

압전필름의 진동을 활용한 터널배수재 유지관리 성능 개선

신진화¹, 문준호¹, 송영갑², 김영욱^{*}

¹명지대학교 토목환경공학과

²국립재난안전연구원 재난원인조사실

Enhancing maintenance performance of tunnel drainage using vibration from polyvinylidene fluoride(PVDF) film

Zhen-Hua Xin¹, Jun-Ho Moon¹, Young-Karb Song², Young-Uk Kim^{1*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Myongji University

²Disaster Scientific Investigation Division, National Disaster Management Institute

요약 이 연구에서는 터널 시공 시 터널 배수관으로 유입되는 미세입자의 흐름과 이에 의한 물리/화학적 폐색현상에 따른 터널배수재의 성능저하를 PVDF film의 진동을 이용하여 성능을 향상시키는 방법의 적용 가능성에 대해 실내실험을 통하여 고찰하였다. 연구에서 터널로 유입되는 미세입자 슬러리 유입의 터널 환경을 모사하여 진행하였고 PVDF film을 이용한 기초 실험과 배수재를 모사한 모형실험으로 나누어 수행하였다. 기초 실험에서는 PVDF film에 50% 함수비(민물과 바닷물)의 점토를 흘려 주파수별 점토 슬러리의 흐름특성에 대한 효율성을 고찰하였으며 배수재 모사 실험에서는 배수관에 부직포를 부착시켜 슬러리의 흐름과 막힘 현상 해소에 대한 진동 효과를 고찰하였다. 실험결과는 진동에 의한 배수재의 배수성능, 즉 슬러리의 흐름과 막힘 해소현상이 아주 높게 나타났다. 이상의 실험결과를 종합하여 배수관을 기존 배수재와 융합, 응용, 활용할 수 있는 하이브리드 배수시스템을 개발할 수 있는 기초 자료를 확립하였다.

Abstract This study investigated the possible use of vibration from polyvinylidene fluoride(PVDF) film to enhance the performance of the deteriorated tunnel drainage due to physical/chemical clogging of the fine particles through a series of laboratory experiments. The test program was consisted of two different experiments, fundamental investigation and drainage model test. In the fundamental investigation, flow of clay slurry mixed with 50% water (freshwater and brine) on PVDF film with various frequencies was examined. In the model tests, slurry clogging to the woven fiber attached to drainage pipe and its reduction by vibration was investigated. Results of the experiment show that vibration from PVDF film enhances the drain performance significantly. Based upon the investigation, it gives an essential data that are needed for a potential use of hybrid drainage system with PVDF.

Key Words : Clogging, Drainage, Frequency, PVDF, Tunnel, Vibration

1. 서론

최근 국내 문화수준의 향상과 환경에 대한규제가 강화되면서 산업시설인 지하유류 비축기지, 가스배관, 터널 공사를 중심으로 해저 공간 공사가 활발하게 이루어지고 있다. 대부분의 터널공사는 전 공정이 지하수위 하부의 폐색된 공간에서 이루어지기 때문에 지하수의 영향을 받

드시 고려해야 한다. 배수형 터널은 굴착면을 통해 터널로 유입되는 지하수를 배수관을 통하여 집수정으로 유도한 후 터널 밖으로 배수한다[1]. 터널 시공구간의 지반이 세립토를 다량 함유하고 있을 경우에는 터널 배면토사가 유출되지 않도록 함과 아울러 배수시설이 장기간 동안 기능을 유지할 수 있도록 조치하여야 한다. 그러나 현재 시공된 터널의 배수공은 외부하중에 의한 변형이나 주변

본 논문은 국토교통기술진흥원과 한국연구재단 과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Young-Uk Kim (Myongji Univ.)

