경주형 지진파에 의해 발생가능한 지반증폭 특성에 따른 세종시 부지구역화에 관한 연구

A Study on Microzonation of Sejong City Area by Site Amplification Caused by Gyeongju Type Earthquake

이준성* · 박형춘** · 오현주***

Lee, JunSung*, Park, HyungChoon**, and Oh, HyunJu***

Abstract

When an earthquake occurs, ground amplification is caused by the soil. For the same earthquake, the magnitude of ground vibration experienced by buildings varies depending on the ground conditions. In this study, ground response analysis was performed for 120 locations in Sejong City, using Gyeongju earthquake waves, which reflect the characteristics of possible seismic waves in Korea. By creating a map using the Peak Ground Acceleration (PGA) that the structure will experience and the ground natural period for each location, a map of the building type (building layer) that is likely to be earthquake-prone was determined based on the double resonance phenomenon, and the seismic hazard in the target area was assessed. The microzonation map based on the characteristics of these ground amplifications could be used for selecting the priority for inspection or the priority for anti-seismic reinforcement in the event of an earthquake.

Key words : Ground Amplification, PGA (Peak Ground Acceleration), Sejong City, Earthquake Disaster Map

요 지

지진발생 시 토층에 의한 지진동 증폭현상이 발생하고, 동일한 지진에 대해서도 지반의 상태에 따라 건축물이 경험하는 지표면 지반진동의 크기는 달라지게 된다. 본 연구에서는 세종시 신도시 지역의 120개 조사 위치에 대하여 국내 발생가능한 지진파의 특성을 반영한 경주형 지진파를 이용하여 지반응답해석을 수행하였다. 도출된 지반응답해석 결과를 이용하여 대상부지에서 주어진 지진에 대해 실제 발생할, 즉 구조물이 경험하게 될 지표면 PGA (Peak Ground Acceleration) Map 형태와 각 위치별 지반 고유주기를 활용한 Map 작성을 통해 이중공진(Double Resonance)에 의해 지진재해 발생가능성이 큰 건물유형(건물층수) 지도를 결정하고 대상영역의 지진재해 위험성에 대한 평가를 수행하였다. 이러한 지반증폭 특성에 따른 부지구역화 지도는 지진발생 시 점검 우선순위나 내진보강 우선순위 선정 등에 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 지반증폭, 최대 지반 가속도, 세종시, 지진재해 위험도

1. 서 론

최근 환태평양 조산대의 지진발생빈도가 증가하고 있다. 2018년 9월 6일 일본 홋카이도 지진(규모 6.7)에 이어 2018년 9월 8일 하루에만 중국 윈난성(규모 5.9), 에콰도르(규모 6.3), 필리핀(규모 6.4)에서 연이어 강진이 발생해 수많은 인명과 경제적 피해를 주었다. 우리나라는 유라시아판 경계 내부에

위치하여 지진에 대한 안전국(지진발생 중약진 지역)으로 여겨져 왔지만, 2016년 2차례 발생한 경주지진(규모 5.8, 5.1) 및 2017년 포항지진(규모 5.4)으로 인해 더 이상 우리나라도 지진에 대해 안전하지 않음을 사회적으로 일깨워주는 계기가 되었다. 지진 발생 시 구조물이 경험하게 되는 진동의 특성은 지진규모, 진원까지의 거리, 지속시간, 부지지반 특성 등 여러 원인에 영향을 받는다(Seed et al., 1976; Idriss, 1990).

*정회원, 충남대학교 토목공학과 지반공학 박사과정(E-mail: cyberlove98@lh.or.kr)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

**교신저자, 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-42-821-5673, Fax: +82-42-825-03187, E-mail: civilman@cnu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

***정회원, 충남대학교 토목공학과 지반공학 석사과정

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

이때 지반이 가진 부지고유의 특성에 의해 지진동 증폭 현상이 발생하게 된다. 1967년 Caracas, 1985년 Mexico City, 1989년 Loma Prieta, 1994년 Northridge, 1995년 Kobe 지진 등에서 보면 동일한 지진에도 불구하고 지반조건에 따라 구조물이 위치하게 되는 지표면이 상이한 지진하중(지진가속도)을 경험하고, 이에 따른 피해 영향범위도 달랐다.

