

준설토의 압밀촉진 및 투기용량 증대

Acceleration of Consolidation and Reclamation Capacity Increase of Dredged Soil

이 범 준¹ Lee, Bum-Jun
박 민 철² Park, Min-Chul
이 송³ Lee, Song

Abstract

To solve the problem of saturated dredged soil dumping area, it is possible to extend the life span of dredged soil dumping area by accelerating consolidation of dredged soil and making alluvial soil layer consolidated additionally by using dewatering method and PDF method without construction of new dumping area which entails great expense. Self-weight consolidation tests on samples from Busan and Incheon with the column of 400 mm in diameter were conducted to estimate those methods applicability to domestic dredged soil. As a result of tests, it was proved that dewatering method and PDF method were highly effective in increasing reclamation capacity of dredged soil by reduction of self-weight consolidation completion time and increase of self-weight consolidation settlement.

요 지

현재 포화 상태인 준설토 투기장의 문제를 해결하기 위해 지하수위 저하공법과 PDF공법(Plastic board Drain by Floating system)을 적용하여 투기된 준설토의 압밀을 촉진시키고 원지반 토층을 추가적으로 압밀시켜 많은 비용이 드는 준설토 투기장의 신설 없이 투기장 수명을 연장시킬 수 있다. 아직까지 국내에서는 시공실적이 없는 두 공법의 국내 준설토에 대한 적용성을 평가하기 위하여 400mm 직경의 컬럼을 이용한 침강 및 자중압밀시험을 부산과 인천지역에서 채취한 준설시료에 대하여 수행하였다. 시험결과, 두 공법의 적용으로 압밀시간을 단축시키고 침하량을 증대시켜 준설토 투기용량 증대에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

Keywords : Dewatering method, PDF method, Reclamation capacity increase, Self-weight consolidation acceleration

1. 서 론

항만의 규모가 대형화됨에 따라 항만을 출입하는 선박의 크기도 대형화되면서 더욱 깊은 항만수심이 요구된다. 이에 따라, 항로의 생성 및 수심확보를 위한 항로 준설 및 유지준설이 지속적으로 수행되고 있으며 이로

인한 준설토는 꾸준히 발생되고 있다. 지속적으로 발생하는 많은 양의 준설토를 과거에는 해안에서 멀리 떨어진 바다에 의해 투기하여 처리 했었으나, 해양환경 훼손 등의 문제로 최근에는 대부분의 항만 인근에 준설토 투기장을 건설하여 발생하는 준설토를 처리하고 있다. 하지만, 준설토 투기장의 조성에는 많은 비용과 시간이

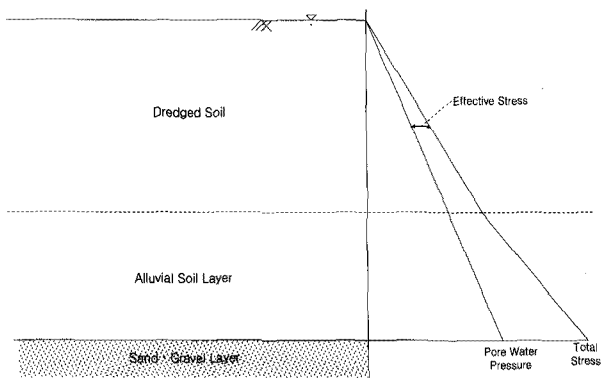
1 정회원, (주)삼안 토질부 (Member, Dept. of Geotechnical Engrg. Saman Engrg. Consultant)

2 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Ph.D Candidate, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)

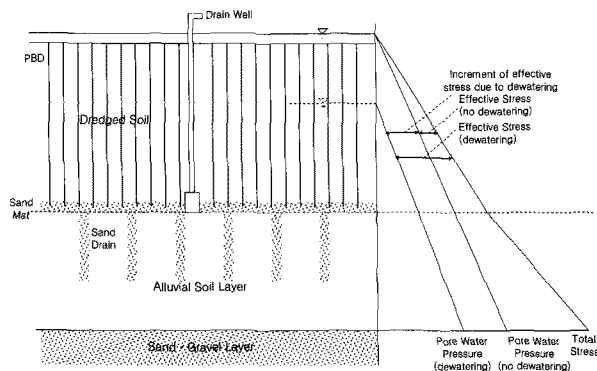
3 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2011년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

요구되므로 추가적인 건설에 많은 제약이 따른다. 일본에서는 이에 대한 처리방안으로서 준설토 투기 전 해상에 PVD를 설치하여 준설토의 자중압밀 촉진시킨 사례와(K. Sato와 Yosihda, 2000) 지하수위 저하공법과 PDF공법을 이용하여 준설토의 자중압밀을 촉진시키고 투기용량을 증대시킨 사례 등이 소개되고 있다(김재영, 2005). 그러나 준설토의 침강 및 자중압밀 특성은 원지반의 종류에 따라 매우 상이하므로 위와 같은 촉진공법들의 국내 도입 시 기대되는 효과는 일본에서의 시공 실적과는 크게 다를 수도 있다. 이에 본 연구에서는 지하수위 저하공법과 PDF공법의 국내 준설토에 대한 적용성을 파악하기 위하여 실내모형시험 장비를 고안·제작하여 무처리 상태의 경우와 PDF공법만 적용한 경우, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 같이 적용한 경우에 대하여 부산신향과 인천신향 인근에서 채취한 시료를 대상으로 실내 자중압밀시험을 수행하였다. 실험결과를 이용하여, 각 경우에 대한 자중압밀 종료시간과 자중압밀 침하량, 원지반 토층의 침하량 등을 비교·분석하였다.



