

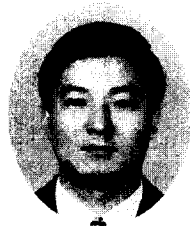
철근콘크리트 보의 철근부식에 미치는 하중의 영향에 관한 연구

Influence of Loading on the Corrosion of Reinforcing Bar



김형래*

Kim, Hyung-Rae



윤상천**

Yoon, Sang-Chun



지남용***

Jee, Nam-Yong

ABSTRACT

The present research investigated the interaction among loading level, corrosion rate and flexural deflection of reinforced concrete beams. 10cm×15cm×110cm reinforced concrete beams were prepared and subjected to different levels of flexural loading, including 0%, 45% and 75% of the ultimate load. The beams with either a pre-load or a sustained load were also exposed to a laboratory environment with ponding and wetting/drying cycling at room temperature. Half cell potential and galvanized current measurements were taken to monitor corrosion process of reinforcing steel. After corrosion initiation, external current was applied to some of the beams to accelerate corrosion propagation. The beam deflections were recorded during the entire tests.

The results indicate that loading level has significant effect on corrosion rate. The beams under a sustained load had much higher corrosion rate than the pre-loaded and then unloaded beams. Significant corrosion may result in an increase in beam deflection and affect serviceability of the structure. The present research may provide an insight into structural condition evaluation and service life predictions of reinforced concrete.

Keywords: reinforcing steel, corrosion, flexural loading, drying/wetting cycling, half-cell potential, galvanized current, corrosion rate, and deflection

* 정회원, 주택공사 주택연구소 연구원

** 정회원, 주택공사 주택연구소 선임연구원

*** 정회원, 한양대학교 건축공학부 조교수

·본 논문에 대한 토의를 1999년 10월 30일까지 학회로 보
내 주시면 1999년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

철근콘크리트 구조체 내부의 철근부식은 피복 콘크리트에 부식균열을 발생시켜 박리 또는 박락을 초래하며 종국에는 구조체의 내력저하에 의한 파괴에 이르게 한다.

최근 막대한 사회간접자본의 근간을 이루고 있는 철근콘크리트 구조물의 철근부식으로 인한 손상이 매우 중요한 문제로 부각되고 있으며, 이에 대한 적절한 보수와 유지관리를 위한 내구성능평가 및 수명예측¹⁾에 관한 관심이 높아지고 있다.

구조체의 수명은 한계상태의 설정기준 및 철근의 부식인자에 따라 다양한 방법으로 예측이 가능한 것으로 판단된다. 이와 관련하여 기존의 연구에서는 사용재료 및 배합비 등 콘크리트 자체의 품질과 외부 부식환경조건이 콘크리트 내부철근의 부식에 영향을 미치는 주된 요인으로 평가되어 왔다.

또한, 외력 또는 균열발생 하에서 콘크리트 내부로의 부식인자의 침투성을 평가하기 위한 연구가 활발히 수행되어 외력 하에서 콘크리트의 염분침투 및 중성화진행이 빨라지는 것으로 보고되고 있다.^{2,3,4)} 그러나, 구조체의 내구성능 저하에 영향을 미치는 가장 중요한 요인으로 평가될 수 있는 사용하중조건이 철근부식에 미치는 영향과 구조체의 수명평가를 위해 활용 가능한 부재의 사용성 저하에 미치는 철근부식의 영향에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 내부의 철근부식에 미치는 하중조건의 영향을 평가하고 철근부식에 따른 추가처짐을 파악함으로써, 철근이 부식된 철근콘크리트 휨부재의 사용성 저하에 의한 수명예측기법 수립을 위한 자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

2. 실험

2.1 개요

본 실험은 2단계로 구분하여 수행하였다. 즉, I 단계(stage I) 실험에서는 콘크리트내부의 철근부식이 개시되는 시점까지의 단계로서 철근의

부식개시시기에 미치는 하중의 영향을 파악하고자 하였으며, II 단계(stage II) 실험에서는 철근부식이 개시된 후의 부식진전단계로서 철근부식 속도에 미치는 하중의 영향과 철근부식률의 증가에 따른 부재의 처짐경향을 평가하였다.

2.2 시험체 및 실험조건

2.2.1 사용재료 및 콘크리트 배합

콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트, 최대크기 9mm의 쇄석, No.4체를 통과하는 육사를 사용하여 제조하였다.

