

부지응답해석에 기반한 지반운동 선정 및 보정에 관한 고찰

황정현¹, 목지욱², 손현실³, 옥중호^{4*}

A Study on the Selection and Modification of Ground Motion Based on Site Response Analysis

Jung-Hyun Hwang¹, Ji-Wook Mauk², Hyeon-Sil Son³, Jong-Ho Ock^{4*}

Abstract: In the recent seismic design code KDS 41 17 00, selection and modification procedures of ground motions which are used for nonlinear dynamic analyses were adopted. However, its practical applications are still limited due to the lack of literatures. This paper introduces case studies which used site-response analyses to select and modify ground motions for nonlinear dynamic analyses. Based on the case studies, design criterion for site-response analyses were reviewed thoroughly in the viewpoint of practical applications. It was found that design requirements related with bedrock motions are too conservative that ground motions are selected and modified in the excessive manner. It is especially true for low-rise building structures with period ranges including acceleration-sensitive regions. Even though surface motions have shown appropriate responses, such building structures have to re-select and re-modify ground motions based on pre-analysis procedures rather than post-ones according to the current seismic design code. Also, it was observed that building structures with soft soils under strong ground motions need more comprehensive investigations on soil properties and efficient analysis methods in order to perform site-response analyses. This is due to the fact that lack of reliabilities on soil properties and analysis methods could result in unstable site-responses.

Keywords: bedrock motion, korea design standard, interest period, response spectrum, site class, site effect, site response analysis, surface motion

1. 서 론

지진 안전성 문제에 대한 인식이 심화됨에 따라 건축물 내진성능 달성여부를 검증하기 위하여, 신축 또는 기존 건축물에 관계없이 비선형 시간이력해석을 수행하는 사례가 점차 증가하고 있다. 과거 내진설계기준(KBC 2016)에 기반한 내진설계 혹은 내진보강설계 사례들은 비선형 시간이력해석을 위해 지반운동을 선정하고 주로 진폭 조정을 시행해왔으며, 기준에 명기된 바는 없으나 지반공학 전문가 자문을 바탕으로 주파수 조정을 시행한 사례도 일부 있었다.

그러나 지반의 특수성이 부각된 경우 부지응답해석을 통한 지반운동 선정 및 보정 절차가 필요하다고 판단되었고, 이를 비선형 시간이력해석에 반영되어야 하는 경우가 적지 않다고 여겨져 최신 내진설계기준(KDS 41 17 00)에 부지응답해석과

관련된 조항이 도입되었다(Ha and Han., 2016; Architectural Institute of Korea., 2019). 하지만 부지응답해석에 기반한 지반운동 선정 및 보정 절차가 정립되었음에도 그 이해도가 높지 않음과 동시에 다양한 실무 친화적 기술 및 사례 축적이 적어 이를 실무적 차원에서 활용하기는 쉽지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 최신 내진설계기준에 명기된 부지응답 관련 조항을 검토한 뒤, 지반운동 선정 및 보정 절차가 반영된 프로젝트를 일부 선택하여 부지응답해석을 수행한 결과를 예시하였다. 또한 그 결과를 상호 비교분석함으로써 추후 부지응답해석을 병행하는 구조설계 실무 수행 시 활용 가능한 기초자료를 마련하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 부지응답해석 이론 및 기준 검토

2.1.1 부지응답해석 이론

지진파는 암반으로부터 실제 구조물이 위치하는 토사 지층을 통과하면서 상부로 전달되는데, 이 과정에서 해당 지층의 특성에 따라 감쇠 및 증폭현상이 발생한다(Sun et al., 2005).

¹정회원, 서울과학기술대학교 일반대학원, 건축 프로그램, 박사과정

²정회원, (주)한국방재기술 기술연구소, 연구원

³정회원, (주)한국방재기술 기술연구소, 연구원

^{4*}정회원, 서울과학기술대학교 건축학부, 교수

*Corresponding author: ockjh@seoultech.ac.kr

Dept. of Architecture, Seoul National University of Science & Technology

•본 논문에 대한 토의를 2020년 11월 30일까지 학회에 보내주시면 2020년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

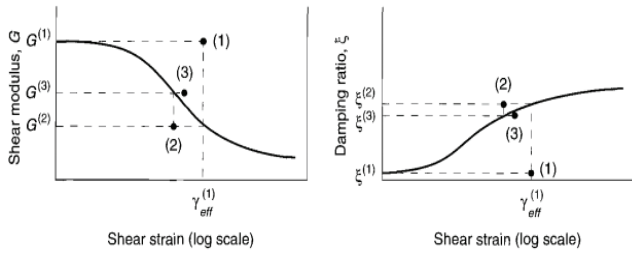


Fig. 1 Iteration toward strain-compatible shear modulus and damping ratio in equivalent linear analysis(Kramer., 1996)

현장 지반조사 및 실내시험으로 지반의 동적 특성을 측정할 수 있으며, 해당 물성을 활용한 부지응답해석을 통해 토층에 따라 변화되는 지진파를 예측하고 표면에서의 지반운동을 산정할 수 있다.

