

당분과 수화시멘트 분말이 수화열 저감에 미치는 효과

Effects of Sugar and Hydrated Cement Powder on the Reduction in Heat of Hydration

문 훈 김 지 현 조 용 훈 이 재 용 정 철 우*

Moon, Hoon Kim, Ji-Hyun Cho, Yong-Hun Lee, Jae-Yong Chung, Chul-Woo*

Department of Architectural Engineering, Pukyong University, Nam-Gu, Busan, 608-739, Korea

Abstract

The heat of hydration can be reduced through the use of retarding agents. Typical retarding agents include sugar and glucose. However, these significantly delay the setting of cement paste. For the efficient use of sugar and glucose for mass concrete construction, it is necessary to develop a technique that can provide a setting behavior equivalent to that of plain concrete. In this work, the temperature rise of cement paste was monitored with the addition of various retarders including sugar and glucose. Hydrated cement powder was made with a water to cement ratio of 5 in order to accelerate the retarded cement pastes. It was found that the addition of hydrated cement powder in retarded pastes reduced the maximum temperature of cement paste. The use of hydrated cement powder could also successfully reduce the time to reach the maximum temperature.

Keywords : retarder, glucose, sugar, hydrated cement powder, temperature rise

1. 서 론

단면이 큰 매스콘크리트(mass concrete)의 시공 시, 가장 중점적으로 관리해야 할 요소 중 하나는 수화열이다. 매스콘크리트는 경화 중에 시멘트의 수화열이 축적되어 콘크리트 내부온도가 상승한다. 온도상승에 의해서 콘크리트는 팽창된 상태로 굳게 되며, 시간이 흘러 내부의 온도가 감소할수록 팽창된 콘크리트의 수축이 발생한다. 또한 이로 인해 발생하는 인장응력으로 인해 균열이 발생하게 된다 [1,2,3].

수화열을 저감하기 위한 방법으로는 사전냉각법, 파이프 쿨링 공법, 저발열시멘트 사용 및 혼화재 치환법, 지연제

사용 등 여러 가지가 존재한다[4,5]. 그러나 사전냉각법은 시공관리가 까다롭고, 파이프쿨링 공법은 공사비 상승요인이 되며 상당량의 혼화재를 치환하여 사용할 경우 기초물성 변동, 초기강도 저하, 공기량 감소 등의 문제점이 발생할 수 있다[6]. 또한 지연제 사용은 응결시간이 많이 지연되므로 후속공정에 악영향을 미치는 단점이 있다. 이를 살피볼 때 수화열을 저감시키면서 응결을 촉진시키는 등 후속공정에 크게 지장을 주지 않는 방법이 개발된다면, 건설공사에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 지연제를 혼입한 시멘트 페이스트의 최대 수화온도를 측정하고, 이를 통해 지연효과를 억제하면서 최대수화온도를 낮출 수 있는 방법을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 여러 종류의 지연제(당류)가 시멘트 페이스트의 수화반응 지연에 미치는 영향을 파악하고, 최대수화온도의 감소정도를 파악하여 어떤 지연제의 수화열 저감 효과가 가장 뛰어난지 조사하였다. 이후 지연효과를 상쇄하기 위해 수화시멘트 분말(hydrated cement powder : H.C.P)를 혼입하여 지연효과의 억제정도를 조사하였다.

Received : October 14, 2013

Revision received : December 13, 2013

Accepted : December 27, 2013

* Corresponding author : Chung, Chul-Woo

[Tel: 82-51-629-6084, E-mail: cwchung@pknu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

수화시멘트 분말에 존재하는 C-S-H의 경우 나노미터 크기의 여러 입자들이 겹쳐져 있거나 뭉쳐져 있으며, 특정 형태를 구성하지 않아 C-S-H가 공간의 구속 없이 생성되었다면(서로 뭉친 형태가 아닌 경우), C₃S의 수화과정에 결정핵생성 촉매(nucleation seed)로서의 역할을 충분히 수행할 수 있다고 보고되고 있다[7]. 따라서 수화시멘트 분말을 적절하게 이용한다면, 효과적으로 수화열을 저감하면서 응결시간의 지연을 최소화시킬 수 있는 방법을 모색할 수 있을 것으로 판단된다[8].

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용 재료

본 실험에 사용한 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 지연제는 주변에서 쉽게 구입할 수 있는 당류를 선택하여 적용하였다. 단당류로는 포도당, 이당류로는 백설탕, 물엿, 우유 등을 선정하였다.

시멘트에 설탕을 혼입하였을 경우 시멘트의 수화는 비정상적으로 높은 Ca/Si의 비율에 의해 지속적인 C-S-H의 형성이 저해되어 응결이 지연되는 것으로 알려져 있다[9]. 포도당 및 다른 당분이 시멘트의 수화를 지연시키는 메커니즘에 대해서는 명확하게 알려져 있지 않으나, 설탕의 경우와 유사할 가능성이 높다.

