

PSC 박스거더 교량에 사용된 세그먼트 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Creep and Shrinkage
for the Segment Concrete in PSC Box Girder Bridge



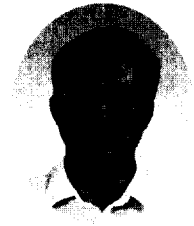
최한태*

Choi, Han-Tae



윤영수**

Yoon, Young-Soo



이만섭***

Lee, Man-Seup

ABSTRACT

In designing PSC box girder bridge, the dead load, prestressing force, creep and shrinkage of concrete are the main factors which influence the camber and deflection of segmental concrete structure under construction. Among these factors the creep and shrinkage are the functions of the time-dependent property which, therefore, must be considered with time. The prediction model for estimating creep and shrinkage of concrete has been suggested by ACI, CEB/FIP, JSCE and KSCE design code.

In this study the creep and shrinkage test were carried out for four curing ages of concrete which was applied to the prestressed concrete box-girder bridge at a construction site, and the results of test were compared to the values of prediction by the design code. Shrinkage test shows that the test results are similar to KSCE-96 and JSCE-96 but very higher than other prediction models and creep test results are generally similar to ACI-209 and KSCE-96 but lower than other prediction models in contrast to shrinkage test.

Keywords : prestressed concrete, creep, shrinkage, prediction model, compressive strength, elastic modulus.

* 정회원, (주) 청석엔지니어링 철도사업부
** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수
*** 정회원, 브이 에스 엘 코리아 (주) 기술담당상무

•본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 30일까지 학회로 보내
주시면 1999년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

PSC 박스거더 교량의 균형 캔틸레버 공법은 교량하부에서 하중을 지지하는 동바리를 설치하지 않고 교각 주두부로부터 좌우로 균형을 맞추면서 이동식 작업차를 이용하여 3~5m 길이의 세그먼트를 순차적으로 시공한 후 경간중앙에서 캔틸레버 거더를 연결시키는 공법이다.

이러한 FCM 공법으로 시공되는 PSC 박스거더 교량의 시간의존적 거동은 주로 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 콘크리트의 크리프 및 건조수축은 온도, 습도 및 형상 등의 변동성과 같은 외부적 요인과 콘크리트에 사용되는 재료의 재질 및 배합비의 변동성 등과 같은 여러 인자에 의해 영향을 받기 때문에 크리프와 건조수축의 메커니즘은 현 시점에서 완벽하게 밝혀져 있지 않다.^(1-4,13-14)

따라서, 본 연구에서는 캔틸레버 세그멘탈 교량의 시간의존적 거동을 규명하기 위해서 현재 시공중인 프리캐스트 세그멘탈 교량에 적용되는 콘크리트 제작변수와 동일한 시료를 취하여 실험을 수행하여 사용되는 콘크리트의 제반강도특성, 탄성계수특성, 그리고 크리프 및 건조수축 특성을 보다 정확하게 파악하고, 설계에 바탕이 된 CEB/FIP-78⁽⁵⁾ 모델식을 포함하여 ACI-90⁽⁶⁾, CEB/FIP-90⁽⁷⁾, JSCE-96⁽⁸⁾ 그리고 KSCE-96⁽⁹⁾ 모델식과 비교하여 콘크리트의 시간의존적 특성을 분석하였다.

2. 실 험

PS콘크리트 박스거더 교량의 크리프 및 건조수축 실험은 ASTM C-512⁽¹⁰⁾의 규정에 따라 Table 1과 같은 온도, 습도, 재령 및 측정주기 등의 조건을 따랐다. 크리프 및 건조수축 실험을 위한 공시체는 PS콘크리트 박스거더 교량 현장에서 제작되어 운반된 후 항온항습실에서 시험하였다. 다음 Fig. 1은 상대3교 PS콘크리트 박스거더 교량의 종단면도를 나타내며, Photo 1은 시험에 사용될 콘크리트 크리프 시험기를 나타내었다. 또한 건조수축실험용 공시체는 크리프 실험과 동일한 조건에서 실험하기 위하여 $\varnothing 15 \times 30$ cm의 공시체를 제작하고 처음 1주일간은 매일, 처

음 1개월간은 매주, 6개월간은 까지는 매달 측정하였다.

Table 1 Condition for creep and shrinkage test

종류 조건	크리프실험	건조수축실험
형상(cm)	$\varnothing 15 \times 30$	$\varnothing 15 \times 30$
습도(%)	50 ± 4	50 ± 4
온도(°C)	23 ± 2	23 ± 2
재령(일)	3,7,28,90	3,7,28,90
변형측정	재하직전, 직후 및 2-6시간 후 처음 1주일간은 매일 처음 1개월간은 매주 6개월까지는 매달	크리프 실험과 동일한 측정주기로 측정
하중조정	지정치보다 2%이상 변할 때	-

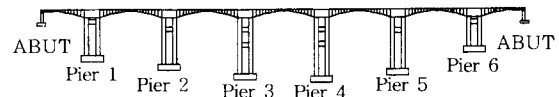


Fig. 1 Longitudinal cross section of the box girder bridge

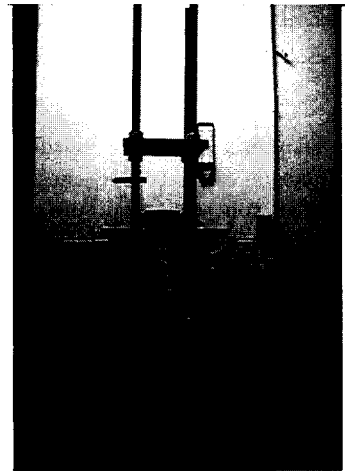


Photo 1 Compressive creep testing machine

대상 콘크리트의 압축강도와 탄성계수의 측정을 위한 시편으로는 각 재령별로 6개씩의 $\varnothing 15 \times 30$ cm 표준공시체를 제작하여 압축강도 실험과 ASTM C-469⁽¹²⁾에 따라 세로방향 변형률이 0.00005일 때의 하중과 극한하중의 40%하중에 대한 변형률을 측정하여 탄성계수를 결정하였다. 본 실험에 사용된 재료는 상대3교 Pier 6번의 양

쪽 5번째 세그먼트이고, 콘크리트 배합비는 다음 Table 2와 같다.