본 연구에서는 세종시 지역의 120개 위치에 대하여 국내 발생가능한 지진파의 특성을 반영한 경주형 지진파를 이용하여 지반응답해석을 수행하여 2장에서 제시하였다. 3장에서는 도출된 지반응답해석 결과를 이용하여 세종시 영역에서 경주형 지진파에 대해 구조물이 경험하게 될 지표면 Peak Ground Acceleration (PGA) 분포지도를 결정하였다. 또한 각 위치별 지반 고유주기를 결정하여 세종시 지역 지반 고유주기 분포지도를 결정하였다. 이를 통해 지진 발생 시 이중공진(Double Resonance)에 의해 지진재해 발생가능성이 큰 건물유형(건물층수)의 개략적인 지도를 결정하였다.

2. 세종시 지역의 지반응답해석

2.1 세종시의 지질학적 특성

세종시는 6생활권역으로 구분되어 있으며, 1~4생활권역은 조성이 대부분 완료되었다. 5~6생활권역은 개발예정이며, 6생활권 일부공사가 착공되어 공사 중에 있다. 본 논문의 대상지는 1~4생활권역이며, 북고남저형의 지형으로 북측권역(1, 5, 6) 생활권은 전월산, 원수산 산계를 중심으로 기반암 위 지층이 얇고, 남측권역(2, 3, 4) 생활권은 금강 수계를 중심으로 한 충적층이 분포하여 성토매립이 주로 이루어진 지역으로 기반암 깊이가 깊다. Fig. 1은 세종시 지역의 권역지도와 위치 및 고도, 수계 그리고 위치에 따른 부지조성 유형(절·성토, 보완 지역) 지도이다(KLC, 2006)

Fig. 1. Sejong City

2.2 지반응답해석

지반응답해석은 기반암 위치에 주어진 입력지진에 대한 지반 내 응답을 구하는 과정이다. 기반암에서 토사지반으로 입사한 지진파는 지반을 통과하여 지표로 도달하는 과정에서 지반조건에 따라 증폭이 발생하게 되면, 이러한 지진파 전파 과정에 발생하는 깊이별 최대지반가속도, 깊이별 전단 변형률 및 전단응력 그리고 응답스펙트럼 등을 지반응답 해석을 통해 결정하게 된다. 이러한 지진응답 해석결과는 전단파속도 주상도, 전단변형률-전단탄성계수 또는 감쇠비 곡선과 같은 지반물성치와 입력지진파에 큰 영향을 받는다 (Kramer, 1996).

본 연구에서는 SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992)을 사용하여 지반응답해석을 수행하였다. 사용된 입력지진파와 지반 물성치는 다음과 같다.

2.2.1 지반응답해석을 위한 지반물성치

세종시 건설을 위해 수행된 다양한 지반조사 결과들 중 Down Hole Test를 통해 얻어진 전단파 속도 주상도 들을 사용하여 지반응답 해석을 수행하였다. 본 연구에서 지반응답 해석을 위해 사용된 V_s 주상도들이 얻어진 지반조사 위치는 Fig. 2와 같다. 전체 시추공은 120공으로 1~4생활권 전역에 고루 분포되어 있다. 1~4생활권역 중 지반조사가 이루어지지 않은 곳은 주로 산악지형이며, 세종시 북서부(5~6생활권)지역은 개발 예정지로 6생활권 일부지역만 공사가 진행 중에 있으며, 이 지역과 관련된 지반응답해석은 추후에 수행될 예정이다. Fig. 3은 각 생활권들에서 결정된 전단파속도 주상도의 일부를 나타낸 그림이다. 1생활권은 산지지역 내 일부 조사공을 제외하고 약 20 m 내외에서 기반암(760 m/s)이 노출되고 있다. 2생활권은 산의 능선지역에 위치한 조사공은 20 m 이내에 기반암이 노출되나 Fig. 3(b)에서와 같이 충적지와 금강 수계가 맞닿아 10 m 내외 성토매립이 이루어진 지역은 전단파속도값이 하부 퇴적층과 유사하며, 기반암 노출깊이가 매우 깊어짐을 알 수 있다. 3생활권은 대평뜰이 위치했던 지역으로 전 지역이 약 10 m 내외의 성토매립이 이루어져 전반적으로 낮은 전단파 속도값(200~400 m/s)을

Fig. 2. Survey Location Map

Fig. 3. Shear Wave Velocity Profiles in Sejong City

보이고 있다. 4생활권은 괴화산을 중심으로 한 산지지역과 금강수계와 맞닿은 성토지역이 혼재되어 산지지역은 10 m 이내 기반암이 노출되고, 성토지역은 조사위치마다 다른 속도분포를 보이고 있다. 전반적으로 산지는 얇은 위치에서 기반암이 노출되고, 성토지역은 낮은 전단파속도와 깊은 기반암 분포를 보이고 있다.

