

지반신뢰성 설계를 위한 설계변수의 특성치 연구

Characteristic Values of Design Parameters for Geotechnical Reliability Design

윤 길 림¹ Yoon, Gil-Lim

윤 여 원² Yoon, Yeo-Won

김 홍 연³ Kim, Hong-Yeon

Abstract

Geotechnical characteristic values for reliability-based design were analyzed using domestic marine clays. Analysis results indicate that there were close to mean values in order of Student/Ovesen, Schneider and EN 1990's approach. However, it was found that the EN 1990's approach is inappropriate for estimating geotechnical characteristic value due to low reliability of estimation results. Four approaches had a trend of evaluating characteristic value conservatively with increasing of soil variability. Also, stability and settlement of breakwater subjected to nominal stress with unimproved soft grounds were computed to investigate the effects of estimated characteristic values. In case of using the Schneider's approach, the ratio of allowable bearing capacity/acting loads suggested 65% of that obtained from using the arithmetic mean approach, and showed underestimated value of 13.6% of the settlement obtained from the latter. The comparison of case designs using a representative value from arithmetic mean approach with the proposed approaches, using characteristic value showed that the former was mostly overestimated.

요 지

신뢰성 설계를 위한 설계변수의 특성치에 대하여 국내 해양토질을 이용하여 연구하였다. 특성치 산정에 대한 연구 결과, Student/Ovesen, Schneider 및 EN 1990 방법의 순으로 평균치에 근접한 것으로 나타났고, EN 1990 방법은 지반특성치 산정방법의 신뢰성 차원에서 부적합한 것을 확인하였다. 그리고 제시된 네가지 특성치 산정방법은 토질의 변동성이 커짐에 따라 특성치를 보수적으로 평가하는 경향을 보였다. 또한 이러한 산정된 특성치가 실 설계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 방파제에 대하여 임의 하중하에서 미개량 지반의 지지력 및 침하특성을 검토하였다. Schneider 방법을 이용하여 산정한 결과와 토질정수의 산술평균치를 이용한 결과를 비교한 결과, 허용지지력/작용하중비의 경우 전자가 후자의 65%로 나타났고, 침하량의 경우에는 13.6%를 제시하여 과소평가한 결과였다. 그리고 과거 설계사례에서 산술평균치로 결정된 대표치에 의한 것과 본 논문에서 각 지역의 자료로부터 산정한 특성치에 따른 설계결과를 비교한 결과, 산술평균치로 결정된 대표치에 의한 설계는 대부분 과대평가의 결과를 제시하였다.

Keywords : Characteristic value, Eurocode 7, LRFD, Marine clay, Reliability-based design, Variability

1 정회원, 한국해양연구원 항만·연안공간연구사업단 책임연구원 (Member, Principal Researcher, Coastal Harbor Engrg., Korea Ocean Research & Development Institute, glyoon@kordi.re.kr, 교신저자)

2 정회원, 인하대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Inha Univ.)

3 정회원, 한국해양연구원 항만·연안공간연구사업단 연구원(인하대학교 토목공학과 박사과정) (Member, Researcher, Coastal Harbor Engrg., Korea Ocean Research & Development Institute)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 11월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

LRFD 및 Eurocode를 필두로 한 한계상태 설계기준은 중국, 일본 등 동북아시아 국가 사이에서도 점차 보편화되고 있으며, 국내에도 도입이 추진되고 있다. 이러한 추세는 과거 수십년간 사용되어온 허용응력설계법이 설계값으로서 산술평균치 또는 설계자 의도에 입각한 대표치를 결정론적으로 채택한데 반해 설계변수의 불확실성(uncertainty) 즉, 통계학적 변동성(statistical variability)을 설계에 고려함으로써 보다 합리적이고 안정성 및 경제성 측면에서 최적화된 기준을 수립하고 표준화하기 위한 국제적인 흐름이라 할 수 있다.

구조공학 분야를 선두로 개발된 북미의 LRFD 코드는 설계모델에 의해 저항을 계산하고 재료와 설계모델의 불확실성을 반영하기 위하여 계산된 저항에 저항계수(resistance factor)를 곱해주는 방식이다. 반면, 유럽의 Eurocode는 점착력이나 내부마찰각과 같은 개개의 토질강도 특성치(characteristic value)에 부분계수가 적용되는 저항식에서 각 변수에 직접 가해지는 부분저항계수(partial safety factor)를 채택하고 있다. 본 연구의 주제인 특성치의 산정은 지반구조물 설계에 직접 적용되는 설계치(design value)의 결정에 절대적인 영향을 미치며, 설계결과에 뒤따르는 경제성 및 안정성을 좌우하는 중요한 절차이므로 그 결정에 신중을 기해야 한다.

