

매립된 석탄 혼합회의 성토재 및 뒤채움재로서의 활용에 관한 연구

김대현¹ · 기완서² · 김선학^{1*}

¹조선대학교 토목공학과, ²조선이공대학 토목건설과

The Utilization of Pond Ash as Embankment and Backfill Material

Dae-Hyeon Kim¹, Wan-Seo Ki², and Sun-Hak Kim^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Chosun University

²Department of Civil Construction Engineering, Chosun College of Science & Technology

본 연구는 태안화력본부 회사장에 비회와 저회가 혼합되어 매립된 혼합회를 건설재료로 활용하기 위한 기초연구로서 대상 혼합회의 물리적 시험 및 역학적 시험을 실시하여 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용가능한지 판단하고자 공학적 특성을 검토하였다. 비중, 최대·최소밀도, 액·소성, 입도분석, XRD, 강열감량시험을 통해 물리·화학적 특성을 평가하였고 투수, 다짐, CBR, 삼축압축시험을 실시하여 역학적 특성을 평가하였다. 혼합회의 실험결과 비중은 2.18~2.20, 건조밀도는 9.38~13.32 kN/m³, 수정 CBR은 16.5~21%, 투수계수는 1.32×10^{-4} ~ 1.89×10^{-4} cm/sec, 배수마찰각은 36.43~41.39°로 나타났다. 물리·역학적 실험결과를 토대로 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로써의 품질기준과 비교해 본 결과 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 비회의 함유율이 높은 혼합회는 일부 품질기준을 만족하지 못하므로 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로 활용하기 위해서는 저회와의 배합을 통한 품질개선이 필요할 것으로 판단되었다.

주요어 : 비회, 저회, 혼합회, X선-회절시험(XRD), 삼축압축시험, 노상토지지력비(CBR)

This study represents basic research into the utilization of mixed ash (fly ash and bottom ash) from the ash pond of the Taean Thermal Power Plant as a construction material. We conducted physical and mechanical experiments on the mixed ash and examined its engineering characteristics in terms of its use as a material for road landfill and structure backfill. We evaluated the physical and chemical characteristics of the ash by performing tests to determine specific gravity, maximum and minimum density, liquid limit and plastic limit, grain size distribution, composition (by X-ray diffraction), and loss on ignition. We also evaluated the mechanical characteristics by testing for permeability, compaction, CBR, and tri-axial compression. The experiments on the mixed ash yielded a specific gravity of 2.18-2.20, dry density of 9.38-13.32 kN/m³, modified CBR of 16.5%-21%, permeability coefficient of 1.32 to 1.89-10⁻⁴ cm/sec, and drained friction angle of 36.43°-41.39°. The physical and mechanical properties of the mixed ash do not meet the quality standards stipulated for road landfill and structure backfill materials. Mixed ash with a high content of fly ash failed to meet some of the quality standards. Therefore, in order to utilize the mixed ash as a material for road landfill and structure backfill, it is necessary to improve its properties by mixing with bottom ash.

Key words : fly ash, bottom ash, mixed ash, X-ray diffraction, triaxial compression test, CBR

서 론

환경문제의 중요성이 날이 커지는 현 시점에서 폐기되는 자원을 재활용하고 폐기물을 이용한 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

*Corresponding author: sun93k@naver.com

1600로 연소한 후 발생하는 재료로서 크게 비회(Fly-ash)와 저회(Bottom-ash)로 구분된다(환경부, 2006). 국내에서는 년 석탄회의 발생량이 약 600만 톤 이상으로 재활용 비율은 58.1%에 이르고 있다(차동원 외, 1999). 이중 비회는 시멘트 대체 재료로서 재활용되고 있으나 저회는 대부분 매립장에 폐기하고 있는 실정이다. 전력수요량의 증대로 석탄회의 발생량은 매년 증대되어 매립지의 확보가 필수적이거나, 환경문제 등으로 인해 매립지의 증대는 어려운 상황에 직면해 있으므로 석탄회를 건설재료로 재활용하면 실질적으로 경제적인 효과가 클 것으로 생각된다. 최근 매립장의 부족 및 자원 재활용측면에서 석탄회의 재활용에 대한 연구가 국내외적으로 계속 진행되고 있으나 국내에서는 석탄회 발생량에 비해 재활용 비율은 미미한게 현실이다(권혁두, 2008). 따라서 도로성토용 재료와 구조물의 뒤채움용 재료로 재활용 방안을 검토하는 것이 무엇보다 재활용 비율을 높이는 데 효과적일 것이라 생각된다.

본 연구에서는 태안화력본부의 회사장에 매립된 비회와 저회의 혼합회를 도로성토용 재료와 구조물의 뒤채움용 재료로 재활용가능성을 검토하여 화력발전소에서 부산되는 석탄회의 재활용율을 높이고 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로 재활용하는데 목적이 있다. 이를 위한 기초연구로서 태안화력본부의 회사장에 매립된 비회와 저회의 혼합비율이 다른 두 종류 석탄 혼합회를 채취하여 첫째, 혼합회의 물리·화학적 특성을 규명하고자 비중, 액·소성, 입도분석, 최대·최소밀도, XRD, 강열감량 실험결과를 비교·분석하고, 둘째, 혼합회의 역학적 특성을 규명하고자 다짐, 투수, CBR, 삼축압축강도 실험결과를 비교·분석하고 셋째, 혼합회의 공학적 특성을 분석하여 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로서의 품질기준과 비교·고찰하고 활용가능성을 판단하고자 한다.

건설재료 활용가능 품질기준

도로성토용 재료

화력발전소의 부산물인 석탄회를 도로의 노체나 노상 재료로 활용하기 위한 기준은 아직 마련되어 있지 않은 실정이지만 일반도로의 노체 및 노상재료의 기준과 비교하여 석탄회를 도로의 성토재료로써 활용가능성 여부를 판단하고자 하였다. 노체재료로 활용하기 위해서는 Table 1에 제시된 노체의 최대치수는 300 mm이하, 수정 CBR값은 2.5% 이상, 다짐후의 건조밀도는 14.7 kN/m³ 이상의 품질기준을 충족해야 하며 노체의 현장다짐 시 상대다짐도가 KS F 2312의 A, B 다짐방법에 따라 실시한 최대건조밀도의 90% 이상을 확보해야 한다. 또한, 노상재료로 활용하기 위해서는 Table 1에 제시된 노상의 최대치수는 100 mm이하, 수정 CBR값은 10% 이상, 5 mm와 0.08 mm체의 통과율은 각각 25~100%와 0~25%, 소성지수는 10% 이하의 품질기준을 충족해야 하며 현장다짐 시 상대다짐도가 KS F 2312의 C, D, E 다짐방법에 따라 실시한 최대건조밀도의 95% 이상을 확보해야 한다(국토해양부, 2009a,b; 한국도로공사, 2009a,b).

구조물 뒤채움용 재료

도로공사 표준시방서에 의하면 뒤채움용 재료가 입상재료일 경우 보조기층 재료와 동등한 기준의 재료를 사용해야 한다고 명시되어 있으며 보조기층 재료의 입도기준으로 SB는 입도에 따라 SB-1, SB-2로 구분되며 SB-1의 최대치수가 SB-2보다 크다. 보조기층 재료의 품질 및 입도기준은 Table 2에 제시한 바와 같다. 뒤채움용 재료가 양질토사일 경우 품질기준 및 다짐관리기준은 Table 3에 제시한 바와 같다. 최대치수는 100 mm이하, 수정 CBR값은 10% 이상, 5 mm체 통과량은 25% 이상, 0.08 mm체 통과량은 15% 이하, 소성지수는 10% 이하로 규정하고 있다. 고속도로 전

Table 1. Quality and degree of compaction standards of base course and subgrade.

