

## 울촌지역 준설패립토의 침강·압밀특성에 관한 연구 (II)

### A Study on Sedimentation & Consolidation Properties of Dredged Soil in Yulchon Industrial Complex (II)

지성현<sup>1)</sup>, Sung-Hyun Jee, 최상순<sup>2)</sup>, Sang-Soon Choi, 이승원<sup>3)</sup>, Seung-Won Lee, 이영남<sup>4)</sup>, Young-Nam Lee

<sup>1)</sup> 현대건설(주) 기술연구소 연구원, Researcher, Hyundai Institute of Construction Technology

<sup>2)</sup> 현대건설(주) 울촌 제1 지방산단 조성공사 현장 대리, Geotechnical Engineer, Reclamation Site at Yulchon (HDEC)

<sup>3)</sup> 현대건설(주) 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Hyundai Institute of Construction Technology

<sup>4)</sup> 현대건설(주) 기술연구소 연구위원, Research Director, Hyundai Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS :** The purpose of this paper is to evaluate the characteristics of sedimentation and self-weight consolidation of extremely soft clay in reclamation site. So, several instrumentation and field tests (ray test, twist sampling, hand vane test and so on) were carried out in Yulchon site, the south coast of Korea. And we analyzed those results, and compared those with model tank test and calculated results by numerical analysis based on finite strain consolidation theory. And we investigate the characteristics of shear strength for the variation of moisture contents.

**KEYWORDS :** 준설패립, 침강·자중압밀, Ray test, Hand vane test, Twist sampling

## 1. 서 론

연구 대상지역인 울촌 제1 지방산단 조성공사 현장은 전라남도 순천시 해룡면, 여천군 울촌면, 광양시 광양읍 해면을 준설패립하여 총 266만평의 공단부지를 조성하는 사업으로써, 총 투자사업비는 6,142 억원이며 유치업종은 자동차, 1차금속, 조립금속 등으로 현재 40%의 공정율을 보이고 있다.

이 현장은 지역여건상 부근 모래원의 부족으로 당초 설계를 변경하여 일부 부지를 제외한 전체 면역에 해성점토(준설토)만으로 준설패립을 실시하고 있으며, 2년내에 중장비가 작업할 수 있도록 준설토 지반의 표층을 고화시키는 P.T.M (Progressive Trenching Method)을 수행할 Ampiro 장비가 금년 9월에 도입되어 11월부터 본격적인 시공에 들어갈 예정이다.

본 논문에서는 실제 준설패립중의 계층을 통하여 준설토의 침강·압밀특성을 파악한 후, 이를 토조 모델시험 및 유한변형을 압밀이론식에 근거한 수치해석 결과와 상호 비교하여 분석하였다. 또한 단지내에 준설투기전에 설치한 측정관에 Ray 장비를 삽입하여 준설투기 시작부터 경과시간에 따른 함수비 및 밀도 변화를 측정 후 지반내 준설토의 거동 및 공극수의 이동경로를 파악하였고, Crust 층에서 Hand Vane Test로써 함수비에 따른 전단강도를 측정하여 실린더 및 토조시험에서의 결과와 비교·분석하였다.

## 2. 현장 계측 및 지반조사

### 2.1 사용 장비

#### 2.1.1 Ray Test

- 1) 종 류 : 미국 Troxler 4350 Probe
- 2) 측정정도 : 밀도( $\pm 0.009t/m$ ), 함수비( $\pm 0.0032t/m^3$ )
- 3) 제 원
  - 외부재질 : High hardness Coating on Steel
  - 크 기 : 길이(82.5cm), 직경(4.76cm)
  - 사용가능 온도 :  $-10^{\circ}C \sim 70^{\circ}C$
- 4) 방사성 동위원소 제원
  - Gamma Source :  $8.0 \pm 10\%mCi$  Cesium-137
  - Neutron Source :  $10.0 \pm 10\%mCi$  Amerisium-241:Beryllium
  - 최대 표면방사선 양 : 20mRem/hr

#### 2.1.2 Twist Sampler

- 1) 종 류 : 일본 OYO 4601A
- 2) 채취시료 : 직경(50mm), 길이(700mm)
- 3) 제 원 : 외경(70mm), 길이(1400mm), 중량(약 16kg)

