

# 서해안 점토의 물리적 특성과 압밀정수의 상관성

## Correlations Between the Physical Properties and Consolidation Parameter of West Shore Clay

허 열<sup>1)</sup> · 황 인 상<sup>1)</sup> · 강 창 우<sup>1)</sup> · 배 우 석<sup>†</sup>

Yeol Heo · Insang Hwang · Changwoo Kang · Wooseok Bae

Received: January 26<sup>th</sup>, 2015; Revised: February 13<sup>th</sup>, 2015; Accepted: March 16<sup>th</sup>, 2015

**ABSTRACT :** In the correlation formulas related to consolidation proposed at present, the analyzed areas are limited to certain overseas or domestic areas and in order to increase the number of data, experimental data of different areas are integrated and therefore in many cases application is difficult. In addition, models have been developed without clear statistic evaluation of the obtained data. Accordingly, this study divided the soft areas of the west coast into Hangang, Kungang and Yeongsangang in order to maximally reduce uncertainty of the experimental data and performed normality test and regression analysis on the physical and dynamic characteristics. According to the analysis result, the compression index and the modified compression index had strong linearity and in all areas modified compression index and initial void ratio had closest correlation, followed by total unit weight, water contents and liquid limits. As for overconsolidation ratio with depth, the width of overconsolidation ratio was large when the depth was less than 5 to 6 m in all areas and when the depth was over 5 to 6 m, the ratio was constant.

**Keywords :** Consolidation, West shore, Normality test, Regression analysis

**요 지 :** 현재 제안되고 있는 압밀과 관련된 상관식들은 분석대상 지역이 국외나 국내의 특정지역에 국한되거나 자료의 숫자를 늘리기 위해 여러 지역의 실험자료를 통합함으로써 적용에 무리가 따르는 경우가 많다. 또한 취득된 자료의 명확한 통계적 평가 없이 모형이 개발되어 왔다. 따라서 본 연구에서는 시험자료의 불확실성을 최대한 줄이기 위해 서해안의 연약지대를 한강과 금강, 영산강으로 구분하고 물리적 특성치와 역학적 특성치에 대하여 정규성 검증과 회귀분석을 수행하였다. 분석결과 압축지수와 수정압축지수의 직선성이 강하며, 모든 지역에서 수정압축지수와 초기간극비가 가장 상관성이 양호하고 다음으로 전체단위중량, 함수비, 액성한계 순으로 나타났다. 또한 깊이에 따른 과압밀비는 모든 지역에서 깊이가 5~6m 이하의 경우 과압밀비의 폭이 크게 나타나며, 5m~6m 이상일 경우 일정한 값을 가지는 패턴을 보였다.

**주요어 :** 압밀, 서해안, 정규성 검증, 회귀분석

## 1. 서 론

우리나라의 서·남해안이나 내륙의 하천 인근지역은 일반적으로 과도한 침하 및 지지력 부족 등으로 인하여 개발 시 심각한 문제를 야기되고 있다. 서해안 지역은 매립공사와 공항건설 등을 위해 수많은 지반조사가 실시되고 있으나 제시된 설계자료도 조사방법과 빈도, 지반의 공간적 특성 변화 및 실험절차, 그리고 자연적, 인위적인 다양한 요인으로 지반조사 결과는 불확실성이 여전히 존재한다(Bae & Kim, 2009).

현재까지 설계자료의 불확실성을 제거하기 위한 다양한 분석기법에 대한 연구가 진행되고 있으나 불확실성을 완전

히 해소시킬 수 있는 방법은 많지 않으며, 특히 국내의 지반 조사 결과는 단위지역에 대한 자료를 중심으로 분석되고 있어 자료의 수 측면에서도 많은 문제점을 나타내고 있는 것이 사실이다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 국내에서는 Song(1988)이 우리나라 서남해안에서 시행된 토질조사 결과를 토대로 554개의 자연시료에 대한 토질 물성치와 압축지수의 상관관계를 검토하여 단일변수의 형태로 압축지수 추정을 위한 경험식을 제안한 바 있으며, Kim et al.(2003)은 대형 항만공사 자료를 이용하여 회귀모형을 산정하고 물리적 특성과 압축지수의 상관성을 나타내는 최적의 회귀모형은 토질정수의 누승식 또는 지수승식 형태의 비선형회귀식을 주장하

1) Department of Civil Engineering, Chungbuk National University

† NANO-GEO ENC Co. Ltd. (Corresponding Author : old1007@hanmail.net)

였다. 또한 Yoon & Kim(2003)은 1,800여 개 시료에 대한 압밀시험 결과를 근거로 단일 및 다중회귀 통계분석을 수행하고 경험상관식을 개발하였다. Bae & Kim(2009)은 왜곡된 자료의 정규성을 확보하기 위해 Box-Cox 변수변환 후 단순회귀모형의 적합성을 검증하여 광양점토의 물리적 특성과 압축지수의 상관성에 대한 회귀모형식을 제안하고, Bae & Heo(2011)는 남해안 점토를 대상으로 회귀분석을 통해 압축지수를 예측하기 위한 예측식을 제안한 바 있다. 또한 Hong et al.(2011)은 부산과 인천점토를 대상으로 퇴적상태가 압축지수 추정식에 미치는 영향을 분석하였다.

