

고로슬래그 미분말을 사용한 고유동 · 고강도 콘크리트의 혼화제에 따른 유동 및 응결 특성

Flowing and Setting Properties of High Flowing · High Strength Concrete using Blast-Furnace Slag according to the Chemical Agent

○ 김 용 로 [*] Kim, Yong Ro	심 재 형 [*] Shim, Jae Hyung	강 석 표 [*] Kang, Suk Pyo
김 상 윤 ^{**} Kim, Sang Yun	백 철 ^{***} Baik, Chul	김 무 한 ^{****} Kim, Moo Han

ABSTRACT

Results from a study on the effect of the chemical agent on the flowing and setting properties of high flowing · high strength concrete using blast-furnace slag are presented in this paper. The flowing and setting properties of concrete are investigated by slump, slump-flow, flowing velocity, L-flow, velocity of V-funnel, L-spatial passability and setting time. In addition, kinds of chemical agent were composed of naphthalene type, blended type of naphthalene and melamine and melamine type.

The results indicate that dispersive capacity can be increased by naphthalene composition. Also, it shows that viscosity and early strength can be increased by melamine composition.

1. 서 론

콘크리트용 혼화제는 콘크리트의 단위수량 저감, 고유동화, 내구성 향상, 고강도화 등의 목적으로 적용되고 있으며, 최근 콘크리트의 고성능화에 대한 요구에 따라 화학혼화제의 중요성은 더욱 부각되고 있다.

한편, 화학혼화제의 종류 및 혼화제를 구성하는 성분의 특성이나 변화에 의해 분산성능, 슬럼프 유지성능 등 콘크리트 성능의 차이가 발생하게 된다.¹⁾²⁾

그림 1에서 보는 바와 같이 혼화제를 구성하고 있는 성분들에 따라서 동일한 분산성능을 발휘하기 위한 첨가량의 차이가 있는 것을 알 수 있다.

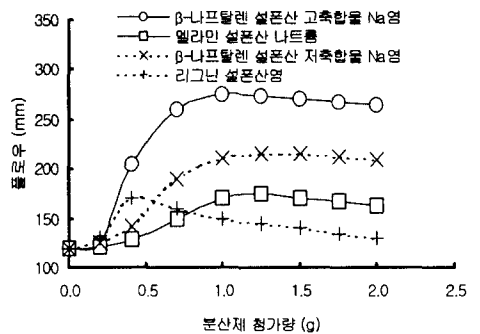


그림 1. 혼화제 종류에 따른 분산성능

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과
 ** 정회원, (주)대화 품질보증팀, 시험실장
 *** 정회원, 양산고압콘크리트(주), 대표이사
 **** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수, 공학박사

표 1. 실험계획 및 배합

혼화제 종류	물 결합재비 (%)	BFS* 치환율 (%)	혼화제 첨가율 (%)	잔 골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)				측정항목
						시멘트	BFS	잔골재	굵은골재	
N* NM MN M*	30	45	1.0	50	175	321	263	804	829	<ul style="list-style-type: none"> ■ 유동 정상 <ul style="list-style-type: none"> · 슬럼프-플로우(cm) · V로트 유하시험(sec) · L형 플로우 시험(cm) · L형 간극통과성 시험(cm) ■ 응결시험 ■ 경화 정상 <ul style="list-style-type: none"> · 압축강도시험(kgf/cm²)

* N : 나프탈렌, M : 멜라민, BFS : 고로슬래그 미분말

또한, 이러한 성분차이에 의한 착염능력 및 유지시간 등에 따라 응결시간에도 차이가 발생된다.

그러나, 이러한 혼화제의 성분에 따른 성능차이에도 불구하고 국내에서는 건설현장에 적용할 경우 혼화제의 사용방법, 품질기준, 품질관리 등에 대한 명확한 규정이 이루어지지 않은 상황이다.

이에 본 연구에서는 최근 콘크리트용 혼화재료로서 연구가 활발히 진행되고 있는 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동·고강도 콘크리트에서 혼화제의 성분변화에 따른 유동 및 응결특성을 검토하여 향후 고로슬래그 미분말의 적용 및 콘크리트용 혼화제의 품질기준·관리에 대한 기초적인 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구의 실험계획 및 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 수 차례의 예비실험을 통하여 결정된 물결합재비 30%, 고로슬래그 미분말 치환율 45%, 단위수량 175kg/m³의 고유동·고강도 콘크리트에 있어서 혼화제의 주요 구성성분의 비율에 따른 유동 특성 및 응결 특성을 검토하고자 하였다.

또한, 혼화제 첨가량은 동일하게 하여 유동 특성 및 응결 특성을 비교하고자 하였다.

