

지하구조물 부력방지를 위한 연직배수시스템의 적용성 연구

A Study on the Application of Vertical Drainage System
for Resisting Uplift of Sub-structure.

천 병 식* 여 유 현**
Chun, Byung-Sik Yeoh, Yoo-Hyeon

Abstract

A sub-structure is uplift if the floating greater than dead load of a structure. When such occasion arise, a structure sustain damage. In general, the measures for floating prevention of structures are a permanent anchor method and a drainage method. The primary construction cost of a permanent anchor method is heavy. And a drainage method is needed maintenance management long term. At this point, the measures for floating prevention of a new notion being requires the other days. Therefore, at this study a simple construction and a economic vertical drainage system was developed. The findings be used in the in-situ and gave careful consideration to an application. The result of examination, this system considering a characteristic of coefficient of permeability for the ground controls occurrence of floating despite the water level rise of the ground, which a period of construction get shorter compared with other methods, which understood that measures satisfactory in the financial aspect. Especially, A structure occurring effects of floating under the course of construction made use of it. As the result of, the effect of it was confirmed by construction.

keywords : sub-structure, uplift, floating prevention, drainage method, vertical drainage

1. 서 론

일반적으로 부력이 사하중(자중)보다 클 경우 건축물은 부상하게 되므로 수압변화에 따라 구조물에 큰 손상이 발생하게 된다.

이와 같은 부력에 의한 영향을 최소화하기 위하여 일반적으로 영구앵커에 의해 구조물을 하부기반암에 정착시키거나, 지속적으로 배수를 실시하여 바닥면에 발생하는 부력을 억제시키는 배수공법이 적용되고 있다(NAVFAC, 1982).

* 경희원, 한양대학교 토목공학과 교수

** 한국해양대학교 토목환경공학과 겸임교수

• 본 논문에 대한 토의들 2001년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2001년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

그러나 영구앵커의 경우 초기공사비가 과다하고, 배수공법의 경우 초기공사비가 더불어 장기적인 유지관리비용이 필요한 단점이 있다.

본 연구에서는 시공이 간단하고 경제적인 공법인 지하구조물 부력방지책을 위한 연직배수시스템에 대한 현장 적용성을 파악하고자 하였다. 시공 대상부지는 대규모 지하주차장이 이미 시공된 지역으로 계절적인 요인에 의해 집중강우시 부력문제가 발생하였으며 이에 대한 대책수립이 필요하였다. 그러나 기존의 부력방지 대책으로는 적용성의 한계가 있었다. 따라서 구조물 기초시반의 투수특성을 고려한 연직배수시스템을 적용하고자 하였으며, 영구적인 유지관리가 가능하도록 필터 및 배수설비를 갖추어 집중강우 및 홍수시 지하수위가 GL±0m까지 상승되어도 기초바닥면에 작용하는 부력이 구조물 사하중보다 크지 않도록 하는 시스템을 현장에 적용하였으며, 실제 시공을 통하여 그 적용성을 고찰하고자 하였다.

2. 현장개요

본 연구 부지는 Fig. 1에서와 같이 약 80m정도 떨어진 곳에 하천이 흐르고 있으며, 지하주차장을 건설하기 위한 부지폭착은 약 9.4m로서 하천바닥보다 낮으며, 자갈질충적층으로 투수계수가 크므로 침투유량이 매우 많다. 부력에 비해 구조물의 사하중(6.15t/m²)이 작으므로 집중강우에 의한 지하수위 상승시 부력문제가 발생하였으므로 향후 부력방지를 위한 대책이 필요하다. 지반조사결과 지층분포상태는 매립층(0~3.5m), 충적층(모래질 지갈층, 2.7~8.0m), 풍화암

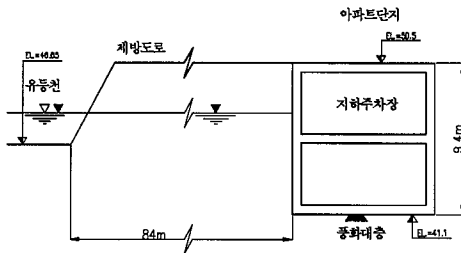


Fig. 1 현장개요도

순으로 분포하며, 지하주차장 구조물 기초는 풍화암층에 위치하고 있다. 그리고 지하수위는 GL(-)6.0m에 위치하고 있으며 풍화대층의 평균투수계수는 7.6×10^{-6} m/sec이다.