Contents	Units	Base course	Subgrade	Remark
Maximum grain size		less than or equal to 300	less than or equal to 100	-
Modified CBR	%	greater than or equal to 2.5	greater than or equal to 10	KS F 2320
Passing rate of sieve 5	%	-	25~100	KS F 2302
Passing rate of sieve 0.08	%	-	0~25	KS F 2302, KS F 2309
Plastic index	%	-	less than or equal to 10	KS F 2303
Dry density after compaction	kN/m ³	greater than or equal to 14.7	-	KS F 2312
Degree of compaction	%	greater than or equal to 90	greater than or equal to 95	KS F 2311, KS F 2312

Table 2. Quality standards of sub-base.

Contents	Units	SB-1	SB-2
Maximum grain size	mm	less than or equal to 75	less than or equal to 50
Passing rate of sieve 5	%	30~65	30~70
Passing rate of sieve 0.08	%	0~10	0~10
Liquid limit	%	less than or equal to 25	less than or equal to 25
Plastic index	%	less than or equal to 6	less than or equal to 6
Modified CBR	%	greater than or equal to 30	greater than or equal to 30

Table 3. Quality and degree of compaction standards of backfill materials.

Contents	Road construction standard specification	Expressway construction guide specification
Maximum grain size(mm)	less than or equal to 100	less than or equal to 100
Modified CBR	greater than or equal to 10	greater than or equal to 10
Passing rate of sieve 5(%)	25~100	25~100
Passing rate of sieve 0.08(%)	less than or equal to 15	less than or equal to 15
Compaction thickness of a layer(cm)	less than or equal to 20	less than or equal to 20
Degree of compaction(%)	greater than or equal to 95	greater than or equal to 95

문시방서에 의하면 뒤채움용 재료가 선택층 재료로 피토고가 3.5m 미만일 경우 Table 3에 제시된 보조기층 재료 SB-1의 품질 및 입도기준을 충족해야한다. 뒤채움용 재료가 양질토사일 경우 피토고 3.5m 이상에 사용될 때에는 도로공사 표준시방서에 제시된 품질 및 입도기준과 동일하다. 구조물 뒤채움 현장다짐 시 상대다짐도가 KS F 2312의 D, E 다짐방법에 따라 실시한 최대다짐도의 95% 이상이어야 하며 시공함수비는 다짐시험방법에 의한 최적함수비 부근과 다짐곡선의 95% 밀도에 대응하는 습윤축 함수비로 규정하고 있다(국토해양부, 2009a,b; 한국도로공사, 2009a,b).

사용시료 및 시험방법

사용시료

석탄회는 통상 보일러 저부에 떨어진 것을 저회(Bottom-ash)라 하고 배출가스에서 분리된 것을 비회(Fly-ash)라 한다. 국내 화력발전소의 경우 국내산 무연탄을 사용하면 원탄의 약 40%, 수입 유연탄을 사용하면 약 15%가 석탄회로 배출되는데 이 중 75~90%가 비회이다(한국전력기술주식회사, 1990). 비회는 석탄을 미분말 형태의 연료로 사용하는 화력발전소에서 이를 연소할 때 굴뚝을 통해 대기중으로 날아가는 재를 집진장치로 포집한 것으로 천연적으로 발생하는 포졸란이나 시멘트와 유사한 성질을 가지고 있다. 입자의 크기는 0.001~0.15 mm의 범위에 속하며 평균입경은 0.02~0.03 mm로 시멘트와 비슷하다. 비중은 1.9~

2.3 mm으로 시멘트보다 작고 화학성분 중의 산화제2철(Fe₂O₃)에 의해 좌우된다. 화력발전소에서 부산된 비회와 저회를 해수로 혼합하여 회사장에 슬러리 상태로 매립되는 석탄회를 혼합회(Mixed ash)라 한다. 대부분 회백색이나 미연탄소분이 증가함에 따라 점점 검은색을 띠고, 비중은 1.9~2.4의 범위로 모래의 일반적인 비중 2.6~2.8보다 작아 경량성의 재료이다. 비회와 저회의 공학적 특성이 다르기 때문에 구성성분이 일정치 않은 혼합회의 정확한 공학적 특성을 알아내기는 쉽지 않다. 따라서 매립된 혼합회의 비회와 저회의 혼합비율에 따른 공학적 특성에 대한 연구가 수행되어 건설재료로서의 재활용 방안을 모색해야 할 것이다.

Fig. 1과 Table 4는 본 연구에 적용된 태안화력본부에서

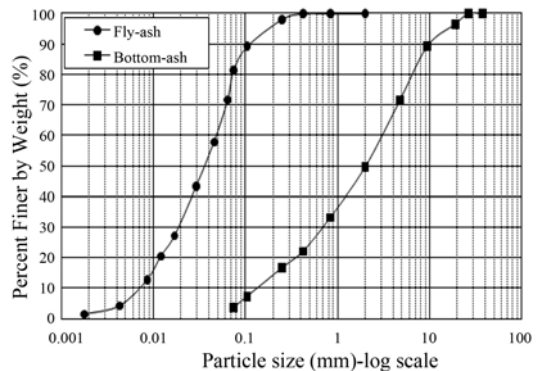


Fig. 1. Grain size distribution for flyash and bottom ash (Taean Thermal Power Plant).

Table 4. Grain size analysis (Taeon Thermal Power Plant).

	P _{#4} (%)	P _{#200} (%)	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	Coefficient of uniformity(C _u)	Coefficient of curvature(C _g)
Fly ash	100.0	81.4	0.048	0.019	0.007	6.9	1.1
Bottom ash	71.3	3.6	3.100	0.700	0.120	25.8	1.3

배출되는 비회와 저회의 대표적 입도분포를 나타낸 것이다. 비회는 0.001~0.4 mm의 입경분포를 보이며 0.08 (No.200)체 통과율은 81.4%로 다소 큰 경향을 나타낸다. 저회는 0.03~26.5 mm의 입경분포를 보이며 5 mm(No.4)체 통과율은 71.3%, 0.08 mm(No.200)체 통과율은 3.6%를 보인다. 본 연구에서는 태안화력본부 회사장에 매립된 혼합회를 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로 활용가능성을 검토하고자 화력발전소에서 부산 되는 비회와 저회의 입도분포특성을 바탕으로 매립된 혼합회를 채취하여 혼합비율을 확인하였다(Fig. 2). 이 중 가장 많이 분포하고 있는 비회와 저회의 혼합비율 5:5(MA-1)와 7:3(MA-2)으로 혼합된 두 종류의 혼합회를 연구대상 시료로 선정하였다(Fig. 3).

천병식과 고흥일(1992)은 국내 5개의 화력발전소에서

발생되는 석탄회를 도로성토용 재료로서 대량 활용을 위해서는 다짐특성에 따라서 비회:저회의 중량비율 5:5 또는 석탄회의 재질에 따라서 6:4까지 혼합하여 사용하는 것이 바람직하고, 이들 혼합회의 CBR값에 의하면 도로성토용 재료는 물론 노상재료까지의 사용에 있어 충분한 지지력을 갖는다는 사실을 확인하였다. 본 연구를 위해 선정된 혼합회 중 MA-1은 선행연구에서 제시된 혼합비율의 범위 내의 시료이며 MA-2는 혼합비율 7:3으로 선행연구에서 제시된 혼합비율의 범위를 만족하지 못한 시료이다. 본 연구에서는 이와 같이 선정된 두 혼합회의 물리·화학적(비중, 액·소성, 입도분석, 최대·최소밀도, XRD, 강열감량) 특성과 역학적(다짐, 투수, CBR, 삼축압축강도) 특성을 분석하였다. 또한, 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로 활용가능성을 판단하고자 혼합회의 공학적



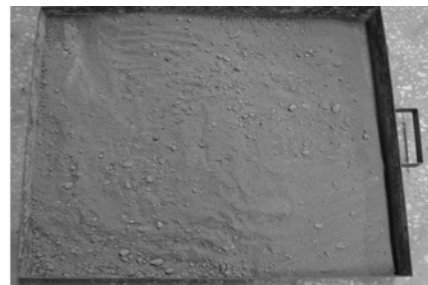
(a) Transportation of ash



(b) Screening of ash

Fig. 2. Transportation to the ash pond of Taeon Thermal Power Plant.

