

유압햄머다짐 준설패립지반의 액상화평가에 관한 연구 A Study on Liquefaction Potential at Reclaimed Land by Hydraulic Hammer Compaction

김종국¹⁾, Kim, Jong-Kook, 김영웅²⁾, Kim Young-Ung, 최인걸³⁾, Choi In-Gul, 최원호⁴⁾, Choi Won-Ho,

¹⁾ 한국건설품질시험원 지반기술팀, 과장, Manager, Geotech Eng. Team, Institution of Korea Construction Quality Test.

²⁾ 인천국제공항공사 건설시험소, 소장, General Manager, Res. & Analysis office, Incheon International Airport Corp.

³⁾ (주)유신코퍼레이션 인천국제공항 감리단, 이사, Director, IIA Airside Supervisory Team, Yooshin Engineering Corp.

⁴⁾ 한국건설품질시험원 대표이사/품질, 시공기술사 President, Institution of Korea Construction Quality Test.

SYNOPSIS : In this study, the effect of relative density and fine contents(Finer than # 0.08mm sieve) on liquefaction phenomenon in reclaimed land by hydraulic hammer compaction is analyzed. For more site-specific studies, reclaimed land in Incheon International Airport is selected and the cyclic triaxial tests are performed on disturbed samples. In cyclic triaxial tests, the characteristics of reclaimed land in Incheon International Airport are considered sufficiently. The liquefaction resistance stress ratio (τ_v/σ_v') can be defined by relative density 40, 50, 60, and 70% and also by fine contents : 0, 10, 20, 30, and 40% under relative density (D_r) 50% used disturbed samples. From the result of comparing the cyclic triaxial tests, it is shown that the liquefaction strength of soil increases with increases of relative density and fine contents. Especially fine contents is the main factor affecting the liquefaction potential. In addition, the liquefaction resistance stress ratio is reduced by the increase of fine content and the ratio of change is steep until fine contents 20% and that is flexible during the range of fine contents 20% to 40%. Through this study, it is proved that the soil characteristics (fine contents 5~20%) of the reclaimed land in Incheon International Airport plays an important role in the reduction of liquefaction potential.

Key Words ; cyclic triaxial test, liquefaction potential, liquefaction resistance stress ratio

1. 서론

최근 국내지역에 건설되고 있는 신공항, 신항만 그리고 방조제 등의 대규모 시설은 해안의 연약지반위에 성토 또는 매립하여 부지를 조성하는 사례가 증가하고 있다. 매립부지는 토사와 해수를 동시에 흡입하여 배사관을 통해 전송하는 방식에 따라 물과 토사의 혼합유체 속에서 토사를 침강, 퇴적시켜 새로운 지반을 형성하게 되는 경우가 있다. 이렇게 형성된 지반은 퇴적시의 환경에 따라 매우 다양한 특성을 나타내며, 토립자의 침강, 퇴적이 수중에서 이루어지므로 토립자의 낙하에너지가 작아지게 되어 느슨한 상태의 매립지반을 형성하게 된다. 인천국제공항지역 준설패립지반의 경우 연약지반위에 3~6m 두께로 매립한 층으로 원지반의 지하수위 상승과 성토재의 특성이 어우러져 느슨한 포화사질토지반으로 입도분포가 비교적 균등하고 다짐이 용이치 않은 상태이다. 이러한 지반 위에 구조물을 축조하는 경우, 크지 않은 규모의 지진에도 액상화가 발생할 가능성이 있다. 따라서, 본 연구에서는 인천국제공항지역의 준설패립토의 노체, 노상지반을 대상으로 유압햄머다짐 전·후의 지반밀도 측정 및 간극수압의 변화 등을 살펴보고, 준설패립지반의 상대밀도에 따른 액상화강도비 산정은 물론 준설토의 세립분 함유량이 액상화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 진동삼축시험을 통해 비교 분석하였다.

