

전단저항강도비 산정 방법에 따른 액상화 평가의 변화

Liquefaction Assessment Variations with Regard to the Cyclic Resistance Ratio Estimation Methods

송성원¹⁾ · 김한샘²⁾ · 조완제[†]

Sungwan Song · Hansaem Kim · Wanjei Cho

Received: November 12th, 2019; Revised: November 25th, 2019; Accepted: December 3rd, 2019

ABSTRACT : Recently, as the number of earthquakes increases in the Korean Peninsula and surrounding area, the importance of earthquake countermeasures and seismic design has been increasing. As a result, interest and concerns about liquefaction, which is one of the problems that concern the earthquake, are increasing. There are various methods that can assess the possibility of liquefaction by using geotechnical information for specific ground. However, direct comparisons of each method are not yet available. In this study, the two methods using the SPT-N value and the shear wave velocity among the methods for estimating the Cyclic Resistance Ratio (CRR) value required for the simplified liquefaction assessment method were compared. And the correction of the ground information required to use the two methods respectively was compared. As a result, more accurate evaluation results were obtained when the CRR value is calculated using the SPT-N values.

Keywords : Seismic design, Liquefaction, Ground information, Liquefaction evaluation, CRR value, SPT-N value, Shear wave velocity, Correction of N value

요지 : 최근 한반도 및 주변 지역에 지진 발생 횟수가 증가함에 따라 지진피해 대책 및 내진설계에 대한 중요성이 대두되고 있다. 이에 지진 발생 시 우려되는 문제 중 하나인 액상화에 대한 관심과 우려의 목소리가 높아지는 실정이다. 특정 지반에 대하여 지반정보를 활용하면 액상화 발생 여부에 대한 가능성을 평가하는 것이 가능하며 이에 대한 다양한 방법이 존재한다. 그러나 각 방법에 대한 직접적인 비교는 아직 이뤄지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 액상화 평가방법인 간편법에 필요한 전단저항응력비(CRR)를 산정하는 방법 중 SPT-N값과 전단파 속도를 이용한 두 가지 방법의 비교 및 이를 활용하는데 요구되는 지반정보의 보정에 대한 비교 분석을 실시하였고 SPT-N값을 활용하여 액상화 발생 여부를 평가할 경우 더 정확한 것으로 확인되었다.

주요어 : 내진설계, 액상화, 지반정보, 액상화 평가, CRR 값, SPT-N값, 전단파 속도, N값에 대한 보정

1. 서 론

최근 우리나라 경주 및 포항 일대 지진 발생과 포항 일대 액상화 현상 발견으로 인해 내진설계 및 지반보강에 대한 필요성이 대두되고 있다. 액상화란 느슨한 모래 지반에 발생하는 진동하중에 의해 간극수압이 증가하여 지반이 전단강도를 상실하고 액체처럼 흐르는 현상을 말한다. 액상화 현상이 발생하면 지반의 상부 구조물 혹은 지상의 물체가 급격히 침하하게 되는 심각한 피해가 발생할 가능성이 생긴다. 따라서 액상화가 발생할 것인지를 예측하는 액상화 발생 여부에 대한 정확한 평가가 요구되는 바이다. 국내에서는 Seed et al.(1985)이 제안한 액상화 평가 간편법을 활용하여 액상화 발생 가능성을 예측한다. 간편법은 전단저항강

도비(Cyclic Resistance Ratio, CRR)와 전단응력비(Cyclic Shear stress Ratio, CSR)의 비를 안전율로 정의하여 1.5 이상일 경우 액상화가 발생하지 않는다고 평가하는 절차를 말한다. 안전율이 1.5 미만일 경우 액상화 평가 상세법을 이용해 액상화 발생 가능성을 재평가하게 된다. CRR 및 CSR은 시추공 데이터를 활용하여 구축된 지반정보DB를 통해 결정할 수 있다. 이에 본 연구에서는 Cetin et al.(2016)이 제시한 전 세계 지진 발생지역 내의 210개의 시추공 데이터를 확보하여 이에 대한 지반정보 중 표준관입시험값(SPT-N)과 전단파 속도(V_s)를 통해 CRR값을 결정하고 액상화 발생 가능성을 평가하였다. 또한, 평가결과를 실제 발생 여부와 비교하여 여러 지반정보 활용방법 간의 정확도를 계산하고 비교하는 작업을 수행하였다.

