

원통 확장부를 갖는 구형 LNG 탱크의 정적 설계하중 산출식 개발

신상훈¹, 고대은^{2*}

¹현대중공업 선박연구소, ²동의대학교 조선해양공학과

Development of Equations for Static Design Loads of Sphere Type LNG Tank with Cylindrical Extension

Sang-Hoon Shin¹, Dae-Eun Ko^{2*}

¹Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

²Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University

요약 구형 LNG 탱크의 제작을 위해서는 탱크의 곡률 반경에 따라 별도의 공장 설비가 필요하며 제작 공간 및 시설 투자의 한계로 인해 조선소에서 다양한 크기의 완전 구형 LNG 탱크를 제작하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이다. 이러한 한계를 극복하고 다양한 용량의 LNG 탱크 제작을 위해서는 기존 구형 탱크의 중앙부에 원통 형태의 확장부를 삽입하여 적재 용량을 키우는 방법이 효과적이다. 본 연구에서는 원통 확장부를 갖는 구형 탱크의 정적 설계하중 산출식을 개발하였다. 본 연구의 결과는 다음 단계에서 개발 예정인 동적 설계하중 산출식과 결합하여 최종적으로 원통 확장부를 갖는 구형 탱크의 간이 해석법을 개발하는데 이용된다. 간이 해석법이 개발되면 많은 시간과 노력이 소요되는 유한요소 해석을 대신하여 초기 견적 시에 정도 높은 물량 계산이 가능하게 된다.

Abstract The number of shop needed for the fabrication of sphere type LNG tank is proportional to that of the tank radius to be constructed. Due to limitation of facility investment including building sites, it is practically difficult to fabricate various size tanks of perfectly spherical shape in the yards. The efficient method to increase cargo tank capacity is to extend vertically the conventional sphere type LNG tank by inserting a cylindrical shell structure. In this study, equations for static design loads are developed for sphere type LNG tank with central extension. The results of this study will be combined with dynamic design loads to build the simplified analysis method which enable the precise initial estimate instead of time consuming finite element analysis.

Key Words : Sphere type LNG tank, Cylindrical extension, Static design load, Simplified analysis method, Initial estimate

1. 서론

IMO 가스코드(IGC)에서 독립형 탱크 Type B 방식으로 분류되는 구형(sphere type) LNG 탱크는 높은 안전성 등 많은 장점을 갖고 있으나, 고가의 알루미늄을 사용하므로 가격이 비싸고, 탱크의 곡률 반경에 따라 별도의 공장 설비가 필요하므로 다양한 용량의 탱크 제작을 위해서는 많은 시설 투자가 필요하다는 단점도 있다.

시설 투자의 한계를 극복하고 다양한 크기의 LNG 운반선 수주를 위해서는 구형 탱크 중앙부에 원통 확장부(cylindrical extension)를 삽입하는 것이 효과적이지만 같은 내압을 받는 경우 원통부에서는 구형부 대비 원주 방향의 응력이 두 배로 커지는 특징이 있으므로 구조 설계 시 이를 충분히 고려하여야 한다.

구형 탱크 관련 연구로는 탱크 기본설계[1], 피로강도 및 균열진전[2,3], 열 및 저온[4,5,6], 슬로싱[7] 등의 연

*Corresponding Author : Dae-Eun Ko(Dong-Eui Univ.)

Tel: +82-51-890-2594 email: deko@deu.ac.kr

Received April 29, 2015

Accepted August 6, 2015

Revised June 11, 2015

Published August 31, 2015

구가 수행되어 왔으나, 멤브레인형 탱크에 비해 연구 빈도가 매우 낮은 편이며 특히 중앙 원통부를 갖는 구형 탱크에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

구형 탱크와 원통 확장부를 갖는 구형 탱크는 고가의 알루미늄으로 제작되므로 초기 건적 시 정도 높은 물량 계산이 필수적이다. 하지만, 매번 유한요소해석을 통한 정밀 구조해석을 수행하기에는 많은 시간과 노력이 소요되므로 정도 높은 간이해석법을 정립할 필요가 있다.

