

# 프리캐스트 콘크리트 베어링 플레이트를 이용한 기초구조 시스템

## Foundation System with Precast Concrete Bearing Plate

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

Lee, Waon Ho    Moon, Jeong Ho    Lee, Yong Jae    Lee, Han Joon

### ABSTRACT

A large concentrated load is often transferred to reinforced concrete footing in a tall building. In this study, a foundation system which uses high strength precast concrete bearing plate was proposed. This concrete bearing plate has to be strong enough to resist the column load. However, a sufficient bearing strength may not be provided if the column load is too high and the concrete of bearing plate does not have enough strength.

### 1. 서론

초고층 혹은 장스팬의 건물에서는 기둥의 주각부에 매우 큰 압축력이 작용하게 되므로, 이를 기초로 안전하게 전달하는 것은 구조설계시 중요한 문제가 된다. 일반적으로 주각부는 지지부에 초과응력이 발생하지 않는 상태에서 기둥의 하중을 기초에 안전하게 전달할 수 있도록 설계되어야 한다. 기둥 주각부의 하중 전달경로는 먼저 기둥과 주각부 사이에서의 지압응력을 통하여 베이스 플레이트에 전달되며, 이는 다시 기초에 전달된다. 그러나 기둥 축력의 크기가 상대적으로 클 때는 베이스 플레이트에 매우 큰 지압응력이 작용하게 되어, 특별한 주의가 필요하게 된다.

압축재로서의 철골 기둥의 허용응력은 세장비 혹은 사용 강재의 종류에 따라  $700 \sim 1400 \text{ kg/cm}^2$ 로 콘크리트의 허용지압응력을 훨씬 초과하므로 콘크리트 기초의 압괴를 방지하기 위해 기둥과 기초 사이에 베이스 플레이트를 설치하게 된다. 그리고 이러한 베이스 플레이트는 기둥의 압축력을 콘크리트 기초에 균등히 분배할 수 있는 충분한 두께와 면적을 가져야 한다. 큰 압축력을 받는 기초 구조로는 그림 1과 같은 격자형 기초구조와 그림 1의 철판 적층형 주각구조를 들 수 있다. 그러나 기둥의 압축력이 매우 큰 경우에 이러한 구조의 적용은 구조적 혹은 경제적인 면에서 쉽지 않을 수 있다. 격자형 기초구조를 사용하는 경우에는 충분한 응력전달을 위해서 많은 양의 강재를 사용하여야 할 필요가 있는데, 이때 사용하는 강재들이 응력을 균등하게 분담할 수 있도록 특별한 주의가 필요하다. 그리고 철

\* 정회원, 광운대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

\*\* 정회원, 한남대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 농양공전 건축과 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 현대산업개발(주) 구조설계팀 이사

판 적층형 주각구조를 사용하는 경우에도 기둥의 압축력이 매우 큰 경우에는 많은 수의 철판을 겹쳐서 사용하여야 하는 문제가 발생하게 된다. 왜냐하면 기둥의 압축력을 분산시키기 위해서는 넓은 면적이 필요하며, 기둥 단면의 크기를 고려하면 여러 장의 철판을 사용하여야 한다. 철판을 여러장 겹치게 되면 응력전달 효과가 상대적으로 감소될 수 있는 문제가 발생하게 되며, 주각부의 노출 부위가 증가되는 등, 시공성 및 경제성 측면에서 그 효율이 저감될 수 있다.

