

# 삼성 조립식 주택 부재 및 공법의 성능향상에 관한 연구

조동우 / 한국건설기술연구원 선임연구원  
 양관섭 / 한국건설기술연구원 연구원  
 이운구 / 한국건설기술연구원 연구원  
 장재희 / 한국건설기술연구원 연구원  
 이세현 / 한국건설기술연구원 연구원

## 연구요지

본 연구원에서는 삼성건설에서 생산시공되고 있는 조립식주택 부재에 대하여 공업화주택 성능인정 기준과 관련된 항목중 단열, 차음, 내화성능등의 성능을 분석·평가하여 PC조립식부재에 대한 기술자료를 마련하고자 하였다.

또한, 기존 조립식주택을 대상으로 주거환경과 직접적인 영향을 미치는 벽체 및 접합부의 단열 및 결로, 공간차음성능, 바닥충격음 차단성능, 급배수설비 소음 성능등에 대한 실물실험 및 현장실측조사를 통해 파악함으로써 조립식주택의 주거환경을 분석·평가하였다.

각 항목별 성능에 대한 종합적인 분석결과, PC아파트의 기존의 현장타설 RC아파트는 주거성능 측면에서 별다른 차이를 보이지 않았으며, 단열성능 등 몇가지 요소에서 PC아파트가 상대적으로 우수한 것으로 분석·평가되었다.

## 1. 서론

최근 주택난을 해결하기 위한 주택공급시책 확대의 일환으로 조립식아파트가 대량보급건설되고 있다. 그러나, 정부의 각종 지원과 업체의 노력에도 불구하고 조립식아파트의 성능상 결함 및 하자에 대한 불만이 빈번히 제기되고 있는 실정이다.

조립식아파트란 공장에서 생산된 PC부재를 현장에서 조립하는 것으로 일반현장타설 RC공법에 비해 부재간의 접합부가 많아지기 때문에 접합부 시공이 불량일 경우 세대간 차음성능이 급격히 떨어지고, 결로 및 누수문제가 발생하며 단열불량 등의 성능상의 문제가 발생하기 쉽다. 따라서, 건설부에서는 이러한 조립식아파트의 성능상 문제에 효과적으로 대응하기 위해 「공업화주택성능인정」제도를 도입하는 등 관련법의 정비작업 및 기준을 마련하였고, 이와 더불어 국내 각 건설회사에서도 조립식 아파트의 주거성능에 대한 기술수준 향상과 이미지 제고 및 조립식아파트 산업의 활성화를 위해 자발적으로 많은 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 이의 일환으로 삼성건설과 공동으로 조립식 PC부재 및 공법에 대하여 도면분석, 부재의 성능테스트, 실물실험 및 기존 PC 조립식 아파트의 현장실측 등을 실시함으로써 외벽체 단열성능, 결로, 차음성능 등 주택 환경성능을 분석·평가하여 삼성 조립식아파트 부재 및 공법의 성능향상방안을 제시하고자 하였다.

## 2. PC 部材의 性能試驗 및 評價

본 연구에서는 삼성건설에서 생산되고 있는 PC(Precast-Concrete)부재에 대해 내화성능, 단열성능, 차음성능 등 주거성능과 관련된 항목에

〈표 1 성능시험개요〉

시험항목	부재	규격(mm)및 갯수	시험방법
내화성능	외벽판	2400×2400×260	각 KS F 2257
	경계벽판	2400×2400×140	1
	간막이벽판	2400×2400× 70	개
	바닥판	3790×4450×140	
단열성능	아이소핑크	300×300×60	각 KS L 9016
	스치로폴	300×300×60	3
	단열물탈	300×300×60	개
	콘크리트	300×300×60	ASTMD23 26
차음성능	경계벽판	3760×2280×140	각 KS F 2808
	간막이벽판	3760×2280× 70	1 개
구조안전 성능	바닥판	2400×1200×214 동일부재 3개	KS F 2273

〈표 2 내화성능시험 결과(KS F2257)〉

구분	이면 온도			이면 온도 평가
	허용 온도	최고 온도	허용온도 초과시간	
외 벽 판	260℃	41℃		2시간 기준적합
경 계 벽 판	260℃	104℃		2시간기준적합
간 막 이 벽 판	260℃	348℃	87분	1시간기준적합
구분	강재 온도			강재 온도 평가
	허용 온도	최고 온도	허용온도 초과시간	
외 벽 판	450℃	287℃		2시간 기준적합
경 계 벽 판	450℃	248℃		2시간기준적합
간 막 이 벽 판	450℃	551℃	85분	1시간기준적합

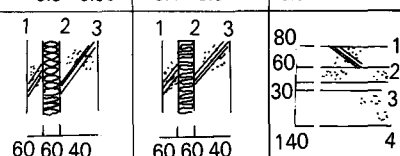
대한 시험을 통해 PC 부재 및 공법에 대한 정량적인 성능을 평가하고자 하였다. 시험항목 및 시험방법은 다음 〈표 1〉과 같다.

### 2. 1 내화성능시험 결과 및 분석

이상과 같이 아파트 건설을 위해 사용되고 있는 대부분의 PC부재는 건축법 제40조에서 규정하고 있는 시방기준을 만족하고 있으며, 내화구조가 요구되는 각 PC부재에 대한 내화성능 시험 결과에서도 외벽판, 경계벽판 등은 모두 2시간의 내화성능을 만족하고 있으며, 간막이 벽은 1시간 이상의 내화성능을 갖는 것으로 평가되었다.

