

단부 접합 개선형 프리스트레스 PC보(EPC합성보) 개발 및 적용사례

Performed Project and Development of ECO-Prestressed PC Beam for the Improvement of Connection



이 호 찬*



심 남 주**



이 종 일***

*MCS-ST 구조기술사사무소 대표이사
**삼표건설(주) 건축PC사업부 상무이사
***MCS-ST 구조기술사사무소 이사

1. 서 론

1.1 배경

21세기 들어 급속도로 변화하는 현대사회는 대도시 지역의 인구집중으로 인하여 인구밀도가 끊임없이 증가하고 있으며, 토지이용의 한계 등으로 건축물은 고층건물의 수요가 증가하고, 초고층화, 대형화 및 장스팬화의 방향으로 그 요구가 다양해지고 있다.

또한 국제사회는 기후변화에 따른 지구온난화 문제의 심각성에 대하여 인식을 같이하고 있으며, 현재 세계 각국에서는 건설산업 부분에서도 온실가스인 이산화탄소를 저감하기 위한 기술개발 및 건설재료 개발에 관심을 가지고 노력을 기울이고 있다.

이러한 건설환경의 변화는 복합화건축 기술개발 연구 등을 통해 복합화 기술을 발전시켜 왔으며, 변화하고 있는 현장의 노동력 수급문제, 공사비 상승, 품질 저하, 건설자재 품귀 등 시장조건의 해소를 요구하고 있다. 따라서, 기술요소와 시스템을 구축할 수 있는 부품의 표준화, 공장생산도입, 가설공사의 최소화, 품질향상, 생산력 증대, 공기단축, 인력의 최소화, 경제성 증대를 도모할 수 있는

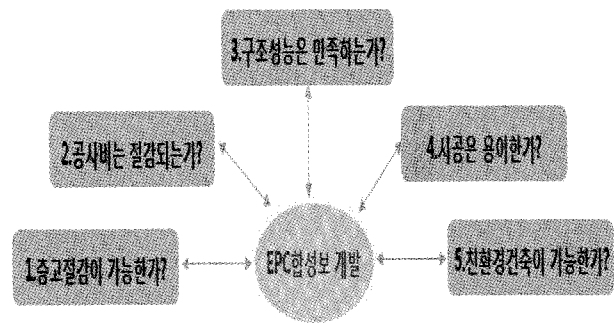


그림 1 EPC합성보 개발 배경

건축기술이 시대에 부응하게 되었다.

1.2 EPC 합성보개발 필요성

건설시장의 다변화에 대응하고 시공현장의 다양한 요구 등을 해결하기 위하여 건설산업에서 가장 중요한 구조재료로 사용되고 있으며, 경제성 및 시공성의 이점으로 향후에도 그 사용량이 지속적으로 확대될 것으로 사료되는 콘크리트를 사용하는 복합화건축 기술개발에 노력을 기울이게 되었다.

기존 건설시장에 많은 합성보 부재들이 이미 개발되어

시공현장에 적용되었으며, 건축재료 기술발전이 공헌하고 있는 바, 경쟁력 있는 복합화 건축 부재를 개발함에 있어서 다음의 요구사항들을 충족 시킬 수 있도록 노력하였다.

- 첫째, 층고절감이 가능한가?
- 둘째, 공사비는 절감되는가?
- 셋째, 구조성능은 만족하는가?
- 넷째, 시공이 용이한가?
- 다섯째, 친환경건축이 가능한가?

단부 접합 개선형 프리스트레스 PC보인 EPC합성보는 프리스트레스를 도입한 콘크리트를 사용하여 보 단부에 H형강을 조합한 합성보로 콘크리트와 철골의 재료적 장점을 활용하였고, 공장제작을 통해 현장에서의 현장작업을 최소화할 수 있으며, 구조시스템의 모듈화를 통한 안전성 및 시공성 확보, 토지이용의 극대화와 환경 친화적으로 개발되었다.

이제 EPC합성보의 개발 및 적용사례에 대하여 소개하고자 한다.

2. EPC 합성보의 개요 (ECO-Prestressed PC Beam)

2.1 개요

EPC합성보는 RC보의 경제성과 철골보의 단부 접합부 시공성을 활용한 프리캐스트 콘크리트보와 프리캐스트 콘크리트에 프리스트레스를 도입하여 성능을 향상시킨 효율성이 뛰어난 복합보로, 지하 및 지상 구조물 시공시 보 축의 감소, 횡강성의 증대, 건물의 지속적 사용에 따른 처짐·진동을 제어하며 내화피복이 필요없는 환경 친화적인 보 시스템이다.

