

## 지보공법에 따른 토사터널의 거동에 관한 수치해석

# Numerical Analysis on the Behavior of the Earth Tunnel due to Supporting Methods

김진태\* 박병수\*\* 정길수\*\*\* 유남재\*\*\*\*  
Kim, Jin-Tae Park, Byung-Soo Jeong, Gil-Soo Yoo, Nam-Jae

### Abstract

Numerical analysis were performed to investigate the stability and internal movement of tunnel located beneath the base of abutment of bridge according to the method of supporting tunnel.

Two supporting methods of the multi-staged grouting method with steel pipes and the large diameter of pipe supporting method were used in the centrifuge model tests. The slip form of model lining, specially built to simulate the process of tunnel excavating under the condition of accelerated  $g$ -level, was used in the centrifuge model tests.

Four centrifuge model tests were performed, changing the supporting methods of the multi-staged grouting method with steel pipes and the large diameter of pipe supporting method and the location of model abutment base of bridge.

For internal displacement of tunnel, movements of the crown. The left and the right sides of spring line were measured during the proceeds of excavating tunnel in centrifuge model tests.

Test results were compared with numerically estimated values of internal displacement of tunnel by using the commercially available FEM software of PENTAGON-3D.

It was found that they were in good agreements and the large diameter of pipe supporting method was more stable than the multi-staged grouting method with steel pipes with respect to the internal movement of tunnel.

**키워드** 지보방법, 대구경강관지보 공법, 강관다단그라우팅 공법, 펜타곤

**Keywords** Supporting method, The multi-staged grouting method with steel pipes, The large diameter of pipe supporting method, PENTAGON

## 1. 서론

지반조건이 열악한 토사 및 암반 터널을 시공할

때에는 터널의 안정성 증대와 인접구조물의 손상 방지를 위하여 지하굴착 보조공법을 적용하게 된다. 이러한 보조공법들은 시공중인 터널 주변 지반의 응력 및 변형 상태를 안정화시키기 위하여 사용되는데, 각 보조공법들은 지반조건이나 지질특성, 지하수 상태에 따라 서로 다른 목적으로 사용될 수 있고, 경제성 및 시공성을 고려하여 2개 이상의 공법을 혼용하여 사용하기도 한다.

Pelizza와 Pelia(1993)의 보고에 따르면 이탈리아의 경우, 1970년대 중반부터 굴착전에 터널 천단부

\* 건설엔지니어링 지반부, 공학석사  
\*\* 강원대학교 토목공학과 연구원, 공학박사  
\*\*\* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

를 따라 천공 소구경 강관들을 일정간격으로 삽입한 후 강관내의 구멍을 통해 그라우팅을 수행하여 터널의 보강 및 차수효과를 동시에 얻을 수 있는 UAM(Umbrella Arch Methode)공법을 개발하여 실무에 활용할 수 있게 하였다. 가까운 일본의 경우도 이러한 이탈리아의 Umbrella 공법을 자국의 현장여건에 부합하도록 설계, 시공면에서의 보완 연구를 통해 공법을 정착화 시켰으며, 빙하퇴적층, 대규모 단층과쇄대층, 하상퇴적층 등 매우 열악한 지반조건하에서도 터널시공을 현재까지 무리없이 수행하고 있다.

Barisone과 Pelizza(1982), Pelizza와 Peila(1993), 최용기와 김창용 등(1997)은 열악한 현장상황에 따라 여러 보조공법을 적용해 보는 등의 시공사례를 분석 연구하였고, Bruce와 Gallavresi(1988), Pelizza와 Grasso(1994), 배규진과 김창용(1997)등은 현장계측을 통해 UAM(Umbrella Arch Method)공법의 보강효과에 관련한 연구를 수행하였으며, 이들중 배규진, 김창용 등(1997)은 UAM공법에 대한 현장 적용 실험 및 계측을 통해 현장에서의 지반탄성계수는 원지반과 비교했을 때 보강효과가 약 4배 이상의 효과가 있고, 변위구속효과는 기존의 타 보조공법(Chemical grouting, Forepoling 방법) 적용시 보다 천단침하량은 1/3정도 지표침하량은 1/2정도의 경감효과를 얻을 수 있고, 막장의 안정성을 판단할 수 있는 안정비도 약 2배 이상 증진된다는 연구결과를 보고하였다.

본 연구는 교대 하부지반을 통과하는 지하터널의 안정성 확보를 위하여 터널 보조공법중 강관다단그라우팅 공법과 대구경 강관지보공법을 적용한 실험적 수치해석적 결과로서 교대 하부지반을 통과하는 터널의 안정성 및 터널의 침하 거동을 확인하기 위하여 원심모형시험기를 이용하여 터널의 보조공법 및 교대의 위치의 변화를 통한 모형 시험을 수행하고, 실험 결과를 상용수치해석 프로그램인 PENTAGON-3D를 사용하여 수치해석결과와 비교분석을 실시하였다.

## 2. 실험

본 연구에서 수행하고자 하는 터널이 위치한 지반 물성은 표 1에 나타난 바와 같다. 터널이 위치하고 있는 지반은 그림 1, 2에 나타난 바와 같이에서의 풍화암층이며 교대가 위치하는 구간은 모래지반의 충적층이다. 한편 교대위치는 파일의 선단이 터널의 스프링라인에 위치한 A-A 단면과 파일의 선단이 터널의 천단에 위치한 B-B 단면에 대하여 해석을 수행하였다.

