

사전수화 벤토나이트 방수재의 염수환경 지하구조물 적용 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Underground Structure Apply Properties to Salt Water Environment of Pre-hydrated Bentonite Waterproofing.

이 정 훈* 이 선 규** 최 성 민*** 오 상 근****
Lee, Jung Hoon Lee, Sun Gyu Choi, Sung Min Oh, Sang Keun

ABSTRACT

In this study, we would like to study on the apply properties to salt water environment of pre-hydrated bentonite for complement problem that water leakage to permit salt water that existing bentonite does not initial swelling.

Accordingly, execute viscosity properties, swelling properties, permeability and confirmed apply properties to salt water environment.

Did not permit initial permeable in test result salt water environment, and permeable did not happen until 72 hours by maximum 3kgf/cm² water pressure. Fresh water environment enough progress of gelation confirm that viscosity and swelling properties confirmation result and as delamination phenomenon of platy formation looked in salt water environment but this as bentonite hydrates crystallization layer swelling that is done consider. Synthetic study results, if compaction condition such as press layer is formed to bentonite upper, applied to the salt water environment of the underground structures of expectations.

요 약

본 연구는 기존 벤토나이트 방수재가 염수환경의 지하구조물 적용에 있어서 초기 수화에 의한 팽창이 안 됨으로써 염수의 침입을 허용하여 구조물이 누수로 이어지는 문제점을 보완하기 위하여 최근 개발된 사전수화 시킨 형태의 벤토나이트 시트에 관하여 염수환경 적용 특성을 중심으로 연구하고자 하였다.

이를 위해 본 연구에서는 사전수화형 벤토나이트 시트를 대상으로 염수환경을 기본 전제조건으로 한 상태에서 점결성, 팽윤성, 투수성 등의 시험을 통하여 그 성능특성의 변화를 중점 고찰하였다.

본 연구결과 염수환경에서 초기 투수를 허용하지 않았으며, 최대 3kgf/cm² 수압으로 72시간까지 투수가 발생하지 않았다. 점결성과 팽윤성 확인결과 담수환경에서는 겔화의 충분한 진행이 확인 되었고, 염수환경에서는 관상구조의 갈라짐 현상이 보였으나 이는 벤토나이트가 수화하면서 결정층간이 팽윤된 것으로 판단된다. 따라서 방수재 상부에 누름층과 같은 압밀조건이 형성된다면 염수환경의 지하구조물 적용에 있어서 기대가된다.

*정회원, 서울산업대학교, 산업대학원, 석사과정

**정회원, 서울산업대학교, 산업대학원, 석사과정

***정회원, 건설신소재연구소, 소장

****정회원, 서울산업대학교, 건축학부, 교수

1. 서 론

벤토나이트 방수는 국내 1984년부터 미국산 패널형 제품이 처음으로 사용(여의도 ○○타워)되었고, 1990년에 매트형 제품과 1991년 쉬트형 제품이 미국으로부터 수입되어 사용되기 시작하여 부산 지하철 2호선을 시작으로 대구, 서울 지하철 방수와 대규모 토목 구조물의 방수에 적용되기 시작하였다.

하지만 벤토나이트 쉬트형 제품이나 매트형 제품 대부분이 완전 수입품으로 현장 적용에 있어 공사 시방서나 벤토나이트 품질 기준에 대한 국내 기준이 부족한 상태에서 적절한 현장 적용성 판단 없이 적용함으로 인해 문제점들이 발생하였다. 특히, 해안 매립지에 건설되는 구조물의 경우 일반 과립형태의 벤토나이트를 이용해 제조한 방수재는 물과의 반응에 의해 팽창하여 겔을 형성함으로써 방수층을 형성하게 되는데 염수에서는 이러한 기능을 발휘하지 못하였다.

벤토나이트는 염수에서 담수에서의 팽윤성과 비교하여 약 20% 전후의 팽윤도를 보인다. 이러한 상태에서 일시에 많은 염수가 벤토나이트와 접촉하게 될 경우 벤토나이트의 수화 팽창 기능이 현저히 떨어지면서 겔 침부 등에서 염수가 방수층을 투과하게 됨으로써 누수사고가 발생하게 된다.

따라서 본 연구에서는 벤토나이트를 사전수화 시킨 형태의 재료를 통해 재료자체의 성능을 분석, 검토하여 기존 과립형 벤토나이트의 고유 성능인 팽창성, 수밀성, 자가치유성 등을 확인하고, 기존 과립형 벤토나이트의 문제점으로 지적된 염수환경에서의 방수 성능저하 및 수압 조건에 따른 성능변화 등을 분석하고자 하며, 이를 통해 사전수화 벤토나이트 방수재의 국내 염수환경에 처한 지하구조물 적용 특성에 관하여 연구하고자 한다.

2. 사전수화 벤토나이트 방수재의 구성

사전수화 벤토나이트 방수재는 사진 1~4와 같이 액상폴리머를 이용하여 사전수화한 고밀도 천연 소디움 벤토나이트 코어 + 부직포 스크림(Scrim) + 고밀도 폴리에틸렌/부직포 층으로 구성 되어있다.



