

## Comparative Study on Sedimentation and Soil Characteristic of Dredged Marine Clays at Coastal Areas

<sup>1)</sup>, Kwang-Yeol Lee,                 <sup>2)</sup>, Jae-Hong Hwang,                 <sup>2)</sup>, Sam-Sik Jang  
<sup>2)</sup>, Tae-Gon Gu

- <sup>1)</sup>   , Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongseo University  
<sup>2)</sup>   , Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dongseo University  
<sup>2)</sup>   , Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dongseo University  
<sup>2)</sup>   , Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dongseo University

**SYNOPSIS** : In some port construction, a case of reclamation with dredged soil for land use can be found. Even though this is not a new technology, there are some problems on the test method and analysis. The design parameters are still remained to be solved to get accurate prediction. Sedimentation of particle and self-weight consolidation are the most important design parameters in reclamation by dredged soils. The design parameters are influenced by properties of the physical and sedimentation of dredged soils. This influencing factors can be determined depend on the history of long term sedimentation and particle characteristics. Thus, properties of the sedimentation and consolidation are varies depend on the regional geologic formation. In this paper, three different sites with different regional soil properties will be compared in design parameters of sedimentation and self-weight consolidation.

**Key words** : sedimentation, self-weight consolidation, dredged soils, marine clay, regional soil properties

### 1. 서 론

협소한 국토의 효율적인 이용을 위해 공단부지, 주택단지, 위락단지 조성을 위한 대규모의 해안매립공사가 활발히 진행되고 있다. 대규모 매립공사의 경우 해안매립에 필요한 매립토의 물량이 방대하여 육상토는 채취량이 한정되어 있고, 또한 비용의 부담이 크기 때문에 국내 해안에서 쉽게 구할 수 있는 경제적인 재료인 준서점토에 의한 매립방법을 주로 사용하고 있다. 준서점토는 고함수비이고 압축성이 크며 점토광물 성분의 다양성으로 압밀특성이 다르기 때문에 압밀기간과 침하량의 예측이 어렵다. 그리고 준서점토를 이용하여 공유수면을 매립하는 경우에 정확한 매립고를 예측할 수 없으며, 또한 원활한 공사 수행이 가능한 지반강도에 도달할 때까지 오랜 기간이 소요된다. 이렇듯 준서점토를 이용하여 해안매립을 하는 경우 많은 문제점을 가지고 있다. 일반적으로 준서점토는 퇴적연대가 길지 않으며, 압밀도가 낮은 15m이내의 표층부이다. 이러한 지반은 하부지층의 구조와 지질학적 연대 및 수리지질학적 환경과 조건 그리고 해수의 흐름과 환경에 의해 많은 영향을 받는다. 이와 같은 영향인자들에 의해 해저지반은 입자의 구성과 성분 그리고 압밀특성에서 많은 차이점을 발견할 수 있으며, 흙의 공학적 특성이 규칙적이지 못하여 광역적

지반특성 파악이 쉽지 않다. 준설패립에 있어서 중요한 공정은 해저지반 준설행법과 투기조건에 따른 투기장의 설계이다. 준설택토는 준설행과정에서 완전히 교란된 상태로 투기장에 투기되어 새로운 개념의 인위적인 퇴적과 침강과정을 거치게 되며, 이러한 과정에 의해 형성된 지반은 장기간에 걸친 지질학적 퇴적작용에 의해 형성된 지반과는 상이한 토질특성을 갖게 된다. 따라서 준설패립지반의 토질공학적 특성은 투기방법과 투기 후 침강/자중압밀과정에 의해 결정되며, 침강 종료 후 형성된 패립지반은 준설택토의 특성 및 퇴적환경에 따라 깊이 별 상이한 퇴적특성을 나타낸다. 기존의 연구자료에 의하면 준설택토의 침강특성은 지질학적 특성과 해수의 환경조건에 의해 큰 차이를 보이고 있는데 이는 곧 지역적 특성에 의한 영향이 클 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 우리나라에서 대표적인 준설패립 사업이 이루어지고 있는 세 개의 지역(광양만, 용호만, 용원만)에서 채취한 준설택토 시료에 대하여 기본물성 및 토질성분을 비교 분석하고, 초기함수비 (100%, 1300%)에 따라 동일한 조건으로 침강시험을 수행하여, 지역별 침강에 따른 퇴적특성을 비교 분석하였다.