물시멘트비 0.5, 골재의 용적률 65%, 잔골재율 50%로 콘크리트를 배합하여 시험체를 제작하고 실온에서 24시간 경과 후 탈형하였으며, $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 95% R.H.의 양생실에서 27일 동안 양생하였다. 콘크리트 배합표는 Table 1과 같으며, 콘크리트의 재령 28일 압축강도 측정결과는 337 kgf/cm^2 로 나타났다.

Table 1 Mix proportion of concrete

W/C	Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Fine aggregate (kg/m ³)	Coarse aggregate (kg/m ³)
0.5	430	215	860	860

2.2.2 시험체 크기 및 형상

시험체의 크기 및 형상은 Fig.1과 같이 폭 100mm, 깊이 150mm, 길이 1170mm의 단근보로서 철근피복두께를 30mm로 하였다.

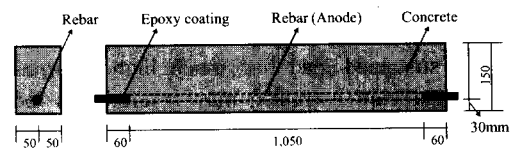


Fig. 1 Size and shape of specimen (unit : mm)

각 시험체에는 항복강도 4200 kgf/cm^2 인 D19 철근을 인장축에 배근하였다. 철근은 시험체의 마구리면에 노출된 부분과 표면으로부터 60mm 깊이에 이르는 부분을 에폭시로 도포하여 매입하였다. 한편, 제작된 시험체의 최대 휨하중 측정값은

4,280kgf였다.

2.2.3 시험체의 종류

실험단계 및 목적에 따른 시험체의 종류는 Table 2와 같다.

Table 2 List of Specimens

Specimens		Load ¹⁾	Pond- ing	Measure- ment	Ponding Condition
Stage I	N00	0%	NaCl	Initiation of Corrosion	Ponding/ Drying
	N45-SL-1	45%	NaCl	"	"
	N75-SL-1	75%	NaCl	"	"
	W45-SL	45%	water	Deflection	"
	W75-SL	75%	water	"	"
	A45-SL A75-SL	45% 75%	none	"	Drying "
Stage II	N45-SL-2	45%	NaCl	Cor./Def.	Ponding
	N75-SL-2	75%	NaCl	"	"
	N45-PL	45%	NaCl	Corrosion	"
	N75-PL	75%	NaCl	"	"

(주) 1): 최대휨하중 측정값에 대한 적용하중의 백분율
 N : NaCl ponding, W : water ponding.
 A : air condition
 SL : sustained load, PL : pre load

시험체 N00, N45-SL-1, N75-SL-1은 적용하중의 크기가 철근부식개시에 미치는 영향정도를 파악하기 위한 것이며, 시험체 A45-SL 및 A75-SL은 부식시킴이 적은 시험체로서 철근부식에 따른 처짐증가를 평가하기 위한 기준시험체이다.

I 단계의 W45-SL 및 W75-SL은 각각 II 단계의 N45-SL-2 및 N75-SL-2와 동일한 시험체로서 I 단계에서는 물에 의한 건습조건이 시험체의 처짐에 미치는 영향정도를 검토하였으며, II 단계에서는 부식환경하에서의 철근부식 및 처짐의 증가를 평가하였다.

N45-PL 및 N75-PL은 I 단계에서는 사용하지 않으며, II 단계 실험 전에 2.2.2절에 나타난 최대 휨하중의 45% 및 75%에 상당하는 하중을 가하여 휨균열을 발생시킨 후 실험기간 내내 하중을 가하지 않은(이하 사전하중이라 함) 시험체이다. 이들은 실험기간 내내 동일한 하중을 지속적으로 가하는(이하 지속하중이라 함) 시험체인 N45-SL-2 및 N75-SL-2과 하중조건에 따른 철근부식속도를 비교하기 위한 것이다.

2.2.4 실험장치

실험장치로는 시험체에 임의의 하중을 지속적

으로 적용하기 위한 재하장치와 철근부식 촉진장치를 사용하였다.

