

폐기물 매립장을 위한 혼합 차수재의 물성에 관한 연구

A Study on the Material Properties of Admixed Liners for Waste Fill

손 준 익*¹

Sohn, Joon-Ik

정 하 익*²

Jeong, Ha-Ik

장 연 수*²

Jang, Yeon-Soo

Abstract

This paper represents the physical and engineering characteristics of admixed liners obtained from several laboratory tests. Fly ash and weathered granitic soil are selected as primary materials, and bentonite and cement are used as additives. The results show that the maximum dry density reaches peak values at 5% and 25% of bentonite for Seochon and Samchonpo fly ash, respectively, and for the weathered granitic soil, the maximum dry density increases continuously as the amount of bentonite increases. The strength of the admixed materials is not sensitive to the bentonite content, although it increases when the additives is cement. The required amount of bentonite to reach the hydraulic conductivity less than 10^{-7} cm/sec are 18, 30, 10% of the sample weights for Seochon and Samchonpo fly ashes and the weathered granitic soil. The amount of additives show significant differences and depend on the grain size and their distributions and the amount of fine content in the primary materials

요 지

국내 폐기물 매립장에서 캡 및 바닥차수재로서 이용이 기대되는 혼합차수재를 선정하여 이들의 재료 특성을 살펴보기 위하여 물리, 역학적시험을 실시하였다. 혼합차수재의 주재료로는 플라이애쉬와 화강토 그리고 첨가제로는 벤토나이트와 시멘트를 선정하였다. 본 차수재에 대한 시험결과 최대건조밀도는 서천 및 삼천포 플라이애쉬 혼합재의 경우 벤토나이트 함량이 5%와 25%인 지점을 전후로 하여 증가 감소하고 화강토 혼합재의 경우 벤토나이트의 함량이 증가함에 따라 증가하였다. 강도는 벤토나이트 첨가의 경우 증감현상이 뚜렷하지 않았지만 시멘트 첨가의 경우는 크게 증가하였다. 혼합차수재의 투수계수가 1×10^{-7} cm/sec가 되기 위한 벤토나이트의 첨가량은 서천 및 삼천포 플라이애쉬 그리고 화강토의 경우 각각 18, 30, 10%로 나타났으며 주재료의 입도분포, 점토성분 함유정도에 따라 첨가제의 필요 함량이 큰 차이가 있음을 알 수 있었다.

*1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 수석연구원

*2 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원

1. 서론

일반적으로 폐기물 매립장에는 매립 폐기물로부터 흘러나온 침출수가 주변지반 및 지하수층으로 이동하는 것을 방지하기 위하여 차수재(liner)를 설치하게 된다. 선진외국에서는 폐기물 매립장에 여러종의 자연 및 인공차수재가 실제 현장에서 현장여건에 맞게 사용되고 있지만¹⁾ 국내에서는 점토차수층과 지오멤브레인(HDPE)이 주로 사용되고 있으며 기타 다른 차수재는 적용된 예가 거의 없다.^{7, 9, 10, 11)} 따라서 국내 현장여건에 따라 다양한 차수재를 적용하기 위하여 본 연구에서는 적합한 현장 차수재의 부재시 효용성이 높고 산업 부산물을 활용할 수 있는 혼합재 차수재에 대하여 실험을 실시하였다. 혼합재로서는 국외의 경우 화력발전소의 부산물로 그 특성을 조사하여 자국의 형편에 맞게 활용하고 있는^{2~5)} 플라이애쉬와 국내 현장 대표 흙인 화강토를 선정하여 이의 활용 방안을 강구하고자 한다.

플라이애쉬 및 화강토를 차수재로 사용할 경우에는 일반적으로 그 자체 만으로는 적용성이 미흡하기 때문에 석회, 시멘트, 벤토나이트등을 첨가하여 혼합재를 만들어 사용하고 있다. 본 실험에서는 플라이애쉬 및 화강토에 벤토나이트 및 시멘트를 첨가제로 혼합한 재료에 대한 물리적, 역학적 특성을 파악하여 플라이애쉬 및 화강토의 폐기물 매립지 차수재로서의 활용방안을 알아 보았다.

2. 사용시료

본 시험의 주재료로는 플라이애쉬와 화강토 그리고 첨가제는 벤토나이트와 시멘트로 하였으며 주재료로서 플라이애쉬와 화강토를 선정한 이유는 언급한 바와 같이 플라이애쉬는 화력발전소에서 생성되는 산업부산물로서 폐기물의 재활용이라는 측면에서 큰 의의가 있고 화강토는 국내 어느 현장에서든 찾아볼 수 있어 차수재로서 적용하기에 타재료에 비하여 수월하기 때문이다. 그리고 첨가제로서 벤토나이트와 시멘트를 선정한 것은 일반

적으로 벤토나이트는 투수저감 효과가 크고 시멘트는 강도증진 효과가 크기 때문에 이들의 상호효과를 검토하기 위해서이다.

플라이애쉬는 무연탄을 사용하는 서천화력발전소와 유연탄을 사용하는 삼천포화력발전소에서 각각 채취하였으며 화강토는 인천직할시 남구 만수동에서 채취하였다. 서천 플라이애쉬, 삼천포 플라이애쉬 그리고 화강토의 입도분포를 살펴보면 그림1과 같다.

