

용접용철근을 이용한 철근선조립 공법

Pre-Fabricated Reinforced Concrete(PRC) Construction Method Using Welded Re-Bar



이창남*
Chang-Nam Lee



김형섭**
Hyoung-Seop Kim



엄태성***
Tae-Sung Eom



박홍근****
Hong-Gun Park



이승환*****
Seung-Hwan Lee

1. 서 론

철강재 가격의 상승으로 인해 철골 구조로 향하던 건설업계의 향방이 다시 철근 콘크리트구조 선호로 회귀하는 추세에 있다. 특히, 기둥의 지배 응력 조건은 '압축'이므로 자재비가 저렴하면서도 압축력에 강한 재료인 콘크리트를 사용하는 철근 콘크리트 기둥이 철골 기둥에 비하여 경쟁력이 높다. 그러나 보를 철골 구조로 설계하고 기둥만 철근 콘크리트구조를 적용하는 경우 기둥과 보의 접합이 복잡하며, 기둥 콘크리트 양생이 끝날 때까지 보의 가설지주를 제거하지 못하는 단점이 있다. 따라서 철근을 주로 사용하면서 공장에서 선조립 할 수 있는 기둥과 보의 제작 방안의 모색이 필요하다.

이번 기사에서는 용접용 철근을 이용한 철근 선조립 공법(PRC: pre-fabricated reinforced concrete)의 새로운 상세 및 접합부를 소개하고자 한다. 이 PRC 공법에서는 철근과 철근의 결속을 기본적으로 용접에 의존하므로 고강도 용접용철근(SD400W, SD500W 등)을 사용하였다. 특히, 그동안 설계·시공한 PRC 공법의 대부분은 기둥에 한정되어 있었지만 본 기사에서는 기둥뿐만 아니라 보의 철근을 선조립 제작할 수 있는 공법을 제시하고자 한다. 공장용접으로 선조립을 한 보와 기둥의 철근 케이지를 현장에 반입하여 조립·설치하고, 현장에서는 간단한 추가 배근과 함께 선조립을 한 보 및 기둥 철근 케이지에 거푸집을 설치한 다음 콘크리트를 타설한다. 따라서 현장에서의 철근 적재 및 가공 공정 생략으로 인하여 공기단축 및 청결한 현장관리가 가능하고, 공장에서 철근을 가공·조립하기 때문에 절단 및 절곡 과정에서 발생하는 철근 토막들의 손실을

최소화할 수 있어서 경제적이다.

구조적인 관점에서 PRC 공법은 기존 철근 콘크리트 공법과 동일하게 일체화된 보-기둥 접합부 시공이 가능하다. 그러나 PRC 공법은 효율적인 기둥 이음, 보-기둥 접합부의 제작 및 조립을 위하여 용접, 커플러 이음, 기계적 정착 등이 사용되므로 접합부의 성능에 대한 명확한 검증이 필요하다.

2. PRC 기둥과 TSC 합성보의 상세

2.1 접합부 상세

PRC 기둥의 주요 구성 재료는 일반 RC와 기본적으로 동일하지만 PRC 기둥이 자립할 수 있도록 제작하고 현장에서 기둥 이음을 단순화 시켜야 한다. 따라서 <그림 1-(a)>와 같이 주근과 띠철근을 결속선 대신 가용접(tack welding)을 하며, <그림 1-(b)>와 같이 이음부는 강판과 강판의 현장이음으로 이루어진다. 즉, 공장에서 기둥 주근과 이음강판을 용접하고 현장에서는 이음강판간의 개선용접을 실시한다. 힘의 흐름을 상부 주근에서 이음강판으로 전달하고 이음강판이 다시 하부 주근으로 전달하는 방식이다.

