

# LNG 저장탱크의 내진 해석

이승표<sup>1\*</sup>, 하성규<sup>2</sup>, 고병갑<sup>3</sup>

## Seismic Analysis of LNG Storage Tank

Seung-Pyo Lee<sup>1\*</sup>, Sung-Kyu Ha<sup>2</sup> and Byung-Kab Koh<sup>3</sup>

**요약** 본 연구에서는 LNG 저장탱크에 대하여 내진해석을 수행하였다. 해석 모델은 관통 파이프만을 고려한 경우와 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드를 고려한 경우에 대하여 해석을 수행하였다. 내진 해석법으로 등가정적 해석법과 응답 스펙트럼 해석법을 두 가지 해석 모델에 대하여 각각 적용하였다. 변형량과 응력을 계산하고, 그 결과를 비교하였다. 해석 결과, 응답 스펙트럼 해석법이 등가정적 해석법에 비하여 LNG 저장탱크를 보다 잘 모사하는 방법임을 알 수 있었다.

**Abstract** In this paper, seismic analysis of LNG storage tank is performed. The analysis models are both pipe and pipe, wall and guide of LNG tank. And equivalent static analysis and response spectrum analysis are applied to these two models, respectively. From the analysis, deflections and equivalent stresses are compared. Results show that response spectrum analysis is more accurate than equivalent static analysis for LNG storage tank.

**Key Words** : LNG storage tank(LNG 저장탱크), Seismic analysis(내진해석), Equivalent static analysis(등가정적 해석), Response spectrum analysis(응답 스펙트럼 해석)

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 대형 지진이 발생하고 있고 그 피해로 인하여 많은 사람들이 어려움을 겪고 있다. 한반도는 최근까지 큰 지진이 없었고 서로 다른 지질시대의 단층이 전체적으로 분포하고 있기 때문에 결코 지진으로부터 안전한 곳이 아니며 따라서 주요시설에 대한 엄격한 내진 안전성의 확보가 필수적이다[1]. 정부는 도시가스사업법, 고압가스안전관리법 등에 의하여 도시가스, 고압가스 및 액화석유가스의 저장시설은 내진 설계를 하도록 규정하였다[2]. 내진설계 기준은 시설물의 사회적, 경제적 중요성과 구조적 특성이 잘 반영되어야 한다. 즉, 우선적으로 시설물별로 중요성과 특성에 따른 내진 설계의 기본적인 원칙이 설정되고 이에 따라 적절한 해석 및 설계, 시공방법이 결정되어야 한다[3],[4].

LNG 저장탱크는 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG)를 안전하게 저장하고 효율적으로 도시가스를 생산

하기 위하여 제작한 거대한 인공 구조물이다. LNG 저장탱크는 비중이 낮고 연소하기 쉬운 천연가스를 안전하게 저장하기 위한 초대형 용기로 첨단 계측장치와 운영 시스템, 긴급한 위험에 대처할 수 있는 안전장치와 안전구조물 등을 구축하고 있다[5]. LNG 저장탱크와 같은 특수 구조물들은 지진으로 인하여 구조물이 손상을 입을 경우 막대한 피해가 예상된다. 따라서 지진 하중에 대해서 구조물을 보호하기 위하여 구조물의 동적 거동을 해석하고 이를 이용하여 구조물의 피해를 최소화하기 위한 방안이 절실히 요구되고 있다.

