

파형강 지중구조물의 제특성 연구

A Study on Characteristic of Underground Corrugated Steel Structure

박 연 수¹⁾ · 서 병 철²⁾ · 김 병 하³⁾ · 박 선 준⁴⁾
Park, Yeon Soo Suh, Byoung Chal Kim, Byong Ha Park, Sun Joon

요 약 : 파형강 구조물과 같은 가요성관의 안전성 평가시에는 변형량의 검토가 무엇보다도 중요하다고 생각된다. 파형강 구조물의 수평 변형량은 토피고의 변화에 관계없이 관경이 커질수록 증가함을 알 수 있다. 병렬시공시에 대한 변형 감소량을 토피고 및 관종별로 내·외측으로 구분하여 단일 배치시와 비교 했는데, 변형 감소량이 큰 내측관에 대하여 관경이 1000mm인 경우를 살펴보면, 토피고 10m인 경우가 토피고 0.5m인 경우에 비해 변형 감소량이 약 4배 크게 나타남을 알 수 있었다. 또 관경의 종류 별로 변형 감소량을 비교해 보면 관경이 3000mm인 경우가 관경 1000mm인 경우에 비해 변형 감소량이 약 13~15배 크게 나타났다. 그리고 내측관과 외측관에 대하여 비교해 보면 내측관의 경우가 외측관의 경우에 비해 1.6~2.0배 정도 더 변형 감소량이 크게 나타났다.

ABSTRACT : Ductility pipes, like corrugated steel structures, are expected to reduce its deformation when they are arranged in a row. Verifying this assumption can help make economic designs possible. Though checking the deformation of ductility pipe structures, like corrugated steel structure, decreasing deformation was found when the pipes are arranged in a row. In this way, arranging a corrugated steel structure in a row shows decreased deformation compared to corrugated steel pipes arranged in a single structure because the bedding effect restrains deformation. The deformation rates of reduction are proportionate to the diameter of the corrugated steel structure.

핵 심 용 어 : 파형강 구조물, 가요성관, 변형량, 배당, 직경

KEYWORDS : Corrugated steel structure, Ductility pipes, Deformation, Bedding, Diameter.

1) 정희원, 전남대학교 토목공학과 부교수
2) 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사수료
3) 정희원, 전남대학교 토목공학과 박사과정
4) 정희원, 동신대학교 공업기술연구소 선임강사

본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

파형강 구조물은 강판에 일정한 파형을 주어 만들어지므로 동일한 판 두께의 강판을 이용한 파이프보다 외압에 대하여 훨씬 강한 구조이다. 그리고 국내에 도입되어 설치된 년수가 8~9년에 불과하여 구조설계에 대한 체계가 아직 미흡한 실정이다. 현재 배수관의 구조설계에는 미국에서 사용하고 있는 간략화 된 구조계산식을 이용하고 있는데, 간략화 된 식으로서 복잡하게 작용하는 지반과 파형강 구조물과의 상호작용을 설명하기는 어렵다. 또한 이 계산식은 파형강 구조물의 단일 시공시 거동특성에 대해서는 구조해석이 가능하지만, 저류시설이나 소교량과 같이 여러개의 파형강 구조물이 병렬로 배치된 경우에 대해서는 달리 계산하는 방법이 제시되어 있지 않아 이러한 상황에 대해서도 단일배치시 사용하고 있는 계산식을 그대로 적용하고 있다. 파형강 구조물과 같은 가요성(연성)관은 거동 특성상 병렬배치시 변형의 감소가 예상되므로 이를 규명한다면 병렬시공시 경제적인 설계가 가능 할 것이다.

본 연구에서는 일반적으로 널리 쓰이고 있는 구조해석용 프로그램을 이용하여 구조해석을 실시하는 방법을 연구하여 파형강 구조물의 안전성을 평가하고 이를 일본 지반공학회의 구조 계산식에 의해 도출된 결과와 비교 분석하여 효율적인 구조해석방법이 무엇인지를 제시한다. 또한 기존의 구조계산식으로는 알 수 없는 파형강 구조물의 병렬배치시 거동특성을 규명하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 국내외 설계기준

2.1 국내 설계기준

현재 국내에서는 건설부에서 발행한 도로공사 표준시방서와 한국도로공사에서 발행한 도로설계요령에서 파형강 구조물의 설계기준을 제시하고 있다.

