인장력을 받는 확대머리 이형철근의 겹침이음에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Lap Splice of Headed Deformed Reinforcing Bars in Tension

김 승 훈^{1)*}

Seung-Hun Kim

Abstract

In tension lap splices of straight deformed bars, KCI Code (KCI2012) and ACI Code (ACI318-11) requires that the lap lengths for class B splice are 1.3 times as development length. KCI2012 contains development length provisions for the use of headed deformed bars in tension and does not allow their tension lap splices. The purpose of this experimental study is to evaluate that KCI2012 equation for the development length, l_{dt} , of headed bars can be used to calculate the lap length, l_s , of headed deformed bars in grade SD400 and SD500, having specified yield strength of 400 and 500 MPa. Test results showed that specimens with l_s equal to $1.3l_{dt}$ had maximum flexural strengths as 1.16~1.31 times as the nominal flexural strengths, flexural failure mode, and ductility. These observations indicate that $1.3l_{dt}$ is suitable to the tensile lap length of headed deformed bars in grade SD400 and SD500.

Keywords : Headed reinforcing bar, Reinforced concrete beam, Lap splice, Anchorage, Lap length

1. 서 론

철근 가격이 지속적으로 상승하게 됨에 따라 건축주는 건 축비의 절감을 위하여 구조실무자에게 고강도 철근의 사용 과 함께 철근의 정착길이 및 이음길이의 축소를 요구하고 있 다. 특히, 철근콘크리트 부재 간 접합부 배근상세의 간략화 와 함께, 정착길이의 축소를 통한 철근 사용량 감소를 위하 여 확대머리 이형철근의 사용이 요구되어지고 있고, 이에 확 대머리 이형철근을 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 또 한, 프리캐스트콘크리트 구조의 보-기둥 접합부 설계 (Kim et al., 2010)를 비롯하여 현장타설콘크리트 및 프리캐스트콘 크리트 부재 접합부 및 부재내 겹침이음 설계에 있어서 확대 머리 이형철근의 겹침이음상세 적용이 필요해지고 있으며 이에 대한 연구도 시작되었다 (Lee et al., 2008).

확대머리 이형철근의 정착설계에 대하여 미국 ACI 318-11 과 국내의 콘크리트구조기준 (KCI2012)에서 인장력을 받는

확대머리 이형철근의 기계적 정착길이 산정식을 제시하고 있다. 하지만, 확대머리 이형철근의 겹침이음상세에 대하여 언급하고 있지 않다.

또한, 국내 콘크리트구조기준에서 확대머리 이형철근 정착 길이가 산정식의 적용범위로 이형철근의 설계기준항복강도 400MPa 이하로 한정하였다. 이러한 상한값에 대한 제한은 설계기준 항복강도 400MPa를 초과하는 확대머리 이형철근시 실험 및 이 론적인 정착성능의 문제점 때문이 아니라, 기존 설계식 개발에 사용된 실험의 범위에 의하여 결정되어진 것이다 (Thompson et al., 2006).

이에 본 연구에서는 400MPa 이하 확대머리 이형철근의 겹침이음성능을 파악하기 위해, 기존 실험결과를 현행 정착 길이가 설계식과 비교한다. 이후 400MPa과 500MPa 설계기준 항복강도를 가지는 확대머리 이형철근의 겹침이음실험을 실 시하여 철근 항복강도에 따른 겹침이음강도 및 변형성능 등 을 비교·평가함으로써, 현행 정착길이이식을 이용한 겹침이

1) 정회원, 한밭대학교 건축공학과 부교수, 교신저자

* Corresponding author : kimsh@hanbat.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2014년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

음길이 설계식의 적용성을 평가하고 한다. 주요한 실험변수는 확대머리 이형철근의 설계기준항복강도, 겹침이음길이, 철근의 직경, 겹침이음 구간내 철근의 부착유무 등이다.

