

고강도 콘크리트의 수화열 특성 및 발열 저감대책에 관한 연구

Properties of Hydration Heat of High-Strength Concrete and Reduction Strategy for Heat Production

정재동* 조현대 박승완

Jaung, Jae-Dong* Cho, Hyun-Dae Park, Seung-Wan

Department of Architectural Engineering, Daegu University, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, 712-714, Korea

Abstract

Recently, the interest and demand for large-scale buildings and skyscrapers have been on the rise, and the performance of concrete is an area of high priority. Securing 'mass concrete and high strength concrete' is very important as a key construction technology. For high strength concrete, the high heat of hydration takes place inside the concrete because of the vitality of hydration in cement due to the large amount of powder, and leads to problems such as an increase of thermal stress due to the temperature difference with the outside, which results in cracks and slump loss. For this reason, measures to solve these problems are needed. This study aims to reduce the hydration heat of high strength concrete to control the hydration heat of mass concrete and high strength concrete, by replacing the type of admixture. The purpose of this study is to control the hydration heat of high strength concrete and mass concrete. Our idea for this purpose is to apply not only the types and contents of admixture but also incorporation mixing water to ice-flake. As a result of the test, the use of blast furnace slag and fly ash as admixture, and the use of ice-flake as mixing water can improve the liquidity of concrete and reduce slump loss. Significantly dropping the maximum temperature will contribute greatly to reducing cracks due to hydration heat in mass concrete and high strength concrete, and improve quality.

Keywords : high-strength concrete, mass concrete, heat of hydration, ice-flake

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 국내에서는 대형 및 초고층화 건축물에 대한 관심과 수요가 증가하고 있는 추세이며 이로 인하여 콘크리트의 성능이 중요시 되고 있다. 이를 뒷받침하는 기술로 매스콘리트 및 고강도 콘크리트 시공기술의 확보는 대단히 중요하다. 그러나, 고강도 콘크리트의 경우 다량의 분체량 사용에 따른 시멘트의 수화반응 활성화로 콘크리트 내부에 높은 온

도의 수화열이 발생하고 외부와의 온도차로 인한 열응력의 증가 및 균열발생, 슬럼프 로스현상 등의 문제점들이 많이 발생하고 있어 이를 해결하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다[1,2,3,4,5].

콘크리트의 수화열 저감과 관련한 기존의 연구는 혼화재료의 첨가에 따른 수화열 저감, 수화열 온도응력 해석, 분리 타설 방법과 프리 쿨링(Pre-cooling) 등의 시공방법 등 다양하게 이루어져 왔다. 특히 수화열 저감과 관련해서는 사용 분체의 종류 및 시공방법의 개선을 통한 수화열 저감 연구가 많이 이루어졌으며, 현장적용 사례도 크게 늘어나고 있다[6,7,8].

그리고 일부 논문에서는 얼음과 냉각수를 이용한 프리쿨링에 관한 연구도 있으나, 대부분 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 일반강도 콘크리트를 대상으로 하여, 고강도 배합조건에서의 얼음을 적용한 실험적 데이터는 많지 않다[9,10].

Received : November 3, 2011

Revision received : December 29, 2011

Accepted : January 26, 2012

* Corresponding author : Jaung, Jae-Dong

[Tel: 82-53-850-6517, E-mail: jdjaung@daegu.ac.kr]

©2012 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

또한, 매스콘크리트의 수화열 저감을 위해 혼화재를 사용하는 방법은 수화열 저감의 한계가 있으며, 분리타설 방법과 프리쿨링에 의한 방법의 경우 분리 타설로 인한 구조체의 일체화가 문제시 되고 있으며, 또한 프리쿨링에 의한 방법은 제한적인 조건들을 가지고 있고 추가 시설비를 필요로 한다.

따라서, 본 연구는 매스콘크리트 및 고강도 콘크리트의 수화열을 저감시키기 위하여 혼화재의 종류 및 혼입량의 변화를 주어 시멘트량 감소에 따른 수화열 저감 효과를 실험하였으며, 배합수를 Ice-flake로 대체함으로써 초기 콘크리트 온도를 저감시켜 슬럼프 로스 저감 및 고강도 콘크리트 수화열의 최고온도 저감 및 최고 온도 도달시간을 지연시키는 것을 목적으로 하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 하절기의 매스콘크리트 및 고강도 콘크리트(28일 압축강도 60~80MPa)의 슬럼프 로스 저감 및 수화열 저감대책을 검토하기 위한 연구로서, 콘크리트 혼화재(고로슬래그 분말, 플라이 애쉬)를 첨가함으로써 시멘트량 감소로 인한 수화열 저감과 배합수를 Ice-flake로 100% 대체하는 방법을 실험적으로 검토하였다. 또한 실험용 콘크리트는 슬럼프 플로우 및 슬럼프 로스 시험, 응결시험 및 56일까지의 압축강도시험, 단열온도상승시험 등을 실시한 후 그 결과를 고찰하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리·화학적 특성은 Table 1과 같다

Table 1. Chemical composition and physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Setting time		auto-clave (%)	Compressive strength (N/mm ²)		
		Initial set(h)	Final set(h)		3day	7day	28day
3.15	3,400	2:30	3:20	0.23	33.5	45.5	58.2
Loss ignition (%)		MgO (%)		SO ₃ (%)			
2.27		3.41		2.41			

2.1.2 고로슬래그

본 연구에서는 3종 슬래그 미분말을 사용하였으며, 그 물리·화학적 성질은 Table 2에 나타난 바와 같다.

