

## 다양한 연직배수재의 시험시공 및 초기현장 계측

### A Pilot Test of Various Vertical Drains and its Initial Monitoring Results

김 주 형<sup>1\*</sup> Kim, Ju-Hyong  
조 삼 덕<sup>2</sup> Cho, Sam-Deok

#### ABSTRACT

Although the discharge capacity of the natural fiber drains are very low compared to that of plastic drain board (PDB), it is found that the conventional fiber drains and the new developed straw drain boards have great potential for use as a substitute for conventional plastic drain boards through several model tests. To verify their field application, a pilot test using environmentally friendly drains is also being carried out to prove their effective discharge capacity in the field. The pilot test site was divided into 5 different areas, with various combinations of vertical and horizontal drains installed for evaluation. Definite characteristics of various drains are still to be found due to the delay in construction of embankment. Consolidation behavior of three types of vertical drains and two types of horizontal drains will be analyzed after the completion of the embankment in the near future.

#### 요 지

천연섬유배수재의 통수능은 플라스틱드레인보드(PDB)의 통수능에 비해 낮은 것으로 나타났지만, 모형시험 결과를 분석한 결과 기존 천연섬유배수재는 물론 새로 개발된 볏짚배수재도 플라스틱드레인보드 대체 가능성을 발견할 수 있었다. 본 연구에서는 천연섬유배수재의 현장 적용성을 검증하기 위해 천연섬유배수재를 이용한 현장시험시공을 수행하여 이들의 현장유효통수능을 확인하고자 하였다. 시험시공은 다수의 연직배수재와 수평배수재의 조합으로 이루어진 총 5지역으로 구성하였다. 현재까지 측정된 초기 계측자료를 이용한 각 배수재의 특성은 성토지연 등의 이유로 인해 정확히 파악할 수는 없었으나, 추후 성토완료 후의 결과를 분석한다면 여러가지 연직배수재 및 수평배수재 설치 지반의 압밀거동을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords :** Natural fiber drain, Pilot test, Settlement, Pore pressure

#### 1. 서 론

친환경 건설이라는 최근의 이슈와 잘 부합되는 천연섬유배수재를 이용한 자연친화형 연약지반 개량공법은 배수재로 사용되는 모래의 부족현상과 모래 채취로 인한 환경오염 그리고 플라스틱 재료 사용에 대해 좋지 않은 국민정서 등에 힘입어 최근에 높은 관심을 받고 있는 실정이다. 이미 국내에서는 몇 차례의 논문 발표를 통해 천연섬유배수재에 대한 실내 및 모형시험 결과 현장 적용 가능성이

있음을 확인할 수 있었다 (조삼덕 등, 2005; 김주형 등, 2005; 장연수 등, 2005; 김주형 등, 2006). 현재 국내에서 천연섬유배수재에 대한 현장 적용이 간간히 시도되고 있으나, 이에 대한 현장 적용성 분석은 거의 없으며, 특히 연직천연섬유배수재의 국내 현장 적용 실적은 전무하다. 본 연구에서는 현재까지 연직 및 수평천연섬유배수재에 대한 실내 및 모형시험 결과를 근거로 하여, 천연섬유배수재를 이용한 연약지반 개량공법과 기존의 플라스틱드레인보드 및 샌드매트를 이용한 연약지반 개량공법의 현장 적

1\* 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Senior Researcher, Dept. of Geotechnical Eng., KICT, E-mail: haitink@kict.re.kr)

2 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원 (Research Fellow, Dept. of Geotechnical Eng., KICT)

용성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 각 연직 및 수평배수재를 동일지역에 시험적으로 시공하여 그 결과를 분석하고, 각 공법의 장단점을 분석하여 천연섬유배수재의 실용화 가능성을 검토해 보는 것이 중요한데, 본 논문에서는 현재 천연섬유배수재의 시험시공이 진행되고 있는 현장의 시공 현황과 계측 현황 그리고 현재까지의 계측 결과를 중심으로 기술하였다.

