# 建築構造設計에 関한 小考 (5)

鄭 日 榮

(5) 各 都市의 콘크리트 建築

(ㄴ) Chicago

Lake point tower는 地下 1層, 地上 70層의 apartment house로서 william schnudt and Association에 의하여, 構造設計가 되였고, 極히 最近에 完成된 것이다. 이 建物의 特徵은 純 鉄筋콘크리트造로서, 그림 4－2 및 사진 6에서와 같은 特異한 平面形을 가지고 있다. 그리고 設計用 風荷重은 그림 4－3와 같이 地上 90m까지는 45kg/m²로서 그 以上으로 올라가면 直線的으로 変化하여 最頂部에서는 61kg/m²이 된다. 이와같은 水平力에 対하여 地上 59層까지는 建物 中心部에 正三角形으로 配置된 耐力壁으로 이루어졌고, 60層에서 70層까지는 無梁板構造로 되여있은 Rahmen 架構로 抵抗하고 있다. 耐力壁의 두께는 아래쪽에서는 75cm, 윗쪽은 30cm, 기둥은 29層까지는 直径 102cm, 30～43層은 91cm, 그 以上層에서는 76cm로 되여있다. 그리고 各層의 마루두께는 20cm 無梁板構造로서 軽量 콘크리트를 使用하고 있다. 콘크리트強度는 軽量 콘크리트 마루에서는 240kg/cm², 其他 構造部分에서, 16層까지는 480kg/cm², 17～34層이 385kg/cm², 35～58層이 320kg/cm², 59層 以上은 225kg/cm²으로 되여있다. 또한 Brunswick Building은 Skidmore에 의하여 設計된 것으로, 높이 150m, 37層, 34×51m의 平面을 가진 事務室 建築으로서 이 建物은 世界最大의 보(transfer girder)가 使用되여 있는것이 特徵이다. 建物의 中央에 耐力壁의 core가 配置되여 있고, 이것과 外周Rahmen와의 사이에 joist 및 waffle system의 slab를 pin 支持狀態로 걸치고, 이것을 断面 7.2m×2.4m인 世界最大의 보로 받고, 2.1m×2.1m인 断面을 가진 10個의 기둥이 이것을 支持하는 構造이다. 使用 콘크리트는 기둥, 보및 core 耐力壁이 210～350kg/cm²의 強度를 가진 普通 콘크리트,

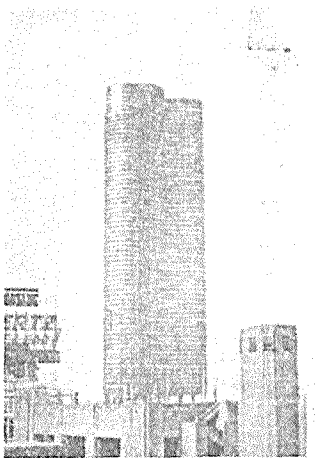

사진 6 Lake point tower

마루는 強度 140～280kg/cm²인 軽量 콘크리트이다. chicago 市内에는 이 以外에도 有名한 Building이 森林를 이루고 있으며, 그 中에서도 市内 最高를 자랑하는 사진 8의 John Hancock Center는 地上 100層, 높이 337m(T-V antena는 이 위에 더 106m가 된다)인 鋼構造로서, 外周壁에 Brace를 使用하고 있다는 것이 特徵이다. 이 建物 右側에서 Marina City, Civic Center, Brunsuwick, first national bank等의 有名한 Buliding등이 있다. 그리고 John Hancock Building 바로 北西側에 1000 Lake - shore Drive Building은 強度 525kg/cm²인 콘크리트를使用하고 있는 鉄筋 콘크리트造로서 有名하다. Lake point tower가 完成될때 까지에는 鉄筋 콘크리트 構造로서 世界最高(높이 194m)의 地位를 確保하고 있었다. 또한 사진 9는 Marina City Building으로서, 東西로 흐르고 있는 chicago 江으로 面한 地下 2層, 地上 65層, 높이 160m인 純 鉄筋 콘크리트造 아파트로서 City 안에 City라는

