

# 횡구속된 콘크리트에서 압축이음강도

## Strength of Compression Lap Splice in Confined Concrete

천 성 철\* 이 성 호\*\* 오 보 환\*\*\*

Chun, Sung Chul Lee, Sung Ho Oh, Bohwan

---

### ABSTRACT

A compression lap splice can be calculated longer than a tension lap splice in high strength concrete according to current design codes. Including effects of transverse reinforcement, a compression splice becomes much longer than a tension splice. Effects of transverse reinforcement on strength and behavior of compression lap splice, which always exist in actual structures, have been investigated through experimental study of column tests with concrete strength of 40 and 60 MPa. Confined specimens have twice of calculated strengths by current design codes. New design equations for the compression lap splice including the effects of transverse reinforcement are required for practical purpose of ultra-high strength concrete. End bearing is enhanced by transverse reinforcement placed at ends of splice not by transverse reinforcement within splice length. As more transverse reinforcement are placed, the stresses developed by bond linearly increase. The transverse reinforcements at ends of splice a little improve the strength by bond.

### 요 약

초고강도 콘크리트의 개발에 따라 철근 압축이음에 대한 연구 필요성이 높아지고 있다. 인장이음과 마찬가지로 압축이음에서도 이음길리와 콘크리트 강도가 가장 큰 영향인자가 되며, 다음으로 압축이음에 영향을 주는 요인으로는 횡방향 보강근과 철근 지름이다. 횡방향 보강근은 이음부에서 발생된 인장응력에 저항하며, 인장이음에서는 철근 순간격 또는 피복두께와 동일한 역할을 수행하는 것으로 평가된다. 휨부재의 인장축에 주로 적용되는 인장이음은 슬래브처럼 횡보강근이 없는 경우도 있다. 그러나 압축이음이 적용되는 부재는 높은 축력이 작용되는 수직부재로, 압축 주근의 좌굴방지, 코어 콘크리트의 구속, 그리고 전단강도의 발현을 위해 횡보강근이 배근된다. 이를 활용함으로써 보다 경제적인 설계가 가능해진다. 본 연구에서는 실제 구조물에서 필연적으로 발생하는 횡방향 보강근에 대한 압축이음의 거동과 강도 특성을 실험을 통해 규명하고자 한다.

---

\* 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 책임연구원  
\*\* 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 전임연구원  
\*\*\* 정회원, (주)대우건설 기술연구원, 수석연구원

## 1. 서 론

초고강도 콘크리트의 개발에 따라 철근 압축이음에 대한 연구 필요성이<sup>1)</sup> 높아지고 있다. 인장이음과 마찬가지로 압축이음에서도 이음길이, 콘크리트 강도, 그리고 철근 순간격이 가장 큰 영향인자가 되며, 다음으로 압축이음에 영향을 주는 요인으로는 횡보강근과 철근 지름이다. 횡보강근은 이음부에서 발생한 횡방향 인장응력에 저항하며, 인장이음에서는 철근 순간격 또는 피복두께와 동일한 역할을 수행하는 것으로 평가된다.<sup>2,3)</sup> 휨부재의 인장축에 주로 적용되는 인장이음은 슬래브처럼 횡보강근이 없는 경우도 있다. 그러나 압축이음이 사용되는 부재는 높은 축력이 작용되는 수직부재로, 압축 주근의 좌굴방지, 코어 콘크리트의 구속, 그리고 전단강도의 발현을 위해 횡보강근이 배근된다. 이를 활용함으로써 보다 경제적인 설계가 가능해진다. 본 연구에서는 실제 구조물에서 필연적으로 발생하는 횡보강근에 대한 압축이음의 거동과 강도 특성을 분석하고자 한다.

