

## 철근 비부착 및 절단 기법을 사용한 PC 접합부의 실험적 연구

### Experimental Study on the Precast Concrete Joint using Re-bar Debonding and Cutting Technique

이 원 호\* / 문 정 호\*\* / 이 용 재\*\*\* / 이 한 준\*\*\*\*

Yi, Waon-Ho\* / Moon, Jung-Ho\*\* / Lee, Yong-Jae\*\*\* / Lee, Han-Jun\*\*\*\*

#### Abstract

Precast concrete (PC) panels are often used as retaining walls to support soil pressure. In such a case, the panels should be connected at the location where PC panels meet with a buttress. However, it is not easy to provide enough development length for the reinforcing steels due to the limited width of the buttress. If it happens, the width of buttress should be increased as large enough although it is not desirable.

The critical section required for providing the development length is always located where the flexural moment is maximum. Thus it is the place the buttress width ends. Also it is the place that the reinforcing steels stressed to maximum. However, it is possible to make differentiate between the maximum moment location and the most stressed location of reinforcing steels. It means that the most stressed location of reinforcing steels, the critical section, can be moved to the other place where the moment is not maximum. New critical location will have less moment than that of buttress width ends. In consequence, the development length would be longer than that of the typical way of construction.

Debonding or cutting technique make it possible to reduce the moment strength of a section. Therefore reinforcing steels are debonded or cut to have a desired flexural strength at a desired place. In this study, five test specimens in full scale were erected to examine the effects of critical section movement in PC panel joints. Test parameters were the length variations of debonded and cut reinforcing steels. The test results showed that the debonding or cutting technique could be used to lengthen the development length in the joint of PC panels.

**Key words** : Precast Concrete Panel, Critical Section, Re-Bar Debonding Technique, Re-Bar Cutting Technique

#### 요 지

지하주차장을 PC화할 때 각각의 부재 접합상태에 따라 설계방법 및 시공방법에 많은 차이가 발생하게 된다. 특히 PC 벽체를 상호 연결하기 위한 접합부에서 수평철근을 겹침이음 방법에 의해 접합

\* 평운대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
\*\* 한남대학교 건축공학과 부교수, 공학박사  
\*\*\* 동양공업전문대학 건축과 조교수, 공학박사  
\*\*\*\* (주)SPEC엔지니어링 대표이사

하는 경우, 수평철근의 이음길이를 충분히 확보하여야 하기 때문에 시공성이 저하되는 문제점이 있다. 따라서, PC 벽체 수평철근의 돌출길이를 최소화하기 위하여 철근 비부착 기법 및 철근 절단 기법을 적용하는 것을 본 연구의 목적으로 하고 있다. 즉, 철근 콘크리트 부재에서의 위험단면의 위치는 일반적으로 부재의 단부가 되고, 철근의 정착길이는 이 위험단면으로부터의 길이가 된다. 그런데 위험단면의 위치를 비부착 철근 공법 및 철근 절단 공법을 사용하여 부재 안쪽으로 이동함으로써, 수평철근의 정착길이를 최소화시킬 수 있다.

본 연구에서는 철근 비부착 기법 및 철근 절단 기법의 적용 가능성을 파악하기 위해 5개의 실험체를 실물크기로 제작하여 실험적 연구를 실시하고, 절단 철근 및 비부착 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 비교 및 분석한 결과, 위험단면의 이동을 위하여 철근 비부착 기법 및 철근 절단 기법의 사용이 가능한 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 프리캐스트 콘크리트 판넬, 위험단면, 철근 비부착 기법, 철근 절단 기법

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

지하주차장을 단위모듈로 PC화 할 수 있는 공법은 가설거꾸집 작업 및 현장타설 공정을 배제할 수 있으므로 지하주차장 전체를 PC화 할 수 있는 가능성을 제공하며, 또한 PC 벽체의 모듈화에 따른 대량생산으로 인한 생산성 증대 및 원가 절감이 가능하고, 거꾸집 조립 공정이 필요하지 않아 공기단축 및 현장정리가 용이하게 된다.

지하주차장 외벽 PC 공법에 사용되는 접합방법 중 본 논문에서 제안한 벽체 좌·우 접합은 하프 PC 기둥과 좌·우 벽체에 의해 형성되는 접합부에 현장타설 콘크리트에 의해 일체화되며, 이때 좌·우 벽체의 철근 배근은 겹침이음에 의한 방법을 사용하여 벽체와 기둥의 연속성을 확보하고 있다. 그러나, 벽체 수평철근의 정착이음 공법을 사용하기 위해서는 PC 벽체로부터 철근을 충분한 길이 만큼 돌출하게 하여야 한다. 그러나 겹침이음을 하기 위한 철근의 돌출길이가 길어지면 PC 부재의 제작, 운반 및 조립 등의 과정에서 상당한 어려움이 발생하며, 이로 인하여 비용 및 작업인원 등의 증가와 함께 부실공사가 발생할 가능성과 겹침이음을 하기 위한 수평철근의 돌출길이를 최소화할 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 PC벽체의 수평철근 돌출길이를 최소화하는 방법에 대해서 연구하고자 한다.

### 1.2 연구의 목적

PC벽체 수평철근의 겹침이음 공법을 사용하기 위해서는 PC 벽체로부터 철근을 충분한 길이 만큼

돌출하여야 한다. 그러나 이러한 수평철근의 돌출 길이가 길어지면 시공시 상당한 어려움이 발생하게 된다. 그러므로, 수평철근의 돌출길이를 최소화할 필요가 있으며, 이를 위해서는 위험단면(Critical Section)을 PC 벽체의 단부가 아닌 PC벽체 중앙부로 이동시켜야 한다.