Tel: +82-10-3153-6417 email: yukim@mju.ac.kr

Received December 5, 2014

Revised January 7, 2015

Accepted January 8, 2015

지반의 미세입자가 배수공으로 유입되어 배수공의 통수 단면을 감소시키는 폐색현상(clogging), 그리고 시공결함에 민감하게 반응하여 배수공의 역할을 충분히 수행하지 못 할 수 있다[2]. 따라서 폐색현상을 제거하는 방법에 대해 다양한 방법이 제시되고 있는데 그 중 충격 및 떨림 현상을 이용하여 폐색현상을 감소시키고자 하는 연구가 시도되고 있다[3,4]. 폐색현상 감소를 위해 순수 물리적 진동을 활용 미세입자의 흡착과 제거를 유도하고자 하였다. 그러나 진동수가 고정되어 있는 단점이 있었으며 다양한 조건의 적용에 대한 연구가 여전히 미흡한 실정이다[5].

이 연구에서는 고분자 압전소자인 PVDF (polyvinylidene fluoride)의 진동에너지를 활용하여 배수재 및 배수장치의 유지관리 성능을 개선시켜 배수재 성능 향상효과를 실내 모형실험을 통해 고찰하였다[6]. 고분자 재료의 성형 기술의 발달로 유연하고 경량인 PVDF 개발이 가능하게 되었으며 이를 이용하여 다양한 주파수의 진동에너지를 발생시켜 배수재에 적용하여 폐색현상을 감소시키고 배수재의 효율성을 높이고자 하였다.

2. PVDF 배수실험

본 연구에서 미세입자 흐름 모사에 사용한 슬러리용 점토는 남해바다에서 채취하였다. PVDF film으로 진동을 발생시켜 진동 주파수에 따른 배수재의 성능 변화를 확인하고자 하였다. PVDF film의 진동이 배수재의 점토 슬러리에 작용하는 물리적 효과와 배수재의 폐색 저감효과로 나누어 고찰하였다. 필름 위를 흘러내리는 점토의 무게변화를 측정하여 진동에 따른 슬러리의 거동변화를 고찰하였고, 배수관을 모사하여 슬러리의 폐색현상 변화에 대하여 실험을 수행하였다. 슬러리는 마른 점토에 민물을 섞은 경우와 바닷물을 섞은 두 가지 조건으로 다른 실험조건을 적용하여 실험을 수행하였다. 배수재에 가하는 진동은 Fils(주)에서 제작한 CS-244 PVDF film을 이용하여 실험을 진행하였다.

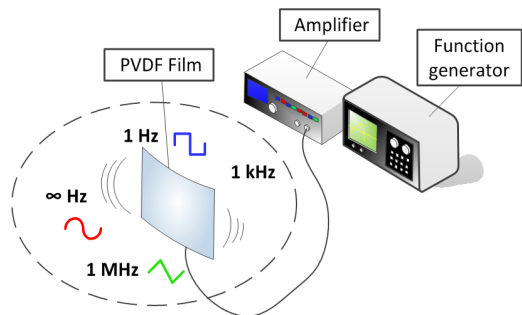
2.1 PVDF(polyvinylidene fluoride) 필름

PVDF는 불소중합체의 일종으로 압전성이 뛰어난 플라스틱 재료이다. 불소중합체 중에서 내전압이 클 뿐 아니라 인장력이나 충격에 강하고, 내마모성이 높다. 또한

낮은 비중(1.78)으로 경량이기 때문에 충격굴곡에도 잘 견딘다[6]. 따라서 이 필름에 증폭된 신호를 보내면 필름 자체가 떨리게 되어 진동을 발생한다. 이러한 강점들과 낮은 가격 때문에 필터, 스피커, 진동판 등의 재료로 많은 분야에서 사용되고 있다.

