

### 프리캐스트 공법의 시공 및 품질관리 Quality Management on Precast Concrete System



이 리 형\*



윤 상 천\*\*

#### 1. 서 언

프리캐스트 공법은, 지금까지 건축현장에서 가공·성형하고 있는 부분을 공장에서 부품으로 제작하고, 현장에서는 그의 조립·접합과 약간의 후속공정만으로 종료될 수 있도록 한 것으로, 국내에서는 90년 이후 심화되는 건설기능인력의 부족난에 대처하기 위하여 현장 노무량의 삭감, 공기단축, 균등한 품질의 확보, 공사비 절감을 목적으로 확대보급되기 시작하였다.

이와 같은 프리캐스트 공법은 건설부에서 91년 3월의 공업화 주택 보급확대를 위한 종합대책 수립, 92년 4월의 프리캐스트 콘크리트 조립식 건축공사 표준시방서 작성과 함께 더욱 확대되기 시작하였다.

그러나, 이미 대중매체를 통하여 알려진 바와 같이 해가 거듭됨에 따라 공사위가 상승과 부실시공 사례가 빈번함에 따라 참여 건설업체들의 포기 사태가 발생됨과 동시에 일부지역에서는 품질상의 문제로 인한 입주자들의 조립식 주택 선호도 저하 등과 같은 각종 문제점이 대두되어 당초의

계획 또는 목표의 축소 조정이 불가피한 상황에 이르게 되었다.

표 1 프리캐스트 공법의 특징

구분	장점	단점
설계, 구조	<ul style="list-style-type: none"> <li>부재단면의 폭과 두께 감소에 의한 내부공간 활용도 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>평면, 입면의 다양성 미흡</li> <li>표준화 설계 곤란으로 호환성 미흡</li> <li>국내 실정에 적합한 기술(PC조인트 방수설계 기준 및 시방 등) 개발 미흡</li> <li>성능향상을 위한 보완 및 설계변경 등 내외부 여건 변화에 대한 신속대응이 곤란</li> </ul>
시공	<ul style="list-style-type: none"> <li>현장공정 단축</li> <li>공장제작에 의한 시공 관리 용이</li> <li>전천후 시공가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>접합부 시공품질 확인 곤란 : 비파괴 시험법 등 미비</li> <li>현장에서의 부재 균열 및 파손시의 대책 미흡</li> </ul>
사후관리	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>누수, 결로 및 소음하자</li> <li>하자의 응급조치가 곤란(보수 및 관리 지침서 미비)</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>대량공급에 유리</li> <li>가계화 시공에 의한 인력 절감 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>입주자 선호도 저하</li> <li>공사비 절감 및 공기단축 효과 미흡</li> <li>신자체·공법에 대한 성능확인 및 품질보증 제도 미흡</li> </ul>

따라서, 본고에서는 부재의 제작에서 접합까지 프리캐스트 공법의 시공과정에서 요구되는 품질관리 항목과 기준에 대하여 정리함과 동시에 현황

\* 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\* 대한주택공사 주택연구소, 주임연구원

프리캐스트 공법에서 부설시공의 직접적인 원인으로 알려져 있는 집합부 충전 콘크리트 및 모르타에 대한 요구성능을 기술함으로써 품질확보를 위한 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 프리캐스트 콘크리트 공사에서의 품질관리항목 및 평가기준

프리캐스트 공법은 조립식 공법이라고도 하며 조립화 정도 및 부위에 따라 1) 구조체용 PC 부재를 공장 생산하여 현장 조립하는 완전 조립식 2) 기본 구조체는 현장 타설하고 계단부위 등에 PC 부재를 사용하는 등 재래식 현장타설 공법과 조립식 공법을 최적으로 조합·적용하는 부분 조립식 3) 재래식 현장타설 공법의 현장작업에 기계장비 사용을 확대하거나 대형기포집, 철근 선조립, Half Slab공법 등의 활용을 통하여 작업의 효율화를 꾀하는 개량형 현장타설 공법 등으로 분류할 수 있다.

본고에서는 완전조립식 공법에 대하여 시공과정 전반에 걸쳐 일반적으로 요구되는 품질관리항목 및 기준에 대하여 정리한다.

프리캐스트 콘크리트 공사 과정은 부재 제작, 부재 운반 및 적치, 부재의 접합 및 마감 단계로 분류될 수 있으며, 이를 세분하여 나타내면 그림 1과 같다.

