

산업폐기물 제지회의 지반공학적 특성 및 활용가능성

Geotechnical Characteristics and Utilization Method for Paper Ash of Industrial Waste

이처근* · 안광국** · 김민호*** · 허 열****

Lee, Cheo-Keun · Ahn, Kwang-Kuk · Kim, Min-Ho · Heo, Yol

Abstract

This study is an experimental study to investigate the possibility of the utilization of paper ash as the cover and liner materials in the waste disposal landfill and other construction materials. A series of tests were performed to evaluate basic properties, compaction, compressive strength, consolidation, permeability, and CBR of paper ash. The sample used in these tests was obtained from four paper mills which are located in near Chôngju. Bentonite and lime were used as additives to improve permeability properties of paper ash. It was found that the maximum dry unit weight increases with the increase of the bentonite and lime contents. The results of unconfined compression tests show that paper ash meets the criteria of the unconfined compression strength. It is recognized that the permeability coefficient decreases as increasing bentonite content and the percentage of bentonite needed to make the permeability coefficient below 1×10^{-7} cm/sec was 30%.

Keywords : Paper ash, Permeability coefficient, Construction material, Bentonite, Lime

요 지

본 연구에서는 일련의 실내시험을 통하여 제지회의 기본특성, 다짐, 압축강도, 압밀, 투수 및 CBR 특성을 분석하여 폐기물 매립장의 차수재와 복토재 등의 건설재료로서 제지회의 활용가능성을 연구하였다. 본 연구에서 제지회는 청주근교 4개의 제지공장에서 채취된 시료를 사용하였으며, 제지회의 투수특성을 확보하기 위하여 혼합재로서 벤토나이트와 소석회를 사용하였다. 시험결과, 벤토나이트와 소석회의 혼합비가 증가함에 따라 최대건조단위중량은 증가하였으며, 일축압축시험결과 제지회는 복토재의 일축압축강도 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 벤토나이트의 혼합비가 증가할수록 투수계수는 감소하였으며, 차수재로 사용 가능한 투수계수가 1×10^{-7} cm/sec 이하로 되는 벤토나이트의 혼합비는 30%로 평가되었다.

주요어 : 제지회, 투수계수, 건설재료, 벤토나이트, 소석회

1. 서 론

인구의 증가와 더불어 산업형태가 대형화되고 생산과 소비가 증가됨에 따라 산업폐기물의 배출량은 매년 증가하고 있다.

1970년대 급격한 산업발전 이후 관심 밖이었던 폐기물 관리에 대해 1990년대에 들어 국가적 차원의 노력을 기울이기 시작하였다. 특히, 국내 제지공장에서 발생하는 제지 슬러지는 지속적인 종이시장의 증가로 인하여 매년 그 발생량이 증가하고 있는

* 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** Illinois Institute of Technology 토목공학과 박사과정

*** (주)원건설 건축사 사무소 대표이사

**** 정회원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

추세이며, 차폐시설 없이 단순 투기하던 형식에서 위생매립 또는 소각처리로 바뀌었지만 2차 오염이나 유해성문제 등의 개선되어야 할 점들을 가지고 있다. 1998년 현재 국내 제지공장 폐기물의 연간 발생량은 1,721천톤에 달하고 있으며, 이중 제지회는 전체 발생량의 약 15.0%인 258천톤에 달하고 있다. 제지폐기물의 처리를 위해 매년 172억원, 그리고 제지회의 처리비용으로 26억원 정도가 소요되고 있다.

제지공장에서 제지회가 되기 이전의 단계인 제지슬러지의 공학적 특성 및 활용방안에 대한 연구는 비교적 활발하게 진행되고 있으나(Horace 등, 1996 ; Kraus 등, 1997), 제지회의 활용에 대한 연구는 국내외적으로 아직까지 활발히 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 제지공장에서 슬러지를 소각후 발생하는 제지회를 단순매립 처리가 아닌 토공재료로서의 활용 가능성을 연구하기 위하여 기본물성 및 역학적 물성시험 등을 실시하여 제지회의 지반공학적 특성을 규명하고자 하였다. 특히, 제지회 혼합차수재에 대한 투수특성을 분석하여 폐기물 매립장의 차수재로서 활용방안을 연구하였다.

2. 실험내용 및 방법

본 실험에 사용된 제지회는 청주근교에 위치한 4개의 제지공장, 즉, 대한제지, 대한펄프, 아세아제지, 쌍용제지에서 채취한 4가지 시료(이들 4가지 시료를 각각 A, B, C, D로 표시)를 사용하였다. 제지회의 토질공학적 특성을 알아보기 위하여 시료의 기본물성시험인 함수비, 비중, 아터버그한계, 입도분석, 및 강열감량시험을 수행하였으며, 역학적 물성시험으로서는 다짐시험, 압밀특성에 관한 물성 및 기대효과를 예측하기 위한 압밀시험, 토공재료로서 적절한 투수계수를 측정하기 위한 변수위투수시험, 흙의 강도정수를 결정하기 위한 일축압축시험, 노상토의 강도, 압축성 등을 알아보기 위한 노상토 지지력시험을 실시하였다. 또한, 화학성분을 파악하기 위한 EDS분석을 실시하였다.

특히, 4개 공장의 시료에 대한 함수비에 따른 투수시험의 결과에 따라 제지회 A의 투수계수가 가장 적으므로 제지회 A에 첨가재를 혼합하여 변수위 투수시험을 실시하였다. 제지회의 함수비에 따른 투수계수의 변화를 측정하기 위하여 함수비를 변화시켜가면서 투수시험을 실시하였으며, 시편은 제지회 A에 벤토나이트와 소석회의 중량비로 각각 9:1, 8:2, 7:3, 6:4로 혼합한 후 표준다짐(A다짐)시험 결과를 근거로 하여 공시체를 성형하였다.

