

## 강널말뚝에 의한 폐기물 매립장의 차수시스템 구축방안

### Vertical barrier system in waste landfills by steel sheet pile

정하익<sup>1)</sup>, Ha-Ik Jeong, 이시한<sup>2)</sup>, Si-Han Lee, 안태봉<sup>1)</sup> Tae-Bong Ahn, 여병철<sup>3)</sup>, Byung-Chul Yeo, 윤태국<sup>4)</sup>, Tae-Kuk, Yoon

- 1) 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Division, KICT
- 2) 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Division, KICT
- 3) 강원산업 강진재기술연구소 책임연구원, Research Fellow, Kang Industries, Ltd.
- 4) 강원산업 강진재기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Kang Industries, Ltd.

**SYNOPSIS** : Model experiments on seepage through the steel sheet pile wall under the various conditions were performed. The volumes of water leaking out through interlock joint of sheet pile were measured. And the cut-off characteristics of sheet pile were analysed.

## 1. 서론

그동안 강널말뚝은 토목분야에서 지하수의 침투저하 및 누수방지 등의 차수효과가 크고 경제성도 있기 때문에 항만, 하천, 교량의 가물막이용으로 사용되어 왔으며 최근에는 환경분야에서 폐기물 매립장 및 오염지역 차폐에도 널리 사용되고 있다. 현재 전세계적으로 폐기물 처분지역 또는 산업활동이나 저장탱크로 부터 오염물질이 누출되어 수많은 지역의 지반이 오염되고 있다. 이러한 오염지반을 정화하기 위하여 생물학적 정화, 증기 그리고 소각방법에 자주 사용되고 있지만, 완벽하게 오염물질을 제거하고 처리하는 데에는 상당한 비용이 소요되기 때문에 이러한 방법들은 비경제적인 방법이 될수도 있다.

이러한 경우에 가장 실제적인 해결방안으로서는 오염지반을 에워싸서 오염물질을 영구적으로 저장하여 장기적으로 해결방안을 모색하는 것이 될 수 있다. 이러한 요구에 부응하여 오염지역의 차수방법이 제시·발전되었다.

이러한 차수방법으로서 외국에서는 과거에 슬러리월이 많이 적용되었으나 최근에는 강널말뚝을 사용한 공법이 점차 주목을 받고 있다. 이와 같은 강널말뚝은 아래와 같은 장점을 가지고 있기 때문에 각종 쓰레기 및 폐기물 매립장의 침출수에 의한 지하수 오염방지용으로 널리 사용되고 있다.

- ① 기존지반 굴착시에 구조적인 옹벽으로서의 역할을 할 수 있다.
- ② 급경사 지역에서도 시공할 수 있어 산악지역에서의 적용성이 높다.
- ③ 방식처리하면 내화화성이 우수하다.
- ④ 쓰레기 매립장이 최종적으로 안정되고 정화가 되면 제거하여 재활용 할 수 있다.
- ⑤ 팽창지수재를 사용하면 수밀성이 양호하다.
- ⑥ 기존에 토목분야에 많이 이용되어 왔기 때문에 관련기술이 축적되어 있다.
- ⑦ 공장에서 강널말뚝을 만들기 때문에 품질관리가 용이하다.
- ⑧ 시공이 간편하고 장비가 간단하여 공기를 단축할 수 있다.
- ⑨ 타공법에 비하여 경제적이다.

이와 같은 강널말뚝은 그 자체로는 완벽한 차수가 가능하지만 강널말뚝 연결부를 통한 누수가 문제가 되는바 본 연구에서는 실내모형실험장치를 이용하여 다양한 조건으로 실험을 실시하고 연결부를 통한 누수량을 측정함으로써 강널말뚝의 차수효과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 강널말뚝공법의 차수시스템

강널말뚝 연결부의 차수시스템에는 단순연결방식, 연결부 지수재 도포방식, 연결부 시굴파일설치방식,

굴착벽내 삽입방식 등이 있는데 그 특성은 다음과 같다.

