

# 조강시멘트를 이용한 한중콘크리트의 특성평가 연구

## A Study on the Cold Weather Concrete using High Early Strength Concrete

임 채 용\*    엄 태 선\*\*    유 재 상\*\*\*    이 종 열\*\*\*\*    이 순 기\*\*\*\*\*    이 동 호\*\*\*\*\*  
Lim, Chae Yong    Um, Tae Sun    Ryu, Jae Sang    Lee, Jong Ryul    Lee, Soon Ki    Lee, Dong Ho

### ABSTRACT

Cold weather can lead to many problems in mixing, placing, setting time, and curing of concrete that can have harmful effects on its properties and service life. Korean Concrete Institute (KCI) defines cold weather as a period when the average daily air temperature is less 4 °C and recommends to cast concrete with special care such as shielding, heating and so on. The use of high early strength cements may improve the rate of hardening characteristics of concrete in cold weather by making it possible to achieve faster setting time and evolving more hydration heat than ordinary Portland cement. Higher early strength can be achieved using Type III cement especially during the first 7 days.

The strength increase property of Type III cement at low temperature was studied. As a conclusion the heat or heat insulation curing period can be reduced to 50~75%. So, it can be used for cold weather concreting to reduce construction cost and extend the construction season.

### 1. 서론

콘크리트 시공시의 기온이 영하로 되는 조건을 포함하여 저온하에 시공하는 콘크리트를 일반적으로 한중콘크리트라고 한다. 콘크리트가 경화하여 동결에 대해 저항할 수 있는 충분한 강도를 갖기 전에 방점 이하로 온도가 낮아지면 물의 동결팽창에 의해 초기 동해를 받게되며, 초기 동해를 받은 콘크리트는 그 후 적절한 양생을 하여도 강도를 회복하기 어려울 뿐만 아니라 내구성 또한 저하하게 된다.

콘크리트 표준시방서에 의하면 “하루의 평균기온이 4°C 이하가 되는 기상조건 하에서는 응결경화반응이 몹시 지연되어, 밤중이나 새벽뿐만 아니라 낮에도 콘크리트가 동결할 염려가 있으므로 한중콘크리트로서 시공해야 한다.”라고 규정하고 있다.

콘크리트 표준시방서에 의하면 한중콘크리트용 시멘트는 포틀랜드시멘트를 사용하는 것을 표준으로 하며, 양생온도가 낮아 강도발현이 늦어지거나 조기 시공을 필요로 하는 경우 수화열이 크고, 조강성이 있는 조강포틀랜드시멘트를 사용할 것을 추천하고 있다. 한중콘크리트용으로 조강시멘트를 사용하면 동절기 양생관리에 소요되는 시간을 보통포틀랜드시멘트에 비해 25~50% 정도 짧게 할 수 있다.

근래 시공합리화 및 공기단축을 위해 계절에 관계없이 시공이 가능한 콘크리트 재료 및 시공법에 대한 필요성이 대두되고 있는데, 이는 건설 비수기에 건설장비 및 인력의 유효이용과 건설비 절감을 위해서도 요구되며, 본 연구에서는 동절기 한중콘크리트용으로 조강콘크리트의 적용성을 검토하였다.

\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원

\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원, 공학박사

\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실장, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

\*\*\*\*\* 쌍용양회공업(주) 이사

\*\*\*\*\* 쌍용양회공업(주) 대리

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용 재료

한중콘크리트 특성평가를 위해 검토한 보통포틀랜드시멘트와 조강포틀랜드시멘트의 물리적 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1 적용 시멘트의 물리적 특성

C/M	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	비 중 (g/cm <sup>3</sup> )	용결		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )			
			초결(min)	종결(hr:min)	1일	3일	7일	28일
보통시멘트	3224	3.15	260	06:49	100	213	293	373
조강시멘트	4350	3.12	185	04:50	180	270	366	470