이때의 함수비는 최적다짐상태의 함수비, 다짐시험에서 구한 최대건조단위중량의 95%에 대응하는 건조축 및 습윤축 함수비

로 하였다. 투수계수는 첨가재의 수분흡수에 따른 팽창의 영향으로 시간이 경과함에 따라 감소하기 때문에 본 연구에서 투수계수는 시간경과에 따른 투수계수의 변화를 측정하여 일정한 값으로 수립할 때의 값으로 하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 제지회의 물성 특성

3.1.1 기본물성 특성

먼저 기본물성중 제지회의 함수비는 0.72(ash-C)~0.98%(ash-D)로 나타났으며, 이는 제지회 발생시에는 수분함량이 0에 가까우나 공기중의 수분흡수 및 반출, 운반중 비산을 적게 하기 위해 소량의 물을 첨가하기 때문이다. 표 1에 나타낸 바와 같이 4가지 제지회의 비중은 각각 2.12, 2.63, 2.57, 2.52로 나타났다.

제지회에 대한 입도분석결과 그림 1에 나타낸 바와 같이 제지회의 #200번체 통과율은 47.38~60.02%이며, 입도분포는 대체로 양호하다는 것을 알 수 있다. 통일분류법으로는 MH로 분류되며, AASHTO분류법에서는 A-7-5로 도로포장재료로서는 다소 불량한 것으로 나타났다.

또한, 세립질의 흙에서 중요인자의 하나인 아터버그한계 시험결과도 역시 표 1에 나타내었다. 그림 2는 제지회의 소성지수와 액성한계의 관계를 Casagrande의 소성도(plasticity chart)에 나타낸 것이다. 이로부터 제지회는 액성한계 50% 이상인 B-line 이상과 A-line 이하에 분포하고 있어 소성적 성질이 크다는 것을 알 수 있다. 이에 제지회의 토질 기본물성을 증진시키기 위한 소성지수 감소가 필요하며 높은 소성적 성질을 저감시키기 위해 비소성 재료의 혼합시 토질공학적 이용이 가능할 것으로 판단된다. 제지회의 활성도는 1.41~2.49 정도로 다소 높게 나타나므로 활성도를 이용한 간접적인 안정성 평가에 있어서는 제지회에 활성도를 낮출 수 있는 재료를 혼합시킨다면 동결 용해 등의 현상에 대한 저항력이 증진될 수 있을 것으로 보인다.

표 1. 제지회의 기본 특성

Materials	Water content(%)	Specific gravity	Liquid limit(%)	Plasticity index(%)
Ash-A	0.93	2.63	71.7	20.2
Ash-B	0.81	2.11	80.6	22.4
Ash-C	0.72	2.57	70.2	20.3
Ash-D	0.98	2.51	77.5	9.4

