

설계강도 80MPa 3성분계 고강도내화콘크리트의 현장적용 및 성과분석

Field Application of 80MPa High Strength Fire Resistant Concrete using Ternary Blended Cement

김 성 덕 김 상 연 배 기 선 박 수 희 이 범 식*
Kim, Seong-Deok Kim, Sang-Yun Bae, Ki-Sun Park, Su-Hee Lee, Bum-Sik*
Construction Technology Reserch Dept., Land & Housing Institute, LH, Yuseong, Daejeon City, 305-731, Korea

Abstract

Fire resistance and field tests for high-strength concrete(HSC) of 80MPa were carried out to evaluate whether or not it shows the same material properties even in the field condition of being mass-produced and supplied. As a result, it was found that fire resistant HSCs containing composite fiber(NY, PP) of 0.075% have great resistance to fire and spalling. In the field test, before the pumping air contents, slump flow, U-box, L-flow, compressive strength, gap of hydration temperature of interior and exterior of specimen and placing ratio per hour satisfied the required properties of HSC. However, after the pumping of HSC, as slump flow and L-flow were slightly less than required criterion, they need to be improved. In terms of hydration temperature of HSC, it was found to satisfy the related criterion. Packing ability as well as placing ratio per hour of HSC, which was about 44 m³, show outstanding results. If slump flow of developed ternary HSC is improved after the pumping it can be useful for the construction of high-rise buildings.

Keywords : High Strength Concrete, Spalling Properties, Concrete Pumping, Packing ability

1. 서 론

LH 토지주택연구원에서는 05년도 국토해양부 국책연구과제로 수행 중인 “고성능·다기능 콘크리트 개발 및 활용 기술”과제의 일환으로 고강도 콘크리트의 제조 시너지 사용되는 고가의 실리카 흙을 사용하지 않고 내화성능이 탁월한 설계강도 80 MPa인 3성분계 고강도 콘크리트(이하 고강도 콘크리트)를 개발하였다.[1,2]

시험실 조건에서 개발한 고강도 콘크리트가 레미콘공장의 배치 플랜트에서 대량으로 생산·공급되어 초고층 구조물에 압송되는 현장조건하에서도 시험실 조건에서 도출된 재료물성

을 발휘하는지 여부를 평가하고, 초고층 구조물의 건립시 필수적인 압송성을 평가하기 위하여 LH에서 건립 중인 구조물을 대상으로 시험시공을 수행하고 성과분석을 실시하였다.[3,4,5,6]

시험시공 결과는 초고층구조물의 건립 시 가장 널리 사용될 수 있을 것으로 기대되는 설계강도 60~80 MPa급 고강도콘크리트를 대상으로 실리카 흙을 사용하지 않아 개발된 고강도 콘크리트 대비 경제적이며, 내화성능이 우수한 고강도 콘크리트를 개발하고 활용하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 시험시공 공사개요

내화성능을 만족하는 고강도 콘크리트의 현장적용대상 건축물은 LH의 파주신도시사업단 A-28블럭 6공구 내의 보육시설로, 1층 규모의 철근콘크리트 라멘조로 층고는 3.6m이며, 벽

Received : August 31, 2010

Revision received : September 15, 2010

Accepted : September 22, 2010

* Corresponding author : Lee, Bum-Sik

[Tel: 82-42-866-8415, E-mail: bslee417@lh.or.kr]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

체두께는 200 mm, 슬래브 두께는 150 mm, 보의 제원(폭×춤)은 300×600 mm, 400×600 mm 기둥의 제원은 400×400 mm 이다. 보육시설의 평면도는 Figure 1과 같다.

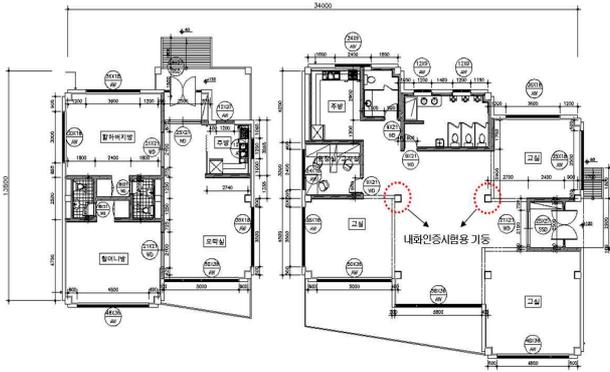


Figure 1. Object of field model test-1st story commercial building

2.2 고강도콘크리트의 내화성능 평가

LH의 파주신도시사업단 A-28블럭 6공구 내 보육시설을 대상으로 고강도 콘크리트를 시험시공 진행에 따라, 2008년 7월 개정된 “고강도 콘크리트 기둥, 보의 내화성능 관리기준 (국토부 고시 제2008-334)”에 의하여 내화성능 평가를 수행하고 개발된 고강도 콘크리트가 개정된 기준을 만족하는지 여부를 평가하였다.