김청균 등[5]은 LNG 저장탱크 시스템의 강도 안전성을 MSC/MARC를 이용하여 해석하였다. 즉, 저장탱크에 저장된 LNG에 의한 유체정압, 초저온 온도 하중, LNG 저장량 등과 같은 복합 하중을 구조물에 적용하였다. 고재필 등[3]은 한국가스공사 평택생산기지 중앙조정실에 대하여 내진성능을 평가하였다. 이들은 등가정적 해석법을 적용하였다. 최형진 등[6]은 LNG 저장탱크의 내진 설

<sup>1</sup>한양대학교 기계설계학과 대학원(박사과정)

<sup>2</sup>한양대학교 기계정보경영공학부

<sup>3</sup>인하공업전문대학 기계과

\*교신저자: 이승표(chrisl@hanyang.ac.kr)

계와 해석을 수행하였다. 이들은 단순화된 지진 스펙트럼을 이용하였고, LNG 저장탱크를 축대칭 형상으로 모델링하였다. 조영리 등[7]은 내진해석에서 시간이력 해석과 응답 스펙트럼 해석을 각각 ETABS와 MATHEMATICA를 이용하여 수행하였고 이들의 응답오차를 비교하였다. 그러나 이들이 수행한 해석 모델은 3차원 철근콘크리트 골조로서 실제 구조물이 아닌 단순화된 모델이다.

이와 같이 LNG 저장탱크와 내진해석에 대하여 여러 가지 해석이 수행되었다. 그러나 이들은 실제로 파손이 발생하는 관통 파이프와 가이드는 고려하지 않았다. 또한 파이프를 고려한 해석에서는 이를 축대칭 형상으로 해석하여 실제와는 차이를 보인다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 관통 파이프와 내부 벽체(Wall), 가이드를 포함하는 LNG 저장탱크 구조물에 대하여 내진 해석을 수행하였다. 즉, LNG 저장탱크 구조물 중에서 가장 중요한 부분인 관통 파이프만을 고려한 경우와 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드 모두를 고려한 경우에 대하여 내진 해석을 수행하였고, 그 결과를 비교하였다. 내진 해석은 등가정적 해석과 응답 스펙트럼 해석을 각각 수행하였고, 그 결과를 비교하였다. 또한, 실제 지진 가속도에 대한 지진 스펙트럼을 이용하여 내진 해석을 수행하였다.

## 2. 내진 해석법

### 2.1 내진 해석법의 종류와 비교

일반적으로 내진 해석법은 등가정적 해석법(Equivalent static analysis)과 시간이력 해석법(Time history analysis), 응답 스펙트럼 해석법(Response spectrum analysis)으로 나눌 수 있다. 등가정적 해석법은 동적 특성치가 고려된 정적해석을 수행하는 방법으로 해석이 간단하고 수치 계산 시간이 짧은 반면 원래 구조물의 거동이나 기타 응답에 충실하지 못하다는 단점이 있으므로 주로 설계의 전 단계 해석이나 중요도가 다소 낮은 구조물에 대하여 적용된다. 시간이력 해석법은 해석 결과가 정확하고 구조물의 거동을 충실하게 표현하며 여러 가지 비선형성을 고려할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 해석 수행 시간이 길다는 단점이 있어서 매우 정밀한 해석을 요구하는 경우에 사용한다. 응답 스펙트럼 해석법은 위의 두 가지 해석법의 절충안으로 시간에 따른 구조물의 거동을 나타내지는 않지만, 실제 시간이력하중 해석의 경우 최대 응답으로 산출되는 응답치를 거의 정확하게 표현할 수 있어 대부분의 구조물의 내진 해석에 주로 이용된다.

### 2.2 등가정적 해석법

등가정적 해석법이란 지진의 영향을 등가의 정적하중으로 환산하고, 이를 정적해석을 수행하여 지진의 영향을 예측하는 방법이다. 등가정적 해석법에 의한 지진하중 산정법은 한국규준에 의하면 밀면 전단력 ( $V$ )은 지역계수 ( $A$ ), 중요도계수 ( $I$ ), 동적계수 ( $C$ ), 지반계수 ( $S$ ), 반응수정계수 ( $R$ ), 기본진동주기 ( $T$ ), 그리고 구조물의 전 중량 ( $W$ )을 이용하여 다음과 같은 식으로 표현된다[3],[8].

$$V = \frac{AICS}{R} W \quad (1)$$

$$\text{where, } C = \frac{1}{1.2\sqrt{T}} \leq 1.75$$

### 2.3 응답 스펙트럼 해석법

응답 스펙트럼 해석법은 입력 지진동의 응답 스펙트럼을 이용하여 각 모드별 응답의 최대치를 구하고, 이들 모드별 최대 응답치를 적절한 방법으로 조합하여 전체 응답의 최대치를 구하는 방법이다.

