

## 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 강도 발현 예측 모델식 연구

### A Study on Estimation Model of Strength Development of Concrete Using Fly Ash and Ground Granulated Blast-Furnace Slag

최연왕<sup>1)\*</sup>      박만석<sup>2)</sup>      정재권<sup>3)</sup>      최병걸<sup>4)</sup>      김경환<sup>5)</sup>  
Yun-Wang Choi      Man-Seok Park      Jae-Gwon Jeong      Byung-Geol Choi      Kyung-Hwan Kim

#### Abstract

Recently, the amount of the mineral admixture including fly ash and ground granulated blast-furnace slag was increased for the purpose of CO<sub>2</sub> gas emission reduction in the concrete industry. However, in the case of Korea, estimation model of strength development in concrete structural design code was prescribed a constant value according to cement type and curing method about the portland cement. Therefore, the properties of strength development according to time of concrete using fly ash and ground granulated blast-furnace slag does not reflected estimation model of strength development.

Accordingly, this paper was evaluated strength according to time on the concrete strength range using fly ash and ground granulated blast-furnace Slag and the strength development constant  $\beta_{sc}$  of concrete according to the kind of the mineral admixture and mixing ratio was proposed.

Keywords : Fly ash, Ground granulated blast-furnace slag, Strength development model, Early strength

#### 1. 서론

최근 플라이애시 및 고로슬래그의 발생량은 2011년 기준으로 각각 910만톤 및 1,360만톤 정도가 배출되었으며, 2011년 플라이애시 및 고로슬래그의 재활용률을 살펴보면 레미콘 혼화재와 시멘트의 부원료로서 약 69% 및 63%가 재활용되고 있다. 또한 레미콘 공장에서의 포틀랜드시멘트에 대한 대체율은 플라이애시 및 고로슬래그의 경우 각각 10~15% 및 30~45% 수준으로 사용되고 있다. 이러한 플라이애시 및 고로슬래그의 발생량은 발전설비 증대 및 철강생산량 증가로 인하여 향후 지속적으로 증가될 것으로 예측됨에 따라 이에 대한 활용 및 대처방안이 요구되고 있는 실정이다 (Cho, 2012).

한편 세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화문제로 체결

된 교토의정서에 의하여 세계 각국은 온실가스 감축의무를 준수해야 한다. 현재 시멘트 산업에서 배출되는 이산화탄소는 전 세계 온실가스의 배출량의 7~8%를 차지하고 있으며, 국내의 경우 연간 5,670만 톤으로 추정되고 있다 (Lee, 2009). 정부에서는 온실가스 문제해결을 위한 방안으로 녹색성장을 실현하기 위하여 2008년 저탄소 녹색성장계획을 선포하였으며, 2009년 12월 녹색성장위원회에서 국내 온실가스 감축 목표를 수립하면서 2020년까지 국가 온실가스 총 배출량을 배출전망치 대비 30% 감축하기로 결정하였다. 또한, 2010년 4월 저탄소 녹색성장 기본법이 시행되었으며, 2011년 국토해양부는 레미콘, 아스콘 품질관리 지침을 개정하여 일반콘크리트의 경우 플라이애시는 25% 이하, 고로슬래그 미분말은 50% 이하로 혼합률을 규정하여 플라이애시 및 고로슬래그의 활용확대를 위한 근거 등이 마련됨으로써 기존의 포틀랜

1) 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수, 교신저자  
2) 정회원, 세명대학교 건설공학과 박사과정  
3) 정회원, 한국시설안전공단 특수교 통합유지관리센터 사원  
4) 정회원, 세명대학교 건설공학과 박사과정  
5) 정회원, 세명대학교 건설공학과 박사과정

\* Corresponding author : crete77@semyung.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Chemical compositions and physical properties of opc and mineral admixtures

Type \ Item	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Insol. (%)	LOI (%)	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
OPC	61.4	21.6	6.0	3.4	3.1	2.5	0.2	1.12	3,540	3.15
FA	6.5	58.2	26.2	1.1	7.4	0.3	-	3.20	3,550	2.18
GGBF	42.1	33.3	15.3	5.7	0.4	2.0	-	0.02	4,160	2.90

드시멘트에 대한 소비량을 저감하기 위하여 노력하고 있다 (ministry of land, transport and maritime affairs, 2011).

