

골재의 온도 변화에 따른 저발열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 특성

Properties of Low Heat Portland Cement Concrete by Changing Temperature of Aggregate

원 종 필* · 조 용 진** · 박 광 수*** · 신 수 균***

Won, Jong Pil · Cho, Yong Chin · Park, Kwang Su · Shin, Su Gyun

Abstract

Properties of concrete using low heat portland cement is different from using ordinary portland cement and temperature of aggregate can be expected to have an important influence on its properties.

In this study, experiment by setting up 5 levels (40, 30, 20, 4, -2°C) by temperature of aggregate for evaluation properties of concrete using low heat portland cement was conducted. The experiments include slump test, air content test, change of slump, change of air content and compressive strength of concrete test. As the result of experiments, slump and air content was decreased by increasing temperature of aggregate. But it was not exceeding it's limit. Change of slump and air content was rapidly decrease by decreasing temperature of aggregate. At early age, compressive strength was influenced by the temperature of aggregate.

Keywords : Low heat portland cement, Temperature of aggregate

I. 서 론

우리나라의 기후는 북위 중위도 지역에 위치하여 대륙의 영향을 직접 받기 때문에 같은 위도의 다른 지역에 비하여 연평균 기온이 낮고 사계절의 변화

가 뚜렷하며 연교차가 매우 큰 대륙성 기후의 특색을 나타낸다. 이러한 환경에서 시공되는 콘크리트 구조물은 콘크리트의 강도발현을 위한 시멘트의 수화반응에 변화를 주게 되어 콘크리트의 품질에 영향을 미치게 된다.^{1),2),3),4)} 특히, 현장에서 대기중에 노출되어 보관되는 골재의 온도는 콘크리트의 체적을 가장 많이 차지하고 있어 콘크리트의 온도 결정에 가장 큰 요인으로 작용한다.^{1),5),13),14)} 또한 매스 콘크리트 시공시 수화열 발생으로 인한 문제와 더불어 골재의 온도는 수화반응의 지연 및 촉진에 영향을 미칠 것으로 예상된다.^{11),12)} 매스 콘크리트의

* 건국대학교 사회환경시스템공학과
** 건국대학교 대학원
*** 농업기반공사 농어촌연구원
* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3750
Fax: +82-2-2201-0907
E-mail address: jpwon@konkuk.ac.kr

Table 1 Chemical compositions of cement

(%)

Cement type	Chemical composition								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	lg.Loss
low heat portland cement	24.9	3.2	3.6	61.5	3.1	0.1	0.55	2.0	0.8

수화온도 상승은 구조체내의 온도응력을 및 온도균열지수에 직접적인 영향을 미치므로 시공시 소요의 품질을 확보할 수 있는 검토가 필요하다. 현재 이러한 수화온도에 의한 문제를 해결하기 위하여 수화열 발생을 분산시키고 온도를 낮게 할 목적으로 수화반응이 초기에 급격하게 일어나는 C₃S 와 C₃A의 양을 보통 포틀랜드 시멘트보다 적게 하고, C₂S의 양을 많이한 저발열 시멘트를 사용하고 있는 실정이다.^{6),7)} 이와 같은 저발열 시멘트의 특성은 수화 초기 반응의 지연을 가지고 있으며 사용되는 골재의 온도가 수화반응 및 콘크리트 특성에 영향을 줄 수 있다. 그러나 초기 수화 반응이 느린 저발열 시멘트를 사용하면서 동·하절기 골재의 온도변화에 따른 작업성 및 성능의 영향을 분석한 연구 자료는 부족한 실정으로 현장에서의 품질관리에 어려움이 따르고 있다. 따라서 본 연구에서 저발열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 굵은 골재 및 잔골재의 온도를 인위적으로 변화시켰을 때의 슬럼프 및 공기량의 경시변화와 재령에 따른 강도발현 특성을 규명하여, 골재 온도에 따른 저발열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 특성을 비교 검토하고자 한다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 사용재료

가. 시멘트

시멘트는 저발열 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 화학적 성분 및 조성광물은 Table 1 및 Table 2와 같다.

Table 2 Mineral compositions of cement

(%)

Cement type	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ S+C ₃ A
low heat portland cement	30	48	4	10	(-)

나. 골재

굵은 골재 최대치수는 25 mm의 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.60인 것을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 잔골재와 굵은 골재의 물리적 특성은 Table 3 및 Table 4와 같다.