지반 가속도를 포함한  $M$ 개의 자유도를 갖는 구조물의 운동 방정식은 다음과 같다[9],[10].

$$\begin{aligned} M(\ddot{U} + \ddot{u}_g) + C\dot{U} + KU &= 0 \\ M\ddot{U}_b + C\dot{U}_b + KU_b &= -MU_b\ddot{u}_g \end{aligned} \quad (2)$$

where,  $M$ ; Mass matrix,

$C$ ; Damping matrix,

$K$ ; Stiffness matrix,

$\ddot{U}$ ; Acceleration vector,

$\dot{U}$ ; Velocity vector,

$U$ ; Displacement vector,

$U_b$ ; Static displacement vector,

$\ddot{u}_g$ ; Earthquake ground acceleration

식 (2)의 해는 수많은 모드의 조합으로 나타낼 수 있고, 이를 정리하면 다음과 같다.

$$\ddot{y}_i + 2\omega_i\zeta_i\dot{y}_i + \omega_i^2y_i = -\gamma_i\ddot{u}_g \quad (3)$$

$$\text{where, } \gamma_i = \phi_i^T M_b$$

이로부터 각 모드에서의 응답의 최대치를 가속 스펙트럼의 향으로 표현하면 다음과 같다.

$$U_{i\max} = \frac{\gamma_i S_{Ai}}{\omega_i^2} \phi_i = A_i \phi_i \quad (4)$$

where,  $\gamma_i$ ; Modal participation factor,

$$S_{Ai} = -\omega_i^2 S_{Di},$$

$S_{Di}$ ; Special displacement of a mode I,

$A_i$ ; Mode coefficient

식 (4)에 대하여 SRSS(Square Root of the Sum of the Squares) 방법으로 최대 응답치를 조합하면 전체 응답의 최대치는 다음과 같다.

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_f} U_{i\max}^2} \quad (5)$$

### 3. 내진 해석 모델과 Case Study

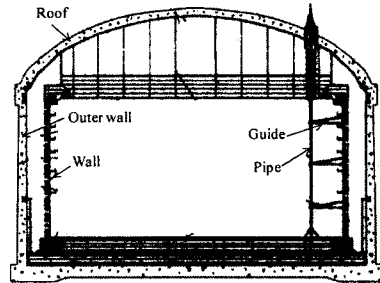
#### 3.1 내진 해석 모델

본 연구에서 수행된 내진 해석의 대상은 내부 벽체와 관통 파이프, 가이드를 포함한다. 기존의 해석 방법은 내부 벽체에 대해서만 해석을 수행하였다. 그러나 그림 1에서 알 수 있듯이 내부 벽체는 가이드를 통하여 관통 파이프에 연결되어 있다. LNG는 관통 파이프를 이용하여 LNG 저장탱크에 저장된다. 따라서 내진 시 관통 파이프의 안전성은 중요한 의미를 지니므로 이에 대한 해석은 반드시 필요하다. 또한 기존의 해석 방법은 LNG 저장탱크를 축대칭 형상으로 가정하여 해석을 수행하였다. 그러나 축대칭으로 가정할 경우 원주방향의 변형은 모두 동일한 것으로 간주되며, 이는 실제와 다르다. 따라서 본 연구에서는 실제 3차원 형상의 내부 벽체와 관통 파이프, 가이드에 대하여 ANSYS[11]를 이용하여 내진 해석을 수행하였다.

