

국내 최초 도로터널 진출입로를 고려한 적정 다분할 굴착단면설계 사례연구



이 승 준
포스코건설 토목환경사업본부
토목설계그룹 차장
(sjl4917@poscoenc.com)



신 현 강
포스코건설 토목환경사업본부
토목설계그룹 과장
(geoth98@poscoenc.com)



이 현 섭
(주)유신 지반본부
터널부 차장
(lhs720@empal.com)



김 우 선
(주)유신 지반본부
터널부 부장
(kim12250@empal.com)



정 동 호
(주)유신 지반본부
터널부 상무
(jdh@yooshin.co.kr)

1. 서론

우리나라는 터널내 사고위험 방지를 통한 교통안전과 원활한 소통 확보를 위해서 도로교통법 제22조 제3항으로 터널내 차로 변경을 원칙적으로 금지하고 있다. 그러나, 예외적으로 「지방경찰청장이 통행방법을 따로 지정한 때에는 그 지정한 바에 따라 통행해야 한다」는 법12조 2항의 단서조항을 적용하여 일부 허용하는 사례가 있다. 최근 터널 건설기술 발전으로 편도 3차로 이상의 대단면 터널로 건설되거나 설계되고 있다. 이에 따라 대단면 터널에서의 차로변경으로 인한 사고 위험도는 이전에 비해 낮아진 것이 사실이다. 따라서 교통량, 설계속도 등의 일정 조건이 충족될 경우, 터널내 차로변경을 예외적으로 허용하는 실정이다.

부산 산성터널 종점부는 장전동과 연결되는 진 · 출입 차선(U/D) 연결에 따라 안전지대를 포함한 가감속 차선이 추가되어 진 · 출입 차선(폭 3.5m)과 안전지대(최대폭

4.3m)를 포함하는 터널단면의 설치가 필요하다. 따라서, 대단면터널이 형성되어 경제성 및 주행안전성 측면에서 불리하여 가감속 차선구간에 대해 단면변화구간을 두었다.

본 고에서는 터널내 단면변화구간에 대하여 경제성과 시공성, 안정성 및 주행안전성 등의 분석을 통한 도로 선형 폭을 만족하는 다분할 굴착단면 설계에 주안점을 두었다.

2. 지반조건분석

단면변화구간에 대한 지반조사는 물리탐사(탄성파탐사, 전기비저항탐사), 시추조사, 현장 및 실내시험을 실시하였다. 탄성파탐사 및 전기비저항 탐사결과, 암반등급 Ⅲ으로 분류가 되었으며, 시추조사결과, 풍화대가 지표면으로부터 약 7m까지 분포하고, 기반암이 출현하였다. 기반암은 아다멜라이트 계열의 화강암으로서, 시추공영상

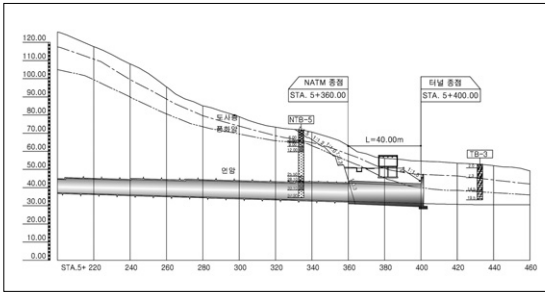


그림 1. 종점부 지반조건현황

찰영결과, 약 12m까지는 암반균열이 발달하였으나, 그 이후는 비교적 균질한 상태였다. TCR은 88~100%였고, RQD는 47~100%였지만, 대부분 70%이상을 나타내었다. 터널이 통과하는 지반의 RMR값은 45~83까지 분포하여, 갱구부 대단면터널 형성시 지반보강이 필요한 것으로 판단되었다. 그림 1에 과업구간의 종점부 지반조건현황을 나타내었다.

