

다목적 터널의 기능별 유지관리 방법에 대한 고찰

문훈기^{1*} · 송인철² · 김재원³ · 이혜윤⁴

¹정회원, (주)다산컨설턴트 지반터널부 상무이사

²비회원, (주)다산컨설턴트 지반터널부 부장

³정회원, (주)다산컨설턴트 지반터널부 대리

⁴비회원, (주)다산컨설턴트 지반터널부 사원

A study on the maintenance methods of the multi-purpose double-deck tunnel

Hoon-Ki Moon^{1*} · In-Cheol Song² · Jae-Won Kim³ · Hye-Yoon Lee⁴

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

²Geotechnical Engineering & Tunnel Dept., DASAN Consultants, General Engineer

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

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

*Corresponding Author : Hoon-Ki Moon, moonhk@dasan93.co.kr

Abstract

Recently, the development of multi-purpose tunnel that has functions of roads and waterways has been attention for efficient utilization of underground space. However, there is no study on the multi-functional tunnels behavior for the convert of iterative function and change of water pressure. In this study, the vulnerable section was analyzed due to repeated functional change. A basic review was implemented for the operation of the multi-purpose double-deck tunnel. Also, the vulnerable section for convert of iterative function of multi-functional tunnel has been analyzed by simulation. Management of multi-functional tunnel should considered in various analyzed and some problems. The criteria for management of multi-functional tunnels is proposed.

Keywords: Double-deck tunnel, Maintenance and management

초 록

최근 지하공간의 효율적 활용을 위해 도로 및수로 기능을 동시에 충족하는 다목적 터널의 개발에 대한 국민적 관심이 높은 상황이다. 하지만 반복적인 기능전환과 수압변화에 따른 다목적 터널의 거동 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 도심도 복층터널의 반복적인 기능 전환에 따른 취약구간의 분석을 통해 다목적 터널의 운영 중 필요한 유지관리 항목과 운영 방향의 설정에 대한 기초검토를 수행하였다. 또한, 터널의 시공 및 운영 중 도로 및 수로의 기능전환 단계에 따른 터널의 취약구간을 수 치해석을 통하여 분석하였다. 다목적 터널의 유지관리는 기능에 따른 특성을 고려한 다양한 분석 및 복합적인 고려가 필요하며, 본 연구를 통해 다목적 터널의 유지관리 방안을 제시하였다.

주요어: 복층터널, 유지관리

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and
Underground Space Association
19(1)83-93(2017)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.1.083>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received January 18, 2017

Revised January 24, 2017

Accepted January 26, 2017



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2017, Korean Tunnelling and Underground Space Association

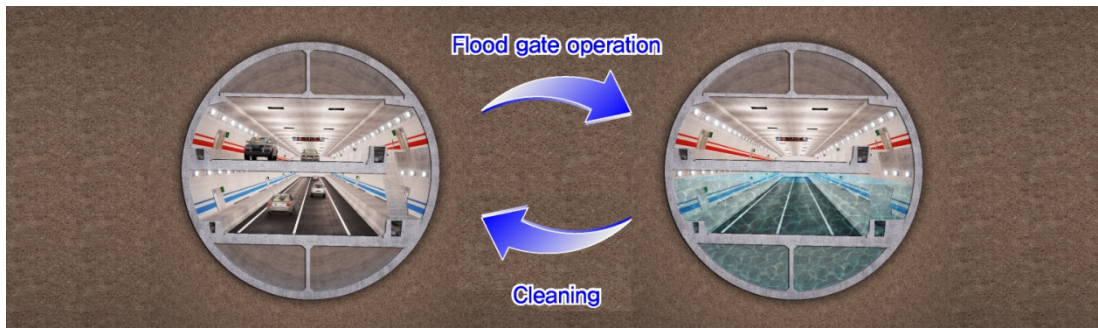
1. 서론

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

최근 지구온난화에 따른 기후변화로 인하여 기상이변이 빈번히 발생하고, 이로 인한 피해가 확대되고 있다. 이러한 상황은 우리나라도 예외가 아니며, 특히 대도시권의 경우에는 인구 및 인프라의 집중으로 인해 기후변화에 따른 홍수 발생시 피해의 규모가 급격히 증가할 수 있다.