특성치는 한계상태설계법(limit state design)의 근원이라 할 수 있는 Eurocode 개발부터 주목되었고, 그 기본이 되는 EN 1990에서는 특성치에 대한 정의를 내리고 있다. 또한 지반공학 설계를 위한 Eurocode 7에서는 Student 및 Schneider 방법에 의한 특성치 산정에 대하여 언급하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 Eurocode 7의 개발과정에서 현재까지도 국제적으로 논란의 여지가 있는 토질의 특성치 산정방법에 대하여 다루고자 하였다. 그 중 통계학적 산정방법에 의해 광양 및 부산지역 점성토의 특성치를 산정하고 상호간 또는 산술평균치와 비교·분석 하였다. 특성치 산정에 이용된 연구자료는 국내 해양지반의 불확실성 규명 및 항만구조물 신뢰성 설계법 개발을 목적으로 대형 항만공사 프로젝트에서 수집하고 통계분석한 자료이다. 또한 산정된 특성치에 의해 설계치를 추정하여 일정한 구조물 하중에 따른 지반의 지지력 및 침하특성을 분석하였다. 그리고 과거 설계에 적용되었던 대표치와 본 연구에서의 특성치를 가지고 지지력 및 침하설계를 수행할 때의 결과를 비교·분석하였다.

2. 지반공학적 특성치

지반공학적 정수나 파라미터의 특성적인(characteristic) 수치는 설계목적으로 이용되는 특성치에 대한 지반 파라미터의 확률밀도함수(probability density function) 평균치의 비로써, 편향계수(bias factor) k_r 값에 의해 정의할 수 있다. 그림 1은 특성치를 도식적으로 정의하고 있다. $k_r=1.0$ 일 때 특성치는 확률밀도함수의 평균치와 같게 된다.

지반 파라미터의 특성치는 일반적으로 한계상태의 발생에 영향을 끼치는 값이 주의깊게 산정된 결과로써 정의된다. 또는 통계학적 개념을 도입하여 한계상태의 발생을 지배하는 가장 불리한 값의 확률이 5%를 넘지 않는 값으로써 정의하기도 한다. 따라서 특성치는 실제 설계가 수행될 때 특정한 한계상태와 지반의 불확실성 조건을 고려하여 선정되어야 한다.

특성치의 통계학적 정의는 현장 토질정수의 평균치와 연관되며, 시험결과에서 얻어진 추론치가 5% 신뢰수준이 아닌, 한계상태의 발생에 영향을 미치는 값이다. 다시말해, 특성치는 채택된 특성치 보다 현재의 평균치 $\mu(X)$ 가 크게되는 95% 신뢰수준에 해당된다. 현재의 평균치 $\mu(X)$ 가 이 값보다 크게되는 95% 신뢰수준에 해당하는 토질상수의 특성치 X_k 는 통계이론을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_k = \mu(X)[1 - k_n \cdot V(X)] \quad (1)$$

여기서, k_n 은 통계적 확률분포와 시험결과 수량에 의존하는 계수(factor)이고, $V(X)$ 는 변동계수(표준편차/평균치)이다.

EN 1990에서는 특성치를 가설적인(hypothetical) 무제한의 시험에서 얻어지지 않는 규정된 확률을 가지는

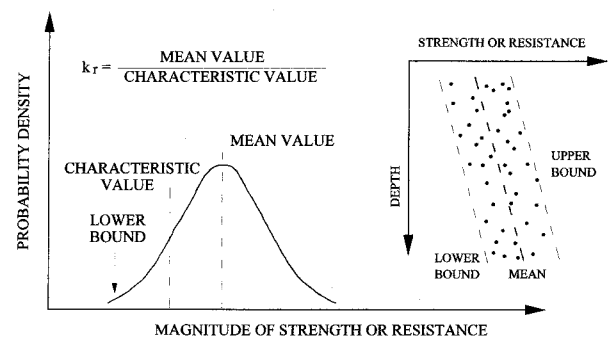


그림 1. 특성치의 정의(Becker, 2006)

재료나 제품성질의 값으로서, 이 값은 일반적으로 특정한 성질로 가정된 통계학적 분포에서 어떤 지정된 신뢰수준에 해당한다고 정의하면서, 5% 신뢰수준 개념으로 정의해야 한다고 언급하고 있다. 이러한 조건을 정규분포로 가정하여 특성치를 다음과 같이 나타내고 있다.

$$X_k = \mu(X) - 1.645\sigma(X) = \mu(X)[1 - 1.645 V(X)] \quad (2)$$

여기서, $\mu(X)$ 는 평균치, $\sigma(X)$ 는 표준편차이고, $V(X)$ 는 무제한 시험의 변동계수이다. X와 계수 1.645는 5%의 신뢰수준을 나타낸다.

