



철근 압축이음에서 지압강도와 부착강도의 실험적 평가

천성철^{1)*} · 이성호²⁾

¹⁾목포대학교 건축공학과 ²⁾(주)대우건설기술연구원

Experimental Evaluation of Bearing and Bond Strengths in Compression Splices

Sung-Chul Chun^{1)*} and Sung-Ho Lee²⁾

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

²⁾Daewoo Institute of Construction Technology, Daewoo E&C Co., Ltd., Suwon 440-210, Korea

ABSTRACT Compression splices are required for all compression members in almost all of the floors in high-rise buildings. Therefore, a clear understanding of the behavior of compression splices can provide a rational design of compression splices. Tests of compression splices with bearing only and bond only cases were conducted to investigate the component resistance characteristics of compression splices. Test results showed that the circumferential tensile stresses induced by bearing and bond overlapped at the end of the splice length deterred bond and bearing splices from developing target splicing strength when both normal bond and bearing splices were used. In particular, the bearing strength was more significantly reduced than the bond strength since the bearing relied on the limited area near the end of the splice length. However, the strength of the normal splice was always higher than the strength of the bond only or the bearing only case. Consequently, the study results showed that splice strength in compression cannot be improved by means of removing bond or bearing. In addition, the bond strength in bond only splices was nearly same as the bond strength in tension splices and the strength increase of compression splice is attributed to end bearing only characteristic.

Keywords : compression lap splice, bond, end bearing, splice length, relative displacement

1. 서 론

압축을 받는 철근의 이음은 인장이음에 비해 다음 세 가지의 특징을 갖는다. 첫째, 단부 지압이 존재하고, 둘째, 철근 길이 방향의 콘크리트 응력상태가 압축으로 철근 길이 직각방향의 휨 균열이 없으며, 셋째, 철근 길이 방향의 쪼갬 균열(splitting cracks)이 파괴 때까지 발생하지 않는다. 이러한 특징으로 압축을 받는 철근은 인장을 받는 철근에 비해 짧은 이음길이라도 설계기준항복강도를 발휘할 수 있다.

압축을 받는 철근의 이음강도는 Fig. 1과 같이 이음길이 구간의 부착과 단부 지압으로 구분할 수 있다. 전술한 세 가지 특징 중 둘째와 셋째는 주로 부착강도와 관련되며, 콘크리트 구조설계기준 해설¹⁾ 8.6.3에서는 이러한 이유로 압축을 받는 이음에서는 인장이음에 비해 부착거동이 유

리하다고 설명하고 있다. 하지만 기존의 실험 결과²⁻⁵⁾에 의하면, 압축을 받는 철근의 이음에서 부착강도는 인장이음의 부착강도와 거의 유사한 것으로 평가되었다.

선행연구²⁻⁵⁾에서 수행된 압축이음 실험은 실제 이음을 모사하여 지압과 부착이 함께 존재하고, 특히 이음길이 끝에서는 지압과 부착이 중첩되어 각각의 강도를 정확하게 평가하기 어렵다. 이러한 중첩이 제거될 경우, 부착 또는 지압의 독자적인 강도가 충분히 발휘되어, 부착과 지압이 함께 존재하는 경우에 비해 더 향상된 강도를 발휘할 가능성도 있다.

압축이음에서 부착과 지압의 강도 발현 특성을 분석하고 인장이음 대비 강도 향상의 원인을 구명함으로써, 보다 합리적인 압축이음 설계가 가능하다. 특히 초고층 건축물의 저층부 압축부재와 같이 초고강도 콘크리트가 사용되는 경우, 압축이음에 대한 명확한 이해를 통한 효율적인 이음 설계가 필요하다. 이 연구에서는 부착 또는 지압만 존재하는 압축이음 실험을 수행하고, 부착과 지압의 강도 발현 특성을 고찰함으로써 중요 구조물의 이음부 설계에 기초자료를 제공하고자 한다.

*Corresponding author E-mail : scchun@mokpo.ac.kr

Received October 5, 2011, Revised November 26, 2011,

Accepted December 29, 2011

©2012 by Korea Concrete Institute

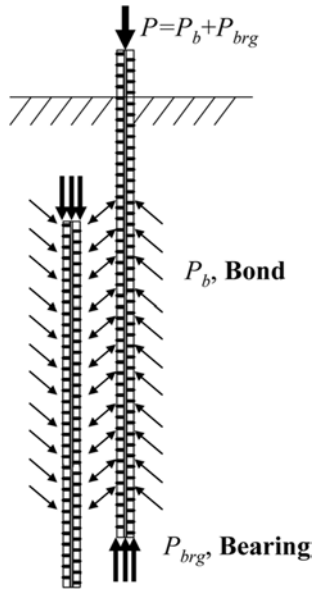


Fig. 1 Components of compression splice resistances²⁾

2. 실험 계획

부착과 지압의 독자적인 강도 발현 특성을 분석하기 위해, 부착과 지압이 함께 존재하는 일반이음(이하 일반이음), 부착을 제거하여 지압만 존재하는 지압이음(이하 지압이음), 그리고 지압을 제거하여 부착만 존재하는 부착이음(이하 부착이음) 3종류로 구성하였다.

실험에 사용된 철근 종류는 10,000 kN 용량 가력장비의 규모를 고려하여 SD400 강종의 지름 22 mm를 사용하였다. 압축이음은 높은 축력을 받는 수직 부재에 적용되며 이러한 부재에는 고강도 콘크리트가 사용되므로, 실험체의 콘크리트 설계강도는 80 MPa로 설정하였다. 4쌍의 이음이 있는 기둥 실험체를 제작하였으며, 중심 압축 실험에서 편심 발생을 억제하기 위해 단면은 Fig. 2(b)와 같이 상하좌우 대칭이 되도록 설계하였다. 네 모서리는 탄소섬유 보강을 위해 15 mm 모따기하였다.

