



2020

화물격납설비 안전여유에 대한 지침서

GL-0014-K

KR

—Disclaimer :

Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in this guidelines, the Korean Register of Shipping is not responsible for any errors or omissions made herein, nor held liable for any actions taken by any party as a result of information retrieved from this guidelines.

This guidelines is non-mandatory, but are intended to provide practical technical materials to ship owners, ship operators, shipyards, designers and manufacturers. It might be amended periodically or upgraded to rules and guidances as future technology develops and matures.

(서식번호 : FI-03-05) (01.04.2018)



2020

화물격납설비 안전여유에 대한 지침서

GL-0014-K

KR

—Disclaimer :

Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in this guidelines, the Korean Register of Shipping is not responsible for any errors or omissions made herein, nor held liable for any actions taken by any party as a result of information retrieved from this guidelines.

This guidelines is non-mandatory, but are intended to provide practical technical materials to ship owners, ship operators, shipyards, designers and manufacturers. It might be amended periodically or upgraded to rules and guidances as future technology develops and matures.

(서식번호 : FI-03-05) (01.04.2018)

"화물격납설비 안전여유에 대한 지침서" 적용

1. 이 규칙은 별도로 명시하는 것을 제외하고 2020년 9월 1일 이후 건조 계약되는 선박에 적용한다.

차 례

제 1 장 일반사항	1
제 1 절 적용	1
제 2 장 안전 여유	3
제 1 절 독립형탱크 형식 A	3
제 2 절 독립형탱크 형식 B	3
제 3 절 독립형탱크 형식 C	4
제 4 절 멤브레인탱크	5
제 5 절 일체형 탱크 및 세미멤브레인탱크	7
제 6 절 새로운 형태의 탱크	7

제 1 장 일반사항

제 1 절 적용

101. 적용

이 지침서는 각 화물격납설비에 대하여 최종, 사고 및 피로 설계조건에 대한 안전여유를 정의한다.

102. 설계조건 적용

화물격납설비 구조강도는 소성변형, 좌굴 및 피로를 포함한 파괴모드에 대하여 평가되어야 한다. 화물격납설비는 다음의 세가지 설계조건에 대하여 안전여유를 가지고 설계되어야 한다.

- (1) **규칙 7편 5장 4절 411 및 418.1**에 정의된 정하중, 슬로싱, 열영향 및 선체거동을 고려한 모든 기능적/환경적 조건에 대하여 전체 및 부분하중에 대한 최종 설계조건에 견뎌야 하고,
- (2) **규칙 7편 5장 4절 415 및 418.3**에 정의된 바에 따라 충돌 및 탱크에 부력을 유발하는 침수조건에 대한 사고 설계조건을 견뎌야 하며,
- (3) **규칙 7편 5장 4절 418.2**에 정의된 누적 주기 하중에 대하여 화물격납설비가 붕괴되지 않도록 피로설계조건에서 생존하여야 한다.

103. 하중의 불확실성

불분명한 하중은 영구하중(예: 중량)과 기능하중(예: 압력, 열하중, 화물 및 설치하중 등)과 비교하여 주로 환경하중을 말한다. 북대서양 환경조건 및 항로제한이 없는 장기해상 상태분포도를 기반으로 하여 도출된 선체운동과 가속도로 인한 슬로싱하중이 환경하중 중에서 지배적인 하중이 된다. 북대서양 환경조건보다 완화 또는 강화할 필요가 있을 경우, 이 지침서의 **2장 6절 605.(2)**에 정의된 하중 조합 a 또는 b가 하중에 대한 안전여유로 적용 가능하다.

104. 구조 모델 및 평가기준

(1) 유한요소모델

유한요소모델을 사용한 구조모델은 구조 응답이 모델 내부에서 잘 구현되도록 적절한 유한요소 밀도를 가져야 하며, **규칙 7편 5장 4절 417.** 에 따라 구조해석이 수행되어야 한다.

(2) 항복강도 평가기준

최종 및 사고 설계기준에 대한 안전여유는 R_e 와 R_m 으로 정의되어야 한다.

R_e : 상온에서 규격 최소 항복응력 (N/mm^2).

R_m : 상온에서 규격 최소 인장강도 (N/mm^2).

(3) 피로손상기준

누적 피로손상은 저주기 하중(예: 적하 및 양하) 및 고주기 하중 (예: 북대서양에서의 조우 파도 수로 10^8 이상)에 대하여 계산되어야 한다. 피로설계조건에 대한 안전여유는 아래와 같이 C_W 로 정의되어야 한다.

$$\sum \frac{n_i}{N_i} + \frac{n_{Loading}}{N_{Loading}} \leq C_W$$

여기서,

n_i : 탱크의 수명동안 각 응력수준에서 반복 횟수

N_i : S-N 곡선에 따른 각각의 응력수준에 대한 파괴까지의 반복횟수

$n_{Loading}$: 탱크의 수명동안 적하 및 양하의 횟수, 20년 기준 1000회 및 40년 기준 2000회 보다 작아서는 안된다.

