

서해안 준설토의 침강 및 자중압밀 특성에 관한 연구

The Characteristics of Sedimentation and Self-weight Consolidation for Dredged Soils of the Westcoast

김민규¹⁾, Min-Gyu Kim, 임종철²⁾, Jong-Chul Im, 권정근³⁾, Jeong-geun Kwon, 주인곤⁴⁾, In-Gon Joo

¹⁾ 부산대학교 사회환경시스템공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Civil Engineering, Pusan University

²⁾ 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan University

³⁾ 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정, Ph.D. candidate, Dept. of Civil Engineering, Pusan University

⁴⁾ 부산정보대학 건축디자인학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Architecture Design, Pusan Info-tech College

SYNOPSIS : Recently this country has carried out the coast reclamation centering on the west and south coast for effective practical use of a country, considering purchase of materials and environmental problem, and carrying into effort the reclamation method after dredging the ground in the ocean. In this large scale ocean dredging reclaiming work, prediction the ground subsidence after reclaiming is very important for not only expense lose by overestimation or underestimation but also hereafter the best suited project establishment. this study carries out sedimentation and self weight consolidation in each cases and searches the features to analyze effect on kinds of soil of ground before dredging, abandonment height when it abandons momentary, void ratio, difference of abandonment height when it abandons by stages and difference of particle content of spoil.

Keywords : dredging reclamation, sedimentation, self-weight consolidation, a kind of soil, abandonment height, moisture percentage, the speed of reclamation

1. 서론

1.1 연구 목적

일반적으로 준설토를 펌프준설선에 의해 매립지에 투입하였을 때 투입하는 부근에서는 조립토가 분리되면서 입자간의 상호작용에 의해 플록을 형성하고 이것이 침강하는 현상으로 나타나게 된다. 즉, 조립토가 분리되어 입도분리현상이 발생하고 그로 인해 조립분이 바로 퇴적하는 반면에 그 외 나머지 부분은 해수와 배합된 고함수비의 세립분으로 이루어지게 된다. 우리나라는 주산맥과 하천수계의 방향 등에 따라 서, 남, 동해안 모두 다른 해저지질특성을 가지고 있으며 그 중 서해안 지역의 해저바닥에 분포하는 원지반은 실트질 모래 또는 모래질 실트가 다른 남해안과 동해안에 비해서 많이 분포하여 있고, 다른 연안에 비해 입자 또한 크다. 이러한 특성을 지닌 준설토는 토출구의 거리에 따라 다양한 입도분포곡선을 가지며 침강과 압밀의 과정도 준설점토와 다른 거동 특성을 가진다. 준설 후 매립되는 지반의 특성에 대한 보다 정확한 예측을 위하여는 준설 전 원지반의 토질에 대한 특성, 세립분 함유 정도, 실제 준설 현장에서의 단계투기 시공 등의 다양한 영향인자를 고려하여 그에 대한 각각의 침강 및 퇴적, 자중압밀 특성에 대한 연구가 이루어져야 하며 이러한 특성의 차이를 고려하지 않는 대단위 준설사업일 경우 침하를 잘못 평가하게 된다면 간척지 사업에 많은 문제점이 발생 할 소지가 있다.

본 연구에서는 준설 전 원지반의 토질의 종류, 일시 투기시 투기 높이, 함수비, 단계투기시 투기속도 차

이 및 준설토의 세립분 함유량의 차이에 따른 영향을 분석하기 위하여 각각의 경우에 대해 실내 침강 및 자중압밀시험을 실시하고 그 특성을 분석하였다.

2. 이론적 배경

2.1 준설토의 자중압밀 특성

국내 매립현장에서 준설물량 산정을 위한 자중압밀 종료 후의 체적변화비를 구하기 위하여 주로 Yano(矢野, 1985)가 제시한 경험적인 방법을 사용하고 있다. Yano는 실내 침강·압밀 시험을 통한 침강·압밀 곡선을 바탕으로 자중압밀 산정식을 적용하여 현장 준설 매립지반의 시간경과에 따른 자중압밀 침하량 및 체적변화비를 예측하기 위한 경험적인 방법을 제시하였는데 Yano는 $\log t$ - $\log H$ 곡선을 작도하여 일직선이 되는 부분을 자중압밀 시점으로 결정하였으며, 일직선이 끝나는 부분을 자중압밀 종점으로 결정하여 이를 체적비 산정에 이용하였다.

2.1.1 자중압밀산정식

실내에서 침강실험을 실시하면 투기된 준설점토는 그림 2-1과 같이 침강퇴적, 압밀침강의 과정을 거친다. 점토이수는 우선 flocc을 형성하여 청등수와 현탁액 사이에 명료한 계면을 만들고 등속으로 계면이 침강한다. 침강한 퇴적토는 하층에서부터 상승하고 곧이어 현탁액의 계면과 일치하여 침강퇴적의 종료점으로 된다. 침강퇴적이 종료한 후는 자중에 의한 압밀침강이 진행하여 어떤 시점에서는 침강속도가 상당히 낮은 Creep의 형태로 된다.

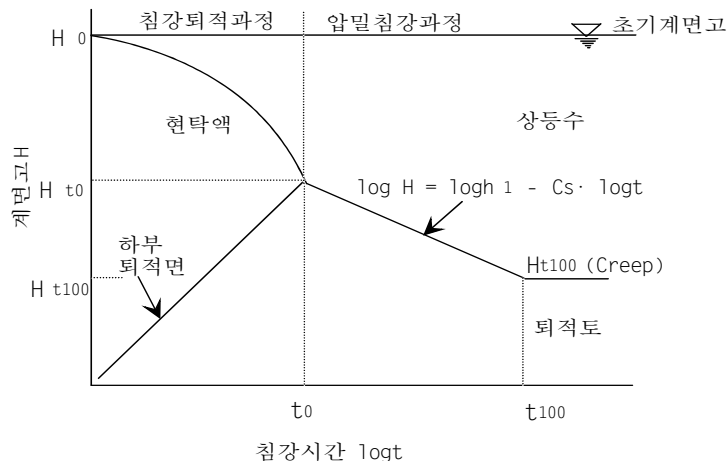


그림 2-1. Yano의 자중압밀 산정식

침강퇴적에서 압밀침강의 과정을 거친 침강조건에 있어서, 압밀침강 영역($t = t_0 \sim t_{100}$)의 계면고, H와 침강시간, t에서는 직선관계가 얻어지는데, 이를 자중압밀 산정식(식 (2-1))이라 한다.

