



# 반도체공장 건설에 적합한 분절형 장경간 PC 합성보 시스템

## Unit Combined Precast Composite Beam System Developed for Construction of Semiconductor Factory

**최일섭** Il Sup Choi  
(주)연우건축구조기술사  
사무소 대표이사

**최석동** Seok Dong Choi  
(주)연우건축구조기술사  
사무소 상무

**김강수** Kang Su Kim  
서울시립대학교  
건축학부 교수

**주현진** Hyunjin Ju  
서울시립대학교  
건축공학과 박사과정

**권순영** Soon Young Kwon  
(주)까뮤이앤씨 PC사업실  
실장

**박관수** Kwan Soo Park  
(주)까뮤이앤씨 PC사업실  
팀장

### 1. 머리말

철근콘크리트 습식공법은 우수한 경제성을 바탕으로 건설현장에 널리 적용되고 있으며, 압도적으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 그러나 복잡한 시공 상세와 긴 양생기간으로 인하여 공기 측면에서 불리하기 때문에 공기증가에 따른 2차적인 건설비용의 증가를 야기할 수 있으므로 공기단축에 유리한 다양한 구조부재 및 공법을 개발하고자 하는 노력이 지속되고 있다. 공기측면에서 유리한 철골조는 진동성능 문제, 부식 및 내화에 대한 지속적인 대책 마련 등의 추가적인 고려사항이 요구된다. 따라서 공기단축이 매우 중요한 현장에서는 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete; 이하 PC)공법을 채택하고 있으며, 특히 지하주차장, 물류창고 등에 광범위하게 사용되고 있고 최근에는 주택 부문에까지 적용 범위를 넓혀가고 있다.

한편, 세계적으로 IT 기기 사용량 증대와 함께 반도체 공급에 대한 수요가 크게 증가하고 있는 상황에서 반도체 생산을 위한 공장 구조물의 건설이 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 이러한 반도체 공장에 적용하기 위한 다양한 PC 및 합성보 공법들이 최근 다수 개발되고 있다. 이 기술기사에서는 최근 반도체 공장 건설에 적합하도록 개발된 분절형 장경간 PC 합성보 시스템의 개발배경 및 특징을 간략히 소개하고자 한다.

### 2. 개발 배경

반도체공장은 대형 생산 장비 및 설비 시설 등으로 인하여 하중이 크고 장경간으로 구현되는 대공간 대형 구조물이며, 반도체 제작 공정상 정밀한 작업이 수행되기 때문에 매우 엄격한 진동제어 성능이 요구된다. 또한, 빠르게 변하는 반도체 시장의 특성 때문에 제품생산 시기가 매우 급박하게 요구되므로 반도체 공장의 건설 공기단축은 상품의 매출 및 영업이익과 직접적인 연관을 갖게 된다. 따라서 반도체 공장 공사에서 요구되는 가장 중요한 세 가지는 공기 단축, 장경간 구현, 진동제어라 볼 수 있다. 이러한 구조물에 적용되는 구조시스템으로서 철골조는 진동에 매우 취약하며, <사진 1>에 나타난 바와 같은 철근콘크리트(reinforced concrete, 이하 RC) 습식 공법은 공기단축에 매우 불리하다. 이에 비해, PC공법은 공기단축과 장경간 구현에 유리하고 진동성능이 우수하므로 반도체 공장에 적합한 구조시스템으로서 최적의 대안이 될 수 있다.

