

# 설계기준강도 60~80MPa급 고강도콘크리트의 재료 특성 및 크리프 예측모델식 제안

## Suggestion of the Prediction Model for Material Properties and Creep of 60~80MPa Grade High Strength Concrete

문형재<sup>1</sup>      구경모<sup>2</sup>      김홍섭<sup>3</sup>      석원균<sup>4</sup>      이병구<sup>5</sup>      김규용<sup>6\*</sup>

Moon, Hyung-Jae<sup>1</sup>      Koo, Kyung-Mo<sup>2</sup>      Kim, Hong-Seop<sup>3</sup>      Seok, Won-Kyun<sup>4</sup>      Lee, Byeong-Goo<sup>5</sup>      Kim, Gyu-Yong<sup>6\*</sup>

Deputy General Manager, Architectural Technology Design Team, Lotte E&C, Seocho-gu, Seoul, 06515, Korea <sup>1</sup>

Assistant Manager, R&D Center, Asia Cement Co., LTD. Yongin-si, Gyeonggi-do, 17118, Korea <sup>2</sup>

Researcher, Department of Architecture, The University of Tyoko, Bunkyo-ku, Tyoko, 113-8656, Japan <sup>3</sup>

Senior Manager, R&D Center, Lotte E&C, Seocho-gu, Seoul, 06515, Korea <sup>4</sup>

Director, Architectural Technology Design Team, Lotte E&C, Seocho-gu, Seoul, 06515, Korea <sup>5</sup>

Professor, Department of Architectural Engineering, Chungnam University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34134, Korea <sup>6</sup>

### Abstract

The construction of super tall building which structure is RC and must be certainly considered on column shortening estimation and construction reflected concrete creep has been increased. Regarding the Fck 60~80MPa grade high strength concrete applied in the domestic super tall building project, the mechanical properties and creep deflection according to curing conditions(Drying creep/Basic creep) were reviewed in this research. Results of compressive strength and elastic modulus under sealed curing condition were 5% higher than unsealed condition and difference of results according to the curing condition was increased over time. Autogenous and drying shrinkage tendency showed adversely in the case of high strength concrete. Additionally, creep modulus under unseal curing condition was evaluated 2~3 times higher than sealed condition. Modified model of ACI-209 based on test result was applied to estimate long period shortening of vertical members(such as Core Wall/Mega Column) exactly, it is designed to modify and suggest the optimal creep model based on various data accumulated during construction, in the future.

Keywords : high strength concrete, modulus of compressive creep, compressive strength, modulus of elasticity, autogenous shrinkage, drying shrinkage

### 1. 서 론

크리프는 지속하중을 받는 부재가 재하 시 탄성변형 발생 이후에도 추가하중의 작용 없이 시간 경과에 따라 변형률이

증가하는 물리적 현상이므로, 시멘트, 골재, 물, 혼화재료 등으로 복합 구성된 콘크리트의 경우 공극을 지니기 때문에 철과 같은 균질재료와 달리 크리프의 양과 특성의 변화가 다양하게 나타난다. 특히 크리프와 같은 비탄성변형량은 탄성변형량과 유사하거나 때로는 2배 이상 발생하기 때문에 이에 대한 정밀한 계측 및 예측이 필요하다.

최근 랜드마크의 성격을 갖는 100층급 초고층 건축물의 건설이 증가하고 있으며, 최대 80MPa급 이상의 고강도 콘크리트를 사용하게 되므로, 이를 반영한 부재의 축소량 예측과 시공이 요구된다[1].

Received : September 12, 2018

Revision received : October 15, 2018

Accepted : October 26, 2018

\* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail: gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

