



아연코팅 철근콘크리트 보의 휨 거동 실험 연구

양인환¹⁾ · 김경철^{1)*}

¹⁾군산대학교 토목공학과

An Experimental Study on Flexural Behavior of Beams Reinforced with Zinc-Coated Rebar

In-Hwan Yang¹⁾ and Kyong-Chul Kim^{1)*}

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

ABSTRACT Coating is one of the methods used to solve the problem of corrosion of reinforcement in concrete structures. There are few research reported in the literature regarding the effect of zinc-coating on flexural behavior compared to epoxy coating. The objective of this study was to determine whether zinc-coated rebar adversely affects flexural behavior. Concrete beams reinforced with black or zinc-coated steel were tested in flexure. The test variables included the presence of rebar surface coating with zinc, steel ratio used and cover depth. The study concentrated on comparing crack pattern, crack width, deflection and strain. The ultimate flexural capacity of beams reinforced with zinc-coated bars was not different from that of black steel reinforced beams. The results from deflection and crack width measurements were indicative of no significant variation for the different rebar surface conditions. In addition, it was found that load-strain curve of beam reinforced with zinc-coated steel was similar to that of beam reinforced with zinc-coated steel. Therefore, the test results indicated that the use of zinc-coated rebar had no adverse effect on flexural behavior compared to the use of black rebar.

Keywords : zinc-coating, concrete, flexural behavior, crack, deflection

1. 서 론

콘크리트 구조물이 해양환경 및 부식환경에 노출될 때, 콘크리트 구조물은 염해에 의한 철근부식으로 인해 콘크리트 구조물의 내구성능이 영향을 받을 수 있다. 철근 부식을 방지하기 위해 염화물 침투에 저항성이 큰 고품질 콘크리트를 적용하는 방법, 콘크리트 피복두께를 증가하는 방법, 철근에 코팅을 하는 방법, 방청제를 적용하는 기법 등의 여러 가지 방안이 적용되고 있다. 철근을 부식으로부터 보호하기 위한 여러 가지 방안 중에서 코팅 철근을 사용하는 방안이 효과적인 방안 중의 하나로 인식되고 있다.¹⁻⁴⁾ 철근 부식을 방지하기 위한 코팅 기법 중에서도 에폭시 코팅 기법이 주로 적용되어 왔으나, 기존의 연구 결과⁵⁻⁸⁾는 철근과 에폭시 코팅철근 사이의 부착력 감소를 나타낸다. 코팅철근의 부착특성에 관한 선행연구에서 Kayali와 Yeoman의 연구 결과⁹⁾는 에폭시코

팅철근의 부착강도가 일반철근의 부착강도에 비해 25~42% 정도 감소한 것을 나타낸다. 실제로 철근의 정착 및 이음 설계 시에 일반철근에 비해 에폭시 코팅철근을 적용한 설계는 상대적으로 불리하다. 일반철근에 비해 코팅철근의 정착길이 증가는 건설비용의 증가뿐만 아니라 응력 집중구역에서의 철근 배근의 밀집현상을 유발한다.

에폭시 코팅 철근의 제한점을 극복하기 위한 에폭시 코팅기법 이외의 코팅기법을 철근에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. Cheng 등¹⁰⁾은 아연코팅 철근(zinc-coated rebar)의 내염성능에 대해 연구하였으며, 연구 결과는 아연코팅철근이 일반철근보다 더 큰 염화물 임계농도를 갖는다는 것을 나타내었다. Manna 등¹¹⁾은 니켈 코팅 철근의 부식성능에 대한 연구를 수행한 바 있다. Selvaraj 등¹²⁾은 금속계 코팅, 유기계 코팅 및 무기계 코팅을 사용한 철근의 유연도, 내충격성과 내염성능에 대한 연구를 수행하였다. 또한, Wu 등¹³⁾은 에나멜 코팅철근의 부착거동을 연구하였다. 기존의 이러한 연구들은 주로 코팅철근의 부식성능평가에 대해 수행되었다. 또한, 아연코팅철근을 적용한 콘크리트 부재의 부식성능 평가¹⁴⁻¹⁶⁾ 및 부착성능^{9,17)}에 관한 연구는 일부 진행되었다. 아연코팅철근의 경우 이온화 경향이 크고 아연이 희생양극

*Corresponding author E-mail : popping6069@naver.com

Received January 28, 2014, Revised April 7, 2014,

Accepted May 15, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

작용을 하여 부식 발생이 상대적으로 기타 코팅기법을 적용한 철근보다 적다. 또한, 동등한 조건과 변수 조건에서 아연코팅철근의 부착성능은 기타 코팅철근에 비해 우수한 것으로 나타난다. 이는 아연코팅철근 표면의 조도가 기타 코팅기법을 적용한 철근에 비해 커서 부착성능에 유리하게 작용하였기 때문이다. Kayali와 Yeoman⁹⁾의 일반철근과 아연코팅철근의 부착 및 슬립 거동 실험연구 결과는 아연코팅으로 인해 철근의 부착 및 슬립에 대한 영향은 거의 없는 것으로 나타난다. Hamad와 Mike¹⁷⁾는 휨 실험을 통하여 아연코팅철근의 부착강도 특성을 연구하였으며, 이들의 연구 결과는 아연코팅철근의 부착강도와 일반철근의 휨강도는 유사한 것으로 나타난다.

