

철근 부식에 따른 철근콘크리트 휨 부재의 처짐 산정에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Deflection Estimation of RC Flexural Member by Corrosion of Reinforcement

김지상^{1*} · 문형갑²

Jee-Sang Kim^{1*} · Hyeong-Gab Moon²

(Received March 5, 2021 / Revised April 26, 2021 / Accepted April 27, 2021)

Flexural test of reinforced concrete beam with corroded reinforcement were performed to measure the deflection, curvature and cracking moment for various bar diameter and amounts of corrosion. The amounts of corrosion are varied from 0% to 10% by weight and the bar diameters are chosen as 10mm, 13mm, and 19mm. The changes in reinforcement diameter do not affect the flexural behaviors significantly according to this experiment. If the amounts of corrosion is greater than 2%, the deflection and curvature of the beam increased and the cracking moment decreased. It means that the lower amounts of corrosion does not result structural damage in flexural member significantly as in direct tensile test. A modification factor considering an effect of amounts of corrosion is proposed based on the experiment, which can be used to determine the deflection of reinforced concrete beam with corroded reinforcement.

키워드 : 부식철근, 부식률, 처짐, 곡률, 휨거동

Keywords : Corroded reinforcement, Amounts of corrosion, Deflection, Curvature, Flexural behavior

1. 서론

철근콘크리트 구조는 콘크리트의 취약한 인장력을 보강하기 위하여 철근을 매립한 것으로 이를 위하여는 철근과 콘크리트의 완전부착거동이 필수적인 요소이다. 염소이온침투와 탄산화 등과 같은 콘크리트 성능저하의 영향으로 매립되어 있는 철근이 부식되면, 부식생성물로 인해 팽창압이 발생하여 콘크리트에 균열이 생성되며, 두 재료간의 부착력을 감소시킨다. 이처럼 철근의 부식은 콘크리트의 균열과 두 재료간의 일체거동을 방해하는 부착력 감소를 야기하기 때문에 구조물의 안전성과 사용성을 저하시키는 열화 요인이다.

따라서, 철근의 부식이 철근콘크리트 휨 부재의 성능에 미치는 영향을 정확히 구명하고 이를 정량적으로 평가하는 것은 철근이 부식될 가능성이 높은 노후 콘크리트 구조물의 성능을 평가하는데 매우 중요한 요소이다. 또한, 이는 기존 철근콘크리트 구조물의

안전성 및 사용성 확보를 위한 적절한 평가지표에 적용될 것으로 사료된다. 이를 위하여 국내외에서 수행된 철근 부식 관련 연구 문헌을 조사, 분석하고 연구 방향을 설정하였다.

Jung et al.(2011)는 부식으로 인한 부착성능의 감소가 압축 및 휨강도에 미치는 영향을 파악하기 위해 인위적 비부착구간을 설정하여 휨 실험을 진행하였는데, 그 결과 휨부재에서 현격한 내하력 감소를 확인하였다. Bhargava et al.(2008)은 부식률에 따라 변화하는 부착강도 연구를 적용하여 강도를 모델링하였으며, Yang and Zhu(2012)는 유한요소해석을 통하여 부식률에 따른 철근의 단면감소와 강도감소에 대한 식을 제안하여 철근의 부식이 휨강도에 미치는 영향을 파악하였다.

국내·외 연구동향을 살펴본 결과 철근의 부식이 철근콘크리트 구조물의 사용성에 미치는 영향에 대한 연구가 매우 미흡하며 대부분의 연구는 강도평가 분야에 국한되어 있다.

이에 따라 이 논문에서는 철근의 부식이 철근콘크리트 휨 부재

* Corresponding author E-mail: zskim@skuniv.ac.kr

¹서경대학교 토목건축공학과 교수 (Department of Civil & Architecture Engineering, SeoKyeong University, Seoul, 02713, Korea)

²㈜한국종합기술 사원 (Korea Engineering Consultant Crop., Seoul, 05288, Korea)

의 사용성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 철근의 지름과 부식률을 변수로 4점재하 휨 실험을 수행하고 실험 결과를 기반으로 철근이 부식된 휨부재의 처짐에 대한 평가방법을 제안하였다. 연구의 흐름은 Fig. 1에 나타내었다.

