지진 재현주기에 따른 하천 제방의 지진취약성 분석

김경오, 한희수^{*} 국립금오공과대학교 토목공학과

Seismic Vulnerability Analysis of River Levee by Earthquake Return Period

Kyung-Oh Kim, Heui-Soo Han[®] Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요 약 본 연구에서는 공용 중인 하천 제방을 대상으로 포항지진파를 재현주기 200년, 500년, 1000년 그리고 2400년으 로 생성하여 지진취약성을 정량적으로 분석하였다. 재현주기에 따른 지진취약성 분석을 위해 하천 제방에 측점을 설정하 여 제방의 거동을 분석하였다. 연구결과, 지진 발생 시의 변위는 입력지진파와 유사한 경향성을 보였으며 재현주기 2400 년에서 가장 크게 산정되었다. 활동 안정성 검토 결과, 지진 발생전의 안전율을 기준으로 재현주기 2400년일 때 제내지 는 약 31.5% 감소하였고 제외지는 약 26.7% 감소하는 것으로 나타났다. 모든 재현주기에서 최소 기준 안전율을 만족하 는 것으로 나타났다. 하지만, 유효응력경로상 q/p' 비율에 따른 액상화를 검토한 결과, 지진으로 인한 제채 내부의 침윤 면이 상승하여 재현주기 2400년일 때는 제채 대부분에서 액상화가 발생하는 것으로 나타나 지진에 상당히 취약한 것으 로 나타났다. 본 연구를 통해 국내 내진 설계 기준의 재정립이 필요함이 입증되었다고 판단되며, 동역학적 방법을 통한 검토 결과에 대한 명확한 기준 성립이 필요하다고 판단된다.

Abstract In this study, the seismic vulnerability of public river levees was analyzed quantitatively. Input seismic waves were generated in Pohang seismic waves in return periods of 200, 500, 1000, and 2400 years. The behavior of the levee was analyzed by seismic vulnerability analysis according to the return period. The displacement that occurs during an earthquake showed the same tendency as the input seismic wave and was largest in the return period of 2400 years. An analysis of the sliding stability revealed a 31.5% and 26.7% decrease in the sliding safety factor for the return period of 2400 for the landside and waterside, respectively. An examination of liquefaction by the q/p' ratio showed that the seepage line inside the embankment rises due to earthquakes. As a result, in the case of a return period of 2400 years, most embankments generate liquefaction, making them vulnerable to earthquakes. Through this research, it will be necessary to re-establish domestic seismic-design standards and establish clear standards for the results through a dynamics method.

Keywords : River levee, Earthquake Return Period, Seismic Vulnerability, Earthquake, Liquefaction

1. 서론

2017년 규모 5.4로 발생한 포항지진 등으로 인해 국내 토목 및 건축구조물에 대한 내진 설계 재정립 및 지진과 관련된 연구가 활발히 진행되었다. 이러한 배경은 9.12

2016년 경주에서 발생한 규모 5.8의 9.12 지진과

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(2017-104-123). *Corresponding Author : Heui-Soo Han(Kumoh Institute of Technology) email: hanhs@kumoh.ac.kr Received April 8, 2020 Revised May 7, 2020 Accepted May 8, 2020 Published May 31, 2020 지진과 포항지진이 한반도 계기지진 관측 사상 가장 큰 규모이기 때문이다[1].

토목 및 건축구조물에 대한 내진 설계 재정립 과정에 서 하천 제방은 내진설계 제외 시설로 지정되었다[2]. 하 지만 하천 제방은 대표적인 치수시설로써 제내지를 보호 하는데 그 목적이 있으며, 지진 등으로 인해 제체가 붕괴 가 발생할 경우 인적·물적 피해는 필연적으로 야기되기 때문에 이에 대한 검토가 반드시 필요하다.

특히 9.12 지진과 포항지진이 발생한 지질학적 구조 상 경상 분지에 해당하며, 경상 분지는 우리나라의 대표 적 활성단층인 양산단층과 울산단층이 분포하여 지진 발 생이 매우 높은 지역이다[3]. 또한 낙동강과 그 지류인 금 호강, 밀양강, 형산강 등을 포함하여 많은 하천 제방이 축 조된 지역이기도 하다. 따라서 경상 분지 내부에서 지진 이 발생할 경우 하천 제방은 붕괴 혹은 그에 버금가는 손 상이 발생하게 되고, 그로 인한 피해는 매우 클 것으로 예상된다.