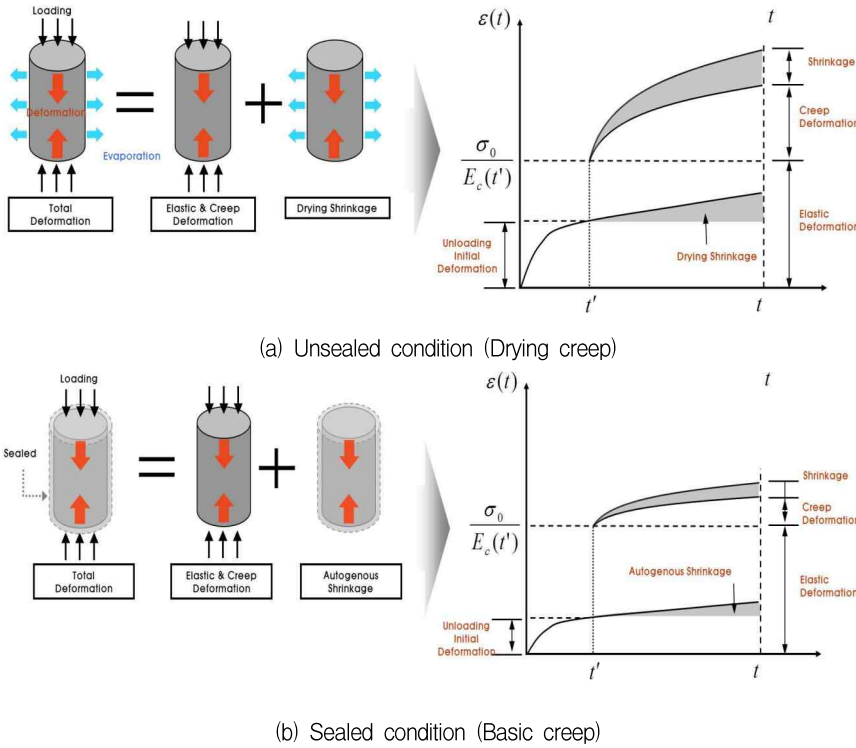


Figure 1. Creep strain with curing conditions



(a) Creep test



(b) Shrinkage test

Figure 2. Test method of concrete deformation

이러한 크리프에 의한 기동축소량은 부재 하중조건별, 콘크리트 배합별 차이를 나타낼 수 있고, 정확한 예측과 시공이 이루어지지 않는다면 슬래브의 위치를 변화시켜 칸막이, 기계적인 장비 및 마감재 등에 영향을 미친다. 뿐만 아니라 수직요소에 의해 지탱된 슬래브가 계획된 위치로부터 비틀어져 설계상에 고려되지 않은 응력을 발생시킴으로서 구조적 문제를 발생시키기도 한다.

이에 시간에 따른 콘크리트구조물의 거동을 예측하기 위한 다양한 모델이 제시되어 있고, 이러한 모델들은 콘크리트 배합특성 및 환경의 영향을 고려하여 표현한다[2]. 그러나 제시된 기존의 모델들은 재료 자체의 불확실성 등에 기인하여 국내에서 생산되는 콘크리트와 변형거동이 다소 상이하고, 고강도콘크리트 영역에 있어 장기재령으로 갈수록 실측값과 예측값의 차이가 커지는 경향도 확인되고 있다[3]. 특히 Jonasson et al.[4] 등이 제시한 바와 같이 고강도콘크리트의 경우 일반콘크리트와 달리 장기간에 걸쳐 내부 수분이 소모되는 특성이 보이기 때문에, 내부 수분상태에 따라 영향을 크게 받는 크리프 변형의 경우 이에 적합한 모델이 제시될 필요가 있다[5,6].

한편, 실제 단면에서는 온도·습도 등의 차이에 의해 단면의 내측 및 외측의 변형 특성이 다르다. 그러나 현행 설계기준에서는 계산의 편리를 위해 단면 내에서 위치에 관계없이 동일한 특성의 크리프 및 건조축소를 가정하여 해석하기 때문에 거동을 정확히 예상할 수 없는 한계가 있다[7]. 또한 실험실에서 실시된 크리프 시험결과와 실구조물의 크리프 변형거동은 매우 큰 차이를 나타내고 있으나 이와 같은 현장 연계 연구결과는 매우 부족한 실정이다[8].

따라서 본 연구에서는 국내 초고층구조물에 적용된  $f_{ck}$  60~80MPa급 고강도콘크리트를 대상으로 양생조건(Drying creep/Basic creep)에 따른 역학적 특성 및 크리프 변형 특성을 검토하였다. 또한 평가결과와 기존 크리프 모델을 바탕으로 수정 모델을 제안하였다.

## 2. 크리프 모델 검토 및 기준선정

크리프 모델에 대하여 각국에서는 선행실험 연구결과를 바탕으로 하는 크리프 예측 기준식을 적용하고 있다. 그 중 대표적인 것으로 ACI-209, CEB-FIP MC90, EuroCode

Table 1. Design of experiment

ID.	W/B (%)	f <sub>ck</sub> (MPa)	Fiber content (1kg/m <sup>3</sup> )	Curing condition	Specimen size (mm)	Evaluation items
80N-US			×	Unsealed		
80F-S	23.8	80				
80F-US				Sealed (S)	ø100	• Compressive strength (MPa)
70F-S	27.2	70	○		×150	• Elastic modulus (MPa)
70F-US				Unsealed (US)		• Dry and Autogenous shrinkage (×10 <sup>-6</sup> )
60F-S	29.1	60				• Creep coefficient
60F-US						

2 및 B3 모델 등이 있다.

ACI-209모델에서 제시하는 크리프계수는 식 (1) 및 (2)와 같이 하중 재하시의 재령과 환경 요인에 의해 결정되는 극한 크리프 v<sub>u</sub>와 하중 재하 이후 시간에 따른 크리프의 발생 형상을 표현하는 식의 곱으로 표현된다. 극한 크리프 v<sub>u</sub>는 각각의 영향인자별로 기본값 ‘1’에서 가감하는 함수로 이루어져 있고, 여기에 보정계수 2.35를 곱하여 제시되어 있기 때문에, 그 이상의 값을 초과하지 않는 특성이 있다.

$$v_t = \frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} v_u \quad \text{----- 식 (1)}$$

$$v_u = 2.35 \cdot \gamma_c \quad \text{----- 식 (2)}$$

t : 하중 재하 이후 시간 (day)

v<sub>u</sub> : 극한 크리프 계수 (Ultimate Creep coefficient)

γ<sub>c</sub> : 상대습도, 슬럼프, 공기량 등 영향요인 계수

v<sub>t</sub> : 시간 재령에 따른 크리프 계수

CEB-FIP MC90모델의 크리프계수는 식 (3)과 같이 콘크리트의 재령에 따른 기온변화를 28일 재령 값을 기준으로 시간에 따른 변화 함수로 표현하여 크리프의 예측인자로 적용하고 있다. 따라서 이 모델은 재하시 재령의 변화에 따른 크리프 변동률의 적응성이 뛰어나다.

