

# 도시철도 개착식 터널의 내진성능보강시스템 기본설계

## Preliminary Design of Retrofitted System of Domestic Subway Tunnel

신홍영†      김두기\*      권민호\*\*      장준호\*\*\*      김기홍\*\*\*\*  
Shin Hong-Young,      Kim Doo-Kie,      Kwon Min-Ho,      Chang Chun-Ho,      Kim Ki-Hong

### ABSTRACT

The occurrence rate of the earthquake more than magnitude 5 has been increased since 1990 and the damage of the Odaesan earthquake, 2007 was serious. Due to that, one may say that Korea is not any more safe for the earthquake. Therefore, it is necessary to prepare strategies for possible damage due to strong earthquakes in future. This study is to focus to develop the retrofitting system for the cut and cover tunnels built without earthquake type load scenario, so that it can provide the safety of existing urban subway system against earthquakes.

### 1. 서 론

국내에서는 지진계측이 시작된 이래 사람이 느낄 수 있는 수준의 유감지진(규모 3이상)은 매년 5회~15회 발생하였다. 특히 오대산 지진(2007, 규모 4.8)은 육지에서 발생한 지진규모로는 4번째 수준으로 제주도를 제외한 전국에서 감지되는 강진이었다. 오대산 지진은 강릉과 평창에는 진도 5, 서울, 충청, 전라, 경상에는 진도 2로 보고되었다. 다수의 지진피해가 보고되었으며 내진설계에 대한 필요성을 다시 한번 강조해 주는 지진이었다.

일반 구조물에 대한 내진설계가 최초로 의무화된 1988년 이후 현재까지 국내외에서 발생하는 지진과 지진피해로 인하여 내진설계에 대한 관심은 더욱 높아지고 있다. 풍수해대책법에서 자연재해대책법으로의 개정을 거쳐 지난해 지진재해대책법이 제정되면서 내진설계 대상이 도시철도를 포함한 31개 시설물로 확대되었으며 기존 시설물에 대한 내진보강기본계획 수립 및 내진보강추진을 시행하게 되었다.

본 연구에서는 기존 시설물의 내진보강에 대한 법규정 시행을 근간으로 하여 도시철도 개착식터널의 내진보강의 필요성을 검토하였으며 국내외 기술개발현황을 조사 및 분석하여 개착식 터널의 내진성능보강시스템 기본설계에 대한 연구를 수행하고자 한다.

### 2. 터널 내진보강의 필요성

국내 도시철도 내진설계 도입현황에 대한 조사결과 전국 23개 노선 중에서 6개 노선에서만 내진설계가 반영되었으며 서울의 도시철도 1~8호선 중에서 내진설계가 적용된 구간은 1% 미만이었다. 내진설계가 미고려된 기존 터널에 대하여 성능평가를 수행하여 소오의 내진성능을 확보하는 것은 필수적이다.

1995년 일본 효고현 남부지진에 의하여 붕괴된 다이카이역은 지진으로 붕괴된 유일한 개착식 터널 구조물이다. 다이카이역은 지진이력이 없던 고베시에 새롭게 단층이 생성되면서 발생한 도심 내륙 직하형 지진으로 인하여 붕괴되었으며 개착식 터널의 내진보강에 대한 계획을 위하여서는 필히 고려되어야 할 연구자료이다.

† 책임저자 : 정회원, (주)다산컨설팅, 기술연구소, 전무이사  
E-mail : shinhy@dasan93.co.kr  
TEL : (02)2023-1561 FAX : (02)2023-1523

\* 군산대학교, 토목공학과, 교수

\*\* 경상대학교, 토목공학과, 교수

\*\*\* 계명대학교, 토목공학과, 교수

\*\*\*\* 정회원, (주)다산컨설팅, 기술연구소, 수석연구원

다이카이 역은 상재토(4.8m)와 축하중과 자중을 고려하여 설계하였으며 지진하중은 고려되지 않았다. 지진에 의한 다이카이 역의 붕괴로 지상 도로에는 길이 90m, 폭 23m에 걸쳐서 최대 2.5m까지 침하하였으며 피해가 심각한 중앙부 기둥은 완전히 파괴되었고 상부 슬래브도 붕괴되었다. 중앙부 기둥은 강한 수평력과 큰 수평변위로 인하여 발생하는 기둥 끝단부의 휨과 전단의 복합작용으로 파괴되었다.