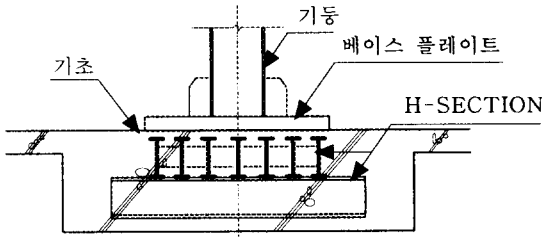


그림 1 격자형 기초구조

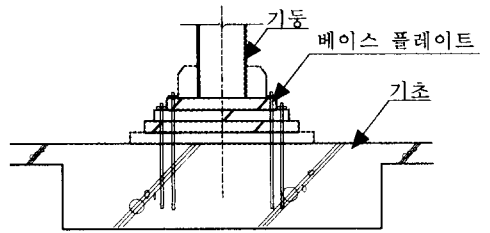
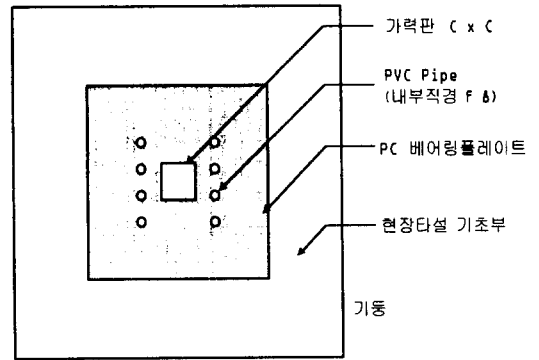
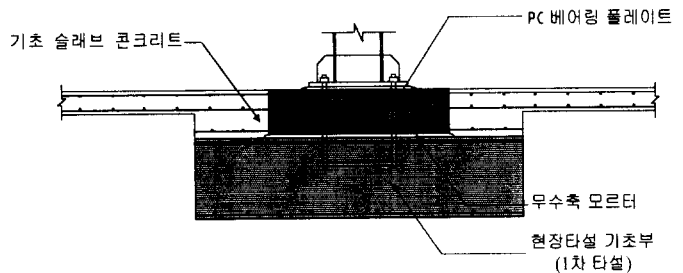


그림 2 철판 적층형 주각구조

주각부 설계시 베이스 플레이트의 크기 및 두께를 최소화 하기 위해서는 허용지압응력이 큰 부재를 기초에 사용하여야 한다. 그러기 위해서는 기초의 콘크리트 강도가 증가되어야 하는데, 본 신기술에서는 기초부의 허용지압응력 범위 만큼을 고강도 프리캐스트 콘크리트(PC : Precast Concrete)로 사용하여 베어링 플레이트의 역할을 하도록 한 것이다. 이러한 기초 구조공법은 먼저 PC 공장에서 제작된 베어링 플레이트를 크레인으로 양중하여 미리 매입되어 있는 앵커볼트에 삽입 시킨다. 그리고 현장타설 기초부 콘크리트와 베어링 플레이트 사이에 무수축 모르터를 충전하고, 앵커볼트에 너트를 체결하여 일체화가 되도록 한다. 이상과 같은 방법은 높은 허용지압강도가 필요한 부위에만 효과적으로 필요한 강도의 콘크리트를 사용할 수 있는 장점이 있다. 또한 베어링 플레이트가 일체로 구성되기 때문에 효율적인 응력전달 효과도 얻을 수 있다. 또한, 베어링 플레이트는 PC 공장에서 대량생산이 가능하므로 부재들을 규격화하여 사용하면, 경제적인 측면에서도 많은 장점이 있다. 이상에서 제안한 신기술 주각부 구조공법의 개념은 그림3에 나타나 있다.



(a) 평면도



(b) 단면도

그림 3 프리캐스트 콘크리트 베어링 플레이트 주각구조

## 2. PC 베어링 플레이트 설계

### 2.1 허용지압응력(Allowable Bearing Stress)

일반적으로 국부적인 하중을 받는 경우에 있어서 콘크리트의 하중면에 발생하는 응력을 지압응력(bearing stress)이라 한다. 지압응력은 최대 압축하중 P를 국부 재하면적  $A_1$ 으로 나누어 구할 수 있다.

$$\sigma_b = \frac{P}{A_1} \dots\dots\dots(1)$$

설계 기준(ACI 318-95, 극한강도 설계법에 의한 철근 콘크리트 설계기준(대한 건축학회))에서는 콘크리트의 지압강도( $P_n$ )를 다음과 같이 정하고 있다.

$$P_n = \phi \left( 0.85 f_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{단, } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2.0$$

미국 강구조학회(AISC)에서는 콘크리트의 허용 지압응력을 ACI 기준의 지압강도( $P_n$ )를 하중계수 1.7(고정하중과 적재하중에 대한 하중계수를 1.7로 취함)로 나누어진 값으로 정하고 있다. 따라서 콘크리트의 허용 지압응력은 다음과 같이 표현되어 진다.

$$F_b = 0.35 f_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.7 f_c \dots\dots\dots(3)$$

### 2.2 베이스 플레이트의 설계 - AISC 89 ASD

철골 기둥에서의 베이스 플레이트는 기둥의 축력을 콘크리트 기초에 분포시키기 위해 기둥의 하부에 사용된다. 그림 4에서와 같이 만일 m, n의 치수가 작지 않다면, 베이스 플레이트는 캔틸레버 보로서 설계되며, 사각 모서리의 고정부는 각 변의  $0.8b_f$ ,  $0.95d$ 가 된다.

