콘크리트 타설에 따른 지하식 LNG 저장탱크 컴프레션 링 거동 분석

김영균†, 김지훈*, 윤인수*, 오병택*, 양영명*
*한국가스공사 연구개발원

The Analysis of Inground LNG Storage Tank Compression Ring Behavior during Concrete Pouring

Y.K. Kim†,, J.H. Kim* I.S. Yoon*, B.T. Oh*,Y.M.Yang*
Kogas R&D Center*

Abstract

Compression ring is a part of LNG storage tank. The main function of the compression ring is connected the roof plate with concrete side wall. End of its one side is embedded in the side concrete wall and the other's connected with the roof plate by welding. It is designed to support stably for all the loads such as self weight of steel roof, inner pressure and concrete weight. We fulfill the FEM analysis to analysis the compression ring behavior during construction. Also we studied the effect of the change of design variables. On the basis of the results, we could introduce a more reasonable design method for compression ring.

1. 서론

LNG 저장탱크 용량이 대형화 됨에 따라 안전성을 확보 하기 위하여 원통 쉘 구조의 측벽과 원판 형태의 바닥판에서 철근 콘크리트로 시공 건설 된다. 루프는 돔 형상을 갖는 구조물로서 벽체 정상부에 지지 되어진 강판의 구형 쉘 구조로 구성되며 루프 프레임에 고정 지지된 서스펜디드 데크 상부에 단열재를 설치하여 단열 하는 방식이 주로 사용된다. 초기 LNG저장탱크에는 Steel 루프만으로 시공되었으나 외부의 충격등에 대비하여 Steel 루프 상부를 콘크리트로 타설 시공된 복합구조로 안전성을 확보 하고 있다. 컴프레션 링은 한 쪽 끝이 콘크리트 벽체 내에 설치 고정되어 다른 한쪽 끝이 Steel 루프 플레이트 부와 용접결합하여 지지하는 구조를 가지고 있다. 컴프레션 링의 주 기능은 벽체에 고정되어 강제 루프의 자중 그리고 콘크리트 타설 시공에 의해 부하되는 하중을 지지는 구조로서 안전성 및 안정성이 특히 요구되는 구조이다.[1][2],[3]

본 연구에서는 LNG 저장탱크 건설시 특히 콘크리트 타설시의 컴프레션 링의 거동 특성을 파악 하고자 하였다. 이를 위하여 한국가스공사 인천 생산기지에 적용 건설된 #13호기 지하식 LNG 저장탱크에 실제 콘크리트 타설 시공 과정에서의 컴프레션링의 거동을 이론과 측정을 통하여 분석 하였다. 유한요소해석 프로그램을(LUSAS) 사용하여 컴프레션링의 특성을 이론적으로 파악 하였다. 또한 타설된 콘크리트 각 부분의 수

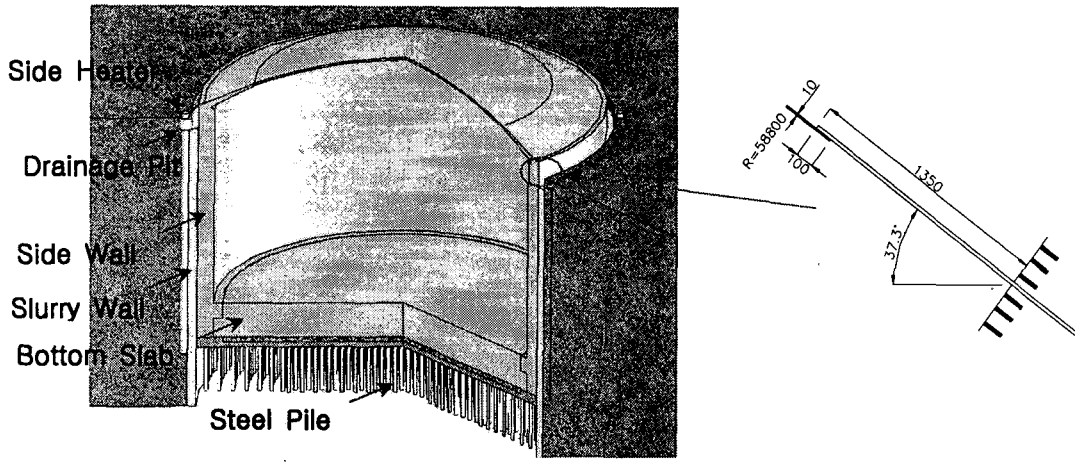
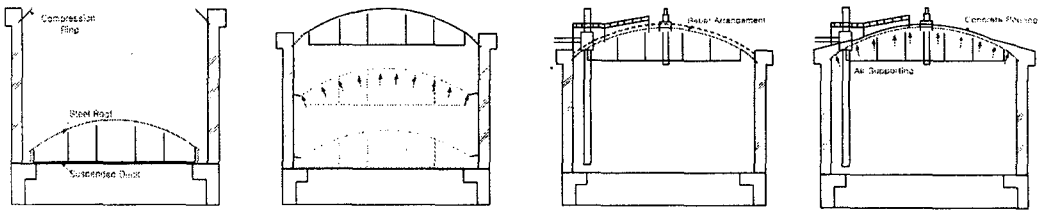