본 연구에서는 휨응력에 의한 철근 비부착 공법(Re-Bar Debonding Technique) 및 철근 절단 공법(Re-Bar Cutting Technique)에 의한 방법을 적용하며, 이와 같은 방법에 의해 위험단면의 위치를 부재 중앙부로 이동시켜, 수평철근의 돌출길이를 최소화하는 것을 연구 목적으로 한다.

### 1.3 연구의 내용 및 방법

지하주차장 외벽 PC 벽체에 작용하는 토압으로 인한 모멘트 분포는 그림 1과 같은 형상을 하게 된다. 즉, 지점인 하프 PC 기둥 면에서 부모멘트가 최대가 되며, PC 벽체 중앙에서는 정 모멘트의 값이 최대가 된다. 따라서, PC 벽체 설계 시 외력에 의한 모멘트 크기와 부재의 강도가 동일한 하프 PC 기둥의 위치를 위험단면으로 하여 설계하게 된다.

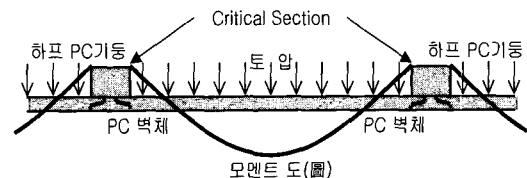


그림 1. PC 벽체에 작용하는 모멘트 분포

일반적으로 철근의 돌출길이를 정할 때 위험단면인 PC 벽체의 단부로부터 거리를 산출하게 된다. 따라서, 돌출철근의 길이를 감소시키기 위해서는 위험단면의 위치를 PC벽체 단부에서 중앙부로 이동시켜야 하며, 이는 설계강도를 어느 정도 낮추어야 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 설계강도를 낮출 수 있는 방법으로 비부착 철근의 배근 및 절단 철근의 배근 방법을 사용하여 위험단면의 위치를 부재 중앙부로 이동시키는 것을 연구의 내용으로 한다.

그러나, 절단콘크리트 부재 설계 시 절단철근을 배근하는 경우 설계강도는 절단철근이 부재의 거동에 영향을 미치지 않는 것으로 예상되므로, 절단철근의 영향을 무시하고 설계를 실시하면 된다. 그러나, 비부착 철근 공법의 적용사례는 극히 미비한 현실이며, 이론적인 내용 또한 규정되어 있지 않다. 따라서, 본 연구에서는 비부착 철근 공법에 의한 철근 콘크리트 부재의 설계를 통해 비부착 철근 공법의 적용가능성을 검토하며, 이를 위해 철근을 절단한 경우와 비부착 철근을 사용한 경우, 일반적인 경우 즉 철근 콘크리트 규준에 의한 부착 및 정착 길이를 충분히 확보한 경우로 구분하여 실험적 연구를 수행하여, 수평철근의 돌출길이를 최소화할 수 있는 방안에 대해서 연구하고자 한다.

## 2. 지하주차장 외벽 PC공법

### 2.1 지하주차장 외벽 PC공법의 특징

지하주차장 외벽 PC 공법에 사용되는 주요 구조 부재는 그림 2와 같이 PC 벽체, PC 기둥, PC 벽보,

PC 보로 구성되어 있다.

PC 벽체의 하단부는 조인트 박스와 콘크리트 전단키 등에 의하여 바닥 슬래브에 연결되며, PC 벽체의 상단부는 PC 벽보 및 PC 벽보에 수직으로 연결되는 PC 보의 현장타설 콘크리트 부에 철근으로 정착할 수 있다. 또한, 벽체 좌·우는 그림 3과 같이 하프 PC 기둥과 좌·우 벽체에 의해 형성되는 접합부에 현장타설 콘크리트에 의해 일체화되며, 이때 좌·우 벽체의 철근 배근은 겹침이음에 의한 방법을 사용하여, 벽체와 기둥의 연속성 및 시공을 확보하고 있다. 따라서 이상과 같은 연결에 의해서 PC 외벽은 3번 고정 슬래브처럼 거동하게 된다.

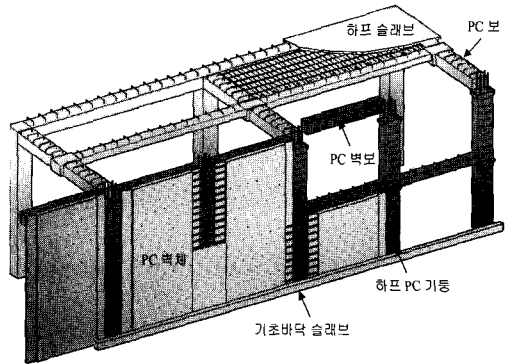


그림 2. 지하주차장 외벽 PC 공법

하프 PC 기둥은 1개 혹은 2개 층으로 제작되는 데, 1개 층에 사용될 경우에는 하단 연속지지와 상단 고정단으로 지지된다. 그리고 2개 층에 사용될

표 1. 지하주차장 PC화에 따른 개선효과

구분 \ 공법	기존공법	개선공법	개선효과
Wall Form	Euro Form + 현장 콘크리트	외벽 PC화로 가설 거부집 및 현장타설 공정 감소	- Wall Module화로 대량생산 가능 - Form 조립공정생략 - 현장관리용이, 공기단축, 시공성 개선
벽체 철근	현장 철근 배근	공장제작 PC 벽체 완성 후, 접합부 현장이음	- 현장작업량 감소 - 철근 배근 품질확보 - 현장관리 용이
Wall Girder	RC Wall Girder	PC Wall Girder	- 2차 Wall Girder 형틀 및 배근작업 생략
외부 기둥	PC + Half PC Column	콘크리트 타설이 용이한 수직접합부 개발	- 품질 확보 - 공정의 단순화

경우에는 하단 연속지지, 중간단 연속, 상단 고정단으로 지지된다. 그리고 부재들 사이에서의 하중전달은 철근 겹침이음, 철근 정착, 콘크리트 전단키 등에 의해서 이루어진다.

