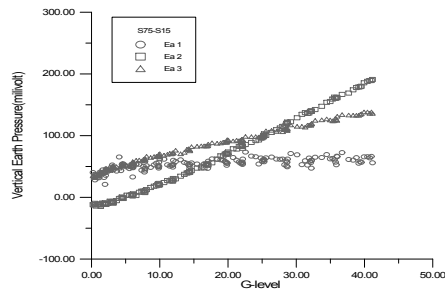


그림 19 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=75, SS=15.)

터널의 굴착각도를 75, 지표면의 경사를 0, 15, 30. 변화시켜 수행된 원심모형실험을 통해 그림 18 ~ 그림 20의 결과를 얻었다. 그림 26은 실험결과 측정된 토압을 회귀분석한 표 6의 결과이다. 그림 21에 의하면 굴착각도 90. 결과와 마찬가지로 지표면의 경사에 따라 터널의 뒤채움 두께의 변화함에 따라 뒤채움 두께가 감소하는 Ea 1의 경우는 토압이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 어깨부의 토압계 Ea 2의 경우 뒤채움의 두께가 증가함으로 인해 토압이 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편, 터널 상단부의 토압인 Ea 3의 경우 지표경사의 증가와 상관없이 매우 유사한 토압의 크기를 나타내는 것으로 나타나고 있다.

표 6 실험결과 각각 위치에서의 토압 (NT, CS= 75.)

국도터널		Ea 1		Ea 2		Ea 3	
굴착	지표	mv	kg/cm ²	mv	kg/cm ²	mv	kg/cm ²
경사	경사						
75	0.	86	1.30	135	1.33	112	0.54
	15.	72.4	1.14	160	1.57	128	0.67
	30.	58	0.98	203	2.00	114	0.55

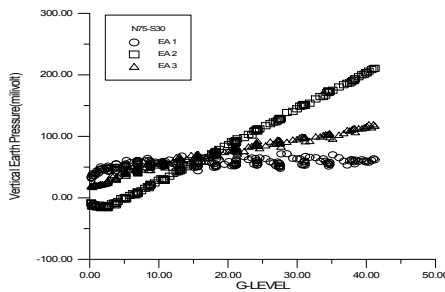


그림 20 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=75, SS=30.)

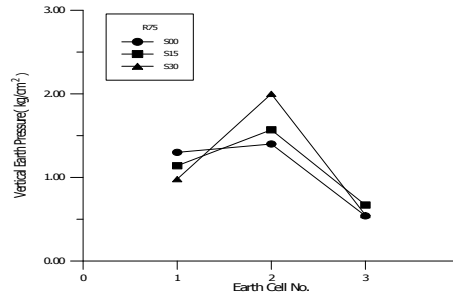


그림 21 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=75.)

터널굴착각도 60. 에 대한 실험결과 그림 22 ~ 그림 24 계측결과를 얻었다. 그림 25은 굴착경사 60. , 지표면의 경사를 0. , 15. , 30. 로 증가시키면서 측정된 토압을 비교한 결과이다.

그림 25의 결과는 앞서 언급한 굴착각도 90. , 75. 와 마찬가지로 지표면의 경사의 변화에 따라 뒤채움의 두께에 감소하는 측벽부에 위치한 토압계 Ea 1의 경우는 토압이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 지표경사에 따라 뒤채움 두께가 증가하는 어깨부에 위치한 토압계 Ea 2의 경우 토압이 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편, 터널 상단부의 토압인 Ea 3의 경우 지표경사의 증가와 상관없이 매우 유사한 토압의 크기를 나타내는 것으로 나타나고 있다.

표 7 실험결과 각각 위치에서의 토압 (NT, CS= 60.)

국도터널	굴착경사	Ea1		EAa2		Ea3	
		mv	kg/cm ²	mv	kg/cm ²	mv	kg/cm ²
60	0.	100	1.46	140	1.40	115	0.56
	15.	88	1.32	165	1.62	119	0.59
	30.	54	0.93	181	1.78	105	0.48

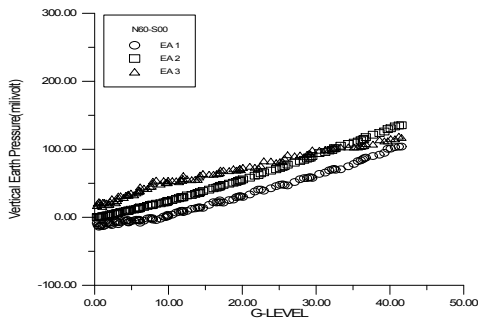


그림 22 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=60. , SS=0.)

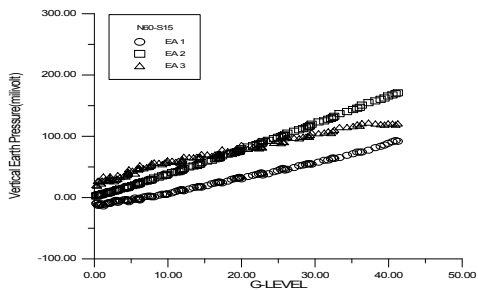


그림 23 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=60. , SS=15.)