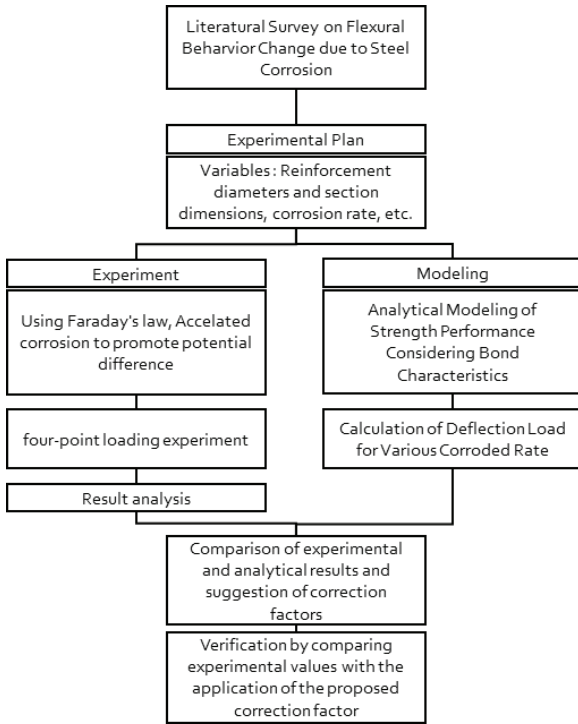


Fig. 1. Flow chart

2. 실험계획 및 방법

이 논문에서는 철근의 부식정도가 처짐에 미치는 영향을 도출하기 위해 부식률과 철근의 지름에 따라 총 36개의 휨 시험체를 제작하였으며, KS F 2408을 참고하여 4점재하 실험을 진행하였다. 또한, 자연상태에서의 철근의 부식은 상당한 시간이 소요되기 때문에 전위차를 이용하여 촉진부식시험을 진행하였다.

2.1 실험체 상세

휨 실험을 위한 시험체의 변수는 Table 1에 나타내었다. 도로교 설계기준(2012)에서 제시한 피복등급(TC4), 노출등급(EC3)을 적용하여 최소 피복두께인 25mm에 부식으로 인한 실험적 불확실성을 고려하여 여유피복두께를 철근의 지름에 따라 다르게 설정하였다. 휨파괴를 유도하기 위하여 하중 작용점과 반력점 사이에는 전

Table 1. Experimental variables

ρ	Cover depth (mm)	Reinforcement, d_b (mm)	Span, l (mm)	Amounts of corrosion (%)	Beam series
0.01315 (0.368 ρ_b)	30	D10 (9.53)	1,000	0	NB-D10-00
				2	CB-D10-02
				5	CB-D10-05
				10	CB-D10-10
	35	D13 (12.7)	1,300	0	NB-D13-00
				2	CB-D13-02
				5	CB-D13-05
				10	CB-D13-10
	40	D19 (19.1)	1,500	0	NB-D19-00
				2	CB-D19-02
				5	CB-D19-05
				10	CB-D19-10

N: Normal, C: Corroded, B: Beam

단철근을 배근하였으며, 중앙부에는 배근하지 않았다. 또한 매립된 철근에 대해 부식실험을 진행하기 위하여 인장철근의 중앙부에 구리선을 연결하였다. 또한, 철근의 지름에 따라 변화하는 전단-시간비를 고려하여 각 시리즈에 대하여 보의 길이를 1,000, 1,300, 1,500mm로 설정하였으며 시험체 단면의 상세는 Fig. 2에 나타내었다.

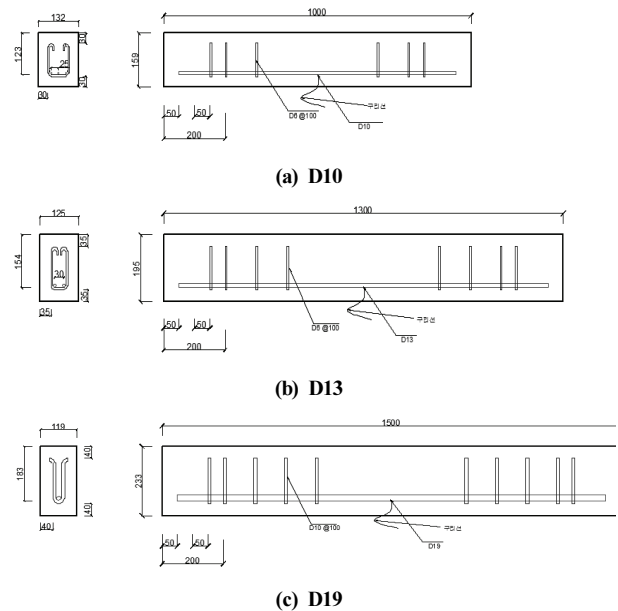


Fig. 2. Test specimens

2.2 철근 촉진부식

촉진부식실험은 단기간에 철근을 부식시키는 방법 중 가장 간편하여 많은 실험에서 이용되고 있다(Park 2004). 실험은 부식수조에 시험체를 배치한 후 5%의 염화나트륨(NaCl)수용액에 침지시켜 철근을 양극(+)에 수용액 안의 구리판을 음극(-)에 연결한 후 전류를 공급하는 방법으로 부식셀(Corrosion cell)을 구성하였으며, 이는 Fig. 3에 나타내었다.

