산업부산물을 혼화재로 사용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Properties of Concrete using Industrial Wastes

성 찬 용 * · 조 일 호**
Sung, Chan Young · Cho, Il Ho
서 대 석** · 민 정 기**
Seo, Dae Seuk · Min, Jeong Ki

Abstract

This study is performed to evaluate the properties of concrete using industrial wastes such as fly ash, zeolite powder and blast furnace slag powder.

Seven types of concrete mixtures are made in this study. Water-reducing admixture and air entraining agent are used for all mixtures.

Test results, the hydration evolution amounts are decreased by 2~31% than that of the normal portland cement and air contents of concrete are decreased by 1~1.5% and compressive strengths are increased by 2~10% at the curing age 28 days than that of the normal portland cement concrete.

Accordingly, concrete using industrial wastes will greatly improve the properties of concrete.

I. 서 론

최근 환경문제에 대한 관심의 고조와 규제강화, 천연자원 고갈, 매립지 부족 등에 의한 매립비용 상승 등으로 산업부산물 처리에 애로사항이 많은 실정이다. 이러한 산업부산물은 환경오염을 유발하고 처리에 소요되는 비용이 적지 않으며, 재활용 방안이 극히 제한되어 있기 때문에 해결해야 할 과제로 남아있다.

또한, 각 건설현장에서는 작업성이 적절하고 시공하기 쉬운 고품질 콘크리트를 선호하고 있다.

이 같은 사회환경 측면에서 고품질 콘크리트를 제조하기 위해서는 혼화재료의 사용이 필수적임은 물론, 강도, 시공성 및 내구성 등에 적합한 콘크리트를 경제적으로 제조하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 화력발전소에서 산업부산물로 발생되는 플라이 애시, 포졸란 작용이 있는 제올라이트계 분말, 제철소에서 발생되는 잠재수경성이 있는 고로슬래그 미분말 등을 혼입하여 만든 콘크리트의 수화열, 슬럼프, 공기량, 압축강

*충남대학교 농과대학
**충남대학교 대학원

키워드 : 수화열, 공기량, 압축강도, 플라이 애시, 제올라이트계 분말, 고로슬래그 미분말

Table 1. Chemical composition and physical properties of portland cement

Chemical composition (%)									Specific gravity	Specific surface area(cm^2/gf)
SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Ig. loss		
20.91	3.11	5.49	62.58	3.61	2.42	0.06	1.01	0.81	3.14	3,475

도 등을 보통 시멘트 콘크리트와 그 특성을 비교하여 혼화재로의 실용화를 위한 기초자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이며, 화학 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

나. 혼화제

화학혼화제는 리그닌계 표준형 일반 감수제와 빈졸레진계 공기연행제로써 희석하지 않은 원액을 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 2와 같다.

다. 골 재

굵은골재는 쇄석을, 잔골재는 천연 모래를 표면건조포화상태로 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

라. 혼화재

혼화재는 플라이 애시, 제올라이트계 분말 및 고로슬래그 미분말 3종류이며, 플라이 애시는 국내에서 입수가능하고 물류비용이 저렴한 보령 화력발전소산 플라이 애시를, 제올라이트계는 산업폐기물로서 분쇄된 것을, 고로슬래그 미분말은 유리질의 급냉슬래그를 곱게 분쇄하여 사용하였으며, 화학 성분과 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 2. Physical properties of chemical admixture

Item	Principal ingredient	Specific gravity	Solid content (%)	pH	Appearance
Water-reducing admixture	Rignin	1.186	16.0	1.186	Dark brown liquid
Air entraining agent	Vinsol resin	1.07	43.0	-	Dark brown liquid

Table 3. Physical properties of aggregate

Item	Specific gravity	Fineness modulus	Unit weight (kgf/m^3)	Size (mm)
Coarse aggregate	2.60	6.69	1,500	< 25
Fine aggregate	2.58	2.58	1,530	< 4.75