3. 연직배수시스템 (Vertical Drainage System)

본 연직배수시스템에 의한 지하건축물 부력방지 대책은 일상적인 지하수위 상태보다 우기시의 수위 급상승에 따른 영향을 최소화하기 위한 공법이기 때문에 지하수위 변화조건을 충분히 고려한 개선방안이 필요하다. 따라서 지하수위 변화조건을 충분히 고려한 구조물내부 바닥면에 간단한 수위 또는 수압조절용 설비를 설치하여 부력발생이 예상되는 임계지하수위(수압) 이하가 되도록 하여 근본적으로 부력을 억제시키는 원리를 적용하여 고안하였다. 연직배수시스템의 원리 및 설비에 대한 공학적인 검토사항은 다음과 같다.

3.1 연직배수시스템의 원리

지하구조물의 부력발생의 영향요소는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 건축구조물의 자중(사하중), 일반적인 평상시의 지하수위(GWL), 부력발생 인계상태의 지하수위(CGWL), 최악상태의 수위상승고를 고려한 수위(WHWL), 구조물하부지반의 투수계수(k)의 영향요소로부터 평가하였다.

각각의 영향요소는 다음과 같이 설명할 수 있다.

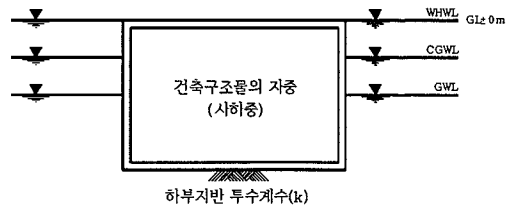


Fig. 2 연직배수시스템 영향요소

- ① 구조물의 자중(Structural Weight, SW): 구조물의 단위 시하중의 평가(t/m²)
- ② 구조물 하부지반의 투수계수(k): 지반조사로부터 얻은 투수계수
- ③ 일반적인 평상시의 지하수위(Ground Water Level): 지반조사로부터 얻은 지하수위
- ④ 부력발생 임계상태의 지하수위(Critical Ground Water Level): 구조물의 자중과 구조물 바닥면에서의 작용수압이 동일한 상태의 지하수위
- ⑤ 최악의 상태 수위상승을 고려한 수위(Worst High Water Level): 우기 및 재해로부터 예상되는 최악의 수위조건으로 가정

상기의 영향요소를 고려하여 하부지반 투수계수와 작용부력의 영향에 저항할 수 있는 지하수위를 평가하여 검토된 연직배수시스템은 Fig. 3과 같은 원리에 의하여 부력방지 기능을 발휘하게 된다. 즉, 연직배수시스템에 의해 갑작스런 수위상승시에도 그림에서와 같이 침투수압에 의해 작용부력이 감소하게 되므로서 작용부력을 사하중보다 작게 할 수 있게 된다(천 등, 2000.10).

3.2 배수영향권의 검토

영향권 반경(R)의 값의 계산에는 Sichert에 의해 제안된 경험식을 적용하였다.

$$R = C(H - h_w)\sqrt{k}$$

여기서, 영향권반경(R)의 단위는 m, k는 투수계수

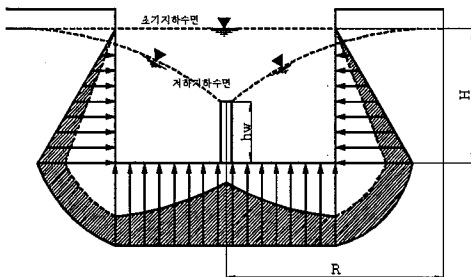


Fig. 3 부력발생시의 수위(수압분포)