## 2.1 단순연결방식

단순연결방식은 강널말뚝을 지반내에 보편적으로 설치하는 방식이다. 이때 강널말뚝의 연결부는 타설 시에 시공성을 고려하여 다소 여유를 두고 시공하기 때문에 타설 초기에는 이러한 연결부를 통한 투수가 용이하지만 시간이 경과함에 따라 세립토, 모래, 쓰레기등이 연결부의 틈새를 메워줌으로써 막힘효과(Clogging effect)가 발생하게 되며 이로 인하여 자연히 차수기능을 갖게 된다. 막힘효과는 강널말뚝의 배면조건에 따라 달라질 수 있는데 일반적으로 배면이 물 등의 용액보다는 토사가 막힘효과가 크며 토사도 입도분포가 좋을수록 막힘효과가 크게 된다.

이에 비해 배면가 물일 때는 물속의 미립토사나 부유물만으로 막힘효과를 기대하기 때문에 이러한 효과가 나타나는 데는 장기간의 시간이 필요하다. 이때 인위적으로 물의 흐름도를 높이거나 강널말뚝 배면에 토사나 석탄재 등을 투입해서 막힘효과를 촉진시키는 방법이 있다. 따라서 강널말뚝의 지반조건이 양호하다면 막힘효과만으로도 상당한 차수성을 확보할 수 있다. 이러한 효과는 강널말뚝 차수시스템 중 단순연결방식에서 기대할 수 있는 현상이며 강널말뚝의 차수성에 큰 영향을 미치는 한 요소라고 할 수 있다.

## 2.2 연결부 지수재 도포방식

상기한 바와 같은 단순연결방식에서의 막힘효과에 의하여 차수기능을 얻는 것은 장시간이 소요된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 강널말뚝 연결부에 팽창성 지수재를 도포하여 강널말뚝의 설치와 동시에 차수기능을 갖게 하는 방식이 사용되고 있다. 현장에서 강널말뚝의 연결부에 지수재를 도포하고 건조시킨 후 지반내에 타설하면 지수재가 지반내의 물을 흡수하여 소정의 부피만큼 팽창하여 연결부의 간극을 메워줌으로써 차수효과를 나타내는 것이다. 국외 및 국내 불량 매립장의 차폐에는 본 공법이 많이 사용되고 있다.

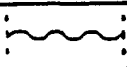
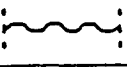
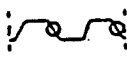
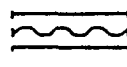
## 2.3 연결부 시굴파일 설치방식

이 방식은 강널말뚝 연결부에 직경 약 30cm 되는 시굴파일내에 그라우팅을 하여 차수시스템을 구성하는 방식으로서 그라우팅이 견실하게 시공된다면 차수효과가 큰 장점이 있다.

## 2.4 굴착벽내 삽입방식

이 방식은 강널말뚝 설치장소의 지반을 굴착하여 슬러리월 혹은 그라우트커튼을 설치하고 그 사이에 강널말뚝을 설치하는 방법으로서 다른 지수시스템보다 설치깊이가 깊고 차수효과가 큰 장점이 있으나 공비가 많이 든다는 단점이 있다.

<표 1> 강널말뚝 차수시스템 종류

지수 시스템	모식도	깊이(m)	두께(cm)	비고
단순연결방식		<30	1-2	장기간에 걸친 막힘효과 기대
지수재 도포방식		<30	1-2	
연결부 시굴파일 설치방식		15	1-2 시굴파일 ≥ 30	
굴착벽내 삽입방식		<35	60-150	

### 3. 실내모형실험

#### 3.1 실험재료

##### 3.1.1 강널말뚝

강널말뚝에는 크게 U형, Flat형, H형, Z형 등이 있는데, 국내에서는 U형만 5종이 생산되고 있다. 본 연구에서는 U형 중에서 SP-Ⅲ<sub>A</sub>를 사용하였다. 이의 치수는 폭 400mm, 높이 150mm, 두께 13mm이며, 강널말뚝 1본당 단면적 76.42cm<sup>2</sup>, 단면 2차 모멘트 3,060cm<sup>4</sup>, 단면계수 278cm<sup>3</sup>, 단위중량 60kg/m이다.

##### 3.1.2 지수재 및 흙

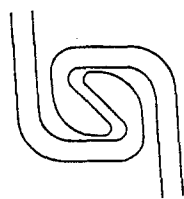
본 연구에 사용한 지수재는 파일록(Pile lock) 및 가드(Guard)라는 제품을 사용하였다. 파일록은 에라스토크머(Elastomer)에 고흡수성 폴리머, 충전제, 용제 등을 배합한 유전성이 있는 지수재로서 액상상태로 되어 있으며 가드는 특수폴리우레탄을 주성분으로 한 흡수팽윤성의 지수재로서 끈끈한 젤(gel)상태로 되어 있다.