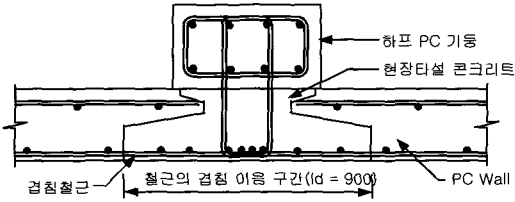


그림 3. PC 벽체의 수직접합부

지하주차장을 PC화합으로서 얻어지는 개선 효과를 간단하게 정리하면 표 1과 같다.

### 2.2 비부착 철근 및 절단 철근의 배근 효과

본 연구에서 대상으로 한 지하 주차장 외벽 PC 구조는 그림 4와 같이 하프 PC 기둥에 의해 지점이 형성되며, PC 벽체에는 연속보와 동일한 형태의 부 모멘트와 정 모멘트가 발생한다<sup>1)</sup>.

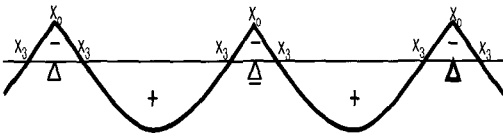


그림 4. PC 벽체에 작용하는 모멘트 분포

벽체 단부인 하프 PC 기둥 부분에서는 부 모멘트가 최대의 값이 되며, 벽체 중앙에서는 정 모멘트가 최대의 값이 된다. 부 모멘트가 작용하는  $x_0$ 에서  $x_3$ 까지의 구간을 확대해서 표시하면 그림 5와 같이 표시할 수 있다. 그림 5에서 모멘트 분포는 곡선형태가 되어야 하나, 단부에서는 모멘트의 분포가 거의 선형적으로 변하기 때문에 모멘트 분포를 직선으로 나타내었으며,  $x_3$ 의 위치는 PC 벽체에 작용하는 모멘트가 부 모멘트에서 정 모멘트로 바뀌는 점을 나타낸다.

수평철근의 정착길이를 산정하는 일반적인 방법은 작용하는 모멘트의 크기와 부재의 강도가 동일한 단면인 위험단면에서의 내력에 의한다. 즉, 휨 부재에 하중이 작용하는 경우 부재의 단부에서 최

대 휨모멘트가 발생하게 되고, 이 모멘트의 크기에 따라 소요철근을 배근하게 된다. 그런데 PC 부재를 지지점을 넘어 연속으로 사용하기 위해서는 철근의 연속성을 고려하여 부재 바깥으로 철근을 돌출 시켜야 한다. 이때 위험단면이 부재의 단부에 위치하게 되면, 이 위치로부터 철근의 정착길이를 확보하여야 한다. 그러나 그림 5에서와 같이 위험단면의 위치를 A점에서 부재의 안쪽인 B점으로 이동시킬 수 있으면, 안쪽으로 이동한 길이만큼의 정착길이를 미리 확보할 수 있기 때문에 부재의 단부로부터 돌출 되어야 하는 철근의 길이를 그림 6(b)와 같이 줄일 수 있다. 따라서 외벽 PC 공법의 경제성, 시공성, 제작성, 운반성이 향상되며, 또한 결과적으로 품질 향상을 기대할 수 있다.

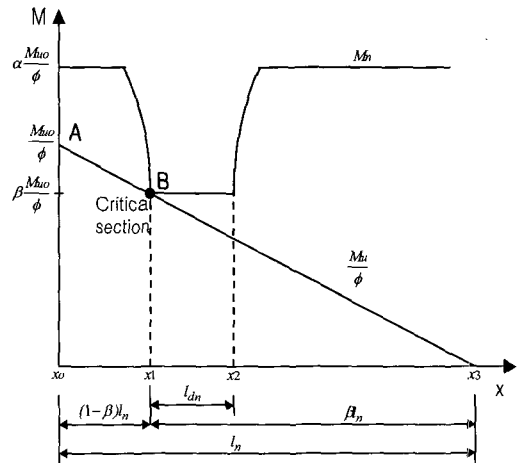


그림 5. 부모멘트가 작용하는 구간

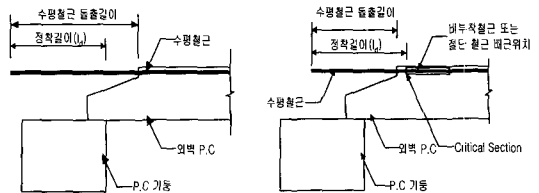


그림 6. 외벽 PC 수평철근의 정착길이 비교

### 2.3 비부착 철근에 의한 강도 감소비

그림 5는 PC 벽체 단부에서 부모멘트가 작용하는 구간에서의 모멘트(하중계수와 감소계수를 적

용한 모멘트  $M_u/\phi$ 와 단면의 저항모멘트(공칭모멘트  $M_n$ )의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서  $x_0$ 의 위치가 부재의 단부를 나타내며,  $x_3$ 은 부모멘트가 정모멘트로 바뀌는 점을 나타낸다. 그림에서  $l_{dn}$ 으로 나타낸 구간은 비부착 철근 공법이 적용된 구간이다. 따라서 이 구간에서 저항모멘트  $M_n$ 의 크기가 작아져서  $M_u/\phi$ 와 같아지게 된다. 그러므로 비부착 철근 공법이 적용된 시점  $x_1$ 이 위험단면이 된다. 그리고 그림에서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각  $M_{u0}/\phi$ 의 값에 대한  $x_0$ 의 위치에서의 공칭모멘트의 비와  $x_1$ 의 위치에서의 공칭모멘트의 비를 나타낸다. 따라서 부재의 단부는  $\alpha$ 만큼의 안전율을 가지고 있기 때문에 부재의 파괴는  $x_1$ 의 위치에서 먼저 발생하게 된다. 그리고  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값에 따라 비부착 철근 공법을 적용하여야 하는 철근의 개수와 비부착 길이가 결정된다<sup>2)</sup>.