지반응답해석에서는 지층별 변형률에 따른 정규화된 전단탄성계수 곡선($\gamma-G/G_{max}$ 곡선) 및 감쇠비 곡선($\gamma-D$ 곡선)이 필요하다. 본 연구에서는 지반응답해석을 위한 정규화된 전단탄성계수 및 감쇠비 곡선을 내진설계기준의 지반분류체계 및 설계응답스펙트럼 개선을 위한 연구(Cho et al., 2016a, 2016b, 2016c)에서 적용된 값을 사용하였다.

이러한 곡선은 국내지반특성이 반영된 정규화된 전단탄성계수 곡선과 감쇠비 곡선이다. 각 위치에서 지반 조사 시 얻어진 층별 지반 층별 지반 분류(매립토, 퇴적토, 풍화토, 기반암)에 따라 Fig. 4에 주어진 정규화된 전단탄성계수 곡선

과 감쇠비 곡선을 선택하여 지반응답해석에 사용하였다.

2.2.2 지반응답 해석을 위한 입력지진파 선정

일반적으로 지반응답해석을 수행하기 위해서는 미국의 경우 ASCE 7-10에 따라 입력지진파로 최소 7개 이상 지진기록을 사용, 그 평균스펙트럼을 활용할 것을 명시하고 있다(ASCE, 2010). 이러한 지진파의 사용은 지진하중의 다양성 또는 불확실성을 고려하기 위한 것으로, 최근까지 규모있는 지진기록이 없던 국내에서는 주로 국외(미국이나 일본)에서 발생했던 지진파 시간 기록을 사용하였다. 그러나 이러한 지진파들은 국내에서 발생 가능한 지진을 표현한다고 보기 어렵다. 2016년 경주 및 2017년 포항에서 발생한 규모 있는 지진은 국내에서 발생 가능한 규모있는 지진파 산정을 가능하게 한다. 최근 개정이 이루어지고 있는 기존 시설물 내진성능 평가요령에서는 국내 여건이 반영된 지진파 시간이력을 사용하되 지진파 시간이력의 응답스펙트럼이 표준설계응답스펙트럼에 상응하여야 한다고 규정하고 있다(KISTEC, 2019). 그러나 이러한 지진파 생성에 구체적인 방법은 규정에서 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 Park and Kim (2018b)에 의해 생성된 규모 5.8 경주지진 유발단층에서 발생가능한 지진파를 설계응답스펙트럼에 상응하게 수정하여 지반응답해석에 사용하였고, 설계응답스펙트럼에 상응하는 지진파 수정은 Park and Kim (2018a), Park and Beck (2018)에 의해 제안된 방법에 따라 내진설계 기준 공통적용사항(2017)에서 제시하는 세종시 지역 붕괴방지 1등급과 특등급 수준 기반암 위치 설계응답스펙트럼을 사용하여 수행되었다. Fig. 5(a)와 Fig. 6(a)는 세종시 기반암 위치 붕괴방지 1등급과 특등급 설계응답 스펙트럼과 생성된 지진파에 의한 응답스펙트럼을 비교한 그림이다. 그림을 보면 생성된 지진파들의 응답스펙트럼은 각 설계응답 스펙트럼에 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. Fig. 5(b)와 Fig. 6(b)는 최종적으로 생성된 지진파 시간이력이다.

(a) G/Gmax curve

(b) Damping curve

Fig. 4. Dynamic Soil Properties for the Representative Soil Types

Fig. 5. Comparison of Response Spectrums and Generated Input Earthquake Time History for Ground Response Analysis (Seismic grade 1-Collapse prevention level)

Fig. 6. Comparison of Response Spectrums and Generated Input Earthquake Time History for Ground Response Analysis (Seismic special grade-Collapse prevention level)

3. 지반응답해석을 통한 세종시 부지구역화

3.1 지반의 고유주기 분포

지진시 지반응답현상에 영향을 주는 요소들은 토층의 두께(기반암 깊이) 및 전단파 속도 그리고 이에 따른 지반의 고유주기와 지진파의 특성 등이다. 지반의 고유주기(TG)는 다음의 Eq. (1) (Yoon et al., 2006)을 이용하여 산정할 수 있다. 식에서 볼 수 있듯이 지반의 고유주기는 기반암 깊이와 전단파속도의 함수이다.

