

한중콘크리트의 저온에 의한 강도지연 개선연구

A Study on the improvement of Strength delay according to Low Temperature of Cold Weather Concrete

(Received February 24, 2012 / Revised April 2, 2012 / Accepted April 6, 2012)

이상수^{1)*}

¹⁾국립한밭대학교, 건축공학과

Lee, Sang-Soo^{1)*}

¹⁾Hanbat National University, Daejeon, 305-734, Republic of Korea

Abstract

The cold weather concrete poured in the winter season can cause the problem of the Due to recent high-rise building is made. In this research, the nominal mix of the early strength in concrete tried to be set through the mixing proportion experiment for each empirical variable and each component strength properties for the early strength improvement tries to be examined. In the cold weather concrete experiment, the cement and high early strength (type3) cement improving in OPC than OPC was excellent. The polycarboxylic acid based compound was exposed to be excellent in the intensity revelation properties. Because the using of the fly ash was disadvantageous it was excluded from this experiment. It showed the optimum temperature for the intensity revelation up over 12°C.

키워드 : 한중콘크리트, 조기강도, 내한축진제, 양생온도

Keywords : cold water concrete, early strength, accelerator for freeze protection, curing temperature

1. 연구의 목적

한중 콘크리트 공사에서 가장 중요한 문제는 굳지않은 콘크리트가 동결하지 않고 압축강도를 발휘하도록 하는 것으로 초기양생이 매우 중요하며, 콘크리트가 초기 양생 시 동해의 영향을 받게 되면 양생을 지속적으로 하더라도 강도증진 및 내구성이 떨어지므로, 콘크리트 표준시방서에는 ‘한중콘크리트의 일 최저기온 4°C 이하일 때 한중콘크리트를 사용해야 하며, 초기동해의 방지에 필요한 최저 강도는 보통 5N/mm² 이상’ 으로 규정하고 있다.¹⁾

이러한 동해방지를 위해 시공현장에서는 지금까지는 겨울철의 콘크리트 공사시 양생막을 얹은 후에 가열양생공법에 의존하고 있으며, 보온(가열) 양생을 위한 추가공정이 발생되어 시공관리의 소홀로 인한 초기동해로 품질저하 등이 문제가 나타나고 있어 지속적인 관리가 요구된다.^{2),3)}

반면, 일본을 비롯한 선진국은 한중 콘크리트의 문제점을 해결할 목적으로 질소화합물을 주성분으로 하는 무염화, 알칼리형 내한축진제를 사용하는 방안이 검토되고 있는데 이는 한중콘크리트의 신기술로서 실용화되고 있다.²⁾ 내한축진제를 사용한 콘크리트는 콘크리트 중의 수분이 -3°C 정도까지 동결하지 않고, 저온환경 하에 있어도 커다란 응결지연을 일으키지 않고 경화가 진행되며, 동결온도 이하에서도 상당량의 수분이 미동결한 채로 존재하고 있기 때문에 일반콘크리트에 비해서 동결상태에서의 강도발현상상이 우수한 특성을 가지고 있다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 한중콘크리트의 조기강도 발현을 위한 실험 변수별 배합확인 시험을 통해 조기강도 개선용 콘크리트의 표준배합을 설정하고 양생조건에 따른 굳지않은 상태의 유동성 및 공기량, 및 경화성상의 강도발현을 확인하여 조기강도 촉진 개선을 위한 한중콘크리트의 각 요인별 유동성 및 공기량, 강도특성을 검토하고자 하였다.

* Corresponding author

E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr

2. 이론적 고찰

2.1 각종 시멘트 종류별 콘크리트의 강도특성

포틀랜드시멘트는 사용목적에 따라 보통, 조강, 저열, 중용열, 내황산염 시멘트로 나누고, 혼합시멘트는 고로시멘트, 포졸란(실리카)시멘트, 플라이애쉬 시멘트로 나누어지고 있다. 한편, 특수시멘트는 초속경시멘트, 초조강시멘트, 저발열형 시멘트, 알루미늄시멘트, 팽창시멘트, MDF시멘트, DSP시멘트 등이 있다.

시멘트 종류에 따른 강도발현 특성은 fig. 1에 나타난 바와 같이, 응결 및 재령별 압축강도는 상이하다는 것을 알 수 있다.

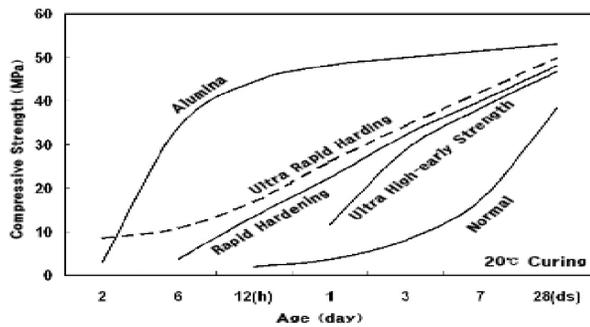


Fig. 1 Revelation of compression strength in every kind cement classification first stage