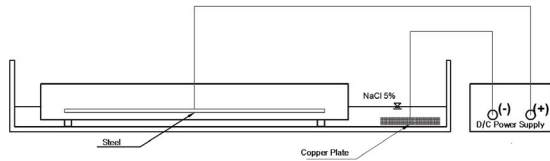


Fig. 3. Accelerated corrosion test

전위차를 이용한 부식촉진 방법은 수용액이 전기분해 반응을 할 때 전극에서 생성되거나 소모되는 물질의 양이 전하량과 비례한다는 패러데이 법칙(Faraday's Law)을 적용한다. 이 법칙에 따르면 일정시간(t)동안 일정한 전류(A)를 흘려보냈을 때 철근의 부식량을 산출할 수 있다. 패러데이 법칙과 산출된 중량손실을 이용한 부식을 측정하는 다음과 같이 할 수 있다.

$$\Delta m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F} \quad (1)$$

$$W_{loss} (\%) = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Δm 는 일정시간동안 부식에 의해 손실된 금속의 중량(g)이며, M 은 금속의 원자질량($Fe = 55.85g/mol$), I 는 전류(A), t 는 전류를 보낸 시간(sec), z 는 이온이 산화과정에서 작용하는 전자의 수($Fe = 2$)이고 F 는 패러데이 상수로 $96,500As/mol$ 을 사용한다. W_0 은 중량이 손실되기 전 금속의 중량(g)이며 W_1 은 손실된 중량을 뺀 상태의 금속의 중량(g)으로 이 중량 차이의 비율로 부식률을 산정한다.

2.3 재료실험

휨 거동의 해석에 있어서 실제 부재의 재료 특성값을 확인하기 위하여 재료 강도실험을 진행하였다. 콘크리트의 강도실험은 본 실험인 4점재하 휨실험을 KS F 2408을 참고하여 진행한 시기에

맞춰 수행하였으며, 콘크리트 압축강도실험은 KS F 2405, 쏘갸인장강도실험은 KS F 2423의 절차를 각각 적용하였다. 철근은 D10, D13, D19(1종 SD400)을 사용하였으며, 시험체의 길이는 600mm로 만능시험기(UTM)를 이용하여 시험을 수행하였다. 재료실험결과 콘크리트 압축강도는 58.07MPa, 인장강도 4.29MPa를 얻었으며 철근의 항복강도는 지름별 3개의 시험체의 평균값으로 476MPa, 471MPa, 477MPa로 측정되었다. 각 실험에 대한 결과는 Table 2와 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Concrete strength

Experiment	Strength(MPa)	Average(MPa)
Compressive experiment	58.17	58.07
	57.97	
	58.06	
Tension experiment	4.78	4.29
	3.62	
	4.48	

Table 3. Rebar strength

Experiment	D(mm)	$f_{y,ave}$ (MPa)	$f_{u,ave}$ (MPa)
Tension experiment	D10 (9.53)	476	594
	D13 (12.7)	471	596
	D19 (19.1)	477	594

2.4 4점 재하 실험

철근콘크리트 휨부재의 강도와 처짐량에 대한 평가를 하기 위하여 4점재하 실험을 실시하였으며, 시험체를 거치하기 전에 콘크리트의 최외단 압축부의 가력점 사이에 변형률게이지를 부착하였다. Fig. 4와 같이 실험체 시리즈별로 가력장치의 가력위치와 반력 위치를 조정하며 거치 후, 변위제어방식을 통하여 하중을 가하였으며, 시험체의 곡률 및 처짐량 산정을 위하여 중앙부와 반력점 및 가력점 사이의 1/3 지점에 LVDT 변위계를 설치하여 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 기기 및 실험체 거치 전경은 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다.

3. 실험결과 및 분석

실험결과와 이론적 해석에 대한 비교를 위하여 부식 특성을 고

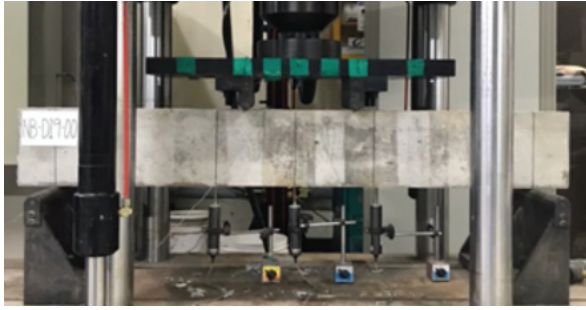


Fig. 4. Test setup

Table 4. Experimental equipments

Classification	Experimental equipment	Measure of capacity
Load device	One-axis fatigue durability tester	50ton
Measuring device	LVDT	50mm
	Strain gauges	(PL-60-11-3L)
Data output device	Data logger	TDS-530(30CH)

려한 부착강도를 처짐량 산정에 적용하여 해석을 진행하였으며, 실제 실험 측정값과의 비교를 통해 차이를 분석하였다.