### 2. 2 단열성능시험 결과 및 분석

〈표 3 시험결과 및 공업화주택 성능인정기준의 비교〉

		외 벽	측 벽	최상층 지붕
평가기준 열관류율 (kcal/ m <sup>2</sup> h℃)	1급	0.45 이하	0.35 이하	0.30 이하
	2급	0.45~0.5	0.35~0.4	0.3~0.35
	3급	0.5~0.65	0.4~0.6	0.35~0.45
단면구성		1. 콘크리트 2. 스티로폴 3. 콘크리트	1. 콘크리트 2. 아이소핑크 3. 콘크리트	1. 콘크리트 2. P.E.필름 (2겹) 3. 아이소핑크 4. 모르타르 5. 콘크리트
	열관류율	0.455	0.348	0.343
성능기준과의 적합여부	2 급 적 합	1 급 적 합	2 급 적 합	

\* 중부지방(서울, 경기, 충북, 강원)은 2급, 남부지방은 3급을 최저기준으로 함. 열관류율 K는 다음 식에 따라 계산

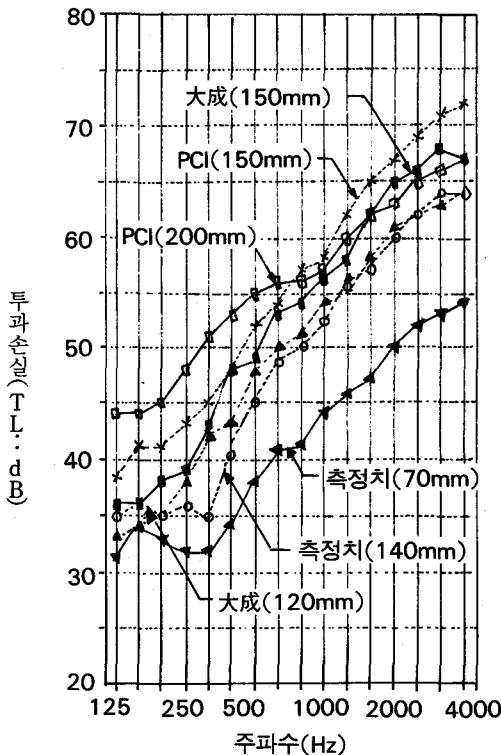
$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha l} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha e}}$$

조립식아파트의 단열성능의 분석결과, 각부위의 열관류율(Kcal/m<sup>2</sup>h℃)은 0.45, 측벽의 경우 0.

37, 최상층 지붕의 경우 0.35로 산출되었다. 이러한 열관류율은 일반적으로 적용되는 아파트의 열관류율과 유사하나 외벽의 경우 60mm의 단열재를 사용하여 일반 아파트에 비해 10mm 정도 보강됨으로써 단열성능면에서 우수한 것으로 평가되며 이것은 난방부하측면에서도 5-10% 정도의 에너지절감효과를 갖는 것으로 분석된다.

### 2. 3 차음성능시험 결과 및 분석

일반적으로 콘크리트벽체의 차음성능은 면밀도(kg/m<sup>3</sup>)에 의해 좌우되며, 두께가 120-150mm (면밀도 : 250~320kg/m<sup>3</sup>)인 경우 50Hz에서 약 dB의 차음성능을 지닌다. <그림 1>은 일본대성건설 기술연구소에서 실시한 두께 120mm, 150mm에 대한 것과 PCI(Precast Concrete Institute)에 개재된 두께 150mm, 200mm에 대한 것, 그리고 건설시험소에서 시험한 측정치를 비교하여 나타낸 것이다. 측정치(140mm)가 다른 값들에 비해 낮은 값을 보이는 것은 시험소 여건상 부재를 6등분하여 설치하게 됨으로 인해 발생한 틈새때문이며, 실제 PC부재가 지니고 있는 차음성능은 이보다 3~5dB정도 높은 것으로 판단된다.



<그림 1> 두께에 따른 투과 손실 측정치 비교

성능기준에 대한 차음성능의 적합여부는 두께 70mm인 칸막이벽판은 중심주파수 125, 500, 2000Hz에서 각각 31, 38, 50dB의 음향투과손실값을 나타내 기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 두께 140mm의 세대간 경계벽판은 중심주파수 125, 500, 2000Hz에서 각각 35, 45, 60dB의 음향투과손실값을 보여 기준에 적합한 것으로 평가되었다.

<표 4 우량주택자재 인정기준과의 비교>

	세대간경계벽		
	125Hz	500Hz	2000Hz
성능기준	35이상	45이상	55이상
시험결과(dB)	35	45	60
성능기준과의 적합여부	적 합		
	세대내칸막이벽		
	125Hz	500Hz	2000Hz
성능기준	20이상	35이상	45이상
시험결과(dB)	31	38	50
성능기준과의 적합여부	적 합		

### 2. 4 구조안전성능 시험결과 및 분석

<표 5 PC바닥판의 단순휨 시험결과>

종도	부재크기 (T × D × W) (mm)	최대 휨 파괴하중 (t)	단위면적당 휨파괴하중 (t/m <sup>2</sup> )	평 균 (t/m <sup>2</sup> )
바 닥 판	140 × 1200 × 2400	10.01	3.475	3.185
		9.68	3.362	
		7.83	2.718	

단순휨시험은 시험체에 가해지는 하중의 증대와 함께 그에 따른 변형을 측정함으로써 대상부재의 외력에 대한 저항능력 및 탄성변형 특성을 밝히는데 그 본래의 의미가 있다. 그러나 본 시험에서는 휨 파괴 하중만을 측정하였으며 그 결과는 <표 5>와 같다.

또한, 시험체를 제공한 업체에서 기준으로 하고 있는 강도설계법에 의한 설계하중과 처짐기준을 <표 6>에 나타내었다. <표 6>에서와 같이 단

순환 시험결과 단위면적당 휨과파괴하중은 3.185t/m<sup>2</sup>로 나타나 <표 5>의 부재길이 3m, 두께 140mm의 바닥판의 경우 설계하중 0.624t/m<sup>2</sup>와 비교하였을 때, 무려 5배 이상의 단위면적당 하중을 보여 시험체가 파괴점에 이르렀을 때의 단위하중이 설계하중을 5배 이상 초과하는 것으로 나타남으로써 매우 안정한 수준으로 판단되었다.

<표 6 부재길이별 설계하중 및 처짐>

부재 길이 (mm)	두께 (mm)	설계하중*		이론식에 의한 처짐		
		L/m <sup>2</sup>	I	D.L	L.L	기준
2,700	140	0.854	0.963	0.586	0.980	7.5
3,000	140	0.624	0.733	0.893	1.022	8.3
3,500	140	0.369	0.411	1.655	0.910	9.7
4,000	140	0.204	0.140	2,820	0.463	11.1

\* 강도설계법에 의한 설계하중

-D.L : 자중에 의한 처짐

-L.L : 적재(가력)하중에 의한 처짐

-유효처짐 : 유효단면 2차모멘트를 이용한경우의 처짐

-부재의 길이가 2.7m 이하일 경우의 설계하중은 2.7m 부재의 설계하중과 동일하게 한다.

-부재길이가 4.0m를 초과할 경우, 부재두께를 늘이거나 철근보강후에 실험을 하여야 한다.