Table 2 Concrete mix design

설계기준강도(kg/cm ²)	400
최대골재치수 (mm)	19
W/C (%)	30.5
S/a (%)	41
Water (kg)	163
Cement (kg)	534
공기량 (%)	3.5
고유동화제 (g)	3738
AE 감수제 (g)	5340
Slump (cm)	15

3. 실험결과 및 분석

3.1 탄성계수 결과 분석

다음 Table 3은 공시체 재령에 따른 평균압축강도와 탄성계수를 나타낸 것이고, Fig. 2는 압축강도에 따른 탄성계수를 나타낸 것이다.

Fig. 2를 살펴보면 실험결과에 따른 탄성계수는 콘크리트 표준시방서에서 제안한 식과 비교하

Table 3 Mean compressive strength and elastic modulus

재령 (일)	평균압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 ($\times 10^5$ kg/cm ²)
3	330	2.13
7	454	2.42
28	544	2.68
90	550	2.91

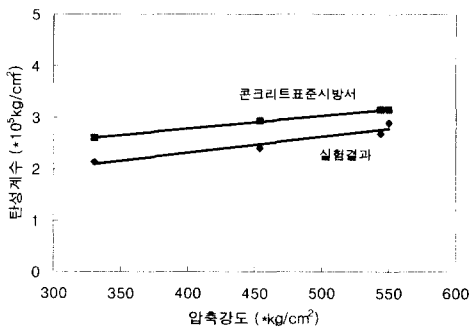


Fig. 2 Elastic modulus of compressive strength

여 볼 때 압축강도에 따른 탄성계수의 실험값이 전반적으로 낮은 분포를 보임을 알 수 있었다.

3.2 건조수축 결과 분석

다음 Fig. 3은 재령에 따른 건조수축 변형률을 비교하기 위하여 각 양생재령에 대하여 한 그래프로 나타낸 것이고, 그림 4~7은 각 재령마다 도포 유무에 따른 건조수축 효과를 나타낸 것이다.

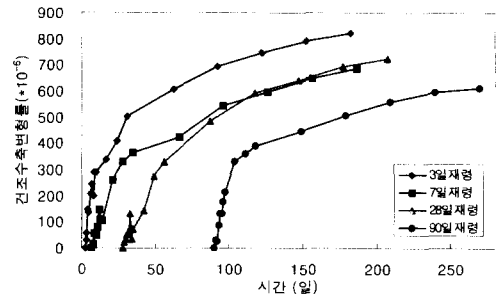


Fig. 3 Shrinkage strain with time at each curing age

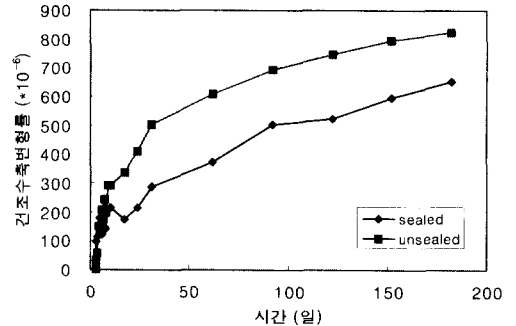


Fig. 4 Sealing effect on shrinkage strain at 3 curing age

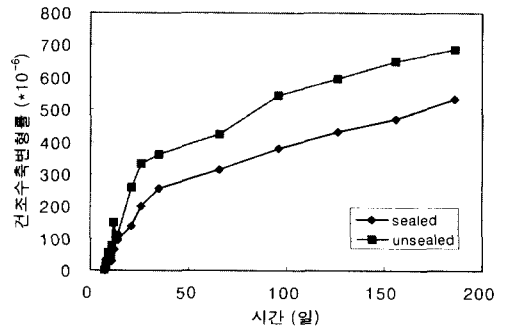


Fig. 5 Sealing effect on shrinkage strain at 7 curing age

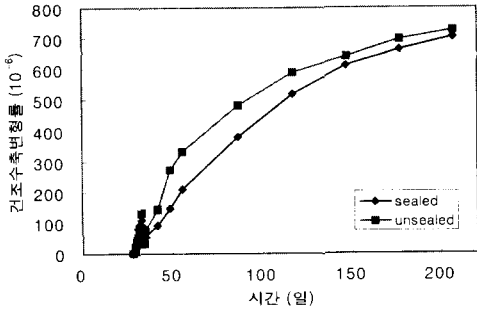


Fig. 6 Sealing effect on shrinkage strain at 28 curing age

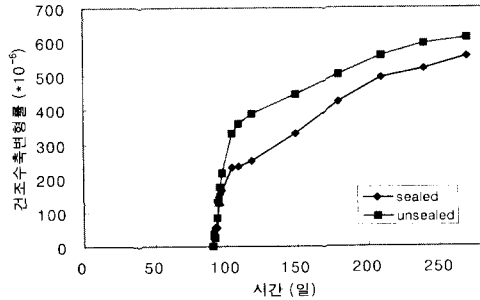


Fig. 7 Sealing effect on shrinkage strain at 90 curing age

Fig. 3을 살펴보면 대략 120일까지의 건조수축변형률은 3일재령이 다른 재령과 비교하여 조금 클 뿐 7일과 28일재령 및 90일 재령은 재령에 상관없이 비슷한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 각 재령의 건조수축변형률은 양생후재령 180일에도 약간의 기울기를 보이므로 장기적으로 보았을 때 상당한 수축을 보일 것으로 판단된다.

