쉴드 TBM 세그먼트 지수재의 배열수 변화에 따른 방수성능 평가

함수권[1] · 정 훈[1] · 김범주[1] · 정경한[2] · 이석원[3*]

[1]비회원, 건국대학교 사회환경공학부 석사
[2]정회원, 더드림이앤씨 대표이사
[3]정회원, 건국대학교 사회환경공학부 교수

Waterproofing performance evaluation according to the number of layer for shield TBM segment hydrophilic rubber waterstop

Soo-Kwon Ham[1] · Hoon Jung[1] · Beom-Ju Kim[1] · Kyeong-han Jeong[2] · Seok-Won Lee[3*]

[1]Master, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Konkuk University
[2]CEO, The Dream E & C
[3]Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Konkuk University

***Corresponding Author :** Seok-Won Lee, swlee@konkuk.ac.kr

Abstract

The interest in the use of shield TBM (Tunnel Boring Machine) on the tunnel excavation has been increased rapidly in Korea. The shield TBM tunnel is generally designed as non-drainage tunnel. Consequently, if water leakage through the segment joints happens, big problems on the usage and stability of tunnel can be occurred. In this study, the variation of waterproof capacity of hydrophilic rubber waterstop by the construction error and excessive displacement of segment was studied. In particular, the waterproof capacity of each of single and double layer arrangements of hydrophilic rubber waterstop was examined to verify the efficiency of the double layer arrangement. The test results show that the single layer and double layer hydrophilic rubber waterstop showed the same waterproof performance. hydrophilic rubber waterstop has favorable on the offset, however unfavorable on the gap.

Keywords: Hydrophilic rubber waterstop, Number of layer of waterstop, Shield TBM, Waterproofing, Segment lining

초 록

최근 국내에서는 쉴드 TBM (Tunnel Boring Machine)을 이용한 터널 굴착에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 쉴드 TBM 터널은 비배수 터널로써 세그먼트 이음부에서 누수가 발생할 경우에는 터널의 사용성 및 안정성에 문제가 될 수 있다. 본 연구에서는 쉴드 TBM 터널의 세그먼트 시공 시 시공오차 및 세그먼트 과다변형에 의한 수팽창 지수재의

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
22(1)47-58(2020)
https://doi.org/10.9711/KTAJ.2020.22.1.047

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received November 5, 2019
Revised December 11, 2019
Accepted December 13, 2019

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright ⓒ 2020, Korean Tunnelling and Underground Space Association

www.kci.go.kr

방수 성능을 검토하였다. 특히, 수팽창 지수재 1열 배열 및 2열 배열 각각에 대하여 방수 성능을 검토하여, 2열배열의 효율성을 검증하였다. 실험결과, 1열 배열 및 2열 배열 수팽창 지수재는 동일한 방수 성능을 보였다. 즉, 1열 배열 및 2열 배열 모두, 수팽창 지수재는 엇갈림에 대해서는 대응성이 좋으나, 틈새 간격에 대해서는 대응성이 불리한 것으로 나타났다.

주요어: 수팽창지수재, 지수재 배열수, 쉴드 TBM, 방수, 세그먼트 라이닝

1. 서 론

최근 들어 도심지 터널 건설 중에 발파진동 등에 의한 민원이 급증하고 있다. 따라서 신설되는 도심지 지하철/공동구와 같은 지하굴착은 발파를 이용한 굴착보다는 진동을 거의 주지 않는 기계화시공으로 굴착하고 있다. 기계화시공 중에 대표적인 방법이 TBM (Tunnel Boring Machine)을 이용하는 방법이다. 따라서 TBM (Tunnel Boring Machine)을 이용한 터널/공동구 굴착에 대한 관심이 크게 증가하고 있다(Kim et al., 2002; Hyun et al., 2012; Kim et al., 2013).

