

매립된 석탄 혼합회의 물리적 공학적 특성

Physical and Engineering Properties of Ash and Granite Soil

김대현¹⁾, Dae-Hyeon Kim, 김선학²⁾, Sun-Hak Kim, 김호철³⁾, Ho-Chal Kim, 고태훈⁴⁾, Tae-Hoon Goh

¹⁾ 조선대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Chosun University

²⁾ 조선대학교 토목공학과 겸임교수, Plural Professor, Dept. of Civil Engineering, Chosun University

³⁾ 조선대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Chosun University

⁴⁾ 한국철도기술연구원 선임연구원, Senior Researcher, Korea Railroad Research Institute

SYNOPSIS : 본 연구에서는 00화력발전소 회사장에 매립되고 있는 혼합회가 도로성토 및 철도노반 등 성토재로 사용될 수 있는가를 평가하기 위하여 물리적 및 역학적 특성을 평가하였다. 비중, 엑소성 시험, 입도분석, XRD 시험, 강열감량시험, 실내투수시험을 통해 물리적 특성을 평가하였고 다짐시험, CBR 시험, 배수삼축압축시험을 실시하여 역학적 특성을 평가하였다. 두 가지 혼합회에 실험한 결과 비중은 2.181~2.189, 투수계수는 $1.32 \times 10^{-4} \sim 1.89 \times 10^{-4}$ cm/sec, 수정CBR은 19.5~21%, 배수마찰각은 36.43~41.39°로 평가 되었다. 혼합회의 투수계수는 실트질 흙과 유사한 범위에 있으며 배수마찰각은 상대밀도가 큰 모래질 흙이 보일 수 있는 내부마찰각의 범위를 보였다. 본 연구에서 사용한 혼합회는 도로성토 및 철도노반 등 성토재로 사용할 수 있는 것으로 평가되었다.

Keywords : 혼합회, XRD, 배수삼축압축시험, 수정CBR, 배수마찰각

1. 서론

환경문제의 중요성이 나날이 커지는 현 시점에서 폐기되는 자원을 재활용하고 폐기물 이용, 새로운 용도개발을 통한 고부가치화 기술개발은 환경문제를 해결함과 동시에 경제성 확보의 효과가 있다. 따라서 폐기물을 적극 재활용하는 것은 국내외적으로 지대한 관심사 중의 하나이며 향후 재활용 기술에 대한 개발 필요성과 관심은 계속 증대될 것이다. 현재 국내에서 많이 발생되고 있는 산업폐기물 중 석탄회는 화력발전소에서 유무연탄을 1600℃로 연소한 후 발생하는 재로서 크게 비회(플라이애쉬)와 저회(바텀애쉬)로 구분된다(2006). 국내에서는 석탄회의 발생량이 약 600만톤으로 재활용 비율은 58.1%에 이르고 있다(차동원 외, 1999). 이중 비회는 시멘트 대체 재료로서 재활용되고 있으나 저회는 전량 매립장에 매립하고 있는 실정이다. 전력수요량의 증대로 석탄회의 발생량은 매년 증대되어 매립지의 확보가 필수적이거나, 환경문제 등으로 인해 매립지의 증대는 어려운 상황에 직면해 있으므로 도로성토 및 철도노반 등 성토재로서 재활용율은 높이는 것이 무엇보다 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 화력발전소의 매립장에서 채취한 저회(바텀애쉬)와 비회의 혼합회가 도로성토 및 철도노반 등 성토재로 활용가능성을 검토하기 위한 기초연구로서 00화력발전소에서 채취한 석탄회의 기본적인 물성시험과 역학시험을 통한 공학적 특성을 분석하였다.

2. 실험계획

본 연구에서는 00화력발전소 매립지의 지질조사를 통해 매립되어 있는 매립회의 성상을 분석하고, 비

회와 저회의 혼합회의 물리적 특성과 화학적 특성을 분석하였다. 또한, 도로성토 및 철도노반 등 성토재료로서의 활용가능성을 분석하기 위해 혼합회의 역학시험 결과로 공학적 특성을 분석하였다.

2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 혼합회는 00화력발전소의 회사장에 매립되고 있는 비회와 저회의 혼합비율 5 : 5, 7 : 3으로 매립된 시료를 채취하여 이용하였다.

