

현장 및 실내시험을 이용한 준설패립지반의 액상화 평가에 관한 연구 A Study on the Liquefaction Potential Evaluation of Reclaimed Land Using Laboratory Test and Field Tests

김중국¹⁾, Jong-Kook Kim, 채영수²⁾, Young-Su Chae

¹⁾ 한국건설품질시험원 지반환경연구실장, Chief of Geo.-Env. Reaserch Dev., Institution of Korea
Construction Quality Test&Analysis

²⁾ 수원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Suwon University

SYNOPSIS : The purpose of this study is investigated the method for estimation of the liquefaction on the reclaimed land, located in Incheon and assessed the ability of liquefaction under the condition of criteria, which is the magnitude '6.5' of seismic on the basis of the domestic seismic characteristics. Performed not only field test but the experiment as well to study how the fine content would affect into the dreging and reclaimed land and also estimated the safety factor through the empirical method and anticipated detail method based on the results. Within the reclaimed land, there are many sized soils which are almost extended from well-graded silty sand(SM) to poor-graded fine grained sand, and which have the condition, so called, the liquefaction which is easily to bring into under the circumstances within the ground. However, partly, now that the soil is mixed with silt and silty clay which include the content of fine grained dust quite a bit, the difficulties and inconveniences has been expected while trying to find the ratio of cyclic resistance, but finally Seed and Idriss method showed the most way when we estimate the safety factor on the liquefaction.

Key words : Reclaimed land, Liquefaction potential, Cyclic triaxial test, Dynamic compaction method, Cone penetration test

1. 서 론

최근 우리나라에서는 해안의 도서지역을 매립하거나 연안의 공유수면 매립으로 대규모의 부지를 조성하여 공항, 항만 등 해양개발 프로젝트가 계속적으로 이루어지고 있는 실정이다. 특히, 준설토에 의해 인공매립된 부지는 불균질한 지층분포를 보이며, 모래, 실트질 모래, 실트 그리고 실트질 점토 등이 불규칙하게 구성되어 있는 경우가 많고, 느슨한 상태로 매립되어 다짐도가 불량하고 액상화 발생 가능성이 잠재하고 있는 경우가 많아 지반침하 및 지지력이 부족한 경우로 조사되고 있다. 이러한 매립지반에 지진이 발생하면 낮은 강도의 지진에서도 큰 피해가 발생할 수 있으므로 시설물을 축조할 경우 해당 지반에 지진 및 지역특성을 고려하여 지진피해에 대한 대책을 마련해야 한다.

그 동안 국내에서 액상화 가능성 평가시 미국 및 일본의 기준을 그대로 적용하는 등의 우리 나라의 지진 및 지역특성을 고려하지 않아, 최근 이러한 비현실성을 감안하여 기존시설물의 기초 및 지반의 내진설계 및 내진성능평가 방안을 마련하는 등의 많은 연구가 수행되고 있다.

본 연구에서는 인천 송도 신도시지역의 준설패립지반을 대상으로 현장시험과 실내시험을 실시하여 경험적 방법과 상세예측법에 의하여 액상화 발생 가능성 여부를 평가하였다.

2. 액상화 평가 방법

2.1 현장시험에 의한 액상화 평가 방법

일반적으로 액상화는 지반내에 작용하는 전단응력에 의하여 지반중에 발생하는 과잉간극수압이 토립자를 구속하고 있었던 초기 유효응력과 같아져서 유효응력이 0(zero)이 되는 현상이라고 한다. 또는 진동하중 혹은 지진 등의 반복하중에 의해 포화사질토가 전단 저항력을 상실하고 마치 유체와 같이 거동하는 현상을 의미한다. 이에 따른 액상화 발생 가능성은 지진에 의한 전단응력과 지반의 액상화 저항강도와의 비교를 통해 안전율을 평가한다.

본 연구에서는 표준관입시험(SPT) 및 콘관입시험결과(CPT)를 이용하여 경험적 방법을 통해 지반의 액상화 저항강도를 평가하였다. 대표적인 경험적 방법으로는 Eurocode 및 일본 건축물 시방서의 근간이 되는 Seed and Idriss(1993)의 방법과 진동삼축시험 결과분석을 토대로 제안된 Iwasaki and Tatsuoka(1978)의 방법을 들 수 있고, 콘관입시험결과(CPT)를 이용하는 경우 Robertson and Wride(1985, 1998)방법 등의 많은 연구가 이루어 지고 있다. Seed and Idriss의 방법은 많은 지진기록 및 피해사례에 대한 분석을 토대로 현장에서 획득하기 용이한 표준관입저항치 N 치와 액상화 저항강도 비와의 관계를 간편하게 제시한 방법이다. 이 방법은 여러 국가 내진규정에 가장 많이 이용되고 있는 경험적 방법으로, 여러 연구자들이 이를 기초로 수정 보완하여 평가방법을 개발하고 있는 실정이다. 그림 1은 Seed and Idriss(1983)의 방법을 기초한 액상화 평가의 개략적인 절차로 지진규모를 고려하여 지진의 전단응력비와 지반의 액상화 전단강도비를 산정하고 액상화에 대한 안전율을 검토하는 방법을 도시한 것이다.

