

도시철도 시설물의 내진성능 예비평가체계에 대한 소고

박범호¹, 임남형^{1*}, 이태형², 김기동³, 김진호⁴

¹충남대학교 토목공학과, ²건국대학교 토목공학과, ³공주대학교 건설환경공학부, ⁴한국철도기술연구원 도시철도표준화연구단

Some Thoughts on the Preliminary Seismic Performance Evaluation Procedure of Subway Infrastructures

Beom-Ho Park¹, Nam-Hyoung Lim^{1*}, Tae-Hyung Lee², Kee-Dong Kim³
and Jin-Ho Kim⁴

¹Department of Civil Engineering, Chungnam National University

²Department of Civil Engineering, Konkuk University

³Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

⁴Urban Transit Standardization Research Corps. Korea Railroad Research Institute

요 약 개착식 구조물이나 교량 구조물과 같은 도시철도 시설물을 대상으로 시행한 내진성능 예비평가체계는 도시철도 시설물이 지녀야하는 특성을 고려하지 못하는 문제점이 있다. 특히 교량 구조물의 경우에는 도로교의 내진성능 예비평가체계를 그대로 적용하여 사용하고 있어 도시철도 교량 구조물에 적용하기에는 비현실적인 평가 항목들이 존재한다. 그리고 각 시설물에 대한 예비평가 항목들을 산정할 때 적절한 근거가 없어 평가 결과의 신뢰성을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존 내진성능 예비평가 체계의 문제점을 분석하고 수정(개정) 안을 제시한다.

Abstract There is a few problems in the preliminary seismic performance evaluation procedure of subway infrastructures, such as cut-and-cover tunnel structures and bridge structures, recently because the characteristics of subway infrastructures are not properly considered in the procedure. In particular, the evaluation procedure of vehicular bridge structures is applied to subway bridges without any modification. Moreover, the present evaluation procedure is lack of both theoretical and empirical backgrounds, which makes the evaluation less reliable. This paper presents problems in the existing preliminary evaluation procedure and proposes possible modification(revision) to the procedure.

Key Words : Preliminary seismic performance evaluation procedure, Subway infrastructures, Cut-and-cover tunnel structures, Bridge structures

1. 서론

최근 각 지자체의 도시철도 운영기관에서 도시철도 시설물인 개착식 구조물 및 교량에 대해 「기존 터널의 내진성능 평가요령, 2004」, 「기존 교량의 내진성능 평가요령, 2004」을 적용하여 내진성능 예비평가를 수행하였

다.[1] 예비평가체계는 지진도 등급산정 결과를 이용하여 1~4등급으로 분류한 다음, 위험도 지수 또는 취약도 지수(Vulnerability Index, VI) 및 영향도 지수(Impact Coefficient, IC)를 이용하여 내진상세평가 대상을 결정한다.[2,3]

그러나 예비평가의 각 항목에 대한 영향 점수 산정 시,

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

*교신저자 : 임남형(nhrim@cnu.ac.kr)

접수일 10년 01월 06일

수정일 (1차 10년 02월 09일, 2차 10년 02월 18일)

계재확정일 10년 02월 24일

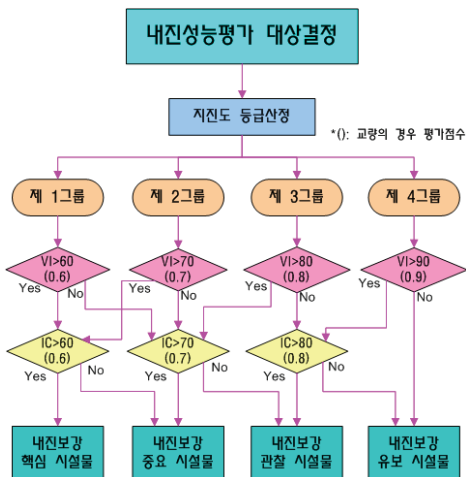
이에 대한 근거가 미비하여 예비평가 수행기관에 혼란을 줄 우려가 있으며, 정확한 평가 또한 이루어지기 어렵다. 특히 도시철도 교량에 대한 평가체계는 도로교 평가체계에 제시된 각 평가 항목의 명칭만 수정하여 내진성능 예비평가를 수행하고 있다.

