

P.C.C관의 구조설계

Structural Design of Prestressed Concrete Cylinder Pipe



정 원 기*



김 증 흡**

1. 서 론

현재 국내에서는 상수도, 공업용수도 등에 中, 小구경관(135mm이하)으로 Ductile Iron Pipe가 사용되고 대구경관은 도복장 강관이 주로 사용되고 있다. 과거에는 상수도 및 공업용 송수관으로 P.C관(prestressed concrete pipe) 및 P.C.C관(prestressed concrete cylinder pipe)을 사용하지 않은 것은 아니나 철관에 비하여 중량이 무거운데다 시공시 지반처리를 제대로 하지 않아 누수가 발생하는 경우가 있었다. 특히 사용중에 유압의 과부하 또는 중장비에 의한 파손이 발생하는 경우 이에 대한 적절한 보수방법이 개발되지 않은 문제점등이 단점으로 지적되어 현재에는 발전소의 냉각수용 이외에는 거의 사용되지 않게 되었다. 그러나 P.C.C관은 1942년 미국에서 개발 사용된 이래 현재까지 약 50년의 역사를 갖고 있으며 미국을 위시하여 남미, 중동지역등 전세계적⁽¹⁾으로 널리 사용되고 있다. 또한 동아건설(주)이 리

비아에서 시공하고 있는 공사(그림 1)는 관의 직경이 1,600mm부터 4,000mm이며 내압은 6kg/cm²부터 24kg/cm²의 P.C.C관으로서 연장 1,850km(250,000본)에 P.C.C관을 제작, 매설하는 대규모 1차공사 완공에 이어서 약 55억불 규모의 2차공사도 98년도 완공을 목표로 진행중에 있다⁽²⁾. 따라서 P.C.C관의 설계, 제작, 매설, 수압시험 등 설계 및 시공분야에서 많은 기술축적⁽³⁾을 하게 되어 P.C.C관의 특성 및 여러가지 우수성을 알게 되었다.

P.C.C관의 특성을 한마디로 요약한다면 철관의 장점인 불투수성과 콘크리트의 장점인 내구성 및 고압축강도를 이용하여 제작된 관이므로 경제적이고 내구성이 큰 관이라 할 수 있겠다. P.C.C관의 특성을 경제성, 시공성, 내구성 및 수밀성 등에 대해서 알아보면 다음과 같다.

(1) 경제성

- ① P.C.C관은 설계 수압 및 외압에 적합하도록 관의 강성을 조절하여 제작할 수 있으므로 타 관종에 비하여 경제적인 이점이 있다.
- ② 유량계수가 타 관종에 비하여 크므로 경

* 정희원, 동아건설 기술연구소 선임연구원, 공학박사

** 정희원, 동아건설 기술연구소 소장, 상무이사

제적이다.(C=130)

(2) 시공성

- ① 외압에 대한 내구성이 강하므로 bedding 및 되메움 작업이 타 관종보다 용이하다.
- ② 고무링에 의한 접합이므로 접합이 용이하다. 1일 30-50본 정도는 접합이 가능하다.
- ③ 허용가요각 범위내에서 곡선 부설이 가능하다.

(3) 내구성 및 수밀성

- ① Steel Cylinder를 내장하므로 수밀성이 보장된다.
- ② Lock Joint Type이므로 Joint에서의 누수위험이 없다.
- ③ 부식에 대한 저항이 타 관종에 비하여 가장 크다.
- ④ 전식의 우려가 없고 특히 해수와 같은 염분에 대한 내구성이 크다.

(4) 유지보수

- ① 부단수 공법에 의한 분기관 설치가 가능하다.
- ② 관이 파손되지 않는한 유지보수가 필요 없다.

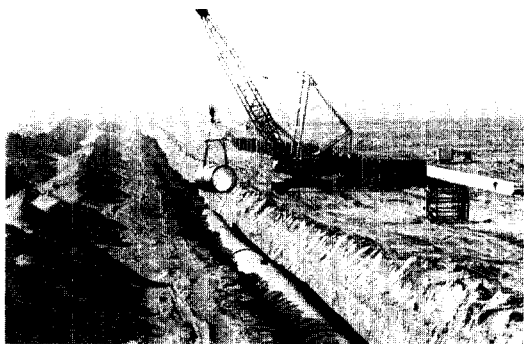


그림 1 제작된 대형 P.C.C관을 매설하는 리비아 대수로 공사 전경

2. P.C.C관의 개요

2.1 관종 선정의 기준

도수관로, 송수관로 및 배수관로 등에 사용될

수 있는 관종은 여러 종류가 있으며 보통 관종을 선택할 때 경제성, 시공성, 내구성, 유지보수의 난이도 등이 선정기준이 된다.