부지응답해석을 위해 빈번히 채택되는 1차원 등가선형해석은 지반의 비선형 거동을 등가선형 거동으로 가정하고 변형률-정규화 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선을 바탕으로 반복연산을 통해 수렴하는 과정을 거쳐 부지응답을 비교적 간결하게 추산한다. Fig. 1에는 변형률-정규화 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선 상에서 1번부터 3번까지의 반복연산 과정을 통해 부지응답해석이 수행되는 과정이 제시되어 있다.

등가선형해석에 필수적으로 활용되는 정규화 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선은 토층 특성에 따라 다양하게 분포된 곡선으로 나타난다. 또한 선행 연구자들에 의해 과압밀비, 구속응력, 소성지수 등의 영향을 받는 것으로 조사되었을 뿐 아니라 다양한 형태로 제시되었다(Seed and Idriss., 1970; Hardin and Drnevich., 1972; Dobry and Vucetic., 1991; Darendeli., 2001).

2.1.2 내진설계기준

시간이력해석에 필요한 최소 지반운동의 수는 3개로 제한하고 있고 3개의 지반운동으로 해석하는 경우에는 최대응답을, 7개 이상인 경우에는 평균응답을 통한 설계가 가능하다. 국내 기준의 경우 지진하중에 대한 내용이 확대 개편됨에 따라 구조물에 적용되는 지진파에 대한 기준이 세분화되었으며, 특히 부지응답해석을 통한 지반운동 선정과 관련하여 해석 전/후 과정에서 만족해야 하는 기준을 제시하고 있다.

7쌍의 지반운동을 통해 평균응답으로 기준을 만족하는 경우 부지응답해석을 위한 입력지진파는 암반조건에서 계측된 지반운동기록을 사용해야 하며, 관심주기 내에서 최소 응답스펙트럼 가속도를 만족하는 조합을 선정해야 한다. 표면지진파 또한 관심주기 내에서 최소 응답스펙트럼 가속도를 만족하는 지반운동의 조합을 선정해야 하며, 해당 기준은 평균응답의 최댓값에 따라 변화된다.

Table 1 Characteristic of Project

Project Name	Site Class	Floor	T_{min}^* [sec]	T_{max} [sec]
S2-5F	S2	5	0.18	0.61
S2-24F	S2	24	1.86	2.47
S2-36F	S2	36	2.57	3.24
S2-49F	S2	49	4.09	4.91
S3-5F	S3	5	0.35	0.73
S4-5F	S4	5	0.35	0.75
S4-14F	S4	14	0.90	1.18
S4-25F	S4	25	1.80	2.99
S4-35F	S4	35	3.68	4.88
S5-17F	S5	17	2.08	2.45

* : Natural period of the fundamental mode of the structure

2.2 국내지반 부지응답해석

2.2.1 대표 프로젝트 선정

본 연구에서는 국내 구조설계실무에서 부지응답해석이 수행되고 있는 일반적인 지반을 대표 프로젝트로 선정하고자 하였으며, 구조물 기본진동주기 및 지반 종류가 다양하도록 Table 1과 같이 10개의 프로젝트를 선정하였다.

2.2.2 입력 지반운동 선정

국내에서 계측된 지진기록만을 활용하여 부지응답해석을 수행하기에 기록 수가 충분하지 않아 외국에서 측정된 실지진기록을 활용하고자 하였으며, 본 연구에서는 PEER Ground Motion Database를 통해 부지응답해석을 위한 데이터베이스를 구축하였다. 국내 지반조건에 부합 가능한 지진기록을 수집하기 위해 규모 및 전단파속도 등을 제한하고 근단층 지반기록을 제외하였으며, 프로젝트별로 현행 내진설계기준에서 제시하는 입력지진파에 대한 조건을 만족할 수 있도록 스케일 팩터를 통해 조정하였다.

2.2.3 설계 지진파 선정

부지응답해석을 위해 1차원 등가선형해석 프로그램인 Proshake2.0을 이용하였으며 입력되는 동적 물성의 경우 해당 지반에서 수행된 지반조사 결과를 활용하였다. 측정되지 않은 물성에 대해서는 기준에 수행된 연구 자료를 참고하였으며, 지진응답을 위해 필수적으로 입력되어야 하는 정규화 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선의 경우 국내 지반을 대상으로 한 데이터가 부족하여 프로그램에서 제공하고 있는 지반모델을 활용하였다(Darendeli., 2001; Sun et al., 2007; EduPro Civil Systems., 2017).

Fig. 2는 프로젝트별 전단파속도 주상도로 760m/s 이상의

전단파속도가 나타나는 지층을 기반으로 설정하고 부지응답해석을 수행하였으며, 앞서 구축한 데이터베이스 중 35쌍의 지진파를 활용하여 표면지진파 예측을 위한 입력 지반운동으로 설정하였다. 또한 현행 내진설계기준을 따르는 부지응답해석 과정에서 발생 가능한 문제를 고찰하기 위해 본 연구에서는 부지응답해석 전/후 기준을 만족하는 7쌍의 최종 지진파 조합을 선정하는 데 중점을 두었다.