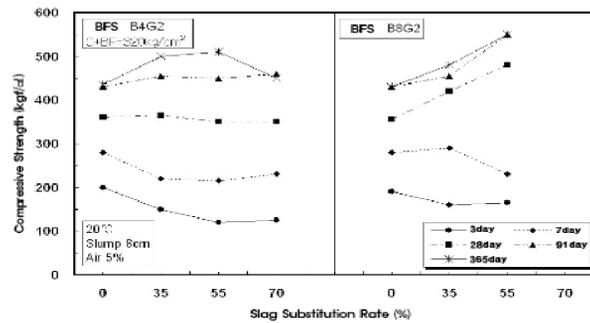


Fig. 2 Relationship with the slag substitution rate and compressive strength

또한, fig. 2에 나타난 바와 같이 포틀랜드시멘트, 혼합시멘트 및 특수시멘트의 압축강도 발현성상이 상이함을 알 수 있다. 이는 구성성분 및 화학조성(광물조성)에 따라 기인된 것으로 초기재령에서의 소요 강도를 확보하기 위해서는 시멘트의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.⁵⁾

2.2 콘크리트 양생방법 및 탈형시기에 따른 강도발현

콘크리트의 강도발현 특성은 온도에 큰 영향을 받으므로 양생방법에 따라 큰 차이를 보일 수 있다. 이러한 강도발현 특성에 의해서 콘크리트의 거꾸집 존치기간의 차이를 보이게 되며, 이 결과는 건축공사에 있어서 공사기간에 직접적인 영향을 미치게 된다.

fig. 3A에 나타난 바와 같이, 4°C에서 타설/양생한 공시체의 28일 압축강도는 21~46°C에서 타설/양생한 공시체 강도의 약 80%정도의 결과를 보였다.

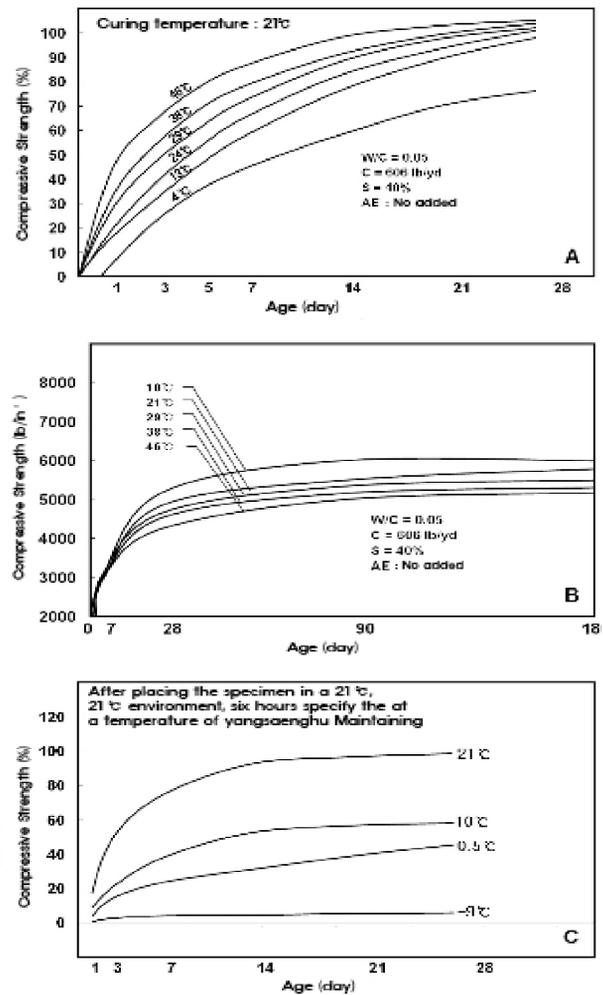


Fig. 3 Effect that the placing and curing temperature reaches to the intensity of the concrete

fig. 3B의 결과는 타설온도(타설완료 후 최초 2시간의 온도)는, 4~46°C 범위에서 각각 다른 온도로 타설하여, 양생시에는 모두 동일한 온도(21°C)로 습윤양생 하였다. 실험 결과로서는 4°C 및 13°C에서 타설한 콘크리트의 최

종강도(재령 180일)이 그 이외의 높은 온도로 타설한 콘크리트보다 높은 강도를 나타내었다.

fig. 3C에서는 전체적으로 양생온도가 낮을수록 재령28일 강도가 낮게 나타났다. 특히, 양생온도가 동결온도 부근(0.5℃)에서는 재령28일의 강도는 21℃로 양생한 경우의 1/2정도의 강도를 보였으며, 동결온도 이하의 양생에서는 거의 강도발현을 보이지 않았다.⁵⁾

시멘트의 종류에 따라서도 양생온도의 영향이 다르므로 플라이애쉬 시멘트 또는 고로슬래그 시멘트 등의 혼합시멘트를 사용할 경우에는 온도에 민감하여 저온 시에는 보통포틀랜드시멘트에 비하여 양생기간을 길게 하여야 한다.

3. 실험방법 및 사용재료

3.1 실험방법

본 실험에서 사용된 시멘트는 OPC를 대상으로 예비시험을 거쳐 조기강도 발현에 유리한 OPC(H)시멘트와 3종시멘트(이하, HPC)를 선정하였고, 혼화제는 제조사별 비교시험을 거쳐 1개사 제품을 선정하였다.