## 2.2 위치

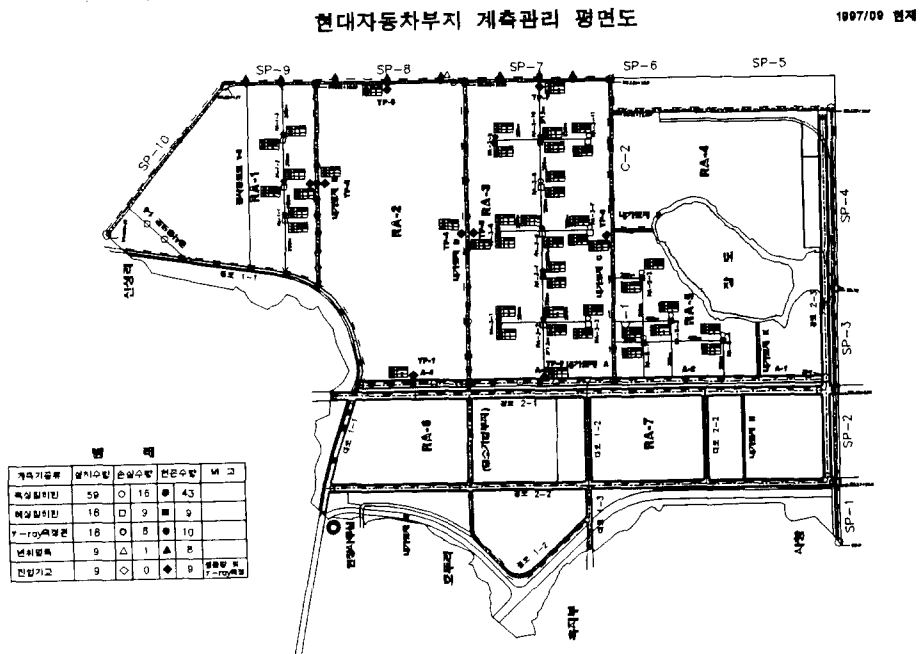


그림 1 계측 및 지반조사 위치도

### 2.3 측정 종류 및 빈도

구분	종 류	측 정 위 치	수 량	측 정 빈 도		비 고
				준 설 기 간	방 치 기 간	
단 지 내 부	Hand Vane	BLOCK RA-2	1	-		Crust층
	Twist Sampling	BLOCK RA-3	4	-		진입가교
		BLOCK RA-2	4	-		진입가교
	원지반	BLOCK RA-3	11	1회/월		
	표층 침하판	BLOCK RA-1-3	3	1회/주		
준 설 토	$\gamma$ -ray 측정	BLOCK RA-3	11	11		측 정 관
		BLOCK RA-3	4	4		진입가교
		BLOCK RA-2	4	4		진입가교
		BLOCK RA-1-3	3	3		측 정 관

### 3. 측정 결과 및 분석

#### 3.1 침강·압밀

시공중 측정이 이루어진 Block RA-2, 3는 7m정도의 준설높이를 3개월 동안에 투기 완료하였으며, 준설토의 침강·압밀량은 8곳의 진입가교에서 측정되었다. 준설종료 시점에서의 평균함수비는 약 180~190%이었으며, 하부층은 90~110%, 상부층은 200~250%의 함수비를 보였다. 상기의 결과를 토조모델시험 결과와 유한변형율 압밀이론(Finite Strain Consolidation Theory)으로 구하는 수치해석 프로그램인 PCDDF(미공병단에서 1989년 개발)를 이용하여 비교·분석하였다. 각각의 경우에서 준설시료에 대한 물성치는 거의 유사하였으며, 측정을 시작했던 시점에서의 평균함수비는 180~190%이다. 준설높이의 차이 때문에 침강·압밀량을 전체 높이에 대한 백분율(%)로 환산하여 비교하였으며, PCDDF는 평균적인 준설높이인 7m로 맞추어 해석하였다.

