

## 용융아연도금 철근콘크리트 보의 부착강도 특성

### Characteristics of Bond Strength in Concrete Beams Reinforced with Galvanized Rebar

신재혁<sup>1)</sup> 김경철<sup>2)</sup> 양인환<sup>3)\*</sup>  
Jae-Hyuk Shin Kyoung-Chul Kim In-Hwan Yang

#### Abstract

Galvanizing is one of the method used to solve the problem of corrosion of reinforcement in concrete structures. There few research reported in the literature regarding the effect of galvanized coating on the behavior of lap splices in concrete beams. The objective of this study was to determine whether galvanized rebar adversely affects lap splice behavior and bond strength. Concrete beams reinforced with black or galvanized rebar were tested in flexure. The test variables included the presence of galvanized rebar steel diameter, and lengths of lap splices. The study concentrated on comparing crack, failure pattern, and bond strength. The ultimate behavior of beams reinforced with galvanized rebar was not significantly different from that of black steel reinforced beams. Therefore, the test results indicated that the use of galvanizing-coated rebar had no adverse effect on behavior in lap splices of rebar compared to the use of black rebar.

Keywords : Galvanized rebar, Concrete, Lap slice, Bond stress, Crack

#### 1. 서론

콘크리트 구조물이 해양환경 및 부식환경에 노출될 때, 염해에 의한 철근부식으로 인해 콘크리트 구조물의 내구성능에 영향을 받을 수 있다. 이러한 부식 또는 해양환경에서 콘크리트 구조물 내 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(Dong et al., 2012; Cook and Ranke, 1977; Maahn and Sorensen, 1986; Choi et al., 1990). 철근 부식을 방지하기 위한 코팅 기법 중에서도 에폭시 코팅 기법이 주로 적용되어 왔으나, 기존의 연구결과는 철근과 에폭시 코팅철근 사이의 부착력 감소를 나타낸다(Jalili et al., 2012; Hadje-Ghaffari

et al., 1999; Cairns and Abdullah, 1996). 실제로 철근의 정착 및 이음 설계 시에 일반철근에 비해 에폭시 코팅철근을 적용한 설계는 상대적으로 불리하다. 일반철근에 비해 코팅철근의 정착길이 증가는 건설비용의 증가 뿐만 아니라 응력 집중구역에서의 철근 배근의 밀집현상을 유발한다.

에폭시 코팅 철근의 제한점을 극복하기 위한 에폭시 코팅 기법 이외의 코팅기법을 철근에 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. Cheng et al. (2005)는 용융아연도금 철근의 내염 성능에 대해 연구하였으며, 연구결과는 용융아연도금철근이 일반철근보다 더 큰 염화물 침투농도를 갖는다는 것을 나타내었다. Manna et al. (2008)은 니켈 코팅 철근의 부식 성능에 대한 연구를 수행한 바 있다. Selvaraj et al. (2009)는 금속계 코팅, 유기계 코팅 및 무기계 코팅을 사용한 철근의 유연도, 내충격성과 내염 성능에 대한 연구를 수행하였다. 또한, Wu et al. (2013)은 에나멜 코팅철근의 부착거동을 연구하였다. 기존의 이러한 연구들은 주로 코팅철근의 부식성능평가

1) 학생회원, 군산대학교 토목공학과 석사과정  
2) 정회원, 군산대학교 토목공학과 박사과정  
3) 정회원, 군산대학교 토목공학과 교수, 교신저자

\* Corresponding author : ihyang@kunsan.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2015년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2015년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

에 대해 수행되었다. 또한, 용융아연도금철근을 적용한 콘크리트 부재의 부착성능(Kayali and Yeomans, 2000; Hamad and Mike, 2005)에 관한 연구는 일부 진행되었다. 국내에서는 철근마디 형상에 따른 일반철근콘크리트 부재의 부착강도평가 연구(Hong et al., 2011)가 진행되었고, 콘크리트 부재에서의 GFRP 보강근의 이음길이 연구(Choi et al., 2009)가 진행된 바 있으나, 용융아연도금철근의 이음길이 및 부착강도평가에 관한 연구는 매우 미비한 상황이다.

따라서, 이 연구에서는 용융아연도금철근(galvanized rebar)을 적용한 보의 휨 실험을 수행하여 철근의 겹침이음부 거동 특성 연구를 수행하였다. 직사각형 단면을 갖는 보 부재에 대하여 정적하중 재하실험을 수행하여 균열 및 극한상태 거동 특성을 분석하였다. 실험변수로써 철근의 겹침이음 길이와 직경을 고려하였다. 또한, 일반철근(black rebar)을 적용한 콘크리트 보의 이음부 휨 거동 결과와 용융아연도금철근을 콘크리트 보의 이음부 휨 거동 결과를 비교하였다.

