

鹽水環境下에 露出된 일반 벤토나이트 매트재의 膨潤性能 評價

A Study on the Swelling Property of Bentonite Mat under Salt Water Condition

○양 승 도* 김 영 삼 유 재 강 오 상 근*
 Yang, Seung-Do Kim, Young-Sam Yoo, Jae-Kang Oh, Sang-Keun

Abstract

Recently Bentonite mat is applied various structure : External waterproofing for underground structure, A reclaimed land, Artificial lake, Large-scaled civil structure, etc. With these various structure environment, water quality for application of Bentonite Mat affects watertightness. Specially spot with a large quantity of Chloride Ion like salt water, degree of watertightness revelation is evaluated and applied. In this study, it is a main goal to investigate watertightness of Bentonite Mat with distilled water and salt water dissolved chloride Ion Contents 0.88%.

The result of this paper is as follows.

- 1) Water permeability coefficient of Bentonite Mat : distilled water(1.21×10^{-9} cm/sec), salt water(3.12×10^{-7} cm/sec).
- 2) Variation of thickness : distilled water(187%), salt water(108%).
- 3) Swelling ratio : distilled water(1500%), salt water(350%).

키 워 드 : 벤토나이트 매트, 염수, 투수계수, 두께변화, 팽창률

Keywords : Bentonite Mat, Salt Water, Water Permeability Coefficient, Variation of Thickness, Swelling Ratio

1. 서론

최근 지하방수공법에 있어 벤토나이트계 방수공법은 지하 흠막이벽 시공부위에 함벽 시공이 가능하며, 시공성이 양호하여 공기단축을 도모할 수 있어 도심지 건축 구조물을 비롯하여 대규모 토목구조물, 매립장, 인공호수등의 지하방수공법으로 적용되고 있다.^{1,2)} 벤토나이트는 층간에 결합된 이온의 종류에 따라 나트륨계(Na계), 칼슘(Ca계), 나트륨 교환($\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}$)계로 크게 3가지로 구분되며, 이 중 나트륨계 벤토나이트는 다른 종류의 재료에 비해 팽윤특성이 우수하기 때문에 방수재료로서 많이 사용되고 있다. 이러한 나트륨계 벤토나이트는 팽윤전 그림 1의 (a)와 같은 결정구조를 가지고 있으나, 물과 반응하면 (b)와 같이 수화 팽윤하여 최적의 수분 환경 하에서는 자기 체적의 10~15배가 팽창하고 무게의 5배까지 물을 흡수하는 특성을 갖는다.^{3,4)}

그러나, 벤토나이트 매트재가 적용되는 콘크리트 구조물의 지하수질환경은 자연수(담수), 염수, 오폐수 등으로 다양하며 벤토나이트 매트재의 차수성능 발현은 이러한 수질환경에 크게 의존되어진다. 특히, 해안지역에 건설되는 구조물의 경우 지하수중에 다량의 염화물을 함유하고 있기 때문에 일반적인 담수용 벤토나이트 매트재를 사용

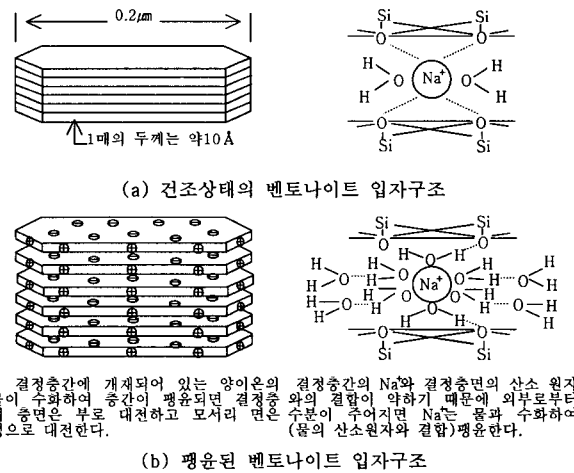


그림 1. 나트륨계 벤토나이트 팽윤 전후 입자구조

할 경우, 벤토나이트 매트재의 팽윤성능에 영향을 주게 되어 누수가 발생되는 사례가 보고되고 있다.⁵⁾ 그러나, 아직까지 국내에 있어서 벤토나이트계 방수재에 대한 이해부족과 체계적인 연구의 미비로 인해 지하수질이 벤토나이트의 차수성능 발현에 미치는 영향에 관한 검토는 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 담수용 벤토나이트를 대상으로 지하수중의 염분이 벤토나이트 매트재의 팽윤성능에 미치는 영향을 평가함으로써, 벤토나이트에 관한 이해 증진과 더불어 현장적용을 위한 기초자료를 제시하는데 목적이 있다.