구형 탱크의 경우 내부의 보강재 없이 구형의 외판으로만 구성되므로 이론적 접근이 비교적 용이하며, Shin[8]은 실제 구조해석에서 적용하는 정적 하중 및 동적 하중을 모두 처리할 수 있는 간이해석법을 정립하고 간이해석 결과를 실전적 구형 탱크의 두께 및 중량과 비교하여 그 유용성을 검증한 바 있다.

본 연구에서는 원통 확장부를 갖는 구형 탱크의 간이 해석법 개발을 목표로 우선 정적 하중에 대한 설계하중 산출식을 개발하였다. 내압, 자중 및 액체 화물 중량과 같은 정하중에 의한 설계하중 계산식을 도출하기 위해, Timoshenko 등[9]이 유도한 평형방정식을 적용하여 원주방향 힘의 계산식을 도출하였고, 수직 방향(회전축 방향) 힘의 평형을 이용하여 자오선방향 힘을 도출하였다.

2. 탱크 형상 및 기호 정의

원통 확장부를 갖는 구형 탱크의 구체적인 형상과 기호들을 Fig. 1에 보였다. 상반구의 최상부에는 선분 $\overline{O_U T}$ 와 β 의 각도를 이루는 원주 위에 돔(dome)이 설치되며, 하반구의 최하부에는 선분 $\overline{O_L B}$ 와 η 의 각도를 이루는 원주 위에 파이프 타워의 스톨(stool)이 설치된다. 자오선방향 힘(N_ϕ)을 계산하는 위치는 상반구에서는 선분 $\overline{O_U T}$ 와 φ 의 각도를 이루는 원주 위의 임의의 한 점이고, 하반구에서는 선분 $\overline{O_L B}$ 와 φ 의 각도를 이루는 원주 위의 임의의 한 점이며, 원통부에서는 점 O_U 에서 z 만큼 떨어진 원주 위의 임의의 한 점이다.

하반구의 상부와 원통부의 하부에 원주를 따라 적도부(equator)가 설치된다. 적도부의 단면은 Fig. 2와 같으며, 윗면은 원통부에 연결 되므로 끝단은 원통부의 두께와 같고, 아랫면은 스킨트(skirt)와 하반구의 상단에 연결되므로 끝단면의 두께는 각각 스킨트 상단과 하반구 상

단의 두께와 같다. 따라서 최대 두께(t_{eq})는 스킨트 상단과 하반구 상단의 두께에 의해 결정된다.

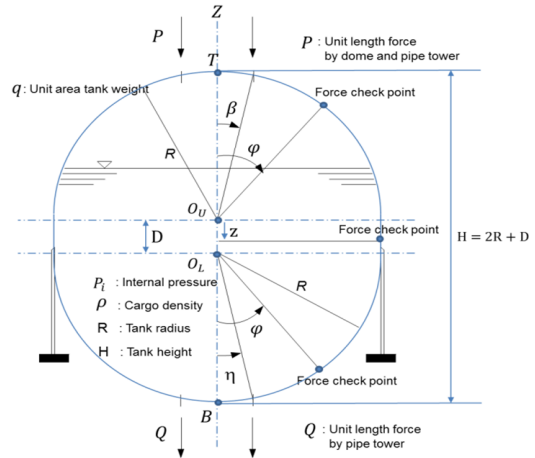


Fig. 1. Definition of symbols

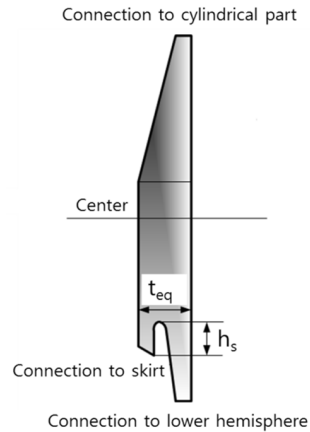


Fig. 2. Shape of equator

3. 원주방향 힘

회전체 표면 형태로 축대칭 하중을 받는 외판에서의 힘은 Fig. 3과 같이 자오선방향 힘(N_ϕ)과 원주방향 힘(N_θ)으로 나타낼 수 있으며 전단력($N_{\phi\theta}$)은 무시할 수 있다. 두 힘을 구하기 위해서는 2개의 평형방정식이 필요하다. 2개의 평형방정식 중 Timoshenko 등[9]이 유도한 평형방정식인 식(1)을 사용하면 원주방향 힘의 계산

식을 용이하게 구할 수 있다.

