

다량의 폐석회와 석탄회를 이용한 경화체의 강도적 특성

Characteristics of compressive strength of hardening used by fly ash and waste lime

고 대형* 이 정재* 박 응모** 문 경주** 소 양섭***
Ko, Dae Hyoung Lee, Jeong Jae Piao, Ying Mo, Mun, Gyoung Ju Soh, Yang Seob

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the compressive strength properties of hardening using the unrefined fly-ash and waste lime and to offer basic data to someone for recycling waste lime. Waste limes are tested that specific gravity and pH value and observed microstructure of particle with SEM. The compressive strengths of Waste lime hardening which is mixed with regular ratio according to each admixture are measured. In the results of test, The pH of waste lime is very high by pH 12.1 and specific gravity is 2.22. Compressive strengths on hardening modified waste lime and fly ash is very effective. The vest compressive strengths is show that CaCl_2 existed in waste lime

1. 서론

폐석회는 소다공장을 비롯한 화학공장, 폐수처리장, 체철소 등에서 다량의 폐석회가 부산물로 배출되는데 잠재적으로 좋지 않는 영향을 주는 불순물을 함유하고 있어 각종 오염원의 발생가능성을 많이 내포하고 있는 실정이고 발생량 또한 막대하여 이의 처리방안이 심각한 문제로 대두되고 있다.

외국의 경우(미국-Allied Chemical사, 프랑스-Rhone Polence사, 일본-Tosoh Soda) 대부분 폐석회의 처리는 공유수면 매립에 이용하고 일부는 석회비료 및 시멘트 공업에 사용되고 있으나 국내의 폐석회 재활용도는 선진외국에 비해 매우 미흡한 실정이다.⁷⁾ 현행 폐기물 관리법상 일반 토사류 등과 혼합하여 공유수면 매립면허를 받은 지역의 성토재, 바다에 인접한 폐기물 매립시설의 복토재 등으로의 방안이 제시되고 있으나 환경오염을 우려하여 아직까지는 재활용이 되지 못하고 있으며 또한 차수재 및 복토재의 이용방안은 폐석회의 대량처리 기술은 될지 모르나 자원으로서의 재활용 방안은 아니기 때문에 부가가치가 있는 재활용 기술이 절실히 필요한 실정이다.

따라서 폐석회를 단순매립에서 유용한 자원으로 이용하기 위하여 폐석회의 물리·화학적 성질을 파악하고 석탄회를 사용하여 포졸란 반응을 활성화하기 위한 기초적 실험을 실시하였다.

- * 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정
- ** 정회원, 전북대학교 건축공학과 박사과정
- *** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수

또한 폐석회 원료의 분석을 통하여 각 성분이 경화체에 미치는 작용을 파악하여 새로운 건설재료의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

본 실험에서는 결합재로 KS L 5201에 규정된 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 폐석회는 인천광역시 화학회사에서 솔베이커법으로 석회석(CaCO₃), 소금(NaCl), 물(H₂O)을 반응시켜 소다회(Na₂CO₃)를 형성하는 과정에서 배출되는 석회 잔류물로서 배출 되는 것을 105℃에서 24시간 건조 시켜 미분쇄 후 사용 하였다. 석탄회는 서천산 플라이 애쉬로 비정제된 것을 사용하여 경제성을 확보하고자 하였다.³⁾



2.2. 시험방법

2.2.1 폐석회 및 석탄회의 분석

폐석회 및 석탄회의 특성을 조사하기 위해 비중 및 함수율 등은 KS규준에 의거하여 실시하였고, pH는 pH미터기로 측정하였으며 폐석회의 성상 분석은 주사형 전자 현미경(SEM)을 이용하여 분석하였다. 폐석회 및 석탄회의 화학적 특성을 Table1,2에 나타냈다.

