

오염지역 차폐용 슬러리월 재료와 침출수의 반응 특성

The Compatibility of Slurry Wall Materials with Leachate
for Cut-off of Contaminated Sites

이 용 수*1
Lee, Yong -Soo
정 하 익*2
Jeong, Ha -Ik

Abstract

Cut-off methods of controlling leachate migration from waste landfills and contaminated sites are studied. Permeability and chemical compatibility tests are performed on slurry wall materials including soil-bentonite, cement-bentonite, cement / fly ash-bentonite, plastic concrete. Hydraulic conductivity of soil-bentonite mixture is the lowest of these four backfill materials. The leachate from municipal solid waste has little influence on the permeability of the backfill materials. The bentonite slurry becomes flocculated and aggregated when exposed to the leachate. The results of the permeability test showed that the hydraulic conductivities of the backfill materials are in the order : soil-bentonite(K_{sb}), plastic concrete(K_{pc}), cement-bentonite(K_{cb}). And the result of the compatibility test showed increase in permeability due to the effects of leachate. Thus, in designing the slurry wall it is essential to check the behaviour of the bentonite slurry and backfill materials on the compatibility with the contaminants.

요 지

본 논문은 오염지역 또는 폐기물 매립지의 오염 차단용으로 사용될 수 있는 연직차폐기술을 연구하였다. 이를 위하여 슬러리월 재료에 대한 투수 및 화학반응실험을 통하여 적절한 배합비를 갖은 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 시멘트/플라이애쉬-벤토나이트, 플라스틱 콘크리트 혼합재료를 제시하였다.

벤토나이트 슬러리의 침출수 반응성 실험결과, 화학물질의 영향에 의하여 벤토나이트 슬러리가 국부적으로 응집이 이루어지고, 슬러리 현탁액이 제대로 형성되지 않는 현상이 발생하였다. 뒤채움재의 투수시험 결과, 시멘트-벤토나이트, 플라스틱 콘크리트, 흙-벤토나이트 순으로 투수계수가 작게 나타났으며, 침출수와의 반응실험결과, 투수성은 약간 증가하는 것으로 나타났으나

*1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원

*2 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원

큰 영향은 없는 것으로 나타났다.

따라서, 오염 지역 차폐에 슬러리월 공법을 적용할 경우, 반드시 슬러리 및 뒤채움 재료와 오염물질의 반응성 분석을 실시하여 적정의 재료를 선정하는 것이 필요하다.

Keywords : Containment, Leachate, Compatibility, Slurry wall, Backfill material

1. 서론

최근 국내에서도 지반의 오염 사례가 급증하고 있으며, 이러한 오염지역을 차폐하려는 시도가 점차 증가되고 있으나 국내에서는 이와관련한 기술 및 연구가 미흡한 상태이다. 오염지역의 차폐재 개발과 차폐재 및 화학 물질간의 반응성에 대한 연구중 슬러리월에 관한 연구로 Uchiyama(1994)는 매립장 현장에서 벤토나이트 슬러리 벽체의 현장 시험을 실시하여 투수 및 강도특성을 연구하였으며, Evans(1995)는 오염지역의 정화 및 차폐 기술로 슬러리 벽체의 적용성을 연구하였다. 국내에서는 슬러리월을 이용한 오염지역의 차폐기술로 시도하고 있으나 이에 대한 기초적인 연구가 미흡한 상태이다. 오염지역 차폐용으로 쓰이는 차폐재는 오염물질이 외부로 유출되는 것을 방지하기 위해 소정의 투수계수($1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$, 미국 EPA) 이하를 요구하고 있다. 또한 차폐재는 물과 접촉함과 동시에 오염물질과 접촉하므로 차폐재의 장기적 안정성을 유지하는 것이 필요하다.

따라서, 본 연구는 지반내 오염수 차단 목적으로 사용될 수 있는 슬러리 차폐재에 대하여 침출수의 반응성을 분석하였으며, 슬러리월 재료의 기본특성, 침강특성, 균열특성, 투수특성 등을 분석하여 오염지역의 차폐에 적합한 슬러리월 재료를 제시하고자 한다.