이음길이는 철근 지름의 10배로 선정하여, 저자들의 선행연구⁵⁾에서 제안한 이음강도 평가식을 이용하여 일반이음 실험체에서 철근이 압축 항복하도록 설계하였다. 횡보강근은 지름 10 mm 철근을 100 mm 간격으로 배치하여 ACI 318-11⁶⁾에 따른 횡방향 철근지수 K_{tr}/d_b 값은 1.29이다.

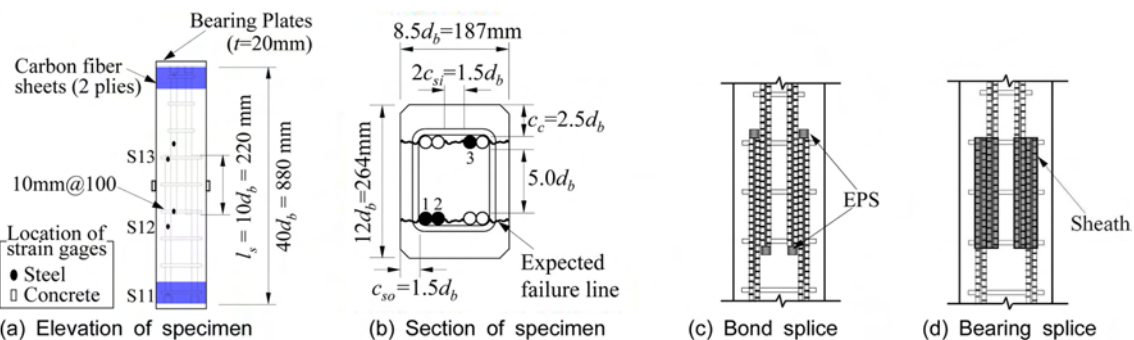


Fig. 2 Details of specimen

일반이음 실험체의 입면과 단면은 Figs. 2(a), (b)와 같다. 부착이음 실험체는 일반이음 실험체의 단부에 발포 폴리스타이렌(expanded polystyrene, EPS)을 22 mm 배치하여 Fig. 2(c)와 같이 지압을 제거하였다. 지압이음 실험체는 PVC 필름으로 이음 길이를 감싸서 Fig. 2(d)와 같이 부착을 제거하였다.

일반이음 실험체는 4개, 부착이음과 지압이음 실험체는 각각 2개씩 제작하여 모두 8개 실험체를 구성하였다. 철근 간격, 피복두께, 철근열 사이 간격, 실험체 단부 조건, 국부파괴 방지를 통한 탄소섬유슈트 보강법은 저자들의 선행연구²⁻⁵⁾와 동일하다.

가력은 기둥의 중심 압축 실험과 동일하게 콘크리트와 철근을 함께 가력하였다. 10,000 kN 용량의 유압잭을 이용하여 단조증가 하중을 Fig. 3과 같이 가하였다.

이음강도를 평가하기 위해, 변형률 게이지를 철근 끝단에서 $1d_b$ 떨어진 곳(Fig. 2(a)의 S13)과 이음이 끝나는 점에서 $2.5d_b$ 떨어진 지점(S12)에 설치하였다. Fig. 2(a)의 철근 변형률 게이지 번호는 S[철근번호 1~3][위치번호 1~3]로 구분한다. 철근의 편심에 의한 변형률 왜곡을 막기 위해, 철근 각 위치의 양면에 변형률 게이지를 부착하고 평균값을 사용하였다. 총 8본의 철근 중 3본의 변형률을 계측하였으며, 철근번호는 Fig. 2(b) 표시하였다.

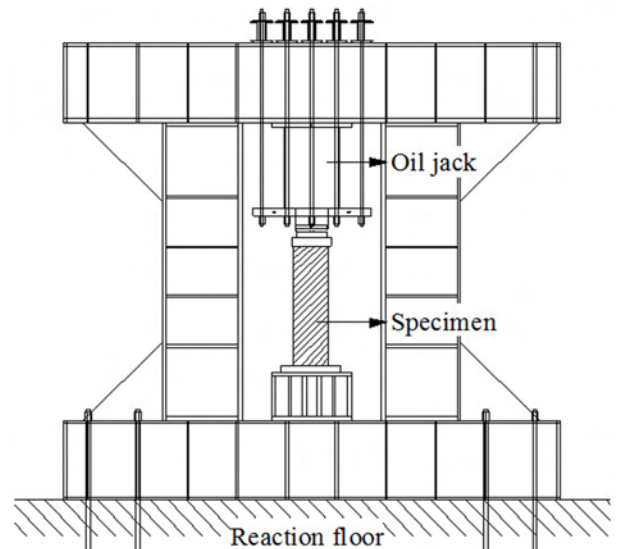


Fig. 3 Test setup

Table 1 Test results

Specimens ⁽¹⁾	f_{ck} (MPa)	Failure mode ⁽²⁾	P_e (kN)	$f_{sc,e}$ (MPa)	$f_{brg,e}$ (MPa)	$f_{b,e}$ (MPa)
C80D22-L10-HW	83.2	C	4,010	456.9	148.9	308.1
C80D22-L10-HW-1	84.0	C	4,120	467.6 ⁽³⁾	160.1	307.5
C80D22-L10-HW-2	80.1	Ec	3,386	429.6	92.3	337.3
C80D22-L10-HW-3	79.3	C	3,847	467.6 ⁽³⁾	112.0	355.6
C80D22-L10-HW-Bnd	80.3	PS	3,553	449.8	9.4	440.4
C80D22-L10-HW-Bnd-1	79.6	FS	3,507	373.4	3.7	369.6
C80D22-L10-HW-Brg	80.6	FS	3,263	183.1	183.1	-
C80D22-L10-HW-Brg-1	79.5	FS	3,283	216.7	216.7	-

⁽¹⁾C①D②-L③-HW(-④)-⑤ : ① is design compressive strength of concrete (MPa), ② is bar diameter (mm), ③ is splice length normalized by bar diameter, Bnd of ④ represents a bond splice, Brg of ④ represents a bearing splice, and ⑤ of "1, 2, 3" means a duplicate specimen.