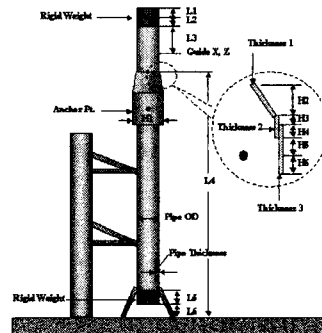
그림 2는 내부 벽체와 관통 파이프, 가이드의 형상을 나타낸다. 내부 벽체는 원주 방향과 높이 방향의 치수가 반경 방향의 치수에 비하여 상대적으로 크기 때문에 3차원 쉘 요소로 모델링하였고, 관통 파이프와 가이드는 높이 방향의 치수가 다른 두 방향의 치수에 비하여 상대적으로 크기 때문에 빔 요소로 모델링 하였다. 내부 벽체의 치수는 표 1과 같고, 관통 파이프의 치수는 표 2와 같다. 가이드는 그림 2에서 알 수 있듯이 내부 벽체에 4부분에서 연결되어 있으며, 바닥으로부터의 위치와 두께는 표 3과 같다. 내부 벽체와 관통 파이프, 가이드의 물성치는 표 4에 나타내었다.

#### 3.2 Case Study

LNG 저장탱크의 내부 벽체, 관통 파이프와 가이드에 대하여 내진 해석을 수행하였다. 내진 해석은 위에서 언급한 등가정적 해석과 응답 스펙트럼 해석을 각각 수행하였고, 그 결과를 비교하였다.



[그림 1] LNG 저장탱크



[그림 2] 내부 벽체, 관통 파이프, 가이드의 형상

[표 1] 내부 벽체의 치수

설명	치수
지름	80 m
높이	35.6 m
두께	10 mm

[표 2] 관통 파이프의 치수

관통 파이프 설명	치수	Heat break 설명	치수
외경	762 mm	두께 1	7 mm
두께	12.7 mm	두께 2	15 mm
L1	95 mm	두께 3	6 mm
L2	210 mm	H1	1352 mm
L3	790 mm	H2	900 mm
L4	38008 mm	H3	250 mm
L5	826 mm	H4	50 mm
L6	51 mm	H5	1382 mm
		H6	713 mm

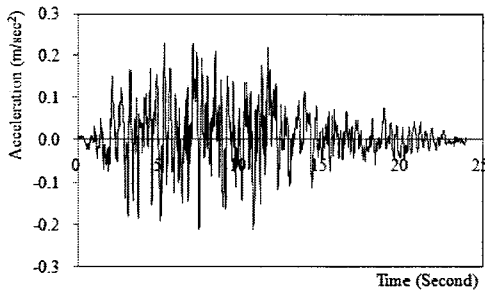
[표 3] 가이드의 위치와 두께

설명	치수
가이드의 두께	10.97 mm
가이드 1의 위치	4.026 m
가이드 2의 위치	14.782 m
가이드 3의 위치	27.481 m
가이드 4의 위치	47.636 m

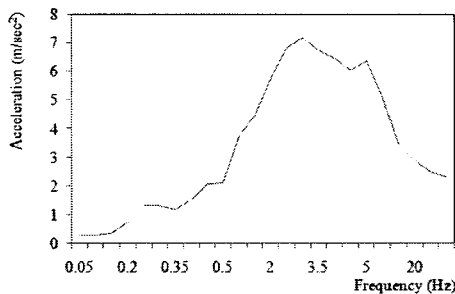
[표 4] 내부 벽체, 관통 파이프, 가이드의 물성치

물성치	벽체	파이프	가이드
Young's modulus, GPa	200	195	195
Poisson's ratio	0.30	0.29	0.29
Density, kg/cm <sup>3</sup>	0.008	0.008	0.008

응답 스펙트럼 해석을 위하여 지진 스펙트럼이 필요하다. 그림 3의 실제 지진 스펙트럼을 주파수와 가속도에 대하여 Fourier Transform(FFT)하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 이를 이용하여 응답 스펙트럼 해석을 수행하여 실제 지진 가속도에서 LNG 저장탱크의 거동을 고찰하였다. 지진 하중과 함께 LNG에 의한 내압이 내부 벽체, 관통 파이프, 가이드에 작용하며 본 연구에서는 SSE 100% 충전 경우에 대하여 해석을 수행하였다.