표 1 터널통과구간 지반특성치

구분	단위 중량 (tf/m <sup>3</sup> )	점착력 (tf/m <sup>2</sup> )	마찰각 (°)	변형 계수 (tf/m <sup>2</sup> )	포아 송비	
매립층	1.7	1.0	30	450	0.35	
충적층 (모래)	1.8	2.6	27	400	0.40	
풍화 토	N<50	1.8	2.0	30	1,100	0.33
	N≥50	1.9	3.0	32	2,700	0.33
풍화암	2.1	4.0	34	20,000	0.33	
연암	2.4	12.0	33	160,000	0.30	
보통암	2.5	35.0	40	550,000	0.25	
경암	2.6	107.0	44	1,100,000	0.20	

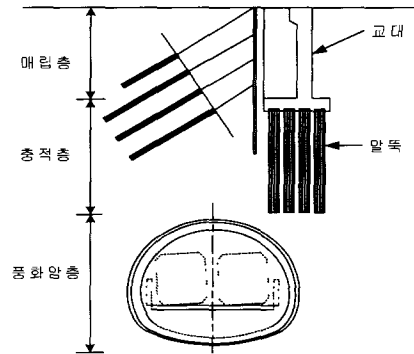


그림 2 A-A 단면

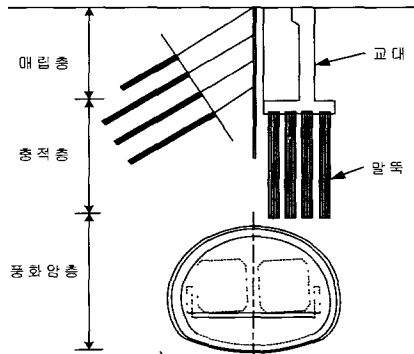


그림 3 B-B 단면

### 2.1 원심모형실험

강관 다단그라우팅공법과 대구경 강관지보공법을 이용하여 각각 보강된 터널에 대한 원심모형실험은 각각의 지보형태를 적용하여 제작된 모형터널을 이용하였다. 실험을 통해 터널굴착시 터널지

보 패턴에 따른 터널의 내공변위를 측정하여 터널 지보 방법에 따른 그의 안정성여부를 알아보았다.

터널의 지보형태에 따른 원심모형실험에서는 지정된 모형 터널을 형성한 후, 현장상황과 유사한 지반을 모사하고 현장조건과 동일한 하중조건을 재현시켰다. 모형터널의 성형이 완성된 후 모형을 50G의 원심력을 가하여 현장응력상태 유발시킨 뒤 터널을 굴착하고 터널 굴착과정중 발생하는 내공변위를 측정하였다. 내공변위의 측정은 터널내부에 LVDT를 위치별로 설치하여 계속하였다.

## 2.2 작용하중의 재현

터널의 상부에는 매립층과 충적층의 지반이 있으며 터널의 상단에는 교대가 위치하고 있고 교대 하부에는 파일이 설치되어 있다. 따라서, 터널상부의 기반과 교대파일에 전달되는 하중을 모형실험에서 재현하기 위해서 강봉과 납구를 이용하여 하중으로 사용하였다.

## 2.3 모형장치의 제작

강관 다단그라우팅공법과 대구경 강관지보공법에 대한 원심모형실험을 수행하기 위한 각각의 지보형태의 모형터널과 지보를 제작하여 원심모형 실험에 이용하였다.

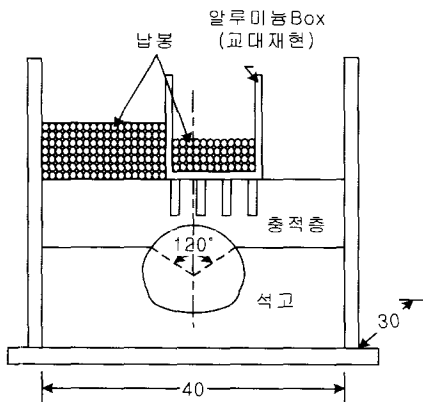


그림 4 하중재하시 모형토조

모형토조는 폭 300mm, 길이 450mm, 높이 400mm이며 원심모형 실험동안 증가하는 무게의 최소화를 위하여 알루미늄 합금재질을 사용하였다.

한편, 실제 터널단면을 기준으로 1.07의 비율로 축소시켜 모형터널을 제작하며 축소시킨 단면에 상사법칙을 적용하여 최대폭 16.8cm, 최대높이 14cm의 크기와 두께 5 ~ 10mm, 외경 14.7cm 내외의 알루미늄 재질의 관을 사용하여 Slip form 형태의 모형터널을 제작하였다.

모형터널의 제작시 정확한 터널 제원의 재현이

요구되나 시험의 편의성과 모형제작의 용이성을 고려하여 부분적인 변형을 하였다

그림 4는 현장에서 주어진 하중조건 상태에서 터널굴착 상황을 원심모형실험에서 재현하기 위하여 제작된 터널이다. 그림 4의 모형터널은 터널단면과 같은 크기의 Slip form 형태로 모형터널을 토조내에 설치하여 모형터널에 중력수준을 증가시킨 상태에서도 진동모터를 이용하여 터널을 이동함으로써 터널굴착효과를 재현할 수 있다

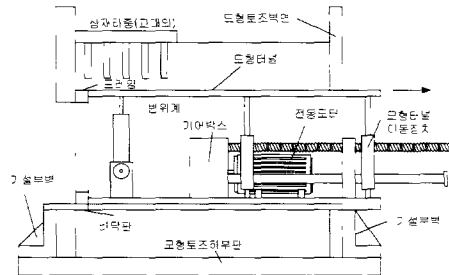


그림 5 모형터널

## 2.4 모형지보

대구경 강관지보공법의 터널의 지보는 아래의 그림 5에 나타난 바와 같이 알루미늄봉(직경10mm, 길이300mm)을 이용하였으며, 지보의 설치방법은 알루미늄봉의 크기에 맞게 토조전면판에 친공하여 알루미늄봉을 삽입 설치하였다