쉴드 TBM의 경우, 굴착과 동시에 지보를 위하여 세그먼트 라이닝을 설치한다. 세그먼트는 몇 개의 조각으로 나누어져 있으므로, 이를 하나의 링으로 설치하기 위해서는 조각의 세그먼트를 볼트를 이용하여 연결하게 된다. 따라서 세그먼트 간에 이음부가 발생하게 되며, 발생된 이음부에서 지하수 누수가 발생할 수 있다. 세그먼트 이음부에서 누수가 발생할 경우에는 터널의 사용성 및 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 누수를 방지하고자 이음부에는 지수재를 설치하여 방수를 실시하게 된다.

선행연구를 살펴보면, Lee et al. (2009)은 세그먼트 라이닝 조립 시 부등침하 등으로 인한 라이닝 체결각에 대한 불합치가 일어난 경우, 수팽창 지수재의 방수성능을 평가하는 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 일반 수팽창 지수재(20 mm × 10 mm)를 사용하여 지수재의 팽창에 따른 누수량을 측정하였고, 세그먼트 간 체결각 불합치에 의한 시공오차를 중점적으로 연구하였다. Choi et al. (2014)은 쉴드 터널용 수팽창 지수재(20 mm × 5 mm)를 사용하여 세그먼트 간 체결각 불일치(angle discordance)는 물론, 세그먼트 이음부의 엇갈림(offset)에 의한 방수 성능 저하에 대한 연구를 수행하였다. 또한 장기 내구성 관점에서 지하수 및 해수에 있을 수 있는 황산염(sulphate)과 염화물(chloride)에 의한 지수재의 내구성 저하에 대한 연구를 수행하였다.

지금까지 국내에서는 여러 가지 지수재 중에서 물과의 반응에 의하여 팽창을 일으켜 수압에 저항하며 방수효과를 나타내는 수팽창 지수재(hydrophilic rubber waterstop)를 대부분 적용해 왔다. 그러나 일본을 제외한 대부분의 선진국에서는 고무의 압착을 통하여 방수기능을 수행하는 가스켓(gasket)을 일반적으로 적용하고 있다. 국내에서는 수압이 높거나 지하수 유입이 많아 누수가 우려되는 경우, 가스켓을 적용하기 보다는 일반적으로 수팽창 지수재를 2열로 설치하여 누수를 방지하려고 설계한다. 따라서 본 연구에서는 수팽창 지수재를 1열로 설치하는 경우와 2열로 설치하는 경우에 대한 방수 성능 변화를 연구하였다. 이를 위하여 1열 배열 수팽창 지수재와 2열 배열 수팽창 지수재 각각에 대하여 내수압 실험을 수행하였다. 실험 결과를 분석하여 2열로 수팽창 지수재를 배

www.kci.go.kr

열하는 경우에 대한 방수 성능 효과 증대를 검토해 보았다.

방수성능을 검토하기 위하여 다양한 세그먼트 시공 오차에 따른 수팽창 지수재에 대한 방수성능을 평가하여 그 적용성을 검토하였다. 여기에서 적용한 시공 오차는 체결각 불일치 또는 벌어진 틈새를 의미하는 틈새 간격(Gap)과 지수재가 정확히 맞물리지 못하고 엇갈려서 시공되는 엇갈림(Offset)을 적용하였다.

2. 세그먼트 지수재

세그먼트와 세그먼트, 링과 링을 연결하면서 생기게 되는 구간을 이음부라 한다. 이음부는 세그먼트 체결방식, 세그먼트의 처짐 및 단차 등으로 인하여 시공오차인 틈새 간격(Gap)과 엇갈림(Offset)으로 인하여 방수성능을 확보하기 어렵다고 볼 수 있다. 이러한 누수의 위험을 막기 위해 이음부 사이에 지수재를 설치한다. 지수재는 세그먼트와 세그먼트, 링과 링 시공이음 사이에 설치되어 물이 유입되더라도 부피 변화 혹은 화학적인 반응을 통해 누수를 방지하는 고무재질의 차수재이다.