2. 시험개요

2.1 유압햄머다짐 및 현장시험

해안지역 토취장으로 부터 배사관을 통해 매립한 준설매립지반은 매립계획고까지 일괄적으로 조성하였다. 매립부지는 다짐효과, 연약지반개량 후 원지반의 개량정도, 지하수위 위치 및 Trafficability 등의 시공성과 품질 확보을 위해 수행된 다짐시험시공을 통해 유압식 햄머다짐공법이 최적공법으로 선정되었다¹⁾. 유압식 햄머다짐공법은 동다짐과는 달리 고공에서 다짐추를 낙하시키지 않고 비교적 짧은 거리에서 중량의 햄머를 낙하시켜 지면에 밀착된 Foot를 타격하여 그 충격력으로 신속하고 정확한 반복타격에 의해 지반을 개량한다. 장비 구성은 크레인의 크기 80, 100Ton, 유압식 햄머는 7, 10Ton, Bull Dozer규격은 19Ton이며 매립지반의 다짐은 1차, 2차, 3차에 걸쳐 수행하였다. 동 공법의 다짐 효과를 파악하기 위해 표준관입시험 등의 현장시험과 간극수압계, 지하수위계 등의 계측기를 설치하였다. 이들 결과를 기초로 유압햄머 다짐의 영향심도와 누적에너지 증가에 따른 다짐지지력의 증가등의 매립지반의 개량정도를 확인 할수 있었다. 이에 따라 유압햄머다짐 전·후의 활주로, 유도로, 계류장 지역의 노체·노상지반을 구분하여 각각 20개소씩 무작위로 선정하여 현장밀도시험(KS F 2311)을 수행하였다. 그리고, 동일 지점에서 채취한 시료를 이용해 최대건조밀도(γ_{dmax}) 및 최소건조밀도(γ_{dmin})를 구해 상대밀도(Dr, KS F 2345)를 산정하였으며, 이들 결과를 토대로 실내시험의 기초자료로 활용하고자 하였다.

2.2 진동삼축시험

2.2.1 시험장비 및 시험과정

본 연구에 사용된 진동삼축시험기의 구성은 수직하중재하장치인 Load Trac과 셀과 시료에 하중을 재하하는 Flow Trac, 유압을 이용한 압력장치와 아날로그신호를 디지털신호로 바꾸는 Read-out Box, 그리고 컴퓨터 프로그램을 이용한 전자동화 장비로 시험기의 가능 최대진동재하 주파수는 2Hz로 Geocomp사에서 제작된 시험기이며 그림 1와 같다.

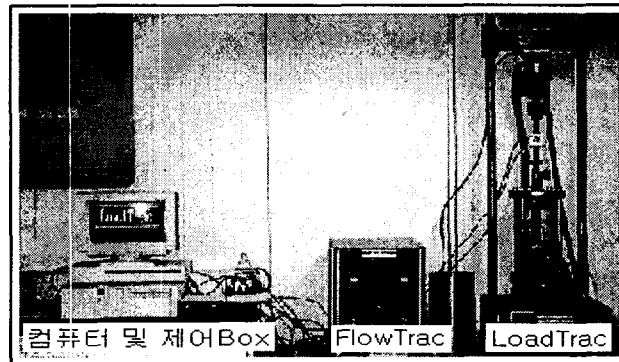


그림 1. 진동삼축압축시험기의 구성

시료의 성형은 직경 50mm, 높이 100mm의 원주형이며, 작용하중의 형태는 정현하중을 사용하였으며 ASTM D 3999의 시험방법에 준하여 시험하였다. 시험과정은 시료준비단계, 포화단계, 등방압밀단계, 진동하중재하단계의 4단계로 나누어 수행한다. 시료준비단계는 시료의 시험조건 설정에 따라 성형된 시료를 셀내에 거치시키는 단계이며 포화단계에서는 컴퓨터를 이용하여 입력된 값들에 의하여 자동으로 Flow Trac의 작동을 제어하여 배압을 서서히 가하면서 간극수압계수 0.97이상이 되도록 하였으며 이때의 상태를 완전포화된 것으로 간주하였다. 그리고, 등방압밀단계에서 입력치들에 의한 Load Trac과 Flow Trac의 작동으로 등방압밀을 통해 체적변형율을 일정하게 유지시킨 후, 진동하중재하단계에서 비배수 상태를 유지하며 진동축차응력을 재하하였다.

2.2.2 시험조건

진동삼축시험시 인천국제공항부지는 대개의 경우 5m의 준설토층 및 준설토표층하 2m정도에 지하수위가 위치하고 있으며 느슨하게 매립된 지층을 유압식 햄머다짐방법으로 3-Series까지 충분히 다져 액상화가 발생하는 것을 방지하고 지지력을 증대시키는 등의 적정공법을 적용한 점을 고려해 준설토층하 5m를 현장응력상태로 보고 초기유효구속압을 100 kPa을 재하하였다. 또한, 하중제어는 응력하중방식이며 하중종류는 정현파로 진동수는 1Hz, 응력비(stress ratio= $\sigma_d/2\sigma_v$)는 주로 0.2, 0.25, 0.3을, 경우에 따라 0.5까지, 시료조건은 포화비배수조건으로 시험하였으며 시료의 간극수압, 변위, 응력-변형률관계에 대한 자료를 획득할 수 있었다.

