

SD700 확대머리 철근의 겹침이음 상세를 적용한 단차가 있는 RC 보의 구조성능 평가

이지형¹, 김승훈^{2*}

Evaluation of Structural Performance of RC Beam with Different Depths to Lap Splice Detail of SD700 Headed Bar

Ji-Hyeong Lee¹, Seung-Hun Kim^{2*}

Abstract: This paper conducts an evaluation of the structural performance of the lap splice detail of SD700 headed bar experiment for developing an RC beam with different depths joint details. The experiment variable is lap splice length, yield strength, and end anchorage of main reinforcements. For all specimens, a headed bar was applied to the main reinforcement of the beam with low depth (B2), and the beam with high depth (B1) was applied to the main reinforcement with two splice methods: straight headed bar and 90° hooked-headed bar. The experimental results were that specimens of applying SD500 and SD600 had the results of flexural fracture at the lap splice location, which maximum load was similar. For specimens of applying SD500, the 90° hooked-headed bar of B1, suppressed horizontal cracks in the lap splice section compared to the straight headed bar. Specimens of applying an SD 700 headed bar had the results of brittle anchorage failure. In addition, maximum load was increased with the lap splice length increasing. For specimens of applying SD700 headed bar, test for test maximum load/theoretical load for test development length/design development length were estimated to be 1.30~1.48 for the ACI 318-19 equation, and 1.14~1.30 for the KDS-2021 equation. Thus, ACI 318-19 equation had conservatively greater safety factors as estimated development lengththened.

Keywords: Beam with different depths, Lap splice, SD700, Headed rebar

1. 서 론

최근 건설시장에 초고층, 대공간 구조물의 증가에 따라 효율적인 건설공사를 위하여 건설재료의 고성능화가 이루어지고 있다. 국내 콘크리트구조기준인 KDS 14 00 00;2021(이하 KDS-2021)에서 주요 부재의 주철근에 대한 최대설계항복강도를 600MPa로 규정하고 있으며, 미국의 경우 콘크리트구조 기준 ACI 318-19에서는 690MPa로 제시하였다. 이에 국내에서도 경제적인 구조물 설계를 위하여 SD700급 이상의 고강도 철근의 적용될 가능성이 크다.

RC(Reinforcement Concrete, 철근콘크리트)부재 접합부는 부재간 효율적인 응력 전달과 일체성 확보를 위하여 단일 부재에 비하여 철근이 과밀하게 배근된다. 그리고 KSEA 2018(철근콘크리트배근상세)에서 제시하는 단차있는 보의 접합

상세는 주근 교차부위에서 철근전달응력에 따라 정착길이를 확보하는 상세를 가지고 있다. 이러한 접합부 상세에서 고강도철근을 사용하게 되면 요구정착길이가 과도하게 길어져 정착길이 확보에 어려움이 있을 수 있다. 이에 고강도 확대머리 철근을 사용하게 되면 정착길이를 감소시킬 수 있음과 동시에 콘크리트 충전성 및 과밀배근을 해소하여 시공성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

현재 KDS-2021의 확대머리 철근 정착길이 산정식이 최상층을 제외한 보-기둥 접합부와 이외의 경우로 구분하여 제시하고 있다. 확대머리철근에 대한 연구는 주로 보-기둥 접합부에 대하여 실험적 연구가 활발히 진행되고 있으며(Shao et al. 2016; Chun et al. 2017; Sim et al. 2018), 단일 부재 내의 접합상세에 대한 실험적 연구는 미비한 실정이다. 특히, 단차있는 보의 경우는 서로 춤이 다른 단면의 인장철근이 겹침이음되는 상세를 가지고 있어, 일반적인 동일한 춤에서의 겹침이음상세와 구조적 거동이 상이하므로 이에 대한 평가가 필요하다.

이에 본 연구에서는 단차있는 보의 주철근으로 SD700 확대머리철근을 이용한 겹침이음상세의 적용성 평가를 목적으로 하여 실험을 진행하였다. 실험 변수는 겹침이음길이, 주철근의 항복강도, 주철근 단부 정착상세 등으로 이들 변수에 따

¹학생회원, 한밭대학교 건축공학과 석사과정

²정회원, 한밭대학교 건축공학과 교수, 교신저자

*Corresponding author: kimsh@hanbat.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 34158, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2022년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

른 보의 거동 특성 및 겹침이음 내력을 평가하였다.

2. 확대머리 철근의 정착길이 산정식

2.1 KDS-2021 확대머리 철근 정착길이 산정식

KDS-2021은 기존의 확대머리철근 정착식(KCI-2012)의 최대 철근 설계기준항복강도 400MPa에서 600MPa로 적용범위를 확대하고 적용되는 부위에 따라 정착길이($l_{dt, KDS-2021}$)를 식 (1), (2)와 같이 제시하였다.