Fig.1 Inground LNG Storage Tank

화열 온도를 측정하여 수화열이 미치는 영향을 검토하였으며, 광파기를 이용한 컴프레션 링의 수직 변위를 측정 하여 해석 결과와 비교 하였다. 이를 토대로 LNG 저장탱크 컴프레션 링의 독자적인 해석·설계 기술을 확보하기 위한 기초자료를 제공할수 있도록 하고자 한다. 지하식 저장탱크의 전체 형상 및컴프레션 링의 자세한 형상은 Fig.1에 나타냈다.

2. LNG저장탱크 Roof 시공 절차

LNG저장탱크의 시공절차는 Fig. 2(a)와 같이 탱크 바닥면에서 빔과 Roof 플레이트를 용접 작업후 서스펜디드 데크 작업을 한 후에 (b)와 같이 루프 내부에 공기압을 가압 하여 그 압력으로 일정한 속도로 부상하여 완전히 상승하였을 때 미리 벽체에 설치 고정된 컴프레션 링에 용접 고정 한다. 이렇게 Steel 루프의 설치 작업이 완료된 후엔 (c)와 같이 철근을 배열 한후 (d)와 같이 콘크리트 타설에 의하여 시공 작업을 마치게 된다. 따라서 LNG 저장탱크가 건설완료 후 루프의 거동은 Steel과 콘크리트로 이루어진 복합 구조로서 거동하며 탱크 내부의 기밀 유지는 Steel 루프에서, 내압 및 외부의 충격 하중에 대해서는 콘크리트 루프에서 지지하게 된다. 따라서 Steel 루프의 주된 기능은 탱크 시공중에는 콘크리트 타설시의 외부 하중을 지지 하는 거푸집 기능을, 운전중에는 내부 기밀을 유지하는 기능을 필요로 하게 된다. 단순하게 플레이트 구조를 갖



(a) Roof Assemble (b) Air Raising (c) Rebar work (d) Concrete Pouring

Fig.2 The Construction Procedure of LNG Stroage Tank Roof Structure.

는 일반 압력 용기와는 구조가 달리 플레이트의 두께 이외에도 플레이트를 지지하며 안정적인 구조를 형성하는 H 빔과 후판으로 벽체에 고정되어 벽체와 루프 플레이트를 연결해주는 기능을 가진 컴프레션 링 플레이트와 같이 연동을 하게 된다.

Table 1 Material Property of Roof Members (Unit : N/mm^2)

Material	Tensile Strength	Yield Strength	Young's Modulus	Poisson's ratio
ASTM A516.GR.70	482.85	262.12	192,276	0.3

3. 컴프레션 링 거동 분석

3.1 온도 측정

온도 측정부위는 컴프레션링에 인접한 곳에 두께에 따라 3개의 온도 센서를 설치하여 측정 하였다. Fig.3에는 콘크리트 타설 절차를 Fig.4에는 콘크리트 타설시 발생하는 수화열에 의한 온도변화를 나타냈다. 온도 측정 결과 콘크리트가 타설되는 동안 최대 온도값이 측정되었으며 그 후에는 점진적으로 온도 감소가 진행 되어 상온과 비슷한 온도로 안정화 되었다.

