

Piezocone과 Field Vane Test를 이용한 연약지반의 비배수전단강도의 추정

Undrained Shear Strength By Piezocone and Field Vane Test

윤길림¹, Gil-Lim Yoon, 지성현², Sung-Hyun Gee, 이용길³, Yong-Gil Lee, 이만수⁴, Man-Su, Lee

¹현대건설기술연구소 토목지반부 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Division, Hyundai Institute of Construction Technology

²현대건설기술연구소 토목지반부 연구원, Researcher, Geotechnical Division, Hyundai Institute of Construction Technology

³현대건설기술연구소 토목지반부 연구원, Researcher, Geotechnical Division, Hyundai Institute of Construction Technology

⁴현대건설기술연구소 토목지반부 연구원, Researcher, Geotechnical Division, Hyundai Institute of Construction Technology

개요(SYNOPSIS) : 우리나라의 남해안에 위치한 울촌지역의 공업단지조성을 위해서 피조콘과 현장베인시험기를 이용하여 연약점토지반을 조사하였다. 현장지반조사를 수행하기 위해서 피조콘을 장착한 10톤트럭이 수면하에 위치한 연약지반에 진입이 어려운 점을 감안하여 특별히 바지선을 제작하여 시험에 이용했다. 현장베인시험기와 피조콘으로 추정된 비배수전단강도 및 콘저항치는 깊이에 따라 일정하게 증가하는 전형적인 정규압밀점토의 형태를 보였다. 본 연구에서는 두 현장시험결과를 이용하여 현장의 특성에 적합한 콘지수를 구하는 것을 목적으로 했으며, 연구결과로는 울촌현장에 산정한 콘지수는 깊이에 따라 하한치 5에서 상한치가 17로 변화했으며 평균치는 10으로 결정할 수 있었다.

주요어(Key words) : 피조콘, 현장베인시험기, 비배수전단강도, 연약지반, 콘지수

1. 서론

국내에서도 지반조사의 중요성이 부각되면서 피조콘(Piezocone), 현장베인시험기(Field Vane Test), 표준관입시험기(Standard Penetration Test), 공내재하시험기(Pressuremeter) 등의 현장 원위치시험기(*in-situ* tests)가 실내시험과 병행하여 공사현장에서 빈번히 이용되고 있다. 하지만, 이러한 현장조사시험기를 이용하여 직접 측정한 실험결과를 이용하여 기존에 개발된 상관식을 수정없이 직접 기초설계나 토질상수의 평가를 위해 사용할 경우에는 많은 문제점을 가지고 있다. 선진국에서 개발한 상관식이나 지표등은 해당국가의 고유의 현장특징에 따라서 결정되었으며, 국내의 지반의 특성과는 전혀 다르므로 외국에서 개발된 상관식을 가지고 기초설계를 하는 것은 한계가 있는 것이다. 그러므로 경험있는 지반공학자의 판단과 다양한 시험을 거쳐서 상호결과와의 관계를 수립하고 측정결과의 신뢰성을 높힌후, 현장에 적합한 실험 상관식을 개발하여 사용해야 된다.

본 연구에서는 피조콘과 현장베인시험기를 가지고 국내의 대표적인 연약지반인 남해안의 점토지반의 비배수전단강도를 측정한 사례를 가지고 현장에 적합한 콘지수(N_k)를 산정하고 변화정도를 알아 보고자 한다.

2. 연구현장 및 지반조사상황

연구현장은 남해안에 위치한 울촌지역으로 공단조성을 위해서 연약지반개량공사를 진행하고있다. 그림 1에서 현장에서 조사한 지점이 표시해있으며, 현재는 준설매립공사를 위해서 지반조사연구가 활발히 진행되고 있다. 본 지역에서의 지반조사의 기본 목적은 정확한 토질상수를 구하여 준설매립공사에 필요한 토질상수를 구하고 지반의 개량효과를 정확히 판단하고자 실시하였다. 1차 지반조사는 1996년 5월 8일부터 23일 까지 진행했으며, 2차조사는 1996년 5월 28일부터 6월 12일 까지 계속되었다.