## 2. 지역별 기본물성 및 토질특성

### 2.1 토질물성

준설택토의 패각류와 불순물등을 제거하기 위하여 #100체 통과시료를 사용하여 기본 물성시험을 수행하였고, 물성시험결과를 이용하여 Casagrade의 통일분류법을 적용하였다. 세 지역에서 측정된 물성시험 결과 용원만의 소성지수는 평균 18.86%로 다른 두 지역보다 낮은 소성지수를 가지고 있으며, 또한 #200체 통과율이 75~83.1%로서 다른 두 지역보다 세립질 성분이 작음을 알 수 있다. 용호만은 타 지역에 비하여 함수비(평균 86.73%)와 유기물함량이 높게 나타났다. 그리고 통일분류법을 적용한 결과 대체적으로 CL-CH가 가장 많이 나타났다.

표 1. 지역별 토질물성

지역명	함수비(%)	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수 (%)	유기물함유량 (%)	#200통과율 (%)	비중	통일분류법
광양만	55.91	38.53	29.8	8.73	5.92	87.0	2.692	CL
	58.6	61.4	32.4	29.0	-	60.3	2.69	CH
	50.2	54.4	29.6	24.8	-	96.4	2.70	CH
	57.1	54.9	33.1	21.8	-	98.7	2.71	CH
용호만	156.6	52.51	35.89	16.6	12.5	96	2.568	MH
	69.4	54.3	28.6	25.7	-	85	2.705	CH
	72.6	58.1	29.6	28.5	-	92.6	2.71	CH
	48.3	47.5	22.5	25.0	6.18	72.3	2.68	CL
용원만	66.5	35.41	28.41	7.0	-	75	2.709	CL/ML
	62.5	39.5	19.2	20.3	-	80.7	2.67	CL
	49.1	51.3	22	29.3	-	83.1	2.71	CH

### 2.2 광물학적 특성

점토의 광물학적 특성은 점토를 구성하고 있는 광물의 조성, 조직, 입자배열 및 퇴적환경 등에 의존하므로 점토의 광물학적 특성을 규명하기 위해서 유기물과 무기물에 대한 원소의 정성 및 정량분석을 위하여 XRF(X-Ray Fluorescence)와 XRD(X-Ray Diffraction)시험을 수행하였다.

XRD와 XRF 시험결과, 광양만과 용원만의 광물구성비가 유사하게 나타났으며, 용호만 시료는 Quartz의 비율은 작고, CaO 성분은 타시료에 비하여 높게 나타났다. Vermiculite, Chlorite, Mica and Illite, Quartz, Feldspar, Kaolinite 등이 세 개의 시료에서 공통적으로 동정되었고 용호만 지역은 타지역에 비해 Quartz 광물의 함량이 13% 적었으며, CaO 성분이 5% 많고, 유기물(LOI: Loss of Ignore)이 13.5%나 되었다.

광물의 구조적 형태를 파악하기 위하여 주사전자현미경분석인 SEM(Scanning Electron Microscope)을 수행하였는데, 점토광물이 갖고 있는 형태적 특징에 의해 SEM 촬영사진으로부터 일부광물들을 용이하게 식별해낼 수 있었다. SEM으로 촬영한 결과를 아래의 그림 2에 나타내었다. 세가지 시료 모두에서 Illite와 Quartz를 쉽게 확인할 수 있었고, 특히 용호만 지역의 시료에서는 책구조를 이루고 있는 전형적인 Kaolinite를 발견할 수 있었다.

