

부식된 철근콘크리트 부재의 부착특성을 고려한 인장증강효과 기반 균열폭 산정 A Crack Width Estimation Considering Bond Characteristics of Corroded Reinforced Concrete members based on Tension Stiffening Effect

김지상¹ · 유경석^{2*}Jee-Sang Kim¹ · Kyung Suk Yoo^{2*}

(Received December 9, 2024 / Revised December 14, 2024 / Accepted December 16, 2024)

This paper presents the test results of 8 direct tensile specimens to investigate the effect of corrosion rate on the tension stiffening effects in axially loaded reinforced concrete tensile members. Four corrosion rates are selected as a main experimental parameter. As a result, crack widths become larger as the corrosion rate increases, and in specimens with a corrosion rate of 5% or higher, during the crack stabilization phase, the behavior of the corroded specimen is not parallel with the behavior of bare bars and eventually the tension stiffening effects disappear when the yield load is reached. This observations are inconsistent with the current design regulations, and based on the current results, a new coefficient related corrosion is proposed for tension stiffening effects and crack widths formula.

키워드 : 부식, 부착-미끄러짐 거동, 직접인장시험, 인장증강효과, 균열, 균열폭, 사용성

Keywords : Corrosion, Bond-slip behaviour, Direct tesion test, Tension stiffening effect, Crack, Crack width, Serviceability

1. 서론

철근 콘크리트는 전세계적으로 가장 많이 활용되는 건설 재료 중 하나로서 압축강도가 크지만, 인장강도 낮아서 균열 및 취성적 파괴가 발생한다. 이를 보완하기 위해서 콘크리트에 철근을 보강하여 사용한다. 철근 콘크리트의 성립 이유로는 철근과 콘크리트 사이의 부착력이 크고, 콘크리트가 강알칼리성을 가지기 때문에 철근 주위에 부동태피막이 형성되어 철근을 부식으로부터 보호할 수 있으며, 철근과 콘크리트의 열팽창계수가 거의 같아 일체거동을 한다는 전제하에 하나의 구조물로 볼 수 있다(Ma et al. 2013). 그러나, 최근 국내·외적으로 해양 구조물 및 해안에 인접한 구조물뿐만 아니라, 내륙의 구조물의 경우에도 겨울철 과도한 제설제 사용 등에 의한 부식 위험에 노출되어 있다. 부식 초기에는 철근 주위에 부식 부산물의 생성으로 인한 표면조도의 증가에 따라 철근과 콘크리트 사이의 부착력 역시 증가하지만, 점차 부식이 진행됨에 따라 부식 부산물의 팽창으로 인한 콘크리트 및 철근의 단면

손실에 의해 부착력이 감소하고 균열이 발생하게 된다(Stewart 2009; Ma et al. 2014). 철근 콘크리트 구조물에서 균열이 발생하면 강성이 저하되고, 균열면에서 응력의 재분배가 일어난다. 균열이 발생한 단면에서 모든 인장력은 철근이 부담하지만, 하중의 증가함에 따라 균열이 계속적으로 형성되면서 균열 단면 사이의 콘크리트는 부착에 의해 철근으로부터 전달되는 인장력의 일부를 부담하게 된다. 이처럼 주변 콘크리트에 의해 철근의 변형률이 감소하는 현상을 인장증강효과라고 한다(CEB-FIP 1991). 인장증강효과는 균열 발생 후 작용력이 증가하면 점차 감소하는데 인장증강효과에 직접적인 영향을 미치는 부착거동에 대한 특성이 아직까지 명료하게 밝혀져 있지 않기 때문에 이 효과를 정확하게 산정할 수 없는 실정이다. 이러한 배경에서 CEB-FIP Model Code 1990(1991)에서는 직접인장시험 결과를 바탕으로 인장증강효과를 Fig. 1의 철근의 변형률 $\epsilon_{s,m}$ 함수로 정의하고 있다. 즉, 균열이 처음 발생했을 때 철근 변형률의 변화량인 $\Delta\epsilon_{s,max}$ 에 부착특성을 반영한 인장증강 계수를 도입하여 다음과 같이 1차 선형함수로 표

* Corresponding author E-mail: yooks815@skuniv.ac.kr

¹서경대학교 토목건축공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Seokyeong University, Seoul, 02713, Korea)

²서경대학교 토목건축공학과 부교수 (Department of Civil Engineering, Seokyeong University, Seoul, 02713, Korea)

현한 MC90의 식으로 규정하고 있다.

$$\epsilon_{sm} = \frac{f_{so}}{E_s} \left(1 - \beta_{MC90} \frac{f_{sr}}{f_{so}} \right) \quad (1)$$

여기서, f_{so} 는 균열면의 철근응력(MPa), f_{sr} 은 인장균열이 발생한 순간의 균열면 철근응력(MPa), E_s 는 철근의 탄성계수(MPa)이다. 그리고 β_{MC90} 은 MC 90의 하중형태에 따른 인장증강 계수로서 단기하중일 때 0.4, 장기 또는 반복하중일때는 0.6을 적용한다.