⁽²⁾FS = fully splitting failure, PS = partially splitting failure, C = compression failure, Ec = premature failure due to eccentricity.

⁽³⁾Splice strengths reached yield strengths of spliced bars.

※Notations. f_{ck} = measured compressive strength of concrete at test date, P_e = measured maximum load, $f_{sc,e}$ = measured splice strength, $f_{brg,e}$ = measured stress developed by end bearing, and $f_{b,e}$ = measured stress developed by bond.

기둥 높이 중앙의 네 면 가운데마다 콘크리트 변형률을 계측하여, 가력 초기단계에 편심의 유무를 파악하고 최대 하중 시 철근 변형률과의 비교 자료로 사용하였다.

3. 실험 결과

3.1 재료 시험 결과

콘크리트 강도 시험은 1주일 간격으로 실시하여, 설계 압축강도가 발현된 날부터 실험을 실시하였다. 실험체별 실험일 강도는 Table 1에 나타내었다. 철근은 3개의 인장시험을 실시하였으며, 항복강도는 467.6 MPa, 인장강도 603.2 MPa, 탄성계수는 183.3 GPa이다.

3.2 파괴 유형 및 최대 하중

모든 실험체는 균열의 진전이나 특별한 변화 없이 순간적으로 파괴되었다. 일반이음 실험체들은 편심에 의한

조기 파괴가 발생한 1개를 제외하고 모두 압축파괴가 발생되었다. 기존 연구²⁻⁵⁾에 따르면, 부착파괴가 발생하는 경우 큰 폭렬음과 함께 피복 콘크리트와 일부 코어 콘크리트가 순간적으로 탈락하였으나, 압축파괴가 발생한 일반이음 실험체들은 Fig. 4(a)와 같이 부착파괴에 비해 피복 콘크리트의 탈락이 적고 폭렬음도 크지 않았다. 편심파괴가 발생한 1개 실험체는 분석에서 제외하였다.

부착이음 실험체는 큰 폭렬음과 함께 Fig. 4(b)와 같이 이음구간 전체의 피복 콘크리트가 탈락하면서 이음파괴가 발생되었다. 콘크리트 탈락 면적이 다른 실험체들에 비해 넓은데, 전체 이음길이에 걸쳐서 부착에 의한 횡방향 인장 응력이 발생되었음을 알 수 있다.

지압이음 실험체는 지압이 발생한 이음 단부에 국부적인 손상이 발생되었으며, 부착이음 실험체보다는 작은 폭렬음이 발생하였다. 지압이음 실험체는 이음 구간에서 횡방향 응력이 발생하지 않기 때문에, 국부적인 손상만이 발생되었다. 각 실험체별 파괴양상은 Table 1에 정리하였다.

실험체별 최대 하중 P_e 는 Table 1에 나타내었다. 일반

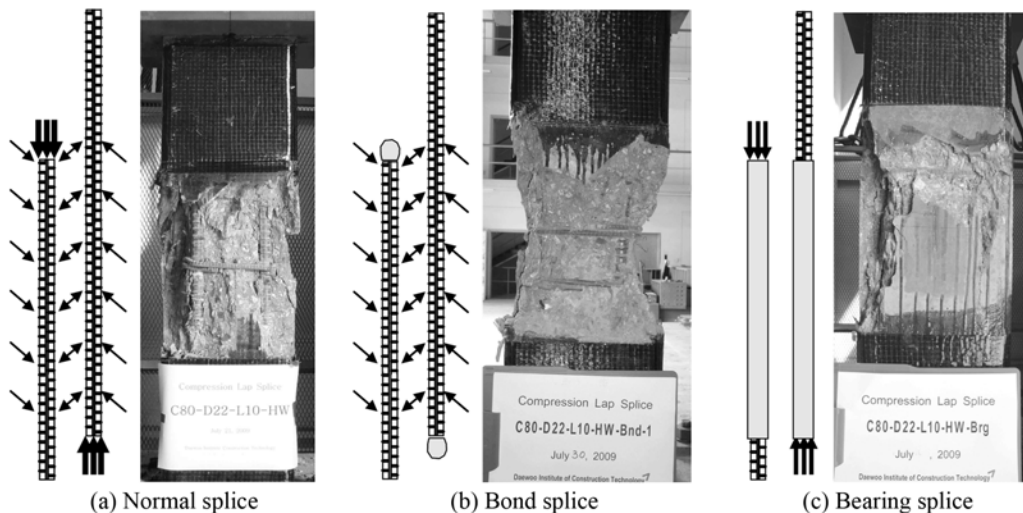


Fig. 4 Typical failures of specimens

이음 실험체가 부착이음 또는 지압이음 실험체에 비해 항상 높은 내력을 지녔다. 사용된 콘크리트가 80 MPa로 매우 높으므로, 콘크리트 구조설계기준 대신 [참고문헌 8]의 식 (1)을 통해 실험체의 최대 내력을 평가하였다.

$$P_{ITG} = 0.9k_4f_{ck}(A_g - A_{st}) + A_{st}f_y \quad (1)$$

여기서, P_{ITG} 는 [참고문헌 8]에 따른 축강도, $k_4 = \gamma_c + (1 - \gamma_c)A_c/A_g \leq 0.95$, $A_c/A_g \geq 0.6$, A_c 는 횡보강 철근의 중심에서 측정된 코어 콘크리트 단면적, A_g 는 전체 단면적, $\gamma_c = 1.1 - f_{ck}/138 \leq 0.8$ 이다.