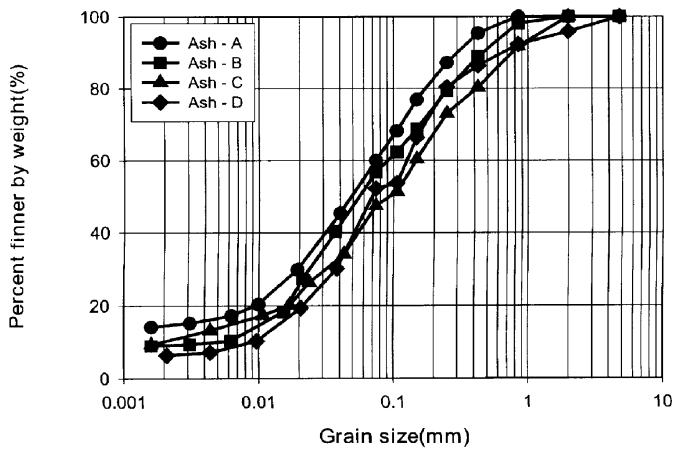


그림 1. 제지회의 입도분포곡선

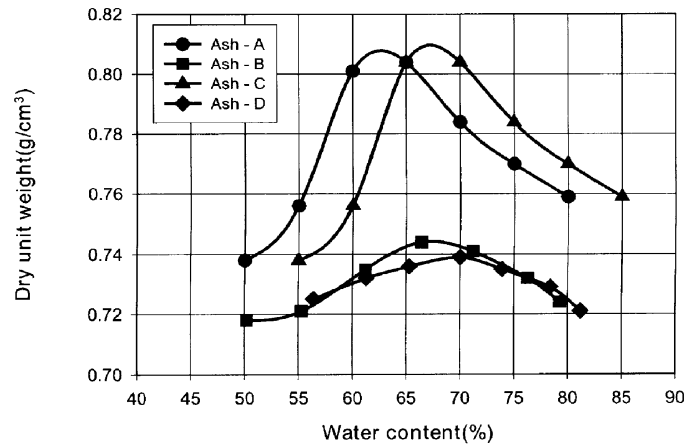


그림 3. A다짐 시험 결과

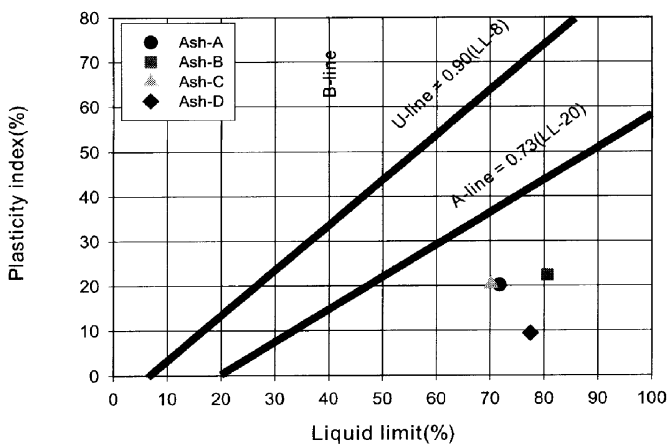


그림 2. 제지회의 소성도

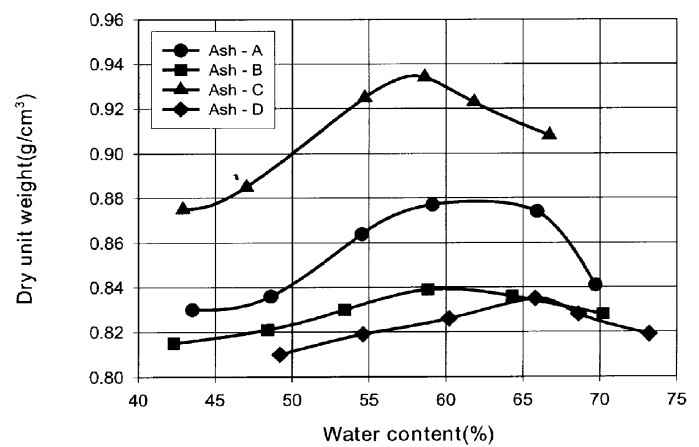


그림 4. D다짐 시험 결과

3.1.2 다짐특성

4개의 제지공장에서 채취한 제지회를 가지고 수행한 다짐시험결과 표 2와 그림 3~4에 나타낸 바와 같이 최대건조단위중량은 A다짐의 경우에 각각 0.804, 0.744, 0.804, 0.739g/cm³을 나타내고 있으며, D다짐 결과 최대건조 단위중량은 각각 0.877, 0.839, 0.934, 0.835g/cm³로 나타났다.

이와 같이 다짐한 제지회의 경량성은 원지반이 연약층일 경우 원지반의 침하와 관련하여 볼 때 그리고 구조물의 뒷채움재로 사용할 경우 토압면에서 볼 때 일반 토공재에 비하여 우수한

표 2. 제지회의 다짐시험 결과

Compaction method		Ash			
		Ash-A	Ash-B	Ash-C	Ash-D
A method	w _{opt} (%)	65.0	66.4	65.0	70.0
	γ _{dmax} (g/cm ³)	0.804	0.744	0.804	0.739
D method	w _{opt} (%)	59.1	58.8	58.6	65.8
	γ _{dmax} (g/cm ³)	0.877	0.839	0.934	0.835

공학적 특성을 갖는다고 할 수 있다.

3.1.3 압밀특성

제지회에 대한 압밀특성을 구하기 위하여 4가지 시료에 대하여 표준압밀시험을 실시하였다. 표 3은 그림 5의 압밀시험결과 e-logP 곡선에서 구한 압축지수, 팽창지수와 선형압밀응력을 나타낸 것으로 제지회의 압축지수는 0.009~0.022정도이고, 팽창지수는 0.004~0.007로 나타났다. 제지회의 압축지수는 군산, 장항지역 연약점토의 평균 압축지수인 0.51(박성영 등,

표 3. 압밀시험 결과

Materials	Compression index, C _c	Swelling index, C _e	Preconsolidation stress, P _c (kg/cm ²)
Ash-A	0.009	0.004	0.8
Ash-B	0.012	0.007	1.5
Ash-C	0.018	0.006	0.9
Ash-D	0.022	0.006	0.7

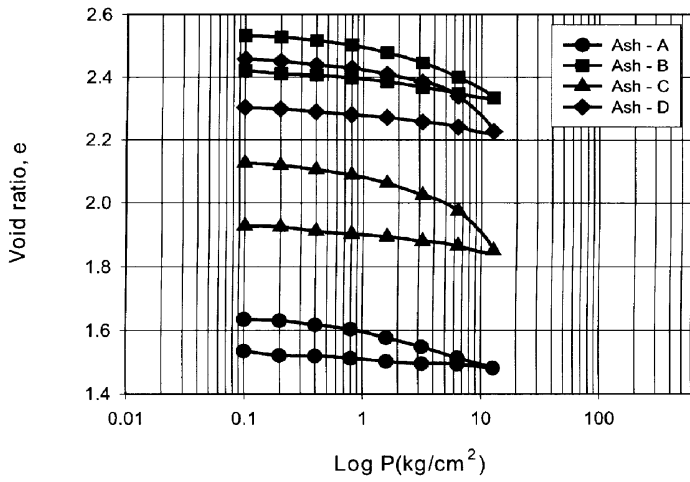


그림 5. 제지회의 e-log P곡선

1998)에 비해서는 상당히 작은 값을 나타내고 있으므로 제지회의 압축성은 상당히 적다고 판단된다.

또한, e-log P곡선으로부터 재하단계동안의 간극비 변화량의 비는 7.9~13.0%로 일반적인 연약점토에 비해 작은 값을 나타내었다.