2. 확대머리 이형철근에 대한 기준 및 기존 연구고찰

2.1 ACI318-11 및 콘크리트구조기준 (2012)

인장력을 받는 확대머리 또는 기계적으로 정착된 형철근에 대하여 ACI318-11 및 콘크리트구조기준에서 식 (1)과 같이 정착길이 (l_{dt})를 제시하고 있다. 식 (1)은 확대머리 이형철근에 대한 Thompson (2006)의 연구결과를 바탕으로 하고 있으며, ACI318-11 및 콘크리트구조기준에서 Table 1과 같이 적용범위에 대한 제한을 두고 있다.

$$l_{dt} = 0.19 \frac{\beta f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

여기서, β 는 예폭시 도막철근의 경우 1.2이고 다른 경우는 1.0, d_b 는 철근직경[mm], f_y 는 철근의 설계기준항복강도 [MPa], f_{ck} 는 콘크리트 설계기준압축강도[MPa]이다.

Table 1 Application limits of headed bars

Subsection	ACI318-11	KCI2012
Minimum value of l_{dt}	$8d_b$ and 150mm	$8d_b$ and 150mm
Maximum value of f_y	420MPa	400MPa
Maximum value of f_{ck}	40MPa	40MPa
Maximum value of d_b	36mm	35mm
Minimum value of A_{brg}	$4A_b$	$4A_b$
Minimum value of c_b	$2d_b$	$2d_b$
Minimum value of s_b	$4d_b$	$4d_b, 2.5d_b$

A_{brg} : net bearing area under the head

A_b : area of the bar being developed

c_b : clear cover for the bars

s_b : clear spacing between bars

두 기준의 큰 차이점은 철근 순간적 (s_b)에 대한 제한으로, 국내 기준의 경우 상하기둥이 있는 보-기둥 접합부의 보 주철근으로 사용되는 경우, 접합부의 횡보강철근이 0.3% 이상이고 확대머리의 뒷면이 횡보강철근 바깥 면부터 50mm 이내에 위치하면 s_b 는 $2.5d_b$ 이상으로 할 수 있는 예외 규정을 둔 것이다.

식 (1)에서와 같이 확대머리 이형철근에 대하여 적용할 수 있는 설계기준항복강도를 420MPa로 제한하고 있어 420MPa를 초과하는 철근에 대한 정착성능을 평가할 필요가 있다.

2.2 겹침이음성능평가를 위한 기존 실험적 연구고찰

중양부에 겹침이음상세를 가지는 일반 보의 휨 실험에 관하여 기존 Lee et al. (2008)이 행한 확대머리 이형철근의 겹침이음실험 결과를 기준식과 비교하여 분석하였다. 참고로 Lee et al. (2008)이 행한 연구결과는 현행 설계식이 마련되기 전으로 분석내용도 과거의 앵커기준을 대상으로 하였음을 밝힌다.

Lee et al. (2008)은 국내에서 생산되고 있는 확대머리 이형철근을 대상으로 확대머리 철근의 직경, 겹침이음길이, 철근 표면의 부착유무 등을 주요 변수로 한 실험을 실시하였다. 실험을 통하여 확대머리 이형철근의 겹침이음 성능이 확대머리에 의한 지압응력 뿐만 아니라 철근 표면의 부착응력 모두에 영향을 받는 것으로 분석하였다. 또한 기존의 확대머리를 가지는 선설치 앵커에 적용하는 콘크리트 브레이크아웃 파괴 (concrete breakout failure)내력식은 실험내력을 크게 과소평가함을 파악하였다.

본 연구에서는 Lee et al. (2008)의 연구결과에 의한 겹침이음강도를 현행 기준식에 적용하여 비교하여, Table 2에 나타내었다. 단, 기존 실험연구결과에서 횡보강철근에 의한 겹침이음성능 향상에 대한 연구결과가 명확하지 않고 기준식에 이에 대한 인자가 없어 본 연구에서는 비교 분석대상에서 제외하였다. 또한 기준의 적용범위를 벗어난 순피복 두께 2

Table 2 Test results by Lee's research (2008)

No	Specimen	B×H×L	d_b (mm)	l_s (mm)	$\frac{l_s}{d_b}$	s_{b1} (mm)	f_{ck} (Mpa)	f_y (Mpa)	l_{dt} (mm)	$\frac{l_s}{l_{dt}}$	M_T (kNm)	M_n (kNm)	$\frac{M_T}{M_n}$
1	HB1-8	600×250×4000	19.1	152	8	240	25.1	434.1	314.44	0.48	22.79	47.33	0.48
2	HB1-10	600×250×4000	19.1	190	10	240	25.1	434.1	314.44	0.60	28.02	47.33	0.59
3	HB1-12	600×250×4000	19.1	228	12	240	25.1	434.1	314.44	0.73	32.87	47.33	0.69
4	HB1-14	600×250×4000	19.1	266	14	240	25.1	434.1	314.44	0.85	38.03	47.33	0.80
5	HB1-16	600×250×4000	19.1	304	16	240	25.1	434.1	314.44	0.97	44.60	47.33	0.94

미만인 실험체도 제외하였다.