내화성능시험용 시험체의 선정과 제작은 관련 기준에 따라 보육시설내부의 기둥을 대상으로 내화성능 기둥 시험체를 제작하였다. 내화성능시험용 기둥시험체의 제원은 400×400×1500 mm이고, 주근은 D22 8대, D10의 띠철근이 단부는 200 mm간격, 중앙부는 300 mm간격으로 철근을 배근하였다. 시험체의 단면과 배근은 보육시설의 단면과 배근상황과 동일하게 계획하고 제작하였다. 본 연구에서 기 개발한 고강도콘크리트의 내화성능 향상을 위하여 PP섬유(길이 19 mm)와 NY섬유(길이 12 mm)를 동일비율로 혼합하여 0.075% 혼입한 고강도 콘크리트를 타설 및 양생하여 내화성능시험용 기둥시험체를 제작하였다. 내화성능 평가는 한국건설기술연구원에서 국토부 고시 제2008-334에 의거하여 수행하였다.[7,8]

Figure 2는 내화성능평가용 시험체의 제작에 사용된 기둥의 제원이며, Figure 3은 내화성능평가용 기둥 시험체의 제작 과정을 나타내고 있다.

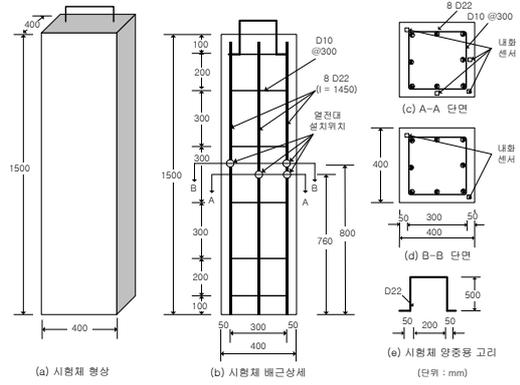


Figure 2. Shape of fire resistance test specimen

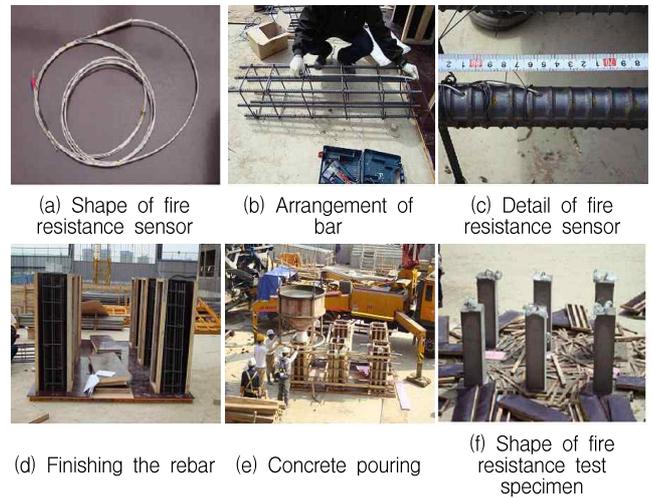


Figure 3. Process of fire resistance test specimen

2.3 시험시공 계획

2.3.1 개요

보육시설을 대상으로 수행된 고강도 콘크리트의 시험시공에는 초고층구조물의 건립 시와 동일하게 수직, 수평 분리 타설을 가정하여, KCI 2007의 관련기준에 준하여 수직·수평부재의 강도차이가 1.4배 이하가 되도록 수직부재(기둥, 벽체)는 설계강도 80 MPa 고강도콘크리트 약 60 m³, 수평부재(슬래브, 보)는 설계강도 60 MPa 고강도콘크리트 약 100 m³를 적용하는 것을 계획하였다.

고강도콘크리트의 타설은 국내 초고층구조물의 건립 시 압송을 통한 고강도 콘크리트의 타설이 주로 이루어지고 있으므로 이를 고려하여 본 시험시공에서도 압송관을 통한 고강도 콘크리트의 타설을 계획하였다.

