

C₁₂A₇系 슬래그를 사용한 수축저감제의 혼합재 함량에 따른 특성

朴秀暎 · *秋溶植 · 徐聖官 · 朴宰完

韓國세라믹技術院 에너지環境素材本部

Properties of Shrinkage Reducing Agent used C₁₂A₇-Based Slag according to Content of Admixtures

Soo Hyun Park, *Yong Sik Chu, Sung Kwan Seo and Jae Wan Park

Energy & Environmental Division, Korea Institute of Ceramic Eng. & Tech.

요 약

본 연구에서는 수축저감 효과를 높이고, 강도를 증진시키기 위해 C₁₂A₇계 슬래그를 사용한 수축저감제 및 이를 이용한 모르타르를 제조하였다. 또한 시멘트 사용량을 줄이기 위해, 플라이애쉬와 고로슬래그의 함량을 변화시킨 모르타르의 응결시간, 플로우, 압축강도를 측정하였다. 플라이애쉬와 고로슬래그 함량이 증가할수록 플로우 값이 증가하였고, 응결시간이 지연되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 혼합재 함량 증가에 따라 초기재령에서는 압축강도가 낮아지지만, 장기재령에서는 높은 압축강도 값을 나타내었다.

주제어 : C₁₂A₇계 슬래그, 수축저감제, 모르타르, 플라이애쉬, 고로슬래그

Abstract

In this Study, it was fabricated that shrinkage reducing agent and mortar used C₁₂A₇-based slag enhanced the shrinkage reduction and compressive strength. To reduce cement content, setting time, flow and compressive strength of mortar with varying content of fly ash and blast furnace slag were experimented. The flow increased and setting time delayed as the increase of fly ash and blast furnace slag content. And early strength was lower and long age strength was higher than that of mortar with low content of admixture.

Key words : C₁₂A₇-based Slag, shrinkage reducing agent, mortar, fly ash, blast furnace slag

1. 서 론

국내 공동주택 공사 중 바닥 미장은 인력난과 공기단축을 해결하기 위해 기계화 시공을 함으로써 바닥 미장의 크랙발생 및 들뜸 현상으로 인한 하자 발생으로 경

제적, 시간적 낭비가 많다.¹⁾ 그 일례로 공동주택의 바닥 모르타르 타설을 용이하게 하기 위하여 과도한 물을 사용하고 있으며, 이로 인한 모르타르의 급격한 건조 수축이 발생하여 내구성 및 열전도율을 저하시키며, 균열 보수 비용으로 공사비 증가를 초래하고 있다. 즉, 공동

* Received : April 25, 2013 · 1st Revised : July 5, 2013 · 2nd Revised : October 21, 2013 · Accepted : November 15, 2013

*Corresponding Author : Yong-Sik Chu (E-mail : cementlab@kicet.re.kr)

Green ceramics Division Eco-Comosite Materials Center, Korea Institute of Ceramic Engineering & Technology, 233-5 Gasandong, Geumchon-gu, Seoul 153-801, Korea
Tel : +82-2-3282-7791 / Fax : +82-2-3282-2430

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주택 바닥미장의 균열은 사용재료의 구성과 시공정도, 양생, 보양 방법에 따른 각 요인이 복합적으로 작용하여 발생된다. 이러한 균열의 발생을 억제하기 위해서는 바닥미장 균열의 발생원인 분석과 균열 저감기술에 대한 개발이 필요하다.²⁻⁵⁾

균열의 발생원인은 모르타르의 수축에 의해 발생하며, 수축은 소성수축과 건조수축으로 대분할 수 있다. 소성수축은 모르타르나 콘크리트 수화 초기에 외부의 기후적 요인이나 시공요인 등에 의해 발생하는 현상이고, 건조수축은 모르타르가 경화된 후 외기 중에 노출되었을 때 발생하는 현상이다.⁶⁾

건조수축은 시멘트의 종류에도 의존하며, 가장 적은 건조수축은 중용열시멘트와 플라이애시 혼합시멘트이며, 균열 발생시기는 고로슬래그 혼합시멘트가 가장 빠르다.⁷⁾ 혼합재 영향을 살펴보면, 백토나 규조토 등이 함유되어 있을 경우에는 단위수량을 증가시켜 건조수축이 커진다. 플라이애시는 입형이 구형으로, 단위수량을 감소시켜 수축저감에 효과가 있다. 플라이애시를 20% 사용한 경우, 수축율이 최대 20%까지 감소될 수 있다고 보고되기도 하였다.⁸⁾

