

# PBD가 타설된 준설매립지반의 자중압밀 촉진효과

## Acceleration Effect of Self-Weight Consolidation of Dredged and Reclaimed Ground with PBD

이 범 준<sup>1</sup> Lee, Bum-Jun

박 민 철<sup>2</sup> Park, Min-Chul

전 제 성<sup>3</sup> Jeon, Je-Sung

이 송<sup>4</sup> Lee, Song

### Abstract

Dredging and reclamation which have been conducted steadily for creation of new coastal area have the demerit of taking a long time. Hence, a lot of researches on acceleration of self-weight consolidation have been proceeding continuously. In this paper, 30 cases of laboratory self-weight consolidation tests were conducted to understand the application of PDF method, one of the self-weight consolidation acceleration methods, to domestic dredged soils. Acceleration effect of self-weight consolidation was confirmed through comparison and analysis of completion times and settlements of self-weight consolidation for none installed case and 4 kinds of common used PBD installed cases. As a result of the tests, installation of PBD before filling is effective for time reduction of self-weight consolidation.

### 요 지

새로운 해양공간 창출을 위하여 꾸준히 이루어지고 있는 준설매립은 오랜 시간이 소요된다는 단점 때문에 이를 촉진시키기 위한 연구들이 지속적으로 진행되고 있다. 본 논문에서는, 자중압밀 촉진공법 중에 하나인 해상 연직배수 공법(PDF, Plastic board Drain by Floating system)의 국내 준설토에 대한 적용성을 파악하기 위하여 30가지 경우에 대하여 실내 자중압밀실험을 수행하였다. 무처리 상태의 경우와 국내 현장에서 많이 이용되고 있는 4가지 종류의 PBD를 미리 설치한 경우에 대하여 자중압밀 종료 시간 및 압밀 침하량 등을 비교·분석하여 자중압밀 촉진효과를 확인하였다. 실험결과, 준설토의 투기 전 PBD를 설치한 경우 자중압밀의 시간단축에 효과가 있었다.

**Keywords :** Acceleration effect, PBD, PDF method, Self-weight consolidation

## 1. 서 론

산업규모의 확대에 따라 대단위 기간시설을 수용할 수 있는 부지의 확충을 위하여 대규모 매립사업이 지속적으로 진행되어오고 있다. 매립에 가장 이상적인 재료는 투수성이 좋고 압축성이 작은 쇄석이나 산토가 되

겠으나, 이들 매립재료의 수급 불균형·불확실성과 자연환경 훼손 등의 문제점들로 인하여 최근의 거의 모든 매립사업들은 인근 해역의 준설토를 이용하여 이루어진다. 하지만, 준설토는 물량수급은 용이하지만 투수성이 낮고 압축성이 커서 큰 침하량이 오랜 시간에

1 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사수료 (Member, Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

2 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

3 정희원, 인덕대학 건설정보공학과 전임강사 (Member, Prof., Dept. of Construction Information Engrg., Induk Institute of Technology)

4 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr, 교신저자)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2010년 6월 30일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

걸쳐 진행된다는 단점이 있다. 이처럼 세립분 함유율이 높은 준설토의 자중압밀은 비교적 짧은 시간에 이루어지는 침강단계와 오랜 시간이 소요되는 자중압밀 단계로 구분되는데, 이들 단계에서의 준설토는 매우 연약한 상태이므로 압밀을 촉진하기 위한 어떠한 재하중도 가하지 못하고 긴 시간이 경과한 후 Trafficability가 확보될 정도의 표층강도가 발현될 때가 되어야 장비를 이용하여 연직배수공법 및 Pre-loading공법 등을 이용하여 압밀을 촉진시키는게 일반적이다. 하지만, Trafficability가 확보될 만큼의 표층강도 발현까지의 시간도 준설토의 종류나 매립 규모에 따라 최소 수개월에서 수년의 시간이 소요되기 때문에 준설토의 자중압밀을 촉진시켜 매립공사 공기의 단축은 물론, 시설비용이 많이 필요한 준설토 처분지의 경우 기존 처분지의 수명을 연장시킬 필요성이 대두된다.

이에 본 연구에서는, 준설토의 자중압밀을 촉진시키는 공법중 하나인 해상 연직배수공법(PDF공법, Plastic board Drain by Floating system)의 국내 준설토에 대한 적용성을 파악하기 위하여 무처리 상태의 경우와 국내 현장에서 많이 이용되고 있는 4가지 종류의 PBD가 미리 타설된 경우에 대하여 실내 자중압밀실험을 수행하였고 압밀 종료 후 준설토의 퇴적특성과 침도별 함수비 분포 양상을 분석하였다. 또한, 국내의 거의 모든 매립공사가 집중되어 있는 서해안과 남해안의 대표 준설토로서 공학적 특성이 상이한 서해안 실트와 남해안 점토를 대상으로 실험하여 준설토 종류에 따른 본 공법의 효과에 대하여 파악하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 준설토의 자중압밀특성

고함수비의 준설토는 그림 1과 같이 투기 후에 침강 단계를 거쳐 자중압밀단계로 진행된다. 침강단계에서의 현탁액 속 토립자는 초기에 입자간의 상호작용을 받지 않는 자유침강을 하다가 일정 시간이 경과하면서 토립자간의 상호작용으로 인한 Floc을 형성하게 된다. 또한, Floc이 모여 토체를 구성해 청등수와 현탁액 사이에 명확한 경계면을 형성하며 등속으로 계면이 침강한다. 침강과 동시에 하부에서는 퇴적이 발생하여 퇴적도가 하부에서부터 상승하고 현탁액의 계면과 일치하면 침강속도가 확연히 느려지면서 침강단계가 종료된다. 침강퇴적이 종료된 후에는 자중에 의한 압밀침하가 진행된다.