Table 1 Experimental factor and level

Experimental factors		Level of experiment	
Material	Cements	OPC, OPC(H), HPC	3
	Admixtures	Manufacturer	1
Mixing Conditions	W/B	39, 42, 45(%)	3
Curing Conditions	Flowing property	10, 12, 15, 20(℃)	4

※ OPC(H) : The cement, differentiating the early strength properties among the ingredient of OPC
 ※ HPC : Rapid hardening portland cement (type3)

실험 용량을 20 l로 혼합하여 KS F 2421(압력법에 의한 균지않은 콘크리트의 공기량 시험)의 방법으로 공기량, KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험)의 방법으로 유동성실험과 60분 후 경시변화 시험을 함께 실시하였다. 콘크리트 혼합은 강제식 Twin Spiral Mixer를 사용하였으며, 혼합시간은 120초를 적용하였다. 압축강도시험용 공시체는 KS F 2403의 방법으로 제작하여 온도 조절이 가능한 항온항습기에

서 양생하여 소정의 재령에서 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험)의 방법에 의거 강도를 측정하였다.

실험항목으로는 양생온도에, 양생방법, 시멘트종류, 혼화제 종류, 단위수량 및 혼화제 사용, 혼화제사용에 따른 실험으로 총 6수준으로 실시하여 각각의 유동성, 공기량, 압축강도를 측정하였다.

3.2 사용재료

원재료의 품질변동을 최소화하기 위해 소요 재료를 사전 확보하여 밀폐보관 하였으며, 혼화제로 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 또한 잔골재는 세척사와 부순모래를 각각 50%씩 치환하여 예비시험을 실시하였다.

Table 2 The physical properties of the used material

Use material		Physical Properties	
Binding material	Cement e	OPC	density : 3.15g/cm ³
		OPC(H)	density : 3.15g/cm ³
		HPC	density : 3.13g/cm ³
	Admixtu re	Fly ash (2type)	density : 2.20g/cm ³
		Blast Furnace Slag (3type)	density : 2.90g/cm ³
	Aggrega te	Fine aggrega te	Washed sand (50%)
Crushed sand (50%)			density : 2.62g/cm ³ fineness modulus : 3.2
Coares aggrega te		Crushed gravel	density : 2.64g/cm ³ fineness modulus : 7.05
Compound	High-early-strength	Polycarbonic acid density : 1.05g/cm ³	

3.3 실험배합

본 실험에서 적용된 콘크리트배합은 시멘트 종류별로 표준배합을 Table 3와 같이 설정하였으며, 사전 실험을 통해 W/B는 45%, 양생온도는 15℃로 설정하여 실험을 실시하였다.

Table 3 Standard mix quantity of material

Cement	W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight(kg/m ³)					
			W	C	S(海)	S(碎)	G	AD
OPC	45.0	48.4	165	367	424	427	917	3.12
	42.0	47.8		393	413	417	917	3.54
	39.0	47.0		423	401	404	917	3.81
OPC (H)	45.0	49.1	160	356	435	439	917	3.03
	42.0	48.5		381	425	428	917	3.43
	39.0	47.8		410	413	416	917	3.69
HPC	45.0	47.8	170	378	413	416	917	3.40
	42.0	47.1		405	401	405	917	4.05
	39.0	46.3		436	389	392	917	4.36

4. 실험결과 및 고찰

4.1 양생온도에 따른 특성 실험

양생온도에 따른 콘크리트 유동 및 공기량 특성을 파악해 보고자 Fig 4, 5와 같이 양생온도를 10, 12, 15, 20°C로 구분하여 실험한 결과로서, 양생온도에 따른 변화가 뚜렷하게 나타났으며, Fig. 6, 7, 8에 나타낸 바와 같이 시멘트 종류에 따른 강도발현 특성을 확인할 수 있었다. 5MPa/18hr의 강도 요구조건을 만족시키기 위해서 OPC는 최소 15°C 이상, OPC(H)는 12°C 이상, HPC는 10°C 이상의 양생온도가 필요한 것으로 나타났다.