[그림 3] 지진 스펙트럼



[그림 4] Fourier Transform에 의한 지진 스펙트럼

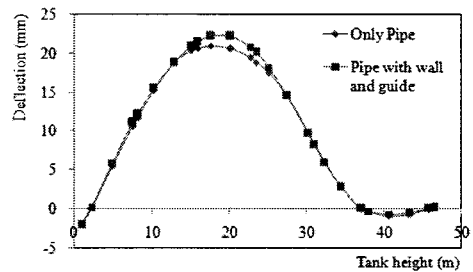
## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 Case 1; 등가정적 해석

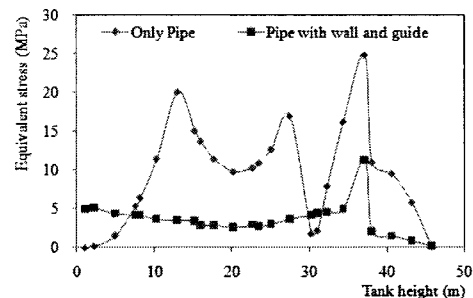
LNG 저장탱크에 대하여 식 (1)을 이용하여 등가정적 해석을 수행하였다.

해석은 관통 파이프만 고려한 경우와 관통 파이프와 내부 벽체, 가이드를 모두 고려한 경우에 대하여 수행하였고, 그 결과를 비교하였다. 그림 5와 그림 6는 각각 변형량과 응력 분포를 나타낸다. 그림 5로부터 알 수 있듯이 관통 파이프만 고려한 경우와 모두를 고려한 경우의 변형량은 매우 유사한 경향을 보인다. 그러나 그림 6의 결과와 같이 응력은 다른 경향을 보인다. 파이프만 고려한 경우는 응력의 진폭이 매우 큰 반면, 모두를 고려한 경우는 한 부분을 제외하고는 응력의 진폭이 완만하다. 관통 파이프만 고려한 경우 응력의 진폭이 큰 이유는 가이드를 고려하기 위함이다. 즉, 응력값이 큰 지점들은 관통 파이프가 가이드와 연결되는 지점들로서 가이드의 움직임을 고려하기 위하여 하중 조건으로 임의의 변형량을 입력하였기 때문이다.

그림 6으로부터 관통 파이프만 고려한 경우 최대 응력은 24.9 MPa이고, 모두 고려한 경우 최대 응력은 11.3 MPa이다. 이로부터 안전계수를 구하면 각각 8.28과 18.21을 얻을 수 있다. 이 결과는 두 가지 경우 모두 주어진 지진 하중에 대하여 충분히 안전함을 의미한다.