비부착 철근 공법에 의해서 감소되는 강도의 비는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\beta \cdot M_{u0}/\phi}{\alpha \cdot M_u/\phi} = \frac{(m a_1 f_y + n a_1 \gamma f_y)(d - a')}{(m a_1 f_y + n a_1 \gamma f_y)(d - a)} \approx \frac{m + \gamma n}{m + n} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{m + \gamma n}{m + n} \dots \dots \dots (2)$$

여기서,  $m$ 은 부착 철근의 개수,  $n$ 은 비부착 철근의 개수,  $a_1$ 은 사용된 철근 하나의 단면적이다. 상기 식을  $\gamma$ 에 관하여 정리하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma = \frac{\beta/\alpha(1+n/m)-1}{n/m} \dots \dots \dots (3)$$

그러므로 적절한  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $m$ ,  $n$  등을 선택하면 이에 따라  $\gamma$ 값이 결정되고, 그리고 비부착 길이를 계산할 수 있게 된다.

#### 2.4 비부착 철근 공법의 설계 예

비부착 철근 공법에 의한 설계 예를 위해  $\alpha = 1.2$ ,  $\beta = 0.7$ ,  $\gamma = 0.8$ 로 가정하고,  $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $f_y = 4,000 \text{ kgf/cm}^2$ 을 사용한다. 또한, PC 벽체는 두

께를 15cm로 하고, 길이는 단위길이인 100cm로 가정한다. PC 벽체에 작용하는 외력에 의한 모멘트에 의해 내부 저항모멘트와 외부 저항모멘트의 평형조건을 이용하면 등가응력 블록 깊이  $a$ 는 다음과 같이 계산된다. 단, 부착철근의 단면적은  $a_{sb} = 3.81 \text{ cm}^2$ 로 하고, 비부착 철근의 단면적은  $a_{sd} = 3.81 \text{ cm}^2$ 로 한다<sup>3)</sup>.

$$a = \frac{a_{sb} f_y + \gamma a_{sd} f_y}{0.85 f_{ck} b} = 1.34$$

따라서, 중립축의 위치  $c = a/\beta = 1.58$ 이 된다. 또한, 콘크리트의 변형도  $\epsilon_{cu} = 0.003$ 으로 하고, 단면에서의 비례관계를 이용하여 부착 철근의 변형도를 계산하면 다음과 같이 계산된다.

$$\epsilon_{sb} = \frac{d-c}{c} \epsilon_{cu} = 0.008$$

따라서, 비부착 철근의 비부착 길이를 구하면 다음과 같다.

$$l_{de} = \frac{d \epsilon_{sb}}{\gamma f_y} E_s = 75 \text{ cm}$$

이때, PC 부재의 저항모멘트는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_n = (a_{sd} \gamma f_y + a_{sb} f_y)(d - a/2) = 3.93t \cdot m$$

### 3. 실험적 연구

#### 3.1 일반사항

본 연구에서는 철근 비부착 공법 및 철근 절단 공법의 적용 가능성을 파악하기 위한 실험적 연구를 수행한다. 따라서 실험적 연구에서 사용한 변수를 최소화하여, 수식에 의한 계산결과와 실험결과와의 차이를 파악하는 것으로 실험적 연구의 범위로 한다.

#### 3.2 시험체 설계

시험체 길이는 벽체의 대칭성을 고려하여 벽체

단부의 부(-) 모멘트가 "0"이 되는 지점을 기준으로 하여 정하며, 벽체 폭은 단위길이 100cm로 한다. 또한, 벽체에 배근되는 철근의 양은 최소철근비에 따라 SD40의 6-D13으로 한다.

따라서, 철근 비부착 공법 및 철근 절단 공법을 적용하지 않은 시험체의 최대모멘트는 강도설계법에 따라 계산할 수 있다.

또한, 그림 5에서 위험단면의 위치  $x_1$  은 SD40 D13 철근의 정착길이를 고려하여 결정하여야 한다. 즉,  $x_1$ 을 위험단면으로 가정하면,  $x_1$ 의 위치는 비부착이 시작되는 점으로 생각할 수 있으며, 철근은  $x_1$ 에서  $x_0$ 방향으로 정착길이가 확보되어야 한다. 따라서, SD40 D13 철근을 사용하는 경우 정착길이는 50 cm 이상이 되어야 한다는 조건을 고려하여  $x_1$ 을 결정한다.

철근의 비부착 길이는 다음과 같은 방법에 의하여 결정한다. 즉, 비부착 철근이 배근된 단면의 응력 및 변형도는 그림 7과 같이 나타낼 수 있다<sup>4)</sup>.