## 2. 시험시공 지역의 지반 특성

시험시공 위치는 남해안 목포시 관내의 신설 4차로 국도 건설지역이다. 시험구간은 총 170m 구간으로 과거 논으로 이용되었던 부지이다. 시험시공 지역의 지반 상태를 파악하기 위해 콘관입시험(CPT)과 표준관입시험(SPT)을 수행하고 불교란 시료 채취 후 실내시험을 통해 지반 상태를 평가하였다. 그림 1에는 SPT로 구한 지반의 N값과 CPT를 이용하여 구한 콘관입저항력( $q_c$ ), 심도별 자연함수비( $w_n$ ), 액성한계(LL), 소성지수(PL)와 표준압밀시험을 수행하여 얻은 압축지수( $C_c$ ), 연직방향 압밀계수, ( $c_v$ )를 도시하였다. 시험시공 지역에서 수행한 지반조사 결과를 바탕으로 이 지역의 지반특성을 분석하면 크게 5개의 지층으로 분류할 수 있다. Clay A층과 Clay C층은 해성점토로 분류할 수 있으며, 이 두 점토층 사이에 3m 두께의 단단한 층 Clay B층이 존재한다. Clay A층은 N값이 0~5 정도이며,  $q_c$ 값이 0.01~0.2MPa로 매우 연약한 것으로 나타났다. 특히 점토의 자연함수비가 60~72% 정도로 액성한계보다도 높은 것으로 나타나 Clay A층은 매우 연약한 것을 알 수 있다. SPT와 CPT 수행 결과 상대적으로 단단한 층으로 나타난 Clay B층의 액성한계는 33~56%으로, 자연함수비 24~42%보다는 큰 것을 알 수 있다. 동일하게 Clay C층의 액성한계는 33~48%로 동일지층의 자연함수비 33~43%보다 큰 것으로 나타났다. 이 세 점토층의 소성한계는 21~29%로 모두 비슷한 것으로 나타났다. 소성도표를 이용하여 각 지층의 특성을 분석한 결과 Clay A층은 매우 소성성이 높은 점토이며 Clay B층과 Clay C층은 낮거나 중간정도의 소성성을 갖는 점토로 판단된다. 표준압밀시험으로 구한 Clay A층의 압축지수,  $C_c$ 는 0.59에서 0.79로 Clay C층의 0.2~0.52 보다 상대적으로 큰 것으로 나타났다. Clay B층에서는 불교란시료를 채취하였으나, 불교란 시료 내에 자갈이 섞여 있어 표준압밀시험에 사용할 수 있는 시료를 얻을 수 없어 압밀시험을 수행할 수

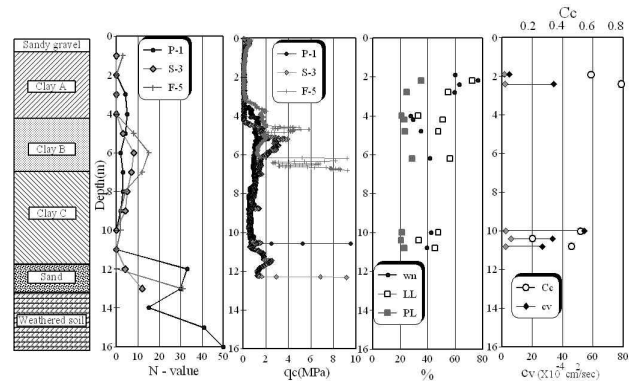


그림 1. 시험시공 지역의 주상도 및 지반 특성

없었다. 그림 1에서 F-5 지역의 6~7m 사이에서 콘관입저항력이 급격히 증가하고 있는 것과 불교란시료에 단단한 자갈이 섞여 있는 것으로 보아 이 층에는 단단한 점토와 자갈이 섞여 분포하고 있는 것으로 분석되었다. Clay A층의 압밀계수는  $1.7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec} \sim 34.3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$  정도이며, 이는 Clay C층의 압밀계수  $2.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec} \sim 54.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$  보다 작은 것으로 나타났다.

그림 1에서 나타낸 시험시공 지역의 공학적인 지반특성은 지질학적으로도 설명이 가능하다. 시험시공 지역에 나타나는 지층의 특성은 서해안에서 전형적으로 발견되는 지층형상과 매우 유사하다. 지질학적으로 분석하면 Clay A층은 중후기 충적세에 형성된 해성퇴적지반이며, Clay B층은 초기 충적세에 그리고 Clay C층과 하부 모래, 자갈층 및 풍화토 지반은 후기 홍적세에 형성된 퇴적 지반이다. 특히 Clay B층이 다른 점토층보다 상대적으로 더 단단한 것은 최근 빙하시대에 수면 위에서 노출되어 형성된 고토양(paleosol)이기 때문인 것으로 판단된다(Choi, 2001).