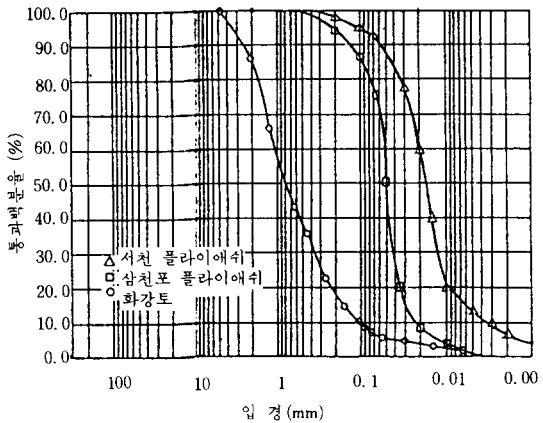
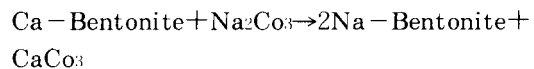


그림 1 주재료의 입도분포곡선

첨가제중 벤토나이트는 국내 벤토나이트 제조회사인 한국아이엠(주)에서 생산되는 제품으로 나트륨계 벤토나이트(sodium-bentonite)를 사용하였다. 벤토나이트는 몬모릴로나이트(montmorillonite)계통으로서 자연상태에서는 주로 칼슘계 벤토나이트(calcium-bentonite)로 존재하는데 팽창성 및 점성이 적기때문에 나트륨 벤토나이트로 치환하여 사용하고 있다. 이러한 치환과정을 살펴보면 다음과 같다.



시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 주재료 및 첨가제의 물리적 특성을 살펴보면(표 1) 플라이애쉬는 실트, 화강토는 모래질 실트로 각각 분류되며 입도분포를 살펴보면 삼천포 플라이애쉬가 서천 플라이애쉬보다 #200체 통과량이

작고 균등한 입도분포를 보인다. 화강토는 플라이 애쉬보다 큰 입경을 가지고 있으며 입경이 고르

다. 비중은 첨가제인 벤토나이트가 가장 작고 시멘트가 가장 큼을 알 수 있다.

표 1. 주재료 및 첨가제의 물리적 특성

시료	물리적성질	비 중	입 도 분 포				통일 분류
			D10(mm)	D60(mm)	Cu	200체 통과량(%)	
플라이애쉬	서 천	2.30	0.003	0.02	6.6	93.0	ML
	삼천포	2.14	0.024	0.053	2.2	80.0	ML
화 강 토		2.54	0.1	1.0	10.0	5.0	SM
첨 가 제	벤토나이트	1.70	0.0008	0.04	50.0	76.1	
	시멘트	3.15	0.01	0.08	8.0	75.1	

플라이애쉬 및 시멘트의 화학적 성분을 살펴보면 표2와 같다.⁸⁾ 표에서 보는 바와 같이 플라이애

쉬의 성분 함유율은 SiO₂, Al₂O₃ 순이고 시멘트는 CaO, SiO₂, Al₂O₃ 순이며 플라이애쉬는 SiO₂가 시멘트는 CaO가 50%이상 함유되어 있음을 알 수 있다.

표 2. 플라이 애쉬 및 시멘트의 화학적 성분

화학성분	시 료		시멘트
	플라이 애쉬	서 천	
SiO ₃	55.69	56.97	20.0
Al ₂ O ₃	24.86	21.36	7.0
TiO ₃	0.97	0.84	
P ₂ O ₂	0.22	0.36	
Fe ₂ O ₃	4.87	4.83	
CaO	0.95	2.04	60.0
MgO	1.39	0.58	
Na ₂ O	0.34	0.14	
K ₂ O	6.31	0.65	
BaO	0.17	0.18	
SrO	0.02	0.04	
C	4.30	11.10	
Sum	99.91	99.09	
pH	7.52	8.47	

3. 시험방법

시료는 주재료에 벤토나이트를 섞은 혼합재와 주재료에 벤토나이트와 시멘트를 섞은 혼합재로 하였다. 벤토나이트는 중량비로 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40% 혼합하였다. 시멘트는 벤토나이트를 10%로 고정된 후에 여기에 5, 10, 15%로 혼합하였다. 각 시료별 재료의 혼합비는 표3에 나타낸 바와 같다.

표 3. 시험에 사용된 시료의 구성비

서천플라이 애쉬 혼합재	삼천포 플라이 애쉬 혼합재	화강토 혼합재
애쉬100%	애쉬100%	화강토100%
애쉬 95%+벤토 5%	애쉬 95%+벤토 5%	화강토 95%+벤토 5%
애쉬 90%+벤토10%	애쉬 90%+벤토10%	화강토 90%+벤토10%
애쉬 85%+벤토15%	애쉬 85%+벤토15%	화강토 85%+벤토15%
애쉬 80%+벤토20%	애쉬 80%+벤토20%	화강토 80%+벤토20%
애쉬 70%+벤토30%	애쉬 70%+벤토30%	
	애쉬 60%+벤토40%	
애쉬 85%+벤토10%+시멘트 5%	애쉬 85%+벤토10%+시멘트 5%	화강토 85%+벤토10%+시멘트 5%
애쉬 80%+벤토10%+시멘트10%	애쉬 80%+벤토10%+시멘트10%	화강토 80%+벤토10%+시멘트10%
애쉬 75%+벤토10%+시멘트15%	애쉬 75%+벤토10%+시멘트15%	화강토 75%+벤토10%+시멘트15%

