

석회석 미분말 및 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of High Fluidity Concrete Incorporating Lime Stone Powder and Fly Ash

조 병 영^{*} 윤 길 봉^{**} 황 인 성^{*} 한 민 철^{***} 윤 기 원^{****} 한 천 구^{*****}
Cho, Byun Young, Yin, Ji Feng Hwang, In Sung Han, Min Cheol Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper investigates the properties of high fluidity concrete incorporating lime stone powder and fly ash. Lime stone powder(LSP) and fly ash(FA) contents are varied with. According to test results, as LSP and FA contents increase, fluidity, air content and placeability shows a declining tendency. For the temperature history, both LSP and FA have favorable effects on reducing hydration heat, moreover, LSP reduces hydration heat more than FA. LSP shows undesirable strength loss as its content increases. FA also decreases the strength at early age, but it enhances later age strength. Accordingly LSP is expected to improve the quality at fresh concrete and reduce hydration heat, while it causes strength loss.

1. 서론

본 연구는 석회석 미분말과 화력발전소에서 연소과정에서 발생하는 플라이애시를 분체계의 고유동 콘크리트에 적용하는 방안에 대하여 기초적으로 검토하고자 한다. 즉, 플라이애시의 경우는 분체계로 고유동콘크리트에 많이 활용되고 있으나, 석회석 미분말의 경우는 기존의 일부연구결과에 따르면 높은 분말도에 기인한 점성확보로 재료분리의 감소, 공극충전 효과에 의한 강도증진 등 품질향상에 기여한다는 보고가 있으나 고유동 콘크리트 제조시 분체로서의 적용성에 대하여는 아직 연구된 바 많지 않은 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 석회석 미분말 및 플라이애시를 결합재로 치환하여 치환율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 굳지 않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 특성을 상호 비교·검토함으로써 고유동 콘크리트의 품질향상에 대하여 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 먼저, 실험요인으로 W/B는 34%의 1수준, 혼화제의 종류는 석회

* 정회원, 청주대학교 건축공학과 박사과정
** 정회원, 청주대학교 건축공학과 석사과정
*** 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 전임연구원
**** 정회원, 주성대학 건설재료공학과 조교수
***** 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수

석 미분말과 플라이애시를 사용하였는데, 치환율은 공히 0%, 15%, 25%의 각 3수준으로 하였다. 목표슬럼프 플로우는 플레인 배합에서 65±5cm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 결정한 다음 각 혼화재 치환율 변화에 따라 변동치를 측정하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트는 유동성, 공기량, 충전성 및 수화열을 측정하고, 비빔후 90분까지의 굳지않은 콘크리트의 경시변화를 측정하였다. 경화콘크리트의 경우는 7일 및 28일에서의 압축강도를 측정하였는데, 양생온도 20℃에서는 수중 및 기중양생 조건, 그리고 30℃의 경우는 수중양생조건으로 실험계획하였다. 이때, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 혼화재료로서 석회석 미분말의 화학적 성분 및 물리적 성질은 표 4 및 5와 같고, 플라이애시는 충남 보령화력산으로 그 물리적 성질은 표 6과 같다.

골재로서 잔골재는 충북 청원군 부강산 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 충북 옥산산 25mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 골재의 물리적 성질은 표 7과 같다. 또한, 혼화제는 고성능AE감수제로 국내산 J사의 폴리칼본산계를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 8과 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는

표 1 실험계획

실험요인			실험사항	
W/B (%)	혼화재	치환율 (%)	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
34	석회석 미분말	0 15 25	<ul style="list-style-type: none"> · 유동성 <ul style="list-style-type: none"> - 슬럼프, 슬럼프플로우 - 50cm 도달시간 · 공기량, 단위용적중량 · 충전성 <ul style="list-style-type: none"> - U형충전시험, V로트 유하시험 · 온도이력 측정 · 경시변화 (30, 60, 90분) 	<ul style="list-style-type: none"> · 압축강도(7일, 28일) - 양생온도 <ul style="list-style-type: none"> 20℃(수중, 기중양생) 30℃(수중양생)
	플라이애시			