그리고 고강도 콘크리트는 보통강도콘크리트와 비교하여 측압이 매우 크므로 기 계획되었던 유로폼 거푸집으로는 측압에

원활하게 저항하기 어려울 것으로 판단되어 별도의 거푸집 설계를 수행하여 폼타이(φ12)와 강관(φ48.6×2.5)을 500 mm 간격으로 배치하여 측압에 대응토록 하였다.

고강도 콘크리트의 시험시공 시 압송 전·후, 경화 전·후 재료물성 평가와 수화온도 및 단위시간당 타설량 등의 평가를 계획하였으며, 세부내용은 2.3.2항과 2.3.3항에 기술하였다.

Figure 4는 고압펌프 배관 설치계획 및 고압펌프 외관과 고강도 콘크리트가 적용된 보육시설의 시험시공 과정을 나타내고 있다.

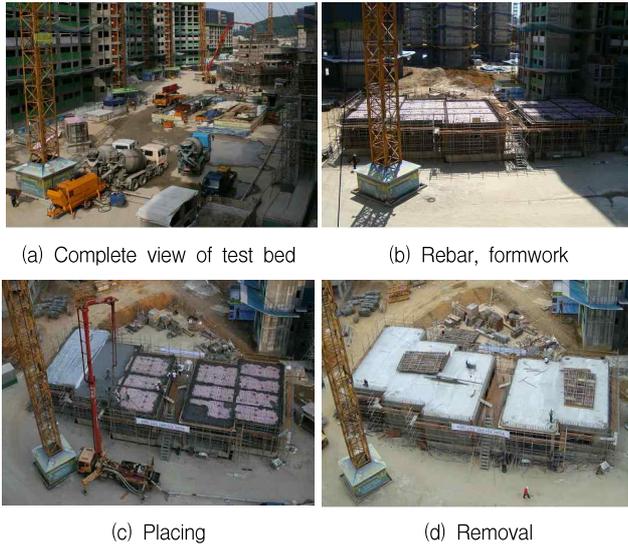


Figure 4. Process of field model test of HSC

2.3.2 재료 물성 실험 계획

경화 전·후 고강도 콘크리트의 재료물성을 평가하기 위하여 경화 전 고강도 콘크리트를 대상으로 압송 전·후에 따른 공기량과 유동성 변화의 평가를 계획하였으며, 경화콘크리트를 대상으로 압송 전·후에 따른 압축강도, 탄성계수 및 길이변화 등에 대한 평가를 계획하였다. 시험시공에 사용된 설계강도 60, 80 MPa 고강도 콘크리트의 배합비와 목표물성은 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Mix proportions of high strength concrete

Desig Strength	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						AE (%)	SP (%)
			W	C	BS	FA	S	G		
80MPa	21.5	40	150	384	174	140	600	907	0.012	1.40
60MPa	28.5	45	160	365	112	84	725	893	0.005	1.25

Table 2. Experimental condition

Divison	W/B (%)	Fresh concrete	Hardened concrete
Factor	21.5	Before & After Pumping	Before & After Pumping : Compressive strength
		Slump Flow, Air content, L-Folw, U-Box, V-lot	(3, 7, 28, 56, 91days), Tensile strength (28, 56, 91days)
	28.5		
Level	1	5	2

2.3.3 수화 온도 및 압송성 실험 계획

고강도 콘크리트의 수화온도 특성을 평가하기 위하여 한 번의 길이가 1 m인 정육면체의 시험체를 대상으로, 시험체 중앙부의 상부표면에 수화온도측정을 위한 열전대를 매립하여 배합 보정된 고강도 콘크리트(설계강도 60, 80 MPa)의 수화온도를 측정하고 그 결과를 평가하고자 계획하였다.