반도체 공장은 공간 활용도가 높을수록 장비 수용력이 증가하며 이에 따라 공장 운용에 따른 매출이 극대화 될 수 있

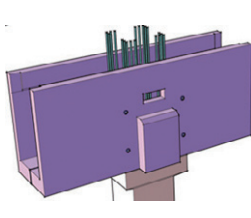


(a) 철근콘크리트 습식공법

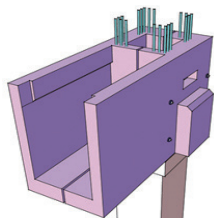


(b) PC 공법이 적용된 반도체 공장 시공

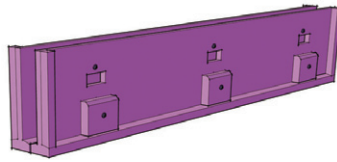
사진 1. RC와 PC 공법의 비교



(a) 단부 PC 내부 접합부 부재



(b) 단부 PC 외부 접합부 부재



(c) 프리스트레스가 도입된 중앙부 PC 부재

그림 1. 분절형 장경간 PC 합성보

다. 따라서 장경간과 대공간을 구현할 수 있는 구조시스템에 적합한 부재개발이 필요하며, 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 PC부재 및 공법을 개발하기 위해 경간 길이와 설계하중은 물론 운용 장비 및 생산 공정상의 제한 사항 등을 충분히 고려해야 한다. 또한, PC부재의 운반을 고려한 경간 길이, 양중장비의 양중무게를 고려한 부재의 단면 고려 등도 최적화된 PC부재 개발에서 매우 중요한 사항이다.

이 연구에서는 18m 이상의 장경간 구현, 급속시공 및 우수한 진동제어 성능을 갖춘 PC 수평부재를 개발하고, 구조성능 및 진동성능을 검증하여 실제 반도체 공장 현장에 적용하는데 필요한 제반사항을 마련하고자 하였다. 특히, 현장 양중장비의 한계와 시공성을 고려하여 요소 부재의 자중을 15 ton 이내로 제한한 분절형 PC 합성보 시스템을 고안하였으며, 이와 관련된 지식재산권 및 독자적인 개발 PC 부재의 반도체 공장 건설공법을 확보하였다.

### 3. 기술개발 내용

#### 3.1 분절형 장경간 PC 합성보

분절형 장경간 PC 합성보는 <그림 1>에 나타난 것과

같이 PC를 여러 유닛으로 분절하여 생산한 이후 현장에서 서로 결합하고 현장타설 콘크리트와 합성시켜 완성하는 방식으로 시공된다. 이 연구에서 개발한 PC 합성보는 단면에서의 분절뿐만 아니라 길이방향에서도 분절형으로 이루어져 있으며, 프리스트레스가 도입된 중앙부 부재가 단부 PC 부재에 결합되는 형태를 가진다. 18m 장경간을 구현하기 위하여 부재의 길이 및 단면이 대형화되었지만 이를 분절하여 생산하게 함으로써 각 PC 유닛은 목표로 설정한 중량제한

15 ton 이하가 되도록 하였다. <그림 2>와 같이 선제작된 PC 부재를 기둥위에 위치시키고 조립하는 공정으로 시공되기 때문에 동바리가 거의 사용되지 않아 공기를 단축할 수 있다. 또한, 부재의 연속화가 용이하고, 단부와 중앙부 PC 부재의 연결이 모멘트 변곡점 부근에서 이루어지기 때문에 구조적으로 안전하면서도 매우 효율적인 구조 시스템이 될 수 있도록 하였다.

#### 3.2 구조성능 검증

##### 3.2.1 유한요소해석

실제 개발 부재를 현장에 적용하기 위해서는 Mock-up을 통한 시공 검증과정이 필요하지만, 이 연구에서는 이에 앞서 유한요소법을 활용한 상세해석을 수행하여 PC 부재가 시공하중에 저항할 때의 변형 및 응력 분포 등을 검토 하였다. 유한요소해석은 상용해석 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 수행하였으며, 중앙부 PC 부재의 프리스트레스 도입단계와 분절형 장경간 PC 합성보가 시공되는 단계에서 발생하는 부재 변형 및 응력분포를 분석하였다. <그림 3>에 나타난 바와 같이 중앙부 PC 부재에 프리스트레스가 도입되는 단계에서 부재의 변형과 응력을 분석한 결과 최대 50 mm의 편심을 발생시키는 프리스트레스 도입 오차를 감안

