

# 대형판 PC 구조 시스템의 수평접합부 충전부위

## 구조성능에 관한 실험연구

### Compressive Strength of Horizontal Joints Pocket in Precast Concrete Large Panel System

유성훈<sup>\*</sup>    조승호<sup>\*\*</sup>    박현수<sup>\*\*\*</sup>    어양석<sup>\*\*\*\*</sup>    정란<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Yoo, Seong-Hoon    Cho, Seung-Ho    Park, Hyun-Soo    Euh, Yang-Suk    Chung, Lan

#### ABSTRACT

The compressive strength of horizontal joints in precast concrete large panel structures depends on parameters such as grout and panel strength, detail of joint, joint moment, width of grout column etc. As the panels are only connected at the pocket, it results in the reduction of compressive strength area. The purposes of this study are to develop the suitable grout material the joint pocket and to enable us to evaluate structural capacity. The validity of the design formulas provides us more economic system in construction.

Test results of 15 specimens show that the proper construction procedure and grouting material develop the sufficient compressive strength of the wall as monolithic system.

keyword : horizotal joint, non shrink mortar, open joint, splitting strength

#### 1. 서론

##### 1.1 연구 배경 및 목적

이미 개발된 고층 PC 시스템은 상부벽체와 하부벽체 사이의 접합부에 내진철근을 서로 연결하여 수평지진력에 대항하기 위한 둘 또는 세개 이상의 수직 결속 장치가 필요하게 되는데 수직 결속 장치가 설치되는 곳마다 연결에 필요한 만큼의 벽체를 절취한 포켓의 설치가 필수적이다. 그러나 이 포켓을 설치하는데에는 필연적으로 포켓이 차지하는 면적만큼의 단면감소가 벽체의 수직압축력을 부담하는 면적의 감소를 초래하여 PC 시스템을 20층 이상으로 고층화하는데 난관에 봉착해 있다. 이를 보전하기 위해서는 벽체의 두께를 키우든가 벽체콘크리트를 고강도화하든가 하는 등의 조치가 필요하게 되는데 이는 곧 바로 경제성과 연결된다.

따라서, 이 연구의 목적은 수직 결속 장치가 설치되는 벽체의 수평접합부 포켓 부위에 수직력을 견디어 낼 수 있는 적절한 충전재료를 개발하여 단면 결손부위를 상쇄시켜 궁극적으로는 20층 이상 되는 초고층 아파트를 설계하고 시공하는데 필요한 적절한 방법을 개발하는데 있다.

#### 2. 실험계획

##### 2.1 일반사항

본연구에서는 수평접합부의 압축내력으로 제한하며 상기 목적을 위하여 부분시험체를 제작하여 충전부위에 충전되는 재료 및 충전방법, 충전접합부의 형태에 따른 충전성, 충전 접합부의 구조성능을 검토하였으며, 이에 대한 결과를 반영하여 구조시험체를 제작한후, 충전재료의 경제성과 충전 접합부 모르타 충전방법, 프리캐스트 콘크리트 부재의 제작시의 문제점등을 검토하여, 충전 접합부의 구조성

\* 정희원, 단국대학교 대학원 건축공학과 석사과정

\*\* 정희원, 전우구조 기술사사무소, 공학석사

\*\*\* 정희원, 신홍전문대학 건축설계과 전임강사

\*\*\*\* 정희원, 삼성물산(주) 건설부문 주택설계팀 차장

\*\*\*\*\* 정희원, 단국대학교 건축공학과 교수, 연구담당이사

능을 평가한다.

신행된 부분시험체의 실험결과는, 변수로는 충전재료, 충전방법, 충전공경의 형태를 변수로하여 압축실험 및 절단실험을 수행하였으며 총72개를 제작하였다. 실험결과 무수축재의 충전재료가 충전성이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 실험결과를 바탕으로 본 실험의 경우, 충전재료, 충전방법을 변수로하여 각 시험체의 변수별 파괴양상 및 파괴형태, 하중-변위곡선, 최대내력등을 조사 분석하여 충전 접합부의 구조성능을 평가한다. 구조실험은 총 16개(예비시험체 1개 포함)시험체에 대하여 수행되었다.

## 2.2 실험계획

### 2.2.1 시험체 계획

연구의 목적을 위하여 다음 그림 1과 같이 시험체를 설계하고 대상은 내벽으로 제한하였다. 실험변수는 표 2.1과 같이 시험체에 변수를 주어 시험체를 제작하였다.

