

대수로용 Fitting 및 Thrust Block의 구조설계 프로그램 개발

Development of Design Program of Fitting and Thrust Block for Huge Water Supply Pipelines

김 두 영* 김 영 수** 이 상 환***
Kim, Doo-Young Kim, Young-Soo Lee, Sang-Hwan

ABSTRACT

The design program of fitting and thrust block including various shapes and sizes was developed for the GMR project (Great Man-made River Project in Lybia). It can automatically recalculated the minimum size of fitting required for the structural performance and can also determine the proper size of fitting for the safe and economic design by users.

It was found that the results of this program was accurate and efficient when it was compared to other references. This program is also developed with GUI (Graphic User Interface) technology for the convenience of users.

1. 서 론

일반적으로 Fitting은 관로에서 유체의 흐름을 분기하거나 합칠 때 또는 유량을 줄이거나 유속을 측정하기 위하여 이용된다. 이러한 Fitting은 강판으로 제작되며 부식을 방지하기 위하여 시멘트 모르타나 콘크리트를 입힌다. 또한, Fitting이 설치되는 곳에는 유체의 흐름이 변경되므로 인해 불평형 추력이 발생하므로 추력에 저항하는 반력을 얻기 위하여 Thrust Block을 설치해야 한다.^{1),2),3)} Fitting은 그 형태에 따라 설계 이론과 보강의 방법이 다르며, Thrust Block은 설계력의 방향이나 지반의 조건 등에 따라 설계 방법이 다르므로,

* 동아건설 기술연구원 기술연구원장

** 동아건설 기술연구원 책임연구원

*** 동아건설 기술연구원 주임연구원

이에 대한 다양한 이론적인 지식을 습득해야 만 설계가 가능하다

이와같은 Fitting 및 Thrust Block은 PCCP(Prestressed Concrete Cylinder Pipe)와 더불어 리비아 대수로 공사를 통해 생산 및 시공분야에서 충분한 기술력을 확보하고 있고 세계적으로 그 기술을 인정받고 있으나 설계 및 해석분야에서는 해외의 엔지니어링 업체에 의존하고 있는 실정이다.

따라서 리비아의 대수로 1, 2차 공사에 이용되었던 다양한 크기와 형태의 Fitting 및 Thrust Block에 대해, 실용적이고 합리적인 설계 프로그램을 개발하므로써 3차 이후의 공사에 대해 직·간접적으로 적용시킬 수 있는 배경을 조성하고, 적용시에 설계에 소요되는 시간, 인력과 비용을 절감시키고자 프로그램의 개발하였다.

본고에서는 개발된 내용을 소개하고 이 프로그램에 의해 설계된 결과를 기존의 설계결과와 비교하였다.

2. 개발 내용

구조물의 기하학적인 형상 및 작용하중에 대해서, 구조성능의 확보에 필요한 최소의 크기가 자동적으로 반복수행된 후 계산되며, 이때 사용자는 안전성 및 경제성을 고려하여 적절한 부재의 크기를 결정하여 설계하도록 개발되었다.

2.1. Fitting의 형태 및 적용된 설계방법

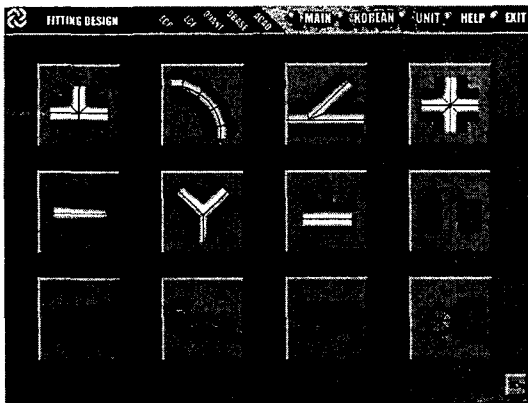


그림 1 Fitting의 종류

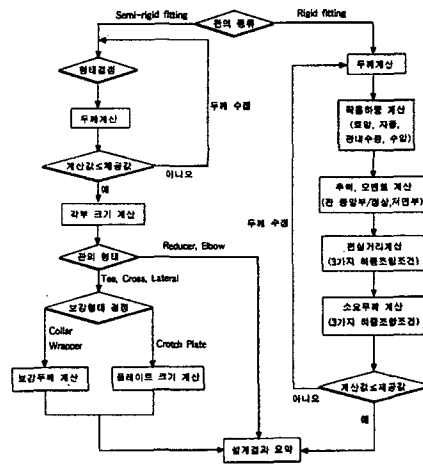


그림 2 Fitting의 설계수행절차

Fitting은 그 이용목적에 따라 그림 1과 같이 Tee, Cross, PROP(Plate Reinforced Outlet Pipe), Flanged Adapter 등 임의의 형상과 크기로서 제작된다.