두 지수재는 24시간 정도 상온에서 건조시키면 탄성이 있는 단단한 막이 형성되며 이를 물에 침전시키면 24~48시간 후 초기 부피에 비해 약 10~20배까지 팽창되는 성질을 가지고 있다. 이러한 성질로 인해 지수재를 강널말뚝의 연결부에 도포한 후 지중에 타설하게 되면 지수재가 지중의 물을 흡수하여 팽창하고 강널말뚝 연결부를 메워줌으로써 차수효과가 나타난다.

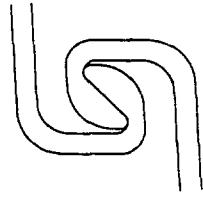
강널말뚝이 지반내에 타설되는 것을 모사하기 위하여 모형실험기내에 흙을 채웠으며 채움흙으로는 인천시에서 채취한 화강토로 하였다.

#### 3.2 실험조건

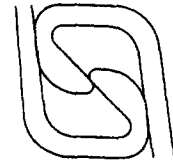
강널말뚝의 투수실험은 현장여건을 고려하여 강널말뚝 연결부의 시공조건, 지수재의 도포방법, 작용압력, 통과수 등의 각 조건별로 실시하였다.



(a) 중립

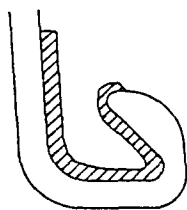


(b) 인장

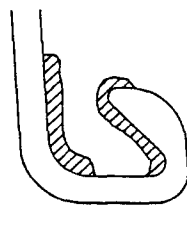


(c) 압축

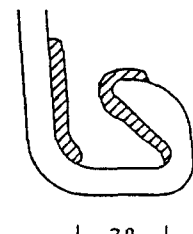
<그림 1> 강널말뚝 연결부의 시공조건



(a) 전면도포



(b) 도포 후 2cm 삭제



(c) 도포 후 3cm 삭제

<그림 2> 강널말뚝 연결부의 지수재 도포방법

### 3.3 실험방법

본 연구에서는 오염차단용 연직차수재로서 사용되고 있는 강널말뚝 연결부의 차수특성을 알아보기 위하여 그림 3과 같은 투수실험장치를 이용하였으며 시간의 경과에 따른 누수량을 측정하고 투수계수를 산정하여 강널말뚝 연결부의 차수특성을 알아보았다.



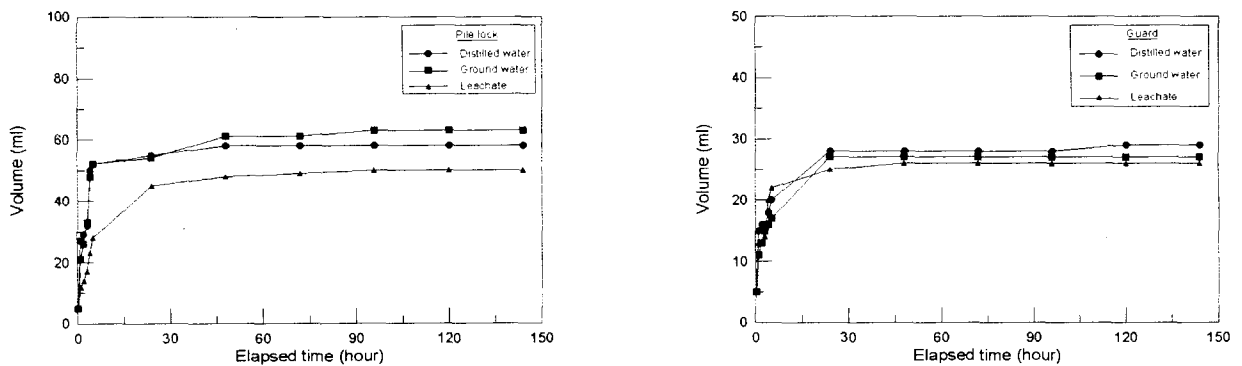
<그림 3> 투수실험장치

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 지수재의 팽창특성

강널말뚝의 연결부에 도포하는 지수재의 팽창정도를 고찰하기 위하여 본 실험에서는 상기에 기술한 지수재의 일정량을 증류수, 지하수, 침출수에 각각 넣고 팽창실험을 한 결과를 그림 4에 나타냈다.