한국 공개특허공보 10-0303235-0000호에서 제안한 “온돌마감미장용 수축저감 모르타르”에서는 정유공장에서 발생하는 폐기물인 석유 코우크스 연소재와 시멘트를 사용하였으며, 이때 수분이 많은 모르타르에서도 균열 방지에 탁월한 효과를 나타내었다고 하였다.⁹⁾ 그러나 이 수축저감 모르타르는 초기 응결시간이 단축되어 충분한 미장시간을 얻기 힘들며, 초기균열이 발생하는 단점이 발견되었다. 또한 28일 압축강도 발현이 불량하고, 계절특성에 따른 차등배합이 어려웠다.

그러므로 시멘트 수화반응이 대부분 종료될 동안, 시멘트 수화반응 및 습분 증발에 의한 수축을 보상해 줄 수 있는 지속적인 팽창이 동반된다면 수축은 크게 줄어들 것이다. 또한 산업부산물로 경제성까지 확보할 수 있다면 더욱 효과적인 것이다. 즉 시멘트 수화 기간 동안, 계속해서 수화-반응하여 팽창에 기여할 수 있는 물질 개발이 시급한 상황인 것이다.

A J Majumdar 등은 C₁₂A₇계 고로슬래그 혼합분말에 혼합수 투입시, 수화반응을 일으킨다고 하였다.¹⁰⁾ 이때 C₁₂A₇는 다양한 수화물을 생성하며, 수화열을 방출한다. 더불어 양생온도에 따라 생성되는 수화물의 종류 및 양 등이 변화하게 된다고 하였다. 일례로 20 양생시에는 C₂AH₈, CAH₁₀, C₃AH₆, C₂ASH₈ 등의 수화물이, 40 양생시에는 C₂AH₈, C₃AH₆, C₂ASH₈ 등이 생성된

다. 더불어 수화물의 종류에 따라 생성시기도 달라진다. C₂AH₈은 주수 후 곧바로 생성되나, CAH₁₀은 7시간 전후, C₃AH₆는 2일 후부터 생성되기 시작한다. C₂ASH₈은 28일 전후 생성된다. 즉 수화물의 생성시기가 매우 상이하다는 것을 알 수 있다. 따라서 각각의 수화물 생성시기에 따라, 바닥용 모르타르의 팽창정도를 일정부분 제어할 수 있으며, 더불어 바닥용 모르타르의 물성도 변화시킬 수 있는 것이다. 그러나 생석회 및 무수석고 단독 또는 생석회와 무수석고를 모두 함유한 석유정제 코우크스 연소재 등은 주수 후 곧바로 수화가 이루어져, 수화물은 대부분 수화초기에 생성된다.

그러므로 본 연구에서는 28일 전후에도 팽창에 기여할 수 있고 장기 강도 발현에 효과적인 물질로, CA계 광물 중 12CaO·7Al₂O₃ (C₁₂A₇)을 주결정상으로 하는 바닥용 수축저감제 (열연슬래그와 정련슬래그)와 이를 사용한 수축저감제 및 모르타르를 개발하고자 하였다. 또한 수축저감제 조성을 제어하기 위해, 석유 코우크스 연소재 9%, 열연슬래그는 6%로 고정한 후, 플라이애쉬와 고로슬래그 함량을 변화시켰다. 이때 플라이애쉬 및 고로슬래그 증량분은 시멘트에서 빼주었다. 즉 결합제로 사용된 시멘트 함량을 줄였을 경우, 각각의 조성비에서 수축저감제의 역할을 충분히 수행할 수 있는지 검토하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 화학분석을 통해 검토한 C₁₂A₇계 슬래그는 열연슬래그와 정련슬래그 등을 들 수 있다. 상기 슬래그 중, 본 연구에서는 열연슬래그를 사용하여 모르타르의 물리적 특성을 분석·평가하였다. 열연슬래그는 2 mm 체를 사용하여 체분리한 후, 2 mm under분만을 사용하였다. 최적의 수축저감제를 개발하기 위해 혼합재 함량을 달리하여, 각각의 원료들을 배합한 후 물성을 평가하였다.

