

LNG 저장탱크 Roof 구조물의 진동특성에 관한 연구

김한구, 조승현, 김청균
홍익대학교 기계시스템디자인공학과

The Study of Vibration Characteristics on the LNG Storage Tank Roof Structure

Han Goo Kim, Seung Hyun Cho, Chung Kyun Kim
Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University

1. 서론

LNG 저장탱크(LNG Storage Tank)는 -162°C 의 LNG를 저장하기 위한 초대형 저장탱크로 한국이나 일본과 같이 불가피하게 LNG를 선박으로 운송하고 저장해야 하는 나라에서는 대단히 중요한 LNG 설비이다.

LNG 저장탱크에서 가장 중요한 기능은 외부에서 유입되는 모든 하중에 대하여 -162°C 의 LNG를 안전하게 저장해야 하고 내부탱크 붕괴 시 유입되는 LNG에 대하여 일시적 누설 차단성과 하중 지지성을 확보하고 있어야 한다. 만약, 이러한 기능을 유지하지 못하여 발생하는 LNG 저장탱크의 붕괴는 엄청난 인명과 재정적 손실을 가져올 뿐 아니라 주변 지역에 심각한 환경오염을 발생하게 된다. 따라서, LNG 저장탱크의 진동특성과 같은 구조적 특성을 파악하는 것은 설계에 있어서 상당히 중요한 부분이다.[1]

본 연구에서는 외부에서 유입되는 하중에 대하여 LNG 저장탱크 roof 구조물 시공시 사용되는 철골 구조물이 roof 구조물 안전에 미치는 영향성에 대하여 검토하고자 한다. LNG 저장탱크 roof 구조물의 외부 가진에 대한 안전성을 확보하기 위해서 실시간 응답해석을 수행하였다. 실시간 응답해석에는 주어진 가진에 대하여 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용된 철골 구조물의 개수 변화에 따라 발생하는 응력과 변위량을 파악하여 철골 구조물이 roof 구조물에 미치는 영향성을 평가 하였다. 이러한 해석결과를 통하여 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용되는 철골 구조물 설계시 기초자료로 사용하고자 한다.

2. 해석모델

해석모델은 Fig. 2-1에서 보여주는 바와같이 LNG 저장탱크를 해석대상으로 고려하였다. LNG 저장탱크는 8개와 6개의 노드를 갖는 Solid 요소를 사용하여 모델링 하였고 H빔과 L빔으로 구성되어 있는 철골 구조물은 2개의 노드를 갖는 Beam 요소로 모델링 하였다. 해석에 사용된 LNG 저장탱크 재질은 콘크리트로써 압축강도가 50MPa, 탄성계수는 30.4GPa이고 철골 구조물의 재질은 인장강도가 270MPa, 탄성계수는 207GPa로써 LNG 저장탱크 제작에 적합한 소재를 사용하였다.

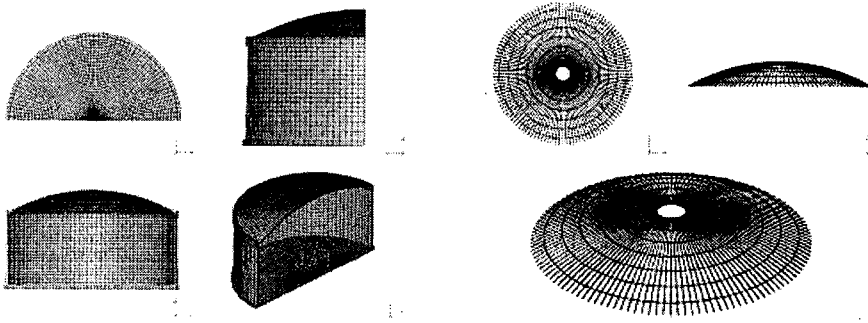
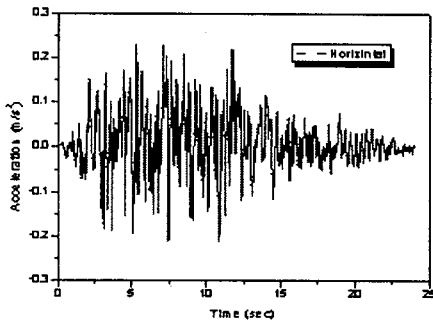