1) Graduated Student, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University

2) Senior Researcher, Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

† Assistant Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University (Corresponding Author : jei0421@dankook.ac.kr)

2. 액상화 평가

2.1 액상화 평가방법

본 연구에서는 액상화 발생 가능성을 평가하는 방법으로 지반정보를 활용하여 결정된 전단저항강도비(CRR)와 전단 응력비(CSR)의 비를 통해 안전율을 계산하는 방법인 간편 예측법을 사용하였다. 안전율은 다음 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (1)$$

Fig. 1은 국내의 액상화 평가절차를 나타낸 흐름도이다. 액상화 흐름도는 Seed et al.(1985)이 제안한 액상화 평가법을 기반으로 하여 작성되었다. 이 중 액상화 평가 간편법은 안전율이 1.5 이상일 때 액상화가 발생하지 않는다고 평가하며, 이를 만족하지 못할 때 상세예측법으로 재평가를 시행하게 된다.

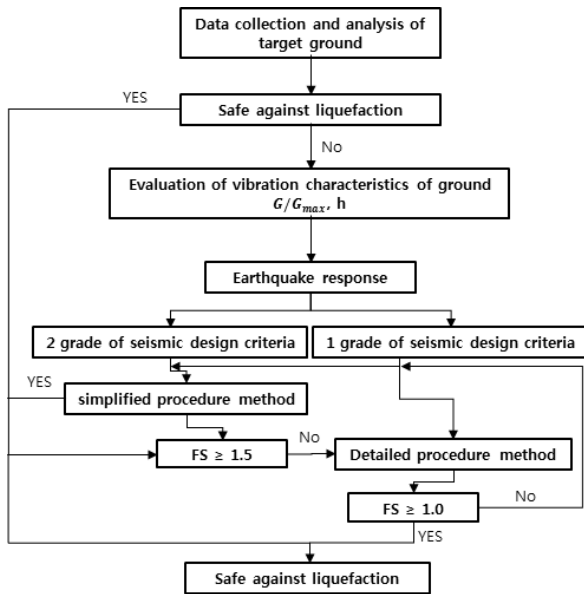


Fig. 1. Domestic liquefaction assessment flow (Seed et al., 1985)

2.2 지반 정보의 활용

Fig. 2, Fig. 3은 Cetin et al.(2016)이 제시한 시추공 데이터에 명시된 아시아 및 아메리카 지역의 지진 발생 위치를 표시하였고, Table 1은 각 지역별 지진별로 시추공 개수, 액상화 발생 여부, 지진의 규모를 나타내었다. 본 연구에서는 액상화 평가 간편법을 통해 액상화 발생 가능성을 평가하기 위한 전처리 작업으로 지진 발생지역에 대한 지반정보를 가

