

## 현장시험을 통한 수평배수재로서의 풍쇄 슬래그의 적용성에 관한 연구 Application of Precious Slag Ball for horizontal drain material by field experimental test

신은철<sup>1)</sup>, Eun-Chul Shin, 이운현<sup>2)</sup>, Woon-Hyun Lee, 김수완<sup>3)</sup>, Soo-Wan, Kim, 유정훈<sup>4)</sup>, Jeong-Hoon Yoo

<sup>1)</sup> 인천대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civi & Environmental Engrg., Univ. of Incheon

<sup>2)</sup> 인천대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environmental Engrg., Univ. of Incheon

<sup>3)</sup> (주)선진엔지니어링 토목기사, 공학석사, Civil Engineer, Sun-jin Engineering Co., LTD

<sup>4)</sup> (주)에코마이스터 기술연구소 소장, Manager, Technical Laboratory, Ecomaister Co., LTD

**SYNOPSIS** : As soft grounds have complex engineering properties that the load bearing capacity is low and high compressibility, it needs to solve this problems prior to structures are constructed by the method of improvement of soft ground. Generally, the sand mat is used to as a horizontal drain material and loading base for soft ground improvement work. However, as the natural environment can be damaged by sand pickings of large quantity and the volume which is enormous and an amount of demanded sand is increased, it is state of short in supply. This paper presents the result of field experimental test to use Precious Slag Ball to solve these issues instead of sand mat as the replacing material. This study evaluated the performance of Precious Slag Ball as a sand mat in terms of discharge capacity, settlement, and settlement through the K-Embank program.

**Keywords** : Precious Slag Ball, Improvement of soft ground, Discharge capacity, Settlement property, K-Embank program

### 1. 서론

연약지반 개량을 위해서는 지반지력의 증대, 지반변형의 억제, 투수성의 감소, 내구성 증진을 위한 지반 개량공법 적용이 필수적이다. 지반개량공법의 적용 원리는 크게 고화, 치환, 보강, 다짐, 탈수, 재하 등으로 구분 할 수 있으며 각각 대상 지반의 토질특성이나 개량목적 그리고 경제성이나 시공성을 종합적으로 검토하여 적절한 개량공법을 선정하여야 한다. 일반적으로 연약지반 개량공법은 연약지반 표면에 계획 구조물의 하중보다 크거나, 동등한 하중을 미리 재하 시켜 구조물의 설치 이전에 필요한 만큼의 침하가 발생하도록 유도하는 공법인 선행재하공법이 가장 흔하게 사용된다. 이 공법은 시공기간이 타 공법에 비하여 오래 걸리는 단점이 있으나 가장 확실하고 효과적이면서 경제적인 점이 특징이다(지반공학시리즈6 연약지반, 2005). 선행재하공법을 실시할 경우 장비의 주행성 확보와 재하로 인해 발생된 지반 내 과잉간극수압과 지표수의 배수로 확보가 필수적이며, 배수로 확보를 위해 일반적으로 성토를 실시하기 전 샌드매트를 부설하게 된다. 일반적으로 샌드매트로 사용되는 모래는 지반개량 대상면적의 전역에 걸쳐 50cm~100cm 정도의 두께로 고르게 포설하기 때문에 그 사용량은 방대하다. 따라서 대규모 토목공사나 단지개발부지의 지반 개량에 샌드매트 시공 시 모래채취원의 원근과 채취량이 전체공정과 경제성에 있어서 중요인자라 할 수 있다.

지금까지는 수많은 건설현장에서 수평배수재로서 모래나 골재 등을 사용하였으나, 그 사용이 증가함에 따른 한계성이 점차적으로 나타나고, 무분별한 모래나 골재의 채취로 인하여 생태환경이 파괴되는 상황이 발생하여 천연자원의 고갈에 따른 대체 자원으로 친환경적이면서도 경제적인 건설재료개발의 필

요성이 강조되고 있는 시점이다.

