

국내 광역 단위 지역의 액상화 재해도 작성을 위한 연구 A Study on Mapping of Liquefaction Hazard at a Megalopolis in Korea

최재순¹⁾, Jae-Soon Choi, 구태진²⁾, Tai-Jin Ku

¹⁾ 서경대학교 토목공학과 전임강사, Fulltime Lecture, Dept. of Civil Engineering, Seokyeong University

²⁾ 서경대학교 도시환경시스템공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Urban & Environmental System Engineering, Seokyeong University

SYNOPSIS : Liquefaction hazard caused by earthquake is the damage in a wide range. Until now, liquefaction hazard potential at a small area or most structure in Korea was assessed by modified Seed & Idriss method. However, it has been known that this method is not proper for metropolitan area due to a lot of time and data to perform the related ground response analyses such as Shake program. For these reasons, the current method has been used facilities or structures, not metropolitan area. In this study, several contents in seismic design of Eurocode and Korean seismic design standard for Port and Harbor were introduced and applied for assessing the liquefaction potential and mapping the liquefaction hazard by LPI(Liquefaction Potential Index). Finally, Ulsan metropolitan city was practically drawn in two dimensional space.

Keywords : Liquefaction Hazard Map, Liquefaction Potential Index, Hazard map of Metropolitan Area

1. 서론

최근 세계적으로 발생한 지진들의 피해로 인해 국내에서도 내진설계의 중요성이 부각되고 있다. 특히, 지반 액상화에 대한 안정성 평가는 구조물의 종류를 막론하고 모든 건설분야에서 그 발생여부를 평가하고 이에 대한 대책마련에 큰 관심이 집중되고 있다.

현재까지 지진피해 중 액상화 재해는 큰 지진피해의 원인 중의 하나로 고려되기 때문에 이에 대한 평가뿐만 아니라 이에 대한 평가자료를 종합하여 재해도를 작성하는 연구가 미국, 일본 등 강진국가를 비롯하여 최근에는 중국 및 유럽 등지에서도 많은 관심이 집중되고 있으며 실제로 여러 연구 결과가 발표된 바 있다. 우리나라에서는 국내 내진설계시방이 만들어진 이후 구조물 건설지역 중심으로 이에 대한 적용사례가 발표된 바 있으나 액상화 평가에 대한 국내 시방내용이 지진응답해석 등이 병행되어야 하는 관계로 많은 자료를 요구하는 시, 도 등 광역 단위 지역에 대해서는 그 이용이 전무한 실정이다.

본 연구에서는 기존의 국내 재해도 작성방법에 대한 분석연구와 세계 여러 나라에서의 관련 시방내용 등에 대한 고려를 통해 광역 단위 지역을 위한 국내 액상화 재해도 작성기법을 제안하고자 한다.

2. 국내 액상화 재해도 작성 현황

액상화 재해도는 평가 심도별 액상화 평가결과를 종합하여 2차원 또는 3차원의 형태로 나타내는 것이 일반적이다. 이러한 액상화 재해도 작성에는 기준 지표로 삼을 수 있는 여러 가지 변수가 제안된 바 있으나 현재 대표적으로 이용되는 지표로는 1982년 Iwasaki가 제안한 액상화 가능성 지수(Liquefaction Potential Index, LPI)가 있다. LPI는 표준관입저항치와 간편법을 이용하여 얻어진 액상화에 대한 안전율을 이용하여 산정되는데 그 선정식은 다음의 식(1)과 같다.

$$P_L = \int_0^{20} F(z) w(z) dz \quad (1)$$

여기서, z 는 대상지반의 심도를 나타내며 $F(z)$ 는 액상화에 대한 안전율 F_L 에 대한 함수로써 $F(z)=1-F_L$ 의 식으로 표현되며 $F_L > 1.0$ 인 경우 $F(z)=0$ 이다. 또한, 식(1)에서 $w(z)$ 는 가중치로서 지반 심도가 깊어질수록 유효구속압의 영향 등으로 액상화 발생 가능성이 낮아지는 것에 기초한 것이며 $w(z)=10-0.5z$ 로 나타낸다. 위의 식으로 얻어지는 LPI의 범위는 0에서 100로 Iwasaki(1982) 등이 63개의 액상화 발생지역과 22개의 액상화 미발생 지역을 대상으로 하여 LPI값에 따른 액상화 피해정도와 상관관계를 표 1과 같이 나타내었으며 LPI를 이용한 액상화 재해도의 예는 그림 1과 같다.