현장시험은 본 연구소에서 제작한 이동시험실을 바지선에 탑재하여 실시하였다. 시험 위치는 총 7곳으로 피조콘 및 베인시험을 실시하였으며, 그중 2곳에서 피스톤 샘플링을 하여 불교란 시료를 채취하였다. (그림 1, 2 참조). 실내시험은 2곳에서 채취된 불교란 시료로 기본물성, 압밀시험을 실시하였고, 단순전단 및 삼축압축시험은 현재 실시중에 있다.

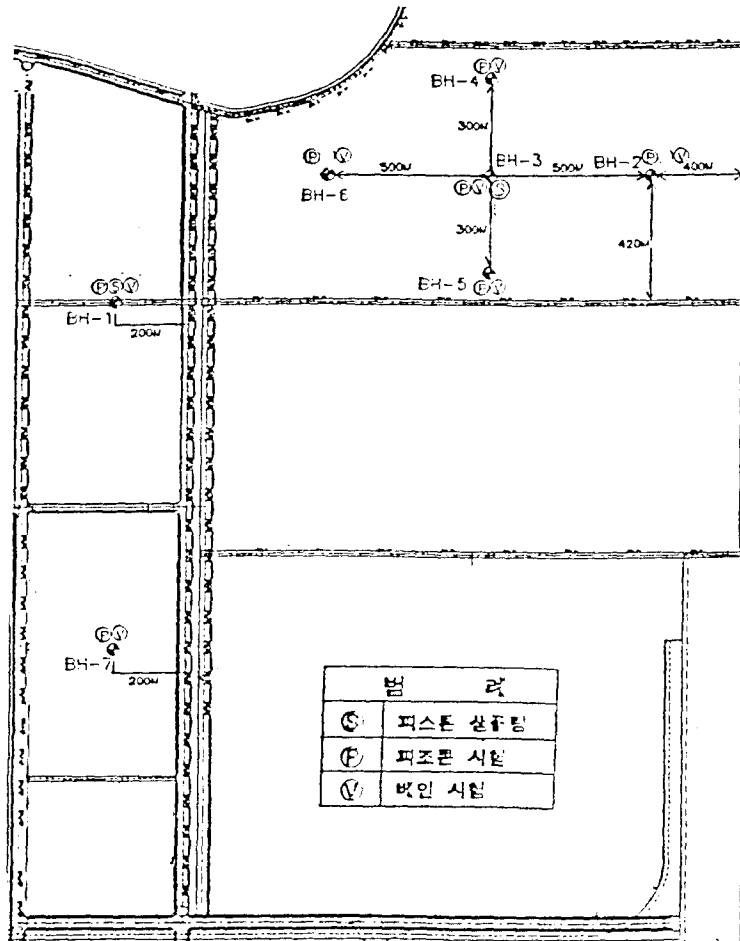


그림 1. 남해안에 위치한 울촌현장과 시험위치

표 1에는 실내시험으로 구한 기본토성자료이며 현재도 실내압밀 및 삼축시험을 수행하고 있다. 그리고 현장에 투입된 장비는 다음과 같다.

- 피조콘을 탑재한 10톤 트럭
- 중량 11톤 및 탑재능력 25톤의 바지선
- 중량 4.5톤의 트럭정착용 앵커
- 용량 150톤의 크레인 장비
- 바지선 운송용 50마력 보트

표 1. 울촌의 연구현장에서 얻은 기본 토성자료

깊이 (m)	함수비 (%)	습윤단위 중량 (t/m ³)	액성한계 (%)	소성한계 (%)	비중
2.0 - 2.5	82	1.56	74	32	2.63
3.0 - 3.5	93	1.47			
4.0 - 4.5	74	1.48	71	31	2.68
5.0 - 5.5	82	1.52			
5.7 - 6.2	80	1.51	63	35	2.63
6.4 - 6.9	86	1.50			
7.0 - 7.5	83	1.52	76	34	2.68
8.0 - 8.5	74	1.57			