2. 시험재료 및 방법

2.1 시험재료

본 시험에 사용된 재료는 표 1에서와 같이 벽체 굴착시 안정액으로 쓰이는 벤토나이트 슬러리 1종류와 벽체 굴착후 뒤채움재로 쓰일 수 있는 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 시멘트/플라이애쉬-벤토나이트 및 플라스틱 콘크리트 등 4종류를 선정하였다.

슬러리월의 안정액으로 사용되는 벤토나이트 슬러리는 벤토나이트 함량을 5%로 고정시킨 다음, 증류수와 침출수의 혼합비를 증류수 100%, 증류수 70%와 침출수 30%, 증류수

표 1. 시험에 사용된 슬러리월 재료의 종류와 혼합비율

(중량비)

시료명	벤토나이트 슬러리	흙- 벤토나이트	시멘트- 벤토나이트	시멘트/플라이애쉬 -벤토나이트	플라스틱 콘크리트
벤토나이트 함량	5	5 2 8 2 2	5 3 7 5 5	5 3 3 3 3	5 3 3 3 3
함수비(또는 침출수 함량비)	95	30 30 30 25 35	75 77 73 80 70	75 62 72 67 57	20 22 25 19 16
시멘트량		-	20 20 20 15 25	10 25 15 10 10	5 5 2 8 11
화강토량		65 68 68 73 63	-	-	-
플라이애쉬량		-	-	10 10 10 20 30	-
세립 자갈량		-	-	-	40 40 40 40 40
조립 자갈량		-	-	-	30 30 30 30 30
시멘트/물(또는 침출수)		-	26.7 26.0 27.4 18.8 35.7	13.3 40.3 20.8 14.9 17.5	25.0 25.0 8.0 42.1 68.8
벤토나이트/물(또는 침출수)	0.05	16.7 6.7 26.7 8.0 5.7	6.7 3.9 9.6 6.3 7.1	6.7 4.8 4.2 4.5 5.3	25.0 13.6 12.0 15.8 18.8

표 2. 시험시료의 기본특성

물리적성질 시료	입도분포						비중
	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	Cu	Cg	No. 200통과량(%)	
화강토	0.130	0.610	1.700	13.08	1.68	5.27	2.54
시멘트	0.120	0.180	0.080	8.00	0.41	75.1	3.15
플라이애쉬	0.024	0.037	0.053	2.20	0.12	80.0	2.14
벤토나이트	0.008	0.018	0.038	4.75	0.07	93.9	1.70

표 3. 침출수의 특성

항목	수치	단위
단위중량	1.1	g/cm ³
pH	8.44	-
COD _{mn}	336	ppm
BGD	260	ppm
SS	5	ppm
TS	4,422	ppm

동에서 채취한 시료를 사용하였다. 이와 같은 사용 시료의 입도 분포는 그림 1에 나타내었고, 기본특성은 표 2와 같다.

슬러리월 차폐재료와 화학 물질과의 반응성 검토를 위하여 침출수를 사용하였으며 사용한 침출수는 대표적인 불량매립지 차폐 계획이 진행되고 있는 난지도 매립장에서 채취한 침출수로 하였다. 채취한 침출수에 대한 화학분석 결과, 침출수 특성은 표 3과 같다.

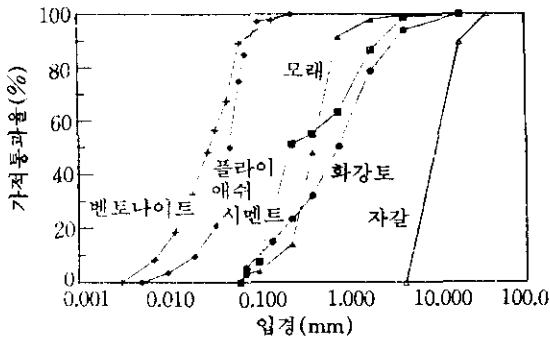


그림 1. 입도분포곡선

40%와 침출수 60%, 침출수 100%의 4가지 조건으로 하였다. 슬러리월 뒤채움 재료인 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 시멘트/플라이애쉬-벤토나이트와 플라스틱 콘크리트 4종류는 벤토나이트, 시멘트, 물 등의 함량에 따라 각각 5가지 조건으로 하였다.

