

아산지역에서의 연약지반개량을 위한 시험시공 결과에 대한 평가 An Evaluation on the Result of Pilot Test for Soft Ground Improvement in Asan

이재원¹⁾, Jae-Won Lee, 김성인²⁾, Sung-In Kim,

¹⁾ 다산컨설턴트 기술연구소 차장, Deputy General Manager, R. & D. Lab., Dasan Consultants Co., Ltd.

²⁾ 다산컨설턴트 기술연구소 상무, Executive Director, R. & D. Lab., Dasan Consultants Co., Ltd.

개요(SYNOPSIS) : This paper is relate to the result of pilot test in Asan. In order to evaluate the characteristics of behavior and deformation in Asan and to analyse the effect of soft ground treatment, preloading, two types of paper drain and pack drain were constructed in the ground. Settlement gauges, pressure meters, pressure cells and ground water gauges were monitored and also borings and piezoncone tests were performed. As a result of analyse, every vertical drained area was consolidated over 90% degree of consolidation but preloaded area was not reached to 90%.

Keywords : settlement, instrument, paper drain, pack drain, preloading

1. 서론

연약지반 위에 매립을 통해 부지를 조성하거나 구조물을 축조하는 경우, 지반특성이 불량하고 지반공학적인 성질이 복잡하기 때문에 침하나 변형특성이 일정하지 않게 된다. 따라서 정밀한 조사와 설계 그리고 시공 및 유지관리가 이루어져야 하지만 조사비용의 부족, 경험미숙 등의 원인으로 인하여 예측한 침하나 변형특성이 실제 결과와 불일치하는 경우가 많다. 이러한 문제점을 적극적으로 해결하는 방안 중의 하나는 설계나 시공 전에 시험시공을 실시하는 것으로 시험시공을 통해 노출된 문제점에 대해 해결 방안을 미리 강구하여 본 시공에 시험시공 결과를 적용하는 것이 바람직하다.

국내의 경우 영종도 신공항, 군장산업기지, 양산-물금 택지 및 아산국가공단 등과 같이 서해안을 중심으로 해안매립공사가 활발하게 진행되고 있으며 주요사업부지에서는 시험시공을 통해 그 지역에 적합한 연약지반 처리공법을 선정하거나 개량특성을 파악하는 작업이 이루어지고 있다.

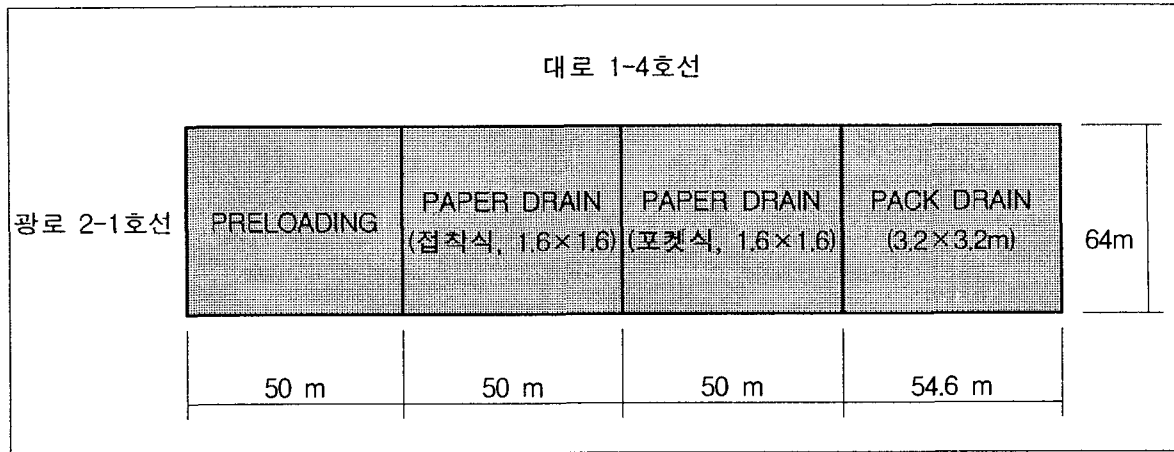
아산만 지역에서도 무처리지역, 페이퍼드레인 2종(포켓식 및 접촉식) 및 팩드레인공법을 적용한 시험시공을 실시하여 연약지반의 침하거동 및 압밀도를 파악하였다.

