

# PC슬래브-현장타설벽체 接合部の 構造的舉動에 관한 實驗的 研究

鄭 憲 秀

〈中央大學校 建築學科 教授〉

金 相 範

〈東亞建設技術研究所 研究員〉

## 1. 서론

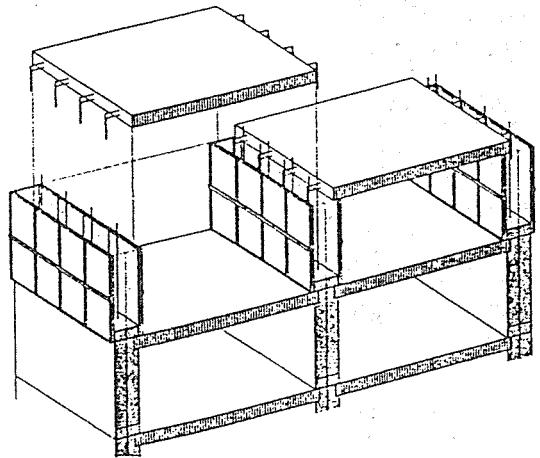
최근 국내의 신도시개발 등으로 인한 집중적인 주택건설로 건설공사에 필요한 건설인력부족과 공사비상승 등의 문제점이 야기됨에 따라 국내의 시공능력과 현장조건에 적합하고 재래식 현장타설공법 및 기존의 PC공법에서 발생하는 제반 문제점을 보완할 수 있는 새로운 복합화공법의 개발이 요구되고 있다.

본 연구는 이러한 국내의 건설현실에 의거 건설현장의 생산성을 향상시키기 위하여, 슬래브는 PC화 하고 벽체는 재래식 현장타설 공법으로 이루어지는 복합화시스템의 슬래브-벽체 접합부의 하중전달능력을 실험을 통해 접합부의 디테일 변화에 따른 구조적 거동 및 휨내력, 전단내력의 확인을 목적으로 한다.

## 2. 시스템의 개요

본 연구에서 제안하는 구조시스템은 그림 1에서와 같이 벽식철근콘크리트구조의 한 종류로써, 공장생산 PC판 슬래브와 현장타설 콘크리트벽체로 구성되어지며, 슬래브와 벽체의 접합

부는 PC판 제작시 미리 배근되어진 L형 정착근을 하부벽체에 정착시킨 후 벽체콘크리트를 후타설하는 구조방식이다.



