

현장투수시험 장치에 관한 비교 연구

A Study of In Situ Hydraulic Conductivity Testing Equipments

김 현 기*(경북대) · 권 무 남(경북대)

Kim Hyun Ki · Kwon Moo Nam

ABSTRACT

This study was carried out considering the aspect of economical and measuring time to investigate through the literature review of the test methods and advantage-disadvantage of infiltrometer and porous probe test apparatus. SSRI and BAT permeameter could obtain results within relatively short time and measure low permeability. SDRI is able to obtain values the accuracy and representative of the overall in-situ. BAT permeameter is to suitable because it can obtain the values accurately and quickly. Therefore the apparatus cost can be to disregard. In-Situ measurement using in-situ hydraulic conductivity test equipment is able to do for the engineer to quickly identify and remediate problem areas due to construction or material changes.

I. 서론

투수시험은 크게 실험실에서 하는 실내시험법과 현장에서 직접 측정을 하는 현장시험법으로 나누어진다. 실내 시험은 공사를 위한 흙 선정시험에 주로 사용되고 있으나, 완공 후에는 현장의 상태 즉, 건조균열, 큰 공극 등을 모의하여 실험하기 어렵고, 특히 전체를 대표할 만큼 많은 양의 흙으로 시험 할 수 없다는 단점 때문에 완공 후라도 공사 중에는 현장 투수시험을 실시하는 것이 일반적이라 할 것이다. 현장 투수시험 장치는 일반적인 흙에 사용하기보다는 주로 점토 라이너 등에 많이 사용되고 있다. 점토 라이너는 주로 폐기물 매립지 차수층에 사용되고 있으며, 차수층의 점토 선정시험을 위해 실내 시험을 통해 확인된 점토라 하더라도 선정시험과 시공 사이에서 투수계수의 차이가 발생할 수 있으므로, 시공하는 동안 현장에서 투수계수에 대한 검증을 할 필요성이 있다.

시공하는 동안에 시공 관리를 위해 투수계수는 주로 현장투수시험 장치를 사용하여 측정하는데, 이 시험 장치와 시험방법에 대하여 외국에서는 많은 연구가 있어왔고, 또한 시공중인 여러 종류의 점토 라이너에 사용하는 등 다방면의 연구가 행하여졌으나, 국내에서의 현장투수시험 장치에 대한 연구는 극히 미비하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 외국에서 점토 라이너의 현장투수계수 측정에 사용되고 있는 현장투수시험 장치들 중 경제적인 측면과 측정소요시간을 고려하여 infiltrometer와 porous probe 시험 장치의 시험법과 장단점을 문헌연구를 통해 알아보고, 국내의 쓰레기 매립지 라이너의 품질관리에 현장투수시험 장치를 사용하는데 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구에서는 외국의 여러 학자들에 의해 연구된 많은 현장투수시험 장치들 중 infiltrrometer 4종류, Porous Probe 1종류에 대하여 알아보았다.

1. Infiltrrometer

Fig. 1은 본 연구에서 알아본 4종류의 infiltrrometer를 개략적으로 나타낸 것으로 infiltrrometer는 링 내의 물을 자연 침투시켜 투수계수를 측정하는 장치로, 그 구성이 복잡하지 않고 단순하다.

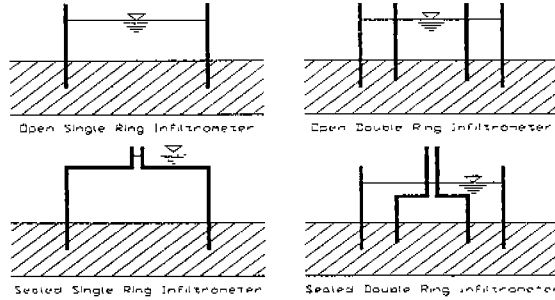


Fig. 1. Types of Infiltrimeter

2. Porous Probe

다공질 봉을 흙 속에 넣어 정수위 또는 변수위 투수시험을 하는 것으로 침투된 물의 양을 chamber 내 개스의 압력변화를 측정하여 투수계수를 계산하는 방법이다. 본 연구에서는 제품화 되어 있는 BAT permeameter에 대하여 알아보았다.