Table 2에서 공칭휨강도 (M_n)는 겹침이음되기 전의 단면에 대하여 콘크리트구조기준에 의하여 산정되었다. 실험 휨강도 (M_T)는 가력된 최대하중과 함께 자중을 고려하였다. Fig. 1은 실제 배근된 겹침이음길이 (l_s)와 설계식의 정착길이 (l_{dt})의 비 (l_s/l_{dt})와 실험 휨강도와 공칭휨강도의 비 (M_T/M_n)를 비교한 것이다.

Table 2와 Fig. 1에서 식 (1)로부터 산정된 l_{dt} 에 비하여 l_s 가 증가할수록 M_T 역시 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 l_s/l_{dt} 가 적은 실험체의 경우 M_T/M_n 과 유사하였지만, l_s/l_{dt} 에 큰 실험체의 경우 M_T/M_n 과 최대 5.8%가 차이를 보였다. 또한, l_s/l_{dt} 가 0.97로 확대머리 이형철근의 정착길이와 유사하게 배근된 실험체에서 M_T/M_n 이 0.94로 평가됨에 따라, 기준에서의 정착길이를 그대로 겹침이음길이로 산정할 수 없다.

현행 콘크리트구조기준에서 B급이음된 일자형 이형철근에

대하여 인장력에 대한 겹침이음길이를 정착길이의 1.3배로 산정하고 있다. 이를 이용하여, 확대머리 이형철근의 겹침이음길어도 정착길이의 1.3배를 적용할 경우 휨강도측면에서 겹침이음성능을 확보할 수 있을 것으로 예상되나 이에 대한 검증이 필요하다. 동시에 휨을 받는 수평부재의 경우 연성적인 파괴거동을 하여야 하므로 변형성능에 대한 평가도 필요할 것이다.

3. 겹침이음 실험

3.1 실험 개요

확대머리 이형철근의 겹침이음실험을 위하여 Table 3과 같이 확대머리 이형철근의 설계기준항복강도 (f_y), 겹침이음길이 (l_s), 철근의 직경 (d_b), 겹침이음 구간내 철근의 부착유무 등을 변수로 한 총 9개의 실험체를 계획하였다.

실험체명에서 S와 HS는 각각 이형철근의 f_y 가 각각 400MPa, 500MPa임을 나타내며, 그 뒤의 숫자는 이형철근의 직경이다. 그리고 L뒤의 숫자는 l_s/d_b 로서 겹침이음길이가 이형철근 직경의 몇 배수로 계획되었는지를 나타내며, 그 뒤에 나타나 있는 n은 겹침이음구간내에서 철근과 콘크리트가 비부착된 실험체임을 나타낸다.

겹침이음길이는 철근 직경의 배수로서 산정하였으며, 식 (1)에 의하여 산정된 정착길이 (l_{dt})와 콘크리트구조기준에서 일자형 철근의 B급 겹침이음에 사용되는 정착길이의 1.3배를 적용한 길이 등 2가지를 기준으로 계획하였다.

Fig. 2에 실험체 상세를 나타내었다. Fig. 2에서와 같이 D19의 확대머리 이형철근을 사용한 S19 및 HS19 시리즈 실험체들은 폭×높이×길이가 380mm×300mm×3800mm이며, D25의 확대머리 이형철근을 사용한 S25 시리즈 실험체들의