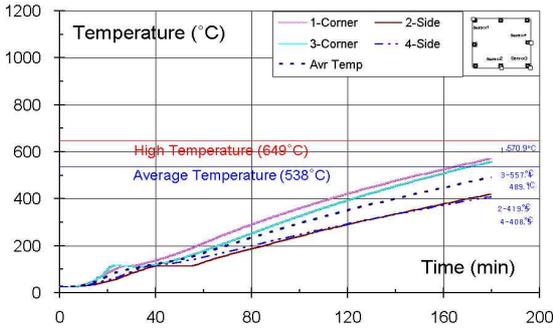
초고층구조물의 건립여건과 동일한 시공조건을 구현하기 위하여 고압펌프와 펌프카 및 고압용 압송관을 이용하였으며, 고강도 콘크리트 시간당 타설량은 국내 대형건설업체에서 초고층구조물의 건립에 사용된 고강도 콘크리트 타설 사례를 참고하여 시간당 40 m³의 고강도 콘크리트를 타설하는 것으로 계획하였다. 고강도 콘크리트 압송 전·후의 재료물성의 변화와 펌프압의 평가에 필요한 압송관의 길이는 전문가 자문을 거쳐 110 m로 계획하였다. 점성이 높은 고강도 콘크리트를 시간당 40 m³ 타설하기 위하여 엔진출력이 380마력 이상이고 130bar 이상으로 콘크리트를 압송할 수 있는 고압펌프와 두께 7.1 mm의 콘크리트 압송관의 사용을 계획하였다. 또한 고강도 콘크리트의 압송 시 압송거리별 펌프압의 변화를 평가하기 위하여 고압펌프 인근(Gage 1), 압송관의 중간지점(Gage 2) 및 펌프 카 인근(Gage 3) 등 3곳에서 펌프압의 변화를 측정하고자 계획하였다.

3. 시험시공 성과 분석

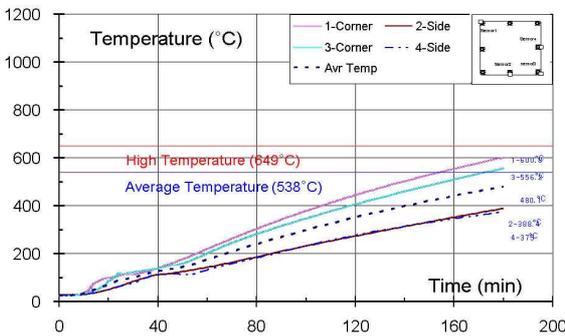
3.1 고강도 콘크리트의 내화성능 평가결과

섬유 혼입율이 0.075 %인 고강도 콘크리트의 3시간 내화시험결과, Figure 5의 (a), (b) 시험체의 주철근의 평균온도 484.6℃, 최고온도 585.9℃로 내화성능기준인 평균 538℃와 최고온도 649℃를 만족하는 것으로 나타났으며, 내화종료 후 실험체의 시험체 표면의 피복 탈락 등 폭발현상은 없는 것으로 나타났다. 이는 기둥 콘크리트 내부에 위치한 PP+NY 섬유가 고온에 노출되면서 용융되어 내부온도의 증가를 방지했기 때문에 콘크리트 기둥의 폭발발생을 방지한 것으로 판단된다. Figure 5는 기둥시험체를 대상으로 한 내화성능평가 결과

를 나타낸 그래프이며, Figure 6은 내화성능인증시험 전·후의 기둥시험체 형상을 나타내고 있다.



(a) Specimen 1



(b) Specimen 2

Figure 5. Result of fire resistance test



(a) Setting (b) Before the test (c) After the test

Figure 6. Before and after fire resistance test

3.2 고강도 콘크리트 재료물성 평가 결과

3.2.1 압송 전·후 굳지않은 콘크리트 특성

고강도 콘크리트의 압송 전·후 공기량은 각각 2.6 %와 2.1 %로 압송 후 공기량이 다소 감소하였으나 목표 물성(KS F 4009)에는 만족하는 것으로 나타났다. 슬럼프 플로의 경우 압

송 전은 745 mm로 재료분리 없이 목표물성의 허용오차 범주 내에서 만족하는 것으로 나타났으나, 압송 후 슬럼프 플로는 465 mm로 허용오차(±100 mm)에 다소 미달하는 것으로 나타났다.

유동성을 평가하는 또 다른 지표인 L-Flow의 경우 15초 동안 700 mm에 도달하여야 하나 압송 후의 L-Flow는 만족하지 못하는 것을 알 수 있다. 점성이 높은 고강도 콘크리트의 충전성을 평가할 수 있는 기준인 U-Box 시험결과 압송 전·후 모두 만족하는 것으로 나타났다. 철근사이를 원활히 통과할 수 있는지 여부를 평가하기 위한 지표인 V-Lot 시험결과 역시 압송 전·후 모두 목표물성을 만족하는 것으로 나타났다.

