

도시철도 교량의 내진성능 평가체계에 관한 연구

A study on the Seismic Performance Evaluation Process for Urban Railway Bridges

박범호* 이태형** 김기동*** 임남형†
Beom-Ho Park Tae-Hyung Lee Kee-Dong Kim Nam-Hyoung Lim

ABSTRACT

The verification of the seismic performance of many urban railway bridges will be done or is done by the regulations of "Seismic Performance Evaluation Methods(Tips) of Existing Bridges" developed by KISTEC in 2004. This present process may involve some of the issues such as the unreflecting of the characteristics of the urban railway bridge and the appearance of ductility-based seismic design method. In this paper, the new and improved seismic performance evaluation system is proposed.

Keywords : seismic performance evaluation process, urban railway bridge, ductility-based seismic design

1. 서론

도시철도는 도로시설 공급의 한계로 계속 심화되고 있는 대도시 교통난을 완화하기 위한 수단으로 궤도시스템을 도시의 지하나 지상에 적용하여 네트워크로 구성된 교통체계이다. 현재 국내의 도시철도는 서울특별시 및 인천광역시, 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시에 건설되어 있으며, 일 평균 약 860만 명을 수송하고 있다. 이러한 대단위 수송체계인 도시철도의 내진안전성 확보는 실제 지진 발생에 대한 대비 뿐만 아니라 평상시에는 이용객에게 지진재해에 대해 안전성을 보장하는 신뢰성의 문제로 결부된다. 이에 따라 도시철도 시설물의 내진성능 확보여부를 판단하는 평가체계의 정립은 중요하다.

도시철도 시설물 중 교량의 경우, 내진성능 평가는 한국시설안전기술공단에서 2004년에 고시한 「기존 교량의 내진성능 평가요령」에 의해 수행되고 있다. 이 평가요령은 차량이 통과하는 도로 교량의 내진성능 확보여부를 판단하는 근거이므로 궤도시스템이 접목되어 있는 도시철도 교량에 적용하기에는 문제가 있다. 본 연구에서는 예비평가와 상세평가로 이루어진 “기존 교량의 내진성능 평가요령”을 검토하여 도시철도 교량에 적용할 수 있는 방안(개정안)을 도출하였다. 또한 도시철도 시설물 중 개착식 구조물과의 통일성을 고려하였다. 그 결과, 예비평가는 「기존 교량의 내진성능 평가요령」을 도시철도 교량에 적용할 수 있도록 합리적으로 수정하였으며, 상세평가는 연성도를 기반으로 한 내진설계 개념을 도입하였다.

2. 내진성능 예비평가

「기존 교량의 내진성능 평가요령」의 예비평가는 자료조사, 지진도 그룹 결정, 그리고 취약도 지수

† 책임저자 : 정희원, 충남대학교, 토목공학과, 부교수

E-mail : nhrim@cnu.ac.kr

TEL : (042)821-7005 FAX : (042)821-8867

* 정희원, 충남대학교, 토목공학과, 박사과정

** 비희원, 건국대학교, 토목공학과, 조교수

*** 비희원, 공주대학교, 공주대학교, 건설환경공학부, 교수

및 영향도 지수에 의한 내진상세 평가 대상 교량의 결정단계로 구성되어 있다. 그러나 각 단계에서 고려하는 평가 항목을 도시철도 교량에 적용하기에는 몇몇 문제점이 있어 「기존 교량의 내진성능 평가요령」의 예비평가를 그림 1과 같이 수정·보완하였다.