수평접합부의 지지력실험을 위하여 16개(예비시험체 1개포함)의 수평접합부의 시험체를 제작하였으며, 각 충전재료당 시험체의 수는 각각 5개 이다. 이중 상향식이 3개, 하향식이 2개이며, 각 시험체는 실험실의 조건과 시험체의 구조적 거동을 적합하게 나타낼 수 있는 크기로 계획하였다. 시험체의 형상은 벽체두께, 15cm 길이는 34cm, 높이는 상부벽체의 경우 45cm, 하부벽체의 경우 30cm로 절취하였다. 철근배근은 벽판 수평근의 경우 D13, 세로근은 D16을 각각 배근하였으며 바닥판의 경우 D16으로 배근하였다. 시험체 벽체는 용접철망을 이용하여 횡보강하였다. 또한 상·하벽판의 결속을 위하여  $\phi 20$ 인 후프근과 나사 홈구멍이 있는 두 개의 철근을 매입하여 이를 철물과 너트로 체결하여 상·하 벽판을 구속하였다. 바닥판의 경우  $\phi 12$ 후프근을 매입하여 나선철근으로 양 바닥판을 구속하였다.

표1 변수별 시험체 상세

| 시험체명   | 충전재료명          | 충전방식 | 시험체수 |
|--------|----------------|------|------|
| HI-DN  | 무수축재 첨가 모르터    | 하향식  | 2    |
| HI-UP  |                | 상향식  | 3    |
| II-DN  | 무수축 그라우트 모르터 A | 하향식  | 2    |
| II-UP  |                | 상향식  | 3    |
| III-DN | 무수축 그라우트 모르터 B | 하향식  | 2    |
| III-UP |                | 상향식  | 3    |
| 총시험체수  |                |      | 15개  |

### HI-UP-1

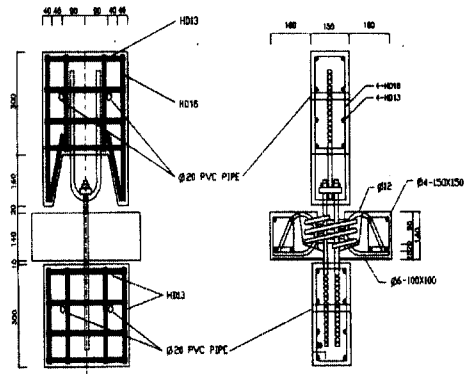
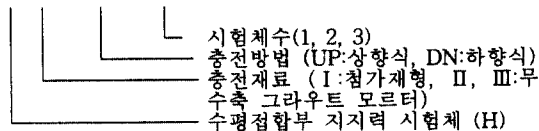
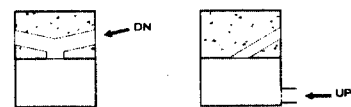


그림1 시험체 형상



### 2.2.2 시험체의 제작 및 운반

시험체의 PC판(벽체 및 바닥판)에 사용된 콘크리트는 설계기준강도  $270\text{kg/cm}^2$ 의 배합조건(표2 참조)에 따라 배합하였으며 타설과 함께 공시체를 3조(9개)씩 제작하였다. 타설후 중기양생을 하였으며 공시체는 수중양생을 하였다.

각각의 PC판은 운반시 접합부위의 균열의 발생을 방지하기 위하여 실험실로 운반한 후 조립하였다.

### 2.2.3 시험체의 조립 및 충전

시험체의 수평은 수준기를 이용하여 유지하였다. 하부벽판위에 바닥판을 패드모르터를 이용하여 접

합한후, 1일 경과후 양바닥판사이의 접합부에 그라우트 콘크리트를 타설하였으며 다시 1일이 경과한 후, 수평접합부 그라우트 콘크리트 위에 패드모르터를 깔고 상부벽체를 올려놓아 압착, 수준기로서 수직을 유지하여 앵글과 볼트를 이용하여 고정시켰다. 상·하부 패드모르탈과 수평콘크리트의 배합비 각각 표 3와 표 4과 같다.

