콘크리트 크리프의 확률론적 거동 해석

The Analysis of Statistical Behavior in Concrete Creep

김 두 환* 박 종 철**
Kim, Doo-Hwan Park, Jong-Choul

Abstract

This study is to measure the creep coefficient by 3 days, 7 days and 28 days in the age when loading for the quality assessment of 350 kgf/cm^2 in the high-strength concrete. And it is to analyze the behavior of creep coefficient by applying the experimental data though the compressive strength test, the elastic modulus test and the dry shrinkage test to the ACI-209, AASHTO-94 and CEB/FIP-90, the prediction mode, and the basis of concrete structural design. Also it is to analyze the behavior of short-term creep coefficient during 91 days in the age when loading through the experiment by using the regression analysis, the statistical theory. As applying it to the long-term behavior during 365 days and comparing with the creep prediction mode and examining it, the result from the analysis of the quality of the concrete is as follows.

As the result of comparison and analysis about the ACI-209, AASHTO-94 and CEB/FIP-90, the prediction mode, and the basis of concrete structural design, the normal Portland cement class 1 shows the approximate value with the prediction of CEB/FIP-90 and the basis of concrete structural design, but in case of the prediction of ACI-209 and AASHTO-94, there would be worry of underestimation in the application.

keywords : Creep Coefficient, High-Strength Concrete, Dry Shrinkage Test, Elastic Modulus Test

1. 서 론

콘크리트는 관련 기술의 발전과 더불어 건설구조물의 기능이 다양화됨으로써, 폭넓게 사용되어 지금까지 막대한 도시기반 시설을 형성하고 있으며, 구조물의 용도에 따라 고기능, 고품질의 콘크리트가 요구되고 있는 추세이므로 이들에 대한 품질평가 및 내구성은 대단히 중요하며 구조물의 성능 향상에 노력할 필요가 있다.

* 정회원, 서울산업대학교 구조공학과 교수, 공학박사
** 서울산업대학교 구조공학과 석사과정

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2001년 6월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

콘크리트의 크리프는 구조물의 장기거동을 대표적으로 나타내는 인자로서, 과거에는 크리프의 영향을 구조물의 거동에 고려하지 않더라도 안정성 및 사용성이 그다지 큰 문제가 되지 않았다. 그러나, 근래에 와서는 구조물의 대형화, 콘크리트의 기술발전 등에 따른 성능향상 및 강도증가로 적용부재의 단면적이 과거에 비해 감소했기 때문에 구조물의 품질평가 및 내구성에 대하여 초기거동뿐만 아니라 장기거동에 대한 평가가 중요시되고 있다.

본 연구는 고강도콘크리트 설계 기준 강도 350 kgf/cm^{2}의 품질평가를 위해 재하시 재령 3일, 7일, 28일 별로 크리프계수를 측정하였고, 압축강도 시험, 탄성계수 시험 및 건조수축 시험을 통하여 얻은 실험데이터를 예측모드인 ACI-209[1], AASHTO-94[2], CEB/FIP-90[3] 및 콘크리트 구조설계 기준[4]에 적용하여 크리프계수의 거동을 분석하고, 통계학적 이론인 회귀분석을 이용하여 실험을 통해 얻은 하중 재하 91일의 단기크리프계수의 거동을 분석하여 365일의 장기거동에 적용 크리프 예측모드와 비교 검토함으로써 콘크리트의 품질을 평가하여 구조물의 안전성을 도모하고자 한다.

2. 실험수행 및 분석

2.1 사용재료

본 실험은 보통 포틀랜드 1종 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 Table 2와 같고, 잔 골재 및 굵은 골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

또한 소정의 공기량을 확보하기 위해 주성분이 리그닌술폰산 칼슘인 M사의 표준형 AE감수제를 사용하였고, 혼화제의 검사성적서는 Table 4에 나타내었다.

콘크리트의 배합은 시멘트, 잔골재, 굵은골재 및 혼화재료등의 비율 또는 사용량을 조절하여 필요한 강도, 내구성, 수밀성 및 작업에 알맞는 워커빌리티를 가진 범위내에서 단위수량이 최소가 되도록 각 재료의 비율을 정하였다.