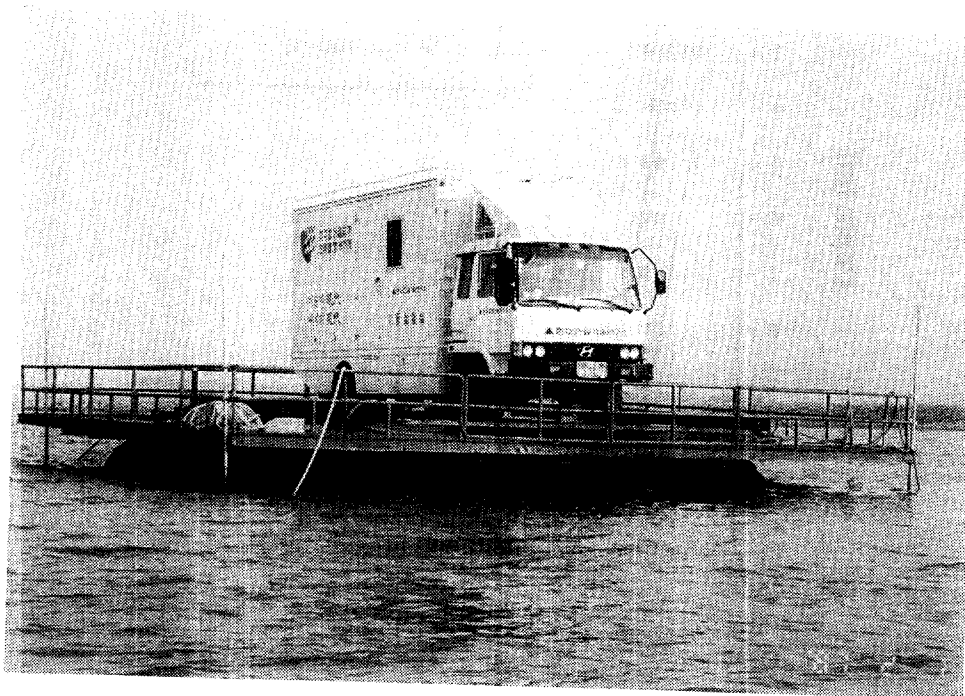


그림 2. 바지선을 이용하여 피조콘의 시험장면

3. 비배수전단강도(s_u)의 평가

지반공학에서 비배수전단강도(Undrained Shear Strength, s_u)는 일반적으로 비배수비압 밀삼축시험으로 흔히 평가하고 있지만, 최근들어 현장조사시험기의 급속한 발전으로 직접 현장에서 구하는 경우가 많다. 일반적으로 많이 이용되는 장비로는 현장배인시험기와 피조콘시험기로 본 연구에서도 이를 사용했다. 두 시험방법에 대한 구체적인 설명은 관련 교과서나 매뉴얼을 참조하기 바람에 본 논문에서는 지면의 한계상 생략하기로 한다.

그림 3은 연구현장에서 S설계사가 현장의 기초조사를 위해 실시한 것과 본 연구를 위해 수행한 것을 합쳐서 총 13본의 현장배인시험기를 이용하여 측정된 비배수전단강도이다. 그림 3에서 알 수 있는 사항은 깊이에 따라서 비배수전단강도가 비교적 일정하게 증가하는 전형적인 정규압밀점토지반임을 알 수 있다. 표층에서는 상대적으로 강도의 분포가 상당히 분산되어 있는데, 이러한 결과는 본 현장이 연근해에 위치하여 조개나 꼬막등의 양식장으로 이용된 장소였기 때문에 측정에 영향을 미친 것으로 판단된다.