EN 1990의 특성치 정의와 식은 구조재료와 관련되는 설계에 대하여 적합한 반면, 지반공학적 설계에는 적절치 못하다. 그 주된 이유는 지반공학적 파라미터를 좌우하는 변수의 특성 때문이다. 예를들어, 지반내에서 파괴는 어느 한 개별적 시험요소의 강도가 아니라 파괴면에 대한 평균강도이다. 따라서, 그것은 시험결과의 5% 신뢰수준이 아닌 평균강도의 95% 신뢰값에 해당하는 요구된 파괴면을 따라 일어나는 평균강도의 5% 신뢰수준이다. 또다른 이유는 일반적으로 지반공학적 설계에서는 단지 제한된 수량의 시험결과만이 가용하므로 통계적으로 주의가 요구된다는 것이다. Student(1908)는 평균치의 95% 신뢰도에 대하여 다음과 같이 제안하였다.

$$X_k = \mu(X) - \frac{t}{\sqrt{N}}\sigma(X) \quad (3)$$

여기서, t는 시험결과의 수량 N에 의해 좌우되는 파라미터이다.

Ovesen(1995)은 수많은 전단강도 결과의 특성치를 얻기 위하여 다음과 같이 보다 단순화된 식을 사용하였다. 식 (4)는 식 (3)에서 시험결과 수량 N이 무수히 많은 경우의 파라미터 t를 적용한 결과이다.

$$X_k = \mu(X) - \frac{1.645}{\sqrt{N}}\sigma(X) \quad (4)$$

한편, Schneider(1997)는 식 (4)를 보다 더 단순화하여 식 (5)와 같이 나타내었다.

$$X_k = \mu(X) - 0.5\sigma(X) \quad (5)$$

Schneider는 비교연구에 의하여 $k_n=0.5$ 즉, 식 (4)에서 시험결과의 수량 N이 11일 때 X_k 에 대한 양호한 근사치

가 산정됨을 보였다. 식 (5)는 특성치가 평균치에서 표준편차의 50%만큼 작게 채택되는 경우를 의미한다. 상기 제안된 방법들은 보다 합리적인 특성치의 산정을 위하여 여러 연구자에 의해 제안되었으나 방법에 따라 설계의 결과가 다소 경제적이기도, 다른 한편으로는 보수적이기도 하여 특정 방법의 적용성을 논리적으로 합당화 하기에는 어려움이 있는 것이 현실이다.

3. 국내 해양토질의 특성치 산정

EN 1990, Student(1908), Ovesen(1995) 및 Schneider(1997) 등에 의해 제안된 특성치 산정방법을 이용하여 국내의 주요한 해양토질 특성치를 산정하고 비교, 분석하였다. 흙의 물리적 특성, 강도특성 및 압밀특성에 해당하는 30여개 토질 파라미터의 특성치 산정결과 중 일부를 표 1에 나타내었다.