$$\log H = \log h_1 - C_s \cdot \log t \quad (2-1)$$

$$\text{또는 } H = h_1 \cdot t^{-C_s}$$

여기서, H_{t_0} : t_0 일 때의 계면고 높이

h_1 : $t = 1(\text{min})$ 에서 $H = h_1$ 으로 되는 높이를 나타내는 상수

$$C_s : \text{침강압밀계수 } \left(= \frac{\log(H_{t_0}/H)}{\log(t/t_0)} \right)$$

2.1.2 계면고(H)와 실질토량고(H_s)의 관계

준설토 체적과 매립토 체적의 관계를 구하는 중에, 계면고와 실질토량고의 관계도를 작성하고 실질토량고에 의해 체적변화를 비교한다. 현장에서 채취한 시료를 이용하여 초기 높이를 변화시키면서 자중압밀 실험을 실시하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있는데 실제 준설토에 함유된 토립자의 양으로부터 구한 실질 토량고와 계면고의 관계는 식 (2-2)와 같다.

$$H_s = \frac{H}{1 + G_s/G_w \cdot w} = \frac{H}{1 + e} \quad (2-2)$$

여기서, H : 초기 계면고

G_s, G_w : 각각 토립자와 물의 비중,

\bar{w} , \bar{e} : 각각 준설토의 평균함수비와 평균간극비

초기함수비가 같고 높이가 다른 다수의 이수를 침강시켜 각각 침강곡선에 나타낸 압밀침강 개시시간과 Creep변형에 들어갈 때의 시간에 대한 계면고를 $\log H \sim \log H_s$ 로 표시하면 직선적으로 변하는데 이로부터 매립지반의 초기 계면고에 대한 실질토량고를 구할 수 있고, 이들의 관계를 식으로 나타내면 식 (2-3)와 같다.

$$\log H = A + B \log H_s \quad (2-3)$$

여기서, A, B : 계면고와 실질토량고 그래프의 절편과 기울기

압밀침강영역에 대해서, 자중압밀 시점 및 종점에 대한 $\log H \sim \log H_s$ 는 직선관계에 있고, 자중압밀침하에서는 임의의 압밀도에 대해서도 직선관계에 있는 것을 제시하고 있다.

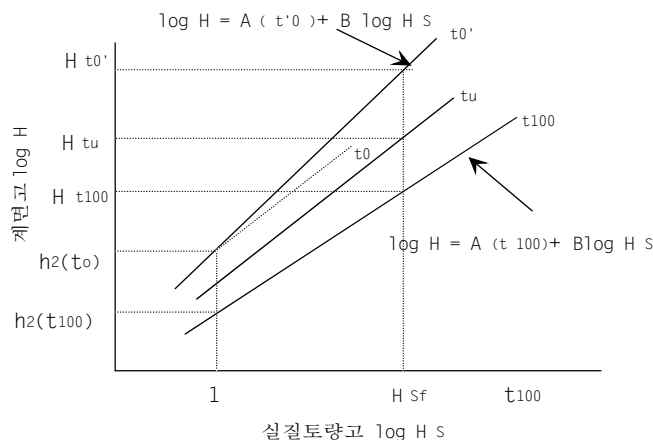


그림 2-2. 계면고와 실질토량고의 관계

2.1.3 침하량 및 체적변화비 예측

체적변화비 및 침하량의 산정은 그림 2-2에서와 같이 각 초기함수비에 대하여 자중압밀 시·종점 사이의 직선식을 통하여 구한 침강압밀계수를 Curve fitting하여 각 함수비에 대한 평균 침강압밀계수를 구하고, 실질 토량고와 초기계면고 사이에는 식 (2-2)의 관계가 있으므로, 자중압밀 시·종점에 해당하는 계면고에 대하여 실질토량고를 구한다. 이 실질토량고와 자중압밀 시·종점에 해당하는 계면고를 대수눈금으로 Plotting하였을 때 식 (2-3)와 같이 직선적으로 변하는데 이로부터 현장 매립지반의 초기 높이에 따른 실질토량고를 구할 수 있다. 또한 자중압밀 종점에서의 식 (2-3)를 이용하여 실질토량고에 대응하는 최대 압밀고를 구할 수 있다. 투기완

료 시까지의 소요된 시간과 그 때의 계면고 높이에 대하여 식 (2-1)을 이용하여 h_1 을 구할 수 있으며, 산정된 h_1 과 각 함수비에 해당하는 평균 침강압밀계수를 이용하여 투기 완료 후의 각 경과시간에 대한 계면고를 구할 수 있고, 예측된 각 매립높이에 대하여 원지반 간극비와 비중값을 사용하여 투기 완료 후의 함수비를 구할 수 있으며, 또한 원지반의 체적에 대한 투기 완료 후의 각 시간에 해당하는 준설매립토의 체적으로 체적비를 구할 수 있다.

3. 예비분석

3.1 준설토 특성분석

준설대상 토질의 물리적 특성을 규명하여 분석자료로 활용하고자 기본 물성시험 실시결과 CH시료에 대하여 초기함수비가 106.4%로 고함수비를 나타내었고 표 3-1과 같은 기본 물성치값을 얻었다

표 3-1. 준설토 특성분석 결과

시료명	함수비 (%)	액성한계 (LL, %)	소성한계 (PL, %)	비중 (Gs)	원지반 간극비 (e_0)	d_{50} (mm)	투기시 초기간극비 (e_{os})
CH	106.40	66.25	23.14	2.70	2.37	0.045	27.27

3.2 함수율 산정

함수율이란 펌프준설선에 의해 배송되어 투기장 내에 수토된 준설토 중 토사와 물의 비율을 말하는데 함수율 산정 방법으로는 부피비, 농도비, 중량비 기준 등이 있으며 본 연구에서는 국내 현장에서 주로 사용되고 있는 부피비 15% 기준에 대한 함수율을 선정하여 적용하였다.