2.2 물리·역학적 시험방법

비회와 저회의 혼합비율 5 : 5, 7 : 3으로 혼합된 매립회에 대해 표 1에 제시한 물리, 역학적 시험을 수행하여 공학적 특성 분석에 활용하였다.

표 1. 혼합회의 특성 시험방법

구분	물리적 특성				화학적 특성		역학적 특성			
	시험 항목	비중	액·소성	입도분석	최대·최소 밀도	화학분석	강열감량	다짐	투수	CBR
시험 방법	KS F 2308	KS F 2303, 2305	KS F 2302	KS F 2345	XRD	KS F 2104	KS F 2312	KS F 2322	KS F 2320	KS F 2346

먼저 혼합회에 대해 물리·화학적 특성시험을 수행하였다. 다음으로 다짐시험을 수행하여 최적함수비(O.M.C)와 최대건조밀도(γ_{dmax})를 산정한 후, 투수시험과 압밀배수(CD) 삼축시험에 사용한 시료는 최적함수비상태에서 다짐도 95%로 재성형하여 이용하였다.

3. 실험결과 분석 및 검토

3.1 혼합회의 물리·화학적 특성

본 연구에 사용된 두 혼합회의 비중은 2.198과 2.181로 보통 흙보다 작은 값을 나타내었으며 애터버그 시험에 의하면 혼합회는 모두 비소성(N.P)으로 나타났다. 또한, 입도분석결과 비회의 경우는 입자의 크기가 세립토에 해당하는 부분이 많고 저회의 경우는 대부분이 모래로 나타났으나, 본 연구에서 사용된 비회와 저회의 혼합회의 경우 혼합된 비율에 따라 SW와 ML로 나타났다.

비회의 경우 도로성토 및 철도노반 등 성토재료로 만족하다 할 수는 없으나 혼합회의 경우 혼합비율에 따라 우수 또는 양호하다고 할 수 있다.

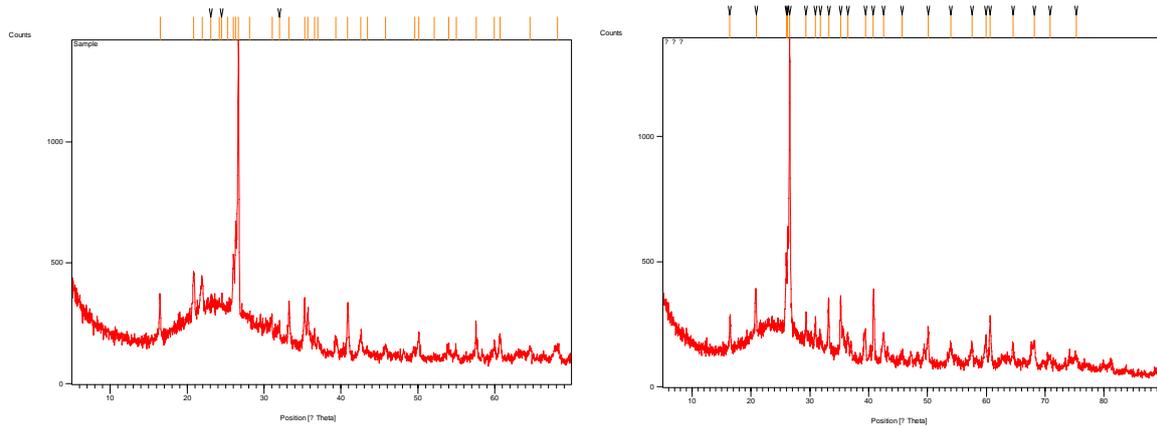
표 2. 혼합회의 물리·화학적 특성

구분	비중 (G_s)	Atterberg Limit		입도분석							최대최소밀도	
		W_L (%)	I_p (%)	$P_{\#4}$ (%)	$P_{\#200}$ (%)	D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	C_u	C_g	γ_{dmax} (kN/m ³)	γ_{dmin} (kN/m ³)
혼합회1	2.198	N.P	N.P	77.6	10.1	2.100	0.600	0.074	28.4	2.3	13.32	10.02
혼합회2	2.181	N.P	N.P	91.4	42.7	0.300	0.043	0.021	14.3	0.3	12.24	9.38

