

고속화에 따른 철도터널의 단면규모 결정요소에 대한 고찰

A Study on the Principal Factors of Rail Tunnel Cross-Section Design due to High Speed



류동훈
(주)서현기술단
이사



박영준
(주)서현기술단
이사



송충렬
(주)서현기술단
부장



이형록
(주)서현기술단
과장



이창진
(주)서현기술단
대리

1. 개요

최근에는 지역간 교통난 문제해결과 급속도로 팽창하는 기간산업의 수요를 충족시키기 위하여 철도교통 시설 확충이 늘어가는 실정이다. 또한 미래를 위한 새로운 패러다임으로 '저탄소 녹색성장'을 새로운 국가비전으로 제시한 정부정책의 변화에 따라 에너지원의 효율적, 환경친화적, 이용에 걸맞는 쾌적하고 지속가능한 녹색교통 체계를 구축해야 한다는 사회적 요구가 날로 증대되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 시대적, 사회적 요구에 부합되는 철도교통을 위해 최근에는 초장대 규모 및 대심도의 터널이 점차로 증가하고 있는 실정이며, 특히 설계속도의 고속화 추세에 따른 철도 터널관련 설계기준의 개정 및 연구개선 과제가 활발하게 진행되고 있다.

터널단면은 열차주행속도 150km/hr 전후의 일반철도에서는 주로 건축한계에 의해 터널단면의 지배를 받게 되나 열차주행속도 200km/hr 이상의 고속철도에서는 건축

한계보다는 터널을 주행하는 차량의 속도에 따라 발생하는 터널내 공기압 변동값에 의해 큰 지배를 받게 된다.

또한 설계속도의 고속화에 따른 터널단면은 건축한계 및 인터페이스(전차선, 전기, 신호, 통신설비 등)의 설치 공간 등 일반철도 터널단면의 설계시 고려사항 이외에 고속화에 따른 터널내의 급격한 압력변동으로 인한 객차 내 승객의 이명감 및 터널출구에서의 소음공해 등을 유발하는 미기압과 등의 공기역학적인 문제점들을 종합적으로 고려하여야 한다.

본 고에서는 설계속도(200~350km/hr)의 변화에 따라 터널단면의 변화요인을 검토하고 고속화에 따른 설계기준, 선로중심간격, 전차선, 단면형상, 분야별 인터페이스 및 공기역학적인 문제 등 철도터널의 단면규모 결정요소에 대한 국내·외 철도터널 설계사례 및 기준분석 결과를 검토하여 경제성 확보를 고려한 철도터널의 최적단면 선정기법에 대하여 서술하고자 한다.

이에 본 논문에서는 이러한 고속화에 따른 철도터널 단

면규모의 결정요소에 대한 항목별 검토를 통해 철도터널 설계시 합리적이고 경제적인 표준지침 및 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 고속화에 따른 철도터널의 단면규모 결정시 주요 고려사항

2.1 터널단면 선정에 필요한 주요 결정요소

철도터널의 단면규모 결정을 위해서는 터널목적 및 기능에 따른 건축한계와 열차 교행시 주행안정성, 승객편의성 등에 영향을 미치는 선로중심간격, 터널내 전력설비 공급시설인 전차선(가고, 전차선높이, 장력조정장치), 터널단면의 구조적 안정성과 굴착량과 관계된 단면형상, 터널내부에 설치될 각종 전기, 신호, 통신 등 제반설비의 시설공간인 공동구 및 배수구, 유지관리 및 비상시 대피에 필요한 보도폭 등과 같은 일반철도 터널단면의 설계시 고려사항 이외에 고속주행시 발생하는 터널내 공기역학적인 이명감, 미기압과 등이 단면규모 결정시 선행되어 검토되어야 한다.

따라서 단면규모 결정시 선행되어 검토되어야 할 상기의 요소들을 정리해보면 다음 표 1과 같다.

이에 본 고에서는 고속화에 따른 철도터널의 단면규모를 결정짓는 상기 6가지 항목의 검토를 위하여 국내·외 기존 설계기준 및 각종 연구용역 결과를 바탕으로 검토하였으며, 항목별 설계기준이 제시되지 않은 사항에 대해서는 최근에 진행되고 있는 국내 설계자료와 해외 고속철도의 운행속도별 설계사례를 중심으로 비교 검토하였다.

따라서 본 고에서는 철도터널의 단면선정을 위한 결정요소들의 제반규정을 파악하고 각 항목별 최적안을 검토하여 이를 바탕으로 터널설계시 효율적이고 경제적인 철도터널 단면을 선정하는 기법에 대하여 중점을 두었다.

2.2 설계기준 검토

본 논문에서는 철도터널 단면규모 결정시 요구되는 주요 결정요소에 대한 국내·외 설계기준을 다음 표 2에 항목별로 간략하게 제시하였으며 상세내용 및 검토사항은 3절에서 제시하였다.

표 1. 철도터널의 단면규모 결정시 주요 고려사항

<p>고속화에 따른 터널단면 결정요소 (예시 : 수도권 고속철도 350km/hr)</p>		<p>1 건축한계</p>
		<p>2 선로중심간격</p>
		<p>3 전차선(높이, 가고, 장력조정장치)</p>
		<p>4 단면형상</p>
		<p>5 인터페이스 시설물</p>
		<p>6 공기역학적인 요구면적</p>

표 2. 국내·외 설계기준

구분	설계기준	관련근거																	
건축한계	<ul style="list-style-type: none"> · 직선구간 <ul style="list-style-type: none"> - 일반구간 : 4,200mm(w) × 5,150mm(h) - 전기차전용 : 4,200mm(w) × 6,450mm(h) - 전동차전용 : 3,600mm(w) × 5,300mm(h) · 곡선구간 : $w = 50,000/R$(일반구간) $w = 24,000/R$(전기차전용) $s = 2,400/R$(30mm이하) - 확대량(w)과 캔트에 의한 차량경사량 - 슬랙(s)에 의한 건축한계 확대 	<ul style="list-style-type: none"> · 철도의 건설기준에 관한 규정(2009.9) · 도시철도 건설규칙(2008.3) · 지하철 설계기준(서울 등 각 지자체) 																	
선로중심간격	<ul style="list-style-type: none"> · 국내기준(철도의 건설기준에 관한 규정 제14조) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>설계속도(km/hr)</th> <th>선로중심간격(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$200 < V \leq 350$</td> <td>4.8</td> </tr> <tr> <td>$150 < V \leq 200$</td> <td>4.3</td> </tr> <tr> <td>$V \leq 150$</td> <td>4.0</td> </tr> </tbody> </table> · 해외기준(TSI 유럽) <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>최고허용속도(km/hr)</th> <th>선로중심간격(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$230 < V \leq 250$</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>$250 < V \leq 300$</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>$V > 300$</td> <td>4.5</td> </tr> </tbody> </table> 	설계속도(km/hr)	선로중심간격(m)	$200 < V \leq 350$	4.8	$150 < V \leq 200$	4.3	$V \leq 150$	4.0	최고허용속도(km/hr)	선로중심간격(m)	$230 < V \leq 250$	4.0	$250 < V \leq 300$	4.2	$V > 300$	4.5	<ul style="list-style-type: none"> · 철도건설규칙(2005) · 철도의 건설기준에 관한 규정(2009.9) · 유럽(TSI) 규정(2006) · 유럽철도연맹(UIC) 규정(2001) · 일본(신간선)철도설계기준(2005) · 일본 철도에 관한 기술기준 	
설계속도(km/hr)	선로중심간격(m)																		
$200 < V \leq 350$	4.8																		
$150 < V \leq 200$	4.3																		
$V \leq 150$	4.0																		
최고허용속도(km/hr)	선로중심간격(m)																		
$230 < V \leq 250$	4.0																		
$250 < V \leq 300$	4.2																		
$V > 300$	4.5																		
전차선	<ul style="list-style-type: none"> · 전차선 높이 <ul style="list-style-type: none"> - 속도등급 200km/hr이상 : 5,000~5,200mm - 속도등급 200km/hr이하 : 5,000~5,400mm · 전차선 가고 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>속도등급</th> <th>표준가고(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70~200킬로급</td> <td>960</td> </tr> <tr> <td>250킬로급</td> <td>1,200</td> </tr> <tr> <td>300, 350킬로급</td> <td>1,400</td> </tr> </tbody> </table> · 절연이격거리, () 최소이격거리 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>공칭전압(kV)</th> <th>이격거리(mm)</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>350(300)</td> <td>전차선-레일</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>600(550)</td> <td>전차선-급전선</td> </tr> </tbody> </table> 	속도등급	표준가고(mm)	70~200킬로급	960	250킬로급	1,200	300, 350킬로급	1,400	공칭전압(kV)	이격거리(mm)	비고	25	350(300)	전차선-레일	50	600(550)	전차선-급전선	<ul style="list-style-type: none"> · 철도의 건설기준에 관한 규정(2009) · 철도전철전력설비시설지침(2010)
속도등급	표준가고(mm)																		
70~200킬로급	960																		
250킬로급	1,200																		
300, 350킬로급	1,400																		
공칭전압(kV)	이격거리(mm)	비고																	
25	350(300)	전차선-레일																	
50	600(550)	전차선-급전선																	
단면형상	<ul style="list-style-type: none"> · 철도터널 <ul style="list-style-type: none"> - 마제형 단면형상, 편평율(h/w) = 0.7이상(일반적으로) - 1심원~5심원 형상(일반적으로 3심원) 	<ul style="list-style-type: none"> · 터널의 이론과 실무(터널공학회) 																	
인터페이스	<ul style="list-style-type: none"> · 공동구, 배수구, 대피로 폭원 <ul style="list-style-type: none"> - 일반철도, 고속철도(3절에서 상세언급) 	<ul style="list-style-type: none"> · 공동구 시행방안(전·계91460-189, 2001) · 공동관로 설치기준(전기설비 표준도2006) · 철도설계기준(2004), 터널설계기준(2009) · 철도시설 안전기준에 관한 규칙(2008) 																	
공기역학적	<ul style="list-style-type: none"> · 이명감 <ul style="list-style-type: none"> - 호남(800Pa/3sec) - 수도권(500Pa/1sec, 800Pa/3sec, 1000Pa/10sec) · 미기압 : 호남(20Pa/20m), 수도권(50Pa/20m) 	<ul style="list-style-type: none"> · 경부, 호남, 수도권 고속철도 연구과제 																	

