AWWA C304를 적용한 PCC관 설계 및 Fitting 설계 전산프로그램

PCCP Design Program using AWWA C304 and Fitting Design Program

김영수 * 김두영 ** 조능호 ***
Kim, Young Soo Kim, Doo Young Cho, Neung Ho

ABSTRACT

This program is developed to design Prestressed Concrete Cylinder Pipes (PCCP) , Fittings and Thurst Blocks and to manage drawings, quantity calculations and calculation data, using Graphic User Interface(GUI), which is capable of not only reducing the time taken to design, but also enabling the user to achieve such a design even when operator has no theoretical knowledge of that design while only having knowledge of data inputting and outputting. PCCP is used in water transmission pipeline of the Great Man-made River Project. In domestic area, PCCP is used for water cooling systems of Uljin and Youngkwang nuclear power plants. In abroad, especially in the United States and Canada PCCP applies virtually every metropolitan area with raw and treated water.

1. 서론

본 신기술은 한계상태 이론을 근거한 AWWA C304를 적용한 PCC관(ECP, LCP)과 탄성설계와 허용응력 설계법이 적용된 Fitting 및 Thrust Block을 설계하는 전산 프로그램으로 구성되었고, 추가적으로 관의 물량산출 및 견적, 계산된 자료의 자료관리(DB), AutoCAD 연동 및 도면관리 등으로 이루어져 있다. 본 프로그램의 운영은 Windows 환경에서 운영되도록 구성되어 다양한 입출력 양식으로 표현 가능하며 그에 따라 사용자가 초보자라 할지라도 쉽게 설계하도록 되어 있다.

PCC관은 강관의 장점인 높은 인장강도 및 불투수성과 콘크리트의 장점인 내구성과 고압축강도를 최적으로 이용하여 제작되어 해외에서는 상수도, 공업용수도, 관개 용수로 등 다양한 산업부분에 실용화 되고 있으나 국내에서는 발전소 냉각수용으로 일부 사용되고 있다. 이러한 이유는 이론적 어려움과 계산의 복잡성으로 인해 구조 계산상 오류가 발생할 소지가 있으며 업무 담당자의 교체 시에도 위의 과정이 반복되므로 많은 시간이 소요되고, 전문적인 설계자의 부족으로 이론적 정립의 어려움 때문이었다.

당사가 개발한 PCC관 설계 프로그램은 15년의 해외 건설의 선진설계 기술을 바탕으로 1995년부터 자체적으로 개발하여 리비아 3단계 입찰, 중국 Project 등의 설계에 적용하였으며 1999년 4월 영국 특

* 정회원, 동아건설산업(주) 기술연구원 공학박사
** 동아건설산업(주) 기술연구원장
*** 동아건설산업(주) 기술연구원 주임연구원

허청으로 부터 특허를 획득하는 동시에 1999년 6월 건설교통부 지정 신기술(제170호)로 지정, 고시되었다.

2. PCC관의 설계

2.1 PCC관의 개요

일반적으로 PCC관(Prestressed Concrete Cylinder Pipe)은 콘크리트로 된 코어의 외주나 강판 실린더에 PS(Prestressing Steel)강선을 인장하여 감아줌으로써 콘크리트 관의 원주방향으로 미리 압축응력을 작용하게 하여 내·외압에 의하여 발생되는 인장응력을 소멸시켜 매우 큰 압력에도 충분히 견딜 수 있도록 구성된 관이다.

2.2 PCC관의 종류

2.2.1 ECP

ECP(Embedded Cylinder Pipe)는 강판실린더 내, 외부에 코어 콘크리트를 타설, 양생한 후 이와 같이 형성된 코어의 외주에 PS강선을 인장하여 감은 PCC관으로 보통 내경 900mm이상에서 적용된다.

2.2.2 LCP

LCP(Lined Cylinder Pipe)는 강판 실린더 내부에 코어 콘크리트를 타설·양생한 후 실린더 외주에 PS강선을 인장하여 감은 PCC관으로 내경 1500mm이하에 적용하는 것이 경제적이다.