식(1)은 자오선방향 힘과 원주방향 힘의 평형방정식을 Fig. 3에 나타낸 자오선 상 임의의 한 점에서의 자오선 곡률 반경(r_1), 원주 곡률 반경(r_0) 및 자오선에 수직인 단위 면적당 외력(f_R)에 대해 표현한 것이다.

$$N_\phi r_0 + N_\theta r_1 \sin \varphi + f_R r_0 r_1 = 0 \quad (1)$$

식의 양변을 $r_0 r_1$ 으로 나누면 식(2)가 되며, Fig. 3에 나타낸 자오선 상 임의의 한 점과 자오선의 수직선이 회전축과 만나는 점까지의 거리(r_2)를 식(2)에 대입하면 식(3)이 된다.

$$\frac{N_\phi}{r_1} + \frac{N_\theta}{r_0} \sin \varphi = -f_R \quad (2)$$

$$\frac{N_\phi}{r_1} + \frac{N_\theta}{r_2} = -f_R \quad (3)$$

식(3)으로부터 원주방향 힘은 식(4)와 같이 된다.

$$N_\theta = -r_2 f_R - \frac{r_2}{r_1} N_\phi \quad (4)$$

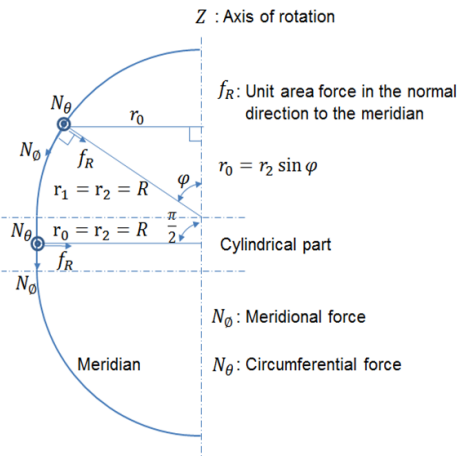


Fig. 3. Definition of external force and radii

구형부에서는 $r_1 = r_2 = R$ 이므로 식(5)와 같은 원주방향 힘의 계산식을 구할 수 있다.

$$N_\theta = -R f_R - N_\phi \quad (5)$$

원통부에서는 자오선이 직선이므로 자오선 곡률 반경(r_1) 값이 ∞ 가 되고, $r_2 = R$ 이므로 식(4)는 식(6)과 같이 단순화 된다.

$$N_\theta = -R f_R \quad (6)$$

원주방향 힘이 구형부에서는 자오선방향 힘의 함수가 되지만, 원통부에서는 자오선 방향 힘과 무관함을 도출할 수 있다. Table 1은 식(6)을 이용하여 여러 가지 정하중에 대해 원통부에 발생하는 원주방향 힘을 정리한 것이다. 원통부에서 자중은 자오선방향과 일치하므로 원주방향 힘에 전혀 기여하지 않으며 다른 정하중들은 인장력으로 작용하고 있다.

Table 2는 식(5)를 이용하여 여러 가지 정하중에 대해 상반구에 발생하는 원주방향 힘을 정리한 것이다. 상반구에 대한 식은 완전 구형 탱크의 상반구와 같은 계산식이 된다.

Table 3은 식(5)를 이용하여 여러 가지 정하중에 대해 하반구에 발생하는 원주방향 힘을 정리한 것이다. 내압과 자중에 의한 하반구에 대한 식은 완전 구형 탱크의 하반구와 같은 계산식이 되지만, 100% 화물 중량과 50% 화물 중량에 대한 식은 완전 구형 탱크와는 다르게 된다. 이는 액체 화물의 수두가 달라지기 때문이며, 100% 화물 중량에서는 두 탱크의 수두 차가 D 이고 50% 화물 중량에서는 수두 차가 $D/2$ 이다.