2.2 실험에 사용 된 장비

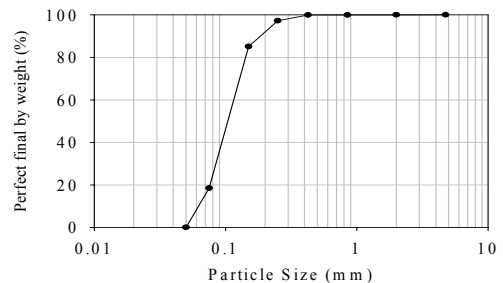
연구에서 사용된 장비는 진동발생기로 사용된 PVDF film과 진동주파수 제어용 함수발생기(function generator) 및 음과증폭기(amplifier)이다. 함수발생기는 8550/1모델형으로 다양한 파형의 전기신호를 출력할 수 있는데 싸인(sine)형, 삼각형(triangle), 사각형(square) 등을 들 수 있다. 진동범위는 1Hz로부터 100MHz사이며 어떠한 매질에서도 작용 가능하여 이에 따른 진동효과를 쉽게 관찰할 수 있다. 또한 최적의 증폭효과를 발휘할 수 있도록 추가적 연구를 통하여 음과증폭기를 자체개발하여 적용하였다[7].



[Fig. 1] Test Set up

2.3 실험조건

본 실험에서 배수재 막힘 현상 모사용 슬러리는 남해 점토를 사용하여 같은 함수비로 맞추어 사용하였다. 사용된 시료의 물리적 특성은 다음 그림과 표에 정리하였다.



[Fig. 2] Gradation curve of Test Specimen

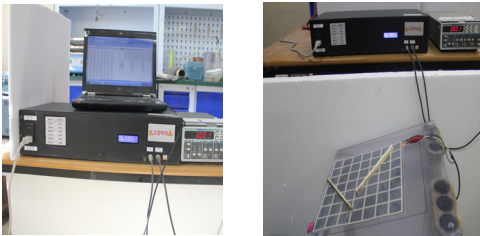
[Table 1] Physical properties of soil

USCS	Cu	Cg	Gs
SM	1.77	1.98	2.72

2.3.1 실험방법

● PVDF film 상부를 통한 흐름변화 고찰실험
 PVDF film진동에 의해 슬러리 흐름의 특성변화 효과를 규명하기 위하여 일정한 각도(15°)로 기울어져 있는 필름위로 점토 슬러리를 흘려보낼 때 흐름변화 특성을 고찰하였다. 시험순서를 정리하면 다음과 같다.

- ① 경사진 아크릴 시험대에 점토 유도길을 배치한 PVDF film을 준비
- ② 주파수별로 증폭기를 통해 PVDF로 신호를 전달
- ③ 점토 슬러리를 일정한 양으로 PVDF film위에 흘려보냄
- ④ 저울을 통해 흘러내린 점토의 무게를 측정



[Fig. 3] Test set up for slurry flow



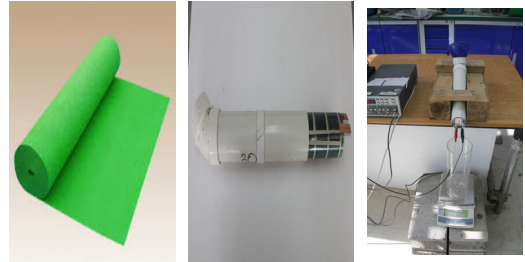
[Fig. 4] Test for fundamental investigation

● 부직포를 부착한 배수관 실험
 배수관으로 시료를 흘려보낼 때 진동에 따른 슬러리의 배수관 흐름 변화 특성을 고찰한 실험이며 실험순서는 다음과 같다.

- ① 부직포를 부착한 PVDF film(하이브리드 배수재)을 PVC관 안에 배치
- ② 주파수를 조정하고 증폭기를 통하여 PVDF film으

로 신호를 전달

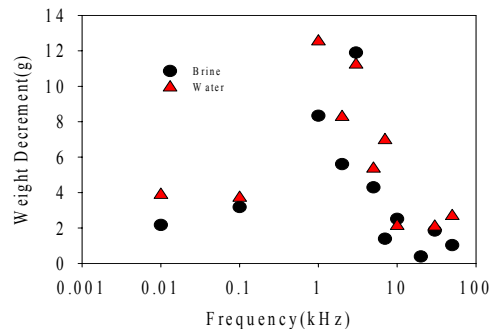
- ③ PVC 관으로 일정 양의 슬러리를 흘려 내려 점토의 양을 컴퓨터에서 1초 간격으로 기록



