

## 철근콘크리트기둥과 강재보를 사용한 혼합구조 시스템

Composite Structural System with Reinforced Concrete  
Columns and Steel Girders



이동렬\*



문정호\*\*



이리형\*\*\*

### 1. 머리말

구조물에 일상적으로 많이 사용되는 재료로는 콘크리트와 강재를 들 수 있다. 이들 재료는 각각의 장점을 고려하여 주어진 조건이나 건물의 용도 및 규모 등에 따라 적용되고 있으나, 주로 하나의 재료만으로 사용되는 것이 일반적이다. 합성보 혹은 합성기둥과 같이 두 재료를 혼용하여 사용하는 경우는 많이 있으나, 보다 넓은 의미에서의 혼용은 활성화되고 있지 않는 실정이다. 그러나 재료의 효율적인 이용을 위해서는 이들 재료를 적절하게 혼용하는 혼합공법은 여러 가지 면에서 장점을 가질 수 있다.

콘크리트와 강재의 혼용을 위하여 서로에 대한 상대적인 장점을 정리하면 다음과 같다.

#### 1) 콘크리트의 장점

\* 정회원, 삼성물산 건축기술팀장

\*\* 정회원, 한남대학교 교수

\*\*\* 정회원, 한양대학교 교수

- 압축재로서의 경제성 : 압축하중에 대한 가격비교를 볼 때 강재에 비하여 10배 이상의 효율을 가지고 있어 압축재로서 높은 경제성을 갖는다.
- 강성(stiffness) : 콘크리트는 강재에 비하여 큰 부피의 부재로 사용되므로 강성이 크게 된다. 그리고 콘크리트는 고강도일수록 탄성계수가 증가하나 강재의 경우에는 강도가 증가 하여도 탄성계수는 변하지 않는다.
- 내화성능 : 콘크리트는 내화성능이 우수하여 별도의 내화재료를 필요로 하지 않는다.
- 높은 거주 성능 : 철골조 건물에 비하여 밀도가 50% 이상 크게 되므로 건물의 주기가 길어지고, 바람 등으로 인한 진동에 대한 민감도가 낮아진다. 그리고 진동에 대한 감쇠(damping)효과가 우수하다.

2) 강재의 장점

- 시공속도 : 조립작업의 단순성으로 인하여 공기가 짧다.
- 장스팬의 가능성 : 콘크리트에 비하여 단면을 효율적으로 이용할 수 있으며, 높은 탄성계수로 인하여 장스팬 구조가 가능하다.

이상과 같은 서로의 장점을 비교하였을 때, 각각의 장점을 혼용하는 혼합구조는 효율성이 높은 구조 시스템이 될 수 있다. 즉 압축재로서 콘크리트의 높은 경제성, 그리고 휨재로서 강재의 장스팬 가능성을 혼용하는 공법을 생각할 수 있다. 이와 더불어 기성 제품화되어 있는 강재와 콘크리트의 PC(Precast)화 등을 통하여 공업화와 같은 장점도 생각할 수 있다.

이러한 혼합공법의 하나로 개발되어 사용되고 있는 HI-Beam 공법은 콘크리트와 강재를 혼용하는 혼합공법의 좋은 예라 할 수 있다 (그림 1 참조). 즉 기둥은 철근콘크리트로 하며, 보는 강재를 사용하는 공법이다. 그런데 콘크리트기둥과의 연결, 그리고 보단부에서 강성 및 강도의 증가를 위하여 강재보의 단부를 콘크리트구조로 변경한 공법이다. 이러한 경우 보를 12m~20m 이상까지 장스팬화 할 수 있는 장점이 있다.

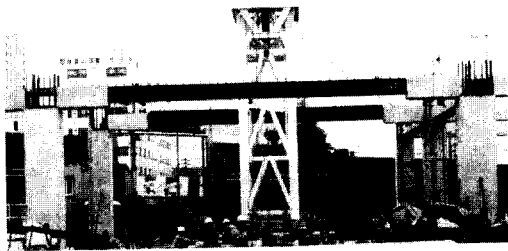


그림 1 HI-Beam 공법

그런데 철근콘크리트보의 경우 경제적인 스패를 6~8m 내외라고 보았을 때 HI-Beam과 철근콘크리트보의 중간정도의 스패에 효율적인 구조가 필요하게 된다. 이 경우 HI-Beam으로도 가능하기는 하지만 경제성이 낮아지는 단점이 있다. 따라서 보를 순수 강재보로 대체하는 공법을 들 수 있다(그림 2 참조). 그림에서는 한 방향으로만 강재가 사용되었으나, 양방향으로 사용하는

것도 가능하다. 그런데 이 경우 HI-Beam에서 보의 단부를 콘크리트 구조로 변경하는 공정을 생략할 수 있는 장점도 있게 된다.