-위 표는 W.WF Φ6-100×100D를 기준으로 작성

또한, 시험체를 제공한 업체에서 기준으로 하고 있는 부재길이 3m, 두께 140mm의 집중하중을 적용하여 처짐을 검토하면, 실제 예상처짐은

(고정하중에 의한 처짐)

$$\delta D = \frac{5 \times \omega \times l^4}{384 \times E_s \times I_s}$$

$$= \frac{5 \times 0.47 \times 10 \times 240^4}{384 \times 2.47 \times 10^5 \times 22467.6}$$

$$= 0.037 \text{cm}$$

(적재하중에 의한 처짐)

$$\delta D = \frac{P \times a \times (3L^2 - 4a^2)}{24 \times E_s \times I_s}$$

$$= \frac{24 \times 10^3 \times 60 \times (3 \times 240^2 - 4 \times 60^2)}{24 \times 2.47 \times 10^5 \times 22467.6}$$

$$= 0.088 \text{cm} \quad \therefore \delta_o + \delta_L = 0.125 \text{cm} < \frac{1}{360}$$

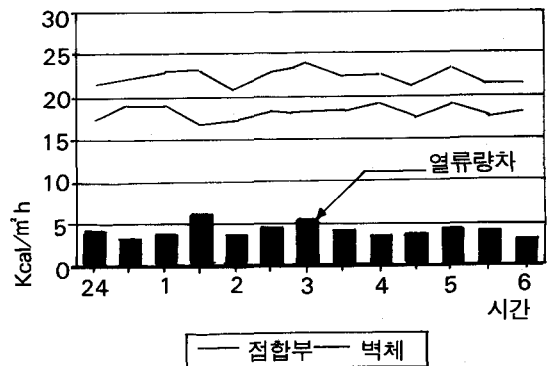
$$= 0.667 \text{cm(OK)}$$

이상과 같이, 업체에서 기준으로 하고 있는 조건의 처짐검토 결과, 상당한 안전율을 적용하여 부재의 설계·제작기준으로 활용하는 것으로 나타났다.

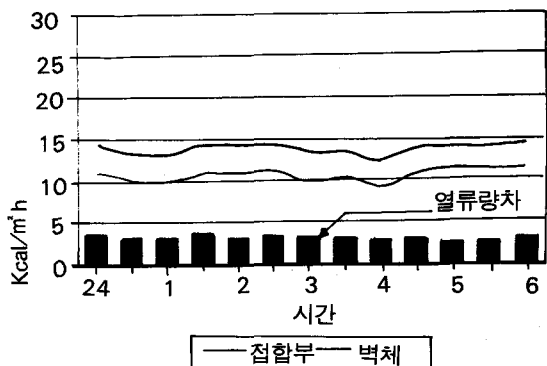
### 3. 실험모델의 열성능 분석 및 평가

#### 3.1 벽체별 접합부 열성능 평가

본 절에서는 삼성 PC 부재를 이용한 Mock-up 모델을 설계·제작한 후, 벽체 내외표면온도, 벽체 내부경계층 온도, 단열물탈 내외표면온도, 접합부모서리와 벽체 중앙부에서의 열류량 등의 측정결과를 분석하여 각 모델 벽체의 열성능을 평가하였다. 먼저 내부간벽 돌출모델인 SS①과 미돌출모델인 SS②의 열성능 비교에 있어서는 접합부 모서리에서의 평균 내외표면온도차가 각각 13.8℃와 16.4℃로 나타났으며, <그림 2>, <그림 3>에서 보는 바와 같이 내부간벽 돌출모서리 부위



<그림 2 접합부와 벽체 열류량 비교(SS ①모델)>



<그림 3 접합부와 벽체열류량 비교(SS ②모델)>

에서는 약 1.6배, 모서리에서 약 20cm 정도 떨어진 벽체 부위에서는 약 1.7배 정도 큰 것으로 나타나 내부간벽이 외부로 돌출된 경우, 그로 인해 발생하는 열교현상으로 접합부에서의 열성능이 저하될 수 있는 것으로 평가되었다.

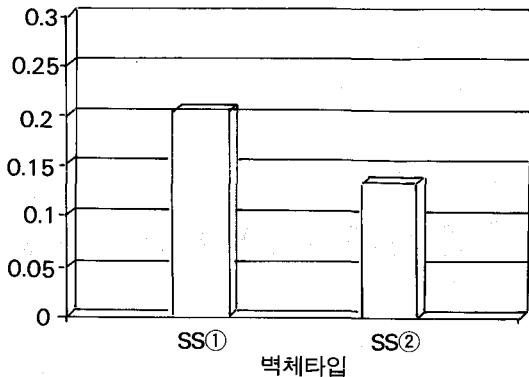
본 연구에서는 조립식 외벽체 접합부의 단열성능을 파악할 수 있는 간역평가법을 이용하여 접합부의 단열성능을 분석·평가하였다. 이 평가법에서는 실측된 벽체표면온도와 외기운동을 (식 1)에 대입하여 접합부의 단열성능을 산정하며, 그 결과에 따라 벽체성능을 3등급으로 구분하여 평가척도로 활용하고 있다.

$$\rho = \frac{\theta_w - \theta_c}{\theta_w - \theta_o} \quad (\text{식 1})$$

- $\rho$  : 열교부단열성능
- $\theta_w$  : 정상벽체 표면온도
- $\theta_c$  : 접합부표면온도
- $\theta_o$  : 외기온

등 급	1	2	3
단열성능( $\rho$ )	0.1이하	0.1-0.2	0.2이상

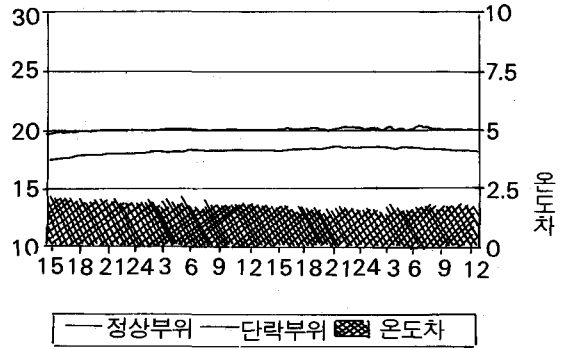
상기 평가에 따라 벽체를 통한 열흐름이 비교적 안정되고 일사에 의한 영향이 배제되는 야간(24시-6시)에 1시간 간격으로 벽체와 접합부의 표면온도를 실측하여 각 실험모델의 단열성능( $\rho$ )을 산정한 결과는 다음 <표 7>, <그림 4>와 같이 나타나 SS①모델이 SS②모델에 비해 약 1등급 정도 낮은 단열성능을 나타내고 있다.