표 3-2. 부피비 함수율 산정

무게 (gr)	구분	부피 (cm^3)
$850 \times G_w = 865.3$	해수	850
$112.5 \times G_w = 114.5$	간극수	$150 - 37.5 = 112.5$
101.3	준설토	$101.3 / G_s = 37.5$

3.3 염분비 보정

준설된 시료가 해성 점토이므로 염분이 많이 용해되어 있으며 해성 점토를 노건조하여 얻은 함수비는 염분이 흙 속에 포함되어 있어 실제 값보다 작은 값을 가지므로 바닷물 속에 포함되어 있는 염분의 농도를 측정하여 함수비를 보정하여야 하는데 표 3-3에서 보는바와 같이 염분비 산정 결과 평균염분비값의 결과가 0.0293으로 나타났다.

표 3-3. 염분비 산정결과

시험횟수	팬무게 (gr)	팬+해수무게 (gr)	팬+소금무게 (gr)	염분비 (β)
1회	555.08	1573.1	585.5	0.0299
2회	525.25	1458.2	551.91	0.0286
평균 염분비				0.0293

4. 침강 및 자중압밀 시험

4.1 시험장치

종래 연구(광양항 침강특성분석 보고서, 2000) 결과에 따르면 Column 직경이 20cm 이상일 때 직경으로 인한 오

차가 최소화되는 것으로 나타나 본 연구에서는 직경 25cm의 아크릴 원형 실린더 사용하여 실험을 수행하였고 초기 투기높이를 120, 100, 80, 60cm로 하고 시료의 유실을 방지하고자 20cm의 여유고를 고려하여 높이가 각각 140, 120, 100, 80cm의 Column을 그림 4-1과 같이 제작하였다.

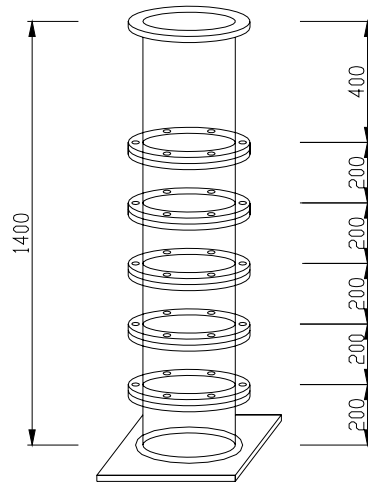


그림 4-1. Column 장치도

4.2 자중압밀 시험방법 및 분석 절차

본 연구에서 수행한 자중압밀 시험방법으로서 먼저 교반기를 이용하여 시료를 균질하게 교반 후 함수비를 측정하고 해수의 염분 측정 후 염분비에 의한 함수비 보정을 실시한다. 다음으로 고려하여야 할 각각의 경우에 맞도록 시료를 제조한 후 투기시료의 균질성 확보를 위해 교반기를 이용하여 교반을 실시하고 시험함수비의 신뢰성 및 초기 간극비 판단을 위해 제조된 시료의 함수비를 측정한다. Column에 투기높이(120, 100, 80, 60cm)별로 시료 투입 후 Column 하부로부터 공기주입을 통한 시료 교반을 다시 실시한 다음 침강압밀시험을 수행하고 계면고 변화를 관측하여 자중압밀 곡선을 작도하고 Yano가 제시한 경험적인 방법을 사용하여 Plotting 한 그래프에서 일직선이 시작되는 부분을 자중압밀 시점으로 결정하였고 일직선이 끝나는 부분을 자중압밀 종점으로 결정 하였다. 다음으로 자중압밀시점과 종점의 계면고 및 실질토량과 산정을 통하여 계면고와 실질토량과의 관계를 산정하고, 자중압밀 시·종점 직선식을 결정하고 원지반 간극비와 준설토의 간극비를 이용하여 체적변화비 산정의 순서로 시험 수행 및 분석을 수행하였다.

그림 4-2. 자중압밀 시험 순서

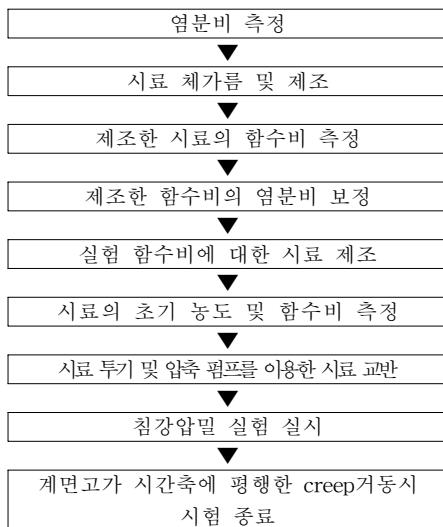


그림 4-3. 자중압밀 시험 분석 절차



4.3 일시투기에 의한 자중압밀 시험

준설 전 원지반의 토질의 종류에 대한 영향과 함수비, 초기 투기 높이 차이에 따른 영향을 알아보기 위하여 시험조건으로 SM, ML, CL 각각의 시료에 대해 초기함수비를 350, 500, 800% 또 초기 투기고를 120, 100, 80, 60cm로 달리하여 실험을 시행하였으며 Yano가 제시한 경험적인 방법을 사용하여 계면고 관측, 자중압밀 시·종점 추정, 원지반 간극비에 대한 체적변화비 산정의 순서로 일시투기에 의한 준설토의 침강 및 자중압밀 시험을 수행하였다.

4.3.1 자중압밀 시점 및 종점

압밀의 구분은 유효응력의 존재 유무이지만, 실제로 이것을 측정하기는 매우 어렵기 때문에 침강곡선에서 속도의 변화를 보고 간접적으로 구하였고, 압밀의 시작점에 대한 판단은 학자마다 다소 차이가 있지만 일반적으로 침강곡선에서 침강속도가 느려지는 변곡점으로 보았으며 종점은 Creep변형이 시작되는 지점으로 산정하였다. 그림 4-4, 5, 6과 같이 각 시험 조건에서의 자중압밀시험을 수행하여 시료의 종류별, 함수비별, 초기투기높이별로 시간(log t)-침하량(H) 곡선을 작도하고 Plotting한 그래프에서 일직선이 시작되는 부분을 자중압밀 시점으로 결정하였고 일직선이 끝나는 부분을 자중압밀 종점으로 결정 하였다.