2.2.2 폐석회 경화체 제조

(1) 배합

배합은 아래의 Table3과 같이 3분류로 나누어 실험을 실시하였는데 먼저 폐석회와 석탄회의 반응성을 알아보기 위하여 바인더/골재비를 1 : 1 로 고정하고 물양 및 양생온도를 고정하여 폐석회와 석탄회만을 변수로 두어 강도적 특성을 파악하였다. 두 번째 분류는 폐석회가 가지는 화학적 성분을 분석하여 그 성분들이 가지는 특성이 강도에 미치는 영향을 파악하기 위해 각 성분의 화학적 조성에 비례하게 시중 제품으로 치환하여 압축강도의 영향을 파악하였다. 마지막으로 적절한 배합비를 선택하여 골재의 양을 일정비율로 증가시켜 단위 시멘트당 골재양이 증가함에 따른 강도 특성을 파악하였다.

(2) 공시체의 제작 및 양생

폐석회 경화체의 강도 특성을 평가하기 위하여 소정의 비례로 원재료들이 충분히 혼합되도록 1분간 건비빔한 후, 물을 가하여 모르타르 믹서로 1분 30초 동안 습식 혼합하여 압축강도 측정용 5cm×5cm×5cm 몰드에 타설하여 제작 하였다.

폐석회 경화체의 몰드 제작후 몰드와 함께 80℃에서 12시간 증기 양생한 후 표준양생실에서 수중양생하여 재령에 따른 압축강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 폐석회의 물리적 특성 및 화학 조성

Fig 1에서 볼 수 있듯이 비정제 석탄회의 입자는 매우 둥근 형태를 갖고 있으며 다양한 크기로 존재함을 알 수 있었다. 폐석회는 백색의 분말형태로 건조되며 Fig 2와 같이 입자의 형태는 부정형으로 일정한 형태를 갖지 않고 입자표면이 매우 거친 형태를 가지고 있었다. 폐석회는 비중시험 방법 KS F 2504에 의거하여 비중을 체크한 결과 표건비중이 2.22로 나타났으며 석탄회의 비중 2.17과 비슷하며 시멘트보다는 1이상 가벼워 향후 건설재료로 이용시 경량성을 확보할 수 있을 것으로 사료되었다. pH 측정은 시료와 증류수를 1:1(중량비)로 혼합하여 20℃에서 1시간 교반후 pH메터기로 측정한 결과 pH 12.1로서 강알칼리성이며 사용된 석탄회의 pH는 8.8로 약알칼리성을 나타내고 있었고 사용된 폐석회 분말의 함수율은 6.6%이며 석탄회의 함수율은 1.0%로 건조후 분쇄 및 보관과정에서 수분의 흡착이 있었던 것으로 생각되어진다.

폐석회의 수분을 제외한 무기성분의 구성비는 탄산칼슘이 40.2%로 가장 많은 양을 이루고 있는 주성분이며 경화체내의 충전역할을 수행하며 생석회는 18.2%, 황산칼슘은 5.8%로 이는 석탄회와 포졸란 반응을 할 것으로 판단되어지며 염화칼슘이 9.7%로서 경화체내의 경화속도를 촉진 할 것으로 생각되어진다. 하지만 폐석회중에는 염화칼슘 및 염화나트륨의 염화물이 다량으로 함유되어 있어 콘크리트 구조물의 이용은 피해야 하지만 콘크리트 2차제품으로의 이용이 가능할 것으로 생각되어진다.

Table 1 Physical properties¹⁾

Physical properties	Shape of particle	Blain (cm ² /g)	Specific gravity	pH	Percentage of moisture contents(%)
Waste lime(%)	비정형	2722	2.22	12.1	6.6
Fly-ash(%)	구형	3610	2.17	8.8	1.0

Table 2 Chemical components of Waste lime²⁾

Chemical Components	CaCO ₃	CaO	MgO	CaCl ₂	CaSO ₄	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	NaCl ₂	SiO ₂
Waste lime(%)	40.2	18.2	7.6	9.7	5.8	2.0	3.8	6.0	6.7
Fly-ash(%)	-	2.7	1.1	-	-	7.0	27.8	-	55.7

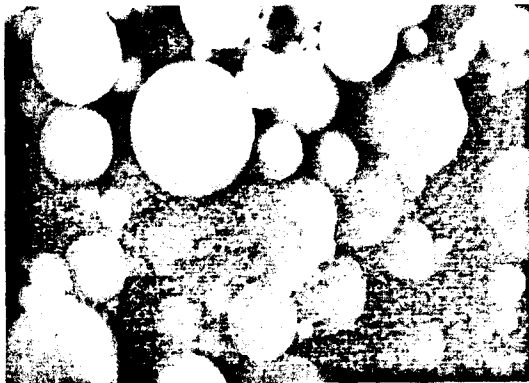


Fig 1 SEM of fly ash (×3000)