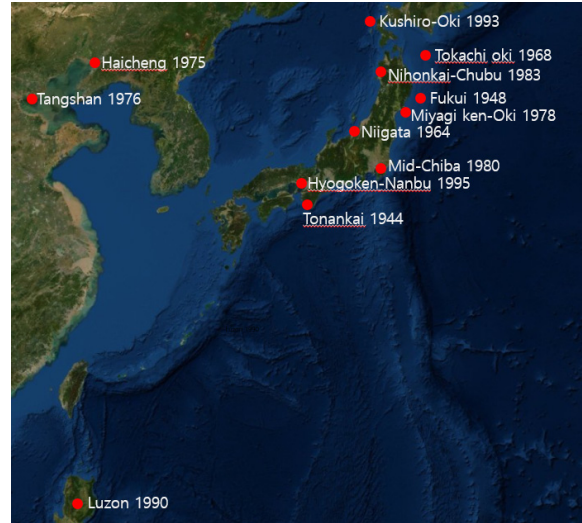


Fig. 2. Earthquake distribution map in Asia



Fig. 3. Earthquake distribution map in America

진 210개의 시추공 데이터를 다음과 같이 활용하였다. 활용한 지반정보는 시추공당 하나씩 존재하는 대표 SPT-N값, 심도 12m에서의 전단파 속도(V_s), 최대지반가속도, 응력 감쇠 계수, 지진 규모, 토층 노화에 따른 보정계수, N값 보정에 필요한 보정계수가 있다.

안전율 계산에 필요한 CSR값의 경우 지반정보와 함께 시추공 데이터에 명시되었기 때문에 해당 값을 그대로 사용하였다. CSR값을 직접 계산할 경우 다음의 Eq. (2)를 통해서 결정할 수 있다.

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \frac{a_{max}}{g} r_d \quad (2)$$

여기서, σ_{vc} 는 상재 압력으로 액상화 평가 대상 지점으로부터 상부 토층이 가하는 상재압을 말하며 σ'_{vc} 는 유효

Table 1. Geotechnical information on earthquakes by region

Region	Earthquake	The number of boreholes	Liq (Yes)	Liq (No)	M_W
Asia	1944 Tohankai	3	3	0	8.10
	1948 Fukui	2	2	0	7.00
	1964 Niigata	11	7	4	7.60
	1968 Tokachi oki	5	3	2	8.30
	1975 Haicheng	3	3	0	7.00
	1976 Tangshan	7	5	2	7.60
	1978 Miyagiken oki	34	15	19	6.5(14), 7.7(20)
	1980 Mid-Chiba	2	0	2	6.10
	1983 Nihonkai-Chubu	18	13	5	7.1(3), 7.7(15)
	1990 Luzon	2	1	1	7.70
	1993 Kushiro oki	3	2	1	6.70
America	1995 Hyogoken-Nanbu	56	26	30	6.90
	1971 San Fernando	2	2	0	6.60
	1976 Guatemala	3	2	1	7.50
	1977 Argentina	5	3	2	7.50
	1979 Imperial Valley	8	4	4	6.53
	1981 WestMoland	7	3	4	5.90
	1987 Elmore Ranch	2	0	2	6.20
	1987 Superstition Hills	10	1	9	6.54
	1989 Loma Prieta	24	17	7	6.93
1994 Northridge	3	3	0	6.70	

상재 압력을 말한다. a_{max} 는 지반의 최대 가속도 g 는 중력가속도, r_d 는 응력 감쇠 계수를 나타낸다.

CRR값의 경우 이를 계산하기 위해 SPT-N값과 전단파 속도(V_s)를 사용하였다. SPT-N값의 경우 보정절차를 거쳐 CRR을 산정하는 공식에 대입하는 방식을 취하였고, V_s 값의 경우 자료에 명시된 심도 12m에서의 값을 대푯값으로 결정하여 계산식에 활용하였다.

3. 전단저항강도비 산정

액상화 평가를 위해 결정하는 CRR값은 지반의 강도이다. 따라서 CRR값을 산정하는 방법 중 가장 보편적으로 사용되는 방법은 SPT-N값을 이용하는 방법, 전단파 속도(V_s)를 이용하는 방법, 콘관입저항값을 이용하는 방법 총 3가지 방법이다. 각각의 방법은 해당 물성 값을 이용하여 CRR값을 산정하는 경험식에 대입하는 방식으로 결정되는데, 이때 물성 값을 보정하여 사용하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 SPT-N값과 V_s 값을 확보하여 두 가지 물성값으로 산정한 CRR값을 통해 안전율을 계산하여 비교작업을 수행했다.