### 2.1 부재제작

#### (1) 재료 및 부재

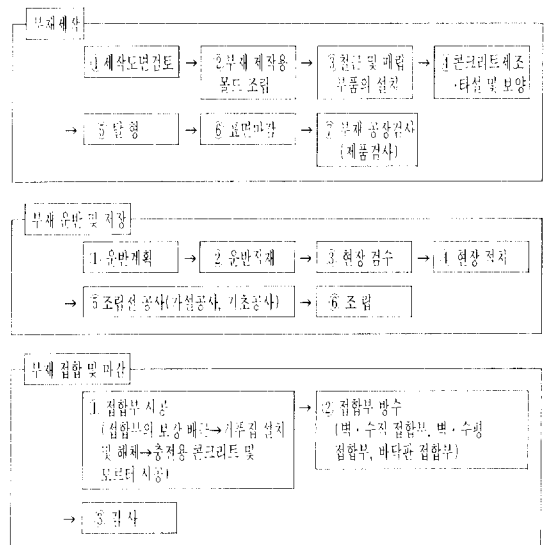
부재의 생산, 조립 및 집합부 공사에 사용되는 재료 및 부재 등은 품질확보에 관한 관계법령이 정한 품질기준 등에 적합한 것을 사용하여야 하며, 각 재료 또는 부재에 대한 시험항목은 다음과 같다.

- ① 시멘트 : 비중(KS L 5103, KS L 5105), 분말도(KS L 5106, KS L 5107), 응결시간(KS L 5108), 안정성(KS L 5110), 압축강도(KS L 5201)
- ② 잔골재 : 입도·조립율(KS F 2502), 비중

- 흡수율(KS F 2503, KS F 2504), 단위용적 중량(KS F 2505, KS F 2506), 점토덩어리 함유량(KS F 2512), 셋기시험 손실량(KS F 2511), 유기 불순물(KS F 2510), 염분(KS F 2515) 등

- ③ 함은관재 : 입도·조립율·비중·흡수율·안정성·마모감량·입형(KSF 2527), 점토덩어리 함유량(KS F 2512), 알칼리 골재반응성(KS F 2546)
- ④ 철근 : 인장강도, 연신율, 항복강도(KS D 3504)
- ⑤ 용접철망 : 인장강도(KS D 7017), 연신율, 항복강도, 진단강도
- ⑥ 콘크리트(부재 제작 및 충전용 콘크리트) : 슬럼프(KS F 2402), 공기량(KS F 2409, KS F 2417, KS F 2412), 콘크리트 비빔온도, 단위시멘트량 및 물시멘트비, 압축강도(KS F 2405), 염화물량(KS F 4009)
- ⑦ 콘크리트 부재 : 형상, 치수, 집합철물 치수, 균열, 파손, 부재의 표면상태, 부

그림 1 프리캐스트 콘크리트 공사 시공과정



재하중 재하시험(KS F 2273)

⑧ 부재 제작용 몰드, 화학 혼화제, 플라이 애쉬, 실링재 등

표 2 콘크리트 타설전의 검사

항 목	시험방법	관 정 기 준
몰 드	육안관찰	몰트, 테이퍼핀에 의하여 견고하게 고정되어 있을 것 청소 및 박리제의 도포가 적당할 것
배 근	배근도와의 비교 및 육안관찰	철근의 직경·개수, 위치가 배근도와 합치되어 있을 것 피부두께가 확보되어 있을 것
집합철물 및 매립부품	부재제작도와의 비교 및 육안관찰	집합철물 및 매립부품의 종류, 수량이 부재제작도와 합치되어 있을 것 기설부품이 견고하게 고정되어 있을 것

(2) 콘크리트 제조·타설 및 보양

콘크리트의 양생은 부재 탈형, 운반, 적치과정상의 휨, 뒤틀림, 균열 등 변형방지에 중대한 영향을 미치게 되므로 콘크리트의 부재별 초기양생 시간, 양생온도 및 탈형까지의 존치기간 등의 양생방법 및 기준이 철저히 준수되어야 한다.

축진양생에 의한 경우, 전양생기간, 온도상승기간, 최고온도 지속시간, 온도하강기간, 탈형후 양생기간 등에 대한 기준을 정하고 이에 따른다.

초기양생은 20시간 미만을 원칙으로 하고 이 기간동안 몰드의 온도는 10℃ 이상으로 유지한다. 또한, 부재의 급속한 건조로 인한 건조수축균열, 변형 및 표면색상의 변화 등 부재에 유해한 결함이 발생되지 않도록 주의하여 양생한다.