## 2. 압축이음에서 횡보강근의 영향

횡보강근은 단부 지압이나 부착에 의해 유발되는 횡방향 인장응력에 의해 형성된 쪼갬 균열(splitting crack)의 진전을 억제한다. 인장이음에서는 많은 양의 횡보강근이 촘촘히 배근된 경우 파괴 양상이 쪼갬파괴에서 인발파괴로 변한다. 인발파괴에서는 횡보강근의 영향이 없기 때문에 파괴 양상의 변화가 이루어지는 횡보강근량을 상한값으로 설정하고 있다. 압축이음에서는 인발파괴는 없으나, 압축이음강도의 증대로 인해 콘크리트의 축방향 변형률이 증가하고 이로 인해 이음파괴(splice failure)에서 압축파괴(compression failure)로 파괴양상이 변하게 된다. 또한 단속적으로 배근된 횡보강근이 설계강도를 제대로 발현하기 전에 변형능력이 부족한 콘크리트가 인장강도를 상실하게 된다. 따라서 특정 한계값 이상의 횡보강량에서는 이음강도의 진전을 기대하기 어렵다.<sup>7)</sup>

지름이 큰 철근은 리브의 높이와 간격도 크므로, 부착에 의해 유발되는 횡방향 인장응력이 국부적으로 집중하게 된다. 단속적으로 배근되는 횡보강근은 큰 지름의 철근에서 발생하는 균열을 보다 효과적으로 제어한다. 따라서 가는 지름의 철근에 비해 큰 지름의 철근에서 횡보강근의 효과는 우수하다.

압축이음에 국한된 특징으로는 횡보강근에 의한 코어콘크리트(core concrete) 횡구속과 배근위치 및 간격의 영향이 있다. 인장이음과 달리 압축이음에서 횡보강근은 균열의 억제뿐만 아니라 코어콘크리트의 횡방향 변형을 구속하여 피복콘크리트의 탈락을 지연시키므로 이음강도가 향상된다. 또한 단부 지압의 존재로 인해 배근 위치도 이음강도에 큰 영향을 미치게 된다. 일반 기둥에서 횡보강근의 최대 배근간격은 철근 지름의 16배이므로, 이음길이가 철근 지름의 16배 미만인 경우에는 횡보강근 효과를 배제할 필요성이 있다.

## 3. 실험계획

### 3.1 실험 변수의 설정

횡보강근의 유무와 배근위치, 그리고 철근 지름으로는 22mm와 29mm를 실험 변수로 설정하였다. 횡보강근은 콘크리트구조설계기준에서 요구하는 최소 지름인 10mm를 사용하였으며, 배근 위치는 이음구간에 횡보강근이 없는 경우, 이음 끝단에만 배근된 경우, 전체 이음구간에 배근된 경우로 설정하였다. 압축파괴에 선행하여 이음부 파괴를 유발시키기 위해 횡보강근이 있는 실험체의 이음길이는 철근 지름의 10배로 하였다. 콘크리트 설계강도는 기존 연구 범위를 넘는 40MPa와 60MPa로 설정하였으며, 철근 순간격은 콘크리트구조설계기준의 최소 순간격인 철근 지름의 1.5배를 최소로 하여 2.5배와 3배를 추가하였다.

철근 지름 22mm(이하 D22)를 기본실험체(이하 D22실험체)로 모든 변수를 고려하였으며, 지름 29mm 철근(이하 D29)은 비교실험체(이하 D29실험체)로 철근 순간격

**Table 1** Test matrix

Design compressive strength, MPa	Transverse reinforcement	$d_b$ , mm	$\text{Min}(c_c, c_{si}, c_{so})$	$\frac{l_s}{d_b}$
			$d_b$	
40	None End only Whole length	22	0.75, 1.25, 1.50	10
60		29	0.75, 1.25	10, 15, 20

은 철근 지름의 1.5배를 주로 사용하였다. 각 실험체는 2개씩 제작하였으며, 비교를 위한 이음 없는 실험체를 포함하여 총 실험체 수는 52개이다. 실험변수를 종합하면 Table 1과 같다.