표 2. 지역별 XRF 분석결과

지역명 성분명	광양만(%)	용호만(%)	용원만(%)
SiO <sub>2</sub>	60.2	47.29	60.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.95	15.43	16.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.37	5.61	5.84
CaO	1.56	6.28	1.67
MnO	0.09	0.07	0.09
TiO <sub>2</sub>	0.73	0.64	0.74
LOI	7.69	13.44	7.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09	0.11	0.1
Na <sub>2</sub> O	2.44	3.5	2.14
K <sub>2</sub> O	2.77	2.6	2.84
MgO	2.05	2.86	2.11
Total	98.95	97.84	99.68

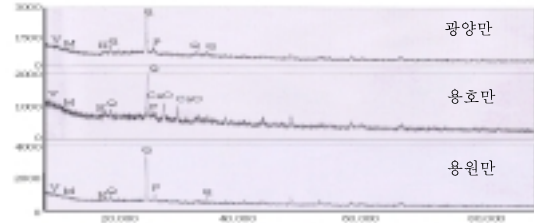
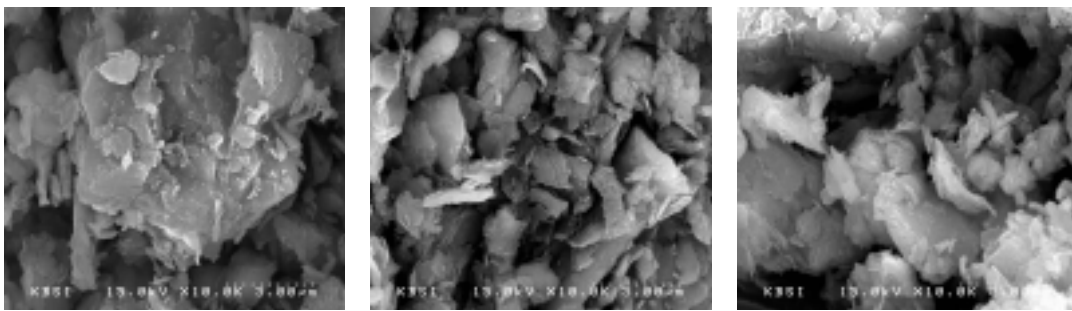


그림 1. 지역별 XRD 시험결과



(a) 광양만( X 10000 )

(b) 용호만( X 10000 )

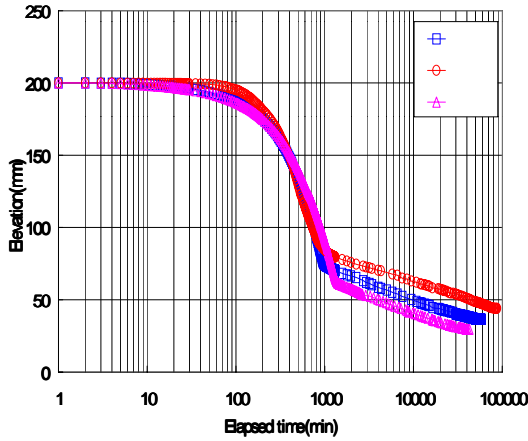
(c) 용원만( X 10000 )