3.1.4 강도특성

본 연구에서 강도특성은 일축압축시험을 통하여 규명하였다. 그림 6~9에 나타난 것과 같이 제지회에 대한 일축압축시험 결과 응력과 변형률의 관계는 파괴가 발생하기 직전의 변형률까지 거의 비례적인 관계를 나타내었으며, 시료의 파괴가 발생한 직후부터는 변형이 증가함에 따라 하중이 감소하는 변형연화 현상이

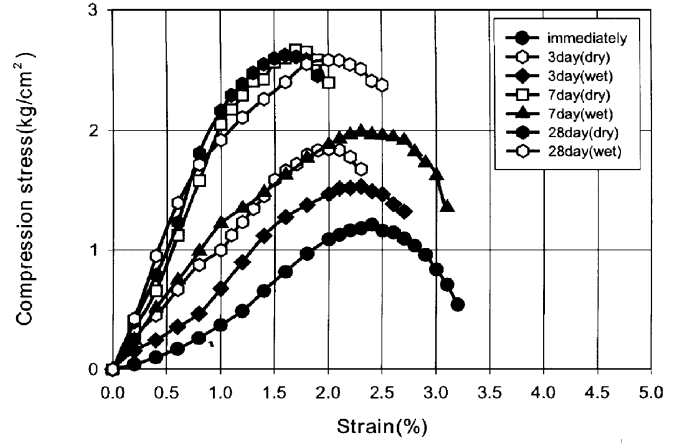


그림 8. 일축압축시험 결과(Ash-C)

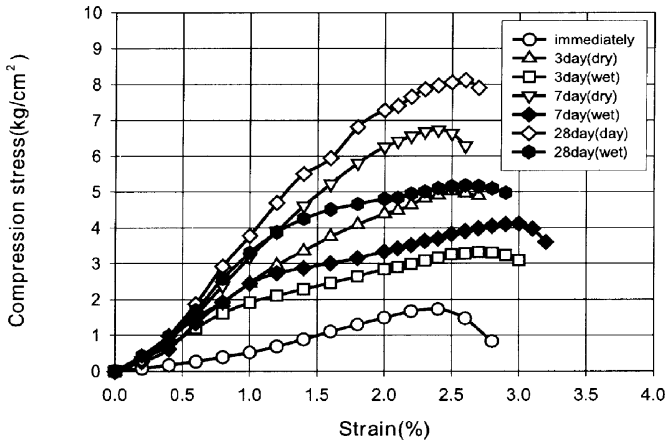


그림 6. 일축압축시험 결과(Ash-A)

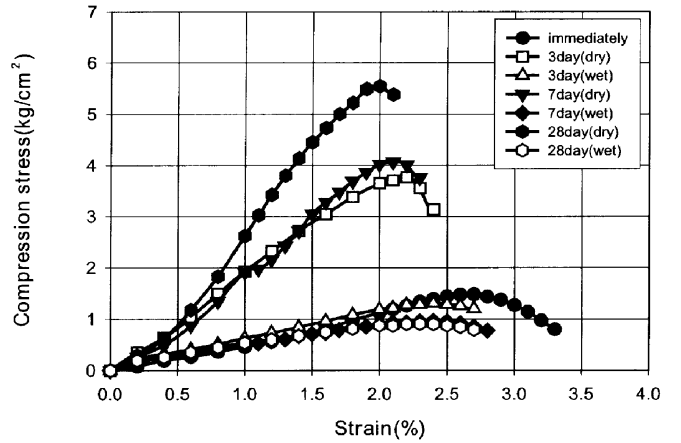


그림 9. 일축압축시험 결과(Ash-D)

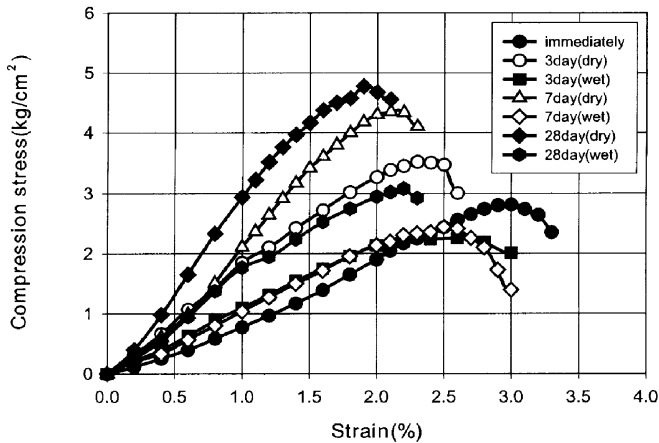


그림 7. 일축압축시험 결과(Ash-B)

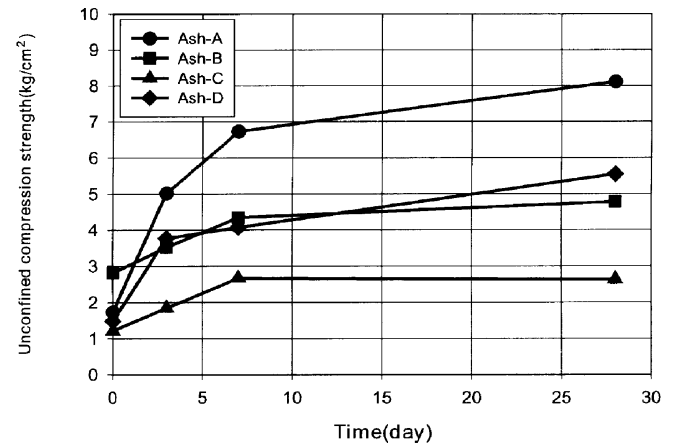


그림 10. 시간경과에 따른 일축압축강도(건조)

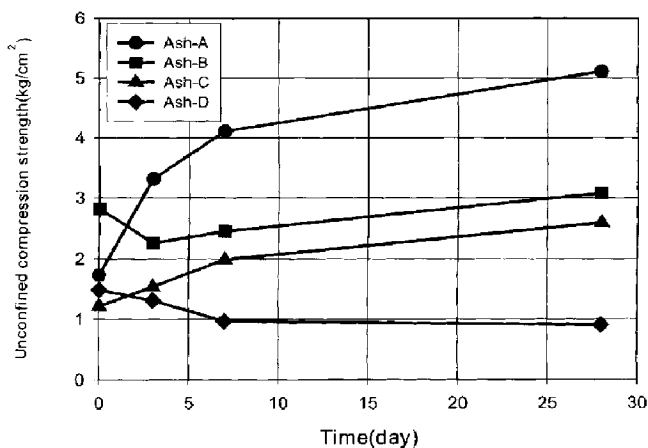


그림 11. 시간경과에 따른 일축압축강도(습윤)

