

특 집

건축 프리캐스트 콘크리트 구조

프리캐스트 건축 구조물의 향후 기술 개발 방향

Research Needs for the Further Development of PC Building Industry



정 하 선*

다음 글은 1993년 5월 대한건축학회가 주최한 '공업화 주택기술 향상을 위한 심포지엄'에서 필자가 발표한 'PC기술 고도화를 위한 향후 연구과제'를 근간으로, 그 이후 진행되고 있는 새로운 기술적, 사회적 환경의 변화를 고려한 보완의 성격을 갖고 있다.

1. 서 론

현재 우리 나라에서의 P.C(precast concrete) 공법은 건축구조물보다도 교량이나 항만 건설과 같은 토목분야에서 더욱 활발히 쓰이고 있다.

건축 분야에서의 프리캐스트 공법은 주택부분에서 주로 쓰이고 있는데, 이는 1988년에 시작된 주택 200만호 건설계획과 같은 주택의 대량건설의 필요성 때문이었다. 짧은 기간 내에 주택을 대량 공급하여 주택난을 단기간 내에 해결하기 위해서는 주택의 새로운 생산기술이 필요하였으며, 이때 각광을 받은 것이 P.C공법이었다. 이에 정부는 P.C부재 생산업체에 대한 금융지원, P.C주택산업 활성화를 위한 제도 개선등의 조치를 취하였

다. 1996년 이후에는 P.C 주택을 위주로 하는 공업화 주택 건설을 전체 주택공급물량의 20%수준으로 끌어올린다는 계획을 수립한 바 있다. 이러한 계획에 부응하여 P.C 부재생산을 위한 시설을 확충하거나, 새로이 P.C주택사업에 참여하는 업체가 늘어나, 현재 국내의 P.C주택 생산능력은 15평기준으로 연간 6만 호를 상회하는 것으로 알려지고 있다. 그러나 2-3년전 연간 60~70만 호의 주택건설시기에 발생하였던 P.C아파트의 저품질 문제는, 그것이 P.C공법 고유의 문제였던, 공법과 관계없이 건설인력과 자재부족에 따른 우리나라 주택건설 전반에 관한 문제였던, P.C 아파트에 대한 주택수요자의 신뢰도에 결정적으로 악영향을 미쳤다. 이로 인하여 P.C 아파트 건설업체 자체에서도 이의 건설을 기피하는 상황에 이르러 P.C 주택생산시설의 가동률이 20%에도 못미치는 상황에 이르렀다.

제3차 국토개발 종합계획에 따르면, 정부는 2000년까지 매년 50~60만 호의 주택을 공급하여 주택보급율을 90%이상으로 끌어올릴 계획으로 이는 과거 주택 200만호 건설 때와 다름없이 당분간 주택의 대량건설이 필요하다. 이러한 주택의 대량건설을 차질없이 수행하고, 더욱 많은 인력이

* 정회원, 대한주택공사 연구위원, 공방

건설현장에 투입되는 데서 오는 다른 산업분야에 의 악영향을 방지하기 위해서는 아직도 P.C 공법으로 대표되는 공업화공법의 적극적 활용이 필요함을 의미한다.

공업화공법을 확대 보급하기 위해서는 공공기관으로 부터의 물량의 확보, 세계의 보완등 제도적 개선이 필요한 것이 사실이다. 하지만 여기서는 P.C아파트에 대한 수요자 기피원인이 일차적으로는 품질에 대한 신뢰도 상실에 있다는 관점에서, 이를 극복하고 품질향상을 통한 건설 시장확대를 위하여, P.C공법관련분야에서 수행하여야 할 주요한 기술개발과제들이 무엇인지 제시하여 보고자 한다

2. P.C 공법의 기술 고도화를 위한 과제들

2.1 접합부의 시공상태 확인을 위한 비파괴 검사기술 개발

P.C 구조물에서 사용하고 있는 수직 접합부의 형태는 별도의 거푸집이 필요 없는 폐쇄형 접합부와 접합부 시공을 위하여 거푸집을 설치한 후 접합부를 충전하는 개방형, 접합부의 한 면만을 폐쇄하는 반 폐쇄형 등으로 나눌 수 있다. 이는 하나의 P.C 구조물에 이들 세형태의 접합부가 혼합되어 쓰이는 경우가 많다. 이중 문제가 되는 것은 폐쇄형 접합부로, 접합부의 모르터 충전시 시멘트 페이스트가 흘러나오는 것을 방지하기 위한 조치 이외에는 거푸집을 별도로 설치할 필요가 없다는 점에서 시공이 빠르다는 장점이 있으나, 시공중이나 시공후 그라우팅 모르터의 충전상태를 확인하기가 어렵다는 단점이 있다.