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{V_{S_i}} \quad (1)$$

T_G : 지반 고유주기(sec)

V_{S_i} : i번 지층의 전단파속도(m/sec)

D_i : 기반암 깊이 까지의 i번 지층의 두께(m)

Fig. 7은 전단파속도 760 m/s로 정의되는 기반암 깊이별 빈도수(frequency) 분포 그림이다. 그림을 보면 기존 지형이 산지인 1생활권과 4생활권에서 기반암이 20 m 이내의 얇은 깊이에 분포하며, 평야지대로 성토매립이 이루어진 2생활권, 3생활권은 주로 30 m 이상의 깊은 기반암분포를 보이고 있다.

Fig. 7. Bedrock Depth Distribution

Fig. 8은 영역별 지반 고유주기 빈도수 분포 그림이다. 기반암 깊이가 대부분 20 m 이내로 상대적으로 얇은 기반암 깊이를 가지는 1생활권 지반의 고유주기가 0.1초 내에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 상대적으로 깊은 기반암 깊이를 가지는 2생활권에서는 지반의 고유주기도 기반암 20 m 이내 지역은 0.1~0.2초 사이에, 20 m 이상 지역은 0.3~0.5초 사이에 분포하고 있다. 3생활권은 대부분의 지역이 성토지역임에

따라 기반암이 30 m 이상이며, 지반의 고유주기는 0.3~0.5초 사이의 값을 보이고 있다. 4생활권은 금강변 주변 성토지역과 괴화산 주변 산지지형이 공존함에 따라 기반암의 깊이가 다양하게 나타나고 있으며, 지반의 고유주기 또한 다양하게 분포하고 있다. 기반암 깊이 10 m 이내의 지역은 지반의 고유주기 0.1초, 기반암 깊이 20 m 내외의 지역은 0.2~0.3초, 그리고 기반암 깊이 20 m 이상의 지역은 0.3~0.5초의 지반 고유주기를 갖고 있음을 개략적으로 볼 수 있다.

Fig. 8. Natural Period Distribution

Fig 9는 각 영역별 기반암 깊이 증가에 따른 지반고유주기 분포 그림이다. 그림을 보면 기반암 깊이 증가에 비례하여 고유주기가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이때 고유주기가 깊이에 따라 증가하는 비율은 지역에 따라 다르다. 이러한 차이는 각 영역별 지반의 전단파 속도 차이 때문이다.

Fig. 9. Natural Period Variation with Bedrock Depth

3.2 지반증폭 특성에 따른 세종시 부지구역화

Fig 10은 SHAKE 91을 사용하여 세종시에서 수행된 지반 응답해석 결과이다. 이를 통해 대상 지진에 의해 발생하는 깊이별 지반 가속도와 기반암위치와 지표면에서의 응답스펙트럼 결정을 통해 주파수별 기반암 진동에 대한 지표면 지반가속도의 증폭정도를 결정 할 수 있다. 지반증폭비는 기반암에서의 최대지반가속도와 지표면에서의 최대지반가속도의 비로 산정하였다.

(a) Depth-PGA

(b) Response Spectrum (Seismic grade 1-Collapse prevention level)

(c) Response Spectrum (Seismic special grade-Collapse prevention level)

Fig. 10. Acceleration-depth Curve and Comparison between Response Spectra on the Surface and the Bedrock at 11L11

Figs 11, 12는 경주형 지진파에 의한 세종시 최대지반가속도와 지반증폭비 분포 그림이다. 그림을 보면 지표면 최대지반가속도는 내진1등급(붕괴방지수준)의 경우 0.15 g ~ 0.46 g 사이의 값을 보이고, 내진특등급(붕괴방지수준)의 경우 0.20 g ~ 0.69 g 사이의 값을 보이고 있다. 지반증폭비는 내진 1등급 및 특등급 모두 1.0 ~ 4.1배 사이의 값을 보이고 있다. 평균적으로는 내진1등급은 2.1배, 내진특등급은 1.8배의 지반증폭이 발생할 것으로 예상된다.

