유한요소해석결과와 실험결과 고찰을 통한 하수관거 기초 모델링 기법 고찰

강성용*, 박종섭*, 이관호**
*상명대학교 시설공학과
**공주대학교 건설환경공학부
e-mail:jokeksy@sangmyung.kr

Study on Basement Modeling of Sewage Pipe Line Based on Comparison of Finite Element Analysis Results with Experimental Data

Sung-Yong Kang*, Jong-Sub Park*, Kwan-Ho Lee**
*Dept. of Infrastructure Engineering, Sangmyung University
**Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

요 약

본 논문에서는 형식 조립식 하수관거 기초의 상재하중과 외압에 따른 거동을 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS 2009의 CAE 기능과 범용 CAD 프로그램인 Auto CAD Mechanical 2011의 3D 모델링을 통해 실제 실험결과와 비교하여 복잡한 구조의 구조물에서의 해석 정당성과 방법을 제안하고자 한다.

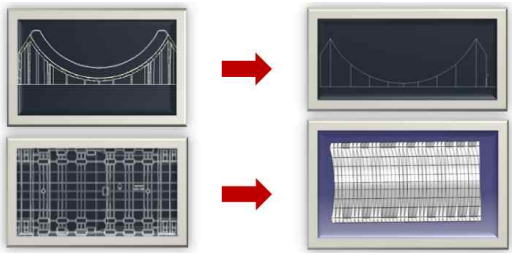
1. 서론

일반적으로 하수관의 매립은 내압에 대하여 고려할 필요는 없지만 외압에 대해 충분히 견딜 수 있는 구조와 재질을 사용해야 하므로, 충분한 강도와 내구성을 지닌 흄관(원심력 철근 콘크리트관)을 주로 사용하고 있다. 하지만 흄관은 강성관이고, 또 조립식으로 시공되기 때문에 이음부의 누수와 침하로 인한 어긋남과 같은 문제가 발생되고 있다. 따라서 지하에 매립되어 있는 하수관은 흙의 조건과 외부의 상황에 따라 부등침하 및 누수의 문제를 가지고 있다. 기존의 하수관거 기초의 시공은 일관적이고 검증된 시공이 어려움으로 범용 구조해석 프로그램을 사용하여 보다 정확한 해석을 통해 최적의 구조적 안정성과 경제성을 겸비할 필요성이 있다.

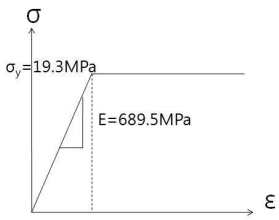
2. 유한요소해석 모델링

경제적이고 효과적인 하중 분산을 위해 신형식 하수관거 기초에서는 기존에 하수관 설치 하부 기초에 재료를 부어 넣어 채워 넣는 형식이 아닌 하나의 구조물을 설치하고 그 위에 하수관을 설치하는 구조로, 도면상 매우 복잡한 구조 형태를 해석을 위한 단순화 된 모델로의 전환이 필요하다. 따라서 범용 CAD 프로그램 Auto CAD Mechanical 2011을 이용하여 3D모델로 단순화된 Part를 생성 시킨 후 범용 구조해석 프로그램 ABAQUS 2009의 S4R(4절점 쉘 요소)로 불러 들여온다.

이 때, 해석 모델 물성치는 탄성계수=689.5MPa, 전단탄성계수=242.8MPa, 포아송비(v=0.42)로 PE(Polyethylene)2406 (100%)이다. 그림 1은 실제 설계모델과 유한요소 해석에 사용될 모델의 정면도와 평면도이다.