C₁₂A₇계 슬래그의 화학분석 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서와 같이 열연슬래그의 주성분은 CaO 43.4%, Al₂O₃ 33.4%이었으며, 정련슬래그의 CaO 함량은 41.7%, Al₂O₃ 함량은 37.4%이었다. 이외에도 소량성분으로 SiO₂, Fe₂O₃ 및 MgO 등이 존재하였다.

혼합재 함량을 제어하기 위해, Table 2와 같이 플라이애쉬와 고로슬래그 함량을 변화시켰다. 이때 연소재와 열연슬래그는 일정 함량으로 시험하였다. 플라이애쉬 배합비는 최소 10%에서 35%로, 고로슬래그는 10%

Table 1. Chemical analysis of materials

(Unit : %)

Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Ig. loss
Petroleum Cokes Ash	4.02	1.44	0.53	53.6	0.88	0.48	0.39	23.8	14.5
Hot Rolling Slag	4.64	33.4	1.49	43.4	10.7	0.04	0.005	1.03	4.7
Refining Slag	3.53	37.4	3.44	41.7	5.56	0.07	0.03	1.11	5.0
fly ash	59.5	25.8	3.60	3.75	1.20	0.69	1.50	0.27	3.52
blast furnace slag	34.5	18.5	1.00	45.7	4.94	0.26	0.70	2.33	0.01
cement	20.9	5.52	3.38	63.13	2.81	0.15	0.75	1.81	1.03

Table 2. Mix ratio of raw material

(Unit : wt%)

No.	Shrinkage Reducing Agent				Total*	Cement
	Petroleum Cokes Ash	Hot Rolling Slag	Fly Ash	Blast Furnace Slag		
Ref.	9	6	10	10	35	65
No.1	9	6	20	10	45	55
No.2	9	6	25	10	50	50
No.3	9	6	35	10	60	40
No.4	9	6	10	15	40	60
No.5	9	6	10	20	45	55
No.6	9	6	10	30	55	45

* : 시멘트까지 고려한 수축저감제 분율

에서 30%까지 변화시켰다. 이때 플라이애쉬 및 고로슬래그 증량분 만큼 시멘트 함량을 감량시켰다. 이는 혼합재 함량증가에 따른 (반대로 시멘트 함량을 감소시켰을 경우), 수축저감 여부를 평가하기 위한 것이다.

각각의 배합비로 제조된 수축저감제를 시멘트, 모래 및 혼합수와 혼합하였다. 이때 결합제 (수축저감제+시멘트)를 100%로 고정된 후, 결합제 함량 기준 모래 264%, 혼합수 62%를 혼합하였다. 혼합이 종료된 수축저감 모르타르는 KS L 5201에 따라 플로우, 응결 및 압축강도 등을 측정하였다. 모르타르 길이변화율을 평가하기 위해 4×4×16 cm의 시편을 제조하여 기건 양생하였으며, 3일, 5일, 7일, 14일, 28일 및 35일 재령에서 길이변화율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 응결

Table 2의 배합비로 제조된 모르타르 응결 측정을 위해 비카트 (Vicat) 침을 사용하였다.

석유 코우크스 연소재와 열연슬래그를 6:4 비율로

첨가한 Ref. 배합조건을 기준으로, 플라이애쉬와 고로슬래그 함량을 변화시킨 모르타르의 응결시험 결과를 Table 3에 나타내었다.

시멘트 65%, 플라이애쉬 10% 및 고로슬래그를 10% 첨가한 Ref.의 초결은 8시간 10분이었으며, 종결은 9시간 20분이었다. 시멘트 55%, 플라이애쉬를 20% 첨가한 No.1의 응결은 초결 8시간, 종결 9시간으로 초결이 10분, 종결이 20분 짧아졌다. 그러나 시멘트 50%, 플라이애쉬를 25% 첨가한 No. 2의 응결은 초결 8시간 20분, 종결 9시간 40분으로 Ref.보다 초결이 10분, 종결이 20분 길어졌다. 더불어 35% 첨가한 No. 3의 초결은 8시간 50분으로 Ref.보다 40분 길어졌으며, 종결도 10시간으로 40분이 길어졌다. 상기와 같이 응결시간이 길어진 이유는 플라이애쉬 첨가량이 증가할수록 상대적으로 시멘트량이 줄어들어 수화열을 감소시키기 때문이다. 플라이애쉬는 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 경화성을 발휘하지만 그 반응속도가 시멘트와 비교하여 상당히 낮고, 수화 발열량도 적다. 그러나 초결에서 종결까지의 시간은 ±10분 정도로 큰 변화가 없다.