Table 1. Circumferential forces in the cylindrical part

Loading	f_R	N_θ
Internal pressure	$-P_i$	$P_i R$
Self weight	0	0
100% Cargo weight ($0 \leq z \leq D$)	$-\rho g (R+z)$	$\rho g R (R+z)$
50% Cargo weight ($\frac{D}{2} \leq z \leq D$)	$-\rho g (z - \frac{D}{2})$	$\rho g R (z - \frac{D}{2})$

Table 2. Circumferential forces in the upper hemisphere

Loading	f_R	N_θ
Internal pressure	$-P_i$	$P_i R - N_\phi$
Self weight	$q \cos \varphi$	$-q R \cos \varphi - N_\phi$
100% Cargo weight	$-\rho g R (1 - \cos \varphi)$	$\rho g R^2 (1 - \cos \varphi) - N_\phi$
50% Cargo weight	0	0

Table 3. Circumferential forces in the lower hemisphere

Loading	f_R	N_θ
Internal pressure	$-P_i$	$P_i R - N_\theta$
Self weight	$-q \cos \varphi$	$q R \cos \varphi - N_\theta$
100% Cargo weight	$-\rho g (R + R \cos \varphi + D)$	$\rho g R (R + R \cos \varphi + D) - N_\theta$
50% Cargo weight	$-\rho g (R \cos \varphi + \frac{D}{2})$	$\rho g R (R \cos \varphi + \frac{D}{2}) - N_\theta$

4. 자오선방향 힘

자오선방향 힘(N_θ)을 구하기 위해서는 하나의 평형 방정식을 추가로 도출하여야 한다. 본 연구에서는 완전 구형 탱크와 달라지는 하반구의 액체 화물에 대한 하중과 원통부의 모든 정하중에 대해 평형방정식을 도출하였다.

4.1 원통부 내압

원통부의 내압에 대한 평형방정식을 도출하기 위해 Fig. 4와 같이 균일한 내압 p_i 를 받는 상반구와 점 O_U 에서 임의의 z 까지의 원통부 일부를 고려한다.

상반구 임의의 φ 위치에서 회전축 방향의 내압 성분은 $P_i \cos \varphi$ 이며 미소면적은 $2\pi R \sin \varphi R d\varphi$ 이다. 원통부에서는 회전축 방향의 내압 성분은 없으므로 내압에 의한 수직 상방향 합력은 식(7)과 같다.

$$2\pi R^2 P_i \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi \sin \varphi d\varphi = -2\pi R^2 P_i \int_1^0 t dt = \pi R^2 P_i \quad (7)$$

자오선방향 힘의 수직 하방향 합력은 $2\pi R N_\theta$ 이며, 힘의 평형방정식은 식(8)과 같다.

$$2\pi R N_\theta - \pi R^2 P_i = 0 \quad (8)$$

양변을 $2\pi R$ 로 나누면 식(9)와 같은 내압에 대한 원통부의 자오선방향 힘을 구할 수 있다. 자오선방향 힘은 Table 1에 나타난 원주방향 힘의 절반 크기이다.

$$N_\theta = \frac{P_i R}{2} \quad (9)$$

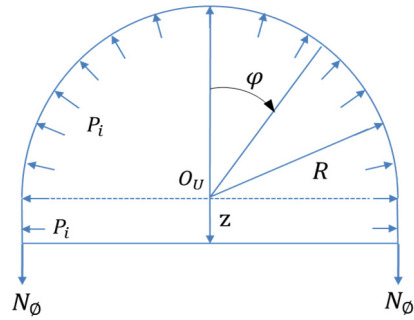


Fig. 4. Meridional force about uniform internal pressure in the cylindrical part

4.2 원통부 자중

원통부의 자중에 대한 평형방정식을 도출하기 위해 Fig. 5와 같이 단위 면적당 중량 q 인 상반구와 점 O_U 에서 임의의 z 까지의 원통부 일부를 고려한다.