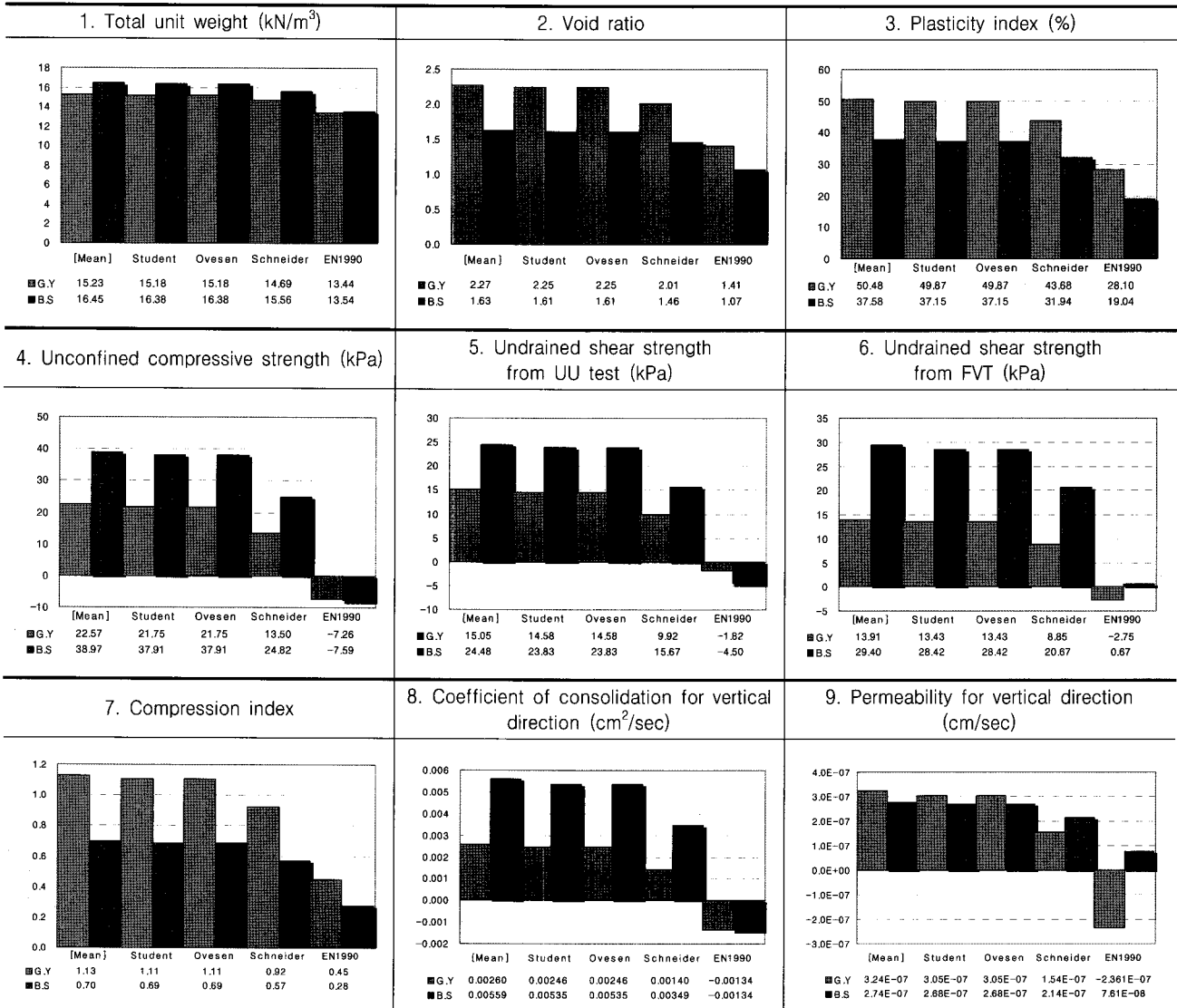
검토한 4가지 특성치 산정방법 중에서 Student에 의한 방법이 가장 평균치에 근접하였다. 한편, 본 연구와 같이 시험자료의 수가 많은 경우(광양 1,259, 부산 1,897 data 이상)에는 Student 방법과 Ovesen 방법에 차이가 없이 거의 같은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 t값이 시험자료의 수에 따라 영향을 받기는 하나, 일정한 자료수를 초과하게 되면 95% 신뢰수준에서 1.645에 수렴하게 되어 결국 시험자료의 수가 많을 경우 Ovesen(1995)과 Student(1905)의 제안식이 같아지는 데에서 기인한다. 반면, EN 1990에 의한 방법은 모집단의 분산도에 따라 다르나 대체로 평균치와 비교하여 매우 작은 값을 나타내며, 특히 변동계수가 큰 시험의 경우 0보다 작은 값이 산정되었다.

4. 설계시 지반특성치의 영향

각 제안방법에 따라 산정된 특성치와 산술평균치를 이용하여 실제 해성점토 기초지반의 지지력 및 침하 설계시 미치는 영향정도를 파악하였다. 이를 위하여 Eurocode에 제안된 부분재료계수에 따라 설계치를 결정하고, 임의의 방파제 하중이 작용하는 광양 및 부산의 해성점토 지반에 대하여 지지력과 침하량을 비교하였다. 또한 두 지역의 과거 설계사례에서 적용했던 대표치와 불확실성을 고려한 특성치에 의한 설계치를 가지고 지지력 및 침하해석을 실시하여 결과를 비교하였다.

