

# 섬유 및 강성 보강재료 기반 도시철도 내진성능 보강공법적용의 문제점 연구

하경화<sup>1</sup> · 박재일<sup>2</sup> · 강휘진<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>동일기술공사 철도사업본부 이사, <sup>2</sup>동일기술공사 철도사업본부 상무이사 / 토목구조기술사, <sup>3</sup>중앙대학교 건설대학원 겸임교수

## A Study on the Problem of Application of Seismic Performance Reinforcement Method for Urban Railways Case of Fiber and Rigid Reinforcement

Kyoung Hwa Ha<sup>1</sup>, Jae Yil Park<sup>2</sup>, and Hwi Jin Kang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Director, Railway Business Headquarter, DONG IL Engineering Consultants co., LTD

<sup>2</sup>Director, Railway Business Headquarter, DONG IL Engineering Consultants co., LTD / Professional Engineer

<sup>3</sup>Adjunct Professor, The Graduate School of Construction Engineering, Chung-Ang Univ.

### 요약

국내 도시철도는 2005년 내진설계가 본격적으로 도입되었으며, 내진성능평가 및 보강방법에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 2009년 3월 공포된 지진재해대책법 시행령(현 지진화산재해 대책법 시행령)에 따라 2010년4월~2013년10월까지 일부 지자체에서 도시철도 지하화 구간의 내진성능 상세 평가 및 보강방안을 수립하였다. 그 후, 2018년 말까지 공용기간이 오래된 구간에 대하여 기존 도시철도의 내진성능 평가를 수행하였으며, 기 연구된 방법을 적용하여 다양한 공법으로 보강공사를 시행하고 있다. 그러나 다양한 보강재료 과 이를 사용한 공법이 연구되었지만, 현재 도시철도 보강공사에 적용되고 있는 공법에 대한 분류 실태연구는 미비하다. 본 연구의 목적은 현재 도시철도 내진성능보강 공사에 적용중인 사례를 분석하여, 공법별 특징 및 적용 사유와 문제점을 제시하는데 있다.

**핵심용어:** 도시철도, 지진, 지하구조물, 내진성능보강, 보강공법

### ABSTRACT

In 2005, Urban railway seismic design was introduced in Rep. Of Korea, and many studies on seismic performance evaluation and reinforcement methods were conducted. In accordance with the Enforcement Decree of the Earthquake Disaster Countermeasures Act issued in March 2009, during April 2010 to October 2013, some of local governments established detailed evaluation and reinforcement measures for seismic performance of the urban railway underground structure. Afterwards, the seismic performance reinforcement of the existing urban railway structures was conducted for the sections that a long period of used until the end of 2018, and the reinforcement works are carried out by various methods using the previously studied methods. However, various reinforcing materials and construction methods using have been studied, but the classification research on the construction methods currently applied to reinforcement construction of urban railways is insufficient. The purpose of study is to analysis the cases currently applied to seismic reinforcement construction and to show the characteristics of each construction method, the reasons for its application and problems.

**Keywords:** Urban railway, Seismic, Underground structure, Seismic performance reinforcement, Reinforcement method

\*Corresponding author: Hwi Jin Kang, koreabcp@gmail.com

Received: 12 December 2019, Revised: 10 February 2020, Accepted: 22 February 2020



## 1. 서론

최근 전 세계적으로 크고 작은 지진이 다수 발생하고 있다. 2015년 네팔(규모 7.8), 2011년 후쿠시마(일본, 규모 9.0), 2010년 아이티(규모 7.0), 2010년 칭하이(중국, 규모 7.1), 2008년 쓰촨성(중국, 규모 8.0), 이러한 지진은 많은 인명피해와 재산피해를 가져왔다. 이에 점점 더 신규 구조물에 대한 내진설계 및 기존 구조물 내진성능보강의 중요성이 커지고 있다.

우리나라에서는 1978년 홍성지진 이후 댐(1979년), 터널(1985년), 건축물(1988년) 등에 대하여 내진설계가 도입되었으며, 1992년에는 도로교 표준시방서에서도 점차적으로 도입되어 1996년에 제정된 도로교 표준시방서 이후로 본격적으로 도로교량 등 공공구조물에서 적용되기 시작했다.

도시철도에서는 2005년에 본격적으로 도입이 시작되었고 ‘지진재해대책법 시행령(NEMA, 2009)’을 계기로 내진설계가 적용되지 않은 구조물에 대해 내진보강을 추진하고 있다(Ko, 2015). 국내에서 공용되고 있는 도시철도 중 1974~2000년에 개통된 지하구조물은 내진설계 도입되기 이전에 건설되어 내진 설계가 미반영 된 것으로 판단할 수 있다. 따라서 지진 발생 시 많은 피해가 예상되므로 내진설계가 반영되지 않은 기존구조물의 경우 추가적인 내진보강이 필요하다. 내진성능 확보를 위해 많은 연구자들에 의해 RC기둥의 내진보강에 관한 연구들이 수행되었다(Kim et al., 2010). 또한, 2010년부터 지자체에서는 내진설계가 적용되지 않은 기존 도시철도 지하구조물에 대하여 ‘도시철도내진설계 기준(MOLIT, 2017)’, ‘기존시설물 내진보강 기본계획 수립(NEMA, 2009)’에 따라 구조물의 내진성능향상에 대한 검토를 진행하고 있다.