지연된 응결을 촉진시키기 위해 수화시멘트 분말을 사용하였다. 또한 촉진제로 잘 알려져 있는 염화칼슘을 첨가한 시험체를 제작하여 수화시멘트 분말을 혼입한 시멘트 페이스트와의 차이를 비교하고자 하였다.

촉진제로 사용된 수화시멘트 분말 (H.C.P)는 1종 보통 포틀랜드 시멘트에 초순수를 물시멘트비 5 (w/c=5)로 배합하여 밀폐된 용기에 담아 스피너 바(spin bar)를 회전시켜 7일간 반응시켜 제조하였다. 그 뒤 수분을 제거하고 상온에서 2일(48hr)간 건조시켜 분말형태의 수화시멘트 분말을 얻었다. 건조 후 결합력은 발현되지 않았으며 작은 힘에도 쉽게 부스러지는 모습을 나타냈다.

수화시멘트 분말의 광물학적 조성은 리가쿠사의 X선 회절분석기(Rigaku Co., Ltd. Japan, Ultima IV)를 사용하여 분석하였다.

수화시멘트 분말의 광물학적 조성은 Figure 1에 나타나고 있다. X-ray 회절각(2θ) 18.09° 에 위치한 수산화칼

슘(portlandite)의 피크가 우선방위(preferred orientation)의 영향으로 너무 강하게 나와 상대적으로 다른 수화생성물들의 피크 및 비결정질 C-S-H의 형성정도를 파악하기 어려웠다. 하지만 에트링가이트, 칼슘 알루미늄 수산화물(pdf number 16-0339), 방해석(calcite) 및 수산화칼슘(portlandite)이 관찰되었으며, C₃S, C₂S, C₃A 및 C₄AF와 같은 시멘트 구성성분이 남아있지는 않는 것으로 관찰되어, 거의 대부분의 시멘트 분말이 수화반응을 일으킨 것으로 나타났다.

시멘트가 100% 수화 하는 경우, 수산화칼슘의 양은 약 20~25%를 차지하고 55~60%정도가 C-S-H라고 알려져 있다[10]. 따라서 보통 포틀랜드 시멘트의 수화 생성물 분포를 고려할 때, 수화시멘트 분말의 비중은 약 2.3정도로 생각된다[11].

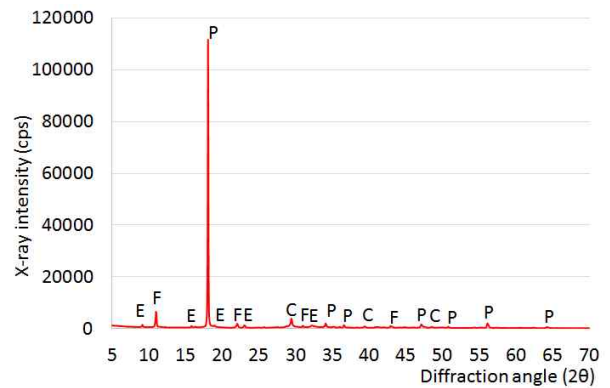


Figure 1. XRD pattern of hydrated cement powder

(E: ettringite, F: calcium aluminum hydrate, C: calcite, P: portlandite)

2.2 실험 계획 및 방법

1) 실험계획

배합은 시멘트 페이스트와 당분을 30초간 손비빔한 후, 균일한 배합을 위해 블랜더를 사용하여 1분 30초 기계비빔하였다. 당분 종류별 지연효과 및 수화열 측정을 위한 배합 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Mix proportions of cement paste using sugars

Type of Sugars	Proportion (%)	W/C
Glucose, Sugar, Starch Syrup, Milk	0 (Plain), 0.1	0.5

지연효과를 억제하기 위해 투입한 촉진제의 종류, 혼입

를 및 투입시기는 Table 2에 나타나 있다.

Table 2. Mix proportions of cement paste using sugars and accelerator

Proportion of sugar (%)	Accelerator	Accelerator proportion (%)	Time when accelerator was added (min)
0.1	calcium chloride hydrate cement powder	2	0, 30
		3, 5	0, 30, 60

촉진제는 염화칼슘 2%와 수화시멘트 분말을 3%, 5%로 세분화 하여 혼합 하였으며, 촉진제의 투입 시기 또한 적절한 조합을 찾기 위하여 세분화 하였다. 먼저, 배합 시 당분을 바로 혼입하는 방법과, 당분을 먼저 혼입하여 배합 후 레미콘 공장에서 현장까지 운반한 후 타설 직전에 촉진제를 넣는 방법을 고려하였다. 대략 공장에서 현장까지의 이동시간은 30분, 60분으로 설정하였으므로, 배합 30분 후, 배합 60분 후에 촉진제를 투입하고 실험용 주걱(spatula)을 이용하여 잘 퍼지도록 휘저어 준 후 수화열의 측정을 측정하였다.