차수재로서의 적용성을 검토하기 위한 본 시험으로는 다짐시험, 강도시험 그리고 투수시험을 실시하였다. 다짐시험은 KS F 2312의 A-1 다짐방법으로 하였으며 강도시험은 KS 2314의 일축압축강도 시험으로 하였다. 그리고 강도 시험시료는 가습기를 사용하여 습도가 95% 이상인 상태에서 양생하였으며 7일 및 28일 강도를 측정하였다. 투수시험은 KS F 2322의 변수위 투수시험으로 하였으며 시험기는 강성벽(rigid wall) 투수시험기를 사용하였다. 그리고 강도시험 시료 및 투수시험 시료는 다짐시험에서 얻은 결과로부터 밀도는 최대건조밀도의 95% 그리고 함수비는 일반적으

로 낮은 투수계수가 최적함수비에 2~4%를 더한 함수비 상태에서 생긴다고 가정하여 최적함수비에 3%를 더한 습윤측으로 하여 제작하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4. 1 다짐특성

혼합재의 종류에 따라 그림 2에는 벤토나이트 첨가에 따른 다짐특성 곡선을 그림 3에는 벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 다짐특성 곡선을 도시하였다.

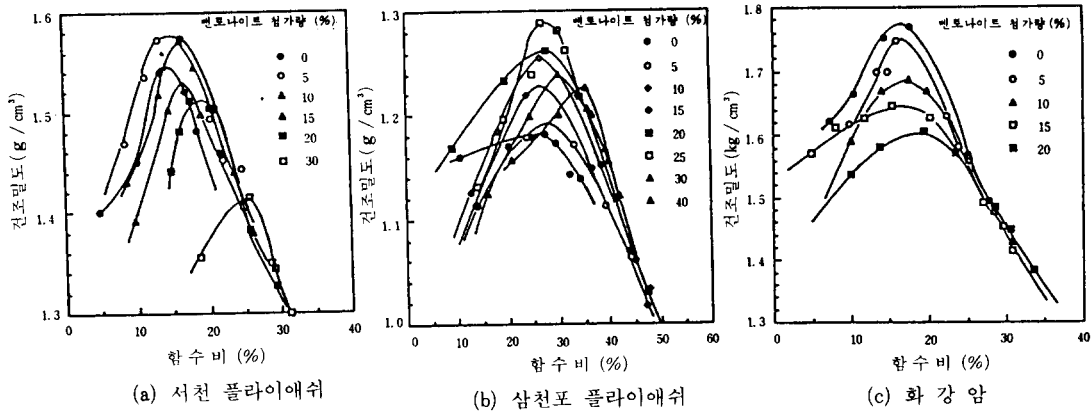


그림 2 벤토나이트 첨가에 따른 다짐곡선

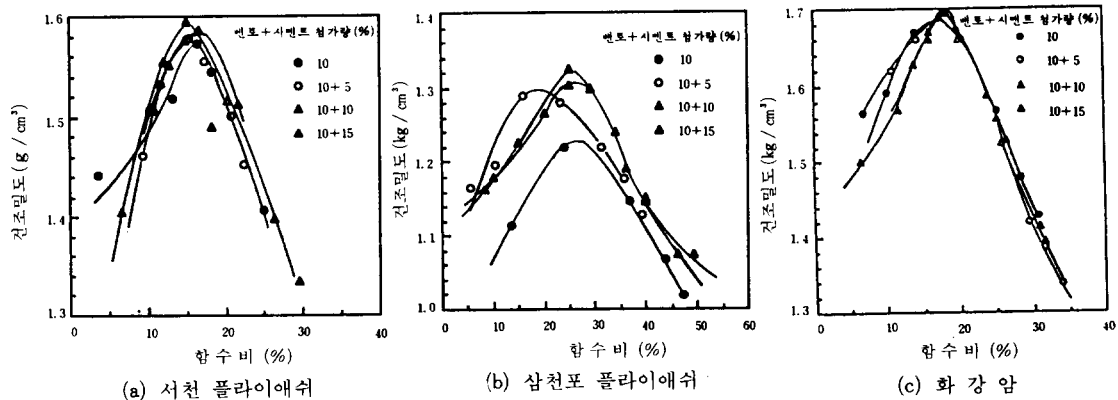


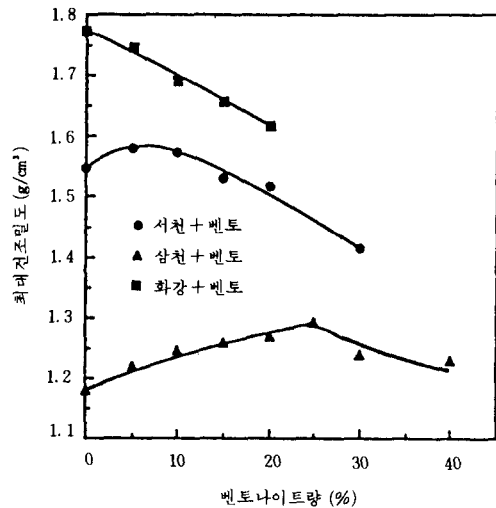
그림 3. 벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 다짐곡선