그림에서 보는 바와 같이 두 지수재는 시간이 경과함에 따라 팽창하여 약 24시간 이후부터는 거의 일정한 값을 나타냈으며 초기에 비해 부피가 약 12배 정도 팽창하였다. 또한 증류수, 지하수에 비해 침출수에 대해서는 상대적으로 작은 팽창정도를 나타내었으나 그 차이는 미약하였다.



<그림 4> 지수재의 팽창실험 결과

### 4.2 강널말뚝의 차수특성

#### 4.2.1 시공조건에 따른 특성

강널말뚝 연결부에 지수재를 도포하지 않은 경우에 연결부의 시공조건에 따른 투수계수의 변화를 그림 5에 나타냈다. 그림에서 보는 것처럼 인장의 경우 투수계수는 약  $2.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ , 중립은  $2.6 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  그리고 압축은  $0.5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  정도의 투수계수를 나타내어 인장 및 중립의 투수계수는 압축에 비해 4~5배의 큰 투수계수를 나타냈다. 따라서 강널말뚝으로 차수를 할 경우에 그 연결부는 압축조

건으로 시공하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 지수재의 도포방법에 따른 특성

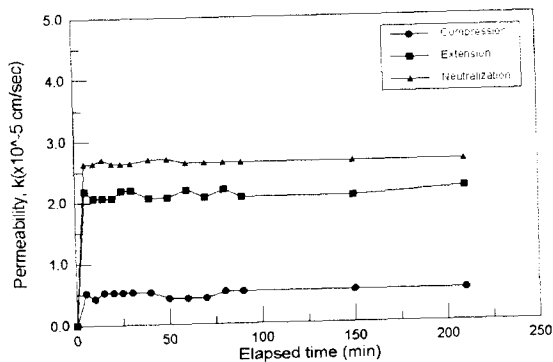
강널말뚝 연결부의 시공시 지수재의 도포방법에 따른 투수계수의 변화를 그림 6에 나타냈다. 실험조건은 지수재를 도포하지 않은 경우와 지수재를 도포한 후 2cm, 3cm 삭제한 경우 그리고 전면도포한 경우로 나누어 실험을 수행하였다. 실험 결과 지수재를 도포하지 않은 경우에는 어느 정도 누수가 발생하여  $3.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  정도의 투수계수를 나타냈으나 다른 세 가지 경우에는 전혀 누수가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 연결부에 지수재가 도포된 강널말뚝의 경우에 시공시에 약간의 지수재가 유실되어도 강널말뚝의 차수에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

#### 4.2.3 작용압력에 따른 특성

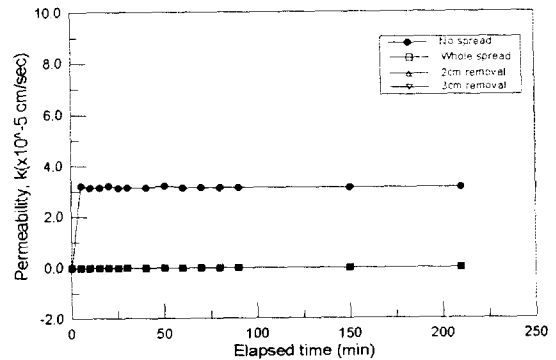
그림 7에 지수재를 도포하지 않은 상태에서  $0.5 \text{kg/cm}^2$ ,  $1.0 \text{kg/cm}^2$ ,  $2.0 \text{kg/cm}^2$ ,  $3.0 \text{kg/cm}^2$  등의 네 가지 압력조건으로 시간경과에 따른 투수계수의 변화를 나타냈다. 실험결과 대체적으로 압력이 증가할수록 투수계수가 증가하는 경향으로 나타났다. 압력이  $3.0 \text{kg/cm}^2$  일때는 다른 세 가지의 압력조건보다 1.5 내지 2배의 큰 투수계수 값을 나타냈다. 이러한 실험 결과로 부터 작용압력에 따라 강널말뚝의 차수성이 영향을 받음을 알 수 있다.