측정항목으로서 고유동·고강도 콘크리트의 유동 특성을 평가하기 위하여 슬럼프, 슬럼프-플로우, V로트 유하시험, L형 플로우 시험, L형 간극통과성 시험을 비빔 직후, 40분, 60분에서 실시하였으며, 혼화제에 따른 응결 특성의 검토를 위하여 KS F 2436에 준하여 응결시험을 실시하였다.

또한, 고유동·고강도 콘크리트의 혼화제 주요 구성성분의 비율에 따른 초기 강도발현 특성을 검토하기 위하여 재령 3, 7일의 압축강도를 측정하였다.

2.2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질을 나타낸 표 3에서 보는 바와 같이 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트, 혼화제는 분말도 4,379cm²/g의 고로슬래

표 2. 사용재료의 물리적 성질

시멘트	<ul style="list-style-type: none"> · 1종 보통포틀랜드시멘트 · 비중 : 3.15, 분말도 : 3,680cm²/g
B F S	· 비중 : 2.99, 분말도 : 4,379cm ² /g
잔 골재	· 제염사, 입경 : 5mm, 비중 : 2.57, 조립율 : 2.85
굵은골재	· 부순자갈, 입경 : 20mm, 비중 : 2.65, 조립율 : 6.50

표 3. 혼화제의 물리·화학적 성질

종류	중량비율* (%)		비중	pH	점도 (cP)
	멜라민	나프탈렌			
N	0	100	1.168	6.28	29.7
NM	22	78	1.160	7.56	18.7
MN	57	43	1.162	7.56	16.6
M	100	0	1.218	7.13	46.5

* (멜라민+나프탈렌)의 총중량에 대한 비율

그 미분말을 사용하였다. 골재로서 잔골재는 조립율 2.85의 제염사, 굵은 골재는 최대치수 20mm의 부순 자갈을 사용하였다. 또한, 표 3은 본 연구에 사용한 혼화제의 물리·화학적 성질을 나타낸 것으로서, 혼화제를 구성하는 주요 성분의 구성비율에 따라 4수준으로 설정하였다.

콘크리트의 비빔방법은 그림 2에서 보는 바와 같이 분할투입방식을 실시하였다.

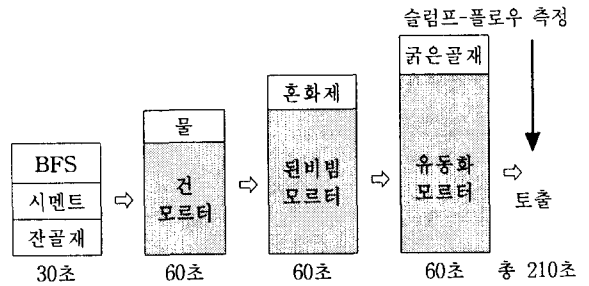


그림 2. 콘크리트의 비빔방법

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 혼화제 성분비율 변화에 따른 유동성 검토 및 분석

3.1.1 슬럼프-플로우 평가 결과

그림 3은 혼화제 성분비율별 비빔 직후 및 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화를 나타낸 것으로서, 혼화제를 동일한 양으로 첨가하였을 경우 비빔 직후의 슬럼프-플로우는 $N > NM > MN > M$ 의 순서로 나프탈렌 성분의 함량이 많을수록 높게 나타났다.

또한, 그림 3에서 보는 바와 같이 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화에 있어서도 N의 경우 유동성 유지능력이 가장 우수한 것으로 나타났으며, M의 경우 경시 40분에서 슬럼프-플로우 약 40cm 수준으로 JASS 5에서 제안하고 있는 고유동 콘크리트의 슬럼프-플로우 범위인 50~70cm를 만족하지 못하는 것으로 나타나 유동성 유지능력이 현저하게 저하하는 것으로 나타났다.

경과시간에 따른 혼화제 종류별 슬럼프-플로우 50cm 도달속도의 변화를 나타낸 그림 4에서 보는 바와 같이 비빔 직후에 있어서는 혼화제에 관계없이 「JASS 5 18節 高流動콘크리트」 및 「超流動콘크리트 研究委員會報告書」에서 제안하고 있는 영역인 1.875~5.000 cm/sec (슬럼프-플로우 50cm 도달시간 3~8sec)의 범위를 모두 만족하고 있으며, $N > NM > MN > M$ 의 순서로 비빔 직후의 슬럼프-플로우 50cm 도달속도가 빠르게 나타나고 있어, 멜라민 성분비율이 증가할수록 점성이 증가되는 것을 알 수 있다.