현재 우리나라에서 생산되고 있는 수도용관의 관종으로는 주철관, ductile 강관 및 P.C.C관(P.C 관은 수밀성의 문제로 저압에만 사용가능하므로 제외) 등으로 크게 나눌 수 있다. 위의 관들은 각기 특성을 갖고 있으며 관이 갖는 강성도(rigidity)에 따라 설계방법과 시공방법이 달라 짐으로 그 기준에 따라 분류하면 표1과 같다.

표 1 관의 강성별 구분

구 분	수평, 수직 변형도 (직경에 대한)	관 종 류
1. Rigid Conduits	0.1% 이내	콘크리트관, 주철관, Ductile 주철관
2. Semi Conduits	0.1%~3.0%	강관
3. Flexible	3.0% 이상	(G.R.P)

관을 설계할 시에는 관에 작용하는 내압과 외압을 충분히 받을 수 있어야 하므로 이들이 설계조건이 되나 강관과 같이 외압에 대한 변형이 발생하는 경우는 설계시 내압보다는 외압에 대한 변형도에 의하여 강관의 두께가 결정되며 관의 강성도(rigidity)에 따라 관매설 설계시 bedding 조건 및 되메움 작업의 다짐도가 달라져야 한다.

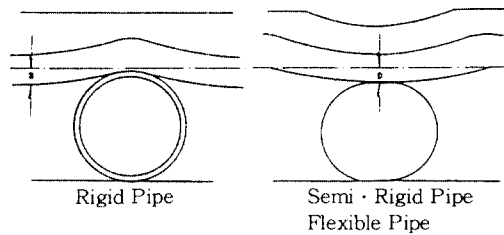


그림 2 관의 강성에 따른 침하도 비교

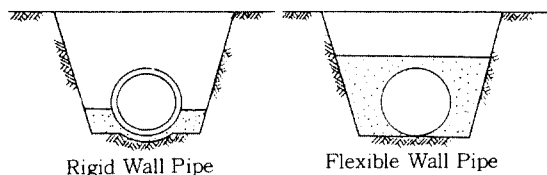


그림 3 관의 강성에 따른 기초다짐

관의 강성에 따른 침하도 및 다짐에 대한 예를 들면 그림 2, 3과 같이 표현될 수 있다. 즉, 콘크리트관과 주철관과 같은 rigid한 관은 토압을 받았을 때 수직 변형도가 무시할 수 있을 정도이므로 축압에 대한 수동 토압을 무시한 채로 토압을 계산하나 강관과 같은 semi-rigid한 관이나 flexible pipe는 토압을 받았을 때 관자체가 변형되므로 이 때는 수동토압에 대한 영향을 고려하게 되므로 그림 2, 3과 같이 관 전체의 높이까지 다짐을 하여야 한다.

2.2 수도관의 분류

AWWA SPEC. (미국수도협회 규격) 기준에 의하면 사용용도, 설계 기준, 제작범위 등에 따라 관을 분류한다(표 2). 표 2에서 알 수 있듯이 강관에 비하여 콘크리트관이 제작범위 및 사용용도가 다양함을 알 수 있다.

2.3 P.C.C관의 구조

P.C.C관은 강관 실린더, 콘크리트 코아, P.C강선 및 몰탈 코팅부로 구성된다. P.C.C관은 구조상 두가지로 분류되는데 강관실린더가 콘크리트 외측에 있는 경우를 lined cylinder pipe(L.C.P)라

하고 강관실린더가 콘크리트 코아 중간부에 매입되는 경우를 embedded cylinder pipe(E.C.P)라 한다(그림 4).

통상 L.C.P는 내경 500mm에서 1500mm까지의 小中 구경관을 원심력 방법에 의하여 코아콘크리트를 성형하며 E.C.P는 600mm이상의 中大 구경관을 vertical 방식으로 코아 콘크리트를 성형하는 것으로 리비아 대수로 공사용관은 E.C.P를 적용하고 있다. 구조와 각 부분의 성능을 설명하면 다음 같다.