Table 2. Chemical composition and physical properties of blast furnace slag

Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Activity factor		
		7day	28day	91day
2.90	4,306	70	103	117
Flow (%)		MgO (%)		SO ₃ (%)
102		5.61		1.00

2.1.3 플라이 애쉬

본 연구에 사용된 플라이 애쉬는 충남 당진 산 플라이 애쉬를 사용하였으며, 물리·화학적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Chemical composition and physical properties of fly ash

Density (g/cm ³)	Fineness (cm ² /g)	Unit water (%)	SiO ₂ (%)	Ignition loss (%)
2.20	3650	95	51.0	3.7

2.1.4 Ice-flake

본 연구에서는 수화열 저감을 위하여 일반 수도수(약 20℃)와 얼음을 분쇄한 Ice-flake를 사용하였으며, Ice-flake는 냉동 얼음을 분쇄하여 5mm이하의 얼음조각을 사용하였다.



Figure 1. Ice-flake and concrete mixing

2.2 실험조건 및 방법

본 실험에서는 Table 4와 Table 5에서 나타난 바와 같이, 하절기의 매스콘크리트 및 고강도 콘크리트(28일 압축강도 60~80MPa)의 슬럼프 로스 저감 및 수화열 저감대책의 검토를 목적으로, 물결합재비 30%, 잔골재율 45%, 목표 슬럼프 플로우 500±50mm, 목표 공기량 4.5%의 배합 조건으로 하였다. 또한, 보통 포틀랜드 시멘트 및 플라이 애

쉬 첨가량 10, 20, 30%, 고로 슬래그 분말 첨가량 10, 30, 50%의 치환율 변화와 배합수를 얼음으로 100% 치환한 고강도 콘크리트를 제조 하여 슬럼프 플로우 및 슬럼프 로스 시험, 응결시험 및 56일까지의 압축강도시험, 단열온도상승 시험 등을 실시하였다.

또한, 간이 단열온도 상승 실험을 위한 거푸집의 내부 크기는 800×800×800mm 크기로 제작하였다. 거푸집은 열손실을 방지하기 위하여 내부에서 복사열 차단 단열재(6mm)를 부착한 후, 100mm 스티로폼과 합판으로 거푸집을 제작하였다. 온도의 측정은 데이터로거(MV2000)를 이용하여 측정하였으며, 측정위치는 Figure 2에 나타난 바와 같이 중심부와 가장자리를 측정하였다.

Table 4. Design of experiment

Experimental factor	Level
Powder	Ordinary portland cement, Blast furnace slag, Fly ash
Water	Tap water, Ice-flake
Binder proportion(%)	OPC, BS10, BS30, BS50 OPC, FA10, FA20, FA30

Table 5. Concrete mix design

Specimen	W/B (%)	S/a (%)	Mixed ratio (kg/m ³)					
			W	C	FA	BS	S	G
OPC	30	45	165	550	-	-	734	901
FA10		45	165	495	55	-	725	890
FA20	30	45	165	440	110	-	716	879
FA30		45	165	385	165	-	707	868
BS10		45	-	495	-	55	732	898
BS30	30	45	-	385	-	165	728	893
BS50		45	-	275	-	275	723	887
BS10 Ice ¹⁾	30	45	165	498	-	55	732	898
FA30 Ice		45	165	440	110	-	716	879

