

플라이애쉬 및 슬래그 미분말 혼입에 따른 바닥용 mortar 물성연구

정민철* · 윤창규

<한일시멘트공업(주)>

1. 서 론

일반적으로 모르타르나 콘크리트의 경화시 발생하는 수축에 의한 균열발생은 시멘트를 기본재료로 하는 2차제품의 취약점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점은 이론적 수량 이상의 사용수에 따른 수축으로 기인된다. 수축으로인한 균열 발생을 보상키위해 일반적으로 팽창재 첨가에 의한 보상으로 활용되고 있다. 팽창재의 보상 특성은 현재 한계성을 나타내고 있으며 이에대한 근본 대책으로는 사용수량 감소가 가장 큰 주원인으로 대두되거나 고성능 감수제에 의한 사용수량의 감수는 현재 바닥용 모르타르 시공방법에는 적절치가 못하다. 그 이유는 미소한 양 첨가로 재료 혼합시부터 부분적 재료 불균형 혼합으로 타설시 재료분리 및 응결지연 현상으로 까지 문제가 발생되어 현 시공방법으로 적용키 어려운 일면이 있다.

본 연구에서는 석회-석고계 팽창재를 기본으로 하고, 혼합재로 플라이애쉬 및 슬래그 미분말을 시멘트량에 치환첨가하여 물성변화를 관찰하였다

2. 실험방법

2-1. 사용재료

본연구에서는 사용한 재료는 1종 보통포틀랜드시멘트, 모래, 팽창재를 기본재료로 하고 혼합재로 플라이애쉬, 슬래그 미분말을 사용하였다. 모래는 금강사로 조립율 2.65로 조정하였다.<표1>은 사용재료에 대한 화학성분 및 물리적 특성을 나타내었다.

2-2 재료배합

기준배합비(plain)로 모래와 결합재(시멘트 + 팽창재)를 중량비로 7:3으로 하였으며, 팽창재는 시멘트 기준 18%를 첨가하였다. 배합비 및 기본물성을 <표2>에 제시하였다.

사용재료의 화학성분 및 물리적 특성

<표1>

구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig-Loss	Blaine (cm ² /g)
시멘트	21.24	5.16	3.58	61.96	2.43	2.39	1.38	
팽창재	0.48	0.23	0.21	70.38	-	21.35	7.19	
플라이애쉬	54.84	27.38	5.26	5.61	1.01	-	4.60	3,300
슬래그미분말	34.75	13.03	0.45	41.52	6.73	1.77	0.2	4,270

배합비 및 기본물성

<표2>

구분	Flow (mm)	W/R (%)	공기량 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)	혼 합 재		시 험	
					Fly-Ash	Slag 미분말	경화전	경화후
PL	180	19.5	2.3	2118	0	0	· 사용수량 (W/R) · 공기량 · 단위용적 중량	· 압축강도 · 길이변화 · 응결시간 · 수화열 · XRD
CF		19.3	1.8	2113	10	0		
		19.2	2.0	2099	15	0		
		19.1	1.8	2079	20	0		
CS		19.0	1.9	2135	0	10		
		18.8	1.7	2112	0	15		
		18.6	2.6	2109	0	20		

* PL : 혼합재 무첨가,

CF : 플라이애쉬 치환첨가 Mortar,

CS : 슬래그 미분말 치환첨가 Mortar

2-3. 물리성능시험

플로우 시험은 180mm를 기준치로 하여 물/재료(W/R)비를 설정하였고, 시험방법은 KS L 5111(시멘트 시험용 플로우테이블 시험방법)에 준하여 시험하였다.

압축강도 시험은 플로우값이 180mm가 되도록 하여 혼합수량을 조정하였고, KS L 5105(시멘트 압축강도 시험방법)에 준하여 시험하였다.

길이변화시험은 40×40×160mm mold에 성형한 후 1일 습윤 양생후 탈형하여 6일간 수중에서 양생하고, 이후 기건양생(23℃, R.H. 80%)을 실시하여 각 재령에서의 길이변화율을 측정하였다.

응결시험은 KS F 2436(관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법)에 준하여 시험하였다.

