

## 주열식 지중연속벽체의 차수효과 확인 방안

# The Method of Certificating Waterproof Effect for Consecutive Column-Wall Mass in Underground

고 용 일<sup>†</sup>

Yong-IL Koh

Received: July 10<sup>th</sup>, 2017; Revised: July 20<sup>th</sup>, 2017; Accepted: August 9<sup>th</sup>, 2017

**ABSTRACT** : On the flow of groundwater, the effect of consecutive column-wall in underground as a hydraulic barrier could be identified by conventional geotechnical methods (①visually identification of wall mass after underground excavating, ②uniaxial compressive strength test for core of wall mass in underground, ③in-situ permeability test in the hole after coring wall mass). However, for the cut off the leakage or infiltration of very high concentrated leachate from the waste landfill or the contaminated groundwater, the waterproof effect of consecutive column-wall in underground should be verified more objectively, by in-situ measuring of pH, temperature and salinity. and by evaluating of their consistency and similarity throughout analyzing the characteristics of basic components and their profiles through the series of chemical experiments. Furthermore, its waterproof effect could be verified additionally throughout deciding the similarity more simply by comparing the general distribution patterns including the difference of high and low peaks from the chromatograms using GC-MS for surrounding groundwater.

**Keywords** : Consecutive column-wall in underground, Waterproof, Waste landfill, Contaminant, Leach

**요 지** : 일반적인 지하수에 대해서는 지반공학적 방법(①지반을 굴착한 후 지중연속벽체의 육안 확인, ②벽체의 코어 채취 후 일축 압축강도시험, ③벽체 코어 채취 시 현장 투수시험)으로 주열식 지중연속벽체의 차수효과를 확인할 수 있다. 그러나, 폐기물 매립장 내에서 발생하는 침출수와 같은 고농도 오염수 유출이나 침투의 차단에 대해서는 주변 지하수 등을 대상으로 현장에서 pH, 수온, 염분 농도 등을 측정하고 이들의 성분시험을 실시하여 기본 성분 및 성분비 등의 특성을 분석한 후 일지성·유사성을 판정하며, GC-MS를 이용하여서는 이들 시료수의 크로마토그램에 대한 피크의 높고 낮음의 차이 등 전반적인 분포패턴을 비교하여 간편하게 유사성 판정을 추가적으로 실시함으로써 객관성 있게 주열식 지중연속벽체의 차수효과를 확인하여야 한다.

**주요어** : 지중연속벽체, 차수, 폐기물 매립장, 오염원, 침출수

## 1. 서 론

폐기물 매립장은 여건에 따라 육상에 건설되기도 하고 해안에 건설되기도 하는데 어느 경우든 폐기물 침출수가 매립장 밖으로 유출 또는 침투되는 것을 방지하기 위하여 철저한 차수시설이 설계되어 적용되며 특히 확고한 차수를 위하여 지반에서는 지층에 따라 지반주입 또는 지중차수벽이 시공된다(Hansbo, 1994). 즉, 이 경우의 지반주입 또는 지중차수벽은 그 주요 역할인 매립장 내 폐기물 침출수가 지하수나 인접지반으로 유동되는 것을 막는 차수의 최종 시설인 것이다.

특히, 해안 폐기물 매립장의 경우 거의 대부분의 경우 포화된 연약한 세립토층 위에 일정 계획고까지 매립이 실시되

고 그 위에 폐기물 매립장이 건설된다(Korea Ministry of Environment, 2011). 따라서 이런 매립장의 차수는 물론 연약한 세립토 지반의 보강 역할을 보조할 수 있도록 지중에 연속벽 형태의 지중차수벽이 설치되는 경우가 많으며, 이들 구조체는 지반 전단강도의 보완은 물론 확고한 차수효과를 확보해 주는 역할을 해야만 한다. 또한, 해안 폐기물 매립장의 경우는 해수면 저조위와 고조위의 반복적인 변화가 매립장 내에서 발생하는 폐기물 침출수의 유출 또는 침투에 영향을 주게 되는 등 육상에 건설되는 폐기물 매립장보다 지중 차수시설의 역할에 더욱 세심한 설계를 필요로 한다.