* 정희원, 서울산업대학교 건축설계학과 대학원 석사과정
 ** 정희원, 서울산업대학교 건설기술연구소 연구원
 *** 정희원, 서울산업대학교 건축설계학과 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 담수용 벤토나이트 매트재를 대상으로 담수(증류수)와 염수에 따른 팽윤특성 및 수밀성을 평가하기 위하여, 벤토나이트 매트재와 매트에서 채취한 벤토나이트 입자에 대한 성능검토로 구분하여 실험을 하였다. 본 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

표 1. 실험계획

시험체	평가항목	평가방법	측정시점	시험기준
벤토나이트 매트재	투수성	투수계수 (cm/sec)	반응 후	ASTM D 5084
	두께팽창성	두께(mm)	반응 전 반응 후	-
벤토나이트 입자	반응수 침투깊이	육안관찰	반응 후	-
	부피팽창률 시험	부피팽창률 (%)	반응 후	KS M 3736
	광학현미경관찰	직경(mm)	반응 전 반응 후	-

2.2 사용재료

1) 벤토나이트 입자

표 2는 본 실험에 사용한 나트륨계 벤토나이트의 화학조성을 나타낸 것이며, 각각의 화합물은 유리 실리카, 실리케이트, 탄산염, 황산염 등의 형태로 벤토나이트를 구성하고 있다.

표 2. 벤토나이트 입자의 화학조성 (Na계)

종류	함유율(%)	종류	함유율(%)
SiO ₂	60.34	CaO	0.38
Al ₂ O ₃	19.28	MgO	1.67
Fe ₂ O ₃	3.48	K ₂ O	0.10
Na ₂ O	2.34	기타	0.07
TiO ₂	0.22	H ₂ O	7.75

2) 벤토나이트 매트재

표 3은 표 2와 동일한 재료를 사용하여 매트형식으로 제조한 국내 B사의 벤토나이트 매트재의 단위면적당 중량 및 두께 측정 결과를 나타낸 것이다.

표 3. 벤토나이트 매트재의 물리적 성질

단위면적당 중량(kgf/m ²)		벤토나이트 매트재의 두께(mm)
벤토나이트 매트재	벤토나이트 입자	
8.089	7.067	7.21

3) 반응수

본 실험에 사용한 반응수는 국내 ○○해안지역에 위치한 건설현장의 지하 3M 깊이에서 채취한 지하수를 사용하였으며, KS M 0100 중 32. 염화물 이온(Cl⁻)의 질산염 적정법 평가결과 염화물 함유량이 0.88%인 것으로 나타

났다. 한편 비교평가를 위하여 수질의 변동이 없는 증류수를 반응수로서 사용하였다.

2.3 평가 항목 및 방법

1) 벤토나이트 매트재

(1) 투수계수

벤토나이트 매트재의 투수계수 평가는 ASTM D 5084⁶⁾에 준하여 행하고, 그림 2와 같은 3축 투수시험장치를 이용하여 투수시험을 하였으며, 투수계수의 계산은 투수시험을 행한 후 얻어진 투수량, 시험체의 조건, 수압 등의 결과로부터 (1)식에 의해 투수계수를 산출하였다.