[그림 1] 하수관거 기초의 정면도와 평면도



[그림 2] PE2406 재료의 응력-변형률 곡선

해석모델의 ABAQUS 해석상에 사용될 재료의 특성은 그림 2에 따라 해석을 실시하였다. 그림 2의 항복강도 (σ_y)=19.3MPa, 인장강도(σ_t)=31MPa이다. 구조해석의 적절성을 판단하기 위해 해석 모델에서 대한 자중을 산술적으로 계산하고, 자중하중에 대한 구조해석결과를 비교하여 해석모델 및 해석결과의 적절성을 평가하는 자중검증을 실시하였다. 아래 표 1은 모델의 부피를 산술적으로 산정하여 밀도와 중력가속도를 고려하여 계산된

자중의 결과이다.

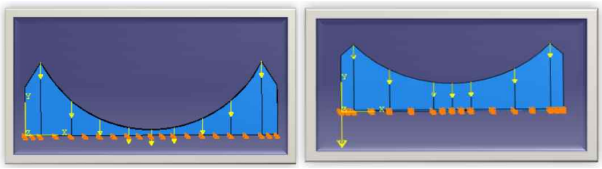
표를 통해 자중 검증 해석 오차는 0.08%이므로 해석모델링이 적절하게 수행되었음을 확인 하였다.

[표 1] 해석모델의 자중검증 결과

구 분	계산 결과
밀도 (D)	0.94×10-6 kg/mm^3
부피 (V)	3,857,433 mm^3
중력 가속도 (g)	9.81 m/s^2
수 계산 자중	35.57 N
ABAQUS 자중	35.6 N
오차	0.08%

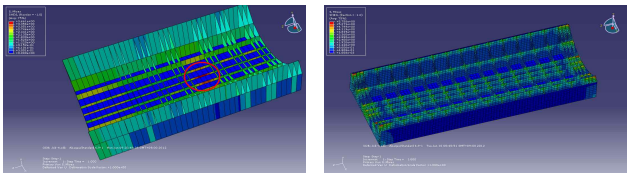
3. 유한요소해석 결과

하수관거기초 구조안정성 평가 및 경제적인 기초설계를 위하여 기초 받침각에 따라 2가지 해석모델에 대한 구조해석을 실시하였다. 아래 그림 3의 받침각이 120°인 모델1과 90°인 모델 2가 하수관거기초 상부단면으로 고려되었으며 경계조건은 기초 설치 시 흙의 다짐을 충분하다고 가정하여 고정단으로 적용하였다. 하중은 상부면에 산정된 상재하중을 상부면의 절점(Node)에 나누어서 등가 집중하중으로 재하 하였다. 표 2 유한요소 해석 요소로는 S4R 쉘 요소가 모델 1은 1,388개, 모델 2는 13,208개가 사용되었고, PE2406의 물성을 이용하여 해석한 결과이다.



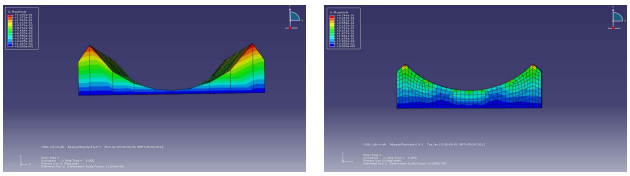
(a) 모델 1 (받침각 120°) (b) 모델 2 (받침각 90°)

[그림 3] 상부단면의 받침각에 따른 모델



(a) 모델 1 (받침각 120°) (b) 모델 2 (받침각 90°)

[그림 5] 모델 1과 2의 응력분포도



(a) 모델 1 (받침각 120°) (b) 모델 2 (받침각 90°)

[그림 6] 모델1과 2의 변위분포도

받침각이 120°인 모델1의 경우 발생되는 최대응력은 3.67MPa로 재료의 항복응력에 19% 해당하는 결과이며, 받침각이 90°인 모델2의 경우 발생되는 최대응력은 5.76MPa로 재료의 항복응력에 30% 해당하는 결과로 두 가지의 모델 모두 매우 안전한 값을 보여주고 있다. 위의 그림 5과 6를 살펴보면 응력의 분배 및 변위의 고른 분포를 가진 모델 2가 경제적인 설계를 위해서는 적절하다고 판단하여 모델 2를 사용하였다.