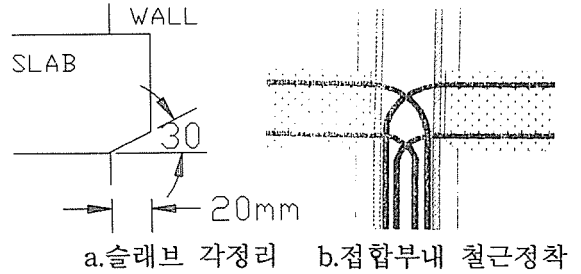
〈그림 1〉 시스템의 개요

## 3. 실험

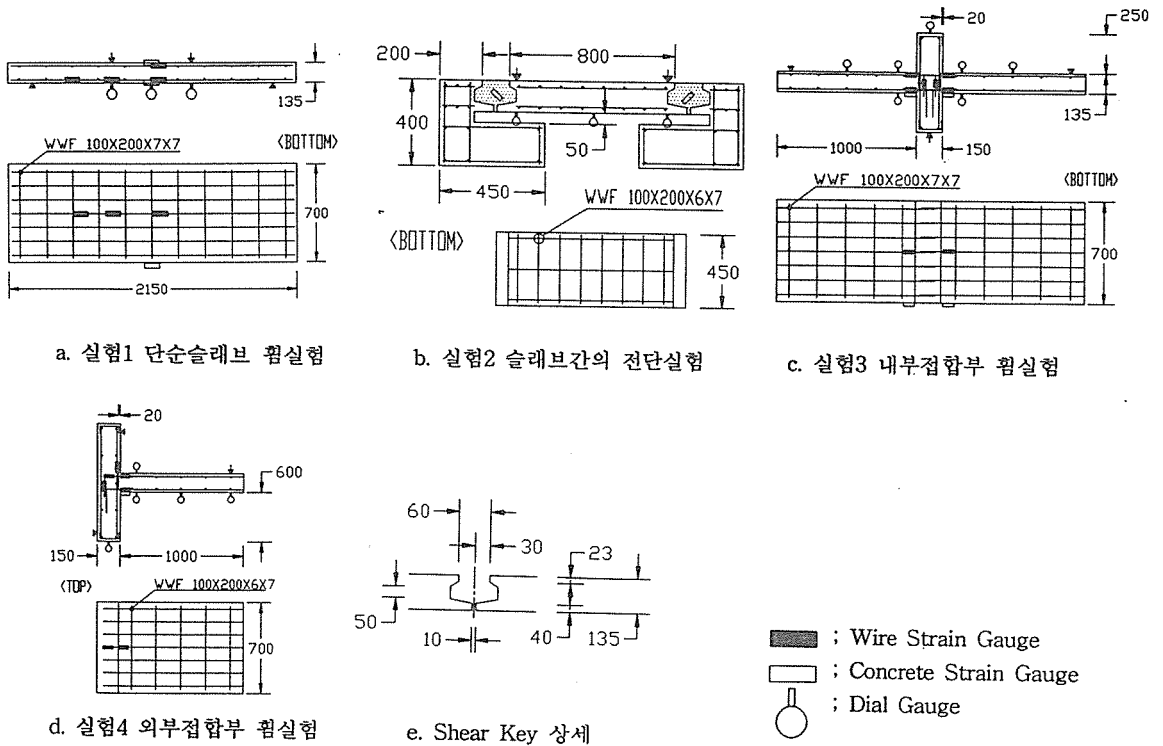
### 3. 1 시험체 계획

P.C슬래브의 휨능력 확인을 위한 실험 1에서

는 용접철망을 사용한 P.C시험체 3개와 이형철근을 사용한 R.C시험체 1개를 설계, 제작하여 실험결과를 비교, 분석하였으며, 슬래브-벽체 내부 및 외부접합부의 휨능력 확인을 위한 실험 3및 실험 4에서는 각각 용접철망을 사용한 P.C 시험체 2개와 이형철근을 사용한 R.C시험체 1 개씩을 제작하여 슬래브-벽체 접합부에 부모멘 트를 가하여 접합부의 휨내력을 비교, 분석하였 다.



<그림 2.> 접합부 상세



- ; Wire Strain Gauge
- ; Concrete Strain Gauge
- ; Dial Gauge

(단위:mm)

<그림 3> 시험체의 형상 및 배근, Gauge 측정위치

PC슬래브간 접합부의 Shear Key 전단능력 확인을 위한 실험 2에서는 P.C시험체 2개를 설계, 제작하였다.

P. C 시험체는 슬래브-벽체 접합부의 일체성을 위하여 접합부내에 슬래브 철근을 하부벽체

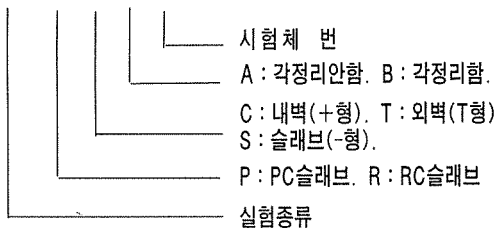
에 L형으로 정착하였으며, 벽체 현장타설시 접합부내 슬래브 걸침에 따른 하부벽체콘크리트의 충전성을 향상시키기 위하여 슬래브 걸침부분을 30°로 각정리하였다.

