

## 고로슬래그 및 실리카흄을 혼입한 콘크리트의 양생온도에 따른 강도발현 특성

김선우 1), 박완신 2), 장영일 3), 윤송희 4), 윤현도 5), 김도겸 6)

### Effect of Curing Temperature on the Strength Development of Concrete containing Blast-Furnace Slag and Silica Fume

Sun-Wook Kim<sup>1)</sup>, Wan-Shin Park<sup>2)</sup>, Young-Il Jang<sup>3)</sup>, Song-Hui Yun<sup>4)</sup>, Hyun-do Yun<sup>5)</sup>, Do-Gyeum Kim<sup>6)</sup>

#### 요 약

본 연구에서는 일축압축시험 하에서 고로슬래그 및 실리카흄을 갖는 고성능콘크리트의 압축거동을 평가하고자 하였다. 고성능콘크리트의 압축강도 평가를 위해 총 3 가지의 물결합재비(0.40, 0.34 및 0.28)를 변수로 하였다. KSF2403 규정에 따라 100mm x 200mm의 원형공시체를 제작하였으며, 양생온도(20, 35, 및 50°C)에 따른 고성능콘크리트의 강도발현 특성을 평가하기 위하여 양생기간별(1, 7, 28 및 91 일) 압축강도를 측정하였다. 실험결과, 설계기준압축강도의 50% 및 67% 도달시까지는 물결합재비가 높을수록 강도발현속도에 미치는 양생온도의 영향이 크며, 양생온도와 강도발현속도는 비례하는 것으로 나타났으나, 설계기준압축강도의 67% 이후부터는 양생온도가 높아짐에 따라 오히려 느린 강도발현속도를 보였다. 따라서 고로슬래그 및 실리카 흄을 대체한 콘크리트의 양생시 설계기준압축강도의 67% 이하까지는 고온의 양생온도 적용을 통해 조기강도 발현을 꾀하고, 이후 설계기준압축강도의 100% 발현시까지는 20°C~35°C 사이의 적정온도 유지를 통해 강도발현속도를 조절하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

핵심어 : 고성능콘크리트(HPC), 압축강도, 고로슬래그, 실리카흄, 양생온도, 재령

Received(July 22, 2014), Review request(July 23, 2014), Review Result(1st: August 13, 2014, 2nd: August 28, 2014)

Accepted(December 10, 2014) Publish(December 31, 2014)

<sup>1</sup>305-764 Dept. of Construction Engineering Education, Chungnam National Univ. Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon, [Korea. email:sw.kim@cnu.ac.kr](mailto:sw.kim@cnu.ac.kr) <sup>2</sup>(Corresponding Author) 305-764 Dept. of Construction Engineering Education, Chungnam National Univ Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea.

[email:salshin@cnu.ac.kr](mailto:salshin@cnu.ac.kr)

<sup>3</sup>305-764 Dept. of Construction Engineering Education, Chungnam National Univ. Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea [email:jang1001@cnu.ac.kr](mailto:jang1001@cnu.ac.kr) <sup>4</sup>305-

764 Dept. of Construction Engineering Education, Chungnam National Univ. Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea [email:shdid36@nate.com](mailto:shdid36@nate.com)

<sup>5</sup>305-764 Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National Univ. Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea [email:wiseroad@cnu.ac.kr](mailto:wiseroad@cnu.ac.kr) <sup>6</sup>411-

712 Korea Institute of Construction Technology, Daehwa-dong, Ilsanseo-gu, Goyang, Korea [email:dgkim@kict.re.kr](mailto:dgkim@kict.re.kr)

\*이 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No.2011T100200161).

ISSN: 2383-5281 AJMAHS

Copyright © 2014 SERSC

### Abstract

In order to assess the compressive behavior of high performance concrete (HPC) that incorporates ground granulated blast-furnace slag (GGBS) and silica fume (SF), uniaxial compression tests were carried out in this study. For compressive strengths of HPC, three variable water-to-binder ratios (0.40, 0.34, and 0.28) were considered. Compressive strengths of the 100 mm x 200 mm cylinder specimens were determined in accordance with KS F 2403 The compression strength at each curing age (1, 7, 28, and 91 days) was measured to evaluate the strength development characteristic of HPC under different curing temperature (20, 35, and 50°C). Test results showed that the effect of curing temperature on the strength development of concrete increased as water-binder ratio higher provided that developed strength is lower 67% of the specified compressive strength. However, in the stage of strength beyond 67% of the specified compressive strength, the strength development rate went slow down as the curing temperature higher. Therefore, in the initial curing stage, high curing temperature is needed to accelerate the strength development rate, and the proper curing temperature between 20°C ~ 35°C is required for controlling the strength development rate of concrete.