(a) 무처리 상태 경우

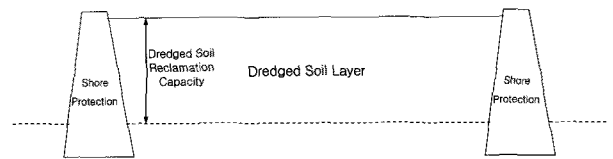


(b) 지하수위 저하공법과 PDF공법 적용한 경우

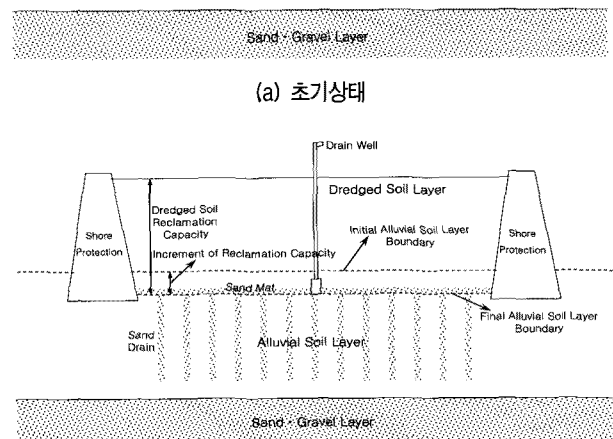
그림 1. 지하수위 저하공법과 PDF공법의 원리

2. 지하수위 저하공법과 PDF공법

일본 Osaka Port 북부에서 재하중을 사용하지 않고 지하수위 저하공법과 PDF공법을 병행하여 압밀침하를 촉진시킨 시험시공사례가 있다. 지하수위 저하공법과 PDF공법의 압밀침하 원리는 그림 1과 같으며, 공법의 시공순서는 다음과 같다. 우선, 해저 원지반 층적토층 위에 샌드 매트(Sand Mat)를 포설한 후 샌드 드레인(Sand Drain)을 타설한다. 그 위에 배수용 배수정을 설치한 후 준설토를 투입하고 준설토의 투입이 종료된 시점에서 준설토 표층수면에 부유선을 띄워 준설토층 내에 PVD(Prefabricated Vertical Drain)를 타설한다(한국지반공학회, 2004). 이 부유선은 주행성을 확보할 수 없는 표층면 위에서도 타설이 가능한 특수장비이다(이와 같은 공법을 PDF공법이라고 한다). 다음으로 배수정을 이동시키면서 준설토 내의 수위를 저하시키면 PVD에 의해 배수거리가 짧아지게 되므로 상재하중의 재하 없이도 준설토의 압밀촉진이 가능해지며, 원지반 층적토층 내에 타설된 샌드 드레인(Sand Drain)과 준설토의 자중, 수위저하에 의한 유효응력 증대로 인해 원지반 층적토층의 압밀이 추가적으로 발생하게 되어 그림 2와 같이 준설토 투기장 투기용량이 증대된다.



(a) 초기상태



(b) 최종상태

그림 2. 지하수위 저하공법과 PDF공법 적용으로 인한 투기용량 증대

3. 실내 자중압밀시험

3.1 실험 개요 및 방법

본 연구에서는 지하수위 저하공법과 PDF공법을 병행했을 경우 기대되는 자중압밀 촉진 및 투기용량 증대의 효과를 파악하기 위해 고안·제작된 실내모형시험 장비를 이용하여 무처리 상태의 경우와 PDF공법만 적용한 경우, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 함께 적용한 경우에 대하여 부산신항과 인천신항 인근에서 채취한 시료를 대상으로 실내 자중압밀시험을 수행하였다. 시험시료의 기본물성시험 결과는 표 1과 같으며, 실제 폭 100mm, 두께 3mm인 하모니카 모양 코어의 H형 PVD를 1.2m의 간격으로 타설한다는 가정으로 380mm의 컬럼 내경에 따라 Scale Effect를 고려하여 Rixner et al(1986)가 제안한 등가원형단면 환산식을 근거로 30mm의 폭으로 축소시켜 시험에 이용하였다.

시험시료의 초기함수비는 염분비 0.03으로 보정한 500%로 결정하였으며, 준설토 투기 전 PVD를 미리 설치한 후 자중압밀의 촉진효과 뿐만 아니라 원지반 충전토층의 침하로 인한 투기용량 증대효과를 확인해보기 위해 컬럼 하부에 함수비 70%의 원지반 준설토를 정확한 단위중량에 맞추어 무게를 측정 후 300mm의 일정한 높이로 조성하여 해저 원지반 충전토층을 모사했다. 준설토(500%)의 투기는 현장에서의 시공과정을 유사하게 모사하기 위하여 전체투기방법이 아닌 단계투기방법을 채택하였으며 앞서 300mm의 높이로 조성된 원지반 충전토층 상부에 준설토 시료를 1일 단위로 단계투기 하여 최종단계 계획 투기고가 1000mm가 되도록 하였다. 투기속도는 400mm/day로 하였으며, 2단계 투기 이후부터는 전단계에서 투기된 준설토 시료가 침강하면서 흡입자와 분리된 상등수를 제거한 후 투기하여 실제 준설패립현장에서 준설토 투기시 여수로를 통해 상등수가 여수되는 시공과정을 모사하였다. 계획 투기고 1000mm에 도달한 후에는 Suction Pump를 이용하여 최고압력 -100kPa로 수위를 저하시키면서 자중압밀 침하거동을

관측하였고, 자중압밀의 종료시점은 반대수 눈금으로 표현한 침강압밀곡선(시간-계면고)에서 Creep거동의 시작점으로 판별하였다. 또한, 준설토의 퇴적특성을 파악하기 위해 그림 3과 같이 자중압밀 종료 후에 심도별, PVD로부터의 거리별로 시료를 채취하여 함수비를 측정하였다.