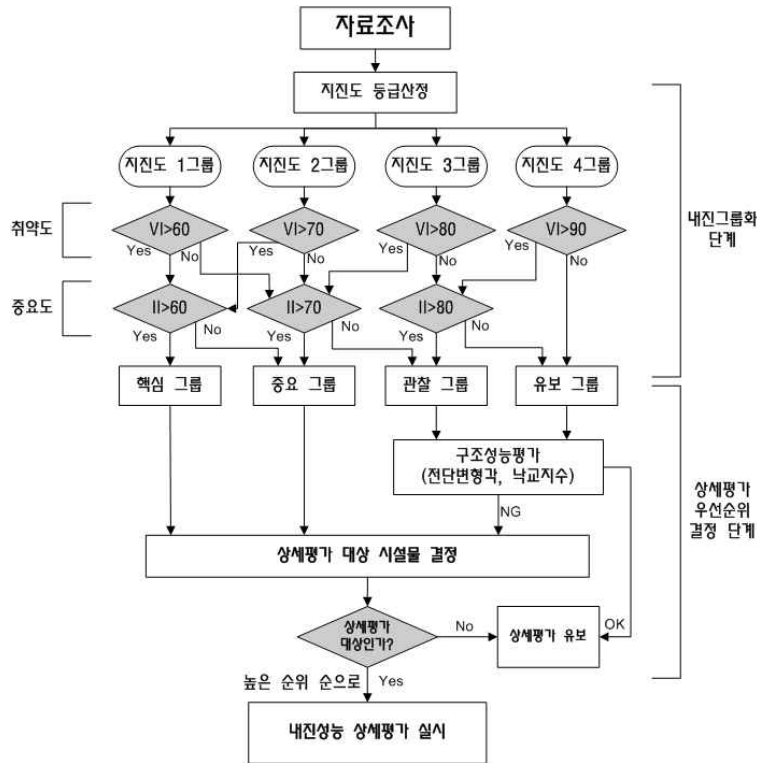


그림 1. 교량의 내진성능 예비평가(개정안)

2.1 취약도 및 영향도 지수

「기존 교량의 내진성능 평가요령」에 의한 실제 취약도지수 산정 시, 1점 만점의 평가점수를 적용하고 있는데 이는 100점 만점인 개착식 구조물의 예비평가와는 차이가 있으므로 보완의 필요성이 있다. 또한 도로교에서 의미 있는 $WIDTH_{기준}$ (교량의 폭원 기준)은 정형화된 형식(단선 또는 복선)인 도시철도 교량에서는 큰 의미가 없으므로 삭제하는 것이 바람직하다. 실제로 지반종류에 따라 평가되고 있는 $EARTH_{지수}$ (토압영향 가능 유무) 및 $PILE_{지수}$ (지반구조물 상호작용 및 기초의 위험 유무)는 지진도 등급에서 이미 지반종류를 고려하므로 삭제하고, 대신 $LIQ_{지수}$ 에 2배의 가중치를 적용하여 산정한다. 이에 대한 평가방법으로 「도시철도 설계기준, 2005」의 “4.6 지반의 액상화 평가”에 제시되어 있는 액상화 간편예측법을 활용함으로써 신뢰성을 제공한다. 그리고 $DETIOR_{지수}$ (노후화 등급)는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」의 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침」에 의한 시설물의 안전진단 평가등급(A~E)을 활용하여 평가하여 산정 근거가 정확할 수 있도록 수정한다. 위의 내용을 반영하여 도시철도 교량의 취약도 지수를 다음 식 1와 같이 제안한다.

$$\begin{aligned}
 VI = & 20 \left(\frac{CONT_{경간수}}{3} \right) + 15 \left(\frac{LENGTH}{100} \right)^{0.1} + 5 \left(\frac{AGE_{현재}}{AGE_{기준}} \right) + 20(PIER_{지수}) + 20(LIQ_{지수}) + 5(DETIOR_{지수}) \\
 & + 10 \sqrt{\sum_{지점수} \left(1 - \frac{SUPPORT_{길이}}{SUPPORT_{기준}} \right)^2} + 5(SKEW_{지수}) \quad (식 1)
 \end{aligned}$$

현행 교량의 영향도 지수 산정식(식 3)은 도로교의 평가 방법을 그대로 적용하고 있어 도시철도의 특

성을 고려할 수 있는 항목이 미비하다. 그러므로 도시철도 특성을 반영한 개착식 구조물의 영향도 지수 산정식(식 2)을 사용하여 도시철도 시설물간의 통일성을 동시에 고려하는 것이 합리적이다.

$$II = 20 \times (NPPD_{\text{지수}} + IMPS_{\text{지수}} + IMPL_{\text{지수}} + IMPA_{\text{지수}} + IMPC_{\text{지수}}) \quad (\text{식 } 2)$$

2.2 구조성능평가

교량의 구조성능 평가는 교량 상부구조의 낙교 취약성을 평가한다. 낙교지수 평가단계는 「기존 교량의 내진성능 평가요령」와 가장 차별화되는 부분으로 “상세평가 대상 관찰/유보 교량 시설물”에 대해서만 실시한다. 즉, 예비평가만으로 내진성능 상세평가 대상 교량을 판단하는 기준으로 사용하기에는 구조적 내진성능 평가 항목 미비하므로 “상세평가 대상 관찰/유보 교량 시설물”에 대해 낙교지수를 평가함으로써 예비평가의 신뢰성을 보장하는 것이 목적이다. 낙교지수의 평가 결과가 $FI < 5.0$ 을 만족하지 못하는 경우, 상세평가 대상 교량으로 판정하며 다음의 평가 순서에 따라 평가한다.(그림 2)