하천 제방은 침투흐름에 지배적인 거동을 보이기 때문 에 매우 복잡한 메커니즘을 보인다. 그로 인해 대부분 하 천 제방 내진설계 시 MOLIT(2018)가 제시한 지진구역 계수(*Z*)와 위험도계수(*I*)를 이용한 정역학적 방법을 이 용한다[4]. 또한 제채 내 침투흐름을 가지는 특수성으로 대부분 지진 시 액상화 현상(Liquefaction)을 중점으로 다수의 연구가 수행되었으나, 지진으로 인한 하천 제방의 정량적인 거동 평가는 극히 드문 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공용 중인 하천 제방을 대상으 로 포항지진을 이용하여 재현주기 200년, 500년, 1000 년 그리고 2400년으로 인공지진파를 생성하여, 하천 제 방의 지진취약성을 분석하였다. 재현주기에 따른 하천 제 방의 활동 안전율 변화와 제방의 변위 그리고 액상화 영 역 등을 비교 검토하였다. 추가적인 연구를 통해 Kim and Moon(2017)이 제시한 하천 제방 안전도맵 평가체 계 중 내진성능에 대한 영향성 고려가 가능할 것으로 판 단된다[5].

2. 지진취약성 분석조건

2.1 개요

하천 제방은 제채 내 침투 흐름에 지배적인 거동을 보 이기 때문에 지진 시 하천 제방의 거동 해석은 매우 복잡 한 단계로 수행된다. 먼저, 지진 전 침윤선에 따른 간극수 압 분포와 유효응력 상태를 명확히 검토되어야 지진 발 생 시 응력변화분석을 신뢰할 수 있다.

또한 제체 내 침투 흐름에 지배적인 거동을 보이면 하 천 제방은 불포화 해석을 통해 모관포화대의 분포와 간 극수압 변화 등과 같은 응력 상태 파악이 반드시 수반되 어야 한다[2].

따라서 본 연구에서는 계획홍수위를 적용하여 정상류 불포화침투해석을 먼저 수행하고, 활동 안정해석 그리고 지진해석을 수행하여 지진 재현주기에 따른 대상 하천 제방의 지진취약성을 분석하였다.

2.2 해석지진파

본 연구에서는 Song(2009)과 Kim et al(2020)이 제 시한 바와 같이 장주기파인 Hachinohe 파와 단주기파 인 Ofunato파 그리고 두 지진파를 조합한 인공지진파가 아닌 실지진파인 포항 지진파를 이용하여 지진 취약성을 분석하였다[3,6]. 규모 5.4의 포항지진을 설계응답스펙트 럼을 통하여, 입력지진파를 생성하였다.

입력지진파는 실지진파를 재현주기는 200년과 500 년, 1000년 그리고 2400년으로 설정하여 Fig. 1과 같은 순서로 설계응답스펙트럼과 매치하여 생성하였으며, 입 력지진파 생성을 위한 사용한 프로그램은 Deepsoil과 SeismoMatch를 이용하였다.



Fig. 1. Flow chart of input seismic wave generation

Fig. 2는 재현주기별 입력지진파를 나타낸 것이다. Fig. 2 (a)는 200년 빈도로 생성한 지진파이며, 최대가속 도(Peak)는 0.114g로 생성되었다. 500년 빈도의 Peak 는 0.158g(Fig. 2 (b)), 1,000년 빈도는 0.221g(Fig. 2 (c)), 2,400년 빈도는 0.315g(Fig. 2 (d))로 생성되었다 [7].



Fig. 2. Input seismic wave by return period (a) 200years (b) 500years (c) 1000 years (d) 2400 years

2.3 지반조건

2.3.1 불포화 침투해석

침투해석 시 적용한 지반의 불포화 특성은 불포화계수 예측방법 중에서 가장 널리 사용되는 Van Genuchten 모델을 사용하였다[8]. Van Genuchten 모델은 압력판 추출시험을 통해 간단히 함수특성곡선의 계수 등을 결정 할 수 있고, 축적된 실험결과가 방대하여 적용하기가 수 월하다는 장점이 있다.