(1) 강관 실린더(steel cylinder)

강관 실린더는 양단부에 bell ring과 spigot ring을 일체로 용접하여 실린더를 구성함으로써 방수막 작용과 동시에 종방향 보의 기능을 보장하는 역할을 하며 고무링을 접합할 수 있도록 접합부의 기능을 담당한다.

(2) 콘크리트 코아(concrete core)

콘크리트 코아는 P.C 강선을 원주방향으로 인장하여 감아춤으로서 프리스트레스가 도입되어 내압 및 외압에 내구할 수 있는 몸체의 역할을 담당하며 또한 강관실린더가 녹슬지 않게 보호하고 물이 흐를 때 관중에 비하여 유량계수 C가 커서 효율적으로 물이 흐를 수 있도록 한다.

(3) P.C강선(P.C wire)

일정한 인장력을 주면서 콘크리트 코아에 감아춤으로서 콘크리트 코아부에 압축응력을 도입시

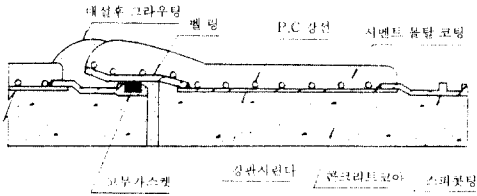
표 2 수도관의 용도별 분류

구 분	AAWA SPEC.	제작범위(mm)	설계수압(kg/cm ²)	설계기준	용 도
1. Ductile-Iron Gray-Iron	C 100	75-1350		Rigid	배수용관
2. Steel Water Pipe	C 200	150-2400		Semi-Rigid	송수관, 도수관
3. Concrete Pipe					
Reinforced Concrete Cylinder Pipe	C 300	600-3600	18.5	Rigid	송수관, 싸이폰, 배수용관, 산업용수, 하수관
Prestressed Concrete Cyl. Pipe L.C.P	C 301	400-1500	18.5	Rigid	도수관, 송수관, 배수용관, 싸이폰, 발전용, 산업용수, 하수관
E.C.P		600-3600	25.0		
Reinforced Concrete non-cyl. Pipe	C 302	400-3600	4.0이하	Rigid	농업용수, 하수, 배수용관
Pretensioned Concrete Cyl. Pipe	C 303	250-1000	29.0	Semi-Rigid	송수관, 하수관, 배수용관
Prestressed Concrete non-cyl. Pipe	None	400-2200	8.0이하	Rigid	농업용수, 하수, 배수용관

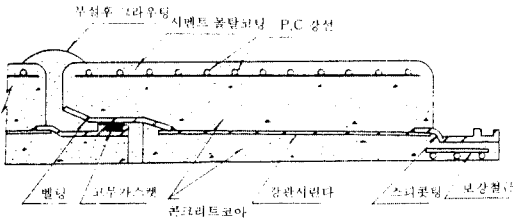
켜 주는 작용을 한다.

(4) 커버 코트(cover coat)

인장을 주면서 감은 P.C 강선의 손상과 부식을 방지하는 역할을 하면서 관의 강도를 보강하는 2차적인 일을 겸한다. 표면의 요철은 매설시 흙과의 마찰력을 증대시켜 줌으로서 신축에 대한 저항을 크게 한다.



a) Lined Cylinder Pipe(L.C.P)



b) Embedded Cylinder Pipe(E.C.P)

그림 4 프리스트레스트 콘크리트 실린더 파이프의 구조

2.4 P.C.C관의 제작범위 및 제조공정

P.C.C관은 AWWA(미국수도협회 규격) C301-84에 따라 외압과 내압에 의하여 관의 직경이 설계되고 제작된다. 그림 5에서 설계범위 A는 단

