

개량형 벤토나이트 매트 방수재의 염수 영향에 관한 연구

A Study on Development Type Bentonite Mate Waterproofing Materials under the Influence of Salt Water

○ 김 용 복* 김 수 련** 곽 규 성*** 오 상 근****
 Kim, Yung-Buok Kim, Su-Ryon Kwak, Kyu-Sung Oh, Sang-Keun

Abstract

A general bentonite mate waterproofing material applied salt pollution without particular way(it is a land reclaimed from a sea(or near by sea). Analysis showed that it(general bentonite mate) has a little resistant salt pollution and a little watertightness.

There are a lot of problem before completed structure because of salt pollution. So that, they have to a sum of money to repair works. Also, to repaired a part leak water again and again. because it doesn't match for salt pollution.

So, I am going to study about a bentonite mate waterproofing material in salt pollution and it will be within the range of possibility to underground structure under the salt pollution.

Also, I suggest waterproofing method in salt pollution about workability, stability, economy and etc.

키 워 드 : 개량형 벤토나이트 매트 방수재, 염해환경, 염수, 염수저항성, 수밀안정성.

Keywords : development type bentonite mate waterproofing material, salt pollution, salt water, resist salt water, watertightness stability.

1. 서 론

지하구조물을 해안 매립지나, 바닷가에 근접해서 건설 할 경우 누수의 문제는 곧 염수의 침입을 의미하고, 이러한 염수는 지하구조물 변화(열화)의 매개체 역할을 한다. 즉, 수산화칼슘의 용출로 인한 공극 발생과 강도 저하, 철근 부식, 염소 이온의 이동 등은 수분 또는 물의 접촉에서 시작된다. 특히 염수는 콘크리트의 중성화 및 철근 부식을 급격히 진행시켜 구조물의 내구성을 저하시키는 원인으로 작용된다. 이러한 콘크리트 염해 및 철근 부식은 철근 콘크리트의 내구성 및 안전성에 직접적 영향을 끼치므로 이에 대비한 적절한 방수시스템의 선정이 요구되고 있는 실정이다.

벤토나이트 매트 방수재는 크게 담수용과 염수용(개량형)으로 구분 할 수 있다. 지금까지 해안 매립지나, 바닷가 등에서 염수의 영향을 받는 지하 구조물에 일반 벤토나이트 방수재를 사용함으로써, 방수 효과가 크게 감소하는 문제가 발생되고 있다.

이에 본 연구에서는 지하 구조물에 있어서 개량형 벤토나이트 매트 방수재를 해안 지역에서 사용할 때 염해 환경하의 지하구조물에서의 방수성능을 평가한다.

2. 벤토나이트 매트 방수재의 일반적 특성

2.1 벤토나이트의 정의

벤토나이트는 나트륨(Na계), 칼슘(Ca계), 나트륨 교환($\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}$)계로 크게 3가지로 구분된다. 방수재로는 나트륨계가 사용되며, 미국에서 양질의 나트륨계가 생산되기 때문에 세계적으로 수출하고 있다. 일본에서는 군마현(群馬縣)에서 탄산나트륨(Na_2CO_3) 계열의 벤토나이트가 많이 생산되고 이것을 화학 처리하여 Na계 벤토나이트로 만들어 사용하고 있다. 우리나라에서도 포항 근처에서 칼슘(Ca)계 벤토나이트가 생산되고 있다.

2.2 벤토나이트의 구조

벤토나이트는 일반적으로 고체 상태인 흙 입자, 액체상태인 물 및 기체상태인 공기로부터 이루어지는 삼상구조(三相構造)이다. 따라서 벤토나이트는 그림 1과 같이 여러 가지 크기의 흙 입자가 집합하여 흙의 골격을 형성하며, 흙 입자간의 틈 즉, 간극부분에는 물이나 공기가 들어 있다.

몬모릴로나이트가 90%이상 포함된 점토질 흙은 그 함수량에 따라 물리적 성질이 현저히 다르게 나타난다. 물이 너무 많으면 흙 입자는 수중에 현탁된 액체상태가 된다. 함수량이 감소함에 따라 끈끈한 상태로 되어 소성을 나타내며 건조과정에서 진행된다면 반고체에서 고체로 된다.