Table 1 시멘트의 화학성분

Items / Type	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	C_aO (%)	M_gO (%)	SO_3 (%)	Ig.loss (%)
C1	20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	1.9

Table 2 시멘트의 물리적 성질

항 목		KS 규 격	시험 결과
분 말 도	비표면적 (cm_2/g)	2.800 이상	3.300
안 정 도	오토크레이브팽창도 (%)	0.8 이하	0.11
응결시간 (길모아시험)	초결 (분) 종결(시간)	60 이상 10 이하	260 6:40
압축강도 (kgf/cm^2)	3 일 7 일 28 일	130 이상 200 이상 290 이상	224 306 360

Table 3 골재의 물리적성질

품 명	규 정	항 목	단 위	기준	시험결과
굵은 골재 (19mm)	KSF 2502	조립율	-	5.0~8.0	6.7
	2508	마모감량	%	40이하	16.8
	2503	표건비중	-	2.5이상	2.65
	2503	흡수율	%	3.0이하	0.4
	2507	안정성	%	12이하	2.84
	2511	NO.200체통과량	%	1.0이하	0.98
잔 골재	KSF 2502	조립율	-	2.3~3.1	2.68
	2503	표건비중	-	2.5이상	2.58
	2503	흡수율	%	3.0이하	0.7

Table 4 콘크리트용 화학혼화제 검사성적서

NO	검사항목		품질기준	시 험 결 과		합부 판정
				기준콘크리트	시험콘크리트	
1	비중(20/20℃)		1.190±0.02	-	1.184	합격
2	pH		7.0±1.0	-	7.0	합격
3	공기량		(기준CON'C+3.0)±0.5	1.7	4.7	합격
4	슬럼프(cm)		8.0±1.0	8.0	8.5	합격
5	감수율 %		10이상		11.5	합격
6	블리딩량의 비 %		70이하	-	61	합격
7	응결시간 (시 : 분)	초결	기준CON'C-60~+90	7 : 10	8 : 05	합격
		종결	기준CON'C-60~+90	9 : 50	10 :45	합격
8	압축강도의 비	3일	115이상	100	120	합격
		7일	110이상	100	118	합격
		28일	110이상	100	116	합격
9	전체알카리량 (kgf/m³)		0.30이하	-	0.006	합격
10	길이변화비 (%)		120이하	-	1.04	합격
11	상대동탄성계수 (%)		80이상	-	90	합격
12	*길이변화비 : 1999년 5월 12일 **상대동탄성계수 : 1999년 6월 8일 측정치					

Table 5 콘크리트 시방 배합표

규 격	설계기준강도 (kgf/cm²)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/A (%)	단위 무게 (kg/m³)				
						W (kg)	C (kg)	SAND (kg)	AGG (kg)	혼화제 (g)
19-350-12	350	12	4.5	37.5	42.1	183	488	670	947	1,464

상기 같은 재료를 사용하여 제작한 콘크리트의 배합 설계표는 아래 Table 5와 같다.

2.2 실험장비

시험장치 및 시험공시체의 정착상황을 보여주는 시험 전경을 Fig. 1에 도시하였으며, 본 연구에서는 압축 크리프 시험기의 유압계를 보면서 수동식 유압잭으로 규정된 유압을 가한 후, 스프링 아래의 지지 판을 볼트로 체결하여 스프링의 수축탄성력을 이용하여 하중판(load plate) 위에 있는 실린더형 시험체에 지속하중이 가해지도록 하였다. 또한 스프링 체결볼트의 정착슬립(anchorage slip)과 지시대(bending rod)의 탄성변형 등의 하중 손실요인으로 인한 하중 변동을 체크하기 위하여 상부 하중판 아래에 로드셀(load cell)을 부착하였다. 시험도중 로드셀의 값이 초기 설정하중의 2%이상 변동 있을 때는 하중을 조정하였다.

이 실험장비는 ø50mm의 스테인레스 강봉으로 된 4축의 지지대가 최하부 바닥 판에서부터 상부 하중 판까지를 연결, 지지하도록 되어 있고 바닥 판과 하부 하중 판 사이에 4군데의 지지대를 따라 스프링이 배치되어 있다. 또한 중앙에 스프링이 배치되어 있어서 최대한 편심이 작용되지 않도록 하였으며 하부 하중 판 위에는 시험체를 올려놓는 곳에 면 마찰 베어링을 배치하여 가할 시 편심력이 작용하지 않도록 하였다.

