

대심도 복층터널의 다목적 활용을 위한 입지선정 및 통수성능 평가

문훈기^{1*} · 길기오² · 송인철³ · 이해윤⁴

¹정회원, ㈜다산컨설턴트 지반터널부 상무이사

²비회원, ㈜다산컨설턴트 지반터널부 이사

³정회원, ㈜다산컨설턴트 지반터널부 차장

⁴비회원, ㈜다산컨설턴트 지반터널부 사원

A Study on site selection criteria and discharge capability evaluation for the multi-purpose use of a double-deck tunnel in a great depth

Hoon-Ki Moon^{1*}, Ki- Oh Kil², In-Cheol Song³, Hye-Yoon Lee⁴

¹Geotechnical Engineering & Tunnel Dept., DASAN Consultants, Managing Director

²Geotechnical Engineering & Tunnel Dept., DASAN Consultants, Technical Director

³Geotechnical Engineering & Tunnel Dept., DASAN Consultants, General Engineer

⁴Geotechnical Engineering & Tunnel Dept., DASAN Consultants, Engineer

ABSTRACT: Recent, the construction of the multi-purpose double-deck tunnel is required to solve the flood protection and congested area at urban city. The multi-purpose double-deck tunnel is desperately needed for the introduction of efficient utilization of underground space in addition to the main feature of road capabilities. A basic review was performed for site selection to consider the control capability and features of road tunnel at the same time, and the processable flow in accordance with tunnels cross section of double deck tunnel. Site Selection Criteria for multi-purpose use of the double-deck tunnel has been proposed through the site selection criteria by use of the tunnels review. Also the estimation processable flow was performed to review the versatility of double-deck tunnel due to design of tunnel cross-section. Site Selection of double-deck tunnel from this study can be seen the need for a complex consideration through a variety of analyzes.

Keywords: Double-deck tunnel, Versatility, Site selection

초 록: 최근 도시지역의 홍수방지 및 지정체 반복구간의 교통문제 해결을 위해 다목적 대심도 복층터널의 건설이 요구되고 있다. 다목적 복층터널은 주기능인 도로기능 이외에 다목적 기능을 부여해 지하공간의 효율적인 활용을 위해 도입이 절실하다. 본 연구에서는 도심지 치수능력 증진과 도로터널의 기능을 동시에 고려하기 위한 입지선정 조건과 복층터널의 단면 구역별 처리가능한 유량에 대한 기초검토를 수행하였다. 터널의 용도별 입지선정 기준 검토를 통해 복층터널의 다목적 활용을 위한 입지선정 기준 방안을 제시하고 있다. 또한 대심도 복층터널의 다목적 활용성 검토를 위해 계획단면에 대한 홍수시 처리 가능 유량을 검토하였다. 본 연구로부터 복층터널의 입지선정은 다양한 분석을 통한 복합적인 고려가 필요함을 알 수 있다.

주요어: 복층터널, 다목적 활용, 입지선정

1. 서론

도심지 구간의 고밀도 개발은 교통량의 급격한 증가를 유발하게 되고 교통량 증가에 따른 차량정체라는 사회적 손실이 수반되는 경우가 많다. 차량정체를 해소하기 위해서는 교통 용량에 맞는 도로의 건설이

*Corresponding author: Hoon-Ki Moon
E-mail: moonhk@dasan93.co.kr

Received March 29, 2016; Revised May 10, 2016;
Accepted May 13, 2016

필요하지만, 지상부의 도로 건설공간의 한계로 인해 지하도로의 건설이 가장 보편적인 대안으로 받아들여지고 있으며, 지하 공간의 효율적인 활용을 위해서 선진국의 대도시에서는 복층터널의 건설이 증가하는 추세이다.

도심지 개발과 기상여건 변화로 인한 홍수량 증가에 따라 대규모 치수시설이 요구되나 지상부는 대부분 개발되어 추가적인 수로의 건설이 현실적으로 불가능하다. 또한 도로 및 수로 기능의 터널을 별도로 건설시에는 경제적 측면에서 사업비가 많이 소요될 것으로 예측되며 동일구간내 여러개의 터널설치시 지하공간의 비효율적 이용과 상호 지장물이 될 우려가 있으므로 다목적 터널의 도입이 절실한 상태이다.