적하 및 양하 주기는 완전한 압력 및 열 주기를 포함한다.

$N_{Loading}$: 적하 및 양하에 의하여 발생하는 피로하중으로 인해 파괴에 이르는 횟수

C_W : 최대 허용 누적 피로 손상을

105. 부식 허용

불순물 또는 부식 결정체 (예: 이산화염소 및 이산화황)를 포함하는 화물을 운송하는 것을 제외하고 알루미늄 합금 및 스테인리스강에 대하여 부식허용치를 고려할 필요는 없다. 독립형탱크 형식 C에 해당하는 압력용기의 경우에는 **규칙 7편 5장 4절 423.2.(1)**에 규정한 바와 같이 부식허용치를 적용하여야 한다. 화물격납설비의 배관설비에 탄소망간강이 사용될 경우 **규칙 7편 5장 5절 511.**에 따른 부식허용치가 적용되어야 한다.

106. 열 영향

(1) 단열

규칙 7편 5장 4절 419.1에 규정한 바와 같이 허용온도 이내로 선체를 보호하고, **규칙 7편 5장 7절**에 규정한 압력과 온도 조절장치에 의하여 유지 가능한 수준의 열전달을 제한하기 위한 단열설비가 제공되어야 한다.

(2) 열 하중

-55 °C미만의 화물을 적재할 계획이 있는 탱크의 경우에는 과도기(transient) 냉각 하중을 고려하여야 한다. 지지구조 또는 부착물 및 사용온도에 의한 열응력이 발생하는 탱크에 대하여는 정상적인(stationary) 열로 인한 하중을 고려하여야 한다.(**규칙 7편 5장 7절 702.** 참조)

107. 재료 열화 및 가변성

재료 특성치는 **규칙 7편 5장 4절 419.** 또는 국제표준에 따른 재료시험을 통하여 선급의 인증을 받아야 한다.

국제표준의 단열성능에 대한 시험 항목은 **지침 7편 5장 표 7.5.4**에 표시되어 있다. 재료 열화와 관련하여 단열재의 열전도 시험은 적절히 열화된 시험편에 대하여 시행되어야 한다.

108. 건조 공차

금속재료는 인장, 인성 및 굽힘 시험요건을 만족하여야 하고 **규칙 7편 5장 6절 603.** 및 **604.**에 규정된 설계온도 하에서 제작 공차 요건을 만족하여야 한다. 용접부에 대한 검사 및 비파괴 시험은 **규칙 7편 5장 6절 605.**의 요건에 만족하여야 한다. 주로 회전체 형상으로 제조되는 독립형탱크 형식 B 및 형식 C 의 경우, 진원도, 국부적인 오차, 용접부 정렬 및 서로 다른 두께를 가지는 판들의 테이퍼와 같은 제조와 관련된 허용오차들은 우리 선급이 인정하는 기준에 적합하여야 한다. 허용오차는 **규칙 7편 5장 4절 422.** 및 **423.**의 좌굴해석에 적용되는 초기결함과 관련하여 결정되어야 한다.

109. 화물격납설비

형식에 따른 각 화물격납설비의 안전여유에 대한 정의는 다음을 따른다.

- 독립형 탱크 형식 A는 **2장 1절** 참조
- 독립형 탱크 형식 B는 **2장 2절** 참조
- 독립형 탱크 형식 C는 **2장 3절** 참조
- 멤브레인 탱크는 **2장 4절** 참조
- 일체형 탱크 및 세미멤브레인 탱크는 **2장 5절** 참조
- 새로운 형태의 탱크는 **2장 6절** 참조

제 2 장 안전 여유

제 1 절 독립형탱크 형식 A

101. 최종 및 사고 설계조건에 대한 허용응력

1차 부재 (특설늑골, 스트링거 및 거더) 및 2차 부재 (보강재)의 허용 공칭 막 응력은 니켈강, 탄소망간강, 오스테나이트강 및 알루미늄 합금에 대하여 $0.75R_e$ 또는 $0.37R_m$ 중 최소치 이하이어야 한다. 허용 1차 등가 응력 σ_e (규칙 7편 5장 4절 418.1.(4) 참조)은 니켈강 및 탄소망간강에 대하여는 $0.79R_e$ 또는 $0.53R_m$ 중 최소치 이하이어야 하고 오스테나이트강에 대하여는 $0.84R_e$ 또는 $0.42R_m$ 중 최소치 이하이어야 하며, 알루미늄 합금에 대하여는 $0.79R_e$ 또는 $0.42R_m$ 중 최소치 이하이어야 한다.