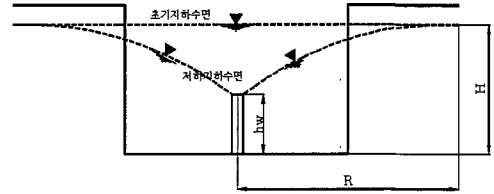


Fig. 4 수두손실 차 (H-hw)

로 단위는(m/sec), C는 무차원이며, H-hw는 요구되는 수두손실 차로써 Fig. 4에 나타내었다. 한편, Sichert에 의하면 종력우물에 대하여 C = 3,000을 제안하고 있다(한국지반공학회, 1986)(임병조 등, 1995).

3.3 연직배수시스템의 배수기구

연직배수시스템의 현장적용시 다음과 같은 제반사항을 검토하였다. 시스템의 적용시 평상시에는 배수가 발생하지 않도록 하고 수위상승시에 배수되도록 하기 위하여 현재의 지하수위 또는 그 상부로 우선하여 Fig. 5와 같이 연직배수관의 높이를 결정한다. 이를 위하여 각 수위별 로 침투해석을 실시하여 발생수량을 검토한 후 구조물의 형태에 따라 연직배수관의 수평간격의 상관관계를 고려하여 결정하였다(여 등, 2000(a)).

Fig. 5, Fig. 6로부터 파악되는 주요 결정사항은 다음과 같다.

- ① 연직배수관 높이(H)의 결정 : 일반적인 지하수위(GWL)까지 연직배수관높이를 결정
- ② 연직배수관의 간격(d)의 결정 : 종력우물의 영향권을 고려한 sichert공식의 영향반경과 연직배수관이 설치될 위치를 고려하여 연직배수관의 간격은 다음 Fig. 7으로 결정하였다(여 등, 2000(c)).

- 건물 외측으로부터의 거리

$$d_1 = 3000 s \sqrt{k} / F.S(1-3)$$

- 연직배수관간의 거리

$$d_2 = 6000 s \sqrt{k} / F.S(1-3)$$

또한, 연직배수관에 의한 부력방지 시스템은 ①필터설비 ②배수설비 ③상부배관 ④배수배관으로 Fig. 8과 같이 구성되어 있으며, 각 부분을 설명하면 다음과 같다.

① 필터설비 (Filter Unit): 구조물 바닥slab 아래에 삽입되는 필터장치는 다음과 같은 조건이 고려되어야 한다.

- 필터재료가 주변의 흙에 의하여 막히지 않아야 한다.
- 필터재료가 주변의 흙에 비하여 충분한 투수성을 가져야 한다.
- 주변지반의 흙이 유실되지 않도록 방지막이 되어야 한다.

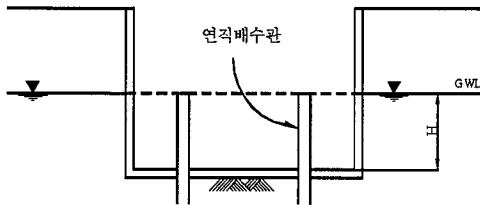


Fig. 5 연직배수관 높이의 결정

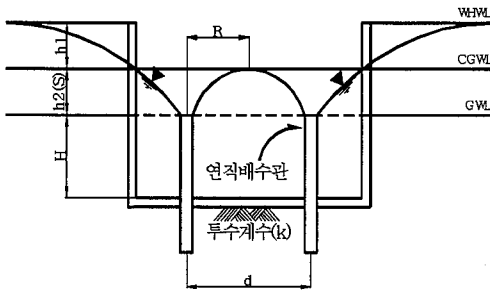


Fig. 6 연직배수관 간격의 결정

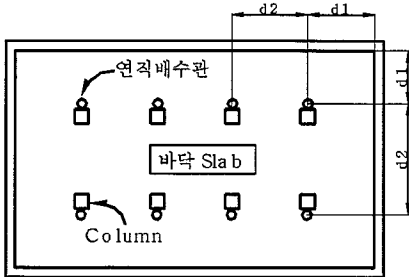


Fig. 7 연직배수관의 간격

상기의 조건들을 고려하여 Fig. 9과 같은 단면을 갖는 필터설비를 갖춘다.

