

## 매립기간 중 건조효과가 준설매립토의 압밀거동에 미치는 영향 Effects of desiccation on the consolidation behavior of dredged and reclamated soil during period of reclamation

김진태<sup>1)</sup>, Jin-Tae Kim, 안중선<sup>2)</sup>, Jung-Seon Ahn, 유남재<sup>3)</sup>, Nam-Jae Yoo

<sup>1)</sup> 건일엔지니어링 대리, Assistant Manager, Kunil Engineering Co., Ltd.

<sup>2)</sup> 건일엔지니어링 전무, Senior Managing Director, Kunil Engineering Co., Ltd.

<sup>3)</sup> 강원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

**SYNOPSIS** : Yano method had been used in predicting the settlement of self-weight consolidation of dredged soil in the construction of reclamating the dredged soil. Its estimation was found to show some different results from field measurements. The numerical analysis with PSDDF was performed find such differences, considering the effect of desiccation on the consolidation during the remaining time after reclamation. For the parametric study, numerical analyses with/without consideration of desiccation were carried out with changing the conditions of desiccation such as the number of placing the fill and the time period between each placement. As results of analysis, estimations about consolidation settlement and distribution of water contents with consideration of desiccation was in good agreements with field measurements. It was also found that the number of placing the fill and the time period between each placement did not affect the behavior of self-weight consolidation as much as the effect of desiccation.

**Keywords** : PSDDF, Yano method, dredged soil, self-weight consolidation, effect of desiccation

### 1. 서 론

최근에는 항로나 기초부 등의 준설로 인하여 발생하는 준설점토의 처리에 있어 지반개량기술의 발전으로 인하여 매립재로 사용되는 경우가 많아지고 있다. 매립재로 사용될 경우 준설매립토의 향후 거동을 예측하기 위하여 준설매립점토의 체적비를 산정해야 하며 현재 Yano의 방법을 이용한 산정방법이 널리 사용되고 있다. 그러나 부산 신항 북컨베이어부지의 설계변경을 위하여 지반조사를 수행한 결과 조사시점(매립완료 후 2년 방치 시점)의 평균 함수비가 약 70%로 나타나 예측치인 약 90%에 비해 상당히 작은 값으로 나타났으며 준설매립토의 표층은 준설토 투기고인 DL(+7.0m)에서 약 1m 가량 침하된 평균 DL(+6.0m)로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 부산 신항 북컨베이어부지 설계 시 실험을 통하여 산정해 놓은 기본물성값, 자중압밀 시점의 간극비 및 역해석을 통하여 산정한 구성관계식을 입력 파라미터로 하여 PSDDF (Primary consolidation Secondary compression and Desiccation of Dredged Fill, 미공병단, 1996) 프로그램을 사용하여 예측치와 차이를 보이는 이유를 규명함으로써 보다 나은 준설매립토의 거동을 예측하는 방법을 제시하고자 한다.

측하는 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 및 현장조건 비교

### 2.1 실험조건

기존의 자중압밀거동을 예측하기 위한 실험들은 단계투기가 아니라 일시에 투기되는 조건이고, 또한 그림 1에서처럼 준설매립토가 항상 Free Water 아래에서 자중압밀거동을 하는 것으로 모델링 되었다.

위의 조건으로 실험하여 Yano방법을 통하여 준설매립토의 자중압밀 거동을 예측한 결과 함수비는 매립완료시점에는 약 103%, 2년 방치 후에는 약 90%로 나타났다.

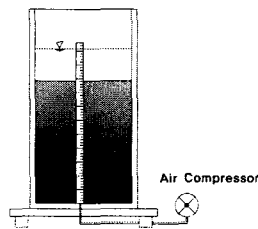


그림 1. 실험조건 모식도

### 2.2 현장조건

준설매립현장에서 준설토의 투기는 여러 단계에 의해 투기가 되며 단계와 단계 사이에는 방치되는 기간이 생기게 되고, 준설매립고가 일정 수위 이상이 되면 준설토의 표층이 수상으로 노출되는 단계에 이르게 된다.(그림 2 참조) 노출된 준설매립토의 표층은 방치되는 기간 동안에 건조의 영향을 받게 되어 함수비가 감소되게 된다. 이와 같은 조건들이 반복되면서 매립완료시점의 평균함수비는 Free Water 아래에서 압밀거동을 하는 실험조건에서 예측된 함수비보다 작은 함수비분포를 갖게 될 것이다.