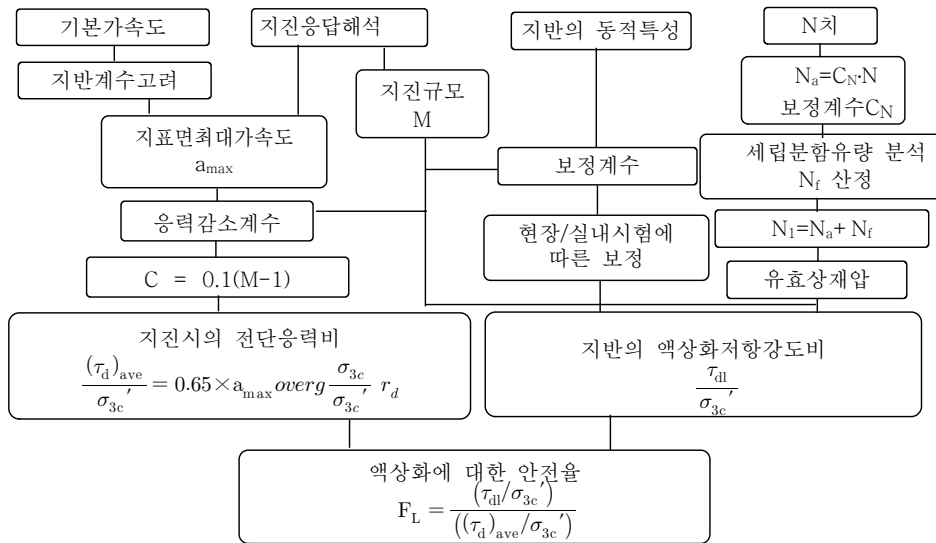


그림 1. Seed and Idriss(1983) 방법의 액상화 평가 절차

Iwasaki and Tatsuoka(1978)의 방법은 일본 도로교 시방서에서 이용하고 있는 액상화 평가방법으로, 진동삼축시험과 간편식을 통해 액상화 저항강도비를 산정하는 것을 제안하고 있다. 이 방법은 지진규모 7.5 수준의 강진을 기준으로 지표면 최대가속도, N 치, 평균입경(D_{50}), 유효상재압 등을 고려하여 최대전단응력비와 액상화 전단강도비를 산정한다.

콘 관입시험을 이용하여 액상화 가능성을 평가하는 경우 과거에는 주로 CPT값을 SPT값으로 변환하여 사용하였으나, 최근 들어 CPT를 이용한 지반조사가 활발히 이루어져 SPT값으로의 변환없이도 액상화 저항강도를 산정할 수 있게 되었다. Robertson and Wride(1985, 1998)의 방법은 상재응력만으로

정규화시킨 콘관입저항치를 무차원의 실제 콘관입저항치로 보정하는 방법이며, 액상화 저항강도비 산정 시 세립분 함유량을 직접 추정 방법을 제안하였다.

이러한 경험적 방법들의 특징을 비교해보면, 표 1과 같다.

표 1. 경험적 방법의 특징 비교

구 분	지진규모	특 징
Seed and Idriss(1983)의 방법	지진규모에 따른 보정계수사용	· 액상화 저항강도비 산정곡선이 지진기록을 토대로 도시 · 전단저항응력비 산정곡선을 세립분함유량 5, 15, 35%로 도시
Iwasaki and Tatsuoka(1978)	지진규모 7.5기준	· 진동삼축시험을 토대로 간편식 제안 - $L_{max} = a_{max} \text{overg} \frac{\sigma_{3c}}{\sigma_{3c}} r_d'$ (지진시 발생하는 최대전단응력비) - $R_{max} = C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 R_1$ (최대저항강도비(보정계수 C_i)) · 표준관입저항치에 따른 변화양상이 Seed이론과는 다름 (제공근 함수) · 간편식에서 평균입경과 세립분 함유량(40%기준) 고려
Robertson and Wride(1985, 1998)	지진규모에 따른 보정계수사용	· 액상화 저항강도비 산정시 세립분 함유량을 직접 추정 방법 · 평형콘관입저항치를 구하기 위한 입경특성에 대한 보정계수 · 콘관입저항치를 정규화

2.2 진동삼축시험에 의한 액상화 평가 방법

실내 진동삼축시험을 수행하기 위해서는 현장 조사로부터 얻은 시료를 이용해 최대 및 최소 단위중량, 입도분포 곡선 등과 같은 공학적인 기본 물성을 파악하여 대상지반의 조건과 같은 상태를 구현하여 시험을 수행하여야 한다. 본 연구에서는 준설토 시료를 대상으로 그림 2의 절차에 따라 세립분 함유량 변화 및 상대밀도 등의 현장조건을 재현한 상태로 액상화 저항강도비를 산정하였다.

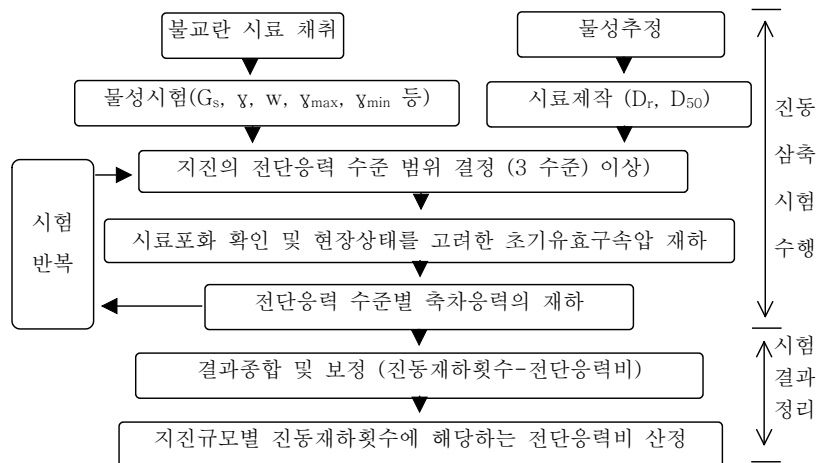


그림 2. 진동삼축시험방법에 의한 액상화 평가 절차

3. 준설토매립지반의 특성

준설토매립지반은 지표면에서부터 매립층, 퇴적층, 잔류토층, 풍화암층 순으로 구성되어 있다. 매립층은 4~10m 두께로 일괄 매립한 지층으로 대부분 모래 및 실트질 모래로 구성되었고, 부분적으로 실트층과

