

## 운영 중 터널확대 시 지반의 변형특성에 관한 연구

백기현, 김웅구, 서경원, 진병무 ((주)대우건설)

### 1. 서론

도심지 인구집중에 따른 교통량증가로 곳곳에서 교통정체가 빈번히 발생되고 있으며 정체구간이 점점 확대되고 있다. 이를 해결하기 위해서는 현재의 교통량을 처리할 수 있는 교통용량을 확보해야하는데 터널에서는 지금까지 기존터널 주위에 신규터널을 건설하여왔다. 최근에는 용지보상의 문제로 우회도로를 확보한 상태에서 기존터널을 확대하는 방법이 일부 적용되고 있으나 도심지에서 우회도로를 확보하는 것 자체가 매우 힘든 형편이다. 용지보상과 우회도로확보 문제를 해결하기 위해 차량의 운행을 유지한 상태에서 터널을 확대하는 방법을 생각할 수 있으며 일본에서는 다수의 시공실적을 보유하고 있다. 공사 중 차량의 운행을 유지하기 위해서는 운행공간과 작업공간을 분리하고 운행차량의 안전을 확보하기 위해 터널내부에 강재프로텍터를 설치하게 되며 프로텍터 내부로는 차량을 통행시키고 외곽에서 터널을 확대하게 된다. 이 방법은 다시 말하면 프로텍터라는 틀을 이용하여 터널내부에 우회도로를 확보하는 방법이라 볼 수 있다.

프로텍터의 설계요인 중 가장 중요한 것은 안전성이며 이를 위해 보통 강재로 제작되므로 비용이 고가이다. 따라서 기존 시공사례에서와 같이 터널 전 연장에 걸쳐 프로텍터를 설치할 경우 공사의 경제성이 크게 저하될 우려가 있다. 일반적으로 터널 굴착 시 굴착에 의한 영향범위는 막장 전후 일정범위에 국한되므로 이를 합리적으로 평가하여 이 부분만 프로텍터로 보호할 경우 공사의 경제성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 일련의 수치해석을 실시하여 기존터널 확대 시와 신규터널 건설 시 지반변형특성에 대해 비교하였으며 터널확대 차로에 따른 지반변형특성도 비교·분석하였다.

### 2. 수치해석

#### 2.1 개요

3차원 유한요소 해석에 사용된 프로그램은 MIDAS GTS이며 지반의 구성모델은 탄소성해석을 위해 Mohr-Coulomb을 사용하였다. 굴착단계별 거동특성을 파악하기 위해 시공단계해석을 수행하였으며 시공단계 구성은 그림 2.1과 같다.

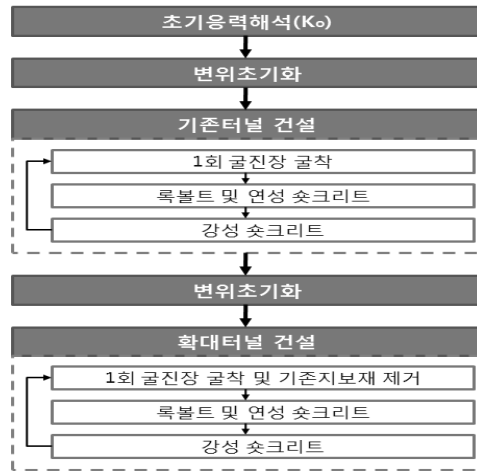


그림 2.1 시공단계구성

## 2.2 해석조건

해석에 사용된 주 지보재의 물성은 다음 표 2.1과 같다.

표 2.1 주 지보재의 물성값

구분	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 (MPa)	마찰각(°)	탄성계수 (MPa)	포아송비
연성 숏크리트	24	-	-	5000	0.2
강성 숏크리트	24	-	-	15,000	0.2
록볼트	78.5		-	210,000	0.3

해석지반의 강도는 연암지반의 강도로 가정하였으며 차로별 단면은 도로터널 표준단면을 제공하였다. 해석케이스는 신규터널 건설 시 지반변형특성을 확인하기 위한 케이스와 확대 차로별 특성을 분석하기 위한 케이스로 분류하였으며 다음 표 2.2와 같다.