그러나 현재 제안되고 있는 상관식들은 실험 횟수가 적거나 분산이 심하며, 분석대상 지역이 국외나 국내의 특정 지역에 국한되거나 자료의 숫자를 늘리기 위해 여러 실험자료를 통합함으로써 적용에 무리가 따르는 경우도 많은 것이 사실이다. 또한 취득된 자료의 정규성이나 예측력, 공간적인 지역에 따른 동질성 검증 등 명확한 통계적 평가 및 검증 없이 모형이 개발되어 왔다.

따라서 본 연구에서는 지반의 불확실성을 고려한 설계 목적으로 시험자료의 불확실성을 최대한 줄이기 위해 서해안의 연약지대를 한강과 금강, 영산강으로 대분하고 각 지역의 물리·역학적 특성에 대해 통계적분석을 수행하여 수집된 자료의 정규성을 검증하고 압밀정수와의 상관관계를 분석하였다.

## 2. 확률통계분석

### 2.1 정규성 검증

본 분석에서는 물리적 및 역학적 특성 시험결과 모든 자료를 대상으로 빈도분석, 데이터탐색 등을 통하여 원자료에 대한 평균, 표준편차 등의 기술통계량을 작성하고 우리나라 서해안의 연약지반 특성을 평가하기 위해 강 하구를 중심으로 지역을 한강, 금강, 영산강지역으로 분류한 후 물리적 특성치에 대하여 Kolmogorov-Smirnov의 방법을 이용하여 정규성을 검증하였다.

분석결과 Table 1의 한강지역에서는 모든 물리적 특성치에 대하여 정규분포를 따른다고 할 수 없으며, 금강지역에서는 PI만 정규분포를 따르고 영산강지역에서는  $\gamma_t$ ,  $e_o$ ,  $2\mu$ 이 정규분포를 따른다고 할 수 있다.

Table 2는 역학적 특성에 대하여 Kolmogorov-Smirnov의 방법에 의한 정규성 검증 결과를 나타낸 것으로 한강지역에서는 물리적 특성과 마찬가지로 역학적 특성이 정규분포를 따른다고 할 수 없으며, 금강지역에서는 표준압밀압축지수, 유효마찰각이 정규분포를 따른다고 할 수 없고 영산강지역에서는 교란강도, 탄성계수, 압밀하중, 과압밀비가 정규분포를 따르지 않는 것으로 분석되었다.

Table 1, 2와 같이 물리적 특성치와 역학적 특성치의 많

Table 1. Kolmogorov-Smirnov normality test about physical properties

Properties	Hangang statistics	Hangang p.vleue	Kumgang statistics	Kumgang p.vleue	Yeongsangang statistics	Yeongsangang p.value
$\omega_n$ (%)	0.1483	< 0.0001	0.2044	< 0.0001	0.1012	0.0055
Gs	0.4724	< 0.0001	0.2442	< 0.0001	0.1709	< 0.0001
$\gamma_t$	0.1336	< 0.0001	0.1737	< 0.0001	0.1222	0.4710
$e_o$	0.1847	< 0.0001	0.2679	< 0.0001	0.0924	0.4185
LL (%)	0.1382	< 0.0001	0.1665	< 0.0001	0.1665	< 0.0001
PL (%)	0.1230	< 0.0001	0.2859	< 0.0001	0.1089	0.0030
PI (%)	0.1167	< 0.0001	0.0627	0.0334	0.1535	< 0.0001
LI	0.0879	< 0.0001	0.1113	< 0.0001	0.1042	0.0052
#200 (%)	0.1654	< 0.0001	0.1801	< 0.0001	0.2550	< 0.0001
2 $\mu$ m (%)	0.1354	< 0.0001	0.0976	< 0.0001	0.0704	0.2281
A	0.3650	< 0.0001	0.3024	< 0.0001	0.1270	0.0025

Table 2. Kolmogorov-Smirnov normality test about mechanical properties

Properties	Hangang statistics	Hangang p.vleue	Kumgang statistics	Kumgang p.vleue	Yeongsangang statistics	Yeongsangang p.value
Disturb strength	0.1645	< 0.0001	0.145	0.0069	0.1709	< 0.0001
Sensitivity	0.0439	0.0498	0.1448	0.007	0.1222	0.471
Cohension	0.1132	< 0.0001	0.0699	0.2723	0.0924	0.4185
Preconsolidation load	0.0718	< 0.0001	0.075	0.1524	0.1535	< 0.0001
Compression index	0.133	< 0.0001	0.1965	< 0.0001	0.1042	0.0052
Overconsolidation ratio	0.1631	< 0.0001	0.1938	0.0096	0.255	< 0.0001
Expansion coefficient	0.1787	< 0.0001	0.143	0.357	0.0704	0.2281

은 정수값이 왜도, 첨도, Kolmogorov-Smirnov의 정규성 검정을 통하여 정규성을 만족하지 않는 것을 확인하였다. 따라서 정수값 사이의 상관관계를 분석함에 있어 우선적으로 취함된 자료의 정규성이 확보되어야 하며 불확실성이 제거된 자료를 통한 상관식의 제시가 요구된다.