고강도 콘크리트의 내화성능을 향상시키기 위하여 0.075 %의 복합섬유가 혼입된 설계강도 80 MPa 고강도콘크리트의 경화 전 물성에 대한 평가결과, 압송 후 슬럼프 플로의 개선이 요구되는 것으로 나타났다.

Table 3은 고강도 콘크리트의 경화 전 재료물성 시험결과를 나타내고 있다.

Table 3. Result of flow and air content test

Desig Strength (MPa)	flow properties					Air content (%)	
	Slump Flow (mm)	L-Flow (mm) (sec.)		U-Box (mm)	V-Lot (sec.)		
80	Before Pumping	745	1000	2.04	0	4.75	2.6
	After Pumping	465	550	3.72	50	4.81	2.1
60	Before Pumping	595	640	4.48	30	5.42	2.5
	After Pumping	505	590	3.62	50	3.65	2.0

3.2.2 압송 전·후 굳은 콘크리트 특성

압송 전·후 고강도 콘크리트의 재령별 압축강도특성으로 재령 7일 설계강도 80 MPa는 발현율 80 %후반으로 높은 압축강도 발현율을 보였으며, 재령 56일 압송전 88.6 MPa와 압송 후 84.8 MPa로 목표강도인 80 MPa를 만족하는 것으로 나타났다.

또한 설계강도 60 MPa는 재령 7일 90 %정도의 발현율을 보였으며 재령 28일 이후에는 목표강도 60 MPa를 만족하는 것으로 나타났다. 고강도 콘크리트의 제조를 위하여 시멘트 대체재로써 사용된 고로슬래그미분말, 플라이애시의 영향으로 재령 28일 이후의 장기강도 발현이 우수한 것을 알 수 있었다.

Figure 7은 시험시공에 따라 설계강도 80 MPa, 60 MPa

고강도콘크리트를 펌프압송 전·후에 따라 각 재령별 압축강도특성을 나타낸 것이다

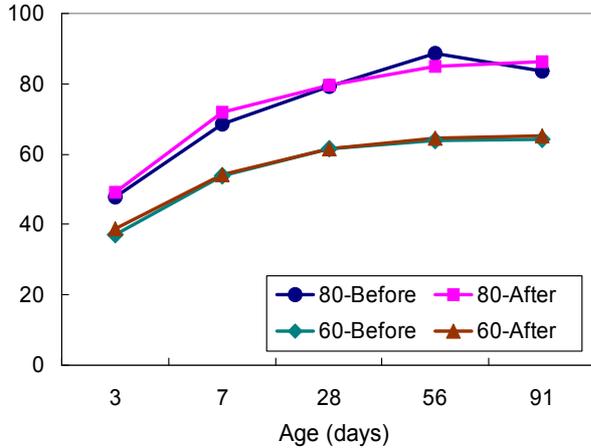


Figure 7. Results of compressive strength test

3.3 고강도콘크리트 수화온도 평가 결과

본 연구에서 개발한 고강도 콘크리트를 대상으로 약 600여 시간에 걸친 수화온도 평가결과 중심부의 최고 온도는 85.2°C, 표면의 최고온도는 65.1°C로 중심부와 표면의 온도차가 20.1°C로 유럽의 수화온도 관련 기준을 만족하는 것으로 나타났다. Figure 8은 수화온도 측정 후 120시간 동안의 콘크리트의 온도변화를 보여주고 있다.