3. 기 국내 외 설계사례

3.1 국내사례

우리나라에서 터널내 차로변경구간이 있는 터널로서 부산 수정산 터널과 남양주 덕송터널 등이 있다. 부산 수정산 터널은 가야동과 좌천동을 잇는 길이 2,356m, 편도

2차로이다. 좌천동 진출램프쪽 터널출구에서부터 터널 안쪽 129m와 반대편 진입램프쪽 206m가 각각 3차로로 확장된 구조이다. 남양주 덕송터널은 덕송과 사능을 잇는 길이 925m 편도2차로이다. 기존도로인 송산로 IC가 근접해 있어 상행선 터널출구에서부터 터널안쪽 154m와 반대편 하행선 135m가 각각 3차로로 확장된 구조이다. 그러나, 이들 터널은 확폭구간이 1단면으로만 계획되어 있어 대단면 시공으로 인해 지반보강 증가 등으로 인한 공사비 증대로 경제성이 낮고, 대단면인 확폭구간과 본선구간의 접속부에서 운전자가 주행중 위압감을 느낄 수 있는 문제점이 있다. 그림 2에 국내 터널내 단면변화구간 적용사례를 나타내었다.

3.2 국외사례

일본의 하치오지 조세키토널은 수도권 중앙연결도로로서 하치오지시 우라타카오마을(裏高尾町)부터 시몽가타마을(下恩方町)까지 연결된 연장 약 2,400m의 터널이다. 제2공사는 남측갱구에서 상행선 121m, 하행선 141m의 터널공사 및 갱구부근 절토공사를 시공하는 것이다. 남측갱구부근은 수도권 중앙도로와 중앙자동차도로가 연결되는 하치오지 조세키 JCT(가칭)에 근접하므로, 터널내에서 도로의 분기 및 확폭이 필요하여 단면이 커지게 되었다.

그림 3에 터널내 단면변화구간이 적용된 일본 조세키토

구 분	부산 수정산 터널(운영중)	남양주 덕송터널(시공중)
개요도		
선형현황	<ul style="list-style-type: none"> • 양측 진 · 출입차로(1차선, 폭 3.5m) 접속 	<ul style="list-style-type: none"> • 양측 진 · 출입차로(1차선, 폭 3.5m) 접속
단면계획	<ul style="list-style-type: none"> • 접속차로를 포함한 3차선 확폭단면(14.6m) 적용 	<ul style="list-style-type: none"> • 접속차로를 포함한 3차선 확폭단면(16.0m) 적용
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 터널간 필리아격거리 19.0m(1.3D) 확보 	<ul style="list-style-type: none"> • 터널간 필리아격거리 17.1m(1.1D) 확보

그림 2. 국내 단면변화구간 적용사례

널을 나타내었다. 조세키티널은 최대단면과 최소단면의 단면폭 차이를 고려하여 터널내 4~6개의 단면으로 계획되어 시공되었다. 터널내 분할 단면이 많아질수록 시공성은 다소 불리하지만, 경제성 측면과 운전자 위압감 해소 등을 감안하여 단계적으로 단면을 축소 또는 증대하였다.

4. 본설계 적용 다분할 단면 적용성 분석

중점부 노선현황은 그림 4와 같이 본선 2차로와 램프 차로로 이루어진 토공구간의 운행차선이 편도2차로로 된 터널과 연결된다. 주변여건 및 선형상의 제약으로 인해 가감속차로구간이 터널내에서 발생하게 되었다. 이로 인

해, 터널 갱구부단면은 대단면으로 이루어지고, 터널내에서 일정구간의 단면변화구간이 불가피하게 발생되었다.

4.1 가감속차로구간의 설계

터널내 가감속차로의 길이는 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설(국토해양부, 2009)을 참조하였다. 본선 설계속도가 80km/hr이고, 가감속차로의 설계속도가 40km/hr인 경우 표 1에 의해 가속차로 구간은 135m이상, 감속차로 구간은 100m이상으로 정해진다.

또한, 변이구간은 본선 설계속도가 80km/hr인 경우 표 2에 의해 60m 이상으로 정해진다.

그림 4에 산정된 가감속차로 및 변이구간을 나타내었다.

