

## 준설매립된 연약지반의 압밀도 산정에 관한 연구

### The Study of Evaluating The Degree of Consolidation of The Dredged and Reclaimed Soft Ground

김승렬<sup>1)</sup>, Seung-Ryull Kim, 정현철<sup>2)</sup>, Hun-Chul Jung, 박치면<sup>3)</sup>, Chi-Myeon Park,  
신경하<sup>4)</sup>, Kyung-Ha Shin, 정기문<sup>5)</sup>, Ki-Moon Jung

<sup>1)</sup> (주)에스코컨설턴트 대표이사, President, ESCO Engineers & Consultant Co., Ltd

<sup>2)</sup> (주)에스코컨설턴트 상무이사, Managing Director, ESCO Engineers & Consultant Co., Ltd

<sup>3)</sup> (주)에스코아이에스티 부장, Manager, ESCO Information & System Technology Co., Ltd

<sup>4)</sup> (주)에스코컨설턴트 과장, Manager, ESCO Engineers & Consultant Co., Ltd

<sup>5)</sup> (주)에스코컨설턴트 주임, Assistant Manager, ESCO Engineers & Consultant Co., Ltd

**SYNOPSIS** : Understanding of an accurate state of consolidation of underconsolidated clay body, like a recently dredged or reclaimed clay deposits, is one of the most difficult tasks. The estimation of the consolidation status of these clay bodies is often made by laboratory tests or numerical analyses. However these methods demonstrated crucial limitations in the accurate prediction. Therefore, the predicted degree of consolidation from various techniques is verified by actual measured field data. The degree of consolidation of clay body in the East Side Hinterland of Gwangyang Port(2nd Phase) is evaluated in this study by using various techniques such as oedometer test, CPTu, numerical analysis and piezometer tests etc. And the results are compared each other to find the most reliable prediction technique. The merit and reliability of each method is discussed in detail. It is revealed from in this study that the estimation of degree of consolidation by an actual pore water pressure measurements is the most reliable technique.

**Keywords** : underconsolidated clay, degree of consolidation, excess pore pressure, piezometer, dredged clay

## 1. 서 론

준설매립된 지반의 압밀이력 평가는 압밀침하량 산정의 신뢰성 및 압밀침하 발생경향을 파악하는데 매우 중요한 요소로서, 투기된 준설점토의 자중압밀 여부와 준설점토 하중에 의한 원지반점토의 압밀정도를 파악하여 압밀침하 해석에 반영하고 이를 토대로 설계 목표침하량 등을 산정하여야 한다.

특히 연약한 점성토 상부로 준설점토가 투기된 지반의 경우 준설점토의 투기이력에 따라 복잡한 응력조건을 갖기 때문에 현장의 정확한 압밀특성을 평가하여 설계에 반영하여야 한다.

일반적으로 복잡한 응력조건을 갖는 준설매립지반의 압밀도를 산정하기 위하여 각종 실내시험 및 수치해석, 현장시험 등의 시험결과를 분석하여 설계 적용하고 있으나, 시료교란의 영향, 시험기간의 부족 및 투기이력 등의 자료부족으로 합리적이며 신뢰성 있는 결과를 도출하지 못하는 실정이다.

본 논문에서는 준설매립 후 일정기간 방치된 광양항 동측배후단지(2단계)의 압밀도 산정을 위하여 각종 실내시험 및 현장시험결과를 분석과 준설점토 투기이력을 이용한 수치해석을 수행하였으며, 현장 피

에조미터에 의한 과잉간극수압을 직접 계측하여 설계적용 압밀도를 산정하였다. 또한 선시공 지역인 광양항 동측배후단지(1단계)에서의 계측데이터를 활용한 침하 역해석을 수행하여 산정된 압밀도에 대한 적정성을 검증하였다.

## 2. 부지 현황

광양항 동측배후단지(2단계)는 광양항 컨테이너부두 1단계 안벽공사 및 항로 준설로 인해 발생한 준설점토가 1992년~1997년 까지 원지반 점토층 상부에 투기되어 있는 복합지반으로 구성되어 있다. 압밀 특성 분석 및 단계별 시공을 위한 영역구분은 크게 준설점토 투기이력 및 지반특성을 고려하여 동측폰드와 서측폰드로 구분하였으며, 영역구분 및 호안시공과 준설점토 투기이력은 표 1과 같다.