<그림 4 벽체별 접합부 단열성능 비교>

<표 7 벽체접합부의 단열성능( $\rho$ ) 산정결과>

	열전대 측정결과				평균치
	21시	24시	3시	6시	
SS①	0.220	0.197	0.200	0.198	0.204
SS②	0.145	0.133	0.131	0.124	0.133



<그림 5 단열재 단락여부에 따른 온도변화>

### 3. 2 단열재 시공상태에 따른 열성능 평가

SS② 모델에서 접합부 하부의 단열재를 단락시키고 그 영향 정도를 측정된 결과, 정상적인 벽체부위와 단열재를 단락시킨 부위의 접합부 표면 온도차가 0.4-1.4°C 정도 단열재 단락에 의한 영향이 나타나고 있다.

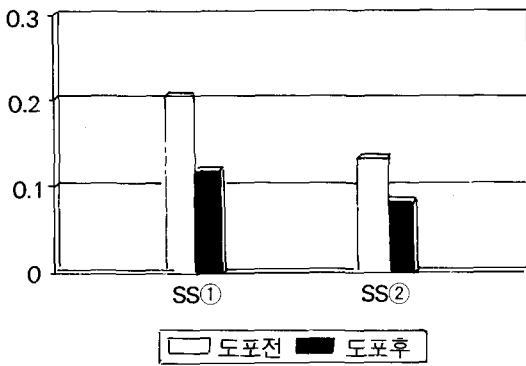
적외선 열화상장치에 의해 측정된 표면온도분포를 살펴보면 단열재 단락부위에 의해 매우 넓은 범위까지 영향을 미치는 것으로 나타나 접합부 시공시 정밀한 단열시공이 필요한 것으로 사료된다.

### 3. 3 단열몰탈 시공여부에 따른 열성능 평가

각 벽체 내표면에 단열몰탈을 도포한 후 실내측 외표면온도가 각 모델별로 최저 0.5°C에서 최고 2.9°C까지 상승하였으며 접합부 단열성능 역시 <표 8>과 같이 향상된 것으로 나타났다.

<표 8 단열몰탈도포에 따른 벽체단열성능 변화>

	도포 여부	단열성능( $\rho$ )				평균치
		21시	24시	3시	6시	
SS①	전	0.220	0.197	0.200	0.198	0.204
	후	0.123	0.116	0.115	0.115	0.118
SS②	전	0.145	0.133	0.131	0.124	0.133
	후	0.091	0.082	0.081	0.079	0.083



〈그림 6 단열물탈도포 전후 벽체단열성능 비교〉

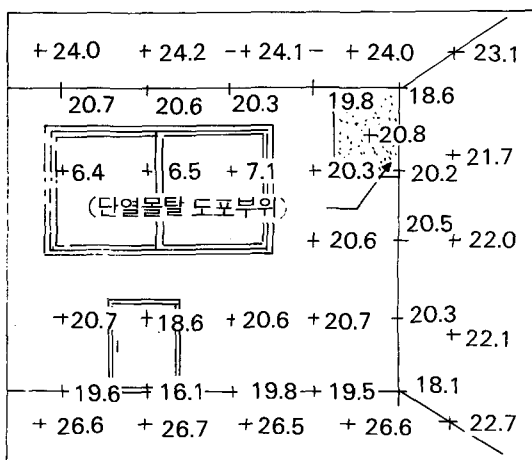
이와같이 단열물탈도포는 접합부의 내표면온도를 상승시키므로써 표면결로방지에 효과적일 수 있는 것으로 판단되나 시공성 등을 고려할 때 접합부에서의 단열성능향상을 위한 설계·시공 기술의 개선 및 재료 개발등이 필요 할 것으로 사료된다.

#### 4. PC조립식주택의 현장성능 실험 및 평가

##### 4. 1 조립식 외벽체의 열성능 측정 및 결과분석

###### (1) 부위별 열성능 측정 및 결과분석

벽체접합부의 표면온도분포를 보여주는 〈그림 7〉과 같이 조립식아파트의 경우, 구조적으로 벽



〈그림 7 벽체 접합부의 표면 온도 분포〉

체와 벽체, 벽체와 바다, 벽체와 지붕등의 접합부가 발생하며 이러한 접합부에서는 돌출된 벽체부위를 타고 열교현상이 발생하는 등 일반 벽체에 비해 열손실량이 많게 된다.

따라서 이러한 접합부의 실내측 표면온도는 일반벽체의 표면온도보다 낮아지게 된다. 또한 접합부는 현장에서 조립되는 부분이기 때문에 시공 여하에 따라 단열재가 단락되는 등 열저항이 작아지는 부분이 발생할 수 있다.

측정기간동안의 주요벽체부위와 접합부를 통해 흐르는 열류량 측정결과, 벽체와 접합부의 평균 열류량차는 2.8Kcal/m<sup>2</sup>h로 나타났으며, 접합부의 실내측 표면온도는 벽체의 실내측 표면온도차의 평균 2.8℃ 정도로 나타나 이를 통한 열손실이 상대적으로 작은 것으로 판단되었다.

또한, 접합부중 단열물탈 도포부위와 미도포부위의 실내외 표면 온도차치는 실내측 표면의 경우 단열물탈 도포부위가 평균 약 0.6℃정도 높고 실외측표면의 경우 평균 약 1.1℃낮아 단열물탈 도포가 접합부 열성능 향상에 효과적일 수 있음을 알 수 있었다.

###### (2) 벽체의 단열성능 측정 및 분석

모서리부위등 조립식 외벽체의 접합부는 앞 절의 측정결과에서도 볼 수 있듯이 열적으로 매우 취약할 수 있는 부분으로 그 단열성능의 양호 여부에 따라 열손실량의 증가를 가져올 뿐만 아니라, 취약부위에서 결로가 발생하는 등 그 성능 여하에 따라 하자발생의 빈도가 커지게 되어 실내환경에 악영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 전 장의 (식 1)을 이용하여 〈표 9〉와 같이 벽체를 통한 열흐름이 비교적 안정되고 일사에 의한 영향이 배제되는 야간(24시-5시)에 1시간 간격으로 벽체와 접합부의 표면온도를 실측하여 접합부의 단열성능(p)을 산정·평가하였다.