2.2.4 부지응답해석 결과

건축물 내진설계기준을 만족하는 최종 지진파를 선정한 결과는 Fig. 3과 같으며 부지응답해석 전/후의 평균 응답스펙트럼을 통해 입력지진파 및 표면지진파에 대한 기준 만족여부를 확인하였다. 또한 각 프로젝트마다 암반과 표면에서의 시간이력 및 응답스펙트럼을 확인하였으며 Fig. 4에 대표 프로젝트 중 하나인 S2-24F에 대해 상세히 나타내고, Fig. 5~6에

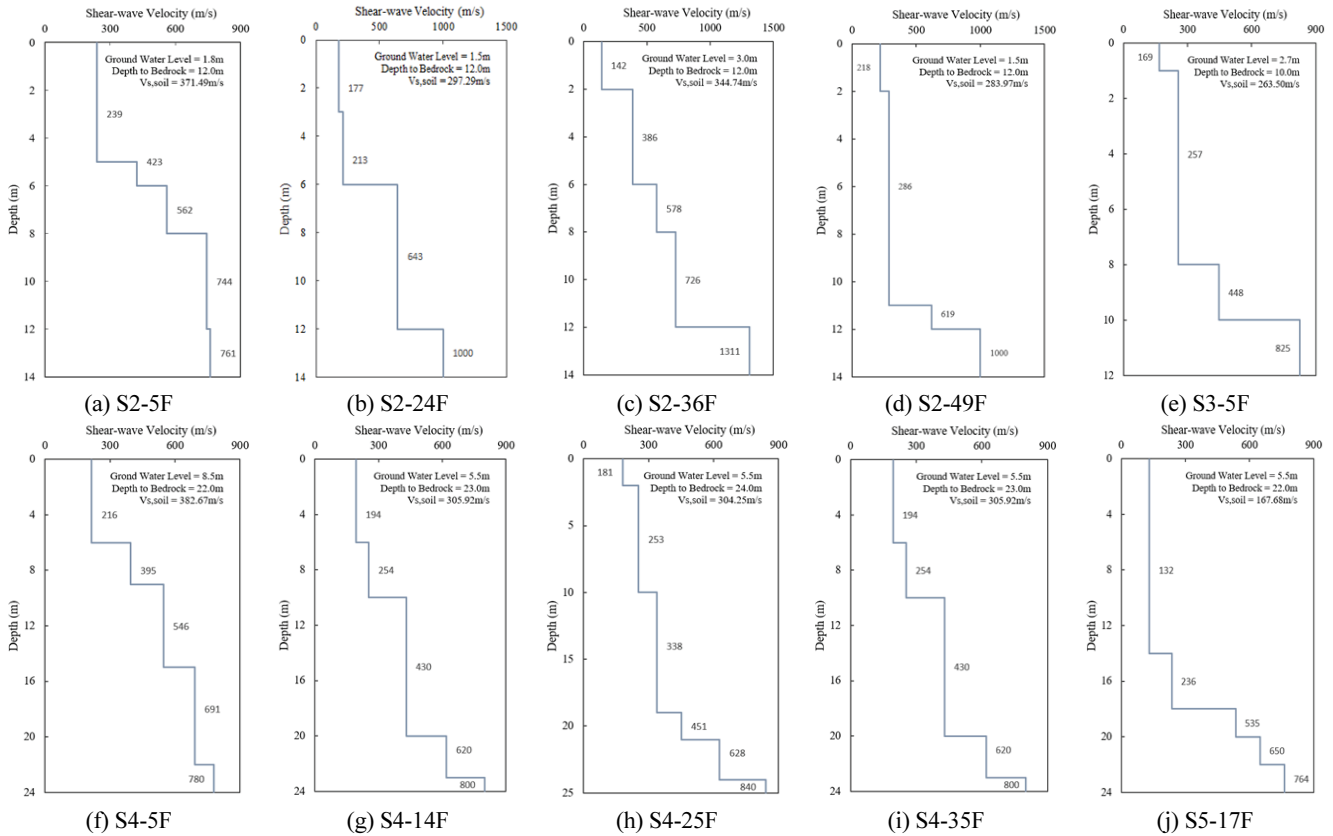


Fig. 2 Shear wave velocity of representative project

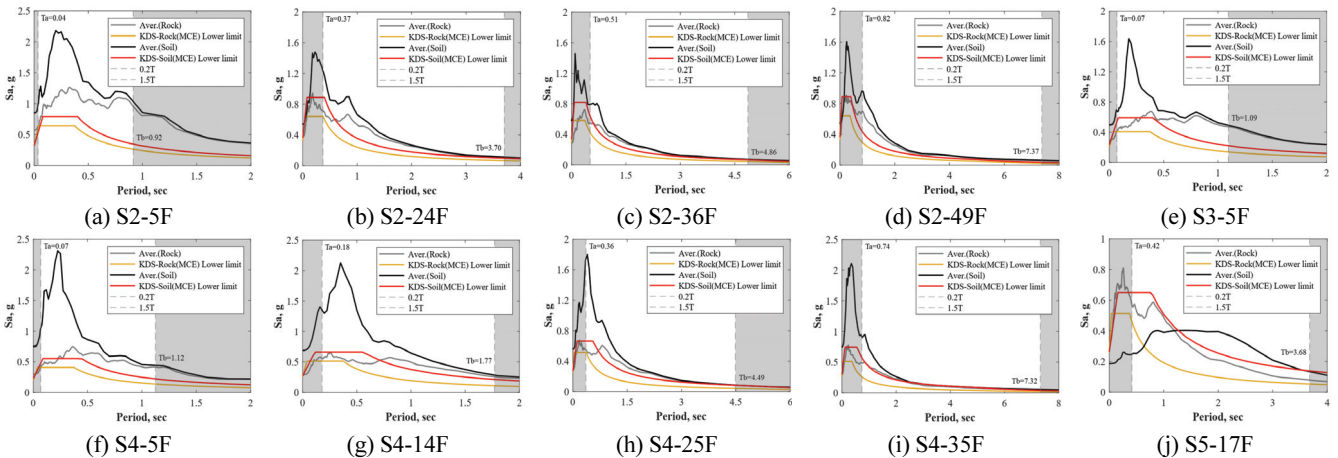


Fig. 3 Response spectrum of representative project

전체 프로젝트에 대해 푸리에 스펙트럼과 응답스펙트럼으로 산정된 증폭계수를 나타내었다.