점토층이 밴드형으로 잔존하고 있는 것으로 나타났다. 모래층의 N치는 3/30~31/30, 실트층은 5/30~21/30, 점토층은 1/30~5/30정도를 보이고 있다. 지반조사의 표준관입시험(SPT)시 채취한 준설토 시료에 대하여 20여개를 무작위로 추출하여 입도시험을 실시하였다.

그림 3은 준설토의 입도분포곡선으로 #200체 통과량은 3.5~53.0%정도로 나타났으며, 입자의 크기에 따라 크게 A, B, C그룹으로 구분되는 경향을 보이고 있다.

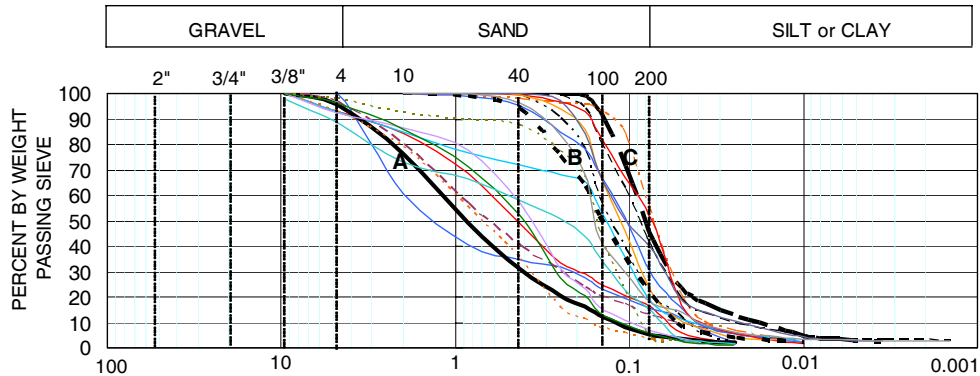


그림 3. 준설토의 입도분포곡선(인천 송도신도시)

이러한 경향을 고려할 때, 각 그룹에 따른 #200체 통과량 및 입경특성은 표 2와 같다.

표 2. 준설토의 입도시험결과

구 분	D_{max} (mm)	D_{60} (mm)	D_{10} (mm)	D_{50} (mm)	C_u	#200통과량 (%)
A그룹	9.52	1.30	0.14	0.88	9.3	4.6
B그룹	2.0	0.21	0.04	0.21	4.0	20.9
C그룹	2.0	0.08	0.05	0.07	1.6	46.2

준설토의 입도시험결과, 양호한 사질토(SM)에서부터 빈입도인 세립질 사질토(SP-SM)가 대부분으로 액상화 현상이 발생하기 쉬운 조건을 가지고 있고, 부분적으로 실트, 실트섞인 모래 등이 혼재되어 있는 것으로 나타났다. 또한, 준설토를 대상으로 수행한 상대밀도 시험결과는 표 3과 같고, 각 그룹별 최소건조단위중량 및 최대건조단위중량을 구분하여 정리하였다.

표 3. 준설토의 최소건조단위중량 및 최대건조단위중량

구 분	진 체	A그룹	B그룹	C그룹
γ_{dmin} (t/m^3)	1.602 ~ 1.302	1.594	1.469	1.315
γ_{dmax} (t/m^3)	1.817 ~ 1.574	1.805	1.775	1.594

4. 시험 및 결과 분석

상기와 같이 준설토의 특성을 고려하여 각 그룹에 해당하는 구간에 대하여 표준관입시험과 콘관입시험을 실시하여 액상화 저항강도를 산정하였고, 진동삼축시험시 현장조건을 고려하여 액상화 저항강도를 산정하였다.

4.1 표준관입저항치(M)에 의한 액상화 안전을 비교분석

준설패립지반의 세립분 함유량이 액상화 저항강도에 미치는 영향을 고려하기 위하여 상기 표 2의 각 그룹에 해당하는 구간에 대한 표준관입시험치(M)는 그림 4이다. 이들 시험공의 지하수위는 대략 3.5~4.4m로 패립층내에 분포하고 있다.