대부분의 바닥용 모르타르 작업의 계절적 요인을 고

Table 3. Setting time of cement mortar

No.	Initial setting time (hr:min)	Final setting time (hr:min)	T (min)
Ref.	8 : 10	9 : 20	70
No.1	8 : 00	9 : 00	60
No.2	8 : 20	9 : 40	80
No.3	8 : 50	10 : 00	60
No.4	8 : 55	10 : 25	90
No.5	8 : 55	10 : 55	120
No.6	9 : 25	11 : 25	120

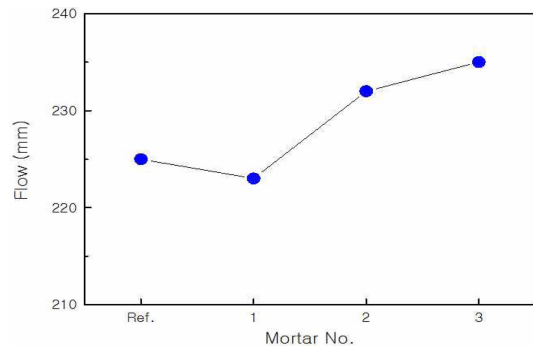
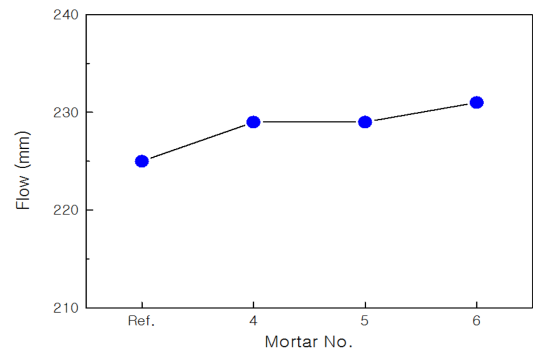
려하여 응결시간이 짧아지는 하절기에는 플라이애쉬 함량을 증대시켜야 하며, 응결시간이 길어지는 동절기에는 플라이애쉬 함량을 적게 해야, 응결시간을 일정하게 유지할 수 있다.

고로슬래그 함량별 모르타르의 응결시험 결과, 시멘트 65%, 고로슬래그를 10% 첨가한 Ref.의 초결은 8시간 10분, 종결은 9시간 20분이었다. 시멘트 60%, 고로슬래그 15%를 첨가한 No.4의 경우 초결은 8시간 55분, 종결은 10시간 25분으로 Ref.보다 초결이 45분, 종결이 1시간 5분 길어졌다. 그리고 시멘트 55%, 고로슬래그 20%를 첨가한 No.5의 응결은 초결 8시간 55분, 종결 10시간 55분으로 Ref.보다 초결이 45분, 종결이 1시간 35분 길어졌다. 더불어 고로슬래그를 30% 첨가한 No.6의 초결은 9시간 25분으로 Ref.보다 1시간 15분 길어졌으며, 종결도 11시간 25분으로 2시간 5분이 길어졌다. Ref.를 기준으로 치환율이 증가할수록 초결 도달 시간의 차이는 No. 4와 No. 5의 경우 45분, No. 6의 경우 1시간 15분 정도 지연되는 것으로 나타났다. 시험결과 고로슬래그 사용량이 증가할수록 응결시간이 지연되는 것을 확인할 수 있었으며, 초결과 종결 시간의 차이는 약 1시간 30분 ~ 2시간이 소요되는 것으로 나타났다.

3.2. 플로우

바닥용 모르타르는 펌핑 장비로 타설하므로 충분한 작업성이 확보되어야 한다. 모르타르 작업성 평가를 위한 대표적 방법으로 플로우 측정 방법이 있다.