3. 철도터널의 단면최적화를 위한 결정요소 검토

본 장에서는 앞서 열거한 철도 터널단면 선정과 관련된 6가지의 주요 결정요소에 대해 제반규정 및 국내·외 설계 기준을 만족함과 동시에 구조적 안정성, 시공효율성, 경제성 등 안전하고 경제적인 철도터널의 단면선정을 위한 각 항목별 최적안을 다음과 같이 검토하였다. 또한 각 항목별 상세내용 및 검토사항에 대해 최근에 수행되고 있는 국내·외 철도터널 설계사례 및 연구과제를 바탕으로 서술하였다.

3.1 건축한계

건축한계는 열차 및 차량이 선로를 운행할 때 주위에 인접한 건조물 등이 접촉하는 위험성을 방지하기 위하여 설정한 공간범위로서 철도 차량의 종류에 따라 건축한계의 공간범위가 구분되어 진다. 국내의 건축한계 기준은 표 2에서 제시한 관련근거에 따라 설정되며 설계기준에 대한 상세내용은 다음 표 3과 같다.

직선구간의 일반의 경우 표 3 그림에서와 같이 차량한

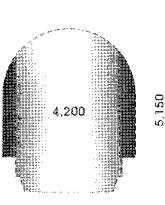
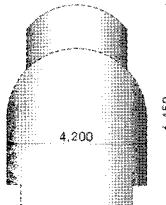
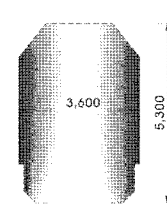
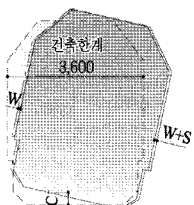
계의 레일면상 높이 4,800mm에 350mm의 간격을 두어 5,150mm가 되었고, 폭은 차량한계의 폭 3,600mm에서 양측으로 300mm의 여유를 두어 4,200mm가 되었다. 전기차전용구간은 가공전차선 표준높이 5,400mm에 현수장치에 필요한 300mm, 조가선과 급전선의 이격거리 550mm 및 여유거리 200mm가 확보되어 산정되었다. 전동차 전용선인 경우에는 도시철도건설규칙이나 지방자치단체에서 시행하는 지하철 및 도시철도와와의 연계성 등을 고려하여 건축한계의 기준을 설계기준 등에서 각 선로구간의 특성에 맞도록 별도로 정하여 적용하여야 한다.

곡선구간의 건축한계는 확대량(w)과 캔트에 의한 차량경사량(편기량) 및 슬랙량(s)을 더하여 확대하여야 한다. 다만 가공전차선 및 그 현수장치를 제외한 상부에 대한 한계는 이에 따르지 않을 수도 있다는 것이다.

3.2 선로중심간격

선로중심간격은 철도터널의 폭원과 내공단면적을 좌우하는 절대적인 요소이다. 터널내에서 고속의 속도로 열차가 교행하는 순간 열차풍의 영향은 상대열차에 횡력으로

표 3. 건축한계 기준

구분	직선구간			곡선구간
	일반구간	전기차 전용	전동차 전용	확대량(w)
개요도				
설계기준	· 4,200mm(w) × 5,150mm(h)	· 4,200mm(w) × 6,450mm(h)	· 3,600mm(w) × 5,300mm(h) - 지자체의 전동차 차종에 따라 높이(h) 변경	· w = 50,000/R(일반구간) · w = 24,000/R(전기차전용) · s = 2,400/R(30mm이하)
관련근거	· 철도의 건설기준에 관한 규정(2009.9) · 도시철도 건설규칙, 지하철 설계기준(서울, 인천 등 각 지자체 시행)			· 확대량(w) + 캔트에 의한 편기량(D) + 슬랙(s)

작용하며, 이로 인해 증가되는 차량 간의 압력변동과 횡방향 가속도의 변화는 선로중심간격 결정에 주요 요인으로 작용한다. 따라서 열차 교행시 전해지는 충격은 열차의 주행안정성 및 승객의 쾌적성에 영향을 미치므로 선로중심간격을 가능한 넓게 설계하는 것이 유리하나 상대적으로 터널단면적이 증가하여 경제성이 저하되는 현실적인 제약을 받게 된다.

이에 본 검토에서는 국토해양부에서(고시제2009-832호) 최근 개정된 철도건설규칙(철도의 건설기준에 관한 규정 제14조)의 국내기준(표 4)과 일본을 비롯한 유럽 등의 해외 설계기준(표 5, 표 6) 및 사례(표 7)를 종합분석하여 검토하였다. 아울러 최근에 수행되었던 호남고속철도 및 수도권고속철도의 연구과제를 통해 최적의 선로중

심간격을 결정하였으며 이를 국내·외 설계기준과 비교하여 표 8에 제시하였다.

해외의 선로중심간격 기준은 유럽철도연맹(UIC)의 고속철도 설계사양 관련 보고서와 유럽철도 규격인 TSI (Technical Specification for Interoperability)의 선로중심간격에 대한 조항으로 UIC 및 TSI의 선로중심간격의 설계기준과 일본의 선로중심간격 기준을 표 5 및 표 6에 제시하였다.