또한, 부재의 탈형 이후에는 콘크리트 함수율이 급격하게 변화하지 않도록 4℃이상의 습윤상태에서 설계기준강도 이상이 될 때까지 양생한다.

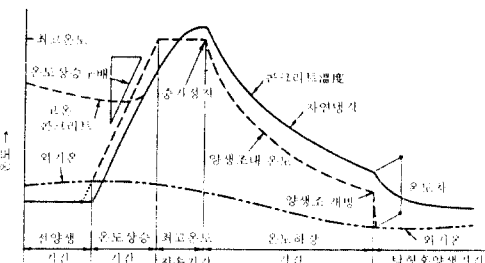


그림 2 가열양생조건에 따른 패턴

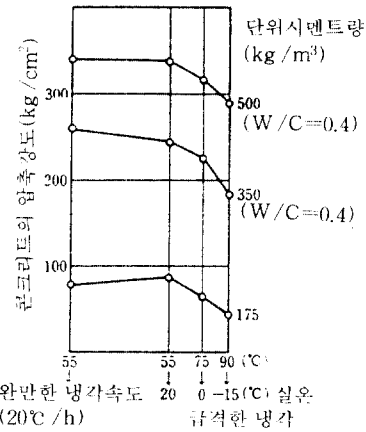


그림 3 급속한 냉각이 콘크리트에 미치는 영향

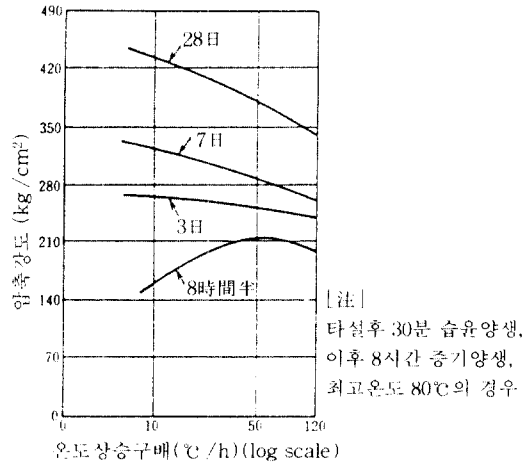


그림 4 온도상승구배가 압축강도에 미치는 영향

(3) 부재 검사

탈형후 즉시 부재의 형상, 치수의 허용오차에 대하여 검사하고, 균열, 파손 및 출하일 강도에 대한 검사는 출하직전에 실시한다. 특히, 검사자는 부재번호의 오기를 방지하고 검사내용과 부재번호가 일치하도록 부재번호를 철저히 확인하여야 한다.

2.2 부재의 운반 및 적치

(1) 운반

부재의 운반시에는 운반차량의 종류와 주행시간, 도로사정, 도로교통법 등 관련법령의 제한사

표 3 부재의 제품검사

항 목	시험방법	판정기준
형상·치수 의 허용 오차	스틸 테이프, 수평계 등에 의한 실측	○특기에 따름
균 열	크랙 스케일 등에 의한 실측	○특기에 따름
파 손	육안관찰	○유해한 파손이 없을 것
접합철물, 매립부품 의 위치, 정확도		○부품의 종류·수량이 부재 제작도와 합치할 것 ○부품이 정확한 위치에 설치되어 있을 것
부재표면 의 마감상태		○표면마감의 종류가 부재 제작도와 합 치될 것
피복두께		○견본이상의 마감상태일 것
		○충분한 피복두께를 확보할 것

표 4 부재 제조시의 관리항목과 시험·검사

항 목	시험방법	시기·회수	판정기준
주근의 깊이	스틸테이프로 실측	철근가공시, 전수	설계치수 : ±5mm 이내
주근단면의 형상	비나이 캘리퍼스 실측	상동	철근최외경 : ±3mm 이하
주근의 위치	노출길이	제품검사시, 전수	설계치수 : ±3mm 이내
	수평오차		
슬리브내부 및 주입 · 배출구의 막힘	압출공기에 의한 관통을 확인한다.	상동	막힘이 없을 것