2-4. XRD 분석

플라이애쉬 및 슬래그 미분말 변화에 따른 수화물 생성 상황을 관찰키 위해 초기 수화 생성물(탈형후 2일간 수중양생한 시료)과 장기 수화 생성물(28일 기건양생 시료)에 대한 시료를 채취하여 분석하였다.

2-5. 수화열 분석

플라이애쉬 및 슬래그 미분말 치환 첨가율에 따른 수화발열 특성을 24시간 동안 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 기본물성 특성

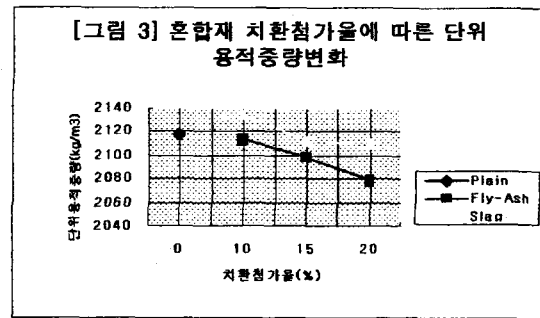
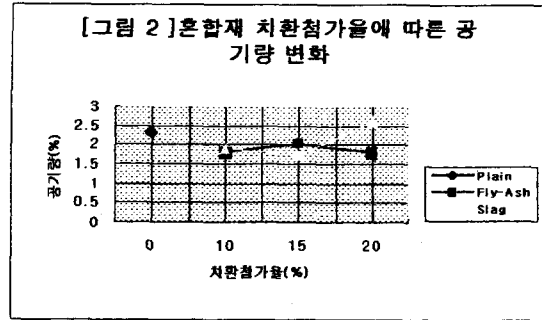
혼합재 치환 첨가율에 따른 기본물성 특성을 <그림1>, <그림2>, <그림3>에 나타내었다. <그림1>은 혼합재별 치환 첨가율 변화에 따른 사용수량 결과로서 플라이애쉬와 비

교 슬래그 미분말 치환 첨가 배합이 치환율 증가에 따라 사용수량이 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 슬래그 미분말이 미분체이기 때문에 충전율이 높아졌고, 또한 슬래그 미분말 입자 표면이 유리질로써 평활한 입자 표면을 가지고 있어 유동성이 향상되었기 때문으로 생각된다. <그림2>는 공기량 시험결과로서 플라이애쉬는 치환량 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 플라이애쉬 내의 미연탄소분에 의한 공기포 흡착으로 공기량이 감소된 것으로 생각되며, 슬래그 미분말인 경우는 치환량 증가에 따라 미분체의 증가로 공기량이 약간 올라가는 현상은 보여주고 있다.

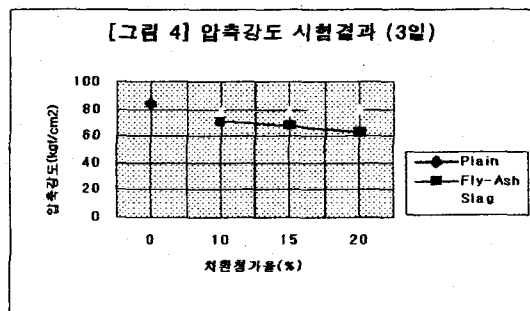
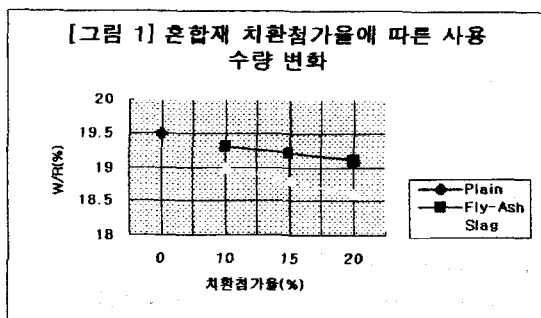
<그림3>은 혼합재 치환 첨가율에 따른 단위용적중량 변화 결과로서 플라이애쉬는 치환 첨가율 증가에 따라 plain 기준하여 단위용적중량이 감소되는데 이는 플라이애쉬 자체의 비중(2.2) 시멘트(3.15)와 비교하여 낮기 때문이다. 한편 슬래그 미분말의 경우는 플라이애쉬 비중 보다 다소 높기(2.8) 때문이다. 또한 슬래그 미분말의 충전율이 플라이애쉬 보다 높아 단위용적중량이 크게 떨어지지 않는 요인으로 작용하였다.