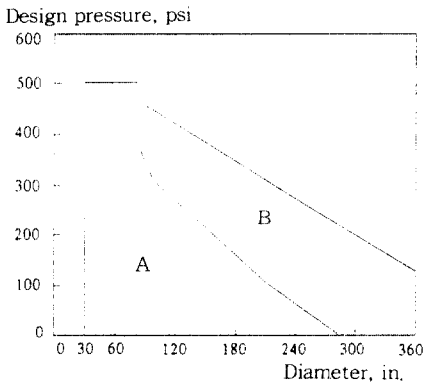


그림 5 P.C.C관 직경/ 내압의 범위

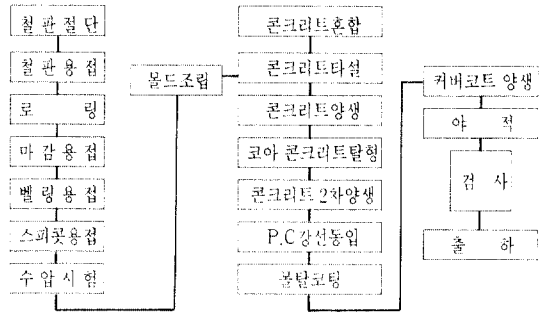


그림 6 P.C.C관의 제조공정

층 prestressing wire로 제조될 경우이며 설계 B는 2,3층의 prestressing wire로 제조될 때의 범위를 나타낸다. 상기한 시험수압 이외의 특수한 경우의 관은 별도로 설계 제작될 수 있다. P.C.C관의 제조공정은 그림 6과 같이 나타낼 수 있으며 제조공정의 자세한 내용은 콘크리트 학회지 공사기사⁽²⁾를 참조하기 바란다.

3. P.C.C관의 설계개념

P.C.C관은 내압과 외압을 충분히 견딜 수 있도록 설계되며, 관 벽의 탄성 및 비탄성 변형을 고려하여야 한다. 또한 설계규준(AWWA)은 콘크리트의 인장응력과 압축응력에 대하여 보수적인 제한을 두고 있다. 선을 인장하여 감아줌으로써 도입되는 압축응력으로 내압과 외압에 의하여 발생하는 인장응력을 상쇄시켜주는 것이다(그림 7).

설계방법은 AWWA(미국수도협회)C301 부록에서 두가지 방법을 추천하고 있는데 부록 A는 외압 시험강도를 이용한 cubic parabola 설계방법이고 부록 B는 stress analysis design 방법이며, 방법 A는 미국 동부지역에서 사용하며 방법 B는 서부지역에서 사용하고 있는 방법으로 동야건설의 리비아 대수로관 설계는 부록 A의 방법을 채택하여 설계하고 있다. 본고에서는 두가지 설계방법을 소개하고 cubic parabola 설계방법을 사용한 간단한 설계예제를 보여주어 이해를 돕도록 하였다.

