

Photo. 1 Post-tensioned transfer plate

## 포스트 텐션방식 힘 전달판 Post-Tensioned Transfer Plates



김 종 수 역\*

다양한 용도를 가진 현대 고층건물은 기둥과 벽의 배치를 변화있게 하기위해 힘전달 구조를 사용한다. 최근 홍콩에 있는 포스트 텐션방식 힘전달판은 재래방법의 대안으로써 경제적이고 효과적으로 설계·시공되었다

이글은 포스트 텐션방식 힘 전달판의 이점을 간략하게 소개하며, 설계의 기본적 특징과 실제 시공시 고려된 점에 관하여 최근 몇개의 프로젝트에 관하여 기술하고자 한다.

### 1. 소개

많은 현대 도시들은 높은 지가와 제한된 공간을 필히 고려해야만 하며 고층 건물의 경우 층수에 따른 수직적으로 여러 용도로 사용된다. 예를들면 호텔, 주거, 사무실, 상업적 용도의 복합은 하나의 건물안에 흔히 있다. 고층건물에서는 건물의 용도에 따라 각각의 건축평면과 구조골조를 만족시킨

다. 이러한 건물의 용도에 따른 다양한 구조는 다른 용도에 맞추기 위해 수평의 힘전달구조(transfer structure)가 필수적이다.

홍콩에서는 상당수의 고층건물이 한가지 형태 혹은 다른 형태로 힘전달구조를 가지고 있다. 주거용과 호텔용도의 벽식구조와 작은 기둥들이 상업공간이나 로비등의 대형공간에 맞추어야 한다. 이때 힘전달판이 쓰이게 된다. 그 두께는 윗층의 벽체하중과 기둥간격에 따라 대개 1.0M~5.0M가 된다.

### 2. 포스트 텐션방식 힘전달판 (post-tensioned transfer plates)

큰 하중을 전달 시키기 위해서 힘 전달판은 상당한 두께와 많은 철근량이 필요하다. 최근 VSL은 큰 규모의 포스트 텐션의 힘전달판의 개념을 사용했다. 이것은 다음과 같은 이점이 있다.

- 다양한 경우에 맞추어 판 두께를 줄인다.
- 일반 철근량을 많이 줄일수 있다.
- 일반철근의 시공성을 개선시킨다.

FIP Symposium 93 Kyoto, Japan Oct 17-20, 1993  
Robert Duncan Lapsley / VSL HONG KONG Ltd

\* 정희원, C.S. 구조기술사 사무소 소장

Table 1 Post-tensioned transfer plates in Hong Kong  
(1988-1993)

Project Name	Pacific Place Tower B	Robinson Road Tower 1	Robinson Road Tower 2	T.W.T.L. 324 Tai Ho Road
Date of Costruction	1988	1993 (under construction)	1993	1993 (under construction)
Occupancy	Hotel Serviced Apartments Commercial Car Park	Residential Commercial Car Park	Residential Commercial Car Park	Residential Commercial
No. Floors Transferred	52 Floors	47 Floors	47 Floors	40 Floors
Length × Breadth × Depth	78.7m × 31.5m × 4.5m	40.0m × 35.0m × 3.2m	41.5m × 35.5m × 3.2m	31.0m × 34.0m × 3.5m
Depth of each layer	Layer 3=1.5m Layer 2=1.5m Layer 1=1.5m	Layer 2=1.7m Layer 1=1.5m	Layer 2=1.7m Layer 1=1.5m	Layer 2=2.0m Layer 1=1.5m
Concrete Volume	6240cu m	3030 cu m	2900 cu m	2320 cu m
Concrete Strength(1)	Fcu=40N/sq mm	Fcu=35N/sq mm	Fcu=35N/sq mm	Fcu=30N/sq mm
Post tensioning Quantity	105Tonnes	25Tonnes	26Tonnes	30Tonnes
Tendon size	31No. × 12.9mm strands	12No. × 12.9mm strands 19No. × 12.9mm strands	12No. × 12.9mm strands 19No. × 12.9mm strands	19No. × 12.9mm strands
Average effective Prestress	2.0N/sq mm	1.1N/sq mm	1.3N/sq mm	1.9N/sq mm
Nominal Face Reinforcement (2)	0.20% /face	0.13% /face	0.13% /face	0.125% /face
Maximum Vertical Shear Stress (Unfactored, working)	2.10N/sq mm	2.21N/sq mm	2.15N/sq mm	2.77N/sq mm
Minimum Shear Reinforcement (3)	0.15%	0.17%	0.17%	0.17%
Maximum Shear Reinforcement	0.62%	0.77%	0.77%	0.77%

Notes : 1. Concrete Cube strength(28 days).