$$\phi(t, t') = \phi_0 \cdot \beta_c(t - t') \quad \text{----- 식 (3)}$$

φ<sub>0</sub> : 기준 크리프 계수

β<sub>c</sub> : 크리프 경시 변화를 나타내는 계수

t : 하중 재하 이후 시간 (day)

φ(t, t') : 시간 재령에 따른 크리프 계수

EuroCode 2 모델의 경우 CEB-FIP MC90모델과 유사하지만, 환경조건(-40℃ < T < 40℃, 40% < RH < 100%)을 반영하여 크리프계수를 도출할 수 있는 자료와 평균강도 35MPa 이상에 대해서도 별도의 모델을 제시하고 있는 특성이 있다. 일반적으로 EuroCode 2 모델은 CEB-FIP MC90 모델과 비교하여 보통강도 영역에서 거의 비슷한 크리프계수치를 나타내지만, 고강도대에 있어서는 EuroCode 2 모델보다 낮게 평가되는 경향이 있다.

한편 B3 모델은 1997년에 Bazant와 Baweja에 의해 제안된 가장 최근에 발표된 건조수축 및 크리프 모델로서, B3 모델의 경우 압축강도에 대한 제한조건으로 F<sub>ck</sub>28이 2,500~10,000Psi(17~70MPa)의 범위에서만 적용 가능하도록 되어 있고, 골재-시멘트 중량비(a/c)(2.5~13.5), 단위 시멘트량(160~720kg/m<sup>3</sup>) 및 물-시멘트비(0.35~0.85)에 대한 제한 조건으로 80MPa 이상 고강도콘크리트에 대해서는 검토시 이에 대한 추가 보정이 필요하게 된다.

이상과 같이 콘크리트 크리프에 대해 많은 연구자들이 수정모델을 제시하여 왔고, 이 때 기준이 되는 상기의 모델들에 대해 선정의 근거가 다양한 기존 예측식 중에서, 본 연구에서는 실제 초고층구조물의 기동 수축량 해석에 있어서의 적용성과 모델수정에 따른 일치성 및 국내 주요 기동축소량 해석 전문회사들의 장기 거동 예측을 위한 프로그램 적용 등을 기준으로 ACI-209모델을 선정하였다.

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

Table 1은 본 연구를 위한 실험계획을 나타낸 것으로, 설계기준강도 60, 70 및 80MPa급 고강도콘크리트에 대한

여 역학적 특성 및 크리프 특성을 평가하였다. 콘크리트 크리프 변형은 Figure 1과 같이 Sealed(Basic creep) 및 Unsealed(Drying creep)의 양생조건에 따라 상이하게 나타나며, 특히 고강도콘크리트는 일반강도 콘크리트에 비해 건조수축이 적고 초기재령의 자기수축 발현이 높게 나타나기 때문에 강도 및 양생조건이 반영된 모델식이 수립되어야 한다.

이에 본 연구에서는 실험결과를 바탕으로, ACI-209 모델의 보정계수 2.35를 강도 및 양생조건을 고려한 함수식으로 수정하여 제안하고자 한다.

### 3.2 콘크리트 배합 및 시험방법

Table 2는 본 연구에서 적용된 고강도콘크리트의 배합을 나타낸 것이다. 콘크리트는 목표 슬럼프 플로우(650 ±50mm) 및 공기량(2.0±1.0%)을 만족하여 980L 용적배합으로 제조하였고, 평가된 값은 크리프 모델에 반영하였다.

Table 3에 고강도콘크리트에 적용된 사용재료의 물리적 성질을 나타내었다. 고강도콘크리트용 결합재는 플라이애시 및 실리카흄을 각각 약 20% 및 5% 범위로 치환하여 적용하였으며, 골재의 경우 세척사와 석회암 부순골재를 사용하였다.

또한 유동성 확보를 위해 폴리카르본산계 고성능감수제를 약 1.5~2.0% 혼입하였으며, Table 4와 같은 고강도콘크리트의 내화성능을 확보하기 위해 특허제품인 나일론섬유, 폴리프로필렌섬유 및 폴리머 분말을 1:1:2의 비율로 혼합한 폴리믹스F를 적용하였다. 본 연구에서는 섬유 유무에 따른 고강도콘크리트의 역학적 특성 및 크리프 특성을 확인하기 위해 설계기준강도 80MPa급 콘크리트에 대해서는 섬유 무 혼입 시험체를 추가로 제작·평가하고자 하였다.

Table 2. Mix proportion of concrete

ID	W/B (%)	Slump flow (mm)	Air (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	FA*	SF*	S	G
80N	23.8	640	1.6	45.1	155	481	130	39	697	874
80F		630	1.8							
70F	27.2	660	1.7	47.9	158	443	114	23	768	863
60F	29.6	650	1.8	48.0	163	418	110	22	776	868