2) 수화온도 측정

배합된 시멘트 페이스트를 Figure 2와 같이 단열 제작된 컨테이너에 넣은 후 수화온도를 측정하였다. 이때 온도의 측정은 열전대(thermocouple) K Type을 시멘트 페이스트의 중간위치에 매입하고, 단열컨테이너를 밀봉한 후 Pico 사의 TC-08 thermocouple data logger를 사용하였으며, 측정횟수는 1회/min로 하였다.

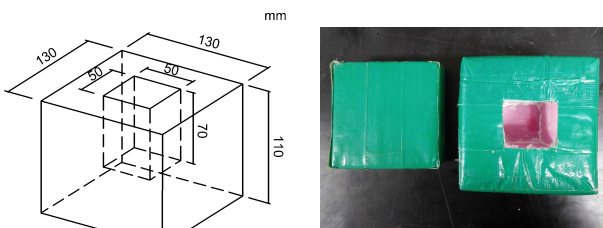


Figure 2. Adiabatic container

3) 압축강도 측정

압축강도 측정은 KS F 2405 규정에 따라 실시하였으며, 콘크리트 공시체(100mm×200mm)를 제작하여 재령

28일 강도를 측정하였다. 배합비는 Table 3과 같다.

Table 3. Mix proportion design of concrete

Types	W/C	Cement (g)	Fine aggregate(g)	Coarse aggregate(g)	Admixture (g)
Plain	0.5	4,190	6,670	11,740	0
H.C.P 3%	0.5	4,190	6,670	11,740	H.C.P 125.7
Sugar 0.1%	0.5	4,190	6,670	11,740	Sugar 4.19
Glucose 0.1%	0.5	4,190	6,670	11,740	Glucose 4.19
Sugar 0.1% + H.C.P 3%	0.5	4,190	6,670	11,740	Sugar 4.19, H.C.P 125.7
Glucose 0.1% + H.C.P 3%	0.5	4,190	6,670	11,740	Glucose 4.19, H.C.P 125.7

압축강도를 측정하기 위한 실험장비는 Shimadzu사 (Japan)의 Universal Testing Machine(UTM, UH-F100A)을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 당분 종류별 수화열 저감 효과

Figure 3은 플레인 시멘트 페이스트와 당분 종류별로 0.1% 혼입한 시험체의 수화온도를 측정된 것이다. 시멘트 페이스트의 수화열이 상승할 때 응결이 진행되므로, 온도 최대 피크값을 응결의 지연효과 측정의 기준으로 삼았다 [12,13,14].

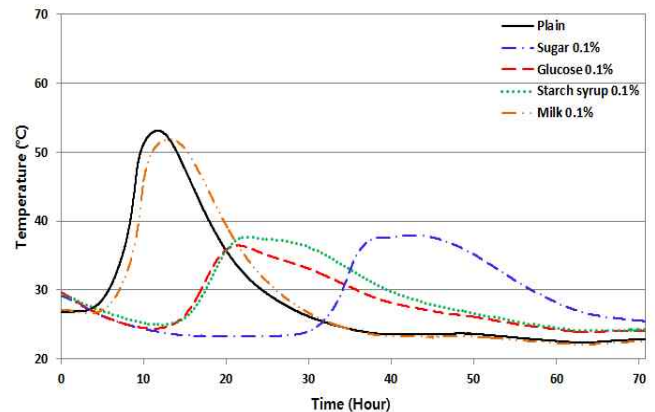


Figure 3. Temperature rise in the cement paste incorporating various retarders

플레인 시멘트 페이스트의 최고 수화온도는 53.11°C (11.6 hr)로 측정되었다. 이를 기준으로 우유는 51.89°C (13.1hr)로 측정되어 응결지연 효과 및 수화온도의 저감효과는 거의 없는 것으로 측정되었다. 포도당은 최고 수화온도가 36.46°C (23.1hr)로 측정되었고, 물엿은 37.66°C (22.5hr)로 포도당과 비슷한 지연효과를 보였다. 백설탕은 37.92°C (42.9hr)로 측정되어 최고온도는 포도당과 유사하게 나타났으나, 지연효과는 가장 큰 것으로 나타났다. 수화온도의 측정결과로 볼 때 수화반응 지연효과는 백설탕 > 물엿 > 포도당의 순서로 효과가 뛰어났으며, 수화열을 가장 많이 저감시킨 당류는 포도당 > 물엿 > 백설탕의 순서로 나타났다.

