

철도 설계기준 요구조건을 고려한 설계 지반운동 선정 알고리즘

Considering the requirements of the railway design criteria,

Design Ground Motions Selection Algorithm

한성우*, 김낙현*, 정석진*, 하성진*[†]

Seong Woo Han*, Nak Hyeon Kim*, Seok Jin Jeong*, Seong Jin Ha*¹⁾

초 록 철도노반 설계기준 코드(KDS 47)에서 구조물 동적해석을 위한 방법으로 시간이력해석을 허용한다. 시간이력해석에서 보다 정확한 응답스펙트럼 값을 얻기 위해서는 적절한 지반운동의 선정이 중요하다. 본 연구에서는 철도노반 설계기준에서 제시하는 시간이력 해석법의 기준을 만족하며 설계스펙트럼과의 분산을 최소화 할 수 있는 효율적인 지반운동선정 알고리즘을 제시한다.

주요어 : 시간이력해석, 설계지반운동선정, 알고리즘, 내진설계

1. 서 론

현행 건설기준코드 철도노반설계 중 철도계획[1](KDS47 10 15 4.4)에 내진설계 기본방침은 교량내진 설계[2](KDS 24 17 11: 2018 1.4)를 따른다. 따라서 본 연구는 시간이력해석법의 목표스펙트럼과 응답스펙트럼의 분산을 최소화시키는 설계지반운동 선정 알고리즘을 제시한다.

2. 철도설계 기준 지반운동 선정 조건

철도계획[1](KDS 47 10 15 4.4 (2) ③,⑤)의 지반운동 일반사항과 철도계획[1](KDS 47 10 15 4.4 (2) ①)의 내진등급 및 설계지진수준, 철도계획[1](KDS 47 10 15 4.4 (2) ⑥)에 근거한 지반의 분류로서, 설계스펙트럼이 제시되며, 다중모드스펙트럼해석법에서의 시간이력해석법으로 구조해석가능하다. 교량내진 설계[2](KDS 24 17 11:2018 2.7 (7) ⑤)에 따라, 시간이력의 응답스펙트럼 값이 설계 응답스펙트럼값보다 낮은 주기의 수는 5쌍 이하이고 낮은정도는 10% 이내이어야 한다.

3. 지반운동 선정 알고리즘

3.1 설계 스펙트럼 및 지진 Data Base구축

본 연구에서 사용한 설계 스펙트럼은 KDS 47에서 제시한 기준에 따라, 지진구역계수(Z)는 0.11, 평균재현주기 500년에 따른 위험도 계수(I)는 1.0으로 정하였고, 가속도 계수(A)는 지진구역계수와 위험도계수의 곱으로 결정된다. 지진 데이터베이스는 PEER에서 제공하는 NGA database(Chiou[3])의 이방향 수평지진파를 사용, AASHTO[4]의 기준에 따라서, 이방향 수평지진파를 기하평균(Kim[5])을 이용하여 구축하였다.

3.2 지반운동의 배율조정

DB 내의 개별 지반운동이 목표스펙트럼과 근접하도록 하기 위한 조정계수(s)의 선정은 반복계산이 필요 없는 Han and Seok[6](2014)의 연구에 따라 식 (1)-(2)를 사용하여 결정한다. 산출된 배율조정계수를 사용해 DB를 1차적으로 조정해준다.

$$\mu_{\Delta} = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} (\ln Sa_i^{target} - \ln Sa_i) \quad (1)$$

$$s = \exp(\mu_{\Delta}) \quad (2)$$

[†] 교신저자 : 한국교통대학교 공과대학 건축공학과
(sjha@ut.ac.kr)(sjha0522@gmail.com)

* 한국교통대학교 공과대학 건축공학과

3.3 7개 이상의 지반운동 선정방법

3.3.1 첫 번째 지반운동 선정

지반운동을 순차적으로 선정하기 위한 방법은 식 (3)과 같이 Ha and Han[7](2013)의 목표스펙트럼과 응답스펙트럼의 각 주기에 따른 오차 제곱의 합(SSE : Sum of Squared Error)을 이용하여 평가한다. SSE가 작을수록 목표스펙트럼과 유사 지반운동이라고 할 수 있다.