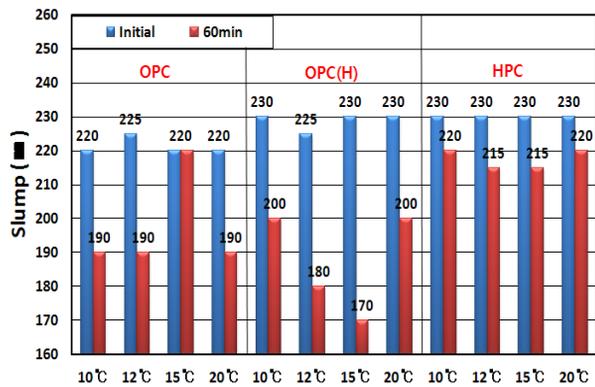


Fig. 4 Flowing property by curing temperature

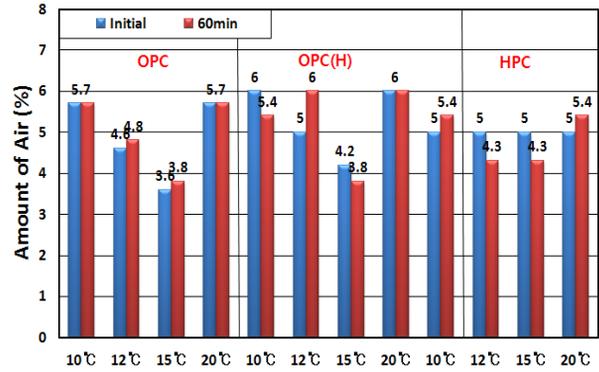


Fig. 5 Air content rate by curing temperature

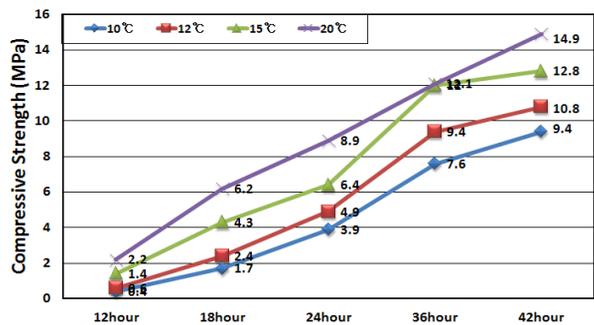


Fig. 6 Compressive strength by curing temperature of OPC

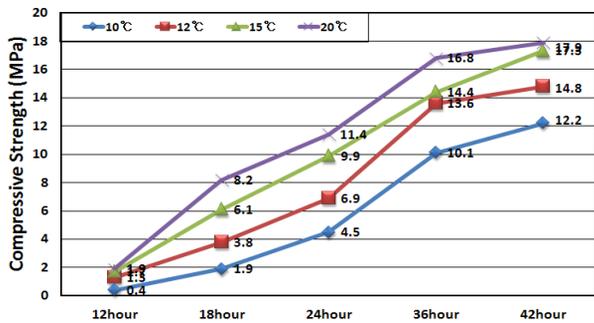


Fig. 7 Compressive strength by curing temperature of OPC(H)

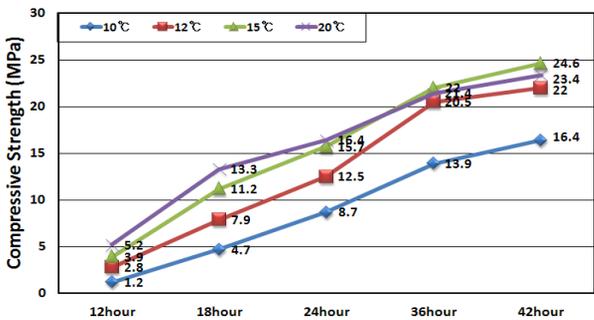


Fig. 8 Compressive strength by curing temperature of HPC

4.2 W/B에 따른 강도특성

W/B에 따른 강도발현 특성을 파악하기 위해 W/B를 45, 42, 39(%)의 3수준의 배합으로 각 시멘트별 배합시험 결과는 다음과 같다.

유동특성의 경우 양생온도별 실험과 마찬가지로 OPC(H)에서 60분후의 유동성 저하율이 크게 나타났다. 이는 OPC(H)의 동결온도를 저하시킬 수 있는 염해방지 목적으로 무기질소화합물의 혼합사용으로 경시변화에 저하한 것으로 판단되어 진다.

W/B가 낮을수록 초기 재령에서의 강도발현이 증가하는 경향을 나타냈으며, HPC의 경우 그 증가율이 두드러지게 나타났다.