표 3. 혼합회의 화학적 특성

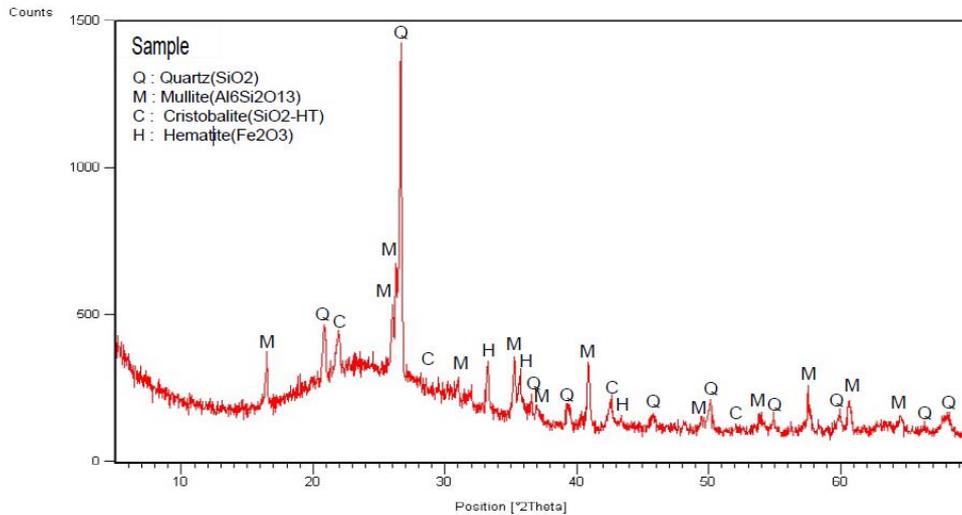
구분	강열감량(%)	XRD(X-Ray Diffraction)
혼합회1	4.85	quartz와 mullite상
혼합회2	10.16	quartz와 mullite상

그림 1은 채취한 혼합회의 성분분석결과 일반적인 석탄회와 유사한 성분을 나타내고 있으나, 산화제2철(Fe_2O_3)이 상대적으로 높게 나타났다. XRD 결과도 혼합회의 주된 결정상은 quartz와 mullite상으로 확인되었다.



(a) 혼합회1

(b) 혼합회2



(c) 혼합회1의 XRD 분석

그림 1. 혼합회의 XRD

3.2 혼합회의 역학적 특성

3.2.1 다짐 특성

두 혼합회에 D다짐(KS F 2312) 시험을 실시한 결과 최대건조밀도와 최적함수비는 표 4와 같다.

표 4. 혼합회의 다짐시험 결과

구분	최대건조밀도(γ_{dmax}) (kN/m ³)	최적함수비(O.M.C) (%)
혼합회1	13.90	17.7%
혼합회2	13.08	18.3%

혼합회의 다짐시험결과 최대건조밀도는 13.90kN/m³과 13.08kN/m³로 보통 흙보다는 작은 값으로 나타났으며 최적함수비는 18.3%와 17.7%로 보통 흙보다 큰 값으로 나타났다. 이와같이 다짐한 혼합회의 경량성은 원지반이 연약층일 경우 원지반의 침하와 구조물 뒷채움재로 사용할 경우 토압측면에서 볼 때 우수한 공학적 특성을 나타낸다.

3.2.2 투수 특성

다짐시험으로 구한 최적함수비로 다짐도 95%로 다져진 혼합회에 대하여 투수시험을 실시하여 표 4와 같은 결과를 얻었다.

표 5. 혼합회의 투수시험 결과

구분	투수계수(K) (cm/sec)	비 고
혼합회1	1.89×10^{-4}	
혼합회2	1.32×10^{-4}	

혼합회의 투수계수는 1.89×10^{-4} cm/sec와 1.32×10^{-4} cm/sec로 나타나 실트질 흙과 유사한 범위에 있으며 비슷한 입도분포를 갖는 보통 흙의 투수계수와 유사하게 나타났다. 일반적으로 비회의 투수계수는 작은 편이고 저회의 투수계수는 큰 편으로 본 연구에 적용된 혼합회의 경우 비회의 함유량이 많은 혼합회2가 약간 작게 나타났다.

3.2.3 CBR 특성

다짐시험으로 얻은 최적함수비로 공시체를 제작 후 실내CBR시험을 실시한 결과 표 6과 같은 결과를 얻었다.