그림과 같이 필터 unit은 외부에 연약지반에 사용되는 드레인재에 적용되는 필터재와 부직포를 적용하여 필터로서의 조건을 갖추었다. 또한 연직배수관이 PVC재질이므로 콘크리트와의 이질성을 극복하기 위해 수팽창고무단성지수재를 사용한다.

② 배수설비(drain unit) : 설정된 연직배수관의 높이에 위치하며 유통하는 유입수를 배수배관을 통해 배출한다.

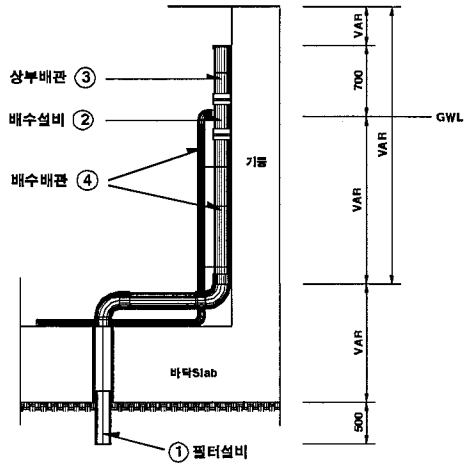


Fig. 8 연직배수관 설치 단면도

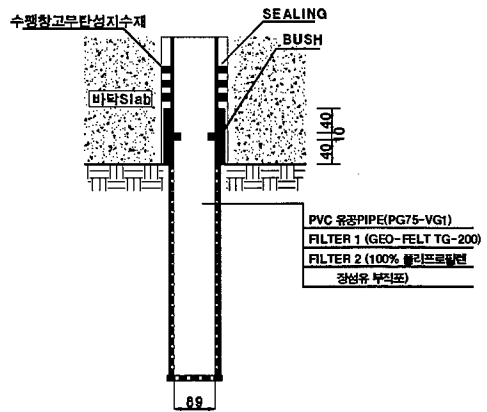


Fig. 9 Filter 단면도

- ③ 상부 배관(pipe line) : 유입되는 유입지하수량의 증가를 고려하고 수면상부가 대기압층과 접하도록 구멍을 천공한 설비를 설치한다.
- ④ 배수 배관(drain pipe line 1, 2) : 연직배수관의 몸체로서 필터를 통과해 유입되는 유입지하수를 집수정이나 트렌치로 보내는 역할을 한다.

4. 현장석용 사례 검토

4.1 현장조건

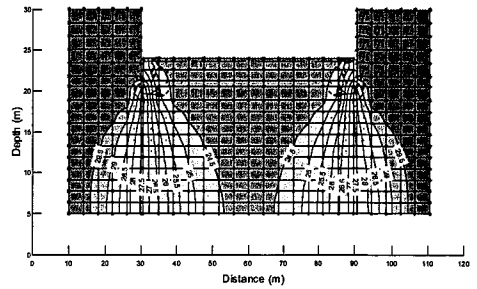
본 현장의 지하차장장은 사하층이 6.15t/m³, 작용부력 9.4t/m³으로서 지표면까지 지하수위 상승시 부력이 사하중(3.25t/m³)보다 크므로 수위상승이 GL(-)3.25m(임계상태 지하수위)이상일 경우 부력발생에 의한 구조물 기초의 부력발생이 예상된다.(여 등, 2000 (b))