본 실험에서는 변형률의 정확성을 높이기 위하여 3개의 시험체를 동시에 재하 평균값을 취하였다. 휘트모이게이지(whittmore gage)를 이용하여 변형률을 측정하였다. 본 실험에 사용된 휘트모이게이지는 1/500mm의 정밀도를 가지고 있으며 Gage Factor가 0.79이다.

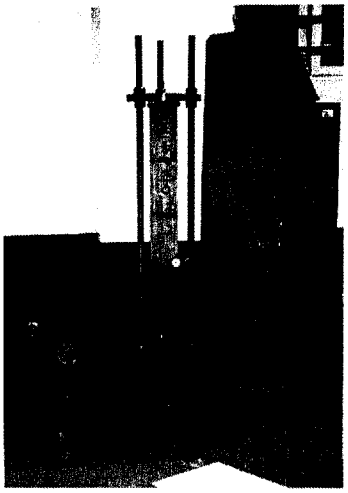

Fig. 1 시험 전경

2.3 실험수행 및 측정결과

하중을 재하하기 전에 시편의 게이지 길이를 측정하고, 재하 한 직후 변형량을 측정하여 하중에 의한 탄성 변형도를 산정하였다. 크리프는 하중 재하 초기에 발생량이 많으므로 처음 1주일간은 매일, 이후 28까지는 매주, 그 이후로는 14일에서 30일 간격으로 변형을 측정하였다. 91일간의 변형량을 측정하였고, 크리프계수를 산정하여 나타낸 것이 Fig. 2에서 Fig. 4이다.

3. 크리프 예측 및 확률론적 거동분석

3.1 예측모드에 의한 크리프 거동

콘크리트의 크리프와 건조수축 예측 모델 연구의 주된 방향은 이에 영향을 미치는 여러 인자를 적절히 평가하여 입력자료로 활용하는데, 각 방법이 해석상의 차이는 있지만 가장 기본적으로 요구되는 자료는 배합구성, 콘크리트의 강도, 주위환경, 재료의 성질, 혼화재의 성분, 및 적용되는 구조물의 특성 등이다. Table 6은 각 예측모드별 크리프에 영향을 주는 요소를 나타내고 있다.

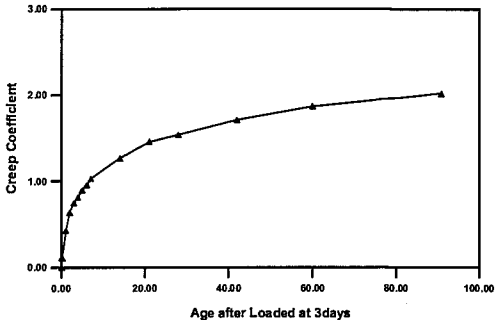

Fig. 2 재령 3일의 크리프계수 측정치

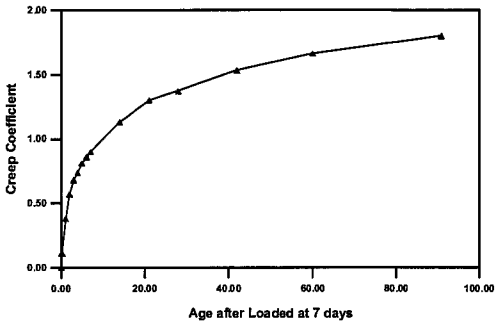

Fig. 3 재령 7일의 크리프계수 측정치

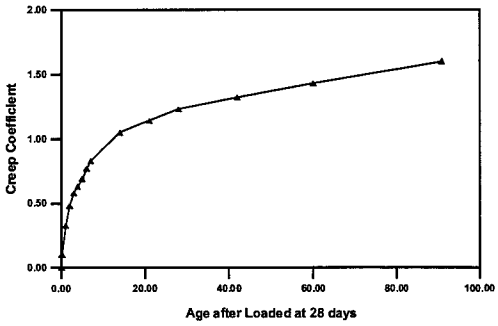

Fig. 4 재령 28일의 크리프계수 측정치

3.2 실험 값과 예측모드의 비교평가

단기 실험을 통해 얻은 콘크리트 크리프계수를 예측모드인 ACI-209, AASHTO-94, CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준의 규준식들과 재하시 재령 3일, 7일, 28일 별로 거동을 비교 분석하였다.