## 2. 실험 계획

### 2.1 재료특성

용융아연도금 철근 콘크리트 보의 이음부 특성을 파악하기 위한 휨 부재 제작에 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 굵은골재는 최대 크기 20 mm의 쇄석골재이다. 보 부재를 제작할 때 타설한 콘크리트를 이용하여 매회 배치마다 압축강도 실험용 원주형 공시체를 제작하였으며, 재령 28일에서의 콘크리트 평균 압축강도는 27 MPa이다. 또한, Fig. 1에 실험에 사용한 용융아연도금철근의 SEM(scanning electron micrograph)기법에 의한 코팅성분 분석결과를 나타내었다. SEM 분석결과는 아연 코팅이 거의 균등하게 철근의 표면에 분포하고, 아연 성분이 코팅 재료의 주성분으로 차지하는 것을 나타낸다.

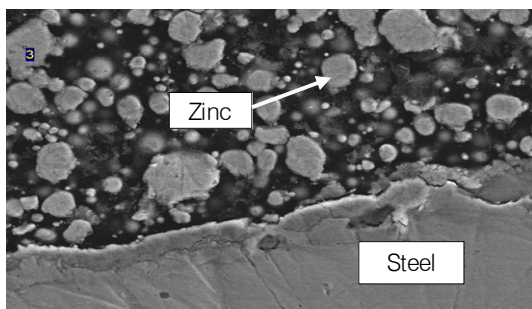


Fig. 1 SEM of galvanized rebar section

### 2.2 용융아연도금철근 제작 방법

용융아연도금 철근의 제작과정은 다음과 같다. 염산을 이용하여 철근의 세척을 수행한 후, 수세작업을 통해 철근표면의 산을 세척하였다. 수용성 플럭스( $NH_4Cl + ZnCl_2$ )를 이용하여 철염을 제거하고 도금촉매 역할을 수행하도록 하였다. 이후 철근을 1분간 자연건조 후 430~450°C의 용융아연도금조에서 3~4분간 침전하여 도금하고 물을 이용하여 냉각하였다. 최종적으로 철근을 크로메이트( $CrO_2$ )조에 20초간 침전시켜 부식과 백화현상을 방지하였다. 주요 도금 과정을 Fig. 2에 나타내었다.

### 2.3 실험 부재

용융아연도금철근 콘크리트 보의 이음부 부착강도 거동 특성을 파악하기 위하여 직사각형 단면형상을 갖는 12개의 보 부재를 제작하여 정적 재하실험을 수행하였다. 실험체의 변수는 용융아연도금의 유무, 겹침이음 길이 및 철근의 직경으로 하였다. 6개의 보는 일반철근을 적용하였으며, 다른 6개의 보는 용융아연도금철근을 적용하였다. 이음길이( $l_d$ )는 150, 250, 350 mm이고, 철근의 직경은 13, 16 mm이다. 콘크리트구조기준(2012)에서 겹침이음 길이는 다음과 같이 제시하고 있다.

$$l_d = \frac{0.9 d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \left( \frac{\alpha \beta \gamma}{c + K_{tr}} \right) \quad (1)$$

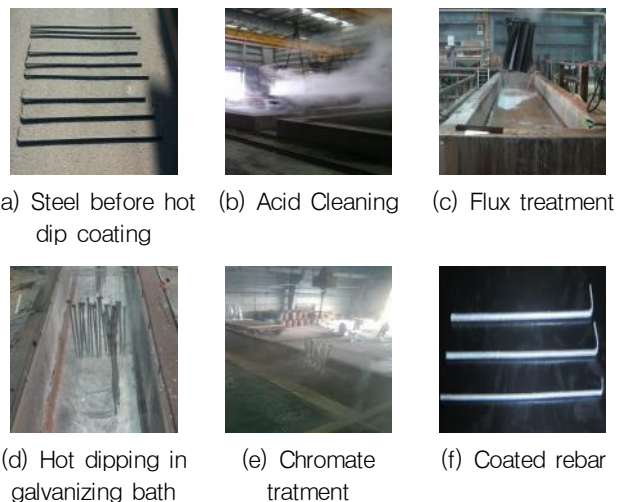


Fig. 2 Major process of hot-dip galvanizing

여기서,  $d_b$ 는 철근직경,  $f_y$ 는 철근의 설계기준 항복강도,  $f_{ck}$ 는 콘크리트 압축강도,  $c$ 는 피복두께,  $K_{tr}$ 은 횡방향 철근지수,  $\alpha$ 는 철근위치계수,  $\beta$ 는 에폭시도막계수,  $\lambda$ 는 경량 콘크리트계수,  $\gamma$ 는 철근크기계수이다.