〈표 9 벽체접합부의 단열성능 산정결과〉

구분	열전대측정결과						평균치
	24시	1시	2시	3시	4시	5시	
$\theta_w-\theta_c$	2.4	2.5	2.5	2.6	2.5	2.5	2.5
$\theta_w-\theta_o$	17.5	16.2	17.6	17.2	17.6	17.2	17.2
p	0.137	0.154	0.142	0.151	0.142	0.145	0.145

〈표 9〉의 접합부 단열성능 산정결과를 살펴보면

면 단열성능( $\rho$ )이 평균 0.145로 2등급에 속하는 것으로 평가되었다.

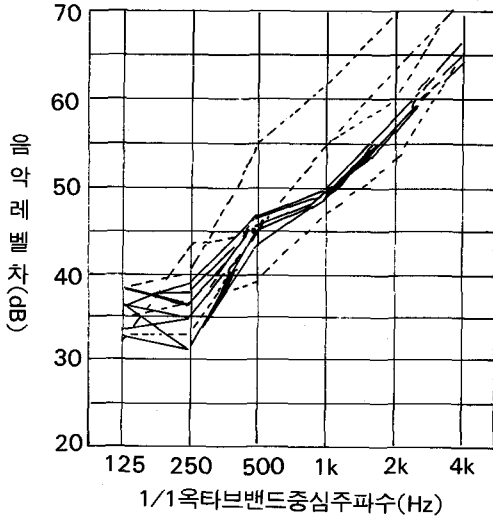
측정결과를 실내외 환경조건의 변화가 일정한 조건에서 측정된 전 장에서의 SS②모델에 대한 실물실험 결과(단열성능 0.133)와 비교하여 보면 단열성능 산정치가 큰 차이를 보이지 않는 것으로 분석되었다.

본 장의 성능 실험대상 아파트의 외벽체 접합부가 갖는 단열성능이 대체로 양호하여 시공상 큰 문제는 없는 것으로 평가되었다.

#### 4. 2 차음성능 및 바닥충격을 차단성능

##### (1) 경계벽차음성능

설계시 의도한 차음성능을 실제의 건물에서 확보하기 위해서는 설계방법을 동시에 검토할 필요가 있다. 본 내용에서는 조립식공법에 의해 건설된 PC공동주택에서 경계벽에 대한 차음성능을 측정하고 그 특성을 건설시험소에서 기 시험한 PC부재의 차음성능과 비교하였다. 또한 재래식공법인 RC공동주택을 대상으로 경계벽 및 경계바닥의 차음성능을 측정하고 그 특성을 비교·분석하였다.



〈그림 8 PC조와 RC조의 경계벽의 차음성능 비교〉

〈그림 8〉은 측정결과를 나타낸 것으로서 두께 차이에 따른 차음성능차가 100Hz이상에서 다소 나타날 뿐, 공법차이에 따른 뚜렷한 성능의 차이를 발견할 수 없었다. 또한 현장에서의 측정결과

#### 〈10 공업화주택 성능인정기준에 의한 평가〉

경계벽의 구조시공 업체	벽체 두께 (mm)	주파수(Hz)			등급		
		125	500	2000			
RC 조	A업체	150	38	55	70	2급	
	B업체	160	35	39	53	급외	
	C업체	160	31	45	63	3급	
PC 조	A업체		32	45	60	3급	
			36	44	57	급외	
			33	47	58	3급	
	B업체		32	45	57	3급	
			140	38	46	56	3급
			37	46	58	3급	
	35	45	58	3급			

와 건설시험소에서 PC부재에 대한 차음성능결과도 매우 유사하게 나타나 공법상의 차이나 현장 시공성에 따른 뚜렷한 성능의 차이를 발견할 수 없었다.

〈표 10〉은 “공업화주택 성능인정기준”에 따라 측정결과를 평가한 것으로서 측정대상중 삼성에서 시공한 산본주공아파트의 경계벽은 설정기준을 만족하고 있는 것으로 평가되었다.

##### (2) 바닥충격음 차단성능

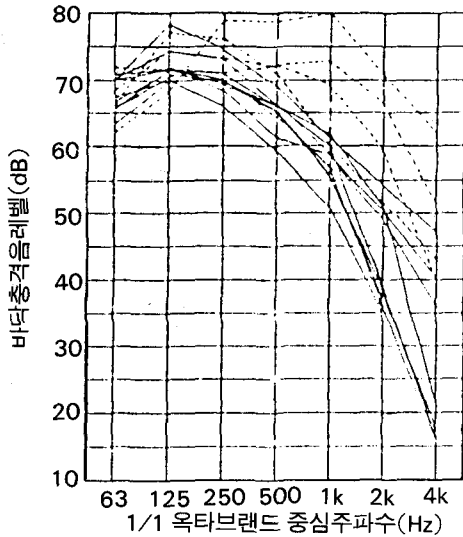
PC 조립식주택의 바닥충격음 차단성능은 PC 시공업체에서 시공한 바닥구조가 다른 3개의 현장을 선정하여 측정을 실시하였으며 PC조와 비교하기 위해 RC조 5개 현장을 대상으로 측정을 실시하였다. 본 연구에서 비교대상으로 선정한 PC조 및 RC조는 슬라브의 두께 및 온도층의 구성상태가 다르기 때문에 정량적으로 비교하기는 어려울 것으로 생각되나 단순비교를 통해 그 특성을 파악코자 하였다.

〈그림 9〉의 결과와 같이 경량충격음에 대한 차단성능은 저주파수대역에서는 PC조와 RC조의 구별이 뚜렷하지 않으나 중·고주파수 대역으로 갈수록 PC조의 충격음 차단성능이 다소 양호한 것으로 나타나고 있다.