3.2 당분과 염화칼슘 혼합사용 시의 수화열

앞의 실험결과를 바탕으로 지연시간이 가장 긴 백설탕과 수화열 저감효과가 가장 뛰어났던 포도당을 선택하여 촉진제와 혼합 사용하였다. Figure 4에 나타난 바와 같이, 플레인 시멘트 페이스트와 염화칼슘 2%를 혼합했을 때, 최대 온도 피크가 약 6시간 촉진 되었으나, 수화온도가 20% 높아진 것을 확인 할 수 있었다.

설탕 0.1%와 염화칼슘 2%를 혼합 사용했을 경우, 설탕만을 사용했을 때보다 최대온도 도달시간이 22시간 촉진 되었다. 백설탕과 염화칼슘을 동시에 혼합하였을 때 48.03°C (20.3hr)의 최대온도를 보였으며, 배합 후 30분 후에 염화칼슘을 혼합하였을 경우에는 47.52°C (16.7hr)로 측정이 되었다. 또한, 백설탕과 염화칼슘을 함께 사용하였을 경우 30분 후에 염화칼슘을 혼합했을 때 촉진 효과가 더 뛰어난 것으로 측정되었다. 그러나 백설탕과 염화칼슘을 사용했을 때 수화온도는 10% 정도의 감소에 그쳐 수화열의 저감효과는 미비한 것으로 나타났다.

Figure 5는 포도당 0.1%와 염화칼슘 2%를 혼합했을 때 수화온도의 변화를 측정한 것이다. 포도당과 염화칼슘을 혼합하였을 경우에는 백설탕과는 반대의 결과가 나타났다. 백설탕은 30분 후에 염화칼슘을 혼합한 경우에 촉진효과가 더 뛰어났지만, 포도당은 배합 시 바로 혼합하였을 때 촉진효과가 더욱 뛰어났다. 실험결과에 따르면, 포도당 0.1%와 염화칼슘 2%를 동시에 사용한 경우, 플레인 시멘트 페이스트의 수화온도곡선과 유사한 경향을 보임을 확인 하였다. 하지만 포도당 또한 백설탕과 마찬가지로 지연시간은 조절이 가능하였으나, 수화열은 크게 저감되지 않는

것으로 나타났다. 이는 염화칼슘의 촉진효과로 인한 수화열 상승으로 인해 이러한 결과를 보인 것으로 판단된다.

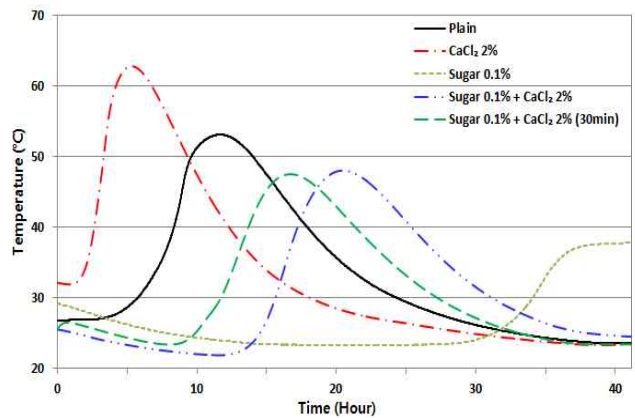


Figure 4. Temperature rise in the cement paste with 0.1% sugar and 2% calcium chloride

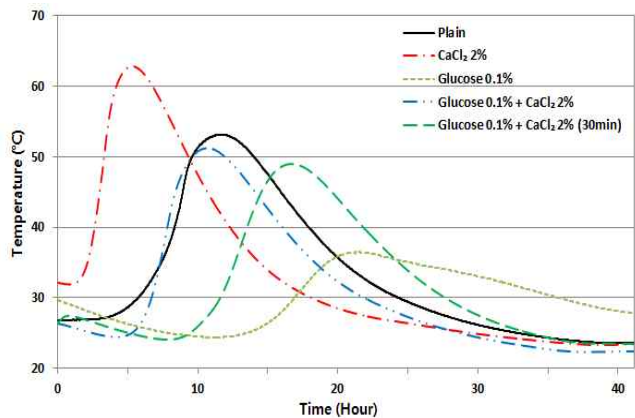


Figure 5. Temperature rise in the cement paste with 0.1% glucose and 2% calcium chloride

3.3 당분과 수화시멘트 분말 혼합사용 시 수화열

Figure 6은 설탕 0.1%에 수화시멘트 분말 3%를 혼합하였을 때 수화온도의 변화를 나타낸 그래프이다. 수화시멘트 분말을 단독으로 사용하였을 경우 특별한 촉진이나 지연효과를 보이지 않았으나, 최대온도가 다소간 감소하는 것으로 나타났다. 또한 설탕 0.1%와 수화시멘트 분말 3%의 혼합 시 시간지연을 할 경우 최대온도에 도달하는 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 최대온도의 변화는 거의 없으면서도, 투입시기가 늦어질수록 최대온도 도달시간이 각각 32.4hr (30분), 30.5hr (60분)으로 빨라지는 것으로 나타났다.