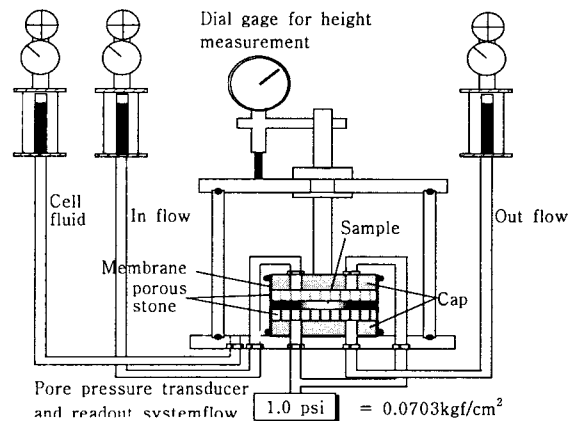


그림 2. 3축 투수시험장치

$$K = \frac{QIM}{AP} \quad (1)$$

K : 투수계수(cm/s) P : 수압(kgf/cm²)
 Q : 단위시간당 투수량(cm³/s) l : 시험체의 두께(cm)
 A : 시험체의 단면적(cm²) M : 반응수의 단위중량(kg/cm³)

(2) 수화팽창에 따른 두께변화

벤토나이트 매트재를 증류수와 염수에 침지시킴에 따른 두께 팽창성을 평가하기 위하여 벤토나이트 매트재의 팽창 전 두께를 측정 후, 각각의 반응수에 15일간 침지시킨 후의 팽창된 두께를 버니어 캘리퍼스를 사용하여 1/100mm까지 측정하였다.

2) 벤토나이트 입자

(1) 반응수 침투깊이

벤토나이트 입자를 100ml의 매스실린더에 50ml를 넣고 증류수 및 염수를 50ml를 채운 후 반응수의 투과깊이를 육안관찰 하였다.

(2) 부피팽창률 시험

벤토나이트 입자가 반응수와 반응하여 팽윤되었을 경우 팽윤되는 양을 정량적으로 분석하기 위하여 벤토나이트 입자를 105±5℃에서 24시간 완전건조 시킨 후, No. 200체를 통과하는 입도로 분쇄하여 그림 3에 나타난 바와 같은 순서로 부피팽창률 시험을 실시하였다. 특히, 벤토나이트 분말이 충분히 수화할 수 있도록 0.2g씩 20분 간격으로 10회에 걸쳐 투여하였으며, 분쇄한 2g의 벤토나

이트 입자의 초기부피 1.88ml는 예비실험을 통하여 산출하였다.

한편, 반응시킨 메스실린더는 상부를 밀봉하여 진동이 없는 실에서 5일간 정치한 후 부피팽창률을 다음의 (2)식에 의하여 산출하였다.

$$V_e = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \dots\dots(2)^{7)}$$

V_e : 부피팽창률 (%)

V_2 : 초기 부피 (ml)

V_1 : 팽창 후 부피 (ml)

시료 채취	절건	분쇄	2g 채취 부피측정	증류수 (50ml)	2g 투여	밀봉 후 방치	부피 팽창률 산정
-	105±5℃ 24시간	(No.200)	-	-	0.2g×10회 (20분 간격)	(5일)	-

그림 3. 부피팽창률 시험의 플로우

(3) 입자의 수화팽윤 성상 (광학현미경 관찰)

반응수 종류에 따른 벤토나이트 입자의 팽윤성상을 관찰하기 위하여, 벤토나이트 입자가 반응수와 반응 전 및 반응 후의 최대 및 최소 직경을 광학 현미경을 사용하여 6~15배율로 관찰하였다.

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 벤토나이트 매트재

1) 투수계수

그림 4는 반응수 종류에 따른 벤토나이트 매트재의 투수계수 측정 결과를 나타낸 것으로서 증류수를 사용한 시험체의 측정 초기 및 수화팽윤이 정지하여 일정한 투수계수를 갖는 최종 시점에서 투수계수는 $1.45 \times 10^{-8} \text{cm/sec} \sim 1.21 \times 10^{-9} \text{cm/sec}$ 로 나타났으나, 염수를 사용하여 시험한 결과는 측정 초기에는 $9.24 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 로, 투수계수의 변동이 없는 최종 투수계수 값은 $4.24 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 로 측정되어 염수 조건에서는 벤토나이트 매트재의 차수성능 발현이 잘 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