2.1.1 도로공사 표준시방서

건설부에서 발행한 도로공사 표준시방서에 의하면 파형강 구조물에 대하여 KS에서 제시한 파형강 구조물중 원형 2형 중 일부에 대한 설계 도표만이 제시되어 있다. 설계방법은 따로 제시되어 있지 않으며, 제시된 도표만으로 파형강 구조물의 두께를 결정하게 되어 있다. 판의 지름은 2.2m~4.5m까지 제시되어 있으며 토피 두께는 최소 두께에서 부터 21m까지 1.5m~3m 간격으로 제시되어 있다.

2.1.2 도로설계요령

한국도로공사에서 발행한 도로설계요령도 마찬가지로 설계방법을 따로 제시하지는 않고 있으며, KS에서 제시한 파형강 구조물중 원형 2형과 예룡게이션형에 대하여 강판의 두께를 결정 할 수 있는 도표를 제시하고 있다. 토피 두께의 최소 값을 포장 저면 이하 부터 0.6m까지 규정하고 있다. 판의 지름은 1.5m~4.5m까지 제시되어 있으며 토피 두께는 최소 두께 0.6m에서 30m까지 1.5m~3m 간격으로 제시되어 있다. 도로공사 표준시방서에서 제시하는 파형강 구조물의 두께보다 다소 안전측으로 제시되어 있다.

2.2 국외 설계기준

미국의 경우 AASHTO 시방서에는 허용응력 설계법과 하중계수 설계법에 의한 관련규정이 제시되어 있으며 AISI(미국 철강협회) 매뉴얼에서는 허용응력 설계법에 의한 설계방법을 제시하고 있다. 캐나다의 온타리오코드(OHBDC)에서는 하중 저항계수 설계법에 따른 설계 기준이 명시되어 있다. 일본 지반공학회에서는 파형강 구조물의 설계 및 시공에 관한 매뉴얼을 작성하여 파형강 구조물에 대한 전반적인 소개를 하고 있다. 파형강 구조물의 규격 및 조립형상은 JIS에 제시되어 있지만 설계 및 시공 실무에 사용할 수 있는 매뉴얼은 지반공학회에서 제공하고 있다.

2.2.1 일본 지반공학회 매뉴얼의 설계법

일본 지반공학회의 매뉴얼에서는 파형강 구조물 설계시 허용응력 설계법을 사용하고 있으며, 사하중과 충격을 고려한 조합 하중에 대하여 설계하도록 하고 있다. 계산에 의한 두께의 근거로서 원형, 예릉게이션형, 파이프 아치형의 구조검토를 실시하는 경우에는 다음과 같은 4가지 항목에 대하여 실시한다.

- ① 시공중의 단면강성 검토
- ② 축방향 이음부의 강도 검토
- ③ 좌굴강도 검토
- ④ 파형강 구조물 단면 내 처짐 검토

(1) 검토하중의 산정

1) 사하중

파형강 구조물 정점부에 작용하는 압력의 계산.

$$w_D = \gamma h$$

w_D : 사하중에 의해 연직압력

γ : 흙의 단위중량, h : 토피고

2) 활하중

사단법인 일본도로협회 기준에 따른 T하중.

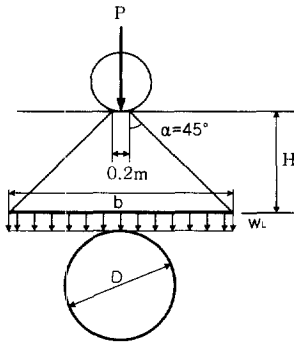


그림 2.1 자동차 하중의 분포상태

$$w_L = \frac{1}{b} \left\{ \frac{2P}{2.75} \times (1 + i) \times \beta \right\}$$

w_L : 연직활하중 압력

P : T하중에 의한 후륜하중

i : 충격계수(토피고 4m 미만에서는 0.3, 토피고 4m 이상에서는 0)

β : 저감계수, 토피고 1m 이하이고 구조물 안지름 또는 스펠이 4m 이상인 경우

$\beta = 1.0$, 그 이외의 경우 : $\beta = 0.9$

b : 하중분포폭($b = 2h + 0.2$)

(2) 벽체에 작용하는 압축력 계산

압축력 법에 의하여 다음 식과 같이 계산.