그림 2. 현장 사진

현장상황과 같이 투기 단계와 단계사이의 방치되는 기간 동안에 준설토 표층의 건조영향이 실험을 통하여 예측된 준설매립토의 자중압밀거동과 실측치가 차이를 보이는 원인중 하나인 것으로 사료된다.

## 3. 기본물성 및 구성관계

### 3.1 준설토의 기본물성

원설계 당시 실시한 지반조사에서 산정된 기본물성값은 표 1과 같고, 준설토의 입도분포는 그림 3과 같다. 설계변경 지반조사에서 획득한 입도곡선은 배사관의 위치에서 멀리 떨어질수록 세립분이 많이 분포하게 되는 효과에 의해 위치별로 입경에 대한 통과백분율이 넓게 분포하게 되었다.

표 1. 기본물성 시험 결과

구분	액성한계, LL(%)	소성한계, PL(%)	소성지수, PI(%)	비중, Gs	USCS
물성치	47.1	26.8	20.3	2.72	CL

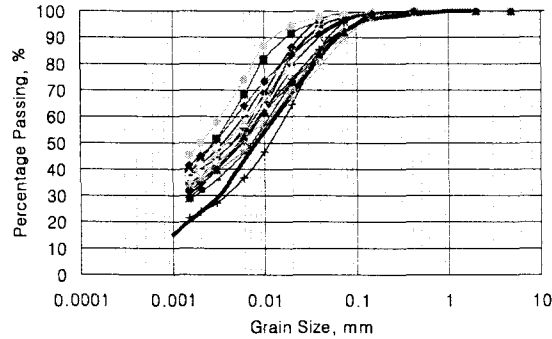


그림 3. 입도분포 곡선

### 3.2 초기 간극비 및 구성관계

원설계에서 준설토 투기 후 자중압밀 시점의 간극비는 Yano의 방법을 통하여 2.772로 산정하였고, 표 준압밀시험과 원심모형시험기를 이용한 자중압밀 시험을 실시하여 역해석을 통하여 구성관계식을 산정하였다. 선정된 구성관계식은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$e = 1.9891 \sigma^{-0.2626}, \quad (\sigma: tf/m^2) \quad (1)$$

$$k = 1.98E-5 e^{4.615}, \quad (k: m/day) \quad (2)$$

## 4. 검토 조건 및 해석 결과

### 4.1 검토 조건

본 연구에서는 준설토 투기기간 중 발생하는 방치기간에 일어나는 투기 단계별 각층의 상부의 건조로 인한 투기 완료시의 함수비의 변화가 이후 준설매립토의 거동에 많은 영향을 줄 것이라 판단되어 이를 확인하기 위하여 매립기간 중 Desiccation의 영향 고려 유무에 따른 매립기간별 관계를 비교하였으며, 투기횟수(투기간격)에 따른 영향을 확인하기 위하여 매립기간을 일정하게 하고 투기간격을 달리하여 해석을 수행하였다. 준설토 투기에 대한 모델링은 일시투기하여 투기간격만큼 방치하는 것으로 하였다. 본 연구에서 수행한 해석조건은 표 2와 같다.

### 4.2 해석 결과

#### 4.2.1 매립기간별 관계

매립기간 중 Desiccation의 영향이 향후 준설매립토의 거동에 끼치는 영향을 확인하기 위하여 매립기간 중 Desiccation을 고려한 경우(BB)와 고려하지 않은 경우(AA)에 대해 각각 투기간격을 180일로 일정하게 하여 1년, 2년 그리고 3년 동안 투기하는 것으로 모델링하여 비교검토 하였다.