## 2.2 이상치 제거

본 연구에서는 이상치를 제거하는 과정을 통해 정규분포 자료를 획득하고 이를 이용한 상관관계 분석을 수행하였다.

여기서 이상치란 자료의 전반적인 경향으로부터 뚜렷하게 벗어나는 자료로 이상치가 분석에 사용되었을 경우 잘못된 결과를 얻을 수 있다.

일반적으로 이상치는 25% 분위수와 75% 분위수로부터 사분위범위(IQR)의 1.5배를 넘어갈 경우 이상치로 판단을 한다. 본 연구에서는 Box-plot을 이용하여 이상치를 제거하였으며, Table 3~4와 같이 이상치를 제거한 후 물리적 특성치의 왜도, 첨도, 변동계수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 물리적 특성치의 분포가 대칭인 분포로 바뀌었

Table 3. Change on physical properties with outlier filtering

Properties		Hangang			Kumgang			Yeongsangang		
		CoV	Skewness	Kurtosis	CoV	Skewness	Kurtosis	CoV	Skewness	Kurtosis
$\omega_n$	before O.F	0.2749	3.0469	23.2779	0.5290	3.7792	25.9158	0.3318	0.6191	3.3069
	after O.F	0.1713	0.2985	3.0827	0.2422	0.3448	3.0470	0.3187	0.4686	2.9627
Gs	before O.F	0.2941	30.3356	922.3948	0.0214	-5.7563	57.4298	0.0067	-1.4531	15.2768
	after O.F	0.0059	0.8399	3.1756	0.0083	0.0127	3.0485	0.0054	0.8308	3.3758
$\gamma_t$	before O.F	0.0515	-1.5910	8.9818	0.0937	-1.7013	7.2658	0.0672	-0.7734	6.8034
	after O.F	0.0317	-0.4631	3.1342	0.0574	-0.5650	3.4426	0.0435	-0.3865	2.5645
$e_o$	before O.F	0.2833	4.0289	32.0640	0.5119	2.6220	11.0767	0.2623	0.6260	2.9165
	after O.F	0.1457	0.5378	3.2767	0.1939	0.6507	3.7503	0.2540	0.5346	2.7180
LL	before O.F	0.2602	1.5447	6.1760	0.4109	7.3035	87.5206	0.3437	0.9429	2.7687
	after O.F	0.2072	0.8800	3.1951	0.2466	0.6655	2.6971	0.3437	0.9429	2.7687
PL	before O.F	0.1668	-1.0875	10.0295	0.5514	13.5429	206.1516	0.1442	1.0812	5.8065
	after O.F	0.0927	-0.1459	2.8895	0.1549	-0.1931	2.9721	0.1171	0.5638	2.9605
PI	before O.F	0.5961	1.1693	4.6751	0.5404	0.5857	3.1273	0.6070	1.0173	3.0186
	after O.F	0.5522	0.7438	2.7599	0.5242	0.3787	2.3650	0.5909	0.9742	2.8731
LI	before O.F	0.6424	1.1062	5.9458	0.7533	0.5262	6.5602	0.6477	-0.1269	9.7748
	after O.F	0.5305	0.2749	3.0358	0.5257	0.4883	3.0574	0.5135	0.1245	2.9761
2 $\mu$ m	before O.F	0.6469	1.7641	7.6234	0.6095	2.1714	17.8973	0.3469	-0.0260	2.4376
	after O.F	0.5029	0.7461	3.1829	0.5419	0.6083	2.7023	0.3469	-0.0260	2.4376
A	before O.F	2.1310	12.5403	179.2614	1.2518	10.1425	124.4773	0.4651	0.7611	3.0253
	after O.F	0.3042	0.4722	3.2227	0.3021	0.2563	2.9339	0.4439	0.5948	2.4929

Table 4. Change on mechanical properties with outlier filtering

Properties		Hangang			Kumgang			Yeongsangang		
		CoV	Skewness	Kurtosis	CoV	Skewness	Kurtosis	CoV	Skewness	Kurtosis
Disturb strength	before O.F	0.7422	2.9643	17.2679	0.6548	1.1682	3.9492	0.4368	0.8973	3.1123
	after O.F	0.4894	0.7883	3.2180	0.6096	0.8930	2.8871	0.4368	0.8973	3.1123
Sensitivity	before O.F	0.3318	0.1616	3.1973	0.4842	1.2842	4.5774	0.6854	3.6515	20.2411
	after O.F	0.3243	-0.0112	2.6546	0.3812	0.5783	2.9946	0.4404	0.9406	3.0647
Cohension	before O.F	0.6178	2.6221	17.4519	0.5906	1.1714	5.6740	0.6372	2.1401	8.6956
	after O.F	0.4662	0.4878	2.9024	0.5226	0.4133	2.9788	0.4485	0.6698	3.0049
Preconsolidation load	before O.F	0.4913	1.2979	8.5914	0.5780	0.6343	2.8575	0.5319	2.0942	8.6780
	after O.F	0.4398	0.3010	2.6398	0.5709	0.5705	2.6612	0.3689	0.5960	3.0954
Compression index	before O.F	0.5141	1.5613	6.5684	0.7396	2.8527	15.1707	0.3705	0.2976	2.3097
	after O.F	0.4302	0.8525	3.0818	0.4494	0.9064	3.7784	0.3705	0.2976	2.3097
Overconsolidation ratio	before O.F	0.5054	2.3200	10.4561	0.9040	1.7431	5.9070	0.7053	1.6875	5.3670
	after O.F	0.3536	0.5050	2.8057	0.7519	1.1947	3.7558	0.5103	0.9910	3.4039
Swelling coefficient	before O.F	0.5927	2.7078	16.6815	0.3745	1.0934	3.5455	0.3450	1.0891	5.3140
	after O.F	0.3800	0.8471	3.4212	0.3452	0.9115	2.9443	0.2954	0.2398	2.7617