Fig. 11. Peak Ground Accel. Distribution

Fig. 12. Site Amplification Ratio Distribution

Figs. 13, 14는 내진 1등급 및 특등급 구조물에 대한 붕괴방지수준의 지표면 최대지반가속도, 지반증폭비를 도시한 행정중심복합도시 최대지반가속도에 따른 부지구역화 지도이다. 산과 산 사이에 매립 조성된 지점 특히, 토사지반과 기반암의 강성차이가 큰 경우 지반증폭이 크게 발생함을 볼 수 있었다. 1생활권에서 얕은 기반암깊이를 가지는 위치에서도 2.3배 정도의 큰 지반증폭을 보여주는 경우가 있는데, 이런 위치는 토사지반($V_s = 181$ m/s)과 기반암($V_s = 1,351$ m/s)의 전단파속도 차이가 굉장히 큰 지점임을 확인하였다. Manandhar et al. (2016)은 1997년 지반분류 기준(BSSC, 1997)에서 국내 Sc, Sd 지반을 대표하는 지반을 설정하고 매개변수연구를 통해 기반암 강성이 응답스펙트럼에 미치는 영향을 연구하였는데, 기반암 강성이 760 m/s에서 2,500 m/s까지 증가할 때 국내 Sc, Sd 지반의 스펙트럴 가속도는 각각 80%, 60% 증가한다고 보고한바 있다. 즉 기반암과 토사지반의 강성차 증대에 따라 지반증폭이 크게 발생할 수 있음을 나타낸다. 또한 단주기 특성이 강화된 설계응답스펙트럼의 특성이 영향을 주었을 것이라 판단된다. 구조물이 경험하는 지표면 최대지반가속도가 클 경우 지진재해

Fig. 13. Microzonation Map by PGA (Seismic grade 1-Collapse prevention level)

Fig. 14. Microzonation Map by PGA (Seismic special grade -Collapse prevention level)

위험이 클 것이라 단순하게 가정한다면, 이러한 최대지반가속도에 따른 부지구역화지도는 대상지역의 지진재해 위험을 평가하는데 사용될 수 있고, 사전적 대비 및 점진적 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

Fig. 15는 세종시 신도시지역의 지반의 고유주기를 활용한 부지구역화 지도로서 지반고유주기에 10을 곱하여 정수 값으로 산정 후 도시하였다. 이는 건축물 위험층수 분포를 나타내고 있다. 건축구조기준(MOLIT, 2016)에 따르면 건축물의 고유주기의 약산법으로 12층을 넘지 않고 층의 최소높이가 3 m 이상인 철근콘크리트와 철골모멘트저항골조의 근사고유주기는 0.1N으로 결정하고 있다(여기서, N은 건물의 층수). 지반의 고유주기와 건축물의 고유주기가 일치할 경우 이중공진현상(Double resonance)으로 지반증폭이 과대 발생하게 되므로 지반의 고유주기와 일치되는 건축물의 고유주기 층수가 가장 위험하게 된다.

Fig. 15. Microzonation Map for Buildings

본 연구대상지역은 기반암 깊이 10 m 이내의 지역은 지반의 고유주기 0.1초, 기반암 깊이 20 m 내외의 지역은 0.2~0.3초, 그리고 기반암 깊이 20 m 이상의 지역은 0.3~0.5초의 지반 고유주기를 갖고 있음을 개략적으로 알 수 있었다. Fig. 15를 통해 볼 수 있듯이 산지지형의 기반암 위치가 얕은 지역은 지반의 고유주기가 짧아 파랑계열의 1~2층 건축물이 위험하고, 성토지역의 기반암 위치가 깊은 지역은 지반의 고유주기가 길어 빨강계열의 3~5층 건축물이 위험함을 개략적으로 확인할 수 있다. 이러한 지도는 지진발생시

대략적인 위험도 평가 및 건축구조물 피해 평가 우선순위 산정 등에 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 경주형 지진에 대해 세종시 지반응답해석을 수행하였다. 이를 통해 세종시 지역의 지반증폭 특성을 평가 하였다.