기존 RC(Reinforced Concrete)공사의 단점인 거푸집을

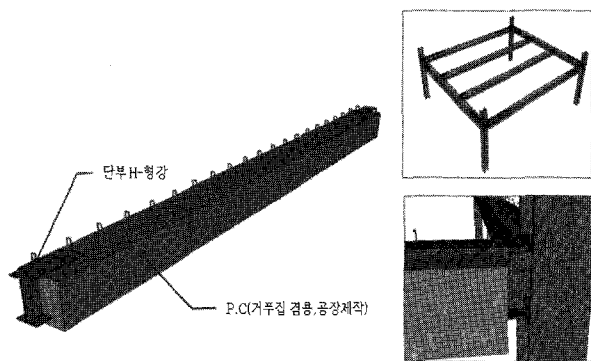


그림 2 EPC합성보의 구성

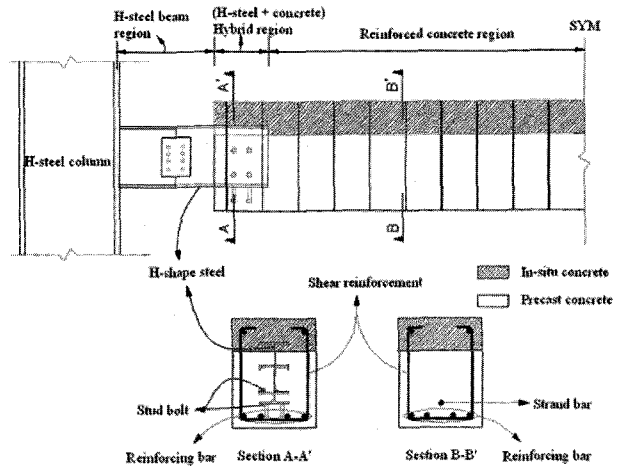


그림 3 EPC합성보의 개념

PC(Precast Concrete)로 대신하고 접합부는 철골과 같이 간단하게 접합하도록 시공성을 향상시켰으며, 내화피복이 필요없는 친환경 구현을 가능하게 하였다.

EPC합성보는 보의 길이 방향을 따라 H형강 구간, H형강과 콘크리트의 합성구간, 그리고 철근콘크리트 구간으로 구성된다. H형강 구간은 철골 기둥 또는 철골을 매입한 철골콘크리트 기둥에 현장시공으로 직접 연결된다. 합성구간의 역할은 철근콘크리트 보와 H형강 보가 일체적으로 거동하여 원활한 응력전달을 할 수 있도록 하는 것이다. 철근콘크리트 구간은 PC로서 구형의 단면으로 공장에서 PC로 제작되며 현장에서 슬래브와 함께 타설된다. 구형 단면의 PC 구간은 부재의 경간과 하중조건에 따라 프리스트레스로 설계·시공될 수 있다. 구형 단면의 PC구간에서 주철근 및 긴장재는 H형강과 콘크리트의 합성구간에서 정착된다. 전단철근은 전단력 전달과 함께 구형 PC와 현장타설 콘크리트의 접합면에서 미끄러짐을 방지하여 일체적 거동을 유도하는 역할을 한다. 따라서 EPC합성보는 H형강을 보 단부에만 설치하고, 콘크리트 부분에 프리스트레스를 도입한 개념으로 요약될 수 있다.

2.2 EPC합성보의 특성

EPC합성보는 각 재료의 장점, 즉 철골의 시공성과 RC의 경제성을 동시에 가지고 있으며 특성은 다음과 같다.

2.2.1 슬림플로어 공법 적용

EPC합성보는 단부 접합 철골의 상부 플랜지가 슬래브에 매립된 형태의 매입형 합성보로 슬림플로어 공법 적용에 유리하며 구성형태는 단부 철골과 PC부분(Precast Con'c와

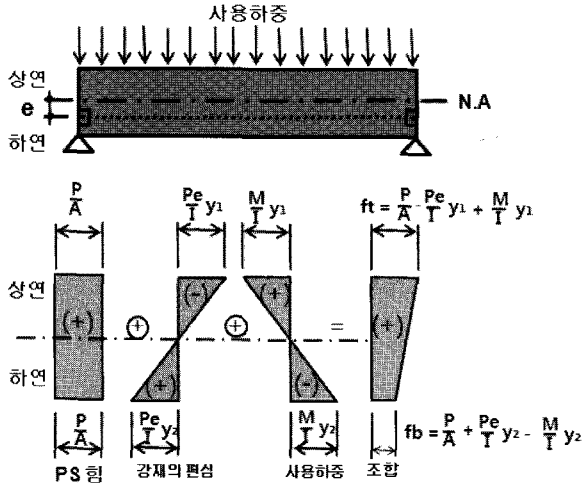


그림 4 프리스트레스 힘의 이론 및 개념

철근)으로 나눌 수 있다. 거푸집 겸용 PC부분 상부에 데크 플레이트를 걸치고 콘크리트를 타설하는 공법이다.

2.2.2 단부 접합 개선형 프리스트레스 PC보

기존 완전매입형 SRC PC합성보의 장점을 살리면서 철골물량을 줄여 보의 자중을 낮추고 경계성을 높인 시스템이다. 특히 프리스트레스의 도입은 보의 휨 성능을 향상시켜 장경간에서의 적용성을 높였으며, 휨 균열 제어 및 처짐 제어에 유리하고, 건축물 공사시 적절한 보 단면의 감소효과, 단순 접합을 통해 시공성을 향상시켰다.