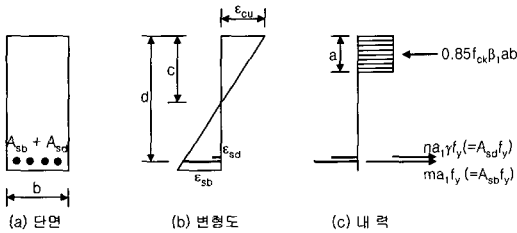


그림 7. 비부착 철근이 배근된 단면의 응력 및 변형도

그림 7(c)에서 압축 및 인장에 의한 평형조건을 이용하면<sup>5)</sup>,

$$0.85f_{ck}\beta_1ab = A_{sb}f_y + A_{sd}f_y \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

$A_{sb}$ : 부착 철근의 단면적,

$A_{sd}$ : 비부착 철근의 단면적

$$c = \frac{a}{\beta_1} \text{이며, } \epsilon_{sb} = \frac{d-c}{c} \epsilon_{cu} \text{ 이므로}$$

여기서,

$\epsilon_{sb}$ : 부착 철근의 변형도,

$\epsilon_{cu}$ : 콘크리트 최대변형도(0.003)

비부착 철근은 항복하지 않는 것으로 가정하면, 비부착 철근의 변형도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{sd} = \frac{\gamma f_y}{E_s} = \epsilon_{sb} \frac{d}{l_{de}} \dots\dots\dots (5)$$

비부착 철근의 변형도를 계산할 때 소성힌지가 단면의 유효높이에 해당하는 길이에서 발생하며, 비부착 구간의 길이  $l_{de}$  내에서는 철근의 변형도가 일정한 것으로 가정한다. 따라서,  $\epsilon_{sd}$ 의 값에 단면의 유효높이를 곱하면 이 구간에서 철근의 길이 변화가 된다. 그리고 이를 다시  $l_{de}$ 로 나누어주면, 이 구간에서 비부착 철근의 평균변형도가 얻어진다. 그러므로 상기 식으로부터 비부착 길이는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$l_{de} = \frac{d\epsilon_{sb}}{\gamma f_y} \cdot E_s \dots\dots\dots (6)$$

시험체 길이는 다음과 같은 방법으로 결정한다. 즉, 실제 벽체의 길이가 3,150 mm이며, 부(-) 모멘트가 "0"이 되는 위치는 약 0.2  $l$ 이 되므로, 지점까지의 거리는 630 mm가 된다. 따라서 지점까지의 거리는 630 mm로 하며, 비부착 철근의 지점방향으로의 정착길이를 고려하여 벽체의 길이는 1,600 mm로 하였다. 또한, 하프 PC 기둥 및 벽체의 두께는 실제 조건과 동일하게 그림 8과 같이 제작한다.

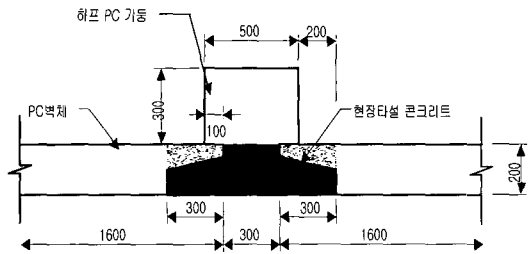


그림 8. 시험체 상세

철근의 비부착 구간은 철근의 정착길이를 고려하여 결정한다. 즉, SD40 D13 철근의 정착길이는

50 cm 정도가 필요하다. 그러나 그림 8에서와 같이 현장타설 콘크리트의 길이는 900 mm이기 때문에 비부착 구간은 가능한 단부에 가까운 곳에 설치하며, 비부착 구간 및 지점은 그림 9와 같다.

그러나 비부착 철근의 길이는 식 (6)에 의해 계산되지만, 비부착 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 보다 정확하게 평가하기 위하여, 일부 철근을 절단하는 것을 시험체의 계획단계에서 고려한다. 철근의 절단위치는 그림 9의 비부착 구간 중간 부분인 750 mm의 중앙부로 한다.

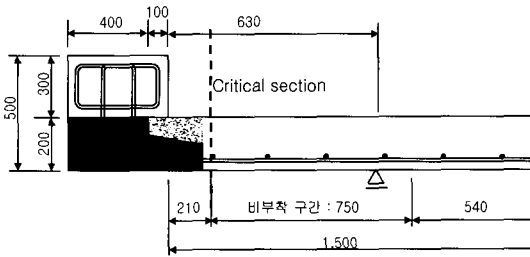


그림 9. 비부착 구간 및 지점

시험체는 표 2와 같이 총 5개로 하며, 실물 크기의 축척으로 제작한다. 또한, PC 벽체의 철근 배근은 기둥을 중심으로 좌우 벽체 동일하게 상부철근은 모두 부착철근으로 배근하며, 하부 철근은 표 2에 의해 절단, 비부착, 부착 철근을 배근한다.

### 3.2.1 시험체 제작

철근 배근, 콘크리트 타설 및 양생, 시험체의 조립 등은 현대산업개발(주) 여주 PC공장에서 실시한다. 콘크리트의 강도는 현장조건을 고려하여 240 kgf/cm<sup>2</sup>를 사용한다. 사용된 골재는 콘크리트의 품질에 영향을 미치는 유해한 성분이 포함되지 않

은 것으로 하며, 조골재 최대치수는 25 mm 이내의 것을 사용하고, 세골재는 5 mm 이하의 것을 사용한다.

### 3.2.2 시험체 조립

제작된 PC 벽체 및 하프 PC 기둥과 현장타설 접합부의 정확한 조립을 위하여 평활한 몰드 위에서 작업한다. 먼저 수평 및 수직을 맞춘 후 철근을 배근하고, 몰드를 설치한 후 콘크리트를 타설한다. 접합부 콘크리트의 배합은 PC 벽체와 동일하게 골재 체거름을 통하여 얻은 배합표에 따라 배합한다. 접합부 콘크리트의 설계기준강도는 240 kgf/cm<sup>2</sup>로 한다. 또한, 접합부 철근의 배근은 벽체 수평철근의 정착길이 및 철근의 응력을 충분하게 유지하도록 하기 위해 그림 10 및 그림 11과 같이 D13 철근의 겹침이음을 한다.