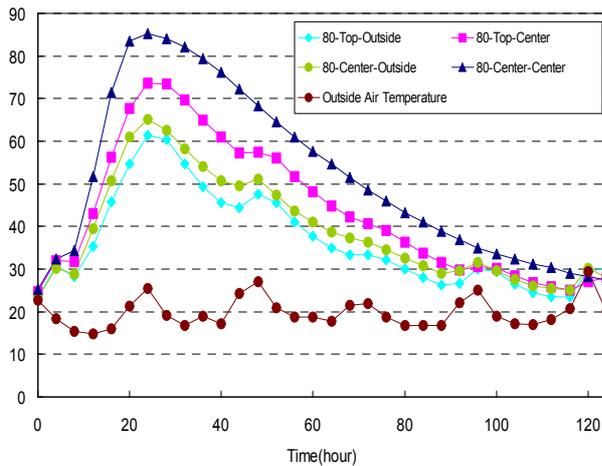


Figure 8. Result of hydration temperature test

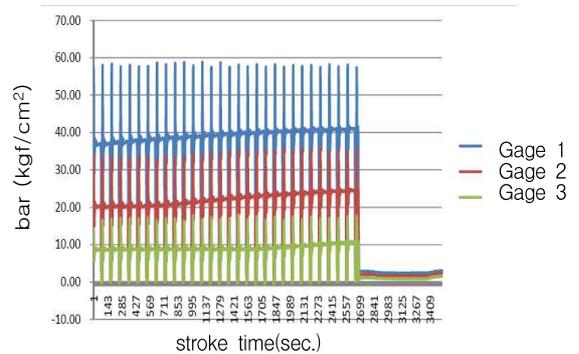
3.4 고강도 콘크리트 압송 및 충전성 평가

3.4.1 압송성 평가 결과

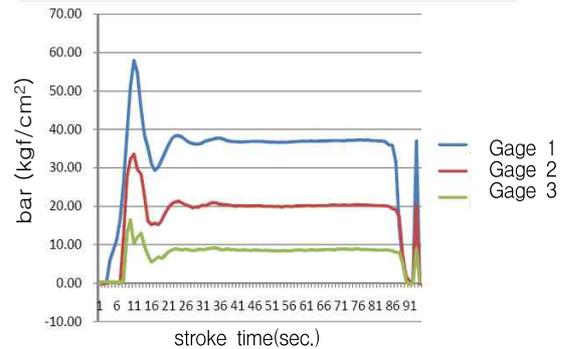
본 연구에서 개발한 고강도 콘크리트의 압송성 평가를 위하여 초고층구조물의 타설조건과 유사한 조건을 구현한 후

압송성 평가를 수행한 결과, Figure 11에서 알 수 있듯이 고강도콘크리트가 막힘현상 등 없이 원활하게 압송되었으며, 단위시간당 약 44 m³의 고강도 콘크리트를 타설이 가능한 것으로 나타나, 유사한 강도의 콘크리트와 비교하여 압송성이 우수한 것으로 나타났다.

Figure 9 (a)는 80 MPa 고강도콘크리트의 압송 시 측정된 압송펌프의 피스톤 스트로크와 펌프압과의 상관관계를 나타내고 있으며, (b)는 단위스트로크와 펌프압과의 상관관계를 나타내고 있다. 가로축의 숫자는 펌프 피스톤의 스트로크 시간을 나타내고 있다.



(a) Pumping pressure of conveying pipe



(b) Pumping pressure per unit stroke

Figure 9. Results of pumping pressure test

3.4.2 충전성 평가 결과

또한 충전성 평가결과, 본 연구에서 개발된 3성분계 고강도 콘크리트는 다짐이 필요없이 자중만으로 충전이 가능하고 높은 유동성으로 철근배근사이나 작은 공간에도 쉽게 충전되는 것으로 나타났다. 구조물의 표면상태는 요철 등의 현상없이 매끄러운 면을 보여주고 있으며, 특히 요철이 심한 주출입구, 보-기둥접합부, 개구부 및 슬래브 등에서 충전이 원활히 이루어진 것으로 평가되었다

Figure 10은 보육시설을 대상으로 수행된 설계강도 60

MPa, 80 MPa의 고강도 콘크리트의 적용이 완료된 이후 구조 부재의 현황을 나타내고 있다.

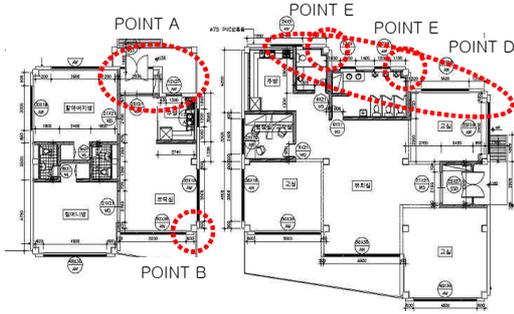


Figure 10. Results of filling up test

4. 결론

본 연구에서 개발한 설계강도 80 MPa 고강도 콘크리트를 보육시설을 대상으로 압송전후의 다양한 재료물성과 수화온도 및 충전성 등에 대한 성과평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

- 1) 폴리프로필렌(PP) 섬유와 나일론(NY) 섬유를 동일 중량 비로 배합하여 콘크리트 중량의 0.075 % 혼입한 경우 내화성과 폭발방지 성능이 매우 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 경화 전 재료물성에 대한 평가결과, 공기량, V-Lot 및 U-Box 특성은 만족스러운 것으로 나타났으나, 압송 후

의 슬럼프 플로, L-Flow 등에 대한 물성개선을 위한 배합의 보정이 다소 필요한 것으로 나타났다.