이러한 상황에서 플라이애시 및 고로슬래그의 혼합은 콘크리트의 역학 및 내구적 특성에 영향을 미치는 것으로 보고 되고 있다. 특히, 콘크리트의 압축강도에 영향을 미치며 혼합물 증가에 따라 초기강도가 저하된다. 콘크리트의 강도 중 초기강도는 건설구조물의 설계뿐만 아니라 현장 콘크리트 거푸집 탈형시기에 중요한 요인이며, 실제로 콘크리트 시공 현장에서는 주요 공기예측의 요소로 사용되고 있다. 그러나 국내 콘크리트 강도 예측을 위하여 사용되고 있는 “콘크리트 구조설계기준 (이하 KCI 기준으로 약함)”의 경우 콘크리트의 강도 발현특성을 위한 예측식은 시멘트 상수값  $\beta_{sc}$ 가 포틀랜드시멘트 및 양생온도에 따라 구분됨으로써 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등의 혼화재를 혼합한 콘크리트의 강도 발현 특성을 반영하고 있지 못하는 실정이다.

또한 KCI 기준에서 사용하고 있는 시간에 따른 강도발현 모델식은 유럽설계기준 (이하 EC2로 약함) 모델식에 미국 설계기준 (이하 ACI 209R로 약함)의 시멘트 상수 값을 인용하여  $\beta_{sc}$  값을 규정함에 따라 국내 포틀랜드시멘트의 재료특성을 충분히 반영하지 못한 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 콘크리트 시공 현장에서 점차 사용량이 증가하고 있는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 혼화재로 사용한 보통강도 및 고강도 콘크리트를 제조하여 시간에 따른 압축강도 발현특성을 비교 검토를 통한 수정상수  $k_n$  값을 제안하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

#### 2.1.1 시멘트 및 혼화재

시멘트는 밀도 3.15 g/cm<sup>3</sup>의 보통포틀랜드시멘트 (이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 혼화재 혼합물에 따른 강도 발현특성을 알아보기 위하여 콘크리트 배합시 플라이애시 (이하, FA로 약함) 및 고로슬래그 (이하, GGBF로 약함)를

사용하였다. Table 1은 사용된 시멘트 및 혼화재의 화학성분 및 물리적 성질을 나타낸 것이다.

#### 2.1.2 골재 및 화학 혼화재

잔골재는 밀도 2.57 g/cm<sup>3</sup>의 낙동강산 강모래 (이하 S로 약함)를 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.68 g/cm<sup>3</sup> 및 굵은골재 최대치수 20 mm인 석회암질 부순골재 (이하 G로 약함)를 사용하였다. 또한 콘크리트 목표 슬럼프 및 공기량 확보를 위하여 폴리칼본산계 고성능감수제 (이하 SP로 약함) 및 공기연행제를 사용하였다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 콘크리트 배합

혼화재 혼합물에 따른 콘크리트의 압축강도를 평가하기 위하여 콘크리트 강도 수준 및 플라이애시와 고로슬래그 미분말 등의 혼합물을 변화시켜 배합을 실시하였다. 목표 슬럼프 및 목표 공기량은 각각 150±20 mm 및 4.5±1.5%로 선정하여 실험을 실시하였으며, 실험조건과 환경조건 등의 변수를 최소화 하였다. Table 2 및 3은 물/결합재비 (이하 W/B로 약함) 및 혼화재 혼합물 (FA : 15 및 30%, GGBF : 25 및 50% wt.)을 변화시킨 보통강도 ( $f_{ck} = 24, 30$  MPa) 및

Table 2 Mixing proportion of normal strength concrete

$f_{ck}$	Type	W/B (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )						SP (B×%)
			W	OPC	GGBF	FA	S	G	
24 MPa	OPC	50	180	360	-	-	798	938	0.35
	FA15		180	306	-	54	789	928	0.25
	FA30		180	252	-	108	780	917	0.25
	GGBF25		180	270	90	-	795	935	0.25
	GGBF50		180	180	180	-	792	931	0.25
30 MPa	OPC	42	175	417	-	-	749	955	0.30
	FA15		175	354	-	63	739	942	0.30
	FA30		175	292	-	125	729	929	0.40
	GGBF25		175	313	104	-	746	950	0.30
	GGBF50		175	209	209	-	742	946	0.40