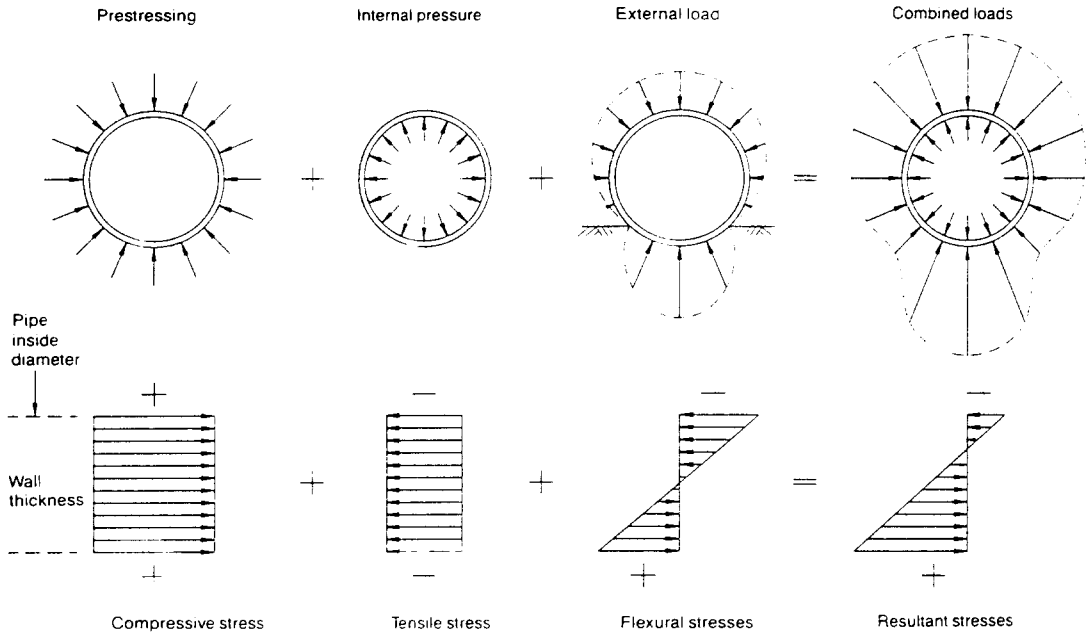


그림 7 프리스트레스트 파이프 벽체의 응력겹침 개념

3.1 Cubic Parabola Method

이 설계방법은 관이 지하에 매설되었을 때 관에 작용하는 내압과의 관계를 실험적으로 규명한 것으로 관의 내압강도와 외압강도(삼점지지 방식에 의한 외압시험으로 결정됨)와의 관계를 수식으로 나타낸 것이다. 이 설계방법은 파이프의 최대허용 외압(사하중 및 활하중)을 결정하기 위한 것이다. 주어진 재하조건하에 파이프의 실하중과 계산된 값과의 비교를 통해서 주어진 설계의 정밀도가 증명된다. 계산과정이 stress analysis design 방식보다 간단하여 이 방법이 널리 이용되고 있다. 설계하중과 압력은 주어진 설계조건에 대하여 다음의 관계식으로 결정된다.

$$W = \frac{W_0}{3\sqrt{P_0}} 3\sqrt{P_0 - P} \quad (1)$$

이 방정식은 3edge bearing load(W_0)와 설계내압(P)의 관계로서 그림 8에서 보여주는 하중도표로 정의된다. P_0 는 최대허용설계압⁽⁵⁾ 또

는 decompression pressure(주: 강선 prestressing 의한 콘크리트 압축응력이 영으로 되도록 상쇄시키는 내압)로 정의되며 이것은 P 와 W_0 의 값을 알 때만 계산되는 값이다. (W_0 는 실제 시험결과에 의한 값이다.) W 값이 계산되면 설계조건과 순간조건(차량하중)에 대한 한계를 보여주는 하중도표가 만들어진다.

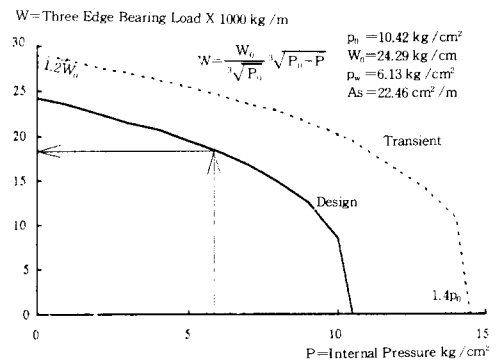


그림 8 3 Edge bearing load와 내압과의 관계(3차 포물선 설계방법)

또한 그림 8의 곡선은 설계조건과 순간조건에 대한 외압 및 내압에 대한 응력한계를 말한다. 마지막 단계는 매설된 관의 지지강도 또는 최대허용하중의 계산이다. 이 값은 토압과 동등한 하중인 3 edge bearing load에 매설조건(trench configuration)의 하중계수를 곱해서 얻는다.

Decompression pressure P_0 가 계산되기 위해서는 다음과 같은 변수들이 계산되어야 한다(그림 9).

강선단면적

$$A_s = \frac{1000d^2\pi n}{S_w(4)(100)} \quad (2)$$

Steel cylinder의 단위길이당(m) 종방향 벽면적

$$A_y = t_y(10) \quad (3)$$

콘크리트 코어의 단위길이당(m) 종방향 단면적

$$A_c = 10t_c - A_y \quad (4)$$

초기강선 도입량

$$f_{sg} = 0.75f_{su} \quad (5)$$

콘크리트 초기압축응력

$$f_{ci} = \frac{0.9f_{sg}A_s}{A_c + n_i(A_s + A_y)} \quad (6)$$

콘크리트 최종압축응력

$$f_{cr} = \frac{f_{ci}[A_c + n_r(A_s + A_y)]}{A_c + n_r(A_s + A_y)(1 + c_r)} \quad (7)$$

따라서 decompression pressure⁽⁵⁾는

$$P_0 = \frac{f_{cr}[A_c + n_r(A_s + A_y)]}{5D_y} \quad (8)$$

이다.

$W_0 = 0.9W_{001}$, W_{001} : 콘크리트에 0.025mm 폭, 30cm 길이의 균열을 발생시키는 하중⁽⁶⁾ (9)

위의 식(1)에서 P_0 와 W_0 는 각 관에 대해 상수이고, 보통 운용조건(normal operation condition)에서 P와 W의 값은 최대설계값이다.(W일 때 P의 최대값, P일 때 W의 최대값), AWWA C301은 일시적 하중조건에서 내압의 경우 40%, 외압하중은 20%의 증가를 허용한다(그림 8). 따라서 식(1)은 다음과 같이 바뀌진다.

$$W = \frac{1.2W_0}{\sqrt[3]{1.4p_0}} \sqrt[3]{1.4p_0 - p} \quad (10)$$

3.2 Stress-Analysis 방법

이 설계방법⁽³⁾은 콘크리트 코어가 prestressing에 의하여 도입된 압축력이 수압으로 인한 hoop tension과 토압 등 외압에 의하여 발생하는 flexural stress 등의 인장력과 상쇄되어 콘크리트 코어에 인장력 발생을 허용인장력 이내에 있게 한다는 이론에 근거한 것이다.(여기서 f_{ci} , f_{cr} , P_0 , P_t 는 cubic parabola method와 같은 식을 사용한다.)