102. 최종 및 사고 설계조건에 대한 좌굴 사용계수

유한요소해석 시 외압 또는 압축을 유발하는 하중에 대한 화물탱크의 좌굴 강도 해석은 규칙 13편 8장에 따라 시행하여야 한다. 모든 정적 및 동적하중 조합에 대한 좌굴 사용계수는 최종설계조건에서 0.9, 사고설계조건에서 1.0 이하이어야 한다.

103. 허용 누적 피로 손상율

독립형탱크 형식 A의 허용 누적 피로 손상율 C_W 는 1.0 이하이어야 한다. 다만, -55°C 이상의 화물을 적재하고 안전성이 입증된 설계의 경우 피로 설계조건에 대한 적용은 생략할 수 있다.

제 2 절 독립형탱크 형식 B

201. 최종 및 사고 설계조건에 대한 허용응력

주로 구형 구조의 허용응력은 다음의 규정을 만족하여야 한다.

$$\sigma_m \leq f$$

$$\sigma_L \leq 1.5f$$

$$\sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_L + \sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b \leq 1.5F$$

$$\sigma_m + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0F$$

$$\sigma_L + \sigma_b + \sigma_g \leq 3.0F$$

여기서,

σ_m = 등가 1차 일반 막응력

σ_L = 등가 1차 국부 막응력

σ_b = 등가 1차 굽힘응력

σ_g = 등가 2차 응력

f = R_m/A 또는 R_e/B 중에서 작은 값

F = R_m/C 또는 R_e/D 중에서 작은 값

σ_m , σ_L , σ_b 과 σ_g 에 대한 정의는 규칙 7편 5장 4절 428.3을 참조한다. A, B, C 및 D 값은 IGC 적합 증서에 기재하여야 하며 다음 표에서 최소값 이상으로 하여야 한다.

A, B, C 및 D

	니켈 및 탄소망간강	오스테나이트강	알루미늄 합금
A	3	3.5	4
B	2	1.6	1.5
C	3	3	3
D	1.5	1.5	1.5

상기 값들은 우리선급이 인정하는 경우 다른 값을 사용할 수 있다.

주로 평면구조로 제작되는 구조에 대하여 유한요소 해석 시 허용 등가 막응력은 니켈강 및 탄소망간강의 경우 $0.83R_e$ 또는 $0.5R_m$ 중에서 최소치 이하이어야 하며, 오스테나이트강 및 알루미늄 합금의 경우 $0.83R_e$ 또는 $0.4R_m$ 중에서 최소치 이하이어야 한다. 탱크외판의 두께 및 보강재의 크기는 독립형탱크 형식 A에 요구하는 것보다 작아서는 아니 된다.

202. 최종 및 사고 설계조건에 대한 좌굴 사용계수

구형구조에 대한 좌굴평가는 직접해석 또는 이와 동등하다고 선급이 인정한 국제기준에 따라 수행하여야 한다. 주로 평면구조로 제작되는 구조에 대하여 유한요소 해석이 수행되는 경우 외압 또는 압축을 유발하는 하중에 대한 화물탱크의 좌굴 강도 평가는 **규칙 13편 8장**에 따라 시행하여야 한다. 모든 정적 및 동적하중 조합에 대한 좌굴 사용계수는 최종설계조건에서 0.9, 사고설계조건에서 1.0 이하이어야 한다.

203. 허용 누적 피로 손상을

누설감지방법에 의해 확실히 감지되는 피로파괴의 경우, 허용 누적 피로 손상을 C_W 는 0.5 이하이어야 한다. 탱크 방벽의 누설이 균열이나 손상발생으로 인한 것인지 확실하지 않을 경우 C_W 는 0.1 이하이어야 한다.

제 3 절 독립형탱크 형식 C

301. 최종 및 사고 설계조건에 대한 허용응력

허용응력은 다음의 규정을 만족하여야 한다.

$$\begin{aligned} \sigma_m &\leq f \\ \sigma_L &\leq 1.5f \\ \sigma_b &\leq 1.5f \\ \sigma_L + \sigma_b &\leq 1.5f \\ \sigma_m + \sigma_b &\leq 1.5f \\ \sigma_m + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3.0f \\ \sigma_L + \sigma_b + \sigma_g &\leq 3.0f \end{aligned}$$

여기서,

σ_m , σ_L , σ_b 과 σ_g 에 대한 정의는 201.을 참조한다.

$f = (R_m/A)$ 또는 (R_e/B) 중에서 작은 값 이하이어야 한다.

A 및 B 값은 IGC 적합증서에 기재하여야 하며 다음 표에서 최소값 이상으로 하여야 한다.

A 및 B

	니켈 및 탄소망간강	오스테나이트강	알루미늄 합금
A	3	3.5	4
B	1.5	1.5	1.5

탄소망간강으로 제작된 수평 원통형 탱크가 새들(saddles)에 의해 지지되는 경우, 유한요소해석을 통하여 계산된 보강링에서의 등가응력 σ_e 는 $0.85R_e$ 또는 $0.57R_m$ 중에서 최소치 이하이어야 한다.

