

포카라 유닛 공법을 적용한 지하 저수지 설계 및 시공



김 이 현 |

경북대학 건설환경디자인과 부교수
yhkim@kyungbok.ac.kr



전 진 용 |

동산콘크리트산업(주) 대표이사
dongsan@dongsancon.co.kr

보를 도모하면서 상부공간을 다목적으로 이용할 수 있는 유용한 공법이다.

1.1.2 공법 개요

포카라 지하 저수지 공법은 포카라와 십자블록에 의해 구성된 구조체를 지중에 구축하는 것으로 빗물저류, 홍수조절, 지하수함양 및 방화수조로 사용하는 공법이다.

(1) 공극율

블록의 조합으로 상부하중을 면으로 지지함에도 불구하고 구조체의 공극율은 79%~84%로 높고, 효율이 좋은 저수가 가능하다.

(2) 강도 특성 및 지지 특성

포카라의 연직하중 설계강도는 900형 포카라로 75t_f, 950형 포카라로 40t_f이고, 지하 저수지로서는 충분한 강도를 가진다. 또한 블록의 조합으로 하중을 면으로 지반에 전달하는 구조이기 때문에 지반에 대하여 안전성도 높다.

(3) 시공성

표준부는 콘크리트 제품을 쌓는 것이므로 시공기간도 짧다.

1. 지하 저수지 공법

1.1 설계 개요

1.1.1 서론

포카라 지하 저수지 공법은 콘크리트 프리캐스트 제품인 포카라를 쌓아, 공극율이 높은 지하 저수지를 구축하는 공법이며, 포카라의 연결부재인 십자블록을 병용하여 시공하는 것을 기본으로 한다. 포카라 지하 저수지 공법은 상부하중을 면하중으로 지반에 전달하는 구조임에도 불구하고, 구조체 자체의 공극율이 높고(표준부에서 79%~84%), 지하 저수지의 구조체로서 효과적이며, 또한 그 강도도 충분한 것이다. 포카라 구조체를 지하에 구축하는 것으로 우수저류, 홍수조절, 지하수함양 및 방화용수 확

1.2 설계 모델 및 설계 조건

1.2.1 설계 모델

지하 저수지 공법 구조체의 안정은 내부 안정조건(기본편)을 고려하여 구조체 전체가 강체로서 거동하는 경우에 있어서 아래와 같이 2단계의 검토를 실시하는 것을 기본으로 한다.

<안전 1단계 : 지하 저수지의 전체 강도안정>

<검토외력>

- 상재하중
- 저수지 자중
- 저수지 관성력(지진시 대응)
- 저수지 내 수압
- 저수지 내 동수압(지진시 대응)
- 토압 ; 상 시 : 양사이드에 동등한 정지토압을 고려
지진시 : 관성력 방향으로 지진시 주동사압
반대 측에 상시 주동토압을 고려

- 수압
- 양압력

<안정 검토>

- 양압력에 대한 검토

지하수위가 있는 경우와 저수지 내 물이 없는 조건에 대해 양압력의 검토를 실시한다.

$$F_U = \frac{V}{U}$$

여기서 F_U 는 양압력에 대한 안전율(1.2 이상)이고, V 는 전연직력(t_p)이며, U 는 양압력(t_q)이다.

- 지지력에 대한 검토

연직력이 지반의 허용 지지력을 상회하지 않는 것을 검증한다. 지진시에 있어서는 관성력, 토압에 의한 하중 합성각을 고려하는 것으로 한다.

<안전 2단계 : 내부부재의 내력검토>

안전 1단계의 안정이 확인된 후에 다음에 나타나

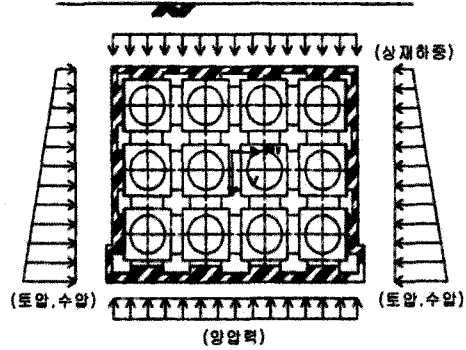


그림 1. 하중 및 압력분포도

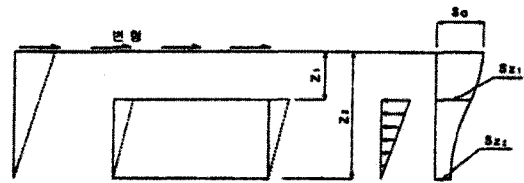
는 내부부재의 내력검토를 실시한다.