각 재령마다 도포한 공시체가 더 적은 건조수축변형률을 나타냄을 뚜렷이 알 수 있는데, 그 차이가 그렇게 크지 않음도 알 수 있다. 도포한 공시체의 경우 공시체 안의 자유수와 흡착된 물의 방출을 완전히 막지는 못했다고 할지라도 상당한 변형을 보인 결과는 공시체의 내부적인 원인으로 인한 것이라고 판단된다.

또한 각 양생재령에 대하여 재령초기 다소 감소하는 부분이 나타나고 있는데, 이는 재령초기 수화반응 및 온도, 습도 등에 민감한 반응을 보이기 때문이라고 판단된다. 그리고 감소한 그 값이 상대적으로 작고, 감소한 1~2일 후에 기울기가 바로 안정화를 찾았기 때문에 값에 큰 영향은 없다고 판단된다.

3.3 크리프 결과 분석

크리프 변형은 지속하중 하에서 생긴 총 변형에서 하중에 의한 탄성변형과 건조수축에 의한 변형을 제외한 변형을 말한다. 그리고 시간의존적 변형이란 총 변형에서 탄성에 의한 변형을 제외한 변형을 뜻한다. 다음 Fig. 8과 9는 각각 재령에 따른 시간의존적 변형과 각 양생재령에 따른 비크리프 변형을 나타낸 것이다.

또한 크리프 변형의 원인 역시 지속적인 하중에 의하여 발생하는 것이 주된 원인이지만 주위의 환경 즉, 온도나 습도 역시 크리프에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 다음 Fig. 10~13은 건조수축과 마찬가지로 시험체에 파라핀을 도포함으로써 습도에 의한 영향을 살펴본 것이다.

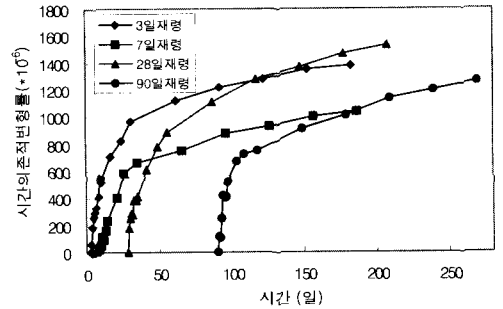


Fig. 8 Time dependent strain with time at each curing age

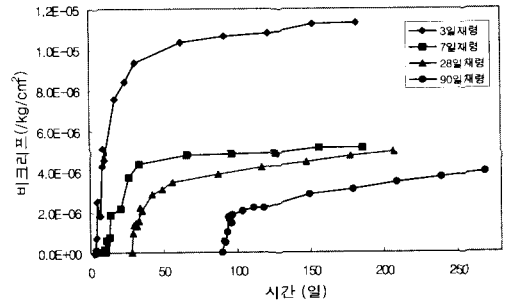


Fig. 9 Specific creep with time at each curing age

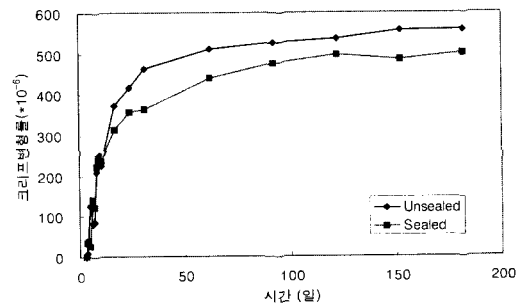


Fig. 10 Sealing effect on creep strain at 3 curing age

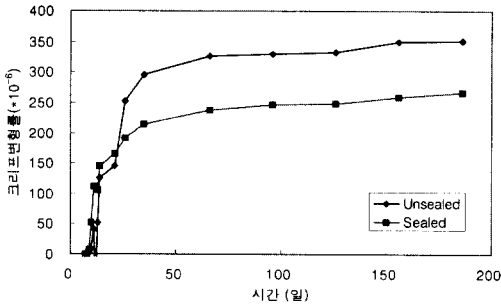


Fig. 11 Sealing effect on creep strain at 7 curing age

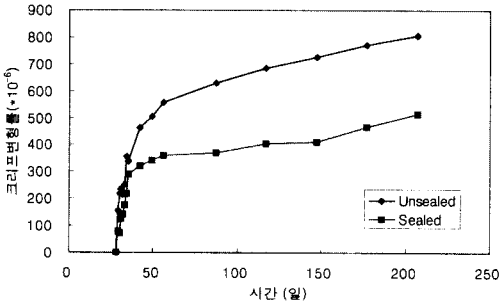


Fig. 12 Sealing effect on creep strain at 28 curing age

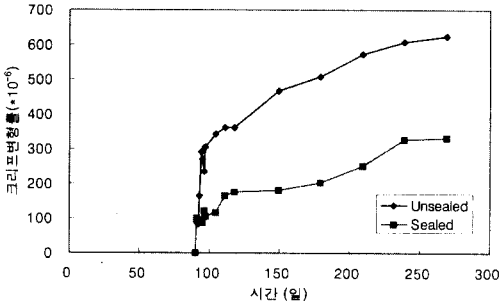


Fig. 13 Sealing effect on creep strain at 90 curing age

4. 크리프 및 건조수축 표준식 비교

4.1 건조수축 표준식 비교 분석

4.1.1 KSCE-96 표준식

콘크리트 표준시방서에서는 다음 식(1)과 같이 건조수축변형률 예측식을 제안하였다.

$$\epsilon_{sh}(t) = \frac{t}{a+t} k_s k_h \epsilon_{su} \quad (1)$$

여기서, t =콘크리트 수중양생 후 경과된 시간, $a=35$ (습윤양생인 경우), $a=55$ (증기양생인

경우), k_s =콘크리트의 체적과 표면적과의 비에 따른 보정 계수, k_h =상대습도 보정계수, 그리고 ϵ_{su} =최종 건조수축 변형률을 나타낸다.