Keywords : High performance concrete (HPC), Compressive strength, Blast Furnace Slag, Silica Fume, Curing temperature, Curing Age

## 1. 서론

최근 환경부하저감에 대한 지속적인 사회적 요구에 따라, 건설분야에서도 콘크리트에 플라이애시(FlyAsh, FA), 실리카 흙(Silica Fume, SF) 및 고로슬래그(Ground Granulated Blast-furnace Slag, GGBS) 등의 산업부산물을 재활용하여 콘크리트용 결합재로 사용되어 온 시멘트를 치환하고 자 하는 노력이 지속되고 있으며, 건설공사에 적용되고 있다. 특히, 플라이애시, 실리카 흙 및 고로 슬래그는 대표적인 포졸란(Pozzolan) 재료로서 수밀성 및 화학 저항성 증대, 초기응결 지연을 통한 수화열 저감, 장기강도 증대 등 콘크리트의 성능 향상을 위한 혼화재로 사용되고 있다[1-2]. 그러나 전술한 바와 같이 초기응결 지연으로 인한 조기강도 감소로, 거푸집 존치기간이 증대되는 등 공사 기간 지연 및 공사비 증가의 원인이 되고 있다. 이에 높은 양생온도 적용을 통해 초기 강도 및 내구성 확보를 위한 연구가 이루어지고 있다[3-5]. 그러나 기존 연구에서는 단일 산업부산물을 시멘트 치환재로 사용함으로써 최근 요구되고 있는 산업부산물의 복합적 적용에 따른 특성을 평가하기에는 부족한 실정이다. 이와 더불어, 인구의 밀집화로 인해 구조물의 대형화, 초고층화가 요구되고 있어, 고강도 콘크리트의 적용이 증가되는 추세이다. 그러나 콘크리트는 양생온도에 따라 결합재의 강도발현속도가 다른 실정임에도 불구하고, 플라이애시, 실리카 흙 및 고로슬래그 등을 복합적으로 혼화재로써 적용시 강도에 따른 콘크리트 특성 및 조기강도 발현을 위한 적정 양생온도 제시 등은 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 시멘트 대체재로써 실리카 흙 5%와 고로슬래그 65%를 함께 치환하여 혼입한 고강도 콘크리트의 양생온도에 따른 압축거동 특성을 실험적으로 평가하고자 한다. 또한 각 양생온도별 압축강도 발현특성을 비교·분석함으로써, 콘크리트 강도발현에 필요한 적정 양생온도를 평가함과 동시에 거푸집 존치기간 결정을 위해 소요강도별로 필요한 재령일을 제시하고자 한다.

## 2. 콘크리트 압축강도 실험

### 2.1 사용재료 및 배합

시멘트 중량의 5% 및 65%를 실리카 흙 및 고로슬래그로 치환한 55MPa 급 고강도 콘크리트를 제조하기 위해 사용된 재료 및 배합계획은 각각 표 1 및 표 2에 정리하여 나타내었으며, 콘크리트 배합은 그림 1의 과정을 통해 실시하였다.

[표 1] 사용재료의 물리적 특성  
[Table 1] Physical properties of materials

굵은골재 최대치수 (mm)	비중					잔골재 조립률
	시멘트	실리카흙	고로슬래그	굵은골재	잔골재	
20	3.15	2.32	2.94	2.77	2.68	2.85

[표 2] 콘크리트 배합  
[Table 2] Mix proportion of concrete

f <sub>ck</sub> (MPa)	W/B	S/a	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )						
			W	C	GGBS	SF	G	S	SP
40	40	43	155	116	252	19	1048	765	0.75
55	34	39	155	187	296	23	1033	670	0.70
70	28	39	155	166	360	288	1027	635	1.00



(a) 잔골재 투입

(c) 시멘트 투입 (d) 믹서 배합

(b) 굵은골재 투입

[그림 1] 콘크리트 배합과정  
[Fig. 1] Mix procedure for concrete

### 2.2 시험체 제작 및 양생방법

본 실험의 배합 및 타설 시 온도는 자온에 따른 초기 동결 및 응결 지연을 방지하기 위하여 5°C 이상으로 유지하였다. 콘크리트의 자령별 경화 후

압축 강도를 평가하기 위해 KS 201 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법에 준하여 100x200mm의 원주형 공시체를

제작하였다.