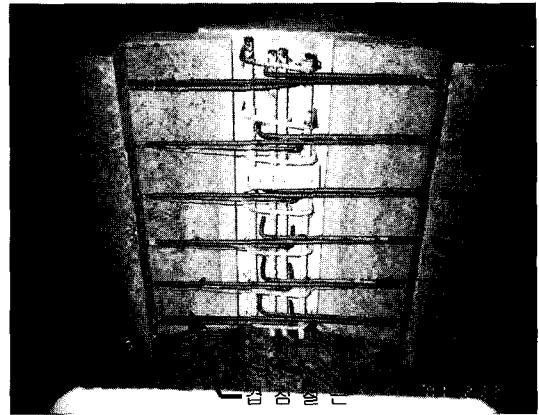


그림 10. 접합부 철근의 배근상황

표 2. 시험체 일람표

시험체 명	부착 철근 수	비부착 철근 수	절단 철근 수	정착길이 $l$ (cm)	위험단면 $x_1$ (cm)	비부착 길이 $x_2$ (cm)	비고
D0C0	6	0	0	47	0	-	기존형
D2C2	2	2	2	47	21	75	표준형1
D3C1	2	3	1	47	21	75	표준형2
D4C0	2	4	0	47	21	75	표준형3
D0C2	4	0	2	47	21	-	비부착 없음

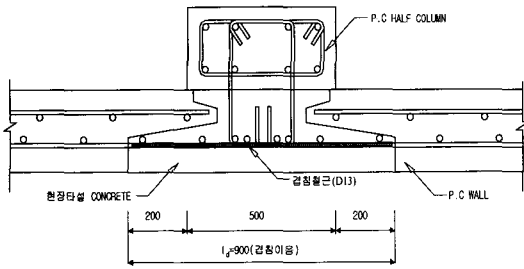


그림 11. 접합부 철근의 배근상세

### 3.3 재료시험

#### 3.3.1 콘크리트 압축강도

콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 KS F 2403에 따라 직경 10 cm, 높이 20 cm의 실린더형으로 매 배치(batch)마다 공시체를 제작하여 수중 양생한다. 수중 양생된 공시체는 3일, 7일, 14일, 28일 경과 후 KS F 2405에 따라 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위해 콘크리트 압축강도 시험을 실시한다. 실험결과는 그림 12와 같다.

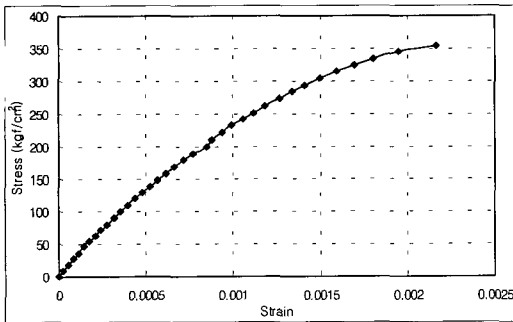


그림 12. 콘크리트의 응력-변형도 곡선

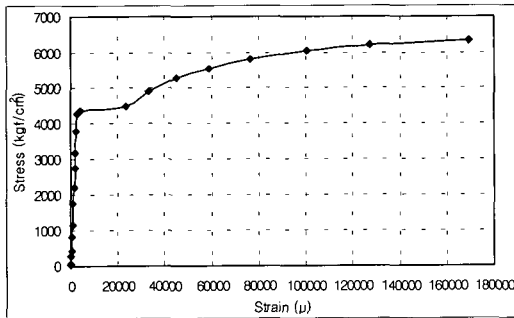


그림 13. 철근의 응력-변형도 곡선

#### 3.3.2 철근 인장강도

철근의 재료적 성질 및 인장강도를 산정하기 위하여 KS B 0801 (금속재료 인장시험편)의 라호 규정에 따라 시험편을 제작한다. 그리고 KS B 0802 (금속재료 인장시험 방법)에 따라 시험을 실시한다. 실험결과는 그림 13에 나타내었다<sup>6)</sup>.

### 3.4 실험방법

#### 3.4.1 시험체 설치

시험체는 그림 14에서와 같이 지점의 수평변위를 방지하기 위해 철봉으로 용접하여 고정한다. 가력은 2점 가력을 실시하며, 이를 위해 스티프너로 보강한 H-형강을 설치하고, H-형강 밑 부분에 가력점을 위해 봉강을 설치한다. 시험체 설치 후에 Data Logger 와 Switch Box에 콘크리트 타설 부착해 두었던 철근 게이지를 연결하여 변형도를 측정한다. 또한, 실험 시 시험체에 작용하는 수직하중에 의해 발생하는 처짐을 측정하기 위해 중앙부 3개소에 LVDT를 설치하여 각 부분에 대한 변위를 측정한다.

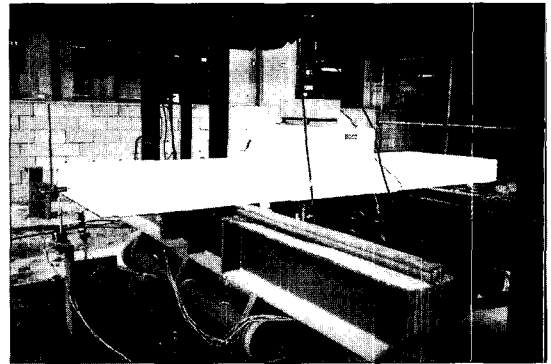


그림 14. 시험체 설치 및 가력상황

#### 3.4.2 가력 및 측정방법

하프 PC 기둥에 H-형강을 설치하고 가력을 실시한다. 가력은 최대하중에 이를 때까지 하는 것을 원칙으로 하며, 측정은 부착 및 비부착 철근과 절단철근에 발생하는 변형도를 파악하는데 중점을 두었으며, 절단 철근과 비부착 철근이 시험체의 종극강도에 미치는 영향도 파악한다. 시험체는 정확하게 균열을 관찰할 수 있도록 하기 위하여 백색 수성 페인트로 도색하며, 균열 발생 시 그 때의 하중값을 기록한다. 실험이 진행되는 동안 얻어지는 모



는 측정자료는 Data Logger (TDS 601)에 설치한 디스켓에 자동 저장되도록 한다.