3.1 SPT-N값을 이용한 전단저항강도비 산정

액상화 발생 가능성 평가를 위한 CRR값을 정확하게 얻기 위해 해당 토층의 관입 저항력 값을 정확하게 산정하는 것이 가장 중요한 요소 중 하나이다. 대표적인 관입 저항력 값으로 N값을 들 수 있다. 따라서 본 연구에서도 N값을 이용하여 CRR값을 산정하는 작업을 수행하였는데, 이를 위해 N값을 측정값 그대로 사용하는 것이 아니라 여러 조건에 맞게 보정하는 절차가 필요하다.

Skempton(1986)은 CRR값 산정을 위해 SPT-N값을 보정하는 절차를 설명하였다.

국내에서는 대부분 액상화 평가절차에 N값을 바로 적용하지 않고 효율을 에너지 효율을 고려하여 N_{60} 값을 사용하며 이후 다른 조건들을 이용해 추가 보정을 하게 된다. Seed et al.(1984)은 N_{60} 값을 표준으로 권장한다. N_{60} 값은 다음의 식으로 계산된다.

$$N_{60} = N_m \frac{ER_m}{60} \quad (3)$$

여기서 N_m 은 측정된 타격횟수이며, ER_m 은 측정된 에너지비를 % 단위로 표시한 값이다. 따라서 N_{60} 은 에너지비 60%에 대한 타격횟수이다. $ER_m/60$ 비는 에너지비 보정계

수인 C_E 로 참조되기도 한다. 에너지비는 신뢰성이 높은 N_{60} 값을 얻기 위한 가장 중요한 보정계수 중 하나이다.

추가적인 보정 절차를 진행하는 것으로 더 표준화 된 N_{60} 값을 얻는 것이 가능하며 이를 위해 보정계수들이 필요한 경우가 발생한다. 이에 다음과 같이 보정계수를 이용한 관계식을 나타낼 수 있다.

$$N_{60} = C_E C_B C_R C_S N_m \quad (4)$$

C_E 는 에너지비 보정계수이며, C_B 는 시추공 지름에 대한 보정계수, C_R 은 로드 길이에 대한 보정계수, C_S 는 라이너 공간을 가진 샘플러에 대한 보정계수이다. Table 2에 각 계수에 대한 추천 값을 표시하였다.

N_{60} 값은 유효 상재 압력과 모래의 상대밀도 등에 영향을 받기 때문에 이에 대한 보정도 필요하다. 관입 저항력은 만약 수직 유효 응력이 1 atm(101kPa) 이었다면 같은 모래에서 얻어졌을 등가의 값과 연관 지을 수 있다. 상재 압력 보정 관입 저항력 $(N_1)_{60}$ 는 깨끗한 모래의 경우 상재 압력 보정계수 C_N 값을 사용하여 다음의 관계식으로 얻어진다.

$$(N_1)_{60} = C_N N_{60} \quad (5)$$

각각의 수직 유효 응력에 대한 C_N 값은 유효 상재 응력이 대기압과 동일한 1 atm일 때 얻어진 관입 저항력을 1 atm이 아닐 때의 같은 모래에서 얻은 관입 저항력으로 나누어 결정한다. 그 결과 $(N_1)_{60}$ 값은 유효 상재 응력과 독립적인 값이 되며, 같은 부지 내에서 혹은 다른 부지끼리의 값을 보다 합리적으로 비교할 수 있는 지표로 활용할 수 있다. C_N 값은 다음의 Eq. (6)을 통해 얻을 수 있다.

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{vc}} \right)^{0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}} \quad (6)$$

그런데, 대부분의 사질토 지반은 깨끗한 모래로만 구성 된 것이 아니라 실트 질이 포함되어 있다. 이에 따라 세립분 함유량에 대한 보정이 요구된다. 따라서 다음의 계산식 (7), (8)을 통해 $(N_1)_{60}$ 값을 깨끗한 모래에서의 값으로 보정한다.