2.2.3 철골 단부 접합(접합부 개선형)

철골 단부 접합 개선형 EPC합성보는 기존 PC보의 시공에서 단점으로 지적되는 이음부의 복잡한 시공처리를 단부 철골을 사용하여 단순화하였을 뿐만 아니라 철골부재들의

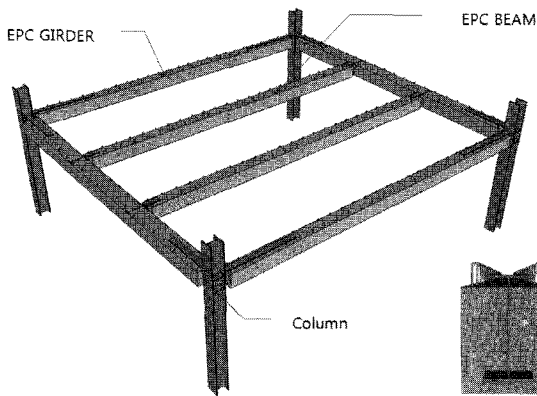


그림 5 EPC합성보 구조시스템

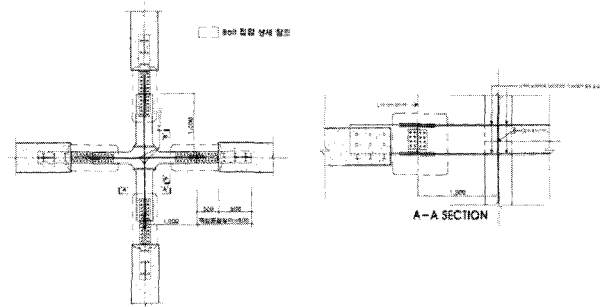


그림 6 보와 기둥 접합 브라켓타입(BRACKET)

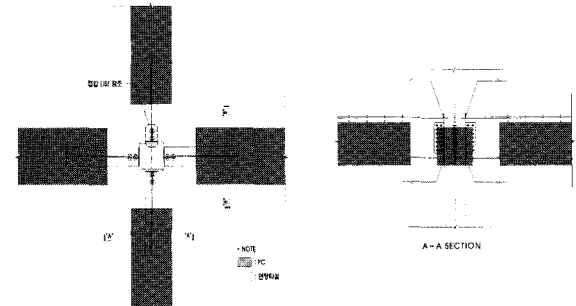


그림 7 보와 기둥 접합 용접타입(WELDING)

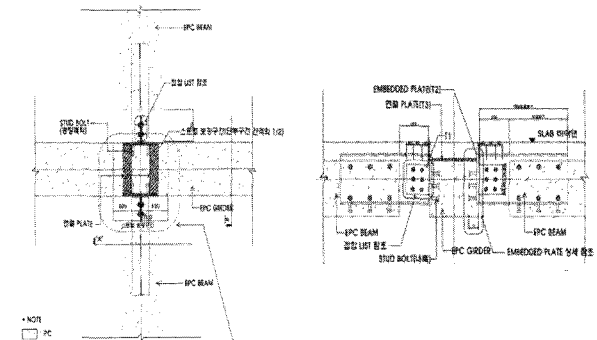


그림 8 거더와 보 접합상세

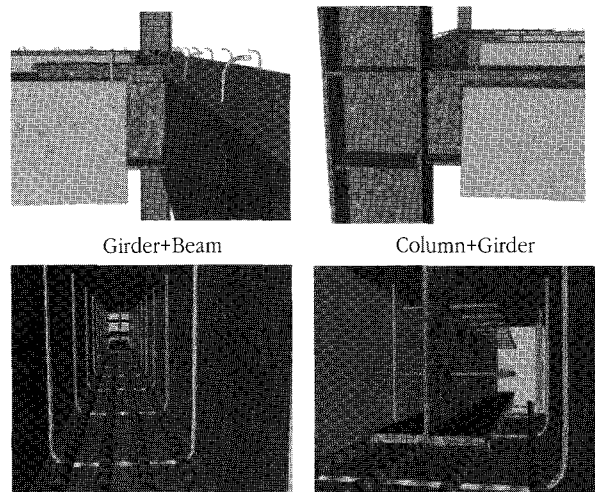


그림 9 EPC합성보 입체형상

상호 연결을 통한 강성증가 및 균등한 응력전달 효과와 같은 장점을 갖는다. 단순접합을 활용한 보의 접합은 시공성을 향상시켰으며, 철골기둥과의 접합부는 브라켓타입(BRACKET)의 접합과 현장용접타입(WELDING)의 접합을 현장여건을 고려하여 적용하고 있으며, 시공성을 향상시키면서 횡강성 및 안전성을 충분히 확보하도록 하였다.

2.3 기대효과

EPC합성보는 슬래브가 단부 철골보의 상부플랜지가 아닌 PC(Precast Concrete) 상부에 위치하고 단부 철골보의 상부 플랜지가 슬래브에 매입되므로 층고 절감에 따른 공사비 절감 효과를 기대할 수 있다.

1) 건물의 층고절감에 따른 물량감소로 공사비를 절감할 수 있기 때문에 건물이 고층화되거나, 지하굴토량이 큰 현장일수록 경제성을 극대화할 수 있다.

2) PC(Precast Concrete)로 제작되어 품질관리가 유리하며, 현장 반입 후 철골조와 동일하게 시공되므로 보다 안전한 시공이 기대된다.

- 3) 소음과 진동을 최소화할 수 있다.
- 4) 프리스트레스의 도입으로 장경간에서의 적용성을 높였으며, 휨 균열 제어 및 처짐 제어에 유리하다.
- 5) 내화피복을 생략할 수 있으므로 환경 친화적 공법이라 할 수 있다.