해외의 경우 프랑스의 A86, 중국의 Fuxing, 말레이시아의 SMART 등의 복층터널 시공사례가 있으나 국내에서는 적용사례가 전무하다. 기후와 교통상황을 고려한 터널인 만큼 계획하는 기능에 대하여 관련분야의 국내 현황에 맞는 복합적인 고려와 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 치수 기능이 포함된 다목적 복층터널은 해외에서도 그 사례가 희귀하므로 관련 연구의 결과는 국내 적용시 효과가 클 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 다목적 복층터널의 수로겸용 운영을 위한 선행연구로 복층터널의 공간을 활용하여 도심지 치수능력 증진과 도로터널의 기능을 동시에 고려한 입지선정 조건과 복층터널의 단면구역별 처리 가능한 유량에 대한 기초검토를 수행하고자 한다.

2. 다목적 복층터널의 입지선정시 주요고려사항

2.1 다목적 복층터널의 개념 및 용도별 구분

터널 내 구분된 공간을 활용하여 침수방지를 위한 저류시설과 하수도 분야의 초기강우 월류수(CSOs) 처리 및 차집관거 기능 등 두가지 이상의 기능을 복합적으로 이용하여 주기능인 도로기능 이외의 다목적

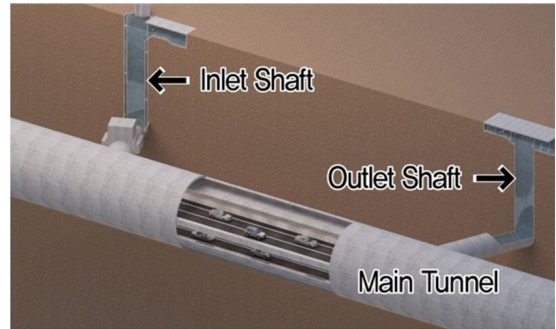


Fig. 1. The concept of multi-purpose double-deck tunnel

기능을 부여하고자 하는 것이 다목적 복층터널의 개념이다.

일반적으로 터널이란 ‘지반 중에 어떤 목적이나 용도에 따라 만들어 놓은 공간을 갖는 구조물’로 일반적인 교통기능을 위한 도로 및 철도터널과 침수 및 홍수방지를 위한 방수로 터널, 우수저류 및 수질오염 방지를 위한 하수도 터널 등이 있다.

방수로 터널은 최근 이상강우에 의한 침수 피해를 예방하기 위한 수로의 기능을 갖는 터널이다. 하수도 터널은 수질오염 방지를 위한 합류식 하수도 월류수의 처리, 차집관거 복선화 등 기존 합류식 하수관거 시스템의 기능향상과 이상 강우에 의한 침수방지를 위한 우수 유출저감 및 홍수방재 등의 용도로 볼 수 있다.

2.2 용도별 입지선정 기준 검토

터널설계기준(2007)에 따르면 터널의 입지선정은 주변의 지형 및 환경, 지반조건, 기존 구조물에 대한 영향, 부속설비 및 공사기지 등의 입지조건을 고려하여야 한다. 그러나, 일반적 교통목적의 터널과 달리 다목적 복층터널과 같은 다목적 시설물은 교통소통기능, 하수처리기능, 저류기능 등의 목적을 동시에 만족하여야 하므로 이전까지의 일반적인 터널과 달리 다양한 분석을 통해 복합공간의 입지선정 기준이 구축되어야 한다.

본 연구에서는 다목적 복층터널의 용도별 입지선정 기준의 선정을 위하여 교통 및 도로터널, 방수로터널, 하수도 터널의 입지선정 기준을 검토하였다.

교통 및 도로터널의 경우 간선도로 체계화, 지상도로 보완기능 확보 및 도심·부심 및 외곽지역간 접근성 향상을 기본 방향으로 교통체계 측면, 이용자 측면, 시공·기술적인 측면을 고려하여 최적의 입지를 선정하여야 한다. 대심도 지하도로 노선 선정시 고려할 사항은 다음과 같다.