3.1 처짐량 모델링

처짐량 모델링을 하기 위해 한계상태설계법을 기반으로 p-r곡선을 이용한 단면해석을 진행하였으며, 이에 필요한 인장력 산정은 Stanish et al.(1999)이 제안한 부착력 산정식을 적용하였다. 부착력에 의한 부재의 인장력 산정은 철근의 항복을 고려하고 있지 않기 때문에 철근이 항복을 하더라도 인장력은 증가하는 경향을 보인다. 따라서 부착력에 의한 철근의 인장력 산정은 철근의 항복 여부에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.

1. 철근이 항복하지 않은 경우($\pi dl\tau_{bux} \leq A_{sx}f_{yx}$)

$$T_{sx} = n \times \pi \times d_b \times l_d \times \tau_{bux} \tag{3a}$$

2. 철근이 항복한 경우($\pi dl\tau_{bux} > A_{sx}f_{yx}$)

$$T_{sx} = A_{sx}f_{yx} \tag{3b}$$

여기서, n 은 인장철근 수이며, d_b 는 철근지름(mm), l_d 은 정착길

이(mm), τ_{bux} 은 부식을 $x(\%)$ 에서의 부착강도(MPa)(Stanish et al. 1999)이며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tau_{bux} = (0.77 - 0.027x) \sqrt{f_{ck}} \tag{4}$$

A_{sx} 와 f_{yx} 는 부식을 $x(\%)$ 에서의 철근 단면적(mm^2) 및항복강도(MPa)(Yang and Zhu 2012)이며 다음과 같이 구한다.

$$A_{sx} = (1 - 0.01x)A_s \tag{5}$$

$$f_{yx} = \frac{1 - 0.001077x}{1 - 0.01x} f_y \tag{6}$$

산정된 인장력을 이용하여 구한 철근의 변형률은 다음과 같다.

$$\epsilon_{sx} = \frac{T_{sx}}{A_{sx} \cdot E_s} \tag{7}$$

여기서, E_s 은 철근의 탄성계수이며 200,000MPa를 적용한다. 단면해석을 위한 합력계수와 작용점 깊이 계수는 콘크리트 압축변형률을 가정하여 다음과 같이 구할 수 있다.

1. $0 \leq \epsilon_c \leq 0.002$

$$\alpha = \frac{10^3 \epsilon_c}{2} - \frac{(10^3 \epsilon_c)^2}{12}, \quad \beta = \frac{8 - 10^3 \epsilon_c}{4(6 - 10^3 \epsilon_c)} \tag{8a}$$

2. $0.002 < \epsilon_c \leq 0.0033$

$$\alpha = 1 - \frac{2}{3(10^3 \epsilon_c)}, \quad \beta = \frac{4(10^3 \epsilon_c) - 3(10^3 \epsilon_c)^2 - 2}{6(10^3 \epsilon_c)(0.67 - 10^3 \epsilon_c)} \tag{8b}$$

중립축 깊이비는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$k = \frac{T_{sx}}{\alpha(0.85f_{ck})bd} \tag{9}$$

여기서, f_{ck} 은 콘크리트 기준압축강도(MPa), b 는 단면 폭(mm), d 는 철근부터 압축연단까지의 거리(mm)이다.

가정한 콘크리트 변형률과 중립축 깊이비를 이용한 변형률이 일치할 때까지 반복시산을 수행하여 결정하며 중립축 깊이비를

이용한 변형률은 다음과 같다.

$$\epsilon_c = \frac{k}{1-k} \cdot \epsilon_{sc} \quad (10)$$

콘크리트 변형률이 결정되면 다음과 같이 부재의 휨강도를 구한다.

$$M_c = T_{sx} (1 - \beta k) d \quad (11)$$

이렇게 산정된 휨강도를 이용하여 곡률을 구하기 위해서 유효 곡률에 대한 개념을 도입하였으며, 휨 균열 분포계수(ζ)에 적용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\zeta = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_c} \right)^k \quad (12)$$

여기서, β 는 하중 형태 계수이며 단기하중시 1.0, 장기하중시 0.5를 적용하며, M_{cr} 는 균열 휨 모멘트($kN \cdot m$) M_c 는 최대 휨 모멘트($kN \cdot m$), k 는 분포계수의 차수이다.

휨균열 분포계수를 적용하기 위한 곡률은 다음과 같이 구한다.

$$\frac{1}{r} = \frac{\epsilon_{sm} + \epsilon_c}{d} \quad (13)$$

여기서, ϵ_{sm} 은 철근의 평균 변형률이며 철근의 항복여부에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.