$$P = (w_D + w_L) \frac{D}{2}$$

P : 벽체에 작용하는 압축력

w_L : 활하중에 의한 연직하중

D : 파이프의 직경 또는 스펠

(3) 단면강성 검토

$$FF = \frac{D^2}{EI} \leq FF_a$$

FF : 유연도 계수

I : 판 두께에 의한 단면2차모멘트

E : 강판의 탄성계수, FF_a : 유연도 계수

(4) 이음부의 검토

$$F = \frac{\sigma_B}{P} > F_a$$

F : 종방향 이음부 강도에 대한 안전율

F_a : 종방향 이음부 강도에 대한 허용안전율

σ_B : 이음부 강도

P : 벽체에 작용하는 압축력

(5) 좌굴검토

$$F = \frac{f_c A}{P} > F_a$$

F : 좌굴에 대한 안전율

F_a : 좌굴에 대한 허용안전율

P : 벽체에 작용하는 압축력

f_c : 벽체의 좌굴응력, 다음과 같이 계산한다.

$$- D \leq \frac{r}{K} \sqrt{\frac{24E}{f_u}} \text{ 일 때,}$$

$$f_c = f_u - \frac{f_u^2}{48E} \left(\frac{KD}{r} \right)^2 \leq f_r$$

$f_c > f_r$ 인 경우, $f_c = f_r$

- $D > \frac{r}{K} \sqrt{\frac{24E}{f_u}}$ 일 때,

$$f_c = \frac{12E}{\left(\frac{KD}{r}\right)^2} \leq f_r$$

$f_c > f_r$ 인 경우, $f_c = f_r$

f_c : 좌굴응력

f_u : 강판의 인장강도 f_r : 강판의 항복점

K : 흙의 강성계수

r : 강판 단면의 회전반경

표 2.1 허용안전율 일람표

	항목	허용안전율
원형2형	단면강성 검토	0.11cm/kgf
	축방향 이음강도 검토	3.0
	벽체의 좌굴검토	2.0
	구조물 단면내의 변형 검토	5%

표 2.2 뒷채움 재료의 종류

범위	뒷채움재 변형계수(kgf/cm ²)	뒷채움재료와 다짐도
범위 A	7.4 ~ 14.7 {75 ~ 150}	약간 세립분이 있는 모래도 최대건조밀도의 90%이상으로 다짐.
범위 B	14.7 ~ 24.5 {150 ~ 250}	모래 또는 절입사리로 최대건조밀도의 95%이상으로 다짐.
범위 C	24.5 이상 {250 이상}	특히 입도가 좋은 절입사리 최대건조밀도 95%이상으로 다짐.

표 2.3 뒷채움재 종류에 따른 F_d 와 E_s

뒷채움재 종류	경시변화계수 F_d	변형계수 E_s
A	1.5	7.4 {75}
B	1.25	14.7 {150}
C	1.25	24.5 {250}

표 2.4 배당각에 따른 F_k 값

배당각 2α	0°	15°	22.5°	30°	45°	60°	90°
F_k	0.110	0.108	0.105	0.102	0.096	0.090	0.083

(6) 파형강 구조물 단면 내의 변형검토

Spangler의 식(Iowa formula)에 의해 변형을 계산하여 검토한다.

$$\eta = F_d \cdot F_k \frac{Wr^3}{EI + 0.061E_s r^3} \leq \eta_a$$

$$E_s = \frac{E_s}{2(1 - \nu^2)}$$

η : 수평 변형량

F_d : 흙의 경시변화 계수

F_k : 배당 앵글에 의한 정수

r : 파형 강구조물의 호칭반경

W : 파이프의 단위길이당 연직하중

w_L : 하중에 의한 압력

w_D : 피복두께중량

R : 흙의 단위체적중량

h : 파이프의 정점부에서의 피복두께

E_s : 흙의 변형계수

ν : 포아송비 ($\nu = 0.5$)

η_a : 수평방향 허용치점량

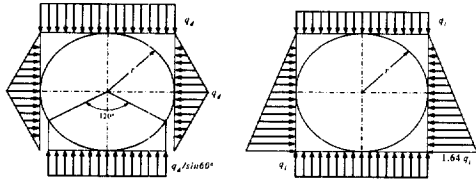
3. 모델링 및 구조해석

사용된 파형강 구조물로는 한국공업규격에 준하여 KS D3590 2.0mm인 파형강관으로 가정하였다. 1000mm관의 해석시 변형량이 크지 않은 4m 이하의 경우에는 1RS형(중골)관을 적용하여 구조해석을 실시하였으며, 변형량이 크게 발생하는 토피고 4m 이상인 조건에는 3RS형(대골)관에 대해 해석을 실시하였다.