표 2 배합사항

구분	W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a (%)	치환율 (%)	SP/C (%)	절대용적배합 (ℓ/m ³)				중량배합 (kgf/m ³)			
						C	AD	S	G	C	AD	S	G
석회석 미분말	34	173	50.6	0	1.2	163	0	313	306	514	0	813	803
		173	50.6	15	1.0	139	29	311	304	437	77	808	798
플라이애시	34	173	50.6	25	0.9	123	48	310	302	386	128	804	794
		173	50.6	0	1.2	163	0	313	306	514	0	813	803
		173	50.6	15	1.17	139	35	308	300	437	77	800	790
		173	50.6	25	1.1	123	58	304	297	386	128	791	781

표 3 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	용결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,520	0.15	207	350	211	300	389

표 4 석회석 미분말의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	평균입경 μm	수분 (%)	백색도 (%)	흡유량 (ml/100g)
2.7	6,470	9.57	0.03	85	21.5

표 5 석회석 미분말의 화학성분

성분	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
합량	43.41	0.99	0.28	0.16	53.2	0.65	-	-	-

표 6 플라이애시의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	압축강도비 (%)	SiO ₂ (%)	강열감량 (%)	습분 (%)
2.23	3,519	97	97	3.4	0.3

표 7 골재의 물리적 성질

구분	비중	조립물	흡수율 (%)	단위용적중량 (kgf/m ³)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.49	2.7	1.83	1,470	1.5
굵은골재	2.60	6.9	1.2	1,526	0.3

KS F2402 규정에 의거 실시하였고, 슬럼프 플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 50cm 도달시간은 슬럼프 플로우 시험시 플로우치가 50cm에 도달할 때를 그 값으로 하였다. 공기량 및 단위용적중량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였으며, U형충진시험 및 V로트 유하시험은 기존에 알려진 표준적인 방법으로 실시하였다.

온도이력 측정은 30×30×30cm크기에 10cm두께의 스티로폼 상자를 제작한 후 콘크리트를 부어넣은 후 열전대를 매립하여 10분간격으로 온도이력을 측정하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405에 따라 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성

그림 1은 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율 변화에 따른 유동특성을 나타낸 것이다. 먼저 석회석 미분말 치환율이 증가할수록 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 감소하는 경향이었고, 50cm 도달시간은 미소하나 약간 증가하는 경향이 있었다.

플라이애시 치환율의 경우는 석회석 미분말을 치환한 경우와 유사한 경향으로 나타났다. 이는 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율이 증가함에 따라 점성이 증가한 결과로 사료된다.

3.2 공기량 및 단위용적중량

그림 2는 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율 변화에 따른 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 것으로 치환율이 증가할수록 공히 공기량은 저하함을 확인할 수 있었으나, 단위용적중량은 반대경향으로 증가하였다.

3.3 충전성

그림 3은 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율 변화에 따른 충전성 및 유하시험 측정결과를 나타낸 것이다.

먼저, 석회석 미분말 치환율이 증가함에 따라 충전높이는 증가하다 감소하는 것으로 나타났고,

표 8 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	비중 (20℃)
고성능AE감수제	폴리칼본산계	액체	담갈색	1.05±0.02