Table 4. Chemical composition and physical properties of admixture

Item	Chemical composition(%)									Specific gravity	Specific surface area(cm^2/gf)
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Ig. loss		
Fly ash	55.89	5.45	25.27	6.381	1.427	0.08	0.388	0.614	4.5	2.20	3,260
Zeolite powder	56.27	1.37	38.79	0.076	0.875	0.025	0.275	0.069	2.25	2.64	5,850
Blast furnace slag powder	27.85	2.31	8.98	50.45	6.98	2.74	-	-	0.69	2.93	4,797

Table 5. Mix proportions of concrete

Mix type	W/B (%)	S/a (%)	W	C	FA	ZP	SP	S	G	AD (%)	AE (%)
NPC	53.1	48	187	352				837	900	1.056	0.012
CF				334	18			827	889		
CZ				334		18		829	891		
CS				282			70	807	868		
CFZ				310		19	23	815	876		
CFS				310	19		23	816	877		
CZS				313		19	19	820	881		

☞ NPC : normal portland cement, CF : C+FA, CZ : C + ZP, CS : C + SP, CFZ : C + FA + ZP, CFS : C + FA + SP, CZS : C + ZP + SP, W/B : water/binder, S/a : sand/aggregate, W : water, C : cement, FA : fly ash, ZP : zeolite powder, SP : blast furnace slag powder, S : sand, G : gravel AD : water-reducing admixture, AE : air entraining agent

2. 콘크리트 배합

콘크리트 배합은 현장 배합으로 3성분계 콘크리트에 대한 여러 차례의 예비 시험 비비기를 실시하여 배합강도 240kgf/cm^{2}을 목표로 최적의 배합비를 산출하여 배합설계를 하였으며, 슬럼프는 15±2.5cm로 하였고, 시멘트량은 3성분계로 일정량 치환하여 7가지 배합으로 하였으며, 이의 배합설계 결과는 Table 5와 같다.

3. 시험방법

가. 수화열 측정

미소수화열량계(conduction calorimeter)는 시멘트(또는 시멘트+산업부산물)와 물을 혼합하여 수화반응이 진행되는 동안 수화 반응 환경을 일정한 온도로 유지하면서 발생되는 수화열을 감지하여 각 시각에서의 발생 수화열 및 누적발생열량을 표시하는 장치로 본 실험에서는 물-시멘트(또는 시멘트+산업부산물)비를 50%로 하여 물 40g과 시멘트(또는 시멘트+산업부산물) 80g을 23℃환경에서 반응시켜 72시간까지의 수화발생열량을 측정하였다.

나. 주사 전자 현미경 관찰

산업부산물의 입자형태를 관찰하기 위하여 AKASHI사의 SD-50 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 물-시멘트(또는 산업부산물)비를 50%로 하여 페이스트를 제작한 후 굳지 않게 아세톤으로 세척하고 초음파분산기로 분산시킨 후 생성광물상을 관찰하였다.

다. 굳지않은 콘크리트의 성질

1) 슬럼프시험

슬럼프시험은 콘크리트의 반죽질기를 측정하기 위하여 보통 시멘트 콘크리트 및 3성분계 콘크리트를 중심으로 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 의해 슬럼프 값을 측정하였다.

2) 공기량시험

굳지않은 콘크리트의 공기량은 콘크리트의 워커빌리티, 강도, 내구성 등에 큰 영향을 미치므로 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법)에 의해 공기량을 측정하였다.

3) 슬럼프 손실시험

굳지않은 콘크리트의 슬럼프 손실을 알아보기 위하여 보통 시멘트 콘크리트 및 산업부산물을 혼

화재료로 사용한 콘크리트를 중심으로 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 의해 경과시간에 따른 슬럼프 값을 측정하였다.

라. 압축강도시험

산업부산물을 혼화재료로 혼입한 콘크리트의 최적 혼입률을 결정하기 위하여 각 혼화재를 혼입한 콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 제작하였으며, 몰드에 타설된 콘크리트는 양생상자(21℃, 습도96±2%)에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생(20±3℃)하여 압축강도를 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 수화열 측정

미소수화열량계(conduction calorimeter)로 측정한 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이 애시, 제올라이트계 분말과 고로슬래그 미분말의 수화발열량 시험결과는 Table 6과 같다.