Fig. 1 M_T/M_n versus l_s/l_{dt} by Lee' test data

Table 3 List of specimens for all lap splice tests

No	Specimen	B×H×L (mm)	d_b (mm)	l_s (mm)	$\frac{l_s}{d_b}$	s_{b1} (mm)	f_{ck} (Mpa)	f_y (Mpa)	l_{dt} (mm)	$\frac{l_s}{l_{dt}}$	Bond in lap zone
1	S19-L16	380×300×3800	19.1	306	16	120	24	400	296.3	1.03	bond
2	S19-L21	380×300×3800	19.1	401	21	120	24	400	296.3	1.35	bond
3	S19-L21n	380×300×3800	19.1	401	21	120	24	400	296.3	1.35	debond
4	S25-L16	460×300×3800	25.4	406	16	160	24	400	394.0	1.03	bond
5	S25-L21	460×300×3800	25.4	533	21	160	24	400	394.0	1.35	bond
6	S25-L21n	460×300×3800	25.4	533	21	160	24	400	394.0	1.35	debond
7	HS19-L20	380×300×3800	19.1	382	20	120	24	500	370.4	1.03	bond
8	HS19-L25	380×300×3800	19.1	478	25	120	24	500	370.4	1.29	bond
9	HS19-L25n	380×300×3800	19.1	478	25	120	24	500	370.4	1.29	debond

Fig. 2 Details of specimen

크기는 460mm×300mm×3800mm이다. 실험체 폭의 차이는 실험체의 겹침이음되는 확대머리 이형철근들에 의하여 발생 가능한 수평적인 쪼개짐을 방지하기 위하여 겹침시키는 철근 순간격 (s_b)을 $4d_b$ 이상 확보하기 위하여 철근 간격 (s_{b1})을 산정하였기 때문이다. 실험체 순피복은 확대머리 이형철근을 기준으로 57.5~60.5mm가 되도록 하여 기준에 의한 최소 순피복 두께 $2d_b$ 이상을 만족하도록 하였다.

모든 실험체는 인장 겹침이음되는 철근 개수가 좌측은 3개, 우측은 2개로 계획하였다. 이는 겹침이음되는 한 쪽 편의 휨 성능을 감소시킴으로써, 실험체 제작 오차에 따른 불균형 파괴, 겹침이음되는 구간의 철근비 증가로 인한 휨내력 증가, 겹침이음되는 철근들의 평면을 따라 발생할 수 있는 수평면 쪼개짐 파괴 등의 영향을 감소시키고 겹침이음되는 철근의 변형성능을 보다 명확하게 파악하기 위해서이다. 겹침이음되는 구간을 포함한 중앙부 1000mm 구간을 제외한 보 양단부는 D10의 스테리프를 100mm 간격으로 배근하여 전단보강하였다.

Table 4 Mechanical properties of reinforcing bars

Type of reinforcing bars	A_s (mm ²)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
D10 (SD400)	71.3	484.5	597.6
D16 (SD400)	198.6	482.9	613.0
D19 (SD400)	286.5	464.4	582.8
D19 (SD500)	286.5	547.0	713.0
D25 (SD400)	506.7	378.5	582.8

3.2 재료시험

실험체에 사용된 콘크리트의 설계기준압축강도는 24 MPa이며, KS F 2405에 따른 공시체의 압축강도 시험에 의하여 콘크리트 압축강도 (f_{ck1})는 21.69 MPa로 평가되었다. Table 4는 실험체에 사용된 철근의 재료시험결과를 정리하여 나타낸 것이다. Table 3에서 A_s 는 공칭단면적, f_y , f_u 는 각각 재료시험에 의한 항복강도, 인장강도 등을 나타낸다.

3.3 실험체 설치 및 가력

실험체는 Fig. 3에서와 같이 인장력을 받는 겹침이음부위

Fig. 3 Test setup

가 상부면이 되도록하여, 하중 가력에 따른 겹침이음되는 부위의 균열 및 파괴상황을 관측하게 용이하도록 하였다. 또한 실험체 중앙부 1000mm 구간에 하단에 한지 지지점을 두고, 실험체 양단부에서 100mm되는 지점에 하중을 가력하여, 자중에 의한 영향과 겹침이음구간의 전단력을 최소화하였다. 하중가력은 2000 kN 만능구조시험기 (UTM)을 사용하여 변위제어방식으로 단조 가력하였다. 하중가력에 따른 수직변위를 측정하기 위해 실험체의 경간 중앙에 변위계 (LVDT)를 설치하였다. 또한, 확대머리 이형철근의 변형율을 파악하기 위하여 겹침이음이 시작되는 부분에 철근 변형게이지를 부착하였다.