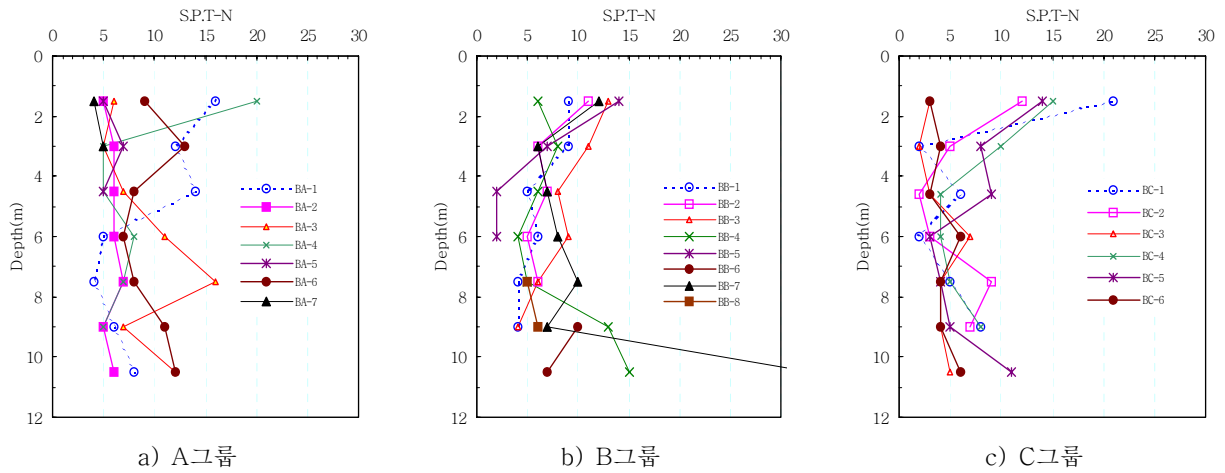


그림 4. 각 그룹의 해당구간에 대한 표준관입시험결과

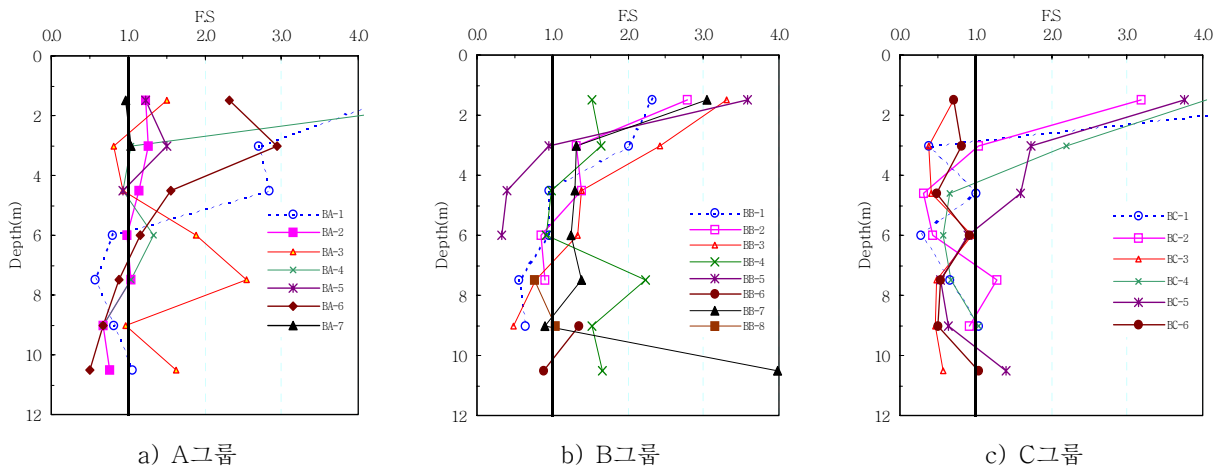


그림 5. Seed and Idriss(1983)방법에 의한 액상화 안전을 비교

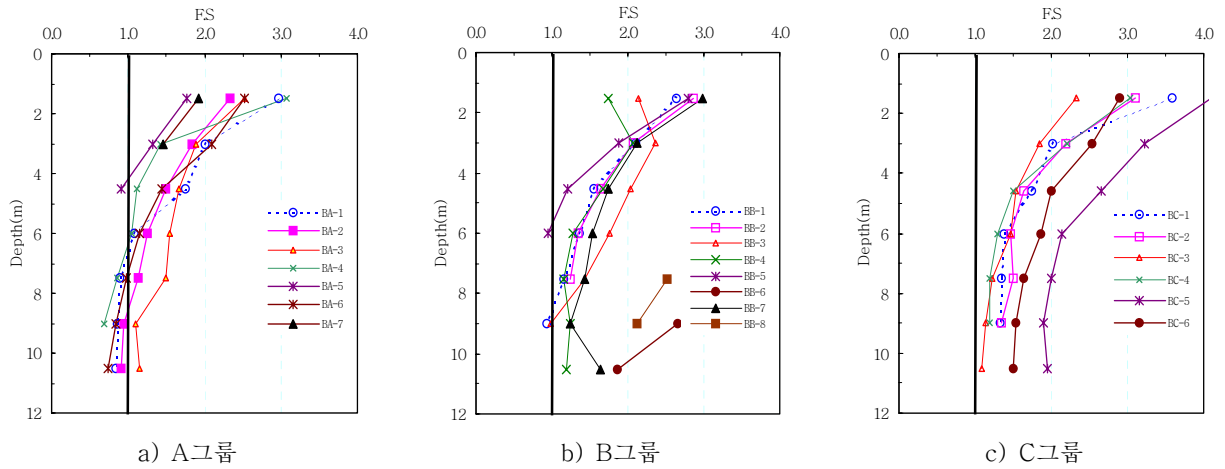


그림 6. Iwasaki and Tatsuoka(1978) 방법에 의한 액상화 안전을 비교

그림 4의 SPT-N치를 바탕으로 Seed and Idriss(1983)방법과 Iwasaki and Tatsuoka(1978)방법에 기초한 액상화 안전율을 산정하였다. 이들 경험적 방법을 통해 산정한 액상화 안전율은 그림 5와 그림 6에서와 같이 적용 방법에 따라 안전율은 상당한 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 세립분 함유량 증가에 따라 Seed and Idriss(1983)방법은 안정율을 변화폭이 거의 없는 반면, Iwasaki and Tatsuoka(1978)방법은 평균입경과 세립분 함유량 증가에 따라 액상화 안전율도 크게 증가되는 것으로 나타났다. 즉, A그룹의 안전율보다 B, C그룹으로 갈수록 안전율이 크게 증가하고 있다. 특히, Seed and Idriss(1983)방법은 매립층 진층에서 안전율이 1.0 보다 낮은 값을 보이고 있는 반면, Iwasaki and Tatsuoka(1978)방법은 지표에서 약 4m까지는 안전율이 1.0 보다 크게 나타나고 있고, 심도 4m이하의 일부지층에서만 안전율이 1.0보다 낮은 값을 보이고 있다. 또한, 각 그룹에 대한 액상화 안전율 결과를 토대로 Seed and Idriss방법과 Iwasaki and Tatsuoka방법에 의한 결과를 그림 7과 같이 상호 비교하였다. 그림 7과 같이, A그룹의 경우는 Seed and Idriss(1983)방법으로 산정한 안전율이 Iwasaki and