따라서 홍수의 방지, 안정적인 수자원 확보를 위하여 주요 범람지역의 홍수량을 우회하여 홍수를 방지하고 저류 또한 가능한 수로터널의 개발에 대한 국민적 관심이 높은 상황이다. 하지만 단순히 도수, 취수의 기능만을 가지는 단일목적 수로터널은 그 사용빈도나 경제성 등에 의하여 건설이 꺼려지는 실정이며, 그로 인하여 도심지의 홍수 관리는 획기적인 발전이 없이 수해 발생시 피해가 반복되는 문제점을 드러내고 있다. 이러한 이유로 도로 및 수로의 기능을 동시에 충족하는 다목적 터널의 도입이 절실한 상태이다.

다목적 복층터널은 Fig. 1과 같이 평상 시 도로터널로 운영되지만 홍수 시 수로터널로 이용되는 시설로, 기능 전환은 목적별 기능이 완벽하게 발휘되는 것을 전제로 구동모드가 전환되어야 하며, 도로터널과 수로터널의 조건을 동시에 만족하는 형태로 건설되어야 한다.



Function of road tunnel	Function of waterway tunnel
<ul style="list-style-type: none"> · Driving stability · Ventilation, lighting, disaster prevention function · Double-deck tunnel stability 	<ul style="list-style-type: none"> · Reflecting planned floods (securing watering capacity) · Maintain function of drainage tunnel (hydraulic stability) · Disaster prevention function - Elimination of inundation damage (dimensional stability)

Fig. 1. The step by step function of multi-purpose double-deck tunnel

현재 “터널 유지관리계획의 압력 관리기준치설정에 관한 연구(Woo, 2016)”, “터널 유지관리계획의 효율화 방안 연구(Beak et al., 2002)” 등 터널 유지관리에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 하지만, 다목적 터널은 국내 적용사례가 없을 뿐만 아니라, 국내의 선행 연구에서도 터널의 반복적인 기능전환과 수압변화에 따른 터널거동에 대한 연구를 찾아보기 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 도심도 복층터널의 반복기능 전환에 따른 취약구간을 분석하여 다목적 복층터널의 운영 중 필요한 유지관리 항목과 방향설정을 위한 기초검토를 수행하고자 한다.

2. 터널의 유지관리 방법

터널구조물은 환경변화가 적은 지하에 건설되어 구조적으로 안전한 것으로 알려져 있어 유지관리에 대한 중요성이 다른 토목구조물에 비해 부족한 실정이다(Kim, 2007). 그러나 터널 건설구간 중 지반 취약지점, 하천 횡단 지점, 기존 지하철, 도시철도, 국철 등의 터널 통과지점, 고가도로 및 교각 직하부 통과지점, 도시개발 및 재개발 등으로 근접시공이 예상되는 지역 등과 같은 취약구간이 발생한다. 취약구간은 지하수위 및 외부하중의 변화, 근접굴착에 따른 배면지반의 이완 등으로 터널구조물에 변위발생과 응력 변동 등의 장기적 구조물 거동 발생 가능성이 예상되어 터널구조물에 대한 유지관리계획의 중요성이 대두되고 있다(Woo, 2003). 현재는 단기간의 축적 기술과 계측기기의 내구성과 같은 문제 및 분석기술의 미비(Beak, 2002) 등으로 구조물 이상거동의 조기파악을 위해 많은 연구와 함께 실무 적용이 필요한 분야이다.

2.1 도로터널의 유지관리

도로터널 준공 후 관측 가능한 것은 콘크리트 라이닝 뿐이므로 터널에 대한 점검 및 유지관리는 라이닝 표면에 대한 상태 평가 위주로 진행되고 있으며, 이로 인해 터널 완공 후의 다양한 정성적, 정량적 정보가 별로 없어 유지관리나 안전진단을 위한 현장자료가 부족한 실정이었다.

Fig. 2, 3과 같이 최근 도로터널이 많아짐에 따라 기존의 라이닝 표면에 대한 단순한 점검에서 벗어나 터널의 장기적인 안정성을 확보하고 유지관리에 도움이 될 수 있는 여러 가지 계측방법이 시도되고 있는데, 아직까지 장기 거동 계측이나 유지관리계획에 대한 기준과 필요 수준이 확립되지 않은 상황이다.