그림 2. 지역별 입자구조

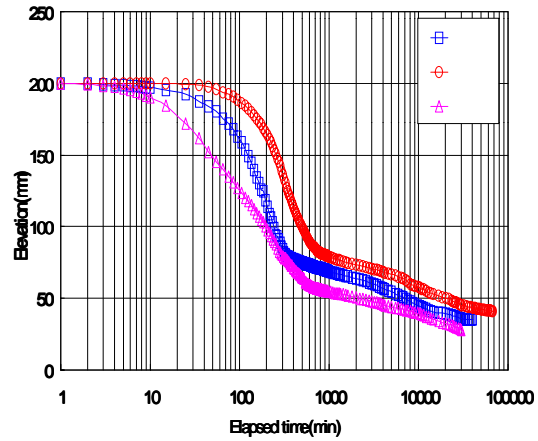
### 3. 지역별 준설편토의 침강특성 및 침강 후 퇴적특성

#### 3.1 침강특성

기존문헌에서 침강실험 조건에 대하여 언급한 내용에 따르면, 모형 Column의 직경이 최소한 200mm이상일 때 Wall-effect등에 의한 오차를 최소화 할 수 있다고 지적하였다. 따라서 본 실험에서 직경 200mm, 높이 220cm의 Column을 이용하여 초기함수비에 따른 침강 및 자중압밀시험을 수행하였다. 시험결과 침강단계가 용원만이 가장 늦게 끝났으며, 초기 함수비 1000%보다 1300%일때 침강속도의 차이가 지역별로 더 크게 나타났음을 알 수 있다. 용호만 시료는 초기함수비에 관계없이 시료투기 후 계면고의 변화가 없다가 100분 경과하면서 침강속도가 급속하게 증가하는 경향을 보였다. 자중압밀 완료 후 용원만은 광양만, 용호만의 계면고와 7~17cm의 차이가 났다. 용호만은 자중압밀종료 이후 Creep단계 중에도 계면고의 변화가 조금씩 생기는데 이는 높은 유기물함량과 입자의 크기 때문인 것으로 사료된다.



(a) 초기함수비 1000%

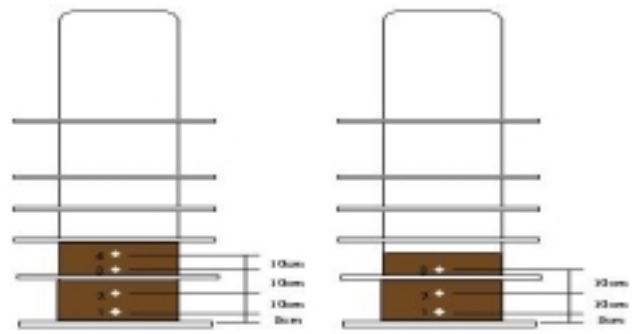


(b) 초기함수비 1300%

그림 3. 지역별 침강곡선 비교

### 3.2 지역별 준설점토의 침강 후 퇴적특성

침강 및 자중압밀 종료 후 계면고의 위치가 각각 다르기 때문에 각 Column내의 하부 저면을 기준으로 하여 초기함수비 1000%에서는 4곳, 초기함수비 1300%에서는 3곳을 선정하고 시료를 채취하여 함수비를 측정하였다. 또한, 광양만과 용원만 시료는 토질물성에서 비슷한 경향을 나타내었으며, 용호만 시료는 광양만과 용원만 시료와는 다른 경향을 나타내었다. 이는 용호만 시료가 물성, 간극비, 투수계수, 성분 등에서 타 지역의 시료와 차이가 있었기 때문이라고 판단된다. 따라서 용호만의 시료를 기준으로 하여 함수비, 간극비, 건조밀도를 측정하여 광양만과 용원만의 시료와 비교 분석하였다.