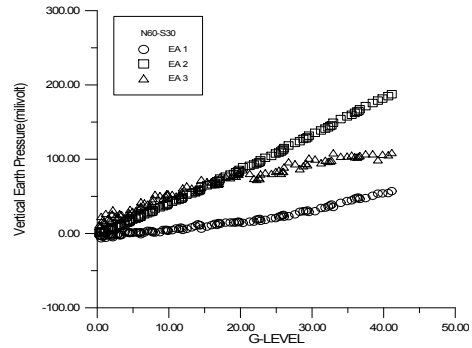


그림 24 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=60. , SS=30.)

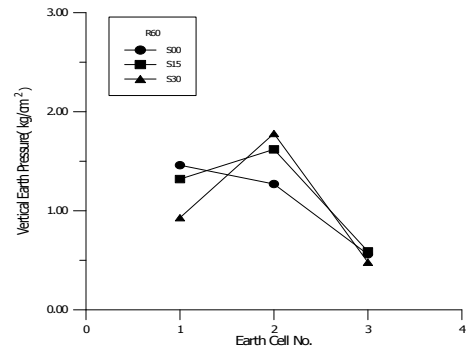


그림 25 실험결과 측정된 토압 (NT, CS=60.)

이상의 국도터널의 원심모형 실험결과 터널굴착각도를 90. , 75. , 60. 로 변화 시키고 각각의 굴착경사에 대하여 지표경사를 지표면의 경사를 0. , 15. , 30. 로 증가시키면서 측정된 토압결과는 지표경사의 증가에 따라 뒤채움의 두께에 감소하는 측벽부에 위치한 토압계 Ea 1의 경우는 전체적으로 토압이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 지표경사에 따라 뒤채움 두께가 증가하는 어깨부에 위치한 토압계 Ea 2의 경우 토압이 증가하는 경향을 보이고 있음을 알수 있었다. 또한, 터널 상단부의 토압인 Ea 3의 실험의 기본조건이 터널의 높이(D)의 1D 만큼을 뒤채움 하므로 지표경사의 증가와 상관없이 매우 유사한 토압의 크기를 나타내는 것으로 나타나고 있음을 알수 있었다.

한편, 그림 26 ~ 그림 28은 지표면의 경사에 따른 굴착경사가 토압에 미치는 영향을 비교한 결과이다. 그림 26의 경우 지표경사가 SS=0. 일 때 터널의 각부에 위치한 토압측정 결과로 굴착경사가 60. 일때의 토압이 굴착경사 75. 와 90. 에

비해 토압이 크게 측정됨을 볼수 있으며 이러한 결과는 그림 11 ~ 그림 13에 보인바와같이 굴착경사가 60. 일때의 굴착폭이 상대적으로 커짐으로 인해 굴착면과 터널라이닝 사이에서의 구속에 의한 토압감소 효과가 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, Ea 1의 경우 그림 26의 지표경사가 SS=0. 일 때 토압의 감소효과가 가장크게 나타나고 있으며, Ea 2의 경우는 되메움의 두께가 가장 커지는 그림 28의 지표경사 SS=30. 실험결과에서 이러한 영향을 가장 크게 나타남을 볼수 있다. 한편, 터널의 천단부에 위치한 Ea 3의 경우는 그림 24 ~ 그림 28의 에 보인바와 같이 지표경사에 따른 토압의 변화를 크게 관찰할수 없는데 이는 Ea 3 토압계가 토조의 정중앙에 위치하고 있어 굴착면과 라이닝 사이에서의 구속의 영향을 받지 않으며 또한, 터널의 중앙의 경우 터널의 높이(D)의 1D 만큼을 되채움 함으로써 되메움의 두께 변화가 없음에 기인 하는 것으로 판단된다.

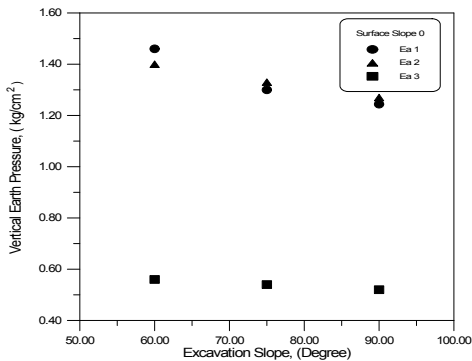


그림 26 굴착경사와 지표경사의 영향 (SS=0.)

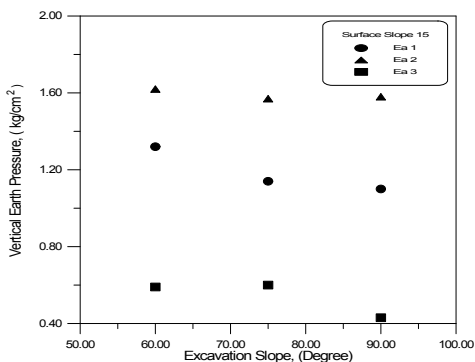


그림 27 굴착경사와 지표경사의 영향 (SS=15.)