\* FA : Fly ash, SF : Silica fume

\* F : Fire resistance material(polymix F) applied case

Table 3 Mechanical properties of material

Material	Properties
Cement	Ordinary Portland cement (Density 3.15g/cm <sup>3</sup> , Blaine 3,770cm <sup>2</sup> /g)
Fly ash	Density 2.30g/cm <sup>3</sup> , Blaine 3,228cm <sup>2</sup> /g
Silica fume	Density 2.26g/cm <sup>3</sup> , Blaine 200,000cm <sup>2</sup> /g
Sand	Sea sand (Maximum size 5mm, Density 2.58g/cm <sup>3</sup> , Absorptance 1.01%, Fineness modulus 3.05)
Gravel	Crushed limestone (Maximum size 20mm, Density 2.66g/cm <sup>3</sup> , Absorptance 1.39%, Fineness modulus 6.02)
High range water reducing agent	Polycarboxylic

Table 4. Mechanical properties of spalling resistance fiber

Fiber type	Length (mm)	Diameter (mm)	Aspect ratio	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Elastic modulus (GPa)	Melting point (°C)
Nylon	12.49	23.8	524.8	1.14	903.2	18.9	5.0	219.9
Polypropylene	19.17	37.0	518.1	0.91	611.4	21.7	5.8	167.7
Polymer powder	-	-	-	-	-	-	-	136.2

콘크리트 시험체는 크리프 평가방법 KS F 2453 「콘크리트의 압축 크리프 시험방법」에 준하여 □150×300mm로 제작하였고, 타설 직후 20±2°C의 온도조건에서 24시간 동안 기건양생하였다. 이후, Unsealed 조건의 시험체는 탈형하여 재령 7일까지 동일온도 조건에서 습윤양생하고 재하재령인 28일까지는 상대습도 50±10%의 조건에서 기건양생하였다. 또한 Sealed 조건의 시험체는 탈형 직후 비닐랩 및 알루미늄테이프로 밀봉하여 양생하였다.

크리프 시험시 재하량은 재령 28일 압축강도의 40%로 설정하였으며, 재하 후 2년간 측정하였다. 크리프 시험에 의해 도출된 총 변형량에서 순간탄성변형량과 수축변형량을 제하여 크리프변형량을 계산하였고, 본 연구에서는 크리프 변형에 대해 하중재하 직후의 순간탄성변형률과, 재하하중 및 초기 접선탄성계수를 식(4)에 대입하여 도출된 크리프계수를 기준으로 분석하였다.