또한 구성재료에 따라 Semi-rigid Fitting, Rigid Fitting으로 분류할 수 있다. Semi-rigid Fitting(그림 1에서 Tee, Elbow, Lateral, Cross, Reducer, Wye, Flometer)은 모든 경우에 대해 Thrust Block이 설치되어야 하며 작용하는 토압등 외력에 대해 Thrust Block이 저항하고 내압에 대해서는 강판실린더가 저항하도록 허용응력 설계이론으로 설계되었다. Rigid Fitting(그림 1에서 PROP, Closure Piece, Flanged Adap., Joint Ring Adap.)은 콘크리트 코어의 내·외측에 강판실린더가 부착된 것(Flanged Adap. 제외)으로 콘크리트 코어와 강판실린더가 토압등 외압과 내압에 저항하도록 강도설계이론으로 설계되었다. 이와같이 분류된 Fitting의 설계수행절차는 그림 2의 흐름도에 나타나 있다.

2.2. Fitting의 보강방법

유체의 흐름을 분기하기 위해 분기관을 설치할 될 때에는 Fitting의 측벽이 제거되어 높은 설계압을 받게 되므로 내압에 대한 저항성을 높이기 위해 그림 3과 같은 형태의 Collar, Wrapper, Crotch Plate 등으로 보강한다. 또한 그림 1의 Reducer과 같이 유체를 대구경에서 소구경으로 흐르게 할 경우에는 강판 두께를 증가시켜 보강하게 된다.

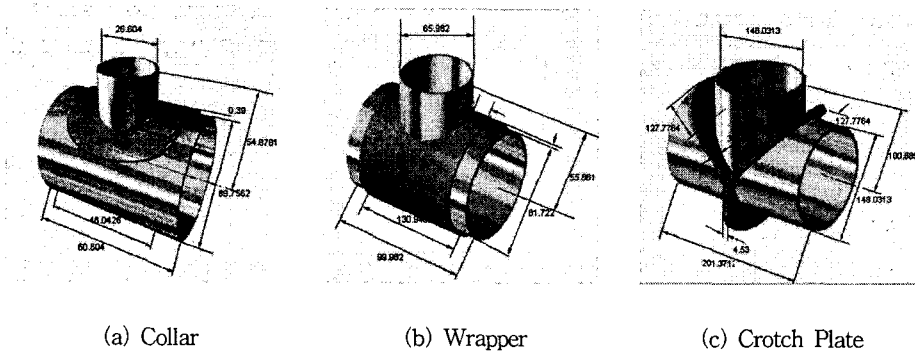


그림 3 Fitting의 보강형태

2.3. Thrust Block의 설계표준화

다음의 두가지 형태의 설계이론을 도입하여 Thrust Block을 표준화하였으며 개발된 Thrust Block의 종류와 설계수행절차가 각각 그림 3과 4에 나타나 있다.

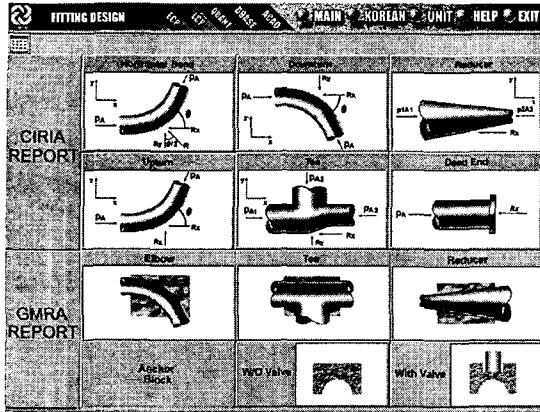


그림 3 표준화된 Thrust Block의 종류

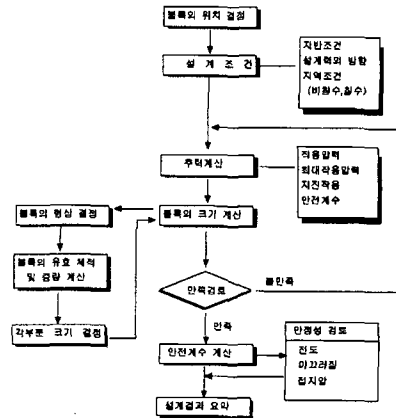


그림 4 Thrust Block의 설계수행절차

2.3.1. CIRIA Report

Construction Industry Research and Information Association⁴⁾에서 발간한 설계이론으로 표준화하였다. 주요한 설계변수는 설계력의 작용방향, 관로의 위치 및 지반조건이고 1000mm 이하의 비교적 소구경관에 적용되며 설계압 25bar 이하, 설계력 1000kN이하에 대해 설계가 가능하다.

2.3.2. GMR Report

현재 리비아 대수로공사에서 적용하고 있는 설계이론을 기초로 하여 표준화하였다. 설계 가능한 표준형태는 그림 5와 같이 장방형과 조합형으로 구성되어 있으며 사용되는 Fitting에 의해 그 표준형태가 결정되고 관로의 굵기가 작은 부분에는 Anchor Block이 이용된다.

