

## 철근콘크리트 보-기둥접합부의 보수 및 보강공법

Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beam-Column Joints: State of the Art  
(by Murat Engindeniz, Lawrence F. Kahn, and Abdul-Hamid Zureick)



홍건호\*  
Geon-Ho Hong

이 기사는 ACI Structural Journal 2005년 3~4월호에 실린 논문을 번역한 것입니다.

ACI와 ASCE 352 위원회는 현재의 설계지침 이전에 건설된 구조물 접합부의 적절성 여부 및 성능확보를 위한 보수·보강방법에 대한 보고서를 공동으로 발표하였다. 새로운 보강공법을 개발하기 위해서는 기존의 연구에서 얻어진 내용을 이해하는 것이 중요하다는 취지하에, 본 논문에서는 1975년부터 2003년까지 발표된 비내진 디테일을 갖는 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 성능 및 보수·보강공법에 대한 포괄적인 내용을 기술하도록 하였다. 이에 따라 본 논문에서는 다음의 내용이 포함된다. ① 에폭시 보수, ② 철거와 대체, ③ 콘크리트 자켓, ④ 콘크리트 조적블록 자켓, ⑤ 강재 자켓 혹은 외부 강재의 추가, ⑥ FRP 복합체를 이용한 보강. 각각의 보수 및 보강공법은 상세 디테일, 노동조건, 적용범위 및 성능의 관점에서 살펴 보도록 하며, 공법의 상대적인 장점 및 단점에 대해서도 논의 하도록 하였다.

### 서 론

횡하중을 받는 철근콘크리트 구조물에서 보-기둥 접합부의 성능은 구조물 전체의 거동에 영향을 미치는 가장 큰 요인 중의 하나로 인식되어 왔다. 철근콘크리트 보-기둥 접합부에 대한 첫 번째 설계지침은 1976년 미국(ACI 352R-76)에서 제정되었으며, 1982년 뉴질랜드(NZS 3101:1982)에서도 발간되었다. 따라서 1976년 이전에 건설된 건축물에서는 접합부 부위에 심각한 결함이 있을 수 있다. 1985년 멕시코지진 이후에 내진설계 되지 않은 건축물의 위험한 디테일부분과 이의 보

강방법에 대한 연구가 집중적으로 이루어졌다. 지난 50년간의 설계기준과 상세 매뉴얼 등을 분석한 결과, Beres 등은 중력하중에 근거하여 설계된(GLD) 구조물이 지진하중을 받을 경우에 위험에 노출될 수 있는 표준적인 7개의 디테일을 정의하였다(그림 1). 그러나 기존에 연구되어 제안된 대부분의 보수 및 보강계획안은 실제 구조물에 존재하는 층간 슬래브 혹은 기타 건축적인 제한에 대한 고려가 부족하여 적용상에 많은 제약을 받게 된다. 이에 대하여 ACI-ASCE 연합위원회에서는 다음과 같이 기술하고 있다.

“건축물의 리모델링을 위한 적절성을 판단하기 위하여 이러한 접합부 디테일에 대한 연구가 필요하다. 즉, 오래된 접합부의 성능을 개선하기 위한 연구가 필요하나, 접합부의 보수 및 보강에 대한 정보는 거의 없는 실정이다.”

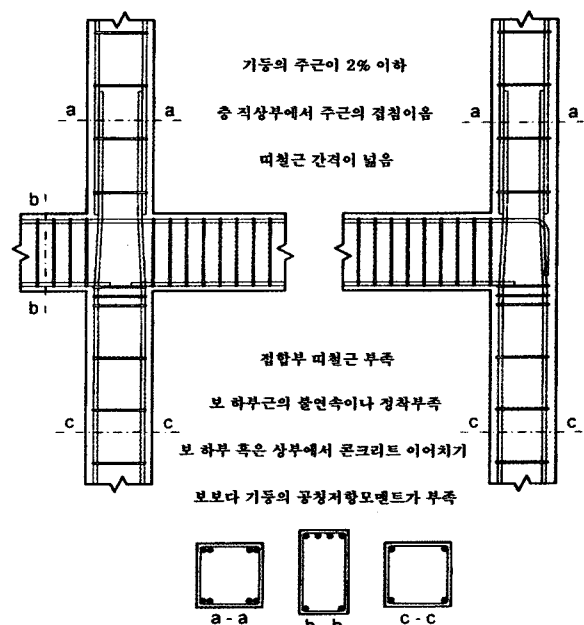


그림 1. Beres 등에 의해 정의된 비내진 철근콘크리트 구조의 표준 디테일<sup>1)</sup>

\* 정회원, 호서대학교 건축공학과 교수  
honggh@office.hoseo.ac.kr

## 연구의 중요성

이 논문의 목적은 엔지니어들이 좀 더 효과적으로 내진보강 방법을 발전시키도록 하기 위하여, 현재까지 연구된 비내진 설계 접합부의 보수 및 보강방법에 대한 정보를 종합하여 정리하는데 있다. 각 공법들은 공법의 성능에 초점을 맞추어 정리하였으며, 적용 디테일, 노동조건과 적용 범위 등의 관점에서 상대적인 장단점을 분석하도록 하였다. 간접적으로 접합부의 성능에 영향을 미치는 보강공법(예 : 강재 가새 혹은 전단벽의 추가 등)은 본 연구에서 제외하였으며, 비내진 설계된 접합부의 성능은 본 논문의 부록에 요약하였다.(본 논문의 부록은 ACI 웹사이트에서 볼 수 있음)

## 보-기둥 접합부의 보수 및 보강기술

본 논문에서 다루는 보-기둥 접합부의 보수 및 보강공법은 에폭시 보수, 철거와 대체, 콘크리트 자켓, 콘크리트 조적블록 자켓, 강재 자켓 혹은 외부 강재의 추가, FRP 복합체를 이용한 보강 등을 포함한다. 각 공법들은 각기 서로 다른 수준의 디테일, 경제성, 노동수준, 공간의 점유율 및 적용성 등을 요구한다. 본 연구의 주요 목적은 내진강도 및 연성도의 확보를 위하여 기둥의 소성흔지 발생이나 취성적인 접합부 파괴 대신에 연성 보의 소성흔지 메커니즘이 발생할 수 있도록, 기둥과 보 그리고 접합부 간의 강도 위상의 체계를 수립하는데 있다. 중력하중에 저항하도록 설계된 구조물의 경우, 보가 기둥보다 강하게 설계되는 것이 일반적이며, 이런 경우에 기둥만을 보강하는 것은 접합부의 성능이 확보되지 못하기 때문에 보강의 효과가 충분하지 않은 것이 보통이다. 즉, 접합부의 띠철근 부족과 보 하부근의 불연속, 그리고 연성적이지 못한 디테일은 접합부를 취약점으로 만들게 된다. 따라서 전단력에 대한 보강과 접합부의 효율적인 구속이 있어야만 접합부의 성능이 향상될 수 있게 된다. 그러나 실제적으로 3차원 골조구조에서는 접합부 부근에 여러 방향의 보와 슬래브가 존재하여 접근하기가 어려우며, 접합부의 제한된 공간에 강도를 증진시킬 수 있는 보강재(강판, 섬유쉬트, 강봉 등)를 설치하는 것이 쉽지는 않은 것이 사실이다. 현재까지 개발된 대부분의 기술들은 실제 3차원의 복잡한 형상의 접합부를 고려하지 못하고 있는 특수한 경우에만 해당하는 것이 대부분이거나, 건축적으로 바람직하지 않게 커다란 부재를 유발하게 되는 것이 보통이다.

## 에폭시 보수(Epoxy Repair)

콘크리트 구조물에서는 이미 오래 전부터 에폭시 압력주입법

을 사용하여 왔었으며, 상대적으로 새로운 에폭시 주입법이 진공 주입법이다. French, Thorp와 Tsai는 연속보에서 철근의 부적절한 정착으로 인하여 손상을 입은 1방향 혹은 2방향 내부 접합부의 에폭시 보수공법의 효율성을 연구하였다. <그림 2>에서 나타나듯이 진공주입법에서 에폭시 주입구는 보와 기둥 보수부의 하부면에 위치하며, 기둥 보수면 상부에 설치한 호스를 통하여 진공흡입을 실시한다. 실험결과 1, 2방향 시험체 모두에서 85% 이상의 강성, 강도 및 에너지 소산능력이 회복되는 것으로 판명되었으며, 손상되지 않은 원시험체보다 1/2 사이클 정도 먼저 파괴되는 것으로 나타났다. 이와 같은 실험결과로부터 진공주입법은 한 번에 넓은 범위의 손상부 보수에 적합한 방법이며, 접근이 어려운 접합부 등에 응용이 가능할 것으로 판단된다.