본 실험에 사용된 시험체는 4종류, 총 12개

〈표 1.〉 시험체 일람

| 구분 | 실험명                  | 시험체명   | a/D  | 슬래브     |                        | 벽체      |             |
|----|----------------------|--------|------|---------|------------------------|---------|-------------|
|    |                      |        |      | 치수 (cm) | 배근 (mm)                | 치수 (cm) | 배근 (mm)     |
| 1  | 단순P.C<br>슬래브<br>휨 시험 | 1-PSA1 | 4.44 | 215×70  | WWF<br>100×200<br>×7×7 |         |             |
|    |                      | 1-PSA2 |      |         |                        |         |             |
|    |                      | 1-PSA3 |      |         |                        |         |             |
|    |                      | 1-RS   |      |         |                        |         |             |
| 2  | SHEAR<br>KEY         | 2-PSA1 | 1.00 | 85×45   | WWF<br>100×200<br>×6×7 |         |             |
|    |                      | 2-PSA2 |      |         |                        |         |             |
| 3  | 접합부<br>휨시험<br>(내벽)   | 3-PCB1 | 6.67 | 100×70  | WWF<br>100×200<br>×7×7 | 15×70   | D10@<br>450 |
|    |                      | 3-PCB2 |      |         |                        |         |             |
|    |                      | 3-RC   |      |         |                        |         |             |
| 4  | 접합부<br>휨시험<br>(외벽)   | 4-PTB1 | 6.30 | 100×70  | WWF<br>100×200<br>×7×7 | 15×70   | D10@<br>200 |
|    |                      | 4-PTB2 |      |         |                        |         |             |
|    |                      | 4-RT   |      |         |                        |         |             |

4 - PTB2



로 각각에 대한 기본상세는 다음과 같다.

- 벽체는 후타설 및 복배근, 벽체두께는 15cm
- 용접철망 내민길이는 30cm
- 1방향 슬래브 설계, 슬래브 두께는 13.5cm, 슬래브의 벽체걸침길이는 2cm
- 벽체 및 슬래브의 설계강도는 240kg/cm<sup>2</sup>
- 슬래브 철근배근 및 정착은 용접철망 사용

콘크리트는 1, 2차 모두 쌍용레미콘 회사에 주문하여 타설하였으며, 시멘트는 보통 포오톨

라이트 시멘트를 사용하였다.

타설은 P.C시험체의 경우 1차타설시 PC슬래브를 제작한 다음 하부벽체 거푸집 위에 1차타설 후 양생완료된 PC슬래브를 가설하고 상부벽체 거푸집을 설치한후 상하부벽체를 2차로 타설하였다. R.C시험체는 2차 타설시 슬래브, 벽체 거푸집을 일체로 제작하여 동시에 타설하였다.

또한 실험2 슬래브간의 접합부 전단실험의 경우 양단 콘크리트 블럭 위에 PC슬래브 가설 후 양쪽 Shear Key부분을 모르타르로 충전하였다.

표1에 시험체 일람을, 그림3에 시험체의 형상 및 배근, Gauge 측정위치를 나타냈다.

3.2 사용재료

시험체 제작에 사용된 콘크리트의 배합표를 표2에, 역학적 성질을 표3에 나타냈으며, 용접철망 및 이형철근의 재료실험결과를 각각 표4,

〈표 2〉 콘크리트 배합표

| 설계강도<br>(kg/m <sup>2</sup> ) | W/C<br>(%) | S/A<br>(%) | 콘크리트배합표(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |       | Slump(cm) |      |
|------------------------------|------------|------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-------|-----------|------|
|                              |            |            | C                           | W   | S   | A   | AD    | 1차타설      | 2차타설 |
| 240                          | 52         | 47         | 357                         | 186 | 813 | 937 | 0.536 | 18        | 11   |

〈표 3〉 콘크리트의 역학적 성질

| 구분        | 설계강도<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | fc'<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | E(×10 <sup>4</sup> )<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 비고        |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|---|-----------|
| 1차타설(선타설) | 240                           | 220                          | 1.98  | PC슬래브     |
| 2차타설(후타설) | 240                           | 201                          | 2.05  | 벽체및 RC슬래브 |

〈표 4〉 이형용접철망의 역학적 성질

| 구분                 | 항복강도 <sup>1)</sup><br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 인장강도<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 영계수<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 연신율(%) |      |
|--------------------|---|-------------------------------|------------------------------|--------|------|
|                    |   |                               |                              | 5db    | 8db  |
| WWF<br>100×200×7×7 | 5.771                                       | 7.083                         | 1.93×10 <sup>4</sup>         | 12.6   | 7.77 |
| WWF<br>100×200×6×7 | 5.658                                       | 7.061                         | 1.98×10 <sup>4</sup>         | 13.7   | 8.03 |

1) 0.35% 전연신율법으로 구함.