Table 3 Mixing proportion of high strength concrete

$f_{ck}$	Type	W/B (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )						SP (B×%)
			W	OPC	GG BF	FA	S	G	
40 MPa	OPC	37	170	459	-	-	690	994	0.40
	FA15		170	390	-	69	688	991	0.40
	FA30		170	321	-	138	670	964	0.35
	GGBF25		170	390	69	-	688	991	0.40
	GGBF50		170	229	229	-	684	984	0.35
60 MPa	OPC	28	170	607	-	-	609	993	0.60
	FA15		170	516	-	91	596	972	0.60
	FA30		170	425	-	182	584	952	0.58
	GGBF25		170	515	91	-	606	989	0.60
	GGBF50		170	303	303	-	601	980	0.58

고강도 ( $f_{ck} = 40, 60$  MPa) 콘크리트 배합표를 나타낸 것이다.

### 2.2.2 압축강도 시험

콘크리트의 압축강도 시험 방법은 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, 시험용 공시체는 Ø100×200 mm 원주형 몰드에 2층 15회 다짐을 하였다. 또한, 20±2°C의 양생수조에서 재령 28일까지 표준 양생을 실시하여 KS F 2405에 따라 각 재령별로 압축강도를 측정하였다.

## 3. 콘크리트의 강도 발현 모델식

Table 4는 국내외에서 사용되고 있는 시간에 따른 콘크리트의 압축강도 모델식을 나타낸 것이다.

유럽의 경우 EC2 설계기준의 경우 시멘트 종류에 따른 상수값  $s$ 를 시멘트의 종류에 상관없이 시멘트 강도발현 속도를 가지고 Class R (0.20), Class N (0.25), Class S (0.38)로 규정하고 있다 (BS EN 1992-1-1, 2004).

한편, 미국의 ACI 209R의 설계기준의 상수값  $\alpha, \beta$  및 국내의 KCI 설계기준의 상수값  $\beta_{sc}$ 는 시멘트 종류 및 양생 조건에 따른 상수값으로 나타내었으며, 특히 KCI 설계기준은 EC2 설계기준의 모델식에 ACI 209R에서 제시되고 있는 시멘트 상수값  $\alpha, \beta$ 를 그대로 인용하고 있는 형태를 취하고 있다 (Portland Cement Association; Korean Concrete Institute). 이와 같이 국내 시멘트 규격에는 유럽의 경우와는 달리 시멘트의 강도발현 속도에 대한 분류가 없기 때문에 KCI 설계기준은 콘크리트 배합시 플라이애시 및 고로슬래그 등의 혼화재를 혼합할 경우 이에 대한 재료 특성을 반영하지 못하고 있다.

Table 4 The model of compressive strength development

Type	Models of compressive strength (MPa)
ACI 209R	$(f'_c)_t = \frac{t}{\alpha + \beta \cdot t} (f'_c)_{28}$
	$\alpha: 4.0 \quad \beta: 0.85 \quad (\text{Type} - 1, \text{wet curing})$
	$\alpha: 2.3 \quad \beta: 0.92 \quad (\text{Type} - 3, \text{wet curing})$
	$\alpha: 1.0 \quad \beta: 0.95 \quad (\text{Type} - 1, \text{steam curing})$
	$\alpha: 0.7 \quad \beta: 0.98 \quad (\text{Type} - 3, \text{steam curing})$
EC 2	$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$
	$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$ $S: a \text{ coefficient which depends on the type of cement}$ $= 0.20 (\text{Class R}), 0.25 (\text{Class N}), 0.38 (\text{Class S})$
KCI	$f_{cu}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cu}$
	$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{\beta_{sc} \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$
	$\beta_{sc}: a \text{ coefficient which depends on the type of cement and curing conditions}$
	$= 0.35 (\text{type} - 1, \text{wet curing}), 0.15 (\text{type} - 1, \text{steam curing})$ $= 0.25 (\text{type} - 3, \text{wet curing}), 0.12 (\text{Type} - 3, \text{steam curing})$ $= 0.40 (\text{type} - 2)$