표 2. 해석수행 조건

비교 목적	매립 중 Desiccation 영향	범례명	총 투기기간 (년)	투기 횟수	투기간격 (일)	1회 투기량 (m)	총 투기량 (m)
매립기간별 비교	무시	AA1	1	3	180	2.78	8.34
		AA2	2	5	180	1.72	8.60
		AA3	3	7	180	1.26	8.82
	고려	BB1	1	3	180	2.9	8.70
		BB2	2	5	180	1.84	9.20
		BB3	3	7	180	1.41	9.87
방치기간별 비교	무시	CC1	2	4	240	2.16	8.64
		CC2	2	7	120	1.23	8.61
		CC3	2	9	90	0.96	8.64
	고려	DD1	2	4	240	2.33	9.32
		DD2	2	7	120	1.36	9.52
		DD3	2	9	90	1.10	9.90

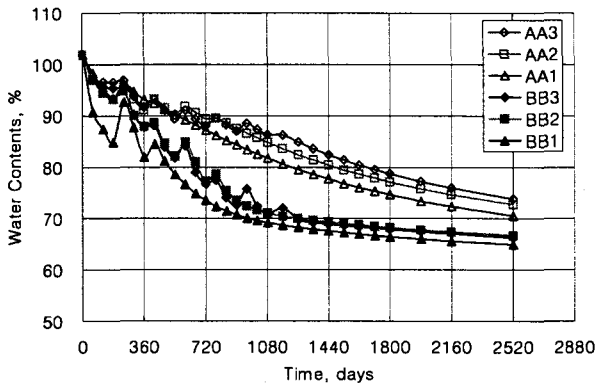


그림 4. Time - Water Contents 관계

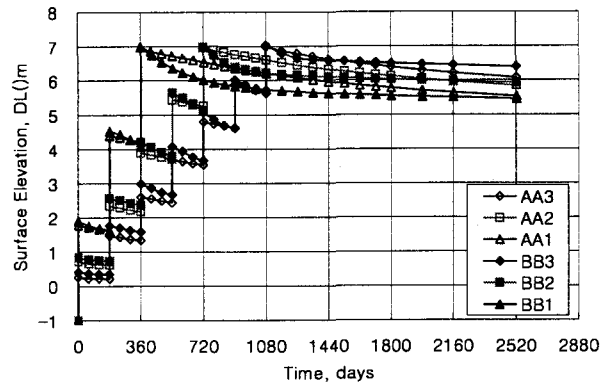


그림 5. Time - Surface Elevation 관계

해석 결과 함수비의 변화는 (그림 4 참조) 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려한 것은 매립 중 및 매립완료 후 초반부에 급격히 감소하고 이후부터는 완만한 경사를 보이고 있다. 이는 매립기간 중 방치되는 동안 건조에 의한 영향으로 상부의 함수비가 감소하면서 평균 함수비가 감소한 것이다. 반면 매립기간 중에 Desiccation의 영향을 고려하지 않은 경우에는 함수비가 거의 선형적으로 감소하다가 Desiccation 영향을 고려한 경우의 함수비와 근접해 가면서 분포 기울기가 작아지는 것으로 나타났으며, 준설매립토의 표층 Elevation은 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려한 조건과 하지 않은 조건의 결과가 유사한데 이는 준설토의 매립완료시점의 투기고를 DL(+7.0m로 일정하게 했기 때문에 함수비에 비해 상대적으로 작은 차이를 나타냈다.

설계변경 지반조사 결과 매립완료 후 방치 2년 이후의 평균함수비는 약 70%였으며 그 시점의 준설매립토의 표층 Elevation은 DL(+6.0m 이었다. 매립기간 중에 Desiccation의 영향을 고려한 조건 해석에서는 서로 큰 차이를 보이지 않으나 그 중 현장상황과 가장 잘 부합하는 해석은 함수비는 69.3%, 준설매립토의 표층 Elevation은 DL(+6.10m의 결과를 나타낸 현장 투기기간과 유사하게 모델링한 2년 투기에 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려한 BB2 조건으로 나타났다.

#### 4.2.2 투기간격별 비교

투기간격별 비교에서는 같은 투기기간 일지라도 투기횟수(투기간격)에 따른 영향을 확인하기 위하여

매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려한 조건과 하지 않은 두 조건 모두에 대해 총 투기기간을 2년으로 하고 투기횟수를 4회, 7회 그리고 9회로 변화를 주어 해석을 수행하였다.

