

도심지 홍수저감과 교통량 분담을 위한 다기능 대심도 터널 설계 기준 방안 제시

권순호¹, 김정환, 정건희*
¹호서대학교 토목공학과

Proposal of Design Criteria on Multi-functional Tunnel for the Urban Traffic Tunnel to Flooding Bypass

Soonho Kwon¹, Junghwan Kim¹, Gunhui Chung^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Hoseo University

요약 우리나라의 강수 특성은 지역 및 계절에 따라 편차가 매우 심하여, 연 강수량의 절반 이상이 여름철에 집중되어 내리고 지역적인 차이도 크게 나타나고 있다. 또한 기후변화 등으로 인해 게릴라성 호우 등과 같이 강우강도가 큰 호우가 빈번히 발생하고 있어 불투수지역이 넓은 도심지의 홍수방어가 매우 어려운 실정이다. 그러므로 홍수저감을 위해 우수관의 설계빈도 상향조정이나 빗물펌프장이나 유수지 건설 등과 같은 구조적인 대책이 다수 수행되고 있으며, 극한 홍수가 빈번히 발생하는 지역에서는 침투홍수량을 하류로 배제하거나 저류하기 위한 방수로나 저류조 건설이 고려되고 있다. 그러나 1년에 1~2회 정도 사용하는 방수로나 저류조 건설에 막대한 예산을 투자하는 것에 대한 국민적인 반발도 존재한다. 그러므로 도심지의 또 다른 문제인 교통량 분담을 위한 대심도 도로터널을 동시에 건설하여 교통문제와 자연재해를 동시에 해결할 수 있는 다기능 대심도 터널에 대한 관심이 급증하고 있다. 본 연구에서는 도로터널과 수로터널의 설계기준을 살펴보고 국내에 적용이 가능한 형태의 다기능 복층터널 형태를 제안하였으며 고려해야 할 설계기준을 제안하였다. 이를 통해 향후 다수 건설될 다기능 대심도 복층터널의 설계기준 방안을 제시하고 있다.

Abstract Spatial and time variation of the precipitation in Korea is high, therefore, more than 2/3 of the annual precipitation is concentrated during the rainy season. Climate change also causes the intensive rainfall in the area of dense population, thus the occurrence frequency of the heavy flood in the impervious area has been increased. Therefore, the structural food mitigation measures such as the construction of the higher design frequency stormwater pipes, pumping stations, and/or detention ponds. The flood bypass tunnel or retention storage is also one of the efficient structures to mitigate flood damage in the urban area. However, the economic feasibility has been controversial because the flood bypass tunnel might be used once or twice a year. To solve the problem, the multi-functional tunnel for the urban traffic and flooding bypass has been considered. In this study, the design criteria of the road and water tunnel has been analysed and the composite design criteria is proposed for the multi-functional tunnel which is expected to be constructed.

Key Words : flooding bypass design criteria, flood damage mitigation, multi-functional tunnel, road tunnel design criteria, traffic share

1. 서론

우리나라의 기후적 특성은 지역 및 계절에 따라 그 편

차가 매우 심하며, 전체 강우량의 약 2/3이 여름철에 집중되고 또한 지역적인 편차가 심하여 많은 피해를 유발하고 있는 실정이다. 그래서 최근에는 우리나라 뿐 만 아

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

*Corresponding Author : Gunhui Chung(Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5794 email: gunhuic@gmail.com