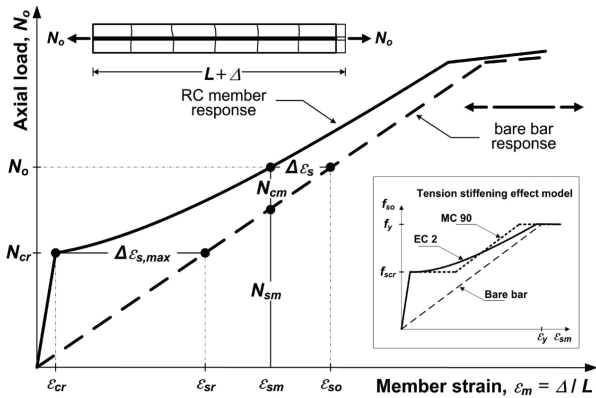


Fig. 1. Tension stiffening behavior in axially loaded members

이러한 인장증강효과를 고려한 힘 거동에 대한 해석적 연구는 일반콘크리트뿐만 아니라, 다양한 섬유보강 콘크리트와 고강도 콘크리트에 대한 연구가 수행 중이다(Kim et al, 2003; Lee et al, 2013; Kim and Park 2018). 특히, Lee et al.(2013)은 섬유보강 콘크리트에서 강섬유의 인장 거동과 bond-slip 관계를 규명하여 인장거동을 정확히 예측하였다. Kim and Park(2018)은 CEB-FIP 인장증강효과 모델을 기반으로 고강도 콘크리트의 인장부재의 균열간격 예측을 위해, 피복두께에 따른 인장강화 계수를 도입하여 정확도가 높은 상관관계 모델을 제안했다. 또한, Allam et al.(2013)은 인장증강효과를 설계 기준과 상용유한요소해석 프로그램을 이용해 힘 거동에 따른 균열폭을 평가하여 각국의 설계 기준에 따른 인장증강효과의 차이를 규명했다. 이처럼, 다양한 재료와 강도범위에서의 인장증강효과에 따른 균열폭 평가 연구가 수행 중이지만, 부식이 된 콘크리트부재의 인장증강효과를 고려한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 이 연구에서는 앞서 언급한 부식된 철근의 부착성능 문제를 조사하기 위하여, 부식이 진행된 이후 철근의 부착률에 따

른 직접인장부재의 하중-변형률 관계를 통해 부식이 인장증강효과에 미치는 영향을 분석하고 인장증강효과를 통해 계산하는 철근 콘크리트 구조물의 사용성 평가항목 중 하나인 균열폭 산정식에 부식에 대한 영향을 반영하고자 한다.

2. 실험

이 연구에서 사용된 실험체는 Fig. 2와 같이 1,000 mm 길이의 직접인장 실험체로서, 항복강도 f_y 는 400 MPa인 D19 철근 1개를 단면의 중심에 배치하였다. 실험체의 철근비는 동일하며, 인장증강효과의 주요 변수인 피복 두께는 부식률에 따른 인장증강효과의 변화를 보기 위해 c/d_b 또한 3.5로 고정하여 정사각형에 가까운 단면 형태로 결정하였다.

콘크리트의 단면은 Fig. 2와 같이 제작하였으며, 콘크리트 제작은 Table 1과 같이, 설계기준 압축강도 f_{ck} 가 35MPa인 배합으로 부식률별 2개씩 총 8개를 제작하였다. 양생 중 발생하는 콘크리트의 건조수축을 감소시키기 위하여 타설 후 거푸집 탈형까지 증기양생 4일을 실시하였고, 이후 실험 전까지 수중 양생을 하였다.