<그림 2>와 <그림 3>은 현재 국내에서 널리 사용되는 합성보 시스템인 TSC 합성보와 PRC 기둥의 접합부 상세를 보여주고 있다. TSC 합성보와 PRC 기둥의 내진접합부는 시공성

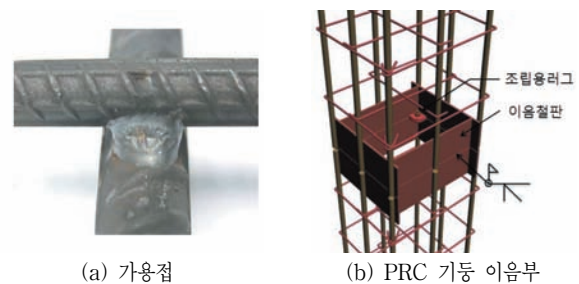


그림 1. PRC 기둥 상세

* 정희원, (주)센구조연구소 대표이사
cnlee@senkuzo.com

** (주)센구조연구소 차장

*** 정희원, 대구가톨릭대학교 건축학부 조교수

**** 정희원, 서울대학교 건축학과 교수

***** (주)센코어테크 대표이사

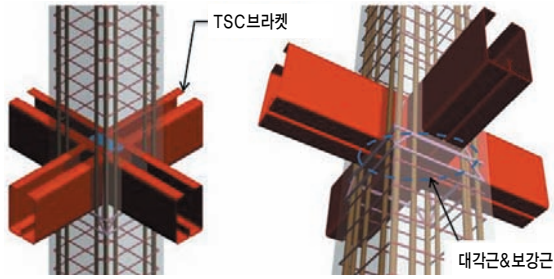


그림 2. TSC 합성보와 PRC 기둥의 접합부(SMF)

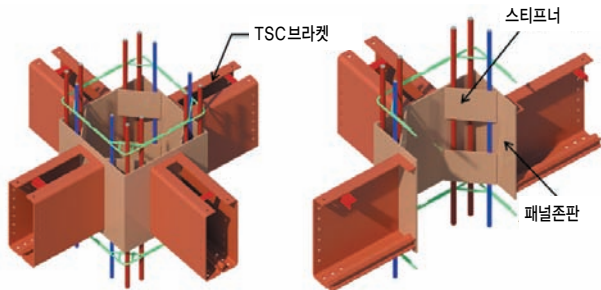


그림 3. TSC 합성보와 PRC 기둥의 접합부(IMF)

및 경제성을 위해 특수 모멘트 골조(SMF)와 중간 모멘트 골조(IMF)로 분리하여 설계하였다. 즉, <그림 2>와 같이 특수 모멘트 골조는 TSC 브라켓을 PRC 기둥 내부로 관통하여 TSC 합성보의 연속성을 확보하도록 설계하고¹⁾ 중간 모멘트 골조는 <그림 3>과 같이 패널존판과 스티프너로 설계하여 내진설계 시 선택적으로 사용할 수 있도록 하였다.

2.2 내진접합부 성능

PRC 기둥과 TSC 합성보의 접합부에 대한 내진성능을 검증하기 위한 실험이 수행되었다. <그림 4>는 PRC 기둥을 이용한 특수 모멘트 골조 접합부에 대한 실험을 보여주고 있다. 실험 결과, 실험체의 하중 재하능력은 보의 소성모멘트에 근거하여 계산된 보-기둥 접합부의 하중 재하능력을 초과하였다. 또한 3%의 층간변위각에서 최대 하중에 도달하였으며, 4% 이상의

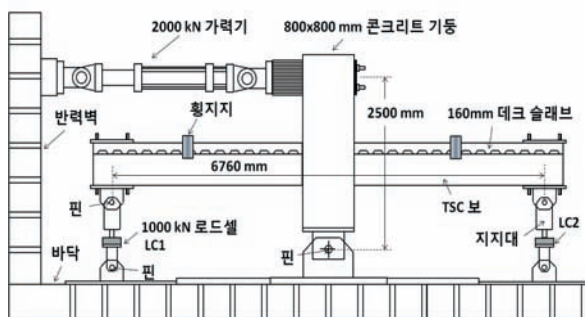


그림 4. Test set-up

층간변위각까지 최대 하중을 유지하였으므로 특수 모멘트 골조 요구조건을 만족한다. 또한 실험체의 펀칭 현상은 크지 않았으며, 우수한 에너지 소산능력을 나타내었다.