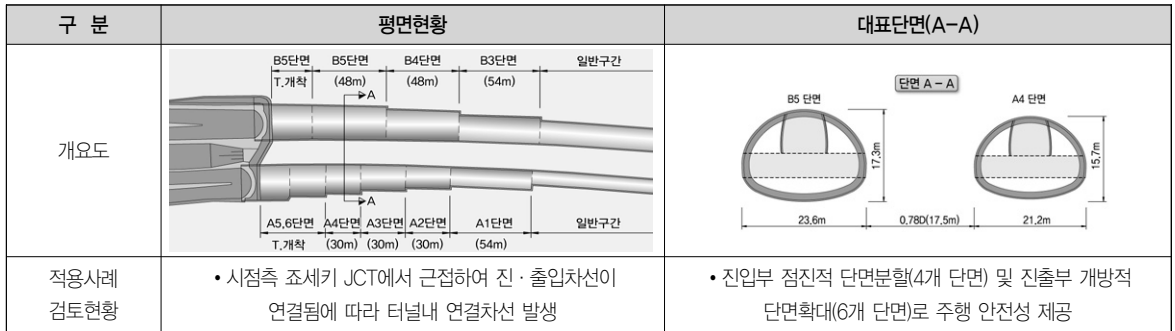


그림 3. 국외 단면변화구간 적용사례(일본 조세키 터널)

표 1. 가감속차로의 길이

본선 설계속도(km/hr)			120	110	100	90	80	70	60
가속차로 설계속도(km/hr)	60	변이구간을 제외한	400	285	220	130	55	-	-
	50	가속차로의	445	330	265	175	100	50	-
	40	최소길이(m)	470	360	300	210	135	85	-
감속차로 설계속도(km/hr)	60	변이구간을 제외한	155	140	120	100	80	55	-
	50	감속차로의	170	150	135	110	90	70	55
	40	최소길이(m)	175	160	145	120	100	85	65

표 2. 변이구간의 길이

본선 설계속도(km/hr)	120	110	100	90	80	70	60	50	40
변이구간의 최소길이(m)	90	80	70	70	60	60	60	60	60