한편 P.C 구조물의 수평접합부의 형태는 드라이 팩(dry pack)을 사용하는 방법, 웨지(wedge)형 등이 있으며 하나의 P.C 구조물에서는 이중 한 형태를 사용하고 있다. 이중 드라이 팩을 사용하는 수평접합부의 경우 대부분의 공법에서 벽판을 나무나 플라스틱으로 괴어 놓고 드라이 모르터를 밀어 넣는 방법을 채택하고 있는데 이 경우 모르터 충전상태를 확인하기가 어렵다. 구조물에 사용되는 P.C 부재의 품질은 공장에서 쉽게 관리가 가

능하므로 균등한 품질을 유지하는데 큰 문제가 없다. 그러나 현장에서 시공되는 접합부는 그 품질의 차이가 큰 것이 현실이며, 결국 P.C 구조물의 구조적 성능 뿐만이 아니라 단열 성능, 차음 성능 등 품질은 접합부의 품질이 좌우한다 하여도 과언이 아니다.

이렇게 중요한 접합부의 시공중 및 시공 완료후의 시공상태를 비파괴 방법으로 확인할 수 있는 기술은 아직 정립되어 있지 않으며, 외국의 경우에도 그라우팅 모르터의 유동성 확보를 위한 플로우값(fluidity)에 대한 규정만 있을 뿐이다.

현재 현장에서 시공 상태 확인을 위하여 가능성이 있다고 판단되는 비파괴 검사방법으로는 초음파, 충격파등을 이용한 음속법, X선이나 γ 선을 투과하는 방사선법, 레이저파를 이용한 전자파법등을 생각할 수 있다. 그러나 이들은 주로 동일 매체에 사용할 때 효과적인 것으로 알려져 있으므로 P.C 접합부에서와 같이 P.C 부재와 그라우트 모르터로 구성 되어 밀도가 다른 매체를 갖는 경우의 적용방법 개발이 필요하다.

현재 일부업체와 연구소에서 수직접합부에 대해 초음파법을 이용한 비파괴 검사 기술의 개발이 진행중으로 어느 정도의 기초적 자료는 축적될 것으로 보인다. 그러나 아직도 검사에 필요한 장비를 여러 가지 현장 상황하에서 운용하기에 적합하도록 개선할 필요가 있으며, 검사결과와 신뢰도를 높이기 위한 좀더 광범위한 기술의 적용가능성 검토가 필요하다.

2.2 P.C 구조물 전용 구조해석 프로그램 개발

현재 국내에서 P.C아파트 구조해석을 위하여 많이 사용되고 있는 구조해석프로그램으로는 ETABS와 SHEWALL(또는 B.S STRUCTURE)을 들 수 있으며 간혹 SAP이 사용되는 경우도 있다.

ETABS는 유한요소법을 이용한 3차원 해석, 동적해석이 가능한 프로그램이다. 그러나 모든 요소(element)의 접합부의 경계가 강접합이라고 가정하고 있기 때문에, P.C구조물의 접합부 부분을 판넬과 다른 요소로 분할하여도, 일체식 구조물과는

다른 거동 특성을 갖는 P.C구조물을 해석하는 데는 적합치 않다는 단점이 있다. 또한 서로 직교하여 만나는 요소간의 접합조건(compatibility)이 충족되지 않는다는 문제점도 가지고 있다.