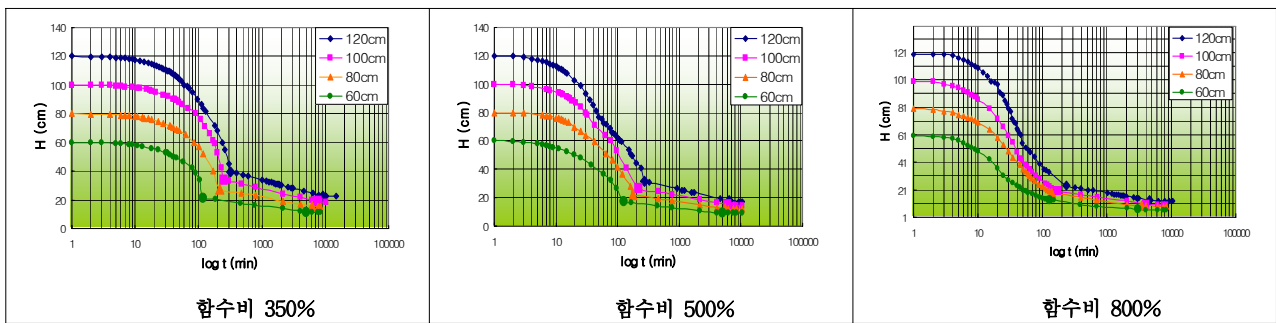


그림 4-4. SM시료의 시간(log t)-침하량(H) 곡선

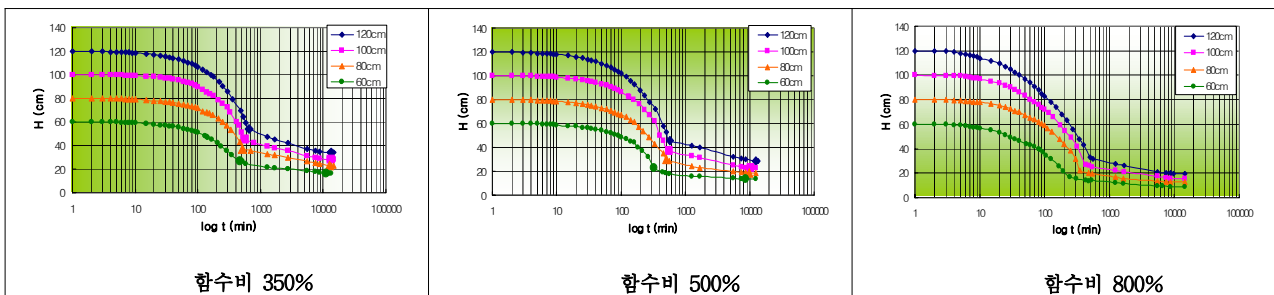


그림 4-5. ML시료의 시간(log t)-침하량(H) 곡선

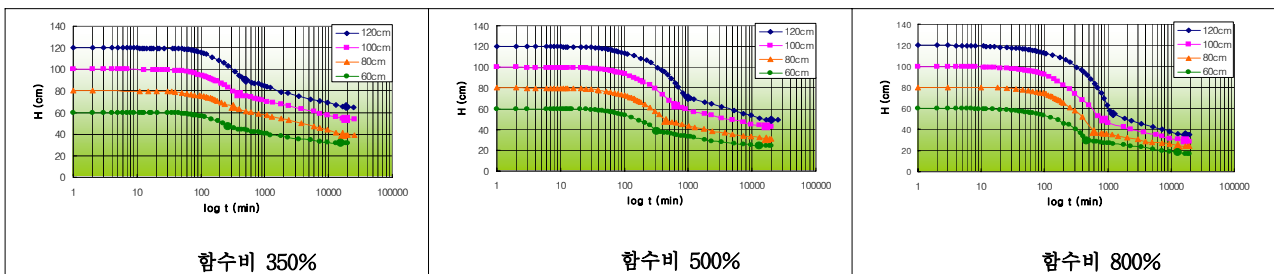


그림 4-6. CL시료의 시간(log t)-침하량(H) 곡선

4.3.2 침강압밀계수 산정

다음으로 위에서 구한 침강곡선에서 자중압밀 시점(t_0)과 자중압밀 종점(t_{100})을 연결하여 그림 4-7과 같이 나타낼 수 있고 그 직선식으로부터 그 기울기를 구하여 침강압밀계수 C_s 값을 구한 결과 초기 투기높이가 높을수록 침강압밀계수가

미소하게 증가하는 경향을 보였고 초기함수비가 클수록(동일 함수비에서는 SM, ML, CL 시료 순으로) 침강압밀계수 값이 큰 경향을 나타내었다.

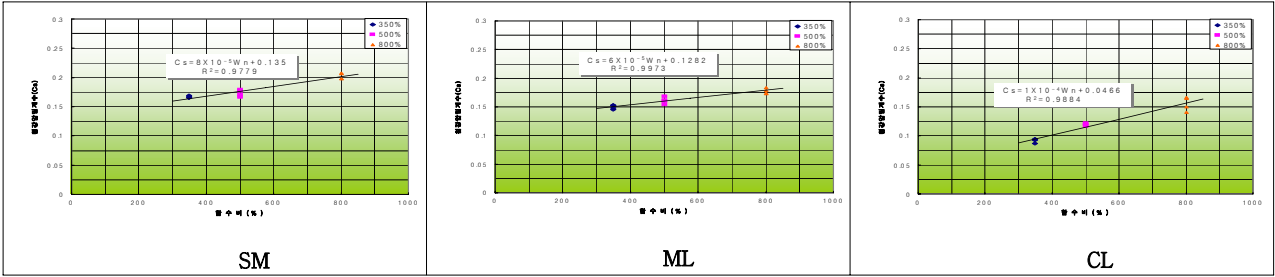


그림 4-7. 초기함수비에 따른 침강압밀계수

4.3.4 계면고와 실질토량고의 관계

다음으로 Yano의 방법에 따라 실제 준설토에 함유된 토립자의 양으로부터 구한 실질 토량고를 이용하여 초기 계면고(준설고)를 구할 수 있으며 초기 투기높이를 달리하면서 실질토량고를 구한 후 압밀침강개시시간과 압밀침강종료시간에서의 계면고와 실질토량고를 초기 계면고와 대수눈금으로 표시하면 직선의 관계가 성립하는데 이로부터 매립지반의 초기 계면고에 대한 실질토량고의 관계를 그림 4-8, 9, 10과 같이 나타낼 수 있다.