3.2 실험 장비

준설토의 시간에 따른 계면고를 측정하기 위한 실내 자중압밀시험 장비는 컬럼 형태로서 모습은 그림 4와 같다. 실험 장치는 준설토의 침강 및 자중압밀 거동을 육안으로 관찰할 수 있도록 투명한 아크릴로 직경 400mm, 높이 2000mm의 크기로 제작하였고, 컬럼의 하부는 알루미늄으로 제작하여 바닥중앙에는 PVD를 고정시킬 수 있는 클램프를 설치하였다. 컬럼 상부에는 와이어줄로 PVD를 연결하여 실험기간 동안 PVD의 수직도를 유지할 수 있도록 하였으며, PVD가 설치되는 클램프 하부에는 배수구를 만들어 Suction Pump를 통한 하방향 배수가 가능하도록 제작하였다. 또한, 컬럼 바닥으로부터 각각 400mm, 500mm, 600mm 높이에서의 수압을 측정할 수 있도록 간극수압계(0~7bar)를 설치하여 이를 컴퓨터와 연결시켜 실시간으로 측정되는 수압을 컴퓨터에

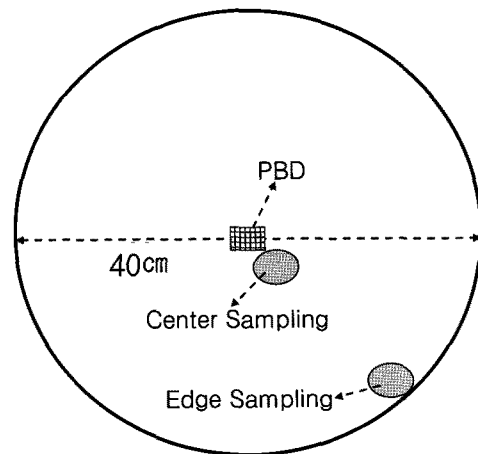
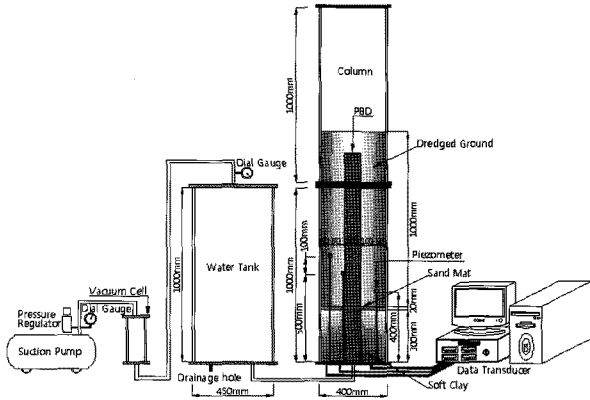


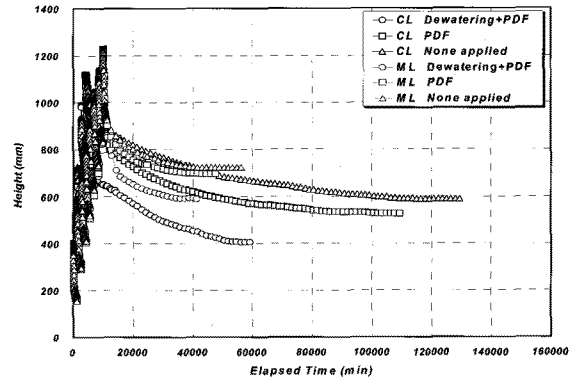
그림 3. 자중압밀 종료 후 함수비시험 측정 위치

표 1. 실험시료의 기본물성시험 결과

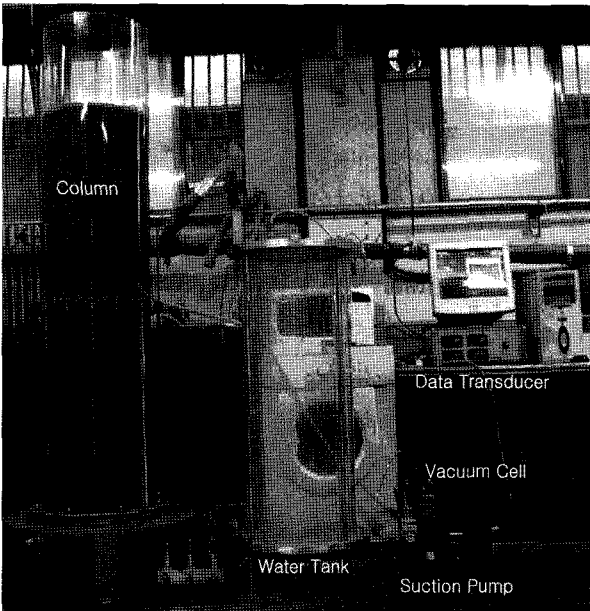
Sample	G _s	w _n	LL	PL	PI	#200 통과율	USCS
부산점토(준설토)	2.70	57.6%	31.2%	12.8%	18.4%	91.8%	CL
인천실트(준설토)	2.69	37.8%	-	-	N.P	86.3%	ML
원지반(충적토)	2.70	56.0%	30.9%	12.2%	18.7%	92.1%	CL



(a) 실험 장비 개략도

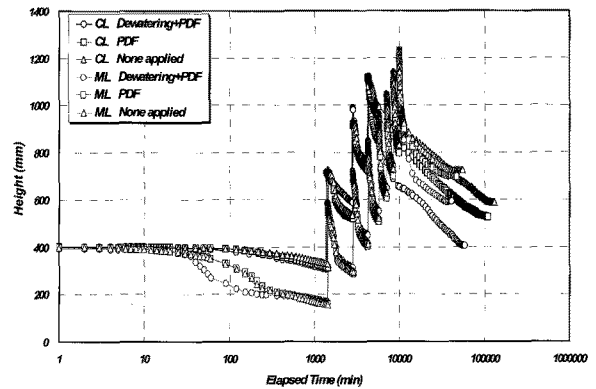


(a) 경과시간(t) - 계면고(H)