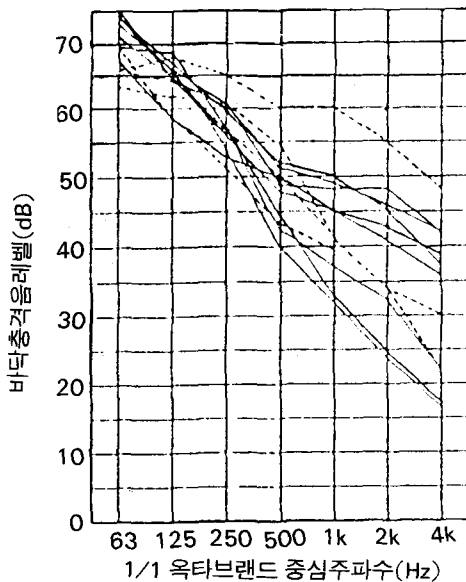
중량충격음에 대해서는 측정결과가 상호 혼재되어 있어 뚜렷한 특성을 파악할 수는 없다. 그러나 본 평가대상은 바닥구조가 서로 다른 대상을 비교하였기 때문에 동일한 바닥구조에 대해 평가를 실시할 경우 PC 조와 RC조간의 충격음 차단

성능 경향은 비슷할 것으로 판단된다.

평가대상주택에 대한 측정결과를 “공업화주택 성능인정기준”의 바닥충격음 차단성능기준에 따라 중량충격원과 경량충격원으로 나누어 평가한 결과에서도 측정대상 PC아파트는 대부분 성능기준을 만족하고 있는 것으로 평가되었다.



(a)경량 충격원



(b)중량 충격원

———— PC조    - - - - - RC조

<그림9 PC조와 RC조의 바닥충격음 차단성능 비교>

### 4.3 급배수설비소음

#### (1) 측정개요

급배수 설비소음의 실태를 파악하기 위해 삼성 건설에서 시공한 산본 주공 PC아파트 현장에서 1993년 6월 1일부터 3일까지 3일간 현장측정을 실시하였다. 측정대상은 변기급배수 소음에 한정하였으며 측정점은 침실과 욕실내에 1개지점에서 각 3회 이상 반복하여 실시하였다.

#### (2) 측정결과 및 분석

1층에서 15층까지 각 변기의 급배수시 발생하는 소음과 그때의 수압, 아래층에서의 음압레벨을 정리해 보면, 변기배수시 발생소음은 욕실내에서 대체적으로 76-81dB(A)의 분포를 보이고 있으며 층수의 변화에 크게 좌우되지 않는 것으로 나타났다.

<표 11 층별실별 변기 급배수설비소음>

층수	수압 (kgf/cm <sup>2</sup> )	음원소음레벨			직하층 세대		측세대
		급배수	배수	급수	침수	욕실	욕실
15층	0.7	77	77	55	-	-	-
14층	1.0	76	-	-	38	55	40
13층	1.3	77	77	54	-	-	-
12층	1.6	76	-	-	36	53	40
11층	1.8	78	78	60	-	-	-
10층	2.1	76	-	-	38	55	42
9층	2.3	78	78	59	-	-	-
8층	2.6	77	-	-	37	54	41
7층	2.8	79	79	62	-	-	-
6층	3.1	78	-	-	38	55	42
5층	3.3	81	79	80	-	-	-
4층	3.6	80	-	-	39	56	44
3층	3.8	79	79	62	-	-	-
2층	4.1	78	-	-	37	54	49
1층	4.35	-	-	-	-	-	-

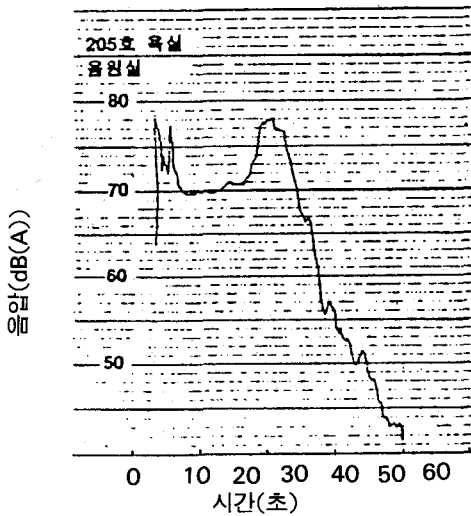
직상층 변기 배수시 침실에서 음압레벨은 36~39dB(A)로 나타나 공업화주택 성능인정 기준을 만족하고 있다. 이때 욕실에서는 53~56dB(A)로 나타났다.

한편 변기급배수시 수압의 차이(층수의 차이)에 따른 음압레벨은 1층의 경우 수압이 4.35kgf/cm<sup>2</sup>일 때 급수음은 77dB(A)를 기록했으며, 최상층(15층)의 경우 수압 0.7kgf/cm<sup>2</sup>에 급수음은 55dB(A)를 기록함으로써 수압과 발생소음간에 비례 관계가 있음을 보여주고 있다.

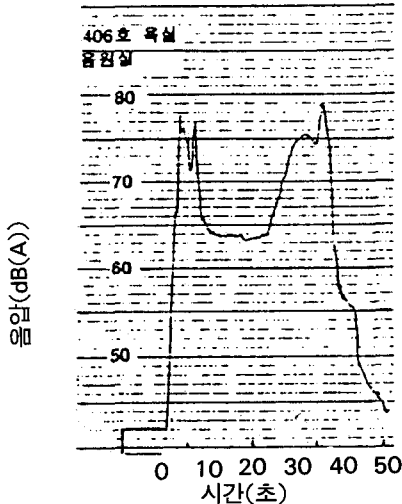
<그림 10>에서 알 수 있듯이 최초 10초 사이에 발생하는 음은 배수음으로 수압과 관계없이 일정



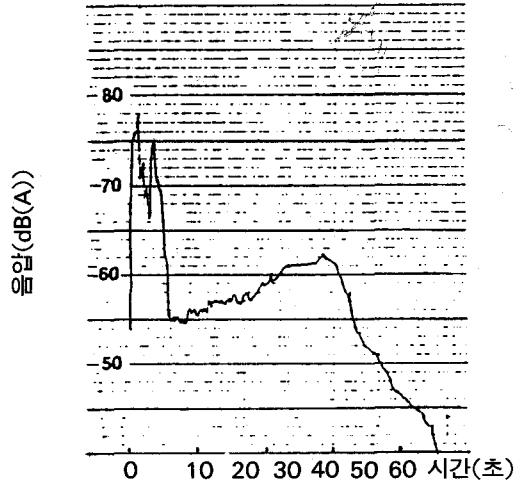
하지만 배수와 동시에 실시되는 급수음은 수압에 따라 많은 차이를 보이고 있으며, 5층과 3층의 경우에는 배수음보다 오히려 높게 나타났다. 급배수설비기준에서 최저필요수압은 규정하고 있지만 허용최고수압에 대해서는 설계자에게 일임하고 있기 때문에 급수음에 대해 효과적인 결과를 얻기 위해서는 필요수압을 1.5-3kgf/cm<sup>2</sup>으로 계획하는 것이 바람직하다.