Received April 28, 2015

Revised May 6, 2015

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

나라 전 세계적인 지구온난화와 기후변화에 기인하여 가뭄과 홍수 등 재난 상황 발생으로 인한 돌발 재난 상황에 대한 대응에 대한 관심이 매우 높은 상황이다. 또한 급격한 도시화로 인해 자연재난 뿐 만 아니라 교통문제나 지가상승 등과 같은 인구과밀로 인한 다양한 문제들이 발생하고 있다. 예를 들어, 도시 불투수 지역의 우수 배제를 위해 설치한 우수관의 용량 부족 등으로 인해 2010년과 2011년 서울 광화문과 강남역이 집중호우에 침수되는 등의 자연재난이 발생하였으며, 중랑천이나 도림천 유역은 상습침수지역으로 다양한 방법의 구조적인 홍수저감 대책이 수립되어 시공되었거나 시공계획을 가지고 있다. 그러므로 도시의 인구집중 및 도시화로 인해 발생하는 문제와 자연재해를 동시에 해결할 수 있는 공학적인 방법들에 대해 많은 연구와 시도가 있었다. 이 중 세계적으로 유명한 사례가 말레이시아의 SMART 터널로 쿠알라룸푸르의 도시홍수 저감과 교통체증 해소를 동시에 해결하기 위한 복층터널이다. 이는 세계적으로 인구밀도가 높은 서울시에 적용하기에 매우 합리적으로 보이므로 국내에 적용 가능한 기술개발의 필요성이 꾸준히 제기되어왔다.

서울시는 이미 상당히 도시화가 진행되어 지하매설물이 포화상태에 이른 상황이므로, 말레이시아의 SMART 터널에 비해 대심도 시공이 불가피하다. 그러므로 본 연구에서는 홍수 저감과 교통기능을 동시에 가지는 다기능의 대심도 복층터널설계와 시공을 위해 국내에서 고려되어야 하는 설계기준을 조사하고 조합기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 말레이시아 SMART 프로젝트

말레이시아의 수도 쿠알라룸푸르는 급격한 도시화로 인해 Klang강의 범람이 빈번하여 잦은 홍수 피해를 겪고 있었다. [1]에 따르면 1968년에서 2004년 사이에 말레이시아는 2004년에 발생한 쓰나미를 포함하여 39개의 재난을 겪었으며, 그 중 49%의 재난은 폭우와 홍수, 산사태 등의 자연 재난이었다고 한다. 이에 쿠알라룸푸르의 홍수피해를 줄이기 위해 홍수 저류조와 도로기능을 갖추고 있는 복층터널을 2007년에 완공하여 운영하고 있다. SMART터널은 TBM공법으로 시공된 약 11.83m 직경의 홍수배제를 위한 복층터널로 총 연장 9.7km 중 약 3km 구간이 도로와 겸용으로 설계되어 있다.

SMART터널의 총 저류용량은 300만 m^3 이며, 도로와 저류조 겸용 구간의 단면도는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1(b)와 같이 저류시스템의 총 저류용량 300만 m^3 중 유입부인 Sg Klang 하천의 유입수조의 용량이 60만 m^3 , 유출부인 Sg Kerayong 하천의 저류조의 용량이 140만 m^3 으로 총 저류용량의 2/3를 차지하고 있으며, 두 하천을 연결하는 저류조 구간 중 도로와 겸용으로 사용하는 구간을 제외한 구간의 저류용량이 75만 m^3 , 도로와 겸용으로 사용하는 구간의 저류용량이 25만 m^3 이다. SMART 시스템은 홍수의 배제를 위하여 고속도로와 함께 사용하는 구간을 다음과 같이 총 3단계의 중요한 운영모드에 의하여 관리하고 있다.

- Mode I(No Storm) : 비가 내리지 않는 평상시로 저류조는 비워두고 도로만을 사용하는 경우
- Mode II(Moderate Storms) : Sg Klang 하천의 수위가 높아지면 홍수량 배제를 위해 저류조로 흐름을 우회시키는 운영을 하지만, 도로와 겸용 구간에서는 가장 하부의 상시 우수저류가 가능한 구간만을 홍수배제에 사용하게 되며, 이때의 저류용량이 275만 m^3 으로 총 용량의 92%임
- Model III(Major Storms) : 극한 홍수가 발생할 경우 도로와 저류조 겸용구간까지 모두 저류를 시도하여 300만 m^3 의 저장용량을 모두 활용하는 경우

말레이시아의 SMART 터널은 2007년에 완공되어 Mode III가 수행된 것은 단 1회 뿐인 것으로 알려져 있으며, 전체 저류용량의 8%만을 담당하고 있는 도로겸용 구간을 활용하여 발생하는 유지관리비용이 홍수량 저감에 의한 경제적인 효과보다 클 수도 있을 것으로 판단된다.