표 1. 광양항 동측배후단지 준설점토 투기이력

구분		동측폰드		서측폰드	
		1차	2차	1차	2차
호안 시공	호안고(m)	6.0	8.7	6.0	8.7
	공사완료(년)	1992	1994	1993	1994
준설점토 투기기간		1992~1993	1994~1996	1994~1997	

준설매립이 이루어진 후 약 8년이 경과한 광양항 동측배후단지는 현장 피에조콘 소산시험(CPTu)결과와 준설점토 투기전후의 원지반 지반고를 고려한 역해석 결과로부터 압밀진행중인 지반임을 확인하였다. 원지반 점토는 준설점토하중에 의한 압밀이 진행중이며 준설점토는 자중에 의한 압밀이 진행중이다. 그림 1과 2는 지반의 압밀경향을 분석한 것으로 현재 지반이 압밀진행중임을 보여주고 있다.

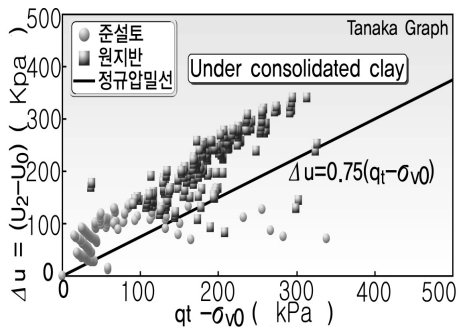


그림 1. CPTu 시험에 의한 압밀경향 분석

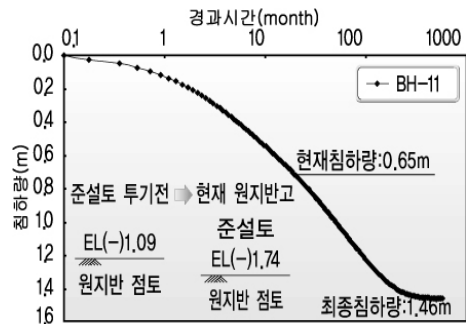


그림 2. 계측에 의한 압밀경향 분석

## 3. 압밀도 산정

연약지반에서의 압밀도 산정을 위해 압밀시험과 원심모형시험 등의 실내시험 방법과 현장 피에조콘 소산시험 및 준설점토 투기이력을 활용한 수치해석 등을 수행하였다. 또한 압밀도 산정의 신뢰성을 높이기 위하여 동측폰드와 서측폰드를 대표할 수 있는 위치를 선정하여 현장 피에조미터에 의한 과잉간극수압을 측정하였다.

### 3.1 실내시험 결과를 이용한 압밀도 평가

실내시험에 의한 압밀도 평가는 실내압밀시험 및 실내압밀시험 결과를 이용한 압밀곡선 계산법과 원심모형시험, OCR 평가를 통해 수행되었으며 평가결과는 표 2와 같다.

표 2. 실내시험에 의한 압밀도 평가결과

구 분	서측폰드		동측폰드	
	준설점토	원지반	준설점토	원지반
압밀시험	-	8.0~77.0(42.0)	-	15.0~88.0(54.0)
압밀곡선 계산법	72.5~89.6(83.5)	-	84.8~98.1(90.6)	-
OCR평가	65.0~100(92.0)	-	50.0~100(96.0)	-
원심모형시험	87.3	-	91.6	-
평 균	87.6	42.0	92.7	54.0

그림 3과 그림 4는 각종 실내시험에 의한 압밀도 산정결과를 나타낸 도표이다. 그림에서와 같이 대상 지반은 현재 압밀진행 중임을 확인할 수 있었으나 원심모형시험을 제외한 실내시험의 경우 추정된 압밀도의 분포범위가 넓게 나타났다.

이는 시료교란의 영향, 원위치응력의 산정 및 시험자의 경험에 따라 시험결과가 다르게 평가될 수 있는 변수에 기인한 결과로 판단되며 설계적용 압밀도를 산정하기가 어려운 것으로 판단되었다.