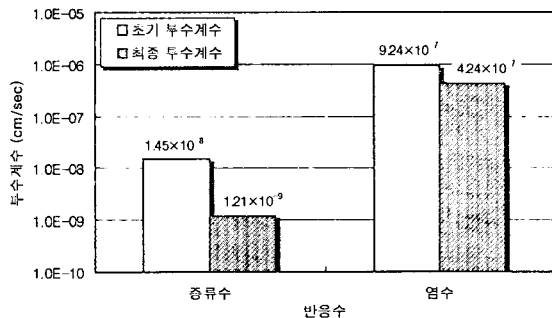


그림 4. 반응수 종류에 따른 벤토나이트 매트재의 투수계수 측정결과

2) 두께 팽창성

그림 5는 벤토나이트 매트재의 두께변화의 측정결과를 나타낸 것으로서, 벤토나이트 매트재의 두께팽창은 증류수 및 염수에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. 반응수와 반응하기 전 벤토나이트 매트재의 두께는 7.21mm였으나 증류수에 침지한 시험체의 경우 13.51mm로 187%의 두께 팽창을 보인 반면, 염수에 침지한 시험체는 7.80mm로 108%의 두께 팽창을 보이고 있다. 사진 1은 벤토나이트 매트재의 증류수와 염수에서의 수화팽창 현황을 나타낸 것이다.

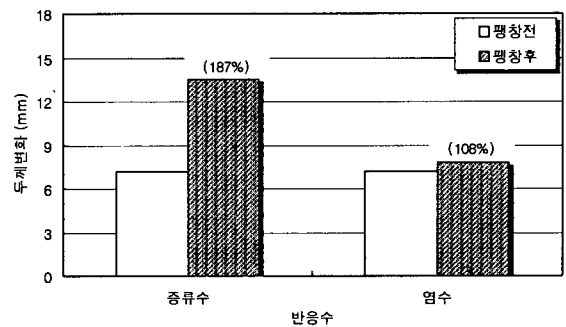


그림 5. 벤토나이트 매트재의 수화반응 두께변화



사진 1. 벤토나이트 매트재의 두께 변화

3.2 벤토나이트 입자

1) 반응수 침투깊이

사진 2는 벤토나이트 입자층의 반응수 침투성능 평가결과를 나타낸 것으로 증류수의 경우 벤토나이트 입자층의 일정깊이까지는 침투하고 있으나, 시간의 경과에 따라 증류수는 더 이상 침투하지 못하였다. 그러나, 염수의 경우는 증류수와는 달리 가수(加水)직후부터 벤토나이트 입자층에 염수가 침투하여 50ml의 메스실린더 하부까지 침투하였다. 이는 벤토나이트 입자의 팽윤 및 차수성능에 반응수의 수질 조건이 영향을 미치는 것으로 사료되며 염수의 경우 증류수에 비하여 벤토나이트 입자의 팽윤수화성능이 낮은 것으로 사료된다.



사진 2. 벤토나이트 반응수 침투 깊이

2) 부피팽창률 시험

그림 6은 반응수 종류에 따른 벤토나이트 입자의 부피 팽창률 평가결과를 나타낸 것으로서 2g의 벤토나이트 분말의 초기부피 1.88ml를 증류수에 반응시킨 후에는 30ml로 1500%의 부피팽창률을 보인 반면에 염수에 반응시킨 경우는 7ml로 350% 정도의 팽창을 보였다. 이는 벤토나이트 매트재의 두께 팽창결과에서 나타났듯이 염수가 벤토나이트 입자의 팽윤에 영향을 미쳐 팽윤정도가 작게 나타난 것으로 사료되며 3.2.1절의 반응수 입자층 투과결과에서도 수화팽윤정도에 기인하여 염수의 경우 50ml의 벤토나이트 입자층을 모두 투과한 것으로 판단된다.