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 혼화재 혼합물에 따른 강도발현 특성

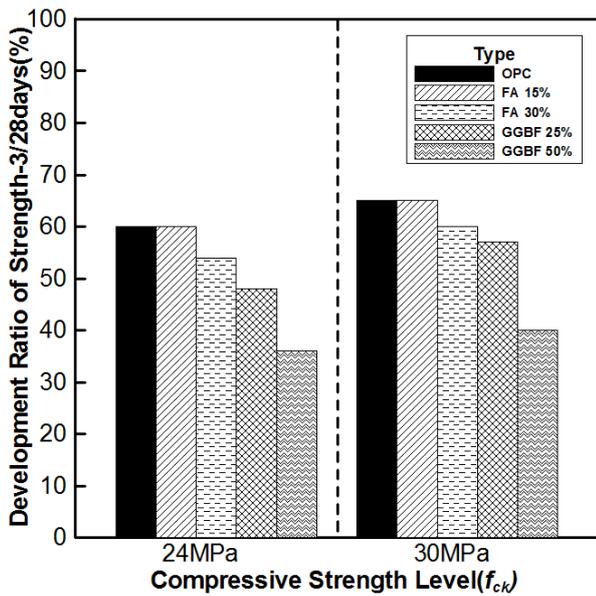
#### 4.1.1 혼화재 혼합물에 따른 압축강도

혼화재 혼합물에 따른 압축강도 발현 특성을 알아보기 위하여 재령 28일에 대한 3일 강도의 발현율을 나타낸 것이 Fig. 1이다. Fig. 1에 따르면 보통강도 영역의 경우 28일에 대한 3일강도 발현율은 OPC와 비교하여 FA 15%는 동등한 수준을 나타냈지만, FA 30%는 약 5% 정도 감소하는 경향이 나타났다. 또한, GGBF는 OPC와 비교하여 GGBF 25% 및 50%에서 각각 약 10% 및 24% 감소하는 경향이 나타났다. 고강도 영역의 경우 28일에 대한 3일강도 발현율은 OPC와 비교하여 FA 15% 및 30%는 각각 약 8% 및 15% 정도 감소하는 경향이 나타났으며, GGBF 25% 및 50%에서 각각 약 9% 및 28% 감소하는 경향이 나타났다.

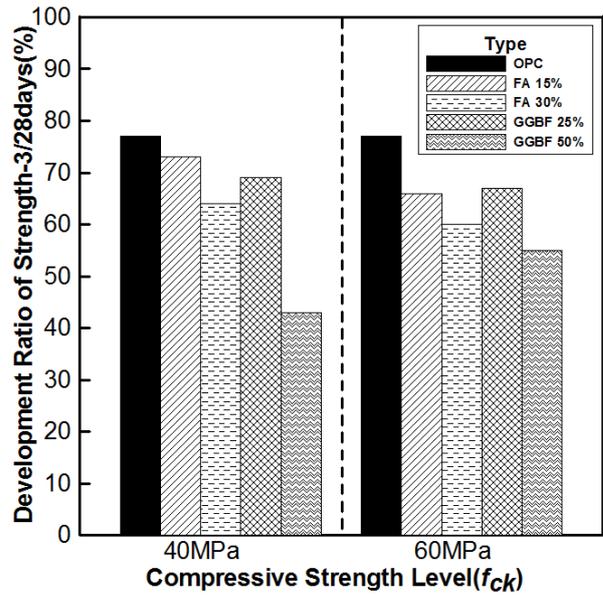
이러한 결과를 통하여 FA 및 GGBF를 혼합한 모든 배합에서 혼화재 혼합물 증가에 따라 재령 28일에 대한 재령 3일 강도 발현율은 감소하는 것으로 나타났다.

#### 4.1.2 혼화재 혼합물에 따른 콘크리트 강도발현 상수

혼화재 혼합물에 따른 콘크리트의 강도 발현 상수값  $\beta_{sc}$



(a) normal strength concrete



(b) high strength concrete

Fig. 1 Ratio of 3 days strength for 28 days strength

를 제안하기 위하여 재령별 콘크리트의 강도발현 속도  $\beta_{cc}$  를 이용하여 콘크리트 강도발현 상수값  $\beta_{sc}$  을 나타낸 것이 Fig. 2(a)~(e)이다. OPC만을 결합재로 사용한 배합을 나타낸 Fig. 2(a)에 따르면, 국내에서 사용되는 OPC는 KCI 설계기준에서 사용되는 1종 습윤양생의 상수값인  $\beta_{sc}$  0.35와 비교하여  $\beta_{sc}$  값이 0.18로 나타났다. 이러한 결과를 통하여 국내에서 사용되는 강도 발현식의 강도 발현율은 실제의 경우보다 작게 평가되는 것으로 판단된다.