- 지상 및 지하의 교통망을 체계적으로 정비할 필요성이 있는 지구
- 상당한 규모의 시가지 개발사업이 계획된 지구
- 도시고속도로 Network의 근본적인 정비가 필요한 곳
- 차량의 지속적 증가가 예상되어 특단의 시설공급 및 수요관리 대책이 필요한 곳
- 보행환경개선, 지상 교통량 저감 및 차로 수 조정이 불가피한 지역
- 대기환경 개선을 위해 지상교통량 감축을 위한 대책 강구가 필요한 지역
- 하천생태 훼손 및 친수공간 이용장애 지역
- 지역 생활권 단절 및 지역발전 저해 지역

홍수방지 기능의 방수로 터널 계획시에는 홍수의 안전한 유하를 도모하는 동시에 지하하천 주변의 환경, 현재 및 미래의 토지이용, 주변의 지하수위, 용수로·배수로 계통, 제방 내지의 내수대책, 지하하천 건설 후의 하도유지 등에 대해서 충분히 고려하여 다음의 조건을 만족하는 입지를 선정하여야 한다.

- 유량 집중에 의한 피해 특성으로 인해 우회수로가 필요한 경우
- 상대적으로 적은 국부 유량에도 광범위한 홍수피해가 발생하는 지역
- 잔여 피해가 거의 없는 고강도의 홍수 방어 대책이 필요한 경우
- 사회간접시설, 구조물, 구조물 내부, 경작지 등 보호해야 할 대상이 다양한 경우

- 적정 비용으로 분수로나 분수 터널을 설치할 수 있는 충분한 토지가 있는 경우
- 분수로 건설비용이 홍수 피해액보다 적은 경우 (분수로 건설에 의한 경제성이 높은 경우)

하수도 기능 터널의 설치 대상지역은 다음과 같은 기준에 따라 선정하되, 해당 지역의 지역적 여건에 따라 달리 할 수 있다.

- 방류수역의 물 이용 상태 등을 고려할 때 사업 효과가 높은 지역
- 시설 설치를 위한 부지확보가 용이한 지역
- 오염 부하 원단위가 높은 지역
- 사업비 대비 오염부하 삭감효과가 높은 지역
- 시공 및 유지 관리가 용이한 지역

하수도 터널의 개략적이 입지선정 절차는 Fig. 2와 같으며, 용도에 따른 입지선정 기준을 살펴본 결과 다기능터널 대상노선의 선정은 하수도분야에 필요한 CSOs저류를 위한 대심도터널, 침수방지를 위한 대심도터널, 차집관거 성능개선을 위한 대 심도터널

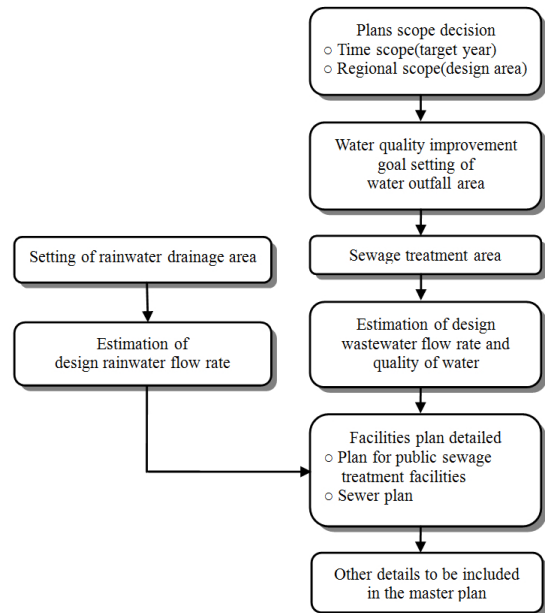


Fig. 2. Approximate location selection process of the sewer tunnel

계획 및 도로계획에 의한 대심도 지하도로 계획 등이 동일 구간내 2개 이상의 기능이 중복되는 경우에 다목적터널 대상노선으로 선정할 수 있을 것으로 판단되나, 국내 대심도사례, 체계적인 계획 기준 마련, 기술적 한계, 경제성 등의 각종 여건을 충분히 고려하여 단위 시설별 대상노선은 가능한 부지확보가 불가능하거나 부득이한 경우에 한하여 신중하게 선정하여야 할 것이다.

또한 대심도 다목적 복층터널의 계획에 있어서는 도시 관리계획 등 다른 법령에 의한 계획과의 연계성, 공사의 시행에 따른 위험요소의 예측, 공사의 시행이 환경에 미치는 영향과 시설물의 점검 및 보수 보강방안 등을 함께 제시하여 지하공간의 효율적인 활용을 도모해야 한다.