반면에, 아연코팅철근을 적용한 콘크리트 부재의 구조적인 거동 특성에 관한 연구는 매우 제한적인 상황이다. 따라서, 이 연구에서는 아연코팅 철근을 적용한 보의 휨 거동 특성을 파악하기 위한 실험연구를 수행하였다. 직사각형 단면을 갖는 보 부재에 대하여 정적하중 재하실험을 수행하여 균열 및 휨 거동 특성을 분석하였다. 실험 변수로써 철근의 아연코팅, 철근비와 피복두께를 고려하였다. 또한, 일반철근(black rebar)을 적용한 콘크리트 보의 휨거동 결과와 아연 코팅 철근을 적용한 콘크리트 보의 휨거동 결과를 비교하였다.

2. 실험 계획

2.1 재료특성

이 연구에 사용된 콘크리트의 배합표를 Table 1에 나타내었다. 휨 부재를 제작하기 위하여 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트이며, 굵은골재는 최대 크기 20 mm의 쇄석골재이다. 단위 시멘트량은 500 kg/m³이고, 물-시멘트 비는 0.31이다. 보 부재를 제작할 때 타설한 콘크리트를 이용하여 매회 배치마다 압축강도 실험용 원주형 공시체를 제작하였으며, 재령 28일에서의 콘크리트 압축강도는 46 MPa이다.

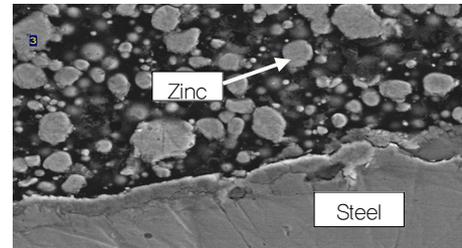
철근에 사용된 코팅재의 재질은 아연이다. Fig. 1에 실험에 사용한 아연코팅철근의 SEM(scanning electron micrograph)기법에 의한 코팅성분 분석 결과를 나타내었다. 이때 촬영 배율은 300배를 적용하였다. SEM 분석 결과는 아연 코팅이 거의 균등하게 철근의 표면에 분포하고, 아연 성분이 코팅 재료의 주성분으로 차지하는 것을 나타낸다.

Table 1 Mix proportion

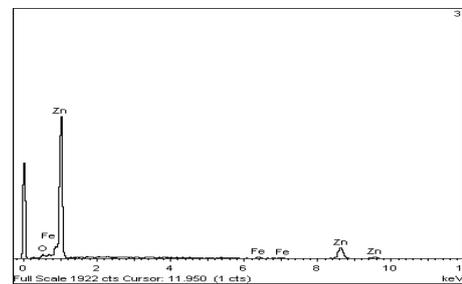
f_{ck} (MPa)	G_{max} (mm)	Slump (mm)	Air content (%)	w/c (%)	S/a (%)	Unit weight (kgf/m ³)				
						W	C	S	G	AD
40	20	40	3.5	31.4	44.7	157	500	740	904	2.50

2.2 실험 부재

아연코팅철근 콘크리트 보의 휨 거동 특성을 파악하기 위하여 직사각형 단면형상을 갖는 8개의 보 부재를 제작하여 정적 재하실험을 수행하였다. 실험체의 변수는 아연 코팅의 유무, 철근비 및 철근의 피복두께로 하였으며, Table 2에 실험 부재의 특성을 나타내었다.



(a) Microstructure of zinc coating



(b) Chemical composition of zinc-coated rebar surface

Fig. 1 Scanning electron micrograph

Table 2 Details of test specimens

Beam	f_{ck} (MPa)	Rebar			Cover depth (mm)
		Type	Number of rebar	Ratio	
BL-AS3-C30	46	Black	4×D13	0.0106	30
BL-AS4-C30	46	Black	4×D16	0.0166	30
ZC-AS1-C30	46	Coated	2×D13	0.0049	30
ZC-AS3-C30	46	Coated	4×D13	0.0106	30
ZC-AS4-C30	46	Coated	4×D16	0.0166	30
ZC-AS1-C50	46	Coated	2×D13	0.0053	50
ZC-AS3-C50	46	Coated	4×D13	0.0116	50
ZC-AS4-C50	46	Coated	4×D16	0.0182	50

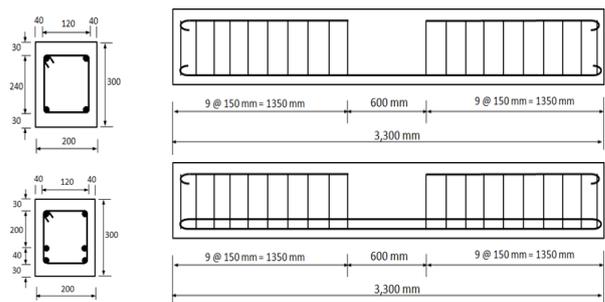


Fig. 2 Dimension of test specimen

Fig. 2에 실험 부재의 단면도와 측면도를 나타내었다. 보의 높이는 300 mm이며, 폭은 200 mm이다. 부재의 길이는 3.3 m, 지점거리는 3.0 m이다. 중앙부분 600 mm 구간은 순수 휨 구간으로 설정하였다. 휨 거동 관찰 구간은 부재의 중앙부분 600 mm 구간으로 하였으며, 중앙부분을 제외한 부재 양단 1350 mm 구간은 일괄적으로 D10 스티럽을 150 mm 간격으로 배근하여 전단 구간에서의 전단 파괴를 방지하였다. Table 2의 실험부재의 표기는 실험변수를 반영하여 나타내었다. 예를 들면, BL-AS3-C30은 일반철근(black rebar)을 사용하고, 철근비(AS3)=0.0106이고, 피복두께는 30 mm인 부재를 나타내고, ZC-AS4-C50은 아연코팅철근(zinc-coated rebar)을 사용하고, 철근비(AS4)=0.0162 이고, 피복두께는 50 mm인 부재를 나타낸다.