해외 설계기준을 분석한 결과 유럽철도연맹(UIC)에서 제시한 선로중심간격은 이탈리아를 제외한 유럽국가 대부분이 운행속도 300km/hr급에서는 4.2m~4.5m, 운행속도 350km/hr급은 4.5m~4.7m를 제시하고 있으며 일본 및 TSI의 경우에도 4.0m~4.5m를 선로중심간격으로

표 4. 국내기준

철도건설규칙(2005)			철도의 건설기준에 관한 규정(2009)		
설계속도(km/hr)	선로 최소중심간격(m)	비고	설계속도(km/hr)	선로 최소중심간격(m)	비고
200<V≤350	5.0	경부고속철도 5.0m 적용	200<V≤350	4.8	호남고속철도 4.8m 적용
150<V≤200	4.3		150<V≤200	4.3	
V≤150	4.0		V≤150	4.0	

표 5. 해외기준(UIC)

UIC(2001) : 최고운행속도 300km/hr급			UIC(2001) : 최고운행속도 350km/hr급		
선로중심간격(m)	차량이격(m)	국가	선로중심간격(m)	차량이격(m)	국가
4.2	1.3	프랑스	4.5	1.6	프랑스
4.3	1.4	스페인			
4.5	1.4	독일			
5.0	-	이탈리아	5.0	-	이탈리아

표 6. 해외기준(일본 및 TSI)

일본 : 철도에 관한 기술 기준			TSI(2006)	
구분	열차속도	선로중심간격	최고허용속도 V(km/hr)	선로중심간격(m)
일반철도	V≤160	차량한계폭 + 600mm	V≤230	4.0m 이하시 차량한계 고려
신간선 ^(A)	V≤300	차량한계폭※ + 800mm	230<V≤250	4.0
(A) : 신간선의 경우 다음사항을 추가고려 - 열차교행시 풍압, 곡선구간의 확폭, 이명감 등			250<V≤300	4.2
			V>300	4.5

※신간선의 차량한계폭 : 3.4m

기술기사

고속화에 따른 철도터널의 단면규모 결정요소에 대한 고찰

제시하고 있어 국내기준과 비교할 때 국내의 선로중심간격이 다소 여유가 있음을 알 수 있다.

다음은 해외에서 운행중인 각국의 고속철도 선로중심간격 현황을 표 7에 정리하여 수록하였다. 각국의 해외사례에서도 알 수 있듯이 현재 일본, 대만 및 유럽을 중심으로 볼 때 설계속도 300~350km/hr급의 선로중심간격은 일부국가를 제외하면 대부분이 4.2~4.5m의 선로중심간

격을 유지하고 있으며 독일의 일부 구간만이 4.7m의 선로중심간격을 유지하고 있었다. 특이할만한 것은 이 구간의 시공시기가 1979년도로 최근사례일수록 선로중심간격이 점차 축소되고 있음을 알 수 있었다.

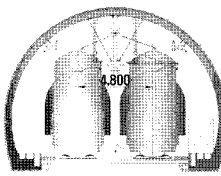
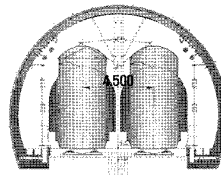
국내에서 최근 수행되었던 호남고속철도 및 수도권고속철도의 연구과제를 통해 결정된 선로중심간격과 특히 본 고에서는 가장 최근에 수행되었던 수도권고속철도 연

표 7. 각국의 선로중심간격 현황

국가	노선	설계속도 (km/hr)	선로중심간격(m)	시공시기	국가	노선	설계속도 (km/hr)	선로중심간격(m)	시공시기
독일	하노버~찰스부르크	350	4.7	1979~1991	일본	도호쿠선 (E5)	(300)	4.3	1969~1982
	만하임~슈투가르트	350	4.7	1976~1991		조에츠선 (E4)	(240)	4.3	1972~1982
	뉘른베르크	330	4.5	2006	대만	타이페이~다카오	350	4.5	1999~2005
	켈른~프랑크푸르트	330	4.5	1984~1991	영국	유로터널	300	4.5	1998~2003
이태리	로마~피렌체	300	4.2	1971~1992	스페인	마드리드	300	4.3	1987~1992
일본	도카이도선 (N700)	(270)	4.2	1959~1964	프랑스	북유럽선	350	4.5	1988~1993
	산요선 (N700)	(300)	4.3	1967~1972		대서양선	330	4.2	1985~1990

※()일본의 경우 운행속도

표 8. 호남고속철도 및 수도권고속철도 선로중심간격

평가항목 (*A)	기준치	검토내용						선로중심간격 적용	
		호남			수도권			호남	수도권
자연횡풍	20m/sec	고려			미고려				
운중감소율	0.1확률시 80%이하	선로중심간격	직선	곡선	선로중심간격	직선	곡선		
		4.6	66.5	85.8	4.4	80.4	81.5		
		4.7	63.6	79.1	4.5	72.3	78.3		
		4.8	63.8	73.9	4.6	60.1	77.6		
횡압	65kN	4.5~5.0m까지 만족			4.5~5.0m까지 만족				
탈선계수	0.1%확률시 1.1이하	4.5~5.0m까지 만족			4.5~5.0m까지 만족			4.8	4.5
								(*A) 수도권고속철도 연구과제 결과 요약 발췌	

구과제(한국철도기술연구원) 결과를 바탕으로 결정된 최적의 선로중심간격을 표 8에서 호남고속철도와 비교하여 제시하였다.

수도권고속철도(수서~평택)는 도심지 구간을 대심도로 통과하는 고속철도로 단일터널(약 55km) 규모로는 국내 최장대 터널로 일반구간과 다르게 자연 횡풍의 영향을 받지 않아 호남고속철도 선로중심간격 결정시 고려되었던 풍속 20m/sec에 대한 풍압력의 영향을 고려할 필요가 없게 되었다. 이에 선로중심간격 결정시 고려한 주행안전성 평가항목인 운증감소율, 횡압, 탈선계수에 대하여 선행연구에서 사용되었던 차량 동특성 데이터의 자연 횡풍 20m/sec에 대한 풍압(p)을 제외한 값이 적용되었다.

표 8의 차량주행 안전성 평가항목인 운증감소율, 횡압 및 탈선계수를 검토한 결과 호남고속철도의 경우 횡풍 영향에 의한 감소율을 적용하면 곡선 선로 구간에서는 4.7m 부터 허용 기준값에 근접하거나 초과하는 경향을 보이고 있다. 반면 수도권고속철도의 경우에는 횡풍 배제에 의한 횡압의 감소율을 적용하면 선로중심간격 4.5m에서 허용 기준을 만족하는 것으로 나타났으며 다른 평가항목인 횡

압 및 탈선계수는 횡풍의 영향을 고려한 경우나 배제한 경우 모두 선로중심간격 4.5~5.0m에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 위 각각의 검토결과를 종합하면 수도권고속철도에서의 선로중심간격은 4.5m로 적용 가능한 것임을 알 수 있다.

3.3 전차선

터널단면적을 결정짓는 시스템 분야의 인터페이스 요소로는 전차선 관련분야가 있다. 이러한 전차선 관련분야에는 전차선 높이, 전차선 가고, 자동장력조절장치 및 전차선 절연이격거리 등이 있으며 전차선 높이의 항목을 제외하면 인터페이스 분야의 시설물 수용한계를 결정짓는 전철전력 시스템의 결정사항으로 철도 터널단면적 결정시 매우 밀접한 관계가 있다.

전차선 높이는 승객과 보수종사원에 대한 직접적인 접촉 또는 유도에 의한 전기적 안전 측면에서 위험요소가 될 가능성이 있으므로 특별히 경제적 이점이 부각되지 않는다면 전차선의 높이를 낮추는 것은 바람직하지 않다.