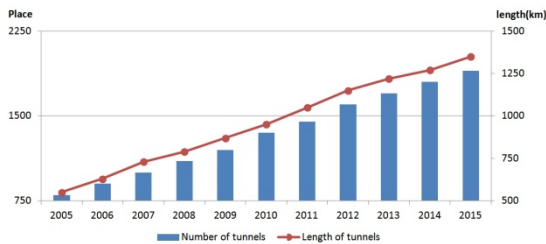


Fig. 2. National road tunnel status

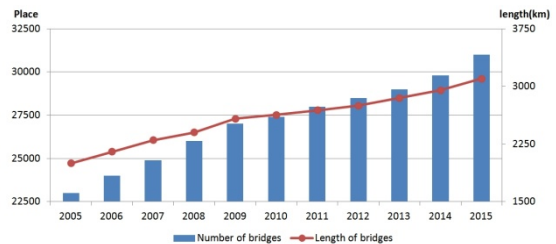


Fig. 3. Road tunnel increase in recent 10 years

터널은 지중에 건설되는 구조물이기 때문에 외부적인 원인에 의해 교란을 받게 되면 원상회복이 사실상 불가능하며, 도로 터널의 경우에는 그에 대한 보강대책을 수립해야하나 교통차단이나 운행중단을 실시하여야하는 등 원래의 터널 기능에 많은 지장을 초래하게 된다. 또한 터널의 불안정으로 발생할 수 있는 각종 사고는 큰 사회적 파장을 일으킬 수 있기 때문에 사전에 이러한 불안정의 요인들을 파악하고 미리 대책을 수립하는 것이 중요하다.

터널의 유지관리는 터널의 기능을 확보하기 위해 터널 구조 안정성과 내구성에 영향을 미치는 변상에 대하여 조사를 충분히 실시하여 적절한 조치를 강구하는 것이다. 터널 유지관리계측은 터널 구조물 및 주변 지반의 거동을 지속적으로 계측함으로써 장기간에 걸친 터널의 안정성을 확인하는 동시에 터널에 대한 유지관리를 효율적으로 실시하고자 하는 데에 목적이 있다. 따라서 유지관리계측을 적용할 때에는 계측기 설치 위치 및 적용단면 결정, 계측항목 선정, 계측센서 및 장비 등과 계측 시스템 구성 등이 매우 중요하며, 터널 구조물에 작용하는 하중 및 지반조건 등을 종합적으로 고려하여 계측 시스템을 구성하도록 계획하여야 한다.

계측기를 설치할 위치는 구조물의 구조적, 재료적 취약부나 큰 외력 및 내부응력 변화가 예상되는 곳, 지장물이 근접하여 있거나 주변 지반이 열악한 구간 등을 사전에 조사, 분석하여 선정하는 것이 바람직하다.

도로터널 유지관리계측에 이용된 계측항목들의 분포를 표시하면 Fig. 4(Lee et al., 2004)와 같다.

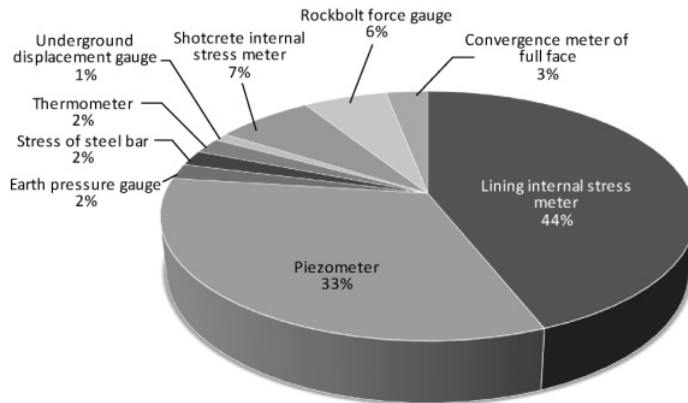


Fig. 4. Distribution chart of maintenance measurement items for road tunnel

기존의 터널 유지관리계측에 이용되고 있는 계측항목은 콘크리트 라이닝 응력계와 라이닝 배면의 수압을 측정하는 간극수압계가 전체 적용사례의 70% 이상이었으며, 최근에 설계되고 있는 현장을 중심으로 보다 다양한 계측항목이 도입되고 있는 것으로 조사되었다. 또한 자동화 계측 시스템은 인터넷망을 이용하는 방법, 광통신망이나 LAN을 이용하는 방법, 유·무선 모뎀을 이용하는 방법, 휴대폰 통신망을 이용하는 방법 등 유·무선을 통한 방법들이 다양하게 개발되어 적용되고 있으나, 계측이 종합적으로 이루어지지 않고 터널별 단독으로 시스템이 구성되어 효율성이 떨어지는 등 문제가 많아 보다 엄격한 적용기준이 필요한 것으로 분석되었다.