현재 내진설계가 반영되지 않은 도시철도 구조물에 내진보강으로 적용 가능한 아라미드 섬유보강(Shin, 2011; Ko, 2018), FRP-연성재 적층복합체 보강(Kim et al., 2010), 복합재로 보강판 보강(Lee, 2014) 등 많은 보강방법이 연구되었다. 또한, 건설교통부 주관으로 도시철도 표준화 연구개발을 수행하여 다양한 성능평가 실험을 통하여 내진성능 보강효과가 검증된 내진성능 보강시스템을 개발하였다(Kim, 2012). 그러나 도시철도 내진보강공사 현장에 적용된 공법 및 재료현황에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

도시철도는 대다수가 국가나 공공기관에서 공공발주로 진행되므로 보안 규정 등의 이유로 일반인들은 현재 적용된 보강 공법이나 재료 등을 알 수 없다. 이는 국민 세금으로 시행되는 공공사업에 대하여 예산사용의 적합성을 파악하지 못하는 결과 발생한다. 특히, 최근에 개발된 신기술이나 저비용 고효율의 공법 활용에 대한 사항이 파악되지 못하고 있으므로 이에 대한 분석 정리가 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 현행 도시철도 내진성능보강 공사에서 시행중인 신기술을 포함한 공법들에 대하여 적용현황을 조사하여 문제점을 제시하였다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 기존에 연구된 지하구조물 내진성능보강에 적용가능한 공법과 재료를 파악하고, 국내에서 가장 오래된 도시철도 구조물을 운영하면서 현재 취약구간 내진성능보강공사가 시행중인 ○○도시철도 내진성능보강공사에 사용된 공법을 조사하여 재료 및 적용구간을 분석하였다.

이론적 고찰을 통해 내진성능보강에 대한 필요성을 제시하고, 기존에 도시철도 지하구조물 성능보강공법으로 연구되어 시험시공 된 현황을 검토하였다.

연구의 방법으로는 2018년에 내진성능보강 검토가 완료되어 공사 착공 된 ○○도시철도 지하구조물 내진성능보강공사 사례를 활용 분석하였다. 이를 통하여 지하구조물 내진성능보강 공법들에 대해 비교 검토하고, 적용개요와 문제점을 분석하였다. 그러나 내진성능보강공법 세부 선정방법은 지자체의 비공개 사항이므로 본 연구에서 제외하였으며, 특정업체 이름을 유추 할 수 있는 공법명은 미제시하고 공법에 적용된 재료로 표현하였다.

### 3. 내진성능보강 이론과 보강공법 선정조건

#### 3.1 내진성능평가 및 보강개념

##### 3.1.1 내진설계와 내진성능

국내 내진설계에 관련된 연구는 ‘내진설계기준연구 II(MOLIT, 1997)’가 발간되면서 우리나라 모든 시설물의 내진설계 기준에 대한 상위개념을 정립하여 하위개념인 시설물별 내진설계기준이 정립되었다. 내진설계기준은 해당 시설물이 내진 성능을 확보하도록 보장한다. 그러나 내진설계가 되어 있지 않거나 최신판으로 개정되기 이전의 내진설계기준으로 설계된 시설물은 내진성능을 보장할 수 없다. 2008년 제정된 「지진재해대책법」은 이와 같은 시설물들을 ‘기존시설물’로 정의하고, 해당 시설물들에 대한 내진보강을 의무화하고 있다.

시설물 혹은 구조물들은 자체적으로 어느 정도의 내진성능을 보유하고 있다. 그러므로 내진성능평가를 통하여 현재 보유하고 있는 내진성능이 현행기준에 비해 어느 정도의 수준에 있는지를 확인해야 하고, 부족한 만큼의 성능은 내진보강을 통해서 향상시켜야 한다.

##### 3.1.2 내진성능 평가 및 보강의 필요성

구조물의 내진성능 평가는 현행 내진설계기준이 규정하는 수준 대비 평가대상인 구조물의 보유성능을 평가하는 것이다. 내진설계기준에서는 구조물을 구성하는 부재들이 가해진 하중에 대해 저항할 수 있도록 규정하므로, 평가대상인 구조물이 하중에 대해 얼마나 저항할 수 있는지를 평가하게 된다. 부재의 강도나 변형능력 중 적어도 한 범주에서 강도나 변형 요구량 보다 작은 경우가 있으면, 그 만큼 내진성능이 부족한 것으로 평가되며 성능만족을 위한 보강이 필요하게 된다.