표 9. 국내·외 기준(전차선 관련)

구분	개요도	설계기준																				
국내		<p>Ⓐ 전차선높이 : 5,000~5,200mm</p> <p>Ⓑ 표준가고</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>속도등급</th> <th>표준가고(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70~200킬로급</td> <td>960</td> </tr> <tr> <td>250킬로급</td> <td>1,200</td> </tr> <tr> <td>300,350킬로급</td> <td>1,400</td> </tr> </tbody> </table> <p>Ⓒ 절연이격거리, ()최소이격거리 *속도 250킬로급 이상 : 열차중 고려</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>공칭전압(kV)</th> <th>이격거리(mm)</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>350(300)</td> <td>전차선-레일</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>600(550)</td> <td>전차선-급전선</td> </tr> <tr> <td>비고</td> <td colspan="2">오염지구 : 터널지역</td> </tr> </tbody> </table>	속도등급	표준가고(mm)	70~200킬로급	960	250킬로급	1,200	300,350킬로급	1,400	공칭전압(kV)	이격거리(mm)	비고	25	350(300)	전차선-레일	50	600(550)	전차선-급전선	비고	오염지구 : 터널지역	
속도등급	표준가고(mm)																					
70~200킬로급	960																					
250킬로급	1,200																					
300,350킬로급	1,400																					
공칭전압(kV)	이격거리(mm)	비고																				
25	350(300)	전차선-레일																				
50	600(550)	전차선-급전선																				
비고	오염지구 : 터널지역																					
해외		<p>*UIC 799 OR(2002)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>200KV≤230km/h</th> <th>230KV≤300km/h</th> <th>V>300km/h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>전차선 높이(mm)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>전차선 표준높이</td> <td>5,000~5,500</td> <td>5,000~5,500</td> <td>5,000~5,500</td> </tr> <tr> <td>허용오차</td> <td>±30</td> <td>0+20/±10</td> <td>0+20/±10</td> </tr> </tbody> </table>	Parameter	200KV≤230km/h	230KV≤300km/h	V>300km/h	전차선 높이(mm)	-	-	-	전차선 표준높이	5,000~5,500	5,000~5,500	5,000~5,500	허용오차	±30	0+20/±10	0+20/±10				
Parameter	200KV≤230km/h	230KV≤300km/h	V>300km/h																			
전차선 높이(mm)	-	-	-																			
전차선 표준높이	5,000~5,500	5,000~5,500	5,000~5,500																			
허용오차	±30	0+20/±10	0+20/±10																			

또한 전차선 높이는 기존 시스템과의 연관성과 일치성도 무시할 수 없는 중요한 고려 요소이며 향후 기술의 발전과 수요와 요구의 변화에 따라 차량한계의 변경가능성도 염두에 두는 것이 바람직하다.

터널단면의 축소문제와 전차선 높이의 결정은 무관하며 전차선 높이를 최소 기준으로 낮추더라도 터널단면의 축소에는 전혀 기여하는 바가 없는 것으로 사료된다. 고속철도의 터널단면의 축소 문제는 앞서 서술한 '3.2 선로

중심간격'에서 기술한 터널내에서 교행하는 열차의 풍압에 의한 영향이 주요 관건이며 전차선 높이를 낮춤으로서 얻어질 수 있는 사안은 아닌 것으로 판단된다.

따라서 본 고에서는 현재 전차선과 관련하여 국내(표 9)에서 제시되고 있는 '철도의 건설기준에 관한 규정(2009)' 및 '철도전철전력설비시설지침(2010)' 등에서 제시하고 있는 관련규정을 검토한 결과 가공전차선로의 전차선 공칭높이는 전차선로 속도등급에 따라 5,000mm에서 5,200mm

표 10. 국내 전차선 가고 시스템

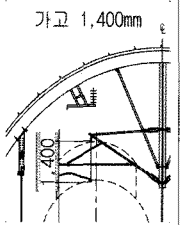
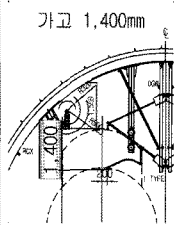
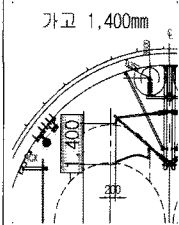
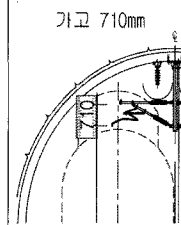
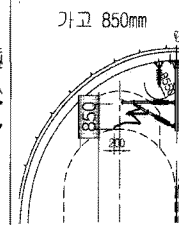
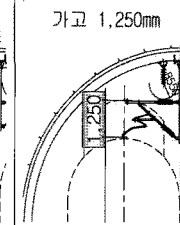
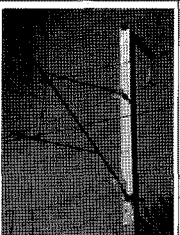
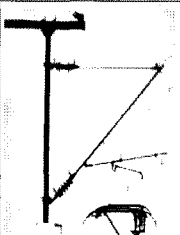
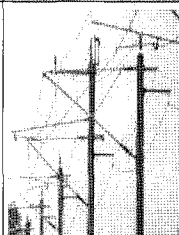
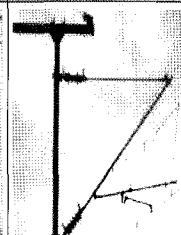
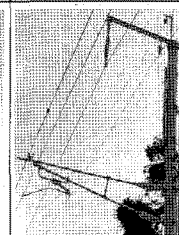
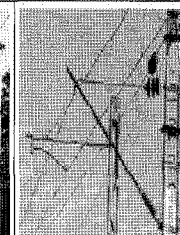
구분	고속철도			일반철도			
	경부	호남	수도권	200km/hr	250km/hr	270km/hr	
개요도	가고 1,400mm 	가고 1,400mm 	가고 1,400mm 	가고 710mm 	가고 850mm 	가고 1,250mm 	
	표준	1,400	1,400	1,400	960	1,200	1,250
가고 (mm)	축소	1,250(270km/hr)	1,400	1,400	710	850	1,250
비고	<ul style="list-style-type: none"> 고속철도의 경우 가고축소의 영향 없음 경부 1,250 : 270km/hr 속도대역 가고 적용 축소가고 적용시 시뮬레이션 및 운행선 검증필요 			<ul style="list-style-type: none"> 철도건설선 고속화 실행계획 수립방안(2008) 다만 축소가고 적용시 지지점 경간이 짧아지게 되므로 경점발생 및 이선율 증가로 접촉력 불리 			

표 11. 해외 전차선 가고 시스템

구분	프랑스	독일	스페인	이탈리아	일본	중국
	TGV-EST	RE 330	EAC 350	FS300	신간선	China 3000/25
개요도						
설계속도	350km/hr	350km/hr	350km/hr	300km/hr	300km/hr	350km/hr
가고(mm)	1,400	1,800	1,800	1,800	1,500	1,800
비고	· 가고가 크면 가공전차선로의 탄성력, 차량 팬터그래프의 접촉력 양호, 경간(지지점간의 거리) 확대					

를 표준으로 하고 있다. 다만, 전차선로 속도등급 200킬로급 이하에 대하여 해당 노선의 특수화물 적재높이를 고려하여 전 구간을 5,400mm까지 높일 수 있다. 지금까지 국내에서 적용한 경부, 호남 및 수도권고속철도의 전차선 높이가 적용사례를 보면 고속철도 3개 노선 모두 전차선 높이가 5,080mm를 적용하였다.

참고로 해외(표 9)의 경우 EN 50119(2001)에 전차선 높이의 관련내용이 기술되어 있으나 UIC 606-1 OR의 내용 중 핵심만을 요약한 것으로 되어 있으며, 표 9에서처럼 UIC 799 OR(2002)에서는 전차선 높이에 대하여 기술하고 있다. 상기의 국내·외 설계기준을 분석하여 철도의 전차선 시스템 비교결과 전차선 높이는 설계속도의 변화와는 관계없는 사항이며 전차선의 가고높이 및 절연이격거리에 따라 터널높이가 변화됨을 알 수 있다.

다음 표 10, 표 11에서는 국내 및 해외의 전차선 가고 시스템 현황에 대해 검토하였으며 설계속도에 따른 전차선 표준가고 및 터널에서와 같이 제한된 공간에서의 가고 축소가능 높이에 대해 검토하였다.

특히, 표 10의 국내 전차선 가고 시스템 검토는 크게 고속철도와 일반철도로 구분하였으나 최근 국가철도정책과 관련한 신규 건설노선의 설계속도가 점차 고속화 됨에 따라 일반철도의 범주를 200km/hr 이상의 고속화 속도

대역별로 구분하여 검토하였다. 따라서 본 고에서 제시한 전차선 가고에 대한 검토는 설계완료 되었거나 현재 진행되고 있는 설계사례 및 연구과제를 토대로 기술하였으므로 향후 기술력 재고를 위해서라도 고속화에 따른 전차선 분야에 대한 지속적인 연구개발 및 기준정립이 요구된다.