(b) 실험 장치 사진

그림 4. 실험 장비



(b) 경과시간(logt) - 계면고(H)

그림 5. 시간경과에 따른 계면고 변화

자동저장 되도록 하였다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 시간경과에 따른 계면고 변화

지하수위 저하공법과 PDF공법을 적용했을 경우 기대되는 준설토의 자중압밀 촉진효과 및 투기용량 증대 효과를 검증하기 위하여 실내 자중압밀시험을 무처리 상태의 경우, PDF공법만을 적용한 경우, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우에 대하여 수행하였다. 계면고 측정은 청등수와 준설토의 경계면을 육안으로 관측하여 일정 시간 단위로 기록하였고, 자중압밀

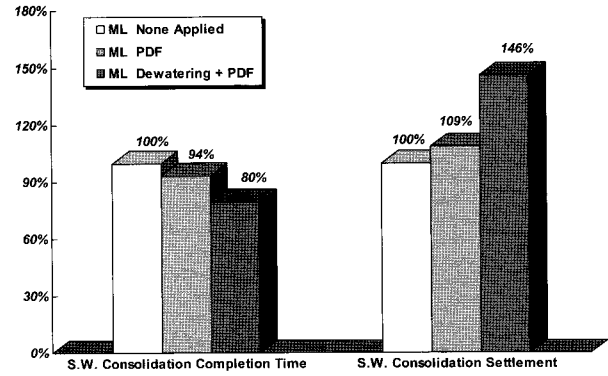
의 종료시점은 침강압밀곡선에서 속도의 변화를 보고 결정하였다. 따라서 그림 5의 (b)와 같이 횡축인 시간축을 대수눈금으로 표현한 침강압밀곡선에서의 시간축과 평행한 거동을 보이는 Creep단계가 시작되는 시점으로 결정하였다.

실험 결과, ML시료는 CL시료에 비해 짧은 시간 안에 자중압밀과정이 모두 종료되었고, 자중압밀 침하량도 보다 크게 발생했다. 전체 압밀침하량 중 침강압밀이 차지하는 비율도 ML시료가 CL시료에 비해 높았다. 두 시료의 준설토 투기용량을 비교하기 위해 계획 투기고를 1000mm로 정하였고, 이를 위해 CL시료의 경우, 400mm/day의 투기속도로 총 4회의 투기가 실시되었으며, ML시료의 경우 같은 투기속도로 총 8회의 투기가 실시되어 2배 정도의 투기량 차이를 보였다. 이는 ML시료는 투기 후 1일 이내에 종료되는 침강과정에서 침하되는 비율이 상대적으로 높기 때문에 퇴적고 상승속도가 CL시료에 비해 느려 계획 투기고 형성에 더 많은 양의 준설토가 투기된 것이다.

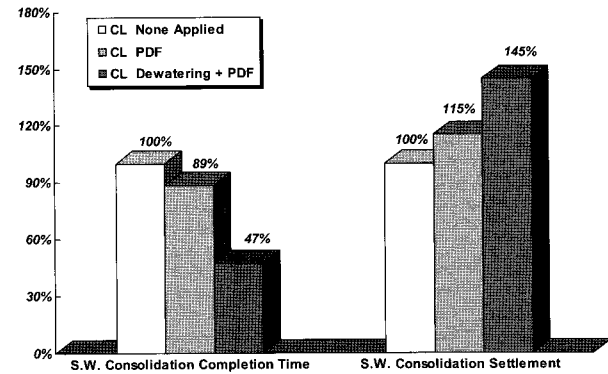
4.2 자중압밀 촉진효과

무처리 상태의 경우와 PDF공법만을 적용했을 경우, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 함께 적용했을 경우에 대하여 실시한 실내 자중압밀시험의 결과를 통해 각 시험조건별 자중압밀 종료시점 및 자중압밀 침하량을 표 2와 그림 6에 각각 나타냈다. 무처리 상태와 비교해 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용했을 경우의 자중압밀 촉진효과를 확인해 보기 위하여 무처리 상태의 자중압밀 종료시간을 t_1 , 자중압밀 최종침하량을 s_1 으로 표현하고 각각의 시험조건별 자중압밀 종료시간 및 침하량과 비교하였다.

그림 6과 표 2에서 보듯이, ML과 CL의 모든 경우에서 자중압밀 종료까지의 시간은 무처리 상태의 경우, PDF공법만을 적용한 경우, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우의 순으로 많은 시간이 소요되었으며, 자중압밀 침하량은 같은 순으로 작게 발생하였다. CL시료에서의 자중압밀 종료시간은 PDF공법만을 적용한 경우 무처리 상태 대비 89%의 시간만이 소요되었으며, 침하량은 15%가 증대되었다. ML시료의 경우는 PDF공법만을 적용했을 경우에 무처리 상태 대비 94%의 시간이 소요되었으며, 9%의 침하량이 증대되었다. 또한, CL시료에서 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용했을 경우의 자중압밀 종료까지의 소요시간은 무처리 상태 대비 47%의 시간이 소요되었으며, 침하량은 45% 증대되었다. ML시료의 경우, 자중압밀 종료까지 소요시간은 무처리 상태 대비 80%의 시간만이 소요되었으며, 자중압밀 침하량은 46% 증대되어 CL, ML 시료



(a) ML



(b) CL

그림 6. 실험조건별 자중압밀 종료시간 및 침하량

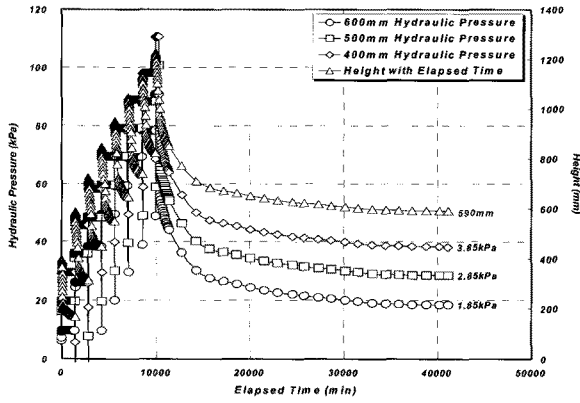
모두에서 높은 자중압밀 촉진효과를 확인하였다.