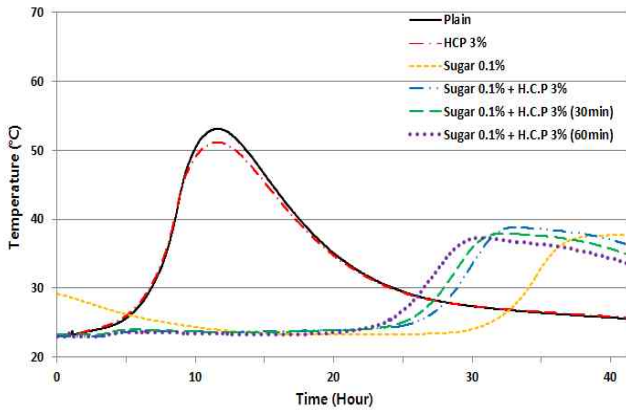


Figure 6. Temperature rise in the cement paste with 0.1% sugar and 3% hydrated cement powder

Figure 7은 설탕 0.1%에 수화시멘트 분말 5%를 혼합하였을 때 수화온도의 변화를 나타낸 그래프이다.

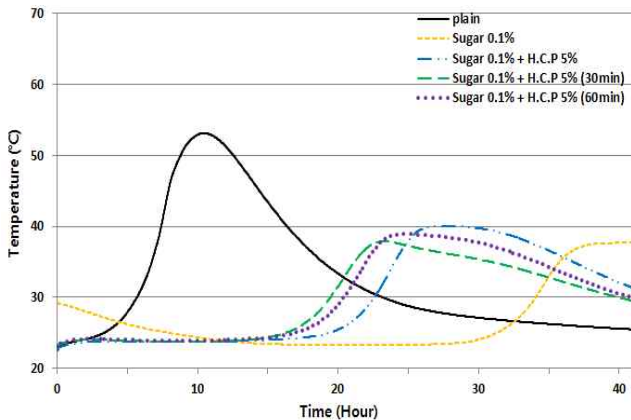


Figure 7. Temperature rise in the cement paste with 0.1% sugar and 5% hydrated cement powder

설탕 0.1%와 수화시멘트 분말 5%를 혼합한 경우도 수화시멘트 분말의 투입시기를 지연하면, 최대온도 도달시간이 줄어드는 것으로 나타났다. 따라서 수화반응이 지연된 시멘트 페이스트에 수화시멘트 분말을 지연투입하는 방법은 시멘트 페이스트의 응결 및 경화를 촉진함을 알 수 있었다.

Figure 8은 설탕 0.1%에 수화시멘트 분말 3%, 5%를 혼합하였을 때 최대수화온도 및 최대온도에 도달한 시간을 정리하여 나타낸 그래프이다.

Figure 8에 따르면 수화시멘트 분말을 단독으로 사용하였을 경우 특별한 촉진이나 지연효과를 보이지 않았으나, 최대온도가 다소간 감소하는 것으로 나타났다. 설탕을 사

용한 경우, 최고 수화온도는 37.92°C로 최고온도 53.11°C를 보인 플레인 시멘트 페이스트에 비해 28.6%정도 감소되는 것으로 측정되었다. 수화시멘트 분말 3% 및 5%를 설탕 0.1%와 함께 사용한 경우 최고 수화온도는 각각 38.82°C 및 40.33°C로 나타나 설탕으로 지연된 페이스트에 비해 유사한 최고온도를 보임을 알 수 있었다.

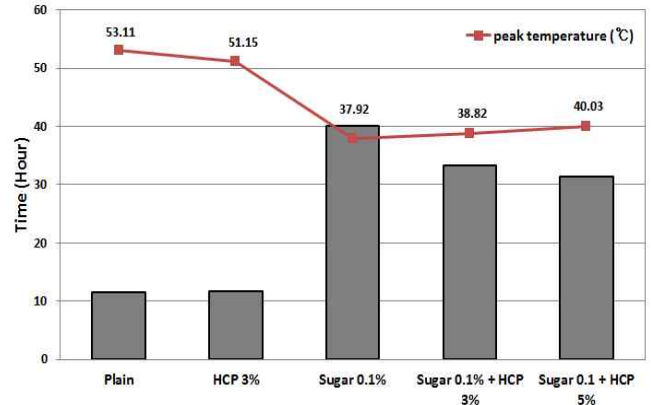


Figure 8. Peak temperature and peak time of specimens using 0.1% sugar and hydrated cement powder

그러나 수화시멘트 분말 3% 및 5%를 설탕 0.1%와 함께 사용한 경우 수화반응의 촉진효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. Figure 8에 따르면, 설탕 0.1%를 혼합한 경우 최대온도에 도달한 시간이 40.1hr이었으나, 수화시멘트 3% 및 5% 혼합시에는 각각 33.2hr 및 31.4hr로 나타내고 있어, 설탕 0.1%를 혼합한 경우에 비해 약 7시간 및 9시간정도 촉진되는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과는 플레인 시멘트 페이스트가 최대온도에 도달한 시간인 11.3hr에 비하면 여전히 상당히 지연된 상태임을 알 수 있었다.