Table 3 Physical properties of coarse aggregate

Maximum size	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)		Abrasion (%)	Fineness modulus
			Disturbed sample	Tamping sample		
25mm	2.61	0.95	1.308	1.463	6.6	7.14

Table 4 Physical properties of fine aggregate

Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)		No.200 sieve passing (%)	Fineness modulus
		Disturbed sample	Tamping sample		
2.60	1.14	1,411	1,578	2.61	2.32

2. 배합설계

본 연구에서 설계기준강도는 30MPa로 하였다. 목표 슬럼프 21±3 cm, 공기량 5±1.5%를 기준으로 하여 배합설계를 실시하였다. 실험에 사용된 배합은 Table 5와 같다.

Table 5 Mixture proportions of concrete

fck (MPa)	W/C	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					
			W	C	S	G	SP	AE
30	0.415	39.5	183.1	400	651.5	1003.6	3.8	0.1161

3. 실험방법

본 연구에서는 골재의 온도가 콘크리트의 물리·역학적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 굵은 골재 및 잔골재의 온도범위를 5가지로 실시하였는데, 골재의 온도는 동절기 및 하절기 콘크리트 시공규정을 고려하여 -2℃, 4℃, 20℃, 30℃, 40℃로 하였다.

가. 골재의 온도

골재의 온도 관리는 온도 범위를 유지하기 위하여 105±5℃에서 노건조시켜 골재 내부의 수분을 완전히 제거한 후 사용하였다. 이는 실험을 위해 결정된 온도로 유지할 때 골재 내의 수분에 의한 콘크리트의 물리·역학적 특성의 변화를 배제하기 위해서이다. 특히 낮은 온도의 골재는 수증기의 응결과 빙결로 인한 영향을 방지하기 위하여 비닐팩을 사용하여 완전히 밀봉한 후 냉동고에 보관하였다.

나. 콘크리트의 혼합

콘크리트는 팬형 강제식 믹서를 사용하여 배합을 실시하였다. 재료투입 순서 및 혼합은 시멘트와 골재를 투입하여 30초간 건비빔을 실시한 뒤 물과

혼화제를 첨가하고 2분 30초간 비빔을 실시하여 총 3분에 걸쳐 혼합하였다.

다. 슬럼프 및 공기량

공기량 시험은 KS F 2421에 의하여 실시하였으며 슬럼프 시험은 KS F 2402에 의하여 실시하였다.^{8),10)} 슬럼프 및 공기량 시험은 비빔시 골재의 온도에 의한 운반 후 콘크리트의 특성변화를 확인하기 위하여 30분간 방치후 30초간 되비빔한 후 실시하였다.

라. 압축강도

압축강도 특성을 알아보기 위하여 KS F 2405에 따라 시험을 실시하였다. ∅100×200 mm의 실린더 공시체를 제작하여 재령 1, 3, 7, 28, 91일에 각각 3개씩 압축강도를 측정하였다.⁹⁾

마. 경시변화

경시변화 시험은 공기량과 슬럼프 변화를 측정하였으며 슬럼프의 측정간격은 15분 간격으로 하였다. 공기량은 1시간 경과한 후의 값을 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 공기량

골재의 온도변화에 따른 공기량 시험 결과는 Fig. 1과 같다. 그래프내의 실선은 목표 공기량의 범위를 나타낸다. 시험 결과, 골재의 온도가 상승함에 따라 공기량이 저하되었다. 이는 콘크리트 체적의 대부분을 차지하고 있는 골재의 온도 증가가 콘크리트의 온도를 증가시킴으로서 콘크리트 내부의 수분증발과 응결에 영향을 미쳐 공기량의 감소를 가져온 것으로 판단된다. 그러나 공기량의 변화는 크게 나타나지 않았으며 배합시 고려된 공기량의 범위를 벗어나지는 않았다.

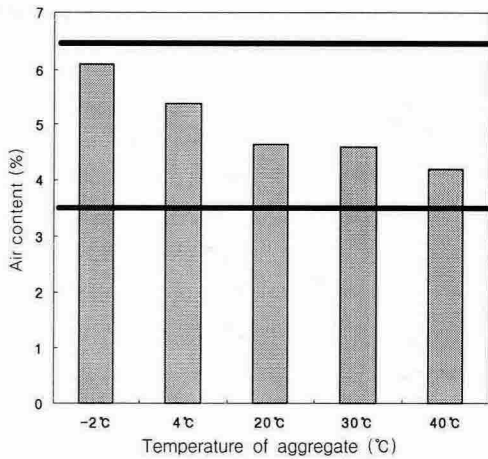


Fig. 1 Air content by temperature of aggregate

2. 슬럼프

골재의 온도변화에 따른 슬럼프 시험 결과는 Fig. 2와 같다. 슬럼프 시험 결과, 골재의 온도상승으로 인하여 수분의 증발 및 응결속도가 증가함으로써 슬럼프의 감소를 가져왔다. 그러나 모든 온도 범위의 배합에서 목표 슬럼프를 만족하였다.