3. EPC 합성보의 구조성능 실험

3.1 실험목적

EPC합성보의 안전한 현장적용을 위해서는 PC와 후타설된 콘크리트 면에서의 일체거동, H형강과 콘크리트의 일체 거동 및 설계기준에 의하여 산정된 균열 및 최대 휨내력의 안전율 등이 실험을 통해 확인되어야 한다.

구조성능 평가실험은 EPC합성보의 휨성능에 대한 중요성과 한계를 평가하고 설계기준과의 비교를 통해 그 안전성을 확인하는데 있다.

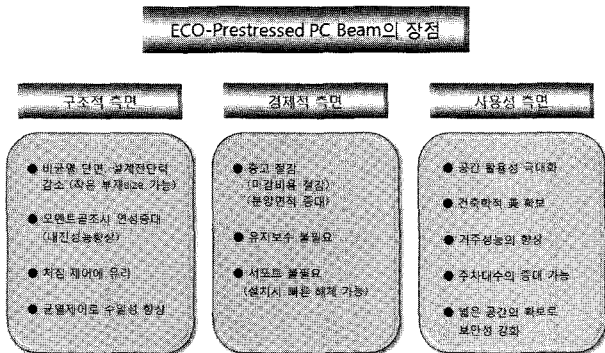


그림 10 EPC합성보의 특징점

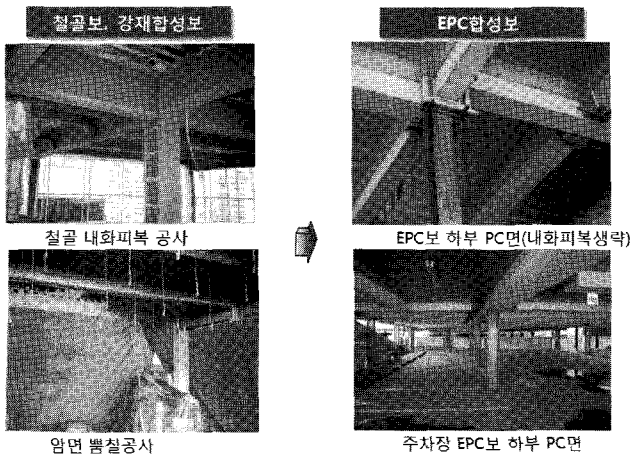


그림 11 철골보 vs EPC합성보 비교(내화피복)

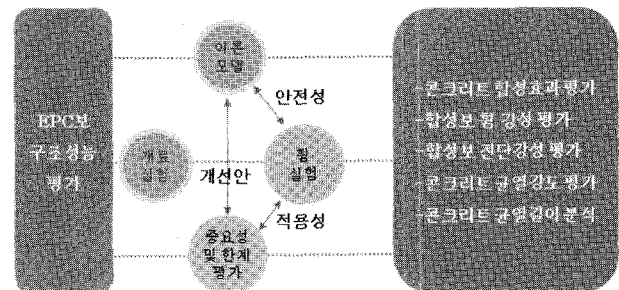


그림 12 EPC합성보의 구조성능 평가

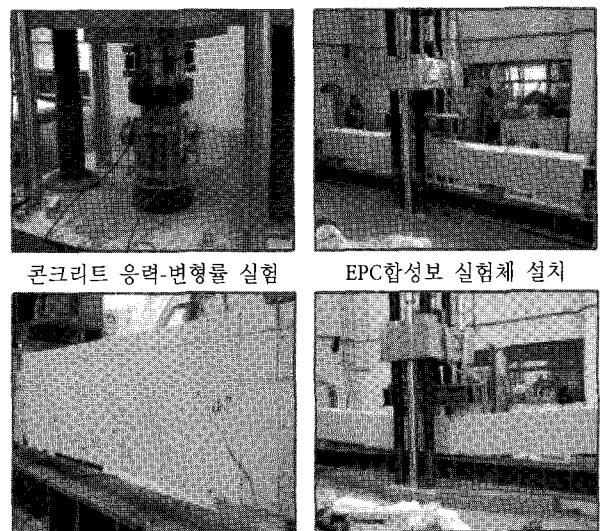


그림 13 EPC합성보 실험

3.2 구조성능 평가

EPC합성보의 구조성능인 강도, 강성, 변형능력과 파괴형상 등을 검토하기 위하여 3개의 실험체를 제작한 후 가력 실험을 실시하였다.

EPC합성보의 모든 시험체는 주철근의 항복 후 압축 콘크리트의 압괴에 의한 전형적인 휨 파괴모드에 의해 내력이 결정되었고 파괴시까지 합성단면 구간에서 균열은 발생하지 않았다. 단부의 H형강에서 측정된 변형률은 탄성이론에 의해 산정된 값과 비슷하며, H형강은 파괴시까지 콘크리트와의 완전부착을 가정하여 탄성이론에 의해 그 응력흐

름 평가가 가능하였다.