음을 확인할 수 있다. 또한 이상치 제거 전·후의 역학적 특성치에 대한 기술통계량을 비교한 결과, 특성치가 대칭인 분포로 변화하였다는 것을 확인하였다. 여기서 O.F는 이상치 제거(Outlier filtering), CoV는 변동계수(Coefficient of variation)를 나타낸다.

### 3. 압밀정수에 대한 회귀분석

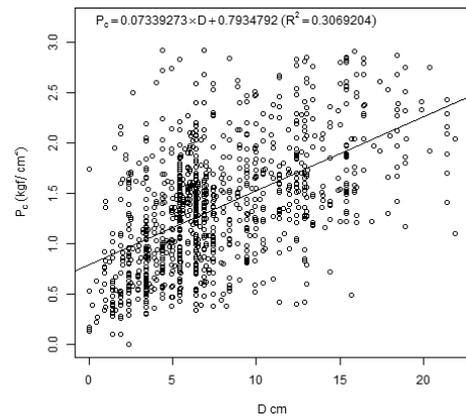
#### 3.1 깊이-선형압밀응력

Table 5는 이상치 제거 전·후의 깊이-선형압밀응력에 대한 선형회귀분석 결과표이다. 표준압밀실험 원자료결과 한강  $P_c = 0.719D + 0.8471$ , 금강  $P_c = 0.0626D + 0.6233$  그리고 영산강은  $P_c = 0.0652D + 0.4512$ 로 나타낼 수 있으며 각각의 결정계수는 0.24, 0.244, 0.356이다.

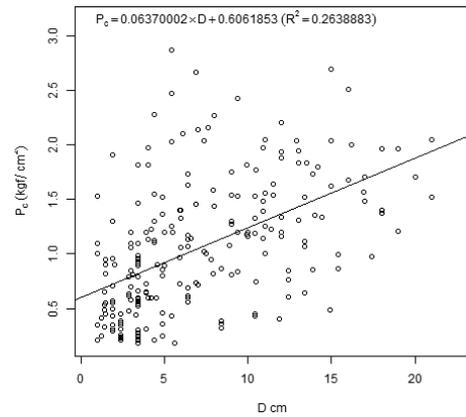
이상치를 제거한 상태에서는 한강  $P_c = 0.0733D + 0.7934$ , 금강  $P_c = 0.0637D + 0.6061$ , 영산강  $P_c = 0.04D + 0.5561$ 로 나타낼 수 있으며 각각의 결정계수는 0.307, 0.264, 0.194이다. CRS 시험결과 이상치는 없기 때문에 원자료로 분석을 실시하였다. 한강지역의 깊이에 따른 선형압밀응력의 선형상관관계식은  $P_c = 0.8254$ , 금강지역 점토층의 깊이에 대한 선형압밀응력의 선형관계식은  $P_c = 0.9343$ 으로 나타났다.

#### 3.2 압축지수와 수정압축지수

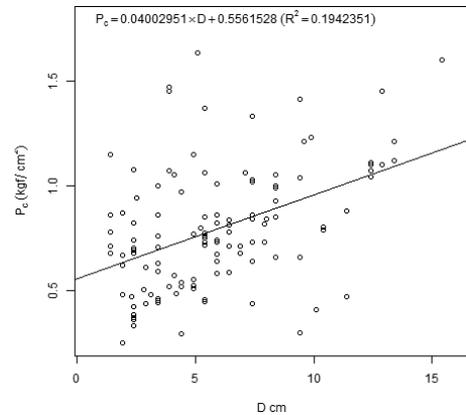
실내압밀시험은 시료가 현장에서와같이 전혀 교란되지 않은 상태로 시험을 행할 때 가장 이상적인 e-logP 관계를 얻을 수 있다. 그러나 현장에서 시료 채취 시, 실험실로 운반 시, 실내에서 압밀링에 설치하기 위하여 시료를 성형할 때 필연적으로 시료는 어느 정도 교란되어 실제로는 비교란 시료를 얻는 것은 불가능하다. 압밀시험은 완전한 비교란 상태에서 수행할 때 가장 이상적이나 실제 교란이 전혀 없는 시료를 채취하여 실험을 수행하는 것은 불가능하다. Schmertmann(1955)은 실내시험 결과를 이용하여 현장 조건을 유추하는 방법을