2.3 실험 방법

가력장치(actuator)를 사용하여 Fig. 3과 같이 4점 하중 방법으로 하중을 재하하였다. 부재는 단순지점조건을 갖도록 하였으며, 부재 중앙에서 좌우 300 mm 떨어진 위치에 하중을 재하하였다. 하중은 일정한 속도의 변위제어 방식으로 재하하였으며, 가력하중은 액츄에이터에 부착된 로드셀에 의해 측정하였다.

부재의 계측시스템 구성도를 Fig. 4에 나타내었으며, 계측센서는 콘크리트 게이지, 철근 게이지 및 변위 측정

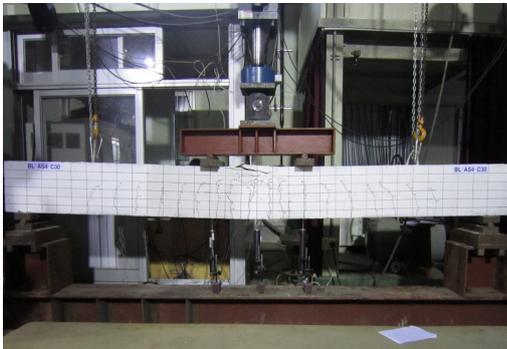


Fig. 3 Test setup

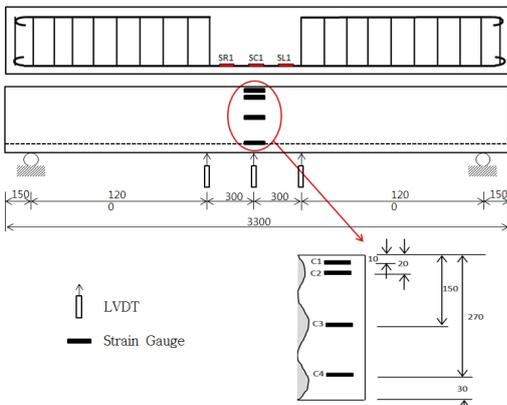


Fig. 4 Instrumentation used for the beam flexural test (unit: mm)

계 (LVDT)로 구성하였다. 부재 측면에 4개의 콘크리트 게이지를 부착하였으며, 부재의 종방향 철근에 3개 또는 4개의 철근게이지를 콘크리트 타설 전에 매립하였다. 부재의 중앙단면과 하중 가력 위치의 하면에 LVDT를 설치하여 처짐량을 측정하였다. 또한, 하중을 재하하는 동안 균열의 진전양상을 조사하고 균열폭을 측정하였다.

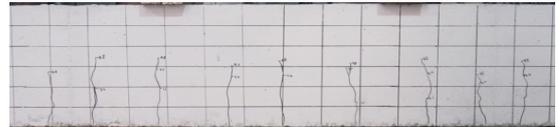
3. 실험 결과 및 분석

3.1 균열거동 특성

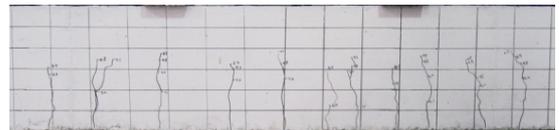
Fig. 5에 아연코팅철근 부재 중에서 대표적으로 부재 ZC-AS4-C30의 균열발생 양상을 나타내었다. 하중이 증가함에 따라 초기균열이 발생하였다. 하중이 16 kN일 때, 초기균열이 발생하였으며 초기균열폭은 0.1 mm 이다. 초기 균열 발생후, 이미 발생한 균열 사이로 추가의 균열이 발생하였다. 철근이 항복할 때까지 균열의 개수는 증가한다. 균열의 진전양상을 살펴보면, 초기 균열 발생 후



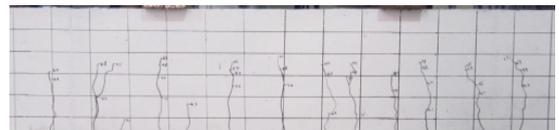
(a) Step 1 ($P_{cr}=16$ kN)



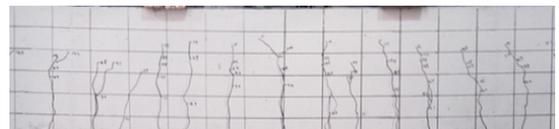
(b) Step 2 ($P=48$ kN)



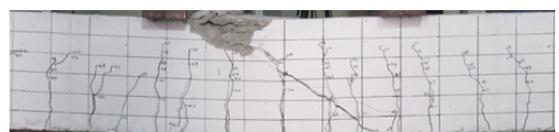
(c) Step 3 ($P=85$ kN)



(d) Step 4 ($P=103$ kN)



(e) Step 5 ($P_y=142$ kN)



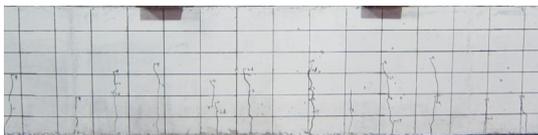
(f) Step 6 ($P_u=153$ kN)

Fig. 5 Crack pattern (ZC-AS4-C30)

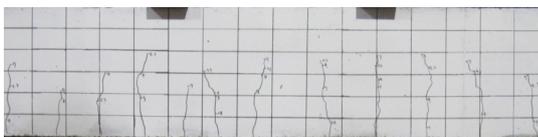
하중이 48 kN일 때, 균열폭은 0.15 mm이고, 하중이 85 kN 일 때 균열폭은 0.2 mm이다. 하중이 142 kN 일 때 인장철근은 항복하였으며, 이때의 균열폭은 0.6 mm이다. 철근 항복후 추가의 균열 발생은 거의 없으며 하중이 증가함에 따라 균열은 계속해서 보의 상연으로 진전한다. 또한 극한상태에서의 하중은 153 kN이고, 균열폭은 1.8 mm로 측정되었다. 극한 상태에서 파괴 양상은 콘크리트 압축 파괴를 나타내었다(Fig. 5(f)).