1) 최상층을 제외한 부재 접합부에 정착된 경우

$$l_{dt, KDS-2021(1)} = 0.22 \frac{\beta f_y d_b}{\psi \sqrt{f_{ck}}} \quad (1)$$

여기서, β 는 에폭시도막계수로 에폭시코팅된 경우 1.2, 이외의 경우는 1.0이며, $\psi (= 0.6 + 0.3c_{so}/d_b + 0.38K_{tr}/d_b \leq 1.375)$ 는 측면피복과 횡보강철근에 의한 영향계수이다. K_{tr} ($= 40A_{tr}/s_n$)은 횡방향 철근지수로 확대머리철근을 횡구속한 경우에 KDS 14 20 54(4.1.2(3)③)에 따라 산정하고 $1.0d_b$ 보다 큰 경우 $1.0d_b$ 를 대입한다. 식 (1)을 적용하기 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

- ① 철근 순피복두께는 $1.35d_b$ 이상
- ② 철근 순간격은 $2d_b$ 이상
- ③ 확대머리의 뒷면이 횡보강철근 바깥 면으로부터 50mm 이내에 위치해야 함
- ④ 확대머리 이형철근이 정착된 접합부는 지진력저항시스템별로 요구되는 전단강도를 가져야 함
- ⑤ $d/l_{dt} > 1.5$ 인 경우는 KDS 14 20 54(4.3.2)에 따라 설계함(d 는 부재의 유효높이)

2) 최상층을 제외한 부재 접합부에 정착된 경우 외의 부위에 정착된 경우

$$l_{dt, KCI-2017(2)} = 0.24 \frac{\beta f_y d_b}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (2)$$

단, K_{tr} 값이 $1.2d_b$ 이상이어야 한다. 또한 식(2)를 적용하기 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다.

- ① 철근 순피복두께는 $2d_b$ 이상이어야 한다.
- ② 철근 순간격은 $4d_b$ 이상이어야 한다.

2.2 ACI319-19 확대머리 철근 정착길이 산정식

ACI 318-19에서 제시하는 확대머리 철근의 정착길이($l_{dt, ACI318-19}$)는 식(3)과 같다.

$$l_{dt, ACI318-19} = \frac{f_y \psi_e \psi_p \psi_o \psi_c}{31 \sqrt{f_c}} d_b^{1.5} \geq 8d_b \text{ and } 150mm \quad (3)$$

여기서, ψ_e 는 에폭시도막계수(에폭시코팅된철근: 1.2, 그외의 경우: 1.0), ψ_p 는 횡보강근계수, ψ_o 는 철근의 위치계수, ψ_c 는 콘크리트강도계수이다.

- ① 철근 직경 35mm 이하
- ② 확대머리 순 지압면적(A_{brg})이 철근단면적(A_b)의 4배 이상
- ③ 일반 콘크리트에서 사용 (경량콘크리트에 적용 불가)
- ④ 순 피복 두께는 철근 직경의 2배 이상이며 철근 순간격은 철근 직경의 3배 이상

ACI 318-19식이 KDS-2021과 큰 차이를 나타내는 부분은 추가적인 콘크리트강도계수 ψ_c 의 적용과 정착길이가 철근 직경의 1.5제곱에 비례한다는 점이다.

3. 확대머리 철근 겹침이음실험 선행연구

3.1 Chun(2013)의 겹침이음 실험

ACI318-08의 확대머리 철근 정착길이 설계식이 실험 데이터의 부족으로 한정된 변수만을 고려하고 있으므로 횡보강철근 및 피복두께, 철근 순간격 등 현행 설계 기준 제한값의 범위를 확장하고 횡보강철근의 영향을 고려하여 겹침이음 실험을 통하여 정착강도 평가식을 제안하였다. 정착강도 평가 실험 중 겹침이음 실험이 가장 보수적인 실험 방법이라고 판단하여 이음길이, 순간격, 피복두께, 횡방향 철근지수, 철근 지름, 콘크리트 강도를 변수로 2점 단조가력하여 실험을 진행하였다. 실험 결과 횡보강철근이 없는 실험체는 프라잉거동으로 인해 지압의 기여도가 평균 15%로 지압이 발현되기 전에 파괴되었고, 횡보강철근을 배근한 실험체는 프라잉거동이 억제되었고 무보강 실험체에 비하여 지압과 부착응력이 모두 증가하였다.

실험 결과를 회귀 분석하여 철근의 정착강도 식을 제안하였는데, 평가식은 부착과 지압의 영향을 분리하여 구성하였다. 또한 횡보강근의 유무에 따라 정착강도 평가식을 분리하여 제안하였다.

실험을 통하여 횡보강이 없는 확대머리철근의 정착강도에서 지압에 의해 발현된 강도는 이음길이에 무관하며 콘크리트강도가 높을수록 증가하였고, 부착에 의해 발현된 강도는 이음길이에 비례하여 증가하였다. 횡보강이 있는 확대머리철

근의 정착강도에서는 지압에 의해 발현된 강도가 횡방향철근 지수와 선형적인 관계가 있어, 무보강에서 발현된 강도에 횡보강의 영향을 더한 형태로 평가식을 구성하였다.