2. 현황

2.1 연약지반처리공법

시험시공을 실시한 면적은 가로 204.6m, 세로 64m이며 그림1과 같이 좌측으로부터 Preloading지역, 접착식 페이퍼드레인공법, 포켓식 페이퍼드레인공법, 팩드레인공법의 순으로 실시하였다. 드레인공법의 간격은 1.6×1.6m 정사각형배치이며 팩드레인공법의 간격은 3.2×3.2m의 정사각형 배치이다.

원지반위에 인장강도 5ton의 PET mat를 부설한 후 50cm 두께로 샌드매트를 포설하였고 재하성토고는 2.6m를 실시하였다.

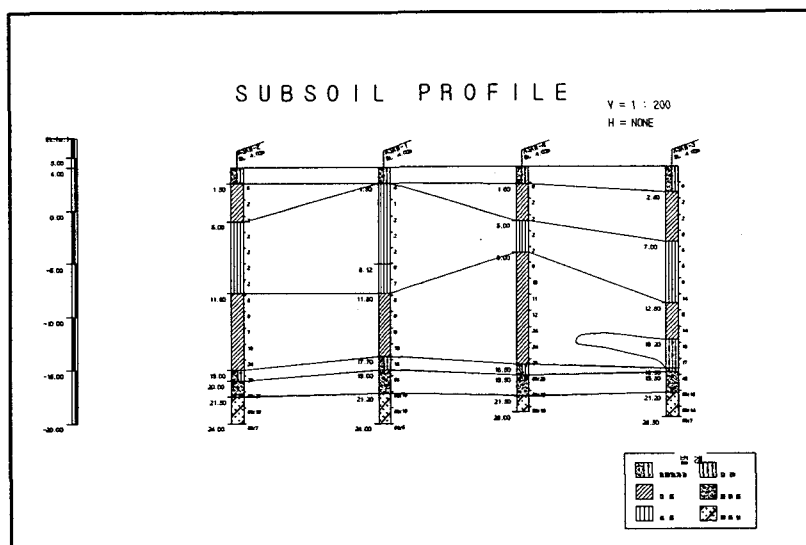


<그림1> 시험시공 부지 현황

2.2 지반특성

본 부지에서 시추조사와 표준관입시험을 실시하여 지반의 강도를 파악하였으며 공당 3개소에서 자연 시료를 채취하였고 피에조콘을 이용한 콘관입저항치 및 간극수압소산시험을 통한 압밀특성을 파악하였다.

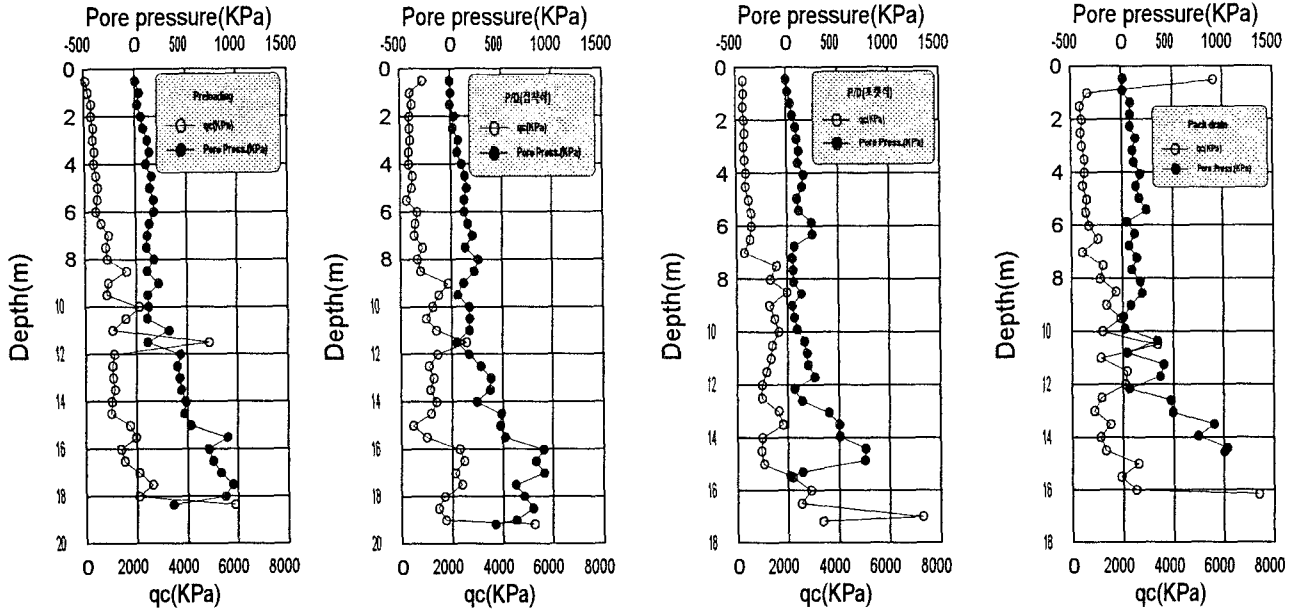
조사결과 지층단면은 그림2와 같으며 점토질로 구성된 해성퇴적층은 13.8~17.5m의 두께로 분포하고 그 하부에는 모래 또는 자갈층이 0.7~1.3m가 존재하고 있다. 점토질 해성점토층의 경우 N치 5이하의 연약점토층이 상부에 6.4~10.4m이며 그 하부는 N치가 5~29인 견고한 점토층이 존재한다.