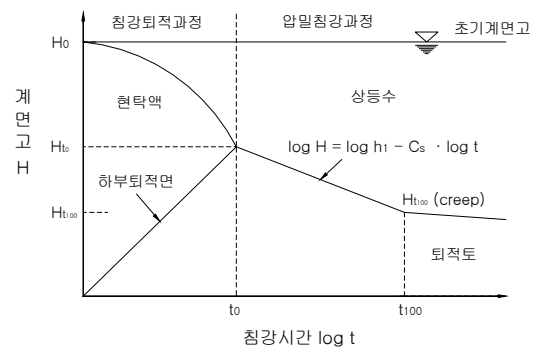


그림 1. 준설토의 침강압밀곡선

며 임의의 시점에서 압밀침하 속도가 매우 낮아지면서 자중압밀단계가 종료되고, Creep단계에 들어가게 된다.

이론적으로 침강단계와 자중압밀단계의 구분은 유효응력의 존재 유무로 결정해야하나 실제로 이것을 측정하는 것은 매우 어려우므로 침강압밀곡선에서 침강속도의 변화로 간접적으로 판단한다. 자중압밀의 시종점 결정은 학자마다 다소의 차이가 있지만 일반적으로 침강곡선에서 침강속도가 느려지는 변곡점으로 보고 있다. 또한, 그림 1에서와 같이 침강압밀곡선에서의 자중압밀 구간은 직선식의 관계가 있는데, 이 직선식을 자중압밀 산정식이라고 하며 식 (1)과 같이 표현한다. 자중압밀 산정식의 기울기를 침강압밀계수( $C_s$ )라고 한다(天野弘一郎(Yano), 1985).

$$\log H = \log h_1 - C_s \cdot \log t \quad (1)$$

$$C_s = \frac{\log(H_0/H)}{\log(t/t_0)} \quad (2)$$

### 2.2 해상 연직배수공법

초연약 상태의 준설토매립지반을 안정화시켜 공사를 빠르게 진행하기 위해서는 준설토매립지반에 대한 조기 안정화기술 및 표층처리기술 등이 요구된다. 이를 위해 준설토매립 직후 침강을 촉진시키는 공법들에 대한 개발이 계속되고 있으며, 해상 연직배수공법(PDF 공법, Plastic board Drain by Floating system)은 최신 자중압밀 촉진공법 중 하나이다. 해상 연직배수공법은 초연약지반 위 또는 해상에 Floater를 띄워 PBD를 직접 타설하는 공법으로, 준설토를 이용한 매립 직후나 매립도중에 연직드레인을 직접 타설할 수 있으므로 전체 매립공사 공기를 단축시킬 수 있다. 해상 연직배수공법의 자중압밀 촉진원리는 일반 연직배수공법과 마찬가지로

가지로 연직배수재를 이용하여 배수거리를 짧게 함으로써 자중압밀 종료시간을 단축시키는 것이다. 또한, 지하수위 저하공법과 함께 적용할 경우 자중압밀 촉진에 대한 효과 및 해저 원지반 층적토층의 추가적인 침하로 인한 준설토 투기용량 증대효과에 매우 효과적이며, 실제 일본에서는 이 공법들을 이용한 성공적인 시험 시공사례가 다수 소개되고 있다(한국지반공학회, 2004).

### 3. 실내 침강 및 자중압밀 실험

#### 3.1 개요

본 연구에서는 PBD가 미리 타설된 준설토의 자중압밀 촉진효과를 파악하기 위하여 무처리 상태의 경우와

표 1. 실험시료의 기본물성시험 결과

Sample	$G_s$	$w_n$	PI	#200 통과율	USCS
부산점토	2.70	57.6%	18.4%	91.8%	CL
인천실트	2.69	37.8%	N.P	86.3%	ML

국내에서 많이 이용되고 있는 4가지 종류의 PBD를 미리 타설한 경우에 대하여 실내 자중압밀실험을 수행하였다. 실험은 국내에서 준설·매립사업이 가장 활발히 진행되고 있는 남해안 지역의 점토와 서해안 지역의 실트를 각각 대표하여 부산 옹동지구에서 채취한 통일분류법 CL로 분류되는 점토와 인천신항 대상지역에서 채취한 통일분류법 ML로 분류되는 실트를 대상으로 실시하였다. 실험시료에 대한 기본물성시험 결과는 표 1에 나타내었다. 또한, 실험에 이용된 PBD는 필터 내에 코어의 형상에 따라 구분되는 H형 PBD, X형 PBD, 실린더형 PBD, 이중코어 PBD로 단면 형상은 그림 2에 나타냈다. 현장에서의 배수재 타설 간격을 1.2m로 한다는 가정으로 20cm Column 직경에 맞춰 10cm의 PBD폭을 1.3cm로 축소시켜 실험에 이용하였다.