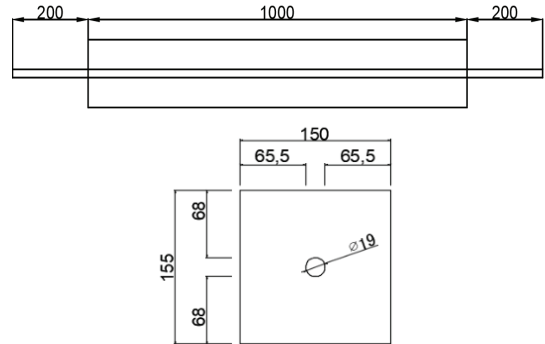


Fig. 2. Tension test specimen

Table 1. Mix proportions of specimens

W/C (%)	S/a (%)	Water (kg)	Cemet (kg)	Coarse aggregate (kg)	Fine aggregate (kg)
39	47.3	183	461	772	910

2.1 촉진 부식 실험

자연 상태의 부식은 상당한 시간이 요구되는 것에 비해 촉진 부식은 짧은 기간 내에 원하는 부식수준을 만들 수 있는 장점이 있다. 촉진 부식 방법의 하나인 일정 시간동안 일정한 전류를 흘려

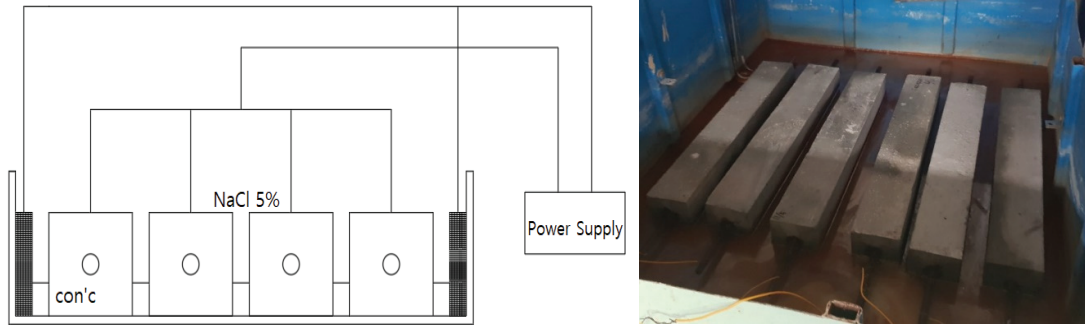


Fig. 3. Accelerated corrosion test Set Up

보내 원하는 정도의 부식량을 얻을 수 있는 전위차를 이용한 전기·화학적 부식법을 활용하였다.

부식셀의 구성은 Fig. 3과 같이 철근에 양(+)극을 연결하고 구리판에 음(-)극을 연결하여 전하가 양극에서 음극으로 이동하는 성질을 이용하여 구성하며, 철근이 NaCl 수용액을 통하여 산화시키는 원리는 적용하였다(Park 2004). 촉진 부식 실험이 진행되는 동안 실험체의 철근이 침지될 정도로 NaCl 수용액의 수위를 유지하였다. 다만, 구리판을 수조 끝에 위치하여 시험체 간의 거리가 일정하지 않아 시험체 간의 부식 거동에 대한 변동의 가능성을 배제할 수 없다.

실험체의 부식률은 식 (3)의 페러데이 법칙으로 산정할 수 있으며, 일정 시간동안 일정한 전류를 흘려보내 원하는 정도의 부식량을 얻을 수 있다. 부식률은 부식에 의한 중량 손실량과 철근의 총 부피의 관계로 나타내었다. 계산된 이론 부식률을 기준으로 직접 인장시험을 수행하였다.

부식을 진행하면서 과도한 전류밀도의 사용은 부착력 악화를 유도한다는 선행연구결과에 따라 전류밀도 150~250 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 적절한 전류밀도로 부식을 총 26일간 진행하였다(Saifullah and Clark 1994).

$$\Delta m = \frac{MI t}{z F} \tag{3}$$

$$W_{loss} (\%) = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \tag{4}$$

여기서, Δm 은 부식에 의한 중량손실, M 은 금속의 원자질량으로 철의 경우 56g, I 는 가한 전류량, t 는 시간(sec.), z 는 이온이 산화 과정에서 적용하는 전자의 수로 철의 경우 2개, F 는 페러데이 상수로 96,485 C/mol 이다. 또한, 식(4)를 통해 원래 부피에서

Table 2. Accelerated corrosion test result

Rebar	Cover c/d_b	Current density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	I (A)	t (day)	Δm	$\sum \Delta m$	W_{loss} (%)
D19	3.5	-	-	-	-	-	-
		200	0.5	5.04	63.01	63.01	2
			0.8	4.73	94.62	157.63	5
		1	6.3	157.53	315.16	10	

부식 이후 중량을 뺀 나머지를 원래 부피로 다시 나누어 부식률을 산정한 결과는 Table 2와 같다.