부재 BL-AS3-C30와 ZC-AS3-C30에 사용된 철근량과 피복두께는 서로 동일하고 철근의 종류만 서로 다르다. 부재 BL-AS3-C30의 초기균열폭은 0.1 mm 이고, 부재 ZC-AS3-C30의 초기균열폭은 0.1 mm이다. 철근항복하중의 60%에 대응하는 하중을 사용하중상태로 고려하여 콘크리트 부재의 균열과 관련된 사용성 평가를 할 수 있다. Fig. 6에 철근항복하중의 60%에 대응하는 하중을 사용하중상태로 고려하여 이때의 균열 상황을 비교하여 나타내었다. 사용하중 상태에서 두 부재의 순수 휨 구간에서의 균열폭은 0.2 mm이고, 4개의 휨 균열이 발생하였다. 이때 두 부재의 평균균열간격은 각각 96, 115 mm이다. 사용하중상태에서 철근항복상태까지 순수 휨구간의 추가적인 균열 발생은 없었으며, 균열이 진전하고 균열폭만 증가하였다. 이에 따라 사용하중상태와 철근항복상태에서 두 부재의 균열갯수와 평균균열폭은 서로 동일하다. 철근항복상태에서의 균열폭은 각각 0.35, 0.40 mm로 파악되었다.

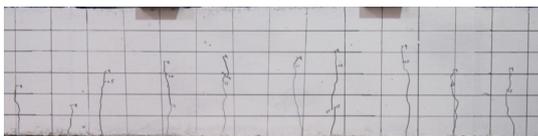
또한, 부재 BL-AS4-C30와 ZC-AS4-C30에 사용된 철근량과 피복두께는 서로 동일하고 철근의 종류만 서로 다르다. 부재 BL-AS4-C30의 초기균열폭은 0.1 mm 이고, 부재 ZC-AS4-C30의 초기균열폭도 0.1 mm이다. 사용하중



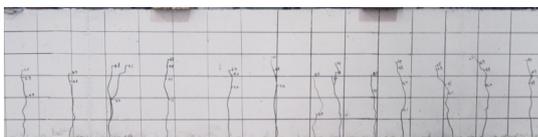
(a) BL-AS3-C30 ($P=46.9$ kN)



(b) BL-AS4-C30 ($P=84.1$ kN)



(c) ZC-AS3-C30 ($P=46.7$ kN)



(d) ZC-AS4-C30 ($P=86.1$ kN)

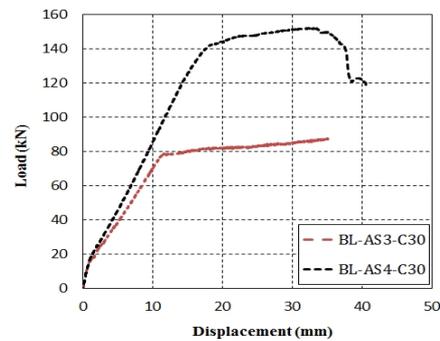
Fig. 6 Comparison of cracks at service load ($P=0.6P_y$)

상태에서 부재 BL-AS4-C30과 ZC-AS4-C30의 순수 휨 구간에서의 균열폭은 각각 0.3, 0.2 mm로 파악되었다. 순수 휨구간에서 두 부재는 동일하게 5개의 휨 균열이 발생하였으며, 평균균열간격은 각각 114, 88 mm이다. 철근 항복 상태에서 두 부재의 순수 휨 구간에서의 균열개수는 각각 7, 6개이며, 평균균열간격은 각각 82, 69 mm이다.

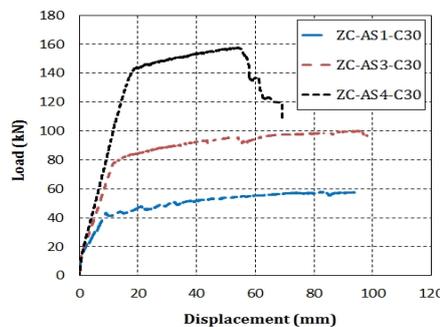
부재 BL-AS3-C30와 ZC-AS3-C30의 비교 결과 및 부재 BL-AS4-C30와 ZC-AS4-C30의 비교 결과는 초기균열상태, 사용하중상태 및 철근항복상태에서의 균열폭, 균열개수와 평균 균열간격이 서로 유사한 것을 나타낸다. 따라서, 아연 코팅 철근콘크리트 보의 휨균열 저항성능이 일반 철근콘크리트 보의 휨균열 저항성능과 거의 유사하다고 판단된다.