### 2.2 시험 조건

실험실적 검토 조건에서 Maturity와 강도의 관계식을 구하기 위해 사용한 콘크리트 배합조건은 표 3, 표 4와 같다. 표 3에 나타난 바와 같이, 일반강도 배합조건으로 단위시멘트량은 320kg/m<sup>3</sup>로 하였고, 조강포틀랜드시멘트는 단위시멘트량을 10% 적게한 288kg/m<sup>3</sup>에 대해서도 시험하였으며, 부배합 조건은 단위시멘트량은 400kg/m<sup>3</sup>, 물-시멘트비는 40%로 하였다. 일반강도 배합은 콘크리트 온도와 양생온도를 5℃로 하여 재령별 maturity를 계산하고, 강도를 측정하였으며, 부배합 조건은 5℃와 20℃ 조건에 대해 시험하였다.

외부 폭로시험에 적용한 콘크리트 배합조건은 표 4와 같으며, 재료 온도는 20℃로 하여, 외부에서 양생하였으며, 양생기간 중 1시간 간격으로 온도를 측정하여 maturity를 계산하였다.

표 2 실내시험 콘크리트 배합조건

구분		배합비		단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )				혼화제		Slump (cm)	Air (%)
		W/C	s/a	C	W	S	G	종류	(%)		
일반 강도	보통	56.3	44	320	180	765	1007	AE감수제	0.10	11.0	4.8
	조강A	63.9	45	288	184	788	997	AE감수제	0.12	9.0	4.1
	조강B	58.1	44	320	186	757	996	AE감수제	0.12	9.0	4.0
부배합	보통	40.0	42	400	160	724	1034	고성능AE감수제	1.0	22.0	6.6
	조강	40.0	42	400	160	723	1033	고성능AE감수제	1.0	23.0	6.4

표 3 외부 폭로시험 콘크리트 배합조건

구분	시멘트 종류	W/C (%)	s/a (%)	C (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	혼화제	
						종류	사용량(%)
일반배합 (24N/mm <sup>2</sup> )	보통	56.3	44.0	320	180	일반AE감수제	0.30
	조강	62.5	45.0	288	180	일반AE감수제	0.39
부배합 (40N/mm <sup>2</sup> )	보통	42.0	42.0	425	170	고성능AE감수제	1.0
	조강	45.0	41.0	385	173	고성능AE감수제	1.0

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험실적 검토

그림 1은 일반강도 배합, 그림 2는 부배합의 적산온도에 따른 압축강도 발현 곡선을 나타낸다.

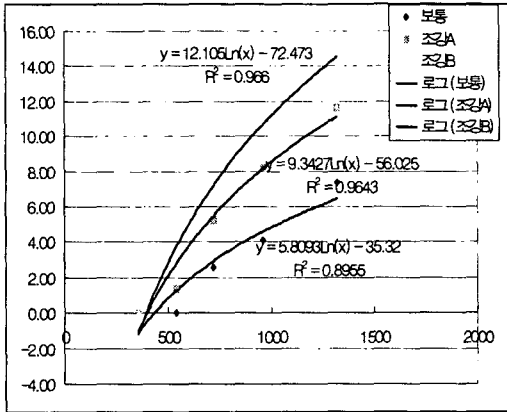


그림 1 일반강도 배합의 maturity-strength 곡선

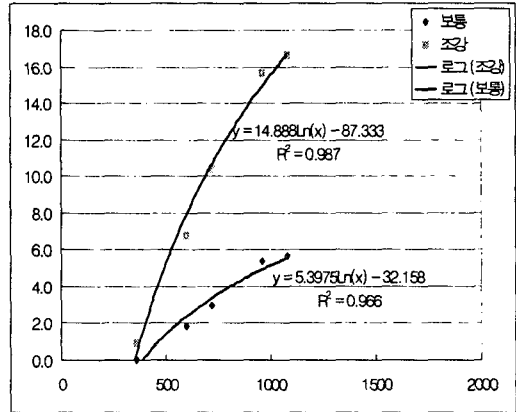


그림 2 부배합의 maturity-strength 곡선

압축강도와 maturity의 관계식을  $\sigma = A \cdot \ln(M) + B$ 로 나타내면 배합별 A, B의 값은 표 5와 같다.