표 2.2 해석케이스 산정

Case	확대 조건	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	점착력 (MPa)	마찰각 (deg.)	탄성계수 (MPa)	포아송비	목적
1	1차로->2차로	25	0.7	35	1,000	0.3	확대차로에 다른 지반변형특성 분석
2	1차로->3차로	25	0.7	35	1,000	0.3	
3	1차로->4차로	25	0.7	35	1,000	0.3	
4	2차로->3차로	2.5	70	35	100,000	0.3	
5	2차로->4차로	25	0.7	35	1,000	0.3	
6	3차로->4차로	25	0.7	35	1,000	0.3	
7	신규2차로	25	0.7	35	1,000	0.3	신규터널과 확대터널 비교분석
8	신규3차로	25	0.7	35	1,000	0.3	
9	신규4차로	2.5	70	35	100,000	0.3	

### 3. 수치해석결과 분석

#### 3.1 신규터널과 확대터널의 지반변형특성 비교

그림 3.1과 3.2에 2차로를 3차로와 4차로로 확대하는 경우와 신규로 3차로와 4차로 건설할 때 막장부터의 거리별 내공변위의 비를 도시하였다.

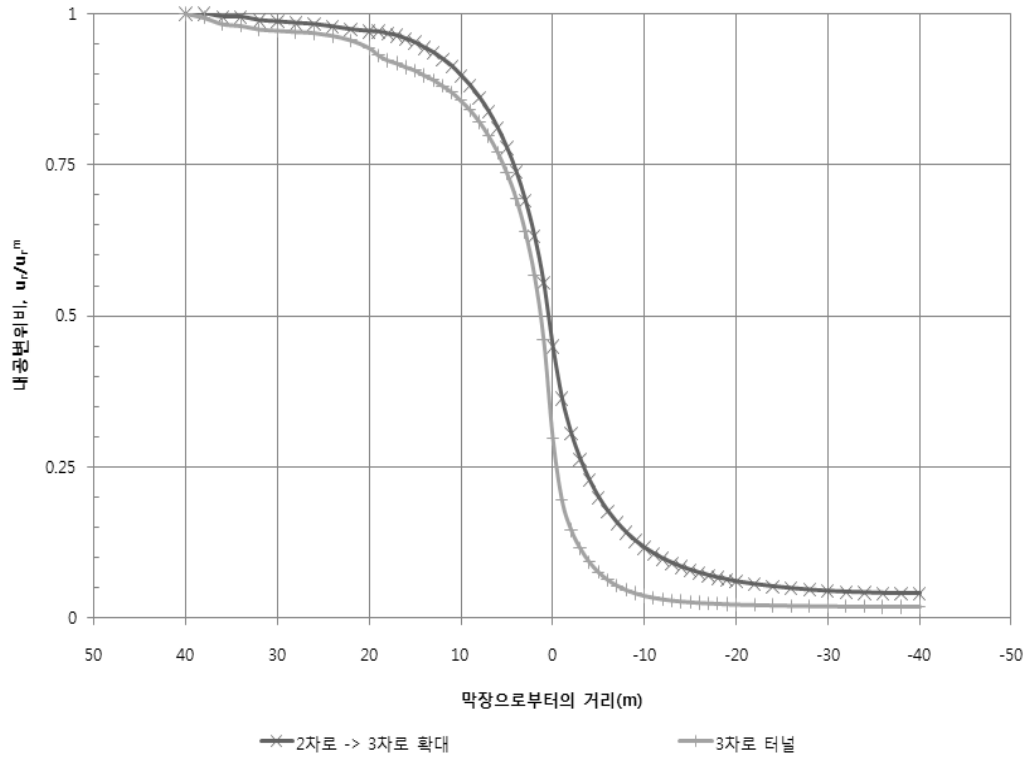


그림 3.1 2차로 → 3차로 확대 VS. 3차로 신규건설 시 종단변형특성

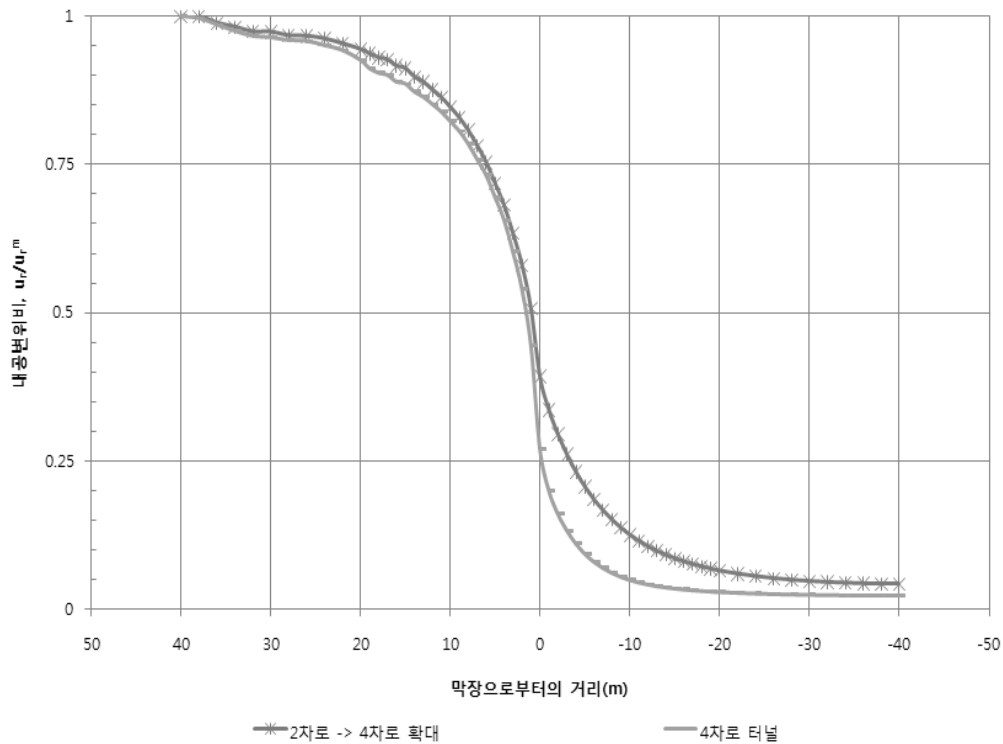


그림 3.2 2차로 → 4차로 확대 VS. 4차로 신규건설 시 종단변형특성

위의 그림을 보면 동일한 차로일지라도 확대터널과 신규터널의 종방향 변형특성이 다른 것을 알 수 있다. 특히 막장 전방에서 더 큰 차이를 보이는데 확대터널에 비해 신규터널을 건설할 경우 굴착에 의한 영향범위가 적은 특성을 보이며 막장에서 가까운 곳에서 변위가 수렴되는 것으로 나타났다. 그 이유는 확대터널의 경우 기존터널이 건설되어 있어 그 만큼 해방된 응력을 지지할 수 있는 지반이 신규터널에 비해 작기 때문으로 판단된다.

### 3.2 확대차로에 따른 지반변형특성 비교

확대차로 즉 터널의 기하조건이 터널종단변형곡선식에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 확대차로별 최대변위에 대한 각 지점별 변위의 비를 그림 3.3과 3.4에 나타내었다.