[표 2] 모델1과 2의 유한요소 해석 결과

구 분	해석 결과			
	모델 1 받침각 120°		모델 2 받침각 90°	
주응력 (MPa)	3.67	$0.19\sigma_y$	5.76	$0.30\sigma_y$
최대 압축응력(MPa)	2.02	$0.10\sigma_y$	2.05	$0.11\sigma_y$

4. 하중재하 실험

범용구조해석 프로그램 ABAQUS 2009 CAE에 의해 해석된 결과를 통해 모델 2가 경제적인 설계로 판단되어 실제 크기의 모델을 만들어 그림7과 같이 UTM 재하 시험기와 데이터 로거를 사용하여 하중재하 실험을 실시하였다.

그림 8은 실제 실험 모습이며, 실제로 하수관거 기초가 받는 힘을 재하하기 위해 콘크리트 흄관을 직접 올려 선 하중 형태의 하중 재하를 하였고, 상부의 관의 파괴가 되기까지의 하중을 가하였다.

(a) UTM 재하시험기 (b) 데이터로거

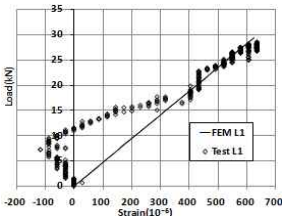
[그림 8] 실험에 사용된 장비

[그림 9] 실험 모습

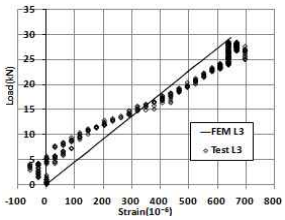
각각의 게이지 위치를 명명하고 UTM 하중 재하 시험기를 이용하여 점차적으로 증가 시켜 게이지에서의 변형률을 읽었다.

5. 해석결과와 실험결과 비교분석

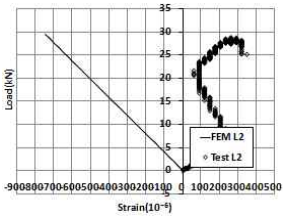
다음의 그래프는 모델2에 대한 ABAQUS 해석결과와 실험결과를 게이지 위치에 따라 응력-변형률 곡선으로 나타내었다.