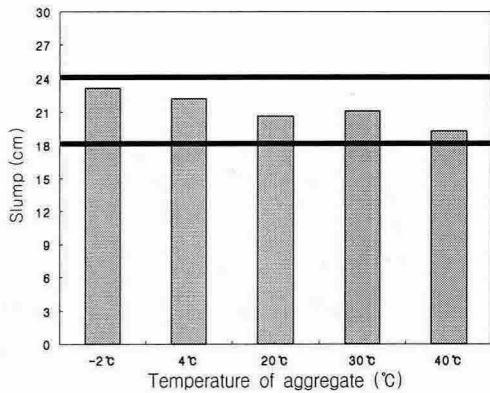


Fig. 2 Slump by temperature of aggregate

3. 경시변화

가. 슬럼프

골재 온도변화에 따른 슬럼프 경시변화 결과는 Fig. 3과 같다. 40°C의 골재를 사용한 슬럼프 값은 15분이 경과한 후 허용치인 18 cm를 벗어났으며, 30°C 및 20°C의 골재를 사용한 경우는 30분 경과 후 허용치를 벗어났다. 4°C와 -2°C의 경우는 45분이 경과한 후 허용값을 벗어났다. 이는 골재의 온도가 높을수록 수분의 증발을 촉진하였으며, 반대로 온도가 낮을 경우 응결의 지연 및 증발 억제에 의한 슬럼프 감소의 정도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 특히 40°C의 골재를 사용한 배합이 다른 온도에 비하여 급격한 감소를 보인 것도 수분 증발과 응결의 촉진이 가장 큰 변수로 작용한 것을 의미한다. 30°C와 20°C의 골재를 사용한 경시변화 결과와 4°C와 -2°C의 경시변화 결과는 초기값이나 감소율에 있어 각각 유사한 결과를 나타냈다. 시간이 경과할수록 슬럼프 값은 거의 동일하게 수렴하는 결과를 보여 주었는데, 시간이 지남에 따라 콘크리트의 온도와 실내온도의 열평형으로 인한 결과로 판단된다. 콘크리트의 체적중 가장 많은 부분을 차지하고 있는 골재의 온도변화는 콘크리트의 온도를 상승·감소시킴으로서 수화반응 및 수분증발에 영향을 미침으로서 궁극적으로 작업성에 영향을 미

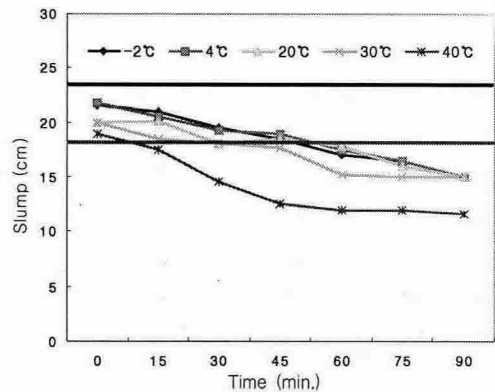


Fig. 3 Change of slump by temperature of aggregate

친다고 할 수 있다.¹⁵⁾ 그러므로 골재의 온도를 적절하게 조절하여 슬럼프 값의 변화를 최소화하는 등의 현장 작업성을 촉진시키기 위한 품질관리 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다.

나. 공기량

골재의 온도 변화에 따른 공기량의 경시변화 결과는 Fig. 4와 같다. 골재의 온도변화에 따른 공기량의 경시변화 시험 결과, 골재의 온도가 증가함에 따라 초기 공기량이 감소하는 경향을 나타내었으며, 골재의 온도가 40°C인 경우 초기값부터 허용치인 3.5%보다 작은 값을 나타내었다. 골재의 온도 변화에 따른 공기량의 최대 편차는 -2°C와 40°C 일 때 약 3%로 나타났다.