이와 같이 도시철도 시설물의 특징이 미반영된 내진성능 예비평가는 내진성능의 확보여부가 불분명하여 신뢰성이 없다는 지적이 있다. 본 연구에서는 예비평가체계의 주요 항목인 지진도 등급 결정, 취약도 지수 및 영향도 지수 산정에 대한 문제점을 분석하고, 현행 이원적으로 평가되고 있는 도시철도 시설물 중 개착식 구조물과 교량을 일원적으로 평가할 수 있는 수정(개정)안을 제시하였다.

2. 현행 내진성능 예비평가체계

도시철도 시설물의 내진성능 예비평가는 관련된 자료 및 현장 조사를 통해 수집된 자료를 분석하여 실시하는 것으로서 예비평가의 결과(상세평가 시행 여부)는 다음의 요인에 따라 결정한다.[4]

- (1) 지진도(Seismicity) : 지진의 규모 및 발생환경 등에 의해 결정한다.
- (2) 구조물의 위험도(Vulnerability) : 구조물의 취약성, 기하학적인 형상, 형식 등에 의해 결정한다.
- (3) 사회·경제적인 영향(Impact) : 교통량, 시설물의 중요성 등에 의해 결정한다.



[그림 1] 현행 예비평가의 흐름

위의 요인에 근거하여 도시철도 시설물에 대한 내진성

능 예비평가를 수행하며 이에 대한 평가체계 흐름도는 그림 1과 같다.

2.1 지진도 등급

개착식 구조물이나 교량에 대한 지진도 등급은 지진구역과 지반의 종류, 도시권역을 고려하여 4그룹으로 분류하며 표 1, 표 2와 같이 구분한다.

[표 1] 개착식 구조물의 지진도 등급기준

지진 구역	구분	지반종류			
		S _E	S _D	S _C	S _{B, S_A}
I	도시	1그룹		2그룹	
	기타 지역	1그룹	2그룹	3그룹	
II	도시				4그룹
	기타 지역	2그룹	3그룹	4그룹	

[표 2] 교량 구조물의 지진도 등급기준

지진 구역	구분	지반종류			
		IV	III	II	I
I	도시	1그룹		2그룹	
	기타 지역	1그룹	2그룹	3그룹	
II	도시				4그룹
	기타 지역	2그룹	3그룹	4그룹	

개착식 구조물과 교량 구조물은 지반의 구분방법(개착식 구조물은 경암지반과 보통암지반을 세분화하여 평가)만 다를 뿐 동일한 평가체계를 이용하여 지진도 등급을 도출하고 있으며, 동일한 설계지진동임에도 불구하고 도시와 기타지역을 구분하여 지진도 등급을 상이하게 평가하고 있다.

2.2 위험도(취약도) 지수

2.2.1 개착식 구조물

개착식 구조물의 위험도는 지진으로 인해 구조물이 붕괴되거나 손상을 입기 쉬운 형태를 구분하는 것으로 유연도 지수의 크기, 터널 구조물 시공방법의 종류, 부지의 지반강도 및 지반조건(특히 단층 및 액상화의 가능성), 터널 구조물 단면의 크기 및 비정형성, 기둥부의 수, 터널 구조물 이음부의 상태, 터널 구조의 노후도 등을 고려하

여 식 1과 같이 터널 구조물의 위험도 지수로 나타낸다.

$$VI = FLEX_{지수} + (CONST_{지수} + EARTH_{지수} + SIZE_{지수} + CONNECT_{지수} + DAMAGE_{지수} + FAULT_{지수} + SYM_{지수} + LIQ_{지수} + DETIOR_{지수} + NC_{지수}) \quad (식 1)$$

2.2.2 교량 구조물

교량 구조물의 취약도는 지진으로 인해 교량이 붕괴되거나 손상을 입기 쉬운 형태를 구분하는 것으로, 교각의 형태 및 연약지반 존재 유무, 받침선과 교축방향의 사잇각과 같은 기하학적인 형상을 고려하여 식 2와 같은 교량의 취약도 지수로 나타낸다.

$$VI = 0.2 \left(\frac{CONT_{경간수}}{3} \right) + 0.15 \left(\frac{LENGTH}{100} \right)^{0.1} \left(\frac{WIDTH}{WIDTH_{기준}} \right)^{0.3} + 0.05 \left(\frac{AGE_{현재}}{AGE_{기준}} \right) + 0.2(PIER_{지수}) + 0.1(EARTH_{지수}) + (PILE_{지수}) + 0.1(LIQ_{지수}) + 0.05(DETIOR_{지수}) \quad (식 2)$$

$$+ 0.1 \sqrt{\sum_{지점수} \left(1 - \frac{SUPPORT_{지점}}{SUPPORT_{기준}} \right)^2} + 0.05(SKEW_{지수})$$