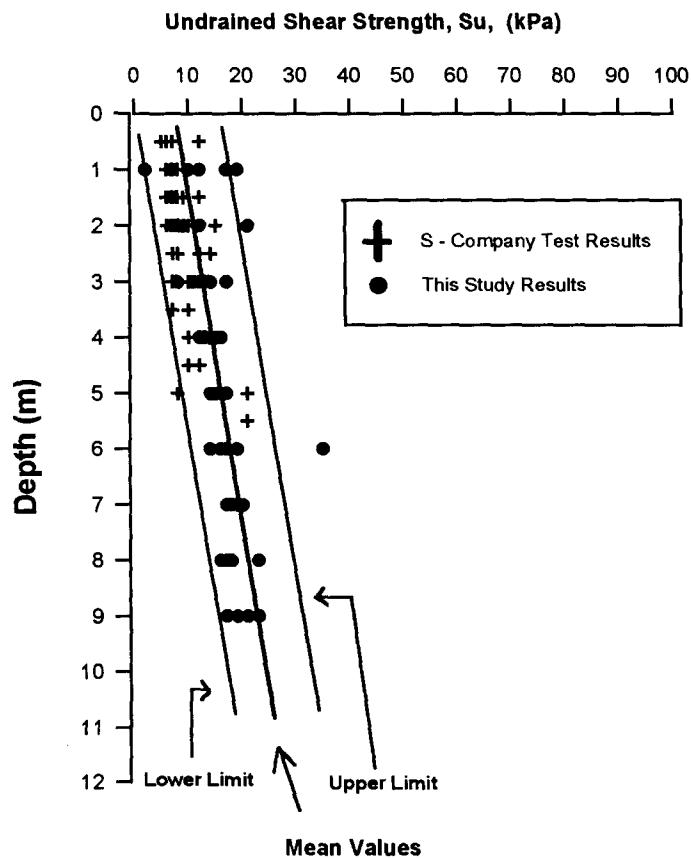


그림 3. 현장배인시험기로 산정한 비배수전단강도

6본의 피조콘으로 얻은 콘저항치(cone tip resistance, q_c)를 깊이에 따른 변화를 그림 4에 나타냈다. 그림 4에서도 알 수 있는 사항은 그림 3과 같이 깊이에 따라 콘저항이 일정하게 증가했으며 표층에서 콘저항치가 상당히 변화가 심한 것도 표층에서 조개나 꼬막의 영향으로 기인한 점을 알 수 있다. 그림 4에서 볼 수있는 중요한 사항으로는 수면아래의 표층 9 m이하에서는 콘저항치의 변화가 심하고 일부지점에서는 콘저항치가 상당히 큰 결과도 있음을 알 수있어 조사한 지점의 위치에 따라서 지반의 변화가 상당히 불규칙한 사실도 파악할 수 있다.