SHEWALL(또는 B.S STRUCTURE)은 continuous medium method를 이용하여 개발된 P.C구조물 전용 구조해석 프로그램으로, 수직 접합부의 실험 값을 근거로한 전단력에 대한 강성을 고려할 수 있다. 하지만 같은 접합부 형태라도 데이터를 입력할때 각 판넬이 접합부에 어떻게 연결되어 있는지를 표시하는 순서에 따라 해석결과에 차이가 있다는 문제가 있고, 일방향 슬래브와 건물전체가 동일한 높이로 되어 있는 구조물에만 사용할 수 있다는 제약이 따른다.

벽식구조로된 15층 대형판넬 P.C아파트에 대하여 ETABS와 B.S STRUCTURE를 사용하여 구조해석을 수행한 결과 그 정도의 차이는 있으나 B.S STRUCTURE로 해석한 결과가 거의 모든 판넬에서 큰 응력이 작용하는 것으로 나타났다. 그 차이는 평균 약 30%로 적절한 해석프로그램이나 해석 모델의 선택이 얼마나 중요한지를 보여주고 있다. 특수한 경우를 제외하고는 P.C 구조물 해석에 거의 쓰이지 않고 있는 SAP은 ETABS와 같이 유한요소법을 사용하고 있으며 동적 해석이 가능하고 접합부를 스프링으로 치환하여 구조해석을 수행할 경우, 스프링 계수만 적절히 사용하면 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있으리라고 판단된다. 하지만 분할되는 요소의 크기에 따라 해석결과에 큰 차이가 있을 뿐 아니라, 각 요소의 절점이 6자유도를 갖기 때문에 해석 결과가 정확한 반면, 해석에 소요되는 시간이 많을 뿐 아니라 해석 결과가 요소의 중심점에 대해서만 출력되므로 해석결과를 이해하는데 어려움이 따른다.

미국에서는 1990년부터 P.C구조물의 새로운 설계방법을 개발하기 위하여 PRESS(S(Precast Seismic Strutral System))라는 프로젝트를 9년 계획으로 진행하고 있다. 이 프로젝트의 일환으로 DRAIN -2D를 기본으로 하여 3차원해석이 가능하고 P.C구조물의 특징인 접합부의 미끄러짐과 벌어짐을 반영할 수 있는 구조해석 프로그램을 개발하고 있으나 아직 그 결과는 공표되지 않고 있

다. 우리나라에서는 한양대학교에 설치된, 우수공학센터(ERC)로 지정된 초대형구조물센터에서 초고층P.C 건축물 해석에 적합한 구조해석 프로그램 개발 연구를 1994년부터 시작하였다.

신뢰성 있는 새로운 P.C구조물 해석 프로그램 개발을 위해서는 여러가지 형태의 접합부에 대한 정적, 동적실험을 수행하여 접합부 거동에 영향을 주는 주요 인자(parameter)들에 대한 이해가 선행되고, 이들의 해석 모델링 기법의 정립이 무엇보다도 중요하다.

2.3 P.C아파트 평면의 계열화 설계기술개발

P.C주택은 그 구성부재의 공장생산(또는 현장의 지상에서 생산)을 전제로 하고 있기 때문에 부재생산을 위한 몰드의 제작이 필수적이며 몰드제작에 소요되는 비용을 절감하기 위해서는 같은 몰드를 여러 번 사용하여 부재를 생산하는 반복 대량생산이 필요하다.

그러나 P.C공법의 이러한 특성이, 많은 경우에 확실적인 평면과 입면을 갖는 주택의 양산을 초래한다. P.C주택이 갖는 이러한 한계를 극복하기 위해서는 양산에서 오는 경제적 잇점을 최대한 살리면서 수요자의 다양한 요구를 수용할 수 있는 설계기법의 개발이 필요하다.

덴마크와 같이 P.C공법이 일반화되어 있는 나라에서는 최소 종류의 P.C부재로 어떻게 하면 평면및 입면구성을 다양하게 할 수 있는가에 대한 설계경기를 개최하기도 한다. 홍콩의 주택정은 'Hamony Series'라는 주택을 개발하여 주택생산의 공업화를 유도하고 있다. 홍콩에서는 30-40층의 초고층아파트를 주로 건설하기 때문에 Harmony Series가 P.C공법에 의한 건설을 전제로 하고 있는 것은 아니지만 1 침실형 평면을 기본으로 하여, 2 침실형, 3 침실형 등을 1 침실형 기본평면에 덧붙여 확장해 나가며, 이들을 조합한 몇가지 형태의 아파트형이 제시되어있다. 이러한 조합설계 방법은, 표준 설계에 의한 아파트 대량 건설에서 문제점으로 지적되고 있는 사업성의 저하, 즉 토지 이용율(용적율)의 저하라는 문제점을 해결할 수 있는 방안이 될 수 있다.