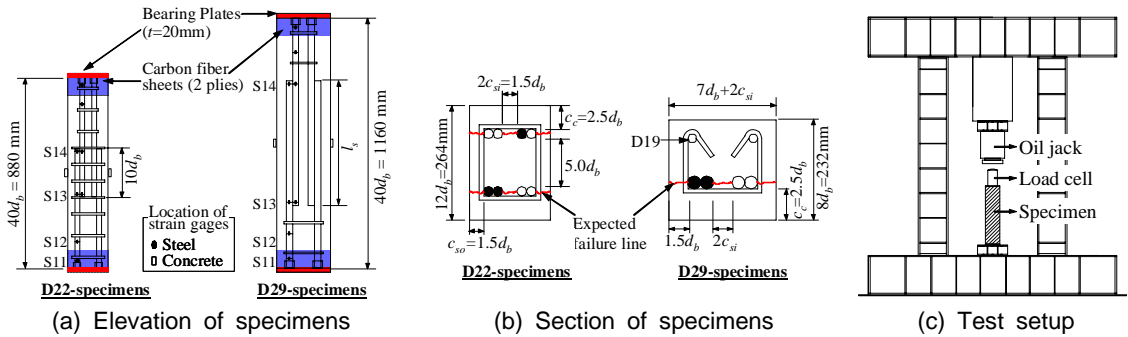


Fig. 1 Details of specimens and test setup

### 3.2 실험체 설계

Figure 1(a), (b)는 실험체 상세도이다. D22실험체는 4쌍의 이음을 가지고 좌우 상하 대칭의 평면으로 설계하였다. D29실험체는 가력장비의 한계로 2쌍의 이음을 가지며, 횡보강근의 배근을 위해 그리고 강성중심과 도심을 일치시키기 위해 이음철근이 있는 면의 반대면에 지름 19mm 철근을 2분 배치하였다. 이음되는 철근 사이의 꼬임과피(Fig. 1(b)의 수평선)를 유도하기 위해 충분한 피복두께(2.5d<sub>b</sub>) 및 철근열 사이 간격(5d<sub>b</sub>)을 확보하였다. 가력되는 하중이 정착길이 없이 바로 철근에 작용하도록 양단부에 두께 20mm 강판을 두고, 이 강판에 커플러를 용접한 후 나사를 가공한 철근을 연결하였다. 또한 단부의 국부적인 조기파괴를 방지하기 위해 양단부에 탄소섬유시트를 2겹씩 보강하였다.

## 4. 실험결과

횡보강근이 배근된 실험체는 횡보강근이 없는 실험체에 비해 이음강도가 증진되었다. Figure 2(a)는 횡보강근량에 따른 이음강도의 향상을 보여준다. 단면내 전체 횡보강근량(A<sub>tr</sub>)을 배근간격(s<sub>tr</sub>), 철근 지름(d<sub>b</sub>), 이음개소(n)로 나뉘 표준화한 횡보강근 지수(transverse reinforcement index)를 Fig. 2의 x축으로 설정하였다. 횡보강근이 항복하지 않는다는 연구결과에<sup>4)</sup> 근거하여 횡보강근의 설계기 준항복강도는 제외하고 횡보강근 지수를 설정하였다.

횡보강된 압축이음의 이음강도를 동일한 조건에서 횡보강근이 없는 실험체의 이음강도로 나누어 보면, Fig. 2(b)와 같이 이음단부에만 보강근을 둔 경우 평균 5%, 이음 전구간에 3.3d<sub>b</sub> 간격으로 횡보강근을 배근하면 평균 27% 강도가 향상되었다. 횡보강근이 없는 일부 실험체는 이음강도가 압축 항복강도에 거의 도달하였기 때문에, 같은 횡보강근 지수를 갖는 경우에도 이음강도 증가율에 큰 차이가 나타났다.

각 실험체의 이음강도를 현행 설계기준과 Cairns식으로<sup>5)</sup> 평가하여 Fig. 2(c)에 나타내었다. 콘크리트구조설계기준에 따른 이음강도는 인장이음의 안전율 1.25를<sup>6)</sup> 고려하여 평균강도로 환산하였다. Cairns의 식과 fib 식은 강도저감계수나 안전율이 고려되지 않은 평균강도로 실험결과와 직접 비교가 가능하다. 실험값/예측값 비의 평균은 콘크리트구조설계기준, fib, Cairns 식이 각각 2.48, 2.15, 0.94이다. Figure 2(c)에 표기된 [실험값]/[예측값]의 평균들은 횡보강근이 배근된 실험체들만으로 산정된 값이다. 콘크리트구조설계기준과 fib식은 횡보강근의 영향을 직접 고려하지 않으므로 2배 이상 과소평가하고 있다. 게다가 콘크리트구조설계기준에서는 콘크리트 압축강도의 영향도 반영되지 않아 가장 보수적으로 평가되었다.