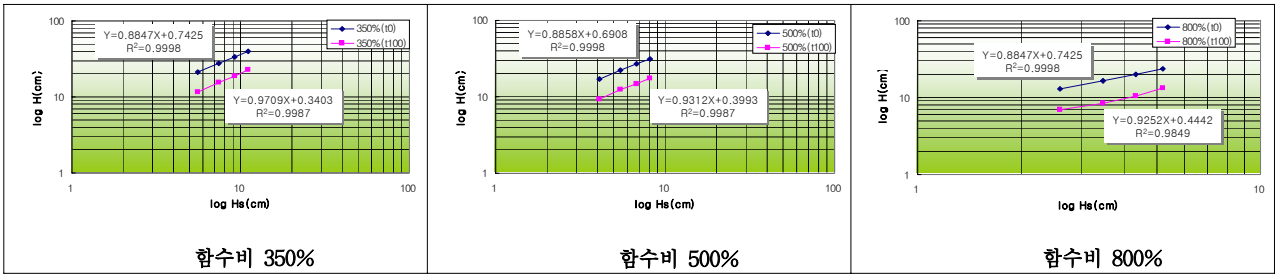


그림 4-8. SM시료의 실질토량고와 자중압밀 시종점 계면고와의 관계

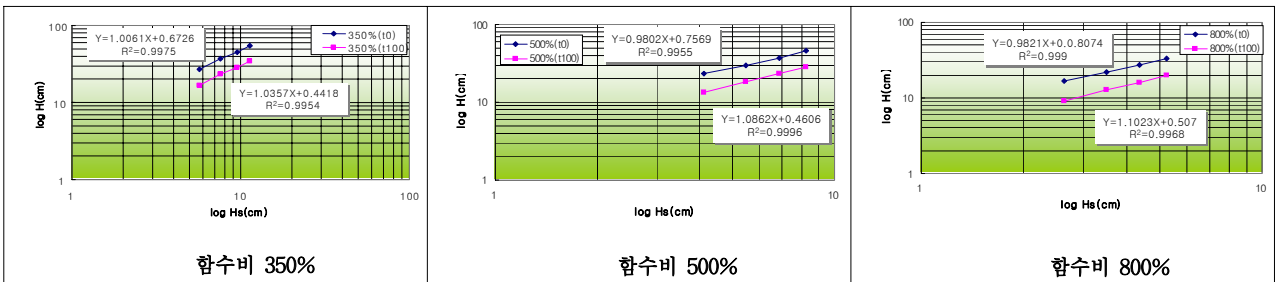


그림 4-9. ML시료의 실질토량고와 자중압밀 시종점 계면고와의 관계

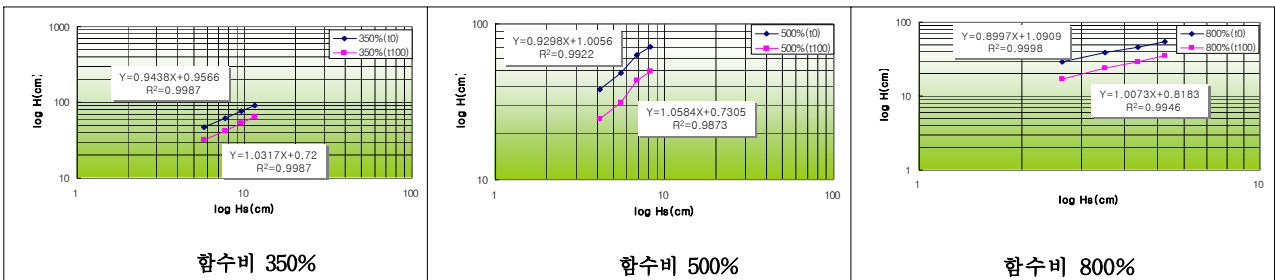


그림 4-10. CL시료의 실질토량고와 자중압밀 시종점 계면고와의 관계

4.3.5 자중압밀침하량 및 체적변화비 산정

산정된 변수들을 바탕으로 현장 투기완료 후의 자중압밀 침하량 및 체적변화비를 구하여 시료별 함수비에 따른 투기종료 후의 시간경과에 따른 계면고 변화 및 체적변화비 관계를 그림 4-11, 12, 13과 같이 나타내었고, 자중압밀침하량 및 체적변화비를 예측하기 위하여 사용된 비중 및 간극비는 각 원지반 물성 시험 및 지반조사 결과를 바탕으로 결정하여 사용하였고 표 4-1에 사용된 변수를 나타내었다

표 4-1. 체적변화비 산정에 사용된 변수

시료명	함수비 (%)	최대매립고 (m)	비중 Gs	초기 간극비	원지반 간극비	압밀계수 (cm/min)
SM	350	14	2.69	9.81	0.752	0.166
	500			13.73		0.173
	800			22.10		0.202
ML	350	14	2.66	9.81	1.171	1.50
	500			13.73		1.61
	800			22.10		1.77
CL	350	14	2.65	9.81	2.588	0.092
	500			13.73		0.119
	800			22.10		0.155