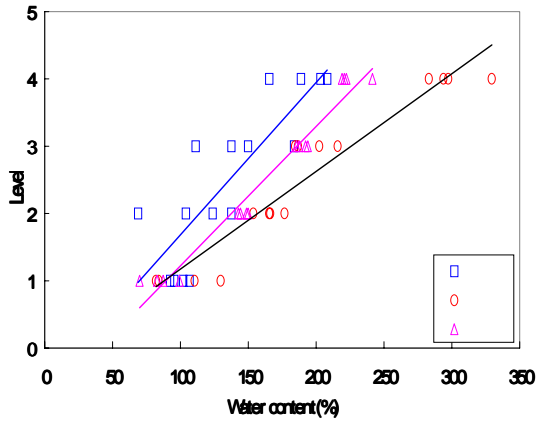


(a) 초기함수비 1000% (b) 초기함수비 1300%

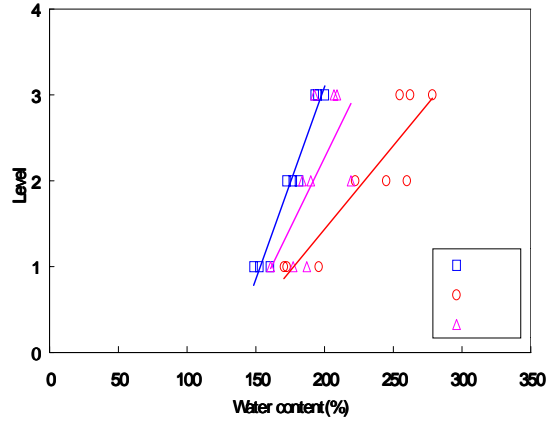
그림 4. 시료채취 위치

#### 3.2.1 함수비 변화

그림 5와 6은 자중압밀 종료 후 Column내의 하부 저면을 기준으로 시료를 채취하여 초기함수비에 따른 깊이별 함수비를 비교한 결과이다. 침강시험 종료 시 용호만 지역에서 초기함수비 1000%일 때 상부층은 함수비가 280~330%로 가장 크게 나타났고, 초기함수비 1300%일 때 상부층에서도 함수비 262~279%로 가장 크게 나타났다. 광양만과 용원만은 초기함수비 1000%와 1300%에서 상하부층 모두 비슷한 함수비가 나타났지만, 용호만은 초기함수비에 따라 상하부층의 함수비 차이가 크게 나타났다. 그리고 초기함수비 1000%일 때 세 지역의 시료 모두 초기함수비 1300%보다 상부층과 하부층의 함수비 차가 크게 나타났다.