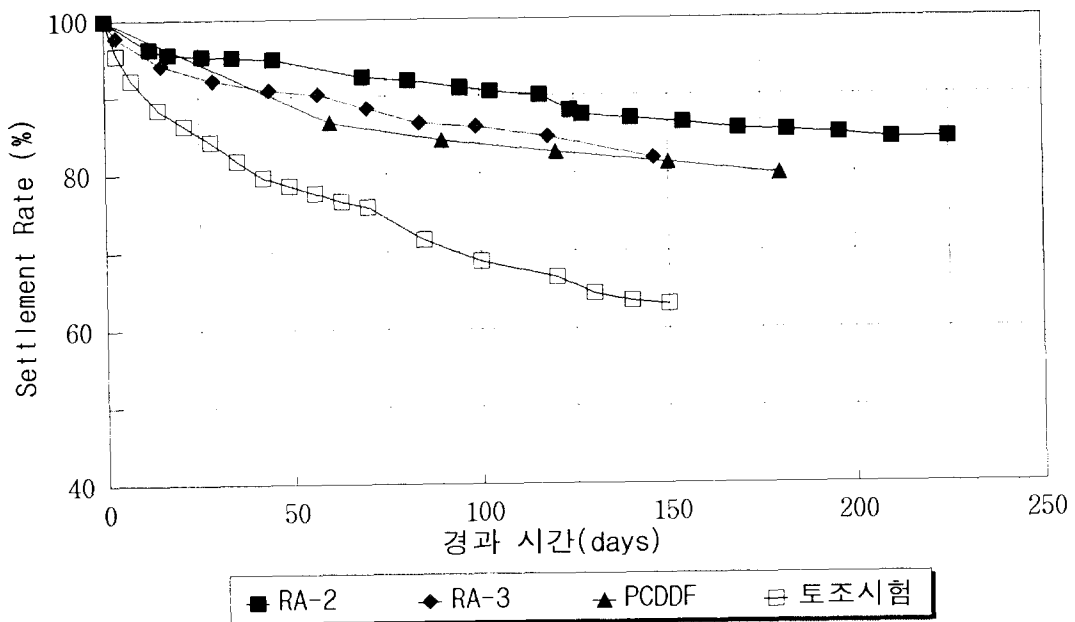


그림 2 침강·압밀 측정결과 비교

Block RA-2, 3의 경우 5%정도의 차이를 보였으나, 전반적으로 비슷한 양상으로 침강·압밀이 이루어진 것으로 판단된다. 수치해석결과는 시공중 계측결과와 유사한 결과를 보였으며, 특히 Block RA-3와 거의 동일한 침강·압밀곡선을 보였다.(그림 2 참조)

반면에 상기 측정결과들과 토조모델시험 결과와는 15~20%의 차이를 보였는데, 이는 토조모델시험의 준설높이(2.8m)와 실제 시공 준설높이(7m)가 2배이상 차이가 나기 때문으로, 상부배수만을 유도시키는 본 측정의 경우 토조 모델시험에서의 배수거리가 짧기 때문에 전반적인 압밀량이 크게 나타난 것으로 판단된다. 또한 실제 시공의 경우 3개월의 준설기간중 초기 투기된 준설토는 어느 정도 침강·압밀이 이루어진 반면에 토조모델시험에서는 극히 짧은 시간(1시간)에 투기가 완료됨으로써 초기 침강·압밀량이 크게 측정된 원인도 작용한다고 사료되는 바, 준설토의 침강·압밀량은 준설기간에 의해서도 조절될 수 있다고 판단된다.

### 3.2 습윤밀도 및 함수비

준설기간중의 심도별 습윤밀도의 변화는 BLOCK RA-1 내부의 3곳에서 Ray Test 장비를 이용하여 측정하였다.(그림 1 계측 및 지반조사 위치도 참조) 상기 Block은 주 성분이 모래인 준설토가 투기된 곳으로 재료의 변화에 따른 습윤밀도의 변화가 뚜렷이 나타났다. 준설투기 기간동안 RA-1-2의 경우 준설 초기에 일시적으로 습윤밀도가 감소한 것으로 나타나는데, 준설 투기 위치가 최초 RA-1-2 근방에서 RA-1-1 방향으로 이동하였기 때문인 것으로 사료된다.