4.2 침투해석결과

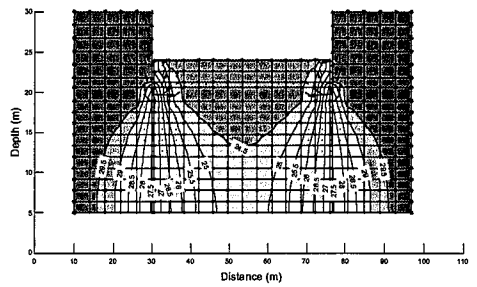
연직배수시스템에 의해 배수되는 유량과 용량을 검토하기 위해 지반조사자료, 현장유량측정 등을 통해 지하수 유입량을 산정하였다. 침투유량 해석을 위한 경계치 및 입력물성치는 다음 Table 1과 같이 매립층, 풍화토층, 풍화암층에 현장투수시험을 통한 현장투수계수를 구하였다. 또한, 구조물 시공을 위한 굴착깊이는 GL-9.4m로서 풍화토층에 해당되며, 현장유량조사시 대단히 많은 유량을 보였다. 수치해석을 위해 부지를 실제면적과 동일한 정방형 부지로 보고 산정된 단면유량에 2배를 하여 유입되는 지하수량을 구하였으며, 지하수 유입범위는 굴착면에서 약 20m까지로 하였다. 연직배수시스템을 적용하였을 경우 기초바닥에서 발생하는 침투유량을 SEEP/W 프로그램에 의해 해석을 실시하였으며 그 결과(예)를 나타내면 Fig. 10~Fig. 12와 같다.

Table 1 경계조건 및 입력물성치 요약

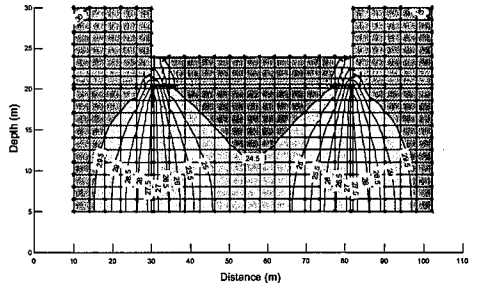
| 해석 단면 | 굴착깊이 (m) | 지 층 | 투수계수 (m/sec) | 지하수위 (m) |
|----------|----------|------|-----------------------|----------|
| 148~151동 | GL-9.4 | 매립층 | 1.23×10^{-3} | GL-6.0 |
| | | 풍화토층 | 7.6×10^{-3} | |
| | | 풍화암층 | 4.31×10^{-7} | |