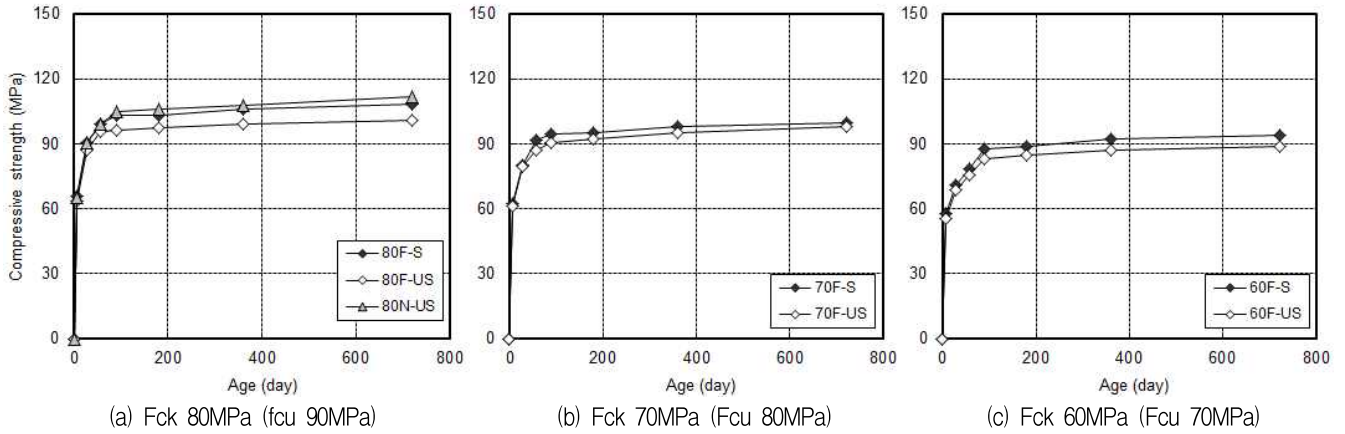


Figure 3. Compressive strength according to fck

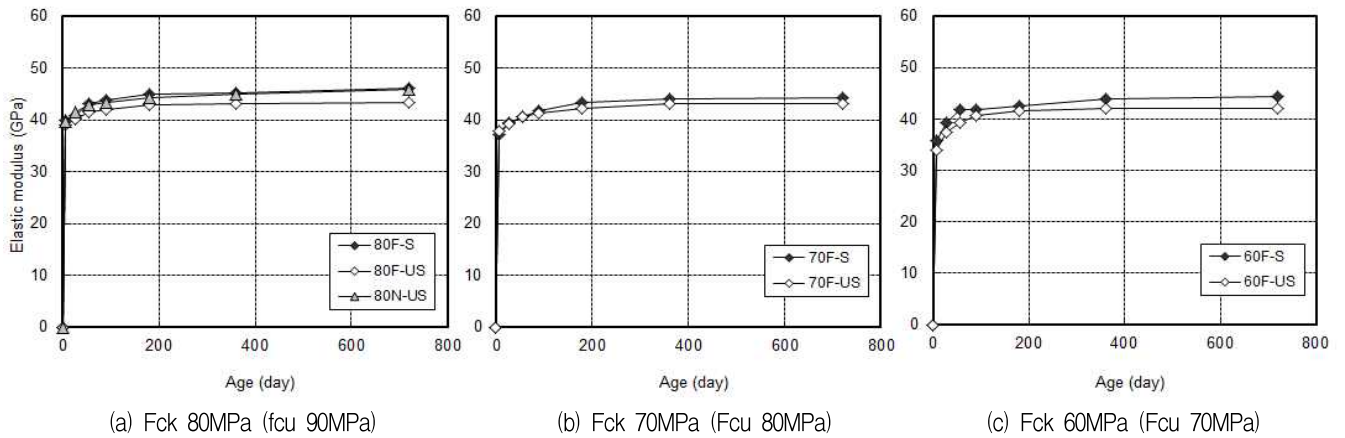


Figure 4. Elastic modulus according to fck

$$\epsilon_{cs} = f_c(t') \left[ \frac{1}{E_{ci}(t')} + \frac{\varnothing(t, t')}{E_{ci}} \right] \text{ ----- 식 (4)}$$

$\epsilon_{cs}$  : 작용 응력에 의한 콘크리트 순간변형률 및 크리프 변형률을 포함한 전체 변형률

$f_c(t')$  : 재령  $t'$  일에서의 콘크리트 압축응력(kgf/cm<sup>2</sup>)

$E_{ci}$  : 가압재령의 초기 접선탄성계수 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\varnothing(t, t')$  : 초기 변형률에 대한 크리프 변형률의 비

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 압축강도 및 탄성계수

Figure 3은 강도등급별 양생조건 및 섬유혼입유무에 따른 압축강도 평가결과를 나타낸 것이다. 재령 28일을 기준으로 Sealed 조건의 80F, 70F 및 60F 압축강도는 각각 90.8,

80.3 및 69.9MPa로 동일 설계강도의 Unsealed조건의 시험체에 비해 2~4% 높게 평가되었다. 이러한 양생조건에 따른 차이는 장기재령으로 갈수록 증가하여 재령 720일을 기준으로는 약 3~7%의 차이를 나타내었다.

재령에 따른 강도는 720일 대비 재령 28일의 압축강도는 설계강도에 관계없이 약 75~85% 수준을 발현하였고, 재령이 증가할수록 수렴되었다. 섬유 혼입 유무에 의한 압축강도를 비교하기 위하여 80MPa를 대상으로 비교한 결과 혼입의 경우 약 3% 감소하는 경향을 보였다.

이와 같은 역학적 특성은 Figure 4와 같이 탄성계수에서도 유사하게 나타났다.

재령 28일을 기준으로 Sealed 조건의 탄성계수는 Unsealed조건의 시험체에 비해 1~4% 높게 측정되었고, 재령 720일 대비 재령 28일의 탄성계수는 약 90% 수준으로 나타났으며, 재령 180일 이후 대부분 수렴되는 것으로 나타

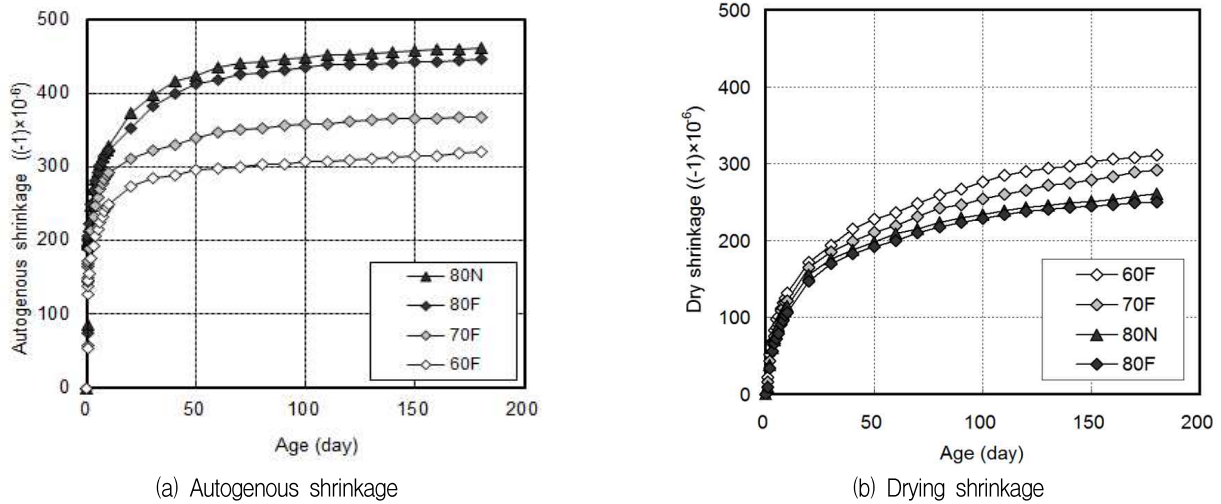


Figure 5. Test Results of autogenous and drying shrinkage

났다. 재령 28일을 기준으로 섬유혼입에 따른 탄성계수의 차이는 3%로 압축강도의 경우와 동일한 역학적 특성을 나타내었다. 이러한 전체적인 결과를 Table 5에 정리하였다.