Beres 등은 <그림 1>의 결함이 있는 1방향 내부 접합부에 초기 재하하중을 유지하면서 메틸-메타크릴 레진(methyl-methacrylate resin)을 사용하여 진공주입법으로 보수한 후 재 실험을 실시하였다. 보수 전후의 시험체는 모두 보 하부철근의 뿔힘파괴와 접합부의 과도한 사인장 균열을 발생시키며 파괴되었다. 보수한 시험체는 원래의 양호한 접합부를 갖는 시험체에 비하여 75% 정도의 초기 강성과 기둥 공칭전단강도의 72% 정도의 내력을 회복하였으나, 에너지 소산능력은 거의 변화가 없이 나타남을 발견하였다.

Filiatrault와 Lebrun은 비내진상세를 갖는 시험체와 보, 기둥 및 접합부에 촘촘하게 띠철근이 배근된 2개의 1방향 외부 접합부의 성능에 대한 실험을 실시하였다. 각 시험체는 에폭시 압력주입법에 의하여 보수되었다. 실험결과, 비내진상세를 갖는 시험체에서는 강도, 강성 및 에너지 소산능력이 향상되어 에폭시 압력주입법이 효과적임을 발견한 반면에, 내진상세를 갖는 시험체에서는 이력루프(hysteresis loop)의 편칭현상이 두드

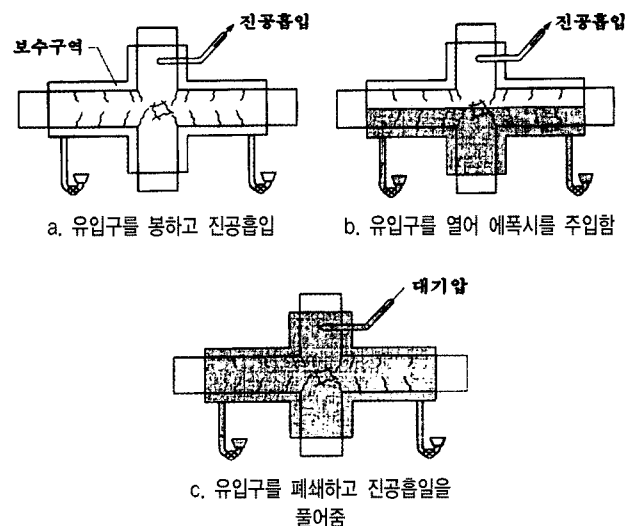


그림 2. French, Thorp, Tsai에 의한 진공주입법<sup>8)</sup>

러지게 발생함이 확인되었다.

Karayannis, Chalioris와 Sideris 등은 접합부에 대한 에폭시 압력주입법의 효과에 대한 연구를 실시하였다. 11개의 1방향 외부 접합부 시험체를 에폭시 주입만을 사용하여 보수한 후 실험을 실시하였다. 실험결과, 균열은 접합부와 보 단부부분에서 모두 발견되었으나 최종적인 파괴는 보에서 힌지가 발생되면서 파괴되었다. 두개의 접합부 스티럽이 배근된 시험체나 기둥의 주근이 접합부를 관통하는 시험체에서는 보수 이후에 보 단부의 콘크리트가 파괴되는 보의 휨파괴 만이 나타났으며, 이력루프의 핀칭현상이 현저하게 감소되는 현상을 나타내었다. 그러나 접합부 스티럽이 한개만 배근된 경우에는 보수 전후의 거동에 큰 차이가 나타나지 않았다. 최대 하중과 에너지 소산의 증가량은 각각 8 ~ 40%와 53 ~ 139%를 나타내었으며, 강성의 변화량은 27% 감소된 경우에서부터 10% 증가된 경우까지의 분포를 보였다. 이러한 성능의 변화량은 주로 접합부 균열에 주입된 에폭시의 주입 정도에 기인하는 것으로 분석된다.

1방향 접합부에 대한 에폭시 보수공법의 적용과 관련된 연구 결과, 에폭시 보수공법이 손상을 입은 접합부의 원래 기능을 회복시킬 수 있다는 신뢰성에는 문제가 있는 것으로 나타났다. 일단 파손된 보강근 주변의 부착력은 에폭시의 주입에 의하여 완전히 회복되지 않는 것으로 보인다. 이와 같은 현상은 부분적인 강성의 회복과 이력루프에서 발생하는 핀칭현상으로 입증된다. 또한, 에폭시 보수공법은 접합부에 접근하기가 어렵다는 점과 접합부 주변의 보 및 슬래브철근에 의하여 효과적으로 주입되기 힘들다는 점에서도 효율성이 떨어진다. 이러한 제한사항은 진공흡입법의 발전으로 극복될 수 있다. 기술의 성공적인 시공을 위해서는 고도의 기술력이 필요하며, 주변 온도조건에도 제한을 받는 것이 보통이다. 콘크리트 구조물의 보수공사에서 에폭시를 사용하기 위한 가이드라인이나 현장 품질관리 기법 등은 여러 참고문헌을 참조할 수 있다.

### 철거와 대체(Removal and Replacement)

콘크리트가 부서지거나, 주철근의 좌굴, 띠철근의 파단 등 심각한 손상을 입은 접합부에서는 부분적이거나 전체적인 콘크리트의 철거 및 재시공을 실시하여야 한다. 이 때, 손상 구조물은 철거 이전에 안정성을 확보할 수 있도록 조치를 취하여야 하며, 철거되는 콘크리트의 양에 따라 추가적인 주근 및 띠철근을 배근할 수 있다. 대체에 사용되는 콘크리트는 일반적으로 고강도의 저수축 혹은 무수축 콘크리트를 사용하여야 하며, 기존의 콘크리트와 신설 콘크리트 사이의 부착력을 확보하기 위해서 특별한 주의를 기울여야 한다.

Karayannis, Chalioris와 Sideris 등은 접합부에 집중적인 손상이 발생하여 현저한 양의 콘크리트가 결손된 1방향 외부 접합부 시험체 6개에 대한 실험을 실시하였다. 휨강도비가 매우 낮고(0.67) 접합부에 띠철근이 배근되지 않은 2개의 시험체에 이러한 손상모드를 적용시킨 후, 접합부 손상부위에 고강도(83 MPa)의 저수축 시멘트 페이스트를 타설하고, 주변 균열에 에폭시를 주입하였다. 접합부에 띠철근이 배근되지 않은 시험체나 한 개의 띠철근이 배근된 시험체에서는 이러한 보수공법의 적용이 최대하중을 39 ~ 71%, 강성을 15 ~ 39%, 에너지 소산능력을 19 ~ 34% 증가시키는 것으로 나타났으나, 파괴의 모드를 변경시키지는 못하였다. 그러나, 접합부 내에 2개의 띠철근이 배근된 경우에는 보수 이후에 최대하중이 42%, 에너지 소산능력이 170%씩 증가하였으며, 접합부의 손상 없이 보에서 힌지가 발생하는 파괴모드로 현저하게 파괴모드가 개선되는 현상을 나타내었다. 다만, 접합부의 강성은 80% 정도 회복되는데 그쳤다.

Tsonos는 두개의 1/2 스케일의 1방향 외부 접합부 시험체에서 접합부 전체와 기둥 일부의 콘크리트를 제거한 후 고강도(70 MPa)의 무수축 모르타르로 보수하였다. 시험체 중 하나에는 2개의 추가적인 수평 띠철근을 배근하도록 하였다. 이러한 시험체의 보수는 강도, 강성 및 에너지 소산능력 모두에서 현저한 향상이 이루어졌다. 보수 이후 모든 시험체의 파괴모드는 보에서만 힌지가 발생되며 파괴되는 동일한 형태를 나타내었다. 이에 따라 Tsonos는 고강도 모르타르를 사용하여 심각한 손상을 입은 접합부를 보수하는 경우에는 띠철근의 배근요구사항을 완화시킬 수 있는 것으로 결론지었다.

콘크리트가 파손되고 주근이 좌굴되거나 파단된 보-기둥 접합부는 손상된 콘크리트를 제거하고 대체하는 방법 이외에는 다른 방법을 적용하기 힘든 것이 사실이다. 앞서 설명한 실험의 결과들은 이러한 기술이 고강도 무수축 콘크리트를 대체재로 사용하였을 경우에 보강공법으로도 사용될 수 있음을 보여준다. 그러나 이러한 보강공법은 손상을 입은 접합부에 쉽게 접근할 수 있고, 가설지주를 설치할 수 있다는 가정에서 출발하고 있는 반면에, 실제 건축물에서는 이러한 접근성이 확보되지 않는 것이 사실이다. Lee, Wight와 Hanson은 보 단부 만을 이러한 공법으로 보수하였을 경우에는 오히려 고강도의 보수재료가 파괴지점을 보로부터 접합부나 기둥으로 이동시킬 수 있음을 경고하였다.