3.2 하중-처짐 특성

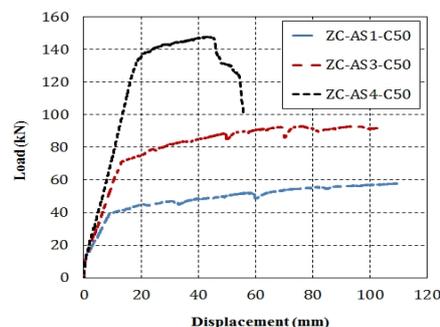
하중 단계별로 부재의 중앙 단면위치의 LVDT에서 측정된 처짐값을 이용하여 하중-처짐 곡선을 획득하였으며, Fig. 7과 8에 시리즈 별로 하중-처짐 곡선을 비교하여 나



(a) Black rebar and cover depth of 30 mm

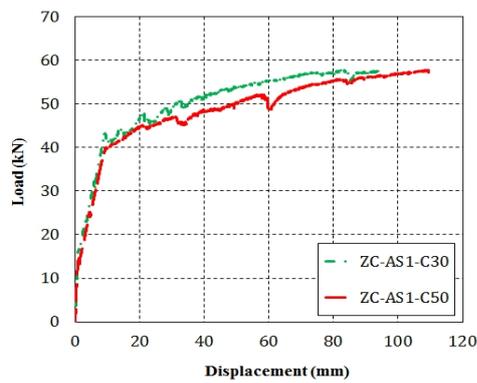


(b) Zinc-coated rebar and cover depth of 30 mm

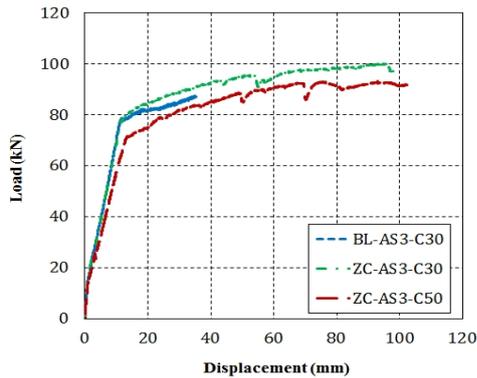


(c) Zinc-coated rebar and cover depth of 50 mm

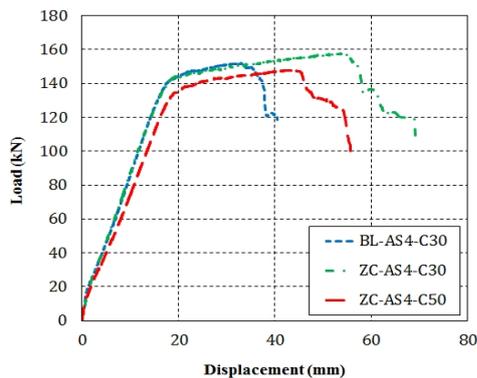
Fig. 7 Load-deflection curves at various rebar contents



(a) AS1 series



(b) AS3 series



(c) AS4 series

Fig. 8 Load-deflection curves at various rebar type

Table 3 Test result of cracking and yielding load

Beam	Initial cracking		Yielding state		Ultimate state	
	P_{cr} (kN)	Δ_{cr} (mm)	P_y (kN)	Δ_y (mm)	P_u (kN)	Δ_u (mm)
BL-AS3-C30	16.0	1.0	78.1	11.4	-	-
BL-AS4-C30	22.9	1.7	140.2	17.7	151.8	32.3
ZC-AS1-C30	16.8	1.1	43.8	13.4	-	-
ZC-AS3-C30	15.0	0.9	77.8	11.7	-	-
ZC-AS4-C30	16.9	1.1	143.5	18.9	157.6	53.5
ZC-AS1-C50	14.7	1.1	40.6	11.0	-	-
ZC-AS3-C50	14.3	1.0	70.9	13.2	93.1	93.1
ZC-AS4-C50	15.8	1.2	130.3	18.0	147.8	43.4

타내었다. Table 3에 초기균열하중, 항복하중 및 극한하중을 나타내었다. 이 연구에서 하중은 변위제어 방식으로 재하되었다. 이 연구에서는 철근의 항복하중 이하의 사용하중 상태에서의 휨 거동 분석에 중점을 두었으며, 하중제어시스템의 변위제어 용량한계에 의해 일부 실험 부재의 극한하중만을 측정하였다. 초기 균열하중은 하중-처짐 곡선에서 초기 선형구간 종점에서의 하중값으로 산정하였으며, 항복하중은 철근이 항복할 때의 하중이며, 극한하중은 하중-처짐곡선의 최대하중으로 산정하였다. 초기균열 단계까지 처짐량은 하중에 비례하여 선형으로 증가한다. 초기균열 이후 하중-처짐곡선의 기울기는 감소하며 철근 항복상태까지 거의 선형으로 증가한다.

구체적으로 부재 ZC-AS4-C30 부재의 하중-처짐 관계 곡선은 선형으로 증가하고 초기균열 발생 후에 곡선의 기울기가 감소하며 선형으로 증가한다. 초기균열하중은 16.9 kN이고, 이때의 처짐은 1.1 mm이다. 철근이 항복할 때의 하중은 143.5 kN이고, 이때의 처짐은 18.9 mm이다. 철근이 항복한 이후부터 철근의 연성효과로 인해 하중은 미소하게 증가한다. 극한하중 도달 후 부재의 하중-처짐 곡선은 급격하게 하락하였다. 부재의 파괴는 단면 상연에서의 콘크리트 압축파괴를 나타내었다. 극한상태에서의 극한하중은 157.6 kN이고, 처짐은 53.5 mm이다.

또한, 부재 ZC-AS4-C50의 하중-처짐 곡선은 선형으로 증가하고 하중이 15.8 kN일 때 초기균열이 발생하였으며, 이때의 처짐은 1.2 mm이다. 초기균열 이후 곡선의 기울기가 감소하면서 선형으로 하중이 증가한다. 이후 철근 항복단계에서의 항복하중은 130.3 kN이고, 이때의 처짐은 18.0 mm이다. 최종상태에서 극한하중은 147.8 kN, 이때의 처짐은 43.4 mm이다. 부재의 파괴는 단면 상연에서의 콘크리트 압축파괴를 나타내었다.

또한, BL-AS4-C30 부재의 극한하중은 151.8 kN이고, ZC-AS4-C30 부재의 극한하중은 157.6 kN으로써 아연코팅철근부재의 휨강도는 일반철근부재의 휨강도와 대등한 것으로 파악된다.