또한, FA 2수준 (FA 15% 및 30%) 및 GGBF 2수준 (GGBF 25% 및 50%)으로 혼합한 Fig. 2(b), (c), (d) 및 (e)에 따르면, 콘크리트 강도발현 상수값  $\beta_{sc}$  는 FA의 경우 각각 0.22 및 0.29로, GGBF의 경우 각각 0.27 및 0.39로 OPC 0.18보다  $\beta_{sc}$  값이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 5는 실험을 통하여 얻어진 각 배합에 대한 콘크리트의 강도 발현 상수값  $\beta_{sc}$  와 콘크리트 조기강도에 대한 오차율을 나타낸 것이다. Table 5에 따르면, 실험을 통하여 얻어진  $\beta_{sc}$  와 조기강도의 평균 오차율은 2.3% 이내로 신뢰성을 확보한 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 혼화재 혼합률 증가에 따라 콘크리트의 강도발현 속도  $\beta_{cc}$  는 감소하는 것으로 나타났으며, 콘크리트의 강도 발현 상수값  $\beta_{sc}$  는 증가하는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통하여 KCI 설계 기준에서 제시되고 있는 시멘트 종류 및 양생조건에 따른 상수값  $\beta_{sc}$  는 국내 콘크

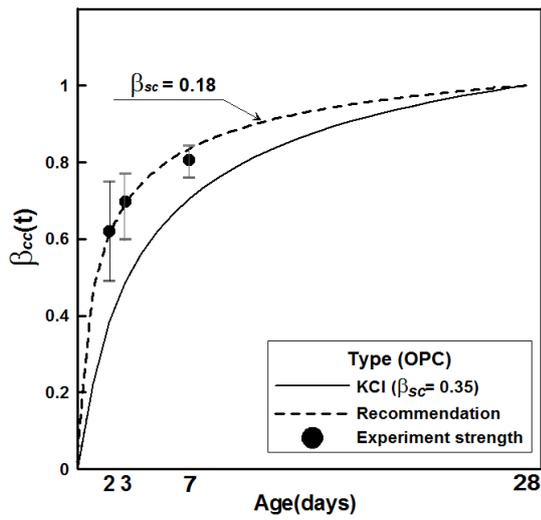
리트 현장에서 사용되고 있는 플라이애시 및 고로슬래그 등의 혼화재에 대한 재료 특성을 반영하지 못하는 것으로 판단됨에 따라 혼화재를 사용한 콘크리트의 경우에도 적용 가능한  $\beta_{sc}$  값이 요구될 것으로 판단된다.

#### 4.2 혼화재 혼합률에 따른 강도 발현 모델식 제안

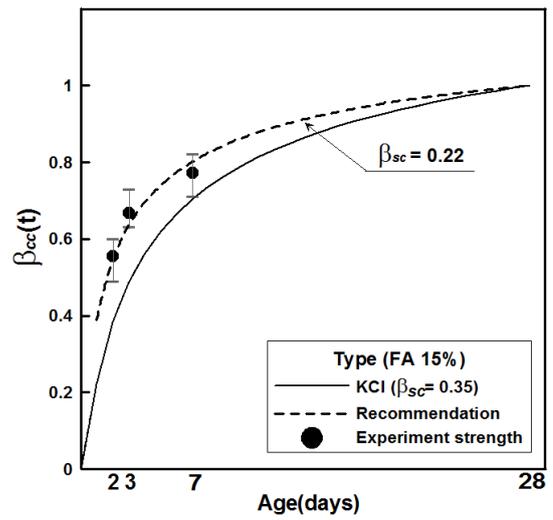
국내 콘크리트의 시간에 따른 강도 발현식을 본 연구에서 제시한 새로운  $\beta_{sc}$  로 수정하기 위하여 기존 1종 포틀랜드시멘트의  $\beta_{sc}$  에 혼화재의 종류 및 혼합률에 따라 시멘트 강도 발현 상수를 수정한 것이 식 (1)이다. 식 (1)의 수정상수  $k_n$  은 재령 28일에 대한 재령 3일의 압축강도로부터 얻어진 콘크리트 강도발현속도  $\beta_{cc}(t)$  로부터 역산하여 산정하였다. 시멘트 강도 발현 상수값  $\beta_{sc}$  를 수정한 이유는 국내 콘크리트 구조설계시 기존의 강도 발현 모델식이 미국 ACI 209R 기준에서 사용되고 있는 시멘트 상수값을 수정, 보완없이 차용하였으며, 포틀랜드시멘트 종류 및 콘크리트 양생 방법을 기준으로 작성되었기 때문이다.