두께에 대한 온도 분포는 타설 중 및 타설 후 모두 콘크리트 두께중 중간부에서 발생 하였으며 바닥부에서 최소 온도가 발생했다. 상부에 설치된 온도 센서에서는 대기와 가까운 부위이어서 대기온도에 영향을 받아 약간의 온도 변화가 발생하는 것으로 나타났다. 수화열 발생에 따른 온도 측정 결과 Steel Roof에 미치는 영향은 온도 하중으로 고려하였을 때 대기온도와 비교 하여 최대 35℃ 이며 이 조건에서 열 팽창계수를 고려하였을때 컴프레션 링의 구조에 크게 영향을 미치지 않아 수화열에 의한 영향은 고려하지 않았다.

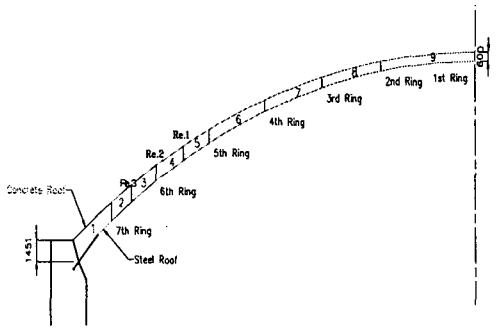


Fig.3 Pouring Cocrete Procedure on Steel roof

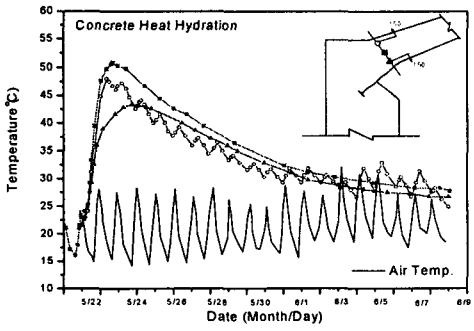
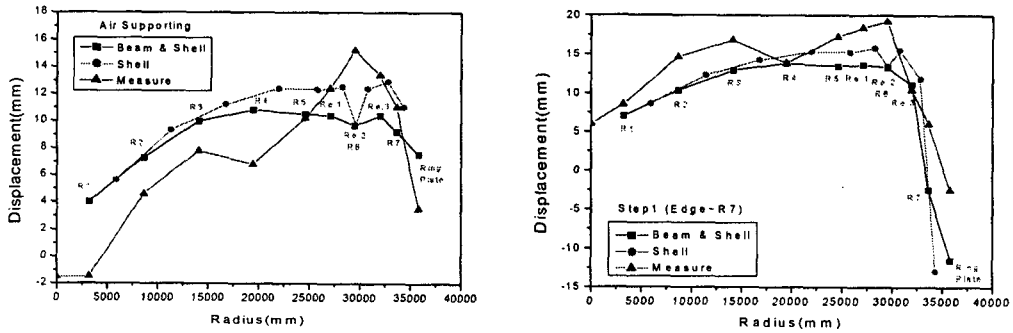


Fig.4 Temperature Result on Compression Ring

3.2 컴프레션 링 변형 거동

Fig.5-(a)에서는 Steel Roof에 내압이 작용하는 조건에서 Fig.5-(b)에서는 콘크리트가 타설되는 조건인 Step1에서의 Steel Roof 와 컴프레션링의 거동을 광파기로 측정한 값과 해석에 의한 값을 비교하여 나타냈다. 내압이 작용하는 경우 그리고 콘크리트 타설 경우 모두 해석값이 크게 나타났다. 즉 내압에 대한 수직 변위 상승값과 콘크리트 하중에 대한 수직 변위 처짐값이 크게 나타났다. 측정 결과에서는 해석값에 비해 수직 변위 상승 및 처짐값 모두 작게 나타나 안정적 거동을 하는 것으로 나타났다.