2. Shrinkage reinforcement expressed as a percentage of full plate thickness.

3. Shear reinforcement expressed as a percentage of plate plan area.

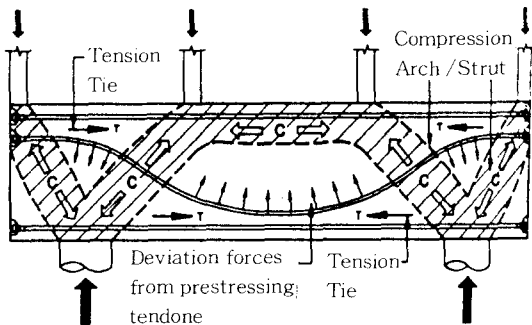


Fig. 1 Post-tensioned transfer plate.  
Principal actions.

- 다층 힌전달판의 단계별 긴장을 통하여 가설 지지 작업을 줄인다.
- 힌전달판을 시공하는데 최소의 인건비를 들인다.
- 공사의 공기단축과 경제성을 증대시킨다.

포스트 텐션방식은 텐던속에 고강도 스트랜드 ( $f_{pu}=1770\sim 1860\text{ N/mm}^2$ )를 사용함으로써 일반 철근량을 대폭 줄이는 아주 효과적인 방법이다. 많은 경우에 있어서 철근의 시공성 개선과 긴장력에 의한 콘크리트의 전단강도 증대효과로 힌전달판의 두께를 줄일 수 있다. 상단과 하단에 수평텐던이 사용되고 중앙부에도 텐던이 모멘트방향과

동일하게 드리워지며 긴장력은 평균 1.5~2.5 N/mm<sup>2</sup>의 범위이다.

압축아치작용과 버팀대(strut)효과를 포스트 텐션 텐던에 의해 생기는 인장 타이(tie)와의 결합으로 효과적으로 지지된다. 드리워진 텐던이 사용되어진 곳에서 자중과 부과하중의 균형을 이룬다. 그래서 텐던은 균형하중을 지니고 하중을 지점으로 보낸다. 하중균형 개념 또한 부과 하중의 처짐을 제거하는 이점을 가지고 있다.

콘크리트의 균열을 최소화하는 축 긴장력의 결합으로 포스트 텐션 판은 훨씬 작은 처짐을 일으킨다. 휨모멘트는 텐던에 의해 지지되고 일반철근은 최소화된다. 힙전달판 양쪽면에 놓여진 수직철근은 건조수축과 온도균열을 조절하는데 이용되고 전단작용의 수평성분에 저항된다.

### 3. 설계(design)

힙 전달판은 비교적 크고 두께가 두꺼운 슬라브 요소이고 높은 전단응력을 견딘다. 그것은 보통 슬라브로 정의 되지도 않고 춤이 깊은 보(deep beam)로도 정의 되지않는다.

수직 휨설계와 더불어 힙전달 판은 내부 수평 전단력의 전이율을 고려하는 것이 중요하다. 특히 슬라브 가장자리를 따라서 비틀림모멘트에 의한 전단전달(shear transfer)에 대해 검토를 하여야 한다.

#### 3.1 모델링(modelling)

모든 힙전달판은 VSL에 의해 설계되고(표 1 참조) 유한요소법(finite element method)을 사용하여 해석을 하였다. 형태와 지점의 불규칙한 배치, 여러가지 하중조건들이 고려되기 때문에 단순한 해석방법의 사용은 적절하지 않다. 판은 수평 하중을 고려하기 위해서 3차원 유한요소법을 사용해서 모델링한다.

지점요소들은 축과 회전강성으로 정의된다. 큰 전단력이 걸리는 지점근처는 요소의 크기, 형태와 방향에 대해 특별한 주의를 요한다.

휨설계에 있어서 모멘트의 결합은 필요설계단면

의 결정요소이다. 전단설계를 위해서는 주 전단력( $V_x$  &  $V_y$ )과 비방향성 전단력( $V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ )이 결정된다.

$V_0$ 를 사용해서 전단흐름의 궤적 뿐만 아니라 등가 주전단응력선이 설계목적에 의해 결정된다.