표 1. 대표적인 토질정수의 특성치 비교

* G.Y: 광양, B.S: 부산



4.1 설계변수의 설계치의 결정

재료계수 방법(Material Factor Approach: MFA)에서 지반공학적 파라미터의 설계치(X_d)는 설계계산에 대입되는 지반성질이다. 이는 식 (6)과 같이 특성치(X_k)를 적절한 부분계수(γ_m)로 나누어 줌으로써 얻어진다. 반면, 저항계수 방법(Resistance Factor Approach: RFA)에서 지반공학적 파라미터에 대한 설계치는 존재하지 않는다.

$$X_d = X_k / \gamma_m \quad (6)$$

여기서, 부분계수는 추론치의 변동성과 특성치 결정을 위한 평가방법의 신뢰성을 고려하여 신뢰수준 값으로부터 결정된다. 조사된 설계치에 대한 부분값(partial value)을 선정할 때, 각각의 설계치가 저항측에 주로 영향을 미치는지 하중측에 영향을 미치는지를 고려해야

한다. 표 2는 Eurocode 7에서 제시하고 있는 극한한계상태의 부분계수중 부분재료계수만을 나타낸 것이다.

Case A는 주로 구조물과 지반의 강도가 불충분한 경우에 불리한 변동하중과 유리한 영구하중의 불확실성을 다루며, 부력, 수리학적 파괴 및 구조물의 전도 등 큰 침하와 관련되는 문제에 대하여 안전한 지반공학적 크기결정과 구조계산을 제공함이 목적이다. Case B는 주로 하중의 불확실성을 다루며, 대개 기초와 옹벽 등 부재의 구조설계에 중요하다. Case C는 주로 재료성질의 불확실성을 다루며, 지반성질의 부분계수가 1.0보다 큰 MFA 방법으로서 대개 기초의 크기와 옹벽의 근입깊이 등 지반내에서 부재 크기의 결정에 중요하다.

현재 국내에는 지반공학적 설계치를 결정하기 위해 제안된 부분계수가 없는 실정이다. 따라서, 여기서는 Eurocode 7에서 언급하고 있는 표 2의 극한한계상태의

표 2. 극한한계상태에 대한 부분재료계수

Parameter	Factor	Case A	Case B	Case C	Case C2	Case C3
$\tan \phi'$	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.10	1.00	1.25	<i>1.00</i>	<i>1.20</i>
Effective cohesion, c'	$\gamma_{c'}$	1.30	1.00	1.60 <i>(1.25)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.20</i>
Undrained shear strength, c_u	γ_{c_u}	1.20	1.00	1.40	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>
Compressive strength, q_u	γ_{q_u}	1.20	1.00	1.40	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>
Pressuremeter limit pressure, p_{lim}	$\gamma_{p_{lim}}$	<i>1.40</i>	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>
CPT resistance	γ_{CPT}	<i>1.40</i>	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>
Unit weight of ground, γ	γ_g	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

Values in bold are partial factors either given or implied in the ENV version of EC7.

Values in italics are proposed partial factors not in the ENV that may be in the EN version.

표 3. 주요 설계치 선정결과

Parameter	Area	Mean	Student	Schneider
e	Gwangyang	2.27	2.25	2.01
	Busan	1.63	1.61	1.46
γ_t (kN/m ³)	Gwangyang	15.23	15.18	14.69
	Busan	16.45	16.38	15.56
G_s	Gwangyang	2.71	2.71	2.70
	Busan	2.70	2.69	2.68
q_u (kPa)	Gwangyang	18.81	18.13	11.25
	Busan	32.48	31.59	20.68
CUU (kPa)	Gwangyang	12.54	12.15	8.27
	Busan	20.40	19.86	13.06
C_c	Gwangyang	1.13	1.11	0.92
	Busan	0.70	0.69	0.57
C_v (cm ² /sec)	Gwangyang	0.00260	0.00246	0.00140
	Busan	0.00559	0.00535	0.00349

부분계수중 Case A에 대한 값과 앞서 계산된 특성치를 이용하여 설계치를 산정하였으며, 제안되어 있지 않은 파라미터의 부분계수는 1.0으로 간주하였다. 한편, 앞서 산정된 특성치 결과 중 샘플 수가 비교적 많아 Student 방법과 차이가 크지 않은 Ovesen 방법과 0보다 작은 값이 산정되어 지반공학적 설계에 부적합한 EN 1990 방법에 의한 특성치는 제외하였다. 지반의 지지력 및 침하량 계산을 위한 광양 및 부산지역의 주요한 설계치는 표 3과 같다.

4.2 사례분석 1: 특성치와 산술평균치에 의한 결과 비교

지지력과 침하량 검토를 위해 가정된 하중은 해성점토로 이루어진 기초지반 상에 흔히 계획되는 사석방파제 자중을 적용하였다. 해상 구조물은 대개 모래다짐말뚝이나 지반개량 공법 등을 이용하여 지반을 처리한후

시공됨이 일반적이거나, 여기서는 단순히 파라미터의 평균치와 일부 특성치 산정 방법별 원지반 해성점토의 강도 및 압축특성을 알아보기 위하여 미개량시 지지력과 침하 영향만을 산정, 비교하였다. 검토를 위해 결정된 임의의 단면조건은 그림 2와 같다.