2.2 수로터널의 유지관리

국내의 수로터널은 그 기능으로 분류할 때 크게 도수터널, 송수터널 그리고 취수터널로 구분할 수 있으며, 도수터널이 우리나라 수로터널 전체의 약 84%를 차지하고 있다. 또한 수로터널은 내수압의 영향을 받는 압력터널과 자유수면을 가지는 개수로 터널의 형태로 운영이 되며, 압력터널이 전체의 약 76%를 차지하고 있다.

수로터널은 그 운영형태에 따라 터널의 거동특성 및 안정성 검토에 있어 매우 큰 차이를 발생시키게 된다. 이러한 관점에서 수로터널의 라이닝 형식 또한 매우 중요한 요소로 작용하게 되는데, 한국수자원공사 관리의 수로터널 중 48.7%는 무근콘크리트 라이닝으로, 51.3%는 철근콘크리트 라이닝 형식으로 시공되었다.

한국수자원공사의 “수로터널 설계 및 시공 지침(2007)”에 따르면 수로터널의 안전성, 기능성, 사용성 및 노후화 정도 등을 파악하여 재해를 사전에 예방하기 위해서는 주기적이고 체계적인 정기점검, 정밀점검, 특별점검, 정밀안전진단 등을 통한 유지관리가 최선의 방법이라고 되어있다. 다만, 수로터널 특성상 지하수 관개 등의 제반시설, 단·통수 시간 등으로 인해 유지관리에 어려움이 있을 것으로 예상하고 있다.

또한, 환경부 “상수도시설 유지관리매뉴얼(2007)”에 따르면 터널 내부 점검 및 정비는 다른 장소의 단수작업 등에 의하여 터널을 휴지할 수 있을 경우에 유수를 정지시켜 내부를 점검하여 기능을 유지하도록 하는 것이 바람직하다고 명시하였다.

수로터널은 도로 및 철도터널과 다른 역학 및 운용관리 측면의 특성을 가지고 있으며, 이러한 특성은 수로터널의 유지, 관리를 통한 안정적 물공급이라는 국민적 편익증대에 있어 가장 기본적으로 인식되어야 할 기술적 요소라 할 수 있다. 또한, 도로터널과 달리 수로터널은 내부의 내수압 작용이라는 역학적 특성이외에 즉각적인 단수조치가 어렵다는 운영특성을 동시에 보이고 있다. 즉 수로터널만의 특성을 고려하여, 압력 수로터널에 대한 누수 및 균열, hydrojacking 등의 발생개념을 이해하고, 이로 인한 불안정성 파악 및 대책을 마련하여야 한다(Jeon, 2006).

수로터널의 운용특성에 의해서도 여러 가지 손상이 유발될 수 있는데, 수로터널 운용시, 내수압의 크기 및 작용영역은 가압조건 및 단수, 재통수 등의 운영형태에 따라 수시로 변화하게 되며, 이러한 불규칙한 수리영향은 수로터널의 장기 안정성에 영향을 미칠 수 있다. 건설당시는 안정상태를 보이던 암반 및 불연속면들이 장기운용에 따른 반복적 수리영향으로 인해 부분포화 및 이완, 전단강도 저하, 붕락 등의 현상을 보이게 되며, 이러한 손상이 장기간 지속될 경우는 상당한 규모의 손상으로 진전될 수 있다.

현재 수로터널의 유지관리는 단수시 육안점검 등을 통한 안전점검이 주를 이루며 유지관리계획은 터널내 유수의 흐름으로 인해 실시하지 않고 있는 것으로 조사되었다.