다음 Table 4와 Fig. 14는 KSCE-96 표준식에 사용되는 계수와 건조수축변형률 예상결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 4 The coefficient used in KSCE-96 model

a	K_s	K_h
35	1	1.29

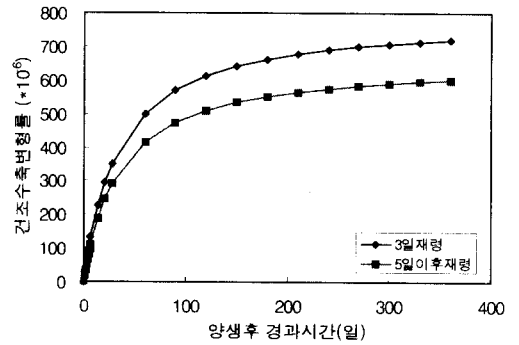


Fig. 14 Shrinkage strain by KSCE-96 model

4.1.2 ACI-209 표준식

ACI-209 예측모델은 공시체가 시간 t_0 에서 공기 중에 노출되었을 때, 시간 t 시간에 건조수축량을 다음 식 (2)와 같이 예측하고 있다.

$$\epsilon_{sh}(t, t_0) = \frac{t-t_0}{\alpha+(t-t_0)} \epsilon_{sh,u} \quad (2)$$

여기서, α 는 콘크리트의 양생조건에 따른 상수로서 7일간 수중양생인 경우 35, 1~3일간의 증기양생인 경우에는 55를 각각 사용한다. 또한 $\epsilon_{sh,u}$ 는 시간이 무한히 지났을 때의 건조수축량을 나타내며, 다음 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{sh,u} = -780 \times 10^{-6} C_{sh} \quad (3)$$

$$C_{sh} = C_{cp} C_h C_t C_s C_f C_a C_c \quad (4)$$

여기서, C_{cp} 는 양생기간에 따른 보정계수, C_h 는 공기의 상대습도에 따른 계수, C_t 는 부재의 두께에 따른 계수, C_s 는 슬럼프에 대한 계수, C_f

는 잔골재량에 따른 계수, C_a 는 공기량에 따른 계수, 그리고 C_c 는 단위시멘트량에 따른 계수이다.

다음 Table 5와 Fig. 15는 ACI-209 규준식에 사용되는 계수와 건조수축 예상결과를 그래프로 나타낸 것이다. ACI-209 예측모델은 다른 모델식과는 달리 각 양생재령마다 다른 건조수축을 예측하고 있다.

Table 5 The coefficient used in ACI-209 model

양생재령	C_{cp}	C_h	C_t	C_s	C_f	C_a	C_c
3	1.1	0.9	1.0	1.132	0.874	0.978	1.076
7	1.0						
28	0.86						
90	0.75						

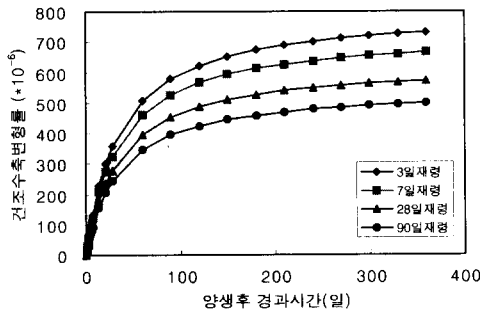


Fig. 15 Shrinkage strain by ACI-209 model

4.1.3 CEB/FIP-78 규준식

CEB/FIP-78은 t_0 와 t 시간에 사이에서의 평균 수축변형률을 다음 식 (5)와 같이 예측하고 있다.

$$\epsilon_{sh}(t, t_0) = \epsilon_{sho} [\beta_{sh}(t) - \beta_{sh}(t_0)] \quad (5)$$

여기서 ϵ_{sho} 는 기본수축계수를 나타내고, $\beta_{sh}(t)$ 는 시간에 따른 수축의 증가량으로 개념두께의 함수로 나타낼 수 있다. 다음 Table 6과 Fig. 16은 CEB/FIP-78 예측식에 사용되는 계수와 건조수축 예상결과를 그래프로 나타낸 것이다.

Table 6 The coefficient used in CEB/FIP-78 model

ϵ_{sh1}	ϵ_{sh2}	ϵ_{sho}
400.67	1.088	435.93

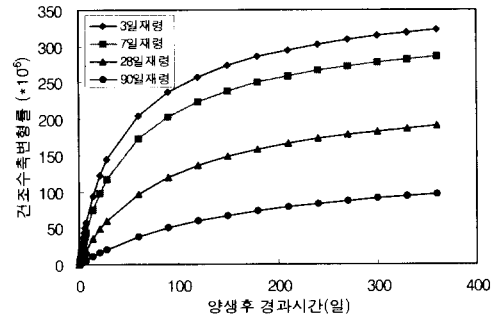


Fig. 16 Shrinkage strain by CEB/FIP-78 model

4.1.4 CEB/FIP-90 규준식

CEB/FIP-90에서는 건조수축 예측모델을 다음과 같이 시간이 무한히 흘렀을 때의 최종수축량에 시간에 대한 함수를 곱하여 나타내고 있다.

$$\epsilon_{sh}(t, t_0) = \epsilon_{sho} \beta_s(t - t_0) \quad (6)$$

여기서, ϵ_{sho} 는 개념수축계수(notional shrinkage coefficient), $\beta_s(t - t_0)$ 는 수축이 시작된 후의 시간에 따른 수축변형도의 변화를 나타내는 함수이고, t_0 는 수축이 시작되는 시간(일)이다.