3. 수로터널설계 시 고려해야 할 설계기준

도로터널과 수로터널의 기능을 동시에 가지는 구조물을 설계하기 위한 설계기준은 현재 국내에 제시되어 있지 않다. 그러므로 국토해양부에서 2012년에 개정한 ‘도로설계기준’, Ministry of Land Transport and Maritime Affairs (2007)의 ‘터널설계기준’과 역시 국토해양부에서 2009년에 발행한 ‘하천설계기준’을 동시에 고려하여 두 가지의 목적을 가지는 터널의 조합설계기준을 제시해야 한다.

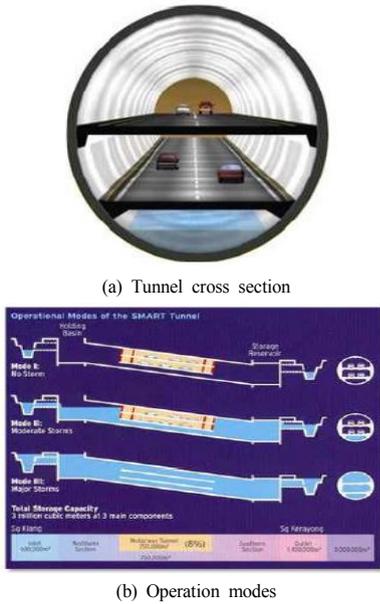


Fig. 1. Cross section and operation modes of Malaysia SMART tunnel

3.1 터널 단면 계획

국내외의 다목적 복층터널 사례들을 살펴본 결과, 다음과 같이 복층터널 전체 단면을 우수저류로 사용하는 말레이시아의 SMART터널과 같은 사례가 있었으며, Fig. 2와 같이 복층터널의 상부는 도로로 하부는 수로 및 저류조로 활용하여 기능이 영구적으로 분리되도록 설계하는 방법이 존재하였다.

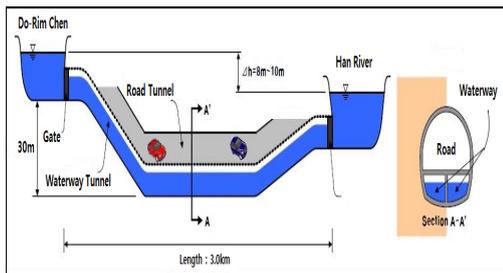


Fig. 2. Multipurpose water conveyance tunnel in Do-Rim Cheon and Han river (Proposal)

이 중 말레이시아 SMART터널과 같이 전 단면을 우수저류 혹은 방수로로 활용하는 경우에는 기능전환에 많은 비용과 시간이 소요되므로 교통정체가 극심한 국내 상황에 잘 맞지 않는다고 판단되었다. 또한 국내의 도시 유역은 배수분구가 10km²이하로 작게 구분되어 있기 때

문에 침투 유출량 배제를 위해 대구경 단면 전체를 모두 사용하지 않아도 되는 것으로 판단되어 복층터널의 하부만을 우수배제에 활용하는 것이 보다 바람직하다고 판단되었다.

그러나 복층터널의 하부만을 우수배제에 활용한다고 하더라도 Fig. 2와 같이 단순하게 단면을 분할하여 사용할 수 있는 것은 아니다. 터널을 시공하는 방법에 따라 NATM공법을 사용하는 경우와 TBM공법을 사용하는 경우에 따라 단면 활용 계획도 달라질 수 있을 것이다. 최근 들어, 도심지의 터널 시공은 교통체증을 유발하지 않고 대심도 터널 시공이 가능한 TBM공법을 적용하는 경우가 늘어나고 있다. 그러나 TBM공법에 의해 시공된 터널의 경우에는 원형단면을 가지고 있으므로 NATM공법에 의해 시공된 터널에 비해 단면규모가 크고 공간 활용성이 떨어진다[2]. 그러므로 상·하부의 여유 공간을 환기 및 방제시설과 유지 관리 시설로 활용하는 방법이 다수 적용되고 있다.

