

# 연약지반상에 축조된 농업용 저수지의 압밀거동

Consolidation Behavior of Agricultural Reservoir under Embankment on Soft Clay

\*오범환 · 이달원(충남대)

\*Oh, Bum-Hwan · Lee, Dal-Won

## Abstract

This study was performed to evaluation the consolidation behavior of agricultural reservoir in the very soft ground. The final settlement prediction methods by Hyperbolic and Asaoka methods were used to compare with the degree of consolidation estimated by excess pore water pressure. The dissipated excess pore water pressure during embankment construction and peak excess pore water pressure on the completed embankment were suggested for the estimation of the degree of consolidation. It was concluded that the degree of consolidation estimated from dissipated excess pore water pressure was more reliable than that from the peak excess pore water pressure.

## I. 서론

경제성장과 더불어 공업용지 및 주거용지의 수요가 날로 증가됨에 따라 매년 약 20,000ha 정도의 농경지 면적이 잠식되어 가고 있어 식량의 자급자족 측면에서 심각한 문제점이 대두되고 있는 추세이다. 그 동안 내륙의 지반 조건이 양호한 지역에서 개발이 고갈됨에 따라 개발여건이 열악한 해안 연약지반에 방조제를 축조하여 농경지를 확대하는 간척사업이 진행되어 왔으나 생태계 보전등 여러가지 환경문제 때문에 사업시행에 어려움을 겪고 있다. 그러나, 간척사업지구내에서 농업용수의 원활한 공급과 농촌지역 주민들의 농업기반정비 사업의 개선요구 증가로 인하여 기존에 해안지역에 축조되지 않았던 농업용 저수지, 용배수로등의 수리시설물을 축조하여 농촌지역 개발을 촉진시킬 수 있는 방안이 요구되고 있다. 특히, 해안지역의 연약지반상에 축조되는 농업용 저수지는 점토 및 실트등의 지반 공학적 성질이 복잡한 특성을 가지고 있으며, 지반의 강도가 작고 침하등의 변형이 크기 때문에 여러 가지 문제가 발생되고 있다.

농업용 저수지와 같은 연약지반 성토는 일반도로 구조물과는 다르게 축조후 저수량을 확보하여야 하기 때문에 침하뿐만 아니라 안정관리에도 신중한 검토가 이루어져야 하고, 안정관리 검토결과에 따라 성토시공속도 및 후속공사의 착수시기를 결정하여 시공관리방안을 제시하여야 하지만 실제 시공현장에서 적용하기에는 많은 문제점이 발생하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 가장 합리적인 방법은 실내모형실험과 수치해석등을 실시하고, 침하계와 간극수압계, 경사계등의 현장계측기를 매설하여 실제 지반의 거동을 파악하고 설계에 직접 반영하므로써 현장시공의 최적화를 도모하는 계측관리이다.

따라서 본 연구는 연약지반상에 축조되는 농업용 저수지의 침하량과 과잉간극수압의 거동을 비교분석하여 농업용 저수지의 설계시 기초자료로 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 현장 및 실내시험

현장지반의 분포특성을 파악하기 위하여 시추조사와 병행하여 표준관입시험을 실시하였고, 물리적·역학적 특성을 파악하기 위하여 불교란시료를 채취하여 실내시험을 한 결과는 Table 1과 같다.

현장계측기의 매설은 현장조사 자료를 기초로 압밀침하량이 가장 큰 지역, 성토고가 가장 높은 지역, 부등침하 예상지역, 사면붕괴 예상지역 등을 검토한후 주계측단면(DP-3)과 부계측단면(DP-5)의 위치를 선정하여 지표면침하판, 층별침하계, 간극수압계를 매설하였다.

Table 1 Geotechnical properties

Depth(m)	$\omega_n(\%)$	$e_0$	LL(%)	$c_c$	$c_v(\text{cm}^2/\text{s})$	$c(\text{kgf}/\text{cm}^2)$
5~10	41~53	1.180 ~1.367	44~65	0.37~0.45	$1.034 \times 10^{-3}$ ~ $9.611 \times 10^{-4}$	0.191~0.408

현장지반조사 결과 지층은 CL~CH로 구성되어 있고, 연약층의 두께는 5~10m범위이고, N치는 연약층의 두께가 가장 큰 지역에서는 1~5범위로 분포하고 있다.

자연함수비와 액성한계는 각각 41~53% 와 44~65%의 범위이고, 압밀침하량을 결정하는데 중요한 상수인 압축지수는 0.37~0.45의 범위로 분포되어 있다.

### 2. 성토시공 및 계측

저수지의 성토시공은 2000년 8월 8일-2000년 10월 16일 까지 약68일 동안 1차 성토고 2.4m를 완료하고 약 5개월 동안 방치한 후, 2001년 4월 17일-2001년 5월 17일까지 약 30일 동안 성토고 1.8m를 완료하여 2차 성토고 4.2m를 완료하였다.

그 후 10-40cm의 높이로 성토시공을 계속하면서 2002년 7월 16일까지 709일동안 총성토고 10.8m까지 시공을 완료한 상태에서 침하량을 측정하였다.