Table 7 The coefficient used in CEB/FIP-90 model

f_{cm}/f_{cmo}	β_s	$\epsilon_s(f_{cm})$ ($\times 10^{-6}$)	β_{sRH}	β_{RH}	ϵ_{sho} ($\times 10^{-6}$)	β_{SH}
5.33	5	343	0.8 75	1.3 65	468	197

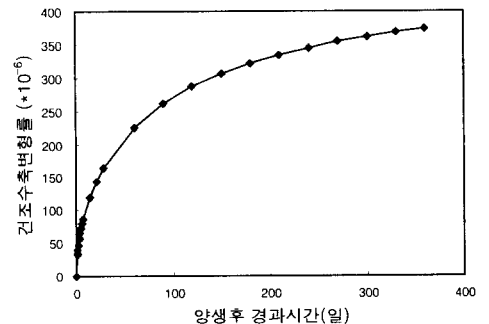


Fig. 17 Shrinkage strain by CEB/FIP-90 model

Table 7과 Fig. 17은 CEB/FIP-90 규준식에 사용되는 계수와 건조수축 예상결과를 그래프로 나타낸 것이다.

4.1.5 JSCE-96 규준식

JSCE-96에서의 건조수축 예측모델은 CEB/FIP-90 예측모델과 유사하며 다음 식과 같이 시간이 무한히 흘렀을 때의 최종수축량에 시간에 대한 함수를 곱하여 나타내고 있다.

$$\epsilon'_{cs}(t, t_0) = [1 - \exp(-0.108(t - t_0)^{0.56})] \epsilon'_{sh} \quad (7)$$

여기서 t_0 와 t 는 건조개시재령과 건조중 콘크리트의 유효재령을 뜻하며, ϵ'_{sh} 는 수축변형의 최종값($\times 10^{-5}$)을 나타낸다.

다음 Table 8에는 JSCE-96 예측모델에 사용된 계수값을 나타내었고, Fig. 18은 건조수축 예상결과를 그래프로 나타낸 것이다. 본 예측모델은 건조수축의 V/S값을 100mm이상으로 규정하고 있기 때문에 V/S는 100mm으로 산정하였다.

Table 8 The coefficient used in JSCE-96 model

RH (%)	W (kg/cm ²)	V/S (mm)	ϵ'_{sh} ($\times 10^{-6}$)
50	163	100	917

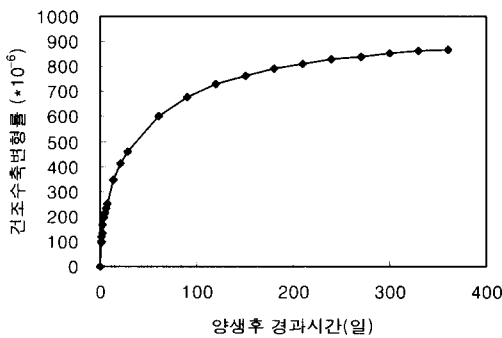


Fig. 18 Shrinkage strain by JSCE-96 model

4.1.6 건조수축 결과 비교 분석

다음 그림 19~22는 각 재령에 따른 건조수축 변형률을 실험결과와 각 규준식을 비교하여 나타낸 것이다.

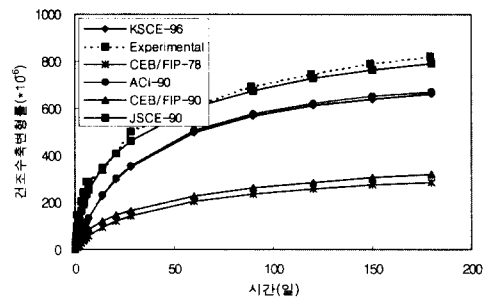


Fig. 19 Comparison for shrinkage strain at 3 curing age

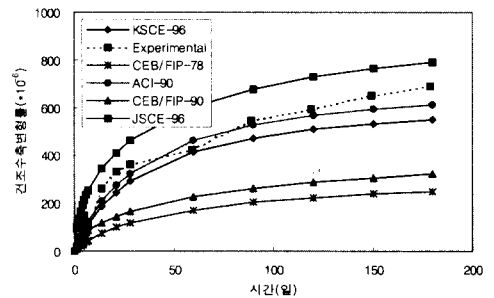


Fig. 20 Comparison for shrinkage strain at 7 curing age

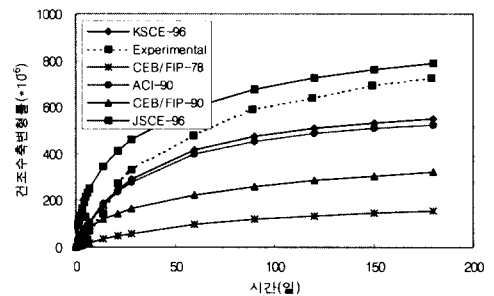


Fig. 21 Comparison for shrinkage strain at 28 curing age

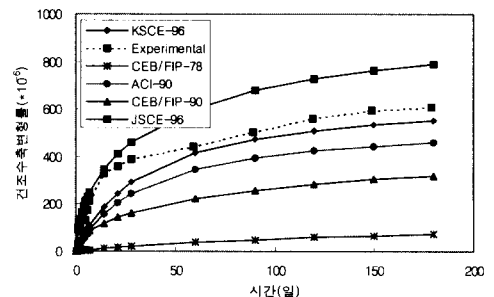


Fig. 22 Comparison for shrinkage strain at 90 curing age

그림 19부터 22는 각 재령에 따른 건조수축량을 비교한 것으로 실험값은 우리나라 표준식과 JSCE-96 표준식과 상당히 비슷한 값으로 나타났고 다른 표준식보다는 상당히 큰 건조수축량을 보여줌을 알 수 있었다.

4.2 크리프 표준식 비교 분석

4.2.1 KSCE-96 표준식

KSCE-96에 의한 크리프계수는 다음 식 (8)로 표현된다.

$$\phi(t, t_0) = 3.5K_c K_f \left(1.58 - \frac{H}{120}\right) t_0^{-0.118} \frac{(t-t_0)^{0.6}}{10.0 + (t-t_0)^{0.6}} \quad (8)$$

여기서, t =콘크리트의 재령(일), t_0 =하중이 처음 재하되었을 때의 재령(일), K_c =콘크리트 체적과 표면적 비에 따른 보정계수, H =상대습도(%), 그리고 K_f =콘크리트 강도에 따른 보정계수이다

Table 9는 콘크리트 크리프 변형을 실험에 의하여 결정되지 않은 환경요인을 고려하여 예측식에 사용된 계수값들이고, Fig. 23은 계수값을 식 (8)에 대입하여 산정한 콘크리트의 비크리프 예측결과를 나타낸 것이다.