재하장치는 지렛대의 원리를 이용하여 Fig.2와 같이 제작하였으며, 시험체 중앙부의 다이얼 게이지에 의해 경과시간에 따른 처짐을 측정하였다

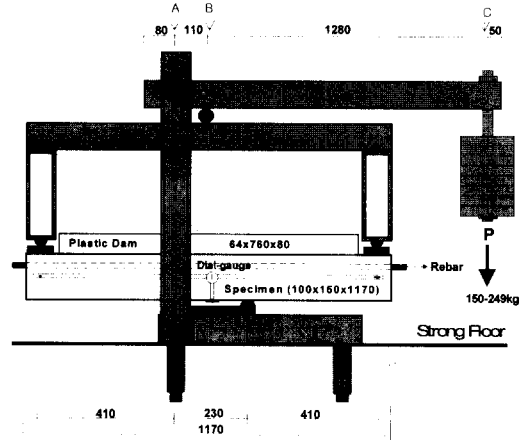


Fig. 2 Loading system of RC beam (unit : mm)

시험체에 적용한 하중은 최대 휨하중의 0%, 45%, 75%를 2점 재하로 가하였으며, 이는 그림에서 알 수 있듯이 C 지점에 매달은 중량 150~249kg의 추와 재하장치 자체의 무게를 고려할 때 1,930~3,210kgf의 작용하중에 해당되는 것이다.

철근부식 촉진장치는 인장측 콘크리트의 표면에 수조를 설치하고 수조에 채워진 용액이 콘크리트 내부로 침투(이하 폰딩이라 함)되도록 제작하였으며, 실험단계에 따라 상이한 조건을 적용하였다.

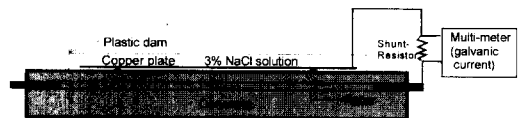


Fig. 3 The test setup for measuring the galvanic current (stage I)

I 단계에서는 Fig.3에 나타난 바와 같이 3% NaCl용액을 폰딩시키면서(이하 NaCl 폰딩이라 함) 철근과 동판에 의한 갈바닉 셀을 구성하였다. 즉, NaCl 폰딩용액 속에서 콘크리트 표면으로부터

터 약 2cm 이격시켜 동판을 설치한 후 전선을 이용하여 외부에서 철근과 접속하였다.

폰딩조건으로는 3일 동안의 NaCl 폰딩 후 4일 동안 건조시키는 것을 주기적으로 반복하였다.

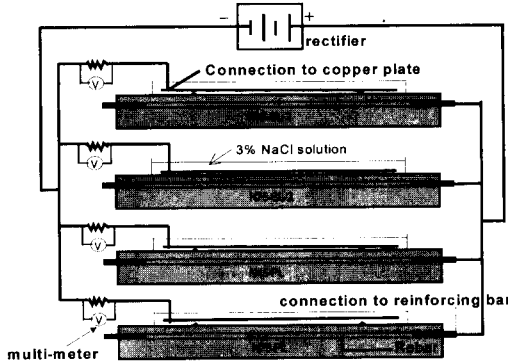


Fig. 4 Arrangement for accelerating the corrosion of rebar in concrete (stage II)

II 단계에서는 NaCl 폰딩을 지속하면서 직류전원 공급장치의 (+)극에 철근을 연결하고 (-)극에 동판을 연결하여 외부전류를 공급하는 전식(電蝕)에 의한 부식셀을 구성하였으며, Fig.4에 나타나 있듯이 대상 시험체들을 병렬로 연결하여 동일한 전압이 공급되도록 하였다.

2.3 실험내용 및 방법

I 단계 및 II 단계 실험에 소요된 기간은 약 90일이며, I 단계의 최초 2주 동안에는 폰딩없이 하중만을 적용하였다. 폰딩/건조 반복을 개시한 후 56일 동안 철근부식 개시여부를 평가하였으며, 계속하여 종료시점까지 약 20일 동안 II 단계 실험을 수행하였다.

단계별 측정항목으로서 I 단계에서는 부식개시시점을 파악하기 위하여 자연전위와 갈바니 전류를 측정하였다. 자연전위(halfcell potential)⁵⁾는 구리-황산구리 전극(Cu-CuSO₄ Electrode, CSE)으로 구성된 하프셀에 의해 콘크리트 표면을 따라 균등하게 분할된 5개소에서 3일간의 폰딩이 완료되는 시점마다 측정하고 그 평균값을 산출하였다.

한편, 자연전위 측정값이 -200mV CSE보다

큰 경우 철근부식이 발생하지 않을 확률이 90% 이상이고 -200~-350mV CSE인 경우 부식여부가 불확실하며, -350 mV CSE보다 작은 경우에는 철근이 부식되었을 확률이 90%이상인 것으로 규정한 ASTM C 876에 따라 부식개시시점을 평가하였다.