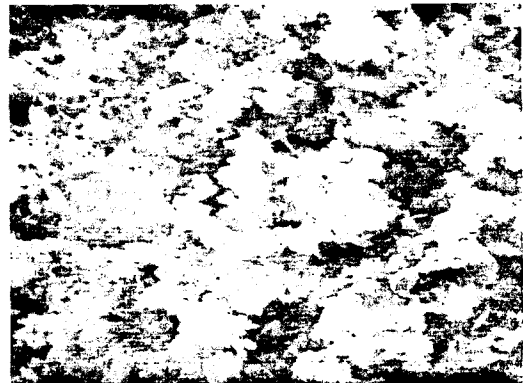


Fig 2 SEM of waste lime (×3000)

Table 3 Mixing of waste lime hardening(wt%)

No	cement	fly ash	waste lime	CaCO ₃	Ca(OH) ₂	CaCl ₂	CaSO ₄ · 2H ₂ O	binder/ Sillica sand	water/ binder	temperat ure(°C)			
I	a	20	80	-				1/1	40	80			
	b		70	10									
	c		60	20									
	d		50	30									
	e		40	40									
	f		30	50									
	g		20	60									
	h		-	80									
II	a	33.3	66.7						40	80			
	b	25.5	51.0								23.5		
	c	22.3	44.7								20.6	12.4	
	d	21.3	42.6								19.6	11.8	4.7
	e	20.6	41.1								18.9	11.4	4.5
III	a	20	40	40				-	40	80			
	b							1/0.5					
	c							1/1					
	d							1/1.5					
	e							1/2					
	f							1/2.5					
	g							1/3					

3.2. 경화체의 압축강도 특성

시멘트를 고정하고 석탄회와 폐석회의 비율을 변화 시켜 압축강도를 측정한 경과 폐석회를 10%혼입 시에 가장 큰 압축강도가 나타나고 50%혼입까지는 큰 강도저하가 없는 것으로 나타났다. 그러나 석탄 회를 혼입하지 않을 경우 강도저하가 큰 것으로 나타났다. 또한 다량의 석탄회로 인하여 28일 이후에 장기재령에서 압축강도가 더욱 증가할 것으로 생각되어진다.

폐석회의 성분을 분석하여 폐석회에 존재하는 성분을 기존제품으로 혼입하여 압축강도를 측정한 결과 탄산칼슘은 초기강도가 20kgf/cm² 정도 증가하였지만 장기강도에서는 압축강도의 증가율이 현저하 게 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이는 탄산칼슘이 모세관공극을 충전할 수 있으나 석탄회와 반응하지 않고 안정한 상태로 존재하기 때문으로 생각되어진다.⁵⁾