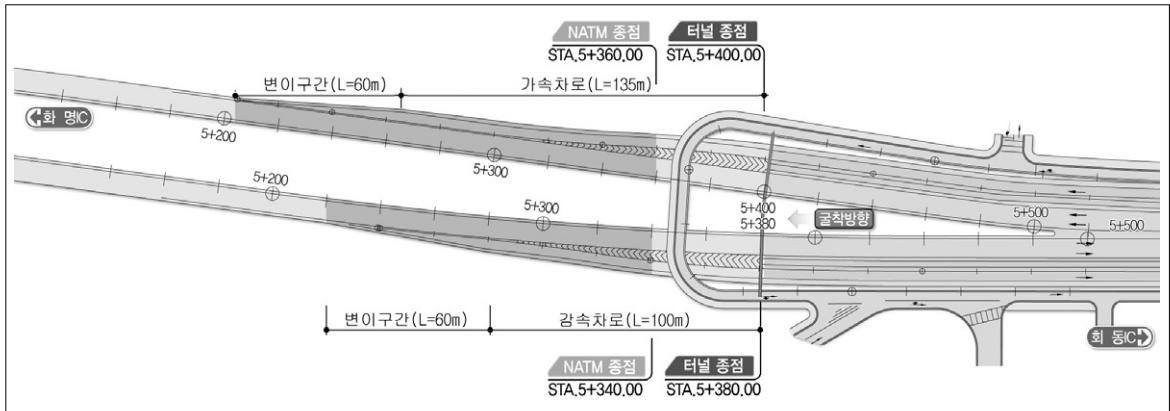


그림 4. 산성터널 종점부 단면변화구간

구분	단면적용현황
1 단면	
2 단면	
3 단면	
4 단면	
5 단면	

그림 5. 단면변화구간 단면적용현황

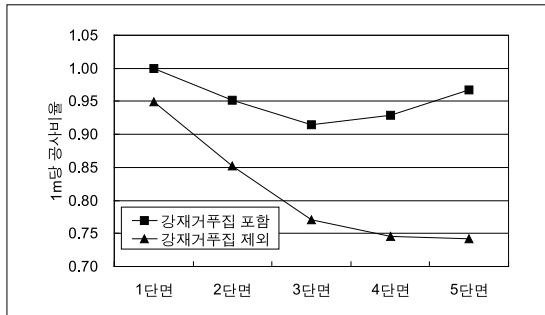


그림 6. 강재거푸집 적용유무에 따른 공사비율 분석

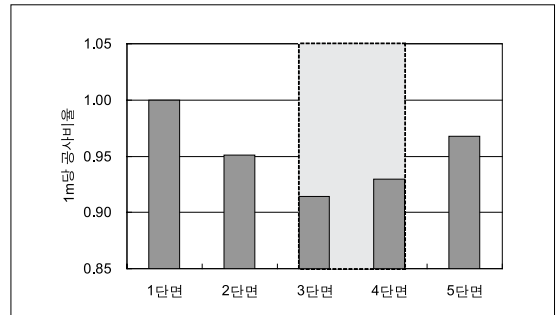


그림 7. 최저 공사비율

표 4. 강재거푸집 사용현황

구분	1단면	2단면	3단면	4단면	5단면
강재거푸집 소요개수	1조	2조	3조	4조	5조

4.2 단면변화구간의 제반조건을 고려한 터널 단면수 선정

터널내에서 발생하는 가감속차로구간에 대한 터널단면은 본선단면과 접속되는 구간이 선형적으로 변화되는 것이 가장 이상적이지만, 시공 및 경제성 등의 이유로 인해 단계별 단면으로 시공하게 되었다. 상행선에 대해 그림 5에 나타냈듯이 총 5case로 경제성, 안정성, 시공성, 주행안전성 등을 검토하여 최적의 조합이 되도록 분석을 실시하였다.

가. 경제성 및 시공성 분석

단면변화구간에 대한 적용단면수별 경제성분석을 실시하였다. 공사비는 굴착 및 지보공사비와 강재거푸집 사용량에 따른 단위m당 직접공사비를 구하여 공사비가 가장 높은 1단면 적용한 경우의 공사비에 대한 비율로서 분석하였다. 그림 6은 강재거푸집 적용유무에 따른 공사비의 비율을 나타낸 그래프이고, 표 4에 강재거푸집 사용현황을 나타내었다.

각 case별로 강재거푸집 유무에 따른 공사비율 분석은 그림 6과 같은 경향을 나타내었다. 강재거푸집을 포함하지 않은 경우에는 단면변화구간에 대해 분할 단면이 많아질수록 공사비가 줄어드는 경향을 보인다. 그러나, 강재

거푸집을 포함하게 되면, 각 단면에 대한 강재거푸집의 변경횟수가 증가하여 그림 7에서 나타났듯이 3단면일때 최저 공사비율을 나타내고 4단면일때부터 공사비가 조금씩 증가하기 시작하여 5단면일때는 3단면과 4단면일때보다 공사비가 높게 나타났다. 따라서, 본 과업에서는 3단면과 4단면인 경우, 가장 경제적인 것으로 분석되었다.

시공성은 강재거푸집 변경횟수와 밀접한 관계가 있다. 1단면인 경우, 분할단면이 1개이므로 강재거푸집 1조로 라이닝 시공을 하게 되어 작업의 일관성이 확보되므로 가장 양호한 시공성을 보인다. 그러나, 단면변화구간에 분할단면의 수가 증가하게 되면 터널내 굴착공종이 복잡해지고, 각 분할단면에 대한 강재거푸집의 변경횟수가 증가하므로 시공성은 떨어지게 된다.