표 4 Maturity vs strength 관계식

구분	시멘트	A	B
저온양생	조강A	12.1	-72.5
	조강B	9.3	-56.0
	보통	5.8	-35.3
저온양생 (5°C)	보통	5.4	-32.2
	조강	14.9	-97.3

일반강도 배합 조건에서 동일 단위시멘트량의 경우 조강포틀랜드시멘트는 보통포틀랜드시멘트에 비해 약 2배의 강도발현 속도(A값)를 나타내며, 단위시멘트량을 10% 낮춘 배합에서도 약 1.6배의 강도발현 속도를 나타내고 있으며, 5°C 조건에서 탈형 가능한 강도(5N/mm²)를 발현하는 시간은 보통포틀랜드시멘트의 경우 약 3일 정도의 시간이 요구되나, 조강포틀랜드시멘트는 2일 이내로서 동절기 조기 거푸집 탈형이 가능하다.

부배합 조건에서 조강포틀랜드시멘트는 약 2.4배의 강도발현 속도를 나타내며, 일반강도 배합에 비해 우수한 조강성을 나타냄을 알 수 있다. 한편 이식에 의하여 탈형 가능한 강도(5N/mm²)를 발현하는 시간은 5°C 조건에서 조강포틀랜드시멘트의 경우 1.4일(33시간), 보통포틀랜드시멘트의 경우 약 2.8일(66시간)이 소요되어 조강포틀랜드시멘트를 사용하는 경우 동절기 양생시간을 약 1/2로 단축할 수 있다.

#### 3.2 외부 폭로시험

외부 폭로시험 기간중 일별 온도변화는 그림 3과 같으며, 일평균 기온이 -4~+8°C, 최저온도는

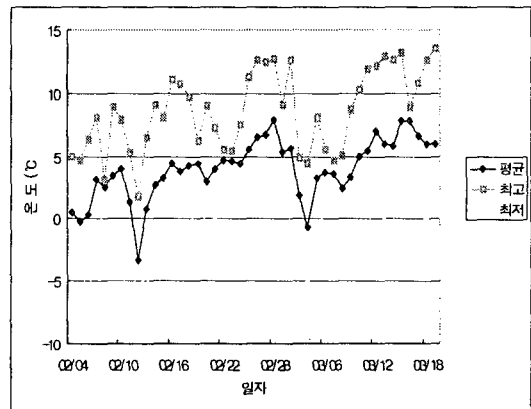


그림 3 시험 기간중 일별 온도변화

-7~+7를 기록하였다.

표 6과 표 7은 야외 폭로에 대한 maturity 측정값과 강도시험 결과이다.

표 5 일반배합 야외 폭로시험 결과

표 6 부배합 야외 폭로시험 결과

구분	Air (%)	Slump (cm)	압축강도(N/mm <sup>2</sup> )				
			1ds	2ds	3ds	7ds	28ds
적산온도			720	1440	2160	5040	-
20℃ 보통	5.4	13.5	2.07	6.48	10.47	22.60	33.5
표준 조강	4.5	9.5	4.07	11.53	15.35	22.50	29.6
적산온도			233	471	757	2048	-
2월 보통	5.0	9.0	동결	0.0	1.9	6.7	13.3
4일 조강	4.9	9.5	동결	0.0	2.58	7.8	14.0
적산온도			276	619	917	1957	-
2월 보통	4.9	11.5	동결	1.9	3.3	11.7	22.7
6일 조강	4.8	10.0	동결	3.0	6.3	18.5	30.4
적산온도			320	634	993	2478	-
2월 보통	5.2	8.5	0.0	1.9	3.4	13.0	25.2
19일 조강	4.5	7.0	1.0	5.2	8.6	21.8	33.0
적산온도			317	646	972	2318	-
3월 보통	5.1	13.0	-	1.98	3.9	13.4	28.5
4일 조강	4.7	11.0	-	7.6	14.7	18.6	32.7

