

관로 연결부의 응력집중저감기법연구

A Study on Stress Concentration Alleviation at Pipe Connections

정소영* · 한택희** · 한금호*** · 강영종****

Chung, So Young · Han, Taek Hee · Han, Keum Ho · Kang, Young Jong

Abstract

Stress concentration have a effect on commission of structures and sometimes it cause the fracture of structures. Stress concentration is appeared where have a sudden section change like pipe connections. So stress concetration is a potent influence at pipe connentions. This paper make a study of pipe connections to alleviate stress concentration, and propose the stress concentration alleviation method that will make better efficient pipe system and will have a good effect on economic, social aspect.

key words : Stress concentration, Pipe connections

1. 서론

구조물의 이음부, 굴곡부와 같이 단면변화가 급격한 곳에서 응력집중이 발생하고 이는 구조물의 수명 및 파단에 영향을 미친다. 따라서 관거의 연결부위의 결함에 미친 응력집중의 영향이 상당할 것이다. 이러한 응력집중의 영향을 최소화하면 관거의 연결부의 결함이 보다 완화되고 보다 효과적인 관로 시스템을 유지할 수 있을 것이다. 이는 경제적, 사회적 측면에서뿐만 아니라 환경 보존적인 면에서도 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 관거의 연결부위와 같이 응력집중이 발생하는 부위의 응력집중 저감에 대한 연구가 필요하다고 판단하여 관로 연결부의 응력집중저감기법에 대해 연구를 수행하였다.

2. 배경이론

PIPE를 지중에 매설 시 관로 거동 해석을 위해 Winkler의 탄성스프링 모델을 이용하여 지반을 탄성 스프링으로 모사하였으나, 지반의 특성상 압축력에만 저항하는 일방향 스프링으로 작용하므로, 하중 조건에 따른 관로의 변형 형상을 검토하여 경계조건을 조정함으로써 비선형 스프링을 모사하였다. 스프링의 강성값으로 사용되는 지반반력계수는 Howard의 연구결과에 의한 지반탄성계수값을 적용하였다.

스프링상수 혹은 지반반력계수(k_n)는 지반탄성계수(E')을 강관의 반경(R)으로 나눈 값으로 나타내며, 지반탄성계수는 지반과 강관의 접촉면에서의 강성을 나타내고, 접촉면에서의 압력(p)을 지반의 변형률(ϵ)로 나눈 값으로 정의할 수 있다. 본 논문에서는 지반탄성계수(E')값으로 Howard에 의해 제시된 값 중, AASHTO에서 규정하는 다짐도 85%를 만족하는 범위에 해당하는 13.8MPa를 사용하였으며, 일방향 스프링을 모사하기 위한 경계조건의 결정 방법은 다음 그림과 같다.

* 비회원 · SK건설 · E-mail:2000170767@korea.ac.kr

** 정회원 · 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 연구교수 · E-mail:taekie@korea.ac.kr

*** 정회원 · 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 박사과정 · E-mail:kumoh@korea.ac.kr

**** 정회원 · 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수 · 공학박사 · E-mail:yjkang@korea.ac.kr

표 1 Howard가 제안한 E' 의 실험치

Soil Type	E' in MPa for Proctor density		
	< 85%	85-95%	>95%
Fine-grained soils, CL, ML, ML-CL with <25% coarse-grained particles	1.4	2.8	6.9
Fine-grained soils, CL, ML, ML-CL with >25% coarse-grained particles	2.8	6.9	13.8
Coarse-grained soils with fixes, GM, GC, SW, SC	2.8	6.9	13.8
Coarse-grained soils with few or no fixes, GM, GC, SW, SC	6.9	13.8	20.7