Table 9 The coefficient used in KSCE-96 model

양생재령	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
3	1.0	0.935	1.0	1.216	0.978	1.0
7	0.994					
28	0.844					
90	0.735					

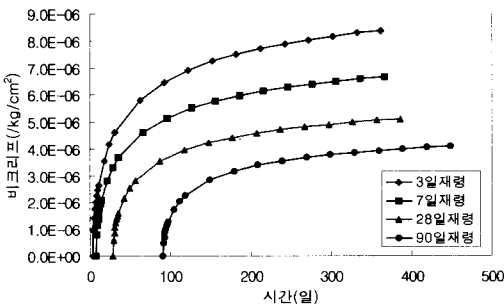


Fig. 23 Specific creep by KSCE-96 model

4.2.2 ACI-209 표준식

ACI-209 크리프 표준식은 다음식 (9)와 같은 크리프 계수를 제안하였다.

$$\phi(t, t_0) = \frac{(t-t_0)^{0.6}}{10.0 + (t-t_0)^{0.6}} C_u \quad (9)$$

여기서, t_0 =하중이 처음 가해진 시간(일)을 나타내고 C_u =극한 크리프 계수(ultimate creep coefficient)를 나타내며 다음 식 (10)과 같이 쓸 수 있다.

$$C_u = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times C_6 \quad (10)$$

여기서 C_1 =양생조건에 따른 계수, C_2 =상대습도 h (%)에 따른 계수, C_3 =평균 두께 h_0 (mm)에 따른 계수, C_4 =슬럼프치 s (mm)에 따른 계수, C_5 =전골재량에 대한 잔골재량의 중량비, 그리고 C_6 =공기량의 비 A (%)에 따른 계수를 나타낸다.

다음 Table 10은 ACI-209 예측식에 필요한 계수값을 나타내었고, Fig. 24에는 예측식에 의한 재령별 비크리프를 나타내었다.

Table 10 The coefficient used in ACI-209 model

재령	K_c	K_f	H (%)
3	1.0	0.646	50
7			
28			
90			

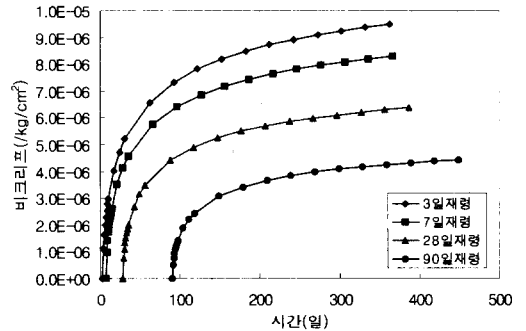


Fig. 24 Specific creep by ACI-209 model

4.2.3 CEB/FIP-78 예측식

CEB/FIP-78에서는 크리프계수의 예측을 다

음 식 (11)과 같이 회복가능한 지연탄성성분과 회복불가능한 유동성분으로 나누고 있다. 유동성분은 또 다시 초기유동성분(재하후 처음 24시간 동안 발생하는 것)과 지연유동성분으로 나누고 있다.

$$\phi(t, t_0) = \phi_d(t - t_0) + \beta_a(t_0) + \phi_f[\beta_f(t) - \beta_f(t_0)] \quad (11)$$

여기서 ϕ_d 는 지연탄성크리프계수(재령 28일에서의 순간변형률과 최종지연탄성변형률의 비)로서 0.4를 취하고 있고, $\beta_d(t - t_0)$ 는 지연탄성변형률의 증가량을 나타낸다. 또한 $\beta_a(t_0)$ 는 강도비에 따른 계수이고 ϕ_f 는 유동성분계수를 나타낸다.

다음 Table 11은 CEB/FIP-78 예측식에 필요한 계수값을 나타내었고, Fig. 25에는 예측식에 의한 재령별 비크리프를 나타내었다.

Table 11 The coefficient used in CEB/FIP-78 model

재령	ϕ_d	ϕ_f	α	β	$f_c(t_0)/f_c(\infty)$	$\beta_a(t_0)$	$\beta_f(t_0)$
3	0.4	5.1	20	1.2	32	919	0.2
7							0.4
28							0.2
90							0.1
							0.1
							0.2
							0.3
							0.6

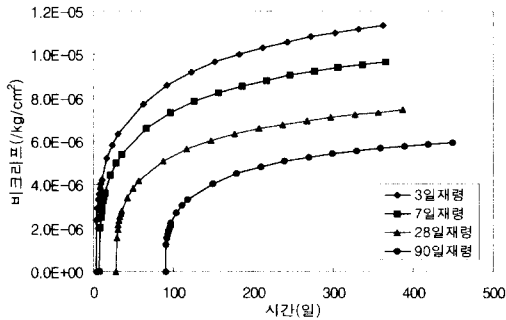


Fig. 25 Specific creep by CEB/FIP-78 model

4.2.4 CEB/FIP-90 표준식

CEB/FIP-90에서의 크리프 계수는 다음 식 (12)와 같이 표현된다.

$$\phi(t, t_0) = \Phi_{RH} \beta(f_{cm}) \beta(t_0) \beta(t - t_0) \quad (12)$$

여기서, Φ_{RH} =상대습도 RH(%)와 개념두께 h_0 (mm)에 따른 계수, $\beta(f_{cm})$ =압축강도 f_{cm} (MPa)에 따른 계수, $\beta(t_i)$ =시간 t_i 에 따른 계수, 그리고 $\beta(t - t_i)$ =지속시간 $(t - t_i)$ 에 따른 계수를 나타낸다.