[그림 5] 등가정적 해석의 변형량

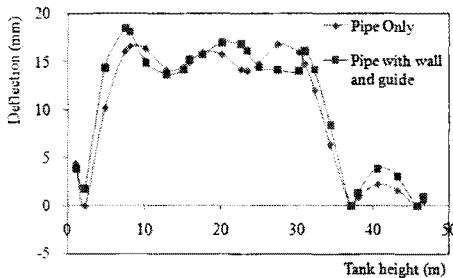


[그림 6] 등가정적 해석의 응력

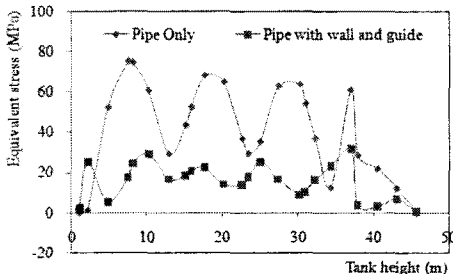
### 4.2 Case 2; 응답 스펙트럼 해석

식 (5)를 이용하여 LNG 저장탱크에 대하여 응답 스펙트럼 해석을 수행하였다. 해석은 등가정적 해석과 마찬가지로 관통 파이프만 고려한 경우와 관통 파이프와 내부 벽체, 가이드를 모두 고려한 경우에 대하여 수행하였고 그 결과를 비교하였다.

그림 7은 응답 스펙트럼 해석의 변형량을 나타낸 그래프이고, 그림 8은 응력을 나타낸 그래프이다. 그림 7로부터 알 수 있듯이 관통 파이프만을 고려한 경우와 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드를 모두 고려한 경우의 변형량이 유사한 형태를 보인다. 그러나 그림 8의 두 가지 해석은 비슷한 경향을 보이나 진폭이 차이가 있다. 그 이유는 관통 파이프와 내부 벽체, 가이드를 모두 고려한 경우는 내부 벽체와 가이드가 감쇠의 역할을 하기 때문인 것으로 예측된다. 즉 관통 파이프에서의 응력이 가이드와 내부 벽체에 의하여 감소되어 진폭이 감소되었다고 예상된다. 관통 파이프만을 고려한 경우 최대 응력은 75.3 MPa이고, 모두를 고려한 경우 최대 응력은 32.0 MPa이 얻어졌다. 이로부터 안전계수를 계산하면 각각 2.73과 6.43이므로 모두를 고려한 경우가 관통 파이프만을 고려한 경우에 비하여 2.4배 안전하다. 두 결과 모두 지진하중에 대하여 안전함을 예상할 수 있다.



[그림 7] 응답 스펙트럼 해석의 변형량



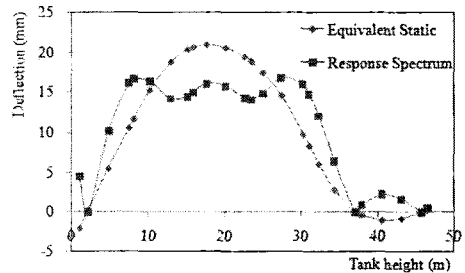
[그림 8] 응답 스펙트럼 해석의 응력

### 4.3 Case 3; 해석 모델에 따른 비교

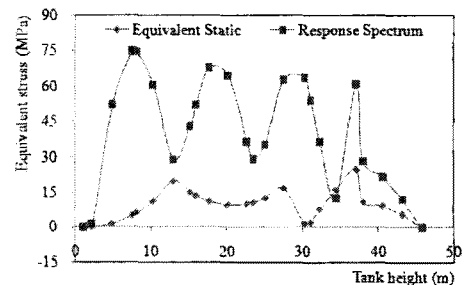
위의 Case 1과 Case 2의 결과를 해석 모델에 따라서 비교하였다. 즉, 관통 파이프만 해석한 경우에 대하여 등가정적 해석과 응답 스펙트럼 해석 결과를 비교하였다. 그리고 관통 파이프와 내부 벽체, 가이드 모두를 해석한 경우에 대하여 등가정적 해석과 응답 스펙트럼 해석 결과를 비교하였다. 결과는 각각 변형량과 응력을 비교하였다. 그림 9와 그림 10은 각각 관통 파이프만을 해석한 경우 변형량과 응력을 나타내었다. 그림 11과 그림 12는 각각 모두를 고려하여 해석한 경우 변형량과 응력을 나타내었다.