〈표 5〉이형철근의 역학적 성질

| 구분   | 항복강도<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 인장강도<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 항복변형<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 영계수<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 연신율<br>(%) |
|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------|
| D 10 | 4.282                         | 6.196                         | 2.498                         | 2.08×10 <sup>4</sup>         | 18.3       |

1) 표점거리 8db

〈표 6〉 모르타르 배합표

| 설계강도<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | W/C<br>(%) | 모르타르 배합표 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |      |      |
|-------------------------------|------------|-------------------------------|-----|------|------|
|                               |            | C                             | W   | S    | AD   |
| 300                           | 51         | 596                           | 304 | 1252 | 2.98 |

〈표 7〉 모르타르의 재료시험결과

| 설계강도<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | f <sub>g</sub> )<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Slump<br>(cm) |
|-------------------------------|---|---------------|
| 300                           | 242                                       | 23            |

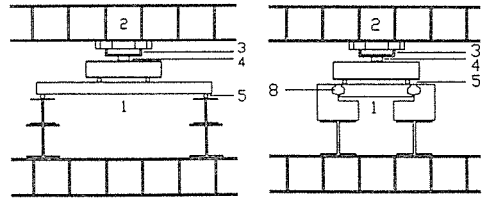
1)f<sub>g</sub>: 그라우트의 압축강도

표5에 모르타르배합 및 재료시험결과를 표6, 표 7에 나타냈다.

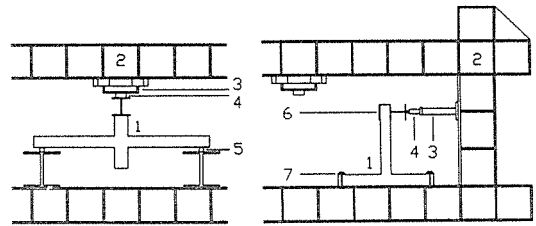
### 3.3 가력 및 측정방법

가력은 중앙대학교 소재 100ton용량의 Strong Frame의 Oil Jack을 사용하여 가력하였다.

실험1 단순슬래브 휨시험체는 양단에 봉을 두고 가력빔을 사용하여 2점재하하였으며, 실험3 +형 휨시험체는 베드 위에 형강을 두고 그 위에 양쪽 슬래브를 지지시킨 후 가력빔을 사용하여 하부벽체에 등분포하중을 가하였고, 실험4 T형 휨시험체는 가력에 의한 벽체의 회전을 억제시키기 위하여 벽체 중앙부에 직경 28mm의 보울트 구멍을 뚫어 고력보울트로 베드와 일체가 되도록 한 후 슬래브에 집중하중을 가하였다. PC슬래브간의 전단능력 확인을 위한 실험5 시험체는



a. 실험1(단순슬래브휨실험) b. 실험2(슬래브전단실험)



c. 실험3(내부접합부휨실험) d. 실험4(외부접합부휨실험)

1. Specimen 2. Strong Frame 3. Oil Jack
4. Load Cell 5. Hinge 6. 가력용Cap
7. 고정용Bolt 8. Shear Key

〈그림 4〉 시험체 가력상황

시험체 양단의 콘크리트 블럭을 형강위에 지지시킨 후 가력빔을 사용해 2점재하하였다. 그림4에 시험체의 가력상황을 나타냈다.

각 시험체는 오일잭 선단에 30ton 및 50ton 로드셀을 부착시켜 하중을 제어하였으며, 처짐은 부재 최대 휨모멘트부위에 설치한 Dial Gauge로 측정하였다.

철근용 Strain Gauge는 부재 최대 휨 모멘트부위인임계면과 슬래브-벽체 접합부 및 정착 철근중앙부위에서 측정하였으며, 콘크리트용 Strain Gauge는 부재의 최대압축부위 및 크랙 발생 위치에 부착시켜 TDS-302에 연결하여 매 재하시 변형을 측정하였다.