3.4 터널의 단면형상

지금까지는 철도터널의 단면규모 선정을 위한 결정요소들(건축한계, 선로중심간격 및 전차선)의 설계기준과 관련한 제반규정, 국내·외 사례분석 및 각종 연구과제 등을 바탕으로 검토하였다. 따라서 상기의 요소들은 현행 설계기준 및 제반규정에 따라 철도 터널단면 선정시 해당 분야의 인터페이스 협의를 통해 결정하여야 할 사항으로 분류할 수 있다.

그러나 터널단면은 앞서 설명한 제반규정에 따라 선정하는 기범외에 시공성, 안정성 및 경제성 등을 확보해야 하는 현실적인 제약사항 등도 포함하게 된다. 다음의 표 12는 고속철도, 일반철도 및 고속도로 터널의 단면형상을 상대적으로 비교 검토하였다.

단면형상을 검토한 결과 고속철도의 경우 경부고속철도 이후로 단면의 형상이 점차로 축소되는 경향을 보이고

표 12. 터널 단면형상

구분	편평율 정의	고속철도 vs 일반철도	수도권고속철도 vs 고속도로
단면형상	<p>· 편평율 = 터널높이(h) / 터널폭(w) · 일반적인 편평율 : 0.7</p>	<p>11,800 13,440 14,060 15,020</p>	<p>13,505 13,440</p>

있다. 이는 앞서 기술한 주요 결정요소 외에도 열차의 차량개선, 인터페이스 분야 등의 기술개선으로 인한 결과로 판단되며 이를 고속도로 터널의 규모와 비교해볼 때 수도 권고속철도 단면은 편도 2차로 고속도로 터널단면의 규모와 비슷한 단면적을 나타내고 있다.

터널의 단면형상은 도로나 철도터널에서는 대부분 타원형이나 마제형을 채택하고 있으며 가장 이상적인 터널 단면은 원형단면이나 이는 $ko=1.0$ 에서의 지중응력상태에서 적합한 형상이다. 그러나 대부분 지중응력상태가 $ko \neq 1.0$ 인 응력조건에서는 초기 주응력비와 같은 장단축의 비(편평율)를 갖는 타원형 또는 마제형이 역학적으로 안정하다. 따라서 터널의 폭(w)이 높이(h)에 비하여 크면 측압계수가 높을수록 측벽부와 천정부의 응력집중 차이는 감소하여 터널 주변지반의 안정성은 향상된다. 또한 터널의 폭과 높이의 비(편평율)에 따라 터널 단면적의 차이가 발생하며 이러한 편평율이 작아질수록 건축한계 상부의 여유 공간이 감소하여 터널굴착량을 감소할 수 있다. 그러나 편평율이 작아질수록 역학적으로 불안정한 단면이 되므로 단면설계시에는 건축한계 외측의 불필요한 공간을 최소화하며 동시에 안정성을 확보할 수 있는 단면선정이 요구된다.

상기의 표 13은 단면형상에 따른 굴착단면적을 비교 검토한 결과이다. 앞서 서술한 이상적인 단면을 갖는 타원형 및 마제형의 터널형상을 설정하기 위해서는 편평율을

조정해야 하는데 편평율을 조정하는 방법으로는 S.L Line 변화에 따른 중심각의 조절방법이 있다. 따라서 본 고에서는 중심각의 조정변화에 따른 굴착단면적의 변화율을 표 13에 수록하였다.

검토결과 단면작성을 위해 곡선반경(R)의 수를 증가시 킬수록 불필요한 공간이 감소되어 굴착 단면적이 축소하는 결과를 보여주고 있으며 이는 굴착량 감소라는 경제성 측면에서 유리하게 작용할 것으로 판단된다. 그러나 곡선 반경(R)의 수가 증가할수록 공사비 측면에서는 유리하나 터널 굴진을 위한 시공관리(측량, 격자지보 설치 등)측면에서는 다소 불리하게 작용할 것으로 판단되므로 터널단면 설계시 터널의 규모, 현장여건 및 설계 가중치 등의 종합적인 검토를 통해 곡선반경(R)의 수를 적정하게 채택하여 시공성, 안정성 및 경제성 측면을 합리적으로 만족할 수 있는 단면선정이 되도록 하여야 한다.

3.5 인터페이스 시설물 수용한계

철도터널의 단면선정을 위해서는 터널내 설치되는 각종 부속시설에 대해서 검토하여야 한다. 터널내 설치되는 부속시설의 종류로는 전력, 신호, 통신 및 배수구 등이 있으며 이들 시설물을 유지·보수하기 위한 유지보수용 보도 등으로 구성된다. 또한 보도시설은 유지보수원들의 통행 뿐만 아니라 비상시 대피를 위한 공간으로도 활용된다.

표 13. 터널 단면형상 Simulation 비교

구분	단면형상 변화	단면적 변화율	검토결과								
단면형상 Simulation 검토		<table border="1"> <caption>단면적 변화율 데이터</caption> <thead> <tr> <th>곡선반경 (km)</th> <th>단면적 (m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>72.01</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>70.18</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>68.77</td> </tr> </tbody> </table>	곡선반경 (km)	단면적 (m²)	1	72.01	3	70.18	5	68.77	<ul style="list-style-type: none"> · 일반철도 내공단면적 비교 · 단면적 변화율 <ul style="list-style-type: none"> - 1삼원 : 72.01m² - 3삼원 : 70.18m²(▼1.83 : 97.4%) - 5삼원 : 68.77m²(▼3.24 : 95.5%) · 단면규모, 터널연장 등을 고려하여 곡선반경(R)의 수를 결정
곡선반경 (km)	단면적 (m²)										
1	72.01										
3	70.18										
5	68.77										

따라서 이들 부속시설에 대한 설치기준, 설치규모 및 사례분석을 통하여 철도 터널단면 선정시 합리적이고 객관적인 가이드라인을 표 14에서 제시하고자 한다.

철도터널 양측에 설치되는 공동관로는 전력, 신호·통신용 케이블을 포설하기 위한 관로로서 각종 케이블의 환경과 유지관리공간 등의 인터페이스 검토를 통해 결정되어지며, 공동관로의 규격에 따라 터널단면적의 차이가 발생한다. 현재 일반철도의 공동관로는 철도표준도(2009) 및 전기설비표준도(2006)의 고압/저압을 분리한 방식을 적용하고 있으며, 고속철도 경우에는 경부고속철 1단계에서 적용한 공동관로 규격(770×320)을 개선한 분리형(400×320, 370×320) 방식을 호남 및 수도권고속철도에서 적용하고 있다.

3.6 공기역학적 검토

지금까지 앞 절에서는 일반 및 고속철도 터널의 단면설계시 공동 인자들을 살펴보았으나 이 절에서는 터널내 고속주행시 발생하는 공기역학적인 이명감 및 미기압파 등에 대해 기술하고자 한다. 고속주행시 터널단면적 설정을 위해서는 정해진 규칙은 없으나 최소한의 요건으로서 터널을 주행하는 동적 차량한계와 터널내부에 설치될 시설물간의 간섭이 없어야 한다는 것은 이미 앞에서(표 9) 언급하였다.