$$SSE = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} [\ln S_a^{target}(T_i) - \ln S_a(T_i)]^2 \quad (3)$$

3.3.2 k(≥2)번째 지반운동 선정

지반운동이 7개 이상이라면 설계 값은 응답스펙트럼의 평균값으로 계산한다. k(≥2)번째 지반운동 부터는 목표스펙트럼과 평균응답스펙트럼을 이용한 SSE로 평가한다.

$$SSE = \sum_{i=1}^{n_p} [\ln S_a^{target}(T_i) - \mu_{\ln S_a(T_i)}]^2 \quad (4)$$

$$\mu_{\ln S_a(T_i)} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k [\ln s_j \times S_{a_j}(T_i)] \quad (5)$$

3.4 지반운동의 재조정

기준에 제시되어있는 설계스펙트럼의 단주기범위 응답계수와 평균응답스펙트럼의 큰 차로 인해 재조정하는데 있어서 오히려 설계 값이 더 커지는 문제가 발생하여 ASCE 7-10[8]16.1.3절에서 제시하는 주기범위 (0.2×T_n~1.5×T_n)를 적용시켜 발생한 문제를 해소하였다. 그림 1은 선정된 7개의 지반운동 평균응답스펙트럼과 설계스펙트럼을 나타내고 있다.

4. 결론

- 1) 제시한 주기범위 내(0.2T_n ~ 1.5T_n)에서 설계스펙트럼보다 낮은 정도는 10% 이내이며 낮은 주기 쌍은 5개 이하로 제안된 방법은 기준을 만족하는 것으로 나타난다.
- 2) 철도설계기준의 설계스펙트럼에 대해 분산이 작은 지반운동 선정이 가능했다.

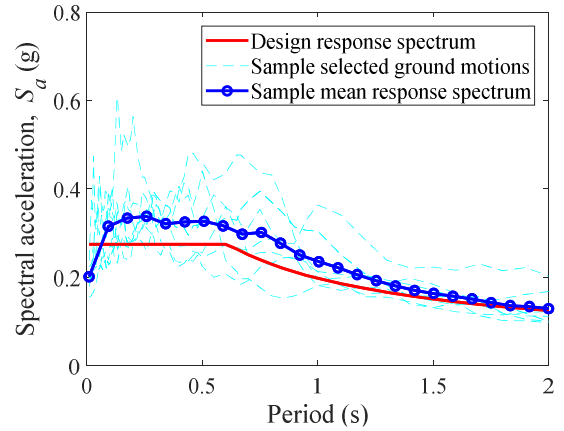


Fig.1 Sample selected and scaled response spectra after re-scaling

후 기

본 연구는 한국교통대학교와 한국연구재단의 지원(NRF-2017R1C1B5076937)을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] KDS 47 10 15:2018 국가건설기준센터 철도노반 설계 - 철도계획
- [2] KDS 24 17 11:2018 국가건설기준센터 교량내진 설계 - 교량 내진설계기준(한계상태설계법)
- [3] Chiou B, Darragh R, Gregor N, Silva W. NGA project strong motion database. Earthq Spectra. 2012;Feb:24(1),3-44
- [4] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 8th Edition Nov 2017
- [5] 김재관, 김정환, 이진호, 허태민. 국내외 판내부 지진기록을 이용한 한국 표준수평설계스펙트럼의 개발. 한국지진공학회 논문집 20권 6호 (2016.11)
- [6] 한상환, 석승욱. 목표스펙트럼에 근사한 평균응답스펙트럼을 갖는 지반운동집단의 효율적인 선정방법. 한국지진공학회 논문집 15권 5호 (2011.10)
- [7] 하성진, 한상환, 지현우. 구조물 동적해석을 위한 현행 내진설계기준의 입력 지반운동 선정조건 타당성 평가 - I 선정방법. 한국지진공학회 논문집 21권 4호(2017.7)