실험 결과를 바탕으로 실제 현장에서의 준설토 침하거동을 예측해보기 위하여 天野弘一郎(Yano, 1985)가 제시한 전체투기에 의한 방법으로 해석하였으며, 현장조건은 계획투기고 12m, 준설토 투기일수 365일, 타설간격 1.2m

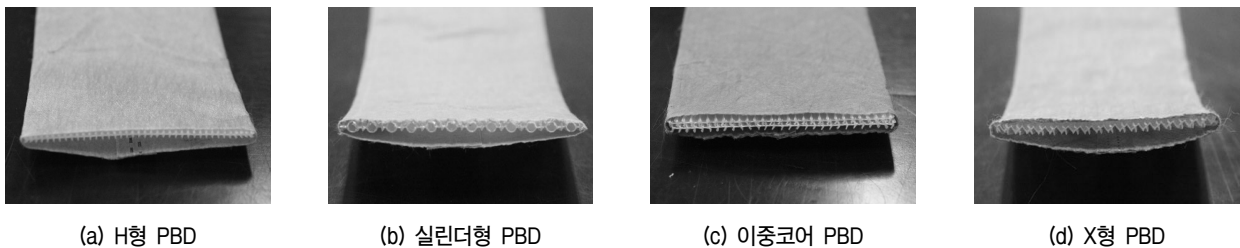
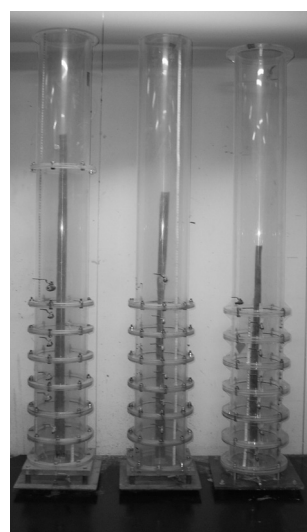
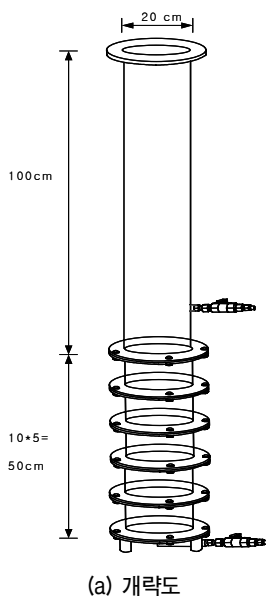
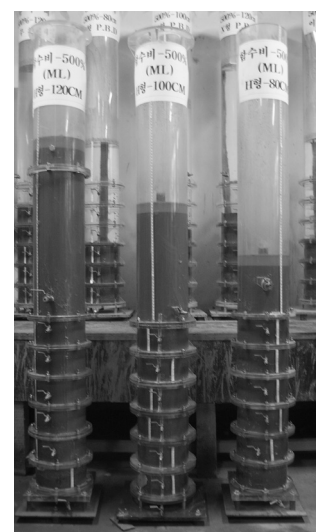


그림 2. 실험에 이용된 PBD의 종류



(b) 시료투기 전 설치된 PBD



(c) 시료투기 완료 후 모습

그림 3. 실험 장치

로 가정하였다. 실험은 초기함수비나 투기고에 의한 영향을 배제하고 배수재의 유무 및 준설토 종류에 따른 영향만을 고려하기 위하여 모든 경우에 동일하게 염분비 0.03으로 보정한 500%의 초기함수비에 80cm, 100cm, 120cm의 투기고로 수행하였다. 제조한 시료를 투기한 후 시간 경과에 따른 계면고의 변화를 측정하여 시간-계면고의 침강압밀곡선을 얻었으며, 자중압밀이 종료된 후에는 퇴적된 준설토에 대하여 심도별로 함수비를 측정하여 퇴적특성 분석 및 축진 메카니즘을 확인하였다.

### 3.2 실험 장치

준설토의 시간에 따른 계면고를 측정하기 위한 실내 자중압밀실험 장치는 Column형태로서 모습은 그림 3과 같다. 실험 장치는 준설토의 침강 및 자중압밀 특성을 관찰할 수 있도록 투명한 아크릴로 제작되었으며 크기는 직경 20cm, 높이 150cm이며 하부 50cm는 10cm 단위로 Column을 분리할 수 있도록 제작하여 자중압밀 종료 후의 함수비 및 단위중량 등을 심도별로 측정할 수 있도록 하였다. 침강 및 자중압밀 실험시 Column의 직경이 작을수록 Column 단면적에 비해 벽면이 차지하는 비율이 상대적으로 높아 배수가 빨리되어 계면 침강속도가 증가하는 벽면효과가 발생하지만 직경 20cm 이상인 경우에는 벽면효과가 확연히 줄어들어 자중압밀실험시 직경 20cm 이상의 Column을 사용해야 한다는 기존의 연구결과가 있다(한라대학교, 2000).

Column의 하부에는 클램프를 설치하여 PBD를 고정시킬 수 있도록 제작하였고 상부에는 낚시줄을 매달아 PBD 상부와 연결하여 실험 동안 PBD의 연직도를 유지할 수 있도록 하였다.