3.1 파형강 구조물의 모델링

3.1.1 파형강 구조물만의 모델링

일본지반공학회 설계 매뉴얼에서 제시하고 있는 매설구조물에 작용하는 토압의 형태에 기초하여 지반을 제외한 파형강 구조물만을 모델링하여 그림 3.1과 같은 작용 예상 토압을 적용시켰다.



(a) 토피고에 의한 토압 분포 (b) 활하중에 의한 토압분포

그림 3.1 JIS 매뉴얼에 따른 관체 작용 토압

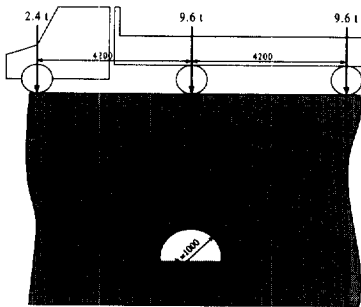


그림 3.2 단일관 해석 모형도 (mm)

3.1.2 파형강 구조물-지반 모델링

파형강 구조물-지반의 상호작용을 해석에 포함하기 위해 다음 식에 나온 변수들을 변화시켜 가면서 해석하여, 다음과 같은 경계조건을 도출하였다. 도출된 조건을 이용하여 모델링을 함으로서 모델링 차이로 인한 오차를 줄이도록 하였다.

- i) $H/D < 3$ ii) $H/D \geq 3$
- $L_s = 4m \geq 2H \geq 2m$ $L_s = H$
- $H_u = H \geq 1m$ $H_u = H$

3.1.3 병렬 시공된 파형강 구조물 모델링

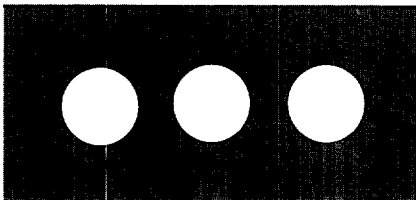


그림 3.3 구조물 모델링 범위

지반의 모델링 범위 지정시 단일관 해석과의 일관성을 위해 단일관 해석시에 적용한 원칙을 적용하였다. 활하중 재하 방법은 그림 3.4와 같다.

$$C=30cm, \quad 200 \leq D \leq 600$$

$$C=D/2cm, \quad 600 < D \leq 1800$$

$$C=90cm, \quad 1800 < D \leq 3600$$

3.1.4 구조해석에 사용된 지반반력계수

(1) 연직방향 지반반력계수

$$k_v = k_{vo} \left(\frac{B_v}{30} \right)^{-3/4} = 405.36 \text{ ton/m}^3$$

(2) 수평방향 지반반력계수

$$k_{Ho} = \frac{1}{30} \alpha E_o = 405.36 \text{ ton/m}^3$$

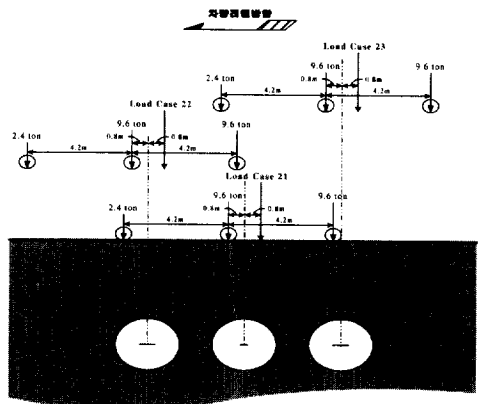


그림 3.4 DB하중 재하 방법

표 3.1 구조해석에 사용된 재료상수

뒷채움재(흙)		파형강 구조물	
단위중량	$r = 1.9t/m^3$	직경	$\phi = 1000mm$
변형계수	$E_s = 75kgf/cm^2$	탄성계수	$E = 2.1 \times 10^9 kgf/cm^2$
강성계수	$K = 0.44$	단면2차 모멘트	$I = 0.1882cm^4/cm$
포아송비	$\nu = 0.5$	단면적	$A = 24.797cm^2/m$
경시변화 계수	$F_d = 1.5$	인장강도	$f_c = 2800kgf/cm^2$
토피고	$h = 5m$	충격계수	$i = 0.3$
차량하중	DB24 (Pt=9.6tonf)	파형규격	두께 2.0t 75×25mm