표 5 균열의 폭, 깊이, 길이 등에 의한 균열의 등급

등급	종류	폭(mm)	깊이	길이(mm)	주기
1급 (구조상 유해)	결 손	0.3이상	1/3이상	300이상	발코니, 지붕판, 돌출부는 길이 300mm 및 폭 0.2mm 이상
	전 단	0.3이상	-	-	-
	휨	0.3이상	-	-	철근위치에서
2급	결 손	0.3이상	1/3이상	관통	-
	방수상 유해	○외벽면 옆면의 균열 ○외벽면 개구부 주변의 균열 ○발코니, 지붕판 등 누수유려 부분의 균열			균열폭, 깊이, 길이에 관계 없음
3급	구조상 유해	○Hook 주변의 균열 ○Wet Joint 철근 돌출부의 균열 ○Joint 부 변의 균열			균열폭, 깊이, 길이에 관계 없음
		1, 2급에 포함되지 않는 균열			-

항, 부재의 적재 및 하차방법, 부재의 적치, 부재 저장용 받침대, 공사현장에서 크레인이나 그외의 부재운반 장비의 가동성과 용량, 적치방법 등을 고려하고, 운반중에 부재하부, 모서리, 부재간 접

촉부위에서의 균열이나 파손, 변형의 방지를 위하여 육송각재 또는 고무판, 철재보양판 등을 적절하게 이용하여 보호조치를 한 후에 운반한다.

또한, 소형부재 또는 세워서 운반하기 곤란한 부재외에는 가급적 세워서 운반하는 것이 바람직하다.

(2) 현장검사

휨, 굽음, 요철 등 부재의 변형과 관련된 가로, 세로, 두께의 치수, 대각선 치수, 매립철물의 위치와 부위별 오차한계를 2.1 (3)의 표 3~표 5의 검사방법 및 기준을 참고로 재확인하여 필요시, 공장의 몰드 수정 등의 적절하고 즉각적인 조치가 가능하도록 한다.

부재의 검수시 주요 확인사항은 다음과 같다.

- ① 부재의 형상, 치수의 허용오차 및 기포발생 정도
- ② 부재 균열, 파손 여부 또는 그 보수상태의 적합성
- ③ 탈형강도 및 출하일 강도
- ④ 접합철물 등 매립부품의 위치, 정확도
- ⑤ 창호설치 앞, 뒷면 뒤바뀜 여부
- ⑥ 단열보완, 시공부위, 면따내기, 경계면의 수직수평도

2.3 부재의 접합 및 마감

(1) 부재의 접합방법

부재 조립시의 대표적인 접합부 형식에는 부재에 매립, 돌출된 철판 또는 철근의 용접에 의한 용접접합, 부재에 매립된 철물을 이용한 볼트 접합, 부재에 나선형 주름관 또는 슬리브를 매립하여 철근을 삽입한 후 모르타르 충전하여 접합하는 방법이 있다(그림 2 참조).

표 6 부재 조립시의 관리항목과 시험·검사

항 목	시험방법	판정방법
기초보 상단으로부터의 주근의 기울기	곡선자 등에 의한 실측	1/40이하
주근의 노출길이	스틸테이프로 실측	설계치수 5mm 이내
주근의 오염	육안관찰	시멘트·유류 등에 의하여 오염되지 않을 것

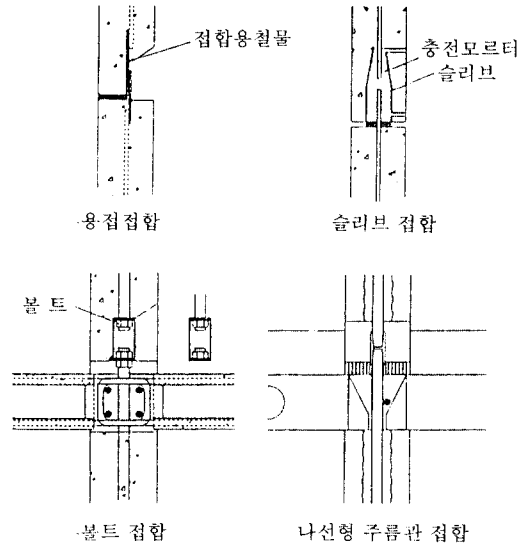


그림 2 부재의 접합방법

(2) 충전용 콘크리트 및 모르터의 시공

접합부의 충전은 진단강성 등을 고려하여 콘크리트를 사용하는 것이 바람직하지만, 과밀배근, 나선형 주름관 사용 부위에는 동등 성능 이상의 모르터를 사용할 수 있으며, 충전시에는 불량한 곳이 발생되지 않도록 나무망치, 철근막대 또는 다짐막대 등을 이용한다.