시험에 사용된 벤토나이트는 국내에서 생산되는 제품으로 나트륨계 벤토나이트를 사용하였으며, 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 플라이애쉬는 삼천포 플라이애쉬를 선택하였으며, 화강토는 인천광역시 남구 만수

2.2 시험 방법

벤토나이트 슬러리 안정액에 대해서는 침강, 비중, 점성, 균열시험과 침출수와 반응성 시험 등을 실시하였다. 벤토나이트 슬러리 안정액의 반응성 시험은 표준화된 방법이 없으므로 실내 및 현장에서 적용하고 있는 품질관리 시험방법 및 절차 등을 고려하여 공통적으로 적용되는 시험방법으로 실시하였다. 벤토나이트 슬러리 특성 시험에 사용된 슬러리는 건조된 벤토나이트에 증류수 및 침출수를 약 10분동안 고속으로 회전시킨 후 약 24시간 정도 충분히 수화시킨 시료로 하였다.

뒤채움재에 대해서는 투수시험과 침출수와 반응성 시험을 실시하였다. 투수시험은 KS F 2322의 변수의 투수시험방식으로 시험에 사용된 몰드는 직경 10cm, 높이 20cm인 강성벽 투수 시험기를 사용하였고, 재령 7일과 28일에 대하여 증류수와 침출수를 포화시킨 다음 투수계수를 측정하였다.

3. 시험 결과 및 분석

3.1 벤토나이트 슬러리의 반응 특성

벤토나이트 슬러리에 염분이나 화학물질이 혼합되면 화학물질과 화학반응에 의해 슬러리가 제대로 형성되지 않는다. 본 연구는 벤토나이트 슬러리의 혼합수로 증류수와 침출수를 사용하였으며, 이들의 혼합에 따른 슬러리의 비중, 점성, 균열특성 및 침강특성을 살펴보았다.

3.1.1 비중 및 점성특성

벤토나이트 슬러리의 기본특성인 비중 및 점성 특성을 침출수 함량에 따라 살펴보면 표 4에 나타난 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 침출수의 함량이 증가할수록 벤토나이트 슬러리의 비중이 약간 증가하는 것으로 나타났다. 이는 증류수에 비하여 침출수의 단위중량이 약간 크기 때문으로 보인다.

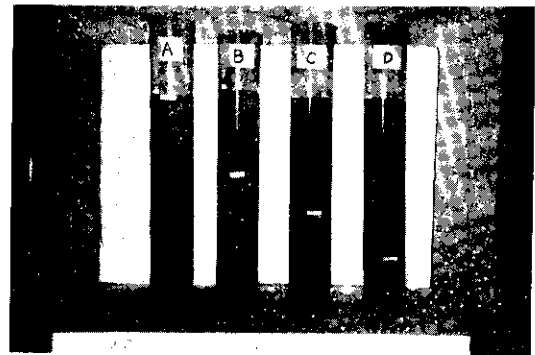
한편, 점성변화를 살펴보면 침출수의 함량이 증가할수록 점성은 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 벤토나이트 슬러리내에 침출수의 화학성분이 유입됨에 따라 벤토나이트의 점착력이 감소되었기 때문으로 보인다.

벤토나이트 슬러리에 대한 침출수와의 반응성 시험결과, 일반 폐기물 매립장에서 발생하는 침출수에 의하여 벤토나이트 슬러리의 비중 및 점성 특성은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 그리고 본 시험결과를 표 4에 제시된 슬러리의 일반 품질기준치와 비교하여 보면 품질기준치안에 대부분 포함되는 것을 알 수 있다.