경과시간에 따른 슬럼프-플로우 50cm 도달속도의 변화는 비빔 직후의 성상과 유사하게 나타나고

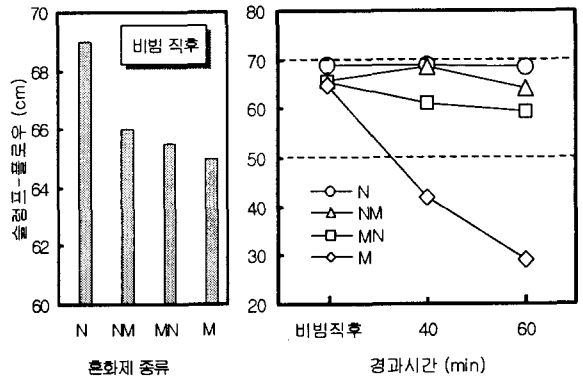


그림 3. 혼화제 성분비율별 비빔 직후 및 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화

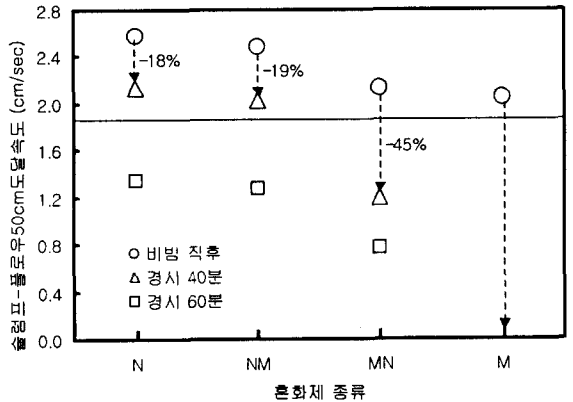


그림 4. 경과시간에 따른 혼화제 성분비율별 슬럼프-플로우 50cm 도달속도의 변화

있으며, N 및 NM의 경우 경시 40분에 있어서 비빔 직후에 비하여 각각 18%, 19% 정도 저하하였지만 제한치인 1.875cm/sec 이상을 만족하였고, MN의 경우 약 45%가 저하하여 유동속도가 다소 빠르게 감소하고 있으며, M의 경우 슬럼프-플로우 50cm 도달속도를 측정할 수 없는 것으로 나타나 멜라민 성분의 함유량이 증가할수록 유동속도의 경시변화도 큰 것으로 나타났다.

이것은 나프탈렌 성분의 경우 멜라민 성분과 비교하여 높은 정전기적 반발력(제타전위)을 갖고 있으며, 경과시간에 따른 정전기적 반발력의 변화도 적기 때문인 것으로 사료된다.⁴⁾

3.1.2 L형 플로우 평가 결과

그림 5는 혼화제 성분비율별 비빔 직후 및 경과시간에 따른 L형 플로우의 변화를 나타낸 것으로서, 비빔 직후의 경우 혼화제에 관계없이 모두 80cm 이상으로 기존 연구⁵⁾에서 제시되었던 수준을 상회하는 것으로 나타났고, N, NM의 경우 97cm 이상으로 유사한 수준의 값을 보이고 있으며, MN 및 M에 있어서는 약 90cm의 수준을 나타내었다.

또한, 경과시간에 따른 L형 플로우의 변화에 있어서도 혼화제 성분비율별로 슬럼프-플로우와 유사한 경향을 나타내고 있으며, M을 제외하면 경시 60분에서도 양호한 수준으로 나타났다.

3.2 혼화제 성분비율 변화에 따른 간극통과성 검토 및 분석

3.2.1 V 로트 유하시험 평가 결과

그림 6은 혼화제 성분비율별 경과시간에 따른 V 로트 유하시간의 변화를 나타낸 것으로서, 비빔 직후에 있어서는 혼화제 성분비율에 관계없이 적정 영역인 V 로트 유하시간 5~15초의 범위를 만족하는 것으로 나타나 양호한 성상을 보이고 있다.

또한, 경과시간에 따른 V 로트 유하시간에 있어서는 그림 6에서 보는 바와 같이 N, NM, MN의 경우 경시 60분까지 적정 영역을 만족하는 양호한 성상을 나타내고 있다. 그러나, M의 경우 경시 40분 이후 V 로트 유하시간이 약 17초 정도로서 적정 영역을 벗어나고 있으며, 경시 60분에서는 V로트를 통과하지 못하고 폐색되는 것으로 나타났다.