2.3 다목적 터널의 유지관리 계획 방안 제안

현재 터널의 유지관리는 한국시설안전공단에서 2010년에 개정·발간한 “점검 및 정밀안전진단 세부지침” 제2장 터널편에 따라 수행하고 있다. 그러나 그 대상터널이 주로 NATM 터널이며, 다목적 터널 건설시 적용하기에 적합한 유지관리 지침은 없는 실정이다. 또한, 국내 기준에 수로터널에 대한 유지관리 방안은 직접적으로 표현한

것이 없으며, 유지관리계측이 아닌 안전점검 및 진단에 대한 내용만 기술되어 있다.

또한, 터널에서의 유지관리 계측은 대표단면 위주의 계측으로 계측지점 및 계측항목이 터널길이에 비해 소수의 단면에 한정되므로 적은 단면의 계측결과로부터 콘크리트 라이닝의 전반적인 응력상태를 추정하거나 계산하는 것은 어려움이 많은 실정이다.

앞서 살펴본 바와 같이 국내에서 운영되고 있는 유지관리계측 항목은 도로터널의 경우 라이닝 응력계와 간극수압계가 주를 이루고 있으며, 수로터널의 경우 단수시 육안점검을 통한 안전점검이 주를 이루고 있다. 다목적 터널의 경우 기본적인 도로터널의 기능 이외에 홍수시 수로터널 기능을 감안하면 기능전환시 유수가 들어오는 Inlet shaft와 용수가 나가는 Outlet shaft 구간과 공사중 취약구간의 유지관리 계측이 필요하며, 도로터널로서의 복층터널 운영시 취약부와 수로터널 운영시 취약부에 대한 유지관리계측이 필요하다.

복층도로터널로 운영시 콘크리트 라이닝과 복층슬래브의 안정성에 대한 유지관리 계측으로 콘크리트 응력계와 내공변위 측정기가 필요하며, 수로터널 운영을 위해서는 우수통과부의 콘크리트 응력계와 간극수압계가 필요하다.

상기 계측기는 신속한 기능전환을 위해 자동화계측이 바람직하며, 운영의 편이성을 감안하면 기능별 취약부에 배치하여 안정적인 기능전환의 지표가 되는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

3. 다목적 터널 기능전환에 따른 취약구간 검토

다목적 터널은 일반적인 도로터널과 달리 운영 중 라이닝 내부에 수압을 받게 되는 특성이 있다. 따라서 터널 내부와 외부의 수압 균형을 조절하는 것은 안정성 측면에서 매우 중요하며 급격한 수압의 변화가 발생하지 않도록 하는 운영조건이 필요하다.

수로·도로 다목적 터널의 안정성 검토에서 중점적으로 고려해야 할 사항은 반복 기능전환이다. 반복적인 기능 전환에 따라 발생하는 하중변화에 대해 안정성을 유지하여야 한다. 하지만 현재 수로·도로 다목적 터널의 건설사례는 말레이시아 SMART Tunnel이 유일하고 운용기간도 길지 않아 터널의 반복 기능전환에 관련한 연구가 부족한 실정이다(Kim and Kim, 2012; Kwon et al., 2015). 또한 터널의 외부 및 내부의 반복적인 수위 상승·하강에 대한 영향분석도 미흡하여 추가적인 검토가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 도심지의 도심도 터널시공을 위해 TBM공법으로 시공된 원형단면의 2층 복층구조 활용을 전제로 수로터널 전환 단계를 검토하였다. 다목적 터널의 복층구조는 수로터널로 이용시 Fig. 5와 같이 A, B, C, D 4개의 공간을 단계별로 전환가능하다는 특징이 있다.

그러나 C, D 구간을 수로기능의 다목적 터널로 이용할 경우 도로 복구비용과 시간이 과다하여 경제성 측면에서 불리하므로 본 연구에서는 A, B 구간만 수로기능의 다목적 터널로 기능전환 하는 것으로 가정하였다.