* 정희원, 경동산업(주) 공무부 부장

** 정희원, 서울산업대학교 비엔케이방수기술연구소 연구원

*** 정희원, 서울산업대학교 비엔케이방수기술연구소 소장

**** 정희원, 서울산업대학교 건설대학 건축학부 교수, 공학박사

표 3. 벤토나이트 매트 치수 규격

구 분	벤토나이트 매트	비 고
두께(mm)	최소 5+ 1이상	
길이(m)	5 이상	사용자의 요구조건에 따름
폭(m)	1.2 이상	
시험방법	KS K 0520, KS K 0514-91	

표 4. 벤토나이트 매트 품질기준

시험종목	단 위	시험기준	시험방법
함 유 량	kg/m ³	4.30 이상	KS K 0514
부피팽창율	%	300 이상	KS K 0764 ASTM D5890
낙구충격시험 (200g 강구 0.5m이상)	-	이상이 없어야함	KS M 3736
투수계수	cm/sec	1.0~9.9× 10 ⁻⁹	ASTM D5084
점결도 시험	-	염수(NaCl 2%) 침적시 분해 되지 않을 것	시험자 제공

4.2 팽윤도 시험

1) 시험 내용

벤토나이트 팽윤도 시험은 분말상태로 담수와 현장수에서 각각 시험하였으며 담수는 증류수를 사용하였고 현장수는 현장 지반조사 결과를 토대로 상한치인 염분 농도 2%를 시료수를 제작하여 사용하였다.

2) 시험 방법

과립상태의 벤토나이트를 105℃에서 24시간 완전 건조시킨 후 데시케이트에서 항량시킨 다음 분말로 만든다. 그 후 NO.200체를 통과한 미분말 2g을 칭량한다. 100ml 매스실린더에 사진 1와 같이 증류수 및 현장수 50ml를 부은 다음 벤토나이트 미분말을 20분간격으로 0.2g씩 10회에 걸쳐 넣어 매스실린더 면에 묻지 않도록 하여 벤토나이트가 물과 충분히 반응할 때까지 놓아둔다. 또한 시험이 완전히 종료될 때까지는 작은 진동이나 충격이 가해지지 않는 곳에서 보관 하였다.

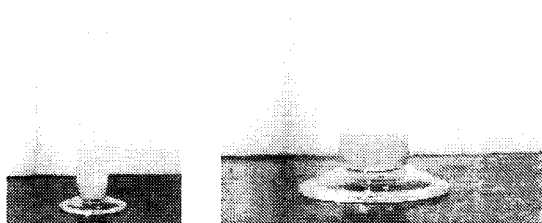


사진 1. 팽윤도 시험 장면

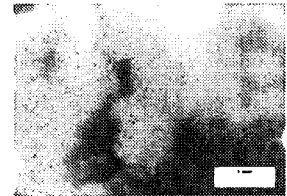
3) 현미경 사진

벤토나이트 매트 방수재를 현미경으로 관찰한 결과 담수 및 현장수에서 팽창전 시료의 반응을 사진 2와 같이 보여주

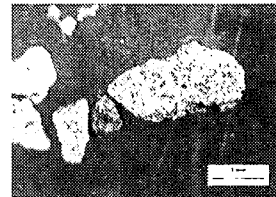
고 있다. 사진 3은 반 팽창후 시료의 담수 및 현장수에서의 반응을 확대한 장면이고, 사진 4는 벤토셀의 담수 및 현장수에서의 반응을 보여주고 있다.