## 3. 시험시공

### 3.1 시공 계획

시험시공 지역은 원래 지반개량공법으로 샌드드레인과 샌드컴팩션파일(SCP) 시공이 계획되어 있었으며, 수평배수재로는 모래매트를 사용하도록 계획되었다. 그러나, 친환경배수재의 현장 적용성 분석을 위해 플라스틱드레인보드(PDB), 기존 연직천연섬유배수재(FDB) 그리고 벚짚 코어를 이용해서 만든 벚짚 연직배수재(SDB)를 시공하도록 계획을 변경하였으며, 수평배수재의 경우에도 모래매트와 수평천연섬유배수재를 번갈아 시공하였다. 연직배수재와

수평배수재의 설치 조합은 그림 2에 나타난 것과 같으며, 총 5가지 형태의 연직 및 수평배수재 조합으로 시공하였다. 먼저 P-1과 P-2지역에는 PDB를 1.4m 간격으로 정방형 형태로 설치하였으며, 각각 모래매트와 수평천연섬유배수재(Fiber mat)를 설치하였다. 수평 천연섬유배수재는 연직배수재 설치 간격만큼 간격을 두어 설치하였으며, 그림 4에 나타난 것과 같이 설치된 연직배수재의 상부부분을 수평 천연섬유배수재 위에 못으로 고정시켜 연직배수재와 수평배수재의 분리를 방지하였다. 특히 P-1과 P-2지역은 다른 지역보다 최종 성토고가 높아지기 때문에 전단 파괴 방지 차원에서 성토 법면에 SCP를 원래 계획대로 시공하였으며, 정방형으로 1.6m 간격으로 설치하였다.

또한 F-4와 F-5 지역에는 PDB와의 비교 분석을 위해 FDB를 PDB와 동일한 조건으로 시공하였으며, 수평배수재로 모래매트와 수평 천연섬유배수재를 각각 설치하였다. S-3 지역에는 본 연구에서 개발한 벚짚연직배수재(SDB) 시작품을 시공하였는데, 실내모형시험 결과를 근거로 하여 PDB나 FDB보다는 좁은 정방형의 1.2m 간격으로 설치

하였으며, 수평배수재로는 샌드매트를 사용하였다.

본 시험시공에서는 기본적으로 연약지반의 지표 침하를 측정하기 위한 침하판과 지중침하를 측정하기 위한 층별침하계, 지중의 간극수압 소산정도를 평가하기 위한 진동현식 간극수압계 그리고 성토로 인한 성토체의 안정성 평가를 위한 경사계 등을 설치하였다. 특히, 지반의 간극수압을 측정하기 위하여 지반용 간극수압계를 연직배수재와 연직배수재 사이 중앙부분에 설치하였을 뿐만 아니라, 연직배수재 내부의 간극수압 소산정도를 분석하기 위해 그림 5에 나타난 것과 같은 연직배수재용 특수 간극수압계를 연직배수재 내부에 설치하여 간극수압소산 정도를 평가하고자 하였다. 모든 계측기는 계측기의 파손을 방지하기 위해 연직배수재가 설치된 직 후 설치되었다.