본 연구에서는 지반 전단강도의 보완은 물론 확고한 차수효과의 확보를 위하여 해안 폐기물 매립장 하부지반에 시공되는 시멘트계 주열식 지중연속벽체를 형성할 수 있는 공

<sup>†</sup> Department of Civil Engineering, Chodang University (Corresponding Author : yikoh@cdu.ac.kr)

법을 분류·정리하고 특히 이의 차수효과를 확인할 수 있는 방안을 검토·제시하고자 한다.

## 2. 주열식 지중연속벽체 공법

주열식 흙막이 벽체는 벽체를 구성하는 주요 구조재료에

따라 크게 Soil Cement Wall과 Concrete Wall로 구분할 수 있고 공법 원리에 의해 상세 분류되며 이들 장·단점은 Table 1에 기술되어 있다(한라건설기술연구소, 1996).

이 주열식 말뚝의 직경은 일반적으로  $\phi 400 \sim 550\text{mm}$ 가 많이 사용되고 있지만, 필요에 따라  $\phi 300\text{mm}$ 에서  $\phi 1,500\text{mm}$  이상까지 시공이 가능하다. 주열식 말뚝의 배치방법은 기본적으로 Fig. 1과 같고 이들을 다양하게 조합하여 배치

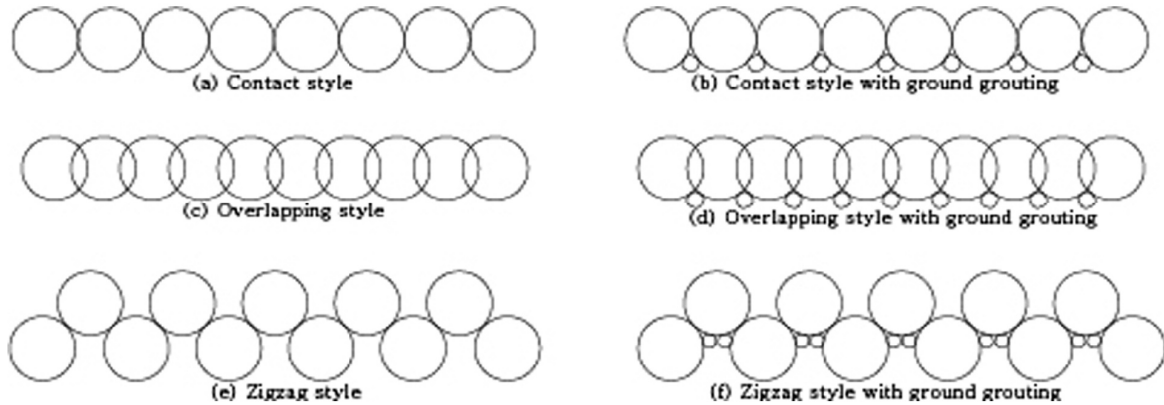


Fig. 1. Plane arrangement method of consecutive column-wall mass

Table 1. Classification in method of consecutive column-wall mass in underground

Classification in components of wall mass	Classification in principles of method	Strong points and weak points	
Soil cement wall	Agitating method by auger	Strong points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Well in waterproof effect and impossibility of soil mass outflow throughout opening between or among columns</li> <li>② Higher in strength of wall mass than that of steel sheet pile</li> <li>③ Simple and fast in construction work</li> <li>④ Possible in construction work for soft ground containing high water content</li> <li>⑤ Little in abandoning soil mass after construction work and little in worry over groundwater pollution</li> </ul>
		Weak points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Possible in construction work only for ground of sandy soil mass</li> <li>② Impossible in construction work for ground of gravel mass or ground containing rock larger than gravel in size or ground of rock mass higher than weathered rock mass in strength</li> </ul>
	Mixing method by grout in high pressure	Strong points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Little affected by structure of ground layers or soil type</li> <li>② Possible also in construction work for ground of fine-grained soil</li> <li>③ Possible also in construction work at confined place of basement, etc.</li> </ul>
		Weak points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Impossible in construction work for ground of rock mass</li> </ul>