$$\begin{aligned}
 f_{s,p,uncon} &= f_{s,p,uncon} + f_{brg,p,uncon} \\
 &= \left(1.48 \frac{l_s}{d_b} + 18.6\right) \sqrt{f_{ck}} + 8.2 \sqrt{f_{ck}} \quad (4) \\
 &= \left(1.48 \frac{l_s}{d_b} + 26.8\right) \sqrt{f_{ck}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{s,p} &= f_{b,p} + f_{brg,p} \\
 &= \left\{ \left(1.48 \frac{l_s}{d_b} + 18.6\right) \left(1 + 0.28 \frac{K_{tr}}{d_b}\right) + \left(8.7 \frac{K_{tr}}{d_b} + 8.2\right) \right\} \sqrt{f_{ck}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서, $f_{s,p,uncon}$ 는 횡보강이 없는 확대머리 철근의 예측된 정착강도, $f_{b,p,uncon}$ 는 부착에 의해 발현된 강도, $f_{brg,p,uncon}$ 는 지압에 의해 발현된 강도이다. 횡보강이 있는 확대머리 철근의 식인(5)에서 사용된 $f_{s,p}$ 는 확대머리 철근의 예측된 정착강도, $f_{b,p}$ 는 부착에 의해 발현된 강도, $f_{brg,p}$ 는 지압에 의해 발현된 강도이다.

3.2 Lee(2016)의 단차가 있는 힘부재 겹침이음 실험

본 연구 진행 당시 국내·외 기준에서 확대머리 철근 정착설계에서 400~420MPa의 항복강도 상한치를 제한하고 있었으며 확대머리 철근의 겹침이음상세에 대한 설계방법을 제시하지 못하고 있었다. 이에 단차가 있는 보 부재에서 겹침이음 철근 종류, 겹침이음구간내 스테럽 보강유무, 겹침이음길이 등을 변수로 겹침이음성능평가를 실시하였다.

실험 결과 겹침이음구간내 스테럽 보강이 된 실험체는 스테럽의 콘크리트 구속효과로 겹침이음구간내 휨 균열의 수가 크게 증가하고 균열 면적도 확대되었고, 스테럽이 보강되지 않은 실험체보다 연성적인 거동을 나타내었다. 스테럽이 보강되지 않은 실험체의 경우 겹침이음길이가 증가함에 따라 지압강도는 유사하게 나타났으나 부착강도는 증가하는 것으로 나타났다.

이론내력과 실험내력비를 통하여 스테럽 유무의 실험체를 비교한 결과 스테럽이 보강된 실험체에서는 내력비가 1.22~1.55로 평가되어 실험내력을 안전측으로 평가하였고, 스테럽이 보강되지 않은 실험체에서는 내력비가 0.77~0.98로 평가되어 실험내력을 불안전측으로 평가하여 단차있는 보에서 확대머리 철근을 겹침이음하는 상세를 적용할 경우 겹침이음 구간내 스테럽 보강을 해야 한다는 결론을 도출하였다.

4. 겹침이음 실험

4.1 실험 계획

겹침이음 실험체는 주철근 단부 정착상세, 강도, 이음길이 등을 변수로 총 8개를 Table 1과 같이 계획하였다.

모든 실험체는 500mm×500mm의 춤이 큰 단면(이하 Beam1)와 500mm×350mm의 춤이 작은 단면(이하 Beam2)이 접합된 5,000mm의 보로 150mm의 단차를 가진다. Beam1의 주철근 단부 정착상세로 일자형 확대머리 철근(HHS 계열)과 같고리형 확대머리 철근(HLS 계열) 등을 계획하였다. 확대머리 철근의 이음길이는 KDS-2021 식을 토대로 두 가지 정착길이와 이에 대한 평균값으로 SD700에 대하여 산정한 575mm(L1), 719mm (L2), 863mm(L3) 등으로 산정하였다.

실험체의 Beam1과 Beam2의 주철근은 가급적 춤의 차이에서 오는 휨강도를 최소화하도록 계획하였다. HHS5, HLS5 계열의 실험체는 Beam1과 Beam2 모두 SD500의 주철근을 사용하였다. HHS6 계열의 실험체는 Beam1과 Beam2의 주철근으로 각각 SD500, SD600을 사용하였다. HHS7계열의 실험체는 Beam1과 Beam2의 주철근으로 각각 SD600, SD700을 사용하였다.

겹침이음구간에는 Lee(2016)의 연구결과 및 KDS-2021을 고려하여 $3d_b$ (75mm)간격으로 스테럽을 배근하였다. 전단경간비(a/d)는 지점을 각 단면의 유효춤을 기준으로 하여 큰 보에서 3.31, 작은 보에서 5.04로 다르게 설정하였다. 실험체 형상 및 배근상황을 나타낸 도면은 Fig. 1에 나타내었으며, 단위는 mm이다.

Table 1 List of specimens

Specimen	Rebar (Beam1 section)	Rebar (Beam2 section)	Lap-splice length [mm]
HHS5-L1	Headed bar ($f_y=500\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=500\text{MPa}$)	575
HHS6-L2	Headed bar ($f_y=500\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=600\text{MPa}$)	719
HHS6-L3	Headed bar ($f_y=500\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=600\text{MPa}$)	863
HHS7-L1	Headed bar ($f_y=600\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=700\text{MPa}$)	575
HHS7-L2	Headed bar ($f_y=600\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=700\text{MPa}$)	719
HHS7-L3	Headed bar ($f_y=600\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=700\text{MPa}$)	863
HLS5-L1	Headed-hooked bar ($f_y=500\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=500\text{MPa}$)	575
HLS6-L2	Headed-hooked bar ($f_y=500\text{MPa}$)	Headed bar ($f_y=600\text{MPa}$)	719