(a) Mixed ash1(Fly-ash:Bottom-ash=5:5; MA-1)



(b) Mixed ash2(Fly-ash:Bottom-ash=7:3; MA-2)

Fig. 3. Samples analyzed in this study.

Table 5. Laboratory tests applied to mixed ash.

Contents	Tests of physical and chemistry characteristic					Tests of mechanics characteristic				
	Specific gravity	Liquid and plastic limit	Grain size analysis	Maxim and minium dry density	XRD	Ignition loss	Com-paction	Perme-ability	CBR	CD-TXC
Methods	KS F 2308	KS F 2303, 2304	KS F 2302, 2309	KS F 2345	.	KS F 2104	KS F 2312	KS F 2322	KS F 2320	KS F 2346

특성을 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료의 품질기준과 비교·고찰하였다.

시험방법

본 연구에서는 비회와 저회의 혼합비율 5:5(MA-1)와 7:3(MA-2)으로 혼합된 두 종류의 혼합회에 대해 Table 5에 제시한 물리·화학적 시험과 역학적 시험을 수행하여 공학적 특성을 규명하는데 활용하였다. 비중, 최대·최소밀도 시험을 통하여 재료의 경량성 및 자중을 산정하여 도로성토용 재료로 활용가능한지 파악하고자 비중시험(KS F 2308)과 최대·최소밀도시험(KS F 2345)을 각각의 혼합회에 대해서 4회 실시하여 산술평균한 결과를 얻었다. 또한, 입도 시험(KS F 2302, 2309)은 공학적으로 입도분포가 좋고 나뭇을 판정하는 중요한 자료로써 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용가능한지에 대해 판단하고자 실시하였으며 화학적 특성을 파악하고자 XRD와 강열감량시험을 실시하였다. 다짐시험은 간극 내의 공기를 배출시켜 입자간의 결합을 치밀하게 함으로써 단위밀도를 증가시키는 과정이며 실내다짐시험방법에는 KS F 2312에 따르면 몰드 크기와 래머무게의 조합에 따라 A, B, C, D, E 등 5가지 종류로 구분되어 있다. 본 연구에서는 매립된 석탄 혼합회가 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용가능성 여부와 현장다짐도를 재현하여 역학적 특성(투수성, CBR, 전단강도)시험을 수행하는데 이용하고자 도로노상 및 구조물 뒤채움에 다짐관리기준에 제시되어 있는 수정다짐(D다짐)을 대표적으로 실시하여 검토하였다(국토해양부, 2009a,b; 한국도로공사, 2009a,b). 다짐시험에 사용한 시료는 회사장에서 채취된 두 혼합회를 110±5°C로 24시간 노건조시킨 후 함수비를 증가시키면서 시료 비반복 사용법으로 6회 실시하여 시험결과를 얻었다. 혼합회의 도로성토 후 투수 특성에 대해 판단하기 위해서 실내다짐시험에서 얻어진 최적함수비(O.M.C)와 최대건조밀도(γ_{dmax})를 고려하여 먼저 노건조된 혼합회의 중량과 최적함수비에 해당하는 추가물량을 계산한 후 최적함수비상태의 시료를 제조하였다. 제조된 시료를 실내다짐시험에서 얻어진 최대건조밀도의

95%의 건조밀도를 나타내도록 계산된 중량을 정수위 몰드에 유압으로 성형하고 진공펌프를 이용하여 포화시킨 후 KS F 2322에 근거하여 정수위 투수시험을 실시하였다. 대상 혼합회에 대해 각각 5회 측정하고 오차범위가 큰 2개 측정값을 제외한 3개의 측정값을 산술평균하여 투수계수를 결정하였다. CBR시험(KS F 2320)은 투수시험에서와 동일하게 실내다짐시험에서 얻어진 최적함수비(O.M.C)를 고려하여 먼저 노건조된 혼합회의 중량과 최적함수비에 해당하는 추가물량을 계산한 후 최적함수비상태의 시료를 제조하였다. 제조된 시료를 층당다짐횟수 10회, 25회, 55회로 하여 3개의 몰드를 제작하고 96시간 수침시켜 팽창비를 확인한 후 관입시험을 통해 수침 CBR값을 산정하였다. 또한 도로공사 표준시방서에 제시된 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료의 품질기준에 적합인지 판단하고자 다짐시험결과와 수침 CBR시험결과를 이용하여 수정 CBR값을 산정하였다. 삼축압축시험(KS F 2346)은 배수상태에서 수직응력을 계속 증가시켜 전단파괴가 발생될 때의 배수점착력과 배수마찰각을 산정하여 일반적으로 사용되고 있는 도로성토용 재료의 강도정수와 비교하여 활용가능성을 판단하고자 실시하였다. 삼축압축시험에 사용되는 시료는 실내다짐시험에서 얻어진 최적함수비(O.M.C)와 최대건조밀도(γ_{dmax})를 고려하여 노건조된 혼합회의 중량과 최적함수비에 해당하는 추가물량을 계산한 후 최적함수비상태의 시료를 제조하였다. 제조된 시료를 실내다짐시험에서 얻어진 최대건조밀도의 95%의 건조밀도를 나타내도록 계산된 중량을 성형상자에 투입시켜 직경 5 cm, 높이 10 cm로 성형한 후 구속압력 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa에 따라 압밀 배수(CD) 삼축압축시험을 실시하였다. Fig. 4는 본 연구에서 수행한 다짐시험, 정수위투수시험, 실내 CBR시험, 압밀배수 삼축압축시험의 일부 과정을 나타낸 것이다.

시험결과 분석 및 고찰

비중 및 최대·최소밀도

본 연구에 사용된 대상 혼합회(MA-1, MA-2)에 대해

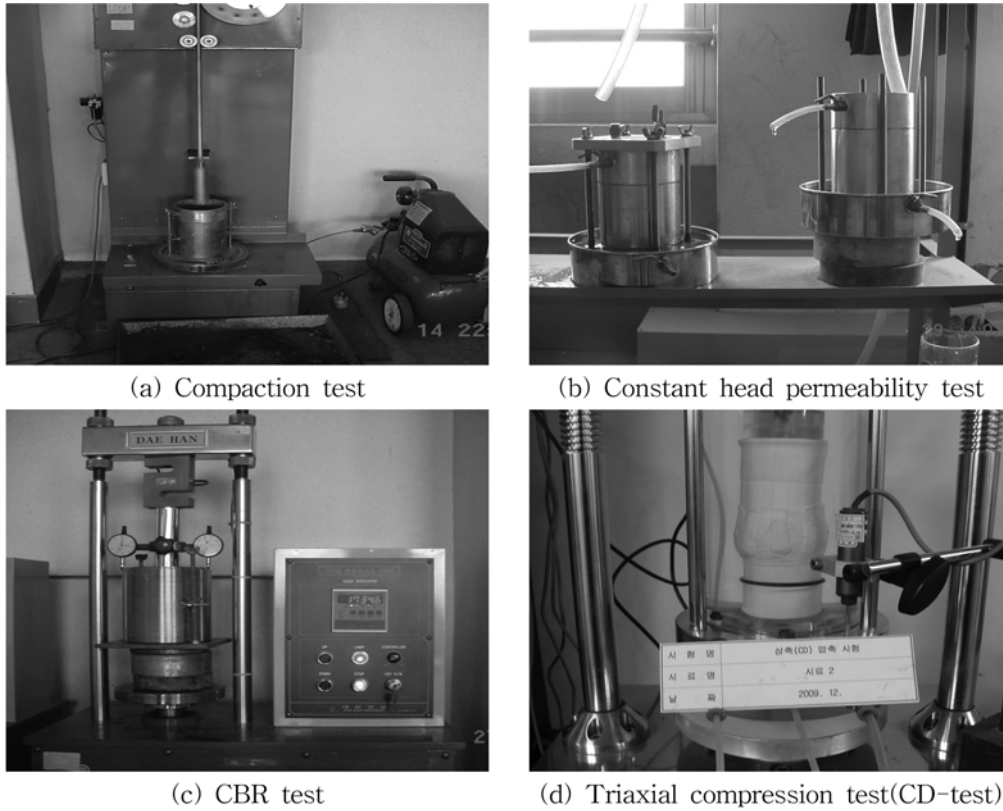


Fig. 4. Process of laboratory mechanical tests.