### 콘크리트 자켓(Concrete Jackets)

콘크리트 골조의 보강을 위해서 사용되는 가장 오래되고 일반적인 방법은 기존 기둥 주위에 주근 및 띠철근을 추가로 배근하

고 새로운 콘크리트를 타설하는 방법이다. 접합부를 통과하는 추가 철근의 연속성을 확보하기 위해서는 기둥 코너에서 슬래브의 천공이 필요하게 된다(그림 3(a)). 접합부 띠철근의 배근을 위해서는 보에 코어링하는 작업이 필요하며, 후크 설치를 위한 현장에서의 철근 절곡 등 많은 현장작업을 필요로 하게 된다.

Corazao와 Durrani는 3개의 단일 접합부(외부접합부 2개 + 내부접합부 1개)와 2개의 2경간 접합부에 대하여 기둥 혹은 보의 일부까지 자켓팅을 실시한 보강공법에 대하여 실험하였다. 현장에서 접합부 타이철근의 후크를 설치하는데 따른 어려움 때문에 추가철근은 후크를 갖는 다우얼 철근의 세트로 치환하였다. 단일 접합부 시험체에서는 강도, 강성 및 에너지 소산능력이 모두 증가하였으나, 외부접합부에서는 자켓팅 이후에 에너지가 적게 소산되는 결과를 나타내었다. 기둥 표면으로부터 259mm 까지 보 하부 추가철근을 연장하여 후크를 설치한 시험체에서는 접합부에서 파괴가 발생하지 않아 성공적인 보강이 이루어진 것으로 판단된다. 한편 2경간 접합부 시험체에서는 이러한 보강공법이 효과적이지 못한 것으로 나타났는데, 이러한 결과로부터 보와 기둥 사이의 하중전달에 대한 문제를 고려하지 않고 기둥만을 자켓팅하는 것은 적절하지 않은 것으로 보인다.

Alcocer와 Jirsa는 2방향 하중에 노출된 4개의 3차원 보-기둥-슬래브 시험체에 대한 실험을 실시하였으며, 접합부 구속을 위한 철근의 배근을 위하여 보 부재에 구멍을 뚫는 대신에 접합부 주변에 강제 케이지를 용접하여 설치하였다(그림 3(b)). 강제 앵글로 구성된 케이지는 접합부가 횡방향으로 벌어지는데 대하여 저항하도록 설계되었으며, 띠장을 이용하여 앵글 사이를 연결하였다. 주요 실험변수로는 자켓팅 대상

부재(기둥만 보강 혹은 기둥과 보 모두 보강), 자켓팅 시점(첫 번째 손상 전 후)과 기둥 주위 수직 보강근의 형태(다발 철근 혹은 분산 배치) 등이다. 기둥만을 자켓팅으로 보강한 경우 임계단면은 시험체의 자켓 내부에 존재한 반면에, 보까지 자켓팅된 경우에는 파괴 지점이 케이지 밖으로 이동되었다. 실험결과, 강제 케이지와 코너 타이는 4% 드리프트가 발생할 때까지 접합부를 완전하게 구속하였으나, 파괴 시에는 콘크리트의 부서짐과 쪼개짐이 발생되었다. Alcocer와 Jirsa는 실험결과에 근거하여 접합부의 강도와 부착에 관한 ACI 352R-76 규정을 자켓 설계에 사용할 수 있으며, 천공된 슬래브를 통과하는 철근은 분산철근이 다발철근보다 유리하다고 제안하였다. 다발철근의 사용은 기둥-보의 강도비가 적은 경우에는 문제가 될 수 있는 것으로 분석하였다.

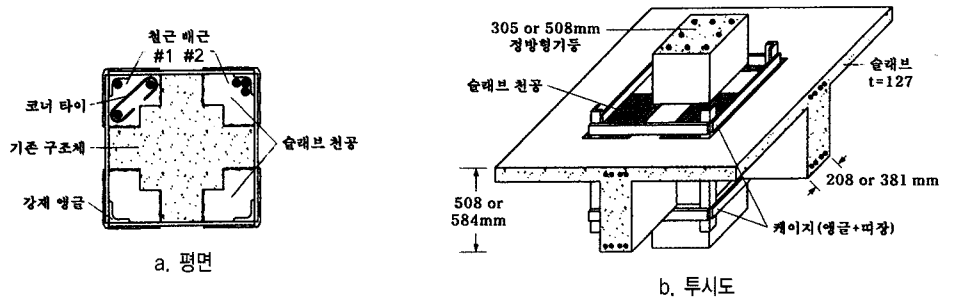


그림 3. Alcocer와 Jirsa에 의한 콘크리트 자켓팅 기술<sup>2)</sup>

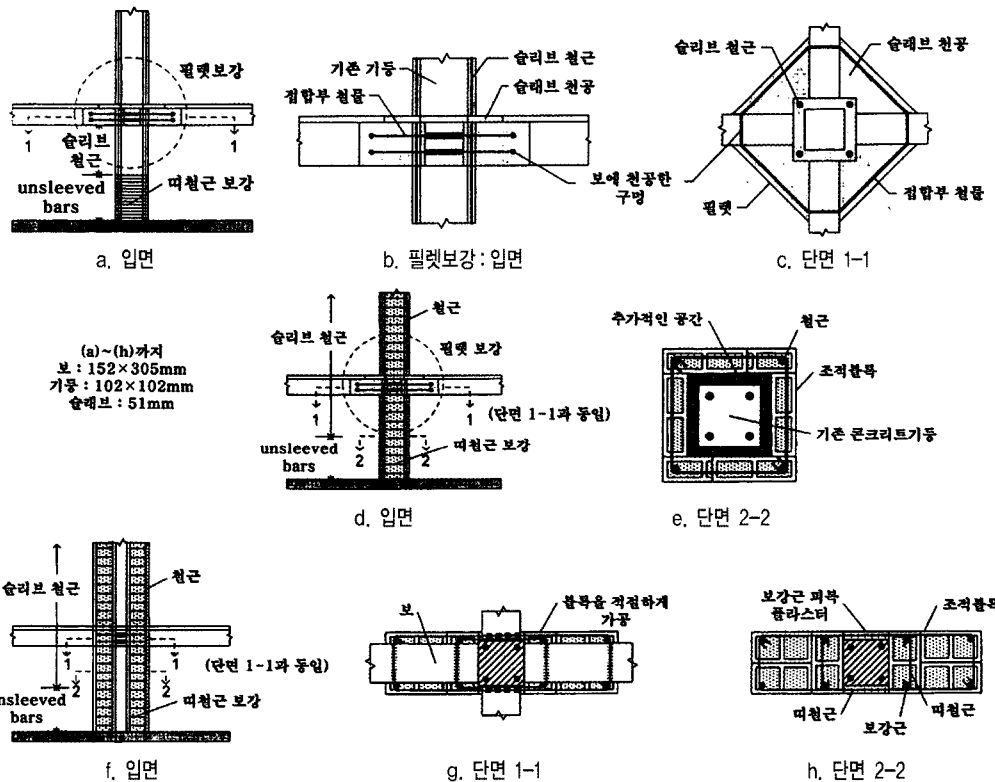


그림 4. Bracci, Reinhorn, Mander가 연구한 보강 기술<sup>3)</sup>  
(a, b, c) 프리스트레스트 콘크리트 자켓팅, (d, e) 조적블록 자켓팅, (f, g, h) 부분적인 조적조 충전

또 다른 자켓팅 방법으로 보강되지 않은 보-기둥 접합부 주변에 고강도 콘크리트 자켓과 콘크리트 필렛을 설치하고 기둥의 추가 보강근을 포스트텐서닝하는 방법이 있다(그림 4(a) ~ (c)). 이때, 일층 기둥의 하부 1/2 부분은 일반적으로 포스트텐서닝에 의한 강도 증진을 제한하고, 지진하중의 적절한 에너지 소산을 위하여 주근과 띠철근을 배근하여 자켓팅하게 된다. 설치되는 필렛의 치수는 불연속되는 보 하부철근의 정착길이와 보의 힌지 발생 위치 등을 고려하여 설계된다. <그림 4(c)>에서 기둥의 코너에 위치하는 슬래브의 삼각형 부분은 필렛과 수직철근의 배근을 위하여 제거하여야 하며, 보는 추가적인 접합부 수평철근의 배근을 위하여 천공되어야 한다. 이 방법은 Arcardi, Mander, Reinhorn에 의하여 보강작업 없이 선행 실험된 1/3 축소 2방향 내부 보-기둥-슬래브 시험체를 사용하여 Choudhuri, Mander와 Reinhorn이 실험하여 처음으로 인정을 받게 되었다. 또한, Bracci, Reinhorn과 Mander 등은 이러한 보강공법을 1/3 축소골조의 기둥에 적용한 결과를 실험 및 해석적으로 규명하였다. 연구결과는 본 논문의 부록에 요약되어 있다. 해석연구에서, 구조물은 다음과 같은 4개의 대안에 대하여 분석되었다. ① 내부기둥이 보강된 경우, ② 모든 기둥이 보강된 경우, ③ 1층 기둥의 기초에 대한 부분 고정경의 경우, ④ 1층 기둥의 기초에 대한 완전 고정경의 경우. 실험연구에서는 내부 기둥만이 보강되고 기둥의 기초에 대한 부분고정의 경우에 대하여 진동대 실험이 실시되었다. 단위 접합부 실험이나 진동대 실험결과에서 모두 원래의 기둥에 큰 손상없이 새롭게 타설된 접합부 필렛 주변의 보 단부에서 휨 힌지가 발생하는 결과를 얻을 수 있었다.