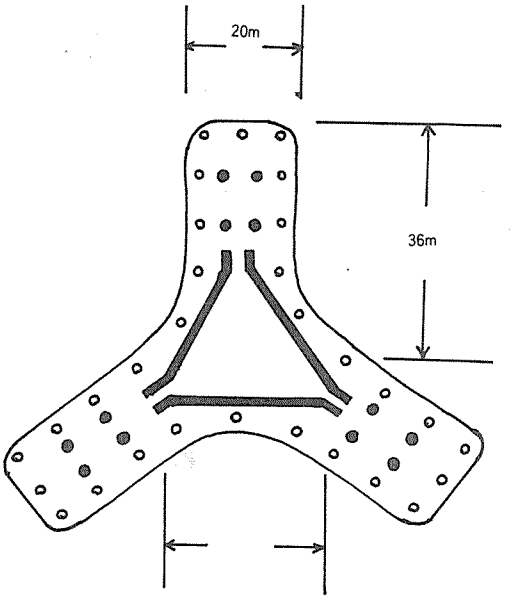


그림 4 - 2

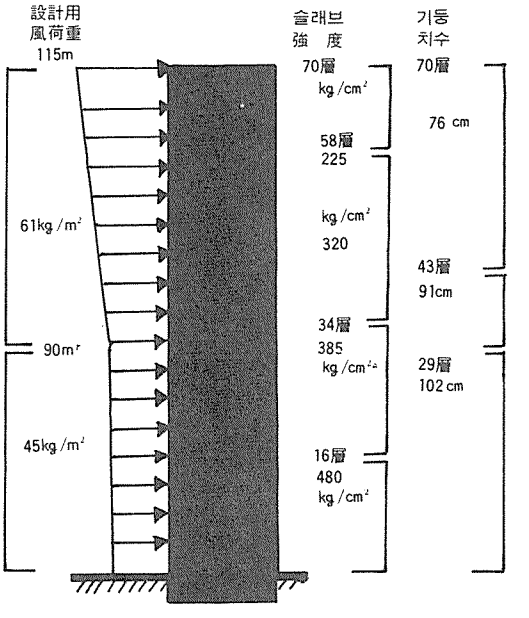


그림 4 - 3

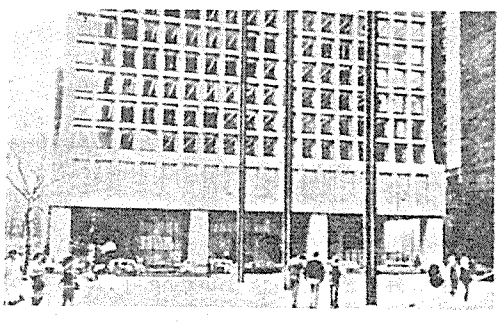

사진 7 Brunswick Building

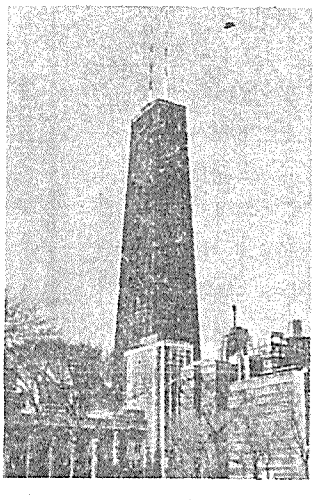

사진 8 John Hancock Center

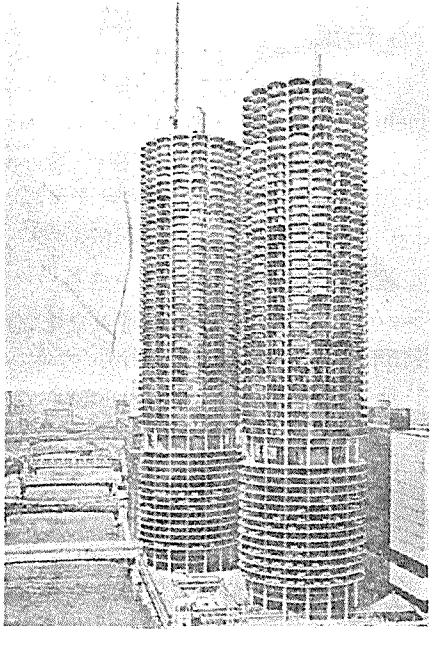

사진 9 Marina city

名称에 맞은 日常生活에 必要한 모든 施設이 거의 完備되여 있다. 最近에 Brunsuwick Building바로 南쪽에 完成된 First national bank of chicago는 均衡잡힌 優美한 姿勢를 자랑하고 있다.