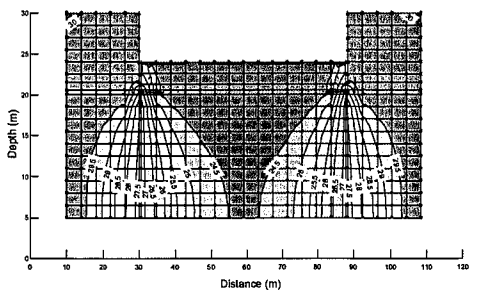
(a) 148동 지역



(b) 149동 지역

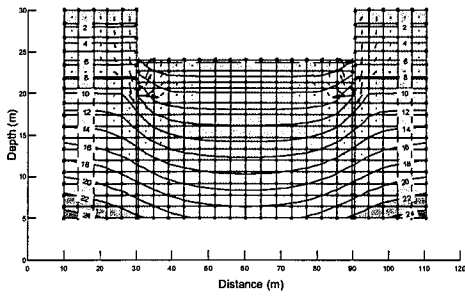


(c) 150동 지역

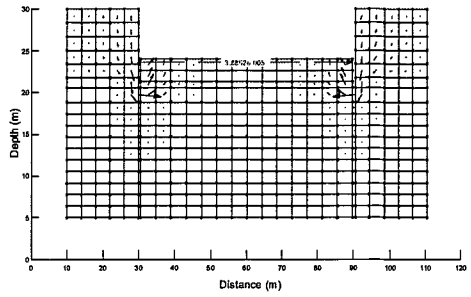


(d) 151동 지역

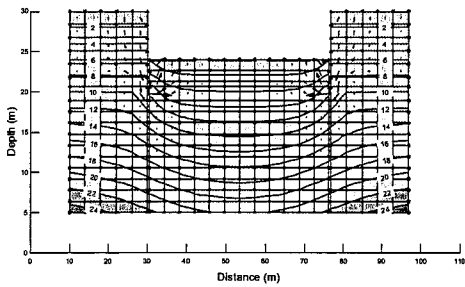
Fig. 10 SEEP/W에 의한 전수투 해석결과



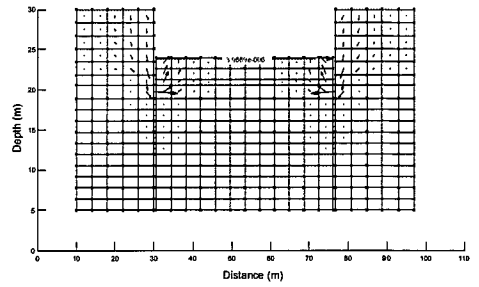
(a) 148동 지역



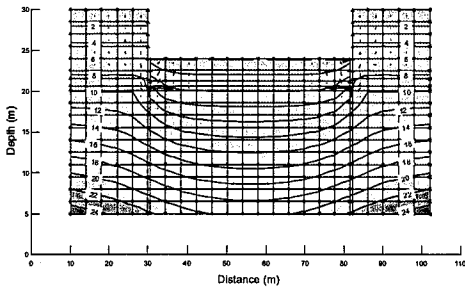
(a) 148동 지역



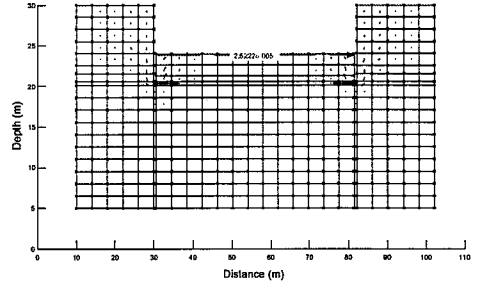
(b) 149동 지역



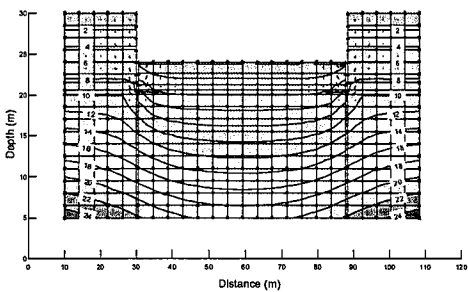
(b) 149동 지역



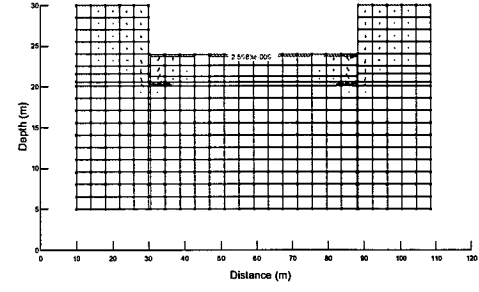
(c) 150동 지역



(c) 150동 지역



(d) 151동 지역



(d) 151동 지역

Fig. 11 SEEP/W에 의한 압력수두 해석결과

Fig. 12 SEEP/W에 의한 VECTOR PLOT

침투해석결과에 따른 각 지하주차장별 침투유량 산정결과는 다음 Table 2와 같다.

본 시스템은 집중강우시 지하수위가 $GL \pm 0m$ 상승할 경우에도 구조물 기초면에서의 발생부력이 건축물 사하중이내가 되도록 하는 시스템으로 평상시에는 배수되지 않으며 Table 2에 나타낸 바와 같이 침투유입량 산정결과 주변 지하수위가 $GL \pm 0m$ 일 경우의 검토된 유입지하수량은 227.16~406.2 m^3/day 로, 이와 같은 처리가 가능한 시스템을 찾을 경우 Fig. 3과 같이 부력발생을 유발할 수 있는 상태이하의 양압력이 작용하게 될것이다.

