

확대머리 철근과 갈고리 철근을 이용한 단차가 있는 휨부재의 겹침이음상세

이규선¹, 진세훈², 김승훈^{3*}

Lap Details Using Headed Bars and Hooked Bars for Flexural Members with Different Depths

Kyu-Seon Lee¹, Se-Hoon Jin², Seung-Hun Kim^{3*}

Abstract: This paper focuses on the experimental study for investigating the performance for lap splice of hooked or headed reinforcement in beam with different depths. In the experiment, seven specimens, with its variables as the lap length of headed or hooked bar, the existence of stirrups, etc., was manufactured. Bending test was conducted. Lap strengths by test were compared with the theoretical model based on KCI2012. The result showed that the cracks at failure mode occurred along the axial direction to a headed bar. The initial stiffness and the stiffness after initial crack were similar for all specimens. For HS series specimens without stirrups, a 25% increase in lap length was increased 11.8~18.1% maximum strengths. For HH series specimens without stirrups, an increase in lap length did not affect the maximum strengths because of the pryout failure of headed bar. For HS series specimens, the theoretical lap strengths based on KCI2012 considering the B grade lap and the reduction factor for stirrup were evaluated. They are smaller than the test strengths and can ensure the safety in terms of strength capacity. For HH series specimens, the stirrups in the lap zone are needed to prevent the pryout behaviour of headed bar.

Keywords: Headed bars, Hooked bars, Lap splice, Different depths, Reinforced concrete

1. 서 론

시공성 향상 및 공기단축을 위하여 많이 사용되는 프리캐스트 콘크리트(PC) 구조의 부재 접합부 및 리모델링되는 건축물에서 구 부재와 신 부재의 접합부에서 현장 타설 콘크리트 구조의 접합부와 유사한 구조성능과 동시에 경제성 및 시공성을 확보하는 것이 매우 중요하지만 기존 표준갈고리 정착을 사용할 경우 설계 및 시공이 어려운 경우가 많다. 2008년 이후 정착길이가 부족한 접합부나 작업의 효율성을 향상시키기 위하여 기계적 정착으로 확대머리 철근을 사용한 정착설계법이 ACI318 기준(2008)에 제시되어 사용이 증가하고 있다. 국내에서도 콘크리트구조기준(2012)에 확대머리 철근 정착 설계법이 적용되었으며, 확대머리철근의 정착성능 및 겹침이음성능을 평가하기 위한 연구(Chun et al., 2013; Kim, 2015)가 계속 진행되고 있다.

기존의 단차가 있는 보의 접합상세(KSEA, 2009)는 깊이가 다른 보의 주근이 서로 교차되는 부위에서 철근에 전달되는 응력에 따라 정착길이를 확보하도록 하여 설계하고 있지만 철근의 직경이 크고 깊이가 크지 않을 경우 요구되는 정착길이 확보가 어려울 수 있다. 또한 깊이가 상이한 PC 보 접합부의 경우 기존의 상세로 겹침이음을 할 경우 겹침이음이 불가능하거나 겹침이음 구간이 과도하게 커질 우려가 있다.

Kim(2016)은 보통강도의 갈고리 철근과 확대머리 철근을 상호 겹침이음하는 단차가 없는 휨 부재 상세에 대하여 실험적 연구를 통하여 겹침이음구간내 구속상세의 중요성을 확인하였고, ACI318 기준식의 정착길이를 적용한 겹침이음길이를 설계할 경우 불안전축으로 평가되어짐을 나타내었다.

단차가 있을 경우 깊이가 작은 보의 경우 휨성능을 증가시키기 위하여 고강도 철근을 사용할 수 있는데 현재 ACI318 기준(2014)과 콘크리트구조기준(2012)에서 확대머리 철근의 정착설계에서 400~420 MPa로 항복강도 상한치를 제한하고 있다. 단차가 있는 갈고리 철근과 확대머리 철근의 겹침이음 설계를 위해서는 기준식이 확대머리 철근의 정착길이만 제시할 뿐 이러한 겹침이음상세에 대한 설계방법을 제시하고 있지 못하고 있으며, 이조차도 고강도 철근을 사용한 설계가 어려운 실정이다.

¹학생회원, 한밭대학교 건축공학과 석사과정

²학생회원, 한밭대학교 건축공학과 석사과정

³정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: kimsh@hanbat.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Hanbat National University

•본 논문에 대한 토의를 2016년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

이에 본 연구에서는 단차가 있는 휨 부재를 대상으로 확대 머리 철근간 겹침이음, 확대머리 철근과 표준갈고리 철근의 겹침이음 등 두 가지 이음상세를 제시하였다. 이들 상세에 대한 겹침이음성능평가를 목적으로 실험을 실시하였다. 실험 변수는 겹침이음 철근 종류, 겹침이음길이, 겹침이음 구간내 스티럽 보강유무 등으로 이들 변수에 따른 겹침이음 내력 및 변형특성을 평가하였다.

2. 확대머리 철근 및 갈고리 철근의 정착길이

본 연구에서 인장력을 받는 확대 머리 이형철근과 갈고리 철근에 대하여 콘크리트 구조기준(KCI2012)에서 식 (1)과 (2)와 같이 정착 길이(l_{dt})를 제시하고 있다.