	Replacing method by grout in high pressure	Strong points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① No hydraulic fracturing</li> <li>② No ground heaving</li> <li>③ Possible also in construction work for ground of sandy gravel mass</li> </ul>
		Weak points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Higher cost than other soil cement wall</li> </ul>
Concrete wall	Concrete cast in place	Strong points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Higher rigidity than other soil cement wall mass</li> <li>② Possible in construction work for ground of almost soil type</li> <li>③ No affected by construction work compared with other consecutive wall method because of small construction section of wall mass</li> </ul>
		Weak points	<ul style="list-style-type: none"> <li>① Poor connection between columns</li> <li>② Poor in waterproof effect, and high possibility of soil mass outflow throughout opening between or among columns especially in case of poor perpendicularity of wall mass.</li> <li>③ Long time in construction work</li> <li>④ Necessary for its treatment process in case of using slurry for stability of boring hole</li> </ul>

하기도 하며 차수성을 확실하게 확보하기 위해서나 특히 Concrete Wall로 구분되는 공법에서는 말뚝과 말뚝 사이에 공간이 생기기 쉬우므로 말뚝과 말뚝 사이에 약액주입 등의 보조공법을 병행한다.

### 3. 차수효과 확인 방안 검토

#### 3.1 지반공학적 방법에 의한 차수효과 확인

시공된 시멘트계 주열식 지중연속벽의 전체 연장 및 물량에 대한 전수 조사는 아니지만, 특이 구간이나 취약 구간 등 일정 연장에 대해 차수효과 확인을 위하여 ①굴착 후 주열식 지중연속벽체의 육안 확인, ②주열식 지중연속벽체에서 보오링으로 코어를 채취하여 일축압축강도시험 실시, ③주열식 지중연속벽체에서 코어 채취 보오링 시 현장 투수시험 실시 등 지반공학적 방법을 활용할 수 있다.

##### 3.1.1 육안 확인

시공완료 28일 경과 후, 시공된 주열식 지중연속벽체 중 특이 구간이나 가장 취약하다고 생각되는 구간을 위주로 2~3 지점 주변을 굴착하고 설계 자료에 따라 주열식 지중연속벽체가 양호하게 형성되어 있는지와 그 상태를 육안으로 확인해야 한다.

##### 3.1.2 코어 강도 확인

시공완료 28일 경과 후, 시공된 주열식 지중연속벽체에서 보오링으로 코어를 채취하여 일축압축강도시험을 실시한 결과, 일축압축강도가 설계기준강도  $\sigma_{ck}$ 를 상회하는지 확인해야 한다(Choi et al., 2000). 참고로, 토질에 따른 Soil Cement Wall의 일반적인 일축압축강도에 대해서 지반구조물 기초 설계기준에서의 추천 값은 Table 2와 같다(국토교통부, 2016).

Table 2. Uniaxial compressive strength of soil cement wall according to soil classification

Usual soil classification	Uniaxial compressive strength (kN/m <sup>2</sup> )
clay soil	70~200
sand soil	200~800
sandy gravel	590~1,200

##### 3.1.3 현장 투수시험

시공완료 28일 경과 후, 시공된 주열식 지중연속벽체에서 코어 채취 보오링 시 현장투수시험을 시행하여 설계기준 투수계수  $k (<1 \times 10^{-8} \text{ m/sec})$ 에 적합한가를 확인해야 한다

(地盤改良の調査設計から施工まで 編集委員会, 1978; Hunt, 1983). 일반적으로 완전 불투수 지반에 대한 한계투수계수  $k_{cr} = 1 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$  이다(Lambe & Whitman, 1986).