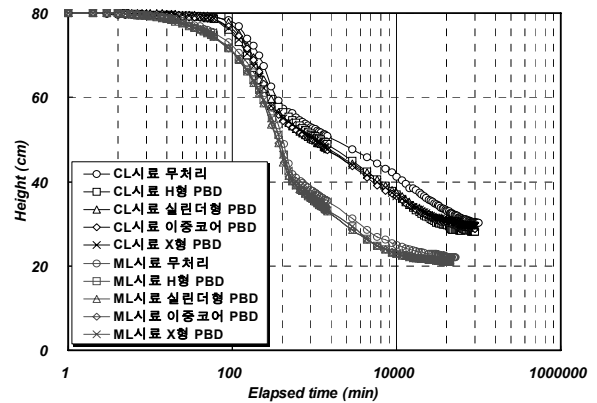
## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 침강압밀곡선

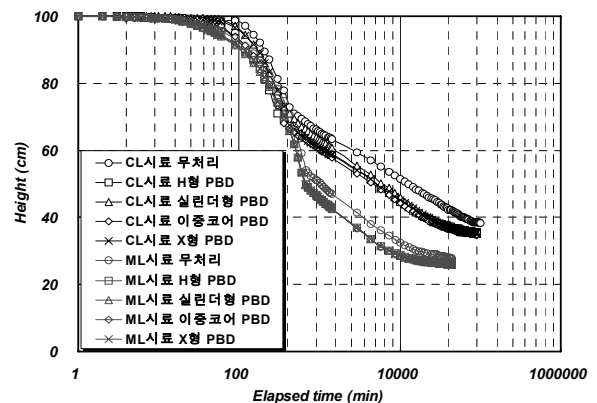
무처리 상태의 경우와 4가지의 PBD가 미리 타설된 조건의 경우에 대하여 각각 통일분류법 CL로 분류되는 부산지역 점토와 ML로 분류되는 인천지역 실트로 투기고 80cm, 100cm, 120cm로 침강 및 자중압밀실험을 실시하여 총 30개의 침강압밀곡선을 도시하여 그림 4에 나타냈다. 자중압밀의 시점 및 종점은 침강압밀곡선을 기준으로 침강속도의 변화가 생기는 변곡점으로

결정하였다.

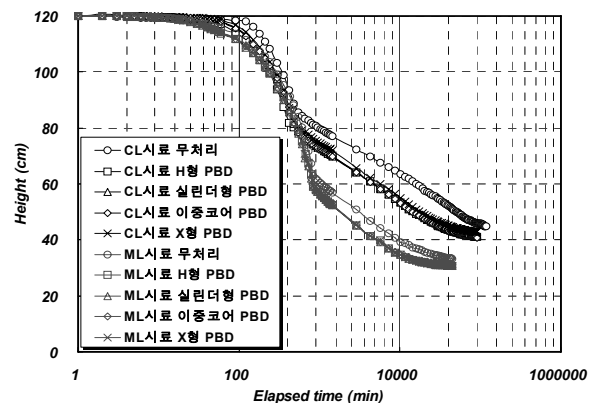
실험을 통해 얻어진 침강압밀곡선을 보면, CL시료는 ML시료에 비해 확연하게 짧은 침강단계와 긴 자중압밀단계를 경험하는 것으로 나타났다. ML시료의 경우 침강단계에서의 소요시간은 CL시료의 경우보다 평균 1.49배 더 길었으나, 자중압밀 종료까지의 총소요시간은 반대로 CL시료의 소요시간이 ML시료의 소요시간



(a) 투기고 80cm



(b) 투기고 100cm



(c) 투기고 120cm

그림 4. 침강압밀곡선(초기투기고 120cm)

간에 비해 평균 2.97배 더 길었다.

또한, 전체 침하량 중 침강에 의한 침하량이 차지하는 비율이 CL시료의 경우보다 ML시료의 경우가 확연히 큰 것을 확인할 수 있었다. 전체 침하량 중 CL시료는 약 51% 정도의 침하량이 침강에 의한 침하량이었으며, ML시료는 약 70% 정도의 침하량이 침강에 의한 침하량이었다. 이런 경향들을 통해, 실제 준설·매립을 통한 해양부지 조성시 서해안의 실트질 준설토를 이용할 경우 남해안의 점토질 준설토를 이용하는 경우보다 더 짧은 공기를 가질 수 있으나, 계획 투기 고형성까지 더 많은 준설물량이 필요하다는 것을 유추할 수 있다.

## 4.2 PBD에 의한 자중압밀 촉진효과

### 4.2.1 침강속도

실제 준설매립시 투기된 준설토의 침강속도가 수위의 증가속도보다 커야만 준설 슬러리가 침강되지 못한 상태에서 여수토로 월류되지 않고 침강이 발생할 수 있으므로 빠른 침강속도는 유보율을 높여 시공조건을