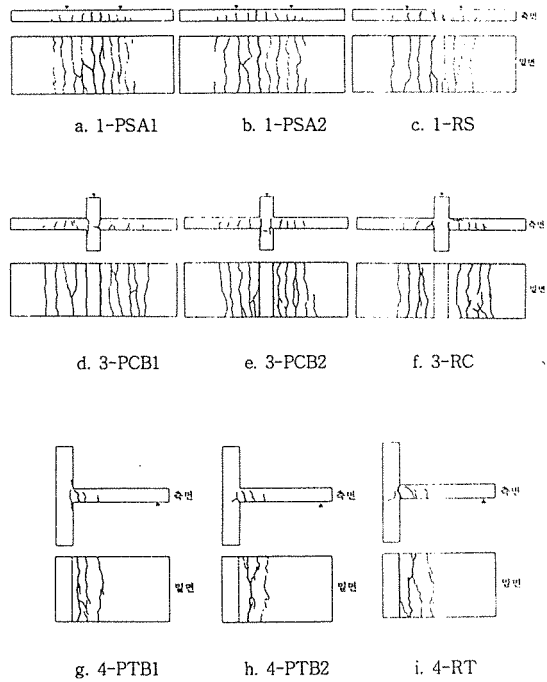
## 4. 실험결과

### 4. 1 휨실험결과(실험 1, 3, 4)

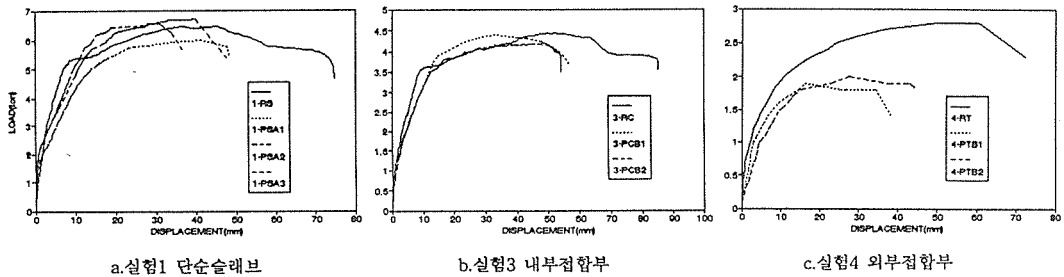
#### 4. 1. 1. 파괴현황

그림5에 각 시험체의 균열상황을 나타냈으며, 표6에는 실험결과를 나타냈다.

실험1 단순슬래브의 경우 가력점의 인장부에 초기균열이 발생한 후 부재 중앙부에 균열이 나타나며 하중이 증가함에 따라 초기균열의 진전과 함께 두 가력점사이의 가로철근이 위치한 곳에서 균열이 발생하였다. 실험3, 4 접합부 시험체의 P.C시험체 경우 초기균열은 슬래브-벽체 접합면을 따라 발생하여 하중증가에 따라 접합면의 균열폭이 조금씩 증가하면서 상부로 확산되고 접합면에서 d만큼 떨어진 소성힌지 부분에서도 균열이 진전되는 것이 관찰되었으며, R.C 시험체의 경우 초기균열은 슬래브-벽체 접합부에서 13cm정도 떨어진 상단부근에서 발생하였고 곧이어 벽체와의 접합면을 따른 균열이 발생하였다. 하중의 증가에 따라 접합부에서 10cm떨어진 압축측에서 콘크리트의 압괴가 일어나고 최대하중을 지나면서 하중이 서서히 감소하다가 내력의 급격한 감소를 보였다.