1) Ice : Ice-flake

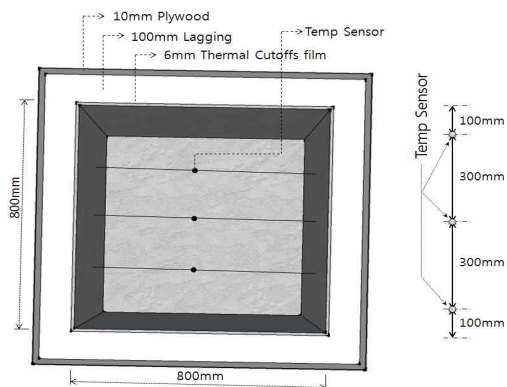


Figure 2. A test for the semiadiabatic temperature rise

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼화재 혼입량에 따른 콘크리트 특성

3.1.1 혼화재 종류 및 혼입량에 따른 유동특성

고로슬래그 및 플라이 애쉬 치환율에 따른 균지 않은 콘크리트의 유동성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 콘크리트의 슬럼프 플로우 실험을 하였다. 고로슬래그 및 플라이 애쉬를 혼합한 콘크리트의 목표 슬럼프 플로우 500±50mm를 달성하기 위하여 고성능 감수제 사용량을 0.25~1.19c×% 첨가하였으며, 물-분체비는 30%로 동일하게 고정하였다. 실험결과 Figure 3과 같이 고로슬래그와 플라이 애쉬를 혼합한 콘크리트의 경우 OPC에 비하여 혼입량이 증가할수록 고성능 감수제의 사용량 또한 감소하였으며, 동일한 혼화제의 양을 사용하였을 경우 고로슬래그와 플라이 애쉬를 혼입하지 않은 OPC의 슬럼프 플로우값보다 높게 나타나 고로슬래그와 플라이 애쉬를 혼입할 경우 유동성이 증가하는 것을 볼 수 있었다.

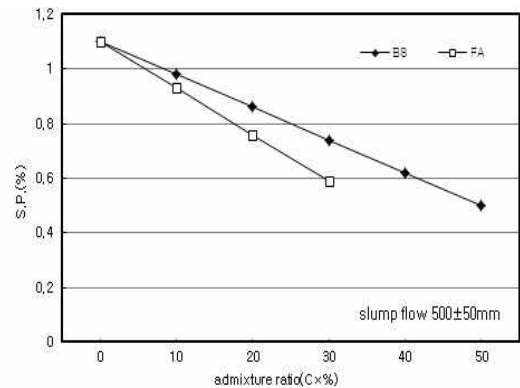


Figure 3. Superplasticizer variation due to admixture ratio

3.1.2 혼화재의 종류 및 혼입량에 따른 수화발열 특성

1) 고로슬래그 치환율에 따른 수화발열 특성

고로슬래그 치환율에 따른 수화발열 특성을 실험한 결과 Figure 4에 나타난 바와 같이 고로슬래그 치환율 10%에서 OPC보다 높은 온도상승을 보였다. 그러나 고로슬래그 30% 이상부터는 치환율이 증가할수록 최고온도는 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 또한, Figure 5에서 보는바와 같이 OPC에서 가장 빠른 온도 상승을 보여 최고온도 도달시간 또한 가장 빨리 도달 하였다. 고로슬래그 치환율이 증가할수록 최고온도 도달시간이 확연하게 늦어지는 것을 볼 수 있었다.

고로슬래그를 혼입한 경우 수화열 저감 및 지연효과도 동시에 볼 수 있었으며, OPC와 BS50%와의 최고온도 도달시간은 약 8시간 이상 차이가 나는 것을 볼 수 있었다.

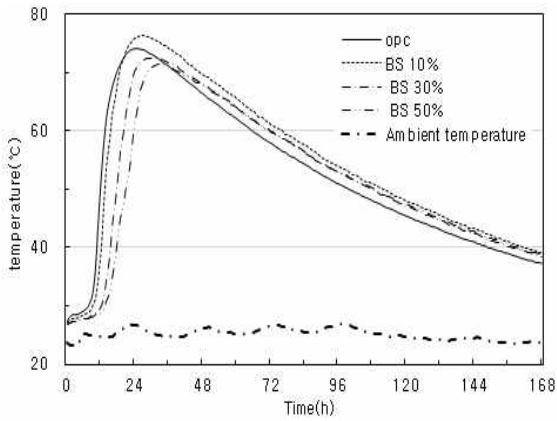


Figure 4. Concrete temperature variation due to blast furnace slag ratio

을 고로슬래그와 비교하였을 경우 동일 혼입률 30%에서 최고온도는 고로슬래그가 약 71.8°C, 플라이 애쉬가 약 69.5°C를 나타내었으며, 최고온도 도달시간은 약 28시간으로 비슷한 경향을 나타내었다.