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (7)$$

$$\Delta(N_1)_{60} = e^{(1.63 + \frac{9.7}{FC+0.1} (\frac{15.7}{FC+0.1})^2)} \quad (8)$$

여기서, FC는 % 단위다.

이렇게 얻어진 $(N_1)_{60CS}$ 값을 다음의 계산식에 대입해 CRR 값을 구하게 된다.

$$CRR_{M=7.5, \sigma'_{vc} = 1atm} = e^{\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4} \right)^4 - 2.8} \quad (9)$$

지진 규모에 대해서는 지진 규모 보정계수(MSF)를 도입 하여 규모 7.5에 대한 값으로 보정한다. 이때의 관계식은 다음과 같다.

$$MSF = \frac{CRR_M}{CRR_{M=7.5}} \quad (10)$$

여기서 CRR_M 은 실제 발생한 지진의 규모를 뜻한다.

Table 2. Recommended value of correction factor (Skempton, 1986)

Factor	Type	Value
C_E	Doughnut hammer	0.5~1.0
	Safety hammer	0.7~1.2
	Trip hammer	0.8~1.3 (Seed et al., 1984; Skempton 1986; NCEER, 1997)
C_B	Diameter 65~115mm	1.0
	Diameter 150mm	1.05
	Diameter 200mm	1.15 (Skempton, 1986)
C_R	Length < 3m	0.75
	Length 3~4m	0.80
	Length 4~6m	0.85
	Length 6~10m	0.95
	Length 10~30m	1.00 (Youd & Idriss, 2001)
C_S	$(N_1)_{60} \leq 10$	1.1
	$10 \leq (N_1)_{60} \leq 30$	$1 + \frac{(N_1)_{60}}{100}$
	$(N_1)_{60} \geq 30$	1.3

3.2 V_s 값을 이용한 전단저항강도비 산정

V_s 값을 이용하는 때도 N값과 마찬가지로 보정의 절차를 거쳐 계산식에 대입하게 된다. 우선 N값을 이용하는 경우 지진 규모에 대한 보정은 실제 규모에 대한 CRR값을 계산한 후 규모 7.5에 대한 값으로 나누어 MSF를 구했지만, V_s 값을 이용하는 경우 지진의 규모만을 이용하여 MSF 값을 다음의 식을 통해 산정하게 된다.

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-2.56} \quad (11)$$

여기서 M_w 는 실제 지진 규모를 나타내고 7.5를 기준으로 하여 보정을 하게 된다.

다음으로 측정된 V_s 값은 상재 압력에 대한 보정을 거쳐 V_{s1} 값으로 나타내게 되는데 다음의 식을 이용하여 보정 가능하다.

$$V_{s1} = V_s \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{0.25} \quad (12)$$

여기서 $P_a=100\text{kPa}$ 을 사용하고 수직 유효 응력에 대한 보정을 거치게 된다.

다음으로 세립분 함유량에 대한 보정을 거쳐 V_{s1}^* 값을 구하게 된다. 이 경우 세립분 함유량에 따라서 세립분이 5% 이하일 경우 $V_{s1}^*=215\text{m/s}$ 로 사용하고, 35% 이상일 경우 $V_{s1}^*=200\text{m/s}$ 로 사용하게 된다. $5\% < FC < 35\%$ 에 해당하는 경우에는 계산식이 다음과 같이 주어진다.

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5) \quad (13)$$

여기서 FC는 % 단위를 가진다.