다음 Table 12는 CEB/FIP-90 표준식에 필요한 계수값을 나타내었고, Fig. 26에는 표준식에 의한 재령별 비크리프를 나타내었다.

Table 12 The coefficient used in CEB/FIP-78 model

재령	Φ_{RH}	f_{cm}	$\beta(f_{cm})$	$\beta_a(t_0)$	β_H
3	2.196	53.51	2.295	0.743	362.5
7				0.635	
28				0.488	
90				0.391	

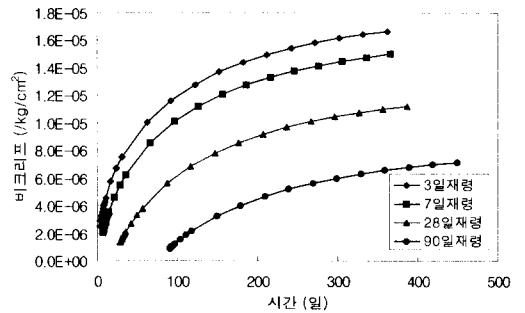


Fig. 26 Specific creep by CEB/FIP-90 model

4.2.5 JSCE-96 표준식

크리프 방정식은 유효재령 t' 에 재하된 콘크리트의 재령 t 에서의 크리프 변형률로 나타내며 다음 식 (13)으로 표현된다. 식 (13)에 사용된 계수들은 다음의 식 (14)~(16)으로부터 구한다.

$$\epsilon'_{cc}(t, t', t_0) = (1 - \text{Exp}(-0.09(t - t')^{0.6})) \epsilon'_{cc} \quad (13)$$

$$\epsilon'_{cr} = \epsilon'_{bc} + \epsilon'_{dc} \quad (14)$$

$$\epsilon'_{bc} = 15(C + W)^{2.0}(W/C)^{2.4}(\ln t)^{-0.67} \quad (15)$$

$$\epsilon'_{dc} = 4500(C + W)^{1.4}(W/C)^{4.2}(\ln(V/S)/10)^{-2.2} \times (1 - RH/100)^{0.36}(t_i)^{-0.3} \quad (16)$$

다음 Table 13은 JSCE-96 규준식에 대한 콘 크리트의 특성을 고려하여 산정된 계수값이며, JSCE-96예측식을 적용한 본 시험대상 콘크리트의 재령별 비크리프 예측결과는 다음 Fig. 27에 나타내었다.

Table 13 The coefficient used in JSCE-96 model

재령	C (kg/cm ²)	W (kg/cm ²)	RH (%)	V/S (mm)	ϵ'_{bc}	ϵ'_{dc}	ϵ'_{cr}
3	543	163	50	37.5	3.989	9.049	13.038
7					2.719	7.023	9.742
28					1.895	4.632	6.527
90					1.551	3.260	4.811

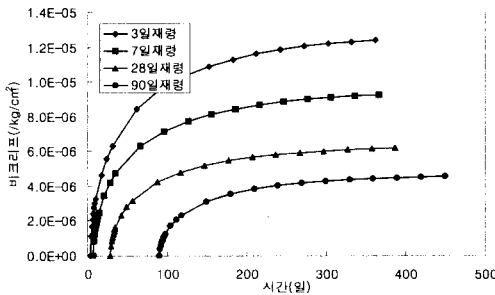


Fig. 27 Specific creep by JSCE-96 model

4.2.6 크리프 결과 비교 분석

다음 그림 28부터 31은 각 양생재령에서의 비크리프를 각 규준식과 비교한 것이다.

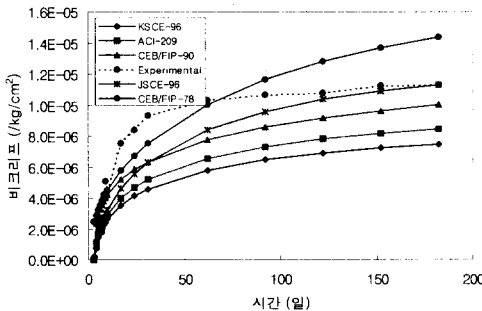


Fig. 28 Comparison for specific creep at 3 curing age

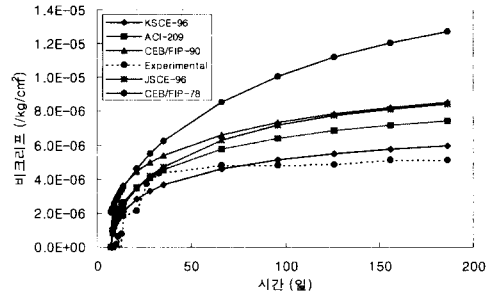


Fig. 29 Comparison for Specific creep at 7 curing age

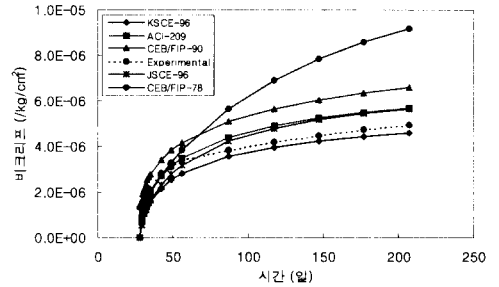


Fig. 30 Comparison for specific creep at 28 curing age

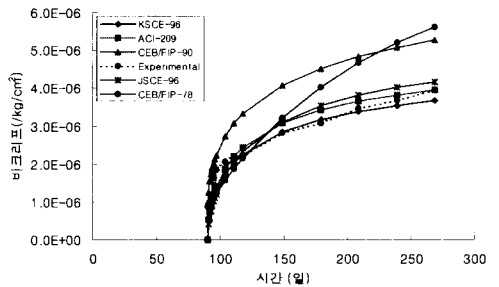


Fig. 31 Comparison for specific creep at 90 curing age

그림 28부터 31은 각 재령에 따른 비크리프를 비교한 것으로 건조수축과는 달리 다른 예측식보다는 다소 작은 값으로 나타났다. 설계의 바탕이 되는 CEB/FIP-78 식과 비교해 보았을 때도 건조수축의 비교와 달리 상당히 작은 크리프를 보이고 있으므로 향후 설계를 할 경우 이러한 사항을 고려해 주어야 한다. 또한 실험을 통한 크리프는 재령이 빠를수록 초기에 많은 크리프를 보이다가 급격히 완만해 지는 경향을 보여 기존의 예측식과는 다소 다른 경향을 보임을 알 수 있었다.