Cairns 식은 상당히 정확하게 실험값을 예측하고 있으며 변동계수도 9.3%로 매우 안정적인 예측이 가능하다. 그러나 Fig. 2(c)에서 횡보강근이 없는 실험체와 비교할 때 횡보강근이 있는 이음에 대해 과대평가하는 경향이 있다. 즉 Cairns 식은 콘크리트 강도에 대해서는 과소평가, 횡보강근의

영향에 대해서는 과대평가함을 알 수 있다. Cairns 식은 인장이음에 비해 횡보강근효과를 3배 이상으로 평가한다. 단부 지압이 횡보강근에 크게 영향을 받는다는 점을 고려하더라도 횡보강근을 과도하게 평가하고 있다. Cairns의 실험에서는<sup>7)</sup> 이음강도를 철근의 변형률에서 구하지 않고, 최대하중에서 콘크리트 기여분을 제외하는 방법으로 산정하였다. 횡보강근이 많은 경우 횡구속효과에 의해 코어콘크리트의 강도가 향상되는데, 이러한 현상이 Cairns의 실험분석에서 정확히 반영되지 않아 이음강도가 과대평가된 것으로 추정된다.

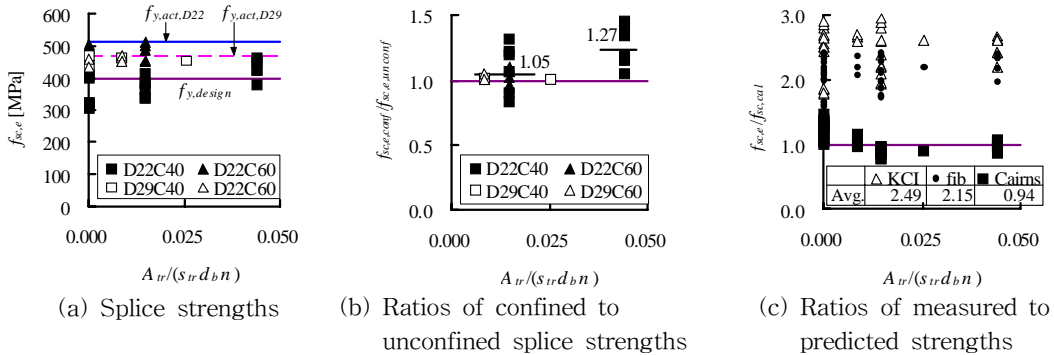


Fig. 2 Splice strengths of confined splices

## 5. 결론

현행 기준식에 따르면 초고강도 콘크리트에서는 철근 인장이음길이보다 압축이음길이가 더 길어지는 현상이 발생된다. 횡보강근의 영향을 반영하면 이러한 경향은 더욱 심화된다. 실제 구조물에서 반드시 존재하는 횡보강근의 영향을 40, 60MPa 콘크리트에 대한 압축이음 실험을 통해 강도와 거동 특성을 분석하였다. 횡보강근이 있는 압축이음강도는 현행 설계기준과 비교할 때 100% 이상 크므로 횡보강근을 고려한 새로운 설계기준식의 정립이 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설핵심기술연구개발사업(Center for Concrete Corea, 05-CCT-D11)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. "Concrete Q&A-Splice Length Anomaly," *Concrete International*, Vol.27, No.10, Oct. 2005, p. 96.
2. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조설계기준 해설", 2008년 1월, 523 pp.
3. ACI Committee 408, "Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension (ACI 408R-03)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, USA, 2003, 49 pp.
4. Azizinamini, A. Chisala, M, and Ghosh, S. K., "Tension Development Length of Reinforcing Bars Embedded in High Strength Concrete," *Engineering Structures*, V.17, No.7, 1995, pp.512~522.
5. Cairns, J., "Strength of Compression Splices: A Reevaluation of Test Data," *ACI Journal*, Vol. 82, No. 4, July-August, 1985, pp. 510~516.
6. 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, March, 1977, pp. 114~122.
7. Cairns, J. and Arthur, P. D., "Strength of Lapped Splices in Reinforced Concrete Columns," *ACI Journal, Proceedings*, Vol. 76, No. 2, Feb. 1979, pp. 277~296.