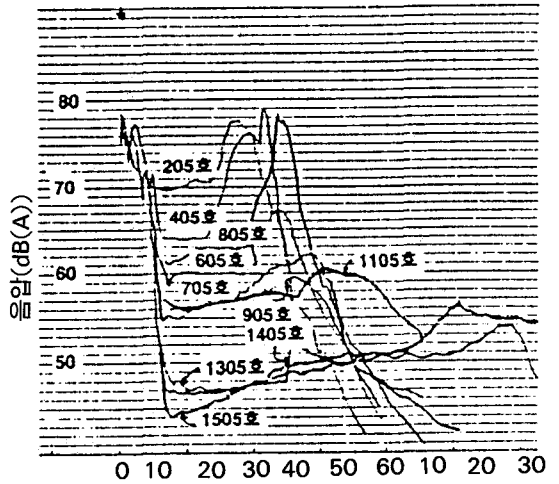
a) 2층 변기급배수 음원음압레벨 : 배수시 79dBA를 기록한 뒤 20초경과후 급수음에 의해 78dBA 기록



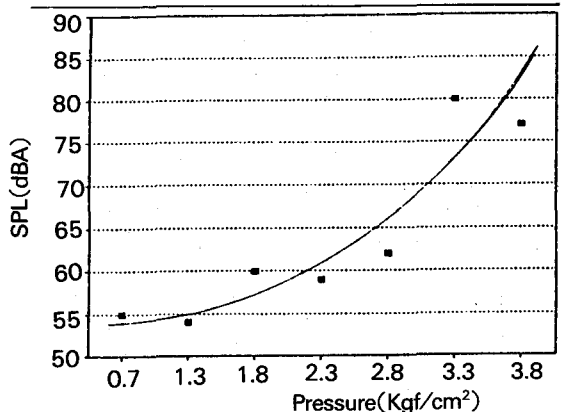
b) 4층 변기급배수 음원음압레벨 : 배수시 78dBA를 기록한 뒤 30초경과후 급수음에 의해 79dBA 기록



b) 7층 변기급배수 음원음압레벨 : 배수시 78dBA를 기록한 뒤 40초경과후 급수음에 의해 62dBA 기록



c) 2층에서 15층까지의 변기급배수 음원음압레벨 <그림 10 변기급배수음의 음압특성>



<그림 11 수압과 발생소음간의 비례관계>

## 5. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 열성능 평가

본 절에서는 삼성건설에서 기 사용중인 PC 외벽체와 시멘트 벽돌을 사용한 기존 조적조 외벽 공법을 대상으로 하여 응답계수법에 의한 각 공법별 외벽체의 열특성을 분석하고, DOE2 프로그램을 이용하여 각 공법을 외벽체로 사용하였을 경우 연간난방부하 산정결과를 비교·분석하므로써 PC외벽체의 열성능을 평가하였다.

### 5. 1 응답계수법에 의한 PC외벽체의 열특성 평가

PC외벽체와 기존조적벽체를 대상으로 관류응답계수를 산출하여 각 벽체의 전열특성을 비교·분석한 결과는 다음 <그림 12>와 같다. 각 벽체에 대한 관류응답계수의 시간별 변화는 다음 <그림 13>과 같다. 여기서 외부에서 최초 여진이 작용하는 최대관류응답이 3~5시간후에 각각 나타나는 것은 외벽구조체의 축열특성에 따른 것으로 벽체 구성재료의 열전도율, 밀도, 비열 등에 따라 달라지며 응답이 크기가 다른 것은 두께의 차이에 의한 것으로 판단된다.

전체적으로 PC벽체를 사용한 외벽과 축벽의 경우, 최대응답이 최초여진이 작용하고 약 5시간 이후에 발생하였다.

이는 시간지정효과(Time-lag)가 기존 조적조 벽체에 비해 다소 크며, 최대응답의 크기도 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 시멘트 벽돌을 사용한 조적조축벽의 경우, 최대응답이 최초여진이 작용하고 3시간만에 발생하였으며 그 크기도 가장 크게 나타나 PC 축벽에 비하여 열성능 측면에서 다소 불리한 것으로 판단된다.

### 5. 2 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 외벽체 열성능 평가

본 절에서는 PC 외벽체의 열성능을 비교·평가하기 위해 편복도형인 전 장의 현장측정 대상 아파트와 <그림 14>와 같은 계단실형의 단위주호를 각각 시뮬레이션 모델로 선정하고 각 시뮬레이션 모델의 외벽체 구조를 DOE-2 프로그램에 각각 입력하여 연간난방부하와 에너지 사용량을 산정하므로써 각 외벽체의 열성능을 비교·분석하였다.

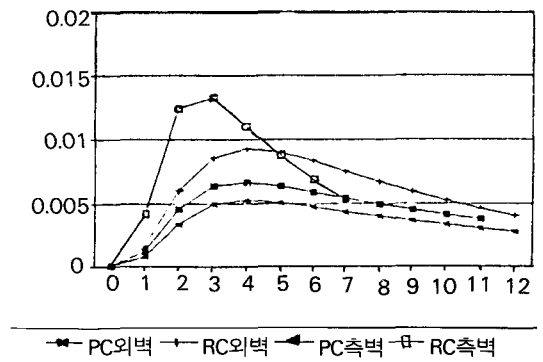
15층 아파트를 지상층, 중간층, 최상층으로 구

분하고 각 층의 전세대를 각각 입력하여 시뮬레이션을 실시한 결과 <표 13>에서 보는 바와 같이 서울지방(중부지방) 단열기준으로 편복도형 아파트(13평형)에 있어 기준층의 경우는 약 5.8~6.8%, 1층과 15층은 각각 약 3.7~4.7%와 약 2.7~3.6%의 연간난방부하 절감효과가 있는 것으로 나타났으며 계단 실형 아파트(32평형)는 기준층의 경우 약 4.5~5.0%의 난방부하절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