(a) Hangang



(b) Kungang



(c) Yeongsangang

Fig. 1. Relationship of depth–preconsolidation load after outlier filtering

Table 5. Linear regression analysis results of depth–preconsolidation load

Test	Region	Outlier filtering	Regression equation	Coefficient of determination
Standard consolidation	Hangang	before O.F	$P_c = 0.0719D + 0.8471$	0.240
		after O.F	$P_c = 0.0733D + 0.7934$	0.307
	Kungang	before O.F	$P_c = 0.0626D + 0.6233$	0.244
		after O.F	$P_c = 0.0637D + 0.6061$	0.264
	Yeongsangang	before O.F	$P_c = 0.0652D + 0.4512$	0.356
		after O.F	$P_c = 0.04D + 0.5561$	0.194
CRS	Hangang	before O.F	$P_c = 0.8254$	0.127
	Kungang	before O.F	$P_c = 0.9343$	0.113

0.42 $e_0$  지점에서 교란 시료와 불교란 시료의 간극비-하중곡선이 일치한다고 주장하고 현재의 유효상재하중과 간극비로부터 처녀압밀곡선의 기울기를 구하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서도 시료교란의 정도를 고려하기 위하여 압축지수와 수정압축지수가 동시에 있는 자료를 대상으로 압축지수와 수정압축지수의 관계를 분석하여 수정압축지수에 대한 보정계수를 평가하였다. Table 6은 수정압축지수를 구하기 위한 보정계수로서 평균은 각각 1.22, 1.124, 1.182로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

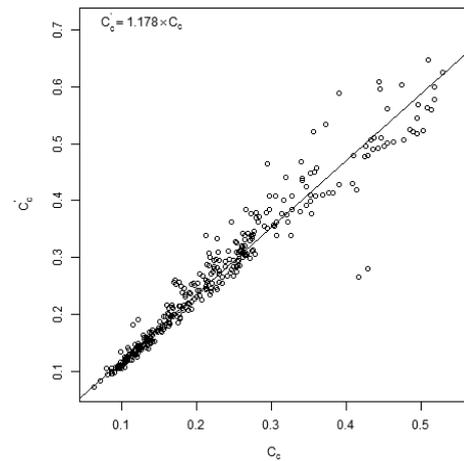
각 지역에 대하여 압축지수와 수정압축지수에 대한 산점도를 그려보면 Fig. 2와 같다. 그림에서 보이듯이 두 지수 간 직선경향이 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있으므로 두 지수 간 회귀분석을 통하여 보정계수를 산출하였다.

두 지수 간 선형회귀분석 결과, 한강  $C'_c = 1.178C_c$ , 금강  $C'_c = 1.1256C_c$ , 영산강의 경우  $C'_c = 1.1922C_c$ 의 관계가 나타났으며 각각의 결정계수는 0.988, 0.996, 0.999이다.

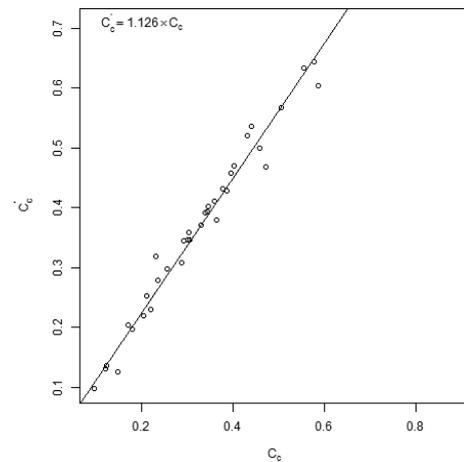
### 3.3 물리적 특성과 압축지수의 상관분석

물리적 특성을 나타내는 토질정수와 압축지수의 회귀분석은 상관분석분석결과를 근거로 압축지수와 상관성을 나타내고 있는 초기간극비, 함수비, 액성한계, 전체단위중량을 대상으로 분석을 하였다. 단, 회귀분석에서 토질정수는 원자료를 사용하였고, 압축지수의 경우에는 수정압축지수를 사용하였으며, 수정압축지수가 없는 자료에 대해서는 보정계수를 적용한 수정압축계수를 구하여 회귀분석에 사용하였다.

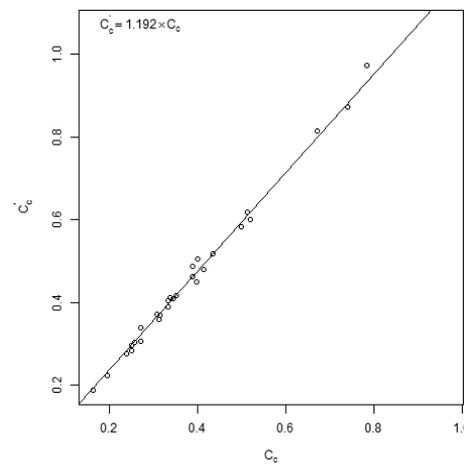
Table 8은 수정압축지수와 물리적 특성의 선형회귀분석 결과로 한강의 경우 수정압축지수와 초기간극비의 결정계수가 0.627로 가장 높았으며, 금강의 경우 초기간극비와 전체단위중량에서 0.5, 0.501로 높은 결정계수를 보였고, 영산강의 경우 초기간극비에서 0.536으로 높은 결정계수를 보였다. 즉 모든 지역에 대해서 수정압축지수와 초기간극비가 가장 관련이 있는 것으로 파악되며 다음으로 전체단위중량, 함수비, 액성한계 순으로 나타났고 수정압축지수와 함수비, 액성한계, 간극비는 양의 관계를 나타내는 것을 확인할 수 있으며 수정압축지수와 단위중량은 음의 관계를 나타내었다.