Hakuto, Park, Tanaka 등은 접합부 보강근의 배근 없이 RC 자켓으로 보강된 1방향 내부 접합부 3개에 대한 실험을 실시하였다. 접합부 부분에 사전 손상을 입힌 시험체는 보, 기둥, 접합부에 대한 자켓팅으로 보강되었다. 접합부 코어는 보에 구멍을 뚫어 배근된 두개의 U자형 타이틀 현장에서 용접한 원형 후프를 사용하여 보강되었다. 사전 손상을 발생시키지 않은 2개 시험체의 보강에서 접합부 코어는 보강근을 배근하지 않았으며, 그중의 하나는 기둥의 자켓팅만을 실시하였다. 기둥 자켓팅만을 실시한 시험체를 제외하고는 보에서 소성힌지가 발생하는 안정적이며 연성적인 반응을 나타내었으며, 기둥 자켓팅만을 실시한 시험체는 조기에 보가 전단파괴되는 현상(0.7% 횡변위에서)을 나타내었다. 실험의 주요한 결론으로서, 접합부 코어에 후프를 추가하는 것은 매우 많은 노동력이 필요한 작업이며, 기존 기둥을 자켓팅으로 단면을 확대하여 접합부 전단용력을  $0.07 f_{ck}$  이하로 감소시킨다면 1방향 내부 접합부에서 후프를 배근하지 않아도 되는 것으로 나타났다.

Tsonos는 인접된 부재로 인하여 접근이 어려운 기둥 혹은 보-기둥 접합부를 RC 자켓으로 일부분을 보강하는 공법의 유효성에 대하여 연구하였다. 접합부 타이가 없거나 부족한 4개의 1방향 외부 접합부를 3면에 대하여 고강도(~60 MPa) 콘크리트 자켓으로 보수하였으며, 접합부 타이가 없는 하나의 시험체는 2면에서 자켓으로 보수하였다. 추가적인 접합부 타이철근을 보를 천공하여 배근하였으며, 철근 조각을 접합부 내 보 철근의 후크 내부에 직각방향으로 설치하여 철근의 정착을 개선시키도록 하였다. 2면과 3면 자켓팅을 실시한 부재의 경우, 보수 이전에는 접합부와 기둥 단부가 심각한 손상을 입는 파괴모드로부터 보에서 힌지가 발생되고 보 철근이 좌굴되는 파괴모드로 개선되었다. 자켓팅되지 않은 접합부 후면에서는 어떠한 파괴도 나타나지 않았다. 시험체의 이력곡선에서는 최대 하중, 강성, 에너지 소산 및 핀칭의 양 등에서 현저하게 개선된 결과를 나타내었다.

콘크리트 자켓팅 공법의 가장 큰 단점은 슬래브의 절단 및 제거, 보의 천공, 추가 접합부 대근의 현장 구부림 등과 같이 현장 작업량이 많다는 점이다. 보에 구멍을 천공하는 것은 그림 3과 같이 접합부 주변에 강제 케이지를 설치하는 것으로 대체할 수 있으나, 이러한 방법은 좋지 않은 외관을 갖게 된다. 또한, 자켓팅은 부재의 크기를 증가시켜, 가용 공간을 감소시키게 되고 구조물의 매스를 증가시키게 되며, 시공기간동안 건축물의 사용을 제한하게 되어 전체적인 보강비용을 상승시키게 된다. 마지막으로 자켓팅 공법은 건축물의 동적특성을 변화시키게 된다(한 예로, Bracci, Reinhorn, Mander 등의 연구에 의하면 건축물의 일차 모드의 주기를 120% 증가시키고, 밀면 전단력을 73% 증가시킨다). 동적특성의 변화는 의도하지 않았던 부분에서 보강이 필요로 하거나, 정밀한 재해석이 필요할 수 있다. 그럼에도 불구하고 콘크리트 자켓팅 공법은 접합부 강도를 증가시키고 파괴를 보로 유도하며, 전체적인 횡저항능력 및 에너지 소산능력을 향상시키는 것으로 볼 수 있다.

### 보강조적블록(Reinforced Masonry Blocks)

Bracci, Reinhorn, Mander 등은 보강콘크리트조적블록(CMUs)을 사용한 보강공법에 대하여 연구하였다. 첫 번째 방법으로는 보강콘크리트조적블록을 사용하여 기존 내부기둥을 자켓팅하기 위해 코너 코어 내부에 슬래브를 관통하는 추가적인 연속철근을 배근하고 이후에 포스트텐서닝을 하는 것이다(그림 4(d), (e)). 이 때, 블록과 기존 기둥 사이의 공간은 그라우팅하여야 하며, 블록간의 전단력은 모르타르 베드에 용접철망을 배근함으로써 증가시킬 수 있다. 또한, 접합부 주변에는 철근콘크리트 필렛을 설치하도록 한다(그림 4(b), (c)). 두 번째 방

법으로는 기존 기둥의 양 측면에 포스트텐션된 수직 보강근과 함께 부분 조적조를 시공하는 방법이다(그림 4(f)~(h)). 보강되는 블록 개체의 수는 불연속된 보 하부근의 정착길이에 따라 결정된다. 보-기둥 접합부는 보에 천공된 구멍을 통과하는 사각 후프를 감싸서 전단보강 시킬 수 있다. 1/3 크기의 3층 모델에 대한 비선형 동적해석과 실험의 결과에 의하면, 이 보강 공법에 의하여 강한 기둥-약한 보의 거동을 유도할 수 있었으며, 적절한 층간변위를 얻을 수 있었다. 모든 기둥이 보강된 모델에서는 보의 힌지발생에 의한 파괴 메커니즘이 지배적으로 나타났다. 한편, 내부 기둥만이 보강된 경우에는 보의 힌지 발생이 상층 외부 기둥의 항복과 함께 발생되었다.

앞 절에서 언급한 콘크리트 자켓팅에 적용되는 제한사항이 CMU 자켓팅에도 동일하게 적용된다. 부분 조적조를 시공하는 경우에는 기둥 사이 내부공간의 손실이 증가되는 기능적인 단점이 추가된다.

### 강재자켓 혹은 외부 강재의 추가 (Steel Jackets and External Steel Elements)

결합이 있는 보-기둥 접합부의 강도 및 연성을 증진시키기 위하여 다양한 형태의 강재 자켓이나 플레이트 등을 사용할 수 있다. 강재 자켓은 평탄하거나 주름잡힌 플레이트, 공장 제작된 원형이나 각형 튜브 등을 현장에서 용접하여 사용할 수 있다.

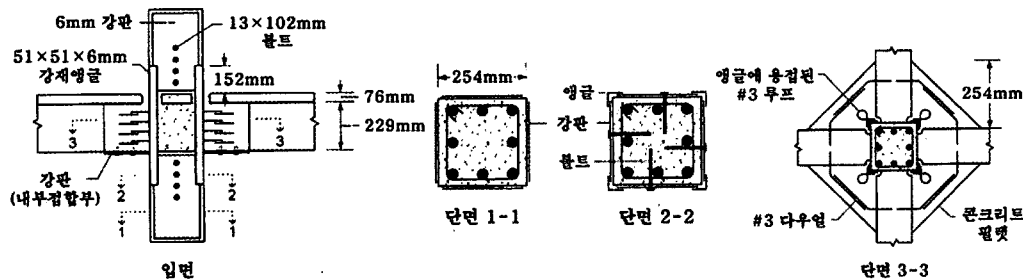


그림 5. Corazao와 Durrani에 의한 외부강재의 설치<sup>4)</sup>

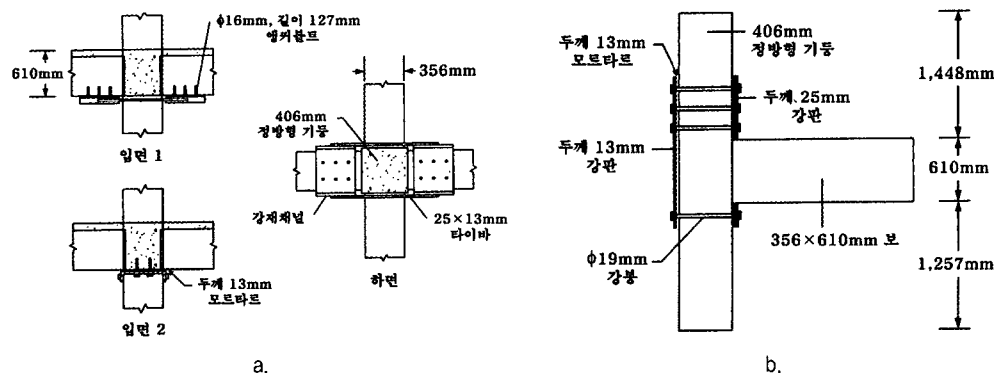


그림 6. Beres 등에 의한 외부강재의 설치<sup>7)</sup>

이 때, 자켓과 RC 골조 사이의 공간은 무수축이나 팽창 시멘트 모르타르를 사용하여 그라우팅 한다. 강재의 구속력을 증진시키기 위해서는 일반적으로 콘크리트에 기계적으로 고정시키는 방법을 사용하나, 접착제나 볼트 등을 사용하여 부재의 표면에 판재를 부착시키거나 앵글과 같은 부재를 사용하여 판재를 연결하는 방법 등이 사용될 수도 있다.