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

식 (1)에서 β 는 예폭시 도막 철근의 경우 1.2이고 다른 경우는 1.0, d_b 는 철근 직경(mm)으로 35 mm 이하이어야 한다. f_y 는 철근 설계 기준 항복강도[MPa]로 400 MPa 이하이고, f_{ck} 는 콘크리트 설계 기준 압축강도[MPa]로 40 MPa 이하이다. 확대머리의 순지압면적은 철근단면적의 4배 이상이어야 하며, 순피복 두께 및 철근 순간격은 각각 $2d_b$, $4d_b$ 이상이어야 한다.

$$l_{dt} = \frac{0.24 \beta d_b f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}} \quad (mm) \quad (2)$$

식 (2)에서 λ 는 경량콘크리트의 계수로써 1.0이고 f_y 는 600 MPa 이하이며, f_{ck} 는 70.56 MPa 이하이다. 식 (2)에 D35 이하 180도 갈고리철근에서 정착길이 구간을 $3d_b$ 이하 간격으로 띠철근 또는 스티럽이 정착되는 철근을 수직으로 둘러싼 경우 0.8

을 곱하여 정착길이를 산정한다. 이렇게 산정된 정착길이는 $8d_b$ 이상, 또한 150 mm 이상이어야 한다.

3. 겹침이음 실험

3.1 실험체 계획

단차가 있는 휨 부재를 대상으로 확대머리 철근 및 표준갈고리 철근을 사용한 겹침이음상세에 대한 겹침이음 성능을 평가하기 위하여 Table 1과 같이 총 7개의 실험체를 계획하였다. Fig. 1에 실험체 형상 및 배근상황을 나타내었다.

모든 실험체는 50 mm의 단차를 가지는 보 부재로 Fig. 1과 같이 보의 왼편과 오른편의 깊이는 각각 300 mm, 250 mm이다. 본 논문에서 왼편의 깊이가 큰 보를 Beam 1, 오른편의 깊이가 작은 보를 Beam 2로 구분한다. 실험체 전체 길이는 3600 mm이며 순경간은 3000 mm이다.

HS 계열의 4개 실험체는 갈고리철근과 확대머리철근의 겹침이음을 사용하였다. HS 계열 실험체의 하부 철근에서 Beam 1은 180도 표준갈고리(SD500)로 겹침이음부에 접합되고 Beam 2는 고강도(SD600) 확대머리 철근으로 겹침이음된다. HH 계열의 3개 실험체는 확대머리철근과 확대머리철근의 겹침이음을 사용하였으며, 깊이가 큰 Beam 1은 SD400의 보통강도 확대머리 철근을 하부 철근으로 사용하였으며 Beam 2는 고강도(SD600) 확대머리 철근을 하부 철근으로 겹침이음하였다.

갈고리 철근과 확대머리철근의 직경은 모두 22 mm이다. 겹침 이음길이는 식 (1)과 Kim(2015) 연구를 고려하여 각각 하부 인장 철근 직경의 20 및 25 배수가 되는 값인 440 mm, 550 mm로 계획하였다.

겹침이음되는 구간의 콘크리트 구축을 위한 스티럽 보강상세를 가지는 실험체들은 D10의 스티럽으로 겹침이음이 시작되는 부위에서 철근직경의 1.5배 이내에 첫 번째 보강근을 배

Table 1 List of specimens

Specimens	Main reinforcement of beam 1				Main reinforcement of beam 2				Lap length (mm)	Stirrup in lap zone
	B(mm)	H(mm)	Type	Diameter(mm)	B(mm)	H(mm)	Type	Diameter(mm)		
HS-L20-C0	300	300	Hooked bar	22(SD 500)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	440	-
HS-L25-C0	300	300	Hooked bar	22(SD 500)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	550	-
HS-L20-C1	300	300	Hooked bar	22(SD 500)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	440	6-D10@65
HS-L25-C1	300	300	Hooked bar	22(SD 500)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	550	8-D10@65
HH-L20-C0	300	300	Headed bar	22(SD 400)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	440	-
HH-L25-C0	300	300	Headed bar	22(SD 400)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	550	-
HH-L20-C1	300	300	Headed bar	22(SD 400)	300	250	Headed bar	22(SD 600)	440	6-D10@65