3.1.2 침강특성

벤토나이트 슬러리의 침강시험은 비중계법을 이용하여 그림 2와 같이 실시하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 증류수를 사용했을 경우에는 슬러리가 제대로 형성이 되어 부유상태를 유지하나 침출수가 함유된 경우에는 벤토나이트가 국부적으로 응집이 이루어져, 현탁액이 제대로 형성되지 않고 침강현상이 발생함을 알 수 있다.

침강시험 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 침강깊이는 침출수 함량이 증가함에 따라 커지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 벤토나이트 슬러리가 침출수의 영향에 의하여 벤토나이트 슬러리가 응집되고 점토구조가 면모구조로 변화되었기 때문으로 보인다.



(a) 증류수 100% (b) 침출수 30%
(c) 침출수 60% (d) 침출수 100%

그림 2. 벤토나이트 슬러리의 침강현상

표 4. 벤토나이트 슬러리와 침출수의 반응시험 결과

벤토나이트 슬러리 종류	비중	점성(sec)	참 조
증류수 100%	1.024	35.33	증류수 : pH 5.24 단위중량 1.0g/cm ³ 침출수 : pH8.44. 단위중량 : 1.1g/cm ³
침출수 30%	1.028	28.67	
침출수 60%	1.030	26.67	
침출수 100%	1.037	27.00	
일반 품질 기준	굴착시 1.04~2.1 주입전 1.04~1.1	25~35	

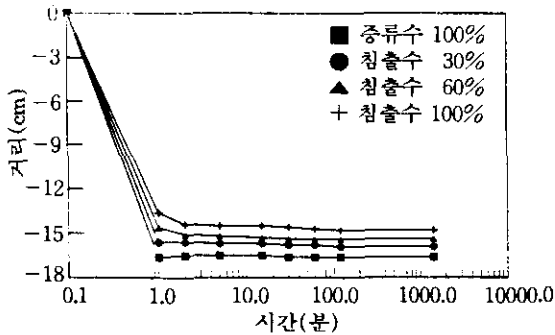


그림 3. 벤토나이트 슬러리의 침강시험 결과

3.1.3 균열특성

균열시험은 벤토나이트 슬러리 시료를 실내의 자연상태에서 공기 건조 시킨후 건조된 시료내에 발생하는 균열상태를 조사한 것으로 본 연구에서는 실내온도가 27℃~28℃, 건조기간 72시간인 조건으로 하였다. 그림 4는 균열시험 결과를 나타내었는데, 그림에서 보는 바와같이 침출수의 농도가 클수록 시료 표면에 균열이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 화학성분이 많이 포함될수록 벤토나이트 슬러리의 기능이 약화됨을 알 수 있다.

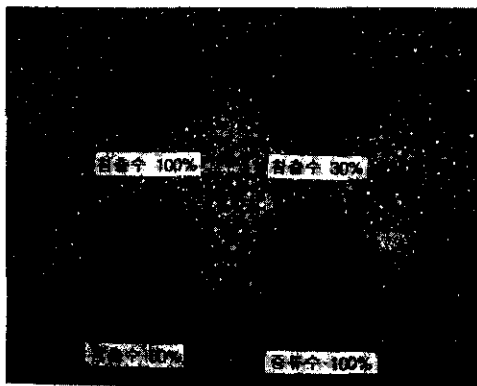


그림 4. 균열시험 결과

3.2 뒤채움 재료의 반응특성

슬러리월의 뒤채움 재료는 매립지내의 침출

수가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위한 역할을 하므로 투수특성은 차폐재의 성질 중에서 가장 중요한 요소가 된다. 각 슬러리월 뒤채움 재료에 대한 투수시험결과를 표 5에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 투수계수는 흙-벤토나이트, 플라스틱-콘크리트, 시멘트-벤토나이트 순으로 크게 나타나 투수성에 있어서는 흙-벤토나이트가 가장 작게 나타남을 알 수 있다. 그리고 재령기간에 따른 투수특성을 살펴보면, 재령 28일의 투수계수가 재령 7일 경과보다 작게 나타나 시간이 경과함에 따라 투수계수가 점차 감소함을 알 수 있다. 침출수와와의 반응특성을 살펴보면 차폐재와 침출수의 접촉에 의하여 투수계수가 증가하는 것으로 나타났다.