(a) Hangang



(b) Kumgang



(c) Yeongsangang

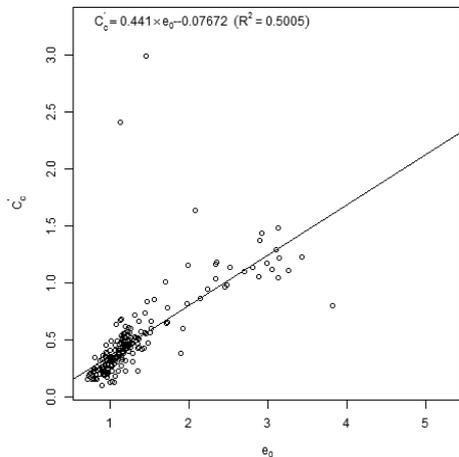
Fig. 2. Relationship of compression index and modified compression index

Table 6. Analysis of correction factor for modified compression index

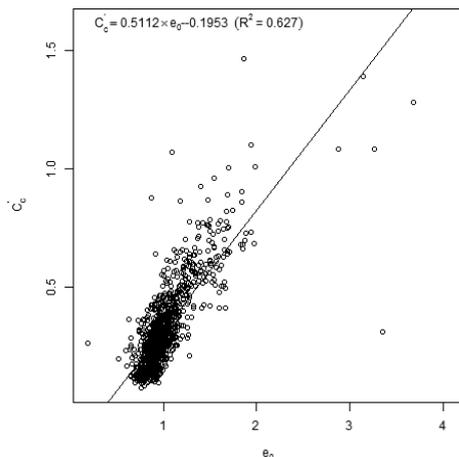
Region	Mean	Median	SD	Variance	CoV	Skewness	Kurtosis	95% confidence interval	
								LL	UL
Hangang	1.22	1.233	0.0818	0.0066	0.067	2.4659	38.614	1.233	1.290
Kumgang	1.124	1.137	0.0859	0.0073	0.0739	-0.3027	5.861	1.09	1.214
Yeongsangang	1.182	1.176	0.0388	0.0015	0.0329	0.5036	2.337	1.152	1.253

Table 7. Linear regression analysis of compression index and modified compression index

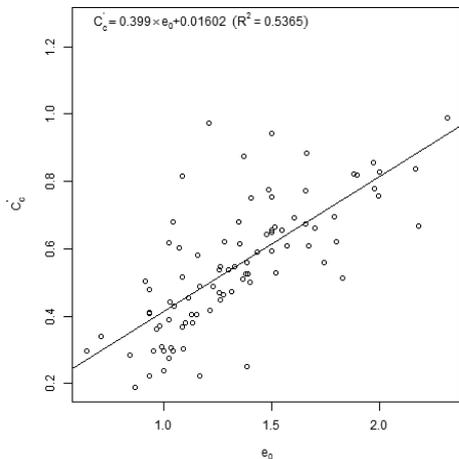
Region	Mean	Median	SD	Variance	CoV	Skewness	Kurtosis	95% confidence interval	
								LL	UL
Hangang	0.1507	0.1469	0.03044	0.000927	0.202	0.7634	4.257	0.1313	0.2069
Kumgang	0.1355	0.1414	0.0449	0.002016	0.3314	-0.3431	2.047	0.1027	0.1941
Yeongsangang	0.1269	0.1125	0.0439	0.0019	0.3464	0.4957	2.2310	0.0914	0.1900



(a) Hangang



(b) Kumgang



(c) Yeongsangang

Fig. 3. Linear regression analysis of  $e_0 - C_c'$

Table 8. Linear regression analysis between modified compression index and physical properties

Region	Parameter	Regression equation	Coefficient of determination
Hangang	$w - C_c'$	$C_c' = 0.0128\omega_n - 0.1377$	0.513
	$LL - C_c'$	$C_c' = 0.0114LL - 0.081$	0.449
	$e_0 - C_c'$	$C_c' = 0.5112e_0 - 0.1953$	0.627
	$\gamma_t - C_c'$	$C_c' = -1.4173\gamma_t - 2.9142$	0.545
Kumgang	$w - C_c'$	$C_c' = 0.0121\omega_n - 0.0627$	0.452
	$LL - C_c'$	$C_c' = 0.0162LL - 0.19$	0.288
	$e_0 - C_c'$	$C_c' = 0.441e_0 - 0.0767$	0.5
	$\gamma_t - C_c'$	$C_c' = -1.755\gamma_t - 3.602$	0.501
Yeongsangang	$w - C_c'$	$C_c' = 0.01\omega_n + 0.1319$	0.286
	$LL - C_c'$	$C_c' = 0.0042LL + 0.4223$	0.081
	$e_0 - C_c'$	$C_c' = 0.399e_0 + 0.016$	0.536
	$\gamma_t - C_c'$	$C_c' = -1.024\gamma_t + 2.331$	0.376

### 3.4 압축지수와 팽창지수

압축지수와 팽창지수의 상관관계를 분석하기 위하여  $C_s / C_c$ 의 비를 구하여 통계분석을 실시하여 압축지수와 팽창지수의 비( $C_s / C_c$ )를 구하였다. Table 9는 이상치 제거 전·후의 통계분석 결과를 나타낸 것이다.