표 1. P_L 의 범위에 따른 액상화 피해

LPI 범위	피해정도
0	피해 없음
$0 < P_L \leq 5$	피해정도가 작음
$5 < P_L \leq 15$	중간정도의 피해
$15 < P_L$	피해정도가 큼

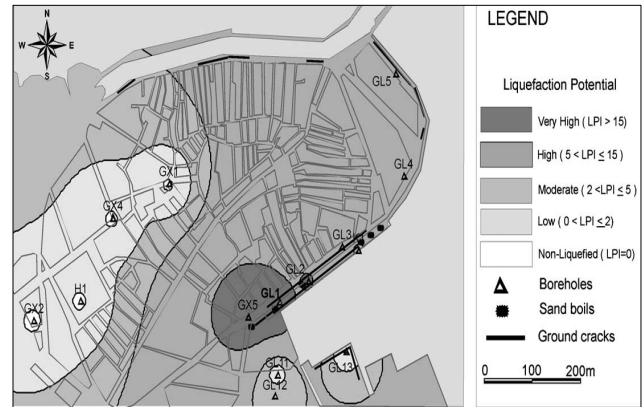


그림 1. 액상화 재해도 (Papathanassiou G. 등, 2005)

3. 액상화 평가법 일반

액상화 재해도 작성을 위해서는 식(1)에 나타난 바와 같이 임의의 지점에서 액상화에 대한 안전율이 기본 자료로 입력되게 되는데 이때, 액상화 안전율 산정을 위해 사용되는 대표적인 액상화 평가법을 요약정리하면 다음 표와 같다.

표 2. 액상화 간편법의 비교

구분	Seed & Idriss	Eurocode	우리나라 시방내용
내용	○지진기록 자료 분석 ○지진규모고려가능 ○안전율 산정	○Seed이론에 기초 ○안전율산정/허용안전율규정 ○지진규모고려가능	○Seed & Idriss와 Eurocode에 기초 ○지진규모고려가능
지진규모 보정계수	○지진규모 6.5에 대해 1.19	○지진규모 6.5에 대해 1.69	○지진규모 6.5에 대해 1.19
지진에 의한 전단 응력비 산정	$(\frac{\tau_e}{\sigma_v}) = 0.65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \times r_d$ τ_e : 지진시 발생하는 전단응력 r_d : 응력감소계수(=1-0.015z) S : 지반증폭계수	$\tau_e = 0.65 \times \alpha \times S \times \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$ a_{depth} : 평가심도 최대지진가속도 (지반응답해석수행) a_{max} : 지표면 최대 지진가속도계수 α : 지진가속도계수	$(\frac{\tau_e}{\sigma_v}) = 0.65 \times a_{depth} \times \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$
안전율	액상화 저항응력비 _{M=6.5} / 지진에 의한 전단응력비		
기타	지반응답해석시 SPT, CPT의 결과값(N치, q_c 또는 q_t)을 이용하여 V_s 및 G_{max} 산정.		

액상화 평가에서 액상화 저항강도를 산정하는 대표적인 액상화 저항응력비 곡선은 그림 2와 같다. 이때 지진규모는 7.5이며, 우리나라의 경우 중약진지대로 구분되어 현재 설계지진규모가 6.5로 지정되어

있기 때문에 그림 1의 액상화 저항능력비 곡선을 이용할 경우에는 지진규모 보정계수(Magnitude Scaling Factor; MSF)를 적용하여 해당 지진규모에 대한 액상화 저항능력비를 산정하게 된다.