각각 4회 비중 및 최대·최소밀도시험을 실시하여 산술평균한 시험결과를 Table 6에 제시하였다. 일반적으로 사질토의 비중은 2.55~2.65, 점성토는 2.65~2.75, 실트질 흙은 2.40~2.60 정도이다. 혼합비율에 따른 MA-1과 MA-2의 비중은 각각 2.20과 2.18로 나타났다. 이는 비회의 함유율이 더 낮은 MA-1이 더 크게 나타났으나 두 혼합회 모두 일반적인 사질토, 점성토, 실트질 흙의 비중보다 작아 경량성의 특징을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 일반적으로 균등한 모래의 최대·최소건조밀도는 13.03~18.52 kN/m³, 실트질 모래는 13.62~19.11kN/m³, 점토는 7.84~17.54kN/m³ 정도이다(한국지반공학회, 1997). MA-1의 최대·최소건조밀도는 10.02~13.32 kN/m³, MA-2는 9.38~12.24kN/m³로 나타났다. 이는 비회의 함유율이 더 낮은 MA-1의 최대·최소건조밀도가 다소 크게 나타났으나 일반적인 균등한 모래, 실트질 모래, 점토의 최대건조밀도보다는 다소 작게 나타났다. 도로성토용 재료로 활용되기 위해서는 다짐 후 건조밀도가 14.7kN/m³ 이상의 품질기준을 만족해야 하나 MA-

Table 6. Results of specific gravity and dry density tests.

Samples	Specific gravity	Maxim and minium dry density	
	G _s	γ_{dmax} (kN/m ³)	γ_{dmin} (kN/m ³)
Mixed ash1 (MA-1)	2.20	13.32	10.02
Mixed ash2 (MA-2)	2.18	12.24	9.38

1과 MA-2의 다짐 후 최대건조밀도 이보다 작게 나타나 노체나 노상의 성토용 재료의 품질기준을 만족하지 못하였다. 그러나 구조물 뒤채움용 경량성토재료로 사용하기 위해서는 건조밀도가 10.78~14.70kN/m³의 범위를 만족하면 활용 가능하다. 따라서 본 연구대상 MA-1과 MA-2의 최대건조밀도가 Table 6의 결과로 나타나 경량성토 재료의 건조밀도기준을 만족하여 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

연경도 및 입도

태안화력본부의 회사장에 비회와 저회의 혼합비율 5:5 (MA-1), 7:3(MA-2)으로 혼합되어 매립된 혼합회의 연경도와 입도시험결과를 Fig. 5와 Table 7에 나타내었다.

대상 혼합회 MA-1과 MA-2는 모래와 실트크기의 입자들이 주로 분포하여 연경도시험 시 KS F 2303, 2304에 제시된 방법으로 시험이 불가능 하였으며 일반적인 모래와 실트크기의 입자가 주로 분포하는 토사와 유사하게 비소성(N.P)으로 나타났다. 연경도 측면에서 모래와 실트크기의 입자들이 주로 분포하는 토사재료와 유사하게 비소성(N.P)으로 나타나 Table 1과 Table 2에 제시된 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료의 품질기준에 제시되어 있는 연경도 기준에 적합한 것으로 나타났다. 입도분석결과, 비회는 입자의 크기가 세립도에 해당하는 부분이 많고 저회는 대부분이 모래의 입자크기로 나타났으며 본 연구에서 사용된 혼합회의 경우 비회와 저회의 혼합비율에 따라 통일분류법으로 분류하면 MA-1은 SW-SM, MA-2는 SM으로 나타났다. 통일분류법에서는 모래의 경우 균등계수(C_u)=6, 곡률계수(C_g)=1~3이면 양입도이다. 단, 두 조건 중 하나라도 성립되지 못하면 빈입도로 판정하고 있다. MA-1은 균등계수(C_u)=28.4, 곡률계수(C_g)=2.3으로 입도분포가 양호함을 알 수 있었으며, MA-2는 비회의 비율이 높아 균등계수(C_u)=14.3, 곡률계수(C_g)=0.3으로 입도분포가 불량

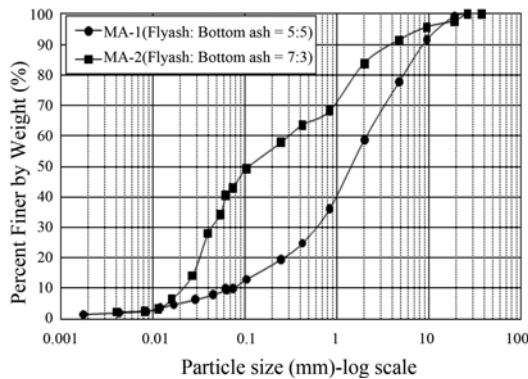


Fig. 5. Grain size distribution for mixed ash.

함을 알 수 있었다. 혼합회 중 비회의 비율이 더 낮은 MA-1의 입도분포가 MA-2의 입도분포보다 더 양호함을 알 수 있었다. MA-1의 입도분석결과 5(No.4)체 통과율은 77.6%, 0.08(No.200)체 통과율은 10.1%로 Table 1과 Table 3에 제시된 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로서의 입도기준을 만족하여 활용이 가능할 것으로 판단된다. 그러나 비회의 혼합비율이 높은 MA-2의 입도분석결과 5(No.4)체 통과율은 91.4%, 0.08(No.200)체 통과율은 42.7%로 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로서의 입도기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 비회의 함유율이 높은 MA-2를 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용하기 위해서는 매립저회와의 추가적인 배합을 통한 품질개선이 필요할 것으로 판단된다.

강열감량 및 XRD

태안화력본부 회사장에 비회와 저회의 혼합비율 5:5 (MA-1), 7:3(MA-2)으로 혼합되어 매립된 혼합회의 강열감량과 XRD(X-Ray Diffraction)시험결과를 Table 8과 Fig. 6에 나타내었다. 강열감량시험결과 MA-1과 MA-2의 값이 각각 4.85%와 10.16%로 나타났다. 이는 비회의 함유율이 높은 MA-2의 값이 크게 나타났다. XRD시험을 분석한 결과 혼합비율에 상관없이 두 혼합회의 화학성분과 결정상은 거의 동일하게 나타났다. 성분 분석결과 일반적인 석탄회와 유사하게 SiO_2 , $Al_2Si_2O_7$, SiO_2 -HT, Fe_2O_3 의 성분을 함유한 것으로 나타났으며, 일반적인 석탄회보다 산화제2철(Fe_2O_3)이 상대적으로 약간 높아 비중이 2.20로 크게 나타났다. 또한, Fig. 6(c)에 나타난 결과와 같이 혼합회의 주된 결정상은 quartz와 mullite상으로 확인되었다.

다짐 및 CBR

다짐은 함수비를 크게 변화시키지 않고 간극속의 공기를 배출시켜 입자간의 결합을 치밀하게 함으로써 단위밀도를 증가시키는데 목적이 있다. 일반적으로 도로성토용 재료로 사용되고 있는 화강토의 최대건조밀도(γ_{dmax})는 18.14~18.83 kN/m^3 , 최적함수비(O.M.C)는 12.1~14.7%이다(천병식 외, 1996).

Table 7. Results of grading and consistency tests.