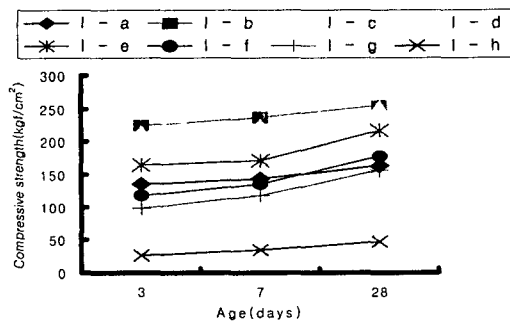


Fig 1 Compressive strength of waste lime hardening

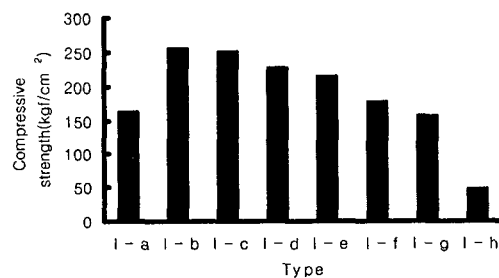


Fig 2 Compressive strength at 28days of curing

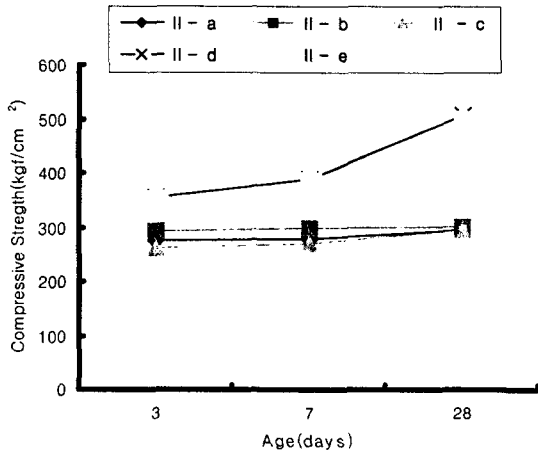


Fig 3 Compressive strength according to chemical components

특히 염화칼슘에 의해 압축강도가 160kgf/cm² 정도의 증가를 함으로 폐석회를 사용할 시에 가장 크게 압축강도를 증가시키는 물질이 염화칼슘임을 알 수 있었다. 염화칼슘은 무기질 촉진제로서 시멘트중의 Alit(C₃S)의 수화반응을 촉진한다. 시멘트에 염화칼슘을 첨가하면 C₃S의 수화반응이 촉진되고 용액중의 수산화칼슘의 과포화도가 높아져서, 시멘트겔(CSH겔)등 수화 생성물의 석출이 왕성하게 되어 초기 강도가 증대하게 된다. 또한 염화칼슘은 CSH의 결정형태에 영향을 미쳐서, 긴 섬유상 결정이 치밀하게 휘감기어 합쳐진 조직을 만들어 강도를 증대시킨다.⁶⁾

그러나 소석회의 첨가는 오히려 압축강도의 저하를 초래하는 것으로 나타났는데 이는 시멘트의 C₃S 및 C₂S의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘과 인위적인 첨가에 따른 수산화칼슘은 재빨리 과포화 되어 결정체로 석출되기 때문이다. 따라서 수산화 칼슘의 결정체는 강도가 없으므로 석탄회와 반응하지 못한 수산화칼슘은 그 자체로 남아 강도를 저하시키는 것으로 사료된다. 석고의 첨가시 압축강도에 큰 영향을 미치지 않았다.