4. 실험결과 분석

4.1 균열 및 파괴모드

Table 5 및 Fig. 4에 최종 파괴시 균열상황을 나타내었다. 하중 가력에 따른 초기단계의 균열은 대부분의 실험체에 유사하게 나타났다. 초기균열은 겹침이음이 시작되는 확대머리가 있는 부위에서 휨 균열 형태로 나타났으며, 하중가력에 따라 초기균열 폭이 증가하고 이후 양 단부 방향으로 휨 균열 수가 많아지면서 확대되었다. 이후 균열은 겹침이음 길이 및 겹침이음 구간내 확대머리 이형철근 표면의 부착 유

Table 5 Crack patterns

No	Specimen	Crack patterns (left: front facade, right: upper side)	
1	S19-L16		
2	S19-L21		
3	S19-L21n		
4	S25-L16		
5	S25-L21		
6	S25-L21n		
7	HS19-L20		
8	HS19-L25		
9	HS19-L25n

(a) Specimen S19-L16

(b) Specimen S19-L21

(c) Specimen S19-L21n

Fig. 4 Crack patterns

무 등에 따라 다른 파괴 양상을 나타내었다.

확대머리 이형철근의 표면이 콘크리트와 부착이 되고 겹침이음길이가 l_{dt} 인 실험체들은 Fig. 4(a)와 같이 확대머리 이형철근의 할렬파괴와 함께 프라이아웃파괴가 나타나 최종 파괴되어 휨 부재에 대한 겹침이음성능을 확보하기 어려운 것으로 나타났다. 그리고 겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 인 실험체들은 겹침이음길이가 l_{dt} 인 실험체들에 비하여 휨 균열 수가 확대되었고 Fig. 4(b)와 같이 대부분 휨파괴 양상을 나타내었다.

확대머리 이형철근의 표면이 콘크리트와 부착이 되지않고 겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 인 실험체들은 철근 부착력이 없어 일체 거동을 하지 않아 휨균열 수가 적었으며, 확대머리의 지압력에 의해서만 휨에 대해 저항함으로써 대부분 Fig. 4(c)와 같이 확대머리에 의한 프라이아웃파괴 양상이 크게 나타났다.

(a) Specimen S19 series

(b) Specimen S25 series

(c) Specimen HS19 series

Fig. 5 Load-deflection curves

4.2 하중-변위 및 하중-변형률 곡선

실험에 의한 가력하중과 중앙부 처짐 (수직변위)과의 관계 곡선을 확대머리 이형철근 종류별로 정리하여 Fig. 5에 나타내었다.

Table 6은 실험에 의한 균열하중 (P_{cr}), 항복하중 (P_y), 최

Table 6 Test results

Specimen	P_{cr} (kN)	δ_{cr} (mm)	M_{cr} (kNm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	M_y (kNm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)	M_{max} (kNm)	M_{cr-t} (kNm)	M_n (kNm)	$\frac{M_{max}}{M_n}$
S19-L16	28.6	3.7	17.2	—	—	—	92.6	30.8	55.6	18.8	56.1	0.99
S19-L21	32.4	4.7	19.5	104.0	34.2	62.39	122.4	94.6	73.4	18.8	56.1	1.31
S19-L21n	24.0	3.5	14.4	—	—	—	68.3	35.0	41.0	18.9	56.1	0.73
S25-L16	34.4	5.3	20.6	—	—	—	127.1	33.3	76.3	23.2	79.5	0.96
S25-L21	41.3	5.9	24.6	130.3	32.2	78.2	160.5	87.8	96.3	23.2	79.5	1.21
S25-L21n	28.7	3.3	17.2	—	—	—	94.0	30.8	56.4	23.3	79.5	0.71
HS19-L20	27.4	3.9	16.5	—	—	—	97.7	33.5	58.6	18.9	65.1	0.90
HS19-L25	28.5	2.8	17.1	110.0	36.6	65.97	125.5	89.0	75.3	18.9	65.1	1.16
HS19-L25n	18.4	2.5	11.1	—	—	—	64.4	44.2	38.6	18.9	65.1	0.59

Fig. 6 Load-strain curves

대하중 (P_{max})과 이들 각 하중들에 의한 모멘트 (M_{cr} , M_y , M_{max}) 및 처짐 (δ_{cr} , δ_y , δ_{max})을 나타내고 있다. M_{cr-t} 및 M_{max} 는 각각 단면해석에 의한 이론적인 휨균열 모멘트 및 공칭휨강도를 나타낸다.