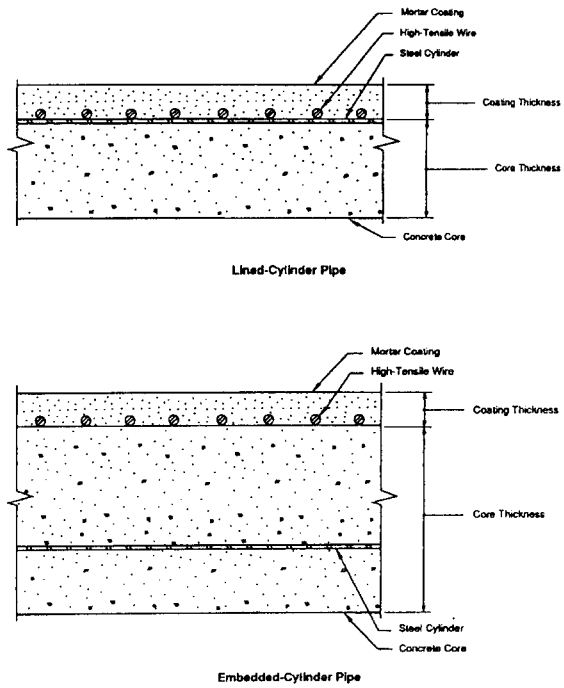


그림 1. ECP 및 LCP의 단면도

2.3 PCC관(ECP, LCP) 설계 프로그램

설계방법은 주어진 관경, 내압, 토피고 등의 자료를 입력하여 소요 코어 두께, 강선량 등을 산정하는 절차로 이루어져 있다. 입력방법은 그림 1과 같이 입력되는 자료가 화면하단에 동시에 그림으로 표현되어 오차없이 자료를 입력할 수 있다. 입력을 마친 뒤 계산을 실행하면 그림 2와 같은 설계 결과가 나타난다. 그 결과가 만족되면 저장조건 등을 입력한 뒤 저장하면 된다.

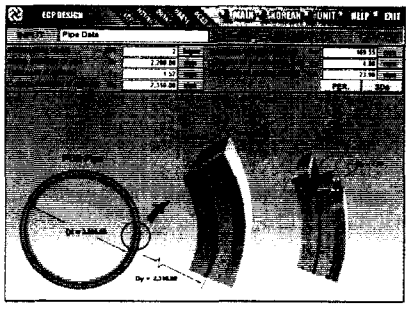


그림 2. 단면가정 입력화면

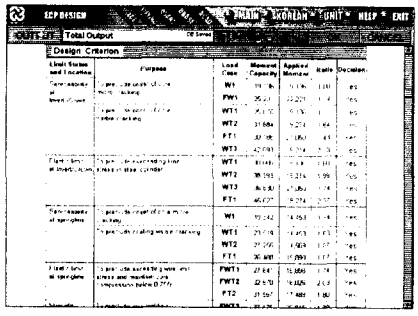


그림 3. 설계 결과 출력 화면

만일 결과가 만족되지 않으면 코어두께나 강선의 직경을 조절하여 재 계산한다. 또한 저장된 자료에 대한 자료정리, 물량산출, 견적과 다양한 출력양식으로 표현되고 있다.

2.4 PCC관의 설계이론

1992년 미국수도협회(American Water Works Association, AWWA) 에서는 Prestressed Concrete Cylinder Pipe (PCC관)의 설계방법을 개정하였다.

AWWA C304에서도 언급하고 있듯이 기존의 설계법에 문제가 있다기 보다는 새로운 설계법을 적용한다는 것에 의의가 있는 것이다. 기존의 설계방법과는 달리, 새로 도입된 설계법의 경우 한계상태 설계개념을 도입한 것으로 수계산이 불가능하며 수치해석에 의한 설계가 가능하다. 또한 AWWA C304에 의한 관설계는 모든 관 요소(콘크리트 코어, 모르타르 코팅, 강판실린더, PS강선 등) 재료에 대한 포괄적인 응력해석과 관 생산시 환경적 요소(매설시 노출시간, 매설후 기간, 습도 등)를 포함한다.

콘크리트 코어, 강판실린더, 그리고 프리스트레싱 강선에 대한 잔류응력 계산은 탄성변형, 크리프, 콘크리트의 수축, 그리고 프리스트레싱 강선의 이완 효과를 각각 고려한다.

매설관에 대한 설계 크리프계수와 수축변형의 계산은 ACI Committee 209에 추천된 절차를 기본으로 하며 시간, 상대습도, 체적-표면적비, 하중의 연한, 양생 기간, 콘크리트 배합, 그리고 배치 방법에 따라서 크리프와 수축을 계산한다. 크리프계수와 수축변형에 대한 설계값은 관이 50년간 노출되는 조건으로 예상하여 선정된다.