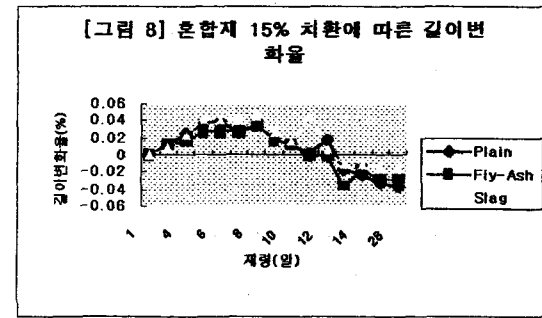
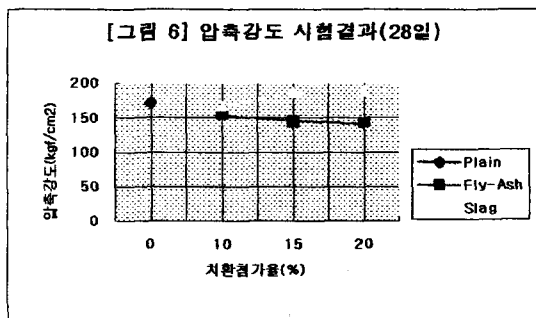
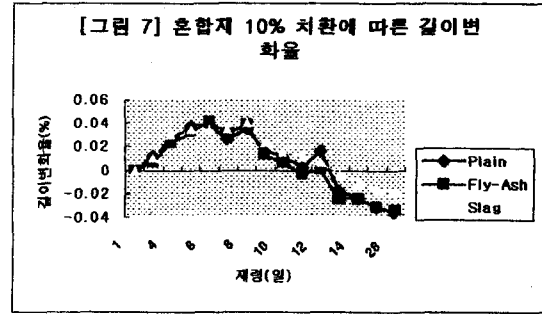
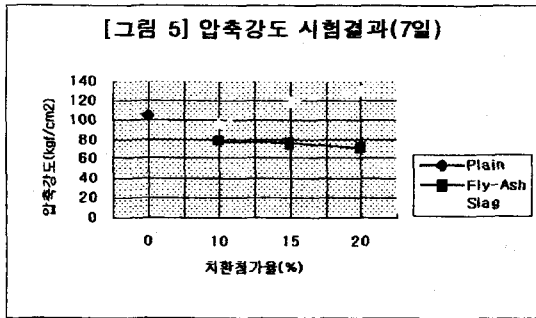
3-2. 강도특성

혼합재별 치환첨가 결과 <그림4> 초기재령(3일)에서는 큰차이를 나타내지 않았지만



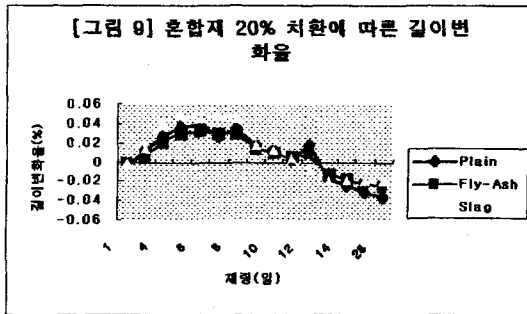
플라이애쉬는 초기재령에서부터 plain과 비교하여 강도가 하락하고 있다. <그림5> 재령 7일에서는 슬래그 미분말 15% 치환첨가한 경우 plain보다 높게 나타나고 있다. 이는 <그림1>, <그림2>, <그림3>에서 설명한 바와같이 슬래그 미분말 혼입에 의한 사용수량 감소, 슬래그 미분체의 높은 충전율 및 시멘트와의 포졸란 반응성으로 수화물 생성이 활발하여 강도 상승 요인으로 작용한 것으로 생각된다.^{1, 2, 3, 4, 5} 재령 28일에서도 동일한 결과를 보여주고 있다.