2.3 영향도 지수

2.3.1 개착식 구조물

개착식 구조물의 영향도는 구조물이 지진으로 인해 피해가 발생할 경우에 이로 인한 사회 및 경제적인 영향을 고려하는 결정인자로 주변의 주요시설물, 노선의 중요도, 인접하여 매설된 라이프라인 시설물 및 구조물 성능회복을 위한 비용 등을 고려하여 식 3과 같이 개착식 구조물의 영향도 지수로 나타낸다.

$$II = 20 \times (NPPD_{지수} + IMPS_{지수} + IMPL_{지수} + IMPA_{지수} + IMPC_{지수}) \quad (식 3)$$

2.3.2 교량 구조물

교량 구조물의 영향도는 교량이 지진으로 인해 피해가 발생할 경우에 이로 인한 사회 및 경제적인 영향을 고려하는 결정인자로 교량의 설계등급과 시설물 구분 및 교

통량과 중요시설물의 설치유무 등을 고려하여 식 4와 같이 교량의 영향도 지수로 나타낸다.

$$IC = 0.30 \log \left(1 + \frac{ADT}{5000} \right) + 0.35(LEVEL)(CATEGORY) + 0.15(UTILITY) + 0.10(FACILITY) + 0.10 \left(\frac{DETOUR}{50} \right)^{0.25} \quad (식 4)$$

3. 내진성능 예비평가체계의 문제점 및 수정(개정)안

그림 1과 같이 예비평가 결과를 통해 분류된 4개의 그룹 중 “내진보강 핵심시설물”, “내진보강 중요시설물”에 대해서는 우선적으로 내진성능 상세평가를 실시하고, “내진보강 관찰시설물”, “내진보강 유보시설물”에 대해서는 관찰기관의 정책적 판단과 공학적 판단에 의거하여 상세내진 성능평가 여부를 결정하고 있다. 이와 같은 이유로 인해 “내진보강 핵심/중요/관찰/유보”라는 용어를 사용하기 보다는 “상세평가 핵심/중요/관찰/유보”로 사용하는 것이 합당하다고 판단된다. 내진성능 상세평가 시행여부의 근거인 내진성능 예비평가 결과가 도시철도 시설물의 특징을 미반영하고 있다면 예비평가의 신뢰성은 떨어질 수밖에 없으며, 해당 도시철도 시설물의 내진성능 확보 여부도 불확실해진다.

또한 내진성능 예비평가가 도시철도 시설물의 특성이 반영되어 있어도 실질적으로 내진성능이 확보되지 않은 시설물이 “상세평가 관찰시설물”, “상세평가 유보시설물”로 평가되어 내진성능 상세평가를 시행하지 않는 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 제거하기 위하여 예비평가 시에도 구조적으로 내진성능을 간략하게 평가할 수 있는 방법을 적용하여야 한다.

3.1 지진도 등급의 문제점

도시철도는 도시와 기타지역을 연결하는 통합된 교통 네트워크로 건설·운영되고 있으므로 지진도 등급에서 도시와 기타지역으로 구분하는 것은 적절하지 않다고 판단된다. 그리고 도시철도 개착식 구조물과 교량의 지진도 등급 분류에 대해 통일성을 확보하는 방안이 필요하다고 사료된다.

3.2 취약도 지수 산정의 문제점

현행 도시철도 교량에 대한 예비평가의 취약도 지수는

1점 만점으로 평가점수가 100점 만점인 개착식 구조물의 예비평가와는 차이가 있으므로 보완의 필요성이 있다.

실제 개착식 구조물의 예비평가 수행에서 $CONNECT_{지수}$ (이음부 상태), $DETIOR_{지수}$ (노후화 등급), $DAMAGE_{지수}$ (손상도) 항목은 구조물의 손상도를 평가하는 항목으로 동일하게 평가되고 있으므로 세 가지 지수를 동일화하는 것이 타당하다고 판단된다.

교량 구조물의 경우, 도로교에서 의미 있는 $WIDTH/WIDTH_{기준}$ (교량의 폭원 기준)은 정형화 되어 있는 도시철도 교량에서는 의미가 없다.

개착식 구조물의 $EARTH_{지수}$ (지반상태 정도)와 교량 구조물의 $EARTH_{지수}$ (토압영향 가능 유무) 및 $PILE_{지수}$ (지반구조물 상호작용 및 기초의 위험 유무)는 지반종류($S_A \sim S_E$)에 따라 평가하고 있다. 지반종류에 따른 평가는 이미 지진도 등급에서 고려하고 있어 중복적인 평가가 되고 있다.