또한, 회로상에 설치된 10Ω의 저항에 걸리는 전압을 측정함으로써 전류값을 산출하였으며, 전극으로 사용된 철근의 노출 표면적(A)에 대한 부식전류(I_{corr})의 비로부터 부식전류밀도(i_{corr})를 산출하였다. 철근의 부식속도를 평가하는 지표로 사용되는 부식전류밀도(μA/cm²)와 상기한 자연전위와의 관계를 검토함으로써, 자연전위에 의한 철근 부식속도의 예측 가능성을 평가하였다.

II 단계의 시험체에는 부식을 촉진시키기 위하여 Fig.5와 같이 10~27V의 전압을 단계적으로 적용하였다. 철근의 부식정도를 평가하는 지표로서 철근부식감량에 의한 부식률을 사용하였으며, 철근의 총 부식감량은 식(1) 및 식(2)와 같이 패러데이 법칙에 근거한 부식전류의 누계값⁶⁾에 의해 산출하였다.

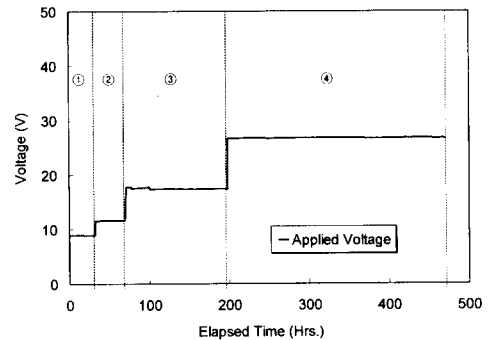


Fig. 5 Driving voltage applied to rebar during the test period (stage II)

$$W_{loss} = TC_j \times \frac{EW}{F} \quad \text{식(1)}$$

W_{loss} : 총철근부식감량, EW : 철의당량(55.8/2), F : 패러데이 상수(96,400C), TC_j : 총전하량

$$TC_j = [C_{j-1} + \frac{(I_j + I_{j-1})}{2} \times (t_j - t_{j-1})] \quad \text{식(2)}$$

C_{j-1} : 임의의 (j-1)시점까지 부식전하량, I_j : 임의의 j시점에서의 부식전류, I_{j-1} : 임의의 (j-1)시점에서의 부식전류, t_j : 전류측정시점

이상과 같이 I 단계 및 II 단계 실험기간 내내 지속하중을 적용한 각 시험체들의 처짐을 연속적으로 측정하였으며, 철근부식이 시험체의 처짐에 미치는 영향정도를 정량화하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 철근부식 개시시점

Fig.6은 0%, 45%, 75%의 하중수준 하에서 NaCl 폰딩을 한 시험체의 경과시간에 따른 자연전위의 변화를 나타낸 것이다.

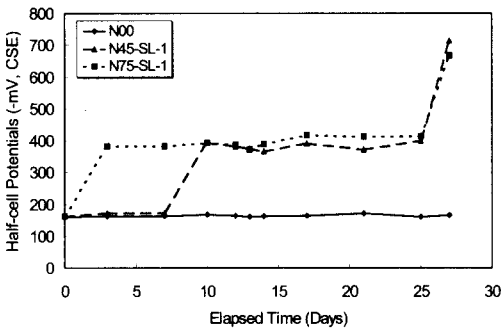
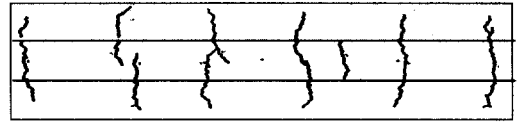


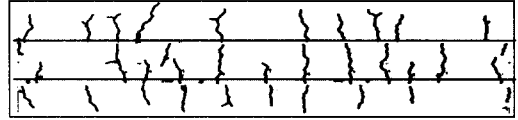
Fig. 6 Half-cell potential measurement for specimens during stage I

그림에서 알 수 있듯이 하중을 적용하지 않은 N00 시험체의 경우 30일간의 폰딩실험 기간동안 자연전위 -170mV CSE 정도의 일정한 값을 나타내고 있어 철근이 부식되었을 가능성이 거의 없는 것으로 판단된다. N45-SL-1 시험체의 경우에는 10일 이후에 -350mV CSE보다 작은 값을 나타내고 있어 이 시점에서 철근부식이 개시된 것으로 평가되었다. 한편, N75-SL-1 시험체의 경우에는 폰딩을 개시한 지 3일 후 -350mV CSE보다 작은 값을 나타냈다.