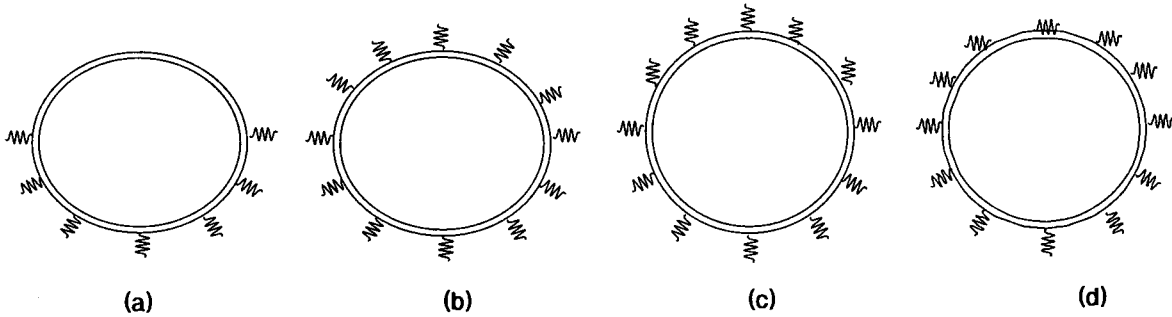


그림 1 경계 조건의 결정

관로에 작용하는 연직토압과 횡토압의 크기에 따라 관의 변형형상이 결정되며, 그림 1의 (a) 및 (b)와 같은 해석모델에서 변형형상이 그림 2의 (a) 및 (b)와 같이 나타났을 때, 각각 그림 1의 (c) 및 (d)와 같은 경계 조건을 적용함으로써, 비선형 스프링을 모사하였다. 본 해석모델에서는 그림 1의 (d)와 같은 경계조건이 적용되었다.

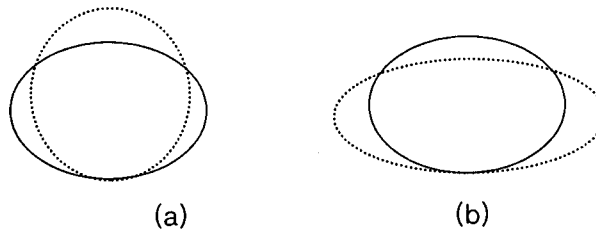


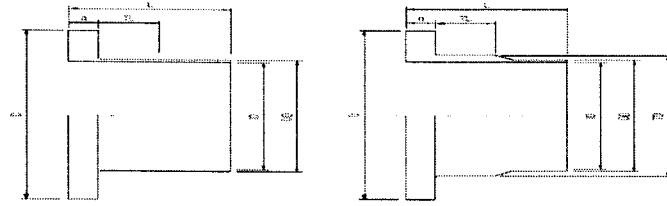
그림 2. 관로의 변형형상

3. 유한요소해석

본 논문에서는 관로의 연결부위와 같이 응력집중이 발생하는 부위의 응력집중 저감에 대한 연구가 필요하다고 판단하여 지중에 매설되어 있는 관로를 지반을 스프링으로 묘사하는 Winkler Model을 사용하여 지반 강성(Soil Stiffness: K) 및 지중 매설된 관의 거동 영향 인자를 고려하여 관로에서 응력집중이 발생하는 GRP PIPE 연결부 플랜지와 원형강관 분기관 연결부와 파형 관로는 마감부의 경우에 대해 연구하여 관로 연결부의 응력집중저감기법을 도출하고자 한다. 유한요소해석 프로그램인 LUSAS 13.8을 사용하였고, 관로에 작용하는 하중은 외압과 내압이 있으나 내압이 동시에 작용하는 경우 변형을 및 응력 면에서 불리하게 작용하기 때문에 본 논문에서는 외압에 대해서만 고려하였다.

3.1 GRP PIPE 연결부 플랜지 유한요소 해석

GRP PIPE 연결부 플랜지에서 가장 취약한 부위는 목 부위이다. 이는 기하학적으로 단면이 급변하기 때문에 응력집중이 발생하기 때문이다. 다음 그림은 기존의 연결부 플랜지의 단면 형상과 개선 플랜지의 단면 형상이다. 개선된 플랜지의 단면 형상을 보면 홈 부위에 약한 홈을 하나 더 추가한 것을 알 수 있다.