그림 3을 보면 전반적으로 초기 준설토의 주성분이 모래실트질인 까닭에 내부층의 배수가 쉽게 이루어져 침강·압밀 및 습윤밀도의 증가 속도가 빠르게 진행되었으며, 준설선(아산 3호)이 준설구역내에서 이동함에 따라 준설토의 성분이 조금씩 변화하는데, 주로 실트성분의 투기된 층은 습윤밀도가 1.1~1.3t/m<sup>3</sup>로 모래실트층보다 0.2~0.3t/m<sup>3</sup> 정도 낮게 나타난 것을 알 수 있다.

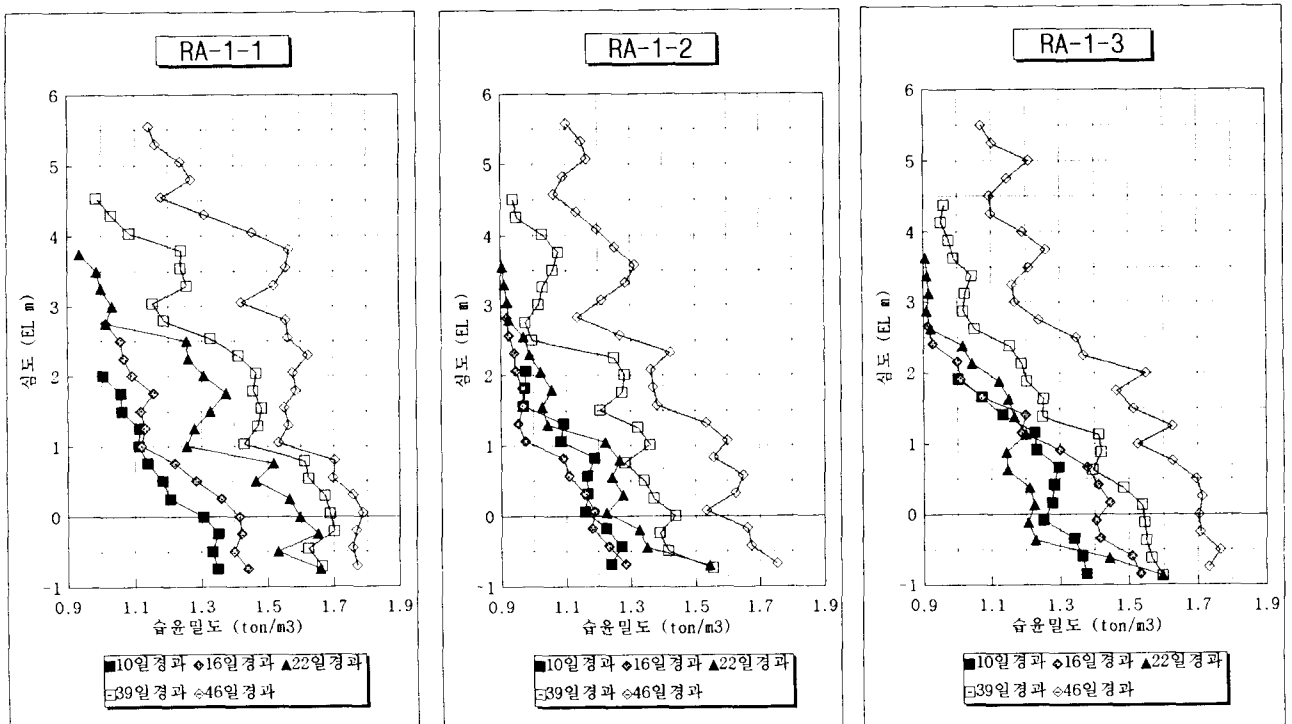


그림 3 기간에 따른 심도별 습윤밀도의 변화 (BLOCK RA-1)