1. 철근이 항복하지 않은 경우 : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$

$$\epsilon_{sm} = \epsilon_s \left(1 - \beta \left(\frac{f_{scr}}{f_s} \right)^2 \right) \quad (14a)$$

2. 철근이 항복한 경우 : $\epsilon_s > \epsilon_y$

$$\epsilon_{sm} = \epsilon_s - \frac{0.4f_{ct}}{E_c \rho_e} \quad (14b)$$

여기서, β 는 하중 계수, f_{scr} 는 균열발생 직 후 철근응력(MPa) f_{ct} 는 콘크리트 인장강도(MPa), $(0.5f_r) E_c$ 는 콘크리트 탄성계수 (MPa)이며 ρ_e 는 유효철근비로 보통 보에서는 $\rho_e = 2.5(h-d)b$ 를 사용한다.

이를 통해 최종적으로 부착특성을 고려한 휨강도를 적용한 처

짐량의 산정식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{1}{r} \right)_e = \zeta \left(\frac{1}{r} \right)_{crack} + (1 - \zeta) \left(\frac{1}{r} \right)_{uncrack} \quad (15)$$

여기서, $(1/r)_{crack}$ 는 최대 휨모멘트에 의해 균열단면으로 계산한 곡률이며, $(1/r)_{uncrack}$ 는 균열 발생 직전의 곡률이다.

최종 결정된 유효곡률을 이용한 처짐량 산정은 다음과 같다.

$$\Delta = kl^2 \left(\frac{1}{r} \right)_e \quad (16)$$

여기서, k 는 휨모멘트도의 형태에 따른 계수(Kim 2014)이며, l 은 부재의 유효 경간 길이(mm)이다.

처짐량 계산 절차는 Fig. 5에 정리하였다.

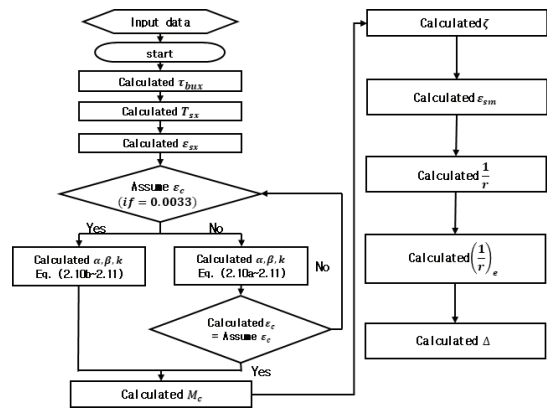


Fig. 5. Deflection calculation

3.2 실험값과 이론적 해석 비교 분석

실제 실험에서의 곡률을 분석하기 위해 부재 중앙부에서 반력 점사이 1/3지점에 LVDT 변위계를 설치하여 측정된 모식도를 Fig. 6에 나타내었으며 실험값의 곡률계산 방법은 다음과 같다.

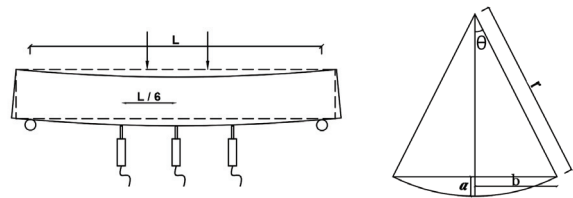


Fig. 6. Curvature measurement

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1 \quad \therefore \frac{1}{r} = \frac{2a}{a^2 + b^2} \quad (16)$$

여기서, a 는 중앙점 처짐과 1/3지점에서의 처짐 차이(mm), b 는 부재의 중앙에서부터 반력사이 1/3거리(mm)이다.

실험값과 이론적 해석 결과를 비교해 보았을 때 부식이 진행될 수록 이론적 해석 보다 실험값에서의 곡률이 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 이 차이를 Fig. 7에 나타내었다. 실험값과 이론적 해석의 진행시에 EC2와 MC90에서 사용하고 있는 지수값($k=2$)의 적용은 근거가 불명확(Choi et al,2010)하며 콘크리트구조 설계기준(2012)에서 사용하고 있는 유효 2차단면모멘트를 적용하여 휨강성에 의해 처짐량을 결정하는 3차식과 일관성이 없다. 따라서 이 연구에서는 지수값을 2와 3을 적용하여 비교를 하였으며, 선행연구(Ballim and Reid 2003)와 같은 경향을 보이고 있는 3차식을 적용하였으며, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

3.3 계수 제안

Fig. 8에서 확인할 수 있듯이 선행된 연구에서는 2%에서의 휨 부처의 증가는 고려하지 않는다. 그 이유는 기존의 부식을 0%가 설계식의 기준이 되기 때문에 증가에 대한 보정은 불필요하기 때문이라고 판단되며 이 논문에서도 Stanish et al.(1999)의 제안식을 적용하여 강도를 평가하였기 때문에 2%에서의 부처증가는 고려하지 않고 보정계수를 제안한다.