흙-벤토나이트 뒤채움재의 벤토나이트 변화에 따른 투수특성을 살펴보면, 함수비를 30%로 일정하게 하고 벤토나이트량을 2, 5, 8%로 변화시켰을 때 그림 5에 제시된 바와 같이 벤토나이트량의 증가에 따라 투수계수는 감소하였으며, 재령 7일보다는 재령 28일 경우, 투수계수의 감소 경향이 크게 나타났다. 여기에서 투수계수가 감소하는 것은 벤토나이트가 물을 흡수함에 따라 체적이 팽창하여 혼합재료의 간극을 채웠으며, 체적 팽창률이 시간경과에 따라 증가하였기 때문이다. 침출수와와의 반응에 의한 투수특성을 살펴보면, 침출수 통과와 경우가 증류수 통과와 경우보다 투수계수가 약간 증가하는 것으로 나타났다.

시멘트-벤토나이트 뒤채움재에 대하여 시멘트량과 벤토나이트량의 변화에 따른 투수특성을 살펴보았다. 벤토나이트를 5%로 일정하게 하고 시멘트량을 15, 20, 25%로 변화시켰을 때 그림 6에 제시된 바와 같이 시멘트량의 증가에 따라 투수계수는 감소하였다. 벤토나이트량 변화에 따른 투수특성은 그림 7에서 보는 바와같이 시멘트를 20%로 일정하게 하고 벤토나이트량을 3, 5, 7%로 변화시켰을 때, 벤토나이트량이 증가할수록 투수계수는 감소하였다. 그리고 시간경과에 따른 투수계수는 재령 7일보다 재령 28일의 투수계수가 작게 나타났으므로, 재

표 5. 슬러리월 뒤채움재의 투수시험결과

(단위 : cm/sec)

뒤채움재의 종류	7일		28일	
	증류수	침출수	증류수	침출수
화강토+벤토나이트+물 73 : 2 : 25 68 : 2 : 30 63 : 2 : 35 65 : 5 : 30 62 : 8 : 30	5.90×10^{-5}	7.16×10^{-6}	3.07×10^{-6}	3.37×10^{-6}
	9.06×10^{-6}	9.83×10^{-6}	5.06×10^{-6}	5.60×10^{-6}
	7.42×10^{-6}	1.13×10^{-5}	4.82×10^{-6}	4.27×10^{-6}
	7.83×10^{-6}	9.53×10^{-6}	4.85×10^{-6}	4.41×10^{-6}
	6.98×10^{-6}	9.48×10^{-6}	1.72×10^{-7}	3.23×10^{-7}
시멘트+벤토나이트+물 20 : 3 : 77 15 : 5 : 80 20 : 5 : 75 25 : 5 : 70 20 : 7 : 73	1.85×10^{-5}	2.13×10^{-5}	7.29×10^{-6}	5.66×10^{-6}
	3.21×10^{-5}	4.89×10^{-5}	1.05×10^{-5}	8.11×10^{-6}
	1.42×10^{-5}	2.09×10^{-5}	7.12×10^{-6}	5.02×10^{-6}
	8.34×10^{-6}	9.44×10^{-6}	4.51×10^{-6}	4.57×10^{-6}
	1.39×10^{-5}	1.83×10^{-5}	6.69×10^{-6}	4.54×10^{-6}
시멘트+플라이애쉬+벤토나이트+물 10 : 20 : 3 : 67 10 : 30 : 3 : 57 15 : 10 : 3 : 72 25 : 10 : 3 : 62 10 : 10 : 5 : 75	4.08×10^{-5}	3.36×10^{-6}	9.26×10^{-6}	9.60×10^{-6}
	1.43×10^{-5}	1.69×10^{-5}	7.60×10^{-6}	8.76×10^{-6}
	3.67×10^{-5}	5.63×10^{-5}	1.15×10^{-5}	9.61×10^{-6}
	1.08×10^{-5}	1.27×10^{-5}	5.44×10^{-6}	6.33×10^{-6}
	4.28×10^{-5}	5.87×10^{-5}	1.93×10^{-5}	1.78×10^{-5}
벤토나이트+자갈+모래+시멘트+물 3 : 40 : 30 : 2 : 25 3 : 40 : 30 : 5 : 22 3 : 40 : 30 : 8 : 19 3 : 40 : 30 : 11 : 16 5 : 40 : 30 : 5 : 20	1.82×10^{-5}	2.31×10^{-5}	4.49×10^{-6}	4.66×10^{-6}
	1.29×10^{-5}	1.72×10^{-5}	3.94×10^{-6}	4.10×10^{-6}
	8.69×10^{-6}	1.27×10^{-5}	2.86×10^{-6}	3.03×10^{-6}
	7.58×10^{-6}	9.95×10^{-6}	2.57×10^{-6}	2.93×10^{-6}
	-	-	2.68×10^{-7}	4.09×10^{-7}