(a) Inner Pressure Applied (b) Concrete Pouring (Step1)

Fig.5 The Steel Roof Behavior during Concrete Pouring

3.3 설계변수 변화에 의한 컴프레션 링 거동

컴프레션링은 벽체에 고정되어 일정 두께의 Roof 플레이트와 용접 연결 되는 부위로 Roof 플레이트 전체를 고정 지지하는 중요한 역할을 한다. Roof 플레이트 또한 보강을 위해 H빔으로 복합적인 구조를 가지고 있다. Table 2에는 컴프레션 링의 여러 설계변수에 의한 영향을 파악 하기 위하여 컴프레션링의 두께변화, Roof 플레이트의 두께 변화 그리고 압력의 변화에 대하여 거동 특성을 확인 하였으며 각 설계변수에 따른 하중조건을 나타냈다. 컴프레션 링 두께를 관련 규격에서 요구하는 최소 두께인 14.9mm를 사용 하였을 때와 실제 건설된 20mm 두께의 경우에 대하여 해석을 수행하여 그 특성을 비교 하였다. Roof 플레이트와 컴프레션링이 겹쳐져 있는 부위 이며 이 부분은 두께 증가에 의해 변위 및 응력값이 작게 나타났다. 컴프레션 링 플레이트의 두께에 따라 약간 거동의 차이가 발생 하였으며 이러한 차이는 콘크리트 타설 작업이 계속 진행되는 동안 거의 일정한 차이를 보였다. 내압이 작용 하는 경우에서 초기의 콘크리트 타설에 의한 외부하중이 작용하는 경우 초기 벽체 부근의 콘크리트 타설 시 즉 Step1과 Step2 에서는 처짐이 증가 하는 현상이 나타났으나 연속 적인 타설이 이루어 짐에 따라 내압과 외압의 균형이 맞게 되어 처짐 현상이 상쇄 되는 것으로 나타났다.

Load Case	Roof Plate(mm)	H Beam	Air Pr. (N/mm^2)
Case 1	10	200x200x8/12	0.02634
Case 2	7	200x200x8/12	0.02634
Case 3	7	300x300x10/15	0.02634
Case 4	10	200x200x8/12	0.01756
Case 5	10	300x300x10/15	0.01756

Table 2 Load case (Design Variables)

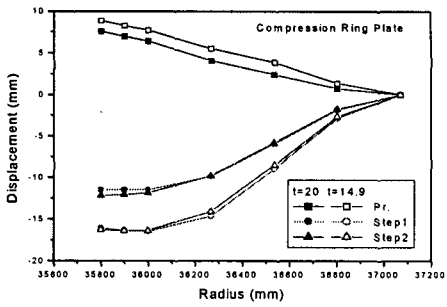


Fig.6 Comparison of displacement from differentiate the thickness

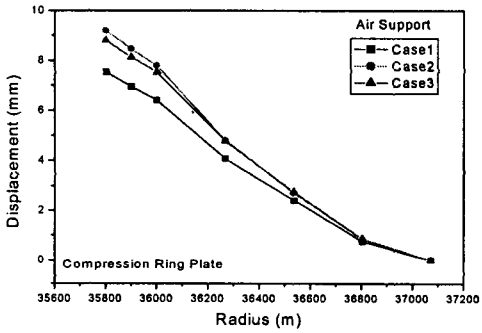


Fig.7 Comparison of displacement from differentiate the Roof thickness (Pr.)