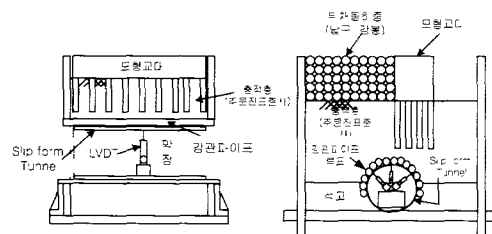


그림 6 대구경 강관지보공법 모형토조

강관다단그라우팅공법에 대한 터널지보 패턴은 아래의 그림 6의 모형토조에 보인바와 같이, 콘크리트라이닝을 모사하기 위하여 0.8 mm 두께의 황동판을 사용하였다. 황동판은 터널단면제원과 동일하게 제작하였으며 현장에서 터널굴착시 지보재를 설치한후 강관다단그라우팅공법을 실시하는 것을 재현하기 위하여 0.8 mm 두께, 10 mm 폭의 황동판을 콘크리트 라이닝을 모사한 황동터널 내부에 설치하였다. 한편, 황동띠의 지보와 동일한 위치에 강봉을 20° 경사로 납땜하여 강관보강 다단그라우팅을 모사하였다. 한편, 그림 7은 강관다단그라우팅공법의 모형실험의 내부를 도시한 그림이며 터

널굴착에 따른 내공변위를 계측하기 위하여 터널의 전면부와 중앙부 두곳에 LVDT를 설치하였다.

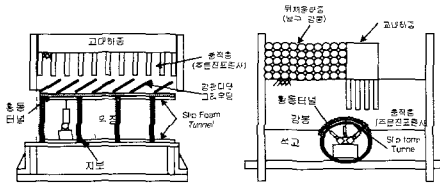


그림 7 강관다단 그라우팅 모형도조

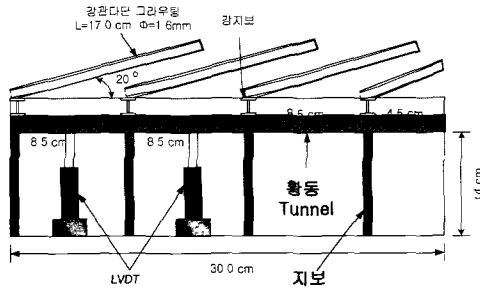


그림 8 강관다단 그라우팅 모형도조내부

### 3. 수치해석

본 수치해석에 사용한 재료는 원심모형 실험에서 사용한 모형과 동일한 규격으로 적용하였으며 수치해석에서 모델링한 그림은 그림 8 ~ 그림 11에서 나타내었다. 그림 8은 강관다단그라우팅 공법 중 교대좌측부가 터널의 천단에 위치한 경우(강관다단그라우팅 공법의 B-B단면)이고, 그림 9는 강관다단그라우팅 공법 중 교대의 좌측부가 Spring line에 걸쳐진 경우(강관다단그라우팅 공법의 A-A단면)의 평면 격자망이다. 또한 그림 10은 대구경강관지보 공법중 교대의 좌측부가 터널의 천단에 위치한 경우(대구경강관지보 공법의 (B-B단면)이고, 그림 11은 대구경강관지보 공법중 교대의 좌측부가 터널의 Spring line에 위치한 경우(대구경강관지보 공법의 A-A단면)의 평면 격자망이다. 또한 그림 12~그림 15에 평면 격자망을 3차원으로 구성하여 도시하였다.

원심모형 실험에서 터널의 굴착진행과정을 Slip form tunnel의 이동을 이용하여 모사하였는데 수치해석에서는 이를 굴착 진행 방향을 z 방향으로 설정하여 20개의 slice로 나누었고 진행 순서에 따라 stage로 구분하여 각 stage 별로 Slip form tunnel에 해당하는 부분을 stage 별로 slice를 제거시키는 방법을 이용하여 모델링하였다.

한편, 수치해석에 사용한 재료들의 변수값은 다음 표 2에 나타내었다.

수치해석에 사용된 물성치중 풍화암을 모사한 석고-모래 혼합지반과 모래를 강사법에 의하여 형성한 층적층 지반은 실내 예비시험을 통하여 획득한 값들을 사용하였으며, 교대와 뒷채움재는 실험 높이와 수치해석상의 높이가 다른데 이는 뒷채움재와 교대의 자체 변위는 본 연구의 범위가 아니므로 작용하중에 중점을 두어 수치해석에서의 격자를 보다 간결하게 하기 위해서 높이를 달리하였다.

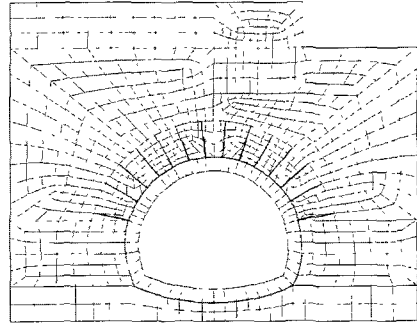


그림 8 B-B단면 격자(강관다단그라우팅)

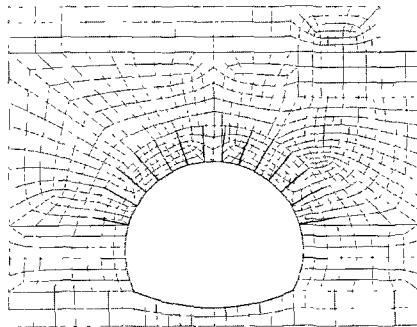


그림 9 A-A단면 격자(강관다단그라우팅)

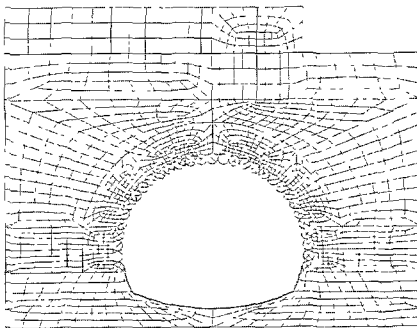


그림 10 B-B단면격자(대구경강관지보)