그리고 벤토나이트의 첨가에 따른 각 혼합재의 최대건조밀도와 최적함수비의 변화곡선을 그림 4에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 최대건조밀도의 크기는 화강토 혼합재, 서천 플라이애쉬 그리고 삼천포 플라이애쉬 혼합재의 순이며 최적함수비의 크기는 삼천포 플라이애쉬 혼합재, 화강토 혼합재 그리고 서천 플라이애쉬 혼합재의 순이다. 여기에서 보는 바와 같이 같은 플라이애쉬라 하더라도 무연탄계인 서천 플라이애쉬의 최대건조밀도가 유연탄계인 공극이 더 큰 삼천포 플라이애쉬에 비하여 상대적으로 크고 따라서 서천 플라이애쉬의 최적함수비는 작음을 알 수 있다. 벤토나이트 첨가에 따른 각 혼합재의 최대건조밀도 변화를 살펴보면 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 서천 플라이애쉬 혼합재는 벤토나이트의 첨가량 5%를 전후로 하여 증가 감소하며 삼천포 플라이애쉬 혼합재는 벤토나이트 첨가량 25%를 전후로 하여 증가 감소한다. 화강토는 벤토나이트의 첨가량이 증가함에 따라 최대건조밀도가 계속해서 감소함을 알 수 있다.

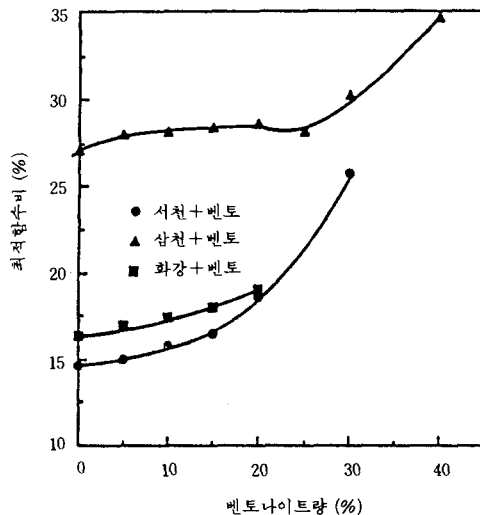
주재료에 벤토나이트를 첨가하였을 경우 다짐곡선이 변화를 보이게 되는 이유로는 첫째 비중이 작은 벤토나이트 첨가에 따른 혼합재의 상대적인 비중감소, 둘째 벤토나이트의 침수에 따른 부피팽창으로 인한 밀도감소, 셋째 큰 입자 사이의 공극을 작은 입자가 채움에 따른 혼합재의 상대적인 밀도증가 등의 효과가 있기 때문으로 생각되는데 서천 및 삼천포 플라이애쉬의 경우 첨가비가 5%와 25% 이하에서 각각 최대건조밀도가 증가하는 것은 표 1에서 보는 바와 같이 플라이애쉬의 입경이 벤토나이트의 입경보다 상대적으로 커서 위에 열거한 요인중 셋째 요인에 의하여 벤토나이트가 플라이애쉬의 공극을 채우기 때문으로 보인다. 그리고 첨가비가 5%와 25% 이상이 될 경우에 최대건조밀도가 감소하는 것은 셋째요인의 영향이 거의 없어지고 첫째와 둘째요인이 상대적으로 지배하였기 때문일 것으로 판단된다. 화강토의 경우 벤토나이트를 첨가함에 따라 최대건조밀도가 계속해서 감소하는 것은 밀도를 증가시키는 셋째 요인의 영향보다는 밀도를 감소시키는 첫째와 둘째 요

인의 영향이 처음부터 상대적으로 크게 작용하였기 때문으로 보인다.

최적함수비의 변화형태를 살펴보면 그림 4(b)에서 보는 바와 같이 서천 및 삼천포 플라이애쉬 혼합재는 벤토나이트량이 각각 5%와 25%인 지점까지는 최적함수비가 미소하게 증가하다가 그 이후부터는 크게 증가함을 알 수 있다. 그리고 화



(a) 최대건조 밀도 변화 곡선



(b) 최적 함수비 변화곡선

그림 4 벤토나이트 첨가에 따른 다짐특성 변화곡선

강도 혼합재인 경우는 벤토나이트 첨가량이 많아짐에 따라 계속적으로 최적함수비가 증가함을 알 수 있다. 이상에서와 같이 주재료에 벤토나이트를 첨가함에 따라 일반적으로 최적함수비가 증가하는 것은 벤토나이트에 의하여 혼합재가 점차적으로 점성이 커지고 물에 대한 친화력이 커지기 때문에 상대적으로 물을 많이 함유하기 때문이다.

