# 부력에 의한 지하주차장 부양(浮揚)

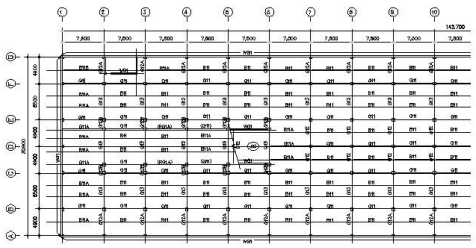
김형균
(주)세진구조이앤씨

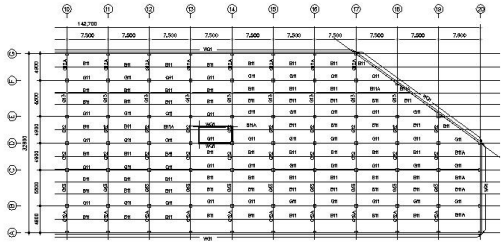
## 사례1.

### 1. 건물 개요.

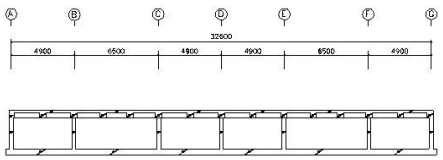
본 구조물은 2003년 8월 18~19일 사이에 집중적인 폭우로 인하여 지하구조물이 부력에 의해 손상을 입은 경우이다. 본 구조물은 조사 당시 공사중인 지하 1개층의 건물로서 골조 공사만 완료된 시점에서 부력이 작용하였으며, 구조도면에 대한 검토 및 현장조사를 통한 실측과 재료시험을 거쳐 부재 내력검토 및 원인 분석을 실시하여 보강안을 작성하였다. 또한, 준공후 부력에 대한 안정성 및 향후 발생할 수 있는 집중호우에 대한 대비책을 제시하였다.

### 2. 건물 현황





〈평면도〉




〈주단면도〉

### 3. 손상 현황

수압에 의하여 구조물에 피해가 발생한 전형적인 사례로 부력이 작용하여 1차손상을 유발하고, 자연배수에 의해 작용했던 부력이 감소하면서 2차로 부등침하에 의해 주요 구조부재인 기둥과 보에 균열과 변형을 유발시켰다.

기둥상단 파손

기둥상단 균열

기둥하단 균열

기둥하단 균열

슬래브 및 보 균열

보 상부 파손

## 4. 손상 원인분석

### 4.1 지하수위 및 부력산정

#### 4.1.1 지하수위 산정

| 공번 | 지질조사시 | | 준공후 | ④성토높이 | 최종 지하수위 |
|---|---|---|---|---|---|
| | ①지반표고 | ②지하수위 | ③계획고 | ③-① | ②+④ |
| BH-1 | 75.9 | G.L-0.0 | 80.1 | 4.2 | P.L-4.2 |
| BH-2 | 75.35 | G.L-0.0 | 80.2 | 4.85 | P.L-4.85 |
| BH-3 | 75.50 | G.L-0.0 | 80.2 | 4.7 | P.L-4.7 |
| BH-4 | 77.60 | G.L-0.0 | 80.3 | 2.7 | P.L-2.7 |
| BH-7 | 79.15 | G.L-2.2 | 80.4 | 1.25 | P.L-3.45 |
| BH-13 | 78.75 | G.L-2.7 | 80.4 | 1.65 | P.L-4.35 |

#### 4.1.2 골조 완료시(마감제외) 작용부력

(S.L : 지붕슬래브 상부레벨 : P.L-0.8m)

| | 슬래브 ($tf/m^2$) | 보 ($tf/m^2$) | 기둥 ($tf/m^2$) | 외벽 ($tf/m^2$) | 기초 ($tf/m^2$) | **총자중 ($tf/m^2$)** | 지하수위 (S.L-m) | 기초저면 (m) | **부력 ($tf/m^2$)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B/7 | 0.72 | 0.54 | 0.08 | - | 1.44 | **2.78** | 1.9 | 4.2 | **2.3** |
| A/7 | 0.72 | 0.32 | 0.08 | 0.48 | 1.44 | **3.04** | 1.9 | 4.2 | **2.3** |
| D/7 | 0.72 | 0.52 | 0.08 | - | 1.44 | **2.76** | 1.9 | 4.2 | **2.3** |