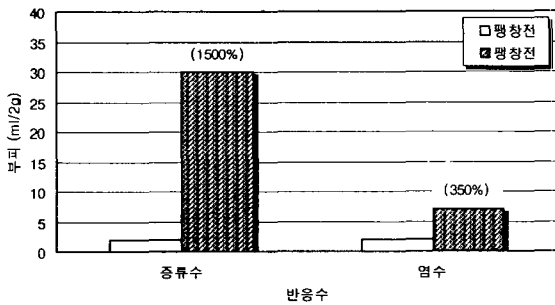


그림 6. 벤토나이트 부피팽창률 시험결과

3.2.3 벤토나이트 입자의 증류수와 염수에서의 팽윤 특성

사진 4는 벤토나이트 입자를 각각 증류수와 염수에 반응시키기 전·후의 성상변화를 광학현미경을 통해 관찰한 결과이다. 증류수에 반응시키기 전의 벤토나이트의 입자의 평균 직경은 1.971mm의 평균 직경을 가지고 있으나 반응 후에는 팽윤되어 6.578mm의 평균 직경을 보이고 있어 3배 이상 증가한 것으로 나타났다. 그러나 염수의 경우 콜로이드화 되지 않고 팽창하면서 퍼짐현상이 나타나 입자직경의 측정이 불가능하였다. 이상의 결과로 담수용 벤토나이트는 담수환경하에서는 수화팽윤되어 소요의 성능을 기대할 수 있으나, 지하수질 중의 염분이 포함되어 있으면 수화 팽윤 성능에 영향을 미쳐 차수성능 발현이 저하될 수 있을 것으로 사료된다.

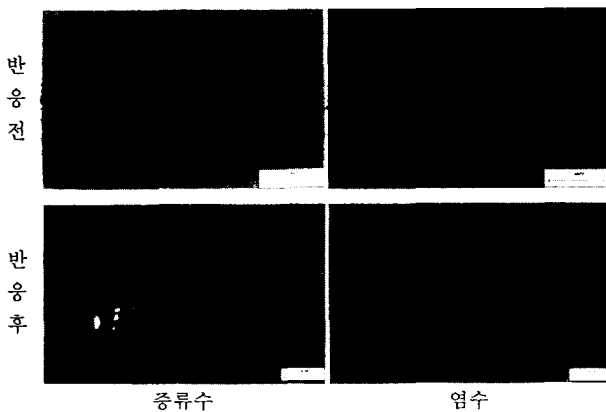


사진 4. 벤토나이트 입자의 팽윤성상

4. 결론

염수환경에 노출된 담수용 벤토나이트 매트재 및 입자의 팽윤성능에 대한 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 동일한 벤토나이트 매트재의 투수시험결과 증류수에서는 1.21×10^{-9} cm/sec의 투수계수로 나타났으며 염수 환경하에서 3.12×10^{-7} cm/sec의 투수계수로 차수성능 발현의 정도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 벤토나이트 매트재의 두께변화 측정결과에서도 염수 환경하의 벤토나이트 매트재의 두께팽창 성능은 크게 저하되는 것으로 나타나 담수용 벤토나이트 매트재가 염수환경하에 적용될 경우 차수 성능을 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

(2) 입자층의 증류수 및 염수 투과성능 및 입자의 부피 팽창성 평가결과 증류수에 비하여 염수의 경우 팽윤성 및 수분침투 저항성이 저하되는 경향을 보여, 염수환경에서 벤토나이트 매트재의 차수성능 및 팽윤성능에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

(3) 광학현미경 관찰 결과 증류수와 염수환경하에서 벤토나이트의 수화팽윤 정도 및 성상은 큰 차이를 나타내기 때문에 담수용 벤토나이트 매트재의 사용환경에 대한 고려가 요구되며 구조물이 건설되는 지역의 지하수 환경을 반드시 조사한 후에 사용 유무가 결정되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Davidt E. Daniel & Johon J. Bowders. Waste containment systems by geosynthetics, 株式会社 豊順洋行, 1990, pp.17~19
2. 長田雅夫. 地下防水における要求性能と防水技術, 地下外防水工法關聯資料, 東京工業大學建築物理研究センター, 1999. pp.14~24
3. Michael T. Kubal. Waterproofing ; the building envelope, Macgraw-Hill, 1993, pp.30
4. 문희수. 점토광물학, 민음사, 1996, pp.503~509, 577~582
5. 서울산업대학교 건설기술연구소·인천국제공항공사(1997). 지하외방수공법의 성능분석 검토, 1997
6. ASTM Committe. Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter. 04(08), 1990
7. 한국표준협회. 수팽창성 벤토나이트 방수시트. (Waterproofing sheet with expandable bentonite), 1998