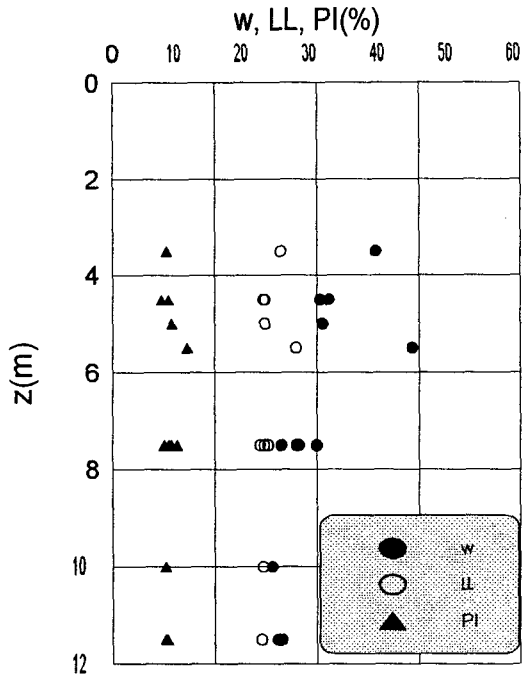
<그림 2> 지층단면도

피에조콘 조사결과는 표준관입시험결과와 경향이 일정하게 나왔으나 점토층 사이에 sand seam이 다수 존재한다는 것을 알 수 있다(그림3 참조).

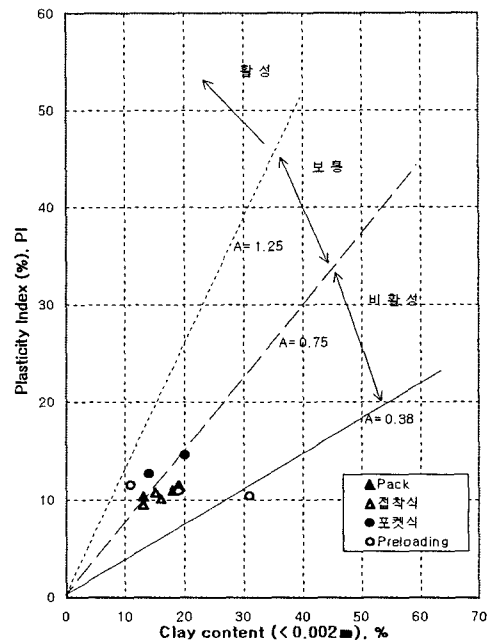
실내시험결과로 파악한 연약지반의 물리적 성질은 그림4와 같으며 자연함수비가 액성한계보다 높은 불안정한 상태임을 알 수 있다. 또한 이 지역의 활성도는 그림5와 같이 보통 내지 비활성을 보이고 있다.