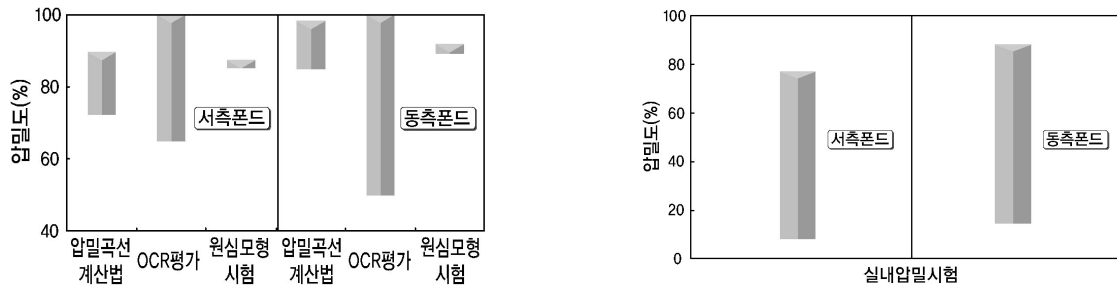


그림 3. 실내시험에 의한 준설점토 압밀도 평가결과 그림 4. 실내시험에 의한 원지반 압밀도 평가결과

### 3.2 현장 피에조콘 소산시험을 이용한 압밀도 평가

현장 피에조콘 소산시험은 전 지역에 걸쳐 총 67회가 수행되었으며 평형간극수압을 이용한 Asaoka법과 Barron법을 적용하여 압밀도를 평가하였다. 서측폰드 및 동측폰드 에서의 대표적인 시추공에 대한 피에조콘 소산시험에 의한 압밀도 평가결과는 표 3과 표 4와 같다.

표 3. 서측폰드 피에조콘 소산시험에 의한 압밀도 평가결과

시추공	심도 (m)	Asaoka 방법		Barron 방법		준설토 두께 (m)	준설점토하중 ( $\Delta U_i$ , kPa)	압밀도(%)	
		평형간극수압 (kPa)	잔류간극수압 (kPa)	평형간극수압 (kPa)	잔류간극수압 (kPa)			Asaoka	Barron
BH-2	10.00	130.6	32.0	129.0	31.0	7.30	38.0	14.8	19.0
BH-4	10.00	94.0	12.0	85.0	3.0	7.00	53.0	77.3	94.3
BH-10	12.00	142.0	22.0	140.0	20.0	6.70	34.0	35.1	40.9
BH-12	7.25	97.6	34.0	96.0	32.0	6.10	38.0	12.7	16.8
평균								35	43

표 4. 동측폰드 피에조콘 소산시험에 의한 압밀도 평가결과

시추공	심도 (m)	Asaoka 방법		Barron 방법		준설토 두께 (m)	준설택토하중 ( $\Delta U_i$ , kPa)	압밀도(%)	
		평형간극수압 (kPa)	잔류간극수압 (kPa)	평형간극수압 (kPa)	잔류간극수압 (kPa)			Asaoka	Barron
BH-13	12.00	150.5	31.0	143.0	23.0	6.80	36.0	15.0	35.8
BH-16	10.00	113.5	21.0	163.0	71.0	6.50	42.0	49.0	-
BH-17	8.00	114.5	36.0	110.0	31.0	6.50	35.0	-	10.0
BH-17	12.00	143.6	24.0	-	-	6.50	35.0	31.4	-
BH-18	16.00	169.9	8.0	168.0	6.0	6.10	32.0	74.8	80.8
BH-22	8.00	96.9	18.0	91.0	12.0	5.10	28.0	35.2	56.5
평균								41	46

피에조콘 시험에 의해 산정된 압밀도 평가결과 그 범위가 약 10~90%까지 넓게 분포하고 있어 준설택토 밑지반에서의 압밀도 분포경향을 개략적으로 판단할 수는 있으나 상세한 압밀도를 판단하기는 어려운 것으로 나타났다.

이는 피에조콘 소산시험시 과잉간극수압이 충분히 소산될 수 있도록 장시간시험을 수행할 수 없는 현장시험 여건에 기인한 것으로, 대표적인 위치에 대해서는 과잉간극수압이 충분히 소산될 수 있도록 현장시험을 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 3.3 역해석을 이용한 압밀도 평가

기초조사자료 및 준설택토 투기이력 등을 고려하여 준설택토 투기전 원지반고와 투기후 원지반침하량에 의해 침하된 원지반고를 산정하여 역해석을 수행하였으며, 이를 통해 압밀도를 평가하였다.