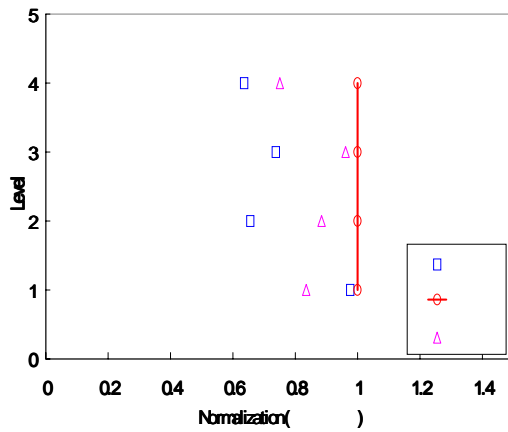


(a)초기함수비 1000%

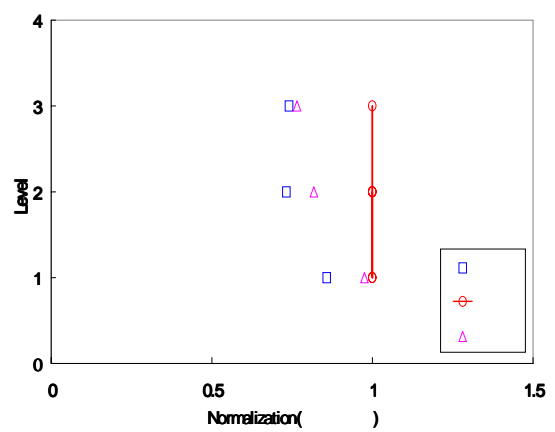


(b)초기함수비 1300%

그림 5. 실험종료 후 초기함수비에 따른 깊이별 함수비 비교



(a)초기함수비 1000%

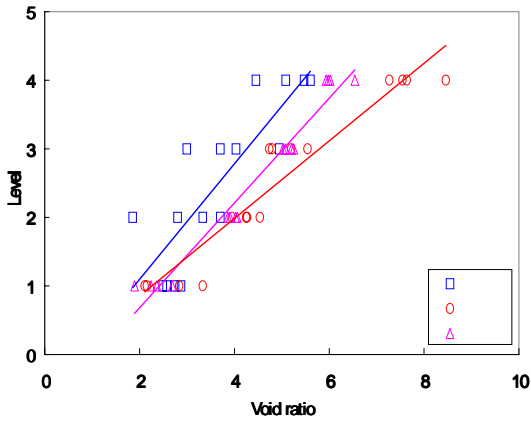


(b)초기함수비 1300%

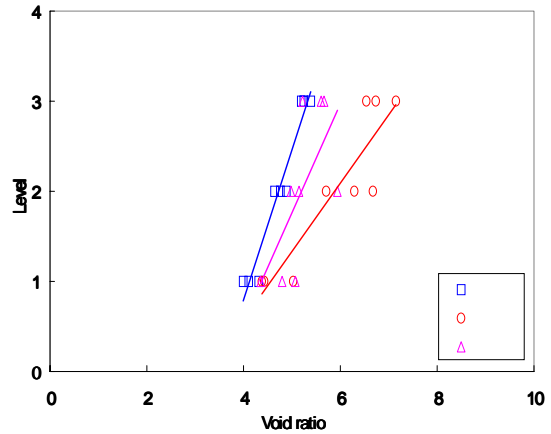
그림 6. 실험종료 후 용호만을 기준으로 한 깊이별 함수비 비교

### 3.2.2 간극비 변화

그림 7과 8은 자중압밀 종료 후 Column내의 하부 저면을 기준으로 시료를 채취하여 초기함수비에 따른 깊이 별 간극비를 비교한 결과이다. 초기함수비 1000%일때 상부층에서의 용호만 시료의 간극비는 7.2~8.5, 용원만 시료의 간극비는 5.9~6.6, 광양만 시료의 간극비는 4.4~5.7로 가장 작게 나타났다. 그리고 초기함수비 1300%일 때 상부층에서의 용호만 시료의 간극비는 6.5~7.2, 용원만 시료의 간극비는 5.2~5.6, 광양만 시료의 간극비가 5.1~5.4으로 가장 작게 나타났다. 또한 하부층으로 갈수록 지역간의 간극비 차이가 작아졌음을 알 수 있으며, 초기함수비 1000%일때 세 지역의 시료 모두 초기함수비 1300%보다 상부층과 하부층의 간극비 차가 크게 나타났다.