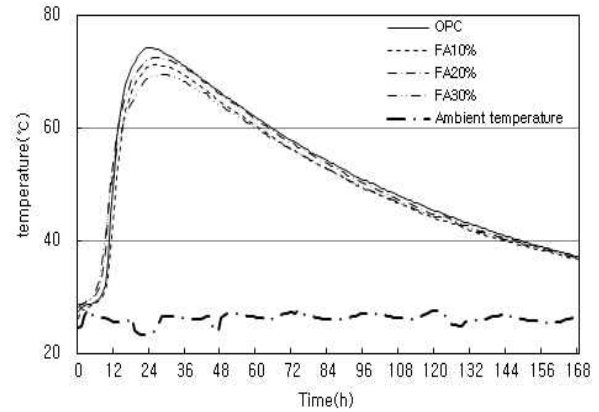


Figure 6. Concrete temperature variation due to the fly ash ratio

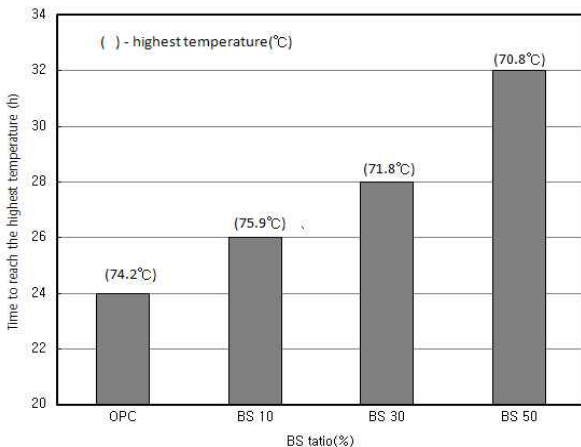


Figure 5. Time to reach the highest temperature of concrete (blast furnace slag)

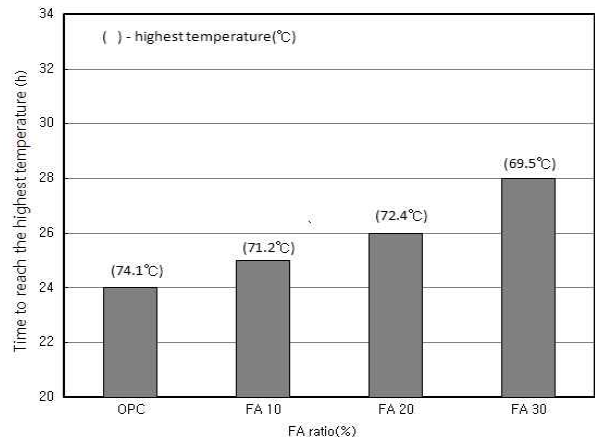


Figure 7. Time to reach the highest temperature of concrete (fly ash)

2) 플라이 애쉬 치환율에 따른 수화발열 특성

플라이 애쉬 혼입량에 따른 간이 단열상승 온도 및 최고 온도 도달시간을 Figure 6~7에 나타내었다.

실험 결과, OPC와 비교하여 플라이 애쉬 치환율이 증가할수록 최고온도 도달시간이 지연되는 것을 확인할 수 있었으며, 플라이 애쉬 혼입률 30%의 경우 OPC와 비교하여 최고온도 도달 시간은 약 4시간 차이가 났으며, 플라이 애쉬 혼입으로 인한 최고 온도도 낮아지는 것으로 나타났다.

플라이 애쉬 혼입률에 따른 수화열 및 최고온도 도달시간

3.1.3 혼화제 종류 및 혼입량에 따른 압축강도

고로슬래그와 플라이 애쉬 혼입량에 따른 압축강도는 Figure 8~9에 나타낸 바와 같이 고로슬래그와 플라이 애쉬 혼입량이 증가할수록 초기강도는 낮아지는 경향을 보였으며, 간이 단열온도 상승 실험에서 가장 높은 온도를 보였던 고로슬래그 치환율 10%에서는 재령이 증가하여도 OPC보다 낮은 강도발현을 보였다. 플라이 애쉬보다 고로슬래그에서 좀 더 높은 강도 발현을 볼 수 있었으며, BS10%를 제외한 고로슬래그와 플라이 애쉬 모두 재령이 경과할수록 OPC보다 높은 강도를 나타내었다. 이는 고로슬래그와 플라이 애

쉬의 잠재수경성에 의한 장기강도 증진 효과에 따른 것으로 판단된다.

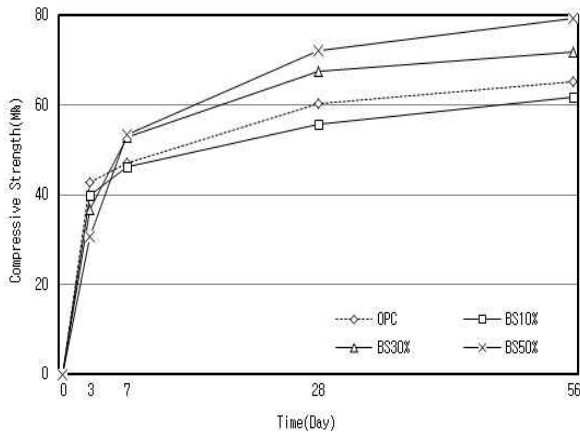


Figure 8. Compressive strength of concrete (blast furnace slag)