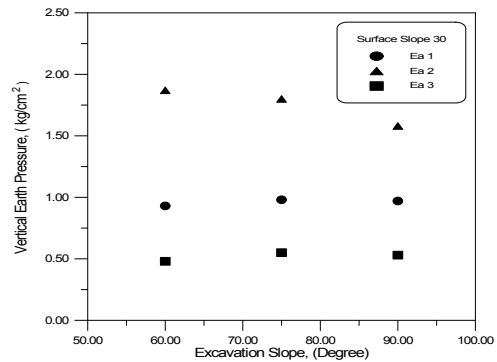


그림 28 굴착경사와 지표경사의 영향 (SS=30.)

5. 결론

이 연구는 개착식터널중 국도터널단면에 대한 표준단면을 1/40 Scale로 축소하고 굴착경사와 지표면의 경사를 매개변수로 하여 원심모형실험을 수행하고 실험중 터널라이닝 주변의 토압을 측정된 실험적 연구이다. 실험중 터널의 각부분에 토압을 측정하여 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국도2차선터널의 표준단면에 대해 터널의 굴착각도를 90°, 75°, 60°로 변화시키고, 각각의 경우에 대하여 지표면의 경사를 0°, 15°, 30°로 변화시켜 수행된 40G 응력수준의 원심모형실험을 통해 측정된 터널라이닝의 연직토압은 되채움 심도가 증가된 굴착면에 인접한 라이닝의 주변 토압이 증가한 반면, 되채움 심도가 감소한 반대편에서는 라이닝의 토압이 감소하는 경향을 확인하였다.

2. 터널의 굴착각도를 90°, 75°, 60°로 변화시킨 원심모형실험결과 굴착면의 경사가 완만해 질수록 되채움체의 하중으로 인해 라이닝의 측벽과 천단부의 토압은 증가하고, 어깨부에 위치한 토압은 큰 변화가 없는 것으로 측정되었다.

3. 지표면의 경사에 따른 굴착경사가 토압에 미치는 영향을 비교한 결과 지표경사가 SS=0. 일 때 터널의 각부에 위치한 토압측정 결과로 굴착경사가 60. 일때의 토압이 굴착경사 75. 와 90. 에 비해 토압이 크게 측정됨을 볼수 있으며 이러한 결과는 굴착경사가 60. 일때의 굴착폭이 상대적으로 커짐으로 인해 굴착면과 터널라이닝 사이에서의 구속에 의한 토압감소 효과가 줄어들었기 때문인 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] Bickel, J. O., and Kuesel, T. R., "Tunnel Engineering Handbook", Van Nostrand Reinhold Company Inc., pp.90-91, pp.395~416, 1982
- [2] Chambon, P., and Corte, J. F., "Shallow Tunnels in Cohesionless Soil : Stability of Tunnel Face", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 120, No.7 pp.1148-1165, 1994
- [3] Handy, R. L., "The Arch in Soil Arching", *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 3, pp.302-318, 1985
- [4] Harrop-Williams, K. (1989), "Arch in Soil Arching", *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 115, No. 3, pp.415-419, 1989
- [5] Kovari, K., and Tisa, A., "Computational Models for Cuts and Cover Tunnels Based on Field Measurement", *Proceedings of the 4th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics*, Edmonton, Canada, pp.907-919, 1982
- [6] Kovari, K., and Tisa, A., "Comparison of Calculated and Measured Displacements on Cut-and-Cover Tunnels", *Proceedings of the 5th International Symposium on Tunneling*, London, pp.357-362, 1988
- [7] 김택근, "원심모형실험 및 수치해석에 의한 사질 토 지반내 터널복공의 역학적거동에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.36-37, pp.139-165, 1999
- [8] 박기정, "원심모형실험에 의한 개착식 터널의 역학적 거동", 충북대학교 대학원 석사학위논문, pp.1-80, 2000
- [9] 유건선, "실험 및 수치해석에 의한 복개터널 주위의 지압과 터널 복공의 역학적 거동에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.1~125, 1997
- [10] 유건선, "굴착경사가 개착식터널의 구조적 거동에 미치는 영향에 관한 연구", 韓國地盤工學會論文集 제17권 제6호, pp.245-255, 2001
- [11] 유건선, "지표경사가 개착식터널의 구조적 거동에 미치는 영향에 관한 연구", 大韓土木學會論文集-C : 터널공학, 토질및기초공학 제22권 제1호, pp.99-109, 2002
- [12] 이대혁, "모형실험 및 수치해석에 의한 터널 복공의 역학적 거동 및 균열특성에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사학위논문, pp.65-67, 1999
- [13] 이명옥, "사면에 인접한 옹벽의 원심모델링", 강원대학교 대학원 박사학위논문, pp.74-79, 1998
- [14] 김홍국, "원심모형실험에 의한 개착식 터널의 실험적 수치적 활동거동", 강원대학교 산업대학원 석사학위논문, 2003