[2]는 Figs. 3과 Figs. 4에서 볼 수 있는 것과 같이 TBM도로터널의 단면특성과 하부 공간 활용에 대해 다양한 사례조사를 통해 상부 여유 공간은 주로 환기 목적으로, 하부 여유 공간은 환기와 공동구 설치 등의 목적으로 활용 될 수 있음을 보였다.

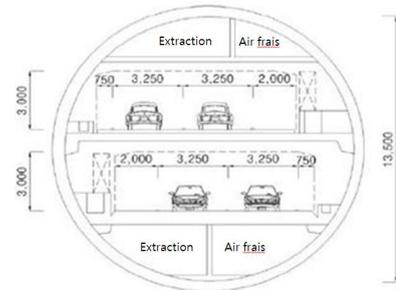


Fig. 3. U-Smartway tunnel cross section in Seoul [2]

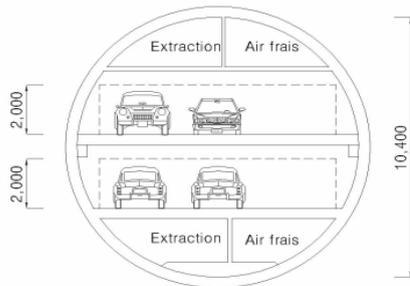


Fig. 4. A86 East tunnel cross tunnel in France, Paris [2]

그러나 Fig. 5와 같이 말레이시아의 SMART터널은 연장 약 3km의 2차로 소형차전용 터널로서 2차로 도로의 차로 폭은 6.5m이며, 시설한계 폭은 8.85m, 높이는 2.55m이고, 터널의 내경은 11.83m이다. 앞에서 소개한 바와 같이 침투홍수량이 클 경우에는 단면 전체를 방수로로 사용하므로, 터널내부에 물이 차더라도 환기시스템을 보호하기 위하여 환기팬은 터널외부에 설치되어있다.

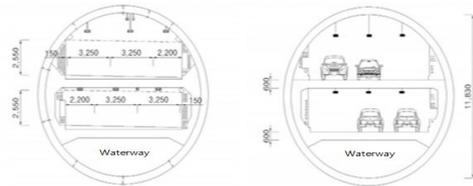


Fig. 5. SMART Tunnel cross section in Malaysia [2]

국내에는 말레이시아 SMART터널과 같이 외부에 환기팬을 설치하는 것은 경제적이지 않으며, 대심도 시공시 어려움을 유발할 수 있으므로 이와 같은 시공은 바람직하지 않아 보인다.

그러므로 Fig. 4과 Fig. 5에 보이는 것과 같이 하부의 풍도를 홍수시 저류조나 방수로로 활용하는 것이 보다 경제적으로 바람직한 설계로 보인다. 홍수량 배제를 위해 풍도를 저류조나 방수로로 사용한다면 하부의 도로는 환기가 불가능하여 사용이 어려우므로 도로와 홍수배제의 기능을 동시에 수행하는 것은 어렵다. 그러므로 교통량 분석을 통해 상·하부의 교통 방향을 신중히 선택하여야 할 것이다.

터널의 풍도 등 하부만을 방수로나 저류조로 사용하는 경우에는 방수로로 설계하느냐 저류조로 설계하느냐에 따라 그 특성이 달라질 수 있다. Table 1과 같이 저류용량이 크지 않기 때문에 유입부와 유출부 저류조를 크게 건설하여 그 용량을 보충해주는 시설이 필수적으로 건설되어야 할 것이다.

Table 1. The good and bad according to the flooding mitigation methods.

	Flooding bypass	Detention pond
Good	Continuous flow occurs in the bypass tunnel. Maximum flood diversion capacity is depended on the operation time.	Internal lining and shield does not have to consider the velocity of flow, thus construction cost is low.
Bad	Construction and maintenance cost high.	Larger flood than the target capacity cannot be handled.