본 연구에 사용된 풍쇄 슬래그의 경우 건설용 재료로써 활용하기 위한 연구가 필요하며, 이는 곧 환경보전과 자원의 재활용이라는 측면에서 사회적 및 경제적으로 상당한 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 풍쇄 슬래그는 SAT(Slag Atomizing Technology)공정을 통해 생산이 되며, 생산되는 풍쇄 슬래그는 기존의 버려지던 전로 및 전기로 슬래그를 용융상태에서 SAP공정을 통해 급속 냉각하여 입자화되는 슬래그를 일컫는 것으로, 현재 부산, 군산, 칠서지점에서 생산되고 있으며, 주로 토목 및 건축 분야에 널리 이용이 되고 있다.

이에 본 연구에서는 지반공학 분야에서 풍쇄 슬래그를 새로운 재료로 활용할 수 있는 방안을 모색하고자 기존의 샌드매트 설계방법과 적용기준을 고찰하였으며, 샌드매트의 대체재로써 풍쇄 슬래그의 사용이 적합한지를 판단하기 위하여 실제 연약지반을 대상으로 시험시공구간을 조성하여 현장시험을 실시하였다.

## 2. 풍쇄 슬래그의 공학적 특성

풍쇄 슬래그의 비중은 3.74로 상당히 큰 편이며, 액·소성 시험 결과는 모든 시료가 비소성(N.P)으로 나타나 재료적 특성은 양호한 것으로 평가 되었고 필터재료로 적용 시 유용한 재료로 판단된다(이상덕, 2007). 또한, 통일분류법(USCS)에 의해 풍쇄 슬래그를 분류하면, 입도분포가 균등한 SP로 분류가 된다.

### 2.1 입도분포

KS F2302에 규정되어 있는 입도시험 결과, 풍쇄 슬래그의 균등계수( $c_u$ )가 2.43으로 입도분포가 양호한 모래의 균등계수( $c_u > 6$ )보다는 약간 작은 편이며, 곡률계수( $c_c$ )는 1.02로 양입도( $1 < c_c < 3$ )의 범위에 해당된다. 또한, 입자의 크기는 약 0.25mm~2.0mm사이에서 대부분을 차지하며, 입도분포에서 입자가 균일한 것으로 나타난다. 본 연구에 수평배수재로 사용된 풍쇄 슬래그와 샌드매트용 모래의 입도시험을 통해 표 1과 같이 샌드매트 규정에 맞는 것으로 확인이 되었다.

표 1. 풍쇄 슬래그의 입도분석시험 결과(최종규, 2004)

구 분	$D_{85}$ (mm)	$D_{15}$ (mm)	NO.200체 통과량
샌드매트 규정	0.4~8.0	0.075~0.9	15%이하
풍쇄 슬래그	1.510	0.422	0.1
샌드매트용 모래	1.07	0.24	0.4