시멘트 페이스트에 수화시멘트 분말만 단독으로 투입하였을 때에는 특별한 촉진효과를 발현하지 못하는 것으로 측정되었다. 통상 수화시멘트 입자가 수화를 촉진시키는 메커니즘은 자유롭게 자란 나노미터 크기의 C-S-H가 결정핵생성 촉매(nucleation seed)로서의 역할을 하기 때문인 것으로 알려져 있다[7]. Thomas et al.[7]은 이러한 C-S-H를 생성하기 위해 $w/c = 30$ 으로 설정하고 실험하여 수화반응이 촉진되는 결과를 얻었다.

하지만 본 연구에서는 수화시멘트 입자 생산의 효율성을 높이기 위해 $w/c = 5$ 정도로 낮추어도 결정핵생성 촉매(nucleation seed)로서의 역할을 충분히 수행할 수 있다고

가정하고 실험을 진행하였으며 w/c = 5인 수화시멘트 입자 단독사용으로는 시멘트 수화반응의 촉진을 일으킬 수 없는 것을 확인하였다. 이는 본 연구에서 사용된 물시멘트비가 Thomas et al.[7]에서 제시된 물시멘트비 (w/c=30)보다 낮아서, 나노미터 크기의 C-S-H 입자가 의 중복된 패키징으로 인해 그 크기가 커지게 되어 결정핵생성 촉매 (nucleation seed)로서의 역할을 수행하지 못해 수화반응의 촉진효과가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 그렇지만 수화시멘트 분말을 설탕과 함께 혼합하면 Ca의 농도가 설탕의 첨가로 인해 비정상적으로 증가하더라도 Ca이온이 침전될 장소를 제공해주는 C-S-H의 존재로 인해 수화반응을 촉진시키는 효과를 발현한 것으로 생각된다.

Figure 9는 포도당 0.1%에 수화시멘트 분말 3%를 혼합하였을 때 수화온도의 변화를 나타낸 그래프이며, Figure 10은 포도당 0.1%에 수화시멘트 분말 5%를 혼합하였을 때 수화온도의 변화를 나타낸 그래프이다.

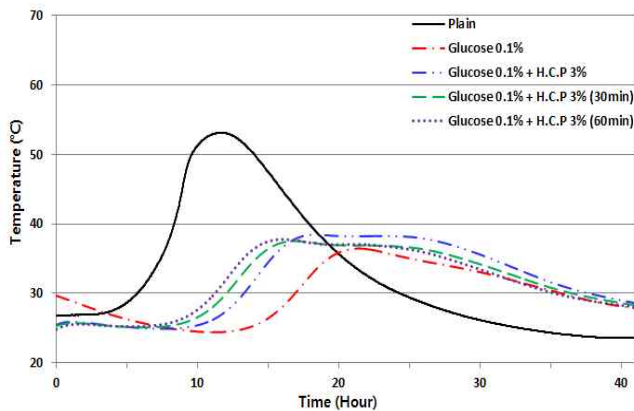


Figure 9. Temperature rise in the cement paste with 0.1% glucose and 3% hydrated cement powder

Figure 9 및 10에 따르면, 포도당 0.1%와 수화시멘트 분말 3% 및 5% 혼합 시 수화시멘트 분말 투입시간을 지연을 할 경우 설탕과 유사하게 최대온도에 도달하는 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났으나, 설탕만큼의 변화는 발현하지 못하였다. 또한 수화시멘트 분말의 혼합 시 시간지연을 할 경우 최대온도에 도달하는 시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났으나, 투입되는 시간이 늦어질수록 워커빌리티 저하로 인하여 혼합이 어려워지는 단점이 발생하였다. 이는 설탕 0.1%에 수화시멘트 분말을 지연투입 하는 경우에도 해당되는 문제점이었다. 따라서 작업의 효율성을 고려

한다면 시간지연 없이 바로 혼합하는 것이 가장 적절한 것으로 판단된다.