그림 10으로부터 알 수 있듯이 관통 파이프만을 해석한 결과, 등가정적 해석의 최대 응력은 24.9 MPa이고, 응답 스펙트럼 해석의 최대 응력은 75.3 MPa이다. 이로부터 등가정적 해석의 안전 계수는 8.28이고, 응답 스펙트럼 해석의 안전 계수는 2.73이다. 즉, 등가정적 해석에 비하여 응답 스펙트럼 해석 결과가 3.0배 크게 계산되었다.

그림 12로부터 관통 파이프와 내부 벽체, 가이드를 모두 고려한 경우, 등가정적 해석의 최대 응력은 11.3 MPa이고, 응답 스펙트럼 해석의 최대 응력은 32.0 MPa이다. 또한, 등가정적 해석의 안전 계수는 18.21이고 응답 스펙트럼 해석의 안전 계수는 6.43이다. 이 결과는 관통 파이프만을 고려한 결과와 마찬가지로 등가정적 해석에 비하여 응답 스펙트럼 해석 결과가 2.8배 크게 계산되었다.



[그림 9] 관통 파이프를 고려한 경우 변형량



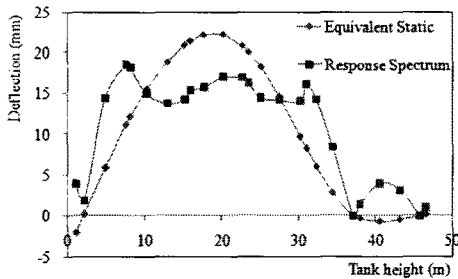
[그림 10] 관통 파이프를 고려한 경우 응력

그림 9와 그림 11로부터 알 수 있듯이 등가정적 해석의 변형량은 위로 볼록한 형상이 1회 반복되는데 비하여 응답 스펙트럼 해석의 경우는 3~4회 반복된다. 응답 스펙트럼의 위로 볼록한 위치를 검토한 결과, 관통 파이프와 내부 벽체가 가이드와 연결된 부분에서 발생되며 이는 응답 스펙트럼 해석의 경우 가이드를 통한 관통 파이프의 변형이 고려된 것으로 예상할 수 있다.

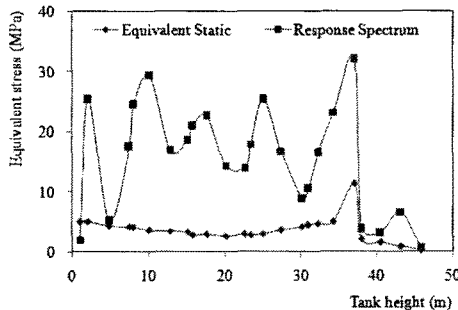
이처럼 해석 결과가 상이한 이유는 등가정적 해석은 응답 스펙트럼 해석에 비하여 해석 시간이 빠른 반면에 구조물의 거동을 정확히 표현하지 못하기 때문이라고 생각된다. 따라서 관통 파이프와 내부 벽체, 가이드의 거동을 정확히 예측하기 위해서는 응답 스펙트럼 해석을 수행해야 함을 알 수 있다.

### 5. 결론

LNG 저장탱크에 대하여 내진 해석을 수행하였다. 해석 모델은 관통 파이프만 고려한 경우와 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드 모두를 고려한 경우로 나누어 해석을 수행하였고 그 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.