작성된 콘크리트 공시체는 그림 2 에 나타난 바와 같이 타설 1 일 후 탈형하여 목포 재령일동안 수중 양생하였으며,양생온도는 20℃,35℃ 및 50℃ 등 세가지로 계획하여 양생온도별 강도발현 특성을 실험적으로 평가하고자 하였다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 경화전 콘크리트

콘크리트의 경화전 특성을 평가하기 위한 슬럼프 플로우(Slumpflow)시험은 그림 3 에 나타난 바와 같이 시료를 제조한 직후 KSF2594 의 규정에 따라 측정하였다.또한,공기량(Aircontents) 측정은 KSF2421 에 준하여 그림 4 와 같이 실시하였으며,공기량의 변화를 배합 후 120 분까지 측정하였다.콘크리트의 경화전 특성을 평가한 결과,슬럼프 플로우에서는 워커빌리티 개선을 위해 SP 제를 비교적 많이 투입한 70MPa 급(W/B=0.28)을 제외하고,유사한 것으로 나타났다.또한,물결 함재비 감소에 따른 공기량은 다소 증가,초결 및 종결시간은 감소하는 경향을 보였다.

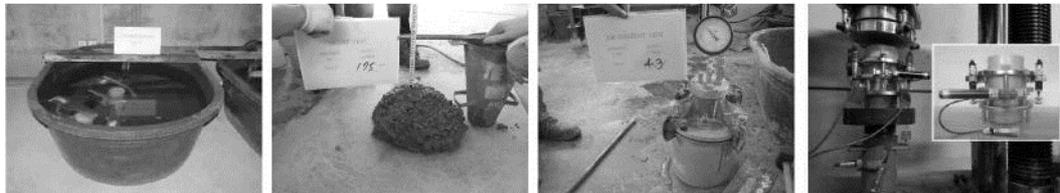
[표 3]경화전 콘크리트의 슬럼프 플로우,공기량 및 응결시간

[Table3]Slumpflow,aircontentsandtimeofsettingofconcretemixture  
Initial (hr : min) Final (hr : min)

f <sub>ck</sub> (MPa)	Curingtemperature (℃)	Slump (mm)	Flow (mm)	Aircontents (%)	Setting time of concrete mixture	
					Initial (hr : min)	Final (hr : min)
40	20	175	-	4.3	6:02	8:40
	(W/B=0.43)35				4:24	5:54
	50				3:01	3:17
55	20	170	-	4.7	6:15	8:30
	(W/B=0.34)35				3:56	5:24
	50				2:30	3:07
70 (W/B=0.28)	20	-	600	5.3	5:50	7:46
	35				3:18	4:59
	50				2:02	2:48

#### 2.3.2 경화후 콘크리트

경화후 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위하여,그림 5 에 나타난 바와 같이 KSF2405 의 시험 방법에 따라 3,000kN 용량의 UTM(UniversalTastingMachine,만능시험기)을 이용하여 그림 5 에 나타난 바와 같이 측정하였다.강도측정시 배합별 3 개 공시체에 대한 압축강도시험을 실시하였으며,압축강도 측정 재령일은 1 일,7 일,28 일 및 91 일로 하였다.



[그림 2]수중양생 [그림 3]슬럼프 시험 [그림 4]공기량 시험 [그림 5]압축강도시험  
[Fig.2]Watercuring [Fig.3]Slumptest [Fig.4]Slumptest [Fig.5]Compressivetest



### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 콘크리트 압축거동 특성

그림 6,7 및 8 은 물결합재비(W/B)0,43,0,34 및 0,28 로 배합된 콘크리트의 양생온도별 압축응 력-변형 관계곡선을 각각 나타낸 것이다,

##### 3.1.1 재령 1 일시 콘크리트 압축강도

물결합재비 0,43 인 경우 20℃에서 4,90- 5,65MPa,35℃에서 9,42- 9,50MPa,50℃에서 13,18- 15,82MPa 의 범위로 나타났고, 물결합재비 0,34 인 경우 20℃에서 17,91- 19,50MPa,35℃에서 10,17 - 10,59MPa,50℃에서 35,03 - 37,54MPa 의 범위로 나타났으며,물결합재비 0,28 인 경우 20℃에서 5,06- 5,52MPa,35℃에서 22,30- 23,64MPa,50℃에서 41,51- 42,10MPa 의 범위로 나타났다,