상반구 임의의 φ 위치에서 회전축 방향의 자중 성분 q 은 이며 미소면적은 $2\pi R \sin \varphi R d\varphi$ 이다. 원통부 임의의 z 위치에서 회전축 방향의 자중 성분은 q 이며 미소면적은 $2\pi R dz$ 이므로 돔과 파이프 타워의 힘을 제외한 탱크의 자중에 의한 수직 하방향 합력은 식(10)과 같다.

$$2\pi R^2 q \int_{\beta}^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi d\varphi + 2\pi R z q = 2\pi q R (R \cos \beta + z) \quad (10)$$

또한, 돔과 파이프 타워에 의한 단위길이당 힘 P 에 의한 합력은 $2\pi P R \sin \beta$ 이므로 힘의 평형방정식을 식(11)과 같이 나타낼 수 있고, 양변을 $2\pi R$ 로 나누면 식(12)와 같이 자중에 대한 원통부의 자오선방향 힘을 구할 수 있다.

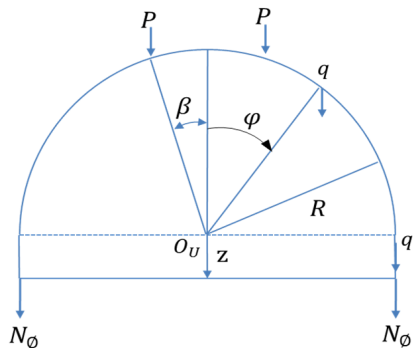


Fig. 5. Meridional force about self weight in the cylindrical part

$$2\pi RN_\phi + 2\pi qR(R\cos\beta + z) + 2\pi PR\sin\beta = 0 \quad (11)$$

$$N_\phi = -q(R\cos\beta + z) - P\sin\beta \quad (12)$$

4.3 원통부 액체 화물 중량

원통부에서 50% 액체 화물 중량에 대한 평형방정식은 상반구와 원통부 모두 회전축 방향의 압력 성분이 없으므로 식(13)과 같으며, 자오선방향 힘은 존재하지 않는다.

$$2\pi RN_\phi = 0 \quad (13)$$

원통부에서 100% 액체 화물 중량에 대한 평형방정식을 도출하기 위해 Fig. 6과 같이 액체 화물의 압력을 받는 상반구와 점 O_U 에서 임의의 z 까지의 원통부 일부를 고려한다.

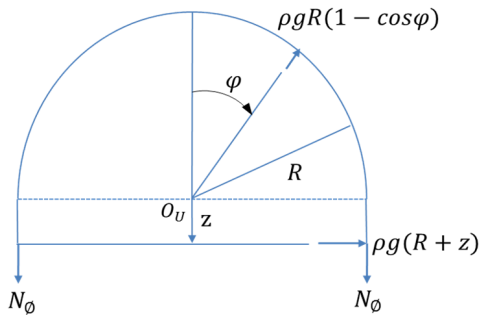


Fig. 6. Meridional force about 100% cargo weight in the cylindrical part

상반구 임의의 φ 위치에서 회전축 방향의 압력 성분은 $\rho g R(1 - \cos\varphi)\cos\varphi$ 이며 미소면적은 $2\pi R\sin\varphi R d\varphi$ 이다. 원통부에서는 회전축 방향의 압력 성분은 없으므로 100% 액체 화물 중량에 의한 수직 상방향 합력은 식(14)와 같다.

$$2\pi\rho g R^3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos\varphi)\cos\varphi\sin\varphi d\varphi = \frac{\pi}{3}\rho g R^3 \quad (14)$$

힘의 평형방정식은 식(15)와 같고, 양변을 $2\pi R$ 로 나누면 식(16)과 같은 100% 액체 화물 중량에 대한 원통부의 자오선방향 힘을 구할 수 있다.

$$2\pi RN_\phi - \frac{\pi}{3}\rho g R^3 = 0 \quad (15)$$

$$N_\phi = \frac{1}{6}\rho g R^2 \quad (16)$$

4.4 하반구 100% 액체 화물 중량

하반구의 100% 액체 화물 중량에 대한 평형방정식을 도출하기 위해 Fig. 7과 같이 액체 화물의 압력을 받는 선분 $\overline{O_L B}$ 와 임의의 각도 φ 까지의 하반구 일부를 고려한다.

