산업부산물을 결합재로 이용한 콘크리트의 물리적 특성

Physical Properties of Concrete using Industrial By-Products as Binder

강 내 민* 문 경 주** 소 양 섭***
Nae-Min Kang Kyoung-Ju Mun Yang-Seob Soh

ABSTRACT

In this study, non-sintering cement is produced by only blending granulate blast furnace slag with phosphogypsum as main materials, and small amounts of hydrate lime or waste lime as activators. This paper was investigated physical properties of fresh concrete and hardened concrete using non-clinker cement according to various mixing ratio. Results obtained from this study have shown that concrete using non-clinker cement could be used for structural concrete and concrete 2th production as binder.

1. 서론

1997년 일본 교토에서 합의된 지구 온난화 방지 국제회의에서 2010년 이후 온난화가스 배출량을 1990년 수준 이하로 삭감키로 협약하고, 선진국의 경우 2008년부터 5년에 걸쳐 선진국의 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2% 감축하는 것을 의무화하고 있다. 따라서 향후 온실가스 감축은 시멘트 업계의 가장 큰 현안이 될 것으로 예견된다. 그러나 세계의 시멘트 수요량은 21세기 초반까지 매년 2.5~5.8% 정도 증가가 예상되고 있어서 교토의정서의 준수와 시멘트 수요의 증가를 동시에 충족시키기 위해서는 이산화탄소의 배출이 적거나 전혀 없는 시멘트의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 고로 슬래그는 제철과정에서 발생하는 산업 부산물로서 그 자체는 물과 접촉하면 수화되지 않지만 알카리 혹은 황산염과 같은 자극제를 첨가하면 수화반응하여 경화되는 특성이 있다. 특히, 현재 한국에서는 약 2,500만톤의 폐인산석고 및 350만톤의 폐석회가 활용되지 못하고 폐기물로 분류되어 적치되어 있는 실정이며 이의 처리문제가 매우 심각한 실정이다. 본 연구는 고로 슬래그에 인산석고 및 폐석회를 황산염 및 알카리 자극제로 이용하여 비소성 시멘트를 제조하고 이의 콘크리트 결합재로의 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

본 연구에서는 K제철에서 발생되는 고로 슬래그 미분말(GBFS)을 주재료로 사용하였다. 수화반응 유도를 위한 황산염 자극제로는 N사의 인산제조시 폐기물로 배출되는 폐인산석고(PG)를 알카리 자극제로는

* 정회원, 전북대학교 건축공학과 석사과정
** 정회원, 전북대학교 건축공학과 박사수료, 전북대학교 강사
*** 정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구센터

공업용 소석회(SL)와 D사에서 소다회(Na_2CO_3) 제조 공정중에 폐기물로 배출되는 폐석회(WL)를 사용하였다. 폐석고는 세척, 중화처리한 후 450℃에서 하소한 II형 무수석고(APG) 상태와 중화처리 후 80℃에서 건조만 한 이수석고(DPG) 상태의 것을 미분쇄하여 사용하였다. 폐석회는 배출상태의 것을 그대로 건조한 후 미분쇄하여 사용하였으며 비소성 시멘트(Non-Sintering Cement, NSC)와 물성을 비교하기 위한 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)는 D사의 것을 사용하였다. 사용재료의 화학·물리적 성질은 표 1에 나타낸 것과 같다. 콘크리트 물성시험에 사용한 골재는 굵은 골재로 20mm 쇄석골재(비중;2.60, 조립률;6.68)를 잔골재로 세척사(비중;2.58, 조립률;2.34)를 사용하였다. 혼화제는 나프탈렌계 고성능AE감수제를 사용하였다.