3. 대심도 복층터널의 단면계획

국내에 적용사례가 없는 다목적 복층터널의 적용성 검토를 위한 단면계획은 주기능인 도로교통시설 설치 기준을 만족하도록 계획하였다. 특히, 복층터널의 단면계획은 운전자의 주행 안전성을 고려한 시설한계 확보, 제반설비 계획 및 시공성, 안정성, 경제성을 반영하였다.

본 연구에 적용된 단면은 국내외의 사례 검토를

통하여 선정된 단면으로, 도로의 구조·시설에 관한 규칙 해설 및 지침(2009)과 도로설계편람(2010)의 소형차전용 지하도로 편 내용을 반영하여 그 기능에 부합하도록 계획하였다.

최근 들어, 도심지의 터널 시공은 교통체증을 유발하지 않고 대심도 터널 시공이 가능한 TBM공법을 사용하는 경우가 늘어나고 있다. 그러나 TBM공법에 의해 시공된 터널의 경우에는 원형단면을 가지고 있으므로 NATM공법에 의해 시공된 터널에 비해 단면 규모가 크고 공간 활용성이 떨어진다. 그러므로 상하부의 여유 공간을 환기 및 방재시설과 유지 관리 시설로 활용하는 방법이 다수 적용되고 있어 Fig. 3과 같은 터널 단면을 계획하였다.

또한, 국내외 사례 및 국내 설계기준 검토결과 연장 1.0 km 이상 터널의 우측 길어깨 폭 2.0 m 미만 적용시 750 m 간격으로 비상주차대 설치가 필요하므로 길어깨 2.0 m를 적용하여 주행시 안정성을 확보하여 비상주차대를 제외하였고 주행 안정성 확보 등을 위해 시설한계높이는 3.0 m를 적용하였다.

터널 환기방식은 도심지 지하도로의 분기터널 내 환기효율을 고려하여 횡류식 풍도를 적용하였으며, 제연시 풍도면적은 급기 4 m², 배기 4 m²(화재시 8 m²) 이상을 확보할 수 있도록 계획하였다.

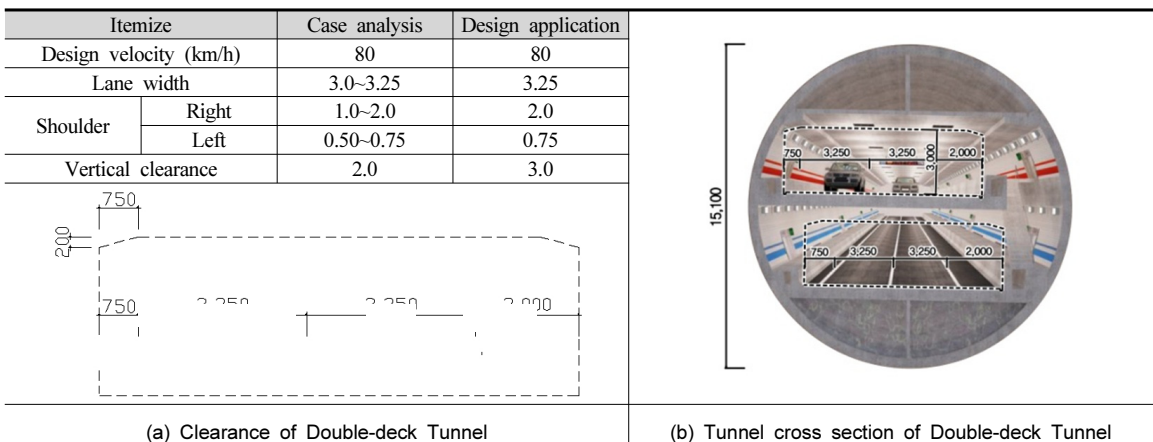


Fig. 3. Tunnel design criteria and tunnel cross section

4. 다목적 복층터널의 처리 유량 검토

대심도 복층터널의 다목적 활용을 위해 고려해야 할 가장 중요한 요소는 도시지역의 홍수방지 및 지층체 반복구간의 교통문제 해결이다. 이 중 교통문제 해결을 위하여 시공성, 안정성, 경제성을 반영한 소형차 전용도로의 복층터널 단면계획을 하였으며, 도시 치수능력 증진을 위해 복층터널의 단면구역별 처리 가능한 유량에 대해 검토하였다.