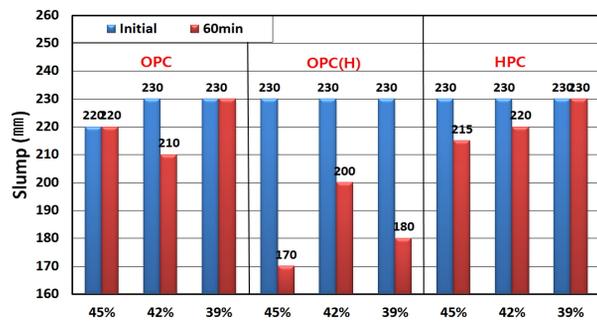


Fig. 9 Flowing property by W/B

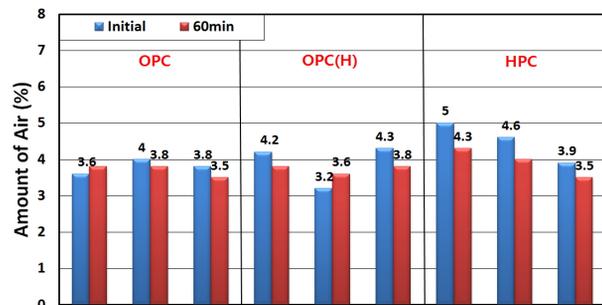


Fig. 10 Air content rate by W/B

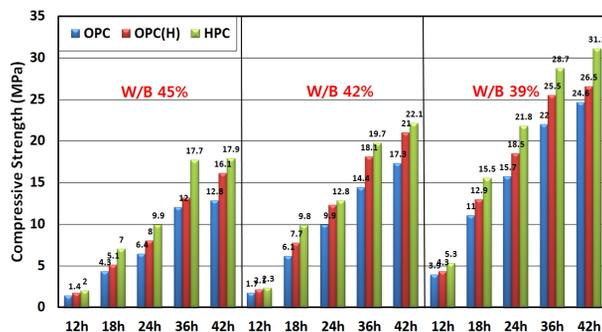


Fig. 11 Compressive strength by curing temperature of W/B

4.3 양생방법(정온 및 변온)에 따른 강도특성 실험

외기온도의 영향을 받아 양생온도가 변할 때의 압축강도 발현 특성을 파악하기 위해 정온조건과 변온조건의 비교시험을 실시한 결과 다음과 같다.

정온과 변온의 슬럼프는 초기 210mm, 60분후 205mm, 공기량은 초기 5.4%, 60분후 4.8로 같은 결과값을 나타내었다. Fig 12 에서 보는 바와 같이 변온 조건시 강도발현이 다소 낮은 것으로 나타났는데 이는 콘크리트 종결시간 이후의 양생온도가 정온양생 조건인 12°C 보다 낮았기(최고 16°C ~ 최저 7°C)때문인 것으로 추정된다.

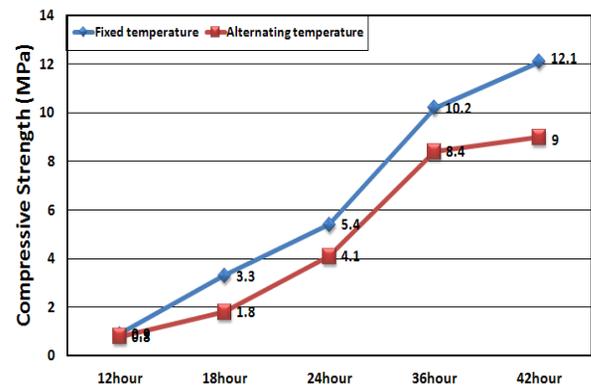


Fig. 12 Compressive strength in the fixed temperature and alternating temperature

4.4 시멘트 종류에 따른 특성 실험

시멘트 종류에 따른 실험결과 60분 경시변화 후의 슬럼프 및 공기량은 Fig. 13, 14에서 보이는바와 같이 품질기준(4.5±1.5%)을 만족하였다.

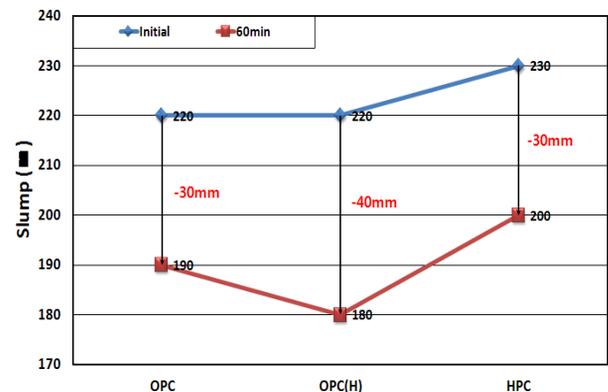


Fig. 13 Flowing property by cement type

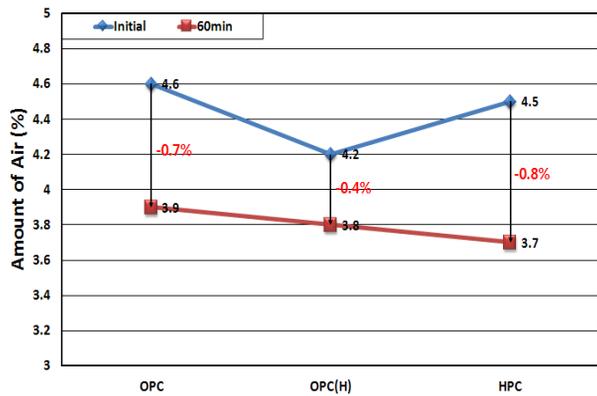


Fig. 14 Air content rate by cement type

압축강도의 측정결과는 Fig. 15에서 나타낸바와 같이 초기재령부터 OPC 보다 강도발현이 우수하게 나타났으며, 이는 OPC(H) 및 HPC의 성분중에 C3S성분의 증가로 인한 초기경화 증진으로 강도증진효과로 보여지며, OPC(H)와 HPC와의 초기재령시간에서의 강도차이는 컸지만 재령이 증가된 후에는 차이가 미비해지는 경향을 나타내었다.