구분	Air (%)	Slump (cm)	압축강도(N/mm <sup>2</sup> )				
			1d	2ds	3ds	7ds	28ds
적산온도			342	513	721	2002	-
오후 보통	3.3	9.5	2.0	7.18	10.3	25.6	47.5
(2/10) 조강	3.1	20.0	5.2	13.6	21.3	37.8	51.4
적산온도			179	465	768	2156	-
오전 보통	3.0	8.5	0.0	4.3	7.5	18.1	30.8
(2/12) 조강	4.1	18.5	0.0	12.6	14.8	27.6	40.0
적산온도			320	634	993	2478	-
오후 보통	3.7	9.5	0.0	6.9	11.9	31.2	48.4
(2/19) 조강	3.9	8.5	2.4	11.44	17.5	34.1	49.8
적산온도			381	779	1169	2696	-
오후 보통	3.5	11.0	-	9.5	16.4	32.5	46.0
(2/24) 조강	3.7	18.5	3.45	17.7	25.6	37.1	50.5
적산온도			317	646	972	2318	-
오후 보통	3.6	15.5	-	3.92	7.2	18.6	54.6
(3/4) 조강	4.0	20.5	-	12.4	19.0	37.4	58.9

일반강도 배합에서 5N/mm<sup>2</sup> 이상이 되는 적산온도는 조강포틀랜드시멘트의 경우 약 570hr℃(5℃ 38시간-2일탈형), 보통포틀랜드시멘트는 약 880hr℃(5℃ 58시간-3일탈형)로 나타나 조강포틀랜드시멘트를 사용하는 경우 양생에 소요되는 시간이 약 35% 정도 짧게 측정되었다.

부배합 조건에서 5N/mm<sup>2</sup> 이상이 되는 적산온도는 조강포틀랜드시멘트의 경우 약 350hr℃(5℃ 약 24시간-1일 이내), 보통포틀랜드시멘트는 약 480hr℃(5℃ 32시간-1.3일)이며, 따라서 조강포틀랜드시멘트를 사용하는 경우 탈형 가능한 양생에 소요되는 시간이 약 30% 정도 짧다. 또한 조강포틀랜드시멘트 일반강도 배합에 비해서는 약 40% 정도의 양생시간을 단축할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후계획

한중콘크리트용 시멘트로서 조강포틀랜드시멘트의 적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 일반강도 콘크리트의 경우 강도발현 속도는 단위시멘트량을 10% 적게 사용한 배합에서도 약 1.6배의 강도발현 속도를 나타내므로 저온에서 조강성이 우수해서 5℃ 조건에서 양생 기간을 2/3 정도(1종시멘트 3일, 3종시멘트 2일)로 단축할 수 있다. 부배합 콘크리트는 약 2.4배의 강도발현 속도를 나타내므로 일반강도 배합에 비해 조강성 효과가 더욱 커서, 1.4일(33시간) 이내에 양생을 종료할 수 있다.

2) 옥외폭로시험에서도 실내시험과 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 양생은 일반강도 배합의 경우 조강포틀랜드시멘트는 약 570hr℃(5℃, 38시간-2일 이내), 보통포틀랜드시멘트는 약 880hr℃(5℃, 58시간-3일) 요구되었고, 부배합 콘크리트에서 조강포틀랜드시멘트의 경우 약 350hr℃(5℃, 약 24시간-1일 이내), 보통포틀랜드시멘트는 약 480hr℃(5℃, 32시간-1.3일) 요구되었다.

이상의 결과로서 한중콘크리트용 시멘트로서 조강시멘트의 적용성이 우수함을 확인하였으며, 향후 동절기 현장 적용을 추진할 예정이다.

#### 참고문헌

1. 鎌田英治 '寒中コンクリート-コンクリートの性質と施工技術としての對應', 콘크리트工学, VOL.36(2), 1998, pp.3-9.
2. 한국콘크리트학회 '콘크리트표준시방서 - 한중콘크리트', 2003, pp.158-167.