Table 5. Compressive strength and elastic modulus according to the ages

Type1	Type2	Curing Ages(Day)						
		7	28	56	90	180	360	720
Comp. Strength (Mpa)	80N-US	65.1	90.5	99.2	105.0	106.0	108.0	112.0
	80F-US	63.7	87.0	95.6	96.2	97.4	99.0	101.1
	80F-S	65.8	90.8	99.4	102.9	103.2	106.0	108.2
	70F-US	61.3	79.4	87.2	90.7	92.4	95.0	97.9
	70F-S	62.6	80.3	91.6	94.3	95.2	97.9	99.9
	60F-US	55.4	68.6	75.7	82.9	84.7	87.3	88.8
	60F-S	57.7	69.9	78.7	87.5	88.9	92.1	93.7
	60F-S	57.7	69.9	78.7	87.5	88.9	92.1	93.7
Elastic Modulus (Gpa)	80N-US	39.8	41.5	42.9	43.3	44.3	44.9	45.9
	80F-US	39.0	40.1	41.4	42.0	42.9	43.0	43.4
	80F-S	39.9	40.9	43.1	43.7	45.0	45.2	46.0
	70F-US	37.8	39.1	40.6	41.2	42.2	43.0	43.1
	70F-S	37.1	39.3	40.7	41.8	43.3	44.1	44.3
	60F-US	34.0	37.4	39.3	40.7	41.7	42.0	42.1
	60F-S	35.9	39.2	41.7	41.8	42.6	44.0	44.3
	60F-S	35.9	39.2	41.7	41.8	42.6	44.0	44.3

#### 4.2 건조수축 및 자기수축

Figure 5는 고강도콘크리트의 강도등급별 건조수축 및 자기수축 평가결과를 나타낸 것으로, 본 논문에서는 초기재령의 발현거동을 비교·검토하기 위해 재령 180일까지 제시하였다.

고강도콘크리트의 자기수축은 강도가 높을수록 증가하는 경향을 보이며, 재령 7일 이내에 약 70% 이상이 발현되었다. 이와 같이 자기수축은 초기재령, 즉 하중이 재하되기 이전에 대부분 발현되는 특성이 있어, 자기수축이 고려되는 크리프의 Sealed 조건(Basic creep)에 있어서는 수축에 의한 영향이 매우 적다고 판단된다.

그러나 건조수축은 재령 약 90~100일 사이에 재령 180일 대비 약 70%의 수축발현률을 나타내며 증가되나 시간 경과에 따라 점점 수렴하는 경향을 보였다.

일반강도 영역에 비해 고강도콘크리트에서의 건조수축이 재령 증가에 따라 상대적으로 증가하는 현상에 대하여 초기 구속된 상태에서 내부 미수화 자유수가 상대적으로 많이 잔존하여 초기에 비해 장기로 갈수록 수분이 증발하면서 생기는 영향으로 판단된다.

이는 크리프의 Unsealed 조건(Drying creep)에 있어 수축의 영향이 크다는 점을 확인할 수 있었고, 설계강도에 따라서는 설계강도가 높을수록 수축의 영향은 상대적으로 감소된다.

한편, 자기수축 및 건조수축에 있어서 섬유를 혼입함에 따라 수축량이 약 2~4% 저감되는 효과를 확인할 수 있었다. 이는 섬유의 내부구속효과 및 수분이동 구속효과에 기인한 것으로 판단된다[9].



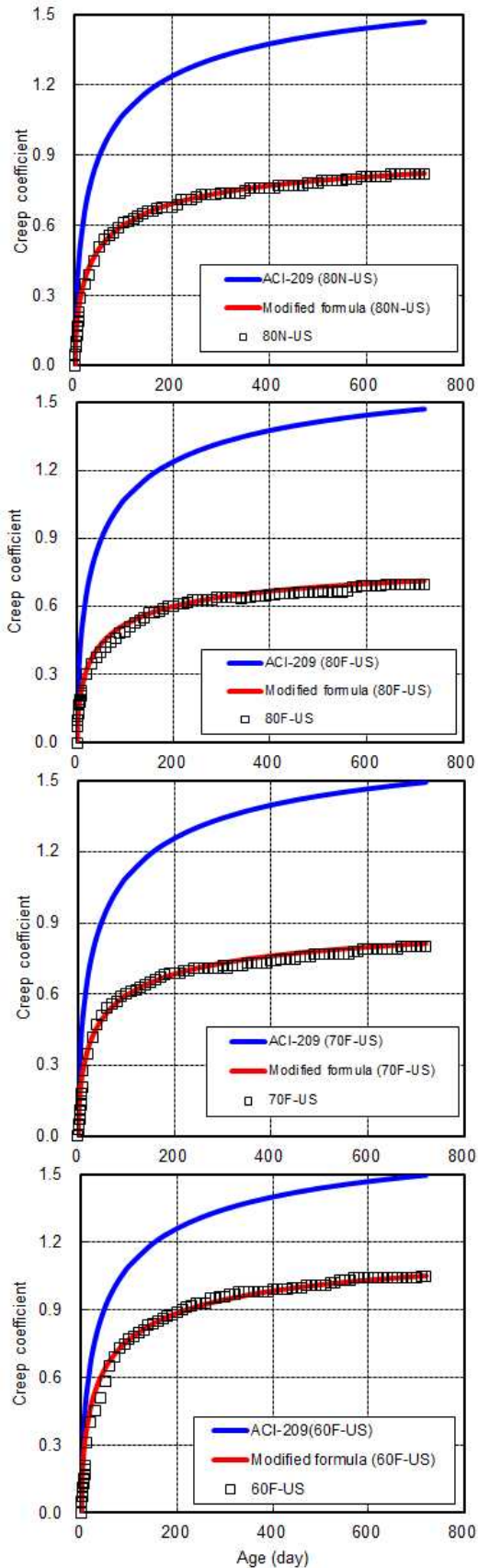


Figure 6. Creep coefficient (unsealed condition - drying creep)