4.3 연직배수시스템 현장적용

기 시공 구조물에 시공중 부력문제가 발생한 본 현장에서의 부력방지대책으로 연직배수시스템의 다음의 원칙을 기준으로 적용하였다. 해석결과 연직배수시스

템은 항상 평상시 지하수위인 $GL(-)6.0m$ 조건을 고려 하였으며, 임계지하수위인 $GL(-)3.25m$ 이상의 수위 상승시에도 부력에 대하여 안정하기 위한 연직배수관의 설치간격을 정하여 Fig. 13과 같이 연직배수관을 배치하였다. Fig. 13의 연직배수시스템의 적용(예)에 나타낸 바와 같이 연직배수시스템의 설치간격은 15m 정방형을 원칙으로 하였으며, 시공위치가 지하주차장 내임을 감안하여 자동차 주행 및 주차의 동선을 고려하여 배치하였다. 특히 보호대를 특수제작 설치하여 파손발생을 억제하고, 미관을 고려하여 대책을 수립하였다. 또한 집중강우시 지하수위가 상승됨에 따라 $GL-6.0m$ 를 초과하여 월류하는 지하수는 상부배수관을 통하여 배수하는 것으로 하였다. 상부배수관의 시공 예는 Fig. 14에 나타내었다.

Table 2 침투유입량 산정결과

| 해석 단면 | 단위유량 ($m^3/day/m$) | 유입 범위(m) | 단면유량 (m^3/day) | 유입지하수량 (m^3/day) | 부지면적 (m^2) |
|-------|----------------------|----------|--------------------|----------------------|----------------|
| 148동 | 3.36 | 60.5 | 203.1 | 406.2 | 3655 |
| 149동 | 3.42 | 46.8 | 160.06 | 320.12 | 2193.25 |
| 150동 | 2.18 | 52.1 | 113.58 | 227.16 | 2714.7 |
| 151동 | 2.21 | 58.4 | 129.06 | 258.12 | 3406 |

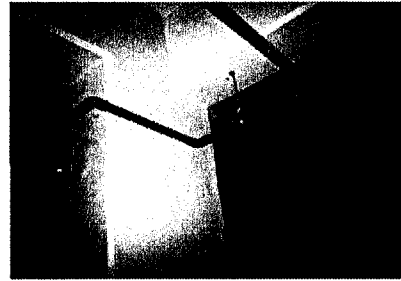


Fig. 14 상부배수관 배치 예

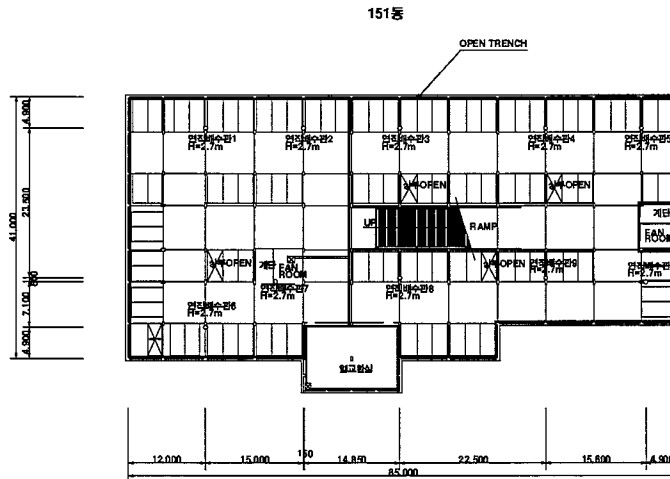


Fig. 13 연직배수시스템의 적용(예)

5. 고찰

5.1 기존공법과의 비교 검토

연직배수시스템은 구조물 기초바닥슬라브에 배수관을 설치하고 일정지하수위를 유지할 수 있는 배수관을 설치하여 유풀하는 유입지하수를 집수정으로 모아 배수처리하여 부력을 감소시키는 원리를 적용한 공법으로 기존의 공법인 영구앵커공법의 초기설치비가 과다한 단점과 배수공법의 장기적인 유지관리비용이 소요되는 단점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 기시공되어 기존의 일반적인 부력방지 대책공법인 배수공법 및 영구앵커공법 적용이 곤란한 지역에서 그 적용성은 매우 양호한 것으로 판단된다.