시험배합한 모르터를 실제 주입환경과 비슷한 조건에서 시험주입을 하였고 유동성 및 충전성을 고려하였다. 이에 만족된 배합으로 첨가제량 및 단위수량을 조절하여 좀더 경제적이며 유동성이 확보되는 배합비를 선택하였다. 선택된 배합비는 표 5와 같다

표2 벽체 및 바닥판 콘크리트 배합비

| 물시멘트비 (%) | 배합중량(kg/m <sup>3</sup> ) (비) |            |               |                | 슬럼프 (cm) |
|-----------|------------------------------|------------|---------------|----------------|----------|
|           | 물                            | 시멘트        | 모래            | 자갈             |          |
| 45        | 157<br>(0.45)                | 349<br>(1) | 765<br>(2.20) | 1109<br>(3.18) | 8        |

표3 상·하부 패드모르터 배합비

| 물시멘트비 (%) | 배합중량(kg/m <sup>3</sup> ) (비) |              |               |                 | 비 고      |
|-----------|------------------------------|--------------|---------------|-----------------|----------|
|           | 물                            | 시멘트          | 모래            | 혼화제             |          |
| 30        | 174<br>(0.3)                 | 580<br>(1.0) | 1330<br>(2.3) | 1.16<br>(0.002) | 감수제:0.2% |

표4 수평접합부 그라우트 콘크리트 배합비

| 물시멘트비 (%) | 배합중량(kg/m <sup>3</sup> ) (비) |              |              |                | 비 고 |
|-----------|------------------------------|--------------|--------------|----------------|-----|
|           | 물                            | 시멘트          | 모래           | 자갈             |     |
| 40        | 158<br>(0.4)                 | 395<br>(1.0) | 802<br>(2.0) | 1023<br>(2.59) |     |

표5 무수축재첨가 모르터 배합비

| 재 료 | 시멘트 | 단위수량 | 모 래 | 첨가제  |
|-----|-----|------|-----|------|
| 비 율 | 1   | 0.39 | 1.5 | 0.5% |

충전방식은 상향식, 하향식이며 이중 하향식의 경우 주입구의 직경은  $\phi 20$ 이다. 충전은 하향식은 깔 때기를 이용한 자연중력방식이며 상향식의 경우 중력식과 강제식을 병행하여 주입하였다.

모든 시험체는 균열이 선명히 보이도록 백색 수성페인트를 도포 하였다.

공시체는 수평콘크리트의 경우  $\phi 10$  원주형 공시체로 KS F 2405에 따라 제작하였으며 상·하부 패드모르탈과 충전재의 경우, KS L 5105에 따라 제작하였다. 각각의 재료의 강도는 표 6과 같다.

표6 재료의 강도

표6 (a) 벽판, 바닥판 및 그라우트콘크리트강도

| 재료명    | 벽판, 바닥판                  | 그라우트 콘크리트                |
|--------|--------------------------|--------------------------|
| 평균압축강도 | 329(kg/cm <sup>2</sup> ) | 278(kg/cm <sup>2</sup> ) |

표6 (b) 패드모르터 및 충전재료의 강도

| 재료명    | 패드모르터 (kg/cm <sup>2</sup> ) | 충전재료 (kg/cm <sup>2</sup> ) |        |         |
|--------|-----------------------------|----------------------------|--------|---------|
|        |                             | I 충전재                      | II 충전재 | III 충전재 |
| 평균압축강도 | 481                         | 511                        | 673    | 822     |

### 3. 실험

#### 3.1 시험체 설치 및 가력

시험체의 설치상황은 그림 2와 같다 H-400×400 형강을 가력대에 밀착시켰고 그 위에 시험체를 올려놓았다. 시험체 하부벽판 밑에 L형강을 설치하여 압축실험중 시험체가 밀리는 것을 방지하며 아울러 가력중심선을 맞추었다.

가력하중은 시험체 상부벽체 위에 두 개의 원통형 힌지를 설치하며 힌지 위에 H-300×300 형강을 올려놓아 시험체에 등분포하중으로 가력할 수 있도록하였다. 가력중심은 추를 띄어 유지하였으며 시험체의 수평은 수평기를 이용, 수평을 유지하여 벽체중심에 정확히 가력을 하였다.

변위의 측정은 상·하부벽판 측면 양끝에 변위 측정기를 2개씩 33cm 간격으로 부착시켜 상하변위를 측정하였으며 측정위치와 하중의 가력은 그림 3과 같다. 하중의 가력은 50ton 이후는 변위제어(Displacement Control)에 의해 하중을 가력 하였으며 최대하중 이후 급격히 하중이 감소하면서 변형값이 증가할 때 실험을 중지하였다.