또한, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 함께 적용한 경우에 대하여 컬럼 바닥에서부터 각각 400mm, 500mm, 600mm의 높이(300mm 높이로 조성한 원지반 상부에서부터 각각 100mm, 200mm, 300mm 높이)에서의 시간경과에 따른 수압변화를 그림 7에 나타냈다. Dewatering을

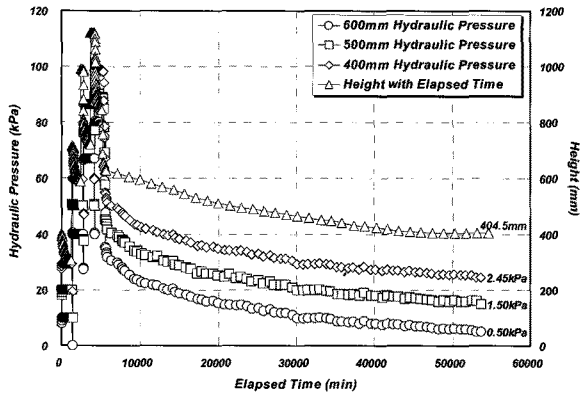
표 2. 실험조건별 자중압밀 종료시간 및 침하량

Tested Sample	CL		
	None Applied	PDF method only	Dewatering + PDF method
Completion of S.W. Consolidation (min)	115,089 (t_1)	102,097	54,420
Completion Time / t_1	1	0.887	0.473
S.W. Consolidation Settlement (mm)	410.0 (s_1)	472.5	594.0
Settlement / s_1	1	1.152	1.449
Tested Sample	ML		
	None Applied	PDF method only	Dewatering + PDF method
Completion of S.W. Consolidation (min)	41,542 (t_1)	38,822	33,031
Completion Time / t_1	1	0.935	0.795
S.W. Consolidation Settlement (mm)	275.5 (s_1)	300.0	403.5
Settlement / s_1	1	1.089	1.464

* S.W: Self Weight



(a) ML



(b) CL

그림 7. 지하수위 저하공법과 PDF공법을 적용한 경우의 시간경과에 따른 계면고 및 수압변화

통해 간극수의 수위를 저하시킨 PDF공법과 지하수위 저하공법을 모두 적용한 경우에는 수압의 변화 경향과 계면고의 침하 경향이 일치하는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 Dewatering을 통한 준설토 간극 내 수위저하가 자중압밀 촉진에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4.3 투기용량 증대효과

최종단계 투기에서 침강이 완료되고 자중압밀이 시작되는 계면고를 목표 투기고 1000mm로 결정하여 매일 400mm/day의 투기속도로 투기하였으며, 최종단계까

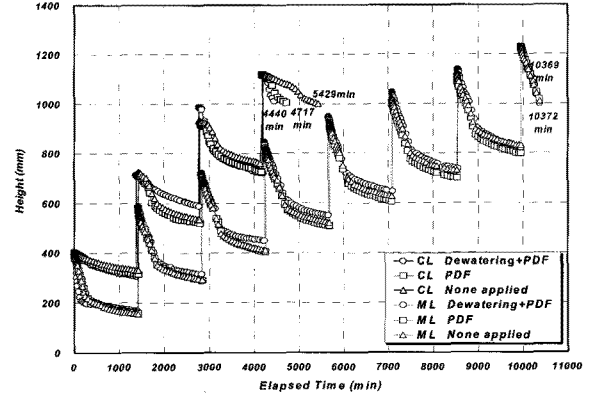


그림 8. 시험 조건별 계획 투기고 형성까지 소요된 시간

지의 소요 투기량은 그 전 단계까지에서의 평균적인 침강침하량 및 평균 퇴적고 상승속도를 고려하여 시험조건별로 다르게 결정하였다. 시험조건별로 다르게 결정된 최종단계까지의 소요 투기량과 원지반 총적점토층의 침하량을 비교하여 지하수위 저하공법과 PDF공법의 적용 시 기대되는 준설토의 투기량 증대효과를 확인하였다. 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우, 투기 중에는 Dewatering을 하지 않고, 최종 계획 투기고 형성 이후부터 시작하였다. 그림 8과 표 3에 계획 투기고 1000mm 형성까지 실험조건별 소요시간을 나타냈다.

ML시료는 400mm/day의 투기속도로 1000mm 계획고 형성에 총 8회의 투기가 소요되었으며, CL시료는 총 4회의 투기가 소요되었다. 이는 점토와 실트의 준설토 자중압밀 특성 차이에 의한 것으로, 실트질 준설토가 점토질 준설토에 비해 침강압밀속도가 빠르기 때문이다.

ML시료는 1000mm의 계획 투기고 형성까지 모든 경우에서 거의 비슷한 시간이 소요되었고, CL시료에서는 PDF공법만을 적용한 경우에 무처리 상태에 비해 약 13%의 시간이, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우 18% 정도의 시간이 각각 단축되어, Dewatering을 하지 않고 PVD의 설치만으로도 준설토의 침강속도를 증대시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었다(이범준 등, 2009).