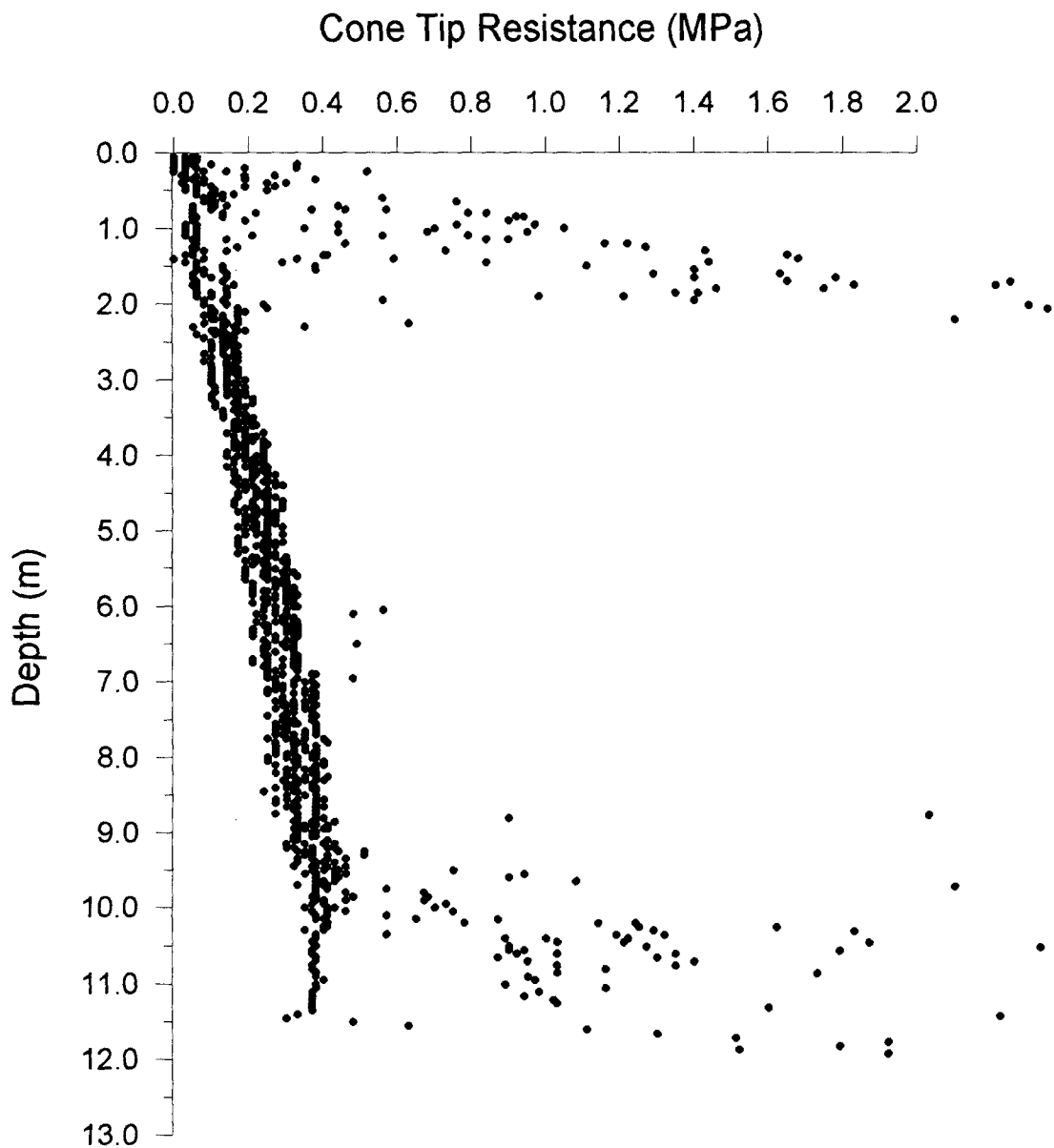


그림 4 깊이에 따른 6본의 콘 저항치의 변화

Terzaghi(1943)는 콘 저항치와 비배수전단강도의 관계를 다음의 공식(1)로 설명했다. 일반적으로 식 1의 비배수전단강도(s_u)는 현장배인시험기, 콘관입시험기, 비배수비압밀삼축시험을 포함한 다양한 삼축시험등으로 평가할 수 있는데, 아직까지도 정확한 기준으로 적용되는 시험 방법은 없으나, 위에서 열거한 방법을 가지고 현장을 잘 이해하고 있는 지반기술자에 의해 적합한 상관식을 개발하여 사용하도록 추천하고 있다(Briaud and Miran, 1991).

$$s_u = (q_c - \sigma_{vo}) / N_k \quad (1)$$

여기서 N_k 는 콘지수이며, σ_{vo} 은 원위치상재응력(*In situ* Overburden Pressure)이다.