이것은 멜라민 성분의 특성으로서 나프탈렌 성분에 비해 경과시간에 따른 정전기적 반발력, 즉 제타전위의 저하가 상대적으로 크고, 나프탈렌과의 분자구조 차이에 의해 시멘트 입자간의 응집에 대한 반발력의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.⁴⁾

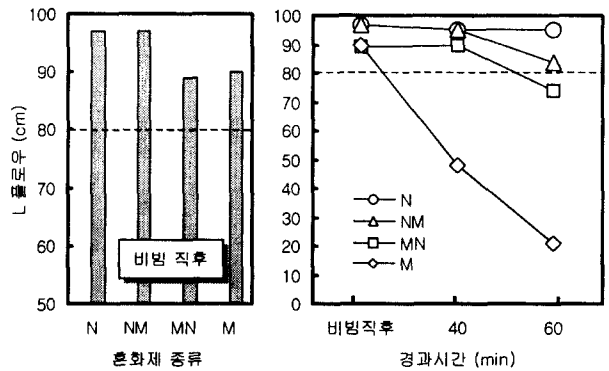


그림 5. 혼화제 성분비율별 비빔 직후 및 경과시간에 따른 L형 플로우의 변화

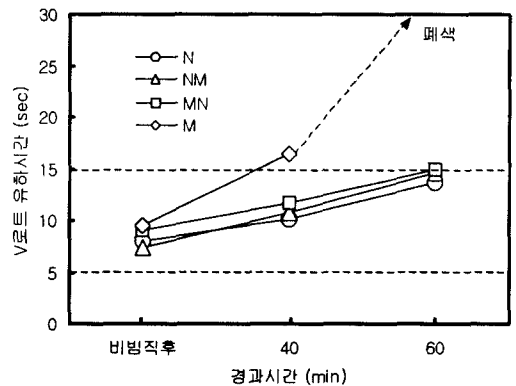


그림 6. 혼화제 성분비율별 경과시간에 따른 V로트 유하시간의 변화

3.2.2 L형 간극통과성 시험 평가 결과

혼화제 성분비율별 경과시간에 따른 L형 간극 슬럼프의 변화를 나타낸 그림 7에서 보는 바와 같이 비빔 직후의 경우 혼화제 성분비율의 차이에 관계없이 기존의 연구⁵⁾에서 제시하고 있는 적정 L형 간극 슬럼프 25cm 이상의 범위를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 또한, NM 및 MN의 나프탈렌-멜라민 혼용형의 경우 경시 40분에서도 적정 수준을 만족하는 양호한 성상을 보이고 있다. 그러나, N 및 M의 나프탈렌 및 멜라민계의 경우 경시 40분에서 L형 간극 슬럼프가 적정 수준을 만족하지 못하였으며, 특히 M의 경우 경시 60분에서는 간극 통과성능을 확보하지 못하였다.

이것은 N의 경우 상대적으로 점성이 적기 때문인 것으로 판단되며, M의 경우 점성은 양호하지만 경시에 대한 유지성능이 현저하게 저하하였기 때문인 것으로 사료된다.

3.3 혼화제 성분비율에 따른 응결 특성 검토 및 분석

그림 8은 혼화제 성분비율별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로서, 초결도달시간은 M이 7시간 45분, MN이 17시간 50분, NM이 20시간 55분, N의 경우 29시간 40분으로 M과 N은 22시간 정도의 차이가 있는 것으로 나타났다. 종결도달시간도 혼화제 성분비율별로 초결도달시간과 유사한 차이를 보이고 있으며, 응결시간은 멜라민 성분 함유량이 증가할수록 빠르게 되는 것을 알 수 있다. 또한, 유동성 유지성능과 응결시간의 상호 비교에 의한 적용성 검토 및 현장적용시 응결 지연에 의해 발생할 수 있는 거푸집 탈형시기의 지연 및 거푸집 측압 작용시간의 장기화 등의 문제에 대하여 주의가 필요할 것으로 사료된다.