〈그림 5〉 시험체 균열상황



〈그림 6〉 중앙부 하중-처짐 곡선

#### 4. 1. 2 하중-처짐 관계

그림6에 각 시험체의 중앙부 하중-처짐 곡선을 나타내었다. 단순슬래브 및 내부, 외부 접합부 시험체 모두 초기강성에 있어서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 하중이 증가함에 따라 각 시험체별로 P.C시험체와 R.C시험체간의 강성차이가 나타나고 있는데 이는 시험체의 슬래

브, 주근에 사용된 용접철망과 이형철근의 재료적인 특성과 P.C시험체 슬래브-벽체 접합면의 일체성이 R.C시험체에 비해 떨어지는 점에 기인된 것으로 판단된다.

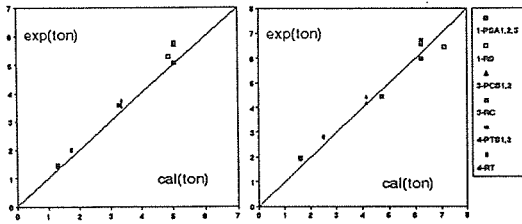
#### 4. 1. 3 계산값과 실험값의 비교

표8에 실험결과일람을 그림7에 항복하중시와

〈표 8〉 실험결과 일람

| 시험체    | Pcr       |           |         | Py        |           |         | Pmax      |           |         | δu/δy |
|--------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|---------|-------|
|        | cal (ton) | exp (ton) | exp/cal | cal (ton) | exp (ton) | exp/cal | cal (ton) | exp (ton) | exp/cal |       |
| 1-PSA1 | 1.89      | 2.11      | 1.12    | 5.06      | 5.07      | 1.00    | 6.21      | 5.98      | 0.96    | 4.71  |
| 1-PSA2 | 1.89      | 2.19      | 1.16    | 5.06      | 5.79      | 1.14    | 6.21      | 6.56      | 1.06    | 3.84  |
| 1-PSA3 | 1.89      | 2.31      | 1.22    | 5.06      | 5.72      | 1.13    | 6.21      | 6.70      | 1.08    | 4.68  |
| 1-RS   | 1.81      | 1.69      | 0.93    | 4.90      | 5.30      | 1.08    | 7.10      | 6.45      | 0.91    | 8.44  |
| 3-PCB1 | 1.26      | 1.13      | 0.90    | 3.37      | 3.73      | 1.11    | 4.14      | 4.39      | 1.06    | 4.63  |
| 3-PCB2 | 1.26      | 1.04      | 0.83    | 3.37      | 3.51      | 1.04    | 4.14      | 4.16      | 1.00    | 4.43  |
| 3-RC   | 1.21      | 1.24      | 1.02    | 3.27      | 3.56      | 1.09    | 4.73      | 4.44      | 0.94    | 9.33  |
| 4-PTB1 | 0.67      | 0.7       | 1.04    | 1.29      | 1.4       | 1.09    | 1.61      | 1.9       | 1.18    | 4.21  |
| 4-PTB2 | 0.67      | 0.7       | 1.04    | 1.29      | 1.5       | 1.16    | 1.61      | 2.0       | 1.24    | 5.27  |
| 4-RT   | 0.64      | 0.7       | 1.09    | 1.73      | 2.0       | 1.16    | 2.50      | 2.8       | 1.12    | 7.20  |

- (1) 휨균열모멘트 :  $M_{cr} = 1.8\sqrt{f_c} \cdot Z_e$
- (2) 휨항복모멘트 :  $M_y = at f_y j d$
- (3) 휨최대모멘트 :  $M_{max} = at f_t j d$



a. 항복하중

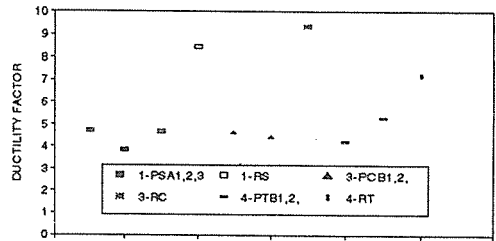
b. 최대하중

〈그림 7〉 계산값과 실험값의 비교

최대하중시의 계산값과 실험값의 비교를 나타냈다. 균열하중에 있어서는, 슬래브와 벽체의 분리타설로 인하여 실험값이 계산값의 83%에서 122% 정도의 분산된 값을 보이고 있으나, 항복하중과 최대하중에 있어서는 실험값이 계산값을 상회하는 좋은 적합성을 보이고 있다.