(a) 기존 플랜지의 단면 형상 (b) 개선 플랜지의 단면 형상
그림3 플랜지의 단면형상

GRP PIPE 연결부 플랜지에서 가장 취약한 부위인 목 부위의 응력집중에 대한 영향을 보기 위하여 다음과 같이 두 상황을 가정하여 모델링을 하였다. 플랜지를 캔틸레버로 모델링, 해석을 실시하였으며, 또한 매립시 토압을 고려, 모델링 및 해석을 실시하였다. 유한요소해석에 사용한 Element는 3D Solid Continuum Elements (HX20) 20절점 요소를 사용하였다. 20절점 요소는 curved solid의 분석과 이방성재료, 복합재료 분석에 효과적이다. 또한 8절점 직선 요소에 비해서 20절점 곡선요소가 연결부 플랜지의 개선 전과 후의 단면 영향을 좀 더 자세히 묘사하기 때문이다. 하중조건은 외압이 연직토압 및 횡토압이 작용하는데 연직 및 횡토압이 동시에 작용하는 경우보다 연직토압만 작용하는 경우가 플랜지의 변형률 및 응력 면에서 불리하게 작용하기 때문에 이 해석에서는 외압만 작용하는 연직토압만을 고려하였다. 유한요소해석결과는 다음과 같다.

표2 캔틸레버해석시 변형량 및 최대 응력

직경 (mm)	변형량(cm)			최대응력(MPa)		
	기존 플랜지	개선 플랜지	비교	기존 플랜지	개선 플랜지	비교
300	0.0146054	0.008582	41.14 % 감소	5.5455	3.6397	34.37 % 감소
350	0.0106122	0.00689	35.07 % 감소	4.8737	3.0468	37.48 % 감소
1200	0.0188562	0.01301	81.48 % 감소	9.2933	3.1919	65.65 % 감소

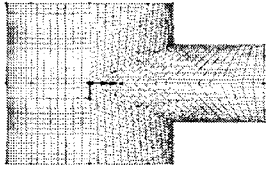
표3 매설해석시 변형량 및 최대 응력

직경 (mm)	변형량(cm)			최대응력(MPa)		
	기존 플랜지	개선 플랜지	비교	기존 플랜지	개선 플랜지	비교
300	0.0223887	0.01975	11.79 % 감소	3.5826	2.2912	36.05 % 감소
350	0.0222633	0.02078	6.66 % 감소	3.5611	2.1158	40.59 % 감소
1200	0.0414757	0.03986	3.9% 감소	4.0090	2.8704	28.40 % 감소

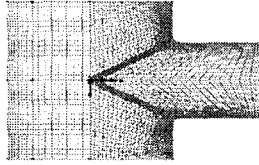
GRP PIPE 플랜지의 홈 부위에 약한 홈을 더 추가하여 해석을 한 결과 노치 효과의 완화로 인해 기존 플랜지와 개선 플랜지의 최대 변형량과 최대 응력값이 각각 감소한 것을 알 수 있다. 목 부위에 응력집중이 최대로 발생하는 캔틸레버 해석의 결과는 변형량과 응력값 모두 30% 이상 감소하는 결과를 보였다. 캔틸레버 해석 중 D1200의 경우 기존 플랜지와 개선 플랜지의 변형량 및 응력값 감소폭이 특히 컸는데, 이는 D300, D350에 비해 D1200의 PIPE의 길이가 길기 때문에 발생한 결과이다.