(a) 담수와 반응 전



(b) 담수와 반응 5분후



(c) 현장수와 반응전



(d) 현장수와 반응 5분후

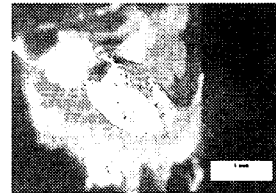
사진 2. 팽창 전 시료의 담수와 현장수 반응



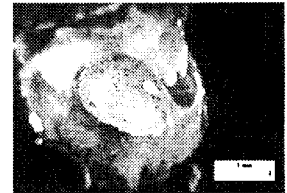
(a) 담수와 반응 전



(b) 담수와 반응 5분후



(c) 현장수와 반응 전



(d) 현장수와 반응 5분후

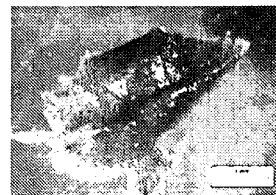
사진 3. 반 팽창 후 시료의 담수와 현장수 반응



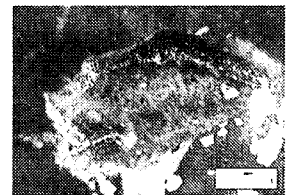
(a) 담수와 반응 전



(b) 담수와 반응 5분후



(c) 현장수와 반응 전



(d) 현장수와 반응 5분후

사진 4. 벤토셀 시료의 담수와 현장수 반응

4) 시험 결과

벤토나이트 매트 방수재의 팽윤도 시험결과 일반 벤토나이트

트의 경우 표 5와 그림 3과 같이 증류수는 30ml(1,500%)이고, 현장수는 7ml(350%)로 나타났고, 개량형 벤토나이트의 경우 증류수 33ml(2,200%)이고, 현장수의 경우 13ml(866%)로 개량형 벤토나이트가 일반 벤토나이트 매트 방수재보다 팽윤도가 다소 높은 것으로 나타났다.

표 5. 일반 벤토나이트 와 개량형 벤토나이트의 팽윤도 시험결과

구 분	시료. 1		시료. 2	
시험결과 (ml)	증류수	30(15.0)	증류수	25(1666%)
			현장수	10(733%)
			증류수	22(1466%)
	현장수	7(3.5)	현장수	9(600%)
			증류수	33(2200%)
			현장수	13(866%)

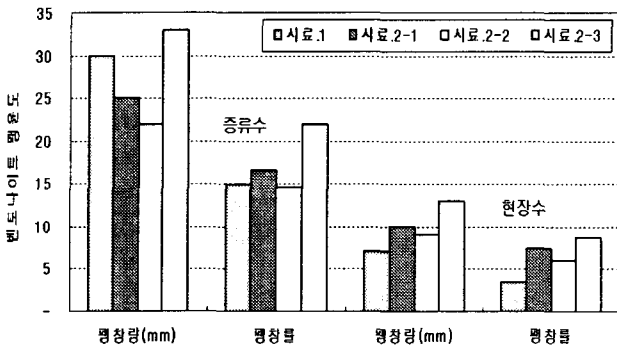


그림 3. 일반 벤토나이트 매트의 팽창 전·후 두께 변화

벤토나이트 매트 방수재를 각각 증류수와 현장수에 넣어 팽창시킨 후 그 두께를 측정하였다. 벤토나이트 매트의 팽창 전·후 두께 변화 시험결과 표 6, 그림 4와 같이 일반 벤토나이트 매트 방수재의 팽창량은 현장수의 경우, 침적 전 7.21mm, 침적 후 7.80mm로 팽창량은 0.59mm로 나타났고, 이에 다른 팽창률은 108%로 측정되었다. 개량형 벤토나이트 매트 방수재의 팽창량은 표 7, 그림 5와 같이 침적 전 8.74mm, 침적 후 12.42mm로 팽창량은 3.5mm로 나타났고, 이에 따른 팽창률은 140%로 측정되었다.

표 6. 일반 벤토나이트 매트의 팽창 전·후 두께 변화

시료 채취 구조물	원시료(mm)			현장 채취시료(mm)		
	팽창 전	팽창 후		채취시	담수 침적	현장수 침적
		담수 침적	현장수 침적			
시료.1	7.21 (100%)	13.51 (187%)	7.80 (108%)	9.00 (125%)	12.9 (179%)	10.12 (142%)