EPC합성보의 각 시험체는 균열내력 및 최대 휨 내력은 설계기준 및 본 제안모델에 의한 예측값과 잘 일치하였다. 프리스트레스가 도입된 시험체는 휨성능 평가에 있어서 균열분산능력, 초기 휨균열내력, 최대내력 및 연성이 우수하였고, 휨 균열 폭은 Gergely-Lutz식에 의해 안전측 이내로 평가되었다. 프리스트레스를 도입한 부재는 콘크리트의 응력상태가 허용치 이내에 있을 수 있도록 초기 프리스트레스 도입시 크기 제어가 중요하게 평가되었다.

프리스트레스를 도입한 EPC합성보는 초기 순간 처짐 및 장기 처짐 제어에 유리하며, 사용성 평가에서 철골을 이용한 강재 합성보에 비해 진동에 대한 사용성은 우수한 것으로 평가되었다.

결론적으로 EPC합성보의 휨거동에 대한 중요성과 한계를 파악하기 위해 3개의 보 시험체가 실험되었고, 강도, 강성, 변형능력, 파괴형상의 구조성능을 평가함에 있어서 휨 실험 및 해석모델과 설계기준과의 비교에서 충분히 구조성능을 확보하고 안전한 것으로 평가되었다.

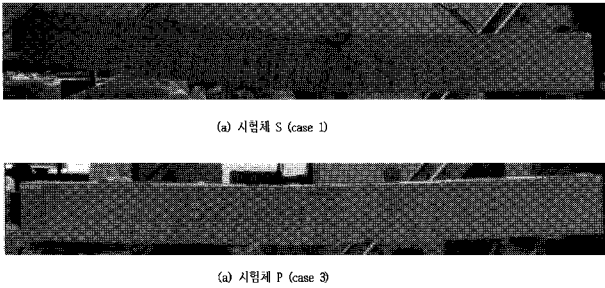


그림 14 균열진전 및 파괴모드

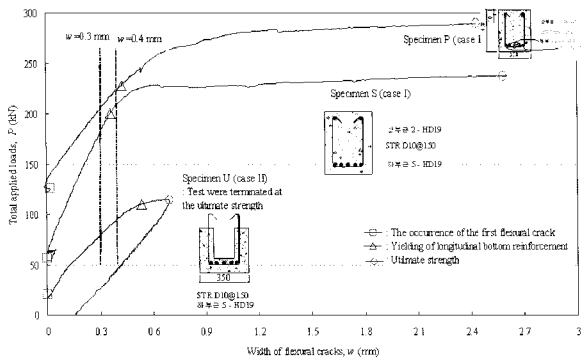


그림 15 하중-휨 균열 폭 관계

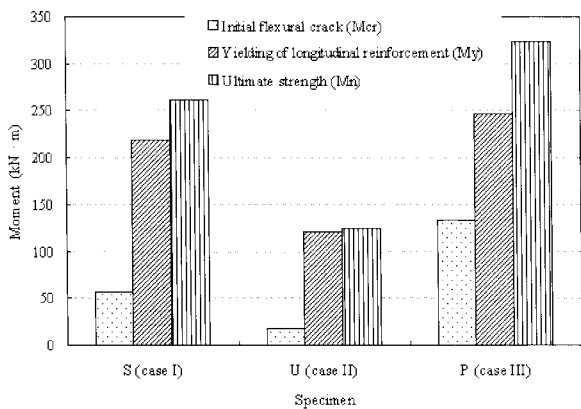


그림 16 휨 내력 비교

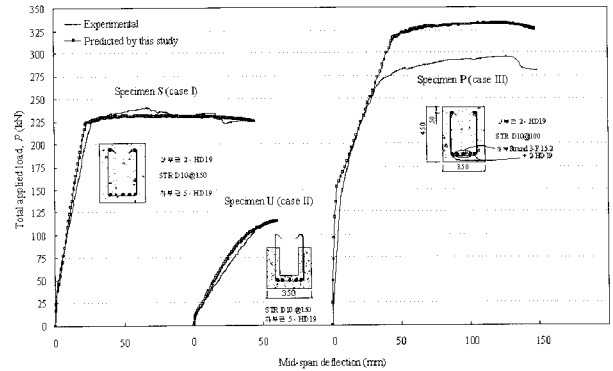


그림 17 하중-변위 관계에 대한 제안모델과의 비교

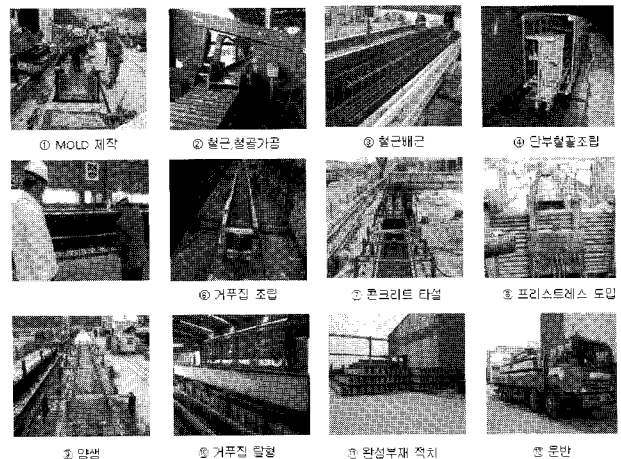


그림 18 공장제작과정

4. EPC합성보 설계 및 적용사례

4.1 국립 예술단 공연 연습장

공사명	국립예술단 공연연습장 건립공사
위치	서울특별시 서초구 서초동 700 외
구조	철골철근콘크리트구조
규모	지하1층, 지상1층
연면적	6,344.1 m ²
용도	문화 및 집회시설
설계	유신건축/에센에스엔지니어링
시공	고양중합건설
구조형식스팬	10.2m x 13.5m(최대스팬 15.3m)
시스템	SRC기둥 + 구형 EPC합성보
보 높이	85cm(지하1층)
적용하중	D.L=5.35kN/m ² , LL=5.0kN/m ²
재료강도	콘크리트 fck=24Mpa 철근 Fy=400Mpa, Fy=500Mpa EPC/철골 Fy=325Mpa(SM490)