3.2 분기관 연결부 유한요소 해석

두 관로가 교차하는 연결부의 경우, 집합부에 침점이 발생하여 응력이 집중되므로 관로 파괴의 취약부분이 되기 쉽다. 따라서 관로 연결부 해석을 통해 집합부의 응력집중을 확인하고, 이러한 응력집중 현상을 방지하기 위하여, 관로 연결부의 단면 변화를 완만하게 하기 위해 곡선 처리하여 설계하였다. 그리고 곡선 처리 설계를 하기 전과 곡선 처리 설계를 한 이후를 해석하여 곡물이 응력집중저감에 미치는 영향을 보았다. 해석에 상용한 관로의 연결부는 일반 원형강관을 사용하였다. 다음 그림은 분기관 연결부의 곡선처리 전과 후의 단면 형상이다.



(a)곡선처리전 단면형상



(b)곡선처리 후 단면형상

그림4 분기관연결부의 단면형상

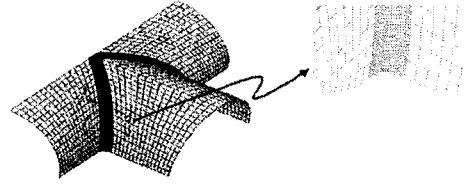


그림5 분기관연결부곡선처리설계 상세도

하중 조건은 연직도압과 횡도압이 작용시켰다. 유한요소해석에 사용한 Element는 Semiloop Curved Thin Shell(QSL8) 8절점 요소를 사용하였다. 8절점 요소는 curved shell의 분석에 효과적이다. 또한 membrane과 flexural deformation 또한 쉽게 계산할 수 있어 4절점 직선 요소에 비해서 8절점 곡선요소가 분기관 연결부를 좀 더 자세히 묘사하기 때문이다. 본 논문에서 사용한 곡률은 $\frac{1}{100mm}$ 이다. 다음 표는 최대응력에 대한 분기관 연결부의 곡선 처리 설계 전과 후의 유한요소 해석 결과이다.

표4 분기관연결부의 해석결과

	최대응력(MPa)	비교 (%)
곡선 처리 설계 전	161	100
곡선 처리 설계 후	94.764	58.86

관로의 항복응력은 275MPa로 연결부 접합부의 곡선 처리 설계 전과 후 모두 항복응력 이내로 안전함을 알 수 있다. 그러나 앞의 그림 48에서 볼 수 있듯이 곡선 처리 설계 전에는 두 관로가 교차하는 연결부의 접합부에서 응력집중이 뚜렷하게 발생한다. 곡률을 $\frac{1}{100mm}$ 로 곡선 처리 설계를 한 후 응력집중이 저감됨을 알 수 있었고, 최대 응력이 161MPa에서 94.764MPa로 41.14% 감소하였다. 따라서 분기관 연결부와 같이 단면변화가 급격한 곳에는 곡률을 주어 단면변화를 완만하게 하여 응력집중을 저감시킬 수 있다.

4. 결론

이와같이 관로 연결부의 응력집중을 저감시키는 방법으로는 단면 변화가 급격한 곳에 홈을 더 추가하여 노치 효과를 완화시키는 방법과 곡률을 주어 단면변화를 완만하게 하는 방법이 있음을 알 수 있다. 또한 마감부를 설치했을 경우 보강재를 사용하여 응력집중을 완화시키는 방법도 있다. 이러한 응력집중저감기법을 적용한 결과 관로의 연결부위의 결합에 영향을 미치는 응력집중의 영향이 상당히 저감되는 효과를 볼 수 있었다. 따라서 응력집중저감기법을 적용하면 보다 효과적인 관로 시스템을 유지할 수 있을 뿐만 아니라 경제적, 사회적 측면은 물론 환경 보존적인 면에서도 매우 효과적일 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국화이버(주)의 연구 지원으로 이루어진 것으로 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. S. P. Timoshenko and J. N. Doodier , "Theory of Elasticity" , 3rd Ed., McGraw-Hill, Inc., 1987
2. S. P. Timoshenko and James M. Gere , "Theory of Elastic Stability", 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc., 1961