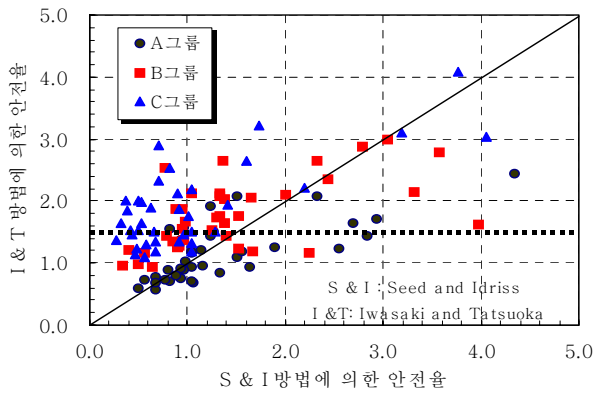


그림 7. 경험적방법에 의한 액상화 안전율 비교

Tatsuoka(1978)방법의 안전율보다 크게 나타났으나, B그룹, C그룹으로 갈수록 안전율은 Iwasaki and Tatsuoka방법이 Seed and Idriss방법보다 약 1.2~1.7배이상 더 크게 산정된 것으로 나타났다.

이와같이 표준관입저항치에 의한 경험적 방법으로 액상화를 평가한 경우, Iwasaki and Tatsuoka 방법은 Seed and Idriss방법으로 산정한 안전율보다 다소 크게 평가되는 바와 같이 강진에서의 내진성능을 평가하는 것이 유리한 것으로 판단되며, 본 연구부지의 중진 M=6.5에 해당하는 경우는 Seed and Idriss방법으로 액상화 안전율을 평가하는 것이 보다 효과적인 것으로 판단된다.

4.2 콘관입시험저항치(q_c)에 의한 액상화 평가

CPT값을 이용하여 액상화 발생 가능성을 예측하고자 그림 8과 같이 각 그룹의 대표구간에서 실시한 CPT- q_c 값을 토대로 Robertson and Wride(1985, 1998)의 방법에 의하여 액상화 안전율을 산정하였다.

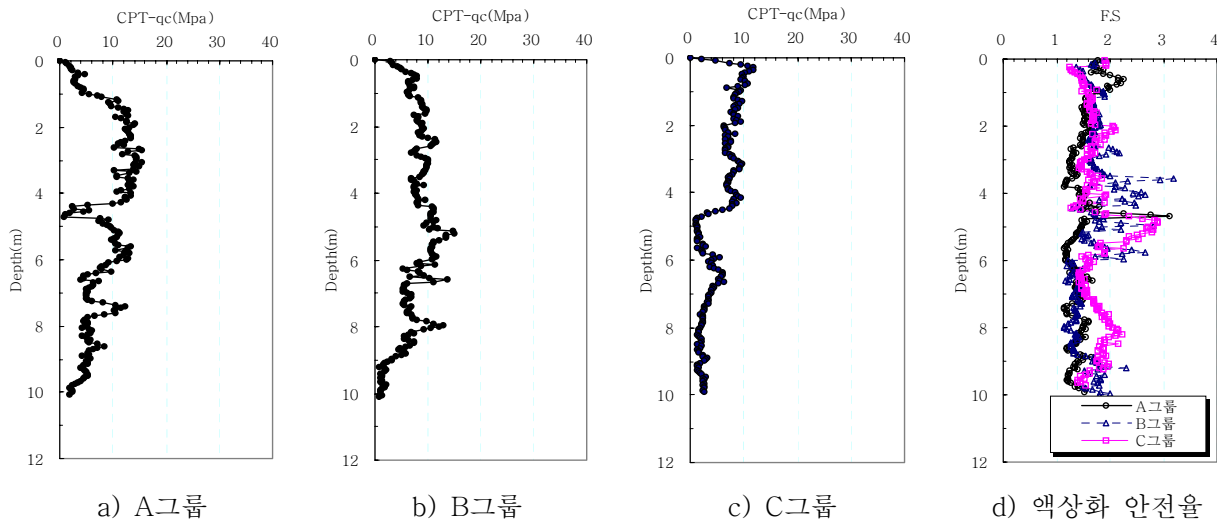


그림 8. 각 그룹에 대한 CPT값과 액상화 안전율 결과 비교(Robertson and Wride, 1985, 1998)

그림 8에서와 같이 A그룹의 CPT- q_c 값은 B그룹과 C그룹에 비해 다소 크고, C그룹으로 갈수록 CPT- q_c 값은 작은 값을 보이고 있는 것을 알 수 있으며, 준설패립지반의 세립분 함유량이 증가할수록