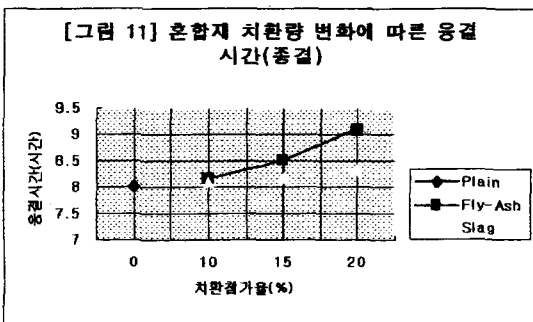
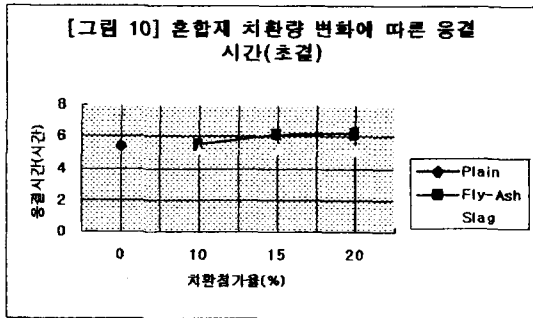
3-3. 길이변화 특성

혼합재 치환율 변화에 따른 길이변화 특성을 <그림7>, <그림8>, <그림9>에 나타내었다. 치환율이 증가함에 따라 플라이애쉬를 사용한 경우는 제일 낮은 길이변화율을 나타내고 있다. 한편 슬래그 미분말은 가장 안정된 길이변화율을 보여주고 있다. 혼합재의 종류에 따라 상이한 길이변화율을 보여주는 것은 각 혼합재의 사용에 의한 사용수량 차이, 분말도 차이와 초기제령에서의 수화 반응성에 의존한다고 할 수 있다. 이는 앞서 설명한 압축강도 시험결과와 유사한 결과로서 슬래그 미분말의 초기반응성이 팽창재가 혼입된 상황에서는 플라이애쉬에 비하여 다소 빠르게 반응됨을 알 수 있다. 이와같은 특성은 뒤에서 설명할 응결시간과 XRD에서도 잘 설명되어지고 있다.



3-4. 응결시간

각각 혼합재의 치환첨가율에 따른 응결시간 특성을 <그림10>, <그림11>에 나타내었다. 플라이애쉬 혼합재의 경우 치환첨가율에 따라 혼합재가 첨가되지 않은 plain 보다 초결, 종결 모두 늦어지는 현상을 보여주고 있다. 한편 슬래그 미분말이 첨가된 혼합재의 경우 초결에 있어서는 플라이애쉬 및 plain 보다 빠르게 나타났다. 이는 뒤의 수화열 분석 결과에서도 설명되겠지만 슬래그 미

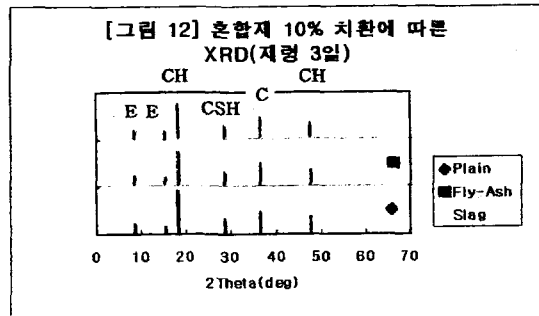


분말 첨가후 알라이트(C₃S) 수화가 가속되는 시기(6시간 이후)와 초결반응과의 시기가 일치되는 것으로 보아 슬래그 미분말 첨가로 인하여 알라이트 반응이 플라이애쉬 보다 상대적으로 빠르게 진행되어 CSH 수화생성을 촉진시켜 초결 특성을 빠르게 진행시킨 것으로 판단된다. 한편 중결 특성에 있어서는 플라이애쉬 혼합재 첨가의 경우가 초결에 있어서 보다 더욱 늦어짐을 알 수 있다. 이는 치환첨가율이 증가할수록 더욱 두드러지고 있다.