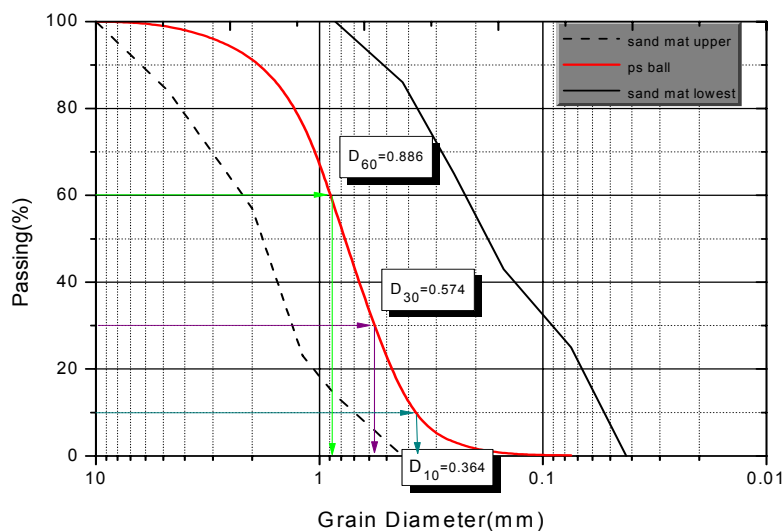


그림 1. 풍쇄 슬래그의 입도분포 곡선

그림 1은 풍쇄 슬래그의 입도분포 곡선을 나타낸 것으로 No.200체 통과율이 거의 0%로서 압밀 축진을 위한 배수재로서의 적합한 입도분포특성을 가지고 있는 것으로 나타나 재료적 특성은 양호한 것으로 판단된다. 또한, 샌드매트의 입도 분포 그래프에서 나타내듯이 상·하의 입도 분포 기준안에 적합한 것을 확인할 수가 있다.

## 2.2 투수특성

풍쇄 슬래그를 정수위 투수시험방법으로 동일한 조건에서 유량을 달리하여 총 3회 실시한 결과  $36.05 \times 10^{-2} \text{cm/s}$  로 샌드매트의 기준인  $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  보다 큰 값을 나타냄으로써, 표2와 같이 수평배수재로서의 적용기준을 만족하는 것으로 평가 되었다.

표 2. 풍쇄 슬래그의 투수시험 결과

구 분	투수계수
샌드매트 규정	$1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$
풍쇄 슬래그	$36.05 \times 10^{-2} \text{cm/s}$
샌드매트용 모래	$1.751 \times 10^{-2} \text{cm/s}$

## 2.3 풍쇄 슬래그의 환경 영향 평가

본 연구에 사용된 풍쇄 슬래그의 환경적인 영향을 파악하고, 유해성분을 함유하고 있는지의 여부를 판단하기 위하여 폐기물 공정 시험법에 의한 용출시험을 한국화학시험연구원에 의뢰하여 분석하였다. 시험결과는 표 3과같이 비소(*As*)가 0.139ppm으로 나타났으며 나머지 항목들은 검출이 되지 않았다. 따라서 풍쇄 슬래그는 모든 유해항목에서 기준 이하로 판명되었으며, 환경적으로 안정적인 것으로 나타났다(한국건설기술연구원, 2000).

표 3. 폐기물 공정 시험법에 의한 용출시험

시험 항목	단위	허용기준	풍쇄 슬래그
<i>Cd</i>	<i>ppm</i>	0.3	N.D.
<i>Cu</i>	<i>ppm</i>	3.0	tr
<i>As</i>	<i>ppm</i>	1.5	0.139
<i>Hg</i>	<i>ppm</i>	0.005	N.D.
<i>Pb</i>	<i>ppm</i>	3.0	tr
<i>Cr</i>	<i>ppm</i>	1.5	N.D.
<i>CN</i>	<i>ppm</i>	1.0	N.D.
유기인	<i>ppm</i>	1.0	N.D.

