

유한 요소법을 이용한 플랜트 배관 해석 Plant Pipe Analysis Using Finite Element Method

*김태성¹, 이육진¹, #조성욱¹, 이규봉²

*T. S. Kim¹, W. J. Lee¹, #S. W. Cho(scho@cau.ac.kr)¹, G. B. Lee²

¹중앙대학교 기계공학부, ²한국생산기술연구원

Key words : P&ID, Piping System, FEM, ASME Code

1. 서론

플랜트산업은 고도의 제작기술뿐만 아니라 엔지니어링, 컨설팅, 파이낸싱 등 지식서비스를 필요로 하는 기술집약적 산업으로 국내산업의 고도화는 물론, 수출시 높은 부가가치의 창출과 함께 기자재 및 인력수출이 가능한 21세기형 수출 주력산업이다. 플랜트 배관설계 및 해석은 플랜트산업에서 중요한 역할을 담당한다. 배관설계의 결과에 의하여 그 플랜트의 경제적 측면, 조작성, 미관성, 공사의 용이성 등이 좌우되기 때문이다. 하지만 플랜트 배관 시스템 설계 및 안전성 평가에서 양산까지 상호간의 연계성 부족으로 비효율적 설계 작업이 진행되고 있어 협업설계 환경 구축의 필요성이 확대되고 있다. 국제표준(ISO)에 근거한 배관설계 레이아웃(layout) 데이터를 구현하고 있다. 이러한 비효율성을 제거하고 엔지니어링의 흐름을 원활히 하는데 초점을 두고 있다. 또한 플랜트 배관설계의 안정성 평가를 위한 배관응력 해석의 공정 프로세스를 작성하고 설계-해석 통합화를 통한 최적화 기술 연구개발로 자본 비용 절감 및 엔지니어의 최적화에 대한 필요성에 부합하기 위해 설계 모델 가시화 연구가 진행되고 있다. 따라서 플랜트 배관 설계를 위한 배관 레이아웃 데이터 기반 신속 모델링 기술과 배관 시스템의 안정성 평가 기술, 그리고 통합 모델링 및 해석 시스템의 가시화 기술 연구 성과를 극대화시키는 것이 중요하다.

본 연구에서는 P&ID 데이터를 통하여 3차원 배관 CAD system을 생성하였다. 유한요소법을 이용하여 배관 상세 모델링에 대한 배관의 기초 구조 해석과 응력해석을 통해 배관 시스템의 안정성을 평가 하였다.

2. 배관 모델링

2차원 도면인 P&ID를 기반으로 개략적인 pipe routing을 구상하였으며, 3차원 배관 CAD 시스템을 이용하여 배관 상세 모델링을 수행하였다. 3D CAD 모델링은 PRO ENGINEER (ver 5.0)를 통해 이뤄졌으며 유한요소법을 통한 수치모델 생성은 ANSYS APDL (ver 14.0)을 통해 이뤄졌다.

배관 모델의 경계조건으로 P&ID에 포함된 각 배관의 길이, 외경, 두께는 물론 배관의 재질을 고려하여 비열, 열전도도, 밀도, 탄성계수 등을 포함시켜 모델링 하였다. 배관을 흐르는 유체의 온도는 525 °C 이며 압력은 108 bar이다.

3. 기초구조 해석과 응력 해석

배관의 기초 구조 해석을 통해 처짐을 검토하고 배관계의 재료 파손을 막기 위해 관련 설계 규격에 의한 허용 응력 해석을 수행하였다.

배관의 응력은 ASME code에서 규정하고 있는 일차응력(primary stresses), 이차응력(secondary stresses)을 검토하였으며, ASME B31.1의 허용응력 표를 참고하여 구조해석을 실시하였다.