실험값과 예측값을 비교하여 Fig. 5와 Table 2에 나타내었다. 일반이음 실험체는 예측값을 평균 13% 상회하였다. 부착이음 실험체는 예측값과 동일하게 나왔으나, 지압이음 실험체는 식 (1)에 따른 예측값에 비해 평균 6% 낮은 축내력을 지녔다. 일반이음 실험체는 이음된 철근이 충분히 압축 항복하여 설계강도를 발현하였고, 부착이음과 지압이음 실험체는 철근이 항복하지 않아 철근의 기여분(식 (1)의 두 번째 항)이 제대로 발현되지 않았음을 알 수 있다.

3.3 이음강도, 지압강도, 부착강도

계측된 철근 변형률과 재료시험에서 구한 철근의 탄성계수를 이용하여 이음강도 $f_{sc,e}$ 를 산정하였다. 계측된 변형률을 응력으로 환산한 후 동일 시점에 철근 3가닥의 평균 응력의 최대값을 이음강도로 결정하였다. 또한 지압강도 $f_{brg,e}$ 는 철근 끝단에서 계측된 변형률을 이용하여

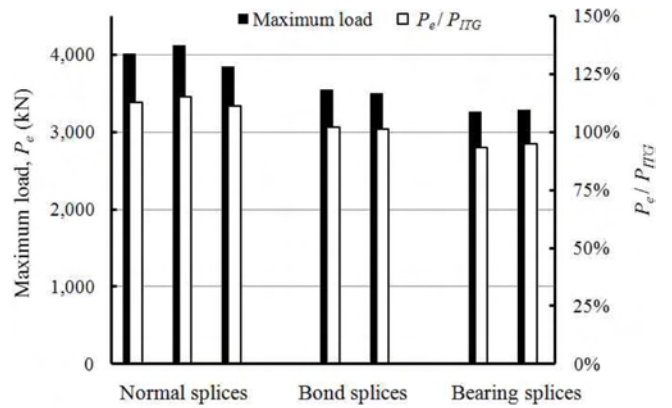


Fig. 5 Maximum loads of specimens

산정하였으며, 부착강도 $f_{b,e}$ 는 이음강도에서 지압강도를 감하여 계산하였다. 실험체별 이음강도, 지압강도, 부착강도는 Table 1에 정리하였다. 각 이음별 강도 발현 특성은 다음과 같다.

3.3.1 일반이음

일반이음 실험체는 압축과괴가 발생되었으며, 계측된 변형률도 대부분 항복 변형률을 상회하였다. 저자들의 기존 연구⁵⁾를 통해 개발된 압축이음강도 평가식 식 (2)를 통해 일반이음 실험체의 강도를 평가하여 Table 2에 정리하였다.

$$f_{sc,p} = f_{b,p} + f_{brg,p} \\ = \left[\left(11.1 + 1.7 \frac{K_{tr}}{d_b} \right) \sqrt{\frac{l_s}{d_b}} + 16.5 + 1.7\delta \right] \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

Table 2 Comparisons of tests and predictions

Specimens	Load		Splice strength		End bearing		Bond						
	P_{ITG} (kN)	$\frac{P_e}{P_{ITG}}$	$f_{sc,p}$ (MPa)	$\frac{f_{sc,e}}{f_{sc,p}}$	$f_{brg,p}$ (MPa)	$\frac{f_{brg,e}}{f_{brg,p}}$	$f_{b,p}$ (MPa)	$\frac{f_{b,e}}{f_{b,p}}$	$f_{b,O}$ (MPa)	$\frac{f_{b,e}}{f_{b,O}}$	$f_{b,408}$ (MPa)	$\frac{f_{b,e}}{f_{b,408}}$	
C80D22-L10-HW	3,558	1.13	(534.0) ⁽¹⁾	0.98	150.5	0.99	383.5	0.80	374.1	0.82	444.3	0.69	
C80D22-L10-HW-1	3,577	1.15	(536.5) ⁽¹⁾	1.00	151.2	1.06	385.3	0.80	375.9	0.82	446.0	0.69	
C80D22-L10-HW-3	3,462	1.11	(521.3) ⁽¹⁾	1.00	146.9	0.76	374.4	0.95	365.2	0.97	435.4	0.82	
Average		1.13		0.99		0.94		0.85		0.87		0.73	
Coefficient of variation		1.8%		1.3%		16.6%		10.1%		10.1%		9.9%	
C80D22-L10-HW-Bnd	3,487	1.02	(524.6) ⁽¹⁾	0.96	/	/	376.7	1.17	367.5	1.20	437.7	1.01	
C80D22-L10-HW-Bnd-1	3,469	1.01	(522.3) ⁽¹⁾	0.80			375.1	0.99	365.9	1.01	436.1	0.85	
Average		1.01		0.88					1.08		1.10		0.93
Coefficient of variation		0.55%		13.1%					12.1%		12.1%		12.1%
C80D22-L10-HW-Brg	3,494	0.93	(525.6) ⁽¹⁾	0.39	148.1	1.24	/	/	/	/	/	/	
C80D22-L10-HW-Brg-1	3,467	0.95	(522.0) ⁽¹⁾	0.46	147.1	1.47							
Average		0.94		0.43		1.35							
Coefficient of variation		0.98%		11.9%		12.4%							

⁽¹⁾The predicted splice strengths are higher than the real yield strength of the spliced bars and they are only reference data.