#### 3.2 도시철도 내진성능평가 및 내진보강

도시철도 시설물의 내진성능평가는 내진설계 및 평가현황조사(Kim et al., 2008), 연구예비평가체계에 대한 연구(Park et al., 2010) 등 다양한 방법에 대하여 연구가 진행되었다. 또한 내진성능상세평가의 문제점에 대해서도 연구되었다(Hur and

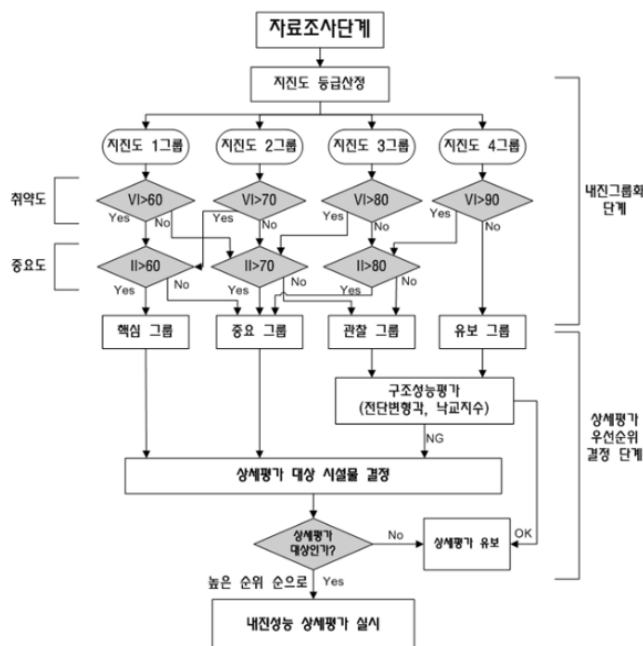


Fig. 1. Seismic performance evaluation procedure of urban railway structure (Lim et al., 2010)

Kim, 2011). Lim et al.(2010)은 도시철도 내진성능평가에 절차에 대하여 Fig. 1과 같이 예비평가와 상세평가 2단계로 구성 된다고 제시하였다.

최근 지하구조물의 본선BOX와 정거장은 응답변위법을 내성능평가해석의 기본해석법으로 적용하고, 응답변위법에서 허용치를 초과하거나 상세평가가 필요한 구간은 시간이력해석법과 모멘트곡률해석법으로 내진성능 평가를 수행하고 있다 (Seoulmetro, 2018).

### 3.3 기존 도시철도 내진성능 평가결과

○○도시철도 구간의 내진성능 재평가 해석결과 도시철도 구조물은 내진성능을 확보하는 것으로 검토되었다. 그러나 실제 지진으로 인한 구조물 붕괴사례 조사결과 붕괴 메커니즘은 주로 중앙부 기둥에서 파괴되고, 기둥 파괴로 구조물의 완전붕괴가 유발되는 것으로 조사되었다(Seoulmetro, 2018). 따라서 본 연구에서는 중앙기둥과 벽체의 연성능력을 향상시켜 구조물의 급작스런 붕괴를 방지할 수 있는 보강공법 종류에 대하여 검토를 수행하였다.

## 4. 내진성능보강공법 선정조건

지하철 구조물에 대한 내진보강은 차량이 운행되고 있는 도심지 도로하면에 위치하고 있는 지하구조물의 특성상 지반굴착을 시행하지 않은 상태에서 보강작업이 이루어져야 한다. 그러므로 보강 공법의 선정은 신중하게 이루어져야 하며, 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

### 4.1 신속한 시공 가능

내진보강은 열차운행이 중단된 시간(1일 2~3시간)에만 보강공사가 가능하므로 신속한 시공이 이루어질 수 있도록 시공 공정이 간단하여야 한다.

### 4.2 기존 구조물에 대한 훼손 최소화

도시철도의 지하 본선구간 구조물 및 정거장은 공용연수가 20년 이상인 구조물이 대부분이다. 따라서 기존구조물의 안전성을 고려하여 구조물의 손상을 최소화하는 공법을 적용한다.

### 4.3 인력시공이나 최소한의 공사장비로 시공

지하철 구조물은 장비 크기에 대한 제약이 따른다. 지하공간으로 장비를 투입은 장비에 대한 크기 및 장비 량에 따라 시간이 너무 많이 소요된다. 따라서 인력시공 또는 인력 운반이 가능한 최소한의 장비로 공사가 진행될 수 있는 공법을 적용하여야 한다.

### 4.4 기타 선정조건

실제 적용되어 지진에 대한 보강효과가 검증된 공법이나, 지진발생으로 인한 보강효과를 구조적 해석을 통하여 검증된 공법이어야 한다.

## 5. 내진성능보강공법 분류 및 적용성 검토

내진성능향상을 위해 사용한 대표적인 내진보강공법으로 섬유 및 강성 보강재료를 사용하는 섬유보강공법과 강판부착공법이 이용되고 있다(Kim et al., 2010). 일본에서는 1995년 효고현 남부지진으로 얻은 교훈을 바탕으로 개착식 터널, 교량 및 구조물에 대하여 다양한 방법의 내진보강 연구하여 성능보강을 수행하였다(Shin et al., 2009). 국내에는 내진성능보강을 위한 공법들이 학계와 전문 업체들의 다양한 시공방법 연구를 통하여 특허로 관리되고 있다. 이러한 내진성능보강 공법들을 분류해 보면 다음과 같이 나눌 수 있다.