$$f_{cu}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cu} \quad (1)$$

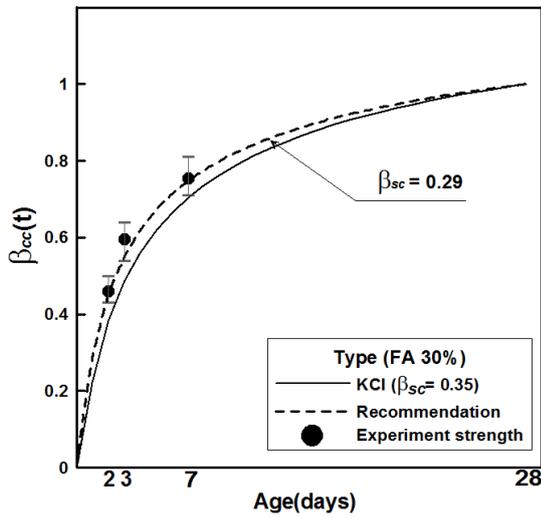
$$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{\beta_{sc} \cdot k_n \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{1/2}\right]\right\}$$



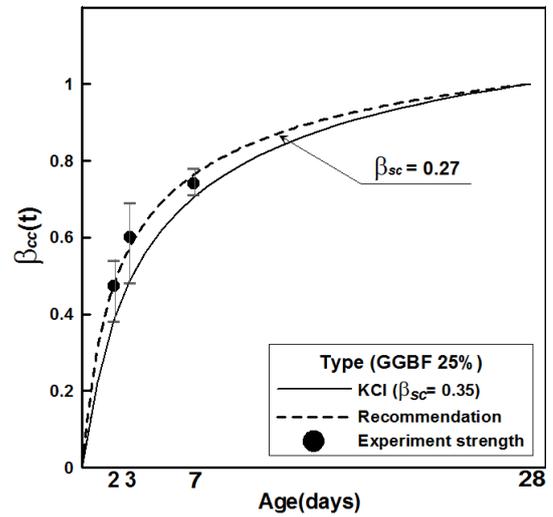
(a) OPC



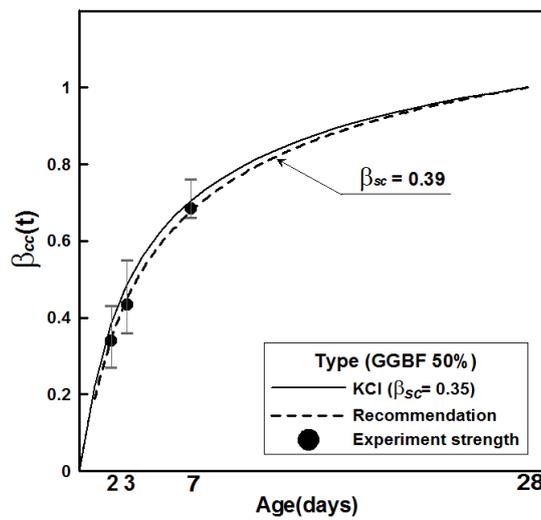
(b) FA 15%



(c) FA 30%



(d) GGBF 25%



(e) GGBF 50%

Fig. 2  $\beta_{cc}(t)$  on the mineral admixture

Table 5  $\beta_{sc}$  and measuring efficiency on the early strength

Item	Strength development constant ( $\beta_{sc}$ )	Measuring efficiency (%)				
		2days	3days	7days	aver.	
OPC	0.18	0.9	0.6	2.9	1.5	
FA	15%	0.22	0.7	3.1	3.0	2.3
	30%	0.29	0.8	4.4	0.6	1.9
GG	25%	0.27	0.2	2.8	2.0	1.7
BF	50%	0.39	0.3	1.3	0.7	0.8

$\beta_{sc}$  : 기존 포틀랜드시멘트의 강도발현상수 (0.35, 1종시멘트)

$k_n$  : 수정상수

= 0.51 (1종 포틀랜드 시멘트)

= 0.63 (플라이애시 = 15%)

= 0.83 (플라이애시 = 30%)

= 0.77 (고로슬래그 미분말 = 25%)

= 1.11 (고로슬래그 미분말 = 50%)