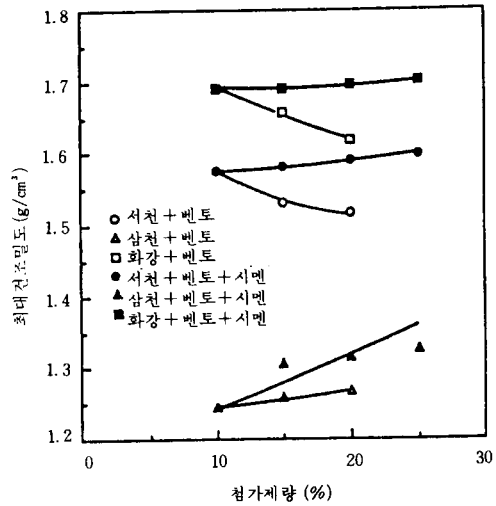
그림 5에는 벤토나이트 그리고 벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 혼합재의 최대건조밀도 및 최적함수비의 변화 형태를 비교하였는데 벤토나이트와 시멘트를 함께 첨가한 혼합재의 곡선은 벤토나이트를 10%로 하고 여기에 추가로 시멘트를 5, 10, 15% 첨가하였다.

최대전조밀도에 대하여 먼저 살펴보면 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 벤토나이트만을 첨가한 혼합재의 경우보다 벤토나이트와 시멘트를 첨가한 혼합재의 경우가 상대적으로 최대건조밀도가 증가함을 알 수가 있다. 그리고 각 혼합재에 대하여 시멘트 첨가량이 증가함에 따라 최대건조밀도는 세 경우 모두 증가함을 알 수가 있다. 이상에서와 같이 시멘트 첨가에 따라 혼합재의 최대건조밀도가 증가하는 것은 표1에 나타난 바와 같이 시멘트의 비중이 3.15로서 매우 크기 때문에 시멘트에 의하여 상대적으로 혼합재의 비중이 증가하였기 때문으로 보인다.

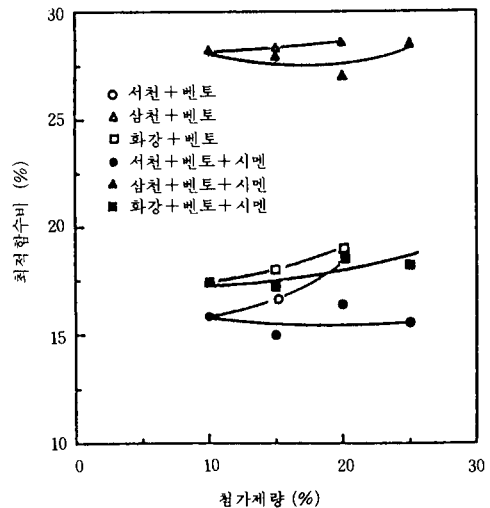
최적함수비의 변화형태를 먼저 첨가제의 종류에 따라 살펴보면 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 최대건조밀도의 양상과는 반대로 벤토나이트만을 첨가한 혼합재의 경우보다 벤토나이트와 시멘트를 첨가한 혼합재의 경우가 최적함수비가 적음을 알 수 있다. 그리고 시멘트 첨가량이 증가함에 따라 최적함수비의 증감현상이 뚜렷하게 나타나지 않음을 알 수 있다.

4. 2 강도특성

벤토나이트 첨가에 따른 혼합재의 7일 강도변화를 살펴보면 그림 6에서 보는 바와 같이 대체적으로 0.5~1.5kg/cm² 사이에 분포되어 증감현상이 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 그러나 벤토나이트



(a) 최대건조밀도 변화곡선



(b) 최적함수비 변화곡선

그림 5. 벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 다짐 특성 변화곡선

와 시멘트 첨가에 따른 혼합재의 강도는 그림 7에서 보는 바와 같이 벤토나이트 첨가량을 10%로 하고 여기에 시멘트의 첨가량을 5, 10, 15%로 증가시키면 따라 증가하는데 그 증가 정도는 화강토 혼합재, 서천플라이애쉬 혼합재, 삼천포 플라이애

쉬 혼합재의 순으로 나타났다. 첨가제량이 같은 경우에 대하여 벤토나이트만을 첨가한 혼합재와 벤토나이트와 시멘트를 첨가한 혼합재의 강도를 벤토나이트 첨가량이 20%의 경우와 벤토나이트와 시멘트 첨가량을 각각 10%씩하여 20%인 경우의 예로서 살펴보면, 전자에 해당하는 강도는 서천, 삼천포, 화강토 혼합재가 각각 0.914, 0.458, 0.186kg/cm²이고 후자에 해당하는 강도는 각각 3.414, 1.277, 4.039kg/cm²로 나타나 벤토나이트와 시멘트를 혼합한 경우가 벤토나이트만을 혼합한 경우보다 일축압축강도가 크게 나타나 시멘트는 혼합재의 강도를 증진시키는 효과가 벤토나이트에 비하여 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

혼합재의 재령기간에 따른 강도변화를 살펴보면 다음과 같다. 3종류의 혼합재중에서 화강토 혼합재에 대하여 첨가제량에 따라 7일 및 28일 강도변화를 도시하면 그림 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 벤토나이트와 시멘트를 첨가한 혼합재의 경우는 7일강도에 비하여 28일 강도가 크게 나타났으며 벤토나이트만 첨가한 혼합재의 경우는 강도 증가폭이 극히 적음을 나타내고 있다. 이것은 시멘트가 첨가된 혼합재의 경우 시멘트의 수화 작용에 의하여 장기강도가 크게 발현되었기 때문으로 보인다.