### 3.2 계측 결과

#### 3.2.1 지표면 침하

시험시공 지역의 최종성토는 6~7m로 예정되어 있으

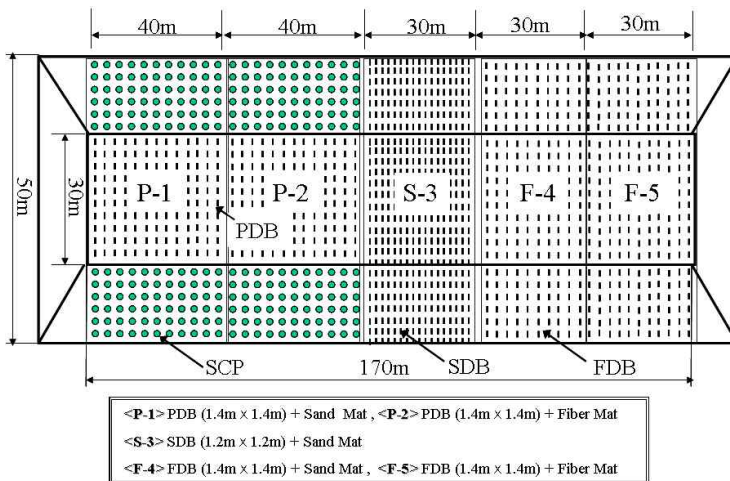


그림 2. 시험시공 계획 평면도



그림 3. 천연섬유배수재 시공 사진



그림 4. 연직배수재와 수평배수재 연결



그림 5. 연직배수재용 간극수압계 설치

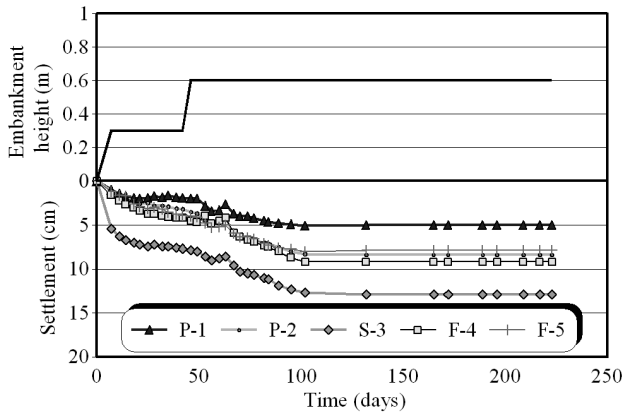


그림 6. 시험시공 지역의 지표침하 양상

며, 1차 성토고는 3.0m로 계획되어 있다. 현재 시험시공 지역에서는 30cm씩 2회에 걸쳐 총 60cm 높이의 성토가 시공되었으며, 성토부 중앙에서 발생한 침하는 약 5.0~12.9cm 정도이다. 그림 6에서 보면 성토 초기상태에 벚짚 배수재가 설치된 S-3지역의 침하량이 가장 큰 것으로 나타났으나, 이는 초기 값의 측정 오류로 침하가 크게 측정된 것으로 판단된다. 이를 고려하여 각 위치에서 측정된 침하량 양상을 평가한다면, 5개의 설치지역의 침하양상은 거의 비슷한 것으로 판단된다. 현재까지 매우 낮은 성토고만 시공이 되었고 연직배수재 설치된 지역의 침하양상이 거의 유사하기 때문에 압밀침하 분석을 통한 각 배수재의 현장 적용성을 정확하게 판단하기는 어려우며, 추후 추가 성토가 진행된 후 측정된 침하양상을 바탕으로 각 배수재의 성능을 평가하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

### 3.2.2 간극수압

그림 7과 그림 8에는 각각 연직배수재 내부의 과잉간극수압 소산 양상과 지반 내부의 과잉간극수압 소산 양상을 나타낸 것이다. 연직배수재 내부의 과잉간극수압 변화는 설치된 연직배수재 종류에 따라 각각 P-1, P-2, S-3, F-4, F-5로 표기 하였으며, 지반 내부의 과잉간극수압은 위치에 따라 각각 G-1, G-2, G-3, G-4, G-5로 나타냈다. 아직 성토가 많이 진행되지 않았기 때문에 간극수압계에서 측정된 최대과잉간극수압은 그리 높지 않지만 시제품으로 제작한 벚짚배수재(SDB)의 경우 그림 7에 나타나 있는 것과 같이 PDB나 FDB의 내부에서 측정된 과잉간극수압보다 상대적으로 높은 과잉간극수압의 양상을 나타내고 있다. 반면에, SDB가 타설된 지반에 설치된 간극수압계에서는 다른 배수재 설치 지역에서 측정된 과잉간극수압과 거의 유사한 과잉간극수압 양상이 관측되었다. 과잉간극수압 절대 값