#### 4. 1. 4 소성변형능력

그림8에 각 시험체의 소성변형능력을 나타내었다. 이형철근을 사용한 R.C시험체가 용접철망을 사용한 P.C시험체보다 큰 소성능력을 나타내고 있는데, 이것은 재료적인 특성으로 이형철근의 연신율이 용접철망의 연신율보다 2.35배 큰 점에 기인된 것으로 사료된다.

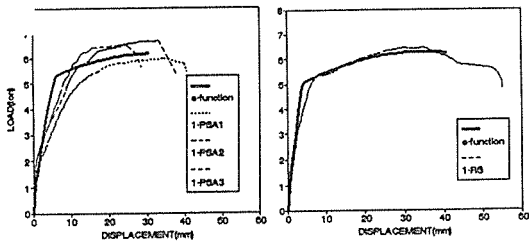


〈그림 8〉 소성변형능력

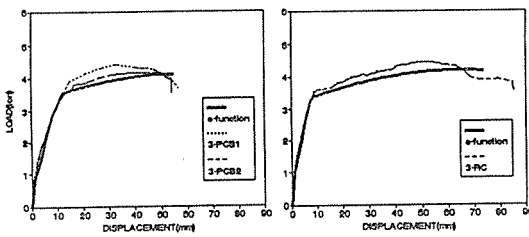
#### 4. 1. 5 해석결과와 시험결과의 비교

본 논문에서는 1951년 梅村에 의해 제안된 콘크리트의 응력-변형도 곡선을 e함수로 대체하여 부재의 거동을 추적한 이론해석모델인 function Method를 사용하여 시험결과와의 비교를 행하였다. 해석값은 콘크리트와 철근의 응력-변형도 곡선을 이상화 한 후, 콘크리트 압축응력과 변형과의 관계에서 단면의 평형조건에 의해 중립축을 설정하고 변형도에 따른 휨모멘트를 산출한 후 휨모멘트와 곡률의 분포를 통해 하중-변위 관계를 구하였다.

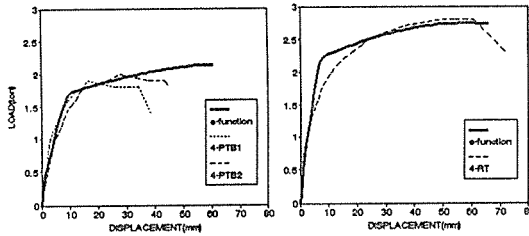
그림9에 각 시험체별로 해석결과와 실험결과의 비교를 나타냈다. 단순슬래브 및 내부접합부, 외부접합부 시험체 모두 부재거동이나 휨내력에 있어서 비교적 양호한 적합성을 보이고 있으며, 용접철망을 사용한 P.C시험체에 대해서도 좋은 대응을 나타내고 있다.



a. 1-PSA1, 1-PSA2, 1-PSA3      b. 1-RS



c. 3-PCB1, 3-PCB2      d. 3-RC

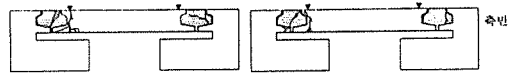


e. 4-PTB1, 4-PTB2      b. 4-RT

〈그림 10〉 시험체 균열상황

#### 4. 2 PC슬래브간 접합부전단실험결과 (실험 2)

그림10에 시험체의 균열상황을 나타냈다. 슬래브 하단부의 Shear Key부분과 PC슬래브간의 마찰면에서 각각 3.40ton, 3.67ton시 초기 크랙이 관찰되었고 모르타르면과 PC슬래브면을 잇는 접합면을 따라 균열이 진전되면서 각각 5.18ton, 5.70ton에서 접합부 그라우트내에서의 수직전단균열이 발생한 후 가력점과 반력점 사이를 잇는 대각선 균열을 일으키며 슬래브 상



a. 2-PSA1      b. 2-PSA2

〈그림 10〉 시험체 균열상황

단부에서부터의 슬래브와 접합면의 분리로 최종 파괴에 이르렀다.