- ① 포카라 본체의 내력이 사용 하중보다 클 것.
- ② 십자블록의 내력이 사용 하중보다 클 것.
- ③ 저판, 정판 및 측벽의 내력이 작용 하중보다 클 것.
- ④ 포카라의 회전 구속에 필요한 상재하중이 확보 될 것.

<지진시 지반의 전단변형에 의한 영향의 평가>

지반성상 급변부나 연약지반이 두꺼운 경우에는 일반적으로 지진시 지반의 전단변형에 의한 영향을 고려할 필요가 있지만, 본 공법에서는 높이 5.0m 정도의 저수지이기 때문에 그 상대 변위량은 작은 것이라고 생각되어 평가하는 외력도 작기 때문에 이 영향에 대해서는 특별히 평가하지는 않는다.

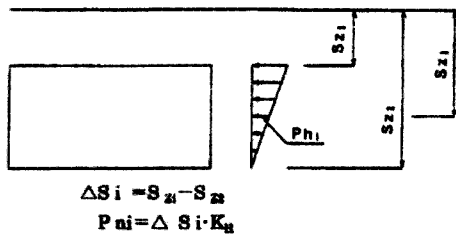
따라서 본 설계에 대해서는 안전을 고려하여 토압에 의한 외력을 가지고 검토하는 것으로 한다.



- S_0 : 지표면에서의 전단 변위량
- S_{Z1} : 심도 Z_1 에서의 변위량
- S_{Z2} : 심도 Z_2 에서의 변위량

그림 2. 전단 변위량

• 전단변형에 의한 토압



$$\Delta S i = S_{z1} - S_{z2}$$

$$P_{ni} = \Delta S i \cdot K_{ii}$$

K_{ii} : 수평지반 spring 또는 지반반력 계수

그림 3. 전단변형에 의한 토압

1.2.2 설계 조건

(1) 사용 재료 및 단위 체적 중량

① 토질 재료

- i) 아스팔트 포장 $\gamma = 2.3t_f/m^3$
- ii) 상재토 $\gamma = 1.8t_f/m^3$ (설계현장에 따라 고려)
- iii) 매립토 $\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 1.8t_f/m^3 \text{ (설계현장에 따라 고려)} \\ \phi = 30^\circ \end{array} \right.$

② 포카라 구조체

i) 십자블록 조합

- 900형 포카라 (1290) $0.52t_f/m^3$
- 950형 포카라 (1295) $0.46t_f/m^3$

ii) 포카라 조합

- 900형 포카라 (1290) $0.65t_f/m^3$
- 950형 포카라 (1295) $0.54t_f/m^3$

③ 콘크리트재(현장시공)

- 무근콘크리트 : $\sigma_{ck} = 160kg_f/cm^2$
 $\gamma_c = 2.35t_f/m^3$
- 철근콘크리트 : $\sigma_{ck} = 210kg_f/cm^2$
 $\gamma_c = 2.5t_f/m^3$

(2) 재료의 물리정수

① 콘크리트(현장시공)

$$E_c = 2.35 \times 10^6 kg_f/cm^2 \quad (\sigma_{ck} = 210kg_f/cm^2)$$

② 철근

$$E_c = 2.1 \times 10^6 kg_f/cm^2$$

표준 포카라

(4우각 집중하중)

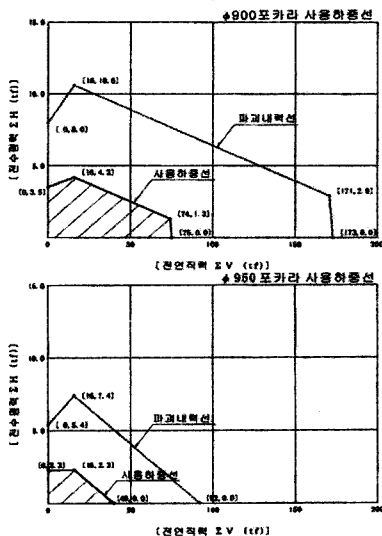


그림 4. 표준 포카라 집중하중

(3) 허용치

① 포카라 및 십자블록

i) 포카라

Ø900형, Ø950형에 대해 그림 4에 나타내는 값을 허용내력으로 한다.

ii) 십자블록

현상의 설정으로서 십자블록의 내력은 하한값으로 한다.