지수재의 종류에는 수팽창압에 의하여 지수기능을 발휘하는 수팽창 지수재, 접면 압력에 의하여 지수기능을 발휘하는 가스켓 지수재가 있다. 수팽창 지수재는 물과 반응 시 팽창하여 홈에 구속되는 반발력과 지수재의 탄성 반력을 이용하여 누수를 방지한다. 가스켓 지수재는 탄성 반발력에 의한 접면 압력으로 누수를 방지한다. 수팽창 지수재와 가스켓 지수재는 일반적으로 사용하는 지수재이며, 일반적인 지수재의 방수성능을 보완하기 위해 수팽창성 복합고무 지수재, 수팽창성 복합 고무 가스켓 지수재 등 수팽창 지수재와 가스켓 지수재를 결합하는 다양한 종류의 지수재들이 개발되었다.

수팽창 지수재는 압축이나 변형 시에 복원력이 우수하고, 저온에서 고온까지 지수성능을 발휘하며, 시공이 용이한 특징을 가지고 있다. 수팽창 지수재는 팽창률이 우수하여 부피가 3~5배까지 증가한다. 염분성의 물에는 열화가 일어나 팽창 효과가 저조하여 방수성능이 저하될 수도 있다. 또한, 1~2 mm 정도의 시공 오차가 발생할 수 있으며, 시공오차에 대한 대응성이 약하다고 볼 수 있다.

가스켓 지수재는 내구성이 우수하여 장기 누수에 효과적이고, 저항성이 강하여 화학적, 미생물학적 공격에 대응성이 우수한 특징을 가지고 있다. 가스켓 지수재는 수팽창 지수재 보다 두께가 두껍기 때문에 시공 오차에 대응성이 있다고 할 수 있다. 방수성능을 발휘하기 위해서는 상당한 압축성이 필요하여 이렉터의 충분한 힘이 수반 되어야 한다. 또한, 시공 시에 밀림 현상이 발생하여 누수 발생 가능성이 있다고 볼 수 있다.

복합형 가스켓은 일반적인 지수재의 성능 보안을 위해 개발되었고, 복합 고무 지수재와 수팽창성 복합 고무 가스켓의 두 가지로 크게 분류된다. 복합 고무 지수재는 비팽창성 고무의 부착 위치에 따라 두 가지로 나뉘게 된다. 비팽창성 고무를 양옆에 부착하여 폭 방향 팽창을 억제하는 형태와 비팽창성 고무를 중앙에 부착하여 중앙부 팽창효과를 높여주는 형태이다. 폭 방향의 팽창을 억제 함으로 인해 지수재의 이탈을 방지하고 중앙에 비팽창 고무를 설치함으로써 압축력이 증대된다. 복합 고무 가스켓은 가스켓 위에 수팽창 지수재를 부착한 지수재이다. 가스켓 지수재와 마찬가지로 이렉터의 충분한 힘이 필요하고, 장기 내구성이 우수하며, 시공오차의 대응성이 더 우수

www.kci.go.kr

하다고 볼 수 있다.

앵커형 가스켓은 가스켓 지수재의 단점을 보완하기 위해 콘크리트 타설 시 세그먼트를 제작하는 몰드에 미리 설치하는 지수재이다. 이 시공방법은 세그먼트의 접착 불량과 모서리 부분 고무의 집중현상을 방지할 수 있다. 제작 시 정밀도를 요구하나 세그먼트와 일체화가 되어있어 시공이 빠르다. 또한, 비가 오면 수팽창 지수재가 팽창하기 때문에 복합형 지수재의 사용이 불가능한 특징이 있다.

본 연구에서 소개된 지수재의 종류 및 엇갈림에 대한 규정 등의 자세한 내용은 Choi et al. (2014)와 Heo et al. (2018)에 서술되어 있다.

3. 내수압 실험 조건 및 실험 장비

본 연구에서는 배열수 변화에 따른 수팽창 지수재의 세그먼트 시공오차에 대한 방수성능을 평가하였다. 1열 배열, 2열 배열의 두 가지 내수압 실험을 동일한 수팽창 지수재를 선택하여 실험을 진행하였다.

3.1 수팽창 지수재 선정

시공오차가 크게 발생할 수 있는 급곡구간은 소단면 공동구 터널공사 시에 자주 발생할 수 있으므로, 공동구 터널에서 보편적으로 사용하는 수팽창 지수재를 선정하여 본 연구의 실험을 실시하였다. 수팽창 지수재는 Table 1 및 Fig. 1과 같이 폭 20 mm, 높이 4 mm를 선택하여 사용하였다. 자세한 수팽창 지수재의 재료적인 특성은 Choi et al. (2014)에 서술되어 있다.