표 5. 서측폰드 역해석에 의한 압밀도 평가결과

구 분		서측 폰드				비 고
		BH-5	BH-8	BH-11	BH-10	
원지반고(EL,m)		-1.09	-0.69	-1.09	-1.09	투기완료 : 1997년 현재 : 2005년3월 경과시간 : 89개월
투기후 침하량 (현재까지,m)	TCON계산	1.24	1.55	1.22	1.33	
	원지반 점토 표고차	1.11	0.53	0.65	1.00	
최종침하량(m)		1.67	1.79	1.46	1.53	
압밀도(U,%)		66.6	30.0	44.5	65.6	
평균 압밀도(U,%)		52.0				

표 6. 동측폰드 역해석에 의한 압밀도 평가결과

구 분		동측 폰드					비 고
		BH-13	BH-17	BH-14	BH-19	BH-9	
원지반고(EL,m)		-0.99	-0.49	-0.69	0.01	-1.29	투기완료 : 1996년 현재 : 2005년3월 경과시간 : 101개월
투기후 침하량 (현재까지,m)	TCON계산	1.23	1.39	1.41	1.45	1.33	
	원지반 점토 표고차	0.85	1.19	1.27	0.96	1.10	
최종침하량(m)		1.23	1.47	1.48	1.48	1.34	
압밀도(U,%)		69.0	81.0	85.6	64.8	82.0	
평균 압밀도(U,%)		76.0					

서측폰드 및 동측폰드 에서의 역해석을 통한 원지반 압밀도 산정결과는 표 5와 표 6과 같다. 서측폰드의 경우 약 30~66%의 분포경향을 나타냈으며, 동측폰드의 경우 약 64~85%의 분포경향을 나타내고 있다. 역해석 수행시 계산 적용 지반정수의 현장 지반의 정확한 반영에 제한적인 요소로 인해 압밀도의 분포범위가 넓게 나타났다.

### 3.4 피에조미터를 이용한 압밀도 평가

연약한 점성토 상부로 준설점토가 투기된 연약지반에서의 압밀도를 산정하기 위하여 각종 실내시험 및 현장 피에조콘 소산시험과 수치해석에 대한 경향을 분석한 결과 정량적으로 압밀도를 판정하기에는 그 범위가 넓게 분포하는 결과를 보였다. 이는 시료교란의 영향, 시험기간의 부족 및 투기이력 등의 자료의 불확실성에 기인한 것으로 판단된다.

본 광양항 동측배후단지 설계시 압밀도 산정의 신뢰성을 높이기 위하여 현장 피에조미터에 의한 과잉 간극수압을 직접 계측하여 압밀도 산정에 활용하였다.

#### 3.4.1 피에조미터 계기특성

준설매립지반의 압밀도를 평가하기 위해 매설된 간극수압계는 진동현식을 적용하였으며, 설치심도에 따른 유효응력을 고려하여 측정범위는 약 350kPa로 여유가 있는 계측기를 선정하였다.

표 7. 피에조미터 제원

측정 방식	측정 온도(℃)	측정 범위(kPa)	크기(dia×length)
진동현식	-10~70	0~350	20mm×145mm

#### 3.4.2 피에조미터 측정방법 및 위치

피에조미터는 서측폰드 대표시추공 BH-12(P1)와 동측폰드 대표시추공 BH-14(P2)에 심도별 3.0m, 11.0m, 15.0m로 매설하였으며 매설시 상호간의 간섭방지와 심도별 상호연계성을 분석하기위하여 이격범위는 2.0m 이내로 설치하였다. 간극수압 계측기간은 시간경과에 따른 간극수압 변화를 측정하기 위하여 약 30일간 계측을 실시하여 그 경향을 분석하였다.



그림 5. 피에조미터 계측위치

#### 3.4.3 계측결과

피에조미터 계측결과는 표 8과 같이 심도별로 간극수압이 증가하는 것으로 나타났으며, 시간에 따른

계측결과는 그림 6, 7과 같이 일정한 수치에 수렴하는 경향을 나타냈다. 압밀도 산정을 위한 심도별 간극수압은 최종 계측결과를 이용하였으며 시간에 따른 간극수압 발생경향이 일정하므로 신뢰성이 높은 데이터를 얻을 수 있었다.