#### 3.2 하중과 규준(loading & code requirements)

4개의 주하중과 즉 고정하중, 적재하중, 풍하중(큰 타워형 건물에 있어서 주된 하중)과 포스트 텐션 힘들이 고려된다.

포스트 텐션 힘들은 주로 판의 면내에 있고 드리워진 텐던이 적재하중과 균형을 맞추기 위해 사용되어지고 이러한 내부 텐던 반력으로 인한 수평 하중들도 고려된다.

힙전달판(비교적 강성이 있는 수직지점요소와 합쳐져서)의 건조수축과 온도수축 뿐만 아니라 크리프로 유도된 포스트텐션의 효과는 대개 건물 모양에 대한 형태의 효과와 더불어 판내의 유효 긴장(prestressing)을 결정하는데 중요한 요소이다.

이 설계에서는 주로 BS 8110을 사용하였다.

#### 3.3 휨 설계(flexural design)

휨에 대한 극한 한계상태에서 하중에 대한 3가지 주요 조합이 고려된다.

하중조합 1  $1.5 \times XD + 1.7 \times XL$

하중조합 2  $1.3 \times XD + 1.3 \times XL + 1.3 \times XW$

하중조합 3  $1.5 \times XD + 1.5 \times XW$

여기서 XD=DEAD LOAD

XW=WIND LOAD

XL=LIVE LOAD

사용한계상태(serviceability limit state)에서 판요소는 "partially prestressed element"로 설계된다. 이것은 균열폭을 제한하는 이론적 인장응력들의 제한에 대한 경험적 방법을 사용하거나 직접적으로 균열폭을 계산한다. 증가된 하중과 증가된 인장응력들은 인장축에 있어서 보통철근의 양을 증가 시킴으로서 해결할 수 있다.

일반철근의 양은 보통 판의 양면에 있다. 그 두

가지 주요한 이유는

① 판(Plate)의 온도 응력과 콘크리트의 건조수축에 대한 포텐셜 균열을 제어하기 위해서이다.

② 균열코아에 있어서 수평 전단력에 생겨난 평면내에 있는 막응력(membrane force)을 없애기 위함이다.

일반철근의 배근량은 판의 평균긴장응력, 전단응력과 판에 사용된 콘크리트의 특성(건조수축과 수화열 등) 및 포스트 텐션 긴장력의 집중에 의한 요소등에 의해 결정된다.

### 3.4 전단설계(shear design)

#### 1) 최대 전단력(maximum shear)

보통 힘전달판(Transfer plate)에 있어서 전단응력의 한계가, 힘의 사용한계상태(serviceability limit state)가 어느정도 영향을 미치지만, 판 두께를 결정하는 요소이다. 지점둘레와 부과된 집중하중 근처에서 부채모양의 응력장은 지점과 집중하중의 둘레로 슬래브 핵안에서 전개된다. 이 지역에서 콘크리트의 뚫림전단파괴와 전단압축파괴에 대해서 검토하고 설계하는 것이 중요하다.

전단압축파괴는 보통 높은 전단응력을 받는 지점부근의 콘크리트강도와 최소유효축과 관계된다. 이것은 보통 극한한계상태(ultimate limit state)에서 직접 전단응력에 대한 한계에 의해 설계된다.

#### 2) 가로전단 보강근(transverse shear reinforcement)

유사 트러스 모델링 해석을 사용해서 철근콘크리트 보에 대한 전단설계 방법은 오늘날 잘 발달되어 있다. 이러한 방법들은 사균열이 있는 주요한 전단력을 지니는 콘크리트에 대해서 잘 맞고 보다 적절하게 전단응력에 견디게 설계된 보(즉 거의 사균열이 일어나지 않는)에 대해서도 잘 맞아 떨어진다. 여기서 콘크리트의 인장강도는 철근량을 줄이거나 제거하는데 이용되어진다. 보의 경우에 있어서 작은 양의 철근이 배근된다. 속찬 슬래브(solid slab)의 설계에 있어서 전단응력의 제