최종 7쌍의 지진파를 선정하는 데 다소 어려움이 있는 프로젝트도 존재하였으나 S5지반을 제외한 나머지 프로젝트의 경우 부지응답 전/후에서의 기준을 만족하는 지진파 조합을 선정할 수 있었다. 국내 대표 프로젝트에 대한 입력지진파 및 표면지진파의 응답스펙트럼을 통해 주로 단주기 영역에서 증폭 현상이 발생함을 확인할 수 있었으며, 최대증폭은 약 2~4배 정도로 나타났다.

S2-5F는 부지응답해석 전에 대한 기준을 만족하기 위해 기준 스펙트럼을 크게 상회하는 지반운동을 입력지진파로 활용해야만 했으며, 동일한 지반 등급의 다른 프로젝트와 비교하여 표면지진파가 현저히 크게 나타났다. 그러나 입력지진파 대비 표면지진파의 증폭계수는 다른 프로젝트와 유사한 수준을 지니는 것으로 나타나 해당 결과는 크기가 큰 입력지진파에 기인한 결과로 보인다.

국내 지반에 대한 부지응답해석 결과 주로 단주기영역에서 증폭현상이 발생하고 2초 이상의 주기에서는 눈에 띄는 증폭 현상이 발생되지 않는 것으로 나타나, 관심주기 영역이 장주기에 속하는 S4-35F의 경우 다른 프로젝트에 비해 7쌍의 지진파 조합을 선정하는 데 어려움이 있었다. 이에 최종 지진파 선정 시, 장주기 영역에서 다소 큰 스펙트럼 가속도를 지니는 입력지진파를 고려함으로써 해석 전/후 과정의 기준을 만족하는 조합을 선정하기 용이하도록 하였다.

그러나 S5-17F의 경우 1초 이하의 주기에서 증폭계수는 1 이하로 국내 지반에서 발생하는 일반적인 경향과 상이하게 단주기영역에서 감소하는 결과가 나타났다. 또한 최대증폭은

2초 근처의 주기에서 발생하였고 이 때 증폭은 약 2배 수준으로 타 프로젝트에 비해 다소 낮은 증폭현상이 발생함을 확인할 수 있었다.

등가선형해석은 전단변형률, 최대지반가속도 등에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 해석의 안정성 범위를 벗어나는 값이 적용되면 결과에 대한 신뢰성이 낮아질 수 있다. 특히 연약지반의 경우 큰 전단변형률이 발생할 수 있어 등가선형해석을 수행하기에 적합하지 않을 수 있으므로 해당 프로젝트의 결과를 활용하기 위해서는 좀 더 면밀한 분석이 필요한 것으로 사료된다.

2.3 현행 내진설계기준에 대한 고찰

2.3.1 입력 지반운동

스케일 팩터를 통한 실지진기록 조정 시 모든 주기에서 동일하게 적용되며 이는 진폭을 조정하는 방법과 유사하다. 따라서 스케일이 적용되더라도 지반운동에 따라 기준 스펙트럼과 비교하여 다소 차이가 큰 구간이 발생할 수 있다. 특히 기준 스펙트럼에 비해 현저히 낮은 구간이 존재하는 실지진기록의 경우 스케일 팩터가 전체적으로 크게 산정되어 관심주기 내 다른 구간에서 과도한 결과를 초래할 수 있다.

국내 지반조건에 적합한 지진기록으로 이루어진 데이터베이스를 활용하더라도 이와 같은 사항을 고려하지 않고 최소 응답스펙트럼 가속도만을 초과하도록 조정된 지반운동이 입력지진파로 활용될 수 있다. 이는 부지응답해석의 결과인 표면지진파에 대한 신뢰성 저하로 이어질 뿐 아니라 국내지반에서 발생가능한 지진파를 고려했다고 판단하기 어려우므로 부지응답해석을 위한 입력지진파의 스케일 적용 시 주의가