식 (1)을 사용하여 D13 철근의 겹침이음 길이 계산값은 250 mm이다. 계산된 겹침이음 길이 250 mm를 기준으로 150 mm, 250 mm, 350 mm로 변수를 설정하였다. 또한, 식 (1)에 대한 D16 철근의 겹침이음 길이는 370 mm로 계산되었다. Wu et al. (2013)은 철근 직경에 대한 겹침이음 길이의 비가 10~30까지 범위 내에서 겹침이음 길이 분석을 수행하였다.

철근의 순피복두께는 30 mm로 고정하였다. Table 1에 실험 부재의 상세를 나타내었으며, 실험부재의 표기는 실험번호를 반영하여 나타내었다.

Table 1 Details of test specimens

Beam	Rebar			Splice length [mm]
	Type	Number of rebar	Ratio	
B-D13-L150	Black	2×D13	0.00422	150
C-D13-L150	Coated	2×D13	0.00422	150
B-D13-L250	Black	2×D13	0.00422	250
C-D13-L250	Coated	2×D13	0.00422	250
B-D13-L350	Black	2×D13	0.00422	350
C-D13-L350	Coated	2×D13	0.00422	350
B-D16-L150	Black	2×D16	0.00662	150
C-D16-L150	Coated	2×D16	0.00662	150
B-D16-L250	Black	2×D16	0.00662	250
C-D16-L250	Coated	2×D16	0.00662	250
B-D16-L350	Black	2×D16	0.00662	350
C-D16-L350	Coated	2×D16	0.00662	350

Fig. 3에 실험 부재의 측면도와 평면도를 나타내었다. 보의 폭은 200 mm이며, 높이는 300 mm이다. 부재의 길이는 3.3 m, 지지거리는 3.0 m이다. 하중은 4점 재하를 실시하였고, 모든 보의 중앙부분 (주철근 이음부) 600 mm구간은 순수 휨 구간으로 균등한 모멘트가 발생하도록 하였다. 순수 휨 구간에는 부착강도를 보수적으로 평가하기 위해 스테리트를 사용하지 않았고, 기타 부재 양단 1350 mm 구간은 일괄적으로 D10 스테리트를 150 mm 간격으로 배근하여 전단 구간에서의 전단파괴를 방지하였다. 또한, Fig. 4에 겹침이음 철근을 배근한 부재의 제작상태를 나타내었다.

## 2.4 실험 방법

가력장치(actuator)를 사용하여 Fig. 5와 같이 4점 하중재하방법으로 하중을 재하하였다. 부재는 단순지지조건을 갖도록 하였으며, 부재 중앙에서 좌우 300 mm 떨어진 위치에서 하중을 재하하였다. 하중은 일정한 속도의 변위제어방식으로 재하하였으며, 가력하중은 액츄에이터에 부착된 로드셀에 의해 측정되었다.



Fig. 4 Lap splices in concrete beam

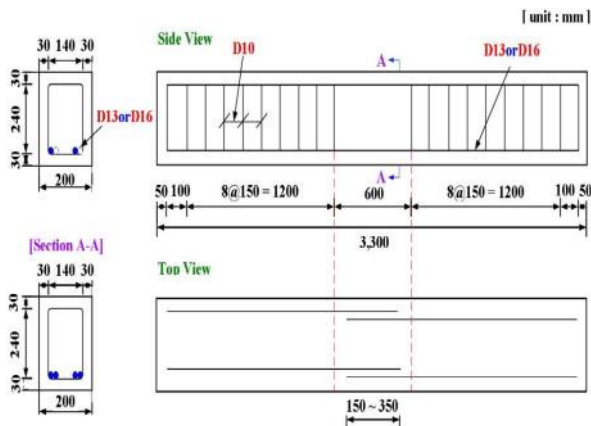


Fig. 3 Dimension of test specimen



Fig. 5 Test setup

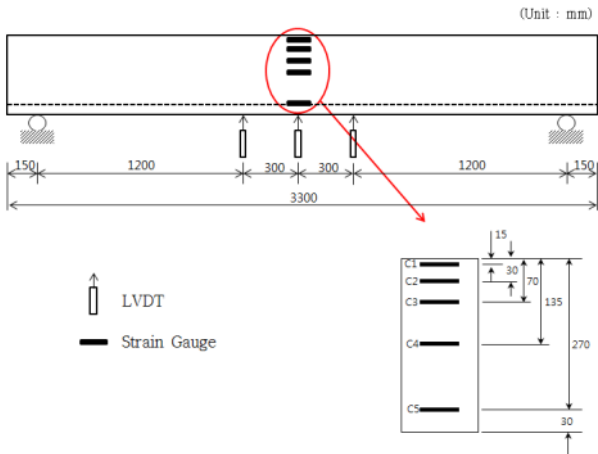


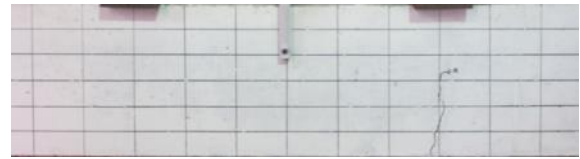
Fig. 6 Instrumentation used for the bond strength test