Samples	Atterberg limit		Grain size analysis						
	Liquid limit (%)	Plastic index (%)	$P_{\#4}$ (%)	$P_{\#200}$ (%)	D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	Coefficient of uniformity (C_u)	Coefficient of curvature (C_g)
Mixed ash1(MA-1)	N.P	N.P	77.6	10.1	2.100	0.600	0.074	28.4	2.3
Mixed ash2(MA-2)	N.P	N.P	91.4	42.7	0.300	0.043	0.021	14.3	0.3

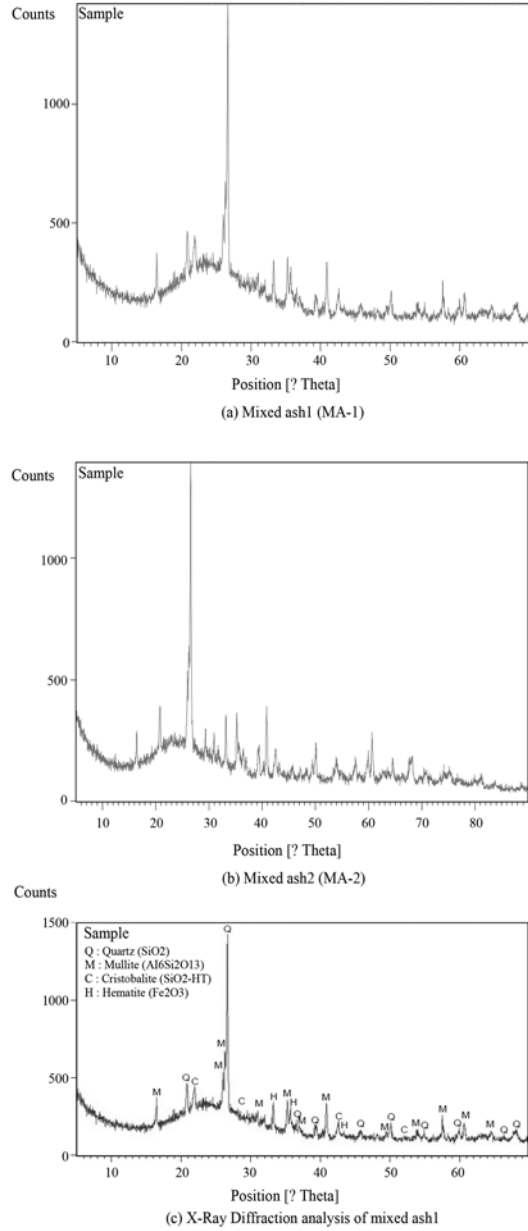


Fig. 6. Results of X-ray diffraction analysis of mixed ash.

Table 8. Results of loss on ignition and X-ray diffraction tests.

Samples	Ignition loss (%)	XRD (X-Ray Diffraction)
Mixed ash1(MA-1)	4.85	Quartz and Mullite
Mixed ash2(MA-2)	10.16	Quartz and Mullite

본 연구에 사용된 두 혼합회의 다짐시험결과는 Fig. 7과 Table 9에 나타내었다. 함수비가 증가함에 따라 건조밀도가 증가하고 일정함수비 이상이 되면 감소하는 일반적인 화강토의 다짐곡선의 형태와 유사하게 나타났으나 함수비 5~25%의 변화에 대한 건조밀도의 변화폭이 MA-1의 경우 12.39~13.90 kN/m³, MA-2의 경우 11.76~13.08 kN/m³으로 작은 변화경향을 보였다. 또한, 최대건조밀도의 95%의 건조밀도에 대응하는 함수비의 범위가 MA-1과 MA-2에 대해 각각 약 15%와 19%로 나타나 현장함수비 관리범위가 상당히 큰 경향을 보였으며 비회의 함유율이 더 높은 MA-2의 함수비 관리범위가 더 크게 나타났다. 최적함수비 (O.M.C)와 최대건조밀도(γ_{dmax})는 MA-1의 경우 17.7%와 13.90 kN/m³, MA-2의 경우 18.3%와 13.08 kN/m³으로 나타나 비회의 혼합비율이 더 낮은 MA-1의 최대건조밀도가 더 큰 경향을 보였고, 최적함수비는 더 작은 경향을 보였다. 그러나 두 혼합회 모두 일반 도로성토용 재료로 사용되고 있는 화강토보다 최대건조밀도는 작게, 최적함수비는

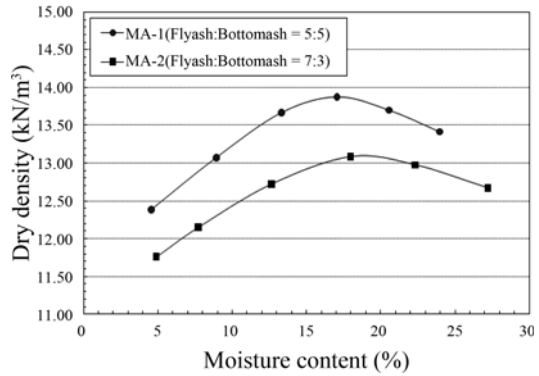


Fig. 7. Compaction curves of mixed ash.

Table 9. Results of compaction and CBR tests on mixed ash.

Samples	Compaction test		CBR test				
	Maxim dry density (kN/m ³)	Optimum moisture content (%)	10 times (%)	25 times (%)	55 times (%)	Expansive ratio of 55 times (%)	Modified CBR (%)
Mixed ash1(MA-1)	13.90	17.7%	3.4	12.9	33.9	0.5	21.0
Mixed ash2(MA-2)	13.08	18.3%	1.5	9.3	24.6	0.7	16.5

큰 값으로 나타났다. 이와 같이 다짐한 석탄 혼합회는 화강토와 비교하여 경량성을 보인다. 다짐한 혼합회의 경량성은 원지반이 연약층일 경우 구조물 뒤채움용 재료로 사용하면 토압측면에서 볼 때 우수한 공학적 특성을 나타낸다. 특히, 경량성토용 재료는 재료자체의 단위밀도가 작기 때문에 하중의 영향으로 인한 지반의 용기 및 압밀침하가 작아 인접 구조물에 미치는 영향이 작다(박민용, 2004). 또한, 도로공사 표준시방서에 다짐 후 건조밀도가 14.72 kN/m³ 이상이면 성토용 재료로 사용이 가능하다고 제시되어 있지만 두 혼합회 모두 기준에 약간 미흡한 것으로 나타났다. 그러나 혼합회의 특성상 경량성을 나타내고 있어 입도 및 CBR 등의 품질기준을 만족한다면 연약지반 위의 도로 성토용 재료 및 뒤채움용 재료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

CBR 시험결과는 Fig. 8과 Table 9에 나타내었다. KS F 2320에 근거하여 최적함수비상태로 제조된 층당 다짐횟수 10회, 25회, 55회의 시료에 대해서 수침 CBR값을 산정한 결과 MA-1의 경우 3.4%, 12.9%, 33.9%로 나타났으며 MA-2의 경우 1.5%, 9.3%, 24.6%로 나타났다. 이와 같이 수침 CBR값은 모든 시료에 대해서 비회의 함유량이 작은 MA-1의 값이 다소 크게 나타났다. 도로공사 표준시방서에 제시된 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료의 품질기준에 적합한지 판단하고자 다짐시험결과와 수침 CBR시험결과를 이용하여 최대건조밀도의 95%의 건조밀도에 대응하는 수정 CBR값을 산정하였다(Fig. 8). MA-1과 MA-2의 수정 CBR값이 각각 21.0%, 16.5%로 나타나 Table 1과 Table 3에 제시된 도로 노체와 노상용 재료의 품질기준과 뒤채움용 양질토사 재료의 품질기준을 만족하여 도로성토용 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용

가능할 것으로 판단되었다. 그러나 뒤채움용 입상재료 및 피토고 3.5m 미만의 선택층 재료의 품질기준은 Table 2의 도로공사 표준시방서에 제시된 보조기층의 입도기준(SB-1)에 제시된 수정 CBR 값 30% 이상의 품질기준을 만족해야 되지만 이를 만족하지 못하므로 뒤채움 입상재료 및 피토고 3.5m 미만의 선택층 재료와 보조기층 재료로 부적합하다고 판단된다. 이러한 분석은 CBR값만을 기준으로 판단한 것으로 구체적으로 사용가능성을 판단하기 위해서는 내구성, 동상성 등의 검토가 이루어져야 할 것이다. 한편 CBR시험 과정에서 측정되는 흡수에 의한 팽창비는 0.5%와 0.7%로 거의 발생하지 않아 팽창비 기준에 의한 도로 성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용은 가능할 것으로 판단된다.