해석결과 준설토의 표층 Elevation은 모든 조건에서 거의 유사하게 변화되었고(그림 7 참조), 매립기간 중 Desiccation의 영향 고려 유무에 따른 함수비 변화는 4.2.1과 마찬가지로 매립기간 중 Desiccation 영향을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우에 비해 초기에 많이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 매립기간 중 Desiccation의 영향 고려 유무에 대한 각각의 조건에서 함수비는 투기횟수의 변화에 따른 영향이 미미하여 투기횟수에 상관없이 거의 유사하게 변화됨을 확인 할 수 있었다.(그림 6 참조)

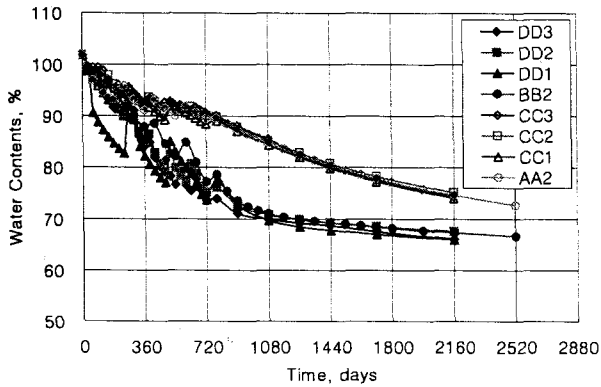


그림 6. Time - Water Contents 관계

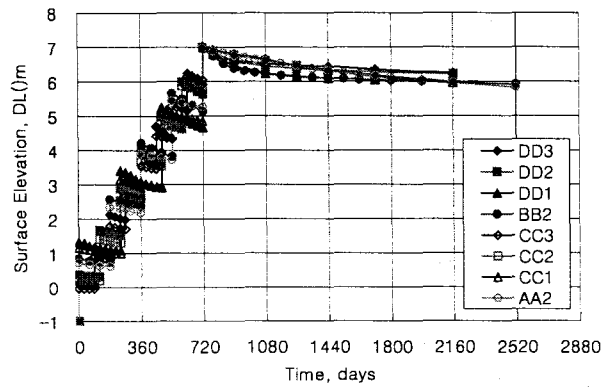


그림 7. Time - Surface Elevation 관계

#### 4.2.3 심도별 함수비 분포

그림 8과 그림 9는 각 투기 단계 및 매립완료 후 2년 방치후의 심도별 함수비 분포결과이며 그림 8은 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려하지 않은 해석 결과이고 그림 9는 Desiccation의 영향을 고려한 해석 결과이다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 각 단계별 매립토층의 상부는 Desiccation의 영향으로 함수비가 감소했으며 다음 투기 단계로 이미 감소된 함수비의 영향이 전달되는 것을 알 수 있다. 이는 4.2.1과 4.2.2의 결과가 각 투기단계별 매립토층 상부가 Desiccation의 영향에 의한 함수비의 감소에 의한 것임을 입증해주는 결과라 할 수 있다.

