

建築構造物 스팬의 長大化

Look Forward to the LongSpan Beam
on Building Structures

-Preflex Beam의 스팬장대화 가능성-

金鍾洛 / 숭실대 건축공학과 부교수, 工博
李鶴洙 / Han 건축·구조연구소 工博
by Kim, Jong-Rakl & Lee, Hark-Soo

1. 混合構造의 역할

최근 건축구조 분야에서도 새로운 재료를 사용한 구조의 개발과 함께 기존의 재료를 조합하여 종래에 기대할 수 없었던 성능을 건축구조에 채용하려는 노력이 활발하다. 가장 개발이 활발하고 실제 적용 예가 많은 것은 철근 콘크리트와 철골부재를 조합한 것이다.

콘크리트와 철의 조합으로 보면 철근 콘크리트구조의 발명은 오래된 발상이며 철근콘크리트와 철골을 조합한 철골철근콘크리트 구조도 기존의 구조체종별 분류에 구분되어 있다.

여기서는 부재 1개에서 부재와 부재의 접합 또는 構面과 構面의 조합이라는 구조시스템을 의미한다. 이러한 구조 형태를 混合構造라 칭한다.

(그림1~4)는 부재와 부재의 複合을 나타낸 것이다. 일본 등지에서 사용되는 상세도 포함되어 설명한다.

(그림1)은 철근콘크리트 기둥과 철골보의 조합의 예를 나타낸 것이다. 기본적인 생각은 현장에서의 인력의 감소와 현장 부품의 최소화로 건설비 경감이 목적일 것이다. 물론 이와 같은 새로운 混合構造는 반드시 확인실험이 선행되고 공인된 구조방식으로서의 인정이 필요하다.

(그림2)는 (그림1)과 같은 철근콘크리트기둥과 철골보의 조합이다. 이 부분은 현재의 우리나라 철골철근콘크리트 구조의 상세에 관한 문제와

관계되는 부분이다. 중요한 역할을 담당하는 기둥·보 접합부에 콘크리트를 채워넣어야 한다. 채워넣지 못하는 상세를 설계하거나 시공되면 골조의 내력이 기대에 미치지 못하는 경우도 있어 염려된다. 이 그림으로 보아 알수 있듯이 기둥·보 접합부 속에 콘크리트가 채워질 수 있도록 개선한 것이다.

철근콘크리트 기둥부재의 철근 배근도 용이하다고 생각되며 기둥보 접합부에서의 힘의 흐름에 무리가 없을 것으로 생각되어진다.

(그림3)도 철근콘크리트 기둥과 철골보의 조합이다. 가장 중요한 것은 기둥·보 접합부에 콘크리트를 채우는 것이 가장 문제가 되는 것을 알 수 있다.

(그림4)는 일본에서 개발된 철골철근콘크리트 기둥과 철근콘크리트 보의 복합구조이다.

(그림5)는 철골철근콘크리트 기둥과 철골보로 접합된 구조체를 나타낸 것이다.

이와같은 混合構造를 추구하는 것은 기존의 구조방식에서는 얻을 수 없었던 구조기능 생산 시공성을 얻고자 하는 것이다. 완성되는 구조체가 長大스팬이 되며 충고를 저감시키는 것과 구조적 剛性を 높여 처짐을 경감시키고 주거환경을 개선하는 목적이다.

(그림6)은 기둥보 접합부의 수평력 저항 능력을 실험한 결과이다. 즉 접합부 전체가 충분한 내력을 발휘하고 수평력에 큰 흡수 능력을 기대할 수 있어야 한다.

2. 混合構造의 종류

(그림7)은 일반적인 철골구조의 골조와 슬라브공사에 대한 개요를 나타낸 것이다. 근년의 고층건물의 슬라브는 거푸집 대용택크플레이트를 설치하고 슬라브콘크리트를 타설하므로 슬라브용 거푸집이 거의 없어졌다. 이에 混合構造를 적절하게 도입하면 보의 거푸집도 생략할 수 있으므로 수평 요소 부재의 거푸집이 불필요하게 된다. 이러한 이점으로 複合構造의 채택이 더욱 다양해 질 수 있다.