최종적으로 CRR은 다음의 계산식을 이용해 얻을 수 있다.

$$CRR = MSF \cdot 0.022 \left(\frac{K_{a1} V_{s1}}{100}\right)^2 + 2.8 \left(\frac{1}{V_{s1}^* - (K_{a1} V_{s1})} - \frac{1}{V_{s1}^*}\right) K_{a2} \quad (14)$$

여기서, K_{a1} 은 토층의 노화에 따라 V_{s1} 값을 보정하는 계수이고, K_{a2} 는 토층의 노화에 따라 CRR 값을 보정하는 계수이다.

위의 절차를 거쳐 각 N값과 V_s 값을 통해 얻은 CRR 값을 이용하여 안전율을 계산하였다.

4. 지반정보별 액상화 평가

위의 절차를 거쳐 지반정보별로 CRR 값을 결정하고 지반 정보와 함께 시추공 데이터에 명시된 CSR 값을 활용하여 안전율을 산정하고 실제 액상화 발생 여부와 비교해보았다. CRR 값은 시추공의 대표 N 값을 보정한 $(N_1)_{60CS}$, 시추공 데이터에 명시된 12m 지점에서의 전단파 속도 $V_{s,12m}$, 대표 N 값을 보정하지 않은 N_{mean} 값을 활용하여 결정하였다.

4.1 보정된 SPT-N 값과 $V_{s,12m}$ 값의 비교

Table 3은 $(N_1)_{60CS}$ 값과 $V_{s,12m}$ 값을 이용하여 CRR을 결정한 후 액상화 발생 가능성을 평가하고, 해당 지역의 실제 액상화 발생 여부와 비교한 결과를 나타낸 표이다. 본 연구에서는 전체 시추공에 대해 실제로 액상화가 발생한 경우와 그렇지 않은 경우로 나눠 실제 결과와 비교를 통해 정확도를 계산해보았다.

우선 SPT-N 값의 경우 액상화가 발생한 지역에서는 93.9%의 정확도로 매우 적중률이 높은 것으로 나타났고, 발생하지 않은 지역에 대해서는 72.6%로 나타났으며 시추공 전체에 대해서는 84.3%의 정확도를 나타내었다. 따라서 보정된 N 값을 활용하여 액상화 평가를 진행하는 것에 무리가 없는 것으로 판단하였다.

Table 3. Comparison of SPT-N and V_s

	SPT-N		V_s	
	Areas where liquefaction occurred	Areas where no liquefaction occurred	Areas where liquefaction occurred	Areas where no liquefaction occurred
Total	115	95	90	72
Accordance	108	69	77	15
discordance	7	26	13	57
Accuracy (%)	93.9	72.6	85.6	20.8
	84.3		56.8	

다음으로 전단파 속도의 경우 액상화 발생지역에서는 85.6%로 신뢰할만한 수준의 정확도를 보였으나, 액상화가 발생하지 않은 지역에 대해서는 20.8%의 정확도를 보였다. 전체적인 정확도는 56.8%로 절반 정도의 시추공에 대해 예측 결과가 옳은 것으로 나타났다. 이는 실제로 시추공 데이터에 명시된 $V_{s,12m}$ 값이 액상화 취약 지점을 고려하지 않고 획일하게 심도 12m 지점에서의 측정값을 활용하였기 때문에 발생한 결과인 것으로 보인다. 따라서 $(N_1)_{60CS}$ 값을 이용하여 CRR을 산정하는 것이 더 정확한 결과를 나타내는 것으로 확인되었다.

두 가지 지반정보로 결정한 결과 모두 액상화가 발생한 지역에서의 정확도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 실제로는 안전율이 1 이상인 경우부터 액상화가 발생하지 않지만, 평가법 자체가 안전율이 1.5 이상일 경우 안전하다고 평가하는 안전 측 설계를 기반으로 하기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 N값의 보정 여부에 따른 비교

SPT-N값으로 액상화를 평가하는 경우 N값을 보정하는 절차를 거치게 된다. 이때 보정의 여부가 정확도에 미치는 영향을 알아보려고 보정을 하지 않은 N값을 이용해 CRR 값을 산정하여 안전율을 계산하였다. 계산한 안전율과 실제

발생 여부를 비교한 결과를 Table 4에 표시하였다.