3.2 해석 결과 및 고찰

3.2.1 JIS 매뉴얼 설계법에 의한 해석

(1) 검토하중의 산정

1) 사하중

$$w_D = 19.5 t/m^2$$

2) 활하중 「일본 도로협회 도로교시방서·동해설 I 공통편 II 강교편」

$$w_L = 0.61643 t/m^2$$

$$w_L = \frac{1}{b} \left\{ \frac{2P}{2.75} \times (1+i) \times \beta \right\}$$

w_L : 연직활하중 압력

P : T하중에 의한 후륜하중

i : 충격계수 (토포고 4m 미만에서는 0.3, 토포고 4m 이상에서는 0).

β : 저감계수, 토포고 1m 이하이고 구조물 안지름 또는 스패인 4m 이상인 경우

$\beta = 1.0$, 그 이외의 경우 : $\beta = 0.9$

b : 하중분포폭 ($b = 2h + 0.2$)

(2) 벽체에 작용하는 압축력

$$P = 5.058 tf/m$$

$$P = (w_D + w_L) \frac{D}{2}$$

(3) 단면 강성 검토

$$FF = 0.253 m/t \leq 0.11 cm/kgf$$

$$FF = \frac{D^2}{EI} \leq FF_a$$

FF : 유연도 계수

D : 파형강 구조물 직경

I : 판 두께에 의한 단면2차모멘트

E : 강판의 탄성계수

FF_a : 유연도 계수

(4) 좌굴검토

$$F = 12.754 > 2.0$$

$$F = \frac{f_c A}{P} > F_a$$

F : 좌굴에 대한 안전율

F_a : 좌굴에 대한 허용안전율

A : 파형강판의 단면적

P : 벽체에 작용하는 압축력

f_c : 벽체의 좌굴응력

(5) 파형강 구조물 내의 변형검토

$$\eta = 0.026871 \leq 0.05 m$$

Spangler의 식(Iowa formula)에 의해 변형을 계산하여 검토한다.

$$\eta = F_d \cdot F_k \frac{Wt^3}{EI + 0.061E_s \nu^3} \leq \eta_a$$

$$E_s = \frac{E_s}{2(1-\nu^2)}$$

η : 수평방향의 변형량

F_d : 흙의 경사변화(크리프) 계수

F_k : 배딩앵글(bedding angle)에 의한 정수

파형강 구조물에 대한 안정성을 평가할 경우 단면강성, 이음부의 강도, 좌굴, 강판의 변형 등에 대하여 구조계산식을 이용하여 검토하였는데, 변형에 대한 검토 사항을 제외하고 모두 요구되는 안전율보다 4~6배 이상의 안전성을 보여주고 있어, 가요성판의 안정성 평가시에는 변형량의 검토가 무엇보다도 중요하다고 생각된다.

3.2.2 파형강 구조물의 단일관 해석 결과

일본지반공학회(JIS)에서 제시한 방법으로 계산한 결과와 유한요소해석에 의해 도출된 결과를 비교 분석하여 파형강 구조물의 해석을 위한 SAP 2000의 적합성을 분석하였다.