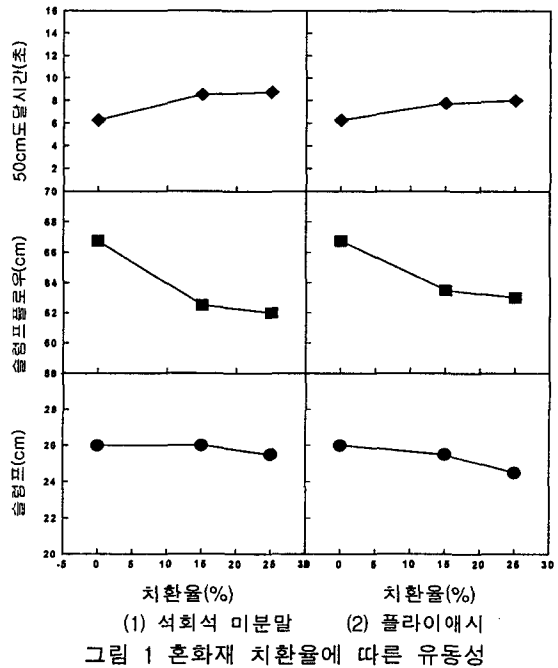


그림 1 혼화제 치환율에 따른 유동성

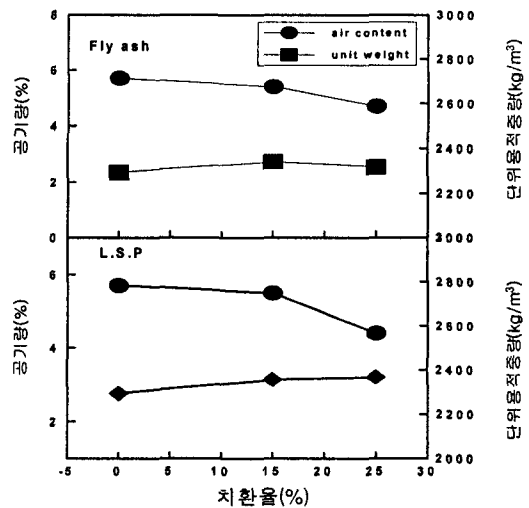


그림 2 혼화제 치환율에 따른 공기량 및 단위용적중량

유하시간은 감소하다 증가하는 결과를 보였는데, 이는 석회석 미분말 치환율이 증가할수록 어느정도까지는 충전성을 향상시키나 과도하게 치환될 경우는 지나친 점성증대로 인하여 저하되는 결과로 사료된다.

한편, 플라이애시의 경우는 치환율이 증가할수록 충전높이는 감소하며, 유하시간은 크게 증가함을 볼 수 있었다.

3.4 경시변화

그림 4는 경과시간에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 석회석 미분말 치환율 및 플라이애시 치환율별로 나타낸 것이다. 전반적으로 시간이 경과함에 따라 석회석 미분말 및 플라이애시를 치환한 경우에서 공히 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 저하경향이 둔화됨을 보였다. 특히, 석회석 미분말 및 플라이애시를 치환하지 않은 경우 경시변화에 따른 저하경향은 매우 크게 나타났다.

그림 5는 경시변화에 따른 공기량, 단위용적중량 그리고 충전성 및 유하시간을 혼화재 치환율별로 나타낸 것이다. 먼저, 공기량의 경우 혼화재 종류에 관계없이 시간이 경과함에 따라 감소하는 것으로 나타났고 혼화재 종류간에는 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 단위용적중량은 공기량과 반대의 경향을 보였다.

충전성은 시간이 경과할수록 충전높이가 저하하는 것으로 나타났는데, 치환하지 않은 경우나 석회석 미분말을 사용한 경우가 다소 저하폭이 크게 나타났다. 유하시간은 전반적으로 시간이 경과할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 단 석회석 미분말 25% 치환한 경우 60분후에는 측정이 불가능하였다.