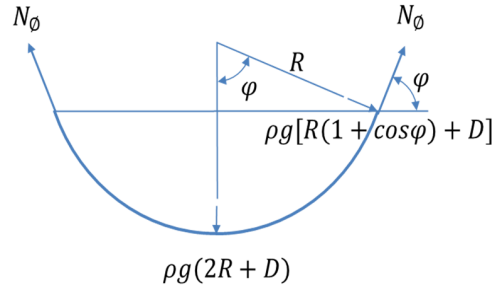


Fig. 7. Meridional force about 100% cargo weight in the lower hemisphere

회전축 방향의 압력 성분은 $\rho g [R(1 + \cos\varphi) + d]\cos\varphi$ 이며 미소면적은 $2\pi R\sin\varphi R d\varphi$ 이므로 100% 액체 화물 중량에 의한 수직 하방향 합력 T_1 은 식(17)과 같다.

$$T_1 = 2\pi\rho g R^2 \int_0^\varphi [R(1 + \cos\varphi) + D]\cos\varphi\sin\varphi d\varphi \quad (17)$$

식(17)에서의 정적분을 계산하면, 식(17)은 식(18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_1 = 2\pi\rho g R^2 \left[\frac{R+D}{2}(1 - \cos^2\varphi) + \frac{R}{3}(1 - \cos^3\varphi) \right] \quad (18)$$

자오선방향 힘의 수직 상방향 합력은 $2\pi R\sin^2\varphi N_\phi$ 이므로, 힘의 평형방정식은 식(19)와 같다.

$$2\pi R\sin^2\varphi N_\phi - 2\pi\rho g R^2 \left[\frac{R+D}{2}\sin^2\varphi + \frac{R}{3}(1 - \cos^3\varphi) \right] = 0 \quad (19)$$

식(19)의 양변을 $2\pi R \sin^2 \varphi$ 로 나누고 정리하면 식(20)과 같은 100% 액체 화물 중량에 대한 하반구의 자오선방향 힘을 구할 수 있다.

$$N_{\phi} = \frac{1}{6} \rho g R \left[2 \left(1 + \frac{\cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \right) R + 3(R + D) \right] \quad (20)$$

4.5 하반구 50% 액체 화물 중량

하반구의 50% 액체 화물 중량에 대한 평형방정식을 도출하기 위해 Fig. 8과 같이 액체 화물의 압력을 받는 선분 $\overline{O_L B}$ 와 임의의 각도 φ 까지의 하반구 일부를 고려한다.

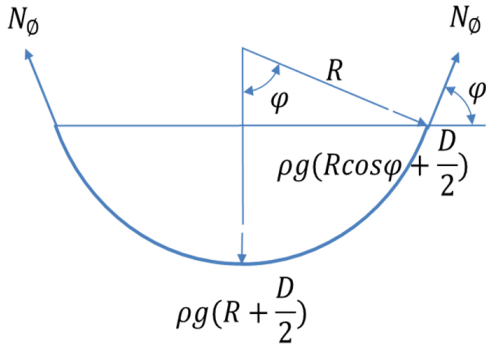


Fig. 8. Meridional force about 50% cargo weight in the lower hemisphere

회전축 방향의 압력 성분은 $\rho g \left(R \cos \varphi + \frac{D}{2} \right) \cos \varphi$ 이며 미소면적은 $2\pi R \sin \varphi R d\varphi$ 이므로 50% 액체 화물 중량에 의한 수직 하방향 합력 T_2 는 식(21)과 같다.

$$T_2 = 2\pi \rho g R^2 \int_0^{\varphi} \left(R \cos \varphi + \frac{D}{2} \right) \cos \varphi \sin \varphi d\varphi \quad (21)$$

식(21)에서의 정적분을 계산하면, 식(21)은 식(22)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_2 = 2\pi \rho g R^2 \left[\frac{R}{3} (1 - \cos^3 \varphi) + \frac{D}{4} (1 - \cos^2 \varphi) \right] \quad (22)$$

자오선방향 힘의 수직 상방향 합력은 $2\pi R \sin^2 \varphi N_{\phi}$ 이므로, 힘의 평형방정식은 식(23)과 같다.