III. 결과 및 고찰

1. Infiltrrometer

1) Open Single Ring Infiltrimeter

Fig. 2와 같이 open single ring(OSRI)은 가장 단순한 infiltrrometer로 재질은 주로 금속으로 되어 있으며, 링을 다짐된 흙에 묻고 측벽 누수를 막기 위해 bentonite로 그라우팅 한다. 링 내부에 물을 채우고 일정시간동안 흙 속에 침투된 물의 양을 링에 달린 후크게이지나, Mariotte bottle(Olson & Daniel 1981) 등의 장치로 수위변화를 측정하여 투수계수를 계산한다. 또한 wetting front 측정을 위해 실린더 내부에 tensiometer를 설치하고 증발손실을 계산한다. 주된 장점은 장치가 단순하고 넓은 면적에 대해 시험할 수 있다는 것이고, 단점은 증발이 발생하며, 측정의 오차가 많이 발생한다는 것이다.

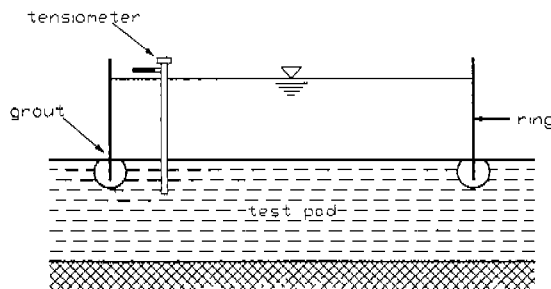


Fig. 2. Open Single Ring Infiltrimeter.

2) Sealed Single Ring Infiltrometer

Sealed single ring infiltrometer는 OSRI의 가장 큰 단점인 증발손실을 보완한 장치로 Fig. 3과 같다. 링은 OSRI와 같이 측벽 누수를 방지하기 위해 그라우팅을 하며, 링 내 점토 라이너의 팽윤과 불포화 흐름의 영향을 최소화하기 위해 약 24시간 정도 포화시킨 후 측정을 한다. 이 시험 장치는 변수위 투수시험을 한다. 또한 wetting front는 시험이 끝난 후 직접 측정을 한다. 이 장치의 주된 장점은 측정 시간이 24시간 이내로 단기간이고, 측정 값의 정확도가 높다는 것이다. 단점은 링 바닥 아래로 wetting front가 침투되면 측면확산을 보정해야 한다는 것이다.

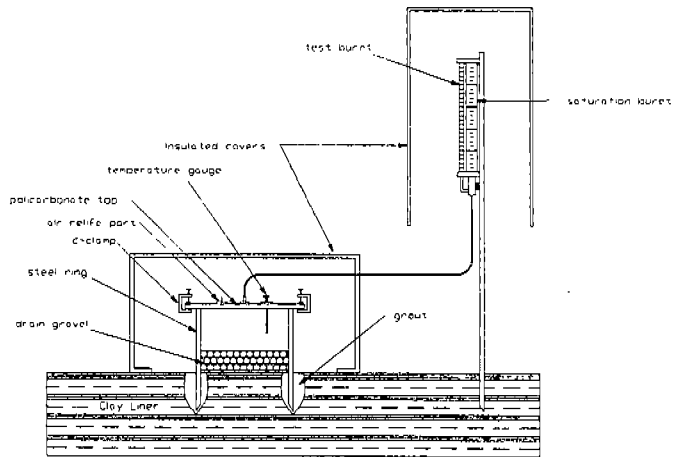


Fig. 3. Sealed Single Ring Infiltrometer(Purdy and Ramey, 1993)

3) Open Double Ring Infiltrometer

두 개의 링을 라이너에 설치하고, OSRI와 같은 방법으로 시험을 하는데, 링 바닥 아래로의 측면 확산을 막기 위해 내부 링 바깥에 외부 링을 설치하여 시험한다. 장점으로는 링의 크기를 크게하면 매우 넓은 면적을 시험 할 수 있어서 측정하고자하는 현장의 대표되는 값을 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 OSRI와 같이 증발손실로 인한 오차 발생 등으로 인해 측정값에 대한 신뢰성이 떨어진다는 것이다.