3.5 온도이력 특성

그림 6은 시간경과에 따른 온도이력을 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 온도는 타설후 31시간후 최고온도 68.7℃를 보인 다음, 점차 감소하는 경향을 보였다. 한편, 혼화재 치환율이 증가할수록 최고온도는 저하하는 것으로 나타났는데, 먼저, 석회석 미분말을 치환한 경우 치환율 15%에서는 최고상승온도 61.8℃, 25%에서 58.6℃로 플레인 배합에 비하여 각각 6.9℃, 10.1℃정도 낮아짐을 확인할 수 있었다. 플라이애시를 치환한 경우 치환율 15%에서 최고상승온도 63.8℃, 25%에서 61.5℃로 플레인 배합에 비하여 각각 4.9℃ 및 6.1℃정도 낮아지는 것으로 나

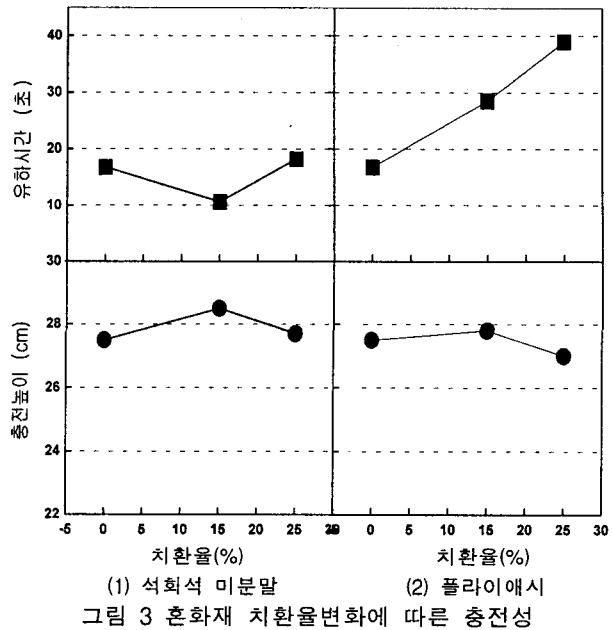


그림 3 혼화재 치환율변화에 따른 충전성

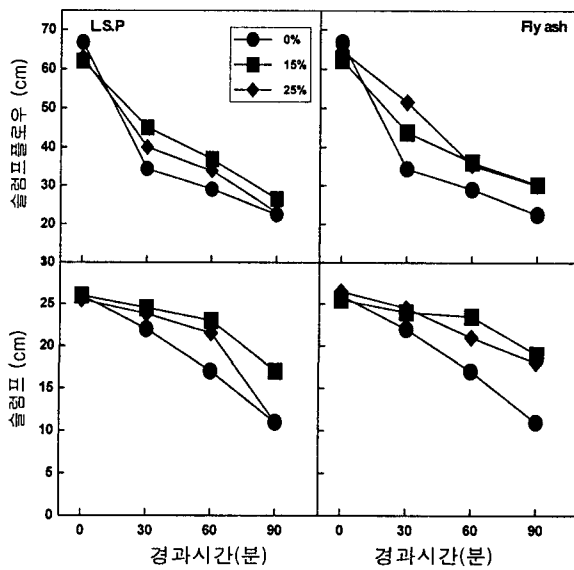


그림 4 경시변화에 따른 유동성

타났다.

혼화재 종류별 최고상승온도의 차이는 동일 치환율에서 석회석 미분말을 사용한 경우가 플라이애시를 치환한 경우에 비하여 15% 치환한 경우 2℃, 25% 치환의 경우 2.9℃정도 저하하여 수화열 저감에 보다 효과적임을 알 수 있었다.

3.6 압축강도 특성

그림 7은 재령 7일 및 재령 28일에서의 압축강도를 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율 및 양생조건별로 구분하여 나타낸 것이다.

먼저, 석회석 미분말 치환율별로는 치환율이 증가할수록 재령 7일, 28일에서 공기 강도가 저하하는 경향을 보였으며, 양생조건에 따라서는 20℃ 기중양생의 경우가 여타보다 높은 강도를 나타냈다. 이는 석회석 미분말이 치환됨에 따라 상대적으로 강도를 발휘할 수 있는 시멘트의 양이 감소된 결과로 사료되며 석회석 미분말은 강도측면에서 결합재보다는 충전재로 사용하는 방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다.