부재의 계측시스템 구성도를 Fig. 6에 나타내었으며, 계측 센서는 콘크리트 게이지, 철근게이지 및 변위 측정계 (LVDT) 로 구성하였다. 부재 측면에 5개의 콘크리트 게이지를 부착 하였으며, 부재의 종방향 철근에 8개의 철근게이지를 콘크리트 타설 전에 매립하였다. 부재의 중앙단면과 하중 가력 위치의 하면에 LVDT를 설치하여 처짐량을 측정하였다. 또한, 하중을 재하하는 동안 균열의 진전양상을 조사하고 균열폭 을 측정하였다.

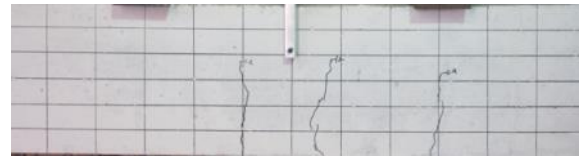
### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 균열거동 특성

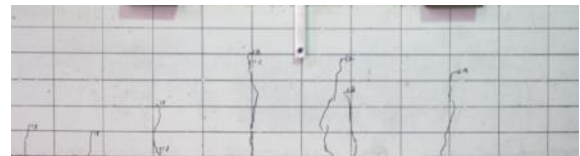
Fig. 7에 아연코팅철근 부재중에서 대표적으로 부재 C-D16-L250의 균열발생 양상을 나타내었다. 하중이 증가함에 따라 초기 균열이 발생하였다. 하중이 8.4 kN일때, 초기균열이 발생하였으며 초기균열폭은 0.1 mm이다. 초기 균열 발생후, 이미 발생한 균열 사이로 추가의 균열이 발생하였다. 최대 하중에 도달할 때까지 균열의 개수는 증가한다. 균열의 진전형상을 살펴보면, 부재는 초기 휨 균열이 발생한 후 하중이 증가함에 따라 균열의 수가 늘어나고 균열폭 또한 증가하였다. 최대 극한하중은 24.0 kN이고, 이때의 균열폭은 1.6 mm이다. 최대하중에 도달할 때, 일반철근부재처럼 부재 측면의 주철근의 겹침이음부에서 보강근을 따라 종방향으로 인장균열이 발생하였다. 또한, 보의 밑면에서도 주철근을 따라 종방향 쪼갬인장균열 (splitting tensile crack)이 발생하였다. 겹침이음 부분에서 이러한 쪼갬 인장균열의 발생하는 것은 하중에 의해 부재가 휨을 받을 때 주철근 겹침이음 부분에서 철근과



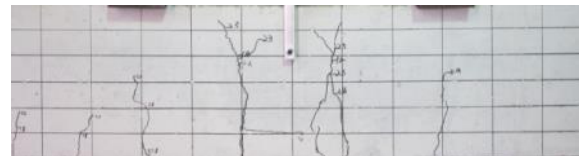
(a) Step 1 [ $P_{cr} = 8.4$  kN]



(b) Step 2 [ $P = 12.0$  kN]



(c) Step 3 [ $P = 18.0$  kN]



(d) Step 4 [ $P_u = 24.0$  kN]

Fig. 7 Crack pattern (C-D16-L250)

콘크리트와의 부착 파괴에 의해 균열이 발생하고 균열이 증가하여 콘크리트 인장영역의 피복부분이 탈락되는 박리현상이 발생된다고 판단된다.

또한, 부재 B-D16-L250은 하중이 7.0 kN일때, 초기균열이 발생하였으며 초기균열폭은 0.1 mm이다. 초기 균열 발생후, 이미 발생한 균열 사이로 추가의 균열이 발생하였다. 최대 하중에 도달할 때까지 균열의 개수는 증가한다. 균열의 진전형상을 살펴보면, 부재는 초기 휨 균열이 발생한 후 하중이 증가함에 따라 균열의 수가 늘어나고 균열폭 또한 증가하였다. 최대 극한하중은 18.9 kN이고, 이때의 균열폭은 1.8 mm이다. 최대하중에 도달할 때, 부재 측면의 주철근의 겹침이음부에서 보강근을 따라 종방향으로 인장균열이 발생하였다. 또한, 보의 밑면에서도 주철근을 따라 종방향 쪼갬인장균열 (splitting tensile crack)이 발생하였다.