Van Genuchten(1980)이 제시한 함수특성곡선과 불 포화투수계수곡선 기본 방정식은 Eq. (1), Eq. (2)와 같대(9).

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[\frac{1}{1 + \{\alpha(u_a - u_w)\}^n}\right]^m \tag{1}$$

Where, θ_s denotes saturated volumetric water content θ_r denotes residual volumetric water content α denotes air-entry value reciprocal ndenotes coefficient related SWCC slope mdenotes coefficient related to the slope at high levels of capillary absorption usually applied m = 1 - 1/n.

$$k_r = \frac{\left[1 - \left((\alpha h)^{n-1}\right)\left(\left(1 + (\alpha h)^n\right)^{-m}\right)\right]^2}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^{m/2}}$$
(2)

Where, h denotes negative pore water pressure (matric suction) head α , n, m denotes coefficient related unsaturated hydraulic conductivity curve.

본 연구에서 적용된 지반의 불포화특성은 Table 1과 같다. 함수특성곡선의 계수는 Carsel et al(1988)이 제 시한 데이터베이스를 인용하였으며, KICT(2004)와 제방 설계 시 검토된 지반조사 자료 등을 종합적으로 검토하 여 적용하였다[5,10,11].

Table 1. Unsaturated soil properties using seepage analysis [5,10-11]

Textural Class	Sand	Loamy Sand	Clay Loam
USCS	SM		CL
θ_r	0.045	0.057	0.095
θ_s	0.43	0.41	0.41
α	0.145	0.124	0.019
n	2.68	2.28	1.31
\overline{m}	0.627	0.561	0.237
k_s (cm/sec)	0.0082500	0.0040528	0.0000722

2.3.2 활동 안정해석

하천 제방 비탈면에 대한 활동 안정을 검토하기 위해 침윤면에 따른 모관포화대와 응력상태를 불포화 침투해 석을 통해 결정하고, 한계평형해석을 수행하였다. 한계평 형해석은 Mohr-Coulomb 모델을 사용하며, 가상의 파 괴면을 설정하고 파괴면 위 토체의 활동력과 전단강도를 비교하여 안정성을 평가할 수 있는 간단한 방법이다. 활동 안정해석 시 적용된 지반의 강도정수는 KICT(2004)와 지반조사 자료를 통해 결정하였다(Table 2 참조)[5,11].

 Table 2. Mohr-Coulomb shear strength parameters for Soils [5,11]

Layer	USCS	Unit Weight (kN/m^3)	Cohesion (<i>kPa</i>)	friction angle (°)
Backfill	SM	19.0	10.0	25.0
Landfill	CL	18.7	30.0	20.0
Alluvium	GC	19.0	0.0	35.0
	CL	18.7	10.0	20.0

2.3.3 지진해석

입력지진파를 이용한 지진해석은 2차원 등가선형해석 을 수행하였다. 지진과 같은 반복하중의 경우, 하중으로 인해 변화하는 동적물성이 매우 중요하다[12]. 지진 해석 시 적용되는 동적물성은 Fig. 3과 같다. 전단강성감쇠곡 선(*G*/*G*_{max})과 감쇠비(Damping ratio)는 공진주시험 결과와 기존 문헌 등을 이용해 적용하였다[13-18].



Fig. 3. Dynamic properties of soils (a) SM (a) ML (b) CL

2.4 기하형상 및 요소망

연구대상 하천 제방은 국내 ○○강에 위치하며, 현재 공용 중에 있다. 제방 부지는 현황측량을 통해 산정되었 으며, 지층분포는 시추조사를 통해 생성하였다[5,11].

Fig. 4는 본 연구에서 적용한 하천 제방의 기하형상과 요소망을 나타낸 것이다. 대상 하천 제방은 경사도가 1 : 0.3~0.4로 비교적 완만하며, 제외지 측에 안정성 확보 를 위해 불투수층(CL) 재질의 측단이 설치되어 있다(Fig. 4 (a) 참조).



Fig. 4. Geometry and mesh of target river levee (a) Geometry (b) Mesh

침투해석의 경우 요소망의 크기가 해석결과에 상당한 영 향을 미치게 되며, 제방높이의 1/10에서 해석결과가 수렴되 는 것을 제시한 Kwon(2007)의 연구결과를 인용하여 본 연 구에서는 해석 시 생성된 요소망의 크기를 제방 높이의 1/20인 0.5m로 적용하였다(Fig. 4 (b) 참조)[19].