Fig. 2-1 LNG 저장 탱크 및 철골 구조물 유한요소모델

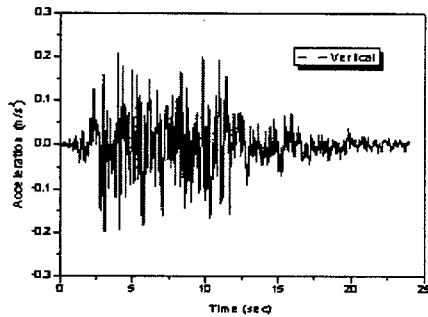
3. 실시간 응답해석

3-1 해석방법

주어진 가진조건에 대하여 LNG 저장 탱크 roof 구조물의 반경방향 철골구조물인 H빔 개수에 따라 roof 구조물에 발생하는 응력과 변위량을 파악하고자 실시간 응답해석(transient response analysis)을 수행하였다. LNG 저장탱크 roof 구조물의 동적거동 안전성을 고찰하기 위하여 사용된 가진조건은 Fig. 3-1에 보여준 것과 같다. 여기에 제시한 가진조건은 최대 가속도가 0.2g를 나타내는 시간 영역의 가속도로 수평방향과 수직방향에 대하여 주어졌다. 해석에 사용된 가진점은 LNG 저장탱크의 바닥면을 바닥면 중앙의 한 점과 강체요소를 연결한 후 연결 되어진 한점에 수직방향과 수평방향으로 동시에 가진 하였다. 이때 사용한 해석 프로그램은 상용 유한요소해석 프로그램인 MSC/NASTRAN[2]으로 SOL 112 을 사용하였다.



(a) 수평방향 가속도



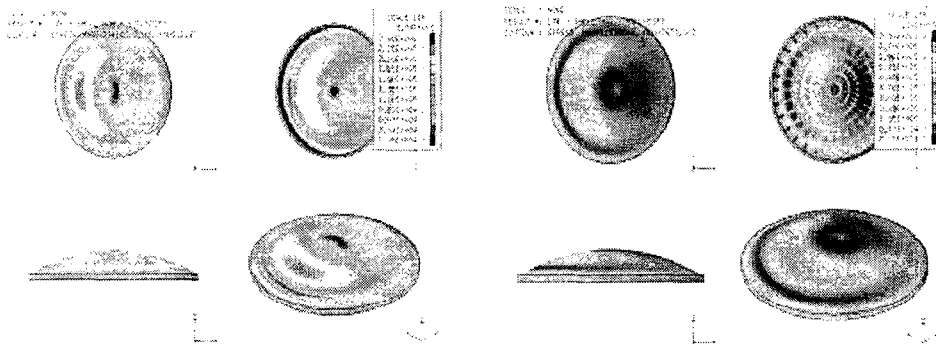
(b) 수직방향 가속도

Fig. 3-1 시간영역에서 가진 가속도

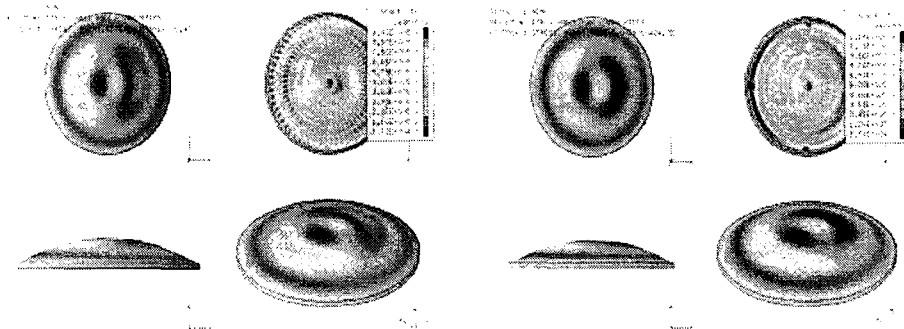
3-2 해석결과 및 고찰

Fig. 3-2에는 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용된 반경방향 철골 구조물인 H