(ㄷ) New york

Newyork는 鉄의 都市이다. manhattan 南端에 그 偉容을 보인 world trade Center는 鉄塊라 할수 있는 것으로서, 여기에 使用된 鉄의 総量은 205,000ton으로서 基本및 実施設計에 7年余를 消費하였고, 施工하는데 7年이 걸렸다. 総工費 4,200余億원 程度라면 名実 共히, 世界一인 建物이다. 그리고 Greyhound new bus turminal Building은 地下 1層, 地上 3層, 60×240m인 平面을 가진 鉄筋콘크리트 構造 및 Prestoressed concrete 構造로서 建物은 Expansion joint에 의하여 같은 4개의 Block으로 나누어져 있으며, 기둥 配置는 bay 方向으로 約 9.6m ×24, Span 方向 15m×4 로 되여있다. 外壁만은 precast板을 使用하고, 60×60cm인 기둥, 14cm 두께의 슬래브는 現場打設 鉄筋 콘크리트構造,보는 Span 方向으로 100cm춤, Bay方向으로 70cm춤으로서 BBRV Cable을 使用한 現場打設 PS 構造이다. 이때 콘크리트의 Slump는 7.5cm, 強度는 350kg/cm² 이다. 材令 3日에서 強度 250 kg/cm²인 것을 確認하고 prestress를 導入하였다. 導入時의 不静定 2次応力은 考慮하고 있지 않았다. 養生은

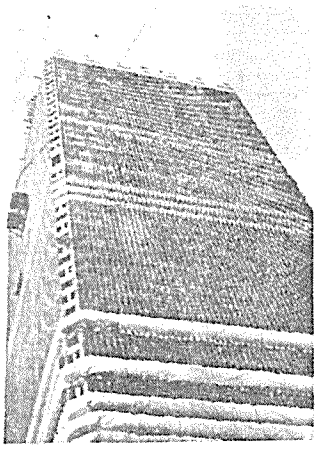

사진10 World Trade Center

冬期 施工을 하였기 때문에 cokes에 의한 加熱養生을 하였다. 옥상 마루는 Chem Comp 시멘트를 使用하였고 工期는 9個月이 걸렸다. 鉄의 都市 newyork이지만 中低層 Building의 大部分은 콘크리트 構造가 많고, 都心인 metropolitan 地区에서도 47層 콘크리트 構造인, 아파트 建物이 있다. 効外에도 이 程度의 아파트는 数없이 볼수 있다.

(2) Washington

市内의 Building은 높이에 制限이 있으며, 131ft (約40 m) 以下 또는 12層 以下라고 規定 되여있다. 따라서 市内의 Building에 関하여서는 地震이 많은 日本과 類似하다. C.F. Murphy and association에서 設計된 FBI Building는 地下 3層 地上 11層의 鉄筋 콘크리트 構造로서 washington에서는 最大의 建物이 된 것이다. 構造方式은 地層部分에서 無梁板 構造으로 되여있고, 땅파기 깊이는 約18 m 程度로서 地下는 駐車場으로 使用된다. 基礎部分은 깊이가 約 9m, 耐力 150ton/個当인 H形 말뚝을 使用하고 있다. slump는 10cm, 設計強度 280kg/cm², 現在에서는 材令28強度가 350kg/cm²인 것을 얻을수 있다. 主筋은 30 mmφ 前后인 것을 쓰고 이음은 겹침 이음으로 되여있다. 또한 거푸집 및 support는 木製로 使用하였다. FBIBuilding 가까이에는 abor builtling의 建設現場이 있었고, pump 打設으로 工事를 進行하고 있었다. 이 現場는 鉄筋콘크리트 構造아 鉄骨構造의 두가지 建物로 나누어져 있었으며, 두가지 모두 8層 建物로 되여 있었다. 콘크리트의 slump는 10~12.5cm로서, 6″pipe를 써서 450m의 水平距離를 運搬할 수 있었다. L'Enfant plaza에서는 L'Enfant plaza west의 駐車場이 있었으며, 그 正面에는 Y型의 平面形을한 HUD (Housing and Urban Development)의 아름다운 building이 있었다. HUD Building 에서는 1600余의 外周 precast panel이 超早強 Cement 마루판을 使用하고 있다.