본 연구에서는 대심도 복층터널의 다목적 활용성 검토를 위해 홍수 배제를 위한 터널 규모 산정 과정에서 저류시설 용량 산정을 통해 계획단면에 대한 홍수시 처리가능 유량을 검토하여 그 규모의 적정성을 결정하고자 하였으며, 복층터널의 계획단면은 앞서 살펴본 바와 같이 TBM 원형단면으로, 홍수시 수로로 전환가능한 구간은 총 4개소로 Fig. 4와 같다.

- 1단계(A구간 수로 운영) : 20.6 m²(통수면적 17.5 m²)의 단면적을 수로로 사용

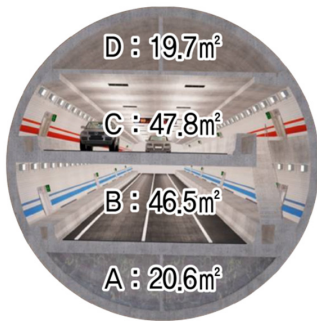


Fig. 4. Typical section of analysis model

- 2단계(A와 B구간 수로 운영) : 67.1 m²(통수면적 57 m²)의 단면적을 수로로 적용
- 3단계(A, B, C 구간 수로 운영) : 110.8 m²(통수면적 94.1 m²)의 단면적을 수로로 적용
- 4단계(A, B, C, D 전 구간 수로 운영) : 130.5 m²(통수면적 110.8 m²)의 터널단면 전 구간을 수로로 활용하는 경우

복층터널의 다목적활용 구간에 대하여 계획 단면으로 수로 전환 단계 및 종단경사 변화에 따라 홍수시 처리가능 유량을 검토하였으며, 주요 가정사항은 다음과 같다.

- (1) 복층터널의 통수단면은 수리상의 안정성을 확보하기 위하여 설계유량에 대응하는 설계수면상에 여유고를 더하여 $d/D = 0.85$ 로 정하였다(d : 설계유량에 대한 수심, D : 터널의 높이).
- (2) 복층터널 내의 최소유속은 유사가 가라앉지 않는 1.5 m/s를 기준으로 한다.
- (3) 복층터널의 종단경사는 최소 0.3%~최대 2.0%로 한다.

4.1 설계조건

일반적으로 터널 내의 흐름이 개수로의 흐름인 자유수면 터널 설계시 Manning의 조도계수(Table 1)를 사용하며, 관수로의 흐름인 압력터널에서는 Hazen-Williams의 마찰계수를 사용한다. 마찰에 의한 손실수두만을

Table 1. Manning's roughness coefficient of the pipe material.

Pipe material	n	Pipe material	n
Glass, Brass, Copper	0.009~0.013	Mortar	0.011~0.015
Smooth Cement	0.010~0.013	Tile	0.011~0.017
Wood-stave	0.010~0.013	Wrought iron	0.012~0.017
Smooth drain pipe	0.010~0.017	Brick	0.012~0.017
Case iron	0.011~0.015	Rivet steel pipe	0.014~0.017
Precast concrete	0.011~0.015	Lined steel pipe	0.020~0.024
Resin enamel coating pipe	0.009~0.010	Welded steel pipe	0.010~0.013

고려하여 흐름의 평균유속을 나타내는 실험식 혹은 경험식을 평균유속공식이라 하고, 평균유속은 관벽의 조도 혹은 마찰손실계수가 포함된 유속계수와 경심 (R) 및 동수경사 (I)로 이루어진다.

본 연구에서는 터널내의 흐름이 개수로의 흐름인 자유수면 터널을 전제로 하여 검토하였으며, 관수로 흐름인 압력터널의 경우 허용유속보다는 수격작용에 대한 상세검토가 이루어져야 할 것으로 판단되어, 본 연구 검토에서 제외하였다.