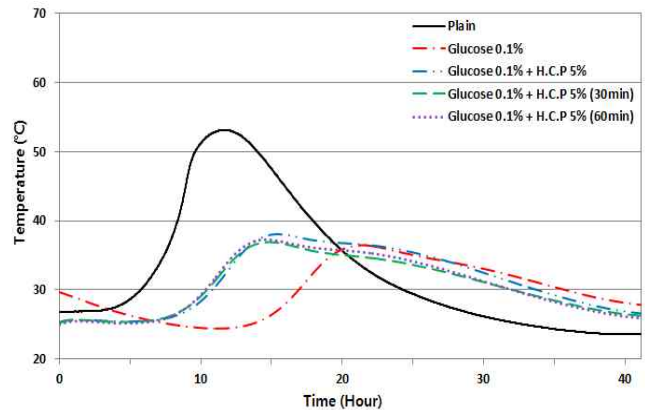


Figure 10. Temperature rise in the cement paste with 0.1% glucose and 5% hydrated cement powder

Figure 11은 포도당 0.1%와 수화시멘트 분말 3%, 5%를 혼합했을 때의 최대수화열 및 최대 수화열 도달시간을 정리해 나타낸 것이다.

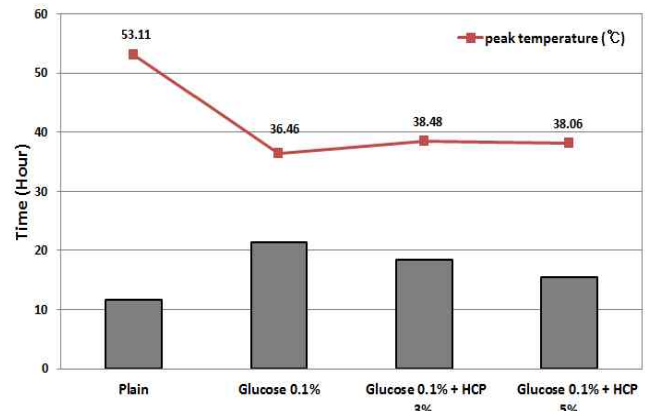


Figure 11. Peak temperature and peak time of specimens using 0.1% glucose and hydrated cement powder

최대수화온도는 플레인 시멘트 페이스트의 경우인 53.11°C에서 포도당 0.1%를 혼합한 경우 36.46°C로 나타나, 플레인 시멘트 페이스트에 비해 31.4% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 포도당 0.1% 수화시멘트 분말 3% 및 5%를 혼합하였을 경우 최대수화온도는 38.48°C 및 38.06°C로 포도당으로 지연된 페이스트의 최고온도에 비해 2°C가량 상승하는 것으로 측정되었다.

포도당 0.1%를 혼합한 경우 수화온도의 최고점 도달시

간은 21.3hr로 나타났다. 이는 플레인 시멘트 페이스트의 경우인 11.3hr에 비해 두 배 가량 증가한 값이다. 그러나 포도당 0.1%와 수화시멘트 분말 3% 및 5%를 혼합하였을 경우, 최대온도 도달시간이 21.3hr에서 18.5hr 및 15.4hr으로 나타나 각각 3시간 및 5시간 축진되는 것으로 관찰되었다.

3.4 28일 압축강도

Figure 12는 당류와 수화시멘트 분말을 혼합하였을 때의 압축강도 평균값을 나타낸 것이다. 수화시멘트 분말은 혼입률 대비 효과가 좋다고 판단된 3%로 고정하였다.

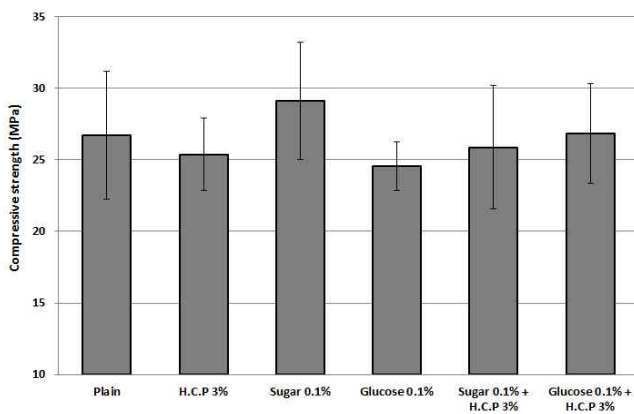


Figure 12. The 28-day compressive strength of tested specimens

플레인 콘크리트의 경우 재령 28일의 압축강도가 26.7MPa로 나타났다. 또한 수화시멘트 분말 3%를 혼입한 시험체, 백설탕 0.1%를 혼입한 시험체, 및 포도당 0.1%를 혼입한 시험체는 각각 25.36MPa, 29.13MPa, 24.55MPa의 28일 압축강도를 보였다. 그리고 백설탕 0.1%와 HCP 3%를 혼합한 시험체의 경우 및 포도당 0.1%와 HCP 3%를 혼합한 시험체의 경우 28일 압축강도가 25.88MPa 및 26.86MPa로 측정되었다. 전체적인 압축강도의 경향 및 Figure 12에 나타난 강도의 표준 편차율을 고려할 때, 전체 시험체의 강도차이는 거의 없어 설탕 및 포도당과 수화시멘트 분말의 혼합사용이 28일 압축강도성상에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

4. 결론

당분과 수화시멘트 분말의 혼합사용에 따른 수화열 저감

효과를 측정된 결과는 다음과 같다.