[그림 11] 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드를 고려한 경우 변형량



[그림 12] 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드를 고려한 경우 응력

- (1) 등가정적 해석 결과, 변형량은 관통 파이프만 고려한 경우와 모두 고려한 경우 유사한 경향을 보였다. 그러나 응력은 관통 파이프만 고려한 경우가 2.2배 크게 나타났으며 그 이유는 가이드의 움직임을 고려하기 위한 하중조건 때문이다. 관통 파이프만 고려한 경우와 모두를 고려한 경우 모두 지진에 대한 안전 계수가 각각 8.28, 18.21로서 안전한 것으로 평가되었다.
- (2) 응답 스펙트럼 해석 결과, 변형량은 관통 파이프만 고려한 경우와 모두를 고려한 경우 유사한 경향을 보였다. 그러나 응력은 관통 파이프만을 고려한 경우가 2.4배 크게 나타났으며 그 이유는 내부 벽체와 가이드가 감쇠 역할을 했기 때문이라고 생각된다. 관통 파이프만 고려한 경우 내진에 대한 안전 계수는 2.73이고, 모두를 고려한 경우는 6.43으로 두 가지 경우에 대하여 내진에 대하여 안전함을 알 수 있었다.
- (3) 해석 모델에 따라서 비교한 결과, 등가정적 해석의 응력이 응답 스펙트럼의 응력에 비하여 2.8~3.0배 크게 계산되었다. 그 이유는 응답 스펙트럼 해석이 등가정적 해석에 비하여 가이드를 통한 구조물의 거동을 보다 잘 고려하였기 때문이라고 생각된다. 따라서 관통 파이프, 내부 벽체, 가이드를 포함하는 LNG 저장탱크 구조물의 내진 해석은 응답 스펙트럼 해석을 적용하여야 보다 정확한 해석이 될 것으로 예상된다.

### 참고문헌

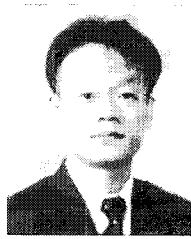
- [1] 홍갑표, “지진의 성질과 내진설계”, 한국소음공학회지, 5권, 1호, pp. 6 - 10, 1995.
- [2] 행정안전부, “자연재해대책법”, 제 5장 34조, 1996.
- [3] 고재필, 홍성경, 김준호, 정석영, “가스시설물의 등가정적 해석에 의한 내진성능 평가”, 한국가스학회지, 6권, 4호, pp. 23 - 32, 2002.
- [4] 송병무, “토목 구조물의 내진 설계에 관한 고찰”, 대한토목학회지, 29권, 5호, pp. 63 - 69, 1981.
- [5] 김청균, 김태환, “댐평안전 구조물을 고려한 완전밀폐식 LNG 저장탱크 시스템의 강도안전성에 관한 유한요소해석”, 한국가스학회지, 11권, 4호, pp. 85 - 90, 2007.
- [6] 최형진, 양경택, 김두훈, “LNG 비축 탱크 구조물의 내진/면진 설계와 해석”, 콘크리트학회지, 7권, 3호, pp. 64 - 75, 1995.
- [7] 조영리, 최형철, 김정미, 김재용, “시간이력해석과 응

답스펙트럼해석의 응답오차비교”, 대한건축학회 학술대회논문집, 19권, 1호, pp. 15 - 20, 1999.

- [8] 건설부, “내진설계 지침서 작성에 관한 연구”, 1987.
- [9] Peter W. McDonough, “Seismic Design Guide for Natural Gas Distributors”, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Monograph, No. 9, August, 1995.
- [10] Muravskii, G. B., “Application of experimental results on cyclic deforming of solids to seismic response analysis”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, pp. 661 - 669, 2001.
- [11] ANSYS User's Manual Ver. 10.0, ANSYS Inc., 2005.

**고 병 갑(Byung-Kab Koh)**

[정회원]



- 1995년 : 한양대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1997년 : University of Virginia 박사후 연구원
- 1998년~현재 : 인하공업전문대학 기계과 부교수

<관심분야>  
구조해석 및 최적설계

**이 승 표(Seung-Pyo Lee)**

[정회원]



- 1992년 2월 : 한양대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 한양대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1999년 9월 ~ 현재 : 한양대학교 기계설계학과 박사과정

<관심분야>  
구조해석

**하 성 규(Sung-Kyu Ha)**

[정회원]



- 1988년 : Stanford University (공학박사)
- 1991년 : Stanford University 박사후 연구원
- 1991년~현재 : 한양대학교 기계정보경영공학부 교수

<관심분야>  
복합재 역학