① 기본십자, 기초십자

포카라 연직하중으로서 $V = 45.0t_f$, 지반반력치 환산으로서 $V_F = 20.0t_f/m^2$ 의 허용내력을 가진다.

② 정판십자, 기본십자 측면

포카라 연직하중으로서 $V = 22.5t_f$, 1.5m 사방의 하중분담 면적에 대해 $V_F = 10.0t_f/m^2$ 의 허용내력을 가진다.

② 무근콘크리트

- 설계기준강도 $\sigma_{ck} = 160kg_f/cm^2$
- 허용휨인장응력 $\sigma_{ta} = 2kg_f/cm^2$
- 허용압축응력 $\sigma_{ca} = 40kg_f/cm^2$

③ 철근콘크리트

- 설계기준강도 $\sigma_{ck}=210\text{kg}_f/\text{cm}^2$
- 허용휨압축응력 $\sigma_{ta}=70\text{kg}_f/\text{cm}^2$
- 허용전단응력 $\tau_{al}=4.25\text{kg}_f/\text{cm}^2(\text{보})$
 $\tau_{cl}=8.5\text{kg}_f/\text{cm}^2(\text{슬라브})$
- 허용지압응력 $\sigma_{ca}=63\text{kg}_f/\text{cm}^2$

④ 철근

- 허용인장응력 $\sigma_{sa}=1600\text{kg}_f/\text{cm}^2$
(지진시의 기준 강도는 $1800\text{kg}_f/\text{cm}^2$)

(4) 안정에 관한 기준

① 강체 안정에 대한 허용치

- ① 전도에 대한 허용치
하중의 작용 중심 위치가 저판의 미들 서드에 있을 것.
(평상시, 지진시에도)

$$e \leq \frac{B}{6}$$

② 지지력에 대한 허용치

지지력에 관해서는 하중의 경사를 고려해 「도로교시방서·동해설 IV 하부 구조편」에 준하는 것으로 한다.

③ 양압력에 대한 허용치

양압력에 대해서는 $F_u=1.2$ 이상의 안전율을 확보하는 것으로 한다.

(5) 외력 하중

① 활하중

- i) 차도부 T 하중 $p=10t_f/1\text{륜}$
L 하중 $p=10t_f/1\text{륜}$
- ii) 보도부·공원 등의 군집하중 $p=0.50 \text{ Umz}$
- iii) 주차장내 차로·차실 $p=0.55 t \text{ Umz}$

② 토압

- i) 평상시

정지토압계수 $K_0=0.5$ 로 한다.

ii) 지진시

쿨롬의 주동토압으로 하여 수중부에 있어 외관의 설계 수평 진도를 고려한다.

③ 지진시 동수압

Westguand의 식에 의해 구한다. 단, 본식에 의한 포물선 하중을 등분포하중으로 사용한다.

<기본식>

$$p = \frac{7}{12} k_h \cdot W_0 \cdot H^2$$

<근사식>

$$P_h = \frac{7}{12} k_h \cdot W_0 \cdot H$$

여기서 P_h 는 등분포하중(t_f/m^2)이고, k_h 는 설계수평진도이며, W_0 는 물의 단위중량이고, 그리고 H 는 수심(m)이다.

④ 설계 수평 진도

설계 수평 진도는 도로토공지침에 준해서 산정하는 것으로 한다.

1.3 상세 설계 기준

1.3.1 강체 안정에 대한 기준

(1) 전체 강체 안정에 관해서

① 양압력에 대한 안정

양압력에 대해 사하중(수중무시)이 필요한 안전율을 확보하는 것.

$$F_u = \frac{Q_u}{V}$$

여기서 V 는 사하중(t_f)이고, Q_u 는 양압력(t_f)이며, F_u 는 양압력에 대한 안전율(1.2 이상)이다.

② 지반 지지력에 대한 안정

지반의 연직 지지력은 하중의 편심경사를

고려하여 구한 극한 지지력에 대해 소요 안전율을 확보할 수 있는 것.

$$F = \frac{Q_u}{V}$$

여기서 V는 기초에 작용하는 전연직력(t_p)이고, Q_u 는 하중의 편심경사를 고려한 지반의 극한 지지력(t_p)이며, F는 지지력에 대한 안전율(정상시 : 3 이상, 지진시 : 2 이상)이다.