발생하였다. 공시체 제작직후 측정된 제지회 일축압축강도는 1.21~2.81kg/cm²로 군산, 장항지역 연약점토의 평균일축압축강도인 0.38kg/cm²(박성영, 1998)에 비해서 3.2~7.4배 정도의 큰 강도를 나타내고 있으며, 복토재의 일축압축강도 기준(0.5kg/cm²)을 만족하고 있다. 그림 10과 11은 건조 및 습윤양생한 공시체에 대한 일축압축시험결과와 시간경과에 따른 일축압축강도의 변화를 나타낸 것으로, 일반적으로 시간경과에 따라 일축압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

3.15 노상토 지지력특성

그림 12는 제지회에 대한 노상토지지력 시험결과 건조단위중량과 CBR값의 관계를 나타낸 것이고, 표 4는 4종류의 제지회에 대한 수정CBR과 팽창율을 나타낸 것이다. 이로부터 4일 수침후의 제지회의 최대건조단위중량의 90%와 95%에 대응하는 수정 CBR값은 각각 13.4~32.5%와 16.9~41.0%로 도로공사 표준시방서(1986)에 규정되어 있는 토공용 재료의 품질기준(하부노상 5이상, 상부노-

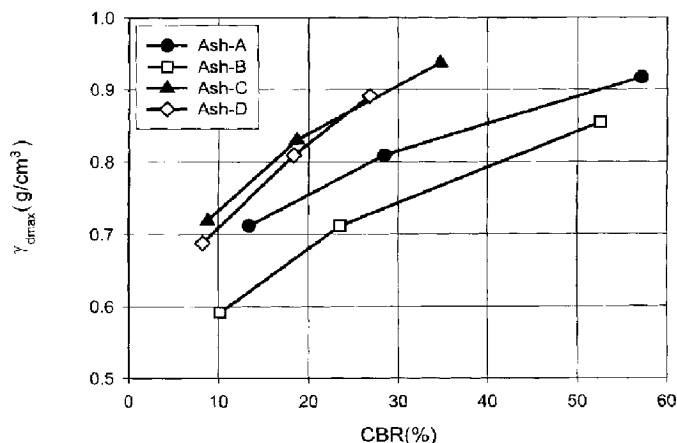


그림 12. 제지회의 건조단위중량-CBR 곡선

표 4. CBR 시험 결과

Materials	Corrected CBR (0.95 γ _{dmax})	Corrected CBR (0.90 γ _{dmax})	Number of blows per layer	Swelling ratio(%)
Ash-A	35.7	24.3	10	0.10
			25	0.08
			55	0.86
Ash-B	41.0	32.5	10	0.01
			25	0.04
			55	0.06
Ash-C	16.9	13.4	10	0.16
			25	0.21
			55	0.20
Ash-D	27.3	20.6	10	0.03
			25	0.01
			55	0.05

상 10이상)을 만족하는 높은 CBR 값을 갖고 있기 때문에 도로의 성토에 사용 가능할 것으로 여겨진다. 이러한 분석은 수정 CBR 값만을 기준으로 살펴본 것이므로 실제 시공가능성을 위해서는 내구성(안정성), 동상성에 관한 검토가 추가적으로 이루어져야겠다.

한편, 제지회의 단위중량이 일반 성토재에 비해 훨씬 낮고, 높은 함수비임에도 불구하고 높은 수정 CBR 값을 나타내는 것은 제지회에 포함되어 있는 SiO₂와 CaO 성분의 포졸란 반응에 의한 자경성 때문이라고 생각된다. 또한, 표 4로부터 제지회의 팽창율은 층당 다짐횟수에 따라 0.01~0.86% 정도로 상당히 작은 값을 나타내고 있어 제지회의 팽창성은 낮은 것으로 생각된다.

3.16 투수특성

그림 13은 제지회의 함수비에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것으로 투수계수는 함수비에 따라 많은 변화를 보이고 있다. 즉, 제지회의 투수계수는 최대건조단위중량의 95%에 해당하는 습윤층 함수비까지는 함수비가 증가함에 따라 감소하며, 그 이후부터 투수계수는 증가하는 경향을 나타낸다. 최소 투수계수는 최적함수비보다 약간 습윤층 함수비인 65~70%에서 나타나고 있어 제지회는 차수목적으로 이용하는 경우 최적함수비보다 약간 습윤층 함수비에서 시공하는 것이 투수계수 감소에 효과적일 것으로 판단된다.

4종류의 제지회에 대한 최소투수계수는 3.90×10⁻⁵, 3.10×10⁻⁴, 5.93×10⁻⁴, 6.12×10⁻⁵cm/sec로 제지회A가 가장 작은 투수계수를 나타내었지만, 4종류 제지회 모두 차수재 기준(1×10⁻⁷cm/sec)보다 큰 값을 나타내었다.

3.1.7 강열감량 및 화학성분 분석

표 5는 제지회에 대한 강열감량 시험결과와 EDS분석결과 제지회의 화학성분을 나타낸 것으로 이로부터 제지회의 강열감량은 각각 4.88, 5.86, 4.16, 29.19%로 제지회 D를 제외하면 비교적 낮은 값을 갖고 있음을 알 수 있다.

표 5로부터 제지회의 화학성분은 실리카(SiO_2), 알루미늄(Al_2O_3), 석회(CaO),가 전체의 62~88%를 차지하는 주성분이고, 그밖의 성분으로 산화제2철(Fe_2O_3), 고토(MgO) 등이 존재한다. 특히, 제지회에는 석회(CaO)의 구성비율이 16.92~35.78%로 비교적 높게 나타나 포졸란 반응에 의한 자경효과(self hardening effect)가 클 것으로 판단된다.