표 3.2 구조계산식과 유한요소 해석에 의한 결과

해석방법	최대 수형 변형(cm)	오차율(%)
JIS 계산식	2.6871	3.90
SAP 해석결과	2.79184	

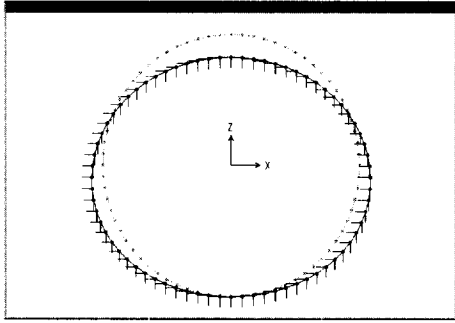


그림 3.5 처짐 모양

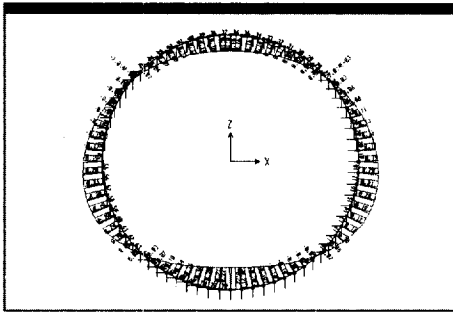


그림 3.6 모멘트도

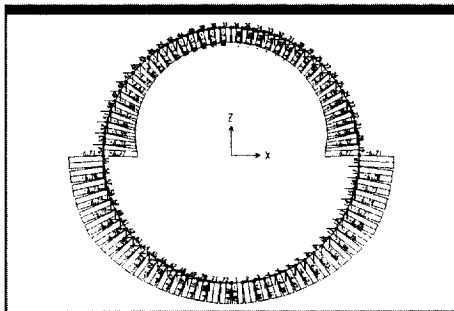


그림 3.7 축력 분포도

JIS설계 매뉴얼에 따라 구조계산을 실시한 결과와 유한요소 해석을 통하여 얻어진 변형량을 비교해 본 결과 유한요소 해석의 경우가 0.10474cm 큰 값을 보여주고 있음을 알 수 있었다. 이 오차는 구조물의 유한요소 해석시 이상화 과정에서 발생할 수 있는 오차를 감안한다면 두 방법의 결과는 거의 같다고 봐도 될 것이라 생각된다.

3.2.3 파형강 구조물-지반의 복합체 해석 결과 SAP을 이용하여 지중에 매설된 파형강 구조물을 지반과 함께 모델링 하여 구조해석을 실시하였으며, 이로부터 얻어진 결과를 앞 절에서 실시한 두가지 방법과 비교 검토하였다.

표 3.3 강-지반 복합체의 해석 결과 비교

해석방법	변형값(cm)	오차
구조계산식	2.6871	-0.05601
강-지반 모델링	2.74311	
강관 모델링	2.79184	0.04873

주) 오차율은 JIS 매뉴얼 구조계산식의 결과값을 기준으로 산출한 것임.

위의 표에서와 같이 SAP으로 지반과 강관을 함께 모델링하여 구조해석을 실시한 결과 강관만을 모델링하여 구조해석을 실시한 결과보다 0.04873cm 적은 변형량을 나타내고 있으며, JIS 구조계산식과 비교한 결과 0.05601cm 큰 값을 나타내 주고 있다. 이 오차들은 1.74%와 2.08%로서 매우 미소함을 알 수 있었다.

3.2.4 환경의 변화에 따른 변형 검토

파형강 지중구조물의 거동특성을 JIS 설계매뉴얼에 따른 구조계산 결과와 SAP을 이용한 유한요소해석 결과를 파형강 구조물의 종류와 토피고의 변화에 따른 영향을 분석하였는데, 그 결과는 그림 3.8 및 그림 3.9와 같았다.