이러한 용융아연도금철근 보의 이음부 균열 및 파괴 거동은 일반철근 보의 이음부 균열 및 파괴거동과 유사한 양상을 나타낸다. Fig. 8에 D13 철근을 사용한 용융아연도금철근 보의 이음부 파괴 형상을 비교하여 나타내었다.



(a) B-D13-L150



(b) B-D13-L250



(c) B-D13-L350



(d) C-D13-L150



(e) C-D13-L250



(f) C-D13-L350

Fig. 8 Comparison of failure pattern for D13 series beams

### 3.2 하중-처짐 특성

하중 단계별로 부재의 중앙 단면위치의 LVDT에서 측정된 처짐값을 이용하여 하중-처짐 곡선을 획득하였으며, Fig. 9에 시리즈 별로 하중-처짐 곡선을 비교하여 나타내었다. Table 2에 초기균열하중 및 극한하중을 나타내었다. 이 연구에서 하중은 변위제어 방식으로 재하되었다. 초기 균열하중은 하중-처짐 곡선에서 초기 선형구간 종점에서의 하중값으로 산정하였으며, 극한하중은 하중-처짐곡선의 최대하중으로 산정

하였다. 초기균열 단계까지 처짐량은 하중에 비례하여 선형으로 증가한다. 초기균열 이후 하중-처짐곡선의 기울기는 감소하며 극한하중상태까지 거의 선형으로 증가한다.

대표적으로 부재의 하중-처짐 곡선의 특성을 살펴보면, 용융아연도금부재 C-D13-L350 부재의 하중-처짐 관계 곡선은 선형으로 증가하고 초기균열 발생 후에 곡선의 기울기가 감소하며 선형으로 증가한다. 초기균열하중은 12.5 kN이고, 이때의 처짐은 1.1 mm이다. 초기 균열하중 이후 극한하중상태까지 거의 선형으로 증가한다. 극한하중은 44.0 kN이고, 이때의 처짐은 10.4 mm이다. 극한하중 도달 후 부재의 파괴와 더불어 하중-처짐 곡선은 급격하게 하락하였다. 파괴 시에 부재측면 및 하면에서의 주철근을 따라 종방향 쪼갬인장균열이 발생하였다.

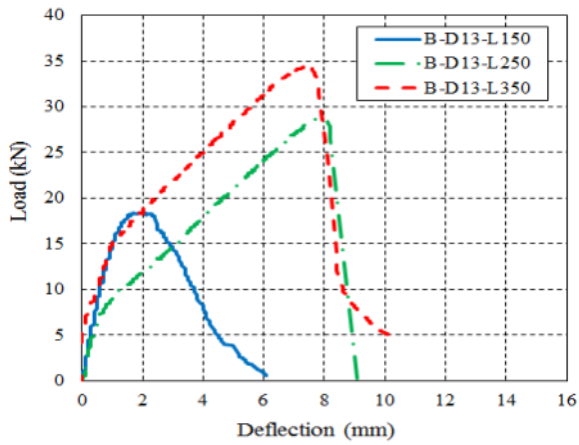
또한, 부재 B-D13-L350의 하중-처짐 곡선은 선형으로 증가하고 하중이 14.4 kN일 때 초기균열이 발생하였으며, 이때의 처짐은 0.9 mm이다. 초기균열 이후 곡선의 기울기가 감소하면서 선형으로 하중이 증가한다. 극한하중은 34.5 kN이고, 이때의 처짐은 7.4 mm이다. 극한하중 도달 후 부재의 파괴와 더불어 하중-처짐 곡선은 급격하게 하락하였다. 파괴 시에 부재측면 및 하면에서의 주철근을 따라 종방향 쪼갬인장균열이 발생하였으며, 이는 겹침이음 철근과 콘크리트의 부착파괴를 나타낸다.

일반철근콘크리트 보와 용융아연도금콘크리트 보는 모두 겹침이음 길이가 증가함에 따라 전반적으로 최대하중이 증가한다. 구체적으로, C-D13 시리즈의 경우, 겹침이음 길이가 150 mm 일때 보 (C-D13-L150)의 최대하중은 16.4 kN이고, 겹침이음 길이가 350 mm 일때 보 (C-D13-L350)의 최대하중은 44.0 kN이다. 또한, C-D16 시리즈의 경우, 겹침이음 길이가 150 mm 일때 보 (C-D16-L150)의 최대하중은 20.0 kN이고, 겹침이음 길이가 350 mm 일때 보 (C-D16-L350)의 최대하중은 36.3 kN이다.