유리하게 만들 수 있다. 침강속도는 침강압밀곡선에서 투기시점부터 침강종료시점까지의 시간에 따른 계면고 변화를 통해 산정할 수 있다. 즉, 침강압밀곡선을 통해 침강속도의 변곡점으로 침강구간과 자중압밀구간을 구분하고 이중 침강부분의 기울기가 바로 침강속도가 되는 것이다. 고함수비 준설토의 침강은 현탁액 속 토립자간의 상호작용을 받지 않는 자유침강단계를 거쳐 일정 시간의 경과 후 토립자간의 상호작용으로 Floc을 형성하고, 이들이 모여 토체를 구성하여 청등수와 현탁액 사이에 명확한 경계면을 형성하며 가라앉는다. 일반적으로 침강속도는 Floc을 형성하는데 비교적 오랜 시간이 소요되는 CL시료에 비하여 ML시료가 빠르며, 본 연구의 실험결과에서도 이를 확인할 수 있었다. 무처리 상태에서의 ML시료의 평균 침강속도는 0.0636cm/min으로 CL시료의 0.0585cm/min보다 약 8.7% 빨랐지만, 배수재가 설치된 상태에서는 두 경우의 평균 침강속도는 ML시료 0.0791cm/min(24% 상승), CL시료 0.0786cm/min(34% 상승)로 거의 비슷해지는 것을 확인하였다. 배수재는 H형 PBD가 타설된 경우의

표 2. 실험조건에 따른 침강단계 소요시간 및 침강침하량

조건	침강종료시점	무처리	H형	실린더형	이중코어	X형
CL 120cm	시간 (min)	600 ( $t_1$ )	480	600	600	540
	시간 / $t_1$	1	0.8	1	1	0.9
	침하량 (cm)	35.6 ( $s_1$ )	39.9	42.4	42.8	39.95
	침하량 / $s_1$	1	1.12	1.19	1.20	1.12
CL 100cm	시간 (min)	480 ( $t_1$ )	360	420	420	480
	시간 / $t_1$	1	0.75	0.875	0.875	1
	침하량 (cm)	29 ( $s_1$ )	31.3	29.1	33.4	33.9
	침하량 / $s_1$	1	1.08	1.003	1.15	1.17
CL 80cm	시간 (min)	420 ( $t_1$ )	300	360	360	360
	시간 / $t_1$	1	0.71	0.86	0.86	0.86
	침하량 (cm)	22.6 ( $s_1$ )	20.3	23.5	24.25	23.7
	침하량 / $s_1$	1	0.90	1.04	1.07	1.05
ML 120cm	시간 (min)	840 ( $t_1$ )	840	900	840	840
	시간 / $t_1$	1	1	1.07	1	1
	침하량 (cm)	57 ( $s_1$ )	60.8	62.1	60.85	60.85
	침하량 / $s_1$	1	1.07	1.09	1.07	1.07
ML 100cm	시간 (min)	660 ( $t_1$ )	660	660	660	660
	시간 / $t_1$	1	1	1	1	1
	침하량 (cm)	45.9 ( $s_1$ )	50.2	50.4	50.4	50.4
	침하량 / $s_1$	1	1.09	1.10	1.10	1.10
ML 80cm	시간 (min)	540 ( $t_1$ )	540	480	480	480
	시간 / $t_1$	1	1	0.89	0.89	0.89
	침하량 (cm)	38.15 ( $s_1$ )	39.9	38.71	38.75	38.75
	침하량 / $s_1$	1	1.05	1.02	1.02	1.02

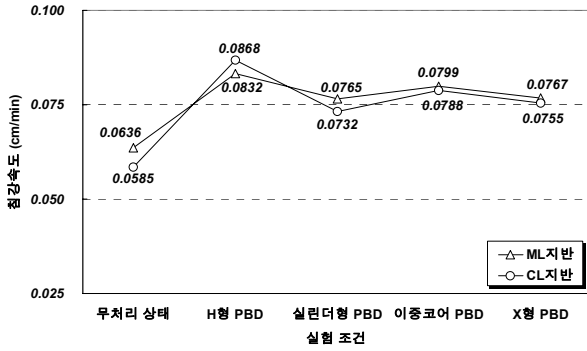


그림 5. 실험조건에 따른 침강속도 변화

침강속도가 CL시료에서 0.0868cm/min(48% 상승), ML시료에서 0.0832cm/min(31% 상승)로 가장 빠른 침강속도를 보였다. 각 실험조건에 따른 침강속도에 관한 실험결과들은 그림 5와 표 2에 정리하였다.

#### 4.2.2 자중압밀 종료시점

침강압밀곡선의 자중압밀구간에서의 속도변화를 통하여 자중압밀과 Creep단계를 구분하여 자중압밀 종

점을 산정했다. 각 실험조건에 따른 자중압밀 종료시간 및 최종침하량을 표 3에 정리하였으며, 무처리 경우와 비교해 PBD가 미리 타설된 경우의 자중압밀 촉진효과를 검증하기 위하여 무처리 상태의 자중압밀 종료시간을  $t_1$ , 자중압밀 총 침하량을  $s_1$ 으로 기준을 잡아서, PBD가 미리 타설된 경우에서의 자중압밀 종료까지의 소요시간 및 침하량들과 비교하였다.

실험분석 결과, 비소성 ML시료의 자중압밀 종료시점이 CL시료에 비하여 매우 빨랐으며, 압밀 변형률 ( $\frac{\Delta H}{H}$ ) 역시 큰 것을 확인했다. CL시료의 경우 무처리 상태에서 평균 61%의 압밀 변형률을 보였으며 배수재가 설치된 상태에서는 62~63%의 압밀 변형률을 보여 무처리 상태에 비해 소폭의 압밀 침하량 증대를 확인할 수 있었다. 자중압밀 종료시간의 경우는 무처리 상태에 비해 평균 52% 정도의 시간만이 소요되어 약 1.92배 정도의 자중압밀 촉진효과를 확인하여 PBD를 미리 타설함으로써 자중압밀 촉진에 상당한 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다.