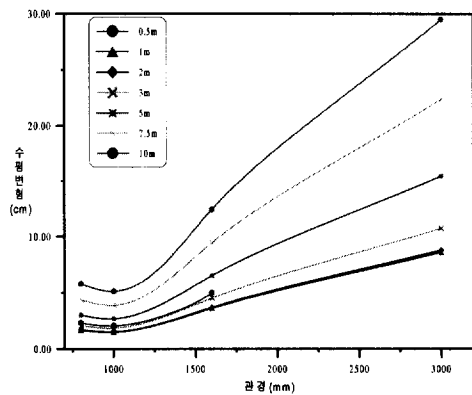


그림 3.8 JIS 설계 매뉴얼 계산식 결과

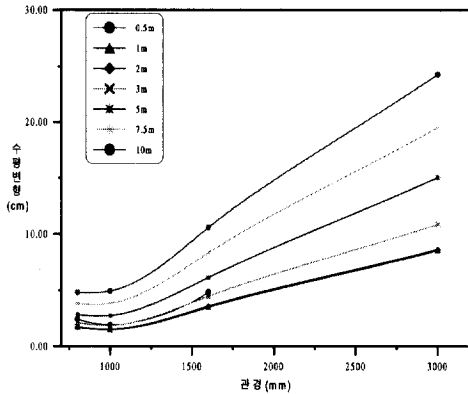


그림 3.9 SAP을 이용한 유한요소 해석 결과

위의 그림에서 보면 토피고의 변화에 관계없이 환경이 커질수록 파형강 구조물의 수평 변위가 증가함을 알 수 있다. JIS 구조계산식과 SAP에 의한 유한요소해석 결과를 환경에 대하여 비교해 보면 두 경우 모두 환경이 3000mm일 경우의 수평 변형이 800mm판에 비해 약 5배정도 크게 나타남을 알 수 있었다. 또, 변형이 가장 크게 나타남 3000mm판에 대하여 토피고의 변화가 변형량에 미치는 영향을 살펴보면 토피고 10m인 경우의 구조물의 수평 변형량이 토피고 1m인 경우의 변형량에 비해 JIS구조계산식의 결과는 약 3.4배, SAP에 의한 유한요소해석 결과는 약 2.8배로 JIS 계산식이 조금 크게 산출됨을 알 수 있었다. 그리고 토피고 5m까지는 환경에 관계없이 대부분 허용 변형량 이내로 나타남을 알 수 있었다. 그러나 토피고가 5m를 상회 할 경우는 변형에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

3.2.5 파형강 구조물의 병렬시공 구조 해석

JIS 설계매뉴얼에 제시된 구조계산식으로는 설명 할 수 없는 저류시설물이나, 소교량 등과 같이 병렬배치되는 파형강 구조물에 대한 거동 특성을 파악하였다. 병렬시공시에 예상되는 변형 감소량을 토피고 및 관종 별로 내·외측으로 구분하여 단일 배치시와 비교했는데, 그 결과는 그림 3.10 및 그림 3.11과 같았다.

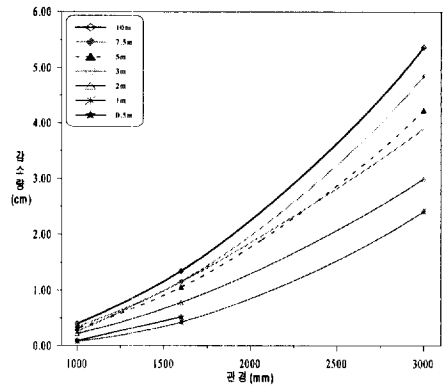


그림 3.10 병렬시공시 내측관의 변형 감소량

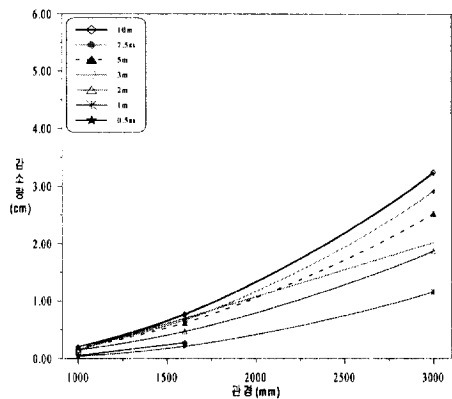


그림 3.11 병렬시공시 외측관의 변형 감소량

위의 결과에서 보면 내측관·외측관 모두 환경과 토피고가 커질수록 변형 감소량도 커진다는 것을 알 수 있었다. 특히 외측관의 감소량보다 내측관의 감소량이 크게 나타났다. 내측관을 외측관에 대하여 비교해 보면 내측관의 경우가 외측관의 경우에 비해 약 1.6~2.0배 정도 더 변형 감소량이 크게 나타남을 알 수 있었다. 변형감소량이 큰 내측관에 대하여 살펴보면, 환경이 1000mm인 경우 토피고를 10m로 했을 경우는 토피고가 0.5m인 경우에 비해 변형 감소량이 약 4배 크게 나타남을 알 수 있었다. 또 환경의 종류 별로 변형 감소량을 비교해 보면 환경이 3000mm인 경우가 환경 1000mm인 경우에 비해 변형 감소량이 약 13~15배 크게 나타났다. 이것을 변형의 감소율로 나타내보면 3000mm 내측관은 53.97%~33.16%

까지, 외측관은 32.53%~20.03%까지, 1600mm 내측관은 38.59%~16.05%까지, 외측관은 23.37%~8.48%까지, 1000mm 내측관은 20.68%~7.11%까지, 외측관은 14.94%~4.10%까지의 변형 감소율이 나타났다. 이러한 이유는 파형강 구조물의 병렬시공시에는 인근 구조물로 인해 변형을 억제하는 배당효과가 발생하여 하나의 파형강 구조물을 매설하였을 경우에 비하여 그 변형이 크게 감소하기 때문이라고 생각된다.