Ref. 배합조건을 기준으로, 플라이애쉬 함량을 변화시킨 모르타르의 작업성을 평가하기 위한 플로우 측정값을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서와 같이 Ref.의 플로는 225 mm이었으며, No.1 223 mm, No.2 232 mm 및 No.3은 235 mm이었다. No.1에서 소폭 감소된 플로우

**Fig. 1.** Effect of fly ash ratio on the flow value of mortar.**Fig. 2.** Effect of blast furnace slag ratio on the flow value of mortar.

우는 점차 증가할 수 있었다. 이는 플라이애쉬가 모르타르의 유동성을 개선하여 감수제로서의 역할을 하기 때문이다. 플라이애쉬가 첨가될 경우, 연소재의 수화열을 감소시켜 초기균열을 방지하고 작업성을 좋게 한다.

Ref. 배합조건을 기준으로, 고로슬래그 함량을 변화시킨 모르타르의 작업성을 평가하기 위한 플로우 측정값을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서와 같이 Ref.의 플로는 225 mm이었으며, No.4 229 mm, No.5 229 mm 및 No.6은 231 mm이었다. 일반적으로 고로슬래그의 치환율이 증가할수록 플로우값도 증가하였다.

상기에서와 같이 플라이애쉬와 고로슬래그의 첨가량이 증가할수록 유동성이 우수해지는 것으로 나타났으며, 고로슬래그보다 플라이애쉬의 첨가량이 증가함에 따라 더 큰 유동성 증가를 얻을 수 있었다.

3.3. 길이변화율

길이 측정용 모르타르 시편은 탈형 후 길이를 측정 (1일)하였으며, 이후 20 ± 2°C 조건의 실험실에서 35일 동안 기중 양생하였다. 양생기간 중 3일, 5일, 7일, 14

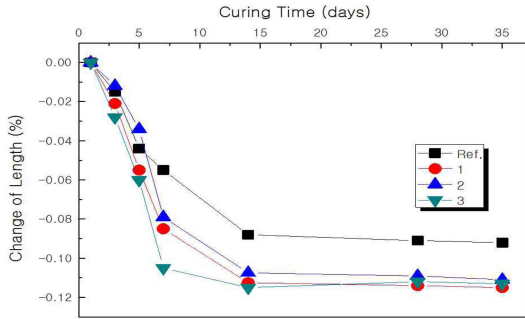


Fig. 3. Length change of mortars containing different percentage of fly ash.

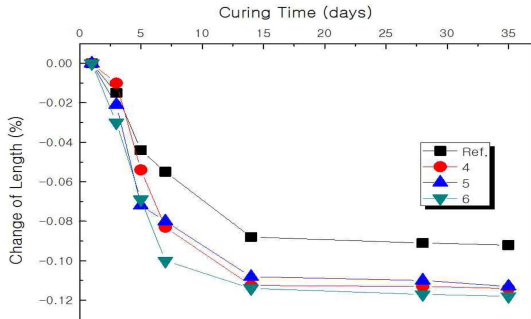


Fig. 4. Length change of mortars containing different percentage of blast furnace slag.

일, 28일 및 35일까지 길이변화를 측정하였으며, 이를 값과 탈형 후 길이와의 차이로 길이변화율을 계산하였다(식 (1) 참조).

$$\frac{(\text{양생일별 길이} - \text{탈형후길이}) \mu\text{m}}{16 \text{ cm}} \times 100 \quad (1)$$

시멘트 및 플라이애쉬 함량에 따른 모르타르의 수축 저감효과를 평가하기 위한 길이변화율 그래프를 Fig. 3에 나타내었다.

양생일 증가에 따라, 모든 모르타르에서 길이 수축현상을 관찰할 수 있었다. 그러나 14일 이후에는 수축율이 크게 감소하였으며, 28일 및 35일은 큰 차이가 나지 않았다. 초기 3일 양생 조건에서는 No. 2의 길이변화율이 가장 작았으나 7일 이후에는 Ref.의 길이변화율이 가장 작았다.