4.2 평균유속공식

평균유속 공식의 일반형은 Darcy-Weisbach의 마찰손실수두 공식으로부터 유도된다. 마찰로 인한 손실수두는 속도수두와 관의 길이(l)에 비례하고 관경 (d)에 반비례하며 다음과 같이 표시된다.

$$\text{원형단면의 경우 : } h_t = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

$$\text{원형단면이 아닌 경우 : } h_t = f \frac{L}{4d} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

여기서, h_t : 마찰손실수두(m)

L : 터널의 길이(m)

D : 터널의 직경(m)

V : 평균유속(m/sec)

g : 중력가속도

f : 마찰손실계수

R : 동수반경

Darcy-Weisbach의 마찰손실수두 공식에서 알 수 있듯이 마찰손실수두는 직경에 반비례하며 관의 길이와 속도수두 및 마찰손실계수에 비례한다. 실제 문제에서는 마찰손실 수두를 구하기 위해서는 마찰손실계수의 결정이 가장 중요하며 흐름의 특성이나 혹은 관벽의 조도에 따라 선택적으로 결정하여야 한다.

Darcy-Weisbach의 마찰손실수두 공식을 V 에 대하여 정리하고 $\frac{h_t}{l}$ 을 I 로 놓으면

$$V = \sqrt{\frac{2g}{f}} DI \quad (3)$$

경심 $R = \frac{D}{4}$ 로 표현 가능하므로

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} DI \quad (4)$$

이 식을 일반형으로 바꾸어 쓰면 다음과 같다.

$$V = C' R^m I^n \quad (5)$$

위 식에서 계수 C' , 지수 m, n 값에 따라 많은 경험공식들이 제안되었다. 대표적인 식으로는 Chezy와 Manning의 평균유속공식이 있다.

(1) Chezy의 평균유속공식

$$V = C' \sqrt{RI} \quad (6)$$

여기서, $C' = C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$

(2) Manning의 평균유속공식

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

여기서, n : Manning의 조도계수

I : 에너지선의 경사

조도계수 n 의 차원은 $L^{-1/3} T$ 이며, 마찰손실계수 f 와의 관계는 다음과 같다.

Table 2. Hydraulic Characteristics of the planning section

Sort	Area (m ²)	Wetted perimeter (m)	Hydraulic mean radius (m)	Coefficient of frictional loss	Note
Stage 1	17.501	26.613	0.658	2.761	Precast concrete roughness coefficient = 0.015 Gravitational acceleration = 9.8 m/sec ²
Stage 2	57.023	60.082	0.949	3.526	
Stage 3	94.135	93.159	1.010	3.677	
Stage 4	110.81	119.964	0.924	3.463	

$$f = \frac{8 \times g \times n^2}{R^{1/3}} = \frac{124.5 \times n^2}{d^{1/3}} \quad (8)$$

마찰손실계수 f 는 관의 조도와 직경, 유속, 유체의 점성 및 밀도 등에 관계가 있으며, 계획 단면에 대한 수리검토 특성은 Table 2와 같다.

4.3 종단경사에 따른 복층터널의 단면구역별 처리가능 유량검토

유량검토는 터널내의 흐름이 개수로의 흐름인 자유

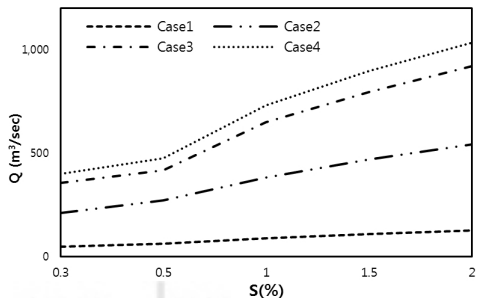
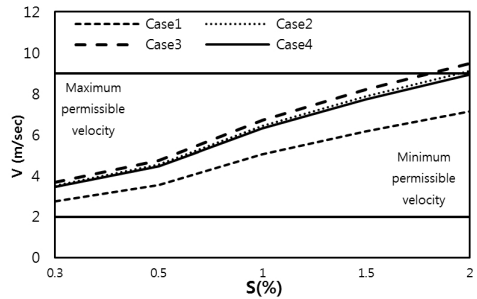
수면 터널 설계 조건으로 검토하였으며, 발생홍수량 처리를 위한 터널 내 최대 유속과 종단경사에 대해 분석하였다.