3.2 홍수 배제를 위한 방법

앞에서 여러 사례들을 살펴본 결과, TBM터널의 하부 풍도를 홍수량 배제 목적으로 사용하는 것을 제안하였다. 이에 홍수량 배제를 위해 풍도를 방수로로 사용하여 홍수시 유수가 흐르도록 할 것인가, 홍수 시 침투 유출량을 저류하였다가 홍수가 끝난 후 방류하는 저류조로 사용할 것인가에 따라 Table 2와 같이 설계기준이 달라져야 할 것이다.

홍수량을 배제하기 위해 터널을 방수로로 활용할 것인가 저류조로만 활용할 것인가에 따라 설계기준 및 시공방법이 달라져야 한다. 그러나 홍수량 저감 측면에서도 큰 차이가 존재하는 것은 당연하다. 그러므로 터널을 시공하려고 하는 지역의 목표 유출 저감량을 고려하여 보다 합리적으로 홍수량 배제 방법을 결정해야 할 것이다.

Table 2. Tunnel design criteria for flooding mitigation methods.

Criteria	Flood Bypass	Detention Storage
Velocity	maximum and minimum velocity according to the flooding bypass tunnel	-
Discharge	flow cross section should be greater than 130% of design discharge	storage greater than target volume of flooding mitigation
Concrete lining	lining and its surface shall be designed to withstand the permissible velocities	lining and its surface shall be design to be waterproofing or undamaged
Internal pressure	internal pressure should be less than the minimum standard	-
Cavitation	check the tunnel section if negative pressure is developed	-
Operation and Maintenance	monitoring the tunnel lining crack, surface damage, roof falling, etc.	monitoring the tunnel lining crack, surface damage, roof falling, etc.
horizontal and vertical alignment	horizontal curves should consider the traffic and flow velocity according to the design code of road and water conveyance tunnels	horizontal curves according to the design code of road tunnel
Horizontal profile	Inverted siphon is used for water conveyance	rode tunnel design code is used

3.3 터널의 선형

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2012)의 “도로설계기준 제8장 터널공”에 따르면, “터널의 평면선형은 사용목적 및 경제성, 시공성에 있어서 가능하면 직선으로 계획하는 것이 좋으나, 부득이한 경우 곡선으로 계획하게 될 경우에는 운행의 안전

성을 고려하고, 터널 내의 정지시거를 감안하여 곡선반경을 크게 해야 한다.”고 명시되어 있다. 또한, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2009)의 “하천 설계기준 제33장 수로터널”에 따르면, 수리학적으로 선형으로 계획하는 것이 가장 최적이나, 부득이하게 곡선부로 설계하게 될 때에는 자연하천의 경우 곡률반경/하폭 = 2~3이 적당하다고 명시하고 있으며, 수로터널의 경우에는 터널 직경의 10배 이상으로 하는 것이 일반적이라고 알려져 있다.

3.4 터널의 종단경사

도로터널을 설계할 때에는 터널의 종단경사에 대한 절대적인 지침은 없으며 다만 자전거도로의 종단경사에 등에 따라 오르막구간의 제한길이를 명시하고 있으나, 수로터널은 수로 내 유속이 허용유속범위가 되도록 설계해야 하므로, 최대허용유속과 최소허용유속 사이에 설계 유속이 존재하도록 종단경사를 설계해야 한다. 또한 역사이편 공식 등으로 홍수배제용량을 결정하므로, 원활한 흐름이 발생하도록 종단경사를 결정해야 한다.

방수로 건설에 자주 적용되는 역사이편 공식은 관수로 내 마찰손실, 곡관손실, 유입 및 유출손실을 고려하여 다음과 같이 적용한다.

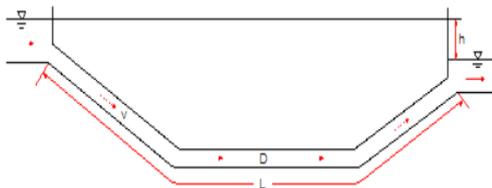


Fig. 6. Example of inverted siphon design [3]