2.2 직접인장시험

하중재하는 Fig. 4에 보인 것과 같은 전동식 변위 제어방식 가력기와 20 Ton 용량의 로드셀을 이용하였고 측정은 실험체에 변위계 지지판을 부착하고 변위계 2개를 설치하여 각각 측정된 평균값으로 평균변형률을 수집하여 하중-변형률 관계를 정리하였다. 그리고 각 하중마다 발생한 균열마다 균열발생하중을 기록하여 실험체의 균열거동을 파악하였다.



Fig. 4. Tension test set up

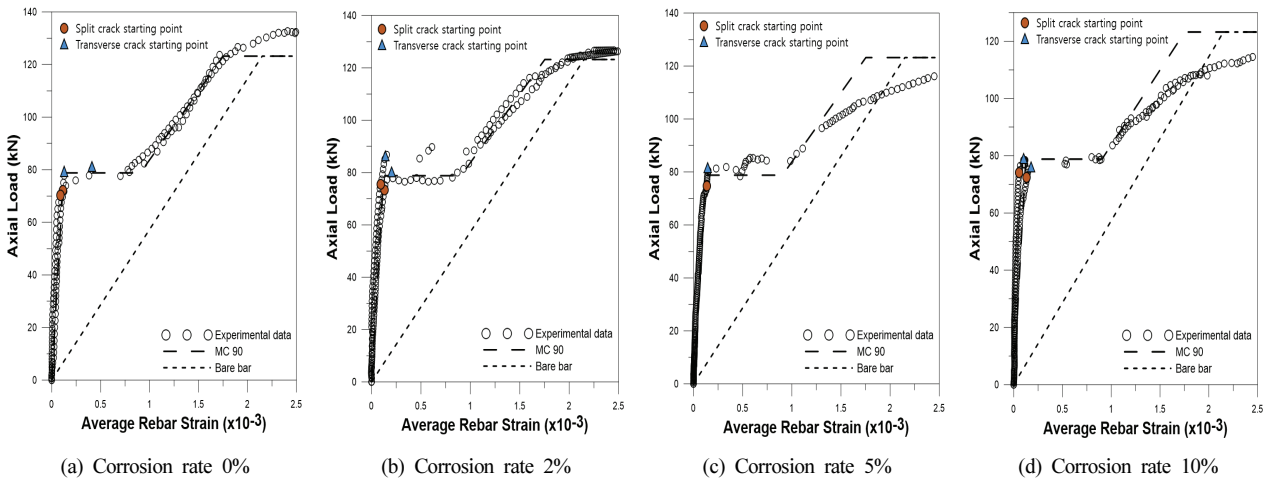


Fig. 5. Comparison between test results and predicted response for MC 90

3. 실험 결과 및 분석

부식률의 영향을 확인하기 위하여 실험에서 측정된 하중-변형률 관계를 Fig. 5에 정리하였다. 그림을 살펴보면, 각 실험체의 단면적, 피복 두께 등이 동일함에도 불구하고, 부식률이 증가할수록 인장증강효과는 감소하는 것을 하중-변형률 곡선을 통해 확인할 수 있으며 이 결과에 대한 원인을 분석하기 위하여 각 실험체의 하중-변형률 곡선에 MC 90의 인장증강효과를 실험 결과와 비교하였다. 또한, Fig. 5에 횡방향 균열 및 쪼갬 균열이 처음 발생한 지점을 그래프 내부에 표시하였다. 횡방향 균열 및 쪼갬 균열은 육안으로 관찰한 결과에 변위계를 통해 수집한 변형량의 변화를 참고하여 판단하였다. 균열 발생 하중은 8개의 실험체 모두 쪼갬 균열이 횡방향 균열보다 조금 빠르게 발생했으며, 이로 인해 짧은 순간에 많은 변형이 생기며 인장증강효과가 감소한 것으로 보인다. 또한, 부식으로 인해 철근의 강도 및 강성 또한 떨어졌으며 (Imperatore et al., 2019), 균열발생 이후 응력재분배가 발생하여 콘크리트와 철근의 변형률이 같아지게 되고 부착전달 길이 내에 부착응력의 분포 또한 변화한 것이라 판단된다.