또한 기존 조적조 외벽체의 단열기준(단열계 두께)을 남부지방 단열기준치에 적합하도록 입력하여 시뮬레이션한 결과는 편복도형 아파트 기

외벽체 구조	재 료	두께 mm	밀도 kg/m <sup>3</sup>	비열 kcal/kg C	열전도율 kcal/mhr C
P C 외 벽	PC 판	70	2400	0.20	1.5
	단열재	60	30	0.30	0.032
	PC 판	150	2400	0.20	1.5
P C 축 벽	PC 판	70	2400	0.20	1.5
	단열재	60	30	0.30	0.025
	PC 판	150	2400	0.20	1.5
조 적 조 외 벽	시멘트몰탈	20	2020	0.20	1.2
	시멘트벽돌	90	1800	0.21	1.2
	단열재	50	30	0.30	0.032
	시멘트벽돌	90	1800	0.21	1.2
	석고보드	9	863	0.27	0.12
조 적 조 축 벽	콘크리트	180	2020	0.20	1.2
	단열재	70	30	0.30	0.032
	석고보드	9	863	0.27	0.12

<그림 12 벽체의 구조>



<그림 13 관류응답계수의 비교>

〈표 13 연간난방부하 비교(단위 : MWH)〉

세대	구분	PC 아파트	조직조아파트		부하절감효과	
			SB	CH	SB(%)	CH(%)
1층	축세대	1868	1961	2443	4.7	23.5
	중간세대	1199	1246	1477	3.8	18.8
	계단축세대	1707	1772	2105	3.7	18.9
8층	축세대	1160	1245	1550	6.8	25.2
	중간세대	587	625	6987	6.1	15.9
	계단축세대	982	1040	1199	5.7	18.1
15층	축세대	2385	2475	3088	3.6	22.8
	중간세대	1730	1776	2147	2.6	19.4
	계단축세대	2208	2270	2731	2.7	19.2

준층의 경우 약 18.8~23.5%, 계단실형 아파트 기준층의 경우는 약 12.3~16.5%의 난방부하절감효과가 있는 것으로 나타났다.

## 6. 결론

각 항목별 성능에 대하여 종합적인 분석결과를 살펴보면, PC공법은 기존의 현장타설 습식공법에 비해 주택의 주요성능이 우수하거나 혹은 별다른 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉, 주택의 성능은 공법상의 기술적 차이 때문이 아니라 설계, 시공, 유지관리 등 공법이외의 이유에 기인하는 것으로 나타났다. 이에 따라 PC아파트가 품질이나 하자 혹은 주거성능상의 문제가 있다는 일반적인 견해는 사실과 다르며, 오히려 난방부하 등 몇가지 요소에서는 PC아파트가 보다 우수하게 평가되었다.

단열, 결로방지, 차음 등 주거성능과 관련된 여러가지 주택품질 및 성능의 차이는 생산·시공단계에서의 품질관리에 기인하는 것이므로, 이미 마련된 각종 관련기준에 따라 치밀하게 시공할 경우 PC공법은 기존의 방법보다 우수한 주택성능을 발휘할 수 있는 것으로 나타났다.

그러나 PC아파트의 시공단계에서는 현장타설 RC공법보다 특별한 주의가 요구되고 있다. PC공법에 의해 건설되는 주택은 기존방식에 비해 부재간의 접합부가 많아지기 때문에 접합부 시공결함에 의한 성능문제가 발생하기 쉽다. 접합부의 틈이 불량하게 시공될 경우 세대간 차음 성능이 급격하게 떨어지고 결로 및 누수문제가 발생하며

단열불량 등의 결함이 발생할 가능성이 있다. 따라서, PC공법에서는 설계단계부터 하자보수가 지 특별히 세밀한 관리가 요구되며, 특히 현장에서의 정밀한 시공과 세심한 현장관리에 의해 접합부 하자를 미연에 방지하는 노력이 필수적으로 뒤따라야 할 것으로 분석되었다.

## 참 고 문 헌

1. 건설부, 프리캐스트 콘크리트 조립식 건축공사 표준시방서, 1992. 6
2. 건설부, 주택건설의 공업화를 위한 주택 각부위의 표준치수 설정과 주택 성능에 관한 연구, 1981. 12
3. 한국건설기술연구원, 조립식주택의 성능평가 및 설계 표준화에 관한 연구, 1992. 12
4. 대한주택공사, 조립식주택공법 조사연구, 1986. 12
5. 력기개발 외, 공업화 공법 및 모수기술 선진사례, 1991. 2
6. 대한건축학회, 공업화주택 기술향상을 위한 심포지엄 발표집, 1993. 5
7. 日本 建設省 建築研究所, 住宅性能 綜合評價システムの開發 報告書20. 小林定教, 對流傳熱達率測定値の始作とその檢, 日本建築學會論文報告集, 제412號, 1990. 6
8. 大野隆司, 乾式外壁構法の現況, 建築技術, 1990. 10
9. 日本建築學會, 建築物の遮音性能基準 と 設計指針, 技報堂, 1979.
10. 安岡正人外, 住宅環境性能評價, 環境工學部門研究協議會, 建築雜誌, 1983. 8
11. 日本建築センター, 工業化住宅 性能認定事業の實施につし, ビルディングレター, 1987. 6
12. 日本建築センター, 住宅性能評價基準の開發-部分性能基準の設定. 住宅性能SYSTEM위원회, ゼルディングレター, 1975. 4
13. Precast/Prestressed Concrete Institute, Architectural Precast Concrete, 1989
14. BRE, Building Performance, 1983
15. R.J.Curie, B.R.Reeves and J.F.A.Moore, The Structural Adequacy and Durability of Large Panel System Dwellings, BRE, 1987
16. J. Cornish et al, Improving the Habily of Large Panel System Dwellings, BRE, 1989
17. H.W. Harrison, J H Hunts and Thomson, External Walls of Large Panel System Dwellings, BRE, 1988
18. M.G.Van Geen and S.T.Shirley, Heat Transfer Characteristics of Insulated Concrete Sandwich Panel Walls, Oak Ridge National Laboratory, 1987.5
19. Amin Einea et al, State-of the-Art of Precast Concrete Sandwich Panels, PCI journal, 1991. 11
20. Cahiers Du CSTB, Les Maconneries a Montage Simplifie, 1992. 12
21. T. Koncz, System Building With Large Panels, Bauverlag GMBH, 1970
22. M. Kjeldsen, Industrialized Housing in Denmark, Danish Ministry of Housing and Building, 1988