표 1 Chemical and physical properties of starting materials

Item / Type	Oxide composition(%)							Blaine (g/cm^2)	Specific gravity
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ig-loss		
GBFS	34.76	14.50	0.48	41.71	6.87	0.13	0.23	4,600	2.91
APG	1.34	0.12	0.04	39.07	-	58.43	0.81	4,300	2.88
DPG	1.08	0.07	0.21	31.58	0.05	44.49	22.42	4,100	2.36
SL	-	0.18	0.03	65.88	0.98	1.18	30.95	5,400	2.27
WL	-	0.18	0.03	65.88	0.98	1.18	30.95	4,100	2.27
OPC	19.88	5.39	2.38	67.13	1.64	1.24	2.15	3,300	3.15

2.2. 실험방법

본 연구에서는 NSC의 제조에 대한 실험결과의 정확도를 높이기 위하여 많은 예비 실험을 실행한 후 표 2와 같이 배합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프, 공기량, 블리딩 시험을 실시하였고 제작된 공시체는 표준 양생 실시 후 3, 7, 28, 90, 360일 재령에서 압축, 휨, 쪼갬인장강도를 측정하였다.

표 2 Mix proportion

Type	Mix proportions of NCC(wt%)						Gmax (mm)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m^3)	Mixing proportion(kg/m^3)			AE high range water reducing agent
	OPC	GBFS	AG	DG	SL	WL					C	S	G	
OPC	100	-	-	-	-	-	20	45	41	179	397	736	1060	C× 0.5%
BSC	50	50	-	-	-	-								
NSC1	-	87	12	-	1	-								
NSC2	-	87	6	6	1	-								
NSC3	-	82	-	17	1	-								
NSC4	-	85	11	-	-	4								
NSC5	-	81	11	-	-	8								

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프 및 공기량

그림 1은 시멘트 종류에 따른 슬럼프 및 공기량 실험결과를 나타낸 것이다. 비소성 시멘트의 유동성은 OPC나 BSC의 경우보다 폐석회를 이용한 NSC4, 5를 제외하고는 전반적으로 유동성이 우수하게 나타났는데 이는 고로 슬래그의 표면이 매끈한 파면상이기 때문이다. 황산염 자극제로 사용된 폐석고의 경우 석고의 종류(무수, 이수)에 관계없이 유동성에 큰 영향을 미치지 않았으나 폐석회의 혼입율이 증가하고 상대적으로 고로 슬래그의 혼입량이 감소됨에 따라 유동성이 저하하는 경향을 나타내었다. 공기량 시험결과 NCC의 경우 OPC에 비하여 전반적으로 약간 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 본 실험에서 사용된 고로 슬래그의 분말도가 4,600㎠/g으로 OPC에 비하여 높기 때문이다. 그러나 비소성시멘트의 경우 고로 슬래그의 사용량이 50%인 BFS에 비하여 큰 차이는 나타나지 않았다. 자극제 종류에 따른 NSC의 공기량은 황산염 자극제로 사용된 폐석고 종류(NSC1~3)에 따라서 큰 영향을 받지 않았으나 알카리 자극제로 폐석회가 혼입된 NC 4, 5는 공기량이 다소 감소되었음을 확인할 수 있다.