Fig. 6은 Table 3에 정리된 각 실험체의 실험결과 중 횡방향 균열의 균열폭을 나타낸 그래프이며, Fig. 7은 각 실험체의 균열 형상을 나타낸 것이다. 실험체의 균열 형상을 통해, 부식률이 높아질수록 철근을 따라 생기는 종방향 균열이 많아지고 균열간격 및 균열폭은 커지는 경향을 보였다.

균열폭의 경우 MC 90에서 제시하고 있는 균열간격 및 콘크리트 변형률 차이와 콘크리트의 수축으로 인한 변형률의 차이로 구하는 균열폭 산정식의 경우 부식된 철근 부착특성의 변화에 따른

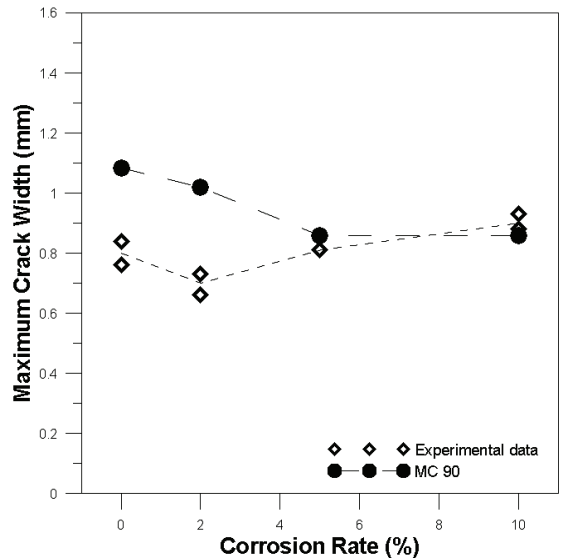


Fig. 6. Maximum crack width

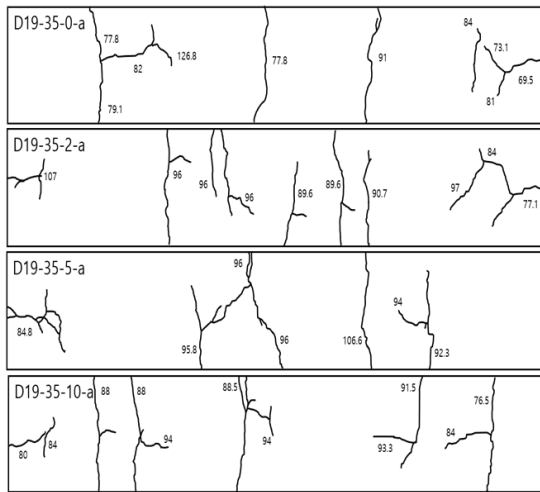
부착응력의 저하를 고려하지 못하고 있다. 따라서, 직접 인발실험 결과를 회귀분석하여 얻은 부식된 철근의 부착특성을 Table 4과 같이 제시하였다.

Table 4에는 부식된 철근의 부착특성을 평가하기 위해 직접 인발실험을 수행한 결과를 회귀분석하여 MC 2010의 기준을 참고하여 얻은 매개 변수들을 제시하고 있다.

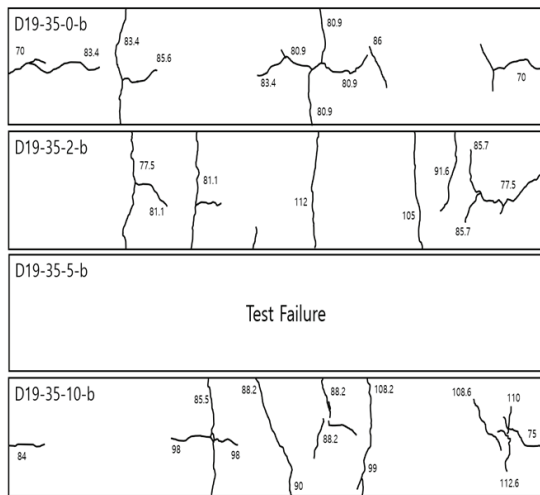
직접 인발실험결과는 구조물의 거동에 직접적으로 적용하기 어려움을 가지고 있으나, 실험체 제작의 용이성과 실험의 단순성 때문에 널리 사용되는 방법 중 하나이다. 실험결과로 부식된 철근의 부착성능은 부식률이 높아질수록 부착응력 및 합성거동시 강성의