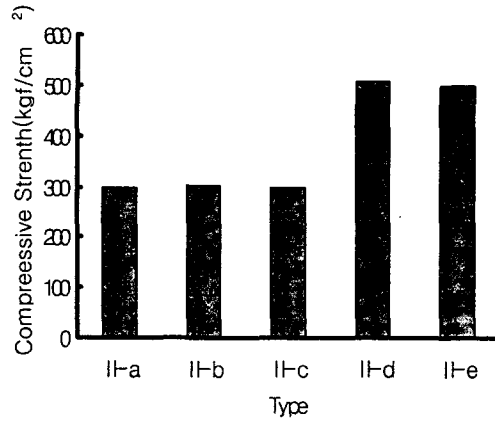


Fig 4 Compressive strength at 28days of curing

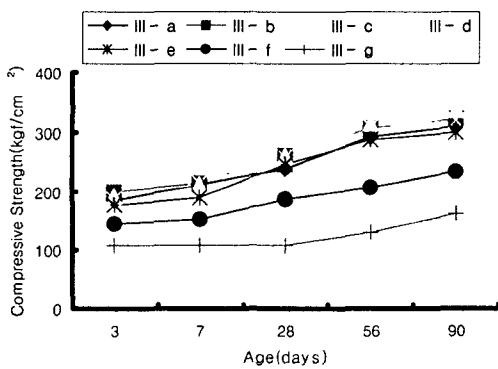


Fig 5 Compressive strength according to aggregate ratio

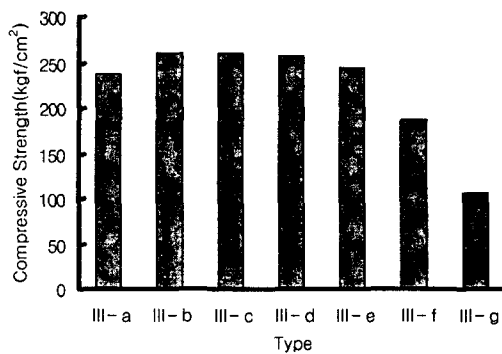


Fig 6 Compressive strength at 28days of curing

3.2.2 바인더/골재에 따른 압축강도 특성

바인더 양을 고정시키고 골재로 사용된 규사(#5)의 양을 바인더비로 0에서 300%까지 변화시켜 압축강도를 측정하였다. 골재의 양이 증가할수록 단위 바인더 양이 감소하여 압축강도의 저하가 나타나지만 바인더/골재비가 1/2까지는 압축강도의 저하를 볼 수 없었으며 장기재령에서도 강도저하는 나타나지 않았다. 그러나 바인더/골재비가 1/2.5이상 될 경우 압축강도의 저하가 현저하게 나타나는데 이는 상대적으로 바인더 양이 감소함에 따라 골재사이의 결합력이 약화되는 것으로 생각되어진다.

4. 결 론

- 1) 폐석회의 pH를 측정한 결과 pH12.1로서 강알카리성임을 알 수 있었고, 비중은 2.22로 석탄회와 비슷하며 시멘트보다는 매우 가벼우며 입자의 형상은 일정한 형태를 가지고 있지 않고 매우 거친 상을 볼 수 있었다.
- 2) 석탄회에 폐석회를 혼입시 압축강도는 크게 개선되는 것을 알 수 있었고 폐석회의 혼입율이 50% 이상 증가할수록 압축강도는 크게 저하하였다.
- 3) 폐석회의 주성분인 탄산칼슘은 경화체의 초기 압축강도를 20kgf/cm² 정도 증가시키지만 장기 강도는 증가하지 않았다. 특히 염화칼슘에 의해 압축강도가 150kgf/cm²정도 증가함으로 가장 큰 압축강도 증가를 볼 수 있었고 장기강도에서는 150kgf/cm²정도 증가하여 강도증진에 큰 효과가 나타남을 알 수 있었다. 그러나 소석회의 첨가는 오히려 압축강도의 저하를 초래하는 것으로 나타났는데 이는 시멘트의 C₃S 및 C₂S의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘과 인위적인 첨가에 따른 수산화칼슘은 재빨리 과포화 되어 결정체로 석출되기 때문이다. 따라서 수산화칼슘의 결정체는 강도가 없으므로 석탄회와 반응하지 못한 수산화칼슘은 그 자체로 남아 강도를 저하시키는 것으로 사료된다. 석고의 첨가시 압축강도에 큰 영향을 미치지 않았다.
- 4) 바인더/골재비에 의해 강도변화를 1/2 까지는 강도 감소가 크지 않지만 1/2.5이상이 되면은 현저한 강도 저하가 나타난다. 이는 골재의 양이 증가함으로 단위 바인더 양이 감소함에 따라 골재사이의 결합력이 약화되는 것으로 판단되어진다.

참고문헌

- 1) 소양섭외 3인, “플라이 애시 및 제지슬러지 애시를 혼입한 도시 쓰레기 소각재 경화체의 강도적 특성”, 한국콘크리트학회 발표논문집, 제 12권 2호, 2000
- 2) 폐석회문제 해결을 위한 공동 협의회, “폐석회의 성토재 활용에 관한 연구결과”, 기자회견 자료, 2001
- 3) 김준섭, “폐석회를 이용한 매립지 차수재 개발”, 서울대학교 공학석사학위 논문, 1999
- 4) 김재신, “도시 쓰레기 소각재를 이용한 인공골재의 활용 가능성에 관한 연구”, 전북대학교 공학석사학위 논문, 2001
- 5) 신동욱, “석회·석회석 공업”, 화학공학과 기술, 제 2권 1호, 1984
- 6) 이장화의 2인, “자연계·축진제 및 팽창재” 콘크리트학회지 제 8권 2호, 1996
- 7) 신은철외 3인, “폐석회를 재활용한 인공차수재 및 복토재 개발” 토목학회지, 1996