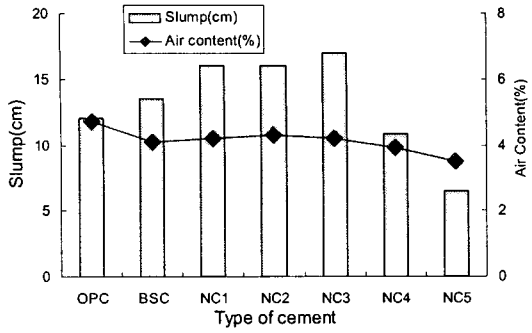

그림 1 Slump and air content of concrete

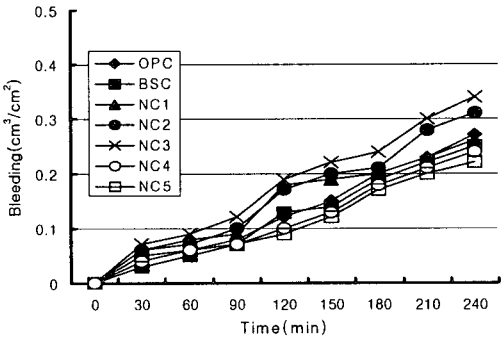

그림 2 Bleeding of fresh concrete

3.2 블리딩 특성

그림 2는 시멘트 종류에 따른 굳지 않은 콘크리트의 블리딩량을 경과시간에 따라 나타낸것이다. 일반적으로 분말도가 커짐에 따라 블리딩량은 감소하는 경향을 나타내는데 반해 본 실험에서는 OPC에 비해 BSC 및 NSC계 시멘트의 블리딩량이 다소 증가하는 경향을 보였다. 이는 고로 슬래그가 다량 혼입될 경우 콘크리트의 유동성이 증가하여 잉여수량이 다소 존재하고 응결시간이 OPC에 비해 지연되는 것 등의 원인으로 판단되었다. 또한 폐석고의 경우에도 전반적으로 수분의 흡착이 그리 크지 않아 블리딩량이 크게 감소되지 않았고 더욱이 이수석고 형태로 혼입된 NC3의 경우 무수석고만을 사용한 NC1의 경우보다 더욱 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 그러나 폐석회를 사용한 NC4 및 5의 경우 폐석회가 수분을 흡착하여 블리딩량이 상당히 감소되었음을 확인할 수 있다.

3.3 강도 특성

그림 3~5는 시멘트 종류에 따른 콘크리의 강도 실험결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 재령에 따라 압축, 휨, 쪼갬인장강도는 비슷한 경향을 나타내었다. NSC의 경우 전반적으로 초기 3일 재령에서는 OPC를 이용한 경우보다 강도가 적게 발현되었으나 재령 7일부터는 강도가 역전되기 시작하여 재령이 지남에 따라 큰 차이를 보이며 강도가 지속적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 특히 28일 이후 재령에서 OPC를 사용한 콘크리트의 경우 강도 증진이 약간 둔화되는 경향을 보이나 비소성 시멘트의 경우 거의 직선형태로 360일 재령까지 꾸준히 강도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 더욱이 NSC2의 경우 고로 슬래그 시멘트보다 초기재령에서 더 높은 강도를 보였다. NSC1~3의 경우 무수석고 혼입량를 감소시키고 이수석고의 혼입량을 증가시킨 콘크리트의 재령 3일 강도는 무수석고만을 사용한 경우보다 강도가 적게 발현되었으나 7~360일 재령에서는 거의 동등한 수준을 나타내었다. 이것은 가용성 물질인 무수석고의 용출량은 이수석고보다 약 2배 정도 크기 때문에 고로 슬래그 입자 표면의 산성피막과 접촉할 수 있는 기회가 증가하고 또한 용출시에 방출하는 수화열도 이수석고보다 높기 때문에 무수석고를 사용할 경우 초기강도는 증가하지만 시간의 흐름에 따라 이러한 작용은 점차적으로 약해지기 때문이다. 폐석회를 혼입한 경우 초기 3일 강도는 매우 낮게 발현되었으나 7일 및 28일의 압축강도는 NCC2와 거의 동등하게 발현되었고, 특히 NCC5의 경우 90일 이후 재령에서 강도가 가장 크게 발현됨을 확인할 수 있다. 따라서 초기강도를 고려하지 않는 콘크리트 2차제품 등의 제조시 산업폐기물이며 전처리 과정이 매우 간단한 폐석고(이수)와 폐석회를 적절하게 이용함에 따라 고로 슬래그 미분말의 혼입량 절감과 더불어 경제성이 매우 우수한 시멘트의 제조가 가능하리라 판단되었다. 이렇게 NSC의 경우 OPC 및 BSC에 비하여 장기재령에서 더 높은 강도를 발현할 수 있는 것은 고로 슬래그가 폐석고 및 폐석회의 자극효과를 받아 슬래그 성분의 용출과 이들의 반응에 따른 에트린자이트와 겔상의 CSH, AH_3 등이 생성되고 이들 수화생성물이 치밀한 미세구조를 형성하는데 이 반응이 장기재령에서도 꾸준히 계속되었기 때문으로 사료되었다. 또한 비소성 시멘트의 경우 수화반응을 하면서 $Ca(OH)_2$를 생성시키지 않아 골재와 페이

스트 계면에 천이대가 없어 재령이 지남에 따라 부착력이 더욱 우수한 것도 강도증진의 한 요인으로 사료되었다.