그림 2 철근콘크리트 기둥-강재보를 사용하는 공법

2. 외국의 개발 경향

철근콘크리트기둥과 강재보로 이루어진 혼합구조는 미국과 일본 등지에서 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 그런데 이러한 혼합구조는 미국과 일본에서 각기 서로 다른 방향으로 개발이 이루어왔다. 이러한 차이는 주로 구조물의 용도 및 환경 등이 상이한 점으로 인하여 발생하였기 때문에 이에 대한 분석이 필요하다. 왜냐하면, 이에 대한 충분한 분석이 없이 외국의 공법을 적용하는 경우에 필요이상으로 과대설계되어 경제성 등이 낮은 구조로 개발될 수 있기 때문이다.

미국의 경우에는 이러한 혼합공법을 초고층 건물의 구조에 사용하는 것을 주 목적으로 개발되어 왔으며, 주로 지진의 위험도가 낮은 지역에서 많이 사용되어 왔다. 건물의 외관이 튜브구조(framed tube구조)인 건물에 사용하기 위하여 주로 개발되었다. 이러한 framed tube구조는 건물의 외곽에 좁은 간격으로 배치된 콘크리트기둥과 이를 연결하는 춤이 높은 외곽보(spendrel beam)로 횡력저항시스템을 이루는 공법이다. 따라서 기둥은 주로 3~6m로 매우 좁게 배치되며, 횡방향 강성을 증가시키기 위하여 보의 춤을 1m 이상으로 아주 높게 하는 방법을 사용한다. 그리고 경우에 따라서는 외곽보 역시 철근콘크리트구조로 하는 경우도 많이 볼 수 있다.

Framed tube구조를 혼합구조로 하는 주된 이유는 시공성을 높이고자 하는 것이다. 조립용 기

등(errection column)과 보를 사용한 철골구조를 먼저 시공하고, 10층 정도 뒤늦게 철근콘크리트를 사용하여 조립용 기둥을 피복하면서 동시에 바닥판을 완성하는 방법을 사용한다. 콘크리트공사와 철골공사를 분리하는 이유는 공사방법이 각각 상이하여 서로의 간섭을 방지하기 위함이다. 그런데 기둥의 역할은 철근콘크리트 구조로도 충분하기 때문에 조립용 기둥의 구조적 역할은 무시할 수 있을 정도로 작게 사용하여, 시공하중을 부담할 수 있을 정도로 설계한다. 그리고 건물의 내부 골조는 순수 철골조로 설계하는데, 이 경우 보는 기둥에 단순접합하여 수직하중만을 부담하

도록 하게 한다. 그리고 경우에 따라서 횡력저항 능력을 보강하기 위하여 코아 혹은 추가적인 tube구조를 사용하기도 한다. 그러므로 이러한 혼합구조는 다양한 방법으로 재료의 효율화를 달성하는 공법이라 할 수 있다.

일본의 경우에는 상에서 언급한 것처럼 HI-Beam으로부터 순수강재보로의 발달과정과 유사한 과정을 거쳐, 역시 철근콘크리트기둥과 강재보로 이루어지는 혼합공법으로 개발되어 왔다. 그런데 일본은 지진의 위험도가 상대적으로 높으며, 접합부를 강접하는 시공 경향으로 인하여 접합부 상세가 미국의 경우와는 상당히 다르게 개