ML시료의 경우 무처리 상태에서 평균 71%의 압밀

표 3. 실험조건에 따른 자중압밀 종료시간 및 최종침하량

조건	자중압밀종료시점	무처리	H형	실린더형	이중코어	X형
CL 120cm	시간 (min)	76380 ( $t_1$ )	46260	41870	45120	43200
	시간 / $t_1$	1	0.61	0.55	0.59	0.57
	침하량 (cm)	73.3 ( $s_1$ )	77.1	76.4	77.1	75.8
	침하량 / $s_1$	1	1.05	1.04	1.05	1.03
CL 100cm	시간 (min)	66255 ( $t_1$ )	30240	40320	30240	36120
	시간 / $t_1$	1	0.46	0.61	0.46	0.55
	침하량 (cm)	60.45 ( $s_1$ )	62	63	62.5	62.7
	침하량 / $s_1$	1	1.03	1.04	1.03	1.04
CL 80cm	시간 (min)	60480 ( $t_1$ )	30240	28880	28880	27420
	시간 / $t_1$	1	0.5	0.48	0.48	0.45
	침하량 (cm)	48.7 ( $s_1$ )	49.7	48.4	48.95	48.3
	침하량 / $s_1$	1	1.02	0.99	1.01	0.99
ML 120cm	시간 (min)	24480 ( $t_1$ )	15855	15855	15855	15855
	시간 / $t_1$	1	0.65	0.65	0.65	0.65
	침하량 (cm)	85 ( $s_1$ )	87.6	87.22	87.25	87.25
	침하량 / $s_1$	1	1.03	1.03	1.03	1.03
ML 100cm	시간 (min)	17160 ( $t_1$ )	12960	12960	12960	12960
	시간 / $t_1$	1	0.76	0.76	0.76	0.76
	침하량 (cm)	70.1 ( $s_1$ )	72.3	72.38	72.4	72.4
	침하량 / $s_1$	1	1.03	1.03	1.03	1.03
ML 80cm	시간 (min)	17160 ( $t_1$ )	11540	11540	11540	11540
	시간 / $t_1$	1	0.67	0.67	0.67	0.67
	침하량 (cm)	56.5 ( $s_1$ )	57.5	57.48	57.5	57.5
	침하량 / $s_1$	1	1.02	1.02	1.02	1.02

변형률을 보였으며 배수재가 설치된 상태에서는 72%의 압밀 변형률을 보여 CL시료의 경우와 비슷한 정도의 압밀 침하량 증대효과를 확인하였다. 자중압밀 종료시간은 무처리 상태에 비해 평균 69% 정도의 시간만이 소요되어 약 1.45배 정도의 자중압밀 촉진효과를 확인하였다.

#### 4.2.3 침강압밀계수( $C_s$ )

天野弘一郎(Yano, 1985)이 제안한 침강압밀계수( $C_s$ )는 침강압밀곡선에서 자중압밀 시점과 종점 사이에 직선의 기울기로서 Curve fitting을 통해 산정할 수 있다. 침강압밀계수가 크다는 것은 자중압밀 진행속도가 빠르고 자중압밀 침하량이 크다는 것을 의미하며, 이를 이용하여 투기 완료 후의 경과시간에 대한 자중압밀 침하량을 예측할 수 있다. 실험결과, 더 큰 자중압밀 침하량이 더 짧은 시간 안에 완료된 ML시료의 침강압밀계수가 CL시료의 것보다 약 44% 정도 크게 산정되었다. CL시료의 경우 무처리 상태에서 0.12096cm/min으로 침강압밀계수가 산정되었으며, 배수재가 설치되었을 경우에는 평균 0.13605cm/min으로 산정되어 약 12% 정도의 증대효과를 확인할 수 있었다. ML시료의 경우에는 무처리 상태에서 0.17438cm/min, 배수재가 설치되었을 경우에는 평균 0.19618cm/min으로 역시 12% 정도의 증대효과를 확인할 수 있었다. 그림 6에 각 실험조건에 따른 침강압밀계수를 나타냈다.

#### 4.2.4 Yano방법에 의한 전체투기방법 해석

실제 현장에서 본 연구의 대상 준설토를 이용하여 매립을 할 경우 시간 경과에 따른 준설토의 거동을 Yano(天野弘一郎)가 제안한 전체투기 해석방법을 통하여 예측해 보았다. 현장 조건은 CL시료, ML시료에