#### 4.2.4 통과수에 따른 특성

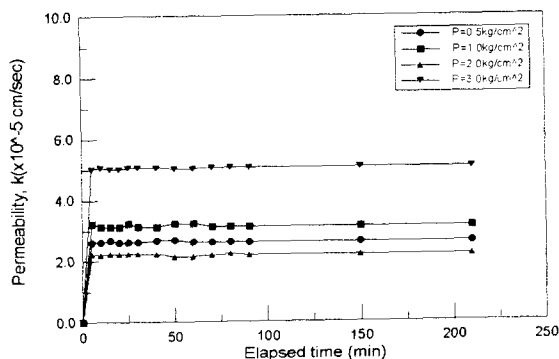
그림 8에는 증류수, 지하수, 침출수 및 해수를 사용하여 연결부에 지수재를 도포하지 않은 강널말뚝의 투수실험결과를 나타냈다. 실험결과 해수, 증류수 및 지하수는  $3.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 에서  $3.5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  정도의 투수계수를 나타내어 큰 차이를 보이지 않았으나 침출수의 경우는  $2.6 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  정도의 상대적으로 작은 값을 나타냈다. 이와같이 침출수 통과에 경우가 투수계수가 낮은 것은 침출수내에 포함되어 있는 유기물질, 부유물질, 고형물에 의하여 상대적으로 강널말뚝 연결부내 흠의 간극이 메워졌기 때문으로 판단된다.



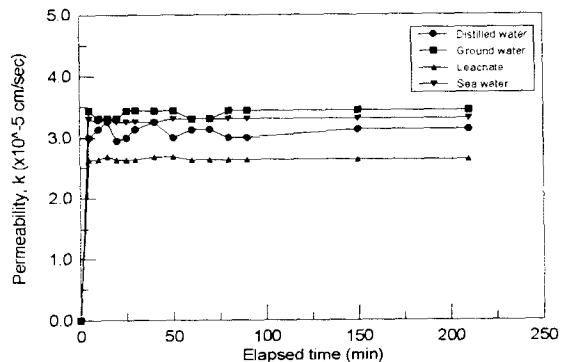
<그림 5> 시공조건에 따른 투수계수 변화



<그림 6> 지수재 도포방법에 따른 투수계수 변화



<그림 7> 작용압력에 따른 투수계수 변화



<그림 8> 통과수에 따른 투수계수 변화

## 5. 결론

폐기물 매립장의 차수벽으로 사용될 수 있는 강널말뚝 연결부의 차수특성을 알아보기 위하여 실내모형실험을 통해 각 조건별로 실시한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 지수재의 팽창실험 결과 두 지수재는 24시간 후에는 초기에 비해 약 12배 까지 팽창하였으며 침출수에서는 증류수 및 지하수에 비해 상대적으로 작은 팽창정도를 나타냈으나 그 차이는 미약하였다.
- 2) 시공조건에 따른 실험결과 중립, 인장, 압축조건순으로 투수계수가 작은 값을 보였다.
- 3) 지수재의 도포방법에 따른 실험에서는 지수재를 도포하지 않은 경우를 제외한 다른 조건에서는 전혀 누수가 발생하지 않았다.
- 4) 강널말뚝 연결부에 압력을 가하여 투수실험을 한 결과 압력이 증가할수록 투수계수가 크게 나타났다.
- 5) 통과수에 따른 실험에서는 침출수 통과와 증류수 및 지하수 통과와 비교하여 작은 값의 투수계수를 나타냈다.

## 6. 참고문헌

1. 건설교통부(1995), 폐기물매립지 차수재 개발, 연구보고서, 한국건설기술연구원.
2. 정하익, 이용수, 우재윤(1995), 오염지반 및 지하수 정화기술에 관한 연구, 연구보고서, 한국건설기술연구원, pp. 123~136.
3. 천병식, 장연수(1996), "연약지반(V-2)", 한국지반공학회지, Vol. 12, No.3, pp. 174~199.
4. 新日本製鐵 株式會社(1991), "鋼矢板".
5. 日本 化學 塗料 株式會社(1991), "PILELOCK을 利用した 鋼矢板의 止水性".