현재의 P.C아파트가 진정한 공업화 주택으로서의 생산성 향상이라는 잇점을 최대한 살리기 위해서는 내장부품도 공업화된 제품을 사용하여야 할 것이다. 그렇게 하기 위해서는 주택부품의 규격화를 유도해야 할 것이다. 현재 국가 차원에서 구조체의 배치에 영향을 주는 기본적인 표준 치수체계는 정립되어 있으나 이러한 기본치수 체계가 주택의 각종 부품규격과 일관성을 갖도록 조정하는 노력이 필요하며 부품과 부품간, 부품과 구조체간의 표준 접합방식(interface rule)의 개발이 필요하다.

2.4 외장 P.C부재의 개발

1970년초 우리 나라에 아파트 건설을 위한 일본大成建設의 P.C공법이 도입된 이후, P.C공법은 구조체의 P.C화를 의미하는 것으로 인식되어 온 것이 사실이다. 그러나 미국과 같은 나라에서의 건축분야에서는 오히려 P.C부재가 건물의 비내력 외장재로 더 활발히 쓰이고 있다. 콘크리트가 강재에 비해 갖는 장점으로는 가격이 싸다든가, 강성이 높은 구조물을 만들 수 있다는 등 여러 가지가 있지만, 원하는 모양을 비교적 쉽게 만들 수 있다는 장점을 빼놓을 수 없다. 최근에는 콘크리트에 착색(도장이 아님)하는 기술이 발달하여, 콘크리트를 프리캐스트 함으로써 정교하고 품질이 높을뿐 아니라 색상도 매우 미려한 P.C제품의 생산이 가능하다.

우리 나라에서는 호텔이나 사무실 건물에 비교적 단순한 형태의 P.C외장재가 쓰인 사례가 일부 있으나 아직 수준이 낮은 상태에 머물러 있으며, P.C외장재가 아파트에 쓰인 예는 거의 없는 것으로 알고 있다. 앞으로 초고층 건물, 주상복합건물 등이 활발히 건설될 것으로 보이며, 이에 따라 P.C외장재의 수요도 빠르게 증가할 것으로 판단된다.

P.C외장재와 관련된 기술로는 미려한 외관을 유지할 수 있는 재료의 혼합기술, 단열방법 뿐 아니라 경량화 기술의 개발이 중요할 것이다.

2.5 새로운 구조 시스템의 개발

현재 건축분야에서 사용되고 있는 P.C공법은 주로 아파트 건설을 대상으로 하고 있으며, 이러한 이유로 모두가 벽식구조의 형태를 취하고 있고, 부재 구성 방법에 따라 대형 판넬식과 상자형의 P.C 공법이 소개되어 있다. 그러나 벽식구조는 기본적으로 구조물을 초고층화 하는데는 벽체가 너무 두꺼워지는 등 한계가 있으며, 대형판넬 구조에서는 지진하중 풍하중 등에 대한 내력 확보를 위한 철근배근을 상당량 추가하여야 하기 때문에 접합부 그라우팅에 어려움이 따르고 부재의 양중과 설계에 큰 어려움이 예상되기 때문에 일체식 철근 콘크리트 건물에 대한 경쟁력을 상실할 가능성이 크다.

따라서 건물의 초고층화에 대응하면서 현재 P.C 공장들이 갖고 있는 생산시설들을 최대한 활용하기 위해서는 새로운 구조시스템, 예를 들어 가구식 구조 시스템이나 half slab, half wall등을 사용하는 복합시스템의 개발이 필요하다.