#### 3.2 시료수 조사 및 성분분석에 의한 차수효과 확인

앞에서 제안한 3가지 물리적 방법으로는 일반적인 지하수의 유출에 대한 차단을 확인할 수는 있다고 판단되지만, 폐기물 매립장 내에서 발생하는 침출수와 같이 고농도의 환경오염수가 매립장 밖으로의 유출이나 침투에 대한 차단 여부에 대해서는 더욱 객관적으로 확인하여야 하기 때문에 침출수와 주변 지하수나 해수 등 대상지역의 수질 현황을 조사하고 성분분석을 실시하여 일치성 등을 분석하는 것이 추가적으로 필요하다(Koh, 2012).

##### 3.2.1 조사와 성분시험 및 방법

수질 조사 및 성분시험 항목 중 수소이온농도(pH), 수온, 염분은 현장에서 측정하여 분석에 활용하고 부유물질(SS), 용존산소(DO), 화학적 산소요구량(COD), 용존 무기질소(DIN), 용존 무기 인(DIP), 규산성 규소(Si(OH)<sub>4</sub>-Si), 총 질소(T-N), 총 인(T-P), 총 알칼리도, 염소, 시안, 페놀, 중금속[나트륨(Na), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 칼륨(K), 리튬(Li), 구리(Cu), 아연(Zn), 크롬(Cr), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As), 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co), 수은(Hg)], 다환방향족탄화수소류(PAHs), 폴리클로리네이티드비페닐(PCBs), 등은 시료수를 실험실로 운반 후 해양환경공정시험기준에 준하여 성분시험 등을 실시한다(Korea Ministry of Environment, 2009). 수질 조사 및 성분시험 항목별 사용 기기와 조사 및 성분시험 방법을 정리하면 Table 3과 같다.

##### 3.2.2 성분분석에 의한 차수효과 확인

###### (1) 기본 성분비에 의한 분석

분석기법은 해안 폐기물 매립장의 경우에는 ‘해수 중 주요성분의 비는 일정하다’는 원칙을 바탕으로 염분 35psu의 해수 중 주요성분의 농도를 기준으로 주요 원소에 대한 실측값과 실측 염분값으로 환산한 예측값의 비를 토대로, 해수와 그 외 지점들에서의 시료수에 대한 주요 원소에 대한 이들 비를 비교·분석하는 방법이다(Koh et al., 2010). 따라서, 본격적인 분포 상황을 분석하기에 앞서 먼저 해수 중 주요성분의 비는 일정하다는 사실을 먼저 확인한 후 본 기법을 적용하여야 한다. 즉, 해안 폐기물 매립장 내 침출수가 해수 쪽으로 유출 또는 침투되고 있다면 분석용 각 시료수가 해수의 주요 성분과 대해서 해수와 약간의 차이는 있지만 유사함을 확인할 수 있을 것이지만 그 외 성분들에 대해

Table 3. Equipments and methods according to items of in-situ measure and chemical experiment for water quality

Item	Equipment	Method
pH, Temperature, Concentration of salt	YSI-650 MDS	In-situ measure
SS	Filter apparatus	Gravimetry
DO	Titration apparatus	Winkler method
COD	Boiling apparatus	Alkaline KMnO <sub>4</sub> method
T-N, T-P	Spectrophotometer	Absorptin spectrophotometry
Cl	-	Silver nitrate proprietry
Alkaline concentration	-	Grip method of methyled-bromine cresol
CN <sup>-</sup>	Spectrophotometer	Absorptin spectrophotometry
Phenol	Spectrophotometer	Absorptin spectrophotometry
Types of heavy metal	ICP-MS0	DDTC-APDC-Freon
PAHs	GC-MS	Mass spectrometry
PCBs	GC-MS	Mass spectrometry
Unknown components	GC-MS	Mass spectrometry