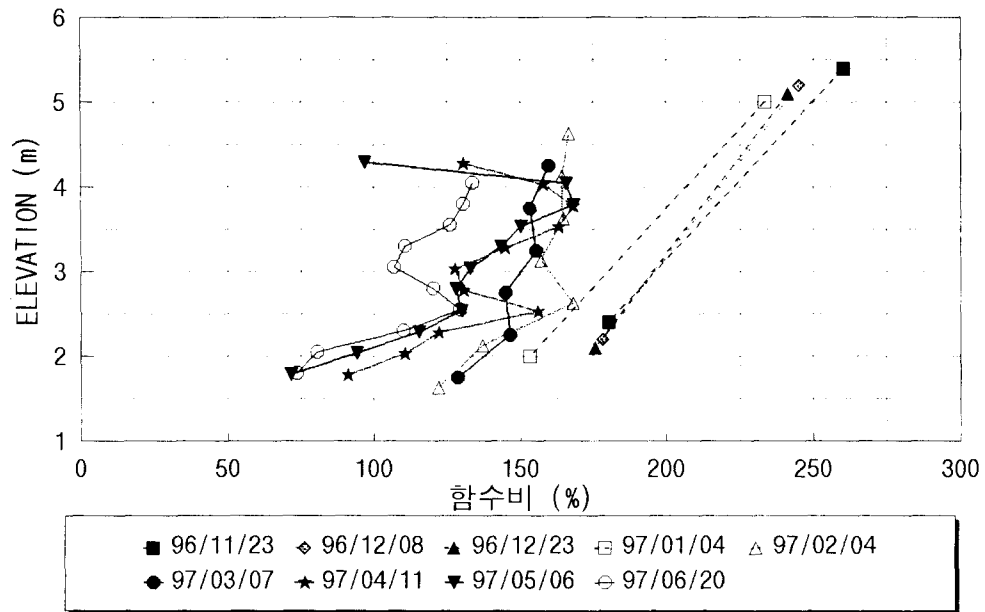


그림 4 기간에 따른 심도별 함수비의 변화 (BLOCK RA-2)

준설종료후 기간에 따른 함수비의 변화는 현장에서 가장 먼저 준설투기가 이루어진 Block RA-2에서 측정하였으며, 토제경사면 및 Heaving부위의 영향으로 표층에서 3m의 심도만 측정 가능하였다. 초기에는 Twist Sampling을 실시하였으며, 60일정도 경과후부터는 Ray Test 장비를 도입하여 사용하였다. (그림 4 참조)

준설매립층 중간부의 준설종료 직후 함수비 180~200%에서 시간이 경과함에 따라 100~120%로 감소하였으며, 중·하부층의 간극수가 상부로 이동하여 상부층의 함수비가 60~90%정도 크게 나타났다.

### 3.3 전단강도

준설토 표면이 건조되면서 형성되는 Crust층의 전단강도를 구하기 위하여 Hand Vane Test를 실시하였다. 그 결과는 그림 5에 정리되어 있으며, 함수비 140%부터 전단강도가 측정되었고 60%부터 서서히 증가하였다.

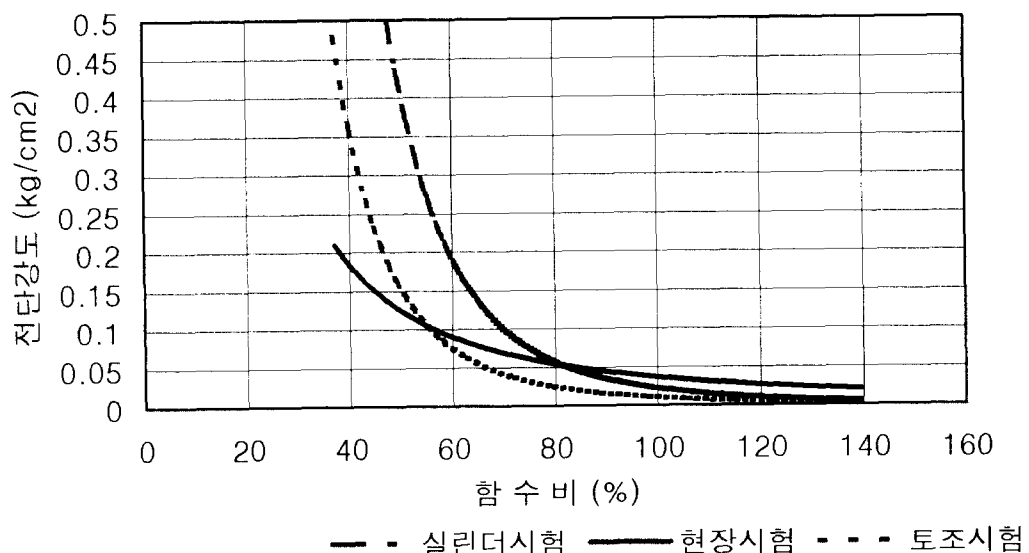


그림 5 함수비에 따른 전단강도의 변화 비교

실내 실린더시험의 경우 함수비가 120%이상에서는 전단강도 거의 측정되지 않았으며, 80%부터 급격한 증가를 보였고, 현장 토조시험의 경우 함수비가 100%이상에서는 전단강도가 거의 측정되지 않았으며, 준설시료의 액성한계에 가까운 70%부터 급격한 증가를 보였다.