CPT- q_c 값은 적어지는 경향을 보이고 있다. 특히, 그림 8d의 매립층 심도 4~6m사이의 실트층의 경우 CPT- q_c 값이 낮은 값을 보이는데 비해 액상화 안전율은 상당히 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 이 방법은 CPT 자료를 이용해서 세립토의 함유량을 직접 추정하는 방법으로 흙의 종류와는 정확히 일치하는 것이 아니기 때문에 샘플링을 해서 흙을 정확히 확인하는 것이 필요하다. Robertson et al.(1996)에 의하면, I_c 값이 2.4이상일 때에는 반드시 샘플링을 해서 확인하고, I_c 값이 2.6보다 크고 마찰비 F가 1.0 %보다 작을 때에는 매우 예민한 흙일 수 있으므로 반드시 시료를 채취해서 확인하는 것을 주장하고 있다. 이처럼 Robertson and Wride(1985, 1998)의 방법에 의한 안전율 산정결과 준설매립지반은 지진규모 6.5에서 안전율 1.5미만의 값을 보이고 있어 액상화 발생 가능성이 있는 것을 알 수 있다.

4.3 진동삼축시험에 의한 액상화 평가

준설매립지반의 지층이 불규칙하고 순수모래층과 실트질 모래층이 혼재하고 있고, 현장시험에 의한 경험적 방법으로 액상화를 평가하는데 많은 한계가 있는 점을 감안하여 진동삼축시험에 의하여 액상화 가능성을 평가하였다. 진동삼축시험은 표 2의 A, B, C그룹의 대표 시료를 대상으로 세립분 함유량 변화 및 상대밀도 변화 등의 현장조건을 고려하여 액상화 저항강도비를 산정하였다.

A, B, C그룹의 시료에 대한 대표적인 진동삼축시험결과를 그림 9와 같이 세립분 함유량 변화에 따른 진동하중 재하횟수별 과잉간극수압의 변화를 나타내었다.

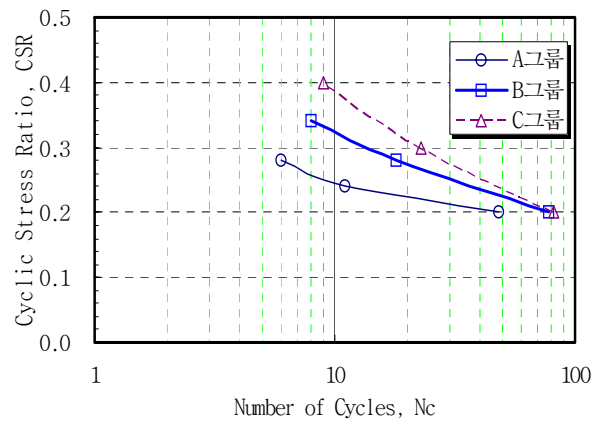
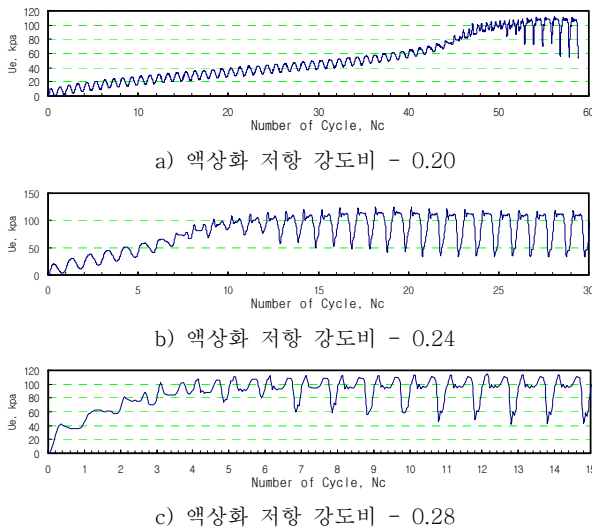


그림 9. 준설토의 진동삼축시험결과 예(A그룹) 그림 10. 저항강도비와 반복재하횟수(N_c)와의 관계

그림 9는 A그룹에 해당하는 시료로, No. 200체통과량은 4.6%이고 상대밀도(D_r)는 50%로 초기 유효 구속압은 100kPa로 고정시켜 얻은 진동삼축시험결과이다. 그림 9a)는 과잉간극수압이 초기유효구속압 100kPa과 같아지는 시점의 진동하중 재하횟수(N_c)는 48회이고, 그림 9b)는 진동하중 재하횟수(N_c)가 11회로 나타났으며, 그림 9c)에서는 진동하중 재하횟수(N_c)는 5회를 보이고 있다. 이는 국내 지진규모 (M) 6.5에 대한 액상화 발생 재하횟수를 10회로 산정하였다. 이러한 결과를 토대로 전단저항응력비와 액상화 발생 재하횟수(N_c)와의 관계를 살펴볼 수 있으며, 각 시료에 대한 액상화 저항강도비를 도시하면 그림 10과 같다. 그림 10은 실내 진동삼축시험을 통해 얻은 결과로 현장조건을 고려하여 보정을 하여야 하며, Seed(1971)가 제안한 액상화저항강도에 대한 보정식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{\tau_d}{\sigma_{3c}'} \right)_{field} \approx C_r \left(\frac{\sigma_d}{2\sigma_{3c}} \right)_{triaxialtest} \quad (1)$$

$$C_r = 0.9 \times \frac{1+2K_o}{3} \quad (2)$$

여기서, C_r 은 보정계수로 K_0 값에 따라서 결정된다. K_0 는 Jaky식을 적용하면 $1-\sin\phi'$ 값으로 사질토의 내부마찰각에 따라 산정된다.