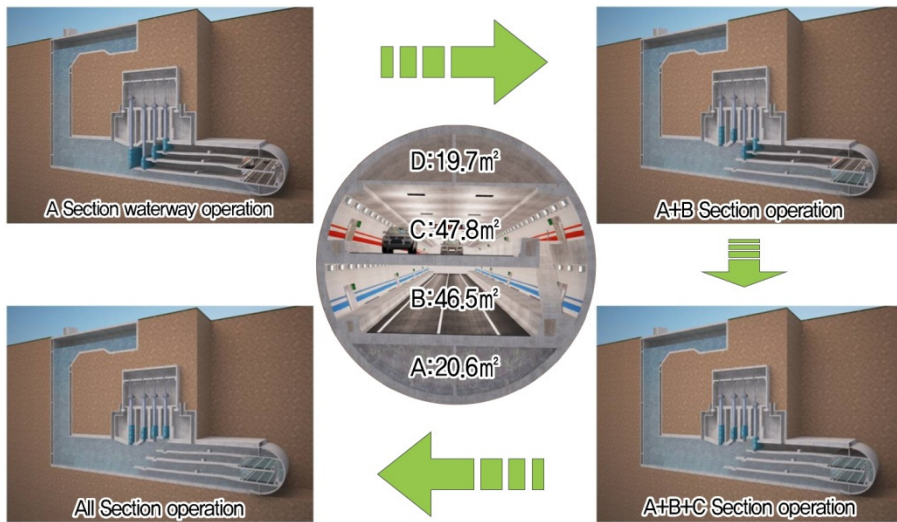


Fig. 5. The feature change step of multi-purpose double-deck tunnel

3.1 설계조건

다목적 터널은 평상 시 도로터널로 운영되지만 비상 시 수로로 이용된다. 수로터널로의 이용이 한시적이기 때문에 내수압이 일정하지 않고 반복적으로 작용함으로써 터널 내부와 외부의 압력차 변동이 심하다.

수로·도로 다목적 터널은 반복적인 기능전환에 따라 발생하는 하중변화에 대해 안정성을 유지하여야 한다. 평상시 도로기능 터널에는 지반 상재하중, 구조물의 자중, 차량하중이 작용한다. 도로터널에서 수로터널로 기능전환이 이루어짐에 따라 차량하중이 제거되면 내수압이 작용한다. 홍수 후 복구단계에서는 내수압이 제거되어 터널 내부 작용응력은 감소한다.

본 연구에서는 복층터널의 기능전환 단계별 하중을 고려한 수치해석을 통해 취약구간을 검토하고자 하였다. 다목적 복층터널의 전환단계별 안정성 검토를 위한 단면은 시설한계를 고려하여 폭과 높이가 14.4 m인 원형복층 터널로 설정하였다.

3.2 수치해석 모델링

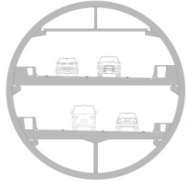


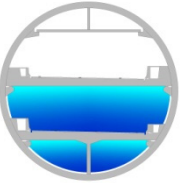
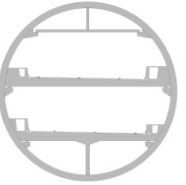
해석모델은 지반의 경우 Mohr-Coulomb 모델, 세그먼트 라이닝은 선형탄성모델의 보요소로 적용하였다. 대심도에 건설되는 터널을 고려하여 지반조건은 암반으로 가정하였으며, 지반물성은 일반 보통암 물성을 적용하였다. 원형터널 단면을 기준으로 대심도 기준을 만족하기 위해서 터널 심도는 천단부를 기준으로 40 m로 설정하였으며, 측면부 및 하부는 모두 5D (D=터널직경) 이상으로 모델경계를 설정하였다. 지반경계조건은 좌우측 수평방향 변위구속, 하부는 수평방향과 연직방향 변위구속 조건을 적용하였다.

원형터널 단면을 기준으로 대심도 기준을 만족하기 위해서 터널 심도는 천단부를 기준으로 40 m로 설정하였

으며, 측면부 및 하부는 모두 5D (D=터널직경) 이상으로 모델경계를 설정하였다. 지반경계조건은 좌우측 수평방향 변위구속, 하부는 수평방향과 연직방향 변위구속 조건을 적용하였다.

터널 내에 작용하는 하중은 자중, 차량하중과 수압으로 한정하였으며, 차량하중은 슬래브에 등분포로 작용하는 것으로 모사하였다. 또한, 내부수위 변화에 따른 수압은 라이닝 내부에 압력하중을 재하-제거하는 방식으로 모사하였으며, MIDAS GTS 유한요소프로그램을 사용하였다. 해석단계는 시공과 운영중 기능전환을 고려하여 총 터널 굴착 및 세그먼트 설치단계를 포함한 7단계로 설정하였으며, Table 1과 같다.