$LIQ_{지수}$ (액상화 가능여부) 산정 시, 구체적인 근거없이 평가 점수만이 제시되어 있으므로 정량적인 액상화 평가 방법이 도입되어야 한다.[5]

3.3 영향도 지수 산정의 문제점

교량 구조물의 영향도 지수 역시 취약도 지수와 동일하게 평가점수(1점 만점)를 보완할 필요성이 있다. 그리고 영향도 지수 산정 시 도로교의 특징을 반영한 $CATEGORY$ (시설물 종별), ADI (일 평균교통량), $DETOUR$ (우회경로) 항목은 도시철도 교량에 적합하지 않으므로 보완 및 삭제가 요구된다.

3.4 내진성능 예비평가체계의 수정(개정)안

3.4.1 지진도 등급

지진도 등급은 지진재해도로부터 직접 표준지반운동 수준을 결정할 수 있으므로 지진구역과 지반종류, 그리고 도시 및 기타지역에 따르는 것보다 최대지반가속도의 크기로 결정하는 것이 타당하다. 이와 같이 최대지반가속도의 크기를 기준으로 지진도 등급을 결정할 경우 도시철도 시설물에 대해 지진도 등급을 동일하게 평가할 수 있으며 이에 따른 기준은 다음 표 3과 같다.

[표 3] 도시철도 시설물의 지진도 등급기준

등급	최대지반가속도(g)
1그룹	0.196 이상
2그룹	0.126 이상
3그룹	0.100 이상
4그룹	0.100 미만

3.4.2 취약도 지수

(1) 개착식 구조물

지반 종류에 따라 평가하고 있는 $EARTH_{지수}$ 대신 $LIQ_{지수}$ 에 2배의 가중치를 적용하여 산정하고 이에 대한 평가방법으로 「도시철도 설계기준, 2005」의 “4.6 지반의 액상화 평가”에 제시되어 있는 액상화 간편예측법을 활용함으로써 신뢰성을 제공한다.[6]

그리고 $CONNECT_{지수}$ (이음부 상태), $DETIOR_{지수}$ (노후화 등급), $DAMAGE_{지수}$ (손상도) 항목을 통일하기 위해 신뢰성이 확보되어 있는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」의 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침」에 의한 시설물의 안전진단 평가등급(A~E)을 활용하여 평가하고, $CONNECT_{지수}$, $DAMAGE_{지수}$ 를 삭제하여 $DETIOR_{지수}$ 에 3배의 가중치를 적용한다.

위의 보완점을 반영하여 도시철도 개착식 구조물의 취약도 지수를 다음 식 5와 같이 제안한다.

$$VI = FLEX_{지수} + (CONST_{지수} + SIZE_{지수} + FAULT_{지수} + SYM_{지수} + 2 \cdot LIQ_{지수} + 3 \cdot DETIOR_{지수} + NC_{지수}) \quad (식 5)$$

(2) 교량 구조물

취약도 평가 점수의 만점이 1이므로 각 항에 100을 곱하여 개착식 구조물과 동일하게 100점을 만점으로 한다.

교량 구조물의 $LIQ_{지수}$ 와 $DETIOR_{지수}$ 는 개착식 구조물의 수정(개정)안과 동일하게 평가한다. 도시철도 교량은 도로 교량과 달리 거의 정형화된 형식(단선 또는 복선)을 유지하고 있으므로 교량 폭원을 취약도 평가에 고려하기에는 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

위의 보완점을 반영하여 도시철도 교량 구조물의 취약도 지수를 다음 식 6과 같이 제안한다.

$$VI = 20 \left(\frac{CONT_{정간수}}{3} \right) + 15 \left(\frac{LENGTH}{100} \right)^{0.1} + 5 \left(\frac{AGE_{현재}}{AGE_{기준}} \right) + 20(PIER_{지수}) + 20(LIQ_{지수}) + 5(DETIOR_{지수}) \quad (식 6)$$

$$+ 10 \sqrt{\sum_{지점수} \left(1 - \frac{SUPPORT_{길이}}{SUPPORT_{기준}} \right)^2} + 5(SKEW_{지수})$$

3.4.3 영향도 지수

현행 교량의 영향도 지수 산정식은 도로교의 평가 방법을 명칭만 변경하여 사용하고 있으며, 도시철도의 영향

을 고려할 수 있는 항목이 미비하다. 그러므로 도시철도 특징을 고려한 개착식 구조물의 영향도 지수 산정식(식 3)을 사용하여 통일성을 확보하는 것이 합리적이라고 판단된다.