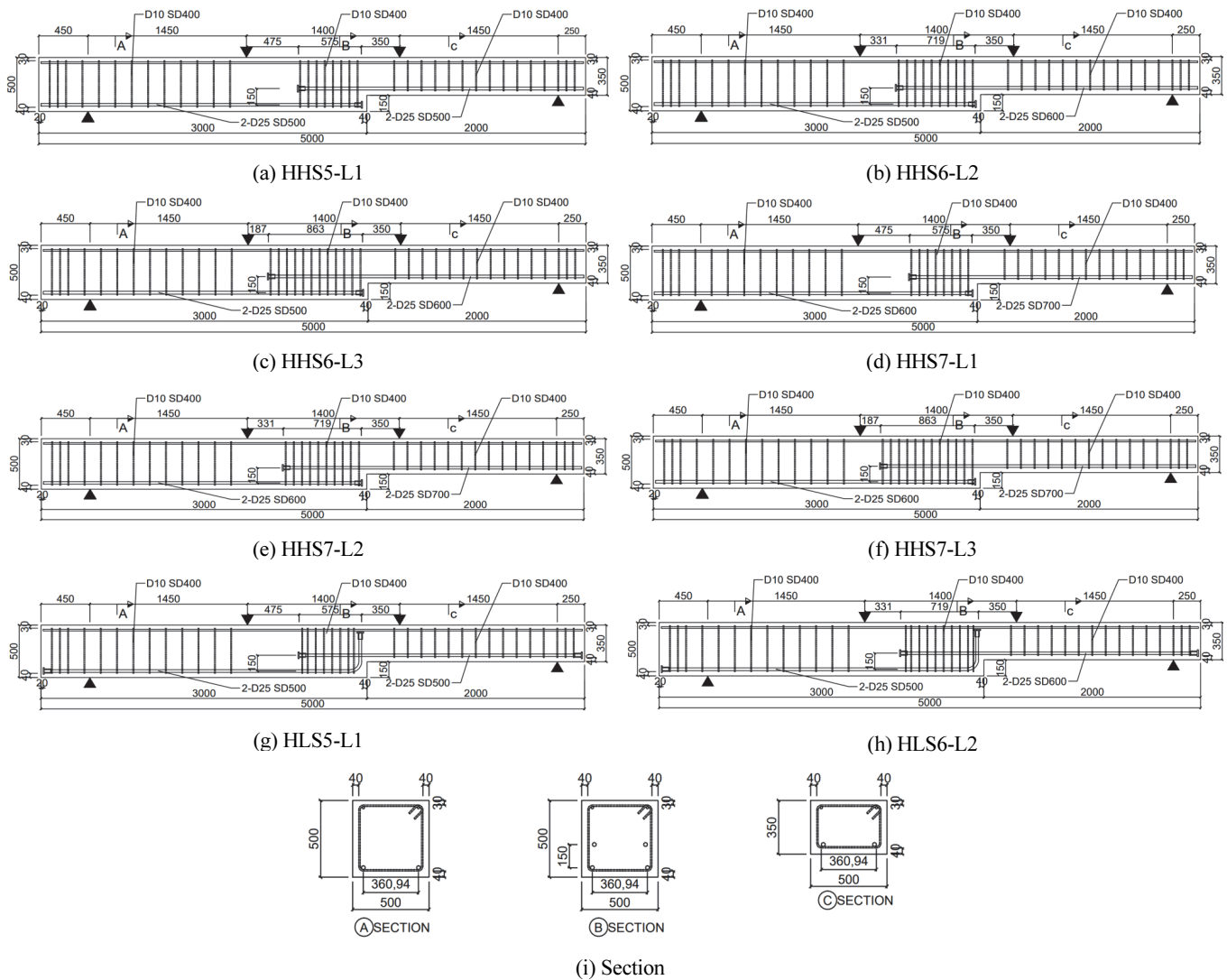


Fig. 1 Details of specimens

Table 2 Mix proportions and material properties for concrete

Specimen	Compressive strength [MPa]		W/C [%]	S/a [%]	Mix proportion [kg/m ³]				
	Design strength	Measured strength			C	W	S	G	AD
HHS5, HHS6, HLS5, HLS6	30	46.6	41.8	45.8	395	115	812	981	2.77
HHS7	30	25.2							

4.2 재료 시험

본 실험에 사용된 콘크리트 압축강도와 철근의 물성치 및 역학적 특성을 Table 2와 Table 3에 나타내었다. 콘크리트 압축강도는 KS F 2403에 따라 공시체 제작 후 KS F 2405에 의하여 타설 후 28일에 압축강도 시험을 실시하였다. 철근의 인장강도 측정은 KS B 0801에 따라 시험편을 제작하여 KS B 0802에 따라 인장시험을 실시하였다.