Table 1. The analysis sequence of step by step function

MOD 1	MOD 2	MOD 3	MOD 4	MOD 5
				
Normal Condition	1 mode flood	2mode flood	Vehicle control	Recovery after flood
Stage	Construction step		Note	
Initial Stage	In-situ ground stress condition		-	
1	Shield TBM tunnel excavation		-	
2	Segment lining installation		-	
3	MOD 1		1st and 2nd floor traffic load	
4	MOD 2		Lower waterway tunnel open	
5	MOD 3		1st floor vehicle control, waterway tunnel open	
6	MOD 4		2nd floor vehicle control	
7	MOD 5		Waterway tunnel interception and cleaning	

3.3 수치해석 결과

Fig. 6에서 보여주듯이 운영 중 터널의 기능전환을 고려한 세그먼트 라이닝의 안정성을 검토한 결과 라이닝 휨 모멘트가 최대로 작용하는 지점은 슬래브 브라켓이 설치되는 부분인 측점 10, 34 위치이다. 이는 슬래브에 차량 하중 작용시 발생된 것으로 내수압의 영향보다 차량하중이 세그먼트 라이닝의 거동에 지배적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

다목적 복층터널의 기능전환 단계에 따른 세그먼트 라이닝의 모멘트 변화를 분석한 결과는 Fig. 7과 같다. 최대 모멘트가 발생한 상부 슬래브 브라켓 위치에서는 수로터널로 기능전환시(MOD 3→MOD 4) 모멘트 변화가 가장 크게 발생하였으며, 차량 통행시(MOD 3) 보다 차량 통제시(MOD 4) 모멘트는 50% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 차량하중의 변화에 기인한 것으로 도로기능터널시 응력집중으로 인한 터널 안정성 취약구간으로 집

중 관리가 필요할 것으로 판단된다.

반면 하부 슬래브의 브라켓 위치에서는 MOD 2 → MOD 3 전환시와 MOD 4 → MOD 5 전환시 모멘트 변화가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이는 차량하중에 의한 것보다는 내수압의 변화에 기인한 것으로 판단된다. 이는 수로기능 터널시 내수압 변화에 따른 터널 안정성 취약구간으로 집중 관리가 필요할 것으로 판단된다.

이상의 해석결과를 종합해보면 다목적 복층터널의 기능전환단계별 취약구간은 도로터널 기능시는 상부 슬래브의 브라켓 위치가, 수로터널 기능시는 하부 슬래브의 브라켓 위치가 가장 취약한 것으로 판단된다. 이는 터널 형상으로 인한 영향과 복층터널 슬래브의 브라켓 지점 조건에 의한 영향이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 따라서 터널의 장기적인 안정성 측면에서 터널 우각부와 슬래브 브라켓이 위치하는 지점에 대한 다각적 검토가 이루어져야 할 것이다.