※ tr: 0.03ppm 이하, N.D.: 불검출

## 3. 현장계측결과를 이용한 압밀효과 분석

본 연구에서는 연약지반 위에 성토되었을 때의 침하특성을 파악하고 풍쇄 슬래그의 지반개량효과를

분석하기 위하여 김포 양촌지구 택지개발사업 지구내에 현장실험을 실시하였다. 현장에서의 연약점토층의 함수비( $w$ )는 36.9~57.3%로 액성한계와 거의 유사하거나 약간 하회하며 소성지수는 40%내외, #200번체 통과량은 98%내외로 통일분류법상 CL로 분류되는 소성이 낮은 유기질 점토로 판명되었다. 초기간극비( $e$ )는 0.860~1.364로 심도에 따라 약간 감소하는 경향이 있다. 비중( $G_s$ )은 2.471~2.710, 전체 단위중량( $\gamma_d$ )은 1.674~1.885 $t/m^3$  정도로 심도에 따라 약간 증가하는 경향을 보인다. 강도특성분석결과 연약점토층 상부에서의 비배수 전단강도( $S_u$ )는 1.29~5.355 $t/m^2$ 으로 심도가 증가할수록 증가하는 양상을 보이고 있고, 압밀특성분석을 통해 산정된 압축지수( $C_c$ )는 0.28~0.54이고, 압밀계수( $C_v$ )는  $4.08 \times 10^{-3} cm^2/s$ , 연직 및 수평투수계수( $k_v, k_h$ )는 각각  $1.9 \times 10^{-8} cm/s$ ,  $4.18 \times 10^{-8} cm/s$ 으로 나타났다. 대상지역의 연약지반은 약 4~5m 정도로 분포하고 있으며, 상부층의 과압밀비(OCR)는 2.6~3.4로 과압밀상태로 하부층은 1.5 정도로 정규압밀상태로 분석되었다(한국토지공사,2007).

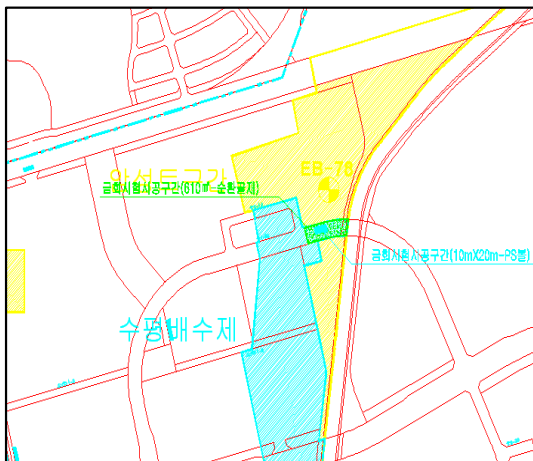
다음 표 4은 성토재료로 사용된 화강풍화토의 물리적 및 역학적 특성을 나타낸 것이다.

표 4. 성토재료의 공학적인 특성

구분	비중 ( $G_s$ )	함수비 ( $w, \%$ )	#200체 통과량 (%)	균등 계수 ( $c_u$ )	곡률 계수 ( $c_g$ )	소성 지수 (PI,%)	US CS	최대건조 단위중량 ( $\gamma_{d,max}, t/m^3$ )	최적함수비 ( $w_{opt}, \%$ )
성토 재료	2.62	24	2.6	9.36	1.02	NP	SW	1.84	12.8

### 3.1 지반조성

풍쇄 슬래그의 현장 적용성 평가를 위하여 그림 2에서와 같이 10m × 20m규모의 시험 시공구간을 조성하였다. 또한 연약지반 개량을 위한 수평배수공법 중 순환골재로 주변 구간을 포설하였다. 시험 시공구간의 연약지반위에 풍쇄 슬래그를 포설하고 성토를 한 후, 연약지반을 처리하기 위하여 지반의 교란을 고려한 흙 입자의 재배열을 통한 전단강도와 지반의 균질성이 회복될 수 있도록 3개월의 자중압밀에 의한 안정화 기간을 두었다.



(a) 풍쇄 슬래그의 시험시공구간

(b) 풍쇄 슬래그 시험시공구간의 단면도

그림 2. 현장시험의 지반조성

### 3.2 단계 성토 방법

제방의 축조과정은 총 5단계로 나누어 실시하였으며, 각 단계별 성토고는 1차 성토 50cm, 2차 성토 100cm, 3차 성토 100cm, 4차 성토 50cm, 그리고 5차 성토 100cm 로 총 4.0m 성토를 실시하였다. 단계별 성토 시기는 침하판의 측정결과를 바탕으로 진행성 침하가 거의 없는 단계에서 2차, 3차, 4차, 5차 성토를 실시하였다. 다짐장비는 진동식 롤러(10ton)를 사용하였으며, 균질한 성토 지반을 형성하기 위하여 50cm 두께마다 8회씩 다짐을 실시하였다.