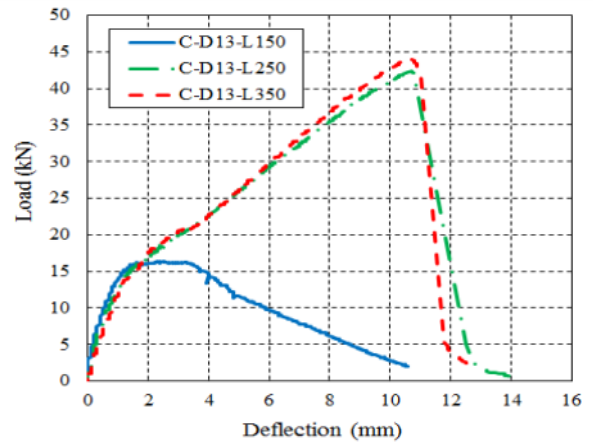
### 3.3 부착강도

실험 부재의 부착강도를 식 (2)를 이용하여 계산하였다. 부착강도 계산 시에 철근의 측정 변형률을 이용하여 철근응력을 결정하였다.

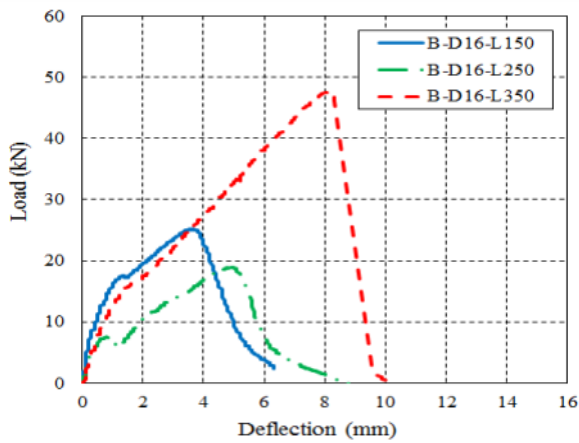
$$u_b = \frac{A_s f_s}{\pi d_b l_d} = \frac{f_s d_b}{4 l_d} \quad (2)$$



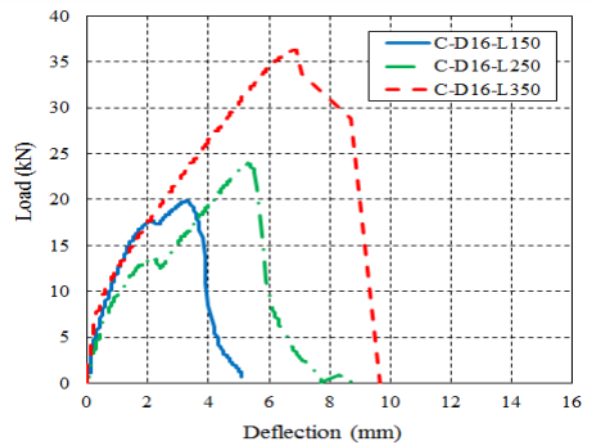
(a) B-D13 series



(b) C-D13 series



(c) B-D16 series



(d) C-D16 series

Fig. 9 Load-deflection curve at various length of lap splice

Table 2 Test result of cracking and ultimate load

Beam	Initial cracking		Ultimate state	
	$P_{cr}$ (kN)	$\Delta_{cr}$ (mm)	$P_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)
B-D13-L150	6.0	0.3	18.0	2.0
C-D13-L150	6.3	0.2	16.4	2.4
B-D13-L250	6.8	0.5	28.8	7.8
C-D13-L250	14.8	1.3	42.4	10.4
B-D13-L350	14.4	0.9	34.5	7.4
C-D13-L350	12.5	1.1	44.0	10.4
B-D16-L150	17.1	1.2	25.2	3.5
C-D16-L150	17.2	1.8	20.0	3.2
B-D16-L250	7.0	0.7	18.9	4.7
C-D16-L250	8.4	0.7	24.0	5.2
B-D16-L350	14.4	1.2	47.7	8.0
C-D16-L350	10.3	0.5	36.3	6.7

식 (3)에서  $u_b$ 는 겹침이음 길이에서의 주철근의 측정 부착 강도,  $f_s$ 는 철근응력,  $A_s$ 는 주철근의 단면적,  $d_b$ 는 철근의 직경,  $l_d$ 는 철근의 겹침이음 길이를 나타낸다.