[Fig. 5] Hybrid drainage setup

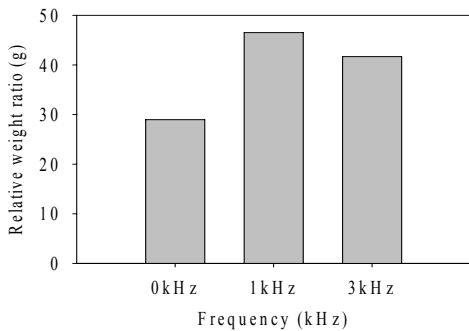
2.4 실험결과

필름 상부를 통한 흐름변화 특성고찰 실험에서는 일정한 양의 점토가 지그재그 형식으로 된 유도로를 통하여 흘러내리는 양상을 고찰하였다. 각 실험은 동일한 조건에서 3회에 걸쳐 실험을 진행하여 실험에 의한 오차를 최대한 줄이고자 하였고 주파수를 바꾸어 가면서 동일 실험을 진행하였다. 진동을 가하지 않는 조건은 0이라고 정하였고 Fig.6은 진동에 따른 슬러리의 흐름증가를 표시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 진동에 의하여 슬러리 흐름이 많이 변화되었다. 주파수에 따라 변화의 양이 다양하게 분포되었는데, 이번 실험 조건으로 보면 1~3 kHz 범위에서 가장 많은 효과가 나타나는 것으로 보인다. 슬러리 간극수의 종류에 따라 흐름의 변화도 동시에 고찰하고자 간극수를 해수와 민물로 달리하여 슬러리를 준비한 후 동일 실험을 수행하였는데, 간극수의 영향은 진동에 의해 발생하는 증감에 비하여 미미한 것으로 나타났다.



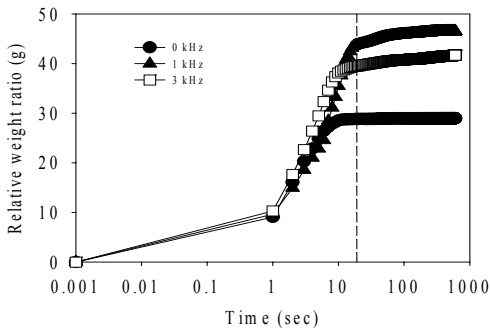
[Fig. 6] Flow variation with vibration

Fig.7은 PVC배수관에 PVDF film과 부직포를 결합시켜 배수관을 모사하여 1kHz와 3kHz의 주파수와 진동을 가한 것과 가하지 않은 조건에서 흐름특성을 고찰한 실험이다. 점토를 흘려내린 후 평균 12초전에는 주로 슬러리 자체무게에 의하여 흘려내리지만 그 후에는 진동효과가 많이 작용하여 슬러리의 흐름 특성이 아주 다르게 나타난다. 실험 결과에 의하면 진동을 가하지 않은 조건에 비해 진동을 가하면 슬러리 배출량이 44%와 61%가 증가되었다.



[Fig. 7] Effect of vibration on hybrid drainage

이를 Fig.8에서 정리하여 표시하였다. 그림에 의하면 PVDF film에 진동을 주었을 때 진동을 가하지 않은 실험조건과 비교하면 흘려내린 양이 더 많을 뿐만 아니라 점토 슬러리의 흐름도 지속적인 것을 알 수 있다. 이 연구의 결과를 현장에 직접 적용하기 위하여 추가적인 연구 및 실험이 진행되어야 할 것이다. 또한 함수비와 염도 등을 변화 시키면서 배수재 시스템 개발의 기초 자료를 좀 더 확보하여야 할 것으로 판단된다.