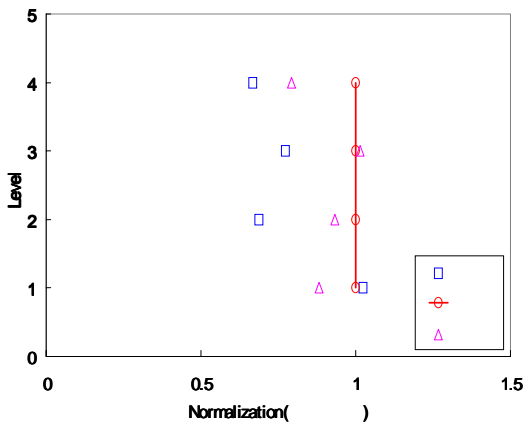


(a)초기함수비 1000%

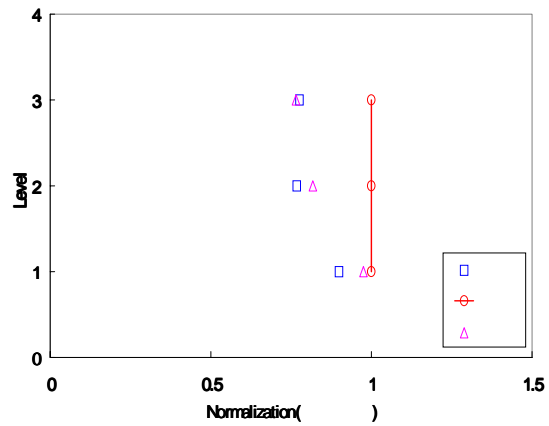


(b)초기함수비 1300%

그림 7. 실험종료 후 초기함수비에 따른 깊이별 간극비 비교



(a)초기함수비 1000%

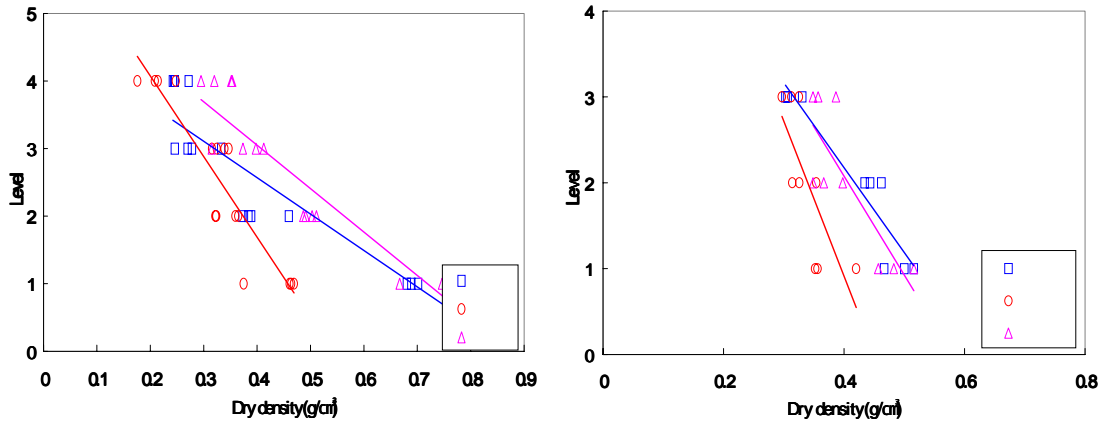


(b)초기함수비 1300%

그림 8. 실험종료 후 용호만을 기준으로 한 깊이별 간극비 비교

### 3.2.3 건조밀도 변화

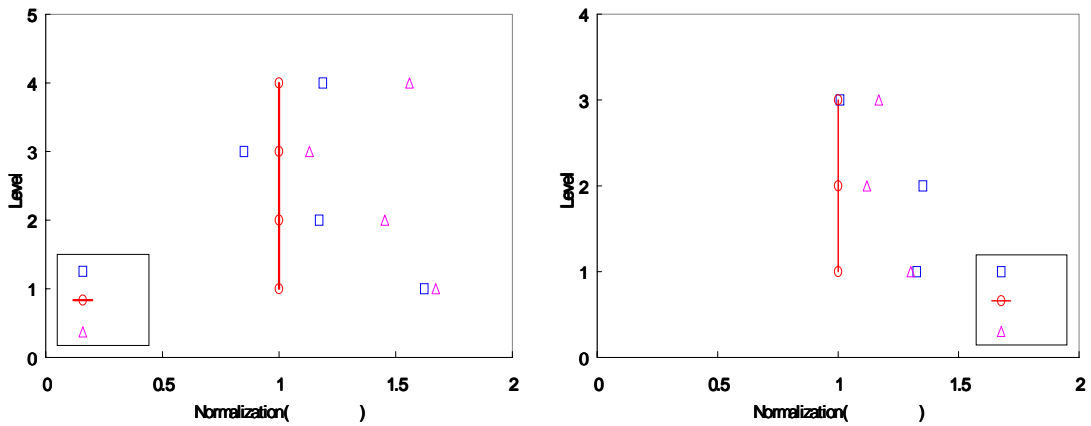
그림 9와 10은 자중압밀 종료 후 Column내의 하부 저면을 기준으로 시료를 채취하여 초기함수비에 따른 깊이별 건조밀도를 비교한 결과이다. 초기함수비에 관계없이 상부층에서의 건조밀도는 지역별로 거의 유사한 값을 나타내었다. 초기함수비 1000%일때 하부층에서의 광양만과 용원만 시료의 건조밀도는  $0.6 \sim 0.8 \text{g/cm}^3$ , 용호만 시료의 건조밀도는  $0.5 \text{g/cm}^3$  이하의 값을 나타내었고, 초기함수비 1300%일때 하부층에서의 광양만과 용원만 시료의 건조밀도는  $0.45 \sim 0.6 \text{g/cm}^3$ , 용호만 시료의 건조밀도는  $0.4 \text{g/cm}^3$  이하의 값으로 나타났다. 초기함수비 1000%에서는 모든 지역이 초기함수비 1300% 보다 상부층과 하부층의 건조밀도 차이가 큰 경향을 보였다. 초기함수비 1000%와 1300%의 광양만 지역과 용원만 지역은 동일한 경향을 보였으나 용호만 지역은 이들 두 지역보다 상부층과 하부층의 건조밀도 차이가 크게 나타났다.