표 5는 성토높이에 따라서 다짐후의 현장 단위중량을 모래치환법에 의하여 측정한 값이며, 평균값이 1.60 t/m<sup>3</sup>으로 최대 건조단위중량의 약 87%정도로 다짐된 것으로 나타났다.

표 5. 성토고에 따른 현장 단위중량

성토고(m)	$\gamma_t(t/m^3)$	$\gamma_a(t/m^3)$
0.5	1.78	1.70
1.5	1.76	1.68
2.5	2.05	1.656
3.0	1.841	1.485
4.0	1.835	1.48
평균	1.857	1.60

### 3.3 연약지반 프로그램(K-Embank)을 통한 예상 침하량

K-Embank는 종합적인 연약지반 설계프로그램으로  $c_e$ 법,  $\Delta e$ 법,  $M_V$ 법을 이용한 연약점성토 압밀침하계산, De beer식, B.K.Hough 도표를 이용한 사질토 즉시 침하계산, 무처리 및 처리시 압밀시간/압밀도계산, 성토 및 외부하중으로 인한 자중응력 증가, 저면 매트 인장장도 계산, 샌드매트두께 계산, Smear Effect, Well Resistance를 고려한 압밀도/시간 계산, 점증하중을 고려한 하중 단계별 압밀시간별 침하량/잔류침하량 계산, 사면안정 데이터 자동생성, 한계성토고계산, Dxf 파일 생성, 보고서 양식 출력 등의 기능을 갖추고 있다. 본 연구에서는 현장에서 측정한 실제 침하량과 프로그램을 통한 예상침하량을 비교 분석하기 위하여 현장조건을 고려하여 그림 3과 같이 현장시험시공구간과 동일한 해석대표단면으로 Mesh를 생성하였다.

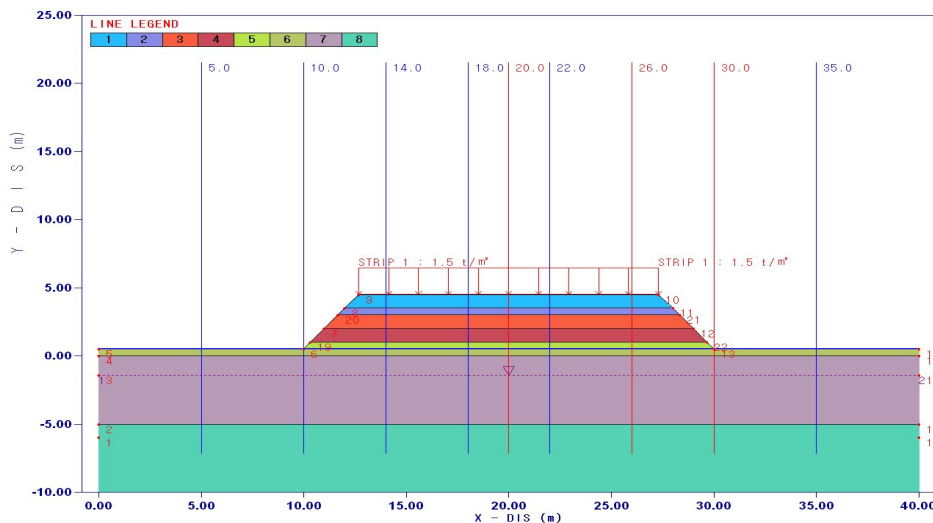
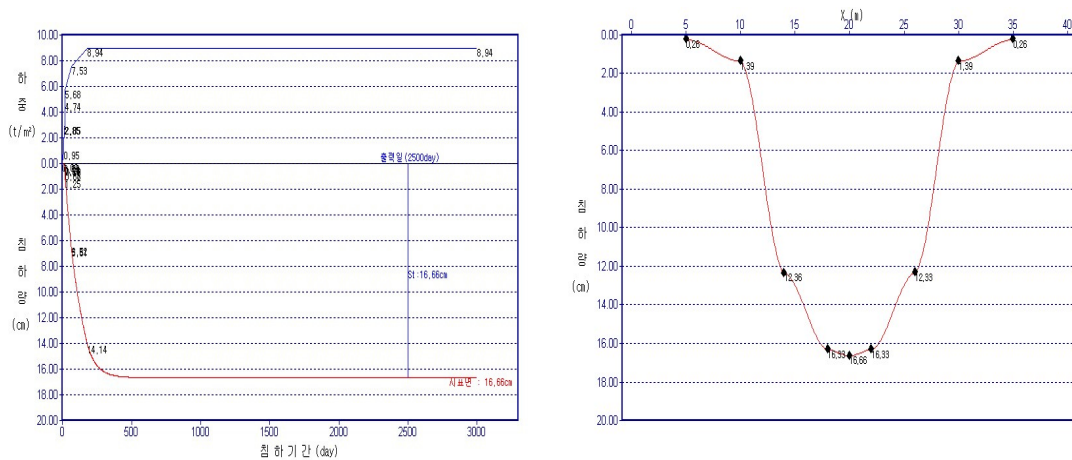