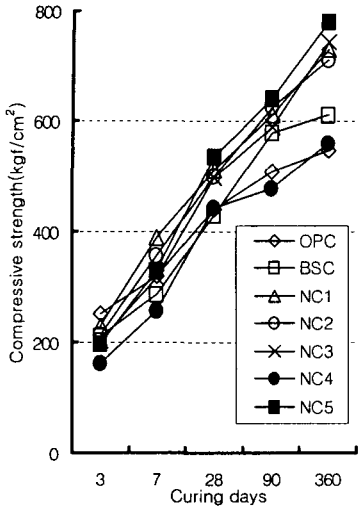

표 3 Compressive strength of concrete

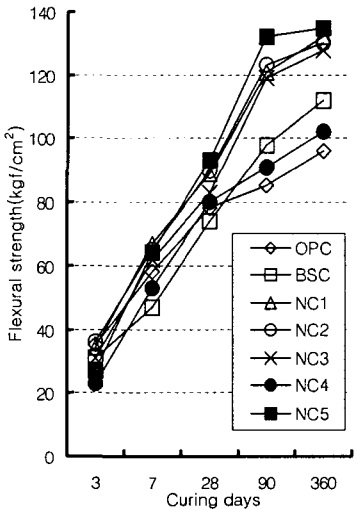

표 4 Flexural strength of concrete

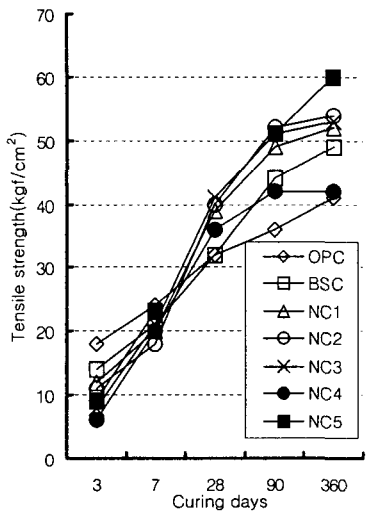

표 5 Splitting Tensile strength of concrete

4. 결 론

시멘트 산업에서 온실가스 저감 및 에너지 절약의 방안으로 산업부산물을 이용하여 제조한 비소성 시멘트의 콘크리트 결합재로의 활용 가능성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 비소성 시멘트를 이용한 콘크리트의 유동성은 OPC나 BSC의 경우보다 전반적으로 우수하게 나타났으며 황산염 자극제로 사용된 폐석고의 경우 유동성에 큰 영향을 미치지 않았으나 폐석회를 혼입한 경우 유동성이 다소 감소하는 경향을 나타내었다.
2) 비소성 시멘트를 이용한 콘크리트는 OPC 및 BSC에 비하여 블리딩량이 다소 증가하는 경향을 나타내었는데 이는 고로 슬래그의 다량 혼입으로 인한 콘크리트의 유동성 증가 및 응결지연 등의 원인으로 판단되었다.
3) 비소성 시멘트를 이용한 콘크리트의 강도는 재령에 따라 압축, 휨, 쪼갬인장강도가 거의 비슷한 경향을 보였으며 전반적으로 초기 3일 재령에서는 OPC를 이용한 경우보다 강도가 적게 발현되었으나 재령 7일부터는 강도가 역전되기 시작하여 재령이 지남에 따라 큰 차이를 보이며 강도가 지속적으로 증가하였다. 특히 28일 재령에서 OPC를 사용한 콘크리트의 경우 강도가 증진이 약간 둔화되는 경향을 보이나 비소성 시멘트의 경우 거의 직선형태로 강도가 360일 재령까지 꾸준히 증가하는 경향을 보였다.
4) 비소성 시멘트 제조 시 초기강도를 고려하지 않을 경우 전처리 과정이 간단한 이수석고 형태의 폐석고 및 폐석회를 적절하게 이용할 경우 고로 슬래그 미분말의 혼입량 절감과 더불어 경제성을 확보할 수 있다.

참고문헌

1. Emin Erdem and Halis Olmez "The Mechanical Properties of Supersulphated Cement Containing Phosphogypsum" Cement and Concrete Research Vol.23, pp.115-121, 1993.
2. 소양섭 등, "산업부산물을 이용한 무클링커 시멘트의 기초적 특성", 한국콘크리트학회, 제14권, 제2호, 2002.