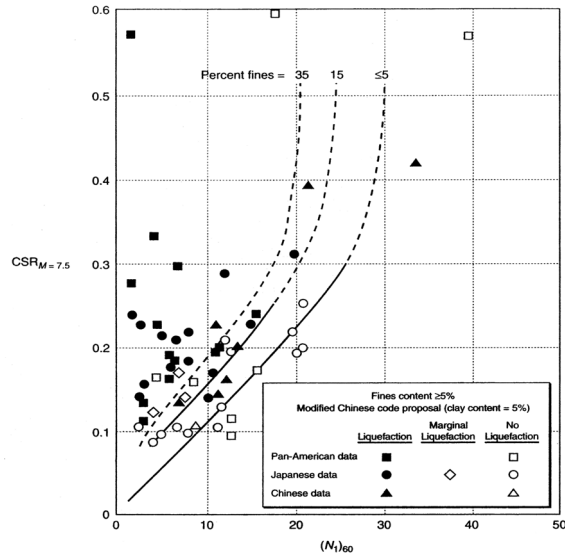


그림 2. Seed 와 Idriss의 액상화 저항능력비 곡선 (Seed et al., 1984)

우리나라 현행 시방내용에서는 지진에 의한 응력저항비 산정시 표 2의 a_{depth} 값은 SHAKE 등의 프로그램을 이용한 지반증폭해석을 통해 결정하게 된다. 이러한 방법은 시설물을 대상으로 한 내진시방에서는 합리적인 방법일 수 있으나 시, 도 등 광역 단위 지역에 적용하는 경우에는 오히려 지반증폭해석 부분에 많은 시간이 소요되어 비효율적일 수 있다. 또한, 지반증폭해석시에는 여러 동적 물성들이 요구되는데, 구조물 건설 및 보강시에는 지반조사 및 실내시험의 수행이 동반되어 이러한 자료 확보가 용이한 반면, 광역 단위 지역을 대상으로 할 경우에는 자료의 획득보다는 대부분의 입력자료들을 경험식 등을 통해 결정하게 되므로 해석의 신뢰도가 크게 저하될 가능성이 매우 높다.

이러한 단점들을 최소화 하고자 광역 단위 지역의 재해도 작성을 위해 표 1에 나타난 Eurocode의 방법을 적용하여 지반증폭해석을 생략하고 그대신 국내 내진시방규정의 지반계수를 적용하도록 하였으며 지진규모보정계수 1.19 또한 1980년대 연구결과에 의존한 값으로 최근의 연구결과를 반영하여 적용하였다. 이러한 내용을 요약하면, Eurocode의 방법을 이용하는 것은 표 2의 지반증폭계수(S)를 국내 시방기준인 지반계수를 적용하는 것이며, 지진규모보정계수는 1.19가 아닌 최근 국내외 연구결과를 추천 범위 (1.4~1.69)로부터 지진규모 6.5에서 하한계값 1.4를 사용하였다.(Park et al., 2004)

4. 액상화 재해도 작성에

본 연구에서는 울산광역시(남구, 중구, 동구, 북구, 울주군)의 25개 시추공에서 지반자료를 수집하여 이를 토대로 LPI를 산정하였다. 이때, 액상화 저항능력비의 산정을 위해 실지진 하중을 재하한 실내진동시험을 통해 제안된 지진규모 보정계수(지진규모 6.5에 대해 1.4)를 적용하였으며, 지진에 의한 전단응력비 산정을 위해 넓은 지역의 액상화를 한 하기 좋은 Eurocode의 을 재하한 법을 적용하였다. 이러한 방법에 기초하여 작성된 울산지역 액상화 재해도는 그림 3과 같으며 이때, 적용된 가속도 수준은 0.10과 0.14g이다.

액상화 평가결과, Sc지반인 중구의 옥교동 지역에서만 지진가속도 0.12, 0.14g 일 때 액상화로 인해 미미한 피해가 일어나는 것으로 나타났다.