Table 1. Dimension of hydrophilic rubber waterstop

Dimension	Model	Width × Height
	DS-4020	20 mm × 4 mm

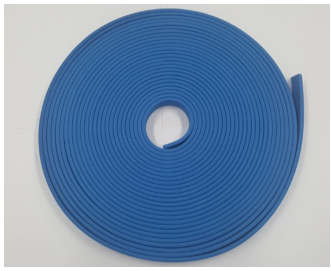

Fig. 1. Hydrophilic rubber used

www.kci.go.kr

3.2 내수압 실험 장비 및 실험 조건

내수압 실험의 목적은 설계 구간의 수압 조건에 지수재가 방수성능을 확보할 수 있는지를 평가하는 것이다. 실험 조건으로는 시공 시 조립 정도(시공 오차)에 의한 내압성능을 평가하기 위하여 틈새 간격(Gap)과 엇갈림(Offset) 변화를 조건으로 선정하였다.

내수압 실험장비는 틈새 간격과 엇갈림, 수압의 변화를 줄 수 있도록 제작되었다. 또한 20 bar 이상의 고수압에서도 견딜 수 있는 내구성을 확보하였다. 실험 장비의 구조는 설계 시 가장 누수가 많이 발생하는 T형 접합부(T-joint)를 모사하여 실제 현장 시공 시 발생하는 여러 가지 상황에 지수재의 내수압 성능을 평가할 수 있도록 설계하였다.

1열 배열, 2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 모두 똑같은 조건으로 실험을 진행하였다. 틈새 간격은 0~5 mm, 엇갈림은 0~7 mm이며, 20 bar를 최대 수압으로 설정하였다.

수팽창 지수재의 내수압 실험 방법은 틈새와 엇갈림을 설정하고 1 bar부터 최대수압인 20 bar까지 증가시키는데, 15분 간격으로 누수가 되었는지 확인 후 1 bar씩 수압을 상승시킨다. 만약, 누수가 발생하였다면 실험을 중단하고 누수가 발생한 수압을 기록한다. 최대 수압인 20 bar에서는 24시간 동안 누수의 여부를 확인하고 실험을 종료하였다. 틈새 간격과 엇갈림을 다르게 하여 실험을 반복하여 실시하였다.

4. 1열 배열 수팽창 지수재의 방수성능 평가

4.1 1열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 장비 및 방법

1열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 장비는 Fig. 2와 같이 제작하였다.

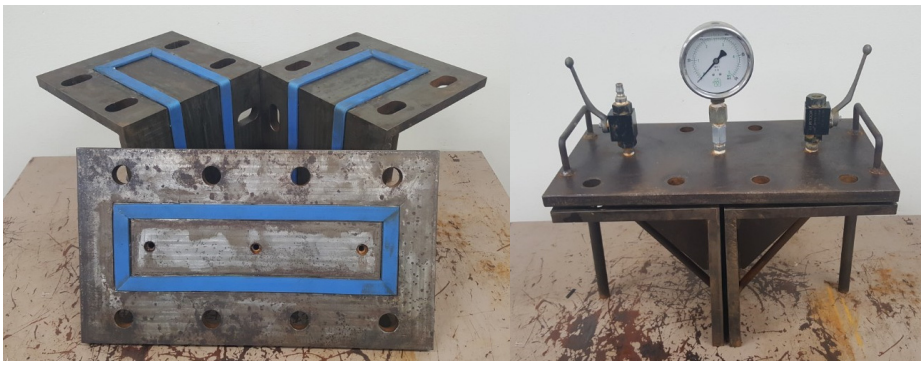

Fig. 2. Test apparatus for hydrophilic rubber waterstop (1 layer)

수팽창 지수재 내수압 실험 방법은 틈새 간격은 3 mm, 4 mm, 5 mm까지 1 mm 간격으로, 엇갈림은 0 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm로 나누어 실험을 실시하였다. 전술한 바와 같이 실험방법은 우선 실험 목표인 타겟 틈새 간격과 엇

www.kci.go.kr

갈림을 설정한다. 그 후 수압은 1 bar부터 20 bar까지 진행하는데, 15분 간격으로 누수가 없으면 1 bar씩 올려가며 진행하고 누수가 있을 경우에는 실험을 중단하고 누수가 발생한 수압을 기록하였다. 최종 20 bar에서는 24시간 동안 누수의 여부를 확인하고 실험을 종료하였다. 위와 같은 방식으로 틈새간격과 엇갈림의 변화를 주어 실험을 실시하였다.