표 8. 피에조미터 계측결과

구분	서측폰드(P1, BH-12)			동측폰드(P2, BH-14)		
	심도 3.0m	심도 11.0m	심도 15.0m	심도 3.0m	심도 11.0m	심도 15.0m
간극수압(kPa)	31.9	134.6	176.2	41.8	122.5	148.3

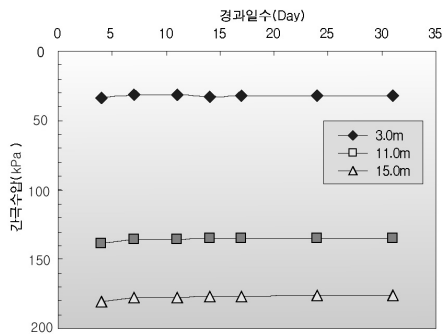


그림 6. 서측폰드 피에조미터 계측결과

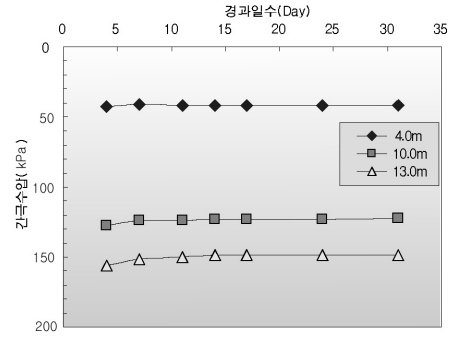


그림 7. 동측폰드 피에조미터 계측결과

### 3.4.4 계측결과 분석

계측결과를 이용한 압밀도 평가는 지반특성 및 준설점토 투기이력이 다른 서측폰드와 동측폰드로 구분하여 분석하였으며 또한 심도별로 퇴적이력 및 지반특성이 다른 준설점토와 원지반으로 나누어 분석하였다. 압밀도 평가 방법은 간극수압 계측결과를 이용하여 준설점토와 원지반의 평균 압밀도를 산정하였으며 서측폰드의 경우 준설점토가 86.4%, 원지반이 47.8%, 동측폰드의 경우 준설점토가 90.4%, 원지반이 57.5%의 압밀도를 나타내는 것으로 산정되었다.

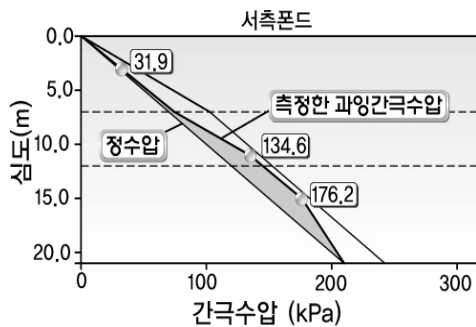


그림 8. 서측폰드 심도별 과잉간극수압

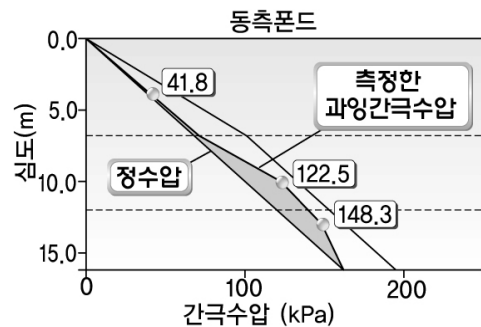


그림 9. 동측폰드 심도별 과잉간극수압

표 9. 피에조미터 계측결과를 이용한 압밀도 평가결과

구분	평균 압밀도(%)	
	서측폰드	동측폰드
준설점토	86.4	90.4
원지반	47.8	57.5

### 3.5 압밀도산정 결과분석

압밀도 산정을 위한 현장시험 및 각종 실내시험과 역해석에 의해 계산된 압밀도 종합 평가결과는 그림 10, 그림 11과 같이 압밀도의 분포범위가 너무 넓어 적용 압밀도를 정량적으로 평가하기는 어려울 것으로 판단되었다. 서측폰드 및 동측폰드에서의 대표 시추공 BH-12(P1)와 BH-14(P2)에서의 현장 피에조미터에 의한 과잉간극수압 계측결과를 통해 각 폰드를 대표할 수 있는 압밀도를 산정할 수 있었으며 설계적용 압밀도는 표 10과 같다.

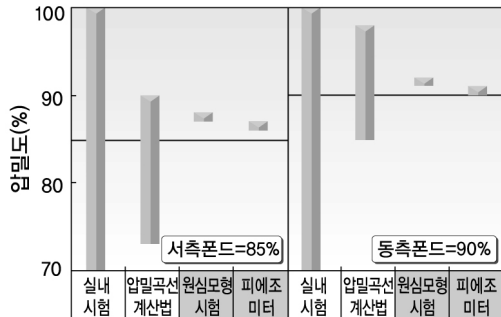


그림 10. 압밀도 평가결과(준설점도)