플라이애쉬 10%를 첨가한 Ref.의 길이변화율은 3일 -0.015%, 35일 -0.092%이었으며, 플라이애쉬 35%를 첨가한 No.3의 길이변화율은 3일 -0.028%, 35일

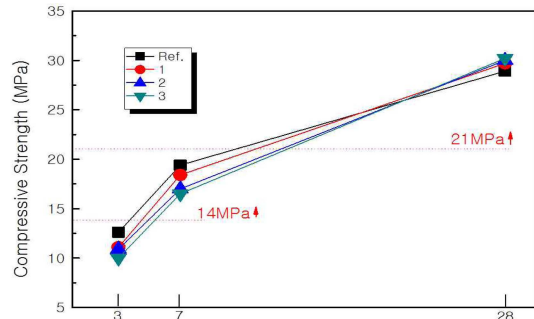


Fig. 5. Compressive strength of mortars containing different percentage of fly ash.

-0.113%이었다. 그러나 No.1과 No.2의 길이변화율을 보면 오히려 플라이애쉬의 첨가량이 증가한 No.2의 길이변화율이 작았다. Davis 등의 연구에 따르면, 플라이애쉬 첨가량 약 20%까지는 보통 콘크리트와 플라이애쉬 콘크리트의 건조수축량이 거의 차이가 없다고 하였다.

시멘트 및 고로슬래그 함량에 따른 모르타르의 수축 저감효과를 평가하기 위한 길이변화율 그래프를 Fig. 4에 나타내었다. 초기 3일 양생 조건에서는 No.4의 길이변화율이 가장 작았으나 5일 이후에는 Ref.의 길이변화율이 가장 작았다.

시멘트 65%, 고로슬래그 10%를 첨가한 Ref.의 길이변화율은 3일 -0.015%, 35일 -0.092%이었으며, 시멘트 45%, 고로슬래그 30%를 첨가한 No.6의 길이변화율은 3일 -0.030%, 35일 -0.118%이었다. 고로슬래그의 치환율이 증가할수록 길이변화율도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 고로슬래그 10~15% 치환율에서는 그 영향이 미미한 것으로 나타났다. 그 이유는 슬래그 반응율이 낮은 초기에는 고로슬래그의 치환율이 증가함에 따라 모세관 공극량이 증가하여 건조수축률이 증가하는 경향이 있지만 수화가 진행됨에 따라 장기재령에서는 겔 공극량의 증가로 건조수축률이 크게 증가하지 않는 것으로 판단된다.

3.4. 압축강도

플라이애쉬 함량에 따른 모르타르의 압축강도 그래프를 Fig. 5에 나타내었다. 3일 압축강도는 Ref., 즉 플라이애쉬를 10% 첨가한 모르타르에서 가장 높은 값(12.6 MPa)을, No. 3는 가장 낮은 값(10.0 MPa)을 나타내었다. 7일 압축강도도 Ref.에서 가장 높은 값(19.4MPa)을, No. 3는 가장 낮은 값(16.5MPa)을 나

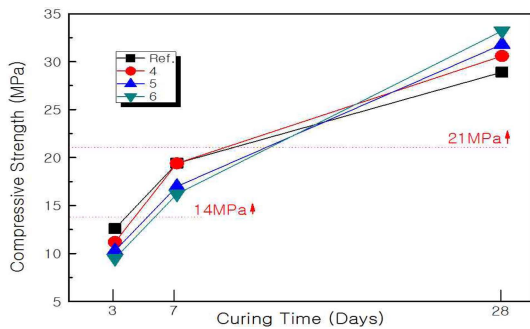


Fig. 6. Compressive strength of mortars containing different percentage of blast furnace slag.

타내었다. 그러나 28일 압축강도는 No.3에서 가장 높은 값 (30.2MPa)을, Ref.에서 가장 낮은 값 (28.9MPa)을 나타내었다. 즉 초기 3일과 7일은 플라이애쉬를 10% 첨가한 모르타르에서, 28일은 35% 첨가한 모르타르에서 좀 더 우수한 압축강도 특성을 발현하였다. 이는 플라이애쉬 자체의 반응성이 낮고 플라이애쉬 첨가량이 증가할수록 초기 재령에서는 강도가 낮게 발현되나 장기 재령에서는 일반적으로 높은 강도를 발현하기 때문이다. 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘이 플라이애쉬의 가용성 실리카 및 알루미늄과 화합하여 규산석회 및 알루미늄산삼산화 등의 수화물을 생성하고 이들이 장기강도의 증진에 큰 역할을 하는 것으로 판단된다. 이러한 플라이애쉬에 의한 장기강도의 증진효과는 시간이 지남에 따라 계속되는데 Lane과 Best는 플라이애쉬를 사용하지 않은 콘크리트는 1년 후에 30%의 강도증가를 보인 데 반해 플라이애쉬 콘크리트는 50%까지 증가되었다고 보고하였다.