3.3 하중-균열폭 특성

해양 환경에서의 철근콘크리트 부재의 균열은 철근부식을 촉진시킬 수 있어 구조물의 성능에 중요한 변수가 되므로 아연코팅 철근콘크리트 부재의 균열폭 특성을 파악하였다. Fig. 9에 BL-C30 시리즈, ZC-C30 시리즈 및 ZC-C50 시리즈 별로 철근량의 변화에 따른 하중-균열폭 곡선을 나타내었다. BL-C30 시리즈의 경우, BL-AS3-C30과 BL-AS4-C30의 철근량이 다를지라도 BL-AS3-C30의 철근이 항복할 때까지 두 곡선의 기울기는 거의 동일하다. 또한, ZC-C50 시리즈의 경우, 세 부재의 하중-균열폭 곡선의 기울기는 ZC-AS1-C50의 철근이 항복할 때까지 세 곡선의 기울기는 거의 동일하다.

Fig. 10에 철근량은 동일한 조건에서 코팅철근과 일반

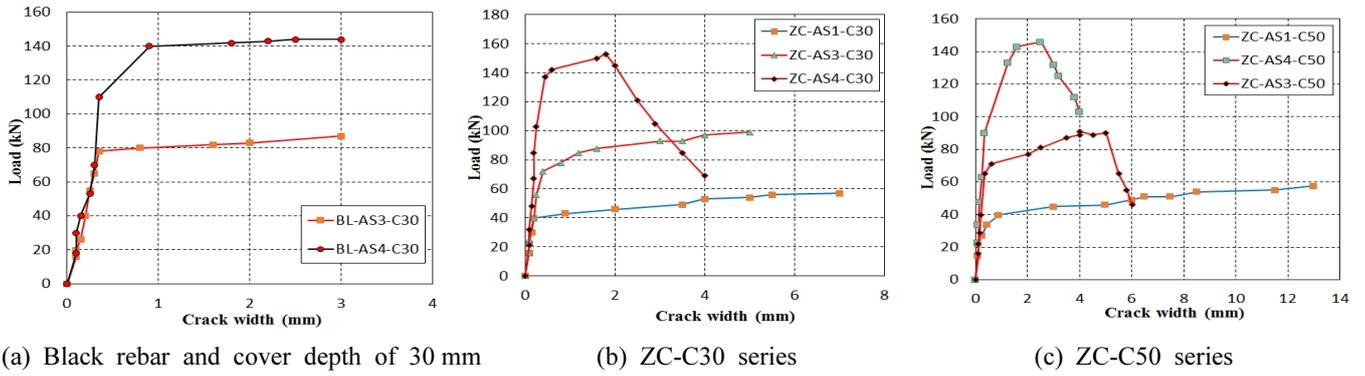


Fig. 9 Load-crack width curves at various rebar contents

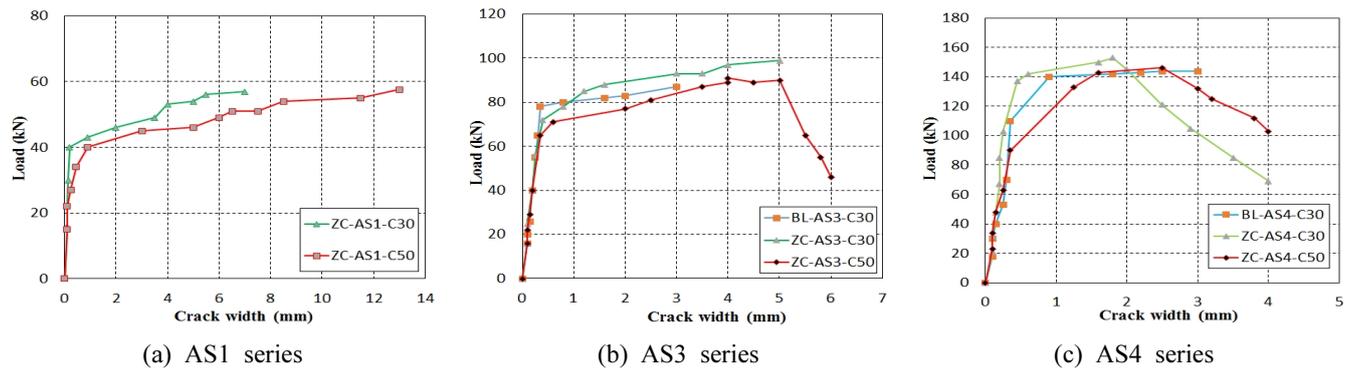


Fig. 10 Load-crack width curves at various rebar type

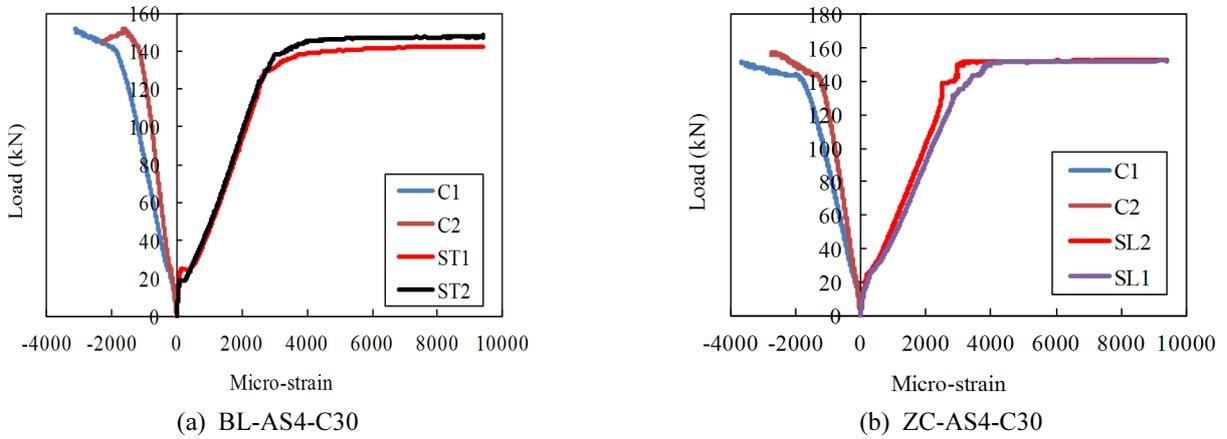


Fig. 11 Load-strain curves

철근을 사용할 때의 하중-균열폭 곡선을 비교하여 나타내었다. Fig. 10(b)에서 BL-AS3-C30과 ZC-AS3-C30의 하중-균열폭 곡선은 거의 유사한 거동 특성을 나타내며, Fig. 10(c)에서 BL-AS4-C30과 ZC-AS4-C30의 하중-균열폭 곡선도 거의 유사한 거동 특성을 나타낸다. 따라서, 아연코팅철근을 사용한 콘크리트 부재의 균열폭은 일반 철근을 사용한 콘크리트 부재의 균열폭과 거의 유사하므로 아연코팅 철근콘크리트 부재의 균열폭 측면에서의 사용성은 일반철근콘크리트 부재의 사용성과 대등하다고 판단된다.

3.4 하중-변형률 관계

콘크리트 변형률계이지와 철근 변형률계이지에서 측정된 변형률을 바탕으로 하중-변형률 관계를 파악하였다. 대표적으로 BL-AS4-C30 부재와 ZC-AS4-C30 부재의 하중-변형률 곡선을 Fig. 11에 나타내었으며, 그림에서 음수 변형률은 압축변형률을 나타내고 양수 변형률은 인장 변형률을 나타낸다.

대표적으로 부재 BL-AS4-C30와 부재 ZC-AS4-C30의 철근과 콘크리트 변형률 특성을 분석하였다. BL-AS4-C30 부재의 경우, 철근이 항복할 때의 두개의 철근계이지의