(단계1 조건) 상부구조의 가동지간이 8m 이상이면서 교좌장치가 없는 경우

(단계2 조건) ① 일체식 교대로 된 교량

② L이 「철도설계기준(철도교편), 2004」의 N과 같거나 큰 단순교량

③ 다음을 모두 만족하는 독립식 교대 형식의 연속교량

(ㄱ) 교대의 사각이 20도 보다 작은 교량 또는 20도 보다 크고 40도 보다 작으며 상부구조의 폭대 길이의 비가 1.5보다 큰 교량

(ㄴ) L이 「철도설계기준(철도교편), 2004」의 N과 같거나 큰 단순교량

(ㄷ) 로커 교좌장치(Rocker Bearing)를 사용하지 않은 교량

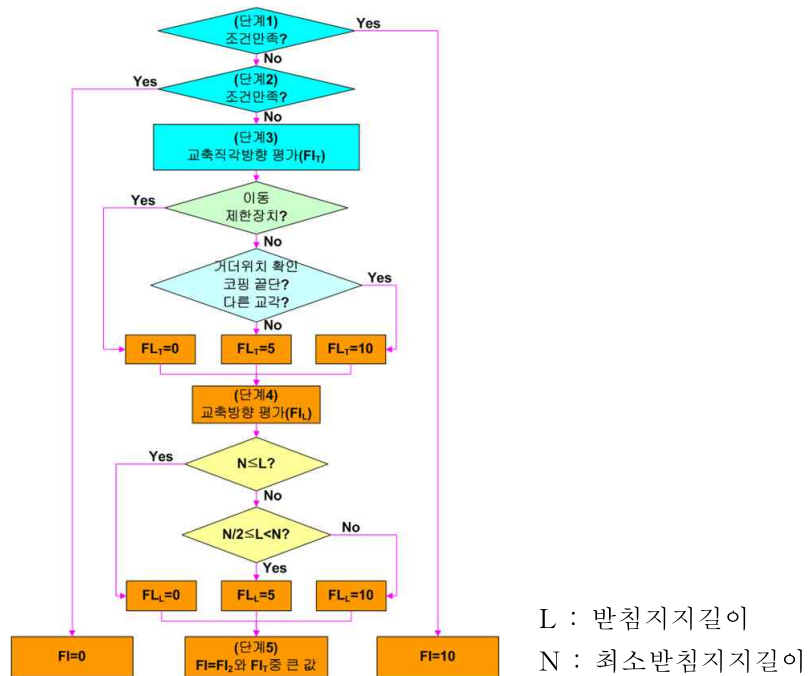


그림 2. 낙교지수 흐름도

3. 상세평가

「기존 교량의 내진성능 평가요령」의 내진성능 상세평가는 교량의 구성요소 중 교각, 교량받침, 받침 길이에 대한 평가 방법이 수록되어 있는데 소요역량과 공급역량의 산정방법이 모호하고, 평가절차 또한 복잡하게 기술되어 있는 문제가 있다. 평가절차를 구체화하기 위하여 다음 그림 3. 교량의 내진성능 상세평가 절차를 제안하고, 「신뢰도기반 내진설계기준안」을 참고하여 연성도를 기반으로 한 진단성능모델 및 응답수정계수 산정 등 개선된 내진성능 상세평가체계를 구성하였다.