한을 통해서 가능한 전단보강근의 사용을 피하는 게 보통이다. 여기서 공칭 전단응력이  $0.17\sqrt{f_c}$  N/mm<sup>2</sup>의 한계를 넘지 않게 설계하며 이때 코아에서는 사균열이 없는 것으로 가정된다. 이 조건에서 코아에서는 순수전단상태이고 단면에서 가로전단력은 판의 수평면에서 수평막응력을 유발하지 않으며 따라서 일반 철근량이 증가하지 않는다. 일반 전단응력이  $0.17\sqrt{f_c}$  N/mm<sup>2</sup>을 초과할 때 사균열은 고려되어야 하며 가로전단보강근은 필요하다. 이것은 유사 트러스방법과 경험적 방법을 사용하여 설계된다. 유사 트러스방법은 “트러스” 평형을 유지하기 위해 발생하는 슬래브의 면에 있어서 수평 저항력을 말한다. 이 효과는 인장강도가 충분치 못한 곳의 슬래브면의 일반보강근을 증가시킬 수 있다. 포스트 텐션 텐션의 영향은 수평 철근량을 줄일 수 있는 콘크리트의 전단강도를 증대시키는 점에서 효과적이다.

#### 3) 수평전단력(horizontal shear)

대부분의 힘전달판은 늘 혹은 여러층으로 타설되며 수평시공 조인트를 가진다. 적절한 수평전단강도의 보장은 효과적 조인트 처리(거친표면 혹은 노출골재)와 시공 조인트를 가로지르는 적절한 철근을 사용해서 얻어진다. 이것은 시공 조인트에서 전단 마찰방법을 사용하여 검토하거나 수평전단 저항에 대한 경험적 기준상의 방법으로 검토된다. 힘전달판 설계시 수직과 수평의 전단검토를 해 보면 전단보강 철근을 넣지 않아도 되나 상부빌딩의 중요성을 감안할때 최소 전단보강 철근량(0.15%)을 확보하도록 한다.

#### 4) 가장자리 효과(edge effects)

얇은 슬래브 설계에 있어서 슬래브의 가장자리에서 비틀림 요소는 무시한다. 그러나 강성이 있는 춤이 깊은 슬래브에서는 그렇지 않다. 슬래브의 가장자리에서 비틀림 모멘트는 한쌍의 수직 전단력과 같고 그것은 슬래브의 좁은 가장자리 지역에서는 수직전단 흐름과 결합되어 져야 한다. 이 직접 전단은 보통보에 있어서 비틀림과 비슷하고 좁은 가장자리 지역에서 수직전단흐름의 함력이

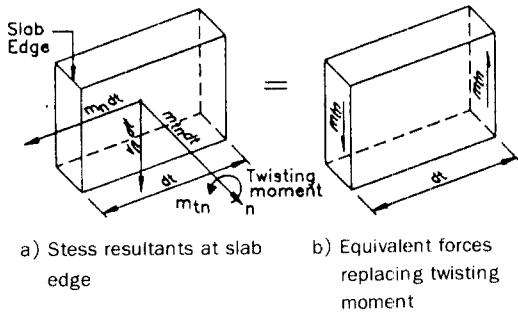


Fig. 2

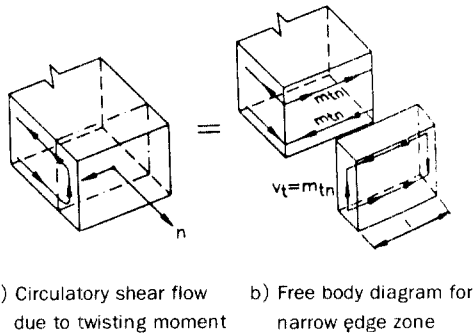


Fig. 3

다. (그림 2, 3 참조)

이것은 상, 하부철근의 정확한 상세를 필요로 하고 가장자리의 전단력에 대해 설계할때 고려되어야 한다.

#### 4. 실질적 사항(practical considerations)

힘전달판은 면밀한 계획이 필요하며 시공시 공기를 고려해야 하는 주요한 구조요소이다. VSL 힘전달판은 경제성을 최대한 살리고 공기과 시공의 복잡성을 최소화시킨 것이다.

• 여러층의 시공조인트 : 여기 힘 전달판은 2-3개의 수평층으로 나눠 시공된다. 첫번째 바닥층은 텐던의 긴장(stressing)으로 다음층을 지지하기 위해 설계된다. 이것은 힘전달판의 가설지지 비용과 시간을 줄여주고 후속 현장타설 콘크리트의 양을 줄여준다. 부분 긴장은(prestress) 콘크