세종시 지역의 지표면 최대지반가속도는 내진1등급, 붕괴방지수준의 경우 0.15 g ~ 0.46 g 사이의 값을 보이고, 내진특등급, 붕괴방지수준의 경우 0.20 g ~ 0.69 g 사이의 값을 보이고 있다. 지반증폭비는 내진1등급 및 특등급 모두 1.0~4.1배 사이의 값을 보이고 있다. 평균적으로는 내진1등급은 2.1배, 내진특등급은 1.8배의 지반증폭이 발생할 것으로 예상된다.

지반 고유주기는 개략적으로 기반암 깊이 10 m 이내의 지역은 0.1초, 기반암 깊이 20 m 내외의 지역은 0.2~0.3초, 그리고 기반암 깊이 20 m 이상의 지역은 0.3~0.5초의 지반 고유주기를 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 기반암이 얇은 절취지역인 1생활권역, 2생활권역은 주로 1~2층 건축물이 이중공진 발생 가능성이 크고, 기반암이 깊은 성토지역인 일부 2생활권역 및 3생활권역에서는 3~5층 건축물이 이중공진 발생 가능성이 큰 것으로 나타났다. 4생활권역은 단주기 구역과 장주기구역이 혼재되어 나타나고 있다.

구조물이 경험하는 지표면 최대지반가속도가 클 경우 지진재해 위험이 클 것이라 단순하게 가정한다면, 본 연구에서 도출된 부지구역화 지도는 지진발생 시 건축물 점검 우선순위나 내진보강 우선순위 선정 등 지진재해에 대한 사전적 대비자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2017R1D1A1A02018644)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2010). *Minimum design loads for buildings and other structures*. ASCE Standards Series ASCE/SEI 7-10. Building Seismic Safety Council (BSSC). (1997). *NEHRP recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. Part 1: Provisions (FEMA 302)*. Washington. D.C., BSSC. Cho, H.I., Manandhar, S., and Kim, D.S. (2016a). Site classification and design response spectra for seismic

code provisions - (I) Database and site response analyses. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 20, No. 4, pp. 235-243. Cho, H.I., Manandhar, S., and Kim, D.S. (2016b). Site classification and design response spectra for seismic code provisions - (II) Proposal. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 20, No. 4, pp. 245-256. Cho, H.I., Manandhar, S., and Kim, D.S. (2016c). Site classification and design response spectra for seismic code provisions - (III) Verification. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 20, No. 4, pp. 257-268. Idriss, I.M. (1990). Response of soft soil sites during earthquakes. *Proceedings of Memorial Symposium to honor Professor Harry Bolton Seed*, Berkeley, California, Vol. II, May, pp. 273-289. Idriss, I.M., and Sun, J.I. (1992). *User's manual for SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analysis of horizontally layered soil deposits*. Davis, CA, USA: University of California. Korea Infrastructure Safety Corporation (KISTEC). (2019). *Guidelines for evaluating the seismic performance of existing facilities*. Korea Land Corporation (KLC). (2006). *A basic design report on the construction project of the central administrative city*. Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall. Manandhar, S., Cho, H.I., and Kim, D.S. (2016). Effect of bedrock stiffness and thickness of weathered rock on response spectrum in Korea. *KSCE Journal of Civil Engineers*, Vol. 20, No. 7, pp. 2644-2691. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016). *Korean building code (KBC)*. MOLIT Notification No. 2016-317. Park, H.C., and Beck, S.W. (2018). Generation of seismic time history corresponding to design response spectrum based on recorded seismic time history. *Proceedings of EESK Conference 2018*, Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 22, pp. 23-24. Park, H.C., and Kim, S.J. (2018a). Generation of Seismic Time History Corresponding to Design Response Spectrum Based on Recorded Seismic Time History in Kyung Ju. *Proceedings of EESK Conference 2018 (Autumn)*, Earthquake Engineering Society of Korea, pp. 105-106.

Park, H.C., and Kim, S.J. (2018b). Possible seismic time history in fault generating M5.8 Kyung-Ju earthquake. *Proceedings of EESK Conference 2018*, Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 22, pp. 21-22.

Seed, H.B., Murarka, R., Lysmer, J., and Idriss, I.M. (1976). Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from source, and local site conditions for moderately strong earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 66, No. 4, pp. 1323-1342.

Yoon, J.K., Kim, D.S., and Bang, E.S. (2006). Development

of site classification system and modification of design response spectra considering geotechnical site characteristics in Korea (II): Development of site classification system. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 10, No. 2, pp. 51-62.

Received	September 1, 2020
Revised	September 1, 2020
Accepted	October 27, 2020