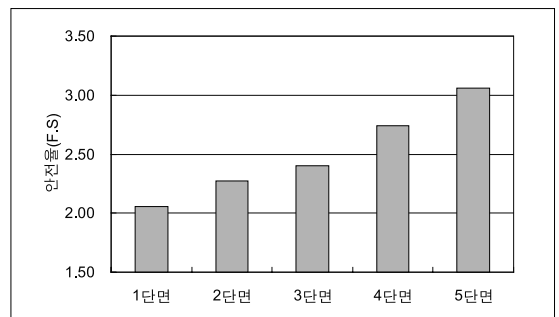


그림 8. 터널 안정성 분석

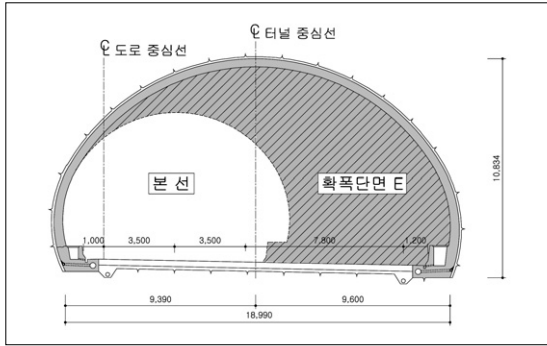


그림 9. 본선과 확폭단면 E 접속부 (1단면인 경우)

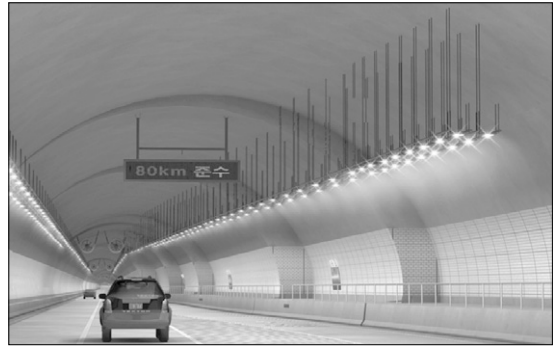
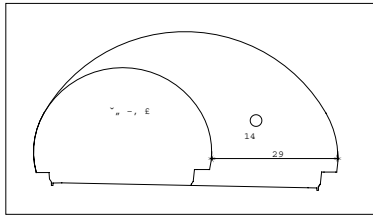
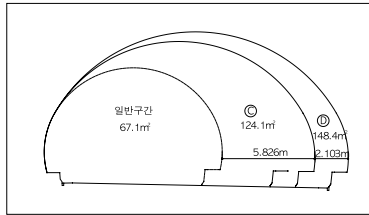


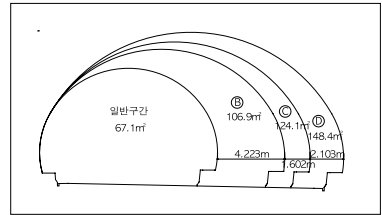
그림 10. 주행안전성을 고려한 단면분할(진입차로)



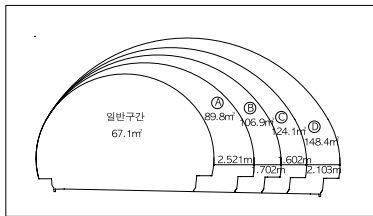
1단면



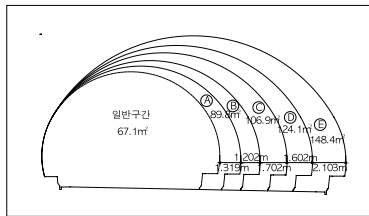
2단면



3단면



4단면



5단면

그림 11. 단면변화구간 접합단면현황

나. 터널 안정성 및 주행안전성 분석

각 단면별로 수치해석을 이용한 안정성 분석을 실시하였다. 수치해석은 동일한 지반조건에 대해 각 단면별로 평균환산 단면에 대해 검토하였으며, 그림 8에 나타냈듯이 모든 조건에서 안전율은 1보다 크게 나타났다. 단면변화구간에 대한 분할단면의 수가 많아 질수록 터널의 안전율은 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 1단면인 경우가 환산단면크기가 가장 크므로 터널의 안정성 측면에서 불리하고, 5단면인 경우가 환산단면의 크기가 가장 작아 터널 안정성 측면에서 유리한 경향을 나타내 보였다.

단면변화구간에 대한 터널내 주행안전성은 주행중 운

전자에게 위압감을 얼마나 주는가에 달려 있으며, 진입차로와 진출차로를 구분하여 분석하였다. 진입차로인 경우 터널내 단면이 점진적으로 단면이 축소되는 경우 주행안전성이 좋으며, 진출차로인 경우 터널내 단면이 점진적으로 확대되는 것이 주행안전성이 좋다.