한편, 플라이애시 치환율별로는 플라이애시 치환율이 증가할수록 재령 7일에서는 감소하는 경향을 보였으나 재령 28일의 경우에는 거의 차이가 없거나 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 30℃ 수중양생 조건에 의해서 촉진된 플라이애시의 포졸란 반응으로 재령 28일에서는 플레인 배합의 강도수준을 상회함을 볼 수 있었다.

그림 8은 석회석 미분말을 사용한 경우와 플라이애시를 사용한 경우의 압축강도를 상호 비교한 것으로 전반적으로 플라이애시를 사용한 경우가 석회석 미분말을 사용한 경우보다 약 6.1%정도 높은 강도수준을 보였다. 이는 플라이애시의 경우 결합재로서 수화반응에 관여하여 강도발현에 기여하지만 석회석 미분말의 경우는 수화반응에 관여하지 않은 결과로 분석된다.

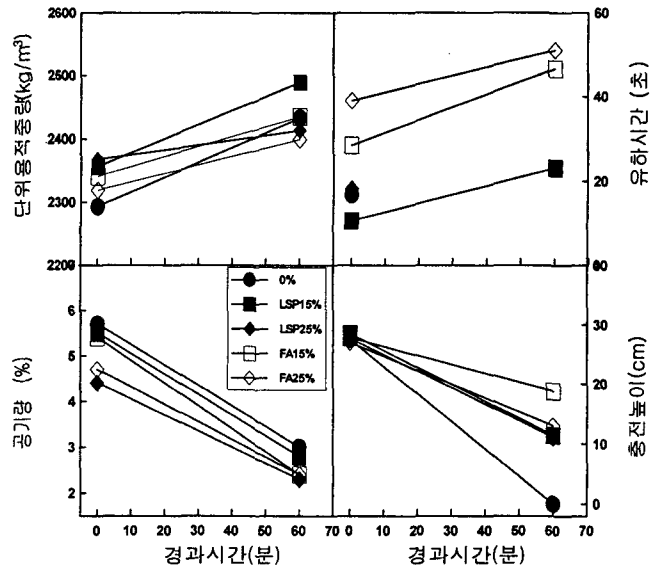


그림 5 경시변화에 따른 공기량 및 충전성

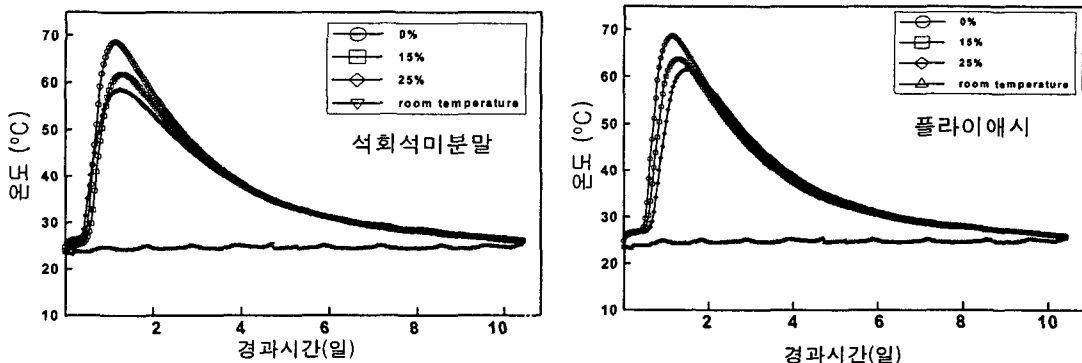


그림 6 혼화재 종류별 온도이력 특성

4. 결론

석회석 미분말 및 플라이애시의 치환율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 굳지않은 상태 및 압축강도 특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율이 증가함에 따라 점성증대에 기인하여 유동성, 공기량 및 충전성은 감소하는 경향으로 나타났고, 유화 시간은 길어지는 것으로 나타났으며, 경시변화 특성으로 시간이 경과할수록 유동성, 공기량 및 충전성은 감소하나 석회석 미분말 및 플라이애시 가 증가할수록 감소경향은 작아짐을 알 수 있었다.