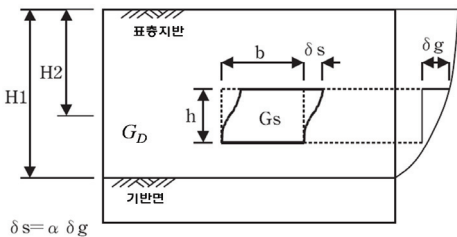
3.4.4 구조성능 확보방안

(1) 개착식 구조물

개착식 구조물은 전단변형각을 적용하여 “상세평가 관찰/유보시설물”에 재평가를 실시하여 내진성능의 확보 여부를 판단하는 자료로 활용할 수 있다. 전단변형각(θ_s)은 일본에서 개착식 구조물에 적용하는 간이응답변위법에 활용되는 지진응답치로 지진에 의한 지반변위로부터 발생하는 개착식 구조물의 전단변형의 정도를 나타낸다.[7] 일반적으로 전단변형각이 1/100 이상인 경우, 개착식 구조물에 비탄성 거동이 유발되는 것으로 평가되고 있다.

전단변형각 평가는 지진에 의한 개착식 구조물의 응답 정도가 $\theta_s > \frac{1}{100}$ 인 경우 상세평가를 시행할 수 있게 하며, 다음과 같은 식 7을 이용하여 산정할 수 있다.

$$\theta_s = \frac{\delta_s}{h} \tag{식 7}$$



[그림 2] 지반, 개착식 구조물의 단면

$$\delta_s = \sum_{i=1}^{\text{지반층수}} \delta_{si} \tag{식 8}$$

여기서,

δ_s : 지진에 의한 터널 구조물 상층부와 하층부의 상대 변형량

δ_{si} : 터널 구조물 측면의 지반 각층에 해당하는 터널 구조물의 상대 변형량

h : 터널 구조물 높이

지진에 의한 터널 구조물 측면의 지반 각층에 해당하는 터널구조물의 상대 변형량, δ_{si} 는 다음 식 9와 같이 자연지반의 지반 층간 상대 변형량과 응답계수를 활용하여

구할 수 있다.

$$\delta_{si} = \alpha_i \cdot \delta_{gi} \tag{식 9}$$

여기서,

δ_{gi} : 자연지반의 지진에 의한 지반 층간 상대 변형량으로 「도시철도 내진설계기준, 2005」의 “6.1.5 지반변위 산정”편을 적용하여 구할 수 있다. 단, 지반변위를 산정하기 위해 사용되는 기반면에서의 속도 응답스펙트럼은 붕괴방지수준에 적합한 스펙트럼을 사용한다.

α_i : 각 지반층에서의 응답계수로 다음 식 10을 활용하여 산출한다.

$$\alpha_i = 1.1 \cdot \left\{ \beta \times \ln \left(\frac{G_D}{G_S} \right) + \gamma \right\}$$

$$\beta = 0.091 \cdot \left(\frac{b}{h} \right) + 0.053 \cdot \left(\frac{H_1}{H_2} \right) - 0.07 \tag{식 10}$$

$$\gamma = -0.036 \cdot \left(\frac{b}{h} \right) + 0.040 \cdot \left(\frac{H_1}{H_2} \right) + 0.92$$

b : 터널 구조물의 폭

H_1 : 지표면부터 기반면까지의 깊이

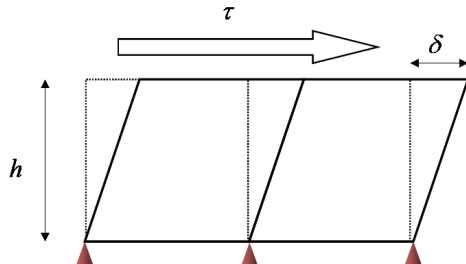
H_2 : 지표면부터 터널 구조물 중간까지의 깊이

G_D : 터널 구조물 측면 지반의 각 층에 대한 지반전단탄성계수로 「도시철도 내진설계기준, 2005」의 식(6.1.1)로 산출한다.