여기서 보는 바와 같이, 72시간까지 측정한 결과 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 모든 산업부산물 혼화재료의 수화발열량보다 많게 나타났으며, CS와 CFS 및 CZS는 보통 포틀랜드 시멘트 수화발열량의 약 69~78% 정도로 적게 나타났다.

특히, 고로슬래그 미분말을 혼화재료로 사용한 경우가 수화발열량이 적게 나타난 것은 플라이 애시나 제올라이트계 분말보다 수화열발생에 미치는 영향이 적기 때문이라 생각된다.

2. 주사 전자 현미경 관찰

Photo 1은 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 촬영한 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이 애시, 제올라이트계 분말 및 고로슬래그 미분말의 입자형태인데, 형태학상 제올라이트계 분말은 플라이 애시에 비하여 입자가 각이 지고 모가 나있어 페이스트나 모르터의 유동성 관점에서 상대적으로 불리하다는 것을 알 수 있었으며, 입자내부에 공극이 많기 때문에 물과 혼합시 입자 내부로 물을 많이 흡수할 것으로 보인다. 또한, 고로슬래그 미분말은 C2S와 C4AF로 구성되어 있고, 플라이 애시 및 제올라이트계 분말은 알루미나 규산염(alumina silicate) 광물로 그 입자의 형상은 구형이면서도 모가 난 구형이었다.[3]

Table 6. Hydration evolution amount at 23℃ for mineral admixture

Mix type	(cal/gf/72h)
NPC	79.5
CF	78.3
CZ	78.6
CS	62.0
CFZ	75.0
CFS	56.0
CZS	55.0

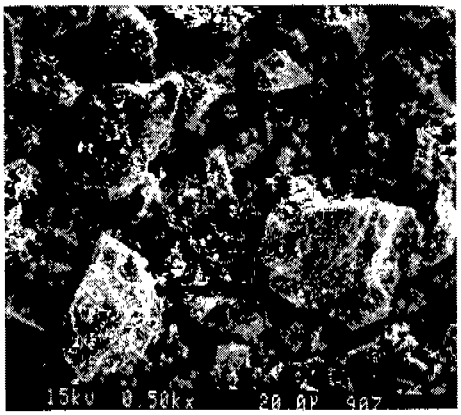
이와 같은 산업부산물 혼화재의 입자모양이 구형인 미분말은 굳지 않은 콘크리트 속에서 마찰저항을 줄이고 ball bearing 작용을 하여 콘크리트의 워커빌리티를 증가시키고, 골재사이의 공극을 충전시켜 주는 등 콘크리트의 제성능을 향상시키는 주 요인이 된다고 생각된다.[1,2]

3. 굳지않은 콘크리트의 성질

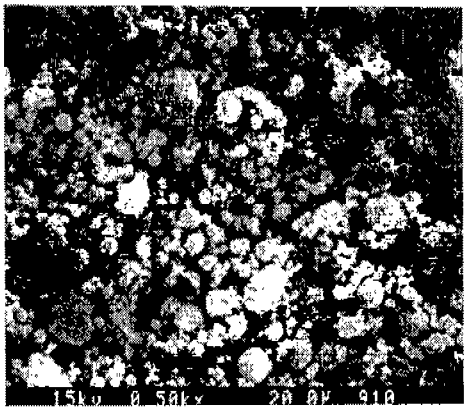
가. 슬럼프

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 고로 슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 슬럼프는 보통 시멘트 콘크리트보다 증가하는 경향을 보였으나, 플라이 애시와 제올라이트계 분말을 사용한 경우의 슬럼프는 보통 시멘트 콘크리트와 거의 유사하게 나타났다.