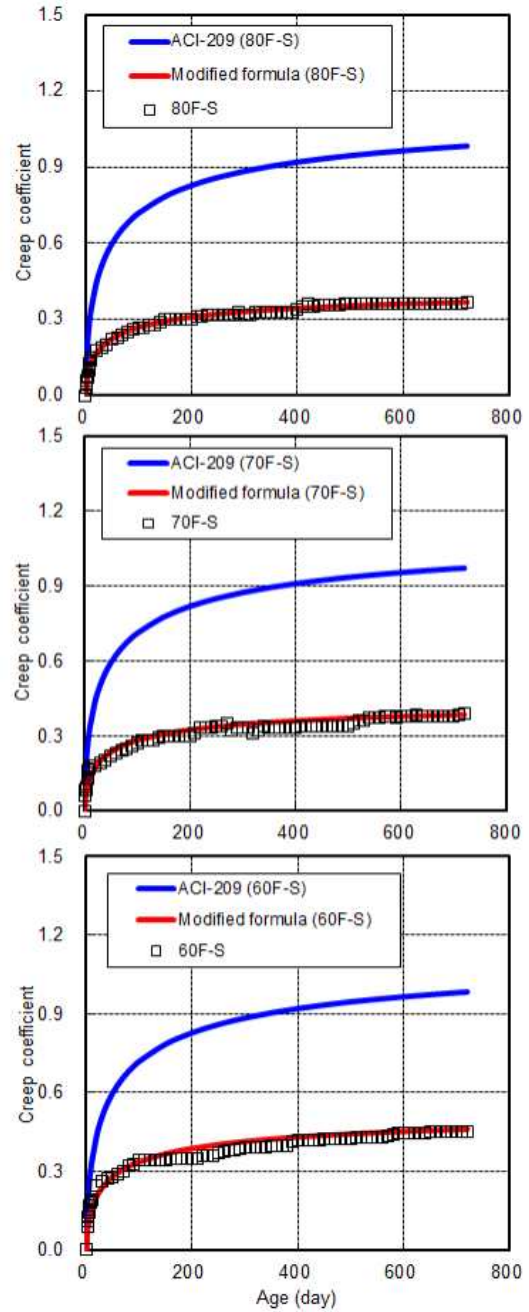


Figure 7. Creep coefficient (Sealed Condition - Basic creep)

### 4.3 크리프 계수

그림 6 및 7은 고강도콘크리트의 강도등급 및 양생조건에 따른 크리프계수를 나타낸 것으로, 실측결과값과 ACI-209 모델, 그리고 수정모델에 의한 결과값을 제시하였다.

실험에 의한 80F-S, 70F-S 및 60F-S 시험체(Sealed 조건)의 크리프계수값은 재령 720일을 기준으로 0.36, 0.39 및 0.45로 나타났다.

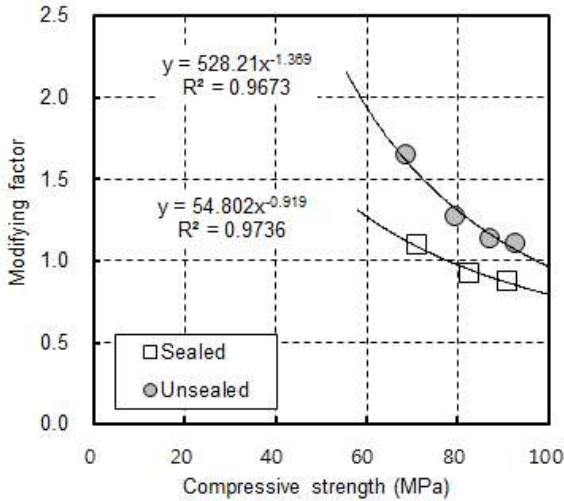


Figure 8. Modified factor of Creep coefficient (@28Days)

Unsealed 조건의 시험체는 Sealed 조건의 시험체와 비교하여 약 2.0~2.3배 높게 평가되었으며, 80MPa의 경우 Unsealed 조건에서 섬유 혼입에 의해 약 15% 크리프계수가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 크리프의 특성상 시멘트 화합물의 결정층 사이에 섬유가 혼입됨으로서 마찰력을 증대시켜 크리프의 감소를 유발하는데, 이는 섬유 혼입에 따른 수축 저감효과와 더불어 발생함으로써 크리프의 저감효과를 향상시키는 것으로 판단된다.

한편 ACI-209모델 분석 결과, 실측값에 비해 Unsealed 조건에서는 약 2.2~2.6배, Sealed 조건에서는 약 1.4~2.1배 높게 평가되었다.