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_n + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$$

여기서,

σ_n : 보강링의 원주방향 공칭응력 (N/mm^2)

σ_b : 보강링의 원주방향 굽힘응력 (N/mm^2)

τ : 보강링의 전단응력 (N/mm^2)

302. 좌굴에 대한 설계 외압

외압이 작용하는 경우, 원통형 또는 구형 쉘의 좌굴평가를 국제표준(예: Div.1 VIII, ASME) 또는 이와 동등한 수준의 규정에 따라 수행되는 경우 선급은 이를 승인할 수 있다. 대체방안으로 비선형 유한요소해석(*)이 수행될 경우 아래 규정을 만족하여야 한다.

$$P_c / P_e \geq 3, \text{ 원통형 또는 구형 쉘인 경우}$$

여기서,

P_c : 좌굴 붕괴 압력 (N/mm^2)

P_e : 규칙 7편 5장 4절 423.2(3)에 정의된 설계외압 (N/mm^2)

비고 (*): 최종 종강도 평가 지침서, 2장 또는 비선형 유한요소해석을 이용한 좌굴 및 최종강도 평가 지침서 참조.

303. 허용 누적 피로 손상을

누설감지방법에 의해 확실히 감지되는 피로파괴의 경우, 허용 누적 피로 손상을 C_W 는 0.5 이하이어야 한다. 탱크 방벽의 누설이 크랙이나 손상발생으로 인한 것인지 확실하지 않을 경우 C_W 는 0.1 이하이어야 한다.

제 4 절 멤브레인탱크

401. 일반사항

최종 및 사고설계조건에 대하여 멤브레인탱크의 허용기준은 멤브레인 형식에 따라 변경될 수 있으며 멤브레인탱크의 설계자 및 제조자에 의하여 제공될 수 있다.

402. 멤브레인 시스템의 허용응력 및 좌굴 압력

선체운동에 기인한 슬로싱 하중은 냉각, 화물 적하조건, 진동, 정적 경사 또는 총돌과 같은 하중과 비교하여 지배적인 하중이다. 최종 및 사고설계조건에서 슬로싱에 대한 화물격납설비의 멤브레인, 폴리우레탄폼, 플라이우드 및 마스틱의 구조강도 평가는 다음의 규정을 만족하도록 권장된다.

- 허용 등가 응력 : $\sigma_{eq} \leq 0.67R_e$

- 허용 좌굴 압력 : $P_c < 0.9P_{cr}$

P_{cr} 는 각 재료의 알려진 시험자료 및 선급에 의하여 인증된 표준에 따라 정해진 임계좌굴압력이다.

403. 펌프타워의 허용응력 및 좌굴 사용계수

펌프타워 관 부재에 대한 유한요소해석에서 허용응력 및 좌굴 사용계수는 다음의 규정을 만족하여야 한다.

- 허용 축 인장 응력 : $\sigma_t \leq 0.9R_e$

- 허용 축 압축 응력 :

$$\sigma_c \leq 0.783 \sigma_{cr}, \quad \text{for } \sigma_{el} \leq R_e$$

$$\sigma_c \leq \left(0.9 - 0.0827 \sqrt{\frac{R_e}{\sigma_{el}}} \right) \sigma_{cr}, \quad \text{for } \sigma_{el} > R_e$$

여기서,

σ_{el} : 관 단면에 대한 탄성 좌굴응력 (N/mm^2)

σ_{cr} : 스테인리스 스틸의 임계좌굴응력 (N/mm^2)

σ_{el} 및 σ_{cr} 은 액화천연가스 운반선 펌프타워 구조강도평가 지침 3장 3절 301. 참조.

- 허용 전단 응력 : $\tau_c \leq 0.52R_e$

- 허용 굽힘 응력 : $\sigma_b \leq 0.9\sigma_{b-cr}$

σ_{b-cr} = 굽힘 강도(N/mm^2), 액화천연가스 운반선 펌프타워 구조강도평가 지침 3장 3절 301. 참조

- 축 인장 및 굽힘에 대한 허용 기준

$$\left(\frac{\sigma_t}{0.9R_e} \right) + \left(\frac{\sigma_b}{0.9\sigma_{b-cr}} \right) \leq 1$$

- 축 압축 및 굽힘에 대한 허용기준

$$\left(\frac{\sigma_c}{0.783\sigma_{cr}} \right) + \left[\frac{\min\left(0.85, 1 - 0.4 \frac{\sigma_c}{0.783\sigma_{el}} \right) \sigma_b}{\left\{ 0.9\sigma_{b-cr} \left(1 - \frac{\sigma_c}{0.783\sigma_{el}} \right) \right\}} \right] \leq 1, \quad \text{for } \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}} > 0.15$$

$$\left(\frac{\sigma_c}{0.783\sigma_{cr}} \right) + \left(\frac{\sigma_b}{0.9\sigma_{b-cr}} \right) \leq 1, \quad \text{for } \frac{\sigma_c}{\sigma_{cr}} \leq 0.15$$