5. 결 론

참고문헌

- 1) 실험을 통한 재령에 따른 압축강도는 설계기 준강도보다 훨씬 상회한 값을 나타내어 설계 상 안전적이었으나, 압축강도에 따른 단성계 수의 값이 국내 콘크리트 시방서와 비교해 보 았을 때 다소 낮은 값을 나타내었다.
 - 2) 콘크리트의 건조수축은 3일재령의 건조수축을 제외하고는 비슷한 값을 보이므로 재령과 관 련이 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 180일 에서의 건조수축 기울기는 상당한 값을 보이 므로 향후에도 상당한 건조수축이 진행되리라 예상된다.
 - 3) 공시체에 파라핀을 도포함으로써 기본수축과 건조수축 및 기본크리프와 건조크리프를 비교 해 본 결과 습도가 건조수축 및 크리프에 뚜 렷한 영향을 미침을 알 수 있었다.
 - 4) 직접 실험한 재료변수를 토대로 각국의 건조 수축 표준식을 비교해 보았을 때 각 표준식간 에도 상당한 차이가 있음을 알 수 있었고, 실험을 통한 건조수축 값은 각 표준식보다도 큰 값을 나타냄을 알 수 있었다. 특이한 사항은 CEB/FIP-78 예측모델의 경우 재령이 커질 수록 실험결과와 비교해 볼 때 건조수축변형 률을 상당히 과소평가하고 있다고 판단되었 다.
 - 5) 크리프변형은 국내 콘크리트 표준시방서와 상 당히 비슷한 모양을 나타내고 있으나 다른 규 준식들보다는 다소 낮은 크리프 변형을 보임 을 알 수 있었다. 또한 시간에 따른 크리프 변형 모양은 각 표준식과는 다른 유형으로 초 기에 급격하게 변하고 종반으로 갈수록 완만 해짐을 알 수 있었다.
 - 6) 콘크리트의 크리프 및 건조수축은 사용하는 각 재료에 따라서 상당한 차이를 보이고 있으 나, 각 표준식에는 이러한 재료변수를 정확히 고려하지 않아 다소 신뢰성이 떨어지지만 간 편하기 때문에 많이 쓰이고 있는 실정이다. 그러나 크리프나 건조수축은 구조물에 상당한 영향을 미칠 수 있는 변형이기 때문에 국내의 재료 및 환경에 적합한 예측을 할 수 있는 많 은 실험적 연구가 선행되어야 한다.
1. Neville, A. M., Property of Concrete, Pitman : London and Marshfield, Mass., 1981, pp. 359-432.
 2. Ngab, A. S., Nilson, A. H., and Slate, F. O., Shrinkage and Creep of High Strength concrete, ACI Journal, Proceedings V.78, No 4, July-August 1981, pp. 255-261.
 3. 김생빈, 김성욱, 실용 고강도 콘크리트의 크리프에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회 논문집, 제 9권, 6 호, 1997. 12., pp. 147-156.
 4. 송하원, 정원섭, 변근주, 송영철, 원자로 격납구조 콘크리트의 크리프 특성에 관한 연구, 콘크리트학회 논문집, 제 9권, 4호, 1997. 8., pp. 155-165.
 5. CEB/FIP, Model Code 1978, Comit Euro-International du Beton, 1978.
 6. ACI Committe 209, Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effect in Concrete Structure, ACI-SP-76, 1982.
 7. CEB/FIP, Model Code 1990, Comit Euro-International du Beton, 1990.
 8. 日本土木學會, 콘크리트標準示方書 (平成8年版), 設計編, 1996.
 9. 건설교통부제정, 콘크리트표준시방서, 1996, pp. 8~18.
 10. ASTM Committee C-9, Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04. 02., C-512-82, 1983.
 11. ASTM Committee C-9, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Annual Book of Astm Standards, Vol. 04. 02., C-469-87a, 1983.
 12. ASTM Committee C-9, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete, Annual Book of Astm Standards, Vol. 04. 02., C-157-93, 1983.
 13. Bazant, Z. P., and Wittmann, F. H., Creep and Shrinkage in Concrete Structures, John Wiley & Sons Ltd, 1982.
 14. Neville, A. M., Dilger, W. H., and Brooks, J. J., Creep of Plain and Structural Concrete, Construction Press, London and New York, 1983.

요 약

본 연구는 현재 시공중인 PSC 박스거더 교량에 적용된 콘크리트의 제작변수와 동일한 시료를 취하여 실험을 수행하여 사용되는 콘크리트의 제반강도특성, 탄성계수특성, 그리고 크리프 및 건조수축 특성을 보다 정확하게 파악하고, 설계에 바탕이 된 CEB/FIP-78 기준식을 포함하여 ACI-209, KSCE-96, CEB/FIP-90 그리고 JSCE-96 기준식과 비교하여 크리프 및 건조수축 특성을 분석하였다. 건조수축의 경우 KSCE-96과 JSCE-96 기준식과 비슷한 양상을 보였으나 다른 기준식보다는 일반적으로 상당히 큰 값으로 나타났고, 크리프의 경우 ACI-209나 KSCE-96과 비슷한 양상을 보였으나 건조수축과는 달리 다른 기준식에 비하여 다소 낮은 값을 나타냈다.

(접수일자 : 1998. 11. 12)