진입차로의 1단면인 경우, 1개의 단면으로 되어 있어 운전자가 터널내 주행중 그림 9처럼 본선과 대단면 접속부가 형성되어 위압감을 크게 느껴 불안감을 느낄 수 있고, 진출차로의 1단면인 경우는 반대로 운전자가 주행중 안전감을 크게 느낄 수가 있다. 그러므로, 진출입차로에 대해 분할단면수를 합리적으로 결정하는 것이 중요하다.

4.3 단면변화구간 적용단면 검토

단면변화구간에 대해 경제성, 안정성, 시공성, 주행안전성 등을 위주로 각 적용단면별로 분석을 하였다. 검토 인자에 대해 종합적인 분석을 통해 최적의 변단면수를 결정하는 것이 중요하다. 그림 11에는 단면변화구간의 접합 단면현황을 나타내었다. 진입차로의 경우 운전자가 주행 중 느끼는 위압감은 5분할 5단면이 접합단면의 최대폭이 1.3m이하로 되어 가장 적게 느껴지지만, 경제성과 시공성 측면까지 고려하면 5분할 5단면보다 4분할 4단면이 되는 경우가 좀 더 유리하다. 진출차로의 경우는 분할단면의 수가 적을수록 주행안전성 측면에서 유리하므로 경제성에서 가장 유리한 3분할 3단면의 경우가 가장 적합한 것으로 분석되었다.

5. 결론

터널과 근접하여 IC 및 JCT 등으로 선형상 부득이하게 터널내에 가감속 차선이 발생하여 대단면 확폭구간이 발생하는 경우 경제성, 안정성, 시공성, 주행안전성 등을 매개변수로 한 분석을 통해 최적의 분할단면 굴착설계가 되도록 하여야 한다. 본 과업구간에 대한 단면변화구간에 대하여 각 Case별 검토결과는 다음과 같다.

- 1) 터널내 가감속차로구간의 분할단면이 많아질수록 강재거푸집 변경 횟수 증가로 인한 공사비의 영향을 고려하여야 한다. 1단면의 경우 공사비가 가장 높고, 5단면의 경우 공사비가 다소 감소하지만, 강재거푸집 변경 횟수 증가로 공사비가 증가하였으며, 3단면 또는 4단면의 경우가 경제성 측면에서 유리한 조건으로 분석되었다.
- 2) 단면변화구간에 대한 분할 단면의 수가 많아 질수록

터널의 구조적 안정성은 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 1단면의 경우 환산단면크기가 가장 크므로 터널의 안정성 측면에서 가장 불리하고, 5단면인 경우 환산단면의 크기가 가장 작아 터널 안정성 측면에서 가장 유리한 경향을 나타내 보였다.

- 3) 시공성은 분할단면이 적을수록 강재거푸집 변경횟수가 적어 유리하지만, 분할단면의 수가 증가하게 되면 터널내 굴착공종이 복잡해지고, 각 분할단면에 대한 강재거푸집의 변경횟수가 증가하므로 시공성은 떨어지게 된다.
- 4) 터널내 주행안전성은 진입차로인 경우 터널내 단면이 점진적으로 축소되는 경우가 좋으며, 진출차로인 경우 터널내 단면이 점진적으로 확대되는 것이 좋다.

상기 항목의 경제성, 안정성, 시공성, 주행 안전성을 고려한 단면변화구간의 가속차로 191m구간은 4개 굴착단면으로 하고, 감속차로 160m구간은 3개 굴착단면으로 하여 적정 굴착단면으로 평가하였다.

Reference

1. 국토해양부(2009년), 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설, pp 534~552
2. 터널내 차로변경 허용사례와 시사점(2009년), 도로정책브리프 제25호, pp 2~12
3. 부산광역시(2010년), 산성터널 민간투자사업 설계보고서, pp. 25~65
4. 부산광역시(2010년), 산성터널 민간투자사업 본보고서, pp. 123~178
5. 国土交通省 関東地方整備局 相武 団道事務所(平成14年3月, 2002年), 八王子城跡トンネルその2工事設計報告書