표 6. 혼합회의 CBR시험 결과

구분	CBR(%)			55회 팽창비(%)	수정 CBR(%)
	10회	25회	55회		
혼합회1	3.4	12.9	33.9	0.5	21.0
혼합회2	1.0	7.6	21.9	0.7	19.5

비회가 어느 정도 CBR값을 발휘하는 것은 포졸란 반응에 의한 자경성 때문이다. 그러나 상당히 낮은 CBR값을 갖기 때문에 이를 단독으로 도로성토 및 철도노반 등 성토재로 사용하기란 불가능하다. 본 연구에 사용된 혼합회의 경우 수정 CBR값이 21%와 19.5%로 나타나 도로설계기준(2001)에 의하면 선택층까지의 사용에는 가능할 것으로 여겨진다. 이러한 분석은 CBR값만을 기준으로 판단한 것으로 구체적으

로 사용가능성을 판단하기 위해서는 내구성, 동상성 등의 검토가 이루어져야 할 것이다.

한 편 CBR시험시 측정되는 흡수에 의한 팽창비는 0.5%와 0.7%로 거의 발생하지 않는 것으로 보아 팽창비에 의한 혼합회의 도로성토 및 철도노반 등 성토재로 사용성은 양호한 것으로 평가되었다.

3.2.4 전단 특성

혼합회의 전단특성을 파악하고자 다짐시험으로 구한 최적함수비로 다짐도 95%로 성형된 혼합회에 대하여 압밀배수(CD) 압축시험을 실시하였다(그림 2).

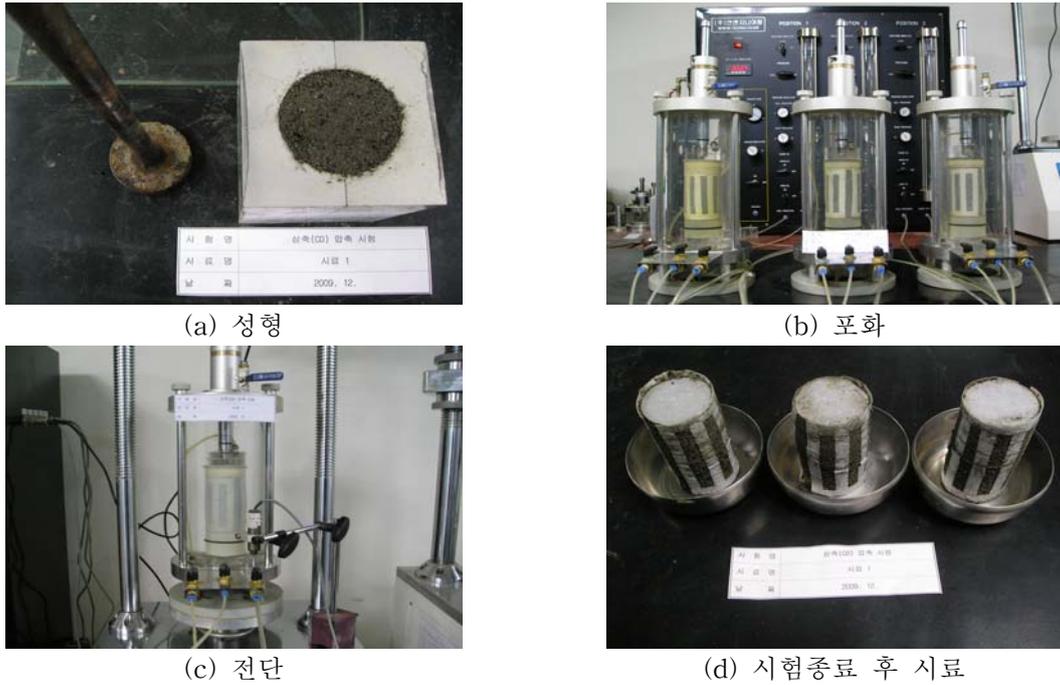


그림 2. 압밀배수(CD) 압축시험

압밀배수 삼축시험결과 변형률-축차응력의 관계는 그림 3과 같으며 배수 점착력과 배수마찰각은 표 7과 같이 나타났다.