현재 P.C부재를 일부 구조체에 이용하는 복합시스템은 대한주택공사 주택연구소, 한양대학교 초대형구조물 센터, 일부 업체등에서 활발히 연구 개발되고 있으나, 가구식 구조 시스템에 대한 연구개발은 미약한 실정이다.

3. 미국 PCI가 선정한 연구개발수요

미국 PCI(Precast /Presressed Concrete Institute)가 1994년에 선정한 P.C관련 연구수요 10가지를 소개한다.

① 접합부의 설계기준(design criteria for connection)

- P.C구조물에 사용되는 여러가지 형태의 접합부에 대하여 접합부의 요구성능을 설정하기 위한 설계기준 개발과 각 형태별 접합부의 하중계수 결정을 위한 합리적 방법론 개발
- 정적하중이나 동적하중하에서의 일체로 매입되었거나, 구멍을 뚫어 설치한 앵커, 또는 용접된 접합부의 정적하중이나 동적

하중하에서의 연성 확보를 위한 실용적이고 경제적인 상세 개발

② 릴리즈강도에 대한 기준(release strength criteria)

프리캐스트, 프리스트레스트 콘크리트 휨부재의 프리스트레스 힘을 릴리즈할 때의 콘크리트 소요 압축강도를 낮추는 문제와 허용응력의 상향조정 가능성 규명

③ 단열 벽판넬(insulated wall panels)

복합, 또는 단일 재료로 된 평면, 및 버팀부가 있는 내력 또는 비내력 단열 벽체의 합리적인 설계기준 개발과 단열벽체의 세장비에 대한 합리적 설계기준 설정

④ 덧침 콘크리트가 있는 더블 티의 플렌지 접합장치 (flange connectors in pretopped double tees)

프리캐스트, 프리스트레스트 콘크리트 주차 구조물에서 차륜하중과 방수를 고려한 더블 티 플렌지의 접합장치에 대한 합리적 간격 규정 개발

⑤ 적재하중저감(live load reduction)

현재 각종 건축규준(building codes)의 이중 버팀부(double stem)가 있는 프리스트레스트콘크리트의 적재 하중 저감에 대한 통합규정 개발

⑥ 보의 개구부(holes in beams)

프리캐스트/프리스트레스트 더블티 및 보의 웹에 개구부를 설치할 때의 간편한 기준 개발

⑦ 프리캐스트 부재의 비파괴 검사법

(non-destructive evaluation of precast members)

프리캐스트 콘크리트 부재의 프리스트레스 상선과 콘크리트의 상태를 평가할 수 있는

적절한 비파괴 검사법의 조사 및 제안

⑧ 효과적인 보수 방법(effective repair methods)

손상을 입었거나 노후화된 프리캐스트, 프리스트레스트 콘크리트 주차 구조물과 교량의 보수방법 개발 및 제안

⑨ 버팀부가 있는 얇은 부재의 내화등급(fire ratings for thin stemmed members)

버팀부가 있는 얇은 부재의 적절한 내화등급 결정과 현재의 여러 건축규준의 내화등급 개정안 작성

⑩ 덧침된 프리스트레스트 콘크리트 부재(topped prestressed concrete members) 수평

전단력에 대한 보강이 된 경우와 되지 않은 경우에 대하여 현장 타설로 콘크리트를 덧치는 프리캐스트, 프리스트레스트 콘크리트 부재의 합성거동 분석

4. 맺는말

이상에서 살펴보았듯이, 우리나라에서 우선적으로 필요로 하는 연구개발 과제들은 대부분 품질 향상과 생산성 향상에 초점이 맞추어져 있다. 반면, 미국 PCI에서 선정한 연구개발 과제들은 대부분 합리적인 설계기준의 개발에 중점을 두고 있다. 이는 우리 나라와 미국의 P.C 기술 수준의 차이를 설명하고 있다고 볼 수 있다.

현재 우리 나라가 당면하고 있는 건설분야에서의 품질불량의 문제를 극복하고 한단계 높은 P.C 기술을 개발하기 위해서는, 선진 외국에 비하여 한정된 전문인력 활용 극대화를 도모해야 하며 이를 위해서는 건설업체, 학계, 설계전문가 간의 공동 프로젝트를 개발, 수행하는 것이 필요하다.