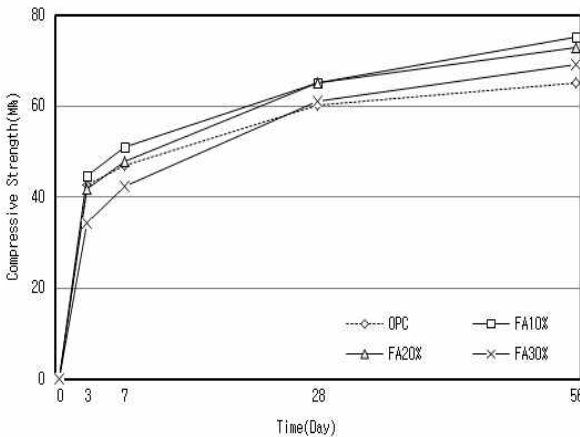


Figure 9. Compressive strength of concrete (fly ash)

3.2 배합수 종류에 따른 콘크리트 특성

3.2.1 배합수에 따른 유동특성

배합수에 따른 유동특성으로는 배합수를 Ice-flake로 대체하였을 경우 일반 수도수보다 유동성이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 슬럼프 플로우값을 $500 \pm 50\text{mm}$ 를 기준으로 하였을 때 고성능 감수제 사용량으로 유동성을 확인한 결과 Figure 10에서 보는 바와 같이 혼합시 수도수를 Ice-flake로 대체하였을 경우 고성능 감수제 사용량이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 고로슬래그 및 플라이 애쉬(10%)에 Ice-flake를 적용하여도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 고로슬래그(10%)보다 플라이 애쉬의 감수

제 사용량이 가장 낮게 나왔으나 이는 구형의 플라이 애쉬의 입자영향에 의한 것으로 판단된다.

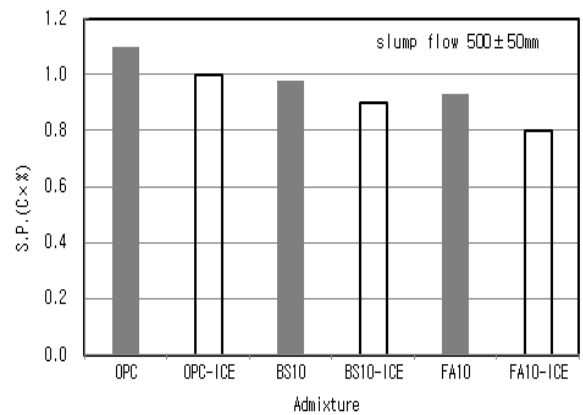


Figure 10. superplasticizer variation due to the water types

3.2.2 배합수에 따른 슬럼프 로스 특성

수도수와 Ice-flake를 배합수로 사용하였으며, 슬럼프 로스 특성을 확인하기 위해 2대의 믹서를 이용하여 동일한 조건하에서 각각의 시료를 같은 속도로 천천히 믹싱하며, 매 30분 간격으로 슬럼프 플로우값을 측정하였다.

실험결과, Ice-flake를 배합수로 사용하였을 경우 비빔시간 약 3분에 걸쳐 대부분의 얼음이 녹는 모습을 확인할 수 있었으며, Ice-flake 사용 시 수도수에 비해 슬럼프 플로우값은 15%~25% 정도 높게 나타났으며, 슬럼프 로스 현상을 비교한 결과, 수도수의 경우 슬럼프 플로우가 400mm에서 300mm로 100mm 낮아지는데

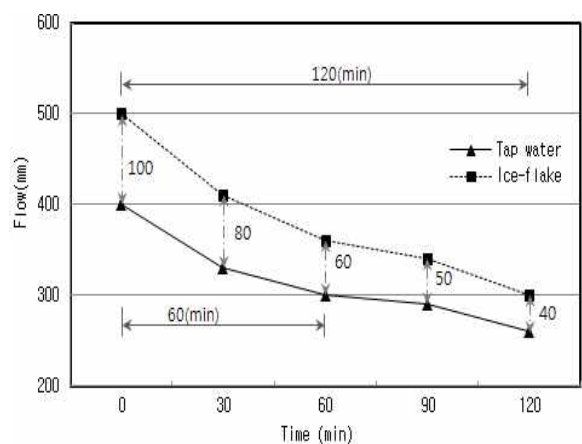


Figure 11. Change of slump flow according to time elapsed when ice-flake is used

걸린 시간은 약 60분이 걸린데 반해, Ice-flake를 사용한 경우 슬럼프 플로우 500mm가 300mm로 200mm 낮아지는데 걸린 시간은 120분으로 나타나 일반 수도수에 비해 고강도 콘크리트의 유동성 개선 및 슬럼프 로스 저감효과는 우수한 것으로 판단된다.

이러한 결과는 Ice-flake 사용에 따른 온도 저감효과로 인하여 초기 수화반응이 억제되어 (응결지연으로 나타남) 온도가 높은 일반 수도수 배합 콘크리트에 비해 유동성이 좋아진 것으로 판단된다.