G_S : 터널 구조물의 등가전단탄성계수로 터널 구조물의 경계조건을 단순지지로 가정한 골조(frame) 해석을 통해 다음 식 11과 같이 산출한다.

$$G_S = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\tau}{\frac{\delta}{h}} \tag{식 11}$$

τ 는 전단응력, δ 는 전단응력에 의한 골조의 변형량을 나타낸다.



[그림 3] 골조(frame) 해석 시 단면

(2) 교량 구조물

교량 구조물은 낙교지수[8]를 적용하여 “상세평가 관찰/유보시설물”에 재평가를 실시한다. 낙교지수의 평가 결과가 $FI \geq 5.0$ 을 만족하는 경우, 상세평가 대상 시설물로 판정하며 다음의 평가 순서에 따라 평가한다.(그림 4)

(단계1) 상부구조의 가동지간이 8m 이상이면서 교좌 장치가 없는 교량의 FI(Falling Index, 낙교지수)는 10으로 평가하고 다음의 단계들을 생략한다.

(단계2) 다음의 부류에 속하는 교량의 FI는 0으로 평가하고 다음의 단계들을 생략한다.

- ① 일체식 교대로 된 연속교량
- ② 받침 지지길이(L)가 「철도설계기준(철도교편), 2004」의 최소 받침지지길이(N)와 같거나 큰 단 순교량
- ③ 다음을 모두 만족하는 독립식 교대 형식의 연속교량

(ㄱ) 교대의 사잇각이 20도 보다 작은 교량 또는 20도 보다 크고 40도 보다 작으며 상부구조의 폭 대 길이의 비가 1.5보다 큰 교량

(ㄴ) 받침 지지길이(L)가 「철도설계기준(철도교편), 2004」의 최소 받침지지길이(N)와 같거나 큰 교량

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

(단계3) 교축직각 방향에 대한 평가(FI_T) : 교축직각 방향으로의 과도한 변위에 의해 상부구조의 탈락여부를 결정하는 단계로 다음과 같은 단계를 통해 산출한다.

① 교축직각방향 변위에 대한 이동제한장치(Shear Key, Keeper Bar, Anchor Bolt)가 설치되어 있으면 FI_T는 0으로 평가한다.

② 다음을 모두 만족하는 교량의 FI_T는 5로 평가한다.
(ㄱ) 교축직각방향 변위에 대한 이동제한장치(Shear Key, Keeper Bar, Anchor Bolt)가 설치되어 있지 않은 교량

(ㄴ) 외측 상부거더가 교각의 코핑 끝단에 설치되지 않은 교량 또는 거더가 각각 다른 교각에 위치하고 있지 않은 교량

③ 다음을 모두 만족하는 교량의 FI_T는 10으로 평가한다.

(ㄱ) 교축직각방향 변위에 대한 이동제한장치(Shear Key, Keeper Bar, Anchor Bolt)가 설치되어 있지 않은 교량

(ㄴ) 외측 상부거더가 교각의 코핑 끝단에 설치된 교량 또는 거더가 각각 다른 교각에 위치하고 있는 교량

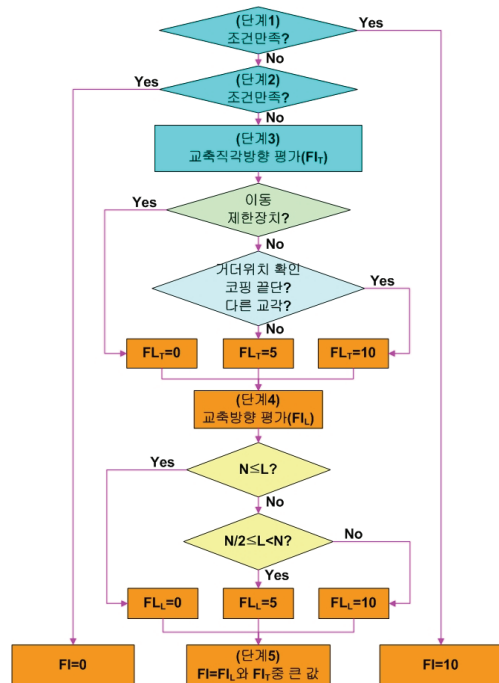
(단계4) 교축 방향에 대한 평가(FI_L) : 교축 방향으로의 과도한 변위에 의해 상부구조의 탈락여부를 결정하는 단계로 다음과 같은 단계를 통해 산출한다.

① 거더 단부에서의 받침 지지길이(L)가 「철도설계 기준(철도교편), 2004」의 최소 받침지지길이(N)보다 크거나 같은 교량의 FI_L은 0으로 평가한다.