이상의 결과로부터 적용하중이 클수록 부식개시시점이 더 빨라지는 것을 알 수 있으며, 이는 시험체의 양쪽 면과 상부 면의 콘크리트표면 균열발생상황을 나타낸 Fig.7에서 알 수 있듯이 적용하중의 크기에 따라 콘크리트에 발생하는 균열의 크기와 수, 연속성 등에 차이가 있기 때문으로 판단된다.



(a) 45% load application



(b) 75% load application

Fig. 7 Cracks at the surface of specimen

Fig.8은 동일한 시험체에 대한 자연전위 측정값과 부식전류밀도의 관계를 나타낸 것으로서 자연전위의 절대값이 클수록 부식전류밀도가 큰 것으로 나타났다.

또한, 자연전위 측정값으로부터 콘크리트 내부 철근의 부식전류밀도를 예측하기 위한 추정식을 다음의 식(3)과 같이 도출하였다.

$$Y = 0.002e^{0.0213x} \quad (R^2 = 0.9376) \quad \text{식(3)}$$

한편, 자연전위가 최초로 -350mV CSE보다 작아지는 시점, 즉 부식개시시점에서의 부식전류밀도는 $0.295\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 에 상당하는 것으로 추정되며, 이는 철근이 부식활성상태로 되는 부식전류밀도가 $0.3\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이상이라고 하는 Gonzalez 등의 연구결과^(7,8)와 거의 동일한 것을 알 수 있다.

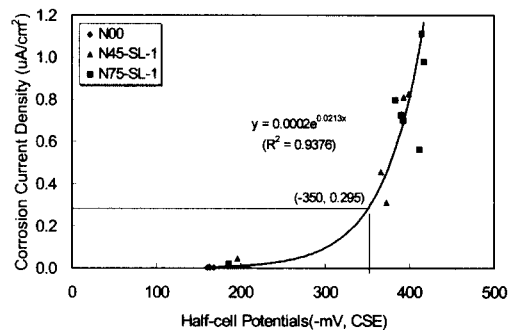


Fig. 8 Relation between half-cell potential and corrosion current density

3.2 철근의 부식을

외부전류의 공급 후의 시험체별 철근부식을 측

Table 3 Experimental data (stage II)

Specimens	N45-SL-2 ¹⁾			N75-SL-2 ²⁾			N45-PL	N75-PL	
	Measurement Elapsed Time ³⁾ (Days)	Corrosion rate of rebar (%)	Change in deflection (mm)		Corrosion rate of rebar (%)	Change in deflection (mm)		Corrosion rate of rebar (%)	Corrosion rate of rebar (%)
			Measurement (A)	Prediction (B)		Measurement (A)	Prediction (B)		
70.0 (0.0)	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.0	0.0	
70.4 (10.3)	0.02	0.008	0.001	0.03	0.015	0.001	10.3	10.3	
70.7 (18.1)	0.04	0.014	0.002	0.05	0.020	0.002	18.1	18.1	
70.8 (18.3)	0.04	0.014	0.002	0.05	0.031	0.002	18.3	18.3	
71.3 (32.3)	0.06	0.024	0.003	0.09	0.043	0.004	32.3	32.3	
71.7 (39.9)	0.12	0.031	0.004	0.17	0.074	0.005	39.9	39.9	
72.2 (52.7)	0.17	0.041	0.005	0.23	0.085	0.006	52.7	52.7	
72.2 (52.8)	0.17	0.045	0.005	0.24	0.108	0.006	52.8	52.8	
73.2 (77.4)	0.29	0.053	0.008	0.38	0.143	0.009	77.4	77.4	
74.0 (95.8)	0.40	0.062	0.010	0.53	0.159	0.011	95.8	95.8	
74.9 (118.6)	0.51	0.076	0.012	0.70	0.179	0.014	118.6	118.6	
76.1 (145.6)	0.65	0.086	0.015	0.93	0.204	0.016	145.6	145.6	
77.2 (172.1)	0.81	0.098	0.017	1.17	0.228	0.019	172.1	172.1	
77.8 (188.1)	0.92	0.105	0.019	1.32	0.248	0.021	188.1	188.1	
78.8 (211.8)	1.08	0.113	0.021	1.55	0.328	0.024	211.8	211.8	
79.9 (236.6)	1.26	0.124	0.023	1.81	0.358	0.026	236.6	236.6	
80.0 (239.4)	1.28	0.138	0.023	1.83	0.362	0.026	239.4	239.4	
80.1 (243.1)	1.31	0.140	0.024	1.87	0.388	0.027	243.1	243.1	
80.8 (259.6)	1.43	0.148	0.025	2.05	0.427	0.028	259.6	259.6	
81.1 (265.3)	1.48	0.152	0.026	2.11	0.431	0.029	265.3	265.3	
81.8 (283.8)	1.62	0.158	0.027	2.30	0.469	0.031	283.8	283.8	
81.9 (286.3)	1.64	0.166	0.028	2.33	0.497	0.031	286.3	286.3	
82.3 (294.9)	1.74	0.169	0.028	2.47	0.503	0.032	294.9	294.9	
82.8 (308.1)	1.89	0.175	0.029	2.69	0.537	0.033	308.1	308.1	
83.3 (319.3)	2.01	0.178	0.030	2.88	0.568	0.034	319.3	319.3	
83.8 (332.1)	2.15	0.206	0.032	3.09	0.613	0.036	332.1	332.1	
84.0 (335.1)	2.18	0.212	0.032	3.14	0.617	0.036	335.1	335.1	
84.1 (339.5)	2.23	0.213	0.032	3.21	0.620	0.036	339.5	339.5	
85.4 (368.4)	2.49	0.222	0.035	3.62	0.643	0.039	368.4	368.4	
85.8 (380.3)	2.62	0.226	0.036	3.79	0.669	0.040	380.3	380.3	
86.3 (391.5)	2.73	0.234	0.037	3.95	0.682	0.041	391.5	391.5	
87.4 (417.0)	2.95	0.242	0.039	4.31	0.705	0.044	417.0	417.0	
87.6 (421.6)	3.03	0.243	0.039	4.46	0.754	0.044	421.6	421.6	
88.3 (439.6)	3.29	0.249	0.041	5.01	0.822	0.046	439.6	439.6	