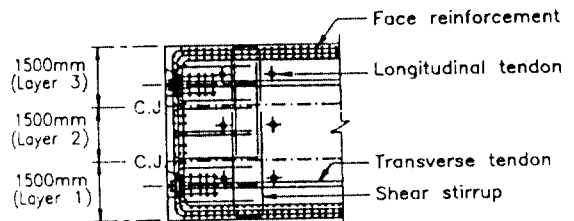
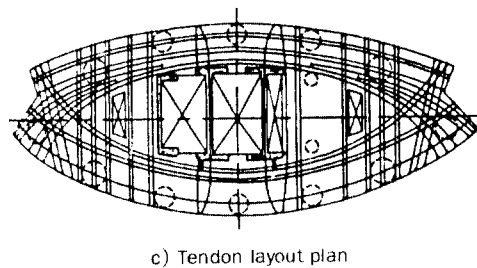
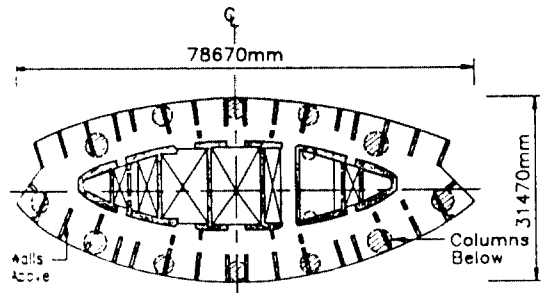
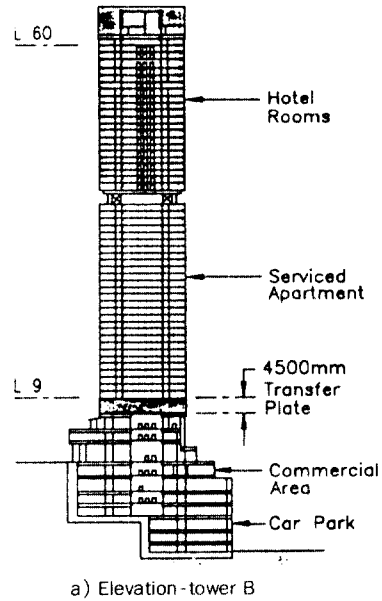


Fig. 4

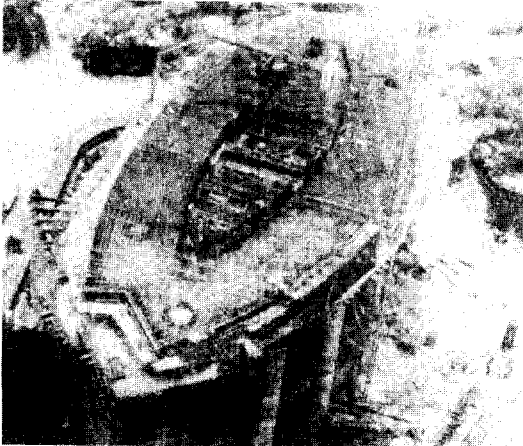


Photo. 2 During construction

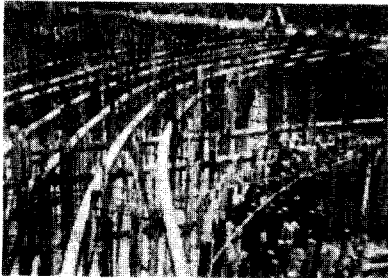


Photo. 3 Tendon and reinforcement details

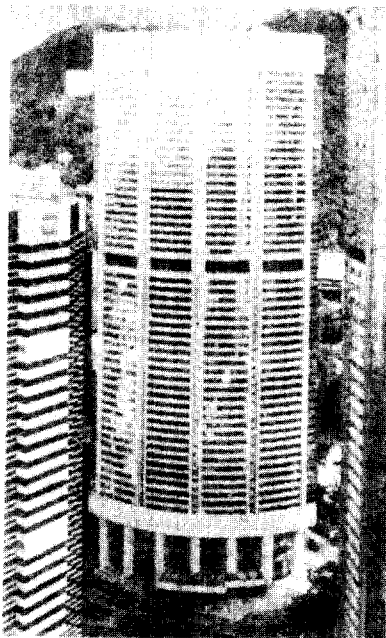
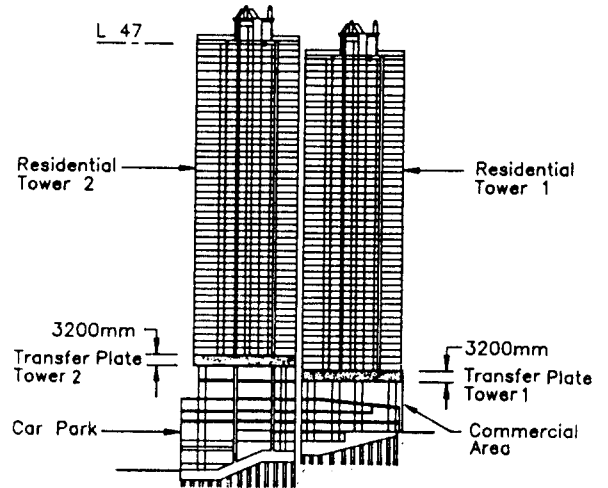