##### 3.1.2 재령 7 일시 콘크리트 압축강도

물결합재비 0,43 인 경우 20℃에서 29,13 - 30,84MPa,35℃에서 32,31 - 39,59MPa,50℃에서 33,23- 40,59MPa 의 범위로 나타났고, 물결합재비 0,34 인 경우 20℃에서 36,24- 37,24MPa,35℃에서 39,25 - 47,54MPa,50℃에서 40,72 - 44,73MPa 의 범위로 나타났으며,물결합재비 0,28 인 경우 20℃에서 38,96- 48,29MPa,35℃에서 52,64- 56,95MPa,50℃에서 55,78- 60,85MPa 의 범위로 나타났다,

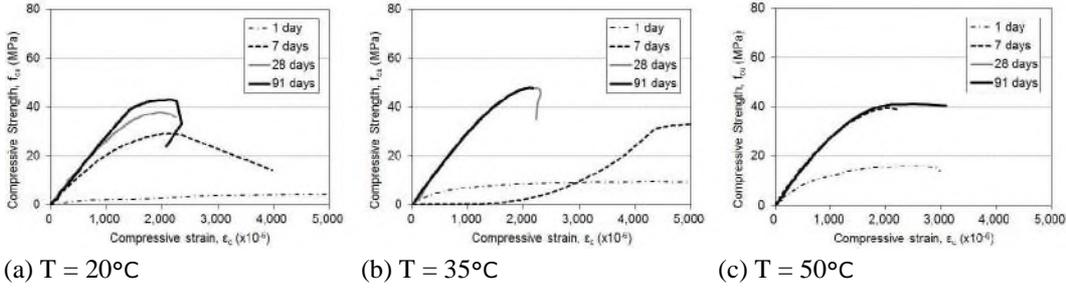
##### 3.1.3 재령 28 일시 콘크리트 압축강도

물결합재비 0,43 인 경우 20℃에서 34,82 - 41,68MPa,35℃에서 46,32 - 49,13MPa,50℃에서 39,67- 44,19MPa 의 범위로 나타났고, 물결합재비 0,34 인 경우 20℃에서 47,04- 55,82MPa,35℃에서 53,02 - 61,10MPa,50℃에서 46,87 - 50,22MPa 의 범위로 나타났으며,물결합재비 0,28 인 경우 20℃에서 59,25- 60,26MPa,35℃에서 51,39- 67,42MPa,50℃에서 57,41- 68,54MPa 의 범위로 나타났다,

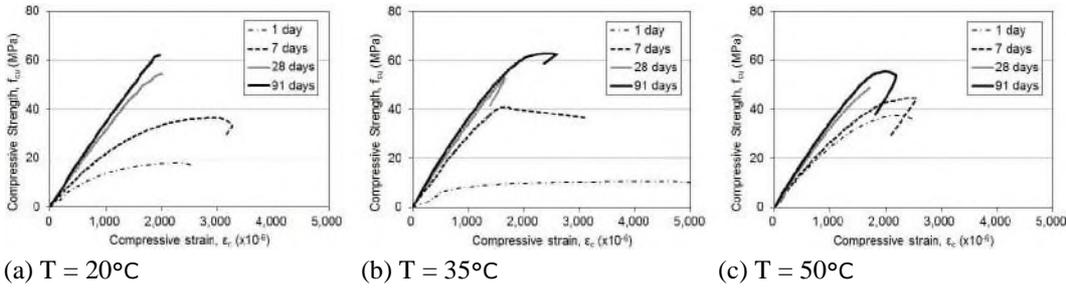
##### 3.1.4 재령 91 일시 콘크리트 압축강도

물결합재비 0,43 인 경우 20℃에서 40,38 - 44,15MPa,35℃에서 43,23 - 53,15MPa,50℃에서 35,23- 44,78MPa 의 범위로 나타났고, 물결합재비 0,34 인 경우 20℃에서 47,33- 63,77MPa,35℃에