이에 混合構造의 종류를 살펴본다.

(표1)은 混合構造의 形態的 分類를 나타낸 것이다.

다양하게 분류가 되지만 여기서는 흔히 채용되어지는 것을 정리한다. 우선 재래식의 구조부재와 새로운 力學的인 利點을 살린 보와의 조합이 많이 채용되어질 것으로 본다.

철골철근콘크리트기둥에 철골보를 설치하는 경우가 있으며 근년에는 철골보의 스팬을 크게 하기 위하여

Preflex보를 조합하는 경우도 있다.

또한 이러한 混合構造는 스팬의 장대화의 목적으로만 채용되어 지는 것은 아니지만 최근에는 지하주차장 계획과 더불어 보 스팬의 장대화를 해결하면서 보춤을 줄이려는 노력이 대단하다.

다른 구조 시스템의 조합은 현재 많이 사용은 되고 있지만 존재능력의 확인뿐만이 아니라 급격한 剛性變化가 없도록 세심한 주의가 필요하다.

특히 이와같은 복합, 혼합구조의 경우 이질재, 이질부재 다른 구조 시스템이 합해지는 부위에서는 剛性的 급격한 변화를 최소화 하여야 할 것이다.

3. 省力化 構造로서의 Preflex Beam

앞에서 설명한 混合構造도 現場에서의 省力化와도 관계가 깊다. 前號에서 설명한 것과 같이 Preflex Beam은 제작 공정중에 설계된 보의 構造的 안전성을 검토하게 되고, 공장가공된 보를 현장에서 설치하게 되므로 현장에서의 省力化를 얻을 수 있다. 또한 텍크 플레이트를 사용하는 슬라브일 경우 수평요소 부재의 콘크리트 타설을 위한 거푸집 및 지지대가 필요하지 않다.

일반적으로 철골보의 剛性이 부족하여도 철골보 하부 플랜지의 보강이 거의 실행되지 않았으나 Preflex Beam의 경우 공장에서 미리 철골보 하단 플랜지에 고강도의 콘크리트를 타설하여 제작하므로 보자체의 剛度가 크게 상승한다. 또한 처짐량을 가능한 적게 제어할 수 있으므로 보의 높이, 층고가 결정되어 있을 경우 설계 및 구조설계에 있어서 큰 융통성을 발휘할 수 있다.

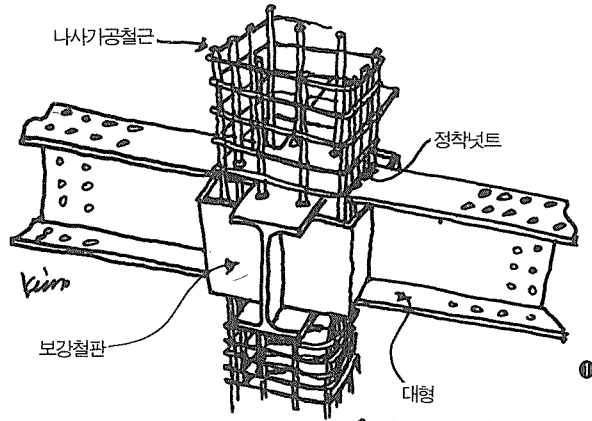
또한 경제성에서 자세하게 설명이 되지만 중첩구조인 건축구조에서 사무소 건축의 경우 8~9층에서 1개층의 공간을 확보할 수 있다.

특히 기둥의 수를 줄이고 내부공간에서 無柱공간을 확보해야할 경우 대개는 보의 처짐에서 설계시 많은 고심을 하게 된다. 이와같은 처짐의 제한이 문제가 될 경우 Preflex Beam이 그 진가를 발휘할 것으로 기대된다.