Table 6 크리프 예측식에 영향을 주는 요소 (* 는 각 예측모드 별 적용 요소임)

	요 소	ACI-209	AASHTO-94	CEB/FIP-90	콘크리트 구조설계 기준
내적환경	단위시멘트량(C)	*			
	단위중량(G)	*			
	압축강도(σck)		*	*	*
	슬럼프(s)	*			
	공기량(A)	*			
	시멘트 종류			*	*
외적요소	양생기간		*		
	양생방법	*		*	*
	온도				*
	상대습도	*	*	*	*
	하중재하시 재령	*	*	*	*
구조	구조형상				
	체적/표면적(V/S)	*	*	*	*
	평균두께	*		*	*

Fig. 5는 예측모드와 실험 크리프계수를 재하시 재령 3일의 값을 비교한 결과 CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준의 크리프계수 치가 다소 높게 나타났고, ACI-209, AASHTO-94, 결과치가 실험 크리프 계수를 밑도는 결과를 나타내었다.

재하시 재령 7일의 비교결과, 재령3일의 값과 유사한 결과를 나타났다. 하시만, 재령 3일 값의 크리프계수에 비하여 재령 7일의 크리프계수가 예측모드 CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준에 근접해 있음을 Fig. 6에서 볼 수 있다.

Fig. 7은 재하시 재령 28일의 크리프계수는 ACI-209, AASHTO-94, CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준의 예측모드의 계수치보다 다소 높게 나타나 있음을 볼 수 있다.

재하시 재령 3일, 7일, 28일의 크리프 실험계수를 예측모드와 비교평가 해 본 결과, 재령 3일, 7일의 크리프계수는 예측모드 CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준의 크리프 예측치를 밑도는 결과를 나타내었고,

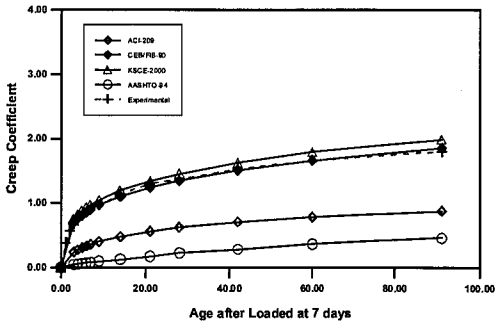

Fig. 6 재령 7일의 비교평가

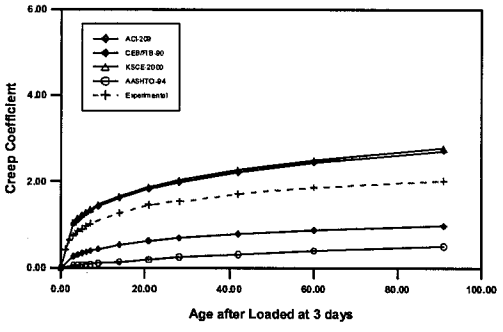

Fig. 5 재령 3일의 비교평가

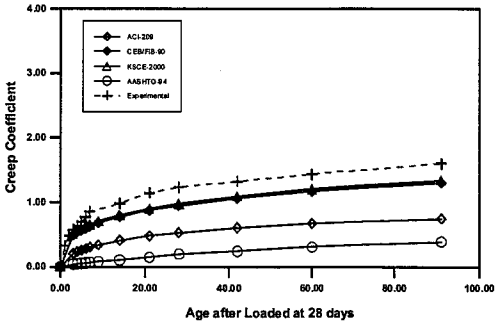

Fig. 7 재령 28일의 비교평가

재령 28일에는 실험 크리프계수가 점차 증가하여 CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준의 예측치보다 다소 증가했음을 알 수 있다. 이는 이상화된 이론식과 실제화 된 시험과의 실험환경 및 외부조건의 불일치로 나타난 결과로 사료된다.