Photo. 4 Complete building clearly showing transfer plate

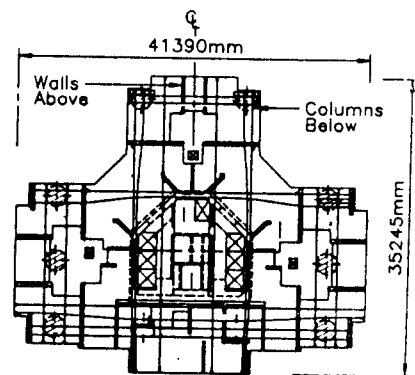
리트에 있어서 초기 건조수축균열을 조절하는 중요한 수단이다.

- 철근상세 : 상하면의 철근은 모든 곳에서 간단하고 표준배열로 된다. 상하면의 철근은 휨을 위한 주철근이 아니고 그 역할은 텐던이 한다. 전단 스테럽은 양쪽에서 중심으로 300-500mm에서 놓여지고 시공 조인트의 층도 고려한다.

- 긴장작업의 최소화 : 복잡한 긴장작업은 2단계로 축소한다. 즉 판의 처음층을 부분긴장하고 힘전달판의 콘크리트가 설계강도에 도달할 때 최종긴장작업을 한다. 단계별 긴장작업은 드리워진



a) Elevation - tower 1 & 2



b) Column, wall and tendon layout plan

Fig. 5

(굴곡진) 텐터를 최소화 함으로서 배제할 수 있다. 이것은 다른 공성체의 간섭을 피할 수 있는 장점이 있다.

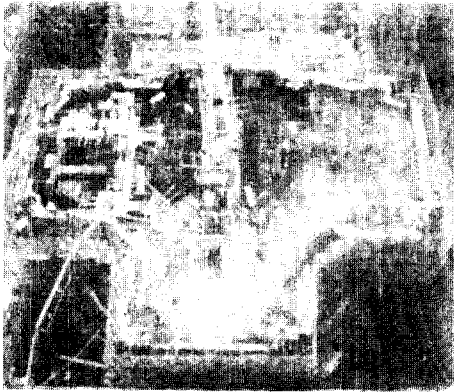


Photo. 5 During construction

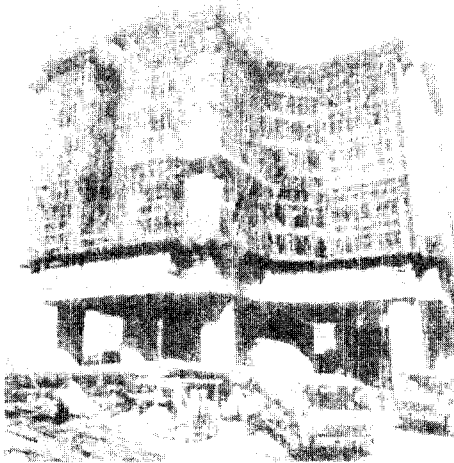


Photo. 6 View showing complete transfer plate(tower 2)

## 5. 결 론

포스트 텐션방식 힘전달판을 완료하고 얻은 경험으로는 이방법이 재래식 방법보다 경제성(물량의 절감)과 시공성의 개선(간단한 상세와 빠른 시공)을 통하여 많은 이점이 있음을 확인했다.

•역사후기=한국내에서 진행중인 주상복합건물에 상기 포스트 텐션방식 힘전달판이 많이 활용되기를 기대한다

## 참 고 문 헌

1. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforcement Concrete(ACI 318-83)", American Concrete Institute, Detroit, 1983, pp.111
2. Marti, P, "Design of Concrete Slabs for Shear" ACI Vol. 87, No. 2, March-April 1990, pp.180, 1990
3. British Standard Institution, BS8110, 1985, Parts 1, 2, 3. "Structural Use of Concrete," London, 1989.
4. "Post-Tentioning in Buildings", VSL Report Series N0. 4.1, VSL International Ltd., Berne, Switzerland. 