표 5. 제지회의 강열감량시험 및 EDS 분석결과

Materials	Ash-A	Ash-B	Ash-C	Ash-D
Ig-Loss(%)	4.88	5.86	4.16	29.19
SiO_2	37.20	35.74	41.60	14.46
Al_2O_3	26.05	30.95	24.50	12.30
CaO	18.49	21.39	16.92	35.78
Fe_2O_3	6.20	1.55	6.35	0.95
MgO	2.98	2.40	4.70	2.61
SO_3	0.59	0.30	0.44	0.39
Total	96.39	98.19	98.67	95.68

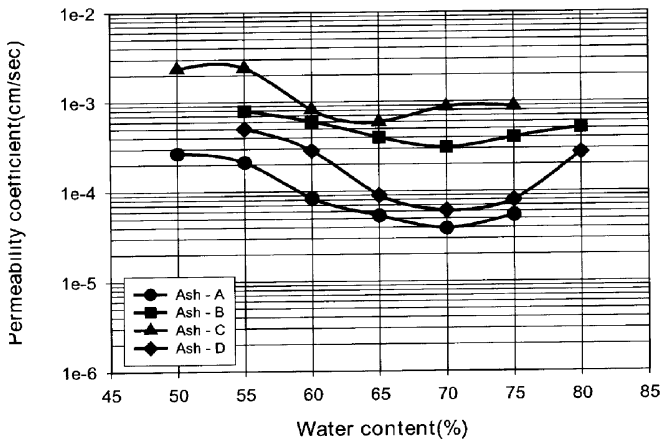


그림 13. 함수비에 따른 투수계수의 변화

3.2 제지회 혼합차수재의 투수특성

차수재로서의 가장 중요한 요소는 오염물질을 통과시키지 않는 작은 투수계수를 유지하는 것에 있다. 미국 환경보호청에서는 차수재의 경우 투수계수 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이하를 요구하고 있으며(US EPA, 1986), 국내에서도 이를 기준으로 하고 있다. 따

라서, 본 실험에서는 매립지의 차수재로서 제지회의 이용가능성을 파악하기 위하여 4종류의 제지회에 대한 변수위투수시험결과와 투수계수가 가장 적은 제지회 A를 선택하여 벤토나이트와 소석회의 혼합비를 변화시켜가면서 변수위투수시험을 실시하여 차수재의 투수계수가 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이하가 되는 첨가재의 혼합비를 검토하였다.

3.2.1 혼합차수재의 다짐특성

혼합차수재의 투수시험을 위한 투수몰드제작을 위하여 각각의 혼합비에 따른 표준다짐을 실시하였으며, 그 결과를 그림 14~15에 나타내었다. 그림 14는 혼합비에 따른 최대건조단위중량의 변화를 도시한 것으로, 혼합비가 증가함에 따라 최대건조단위중량은 증가하며, 제지회와 벤토나이트의 혼합비가 6:4인 경우 최대건조단위중량은 0.978g/cm^3 으로 혼합전에 비해 약 22%정도 증가하였다. 제지회와 소석회의 혼합비가 6:4인 경우 최대건조단위중량은 0.954g/cm^3 으로 혼합전에 비해 19%정도 증가하는 것으로 나타났다. 그림 15는 혼합비에 따른 최적함수

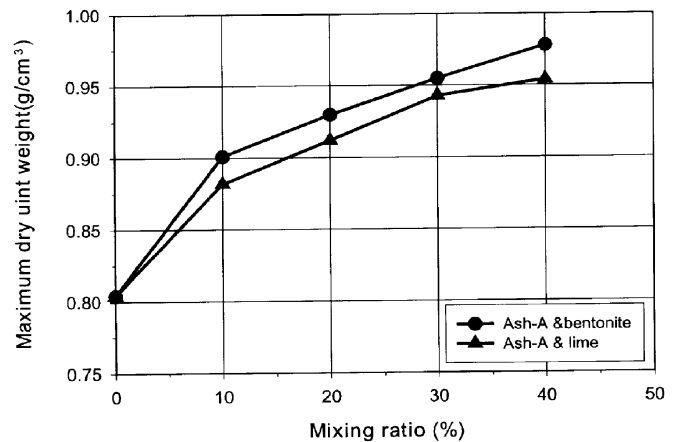


그림 14. 혼합비에 따른 최대건조단위중량의 변화

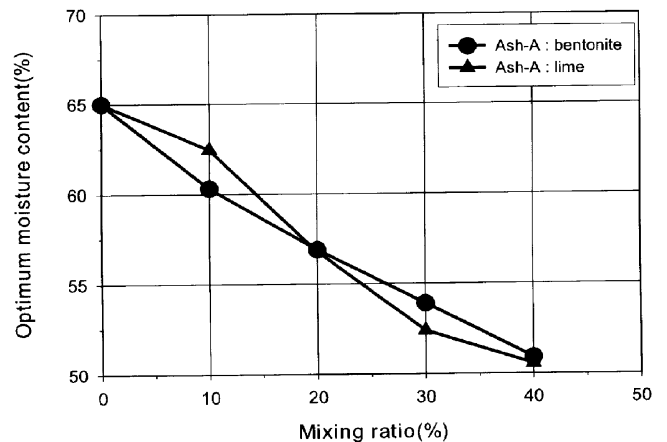


그림 15. 혼합비에 따른 최적함수비의 변화

비의 변화를 나타낸 것으로 혼합비가 증가할수록 최적함수비는 감소한다는 것을 알 수 있으며, 혼합비가 6:4에서 벤토나이트와 소석회를 혼합한 경우 최적함수비는 각각 50.91%와 50.56%로 혼합전에 비해 약 22%정도 감소하는 것으로 나타났다.