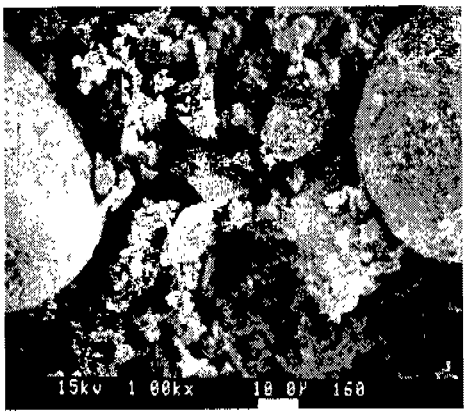
이는 SEM 측정 결과에서 알 수 있듯이, 이들 입자 내부에 존재하는 다량의 공극이 혼합시 수분을 흡수함으로서 둥근 입형으로 인한 워커빌리티의 증가효과를 감소시킨 것으로 생각된다.



(a) Ordinary portland cement



(b) Fly ash



(c) Zeolite powder

(d) Ground granulated blast furnace slag powder

Photo 1. Scanning electron micrographs of materials

나. 공기량

공기량은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 3성분계 혼화재를 사용한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트에 비해 1~1.5% 감소하는 것으로 나타났는데, 이와 같은 공기량 감소의 주원인은 산업부산물의 분말도가 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다.

다. 슬럼프의 변화

대부분 각 건설현장 콘크리트 공급은 레미콘에 거의 의존하고 있으므로 교통혼잡으로 인한 길 막힘이 없어야만 레미콘이 원활하게 공급되며 나아가 좋은 품질의 콘크리트를 확보할 수 있다. 그러나 현실적으로 어려운 교통여건 탓으로 레미콘이 적시에 공급되지 못하는 경우 콘크리트의 유동성 손실이 불가피 하며, 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실을 최소화하기 위한 대책이 수립되고 있으나 크게 실효를 거두지 못하는 실정이다. 굳지 않은 콘크리트의 유동성 손실을 파악하기 위해 3성분계 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 값을 측정하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이, 슬럼프 값은 시간이 경과함에 따라 크게 떨어지고 있음을 알 수 있으며, 이때 보통 시멘트 콘크리트의 슬럼프가 산업부산물을 혼합한 콘크리트와 비교해서 크게 작아지는 것을 볼 수 있다.

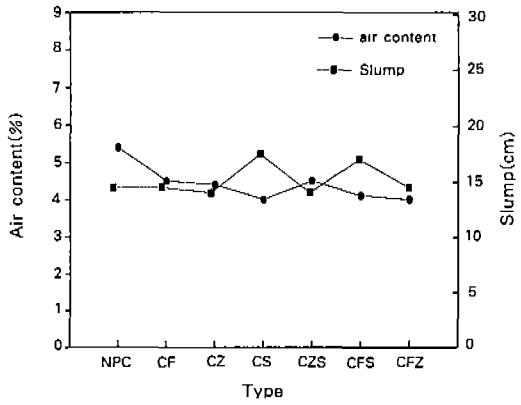


Fig. 1. Relationship between air content and slump by type

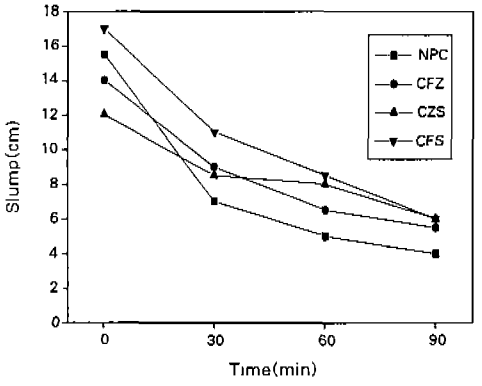


Fig. 2. Relationship between slump and time by type

4. 압축강도

각 혼화재의 배합종류에 따른 압축강도 시험결과는 Table 7과 같다.

Table 7에서 보는 바와 같이, 플라이 애시와 제올라이트계 분말 및 고로슬래그 미분말, 제올라이트계 분말과 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트(CFZ, CFS, CZS)의 경우는 보통 시멘트 콘크리트보다 재령 3일에서는 13~16%정도 작게 나타났으나, 재령 28일 압축강도에서는 보통 시멘트 콘크리트보다 4~7%정도 크게 나타났다.