<그림 5>는 층간변위각과 휨모멘트를 나타내는 그래프로써, 정·부 모멘트 모두 2% 라디안의 층간변위각까지 공칭강도의 80% 이상의 내력을 유지하여 중간 모멘트 골조 요구조건을 만족하였으며, 특히 부모멘트는 3% 라디안 이상까지 충분한 내력을 발휘하는 것을 알 수 있다. 또한 실험결과와 해석결과의 강성은 거의 일치하고 있으며, 최대값의 차이는 재료의 초과강도와 공칭강도의 차이에 의한 것이다.

3. PRC 기둥과 PRC 보의 상세

3.1 접합부 상세

PRC 공법을 기둥뿐만 아니라 보에도 함께 적용할 경우, 시공성 향상을 기대할 수 있다. <그림 6>은 PRC 모멘트 골조의 상세 및 시공과정을 보여주고 있다. <그림 6-(a)>와 같이 먼저 기둥의 주근과 띠철근을 용접하여 철근 케이지를 제작하고 공사 현장에 설치한다. 보-기둥 이음부에는 보와 기둥의 철근 연결이 용이하도록 특수 제작된 강판을 선조립 기둥 철근 케이지에 미리 용접한다. 강판에는 접합되는 보 주근의 개수와 위치에 맞추어 구멍을 뚫거나 U형 홈을 가공한다. 보 철근 케이지는 상하 주근 4개, 수직 전단철근, 대각철근 등으로 구성되며 공장 용접하여 미리 제작한다. <그림 6-(a)>와 같이 용접된 수직 전단철근은 폐쇄형의 고리이므로 보의 소성힌지 영역에서 콘크리트를 확보할 수 있다. 대각철근은 상·하 주근 및 수직 전단철근과 트러스 구조를 형성하여 별도의 지지대 없이 수직방향으로 작용하는 자중 및 일정 시공하중에 저항하는 역할을 한다. 다음으로 현장에서 제작된 보 철근 케이지를 선조립된 기둥 철근 케이지에 접합하여 내부 보-기둥 접합부를 조립한다. <그림 6-(b)>의 보와 기둥의 이음부 상세에 나타낸 바와 같이 보 철