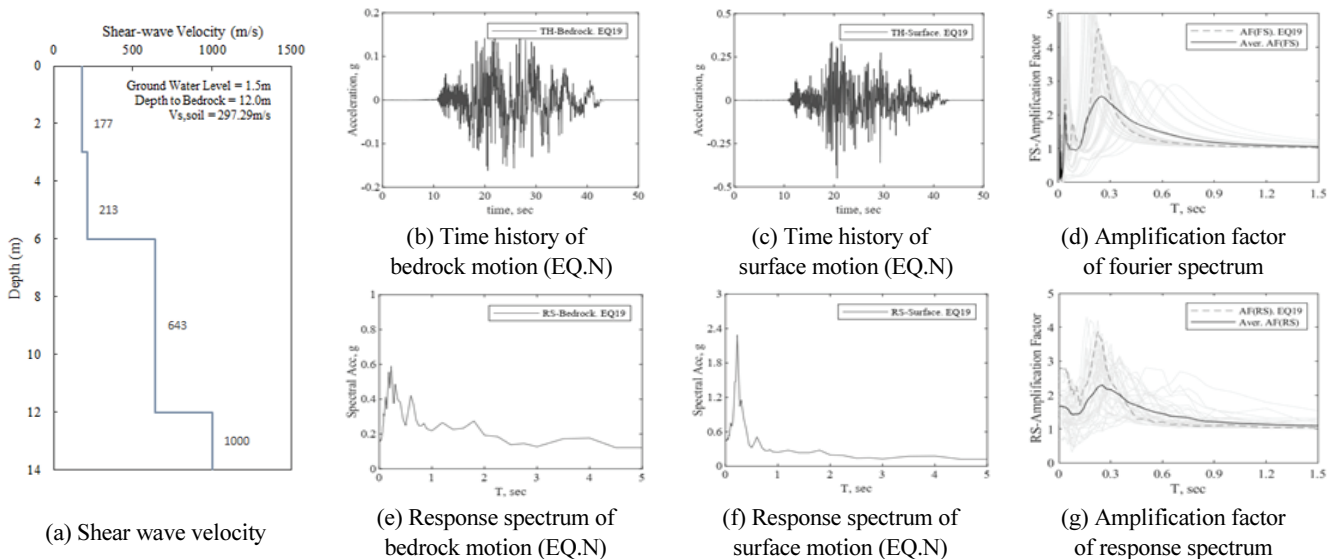


Fig. 4 Site response analysis results of S2-24F project

필요한 것으로 사료된다.

2.3.2 관심주기 범위

하한 및 상한 값으로 제한된 관심주기의 범위는 불확실성에 대한 영향을 고려하여 안전성을 높이기 위해 반영되었다. 그러나 설계대상 건물의 고유주기가 초단주기 또는 장주기에 해당하는 경우 과도하게 보수적으로 적용되는 사례가 발생할 수 있는데, 이는 저층건물에 해당하는 S2-5F, S3-5F, S4-5F와 고층건물에 해당하는 S2-49F, S4-35F의 비교 결과를 통해 확인 가능하다.

저층건물에 해당하는 프로젝트의 경우 관심주기의 최솟값(0.2T)이 0.04-0.07초로 해당 주기에서 기준을 만족하는 지반운동을 선정하는 데 어려움이 있다. 부지응답해석 결과 표면지진파가 기준을 만족하더라도 입력지진파에 대한 기준을 만족하지 않는 경우가 다소 발생할 수 있으며, 부지응답해석 전/후의 기준을 모두 만족하기 위해 스케일 팩터를 재조정하고

해석을 다시 수행하는 과정을 반복해야만 한다.

특히 S2-5F의 최소 관심주기는 0.04로 기준 스펙트럼에서 가속도 일정구간이 시작되는 주기보다 더 낮은 주기이며, 해당 구간에서 스펙트럼 가속도가 높은 지진기록이 적어 기준을 만족하기 위해 과도한 조정이 이루어진다. 이는 고층구조물의 영향을 고려하기 위해 규정된 관심주기의 최솟값으로 인해 저층건물의 지반운동 선정 시 불필요한 영향을 주는 경우로 볼 수 있으며, 안전성을 위해 폭넓게 제한된 관심주기에 대한 조정이 필요한 것으로 사료된다.

고층건물에 해당하는 프로젝트의 최대 관심주기(1.5T)는 5초 이상으로, 장주기 구간에서 눈에 띄는 증폭 현상이 발생하지 않아 표면지진파의 기준을 만족하기 위해 다소 높은 스케일이 적용되었다. 이는 고층건물에 대한 부지응답해석 시 관심주기 내에서 기준 스펙트럼을 만족하는 최종 지진파 조합을 선정하는 데 다소 어려움이 발생할 수 있음을 보여준다.