또한, 플라이 애시와 제올라이트계 분말 및 고로슬래그 미분말(CF, CZ, CS)를 단독 혼입한 경우, CZ는 재령 3일에서 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도보다 9%정도 크게 나타났고 CF와 CS는 다소 작게 나타났으며, 재령 28일 압축강도에서는 모든 혼화재 콘크리트의 압축강도가 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도보다 2~10%정도 크게 나타났다.

Table 7. Test results of compressive strength

(Unit: kgf/cm^2)

Type \ Age(days)	3	7	28
NPC	176	260	353
CF	173	273	361
CZ	193	300	387
CS	149	241	387
CFZ	151	250	369
CFS	147	265	376
CZS	154	257	379

이는 플라이 애시와 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 경우는 시멘트의 수화생성물인 수산화 칼슘이 가용성 실리카 및 알루미나와 화합하여 규산석회 및 알루민산 삼석회 등의 수화물을 생성하고 이들이 장기강도의 증진에 큰 역할을 하기 때문이며, 제올라이트계 분말을 혼합한 콘크리트는 구성 성분중 일부가 자극제로서 슬래그에 OH-를 흡착시켜 유리구조를 파괴하여, SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO의 용출을 촉진시켜 액상중의 각 이온농도가 높아져 C-S-H계의 수화 생성물이 더욱 높아지기 때문에 경화체가 치밀하게 되는 효과를 가져와 강도증진에 기여한 것으로 생각된다.[5,6]

Ⅳ. 결 론

이 연구는 산업부산물인 플라이 애시, 제올라이트계 분말, 고로슬래그 미분말을 콘크리트 혼화재로 사용하여 그 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 수화발열량은 시멘트에 플라이 애시, 제올라이트계 분말, 고로슬래그 미분말을 혼합한 경우 보통 포틀랜드 시멘트보다 2~31% 정도 감소하였다.

2. 슬럼프는 플라이 애시와 제올라이트계 분말을 혼합한 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트와 유사하게 나타났으나, 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 슬럼프는 다소 증가하는 경향을 보였다. 그리고 시간에 따른 슬럼프 손실은 3성분계 콘크리트가 60분에서 보통 시멘트 콘크리트보다 21% 정도 작게 나타났다.

3. 공기량은 보통 시멘트 콘크리트보다 산업 부산물을 혼화재로 사용한 모든 콘크리트에서 1~1.5% 정도 감소하였다.

4. 산업 부산물을 혼화재로 사용한 콘크리트의 초기 압축강도는 보통 시멘트 콘크리트보다 감소하는 경향을 보였으나, 재령 28일에서는 오히려 2~10% 정도 증가하는 경향을 보였다.

5. 적정량의 플라이 애시, 제올라이트계 분말, 고로슬래그 미분말을 혼입하여 콘크리트를 제조할 경우, 장기강도가 증가하고 수화열 저감 등의 장점 등이 있으므로 초기강도 발현에 문제가 되지 않는 범위 내에서 혼합하여 사용하면 큰 효과가 있을 것으로 판단되며, 산업부산물의 활용측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 성찬용, 1995, 고성능 경량 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 37(3.4), pp. 72-81.
2. 성찬용, 정현정, 1996, 석분과 플라이 애시를 혼입한 투수용 폴리머 콘크리트의 공학적 성질, 한국농공학회지, 38(4), pp. 147-154.
3. 신화철, 문대중, 문한영, 1997, 콘크리트의 제성질 향상을 위한 혼화재 활용에 대한 연구, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회논문집, pp. 124~128.
4. V.M.Malhotra, 1992, Fly ash, silica fume, slag, and natural pozzalans in concrete, Proceedings Fourth International Conference, ACI, SP-13, Istanbul, Turkey.
5. 小玉他, 1973, 高嚧スラグ 微粉末お用いたコンクリートの 諸性質, セメント技術年報, 10권, pp. 102~106.
6. 中村信行, 坂井正美, 石川陽 -, 1987, 高嚧スラグ 微粉末お用いたモルタル及 コンクリートの諸性質", 第 9回コンクリート工學年次講演論文集, pp. 542~548.