- 국부 좌굴에 대한 허용응력

$$\sigma_c + \sigma_b \leq 0.75 \sigma_{l-cr}, \quad \text{for } \sigma_{l-cr} \leq 0.55 R_e$$

$$\sigma_c + \sigma_b \leq \min\left(0.566 + 0.334 \frac{\sigma_{l-cr}}{R_e}, 0.9 \right) \sigma_{l-cr}, \quad \text{for } \sigma_{l-cr} > 0.55 R_e$$

여기서,

σ_{l-cr} : 임계 국부 좌굴응력 (N/mm^2)으로 액화천연가스 운반선 펌프타워 구조강도평가 지침 3장 3절 301. 참조

404. 펌프타워 관 결합부의 허용응력

관 결합부의 평가는 굽힘, 편칭 전단 및 축 응력을 고려하여 평가되어야 한다. 관 결합부는 다음의 규정을 만족하여야 한다.

$$\left| \frac{F_A}{\mu F_{UA}} \right| + \left(\frac{M_{IPB}}{\mu M_{UIPB}} \right)^2 + \left| \frac{M_{OPB}}{\mu M_{UOPB}} \right| \leq 1$$

여기서,

- μ : 0.9, 안전계수
- F_A : 브레이스 부재의 축 하중 (N)
- F_{UA} : 브레이스 부재의 축 하중에 대한 관 결합부 강도 (N)
- M_{IPB} : 브레이스 부재의 면내 굽힘모멘트 (N-mm)
- M_{UIPB} : 브레이스 부재의 면내 굽힘모멘트에 대한 관 결합부 강도 (N-mm)
- M_{OPB} : 브레이스 부재의 면외 굽힘모멘트 (N-mm)
- M_{UOPB} : 브레이스 부재의 면외 굽힘모멘트에 대한 관 결합부 강도 (N-mm)

405. 리퀴드 돔 커버 및 하부 지지부의 허용응력

리퀴드 돔 커버 및 하부지지부에 대한 유한요소해석에서 허용 등가응력은 $\sigma_{eq} \leq 0.85R_e$ 를 만족하여야 한다.

406. 허용 누적 피로 손상율

누설감지방법에 의해 확실히 감지되는 피로파괴의 경우, 리퀴드 돔 커버와 하부 지지부의 허용 누적 피로손상율, C_W , 은 0.5 이하이어야 한다. 멤브레인 시스템 및 펌프타워 관 부재에서 누설탐지 방법에 의하여 피로파괴를 감지 할 수 없을 경우 C_W 는 0.1 이하이어야 한다.

제 5 절 일체형 탱크 및 세미멤브레인 탱크

501. 일반

화물격납설비의 구조강도에 대한 설계하중이 적절히 선정된 사용계수 보다 작을 경우, 해당 화물격납설비는 승인 될 수 있다. 화물격납설비의 구조강도를 평가하기 위하여 허용기준 선정의 책임이 있는 설계자가 제공한 기준에 따라 구조해석이 수행되어야 한다.

제 6 절 새로운 형태의 화물격납설비

601. 일반사항

한계상태 설계의 절차와 관련 설계인자들은 새로운 형태의 화물격납설비의 설계에 있어서 한계상태 방법론을 위한 표준을 만족하여야 한다. (IGC Code Appendix 5 참조)

602. 한계상태

한계상태는 다음 세 가지로 분류한다.

- 최종한계상태(ULS-ultimate limit states): 최대 하중을 견딜 수 있는 능력 또는, 일부 경우에는, 비손상 상태에서 최대 좌굴 및 소성붕괴로 인한 구조물의 최대 적용 가능한 변형률, 변형 또는 불안정성에 상응하는 한계상태
- 피로한계상태(FLS-fatigue limit states): 시간에 따른 반복 하중의 영향으로 인한 열화(degradation)에 상응하는 한계상태
- 사고한계상태(ALS-accident limit states): 사고 상황에서 구조물이 견디는 능력에 관련된 한계상태 (IGC Code Appendix 5, 1.)