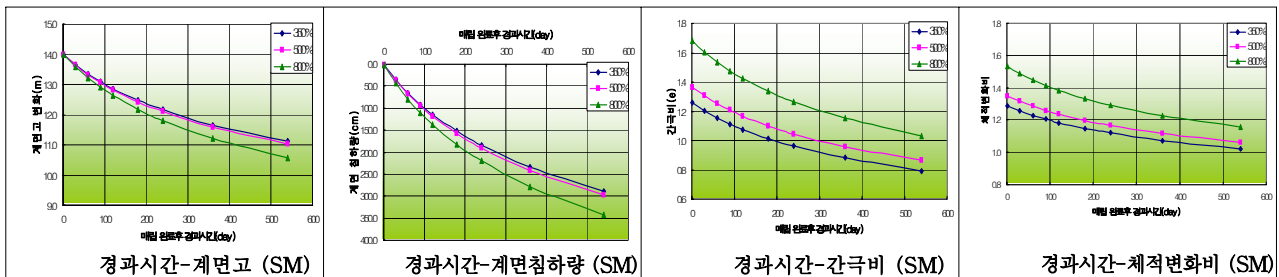


그림 4-11. SM시료의 초기함수비별 투기종료 후 시간경과에 따른 계면고 변화 및 체적변화비

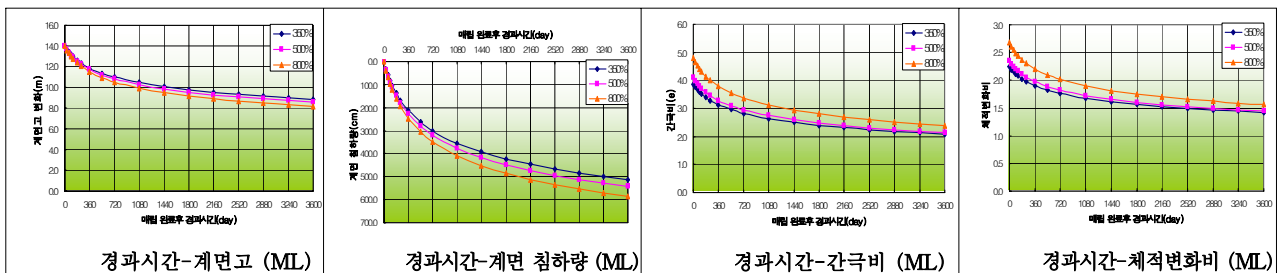


그림 4-12. ML시료의 초기함수비별 투기종료 후 시간경과에 따른 계면고 변화 및 체적변화비

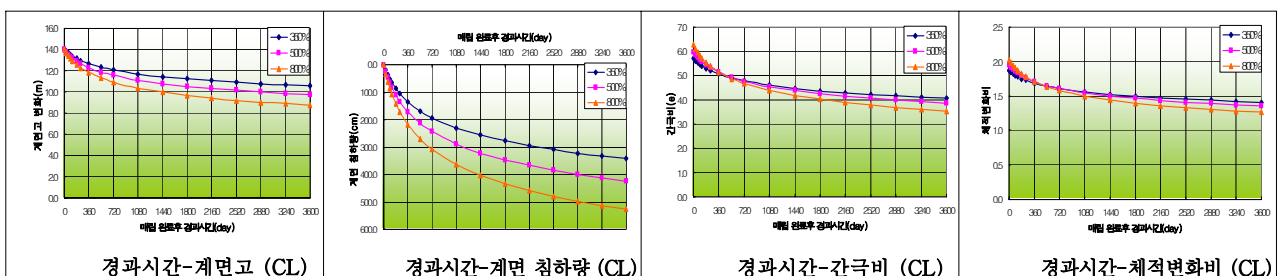


그림 4-13. CL시료의 초기함수비별 투기종료 후 시간경과에 따른 계면고 변화 및 체적변화비

4.4 SM시료의 세립분 함유량에 따른 특성 비교

4.4.1 시험방법

일시투기 침강 및 자중압밀시험과 기본시험방법은 동일하며, 시험조건으로서 세립분함유량을 15%, 30%, 50%로 달리하고 함수비를 350%, 500%, 800%가 되도록 시료 제조하여 초기 투기높이 120cm로 시험을 시행한 결과 세립분 함유량이 증가할수록 침강속도는 감소하고 압밀계수는 증가하였고 함수비가 증가할수록 침강속도와 압밀계수 모두 증가하였다.

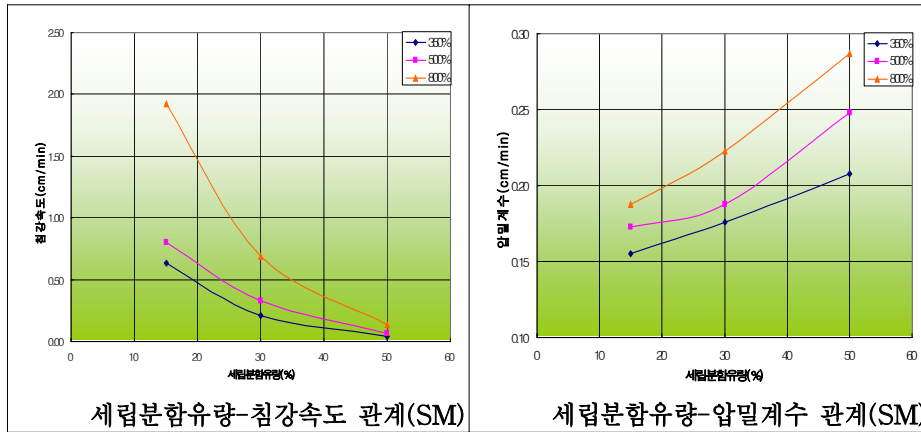


그림 4-14. 세립분 함유량에 따른 침강속도 및 압밀계수 관계

4.5 단계투기에 의한 자중압밀 시험

4.5.1 시험방법

실제의 준설매립공사에서는 준설점토가 연속적으로 투기되므로 퇴적하는 준설점토의 계면상승은 퇴적토층의 증가와 침강·자중압밀에 의한 체적감소의 결과로서 표현된다. 준설점토의 투기에 따른 퇴적고의 상승속도와 투기속도의 관계는 실내 Column시험에서 준설점토를 단계적으로 투기하는 방법을 통해 구할 수가 있으며, 기본시험 방법은 일시투기에 의한 시험방법과 동일하나 시료의 투기에 있어서 단계투기는 계획 투기고를 만족할 때까지 1일 주기로 투기속도를 결정하여 투기하고, 24시간 뒤에 계면고를 관측하는 방법으로 시험을 수행하였다. 전체 계획 투기고의 완료 후에는 1일 주기로 계면고의 변화를 측정하여 투기완료 후의 자중압밀 거동을 파악하였고, 시험의 종료는 일시투기와 마찬가지로 시간축에 평행하게 되는 Creep 거동을 확인한 후 시험을 종료하였다.