콘크리트 압축강도 변동성을 고려하여 부착강도 실험값을 콘크리트의 28일 설계압축강도 (=27 MPa)를 고려하여 표준화하였다. 표준부착강도 (normalized bond strength)  $u_n$ 은 다음과 같다.

$$u_n = u_b \left( \frac{27}{f_c} \right)^{1/4} \quad (3)$$

여기서,  $f_c$ 는 콘크리트 압축강도 측정값이다. 부착강도 ( $u_b$ )와 표준부착강도( $u_n$ )를 Table 3과 Fig. 10에 나타내었다. 표에 시편 시리즈별로 부착강도 비를 나타내었다. 부착

Table 3 Test result of normalized bond strength

Beam	$d_b$ (mm)	$A_s$ ( $mm^2$ )	$f_c$ (mm)	$f_s$ (MPa)	$l_d$ (mm)	$u_b$ (MPa)	$u_n$ (MPa)	Bond ratio
B-D13-L150	12.7	126.7	27.00	92.8	150	1.96	1.96	0.83
C-D13-L150	12.7	126.7	27.12	76.8	150	1.63	1.62	
B-D13-L250	12.7	126.7	27.00	317.6	250	4.03	4.03	1.11
C-D13-L250	12.7	126.7	28.98	358.4	250	4.55	4.47	
B-D13-L350	12.7	126.7	27.03	347.6	350	3.15	3.15	1.29
C-D13-L350	12.7	126.7	26.07	444.6	350	4.03	4.07	
B-D16-L150	15.9	198.6	27.48	103.8	150	2.75	2.74	0.79
C-D16-L150	15.9	198.6	27.23	82.2	150	2.18	2.17	
B-D16-L250	15.9	198.6	26.38	88.6	250	1.41	1.42	1.28
C-D16-L250	15.9	198.6	26.22	113.6	250	1.81	1.82	
B-D16-L350	15.9	198.6	28.42	295.0	350	3.35	3.31	0.77
C-D16-L350	15.9	198.6	28.00	226.2	350	2.57	2.55	
Mean								1.01

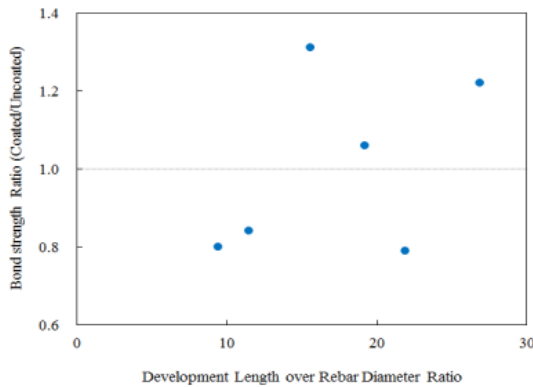


Fig. 10 Bond strength ratio

강도 비는 일반철근의 표준부착강도에 대한 용융아연도금철근의 표준부착강도의 비( $u_{n,coated}/u_{n,black}$ )이다.

콘크리트구조기준(2012)에서 제안하고 있는 식(1)에 의한 D13 철근의 겹침이음길이 계산값은 250 mm이다. 이 실험 연구에서는 용융아연도금철근의 부착강도의 기본특성을 파악하기 위하여 D13 철근의 경우, 겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 큰 250, 350 mm 뿐만 아니라 설계기준 제안값보다 작은 150 mm도 고려하였다. 또한, D16 철근의 경우, 겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 큰 350 mm 일때와 설계기준 제안값보다 작은 150, 250 mm를 고려하였다.

겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 큰 경우로써, D13 철근의 겹침이음길이가 250 및 350 mm일 때 부착강도 비는 1.11 및 1.29이고, D16 철근의 겹침이음길이가 350 mm일 때 부착강도 비는 0.77이다. 이러한 실험결과는 현행 설계기준 조건을 만족할 때, D13 용융아연도금철근의 부착강도는

일반철근의 부착강도 보다 큰 것을 나타낸다. 하지만, D16 용융아연도금철근의 부착강도는 일반철근의 부착강도 보다 작은 것을 나타낸다. D13 용융아연도금 철근의 부착강도 특성과 D16 용융아연도금 철근의 부착강도 특성은 다소 다른 경향을 나타낸다.

한편, 겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 작은 경우로써, D13 철근의 겹침이음길이가 150 mm일 때 부착강도 비는 0.83이고, D16 철근의 겹침이음길이가 150, 250 mm일 때 부착강도 비는 0.79, 1.28이다. 이러한 실험결과는 D13 및 D16 철근의 겹침이음길이가 150 mm 일때, 용융아연도금철근의 부착강도는 일반철근의 부착강도 보다 작은 것을 나타낸다. 이는 겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 짧아 철근의 부착응력이 충분히 발휘되지 않은 것으로 판단된다.