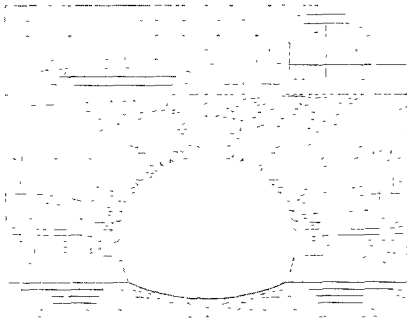


그림 11 A-A단면격자(대구경강관지보)

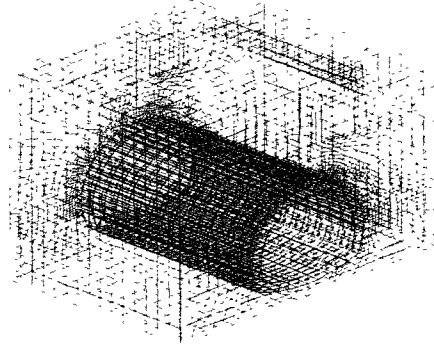


그림 14 B-B단면 3차원격자 (대구경강관지보)

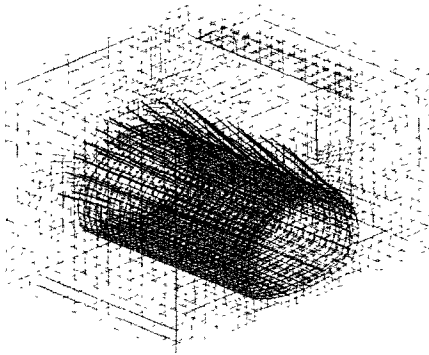


그림 12 B-B단면 3차원격자  
(강관다단그라우팅)

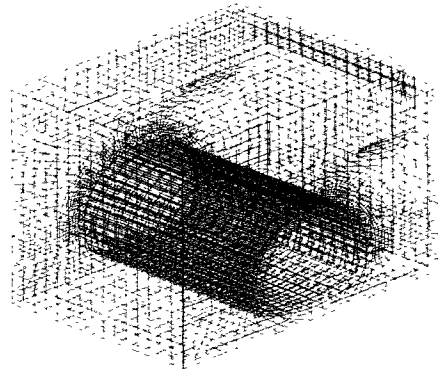


그림 15 A-A단면 3차원격자 (대구경강관지보)

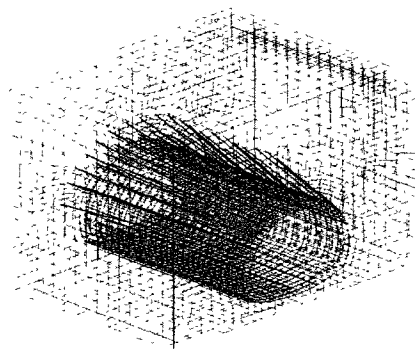


그림 13 A-A단면 3차원격자  
(강관다단그라우팅)

또한, 뒷채움재와 교대의 단위중량은 다음 계산결과에 의해 산정 하였다

- 뒷채움재  
 수치해석상 뒷채움재의 높이는 5cm로 하였다 실험에서 단위면적당 받는 하중이  $39.8 \text{ gf/cm}^2$ 이므로 단위중량은  $39.8/5 = 5.96 \text{ gf/cm}^2$ 이다.

- 교대  
 수치해석상에서 교대의 높이는 뒷채움재와 동일한 5cm이다 실험에서 단위면적당 받는 하중이  $34.14 \text{ gf/cm}^2$ 이므로 단위중량은  $34.14/5 = 6.83 \text{ gf/cm}^2$ 이다.

나머지 강관지보재와 콘크리트라이닝을 모사한 황동 및 Slip form tunnel등은 기성품을 사용하였기에 관련 자료에서 획득하였다.

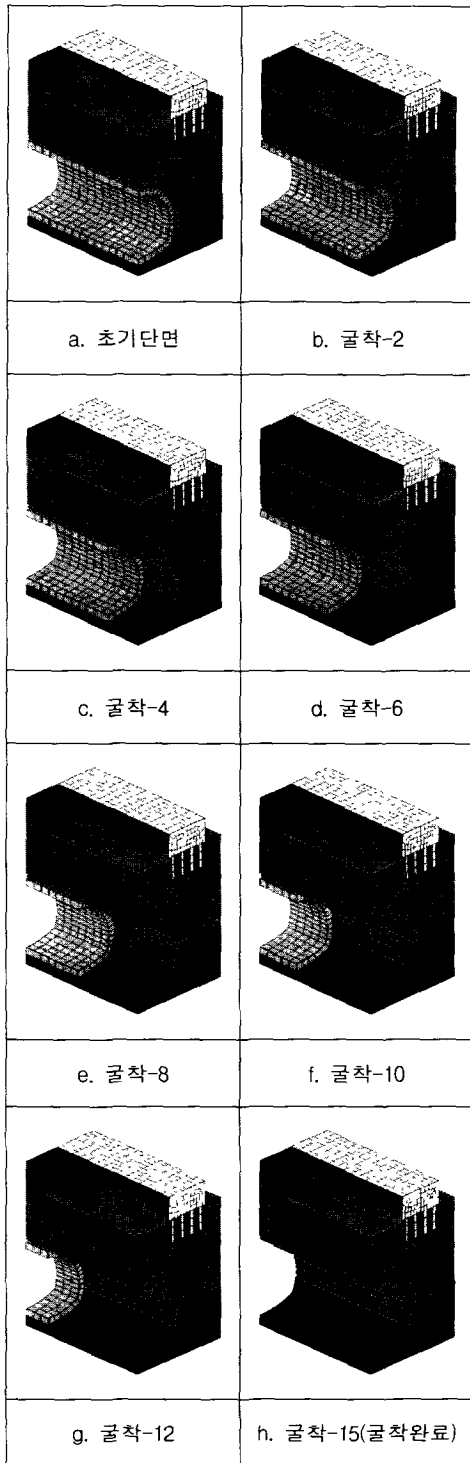


그림 16 대구경강관지보 공법의 굴착 모델링과정

표 2 수치해석에 사용된 변수값

구분	E (gf/cm <sup>2</sup> )	Area (cm <sup>2</sup> )	γ (gf/cm <sup>3</sup> )
활동사	8.0E+05	3.22E-1	8.5