빔 개수에 따른 roof 구조물에서의 응력분포를 나타내고 있다. 다음에 나타낸 응력분포는 시간에 따라 주어진 가진 가속도에 대하여 roof 구조물에서 최대응력이 발생할 때 응력분포를 나타낸 것이다. 해석결과에서 보여주는 바와같이 H빔이 존재하지 않을 때는 링빔 부위에서 응력이 집중되어 발생하였고 H빔이 존재할 때는 H빔 끝단에서 응력이 집중되어 발생하였다. 또한, H빔이 존재하지 않을 때 roof 구조물 중간 부분에서 발생했던 응력이 H빔이 존재할 때는 많이 완화되어 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 H빔 개수가 어느정도 이상 증가할 경우 H빔이 존재하지 않을 때 응력분포와 유사하게 링빔쪽으로 응력이 이동하는 것을 알 수 있다.



(a) H빔의 개수 : 0개(Time:8.75sec.) (b) H빔의 개수 : 30개(Time:8.75sec.)

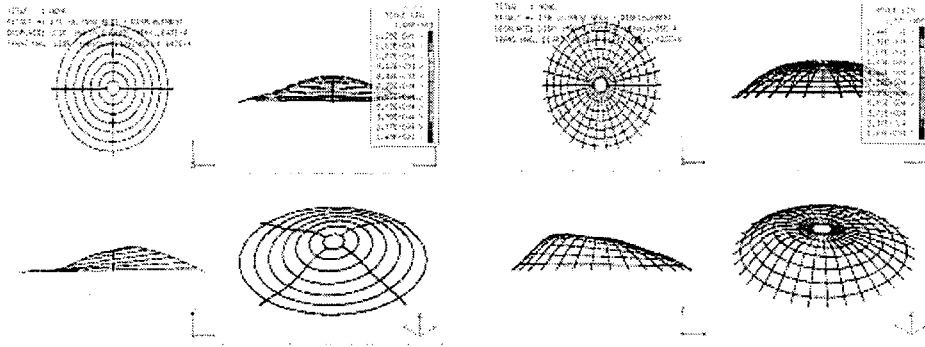


(c) H빔의 개수 : 60개(Time:8.85sec.) (d) H빔의 개수 : 120개(Time:8.85sec.)

Fig. 3-2 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용된 반경방향 철골 구조물의 개수에 따른 roof 구조물에서의 응력분포

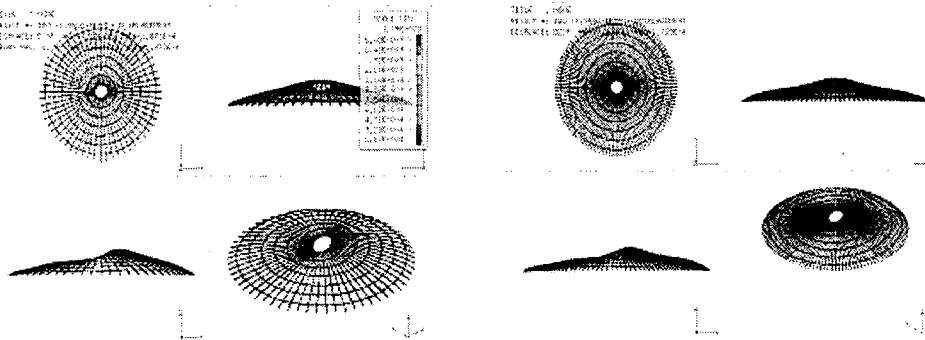
Fig. 3-3에서는 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용된 반경방향 철골 구조물인 H빔 개수에 따른 철골 구조물에서의 변형형상을 나타내고 있다. 다음에 나타낸 변형형상은 시간에 따라 주어진 가진 가속도에 대하여 철골 구조물에서 최대변위량이 발생 때 변형형상을 나타낸 것이다. 해석결과에서 보여주는 바와같이 H빔 개수가 증가하는 것에 무관하게 철골 구조물 변형형상이 roof 구조물 변형형

상과 같은 형상으로 변형되고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 H빔 강성이 상대적으로 roof 구조물 강성보다 상당히 작기 때문에 외부 가진에 대하여 H빔의 저항성이 거의 없으므로 roof 구조물과 같은 변형형상을 보여주는 것으로 판단된다.



(a) H빔의 개수 : 4개(Time:8.75sec.)