603. 설계 방식

설계방식은 하중-저항계수 방식에 기반을 둔다. 하중저항계수설계방식의 기본 원리는 설계 하중효과 L_d 가 모든 시나리오에서 고려된 모든 파괴모드에 대하여도 설계 저항 R_d 을 초과하지 않음을 검증하는 것이다.

$$L_d \leq R_d$$

L_d : 설계 하중효과 L_d (예, 응력, 변형률, 변형 및 진동)는 설계 하중에서 유도된 가장 불리하게 조합된 하중효과이고, 다음 식과 같다.

$$L_d = q(F_{d1}, F_{d2}, \dots, F_{dk})$$

여기서,

q : 하중과 구조해석에 의해 결정된 하중효과 사이의 함수관계

F_{dk} : 설계하중, $F_{dk} = \gamma_f F_k$

γ_f : 하중계수

F_k : **규칙 7편 5장 4절 411.에서 418.에** 명시된 하중

R_d : 설계저항

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R \gamma_C}$$

여기서,

R_k : 특성저항. **규칙 7편 5장 6절**에서 다루는 재료의 경우, 이것에 한정하지는 않으나 규격 최소항복응력, 규격 최소인장강도, 단면의 소성저항 및 최종좌굴강도일 수 있다.

γ_R : 저항계수로 $\gamma_R = \gamma_m \gamma_s$.

γ_m : 재료 물성의 확률 분포를 고려한 부분 저항계수(재료계수)

γ_s : 해석 정확도를 포함하여 능력 결정을 위한 방법, 건조 품질과 같은 구조물의 능력에 대한 불확실성을 고려한 부분 저항계수

γ_C : 화물의 유출 및 발생 가능한 인명피해와 관련하여 파괴의 잠재적 결과를 설명하는 결과등급계수. γ_C 는 다음과 같이 3가지 단계로 분류할 수 있다

- 낮음 : 파괴가 화물의 미소 유출을 수반함

- 보통 : 파괴가 화물의 유출 및 인명피해(부상)의 가능성을 수반함

- 높음 : 파괴가 화물의 상당한 유출 및 인명피해(부상/사망)의 높은 가능성을 수반함

(IGC Code Appendix 5, 2.)

604. 유한요소해석

3차원 유한요소해석은 탱크와 선체, 해당되는 경우 지지 및 고정장치를 포함하는 통합 모델로 수행하여야 한다. 예상치

못한 파괴를 피하기 위해 모든 파괴모드를 식별하여야 한다. 불규칙파에 대한 상세한 선박 가속도 및 거동, 그리고 이러한 힘 및 거동에 대한 선박 및 화물격납설비의 응답을 결정하기 위해 유체 동력학적 해석을 수행하여야 한다. 필수 해석 요건은 다음과 같다

- 외압 및 압축응력을 일으키는 기타 하중을 받는 화물탱크의 좌굴강도해석은 **규칙 13편 8장** 또는 이와 동등한 규정에 따라 수행되어야 한다. 해석방법은 판의 편평도 불량, 판 끝단의 정렬 불량, 직진도, 정원도 및 규정의 호 또는 현의 길이를 통한 정원으로부터의 편차의 결과에 따른 이론적 좌굴응력과 실제 좌굴응력과의 차이를 적절히 고려할 수 있어야 한다.
- 피로 및 균열진전해석은 **규칙 7편 5장 418.2**에 따라 수행되어야 한다.

(IGC Code Appendix 5, 3.)

605. 최종한계상태

(1) 구조저항의 결정

조 저항은 탄성 및 소성 재료 물성을 모두 고려한 완전한 해석 또는 시험을 통해 정할 수 있다. 최종강도에 대한 안전여유는 하중과 저항의 확률적 특성(동적하중 및 압력하중, 중력하중, 재료강도, 좌굴능력)의 기여를 고려한 안전 관련 부분계수(하중계수, 저항계수)에 의해 도입되어야 한다.

(IGC Code Appendix 5 4.1)

(2) 하중조합계수

슬로싱 하중을 포함하는 환경하중, 기능하중 및 영구하중의 적절한 조합을 해석에서 고려하여야 한다. 다음의 표에 주어진 부분 하중계수를 갖는 적어도 두 개의 하중 조합이 최종한계상태 평가에 사용되어야 한다.

하중조합	영구하중	기능하중	환경하중
a	1.1	1.1	0.7
b	1.0	1.0	1.3

하중 조합 'a'의 영구하중 및 기능하중에 대한 하중계수는 증기압, 화물 중량, 설비 자체 중량 등과 같이 화물격납설비에 적용할 수 있는 일반적으로 잘 제어된 및/또는 지정된 하중에 적절하다. 예측 모델의 고유 변동성 및/또는 불확실성이 더 높은 경우, 영구하중 및 기능하중에 대해 보다 높은 하중계수가 적절할 수 있다. (IGC Code Appendix 5 4.2)

(3) 슬로싱 하중계수

슬로싱 하중의 경우, 추정 방법의 신뢰도에 따라 우리 선급이 적절하다고 인정하는 더 큰 하중 계수를 요구할 수 있다. (IGC Code Appendix 5 4.3)