지지력 및 침하량의 계산은 항만 및 어항 설계기준에 제안된 방법중 실무에서 가장 많이 이용되는 식을 채택하였다. 지지력 계산시 안전율은 1.5를 적용하였으며, 단위면적당 작용하중(Q)에 대한 허용지지력(q_a)의 비(q_a/Q)를 이용하여 허용지지력 산정결과를 그림 3과 같이 비교하였다. Student 방법에 의한 q_a/Q 는 평균치의 97~98%에 달하여 약간 작은 값이 산정된 반면, Schneider 방법에 의한 값은 평균치의 64~66% 범위로서 매우 과소평가 됨을 알 수 있다.

두 지역을 비교할 때 동일한 작용하중에서 부산지역 토질의 지지력이 광양지역에 비해 약 1.6배 가량 크게 산

산정한 설계치 사이의 지지력 및 침하량 계산 결과를 비교하였다. 각 사례에서 선정된 설계치는 국부적이고 불충분한 시험결과에서 얻은 단순한 산술평균치 또는 설계자의 임의적 판단에 의한 대표치로서 통계학적 변동성을 고려하지 않은 수치이다. 이들은 실제적으로 이미 설계가 완료되었거나 시공중인 사례로서, 변동성이 파악된 대량의 자료에 의해 설계결과를 비교함은 적절한 경제성 또는 안전마진의 측면에서 의미가 있을 것이다. 표 4는 최근 광양 및 부산항 지역 항만구조물 건설 공사의 설계에 적용되었던 주요 설계치를 나타낸 것이다. 적용하중은 상기 동일한 단면의 방파제 구조물로 가정하였다.

각 사례에서 적용된 대표치와 본 연구에서 산정한 방법의 설계치에 의해 계산한 q_u/Q 를 그림 6에 비교하였다. 광양지역(Case A)의 경우 설계 적용값을 지역전체의 불확실성이 고려된 값들과 비교할 때 평균치에 의해

산정한 q_u/Q 에 비해 39.9% 가량, Student 방법에 비해 44.3% 가량, 그리고 Schneider 방법에 비해 111.5% 가량 과대하게 산정되었다. 부산지역(Case B)의 경우는 지역 전체의 평균치에 의해 산정한 q_u/Q 에 비해 47.2% 가량, Student 방법에 의한 불확실성 고려시에 비해 60.0% 가량, 그리고 Schneider 방법에 비해서는 130.0% 가량 과대하게 산정되었다. 따라서, 지지력 계산에 있어서 두 지역 전반적으로 설계에 채택되었던 입력치가 불확실성을 고려한 경우에 비하여 최대 2배이상 과대평가함을 알 수 있었다. 또한 사례분석 1에서 평가한 결과와 유사하게 본 검토에서도 부산지역의 지지력 특성이 광양지역에 비해 1.6~1.7배 가량 양호한 것으로 나타났다.

그림 7은 동일한 하중과 지반조건에 대하여 원지반의 침하량을 비교한 결과이다. 광양지역(Case A)의 경우 지역전체의 평균값에 비해 약 2.4%, 불확실성이 고려된 설계치 적용결과와 비교시는 Student 방법에 비해 3.7%,

표 4. 설계사례에 적용된 대표치

Case A (Gwangyang)					
Thickness of soft clay(m)	γ_t (kN/m ³)	G_s	w (%)	e	C_c
25.50	15.180	2.714	81.96	2.314	1.161
Case B (Busan)					
Thickness of soft clay(m)	γ_t (kN/m ³)	G_s	w (%)	e	C_c
50.325	17.325	2.710	67.90	1.890	0.960