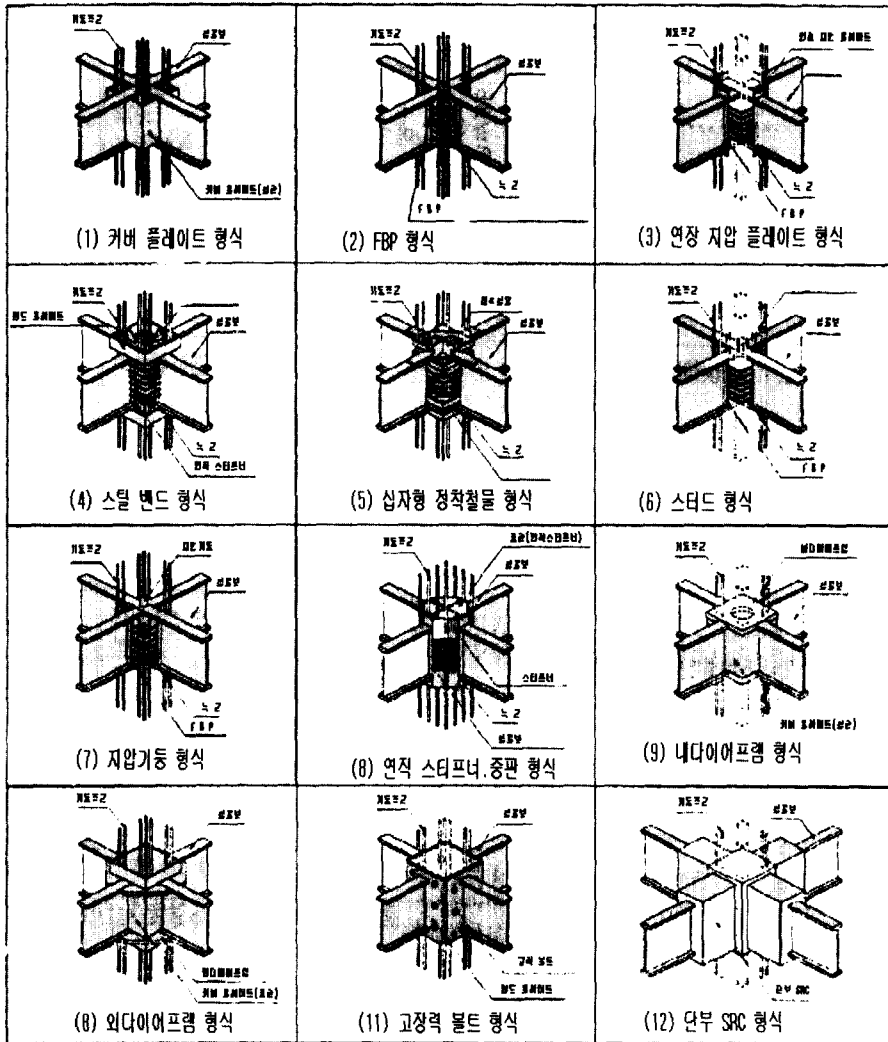


그림 3 보-기둥 접합부 상세 (일본)

발되어 왔다. 접합부의 상세가 경우에 따라서는 매우 복잡한 경우를 많이 볼 수 있다.

그림 3과 4에 각각 미국과 일본에서 개발되어 사용되고 있는 접합부의 상세를 나타내었다. 미국과 일본 등지에서 개발된 철근콘크리트기둥-강재보로된 혼합구조에 대한 분석의 결과를 비교하였을 때 다음과 같은 경향을 알 수 있다. 일본의 경우 접합부의 강도 및 강성을 증대시키기 위하여 많은 노력을 하여 왔음을 알 수 있다. 그리고 수많은 접합부 상세가 개발되었으며, 현재도 많은 접합부가 개발되고 있다. 그러나 미국의 경

우 혼합구조가 주로 초고층 건물의 횡력저항 시스템으로 사용되어 왔기 때문에 접합부의 연성변형능력보다는 시스템의 강성증대에 더 많은 노력을 기울인 것으로 볼 수 있다. 이는 주로 이러한 시스템이 사용되었던 지역도 지진의 위험도가 높지 않았다는 점도 있으며, 초고층 구조의 경우 지진보다는 바람의 영향에 의해서 구조 시스템이 결정되는 경우가 많기 때문이다. 그러나 일본의 경우 중저층이하의 건물에 주로 사용되고 있기 때문에 철근콘크리트부재로 달성하기 어려운 장스팬의 구조에 주로 사용하기 위하여 개발되었다.