내부 압력, 외부 하중, 그리고 관 및 유체 자중의 허용된 조합을 결정하기 위해 한계상태의 설계기준을 만족하도록 한다. 한계상태 설계를 이용하는 목적은 작용 및 일시적인 설계하중과 압력을 다루는 관의 적절한 사용능력을 보장하며, 관이 가시적인 균열을 일으키는 비정상적인 조건하에서도, 적합한 강도에 대해 프리스트레스의 상태와 안전에 대한 여유가 유지되도록 대비하기 위함이다.

한계상태 설계절차는 내부 압력, 외부 하중, 관 및 유체 자중으로 발생하는 한계 주위의 추력과 휨모멘트를 기본으로 하며, 작용하중과 압력을 받고 있을때 어떤 일정한 한계상태 설계기준이 초과되지

않도록 하기위한 절차이다.

설계절차에서 다음의 세가지 한계상태기준이 사용된다.

① 사용한계

② 탄성한계

③ 강도한계

세가지의 한계상태기준을 만족하기 위해 각각의 한계상태에 대한 결합된 하중과 압력의 계산이 요구된다. 이는 한계상태와 상응하는 관벽에서의 결합된 모멘트와 추력의 계산 그리고 비균열 및 균열 단면을 순차적으로 고려해야 한다. 이러한 결합된 모멘트와 추력의 정확한 계산을 위해, 인장에 대한 콘크리트와 모르타르의 구성 성질이 옳게 표현되어야 하며, 콘크리트와 모르타르의 응력-변형도 관계에 대한 trilinear model이 PCC관의 한계상태 설계에 사용된다.

3. Fitting 및 Thrust Block 의 설계

3.1 Fitting 및 Thurst Block의 개요

일반적으로 Fitting은 관로에서 유체의 흐름을 분기하거나 합칠 때 또는 유량을 줄이거나 측정하기 위하여 이용된다. Fitting은 관로의 종류 및 이용목적에 따라 Tee, Cross, Elbow, PROP(Plate Reinforce Outlet Pipe), Reducer, Joint Ring Adapter, Closure Piece, Flanged Adapter 등 임의의 형상과 크기로 제작된다. Fitting은 강판으로 제작되며 부식을 방지하기 위하여 시멘트 모르타르나 콘크리트를 입힌다.

개발된 프로그램은 탄성설계를 바탕으로 AWWA M11, C-204, CIRIA, ASTM 등 선진 코드와 규준을 근거하여 다양한 형태의 Fitting과 Thrust Block의 설계를 보다 정확하고 빠르게 할 수 있도록 작성된 설계용 프로그램이다.

그림 4와 5는 Fitting과 Thrust Block의 종류를 보여주는 것으로 설계하고자하는 종류의 버튼을 선택하여 설계한다.

설계 방법과 과정은 PCC관(ECP, LCP)설계와 유사하다.

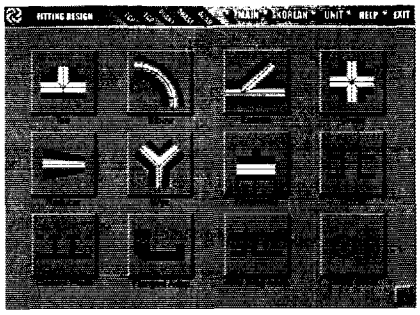


그림 4. Fitting 초기화면

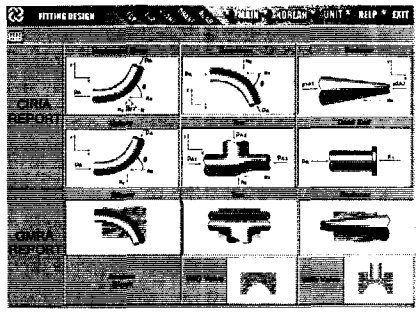


그림 5. Thrust block 초기화면

3.2 Fitting의 보강

관로에서 유체의 흐름을 분기하거나 합치기 위해 제작된 분기관에 의해 측벽 부분이 제거된다. 이때 fitting은 내압에 대해 높은 저항성을 갖지 못하게 되므로 관이 최대의 설계압을 받게 되는 경우에는, collar, wrapper, crotch plate 등으로 적절히 보강하는 것이 fitting설계의 일반적인 방법이다.