공항부지로 조성된 노체, 노상지반의 준설토를 대상으로 상대밀도(Dr)의 변화에 따른 액상화 저항강도의 변화를 파악하기 위해 선정된 대표적인 시료로 물성시험결과는 표 1과 같다.

표 1. 대표적인 준설토의 기본물성시험결과

시료 구분	비중	밀도 (g/cm ³)		입도분석결과			
		$\gamma_{d \max}$	$\gamma_{d \min}$	D ₅₀ (mm)	Cu	#200체통과량(%)	통일분류법
노체	2.67	1.647	1.348	0.17	6.2	23.2	SP, SP-SM
노상	2.66	1.844	1.518	0.40	5.9	6.2	

또한, 진동삼축시험시 준설토층에 함유된 세립분이 5~20%내외인 점을 고려해 0, 10, 20, 30, 40%로 각각 변화시켰으며 입도특성은 표 2와 같고 시료 재성형시 상대밀도(Dr)는 햄머다짐전의 현장 비다짐 상태의 밀도를 고려해 50%로 정하여 시험을 수행하였다.

표 2. 세립분 함유량에 따른 입도 특성

시료 구분	비 중	입도분석결과			통일분류법
		세립분 함유량 ¹⁾	D ₅₀ (mm)	C _u	
A	2.67	0%	0.210	2.7	SP, SP-SM
B	2.66	10%	0.170	2.6	
C	2.66	20%	0.260	4.9	
D	2.67	30%	0.198	4.2	
E	2.67	40%	0.186	7.3	

1) # 0.08체 통과량 기준

2.2.3 액상화가능성 예측법

일반적으로 지반의 액상화 저항강도비를 구할때는 지진하중을 고려한 현장시험을 수행하는 것이 바람직하나 실제 이 시험의 수행은 거의 불가능하므로 대부분의 경우, 일정한 정현하중을 재하하여 액상화 저항강도를 산정하는 실내시험을 이용하고 있다. 액상화를 평가하는 방법으로 많이 이용되고 있는 진동삼축시험은 액상화가능성을 예측하는 상세예측법으로 지진규모와 등가진동재하횟수와와의 관계를 산정해야 한다. Seed가 제안한 지진규모와 액상화 전단강도비와 관련 있는 등가진동재하횟수와와의 관계를 지진규모(M) 8.5, 7.5, 6.75, 6, 5.25일 때 $0.65 \tau_{max}$ 에 대한 등가진동재하횟수는 각각 26, 15, 10, 5~6, 2~3회로 규명하고 있다²⁾. 또한, 일본에서는 지진규모 7.5에 해당하는 액상화 발생재하횟수를 20회로 규정³⁾화하고 있으며 충격형과 진동형 지진파에 대한 보정을 하여 액상화 전단강도비를 산출하고 있다. 인천국제공항지역의 경우 여객터미널, 관제탑, 교통센터 및 방조제 활주로 등 주요 시설물은 내진설계기준에 따라 지진규모 5.5(MM진도 7)에 견딜수 있도록 설계되어 있다. 특히, 방조제는 지진하중보다 큰 수압 및 파력등을 고려하여 설계축조되었으며 규모 7.0이상의 지진에도 견딜수 있도록 축조되었다. 본 연

구에서는 공항지역 및 국내 지진규모를 고려하여 최대지진규모를 6.5로 정하고 Seed의 이론⁴⁾을 토대로 액상화 발생 진동재하횟수를 10회로 선정하였다. 기존의 액상화 관련 연구(Seed와 Lee, 1966)⁵⁾, (Seed와 Idriss, 1967, 1971)^{6,7)}, Seed, 1983)⁸⁾ 등의 자료에 의하면, 액상화 현상규명을 위한 여러 실내시험 수행시 주 영향인자로, 상대밀도(Dr)를 변화 시키는 예가 많으며 특히, 상대밀도(Dr)는 여러 연구자들에 의해 보편적으로 이용되고 있는 표준관입저항치(N)와의 상관관계가 정립되어 있는 장점이 있다. 따라서, 준설 매립지반의 액상화 저항강도비를 파악하기 위해 상대밀도(Dr) 및 세립분 함유량에 따른 시험결과를 분석하였다, 또한, 그 결과를 통해 표준관입저항치(N)의 변화가 액상화 저항강도비에 미치는 영향을 살펴 보았다.