시간에 따른 공기량의 경시변화에 있어서는 4°C와 -2°C의 골재를 사용한 배합의 공기량의 감소경향이 유사하게 나타났으며 20°C와 30°C의 골재를 사용한 배합의 공기량의 감소경향 역시 유사하게 나타났다. 골재의 온도가 4°C와 -2°C의 범위가 유사한 동절기 골재 온도의 범위를 가짐으로서 유사한 특성을 보이는 것으로 판단되며, 20°C와 30°C 역시 일반 대기 온도에서의 골재 온도 특성을 반영하고 있는 것으로 판단된다.

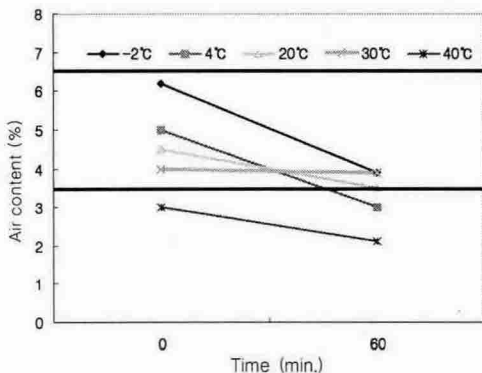


Fig. 4 Change of air content by temperature of aggregate

4. 강도 발현 특성

보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 경우 타설초 온도의 변화를 발생시킬 경우 수화반응의 촉진·저하가 급격히 나타나며, 초기 강도의 차를 보인다. 그러나 양생시 온도를 고정시킬 경우 오히려 타설시 온도가 낮은 콘크리트의 내부구조가 더욱 치밀해짐으로서 장기강도의 증가를 가져오는 결과를 나타낸다.⁵⁾ 본 연구에서 사용된 저발열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 경우 동일한 경향은 나타나지 않았으며 강도발현의 차는 확인할 수 있었다.

각 재령별 콘크리트 압축강도 시험결과는 Table 6과 같다. 초기 강도 발현에 있어서는 40°C의 골재를 사용한 경우보다 30°C와 20°C의 골재를 사용한 경우의 강도가 1MPa이상 높게 나타났다. 시간이 지남에 따라 재령 3일의 경우 이들 3가지 온도의 골재를 사용한 콘크리트의 강도는 유사한 경향을 나타냈다. 콘크리트 재령 초기에 압축강도는 -2°C에서 강도저하가 가장 크게 나타나 재령 1일 강도 측정결과 골재의 온도가 20°C일 때 보다 약 50% 감소하는 결과를 보였다. 높은 온도의 골재를 사용한 경우와 달리 4°C와 -2°C의 골재를 사용한 경우 다른 온도의 골재를 사용한 경우의 콘크리트의 강도보다 재령 1~7일까지 평균 2~3MPa 낮은 강도특성을 나타냈다. 이와 같은 결과는 골재 온도가 낮을 경우 수화반응의 지연 효과를 나타내어 강

Table 6 Compressive strength of concrete by temperature of aggregate

Curing age (days)	Temperature of aggregate (MPa)				
	-2°C	4°C	20°C	30°C	40°C
1	3.8	3.8	6.7	6.6	5.5
3	14.2	13.3	16.1	16.4	16.9
7	25.3	24.2	27.3	28.0	27.7
28	37.7	35.9	35.1	38.3	39.6
91	40.2	41.3	42.5	41.1	44.5

도발현을 지연시킨 것으로 판단된다.

따라서 골재의 온도는 콘크리트의 응결과 경화에 있어 영향을 미쳐 콘크리트의 초기강도 발현에 영향을 미친 것이라 할 수 있다. 특히 초기 재령에서 골재의 온도에 따라 콘크리트의 강도에 영향을 미치게 되므로 콘크리트 구조물의 거푸집 탈형시기의 결정시 골재의 온도가 고려되어야 한다. 강도 발현율에 있어서는 동일한 조건의 양생조건을 적용함으로써 5가지 온도에서 모두 유사한 강도 증가율을 보였다. 초기강도 발현의 저하를 보였던 -2°C 와 4°C 의 골재를 사용한 경우 재령 28일 이후 20°C , 30°C 의 골재를 사용한 경우가 강도발현 특성에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 보아 콘크리트의 장기강도는 타설시 골재 온도의 영향을 크게 받지 않으며 양생온도 조건의 영향이 가장 큰 변수로 작용하는 것으로 사료된다.

IV. 결 론

사계절이 뚜렷한 국내의 기후 특성 때문에 외부의 기온변화로 인하여 골재의 온도가 바뀔 때 콘크리트의 온도 변화는 콘크리트의 품질에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 적절한 골재의 온도의 범위를 유지하도록 관리하는 것은 콘크리트의 품질관리에 매우 중요한 고려사항이다.