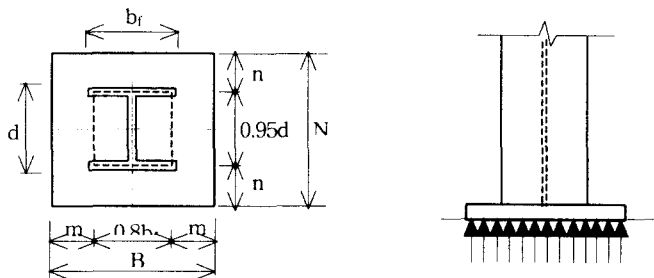


그림 4 베이스 플레이트의 응력 분포

기둥 축력 P는 베이스 플레이트를 통해 사각형 안에 균등히 분포된다고 가정하고 플레이트의 허용 휨응력  $F_b = 0.75F_y$ 로 고정시키면, 두께는 다음 식으로 표현되어 진다.

$$t_p = 2m\sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \dots\dots\dots(4)$$

만일,  $m = n$  이라면 베이스 플레이트의 치수는 최적화 될 것이다.

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta,$$

여기서  $\Delta = 0.5(0.95d - 0.8b_f)$ 이며,  $B = A_1/N$ 이다.

AISC89 ASD규준 J9에 의하면 부분단면 재하일 경우의 허용지압응력은 식(3)과 같다.

여기서  $P/A_1 \leq F_p$  로 치환하여 다시 정리하면,

$$\frac{P}{A_1} \leq 0.35 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.7 f'_c \dots\dots\dots(5)$$

가 되며, 이 식을 분리하면

$$\left(\frac{P}{0.35 f'_c}\right)^2 \leq A_1 A_2, \quad 0.35 f'_c \frac{\sqrt{A_2}}{A_1} \leq 0.7 f'_c \Rightarrow A_2 = 4 A_1 \dots\dots\dots(6)$$

$$\left(\frac{P}{0.35 f'_c}\right)^2 \leq A_1 A_2 \leq 4 A_1^2 \dots\dots\dots(7)$$

가 된다.

이때, 첫째항과 둘째항을 일반식으로 정리하면,

$$A_1 \geq \frac{1}{A_2} \left(\frac{P}{0.35 f'_c}\right)^2 \dots\dots\dots(8)$$

따라서, 콘크리트의 허용지압 한계에 대한 베이스 플레이트의 면적을 구하는 식은

$$A_1 \geq \frac{P}{0.7 f'_c} \dots\dots\dots(9)$$

그리고 둘째항과 셋째항으로부터  $A_2 = 4A_1$ 일 경우 가장 경제적인 베이스 플레이트의 조건이 되므로, 이 조건으로부터 소요 단면적을 구하기 위한 일반식을 정리하면,

$$A_1 = 0.25A_2 \dots\dots\dots(10)$$

$$\left(\frac{P}{0.35 f_c}\right)^2 \leq 0.25 A_2^2 \dots\dots\dots(11)$$

$$\therefore A_2 \geq \frac{P}{0.175 f_c} \dots\dots\dots(12)$$

여기서  $A_2$ 의 면적이 PC 베어링 플레이트의 면적이 된다.

이상의 결과를 이용하여 PC 베어링 플레이트를 설계하는 설계 흐름도를 그림으로 표시하면 그림 5와 같이 표시할 수 있다.