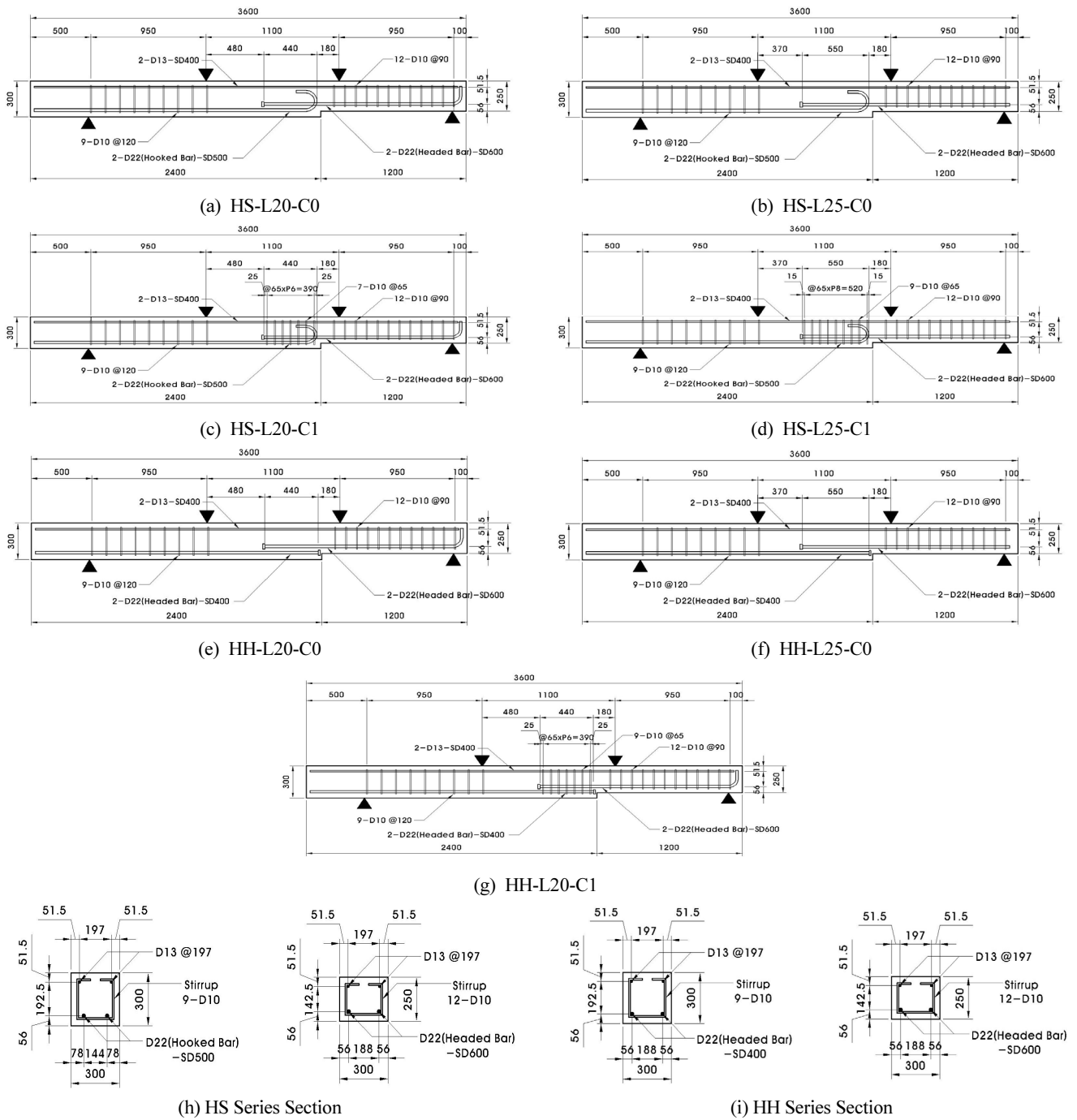


Fig. 1 Detail of specimens

치하고 겹침이음길이에 따라 65 mm 간격으로 배근하였다.

실험체 상부철근으로 2개의 D13 철근을 배근하였고, 실험체의 전단파괴를 방지하기 위하여 겹침이음 구간 외부의 하중 가력점 바깥으로 D10의 스테럽 철근을 Beam 1과 Beam 2에 각각 120 mm, 90 mm 간격으로 배근하였다.

모든 실험체의 전단경간비는 Beam 1과 Beam 2에 대하여 각각 3.2, 3.8로 계획하였다.

3.2 실험체 설치 및 가력방법

실험체는 Photo 1과 같이 상부에 2점 가력점과 하부에 2점 지지점이 있는 단순보 실험체 형태로 설치하였다.

Fig. 1과 Fig. 2와 같이 겹침이음 구간에 전단력이 최소화되고 일정한 휨응력이 작용하도록 최대 겹침이음 구간에서 양쪽으로 최소 유효깊이 이상을 확장한 1100 mm를 상부가력점 사이의 거리로 산정하였다. 실험체 가력은 2000 kN UTM(만능



Photo 1 Test set-up

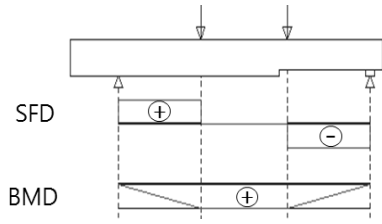


Fig. 2 S.F.D and B.M.D at loading

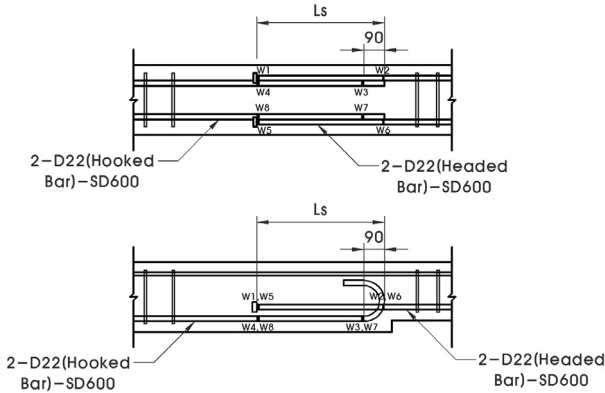


Fig. 3 Location of Wire Strain Gauge(WSG)

인장 시험기)을 이용하였으며, 변위제어로 단조 가력하였다.

실험체 중앙부의 처짐을 측정하기 위하여 정 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였다. 겹침이음되는 갈고리철근과 확대머리 철근의 변형률을 측정하기 위하여 철근 변형계이지(WSG)를 Fig. 3과 같이 부착하였으며, 압축철근과 겹침이음 구간 내 스테럽도 WSG를 부착하였다.