나선형 주름관내 모르터는 수평조인트 콘크리트 타설전에 주입한다.

깔모르터 또는 팩모르터는 상부 바닥판 부재 설치 후 한쪽을 막아댄 후 반대쪽으로 부터 가능한 한 공극이 생기지 않도록 밀실하게 시공하고, 경화된 후 망치로 두드려 맑은 소리가 나야 한다. 또한, 모르터의 시공두께와 설계치수와의 차이는 6mm 또는 부재 상단면의 허용오차 이내이어야 한다.

표 7 깔모르터의 시험 검사

항 목	시험방법	시기·회수	판정기준
균질않은 모르터 상태	육안관찰	혼합 직후	균등하게 혼합되어 있을 것
시공연도	KS F 5111		특기에 정한 범위내의 값일 것
압축강도	KS L 5105 (현장 수증양생에 의한)	깔모르터의 시공전 및 다른 종류의 재료를 사용할 경우	재령28일의 압축강도 평균치가 규정치 이상일 것

표 8 충전재 주입시의 관리항목과 시험·검사

항 목	시험방법	시기·회수	판정기준
사용재료	충전재 포대의 날짜 확인	충전재 사용시	사용기한을 넘지 않을 것
작업자의 자격	자격증명서 확인	충전재 시공시	자격이 적정할 것
슬리브 다짐의 유무	그라우트공사 작업보고서 확인	충전재 시공시	막힘이 없을 것
단위수량	상동	혼합시	규정치 이하
혼합온도	상동	제1배치 혼합시	규정치 이하로 한다.
혼합시간	상동	혼합시	규정치로 한다
콘시스턴시	상동	제1배치 혼합시	규정치로 한다
충전재의 압축강도 시험	재령28일 압축강도시험	충전재 시공시 3회	재령28일 압축강도의 평균치가 규정치 이상일 것

3. 접합부 충전 콘크리트 및 모르터의 요구 성능

3.1 접합부 형상 및 충전재의 배합

접합부 형상은 개방형과 폐쇄형으로 분류할 수 있으며, 국내에서는 대부분 거푸집 설치작업에 의해서 소요시간이 증대된다는 개방형의 단점으로 인하여 비교적 작업과정이 단순한 폐쇄형이 주종을 이루고 있으나, 일부 배근 및 콘크리트 타설작업과 배근 및 청소상태 검사가 용이한 반폐쇄형으로의 전환가능성도 높은 것으로 판단된다.

표 10은 배합비에 대한 국내의 시방 및 각 업체별 적용사례를 콘크리트와 모르터로 구분하여 정리한 것이다.

3.2 재료의 성능

충전콘크리트 및 모르터는 주로 강도, 최대골재 치수, 배합비에 의하여 그 품질 및 성능이 결정되며, 건축물 구조부재 상호를 접합하여 일체화시키는 구조상 주요한 부위이므로, 강도의 경우 그 설계기준은 부재와 동등 이상의 강도가 확보되도록 하는 것이 바람직하다.

또한, 최대골재치수의 경우, 보통 사용개소의 단면이 작고 접합용 철물이 많으므로 15 또는 10mm이하로 하고 충전성의 문제가 없다면 단면의 형상에 따라 20mm까지로 할 수 있다.

배합에서의 주요항목에는 단위수량, 물시멘트비, 슬럼프치가 있으며, 단위수량(185kg·m³)은 브리딩량(:0.5ml·cm²) 및 건조수축율(:8x10⁻⁴)

표 9 충전콘크리트의 시험·검사

항 목	시험방법	시기, 회수	판정기준
슬럼프	KS F 2402	압축강도 시험용 공시체 채취시	슬럼프의 허용차(cm)
			목표슬럼프치    허용차
			8이상 18이하    ±2.5 18초과 20이하    ±1.5
공기량	KS F 2409, 2417, 2421		공기량의 허용차 : ≥1%
단위수량	배합표 및 콘크리트제조 관리기록에 의한 확인		규정차이하일 것
압축강도	KS F 2405 (현장수중양생에 의함)	이일 1회이상 ○ 충전콘크리트 타 설시, 3개 채취	재령 28일의 압축강도 평균치가 F <sub>c</sub> 이상일 것
		이일 1회 이상 ○ 염화분을 포함할 우려가 있는 골재 : 150m <sup>3</sup> 마다 1회 이상	연소이온량으로 0.30kg/m <sup>3</sup> 이하
염화물량	KS F 4009		