상기의 결과들을 분석하여 보면, 건조되면서 내부 균열이 비교적 작게 발생하는 실린더시험이 보다 높은 함수비(80%)에서 전단강도 증가 경향을 보였고 현장시험은 60%로 가장 낮은 것을 알 수 있다. 이는 건조층이 형성되면서 외부의 영향을 가장 많이 받는 현장 시료에서 균열이 가장 많이 발생하기 때문으로 판단된다.

또한, 실린더시험과 토조시험에서 함수비 감소에 따른 전단강도의 증가 경향이 10%정도의 함수비 차이를 두고 비슷한 경향을 보이며, 현장시험에서는 비교적 증가되는 기울기가 작았으나, 80%이상의 함수비에서는 오히려 다른 시험보다 전단강도가 약간 크게 나타났다.

#### 4. 결론

- 1) 현장에서의 침강·압밀 속도는 수치해석 Finite Strain Theory에 의한 수치해석 프로그램과 유사한 결과를 보였으나, 토조 모델 시험 결과와 비교할 때 준설 투기 높이에 대한 Scale Effect에 의해 20%정도의 차이를 보였다.
- 2) 준설기간중 심도별 습윤밀도의 변화는 모래층에서 증가속도가 빠르게 진행되었으며, 주로 실트성분의 투기된 층은 습윤밀도가 1.1~1.3t/m<sup>3</sup>로 모래실트층보다 0.2~0.3t/m<sup>3</sup> 정도 낮게 나타난 것을 알 수 있다.
- 3) 준설종료후 기간에 따른 함수비의 변화는 평균적으로 준설종료 직후 함수비 180~200%에서 기간이 경과함에 따라 100~120%로 감소하였으며, 중·하부층의 간극수가 상부로 이동하여 상부층의 함수비가 60~90%정도 크게 나타났다.
- 4) 함수비에 따른 전단강도의 변화는 현장의 경우 타 시험에서의 측정 결과보다 비교적 완만한 증가 경향을 보였으며, 80%이상의 함수비에서는 오히려 다른 시험보다 전단강도가 크게 나타났다. 이는 건조층이 형성되면서 외부의 영향으로 현장 시료에서 균열이 가장 많이 발생하기 때문으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1. 지성현, 이승원, 이영남(1996), "울촌지역 준설매립토의 침강·압밀특성에 관한 연구", 한국지반공학회 '96 추계학술발표회 논문집, pp.277~284
2. 송정락, 백승훈, 여유현(1992), "여천지역 준설매립토의 침강·압밀 특성", 한국지반공학회 '92 추계학술발표회 논문집, pp.55~60
3. 이승, 양태선, 황규호(1994), "준설매립점토의 자중압밀 특성에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제14권, 제4호, pp.953~963
4. 한영철, 송정락(1992), "군산지역 준설토의 퇴적특성", 한국지반공학회 '92 추계학술발표회 논문집, pp.61~64
5. Been, K., Sills, G. C.(1981), "Self-weight Consolidation of Soft Soil : an experimental and theoretical study", Geotechnique, Vol.31, No.4, pp.519~535
6. Timothy D. S.(1991), *Program Documentation and User's Guide : PCDDF89, Primary Consolidation and Desiccation of Dredge Fill*. US Army Corps of Engineers Report
7. US Army Corps of Engineers(1987). Confined Disposal of Dredged Material, EM 1110-2-5027
8. Yasufumi, U., Kouki, Z.(1982), "Consolidation Characteristics of Dredged Marine Bottom Sediments with High Water Content", Soil and Foundations, Vol.22, No.2, pp.40~54
9. Goro, I.,(1981), "Experimental Studies on Sedimentation Mechanism and Sediment Formation of Clay Materials", Soil and Foundations, Vol.21, No.1, pp.7~20