콘지수의 일반적인 값의 변화는 10 - 30이며 점토지반의 강도특성변화에 따라서 달라진다. 정규압밀된 점토지반에서는 일반적으로 10 - 15정도를 일상적으로 사용한다. 대부분의 발표된 논문에서는 11에서 19를 나타내며 평균치는 15이다(윤길립, 1995). 연구현장에서 얻은 피조콘의 콘저항치 및 현장배인시험기의 비배수전단강도는 그림 3 및 4에 나타낸 것처럼 어느정도 자료의 분산정도를 가지고 있으므로 평균치와 편차를 구할 필요성이 있다. 그러므로 식 1을 이용하여 콘지수의 깊이에 따른 변화를 구하기 위해서는 다음과 같이 수정하여 콘지수의 불확실성을 수치화할 수 있다.

$$N_{km} = (q_{cm} - \sigma_{vo}) / s_{um} \quad (2)$$

여기서, q_{cm} 은 콘저항치의 평균치이고, σ_{vo} 은 대상지점에서의 상재하중, s_{um} 은 현장배인시험기로 얻은 비배수전단강도의 평균치이다. 콘지수의 깊이별 변화를 구하고자 하면, 콘저항치나 비배수전단강도의 깊이별 상한치나 하한치를 이용하여 규명할 수 있다.

본 연구에서는 그림 3과 4의 자료를 이용하여 연구현장에 적합한 콘지수(N_k)를 식 2를 통하여 깊이별 변화정도를 알아보려고 하였다. 이를 위해서 우선, 그림 3의 현장배인시험기로 구한 비배수전단강도가 그림 4의 콘저항치의 변화보다 상대적으로 크다는 사실에 근거하였다. 즉, 그림 4의 콘저항치는 깊이별로 일정하게 증가하는 것으로 가정했으며 그림 3의 비배수전단강도는 평균치를 기준으로 하한치와 상한치를 가지고 콘지수의 변화정도를 계산했다. 계산한 결과는 그림 5에 나타냈으며 그림 5에서 알 수 있는 사항은 표층에서는 측정자료의 불확실성으로 변화가 심했으나 깊이의 증가에 따라서 전반적으로 콘지수는 하한치 6에서 상한치로 17까지로 계산되었다.

하지만 그림 5의 계산결과를 기초설계자료로 이용할 경우는 깊이에 따라서 평균치를 가지는 값을 사용할 수 있으며 전체 조사 대상지반을 대표하는 콘지수는 10으로 산정할 수 있다.