3. 지진취약성 분석결과

3.1 지진 발생전 하천 제방의 거동

3.1.1 불포화 침투해석 결과

계획홍수위에 따른 정상류 불포화 침투해석을 수행한 결과는 Fig. 5와 같다. 침투흐름은 투수계수가 큰 충적층 으로 발달하며, 제방 뒷비탈 기슭으로 집중되는 것으로 나타났다. 제방 뒷비탈 기슭의 동수경사는 0.10, 침투속 도는 2.2×10⁻⁴ cm/sec로 산정되었다. 이는 공용 중인 하천 제방을 대상으로 하였기 때문이다.



Fig. 5. Result of unsaturated seepage analysis (a) Y-gradient (b) Y-velocity

3.1.2 활동 안정해석 결과

불포화 침투해석을 통해 모관포화영역과 간극수압 등 을 결정하고 이를 연계하여 한계평형법을 통한 활동 안 정해석을 수행하였다. Fig. 6은 활동 안정해석 결과를 나 타낸 것이다. 제외지 안전율은 3.821, 제내지 안전율은 1.839로 산정되어 모두 최소 기준 안전율을 만족하는 것 으로 나타났다. 이 또한 침투해석 결과와 같이 이미 설계 단계에서 안정성 검토를 수행하고, 축조된 하천 제방이기 때문이다.





3.1.3 하천 제방의 응력 상태

Fig. 7은 지진 발생 이전의 하천 제방의 응력 상태를 나타낸 것이다. Fig. 7 (a)는 유효연직응력을 나타낸 것 이며, 제방 토체의 자중으로 인해 기초저면의 유효연직응 력이 가장 큰 것으로 나타났다.

Son(2000)은 지진과 같은 동하중이 작용될 경우, 입 자가 재배열되어 과잉간극수압이 발생하며, 그로 인해 q/p' 비율이 높아지게 되어 액상화를 발생시킬 수도 있 다고 제시하였다[20]. 따라서 지진 발생 전후의 q/p' 비 율 변화 추이를 비교하기 위해 지진 전 q/p' 비율을 산정 하였다(Fig. 7 (b) 참조). 지진 발생 이전의 q/p' 비율은 대부분 1.0을 초과하지 않는 것으로 나타났다.



Fig. 7. The stress state of river levee (pre-earthquake) (a) Vertical effective stress (b) q/p' ratio

3.2 지진 발생 시 제방의 거동

3.2.1 개요

재현주기에 따른 지진 발생 시 제방의 거동 분석을 위 해 Fig. 8과 같이 제방의 앞비탈 기슭, 앞비탈 머리, 뒷비 탈 머리, 뒷비탈 기슭 4개의 측점을 두어 지진 하중 작용 시 제방의 거동을 분석하였다.



Fig. 8. Measurement points for behavior analysis

3.2.2 시간에 따른 변위

Fig. 9는 재현주기별 시간에 따른 변위를 나타낸 것이 다. 변위의 경향성은 지진파와 유사하게 산정되었으며, 변위는 재현주기 200년이 가장 작게 산정되고, 2400년 이 가장 크게 산정되었다. 재현주기 200년일 때 뒷비탈 머리의 변위가 약 43.8mm로 가장 크게 산정되었으며, 재현주기 2400년일 때의 변위는 앞비탈머리에서 약 118.9mm로 가장 크게 산정되었다.



Fig. 9. Temporal displacement by return period (a) Foot of front slope (b) Head of front slope (c) Foot of back slope (d) Head of back slope

Fig. 10은 재현주기별 각 측점의 최대 변위를 산정한 것이다. 재현주기가 커질수록 산정되는 변위도 큰 것으로 나타났으며, 각 측점들 간의 변위 차이는 크지 않은 것으 로 나타났다.



Fig. 10. Maximum displacement between measurement points

3.2.3 액상화 영역 분석

Fig. 11은 재현주기별 액상화 영역과 q/p' 비율 분포 도를 나타낸 것이다. 지진하중으로 인해 입자가 재배열되 어 과잉간극수압이 발생하였으며, 그로 인해 q/p' 비율 이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 q/p' 비율이 1.8 이상인 영역이 존재할 경우, 해당 영역은 액상화가 발생 했다고 판단할 수 있다[21].