(b) H빔의 개수 : 30개(Time:8.85sec.)

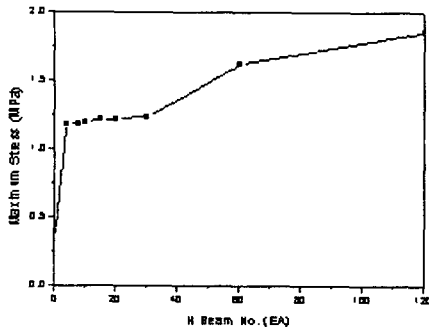


(c) H빔의 개수 : 60개(Time:8.95sec.)

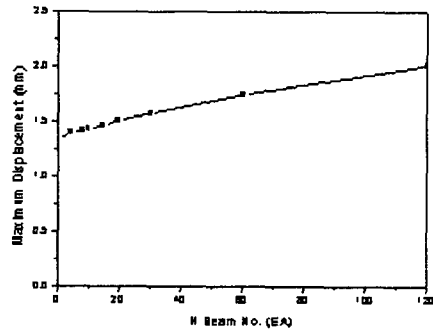
(d) H빔의 개수 : 120개(Time:8.95sec.)

Fig. 3-3 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용된 반경방향 철골 구조물의 개수에 따른 철골 구조물에서의 변형형상

Fig. 3-4에는 LNG 저장 탱크 roof 구조물의 반경방향 철골구조물인 H빔 개수에 따라 발생하는 최대응력과 최대변위량을 나타내고 있다. 이 그래프는 H빔 개수에 따른 각각의 경우를 시간에 따른 가진 가속도로 해석을 수행하여 발생한 응력과 변위량 중 최대응력과 최대변위량만을 나타낸 것이다. Fig. 3-4 (a)에서 나타난 바와같이 H빔이 존재할 때와 존재하지 않을 때 발생하는 최대응력의 차이는 나타나지만 H빔이 존재할 때 H빔 개수에 따른 최대응력의 변화는 H빔이 존재하지 않을 때와 비교하여 조금씩 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 3-4 (b)에서는 H빔의 개수가 증가함에 따라 발생하는 최대변위량이 조금씩 증가하는 것을 알 수 있다.



(a) 최대응력 변화



(b) 최대변위량 변화

Fig. 3-4 LNG 저장 탱크 roof 구조물의 반경방향 철골구조물인 H빔 개수에 따른 최대응력 및 최대변위량 변화

4. 결론

본 논문에서는 LNG 저장탱크 roof 구조물에 사용된 철골 구조물 중 반경방향 구조물인 H빔 개수가 roof 구조물 안전성에 미치는 영향성을 평가하기 위하여 실시간 응답해석을 수행 하였다.

해석결과 철골 구조물인 H빔 개수가 주어진 가진에 따라 roof 구조물에 발생하는 최대응력과 최대변위량에는 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다. 오히려 H빔의 개수가 증가 할수록 roof 구조물에 발생하는 최대응력과 최대 변위량은 조금씩 증가 하는 것을 볼 수 있었고 이러한 결과는 H빔 개수 증가 하기 때문에 roof 구조물 무게가 증가함으로써 주어진 가진 가속도에 의해서 발생하는 최대응력과 최대변위량을 증가 시키는 원인이 되었다. 하지만, LNG 저장 탱크 roof 구조물의 압축강도와 크기에 비해서 발생하는 최대응력과 최대변위량의 값이 매우 작기 때문에 H빔 개수가 roof 구조물의 안전성에 미치는 영향은 미비하다고 생각된다. 따라서, roof 구조물에 사용하는 철골 구조물인 H빔 개수를 시공작업시 문제가 되지 않는다면 H빔 개수를 최소화 하여도 LNG 저장 탱크 roof 구조물 안정성에는 거의 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

7. 참고문헌

- [1] 김청균, 김한구, "LNG 저장탱크의 고유 모드 및 주파수 응답성에 관한 연구", 2004 춘계학술발표회 논문집, 한국가스학회, pp. 233-242, 2004
- [2] "MSC/NASTRAN User's Guide, "Basic Dynamic Analysis", The MacNeal-Schwendler Co., 1993.