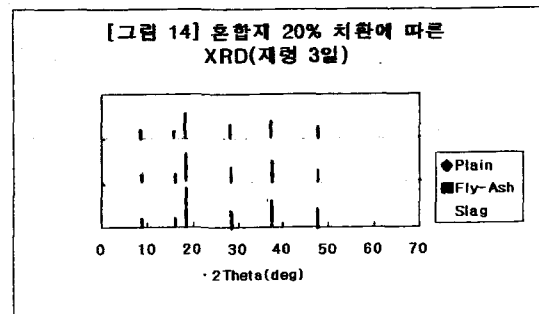
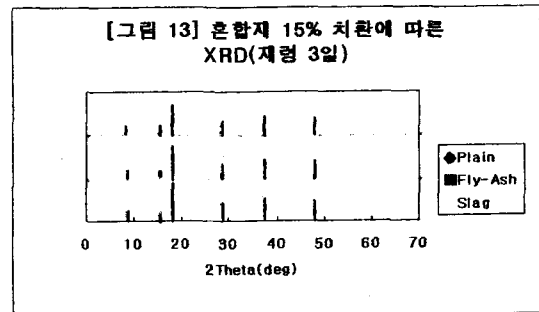
3-5. 수화특성

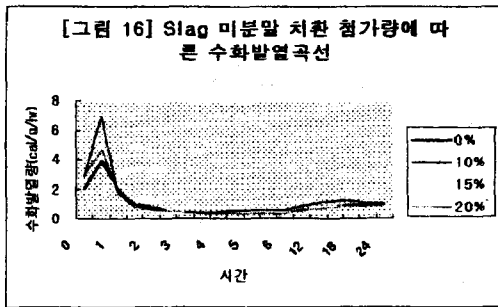
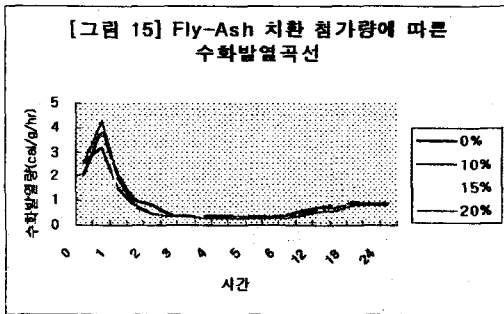
플라이애쉬 및 슬래그 미분말 혼합재를 첨가한 시료를 탈형후 2일간 수중양생하고 아세톤 처리를 하여 수화를 정지시킨 후 X선 회절분석 결과를 <그림12>, <그림13>, <그림14>에 나타내었다. 혼합재 치환율 15%부터 특히 슬래그 미분말 첨가의 경우 시멘트

수화시 생성되는 Ca(OH)₂ 와 슬래그 미분말과의 포졸란 반응성으로 Ca(OH)₂ peak가 상대적으로 plain과 플라이애쉬와 비교하여 상당히 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 압축강도 상승과 길이변화 감소, 초결 반응성 촉진 등에 대한 원인을 규명해 줄 수 있는 중요 사항인 것으로 판단된다. 이러한 특성은 치환 첨가율 20%에서도 유사한 결과를 보여주고 있는 것으로 재령 28일 에서는 이러한 포졸란 반응으로 Ca(OH)₂ 의 감소가 두드러져 수화물의 치밀도 상승과 충전성 향상에 기여 되고 있는 것으로 판단된다.



E: Ettringite, CH: CaOH₂, C: C₃S, C₂S





이러한 수화반응에 대한 또 다른 접근으로 수화발열 특성 결과를 <그림15>, <그림16>에 나타내었다. 수화발열 특성에서도 알 수 있듯이 플라이애쉬 혼합재가 첨가된 경우는 치환 첨가율이 증가될수록 시간이 경과 될수록 수화발열 peak가 낮게 나타나고 있다. 이는 앞서 시험한 응결시간 결과에서 플라이애쉬를 첨가한 배합이 초결, 종결 모두 응결시간이 지연되는 것으로 수화발열 특성과 잘 일치되고 있음을 알 수 있다. 한편 슬래그 미분말 혼합재가 첨가된 배합에서는 6시간 이후에서부터 슬래그 미분말 10% 첨가한 배합이 수화발열 peak가 상승됨을 알 수 있다. 이는 슬래그 미분말 첨가로 인한 C₃S 수화가 가속되는 시기와 일치되는 것으로 슬래그 미분말 첨가가 수화발열 특성에도 기여하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