이상치 제거 후의 자료에 대한 압축지수와 팽창지수의 비  $C_s / C_c$ 는 95% 신뢰구간을 기준으로 한강지역의 경우 0.2069~0.1313, 금강지역의 경우 0.1027~0.1941, 영산강지역의 경우 0.0914~0.1900으로 평가되었다. 평균  $C_s / C_c$ 는 0.1507과 0.1355, 0.1269로 한강지역은  $C_s = 0.1507C_c$ , 금강지역은  $C_s = 0.1355C_c$ , 영산강지역은  $C_s = 0.1269C_c$ 의 관계가 있는 것으로 분석되었다.

### 3.5 깊이와 과압밀비의 상관성 분석

깊이에 따른 과압밀비는 깊이에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다. 따라서 과압밀비의 분석에서는 깊이에 따른 과압밀비의 분포를 고려하여 크게 2개의 영역(한강, 영산강: 5m, 금강: 6m)으로 구분하였다. 분석결과 모든 지역에 대하여 깊이가 5m~6m 이하의 경우 과압밀비의 폭이 크게 나타나며 5m~6m 이상일 경우 일정한 값을 가지는 패턴을 보였다.

Table 9. Descriptive statistics of compression index and swelling index

	Region	Outlier filtering	Mean	Median	SD	Variance	CoV	Skewness	Kurtosis	95% confidence interval	
										LL	UL
Cc	Hangang	before O.F	0.2671	0.2300	0.1373	0.0188	0.5141	1.5610	6.5680	0.1750	0.5330
		after O.F	0.2484	0.2240	0.1069	0.0114	0.4302	0.8525	3.0820	0.1715	0.4725
	Kumgang	before O.F	0.4483	0.3650	0.3316	0.1100	0.7396	2.8530	15.171	0.2460	1.0536
		after O.F	0.3612	0.3425	0.1623	0.0263	0.4494	0.9064	3.7780	0.2350	0.6618
	Yeongsangang	before O.F	0.5080	0.5050	0.1883	0.0354	0.3705	0.2976	2.3100	0.3548	0.8300
		after O.F	0.5080	0.5050	0.1883	0.0354	0.3705	0.2976	2.3100	0.3548	0.8300
Cs	Hangang	before O.F	0.0361	0.0300	0.0214	0.0005	0.5927	2.7080	16.681	0.0240	0.0804
		after O.F	0.0309	0.0290	0.0117	0.0001	0.3800	0.8471	3.4210	0.0230	0.0555
	Kumgang	before O.F	0.0515	0.0455	0.0193	0.0004	0.3745	1.0934	3.5450	0.0373	0.0898
		after O.F	0.0501	0.0450	0.0173	0.0003	0.3452	0.9115	2.9440	0.0370	0.0860
	Yeongsangang	before O.F	0.0596	0.0555	0.0206	0.0004	0.3450	1.0890	5.3140	0.0475	0.0935
		after O.F	0.0577	0.0550	0.0170	0.0003	0.2954	0.2398	2.7620	0.0468	0.0895

Table 10. Descriptive statistics of overconsolidation ratio

Region	Outlier filtering	Depth	Mean	Median	SD	Variance	Range	Skewness	Kurtosis	95% confidence interval	
										LL	UL
Hangang	before O.F	< 5m	2.1970	1.6800	1.4230	2.0260	0.6418~6.4860	1.3840	4.3910	1.1050	5.3490
		5m <	1.6910	1.6530	0.5020	0.2520	0.53~3.2	0.4553	3.2730	1.3650	2.6060
	after O.F	< 5m	1.9720	1.6400	1.0970	1.2030	0.6481~5.22	1.1730	4.2450	1.0590	4.1110
		5m <	1.6540	1.6470	0.4555	0.2075	0.53~2.655	0.1481	2.7870	1.3600	2.4730
Kumgang	before O.F	< 6m	2.7610	2.0790	2.0400	4.1610	0.209~9.197	1.3800	4.4610	1.3040	7.3440
		6m <	0.9383	0.6840	0.7455	0.5557	0.35~3.912	2.7130	11.210	0.4860	1.7520
	after O.F	< 6m	2.2440	1.9800	1.3440	1.8060	0.209~5.882	1.0800	3.7510	1.1950	5.1710
		6m <	0.8074	0.6630	0.4161	0.1731	0.350~1.763	1.0560	3.0360	0.4860	1.6680
Yeongsangang	before O.F	< 5m	3.6520	3.1000	1.9280	3.7160	1.17~7.90	0.7620	2.5300	2.2370	7.2300
		5m <	1.4950	1.5950	0.5512	0.3039	0.50~2.72	0.1448	2.2350	1.0950	2.4110
	after O.F	< 5m	3.5060	3.0000	1.7840	3.1820	1.17~7.50	0.7571	2.6000	2.2300	6.8200
		5m <	1.4950	1.5950	0.5512	0.3039	0.50~2.72	0.1448	2.2350	1.0950	2.4110