(4) 결과 등급계수

화물격납설비의 구조적 파괴가 인명피해의 높은 가능성과 화물의 상당한 유출을 수반한다고 고려되는 경우, 결과등급계수 γ_c 는 1.2로 하여야 한다. 위험 분석을 통해 정당화되고 우리 선급이 승인하는 경우 작은 값을 사용할 수 있다. 위험 분석은 계획된 화물과 관련된 누출 및 이보다 덜한 위해로부터 선체 구조를 보호하기 위한 완전 또는 부분 2차 방벽의 준비를 포함하는 요인을 고려하여야 하나 이에 한정하지 않는다. 반대로, 예를 들어 더 위험하거나 더 높은 압력의 화물을 운반하는 선박의 경우, 우리 선급이 필요하다고 인정하는 경우 더 높은 값을 정할 수 있다. 결과등급계수는 어떠한 경우에도 1.0 보다 작지 않아야 한다.

(IGC Code Appendix 5 4.4)

(5) 등가 안전 수준

사용된 하중계수들과 저항계수들은 안전수준이 1.에서 5.에 설명된 화물격납설비의 안전수준과 동등한 것으로 하여야 한다. 이는 알려진 성공한 설계에 맞게 계수를 보정하여 수행할 수 있다.

(IGC Code Appendix 5 4.5)

(6) 재료계수

재료계수 γ_m 는 일반적으로 재료의 기계적 성질의 통계적 분포를 반영하여야 하며, 규정된 전형적인 기계적 성질과 함께 해석되어야 한다. **규칙 7편 5장 6절**에 정의된 재료에 대하여 재료계수를 다음과 같이 정할 수 있다.

1.1 : 우리 선급이 규정한 특유의 기계적 성질이 기계적 성질의 통계적 분포에서 전형적으로 하위 2.5 % 정량을 나타내는 경우

1.0 : 우리 선급이 규정한 특유의 기계적 성질이, 규정된 것보다 하위일 확률이 매우 낮고 무시될 수 있을 정도로 충분히 작은 정량을 나타내는 경우

(IGC Code Appendix 5 4.6)

(7) 저항계수

부분 저항계수 γ_{si} 는 일반적으로 건조 공차, 건조 품질, 적용되는 해석방법의 정확도 등을 고려한 구조물의 능력에 대한 불확실성에 기초하여 설정되어야 한다.

(IGC Code Appendix 5 4.7)

(8) 소성변형에 대한 저항계수

한계상태 기준을 사용한 과도 소성변형에 대한 설계의 경우, 부분 저항계수 γ_{si} 는 다음과 같이 취해진다.

$$\gamma_{s1} = 0.76 \frac{B}{\min\left(\frac{R_m}{R_e} \frac{A}{B}, 1.0\right)}, \quad \gamma_{s2} = 0.76 \frac{D}{\min\left(\frac{R_m}{R_e} \frac{D}{C}, 1.0\right)}$$

A, B, C 및 D 는 **2장 2절 201.**에 정의되어 있으며 위에서 주어진 부분 저항계수는 기존의 독립형탱크 형식 B에 맞게 보정된 결과이다.

(IGC Code Appendix 5 4.7.1)

(9) 과도 소성변형에 대한 설계

응력 허용기준은 탄성 응력해석을 참조한다. (IGC Code Appendix 5 4.8.1).

구조물의 막 응답에 의해 하중이 주로 전달되는 화물격납설비의 부분은 **2장 2절 201.**의 규정에서 다음의 계수들을 적용한 한계상태기준을 만족하여야 한다. (IGC Code Appendix 5 4.8.2)

$$f = \frac{R_e}{\gamma_{s1}\gamma_m\gamma_C}, \quad F = \frac{R_e}{\gamma_{s2}\gamma_m\gamma_C}$$

거더, 보강재 및 강판의 굽힘에 의해 하중이 주로 전달되는 화물격납설비의 부분은 다음의 한계상태 기준을 만족하여야 한다.

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} \leq 1.25F^{(1), (2)}$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} \leq 1.25F^{(1)}$$

$$\sigma_{ms} + \sigma_{bp} + \sigma_{bs} + \sigma_{bt} + \sigma_g \leq 3.0F$$

비고1: 1차 부재의 등가 단면 막응력과 등가 막응력의 합($\sigma_{ms} + \sigma_{bp}$)은 일반적으로 3차원 유한 요소 해석에서 직접적으로 입수할 수 있다.

비고2: 계수 1.25는 설계 개념, 구조물의 배치 및 응력 계산에 사용된 방법을 고려하여 우리 선급이 필요하다고 인정하는 경우 조정할 수 있다.