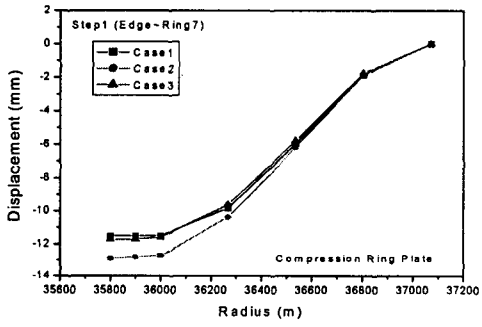


Fig.8 Comparison of displacement from differentiate the Roof thickness (Step1)

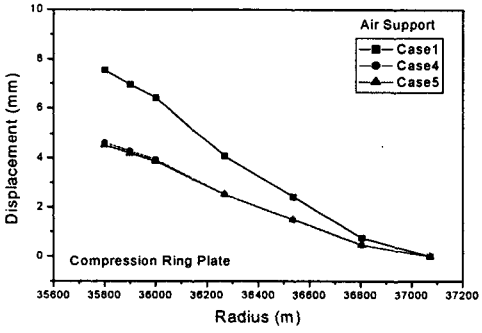


Fig.9 Comparison of displacement from differentiate the inner Pr. (Pr.)

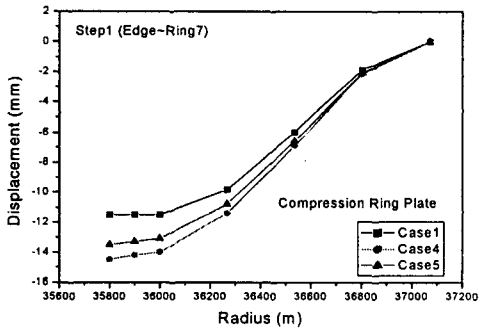


Fig.10 Comparison of displacement from differentiate the inner Pr. (Step1)

Roof 플레이트의 두께 변화 의한 컴프레션 링의 변형 거동을 Fig.3-44~46에 나타냈다. 내압이 작용 하는 중에는 컴프레션 링은 H형강의 변화에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 외압이 작용하는 Step1에서는 Case4의 경우 컴프레션 링의 수직 변위가 감소되어 Case1과 비슷하게 나타났다. Steel Roof 플레이트 두께가 감소하여도 H형강의 보강에 의해 거동의 안전성을 키울수 있었다. 탱크 전체에 가해지는 내부 압력을 감소 하고 다른 H형강을 사용했을때의 컴프레션링의 변형 거동에 대하여 Fig. 나타내었다. 내부 압력이 부하되는 경우에는 Case1에 비해 Case5,6의 변위값이 큰 차이를 보여 압력 감소에 의해 수직 변위 값이 크게 감소하였으며 외부압력이 작용한 경우엔 Case6의 거동은 Case5보다는 변위가 감소 하였으나 Case1의 거동과 비교 할때 에는 변위 값이 크게 달라지지 않았다. 이러한 현상은 내부 압력 보다는 외부 압력 작용시 H형 빔의 작용에 의해 처짐 변형이 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 지하식 LNG 저장탱크 시공에 따른 컴프레션 링의 거동 해석 및 측정을 통하여 실제 거동 분석 및 설계변수 변화에 따른 거동을 예측하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저항식 온도센서를 이용하여 중요부위의 콘크리트 수화열 온도를 측정한 결과, 콘크리트 두께중 중앙부에서 최대 온도가 발생 하였다. 측정 온도와 대기 온도를 고려한 결과 콘크리트 나설에 의한 수화열 발생이 Steel Roof 구조물에 미치는 영향은 미비할 것으로 예측되었다.

2. Air Support 및 콘크리트 하중이 최대로 부하되는 조건에서의 광파기를 이용한 측정값과 해석값을 비교한 결과 안정적인 거동 특성을 나타냈다.

3. 설계변수의 변화에 의한 컴프레션 링 플레이트의 거동을 분석한 결과, Roof 플레이트 두께 변화시와 압력 변화시엔 H형강의 크기 증대에 의한 보강이 이루어질 경우 변위 및 응력 감소가 이루어져 컴프레션 링 플레이트의 자체적인 거동 보다는 Roof 플레이트와 연동되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. API Standard 620 Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks
2. Flat-bottomed, vertical, cylindrical storage tanks for low temperature service BS7777
3. Japan Gas Association Committee, "Recommend Practice for LNG Inground Storage Tank"