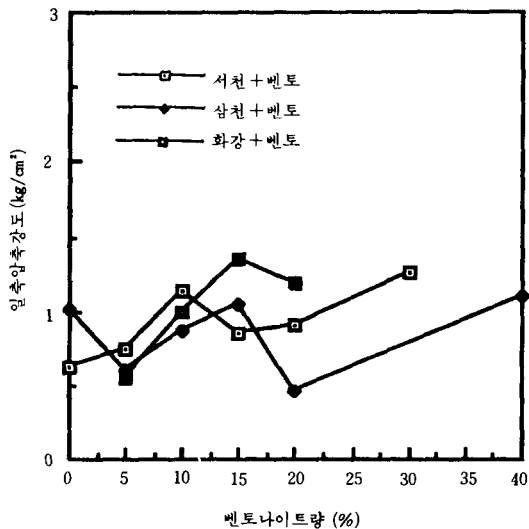


그림 6. 벤토나이트 첨가에 따른 강도변화 곡선

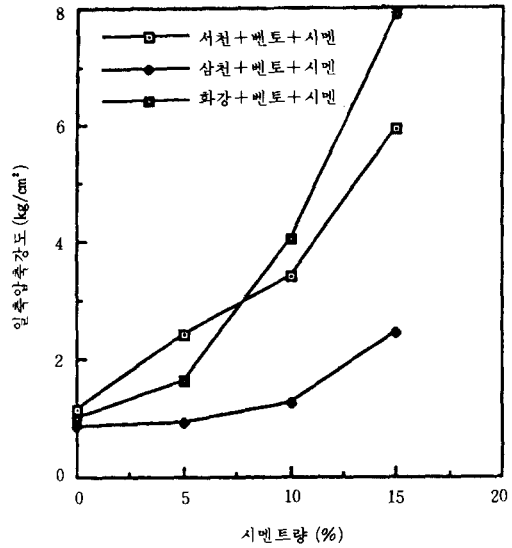


그림 7. 벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 강도변화 곡선

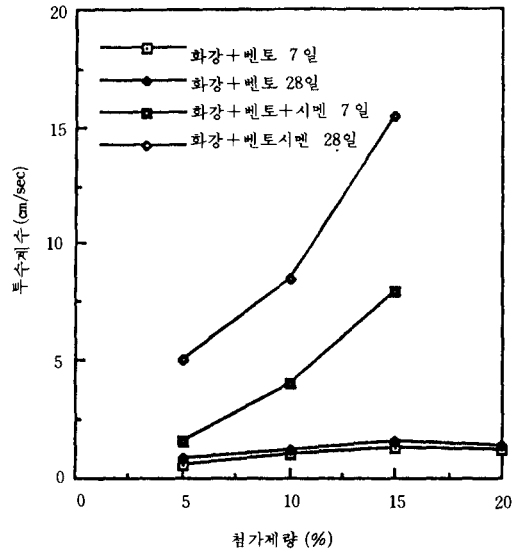


그림 8. 재령기간에 따른 강도변화 곡선

4. 3 투수특성

차수재에 있어서 가장 중요한 것은 차수재의 투수특성이라고 할 수 있는데 이는 차수재의 투수특

성에 따라 매립지내 침출수의 유출이 좌우되기 때문이다. 선진외국에서는 각국별로 차수재의 투수계수 값을 선정하여 차수재의 설계 및 시공시에 이를 반영하고 있는데 대체적으로 투수계수 값 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이하를 요구하고 있다. 따라서 본 실험에서는 혼합재의 일반적인 투수특성 외에 투수계수가 이 기준 이하가 되는 첨가제 혼합비율을 함께 검토하여 보았다.

벤토나이트 첨가 비율에 따른 투수계수 변화곡선을 그림 9에 도시하였다. 여기에 나타난 투수계수는 시간경과에 따라 측정된 투수계수 값중에서 최종적으로 수렴한 투수계수이다. 그림 9에서와 같이 벤토나이트 첨가량이 증가함에 따라 투수계수가 점차적으로 감소하는데 이는 물과 접촉한 벤토나이트의 팽창으로 인하여 혼합재의 공극이 메워지기 때문인 것으로 보인다. 혼합재의 종류에 따른 투수계수 크기를 살펴보면 삼천포 플라이애쉬 혼합재, 서천 플라이애쉬 혼합재, 화강토 혼합재의 순이며 투수계수가 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이하가 되기 위한 벤토나이트의 함량은 서천 플라이애쉬 혼합재 약 18%, 삼천포 플라이애쉬 혼합재 30% 그리고 화강토 혼합재는 10%임을 알 수 있다. 서천 플라이애쉬의 경우 벤토나이트의 혼합율이 삼천포 플라이애쉬의 경우보다 작은 것은 그림 1과 표1에서 보는 바와 같이 입경의 크기가 전자가 후자보다 3.5배정도 작아 상대적으로 작은 공극을 형성하고 있기 때문으로 사료되며 화강토의 경우 벤토나이트 혼합률이 두종의 플라이애쉬보다 작은 것은 화강토의 입경은 크나 입자 크기의 분포가 양호하여 여러 입경의 흙 입자가 맞물려 작은 공극을 형성하기 때문으로 사료된다.

벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 투수계수 변화곡선을 도시하면 그림 10과 같다. 시멘트량이 0%인 경우 즉 벤토나이트만을 10% 첨가한 경우에 비하여 벤토나이트를 10%로 고정하고 여기에 추가로 시멘트량을 5, 10, 15% 첨가한 경우의 투수계수의 변화는 없거나 크게 나타나는데 이는 시멘트 첨가제가 벤토나이트 첨가제에 비하여 투수계수 저감효과가 크지 않다는 것을 보여주고 있다. 일반적으로 플라이애쉬에 벤토나이트와 시멘

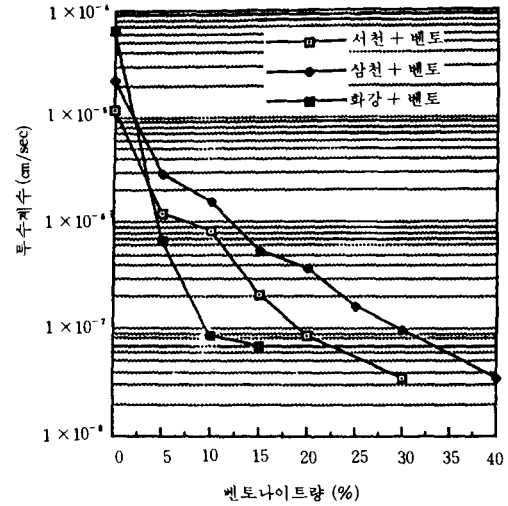


그림 9 벤토나이트 첨가에 따른 투수계수 변화곡선

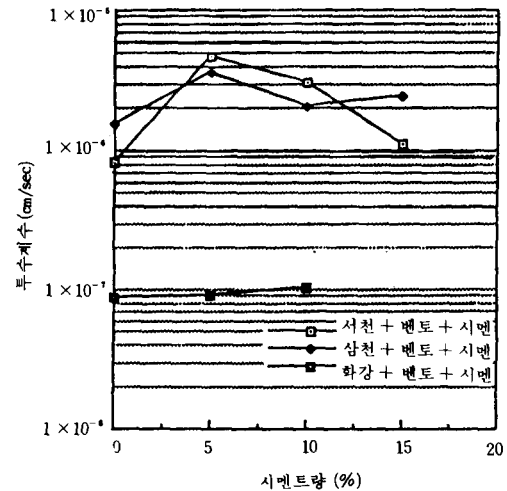


그림 10 벤토나이트와 시멘트 첨가에 따른 투수계수 변화곡선

트만을 첨가한 경우에는 투수계수가 감소하게 되나 벤토나이트와 시멘트를 같이 혼합한 경우에 본 실험에는 벤토나이트만을 첨가한 경우보다 투수계수가 크게 나타났다. 이와 같은 현상은 미국 West Virginia 대학의 M.A. Usmen 교수²⁾ 등의 연구결과와 일치하며 여기에서 언급된 사항인

시멘트가 벤토나이트의 팽창을 감소시키기 때문인 것으로서 설명되어 질 수 있겠다.

혼합재의 투수계수는 시간경과에 따라 변하게 되며 일정한 시간이 지나면 수렴하게 된다. 이와 같은 현상을 살펴보기 위하여 벤토나이트를 첨가한 삼천포 플라이애쉬 혼합재에 대하여 시간경과에 따른 투수계수 변화형태를 그림 11에 도시하였다. 시간이 경과함에 따라 투수계수가 감소함을 알 수 있으며 벤토나이트의 첨가비율이 증가함에 따라 일정한 값으로 수렴하는데 걸리는 시간도 길어지는 경향을 보인다. 시간경과에 따라 투수계수가 감소하는 것은 벤토나이트의 팽창이 점차적으로 증가하기 때문이며 일정한 값에 수렴하는 것은 벤토나이트의 팽창이 거의 끝나고 정상상태에 도달하였기 때문이다.

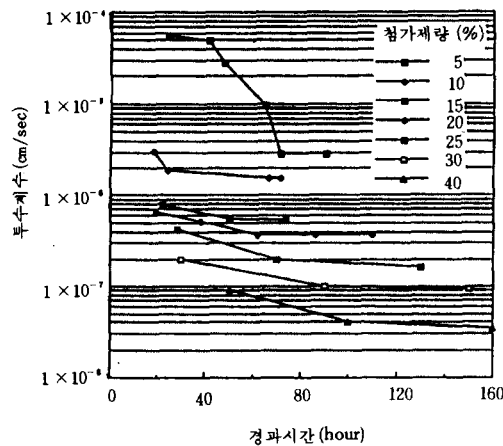


그림 11 시간경과에 따른 투수특성(삼천포+벤토나이트)

5. 결 과

본 고에서는 플라이애쉬와 화강토를 주재료로 하여 벤토나이트와 시멘트를 첨가한 혼합재에 대한 물리, 역학적 시험을 실시하고 그 결과를 분석 고찰하여 혼합재의 폐기물 매립지 차수재로서의 적합성을 평가하였다.