Abundance

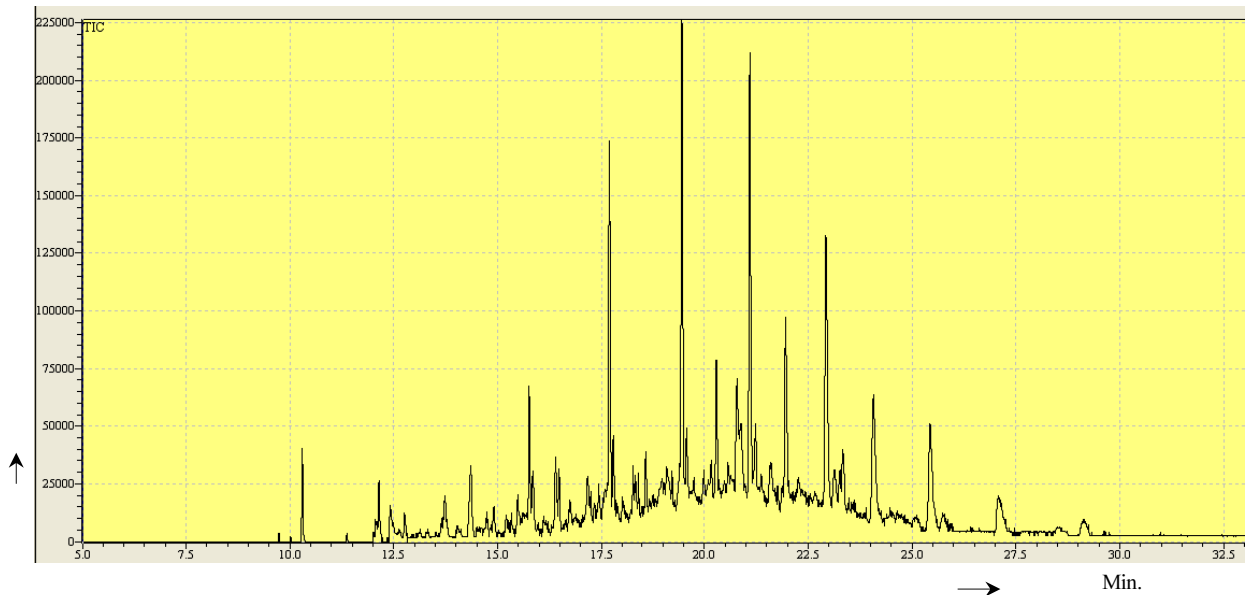


Fig. 2. GC-MS chromatogram at OOO site

서는 해수와 비교하여 차이가 어느 정도 나는지를 확인함으로써 침출수의 해수로의 유출 또는 침투에 대한 차단 여부가 판정되는 것이다.

한편, 육상 폐기물 매립장의 경우에는 주열식 지중연속벽 내부인 매립장 내에서 발생하는 침출수와 지중연속벽의 외부 지반에 대한 용출수나 지하수 등과는 그 성분의 차이가 확연하기 때문에 각 시료수의 성분 분석을 수행하여 침출수와 일치성에 대한 조사·분석을 통해서 주열식 지중연속벽 외부 지반으로의 침출수 유출 또는 침투에 대한 차단 여부가 역시 판정되는 것이다.

## (2) 크로마토그램 분석

채취한 시료수를 검출기기인 GC-MS를 이용하여 검출한 크로마토그램(Fig. 2)을 바탕으로 각 시료수의 분포패턴 비

교에 의해서 유사성을 확인하는 것이다. 이는 각 시료수의 유사성을 간편하게 확인할 수 있어 보조적인 방법으로 활용할 수 있다. 즉, 각 시료수에 따라 크로마토그램 피크의 높고 낮음의 차이에 따른 전반적인 분포패턴을 비교하여 유사성을 판단하는 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 해안 폐기물 매립장 하부지반의 전단 강도의 보완은 물론 확고한 차수를 위하여 시공되는 시멘트계 주열식 지중연속벽체의 차수효과 확인 방안을 제시하고 있다.