(a)초기함수비 1000%

(b)초기함수비 1300%

그림 9. 실험종료 후 초기함수비에 따른 깊이별 건조밀도 비교



(a)초기함수비 1000%

(b)초기함수비 1300%

그림 10. 실험종료 후 용호만을 기준으로 한 깊이별 건조밀도 비교

#### 4. 결 론

우리나라의 해안지역별 준설풀토의 침강 및 토질특성을 파악하기 위해 대표적인 세 지역을 선정하여 초기함수비에 따라 침강시험을 실시하고, 침강 완료 후의 침강특성을 실험결과를 이용하여 다음과 같이 비교 분석하였다.

1. 세 지역의 준설풀토를 통일분류법으로 적용한 결과 전반적으로 CL-CH의 흙으로 분류되며, 용원만의 준설풀토가 다른 지역에 비해서 조립분이 많이 함유한 것으로 나타났다. 광물학적 특성을 조사하기 위한 XRF 및 XRD 시험결과 SiO<sub>2</sub>의 함량이 용원만, 광양만, 용호만의 순으로 용호만의 시료가 가장 낮게 나타났지만, CaO 성분과 불순물(또는 유기물 함량)은 용호만의 시료가 가장 높게 측정되었다. SEM 분석결과 세 지역에서 공통적으로 Illite와 Quartz를 쉽게 확인할 수 있었으며, 용호만 지역의 시료에서 결정도가 양호한 Kaolinite로 식별되었다.
2. 초기함수비에 따른 자중압밀 완료 후 광양만과 용호만의 계면고는 용원만보다 7~17cm정도 작게 나타났다.

그리고 높은 유기물(LOI: Loss of Ignore)함량으로 인해 용호만은 타 지역에 비하여 침하량이 크고, 자중압밀 종료 이후 Creep단계 중에서도 계면고의 변화가 나타난다.

3. 세 지역의 함수비와 간극비, 건조밀도의 변화는 초기함수비가 클수록 상하부층의 변화가 커짐을 알 수 있다. 초기함수비 1000%와 1300%에서는 지역별 함수비와 간극비가 동일한 경향을 보였고, 하부지반에서는 차이가 작았지만, 상부지반에서는 함수비와 간극비가 크게 차이가 났다. 건조밀도는 초기함수비 변화에 따라 세 지역의 시료 모두 상부지반에서는 유사한 값을 가졌지만 하부지반에서 용호만 시료는 광양만과 용원만 시료보다 작은 값을 나타내었다. 이는 지역별 시료의 물성 및 압밀특성, 성분 등에서 차이가 있었기 때문인 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 부산광역시도시개발공사(2003), “부산신항 북컨테이너터미널 배후부지 조성사업 연약지반 침하안정관리 용역 준설토 침강·자중압밀 특성에 관한 연구”
2. 유남재(2001), “준설매립토의 침강/압밀과 전단강도특성 및 예측”, 한국지반공학회, 01 지반환경 및 준설매립에 관한 학술 세미나 초청강연, pp. 1-18
3. 전라남도(1994), “울촌 제1지방공업단지 조성사업 실시설계 토질조사 보고서”, pp. 1-68
4. 한국컨테이너공단(1993), “광양항 1단계 컨테이너부두 실시설계 보고서”, pp. 49-77, pp. 82-65
5. Lee, K. Y.(2003) “Comparative Study on Properties of the Physical and Sedimentation of Dredged Soils”, Korea-Japan Joint Workshop, ATC-7 ISSMGE, pp. 175-193