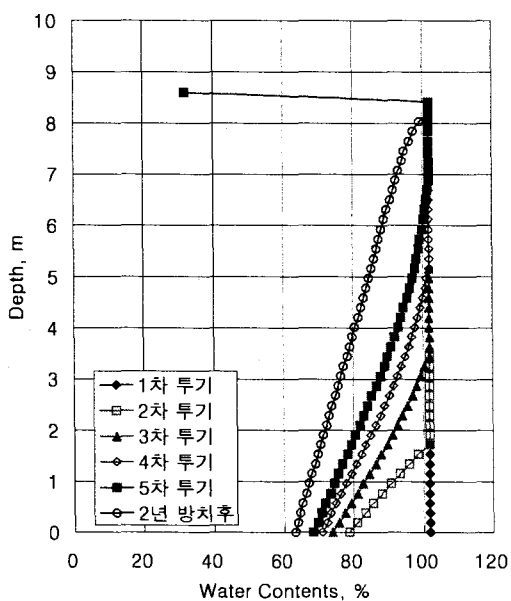


그림 8. AA2 조건의 심도별 함수비 분포

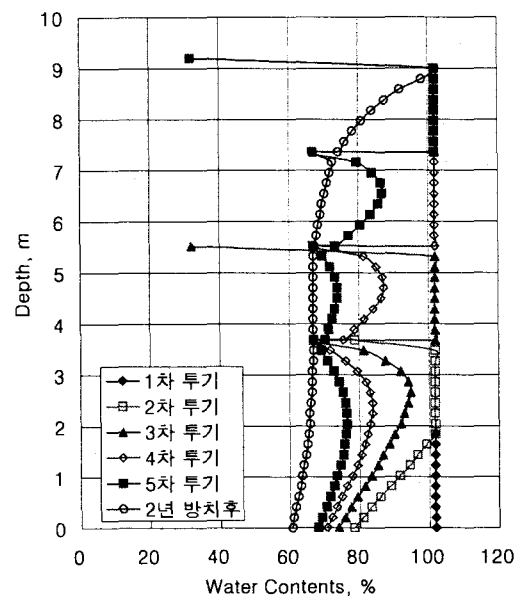


그림 9. BB2 조건의 심도별 함수비 분포

## 5. 결 론

본 연구에서는 부산 신항 북컨베이어부의 원설계에서 실시한 준설토의 자중압밀 특성치와 설계변경 지반조사에서 확인한 준설토의 매립완료 후 2년이 경과한 후의 매립토층의 특성을 비교한 결과 예측치와 실측치의 차이가 있어 그 이유를 규명하고 보다 나은 준설매립토의 자중압밀 거동을 예측하기 위한 방법을 찾고자 PSSDF 프로그램을 이용하여 몇 가지 조건별 해석을 수행하였다. 해석결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 같은 Desiccation 조건에서는 매립기간에 따른 함수비의 분포는 큰 차이를 보이지 않았으나 매립완료 후 2년경과 시 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려한 조건에서는 현장의 상황과 유사한 약 70%의 함수비로 나타났으나, 고려하지 않은 조건에서는 약 10%정도 큰 결과를 보였다. 준설매립토의 표층 Elevation의 경우는 각 조건에 대해 함수비보다 상대적으로 다소 큰 변화 폭을 보이면서 매립기간이 길어질수록 Elevation은 높게 나타났다.

(2) 같은 Desiccation 조건에서 일정한 매립기간에 대해서 투기횟수에 변화를 준 조건에 대해서는 함수비와 준설매립토의 표층 Elevation 모두 거의 비슷한 값으로 나타났다. 단지 예상했던 것과 마찬가지로 Desiccation의 영향에 대해서는 결론(1)과 마찬가지로 약 10%의 함수비 차이를 보이고 있다. 이로써 같은 매립기간에 대해서는 투기횟수 즉 투기간격을 달리하여도 준설매립토의 향후 거동에는 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

(3) 현장과 같은 투기기간(2년) 조건에서 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려하지 않은 경우는 준설매립토의 표층 Elevation은 현장상황과 유사하나 함수비가 현장보다 약 10%정도 크게 나타났으며, 매립기간 중 Desiccation의 영향을 고려한 경우는 함수비와 준설매립토의 표층 Elevation 모두 비슷하게 나타났다. 이 결과로 보아 부산 신항 북컨베이어부의 준설토의 거동은 준설토의 매립기간 중 방치되는 기간에서 Desiccation의 영향을 고려한 해석이 현장상황과 잘 부합되는 것을 알 수 있었다.

(4) 향후 준설매립토의 자중압밀 거동에 대한 예측을 실시할 경우 준설토의 투기기간 중 방치되는 기간에 상부의 건조에 의한 함수비의 감소를 고려해 주는 것이 준설매립토의 거동을 실제에 보다 근사하게 예측 할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 김병일, 양상호, 한상재, 김수삼(2002), "PSSDF를 이용한 침강자중압밀의 단계투기 모델링에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.235~238.
2. 부산신항만주식회사(1998), "부산신항만 민자사업 1단계 토목부분 실시설계를 위한 준설토의 침하 및 체적변화 특성연구 보고서".
3. 신현영, 이룡, 한상재, 김수삼(2001), "준설토의 침강-자중압밀 침하량 산정에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.1~4.
4. 이송, 강명찬(2000), "단계투기법에 의한 준설점토의 체적비 산정", 한국지반공학회논문집, 제 16권, 제 1호, pp.167~178.
5. 최항석, 최한영, Timothy D. Stark(2006), "준설매립지반의 침하거동 예측을 위한 준설토의 역학적 거동 특성", 한국지반공학회 준설매립기술위원회 학술발표회 논문집, pp.75~86.