또한 플라이애쉬의 화학성분 중에서 가용성 성분과 CaO의 양에 따라 강도발현이 달라지는데 가용성 성분이 많을수록, CaO 함유량이 클수록 강도는 커진다.

본 연구에서는 28일까지 압축강도를 측정하였으며, 이후 재령의 강도값은 아직 도출되지 않았다. 결과에서 도출된 초기 압축강도 상승은 C₁₂A₇과 석유코크스 연소재의 무수석회가 반응하여 에트링자이트를 생성했기 때문이다. 더불어 C₁₂A₇계 수화물인 육방정계의 C₂AH₈ 생성도 강도 상승에 기여했기 때문이다. J. Majumdar 등이 보고한 결과¹⁰⁾를 토대로 28일 이후 강도 증진율을 추정할 경우, Ref. 보다 높은 강도 증진율을 나타낼 것이다. 이는 7일 전후 생성된 C₂ASH₈ 등의 영향으로 사료된다.

고로슬래그 함량에 따른 모르타르의 압축강도 그래프

를 Fig. 6에 나타내었다. 3일 압축강도는 Ref, 즉 고로슬래그를 10% 첨가한 모르타르에서 가장 높은 값 (12.6MPa)을, No.6은 가장 낮은 값 (9.5MPa)을 나타내었다. 7일 압축강도는 Ref., No.4에서 가장 높은 값 (19.4MPa)을, No.6은 가장 낮은 값 (16.2MPa)을 나타내었다. 그러나 28일 압축강도는 No.6에서 가장 높은 값 (33.2MPa)을, Ref.에서 가장 낮은 값 (28.9MPa)을 나타내었다. 즉 초기 3일과 7일은 고로슬래그를 10~15% 첨가한 모르타르에서, 28일은 30% 첨가한 모르타르에서 좀 더 우수한 압축강도 특성을 발현하였다. 고로슬래그의 첨가량이 증가할수록 초기 재령에서는 강도가 낮게 발현되었으나 28일 이후에는 반전되어 고로슬래그의 첨가량이 증가할수록 강도가 높게 발현되었다. 일반적으로 고로슬래그를 사용한 콘크리트는 초기강도 발현율이 일반 콘크리트에 비해 낮지만 장기강도 발현율은 우수하며 이러한 경향은 치환율이 증가할수록 현저한 것으로 보고되고 있다. 이는 고로슬래그 미분말의 공극충전효과(Filler effect)와 더불어 슬래그 반응율이 낮은 초기재령에서는 고로슬래그의 치환율이 증가함에 따라 모세관 공극량이 증가하지만, 수화가 진행됨에 따라 장기재령에서는 비교적 공극경이 큰 모세관 공극이 감소하고 겔공극량이 크게 증가하기 때문이다.

상기에서와 같이 플라이애쉬 및 고로슬래그를 시멘트로 대체할 경우, 치환율이 증가할수록 초기 재령에서는 압축강도가 낮지만, 장기 재령에서는 높은 압축강도 값으로 나타내었다.

4. 결 론

시멘트 수화반응이 종료될 때까지 시멘트 수화반응에 계속 기여할 수 있는, 즉 시멘트 수화 기간 동안 계속해서 팽창에 기여할 수 있는 C₁₂A₇계 광물인 산업폐기물 (열연슬래그, 정련슬래그 등)을 바닥용 모르타르 수축저감제로 사용 (수축저감제 및 모르타르 등)하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 시멘트 수화 초기에는 석유 코크스 연소재의 CaO의 수화 및 CaSO₄와 열연슬래그의 C₁₂A₇이 반응하여 에트링자이트를 형성함으로써 수축 저감 효과를 가져왔다. 또한 C₁₂A₇이 C₂AH₈ 및 C₂ASH₈ 등으로의 수화물 전이는 강도 상승에 기여하였다. 그러므로 기존 석유 코크스 연소재와 C₁₂A₇계 슬래그 혼합물이 수축저감제와 이를 적용한 바닥용 모르타르로 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

2) 플라이애쉬와 고로슬래그의 첨가량이 증가할수록 유동성이 우수해지는 것으로 나타났으며, 고로슬래그보다 플라이애쉬의 첨가량이 증가함에 따라 더 큰 유동성 증가를 얻을 수 있었다.