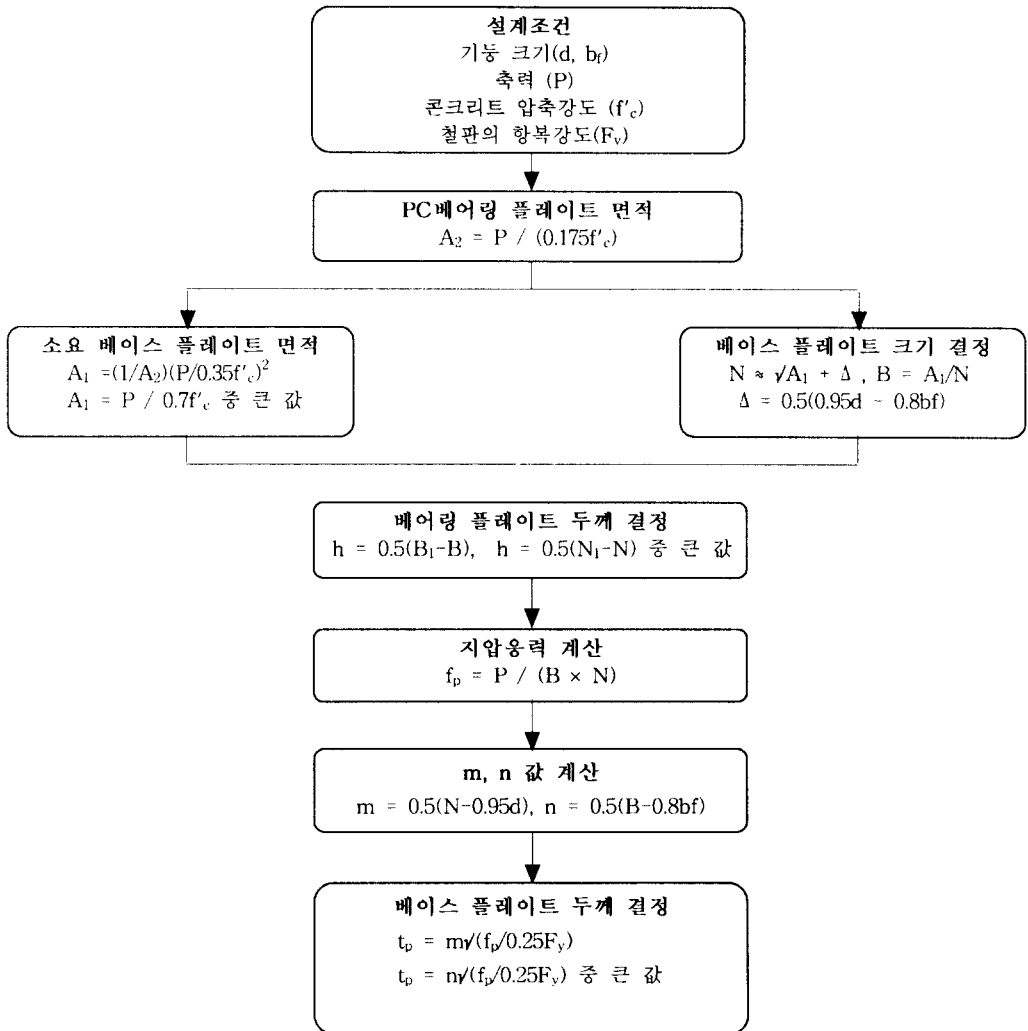


그림 5 PC 베어링 플레이트 설계절차

### 3. PC 베어링 플레이트의 제작 및 시공

#### 3.1 제 작

PC 베어링 플레이트의 제작은 일반적인 PC부재의 제작 방법에 따라 제작하게 되며, 몰드 제작시에는 다음과 같은 사항들에 대해서 주의를 하여야 한다. 즉, 부재의 치수 등은 정밀하도록 제작하여야 하며, 콘크리트 타설시 시멘트 페이스트가 새지 않도록 제작하여야 한다. 또한, 타설 및 탈형이 용이하도록 제작하여야 하며, 철근의 피복, 매입물의(철근 이음장치, 후크) 위치가 타설시 변형되지 않도록 제작한다. 특히, 베이스 플레이트 설치시 사용되는 앵커 볼트 관통구멍의 위치는 현장에서의 시공오차를 흡수할 수 있어야 하므로 가능한 정밀하도록 제작한다.

콘크리트 타설은 타설전 청소 완료 후 콘크리트가 닿는 면에 박리제를 도포한 후 타설하며, 철근 조립후 타설전 부재의 치수 및 철근의 위치가 정확한지 검사를 실시하여야 한다. 또한, 타설시 철근의 단부에 설치되어 있는 철근 이음장치에 시멘트 페이스트가 들어가지 않도록 주의하여야 한다.

타설이 완료되면 부직포 등의 덮개를 덮어 증기 양생을 실시하며, 탈형시 충분한 압축강도를 확인한 후 탈형을 실시하여야 한다. 이때 부재의 모서리 등이 상하지 않도록 조심한다.

PC 베어링 플레이트의 야적은 불균형 등으로 인하여 뒤틀림 등 부재에 변형이 발생하지 않도록 평탄한 곳에 야적하여야 한다.

#### 3.2 PC베어링플레이트 설치

PC베어링 플레이트의 현장시공은 그림 6과 같은 순서에 의해서 그림 7과 같이 설치한다.