(ㄷ) Boston

道路는 意外로 좁고 中·低層 建物이 많고, 市街地 全体가 낡고 낮은 벽돌造의 建物로 되여있다. 그러나 이들은 市街地 改造計劃에 따라 漸次로 새로운 Building 으로 바꾸어져 가고있다. Boston에서는 市庁舎와 그 周辺의 現場 및 San Vel Co.의 precast 大工場이 있다. Boston 市庁舎는 PCI Award program의 1969年度 受賞 作品으로서, 約 20,000個의 precast 部材를 使用하여 세운 9層 建物이다. 다만 기둥은 現場打設된 것이다. 内部는 그 外観과 같은 条件으로 建設되였으며, 構造的으로는 precast으로된 Vierendeel truss와 格子 모양의 마루틀로 된 것이다. 이 建物에 使用된 部材는 어떤 点에서는 architectural concrete 部材의 傾向이 強하며, 構造的인 特異性은 그다지 없은 것으로 생각된다. 市庁舎 바로 옆에는 사진 12와 같은 駐車場 Building이다. 여기서는 precast PC 部材, 特히 Single T形 部材를 마루로서 使用하고 있다. 그리고 이들의 接合은 간단히 되여있다. Boston에서는 다른 都市에서와 같이 超高層 以外는 콘크리트造가 많다. 그리고 鉄骨造의 경우에도 外周壁는 콘크리트를 많이 使用하고 있다.

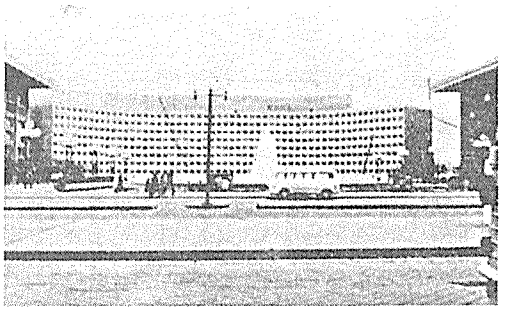

사진11 HUD Building

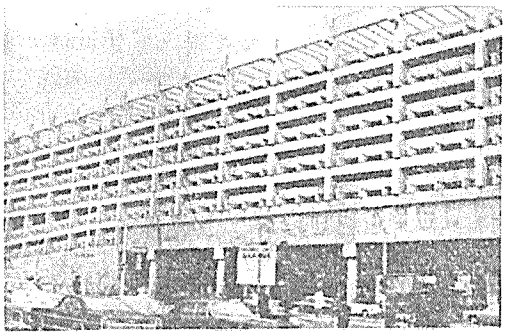

사진12 Boston 市庁舎의 駐車場

(ㅂ) Los angeles

Los angeles 国際空港 駐車場은 T.Y.Lin & association 및 Conrad Association의 設計에 의한것으로서 地上 2層 建物이다. 이 建物은 1,835台의 駐車能力을 가진 駐車 Building이다. 이 建物의 特徴은 그림 4-4와 같은 precast unit를 横方向으로, 一定한 間隙으로 사이를 두어 配置하고, 다음에 이사이에 precast slab를 걸쳐놓고, slab를 PC Cable로서 조인다. Span方向의 보뿐 아니라, 기둥에도 prestress를 導入하였기 때문에, 이로 因하여 unit를 前后, 左右뿐 아니라 윗쪽에도 容易하게

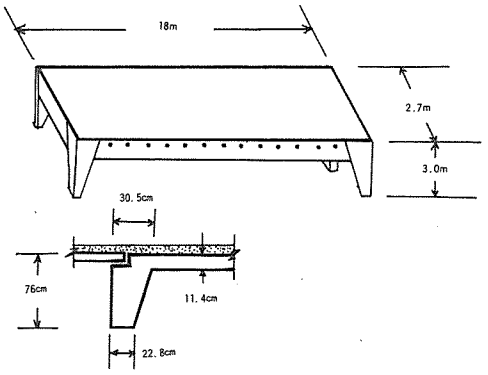


그림 4 - 4 Los angeles 空港 駐車場의 PC板

늘여갈 수 있다. 이것이 이 建物의 特徵으로서, 緊張材에는 non grounting system으로 되여있다. 이 unit는 25 ton 무게로서, 現場에서 約 10分 걸리는 곳에 있는 仮設工場에서 製作되여 運搬된 것이다. 콘크리트는 chem comp 시멘트를 使用한 軽量 콘크리트로서, slump 10cm, 材令 28日 強度 280kg/cm², 導入時의 強度 約 250kg/cm²이다. 이 以外에도 各種 Sports나, 演奏会等 多目的에 利用되는 直径 約 120m인 円形 構造物의 Los angeles Forum에도 大型의 precast 柱材를 使用하고 있다.