본 실험결과 예측모드 CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준은 실험 크리프계수 치에 매우 근사한 값을 나타났으며, ACI-209 및 AASHTO-94는 실험결과에 비하여 다소 낮은 값을 나타났다.

3.3 확률론적 거동 분석

3.3.1 재하시 재령3일 크리프 분석

Fig. 8은 Table 7을 실험분석을 통하여 재하시 재령 3일의 실험 크리프계수에 대수(logarithm)를 이용하여 변환된 경우로 비 선형적인 거동을 하는 크리프계수의 추세선을 나타낸 것이다. 재하시 재령 3일의 크리프계수 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

Table 8의 분석결과 표준오차(standard error)는 0.038647로 회귀분석결과 관측치가 표본회귀선으로부터 매우 근접해 있음을 보여주고 있고, 결정계수(coefficient of determination)는 0.994517로써 추정한 표본 회귀선이 각 관측치들에 대하여 높은 적합성을 나타내고 있어 표본 회귀선의 객관적인 정도를 보여주고 있다.

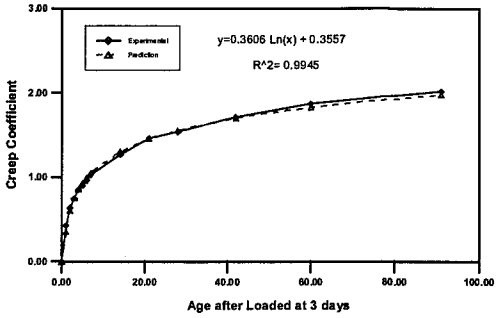

Fig. 8 재령 3일의 추세선

Table 7 재령 3일의 실험분석

측점	재령	실험치	예상치	잔차	잔차제곱	총변동
1	1	0.43	0.3557	0.0743	0.005520	0.569421
2	2	0.64	0.6057	0.0343	0.001176	0.296589
3	3	0.75	0.7519	-0.0019	0.000004	0.188877
4	4	0.82	0.8560	-0.0360	0.001296	0.132933
5	5	0.90	0.9361	-0.0361	0.001303	0.080997
6	6	0.96	1.0018	-0.0418	0.001747	0.050445
7	7	1.03	1.0574	-0.0274	0.000751	0.023901
8	14	1.27	1.3073	-0.0373	0.001391	0.007293
9	21	1.46	1.4536	0.0064	0.000041	0.075845
10	28	1.54	1.5573	-0.0173	0.000299	0.126309
11	42	1.71	1.7035	0.0065	0.000042	0.276045
12	60	1.87	1.8321	0.0379	0.001436	0.469773
13	91	2.02	1.9823	0.0377	0.001421	0.697893
합계	284	15.4	15.4007	-0.0007	0.016429	2.996323

Table 8 재령 3일의 분석결과

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.997255
결정계수	0.994517
조정된 결정계수	0.994018
표준 오차	0.038647
관측횟수	13

분산분석

	자 유 도	제 곱 합	제곱 평균	F비
회 귀	1	2.979894	2.979894	1995.151
잔 차	11	0.016429	0.001494	
계	12	2.996323		

	계수	표준오차	t통계량	P-값	하위95%	상위95%
Y절편	-4.9E-05	0.028606	-0.00173	0.998651	-0.06301	0.062912
예상치	0.999996	0.022388	44.66711	8.65E-14	0.950721	1.049271

3.3.2 재하시 재령7일 크리프 분석

Fig. 9은 Table 9을 실험분석을 통하여 재하시 재령7일의 실험 크리프계수에 대수(logarithm)를 이용하여 변환된 경우로 비 선형적인 거동을 하는 크리프계수의 추세선을 나타낸 것이다.

재하시 재령 7일의 크리프계수 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

Table 10의 분석결과 표준오차(standard error)는 0.033695로 회귀분석결과 관측치가 표본회귀선으로부터 매우 근접해 있음을 보여주고 있고, 결정계수(coefficient of determination)는 0.994718로써 추정한 표본 회귀선이 각 관측치들에 대하여 높은 적합성을 나타내고 있어 표본 회귀선의 객관적인 정도를 보여주고 있다.