Darcy-Weisbach 평균유속 관계식을 적용하여 홍수시 단면 내 최대유속을 검토한 결과, 종단경사 2.0% 이상의 경우 수력발전 전용 댐의 발전수로 허용유속 범위인 6.0~9.0 m/s를 초과하여 적용이 곤란한 것으로 검토되었다.

다목적 복층터널의 단면 구역별 홍수 처리가능 유량은 48.3~1033.5 m³/sec으로, 종단경사 변화에 따라

Table 3. Discharge flow rate of multi-layer tunnel

Slant	Stage	Velocity of flow (m/sec)	Discharge (m ³ /sec/m)	Note
S = 0.3%	1	2.761	48.327	
	2	3.526	209.554	
	3	3.677	355.876	
	4	3.463	400.263	
S = 0.5%	1	3.565	62.389	
	2	4.553	270.533	
	3	4.747	416.855	
S = 1.0%	1	5.041	88.232	
	2	6.438	382.592	
	3	6.713	649.738	
S = 1.5%	1	6.174	108.062	
	2	7.885	468.577	
	3	8.222	795.763	
	4	7.744	895.016	
S = 2.0%	1	7.130	124.779	
	2	9.105	541.066	
	3	9.494	918.868	
	4	8.942	1033.476	



처리유량도 증가하는 경향을 보였다. 그러나, 전환 1단계의 하부 풍도만을 홍수량 배제 목적으로 사용할 경우에는 종단경사 변화에 따른 처리유량 증가가 미미하여 활용이 곤란할 것으로 판단된다.

전환 3단계와 4단계를 비교한 결과 터널 내 처리 가능유량이 비슷한 것으로 나타남에 따라 수로 사용 후 도로 복구 등의 유지관리와 비용측면을 고려할 때 4단계의 전단면 수로 사용보다 3단계의 수로 사용이 경제적인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 도심지 치수능력 증진과 도로터널의 기능을 동시에 고려하기 위한 입지선정 조건과 복층 터널의 단면구역별 처리가능한 유량에 대해 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 다목적 복층터널의 입지선정 기준은 국내 적용사례가 없으므로 단일터널의 용도별 기준을 참고하여 다양한 분석을 통해 지하공간의 효율적 활용이 가능하도록 복합적인 고려가 필요하다.
2. 터널은 도심지의 도심도 터널시공을 위해 TBM공법으로 시공된 원형단면의 2층 복층구조 활용을 전제로 수로터널 전환 단계를 4단계로 검토한 결과, 종단경사 2% 미만에서는 터널 벽면의 마모를 방지할 수 있는 허용유속을 만족하는 것으로 분석되었다.
3. 복층터널의 상부구간을 비상시 홍수배제에 활용하는 경우 처리가능 용량은 종단경사 변화에 따라 차이가 거의 없어 전단면 사용은 자제하도록 제안하였다. 하부구간을 홍수배제에 활용하는 경우에는 하부차도를 사용할 수 없으므로 홍수배제기능과 도로기능을 동시에 사용하는 것은 불가능하지만, 상부도로기능은 여전히 활용이 가능하므로 동시에 다기능의 목적을 달성할 수 있을 것으로 판단

된다. 이는 도로터널의 수로 전환사용 시 전기 설비의 방수 적용, 사용 후 도로 복구를 위한 청소 등 부가적인 비용이 발생함에 따라 수로 전환을 적용할 구간은 유지관리와 비용측면을 고려한 추가 검토가 필요하기 때문이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업 2014년의 ‘대심도 복층터널 설계 및 시공 기술개발(14SCIP-B088624-01)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2009), “River design standard explanation”, p. 545.
2. Yoon, Y.N. (2014), “Hydraulics”, p. 201.
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2009), “Tunnel design standard explanation”.
4. Kwon, S.H, Kim, J.H, Chung, G.H. (2015), “Proposal of design criteria on multi-functional tunnel for the urban traffic tunnel to flooding bypass”, Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 16, No. 5, pp. 3518-3524.
5. Seoul Metropolitan Government. (2010), “Multi-functional tunnel basic design and feasibility study reports”.
6. Korean Tunnelling and Underground Space Association. (2007), “Tunnel design standard”, p. 15.
7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2009), “Rules about the Road Structure & Facilities Standards”.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2010), “Highway design manual”, pp. 623-1~56.