(ㅅ) Honolulu

사진 13의 Alamoana Hotel은 地下 1層, 地上 39層建物로서, 地上 높이 120m, 標準層에서는 20×80m의 平面形을 가진 延面積 99,000m²인 Building이다. 構造設計는 Alfred A. Yee & Association Inc.에 의하여 施行되였으며, precast部材가 大量으로, 또한 巧妙하게 利用되였다. girder方向은 기둥과 보로된 Rahmen에 의하여 水平力을 処理하고 있다. girder方向의 架構는 column tree라 불리우는 ＃型의 precast 鉄筋콘크리트 部材를 unit으로 Rahmen를 構成하여 Span 方向에는 이 girder方向 Rahmen에 Precast 의 PC板을 걸치고 있다. 이 ＃型 unit의 기둥 및 보의 joint 方法에는 特徵이 있다. 即 기둥은 column tree 윗부분에 묻혀 두었던 사진 14의 鋳鉄製의 sleeve에 超高強度 無収縮 Grout를 注入하여 기둥의 主筋間을 joint하고 있다. 이때 콘크리트 틈사이에, sleeve에서 넘쳐 흐른 Grout가 fill up되게 되여 있다. 사진 15는 column tree의 接合하는 作業状況를 나타내고 있다. 또한 보 相互間의 joint는 主筋의 겹쳐 이은 部分에 Spiral筋을 配置하여, 겹친 길이를 짧게하고 있다. 重量 10ton인 이 ＃型 unit는 軽量骨材 콘크리트를 使用하였고 그 強度는 350kg/cm²이다. 主筋는 $\phi$ 35~46mm $\delta_y$ = 2,800~4,200kg/cm²인 것을 使用하였다. 基礎는 許容耐力 150 t/個当인 prestressed concrete pile를 박었으며, 이 建物의 工期는 21箇月 걸렸다. Hawaii에서는 建物의 높이가 制限되여 있으며 現在 120m까지로 되여있으며 鉄骨造는 적다. 콘크리트造 建物도 그 部材의 80%는 precast 部材로서 oahu島에만 5個所의 precast 工場이 있다. 그리고 Honolulu의 Building 建設量은 美国 諸都市 가운데서 第2位를 나타내고 있다.

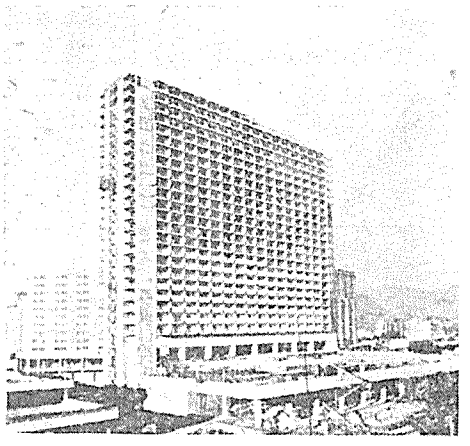

사진13 Alamoana Hotel

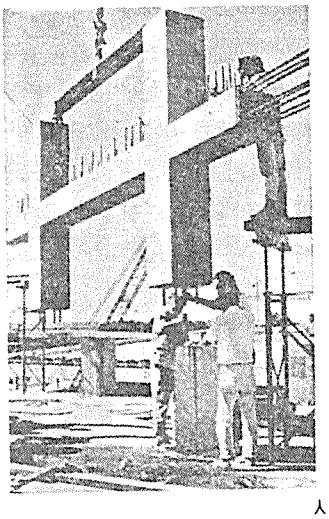

사진14 Column tree의 joint用 Sleeve

사진15 Column tree의 joint作業

(o) Toronto

市内의 超高層 Building은 57層의 Toronto dominion bank tower가 最高로서, 이와 隣接하고있은 46層의 Royal trust Tower가 있으나, 이들은 모두 鉄骨造이다.

이들 建物 바로 東쪽에 60層인 Canadian Imperial bank of Commerse이 있다. Toronto 市를 象徵하고있는 故 Viljo Revell의 名作으로 알려져있는 Toronto市庁舎는 이들超高層 建物의 바로 北쪽에 그 優美한 모습을 나타내고 있다. 사진16의 toronto市庁舎는 国際 현상 入選作으로서, PCI awards program의 1967年度 受賞作品이다. 이 建物은 東西 両 office tower와 이들 사이에 끼여있은 Shell構造의 議場部分으로 構成되여있고 平面및 大略的인 構造는 그림 4 ~ 5과 같다. 이들 tower는 東쪽의 높이 99m, 27層 西쪽의 높이가 79m, 20層으로 되여있다. 그리고 議場을 덮고있는 Shell部分은 直径 45m, 두께 12.5cm, 그리고 Freyssinet Cable를 使用한 PC link보를 쓰