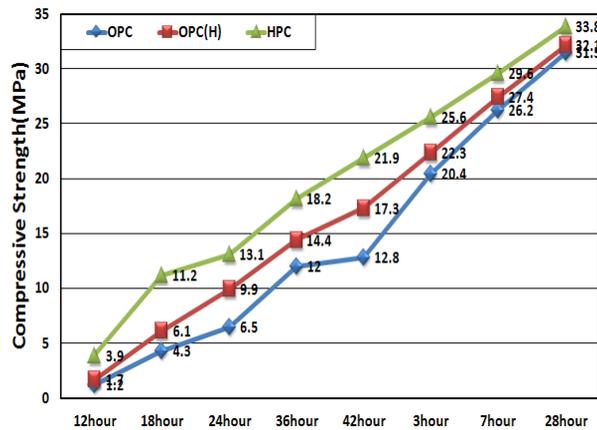


Fig. 15 Compressive strength by cement type

4.5 혼화제 종류에 따른 특성 실험

국내 조강형 폴리카르본산계 혼화제 중 6종류를 사용하여 콘크리트 유동특성 및 압축강도를 시험한 결과, Fig. 16, 17에서 나타낸바와 같이 유동 및 공기량은 B혼화제가 우수하였으나, Fig 18의 압축강도 성능이 우수한 W를 선정하여 실내배합시험에 적용하기로 하였다.

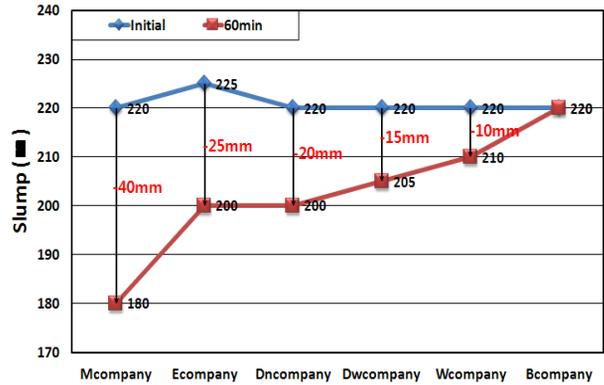


Fig. 16 Flowing property by compound maker

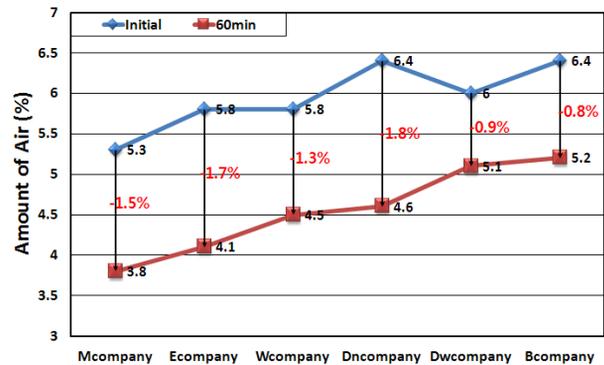


Fig. 17 Air content by compound maker

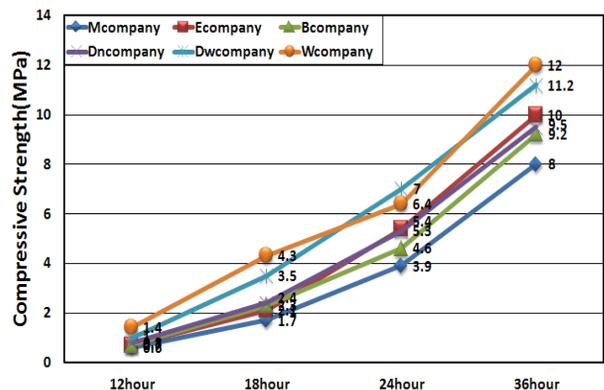


Fig. 18 Compressive strength by compound maker

4.6 단위수량 및 혼화제 사용에 따른 특성 실험

혼화제 사용량이 많을수록 경시변화에는 유리하나 높은 유지성능으로 인한 콘크리트 종결시간의 지연 등으로 조기강도 발현에는 불리함을 알 수 있었다. 이는 적정 혼화제 사용량을 초과하여 사용시 시멘트와 수화반응 중에 생성되는 불안정한 분자구조가 강도발현에 기인한 것으로 사료된다.

반면, Fig. 19과 같이 혼화제 사용량이 적으면 유지성능의 저하로 인한 슬럼프 손실율의 증가 및 Fig 21과 같이 W/B의 증가로 조기강도에는 불리한 것으로 나타났다.