## 5. 결론

본 논문은 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 시간에 따른 압축강도 발현 특성을 비교검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 국내 콘크리트 구조설계기준의 시멘트 종류 및 양생조건에 따른 상수값  $\beta_{sc}$ 는 실제 현장에서 사용되고 있는 1종 보통포틀랜드시멘트와 비교하여  $\beta_{sc}$  값이 높게 나타났다으며, 플라이애시 및 고로슬래그 등의 혼화재를 혼합한 경우에서도 큰 차이가 나타나 국내 재료특성을 반영하기 위한 모델로서 적합하지 않은 것으로 판단된다.
- (2) 시멘트의 품질 및 혼화재의 종류 등의 국내 재료 특성을 반영한 콘크리트 강도 발현 예측을 위하여 수정상수  $k_n$ 를 1종 포틀랜드 시멘트는 0.51, 플라이애시 15% 및 30%의 경우 각각 0.63 및 0.83, 고로슬래그 미분말 25% 및 50%의 경우 각각 0.77 및 1.11로  $\beta_{sc}$ 에 대하여 보정하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안된 콘크리트 강도발현 상수  $\beta_{sc}$ 에 대한 수정상수  $k_n$ 를 혼화재의 사용 범위에 따라 적용할 경우 혼화재를 사용한 콘크리트의 강도발현 예측이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (20111010100030).

## References

1. BS EN 1992-1-1, Eurocode 2, The British Standards Institution, 2004.
2. Cho, B. S., Lee, H. H., Kim, G. Y., "Status and Prospects of Recycling Blast Furnace Slag", Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, 2012, pp.9-12 (in Korean).
3. Choi, J. W., Kim, W., Jung, H. S., "Performance Based Design Code for Concrete Structures", Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol. 20, No. 1, 2008, pp.27-31 (in Korean).
4. Choi, Y. W., Jeong, J. G., Kim, K. H., Park, M. S., Lee, K. M., Kim, J. S., "The Field Suitability Evaluation of Concrete Strength Development Constant", Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers, 2011, pp.1380-1383 (in Korean).
5. Choi, Y. W., Jeong, J. G., Lee, K. M., Choi, W., Eom, J. H., Park, M. S., "The Properties of Early Strength of Concrete for the Performance based Concrete", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 21, No. 2, 2009, pp.253-254 (in Korean).
6. Choi, Y. W., Jeong, J. G., Lee, K. M., Kim, J. S., Jeong, S. H., Moon, J. H., "A Study on Appropriacy of Cement Constant Considering Strength Development of Domestic Concrete", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 22, No. 1, 2010, pp.321-322 (in Korean).
7. Kim, J. S., Lee, K. M., Choi, Y. W., Jung, S. H., Moon, J. H., "Development of Concrete Material Models for Performance-Based Design Code", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 20, No. 2, 2008, pp.975-978 (in Korean).
8. Kong, J. S., Lee, H., Lee, D. H., Park, S. K., Park, D. H., "Performance Based Design codes and Examples", Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 18, No. 2, 2006, pp.921-924 (in Korean).
9. Korean Concrete Institute, "Korea Structural Concrete Design Code", 2011 (in Korean).
10. Lee, J. H., "The application plan of the high performance material for the green growth", Korean Society of Architectural Hybrid System Seminar, 2009 (in Korean).
11. Ministry of land, transport and maritime affairs, "quality control guidelines for the remicon and ascon", 2011 (in Korean).
12. Portland Cement Association, Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Edition, 1988.

Received : 03/26/2013

Revised : 06/05/2013

Accepted : 06/10/2013

---

## 요 지

최근 콘크리트 산업은 CO<sub>2</sub> 가스 배출 저감을 목적으로 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등의 혼화재 사용량이 증가되고 있다. 그러나 국내의 경우 구조설계기준에서 사용되고 있는 강도 발현 예측 모델은 시멘트 종류 및 양생방법에 따른 상수값  $\beta_{sc}$ 를 포틀랜드시멘트에 관해 서만 규정함에 따라 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 혼합 사용한 콘크리트의 시간에 따른 강도 발현 특성을 반영하지 못하는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 혼합한 보통강도 및 고강도 영역의 콘크리트의 시간에 따른 강도를 평가하였으며, 혼화재 종류 및 혼합률에 따른 콘크리트 강도발현 상수  $\beta_{sc}$  값을 제안하였다.

**핵심 용어** : 플라이애시, 고로슬래그 미분말, 강도발현 모델, 조기강도

---