기존의 부력방지 대책공법과 비교한 특징을 열거하면 다음과 같다.

- ① 기존의 사공된 구조물이 양압력을 받을때 효과적이다.
- ② 설비가 간단하고 시공이 단순하여 전체적인 공성의 관리가 용이하다.
- ③ 영구적인 시스템이다.
- ④ 매우 경제적이다.

5.2 시공후의 적용성 검토

연직배수시스템은 부력과 사하중의 관계에 의해 검토된 임계지하수위를 고려하므로 평상시에는 배수가 되지 않으며, 집중강우나 수압증가로 인계지하수위를 넘는 유량을 배수하여 작용수압을 조절하는 원리를 적용하는 공법이다. 따라서 연직배수시스템은 강제적으로 배수를 하지 않으므로 급속한 지하수위 저하로 인하여 발생하는 지반침하 등의 악영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 또한 부력반생이 우려되었던 현장에 대책공법으로 적용한 연직배수시스템은 2000년 여름의 집중강우시에도 지속적으로 배수되는 것을 관찰할 수 있었으며, 지하수위 변화조건에 유기적으로 대응하여 부력에 대한 영향이 없는 것으로 판단된다(여 등, 2000(b)) 또한 연직배수시스템에서 가장 중요한 요소인 필터는 미세입자에 의한 막힘현상을 방지하도록 고안, 적용하였으므로 기존의 부력방지공법인 영구앵커

공법 또는 영구배수공법과 비교하여 그 적용성은 양호한 것으로 판단된다. 또한, 현장적용결과에 의하면 유출배수배관의 누수와 동절기의 동파방지를 위한 대책이 필요하며, 수위변화에 따른 부력변화를 파악하기 위한 계측관리시스템의 적용이 필요하며 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

6. 결론

현장 적용을 통한 연직배수시스템의 검토결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

- 1) 연직배수관 시스템은 가동 기간중 주변지반의 수위 변화를 발생시키지 않으므로 주변 구조물의 영향을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 연직배수관 시스템의 현장적용시 시공기간이 짧고 공사비가 저렴하므로 기존의 영구앵커공법 및 배수공법에 비교하여 매우 적용성 있는 공법으로 판단된다.
- 3) 기존의 부력방지공법인 영구앵커 또는 영구배수공법과 비교하여 본 시스템은 기존 구조물의 부력방지 목적으로 적용할 경우 적용성은 양호한 것으로 판단된다.
- 4) 본 공법은 현장적용시 지층상태 및 지하수위 조건에 적용성이 좌우되므로 현장적용시 이에 대한 충분한 조사를 통한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 천병식, 여유현, 최종근 "지하구조물 부력방지를 위한 연직배수시스템 시공사례 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.523~526, 2000.10
2. 여유현, 최종근(a), "부친 상동지구 풍림아파트 신축공사에 따른 기초바닥 부력방지시스템 검토" pp.1~69, 2000.3
3. 여유현, 최종근(b), "대전 버드내 동양고속 아파트 신축공사에 따른 기초바닥 부력방지시스템 검토", pp.1~69, 2000.5
4. 한국시반공학회, "구조물기초설계기준", pp.399~405, 1986.
5. 임병조외, "토질공학 핸드북", 도서출판 새문, pp.119~121, 1995.12
6. NAVFAC DM-7, "SOIL MECHANICS DESIGN MANUAL", pp.7.1-259~7.1-286, 1982

(접수일자 : 2001년 1월 18일)