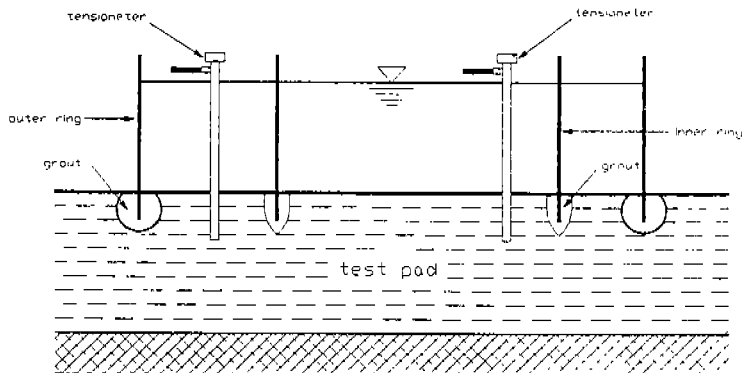


Fig. 4. Open Double Ring Infiltrometer

4) Sealed Double Ring Infiltrometer

SDRI는 Fig.5에 보인 것과 같이 증발손실이 발생하지 않도록 외부 링 내 물 속에 내부 링을 설치한 장치로, 물의 침투량은 내부 링에 연결된 bag에 채운 물의 무게를 측정하여 투수계수를 계산한다. 본 시험 장치의 장점은 10^{-8} cm/sec이하의 투수계수를 측정할 수 있고, 측정값이 아주 정확하다는 것이다. 단점으로는 투수계수가 10^{-7} cm/sec이하가 되면 측정 시간이 몇 주에서 몇 달정도 걸린다는 것이다.

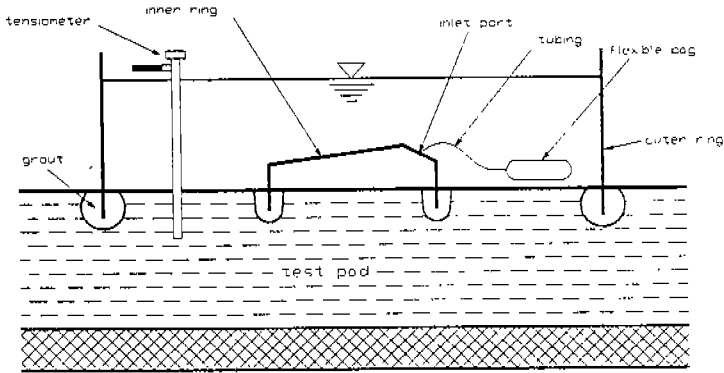


Fig. 5. Sealed Double Ring Infiltrometer(Trautwein, 1989)

2. Porous Probe

본 연구에서 살펴본 porous probe는 Fig. 6과 같은 BAT permeameter로 시추 공을 뚫은 후 설치하는데 변수위법으로 시험한다. 시험 장치 하단의 porous probe에서 물이 흡내로 이동하면 시험장치내의 gas 압력이 변하게되고, 이 압력을 측정하여 Petsonk(1985)의 식을 사용하여 투수계수를 계산한다. 장점으로는 설치가 용이하며, 시험 시간이 24시간 이내로 빠르게 투수계수를 알 수 있고, 10^{-10} cm/sec이하의 투수계수를 측정할 수 있다는 것이다. 단점으로는 장치의 가격이 고가이며, 시험하는 흙의 체적이 매우 작고, 시험 장치 설치 시 porous probe에 흙이 묻으면 오차가 발생하므로 상당한 주의를 요한다는 것이다.

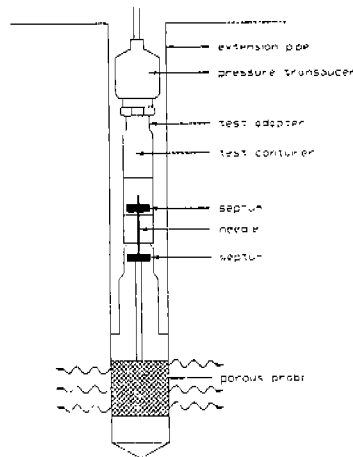


Fig. 6. BAT™ Permeameter

3. 장단점

Table 1.은 본 연구에서 알아본 현장투수시험 장치에 대한 장단점을 비교한 것이다.