4.2 1열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 결과

1열 배열 수팽창 지수재에 대한 내수압 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 0 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 5 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 7 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 10 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 0 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 5 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 7 mm의 경우: 실험결과 7 bar까지는 누수가 발생하지 않았으나, 수압이 8 bar일 때 T형 접합부와 직선부에서 누수가 발생하였다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 10 mm의 경우: 실험결과 6 bar까지는 누수가 발생하지 않았으나, 수압이 7 bar일 때 T형 접합부에서 누수가 발생하였다.
- 틈새 간격 5 mm, 엇갈림 0 mm의 경우: 실험결과 T형 접합부에서 두께 부족으로 인하여 완전한 압착이 이루어지지 않아 1 bar에서 누수가 발생하였다.

상기에 서술한 전체 실험 결과를 Table 2에 정리하였다. 주어진 수압 조건에서 누수가 발생하지 않으면 P, 누수가 발생하여 실험을 중단한 경우 F로 표기하였다.

Table 2. Summary of waterproof tests for 1-layer hydrophilic rubber waterstop

Water pressure (bar) / Test condition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Gap: 3 mm, Offset: 0 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 3 mm, Offset: 5 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 3 mm, Offset: 7 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 3 mm, Offset: 10 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

www.kci.go.kr

Table 2. Summary of waterproof tests for 1-layer hydrophilic rubber waterstop (continue)

Water pressure (bar) / Test condition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Gap: 4 mm, Offset: 0 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 4 mm, Offset: 5 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 4 mm, Offset: 7 mm	P	P	P	P	P	P	P	F												
Gap: 4 mm, Offset: 10 mm	P	P	P	P	P	P	F													
Gap: 5 mm, Offset: 0 mm	F																			

5. 2열 배열 수팽창 지수재의 방수성능 평가

5.1 2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 장비 및 방법

2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 장비를 Fig. 3과 같이 제작하였다. 2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 장비는 1열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 장비와 다르게 직각이 아닌 라운드 모양으로 설계하였다.

Fig. 3. Test apparatus for hydrophilic rubber waterstop (2 layer)

2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험은 1열 배열 내수압 실험의 조건과 똑같이 틈새간격 3 mm, 4 mm, 5 mm이고, 엇갈림은 0 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm로 설정하여 실험을 실시하였다. 또한, 최대수압은 20 bar로 동일하고 실험방법 역시 동일하게 실시하였다.

5.2 2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 결과

2열 배열 수팽창 지수재에 대한 내수압 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

www.kci.go.kr

- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 0 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 5 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 7 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 3 mm, 엇갈림 10 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 0 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 5 mm의 경우: 실험결과 20 bar까지 누수가 발생하지 않았다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 7 mm의 경우: 실험결과 11 bar까지는 누수가 발생하지 않았으나, 수압이 12 bar일 때 T형 접합부에서 누수가 발생하였다.
- 틈새 간격 4 mm, 엇갈림 10 mm의 경우: 실험결과 9 bar까지는 누수가 발생하지 않았으나, 수압이 10 bar일 때 T형 접합부에서 누수가 발생하였다.
- 틈새 간격 5 mm, 엇갈림 0 mm의 경우: 실험결과 T형 접합부에서 두께 부족으로 인하여 완전한 압착이 이루어지지 않아 1 bar에서 누수가 발생하였다.

상기한 2열 배열에 대한 실험 결과를 Table 3에 요약 정리하였다. 주어진 수압 조건에서 누수가 발생하지 않으면 P, 누수가 발생하여 실험을 중단한 경우 F로 표기하였다.