1000mm 계획 투기고 형성에 소요된 준설토 총용량

표 3. 실험 조건별 계획 투기고 형성까지 소요된 시간

Test Condition	Sample	ML		CL	
		Time (min)	Count	Time (min)	Count
None Applied (t_1)		10,372 min	1	5,429 min	1
PDF method only		10,372 min	1	4,717 min	0.87
Dewatering + PDF method		10,369 min	1	4,440 min	0.82

표 4. 실험 조건별 계획 투기고 형성까지 투기된 총 시료용량

Test Condition	Sample	ML		CL	
None Applied (V_1)	0.362917 m ³	1	0.176922 m ³	1	
PDF method only	0.366319 m ³	1.01	0.180324 m ³	1.02	
Dewatering + PDF method	0.366319 m ³	1.01	0.180324 m ³	1.02	

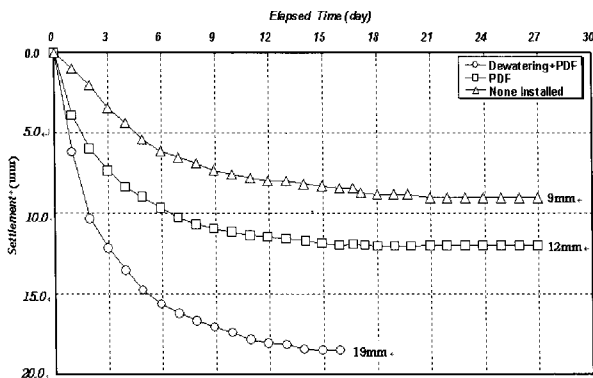
을 각 시험조건별로 표 4에 나타냈다. ML시료에서 PDF 공법만 적용된 경우와 지하수위 저하공법과 해상 연직 배수공법을 모두 적용한 경우에서 무처리 상태 대비 각각 1% 정도의 투기용량이 증대되었다. CL시료의 경우, PDF공법만 적용했을 때와 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용했을 때 무처리 상태 대비 각각 2% 정도의 투기용량이 증대되었다. 이는 지하수위 저하공법과 PDF 공법을 모두 적용한 경우의 투기 단계에서는 Dewatering을 하지 않았을 때의 결과이므로, 투기 단계에서부터 Dewatering을 하게 되면, 준설토의 투기용량 증대효과는 더욱 커질 것으로 판단된다.

실험조건별로 시간경과에 따른 투기된 준설토 하중 및 유효응력 증대에 의한 원지반 축적토층의 침하를 그

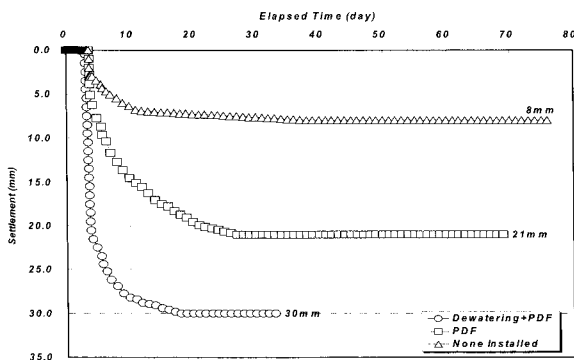
림 9에 나타냈다. ML시료에서 PDF공법만을 적용한 경우에는 무처리 상태 대비 1.33배, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우에는 2.11배씩 각각 증대된 원지반 침하량이 발생하였다. 최초 300mm 높이로 조성한 원지반 축적토층을 고려하면, 실험 조건별로 각각 3.00%, 4.00%, 6.33%의 압밀 변형률을 보인 것이다. 원지반 침하로 인해 증대된 컬럼 내 수토용량은 무처리 상태의 경우와 PDF공법만 적용한 경우 0.001m³, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우 0.002m³ 씩 추가적으로 증대된 용량이다.

CL시료에서는 PDF공법만을 적용한 경우에는 무처리 상태 대비 2.625배, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우에는 3.75배씩 증대된 침하량이 발생하였다. 실험 조건별로는 각각 2.67%, 7.00%, 10.00%의 압밀 변형률을 보인 것이며, 이로 인해 증대된 컬럼 내 수토용량은 무처리 상태의 경우 0.009m³, PDF공법만 적용한 경우 0.002m³, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 동시에 적용한 경우 0.003m³ 씩 추가적으로 증대된 것이다.

이와 같은 결과들을 통하여, 실제 지하수위 저하공법과 PDF공법의 적용 시 준설토의 자중압밀 촉진과 원지반 축적토층의 추가적인 침하로 준설토 투기장의 수토용량을 증대시켜 투기장수명을 연장시킬 수 있을 것으로 사료된다.



(a) ML



(b) CL

그림 9. 시간경과에 따른 축적토층의 침하

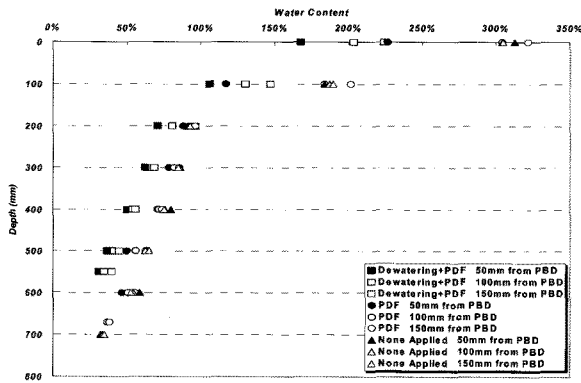
4.4 자중압밀 종료 후 심도별 함수비

자중압밀의 종료를 확인한 후 준설토 퇴적층과 투기 전 조성했던 원지반 축적토층에 대하여 심도 100mm마다 컬럼 중앙의 PVD로부터 50mm의 간격으로 채취한 시료의 함수비 시험결과를 그림 10, 11과 표 5~8에 나타냈다.