Table 3 Results of tensile test

Type	F _y [MPa]	F _u [MPa]	E [GPa]	ε _y	Extensibility [%]
SD400-D10	487.2	613.8	207.7	0.0043	18.8
SD400-D16	451.3	765.7	190.5	0.0048	13.0
SD500-D25	555.2	681.2	194.9	0.0041	19.3
SD600-D25	656.0	765.7	194.3	0.0048	13.0
SD700-D25	784.3	909.7	191.0	0.0058	10.0

4.3 실험 방법

실험 방법은 Thompson(2006)의 실험방법과 유사한 방법으로 겹침이음구간을 중앙부에 오도록 하여 Fig. 2와 같이 겹침이음구간에 동일 모멘트가 작용하도록 4점 휨 실험을 실시하였다. 하중가력은 2000kN 용량의 만능시험기(U.T.M)을 이용하여 분당 1mm의 속도로 변위제어의 방식으로 실시하였다. 실험체 세팅상황을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었으며, 단위는 mm이다. 확대머리의 지압부와 겹침이음이 끝나는 부분의 철근 변형률을 측정하기 위하여 변형률 게이지를 부착하였다. 실험체 측면에는 100mm × 100mm의 그리드를 표시하여 하중가력에 따른 균열상황을 파악하였다.

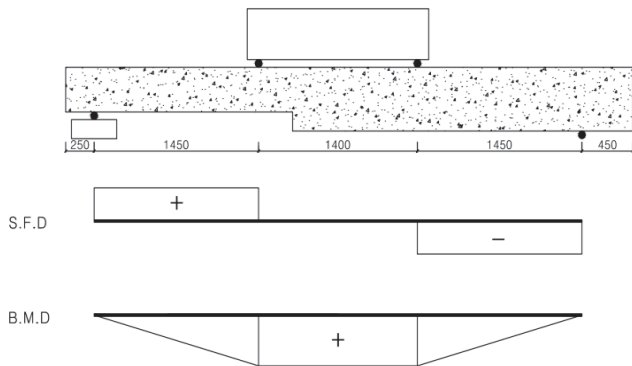


Fig. 2 S.F.D and B.M.D at loading

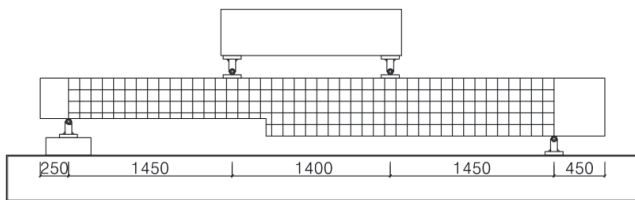


Fig. 3 Dimension of test setup



Fig. 4 Test setup

5. 실험 결과 및 분석

5.1 균열 및 파괴양상

실험체 최종파괴 시 균열양상은 Fig. 5에 나타내었다. 모든 실험체는 초기에 단차부에서 휨에 의한 수직대각균열이 발생하였다. 이후 하중증가에 따라 Beam2의 추가적인 휨균열과 함께 겹침이음부에서 Beam2의 주근을 따라 수평균열이 발생하였다. 갈고리형 확대머리가 사용된 HLS5, HLS6 계열의 실험에서는 초기 수직대각균열 이후 수평균열이 비교적 적게 발생하였다.