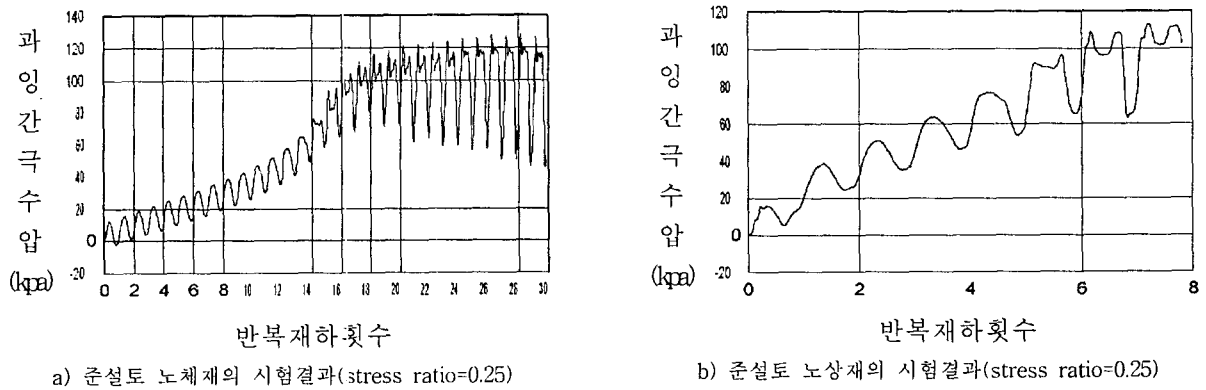


그림 2. 준설매립토의 진동삼축시험결과

일반적으로 진동삼축시험결과는 반복재하횟수에 대한 축차응력, 과잉간극수압, 축압축률 등으로 나타낸다. 그림 2는 노체, 노상지반 재료에 대한 대표적인 시험결과 예로, 반복전단응력비가 0.25이고, 유효구속압력(σ_3')은 100Kpa인 경우의 결과를 나타내었다. 비배수 시료내 반복하중으로 유발된 과잉간극수압(Δu)의 크기가 초기유효구속압(σ_3')의 크기와 같아지면 시료의 내부는 전단에 대한 저항력을 상실하는 초기 액상화 상태로 간주하게 되는데 즉, 과잉간극수압이 초기 유효구속압과 같아지는 시점을 액상화가 발생한 것으로 간주하였다. 이러한 결과를 바탕으로 나머지 진동삼축시험결과와 함께 작성한 전단저항 응력비와 액상화 발생 재하횟수(N_f)와의 관계를 토대로 액상화 발생 가능성여부를 평가하였다.

3. 시험결과 및 분석

3.1 유압햄머다짐 후의 지반밀도 증가 및 간극수압 변화

공항부지의 노체, 노상지반의 준설토를 대상으로 유압햄머다짐 전·후에 수행한 상대밀도시험결과는 그림 3과 같고, 다짐시 발생하는 과잉간극수압의 변화는 그림 4와 같이 도시하였으며, 비다짐상태, 다짐 1차, 2차 3차에 걸쳐 수행한 SPT 결과는 그림 5와 같이 나타났다. 그림 3에서와 같이 유압햄머다짐 전 상대밀도(Dr)는 노체지반에서 27~55%, 노상지반에서 30~59% 정도로 나타났고, 다짐 후 노체지반의 Dr는 57~91%, 노상지반의 Dr는 62~99%의 범위를 보이고 있다. 그림 4의 계측기결과, 유압햄머다짐시 발생하는 지반내부의 과잉간극수압의 변화를 측정된 대표적인 결과로 준설매립층에서의 과잉간극수압이 원지반의 과잉간극수압에 비하여 현저히 작게 나타나, 간극수압소산이 매우 신속하게 일어난 것으로 보인다. 이와같이 준설매립지반의 투수성은 매우 양호한 것으로 사료되며 유압햄머다짐에 의한 과잉간극수압이 거의 형성되지 않는 것으로 볼때 액상화 발생 가능성은 없는 것으로 추정된다.¹⁾