Table 3. Summary of waterproof tests for 2-layer hydrophilic rubber waterstop

Water pressure (bar) / Test condition	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Gap: 3 mm, Offset: 0 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 3 mm, Offset: 5 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 3 mm, Offset: 7 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 3 mm, Offset: 10 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 4 mm, Offset: 0 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 4 mm, Offset: 5 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Gap: 4 mm, Offset: 7 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	F								
Gap: 4 mm, Offset: 10 mm	P	P	P	P	P	P	P	P	P	F										
Gap: 5 mm, Offset: 0 mm	F																			

www.kci.go.kr

6. 배열 수 변화에 따른 수팽창 지수재 내수압 실험 결과 비교 분석

6.1 엇갈림의 변화에 따른 수팽창 지수재 내수압 실험 결과 분석

엇갈림(Offset)의 변화에 따른 1열 배열 및 2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 결과를 Fig. 4 및 Fig. 5에 각각 그래프로 나타내었다. Fig. 4에 보인 바와 같이 1열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과, 틈새 간격(Gap)이 3 mm인 경우에는 엇갈림(Offset)가 관계없이 방수 성능을 발휘하나, 틈새 간격(Gap)이 4 mm가 되면 엇갈림이 5 mm보다 커지면 방수성능을 확보하기 어려운 것으로 나타났다. 특히 틈새 간격이 5 mm가 되면 엇갈림에 관계없이 지수재의 역할을 수행하지 못함을 알 수 있다.

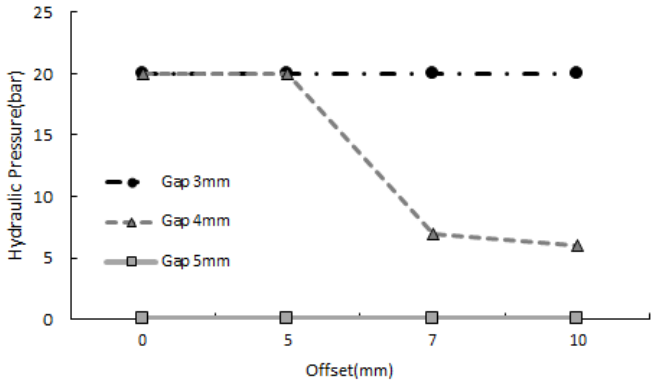

Fig. 4. Waterproofing of hydrophilic rubber waterstop according to offset (1 layer case)

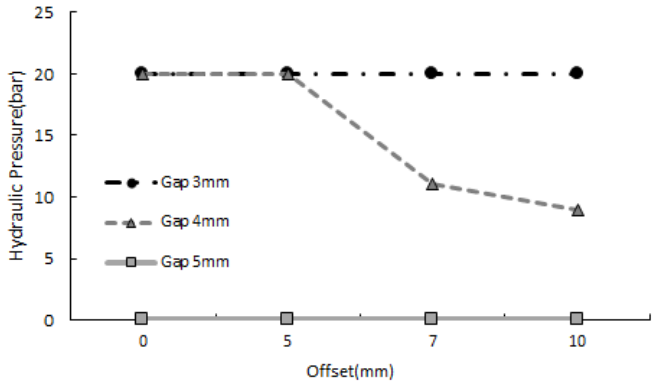

Fig. 5. Waterproofing of hydrophilic rubber waterstop according to offset (2 layer case)

Fig. 5에 보인 바와 같이, 2열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과는 1열 배열 실험 결과와 동일하게 틈새 간격이 4 mm가 넘어가면서부터 방수성능을 확보하기 어렵다고 볼 수 있다. 두 실험의 그래프 추이는 유사하였다.

www.kci.go.kr

6.2 틈새 간격의 변화에 따른 수팽창 지수재 내수압 실험 결과 분석

틈새 간격(Gap)의 변화에 따른 1열 배열 및 2열 배열 수팽창 지수재 내수압 실험 결과를 Fig. 6 및 Fig. 7에 각각 그래프로 나타내었다. Fig. 6에 보인 바와 같이 1열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과, 엇갈림(Offset)이 0 mm 및 5 mm라 하더라도 틈새 간격(Gap)이 4 mm보다 크다면 방수성능을 제대로 발휘하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 엇갈림(Offset)이 7 mm 및 10 mm인 경우에는 틈새 간격(Gap)이 3 mm 이하로 시공되어야 방수 능력을 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 수팽창 지수재는 틈새 간격(Gap)에 매우 민감하게 반응함을 알 수 있었다.