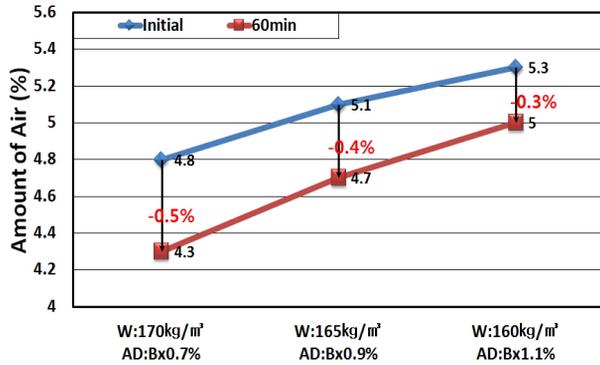


Fig. 19 Flowing property according to the unit weight of water

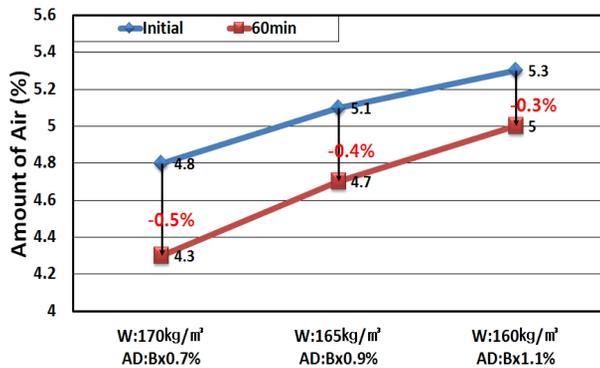


Fig. 20 Air content according to the unit weight of water

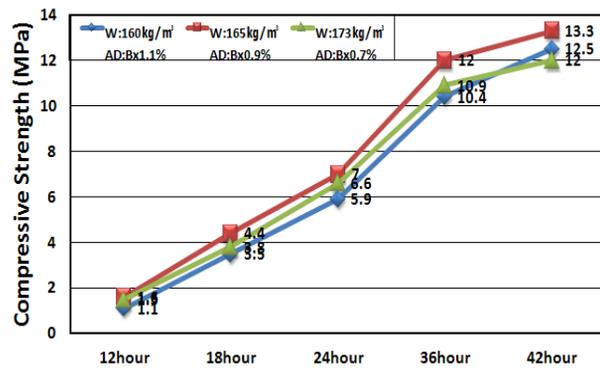


Fig. 21 Compressive strength according to the unit weight of water

따라서, 콘크리트의 조기강도 발현을 위해서는 적정 사용량을 파악하여 적용하는 것이 중요한 것으로 나타났다.

4.7 혼화제 사용에 따른 특성 실험

혼화제 사용시 유동성의 개선, 원단위 절감 등의 효과를 얻을 수는 있었지만 Fig. 22, 23과 같이 플라에시 사용으로 인한 유동성 저하와 공기량 저하가 나타났으며, 이는 플라에시중 미연소 탄분에 의한 공기량 흡착작용에 기인한 것으로 분석된다.

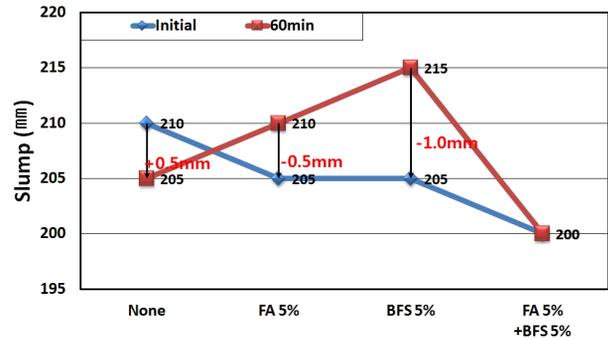


Fig. 22 Flowing property according to the admixture

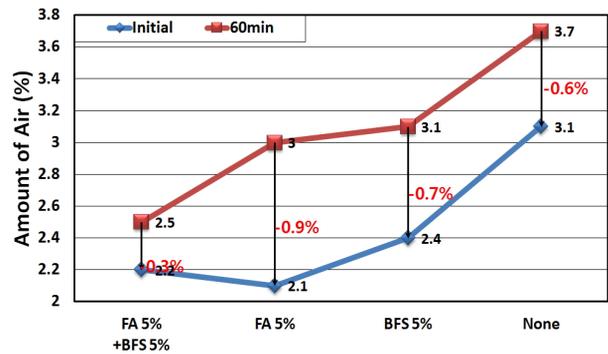


Fig. 23 Air content according to the admixture

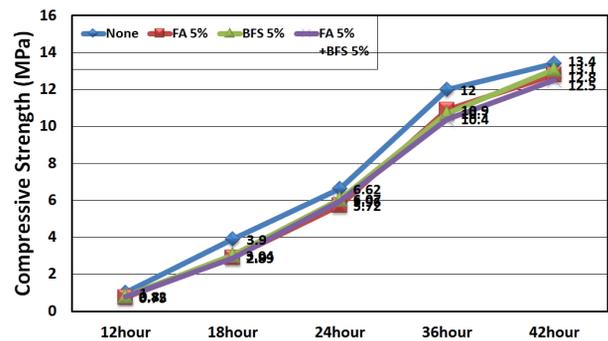


Fig. 24 Compressive strength according to the admixture

또한, Fig. 24에 나타낸 바와 같이 보통포틀랜드 시멘트에 비해 혼화제 사용으로 인한 조기강도 발현에는 불리한 것으로 나타나 실내배합 시험에서는 혼화제 사용을 배제하여 실험하기로 하였다.

5. 결론

본 연구의 범위 내에서는 한중콘크리트의 저온에 의한 강도지연 개선을 위한 조기강도용 실내배합 시험의 결과는 다음과 같다.

1) 콘크리트의 조기강도 발현은 양생온도와 방법에 따라 많은 차이를 나타냈다. 특히, 조기강도 발현에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 양생온도로 대략 12°C 이하의 온도에서는 조기강도 발현에 상당한 취약성을 보였다. 또한 콘크리트 종결 직후의 양생온도에 의해 조기강도 발현에 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다.