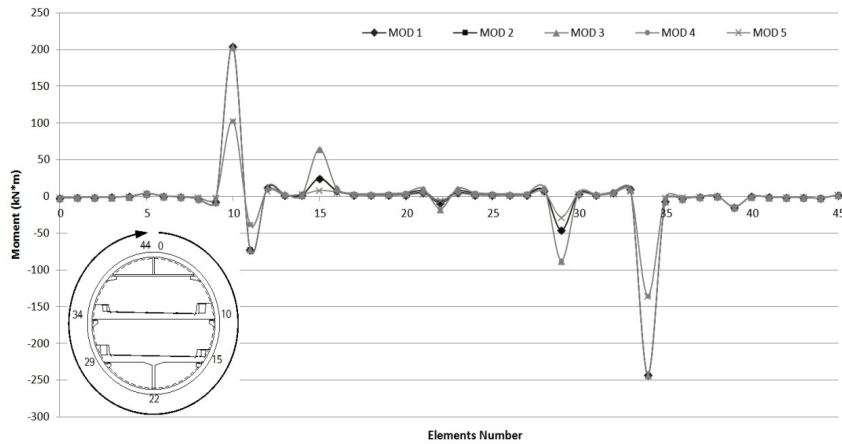


Fig. 6. Moment of segment lining per analysis step

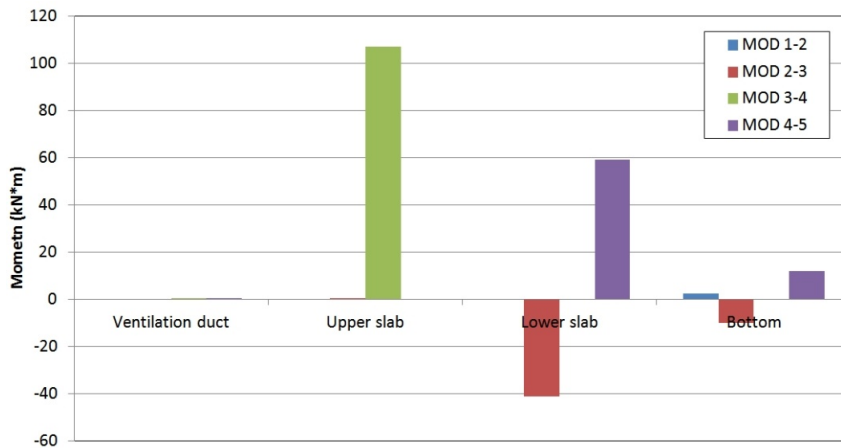


Fig. 7. Moment variation by segment lining position according to function switching

4. 결론

본 연구에서는 다목적 복층터널 운영시 반복기능 전환에 따른 유지관리 요소에 대해 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 다목적 복층터널의 유지관리계획 기준은 도로터널과 수로터널의 유지관리계획 사례를 참고하면 콘크리트 응력, 내공변위, 간극수압 등의 측정이 필요하다.
- 2) 다목적 터널은 수로터널로 기능전환시 유수의 입출입이 발생하는 Inlet shaft, Outlet shaft 인접구간에 계측이 필요하며, 신속한 기능 전환을 위해 자동화 계측의 적용이 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 유지관리계획 위치 선정을 위해 기능 전환에 따라 발생하는 하중변화에 대한 취약구간을 분석한 결과 도로터널 기능시에는 상부 슬래브 브라켓 위치에 응력집중이 되는 것을 확인하였고, 수로터널 기능시에는 하부 슬래브의 브라켓 위치가 취약한 것으로 나타나서 상기 위치에 유지관리계획이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

1. Korea Water Resources Corporation (2007), "Guidelines for the design and construction of waterway tunnels.
2. Ministry of Environment (2007), "Waterworks facility maintenance manual".
3. Jeon, J.S. (2006), "The Present State and Behavior Characteristics of Water Supply Tunnel", KGS Fall Conference, pp. 179-190.
4. Korea Expressway Corporation (2004), "Establishment of measurement standard for tunnel maintenance and development of integrated operation program".
5. Woo, J.T., Lee, K.I. (2012), "A study on establishment of measurement and analysis frequency of maintenance monitoring in tunnel", Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 14, No. 2, pp. 117-129.
6. Woo, J.T. (2003), "A study on the mechanical characteristics of tunnel structures and ground behaviour by synthetic analysis method with tunnel monitoring results used", Korea institute for structural maintenance and inspection, Vol. 7, No. 3, pp. 115-124.
7. Beak, K.H. (2002), "A Study on the efficiency improvement of tunnel maintenance measurement", Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 4, No. 4, pp. 355-370.
8. 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.
9. Kim, B.H. (2015), “An analysis on the long-term behavior of metro NATM tunnels based on the automatic tunnel monitoring system”, Hanyang university.
 10. Lee, S.D., Lee, Y.H., Ham, S.I. (2004), “Development of the Standard and the Unified Management Program for Tunnel Maintenance Monitoring System”, Korea institute of civil engineering and building technology.
 11. KISTEC (2010), “Detailed Safety Inspection and Precision Safety Diagnosis Instructions”.
 12. Kim, H.S., Kim, H.M. (2012), “A study on cross sectional characteristics and available area for using the lower space in TBM road tunnels”, Journal of Korean tunneling and underground space association, Vol.14, No. 2, pp. 141-157.
 13. Woo, J.H. (2016), “A study on the establishment of pressure limit values of management monitoring in tunnel”, Journal of Korean tunneling and underground space association, Vol. 18, No. 1, pp. 53-60.