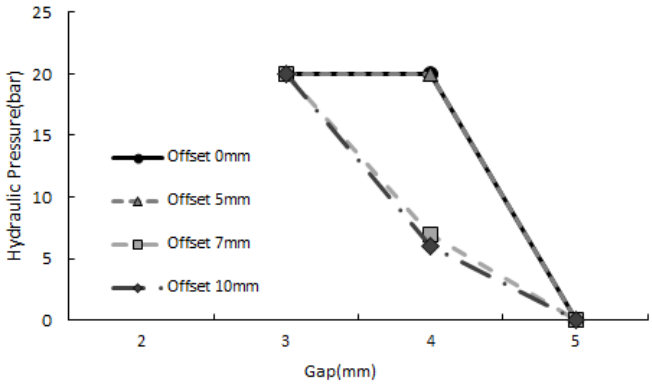

Fig. 6. Waterproofing of hydrophilic rubber waterstop according to gap (1 layer case)

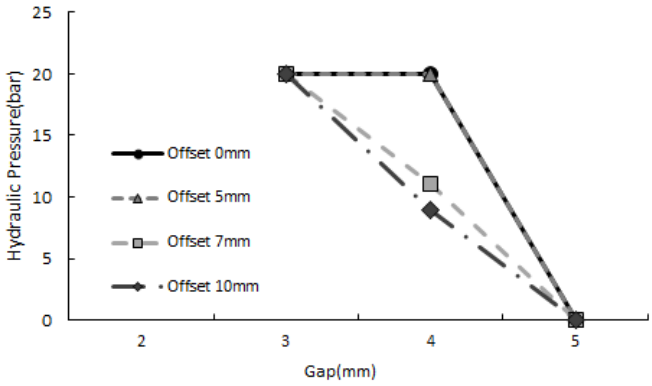

Fig. 7. Waterproofing of hydrophilic rubber waterstop according to gap (2 layer case)

Fig. 7에 보인 바와 같이, 2열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과는 1열 배열 실험 결과와 동일하게, 엇갈림(Offset)이 0 mm 및 5 mm 이하로 시공되고 이때 틈새 간격(Gap)이 3 mm 이하로 시공되어야만 방수 능력을 발휘하는 것으로 나타났다. 결국, 틈새 간격이 4 mm가 넘어가면서부터 방수성능을 확보하기 어렵고, 특히 5 mm를 넘어서면 방수가 되지 않는다는 것을 알 수 있었다. 1열 배열 및 2열 배열의 두 실험의 그래프 추이는 유사하였다.

www.kci.go.kr

단, 현실적으로 수팽창 지수재를 외측에 2열을 설치하는 경우, 지수재 설치폭이 넓어서 볼트 연결부위가 세그먼트의 중앙을 통과하지 못하는 경우가 많아 세그먼트 조립 시 파손에 따른 방수성능이 확보되지 않는 경우가 많으므로, 외측에 2열로 설치하는 경우는 이에 대해 검토가 필요하다고 판단됩니다.