그림 3 K-Embank 해석단면(mesh)

### 3.3.1 프로그램을 통한 예상 침하량 결과 분석

연약점성토층은  $c_c$  법으로, 그리고 사질토 즉, 풍쇄 슬래그가 포설된 층은 De beer 식으로, 해석목적은 연약 지반의 침하량을 확인하기 위한 것이므로 경계조건은 연약지반이 끝나는 지점에서 암이 존재하여 침하가 일어나지 않는다는 가정으로 프로그램을 해석하였다. 또한, 지반은 탄소성거동을 하는 것으로 가정하여 해석을 실시하였으며, 본 단면에서 보는 바와 같이 연약지반처리를 위한 매립토층과 그 아래로 풍쇄 슬래그 매트, 점성토층, 그리고 풍화토층으로 구성되어 있다. 총9개의 지점 중에서 침하가 가장 많이 발생할 것이라 예상되는 중앙부 지점에서의 침하를 나타낸 것이며, 최대 침하량은 16.66cm가 발생한 것으로 해석되었다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 풍쇄 슬래그를 포설하고 초기 성토 후 각 단계별로 성토를 실시 한 후 침하량이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 연약지반의 초기 교란상태와 침하의 영향으로 볼 수 있다. 또한, 풍쇄 슬래그매트의 투수성이 클수록, 하중단계가 커질수록 침하 속도가 빠르게 진행되었고, 최종침하량도 투수성이 좋은 풍쇄 슬래그매트가 조금 더 크게 나타남을 알 수 있다. 압밀배수로 인해 점토층이 가장 깊게 존재하고, 침하량이 가장 크게 발생할 것이라고 예상되는 중앙부 지점을 대상으로 지반변형 해석을 실시하였다. 그 결과 최대 예상침하량이 16.66cm로 나타났으며, 여기에는 잔류 침하량도 포함된다.



(a) 성토하중-침하량 곡선 (b) 성토하중단계에 따른 각 지점 침하량

그림 4. 프로그램을 통한 예상침하량

프로그램 해석결과는 토질정수, 현장여건 등에 따라 다를 수 있으므로 실제 현상과 일치된다는 볼 수는 없지만, 경향이나 가능성을 확인할 수 있으므로 참고하여 전체를 파악해야 한다. 잔류침하량은 구조물의 사용목적, 중요도, 공사기간, 지반의 특성, 포장종류, 경제성을 고려하여 결정하여야 하며 연약지반구간에서는 일반적으로 설계시와 시공시의 오차가 발생되고 있으므로 연성포장을 원칙으로 하되, 허용잔류침하량 문제는 침하량으로 결정할 것인지, 압밀로 결정할 것인지에 대해 다소 논란이 되고 있지만 외국의 사례를 보면 대부분이 침하량으로 결정되고 있으며, 허용침하량은 10~20cm 로 하고 있다.