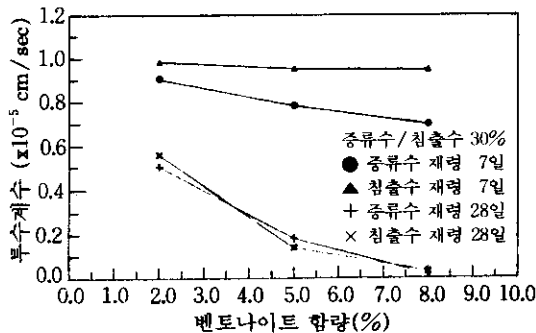


그림 5. 벤토나이트 함량에 따른 흙-벤토나이트 혼합재의 투수특성(함수비 30%)

령기간에 따라 투수성이 저하하는 것으로 나타났다. 또한 증류수와 침출수 통과에 따른 투수계수는 침출수 통과한 시료의 투수계수가 증류수보다 크게 나타났으므로, 이는 침출수와의 반응에 의하여 투수성이 증가하는 것으로 나타났다.

시멘트/플라이애쉬-벤토나이트 뒤채움의 경우, 시멘트량과 플라이애쉬량의 변화에 따른 투수특성을 살펴보았다. 먼저, 플라이애쉬량을 10%로 일정하게 하고 시멘트량을 10, 15, 25%로 변화시켰을 때, 그림 8과 같다. 이는 시멘트-벤토나이트 뒤채움재와 비슷한 경향으로 시멘트량이 증가할수록 투수계수는 감소하였다.

또한, 플라이애쉬량의 증가에 따른 투수특성

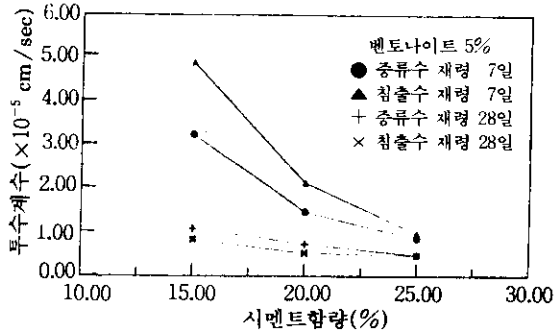


그림 6. 시멘트 함량에 따른 시멘트-벤토나이트 혼합재의 투수특성(벤토나이트 5%)