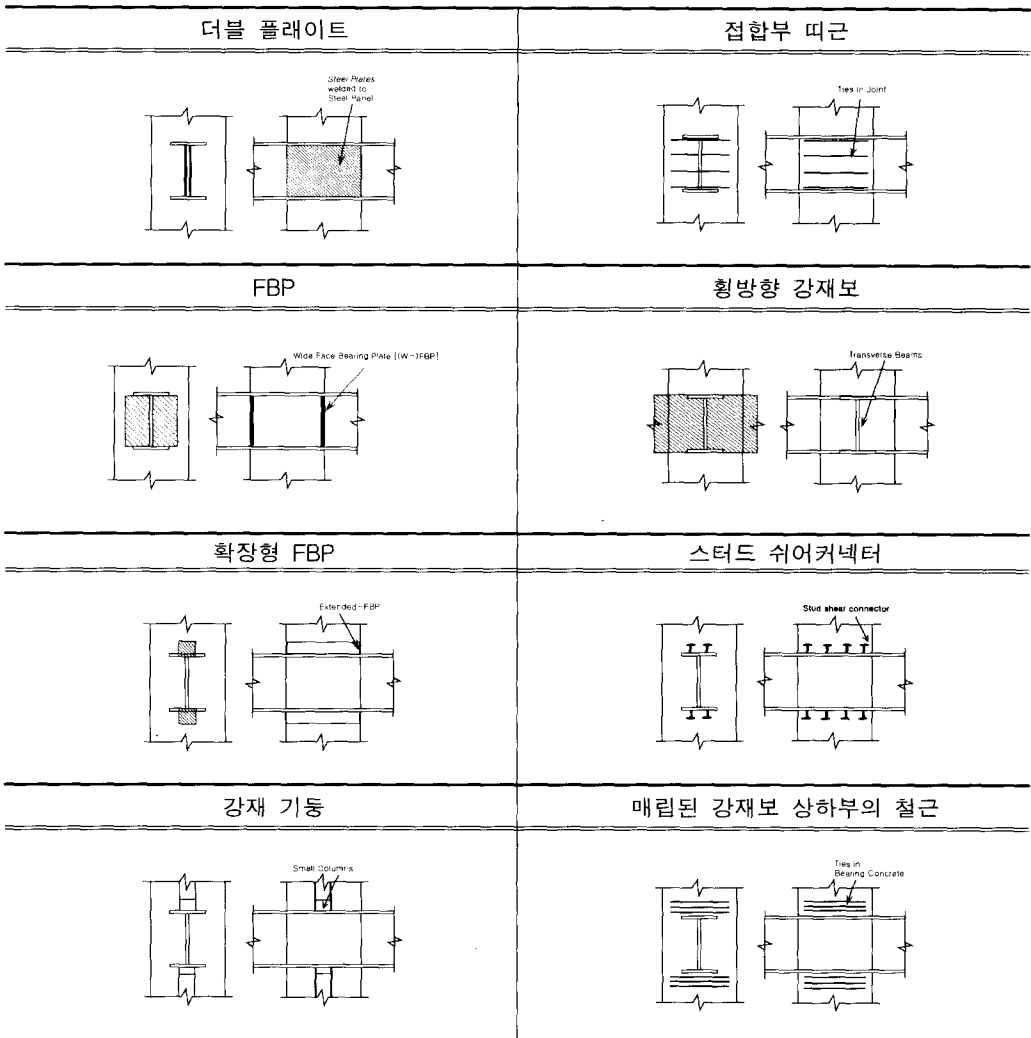


그림 4 보-기둥 접합부 상세 (미국)

### 3. 역학적 거동

혼합구조 시스템의 역학적 거동은 주로 접합부에서 철골과 콘크리트의 외력에 대한 저항구조

및 파괴형태로 설명할 수 있다. 접합부에서 중요한 파괴형태는 접합부의 전단파괴와 강재보와 기둥이 만나는 부위에서 기둥의 지압파괴를 들 수 있다 (그림 5 참조).