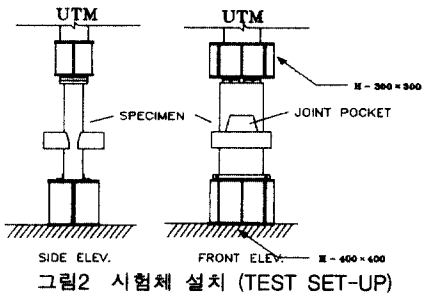


그림2 시험체 설치 (TEST SET-UP)

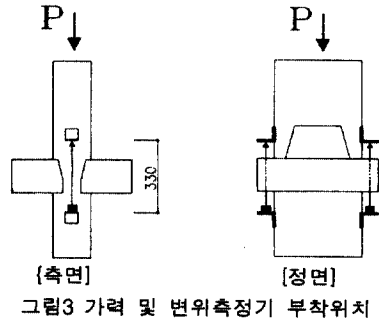


그림3 가력 및 변위측정기 부착위치

### 3.2 실험결과

시험체의 초기균열은 HI형 시험체 및 HII-DN시험체 일부는 상부벽체 측면하단부 부분(패드모터 부분)에서 발생하여 최대하중까지 진전되었으며 HII-UP형 HIII형 시험체는 상부벽체 측면부위에서 골고루 균열이 발생하였다. (표 7, 그림 4 참조)

표7 수평접합부 지지력 실험 결과

| 시험체명      | 최대하중 (P ton) | 최대하중 시 변형량 (mm) |
|-----------|--------------|-----------------|
| HI-DN-1   | 75.6         | 1.94            |
| HI-DN-2   | 73.4         | 2.45            |
| HI-UP-1   | 65.9**       | 1.38            |
| HI-UP-2   | 79.2         | 2.15            |
| HI-UP-3   | 83.4         | 1.15            |
| HII-DN-1  | 76.3         | 1.29            |
| HII-DN-2  | 91.8         | 1.11            |
| HII-UP-1  | 71.2         | 1.03            |
| HII-UP-2  | 75.9         | 1.62            |
| HII-UP-3  | 59.3**       | 2.43            |
| HIII-DN-1 | 86.4         |                 |
| HIII-DN-2 | 109.8        | 1.24            |
| HIII-UP-1 | 93.1         | 1.99            |
| HIII-UP-2 | 77.2         | 1.05            |
| HIII-UP-3 | 77.9         | 1.03            |