그림 19 국립예술단 공연연습장 개요



그림 20 국립예술단 공연연습장 조감도

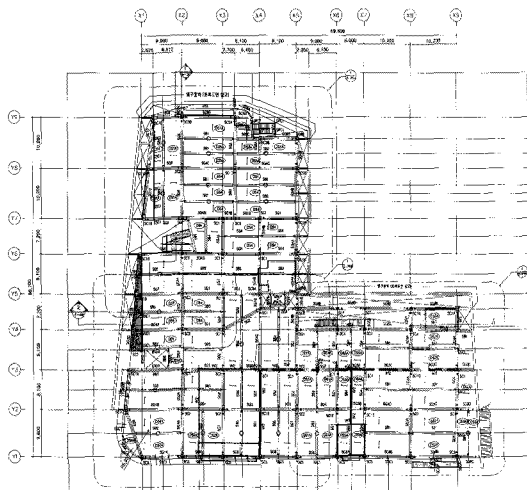
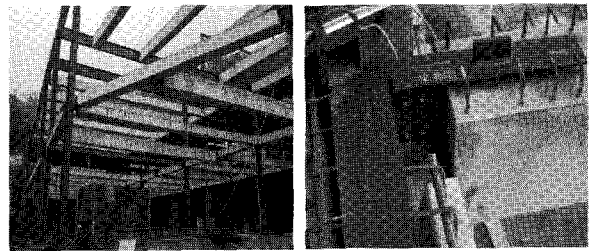


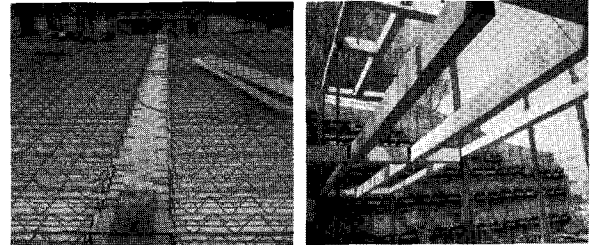
그림 21 국립예술단 공연연습장 평면도

국립예술단 공연연습장은 서초동 예술의 전당 부지안에 지하1층, 지상1층의 문화집회시설 용도로 건립된 건물로 평면크기 8.0m×9.6m 및 최대 10.2m×13.5m의 다양한 모듈로 계획되었으며, 구조시스템으로는 SRC기둥에 SRC PC합성보 및 EPC합성보가 혼용되어 적용되었다. 공연연습장의 다양한 공간확보를 위해 최대스팬 15.3m까지 계획되었고, EPC합성보가 최초로 적용된 현장이다. EPC합성보를 사용함으로써 층의 감소와 공연연습장의 용도에 맞게 처짐 및 진동에 유리한 사용성능을 확보하였으며 내화피복이 필요 없는 환경친화적인 건물로 건립되었다.



EPC합성보 설치전경

EPC합성보 설치



EPC합성보 DECK설치

EPC합성보 하부 광경

그림 22 국립예술단 공연연습장 현장

4.2 3사교 생도대 생활관

공사명	3사교 생도대 생활관 시설공사
위치	경상북도 영천시
구조	철골철근콘크리트구조
규모	지하1층, 지상4층
용도	군사시설/생활관
설계	행림건축/신원구조
구조형식스팬	5.0~6.0m×15.0m(최대스팬 15.0m)
보 높이	80cm(2층~지붕층)
시스템	EPC합성보+SRC기둥
적용하중	D.L=4.75kN/m ² , LL=4kN/m ² (기준층)
재료강도	콘크리트 fck=24Mpa 철근 Fy=400Mpa EPC/철골 Fy=325Mpa(SM490)

그림 23 3사교 생도대 생활관 개요

3사교 생도대 생활관은 경상북도 영천시에 건립된 시설로 생활관의 일부 강당부분 15m 스패의 장스패구간에 2층부터 지붕층까지 프리스트레스가 도입된 EPC합성보가 적용되었다. 지하1층, 지상4층 규모의 건물로 평면크기 5.0~6.0m×15.0m 모듈로 계획되었으며, 구조시스템으로는 SRC 기둥에 EPC합성보가 적용되었다. 강당부분의 공간활용성을 높여줄 수 있도록 최대스팬 15.0m까지 계획되었고, 보춤의 감소 및 시공성의 개선에 따른 공사비 절감과 우수한 사용성을 확보하였으며, 환경친화적으로 시공되었다.