<그림3> 피에조콘 조사결과



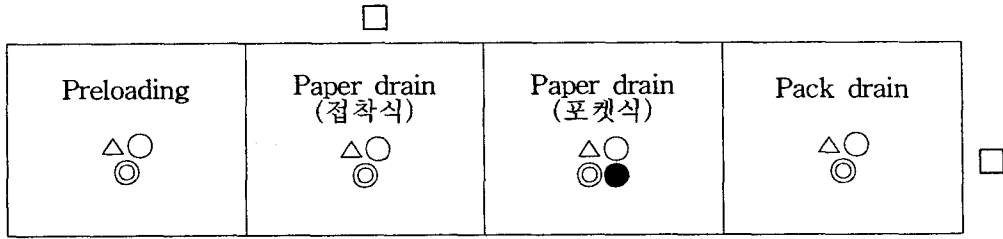
<그림4> 심도에 따른 연약층 물성치



<그림5> 점토의 활성도

2.3 계측관리

연약지반의 침하특성을 분석하기 위하여 그림6과 같이 부지별로 층별침하계, 간극수압계(개소당 3개소) 및 지표침하판을 설치하였으며 부지내에 토압계 1개소, 그리고 부지외곽에 지하수위계를 설치하였다.



○:층별침하계, ◎:간극수압계, △:지표면침하판, ●:토압계, □:지하수위계

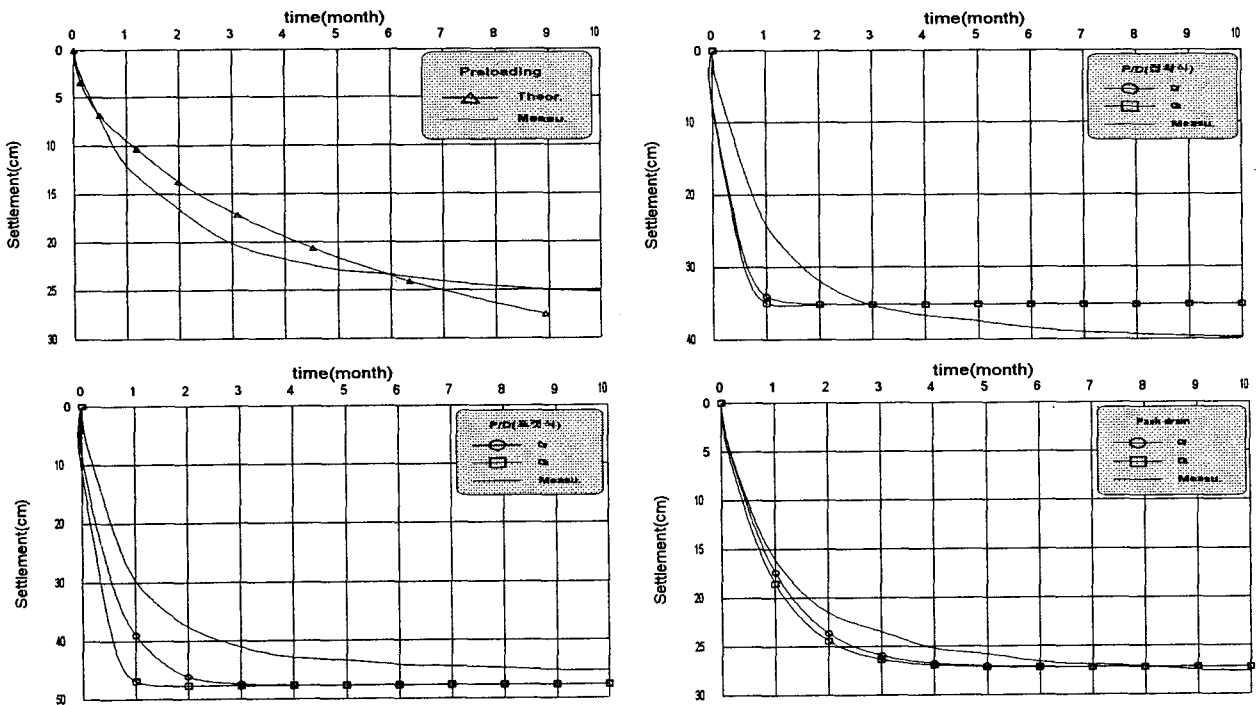
<그림6> 매설계측기 위치도

3. 침하특성분석

3.1 실측침하와 이론침하

각 구간에서 측정한 지표침하판의 침하측정결과와 이론침하곡선을 비교하면 그림7과 같다. 무처리지역의 경우 침하측정결과는 이론침하에 비해 침하량은 작으며 침하속도는 훨씬 빠른 것으로 분석되었으며 이것은 점토층내의 sand seam이 절대적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 포켓식 페이퍼드레인공법을 적용한 구간에서는 침하속도는 거의 유사하나 접착식 페이퍼드레인 구간에서는 이와는 반대로 실제 침하가 이론침하에 비해 지연되고 있음을 알 수 있다. 팩드레인의 경우 피에조콘을 이용한 수평압밀계수를 적용한 이론침하 및 실내압밀시험을 이용한 수직압밀계수를 적용한 이론침하와 측정침하를 비교하면 수직압밀계수를 적용한 이론침하와 매우 유사하다.