투수시험 결과

실내다짐시험에서 얻어진 최대건조밀도의 95%의 건조밀도를 나타내도록 계산된 중량을 정수위 몰드에 유압으로 성형하고 진공펌프를 이용하여 포화시킨 후 KS F 2322에 근거하여 정수위 투수시험을 실시하였다. 대상 혼합회에 대해 각각 5회 측정하고 오차범위가 큰 2개 측정값을 제외한 3개의 측정값을 산술평균하여 얻어진 포화투수계수의 시험결과를 Table 10에 나타내었다. 투수시험결과 MA-1과 MA-2의 투수계수는 각각 1.89×10^{-4} cm/sec와

Table 10. Results of permeability tests on mixed ash.

Samples	Coefficient of permeability (K, cm/sec)
Mixed ash1 (MA-1)	1.89×10^{-4}
Mixed ash2 (MA-2)	1.32×10^{-4}

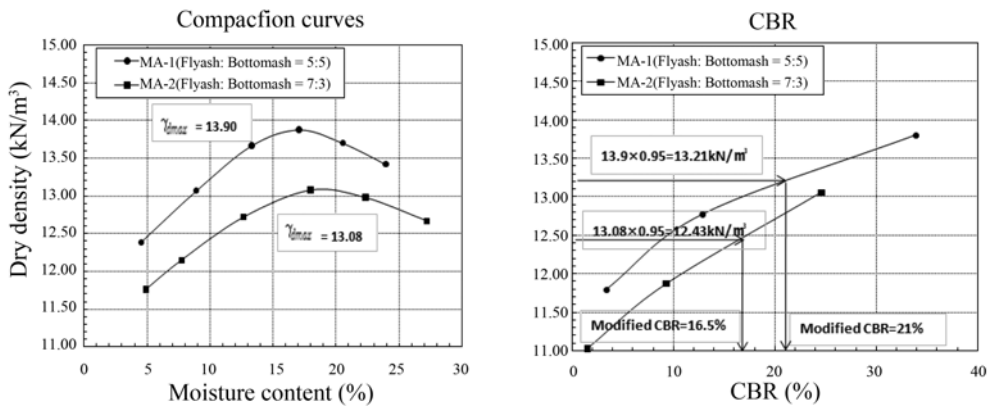


Fig. 8. Results of modified CBR on mixed ash.

Table 11. Typical permeability coefficient of saturated soils.

A kind of soils	Coefficient of permeability (K, cm/sec)
Gravel	1.0~100
Thick sand	10^{-2} ~1.0
Fine sand	10^{-3} ~ 10^{-2}
Silty clay	10^{-5} ~ 10^{-3}
Clay	10^{-6} 이하

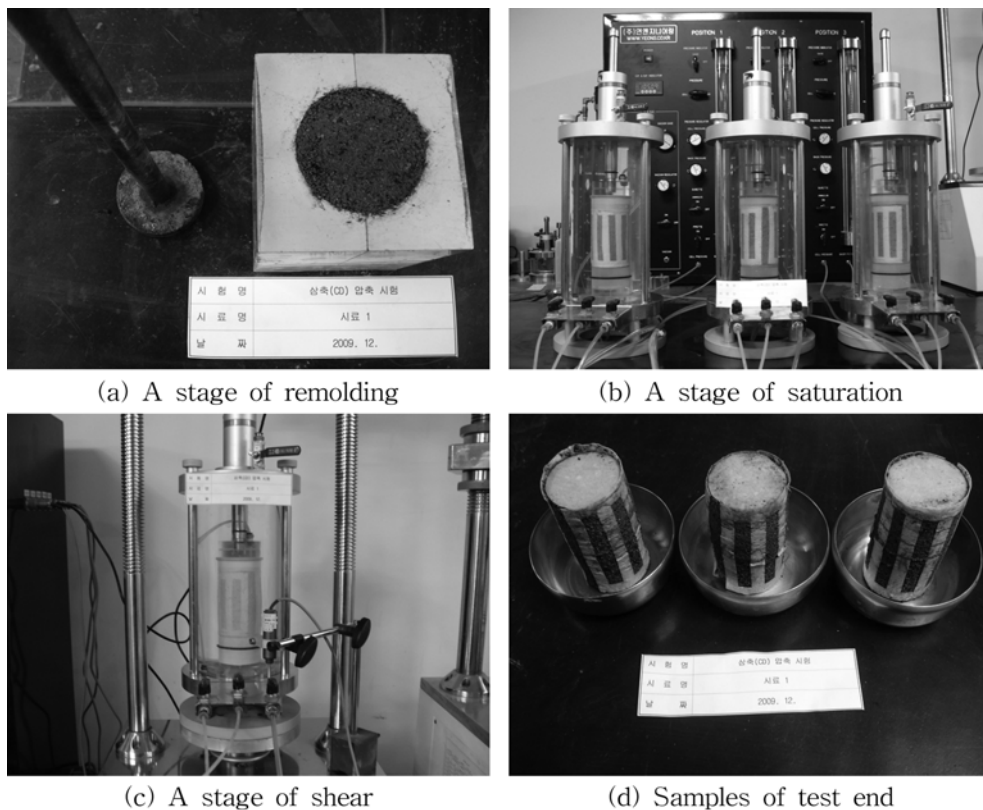
1.32×10^{-4} cm/sec로 나타나 Table 11(이인모, 2000)의 포화토의 대표적인 투수계수와 비교해 보면 실트질 흙과 유사한 범위에 있으며 비슷한 입도분포를 갖는 보통 흙의 투수계수와 유사하게 나타났다. 일반적으로 비회질의 투수계수는 작은 편이고 저회의 투수계수는 큰 편으로 나타나며 본 연구대상 혼합회질의 경우 비회질의 함유량이 많은 MA-2가 MA-1보다 작게 나타났다. 위의 결과를 투수계수 측면에서 분석한 결과, 본 연구대상 두 혼합회질의 경우 실트질 흙이나 모래질 흙의 입도분포를 갖는 투수계수와 유

사하여 투수성이 양호한 것으로 나타나 도로성토용 재료 및 구조물 뒤택음용 재료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

전단시험 결과

혼합회질의 전단특성을 파악하고자 실내다짐시험에서 구한 최적함수비로 시료를 제조한 후 최대건조밀도의 95%의 건조밀도를 나타내도록 성형하였다. 두 혼합회지에 대해 각각 3개씩 성형하여 구속압력 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa로 KS F 2346에 근거하여 압밀배수(CD) 삼축압축시험을 실시하였다(Fig. 9). 압밀배수 삼축압축시험을 통하여 연구대상 혼합회질을 도로성토용 재료 및 뒤택음용 재료로 활용가능한지 적합성을 알아보려고 하였다.

비회에 대하여는 지금까지 각 국에서 삼축압축시험이 많이 실시되었는데, Gray (1972) 등에 의하면 미국의 미시건주 3개 화력발전소에서 채취하여 시험한 압밀배수 삼축압축시험 결과는 점착력이 6.86~10.30 kPa, 내부마찰각이 38~43°이었고, 영국의 6개 화력발전소의 비회를 대상으로 Raymond (1996) 등의 비압밀배수 삼축압축시험 결과에

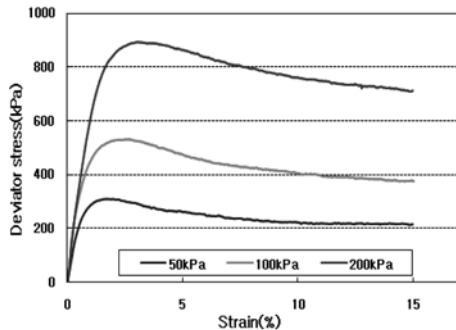
**Fig. 9.** Process of consolidated drained triaxial compression tests on mixed ash.