(주) 1) 최초처짐 ($\Delta_{1.45\%}$): 0.889mm
 외부전원공급 개시시점까지의 총처짐 : 1.841mm
 2) 최초처짐 ($\Delta_{1.75\%}$): 1.246mm
 외부전원공급 개시시점까지의 총처짐 : 2.654mm
 3) 하중적용시점으로부터의 경과일수, ()안의 숫자는 외부전원공급 개시시점으로부터의 경과시간(hours)
 A) 외부전원공급 개시이후 크리프, 건조수축 및 철근부식에 의한 총처짐 변화 [실측값]
 B) 외부전원공급 개시이후 철근부식에 의한 영향을 제외한 크리프 및 건조수축에 의한 처짐변화 [추정값]

정결과를 Table 3에 나타냈다.

철근부식률은 Fig. 9에 나타난 바와 같이 시간의 경과에 따라 증가하였으며, 적용하중이 클수록 부식률의 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 앞서 서술한 철근부식 개시시점에서와 마찬가지로 외부응력에 의해 콘크리트 표면에 발생된 균열의 영향이 주된 요인인 것으로 판단된다. 또한, 총부식률은 지속하중을 적용한 시험체 N45-SL-2, N75-SL-2의 경우 3.29% 및 5.01%로서 사전하중을 적용한 N45-PL, N75-PL 시험체의 2.86% 및 3.64%에 비하여 부식속도가 더 큰 것으로 나타났다.

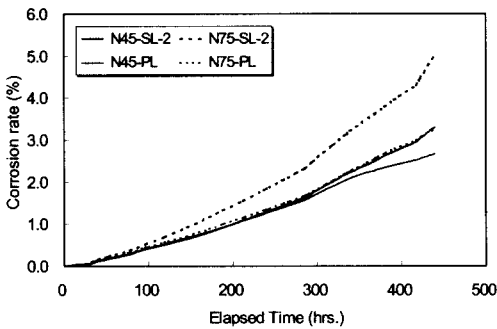


Fig. 9 Corrosion rate of reinforcing steel (stage II)

이는 적용하중의 크기는 동일하다고 하더라도 지속하중의 경우 외력에 의해 발생된 균열이 시간의 경과에 따라 진전되는 균열인데 비하여 사전하중의 경우에는 응력이 제거됨으로써 균열이 닫히거나 더 이상 진전되지 않았기 때문으로 판단된다.