유효곡률산정에 필요한 최대휨모멘트에 대한 균열모멘트의 비를 변수로 실험값과 이론적 해석값의 비교를 통해 차이를 보정하는 방법으로 계수를 제안하며 계수제안의 절차는 Fig. 9와 같다.

계수제안을 위한 이론적 해석과 실험값의 균열모멘트에 대한 최대모멘트의 비 차이는 Fig. 10에 나타내었으며, 철근의 지름별 값의 평균을 사용하였다. 그에 대한 회귀식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

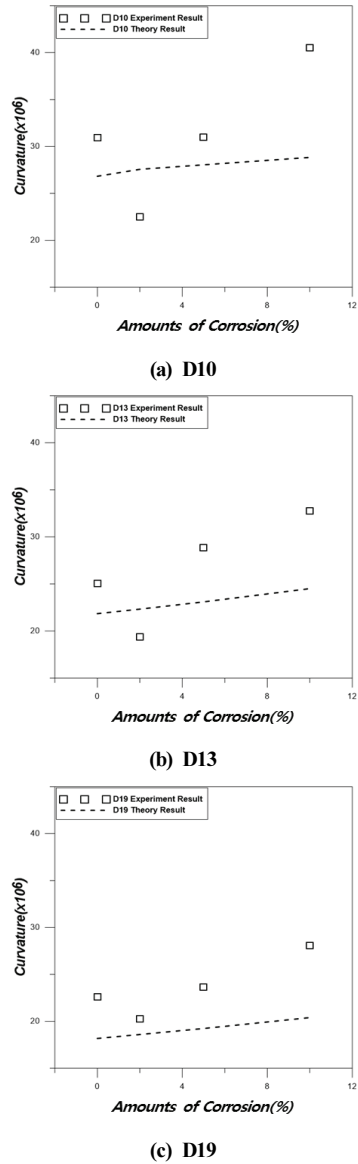


Fig. 7. Comparison of curvatures

Table 5. Summary of flexural curvature analysis

Flexural Curvature($(1/r) \times 10^6$)												
Corrosion late(%)	Re-bar											
	D10				D13				D19			
	k		Type		k		Type		k		Type	
	2	3	Theo.	Exper.	2	3	Theo.	Exper.	2	3	Theo.	Exper.
0	0.927	0.98	27.32	30.94	0.933	0.982	21.84	25.06	0.942	0.986	18.19	22.58
2	0.922	0.978	27.92	22.5	0.927	0.98	22.32	19.34	0.91	0.973	18.59	20.25
5	0.902	0.969	28.9	30.97	0.908	0.972	23.09	28.86	0.886	0.961	19.23	23.64
10	0.843	0.938	30.64	40.5	0.853	0.943	24.5	32.73	0.818	0.922	20.39	28.07

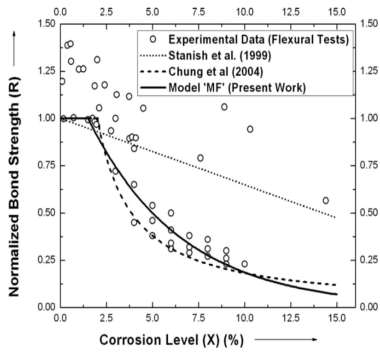


Fig. 8. Flexural bond strength results of pre-study (Bhargava et al. 2008)

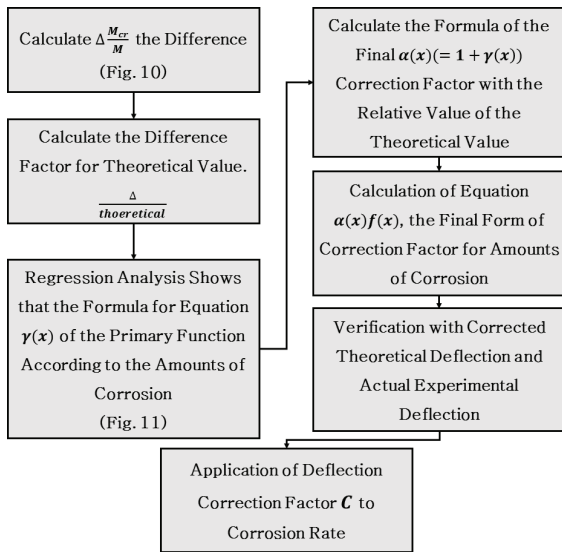


Fig. 9. Calculation of deflection coefficient

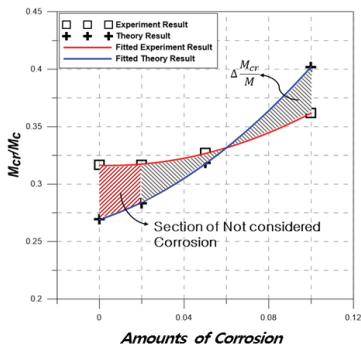


Fig. 10. Compared experimental and theoretical M_{cr}/M_c

이론값 : $Y = 7.2x^2 + 0.61x + 0.269, \overline{R^2} = 0.999$ (17a)