또한 유체를 대구경관에서 소구경관으로 흐르게 할 경우에 사용되는 reducer는 압력이 커지므로 강

판의 두께를 증가시켜 보강한다.

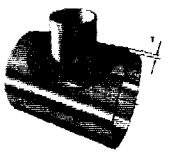


그림 6. Collar 보강

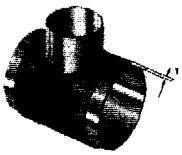


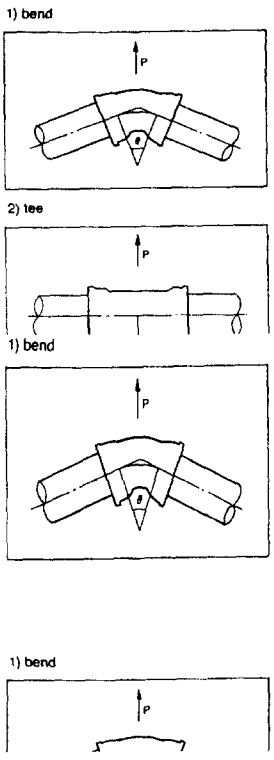
그림 7. Wrapper 보강

그림 8. Crotch Plate 보강

3.4 Thrust Block의 설계

불평형 추력에 의해 접합부의 이탈 등 관로가 손상되지 않도록 하는 구속방법은 여러 가지가 있으나 콘크리트 블록을 접합부에 타설하는 것이 가장 일반적으로 이용되고 있다. 블록의 크기와 형상은 구속되어야 하는 힘, fitting의 크기와 종류, 그리고 지반조건 등에 의해 결정된다.

Fitting에 작용되는 불평형 추력의 계산은 다음과 같다.



$$P = 2 \cdot p \cdot A \cdot \sin\frac{\theta}{2}$$

여기서,

A : 관의 단면적

p : 내압

θ : 편향각

$$P = p \cdot a$$

여기서,

a : 분기관의 단면적

$$P = p \cdot (A - a)$$

여기서,

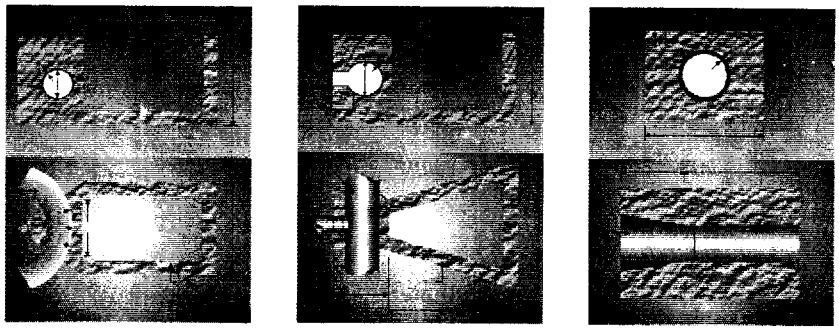
$A - a$: 분기관의 단면적

$$P = p \cdot A$$

그림 9. 작용 압력에 의한 추력

CIRIA Report의 설계제한은 관경 1000mm이하, 설계압 25kg/㎠ 그리고 설계력 100ton이며, GMR Report인 경우 tee, elbow 그리고 reducer에 대해서만 적용된다.

그림 10은 GMR Project에 사용중인 thrust block의 평면과 단면을 나타낸다.



Elbow Tee Reducer

그림 10. Thurst Block의 형태

4. 프로그램의 검증

프로그램에 대한 검증을 위하여 리비아 대수로 공사에 적용된 설계 결과물을 이용하였다. 현재 GMR 2단계 공사에 사용되는 PCC관(ECP)은 영국의 Price Brothers(PB)사가 설계하고 있다. 검증을 위해 PB사가 GMR공사에 제출한 전체 관경에 대한 계산서와 개발된 프로그램에 의해 산출된 결과를 비교하였다. 계산 결과 중 가장 중요한 항목인 PS강선량을 PB사와 개발된 프로그램에 의한 결과와 비교한 것이 표 1과 같다.