Fig. 5에서 이형철근의 종류에 관계없이 겹침이음길이가 l_{dt} 인 실험체들은 최대하중에 도달 후 급격히 하중이 감소하는 취성적인 거동을 나타내었다. Fig. 5와 Table 6에서 최대하중에 도달하는 시점은 겹침이음되지 않은 단면에 대한 공칭 휨강도에 도달되기 전이었으며, 10% 정도 차이를 나타내는 SD500 이형철근을 사용한 HS19-L20 실험체 이외에 4% 이내의 차이를 나타내었다.

철근표면이 콘크리트와 부착되고 겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 에 해당하는 실험체들은 공칭 휨강도보다 큰 내력을 보였으며, 항복이후 연성적인 파괴를 보이며 휨거동을 하는 것으로 평가되었다. 이들 실험체는 초기 균열 이후 항복시까지 겹침이음길이가 l_{dt} 인 실험체들 보다 강성이 크지만 많은 차이를 보이지는 않았다.

철근표면이 콘크리트와 비부착된 실험체들은 겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 임에도 불구하고, 철근의 부착력이 없어 겹침이음

길이가 l_{dt} 인 실험체들 보다 초기균열 후 강성 및 최대내력이 적게 평가되었으며, 최대하중 이후 급격한 취성파괴를 나타내고 있다. 또한 Fig. 5에서 초기균열 후 하중이 감소 및 증가를 반복한 후 다시 증가하는 양상을 나타내었다. 이는 초기균열이 발생하는 시점에서 확대머리가 지압에 의한 정착을 받기 전에 비부착된 겹침이음구간의 철근에 슬립이 발생하여 나타난 것으로 사료된다. 슬립량은 3.56~6.25mm로 나타났다.

Fig. 6에 철근게이지에 의하여 측정된 확대머리 이형철근의 변형률과 하중과의 관계곡선을 나타내었다. 최대하중 이후 취성파괴된 모든 실험체에 대하여 Fig. 6에서 확대머리 이형철근이 항복하지 않았으며, 겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 인 확대머리 이형철근이 콘크리트에 부착된 실험체들은 항복변형률 이후 하중에 비하여 큰 변형률을 보이면서 소성변형을 하는 것으로 나타났다.

4.3 실험 휨강도 및 이론 휨강도

Table 5에서 대부분의 실험체에서 실험에 의한 휨균열모

멘트 (M_{cr})가 해석에 의한 휨균열모멘트 (M_{cr-t})에 비하여 크게 평가되었으며, 휨강도겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 이고 부착된 실험체가 다른 실험체에 비하여 M_{cr} 이 큰 것으로 나타났다.

겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 이고 부착된 실험체에 대하여 최대 하중에 의한 실험 최대휨강도 (M_{max})는 공칭휨강도 (M_n)에 비하여 16~31% 크게 나타나 휨강도 측면에서 겹침이음 성능을 확보하는 것으로 사료된다. 실험 휨항복강도 (M_y)에 대해서는 M_y/M_n 가 0.97~1.11로 평가되어, 공칭휨강도가 실험 휨 항복강도에 근접한 것으로 나타났다. 그리고 겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 인 실험체의 M_{max} 가 l_{dt} 인 실험체에 비하여 26.3~32.2% 크게 나타나 겹침이음길이의 증가비율과 유사하게 나타났다.

겹침이음길이가 l_{dt} 이 겹침이음구간내 부착된 실험체는 M_{max}/M_n 이 0.9~0.99로 나타났고, 앞서 철근의 변형률 및 파괴모드 등을 고려할 때 겹침이음성능을 확보할 수 없는 것으로 사료된다.

겹침이음길이가 $1.3l_{dt}$ 인 SD500 철근을 사용한 실험체는 M_{max}/M_n 가 1.16으로 SD400 철근을 사용한 실험체에 비하여 12% 저하되었다. 이는 실험체가 겹침이음파괴가 아닌 연성적인 휨파괴 거동을 보인 점을 비취어 볼 때, 철근 항복강도에 따른 겹침이음길이의 문제라기보다는 철근 위치 등 제작 오차일 가능성이 큰 것으로 사료된다.