사진 1 상부 PE면



사진 2 벤토나이트



사진 3 하부 스크림면



사진 4 전체 형태

3. 시험 항목 및 결과

3.1 시험 항목 및 목적

염수환경하의 지하구조물 적용에 있어서 사전수화 벤토나이트 방수재의 특성을 확인할 수 있는 시험 항목을 선정하였으며, 시험 항목 및 목적은 다음 표 1과 같다.

표 1 시험 항목 및 목적

시험 항목	시험 목적
점결성	벤토나이트는 염수와 접촉 시 점성(Gel)을 상실하고 상호 분리되어 방수성능이 저하하게 된다. 따라서 사전수화 벤토나이트 방수재가 담수와 염수 접촉 시 점성 유지 여부를 확인하고자 한다.
팽윤성	벤토나이트의 팽창력은 방수성을 결정할 수 있는 중요한 성능 중 하나이다. 따라서 담수 및 염수 환경에서 어느 정도 팽창력을 보이며 팽창 시 재료자체의 이상이 없는지 확인하고자 한다.
투수성	벤토나이트의 특성상 담수와 염수조건에서 재료적 성질 변화로 인한 투수 허용 여부를 고려해야 한다. 이에 따라 투수 성능을 확인하고자 한다.

3.2 점결성 시험 방법 및 결과

본 시험은 사전수화 벤토나이트 방수재를 1 × 1cm로 단면이 손상되지 않게 단시간에 제작 후 염분농도 2%의 염수와 담수를 시료수로 사용하여 패트리 디쉬(투명필름으로 1mm단위로 그리드 형성)위에 놓고, 각각 3개의 시험체에 염수와 담수를 가득 채워 1시간 단위로 벤토나이트의 변형유·무를 관찰한다.

표 2 시간경과에 따른 변형과정

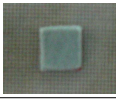

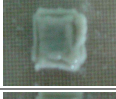
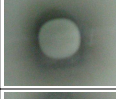

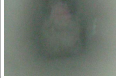
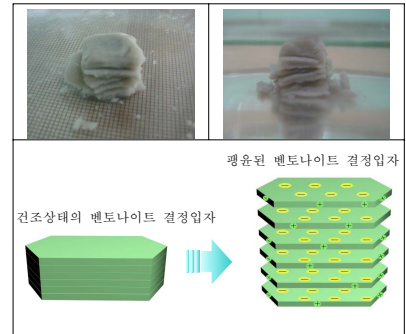
구분	염 수	담 수
초기 상태		
6시간 경과		
24시간 경과		

표 3 벤토나이트 관상구조



시험 결과 염수, 담수 모두 시

간 경과에 따라 점차 부피가 팽창 하였고, 담수에서는 겔화가 진행됨에 따라 겔화에 의한 확산이 되는 것을 확인 하였으며, 염수에서는 초기 상태의 형상을 거의 유지 하였으나 약 4배 정도의 부피팽창과 일정한 층을 형성하며 층간 갈라짐(Delamination) 현상을 보였다. 이는 사전수화형 벤토나이트가 제조 과정에서 관상구조를 가지게 되는데, 염수에서 겔(Gel)화가 원활히 진행되지 않은 채 팽창됨으로써 이러한 관상구조 계면이 염화나트륨(NaCl) 성분 에 의해 분리되는 것으로 판단된다. 담수에서는 겔화가 충분히 진행하기 때문에 담수와 접촉 시 자가치유 기능을 적절히 발휘할 것으로 기대된다.

3.3 팽윤성 시험 방법 및 결과

본 시험은 직경 3.5cm의 200ml 매스실린더에 같은 직경으로 절단한 사전수화 벤토나이트를 바닥까지 넣은 후 염분농도 2%의 염수와 담수를 각각 3개의 시험체로 하여 매스실린더의 절반인 100ml까지 채워 넣은 후 벤토나이트의 팽창력을 24시간 단위로 관찰하여 확인한다.

표 4 팽윤성 시험 결과(평균값)

구분	염 수 (mm) (염분농도 2%)	담 수 (mm)
초기 상태	5	5
24~48시간	14~16.3	12.6~14.3
72시간 후	18	15.6
팽창율(%)	160	113.3
비고	균열 발생	균열 미발생



사진 5 염수 침지



사진 6 담수 침지

본 시험 결과 염수에서는 평균 13mm의 팽창을 보이고, 담수에서는 평균 10.6mm의 팽창을 보였다. 염수에서 조금 더 팽창함을 보였지만 담수와 많은 차이가 없었고, 매스실린더에 의해 구속된 사전수화 벤토나이트는 담수에서 72시간 경과까지도 분해 되지 않았으며, 염수에서도 일정 층 형성은 보이지 않았다. 반면 사진 5와 같이 사전수화 벤토나이트 상부는 염수에서 균열이 확인 되었으며, 이 또한 상부에 사전수화 벤토나이트를 구속할 수 있는 조건이 될 수 있다면 균열이 발생하지 않을 것으로 판단된다.