실험값 : $Y = 4.988x^2 - 0.043x + 0.3163, \overline{R^2} = 0.99$ (17b)

Fig. 10에서 나타난 이론적 해석값과 실험값의 차이를 이론적 해석값에 대한 비율로 나타내어 한 차이(Δ /Theoretical)를 회귀분석하여 제안된 $\gamma(x)$ 는 Fig. 11에 나타내었으며, 회귀식은 다음과 같다.

$$\gamma(x) = -2.756x + 0.173, \overline{R^2} = 0.998 \quad (18)$$

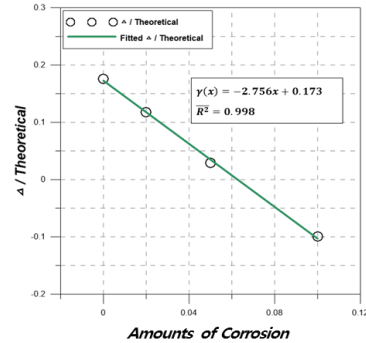


Fig. 11. Regression equation for $\gamma(x)$

제안된 식은 이론적 해석값을 실험값에 맞추는 상대적 값이기 때문에 1을 더한 값인 $\alpha(x) = 1 + \gamma(x)$ 의 형태로 이루어지며 최종 제안된 보정계수 C 는 다음과 같다.

$$C = -2.756x + 1.173 \quad (19)$$

여기서, x 는 부식률(%)이다.

제안된 보정계수를 적용한 해석값과 이론적 해석값을 실험값과 비교를 통해 최종적으로 계수를 적용한 처짐량 산정식의 적절성을 검증하였으며, 검증을 위해 비교한 그래프는 Fig. 12에 나타내었다. 제안된 보정계수를 적용한 유효곡률의 식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{1}{r}\right)_e = \beta \left(C \frac{M_{cr}}{M}\right)^3 \left(\left(\frac{1}{r}\right)_{un\ crack} - \left(\frac{1}{r}\right)_{crack} \right) + \left(\frac{1}{r}\right)_{crack} \quad (20)$$

4. 결론

이 논문에서는 부식된 철근이 철근콘크리트 휨부재의 처짐에 미치는 영향을 평가하기 위하여 시험체의 철근에 인위적 촉진부식을 진행하고 4점 재하시험을 수행하여 얻은 결과와 부착특성을 적용한 이론적 해석 결과의 비교분석을 실시하였는데, 그 결론을

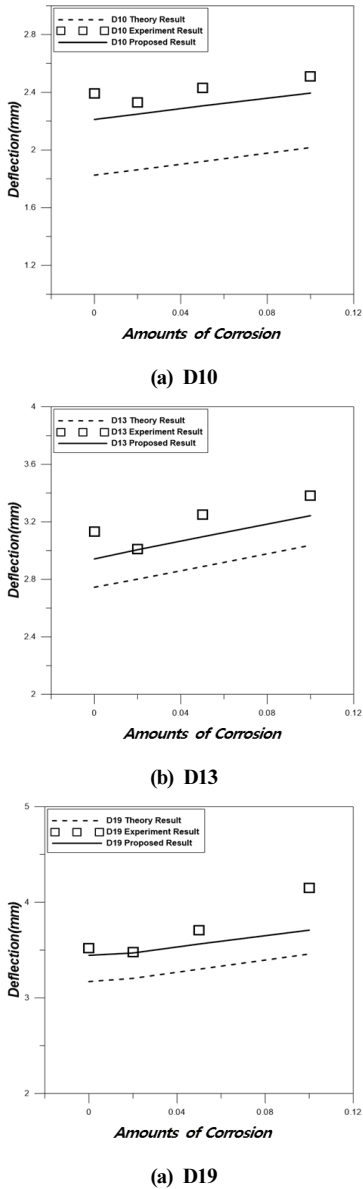


Fig. 12. Deflection with proposed coefficient

요약하면 다음과 같다.