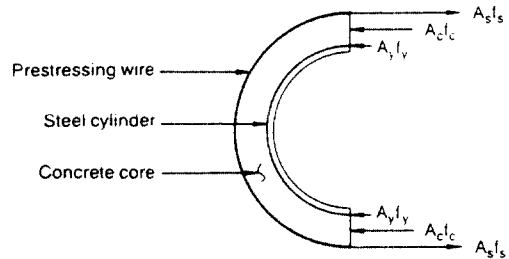


그림 9 P.C.C.관에 대한 힘의 균형도

콘크리트 관에 응력을 발생하게 하는 외압들은 토압, 관속에 흐르는 물의 무게, 관의 자중, 기타 하중과 같은 요인들에 의하여 결정된다. 따라서 외압에 의한 콘크리트 코어의 최외부 응력의 변화량은 다음과 같다.

$$\Delta f_c = \frac{\sum F}{A_t} \pm \frac{\sum M}{S} = \frac{F_p + F_w + C_f e W}{A_t} \pm \frac{M_p + M_w + C_{me} R_m W}{S} \quad (11)$$

이때 발생하는 최대 휨모멘트는 관저부에서 발생된다. 프리스트레스 힘에 의한 응력과 외압에 의하여 발생하는 응력을 결합하면 다음과 같이 된다.

$$f_c = f_{cr} = \frac{50P_w D_y}{A_t} + \frac{F_p + F_w + C_f e W}{A_t} \pm \frac{M_p + M_w + C_{me} R_m W}{S} \quad (12)$$

PCCP설계 규정에는 임의의 설계압력과 사하중의 하중조합에 대하여 콘크리트 인장강도는 $K_t \sqrt{f'_c}$ 를 초과할 수 없으며 압축강도는 $K_c f'_c$ 이내이어야 한다(그림 10). 콘크리트의 인장 및 압축응력 계수(K_t, K_c)들은 하중재하 상태에 따라 각각 다른 값들을 적용(AMERON 제안값⁽⁴⁾) 하여야 한다(표3).

표 3 콘크리트 강도 계수

구 분	K_t	K_c
작용설계 하중	7.5	0.55
일시적인 하중	12.0	0.65

따라서 식(12)에 $f_c = -K_t \sqrt{f'_c}$ 를 대입하면 주어진 상재토압에 대한 최대허용압력은

$$P_d = \frac{A_t}{50P_w D_y} (f_{cr} + K_t \sqrt{f'_c} + \frac{F_p + F_w + C_f e W}{A_t} - \frac{M_p + M_w + C_{me} R_m W}{S}) \quad (13)$$

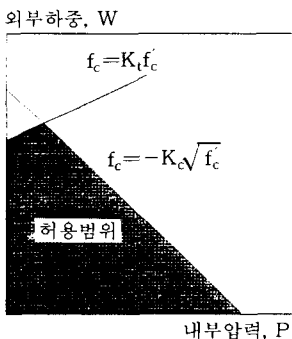


그림 10 조합하중에 콘크리트 인장과 압축응력 관계도

이며 주어진 작용압력하에 최대허용상재토압은 다음과 같다.

$$W_d = \frac{A_t S (f_{cr} + K_t \sqrt{f'_c}) - 50P_w D_y S + S(F_p + F) - A_t (M_p + M_w)}{C_{me} R_m A_t - C_f e S} \quad (14)$$

여기서

A_c =콘크리트 Core 면적(cm^2 / m)

A_s =P.C Wire의 면적(cm^2 / m)

A_t =환산단면적(cm^2 / m)

A_y =강재 실린더 단면적(cm^2 / m)

f_{ci} =콘크리트에 도입된 초기 압축응력 (kg / cm^2)

f_{cr} =콘크리트에 도입된 유효압축응력 (kg / cm^2)

f'_c =콘크리트의 28일 압축강도(kg / cm^2)

f_{sg} =P.C Wire의 초기인장력(kg / cm^2)