3.4 투수성 시험 방법 및 결과(비압밀조건 및 압밀조건)

본 시험은 KS F 4919에 준한 아웃 풋(Out-Put) 실험방식을 준용하였으며, 비압밀조건인 시험 경우 벤토나이트에 물이 닿을 수 있도록 상부PE면 중앙에 십자 형태로 2cm의 칼집을 낸다. 다음 투수판 및 관과 윗판 사이에 벤토나이트 시험체를 결합 후 실리콘으로 실링하고, 실리콘이 경화한 후 Out-Put방

식의 투수시험기를 이용하여 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 수압으로 72시간 동안 담수와 염수(2%)를 사용하여 투수시험을 실시한다. 또한 압밀조건의 시험 경우 투수밀판 위에 $\varnothing 10 \times 12.5\text{cm}$ 의 원통을 올려놓고 원통 안에 직경10cm의 다공판과 사전수화 벤토나이트를 밀착시켜 넣은 후 벤토나이트가 굳어지지 않게 잘 밀봉해 둔다. 마지막으로 실리콘이 경화하면 원통 안에 높이 10cm의 모래를 넣고 비 압밀조건과 같은 방법으로 시험을 실시하며, 이상이 없을 시 $3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 수압으로 72시간을 확인하여 총 144시간의 투수시험을 진행한다.

비 압밀조건의 시험 결과 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 수압에서 담수에서는 24시간동안 투수가 발생하지 않았으나, 염수 시험체들은 투수가 발생하였다. 또한 압밀조건 시험 결과 염수, 담수 시험체 모두 $1\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 수압에서 72시간동안 투수가 발생하지 않았으며, 그 후 같은 시험체로 $3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 수압으로 증압하여 72시간동안 투수 시험을 진행한 결과에서도 투수가 발생하지 않았다.



사진 7 상부 PE면 십자형 커팅

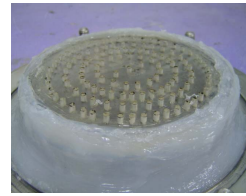


사진 8 투수 시험체 (비압밀조건)



사진 9 투수 시험체 (압밀조건)



사진 10 투수시험현황

4. 결 론

본 연구에서는 사전수화 벤토나이트 방수재의 염수환경 적용 특성에 관하여 연구하고자 하였고, 이에 따라 점결성, 팽윤성, 투수성 등의 시험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 점결성, 팽윤성 시험결과를 검토해볼 때 염수환경 조건에서 판상구조의 갈라짐 현상과 균열 발생은 사전수화 벤토나이트의 팽창력을 구속할 수 있는 조건이 된다면 발생하지 않을 것으로 판단된다.

(2) 비압밀조건의 투수시험 확인 결과 시험체 하부에 약 2mm 정도의 투수밀판 구멍을 콘크리트에 발생할 수 있는 공극 혹은 균열로 가정할 때, 염수환경에서 적절한 되메우기 작업이 이루어지지 않았을 경우 일정 수압 작용 시 사전수화 벤토나이트는 공극 및 균열을 따라 발생하는 압력에 의해 밀려나오므로써 투수, 누수의 경로를 제공하는 것으로 판단된다.

(3) 압밀조건의 투수시험 확인 결과 사전수화 벤토나이트 상부에 구속 역할을 한 10cm의 모래 침적이 압밀조건을 형성하여 염수조건에서 판상구조의 갈라짐 현상을 제어 하였다고 판단되어진다. 따라서 적절한 압밀조건이 갖추어진 상태에서의 사전수화 벤토나이트 방수재는 염수에 대응 가능한 방수성을 확보할 것으로 기대된다.

따라서 사전수화 벤토나이트 방수재를 염수환경의 지하구조물에 적용 시 상부 되메우기에 충분한 다짐계수를 확보하는 것이 방수성능 유지에 중요한 선결조건으로 판단되며, 현장 시방조건 등에 명확한 제시와 이에 따른 면밀한 시공 관리가 이루어져야 할 것이다. 또한 향후 사전수화 벤토나이트의 성능확보에 필요한 되메우기 시의 적정 다짐계수에 대한 지속적인 연구가 필요하겠다.

참고문헌

1. 오상근 외, “벤토나이트 매트재의 팽윤특성 및 수밀성 평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 18권 4호 2002.
2. 김용복 외, “개량형 벤토나이트 매트 방수재의 염수 영향에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 4권 2호 2004.
3. 황은석, “콘크리트 구조체의 방수용 무기 벤토나이트 분말의 방수성능에 관한 실험적 연구”, 한양대 석사논문 2004.
4. 오상근 외, “방수공사 핸드북”, 대한미장협회 1997.
5. 한국산업규격, “수 팽창성 벤토나이트 방수 시트”, KS M 3736 2003.