### 5.1 보강 방법별 분류

Seoulmetro(2018)에서는 지반굴착을 시행하지 않은 상태에서 구조물 내부 기둥과 벽체를 보강하는 방법을 다음의 세 가지로 나누었으며, Table 1와 같이 세부 분류하였다.

- 첫째, 구조물을 직접 보강하여 구조물의 내력을 증가시켜 내진성능을 확보하는 방법(직접보강)
- 둘째, 새로운 단면을 증설함으로써 내진성능을 확보하는 방법(부재증설)
- 셋째, 지진격리장치의 설치로 내진성능 확보(시스템보강)

**Table 1.** Classification by reinforcement method

| 대책공법  |          | 보강방안                |                          |
|-------|----------|---------------------|--------------------------|
| 직접보강  | 슬래브      | 휨보강                 | 섬유보강, 강판보강, 단면(철근)보강     |
|       |          | 전단보강                | 전단철근 보강(일면전단), 강판보강      |
|       | 기둥부      | 휨보강                 | 섬유보강, 강판보강, 단면(철근)보강     |
|       |          | 전단보강                | 섬유보강, 강판보강, 전단철근보강(일면전단) |
| 벽체부   | 휨보강      | 강판보강, 철근보강, 우각부 브라켓 |                          |
|       | 전단보강     | 전단철근 보강(일면전단)       |                          |
| 부재증설  | 구조물 전체보강 | 붙임기둥공법(기둥 증설)       |                          |
| 시스템보강 | 구조물 전체보강 | 댐퍼 보강, 앵커 보강        |                          |

본 연구에서는 현재 도시철도 내진성능보강에서 적용된 중앙부 기둥과 벽체의 내진성능 보강공법에 대하여 검토하므로 Table 1의 보강 방법별 분류중 시스템 보강공법은 제외한다.

### 5.2 보강 재료별 분류

구조물 내부 기둥과 벽체를 보강하는 공법은 시공방법을 고려하면 매우 다양하나 사용 재료로 분류하면 Table 2와 Table 3과 같이 섬유보강, 복합섬유보강, 단면증설, 철판 등 금속재 강성보강으로 나눌 수 있다(Lee et al., 2012).

**Table 2.** Classification by reinforcement materials (1)

| 구분     | 섬유보강공법  | 복합섬유보강공법   |
|--------|---|--|
| 공법 개요  | 연성, 인장력, 내화학성이 우수한 섬유판을 기둥에 나선형, 직선형으로 부착하여 연성 보강 및 휨 보강 능력을 향상시키는 내진보강 및 구조보강 공법   | 2가지 이상의 재재를 복합적으로 적용하여 취약점을 보강 할 수 있도록 한 보강 공법   |
| 특징     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재료가 가벼워 운반, 시공이 용이</li> <li>• 협소한 공간에서도 작업용이</li> <li>• 공장에서 제조된 제품으로 품질 우수</li> <li>• 시공속도가 빨라 공사기간 단축 가능</li> <li>• 수중에서는 시공이 불편함</li> <li>• 시공 후 접착제에 대하여 별도 유지관리 필요</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재료가 가벼워 운반, 시공이 용이</li> <li>• 협소한 공간에서도 작업용이</li> <li>• 공장에서 제조된 제품으로 품질 우수</li> <li>• 시공속도가 빨라 공사기간이 단축 가능</li> <li>• 수중에서는 시공이 불편함</li> <li>• 시공 후 접착제에 대하여 별도 유지관리 필요</li> </ul> |
| 구조적 특성 | • 섬유판 보강으로 변위 연성을 증가(휨보강, 연성보강)   | • 복합판 보강으로 변위 연성 및 강성을 증가(휨보강, 연성보강)   |
| 사용재료   | • 아라미드, 고연성섬유, 불연FRP, 유리섬유, 탄소섬유 등  | • 아라미드+유리섬유, 복합FRP패널+현무암섬유+불연마감재, 유리섬유+난연패널 등  |

**Table 3.** Classification by reinforcement materials (2)

| 구분     | 단면증설 보강공법   | 금속재 보강공법  |
|--------|---|---|
| 공법 특성  | 휨강도, 휨변형능력 및 전단강도를 보강하기 위해 기둥 주위에 띠철근을 배근하고 콘크리트를 보완 타설하여, 단면을 증가시켜 보강 하는 공법. 비교적 큰 단면의 기둥을 보강 하는데 적용되며 철근 대신에 PC강봉을 이용 하는 경우도 있다.  | 기존 기둥에 강판을 씌워 강판과 기둥사이에 무수축 모르타르나 에폭시를 충전하여 교각기둥의 연성도를 보강하는 공법  |
| 특징     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 사용으로 경제성이 양호함</li> <li>• 습기(부식)에 의한 추가적인 유지관리 불필요</li> <li>• 현장 콘크리트 타설로 시공관리 경험 풍부</li> <li>• 기둥 코어 천공에 의한 중간 구속철근 배치 시, 공사비 증대</li> <li>• 보강 후 중량의 증가로 내하력에 증가</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재료에 대한 신뢰성이 높음.</li> <li>• 역학적으로 등방성의 재료를 사용하므로 방향에 대한 구분이 필요 없음</li> <li>• 습기에 의한 부식이 발생가능</li> <li>• 지속적인 체결구 볼트 풀림방지 유지관리 필요</li> </ul> |
| 구조적 특성 | • 교각기둥 단면증설로 강성을 증가(휨보강)  | • 강판 부착으로 변위연성 및 강성을 증가(휨보강)  |
| 보강 부위  | • 벽체부, 기둥부, 우각부, 슬래브  | • 벽체부, 기둥부, 우각부, 슬래브  |
| 사용 재료  | • 콘크리트+철근, 아라미드 섬유봉+모르타 등   | 강판+볼트 조임, 불연보강재(강재)+코너재 등   |