구분	E (gf/cm <sup>2</sup> )	ν	γ (gf/cm <sup>3</sup> )	두께 (cm)
활동판	1.0E+06	0.34	8.5	8.00E-02

구분	K (gf/cm)	G (gf/cm)	γ (gf/cm <sup>3</sup> )	c (gf/cm)	φ (°)	ν
풍화암	1.11E+06	1.25E+06	2.02	2000	45	0.2
충적층	5.43E+05	4.65E+05	1.635	0	43.8	0.3
터널	5.58E+08	6.94E+08	0.1	4000	40	0.28
그라우팅 영역	6.44E+05	5.90E+05	1.7	3000	45	0.28
뒷채움 재	4.17E+06	5.56E+06	6.83	300	20	0.1
교대	3.75E+07	5.00E+07	5.9	4000	40	0.1
강지보 용 알루미늄 강관	5.81E+06	5.68E+06	2.72	4000	45	0.34

#### 4. 해석결과

##### 4.1 대구경 강관 지보 공법의 해석 결과

###### 1) A-A 단면의 해석 결과

수치해석 결과 각 측정점의 Y축 변위와 X축 변위를 다음 그림 17~그림 20에 나타내었다. 측정점의 최종 연직변위는 천단(C)에서는 0.085mm, 스프링 라인의 좌측(LS)에서는 0.056mm이고 우측(RS)에서는 0.050mm로 나타났다.

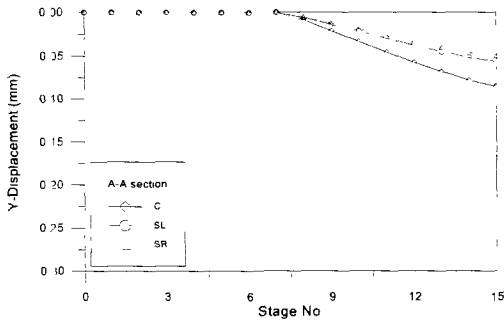


그림 17 A-A 단면 연직변위(대구경강관지보)

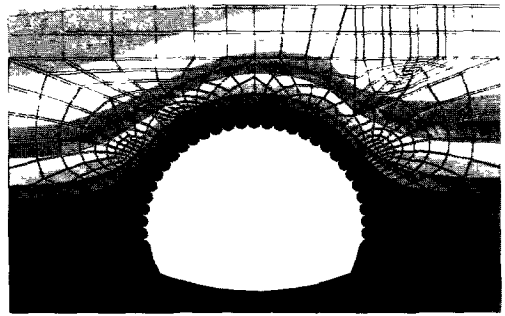


그림 20 A-A 단면 X-Y변위도(대구경강관지보)

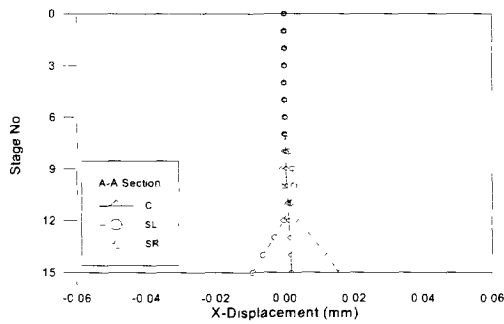


그림 18 A-A 단면 수평변위(대구경강관지보)

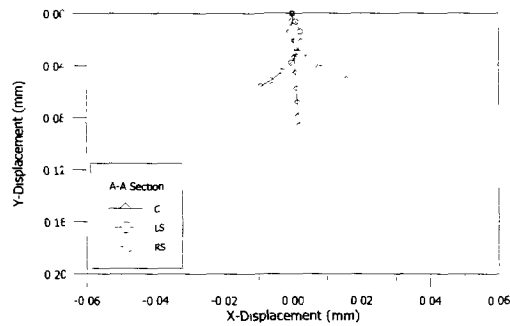


그림 19 A-A 단면 측정점이동경로  
(대구경강관지보)

표 3 A-A 단면 변위(대구경 강관지보)

측정위치	C	LS	RS
Y-Disp (mm)	0.085	0.056	0.050
X-Disp (mm)	0.002	-0.009	0.016

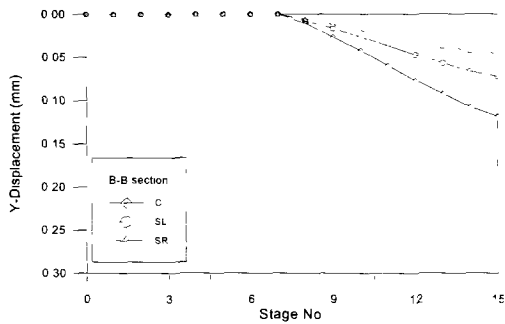


그림 21 B-B 단면 연직변위(대구경강관지보)

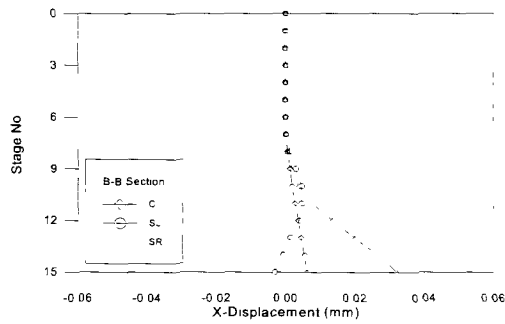


그림 22 B-B 단면 수평변위(대구경강관지보)

2) B-B 단면 해석 결과

수치해석 결과 각 측정점의 Y축 변위와 X축 변위를 다음 그림 21~그림 24에 나타내었다. 측정점의 최종 연직변위는 천단(C)에서는 0.119mm, 스프링 라인의 좌측(LS)에서는 0.073mm이고 우측(RS)에서는 0.046mm로 나타났다.