표 10 접합부 충전콘크리트 및 모르터의 배합일반

업체	배합조건	충전재 종류	콘크리트	모르터
HA사	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		210이상, 15이하	배합비 1:3 w/c 0.65
	배합비		1:2.5:2.5	
	단위수량(kg/m <sup>3</sup> ), w/c 슬럼프(cm)		211이하, 0.6 21	
HB사	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		210이상, 25이하	강도 240이상
	배합비		1:2.43:2.67	배합비 1:3
	단위수량(kg/m <sup>3</sup> ), w/c 슬럼프(cm)		152이하, 0.54 12	단위수량 163 w/c 0.33
KA사	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		210이상, 15~20	강도 210이상
	w/c		0.6	배합비 1:2.0~2.5
	슬럼프(cm)		21	w/c 0.6 flow 150±10
SA사	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		270이상, 15~20	-
	배합비		1:2:2	
	슬럼프(cm)		18	
SB사	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		270이상, 13이하	-
	배합비		1:2.27	
	w/c 슬럼프(cm)		0.55 15	
건설부	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		210이상, 15~20	강도 210이상
	최소단위시멘트량(kg/m <sup>3</sup> ), w/c		300, 0.6이하	배합비 1:2.0~3.0, w/c 0.6이하
	슬럼프(cm)		21이하	flow 150~160±10
주공	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		210이상, 15~20	강도 210이상
	최소 단위시멘트량(kg/m <sup>3</sup> ), w/c		300, 0.55이하	배합비 1:2(c:680)
	슬럼프(cm)		20이하	w/c 0.6이하 flow 150±10
일본	강도(kg/cm <sup>2</sup> ), 골재크기(mm)		210이상, 10~20	강도 210이상
	상리당량, 건조수축율		0.5ml/cm <sup>2</sup> , 8×10 <sup>-4</sup>	배합비 1:2.0~2.5
	단위수량(kg/m <sup>3</sup> ), w/c 슬럼프(cm)		185이하(c:330), 0.55 20이하	w/c 0.55이하 flow 175~230

과 타설 후의 침강 등에 의한 균열 발생 가능성, 내구성 등을 기준으로 상용콘크리트 품질목표의 달성이 가능하도록 설정하고, 물시멘트비(약 55%), 목표 슬럼프치(약 20cm)는 워키빌리티, 균일성, 내구성 확보가 가능한 범위내에서 최대치로 설정한다.

#### 4. 결 언

서언에서도 언급한 바와 같이 현재의 국내 건설 여건을 감안할 때, 생산방식의 공업화 추진은 필연적이므로, 개념적이고 원론적인 측면에서의 문제해결보다는 당면한 기술적 문제에 대한 해결이 우선되어야 함에도 불구하고, 관련자료 또는 연구실적의 부족으로 인하여 단지 원론적인 문제의 제기에 머무른 감이 없지 않은 것으로 생각된다.

이는 필자를 포함한 관련 종사자 대부분이 느끼고 있는 사항이므로 각계 각층의 다양한 지원과 연구활동을 기대하면서 향후 활성화를 위한 대책 또는 과제를 다음과 같이 제안한다.

- 품질보증체제 확립 : 신자재, 공법의 품질보증·보험제도 개선, 하자 부위에 대한 설계개선
- 국내 실정에 적합한 기술개발 : 접합부 등 설계 표준화, 공사시방, 공법별 최적공정관리방안 확립, 입주자 선호도 분석
- PC 설계 적용범위 확대 : 아파트 위주에서 공공 건축물 등으로 확대
- 부분PC 등 단계적인 공업화 공법으로의 전환 : 완전 PC 경쟁력의 제약 충수, 평면구성 저하, 입주자의 다양성 요구
- 입주자 선호도 증대를 위한 개선책 마련 : PC 주택 하자 보증기간 조정

#### 참 고 문 헌

1. 건설부, 프리캐스트 콘크리트 조립식건축 공사표준시방서, 1992. 4
2. 대한주택공사, 프리캐스트 콘크리트 부재제작 및 조립공사 표준시방서, 1994. 4
3. 대한주택공사, 초음파에 의한 PC 접합부 품질관리방안에 관한 기초적 검토, 1993. 7
4. 금호건설기술연구소, PC수직접합부 모르터의 충전성 확인에 관한 연구(1), 1994. 2
5. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書 同解説 JASS 10 プリキャストコンクリート工事