Table 2 Tensile strength for bars

Specimens	f_y [MPa]	f_u [MPa]	f_y/f_u [%]	E_s [GPa]	ϵ_{lo} [%]
D22 (SD400)	472	609	0.77	188	0.37
D22 (SD500)	514	642	0.80	181	0.38
D22 (SD600)	639	784	0.82	190	0.17
D13 (SD400)	491	629	0.78	249	0.30
D10 (SD400)	480	595	0.81	172	0.25

3.3 재료 시험

실험체에 사용된 압축철근(D13), 스테럽(D10), 갈고리 이형철근(D22), 확대머리 이형철근(D22) 등의 철근에 대한 각각 세 개의 인장시험편을 제작하여 인장시험을 실시하였으며, Table 2에 항복강도(f_y), 인장강도(f_u), 탄성계수(E_s), 연신율(ϵ_{lo}) 등에 대한 평균 물성치를 나타내었다.

Table 2와 Fig. 4에 나타난 바와 같이 인장철근으로 사용되는 D22의 갈고리 이형철근과 확대머리 이형철근 모두 설계항복강도 이상으로 평가되었다.

Table 3은 실험체에 사용된 콘크리트 설계표이다. 콘크리트 설계기준 압축강도는 24 MPa이며, 실험체의 겹침이음시험일 기준으로 공시체의 재료시험에 의한 압축강도는 평균 23.8 MPa로 평가되었다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 균열 및 파괴상황

Fig. 4에 각 실험체의 최종파괴시 균열상황을 나타내었다. 하중가력에 따른 균열상황은 대부분의 실험체에서 유사하게 나타났다. 하중이 증가됨에 따라 먼저 단차가 시작되는 부분에서 초기 휨균열이 발생하였다. 또한, 대부분 실험체에서 겹침이음이 시작되는 확대머리 또는 갈고리가 위치한 부분, 가력점 하단부 등에서 휨균열이 발생하였다.

최종 파괴시에 겹침이음 구간에 스테럽 보강이 되지 않은 실험체에서는 수직 비접촉 겹침 구간에서 깊이가 작은 Beam 2의 확대머리 철근이 위치한 배근 방향으로 균열이 크게 발생하고 이로 인한 수평 전단파괴가 나타났다. 갈고리 철근과 확

Table 3 Mix design of concrete

Compressive strength	W/C(%)	S/a(%)	Materials Consumption(kg/m ³)					Chemical admixture	
			Cement	Water	Fine aggregate	Coarse aggregate	Admixture①		
24 MPa	41.6	48.4	256	164	829	904	59	79	2.76

Note) ① Fly-Ash, ② Slag Mortars, Chemical admixture : AE admixture, Chloride content 0.30 kg/m³, Air content 4.5±1.5%

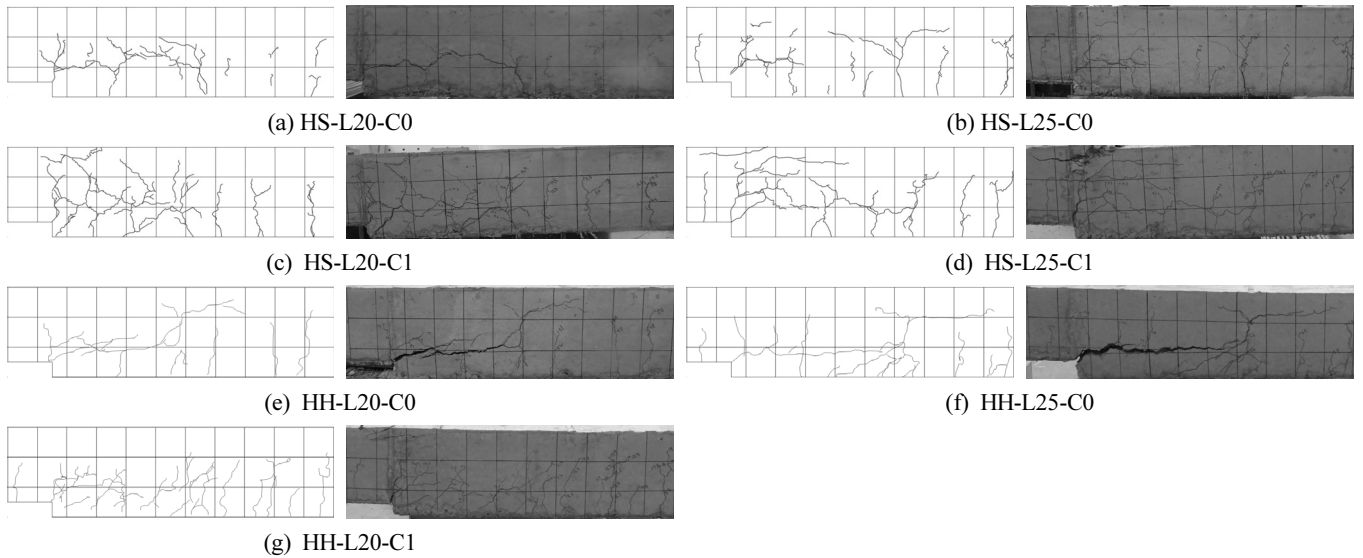


Fig. 4 Failure patterns of specimens

대머리 철근을 겹침이음한 HS계열 실험체 보다 확대머리 철근을 상호 겹침이음한 HH계열 실험체의 수평 균열이 더욱 크게 나타났다. 이는 갈고리 철근을 사용한 실험체에서 갈고리에 의해 확대머리 철근이 위치한 부위를 구속하는 효과가 있지만 확대머리 철근을 상호 겹침이음할 경우 휨모멘트에 의한 Beam 1 측 하부 확대머리철근의 프라이아웃거동이 크게 나타났기 때문인 것으로 사료된다.