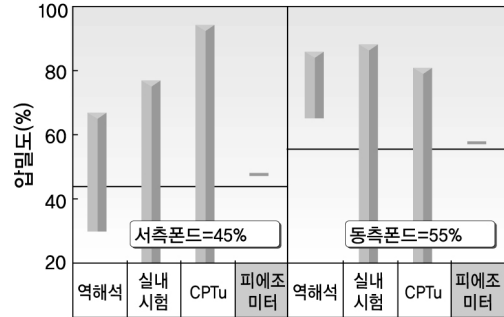


그림 11. 압밀도 평가결과(원지반)

표 10. 설계 적용 압밀도

구 분	준설점도		원지반	
	서측폰드	동측폰드	서측폰드	동측폰드
설계적용 압밀도(%)	85.0	90.0	45.0	55.0

## 4. 인근 계측자료를 활용한 적정성 검증

각종 시험, 수치해석 및 현장 피에조미터 계측결과에 의해 산정된 설계 적용 압밀도(표 10)에 대한 적정성을 검증하기 위하여 인근 선시공구간인 광양항 동측배후단지(1단계)의 계측결과를 활용하여 유한차분법에 의한 압밀프로그램인 TCON을 이용한 역해석을 수행하였다.

### 4.1 계측위치 및 해석방법

계측구간은 선시공구간인 광양항 동측배후단지(1단계) 구간이며 계측구간 중 비교적 계측이 잘 이루어진 S-10과 S-27 두 지점에 대하여 해석을 수행하였다.

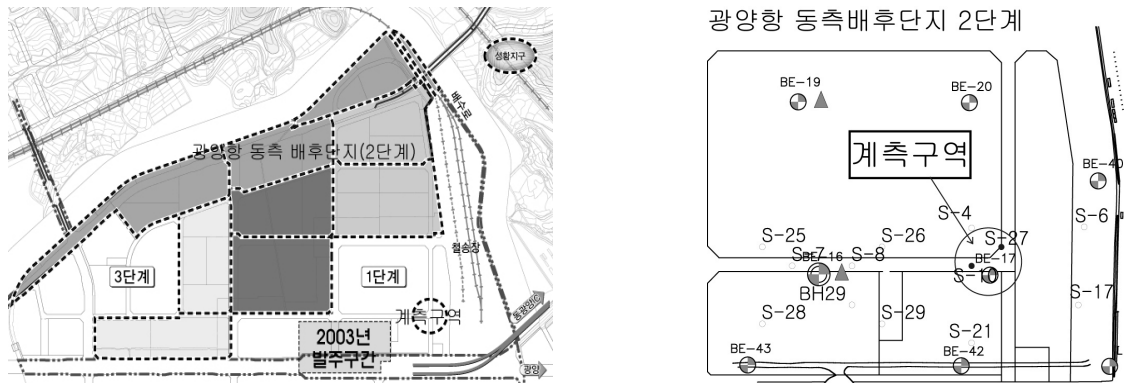


그림 12. 광양항 동측배후단지(1단계) 계측기 매설위치 및 해석위치

## 4.2 해석방법

해석위치에서의 계측자료를 이용한 최종침하량은 쌍곡선법과 Asaoka법으로 추정하였으며, 산정된 압밀도를 적용한 최종침하량은 압밀침하 해석프로그램인 TCON을 이용하였다. 적정성 검토는 압밀도에 의한 최종침하량을 계측자료에 의한 최종침하량과 비교하는 방법을 적용하였다. 계측지점인 S-10과 S-27에 대한 단계별 성토이력 및 침하량 발생 계측결과는 그림 13, 14와 같다.

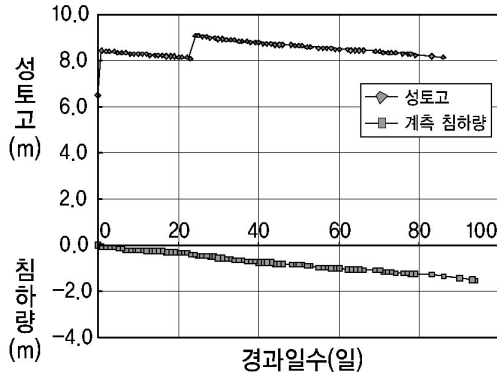


그림 13. 계측결과(S-10)

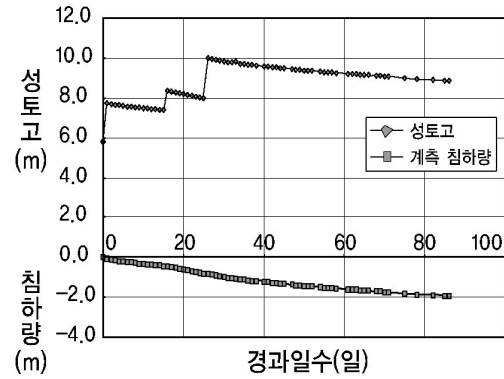


그림 14. 계측결과(S-27)