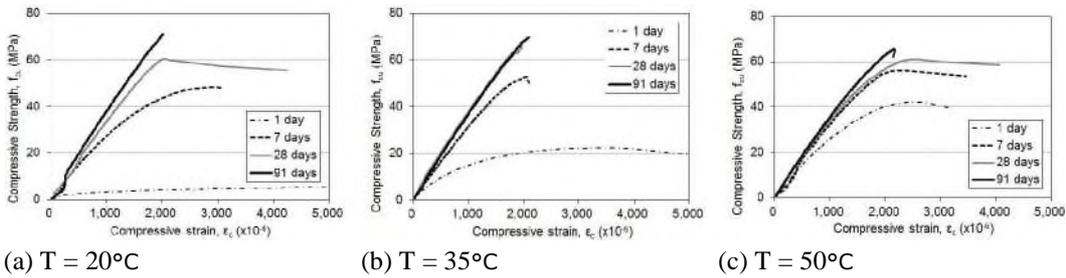
서 54,19 - 62,77MPa,50□에서 51,85 - 57,41MPa 의 범위로 나타났으며,물결합재비 0,28 인 경우 20□에서 64,86- 71,64MPa,35□에서 64,74- 69,63MPa,50□에서 61,56- 65,49MPa 의 범위로 나타났다,



[그림 6] 압축응력-변형곡선(W/B=0.43)  
 [Fig.6] Compressive strength-strain curve (W/B=0.43)



[그림 7] 압축응력-변형곡선(W/B=0.34)  
 [Fig.7] Compressive strength-strain curve (W/B=0.34)



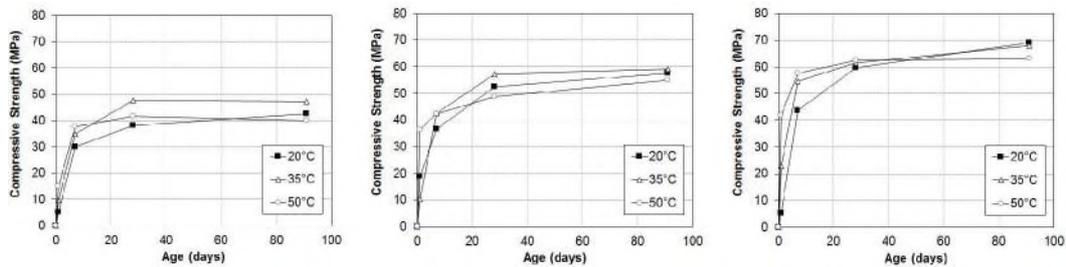
[그림 8] 압축응력-변형곡선(W/B=0.28)  
 [Fig.8] Compressive strength-strain curve (W/B=0.28)

### 3.2 콘크리트 압축강도 발현 특성

그림 9에 양생온도에 따른 재령별 평균 압축강도 발현 특성을 나타내었다. 그림 9(a)에 나타난 바와 같이 물결합재비 0.43인 경우 28일 압축강도는, 양생온도 35°C 및 50°C에서 각각 47.72 및 41.65 MPa로 나타나 목표강도인 40MPa를 만족하였으며, 양생온도 20°C인 경우는 91일 압축강도시

40.08MPa 을 보여 목표강도에 도달하였다.물결합재비 0.34 인 경우 28 일 압축강도는,양생온도 35℃ 에서 57.26MPa 로 나타나 목표강도인 55MPa 을 만족하였으며,양생온도 20℃ 및 50℃ 인 경우는 91

일 압축강도시 각각 57.72 및 54.92MPa 을 보여 목표강도를 만족 또는 거의 근접하게 강도발현이 이루어진 것으로 판단되었다.물결합재비 0.28 인 경우 28 일 압축강도는,모든 양생온도에서 목표강 도인 70MPa 의 85~90%를 보여 목표강도에 도달하지 못하였으며,91 일 압축강도시 양생온도 20℃, 35℃ 및 50℃에서 각각 99%,97% 및 90%를 나타내어 양생온도가 높을수록 28 일 이후 강도발현속 도가 지연되었다.이는 온도가 높아짐에 따라 수화반응이 촉진되는 것이 일반적이나,기존 연구[6] 에 나타난 바와 같이 물결합재비가 낮은 경우 초기에 수화생성물이 대량 생산됨에 따라 모세관 공 극이 밀실하게 충전되어 공극의 직경이 작아져 재령일이 경과됨에 따른 강도발현속도 저하를 야기 한 것으로 판단 되었다.