재현주기 1000년과 2400년의 경우, 성토제방 대부분 에서 액상화가 발생한 것으로 나타난다. 이는 지진하중으 로 인해 제채 내부의 침윤면이 상승하고, 과잉간극수압이 발생 등이 복합적으로 작용하였기 때문으로 판단된다.





(a) Return period 100 years (b) Return period 200 years (c) Return period 1000 years (e) Return period 2400 years

3.3 지진 후 제방의 거동

3.3.1 활동 안전율 변화

Fig. 12는 지진 전과 재현주기별 지진하중 적용 후의 제외지, 제내지의 활동 안전율 변화를 나타낸 것이다. 재 현주기 2400년의 경우, 제외지는 지진 발생전 대비 약 26.7% 감소하였으며 제내지는 약 31.5% 감소하는 것으 로 나타났다. 모든 재현주기에서 지진 시 최소 기준 안전 율을 만족하는 것으로 나타났다.



Fig. 12. Changes in the safety factor of sliding

3.3.2 하천 제방의 변위 변화

Fig. 13은 각 측점들에서 산정한 재현주기별 변위량을 나타낸 것이다. Fig. 13 (a)는 수평변위를 나타낸 것이며, 앞비탈기슭에서 수평변위가 음수값을 보이지만 이는 방 향성에 따른 부호규약(제내지 방향이 양수)으로 인한 것 이다. 각 측점들 간의 수평 변위를 통해 하천 제방은 제 내지방향으로 변형이 발생하는 것을 알 수 있으며, 재현 주기 2400년일 때 뒷비탈기슭에서 약 0.52mm로 가장 큰 변위가 발생하였다. Fig. 13 (b)는 각 측점들에서 산 정한 수직변위를 나타낸 것이다. 앞비탈기슭에서는 변위 가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났으나, 앞비탈머리와 뒷비탈머리에서는 큰 변위가 발생하는 것으로 나타났다. 재현주기 2400년인 경우, 앞비탈머리의 침하량은 약 0.49mm, 뒷비탈머리의 침하량은 약 0.62mm로 산정되 었다. 또한 뒷비탈기슭의 경우 융기하는 것으로 나타났다.



Fig. 13. Displacement by return period (a) Horizontal displacement (b) Vertical displacement

4. 결론

본 연구에서는 포항 실지진파를 설계응답스펙트럼을 통해 재현주기별로 생성하여 재현주기에 따른 하천 제방 의 거동 변화를 분석하여 지진취약성을 정량적으로 평가 하였다. 본 연구를 통해 도출한 결론은 다음과 같다.

- 활동 안정성을 검토한 결과, 재현주기가 증가함에 따라 활동 안전율은 감소하는 것으로 나타났으나, 모든 조건에서 최소 기준안전율을 만족하는 것으 로 나타났다. 하지만 제체에서 액상화가 발생하며, 재현주기 2400년에서는 제체 대부분으로 발달하 는 것으로 나타났다.
- 2) 재현주기에 따른 거동 변화를 분석한 결과, 재현주 기가 증가함에 따라 지진 발생 시의 변위와 지진 후의 변위 모두 증가하는 것으로 나타났다. 해당 변 위는 둑마루에서 가장 큰 것으로 나타났으며, 이로 인해 과도한 변형이 발생하면 월류가 발생할 가능 성이 있으므로 이에 대한 추가적인 검토가 필요하다.
- 3) 국외의 경우, 동역학적 방법을 통한 내진 설계 결과 를 이용하여 허용변위량, 지진 후 수위 등 다양한 기준을 제시하여 지진 취약성을 판단할 수 있는 지 표가 있는데 반해, 국내는 이러한 지표를 대부분 국 외의 기준을 차용하는 실정이다. 따라서 추가적인 연구 등을 통해 기존 기준에 대한 고찰과 재정립이 필요하다고 판단된다.