의하면 점착력이 2.75~4.81 kPa, 내부마찰각은 31.8~38.0°로 보고되고 있다. 또한, 저회는 점착력이 0.00~1.96 kPa, 내부마찰각이 34.2~43.5°로 보고되고 있다.

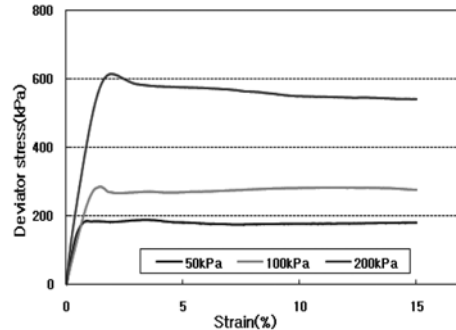
본 연구에서는 혼합회(MA-1, MA-2)에 대하여 압밀배수 삼축압축시험을 실시하여 Fig. 10과 Fig. 11에 나타낸 바와 같은 시험결과를 얻었다. Fig. 10의 변형률-축차응력의 결과에서는 구속응력이 증가함에 따라 축차응력이 증가하였으며 MA-1의 경우 변형률 1~3%, MA-2의 경우 변형률 1~2.5%의 범위 내에서 파괴가 발생하였다. 배수점착력과 배수마찰각은 Fig. 11에 제시된 바와 같이 MA-1과 MA-2의 점착력이 각각 27.24 kPa과 5.69 kPa, 내부마찰각은 41.39°와 36.93°로 나타나 상대밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 30~45° 범위에 포함되는 것으로 나타났다. 일반 도로성토재료로 사용되는 화강토의 점착력은 10 kPa, 내부마찰각은 32°이다. 따라서 본 연구대상 혼합회에 대해 삼축압축시험에 의한 전단강도정수 측면에서 고려할 때 상대밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 범위를 만족하여 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

도로성토용 및 뒤채움용 재료로의 적합성 평가

태안화력본부 회사장에 매립된 혼합회를 도로성토용 재료와 구조물 뒤채움용 재료로 활용가능한지 검토하고자 비회와 저회의 혼합비율 5:5(MA-1)와 7:3(MA-2)으로 혼합된 두 종류 연구대상 시료에 실시한 물리·역학적 특성 시험결과와 도로공사 표준시방서의 품질기준을 Table 12와 Table 13에 제시하였다. 도로공사 표준시방서에서 제시한 도로성토용 재료의 품질기준과 본 연구 대상 혼합회의 시험결과를 비교한 Table 12를 보면 MA-1과 MA-2 모두 최대치수크기, 수정 CBR값, 5mm체 통과율, 소성지수 등은 노체 및 노상의 품질기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 그러나 MA-2의 0.08mm체 통과율이 42.7%로 도로공사 표준시방서 노상재료의 품질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 다짐 후 건조밀도는 MA-1과 MA-2 혼합 회 모두 도로공사 표준시방서에 제시된 14.7 kN/m³보다 다소 작게 나타나 품질기준에 약간 미흡한 것으로 나타났다. 도로공사 표준시방서에 품질기준에는 제시되어 있지 않지만 투수계수 측면에서 분석한 결과, 두 혼합회의 경우 실트질 흙이나 모래질 흙의 입도분포를 갖는 투

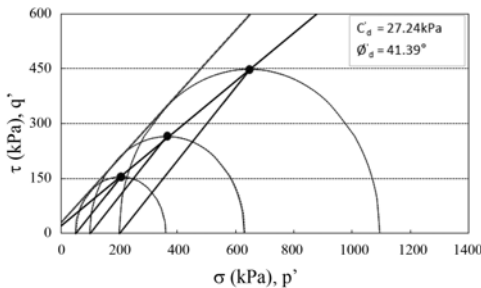


(a) Mixed ash1(MA-1)

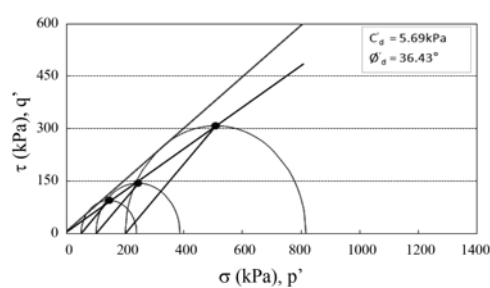


(b) Mixed ash2(MA-2)

Fig. 10. Stress-strain relation derived from consolidated drained triaxial compression tests on mixed ash.



(a) Mixed ash1 (MA-1)



(b) Mixed ash2 (MA-2)

Fig. 11. Failure envelope and stress path derived from consolidated drained triaxial compression tests on mixed ash.

Table 12. Comparison of quality standards for road embankment materials and the properties of mixed ash.

Contents	Units	Road construction standard specification		Samples		
		Base course	Subgrade	MA-1	MA-2	
Maximum grain size	mm	less than or equal to 300	less than or equal to 100	26.5	26.5	
Modified CBR	%	greater than or equal to 2.5	greater than or equal to 10	21.0	16.5	
Passing rate of sieve 5	%	-	25~100	77.6	91.4	
Passing rate of sieve 0.08	%	-	0~25	10.1	42.7	
Plastic index	%	-	less than or equal to 10	Non plastic	Non plastic	
Dry density after compaction	kN/m ³	greater than or equal to 14.7	-	13.9	13.08	
Coefficient of permeability	cm/sec	-	-	1.89×10^{-4}	1.32×10^{-4}	
Strength parameters	Adhesion	kPa	-	-	27.24	41.39
	Internal friction angle	°	-	-	5.69	36.93

Table 13. Comparison of quality standards for backfill materials and the properties of mixed ash.

Contents	Units	Road construction standard specification		Samples		
		Sub-base(SB-1)	Soil quality	MA-1	MA-2	
Maximum grain size	mm	less than or equal to 75	less than or equal to 100	26.5	26.5	
Passing rate of sieve 5	%	30~65	25~100	77.6	91.4	
Passing rate of sieve 0.08	%	0~10	less than or equal to 15	10.1	42.7	
Liquid limit	%	less than or equal to 25	-	Non plastic	Non plastic	
Plastic index	%	less than or equal to 6	-	Non plastic	Non plastic	
Modified CBR	%	greater than or equal to 30	greater than or equal to 10	21.0	16.5	
Coefficient of permeability	cm/sec	-	-	1.89×10^{-4}	1.32×10^{-4}	
Strength parameters	Adhesion	kPa	-	-	27.24	41.39
	Internal friction angle	°	-	-	5.69	36.93

수계수와 유사하여 투수성이 양호한 것으로 나타나 도로성 토용 재료로 활용될 수 있을 것으로 평가되었으며 삼축압축시험에 의한 전단강도정수 측면에서 분석한 결과, 상대 밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 30~45°의 범위를 만족하여 도로성토용 재료로 활용이 가능할 것으로 평가되었다. 도로성토용 재료로서 종합적으로 평가할 때 MA-1은 혼합회와 특성상 경량성을 고려할 때 노체 및 노상재료로 활용이 가능할 것으로 판단되며 MA-2는 노체재료로 활용이 가능할 것으로 판단되나 노상재료로 활용하기 위해서는 매립저회와의 추가적인 배합을 통한 품질개선이 필요할 것으로 판단된다.