본 연구의 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 주재료에 벤토나이트를 첨가한 경우 서천 및

삼천포 플라이애쉬 혼합재의 최대건조밀도는 벤토나이트의 첨가비가 각각 5%와 25%인 경우를 전후로 최대치에 도달한 후 다시 감소하고 최적함수비는 각각 이 첨가비까지 미소하게 증가하다가 이후 크게 증가한다. 화강토 혼합재는 벤토나이트의 첨가량이 증가함에 따라 최대건조밀도는 감소하고 최적함수는 증가하는 현상이 일어난다. 3종의 혼합재 모두 시멘트 첨가의 경우에는 벤토나이트 첨가의 경우보다 최대건조밀도는 증가하고 최적함수비는 감소한다.

2) 벤토나이트를 첨가한 혼합재의 강도는 증감현상이 뚜렷하지 않았지만 시멘트를 첨가한 혼합재의 강도는 크게 증가하여 시멘트 첨가제의 강도 증진효과가 큼을 알 수 있다. 7일 강도 보다는 28일 강도가 크게 나타나 재령기간이 증가함에 따라 강도가 증가함을 알 수 있다.

3) 투수계수는 벤토나이트를 첨가한 경우는 감소하였지만 벤토나이트를 10%로 고정된 후에 시멘트를 첨가한 경우에는 크게 변화가 없거나 오히려 약간 증가하고 있어 폐기물 매립지 차수재와 같은 매우 낮은 투수계수를 얻기 위한 첨가제로서는 벤토나이트가 효과적임을 알 수 있으며 시간이 경과함에 따라 벤토나이트 혼합 차수층의 투수계수는 점차 감소하고 일정한 시간이 지나면 수렴하게 된다. 서천 및 삼천포 플라이애쉬 그리고 화강토 혼합재의 투수계수가 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이하가 되기 위한 벤토나이트의 첨가량은 각각 각각 18, 30, 10%로 나타나고 있으며 주재료의 종류 예를 들어 플라이애쉬의 종류에 따라서도 입자의 크기, 입도 분포, 점토성분의 함유 정도에 따라 차이를 보임을 알 수 있다.

4) 본 실험의 결과에 비추어 사용된 재료들은 차수재료로의 사용이 가능한 것으로 사료되며 사용재료에 따라 나타나는 토질정수 특히 투수계수의 많은 차이가 있으므로 차수재료의 사용전에는 혼합비 도출을 위한 시험이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

이상의 결론은 오염이 되지않은 가정용 지하수

를 이용하여 유도된 것이다. 향후 매립장과 같은 현장조건을 모사하기 위하여 폐기물 침출수 및 기타 인공오염수에 대한 본 혼합차수재의 재료특성 연구를 수행한다면 보다 더 현장여건을 반영한 결과가 도출될 것이며 본 연구에서는 계속해서 현재 이 과업을 수행하고 있다.

참 고 문 헌

1. Olaf L. Weeks, "Liner Systems Used for the Containment of Solvents and Solven-Contaminated Hazardous Wastes", Environmental Institute for Waste Management Studies, Univ. of Alabama, Open. File Report No. 12, Feb, 1986, 137pp.
2. Usmen, M.A , Bowders, J.J. and Gidley, J.S. "Low Permeability Liners Incorporation Fly Ash", Disposal and Utilization of Electric Utility Wastes, ASCE, May, 1988, p.50~65.
3. Moretti, C.H., Wentz, C.A. and Wiken, K. M. "Development of Fly Ash Liner for Waste Disposal Sites", Eighth Intenational Ash Utilization Symposium, Vol.2, 1987, p.47-1~ 47-13.
4. Usemen, M.A., Bowders, J.J. and Gidley, J.S. "Evaluation of Stabilized Fly Ash Materials for Use in Liner and Pavement Applications", Eighth International Ash Utilization Symposium, Vol.2, 1987, p51-1~51-4.
5. Carmichae T.J. and Chan, H.T. "Modified Fly Ash as Construction Materials for Hydraulic Barriers," Shanghai, 1991 Ash Utilization Conference, Vol.3, 1991, p.99-1~99-9.
6. 정하익, 손준익, 장연수, "차수재 혼합재의 다짐특성에 관한 연구", 1991년도 학술발표회 개요집, 대한토목학회, 1991. 10, p.611~614.
6. 인천직할시, 김포지구 쓰레기 매립장 조성공사 시공감리 보고서, 1990. 1 819pp.
7. 한국건설기술연구원, 한국전력공사기술연구원, 성토재로서의 석탄회 이용방안 연구(제2분기 보고서), 1990. 9 55pp
8. 환경청, 김포지구 수도권 해안매립지 조성사업 실시설계 보고서, 1988. 12. 558pp.
9. 환경관리공단, 대구사업소 자체폐기물 매립장 조성공사 기본설계 보고서, 1988. 12. 486pp.
10. 환경관리공단, 대구사업소 자체폐기물 매립장 조성공사 기본설계 보고서, 1988. 4. 293pp.

(접수일자 1992. 4. 1)