따라서 본 고에서는 쾌적성 및 승객의 건강측면에서 이명감을 느끼는 차량의 실내압력변동 한계와 환경적 측면에서 터널 출구에서 방사되는 환경소음의 일종인 미기압파의 한계값이 터널단면적을 제한하는 주요 요인으로 작

표 14. 인터페이스 시설물

구분	일반철도		고속철도
	단선터널	복선터널	수도권고속철도
공동구 및 배수구			
시설 규격 (mm)	공동구	· 신호, 통신, 전력 : 혼합형 · 500(W)×150(H) : 편측1개소	· 신호, 통신, 전력 : 분리형 · 300(W)×150(H) : 양측2개소
	배수구	· 200(W)×500(H) : 양측2개소	· 200(W)×500(H) : 양측2개소
보도폭원(mm)	1,000(W)	800(W)	1,500(W)
검토결과	<ul style="list-style-type: none"> · 공동관로 규격이 작을수록 터널 내공단면적이 감소함. · 배수구 규격은 터널내부로 유입되는 유량검토를 통해 결정되는 사항으로 터널설계 기준에는 터널 배면 유입수의 종/횡방향 배수관 및 주배수관의 규격 및 재질사항을 제시함. · 보도폭 및 대피로 폭원 결정은 최소기준을 준수하고 인터페이스 관련 설치규격에 의해 결정됨. <ul style="list-style-type: none"> - 국내 : 철도시설 안전기준에 관한 규칙(2008) → 대피로 폭원 70cm 이상, 높이 2.1m 이상 - 해외 : UIC CODEX 779-9R, TSI(EU) → 대피로 폭원 70cm 이상 · 따라서 인터페이스 시설물에 대한 설계기준 준수와 분야별 검토 및 협의 후 터널단면 선정 		

용하고 있으므로 이에 대한 내용을 기술하고자 한다.

이를 검토하기 위해서는 터널단면 및 열차운행속도 등을 변화시켜 터널 및 객차내·외부의 압력변동량을 측정하는 것이 정확한 결과를 얻을 수 있으나 현실적으로 수행하기에 많은 제약과 어려움이 수반되므로 본 검토에서는 해외자료와 호남고속철도 및 최근 수행된 수도권고속철도의 연구과제(철도기술연구원) 결과를 바탕으로 제시하였다.

표 15는 터널내 고속주행시 발생하는 객실내 압력변화

에 대한 이명감을 느끼는 국내·외 이명감 기준에 대한 한계값으로서, 터널에서의 압력 변동으로부터 열차 탑승객의 건강을 보호할 수 있는 의학적 건강기준(Medical health limits)과 철도차량에 대한 압력쾌적성(Pressure comfort criteria)기준을 보여주고 있다. 국내에서는 호남 및 수도권고속철도에 대한 이명감 기준을 제시하고 있으며 호남고속철도에서 적용된 이명감 기준은 경부고속철도에서 운행되는 차량(KTX)이 호남고속철도에서도 운행된다는 조건하에 경부고속철도의 기준을 준용하는 것으로 하였

표 15. 국내·외 이명감 기준

구분		의학적 건강기준 및 차량 압력쾌적성 기준 내용														
해 외	UIC 779-11	<ul style="list-style-type: none"> Medical health limits : 최대 압력변화값 < 10kPa Pressure comfort criteria <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th colspan="2">비기밀 차량</th> <th colspan="2">기밀차량</th> </tr> <tr> <td>4.5kPa/4s(복선터널 교행포함)</td> <td>1.0kPa/1s</td> <td>1.6kPa/4s</td> <td>2.0kPa/10s</td> </tr> <tr> <td>3.0kPa/4s(단선터널)</td> <td colspan="3">단선 및 복선터널(교행포함)</td> </tr> </table>			비기밀 차량		기밀차량		4.5kPa/4s(복선터널 교행포함)	1.0kPa/1s	1.6kPa/4s	2.0kPa/10s	3.0kPa/4s(단선터널)	단선 및 복선터널(교행포함)		
	비기밀 차량		기밀차량													
	4.5kPa/4s(복선터널 교행포함)	1.0kPa/1s	1.6kPa/4s	2.0kPa/10s												
	3.0kPa/4s(단선터널)	단선 및 복선터널(교행포함)														
	UIC 660 독 일	<ul style="list-style-type: none"> 3,000Pa에서 1,100Pa로 감압 또는 -3,000Pa에서 -1,100Pa까지 승압되는데 소요되는 시간 (압력변화 소요시간 : 18초 이상) 최고 운행 속도로 주행할때의 객실내 기압변화 기준 <ul style="list-style-type: none"> - 단위 시간당 압력변화 : $\Delta P / \Delta t \leq 500 Pa/s$ - 3초간 최대 압력 변화 : $\Delta P \leq 800 Pa$ - 10초간 최대 압력변화 : $\Delta P \leq 1,000 Pa$ 														
	일 본	<ul style="list-style-type: none"> 신간선(차량속도 270km/hr) <ul style="list-style-type: none"> - 최대 압력변화 : 1,000Pa - 최대 압력변화율 : 200Pa/s(최근에 300~400Pa/s로 완화됨) 														
영 국	<ul style="list-style-type: none"> Inter-city 노선 (차량속도 200km/hr, 비기밀차량) <ul style="list-style-type: none"> - 최대 압력변화율 : 4,000Pa/4s 런던-영불 터널노선 (차량속도 225~300km/hr, 비기밀차량) <ul style="list-style-type: none"> - 최대 압력변화율 : 2,000Pa/4s(단선터널) - 최대 압력변화율 : 3,500Pa/4s(복선터널) 															
이탈리아	<ul style="list-style-type: none"> 고속 기밀차량 <ul style="list-style-type: none"> - 최대 압력변화 : 1,500Pa - 최대 압력변화율 : 500Pa/s 															
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> 최대 압력변화율 : 500Pa/s 															
국 내	호남고속철도	<ul style="list-style-type: none"> KTX 열차속도(300~350km/hr) <ul style="list-style-type: none"> - 열차 1대 운행시 : 800Pa/3s, 열차 2대 교행시 : 1,250Pa/3s 														
	수도권고속철도	<ul style="list-style-type: none"> KTX-II 열차속도(300~350km/hr) <ul style="list-style-type: none"> - 이론해석에 의한 객실내 압력변동 : UIC 779-11기준 적용 - 전산해석에 의한 실내압 압력변동 : UIC 660 기준적용 														

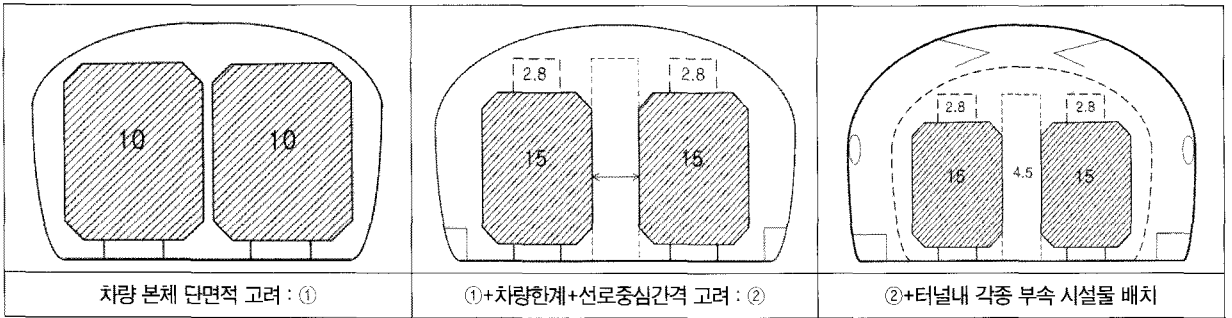


그림 1. 터널단면적 결정과정

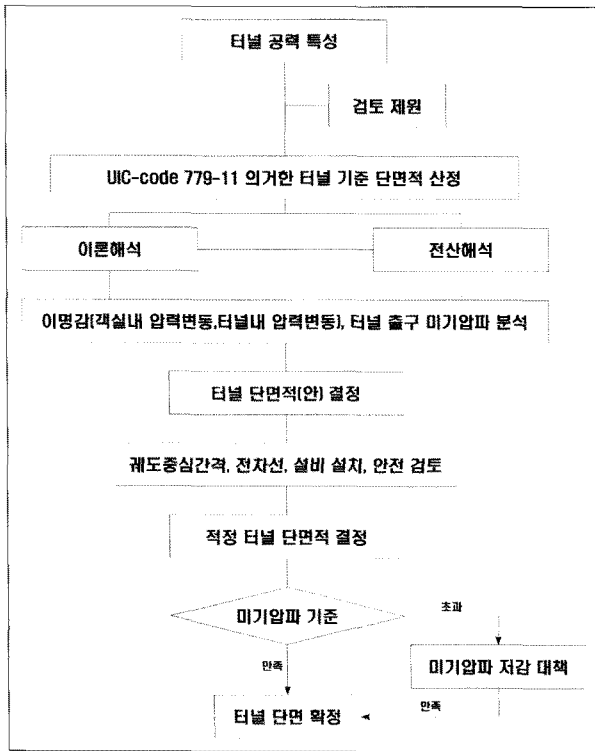


그림 2. 수도권고속철도 터널단면적 결정과정

널단면적 적용과정을 그림 1에 나타내었다. 터널단면적은 차량 본체 단면적만을 고려하여 결정된 단면적이므로, 차량한계 크기와 선로중심간격에 의한 이격거리 만큼 확대하여야 하며, 터널내부에 설치할 시설물의 필요공간을 고려하여 추가적으로 확대한 단면적이 요구된다.