그림 10의 각 시료에 대한 결과를 토대로 보정 후의 액상화 저항강도비를 산정하면 표 4와 같다. 이는 지진규모 6.5를 고려하여 산정한 것으로 세립분 함유량이 증가할수록 액상화 저항강도비는 크게 증가하는 것으로 나타났다.

표 4. 보정후의 세립분 함유량에 따른 액상화 저항강도비 산정결과

구 분	A그룹	B그룹	C그룹
No. 200체 통과량	4.6%	20.9%	46.2%
액상화 저항강도비	0.220	0.267	0.318

또한, 상대밀도 변화에 따른 액상화 전단저항비를 산정하기 위하여 A그룹의 시료에 대하여 상대밀도 (D_r)를 50%, 60%, 70%로 변화시켜 초기 유효구속응력은 100kPa상태에서 실시하였으며, 그 결과는 표 5와 같이 나타났다.

표 5. 보정 후 상대밀도에 따른 액상화 저항강도비 산정결과

구 분	A그룹		
상대밀도(D_r)	50%	60%	70%
액상화 저항강도비	0.220	0.292	0.350

표에서와 같이 준설토와 같은 사질토지반은 상대밀도에 따라서 지반거동에 많은 차이를 보이게 되므로 지반의 액상화 저항강도에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

이와 같이, 매립지반의 액상화 저항강도는 입도 분포 특성에 따라 큰 차이가 있는 것을 알 수 있고, 양질의 입도 분포를 가질수록 액상화에 더 민감한 것을 알 수 있으며, 세립분 함유량이 증가할수록 액상화 저항강도비는 더 크게 증가하는 것으로 나타났다.

4.4 경험적 방법과 진동삼축시험결과의 비교 분석

상기에서 살펴본 현장시험에 의한 경험적 방법과 진동삼축시험에 의한 상세 예측법과의 관계를 분석하기 위하여 그림 11과 같이 비교하였다.

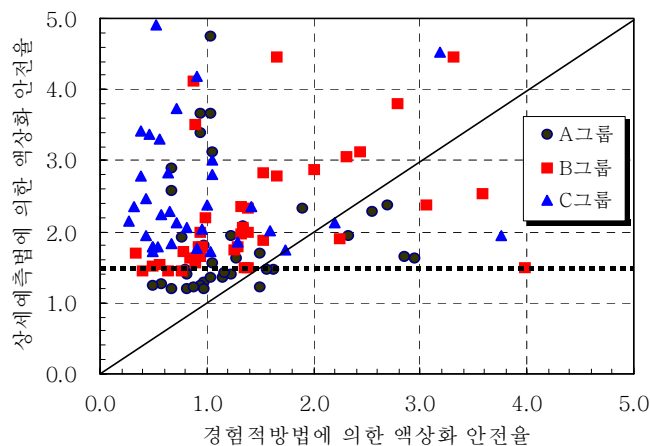


그림 11. 매립지반의 액상화 평가 안전율 비교

그림 11의 액상화 안전율 비교결과에서와 같이 경험적 방법보다 상세예측법에 의한 안전율이 더 크게 나타난 것을 알 수 있다. 안전율 1.5를 기준을 할 때, 안전율 1.5이하에서는 상세 예측법에 의한 안전율이 대략 0.5~1.7배 정도로 크게 나타났고, 안전율 1.5이상에서는 약 1.5~5.0배 이상 더 크게 나타났다. 이는 A그룹 구간의 안전율보다 B, C그룹 구간으로 갈수록 안전율이 증가되는 것과 같이 세립분 함유량이 증가할수록 안전율도 크게 증가되는 것을 알 수 있다.

그림 12는 Seed and Idriss(1983)방법과 Robertson and Wride(1998)방법 그리고 상세예측법에 의한 액상화 안전율 비교한 것이다. 그림 12에서와 같이 CPT의 Robertson and Wride방법으로 산정한 안전율은 Seed and Idriss방법에 비해 약간 큰 안전율 범위를 보이고, 안전율이 1.5를 기준으로 상세 예측법으로 구한 안전율과 유사한 결과를 보이고 있다. 이는 Robertson and Wride방법과 진동삼축시험에 의한 경우 준설매립토의 입도특성 즉, 세립분의 함유량에 따른 영향을 크게 반영한 것에 기인한 것으로 보여진다.

또한, 심도에 따른 액상화 안전율 경향을 보면, 안전율이 1.5이하에서는 상세예측법이 경험적 방법에 비해 안전율이 보다 크게 산정되는 경향을 보이고 있고, 안전율 1.5이상에서는 경험적 방법의 안전율이 상세예측법의 안전율보다 더 크게 나타났다. 이러한 경향은 SPT의 경우, 유효구속응력을 받는 표준관입 저항치(N)의 크기에 따라 차이가 많은 것을 알 수 있고, N치가 약 12~14보다 클 경우에는 Seed and Idriss방법으로 산정한 안전율이 더 크게 나타난 반면, N치가 이보다 작을 때는 상세예측법으로 산정한 안전율이 더 크게 산정되는 것을 알 수 있었다.

한편, CPT의 경우에서도 정규화시킨 콘 관입저항 값(q_{c1})은 세립분 함유량과 소성 등 흙의 특성과 유효상재응력의 영향을 고려하여야 하며, CPT- q_c 값이 7~10MPa보다 클 때 즉, I_c 값이 2.6보다 적은 경우에는 상세예측법의 안전율이 더 크고, 7~10MPa보다 작을 때, 즉, $I_c > 2.6$ 일 때에는 상세예측법의 안전율이 더 작게 산정되었다.