측정한 침하곡선과 이론침하곡선을 비교하여 볼 때 연약지반내에 존재하고 있는 sand seam의 존재여부가 침하곡선에 막대한 영향을 미친다는 것을 알 수 있으며, 팩드레인공법을 적용하는 경우 스미어효과를 고려하지 않고 수직압밀계수를 적용하는 설계관행은 어느 정도 타당한 것으로 판단된다.



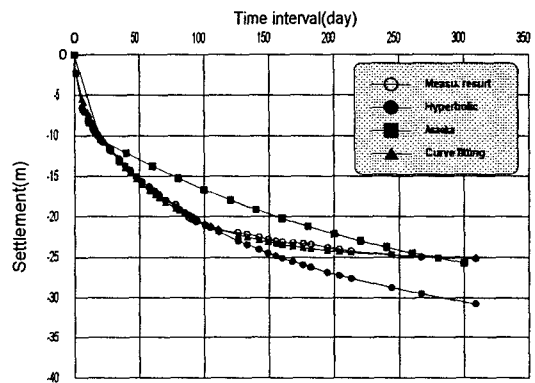
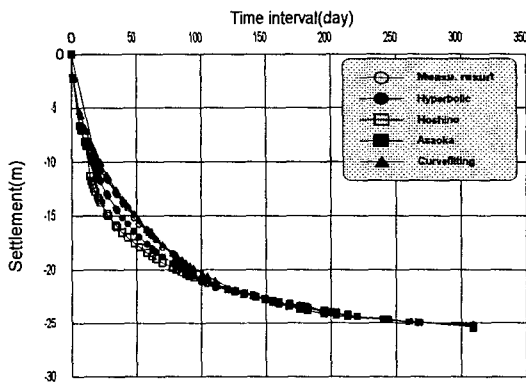
<그림7> 측정침하곡선과 이론침하곡선

3.2 침하해석기법의 비교

Preloading부지에서 성토완료후 10개월이 경과한 시점에서 장래침하량을 예측하는 기법을 적용한 결과는 그림8과 같다. 장래침하량 예측은 쌍곡선법, Hoshino법, Asaoka법 그리고 Barron의 압밀침하이론을 이용한 curve fitting법을 적용하였다.

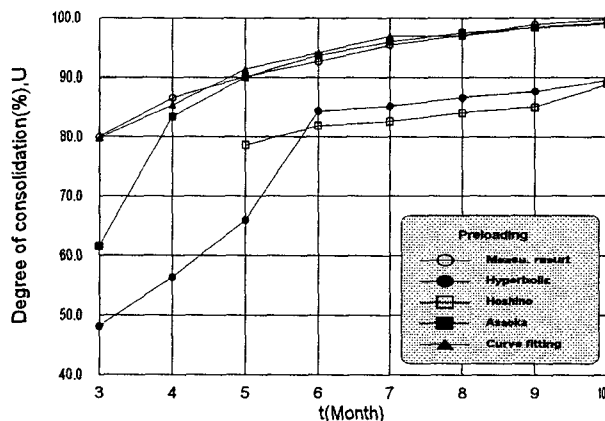
각 기법간의 정밀도를 분석하기 위하여 성토완료후 3개월이 지난 시점에서 10개월까지 예측기법을 적용하였는데 preloading이 적용된 구간에서 압밀도가 평균 67%인 3개월이 지난 후 예측기법을 적용하였을 경우 그림9와 같이 Curve fitting을 제외한 각 예측기법의 예측오차가 심한 것을 알 수 있고, Hoshino법에서는 분석편차가 심해 분석이 되지 않았다. 그러나 압밀도가 평균 98%정도가 경과된 10개월이 지난 후 예측기법을 적용하면 그림8과 같이 실측침하곡선과 모든 예측기법곡선이 거의 일치한다는 것을 알 수 있다.