※ Notations. P_{ITG} = axial load predicted by Eq. (1) : $f_{sc,p}$ = splice strength predicted by Eq. (2) : $f_{brg,p}$ = stresses developed by end bearing predicted by Eq. (1); and $f_{b,p}$, $f_{b,O}$, $f_{b,408}$ = stresses developed by bond predicted by Eq. (1), equation of Orangun et al.,⁹⁾ and equation of ACI 408,⁷⁾ respectively.

여기서, $f_{sc,p}$, $f_{b,p}$, $f_{brg,p}$ 는 각각 예측된 압축이음강도, 예측된 부착강도, 예측된 지압강도이며, $K_{tr} = (40A_{tr})/s_{tr}n$, 이음 끝단에 횡보강근이 배근된 경우 $\delta = 1$, 그렇지 않은 경우 $\delta = 0$ 이다.

이음강도를 식 (2)로 평가하면 일반이음 실험체는 모두 항복강도를 상회하는 것으로 나타났다. 실제 실험에서 나타난 압축항복을 정확히 평가함을 알 수 있다. 식 (2)를 이용하여 지압강도와 부착강도를 분리하여 평가한 결과, 지압강도와 부착강도에 대해 [실험값]/[예측값]의 비율이 각각 0.94와 0.85로 나타났다. 식 (2)는 이음부 파괴가 발생한 실험 결과에서 도출된 평가식이다. 일반이음 실험체처럼 압축항복이 발생할 경우, 지압은 예상 강도가 대부분 발현되지만 부착은 예상 강도를 발현하지 못하였다. 이것은 압축이음강도가 지압부터 발현되고, 부착강도가 온전히 발현되기 위한 상대변위가 전체 이음 구간에서 발생되기 전에 압축으로 파괴되었기 때문이다. 지압과 부착이 발현되기 위해서는 철근과 주변 콘크리트 사이에 상대변위가 발생되어야 하는데, 상대변위는 이음 끝단에서 최대가 되므로,²⁾ 지압이 부착에 앞서 발현된다. 또한 콘크리트 강도가 높아짐에 따라 탄성계수의 증가로, 이음 길이 전 구간에 부착강도가 고루 발현될 수 있을 정도의 상대변위가 발생되기 어려워진다.⁷⁾ 따라서 부착강도가 충분히 발현되지 않았다.

하중 증가에 따른 지압과 부착의 기여비율을 Fig. 6에 나타내었다. 초기에는 지압과 부착이 거의 반반씩 지지하다가, 점차 지압의 부담비율이 줄어든다. 철근과 콘크리트 사이의 상대변위에 의해 지압과 부착이 발현되기 시작하는데, 하중 초기에는 이음길이 시작부분에서 상대변위가 적게 발생되기 때문에 부착의 발현이 늦어진다. 압축이음과 유사하게 부착과 지압의 합으로 강도가 구성되는 인장을 받는 확대머리철근의 강도 발현^{10,11)}과는 반대의 특성을 갖는다.

3.3.2 부착이음

부착이음 실험체에서 발현된 강도를 식 (2)의 첫 번째 항으로 평가하여, Fig. 7 및 Table 2에 나타내었다. [실험값]/[예측값] 비 ($f_{b,e}/f_{b,p}$)의 평균은 1.08이다. 식 (2)는 이음부 파괴된 일반이음 실험체에서 개발된 식이므로, 지압이 제거된 순수 부착강도는 8% 향상됨을 의미한다.

Fig. 8은 일반이음에서 부착과 지압에 의해 유발된 횡방향 인장응력의 분포를 도식적으로 나타낸 그림이다. 지압에 의해서는 이음 단부의 콘크리트에 횡방향 인장응력이 집중적으로 발생하며, 부착에 의해서는 이음 길이 전 구간에 걸쳐 횡방향 인장응력이 콘크리트에 작용된다. 인장이음에서는 부착에 의해 발생한 횡방향 인장응력이 이음길이 양 끝에서 크고 가운데 부분에서 작은 것으로 알려져 있으나,¹²⁾ 정확한 횡방향 인장응력의 분포는 평가하기 어렵다. 인장이음과 마찬가지로, 압축이음에서도 지압과 부착에 의해 발생한 횡방향 인장응력이 콘크리트의 인장강도와 같아지는 순간에 피복 콘크리트가 박락되어

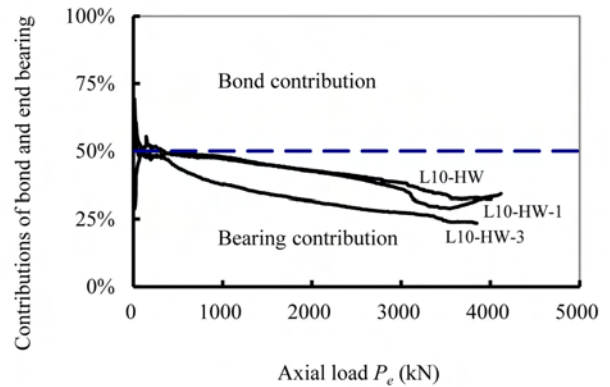


Fig. 6 Contributions of bond and end bearing to splice strengths of normal-splice specimens