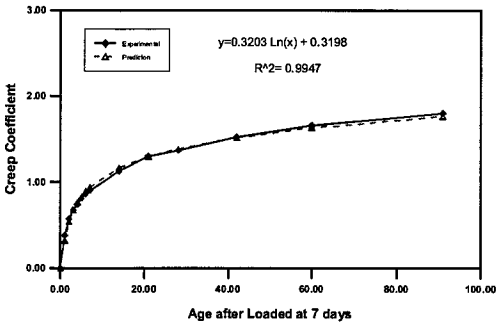

Fig. 9 재령 7일의 추세선

3.3.3 재하시 재령28일 크리프 분석

Fig. 10은 Table 11를 실험분석을 통하여 재하시 재령 28일의 실험 크리프계수에 대수(logarithm)를 이용하여 변환된 경우로 비 선형적인 거동을 하는 크리프계수의 추세선을 나타낸 것이다. 재하시 재령 28일의 크리프계수 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

Table 12의 분석결과 표준오차는 0.032092로 회귀분석결과 관측치가 표본회귀선으로부터 매우 근접해 있음을 보여주고 있고, 결정계수는 0.993883로써 추정한 표본 회귀선이 각 관측치들에 대하여 높은 적합성을 나타내고 있어 표본 회귀선의 객관적인 정도를 보여주고 있다.

Table 9 재령 7일의 실험분석

측점	재령	실험치	예상치	잔차	잔차제곱	총변동
1	1	0.38	0.3198	0.0602	0.003624	0.457184
2	2	0.57	0.5418	0.0282	0.000795	0.236346
3	3	0.68	0.6717	0.0083	0.000069	0.141492
4	4	0.74	0.7638	-0.0238	0.000566	0.099953
5	5	0.81	0.8353	-0.0253	0.000640	0.060592
6	6	0.86	0.8937	-0.0337	0.001136	0.038476
7	7	0.90	0.9431	-0.0431	0.001858	0.024384
8	14	1.13	1.1651	-0.0351	0.001232	0.005453
9	21	1.30	1.2950	0.0050	0.000025	0.059461
10	28	1.37	1.3871	-0.0171	0.000292	0.098499
11	42	1.53	1.5170	0.0130	0.000169	0.224530
12	60	1.66	1.6312	0.0288	0.000829	0.364630
13	91	1.80	1.7646	0.0354	0.001253	0.553307
합계	284	13.73	13.7292	0.0008	0.012489	2.364308

Table 10 재령 7일의 분석결과

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.997355
결정계수	0.994718
조정된 결정계수	0.994238
표준 오차	0.033695
관측횟수	13

분산분석

	자 유 도	제 곱 합	제곱 평균	F비
회 귀	1	2.351819	2.351819	2071.431
잔 차	11	0.012489	0.001135	
계	12	2.364308		

	계수	표준오차	t통계량	P-값	하위95%	상위95%
Y절편	-3.3E-05	0.025017	-0.00133	0.998963	-0.0551	0.05503
예상치	1.00009	0.021974	45.51298	7.04E-14	0.951726	1.048454