### 3.5 실험결과

앞에서도 논한 것 같이 시험체는 벽체 수평철근의 정착길이를 고려하여 위험단면의 위치를 기둥으로부터 210 mm인 거리로 하였다. 그리고 접합부인 현장타설 콘크리트 부위에서의 파괴가 발생하지 않고, 수평철근이 충분한 내력을 발휘하게 하기 위하여 겹침 철근 D13을 사용하여 겹침이음을 하였다.

또한, 단면의 형상을 고려할 때 기둥이 있는 중앙부는 단부에 비해 상대적으로 강성이 크고, 강성이 가장 약한 부위는 접합부 콘크리트와 벽체가 만나는 부분이 된다. 따라서 거의 모든 시험체에서의 초기균열은 접합부 콘크리트와 벽체가 만나는 부근에서 발생하였고, 하중의 증가와 시험체의 특성에 따라 균열이 진전되면서 최종파괴 되었다. 각 시험체별로 초기하중 및 최대하중은 표 3과 같고, 최종 파괴 상황을 살펴보면 다음과 같다.

시험체의 최종파괴 상황은 시험체 설계방법에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 비부착 철근과 절단 철근을 사용하지 않은 시험체의 경우 초기균열은 접합부 콘크리트와 벽체가 만나는 부분에서 발생하여 균열이 중앙부로 진전되면서 최종파괴 되었다. 비부착 철근 및 절단 철근을 사용한 시험체의 초기균열도 모두 같은 위치에서 발생하였지만, 하중이 증가함에 따라 균열이 위험단면으로 이동되면서 최종파괴 되었다.

표 4. 실험결과 일람표

구분 시험체명	콘크리트 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		초기균열하중 (tf)	최대하중 (tf)
	PC	접합부		
DOC0	265	258	4.8	26.2
D2C2	245		2.9	17.9
D3C1	245		2.6	20.3
D4C0	265		2.5	24.6
DOC2	265		4.5	17.4

## 4. 실험결과와 비교 분석

### 4.1 일반사항

절단 철근 및 비부착 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 비교 및 분석하여, 절단 철근 및 비부착 철근의 사용에 따른 위험단면의 이동 효과를 파악하고자 한다.

### 4.2 파괴형태에 대한 분석

각 시험체별 파괴형태는 비부착 철근 및 절단철근을 사용하지 않은 DOC0 시험체는 접합부 콘크리트와 PC 벽체 사이에서 초기균열이 발생한 후, 하중 증가에 따라 시험체 중앙부로 균열이 진전되었다. 그리고 최대 하중 부근에서 시험체 중앙부에 발생한 균열이 벌어지면서 최종파괴 되었다. 그러나 절단 철근 및 비부착 철근이 배근된 시험체의 경우에는 DOC0시험체와는 다른 균열의 양상을 보이고 있다.

절단 철근 및 비부착 철근이 배근된 시험체의 초기균열은 DOC0시험체와 동일하게 접합부에 겹침이음으로 배근된 D13철근에 의한 영향으로 접합부 콘크리트와 PC 벽체 사이에서 발생하였다. 그러나 하중증가에 따라 균열의 확산은 시험체의 중앙부와 위험단면으로 이동하였으며, 최대하중 부근에서는 위험단면에서 발생한 균열이 확대되면서 최종파괴 되었다. 즉, DOC0시험체의 균열 및 파괴는 접합부 콘크리트 이외에서는 발생하지 않았으나, DOC0시험체 이외의 시험체에서는 접합부 콘크리트보다는 위험단면에서의 파괴가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에서 목적으로 한 위험단면의 이동 가능성을 확인할 수 있었다.

### 4.3 시험체별 하중-변위 곡선에 대한 비교

비부착 철근 및 절단 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 평가하기 위해 시험체 중앙부에서 측정한 LVDT1에 의한 변위와 하중과의 관계를 그림 15에 표시하였다.

시험체의 하중-변위 관계는 DOC0 시험체를 대상으로 상대 비교를 하였을 때, 일관성 있는 차이를 보이지는 않았다. 예를 들면, 비부착 철근을 사용한 D2C2 시험체, D3C1 시험체, D4C0 시험체를 비교하였을 때, 비부착 철근이 시험체의 파괴 후 연성거동에 영향을 미치는 것은 아니었으므로 나타났

다. 그리고 절단 철근을 사용한 D2C2 시험체와 D3C1 시험체도 DOC0 시험체에 비하여 연성능력이 감소하지 않음을 알 수 있다. 따라서, 결과적으로 비부착 철근이나 절단 철근은 시험체의 연성거동 능력을 감소시키지 않는 것으로 사료된다.

#### 4.4 설계값과 실험결과의 비교

시험체에 배근된 절단 철근 및 비부착 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 위험단면에서의 모멘트  $M_c$ 와 벽체 단부에서의 모멘트  $M_m$ 을 비교·분석하였다.

위험단면에서의 모멘트  $M_c$  및 벽체 단부인 기둥 면에서의 모멘트  $M_m$ 을 다음과 같은 식에 의한 계산값과 비교하여 표 4에 표시하였다. 단 계산값에서 절단 철근은 철근이 배근되지 않은 것으로 하였으며, 비부착 철근은 부착철근으로 가정하고 계산하였다. 또한, 계산값은 위험단면에서의 계산값으로 하였다.