Corazao와 Durrani는 내·외부 하나씩의 2방향 보-기둥-슬래브 시험체에 대하여 기둥 표면에 외부 강재 플레이트를 볼트와 에폭시로 부착시키고, 여기에 앵글을 용접하고 접합부를 콘크리트 필렛으로 확대 보강하였다. (그림 5)에서 나타나듯이 단면 확대된 접합부는 Bracci, Reinhorn, Mander의 방법인 (그림 4(c))와 유사하며, 다만 연속된 접합부 후프를 후크를 갖는 다우얼로 대체한 것이 차이점이다. 기둥 상하부 표면에 부착시킨 강재 플레이트는 접합부 근처의 기존 콘크리트에 볼트로 고정하였으며, 슬래브를 관통하는 앵글에 용접하여 서로를 연결하였다. 내부 접합부의 경우, 플레이트는 단면 확대된 접합부의 하부에 부착시키고 볼트로 체결하였다. 보강 이전에 접합부 근처에서 발견된 균열은 보강 이후 확대된 접합부 단부로 이동함을 발견할 수 있었으며, 기둥이나 외부 보강재에 손상의 흔적을 발견할 수 없었다. 외부 접합부의 강도, 초기 강성 및 에너지 소산능력은 각각 18, 12, 2%씩 증가되었으며, 내부 접합부의 경우에는 각각 21, 34, 13%씩 증가되는 것으로 나타났다. 내부 접합부에서 에너지 소산이 더 많이 개선된 이유는 콘크리트

와 접합부 강재 플레이트 사이의 미끄러짐에 의한 것으로 분석된다.

Beres 등은 불연속되는 보 하단근을 가진 내부 및 외부 접합부를 외부 플레이트를 사용하여 보강하는 2가지의 서로 다른 방법을 고안하였다. 보 하단근의 뿔힘파괴를 방지하기 위하여 내부 접합부에서는 2개의 강재 채널단면을 보 하단에 볼트를 사용하여 보강하고, 2개의 강재 타이바를 기둥 양측면으로 설치하여 채널들을 긴결하도록 하였다(그림 6(a)). 이러한 보강으로 손상부위는 접합부 철근의 묻힘길이 부분에서

다른 부분으로 전이되었으며, 20%의 강도 증진과 10~20%의 강성증가를 나타내고 에너지 소산은 큰 변화를 보이지 않는 것으로 관찰되었다. 외부 접합부 보강의 목적은 보에서 휨 힌지의 형성을 유도하고 접합부 구속력을 증진시키는데 있다. 외부 강재 플레이트는 상하부 기둥의 양면에 설치하고 강봉으로 연결한다(그림 6(b)). 이러한 보강방법은 균열이 기둥 내부 철근의 이음부분으로 확대되는 것을 방지하게 된다. 보강된 시험체는 접합부 판넬에서 휨 힌지가 보에 근접하여 형성된 후, 보 하부 철근의 뿔뿔파괴가 발생되며 파괴되었다. 최대 강도와 초기 강성은 각각 33%와 12%씩 증가하게 되나, 최대강도 이후의 내력저하는 비보강 시험체보다 큰 비율로 발생되었다. 또한, 에너지소산능력은 재하 마지막 단계에서 현저하게 증가되는 것으로 관찰되었다.

Ghobarah, Aziz와 Biddah는 면의 강성을 증가시키기 위하여 주름강판 형태의 사용을 제안하였다. 그라우팅한 주름강판 자켓은 RC 기둥의 탄성구간에서 초기 횡방향 구속효과를 기대할 수 있으며, 기둥, 보, 접합부의 전단저항성을 향상시킬 수 있다. 주름강판의 단면형상과 설치 전후의 자켓의 형태는(그림 7)과 같다. 접합부 자켓은 현장용접과 함께 두개의 앵글과 앵커볼트를 사용하여 콘크리트에 고정시킬 수 있다. 보 자켓의 단부와 기둥의 표면은 20mm 정도의 간격을 두어 휨 강도 증진을 최소화 하였다. 제안된 시스템에 대한 4개의 1방향 외부 접합부에 대한 실험결과, 기둥과 보가 자켓으로 보강되었을 때 접합부의 전단파괴 모드를 보에서 연성적인 휨 파괴 모드로 유도할 수 있었다. 효과적인 구속력은 콘크리트의 극한

변형률을 증가시켜 5% 정도 횡변위를 향상시킬 수 있었다. Biddah, Ghobarah, Aziz 은 불연속 보 하단근을 갖는 두개의 외부 접합부 시험체를 추가로 실험하였다. 두 개 중 하나는 기준 시험체였으며, 나머지 하나는 기둥 주위만을 주름강판 자켓으로 보강하고, 보 하단근의 뿔뿔파괴를 방지하기 위하여 보와 접합부에 두개의 강판을 볼트로 부착시켰다. 이러한 보강시스템은 기준 시험체에서 나타난 하단근의 뿔뿔파괴를 방지하지 못하였으며, 볼트는 전단파괴 되었다. 그러나 제안된 시스템은 약 38%의 강도증진과 180%의 에너지 소산능력의 증가를 나타내었다. 주름강판의 두께를 산정하고 그라우팅을 실시하는 설계방법도 제안되었다.

콘크리트나 조적조 자켓과 비교할 때 강재 자켓은 공장제작으로 인하여 공기를 현저하게 줄일 수 있다고 판단된다. 그러나 동시에 강판의 부식, 중량의 무거운 인하여 취급의 어려움, 주름강판 사용시의 미적인 불리함과 강재 튜브를 그라우팅하는 경우의 공간의 손실 등의 단점도 무시할 수는 없다. 강재 자켓은 과도한 성능의 향상으로(한 예로 구속효과만을 원하는 경우 등) 예상하지 못한 파괴모드를 보일수도 있다. 이러한 단점을 무시하고서라도 실제 강재를 사용한 보강은 3차원의 접합부에 적용하기가 매우 곤란하다. 예로서 층간 슬래브의 존재는(그림 7)과 같은 보의 자켓을 설치하기가 곤란하다. 또한, 서로 다른 형태의 내부, 외부 및 코너 접합부 각각에 대한 2조각의 주름강판 강재 자켓 보강공법이 제안되었으나, 그 성능을 입증할 실험데이터는 없다. 보수단계에서 외부 강재 띠장을 설치 전에 가열하여 접착시킴으로써 프리스트레스를 가하는 방법도 있을 수 있으나, 현장에서의 작업 품질을 확실할 수 없으므로 실제 적용은 매우 어렵다.

섬유복합체(Fiber-Reinforced Polymeric Composites)

1998년부터 기존 보-기둥 접합부의 성능을 향상시키기 위하여 FRP로 제작된 슈트의 형태나 공장제작된 스트립을 에폭시로 부착하거나 FRP 봉을 표면매입하는 공법에 대한 연구가 이루어지고 있다. FRP를 사용한 보강공법은 초기 비용이 상대적으로 비쌌어도 불구하고, 중량대비 강도가 높고, 부식에 대한 저항성이 크며, 건축물 사용을 계속하면서 간편하게 시공할 수 있고, 인건비가 적게 들며, 부재의 크기를 증대시킬 필요가 없다는 장점이 부각되었다. 그중에서도 가장 매력적인 면은 FRP 보강공법이 목적에 맞게 변화될 수 있다는 점이라 할 수 있다. 즉, FRP 보강은 보강 목적(강도 증진, 구속력 증진, 혹은 두 가지 모두 등)에 따라 섬유 조성을 조정할 수 있다. 외부에 부착시키는 FRP 시스템은 콘크리트 표면을 깨끗하게 청소하고(불순물의 제거 및 손상을 입은 구조물에서는 균열의 주입보수 실시), 침투성 에폭