3.4 혼화제별 고유동·고강도 콘크리트의 조기 강도발현 특성 검토

그림 9는 혼화제 성분비율별 재령 3일 및 재령 7일 강도의 변화를 나타낸 것으로서, 재령 3일 압축

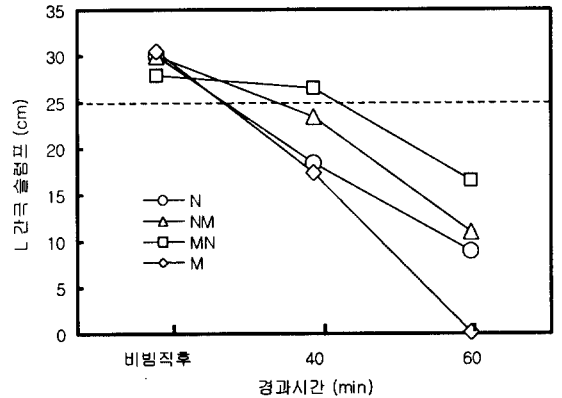


그림 7. 혼화제 성분비율별 경과시간에 따른 L 간극 슬럼프의 변화

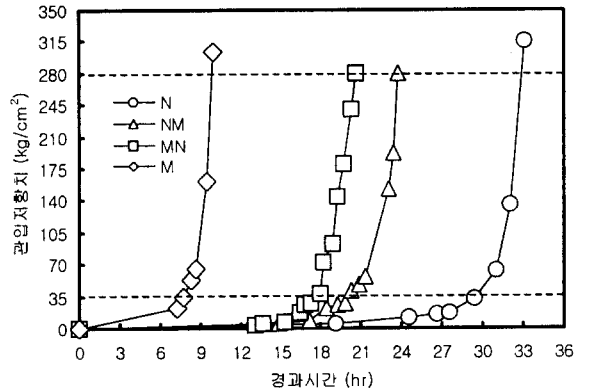


그림 8. 혼화제 성분비율별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화

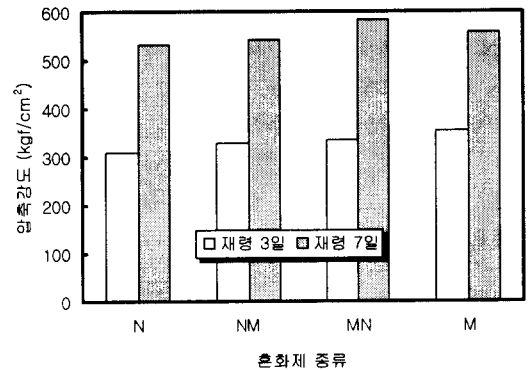


그림 9. 혼화제 성분비율별 조기 압축강도의 변화

강도의 경우 응결 특성의 경향과 유사하게 $M > MN > NM > N$ 의 순서로 강도발현 수준이 높은 것으로 나타나고 있다.

또한, 재령 7일 압축강도에 있어서는 혼화제 성분비율의 변화에 따른 압축강도에서는 큰 차이는 나타나지 않았으며, 유사한 수준을 발현하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

고로슬래그 미분말을 사용한 고유동·고강도 콘크리트의 혼화제에 따른 유동 및 응결 특성에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 혼화제 성분비율에 따른 검토 결과 나프탈렌 성분 함유량이 증가함에 따라 유동성 및 경과시간에 따른 유지성능은 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 혼화제 성분비율에 따른 검토 결과 멜라민 성분 함유량이 증가할수록 점성이 증가하여 우수한 간극통과성능을 보이고 있으며, 초결 및 종결도달시간은 빠르게 되는 것으로 나타났다.
- 3) 나프탈렌-멜라민 혼용형 혼화제의 경우 유동성 및 간극통과성을 포함한 고유동 특성과 응결시간에 있어서 상대적으로 양호한 성능을 나타내고 있어, 고유동·고강도 콘크리트 제조시 혼화제를 구성하는 주요 성분비율의 적절한 배합에 의한 혼화제 적용이 효과적일 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술혁신개발사업 과제의 일부임을 밝히며, 본 연구를 위해 협조해주신 양산고압콘크리트(주) 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 고성능AE減水劑콘크리트의調合·製造および施工指針·同解説, 日本建築学会, 1999
2. 金武漢 ほか, 高流動콘크리트의流動特性に及ぼすセメント及び高性能AE減水劑の効果に関する実験的研究, 콘크리트工学年次論文報告集, 日本콘크리트工学協會, Vol. 20, No. 2, 1998, pp.385~390
3. 日本建築学会, 建築工事標準仕様書·同解説(JASS 5 鐵筋콘크리트工事), 1997. 3, pp.402~421
4. 한국콘크리트학회, 고성능유동화제를 이용한 고강도콘크리트의 제조와 특성 및 활용, KCI 국제워크숍, 1993. 10
5. Moo Han Kim et al, A Study on the Evaluation and Analysis on the Correlation of High Fluidity for High Flowing Concrete, Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol. 21, No. 2, 1999. 5, pp. 378~379
6. 名和豊春 ほか, 高流動콘크리트の自己充てん性に及ぼす減水劑の化学構造の影響, 콘크리트工学年次論文報告集, 日本콘크리트工学協會, Vol. 22, No. 2, 2000, pp.835~840
7. 日本建築学会, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状, 1996
8. 岡村 甫 外, ハイパフォーマンスコンクリート, 1992