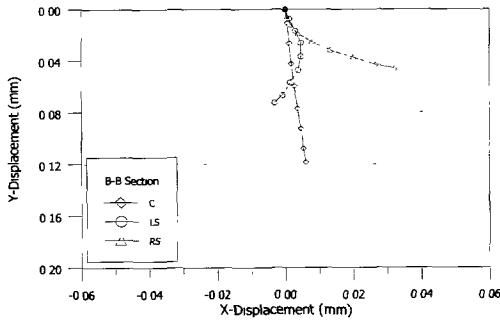


그림 23 B-B 단면 측정점이동경로  
(대구경강관지보)

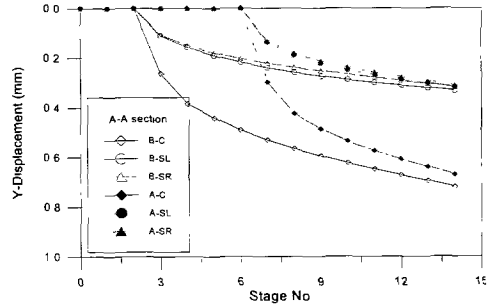


그림 25 A-A 단면 연직변위(강관다단그라우팅)

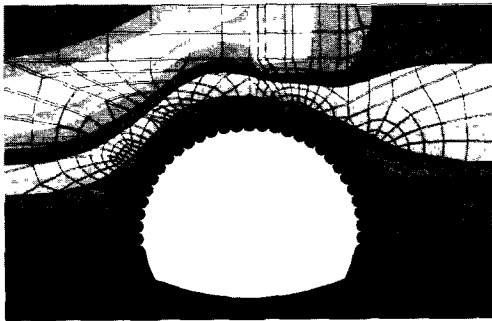


그림 24 B-B 단면 X-Y변위도(대구경강관지보)

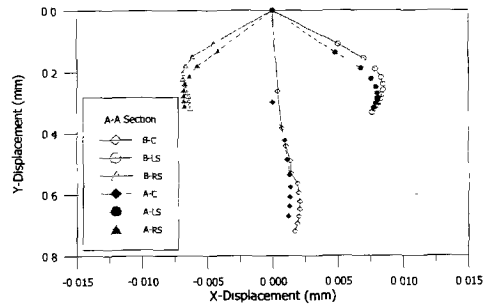


그림 26 A-A 단면 측정점의 이동경로  
(강관다단그라우팅)

표 4 B-B 단면 변위(대구경 강관지보)

측정위치	C	LS	RS
Y-Disp (mm)	0.119	0.073	0.046
X-Disp (mm)	0.006	-0.003	0.032

#### 4.2 강관다단그라우팅 공법의 해석 결과

##### 1) A-A 단면 해석 결과

수치해석 결과 각 측정점의 Y축 변위와 X축 변위를 다음 그림 25~그림 27에 나타내었다.

각 측정점의 최종 연직변위는 입구쪽의 천단(B-C)에서는 0.721mm, 스프링 라인의 좌측(B-LS)에서는 0.333mm이고 우측(B-RS)에서는 0.319mm로 나타났으며 또한 터널의 중앙부분의 천단(A-C)에서는 0.672mm, 스프링라인의 좌측(A-LS)에서는 0.317mm이고 우측(A-RS)에서는 0.311mm로 나타났다.

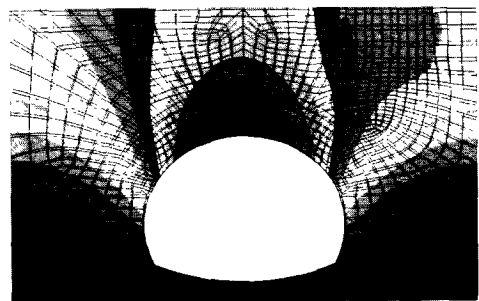


그림 27 A-A단면 X-Y변위도(강관다단그라우팅)

##### 2) B-B 단면의 해석 결과

수치해석 결과 각 측정점의 Y축 변위와 X축 변위를 다음 그림 28~그림 31에 나타내었다.

각 측정점의 최종 연직변위는 입구쪽의 천단(B-C)에서는 0.667mm, 스프링 라인의 좌측(B-LS)에서는 0.329mm이고 우측(B-RS)에서는 0.252mm로 나타났으며 또한 터널의 중앙부분의 천단(A-C)에서는 0.643mm, 스프링라인의 좌측(A-LS)에서



는 0.319mm이고 우측(A-RS)에서는 0.245mm로 나타났다

표 5 A-A 단면 변위(강관다단그라우팅)

측정 위치	B-C	B-LS	B-RS	A-C	A-LS	A-RS
Y-Disp (mm)	0.721	0.333	0.319	0.672	0.317	0.311
X-Disp (mm)	0.017	0.076	-0.063	0.012	0.078	-0.067

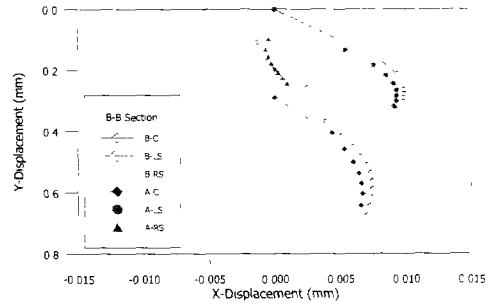


그림 30 B-B단면 측정점의 이동경로  
(강관다단그라우팅)