표 1. 개발된 프로그램과 PB사의 설계 결과 비교

관경(mm)	Data 수(EA)	최대 차이(%)	
		(양)	(음)
2000	49	0.38	-0.59
2200	54	0.39	-0.68
2400	81	0.43	-0.64
2800	94	0.40	-0.57
3600	452	0.40	-0.62
4000	218	0.44	-0.67
계	948	최대 0.44	최대 -0.68

표 1에서 보듯이 최대 차이(양)는 0.44%이고 최대 차이(음)는 -0.68%이다. 이는 설계 시 필요한 입력변수 설정 시의 오차, 단위 변환 시의 오차에 의한 것으로 판단되어 본 프로그램의 신뢰성을 확인할 수 있다.

5. 적용분야

5.1 대형 상수도 공사

현재 국내 상수관의 대형 송배수관에 적용되고 있는 관종은 주철관 및 강관이, 하수관은 콘크리트관이 주류를 이루고 있어 취급 및 시공이 용이하고 매설단가가 저렴하다는 이점이 있으나 매설후 유지관리 및 보수에 초기절감원가를 훨씬 상회하는 막대한 비용이 소요되어 장기적으로 경제적 손실이 급증된다.

기왕의 현황을 볼 때 대형 송배수관 및 하수관설치 운영
시 강도부족과 누수 및 부식이 가장 큰 문제점으로 대두되는 바 고강도의 PCC관으로 대치한다면 내구년한의 증대와 관리비 절감 및 누수감소 등으로 경제적인 이익이 예상된다.

5.2 원자력 발전소 냉각수 관로

현재 국내 원자력 발전소의 냉각수 관로에는 방사능 누출 및 원자력 발전소에서 요구되는 안전성의 필요해 의해 다른 관에 비해 내구성, 내식성 등이 뛰어난 PCC관을 사용하고 있다. 현재까지 국내 원자력 발전소 냉각수 관로에 쓰이는 PCC관은 AWWA C-301로 설계되어왔으나 앞으로 매설되는 PCC관은 AWWA C-304로 설계될 예정이며, 따라서 본 신기술의 사용이 증대될 것으로 예상된다.

5.3 동아건설의 PCC관 관련 기술

(1) 한국 프로그램 보호회 등록 현황 : 1996. 4, 1998. 1

PCC관 (ECP, LCP)설계 프로그램(98-01-12-0018)외 4건

(2) 국내 특허 등록 및 출원

① 등록 : 관 매설 지반의 검증 및 보강 방법(특허 제 0207929 호) 외 1건

② 출원 : UDP(Unified Design Procedure)를 이용한 PCCP(Prestressed Concrete Cylinder Pipe)설계방법(97-25866)외 2건

(3) 국외 특허 출원(미국) 및 등록(영국) 현황 : 1998. 6

Operating Method For Design System Associated With Prestressed Concrete Cylinder Pipes Using Graphic User Interface(9813339.0)외 1건

6. 결론

(1) AWWA C304에 따른 PCC관 설계에는 많은 단계가 수반되며 수작업으로 PCC관을 설계하는 것은 매우 힘든 일이다. 따라서, 이론을 정확하고 빠르게 적용할 수 있는 설계 프로그램을 개발하였다.

(2) AWWA C304에 제시된 사용성(Serviceability), 탄성(Elastic), 강도(Strength) 한계상태의 규준을 만족하도록 프로그램이 개발되었으며, 리비아 대수로 공사에 사용된 설계결과를 이용하여 개발된 프로그램을 검증하였다.

(3) 개발된 프로그램의 검증을 위해 외국의 설계 예와 비교한 결과 매우 적은 차이를 보이고 있어 실제 설계에 적용 가능하다.

(4) 국내·외 PCC관 설계시 본 프로그램을 사용함으로써 국내 설계 기술 향상을 도모하며 또한 외국설계사에 지불될 기술료가 절감되었다.

참고문헌

1. 김영수, 최인식, 신경수, 김두영, 이원재, "GMR공사에 적용된 PCCP(ECP)의 설계", 대한콘크리트학회 논문집, Vol.10, No.2, 1998.11.
2. American Water Works Association, Standard for Design of Prestressed Concrete Cylinder Pipe, AWWA C304-92, (1992)
3. AWWA, Steel Pipe-A Guide for Design and Installation, American Water Works Association,1989
4. Ameron, Prestressed Concrete Cylinder Pipe, 1986
5. AWWA, Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings, American Water Works Association,1983
6. A.R.D. Thorley and J.H. Atkinson, "Guide to the design of Thurst Blocks for Buried Pressure Pipelines", Report 128, CIRIA, London, 1994, p.97
7. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89), ACI Committee 318, 1989