P_0 =콘크리트에 0인 응력을 작용하게 하는 내압 (kg / cm^2)

P_t =콘크리트에 허용인장력을 발생케 하는 내압 (kg / cm^2)

D_y =강재 실린더의 내경(cm)

N_r = E_c / E_s

f_c =콘크리트에 발생하는 응력(kg / cm^2)

P_w =Internal Working Pressure(kg / cm^2)

F =推力(kg / cm^2)

F_p =파이프 자중에 의한 추력(kg / cm^2)

F_w =파이프내의 물의 자중에 의한 추력 (kg / cm^2)

K_t =콘크리트 인장응력 계수

K_c =콘크리트 압축응력 계수

M =휨 모멘트($kg \cdot cm / m$)

M_p =파이프 자중에 의한 휨 모멘트 ($kg \cdot cm / m$)

M_w =파이프 수중에 의한 휨 모멘트 ($kg \cdot cm / m$)

C_{fe} = 계수(추력)

C_{me} = 계수(Moment)

R_m = 파이프의 평균반경(cm)

S = 단면계수(cm^2/m)

P_d = 주어진 내압과 외압이 작용시 최대허용 설계수압(kg/cm^2)

W_d = 주어진 내압과 외압이 작용시 최대허용 토압(kg/cm^2)

f_s = P.C Wire에 작용하는 응력(kg/cm^2)

f_y = 강재 실린더에 작용하는 응력

4. 설계예제(Cubic Parabola 설계방법)

Cubic parabola 설계방법을 사용하여 다음과 같이 주어진 조건하에서 최대허용외압을 계산하였다.

콘크리트 파이프 내경	$D = 4,000 \text{ mm}$
코아두께	$t = 250 \text{ mm}$
벽두께	$t_w = 277 \text{ mm}$
강선 간격, 중심간 거리	$S_w = 14.1 \text{ mm}$
강선 직경	$d = 6.35 \text{ mm}$
Cylinder 외경	$D_y = 4,157.8 \text{ mm}$
Cylinder 두께	$t_y = 1.9 \text{ mm}$
초기 탄성계수비	$n_i = 7.0$
최종 탄성계수비	$n_r = 6.0$
강선 극한강도	$f_{su} = 16,900 \text{ kg}/\text{cm}^2$
파이프 내압	$p = 6 \text{ bar}$ ($6.13 \text{ kg}/\text{cm}^2$)

Decompression Pressure 계산

$$A_s = \frac{1000 \times 6.35^2 \pi (1)}{14.1(4)(100)} = 22.46 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_y = 1.9(10) = 19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_c = (10)250 - 19 = 2,481 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$f_{sg} = 0.75(16,900) = 12,675 \text{ kg}/\text{cm}$$

$$f_{ci} = \frac{12,675(22.46)(0.9)}{2481 + 6(22.46 + 19)} = 93.85 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$f_{cr} = \frac{93.85[2481 + 6(22.46 + 19)]}{2481 + 6(22.46 + 19)(1 + 2)} = 79.38 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$P_0 = \frac{79.38[2481 + 6(22.46 + 19)]}{5(4157.8)} = 10.42 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

초기 균열을 발생시키는 three edge bearing load, W_{001} 은 축적된 실험결과를 이용하여 구할 수 있다. 정해진 관의 직경과 코아두께의 실험치에 대한 W_{001} 과 f_{cr} 의 상관 관계도(그림 11)로부터 W_{001} 를 구한다. 즉 그림 11에서 $f_{cr} = 79.38 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 일때 $W_{001} = 26,985 \text{ kg}/\text{m}$ 이다.