3.3 시험체의 처짐

외부전류 공급후 철근부식에 따른 N45-SL-2 및 N75-SL-2의 처짐변화는 Table 3의 (A)와 같으며, 철근부식이 처짐에 미치는 영향정도를 평가하기 위한 기준시험체로 사용한 A45-SL 및 A75-SL의 크리프 및 건조수축에 의한 처짐의 경시변화는 Fig.10과 같다. 경과시간과 처짐의 관계로부터 45% 및 75%의 하중적용에 따른 크리프 및 건조수축에 의한 처짐예측식을 다음의 식(4) 및 식(5)와 같이 도출하였다.

$$D_{45\%, cr. and shr.} = 0.174 \ln(t) + 0.125 \quad \text{식(4)}$$

$$D_{75\%, cr. and shr.} = 0.197 \ln(t) + 0.442 \quad \text{식(5)}$$

여기서, D : 처짐(mm), t : 경과시간(일)

식(4) 및 식(5)를 이용하여 N45-SL-2 및 N75-SL-2의 총처짐 중에서 철근부식에 의한 영향을 제외한 크리프 및 건조수축에 의한 처짐을 추정하는 것이 가능하며, 그 결과는 Table 3의 (B)와 같다.

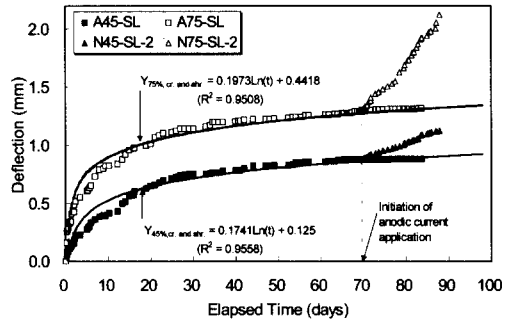


Fig. 10 Additional deflection of beams due to creep and shrinkage with time

앞서 언급한 Table 3의 (A)에 나타난 총처짐과 Table 3의 (B)에 나타난 크리프 및 건조수축에 의한 처짐의 차이가 철근부식에 의한 추가처짐이며, 이는 콘크리트 내부의 철근이 부식됨으로써 크리프 및 건조수축에 의한 처짐 외에도 철근의 단면감소, 철근과 콘크리트의 부착력의 감소 등에 기인하는 처짐이 추가로 발생되었기 때문으로 판단된다.

Fig.11은 철근의 부식률과 철근부식에 의한 시험체의 추가 처짐의 관계를 나타낸 것이다.

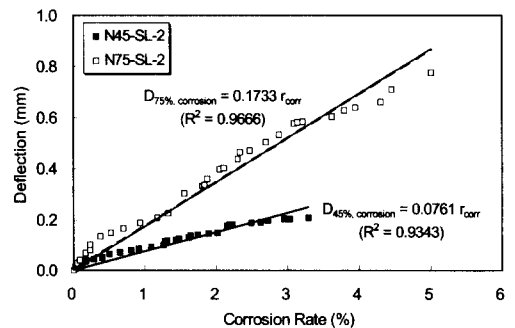


Fig. 11 Additional increase in deflection due to corrosion

철근부식에 의한 추가처짐은 콘크리트 내부철근의 부식률이 처짐에 따라 증가하였으며, 적용하중이 클수록 철근부식에 의한 처짐의 증가폭도 커지는 것으로 나타났다.

Table 3에 나타나 있듯이 최대하중의 45% 및 75%에 상당하는 하중을 적용한 시험체의 최초처짐 측정값은 각각 0.889mm, 1.246mm였으며, 본 실험결과에 따르면 철근 부식률이 약 3.0%일 때 철근부식으로 인한 추가처짐은 각각 0.204mm, 0.577mm로서 최초처짐의 약 23% 및 46%에 달하는 것으로 추정된다.

4. 결 론

구조체의 사용하중을 고려한 적용하중의 수준과 철근부식의 관계 및 철근부식에 따른 시험체의 처짐의 관계를 검토한 결과 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 실험에 의한 철근부식 개시시점은 하중수준 0%, 45%, 75%에서 각각 25일 이상, 10일, 3일로서 부재에 작용하는 하중이 클수록 콘크리트 내부철근의 부식개시시점이 빨라지며 철근부식개시후의 부식속도도 빨라지는 것으로 나타났다.
- 2) 하프셀에 의한 자연전위 측정값으로부터 콘크리트 내부철근의 부식속도를 추정하기 위한 예측식을 다음과 같이 도출하였다.