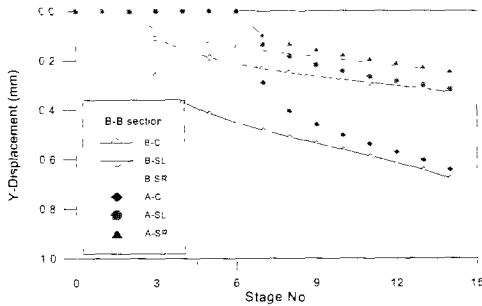


그림 28 B-B단면 연직변위(강관다단그라우팅)

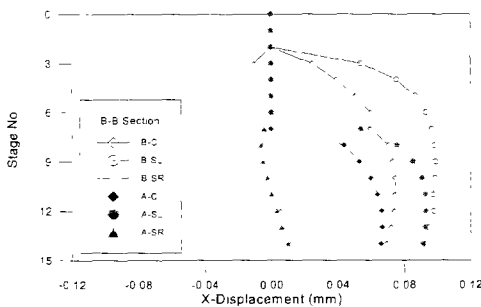


그림 29 B-B단면 수평변위(강관다단그라우팅)

### 4.3 수치해석과 실험결과의 비교

PENTAGON-3D 프로그램을 사용하여 수치해석의 결과와 원심모형실험결과를 비교 분석하여 그림 32~그림 35와 표 7~표 10에 나타냈으며, 그림에서 보는 바와 같이 각 측정 점의 최종변위의 정도가 각 실험 조건의 실험 결과와 수치해석 결과가 비교적 유사한 경향으로 나타났다.

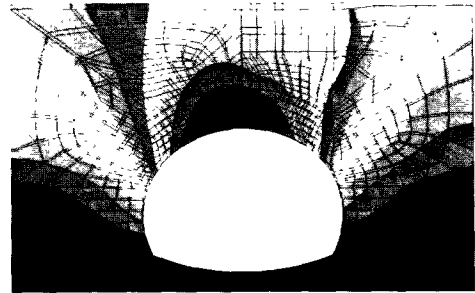


그림 31 B-B단면 X-Y변위(강관다단그라우팅)

표 6 B-B 단면 변위(강관다단그라우팅)

측정 위치	B-C	B-LS	B-RS	A-C	A-LS	A-RS
Y-Disp (mm)	0.677	0.329	0.252	0.643	0.319	0.245
X-Disp (mm)	0.069	0.092	0.011	0.066	0.091	0.010

표 7 A-A 단면 해석결과(대구경강관지보)

	C	LS	RS
해석결과	0.085	0.056	0.050
실험결과	0.07	-	-

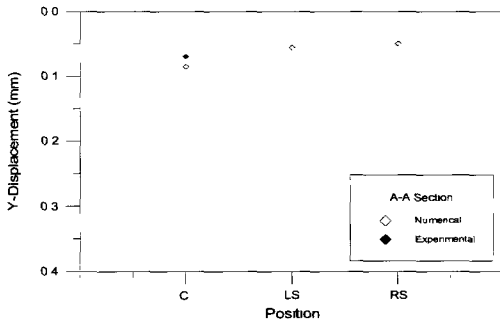


그림 32 A-A단면 최종변위(대구경강관지보)

표 8 B-B 단면 해석결과(대구경강관지보)

	C	LS	RS
해석결과	0.118	0.072	0.046
실험결과	0.09	0.06	-

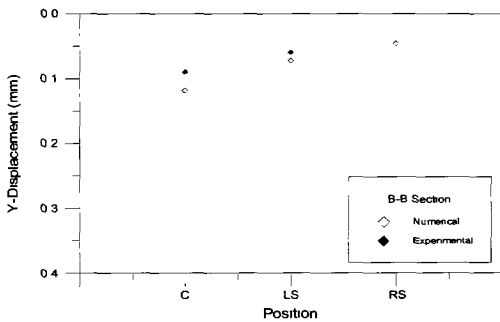


그림 33 B-B단면 최종변위(대구경강관지보)

표 9 A-A 단면 해석결과(강관다단그라우팅)

	B-C	B-LS	B-RS	A-C	A-LS	A-RS
해석결과	0.721	0.332	0.319	0.671	0.317	0.311
실험결과	0.7	-	-	0.6	0.28	0.24

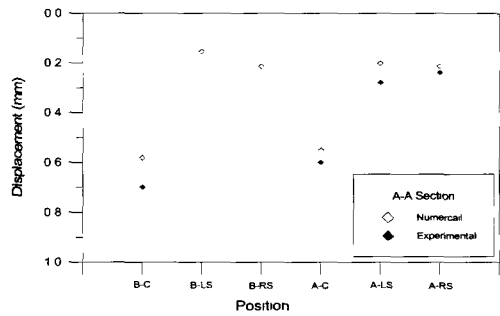


그림 34 A-A단면 최종변위(강관다단그라우팅)

표 10 B-B 단면 해석결과(강관다단그라우팅)

	B-C	B-LS	B-RS	A-C	A-LS	A-RS
해석결과	0.677	0.329	0.251	0.643	0.319	0.245
실험결과	0.65	-	0.32	0.6	0.26	0.2

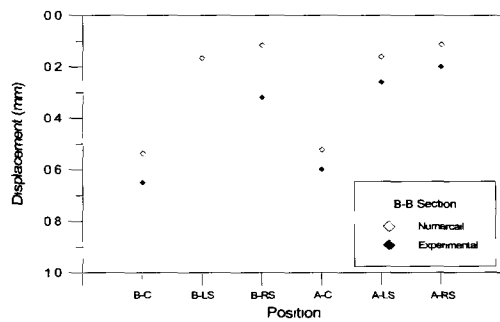


그림 35 B-B단면 최종변위(강관다단그라우팅)

한편, 공법에 따른 수치해석 결과를 천단의 변위에 대한 비교와 스프링라인에서의 변위를 비교하여 그림 36, 37에 나타내었으며, 각 공법에 따른 최종변위에 대한 값을 표 11, 12에 나타내었다.