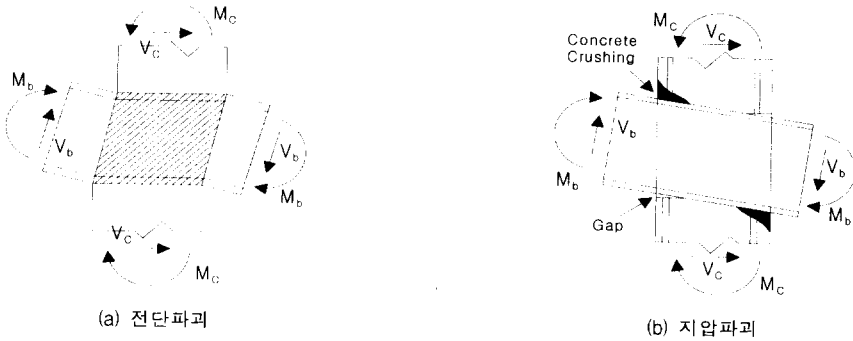


그림 5 접합부 파괴형태

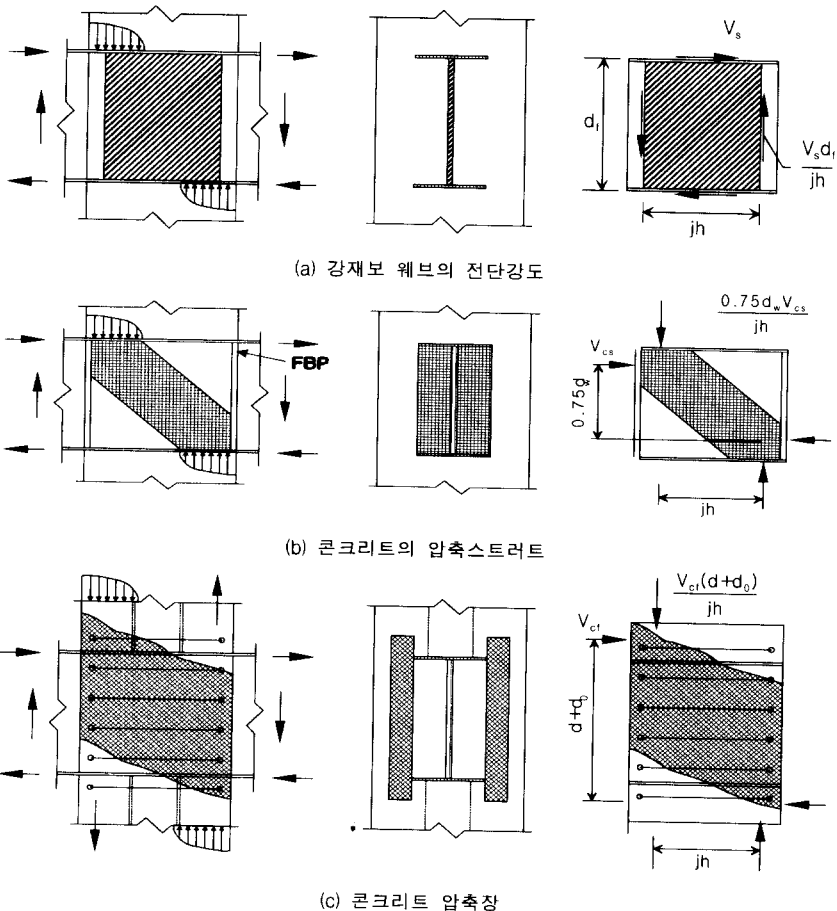


그림 6 접합부 전단력 저항기구

#### 4. 설계법

철근콘크리트기둥-강재보의 혼합구조의 활성화를 위하여 ASCE Task Committee에서는 University of Texas at Austin에서 실시된 실험결과를 근거로 설계법을 제안하고 있다. 접합부 강도는 접합부의 지압강도와 전단강도로 구분하였다. 접합부의 지압강도는 유효폭내에서 등가 응력블록의 높이를 0.3h로 가정하고, 콘크리트의 지압강도를 압축강도의 2배로 하여 계산하도록 되어 있다. 그리고 강재보의 상하에 용접된 기둥 축방향 철근의 영향도 고려할 수 있도록 되어 있다.

접합부 전단강도는 접합부에서의 세가지 역학 기구를 통하여 계산하게 하고 있다(그림 6 참조). 강재보 웨브의 전단강도, 강재보의 플랜지와 FBP에 의해서 형성되는 공간에서 콘크리트의 압축스트러트, 그리고 그 바깥에서 띠철근과 콘크리트에 의한 콘크리트 압축장들이다. 그런데 ASCE의 설계법은 중진 이하의 지역 범위에서 적용할 수 있도록 한정되어 있다.

#### 5. 국내적용사례

철근콘크리트기둥-강재보의 혼합구조의 국내 적용사례는 크게 두가지로 구분할 수 있다. 첫째는 그림 2와 같이 강재보를 한방향으로만 사용하며, 강재보의 직교방향으로는 HI-Beam과 같은 단부가 콘크리트인 부재를 사용하는 방법이다. 둘째는 양방향 모두 강재보를 사용하는 공법이다. 혼합구조를 실제 현장에 적용한 경우를 기존의 공법과 비교하기 위하여 양방향 모두 강재보를 사용한 M호텔 건물의 예를 표 1에 나타내었다. 표에서처럼 골조공사비 대비 10%, 공기단축 6개

월, 그리고 폐기물절감 30% 등과 같은 경제적 이점이 있음을 알 수 있다.