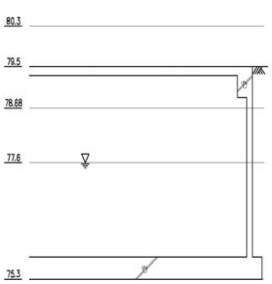
#### 4.1.3 공사완료후(마감포함) 작용부력

| | 슬래브 ($tf/m^2$) | 보 ($tf/m^2$) | 기둥 ($tf/m^2$) | 외벽 ($tf/m^2$) | 기초 ($tf/m^2$) | **총자중 ($tf/m^2$)** | 지하수위 (S.L-m) | 기초저면 (m) | **부력 ($tf/m^2$)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B/7 | 0.72 | 0.54 | 0.08 | - | 1.44 | **2.78** | 1.9 | 4.2 | **2.3** |
| A/7 | 0.72 | 0.32 | 0.08 | 0.48 | 1.44 | **3.04** | 1.9 | 4.2 | **2.3** |
| D/7 | 0.72 | 0.52 | 0.08 | - | 1.44 | **2.76** | 1.9 | 4.2 | **2.3** |

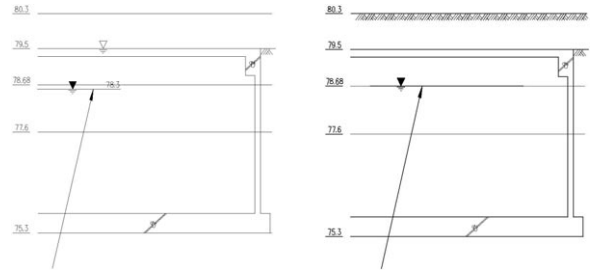
### 4.2 손상원인

1. 지질조사 당시의 원 지반고는 77.6m이며, 이때의 지하수위는 G.L ±0.0m이었다.
2. 구조물의 지붕 슬래브 상부 레벨은 79.5m이며, 기초저면의 레벨은 75.3m이다.
3. 골조 완료시, 구조물의 자중은 2.76tf/m2 이며, 자중으로 지지할 수 있는 지하수위의 높이는 기초저면에서 2.76/1.2=2.3m로 안전율을 고려하였다.
4. 따라서, 지하수위가 지질조사 당시의 원 지반고와 같이 77.6m 일 경우에 이는 기초 저면에서 77.6 - 75.3 = 2.3m이므로 수압에 대해서 안전하다.
5. 그러나, 지하주차장 구조물의 외부가 되 메워져 있었으며 아스콘 마감 등과 같이 우수의 유입을 차단할 수 있는 마감이 전무한 상태이므로 집중 호우시에 지하수위가 지하주차장 슬래브 상부 레벨인 79.5m까지 상승하여 수압은 79.5 - 75.3 = 4.2tf/m2이 되므로 수압이 구조물의 자중을 초과하여 부력이 발생하며 변형과 함께 1차 균열이 발생하였다.
6. 구조물이 부양(浮揚)한 이후 자연배수에 의해 지하수위는 감소하였으나, 기초 저면의 토사유입으로 인해 부등침하 형태의 응력이 구조물에 작용하고 이로 인하여 잔류변형과 함께 2차균열이 발생하였다.