3) 시멘트를 대체하여 플라이애쉬 및 고로슬래그의 함량을 증가시킬 경우, 수축량이 증가하는 역효과가 동반되었다. 그러나 장기 재령에서는 그 영향이 미미한 것으로 나타났다.

4) 플라이애쉬와 고로슬래그의 첨가량이 증가할수록 초기 재령에서는 강도가 낮게 발현되나 장기 재령에서는 높은 강도를 발현하였다. 일반적으로 플라이애쉬나 고로슬래그를 사용한 콘크리트는 초기강도 발현율이 일반 콘크리트에 비해 낮지만 장기강도 발현율은 우수하며 이러한 경향은 치환율이 증가할수록 현저한 것으로 나타났다.

상기의 결과로부터, C₁₂A₇계 슬래그를 사용한 수축저감제 및 모르타르에서 플라이애쉬와 고로슬래그로 기존 시멘트를 일부 대체할 경우에 수축량 저감 효과는 크지 않았지만 유동성 및 강도 발현에는 효과적이었다. 그러므로 현장에서 시멘트 사용량을 감소시키기 위해 플라이애쉬와 고로슬래그 및 C₁₂A₇계 슬래그의 적절한 배합이 필요함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hyundai development company institute of technology, 2008 : A study of performance and feasibility of half self leveling mortar, Hyundai development company, pp126.
2. Tae Hee Kim, Hyung Rae Kim, Ho Kyoo Jo, Gyuong Dyuk Kim, Shin Seok Seo, 2009 : An experimental study on the analysis and the reduction of defects for Ondol wooden floor coverings in apartment housing, Journal of the Architectural Institute of Korea, 29 (1) pp503-506.
3. Calson RW. editors. Dry shrinkage of concrete as affected by many factors. Proceedings of the 41st Annual Meeting of the American Society for Testing and Materials; Philadelphia (PA): America Concrete Institute; 1938. 419-40.
4. Chang Hyun Jung, Buyng Ho Lee, 2009 : A Quality Research as Proportion of Subslab concrete, Journal of the Korea Institute of Building Construction. 9 (2), pp308.
5. Yong Sik Son, Dong Hoon Lee, Sung Ho Lee, Sun Kuk Kim, 2011 : Analysis of the Mechanism of Crack Stop-bar for Floor Plastering of Apartment Buildings, Journal of the Korea Institute of Building Construction, 11 (4) pp333-344.
6. Yung Ho Kwon, 2002 : A Study on the causes and repairs of cracks in concrete, Korea Ready Mixed Concrete Industry Association, 73, pp2-12.
7. Jin Man Kim, 1997 : A Study on the causes and repairs of cracks in concrete, Korea Ready Mixed Concrete Industry Association, pp16-25.
8. TungYangCement development company institute of technology : A Study on the causes and repairs of cracks in concrete II, TungYangCement, pp1-13.
9. Seung An Kwon : Crack retardant mixture for cement mortar and cementmortar by using it for heating floor(ondool), Kr. Unexamined Patent Publication, 10-0303235-0000.
10. A.J. Majumbar, B. Singh, R.N. Edmonds, 1989 : Hydration of Mixture of C12A7 and Granulated Blast Furnace Slag, Cement and Concrete Research, 19, pp848-856.

朴 秀 峴

- 인천대학교 화학과 학사
- 현재 한국세라믹기술원 위촉연구원

秋 溶 植

- 한양대학교 무기재료공학 박사
- 현재 한국세라믹기술원 책임연구원

徐 聖 官

- 숭실대학교 화학과 학사
- 현재 한국세라믹기술원 학생연구원

朴 宰 完

- 한국고통대학교 나노고분자공학과 학사
 - 현재 한국세라믹기술원 인턴연구원
-