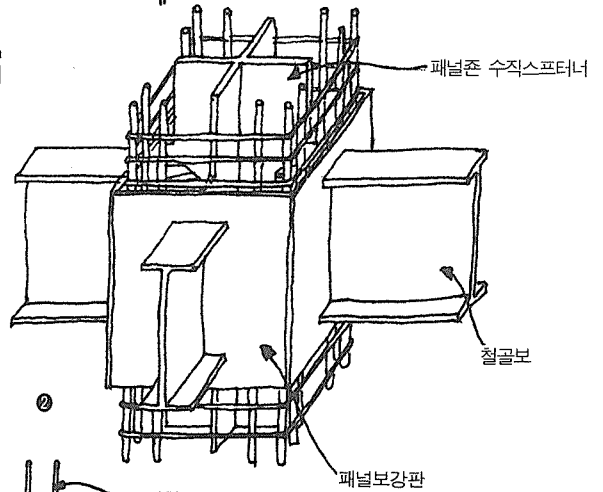
스트레스의 도입은 공장에서 이루어지고 하부 플랜지에 폭이 넓은 콘크리트가 타설되어지므로 현장에서 기능공의 이동에도 큰 역할을 담당하기도 한다.

4. Preflex Beam의 발달

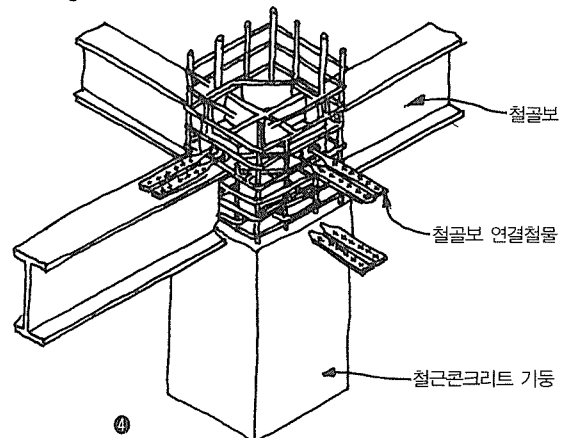
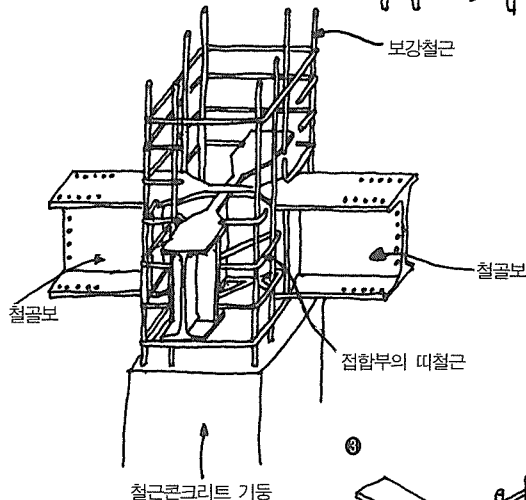
이 Preflex Beam은 보스판의 약 1/4되는 2개소에 집중하중을 작용시켜 설계하중에 대하여 발생하는 응력에 적절하게 부합되는 휨하중을 가력하여



- ① 철근 콘크리트 기둥+철골보의 조합
- ② 철근콘크리트 기둥+철골보의 조합



- ③ 철근콘크리트 기둥+철골보의 조합
- ④ 일본에서 개발된 철골 콘크리트 기둥+철골보의 복합구조



재래구조 부재와 複合構造의 組合	SRC기둥+S보 SRC기둥+(단부SRC, 중앙SRC)보 SPC기둥+(SRC+S)보
다른 종류의 부재 조합	S기둥+Preflex Beam SRC기둥+Preflex Beam SRC기둥+S RC기둥+단부RC, 중앙부S SPC기둥+SQ보, RC보, SRC보
다른구조 시스템 조합	하부구조RC+상부구조S 외부S+내부, 코아SRC, RC 외부RC+내부S 外柱SRC튜브+내부S S골조+RC내진벽 S골조+브레이스

〈표 1〉 混合構造의 分類

형성한다. 이때 하부 플랜지에 고강도의 콘크리트로 둘러싸고 양생이 되면 하중을 제거하여 현장으로 운송되는 구조 방법으로 기존의 기둥구조에 보만을 역학적으로 개선되는 混合構造이다.