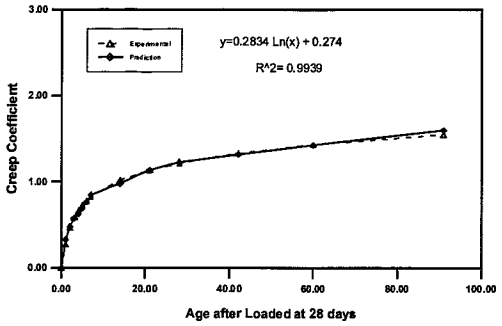

Fig. 10 재령 28일의 추세선

Table 11 재령 28일의 실험분석

측점	재령	실험치	예상치	잔차	잔차제곱	총변동
1	1	0.33	0.2740	0.0560	0.003136	0.354483
2	2	0.48	0.4704	0.0096	0.000092	0.198367
3	3	0.58	0.5855	-0.0055	0.000030	0.119291
4	4	0.63	0.6669	-0.0369	0.001362	0.087252
5	5	0.69	0.7301	-0.0401	0.001608	0.055406
6	6	0.77	0.7818	-0.0118	0.000139	0.024144
7	7	0.85	0.8255	0.0245	0.000600	0.005683
8	14	0.98	1.0219	-0.0419	0.001756	0.002983
9	21	1.14	1.1368	0.0032	0.000010	0.046060
10	28	1.23	1.2184	0.0116	0.000135	0.092791
11	42	1.32	1.3333	-0.0133	0.000177	0.155721
12	60	1.43	1.4343	-0.0043	0.000019	0.254637
13	91	1.60	1.5524	0.0476	0.002266	0.455106
합계	284	12.03	12.0313	-0.0013	0.011329	1.851923

Table 12 재령 28일의 분석결과

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.996937
결정계수	0.993883
조정된 결정계수	0.993326
표준 오차	0.032092
관측횟수	13

분산분석

	자 유 도	제 곱 합	제곱 평균	F비
회 귀	1	1.840594	1.840594	1787.153
잔 차	11	0.011329	0.00103	
계	12	1.851923		

	계수	표준오차	t통계량	P-값	하위95%	상위95%
Y절편	-5.2E-05	0.023631	-0.00219	0.998291	-0.05206	0.05196
예상치	0.999948	0.023654	42.27473	1.58E-13	0.947887	1.052009

3.4 추세선에 의한 예측 거동

앞에서는 실험을 통해 얻은 재허시 재령3일, 7일, 28일 단기 크리프계수 값을 통계적 방법인 회귀분석을 통해 예측모델을 완성하였다. 예측모델의 적용은 크리프는 단기재령에서는 급한 기울기 변화를 나타내고 후기 재령에서의 기울기가 완만해지는 특성을 충분히 고려해야 한다.

본 연구에서는 콘크리트 크리프 예측은 초기재령보다는 장기재령 예측이 중요하기 때문에 91이전의 단기 크리프계수의 변화를 분석하여 91일 이후 후기 콘크리트 크리프계수 예측에 적용하여 365일 후의 크리프계수의 값을 예측하고자 한다.

예측모델을 후기 크리프계수의 적용에는 단기 실험의 환경 및 외부조건이 후기 재령까지 연속된다는 가정이 선행되어야 할 것이다.

3.4.1 재하시 재령 3일의 후기 크리프 예측거동

Fig. 11은 재하시 재령 3일의 91일의 단기 크리프 계수의 회귀분석 결과를 적용 365일의 후기 크리프 예측거동을 나타내고 있으며, 365일 후기 크리프 예측결과 가장 높은 크리프계수를 나타내 콘크리트 구조설계 기준의 계수 값은 3.667이고, 회귀분석결과 예측 값은 2.483으로 후기 크리프 예측에서도 안정된 값을 보여주고 있다.

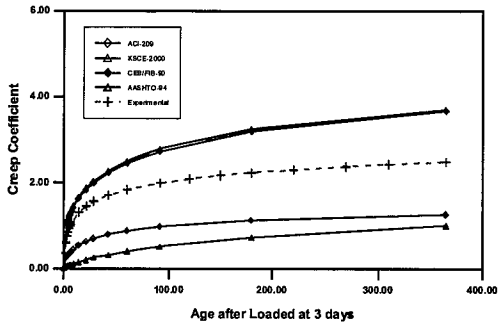

Fig. 11 재령 3일의 후기 크리프 예측거동

3.4.2 재하시 재령 7일의 후기 크리프 예측거동

Fig. 12은 재하시 재령 7일의 91일의 단기 크리프 계수의 회귀분석 결과를 적용 365일의 후기 크리프 예측거동을 나타내고 있으며, 365일 후기 크리프 예측결과 가장 높은 크리프계수를 나타내 콘크리트 구조설계 기준의 계수 값은 2.65이고, 회귀분석결과 예측 값은 2.21으로 후기 크리프 예측에서도 안정된 값을 보여주고 있다. 하지만 재하시 재령3일의 크리프계수보다 CEB/FIP-90, 콘크리트 구조설계 기준의 예측모드에 근접해 있음을 알 수 있다.