#### 6. 구조시스템에 대한 장단점 분석 및 향후연구 과제

철근콘크리트 기둥과 강재보로 이루어진 혼합구조는 재료의 효율적인 이용이라는 점에서 많은 장점을 가진 구조이다. 그러나 '재료의 효율적인 이용' 자체가 특정한 경우에 대하여 효율적이라는 의미 역시 포함되어 있다. 즉 범용적으로 효율성이 높다는 의미보다는, 예를 들면 스펠 10m 내외의 골조구조와 같은 경우에 효율적인 시스템이라 할 수 있다. 그리고 우리 나라를 대상으로 하였을 때, 일본보다는 미국에서 사용되는 접합부 상세가 보다 바람직한 것으로 판단된다. 이는 비교적 간단한 접합부를 사용하여 시공성을 증진시키는 것이 필요함을 의미한다.

본 구조시스템의 제약조건, 개선이 필요한 부분, 향후 연구개발이 필요한 부분 등을 정리하면 다음과 같다.

##### 1) 제약조건

- 기둥 주철근이 강재보 플랜지가 있는 위치를 피하여 배근되어야 하기 때문에 가능한 한 굵은 직경의 철근을 사용하여 한 모서리에 3개씩 총 12개 이하로 배근하는 것이 바람직하다.
- 실질적인 사용을 위해서는 보 플랜지의 크기가 20cm 내외가 되며, 이 경우 기둥의 크기는 최소 60cm x 60cm 이상 되어야 한다. 따라서 이 이하의 기둥크기로 설계되는 건물의 경우에는 기둥이 과대설계될 가능성도 있다.

표 1 혼합구조의 적용사례 (M 호텔)

건축 개요	적용 공법	적용 효과
용도 : 호텔 층수 : 지하 3층, 지상 15층 건축면적 : 783m <sup>2</sup> 연면적 : 9,978m <sup>2</sup>	기둥 : RC (400kg/cm <sup>2</sup> ) 보 : LC Beam (9.0m) 슬래브 : super deck 공사기간 : 30개월	골조공사비 대비 10% 절감 공기 단축 : 6개월 폐기물 절감 : 30%

2) 개선이 필요한 부분

- 띠철근의 배근을 위하여 강재보의 웨브에 구멍을 내어 그림 7과 같이 배근하여야 하는데, 이는 시공성을 저하시키는 주요한 요인이 되므로 적절한 대안을 찾는 것이 필요하다.

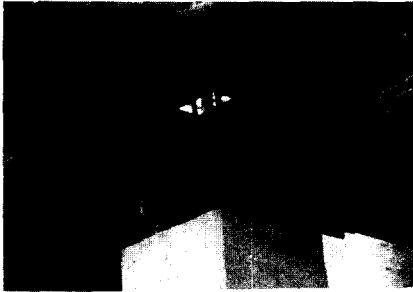


그림 7 접합부 띠철근 배근

- 콘크리트 기둥의 지압파괴로 인하여 연성 거동 능력이 저하될 가능성이 있어 내진성능을 높이기 위해서는 지압응력에 대한 연성능력을 증진시킬 수 있어야 한다.

3) 향후 연구개발 과제

- 시공성 향상을 위하여 접합부에 사용하는 거푸집을 대체하는 방법에 대한 연구가 필요하다.
- 접합부에서 강재보의 웨브로 인하여 콘크리트가 분리되기 때문에 연속성르 확보할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.
- 접합부 내부에서 콘크리트가 밀실하게 충전될 수 있도록 하는 방법과 상하 기둥 사이에서 기둥 축력이 충분히 전달될 수 있는지에 대한 연구가 필요하다.

이상과 같은 개선 및 연구개발이 이루어졌을 때, 본 공법은 공기단축, 공사비절감, 품질향상, 그리고 폐기물절감 등의 효과로 인하여 오피스빌딩, 전시공간, 유통판매시설 등에 널리 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 현재 산·학 공동 연구를 통하여 문제점 개선을 통한 효율적인 공법을 완성하기 위한 연구가 진행되고 있다. 