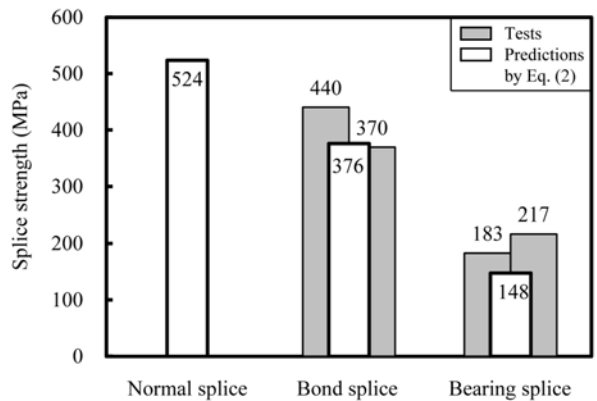


Fig. 7 Comparison of tests and predictions for bond-splice and bearing-splice specimens (predicted values are calculated with $f_{ck} = 80$ MPa)

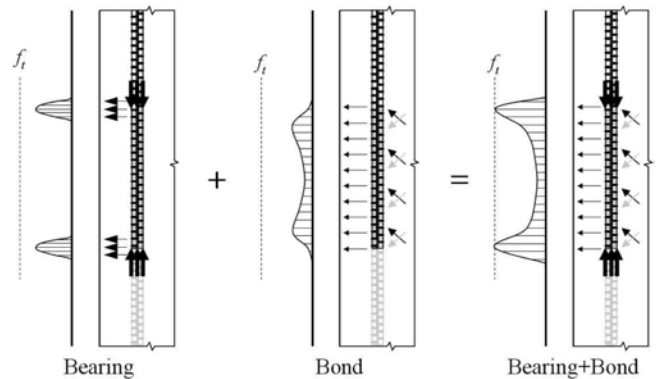


Fig. 8 Distribution of circumferential tensile stresses of a normal splice (re-bars in gray represent spliced bars and f_t is a tensile strength of concrete)

이음 파괴가 발생된다. 일반이음에서는 이음 단부에서 지압과 부착에 의해 발생한 횡방향 인장응력이 중첩되어, 지압과 부착이 독자적으로만 존재하는 경우에 비해 내력이 작아질 수 있다. 부착이음 실험체의 실험 결과에 따르면, 일반이음에 비해 부착이음의 강도는 8% 향상됨을 알 수 있다.

인장이음 실험을 통해 유도된 부착강도 평가식을 이용하여 부착이음 실험체의 이음강도를 평가한 결과를 Table

2에 정리하였다. 현행 콘크리트 구조설계기준에서 인장을 받는 철근의 정착 및 이음길이 설계식의 근간이 되는 Orangun 등의 식^{3,9)}에 의한 [실험값]/[예측값] 비의 평균은 1.10, ACI 408식^{3,7)}에 의한 [실험값]/[예측값] 비의 평균은 0.93이었다. Orangun 등의 식과 ACI 408식은 각각 식 (3), (4)와 같다.

$$f_{b,o} = \left\{ \left(0.40 + \frac{c}{d_b} \right) \frac{l_s}{d_b} + 16.6 + 0.10 \frac{A_{tr} f_{yt} l_s}{s_{tr} d_b^2 n} \right\} \sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

$$f_{b,408} = \left\{ 1.82 \frac{l_s}{d_b} \left(\frac{c_{\min}}{d_b} + 0.5 \right) + 57.4 \right\} \left(0.1 \frac{c_{\max}}{c_{\min}} + 0.9 \right) f_{ck}^{1/4} + \left(11.3 t_r t_d \frac{l_s A_{tr}}{s_{tr} d_b^2 n} + \frac{710}{d_b^2} \right) f_{ck}^{3/4} \quad (4)$$

$$t_d = 0.03 d_b + 0.22$$

$$t_r = 9.6 R_r + 0.28$$

$$\left(\frac{c_{\min}}{d_b} + 0.5 \right) \left(0.1 \frac{c_{\max}}{c_{\min}} + 0.9 \right) + 6.26 t_r t_d \frac{A_{tr}}{s_{tr} d_b^2 n} f_{ck}^{1/2} \leq 4.0$$

여기서, $f_{b,o}$ 는 Orangun 등에 의해 제안된 식에 의한 부착강도, $c = \min(c_c, c_{si})$, c_c 는 순피복두께, c_{si} 는 철근 순간격의 1/2, $f_{b,408}$ 은 ACI 408위원회가 제안한 식에 의한 부착강도, R_r 은 리브높이와 리브간격의 비, $c_{\min} = \min(c_c, c_s)$, $c_{\max} = \max(c_c, c_s)$, c_{so} 는 측면 순피복두께, $c_s = \min(c_{so}, c_{si} + 6.35 \text{ mm})$, $(0.1 c_{\max}/c_{\min} + 0.9) \leq 1.25$ 이다.

압축이음에서 부착강도는 지압이 제거된 순수 부착이음 상태에서도 인장이음의 부착강도와 거의 유사함을 알 수 있다. 콘크리트 구조설계기준 해설 8.6.3에서는 휨인장 균열이 없기 때문에 압축이음 또는 압축정착이 인장을 받는 철근에 비해 유리하다고 설명하고 있다. 실험결과 인장을 받는 이음과 압축을 받는 이음의 부착은 유사하며, 단부 지압에 의한 효과만이 압축이음강도 증진에 기여함을 알 수 있다. 또한 인장을 받는 철근의 직각방향으로 발생하는 휨균열은 부착강도를 저하시키지 않는 것을 알 수 있다.