$$h = (f_e + \sum f_b + f \frac{l}{d} + f_0) \frac{v^2}{2g}$$

여기서, h 는 상하류 하천의 수두차

f_e, f_0 는 유입과 유출손실계수

$\sum f_b$ 는 만곡손실계수의 총합

f 는 방수로의 마찰손실계수

l, d, v 는 방수로의 길이, 직경, 유속

그러므로 방수로를 설계 할 경우에는 원활한 유수의 흐름이 가능하여 설계 유량을 소통시킬 수 있도록 설계

해야 한다. 자유수면 터널의 설계유량은 터널 용도상의 분류에 따라 원칙적으로 계획하되, 배분되는 계획유량의 130% 이상을 통수시킬 수 있는 규모로 한다. 수로터널은 다른 개수로와 비교하여 통수능력 증대가 필요한 경우 대처가 곤란한 점, 유화물에 의한 폐색의 위험성이 높은 등 불리한 점이 있으므로, 계획상 설정되는 유량에 대해 터널 단면의 계획에 이용하는 설계유량을 할증 할 필요가 있다. 여기서 할증율은 터널형식이나 터널단면에 영향을 주는 토사, 쓰레기 등 소통장애 등의 원인에 대해 개별적으로 다르지만, 일반적으로 자유 수면터널인 경우 계획유량의 130% 이상으로 한다. 압력터널 내의 유량은 단면적보다는 동수경사에 크게 규정되는 것이므로 설계 유량은 계획유량과 동일하다고 하는 경우가 대부분이다.

3.5 허용유속, 수격작용

지하저류조로 기능을 한 경우 유수의 흐름을 예상하지 않으므로, 우수 유입수와 구조물간의 상호작용만을 고려하고 허용유속이나 수격작용에 대한 고려를 세밀하게 하지 않아도 되지만, 방수로로 설계하는 경우에는 우수와 구조물간의 상호작용 뿐 만 아니라 허용 유속이나 공동현상 발생여부, 수격작용 등에 대해서도 자세히 검토해야 한다.

Table 3. Permissible velocity

Pipes	velocity (m/sec)	Purpose
mortar concrete	3.0	water distribution tunnel
mortar lining shield coating	5.0	
steel pipe, cast-iron pipe	6.0	
no lining	1.0~1.5	pressure tunnel in hydropower dam
concrete lining (power plant pipe)	6~9	
concrete lining (water diversion tunnel)	18~21	

수로터널에서의 허용유속 최대한도는 터널 벽면의 마모를 방지 할 수 있는 범위에서 결정되어야 한다. 터널 벽체의 재질에 따라 다르게 적용하고, 허용유속의 최소한도는 유사가 가라앉지 않는 유속으로 해야 한다. 최소 허용유속은 일반적으로 실트나 부유토사가 작은 경우 0.6m/sec의 평균유속이 있으면 부유토사의 퇴적을 일으키지 않는다. 최대허용유속은 내면의 재질에 의해서 다르므로 Table 3과 같은 제한치를 두고 있다.

사용빈도가 높지 않은 방류 수로터널 내 유속이 12~15m/sec 의한 피해가 발생 될 수 있으며 20m/sec 까

지는 수로의 표면을 원활하게 하거나 내구성 재질을 사용하여 표면손상을 방지하는 것이 가능하다. 그러나 그 이상 유속일 경우는 공동현상에 대한 대책수립을 해야 한다.

도수터널과 같은 압력터널에서는 수격작용으로 인한 수격압은 내압으로 작용함에 따라 설계 시 수격압을 검토해야 하지만, 방수로는 개수로터널로 설계하는 경우가 대부분이므로 이 경우에는 특별한 고려를 하지 않아도 된다.

3.6 터널의 환기 및 방재

도로부와 수로부를 구분하여 설계 할 경우에는 도로 설계기준의 환기와 방재기준이 중점고려사항이 된다. 터널의 환기는 공사용 환기와 운영 중 유지관리 환기로 구분하여 계획한다. 공사용 환기설비는 굴착방법에 따라 먼지와 매연, 굴착장비의 배기가스 등을 터널외부로 배출시켜 터널 내에서 쾌적한 시공을 할 수 있는 환경을 제공할 수 있도록 계획해야 한다. 또한 굴착공정에 따라 환기계획을 변경할 수 있도록 계획한다. 운영 중 유지관리 환기설비는 터널 통과차량의 배기가스를 터널 밖으로 배출시켜 터널 내 오염물질의 농도가 허용수준 이하로 유지될 수 있도록 터널연장과 교통량에 적합한 형식으로 계획하여 충분한 기능이 발휘될 수 있어야 한다.