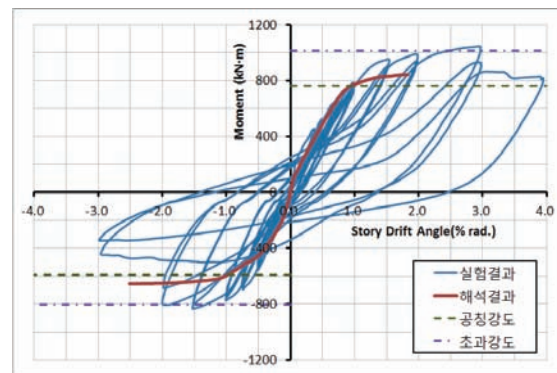


그림 5. 층간변위각과 모멘트

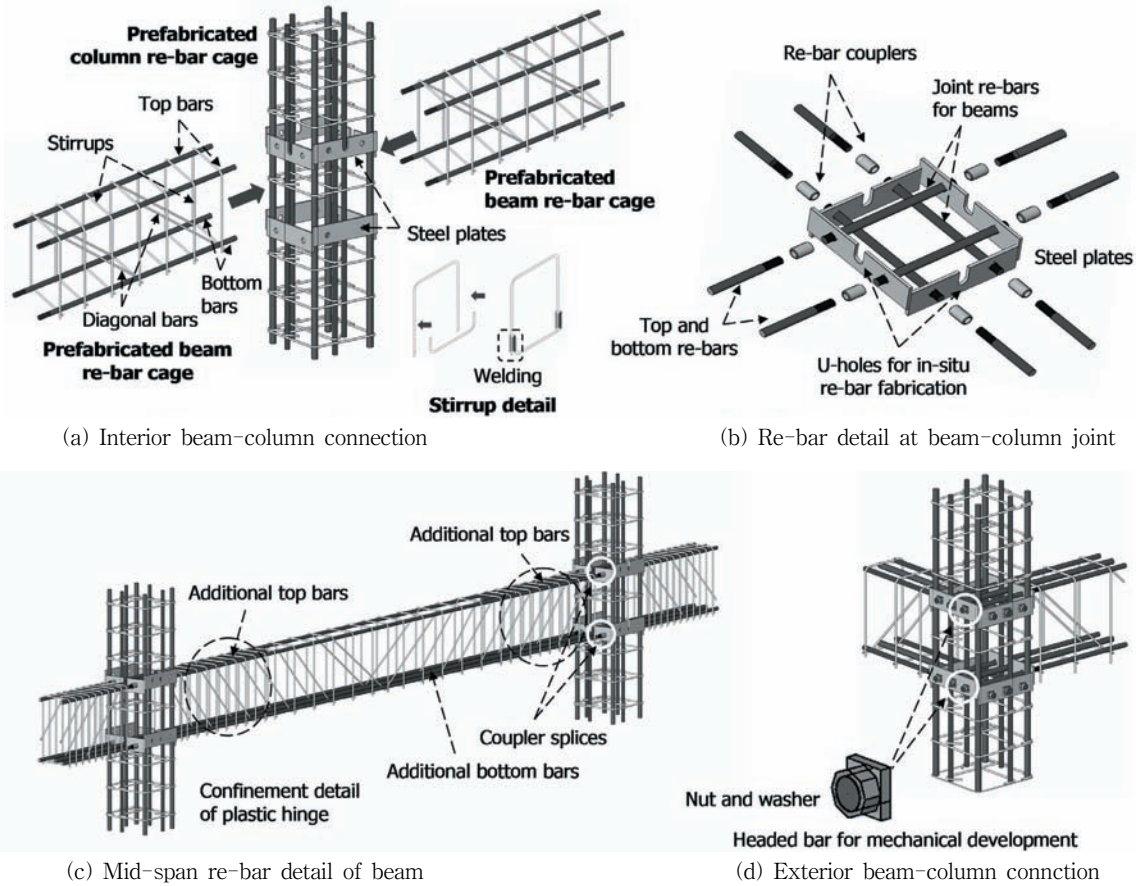


그림 6. PRC 기둥-보 상세

근 케이지의 상·하 주근 4개는 커플러로 긴결한다. 이때 커플러는 기둥에 설치된 강판에 밀착되도록 시공하여 보 주근의 미끄러짐 변형이 발생되지 않도록 한다. 만약 기둥 근처에서 부모멘트에 저항하는 보 상부근이 추가로 필요하거나 또는 보의 중앙부에서 정모멘트에 저항하는 보 하부근이 추가로 배치되어야 하는 경우 필요한 개수만큼 배근한다. <그림 6-(d)>는 외부 보-기둥 접합부의 상세를 보여주는데, 내부 접합부와 동일한 방법으로 제작한다. 다만, 외부 정착부에서는 확대머리 철근 (headed bar)²⁾을 사용하여 보의 주근을 정착시킨다.

3.2 내진접합부 성능

PRC 기둥-보 접합부를 연성능력이 요구되는 내진구조용 접합부에 사용하기 위해서 PRC 기둥-보 접합부를 실물 크기로 제작하여 실험하였다. 비교를 위하여 기존 공법의 현장배근 + 형 RC 접합부를 제작하였다. 모든 보-기둥 접합부 실험체는 KCI 2007³⁾ 및 ACI 318-08⁴⁾에 제시된 특수 모멘트 골조에 요구되는 배근 상세를 적용하였다.

<그림 7>은 접합부 실험체의 하중-변위 주기곡선을 보여주었고, <그림 8>은 실험 종료 후 각 실험체의 균열 및 파괴 양상

을 보여준다. <그림 7-(a)>에 나타난 바와 같이 현장조립 RC 보-기둥 접합부는 1.10%의 횡변위비에서 접합부가 항복하였고, 항복 이후 반복 재하에도 큰 강도저하 없이 연성거동을 보인다