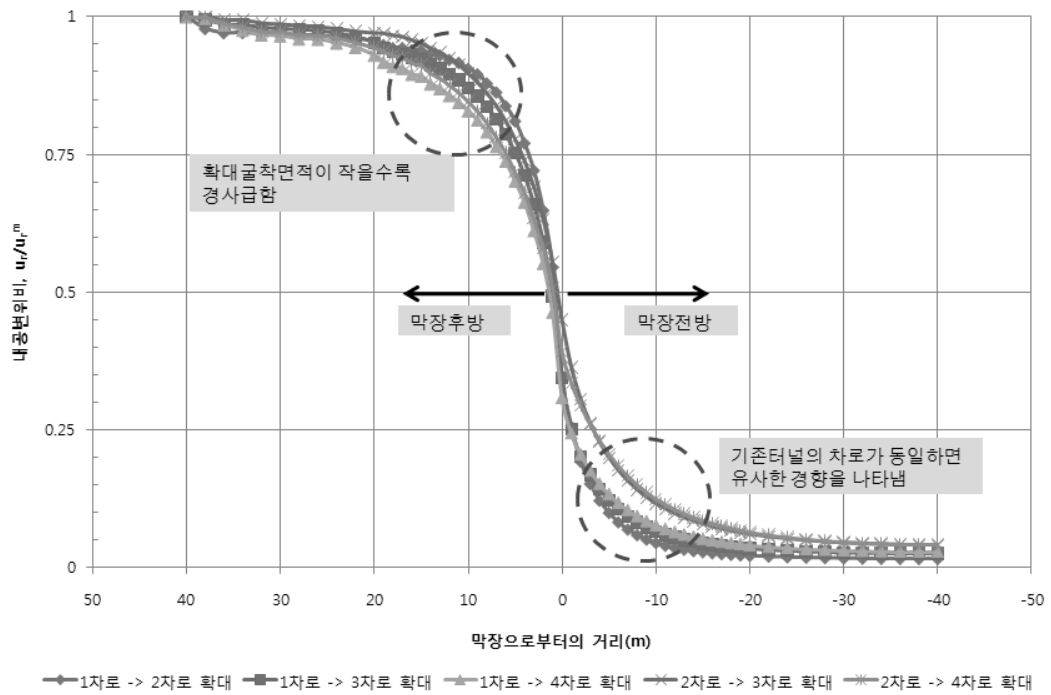


그림 3.3 확대차로별 확대터널의 종단변형곡선

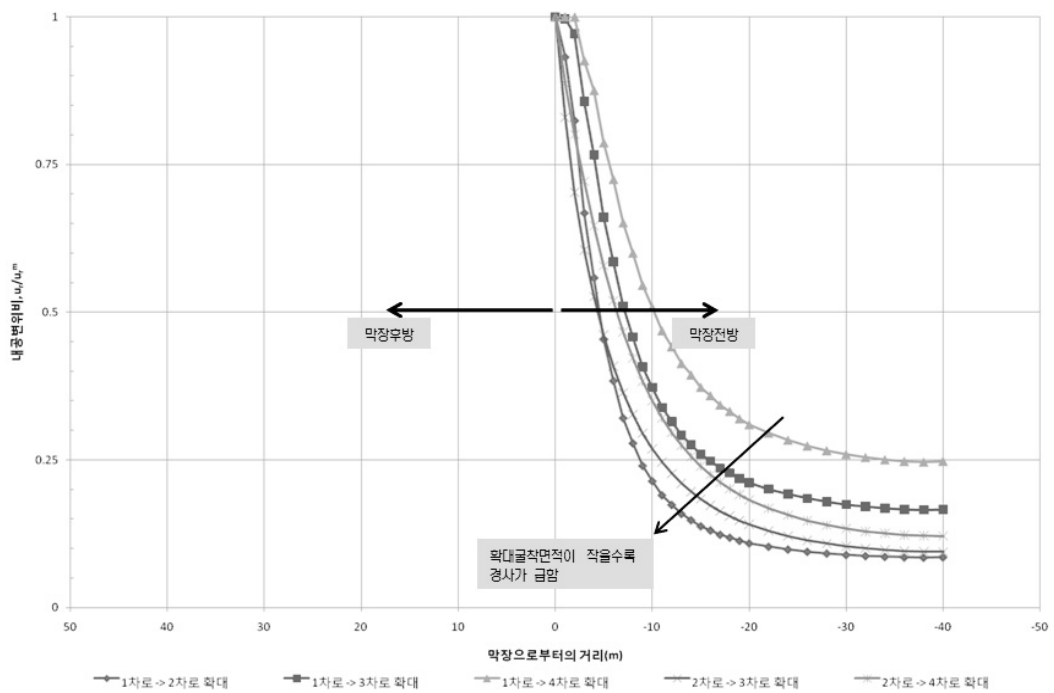


그림 3.4 확대차로별 기존터널의 종단변형곡선

위의 그림에서 알 수 있듯이 확대터널의 종단변형곡선은 막장 전후방에서 다른 특성을 나타내

는데 막장후방에서는 확대굴착면적이 적을수록 경사가 급하게 나타났으며 막장전방에서는 확대굴착면적과 관계없이 기존터널의 차로가 동일할 경우 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 확대된 부분의 변형은 굴착면적이 적을수록 영향범위가 적게 발생되나 기존터널 부분에서는 기존차로에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