〈평상시〉



〈집중호우시〉 〈준공후〉

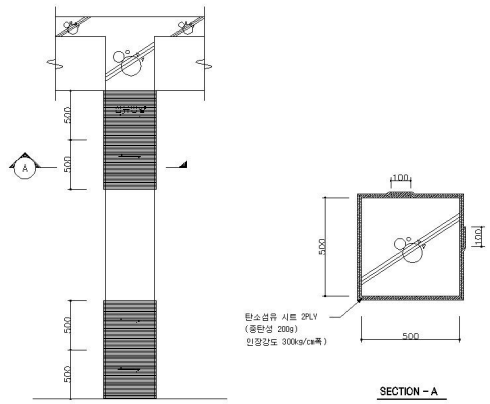



집중호우시 견딜 수 있는 지하수위 준공후 견딜 수 있는 지하수위

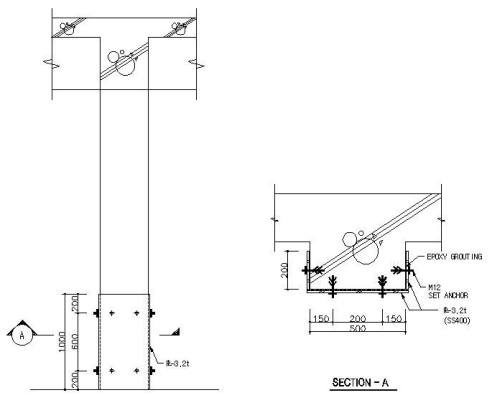
## 5. 보강안

현장 조사결과, 외곽부 기둥 및 외곽부에서 첫번째 경간 내부에 위치한 기둥 및 보의 일부에서 균열이 발생한 것으로 나타났으나, 구조검토결과 부재 내력에는 이상이 없는 것으로 판정되었다. 그러나, 기둥 상하부의 피복탈락 및 띠근의 변형 등이 향후 기둥의 내력을 저하시키는 요인이 될 뿐만 아니라 준공후 사용 연수가 증가하면 중성화 및 처짐, 균열의 진전 등 사용성을 저해하는 요인이 될 것으로 판단하여 다음과 같이 보강하였다.

〈내부기둥에 대한 보강〉

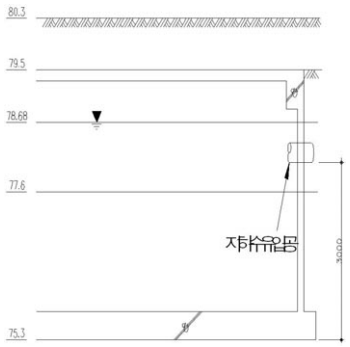



〈외부기둥에 대한 보강〉




## 6. 향후 조치 및 유지관리

1. 구조물이 완공된 후의 자중은 4.06tf/$m^2$ 이며, 자중으로 지지할 수 있는 수위의 높이는 기초 저면에서 4.06/1.2=3.38m로 안전율을 고려하였다.
2. 완공후 건물이 부력에 안전할 수 있는 지하수위는 75.3(기초저면) + 3.38 = 78.68m가 된다.
3. 완공 후의 레벨은 80.3m이므로 지하수위가 78.68m이상 상승할 경우에는 부력에 의해 구조물이 부양하게 된다.
4. 다만, 구조물이 완공된 후에는 아스콘 등이 우수의 유입을 차단할 수 있으며 또한, 현장에 설치된 배수정을 영구 배수 시스템으로 활용하면 지하수위가 위험 수위인 78.86m를 초과하지는 않을 것으로 판단하였다.
5. 그러나, 예기치 않은 수위상승에 대비하기 위해 외벽에 지하수 유입공을 설치하여 지하수가 일정높이 이상으로 상승하면 유입공을 통해 주차장 내부로 유도하여 배수시킴으로서 지하수의 상승을 방지하도록 하였다.




유입공 위치는 A/4~14열 각 기둥 경간에 1개씩 설치

## 7. 결 론

당 사례와 같은 부실은 처음부터 예측된 것이나 다름이 없다. 지질조사 당시의 지하수위를 근거로 하여 부력에 대한 구조검토를 실시하였으나, 이는 현장의 여건과 전혀 다른 결과를 초래하였다. 즉, 공사전 지반고 및 계획고에 대한 비교·검토를 통하여 지하수위의 정확한 판단이 이루어지지 않았으며, 투수성 등 토질의 특성과 함께 지표수의 유입에 의한 수위 상승이 고려되지 않았다. 특히, 공사중에 발생할 수 있는 지하수위 상승을 간과하여 이와 같은 결과가 나타난 것이다. 이는 구조설계시 구조기술자가 현장을 방문하여 지형 및 지질 등 대지조건과 주변여건 등을 파악하여 설계에 반영하는 것이 적절한 것임에도 불구하고 건축도면 및 지질조사서 등의 서류만을 참고로 하여 설계를 실시하기 때문에 발생하는 것으로 구조설계비의 현실화 등이 또한 언급되는 사항이다.