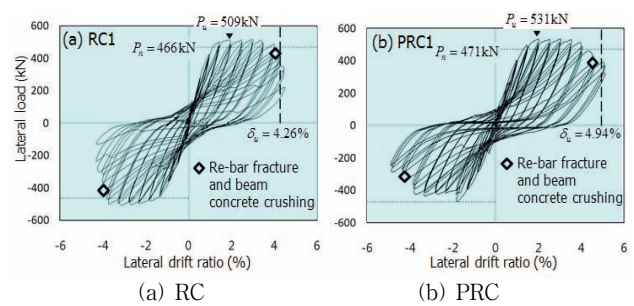


그림 7. 횡하중과 층간변위비

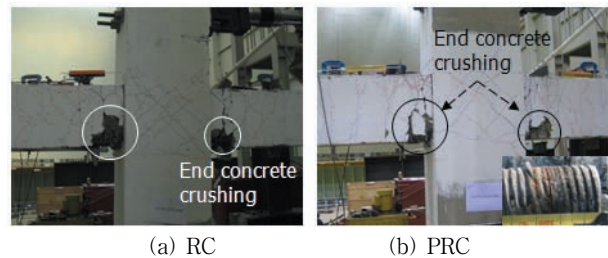


그림 8. 파괴모드와 균열형상

가 4.26%의 횡변위비에서 파괴되었다. <그림 8-(a)>는 RC 접합부의 파괴 양상을 보여주는데 대부분의 소성변형이 보에 집중되었고, 반복적인 인장-압축 거동으로 인하여 4.26%의 횡변위비에서 보 소성현저 하부에서 주근의 인장파단과 단부 콘크리트의 휨압괴로 인하여 파괴되었다.

<그림 7-(b)>와 <그림 8-(b)>는 각각 PRC 기둥-보 접합부의 주기곡선과 최종 파괴양상을 보여주는데 현장에서 조립된 RC와 거의 동일한 실험 결과를 나타냈다. 대부분의 소성변형은 보의 소성현저에 집중되었고, 반복적인 인장-압축 거동으로 인하여 4.94%의 횡변위비에서 보 주근의 인장파단 및 단부 콘크리트가 휨압괴 되었다. 보-기둥 이음부에서는 미세한 대각균열이 관찰되었지만 횡변위비가 증가하더라도 더이상 크게 발전하지 않았다. 그 결과 보 주근의 부차강도 손실 및 슬립변형이 크지 않은 양호한 접합부 거동을 보였다.

4. PRC 적용사례

현재 PRC 기둥은 다양한 현장에서 적용하여 시공성과 경제



(a) 기둥-보 접합부 (b) 공사전경

사진 1. 울산 테라스파크(PRC 기둥 + TSC 합성보)



(a) PRC 기둥 (b) 공사전경

사진 2. 대전터미널(PRC 기둥 + TSC 합성보)



(a) PRC기둥 이음부 (b) 공사전경

사진 3. 인하공전 기초생활관(PRC 기둥 + TSC 합성보)



(a) Mock-up 전경



(b) 기둥-보 접합부

(c) 거더-빔 접합부

사진 4. PRC 기둥-보 Mock-up

성의 우수성이 증명되고 있다. 그 중 <사진 1~3>은 대표적인 PRC 공법 시공사례들로써, PRC를 제작하는 강구조업체인 (주)센코어테크는 설립 1년여 동안 20여개 이상의 현장에 대한 PRC 기둥 적용실적을 보유하고 있다.

PRC 기둥이 여러 현장에 활발하게 적용되고 있는 반면 PRC 보는 아직 적용성 검토단계로써, <사진 4>와 같이 실물크기의 Mock-up을 실시하였다. 기둥-보 접합부, 거더-빔 접합부를 모사할 수 있도록 기둥 4개와 거더 1개, 빔 1개로 이루어진 기본프레임을 제작하였으며, Mock-up을 통해 적용가능성을 확인할 수 있었다. □

참고문헌

1. 황현중, 박홍근, 이철호, 박창희, 이창남, 김형섭, 김성배, '콘크리트 채움 U형 강재보-콘크리트 기둥 접합부의 내진성능', 한국강구조학회논문집, Vol. 23, No. 1, 2011, pp. 83 ~ 97.
2. ACI Committee 352, Recommendations for Design of Beam-Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures, ACI 352R-02, American Concrete Institute, 2002.
3. 한국콘크리트학회, 「콘크리트 구조설계기준」, 2007.
4. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, ACI 318-08, American Concrete Institute, 2008.

담당 편집위원 : 김재요(광운대학교) kimjyo@kw.ac.kr