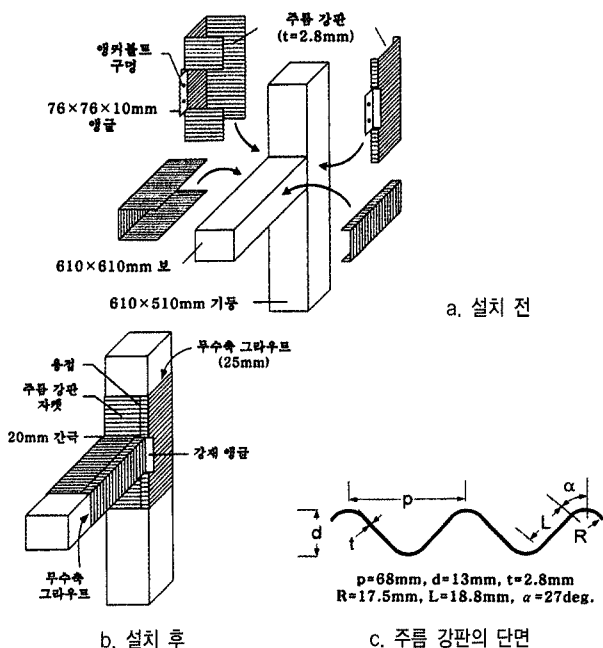


그림 7. Ghobarah, Aziz, Biddah가 제안한 주름강판 자켓팅 기술<sup>5,6)</sup>

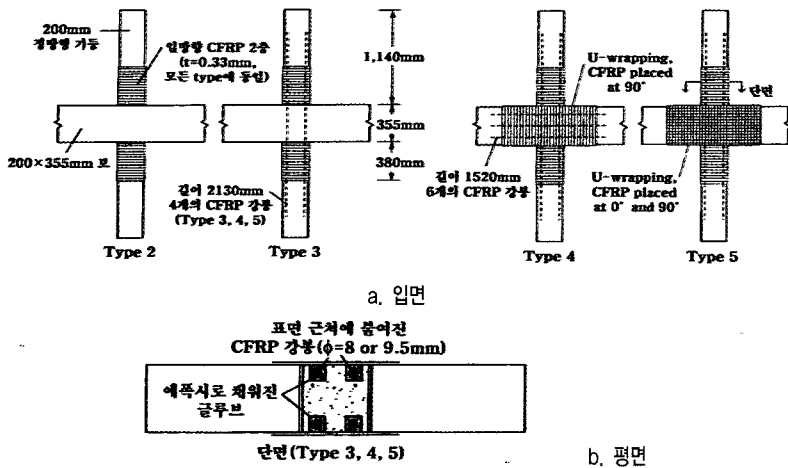


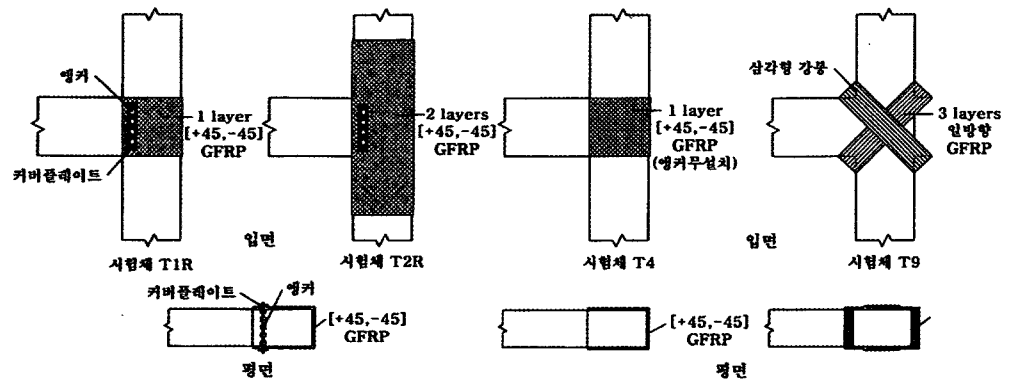
그림 8. Prota 등이 실험한 CFRP 시트 또는 강봉으로 보강된 시험체<sup>7,8)</sup>

시 프라이머를 도포한 뒤, FRP를 두겹의 레진 사이에 부착시키게 된다. Zureick와 Kahn은 프라이머와 레진은 5 ~ 32°C의 온도와 90% 이하의 상대습도, 콘크리트 표면의 온도는 이슬이 맺히게 되는 2°C 이상이며 콘크리트의 습윤상태가 4% 이하인 경우에 시공하도록 요구하였다. 또한, 레진의 유리전이온도를 30°C 이상으로 유지하고, 레진의 배합이후 첫 번째 시공까지의 소요시간과 FRP 각 겹 사이의 시공 시간이 레진의 젤타임을 초과하지 않아야 한다고 제안하였다. 현재까지 FRP로 보강된 접합부에 대한 연구는 주로 2차원적인 실험과 해석적 연구로 구성되어 있다.

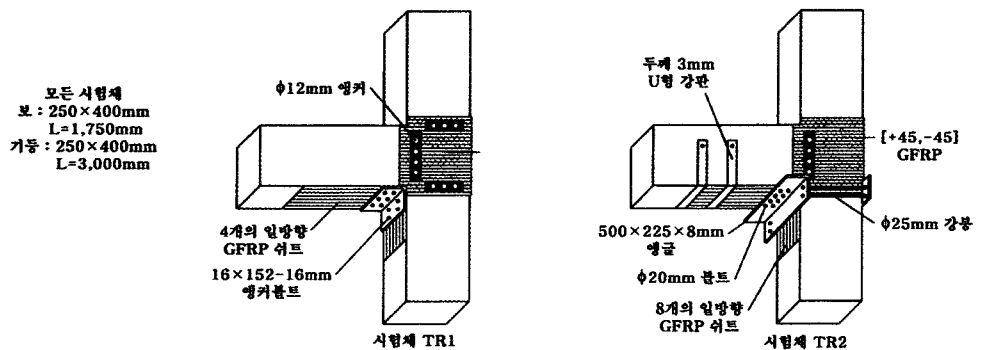
Prota 등은 부재의 성능 향상을 위하여 외부 섬유부착과 CFRP 봉을 동시에 사용하여(그림 8(a)) 11개의 1방향 내부접합부에 대한 실험을 실시하였다. 첫 번째 파괴모드를 기둥으로부터 접합부 쪽으로 이동시키고, 이후 파괴를 접합부로부터 보로 이동시킬 목적으로 실험을 실시하였으며, 3가지 크기의 축력을 기둥에 가력하였다. CFRP봉은 표면근처에 미리 만들어 놓은 홈에 매입한 후 에폭시로 채워 넣었다(그림 8(b)). 그러나 실험결과에서 파괴모드는 의도한대로 유도되

지 않았으며, 연성적인 보의 파괴는 일어나지 않았다. Type 2의 시험체에서 기둥의 축력이 적은 경우에는 기둥의 압축측에서 인장측으로 파괴 지점이 이동되었으며, 축력이 큰 경우에는 기둥과 접합부의 파괴가 같이 발생하였다. 기둥의 휨보강근으로 CFRP봉을 추가한 Type 3에서는 접합부의 전단파괴가 발생하였다. 접합부 판넬까지 보강한 Type 4에서는 기둥-접합부의 경계면에서 파괴가 발생하였으며, 이는 슬래브로 인하여 FRP 섬유보강이 이 지점까지 밖에 이루어지지 못했기 때문인 것으로 추정된다. 시험체의 최대내력은 Type 2에서 7 ~ 33%, Type 3에서 39 ~ 62%, Type 4에서 37 ~ 83%씩 증가하였다. 최대 증간변위는 저축력과 고축력에 대하여 각각 Type 2에서 -11과 25%, Type 3에서 6과 -14%, Type 4에서 73과 51%를 나타내었으며, 이때 음수는 연성의 감소를 의미한다. 보와 접합부에 대하여 U자형 래핑이 이루어진 Type 5의 파괴모드는 Type 4와 유사한 결과를 나타내었다.