또한 배합수의 차이에 따른 콘크리트 온도변화는 일반 수도수를 사용하였을 경우 초기 콘크리트 배합온도가 27.7°C인데 반해 Ice-flake를 사용하였을 경우 10.9°C로 16.8°C로 큰 차이를 보였으며 120분이 경과한 후에도 4°C이상의 차이를 나타내었다.

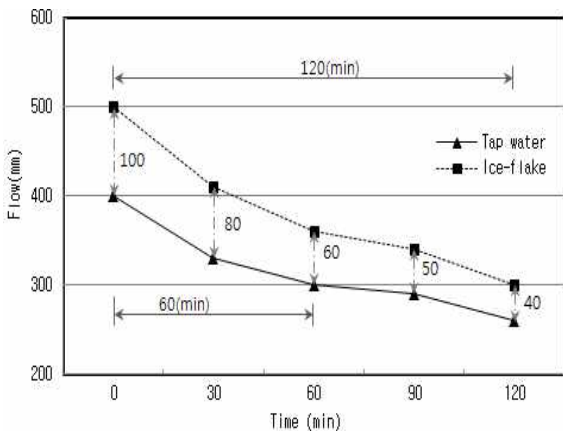


Figure 12. Change of slump flow according to time elapsed when ice-flake is used

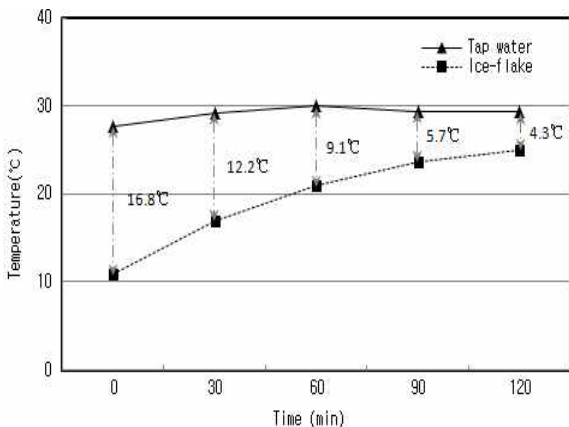


Figure 13. Change of temperature according to time elapsed when ice-flake is used

3.2.3 배합수에 따른 응결특성

배합수로 수도수와 Ice-flake를 사용하였을 경우 응결시간의 차이를 비교해본 결과, Figure 13에 나타난 바와 같이 초기에 Ice-flake를 사용한 콘크리트의 응결이 다소 늦은 경향을 보였으나 시간이 경과함에 따라 동등한 응력값을 나타내었다.

3.2.4 배합수에 따른 강도특성

Figure 14는 배합수에 따른 콘크리트의 압축강도 변화를 나타낸 것으로 배합수를 Ice-flake로 대체 하였을 때 압축강도의 차이는 전체적으로 수도수보다 조금 낮은 경향을 보이나 재령이 증가할수록 그 차이는 점차 작아지는 것으로 나타났다.

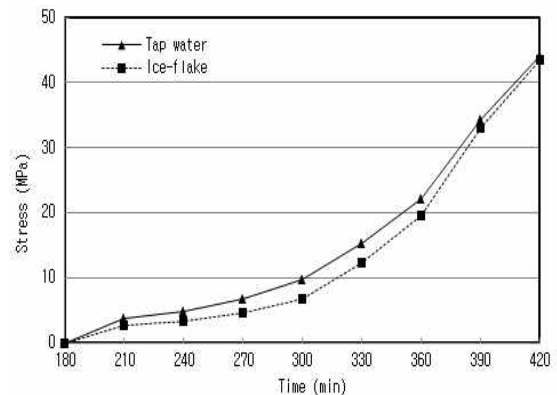


Figure 14. Change of stress according to time elapsed when ice-flake is used

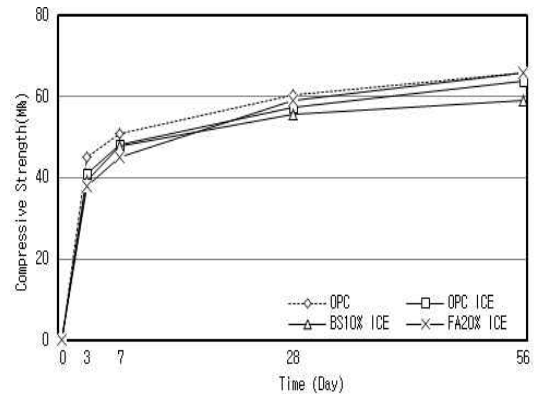


Figure 15. Compressive strength of concrete

혼화재 종류에 따른 압축강도를 보았을 때 OPC와 고로슬래그에서는 비슷한 강도 발현을 보였고 플라이 애쉬 20%를 사용한 콘크리트 압축강도에서 가장 큰 차이를 보였다. 그러나 강도발현이 상승하고 있는 추세를 보이고 있어 장기재령으로 갈수록 동등한 강도를 나타낼 것으로 판단된다.