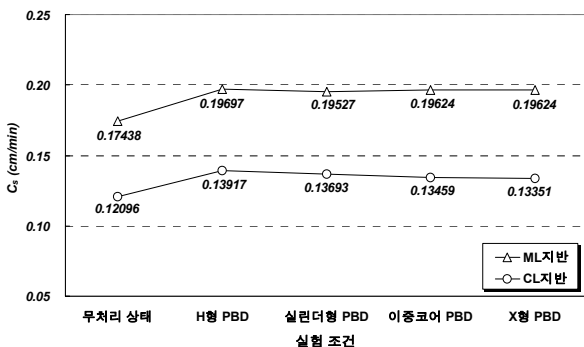


그림 6. 실험조건에 따른 침강압밀계수( $C_s$ ) 변화

모두 동일하게 호안 내 목표 투기고 12m, 투기일수 365일, PBD 타설간격 1.2m로 가정하였다. 실제 계면고( $H$ )와 실질토량고( $H_s$ ) 사이의 관계( $H_s = \frac{H}{1+e}$ )를 이용하여 80cm, 100cm, 120cm로 각기 다른 투기고에 대한 실험에서 결정된 자중압밀 시·종점의 실질토량고와 계면고를 대수눈금으로 Plotting하여 직선식을 얻고 이 직선식을 이용하여 투기완료 후 경과시간에 대한 자중압밀 침하거동을 예측하였다. 해석결과, 투기완료 후 3년이 지나면, CL지반은 무처리 상태의 경우 1.85m 정도의 자중압밀 침하가 발생하여 10.15m의 계면고를 형성할 것으로 예측되었으며, 해상 연직배수공법을 적용하였을 경우에는 배수재 종류에 따라 10~14% 정도의 자중압밀 침하가 동일한 시간동안 더 발생하는 것으로 예측되었다. 또한, ML지반은 무처리 상태에서 2.58m의 자중압밀 침하가 발생하여 9.42m의 계면고를 형성할 것으로 예측되었으며, 해상 연직배수공법을 적용하였을 경우에는 배수재 종류에 따라 9~11% 정도의 자중압밀 침하가 동일한 시간동안 더 발생하는 것으로 예측되었다. 투기일수 365일 후 초기 매립고 12m 조성 후의 각 조건별로 시간경과에 따른 자중압밀 침하거동 예측결과를 그림 7에 나타냈다.

#### 4.3 자중압밀 종료 후 심도별 함수비

침강압밀곡선에서 자중압밀이 종료되어 계면고가 시간축에 평행하게 Creep거동하는 것을 확인한 후 실험을 종료하였고 퇴적층에 대하여 그림 7(a)와 같이 동일 심도별로 배수재 근처의 Column 중앙부분(Center)과 Column 가장자리 부분(Edge)에서의 함수비를 비교하여 차이를 확인하였다. 상향 일면배수만을 허용하는

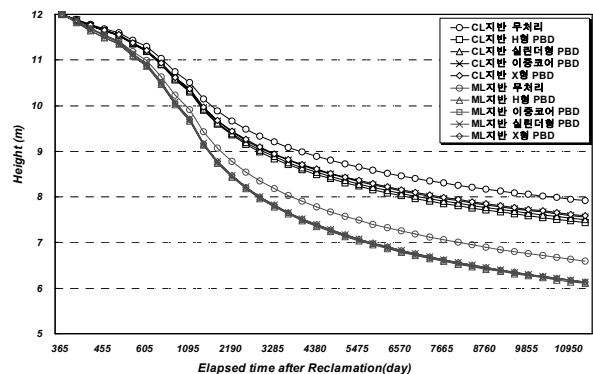
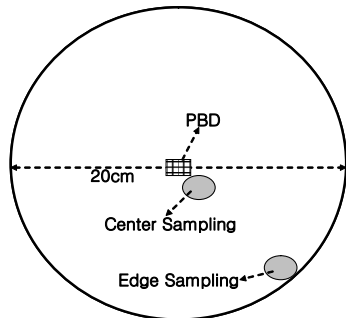


그림 7. 실험조건에 따른 자중압밀 침하거동 예측(Yano 해석)

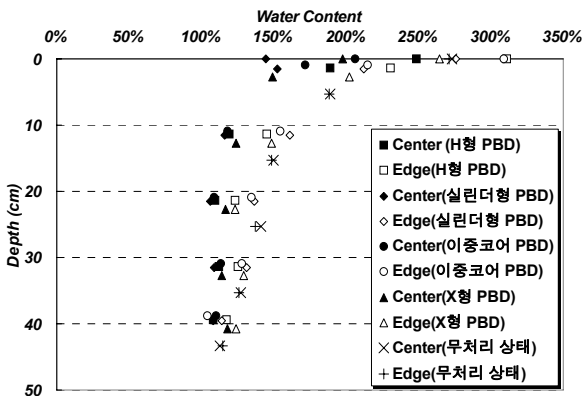
실험의 특성상 모든 경우에서 동일하게 상부에서 하부로 심도가 깊어짐에 따라 함수비가 감소하는 특징을 보였으며, 동일 심도에서는 Column의 중앙과 가장자리의 함수비 차이가 없었던 무처리 상태의 경우에 비해 PBD가 미리 타설된 모든 경우에는 PBD 근처 중앙부에서의 함수비가 가장자리에서의 함수비에 비하여 확연하게 낮음을 확인하였다. ML시료의 경우 함수비가 가장 낮은 하부에서는 원지반 함수비 37.8%보다도 낮은 31%~35%의 분포를 나타냈으며, 중앙부와 가장자리의 함수비에 차이가 거의 나지 않았다. 하부

에서 상부로 올라갈수록 함수비가 현저히 높아졌으며 가장 심도가 얇은 최상부 표층부분에서의 함수비는 204%~363%로 분포가 커졌으며, 중앙부와 가장자리에서의 함수비도 85%~87% 정도 차이가 났다. CL시료의 경우 하부에서의 함수비는 104%~124%의 범위로 분포하여 ML시료에 비해 높은 함수비 분포를 나타냈으며, 원지반 함수비 57.6%에 비해서도 매우 높았다. ML시료에서와 마찬가지로 상부로 올라갈수록 함수비는 높아졌으며 최상부 표층부분에서의 함수비는 145%~311%의 분포를 가졌으며, 중앙부와 가장자리에서의 함수비 차이도 63%~131%로 ML시료에 비해 차이가 크게 나타났다.