Table 3. Summary of tension test result

Rebar	Cover c/d_b	Corrosion rate (%)	Measured concrete strength		Initial cracking load		Maximum crack width (mm)
			Compressive strength f_{ck} (MPa)	Splitting tensile strength f_{sp} (MPa)	Transverse crack (kN)	Splitting crack (kN)	
D19	3.5	0	43.1	2.9	77.8	69.5	0.84
					80.9	70	0.76
		2			82.4	77.1	0.66
					79.9	77.5	0.73
		5			78	76.7	0.81
					-	-	-
		10			76.5	75.5	0.93
	75.5	75	0.88				



(a) Series a



(b) Series b

Fig. 7. Crack configuration

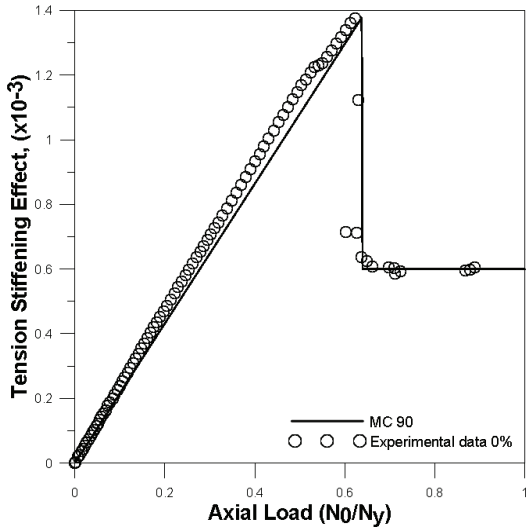
Table 4. Corroded Pull-out test regression result

corrosion rate (%)	$\tau_{b,max}$ (MPa)	τ_{bm} (MPa)	s_1 (mm)	α
Model code	$2.5 \sqrt{f_{ck}}$	-	1.0	0.4
0%	$4.7 \sqrt{f_{ck}}$	$3.3 \sqrt{f_{ck}}$	1.29	0.41
2%	$4.9 \sqrt{f_{ck}}$	$3.5 \sqrt{f_{ck}}$	1.15	0.64
5%	$4.6 \sqrt{f_{ck}}$	$3.2 \sqrt{f_{ck}}$	1.08	0.66
10%	$4.4 \sqrt{f_{ck}}$	$3.1 \sqrt{f_{ck}}$	1.01	0.67

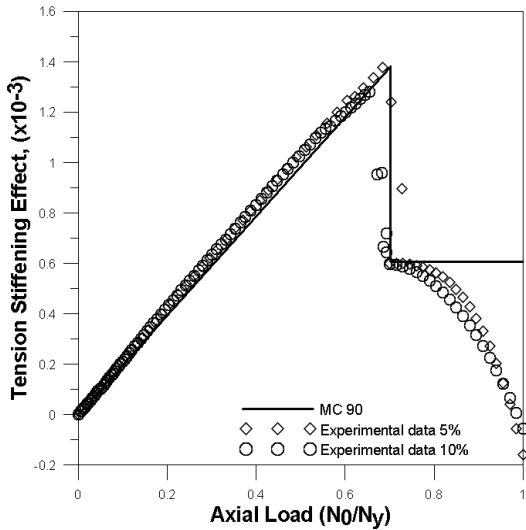
감소가 일어났으며 미끌림량은 줄어들었는데, 이는 부식으로 인한 철근과 콘크리트 사이의 부착이 파괴가 되어 미끌림량이 충분히 확보되기 전에 쪼갬 및 뺨힘 파괴가 일어난 것으로 판단된다.

4. 균열폭 산정 계수

앞에서 밝힌 바와 같이 설계기준의 인장증강 계수 β 는 MC 90에서 0.4의 값을 갖는다. 그러나 실험 결과는 Fig. 5에 제시된 것과 같이 MC 90에서 규정하는 인장증강효과와 실험체의 하중-변형을 곡선에서 얻은 인장증강효과는 차이를 보였다. 부식된 구조물의 경우 기준에 MC 90에서 규정하고 있는 인장증강효과 모델로는 적절하게 평가할 수 없으며, 부식에 따른 부착성능의 변화를 적용할 수 있도록 계수의 제안이 필요하다고 판단하였다. 이를 계산하기 위하여 철근의 부식을 고려하여 인장증강효과에 기반한 균열폭 산정계수를 제안하였다. Fig. 8은 실험체의 인장증강효과를 보기 쉽게 도해한 그래프이다. 위 결과를 통해 Fig. 8(a)을 보면 균열안정화 단계 이후 MC 90에서 제시하는 기존 모델의 경우와 같이