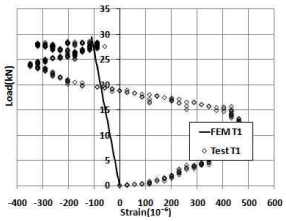
(a) L1 - 좌측 종 방향



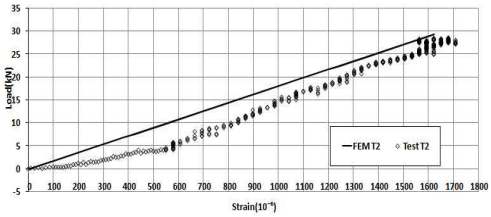
(b) L3 - 우측 종 방향



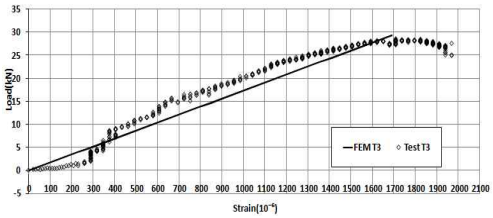
(c) L2 - 중앙부 종 방향



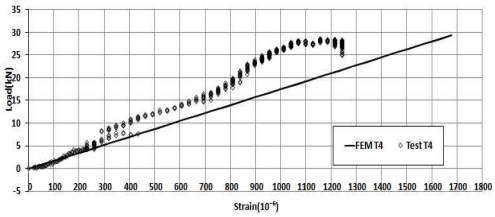
(d) T1 - 좌-좌측 횡 방향



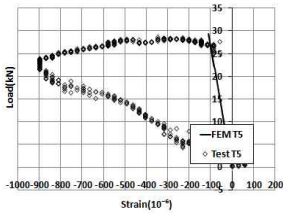
(e) T2 - 좌측 횡 방향



(c) T3 - 중앙부 횡 방향



(f) T4 - 우측 횡 방향

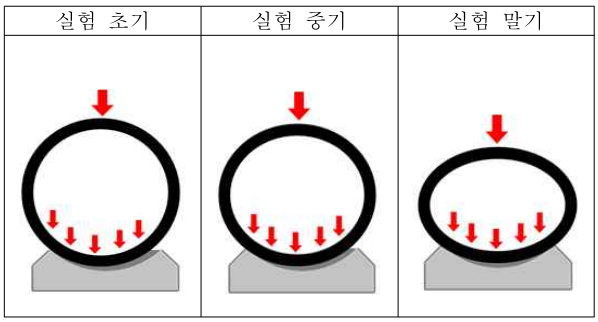


(g) T5 - 우-우측 횡 방향

[그림 12] 모델 2의 횡방향 게이지 결과 값

그림 10의 그래프에서는 몇 부분의 게이지 값을 제외한 나머지 부분에서 ABAQUS 해석 결과 값과 비슷한 양상을 보인다. 그림 10 (b), (c), (g)와 같이 해석값과 맞지 않는 부분의 원인은 하수관거 기초의 상부면과 관이 완벽하게 접합되지 않았기 때문이라고 사료된다. 다음 표 5는 완벽하게 접합 되지 않아 접합으로 인한 원인을 분석한 그림이다.

[표 5] 관의 접합으로 인한 관의 위치 변화

실험 초기	실험 중기	실험 말기
		

6. 결론

조립식 하수관거 기초를 범용구조해석 프로그램인 ABAQUS 2009 CAE를 이용하여 실제실험과 비교분석 후 구조적으로 자세하게 해석하여 보다 경제적이고 정확성을 지니며, 객관적인 데이터로 합리적인 설계에 적극적으로 활용될 수 있고 다양한 단면이나 재료의 특성을 지닌 구조물의 해석 연구에 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2011년 환경부 차세대에코이노베이션 기술개발사업 연구비 지원을 받았으며, 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] Braja M. Das 저 신은철 역 , “제 3판 기초공학”, 구미서관 2008.
[2] 이인모 저, “토질역학의 원리”, 세론, 2011.
[3] 한국상수도협회, “하수도시설기준”, 2010.
[4] 대한전문건설 협회 상·하수도공사업협의회, “상수도·하수도 공사시공법”, 1993.
[5] 대한주택공사, “토목표준설계도집:시설물편” 2005.
[6] 박종섭, 송호면, “비굴착 전체보수용 라이너의 두께 설계식 및 말단부 처리에 라이너의 안정성 검토 연구”, 한국산학기술학회논문지, 제8권, 제5호, pp.

1166-1172, 2007.
[7] 박제헌, “유동성 채움재를 이용한 지하매설관의 변형특성 연구”, 학위논문, 경성대학교, 2004.
[8] 이대수, 상현구, 김경열, 홍성연, “차량하중을 받는 지중연성관의 거동특성II”, 한국지반공학회지 , Vol. 19, No 5, pp.49-5, 2003.
[9] 오재일, 안남규, 이주영, 임남웅, “폐콘크리트 재생잔골재의 콘크리트 하수관 기초 재료로의 활용성 평가”, 한국폐기물자원순환학회지, 제22권, 제8호, pp.691-697, 2005.
[10] 오재일, 안남규, 이주영, “폐콘크리트 재생잔골재의 콘크리트 하수관 기초 재료로의 활용성 평가”, 대한환경공학회지, 제27권 제5호, pp.486-490, 2005.
[11] 이주영, “하수관 모래 기초로써 재활용 골재 재활용”, 학위논문, 중앙대학교, 2005.
[12] 정남용, “하수관 기초 재료로써 쇄사의 활용에 관한 연구”, 학위논문, 전북대학교, 2011.