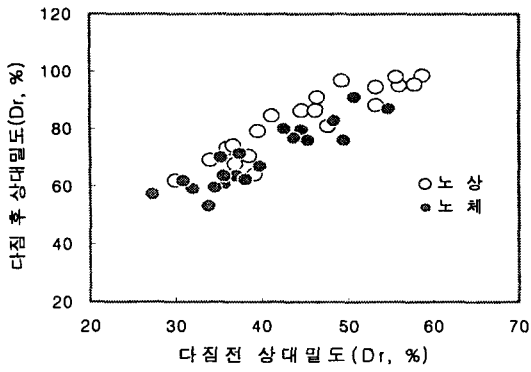


그림 3. 햄머다짐 전·후의 Dr(%)비교

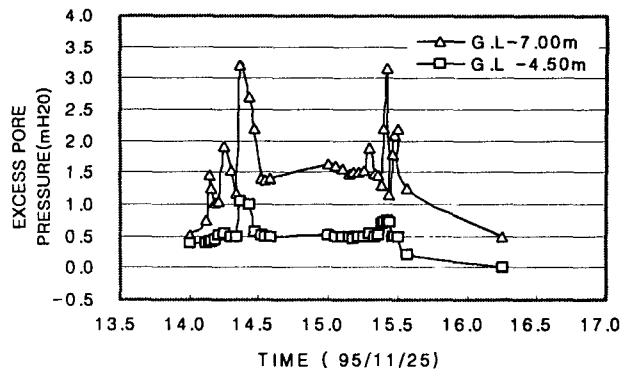


그림 4. 햄머다짐후의 과잉간극수압의 변화(DDCII-1)

그림 5는 유압식햄머다짐에 의한 SPT-"N"의 증가를 나타낸 것이며 준설토로 느슨하게 매립된 지층을 유압식 햄머에 의해 3차다짐까지 충분히 다짐한 결과로 매립지반의 지반지지력은 상당히 증가한 것으로 나타났으며, 지하수위 저하에 따른 "N"값이 증가하고 있어 지지력이 크게 향상됨을 알수있다.

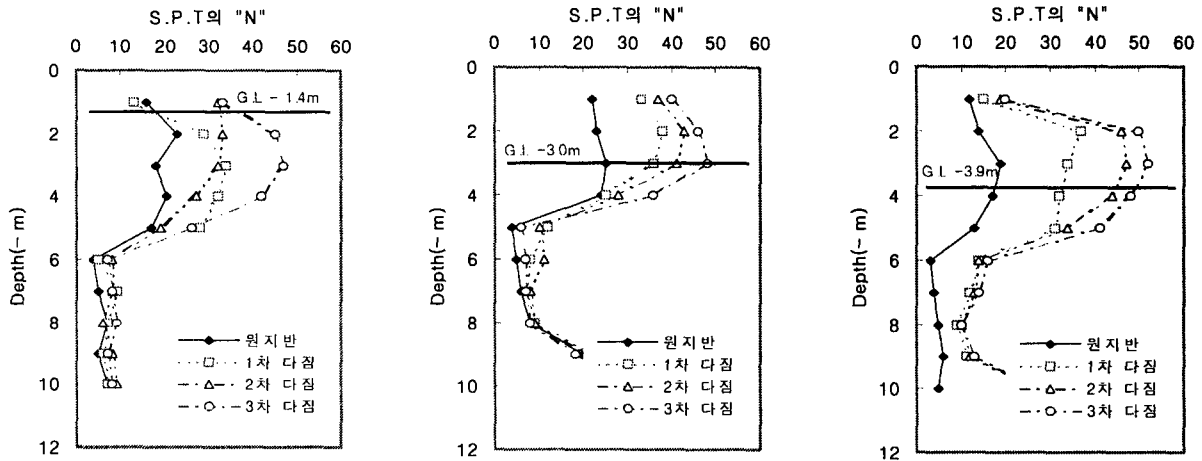


그림 5. 유압식햄머다짐에 의한 S.P.T의 "N"치 변화 (H1, H2, H3 지역)

3.2 상대밀도 변화에 따른 액상화가능성 예측

본 인천국제공항 건설부지는 준설 매립에 의한 계획고까지 일괄적으로 조성함에 있어 노체, 노상 구간의 공사시방에 만족하여야 하는 시공여건에 따라 노체지반은 #0.08mm체 통과량 25%이하, 노상지반은 #0.08체 통과량 15%이하로 엄격한 품질관리가 이루어졌다. 이에 따라 유압햄머다짐전 지반밀도결과에서 상대밀도(Dr) 30%를 제외하고 Dr 40%, 50%, 그리고 다짐 후의 Dr 80%이상은 제외하고 Dr 60%, 70%로 변화시켜 진동삼축시험을 수행하였다. 이 때, 각각의 조건에 따라 4회이상 시험한 결과로 액상화 저항강도비와 재하횟수와의 관계를 그림 6, 7과 같이 나타낼 수 있었다.

그림 6, 7에서는 상대밀도가 40%에서 70%로 커짐에 따라 동일 반복하중재하횟수시 액상화 전단저항응력비가 상당히 증가하는 것으로 나타났으며, 재하횟수가 증가할수록 액상화저항강도비는 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이 곡선은 실내시험결과로 보정이 필요함에 따라 식 $Cr = 0.9 * ((1+2Ko)/3)$ 를 이용하여 현장상태에 맞게 보정하였다. 식에서, Cr은 보정계수로 Ko값에 따라서 결정되며, Ko는 $1 - \sin \phi'$ 값으로 ϕ' 값은 0이 되며 Cr값은 0.9가 된다⁹⁾.