1. 철근의 부식을 및 지름을 변수로 한 실험을 통해 측정된 유효 곡률을 비교해본 결과, 부식률 2%에서 곡률은 가장 작게 나타났으며, 다음으로 0%, 5%, 10%로 곡률의 증가가 나타났다. 이는 철근의 부식이 진행될수록 콘크리트에 팽창압이 전달되어 콘크리트의 인장 저항능력이 감소되어 나타난 것으로 판단된다.
2. EC2와 MC90에서 제시하고 있는 곡률의 산정식은 철근이

부식된 RC보의 처짐을 정확히 판단하기 어려우며, 실험값과 비교한 결과 철근의 지름별로 8.93~40.48% 수준을 낮게 산정하고 있음을 확인하였다.

3. 따라서, 처짐량 산정을 위한 곡률식의 보정을 위하여 균열모멘트와 최대모멘트의 비를 이용하여 실험값과 이론적 해석값의 차이에 대해 회귀분석을 실시하였으며, 이를 근거로 곡률에 대한 보정계수를 제안하였다.
4. 이 연구는 철근의 부식으로 인한 RC힘부재의 처짐평가에 있어 기초적 자료로서 활용가능성이 높다고 판단되며, 실험값에 의해 경험적으로 제안된 보정계수의 신뢰성을 높이기 위한 추가적인 연구와 실험이 필요하다고 사료된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술연구개발사업의 연구비지원 (20SCIP-B128487-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Ballim, Y., Reid, J.C. (2003). Reinforcement corrosion and the deflection of RC beams an experimental critique of current test methods, *Cement & Concrete Composites*, **25**, 625-632.

Bhargava, K., Ghosh A.K., Mori, Y., Ramanujam, S. (2008). Suggested empirical models for corrosion-induced bond degradation in reinforced concrete, *Journal of Structural Engineering*, **134**(2), 221-230.

CEB-FIP (1990). CEB-FIP Model Code 1990, *Comite Euro-International Du Beton*, Paris, 247-251.

Choi, S.W., Yang, J.H., Kim, W. (2010). Influence of tension stiffening effect on deflection and crack width in RC members, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22**(6), 761-768 [in Korean].

Eurocode 2 (2004). *Design of Concrete Structures Part 1-1: general Rules and Rules for Buildings*, European Committee for Standardisation, Brussels.

Jung, W.Y., Kwon, M.H., Ahn, M.K. (2011). Structural behavior of compressive and flexural members due to corroded reinforcing bars and different bonding interfaces, *Journal of Disaster*

- Management, **11(5)**, 33–39 [in Korean].
- KCI. (2012). Concrete Structure Standards • Commentary [in Korean].
- KSA. (2016). KS F 2408 : 2016 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete [in Korean].
- KSA. (2017). KS F 2405 : 2010 Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete [in Korean].
- KSA. (2016). KS F 2423 : 2016 Standard Test Method for Tensile Splitting Strength of Concrete [in Korean].
- KSA. (2018). KS B 0802 : 2003 Method of Tensile Test for Metallic Materials [in Korean].
- Kim, W. (2014). Limite State Design of Concrete Structures, DongHwa Technology Publishing, Seoul [in Korean].
- Park, Y.J. (2004). Experimental Research on Bond Characteristics and Tensile Strength by Corrosion of Reinforcement Steels, Master's Thesis, Tong-Myong Univ. [in Korean].
- Stanish, K., Hooton, R.D., Pantazopoulou, S.J. (1999). Corrosion effects on bond strength in reinforced concrete, ACI Structural Journal, **96(6)**, 915–921.
- Yang, X., Zhu, H. (2012). Finite element investigation on load carrying capacity of corroded RC beam based on bond-slip, Jordan Journal of Civil Engineering, **6(1)**, 134–146.

철근 부식에 따른 철근콘크리트 휨 부재의 처짐 산정에 대한 실험적 연구

이 논문에서는 철근 부식을 촉진시킨 휨 부재의 4점 재하 재하실험을 통하여 철근 지름 및 부식률의 변화에 따른 처짐과 곡률 및 균열모멘트의 변화를 측정하는 실험을 수행하였다. 부식률은 중량비로 0%, 2%, 5% 및 10%로 변화하였으며, 철근의 지름은 각각 10mm, 13mm 및 19mm로 하였다. 실험 결과에 따르면 처짐에 대한 철근 지름의 영향은 크지 않았으며, 철근의 부식률이 2%를 초과하는 경우 부식되지 않은 철근을 가진 부재에 비하여 처짐이 증가하고 균열모멘트가 감소하는 경향을 확인하였다. 이는 부식된 철근에 대한 직접인발 시험과 동일한 경향을 보이는 것이며, 철근의 부식률이 크지 않은 경우 휨 거동에 대한 부식의 영향이 크지 않음을 의미한다. 또한, 철근이 부식된 철근콘크리트 부재의 처짐량을 산정하기 위하여 부식률에 따른 균열모멘트의 변화를 반영하는 처짐 보정계수를 도출하고 실험결과를 통하여 그 적용성을 확인하였다.