- 1) 당분은 종류에 따라 차이가 있으나, 대부분 응결 지연효과를 가지며 그 중 백설탕이 지연효과가 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 하지만 수화열 저감에 있어서는 포도당이 가장 효과적인 것으로 측정되었다.
- 2) 당분과 염화칼슘을 혼합하여 사용할 경우 당분의 지연효과는 효과적으로 상쇄될 수 있으나, 수화열 저감에는 적절하지 못한 것으로 나타났다.
- 3) 수화시멘트 분말 단독사용 시 특별한 축진이나 지연효과를 보이지 않았으나, 당류와 혼합사용 시 수화열은 저감하면서 축진 효과를 나타냈다. 또한 수화시멘트 분말의 양이 증가할수록 수화가 축진되었다.
- 4) 수화시멘트 분말 단독 사용 및 당류와 혼합사용 시 압축강도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 측정되었다.
- 5) 수화시멘트 분말의 반응성을 효과적으로 높이는 방법을 찾아낸다면, 최대수화온도는 줄이되 응결시간은 플레인 시멘트 페이스트에 근접하는 수화열 저감방법의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

요약

지연제는 수화열 저감에 이용될 수 있다. 대표적 지연제는 설탕 및 포도당이 존재하는데, 이들은 응결시간의 지연효과가 너무 강해 조심하여 사용해야만 한다. 이러한 지연제의 효과적인 사용을 위해서는 지연효과를 상쇄시킬만한 기술의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 축진제로 물시멘트비 5의 수화시멘트 분말을 사용하였으며, 이를 지연제와 함께 사용하면 시멘트 페이스트의 최고 수화온도를 저감하면서 수화반응을 축진할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 수화열, 매스콘크리트, 수화시멘트 분말, 포도당

Acknowledgement

This work was supported by the Pukyong National University Research Fund in 2012 (PK-2012-2-04).

References

1. Jung JD, Jo HD, Park SW. Properties of hydration heat of

- high-strength concrete and reduction strategy for heat production. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2012 Apr;12(2):203–10.
2. Kang SH, Jeong HJ, Park, CL. Evaluation on the external re-strain stress in mass concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 1996 Oct;8(5):111–22.
 3. Yoo DS, Sim Bk, Yoon CW, Han MC, Han CG. A study on the control of hydration heat of mass concrete using super retarding agent. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2001 May;13(1):469–74.
 4. 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):157–8.
 5. Paik MS, Lee YD, Jung SJ. An experimental study on hydration heat and strength properties concrete with high volume fly-ash. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2003 Sep;19(9):87–94.
 6. Jeon IK, Kim HW, Hur KB, Yoon KW. Properties of reducing hydration heat according to replacement ratio of mineral admixtures. *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2011 Nov;23(2):445–6.
 7. Thomas JJ, Jennings HM, Chen JJ. Influence of nucleation seeding on the hydration mechanisms of tricalcium silicate and cement. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2009 Feb;113(11):4327–34.
 8. Korea Concrete Institute. *Concrete honhwaje [Concrete admixture]*, 1st ed, Seoul (Korea): Kimoon dang; 1997. p.105–6. Korean.
 9. Taylor HFW, *Cement chemistry*, 2nd ed, London (UK): Thomas Telford; 1997. Chapter 11, Admixtures and special uses of cements p.323–8.
 10. Mindess S, Young JF, Darwin D. *Concrete*, 2nd ed, Upper Saddle River (USA): Prentice Hall; 2003. Chapter 4, Hydration of portland cement p.57–60.
 11. Mindess S, Young JF, Darwin D. *Concrete*, 2nd ed, Upper Saddle River (USA): Prentice Hall; 2003. Chapter 4, Hydration of portland cement p.66.
 12. Sim BK, Pyo DS, Yoon CW, Han MC, Han CG. Setting and mechanical properties of concrete using saccharic type super retarding agent. *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 2000;20(2):455–8.
 13. Lee JH, Lee KH, Kim HK. A study on the retarding effects of cement mortar setting. *Journal of the Korea Ceramic Society*, 1996 Nov;33(3):307–12.
 14. Korea Concrete Institute. *Concrete gonghag [Concrete engineering]*, 4th ed, Seoul (Korea): Kimoon dang; 2005. p.28–36. Korean.