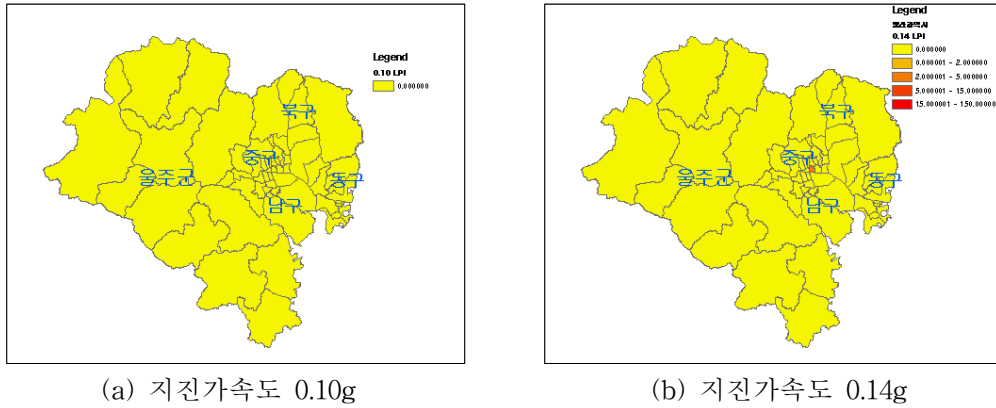


그림 3. 대상지역의 액상화 재해도 작성예

5. 결론

본 연구의 대상 지역인 울산지역의 대다수 지반이 S_d 지반으로 구분되어 액상화에 대해 큰 피해가 없을 것으로 예측되었으며 S_c 지반인 중구의 옥교동 지역에서만 지진가속도 0.12, 0.14g 일 때 액상화로 인해 미미한 피해가 일어날 것으로 예측되었다. 이 결과로부터 울산광역시 지역은 0.14g 수준의 최대지진가속도에 대해서는 액상화에 대해 안전할 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안된 광역 단위 지역의 액상화 재해도 작성 방법은 향후 지진응답해석 평가를 통한 방법 등과의 비교분석을 통해 그 타당성 검토가 후속되어 그 예측정도의 수준이 검증된다면 매우 간편하게 액상화 위험도를 나타내는 지표 LPI를 매우 간편하게 산정하기 때문에 향후 광역 단위지역에서의 재해영향평가 등에 유효적절하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 광역 단위지역의 액상화 재해도 작성에서는 지반조사자료를 입력자료로 필요로 하게 되는데 최근, 우리 나라에서는 시행 중인 지반조사결과 데이터베이스 구축연구가 향후 국내 액상화 재해도 작성마련에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 강규진, 박인준, 김수일(2000), “국내 연안지역의 액상화 구역도 작성에 관한 연구”, **한국지진공학회 논문집**, 제 4권, 제 2호, pp.57~64.
2. 광창원(2001), “국내 연안 매립지역의 액상화 재해도 작성에 관한 연구”, 연세대학교, 석사학위 논문
3. 김수일, 박인준, 최재순(2000), “국내 여건에 적합한 액상화 평가기법 연구”, **대한토목학회 논문집**, 제 20권, 제 2-C호, pp.129~139
4. 신운섭, 박인준, 최재순, 김수일(1999), “국내 발생 지진규모를 고려한 액상화 저항강도 산정”, **한국지반공학회 논문집**, 제 15권, 제 6호, pp.307~317
5. 최재순, 홍우석, 박인준, 김수일(2002), “지반의 동적특성에 기초한 액상화 평가법”, **한국지반공학회 논문집**, 제 18권, 제 1호, pp.99~112
6. Kramer S. L.(1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, pp.348~422
7. Papathanassiou G., Pavlides S. and Ganas A.(2005), "The 2003 Lefkada earthquake: Field observations and preliminary microzonation map based on liquefaction potential index for the town of Lefkada", *Engineering geology*, Vol. 82, no.1, pp.12~31
8. Park, K. B., Park, Y. G., Choi, J. S. and Kim, S. I.(2004), "A Study on Magnitude Scailing Factors and Screening Limits of Liquefaction Potential Assessment in Moderate Earthquake Regions", *Journal of the Korea Geotechnical Society*, Vol. 20, No. 7, pp.127~140