Fitting	Tee	Elbow	Reducer
표준형태			

그림 5 Thrust Block의 표준화된 형태

3. 설계결과에 대한 고찰

프로그램 검증에 위한 설계예제는 리비아 대수로공사에서, 구조물 분야의 설계를 담당했던 Price Brothers (U.K) Ltd., Sir Alexander Gibb & Partners Ltd. (이하 각각 PB, Gibb으로 표기)에 의해 수행된 구조계산서와 참고문헌에 수록된 예제를 이용하였다.

검증방법은 각 형태의 Fitting 및 Thrust Block에 대해 관경(1600~4000mm), 설계내압(6~26bar)등 대표적인 설계조건별로 분류하여 리비아관련 자료실에 보관된 대부분의 구조계산서를 예제로 하여 설계하였다. 표 1, 3과 4는 검증을 위해 이용된 예제의 일부분으로 각각 Semi-rigid Fitting, Rigid Fitting과 Anchor Block의 설계결과를 나타낸 것으로 PB, Gibb의 해석 및 설계결과가 잘 일치하고 있다. 또한 PB, Gibb의 구조계산서는 일부가 수기계산, 일부는 전자계산화되어 있는데 수기로 계산된 경우에 설계과정의 누락 및 계산의 착오를 확인할 수 있었다. 표 2는 표 1에 이용한 기호에 관한 설명이다.

표 1 Tee형 Fitting의 설계결과

S (mm)	P (bar)	검증대상	Ty	STy	A	B	R.T	tt		dw	db	dt	dp
			min.	min.	min.	min.		min.	provided	min.	min.	min.	min.
3600×3600	26	PB	46.7	46.7	2557.5	2600	Crotch plate		115	3246.1	3246.1	889	900
		This program	47.18	47.18	2557.4	2600			115	3245.5	3245.5	878.9	825.7
2000×1600	10	PB	10.10	8.14	1450	1300	Crotch plate		35	1030	1030	550	536
		This program	10.03	8.10	1423	1273.8			35	1010.21	1010.21	488.1	540

표 2 기호설명

기 호
S = PIPE SIZE
P = DESIGN PRESSURE
Ty = MAIN CYLINDER THICKNESS
STy = OUTLET CYLINDER THICKNESS
A = LENGTH OF OUTLET
B = LENGTH OF RUN
R.T = REINFORCEMENT TYPE
tt = THICKNESS OF REINFORCING PLATE
dw = DEPTH OF PLATE AT ACUTE CROTCH
db = DEPTH OF PLATE AT OBTUSE CROTCH
dt = DEPTH OF PLATE AT TOP AND BOTTOM
dp = DEPTH OF BACK PLATE

표 3 Plate Reinforced Outlet Pipe의 설계결과

Load Case	Location	Eccentricity		Steel Area			
				Required		Provided	
		PB	This program	PB	This program	PB	This program
1	Springline	-17.78	-18.14	6.35	6.34	8	8
	Invert	-6.86	-7.30	7.42	7.61	10	10
2	Springline	2.286	1.8	6.71	6.68	8	8
	Invert	17.272	16.64	8.19	8.17	10	10
3	Springline		144.823	3.85	3.81	8	8
	Invert		453.82	4.38	4.33	10	10

표 4 Anchor block (with valve)의 설계결과

Level	Thrust		Resultant Vertical Force		Volume of Thrust Block		Block Weight per Unit Length		Block Length		Extended Lenfth	
	Gibb	This program	Gibb	This program	Gibb	This program	Gibb	This program	Gibb	This program	Gibb	This program
Ground	31667	31667.26	1369	1368.865	98	97.7761	241	241.4698	5.7	5.6689	0.19	0.1891
Centerline	31667	31667.26	772	772.4534	32	32.1856	414	413.9482	1.9	1.8661	0.24	0.2434
Invert	31667	31667.26	176	176.0417	7	7.3351	185	185.4682	0.9	0.9492	0.55	0.5433

4. 결 론

다양한 형태의 Fitting 및 Thrust Block의 설계를 위해, 구조물의 기하학적 형상 및 작용하중에 대해 구조 성능의 확보에 필요한 최소의 크기를 계산할 수 있도록 자동적으로 반복 수행시킨 후, 안전성 및 경제성을 고려한 최적의 설계가 가능한 프로그램을 개발하였다. 3 절의 설계결과에 관한 고찰에서 나타낸 것과 같이 수행된 해석 및 설계결과가 정확하고 신뢰성이 있다는 것을 알 수 있다.

또한, 이 프로그램은 PCCP와 함께 사용자가 쉽게 설계할 수 있도록 GUI(Graphic User Interface) 환경으로 개발되어 있으며 설계계산서와 도면등도 데이터베이스를 이용하여 체계적으로 관리가 가능하다.

참 고 문 헌

1. AWWA, Steel Pipe-A Guide for Design and Installation, American Water Works Association,1989
2. Ameron, Prestressed Concrete Cylinder Pipe, 1986
3. AWWA, Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings, American Water Works Association,1983
4. 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
5. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-89), ACI Committee 318, 1989