3.2.2 혼합차수재의 투수특성

그림 16과 17은 각각 벤토나이트와 소석회의 혼합비가 30% 인 경우 시간경과에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것으로 시간 경과에 따라 투수계수가 감소한다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 벤토나이트 등의 첨가재를 혼합하는 경우 투수계수가 감소하는 것은 벤토나이트와 소석회가 물과 만나면 부피가 팽창하기 때문인 것으로 생각되며 일반적으로 벤토나이트를 혼합하는 경우 약 5~15배 정도 부피가 팽창하는 것으로 알려져 있다. 벤토나이트를 혼합한 경우 경과시간 10일 이후부터는 투수계수의 감소효과가 낮으며, 이로부터 벤토나이트를 혼합하는 경우 10일이 되었을 때 부피팽창이 거의 완료된다는 것을 알 수 있다. 한편, 소석회를 혼합한 경우에는 5~7일정도 이후 투수계수 감

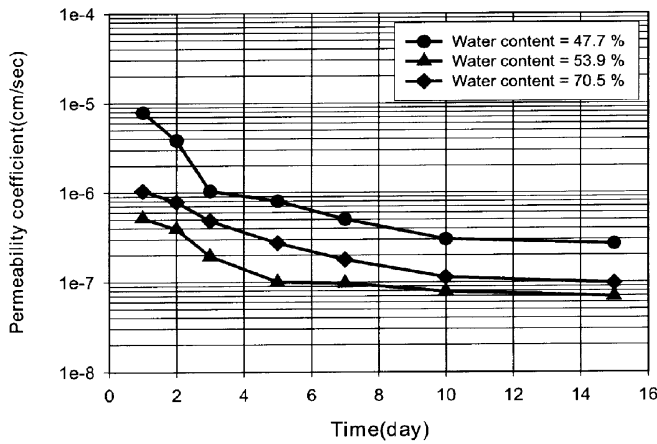


그림 16. 시간에 따른 투수계수의 변화(Ash-A:bentonite = 7:3)

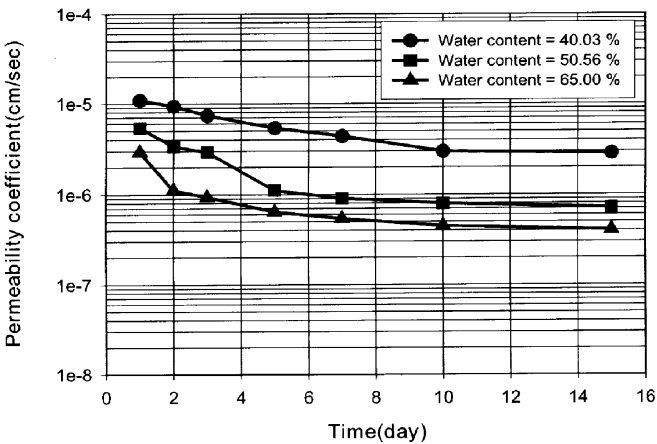


그림 17. 시간에 따른 투수계수의 변화(Ash-A:lime = 7:3)

소효과가 감소하며, 벤토나이트에 비해 그 효과가 적다는 것을 알 수 있다.

투수계수는 시간경과에 따라 감소하므로 본 연구에서 투수계수는 시간경과에 따른 투수계수 변화를 측정하여 일정한 값으로 수렴할 때의 값으로 하였으며, 수렴하지 않는 경우에는 경과시간 15일에서 측정한 값으로 하였다. 그 결과 벤토나이트와 소석회의 혼합비에 따른 투수계수의 변화를 각각 그림 18과 19에 나타내었다. 이로부터 혼합비가 증가함에 따라 투수계수가 감소하는 경향을 나타내었다.

그림 18로부터 제지회에 벤토나이트를 혼합한 경우 혼합비에 따른 최소투수계수는 각각 7.04×10^{-7} , 1.03×10^{-7} , 6.94×10^{-8} , 5.98×10^{-8} cm/sec로 나타났다. 즉, 제지회 A에 벤토나이트를 혼합하는 경우 차수재 기준을 만족하는 벤토나이트의 혼합비는 약 30% 정도로 나타났으며, 이는 제지회 A를 차수재로 사용하는 경우 혼합비의 기준치로 사용가능성이 있다고 생각된다. 그림 19로부터 제지회에 소석회를 혼합한 경우 혼합비에 따른 최소투수계수는 각각 2.62×10^{-6} , 9.11×10^{-7} , 8.21×10^{-7} , 9.95×10^{-8} cm/sec로 즉, 제지회A에 소석회를 혼합하는 경우