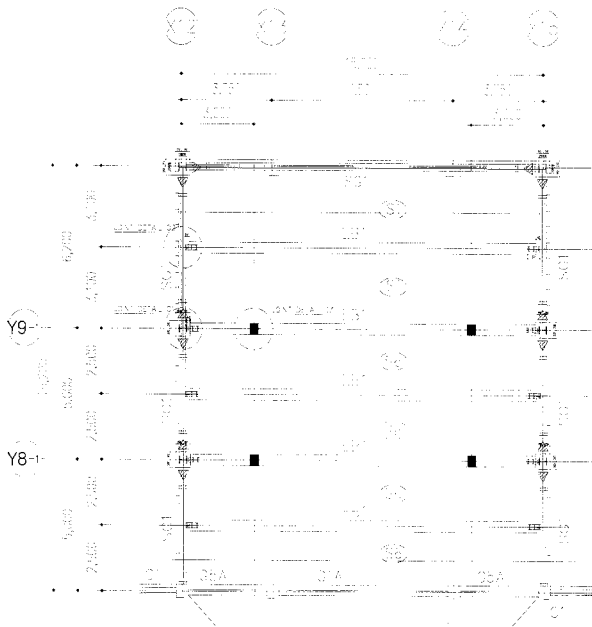
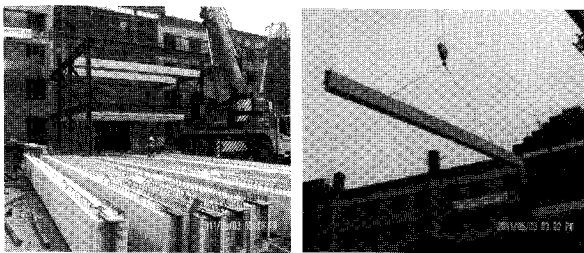
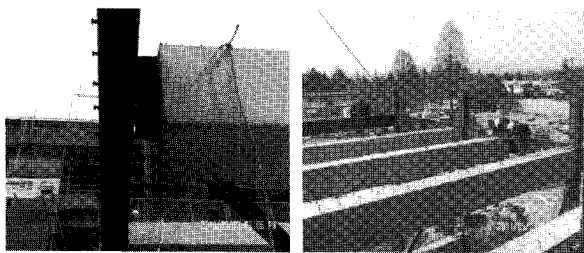


그림 24 3사교 생도대 생활관 평면도



EPC합성보 설치전경

EPC합성보 양중



EPC합성보 설치

EPC합성보 설치 광경

그림 25 3사교 생도대 생활관 현장

4.3 오창 한솔 LCD공장

오창 한솔 LCD공장은 지하1층, 지상3층의 LCD패널을 제작하는 공장용도로 건립된 건물로 평면크기 7.0m×11.0m 및 최대 10.0m×11.0m의 기본 모듈로 계획되었으며, 구조시스템으로는 철골기둥에 EPC합성보가 적용되었다. 원래 철골기둥에 직접 현장용접으로 모멘트접합을 하도록 제안하였으나, 원구조사의 요청과 현장시공성을 검토하여 철골기둥 브라켓에 EPC합성보를 고력볼트로 모멘트 접합하는 타입으로 현장의 원활한 시공성을 도모하고자 개선 적용하게 되었다.

공장용도의 다양한 하중에 안전하도록 계획되었으며, 진

공 사 명	한솔LCD㈜ 오창공장 증축공사
위 치	충청북도 청원군 옥산면 남촌리
구 조	철골+PC합성보
규 모	지하1층, 지상3층
연 면 적	17,894 m ²
용 도	공장시설
설 계	한조건축/신원구조
시 공	(주)한솔건설
구조 형식 스패	7.0m x 10.0m / 10.0m x 11.0m
시 스템	철골기둥 + 구형 EPC합성보
보 높 이	55cm~80cm(지상 2층~3층)
적 용 하 중	D.L=8.26kN/m ² , L.L=8.0kN/m ² (최대하중)
재 료 강 도	콘크리트 f _{ck} =24Mpa 철근 F _y =400Mpa, F _y =500Mpa EPC/철골 F _y =325Mpa(SM490)

그림 26 오창 한솔 LCD공장 개요

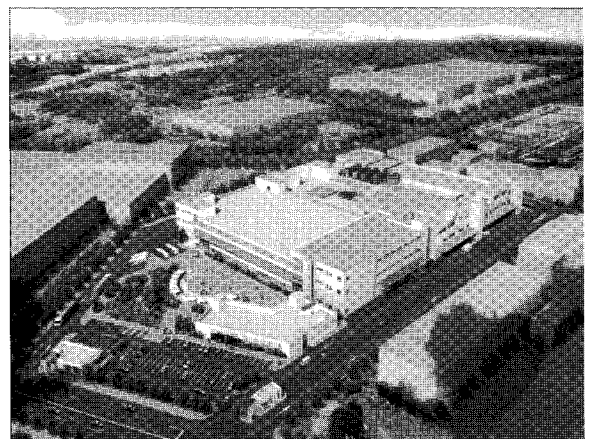


그림 27 오창 한솔 LCD공장 조감도

동에 유리하도록 사용성을 확보하였다. LCD공장의 특성상 내화피복이 최소가 되도록 환경 친화적인 EPC합성보를 도입함으로써 친환경 공간을 구현하도록 노력하였다. 보춤의 감소와 현장 시공성 개선으로 철골대비 12%정도의 공사비 절감효과가 있어 경제성도 확보할 수 있었다.