겹침이음 구간에 스테럽 보강이 된 실험체에서는 스테럽이 겹침이음 구간의 콘크리트를 구속하면서 겹침이음 구간내 휨 균열의 수가 스테럽이 없는 실험체에 비하여 크게 증가하였다.

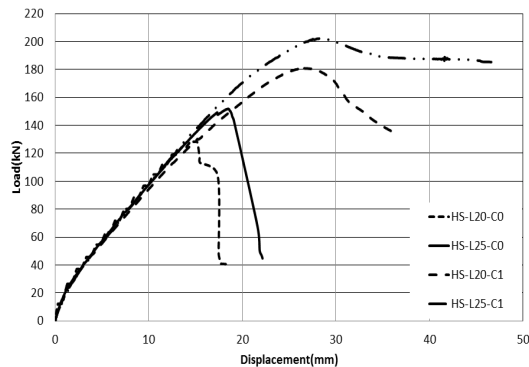
스테럽이 보강된 갈고리 철근을 사용한 HS 계열실험체는 갈고리 배근 형태로 균열이 확대됨을 알 수 있었으며, 최종적으로 스테럽이 보강된 모든 실험체에서 Beam 2의 확대머리 철근 배근 방향으로 수평 균열이 발생되었다.

4.2 실험내력 및 하중-변위 곡선

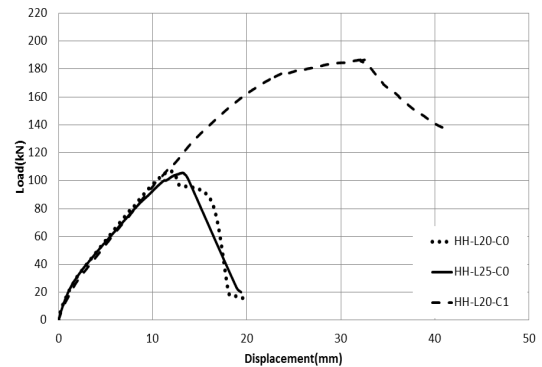
Table 4에 각 실험체의 최대내력 및 최대내력시 수직변위를 나타내었다. Fig. 5에 실험체에 가력한 하중과 순경간 중앙부에서 측정된 수직변위의 관계 곡선을 나타내었다.

Table 4 Test result (strength)

Specimens	Maximum strength(kN)	Displacement(mm)
HS-L20-C0	128.56	15.25
HS-L25-C0	152.14	18.49
HS-L20-C1	181.10	26.75
HS-L25-C1	202.23	28.35
HH-L20-C0	107.31	11.92
HH-L25-C0	105.94	13.17
HH-L20-C1	187.18	32.80



(a) HS series



(b) HH series

Fig. 5 Load-displacement Curves

Fig. 5에서 모든 실험체의 초기 휨균열 이전의 초기강성이 유사하게 나타났다. 초기 휨균열 이후의 강성도 실험체별로 큰 차이를 나타내진 않았다. 최대 실험내력 이후 겹침이음구간에 스테럽이 없는 실험체들은 매우 취성적인 파괴가 나타났다. 스테럽이 보강된 실험체의 경우 스테럽이 없는 실험체보다 연성적인 파괴 거동을 나타내었다.

갈고리 철근과 확대머리 철근을 겹침이음한 HS 계열 실험체들은 겹침이음길이가 클수록, 스테럽이 보강된 실험체일수록 최대 실험내력이 증가하는 것으로 나타났다. 겹침이음길이가 철근 직경의 20배에서 25배로 25% 증가되었을 때, 최대 실험내력은 11.8~18.1% 증가하였으며 비례하지는 않았다. 겹침이음 구간내에 스테럽이 보강된 실험체는 보강되지 않은 실험체에 비하여 최대 실험내력이 33.2~40.6% 증가되었다. 이를 볼 때, KCI2012에서 갈고리철근의 정착길이에 대하여 정착길이 구간을 $3d_b$ 이하 간격으로 띠철근 또는 스테럽이 정착되는 철근을 수직으로 둘러싼 경우 0.8을 곱하여 산정하는 기준은 본 배근상세에도 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

확대머리 철근을 상호 겹침이음한 HH 계열 실험체들은 겹침이음길이에 따른 내력 증가효과는 없었다. 이는 4.1절에 기술한 바와 같이 확대머리 철근을 깊이가 다르게 상호 겹침이음할 경우 휨에 의하여 하부 확대머리철근이 프라이아웃거동을 하게 되면, 깊이가 다르게 배근된 확대머리 철근사이에 균열이 발생하게 되고 이에 의하여 내력이 결정되기 때문이다. 겹침이음 구간내에 스테럽이 보강된 HH-L20-C1 실험체는 보강되지 않은 HH-L20-C0 실험체에 비하여 최대 실험내력

이 75.0% 증가되었다. 이를 볼 때, 갈고리 철근과 확대머리 철근의 겹침이음상세에 비하여 확대머리 철근상호간 겹침이음에서 더욱 스테럽 보강이 필요함을 알 수 있으며, 보수적이긴 하지만 스테럽 보강효과에 의한 정착길이 감소계수 0.8을 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 이중-변형률 곡선