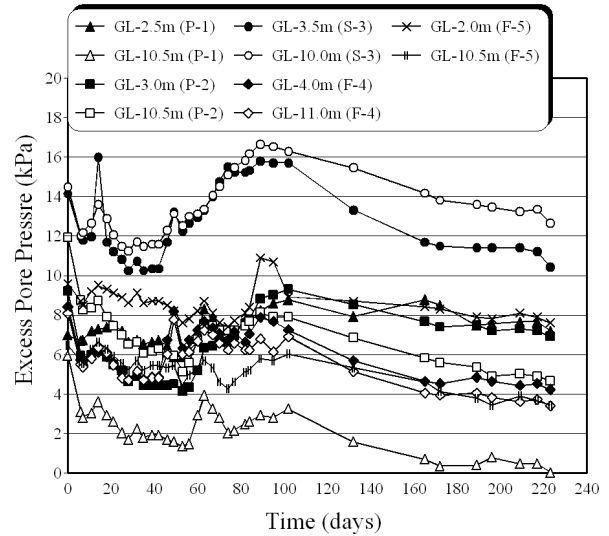


그림 7. 연직배수재 내부의 과잉간극수압 변화

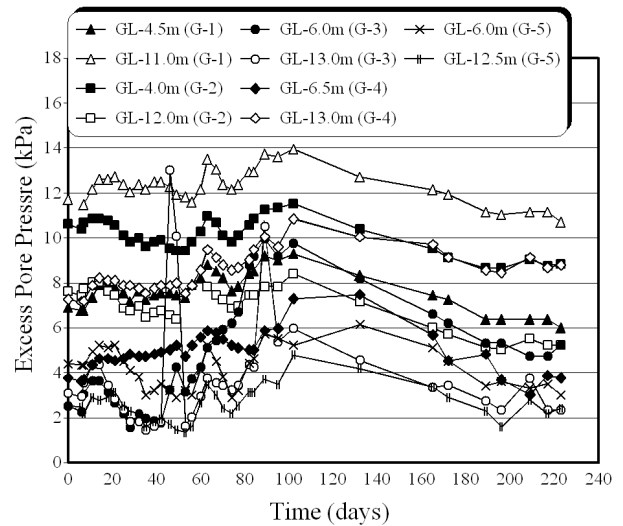


그림 8. 지반 내부의 과잉간극수압 변화

은 설치 위치와 심도마다 다소 차이를 보이고 있으나, 간극수압계 설치 후 100일 이후부터의 간극수압 소산 양상은 배수재 내부에서나 지반에서 모두 비슷하게 나타나고 있다.

그림 7의 연직배수재 내부의 과잉간극수압과 그림 8에 나타낸 지반 내부의 과잉간극수압 변화를 좀 더 자세히 나타내기 위하여 과잉간극수압 소산이 시작된 100일 후와 가장 최근에 측정된 223일 경과 후의 과잉간극수압 변화 양상을 각각 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

그림 9에 나타낸 계측 시작 후 100일 후에 측정된 연직배수재 내의 과잉간극수압과 지반의 과잉간극수압 분포를 살펴보면, PDB 내부에 설치한 P-1과 P-2에서 측정된 과잉간극수압이 PDB가 설치된 지반에 설치한 G-1, G-2보다

작은 과잉간극수압을 나타내고 있다. 또한, FDB 내부에 설치한 F-4에서도 PDB가 설치된 지역과 같이 배수재 내부에서 측정된 과잉간극수압이 지반에서 측정된 과잉간극수압보다 작은 과잉간극수압이 측정되었다. 그러나 본 연구에서 개발한 벚짚배수재 내부의 S-3에서 측정된 과잉간극수압과 FDB 내부 F-5에서 측정된 과잉간극수압은 각각 지반에서 측정된 G-3와 G-5에서 측정된 과잉간극수압보다 다소 큰 값을 나타내고 있다. 이와 같은 양상은 그림 10에 나타낸 계측 시작 후 223일 후의 과잉간극수압의 경우에도 비슷하게 나타나고 있다. 이 같은 결과만으로 설명한다면 PDB는 과잉간극수압이 잘 소산이 되는 반면에 FDB의 일부분과 SDB는 PDB보다 상대적으로 과잉간극수압 소산이 더디게 진행되는 것으로 생각할 수도 있다.