(a) W/B = 0.43 (b) W/B = 0.34 (c) W/B = 0.28

[그림 9]재령일에 따른 압축강도 발현

[Fig.9]Compressivestrengthdevelopmentwithage

### 3.3 소요강도 확보를 위한 요구 재령일 평가

콘크리트는 양생온도에 강도발현속도가 다르며,이와 같이 양생온도에 따른 콘크리트의 장기강도를 예측하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다[7-9].특히 콘크리트의 장기강도 예측에 필요한 속도상수(rateconstant,h-1)은 강도발현이 시작된 시점으로부터 설계기준압축강도의 50%에 도달하는 시점까지의 시간(hour)으로 산정하고 있다[7].또한 건축공사표준시방서는,건설공사에서 시공기간 및 경제성에 직접적 영향을 미치는 수평재 거푸집(슬래브,보 하부)존치기간은 설계기준 강도의 2/3(67%)이상 또는 14MPa 이상,동바리 해체시기는 설계기준강도의 100% 이상으로 규정하고 있다[10].

본 연구에서는 상기와 같이 콘크리트 압축강도의 50%,67% 및 100% 발현에 소요되는 재령일을 양생온도에 따라 그림 10 에 나타내었다.그림 10(a)및 10(b)에 나타난 바와 같이,소요강도가 50% 및 67%인 경우에는 물결합재비가 높을수록 강도발현속도에 미치는 양생온도의 영향이 크며,양생 온도가 높을수록 강도발현속도가 빨라지는 것으로 나타났다.그러나 그림 10(c)와 같이 물결합재비

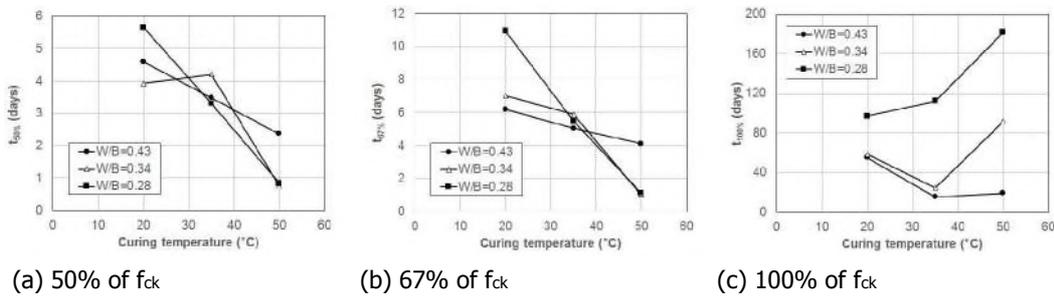


가 0.28 인 경우,설계기준강도의 67% 이후부터는 양생온도가 높아짐에 따라 오히려 강도발현속도가 느려지는 것으로 나타났다.이러한 경향은 물결합재비 0.34 인 콘크리트가 50℃의 양생온도 하에

서 경화될 경우에도 나타났으며,물결합재비가 비교적 높은 0.43 인 경우에는 35℃ 이상의 양생온도

시 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

따라서 고로슬래그 및 실리카 흙을 대체한 콘크리트의 양생시 설계기준압축강도의 67% 이하까 지는 고온의 양생온도 적용을 통해 조기강도 발현을 꾀하고,이후 설계기준압축강도의 100%발현 시까지는 20℃~35℃사이의 적정온도 유지를 통해 강도발현속도를 조절하는 것이 필요한 것으로 사료된다.



[그림 10]소요강도 확보를 위한 재령일

[Fig.10]Curingageneededforrequiredcompressivestrength

#### 4. 결론

본 연구에서는 고로슬래그 및 실리카 흙을 혼화재로 사용한 고강도 콘크리트의 압축강도 발현속도를 물결합재비 및 양생온도에 따라 실험적으로 평가하였으며,실험결과를 아래와 같이 정리하여 나타내었다.