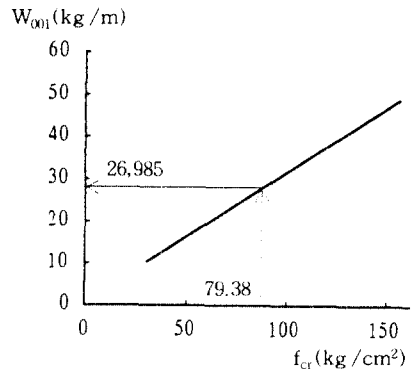


그림 11 실험에 의한 초기균열 발생시 3 edge bearing load 와 코어 콘크리트 응력의 상관도

따라서 식(9)로부터

$$W_0 = 0.9 \times 26,985 = 24,287 \text{ kg}/\text{m}$$

구해진 P_0 와 W_0 를 대입하여 P 와 W 에 대한 상관 관계도를 식(1)과(10)으로 부터 그릴 수 있다(그림 8). 내압 $P = 6.13 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 일때 토압과 대치될 수 있는 three edge bearing load는 그림 8 또는 하중-압력식(1)으로 부터 구한다.

$$W = \frac{24,287}{3\sqrt{10.42}} \sqrt[3]{10.42 - 6.13} = 18,068 \text{ kg}/\text{m}$$

파이프의 최대 허용응력 혹은 현장 지지강도는 단순히 하중계수(LF)를 곱하여 구한다. 여기서 하중계수는 하중을 받는 파이프의 강도와 bedding 조건의 비로서 결정된다(표 4).

$$\text{최대허용하중} = 18,068 \times \text{LF}$$

본 예제에서 가정된 하중계수의 범위는 1.9 ~ 2.0 이다. 따라서

최대허용하중=1.9 X 18,068=34,329 kg /m
 2.0 X 18,068=36,136 kg /m
 2.1 X 18,068=37,943 kg /m
 2.2 X 18,068=39,750 kg /m

표 4 Load factors for buried pipes assuming partial active lateral soil pressure

성토고 (m)	Pipe 내경(mm)		
	1600	2000	4000
0.5	2.27	2.41	3.39
1.0	2.04	2.09	2.40
1.5	1.96	2.00	2.19
2.0	1.92	1.95	2.09
2.5	1.90	1.92	2.04
3.0	1.88	1.90	2.00
3.5	1.86	1.88	1.97
4.0	1.85	1.87	1.95
4.5	1.84	1.86	1.94
5.0	1.83	1.85	1.92

5. 결 론

P.C.C관의 제작 및 시공에 관한 공사기사⁽²⁾에 이어 P.C.C관의 구조 및 설계에 대하여 기술하였다. 특히 P.C.C관의 우수성에 대해서 강관과 비교하였고 P.C.C관의 일반적인 구조세목에 대하여 설명을 하였다.

P.C.C관 설계에 일반적으로 많이 사용하는 미국 AAWA에서 제시한 두가지 해석 및 설계방법에 대하여 소개하였고 그중에서 보다 합리적이고 실험치를 이용하는 Cubic Parabola 설계방법에 대한 설계예제를 제시하여 실무자들의 이해를 돕도록 하였다.

이제 우리나라도 P.C.C 대형관의 제조 및 시공 기술이 충분히 축적되어 있으며 이미 세계적으로도 그 기술을 인정을 받고 있다. 더욱이 P.C.C관

은 내구성이 강관에 비하여 월등함으로 경제성이 있다고 사료된다. 따라서 국내의 대형 수도관을 강관위주의 공사에서 P.C.C관으로 대체하여 국가 기술경제력 향상과 더불어 경제성효과를 증대 시켜야 한다고 사료된다.

아직도 P.C.C관에 대하여 해석, 설계, 시공분야에 많은 연구, 개발이 필요하며 본고에서 기술한 P.C.C관의 구조 및 설계이론등이 이 분야에 종사하는 분들에게 참고자료로서 많은 도움이 되었으면 한다.

참 고 문 헌

1. American Concrete Pipe Association, CONCRETE PIPE HANDBOOK, 1980년
2. 박성수, "리비아 대수로 공사의 P.C.C관 제작에 대하여", 공사기사, 콘크리트학회지, 제3권 4호, Nov, 1992.
3. 김학면, "P.C.C관 매설구간의 부식에 대한 평가 및 조사", 기술동아, 제2호, 1990.
4. AMERON, Prestressed Concrete Cylinder Pipe Design Manual, 1986, U.S.A.
5. Robert E. Bald, "Standardization of Design Procedures for Prestressed-Concrete Pipe," Journal of the American Water Works Association, Vol. 52, No. 11, Nov., 1960.
6. Hugh F. Kennison, "Tests on Prestressed Concrete Embedded Cylinder Pipe," Journal of the Hydraulic Division, Proceedings of the ASCE, Nov, 1960.
7. Brown & Root, Procedure for Verification of Design of Prestressed Concrete Cylinder Pipe Using Cubic Parabola Design Method FO AWWA STANDARD C301(APPENDIX A), Jan., 1986.