따라서 건물 및 지반 특성이 다양함에도 불구하고 구조물

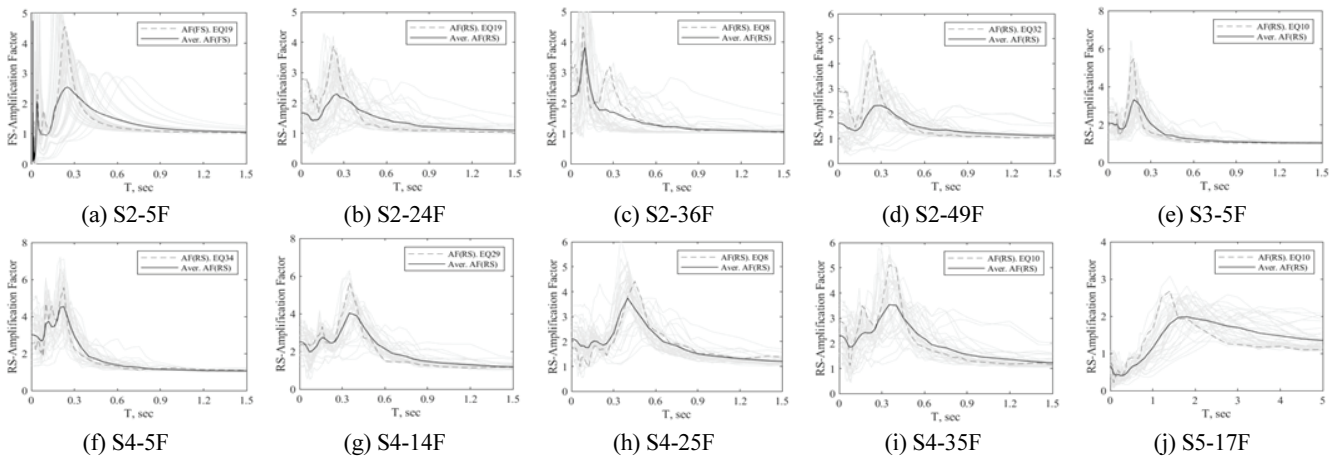


Fig. 5 Amplification factor : Response spectrum of representative project

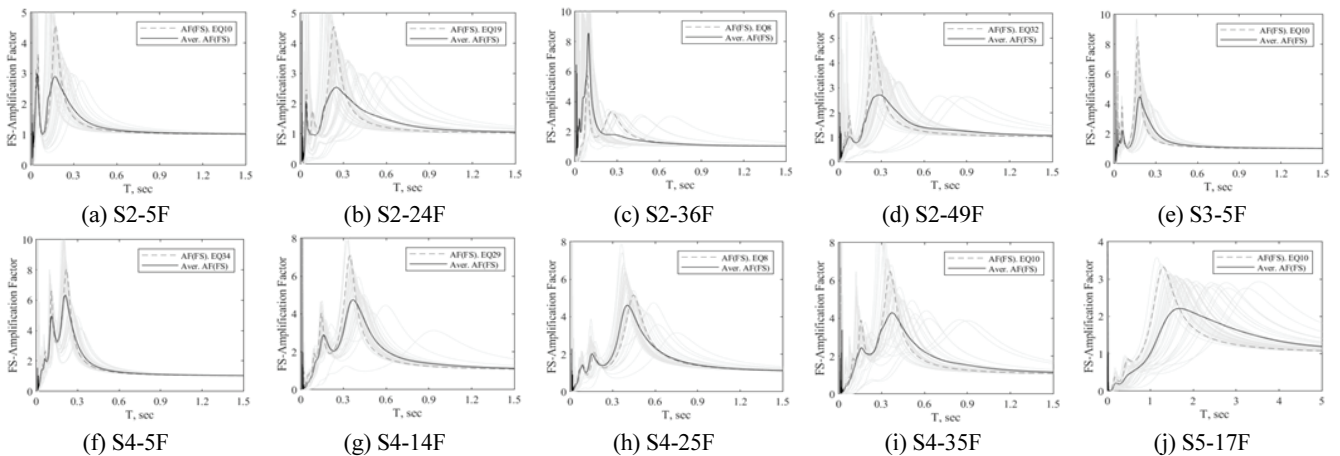


Fig. 6 Amplification factor : Fourier spectrum of representative project

의 기본진동주기에 동일한 배수가 적용된 관심주기 내에서 해석 전/후의 기준 만족 여부를 확인하는 데 무리가 있어 보이며, 특히 저층구조물의 경우 초단주기 구간에서 암반운동에 대한 기준을 만족시키기 위해 다소 불필요한 소모적인 과정이 발생하는 것으로 판단되어 해당 기준에 대한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

2.3.3 최종 지진과 선정

시간이력해석에 활용되는 지반운동에 대한 기준은 관심주기 내에서 제곱합제곱근 스펙트럼들의 평균값이 최소응답스펙트럼 가속도 이상이 되도록 규정하고 있다. 하지만 최종적으로 선정되는 7쌍의 지진과에 대한 선정기준이 응답스펙트럼 가속도의 하한선을 제외하고는 명시되어 있지 않아 실무자의 개별적인 판단으로 선정되고 있다.

여러 연구자들에 의해 지반운동집단을 효율적으로 선정하는 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있으나 다양한 알고리즘으로 인해 사용자에게 적합하고 편리한 절차를 선정하기 어려울 수 있다. 또한 프로젝트 및 수행 집단에 따라 변동되는 선정방법의 차이는 상이한 결과를 초래할 수 있어 결과의 신

뢰성 확보를 위해 선정방법에 대한 확인이 필요해 보인다.

2.3.4 연약지반

등가선형해석으로 부지응답해석을 수행하는 경우, 전단변형률이 크게 발생하는 지반에서는 정확성이 감소할 수 있다. 선행된 연구 결과(Kaklamanos et al., 2013)에서 최대 전단변형률이 0.4%를 초과할 시에 등가선형해석은 증폭현상을 과소평가하는 것으로 나타나 비선형해석을 권장하고 있다.

이에 토층 깊이에 따른 최대 전단변형률을 Fig. 7에 나타내고 0.4% 이내에 존재하는지 여부를 확인하였으며, S5-17F의 경우 최대 2%로 현저히 크게 나타났다. 따라서 해당 지반의 거동에 대해 정확한 모사가 이루어졌다고 보기 어려웠으며, 변경된 지반 모델 및 변수 등을 통해 재해석한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 이는 타 프로젝트에서 나타나는 경향과는 상이한 결과로 해당 지반에 대한 부지응답해석 시 상당한 주의가 필요해 보인다.