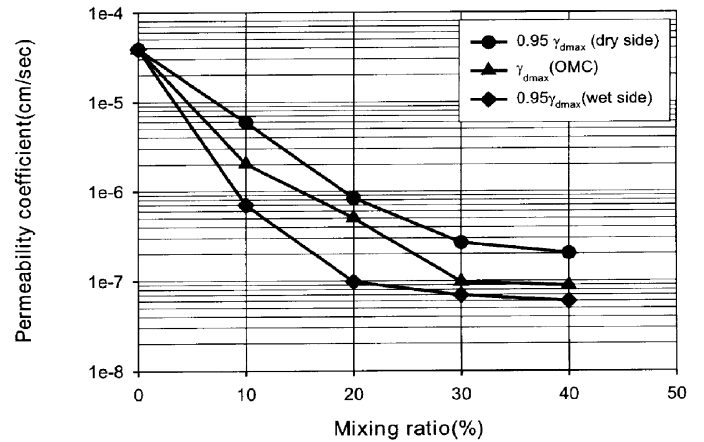


그림 18. 벤토나이트의 혼합비에 따른 투수계수의 변화

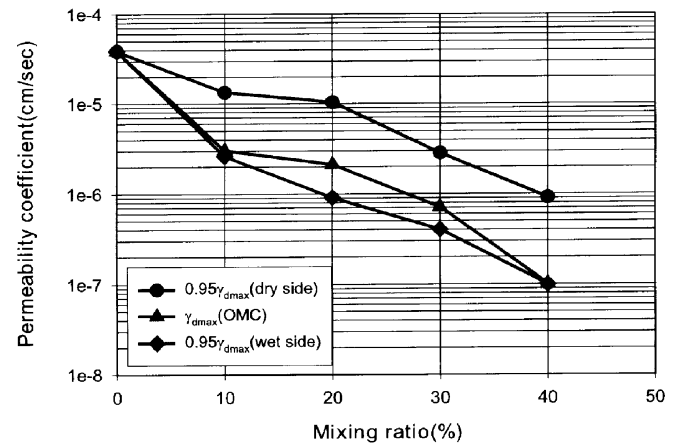


그림 19. 소석회의 혼합비에 따른 투수계수의 변화

차수재 기준을 만족하는 소석회의 혼합비는 약 40% 정도로 나타났다.

또한, 그림 18~19로부터 벤토나이트를 혼합하는 경우 30%의 혼합비까지 투수계수 감소효과가 크며, 그 이후부터는 혼합비에서는 투수계수 감소효과가 저하되는 것으로 나타났으며, 소석회를 혼합하는 경우에는 혼합비가 증가함에 따라 완만하게 투수계수가 감소한다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 제지공장에서 제지슬러지를 소각하여 발생하는 제지회에 대하여 기본 및 역학적 물성시험을 실시하여 제지회의 지반공학적 특성을 분석하였다. 또한, 제지회 혼합차수재에 대한 투수특성을 분석하여 차수재로서의 활용방안을 연구하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제지회는 통일분류법으로 MH, AASHTO 분류법으로 A-7-5로 분류되어 성토재료로서 불량한 것으로 나타났다. 최대 건조단위중량은 A, D다짐에서 각각 0.744~0.804, 0.835~0.934g/cm³으로 작게 나타나 경량 성토재료로서 활

용가능성이 있다고 생각된다.

- (2) 제지회의 투수계수는 함수비 변화에 따라 큰 변화양상을 보이며, 최적 함수비보다 약간 습윤측에서 최소 투수계수가 나타났다으며, 제지회의 압축지수는 0.009~0.022 정도로 비교적 작게 나타나 압축성이 적다고 할 수 있다.
- (3) 공시체 제작직후 제지회의 일축압축강도는 1.21~2.81kg/cm²로 비교적 큰 강도를 나타냈다. 또한, 수정 CBR값만을 기준으로 할 때 제지회는 토공재료의 품질기준을 만족하고 있으므로 도로 성토재로 사용 가능성이 있다고 판단된다.
- (4) 제지회는 실리카(SiO₂), 알루미나(Al₂O₃), 석회(CaO)가 주 성분이고, 특히, 석회의 구성비율이 16.92~35.78%로 비교적 높게 나타나 포졸란 반응에 의한 자경효과가 클 것으로 판단된다.
- (5) 제지회 혼합차수재에 대한 투수시험결과 혼합비가 증가할수록, 시간경과에 따라 투수계수는 감소하였으며, 벤토나이트가 소석회보다 투수계수 감소효과가 우수한 것으로 나타났다. 벤토나이트를 혼합하는 경우 차수재 기준을 만족하는 혼합비는 30% 정도로 나타났으며, 소석회의 경우 40% 정도 이상으로 나타났다. ☺

참 고 문 헌

1. 건설부(1986), "도로공사 표준 시방서", pp.74~79.
2. 건설교통부(1995), "폐기물 매립지 차수재 개발", 연구보고서 KICT/95-GE-1202, pp.247~260.
3. 박성영, 오다영(1998), "국내 연약지반의 지역별 공학적특성", 대한토목학회지, Vol.46, No.9, pp.76~79.
4. 한국제지공업연합회(1997), "펄프지류 통계월보", pp.1~94.
5. 한국건설기술연구원(1996), "인공 차수재 및 복토재 개발", 환경부, pp.17~435.
6. Daniel, D.E.(1993), "Geotechnical Practice for Waste Disposal", Chapman & Hall, New York.
7. Gleason, M.H. Daniel, D.E. and Eykholt, G.R.(1997), "Calcium and Sodium Bentonite for Hydraulic Containment Applications", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.123, No.5, pp.438~445.
8. Horace, K. Moo-Young and Thomas, F.Z.(1996), "Geotechnical Properties of Paper Mill Sludge for Use in Landfill Cover", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.122, No.9, pp.768~775.
9. Indraratna, B. Nutalaya, P. Koo, K.S. and Kuganenthira, N.(1991), "Engineering Behavior of a Low Carbon, Pozzolanic Fly Ash and Its Potential as a Construction Fill", Canadian Geotechnical Journal, Vol.28, pp.542~555.
10. Krizek, R.J. and Atmatzidis, D.K.(1987), "Geotechnical Properties and Landfill Disposal of FGD Sludge", Geotechnical Practice for Waste Disposal '87, No.13, pp.625~639.
11. Kraus, J.F. Benson, C.H. and Wang, X.(1997), "Laboratory and Field Hydraulic Conductivity of Three Compacted Paper Mill Sludges", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.123, No.7, pp.654~662.
12. U.S. Environmental Protection Agency(1986), "Construction Quality Assurance for Hazardous Waste Land Disposal Facilities, Technical Guidance Document", EPA/530-SW-86-031, US EPA, Washington D.C.