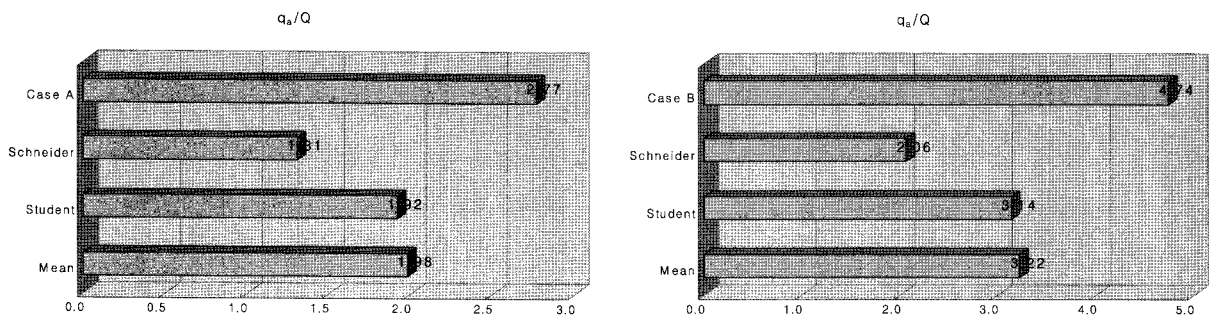


그림 6. q_u/Q 의 계산결과 비교

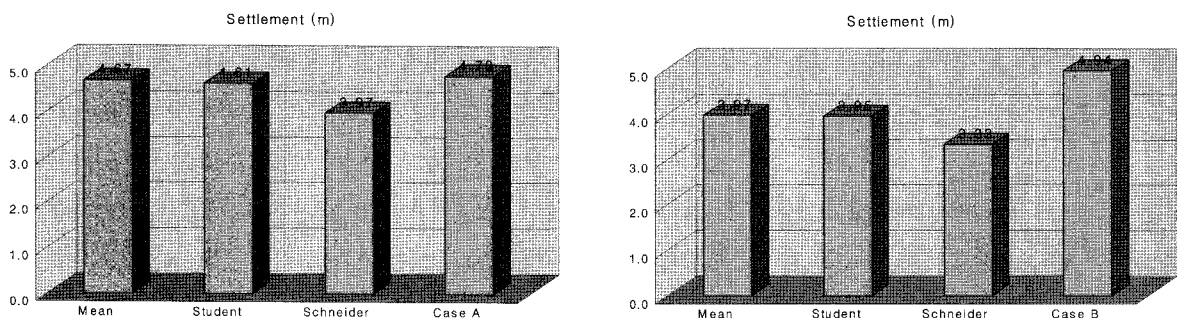


그림 7. 침하량 계산결과의 비교

Schneider 방법에 비해서는 20.4% 가량 크게 산정됨으로써 Schneider 방법을 제외하고는 대개 큰 차이를 보이지 않았다. 부산지역(Case B)의 경우 지역전체의 평균값에 비해 약 24.4%, 불확실성이 고려된 설계치 적용결과와 비교시는 Student 방법에 비해 25.1%, Schneider 방법에 비해서는 48.3% 가량 크게 산정됨으로써 일반적으로 과다하게 산정되는 결과를 보였다.

5. 결론 및 토론

본 논문에서는 국내의 주요한 해양토질에 대하여 불확실성을 고려한 특성치를 통계적 방법을 이용하여 산정하고, 그 값을 이용하여 지지력 및 침하량 계산시 영향정도를 파악하였으며, 기존의 방법으로 선정된 대표치 및 특성치에 의한 설계결과를 비교하였다.

제안된 4가지 방법을 이용하여 특성치를 산정한 결과, 본 연구에 이용된 자료에서는 Student /Ovesen, Schneider 및 EN 1990의 제안방법 순으로 평균치와 근접하게 나타났다. EN 1990 방법의 경우에 특성치가 가장 작게 산정되고, 통계적 변동성에 따라 0보다 작은 값이 산정되어 지반공학의 설계치를 산정하는데 부적합한 것으로 나타났다. 계산식이 유사한 Student와 Ovesen 방법을 비교할 때, 시험자료의 수가 적은 경우 Ovesen의 방법이 다소 크게 산정되나 자료수가 많아질수록 두 값은 일치하게 됨을 알 수 있었다. 이는 Student 방법의 값은 자료수가 증가함에 따라 감소하는데, 자료수가 커지면 커질수록 그 감소폭이 작아져 일정값에 수렴하는 경향이 있기 때문으로 판단된다. Ovesen 방법은 N=11일 때 Schneider 방법과 동일식이 되어 같은 값이 산정되며, Schneider는 이때 특성치에 대하여 양호한 근사치가 산정된다고 하였다. 특성치 산정에 제안된 모든 방법은 통계적 확률분포와 시험자료의 수에 따라 변하는 계수(k_n)를 표준편차에 곱한 일정비율의 변동성을 평균치에서 감하여 특성치를 산정하는 방식으로서, 평균치보다 항상 작게 산정되고 지반의 변동성이 커짐에 따라 특성치가 보수적으로 평가되는 경향이 있다.