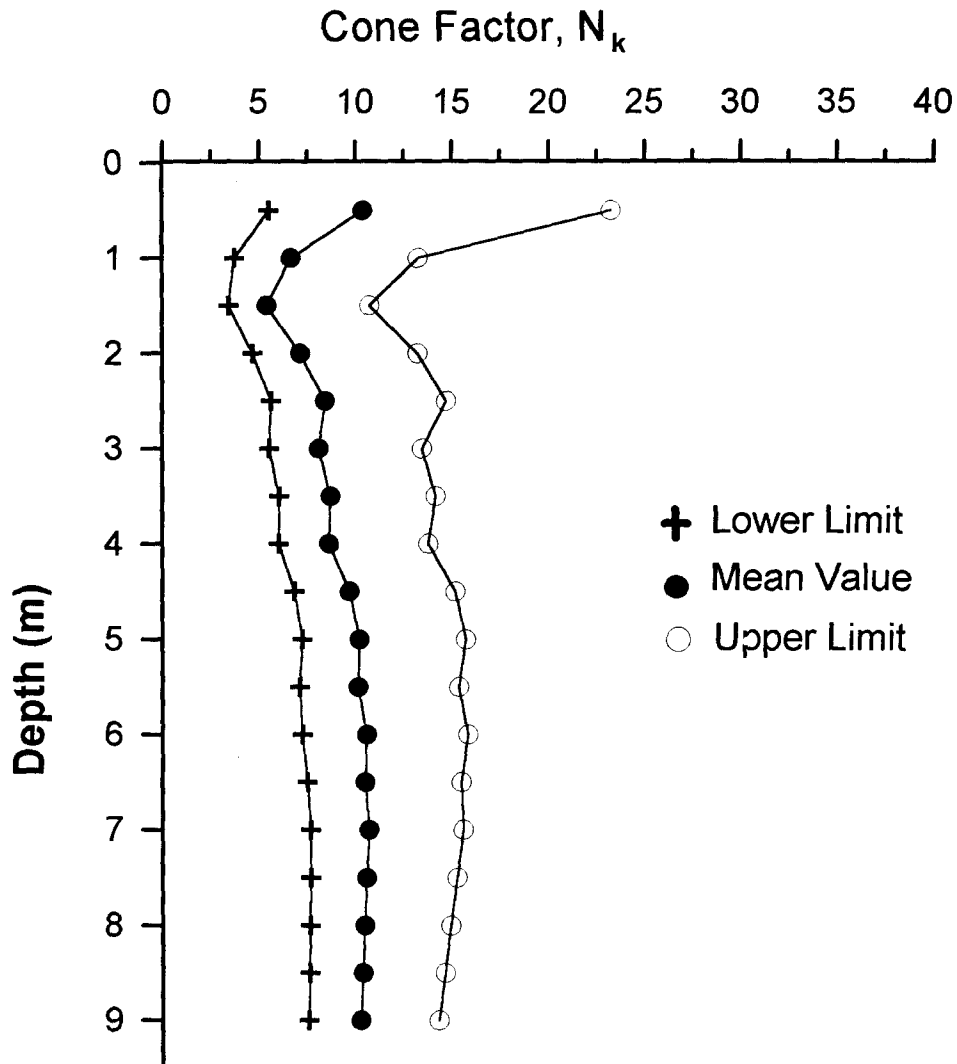


그림 5. 피조콘과 현장배인시험기를 이용하여 규명한 콘지수의 깊이에 따른 변화

4. 결론

피조콘과 현장배인시험기를 이용하여 남해안에 위치하고 연약지반으로 이루어진 울촌 지역의 공업단지조성예정지역의 비배수전단강도를 측정했다. 현장배인시험기로 측정한 비배수전단강도결과를 이용하여 피조콘으로 비배수전단강도를 추정할 경우에 필요한 콘지수를 평가해본 결과, 울촌현장에 적합한 값은 하한치 6에서 상한치가 17정도였다. 이러한 결과는 전형적인 정규압밀상태의 값을 나타냈으며 기초설계를 본 현장에서 하고자 하면 비배수전단강도를 산출할 값은 평균치로서 $N_k = 10$ 이 추천될 수 있으나 신뢰성확보 차원에서 실내삼축시험을 통해서 구한 비배수전단강도와와의 보정이 필요할 것 같다.

본 연구과제의 마무리를 위해서 현재 수행중인 실내의 압밀, 다양한 삼축시험 및 피조콘의 간극수압자료를 이용하여, 보다 심도있게 울촌지역에 산재한 점토지반의 역학적 특징 및 토성지수를 규명하여 추후에 논문집을 통해서 발표할 예정임을 밝히는 바이다. 본 연구결과는 추후에 있을 남해안지역의 연약지반개발사업에 유효하게 이용될 자료가 될 것으로 믿는다.

5. 참고문헌

1. Quiros, G. W., and Young, A. G., (1988), "Comparison of In-situ Vane, Cone Penetrometer, and Laboratory Test Results for Gulf of Mexico Deepwater Clays," ASTM, *STP 1014*, A. R. Richards, Ed., pp. 293-305.
2. Briaud, J-L., and Miran, J.,(1991), "The cone Penetrometer Test," *Federal Highway Administration Publication No. FHWA-SA-91-041*, Washington, D. C.
3. 윤길립, (1995), "콘관입시험기 및 지구통계학을 이용한 비배수전단강도연구," 1995년 한국 지반공학회 가을학술발표회논문집.
4. Terzaghi, K., "*Theoretical Soil Mechanics*," John Willey and Sons, Inc., New York, 1943.