(a) Uncorroded specimen



(b) Corroded specimen

Fig. 8. Tension stiffening effect

부식되지 않은 실험체의 거동은 순수 철근과의 거동과 평행하게 유지되었으나, Fig 8(b)에서의 부식된 실험체의 경우에는 그렇지 못한 경향을 보이며 항복하중에 가까워졌을 때는 인장증강효과가 없어지는 경향까지 보였다. 또한 인장증강효과를 고려하여 철근과 콘크리트의 변형률을 계산하여 추정하는 균열폭 산정식의 경우에도 같은 결과에 의하여 균열폭이 과소산정되는 경향을 보였다. 따라서 실험결과를 통해, 콘크리트 구조물의 인장증강 효과에 대하여 기존 MC 90의 식에 부식 관련 계수 C_k 를 추가하여 식(5)와 같이 제시하고, 식(5)의 인장증강효과를 반영한 균열폭을 기존의 모델과 비교하여 Fig. 9에 나타냈다.

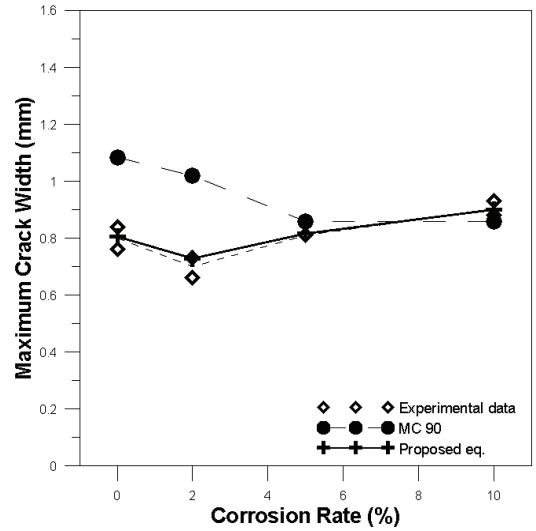


Fig. 9. Comparison of maximum crack width

$$e_{sm} = \frac{f_{so}}{E_s} \left(1 - 0.4 C_k \frac{f_{sr}}{f_{so}} \right) \quad (5)$$

$$C_k = \frac{1}{0.8X^2 + 2.5} + 0.61 \quad (6)$$

여기서, C_k 는 부식률에 관한 실험적 계수이며 식 (6)의 X 는 페러데이 법칙으로 산정한 부식률이다.

일반적으로 콘크리트 구조물의 사용성능 검증항목 중 하나인 균열에 대하여 사용하중 단계는 횡방향 균열이 발생하고 균열이 안정화되는 단계에 해당하며, 이 연구에서는 사용한계상태에서의 인장증강효과를 부식률에 따른 변수로 예측하는데 중점을 두었다. 그 결과, 기존의 설계기준은 부식으로 인한 부착특성의 변화를 고려하지 못한 것으로 나타났지만, 제안된 계수에 의해 계산한 균열폭은 부식된 구조물의 부착특성의 변화를 고려하였다. 또한, 기존 식은 최대 50% 이상 실험값과의 차이를 보이나, 부식률을 고려한 제안식의 결과가 10 % 내의 차이를 나타내고 있어, 비교적 정확하게 예측하고 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

이 연구는 콘크리트 구조물의 사용성능 검증을 위한 이론에 기반이 되는 인장증강효과에 대해서 부식에 관한 영향을 파악하기 위해 8개의 직접인장실험을 수행하였고 부식된 콘크리트 구조물의 하중-변형률 곡선을 통해 인장증강효과에 대한 부식 관련 계수

를 제안함으로써, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직접인장실험 결과 부식을 5% 실험체부터 하중-변형을 곡선에서 철근의 강성 및 강도가 저하된 것을 확인할 수 있었으며, 부식률에 따른 균열발생하중의 변화는 크게 없었다.
2. 부식률이 높아질수록 철근을 따라 생기는 종방향 균열이 증가하는 것을 관찰할 수 있었으며 이는 부식으로 인한 철근과 콘크리트 사이의 부착성능의 저하에 대한 영향으로 판단된다.
3. 기존의 설계기준은 부식에 대한 부착응력의 변화를 고려하고 있지 않아, 실험을 통해 얻은 부식된 구조물의 부착특성을 적용하여 부식된 구조물의 인장증강효과를 고려한 균열폭 산정식에 관한 계수를 제안하였다.
4. 위에 제안한 계수는 부식된 구조물의 균열폭으로 검증하였으며, 부식 관련 계수를 고려한 인장증강효과의 식을 사용한 경우 균열폭에 대해서 실험값과 10 % 이내의 편차를 나타내, 기존 설계기준보다 비교적 정확하게 예측하는 것으로 나타났다.