Fig. 3에 나타난 갈고리 철근과 확대머리 철근에 부착한 게이지로부터 측정된 변형률과 하중의 관계 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 겹침이음 구간내에 스테럽이 보강된 실험체들은 모두 항복변형률 이상으로 변형을 한 것으로 나타났다. HS-L25-C0를 제외한 겹침이음 구간내에 스테럽이 보강되지 않은 실험체들은 겹침이음되는 철근 모두 항복하지 않은 것으로 나타났다. HS-L25-C0 실험체의 경우 깊이가 작은 Beam 2의 확대머리 철근은 항복을 하고 깊이가 큰 Beam 1의 갈고리 철근은 항복을 하지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 6에서 최대내력시 측정된 확대머리 끝 부분의 평균 변형률(ϵ_1)과 겹침이음이 끝나는 부분의 평균 변형률(ϵ_2)을 정리하여 Table 5에 나타내었다. 또한 3.3절의 재료시험에서 측정된 철근의 응력과 변형률 관계를 이용하여 ϵ_1 과 ϵ_2 에 상응하는 철근의 응력을 각각 f_1 , f_2 로 산정하였다. 이렇게 산정된 f_1 은 확대머리에 의한 지압강도를 의미하며, f_2 는 지압강도와 부착강도의 합을 의미한다. 이에 따라 부착강도(f_3)를 $f_2 - f_1$ 로 산정할 수 있다.