Type of Test	Device	Advantages	Disadvantages
Infiltrometer	Open, single-ring infiltrrometer	장비가격이 저렴 설치가 용이 매우 큰시험 장치로 큰체적의 흙에 사용 할 수 있다.	증발에 대한 보정: 하이어 한다. 10^{-7} cm/s이하 값은 정확히 측정하기 어렵다. 시험 장치 아래에서 물의 측면확산에 대해 수정하여야 한다. 10^{-7} cm/s이하 값 측정에는 보통 몇주에 몇 달정도 소요된다. wetting front를 필히 측정하여야 한다.
	Open, double-ring infiltrrometer	가격이 저렴 내부링으로부터 침투되어 측면확산을 최소화	증발에 대한 보정을 하이어 한다 10^{-7} cm/s이하 낮은 투수계수의 측정이 어렵 다 측정기간이 길다(10^{-7} cm/s이하 투수계수 측 정에는 몇주에서 몇달이 소요) wetting front를 필히 측정
	Sealed, single-ring infiltrrometer	가격이 저렴 측정기간이 짧다(몇분에서 몇시간) 낮은 투수계수(10^{-9} cm/s이하)를 측정	링 직경이 1m비만으로 시험면적이 작다 만일 wetting front가 링 바닥아래로 침투 되면 물의 측면확산을 보정하여야 한다 wetting front를 필히 측정
	Sealed, double-ring infiltrrometer	가격이 적당 매우 낮은 투수계수(10^{-8} cm/s이하)를 측정 내부링으로부터 침투되어 측면확산을 최소화 비교적 큰 체적의 흙에 시험을 한다.	측정기간이 길다(몇주에서 몇달) wetting front를 필히 측정
Porous probe	BAT permeameter	설치가 용이 측정기간이 짧다(몇분에서 몇시간) 10^{-10} cm/s이하 투수계수 측정 가능 매우 깊은곳에 대해서도 사용 가능	장비가 고가 시험하는 흙의 체적이 매우 작다 설치하는 동안 Probe에 흙이 묻으면 투수계 수가 잘못 측정될 가능성이 높다.

IV. 결 론

여러 문헌을 통해 현장투수시험 장치 중 infiltrrometer 4종류와 BAT permeameter에 대해 알아본 결과 다음과 같은 것을 알 수 있었다.

1. 투수계수 측정 시간이 짧고, 낮은 투수계수를 측정할 수 있는 것은 sealed single ring infiltrrometer와 BAT permeameter이었다.

2. 현장 값을 대표할 수 있고, 정확한 값을 추정 할 수 있는 것은 sealed double ring infiltrrometer인 것을 알 수 있었다. 그러나 측정 시간이 몇 주에서 몇 달 정도 걸려, 시공 중인 라이너보다는 완공된 라이너에 많이 사용하거나, 다른 시험들과의 비교를 위해 사용되고 있다.

3. BAT permeameter는 가격이 고가이나, 빠른 측정을 고려한다면 전체 공사비를 절감할 수 있으므로 장치의 가격을 고려해도 사용의 적합성에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

4. 현장 투수시험 장치를 사용한 현장측정은 시공을 하는 사람들로 하여금 시공 또는 재료의 변화에 따른 문제 발생지역을 빠르게 확인하여 교정할 수 있게 할 것으로 생각된다.

5. 국내의 매립지 점토 라이너에도 이와 같은 현장 투수시험 장치를 사용하여 품질관리 상의 문제점을 빨리 보완 할 수 있도록 하도록 하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. American Society of Testing Materials, ASTM D 3385 - 88, Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Field Using Double Ring Infiltrimeters, Hydrologic Properties of Soil and Rocks, Annual Book of ASTM Standards, 1988. pp. 453-459.
2. American Society of Testing Materials, ASTM D 5093 - 90, Standard Test Method for Field Measurement of Infiltration Rate Using a Double Ring Infiltrimeter with a Sealed Inner Ring, Hydrologic Properties of Soil and Rocks, Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08, 1990, pp. 1184-1189.
3. American Society of Testing Materials, ASTM D 5126 - 90, Standard Guard for Comparison of Field Methods for Determining Hydraulic Conductivity in the Vadose Zone, Vadose Zone Monitoring, Annual Book of ASTM Standards, 1990. pp. 1204-1213.
4. Boynton S.S. and Daniel D.E. 1985, Hydraulic Conductivity Tests on Compacted Clay, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No.4, pp 465~478.
5. Day S.R. and Daniel D.E. 1985, Hydraulic Conductivity of Two Prototype Clay Liners, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 8, pp. 957-970.
6. Daniel D.E. 1984, Prediction Hydraulic Conductivity of Clay Liners, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.110, No.2, pp.285~300.
7. Daniel D.E. 1989, In Situ Hydraulic Conductivity Tests for Compacted Clay, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.115, No.9, pp 1205~1226.
8. Sai J.O. and Anderson D.C. 1990, Field Hydraulic Conductivity Tests for Compacted Soil Liners, Geotechnical Testing Journal, Vol.13, No.3, pp.215~225.