그러나, 실제 이 결과는 60cm 정도의 낮은 성토고 상태에서 측정된 결과이므로 이를 좀 더 자세하게 분석하기 위해 설치한 간극수압계의 100일 경과 후와 223일 경과 후

의 과잉간극수압 소산 정도를 그림 11과 그림 12에 따로 각각 나타내었다. 그림 11에는 그림 9와 그림 10에 각각 나타낸 연직배수재에 설치된 과잉간극수압 소산 정도를 따로 분리해 시간별로 나타낸 것인데, 여기에서 보면 과잉간극수압의 절대 값은 SDB가 설치된 지역이 가장 크게 나타났지만, SDB 설치 지역에서 측정된 지난 4개월 동안의 과잉간극수압 소산량 또한 가장 크게 나타났다. 이와 더불어 PDB와 FDB가 설치된 지역에서 지난 4개월 동안의 과잉간극수압 소산 정도는 유사하게 나타나 현재까지 뚜렷하게 각 배수재의 통수능 차이는 발견할 수 없었다.

그림 12는 그림 9와 그림 10에서 나타낸 지반에 설치된 간극수압계에서 계측 시작 100일 경과 후의 과잉간극수압과 이로부터 4개월이 경과한 223일 경과 후의 과잉간극수압을 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림 11에 나타낸 결과와 마찬가지로 지반 내에서 측정된 과잉간극수압은 연직배수재 종류와 관계없이 비슷한 양의 간극수압 소산정도

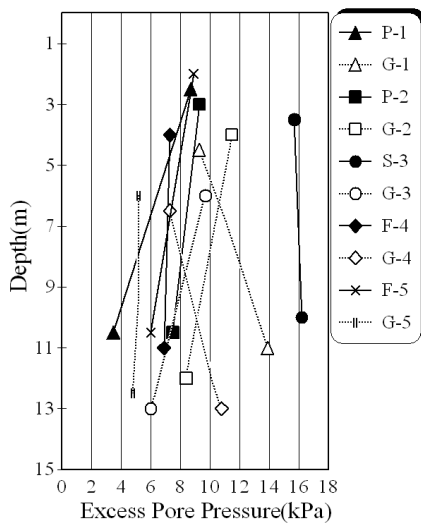


그림 9. 과잉간극수압 분포 양상(100일 후)

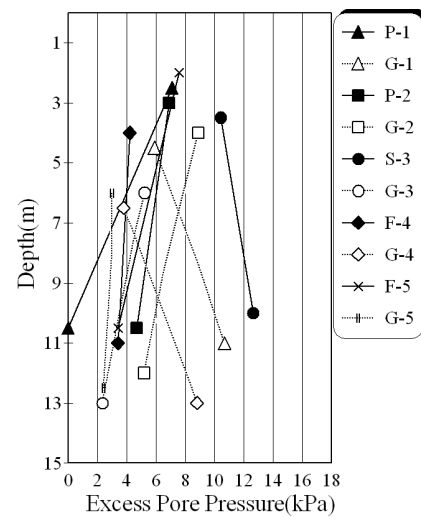


그림 10. 과잉간극수압 분포 양상(223일 후)