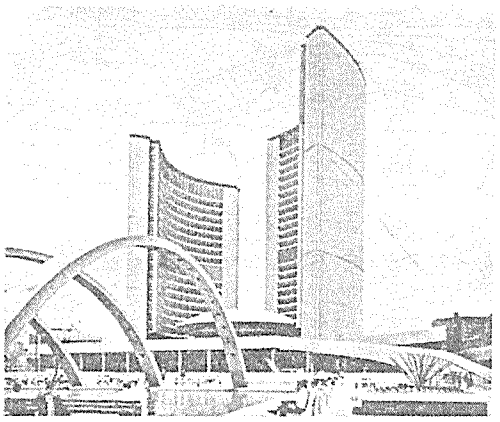

사진16 Toronto市庁舍

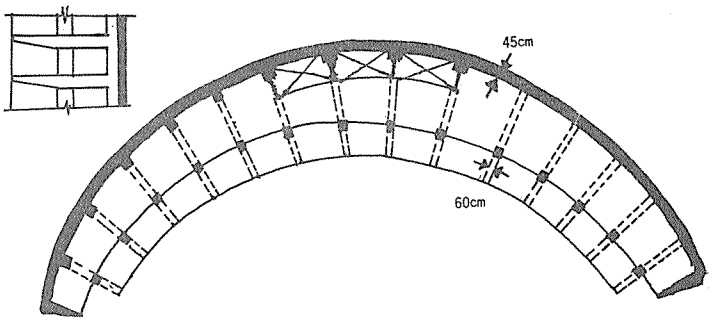


그림 4 - 5 Toronto市庁舍 東쪽tower平面

고있다. 構造設計는 john B. parkin & association에 의하여 施行되였다. 이 建物의 tower는 構造計劃上, 外周壁를 鉛直 cglindrical shell로 하였고, 15cm 두께의 Slab를 이 補剛材로 생각하고, 다시 放射모양으로 配置된 기둥·보의 Rahmen도 이 Shell를 補強하는 鉛直기둥 또는 Buttress로서 다루어져 있다. 또한 風荷重에는 두個의 tower에 의하여 일어나는 tunnel 効果도 考慮되여있다. 壁 施工은 precast concrete panel이 거푸집으로서 利用되여 効果를 나타내고있다. 施工 速度는 標準層에서 3 weeks/1 Floor程度이였다. Toronto에서는 이 以外에도 콘크리트를 多量 使用하여 建設한 Toronto University의 Scaborough college 또는 Raymond 設計의 ontario Science Center 및 工場으로서 precon Ltd. 等이 있다. 이 地方에서는 現場打設 콘크리트의 Slump는 10cm程度, 強度는 250kg/cm² 前后로서, 이 養生에는 gas heater를 使用하여, 2～3日間에 脫型하고 있다. precast 部材에서는 Slump 5cm程度, 強度는 350kg/cm² 인것이 普通이다. PC部材의 使用例로서 Span 36m, 보의 춤 90cm인것은 앞에서 言及된 Science Center에서 볼 수 있었으나, 一般的으로는 PC部材와 RC部材를 서로 섞어서 利用하는 경우가 많다. 超高層 以外의 建物에서는 콘크리트造가 圧倒的으로 많고, 効外에서는 사진 17와 같이 20層程度의 아름다운 Apartment house가 建設되였고, precast部材以外에는 벽돌과 같은 Block도 利用되고있다. 또한 Toronto市와 그 近効에서도 45層 Apartment house가 鉄筋콘크리트造로서 建立되고있다.

(ㅈ) precast 工場

San Francisco의 Castcon Inc.에서는 建築用은 不過 5%이고, 土木用 部材가 圧倒的으로 많다. 4角및 8角의 prestressed concrete pile, I및 Box girder等 製品으로서 屋外에서 製作되고 있다. 生産能力은 45m 길이의 말뚝의 모든 길이는 1,500m/day, girder의 경우에는 30 0m/day이고, 大型 콘크리트 거푸집을 使用하고 있으며 養生은 Steam Curing으로 되여있다.California地区에서는