실험연구의 특성상 실험부재의 개수가 제한적이고 실험결과가 뚜렷한 일관성을 나타내지 않아 실험결과를 일반화하기에는 다소 한계가 있을지라도, 용융아연도금철근의 부착강도는 일반철근의 부착강도에 비해 불리한 것만은 아니다. 또한, 겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 큰 경우에 대해 추후 더욱 상세한 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 용융아연도금철근 보의 이음부 부착강도 특성을 파악하기 위하여 정적하중재하 실험을 통한 철근의 겹침이음부 거동 연구를 수행하였다. 용융아연도금철근의 부착거동에 대한 연구가 거의 없는 실정에서 이 연구의 실험결과는 용융아연도금철근 콘크리트 보의 겹침이음 부착강도 모델링 및 검증에 유용한 자료가 된다고 판단된다.

용융아연도금철근 콘크리트 부재의 겹침이음 부착 파괴거동과 균열 특성 등을 일반철근콘크리트 부재와 비교 분석하였다. 용융아연도금철근 콘크리트 보의 부착파괴거동은 일반철근콘크리트 보의 부착파괴거동과 유사하게 나타났다. 이는 용융아연도금이 힘을 받는 콘크리트 보의 거동에 불리한 영향을 미치지 않는 것을 나타낸다. 설계기준의 제안값을 만족하는 D13 용융아연도금철근의 겹침이음길이가 250, 350 mm 일 때 부착강도는 일반철근의 부착강도 보다 크게 나타나는 반면, D16 용융아연도금철근의 겹침이음길이가 350 mm일 때 부착강도는 일반철근의 부착강도 보다 작게 나타난다. 따라서, 겹침이음길이가 설계기준 제안값보다 큰 경우에 대한 추가 상세연구가 필요하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업(과제번호: 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

## References

1. 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.
2. 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, 2005, pp. 404-412.
3. 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.
4. Choi, D. W., Chun, S. C., and Ha S.S. "Splice length of GFRP rebars based on flexural tests of unconfined RC members" *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 21, No. 1, 2009, pp. 65-74.
5. Cook, A. R. and Ranke, S. F., *Chloride Corrosion of Steel in Concrete*, ASTM-STP 629, American Society for Testing Materials, Philadelphia, 1977, 51 pp.
6. 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, 2012, pp. 72-78.
7. 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, 2005, pp. 275-283.
8. Hadje-Ghaffari, H., Choi, O. C., Darwin, D., 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.
9. Hong, G.H, Kim, J.A, and Choi, O.C. "Bond strength evaluation of RC beams the rib shape of reinforcing bars", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 23, No. 3, 2011, pp. 393-400.
10. 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.
11. 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, 2012, pp. 72-78.
12. Kayali, O. and Yeomans, S. R. "Bond of Ribbed Galvanized Reinforcing Steel in Concrete," *Cement & Concrete Composites*, Vol. 22, 2000, pp. 459-467.
13. Korea Concrete Institute, *Concrete Design Code*, Kimoondang Publishing Company, Seoul, 2012, pp. 145-146.
14. 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.
15. 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, 2008, pp. 3227-3232.
16. 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, 2009, pp.454-459.
17. 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

Received : 06/09/2015  
Revised : 07/23/2015  
Accepted : 07/28/2015

## 요 지

용융아연도금(galvanizing)은 콘크리트 구조물의 철근 부식 문제를 해결하기 위해 사용된다. 용융아연도금 철근 콘크리트 보의 부착강도 영향에 대한 자료는 거의 없는 실정이다. 따라서, 이 연구의 목적은 용융아연도금철근이 콘크리트 보의 부착강도에 미치는 영향을 파악하는 데 있다. 용융아연도금철근을 사용한 부재와 일반철근을 사용한 부재의 구조실험을 통하여 겹침이음 거동과 부착강도 특성을 비교하였다. 실험변수로써 철근의 용융아연코팅 유무, 철근 직경과 겹침이음 길이를 고려하였다. 용융아연도금 철근콘크리트 보의 균열 및 파괴 특성을 파악하였다. 용융아연도금철근 콘크리트 보의 겹침이음부 휨 거동특성은 일반철근 콘크리트 보의 겹침이음부 휨거동과 유사한 것으로 나타났다. 또한, 용융아연도금철근의 사용은 일반철근을 사용할 때에 비해 콘크리트 보의 부착강도에 불리한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

**핵심 용어** : 용융아연도금철근, 콘크리트, 겹침이음, 부착강도, 균열