3.2.5 배합수에 따른 수화발열 특성

배합수에 따른 수화발열특성을 보기위해 혼화제별 간이 단열온도 상승 실험을 통해 가장 높게 나온 BS10%와 FA20%를 선택하여 실험을 실시하였다. 수도수와 Ice-flake를 각각 배합수로 사용하였을 때 간이 단열온도 상승 실험 결과 배합초기 Ice-flake에 의해 떨어진 콘크리트 온도가 최대 상승온도에 똑같은 영향을 주어 확연한 온도 차이를 나타내었으며, OPC에서는 타설 후 22시간 만에 최고온도에 도달하였고, 다음으로 OPC-ICE, BS-ICE, FA-ICE 순으로 나타났다.

또한 본 실험에서는 Ice-flake를 혼입함에 따른 초기 수화열 저감 효과는 Ice-flake를 혼입함으로써 약 16°C 정도 저감효과를 보였고, 이로 인하여 기존 OPC에 비해 최고온도 도달시간이 크게 지연되었으며, OPC-ICE의 경우 OPC에 비해 약 12시간 지연되었으며, BS-ICE는 약 16시간, FA-ICE의 경우는 약 21시간 지연효과가 있는 것으로 나타나, Ice-flake 대체 시 수화열 저감 및 지연효과를 동시에 볼 수 있었다.

배합수를 일반 수도수와 Ice-flake를 사용하였을 경우 Figure 16에 나타난 바와 같이 콘크리트의 내부 수화열 최고온도를 비교한 결과, 혼화제 종류에 따른 콘크리트 온도 차이는 OPC가 약 17°C로 Ice-flake의 대체로 인한 온도차가 가장 크게 나타났으며, BS와 FA의 경우 내부 수화열 최고온도는 BS가 FA에 비해 약간 높게 나왔으나, Ice-flake로 인한 수화열 저감효과는 약 14°C로 비슷한 경향을 나타내었다.

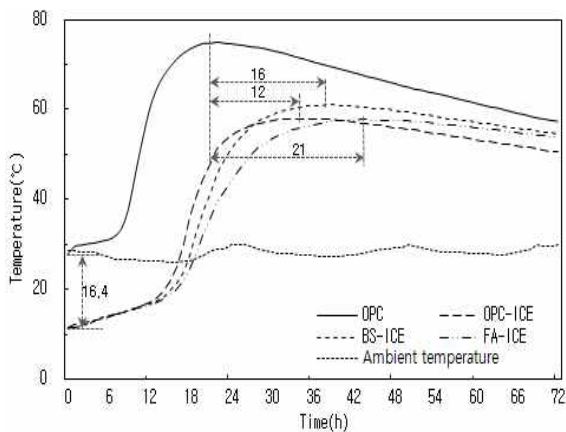


Figure 16. Relationship between the water change and concrete temperature

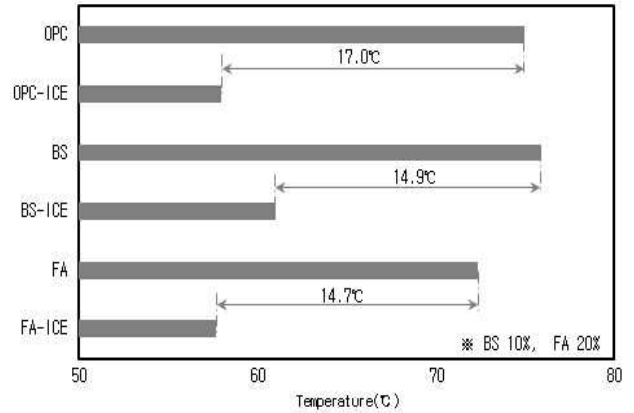


Figure 17. Relationship between the admixture types and concrete temperature

4. 결 론

매스콘크리트 및 고강도 콘크리트의 경우 부재의 크기와 다량의 분체량에 의한 콘크리트의 수화열 및 외부와의 온도 차로 인한 열응력 발생으로 콘크리트 균열이 문제시되고 있다. 이를 제어하는 방법으로 혼화제의 종류와 혼입량의 변화, 배합수를 Ice-flake로 대체함으로써 수화열을 저감하고자 한다.