**5.3 보강공법별 현장 적용성 검토**

내진보강공사는 현장여건상 주로 지하공간에서 야간에 작업이 진행된다. 따라서 사용장비 장비크기에 제약이 따르며, 일반적으로 인력이 운반할 수 있는 소형의 장비로 공사가 가능하여야 한다. 보강공법별 시공방법 은 Table 4와 같이 조사되었으며, 섬유보강공법은 소규모장비를 이용한 인력시공이 가능하며, 강성보강공법 중 일부공법은 시공장비가 별도로 필요한 것으로 분석되었다.

**Table 4.** Construction method by reinforcement method

| 구분                  | 필요장비          | 시공방법    |
|---------------------|---------------|---------|
| 섬유보강 (일반섬유, 복합섬유보강) | 그라인더, 드릴      | 인력시공    |
| 강성보강 (단면증설, 금속재보강)  | 드릴, 운반 및 설치장비 | 인력+장비시공 |



### 5.4 도시철도 내진성능보강공법 (기둥부 연성보강) 적용 기준 조사

도시철도 내진성능보강공법 및 보강에 사용되는 재료는 ‘도시철도건설규칙(MOLIT, 2018)’ 제35조의3, ‘건축법(MOLIT, 2019)’ 제52조, ‘건축법시행령(MOLIT, 2019)’ 제34조, ‘철도시설의 기술기준(MOLIT, 2019)’ 등의 기준이 적용된다.

## 6. 국내도시철도 내진성능보강 적용조사

본 연구에서 내진성능보강 적용사례를 검토하기 위한 참고한 데이터는 2018년 12월에 ○○교통공사에서 작성된 ‘○○도 시철도 지하구조물 내진성능보강공사 실시설계’의 내용을 기초자료로 사용하였다. 2018년 이전에도 국내 지자체에서 내진 성능평가 방법 및 성능보강공법의 연구를 목적으로 지상 및 지하구간 일부 개소에 대하여 시험적인 성능보강공법이 시행되었다(Kim et al., 2012; Seoulmetro, 2018).

국내 내진성능보강에 적용되는 공법재료들은 동일한 재료를 사용하여도 시공방법에 따라 특정한 공법명을 가지고 있으며 특히 및 신기술로 관리되고 있다.

### 6.1 내진성능보강 시험시공 등 기 시공사례 검토

Kim et al.(2012)은 Table 5와 같이 서울메트로와 광주도시철도 일부구간에 대하여 내진성능 보강시스템을 시험시공을 수행하여 시공성을 검증하였으며, Seoulmetro(2018)는 2017년까지 서울도시철도에서 진행된 공법별 시험 보강시공 사례를 Table 6과 같이 제시하였다.

**Table 5.** Performance reinforcement method of Seoul and Gwangju urban rail's demonstration section

| 대상           |              | 보강개소             | 보강공법          |
|--------------|--------------|------------------|---------------|
| 서울<br>메트로    | 지축~구파발       | P32              | 기둥 1개         |
|              |              | P33              | 기둥 1개         |
|              | 강변역          | 블록7 P31          | 기둥 1개         |
|              |              |                  | 기둥 1개         |
|              | 을지로4가역       | 환기실 기둥(A-2,B-27) | 기둥 2개         |
|              |              |                  | 개착박스(121,123) |
| 도림천<br>~양천구청 | 개착박스 121기둥구간 | 벽체 1 unit        |               |
|              |              | 현치 1 unit        |               |
| 광주도시철<br>도   | 녹동~소태 구간     | 기둥               | 기둥 1개         |
|              |              |                  | 기둥 1개         |
|              |              | 벽체 및 현치          | 1 unit        |
|              | 황룡교          | P17              | 1 unit        |
|              |              |                  | 1 개소          |
|              |              |                  | 2 개소          |
| 평동교          | P2-1, 2-2    | 2 개소             |               |

\* 복합재료(High Performance)와 알루미늄 다공판을 일체화한 복합 적층판

**Table 6.** Existing construction case of Seoul urban rail

| 구분   | 보강사례       |   |
|------|------------|---|
| 섬유보강 | 난연FRP보강공법  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시철도5-18공구 하저터널 난연 FRP보강공사</li> <li>• 지하철8호선 본선내부 FRP보강공사</li> </ul> |
|      | 유리섬유보강공법   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시철도5-18공구 하저터널 난연 FRP보강공사</li> <li>• 지하철8호선 본선내부 FRP보강공사</li> </ul> |
| 강성보강 | COSREM보강공법 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 도시철도공사 토목시설물 유지보수공사</li> <li>• 서울메트로 사당~낙성대역간 보강공사</li> </ul>        |