표 4에서와 같이 위험단면에 작용하는 모멘트와 계산에 의한 저항모멘트는 절단 철근이 배근되지 않은 D4C0시험체가 가장 일치하는 것으로 나타났으며, 기존의 방법에 의해 배근된 DOC0시험체의 경우에도 그 차이는 경미하여 비교적 실험결과와 계산값이 잘 일치하는 것으로 나타났다.

표 4. 위험단면에서의 실험결과와 계산값 비교

구분 시험체 명	실험결과 (t·m)	계산결과 (t·m)
D0C0	5.63	5.28
D2C2	3.85	3.56
D3C1	4.36	4.42
D4C0	5.29	5.28
D0C2	3.74	3.56

#### 4.5 비부착 철근의 영향

비부착 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 평가하기 위하여 비부착 철근이 배근된 시험체와 비부착 철근이 배근되지 않은 시험체를 비교하여 표 5에 표시하였다.

표 5에서와 같이 비부착 철근이 4개 배근된 시험체는 비부착 철근이 배근되지 않은 시험체에 비

해 0.34t·m의 내력이 저하되었으나, 비부착 철근이 2개 배근된 시험체는 비부착 철근이 배근되지 않은 시험체에 비해 내력이 0.11t·m정도 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 그 차이는 매우 미미하기 때문에 비부착 철근이 시험체의 거동에 미치는 영향을 정확하게 평가하지는 못했다고 할 수 있다. 따라서, 이에 대한 연구는 보다 다양한 실험을 통한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

표 5. 비부착 철근의 영향

구분 시험체 명	배근상태	$M_c$ (t·m)
D0C0	비부착철근 0, 절단철근 0	5.63
D4C0	비부착철근 4, 절단철근 0	5.29
D2C2	비부착철근 2, 절단철근 2	3.85
D0C2	비부착철근 0, 절단철근 2	3.74

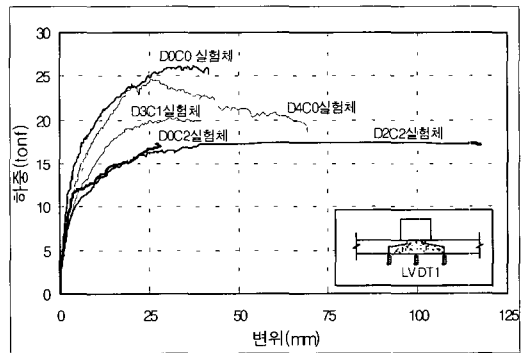


그림 15. 시험체별 하중-변위 관계 곡선

### 5. 결 론

본 연구에서는 비부착 철근 공법 및 절단 철근 공법을 적용하여 PC 벽체 수평철근의 돌출길이를 최소화하는 것을 연구목적으로 하였다. 그러나 비부착 철근 공법 및 절단 철근 공법의 적용 사례 및 연구결과는 극히 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 비부착 철근 공법 및 절단 철근 공법의 적용 가능성을 파악하기 위해 5개의 시험체를 실물크기로 제작하여 실험적 연구를 실시하였으며, 실험적 연구에서 나타난 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 각 시험체별 파괴형태는 비부착 철근 및 절단 철근이 배근되지 않은 시험체의 경우, 접합부 콘크리트에서 균열이 발생하면서 동일 위치에서 최종 파괴되었다. 그러나 절단 철근 및 비부착 철근이 배근된 시험체의 경우에는 초기균열은 접합부 콘크리트와 PC 벽체 사이에서 발생하였으나, 하중증가에 따라 위험단면으로 균열이 진전되어 최종파괴되었다. 따라서 본 연구에서 목적으로 한 위험단면의 이동 가능성을 확인할 수 있었다.
- (2) 비부착 철근이나 절단 철근의 사용으로 인한 시험체의 강도는 설계식에 의한 값보다 낮아지지 않았기 때문에, 위험단면의 이동을 위하여 비부착 철근 공법 및 절단 철근 공법의 사용이 가능한 것으로 사료된다.
- (3) 비부착 철근이나 절단 철근을 사용하지 않은 시험체와 비교하였을 때, 비부착 철근 및 절단 철근을 사용한 시험체의 연성거동 능력은 낮아지지 않았다.
- (4) 비부착 철근공법 및 철근 절단 공법을 적용한 접합부에서 위험단면의 위치가 시험체 설계 시 가정된 위치로 이동하는 것으로 나타났다. 따라서, 정착 및 이음철근의 돌출길이를 위험단면의 이동길이 만큼 축소할 수 있는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 초대형 구조시스템 연구센터(STRESS), 현대산업개발(주), 광운대학교 2001년도 교내연구비의 지원으로 이루어 졌으며, 지원에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. R. Park and T. pauly, "Reinforced Concrete Structures," John Wiley and Sons, New York, 1975.
2. R. N. White and C. G. Salmon ed., "Building Structural Design Handbook," John Wiley and Sons, 1987.
3. 대한건축학회, "통합설계법에 의한 콘크리트 구조 설계기준 건축구조물 설계 예제집," 2000. 7.
4. ACI Committee 340, "Design Handbook, Vol. 1, Beams, One-way Slabs, in Accordance with the Strength Design Method of ACI 318-83," 4th ed., ACI Special Publication SP-17, American Concrete Institute, Detroit, 1984.
5. 대한건축학회, "철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설," 1982.
6. ACI Committee 439, "Mechanical Connections of Reinforcing Bars," Concrete International, Vol. 5, No. 1, January 1983, pp.34-35.