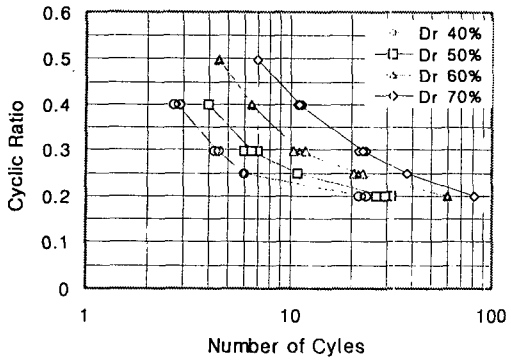


그림 6. 노체의 Dr에 따른 응력비-N_e 관계

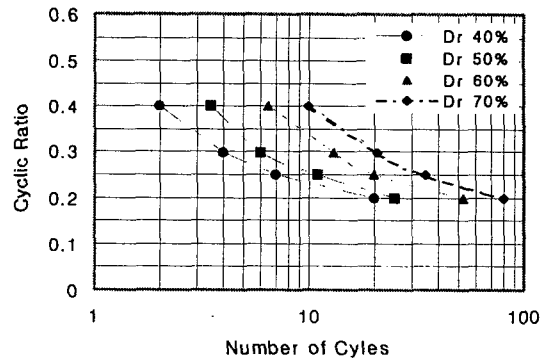


그림 7. 노상의 Dr에 따른 응력비-N_e 관계

이와 같이 지진규모 6.5, 액상화 발생횟수 10회를 기준하여 보정한 액상화저항강도비와 재하횟수와의 관계는 표 3과 같다. 표 3과 같이 노체, 노상지반 재료에 대한 상대밀도가 커짐에 따라 액상화저항강도비는 일정하게 증가하였다. 다만, 노체, 노상재의 시험결과에서, 균등계수, #0.08mm체 통과량, 평균입경(D₅₀mm) 등의 영향에 따라 서로 근사한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 3. 상대밀도에 따라 보정한 액상화 저항강도비

구 분		상대밀도 40%	상대밀도 50%	상대밀도 60%	상대밀도 70%
액상화저항강도비	노 체	0.21	0.23	0.29	0.38
	노 상	0.20	0.22	0.30	0.36

3.3 세립분 함유량에 따른 액상화가능성 예측

표 2의 시료를 이용해 준설매립토에 세립분 함유량이 액상화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 수행한 진동삼축시험결과는 그림 8과 같다. 그림8의 세립분 함유량 변화에 따른 응력비와 진동재하횟수와의 비교분석을 통해 세립분 함유량이 많아질수록 일정한 진동재하횟수에서 응력비가 증가하고 있음을 알 수 있었다. 또한, Seed와 Idriss⁸⁾의 경험적 평가방법과 진동삼축시험에 기초한 액상화 평가방법으로 시험결과를 보정하였으며 그 결과는 그림 9와 같다.

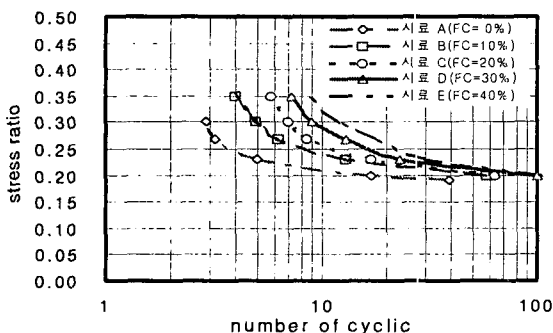


그림 8. 세립분 함유량에 따른 응력비-N_e 관계

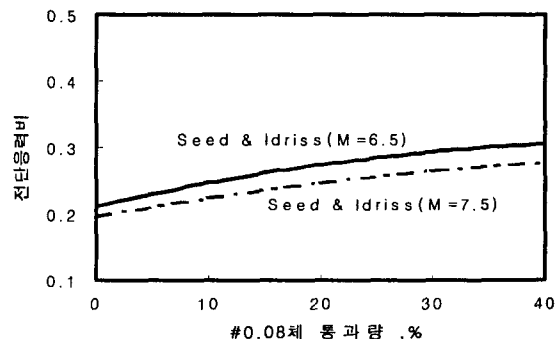


그림 9. 세립분 함유량에 따른 액상화 강도비 보정

여기서 Seed의 방법에 기초한 경우, 지진규모 6.5에 해당하는 재하횟수 10회시의 값과 지진규모 7.5에 해당하는 재하횟수 15회시의 값을 각각 비교하였다. 그림 8, 9의 비교결과에 의하면, 세립분 함유량 20%까지는 액상화 전단저항응력비의 증가가 두드러지게 나타난 반면, 그 이후에는 그 양상이 크게 감소함을 볼 수