(1) 주열식 지중연속벽의 차수효과를 확인하기 위하여 시

공된 연장 및 물량 중 특이 구간이나 취약 구간 등 일정 지점에서 일정 연장에 대해 ①굴착 후 주열식 지중연속벽체의 육안 확인, ②주열식 지중연속벽체에서 보오링으로 코어를 채취하여 일축압축강도시험 실시, ③주열식 지중연속벽체에서 코어 채취 보오링 시 현장 투수시험 실시 등의 지반공학적 방법이 기본적으로 실시되어야 한다.

- (2) 앞에서 제안한 3가지 지반공학적 방법으로는 일반적인 지하수의 유출에 대한 차단을 확인할 수는 있다고 판단되지만, 폐기물 매립장 내에서 발생하는 침출수와 같이 고농도 환경오염수의 매립장 밖으로의 유출이나 침투에 대한 차단 여부에 대해서는 더욱 객관적인 확인이 필요하기 때문에 침출수와 주변 지하수나 해수 등 대상 지역 주변의 수질 현황에 대해 조사 및 성분시험을 실시하고 시료수들의 일치성이나 유사성을 판정하는 분석 방법을 비롯하여 몇 가지의 분석 방법이 활용될 수 있다.
- (3) 고농도 환경오염수의 유출이나 침투에 대한 차단 여부를 확인하기 위해서는 침출수와 대상 지반 주변의 각종 물에 대하여 우선 현장에서 pH, 수온, 염분 농도 등을 측정하고 채취한 시료수로는 실험실에서 본격적인 성분시험을 실시한다. 그리고 시험 결과인 각 시료수에 대한 기본 성분 및 성분비 등의 특성을 분석하여 이들의 일치성이나 유사성을 판정하는 기법이 환경오염수의 유출이나 침투에 대한 차단성능을 보다 객관성 있게 확인할 수 있는 분석기법으로 사료된다. 여기에 추가하여 GC-MS를 이용하여 검출한 각 시료수의 크로마토그램에 대한 피크의 높고 낮음의 차이 등 전체적인 분포

패턴을 비교하여 간편하게 각 시료수의 유사성을 판정하는 보조적인 방법이 추가적으로 실시되는 것은 이에 대해 더욱 객관성을 갖게 한다.

## References

1. 국토교통부 (2016), 구조물기초설계기준.
2. 한라건설기술연구소 (1996), 흙막이 구조물 공사의 안정성 확보방안 연구(I), pp. 20~41.
3. 地盤改良の調査設計から施工まで 編集委員会 (1978), 現場技術者のための土と基礎シリーズ 3 : 地盤改良の調査設計から施工まで, 三美印刷株式會社, 日本 東京, pp. 33~73.
4. Choi, J. J., Choi, Y. W. and Kim, G. Y. (2000), Materials in civil engineering, Gi Moon Dang (Book Company), Seoul, pp. 137~180 (In Korean).
5. Hansbo, S. (1994), Foundation engineering, developments in geotechnical engineering, Elsevier Press, Vol. 95, pp. 450~455.
6. Hunt, R. E. (1983), Geotechnical engineering investigation manual, McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 149~160.
7. Koh, Y. I. (2012), The environmental analyzing method of mixed coal ash in ash pond to recycle as a construction material, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 13, No. 12, pp. 75~79 (In Korean).
8. Koh, T. H., LEE, S. J., Shin, M. H., Kim, B. S., Lee, J. K. and Lee, T. Y. (2010), Evaluation for contents of contaminants and leaching characteristics of bottom ash, Journal of The Korean Geo-Environmental Society, Vol. 11, No. 6, pp. 77~83 (In Korean).
9. Korea Ministry of Environment (2009), The Korea official fixed test for waste, Dong-Hwa Geesool Books, pp. 623~680 (In Korean).
10. Korea Ministry of Environment (2011), Waste Management Law (In Korean).
11. Lambe, T. W. and Whitman, R. V. (1986), Soil Mechanics, SI Version, John Wiley & Sons, Inc., Seoul, pp. 27~51.