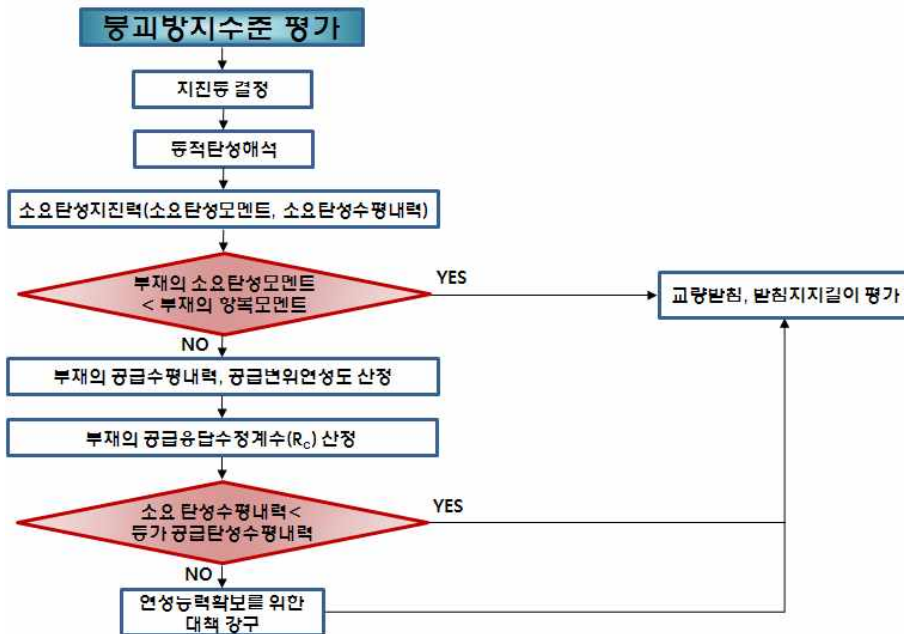


그림 3. 교량의 내진성능 상세평가 절차

4. 결론

기존 도시철도 교량 구조물의 내진성능 평가체계와 실제평가 결과를 검토한 결과, 예비평가에서는 도시철도 특성이 반영되어 있지 않고, 구조적 내진성능을 평가하는 개략적인 평가가 미비하였다. 또한 상세평가에서는 평가절차가 복잡하다는 문제점과 개선된 평가방법의 필요성이 인식되어 다음과 같은 수정(개정)안을 제시하였다.

- (1) 내진성능 예비평가 결과 “관찰/유보 교량 시설물”은 대개 내진성능 상세평가를 실시하지 않는다. 그러나 “관찰/유보 교량 시설물” 중 내진성능이 확보되지 않은 교량 시설물이 존재할 수 있기 때문에 간략하게 구조적 내진성능을 평가할 수 방안이 있어야 한다. 이에 따라 예비평가 단계에서 간략하게 교량 시설물의 내진성능을 파악할 수 있는 낙교지수를 도입하였다.
- (2) 내진성능 상세평가 절차를 구체화하고 연성도를 기반으로 한 내진성능 평가방법을 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도시철도 내진설계 기준”, 2005.

2. 한국시설안전기술공단, “기존 교량의 내진성능 평가요령”, 건설교통부, 2004.
3. 박범호, 임남형, 이태형, 김기동, 김진호, “도시철도 시설물의 내진성능 예비평가체계에 대한 소고”, 한국산학기술학회논문지, 제11권, 제2호, pp.666-674, 2010
4. RTRI, “철도구조물등 설계표준 동해설-내진설계”, 1999
5. 교량설계핵심기술연구단, “신뢰도기반 내진설계기준안”, 2008

기 호

- CONT*_{경간수} : 최대 연속경간수(신축이음장치 사이 경간수)
- LENGTH* : 연속된 교량의 총연장(m) = 최대연속경간장(m)
- WIDTH* : 교량의 총폭원(m)
- WIDTH*_{기준} : 교량의 폭원 기준(m)
- AGE*_{현재} : 현재 교량의 수명(년)
- AGE*_{기준} : 교량의 형식에 따른 기준 평가설계수명(년)
- PIER*_{지수} : 교각의 형태에 따른 지수
- EARTH*_{지수} : 토압영향 가능 유무
- PILE*_{지수} : 지반구조물 상호작용 및 기초의 위험유무
- LIQ*_{지수} : 액상화 가능여부
- DETIOR*_{지수} : 교량의 노후화 등급지수
- SUPPORT*_{깊이} : 지점당 교량받침 지지길이(mm)
- SUPPORT*_{기준} : 도로교 설계기준에 의한 받침 지지길이(mm)
- SKEW*_{지수} : 교량의 받침선과 교축직각방향의 사잇각(θ)에 의한 영향지수
- ADT* : 일 평균교통량(대)
- LEVEL* : 교량설계등급
- CATEGORY* : 시설물 중별
- UTILITY* : 교량하부를 통행하는 기간망
- FACILITY* : 중요시설물 부착 여부
- DETOUR* : 교통통행이 차단되었을 때 우회로 길이(km)
- NPPD*_{지수} : 일평균 도시철도 탑승인원
- IMPS*_{지수} : 인접한 곳에 주요시설물의 존재 여부
- IMPL*_{지수} : 인접한 곳의 라이프라인의 존재 여부
- IMPA*_{지수} : 노선의 중요도 지수
- IMPC*_{지수} : 구조물의 성능 회복을 위한 비용지수