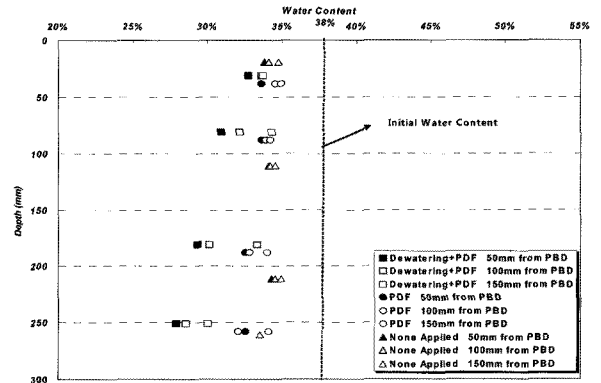
준설토 퇴적층의 경우, 모든 경우에서 상부에서 하부로 심도가 깊어짐에 따라 함수비가 감소하는 경향을 보였으며, PVD가 설치된 PDF공법만 적용한 경우와 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우에는 PVD로부터의 거리가 가까울수록 함수비가 감소하는

경향을 나타냈다. 이는 준설토 내 간극수가 중앙에 설치된 PVD를 통해 배수되었음을 보여주는 결과이며, 이를 통해 PDF공법 및 지하수위 저하공법의 준설토 자중압밀 촉진 원리가 일반 연직배수공법과 마찬가지로 준설토 내 간극수의 배수거리 단축임을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 ML시료에서 보다 CL시료에서 더욱 뚜렷한 경향을 보였다.

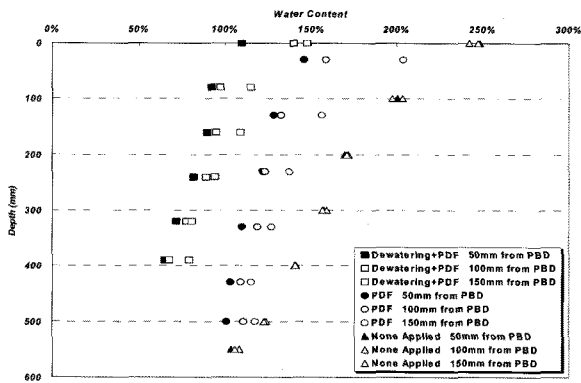
원지반 층적토층의 경우, 자중압밀 종료 후 함수비가 최초 원지반 층적토층 조성 시 함수비보다 낮아졌으며, 낮아진 함수비만큼 배수가 발생하여 원지반 층적토층의 침하가 발생하였다. ML시료에서는 전체 심도에서 함수비 38%로 균질하게 조성했던 원지반이 무처리 상태의 경우 9mm의 침하가 발생하면서 심도에 따른 함수비 차이 없이 3.1%~4.5% 정도 낮아졌으며, PVD로부



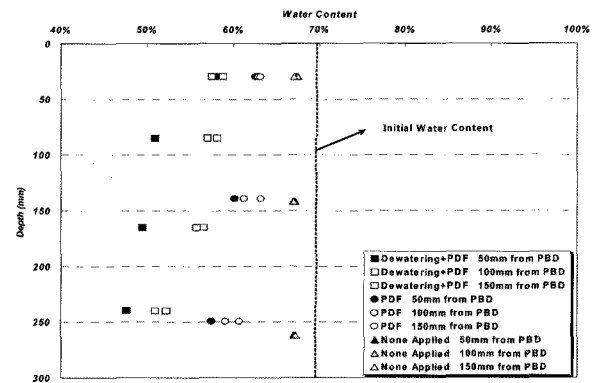
(a) ML



(a) ML



(b) CL



(b) CL

그림 10. 자중압밀 종료 후 준설토 퇴적층에 대한 함수비 시험결과

그림 11. 자중압밀 종료 후 원지반 층적토층에 대한 함수비 시험결과

표 5. 자중압밀 종료 후 준설토 퇴적층에 대한 함수비 시험결과(ML)

Depth (mm)	None Applied (%)			Depth (mm)	PDF (%)			Depth (mm)	Dewatering + PDF (%)		
	Distance from PBD				Distance from PBD				Distance from PBD		
	50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm
0	312.8	304.3	305.1	0	226.4	304.2	321.9	0	167.6	203.5	224.2
100	183.4	187.0	189.6	100	117.0	183.5	201.5	100	105.6	130.1	146.8
200	91.1	92.4	92.7	200	88.2	92.4	96.5	200	70.9	80.9	96.5
300	85.3	85.6	84.8	300	78.4	81.5	85.1	300	62.2	66.8	68.1
400	79.6	75.9	75.4	400	70.8	71.9	73.8	400	50.1	53.6	55.5
500	62.9	62.1	65.0	500	49.7	55.9	62.7	500	36.5	41.0	44.7
600	58.8	54.4	52.7	600	46.7	50.5	55.4	550	31.0	34.8	39.4
700	32.3	33.4	34.8	670	37.2	36.8	38.3	-	-	-	-

표 6. 자중압밀 종료 후 준설토 퇴적층에 대한 함수비 시험결과(CL)

None Applied (%)				PDF (%)				Dewatering + PDF (%)			
Depth (mm)	Distance from PBD			Depth (mm)	Distance from PBD			Depth (mm)	Distance from PBD		
	50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm
0	248.2	242.3	247.5	30	146.1	158.6	203.9	0	109.8	140.1	147.5
100	200.1	203.3	197.3	130	128.6	132.6	156.2	80	92.4	97.5	115.2
200	169.9	172.2	171.3	230	121.8	123.4	137.3	160	90.0	95.1	109.0
300	157.3	159.3	156.7	330	110.1	119.1	126.9	240	81.9	88.9	94.3
400	141.3	140.3	140.8	430	103.2	109.2	115.3	320	72.0	78.1	81.0
500	123.6	124.1	123.0	500	101.0	110.7	117.7	390	65.1	67.8	79.2
550	103.5	108.4	105.6	-	-	-	-	-	-	-	-