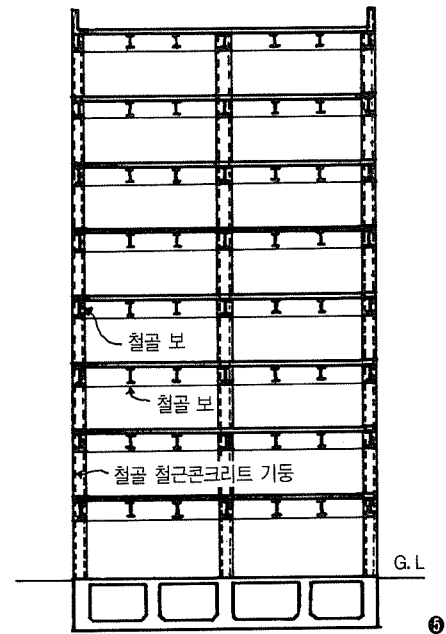
이 구조방식은 벨지움의 설계기사 Lipski에 의해 1949년 고안되어졌고 그후 Brussel대학의 Baes 교수의 협력을 얻어 두 사람의 힘으로 1951~1954년에 설계법이 확립되었다.

그후 일본에서도 1966년 독자적으로 개발되어 사용되고 있는 구조이다. 특히 이 구조는 교량구조에서는 오래전부터 많이 사용되어온 구조 방식이다. 특히 교량에서는 하부플랜지의 방청구조 피로진폭의 저감, 진동주기의 저감 등의 이점이 있어 많이 사용되어지고 있으며 대한토목학회에서는 1986년에 프리플렉스 합성형 표준시방서 및 동해설(안)을 발간하였고 1987년에는 프리플렉스합성형 철도교 표준시방서(안)과 프리플렉스합성철도교설계·제작·시공기술을 발간 하였다.

5. Preflex Beam의 경제성

앞서 기술한 바와 같이 건축물의 장대 스팬화의 요구는 특히 건축물의 용도가 사무소 빌딩, 주차빌딩, 스포츠센터 등에 대해 자유로운 공간의 연출과 평면 및 건물 전체 계획상 필연적으로 요구된다. 이와같은 건축계획상의 장대스판의 요구는 구조적으로 비경제적이며, 높은 보춤의 요구 등에 대한 층고문제 등 모순점과 문제점을 갖게 된다. 결국 설계자는 철골보의 경우 비렌달보인 경우 작은 세부재를 연결하여 구성하는 관계로 용접부가 많아져

실질적으로 제작상의 어려움을 갖게 되고 설비에서 요구하는 충분한 공간을 웹에서 해결하기엔 역부족인 경우가 많아 적당치 않다. 하니컴 웹보인 경우 웹오프닝의 한계의 문제점은 있으나 비교적 타당성이 있는 보부재로 생각되어 많은 구조설계자가 선택하고 있으나, 이 보의 형태 역시 스팬의 한계가 있고 장대스판의 경우 보의 처짐과 특히 웹 오프닝에 따른 변형의 증가가 일반 H형강보의 변형 증가에 비해 1백50% 이상이 되어 장대스판의 경우 설비와 구조의 동시 해결에는 역시 역부족이 된다. 일반적인 H형강보인 경우 장대스판의 보의 춤이 $l/15$ 내외가 되어 설비와 동시 만족하는 경우 층고의 증가가 예상되어 사선제한 등에 따른 건물높이 제한에 의하여 건축하고자 하는 층수만큼을 해결할 수 없는 경우가 발생한다.



특히 근년에 들어서 인테리전트 빌딩 등의 건립으로 층고가 높아지는 추세이다.