연약지반의 경우 국내/외 문헌자료의 일반적인 물성을 참고하기에 적절하지 않을 수 있어 지반 물성과 해석기법의 올바른 선정을 위해 면밀한 조사가 선행되어야 할 것으로 판단

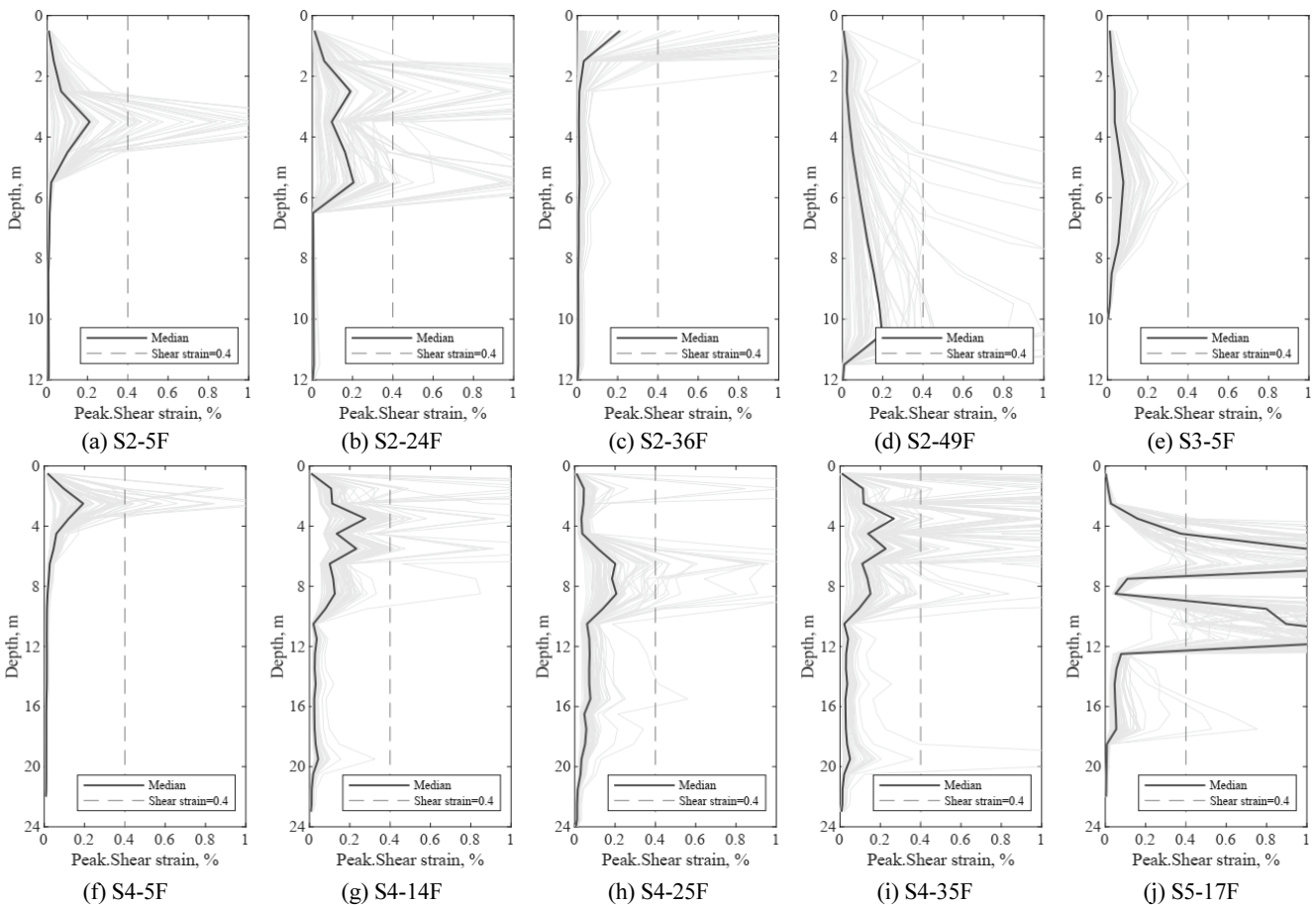


Fig. 7 Peak Shear Strain of representative project

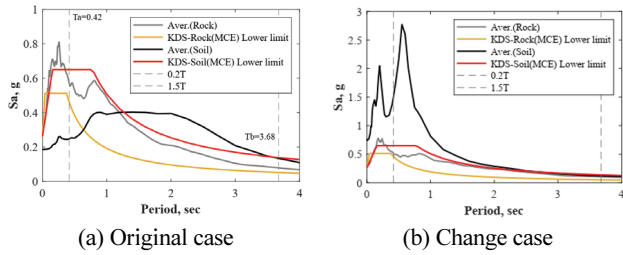


Fig. 8 Response spectrum for S5-17F

된다. 또한 해석결과의 타당성을 위해 해석 방법에 따라 부적합한 요인이 될 수 있는 입력지진파의 크기, 최대 전단변형률 등과 같이 추가적으로 고려해야하는 사항들에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

3. 결론

국내에서 비선형동적해석을 위해 부지응답해석이 수행되는 일반적인 사례를 일부 선정하고, 최신 내진설계기준에 따라 해석을 수행하였다. 그 결과 실무 수행 시 현행 기준을 따름으로써 발생 가능한 문제점은 다음과 같다.