## 4.3 해석결과

### 4.3.1 계측결과를 이용한 최종침하량 산정

계측데이터는 쌍곡선법 및 Asaoka법에 의해 침하량을 예측하였으며, 표 11은 예측된 침하량 결과이다. 해석결과 S-27은 쌍곡선법과 Asaoka법에 의한 최종침하량이 유사한 결과를 나타내었으며, S-10은 Asaoka법이 약간 크게 예측되었다.

표 11. 침하 예측법에 의한 최종침하량 산정

구분	최종 침하량(m, Sf)	
	쌍곡선법	Asaoka법
S-10	4.16	4.70
S-27	4.77	4.60

### 4.3.2 프로그램을 이용한 최종침하량 산정

해석시추공은 계측지점에서의 시추공이 없으므로 인근 시추공인 BE-17을 적용하였으며, 표 12는 수치해석 프로그램에 의한 최종침하량 산정결과이다.

표 12. 프로그램에 의한 최종침하량 산정결과

구분	해석 시추공	최종 침하량(m)
S-10	BE-17	4.17
S-27		4.80



### 4.3.3 적정성 검증결과

각종 실내외 시험과 수치해석, 현장 피에조미터 계측결과를 종합하여 산정한 압밀도의 적정성을 검증하기 위하여 인근 계측자료를 이용하여 예측된 최종침하량과 수치해석 프로그램으로 예측한 최종침하량은 표 13과 같다.

표 13. 최종침하량 산정결과 비교

구분	S-10			S-27		
	쌍곡선법	Asaoka법	TCON해석	쌍곡선법	Asaoka법	TCON해석
최종침하량(m)	4.16	4.70	4.17	4.77	4.60	4.80

S-27의 경우 최종침하량이 예측결과와 수치해석 결과가 거의 유사한 결과를 나타냈으며, S-10의 경우 Asaoka법에 의한 침하량이 약간 크게 산정됐으나 쌍곡선법과는 거의 유사한 결과를 나타냈다. 그림 15와 16은 시험경과에 따른 침하량 발생경향을 보인 것으로 쌍곡선법과 Asaoka법에 의한 침하발생경향과 수치해석 결과가 거의 유사하게 나타나 설계 적용된 압밀도가 적정한 것으로 분석되었다.

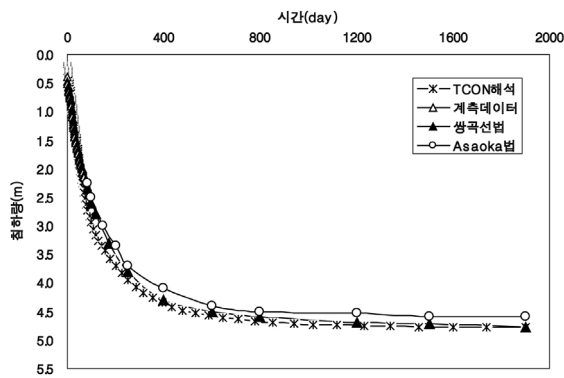


그림 15. 계측 및 침하해석 결과(S-10)

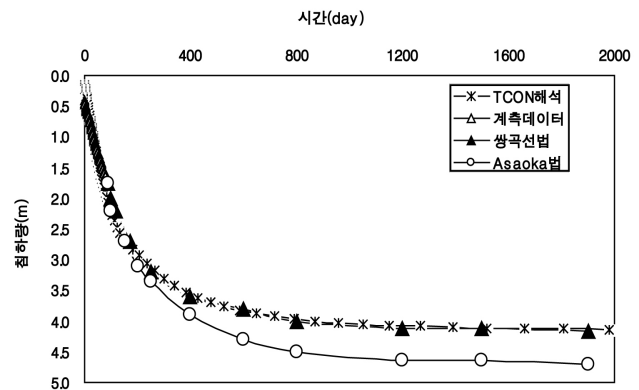


그림 16. 계측 및 침하해석 결과(S-27)