2) 시멘트 종류별 조기강도 발현 특성을 확인할 수 있었다. 조기강도 발현에 있어서 OPC대비 OPC(H)와 HPC가 우수한 품질 성능을 나타냈다.

3) 혼화제는 제조사 및 품종에 따라 강도발현 특성이 상이하게 나타났으며, 유동 및 공기량 특성이 우수한 B혼화제를 제외한 압축강도가 우수한 W혼화제를 사용하여 적용 실험을 실시하였다.

4) 혼화제의 사용은 콘크리트의 물성개선이나 경제적인 면에서는 우수할 수도 있으나 조기강도 발현에는 불리한 것으로 나타났다. 특히, 양생온도가 낮을수록 그 영향은 더욱 커질 것으로 예상된다.

따라서 조기강도 발현을 위해서는 가급적 혼화제의 사용을 자제하고, 그 사용량을 최소화하여야 한다.

감사의 글

이 논문은 한밭대학교에서 지원하는 2010학년도 연구교원사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이원암 외 4명, 조강포틀랜드 시멘트를 사용한 한중콘크리트의 현장품질 특성, 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회 논문집 제 16권 1호, 2004. 03. pp 224.
- 임춘근, 표면단열재 변화에 따른 한중콘크리트의 보온양생공법 개발, 청주대학교 석사학위 논문 2007. 12. pp 1.
- 한천구의 1명, 한중콘크리트 시공시 표면 단열재 변화에 따른 콘크리트의 온도이력 및 강도발현 특성, 대한건축학회지회연합회 논문집 v.06 n.03(통권19호) 2004. 08. pp 75.
- 원철 외 2명, 내한축진제를 사용한 한중 콘크리트의 현장적용 사례, 콘크리트학회 논문집 제 18권 제6호 통권 제 95호. 2006년 11월 pp 38.
- 황남순, 조기강도 콘크리트의 생산 품질 및 현장 적용성 평가에 관한 연구, 한밭대학교 석사학위 논문. 2009년. pp 11.
- 浜幸雄外, 早強セメントと耐寒促進剤を併用したコンクリートの性質, Vol. 23, No. 2, pp. 853-838, 2001년
- 岸本均外, 寒中マスコンクリートを対象とした強度管理方法の研究, Vol. 12, No. 1, pp. 867-872, 1990년
- 山崎敏, 低発熱形セメントを用いたコンクリートの寒中施工に関する研究, 構造系論文集 NO.582 P.171 2004년8월
- 浜幸雄, 劉宏濤, 友澤史紀, 低発熱形セメントを用いたコンクリートの寒中施工に関する研究, 構造系論文集 NO.575 P.23 2004년1월
- 浜幸雄, 劉宏濤, 桂修, 吉野利幸, 寒中ホットコンクリートの初期性状と圧縮強度増進性状, 構造系論文集 NO.542 P.55 2001년4월
- 長島弘, 寒中コンクリート断熱養生温度履歴の予測計算, 構造系論文集 NO.534 P.1 2000년8월
- 葛西賢治(室蘭工業大学院)・三森敏司・濱幸雄, 寒中コンクリートを対象とした各種セメントの強度増進標準曲線の検討, 2008년, A-1分冊, p.889
- 濱幸雄(室蘭工業大)・三森敏司, 寒中コンクリートの調査計画手法と適用期間の検討, 2008년, A-1分冊, p.887
- 深瀬孝之(伊藤組土建)・濱幸雄・長谷川拓哉・谷口円, 北海道と東北圏の実務者を対象とした寒中コンクリートに関するアンケート調査, 2007년, A-1分冊, p.637
- 濱幸雄(室蘭工業大)・深瀬孝之・三森敏司, 寒中コンクリートを対象とした強度増進標準曲線の提案, 2007년, A-1分冊, p.635
- 深瀬孝之(伊藤組土建)・濱幸雄・谷口円・小林和寛, 北海道内の実務者を対象とした寒中コンクリートに関するアンケート調査, 2006년, A-1分冊, p.323

한중콘크리트의 저온에 의한 강도지연 개선연구

최근의 초고층건축물의 건설로 인하여 겨울철에 타설하는 한중콘크리트의 문제점을 해결하기 위한 노력이 이루어지고 있으며, 본 연구에서는 조기강도 개선을 위한 실험 변수별 배합확인 실험을 통해 조기강도 개선용 콘크리트의 표준배합을 설정하고 각요인별 강도특성을 검토하고자 하였다. 한중콘크리트 실험에서 OPC보다 OPC에 조기강도 특성을 개선한 시멘트와 3종조강시멘트가 우수하였다. 혼화제는 폴리카르본산계 혼화제가 강도발현 특성에 우수한 것으로 나타났으며, 혼화제의 경우 플라이애시의 사용으로 인한 조기강도 발현성능이 불리한 것으로 판단하여 본실험에서는 배제하였고, 강도발현을 위한 최적온도는 12℃이상으로 나타났다.