(1) 최소응답스펙트럼 가속도만을 초과하도록 입력지진파를 조정하는 경우, 스케일이 과도하게 산정될 수 있다. 주로 기준 스펙트럼에 비해 현저히 낮은 구간 때문에 발생되며, 조정된 암반운동은 기준을 크게 상회한다. 따라서 국내 지반에서 발생 가능한 지진파를 고려했다고 보기 어려우므로 스케일 산정 시 주의가 필요한 것으로 사료된다.

(2) 관심주기에서 부지응답해석 전/후 조건을 모두 만족해야하는 현행 기준으로 인해 최종지진파 선정 시 과도한 결과를 초래할 수 있다. 특히 초단주기를 관심주기로 지나는 저층 건물의 경우, 암반운동에 대한 기준을 만족시키기 위해 다소 불필요한 과정이 동반되므로 해당 조항에 대한 검토가 필요해 보인다.

(3) 지반운동 선정 및 보정과 관련하여 평균 응답스펙트럼에 대한 하한선만 규정하고 있을 뿐 최종지진파 조합에 대한 선정 기준이 명기되어 있지 않다. 이에 실무자에 따라 지반운동집단이 다르게 선정될 수 있으므로 신뢰성 있는 결과를 위해 선정 방법에 대한 확인이 필요한 것으로 사료된다.

(4) 해석기법에 따라 적용 가능한 조건이 있음에도 불구하고 이를 고려하지 않은 채 해석이 수행될 수 있다. 특히 불확실

성을 많이 내재하고 있는 연약지반의 경우, 지반물성과 해석 기법의 적절한 선정을 위해 면밀한 조사가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

References

1. Architectural Institute of Korea, Seismic Building Design Code, Architectural Institute of Korea, 2019.
2. EduPro Civil Systems. (2017), Proshake Ground Response Analysis Program Version 2.0, EduPro Civil Systems.
3. Hardin B. O., Drnevich, V. P. (1972), Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, ASCE, 98(7), 667-692.
4. Ha, S. J., Han, S. W. (2016), A Method for Selecting Ground Motions Considering Target Response Spectrum Mean, Variance and Correlation- II Seismic Response, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Earthquake Engineering Society of Korea, 20(1), 63-70.
5. James Kaklamanos, Brendon, A. B., Eric, M. T., Laurie, G. B. (2013), Critical Parameters Affecting Bias and Variability in Site-Response Analyses Using KiK-net Downhole Array Data, Bulletin of the Seismological Society of America, SSA, 103(3), 1733-1749.
6. Kramer, S. L. (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, 270-273.
7. Mehmet Baris Darendeli (2001), Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves, Ph.D. dissertation, The University of Texas at Austin.
8. Mladen Vucetic, Ricardo Dobry (1991), Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 117(1), 89-107.
9. Seed, H. B., Idriss, I. M. (1970), Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses, EERC, California.
10. Sun, C. G., Chung, C. K., Kim, D. S. (2005), A Proposition of Site Coefficients and Site Classification System for Design Ground Motions at Inland of the Korean Peninsula, Journal of the Korean Geotechnical Society, Korean Geotechnical Society, 21(6), 101-115.
11. Sun, C. G., Han, J. T., Choi, J. I., Kim, K. S., Kim, M. M. (2007), Investigation into the Input Earthquake Motions and Properties for Round Robin Test on Ground Response Analysis, Proceedings of the Korean Geotechnical Society, Korean Geotechnical Society, 266-292.

Received : 09/09/2020

Revised : 10/14/2020

Accepted : 10/14/2020

요 지 : 최신 내진설계기준 KDS 41 17 00에 비선형동적해석에 사용될 지반운동 선정 및 보정에 관한 절차가 반영되었으나 관련 문헌 부족으로 실무적 차원에서의 적용이 여전히 어려운 실정이다. 본 연구는 비선형동적해석 수행을 위한 지반운동을 선정하고 보정하기 위해 부지 응답해석을 수행한 사례를 소개한다. 이에 근거하여, 현행 설계기준에 명기된 부지응답해석 관련 조항을 실무적용 차원에서 검토하였다. 그 결과 암반운동선정에 관한 설계조항이 지나치게 엄격하여 과도한 결과를 초래하는 것으로 나타났다. 이는 가속도 민감 구간을 포함한 관심주기범위를 지닌 저층 구조물일수록 더욱 부각되는 것으로 판단된다. 특히 표면지진파가 기준에 적합한 응답을 보였음에도 불구하고, 해석 전 절차의 암반운동선정과 관련된 조항으로 인해 해석 후 절차와 관계없이 지진파를 다시 선정 및 보정해야만 했다. 또한, 연약지반이거나 해당 지반에 강한 지진이 발생하는 경우에는 지반물성과 적절한 해석 기법을 올바르게 선정하기 위해 더욱 엄격한 조사가 선행되어야 한다고 판단된다. 지반물성과 해석기법에 관한 신뢰도가 조금이라도 문제가 있다면 설계용도로 사용하기에 부적합한 결과를 초래할 수 있기 때문이다.

핵심용어 : 입력지진파, 국내설계기준, 관심주기, 응답스펙트럼, 지반 종류, 지반 증폭, 부지응답해석, 표면지진파