※ ()의 팽창률은 원시료의 두께에 대한 팽창된 시료의 두께 백분율(%)임

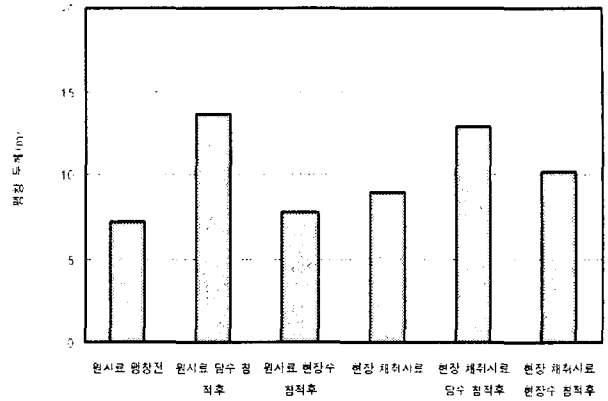


그림 4. 일반 벤토나이트 매트의 팽창 전·후 두께 변화

표 7. 개량형 벤토나이트 매트의 팽창 전·후 두께 변화 (단위:mm)

구 분		측정				평균	팽창량	팽창률	비 고
		1회	2회	3회	4회				
담 수	침적전	8.95	7.89	8.97	8.88	8.91	3.51	139%	음용수
	침적후	12.60	12.52	12.38	12.38	12.42			
현장수	침적전	8.93	8.55	8.31	9.13	8.74	3.5	140%	염분
	침적후	12.21	12.22	12.26	12.29	12.24			

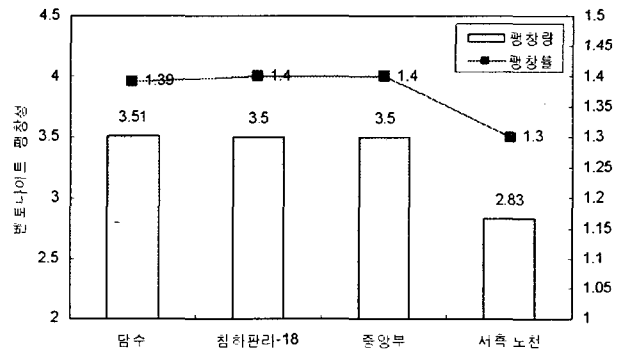


그림 5. 개량형 벤토나이트 매트의 팽창 전·후 두께 변화

4.3 투수계수 시험

1) 시험 내용

현재의 수압저항성과 투수계수를 분석한 결과를 통하여 향후 지하구조체에 미치는 수압조건에 의한 벤토나이트 방수재의 방수성능(차수성능)을 추측할 수 있다.

2) 시험 방법

벤토나이트 매트의 투수계수 측정은 ASTM D5084에 의거하여 행하였다. 투수계수의 계산은 투수시험을 행한 후 얻어진 투수량, 시험체의 조건, 수압 등의 결과로부터 달시(Darcy)의 투수계수식을 이용하였다.

벤토나이트 매트의 투수계수 측정은 원재료에 대하여 실시하였으며, 시험수로는 현장수(2%)를 사용하였다.

3) 시험 결과

벤토나이트 매트 방수재의 투수계수 시험결과는 일반 벤토

나이트 방수재의 투수계수는 표 8과 같이 현장수에서 각각 4.24×10^{-7} , 2.55×10^{-8} , 2.47×10^{-8} 로 측정되었고, 개량형 벤토나이트 방수재의 경우는 표 9와 같이 2.7×10^{-9} , 2.8×10^{-9} 로 측정되었다.

표 8. 일반 벤토나이트 방수재의 투수계수 시험 결과

구분	투수계수(cm/sec)		비고
	담수	현장수	
시료.1	시료.1-1	1.5×10^{-9}	현장수 (2%)
	시료.1-2	8.78×10^{-9}	
	시료.1-3	1.66×10^{-9}	

표 9. 개량형 벤토나이트 방수재의 투수계수 시험 결과

구분	투수계수(cm/sec)		비고
	현장수		
시료.2	A 사	2.7×10^{-9}	현장수 (2%)
	B 사	2.8×10^{-9}	
	C 사	-	

4.4 점결도 시험

1) 시험 내용

벤토나이트는 염분과 접촉시 점성(Gel)을 상실하고 상호 분리되어 투수성을 잃게 된다. 따라서 염분환경 하에서 방수성을 유지하기 위해서는 적절한 점성을 유지해야 하는 것이다.