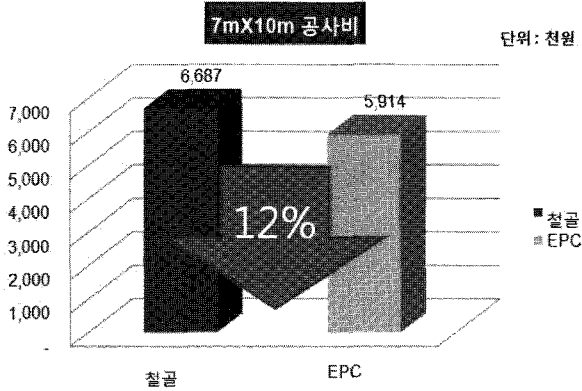


그림 28 단위모듈 공사비 비교

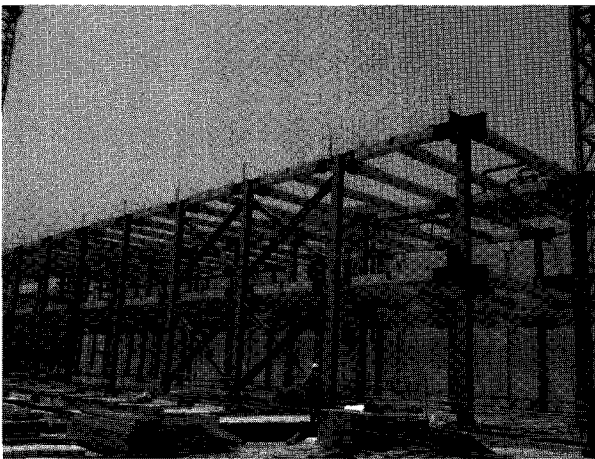


그림 29 오창 한솔 LCD공장 현장 전경

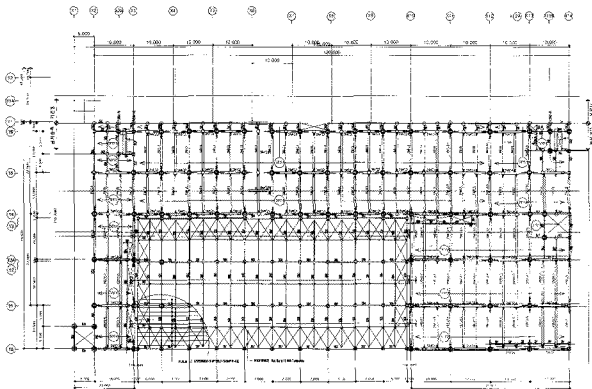
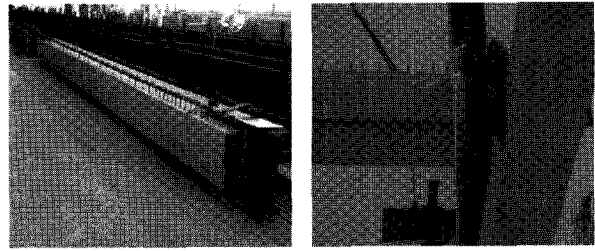
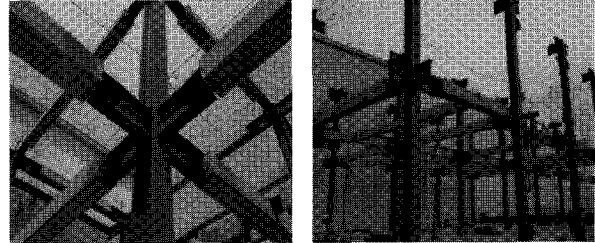


그림 30 오창 한솔 LCD공장 평면도



EPC합성보

EPC합성보 설치



철골기둥+EPC합성보

EPC합성보 설치 광경

그림 31 오창 한솔 LCD공장 현장

5. 결 언

단부접합 개선형 프리스트레스 PC보인 EPC합성보는 건설환경의 변화에 부응하도록 최적화 기술 및 경제성 확보에 최선의 노력을 기울이고 있으며, 현장 적용시 발생하는 다수의 사항에 대한 지속적인 모니터링을 실시하여 제작업체와 협조하여 제품개량에 최선을 다하고 있다. 향후 건설현장의 요구와 현장지원을 통한 지원·기술개발 및 연구를 통해 본 기술이 국내 건설현장 발전에 이바지하도록 최선을 다할 것이며, 경제성과 친환경성을 바탕으로 다수의 현장에서 향후 EPC합성보의 활용성 및 중요성이 점차 증가할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 구조설계 핸드북 - 한국콘크리트학회(2007).
2. PCI DESIGN HANDBOOK -PCI 4th ED
3. 단부H형강을 이용한 하이브리드 프리캐스트 콘크리트 보의 휨성능-기술보고서-대진대학교/목포대학교(2009).
4. 건축구조설계기준-대한건축학회(2009).
5. 콘크리트구조설계기준 건축구조물 설계예제집-대한건축학회(2008).
6. 강구조설계기준-강구조학회(2009). [R]

[담당 : 김명한, 편집위원]