기존터널의 종단변형곡선은 확대터널의 확대부분과 유사하게 확대굴착면적이 적을수록 경사가 급해지는 경향을 보이고 있다. 이는 굴착면적이 작아 응력해방이 적기 때문에 굴착의 영향범위가 작은 것으로 판단되며 최종변위에 대한 각 지점별 변위의 비의 최종값이 0의 값에 근접하지 못하고 있는 것을 알 수 있는데 이는 기 굴착의 영향으로 선행변위가 발생되어 있기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

터널확대 시 지반변형특성을 살펴보기 위해 일련의 수치해석을 실시하였으며 신규터널 시 지반변형특성과 확대차로별 변형특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 기존터널 확대 시와 신규터널 건설 시 지반변형특성을 분석한 결과 동일한 차로일지라도 확대터널과 신규터널의 종방향변형특성이 다른 것으로 나타났다. 특히 막장 전방에서 큰 차이를 보이는데 확대터널에 비해 신규터널을 건설할 경우 굴착에 의한 영향범위가 적은 특성을 보이며 막장에서 가까운 곳에서 변위가 수렴되는 것으로 나타났다. 그 이유는 확대터널의 경우 기존터널이 건설되어 있어 그 만큼 해방된 응력을 지지할 수 있는 지반이 신규터널에 비해 작기 때문으로 판단된다.
- (2) 확대터널의 종단변형곡선은 막장 전후방에서 다른 특성을 나타내는데 막장후방에서는 확대굴착면적이 적을수록 경사가 급하게 나타났으며 막장전방에서는 확대굴착면적과 관계없이 기존터널의 차로가 동일할 경우 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 확대된 부분의 변형은 굴착면적이 적을수록 영향범위가 적게 발생되나 기존터널 부분에서는 기존차로에 영향을 받는 것을 알 수 있다.
- (3) 터널확대 시 기존터널의 종단변형곡선은 확대터널의 확대부분과 유사하게 확대굴착면적이 적을수록 경사가 급해지는 경향을 보이고 있다. 이는 굴착면적이 작아 응력해방이 적기 때문에 굴착의 영향범위가 작은 것으로 판단되며 최종변위에 대한 각 지점별 변위의 비의 최종값이 0의 값에 근접하지 못하고 있는 것을 알 수 있는데 이는 기 굴착의 영향으로 선행변위가 발생되어 있기 때문으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술 혁신사업(09기술혁신E01)으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 김동규, 정호섭, 2007, 공용중인 터널 확대에 의한 기능향상, 한국지반공학회지, Vol.23, No.3, pp. 14-20.
2. 서경원, 백기현, 노종륜, 2008, 운영 중인 터널의 확폭굴착에 관한 해외사례 분석(Ⅰ), 한국터널공학회지, Vol. 10, No.1, pp. 40-50.
3. 서경원, 백기현, 김웅구, 2008, 운영 중인 터널의 확폭굴착에 관한 해외사례 분석(Ⅱ), 한국터널공학회지, Vol. 10, No.2, pp. 71-79.
4. 이두화, 2002, 암반 터널에서의 시공단계를 고려한 암반-지보 거동특성 곡선적용에 관한 연구, 한국터널공학회논문집, 제4권 제2호, pp. 143-153.
5. 이인모, 2004, 터널의 지반공학적 원리, 도서출판 새론, pp.60-64.
6. 서경원, 김웅구, 백기현, 2008, “터널의 확폭차선에 따른 지반변형 특성 연구”, 대한토목학회 학술발표회
7. 김웅구, 서경원, 백기현, 2008, “터널의 확폭 종류 및 지반강도에 따른 거동특성 분석”, 대한토목학회 학술발표회