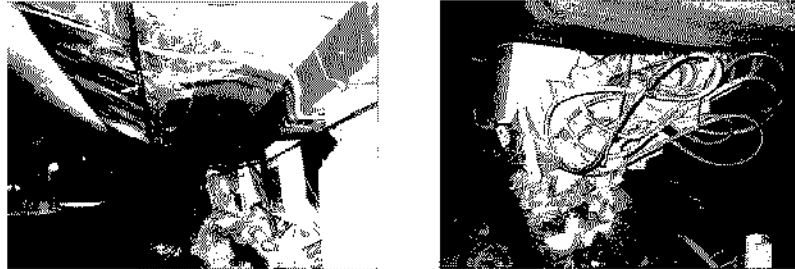
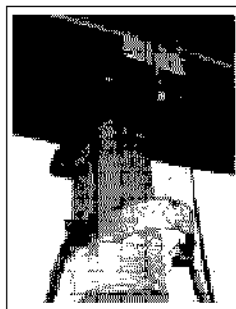


그림 1. 효고현 남부지진으로 인한 다이카이역의 붕괴

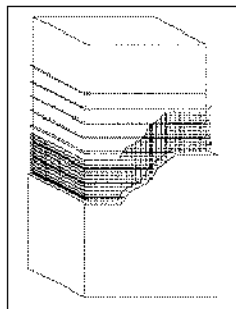
규모 7.2, 사상자 6,400여명, 피해액 1조4천억불의 큰 피해를 초래했던 효고현 남부지진 이후, 국내에서도 기존의 자연재해 대책법을 전면 개정하여 지하철을 포함한 17개 각종 시설에 대해 내진설계 기준을 제정 시행하였고 이를 근간으로 제정된 도시철도 내진설계 기준에서도 다이카이역의 사례를 교훈삼아 개착식 공법으로 건설된 터널에 대해서는 내진설계를 도입하였다.

### 3. 국내외 기술개발현황

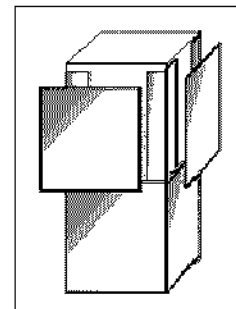
효고현 남부지진으로 얻은 교훈을 바탕으로 일본에서는 개착식 터널, 교량 및 구조물에 대한 내진성능 보강을 수행하였다. 본 연구에서는 일본에서 시공된 각종 내진성능보강시스템에 대하여 조사하였으며 실제 시공된 현장을 방문하여 보강공법별 장단점에 대한 조사를 수행하였다. 다음 그림 2는 일본에서 사용되고 있는 내진성능보강시스템 중 일부이며 그림 3은 토미자와 역과 인접 교량의 사용된 내진성능보강 기법들에 대한 현장사진이다.



PCa 공법

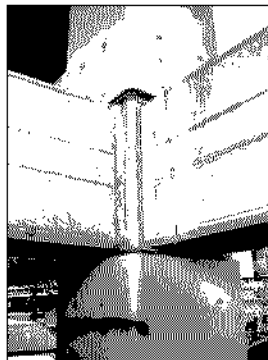


분사모르타르 공법



박판다층 공법

그림 2. 일본의 내진성능보강시스템



강관부착공법



단면확대공법



아라미드부착공법

그림 3. 토미자와 역에 사용된 내진성능보강시스템



#### 4.2 내진성능보강시스템 도출

도시철도 개착식 터널의 내진성능보강을 위하여 여러 가지 설계기준과 설계조건에 만족하는 다양한 내진성능보강시스템을 다음과 같이 제안하였다. 시공성 조건을 고려하여 제시된 개념적 보강시스템들이며 실용화 및 시공성에 대한 추가적인 연구를 수행 중이다. 다음의 그림 5는 본 연구에서 제시된 내진성능보강시스템의 개념도이다.

구분	톱니형 연결부를 갖는 강관보강	타이형 연결부를 갖는 띠강관보강	강봉을 이용한 기둥보강	몰탈로 보호된 아라미드 보강
측면도				
단면도				
특징	중앙부 기둥의 연성 증진이 가능, 톱니형 연결부를 이용하여 강관보강을 신속히 수행	횡구속력 확보를 위해 중앙부 기둥에 간단한 타이형 연결부를 갖는 띠강관으로 보강	중앙부 기둥에 강봉을 이용하여 횡 구속력을 도입하여 구조계에 연성을 증진시키는 시스템	기둥 연성을 확보를 위한 아라미드 보강시스템으로 아라미드의 노출부에 몰탈로 보호

그림 5. 도시철도 내진성능보강시스템의 개념도

도시철도 개착식터널의 내진성능보강시스템은 슬래브와 기둥의 성능을 보강할 수 있어야하며 수평력에 의해 발생하는 수평변위를 충분히 견딜 수 있는 연성을 확보하여야 한다. 강성과 연성을 적절히 보강할 수 있도록 복합소재를 이용한 보강시스템에 대한 연구를 수행 중이다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 도시철도 개착식 터널에 대한 내진성능보강시스템의 설계기준과 다양한 보강시스템에 대하여 분석하였으며 향후 “도시철도 시설물 내진설계 기준 개정안” 과 “도시철도 시설물 내진성능 예비 및 상세평가 지침” 이 마련되면 기존의 도시철도 개착식 터널에 대한 내진성능평가를 바탕으로 요구되는 내진성능보강을 할 수 있는, 시공성과 사용성이 우수한 시스템의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. 지진재해대책법, 제정 2008.3.28, 법률 제9001호
2. 佐藤工業株式會社, “大開駅・災害復旧の記録”, 平成 9年 1月
3. 김중민, 김진호, 임남형, 강영중, “도시철도 구조물의 내진설계 및 평가 현황조사”, 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회논문집