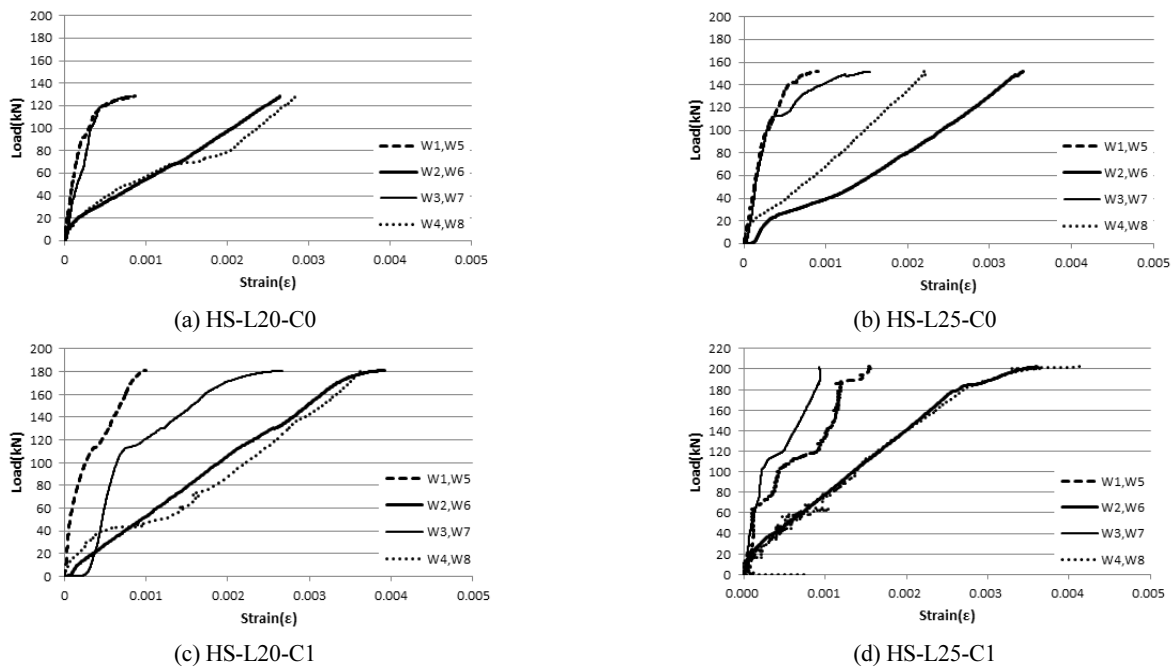


Fig. 6 Load-strain curves

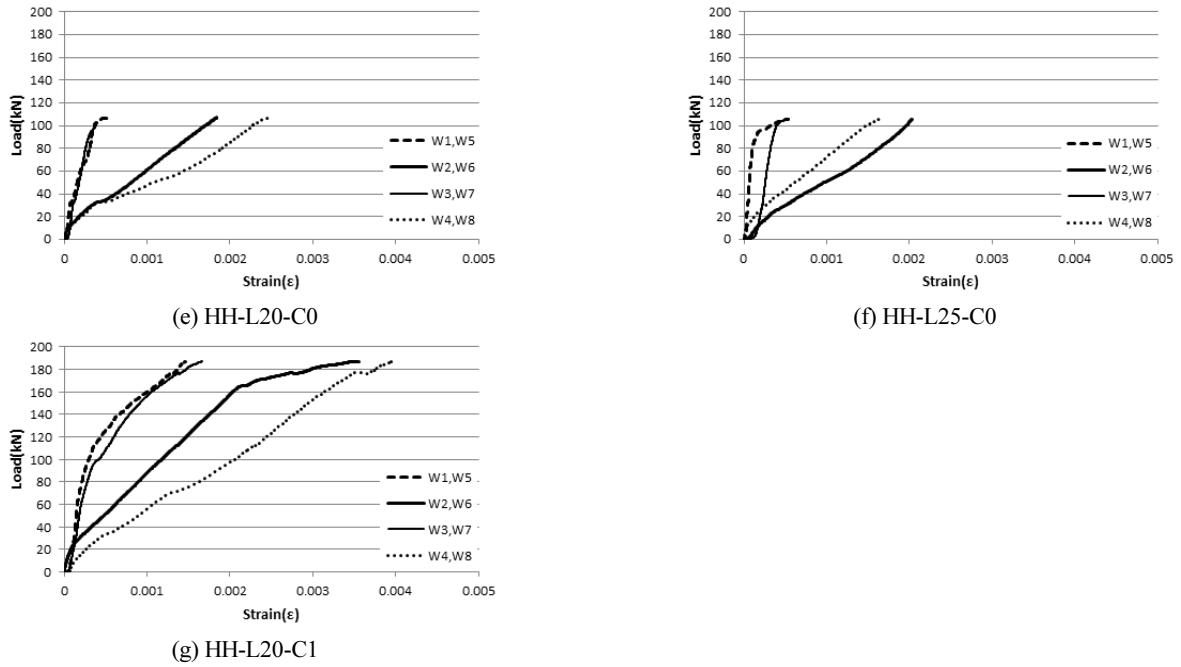


Fig. 6 Load-strain curves(Continue)

Table 5 Test result(strain and stress)

Specimens	ϵ_1	ϵ_2	f_1 (MPa)	f_2 (MPa)	f_3 (MPa)
HS-L20-C0	0.00088	0.00265	166.2	502.8	336.7
HS-L25-C0	0.00090	0.00342	170.9	725.1	554.2
HS-L20-C1	0.00100	0.00392	189.1	736.5	547.3
HS-L25-C1	0.00150	0.00360	284.8	729.2	444.8
HH-L20-C0	0.00055	0.00184	104.4	348.8	244.4
HH-L25-C0	0.00054	0.00203	102.2	384.5	282.4
HH-L20-C1	0.00147	0.00355	278.4	728.6	450.2

Table 5와 Fig. 7(a), (b)에서 스티럽이 보강되지 않은 실험체의 경우 겹침이음길이가 증가함에 따라 지압강도는 유사하게 나타났고 부착강도가 증가함에 따라 전체 겹침이음강도가 증가하는 것으로 평가되었다.

4.4 실험 겹침이음 내력과 이론 겹침이음 내력 비교

2장의 KCI2012로 산정된 정착길이를 1.3배한 B급 겹침이음길이를 가정하여 이론적인 겹침이음길이, l_s 를 산정하고, 실제 실험체의 겹침이음길이를 l_s 로 나누어 k_{ls} 값을 산출하였다. 이때 스티럽이 보강된 실험체의 경우 4.2절의 스티럽보강 효과와 기준을 고려하여 스티럽 보강에 의한 정착길이 감소 계수 0.8을 적용하였다.

완전한 겹침이음을 확보하기 위해서는 겹침이음되는 철근이 항복하여야 하며, 이를 기준으로 이론 겹침이음 강도를 산출한 후, 실제 겹침이음길이를 고려하기 위하여 k_{ls} 값을 곱하

여 이론 겹침이음내력(T_{THEORY})을 산정하였다.

또한, 실험 최대내력(T_{TEST})으로부터 휨강도(M_{TEST})를 산출한 후, 이를 기준으로 실험 겹침이음 내력(T_{TEST})을 산출한다. 이상과 같이 평가한 실험 및 이론 겹침이음내력을 비교하여 Table 6에 나타내었다.

Table 6에서 갈고리 철근과 확대머리 철근이 겹침이음된 HS 계열 실험체들에서 T_{TEST}/T_{THEORY} 이 1.22~1.55로 평가되어 이론내력이 실험내력을 안전측으로 평가하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 스티럽이 보강된 실험체의 경우가 오차가 더 크게 나타났다.

스티럽이 보강되지 않은 확대머리 철근 상호간 겹침이음된 HH 계열 실험체들에서 T_{TEST}/T_{THEORY} 이 0.77~0.98로 평가되어 이론내력이 실험내력 보다 크게 나타났다. 이를 볼 때 스티럽이 보강되지 않은 확대머리 철근들 상호간의 겹침이음 상세에 대하여 이상과 같은 겹침이음 내력으로 설계하는 것은

Table 6 Comparison of theoretical lap strength and experimental lap strength

Specimens	P_{TEST} (kN)	M_{TEST} (kNm)	T_{TEST} (kN)	k_{is}	T_{THEORY} (MPa)	$\frac{T_{TEST}}{T_{THEORY}}$
HS-L20-C0	128.6	61.1	374.5	0.618	305.7	1.22
HS-L25-C0	151.8	72.1	462.7	0.773	382.2	1.21
HS-L20-C1	180.8	85.9	591.2	0.773	382.2	1.55
HS-L25-C1	202.3	96.1	708.2	0.966	477.7	1.48
HH-L20-C0	106.9	50.8	299.9	0.618	305.7	0.98
HH-L25-C0	105.6	50.2	295.8	0.773	382.2	0.77
HH-L20-C1	187.0	88.8	622.5	0.773	382.2	1.63

불안전함을 알 수 있다. 하지만 스테럽이 보강된 실험체의 경우 이 1.63으로 나타나 매우 안전측으로 평가하고 있다. 따라서 이러한 상세에서 명확한 겹침이음 내력식이 평가되기 전까지 기준식을 이용하는 것은 위험하며, 플라이아웃거동에 의한 겹침이음강도 저하를 방지하기 위하여 겹침이음 구간내 스테럽 보강을 하는 것이 바람직하다.