3.3.3 지압이음

지압이음 실험체의 강도를 식 (2)의 두 번째 항으로 평가하여, Fig. 7과 Table 2에 정리하였다. 지압이음 실험체의 이음강도는 일반이음에서 개발된 식 (2)의 지압강도에 비해 35%가 더 발현되었다. 부착이 제거된 순수 지압의 강도는 일반이음에서 발현된 지압강도에 비해 매우 높음을 알 수 있다. 앞절에서 설명한 것처럼, 일반이음의 단부에서는 부착과 지압에 의해 발생된 횡방향 인장응력의 중첩으로 부착과 지압 각각의 강도가 저하됨을 알 수 있으며, 특히 지압강도의 저하가 크다.

부착은 이음 길이 전체에 걸쳐 발현되기 때문에, 이음

단부에서 지압에 의한 중첩으로 일부 강도가 저하되더라도 그 감소량이 크지 않지만, 지압은 국부적인 영역에서 발현되므로 중첩으로 인한 감소량이 부착에 비해 큰 것으로 판단된다.

압축을 받는 일반이음의 부착과 지압은 이음 단부에서 중첩에 의해 강도가 저감되므로, 부착이음 실험체와 지압이음 실험체에서 획득한 강도를 압축이음강도 평가식에 활용할 수는 없다.

4. 압축이음강도의 발현기구

부착과 지압은 모두 철근과 콘크리트 사이의 상대변위로 인해 발현된다. 상대변위가 증가함에 따라 이음강도

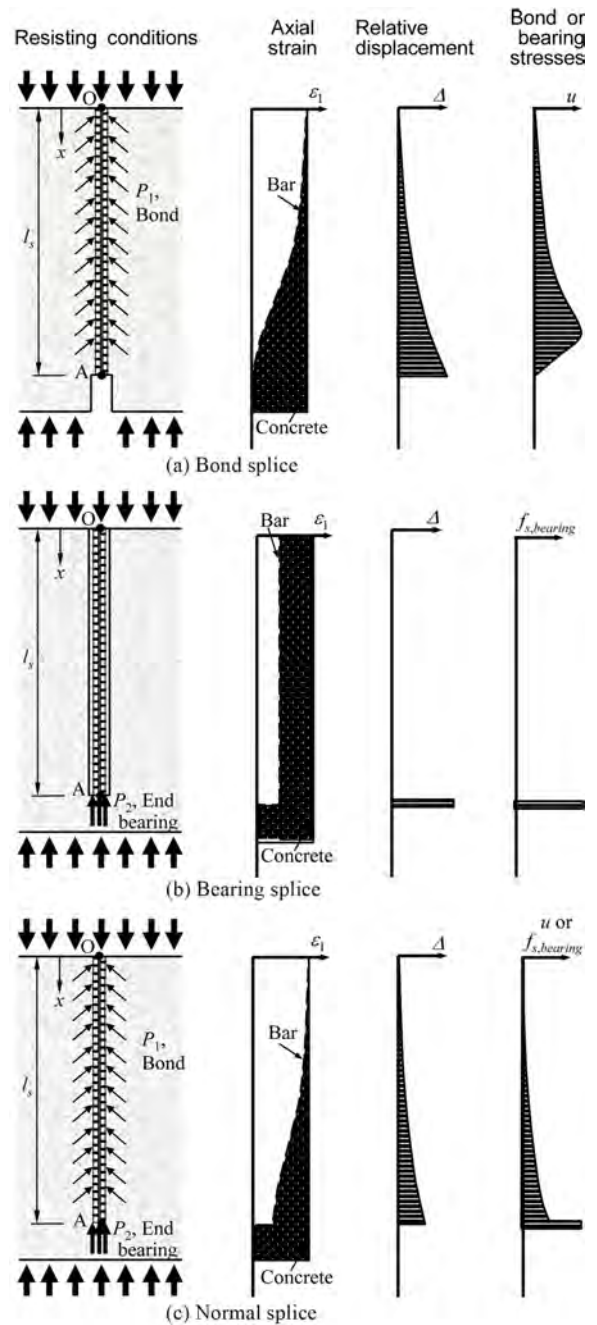


Fig. 9 Stress states of concrete depending on resisting conditions²⁾

가 커지고, 횡방향 인장응력도 같이 증가하게 된다. 횡방향 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 넘어서면 부착과 지압강도 모두 급격히 저하되는 특성을 가진다.

Fig. 9는 부착이음, 지압이음, 그리고 일반이음에서 철근과 콘크리트의 축방향 변형률, 상대변위, 그리고 부착 또는 지압응력의 분포를 도식적으로 나타낸 그림이다. 상대변위는 이음이 시작되는 O점에서부터 발생하기 시작하며 철근과 콘크리트의 축방향 변형률 차가 누적되어 A점에서 최대가 된다. 파괴는 과도한 상대변위로 인해 이음주변 콘크리트에 유발된 횡방향 인장응력에 의해 발생된다.

부착과 지압이 함께 존재하는 일반이음은, Fig. 9와 같이 콘크리트와 철근의 변형률 차이를 최소화하여, 부착이음과 지압이음에 비해 동일 이음강도에서 상대변위를 줄일 수 있다. 따라서 일반이음은 파괴를 지연시킬 수 있으므로 결과적으로 높은 이음강도를 얻게 된다. 지압이음은 상대변위가 단부에 집중되므로 국부적인 파괴가 조기에 발생되어 일반이음과 부착이음에 비해 낮은 이음강도를 갖는다.