7. 결 론

본 연구에서는 쉴드 TBM 터널 세그먼트 이음부에 많이 사용되는 수팽창 지수재를 1열과 2열로 각각 배열하여 방수성능을 측정하였다. 즉, 시공오차에 따른 1열 배열 및 2열 배열 수팽창 지수재 각각에 대한 방수성능을 평가하여 그 적용성을 검토하였다. 1열 배열 및 2열 배열 수팽창 지수재 모두, 틈새 간격은 3 mm, 4 mm, 5 mm로 나누어서 실험을 수행하였고, 엇갈림 조건은 0 mm, 5 mm, 7 mm, 10 mm로 나누어서 실험을 수행하였다. 가하는 최대 수압은 20 bar로 설정하여 실험을 수행하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 1열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과, 틈새 간격(Gap)이 3 mm인 경우에는 엇갈림(Offset)에 관계없이 방수성능을 확보하나, 틈새 간격(Gap)이 4 mm가 되면 엇갈림이 5 mm보다 커지면 방수성능을 확보하기 어려운 것으로 나타났다. 특히 틈새 간격이 5 mm가 되면 엇갈림에 관계없이 지수재의 역할을 전혀 수행하지 못함을 알 수 있었다.
2. 2열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과는 1열 배열 실험 결과와 동일하게 틈새 간격이 4 mm가 넘어가면서부터 방수성능을 확보하기 어렵다고 판단되었다.
3. 1열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과, 엇갈림(Offset)이 0 mm 및 5 mm라 하더라도 틈새 간격(Gap)이 4 mm보다 크다면 방수성능을 제대로 발휘하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 엇갈림(Offset)이 7 mm 및 10 mm인 경우에는 틈새 간격(Gap)이 3 mm 이하로 시공되어야 방수 능력을 발휘하는 것으로 나타났다. 따라서 수팽창 지수재는 틈새 간격(Gap)에 매우 민감하게 반응함을 알 수 있었다.
4. 2열 배열 수팽창 지수재의 실험 결과는 1열 배열 실험 결과와 동일하게, 엇갈림(Offset)이 0 mm 및 5 mm 이하로 시공되고 이때 틈새 간격(Gap)이 3 mm 이하로 시공되어야만 방수 능력을 발휘하는 것으로 나타났다. 결국, 틈새 간격이 4 mm가 넘어가면서부터 방수성능을 확보하기 어렵고, 특히 5 mm를 넘어서면 방수가 되지 않는다는 것을 알 수 있었다.
5. 일반적으로 방수성능을 증가시키기 위하여 방수재를 2열로 배열하는 경향이 있으나, 본 연구결과 배열수에 따라 방수 성능이 크게 변화하지 않음을 알 수 있었다. 즉, 1열 배열 및 2열 배열 모두, 수팽창 지수재는 엇갈림에 대해서는 대응성이 좋으나, 틈새 간격에 대해서는 대응성이 불리한 것으로 나타났다.
6. 본 연구에서 얻은 결론은 사용한 수팽창 지수재와 적용한 실험 조건에 한하여 얻은 결론이므로 실질적 활용에는 제한이 있을 수 있습니다.

www.kci.go.kr

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업의 '도심지 소단면(φ3.5 m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(20SCIP-B105148-06)' 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

저자 기여도

함수권은 데이터 수집을 하였고, 정훈은 데이터 분석을 하였고, 김범주는 데이터 수집을 하였고, 정경한은 데이터 분석을 하였고, 이석원은 원고작성 및 원고검토를 하였다.

References

1. Choi, W.Y., Lee, H.P., Jun, G.C., Lee, S.W. (2014), “Evaluation of waterproof and durability of hydrophilic waterstop”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 16, No. 2, pp. 117-124.
2. Heo, S.M., Jung, H., Lee, S.W. (2018), “Waterproofing performance evaluation according to each waterproofing material due to segment construction error”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 20, No. 6, pp. 1023-1037.
3. Hyun, K.C., Min, S.Y., Moon, J.B., Jeong, G.H., Lee, I.M. (2012), “Risk management applicable to shield TBM tunnel: I. Risk factor analysis”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 14, No. 6, pp. 667-681.
4. Kim, S.H., Kim, W.K., Lee, H.Y. (2013), “Effect of segment thickness during shield TBM tunnelling in case study”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 15, No. 3, pp. 311-320.
5. Kim, Y.I., Hencher, S.R., Yoon, Y.H., Cho, S.K. (2002), “Determination of the construction method for Young Dong tunnel by risk assessment”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 4, No. 1, pp. 13-25.
6. Lee, S.W., Jeoung, J.H., Hwang, J.H. (2009), “Evaluation of hydrophilic waterstop for shield TBM tunnel under high water pressure”, Proceedings of the Korean Geo-Environmental Conference, Seoul, pp. 389-392.

www.kci.go.kr