변형률은 각각 2525 및 2655 $\mu\epsilon$ 이고, 두개의 콘크리트 게이지의 변형률은 각각 -995, -1583 $\mu\epsilon$ 이다. 극한상태에서의 콘크리트의 변형률은 -3111 $\mu\epsilon$ 로써 콘크리트의 극한 변형률에 근접한다. 따라서, 극한변형률 측정 결과는 부재의 휨 파괴시에 콘크리트가 압축파괴에 도달했음을 의미하며, 이러한 측정 결과는 부재의 중앙단면 상연의 콘크리트 압축파괴 관찰 결과와도 일치한다.

또한, ZC-AS4-C30 부재의 경우, 철근이 항복할 때의 두 철근게이지의 변형률은 각각 2946 및 2963 $\mu\epsilon$ 이다. 극한상태에서의 콘크리트의 변형률은 -3664 $\mu\epsilon$ 로써 콘크리트의 극한변형률과 일치한다. 따라서, ZC-AS4-C30의 극한변형률 측정 결과는 부재의 휨 파괴시에 콘크리트가 압축파괴에 도달했음을 의미하며, 이러한 측정 결과는 부재의 중앙단면 상연의 콘크리트 압축파괴 관찰 결과와도 일치한다.

대표적으로 분석한 일반철근 부재 BL-AS4-C30와 아연코팅철근부재 ZC-AS4-C30의 철근 및 콘크리트 변형률 특성은 뚜렷한 차이를 나타내지 않으므로, 아연코팅철근의 변형률 거동 특성은 일반철근의 변형률 거동 특성과 거의 대등하다고 판단된다.

4. 결 론

이 연구에서는 아연코팅철근 보의 적용성을 파악하기 위하여 정적하중재하 실험을 통한 휨 거동 연구를 수행하였다. 아연코팅철근 휨 부재의 휨 거동, 균열 특성 등을 일반철근콘크리트 보의 휨 거동과 비교 분석하였다. 아연코팅철근콘크리트 보의 휨강도(ZC-AS4-C30)는 일반철근 콘크리트 보(BL-AS4-C30)의 휨강도와 유사한 것으로 나타났다. 아연코팅은 휨을 받는 콘크리트 보의 균열 폭, 평균균열간격 및 처짐에도 불리한 영향을 미치지 않는다. 또한, 아연코팅철근 보와 일반철근 보의 하중-변형률 곡선측정 결과도 서로 유사한 결과를 나타났다. 따라서, 아연코팅철근을 사용한 보의 휨 거동은 일반철근을 사용한 콘크리트 보의 균열 및 처짐 등의 휨 거동과 대등한 특성을 나타냈으며, 이는 선행연구 결과에서 나타난 바와 같이 아연코팅철근의 부착강도가 일반철근의 부착강도와 대등하기 때문으로 판단된다. 이에 따라 아연코팅철근은 에폭시코팅철근보다 부식 환경에서 효과적으로 사용될 수 있다고 판단된다.