터널 단면적 결정과정을 통하여 구한 터널 단면적이 압력기준에 의하여 구한 터널 단면적보다 작으면 압력기준에 의하여 구한 터널 단면적이 결정 단면적이 되며, 반대의 경우는 압력기준에 의하여 구한 터널 단면적은 제한 조건이 되지 않으며, 시설물 배치에 의한 단면적이 결정 단면적이 된다.

즉, 이명감 기준을 적용하여 터널 기준 단면적을 산정한 다음, 이 단면적에서 이명감 및 미기압과 등에 대한 이론해석 및 전산해석을 통해 터널단면적을 결정한 후, 터널내 설치되는 시설물의 간섭여부를 검토하여 최종적으로 터널단면적을 결정하게 된다. 이러한 과정에 대해 그림2는 수도권고속철도의 터널 단면적 결정과정을 보여주고 있으며 이러한 터널단면적 결정과정은 수도권 고속철도 연구수행과제(한국철도기술연구원)결과를 통해 이명감에 대한 만족여부를 검토하였다. 표 16은 수도권고속철도 이명감 기준에 대해 열차속도 및 터널단면적별로 객차내 압력변동 해석결과를 정리한 것이며 이론해석 및 전산해석에 의한 이들 결과값은 터널단면적 89.5m²까지 만족하는 것으로 나타났다.

으며 수도권고속철도(KTX-II)의 경우는 UIC 779-11에서 규정하고 있는 Medical health limits와 Pressure comfort criteria를 적용하고 있다.

터널단면적을 결정할 때 압력기준에 의거하여 구한 터

미기압에 대한 기준은 세계적으로 일본의 기준을 적용하고 있으며 '일본 산악터널설계시공 표준, 철도건설 운수시설정비지원기구(2008)'에 의하면 터널 갱구 중심으로부터 20m지점에서 50Pa을 미기압 저감대책의 성능기준으로 적용하고 있으며 민가근방에 대해서는 미기압파의 Peak값 20Pa을 적용하고 있다.

본 고에서는 터널 입구에서의 압축파의 압력기울기, 터널내에서 전파되는 압축파의 압력기울기, 출구에서의 미기압파의 압력기울기, 열차 선두부 형상, 터널 갱구 형상, 열차속도, 터널 단면적 등을 인자로 하여 미기압파를 예측하였다.

표 17은 수도권 고속철도에서 수행한 터널 출구에서의 미기압파에 대한 해석결과로 이론해석에 의한 미기압파 측면에서는 차량의 터널 진입속도 300km/hr이하에서는 모두 기준값을 만족하지만, 350km/hr 이상의 차량속도로 터널을 진입하는 경우, 터널 출구 중심으로부터 20m 지점에서의 기준값인 50Pa을 초과하는 것으로 나타났다.

Medical health limits 기준에 따르면 차량속도 350 km/hr에서 터널단면적 90m²에서 기준을 초과하지만, Pressure comfort criteria 기준에서는 차량속도 350km/hr에서 터널단면적 105.5에서도 미기압파 기준을 초과하므로 터널단면적 확대만을 통해 미기압파 발생을 억제하기

표 16. 이명감 해석결과(수도권고속철도)

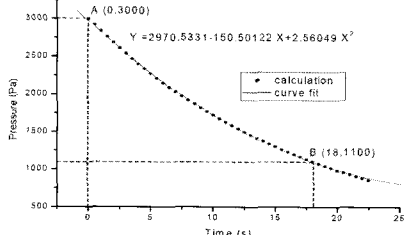
이론해석에 의한 검토				전산해석에 의한 검토				
구 분	압력변화량(기밀차량)			구 분	실내 압력변동(V=350km/hr)			
경과시간	1sec	4sec	10sec	경과시간	1sec	3sec	10sec	
기준값(Pa)	1,000	1,600	2,000	기준값(Pa)	500	800	1,000	
해석결과값	150.5	602	1,505	터널 단면적 (m ²)	95.1	141.8	328.4	476.0
판 정	만 족	만 족	만 족		93.9	143.6	332.9	481.9
객실내 압력변화 패턴 					91.6	147.9	342.8	495.1
					89.5	152.2	352.7	507.4
판 정				만 족	만 족	만 족	만 족	

표 17. KTX-II의 차량속도/단면적별 미기압파(Pa)

차량속도(km/h)	200	250	300	350
터널단면적(m ²)				
83.4	11.2	22.1	38.6	62.3
89.5	10.7	21.1	38.9	59.6
90.0	10.6	21.0	36.8	59.4
91.0	10.6	20.8	36.6	59.0
100.1	9.9	19.6	34.4	55.6
105.5	9.6	19.0	33.4	53.9

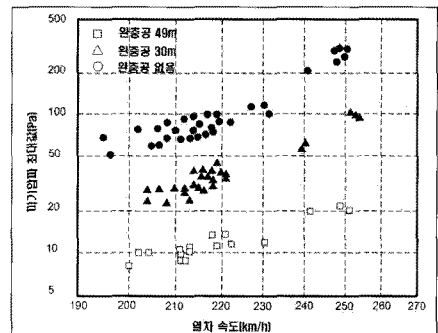


그림 3. 원통공에 의한 미기압파 감소효과

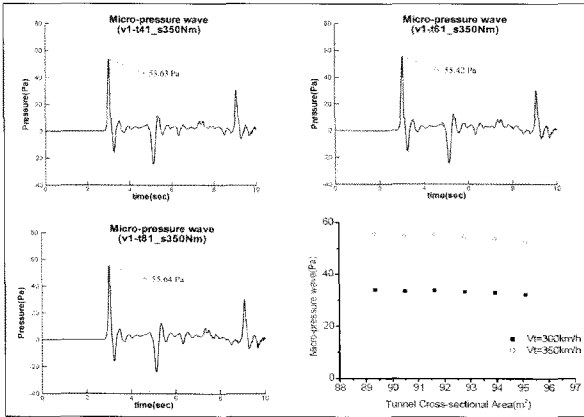


그림 4. 터널 출구 미기압파 해석결과

에는 어려움이 있다.

따라서 이 속도대역에서의 미기압파 저감대책으로는 터널을 진입할 때의 차량속도를 350km/hr이하로 낮추거나, 터널 입구에 완충공을 설치하면 미기압파의 최대값을 낮출 수 있는 것으로 알려져 있다.(일본 RTRI 연구결과, 그림 3)

다음의 그림 4는 터널단면적에 대한 미기압파를 나타낸 결과로 터널 단면적이 감소할수록 미기압파의 강도는 증가하며, 또한 열차의 터널 진입속도가 증가할수록 미기압파가 증가하는 경향을 나타내고 있다.

본 수도권고속철도의 경우에 대해서는 터널 단면적의 변화보다는 열차가 터널내로 진입할때의 속도가 더 지배적인 인자임을 알 수 있다.

표 18은 전산해석에 의한 미기압파 강도를 나타내었다. 열차속도 300km/hr에서는 미기압파 강도가 32.25Pa에서 33.93Pa의 범위에 나타나 미기압 기준을 만족하고 있다.

열차속도 350km/hr인 경우에는 터널 출구로부터 20m 지점에서 미기압파 강도가 최소 52.8Pa에서 최대 55.64Pa로 나타나 기준값을 초과하는 것으로 나타났다.