있었다. 또한, 세립분 함유량이 5~15% 범위에서 강도가 크게 변화하고 있음을 보여주고 있어 본 공항 부지 준설매립지반은 액상화 전단저항응력을 다소 증가시키는 효과를 발휘할 것으로 생각된다. 즉, 인천국제공항 준설매립지반은 액상화 발생에 대해 충분한 저항력을 높일 수 있는 지반특성을 보유하고 있음을 알 수 있다.

3.4 액상화 평가 안전을 분석

본 연구에서 진동삼축시험을 이용한 액상화 평가방법은 해석의 편의를 위해 지진의 전단응력비와 액상화 전단저항응력비를 비교하여 안전율을 산정하고자 하였다. 경험적 액상화 평가방법으로 Seed와 Idriss⁸⁾, Eurocode⁹⁾ 및 Iwasaki와 Tatsuoka¹⁰⁾의 방법 등이 있으나, Iwasaki와 Tatsuoka의 결과는 상대적으로 안전율을 과다하게 산정하는 반면, Seed의 이론은 액상화 인자의 영향을 매우 잘 표현하고 있다. 본 연구에서는 세립분 함유량이 지반강도증진에 미치는 영향 분석과 지반지수로의 표현을 위해 "Dr"와 "N"를 연관시키고자 느슨한 모래지반에 대해 보편적으로 많이 쓰고 있는 Meyerhof¹¹⁾의 제안식 $Dr = 21 * \sqrt{N / (\sigma_v' + 0.7)}$ 을 사용하였다. 이 식은 1957년 Gibbs와 Holtz의 시험결과를 토대로 제안한 식으로 Dr은 상대밀도 백분율, σ_v' 는 유효상재압(kgf/cm²)으로 인천국제공항 준설토층이 5m인 점을 고려하여 100kPa을 대입하였다.

이와같이 표 2의 세립분 함유량에 따라 상대밀도(Dr) 50%, 60%, 70%를 고려해 수행한 진동삼축시험 결과를 토대로 Meyerhof¹¹⁾의 제안식에 따라 "Dr"- "N"를 관계를 살펴보았으며 표 4와 같다. 이때, Seed와 Idriss방법을 이용하여 지진규모 7.5와 6.5에 대하여 액상화 전단저항응력비를 산정하였다.

표 4. 상대밀도에 따른 액상화 평가 안전율 산정 (Dr-SPT"N"의 비교)

구 분	상 대 밀 도 (%)	50	60	70
		표준관입시험(SPT)-N	8	11
진동삼축시험	Seed와 Idriss(M 7.5)	0.97	1.25	1.75
	Seed와 Idriss(M 6.5)	1.02	1.40	2.04

표 4의 결과를 보면, 상대밀도(Dr) 50%, 60%, 70%일 때 표준관입저항치(N)는 각각 8, 11, 15로 나타나, 상대밀도(Dr) 10% 증가함에 따라 SPT- "N"치가 대략 3~4정도 증가하고 있어 강도증진효과가 있음을 알 수 있다. 또한, 지진규모 7.5와 6.5의 비교결과에서, 보정시 이용되는 계수값 차이로 인해 액상화 평가 안전율은 다소 큰 차이를 보이고 있다.

특히, 지진규모 6.5일 때 안전율 1.0을 기준으로 상대 밀도(Dr) 50%이상, 안전율 1.5을 기준으로 할 경우는 Dr가 약 60%일 때 액상화에 다소 안전한 것으로 나타났다. 이는 유압햄머다짐후 노체, 노상의 준설지반의 상대밀도(Dr)결과와 비교할 때 현장 준설매립지반은 액상화에 대해 상당히 높은 안전율을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

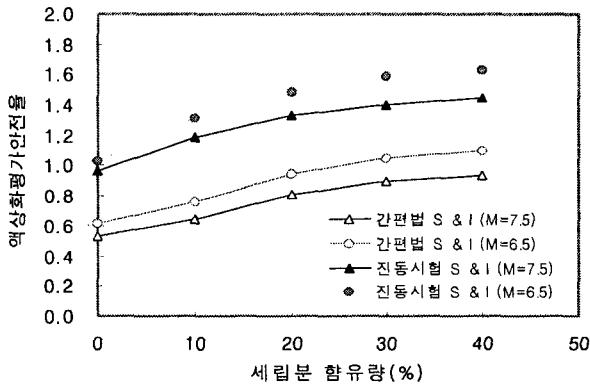


그림 10. 세립분 함유량에 따른 안전율산정

한편, 그림 10은 준설매립토의 세립분 함유량을 고려한 시험결과를 토대로 Seed와 Idriss의 지진규모 7.5와 6.5일 때의 간편법과 진동삼축시험으로 비교분석하여 산정한 안전율산정 결과이다.