이상에서 가장 합리적인 구조는 보의 춤이 낮고 처짐 및 진동과 진폭이 유리하여 시공성과 경제성을 동시에 갖고 있는 보의 구조 형태를 요구하게 된다.

근년들어서 설계되어지는 사무소 건축물 등의 경우 평면의 자유로움과 공간의 자유로운 연출과 변화 거주에 대한 문화공간의 제공 등과 1층의 은행 등 특수 장대스판 공간의 필요성, 지하상이 아케이트 및 문화시설, 스포츠시설의 제공을 위한 장대스판에 대한 요구가 한층 더해지고 있다.

이상에서 이해를 돕기 위하여 예를 선택하여 비교해 보면 비교조건에서 용도를 사무소 건축으로 보고, 스팬을 20m로 하고 지상층수를 30층,

지하층수를 8개층으로 하는 경우에 대하여 Preflex Beam과 철골보의 경우를 비교한다. 보춤의 경우 순철골보인 경우 보의 춤이 100cm 정도로 산정되고 Preflex Beam인 경우 보의 춤이 70cm정도가 된다.

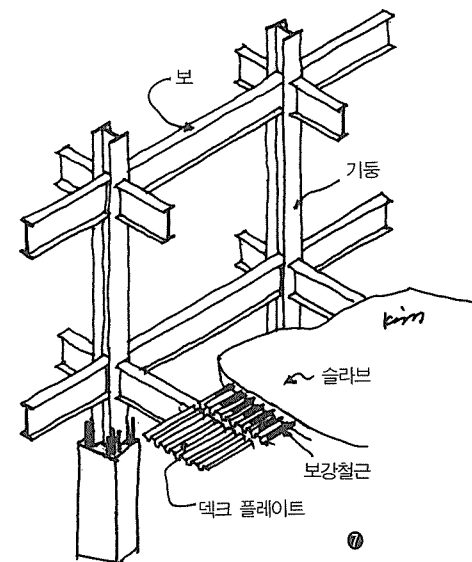
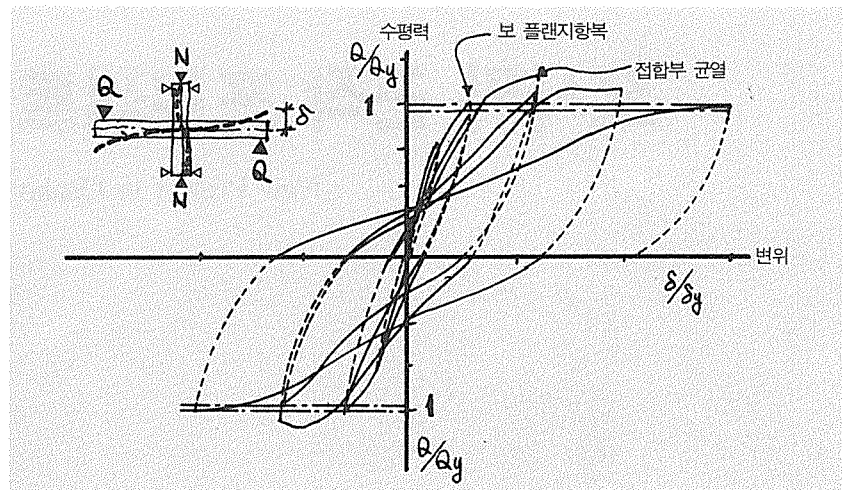
이 경우 순수한 골조의 공사비만을 비교하여 보면 철골보를 기준으로 하는 경우 Preflex Beam이 25% 내외의 증가 요인을 갖게 된다. 여기에는 층고감소 효과에 대한 경제성, 골조비, 마감 내외부, 형틀, 내화피복 등의 절감효과는 고려치 않고 있다.