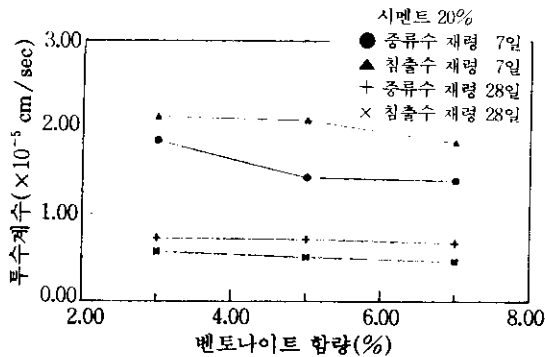


그림 7. 벤토나이트 함량에 따른 시멘트-벤토나이트 혼합재의 투수특성(시멘트 20%)

변화를 살펴보면 시멘트량을 10%로 일정하게 한 후, 플라이애쉬량을 10, 20, 30%로 변화시켰을 때, 그림 9에서 보는 바와같이 플라이애쉬량이 증가함에 따라 투수계수가 감소함을 알 수 있다. 그리고 시간경과에 대한 변화는 재령 7일보다 재령 28일의 투수계수가 작게 나타났다. 이는 투수성이 시간에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 또한, 중류수보다 침출수 통과에 투수계수가 증가하므로 침출수와 반응에 의하여 투수성이 약간 증가하는 것으로 나타났다.

플라스틱 콘크리트 뒤채움재의 투수특성을 살펴보면, 벤토나이트의 함량이 3%이고 시멘트량이 2, 5, 8, 11%일 때 그림 10에서 보는 바와같이 시멘트량이 증가함에 따라 투수계수가 감소함을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급된 재료와 마찬가지로 재령 7일보다 재령 28일의 투수계수가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 중류

수보다는 침출수가 통과한 시료의 투수계수가 증가하므로, 이는 침출수와 반응에 의하여 투수성이 약간 증가하는 것으로 나타났다.

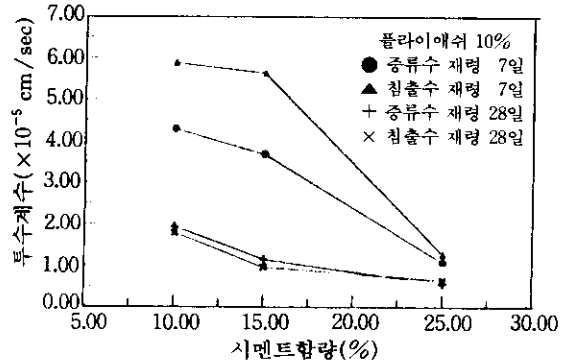


그림 8. 시멘트 함량에 따른 시멘트/플라이애쉬-벤토나이트 혼합재의 투수특성 (플라이애쉬 10%)

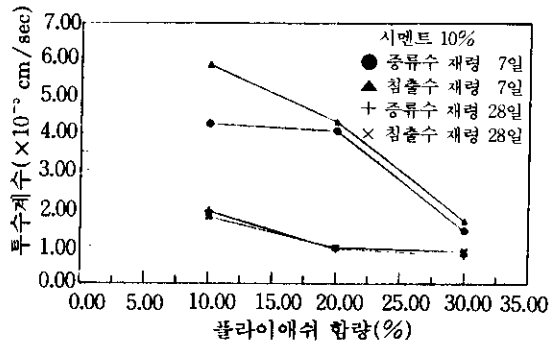


그림 9. 플라이애쉬 함량에 따른 시멘트/플라이애쉬-벤토나이트 혼합재의 투수특성(시멘트 10%)

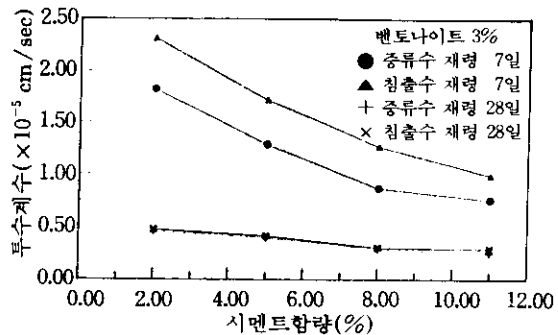


그림 10. 시멘트 함량에 따른 플라스틱 콘크리트 혼합재의 투수특성(벤토나이트 3%)