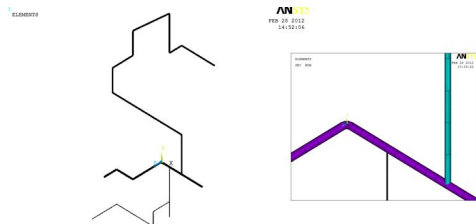


Fig. 1 Plant pipe system(Left) and Zoomed Plant pipe grid system (Right).

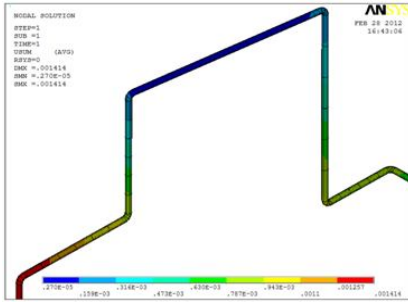


Fig. 2 . Displacement vector sum of the pipe

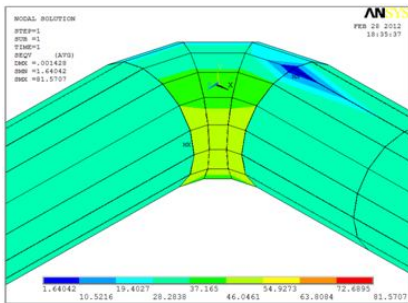


Fig. 3 . Primary Stresses of the pipe

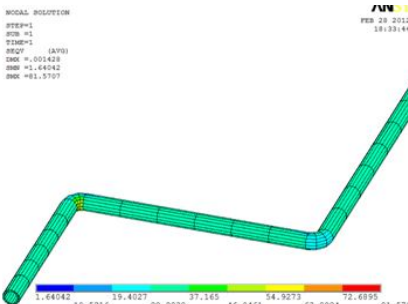


Fig. 4 . Secondary Stresses of the pipe

그림 2는 배관의 처짐 (displacement) 을 해석한 그림이다. 배관 시스템 형상이 복잡함으로 인해 수직배관 부분에 큰 처짐이 발생하였다. 그림 3과 그림 4는 일차응력 (primary stresses) 과 이차응력 (secondary stresses) 을 해석한 그림이다. 곡관 안쪽에서 큰 응력이 발생하였으며 항복강도 (205 MPa), 인장강도에 (415 MPa) 에 안정적인 배관 시스템으로 나타났다. 또한 배관 지지대 위치 선정에 따라 응력 해석이 다르게 나타났다. 따라서 응력해석결과에 따라 지지대의 위치 또는 개수를 변경시켜 배관에 발생하는 응력을 최소화 시켰다.

4. 결론

플랜트 배관설계는 매 경우마다 달리 설계되며 정해진 특정한 모양이 없고 그 과정이 대단히 복잡하고 다양하다. 본 연구에서는 배관설계와 시공에서 생기는 문제를 최소화 하고자 처짐과 응력을 유한요소법을 통해 해석하였다. ASME code를 통한 비교로 정량적으로 배관시스템의 안정성이 예측이 가능하였으며 운전압력 및 온도조건을 고려하여 다양한 상황의 배관해석이 가능하였다. 차후에는 배관의 구조해석, 응력해석 뿐만 아니라 열에 의한 응력해석, 지진해석 등 다양한 해석이 요구된다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 2010년도 국제공동기술개발연구과제인 ‘IT융합을 통한 에너지 절감형 생산공정 시스템 개발’ 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Shinozak, K., Yoda, K., Hozumi ard, T., Kira, T, "A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory," Japanese Journal of Ecology , **14**, 97-105, 1964.
2. Plancq, D., Berton, M "Limit analysis based on elastic compensation method of branch pipe tee connection under internal pressure and out-of -plane moment loading", International Journal of Pressure Vessels and Piping", **75**, 819-825, 1998.
3. Sreejith, B., Jayaraj, K., Ganesan, N., Padmanabhan, C., Chellapandi, P., Selvaraj, P., "Finite element analysis of fluid-structure interaction in pipeline systems", Nuclear Engineering and Design, **227**, 313-322, 2004.