본 연구에서는 골재의 온도 변화에 따른 콘크리트의 물리·역학적 특성과 경시변화 시험을 실시하여 골재의 온도 변화에 따른 콘크리트의 성능을 분석 평가하였다. 시험 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

1. 골재의 온도가 증가함에 따라 공기량은 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 목표 공기량 범위는 값을 크게 벗어나지 않았다.

2. 골재의 온도가 증가할수록 시멘트의 응결속도가 증가하여 슬럼프의 감소를 발생시켰다. 이는 높은 온도의 골재를 사용할 경우 더욱 현저하게 나타났으며 30°C 를 넘는 골재를 사용할 경우 이와 같

은 감소경향은 작업성의 확보에 문제가 있을 것으로 판단된다.

3. 경시변화 시험결과 골재온도가 40°C 일 때 경시변화에 따른 슬럼프 값은 초기값에서 배합시의 허용값을 벗어나는데 15분 정도가 소요되었다. 따라서 콘크리트 운반시간을 고려할 때 목표 슬럼프를 유지하지 못하는 문제를 발생시킬 것으로 판단된다. 또한 골재온도가 40°C 인 경우 콘크리트 온도의 상승으로 인한 공기량의 감소를 보였다. 골재의 온도가 40°C 인 배합을 제외한 모든 배합에서는 공기량이 감소하는 경향을 보였으나 배합시 고려한 범위를 크게 벗어나지 않았다.

4. 압축강도 시험결과 골재의 온도가 -2°C , 4°C 및 40°C 인 배합에 비하여 골재의 온도가 30°C 와 20°C 인 배합이 초기 강도가 1~3 MPa 높게 나타났다. 콘크리트 재령 초기에 압축강도는 -2°C 에서 강도저하가 가장 크게 나타나 재령 1일 강도 측정결과 골재의 온도가 20°C 일 때 보다 약 50% 감소하는 결과를 보였다. 초기 재령에서 강도 발현이 낮다는 것은 콘크리트 타설시 거푸집 탈형시기에 영향을 미칠 수 있으므로 이를 고려한 양생시간 및 거푸집 탈형 시기를 결정하여야 할 것으로 판단된다. 그러나 초기 재령에서 압축강도의 차가 발생하였으나 양생 재령이 증가할수록 강도의 차가 감소하는 경향을 보여줌으로써 콘크리트의 궁극적인 강도는 배합시 골재의 온도보다는 양생 조건에 더 영향을 받으므로 콘크리트 품질관리를 위해서는 적절한 양생관리가 필요하다고 판단된다.

본 연구의 결과 골재의 온도변화는 궁극적인 재령 28일 및 91일 압축강도에는 크게 영향을 미치지 않았다. 그러나 초기에 슬럼프, 공기량 및 압축강도에 영향을 미치므로 현장 작업성 및 거푸집 탈형시기를 고려한 골재의 온도관리가 필요하다고 판단된다.

References

1. ACI, 1995, Hot Weather Concreting, ACI Manual of Concrete Practice, Committee 305R-91
2. ACI, 1995, Cold Weather Concreting, ACI Manual of Concrete Practice, Committee 306R-88
3. ACI 1995, Standard Specification for Cold Weather Concreting, ACI Manual of Concrete Practice, Committee 306.1-9
4. ACI, 1995, Standard Practice for Curing Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Committee 308-92
5. A. M Neville, 1997, Properties of Concrete, John Wiley & sons, pp.108-177, pp.359-403
6. Byung-Hwan Oh etc., 1999, Concrete Engineering, Korea Concrete Institute.
7. Han-Young Moon, 1992, Construction Material, Dong Myoung Sa, pp 101-103
8. KS F 2402, 2002, Test Method for Slump of Concrete.
9. KS F 2405, 2001, Method of Test for Compressive Strength of Concrete.
10. KS F 2421, 2002, Method of Test for Air Content of Fresh Concrete by Pressure Method
11. Martha Carson, 2001, Hot Weather Concreting: Problems & Solution, Iowa state University
12. Krylor, B. A, Cold Weather Concreting, CRC Press, 1998
13. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro, Prentice Hall, 1993, Concrete structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, pp.226-254
14. Sidney Mindess, J. Francis Young, David Darwin, 2002, Concrete, Pearson Education, pp.193-219, 289-301
15. Soreka. I, 1993, Concrete in Hot Environment, Elsevier Applied Science, 1993