5. 결론

본 연구에서 단차가 있는 철근콘크리트 보를 대상으로 확대머리 철근과 갈고리 철근의 겹침이음 및 확대머리 철근 상호간 겹침이음 상세를 제시하고 이에 대한 겹침이음 성능평가를 위한 실험을 실시하였다. 실험결과 분석을 통하여 얻은 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 최종 파괴시에 겹침이음 구간에 스테럽 보강이 되지 않은 실험체에서는 수직 비접촉 겹침 구간에서 깊이가 작은 보 측면에서 겹침이음되는 확대머리 철근이 위치한 배근 방향으로 균열이 크게 발생하고 이로 인한 수평 전단파괴가 나타났다. 겹침이음 구간에 스테럽 보강이 된 실험체에서는 스테럽의 콘크리트 구속효과로 겹침이음 구간내 휨 균열의 수가 크게 증가하고 균열 면적도 확대되었다.
- 2) 실험체 하중-변위곡선을 비교할 때, 모든 실험체의 초기 강성 및 휨균열 이후의 강성이 유사하게 나타났다. 스테럽이 없는 실험체들은 최대 내력 이후 매우 취성적인 파괴가 나타난 반면, 스테럽이 보강된 실험체의 경우 보다 연성적인 거동을 나타내었다.
- 3) 스테럽 보강되지 않은 실험체에 대하여 HS 계열 실험체들은 겹침이음길이가 25% 증가할 때, 최대 실험내력은 11.8~18.1% 증가한 반면에, HH 계열 실험체들은 내력 증가의 효과가 없었다. 이는 보강되지 않은 확대머리 철근 상호간 겹침이음 상세의 경우 하부 확대머리철근의 플라이아웃

거동에 의하여 깊이가 다른 확대머리 철근들 사이로 수평 전단균열이 발생하게 되고 이에 의하여 내력이 결정되기 때문이다.

- 4) 스테럽이 보강되지 않은 실험체의 경우 겹침이음길이가 증가함에 따라 지압강도는 유사하게 나타났고 부착강도가 증가하는 것으로 나타났다.
- 5) 현행 KCI2012에 의한 정착길이 설계식을 바탕으로 B급 겹침이음과 스테럽보강에 따른 감소계수 0.8을 고려하여 이론 겹침이음내력을 산정한 후 실험 겹침이음내력과 비교한 결과, HS 계열 실험체들에서 T_{TEST}/T_{THEORY} 이 1.22~1.55로 이론내력이 실험내력을 안전측으로 평가하고 있었다. 스테럽이 보강되지 않은 HH 계열 실험체들에서는 T_{TEST}/T_{THEORY} 이 0.77~0.98로 평가되어 실험내력을 불안전측으로 평가하고 있어, 보다 명확한 설계식이 제시되기 전까지 HH 계열과 같은 겹침이음 상세를 적용할 경우 겹침이음 구간내 스테럽 보강을 하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

References

ACI318 (2008), Building Code and requirements for structural concrete (ACI318-08), American Concrete Institute, 210-212.
 ACI318 (2014), Building Code and requirements for structural concrete (ACI318-14), American Concrete Institute, 420-423.
 Chun, S. C., and Lee, J. G. (2013), Strengths of Lap Splices Anchored by SD600 Headed Bars, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 25(2), 217-224.
 KCI2012 (2012), Korean Building Code, 149-150.

Kim, S. H. (2015), Experimental Study on Effect of Confinement Details for Lap Splice of Headed Deformed Reinforcing Bars in Grade SD400 and SD500, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(1), 62-71.
KSEA (2009), *KSEA Detailing Manual-2009*, The Korean Structural Engineers Association, 86.

Received : 05/31/2016

Revised : 06/07/2016

Accepted : 06/15/2016

요 지 : 본 논문은 단차가 있는 철근콘크리트 보에서 인장을 받는 하부 철근의 겹침이음 상세에 고강도 갈고리 철근 및 확대머리 철근을 사용하기 위하여 겹침이음 성능평가를 위한 실험적 연구결과를 다룬다. 겹침이음길이와 겹침이음구간내 스테럽 보강유무를 주요 변수로 한 실험을 통하여, 파괴유형, 초기강성, 최대내력, 변형성능 등을 분석하였고, KCI2012 정착설계식을 모델로 한 이론내력과 비교하였다. 그 결과, 모든 실험체들에서 확대머리 철근이 위치한 배근 방향으로 발생한 균열에 의하여 최종파괴가 나타났고, 초기 강성 및 휨균열 이후의 강성이 유사하게 나타났다. 스테럽 보강되지 않은 실험체에 대하여 HS 계열 실험체들은 겹침이음길이가 25% 증가할 때, 최대 실험내력은 11.8~18.1% 증가한 반면에, HH 계열 실험체들은 확대머리 철근의 프라이아웃거동에 의한 파괴로 내력 증가의 효과가 없었다. 현행 KCI2012에 의한 정착길이 설계식을 바탕으로 B급 겹침이음과 스테럽보강에 따른 감소계수 0.8을 고려하여 이론 겹침이음내력을 산정한 결과, HS 계열 실험체는 이론내력이 실험내력을 안전측으로 평가하고 있다. 반면에 스테럽이 보강되지 않은 HH 계열 실험체들은 이론내력이 실험내력을 불안전측으로 평가하고 있어 겹침이음 구간내 스테럽 보강을 하여야 할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 확대머리 철근, 갈고리 철근, 겹침이음, 상이한 깊이, 철근콘크리트