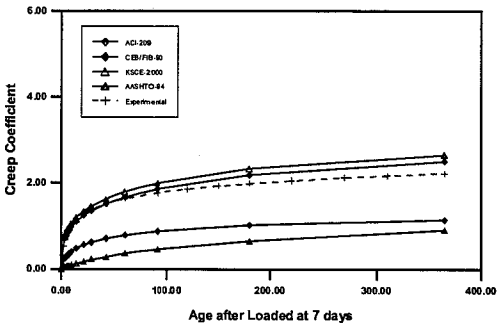

Fig. 12 재령 7일의 후기 크리프 예측거동

3.4.3 재하시 재령 28일의 후기 크리프 예측거동

Fig. 13은 재하시 재령 28일의 91일의 단기 크리프계수의 회귀분석 결과를 적용 365일의 후기 크리프 예측거동을 나타내고 있으며, 365일 후기 크리프 예측결과 가장 높은 크리프계수 값을 나타낸 예측모드인 콘크리트 구조설계 기준의 계수 값은 1.778이고, 회귀분석결과 예측 값은 1.946으로 CEB/FIP-90, 콘크리트 구조설계 기준의 예측모드에 예측 값을 초과했다. 이는 91일의 단기크리프계수의 실험결과 값과 같은 양상을 나타내고 있음을 알 수 있다.

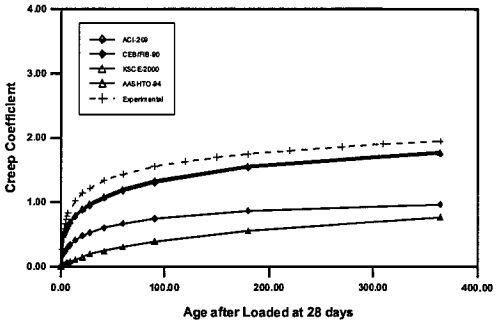

Fig. 13 재령 28일의 후기 크리프 예측거동

4. 결 론

본 연구에서는 콘크리트 구조의 장기 특성을 규명하기 위해 1종 시멘트로 제작된 재령별 대상 콘크리트의 실험 결과를 비교 검토하여 제시하였으며, 콘크리트 크리프계수의 365일 장기 특성을 결정하기 위하여 91일의 단기 실험 크리프계수를 통계적 이론인 회귀분석을 적용하여 특성연구 하였으며, 추천된 예측모드인 ACI-209, AASHTO-94, CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준과 관련 근거를 검토하여 비교 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 재하시 재령에 따른 비 크리프의 크기는 상대적인 차이를 갖고 있었으며 재령이 클수록 비 크리프 값이 작아짐을 알 수 있었다. 이러한 재하 시 재령의 증가에 따른 비 크리프의 감소비율은 초기 재령에서 크게 발생하고 후기 재령으로 갈수록 비 크리프의 감소비율은 둔화되고 있음을 알 수 있었다.

2) 실험을 통해 얻어진 크리프계수 값들을 회귀분석결과 측정치가 표본회귀선에 매우 근접해 있음을 보여 주었고, 결정계수도 높은 정도성을 나타내어 추세선에 의한 크리프의 장기 예측거동 파악이 가능함을 알 수 있었으나, 실용적인 장기 예측을 하기 위해서는 추가적인 연구와 보다 체계적인 실험이 뒷받침 되어야할 것이다.

3) 콘크리트 크리프의 예측모드인 ACI-209, AASHTO-94, CEB/FIP-90 및 콘크리트 구조설계 기준의 비교평가 결과 본 실험에 사용된 보통포틀랜드 1종 시멘트는 CEB/FIP-90 , 콘크리트 구조설계 기준의 예측모드와 근접한 결과치를 나타냈으나, ACI-209, AASHTO-94의 예측모드의 경우는 적용에 있어 과소 평가의 우려가 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. ACI 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI318M-89/ACI318R-89), American Concrete Institute, Detroit, 1990, pp. 108-109.
2. AASHTO(1994), LRFD Bridge Design Specification.
3. CEB/FIP Model Code, Comite EuroInternational du Beton, 1990, pp. 209R1-209R32.
4. 건설교통부제정, 콘크리트 구조설계기준, 2000, pp. 43-48.

(접수일자 : 2000년 11월 30일)