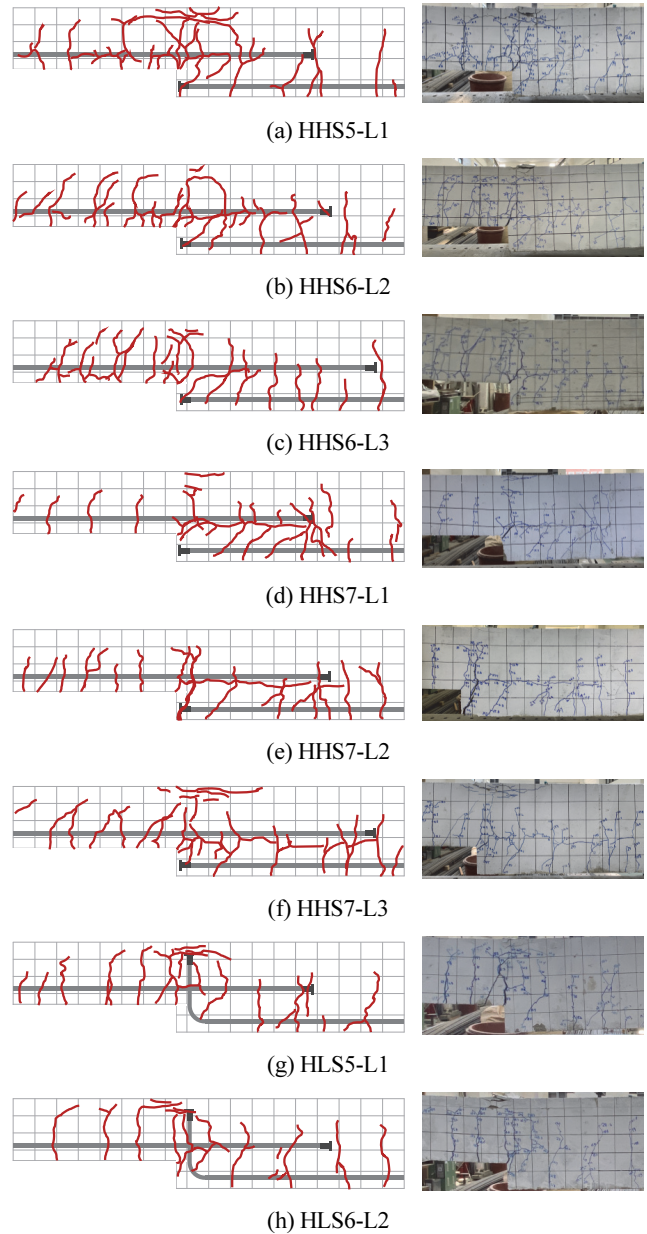


Fig. 5 Failure patterns of specimens

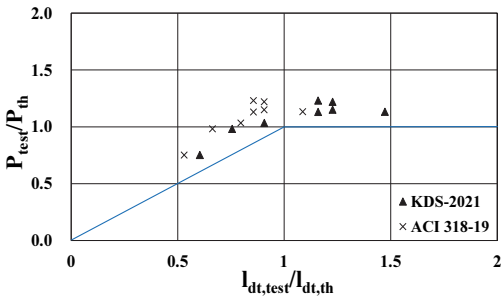


Fig. 7 Comparison of theoretical lap splice and experimental lap splice

SD500과 SD600을 사용한 HHS5, HLS5, HHS6, HLS6 계열 실험체는 실험체 항복 이후 파괴시까지 내력이 지속적으로 증가하며 최종 압축측 콘크리트 파괴에 의하여 휨파괴되었다. HHS7 계열 실험체는 겹침이음구간에서 Beam2의 주철근 확대머리 끝부분까지 수평균열이 진행되었으며, 다른 계열 실험체에 비하여 겹침이음구간의 경사균열이 많이 발생하였다. 겹침이음길이가 적은 HHS7-L1과 HHS7-L2 실험체는 겹침이음부 파괴로 최종파괴가 나타났으며, HHS7-L3 실험체는 겹침이음부 압축측 콘크리트의 압괴로 최종 파단되었다.

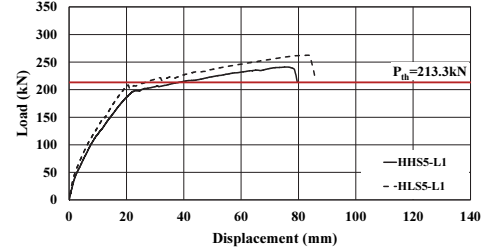
5.2 하중-변위곡선 및 실험내력

Fig. 6에 실험체별 하중-변위곡선을 나타내었다. 하중-변위 곡선에 재료시험값을 반영하여 계산한 공칭휨강도로부터 구한 이론내력(P_{th})을 표시하였다. 동일한 강종이 사용된 실험체에서 하중-변위 곡선의 초기강성은 겹침이음길이에 큰 영향을 받지 않았으며 할렬강성은 갈고리형 확대머리철근이 일자형 확대머리철근에 비하여 크게 나타났으며, 겹침이음길이가 길수록 크게 나타났다.

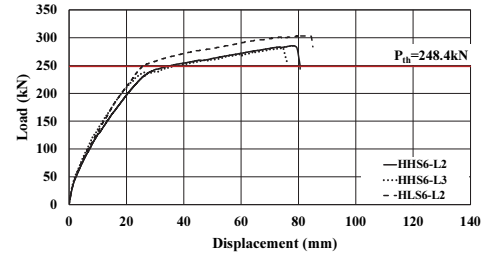
Beam2의 주철근이 SD500, SD600인 실험체(HHS5, HLS5, HHS6 계열)는 주철근의 휨항복후 연성거동을 보인 후 최종 휨파괴되어 겹침이음성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

며, 실험 최대내력(P_{test}) 또한 이론내력 보다 크게 나타났다.

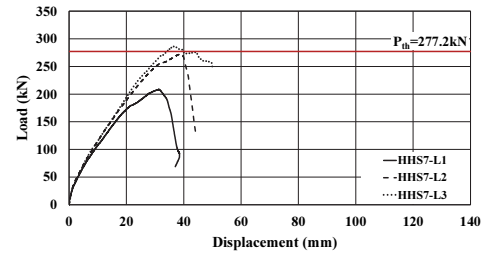
Beam2의 주철근이 SD700인 실험체(HHS7 계열)는 겹침이음길이가 증가함에 따라 최대내력이 증가하였으며, 주철근의 항복이전 최대하중 도달 후 취성파괴가 나타났다. HHS7-L1과 HHS7-L2 실험체는 최대내력이 이론내력보다 적었으며, HHS7-L3 실험체는 최대내력이 이론내력을 상회하였다.



(a) SD500



(b) SD600



(c) SD700

Fig. 6 Load-displacement curves

Table 4 Development lengths of KDS-2021 and ACI318-19

Specimens	$l_{dt, test}$ [mm]	KDS-2021		ACI 318-19		P_{test} [kN]	P_{th} [kN]	$\frac{P_{test}}{P_{th}}$
		$l_{dt, th}$ [mm]	$\frac{l_{dt, test}}{l_{dt, th}}$	$l_{dt, th}$ [mm]	$\frac{l_{dt, test}}{l_{dt, th}}$			
HHS5-L1	575	496	1.16	672	0.86	241.2	213.3	1.13
HHS6-L2	719	586	1.23	794	0.91	285.7	248.4	1.15
HHS6-L3	863	586	1.47	794	1.09	281.5	248.4	1.13
HHS7-L1	575	952	0.60	1084	0.53	208.5	277.2	0.75
HHS7-L2	719	952	0.76	1084	0.66	272.3	277.2	0.98
HHS7-L3	863	952	0.91	1084	0.80	286.7	277.2	1.03
HLS5-L1	575	496	1.16	672	0.85	262.6	213.3	1.23
HLS6-L2	719	586	1.23	794	0.91	303.1	248.4	1.22

5.3 정착길이에 따른 실험내력 비교

본 실험체의 겹침이음길이($l_{dt, test}$)를 Table 2와 Table 3의 재료시험 결과를 반영하여 기준식(KDS-2021과 ACI 318-19)으로부터 산정한 정착길이($l_{dt, th}$)를 Table 4에 비교하였다.