4. 결론

지반내 오염지역의 오염수 차단목적으로 사용될 수 있는 슬러리 차폐재에 대하여 침출수의 반응성 분석을 실시하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 슬러리월 굴착시 안정액으로 사용되는 벤토나이트 슬러리와 침출수의 반응성 시험결과, 화학물질의 영향에 의하여 벤토나이트 슬러리가 국부적으로 응집이 이루어지고 슬러리 현탁액이 제대로 형성되지 않는 현상이 발생하였다.
- (2) 슬러리월의 뒤채움재에 대한 투수시험을 통하여 적절한 배합비를 가진 흙-벤토나이트, 시멘트-벤토나이트, 시멘트/플라이애쉬-벤토나이트, 플라스틱-콘크리트 혼합재료를 제시하였으며, 투수성은 시멘트-벤토나이트, 플라스틱-콘크리트, 흙-벤토나이트 순으로 작게 나타났다.
- (3) 침출수와와의 반응특성을 살펴보면, 차폐재와 침출수의 접촉에 의하여 투수계수가 증가하는 것으로 나타났으나 그 차이가 10% 이내로, 슬러리 재료에 대한 침출수의 영향은 미소한 것으로 나타났다.
- (4) 오염지역 차폐에 슬러리월 공법을 적용할 경우, 반드시 벤토나이트 슬러리 및 뒤채움재에 대하여 오염물질과의 반응성 분석을 실시하여 적정의 재료를 선정하여야 한다.
- (5) 토목공사에서 토류벽 및 지하수 침투방지에 주로 사용되어 왔던 슬러리월 공법의 슬러리월 재료가 오염지역의 차폐에도 적용될 수 있는 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 정하익, 이용수, 우제윤(1995), 오염지반 및 지하수 정화기술에 관한 연구, 연구보고서, KICT/94-GE-1101-2, 한국건설기술연구원, pp.99~122

2. 정하익, 이용수, 심한인, 우제윤(1995), "불량폐립지 차폐방안 및 침출수의 반응성에 관한 연구," '95 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, 서울, pp.191~198
3. Evans, J. C., and M. J. Costa(1995), "The State-of-Stress in Soil-Bentonite Slurry Trench Cutoff Walls," *Geoenvironmental 2000: Characterization, Containment, Remediation, and Performance in Environmental Geotechnics*, Geotechnical Special Publication, No. 46, ASCE, pp.1173~1191.
4. Zamojski, L. D., S. W. Perkins, and D. Reinkecht, "Design and Construction Evaluation of a Slurry Wall at FLR Landfill Superfund Site," *Geoenvironmental 2000: Characterization, Containment, Remediation, and Performance in Environmental Geotechnics*, Geotechnical Special Publication No. 46, ASCE, pp.1192~1206.
5. Daniel, D. E.(1993), *Geotechnical Practice for Waste Disposal*, Chapman & Hall.
6. Uchiyama, N. and Horiuchi, S.(1994), "In-Situ Utilization of Waste Bentonite Slurry," *Proceeding of International Conference on Environmental Implications of Construction Materials and Technology Developments*, Environmental Aspects of Construction with Waste Materials, ELSEVIER, pp.217~226.
7. Evans, J. C., etc.(1987), "Plastic Concrete Cutoff Walls," *Geotechnical Practice for Waste Disposal '87*, Geotechnical Special Publication No.13, ASCE, pp.462~472.
8. Ryan, C. R.(1987), "Vertical Barriers in Soil for Pollution Containment," *Geotechnical Practice for Waste Disposal '87*, Geotechnical Special Publication No.13, ASCE, pp.182~204.
9. Hajnal, I., J. Marton, and Z. Regele(1984), *Construction of Diaphragm Walls*, John Wiley & Sons.
10. Xanthakos, P. P.(1979), *Slurry Walls*, McGraw-Hill Book Company.

(접수일자 1996. 3. 6)