또한, 아연코팅철근의 휨 거동에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 없는 실정에서 이 연구의 실험 결과는 추후의 아연코팅철근콘크리트 보의 휨 거동 모델링 및 검증에 유용한 자료가 된다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업(과제번호: 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수

행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

References

1. Dong, S. G., Zhao, B., Lin, C. J., Du, R. G., Hu, R. G., and Zhang, G. X., "Corrosion Behavior of Epoxy/Zinc Duplex Coated Rebar Embedded in Concrete in Ocean Environment," *Construction and Building Materials*, Vol. 28, No. 1, 2012, pp. 72-78.
2. Cook, A. R. and Ranke, S. F., *Chloride Corrosion of Steel in Concrete*, ASTM-STP 629, American Society for Testing Materials, Philadelphia, 1977, pp. 51-60.
3. Maahn, E. and Sorensen, B., "Influence of Microstructure on the Corrosion Properties of Hot-Dip Galvanized Reinforcement in Concrete," *Corrosion-NACE*, Vol. 42, No. 4, 1986, pp. 187-196.
4. Choi, O. C., Hadje-Ghaffari, H., Darwin, D., and McCabe, S. L. "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement Bar Parameters," *ACI Materials Journal*, Vol. 88, No. 2, 1990, pp. 207-217.
5. Jalili, M. M., Moradian, S., and Hosseinpour, D., "The Use of Inorganic Conversion Coatings to Enhance the Corrosion Resistance of Reinforcement and the Bond Strength at the Rebar/Concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 28, No. 1, 2012, pp. 72-78.
6. Hadje-Ghaffari, H., Choi, O. C., Darwin, D., and McCabe, S. L., "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement: Cover, Casting Position, Slump, and Consolidation," *ACI Structural Journal*, Vol. 91, No. 1, 1994, pp. 59-68.
7. Idun, E. K. and Darwin, D., "Bond of Epoxy-Coated Reinforcement: Coefficient of Friction and Rib Face Angle," *ACI Structural Journal*, Vol. 96, No.4, 1999, pp. 609-615.
8. Cairns, J. and Abdullah, R. B., "Bond Strength of Black and Epoxy-Coated Reinforcement- A Theoretical Approach," *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No. 4, 1996, pp. 362-369.
9. Kayali, O. and Yeomans, S. R., "Bond of Ribbed Galvanized Reinforcing Steel in Concrete," *Cement & Concrete Composites*, Vol. 22, No. 6, 2000, pp. 459-467.
10. Cheng, A., Huang, R., Wu, J. K., and Chen, C. H., "Effect of Rebar Coating on Corrosion Resistance and Bond Strength of Reinforced Concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 19, No. 5, 2005, pp. 404-412.
11. Manna, M., Bandyopadhyay, N., and Bhattacharjee, D., "Effect of Plating Time for Electroless Nickel Coating on Rebar Surface: An Option for Application in Concrete Structure," *Surface & Coating Technology*, Vol. 202, No. 14, 2008, pp. 3227-3232.
12. Selvaraj, R., Selvaraj, M., and Iyer, S. V. K., "Studies on the Evaluation of the Performance of Organic Coatings Used for the Prevention of Corrosion of Steel Rebars in Concrete Structures," *Progress in Organic Coatings*, Vol. 64, No. 4, 2009, pp. 454-459.
13. Wu, C., Chen, G., Volz, J. S., Brow, R. K., and

- Koenstein, M. L., "Global Bond Behavior of Enamel-Coated Rebar in Concrete Beams with Spliced Reinforcement," *Construction and Building Materials*, Vol. 40, 2013, pp. 793-801.
14. Kwon, S. J., Lee, S. M., Lee, M. H., and Park, S. S., "Study on Corrosion and Structural Performance in Hot-Dip Galvanizing Steel," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 24, No. 5, 2012, pp. 613-621.
15. Ramirez, E., Gonzalez, J. A., and Bautista, A., "The Protective Efficiency of Galvanizing against Corrosion of Steel in Mortar and in $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Saturated Solutions Containing Chlorides," *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 10, 1996, pp. 1525-1536.
16. Gonzalez, J. A. and Andrade, C., "Effect of Carbonation, Chlorides and Relative Ambient Humidity on The Corrosion of Galvanized Rebars Embedded in Concrete," *British Corrosion Journal*, Vol. 17, No. 21, 1982, pp. 21-28.
17. Hamad, B. S. and Mike, J. A. "Bond Strength of Hot-Dip Galvanized Reinforcement in Normal Strength Concrete Structures," *Construction and Building Materials*, Vol. 19, No. 4, 2005, pp. 275-283.

요 약 콘크리트 구조물의 철근 부식 문제를 해결하기 위하여 코팅철근이 사용된다. 예폭시 코팅 철근에 비해 아연코팅철근의 콘크리트 보의 휨 거동 영향에 대한 자료는 거의 없는 실정이다. 이 연구의 목적은 아연코팅철근이 콘크리트 보의 휨 거동에 미치는 영향을 파악하는 데 있다. 아연코팅철근을 사용한 부재와 일반철근을 사용한 부재의 구조실험을 통하여 휨 거동 특성을 비교하였다. 실험변수로써 철근의 아연코팅 유무, 사용 철근비와 피복 두께를 고려하였다. 아연코팅철근 콘크리트 보의 균열패턴, 균열폭, 처짐 및 변형률 특성을 파악하였다. 아연코팅철근 콘크리트 보의 휨강도는 일반철근 콘크리트 보의 휨강도와 거의 차이가 나지 않는다. 철근표면의 아연코팅은 처짐, 균열폭 비교 결과에도 뚜렷한 영향을 미치지 않는다. 또한, 아연코팅철근 보와 일반철근 보의 하중-변형률 곡선은 비슷한 결과를 나타낸다. 따라서, 전반적으로 아연코팅철근의 사용은 일반철근을 사용할 때에 비해 콘크리트 보의 휨 거동에 악영향을 미치지 않는 것으로 나타난다.

핵심용어 : 아연코팅, 콘크리트, 휨 거동, 균열, 처짐