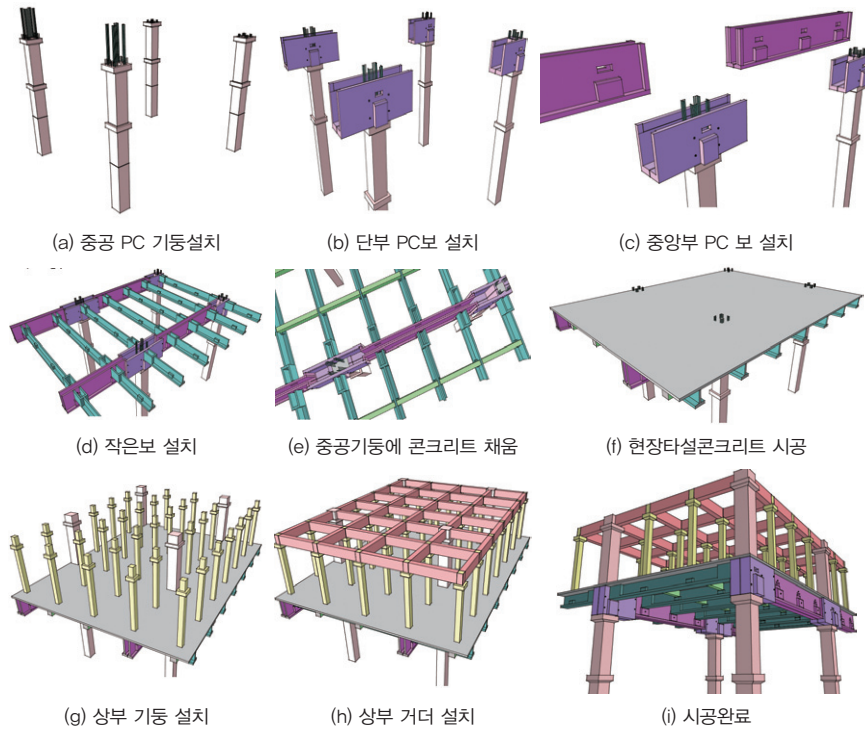


그림 2. 분절형 장경간 PC 합성보 시공순서

한 경우에도 매우 미소한 변형 및 응력이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, PC 부재가 설치되고 현장타설 콘크리트가 일체화되어 합성보가 형성되기 직전까지의 시공하중 단계에 대한 검토결과 부재 변형과 응력분포가 수용범위 내에 해당되는 것으로 분석되었다.

### 3.2.2 구조성능시험

분절형 장경간 PC 합성보의 구조거동 및 강도에 대한 검증을 위하여 총 9개의 대형 실험체를 제작하여 실험을 수행하였다. <표 1>에 나타난 바와 같이 단부 PC 부재와 중앙부 PC 부재를 별도로 제작하여 각 부재에 대한 구

조실험을 먼저 수행하고, 이후 단부와 중앙부 PC 부재를 결합한 현장타설 콘크리트와 합성한 PC 합성부재를 제작하여 구조거동 및 강도를 검증하기 위한 실험을 수행하였다. <그림 4>에 보이는 바와 같이 실제 구조물이 저항하는 모멘트 분포에 최대한 근사하게 가력계획을 수립하였으며, 단부 및 중앙부 부재가 각각 부모멘트와 정모멘트에 저항할 수 있도록 하여 부재들의 실질적인 구조성능을 검증하고자 하였다. <사진 2>에 보이는 바와 같이 분산공유형 대형 실험시설로 건설연구인프라운영원(KOCED)에서 운영하는 계명대학교의 첨단건설재료실험센터와 명지대학교의 하이브리드구조실험센터, 그리고 한국건설기술연구원(KICT)의 구조실험동에서 실험을 수행하였다.

실험결과, 개별 부재들은 모두 해석 및 설계 강도 보다 높은 부재강도를 나타내었다. 조립 부재들에서도 결합부의 볼트 보강 등이 이루어진 실험체에서 충분한 강도가 발현되었으며, 결합부에서의 안정적인 하중 전달과 사용성 및 강도 발현을 위해서 중앙부 PC부재가 단부 PC부재에 걸쳐지는 걸침길이를 충분히 확보하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다. 또한, 결합부에서