방재계획은 500m 이상 터널의 피난 연락 갭은 250m 마다 설치하고 화재 시 신속한 대피를 할 수 있도록 해야 한다.

3.7 기타시설

수로부를 방수로로 이용하는 경우라고 하더라도 홍수 배제 후 터널 내에 남은 우수가 자연배제 되지 않는 경우 강제 배수가 필요하며, 저류조의 경우에는 필수적으로 유출부 펌프장이 필요하다. 특히 저류조로 설계할 경우에는 전구간의 만재용량을 배제용량으로 계산하여 펌프용량을 결정한다.

4. 결론

본 연구에서는 국내에 도로교통 체증 해소와 홍수 배제의 목적을 동시에 달성하기 위한 복층터널 설계를 위한 기준을 제시하기 위해 도로터널과 수로터널의 설계기준을 살펴보았으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 터널은 도심지의 대심도 터널시공을 위해 TBM공법으로 시공을 제안하며, 시공된 원형단면의 2층 복층구조 활용이 적절한 것으로 분석되었다. 상부와 하부는 각각 편도 도로터널로 활용하고 상부의 윗부분과 하부의 아랫부분이 각 도로터널의 풍도로 활용하는 도로터널의 하부 풍도를 비상시에 홍수배제에 활용하도록 제안하였다. 하부 풍도를 홍수배제에 활용하는 경우에는 하부차도를 사용할 수 없으므로 홍수배제기능과 도로기능을 동시에 사용하는 것은 불가능하지만, 상부도로기능은 여전히 활용이 가능하므로 동시에 다기능의 목적을 달성할 수 있을 것으로 판단된다.
2. 홍수배제를 위한 방법으로 제안된 풍도를 방수로로 사용하는 방법과 저류조로 활용하는 방법을 모두 고려하여 설계기준을 제안하였다. 방수로로 활용할 경우에는 유수의 개수로 터널 흐름이 예상되므로 이에 대해 허용유속이나 유량 등에 대한 고려를 추가적으로 해야 됨 을 제안하였다.
3. 터널의 선형과 종단경사는 도로설계기준보다는 하천설계기준에 준하여 설계하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.
4. 터널의 환기 및 방재시설은 도로설계기준에 준하여 설계하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.

References

- [1] Foong, S.L., Shiozaki, Y. &Horita, Y. "Evaluation of the Reconstruction Plans for Tsunami Disaster victims in Malaysia", *Journal of Asia Architecture and Building Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. 293~300, November, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3130/jaabe.5.293>
- [2] Kim, Hyun-Soo and Kim, Hong-Moon, " A study on cross sectional characteristics and available area for using the lower space in TBM road tunnels", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 14, No. 2, pp. 141-157, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9711/KTAJ.2012.14.2.141>
- [3] Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, *Feasibility Study Report for the Joongrang Choen SMART Construction*, 2007.
- [4] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Rivers design standards*, 2009.

[5] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Road design standards, 2012

권 순 호(Soonho Kwon)

[준회원]



- 2009년 2월 : 천안쌍용고등학교 졸업
- 2015년 2월 : 호서대학교 토목공학과 졸업
- 2015년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 석사과정

<관심분야>
수문학

김 정 환(Junghwan Kim)

[준회원]



- 2009년 2월 : 군포 용호고등학교 졸업
- 2015년 2월 : 호서대학교 토목공학과 졸업
- 2015년 2월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 석사과정

<관심분야>
수문학

정 건 희(Gunhui Chung)

[정회원]



- 1998년 2월 : 고려대학교 환경공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2007년 5월 : University of Arizona, Dept. of Civil Engineering and Engineering Mechanics (Ph.D.)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 토목공학과 조교수

<관심분야>
도시수문학, 도시홍수방어, 기후변화