성토시공속도는 안정관리분석과 병행하면서 시공하였고, 침하량은 지표면 침하판을 이용하였고, 간극수압계는 진동현식을 이용하여 분석하였다.

### 3. 분석방법

연약지반에 축조되는 저수지의 설계시 침하량과 소요압밀도의 산정은 본 지반이 무처리 지반이기 때문에 Terzaghi 방법에 의하여 실측치와 예측치를 분석하였다.

연약지반에 축조되는 저수지의 최종침하량을 예측하는 방법들은 각각의 제안식마다 가정 조건들이 다르기 때문에 신뢰성 평가에 어려움이 있으나 실험이 완료한 후 신뢰성이 높다고 평가된 쌍곡선, Asaoka방법등에 의하여 비교분석 하였다. 또한 측정된 과잉간극수압의 소산을 이용하여 압밀도를 분석 하였다.

## III. 결과 및 고찰

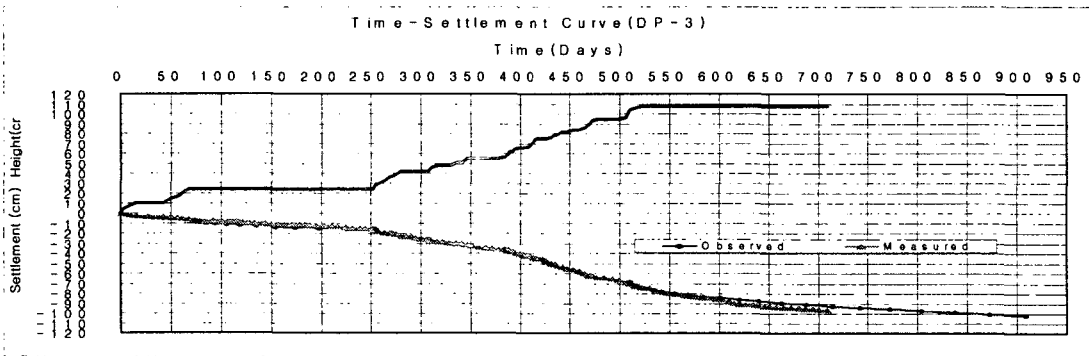
### 1. 시간-침하량 분포

최종침하량의 예측은 주로 현장에서 계측한 실측침하량을 이용하여 예측하고 있지만, 현장적용결과 예측된 침하량이 과대 및 과소평가되는 경향이 있어 현장기술자들이 후속공사 착수시기를 결정하기 위한 시공관리방안을 마련하는데 많은 문제점이 발생되고 있다.

2002년도 한국농공학회 학술발표회 논문집(2002년 10월 12일)

또한, 설계침하량이 잘못 산정되었을 경우 이를 수정하기 위한 공사기간의 연장이 불가피하므로 성토종료시점에서 최종침하량을 예측할 수 있다면 압밀완료시점과 최종성토고를 정확하게 결정할 수 있다. Fig. 1은 연약지반상에 점증하중에 의하여 축조된 농업용 저수지의 침하량을 측정하는 것이다.

침하량은 주계측단면(DP-3)과 부계측단면(DP-5)에 설치된 지표면 침하관을 이용하였다. 시간이 경과함에 따라 가장 연약층의 깊이가 깊은 DP-3단면에서는 점증하중에 의하여 침하가 진행되고 있다. DP-3단면에서 Terzaghi에 의한 일차원 압밀침하량은 152.97cm이고, 실측침하량은 96.5cm으로 예상침하량(92.6cm)보다 약간 크게 나타났으며, 현재까지 압밀도는 63.1%으로 나타났다.



(a) DP-3 section

Fig. 1 Time-settlement curve with gradual step load at field test.

부등침하의 발생가능성이 있는 DP-5단면에서는 일차원 압밀침하량은 96.4cm이고, 실측침하량은 62.8cm으로 예상침하량(62.1cm)과 거의 유사하였으며, 현재까지 압밀도는 65.2%으로 나타났다.