6. 결론

본 연구에서는 일반적으로 널리 쓰이고 있는 구조해석용 프로그램을 이용하여 구조해석을 실시하는 방법을 연구하여 파형강 구조물의 안전성을 평가하고 이를 일본 지반공학회의 구조 계산식에 의해 도출된 결과와 비교 분석하여 효율적인 구조해석방법이 무엇인지를 제시했다. 또한 기존의 구조 계산식으로는 알 수 없는 파형강 구조물의 병렬배치시 거동특성을 규명하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 파형강 구조물에 대한 단면강성, 이음부의 강도, 좌굴, 강판의 변형 등을 구조계산식을 이용하여 검토하였는데, 변형에 대한 검토사항을 제외하고 모두 요구되는 안전율보다 4~6배 이상의 안전성을 보여주고 있다. 그러므로 파형강 구조물과 같은 가요성관의 안정성 평가시에는 변형량의 검토가 무엇보다도 중요하다고 생각된다.
- (2) 파형강 구조물의 수평 변형량은 토피고의 변화에 관계없이 관경이 커질수록 증가함을 알 수 있다. JIS 구조계산식과 SAP에 의한 유한요소해석 결과를 관경에 대하여 비교해 보면 두 경우 모두 관경이 3000mm 일 경우의 수평 변형이 800mm관에 비해 약 5배정도 크게 나타남을 알 수 있었다. 또, 변형이 가장 크게 나타난 3000mm관에 대하여 토피고의 변화가 변형량에 미치

는 영향을 살펴보면 토피고 10m인 구조물의 수평 변형량이 토피고가 1m인 구조물의 변형량에 비해 JIS 구조계산식의 결과는 약 3.4배, SAP에 의한 유한요소해석 결과는 약 2.8배로 JIS 계산식이 조금 크게 산출됨을 알 수 있었다. 그리고 토피고 5m까지는 관경에 관계없이 대부분 허용변형량 이내로 나타남을 알 수 있었다. 그러나 토피고가 5m를 상회 할 경우는 변형에 대한 검토가 필요하다고 판단된다.

- (3) 병렬시공시에 대한 변형 감소량을 토피고 및 관중별로 내·외측으로 구분하여 단일 배치시와 비교했는데, 변형 감소량이 큰 내측관에 대하여 관경이 1000mm인 경우를 살펴보면, 토피고 10m인 경우가 토피고 0.5m인 경우에 비해 변형 감소량이 약 4배 크게 나타남을 알 수 있었다. 또 관경의 종류 별로 변형 감소량을 비교해 보면 관경이 3000mm인 경우가 관경 1000mm인 경우에 비해 변형 감소량이 약 13~15배 크게 나타났다. 그리고 내측관과 외측관에 대하여 비교해 보면 내측관의 경우가 외측관의 경우에 비해 1.6~2.0배 정도 더 변형 감소량이 크게 나타났다.

감사의 글

본 연구 결과는 2000년 포항제철 사회위탁 연구과제 지원비에 의해 수행되어졌으며, 연구비 지원에 대해 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. Marston, Anson, "Theory of External Loads on Closed Conduits", Bulletin No. 96, 1930, Iowa Engineering Experimental Station, Ames, IA, pp. 5~8.
2. Manual For Railway Engineering, Chapter 1, Part 4, Culverts, American Railway

- Engineering Association, Washington, DC 20001
3. American Iron and Steel Insstitute, 1990, "Mordern Sewer Design, 2nd ed."
 4. American Iron and Steel Insstitute, "Handbook of Steel Drainage & Highway Construction Products"
 5. 일본도로협회, "도로토공지침"
 6. 파형강판 지중압거의 설계와 시공, 철강엔지니어링 센터
 7. 콘크리트 횡배수관 매설에 따른 안정성 검토, 송촌건설주식회사
 8. 도로교 표준 시방서, 한국토목학회, 1996.
 9. 포항종합제철주식회사·한국파형강관협의회 "파형강관 배수시설 편람", 제4장 구조설계 PP. 235~317. 1999
 10. 건설교통부, 도로공사 표준시방서, 1996
 11. 일본도로교 시방서, 동해설 공통편Ⅳ 하부구조편
 12. 일본도로협회, 도로교시방서, 동해설 I 공통편 III 강교편
- (접수일자 : 2001년 7월 3일)