- 3) 재령별 압축강도에 대한 평가결과, 압송전·후 모두 재령 56일에 목표강도를 만족하는 것으로 나타났다.
- 4) 수화온도에 대한 평가결과, 콘크리트 내부와 표면의 온도차가 약 20℃로 일본(JCI)과 유럽(ENV 206)의 수화온도 관련 기준을 만족하는 것으로 나타났다.
- 5) 압송성과 충전성에 대한 평가결과, 본 연구에서 개발된 고강도 콘크리트의 압송성이 타 고강도 콘크리트 대비 매우 우수하며, 충전성 또한 매우 우수한 것으로 나타났다.

요 약

설계강도 80 MPa인 고강도 콘크리트가 B/P에서 대량 생산, 공급되는 현장조건하에서도 시험실 조건과 동일한 재료물성을 발휘하는지 여부를 평가하기 위하여 내화시험과 시험시공을 수행하고, 그 결과를 평가하였다. 내화성능평가 결과, 복합섬유(PP섬유, NY섬유)를 0.075 % 혼입한 80 MPa의 고강도 콘크리트가 내화성능과 폭발방지 성능이 우수한 것으로 나타났다. 고강도 콘크리트 시험시공 결과, 압송 전에는 공기량, 유동성, 압축강도 등을 모두 만족하였으나, 압송 후에는 슬럼프 플로가 목표물성보다 다소 작게 평가되어 개선이 필요한 것으로 판단되었다. 고강도 콘크리트의 수화온도 역시 관련 기준을 만족하였다. 고강도 콘크리트의 단위시간당 타설량은 약 44 m³로 우수한 것으로 나타났으며, 충전성 또한 매우 우수한 것으로 평가되었다. 개발된 3성분계 고강도 콘크리트는 실리카 흙이 사용된 기존 고강도 콘크리트와 비교하여 경제적이며 경화 전·후의 재료물성과 시공성이 우수하여 초고층 구조물의 건립 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 고강도콘크리트, 폭발, 유동성, 압송성, 충전성

Acknowledgement

This research, "Application of High Strength Concrete to High-rise Residential Building", on which this article is based was supported by a grant from Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs at Dec. 2005. We are appreciated for assistance of the Division of Paju project of Korea Land & Housing Corporation for the Field application of 80 MPa High Strength Fire Resistance Concrete.

References

1. Kim SH, Ji SW, Seo CH, An experimental study on the characteristics of internal pressure on pipeline in high pressure pumping for high-rise building, *Journal of the architectural institute of korea Structure & Construction*, 2007;23(12):149-156
2. Choi SM, Lee BS, Bae KS, Kim SY, Park SH, Rheological Characteristics of Fiber-Reinforced High-Strength AFR Concrete, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, 2009;21(1):543-544
3. Ko JH, Moon HJ, Seok WK, Park SJ, Kim HJ, A study on the 1:1 full scale core wall mock-up test of high strength concrete performed by testing pumpability, *Journal of the architectural institute of korea Structure & Construction*, 2008;24(8):203-210
4. Kim HY, Seo CH, An Experimental Study on the Physical Properties by Compressive Strength Areas of Concrete at High Temperature, *Journal of the architectural institute of korea Structure & Construction*, 2004;20(11):75-82
5. Kim WJ, Lee GC, Kim KK, Jung SJ, Lee JI, Kim HB, A study on 80MPa high strength concrete pumping for the construction of high rise buildings, *Proceeding Annual Conference of the Architectural institute of Korea Structure & Construction*, 2007;27(1):491-494
6. Song H, Chu YS, Lee JK, Strength and Deformation of High Strength Concrete in High Temperatures, *Proceeding Annual Conference of the Architectural institute of Korea Structure & Construction*, 2006;26(1):505-508
7. Sanjayan JG, Design against spalling of concrete in fire, *Proceeding of the First Korea-Australia Workshop on Recent Advance in high Performance Concrete*, 2005: 155-169
8. Han CG, Yang SH, Han MC, Pei CC, The Influence of Polymer Contents and Appearance on Spalling Prevention of High Strength Concrete, *Journal of the architectural institute of korea Structure & Construction* 2008;24(5):93-100