일반이음이 비록 이음길이 단부에서 지압과 부착의 중첩으로 부착과 이음의 개별 강도가 저감되기는 하지만, 부착이음과 지압이음에 비해 항상 높은 이음강도를 가짐을 알 수 있다.

5. 결 론

철근의 압축이음은 모든 수직 부재에서 거의 매층 발생되므로, 압축이음 거동에 대한 명확한 이해는 합리적인 이음부 설계에 필수 요소이다. 이 연구에서는 압축을 받는 철근이음의 인자별 특성을 분석하기 위해, 부착 또는 지압만 존재하는 압축이음 실험을 수행하였다. 실험과 분석을 통해 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 부착과 지압이 함께 존재하는 일반이음에서는 부착과 지압의 상호간섭으로 각각의 고유 강도가 100% 발현되지는 않는다. 특히 지압은 국부적인 영역에서 발현되므로 중첩으로 인한 감소량이 부착에 비해 크다.
- 2) 일반이음에서 하중을 받는 초기에는 지압과 부착이 50%씩 지지하다가, 점차 지압의 분담 비율이 줄어든다. 하중 초기에는 이음길이에서 상대변위가 적게 발생되기 때문에 지압의 분담률이 높게 나타난다.
- 3) 부착이음에서 순수 부착강도는 인장이음의 부착강도와 거의 유사하다. 따라서 압축이음강도가 인장이음강도보다 큰 것은 지압의 존재 때문이다.
- 4) 부착과 지압이 함께 존재하는 일반이음은 부착이음과 지압이음에 비해 동일하중에서 철근과 콘크리트 사이

의 상대변위를 줄일 수 있다. 이음 파괴는 콘크리트와 철근 사이의 과도한 상대변위 때문에 발생되므로 일반이음의 이음강도가 부착이음과 지압이음에 비해 항상 높다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 목포대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준 해설, 기문당, 2008, 523 pp.
2. 천성철, 이성호, 오보환, “횡보강근이 없는 40, 60 MPa 콘크리트에서 철근 압축이음의 거동과 강도,” 콘크리트학회 논문집, 21권, 3호, 2009, pp. 291~302.
3. 천성철, 이성호, 오보환, “횡보강근이 있는 40, 60 MPa 콘크리트에서 철근 압축이음의 거동과 강도,” 콘크리트학회 논문집, 21권, 4호, 2009, pp. 389~400.
4. 천성철, 이성호, 오보환, “횡보강근이 없는 100 MPa 이하 콘크리트의 철근 압축이음의 강도와 이음길이,” 콘크리트학회 논문집, 22권, 5호, 2010, pp. 659~666.
5. 천성철, 이성호, 오보환, “100 MPa 이하 콘크리트의 철근 압축이음 강도와 이음 길이 설계,” 콘크리트학회 논문집, 23권, 2호, 2011, pp. 211~217.
6. ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary*, ACI, Farmington Hills, Mich., USA, 2011, 503 pp.
7. ACI Committee 408, *Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03)*, ACI, Farmington Hills, Mich., USA, 2003, 49 pp.
8. ACI Innovation Task Group 4, *Report on Structural Design and Detailing for High-Strength Concrete in Moderate to High Seismic Applications (ACI ITG-4.3R-07)*, ACI, Farmington Hills, Mich., USA, 2007, 62 pp.
9. Orangun, C. O., Jirsa, J. O., and Breen, J. E., “A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices,” *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 74, No. 3, 1977, pp. 114~122.
10. Chun, S. C., Oh, B., Lee, S. H., and Naito, C. J., “Anchorage Strength and Behavior of Headed Bars in Exterior Beam-Column Joints,” *ACI Structural Journal*, Vol. 106, No. 5, 2009, pp. 579~590.
11. Thompson, M. K., Ziehl M. J., Jirsa, J. O., and Breen J. E., “CCT Nodes Anchored by Headed Bars-Part 1: Behavior of Nodes,” *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No. 6, 2005, pp. 808~815.
12. Canbay, E. and Frosch, R. J., “Bond Strength of Lap-Spliced Bars,” *ACI Structural Journal*, Vol. 102, No. 4, 2005, pp. 605~614.

요 약 철근 압축이음은 초고층 건축물의 수직 부재에서 거의 모든 층에서 발생되므로, 압축이음 거동에 대한 명확한 이해는 합리적인 이음부 설계에 필수 요소가 된다. 이 연구에서는 압축을 받는 철근이음의 인자별 특성을 분석하기 위해, 부착 또는 지압만 존재하는 압축이음 실험을 수행하였다. 실험 결과 부착과 지압이 함께 존재하는 일반이음에서는 부착과 지압의 상호 간섭으로 각각의 고유 강도가 100% 발현되지는 않았다. 특히 지압은 국부적인 영역에서 발현되므로 중첩으로 인한 감소량이 부착에 비해 컸다. 부착과 지압이 함께 존재하는 일반이음은 부착이음과 지압이음에 비해 동일하중에서 콘크리트와 철근의 상대변위를 줄일 수 있다. 이음 파괴는 콘크리트와 철근 사이의 과도한 상대변위로 인해 발생되므로 일반이음의 강도가 부착이음과 지압이음에 비해 항상 높아진다. 따라서 부착 또는 지압을 제거함으로써 압축이음강도를 향상시킬 수는 없다. 또한 부착이음에서 순수 부착강도는 인장이음의 부착강도와 거의 유사하게 나타났으므로, 압축이음강도가 인장이음강도보다 큰 것은 지압의 영향임을 알 수 있다.

핵심용어 : 압축이음, 부착, 지압, 이음길이, 상대변위