### 3.4 현장시험결과의 비교분석

#### 3.4.1 현장 계측에 의한 통수능 파악

본 연구에 사용된 풍쇄 슬래그의 통수능력을 평가하기 위하여 연약지반 위에 PET Mat를 포설 한 후 수평배수재를 포설하기 전에 그림 5와 같이 HDPE이중벽관(PE-DC)으로 직경이 200mm인 유공관을 Y자 형태로 시험시공 구간의 중앙에 설치하였다.



(a) 유공관 부직포 감싸기



(b) HDPE 이중벽관

그림 5. 유공관 설치 모습

표 6. 수평배수재의 통수능 실험 결과

배수재	소요일수 (day)	통수량 (cm <sup>3</sup> )	통수능 (cm <sup>3</sup> /day)
풍쇄 슬래그	14	270	19.29
순환 골재	14	320	22.86

본 연구의 현장실험에 의하면 성토하중에 의한 배수재의 변형과 지반자체의 빠른 침하로 인하여 통수능 저하가 측정되어 기존 연구보다 많은 통수능 저하를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 이유로는 현장시험과 실내시험 방법의 차이에 의한 것으로 판단되며 특히 현장시험의 경우 배수재 필터의 막힘에 의한 통수능 저하가 발생하기 때문인 것으로 보인다. 기존 연구결과와 비교할 때 본 실험결과의 최종 통수능은 표 6과 같이 풍쇄 슬래그 19.29 cm<sup>3</sup>/day, 순환골재 22.86 cm<sup>3</sup>/day로 순환골재의 통수능이 약간 크게 나타났다. 또한, 통수능이 작아 소요통수능에 문제가 있는 것으로 보일 수도 있으나 압밀기간 전체를 고려하면 배수과정에 문제가 없는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 통수능의 저하율이 90%에 이르는 결과도 Bergado(1988)가 제시한 통수능 감소계수나 기타 현장실험 결과로 나타난 통수능 저하 크기를 비교할 때 저하율이 크기는 하지만 큰 차이는 없는 것으로 판단된다. 본 연구 대상지역의 연약심도가 4~5m 정도 알고, 침하속도 및 침하량이 큰 것이 이러한 결과를 보인 것으로 판단할 수 있다.

### 3.4.2 현장 계측에 의한 침하 분석

본 연구 대상지역은 수립된 계획에 따라 예측된 상황들이 실제 지반의 거동과 맞는지의 여부를 파악하여야 하며, 예측된 상황과 크게 상이할 경우 그 발생 원인에 대한 분석 및 해석을 통해 새로운 방향을 모색하여야 한다. 이는 주로 현장 계측을 통해 연약지반의 개량이 원활히 수행되고 있는지를 파악한다. 따라서 본 연구 수행의 대상공사인 김포-한강 신도시 개발공사의 시공 중 시험시공 구간의 중앙부에 침하판을 매설하여 2009년 4월 14일부터 2009년 6월 30일 까지 약 80일 동안 단계 성토에 따른 침하 값을 측정하였다. 그림 6은 단계성토에 따른 침하량을 나타낸 그림이다.