그러나 수도권 고속철도의 대부분이 터널이며 수서정거장, 동탄정거장 및 각 공구 구간별 일정한 간격으로 수직구가 있어 터널내에 형성된 압력파가 증폭될 가능성은

표 18. 단면적별 미기압파 강도(Pa)

터널단면적	구분	미기압파 강도(Pa)	
	기준	50Pa	
	속도	Vt=300km/h	Vt=350km/h
95.107m ²		32.25	52.80
93.935m ²		32.86	53.63
92.771m ²		33.26	54.47
91.616m ²		33.81	55.42
90.468m ²		33.36	54.77
89.328m ²		33.93	55.64

작다. 또한 수서방면에서의 차량의 터널 진입속도가 낮아 실제 노선상에서 미기압파로 인한 문제는 크게 문제되지 않을 것으로 판단된다.

4. 결론

열차교통시 전해지는 충격은 열차의 주행안정성 및 승객의 쾌적성 측면에 영향을 미치므로 터널단면을 가급적 크게 건설하는 것이 유리하나 터널 단면적이 커지게 되면 공사비가 증가하여 경제성이 저하되는 현실적인 제약을 받게 된다. 따라서 열차주행의 안정성, 승객의 쾌적성 및 경제성을 모두 만족시킬 수 있는 최적의 철도터널 단면계획이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 설계속도의 변화에 따라 철도터널 단면의 변화요인을 검토하고 고속화에 따른 설계기준, 선로중심간격, 전차선, 터널단면형상, 분야별 인터페이스 및 공기역학적인 문제 등 철도터널의 단면규모 결정시에 필요한 다양한 요소들에 대해 국내·외 설계기준, 해외사례 및 연구수행 과제를 통해 검토·비교하였으며, 이를 구체화하기 위하여 최근 수행한 수도권고속철도 설계자료 및 연구성과를 활용하여 그 결과를 제시하고 다음과 같은

결론을 얻었다.

- (1) 철도터널의 단면규모 결정을 위해서는 터널목적, 기능성, 안정성, 편의성 및 경제성에 따른 건축한계, 선로중심간격, 전차선, 터널단면형상, 인터페이스 시설물 수용한계 및 공기역학적 등의 6가지의 결정요소들이 지배적이고 철도터널 단면규모 결정 시 반드시 선행되어 검토되어야 한다.
- (2) 건축한계는 열차 및 차량이 선로를 운행할 때 접촉 위험성을 방지하기 위하여 설정한 공간범위로서 철도차량 종류에 따라 건축한계의 공간범위가 설정된다. 현재 국내 건축한계의 기준은 일반구간 및 전기차 전용구간인 경우 '철도의 건설기준에 관한 규정(2009)'에서 제시하고 있는 규정을 준수하여야 하며, 전동차 전용인 경우에는 '도시철도건설규칙' 및 서울, 경기, 인천, 부산, 대구 등 각 지자체에서 시행하는 '지하철 설계기준'에 의하여 각 선로구간의 특성에 맞도록 별도로 정하여 적용하여야 한다.
- (3) 선로중심간격은 철도터널의 폭원과 내공단면적을 좌우하는 절대적인 요소이다. 터널내에서 고속의 속도로 열차가 교행하는 순간 열차풍의 영향은 상대열차에 횡력으로 작용하며, 이로 인하여 증가되는 차량간의 압력변동과 횡방향 가속도의 변화는 선로중심간격 결정에 주요 변화요인으로 작용한다. 따라서, 단면결정시에는 국내 설계기준을 바탕으로 해외사례 및 최근의 설계동향을 중심으로 검토하여야 한다. 아울러 과업구간의 특성에 따른 영향 요소 등을 공인 연구기관 등에 의뢰하여 현장 상황에 맞는 검토결과를 도출하여 합리적이고 객관적인 선로중심간격을 결정할 수 있도록 하여야 한다.
- (4) 전차선은 터널단면적을 결정짓는 시스템분야의 인터페이스 중요요소로 터널 단면축소 영향인자로는 전차선 가고, 장력조절장치 및 절연이격거리 등이

있으며 전차선 높이와는 무관하다. 현재 국내 전차선 표준가고 기준은 속도대역별로 구분하여 제시되어 있으나, 최근 신규 건설노선의 설계속도가 점차 고속화됨에 따라 일반철도의 범주를 200km/hr 이상의 고속화 대역으로 변화되고 있는 실정이다. 따라서 터널단면적 최적화를 위해서는 터널에서 적용할 가고의 축소가 필수적이므로 향후 기술력 재고를 위해서라도 고속화에 따른 터널내 전차선 분야에 대한 지속적인 연구개발 및 기준정립이 필요하다.

- (5) 터널단면의 형상은 지금까지 제시된 결정요소들의 설계기준과 관련한 제반규정과는 다르게 시공성, 안정성 및 경제성 등을 확보해야 하는 현실적인 제약사항 등을 포함하게 된다. 따라서 터널단면 설계 시 앞서 제시한 결정요소들을 만족하면서 불필요한 공간을 최소화하도록 설계하여야 한다. 이에 단면형상을 결정짓는 곡선반경(R)의 수를 터널의 규모, 현장여건 및 설계가중치 등의 종합적인 검토를 통해 적절하게 채택하여 경제성 측면에서도 만족할 수 있는 단면선정이 되도록 하여야 한다.
- (6) 터널단면적과 관련한 인터페이스 시설물 종류로는 공동구, 배수구 및 유지보수용 보도 등이 있으며, 이러한 시설물을 포설하기 위해 철도터널 양측에 설치되는 공동관로는 현재 일반철도의 경우 '철도 표준도(2009)' 및 '전기설비표준도(2006)'를 기준으로 적용하고 있으며, 고속철도의 경우에는 경부 고속철도에서 적용한 공동관로 규격을 개선한 분리형 방식을 호남 및 수도권고속철도에서 적용하고 있다. 또한 이러한 공동관로 상부에 설치되는 보도는 대피로 규정에 의한 최소폭(70cm)이상을 만족해야 하며 공동관로 규격이 작을수록 터널 내공단면적은 감소하게 된다. 따라서 인터페이스 시설물에 대한 설계기준 준수 여부와 분야별 검토 및 협의 후 최적의 터널단면을 결정해야 한다.

(7) 공기역학적 검토는 설계속도가 고속화 됨에 따라 터널내 고속주행시 발생하는 이명감 및 미기압과 등에 대해 검토해야 한다. 즉, 터널단면적 결정과정(그림 2)을 통해 구한 터널 단면적이 압력기준에 의하여 구한 터널 단면적보다 작으면 압력기준에 의하여 구한 터널 단면적이 결정 단면적이 되지만 반대일 경우는 압력기준에 의하여 구한 터널 단면적은 제한 조건이 되지 않으며, 시설물 배치에 의한 단면적이 결정 단면적이 된다. 또한 공기역학적인 결과값이 기준값을 초과하더라도 과업의 특성(터널규모, 현장여건 등)을 종합적으로 판단하여 터널단면적 확대보다 완충시설에 대한 감소효과로 유도하여 경제성 및 시공성 등을 종합적으로 판단하여 결정하여야 한다.

참고문헌

1. 철도건설규칙, 철도의 건설기준에 관한 규정(국토해양부 고시 제2009-832호, 2009).
2. 철도전철전력설비시설지침(한국철도시설공단, 2010).
3. 철도시설 안전기준에 관한 규칙(국토해양부, 2010).
4. 철도표준도(한국철도시설공단, 2009), 전기설비 표준도(한국철도시설공단, 2006).
5. 터널의 이론과 실무(한국터널공학회, 2004).
6. 신호중심간격 및 터널단면적 검토 Report(한국철도기술연구원, 2010).
7. 철도건설선 고속화 실행계획 수립방안 연구(국토해양부, 2008).
8. 경부고속철도 전차선로 설비도 및 부품도(한국고속철도건설공단, 2000).
9. UIC Code 779-11 2nd Edition, 2005.