각 기법에 의한 압밀도 평가를 비교하기 위하여 매 개월 마다 예측한 압밀도와 실측에 의한 압밀도를 비교하면 그림10과 같으며 아산지역에서는 Curve fitting 및 Asaoka법으로 추정한 예측기법이 실제 침하와 유사한 값을 보이고 있다. 또한 장래침하량을 예측하기 위해서 Asaoka법을 적용하는 경우 최소한 압밀도가 85%가 경과한 후 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.



<그림8> 실측치와 예측기법에 의한 침하곡선의 비교

<그림9> 예측기법에 의한 침하곡선의 비교(3개월후)



<그림10> 예측기법을 이용한 압밀도의 평가

4. 처리공법의 비교

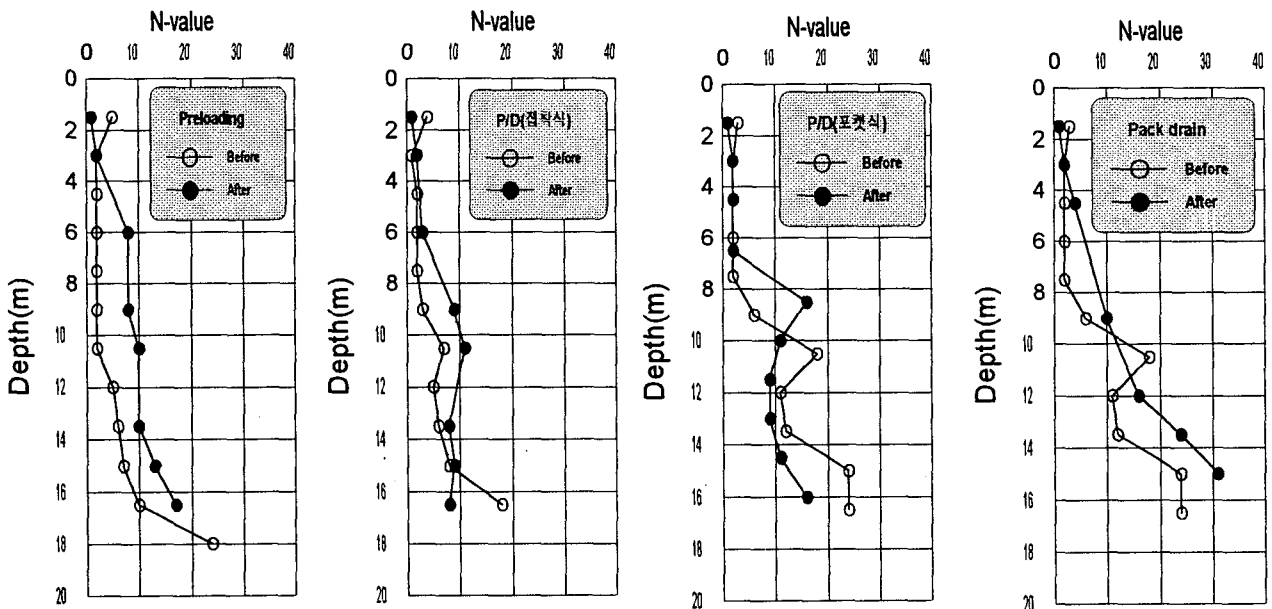
4.1 강도증가의 비교

표준관입시험을 이용하여 개량전, 후의 관입저항치를 비교하면 그림11과 같다. 성토에 의한 압밀효과는 뚜렷히 나타나며 개량효과는 처리공법에 따라 다르지만 10~15m까지 미치고 있다. 증가된 N치는 1~6으로 매우 양호하게 나타났다.

개량전, 후의 실내시험결과를 이용하여 연약지반의 물리적특성 변화를 파악하였으며 그 결과는 표1과 같다.

<표1> 개량에 의한 연약지반의 물리적 특성의 변화

구간	간극비		선형압밀하중 kg/cm ²		전단강도 kg/cm ²		함수비 (%)	
	개량전	개량후	개량전	개량후	개량전	개량후	개량전	개량후
Preloading 구간	1.027	1.002	1.43	1.503	0.263	0.303	37.7	37.2
접착식페이퍼드레인	1.018	1.021	1.13	1.630	0.297	0.373	37.0	38.2
포켓식페이퍼드레인	1.351	1.138	0.620	1.050	0.187	0.173	48.9	40.6
팩드레인 구간	1.022	0.950	1.060	1.203	0.305	0.515	35.1	33.9