플라이애쉬, 슬래그 미분말을 시멘트 기준 치환 첨가로 10%, 15%, 20% 혼합하여 바닥

용 모르타르의 제반 물성에 미치는 영향을 검토한 결과를 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 각 혼합재의 치환에 따른 사용수량 변화는 슬래그 미분말 첨가로 인한 유동성 증가로 인하여 plain 및 플라이애쉬 첨가 배합과 비교하여 약 1% 정도의 사용수량 감소를 나타내어 차후 강도 특성 및 제반 물성에 유리한 성질로 작용될 것으로 판단된다.
- (2) 각 혼합재의 치환에 따른 공기량 변화는 플라이애쉬 경우 치환율 증가에 따라 공기량이 감소되고 있는데, 플라이애쉬 성분내의 미연탄소분의 흡착으로 인해 공기량이 감소된 것으로 판단된다.
- (3) 각 혼합재의 치환량에 따른 단위용적중량 변화는 플라이애쉬를 치환한 경우 치환율 증가 따라 감소되고 있음을 알 수 있다. 이는 시멘트 치환첨가로 인한 재료 자체의 비중 감소로 단위용적중량이 감소되는 것으로 판단된다. 한편 슬래그 미분말 치환의 경우는 단위용적중량 감소폭이 플라이애쉬 보다는 다소 완만한 것으로 시멘트 치환에 따른 재료 비중차이가 적음으로 인한 결과로 판단된다.
- (4) 각 혼합재의 치환에 따른 압축강도 특성은 초기재령에서는 plain과 비교하여 약간 저하되나 큰 차이를 보이지 않았으나 재령 7일 이후부터는 슬래그 미분말 15% 첨가시 plain보다 우수한 강도 특성을 나타내고 있다. 재령 28일 에서도 같은 특성을 보여주고 있다.
- (5) 각 혼합재의 치환에 따른 길이변화 특성은 플라이애쉬를 치환한 것이 가장 불안정한 것으로 나타났고, 슬래그 미분말을 치환한 것이 가장 안정된 특성을 나타내

고 있다.

(6) 각 혼합재의 치환에 따른 응결시간 특성은 플라이애쉬 치환한 것이 치환율 15%에서부터 plain고 비교 지연되는 현상을 보인 반면 슬래그 미분말을 치환한 것은 치환율 10%부터 plain과 비교 초결시간이 빠르게 나타나고 있으며, 종결 특성으로는 플라이애쉬를 치환첨가한 것은 슬래그 미분말 치환한 것과 비교 초결보다 더 지연되는 특성을 나타내었다.

(7) 각 혼합재 치환에 따른 수화발열 특성은 슬래그 미분말과 알라이트(C_3S)의 수화가 촉진 되어 수화발열 특성이 높게 나타나고 있다.

위의 종합적인 결과로 미루어보아 슬래그 미분말을 치환 첨가한 배합이 사용수량 감

소, 강도 향상 및 수화반응성 등에서 우수한 특성을 나타낸 것은 향후 재료 선택에 있어서도 그 활용도가 높을 것으로 판단된다.

<참 고 문 헌>

1. 内川 浩, 宇智田俊一郎, 岡村 隆吉, セメント技術年報 41(昭62), pp.42~45.
2. W. Fajun, M. W. Grutzeck and D. M. Roy, Cem. Con. Res. Vol. 15(1), pp.174~184(1985).
3. H. Takemoto and H. Uchikawa, 7th ICCG, I, VI-2/1~2/29(1980).
4. J. C. Maso, 7th ICCG, I, VII-1/3~1/15(1980).
5. D. M. Roy, "Mechanism of Cement Paste Degradation due to Chemecal and Physical Process", 8th Inter. Cong. Chem. Cement, Vol. 4, 362(1986).