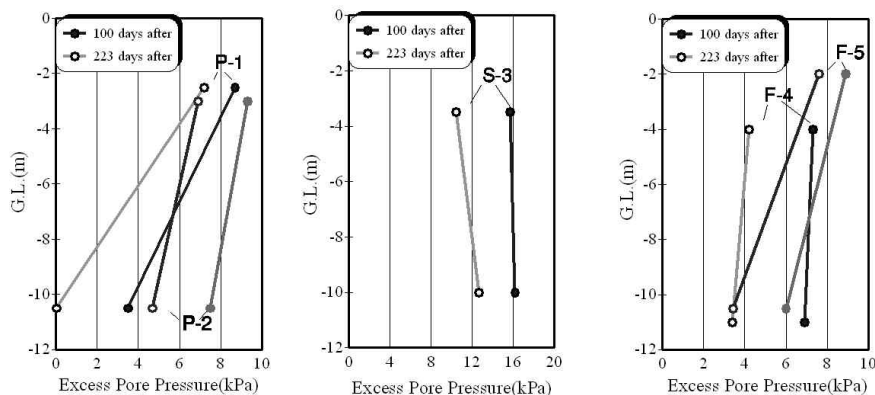


그림 11. 연직배수재 내부의 과잉간극수압 변화

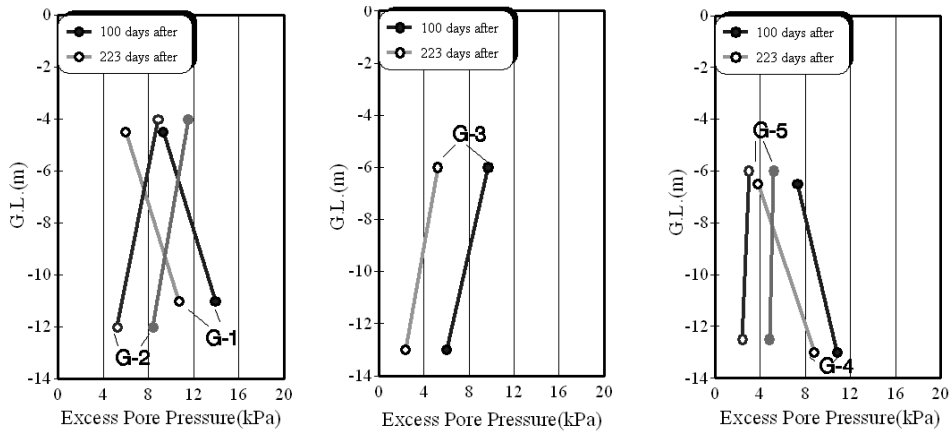


그림 12. 지반 내부의 과잉간극수압 변화

를 나타내고 있다. 그림 11과 그림 12에 나타난 결과를 근거로 판단하면 비록 SDB가 설치된 지역과 FDB가 설치된 일부 지역에서 연직배수재 내의 과잉간극수압이 지반에서 측정된 과잉간극수압보다 크게 측정이 되었으나, 과잉간극수압 소산정도로 판단한다면 각 연직배수재의 통수능은 비슷한 것으로 판단된다. 그러나 현재까지 매우 낮은 성토고가 시공되어 있어 현재까지 계측된 간극수압 자료만으로는 각 배수재의 특성을 파악하기는 다소 무리가 있으며 추후에 시공될 추가 성토로 얻어지는 계측자료를 이용한 추가 분석이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

천연섬유배수재의 현장 적용성을 분석하기 위해 동일 현장에 PDB, SDB 그리고 FDB를 시험적으로 시공하고 각 배수재 설치 위치에서 계측이 진행 중에 있다. 현재까지 계측된 침하양상과 과잉간극수압 발생양상을 분석한 결과 세 종류의 배수재가 모두 비슷한 거동을 나타내고 있으나, 아직까지 매우 낮은 높이의 성토가 시공되어 있어 각 배수재의 특성을 파악하기에는 다소 무리가 있다. 추후 본 지역에 추가 성토를 수행하고 지속적인 계측을 통해 침하와 간극수압 양상을 분석한다면 각 배수재의 현장적용성을 분석할 수 있을 것으로 파악된다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설기반구축사업(03기반기술-A15의) 일환으로 수행되었으며, 현장지원을 해주신 익산 지방국토관리청 관계자와 한라건설 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Choi, K. S. (2001), "Late Quaternary stratigraphy and evolution of tidal deposits in Kyunggi Bay, west coast of Korea", Ph.D Thesis, Seoul National University, pp.225.
2. 조삼덕, 김주형, 정승용 (2005), "친환경배수재의 통수능 특성 평가", 한국토목섬유학회논문집, 한국토목섬유학회, 제 4권, 제 1호, pp.27-36.
3. 김주형, 조삼덕 (2005), "수평천연섬유배수재의 공학적 특성 평가를 위한 실험적 연구", 한국토목섬유학회 봄학술발표회 논문집, pp.157-164.
4. 장연수, 장진영, 김수삼, 조삼덕 (2005), "장기 타설된 천연 배수재의 인장 및 투수 특성", 한국토목섬유학회 가을학술발표회 논문집, pp.131-138.
5. 김주형, 조삼덕, 장연수, 김수삼 (2006), "자연친화형 연약 지반개량공법을 위한 천연섬유배수재의 특성 연구" 한국환경복원녹화기술학회, 환경복원녹화 논문집, Vol.9, No.1, pp.1-13.

(논문접수일 2006. 6. 14, 심사완료일 2006. 6. 23)