2) 시험 방법

본 시험에서 현장수는 염분농도 2%의 시료수로 대체 하였으며, 용기 바닥에 투명 필름(1mm단위로 그리드를 형성시킨 필름)을 깔고 벤토나이트 시험체를 올려놓고 그 상태를 10분 단위로 1시간 까지 관찰하여 기록하고, 12시간 후 중간상태, 24시간 후 최종상태를 관찰하여 기록 한다.

표 10. 점결도 시험 결과

구분	초기 상태	30분 경과	3시간 경과
일반용 시험체			
개량형 시험체			

시험체 제작은 반 평창상태의 매트에서 채취된 벤토나이트 반죽을 $10 \times 10 \times 10$ mm 크기로 압착하여 성형한다.

3) 시험 결과

점결도 시험 결과는 표 10과 같이 일반 벤토나이트 방수재

와 개량형 벤토나이트 방수재의 시험체를 비교 분석한 결과 일반 벤토나이트는 시간이 경과함에 따라 시험체의 형태가 거의 사라져 버리고, 이에 반하여 개량형 벤토나이트는 일반 벤토나이트에 비하여 경화속도가 느린 것으로 판단된다.

5. 결 론

지하 구조물이 해안 매립지나, 바다에 근접해 있는 경우, 기존에 사용 되어 지는 일반 벤토나이트 매트 방수재를 사용함에 있어 염해 환경의 염수(해수)의 침입에 대한 누수문제가 발생한다. 그 원인을 분석한 결과 일반 벤토나이트 매트 방수재는 염수 저항성이 낮고, 이음부 수밀 안정성이 낮은 것으로 판단된다. 이로 인하여 발생하는 많은 누수 문제점에 대한 구조물의 보수공사(특히 누수균열 보수)를 함으로서 비용 지출이 심각하게 대두 되고 있다.

또한 보수 부위에 있어서도 반복적인 누수발생으로 그 효과가 지속되지 못하는 사례가 많이 발생한다. 이는 방수 및 누수 보수 공사가 구조물의 환경조건, 사용조건에 적절히 시행되지 못한 이유 때문으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 개량형(염수용) 벤토나이트 매트 방수재의 시공성 평가를 통하여 염해 환경하의 지하 구조물의 적용가능성을 살펴보고, 시공성 및 후속 공정작업에 대한 안정성, 경제성 등을 감안하여 개량형 벤토나이트 매트 방수공법의 적용성을 평가하였다.

참 고 문 헌

- 오상근(2002.11), 콘크리트 구조물의 누수와 대처 방안에 대한 견해, 한국콘크리트학회지 제 14권 6호)
- 장혁수, 오상근(1999.4), 콘크리트 구조물의 방수 및 누수 보수 기술의 새로운 접근한국구조물 진단학회 제3권 제2호
- 건축물 방수결함과 대책, 시공문화사, 1996.
- 임재중, 배문옥(2001), 지하콘크리트 구조물 외부 방수공법의 기술성 및 경제성에 관한 연구한국콘크리트학회논문집 제 13권 1호
- 건축품질시험 실무지침, 공간예술사, 1998
- 신도철, 손형호, 김영웅(2002.3), 염해환경 하에서의 콘크리트 내구성 증진에 대한 고찰한국콘크리트학회지제14권2호
- 건축공사 실무자료집 9권 방수공사, 정학사, 2000.
- Waterproofing-the Building Envelope-(Michael T Kubal, McGraw Hill, 1993)
- Waterproofing Concrete Foundations(The Aberdeen Group, 1999)
- 建築工事標準仕様書 同解説 JASS 8 防水工事 (日本建築學會, 2002)
- 地下防水の決め手-地下防水の設計と施工-(建築技術, (株)建築技術, 1992. 9)
- 東京の地下技術-特殊な地下を掘る-(かんき出版, 2002. 3)
- 地下水處理孔の事例(鈴木晋彦, 東洋書店, 1994. 7)
- 建築デザインの雨 仕舞と防水, 建築技術, 1992.4