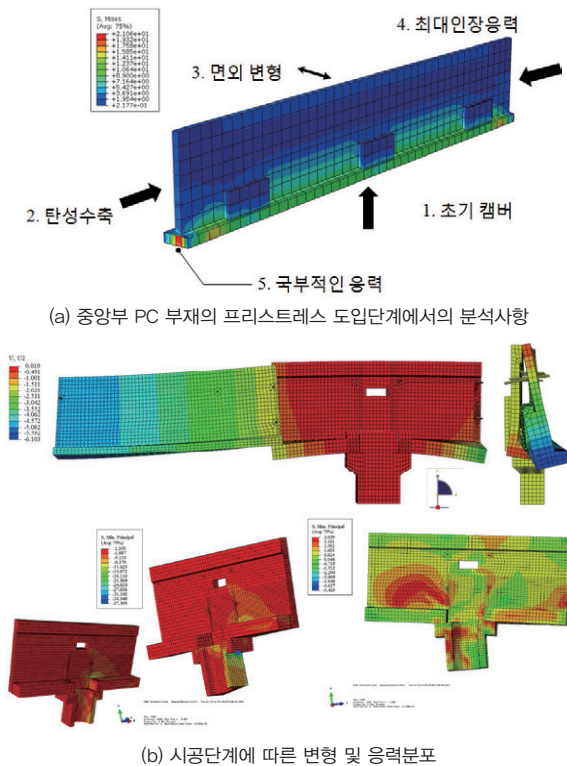


그림 3. 힘 부재 해석결과

표 1. 분절형 장경간 PC 합성보의 구조실험 계획

No.	Type	Member	Target	Variable
1	개별 부재	단부	합성 PC 부재의 강도 검증	-
2	개별 부재	중앙부	합성 PC 부재의 휨 강도 검증	-
3	개별 부재	중앙부	합성 PC 부재의 전단 강도 검증	경간 비대칭 가력
4	조립 부재	단부 및 중앙부	조립 및 완공 이후 합성부재의 거동 확인	걸침길이 100 mm & 무보강
5	조립 부재	단부 및 중앙부		걸침길이 300 mm & 무보강
6	보강 조립 부재	단부 및 중앙부		걸침길이 100 mm & 강판보강
7	보강 조립 부재	단부 및 중앙부		걸침길이 300 mm & 볼팅결합 & 모르타르 주입
8	보강 조립 부재	단부 및 중앙부		걸침길이 600 mm & 볼팅 결합
9	보강 조립 부재	단부 및 중앙부		걸침길이 600 mm & 볼팅 결합 & 모르타르 주입

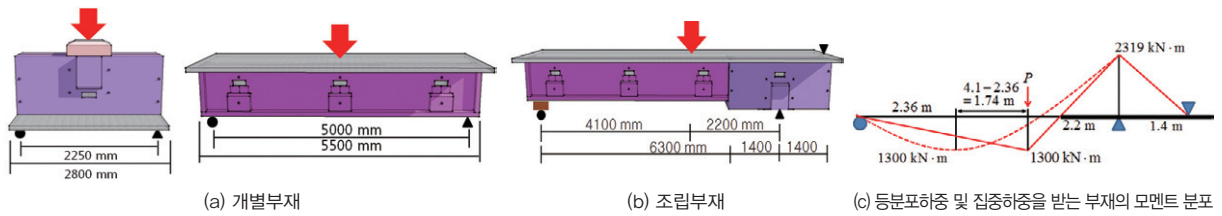


그림 4. 실험체 가력계획

분절형 PC부재간 결합이 원만히 이루어지도록 볼트를 설치하여 적절한 장력을 도입할 필요가 있으며, 시공성을 고려하여 모르타르 채움 여부를 선택적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3 진동성능 검토

분절형 장경간 PC 합성보 시스템은 동역학적인 측면에서 중요한 세 요소들인 질량, 강성, 감쇠에 대하여 기본적으로 유리한 특성을 갖추고 있기 때문에 진동환경적으로 매우 우수한 구조시스템이다.

분절형 장경간 PC 합성보가 적용될 조건, 즉, 가진 원이 되는 각종 설비의 부하, 정밀장비의 진동요구조건 등이 구체적으로 정해지지 않은 상태이기 때문에 여기서는 실제 시공되어 가동된 반도체 공장의 사례들을 검토하고 이에 대한 비교를 통하여 개발된 장경간 보를 반도체 공장에 적용할 수 있는지를 검토하였다. 분절형 장경간 PC 합성보 시스템의 진동성능을 평가하기 위하여 진동해석을 실시하였다. 가동된 반도체 공장의 사례들과 비교 분석된 내용은 보안상 여기서 구체적으로 거론할 수 없지만, 다른 합성구조 시스템과 응답을 비교한 결과 상대적으로 매우 우수한 진동성능을 가진 것으로 평가되었다. 따라서 이 연구에서 개발

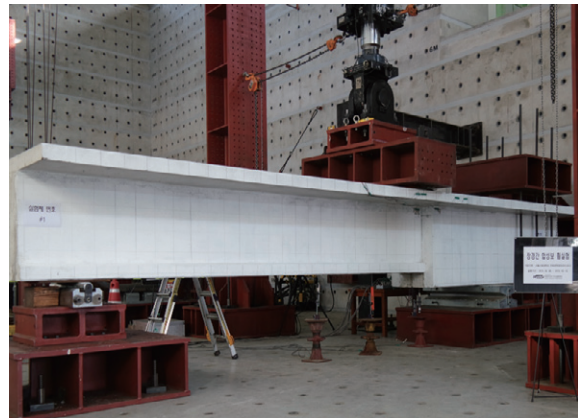



사진 2. 실험 전경

된 장경간 PC 합성보 시스템을 정밀한 설비가 설치된 반도체 공장에 적용하면 기존 구조시스템 보다 우수한 진동환경을 구현할 수 있을 것으로 판단된다.