$$2\pi R \sin^2 \varphi N_{\phi} - 2\pi \rho g R^2 \left[\frac{R}{3} (1 - \cos^3 \varphi) + \frac{D}{4} \sin^2 \varphi \right] = 0 \quad (23)$$

식(23)의 양변을 $2\pi R \sin^2 \varphi$ 로 나누고 정리하면 식(24)과 같은 50% 액체 화물 중량에 대한 하반구의 자오선방향 힘을 구할 수 있다.

$$N_{\phi} = \frac{1}{12} \rho g R \left[4 \left(1 + \frac{\cos^2 \varphi}{1 + \cos \varphi} \right) R + 3D \right] \quad (24)$$

5. 결론

본 연구에서는 중앙부에 원통형 확장부를 갖는 구형 LNG 탱크에 대해 실제 구조해석에 적용하기 위한 정적 설계하중 계산식을 도출하였다. 내압, 자중 및 액체 화물 중량과 같은 정적 하중에 대해 Timoshenko 등[9]이 유도한 평형방정식을 적용하여 원주방향 힘의 계산식을 도출하였고, 수직 방향(회전축 방향) 힘의 평형을 이용하여 자오선방향 힘의 계산식을 도출하였다.

향후 동적 하중에 대한 설계하중 계산식을 추가로 도출할 예정이며, 본 연구의 결과와 결합하여 간이해석법이 정립되면 중앙 확장부를 갖는 구형 LNG 탱크의 모든 영역에서 필요 두께를 산출할 수 있게 된다. 이를 통해 초기 견적 시 많은 시간을 소요하는 유한요소 해석을 대신하여 짧은 시간에 정도 높은 물량 산출이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] J. W. Kim, "A LNG Pressure Vessel Design", Journal of the Korean Welding Society, 18(4), pp.28-37, 2000.
- [2] I. S. Nho, Y. Y. Nam and H. S. Lee, "Structural Safety Assessment of Independent Spherical LNG Tank (1st Report) - Fatigue Strength Analysis Based on the S-N Approach", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 30(2), pp.132-140, 1993.
- [3] I. S. Nho, Y. Y. Nam and H. S. Lee, "Structural Safety Assessment of Independent Spherical LNG Tank (2nd report) - Fatigue Crack Propagation Analysis Based on the LBF Theory", Journal of the Society of Naval

Architects of Korea, 30(4), pp.74-82, 1993.

- [4] Y. M. Kim, S. C. Ko, B. I. Chun and K. K. Kim, "A Study on the Thermal Design of the Cryogenic LNG Carrier", Journal of the Korean Society of Marine Engineers, 17(4), pp.1-10, 1993.
- [5] Y. Y. Nam, I. S. Nho and H. S. Lee, "Structural Safety Assessment of Independent Spherical LNG Tank (3rd report) - Safety assessment of tank system against cryogenic temperature", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 30(4), pp.83-92, 1993.
- [6] S. D. Lee, S. O. Song, J. W. Lee, C. S. Kim and D. Y. Choi, "A Study on the Thermal Characteristics of MOSS Type LNG Carrier", Journal of the Korean Society of Marine Engineers, 22(1), pp.28-34, 1998.
- [7] B. J. Noh, "Sloshing Load Analysis in Spherical Tank of LNG Carrier", Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea, June, pp.22-30, 2005.
- [8] S. H. Shin, "A Study on Simplified Analysis for the Initial Tank Design of Spherical Type LNG Carriers", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 52(2), pp.125 - 134, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3744/SNAK.2015.52.2.125>
- [9] S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, Theory of Plates and Shells, 2 ed. McGRAW-HILL: New York, 1959.

신 상 훈(Sang-Hoon Shin)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 현대중공업 (주) 선박연구소

<관심분야>

선박 및 해양구조물 구조강도평가, 최적화기법 연구 및 최적 설계, LNG CCS 설계 및 개발

고 대 은(Dae-Eun Ko)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 1998년 8월 : 서울대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 2002년 10월 ~ 2008년 2월 : 삼성중공업(주) 구조설계팀
- 2008년 3월 ~ 현재 : 동의대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

선박 및 해양구조물 구조설계, 용접변형 및 용접설계