### 6.2 내화 성능을 고려한 ○○도시철도 구간별 적용개요

지하구조물중 특히 정거장 구간은 화재발생시 큰 피해가 발생한다. 따라서 도시철도 건설규칙 제35의 3항에 따라 정거장 내부는 불연재료를 적용한다. 또한, 정거장의 선로 내 노출기둥과 정거장 양측 끝단에서부터 50m 구간의 본선 기둥도 불연 재료를 사용하여 유사시 화재발생에 대비한다. 본선 일반구간은 난연재료를 사용하는 것으로 구분하였다. 금속재공법들은 전도체로 본선구간 내 적용은 어렵지만, 지장물이 많은 정거장 대합실층 및 기능실층 기둥들에 대해서는 시공이 간편하고, 지장물 간섭에 대처가 용이하여 금속재료를 적용한다. 내화성능을 고려한 공법재료현황은 Table 7과 같이 조사되었다.

**Table 7.** List of construction materials considering fire resistance

| 구분  | 공법재료  |
|-----|---|
| 난연  | • 고연성섬유, 아라미드섬유, 직조보강섬유, 복합섬유판, 아라미드+유리섬유, 아라미드+PET섬유 |
| 불연  | • 난연 아라미드섬유+불연재, 바잘트섬유, FRP패널, 고강도 유리섬유               |
| 금속재 | • 강봉, 강판  |

### 6.3 ○○도시철도 내진보강공법 적용현황

2018년 시행된 내진성능평가 설계에 따른 해당 지자체 보강공법심사에서 선정된 결과는 Table 8, Table 9, Table 10과 같다(Seoulmetro, 2018). 심사의 목적은 안전성, 시공성(보강실적), 유지관리성, 경제성, 전문 업체의 재무건전성을 검토하는 것이며, 세부 선정기준 및 심사과정은 비공개 사항이다. 공구별 2순위까지 지정하여 1순위 공법이 부득이한 상황(업체파산, 기타 시공적용 불가 등)으로 변경되어야 할 경우를 고려하였다.

#### 6.3.1 난연공법(본선 일반구간)

**Table 8.** Application section of flame retardant method

| 공구  | 규모          | 공법         |             | 비고 |
|-----|-------------|------------|-------------|----|
|     |             | 1순위(시공)    | 2순위(설계반영)   |    |
| A   | L = 3,120 m | 섬유보강       | 아라미드섬유      |    |
| B   | L = 3,635 m | 아라미드섬유     | 아라미드섬유      |    |
| C-1 | L = 2,064 m | 아라미드섬유     | 아라미드+PET섬유  |    |
| C-2 | L = 2,014 m | 섬유보강       | 아라미드섬유      |    |
| C-3 | L = 1,970 m | 복합섬유       | 아라미드+보강 모르터 |    |
| D   | L = 4,861 m | 복합섬유       | 아라미드+PET섬유  |    |
| E   | L = 5,687 m | 아라미드+PET섬유 | 복합섬유        |    |
| F   | L = 3,155 m | 아라미드섬유     | 아라미드섬유      |    |



6.3.2 불연공법(정거장 선로 내 기둥, 정거장 인접 + 50 m)

Table 9. Application section of noncombustible method

| 공구 | 규모          | 공법                 |                    | 비고 |
|----|-------------|--------------------|--------------------|----|
|    |             | 1순위(시공)            | 2순위(설계반영)          |    |
| G  | L = 5,709 m | 난연 아라미드 + 불연성시멘트보드 | 난연 아라미드 + 불연세라믹분말  |    |
| H  | L = 5,649 m | 난연 아라미드 + 불연세라믹분말  | 난연 아라미드 + 불연성시멘트보드 |    |
| I  | L = 4,030 m | 복합FRP패널            | 난연 아라미드 + 불연성시멘트보드 |    |

6.3.3 금속재 공법(정거장내 기둥)

Table 10. Application section of metal member construction method

| 공구 | 규모        | 공법       |           | 비고 |
|----|-----------|----------|-----------|----|
|    |           | 1순위(시공)  | 2순위(설계반영) |    |
| J  | 7개 정거장역사  | 강봉 + 연결재 | 강봉 + 연결재  |    |
| K  | 9개 정거장역사  | 강봉 + 연결재 | 강봉 + 연결재  |    |
| L  | 10개 정거장역사 | 강봉 + 연결재 | 강봉 + 연결재  |    |
| M  | 10개 정거장역사 | 강봉 + 연결재 | 강봉 + 연결재  |    |
| N  | 8개 정거장역사  | 강봉 + 연결재 | 강봉 + 연결재  |    |
| O  | 9개 정거장역사  | 강판 + 볼트  | 강봉 + 연결재  |    |