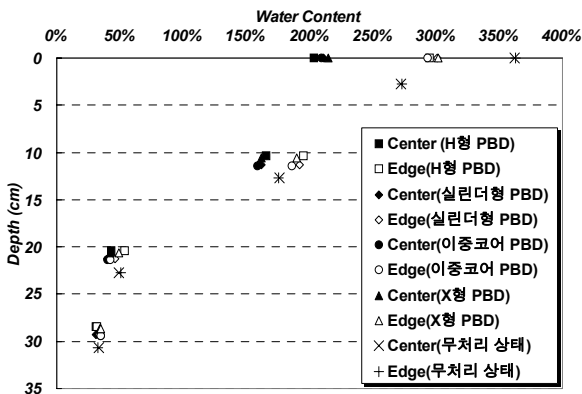
이와 같은 심도별, 실험조건별 함수비 분포를 통해 PBD를 따라 준설토 내의 간극수가 빨리 배수되어 자중압밀이 촉진되는 해상 연직배수공법의 메카니즘을 확인할 수 있었다. 그림 8에 대표적으로 초기투기 120cm에 대한 자중압밀 종료 후의 심도별 함수비 분포를 나타냈다.



(a) 자중압밀 종료 후 함수비 Sampling 위치



(b) CL시료 함수비 분포



(c) ML시료 함수비 분포

그림 8. 자중압밀 종료 후 심도별 함수비 분포(초기투기 120cm)

## 5. 결론

본 연구에서는 해상 연직배수공법(PDF공법, Plastic board Drain by Floating system)의 자중압밀 촉진효과를 국내 준설토에 대한 실내 자중압밀 실험을 통해 파악하였다. 실험결과를 통한 결론을 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 무처리 상태에 비하여 PBD가 설치된 경우의 평균 침강속도가 CL시료의 경우 약 34%, ML시료의 경우 약 24% 정도의 평균적인 상승효과가 있었으며, CL시료에서 48%, ML시료에서 31%의 최대 상승효과를 보인 H형 PBD가 설치된 경우에서의 침강속도 상승효과가 가장 높았다.
- (2) 무처리 상태에 비하여 PBD가 설치된 경우의 자중압밀 변형률은 CL시료와 ML시료의 경우에서 동일하게 약 1~2%의 증대효과가 있었으나, 자중압밀 종료까지의 소요시간은 무처리 상태에 비하여 CL시료의 경우 약 52%, ML시료의 경우 69%정도만이 소요되어 PBD를 투기 전 타설하는 것으로 자중압밀이 촉진되는 효과를 확인하였다.
- (3) 무처리 상태에 비하여 PBD가 설치된 경우의 침강압밀계수는 CL시료와 ML시료의 경우에서 동일하



계 약 12%정도의 증대효과를 확인하였다.

- (4) 목표 투기고 12m, 투기일수 365일, PBD 타설간격 1.2m로 가정하여 자중압밀 침하거동을 Yano의 진체투기 방법으로 해석한 결과, 투기 완료 3년 후에 해상 연직배수공법을 적용하면 무처리 상태에 비하여 자중압밀이 촉진되어 CL지반의 경우 약 10~14%정도, ML지반의 경우 9~11% 정도의 자중압밀 침하가 동일 방치기간 동안 더 발생할 것으로 예측되었다.
- (5) 자중압밀 종료 후 퇴적토에 대한 심도별 함수비 시험결과, PBD가 설치된 모든 경우에서 PBD 근처 중앙부분의 함수비가 PBD에서 멀리 떨어진 가장자리 부분의 함수비에 비하여 현저하게 낮음을 확인하여, 타설된 PBD를 따라 준설토의 간극수가 빠르게 배수되어 자중압밀이 촉진되는 것을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 김재영 등 (2005), “준설매립지의 압밀촉진과 투기량 증대를 위한 지하수위 저하공법과 PDF공법의 적용”, *地盤* Vol.21, No.8, pp.18-24.
2. 이용 (2001), *연직배수재를 이용한 준설점성토의 자중압밀 촉진 효과*, 석사학위논문, 중앙대학교, pp.42-44.
3. 한국지반공학회 (2004), *지반공학시리즈 준설매립*, 구미서관, 서울, pp.38-41.
4. 한라대학교 (2000), *준설투기장의 규모설계 및 준설매립토의 자중압밀침하에 관한 연구(최종 보고서)*, 현대건설주식회사 기술연구소, pp.68-71.
5. 天野弘一郎 (1985), “浚渫粘土による軟弱埋立地盤の性状とその豫測”, *土木學會 論文集*, 第 364號, pp.1-14.
6. Been, K. and Sills, G. C. (1981), “Self-weight consolidation of soft soils : An experiment and theoretical study”, *Geotechnique*, 31, pp.519-535.
7. K. Sato and N. Yoshida (2000), “Self-weight consolidation of dredged clay with plastic board drain”, *The International Symposium on Coastal Geotechnical Engineering in Practice*, A. Nakase and T. Tsuchida ed., Yokohama, pp.501-506.

(접수일자 2009. 7. 27, 심사완료일 2009. 12. 8)