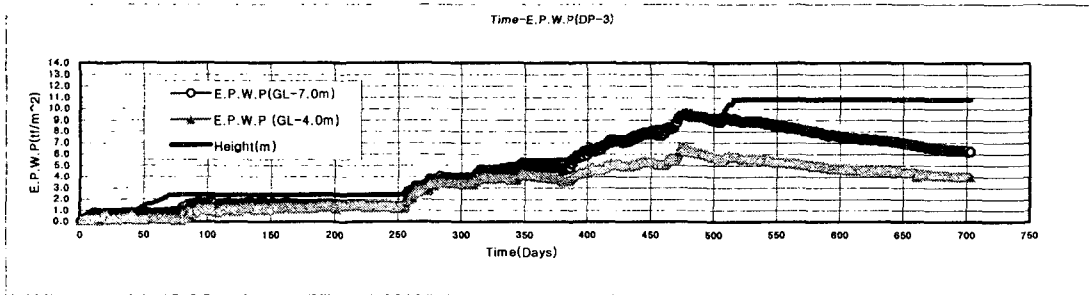
## 2. 시간에 따른 간극수압의 변화

일반적으로 실제 현장에서 압밀도의 예측은 현장계측으로 얻어진 침하량 자료로부터 최종침하량을 예측하여 이용하는 경우가 많았고 간극수압의 계측결과는 침하계측자료만으로도 압밀도 예측이 가능하기 때문에 소홀히 다루어져 왔다. 그러나, 계측초기에는 침하량이 작기 때문에 압밀도도 낮고, 계측자료도 충분하지 않기 때문에 침하계측자료에 의하여 압밀도를 예측하는 것보다 압밀초기에 계측자료가 충분한 간극수압을 이용하여 압밀도를 예측하는 것이 신뢰성이 클 것으로 판단된다. 일반적으로 압밀도를 구할 경우 성토완료 후에 최대과잉간극수압 이후의 결과만을 이용하고 있다. 이와같은 방법은 비교적 간단하게 압밀도를 구할 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 성토초기부터 성토완료시까지 소산된 과잉간극수압을 합리적으로 반영할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

Fig. 2는 소산된 과잉간극수압에 의하여 압밀도를 추정하는 방법이 최대과잉간극수압을 이용하는 것보다 더 타당함에도 불구하고, 계측자료의 신뢰성 여부등으로 고가장비인 간극수압계의 자료가 제대로 활용되지 못하고 매설 목적과는 다르게 비효율적이고 비경제적인 경우가 많아 이들의 효율적 활용방안의 하나로 연약지반에서 가장 중요하게 다루어지고 있는 압밀도 추정방법에 이용하고자 시공 현장에서 점증하중에 의한 시간-과잉간극수압의 변화를 나타낸 것이다.

측정단면인 DP-3와 DP-5에서 매설된 간극수압계로부터 보정된 과잉간극수압은 성토초기에는 상재하중을 간극수가 받게 되고 흙의 투수성이 작아 과잉간극수압의 소산속도가 느리게 나타났다. 계속적인 단계성토에 의해서 간극수압은 점차적으로 증가하게 되어 성토완료시에 최대치를 나타내고 성토종료 후 방치기간에는 서서히 소산되는 현상을 나타냈다. 과잉간극수압은 방치기간이 짧아 성토초기에 정확한 압밀도의 분석이 어렵지만, 전체적인 간극수압의 소산은 성토시공중의 소산과 최대간극수압 이후의 소산이 합성되어 발생하는 복합적인 거동을 나타냈다.

DP-3 단면에서 과잉간극수압의 분포경향은 2.4m 성토후 180일 정도 방치기간이 장기화 되어 G.L-4.0m와 G.L-7.0m에서 큰 차이를 나타내지 않았지만, 성토시공속도가 빠르고 방치기간이 짧아지면서 간극수압의 소산속도가 점점 차이가 발생되고 그 증가 경향은 유사하지만 심도가 낮은 경우가 더 빨리 소산되는 경향을 나타냈다. 이것은 하부층에서 배수 저항이 증가하므로 상부층에 비하여 과잉간극수압의 소산속도가 약간 느린 경향이 있기 때문인 것으로 판단된다.



(a) DP-3 section

Fig. 2 Variation of the pore water pressure with gradual step load at field test.

DP-5 단면에서 과잉간극수압의 분포경향은 매설심도 G.L-1.3m에서는 큰 변화를 나타내지 않았고, G.L-2.8m에서는 단계성토기간에 따라서 발생과 소산이 뚜렷하게 나타났고 방치후에는 급격하게 소산되는 현상을 나타냈다. 특히 과잉 간극수압의 변화량은 초기과잉 간극수압을 어떻게 판단하는가에 따라 압밀도가 큰 차이가 나타나기 때문에 발생과 소산 과정이 뚜렷한 G.L-2.8m에서의 분포 경향을 판단하면 성토중 소산된 과잉간극수압을 고려하여 압밀도를 판단하는 것이 실제와 근접한다고 생각된다.

#### IV. 결론

본 연구는 연약지반상에 축조되는 농업용 저수지의 압밀거동을 현장실험결과를 기초로 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 점층하중에 의한 주계측 단면과 부계측 단면에서 실측침하량과 예상침하량은 거의 유사하게 나타났다.
2. 성토하중에 의한 점층재하시 주계측 단면과 부계측 단면에서 과잉간극수압의 소산은 성토시공중의 소산과 최대간극수압 이후의 소산이 합성되어 발생하는 복합적인 거동을 나타냈다.
3. 단계성토에 의해서 간극수압은 점차적으로 증가하게 되어 성토완료시에 최대치를 나타내고 성토종료 후 방치기간에는 서서히 소산되는 경향을 나타냈고, 과잉간극수압의 발생과 소산과정이 뚜렷한 심도에서의 압밀도를 분석한 결과 성토중 소산된 과잉간극수압을 고려하여 압밀도를 파악하는 것이 실제와 근접한다고 생각된다.