[Fig. 8] Clogging reduction due to vibration

3. 결론

이 연구에서는 터널의 시공 및 운영 시 배수재 및 배수 시스템의 흡과 배수재가 접한 경계면에서 물과 지반에서 유실된 미세입자의 흐름에 의해 물리/화학적 폐색 현상을 PVDF film의 진동에너지에 이용하여 배수재 성능을 향상시키는 기술적용에 대한 실험연구를 수행하였다. 점토 슬러리를 제작하여 실내실험을 진행하였는데, 필름 상부로의 슬러리 흐름과 하이브리드 배수재 관으로의 흐름특성 변화를 진동의 적용 유무로 구분하여 결과를 고찰하였다. 시험결과로부터 얻은 결론은 다음과 같이 요약 할 수 있다. 해당 필름의 최적의 증폭효과를 발현할 수 있도록 자체개발한 음파증폭기를 통한 주파수의 변화에 따라 점토 슬러리의 최종 배출량이 크게 변하는 것을 확인하였다. 또한 PVDF film과 기존 배수재를 융합한 하이브리드 형태의 배수재에 음파를 가한 흐름 특성을 고찰한 결과 PVDF film에 음파를 가하지 않은 조건에서는 점토 흐름량이 최대치에 도달한 후 급격히 흐름이 정지되었으나 진동을 가했을 때 시간에 따라 점토 슬러리의 흐름이 지속되었다. 이것이 배수재의 폐색현상을 줄일 수 있는 요인이 된다는 판단이다. 향후 추가적인 연구를 통하여 배수재 유지관리 성능을 개선할 수 있는 요인을 규명할 수 있을 것으로 예상되며 본 시험을 현장 적용에 맞추어 배수재 시스템을 모사하여 기능 저하를 대비한 현장 실험을 실시하여 좀 더 정량화 된 개량효과를 규명하는 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통기술진흥원 연구 사업인 “고수압 초장대 해저터널 핵심요소 기술개발”과 한국연구재단 “압전필름과 진동에너지를 활용한 터널집진 필터 효율향상”의 지원으로 이루어졌습니다.

References

[1] J. S. Moon, “A Study on Clogging and Hydraulic Properties for Drain Filters of Tunnels”, Dongguk University, a mater’s thesis PP.1-15, 2000.
 [2] J. W. Lee, “A Study on Clogging Characteristics of

Geosynthetic Drains Using Discharge Capacity Test”, Dongguk University, a mater’s thesis PP.1-10, 2013.

- [3] J. H. Park, J. H. Hwang, Y. U. Kim, “Application of Ultrasonic Energy to Fast Consolidation of Soft Clays”, The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.9, No.4, PP.1039-1042, 2008
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.4.1039>
- [4] Y. U. Kim, J. H. Ha, G. H. Kim and S. M. Na, “Ultrasonic Enhancement of Drainage Material Filterability”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, No.1A, PP.311-313, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JJAP.45.311>
- [5] Hoang Tien Trung, “Effect of Ultrasonic Treatment on Consolidation of Clay Minerals”, Myongji University, a master’s thesis, PP.1-6, 2012.
- [6] M. S. Kang, “A Study of Piezoelectricity in Polyvinylidene Fluoride”, Taejon National University of Technology, Vol.9 No.4 PP.495-496, 1988
- [7] D. S. Kim, M. K. Kim, Y. U. Kim, J. K. “Development of Power Driver for PVDF Film Actuator Applied to Dehydrain of Dredged Sediment”, Journal of The Institute of electronics and Information Engineers, Vol.49, No.2, PP.26-37, 2012.

신 진 화(Zhen-Hua Xin)

[준회원]



- 2013년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>
환경공학, 토질역학

문 준 호(Jun Ho Moon)

[준회원]



- 2013년 3월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>
토질역학, 지반공학

송 영 갑(Young-Karb Song)

[정회원]



- 2013년 8월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 시설연구사

<관심분야>
재난안전, 토질역학, 사면안정

김 영 욱(Young-Uk Kim)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2000년 5월 : The Pennsylvania State University 토목환경공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토양오염 복원, 환경공학, 토질역학