4.5.2 결과 분석

단계투기 침강 및 자중압밀 시험시 투기속도를 10cm/day, 20cm/day, 40cm/day로 변화시키면서 SM 시료(함수비 500%, 세립분 함유량 30% 투기높이 120cm)에 대해 시험한 결과 투기속도에 따라 침강압밀계수는 $C_s = -0.11 \ln(V_r) + 0.572$ 로 산정되었으며, 퇴적상승고 속도는 $V_i = 0.2098V_r - 0.0003$ 로 산정되었다. 투기속도가 증가할수록 침강압밀계수는 0.31cm/day → 0.16cm/day로 감소하였고, 퇴적상승고 속도는 1.67cm/day → 7.96cm/day 증가 하는 경향을 보였다.

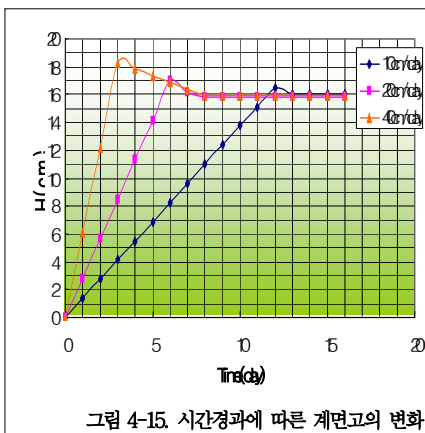


그림 4-15. 시간경과에 따른 계면고의 변화

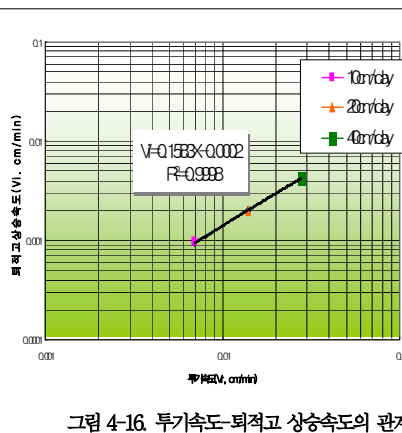


그림 4-16. 투기속도-퇴적고 상승속도의 관계

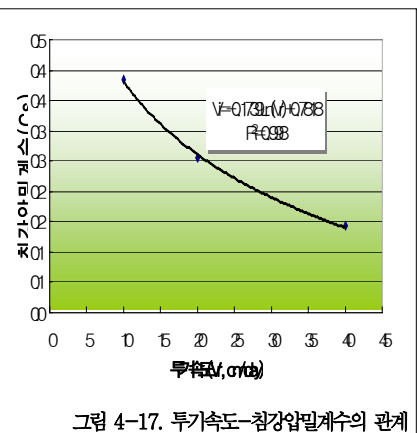


그림 4-17. 투기속도-침강압밀계수의 관계

5) 단계투기를 고려한 체적변화비 산정

산정된 변수들을 바탕으로 현장 투기완료 후의 자중압밀 침하량 및 체적변화비를 구하여 시료별 함수비에 따른 투기종료 후의 시간경과에 따른 계면고 변화 및 체적변화비 관계를 그림 4-17과 같이 나타내었고, 자중압밀침하량 및 체적변화비를 예측하기 위하여 사용된 비중 및 간극비는 각 원지반 물성시험 및 지반조사 결과를 바탕으로 결정하여 사용하였고 표 4-2에 사용된 변수를 나타내었다

표 4-2. 단계투기 체적변화비 산정에 사용한 변수

투기 속도 (cm/day)	제조함수비 (%)	최대 매립고 (m)	초기 간극비	원지반 간극비	소요 일수 (day)	소요 투기고 (m)	실질 토량고 (m)	비중	세립분 함유율 (%)	압밀 계수 (cm/day)
10	500	14	13.73	0.752	1081	108	5.70	2.69	30	0.38
20	500	14	13.73	0.752	486	97	5.05	2.99	30	0.26
40	500	14	13.73	0.752	232	92	4.77	2.69	30	0.14