② 거더 단부에서의 받침 지지길이(L)가 「철도설계 기준(철도교편), 2004」의 최소 받침지지길이(N)의 1/2배 보다 작은 교량의 FI_L은 10으로 평가한다.

③ 거더 단부에서의 받침 지지길이(L)가 「철도설계 기준(철도교편), 2004」의 최소 받침지지길이(N)의 1/2배 보다 큰 교량의 FI_L은 5로 평가한다.

(단계5) 단계3과 4에서 산출된 FI_T와 FI_L중에서 큰 값을 FI로 취한다.

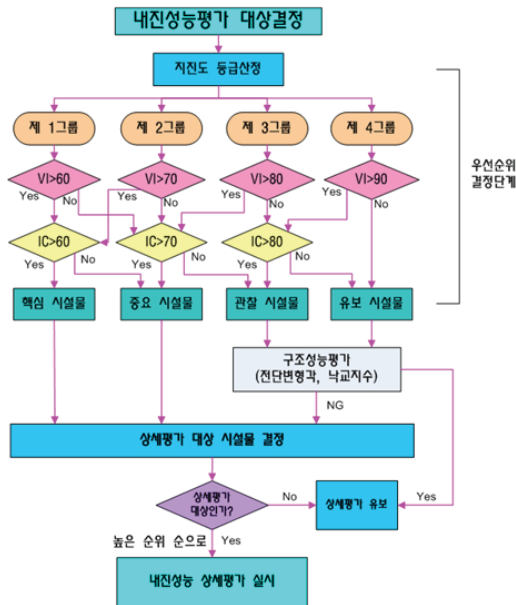


[그림 4] 낙교 지수 흐름도

3.4.5 내진성능 예비평가 수정(개정) 안

도시철도 특징을 반영하여 개착식 구조물과 교량 구조물의 일원적인 평가체계 및 “관찰/유보 시설물”에 대한

구조적인 내진성능평가 체계의 도입을 중심으로 하여 도시철도 시설물 내진성능 예비평가체계의 지진도 등급, 취약도 지수, 영향도 지수를 최대한 합리적으로 수정하였다. 현행 내진성능 예비평가체계에 대해서 정량적인 분석은 수행하지 않았지만 예비평가 단계에서 비합리적인 항목을 제거하였으며, 산정 방법이 불확실한 항목에 대해서는 신뢰성 있는 산정방법을 제시하였다. 이에 따라 수정된 예비평가체계는 다음 그림 5와 같다.



【그림 5】 수정된 예비평가의 흐름도

4. 결론

기존 도시철도의 개착식 구조물과 교량 구조물의 내진성능 예비평가체계에 현장평가 결과를 검토한 결과, 도시철도 특성 반영의 미흡과 구조적 내진성능의 개략적 평가의 부족 등을 발견하였으며 다음과 같은 수정(개정)안을 제시하였다.

- (1) 지진도 등급은 지진재해도로부터 직접 표준지반운동수준을 결정할 수 있으므로 지진구역과 지반종류에 따르는 것보다 최대지반가속도의 크기로 결정하는 것이 타당하다. 이와 같이 최대지반가속도의 크기를 기준으로 지진도 등급을 결정할 경우 도시철도 시설물인 개착식 구조물과 교량에 대한 지진도 등급 결정 시 평가 기준이 동일하게 된다.
- (2) 교량의 취약도 지수 및 영향도 지수의 평가 점수를

100점을 만점으로 수정하여 개착식 구조물의 평가 점수와 일치시킨다. 취약도 지수의 $LIQ_{시수}$ (액상화 가능여부)는 「도시철도 내진설계기준, 2005」의 “4.6 지반의 액상화 평가”편에 제시되어 있는 액상화 간편예측법을 적용하여 지반의 액상화 발생가능성에 대한 안전율을 평가점수로 활용하는 방법을 제시하였다. 그리고 $DETIOR_{시수}$ (노후화 등급)는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」의 「시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침」에 의한 시설물의 안전진단 평가등급을 활용하는 방안을 제시하여 평가 점수에 대한 신뢰성을 확보하도록 하였다.