$$Y = 0.002e^{0.0213x} \quad (R^2 = 0.9376)$$
- 3) 자연전위가 -350mV CSE에 도달하는 시점의 콘크리트 내부철근의 부식전류밀도는 $0.295\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 로 추정되었으며, 이를 철근부식개시를 위한 부식전류밀도의 한계값으로 고려하는 것이 가능하다고 판단된다.
- 4) 외부전류의 공급에 따른 콘크리트 내부의 철근부식률은 지속하중을 적용한 시험체 N45-SL-2, N75-SL-2의 경우 3.29% 및 5.01%, 사전하중을 적용한 시험체 N45-PL, N75-PL의 경우 2.86% 및 3.64%로 나타나, 같은 크기의 하중에 대하여 약 15% 및 38% 정도 더 크게 나타났으며 적용하중이 클수록 증가율이 더 큰 것으로 나타났다.

- 5) 철근부식률과 철근콘크리트 보의 처짐의 관계로부터 철근부식률 3%일 경우 적용하중 45% 및 75%에 대하여 최초처짐의 26% 및 42%에 달하는 철근부식에 의한 추가처짐이 발생하는 것으로 추정된다.
- 6) 철근부식에 의한 시험체의 추가처짐과 관련하여 철근의 단면감소 및 철근과 콘크리트의 부착력 감소 등 내력저하를 고려한 시험체의 처짐변화에 관한 이론적인 검토와 추가실험이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 미국의 National Science Foundation Center for Advanced Cement-Based Materials에서 수행되었으며, 본 연구의 진행을 위해 지원해 주신 한국과학재단 및 대한주택공사에 감사드립니다.

참고문헌

1. 대한주택공사 주택연구소, 환경조건별 공동주택의 수명예측에 관한 연구, 연구보고서, 1998, 10
2. T. W. Bremner, et al., "Effects of stress on gas permeability in concrete", ACI Materials Journal, Sept.-Oct. 1996, pp443-450
3. Sugiyama, T., Bremner, T. W., and Holm, T. A., "Effects of stress on chloride permeability in concrete", Durability of Building Materials and Components 6, Vol.1, E & FN Spon, London, 1993, pp.239-248
4. Bremner, T.W., Holm, T.A., and Mcinerney, "Influence of compressive stress on the permeability of concrete", Proceedings of the ACI Symposium on Performance of Lightweight Concrete, Nov.14, 1992, pp.397-420
5. ASTM, "Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete", ASTM C 876-91, p.425
6. ASTM, "Standard practice for calculation of corrosion rates and related information from electrochemical measurements", ASTM G 102-89, p.400

7. Gonzalez, J.A., Algaba, S., and Andrade, C., "Corrosion of reinforcing bars in carbonated concrete", British Corrosion Journal, Vol.15, No.3, pp.135-139, 1980

8. Al - Amoudi, O. S. B., et. al., "Influence of sulfate ions on chloride reinforcement corrosion in portland and blended cement concretes", Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGPD, Vol.16, No.1, pp.3-11, June 1994

요 약

본 연구에서는 하중조건, 철근부식률, 그리고 철근콘크리트 보의 휨처짐의 관계를 검토하고자 하였다. 이를 위하여 10cmx15cmx110cm의 철근콘크리트 보가 제작되었으며, 최대 휨하중의 0%, 45%, 75%에 해당되는 서로 다른 휨하중이 작용하도록 하였다. 지속하중을 적용한 보시험체와 사전하중을 적용한 보시험체들에 대하여 3% NaCl용액에 의한 폰딩과 함께 습윤/건조 사이클이 반복되는 부식조건에 노출시켰다. 철근의 부식과정을 파악하기 위하여 자연전위와 갈바닉 전류값이 측정되었으며, 철근부식이 개시된 이후에는 일부 보시험체들의 철근부식을 촉진시키기 위하여 외부전원을 공급하였다. 또한, 전체 실험기간동안의 보의 처짐값이 측정되었다.

실험결과, 하중조건이 철근의 부식속도에 미치는 영향은 매우 큰 것으로 나타났으며, 지속하중을 적용한 경우가 사전하중을 적용한 시험체들에 비하여 훨씬 더 큰 철근부식속도를 나타냈다. 또한, 철근부식에 따라 보의 처짐값이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 구조체의 사용성에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구결과는 철근콘크리트 구조체의 구조안전진단과 수명예측에 대한 새로운 시각을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

(접수일자 : 1999.3. 19)