Ghobarah와 Said는 접합부 전단파괴를 유도하도록 설계된 원 시험체를 1방향 혹은 2방향( $\pm 45^\circ$ ) GFRP 슈트로 보강한 1방향 외부 접합부에 대한 4개의 시험체를 실험하였다. 접합부



a. Ghobarah와 Said<sup>30)</sup>



b. El-Amoury와 Ghobarah<sup>37)</sup>

그림 9. GFRP로 보강된 시험체



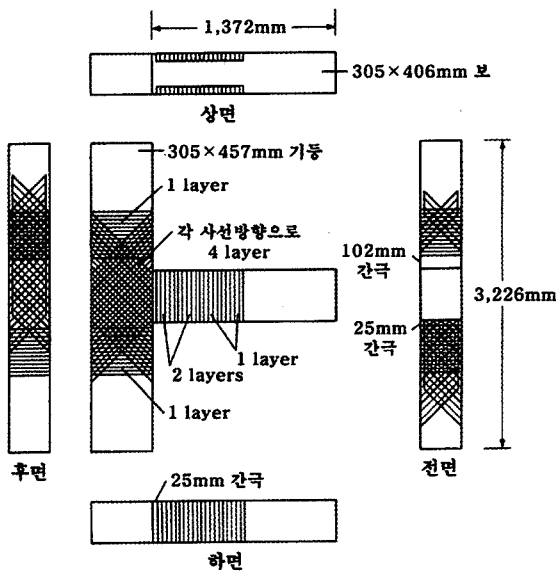


그림 10. Clyde와 Pantelides에 의한 CERP 보강시험체<sup>9)</sup>

에 미리 손상을 입히고 보수한 T1R과 T2R 시험체는 접합부를 관통하는 구멍에 나선선을 가진 강봉과 강판을 사용하여 기계적인 부착을 실시하였다. 접합부를 관통하는 기계적 앵커가 설치된 T1R 시험체의 GFRP는 섬유인장파단까지 유효한 성능을 발현한 반면, 나선 강봉을 사용하지 않은 T4 시험체에서는 섬유의 조기탈락으로 성능개선이 나타나지 않았다. T2R 시험체에서는 섬유의 탈락이나 접합부 전단균열 등이 발생하지 않고 보의 소성힌지가 발생되면서 파괴되었다. T9 시험체에서 대각선 1방향 스트립은 접합부 4코너에 삼각형 강봉을 설치하여 고정시켰다. 이 방법은 접합부 콘크리트의 팽창을 구속하여 섬유의 탈락을 유도하고 보와 접합부가 동시에 파괴되는 현상을 나타내었다. 전체적으로 이 연구에서는 접합부의 좁은 지역에서 섬유의 강도를 제대로 발현하기 위해서는 정착방법이 매우 중요함을 부각시켜 주고 있다.

El-Amoury와 Ghobarah는 보 하부철근의 정착 및 전단보강용 후프근이 부적절하게 이루어져 있는 접합부의 보강을 위하여 <그림 9(b)>에서와 같이 전술한 GFRP 보강공법을 수정하여 적용하였다. 그림의 두 시험체 모두에서 약 100% 정도 하중 저항능력이 증가되었으며, TR1과 TR2 시험체는 기준시험체에 비하여 각각 3배와 6배의 에너지 소산을 나타내었다. TR1 시험체는 보와 기둥 표면의 섬유가 박리되면서 보 하부철근의 뺨힘파괴가 발생되고, 고정용으로 사용된 볼트 머리의 용접부분이 파단되면서 파괴되었다. TR2 시험체에서는 U자형의 강판을 보강함으로써 GFRP의 박리를 방지하고 강도저감을 감소시킬 수 있었으며, 시험체의 최종 파괴는 접합부의 전단에 의하여 발생되었다.

Clyde와 Pantelides는 1방향 외부 접합부의 CFRP 보강공법에 대한 실험연구를 수행하였다. <그림 10>과 같은 CFRP의 배열은 접합부 전단파괴를 CFRP 내부에 최소한의 손상을 발생시키면서 보-기둥 접합부로 파괴지점을 이동시켰다. 접합부 전단강도, 최대 횡변위 및 에너지 소산능력은 각각 5, 78, 200%씩 증가되었다.

Antonopoulos와 Triantafyllou는 Pantazopoulou와 Bonacci에 의한 연구의 모델을 바탕으로 FRP로 보강된 접합부를 해석적으로 모델링하였다. 콘크리트의 부서짐이나 FRP의 파단 혹은 박리에 의한 파괴가 발생할 때까지 6단계에서의 응력 및 변형률의 상태가 수치적으로 계산되었다. 그들의 해석 모델을 검증하고 FRP 보강공법에 미치는 여러 인자의 영향성을 분석하기 위하여, Antonopoulos와 Triantafyllou는 18개의 접합부 보강시험체를 2/3 스케일로 제작하여 실험하였다. 시험체는 압축성형된 탄소섬유판 혹은 탄소섬유 쉬트 및 유리섬유 쉬트 등을 사용하여 다양한 방법으로 보강하였다. 실험에 사용된 주요 실험변수는 FRP의 면적과 분포, 기둥의 축력, 내부 접합부 보강근, 초기 손상정도, 탄소와 유리섬유, 쉬트와 압축성형 판, 직각방향 보의 영향 등이다. 18개의 모든 시험체는 보강 전후에 관계없이 접합부 전단에 의하여 파괴되도록 설계됨으로써, 접합부 전단강도에 대한 FRP의 기여도를 분석할 수 있도록 하였다. 결과적으로, 파괴는 섬유복합체의 부분적이거나 전체적인 박리가 선행되며 발생하였으며(고정시키지 않은 단부 혹은 접합부 코너 근처), 이력 루프에서 대폭적인 편칭현상으로 이어졌다. 기둥에 작용되는 축력이 4%에서 10%로 증가됨에 따라 접합부의 내력은 65~85%, 에너지는 50~70% 정도 증가되었으며, 강성의 증가는 매 하중 단계별로 변화되었으나 약 100%까지 증가되었다. 이 연구의 결과로 기계적인 고정장치의 필요성이 확인되었으며, 압축성형된 판보다는 유연한 쉬트의 성능이 우수하고, 기둥의 축력 수준이 증가함에 따라 FRP로 보강된 접합부의 전단능력이 증가됨이 밝혀졌으며, 탄소섬유보다 유리섬유를 사용하였을 때 에너지 소산능력이 크고, 내부 접합부 보강근이 적을수록 FRP의 기여도가 크게 나타나며, 접합부에서 직각방향 보의 존재는 FRP의 유효성에 미치는 영향이 부정적임이 밝혀졌다. 접합부 전단강도에 대한 해석적 연구의 결과는 이 연구뿐 아니라 Gergely, Pantelides와 Reaveley 등의 실험 연구결과와도 잘 일치하는 것으로 나타났다.

이상에서 언급한 바와 같은 연구결과의 자료에 따르면, 외부에 FRP 복합체를 부착시키는 공법은 다른 보강공법의 적용에서 나타나는 중요한 제한사항(예로, 시공의 어려움, 부재크기의 증가)을 제거할 수 있으며, 접합부 전단강도를 개선시키고 파괴를 연성적인 보의 힌지 메커니즘으로 변경시킬 수 있는 것으

로 나타났다. 이와 같은 성능의 개선은 섬유를 접합부 지역에서 45° 방향으로 배열하고, 경사방향의 섬유를 구속시키기 위하여 단부를 감싼 경우에는 적은 양의 FRP를 사용한 경우에도 개선효과가 나타났다. 대부분의 연구에서 보강 시험체의 거동은 콘크리트 표면으로부터 섬유복합체의 탈락에 의하여 지배되는 것으로 나타났으며, 이것으로부터 유효한 접합부의 구속력을 이끌어내고 섬유의 전체 강도를 사용하기 위해서는 적절한 기계적 부착공법뿐 만 아니라 완벽한 표면의 처리도 필요함을 알 수 있다. 연구자들은 이러한 부착공법을 개발하면 FRP로 보강된 실제 3차원 접합부의 잠재적 성능 향상이 가능하며, 이러한 방법은 이미 실험되어졌다고 믿고 있다. 비록 고도의 기술력이 필요한 것은 아니지만, FRP 복합체의 선택과 적용은 시공시기와 사용기간 중의 환경조건(예로 온도와 습도) 등에 대한 주의 깊은 고려가 필요하다.

다음의 저자들에 의한 서적에서도 이와 같은 내용을 다루고 있으나, 본 논문에서는 지면관계상 다루지 못하였으며, 이 서적들에 대한 자세한 내용은 다른 기회에 다룰 예정이다. Dogan, Hill, and Krstulovic-Opara<sup>10)</sup>, Shannag, Barakat, and Abdul-Kareem<sup>11)</sup>, Migliacci et al.<sup>12)</sup>, Adin, Yankelevsky, and Farhey<sup>13)</sup>, Hoffschild, Prion, and Cherry<sup>14)</sup>, Gergely et al.<sup>15)</sup>, Gergely, Pantelides, and Reaveley<sup>16)</sup>, Pantelides et al.<sup>17)</sup>, Pantelides and Gergely<sup>18)</sup>, Tsonos and Stylianidis<sup>19)</sup>, Karayannis and Sirkelis<sup>20)</sup>.

## 결 론

본 연구에서 비내진상태를 갖는 RC 보-기둥 접합부의 보유 성능, 보수 및 보강방법에 대한 문헌조사를 수행한 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 기존 RC 구조물에서 임계 비내진 접합부 상세는 <그림 1>과 같이 정의될 수 있다. 그러나 이러한 상세가 지진거동에 나타내는 효과에 대한 연구는 매우 제한적인 부분에서만 이루어지고 있는데, 즉 바닥슬래브가 없고, 직각방향의 보가 없거나 2방향 하중에 대한 연구없이 독립 1방향 접합부에 대한 연구만이 이루어져 왔다. 또한, 1/8 혹은 1/3 규모의 축소된 건축물 모델은 실규모 구조물 디테일의 거동을 정확하게 나타내지 못할 것으로 예상된다.