ACI 318-19 정착길이식은 콘크리트강도계수의 추가 변수를 두어 콘크리트강도 증가에 따른 부착강도 증가 효과가 크지 않게 계산되도록 하고 있으며, 철근 직경의 1.5제곱에 비례하도록 하고 있어 KDS-2021 산정식에 비하여 보수적인 설계법을 제시하고 있다. 따라서 Table 4와 같이 본 실험체에 대한

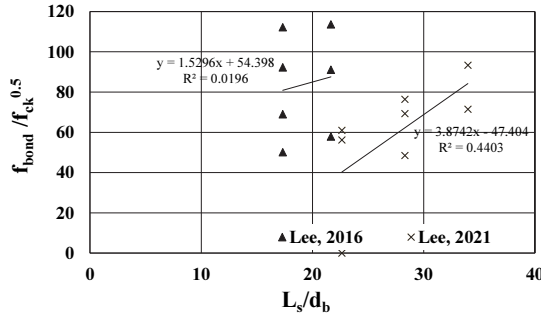


Fig. 8 Comparison of bond stress

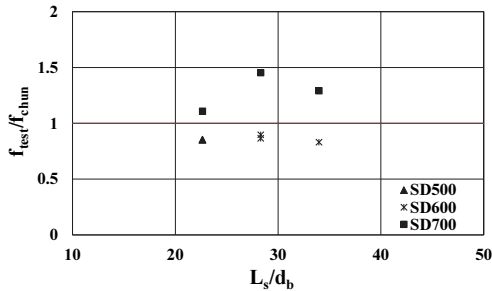


Fig. 9 Comparison of tensile stress and predicted stress by Chun

ACI 318-19의 정착길이가 KDS-2021의 정착길이에 비하여 13.9~35.5% 크게 산정되었다.

Fig. 7은 이론내력에 대한 실험내력비(P_{test}/P_{th})와 이론정착길이에 대한 실험체 겹침이음길이비($l_{dt, test}/l_{dt, th}$)를 비교한

그래프이다. Fig. 7에서 실험정착길이가 이론정착길이에 비하여 큰 실험체들은 P_{test}/P_{th} 가 1이상으로 나타났으나, 파괴모드의 변화로 실험내력이 정착길이의 영향을 크게 받지 않았다. SD700 확대머리철근을 사용한 실험체들은 KDS-2021식의 경우 $l_{dt, test}/l_{dt, th}$ 에 비하여 P_{test}/P_{th} 가 14.1~30.1% 크게 나타났으며, ACI 318-19식의 경우 29.9~48.1% 크게 나타났다. 이로부터 두 식 모두 안전측으로 평가되었으며, ACI 318-19식의 안전율이 더 큰 것을 알 수 있다.

5.4 확대머리철근의 부착강도 비교

실험에 의한 확대머리철근의 부착강도를 평가하여 Lee(2016)의 연구결과와 함께 비교하였다. 최대내력시 겹침이음되는 확대머리철근의 지압판 부근에서 측정된 철근의 변형률을 재료시험에 의한 응력-변형률 곡선으로부터 지압강도(f_1)로 산정하였고, 겹침이음구간이 끝나는 부근에서 측정된 철근의 변형률로 산정된 최대응력(f_2)를 산정하였다. 이로부터 부착강도($f_2 - f_1 = f_{bond}$)를 구한 후 콘크리트압축강도의 제곱근으로 나눈 값을 철근직경(d_b)에 대한 정착길이(L_s) 비와 비교하여 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에서 겹침이음길이 증가에 따른 부착강도 증가율은 Lee(2016)의 연구결과에 비하여 다소 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 상관계수 또한 크게 증가하였다.

5.5 정착강도 예측식과 실험값의 비교

Chun(2013)의 연구에 의한 식 (5)로 확대머리철근 정착강도(f_{chun})를 산정한 후, 실험에 의한 최대 인장강도(f_{test})와 비교하여 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9에서 겹침이음구간 정착과파괴가 나타난 HHS7 계열 실험체들은 실험정착강도가 이론정착강도에 비하여 약 10.1~45.4% 크게 측정되었다. 휨과파괴가 나타난 실험체들은 SD500과 SD600의 확대머리철근을 사용한 실험체들은 실험정착강도가 이론정착강도에 비해 적게 평가되었는데 이는 충분한 정착성능확보로 휨과파괴로 파괴모드가 변화되었기 때문이다.