References

- Korea Meteorological Administration (KMA), Pohang Earthquake Analysis Report, 2018.
- [2] J. M. Kim, Y. H. Jin, H. S. Han, "Analysis of behavior a River Levee based on the Earthquake Scenario", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 3, 2020.
- [3] National Emergency Management Agency (MEMA), Active Fault Map and Seismic Hazard Map, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2012.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), KDS 17 10 00 Seismic Design, Korea Construction Standards Center, 2018.
- [5] J. M. Kim, I. J. Moon, "Evaluation System of River Levee Safety Map for Improving River Levee Maintenance Technology", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 18, No. 12, pp. 768-777, 2017. DOI: <u>https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.768</u>
- [6] B. W. Song, "The Comparison for Liquefaction Judgement used in Korea and Japan", International Symposium on Urban Geotechnics, Korean Geotechnical society, pp.1206~1213, 2009.

- [7] Ministry of Science and ICT (MSIT), Development of smart sensor based intelligence-information platform for building safety on seismic zones, Pohnag University of Science and Technology (POSTECH), Korea, 2019.
- [8] Y.S. Song, "Estimation on Unsaturated Characteristic Curves of Acid Sulfate Soils (ASS)", Journal of Engineering Geology. Vol.28, No.1, pp.25-34. 2018. DOI: <u>https://doi.org/10.9720/kseg.2018.1.025</u>
- M.T. Van Genuchten, "A Closed-form Equation for Prediction the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soil", Journal of Soil Science society of America, Vol.44, No.5, pp.892~898, 1980.
 DOI: <u>https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050</u> 002x
- [10] R.F. Carsel, R.S. Parrish, "Developing Joint Probability Distribution of Soil Water retention Characteristics". Water Resource Research, Vol.24, No.5, pp.755~769, 1988.
 DOI: https://doi.org/10.1029/WR024i005p00755
- [11] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. (2004) The final report of the river embankment related advanced technology development. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea, pp.23~31, 68~78.
- [12] P.B. Schnabel, J. Lysmer, H.B. Seed, SHAKE: A computer program for earthquake response of horizontally layered soils. Report No. EERC/72-12, Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, Berkeley, 1972.
- [13] D.S. Kim, Y.W. Choo, "Dynamic Deformation Characteristics of Cohesionless Soils in Korea Using Resonant Column Tests", Journal of Geotechnical Engineering Society, Vol.17, No.5, pp.115-128, 2001.
- [14] G.D. Noh, Effect of Material Non-linearity on Time Domain Site Response Analysis, Ph.D dissertation, Univ. of Wonkwang. 2015.
- [15] I.M. Idriss, Assessment of site response analysis procedures. Report No. NIST GCR 95-667. NIST. 1995. pp.16-17.
- [16] Y. Iwasaki, "Geological and Geotechnical characteristics of Kobe area and strong ground motion records by 1995 kobe earthquake", Tsuchi-to-Kiso. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol.45, No.6, pp.15-20, 1995.
- [17] Y.S. Song, "Estimation on Unsaturated Characteristic Curves of Acid Sulfate Soils (ASS)", Journal of Engineering Geology. Vol.28, No.1, pp.25-34. 2018. DOI: <u>https://doi.org/10.9720/kseg.2018.1.025</u>
- [18] H.W. Son, Evaluation of the ground stress reduction factor with varying ground characteristics and earthquake types. Master theis, Univ. of Yonsei, 2000.
- [19] K.K. Kwon, An Improved Design Method of Levee Culvert Using 3D Seepage Analysis, Ph D. dissertation,

Univ. of Kyunghee, Korea, pp.5~228, 2007.

- [20] H.W. Son, Evaluation of the ground stress reduction factor with varying ground characteristics and earthquake types. Master theis, Univ. of Yonsei, 2000.
- [21] GEO-SLOPE International Ltd. QUAKE/W 2012. GEO-SLOPE International, Calgary, AB, Canada, 2012.

김 경 오(Kyung-Oh Kim)

[정회원]



- 1991년 8월 ~ 현재 : 한국도로공 사 근무
- 2012년 8월 : 고려대학교 일반대 학원 사회환경시스템공학과 (공학 석사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 금오공과대
 학교 일반대학원 토목공학과 박사
 과정

<관심분야> 토질및기초, 보강토옹벽, 토류구조물

한 희 수(Heui-Soo Han)

[정회원]



- 1991년 2월 : 한국과학기술원 토 목공학과 (공학석사)
- 1999년 12월 : South Dakota School of Mines Technology (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 금오공과대 학교 토목공학과 교수

<관심분야> 토질 및 기초, 사면안정, 보강토용벽