\* 접합부 단면적은 충전부위 상부 면적임  
 \*\* 편심하중작용

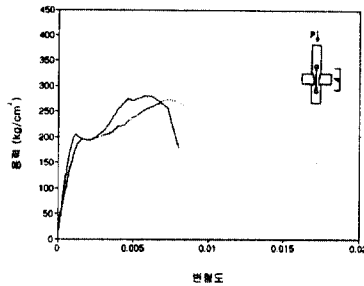


그림4 (a) HI-DN 시험체의 응력-변형도 곡선

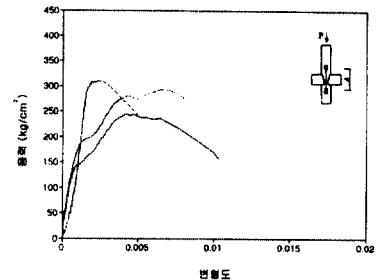


그림4 (b) HI-UP 시험체의 응력-변형도 곡선

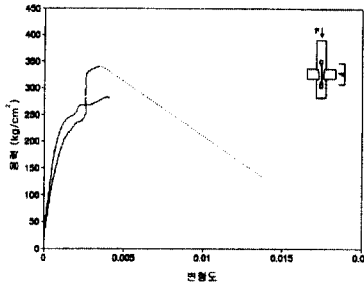


그림4 (c) HII-DN 시험체의 응력-변형도 곡선

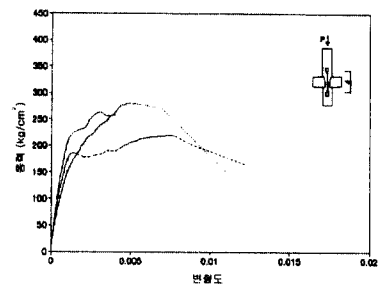


그림4 (d) HII-UP 시험체의 응력-변형도 곡선

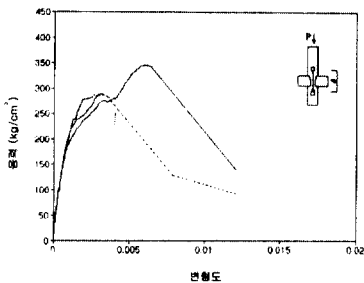


그림4 (f) HIII-UP 시험체의 응력-변형도 곡선

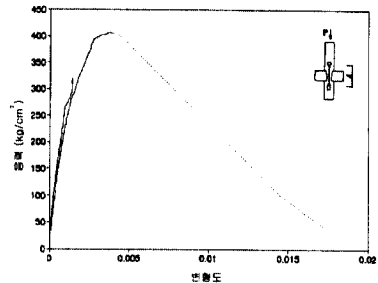


그림4 (e) HIII-DN 시험체의 응력-변형도 곡선

모든 시험체의 파괴는 이러한 측면에서 발생한 균열이 진전하여 상부벽체의 매립된 철근으로의 응력집중으로 인한 상부벽체의 할렬인장파괴로 파괴되었다. 이러한 균열 및 할렬인장파괴는 외곽부의 콘크리트를 박리시키며 결과적으로 압축단면적의 손실을 발생시켰다. 따라서 최종내력은 상부벽체의 할렬인장파괴와 동시에 취성파괴되며 최종내력에 도달하였다. 재료별로 그 파괴양상을 보면 I, II형 충전재료의 시험체의 경우 초기균열은 최대하중의 70%내외에서 발생하여 급격히 균열이 진전되었으나 III형의 시험체는 초기균열이 곧바로 파괴로 이어지는 취성파괴의 양상을 보였다.

또한, 수평접합부 그라우트 콘크리트에는 미세한 균열이 발생하였으며 하부벽체 및 바닥판의 경우 그 손상의 정도가 미세하여 조립전 상태를 유지하였다. 충전부위는 충전부위 상부와 상부벽체간의 접합면에 압괴 및 박리현상이 보였으나 그 크기는 크지 않았으며, 대부분이 온전한 상태로 최대하중까지 그 형태가 유지되었다. 이러한 실험결과는 표 7에 나타내었다.

#### 4. 분석 및 고찰

##### 4.1 충전재료에 따른 영향

팽창성의 충전재료는 선행된 부분시험체의 유동화모르터에서 보였던 초기 대변형현상이 보이지 않았으며 초기균열하중까지 선형적 하중-변위의 관계를 보여주고 있다.

I형시험체의 경우 초기균열하중에서 최대하중까지 미끄러짐 현상이 보였으며 균열 및 파괴양상의 관찰이 가능하였다. III형충전재료의 시험체의 경우는 초기균열이 곧바로 시험체의 파괴로 이어지는 취성파괴양상을 보였으며 가력초기부터 최대하중까지 선형적 하중-변위의 관계를 보였다.

각 시험체의 충전재료의 강도는 차이가 있었으나 시험체의 최대내력에는 크게 영향을 미치지 않는었다.

##### 4.2 충전방식에 따른 영향

충전방식에 따른 내력의 차이는 크지 않았으나 다소간 상향식이 높은 내력을 보였다. 상향식의 경우 하향식 시험체에 비하여, 초기균열에서 최대하중까지 대변형현상이 보였으며 하향식 시험체가 다소간 높은 내력을 나타내었다. 하지만 그 차이는 그리 크지 않았으며, 시공성에 있어서는 하향식이 상향식보다 유리하여, 시공성에 있어 하향식이 바람직하다.

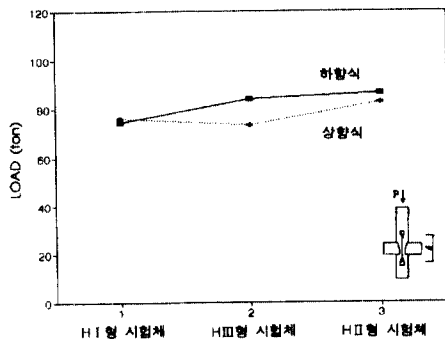


그림5 충전재료에 따른 영향

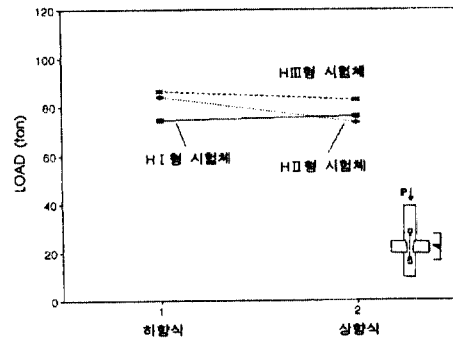


그림6 충전방식에 따른 영향

##### 4.3 압축단면적에 따른 영향

가력초기 하중은 벽체 전단면적(A1, 15cm×34cm)에 걸쳐 저항하며, 이후 최대하중도달까지 충전부위 상부면적(A2, 15cm×18cm)이 저항을 한다. 시험체 파괴와 동시에 철근피복두께만큼의 상부벽체 콘크리트가 박리되면서 하중을 저항하는 압축단면적은 피복두께만큼을 제외한 충전부위 상부면적(A3, 11cm×18cm)으로 감소한다.(그림 7 참조) 따라서 응력의 산정은 하중에 대한 충전부위 상부면적비가 적절한 것으로 판단된다.(표 8 참조)