보정하지 않은 N값으로 평가한 액상화 발생 여부를 비교한 결과 액상화가 발생한 지역에 대해 100% 정확하다는 결과가 나타났다. 이는 보정을 하지 않은 N값으로 액상화를 평가하는 경우 대부분의 시추공에서 액상화가 발생한다는 평가결과를 내리기 때문인 것으로 확인하였고 안전 측 설계의 결과를 나타낸다고 판단하였다. 이에 따라 액상화가 발생하지 않은 지역에서는 정확도가 45.3%로 현저히 감소하였다. 전체 시추공에서 액상화 평가에 대한 정확도는 보정을 한 경우가 84.3%로 크기 때문에 경제성을 고려하여 N값에 대한 보정을 수행하는 것이 더 적합한 평가법이라 판단된다. 최종적으로 Fig. 4에 실제 액상화 발생 여부에 따른 각 지반정보 별 정확도를 도시하였다.

4.3 지역별 액상화 평가 비교

Fig. 5는 본 연구에서 수행한 3가지 경우의 액상화 평가에 대한 정확도를 아시아 및 아메리카 지역으로 구분하여 도시화한 그래프이다. 나타난 바와 같이 지역별로 정확도의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보아, 본 연구에서 활용한 액상화 평가 간편법은 대상 지역 인근에서 활용하기에 무리가 없을 것으로 판단된다.

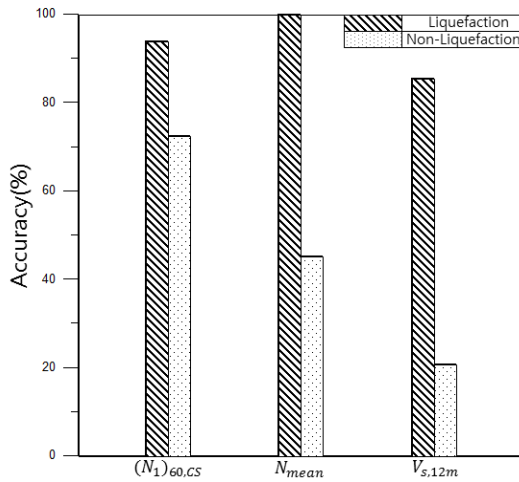


Fig. 4. Accuracy by occurrence of liquefaction

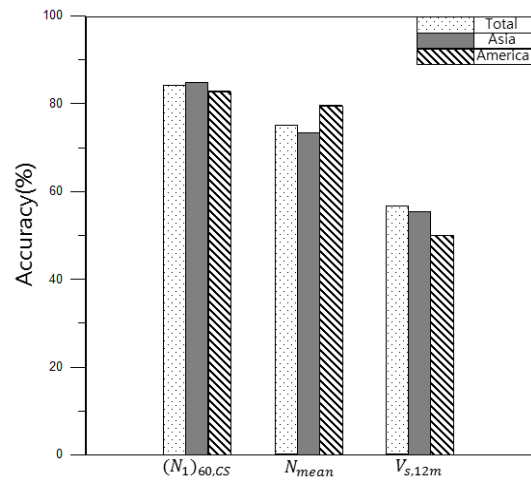


Fig. 5. Accuracy of each area

Table 4. Comparisons with and without correction

	$(N_1)_{60CS}$		N_{mean}	
	Areas where liquefaction occurred	Areas where no liquefaction occurred	Areas where liquefaction occurred	Areas where no liquefaction occurred
Total	115	95	115	95
Accordance	108	69	115	43
Discordance	7	26	0	52
Accuracy (%)	93.9	72.6	100	45.3
	84.3		75.2	