Conflict of interest

None.

References

Alam, S.M., Shoukry, M.S., Rashad, G.E., Hassan, A.S. (2013). Evaluation of tensionstiffening effect on the crack width calculation of flexural RC members, *Alexandria Engineering Journal*, **52(2)**, 163–173.

CEB-FIP (1991). CEB-FIP Model Code 1990, Committee Euro International Du Beton, Paris, 87–109.

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

Fib (2013). Fib Model Code for Concrete Structures 2010, International Federation for Structural Concrete, Switzerland.

Imperatore, S., Rinaldi, Z., Spagnuolo, S. (2019). Influence of corrosion on the experimental behaviour of RC ties, *Engineering*

Structures, **198**, 109458.

Kim, J.S., Park, C.H. (2018). Tension stiffening effect and crack behavior of tension members using high strength concrete, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(1)**, 50–58.

Kim, W., Lee, K.Y., Yum, H.S. (2003). Tension stiffening effect of high-strength concrete in axially loaded members, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **15(6)**, 915–923.

Lee, G.Y., Kim, M.J., Kim, W., Lee, H.M. (2011). Tension stiffening effect considering cover thickness in reinforced concrete tension members, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **23(6)**, 791–797 [in Korean].

Lee, K.Y., Kim, M.J. (2019). Crack control in reinforced concrete structures based on serviceability limit states, *Trends in Agriculture & Life Sciences*, **57**, 52–62.

Lee, S.C., Cho, J.Y., Vecchio, F.J. (2013). Tension-stiffening model for steel fiber-reinforced concrete containing conventional reinforcement, *ACI Structural Journal*, **110(4)**, 639–648.

Ma, Y., Wang, L., Zhang, J., Xiang, Y., Peng, T., Liu, Y. (2014). Hybrid uncertainty quantification for probabilistic corrosion damage prediction for aging RC bridges, *Journal of Materials in Civil Engineering*, **27(4)**, 04014152.

Ma, Y., Zhang, J., Wang, L., Liu, Y. (2013). Probabilistic prediction with Bayesian updating for strength degradation of RC bridge beams, *Structural Safety*, **44**, 102–109.

Park, Y.J. (2004). Experimental Research on Bond Characteristics and Tensile Strength by Corrosion of Reinforcement Steels, Master's Thesis, Tong-Myong University [in Korean].

Saether, I., Antonsen, R., Vennesland, Ø. (2007). Effect of impressed anodic current density applied to accelerated corrosion on laboratory results, *International RILEM workshop on integral service life modeling of concrete structures*, Guimaraes, Portugal, 307–314.

Saifullah, M., Clark, L.A. (1994). Effect of corrosion rate on the bond strength of corroded reinforcement, *Proceedings of International Conference : Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete*, 591–602.

Stewart, M.G. (2009). Mechanical behaviour of pitting corrosion of flexural and shear reinforcement and its effect on structural reliability of corroding RC beams, *Structural Safety*, **31(1)**, 19–30.

부식된 철근콘크리트 부재의 부착특성을 고려한 인장증강효과 기반 균열폭 산정

이 논문은 인장증강효과에 대한 부식률의 영향을 알아보기 위하여 실시한 8개의 축하중을 받는 직접인장 실험체의 실험결과를 정리 및 분석하였다. 부식률을 주 변수로 선정하여 4개의 서로 다른 부식률을 갖는 실험체를 제작하여 실험을 실시하였다. 실험 결과에 따르면 부식률이 높아질수록 균열폭은 커지게 되며 균열안정화 단계에서 부식률 5% 이상의 실험체에서는 부식된 실험체의 거동이 순수 철근의 거동과 수평을 이루지 못하여 결국 항복하중에 다다랐을 때 인장증강효과가 사라짐을 확인하였다. 이러한 결과는 현행 설계기준의 인장증강효과 모델로는 고려할 수 없었다. 따라서 이 연구에서 수행한 실험 및 분석 결과를 근거로 하여 인장증강효과 및 균열폭 산정식에 대해 부식 관련 계수를 제안한다.