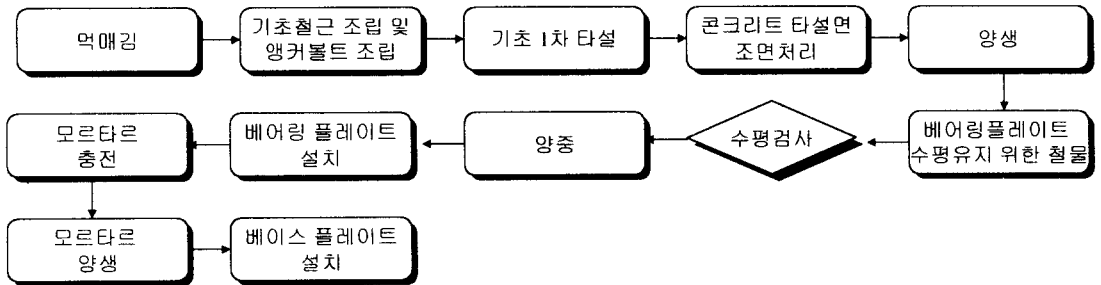
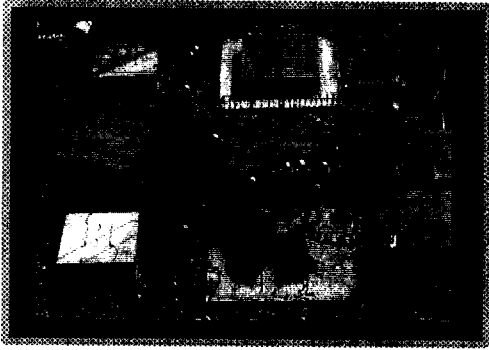


그림 6 PC베어링 플레이트 설치 흐름도

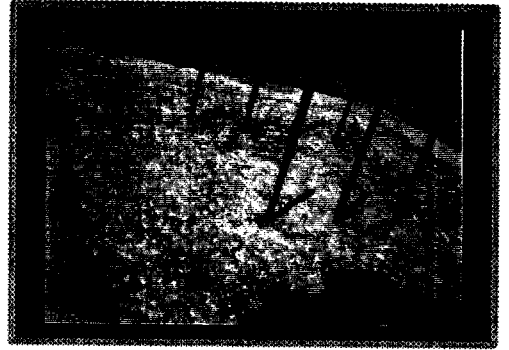
그림 6에서와 같이 앵커 볼트는 기초 철근 배근 후 베이스 플레이트 설치용 앵커 볼트를 매입하며, 콘크리트 타설 시 위치의 변형이 발생하지 않도록 충분한 조치를 하여야 한다. 기초 1차 콘크리트 타설전에는 앵커 볼트의 위치를 재확인 하여야 하며, 타설 면의 처리는 모르타르 충전면의 부착을 좋게 할 수 있도록 쇠 흠손으로 빗질을 하여 마감한다.

부재의 설치전 균열의 발생 유무와 손상 정도를 검사하고 필요한 곳에 보수를 실시한다. 또한, 베어링 플레이트의 설치 전 수평면의 유지를 위한 철물을 콘크리트면에 설치하고(최소 4개소), 철물 상면의 수평 유지도를 검사한다. 부재의 설치후 수평, 수직의 유지도를 검사하고 조정한다.

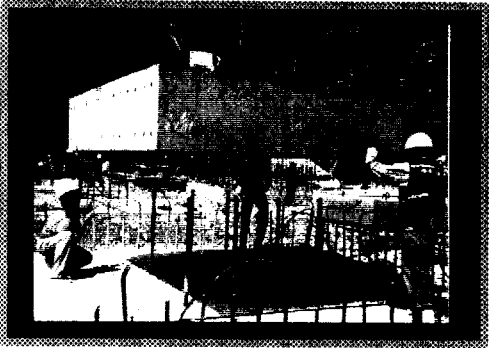
현장타설 기초부와 베어링 플레이트 사이의 충전시 공극이 발생하지 않도록 충전한다.