표에서 알 수 있듯이 강관다단그라우팅 공법이 대구경강관지보 공법에 비해 천단에서는 약 6~9배의 큰 변위가 발생 하였으며, 스프링 라인에서는 약 4~7배의 큰 변위가 발생되었다.

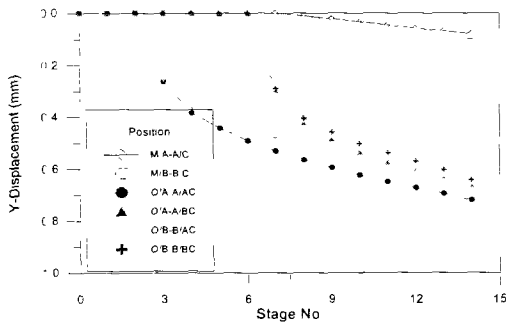


그림 36 수치해석에 의한 천단부의 변위 비교

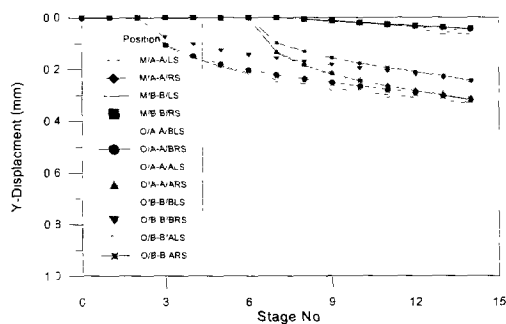


그림 37 수치해석에 의한 스프링 라인 변위 비교

표 11 수치해석에 의한 천단변위

단 면	보조공법	측정 위치	변위값
A-A	대구경강관 지보공법	C	0.078
	강관다단 그라우팅공법	AC	0.671
		BC	0.72
B-B	대구경강관 지보공법	C	0.108
	강관다단 그라우팅공법	AC	0.643
		BC	0.677

표 12 수치해석에 의한 스프링라인변위

단 면	보조공법	측정 위치	변위값
A-A	대구경강관 지보공법	LS	0.052
		RS	0.046
	강관다단 그라우팅공법	BLS	0.332
		BRS	0.319
		ALS	0.317
	ARS	0.311	
B-B	대구경강관 지보공법	LS	0.066
		RS	0.043
	강관다단 그라우팅공법	BLS	0.329
		BRS	0.251
		ALS	0.319
		ARS	0.245

### 5. 결론

교대 하부 지반을 통과하는 지하 터널의 거동 분석과 관련하여 상부교량구조물의 안정 및 지반 침하 방지와 터널의 안정성 확보를 알아보기 위하여 강관다단그라우팅 공법과 대구경강관지보공법의 모형터널에 대한 원심모형실험을 실시하여 터널내의 내공변위를 측정하고 수치해석 기법을 이용하여 실험결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) 현장의 지반조건을 재현하기 위하여 상부토사층은 주문진표준사를 사용하였으며 풍화암층은 주문진표준사와 석고를 혼합하여 고흡수성으로써 현장지반의 역학적 물성을 재현할 수 있었다.
- 2) Slip form 형태의 터널 모형 라이닝재를 제거하는 방식으로 원심모형 실험중 터널의 굴착 효과를 재현할 수 있는 실험기법을 개발하였다.
- 3) 동일한 지반조건과 하중조건에서 강관다단그라우팅공법과 대구경강관지보공법의 지보공법을 변화시킨 원심모형실험결과, 강관다단그라우팅공법에 의한 터널의 내공변위는 대구경 강관지보 공법에 의한 내공변위 보다 실험조건에 따라 4~9배 범위에서 크게 발생함을 확인하였다
- 4) PENTAGON-3D프로그램을 이용하여 수치해석

을 수행한 결과, 강관다단그라우팅 공법과 대구경 강관지보 공법과 교대의 위치에 따른 터널의 내공 변위가 원심모형실험과 매우 유사한 경향을 나타내었다.

5) 원심모형 실험과 수치해석 결과, 현장의 지보재의 물성 및 제원, 지보재의 구속조건등에 따라 안정성이 변화 될 수 있으나 주어진 동일한 지반조건과 하중조건에서는 대구경 강관지보공법이 강관다단그라우팅공법에 비해 안정한 터널굴착공법임을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] 배규진, 김창용, 문홍득, 홍성완 “Umbrella Arch 공법에 의한 터널 천단부 보강시 주변 지반의 거동에 관한 연구”, 한국암반공학회지, 터널과 지하공간, 제 7권, 제 4호, pp. 299-309, 1997.
- [2] 최용기, 김창용, “연약지반 터널 굴착시의 지반보강 사례연구”, 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp.133-139, 1997.
- [3] Barisone, G., Pigorini, B., Pelizza, S., “Umbrella Arch Method for Tunneling in Difficult Conditions-Analysis of Italian Cases”, Proc. 4th Cong. Inter. Assoc of Engineering Geology, New Delhi, Vol. 4, pp. 15-27, 1982
- [4] Bruce, D. A., Gallavresi, F.. “Special Tunneling Methods for Settlement Control : Infilaggi and premilling”, Proc. 2nd Inter. Conf. on Case histories in Geotechnical Eng., pp. 1121-1126, 1988.
- [5] Pelizza, S., Peila, D., “Soil and Rock Reinforcements in Tunneling”, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 8, No. 3, pp. 357-372, 1993.
- [6] Pelizza, S., Corona, G., Grasso, F, Raineri, R., “Improvement of Stability Conditions from half to full Face Excavation in Difficult Geotechnical Conditions”, Tunneling and Ground Conditions, Abdel Salam(ed), Balkema, pp. 267-271, 1994