6.4 보강공법 조사결과

2018년에 착공되어 공사 중인 ○○도시철도 내진성능보강 사례를 조사한 결과,

- 1) 본선일반의 난연 구간은 아라미드 섬유를 단독 사용하거나 아라미드와 유리섬유 등을 복합하여 사용한 복합섬유 공법이 75%(총 8개소 중 6개소)가 적용되었다. 2순위로 설계에 반영된 공법까지 고려할 경우 아라미드 재료는 81%(총 16개소 중 13개소) 적용되었다.
- 2) 정거장 선로 내 기둥 등 불연구간은 아라미드를 재료로 한 공법이 66%(총 3개소 중 2개소) 적용되었다. 2순위로 설계에 반영된 공법까지 고려할 경우 아라미드 재료를 사용한 공법은 83%(총 6개소 중 5개소) 적용되었다.
- 3) 정거장내 기둥 등 금속재 적용 구간은 강봉 + 연결재 공법이 83%(총 6개소 중 5개소) 적용되었다. 2순위로 설계에 반영된 공법까지 고려할 경우 강봉 + 연결재 공법이 91%(총 12개소 중 11개소) 적용되었다.

7. 결론

최근에 설계 완료되어 시공 중인 ○○도시철도 지하구조물 내진성능보강에 적용된 공법 사례를 대상으로 본 연구의 목적인 현재 도시철도 내진성능보강 공사에 적용현황을 분석한 결과, ○○도시철도 본선구간에는 난연재료인 아라미드 섬유, 정거장 구간 전후에는 난연 아라미드+불연성 재료, 정거장 내부 기둥은 강봉 + 연결재를 사용하는 내진성능보강이 다수 선정된 것을 확인하였다. 특히, 아라미드 재료를 사용한 공법이 75%가 넘게 적용되었다.

국내에는 고연성섬유, 직조보강섬유, 바잘트 섬유 등 난연과 불연 공법용 재료를 사용한 보강공법이 개발되어있다. 특히, 유리섬유, FRP보강 그리고 체결형 보강적층판공법 등은 Table 5와 Table 6에서 제시된 바와 같이 기존 도시철도 내진성능

보강에서 시험 적용되었었으며, Kim et al.(2012)은 서울메트로와 광주도시철도에 시험 시공된 사례를 연구 분석하여 도시 철도 내진성능보강에 적용 할 수 있는 방안을 제시하였다. 그러나 이렇게 시험 시공되거나 연구된 재료와 공법들은 ○○도시 철도 내진 성능보강에 선정되지 않았다. 또한, 기존에 적용사례가 없는 직조보강섬유, 바잘트 섬유 등 재료를 사용하는 공법은 성능에 대한 시험성적서 확인은 되었어도 한 곳도 반영되지 않았다.

공공기관에서 사업이 진행되는 도시철도 내진성능 보강공사에는 각 구간별 특성을 반영한 공법이 검토되어 적용하여야 한다. 그럼에도 불구하고 아라미드라는 특정재료가 다수를 차지 한 것은 도시철도 지하구조물 내진성능보강 재료 및 공법 선정 평가방법이 문제점이라고 본다.

따라서, 향후 추가연구를 통하여 현재 국내외에서 많은 연구와 비용을 투자하여 개발된 보강재료 및 공법을 내진성능보강 공사현장에 적용 할 수 있는 방안에 대하여 보완연구가 필요하다. 또한, 도시철도 지하구조물 내진성능보강 설계 및 재료, 공법 선정 평가 방법은 공론화를 통하여 개선방안을 연구 할 필요가 높다.