- (3) 영향도 지수 산정식은 도시철도 교량에 대한 특징이 반영되어 있지 않으므로 도시철도의 특성이 반영되어 있는 개착식 구조물의 영향도 지수 산정식과 동일하게 평가하는 것이 합리적이다.
- (4) 내진성능 예비평가 결과 “관찰/유보 시설물”은 대개 내진성능 상세평가를 실시하지 않는다. 그러나 “관찰/유보 시설물” 중 내진성능이 확보되지 않은 시설물이 존재할 수 있기 때문에 간략하게 구조적 내진성능을 평가할 수 방안이 있어야 한다. 이에 따라 예비평가 단계에서 간략하게 시설물의 내진성능을 파악할 수 있는 평가체계를 도입하였다.

참고문헌

- [1] 서울메트로, “서울메트로 기존시설물 내진성능 예비평가 보고서”, pp. 129-165, 2007.
- [2] 건설교통부, “기존 터널의 내진성능 평가요령”, pp. 1-32, 2004.
- [3] 건설교통부, “기존 교량의 내진성능 평가요령”, pp. 1-23, 2004.
- [4] 이성민, 유제남, 조인범, 윤종구, “기존지하철 구조물 내진성능 예비평가의 고찰”, 한국지진공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 171-178, 2008.
- [5] 박범호, 김유진, 이상민, 김진호, 임남형, “도시철도 교량에 대한 내진성능 예비평가체계에 관한 소고”, 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 3043-3045, 2009, 11.
- [6] 건설교통부, “도시철도 내진설계 기준”, 2005.
- [7] RTRI, “철도구조물등설계표준동해설, 내진설계”, pp. 331-344, 1999.
- [8] FHWA-RD-94-052, “Seismic Retrofitting Manual for Highway Bridges”, pp. 20-33, 1995.

기 호

[개착식 구조물]

- FLEX*_{지수} : 단면에 대한 유연도 지수
- CONST*_{지수} : 시공방법에 따른 지수
- EARTH*_{지수} : 지반상태 정도 지수
- SIZE*_{지수} : 단면 크기 정도 지수
- CONNECT*_{지수} : 터널 구조물 이음부의 상태 지수
- DAMAGE*_{지수} : 터널 구조물의 손상 지수
- FAULT*_{지수} : 터널 구조물과 단층대와의 거리 지수
- SYM*_{지수} : 단면의 비정형성 정도
- LIQ*_{지수} : 액상화 가능여부 지수
- DETIOR*_{지수} : 터널 구조물의 노후화 등급지수
- NC*_{지수} : 단면에 위치한 기둥부의 수
- 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

[교량 구조물]

- 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*_{길이} : 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 종별

UTILITY : 교량하부를 통행하는 기간망

FACILITY : 중요시설물 부착 여부

DETOUR : 교통통행이 차단되었을 때 우회로 길이(km)

박 범 호(Beom-Ho Park)

[정회원]



- 2008년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 토목공학과 석사과정

<관심분야>

내진공학, 강구조공학, 철도공학

임 남 형(Nam-Hyoung Lim)

[정회원]



- 2001년 8월 : 고려대학교 대학원 토목공학과(공학박사)
- 2001년 9월 ~ 2003년 7월 : 고려대학교 공학기술연구소 연구 조교수
- 2003년 7월 ~ 2005년 3월 : 한국철도기술연구원 선임연구원
- 2005년 4월 ~ 현재 : 충남대학교 토목환경공학부 교수

<관심분야>

내진공학, 강구조공학, 철도공학

이 태 형(Tae-Hyung, Lee)

[정회원]



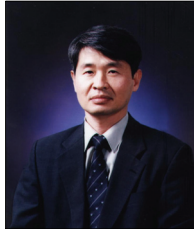
- 1996년 2월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과(공학석사)
- 2004년 12월 : 버클리 캘리포니아대 토목환경공학과(공학박사)
- 2005년 4월 ~ 2006년 2월 : 교토대학 방재연구소 COE 연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 건국대학교 토목공학과 조교수

<관심분야>

지진공학, 구조공학

김 기 동(Kee-Dong Kim)

[정회원]



- 1989년 5월 : The University of Oklahoma 구조공학(공학석사)
- 1995년 5월 : The University of Texas at Austin(공학박사)
- 1997년 10월 ~ 2001년 9월 : 공주대학교 조교수
- 2001년 10월 ~ 2006년 9월 : 공주대학교 부교수
- 2006년 10월 ~ 현재 : 공주대학교 정교수

<관심분야>

내진해석, 강구조해석

김 진 호(Jin-Ho Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 ; 서울시립대학교 대학원 건축공학과(공학석사)
- 2003년 9월 : University of California, Davis 공과대학원 토목환경공학과(공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

내진 및 진동공학, 구조물 보수·보강