여기서,

σ_{ms} : 1차 부재의 등가 단면 막응력

σ_{bp} : 1차 부재의 굽힘에 기인한 2차 및 3차 부재의 응력과 1차 부재의 등가 막응력

σ_{bs} : 2차 부재(보강재)의 굽힘에 기인한 3차 부재(판) 응력과 2차 부재(보강재)의 등가 단면 굽힘응력

σ_{bt} : 3차 부재의 등가 단면 굽힘응력(판 굽힘응력)

σ_g : 2차 등가응력

(IGC Code Appendix 5 4.8.3)

법선응력은 기준평면에 대하여 수직방향 응력이다. 등가 단면 막응력은 고려하는 구조부재의 횡단면의 응력 평균값과 같고 균등하게 분배되는 법선 응력의 구성 요소로 단순한 판 단면인 경우, 단면 막응력은 막응력과 동일하다. 단면 굽힘응력은 굽힘 작용에 노출된 구조부재의 단면에 선형으로 분포된 법선 응력이다. (IGC Code Appendix 5 4.8.4)

(10) 좌굴에 대한 저항계수

적용된 좌굴 기준에 별도 명시되어 있지 않는 한, 좌굴에 대한 설계에는 동일한 계수 $\gamma_C, \gamma_m, \gamma_{si}$ 를 사용하여야 한다. 어떠한 경우에도 종합적인 안전수준은 이들 계수에 의해 주어진 것 보다 작지 않아야 한다.

(IGC Code Appendix 5 5.1)

606. 피로한계상태

(1) 피로하중계수

화물격납설비의 개념에 따라 적용 가능한 경우 **규칙 7편 5장 418.2**에 기술된 피로설계조건을 준수하여야 한다.

피로한계상태의 하중계수는 모든 하중 분류에 대해 1.0으로 하여야 한다.

(IGC Code Appendix 5 5.2)

(2) 결과 등급 및 저항 계수

결과등급계수 γ_C 및 저항계수 γ_R 은 1.0으로 하여야 한다.

(IGC Code Appendix 5 5.3)

(3) 누적피로손상율

피로손상은 1.5에 설명된 바와 같이 계산되어야 한다. 화물격납설비에 대해 계산된 누적 피로손상율은 다음의 표에 주어진 값보다 작거나 같아야 한다.

C_W	결과 등급		
	낮음	보통	높음
	1.0	0.5	0.5 ⁽¹⁾

1) 결함이나 균열의 식별가능성을 고려하여 **규칙 7편 5장 418.2**에 따라 더 낮은 값을 사용하여야 한다.

(IGC Code Appendix 5 5.4)

(4) 균열진전해석

7편 5장 418.2, (6)에서 **(9)**에 따라 균열진전해석이 요구된다.

(IGC Code Appendix 5 5.6)

607. 사고한계상태

- (1) 화물격납설비의 개념에 따라 적용 가능한 경우 사고설계조건을 준수하여야 한다.(IGC Code Appendix 5 6.1)
- (2) 손상 및 변형이 사고 시나리오를 확대시키지 않는 한 수용할 수 있음을 고려하면, 하중계수 및 저항계수는 최종한계상태에 비교하여 완화될 수 있다.(IGC Code Appendix 5 6.2)
- (3) 영구하중, 기능하중 및 환경하중에 대해 사고한계상태의 하중계수는 1.0으로 하여야 한다. (IGC Code Appendix 5 6.3)
- (4) 정적 경사하중, 충돌 및 침수로 인한 하중과 관련된 하중들이 환경하중과 조합될 필요는 없다. (IGC Code Appendix 5 6.4)
- (5) 저항계수(γ_R)은 일반적으로 1.0으로 하여야 한다.
(IGC Code Appendix 5 6.5)
- (6) 결과등급계수(γ_C)은 일반적으로 605.의 (4)에 정의된 바와 같이 정하여야 하나, 사고 시나리오의 성격을 고려하여 완화될 수 있다.
(IGC Code Appendix 5 6.6)
- (7) 특성 저항(R_k)은 일반적으로 최종한계상태를 위해 정하여야 하나, 사고 시나리오의 성격을 고려하여 완화될 수 있다.
(IGC Code Appendix 5 6.7)
- (8) 추가적인 사고 시나리오는 위험 분석에 근거하여 결정되어야 한다.
(IGC Code Appendix 5 6.8)

608. Testing requirements

이 지침서에 따라 설계된 화물격납설비는 화물격납설비의 개념에 따라 적용 가능한 경우 **규칙 7편 5장 420.3** 에 기술된 것과 동일한 정도로 시험되어야 한다 (IGC Code Appendix 5 7.1)

인 쇄 2020년 월 일
발 행 2020년 월 일

화물격납설비 안전여유에 대한 지침서

발행인 이 형 철
발행처 한 국 선 급
부산광역시 강서구 명지오션시티 9로 36
전 화 : 070-8799-7114
FAX : 070-8799-8999
Website : <http://www.krs.co.kr>

신고번호 : 제 2014-000001호 (93. 12. 01)

Copyright© 2020, KR

이 지침서의 일부 또는 전부를 무단전재 및 재배포시 법적제재를 받을 수 있습니다.