<그림 11> 표준관입시험치에 의한 관입저항의 비교

4.2 압밀도 비교

쌍곡선법을 적용하여 각 구간에서의 압밀도를 평가한 결과는 표2와 같다. 성토후 10개월이 경과한 시점에서 포켓식 페이퍼드레인 구간의 압밀도가 95%, 접착식 페이퍼드레인 구간의 압밀도가 94%, 팩드레

인 구간의 압밀도는 92%으로써 드레인을 설치한 경우 압밀도는 90%를 상회하여 목표압밀도에 도달되고 있다. 무처리구간에서도 압밀도는 89%로 드레인구간의 압밀도에는 미치지 못하나 이론 압밀도에 비해서는 비교적 압밀이 많이 진행된 양상을 보이고 있다. 이 결과는 전술한 바와 같이 연약점토층 내의 sand seam의 존재가 압밀도에 절대적인 영향을 미치고 있다고 판단된다.

표2. 쌍곡선법을 이용한 압밀도의 평가

구간	실내시험에 의한 이론침하량			측정침하량		
	최종침하량	현재침하량	압밀도	최종침하량	현재침하량	압밀도
무 처리 구 간	34.4	28.6	83.1	28.23	25.26	89.47
포켓식페이퍼드레인	47.7	47.69	99	47.80	45.55	95.29
접착식페이퍼드레인	35.2	35.19	99	42.31	39.90	94.29
팩 드 레 인 구 간	27.2	27.19	99	30.01	27.80	92.63

4.3 포켓식과 접착식 드레인재의 비교

페이퍼 드레인과 같이 배수용량이 제한된 배수재를 이용하여 압밀촉진을 시키고자 하는 경우 배수재의 타입길이가 길다면 흐름저항(well resistance)에 의한 영향을 받게된다. 이 흐름저항은 주변지반의 투수계수와 관련이 있으며 동일한 지반에서는 드레인의 배수용량과 밀접한 연관을 가지게 된다.

양산-물금 택지지구에서 시행한 시험시공 결과에 의하면 포켓식 드레인재의 배수용량 $q_w=57\text{cm}^3/\text{sec}$ 이며 접착식 드레인재의 배수용량은 $31\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 포켓식이 접착식에 비해 약 2배 정도 배수용량이 크기 때문에 흐름저항도 적게 받는다고 할 수 있다. 또한 접착식 드레인재의 필터와 코아를 접착할 때 사용되는 접착재료에는 섬유물질이 포함되어 있기 때문에 장기간 방치시에는 곰팡이 균이 발생하기 쉬우며 그 결과 배수단면이 더욱 감소될 우려가 있다.

5. 결론

아산지역에서 preloading, 포켓식 및 접착식 드레인공법 그리고 팩드레인공법을 적용한 시험시공 결과 다음과 같은 결론을 유추할 수 있다.

- 1) 본 지역의 침하거동 분석 결과 Curve fitting 및 Asaoka법이 실측치와 기간별 압밀도가 가장 유사한 것으로 나타나고, 장래침하량 예측은 Asaoka 법을 적용할 경우 압밀도가 85%이상 발생될 경우 정확한 예측이 가능한 것으로 나타났다.
- 2) 점토층에 Sand seam이 존재할 경우 기간에 따른 압밀도에 영향을 크게 미치므로, 설계시 sand seam의 유무에 따라 설계변수를 보정하여야 한다.
- 3) drain재의 배수용량이 클수록 흐름저항을 적게 받으므로 접착식 drain에 비해 포켓식 drain의 압밀 효과가 큰 것으로 나타났다.
- 4) pack drain공법에서 침하량 산정에 사용되는 압밀계수는 일반설계관행에서 적용하는 수직압밀계수로 사용하여도 계측치와의 오차가 적은 것으로 나타났다.
- 5) 추후 연약지반 물성치와 각 계측기법간의 상관관계를 연구하여, 연약지반 특성에 따른 최적 분석계측기법을 예측하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김상규(1994), 토질역학 이론과 응용, 청문각, 서울, PP20~21
2. 한국토지공사(1997.9), "연약지반의 처리공법과 침하계측에 관한 연구(양산물금 연약지반 시험시공)
pp. 180~182
3. 한국토지공사(1997.9), "아산국가공단개발사업 연약지반 침하안정관리 시험시공 최종보고서"