2) 에폭시 보수공법은 보강근 부착력의 회복, 균열의 충전 및 1방향 접합부의 전단강도 등을 제한적으로 회복시킬 수 있는 것으로 나타났으나, 일부 연구자들은 이 보수공법이 부적절하고 신뢰성이 없는 것으로 믿고 있다. 이들은 바닥슬래브가

주변을 감싸고 있는 접합부에 에폭시를 주입하는 것이 매우 어렵다고 생각한다.

3) 기둥의 콘크리트 자켓팅과 접합부 부분을 콘크리트 필렛으로 감싸는 공법은 효과적이거나 추가적인 접합부 띠철근 배근의 어려움으로 가장 많은 노동력이 필요한 공법이다. 내부 철근의 보강대신에 접합부 주변을 외부 강재 케이지로 용접하는 방법은 3차원 내부 접합부 실험에서 효과적인 것으로 증명되었다. 이러한 방법들은 강기둥-약보 메커니즘을 성공적으로 유도할 수 있었으나, 가용공간의 현저한 감소와 시공 간 건축물의 사용을 제한하는 단점을 가지게 된다.

4) 해석적 연구를 통하여 보강조적조를 사용하는 접합부 보강 공법은 연성적인 보의 파괴와 층간변위를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 성능을 입증할 실험자료는 없다.

5) 그라우팅한 강재 자켓을 사용한 실험자료는 실제적으로 바닥슬래브가 있는 경우에는 적용할 수 없다. 또한, 설치시 주의를 기울이지 않으면 과도한 내력의 증진으로 의도하지 않은 파괴 모드를 유발할 수도 있다. 외부에 강판을 부착시켜 연결하는 공법은 보 하부철근의 뿔뿔파괴나 기둥 철근의 이음파괴와 같은 국부적인 파괴를 방지 하는데 매우 효과적이다. 이 방법은 접합부 주변을 철근콘크리트 필렛으로 보강하는 공법과 병행하여 성공적으로 사용될 수 있다.

6) FRP 복합체를 외부에 부착시키는 공법은 다른 보강공법에서 나타나는 시공 상의 어려움이나 부재의 크기가 증대되는 중요한 제한사항을 제거할 수 있다. 1방향 외부 접합부의 전단 강도는 접합부에  $\pm 45^\circ$  방향의 섬유를 사용하여 개선시킬 수 있다. 그러나 연성적인 보의 파괴는 일부 시험체에서만 나타나고 다른 경우에는 보의 소성힌지가 형성되기 이전에 콘크리트로부터 섬유복합체가 탈락되는 현상을 나타내었다. 이러한 섬유의 탈락을 방지하고 접합부내 좁은 지역에서 섬유의 전체 강도를 사용하기 위해서는 신뢰성있는 부착공법의 개발이 필요하며, 이러한 공법의 개발은 실제 3차원 접합부에서 FRP의 사용을 가능하게 할 것으로 기대된다.

7) 현재까지 개발된 대부분의 보강공법들은 실제 구조물과 같은 경우를 고려하지 못했던 부재(직각방향의 보와 바닥 슬래브)나 건축적인 제한조건들로 인하여 적용상의 제한된 범위를 갖게 된다. 또한 자료를 축적하기 위한 실험들은 일반적으로 1방향 하중의 이력만을 갖는다. 따라서 이 부분에 대한 연구는 아직까지 매우 미흡하며, 신뢰성있고 경제적이며 실제 적용이 가능한 보강공법을 개발하기 위해서는 상당한 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 그러한 보강공법을 개발하기 위해서는 실험 프로그램을 2방향 반복하중이 작용하는 임계 접합부의 형태(한 예로 코너 등)까지 포함할 수 있도록 확대하는 것이 중요하다. □

## 참고문헌

1. Beres, A., Pessiki, S. P., White, R. N., and Gergely, p., "Implications of Experiments on the Seismic Behavior of Gravity Load Designed RC Beam-to-Column Connections," *Earthquake Spectra*, Vol.12, No.2, May 1996, pp.185~198.
2. Alcocer, S. M., and Jirsa, J. O., "Strength of Reinforced Concrete Frame Connections Rehabilitated by Jacketing," *ACI Structural Journal*, Vol.90, No.3, May-June 1993, pp.249~261.
3. Bracci, J. M., Reinhorn, A. M., and Mander, J. B., "Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Buildings Designed for Gravity Loads: Performance of Structural Model," *ACI Structural Journal*, Vol.92, No.6, Nov.-Dec. 1995, pp.711~723.
4. Corazao, M., and Durrani, A. J., "Repair and Strengthening of Beam-to-Column Connections Subjected to Earthquake Loading," Technical Report NCEER-89-0013, SUNY/Bufalo, 1989.
5. Ghobarah, A., Aziz, T. S., and Biddah, A., "Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Corrugated Steel Jacketing," *ACI Structural Journal*, Vol.4, No.3, May-June 1997, pp.283~294.
6. Biddah, A., Ghobarah, A., and Aziz, T. S., "Upgrading of Nonductile Reinforced Concrete Frame Connections," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.123, No.8, Aug. 1997, pp.1001~1009.
7. Prota, A., Nanni, A., Manfredi, G., and Cosenza, E., "Selective Upgrade of Beam-Column Joints with Composites," *Proceedings of the International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, Hong Kong, Dec. 2001.
8. Prota, A., Manfredi, G., Nanni, A., and Cosenza, E., "Selective Seismic Strengthening of RC Frames with Composites," *Proceedings of the Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston, July 2002.(CD-ROM)
9. Clyde, C., and Pantelides, C. P., "Seismic Evaluation and Rehabilitation of R/C Exterior Building Joints," *Proceedings of the Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Boston, July 2002.(CD-ROM)
10. Dogan, E., Hill, H., and Krstulovic-Opara, N., "Suggested Design Guidelines for Seismic Retrofit with SIMCON and SIFCON," *High-Performance Fiber-Reinforced Concrete in Infrastructural Repair and Retrofit*, SP-185, N. Krstulovic-Opara and Z. Bayasi, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2000, pp.207~248.
11. Shannag, M. J., Barakat, S., and Abdul-Kareem, M., "Cyclic Behavior of HPRFC-Repaired Reinforced Concrete Interior Beam-Column Joints," *Materials and Structures*, Vol.35, 2002, pp.348~356.
12. Migliacci, A., Antonucci, R., Malo, N. A., Napoli, p., Ferreti, S. A., and Via, G., "Repair Techniques of Reinforced Concrete Beam-Column Joints," Final Report, *Proceedings of the IABSE Symposium on Strengthening of Building Structures-Diagnosis and Therapy*, International Association of Bridge and Structural Engineering (IABSE), Zurich, Switzerland, 1983, pp.355~362.
13. Adin, M. A., Yankelevsky, D. Z., and Farhey, D. N., "Cyclic Behavior of Epoxy-Repaired Reinforced Concrete Beam-Column Joints," *ACI Structural Journal*, Vol.90, No.2, Mar.-Apr. 1993, pp.170~179.
14. Hoffschild, T. E., Prion, H. G. L., and Cherry, S., "Seismic Retrofit of Beam-to-Column Joints with Grouted Steel Tubes," *Recent Development in Lateral Force Transfer in Buildings: Thomas Paulay Symposium*, SP-157, N. Priestley, M. P. Collins, and F. Seible, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1995, pp.397~425.
15. Gergely, I., Pantelides, C. P., Nuismer, R. J., and Reaveley, L. D., "Bridge Pier Retrofit Using Fiber-Reinforced Plastic Composites," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol.2, No.4, Nov. 1998, pp.165~174.
16. Pantelides, C. P., Gergely, J., Reaveley, L. D., and Volnyy, V. A., "Retrofit of Reinforced Concrete Bridges with Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites," *fourth International Symposium for Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures*, SP-188, C. W. Dolan, S. H. Rizkalla, and A. Nanni, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 1999, pp.441~453.
17. Gergely, I., Pantelides, C. P., and Reaveley, L. D., "Shear Strengthening of RCT-Joints Using CFRP Composites," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol.4, No.2, May 2000, pp.56~64.
18. Pantelides, C. P., and Gergely, J., "Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Seismic Retrofit of RC Bridge Bent: Design and In-Situ Validation," *Journal of Composites for Construction*, ASCE, Vol.6, No.1, Feb. 2002, pp.52~60.
19. Tsonos, A. G., and Stylianidis, K., "Seismic Retrofit of Beam-to-Column Joints with High-Strength Fiber jackets," *European Earthquake Engineering*, Vol.16, No.2, 2002, pp.56~72.
20. Karayannis, C. G., and Sirkelis, G. M., "Effectiveness of RC Beam-column Connections Strengthening Using Carbon-FRP Jackets," *Proceedings of the Twelfth European Conference on Earthquake Engineering*, London, Sept. 2002, PR 549.(CD-ROM)

※ 지면관계상 참고문헌 중 일부만이 소개되었음을 알려드립니다.