표8 압축단면적에 따른 내력의 영향

| 시험체명         | 최대하중 (ton) | 최대평균 하중 (ton) | 압축단면당 최대용력 (kg/cm <sup>2</sup> )** |       |       |
|--------------|------------|---------------|------------------------------------|-------|-------|
|              |            |               | A1                                 | A2    | A3    |
| H I -DN-1    | 75.55      | 74.45         | 146.0                              | 275.7 | 376.0 |
| H I -DN-2    | 73.35      |               |                                    |       |       |
| H I -UP-1*   | 65.9       | 76.15         | 149.3                              | 282.0 | 384.6 |
| H I -UP-2    | 79.15      |               |                                    |       |       |
| H I -UP-3    | 83.4       |               |                                    |       |       |
| H II -DN-1   | 76.3       | 84.03         | 164.8                              | 311.2 | 424.4 |
| H II -DN-2   | 91.75      |               |                                    |       |       |
| H II -UP-1   | 71.15      | 73.53         | 144.2                              | 272.3 | 371.4 |
| H II -UP-2   | 75.9       |               |                                    |       |       |
| H II -UP-3*  | 59.25      |               |                                    |       |       |
| H III -DN-1  | 86.4       |               |                                    |       |       |
| H III -DN-2* | 109.8      | 86.4          | 169.4                              | 320.0 | 436.4 |
| H III -UP-1  | 93.05      | 82.68         | 162.1                              | 306.2 | 417.6 |
| H III -UP-2  | 77.15      |               |                                    |       |       |
| H III -UP-3  | 77.85      |               |                                    |       |       |

\* 편심하중작용 및 실험편차로 분석에서 제외

\*\* A1 : 벽체 전 단면적, A2 : 충전부위상부면적, A3 : 박리된 콘크리트를 제외한 충전부위 상부면적

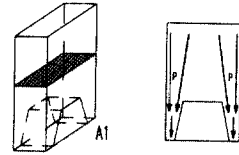


그림7 (a) 초기의 하중전달 및 압축단면적

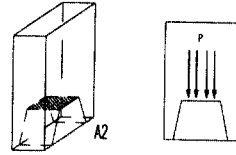


그림7 (b) 균열발생이후 하중전달 및 압축단면적

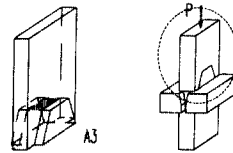


그림7 (c) 최대하중시의 압축단면적  
그림7 압축단면적에 따른 하중의 전달

## 5. 결 론

이상과 같은 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 포켓부위의 충전성은 충전재료의 팽창성에 많은 영향을 받으며 충전재료를 반드시 무수축재료로써 충전을 하는 것이 바람직하다.
- (2) 충전재의 강도는 내력에 큰영향을 미치지 않는았다. 벽체의 내력은 충전재강도보다는 모재의 강도에 좌우되기 때문에 판단된다.
- (3) 충전방식에 따른 영향은 크지 않았으나 작업성의 이유로 하향식의 충전방식이 우수한 결과를 나타내었다. 적절한 충전방식은 공경  $\phi 20$  하향식의 충전방식이 바람직하다.

PC시스템의 수평접합부내에 수직철근을 연결하는 충전부위는 적절한 재료와 시공방법으로 공간을 충전시키면 이를 일체타설된 벽체의 일부로 간주하여도 구조상 충분한 안전성을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 삼성물산(주) 건설부문의 연구비 지원으로 수행된 연구로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 건설부, "조립식 건축 구조설계 기준 및 표준시방서 작성에 관한 연구-프리캐스트 콘크리트 조립식건축 구조설계 기준 및 해설"
- 2) 정란, "프리캐스트 콘크리트구조의 접합부 설계" 한국콘크리트학회지, 제6권 5호, 1994. 10
- 3) PCI, "PCI Design Handbook," Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois, 1985
- 4) PCI, "PCI Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete," Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois, 1977
- 5) Comite Euro-International du beton, CEB-FIP Model Code 1990, First Draft, 1990, 9. section 14.3