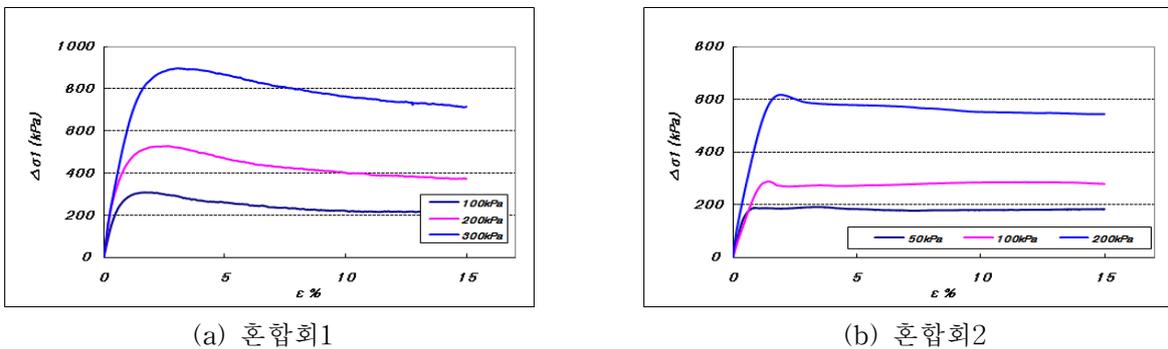


그림 3. 압밀배수(CD)시험에 따른 변형률-축차응력

표 7. 혼합회의 압밀배수(CD) 전단시험에 의한 결과

구분	배수 점착력(C'_d) (KPa)	배수 마찰각(ϕ'_d) (°)
혼합회1	27.24	41.39
혼합회2	5.69	36.43

비회에 대하여는 지금까지 각 국에서 삼축압축시험이 많이 실시되었는데, Gray(1972) 등에 의하면 미국의 미시간주 3개 화력발전소에서 채취하여 시험한 압밀배수(CD) 삼축압축시험 결과는 점착력이 6.86~10.30kPa, 내부마찰각이 38~43°이었고, 영국의 6개 화력발전소의 비회를 대상으로 Raymond(1996) 등의 비압밀배수(UU) 삼축압축시험 결과에 의하면 점착력이 2.75~4.81kPa, 내부마찰각은 31.8~38.0°로 보고되고 있다. 또한, 저회는 점착력이 0.00~1.96kPa, 내부마찰각이 34.2~43.5°로 보고되고 있다.

본 연구에서 사용된 혼합회의 시험 결과, 혼합회1, 2의 점착력이 각각 27.24kPa과 5.69kPa, 내부마찰각은 41.39°와 36.93°로 나타나 상대밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 30~45°범위에 포함되는 것으로 나타나 도로성토 및 철도노반 등 성토재료 사용성은 양호한 것으로 평가되었다.

4. 결론

화력발전소 회사장에 매립되고 있는 혼합회가 도로성토 및 철도노반 등 성토재료 사용될 수 있는가를 평가하기 위하여 물리적 및 역학적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 혼합회의 비중은 2.198과 2.181로 보통 흙보다 작은 값을 나타내었으며 애터버그 시험에 의하면 혼합회는 모두 비소성(N.P)으로 나타났다.
2. 혼합회의 성분분석결과 일반적인 석탄회와 유사한 성분을 나타내고 있으나, 산화제2철(Fe_2O_3)이 상대적으로 높게 나타났다. XRD 결과도 혼합회의 주된 결정상은 quartz와 mullite상으로 확인되었다.
3. 혼합회의 수정 CBR값이 21%와 19.5%, 팽창비 값이 0.5%와 0.7%로 거의 발생하지 않는 것으로 보아 도로성토 및 철도노반 등 성토재료 사용성은 양호한 것으로 평가되었다.
4. 점착력이 각각 27.24kPa과 5.69kPa, 내부마찰각은 41.39°와 36.93°로 나타나 상대밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 30~45°범위에 포함되는 것으로 나타나 도로성토 및 철도노반 등 성토재료 사용이 가능할 것으로 평가되었다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), "도로설계기준", 한국도로교통협회, pp.97~102.
2. 환경부(1972), "폐기물 관리법", 환경부 폐기물 자원국.
3. 차동원(1999), "한전의 석탄회 및 탈황석고 재활용 현황", 고성능 콘크리트 국제 워크숍 논문집, pp. 245~270.
4. Gray, D. H., Lin, Y. K.(1972), "Engineering Properties of Compacted Flyash", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE Vol.98, No.SM4, pp.361~380.
5. Raymond, S., Smith, P. H.(1996), "Shear Strength, Settlement and Compaction Characteristics of Pulverized Fuel Ash", Civil Engrg. and Public Workes Review, pp.1107~1113.