2) 온도이력 특성으로 석회석 미분말 및 플라이애시 치환율이 증가할수록 최고온도는 저하하는 것으로 나타났는데, 석회석 미분말의 경우 치환량이 증가함에 따라 플레인 배합에 비하여 6.9~10.1℃정도의 온도를 낮출 수 있었으며 플라이애시의 경우는 4.9~6.1℃정도의 온도를 낮출 수 있어, 석회석 미분말을 사용한 경우가 2~2.9℃정도 온도를 낮출 수 있었다.

3) 압축강도 특성으로 석회석 미분말 치환율이 증가할수록 저하하는 경향으로 나타났는데, 이는 석회석 미분말이 치환됨에 따라 시멘트량이 감소하여 나타난 결과로 사료되며 석회석 미분말은 결합재보다 충전재로 사용하는 방안이 검토되어야 할 것으로 사료된다. 한편 플라이애시는 치환율이 증가할수록 초기에는 낮은 강도를 보이거나 재령 28일에서는 포졸란반응에 기인하여 플레인 배합과 거의 동등한 강도수준을 보이거나 약간 높은 경향으로 나타났다.

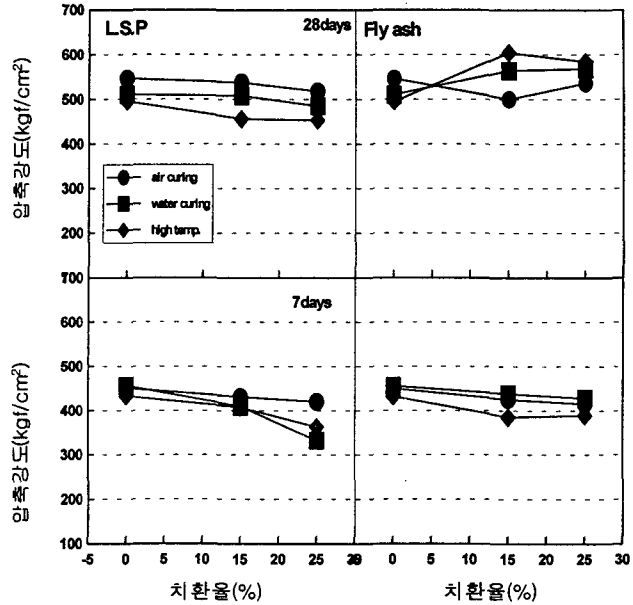


그림 7 혼화재 치환율에 따른 압축강도

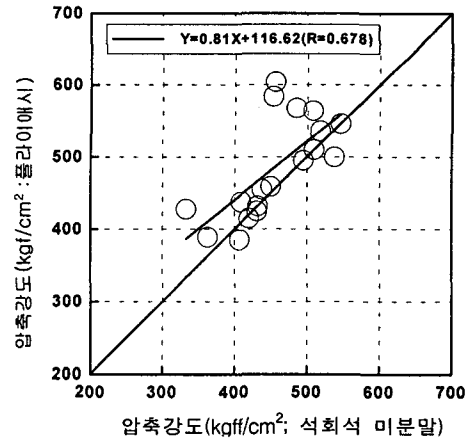


그림 8 혼화재 종류간의 압축강도 비교

참고문헌

1. 한천구, 조중동, 조병영, 한민철, 장기영 ; EP-DUST를 사용한 시멘트 모르타의 특성에 관한 기초적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 10권 2호, pp.117~120.
2. 日本コンクリート工學協會石灰石微粉末研究小委員會報告集;石灰石微粉末の特性とコンクリートの利用に関するシンポジウム, 1996.
3. K. Sakda, T.Ayano, A. Ogawa, Mixture Proportioning for Highly-flowable concrete incorporating limestone powder, Flyash, Silica fume, Slag in Concrete, 5th International Conference of ACI, Vol. 5, 1995.