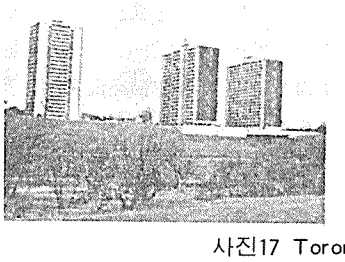

사진17 Toronto市外의 高層 Apartment群

部材가 規格化되여있지 않으나, 이 地方의 12会社 工場이 PC Manufactures Association of california를 組織하고 있으며 部材의 joint 方法等을 Manual로 정리되여 있다. Toronto의 precon Ltd. RC用, PC用의 2가지 工場을 가지고 있으며 製品으로는 Curtain wall部材 및 住宅用 panel 種類가 많다. 生産能力은 270～450m²/day로서 室内製作이다. 콘크리트는 Slump 7cm程度, 強度는 280～350kg/cm² 인것이 많이 使用되고있다. 養生은 工場建物全体를 適当한 温湿度로 하여 脫型后 2～3日 室内에 stock하는 以外에는 特別한 処置를 하지않는다. 製品精度는 ±1.5～3.0mm, 거푸집은 metal, 나무, 콘크리트, Plastic等을 使用하고있다. Boston의 San-vel Concrete Corp는 坐地, 建物이 모두 大規模의 工場으로서, 建物은 24×210m 2棟, 24×180m 1棟이 並列되여있다. 製品은 建築用이 많아서 prefabrication 住宅用 各種部材, Single T보, dowble T slab, Spancrete, Curtain well部材, 말뚝기둥等 여러가지 種類의 것이 生産되고 있다. 콘크리트의 Slump는 6～9cm, 強度는 材令 24時間에 350kg/cm², 材令 1週間後에 420kg/cm² 이다. 다만 Span crete는 Slumb 0, 強度 315～420kg/cm² 인것이 使用되고있다. 養生은 Steam를 使用하고 있으나, 最近에는 보다 経済的인 電熱를 쓰고 있다. 部材의 運搬能力은 幅 2,4m 높이 3.3m, 길이 39m, 무게 72ton까지이다. Los angeles 空港駐車場用 部材의 仮設工場에서는 이 駐車場以外의 製品도 同時에 製作하고있으며 10台의 거푸집을 1日 1廻転의 比率로서 가동하고 있다. 이곳에서는 metal Form을 使用하고 있으며 4個의 기둥은 地表面下에서 施工되여있다. 養生은 Sheet를 덮고 gas heater를 使用하고있

다. Los angeles空港 駐車場에 使用하였던 unit를 Modular parking Structure B라고 名称하고 있으며 이 以外 type도 需要에 따라서 注文를 받어 製作하고 있다.

(ㅊ) 其他 利用

truss는 原則的으로 軸力만을 받기 때문에 部材断面의 応力分布가 uniform하기 때문에 許容応力度는 全断面에 対하여 完全히 利用할수있다. 이에 対하여 보部材에서는 許容応力度를 充分하게 利用할수 있은것은 보의 表面部分이므로 断面 利用面에서는 truss構造가 有利하다. 이 때문에 보에 比하면 重量이 거의 半減되여 large Span일 때는 truss構造로 하면 좋다. 또한 presstressed Concrete 曲面板에의 応用도 일찍부터 考案되여 왔다. 仮令 円筒tank의 周囲에 prestressing bar를 감어서 쪼이고, 얇은 壁두께 로서 큰 液体圧에 견디도록 하였다. 特히 液体燃料等과 같이 低温의 液体를 넣어 貯蔵하는 경우에는 鋼製tank를 使用하지않고 専的으로 PC 円筒tank를 使用하는 現実이다. 特殊한 応用例로서 原子炉Caisson이 있다. 原子炉는 高圧에 견디고 放射線 차단作用을 万足하기 위하여 円筒形 Caisson의 縦方向및 link 方向에 prestress를 導入하여 高圧에 견디고, 放射線 遮断에도 同時에 使用하게 되였다. 그리고 曲面板 지붕에 prestress를 導入하게 되였다. 1940年 Karachi 飛行場의 格納庫에 Freyssinet 方式에 의한 円筒形 Shell지붕이 建設된 以后, 欧州 各国에서도 円筒形Shell에 Prestress를 導入하는것이 常識的 工法으로서 넓히 使用되였고, Shell이 가지고 있은 特性인 大空間를 利用할수있다는 点과 軽量性 工法으로서 発展되여왔다. 円筒形 Shell에 prestress를 導入하는 目的으로는 Shell의 끝 길이 부분에 일어나는 引張応力度에 対하여서는 미리 prestress를 導入하므로서 콘크리트를 有効하게 作用시킨다. 仮令 그림 4 - 6