5. 결 론

본 연구는 액상화 평가 간편법을 사용하여 액상화를 평가하는데 필요한 전단저항강도비(Cyclic Shear stress Ratio)를 산정하는 지반정보 중 SPT-N값과 V_s 값을 활용한 경우에 대한 정확도를 비교 분석하였고 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 획득한 지반정보인 SPT-N값과 V_s 값을 통해 CRR을 산정하고 시추공 데이터와 함께 명시된 CSR을 적용하여 안전율을 계산하고 액상화 발생 가능성을 평가하였다. 평가 결과를 실제 액상화 발생 여부와 비교해 본 결과 SPT-N값으로 계산한 경우 전체 시추공에 대해 84.3%의 정확도를 보였다. V_s 값으로 계산한 경우 전체 시추공에 대해 56.8%의 정확도를 보였다. 이를 통해 SPT-N값을 이용해 CRR을 산정하는 방법이 더 정확한 방법인 것을 확인하였다.
- (2) 시추공의 대표 N값은 보정을 수행한 후 CRR 결정에 활용되기 때문에 보정 여부의 차이를 확인해보고자 보정을 수행하지 않고 CRR값을 산정하여 액상화 평가를 진행하였다. 평가 결과 액상화 발생지역은 100%, 액상화 미발생지역은 45.3%의 정확도를 보였고 전체 시추공에서는 75.2%의 정확도를 나타냈다. 이를 통해 보정을 하지 않은 N_{meas} 값으로 액상화 발생 가능성을 평가하는 경우 전체적으로 안전율이 저하하는 것으로 보아 과다한 안전 측 설계라고 판단하였다.
- (3) V_s 값을 활용한 경우 전체적인 정확도가 가장 낮게 결정되었고, 세부적으로도 액상화가 발생하지 않은 지역에서 가장 낮은 정확도를 나타내었다. 이는 V_s 값이 모든 시추공에 대해서 12m 심도를 기준으로 하여 측정되었기 때문에 시추공 별로 액상화에 취약한 지점을 반영하지 못 했기 때문으로 판단되었다. 따라서 V_s 값을 측정하는 방식에 대한 연구나 V_s 값을 별도로 결정할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

전단저항강도비를 결정하는데 활용되는 지반정보에 따라 액상화 발생 가능성을 평가하는 성능에 차이가 발생함을 확인하였다. N값을 보정한 $(N_1)_{60CS}$ 값을 이용하는 방법이 가

장 높은 정확도를 나타냈으므로 N값의 보정 절차가 중요하다고 판단하였다. 평가 결과를 아시아 및 아메리카 지역으로 분할한 결과 큰 차이를 보이지 않았으므로 해당 인근 지역에서 액상화 평가 간편법을 적용하여도 무방한 것으로 나타났다. 추후에는 V_s 값을 활용하여 액상화 발생 여부를 평가하는 경우에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공분야 대학 중점연구소 지원 사업의 연구비 지원 (NRF-2018R1A6A1A 07025819) “ICT 융복합 기존건축물 내진리모델링 기술 개발”에 의해 수행되었습니다.

References

1. Cetin, K. O., Seed, R. B., Kayen, R. E., Moss, R. E., Bilge, H. T., Ilgac, M. and Chowdhury, K. (2016), Summary of SPT based field case history data of CETIN (2016) database (No. METU/GTENG 08/16-01), Middle East Technical University.
2. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R. M. (1984), The influence of SPT procedures on soil liquefaction resistance evaluations, Report No. UCB/EERC-84/15. Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.
3. Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R. M. (1985), Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, Journal of Geotechnical Engineering, 111(12), pp. 1425~1445.
4. Skempton, A. W. (1986), Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation, Geotechnique, 36(3), pp. 425~447.
5. National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) (1997), Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, T. L. Youd and I. M. Idriss. editors, Technical Report NCEER-97-022.
6. Youd, T. L. and Idriss, I. M. (2001), Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 127(4), 297~313.