## References

- Hur, J. H. and Kim J. H. (2011). Some Thoughts on the Seismic Performance Evaluation Procedure of Urban Railway Infrastructures. *Journal of the Korean Society for Railway*. 2011: 1539-1549.
- Kim, D. K., Go, S. H., and Kim, J. Y. (2010). Seismic Retrofit Effect for Column of Subway Tunnel Reinforced by FRP-Ductile Material Layered Composites. 14(6): 85-92.
- Kim, J. M., Kim, J. H., Lim, N. H., and Kang, Y. J. (2008). Current Status on Seismic Design/Evaluation of Metropolitan Rapid Transit System. *Journal of the Korean Society for Railway*. 2008: 218-221.
- Kim, J. Y. (2010). Seismic Performance Evaluation for Column of Subway Tunnel Reinforced by FRP and Ductile Material Layered (Master's Thesis). Department of Civil Engineering, Kunsan National University.
- Kim, K. H. Han, D. E., Han, Y. S., Noh, K. K., and Choo, C. H. (2012). Seismic Performance Enhancement system of urban rail maintenance, development techniques. *Journal of the Korean Society for Railway*. 2012(10): 1212-1217.
- Kim, S. K., Kim, K. H., Ko, H. G., and Hur, J. H. (2012). System Pilot Urban Railway Concrete Pillar of the Seismic Performance of Reinforced Construction. *Journal of the Korean Society for Railway*. 2012(10): 1136-1141.
- Ko, H. G. (2015). An Applied Method for the Seismic Retrofit of Underground Concrete Box Tunnel in Urban Railway (Master's Thesis). Department of Railway Construction Engineering, Seoul National University of Science and Technology.
- Ko, H. G., Kim J. H., Lee, C. G., and Bang, M. S. (2018). Experimental Study on Seismic Performance of Cut-and-Cover Railroad Structure Columns Reinforced with Flame-Retardant Aramid Sheets. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* 18(7): 39-46.
- Lee, H. H., Kim, J. H., and Rho, K. G. (2012). Strengthening Effects of RC Column Using Fiber Reinforced Polymer. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 24(4): 473-480.
- Lim, N. H., Kim, K. D., Lee, T. H., and Kim, J. H. (2010). Seismic Performance Evaluation Method of Urban Railway Infrastructures. *Journal of the Korean Society for Railway*. 2010(10): 462-465.
- Park, B. H., Lim, N. H., Lee, T. H., Kim K. D., and Kim, J. H. (2010). Some Thoughts on the Preliminary Seismic Performance Evaluation Procedure of Subway Infrastructures. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 11(2): 666-674.
- Seoulmetro (2018), Detailed Design of Seismic Performance Reinforcement for Underground Structure of Seoul Urban Railway. Seoul: Seoulmetro.
- Shin, M. J. (2011). A Study on the Seismic Performance of the Strengthened RC Column with Aramid Fiber(Master's Thesis). *Future Modern Traffic System Engineering*, University of Science and Technology.
- Shin, H. Y., Kim, D. K., Kwon, M. H., Chang, C. H., and Kim. K. H. (2012). Preliminary Design of Retrofitted System of Domestic Subway Tunnel. *Journal of the Korean Society for Railway*. 2011(10): 1425-1430.

### Korean References Translated from the English

- 고희규 (2015). 도시철도 본선 박스구조물의 내진성능보강 시스템 현장적용성 연구(석사학위논문). 서울과학기술대학교 철도 건설공학과.
- 고희규, 김진호, 이창길, 방명석 (2018). 난연 아라미드 시트로 보강된 개착식 철도구조물 기둥의 내진성능에 대한 고찰. 한국 방재학회논문집 18(7): 39-46.
- 김기홍, 한동은, 한영성, 노광근, 주치홍 (2012). 도시철도 내진성능 보강시스템의 유지관리 기법 개발. 한국철도학회 학술발표 대회논문집. 2012(10): 1212-1217.
- 김두기, 고성혁, 김진영 (2010). FRP-연성재 적층복합체로 보강된 도시철도 개착식 터널 기둥의 내진보강효과. 한국구조물진단유지관리공학회 논문집 14(6): 85-92.
- 김시격, 김기홍, 고희규, 허진호 (2012). 도시철도 콘크리트 기둥의 내진성능 보강시스템 시범시공. 한국철도학회 학술발표대회 논문집 2012(10): 1136-1141.
- 김종민, 김진호, 임남형, 강영종 (2008). 도시철도 구조물의 내진설계 및 평가 현황조사. 한국철도학회 학술발표대회논문집. 2008: 218-221.
- 김진영 (2010). FRP-연성재 적층복합체로 내진보강된 도시철도 개착식 터널 기둥의 내진성능평가(석사학위논문). 군산대학교 대학원 토목환경공학부.
- 박범호, 임남형, 이태형, 김기동, 김진호 (2010). 도시철도 시설물의 내진성능 예비평가체계에 대한 소고. 한국산학기술학회 논문집. 11(2): 666-674.
- 백종명, 신민호, 김한배, 김박진 (2014). 내진설계 미반영된 도시철도 시설물 내진보강 선정기준에 관한 연구 방안. 한국철도학회 학술발표대회논문집. 2014(10): 573-577.
- 서울교통공사 (2018). 서울도시철도 지하구조물 내진성능보강공사 실시설계. 서울: 서울교통공사.
- 신민정 (2011). 아라미드섬유로 보강한 RC 기둥의 내진성능에 관한 연구(석사학위논문). 과학기술연합대학원대학교 미래첨단교통시스템공학.
- 신희영, 박연준, 김기홍, 장영두, 한영성 (2012). 도시철도 지중구조물의 내진성능평가를 위한 모형실험 연구. 한국철도학회 학술발표대회논문집. 2012(10): 1425-1430.
- 이용주 (2014). 복합재료 보강판을 이용한 내진보강 RC구조 실험체의 구조성능평가 개착식 터널 및 지하 구조물을 중심으로 (석사학위논문). 고려대학교 공학대학원.
- 이현호, 김진호, 노광근 (2012). 섬유보강재를 이용한 RC 기둥의 보강 효과. 한국콘크리트학회논문집. 24(4): 473-480.
- 임남형, 김기동, 이태형, 김진호 (2010). 도시철도 시설물의 내진성능평가 방법. 한국철도학회 학술발표대회논문집, 2010(10): 462-465.
- 허진호, 김진호 (2011). 도시철도 시설물의 내진성능평가체계에 대한 소고. 한국철도학회 학술발표대회논문집. 2011: 1539-1549.