- 1)고성능콘크리트의 경화전 특성을 평가한 결과,슬럼프 플로우는 워커빌리티 개선을 위한 SP제의 영향을 많이 받으며,물결합재비와 공기량은 반비례하였으며,초결 및 종결시간은 물결합재비 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2)물결합재비 0.43 인 경우 28 일 압축강도는,양생온도 35℃ 및 50℃에서 목표강도인 40MPa 을 만족하였으며,양생온도 20℃인 경우는 91 일 압축강도시 목표강도에 도달하는 등 양생온도가 높을수록 빠른 강도발현속도를 나타내었다.물결합재비 0.34 인 경우 28 일 압축강도는,양생온도 35℃에서 목표강도인 55MPa 을 만족하였으며,양생온도 20℃ 및 50℃인 경우는 재령 91 일 에서 목표강도를 만족하는 등 강도발현을 위한 적정 양생온도의 필요성을 확인할 수 있었다.
- 3)물결합재비 0.28 인 경우 28 일 압축강도는,모든 양생온도에서 목표강도에 도달하지 못하였으



며, 91 일 압축강도시 양생온도가 높을수록 28 일 이후 강도발현속도가 지연되었다. 이는 물결 합재비가 낮은 경우 고온양생의 영향을 받아 초기에 수화생성물이 대량 생산됨에 따라 모세 관 공극이 밀실하게 충전되어 공극의 직경이 작아져 재령일이 경과됨에 따른 강도발현속도는 양생온도가 높아짐에 따라 오히려 저하되는 것으로 판단되었다.

- 4) 설계기준압축강도의 50% 및 67% 도달시까지는 물결합재비가 높을수록 강도발현속도에 미치는 양생온도의 영향이 크며, 양생온도와 강도발현속도는 비례하는 것으로 나타났으나, 설계기준압축강도의 67% 이후부터는 양생온도가 높아짐에 따라 오히려 느린 강도발현속도를 보였다. 따라서 고로슬래그 및 실리카 흙을 대체한 고성능콘크리트의 양생시 설계기준압축강도의 67% 이하까지는 고온의 양생온도 적용을 통해 조기강도 발현을 피하고, 이후 설계기준압축강도의 100% 발현시까지는 20℃~35℃ 사이의 적정온도 유지를 통해 강도발현속도를 조절하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

### References

- [1] Architectural Institute of Korea, Building Construction Technology, Seoul (2010).
- [2] Sang-Cheol Kim, Ho-Suk Yu. Structural Appliance and Domestic Usage of Silica Fume. Proceedings of Korea Concrete Institute: Forum for Silica Fume & Durability, (2001) November 10; Seoul, Korea.
- [3] Pietro Lura, Klaas van Breugel and Ipppei Maruyama, Effect of curing temperature and type of cement on early-age shrinkage of high-performance concrete, Cement and Concrete Research. (2001), Vol.31, pp.1867– 1872.
- [4] Kyoung-Taek Koh, Hai-Moon Cheong, Gi-Won Yoon and Jang-Hwa Lee, Properties of Concrete to Curing Temperature, Journal of Korea Concrete Institute. (2005), Vol.17, No.1, pp.22-27.
- [5] Chi-Hwan Yoon, Kwang-Sul Lee, Min-Cheol Han, Ki-Cheol Kim and Cheon-Goo Han. A Study on the Strength Development of Concrete Contained with Fly Ash under Various Curing Temperature. Proceedings of Architectural Institute of Korea, (1999) April 24; Seoul, Korea.
- [6] Han-Yong Lee, Kyung-Yong Nam, Jung-Soo Ha and Nam-Gi Lee, An Experimental Study on Compressive Strength Properties of High Temperature Curing Method on High-strength Concrete, Journal of Architectural Institute. (2014), Vol.30, N.10, pp.29-36.
- [7] S.J. Barnett, M.N. Soutsos, S.G. Millard and J.H. Bungey, Strength development of mortars containing ground granulated blast-furnace slag: Effect of curing temperature and determination of apparent activation energies, Cement and Concrete Research. (2005), Vol.36, pp.434-440.
- [8] Jin-Keun Kim, Yeong-Ho Moon, Joo-Kyung Yang and Yeong-Chel Song, Later-Age Strength Prediction of Concrete with Curing Temperature, Journal of Korea Concrete Institute. (1998), Vol.10, No.3, pp.153-164.
- [9] Sang-Hun Han, Jin-Keun Kim and Eun-Ik Yang, Effect of Curing Temperature and Aging on the Mechanical Properties of Concrete (II): Evaluation of Prediction Models, Journal of Korea Concrete Institute. (2000), Vol.12, No.6, pp.35-42.
- [10] Architectural Institute of Korea, Korean Architectural Standard Specification, Seoul (2013).