진동삼축시험에 의한 액상화 안전율 분석 결과, 세립분 함유량이 증가 할수록 액상화에 대해 안전한 것으로 나타났으며, 액상화평가 안전율은 간편법보다는 진동삼축시험에 의한 해석법이 크게 나타나 간편법보다는 진동삼축시험 등을 이용한 실험적 연구에 기초하여 액상화 평가방법이 지진대책의 안전성과 경제성을 모두 효과적으로 만족할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 인천국제공항 건설부지 매립지반의

특성인 세립분 함유량 5~20%는 액상화 발생가능성 저하에 크게 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 유압햄머다짐에 의한 준설매립지반을 대상으로 상대밀도(Dr)변화와 세립분 함유량이 액상화에 미치는 영향에 대해 진동삼축시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 유압햄머다짐 후 준설매립지반의 과잉간극수압은 원지반에 비해 현저히 작게 나타났으며 간극수압 소산은 신속하게 일어난 점과 다짐후 지반밀도증가에 경향에 따라 액상화 발생 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.
2. 진동삼축시험결과, 준설토의 노체, 노상지반에서 상대밀도(Dr)가 커짐에 따라 액상화저항강도비는 일정하게 증가한 것을 알수 있고, Seed와 Idriss방법을 이용 지진규모 6.5일 때 액상화평가 안전율 1.0을 기준으로 상대밀도 50%이상시 액상화에 대해 안전한 것으로 나타났으며, 상대밀도(Dr) 10% 증가시에 SPT- "N"치 대략 3~4정도로 강도증진효과가 있는 것을 알수 있다.
3. 준설매립토에 세립분 함유량이 0~40%로 증가할수록 액상화저항강도비도 증가하는 것을 알수 있었으며, 세립분 함유량이 5~15% 범위에서 강도가 크게 변화하고 있음을 보여주고 있고 액상화 평가 안전율은 세립분 함유량이 증가할수록 크게 나타나고 있어 공항지역 준설매립지반은 액상화 발생에 대해 충분한 저항력을 높일 수 있는 지반특성을 보유하고 있음을 알 수 있다.

5. 참고문헌

1. 신공항 건설공단, "수도권 신공항 다짐시험시공 용역 종합보고서" 1996
2. Seed, H. B., Idriss, I. M., Makdisi, F. and Banerjee, N., "Representation of Irregular Stress Time Histories by Equivalent Uniform Stress Series in Liquefaction Analyses", University of California, Berkeley, EERC Report No. UCB/EERC 75-29, 1975.
3. 박인준, 김수일, "교란상태개념에 기초한 새로운 액상화 평가방법", 한국지진공학회 논문집, 제2권, 2호, 1998, pp.45-55.
4. 박인준, 신운섭, 최재순, 김수일, "기존의 액상화 평가기법 및 그 적용성에 관한 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, 1998, pp.431-438.
5. Seed, H. B. and Lee, K. L., "Liquefaction of Saturated Sands during Cyclic Loading", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, No.6, 1966, pp.105-134.
6. Seed, H. B. and Idriss, I. M., "Analysis of Soil Liquefaction Niigata Earthquake", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.93, No.3, 1967, pp.83-108.
7. Seed, H. B. and Idriss, I. M., "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.97, No. SM9, 1971, pp.1249-1274.
8. Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, Ignacio "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 109, No.3, 1983.
9. Carter, D. P. and Seed, H. B., Liquefaction Potential of Sand Deposits under Low Level of Excitation, Earthquake Engineering Research Center, 1988, pp.101-134.
10. Iwasaki, T., Tatuoka, F., Tokida, K., and Yasuda, S., "A Practical Method for Assessing Soil Liquefaction Potential Based on Case Studies at Various Sites in Japan", Proceedings of 5th Japan Earthquake Symposium, 1978, pp.641-648.
11. Meyerhof, G.G., "Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soil", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 82, SM. 1, 1956, pp.866.