표9에 계산값과 실험값의 비교를 나타냈다. 건설부 기준에 의한 전단키가 있는 수직접합부의 전단강도식( $P_{nj}$ )에 의하면 실험값이 계산값을 상회하는 좋은 적합성을 보여주고 있다.

〈표 9〉 실험2 실험결과 일람

| 시험체    | $P_{nj}$  |           |                   |
|--------|-----------|-----------|-------------------|
|        | cal (ton) | exp (ton) | $\frac{exp}{cal}$ |
| 2-PSA1 | 4.90      | 5.18      | 1.06              |
| 2-PSA2 | 4.90      | 5.70      | 1.16              |

$$1) P_{nj} = 2 (\lambda \cdot v_c \cdot t \cdot L)$$

$t$ : 접합부 그라우트의 폭(cm)  
 $L$ : 접합부의 계산하는 길이(cm)  
 $v_c = 0.53 \sqrt{f'_g}$ ,  $\lambda = 1.0$

#### 5. 결론

PC슬래브-현장타설벽체 복합시스템의 구조적 특성을 파악하기 위하여 단순슬래브 휨실험 및 내부, 외부접합부 휨실험, PC슬래브간의 Shear Key 전단실험에 대한 4종류, 12개 시험체의 실험결과와 e-function Method에 의한 해석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 단순슬래브 휨실험결과 용접철망을 사용한 PC슬래브가 이형철근을 사용한 RC슬래브에 비해 부재의 연성적인 거동면에서는 다소 떨어지

나, 휨균열 하중 및 부재내력면에서는 기존의 일반 R.C에 적용되어지는 계산값을 9.67%정도 상회하며 양호한 휨능력을 보여주고 있다.

2. 슬래브-벽체 내부 및 외부접합부 휨실험에서는 단순슬래브 휨실험결과와 동일한 양상을 보였으며, 계산값에 의한 내력을 4.15-16.28% 정도 상회하는 휨능력을 보여주고 있다.

3. 단순슬래브 및 내부, 외부접합부 휨실험에 대하여 E-function Method에 의한 해석값과의 비교결과 부재거동이나 휨내력에 있어서 비교적 양호한 적합성을 보이고 있다.

4. PC슬래브간의 접합부 전단실험결과에서는 건설부 기준의 수직접합부 전단강도식을 11% 상회하는 양호한 실험결과를 나타내고 있다.

이상의 4종류의 휨실험, 전단실험을 통해 PC 슬래브와 현장타설벽체로 이루어진 복합시스템에 대한 슬래브-벽체 접합부의 형상, 정착 및 배근에 따른 하중전달능력을 초기균열하중과 파괴 Mode, 내력 등에 관하여 검토한 결과, 재래식 일체타설공법과의 하중전달능력에 대한 차이는 나타나지 않았다.

## 참 고 문 헌

1. 대한건축학회 ; 철근콘크리트 구조설계 기준 및 해설, 1988
2. 건설부 ; 프리캐스트콘크리트 조립식 건축 구조설계기준 및 해설, 1992
3. 대한주택공사 ; 구조용-용접철망을 이용한 부재의 구조성능실험, 1992
4. 고강도철근콘크리트구조, 정헌수, 태림문화사
5. 박기철, 고강도 철근콘크리트부재의 내역 및 변형성상에 관한 실험적 연구, 중앙대학교 대학원, 1992. 6
6. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89)
7. Mattock, Alan H, Design Proposals for Reinforced Concrete Corbels, PCI JOURNAL, pp.18-42, May-June 1976
8. 日本建築學會: 鐵筋 콘크리트 終局強度設計に關する資料, 昭和62年
9. 日本建築學會: 鐵筋 콘크리트 造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 1990
10. 鐵筋 콘크리트 建物の終局強度型耐震設計法, 青山博之, 技報堂, 1990
11. 日本建築學會: 壁式プレキャスト 構造の鉛植接合部の舉動と設計法, 1989
12. 鐵筋 콘크리트 構造物の塑性設計, 武藤清, 丸善株式會社, 昭和39年