SD400의 이형철근을 사용한 겹침이음 구간 내에 비부착된 실험체들은 부착 실험체에 비하여 휨성능이 41.5~44.2% 감소되었으나, SD500의 이형철근에 대해서는 부착실험체가 비부착실험체에 비하여 48.7% 감소되어 부착력의 손실이 더 큰 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 현행 콘크리트구조기준에서 제시되고 있는 확대머리 이형철근 정착길이 산정식을 겹침이음설계에 적용이 가능한지를 평가하기 위하여, 기준에서 제한하고 있는 설계기준항복강도를 가지는 SD400 철근과 이를 초과하는 SD500 철근에 대하여 겹침이음실험을 실시하였으며, 제한된 실험체 수의 실험결과에 의한 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 현행 콘크리트구조 기준에 의한 확대머리 이형철근의 정착길이 (l_{dt})를 그대로 겹침이음길이에 적용한 결과, 이형철근이 항복하기전에 취성적인 할렬파괴와 함께

프라이아웃파괴가 나타나어 겹침이음성능을 확보할 수 없는 것으로 평가되었다.

- (2) SD400과 SD500의 설계기준항복강도를 적용한 확대머리 이형철근에 대하여 겹침이음길이를 정착길이의 1.3배로 산정하고 겹침이음 구간 내 부착된 모든 실험체에 대하여, 실험 최대휨강도가 공칭휨강도에 비하여 16~31% 크게 나타났고 연성적인 휨파괴 거동을 보임에 따라 겹침이음 성능을 확보할 수 있는 것으로 사료된다.
- (3) 겹침이음 구간내에 철근이 비부착된 실험체에서 SD500 철근이 SD400 철근에 비하여 부착력의 손실이 더 큰 것으로 평가되었다. 이를 볼 때, 확대머리의 정착력은 철근의 항복강도에 비례하지 않을 것으로 사료된다. 현재 SD500 및 SD600의 고강도철근 사용되고 있음에 비추어 볼 때, 이들 철근의 정착 및 이음 설계식의 제시를 위하여 지압력과 부착력에 대한 보다 명확한 응력전달 및 분담기구의 역학적 파악이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 이공분야 기초연구사업 (NRF-2013R1A1A2013485)에 의하여 수행되었음

References

1. ACI Committee 318 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-11.
2. CEB No. 233 (1997), Design of Fastenings in Concrete, Stats of Art Report Design and Application, CEB.
3. KCI 2012 (2012), Korean Concrete Structure Code, Korea Concrete Institute.
4. Kim, S. H., Lee, Y. T., Kim, T. S., Chea, S. H. (2010), An Experimental Study on Noncontact Lap Splices of Headed Reinforcements with Different Effective Depths, *Journal of Aik*, 26(5), 3-10 (in Korean).
5. Lee, Y. T., Kim, S. H., Chea, S. H., Bahn, B. Y. (2008), An Experimental Study on the Lap Strength of Headed Steel Reinforcements with Lap-spliced, *Journal of Aik*, 24(3), 87-94 (in Korean).
6. Thompson, M. K., Ledesma, A., Jirsa, J. O., Breen, J. E. (2006), Lap Splices Anchored by Headed Bars, *ACI Structural Journal*, 103(2), 271-279.

Received : 06/26/2014

Revised : 07/16/2014

Accepted : 07/21/2014

요 지

현행 콘크리트구조기준 (KCI2012) 및 ACI318-11에서 B급이음된 일자형 이형철근에 대하여 인장력에 대한 겹침이음길이를 정착길이의 1.3배로 산정하고 있다. 동일 기준에서 확대머리 이형철근의 정착길이를 제시하고 있지만 겹침이음상세에 대한 규정은 없다. 이에 본 연구에서는 400MPa과 500MPa 설계기준항복강도를 가지는 확대머리 이형철근의 겹침이음실험을 실시함으로써, 기준의 정착길이식을 겹침이음설계에 적용가능한 지를 평가하고자 하였다. 실험결과, SD400과 SD500의 설계기준항복강도를 적용한 확대머리 이형철근에 대하여 겹침이음길이를 정착길이의 1.3배로 산정할 경우, 실험 최대휨강도가 공칭휨강도에 비하여 16~31% 크게 평가되었고 연성적인 휨파괴 거동을 나타내었다. 따라서, 이들 철근에 대해 정착길이 1.3배의 겹침이음길이를 설계함으로써 강도 및 변형성능 측면에서 겹침이음 성능을 확보할 수 있는 것으로 사료된다.

핵심 용어 : 확대머리 이형철근, 철근콘크리트 보, 겹침이음, 정착, 겹침이음길이