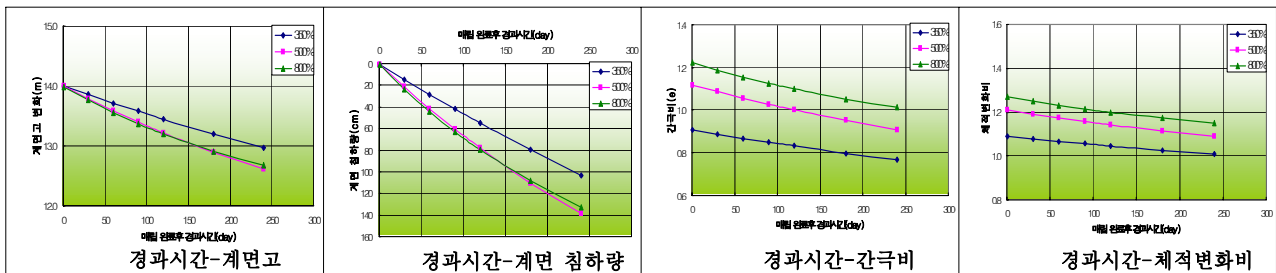


그림 4-17. 투기 속도별 투기종료 후 시간경과에 따른 계면고 변화 및 체적변화비

5. 결론

본 연구는 “침강 및 자중압밀시험을 통한 준설투기토의 특성 파악”에 관련된 것으로서 준설토에 대한 거동 특성을 파악하여 그 결과로부터 준설토 투기계획을 수립을 위한 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있으며 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 일시 투기시 초기 투기높이가 높을수록 침강압밀계수는 미소하게 증가하는 경향을 나타내었고, 초기함수비가 낮을수록 침강압밀계수는 작은값을 가지고, 동일 함수비에서 SM, ML, CL 시료 순으로 침강압밀계수 값이 큰 경향을 나타내었다
- (2) 일시 투기시 시간경과에 따라 간극비와 체적변화비는 감소하는 경향을 나타내었고, 초기함수비가 높을수록 침하량이 커지는 경향을 나타내었다
- (3) SM시료의 세립분 함유량(15%, 30%, 50%)에 따른 일시투기 침강 및 자중압밀 시험시 세립분 함유량이 증가할수록 침강속도는 감소하고 압밀계수는 증가하는 경향을 나타내었고, 초기 함수비의 증가에 따라서는 침강속도와 압밀계수 모두 증가하였다
- (4) 단계투기 침강 및 자중압밀 시험시 투기속도를 10cm/day, 20cm/day, 40cm/day로 변화시키면서 SM시료(함수비 500%, 세립분 함유량 30% 투기높이 120cm)에 대해 시험한 결과 투기속도에 따라 침강압밀계수는 $C_s = -0.11 \ln(V_r) + 0.572$ 로 산정되었으며, 퇴적상승고 속도는 $V_i = 0.2098V_r - 0.0003$ 로 산정됨. 투기속도가 증가할수록 침강압밀계수는 0.31cm/day → 0.16cm/day로 감소하였고, 퇴적상승고 속도는 1.67cm/day → 7.96cm/day 증가하는 경향을 보였다

참고문헌

1. 이 송, 양태선, 황규호, 1994, “준설매립 연약지반의 자중압밀 특성”, 대한토목학회 논문집, 제14권, 4호, 953-964쪽
2. 이송, 이규환, 황규호, 1995, “침투압을 이용한 준설매립지반의 압밀특성 연구”, 한국지반공학회 춘계학술발표회, 181-190쪽
3. 이송, 구자갑, 심민보, 강명찬, 1999, “투기 방법에 따른 준설점토의 체적변화비에 관한 실험적 연구”, 대한토목학회 1999년 학술발표회 논문집, 427-430쪽
4. 이범준, 이무철, 이송, 2007, “세립분 함유량에 따른 준설토의 침강 및 자중압밀 특성”, 한국지반공학회 논문집, 129-135쪽
5. 이송, 심민보, 강명찬, 1999, ‘군·장 신항만 남측안벽(2공구) 축조공사 기본설계 침강 및 자중압밀시험 연구 보고서’, 서울시립대학교 지반공학연구소
6. 이 송, 강 명찬, 2000, “ 단계투기법에 의한 준설점토의 체적비 산정”, 한국지반공학회 논문집 제16권 1호, pp 167-178
7. 심민보, 2001, “ 준설토의 침강 및 자중압밀 특성에 관한 실험적 연구”, 서울시립대학교 박사학위 논문, pp74-94
8. 矢野 弘一郎(야노 코이치), 1985, “Properties of very soft ground reclaimed by dredged marine clay and their prediction”, 土木學會 文集, 第 364 號, III-4
9. 三笠正人, 1993, “軟弱粘土の壓密”, 鹿島出版會, pp. 3-125
10. 梅原 靖文, 善功企, 1975, “超軟弱粘土の壓密定數の決定法”, 港灣技術研究所報告, 第 14卷, 第 4號, pp. 45-65
11. 伊藤富雄, 松井 保, 阿倍信晴, 1976, “超軟弱地盤の地盤パラメータについて”, 第 11回 土質工學研究發表會, pp. 315-318
12. Been, K. and Sills, G. C., 1981, “Self-Weight Consolidation of Soft Soils : An Experiment and Theoretical Study”, *Geotechnique*, 31, pp.519-535
13. Gibson, R.E., England, G.L., and Hussey, M.J.L., “The Theory of One-dimensional Consolidation of Saturated Clays, I. Finite Non-Linear Consolidation of Thin Homogeneous Layers”, *Geotechnique*, vol 17, 1967, pp.261-273
14. Goro Imai, 1980, “Settling Behavior of Clay Suspension”, *Soil & Foundations* vol.20, No.2, pp.7-20
15. Goro Imai, 1981, “Experimental Studies on Sedimentation Mechanism and Sediment Formation of Clay Materials”, *Soil and Foundation*, Vol.21, No.1, pp.7-20
16. Goro imai, Kazuo Tsuruya and Kouichiro Yano, 1979, “A treatment of salinity in water content determination of very soft clay”, *Soil & Foundation*, vol.19, No.3, pp. 84-89
17. Imai, G., Yano, K. and Aoki, S., 1984, “Applicability of Hydraulic Consolidation Test for Very Soft Clayey Soils”, *Soils and Foundations*, Vol.24, No.2, pp.29-42
18. Lee, K. and Sills, G.C., 1981, “The Consolidation of A Soil Stratum, Including Self-Weight Effects and Large Strains”, *Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol.5, pp.405-428.
19. Lee. S.L, Karunratne. G.P, Yong. K. Y & Ganeshan. V, 1990, “Layered clay-sand scheme of land reclamation”, *ASCE*, Vol.113, No.9, pp.984-995
20. McRoberts, E.C., & Nixon, J, F., 1976, “A Theory of Soil Sedimentation”, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.13, pp.294-310.
21. Mikasa, M., 1965, “The Consolidation of Soft Clay, A New Consolidation Theory and Its Application”, *Japanese Society of Civil Engineers(Reprint from Civil Engineers in Japa*, pp.21-26
22. Shiffman, R. L, and Cargill, K. W., 1981, “Finite Strain Consolidation of Sedimenting Clay Deposits”, *Proceeding, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol 1, pp. 239-242
23. Tan, T. S, Yong, K. Y, Leong, E. C, Lee, S. L(1990), “Behaviour of clay slurry”, *Soils & Foundations*, Vol.30, No.4, pp.105-118
24. US Army Corps of Engineers, 1987, “Confined Disposal of Dredged Material”, *Engineer Manual No. 1110-2-5027*, 3.16-4.24
25. Yasufumi Umehara and Kouki Zen, 1982, “Consolidation characteristics of dredged marine bottom sediments with high water content”, *Soil & Foundations*, vol.22, No.2, pp. 45-52