따라서 연약한 점토 상부로 준설점토가 투기된 준설매립지반의 신뢰성 있는 현장 압밀도를 산정하기 위해서는 다양한 실내시험 및 현장시험결과의 분석과 기존자료를 활용한 역해석 등의 방법뿐만 아니라 현장의 과잉간극수압을 직접 계측한 결과를 함께 종합적인 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다. 특히 복잡한 응력조건을 갖은 준설매립지반의 지반개량 설계시에는 더 많은 개소의 현장 피에조미터 계측을 수행하면 보다 합리적인 설계적용 압밀도를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

연약한 점토 상부로 준설점토가 투기된 준설매립지반의 압밀도를 다양한 방법으로 예측하고 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

실내시험 및 현장시험 결과에 의한 압밀도 평가와 해석적인 방법에 의해 준설매립지반의 압밀도를 평가한 결과, 과업지역의 연약지반이 압밀진행중임을 확인할 수 있었으나 교란의 영향, 시험시간의 부족과 투기이력 등의 자료부족으로 추정된 압밀도의 범위가 넓게 분포하여 설계적용 압밀도를 산정하는 방법으로서의 신뢰성이 저하되는 것으로 분석되었다. 따라서 준설매립지반의 복잡한 응력조건을 고려한 신뢰성 있는 압밀도를 산정하기 위하여 과업부지의 대표위치에 현장 피에조미터를 설치하고 과잉간극수

압을 직접 측정하는 것이 절대적으로 필요한 것으로 분석되었다.

인근 선시공구간인 광양항 동측배후부지(1단계) 구간에서의 현장계측 결과와 산정된 압밀도를 적용한 역해석 결과를 비교·분석하여 설계 적용된 압밀도의 적정성을 판단하였으며 적정성 검증결과, 쌍곡선법과 Asaoka법에 의해 예측된 최종침하량과 산정된 압밀도를 이용한 역해석 결과의 최종침하량이 유사한 결과를 나타내어 피에조미터로 측정된 압밀도가 매우 유용하게 사용될 수 있음이 입증되었다.

즉, 준설매립된 연약지반의 현장 압밀도는 실내시험 및 현장시험 분석결과와 역해석결과 등을 이용하여 개략적인 범위와 특성을 1차적으로 파악하는 것이 필요하며, 설계적용 압밀도는 현장 피에조미터에 의한 과잉간극수압 계측결과를 상세히 분석하여 그 결과를 실내시험, 현장시험 및 역해석 분석결과와 종합적으로 비교하여 결정해야만 신뢰성 있는 설계 및 시공이 수행될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 김영상(2002), “피에조콘 소산시험의 초기경향을 이용한 평형간극수압과 강성지수결정”, 한국지반공학회논문집, 제 18권, 제 2호, pp. 161~170.
2. 김영갑 외(1997), “성토에 따른 지반침하량 곡선을 이용한 압밀도의 역해석에 관한 연구”, 대한토목학회 1997년도 학술발표회 논문집(III), pp. 231~234.
3. 이강운 외(2002), “피조콘 시험을 이용한 해성점토의 응력이력(OCR,  $\sigma_p$ ) 판정”, 대한토목학회 2002년 학술발표회 -한국건설 비전 2025-, pp. 321~324
4. 이승우 외(1997), “침하예측을 위한 쌍곡선 식의 신뢰성 평가에 관한 연구”, 한국지반공학회지, Vol, No. 6, pp. 5~12.
5. 이송 외(1994), “준설매립 점토의 자중압밀 특성에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제 14권, 제 4호, pp. 953~963.
6. 조기영 외(1996), “낙동강 하류지역의 미완숙 압밀점토에 대한 토질특성 및 압밀 침하예측”, 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), pp. 543~546.
7. 정성교 외(1999), “낙동강 삼각주에서 선행하중에 따른 침하예측 및 현장계측”, 한국지반공학회지, Vol 15, No. 5, pp. 99~110.
8. 정성교 외(1998), “압밀해석을 위한  $\sqrt{s}$ -예측기법”, 한국지반공학회지, Vol 14, No. 2, pp. 41~53.
9. 황대진 외(1997), “피에조콘의 간극수압 소산시험에 관한 연구”, 한국지반공학회지, Vol 13, No. 6, pp. 22~35.
10. Asaoka, A.(1978), "Observational procedure of settlement prediction", Soil and Foundation, JSSMFE, Vol 18, No. 4, pp. 87~101.
11. Zou, Y. Q. et al(1993), "Study on the settlement analysis for underconsolidated soft clay ground", ICSSSE, Recent Advances in Soft Soil Engineering, China, pp. 343~348