6. 결론

본 연구는 단차있는 보의 주철근으로 SD700 확대머리철근을 이용한 겹침이음상세의 적용성을 평가하기 위하여 겹침이음실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 모든 실험체는 초기에 단차부에서 휨에 의한 수직대각균열이 발생하였다. Beam2의 주철근으로 SD500과 SD600을 사용한 실험체들은 휨항복후 연성거동을 보인 후 최종 압축측 콘크리트 파괴에 의하여 휨과파괴되었으며, 휨강도가 공칭휨강도를 상회하였다.
- 2) SD700을 사용한 실험체들은 겹침이음부의 수평균열이 확대머리까지 확대되었으며 항복하중최대하중 이후 취성파괴가 나타났다.
- 3) Beam1의 주철근을 90°갈고리형 확대머리철근으로 적용한 상세가 직선형 확대머리철근에 비하여 겹침이음부의 수평균열을 억제하였다.
- 4) SD700 확대머리철근을 사용한 실험체들은 KDS-2021식의 경우 $l_{dt, test}/l_{dt, th}$ 에 비하여 P_{test}/P_{th} 가 14.1~30.1%

크게 나타났으며, ACI 318-19식의 경우 29.9~48.1% 크게 나타났다. 이로부터 두 식 모두 안전측으로 평가되었으며, ACI 318-19식의 안전율이 더 큰 것을 알 수 있다.

5) 겹침이음구간 정착파괴가 나타난 HHS7 계열 실험체들은 실험정착강도가 Chun(2013)에 의한 이론정착강도에 비하여 약 10.1~45.4% 크게 측정되었다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 2021년 지역대학우수과학자지원사업(과제번호: NRF-2020R1I1A3074602)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. ACI Committee 318 (2019) Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary. Farmington Hills, MI; American Concrete Institute (ACI).
2. 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.
3. Chun, S. C., Choi, C. S., and Jung, H. S. (2017), Side-Face Blowout Failure of Large-Diameter High-Strength Headed Bars in Beam-Column Joints. *ACI Structural Journal*, 114(1), 1-12.
4. KCI Committee. (2012), Concrete Design Code and Commentary, Korea Concrete Institute.
5. Korea Construction Standards Center (2021), Korean Design Standard (KDS). Seoul, Korea; KDS 14 20 00;2021.
6. KSEA (2018), KSEA Detailing Manual-2018, The Korean Structural Engineers Association, 90.
7. KS B 0801. (2017), Test pieces for tensile test for metallic materials, Korean Agency for Technology and Standards.
8. KS B 0802. (2018), Method of tensile test for metallic materials, Korean Agency for Technology and Standards.
9. KS F 2403. (2019), Standard test method for making and curing concrete specimens, Korean Agency for Technology and Standards.
10. KS F 2405. (2017), Standard test method for compressive of concrete, Korean Agency for Technology and Standards.
11. Lee, K. S., Jin, S. H., Kim, S. H. (2016), Lap Details Using Headed Bars and Hooked Bars for Flexural Members with Different Depths, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(4), 144-152.
12. Shao, Y., David, D., Matthew, O., Remy, L., Krishna, G., and Muna, H. (2016), Anchorage of Conventional and High-Strength Headed Reinforcing Bars. KANSAS: *Structural Engineering and Engineering Materials*. SM Report No. 127. 334.
13. Sim, H. J., Chun, S. C. (2018), A Reevaluation of Anchorage Strength of Headed Bars in Exterior Beam-Column Joints, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 30(2), 207-216.
14. Thompson, M. K., Jirsa, J. O., and Breen, J. E. (2006), Behavior and Capacity of Headed Reinforcement, *ACI Structural Journal*, 103(4), 522-530.

Received : 11/26/2021

Revised : 11/30/2021

Accepted : 12/14/2021

요 지 : 본 논문은 SD700 확대머리철근의 겹침이음을 이용한 단차가 있는 보의 접합상세를 개발하기 위하여 실시한 구조성능평가 실험결과를 나타낸다. 실험변수는 주철근의 겹침이음길이, 철근 항복강도, 단부정착상세 등이다. 모든 실험체에 대하여 춤이 작은 보(B2)의 하부 주철근은 확대머리철근을 적용하였으며, 춤이 큰 보(B1)의 하부 주철근은 일자형 확대머리철근, 90°갈고리형 확대머리철근 등 두 가지 상세로 이음방법을 적용하였다. 실험결과, SD500과 SD600을 적용한 실험체들은 겹침이음부에서 모두 휨파괴되었으며, 이로 인하여 최대내력은 유사하게 나타났다. SD500을 적용한 실험체들에 대하여, B1의 주철근을 90°갈고리형 확대머리철근으로 적용한 상세가 확대머리철근에 비하여 겹침이음부의 수평균열을 억제하였다. SD700의 확대머리철근을 사용한 실험체는 취성적인 정착파괴가 나타났으며, 겹침이음길이의 증가에 따라 최대내력이 증가하였다. SD700의 확대머리철근을 사용한 실험체들은 실험체정착길이/이론정착길이에 대한 실험내력/이론내력이 ACI 318-19 식은 1.30~1.48로 나타났으며, KDS-2021 식은 1.14~1.30로 평가되었다. 이를 볼 때, ACI 318-19 산정식이 보다 보수적으로 정착길이를 평가함으로써 더 큰 안전율을 가지고 있었다.

핵심용어 : 단차있는 보, 겹침이음, SD700, 확대머리 철근