도로공사 표준시방서에서 제시한 구조물 뒤택용 재료의 품질기준과 본 연구 대상 혼합회의 시험결과를 비교한

Table 13을 보면 MA-1과 MA-2 모두 최대치수크기, 수정 CBR값, 5 mm체 통과율, 액성한계, 소성지수 등은 구조물 뒤택용의 품질기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 그러나 MA-2의 0.08 mm체 통과율이 42.7%로 도로공사 표준시방서 뒤택용 재료의 품질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 도로공사 표준시방서 보조기층(SB-1)의 품질기준과 비교하면 MA-1의 경우 최대치수, 0.08 mm체 통과율, 액성한계, 소성지수 기준은 만족하나 5 mm체 통과율과 수정 CBR값을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다. MA-2의 경우 최대치수, 액성한계, 소성지수 기준은 만족하나 5 mm체 통과율, 0.08 mm체 통과율, 수정 CBR값 등을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다. 도로공사 표준시방서에 품질기준에는 제시되어 있지 않지만 투수계수 측면

에서 분석한 결과, 두 혼합회의 경우 실트질 흙이나 모래질 흙의 입도분포를 갖는 투수계수와 유사하여 투수성이 양호한 것으로 나타나 구조물 뒤채움용 재료로 활용될 수 있을 것으로 평가되었으며 삼축압축시험에 의한 전단강도정수 측면에서 분석한 결과, 상대밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 30~45°의 범위를 만족하여 구조물 뒤채움용 재료로 활용이 가능할 것으로 평가되었다. 구조물 뒤채움용 재료로서 종합적으로 평가할 때 MA-1은 뒤채움용 양질토사 재료의 품질기준을 만족하여 구조물 뒤채움용 재료로 활용 가능할 것으로 판단되나 뒤채움용 입상재료 및 피토고 3.5m 미만의 선택층 재료의 경우 도로공사 표준시방서에 제시된 보조기층의 입도기준(SB-1)에 제시된 5mm체 통과율 30~65%와 수정 CBR값 30% 이상의 품질기준을 만족해야 되지만 이를 만족하지 못하므로 뒤채움 입상재료 및 피토고 3.5m 미만의 선택층 재료와 보조기층 재료로 부적합하다고 판단된다. MA-2는 0.08mm체 통과율이 42.7%로 품질기준에 제시된 15%를 만족하지 못하므로 매립지회와의 추가적인 배합을 통한 품질개선이 이루어지면 활용 가능할 것으로 판단되며 뒤채움 입상재료 및 피토고 3.5m 미만의 선택층 재료와 보조기층 재료로는 부적합하다고 판단된다.

결 론

본 연구는 태안화력본부 회사장에 매립되고 있는 혼합회를 건설재료로 활용하기 위한 기초연구로서 연구대상 혼합회의 물리적 시험 및 역학적 시험을 실시하여 도로성토용 재료 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용하기 위해 공학적 특성을 검토하였다. 또한, 비회와 저회가 혼합된 비율에 따른 혼합회의 물리·역학적 특성을 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비중 및 최대·최소밀도 시험결과 혼합회의 비중과 최대·최소건조밀도는 비회의 함유율이 더 낮을수록 다소 크게 나타났으며 일반적인 사질토의 비중과 최대·최소 건조밀도보다 작은 값으로 나타났다. 또한, 경량성토재료의 건조밀도기준을 만족하여 구조물 뒤채움용 경량성토 재료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

2. 연경도 및 입도시험 결과를 토대로 혼합회를 도로성토재료와 구조물 뒤채움재료로써 활용가능기준과 비교해본 결과 MA-1의 경우 도로의 노상재료와 구조물 뒤채움재료의 품질기준을 만족하여 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 비회의 함유비율이 높은 MA-2의 경우 도로성토재료 및 구조물 뒤채움재료로써의 품질기준을

만족하지 못하여 활용을 위해서는 매립지회와의 추가적인 배합을 통한 품질개선이 필요할 것으로 판단되었다.

3. 강열감량과 XRD시험결과 강열감량은 비회의 함유율이 높은 혼합회가 크게 나타났고, 성분분석결과 일반적인 석탄회와 유사한 성분을 나타내었으며 혼합회의 주된 결정상은 quartz와 mullite상으로 확인되었다.

4. 다짐시험결과 비회의 혼합비율이 더 낮은 혼합회가 최대건조밀도는 작고 최적함수비는 더 큰 것으로 나타났으며 혼합회는 일반 도로성토재료로 사용되고 있는 화강토보다 최대건조밀도는 작고 최적함수비는 큰 것으로 나타났다. 다짐시험결과를 토대로 분석한 결과 원지반이 연약층일 경우 구조물 뒤채움재료로 사용하면 토압측면에서 우수한 공학적 특성을 나타낼 것으로 판단되나 도로성토재료로 사용하기 위한 품질기준에는 약간 미흡한 것으로 나타났다.

5. CBR시험결과 도로 노체와 노상용 재료의 품질기준과 뒤채움용 양질토사 재료의 품질기준을 만족하여 도로성토용 및 구조물 뒤채움용 재료로 활용 가능할 것으로 판단되었으나 뒤채움 입상재료 및 피토고 3.5m 미만의 선택층 재료와 보조기층 재료로는 부적합한 것으로 판단되었다.

6. 투수시험결과 비회의 함유율이 많은 혼합회의 투수계수가 작게 나타났으며 혼합회의 투수성은 실트질, 모래질 흙과 유사하게 양호한 것으로 나타나 도로성토재료 및 구조물 뒤채움재료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

7. 삼축압축시험결과 점착력과 내부마찰각이 상대밀도가 큰 모래질 흙의 내부마찰각 30~45° 범위에 포함되는 것으로 나타나 일반 도로성토재료로 사용되는 화강토를 대체하여 도로성토재료 및 구조물 뒤채움재료로 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 2009학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며 연구를 지원해 주신 학교당국에 감사드립니다. 또한, 본 논문을 심사하여 주신 심사위원님께 감사를 표합니다.

참고문헌

- 국토해양부, 2009a, 도로공사 표준시방서, 보조기층 및 기층공사, 4-9.
국토해양부, 2009b, 도로공사 표준시방서, 토공사, 29-49.

- 권혁두, 2008, 지반보강 및 차수 그라우팅재로서의 Bottom Ash 활용에 관한 연구, 박사학위논문, 서울 시립대학교, pp. 2.
- 박민용, 2004, 경량성토재로서의 부산석회 재활용 방안 연구, 석사학위논문, 홍익대학교, 12p.
- 이인모, 2000, 토질역학의 원리, 새론, 151p.
- 차동원, 1999, 한전의 석탄회 및 탈황석회 재활용 현황, 고성능 콘크리트 국제 워크숍 논문집, 245-270.
- 천병식, 고용일, 1992, 석탄회의 도로성토재 및 노상재료로서의 활용을 위한 비회와 저회의 적정혼합비, 대한토목학회 논문집, 12(1), 177-176.
- 천병식, 장명순, 최현석, 1996, 석탄회의 성토재 및 포장재료로서의 재활용에 관한 연구, 1996년 연약지반 처리위원회 봄 학술세미나, 한국지반공학학회, 93-107.
- 한국도로공사, 2009a, 고속도로공사 전문시방서, 보조기층 및 기층공사, 4-8.
- 한국도로공사, 2009b, 고속도로공사 전문시방서, 토공사, 23-38.
- 한국전력기술주식회사, 1990, 유연탄 화력 회사장 면적 축소 방안, 1-6.
- 한국지반공학학회, 1997, 구조물기초설계기준, 한국지반공학학회, 22-25.
- 환경부, 2006, 폐기물 관리법, 환경부 폐기물 자원국.
- Gray, D. H., and Lin, Y. K., 1972, Engineering Properties of Compacted Flyash, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 98(SM4), 361-380.
- Raymond, S., and Smith, P. H., 1996, Shear Strength, Settlement and Compaction Characteristics of Pulverized Fuel Ash, Civil Eng. and Public Works Review, 1107-1113.

2010년 7월 17일 원고접수, 2010년 8월 30일 게재승인

김대현

조선대학교 토목공학과

501-759 광주광역시 동구 서석동 375

Tel: 062-230-7607

Fax: 062-230-7083

E-mail: dkimgeo@chosun.ac.kr

기완서

조선이공대학 토목건설과

501-744 광주광역시 동구 서석동 290

Tel: 062-230-8662

Fax: 062-230-8677

E-mail: wski@mail.chosun-c.ac.kr

김선헌

조선대학교 토목공학과

501-759 광주광역시 동구 서석동 375

Tel: 062-230-7093

Fax: 062-230-7083

E-mail: sun93k@naver.com