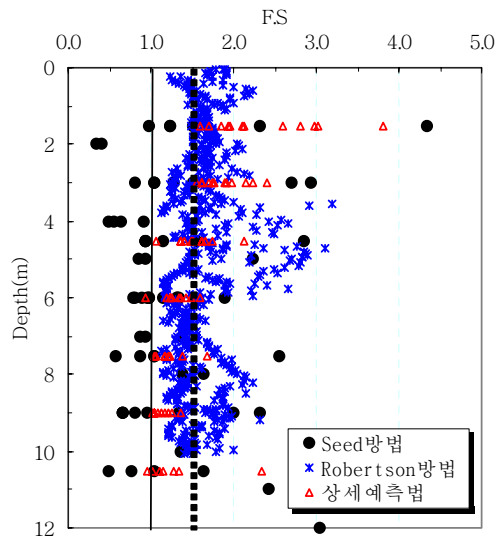


그림 12. 심도에 따른 경험적방법과 상세예측법에 의한 안전율 비교

이와같이, 도로교 설계기준(건설교통부, 2000)의 액상화 평가기준의 허용안전율 1.5를 기준으로 할 때, 매립지반의 액상화 현상은 주로 순수모래층에서 발생하고, 세립분 함유량이 증가할수록 액상화 안전율은 커지는 것으로 나타났다.

따라서, 준설매립지반을 대상으로 다짐도 증진 및 액상화 방지 대책 등의 내진 성능 보장이 필요한 것으로 판단되었다. 그리고, 매립지반의 지반개량효과 평가와 더불어 액상화 후의 내진성능을 평가하는 것이 필요하며, 경험적 방법과 상세예측법을 병행하여 액상화 현상을 규명하는 것이 바람직 할 것으로 평가되었다.

5. 결론

본 연구에서는 인천지역 준설패립지반을 대상으로 현장시험에 의한 경험적 방법과 진동삼축시험에 의한 상세예측법에 의하여 국내 지진특성을 고려하여 지진규모 6.5 기준으로 액상화 가능성을 평가하였다. 경험적 방법과 상세예측법을 비교 분석하였으며, 그 결과를 바탕으로 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 준설패립지반은 양호한 사질토(SM)에서부터 빈입도인 세립질 사질토가 대부분으로 액상화 현상이 발생하기 쉬운 조건을 가지고 있으나, 부분적으로 세립분 함유량이 많은 실트, 실트섞인 점토 등이 혼재되어 있어, 각기 다른 세립분 함유량에 대해서 액상화 반복저항비를 구하는데 많은 어려움과 불편한 점이 예상되었으며, Seed and Idriss방법에 의한 경험적 방법으로 액상화 안전율을 산정하는 것이 가장 안전측인 것으로 나타났다.
2. 표준관입저항치(N)에 의한 경험적 방법은 Seed and Idriss(1983)방법에 의한 안전율 결과보다 Iwasaki and Tatsuoka(1978)의 결과가 얇은 지반(10m이하)에서 안전율을 크게 산정되었으며, 상세예측법에 의한 액상화 안전율은 경험적 방법에 비하여 대체적으로 크게 평가하는 것으로 나타났다. 그러므로 준설패립지반의 세립분 함유량이 미치는 영향을 고려할 때 매우 효과적일 것으로 판단되었다.
3. 정적관입저항치(q_c)에 의한 경우, I_c 값이 2.6보다 적은 경우에는 상세예측법의 안전율이 더 크고, I_c 값이 2.6보다 클 경우에는 상세예측법의 안전율이 더 작게 산정되는 것으로 나타났다. 그리고, 관입저항치(q_c)가 약 0~4 MPa이하의 작은 값을 보일때, 액상화 안전율은 반대로 상당히 크게 나타나 연약층 유무를 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 김종국, 김영웅, 최인걸, 최원호(2001), "유압햄머다짐공법 준설패립지반의 액상화 평가에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집. pp.517-524.
2. 김종국, 채영수, 김명모(2004), "CPT를 이용한 준설패립지반의 지반개량효과 평가에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집.pp.83
3. 김종국, 채영수(2004), "인천지역 준설패립지반의 품질개선 사례 연구", 한국지반공학회 연약지반 위원회 논문집.
4. 신운섭(1999), 우리나라 지진특성을 고려한 액상화 평가기법의 개선방안에 관한 연구, 석사 학위 논문, 연세대학교 대학원,
5. 건설교통부(2000), 도로교 설계기준
6. 한국지진공학회, 한국건설기술연구원(1997), 내진설계기준 연구(II), 건설교통부, pp.29-41
7. De Alba, P., Seed, H. B., and Chan, C. K.(1976), "Sand Liquefaction in Large-Scale Simple Shear Tests", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 102, No. 9, pp.909-927.
8. Iwasaki, T., Tatuoka, F., Tokida, K., and Yasuda, S.(1978), "A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan", *Proceedings of 5th Japan Earthquake Symposium*, pp.641-648.
9. Robertson, P.K, and Campanella, R.G.(1985), "Evaluation of Liquefaction Potential of Sands Using the CPT", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol.III, No.3, pp.384-407
10. Robertson, P.K, and Wride.(1998), "Evaluation Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test", *Journal of the Can, Geotechnical* 35: pp.442-459.
11. Seed, H. B. and Idress, I. M.(1971), "Simplified Proceure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of Soil Mechanics and Foundation Divsion*, ASCE, Vol.97, No. SM9, pp.105-518.
12. Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, I.(1983), "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 109, No. 3, pp.458-482.