이상을 고려하여 정리하면 10% 내외의 경제성을 갖게 된다. 즉 철골보를 기준으로 하여 Preflex Beam을 순수 골조 및 전체공사 절감 효과를 고려하여 판단하면 10% 내외의 증가 요인을 갖게 되어 경쟁력을 갖게 된다. 특히 국내에서의 대부분 건적이 입체가 아닌 평면 면적을 기준으로 하여 산정되고 있어 이에 대한 정확한 Data 분석은 상당히 힘든 실정이다. 또한 지상층에서 각 층당 30cm의 층고 절감효과는 건물 전체를 약 9cm 가량 낮게 하는 경우가 되어 사선제한 등에 따른 건물높이 제한에 유리한 구조형태로서의 합리성을 갖게 된다.

그리고 보의 처짐에 대해서는 철골보인 경우 약 $l/300$ 이하이나 Preflex Beam의 설계인 경우 약 $1/500$ 에 해당하여 처짐에 대해 안전하며, 특히 처짐은 진동과 밀접한 관계를 갖게 되어 진동에도 소진폭으로 안정된 구조물임을 알 수 있다. 일반적인 경우 거주자는 1초당 10사이클 이하의 진동에 민감한 반응을 나타낸다고 한다. 이를 정확히 설계하기란 어렵지만, 대략 15m 스팬을 초과하는 경우 $1/300$ 에 거의 가까이 갈수록 거주자에게 미세한 진동을 느끼게 되어 불안감과 불쾌감을 주게 되는 경우가 발생하게 된다.

보의 내구성 및 내구성을 위한 시공에 대해서도 일반 철골보인 경우 내화 및 내구성을 위한 피복을 하여야 하나 Preflex보인 경우 이미 50%이상이 콘크리트 피복이 되어 있어 내구성, 내화성과 시공성에 유리하게 된다.

공사기간에 대하여 비교해 보면 철골보나 Preflex Beam의 제작, 설치기간은 거의 같음을 알 수 있다. 특히 대규모 공사인 경우 Preflex Beam 부분과 철골보 및 철골기둥 등의 일반 철골구조물의 비가 거의 같아서 Preflex Beam 제작과 일반 철골 구조물의 제작이 분리되어 발주되는 경우 오히려 공기상에 상당한 도움을 줄 수 있게 된다. 특히 품질관리면에서도 공장에서 엄격한 규준에 의하여 제작되어지는 Preflex Beam이 일반 철골 구조물의 제작상의 엄청난 기술차이에 의한 품질보장의 어려움에 비하면 바람직함을 알 수 있다. 또한 처짐 및 진동에 특별한 제약은 받는 크레임보, I.C LAB



- ⑤ 철골 철근콘크리트 기둥과 철골보로 구성된 골조
- ⑥ 기둥보 접합부의 수평력 저항
- ⑦ 철골 철근콘크리트 기둥과 철골보로 구성되는 골조

등의 지지보인 경우 응력보다는 처짐량에 의해 결정되어 지는 것이 대부분임으로 이 경우 Preflex Beam이 합리적임을 알 수 있다.

지하 구조물에 대한 철골보와 Preflex Beam 사용상의 장단점을 비교하여 보면 지하 8층을 예로 하는 경우 각층당 30cm를 낮추는 경우 전체적으로 2.4m를 줄이게 된다. 이는 지하층 깊이의 절감에 따른 굴착공사비, 흙막이 공사비 및 공사기간 그리고 수압이 있는 경우 약 $2.4t/m^2$ 의 부력을 줄이게 되어 최저층 바닥 구조물에 경제성을 부여하게 된다.

Preflex Beam을 사용하여 증가하는 골조 순수공사비보다도 지하층 깊이를 낮춤으로써 오는 경제성은 보다 중요한 요인으로 검토하게 된다.

이상으로 보아 Preflex Beam은 건축구조물에 장대 스팬을 해결하는 데는 합리적이고 유효한 것임을 알 수 있으며 이에 대한 구조설계자의 보다 적극적인 참여의식이 장대 스팬의 건축물의 보다 합리성과 경제성을 부여하리라 사료된다.