- 1) 고로슬래그 치환율에 따른 콘크리트 온도 특성으로 고로슬래그 30% 이상 치환 시 수화열 저감효과를 볼 수 있었으며, 플라이 애쉬 치환 시에는 모두 OPC보다 낮은 온도를 보여 고로슬래그보다 온도 저감 효과가 큰 것으로 나타났다.
- 2) 외기온이 높은 하절기의 배합수에 따른 유동특성으로 배합수를 Ice-flake로 대체하였을 때 일반 수도수보다 유동성이 현저히 증가하는 것으로 나타났으며, 슬럼프 로스 특성을 실험한 결과 Ice-flake에 의해 떨어진 콘크리트 온도가 상승하여 수도수와 같은 온도에 도달하는 시간은 2시간 이상 소요되며, 수도수와 온도가 같아지는 시간만큼 슬럼프 로스 저감 효과를 볼 수 있었다.
- 3) 모든 콘크리트의 배합조건에서 콘크리트 온도특성으로 배합수를 Ice-flake로 대체 하였을 때 배합초기 얼음에 의해 떨어진 콘크리트 온도가 최대상승온도에 영향을 주어 최대 17~20°C 정도의 온도저하 효과를 나타내었다.

이상의 연구 결과를 종합하여 볼 때 콘크리트의 수화열

저감 방안으로 혼화재로는 고로슬래그와 플라이 애쉬를 사용하고 배합수로 Ice-flake를 사용함으로써 콘크리트의 유동성개선 및 슬럼프 로스 저감효과를 볼 수 있으며, 콘크리트 최고 온도를 크게 낮추어 그로 인한 열응력 감소로 매스 콘크리트 및 고강도 콘크리트의 수화열에 의한 균열저감 및 품질향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

요 약

최근 국내에서는 대형 및 초고층화 건축물에 대한 관심과 수요가 증가하고 있는 추세와 함께 콘크리트의 성능이 중요시 되고 있다. 이를 뒷받침하는 기술로 매스콘크리트 및 고강도 콘크리트 시공기술의 확보는 대단히 중요하다. 고강도 콘크리트의 경우 다량의 분체량에 따른 시멘트의 수화반응(hydration) 활성으로 콘크리트 내부에 높은 온도의 수화열이 발생하고 외부와 온도차로 인한 열응력의 증가 및 그로 인한 균열, 슬럼프 로스현상 등의 문제점들이 많이 발생하고 있어 대책이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 매스콘크리트 및 고강도 콘크리트의 수화열을 제어하기 위하여 혼화재의 종류와 혼입량의 변화, 배합수를 Ice-flake로 100% 대체함으로써 고강도 콘크리트의 수화열을 저감하고자 하였으며, 실험결과 콘크리트의 수화열 저감 방안으로 혼화재는 고로슬래그와 플라이 애쉬를 사용하고 배합수로 Ice-flake를 사용함으로써 콘크리트의 유동성개선 및 슬럼프로스 저감효과를 볼 수 있으며, 콘크리트 최고 온도를 크게 떨어트려 매스 콘크리트 및 고강도 콘크리트의 수화열에 의한 균열저감 및 품질향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.

키워드 : 고강도 콘크리트, 매스콘크리트, 수화열, Ice-flake

Acknowledgement

This study is the result of 2010 intramural academic research fund aid program of Daegu University (Assignment No. 20100340).

References

1. Kim JK, Kim KH, Thermal Stress Analysis for the Heat of

Hydration Considering Creep and Shrinkage Effects in Mass Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 1992 Jan;4(3):101-11.

2. Kim SC, Kang SH, Kim JK, Evaluation of Thermal Characteristics in Association with Cement Types in Massive Concrete Structure. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 1999 Jun;7(4):137-48.
3. Moon, HY, Chio YW, The Effect of Ground Granulated Blast-Furnace Slag on the Control of Temperature Rising in High Strength Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 1998 Jan;10(4):195-204.
4. Lee EB, Kim GY, Koo KM, Lee HJ, Kim YS, Nam JS, Early Age Properties of Hydration Heat and Autogenous Shrinkage of High-Strength Mass Concrete. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 2009 May;25(5):153-60.
5. Kim JK, Kim KH, Yang JK, Thermal Analysis of the Heat of Hydration in Concrete with Considering Heat Reduction Techniques. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 1995 Jan;7(6):176-85.
6. Kim MH, Choi SJ, Oh SD, Kim YR, Lee JH, A Study on the Effect of Admixture Types and Replacement Ratio on Hydration Heat Reduction of High-Strength Concrete. *Journal of the Korean Institute Building Construction*, 2002 May;2(2):145-50.
7. Han CG, Oh SK, Yoon CH, Hwang YS, A Study on the Reduction of Hydration Heat of Division-Placed Mass Concrete Considering the Difference of Setting Time of Super Retarding Agent. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 2003 Jul;19(7):79-86.
8. Baek DI, Kim MS, Application of Heat Pipe for Hydration Heat Control of Mass Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2008 Apr;20(2):157-64.
9. Chung CH, Park JH, Lee SH, Study on Precooling of Concrete Using Ice and Cooling Water. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2000 Jan;12(3):95-102.
10. Bae SH, Jaung JD, An Experimental Study on the Temperature and the reduction of slump loss in concrete using ice. *Proceeding of Autumn annual Conference in the Architectural Institute of Korea*; 2002 Act 26; Kunsan National University, Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2002. p. 303-6.