2. 내부부재의 내력검토

1항에서 전체 안정이 확보되는 조건하에 포카라 구조체를 구성하는 각 부재의 내력을 확인한다.

2.1 기초 콘크리트의 검토

(1) 구조치수

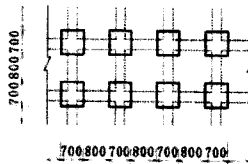
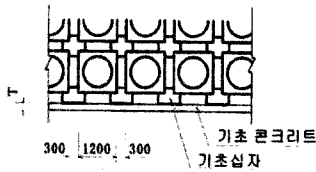


그림 5. 구조 치수

(2) 구조 모델

기초 콘크리트의 구조계산 모델은 이후에 나타내는 검토에 의해 포카라의 하중 중심위치를 지지단으로 하는 지반반력을 받는 양단 지지보로서 해석한다.

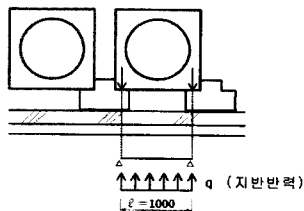


그림 6. 구조계산 모델

3. 시공사례

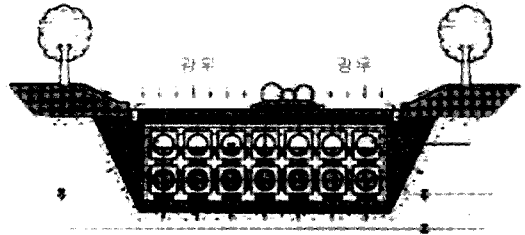


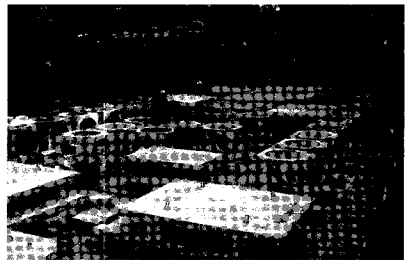
그림 7. 지하수 함양 및 우수저류공법



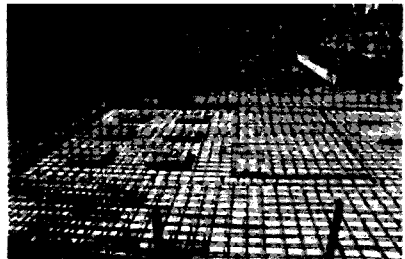
① 기초 콘크리트 배근 시공



② 기초 심자블록 시공



③ 본체 정판심자 시공



④ 정판 콘크리트 시공

그림 8. 지하수 함양 및 우수저류공법 시공순서

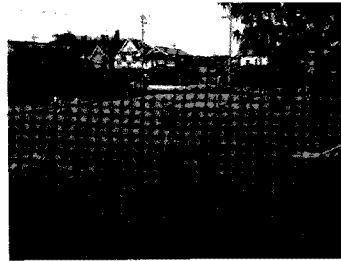
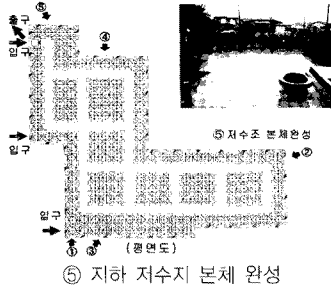
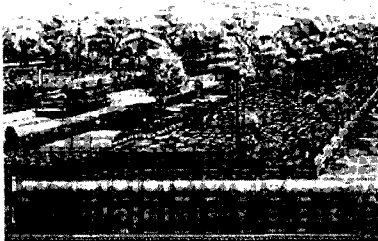


그림 8. 지하수 함양 및 우수저류공법 시공순서(계속)



참고문헌

1. 김이현, 전성근, 전진용, 서대석, 포카라 및 포카라 유니트 공법을 적용한 환경보전형 호안설계 및 시공, 한국수자원학회지 VOL. 43 NO 1, pp.67-77, 2010.
2. 동산콘크리트산업주식회사, Dongsan Environment-Friendly Products.
3. 리타종합기획, 포카라공법 설계 매뉴얼.
4. 리타종합기획, 포카라공법 설계 계산.
5. 리타종합기획, 포카라공법 수량계산서.
6. 리타종합기획, 포카라 유니트 공법 설계·시공 기준(안).

Water for Future