분석값과 실측값의 차이를 통해 파악된 것과 같이 기존 ACI 모델을 기동축소량 해석에 그대로 적용하기는 국내 60MPa 이상급 고강도콘크리트에 대한 특성을 제대로 반영하는 것이 한계가 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 ACI-209모델의 기존 극한크리프 계수 값인 2.35에 대해 실측결과를 바탕으로 압축강도 및 양생조건에 따른 최적 값으로 수정 도출하였으며, 최종 예측 모델로 제안하고자 하였다. 이를 함수식으로 도출하면 Figure 8 및 식(5)~(7)과 같다.

$$v_u = \alpha \cdot \gamma_c \text{ ----- 식 (5)}$$

$$\alpha_1 = 528.2(f_{28})^{-1.4} \text{ (Unsealed) ----- 식 (6)}$$

$$\alpha_2 = 54.8(f_{28})^{-0.9} \text{ (Sealed) ----- 식 (7)}$$

- $v_u$  : 수정제한된 극한 크리프 계수(예측 제안 모델)
- $\alpha_{1,2}$  : 수정된 상수(압축강도 반영)
- $f_{28}$  : 28일 압축강도(MPa)

### 5. 결 론

80MPa급 고강도 콘크리트의 최적의 크리프계수를 도출하기 위하여 크리프 영향인자 중 자기/건조수축, 봉함양생(sealed curing)과 기건양생(unsealed curing)조건, 재료 배합 조건으로 섬유혼입 유무를 검토하였다. 각각의 재료적 특성에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 탄성계수의 경우 강도차이에 관계없이 계수값의 차이가 상대적으로 작게 나타났는데 이는 본 연구에서 굵은 골재로서 석회암 골재를 사용하여 계면 일체화에 따른 초기 부착강도 향상 효과로 기인한다.
- 2) 실제 고강도콘크리트의 건조수축이 일반강도에 비해 재령 증가에 따른 영향이 상대적으로 크게 나타나기 때문에 고강도콘크리트 크리프 영향 검토시 건조수축에 대한 영향 반영도 반드시 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 크리프의 특성상 시멘트 화합물의 결정층 사이에 섬유가 혼입됨으로서 마찰력을 증대시켜 크리프의 감소를 유발하는데, 이는 섬유 혼입에 따른 수축 저감효과와 더불어 발생함으로써 크리프의 저감효과를 향상시키는 것으로 판단된다.
- 4) ACI-209모델 분석 결과, 실측값에 비해 Unsealed 조건에서는 약2.2~2.6배, Sealed 조건에서는 약 1.4~2.1배 높게 평가되었다.

실제 ACI 모델을 기동축소량 해석에 그대로 적용하기는 국내 60MPa 이상급 고강도콘크리트에 대한 특성을 제대로 반영하는 것이 한계가 있음을 확인하였기 때문에, 본 연구에서는 ACI-209 모델의 기존 크리프 계수 중 극한크리프계수 값(2.35)에 대해 실측결과를 바탕으로 압축강도 및 양생조건에 따른 함수식으로 최종 도출·제안하였다.

### 요 약

초고층 RC구조물 건설은 콘크리트 크리프에 대한 반영이 반드시 검토되어야 한다. Fck60~80MPa를 적용하는 국내 초고층



---

건축물에 대하여 각종 역학적 특성과 양생조건(Dried/Sealed)별 크리프에 대해 검토하였다.

Sealed 조건에서의 압축강도 및 탄성계수는 Unsealed 조건에 비해 약 5% 높게 나타났으며, 시간이 지날수록 차이가 크게 나타났다. 크리프 계수의 경우 Unsealed 조건에서 Sealed 조건 대비 2~3배 높게 평가되었고, ACI 209 모델을 보완한 수정 예측 모델의 경우 수직부재(코어월 및 메가칼럼)에서의 장기재령 예측식으로 적용하였다. 향후 실제 부재에서 측정되는 다양한 데이터를 바탕으로 최적 크리프 모델에 대해 보완 및 제안할 예정이다.

**키워드** : 고강도콘크리트, 압축 크리프계수, 압축강도, 탄성계수, 자기수축, 건조수축

### References

1. Kim SW, Koh KT, Song YC, Park HS. Estimation method of drying shrinkage and creep in concrete structures. *Journal of the Korea Concrete institute*. 2005 Jul;17(4):25-33.
2. Bazant ZP, Baweja S. Justification and refinements of model B3 for concrete creep and shrinkage 1. Statistics and sensitivity. *Materials and structures*. 1995;28(7):415-30.
3. Moon JH. Evaluation of creep models with the consideration of concrete's strength level. *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 2010 Jul;14(4):154-9.
4. Jonasson JE, Persson B. The Consortium for Research of HPC Structures. *Creep design handbook*, Luleå Technical University; 1998. 7-17 p. Sweden.
5. Persson B. Hydration and strength of high performance concrete. *Advanced Cement Based Materials*. 1996;3(3):107-23.
6. Persson B. Self-desiccation and its importance in concrete technology. *Materials and Structures*. 1997 month;30(5):293-305.
7. Persson B. Correlating laboratory and field tests of creep in high-performance concrete. *Cement and concrete Research*. 2001;31(3):389-95.
8. Oh BH, Lee MG, Yoo SW, Baik SH. A study on the strength and drying shrinkage crack control characteristics of polypropylene fiber reinforced concrete. *Korea Concrete institute*. 1996 Dec;8(6):151-61.
9. Kim WS, Cho HW, Oh JK, Yom KS. Measured and predicted column shortening of a tall reinforced concrete building. *Journal of the Korea Concrete institute*. 1999 Jun;11(3):161-70.