Table 10은 과압밀비에 대한 원자료와 이상치 제거 후의 대상자료에 대한 통계분석 결과를 나타낸 것이다. 한강지역의 경우 5m 이하의 과압밀비는 0.6418~6.4860으로 분포하고 있으며 평균은 2.197로 나타났으며, 5m 이상은 0.53~3.2로 분포하고 있으며 평균은 1.69이다. 이상치를 제거할 경우 5m 이하의 과압밀비는 0.6481~5.22로 분포하고 있으며 평균은 1.9720으로 나타났으며, 5m 이상은 0.53~2.655로 분포하고 있으며 평균은 1.6540이다. 금강지역의 경우 6m 이하의 과압밀비는 0.209~9.197로 분포하고 있으며 평균은 2.7610으로 나타났으며, 6m 이상은 0.35~3.912로 분포하고 있으며 평균은 0.9383이다. 이상치를 제거할 경우 6m 이하의 과압밀비는 0.209~5.882로 분포하고 있으며 평균은 2.2440으로 나타났으며, 6m 이상은 0.350~1.763으로 분포하고 있으며 평균은 0.8074이다. 영산강지역의 경우 5m 이하의 과압밀비는 1.17~7.90으로 분포하고 있으며 평균은 3.6520으로 나타났으며, 5m 이상은 0.50~2.72로 분포하고 있으며 평균

은 1.4950이다. 이상치를 제거할 경우 5m 이하의 과압밀비는 1.17~7.50으로 분포하고 있으며 평균은 3.5060으로 나타났으며, 5m 이상은 0.50~2.72로 분포하고 있으며 평균은 1.4950이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 서해안의 연약지반 특성을 평가하기 위해 강 하구를 중심으로 지역을 한강, 금강, 영산강지역으로 분류한 후 물리적 특성치와 역학적 특성치에 대하여 정규성 검증과 회귀분석을 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Kolmogorov-Smirnov의 방법을 통한 정규성 검증 결과, 정규성을 만족하지 않아 Box-plot을 이용하여 이상치를

제거하였으며, 기술통계량을 통해 물리·역학적 특성치의 분포가 대칭인 분포로 바뀌었음을 확인하였다.

- (2) 압축지수와 수정압축지수에 대한 회귀분석 결과 두 지수 간 직선경향이 강하며, 한강  $C_c' = 1.178C_c$ , 금강  $C_c' = 1.1256C_c$ , 영산강  $C_c' = 1.1922C_c$ 의 관계로 나타났다.
- (3) 물리적 특성에 대한 선형회귀분석 결과 모든 지역에서 수정압축지수와 초기간극비가 가장 관련이 있는 것으로 파악되며 다음으로 전체단위중량, 함수비, 액성한계순으로 나타났다.
- (4) 이상치 제거 후 자료에 대한 압축지수와 팽창지수 사이에는 한강지역  $C_s = 0.1507C_c$ , 금강지역  $C_s = 0.1355C_c$ , 영산강지역  $C_s = 0.1269C_c$ 의 관계가 있는 것으로 분석되었다.
- (5) 깊이에 따른 과압밀비의 분포를 고려하여 크게 2개의 영역(한강, 영산강: 5m, 금강: 6m)으로 구분하였다. 분석결과 모든 지역에 대하여 깊이가 5m~6m 이하의 경우 과압밀비의 폭이 크게 나타나며, 5m~6m 이상일 경우 일정한 값을 가지는 패턴을 보였다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다(This work was supported by the research grant of Chungbuk National University in 2013).

## References

1. Bae, W. S. and Heo, T. Y. (2011), Prediction of compression index using regression analysis of transformed variables method, Marine Georesource and Geotechnolgy, Vol. 29, No. 1, pp. 76~94.
2. Bae, W. S. and Kim, J. W. (2009), Correlations between the physical properties and compression index of kwangyang clay, Journal of Korean Geo-environmental Engineering, Vol. 10, No. 7, pp. 7~14 (in Korean).
3. Hong, S. J., Kim, D. H., Choi, Y. M. and Lee, W. J. (2011), Prediction of compression index of busan and inchoon clays considering sedimentation state, Journal of Korean Geotechnical Engineering, Vol. 27, No. 9, pp. 37~46 (in Korean).
4. Kim, D. H., Kim, K. W. and Paik, Y. S. (2003), Relationship between physical properties and compression index for marine clay, Journal of Korean Geotechnical Engineering, Vol. 19, No. 6, pp. 371~378 (in Korean).
5. Schmertmann, J. H. (1955), The undisturbed consolidation behavior of clay, Transactions, ASCE, 120, pp. 1201~1233.
6. Song, M. S. (1988), Relationship of the soil properties for domestic marine clay, M.E dissertation, Hanyang University, pp. 1~79 (in Korean).
7. Yoon, G. L. and Kim, B. T. (2003), Formula of compression index prediction for marine clay in korea, Journal of Korean Civil Engineering, Vol. 23, No. 3C, pp. 169~176 (in Korean).