### 4. 맺음말

이 연구에서 개발된 분절형 장경간 PC 합성보는 운송 장비 및 현장조건 등에 의한 제약사항을 극복할 수 있도록 부재를 분절하여 생산한 후 현장에서 양중하고 조립, 시공되기 때문에 구조물의 대형화 및 장경간화에 따른 기존 PC 부재의 한계를 극복할 수 있다. 최적화된 단

면과 가설공사의 최소화로 물량절감뿐만 아니라 공기단축에 의한 금융비 절감을 기대할 수 있으며, 진동성능 측면에서도 매우 유리한 구조시스템으로 평가되었다. 개발 부재는 반도체공장 및 정밀장비를 수용하는 특수 구조물뿐만 아니라 갈수록 대형화되고 있는 물류창고나 장기간·대공간 구조물에도 적용성이 우수할 것으로 기대되며, 공기단축 및 물량절감이 요구되는 여러 구조물에서 활용성이 높을 것으로 판단된다. 

담당 편집위원 : 정성훈(인하대학교) jeong@inha.ac.kr



**최일섭 대표이사**는 인하대학교 건축공학과에서 박사학위를 수료하였으며, 한국건설기술연구원, 삼성물산을 거쳐 현재 (주)연우구조 및 (주)연우테크놀러지 대표로서 구조설계, 안전진단, PC설계, BIM 업무를 총괄하고 있다. PC 관련 기술자문 및 다양한 연구개발을 수행하고 있다.  
choi-ilsup@hanmail.net



**최석동 상무**는 인하대학교에서 석사학위 취득 후 건축구조기술사를 취득하였다. 현재 서울시립대학교에서 박사과정에 재학하고 있으며, (주)연우구조 공동대표로서 구조설계, 안전진단, PC설계 업무를 총괄하고 있다. 다양한 PC공법 개발에 참여하였으며, 관련기술자문 및 연구개발 업무를 수행하고 있다.  
strpe09@naver.com



**김강수 교수**는 미국 일리노이주대에서 박사학위를 취득한 후 Newmark Lab.에서 연구원으로 근무하였으며, 현재 서울시립대학교 건축학부 교수로 재직하고 있다. 주 관심 연구분야는 철근콘크리트 및 프리스트레스트콘크리트 구조부재의 설계와 해석, 합성구조 및 내화 등이며, 우리 학회 학회지편집위원회 부위원장을 맡고 있다.  
kangkim@uos.ac.kr



**주현진은** 서울시립대학교에서 학사 및 석사를 취득하였고, 현재 서울시립대학교 건축공학과에서 건축구조전공 박사과정에 재학중이다. 주요 연구 분야는 강섬유보강콘크리트 부재의 비틀림 거동, 프리스트레스트 공법을 활용한 신공법 개발이다.  
fis00z@uos.ac.kr



**권순영 실장**은 성균관대학교 건축공학과에서 학사학위를 취득하였으며, 1990년 (주)삼환까뮤 PC사업실에 입사하여 PC설계업무를 수행하고 PC현장관리를 담당하였다. (주)삼환까뮤 이천PC공장장으로 2000년부터 근무하였고, 2015년 (주)삼환까뮤 조직개편에 따라 현재 PC사업실 총괄 책임자로 근무 중에 있다.  
sykwon@camusenc.com



**박관수 팀장**은 한밭대학교 건축공학과에서 학사학위를 취득하였으며, 1995년에 (주)삼환까뮤에 입사하여 건축현장에서 근무하였고, 2010년 PC사업팀으로 부서를 옮겨 현재 PC사업팀장으로 근무하고 있다. PC공장, 현장관리는 물론 PC부재 개발업무를 수행하고 있다.  
kspark@camusenc.com