표 7. 자중압밀 종료 후 원지반 총적토층에 대한 함수비 시험결과(ML)

None Applied (%)				PDF (%)				Dewatering + PDF (%)			
Depth (mm)	Distance from PBD			Depth (mm)	Distance from PBD			Depth (mm)	Distance from PBD		
	50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm
19	33.8	34.1	34.7	38	33.6	34.5	34.9	31	32.7	33.6	33.7
111	34.1	34.2	34.5	88	33.6	33.9	34.2	81	30.9	32.1	34.3
211	34.3	34.5	34.9	188	32.5	32.8	34.0	181	29.3	30.1	33.3
261	33.5	33.5	33.5	258	32.5	32.0	34.1	251	27.9	28.5	30.0
\bar{w}	33.9	34.1	34.4	\bar{w}	33.1	33.8	34.6	\bar{w}	30.2	31.1	32.8

표 8. 자중압밀 종료 후 원지반 총적토층에 대한 함수비 시험결과(CL)

None Applied (%)				PDF (%)				Dewatering + PDF (%)			
Depth (mm)	Distance from PBD			Depth (mm)	Distance from PBD			Depth (mm)	Distance from PBD		
	50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm		50mm	100mm	150mm
30	67.3	67.5	67.1	30	62.6	62.9	63.2	30	47.6	52.2	50.9
142	67.2	66.9	67.0	139	60.1	61.2	63.2	85	49.5	55.7	56.6
262	67.0	67.1	67.3	249	57.4	59.1	60.7	165	50.9	57.0	58.1
-	-	-	-	-	-	-	-	240	58.3	57.5	58.8
\bar{w}	67.2	67.2	67.1	\bar{w}	60.0	61.1	62.4	\bar{w}	52.9	56.7	57.8

터의 거리에 따른 평균함수비 차이도 0.2%~0.3%로 거의 발생하지 않았다. PDF공법만 적용한 경우에는 12mm의 침하가 발생하면서 3.1%~6.0%의 함수비가 낮아졌으며 심도가 깊어짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. PVD로부터의 거리차이에 따른 평균함수비는 0.7%~0.8%의 차이를 보였으며, 이는 PVD를 통해 원지반 간극수의 배수가 무처리 상태에 비해 더 원활히 이루어졌기 때문이다.

지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우에는 19mm의 침하가 발생하면서 3.7%~10.1%의 함수비가 낮아졌으며, 심도에 따른 함수비 감소경향이 가장 뚜렷하게 나타났다. PVD로부터의 거리차이에 따른 평균함수비도 0.9%~1.7%로 역시 가장 큰 차이를 보였다. CL시료에서는 전체 심도에서 함수비 70%로 균질했던

원지반이 무처리 상태의 경우 8mm의 침하가 발생하면서 심도에 따른 큰 함수비 차이 없이 2.5%~3.1% 낮아졌으며, 수평거리에 따른 평균함수비 차이는 없었다. PDF공법만을 적용한 경우에는 21mm의 침하가 발생하면서 6.8%~12.6% 정도가 낮아졌으며, 심도가 깊어짐에 따라 함수비가 낮아졌으며 PVD로부터의 거리차이에 따른 평균함수비도 1.1%~1.3%정도 나타났다. 또한, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우에는 30mm의 침하가 발생했으며, 최상부와 최하부의 함수비 차이가 최대 10.7%까지 발생했다. PVD로부터의 거리에 따른 평균함수비 차이도 거리가 짧아짐에 따라 함수비가 낮아지는 경향을 보여 PVD로부터 50mm 떨어진 곳의 평균함수비와 150mm 떨어진 곳의 평균함수비는 최대 4.9%의 차이가 났다.

5. 결론

본 연구에서는 지하수위 저하공법과 PDF공법을 국내 준설토에 적용 시 기대되는 자중압밀 촉진효과와 투기용량 증대효과를 실내 자중압밀시험을 통해 파악하였다. 실험결과를 통한 결론을 요약·정리하면 다음과 같다.

- (1) ML, CL시료 모두에서 PDF공법만을 적용한 경우, 지하수위 저하공법과 PDF공법을 모두 적용한 경우의 순으로 자중압밀 종료시간이 단축되고 침하량이 증대되어 자중압밀 촉진효과를 확인할 수 있었다.
- (2) ML, CL시료 모두에서 준설토 투기 전 PVD를 설치하는 것만으로 준설토 투기 시 침강촉진 및 원지반층적토층의 추가침하 등으로 인한 준설토 투기용량 증대효과를 확인할 수 있었다.

- (3) 지하수위 저하공법과 PDF공법을 이용한 자중압밀 촉진 및 투기용량 증대효과는 ML시료 보다 CL시료에서 더욱 크다는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 두 공법의 국내도입 시 모래 및 실트질로 구성된 서해안 지역보다 점토질이 대부분인 남해안 지역에 적용하는 것이 더욱 효율적일 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김재영 등 (2005), “준설토의 압밀촉진과 투기용량 증대를 위한 지하수위 저하공법과 PDF공법의 적용”, *地盤*, Vol.21, No.8, pp.18-24.
2. 이범준 등 (2009), “PBD가 타입된 준설토의 자중압밀촉진 효과”, *한국지반공학회논문집*, 제25권, 제12호, pp.37-45.
3. 한국지반공학회 (2004), *지반공학시리즈 준설토*, 구미서관, 서울, pp.38-41.
4. 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 2010. 2. 19, 심사완료일 2010. 12. 27)