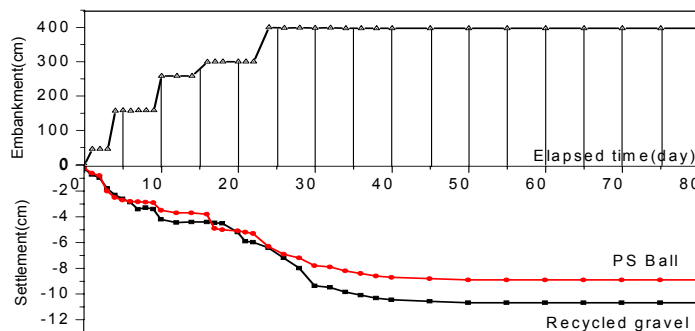


그림 6 단계 성토에 따른 누계 침하량 곡선

그림 6에서 보면 성토하중에 의한 풍쇄 슬래그와 순환골재의 초기 침하는 비슷한 경로를 보이거나 시간이 경과함에 따라 순환골재의 침하량이 10.68cm로 풍쇄 슬래그의 침하량인 8.9cm보다 약 1.78cm 침하가 크게 나타났다. 이는 순환골재의 입경이 풍쇄 슬래그보다 크기 때문에 점토지반이 성토 하중에 의하여 압밀이 되는 과정에서 초기에 배수가 더 우월하다고 판단된다. 또한, 본 실험 결과를 통해서 샌드매트 대체용으로 풍쇄 슬래그의 현장 적용가능성을 확인하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 샌드매트의 대체재로써 풍쇄 슬래그의 현장 적용성을 평가하기 위하여 김포시 양촌면에 위치한 김포-한강 신도시 개발사업 지역에 시험시공을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 풍쇄 슬래그의 환경 영향 평가는 국내에서 일반적으로 적용이 되고 있는 폐기물 공정시험법에 의해 분석이 되었고, 모든 항목이 허용 기준치 이하로 판명이 되었다. 또한, 입도분석 시험 결과 샌드매트의 규정된 상·하한 범위 안에 분포하고, 균등계수( $c_u$ )가 2.43, 곡률계수( $c_g$ )는 1.02이며, No.200번체의 통과율이 거의 0%로서 압밀 축진을 위한 배수재로서 적합한 입도분포특성을 가지고 있다.

(2) 실내시험과 현장을 통한 배수재의 통수능 시험 결과, 현장의 통수능력이 실내시험보다 급격히 감소하는 것으로 평가 되었다. 이는 실내시험에서는 고려가 어려운 배수재막힘과 성토하중과 지반의 조건에 따른 배수재 변형등도 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한, 현장에서 수평배수재로 사용을 하고 있는 순환골재와 통수능을 분석해 보면, 풍쇄 슬래그의 통수능이 19.29  $\text{cm}^3/\text{day}$  로 순환골재의 통수능인 22.86  $\text{cm}^3/\text{day}$ 과 큰 차이가 없으므로 연약지반 개량을 위한 수평배수재로서 풍쇄 슬래그의 현장 적용이 가능하다는 것을 확인하였다.

(3) 연약지반 설계프로그램인 K-Embank를 사용한 예상침하량과 실제 계측을 통한 침하량을 비교해본 결과, 설계침하량 보다 계측침하량이 작게 나오는 경향이 있다. 이는 풍쇄 슬래그의 상대적인 큰 하중에 의한 초기침하 발생과 설계 시 산정한 평균침하속도와 실제 침하속도 차이 등에 의한 것으로 판단된다.

(4) 풍쇄 슬래그를 수평배수재로 사용한 결과, 허용잔류침하량 이내로 수렴하는 등 순환골재의 경우와 유사한 결과를 도출하여 연약지반 수평배수재로서 사용가능하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 중소기업청 2008년도 산학 공동기술개발 지원사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다. 연구개발비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 이상덕(2007,)토질시험(원리와 방법), 새론, 서울, pp.7~74, 140~149.
2. 최종규(2004), 샌드매트 투수영향에 의한 연약지반의 압밀거동, 군산대학교 토목공학 대학원, pp.5~14.
3. 한국건설기술연구원(2000), 동제련 슬래그의 건설재료 활용 및 기준개발, pp.168~236.
4. 한국지반공학회(2005), 지반공학 시리즈 6 연약지반, 구미서관, 서울, pp.193~201.
5. 한국토지공사(2007), 김포 양촌지구 택지개발사업 조사설계용역 토질조사보고서, pp.146~175.
6. Bergado D.T., Manivannan., and Balasuramian A.S(1969), Fiteration Criteria for Prefabricated Vertical Drain Geotextile Filter Jackets in Soft Bangkok Clay, Geosynthetics International, Vol.3, pp.63~83.