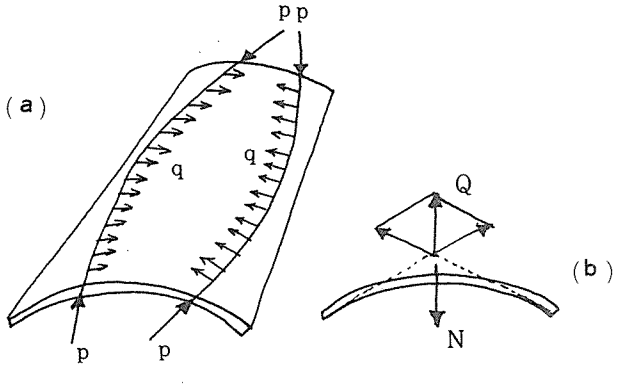


그림 4 - 6 円筒形 Shell 板内에 prestvess를 導入하는 方法

(a)와 같이 板内에 prestressing bar를 配置하면 板는 軸方向의 圧縮力 p와 曲線配置한 prestressing bar에 따라서 分布応力度 q를 받는다. 軸方向 圧縮力 p는 板의 길이方向에 圧縮応力을 주며, 分布応力度 q는 그림 4 - 6 (b)에서와 같이 板의 円孤方向에 接線応力度로서 作用함으로서 이들의 合力 Q는 鉛直上方으로 向하여, 鉛直荷重

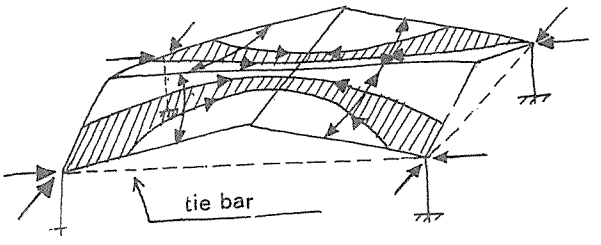


그림 4 - 7 PS HP Shell 의 prestress 導入法

N와 서로 相殺되는 方向으로 作用하게된다. 即 合力Q는 鉛直荷重N에 의하여 휨 모멘트를 없앤다. 2次曲面에 prestress를 導入하여 Prestressed concrete Shell를 設計하는 方法은 일찍부터 考案되였다. 特히 雙曲放物面 Shell는 座屈에 対하여 抵抗이 強하고, 施工하는데 있어서도 直線形 거푸집을 使用할수있는 点으로 미루어보아 많은 設計者들이 研究하여 그림 4 - 7과 같이 4個의 板을 1組로 組立하여 만드는 경우가 많다. 지붕荷重이 作用할때의 힘의 흐름은 그림에서와 같이 長辺를 span으로 하는 2個의 arch가 그들의 頂点에서 서로 밀어서 平衡을 이루고 있다. 따라서 Shell 周辺에는 arch의 水平力을 받은 tie bar가 必要하다. 이 tie bar를 緊張시키는것으로서 지붕荷重이 作用時에 逆方向의 휨 応力度가 板및 端部보에 일어나서 지붕荷重에 의한 휨 応力度를 지우게 된다. prestressed Concrete Shell는 아직도 研究할 問題들이 많이 남어있으며 理論解도 完全한것이 없으며, 아직도 正確한것은 発表되지않은 現実이다. 따라서 prestressed Concrete Shell는 現段階에서는 近似理論解로서 設計되고있으며 実験에 의하여 確認하여 施工하고있은 現状이다. 이와같은 prestressed Concrete를 自由自在로 넓히 利用하기 위해서는 아직도 남아있는 問題들을 解決할 課題가 있다.

(Ⅱ) 結 論

우리나라는 真情한 意味에서의 構造計算는 建築許可를 얻는데 必要한 具備書類와 같은 印象을 주고있는 現実이다. 事実 같은 規模, 같은用途의建物이라 하여도 建物 周辺의 気象案件이나, 環境条件및土質에 따라 設計条件이 相当히 変化하는데도不拘하고, 大部分의 경우에는 公式的인 計算書을 作成하는 경우가 많은것 같다. 한例로서 風荷重, 地耐力은 大部分 판에 박은것 같이, 仮定하여 計算書을 作成하는것은 경우에 따라서는 安全性을 充分히 考慮할때도 있겠으나, 設計의 経済性은 全혀 無視하고 있으며, 때로는 設計前에 充分한 基礎調査없이 仮定하였기 때문에, 予想치 않었던 部分的인 軟弱 地盤때문에 不同沈下의 被害를 입거나, 仮令 周期性 태풍을 考慮치 않은 原因으로 큰 被害를 입은 경우도 있기때문에 構造計劃에 의한 構造設計가 되여야 할것으로 믿읍니다. 끝

서울工大 教授