각각의 방법에 의해 특성치에서 얻어진 설계치를 이용하여 계산된 허용지지력을 단위면적당 작용하중과의 비(q_a/Q)으로써 나타내어 비교한 결과, Student 방법에 의한 특성치로부터 계산한 q_a/Q 는 평균치와 큰 차이가 없었다. 반면, Schneider 방법에 의한 특성치로부터 얻은 q_a/Q 는 평균치의 64~66% 범위로서 매우 과소평가 됨

을 알 수 있다. 압축지수와 초기간극비가 주요한 변수인 두 지역 최종압밀침하량의 경우 Student 방법에 의한 계산결과는 평균치와 거의 차이가 없었으나, Schneider 방법은 평균치 대비 약 12.6~14.6% 작게 산정되었다. 두 지역의 실제 지반조건을 비교할 때 동일한 작용하중에서 부산지역 토질의 지지력이 광양지역의 그것에 비해 약 1.6배 가량 크게 산정되었다.

최근 수행된 항만건설의 설계에서 결정론적으로 채택된 설계치와 특성치 산정방법에 의한 설계치를 이용하여 지지력 및 침하량을 계산한 결과 전반적으로 결정론적으로 채택된 설계치는 과다한 설계결과를 나타내었다. 그리고 부산의 지지력 평가 결과가 광양에 비하여 1.6~1.7배 가량 우수한 것으로 나타났다.

지반공학적 불확실성을 통계적으로 정량화할 때, 시험자료의 불충분으로 변동성이 매우 크게 평가되는 경우, 구조물의 비경제적인 설계가 발생될 수 있으므로 가능한 보다 많은 데이터를 확보하는 것이 유리하고 모든 데이터는 필터링의 과정을 거쳐 신뢰수준이 높은 평균치가 채택되어야 한다. 또한 충분한 시험자료의 수집이 어려운 경우 시뮬레이션 방법 등을 통하여 신뢰할 수 있는 값을 추정하여야 한다. Eurocode 7에서는 통계학적 방법을 이용하여 특성치를 결정할 경우에 비교 가능한 경험과 실제 설계여건을 고려하여 주의깊게 이용되어야 한다고 규정하고 있다. 따라서, 시험결과와 평가된 값(a priori values)을 조합하여 보다 신뢰도 높은 평균과 표준편차를 얻을 수 있는 베이지안 기법(Bayesian Approach) 등 다양한 통계학적 결정법을 통한 적절한 특성치의 채택은 매우 중요하다고 판단된다.

참고 문헌

1. 대산지방해양수산청 (2006), 대산항 개발 실시설계용역 보고서.
2. 부산지방해양수산청 (2005), 부산신항 남권부두 배후지 준설토 투기장 가호안 기본 및 실시설계 보고서.
3. 여수지방해양수산청 (2006), 여수항 동방파제 축조공사 실시설계 보고서.
4. 윤길림 (2004), 차세대 항만 설계기술 개발 (IV), 한국해양연구원 연구보고서, 해양수산부.
5. 윤길림 (2005), 차세대 항만설계 기술개발 (V), 한국해양연구원 연구보고서, 해양수산부.
6. 해양수산부 (2005), 항만 및 어항 설계기준(상권).
7. Becker, D.E. (2006), "Limit state design based codes for geotechnical aspects of foundation in Canada", *Proceedings of Taipei 2006 International Symposium on New Generation Design Codes for Geotechnical Engineering Practice*, Taipei, Vol.1.
8. Harrison, M.W. (1990), *HANDBOOK of Statistical methods for*

engineers and scientists, McGraw-Hill, Inc.

9. Orr, T.L.L. and Farrell, E.R. (1999), *Geotechnical design to Eurocode 7*, Springer.
10. Orr, T.L.L. (2006), "Development and implementation of Eurocode 7", *Proceedings of Taipei 2006 International Symposium on New Generation Design Codes for Geotechnical Engineering Practice*, Taipei, Vol.1.
11. Ovesen, N.K. (1995), "Eurocode 7 for geotechnical design", *Proceedings of Bengt B. Broms Symposium on Geotechnical Engineering*, Singapore, Vol.1.
12. Poon, K.K. and Kulhawy, F.H. (1999), "Characterization of geotechnical variability", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.36.
13. Schneider, H.R. (1997), "Definition and determination of characteristic soil properties", *Proceedings of XII International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Hamburg, Balkema, Rotterdam, Vol.1.
14. Student (1908), "The probable error of a mean", *Biometrika*, Vol.6.

(접수일자 2007. 8. 25, 심사완료일 2008. 5. 13)