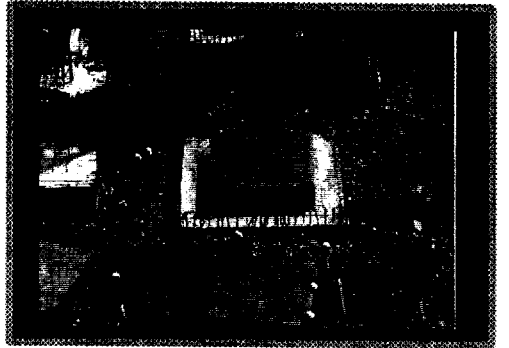
① 베어링 플레이트 현장반입



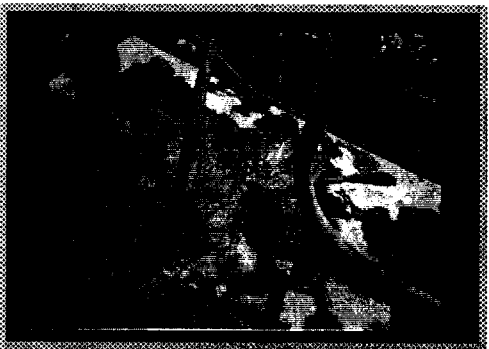
② 콘크리트 조면 처리



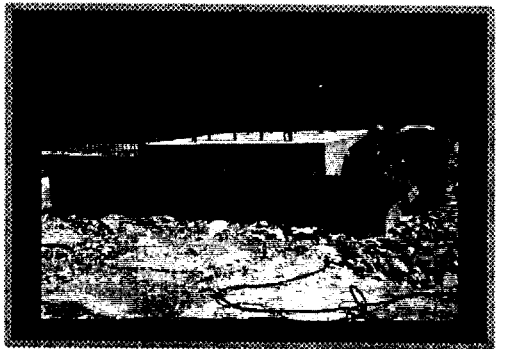
③ 베어링 플레이트 양중



④ 베어링 플레이트 위치설정

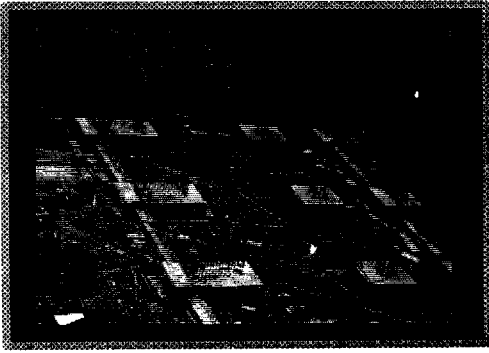


⑤ 고강도 모르터 충전

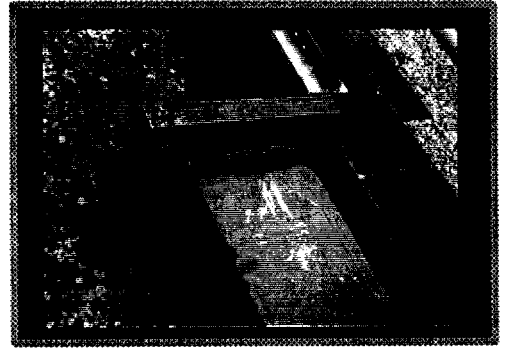


⑥ 2차 콘크리트 타설준비

그림 7 PC베어링 플레이트 현장 설치(1)



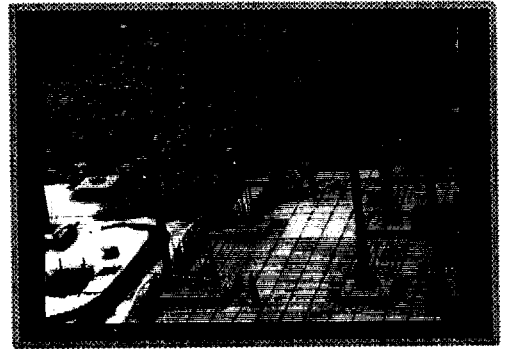
⑦ 기초콘크리트 타설완료



⑧ 기둥반입



⑨ 기초 위 기둥조립완료



⑩ 기둥설치 완료

그림 7 PC베어링 플레이트 현장 설치(2)

#### 4. 결 론

PC 베어링 플레이트를 이용한 기초구조 시스템을 적용시 다음과 같은 경제적, 기술적 효과를 얻을 수 있다.

##### 4.1 경제적 효과

주각부의 철골 물량을 콘크리트로 대체함으로써 공사비를 절감할 수 있으며, 주각부의 철골 베이스 플레이트 제작비가 절감되었다. 또한, PC의 활성화 및 고강도 콘크리트의 실용화를 실현할 수 있다.

##### 4.2 기술적 효과

기존 Base Plate 방식의 문제점(높은 지압응력이 발생하는 부위의 구조적 문제해결)을 해결할 수 있으며, 부재의 공장제작으로 인한 높은 품질확보 및 정밀시공이 가능하다. 또한 현장 공사의 복잡성, 불확실성을 P.C화 하여 공정이 간단해 지며, 고강도 콘크리트의 보급의 활성화에 기여한다.