



2021

---

# 액화수소 산적운반선 지침서

---

GL-0020-K

한 국 선 급

**\_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)

# 차 례

<b>제 1 절 일반사항</b> .....	1
101. 적용 1 .....	
102. 용어의 정의 .....	1
<b>제 2 절 액화수소를 운반하기 위한 잠정 권고</b> .....	3
201. 잠정 권고 .....	3
<b>제 3 절 일반적인 규정에 대한 설명</b> .....	7
301. 액화수소의 특성 .....	7
302. 각각의 규정에 대한 설명 .....	7
<b>제 4 절 액화수소의 위험요소에 대한 특별규정</b> .....	9
401. 고려하여야 할 액화수소의 위험요소 .....	9
402. 저온 위험요소 .....	9
403. 수소 취성 .....	10
404. 투과성 .....	10
405. 낮은 밀도 및 높은 확산성 .....	10
406. 점화가능성 .....	10
407. 화재 위험요소 .....	10
408. 고압 위험요소 .....	11
409. 건강 위험요소 .....	11
410. 넓은 범위의 인화성 한계 .....	12
411. 위험한 퍼징 운전의 예방 .....	12

## 제 1 절 일반사항

### 101. 적용

1. 액화수소를 산적 운반하는 선박(이하 “액화수소 산적운반선”)은 선급 및 강선규칙 7편 5장을 따라야 한다. 액화가스 산적운반선은 선급 및 강선규칙 7편 5장 19절의 최저요건을 따라야 하나 액화수소에 대한 요건은 규정하지 않고 있다. 이 지침서는 IGC Code Preamble 5항에 언급된 바와 같이 액화수소 산적운반을 위한 잠정 권고안을 제공하며 이는 향후 액화수소 운반에 대한 최저요건의 기초를 제공함에 목적이 있다.
2. 이 지침서는 액화수소 산적운반선이 액화수소 외의 액화가스를 운반하지 않는다는 가정 하에 개발되었다. 따라서 이 지침서는 액화수소 외의 가스를 운반하는 액화수소 산적운반선에는 적합하지 않다.
3. 액화수소 산적운반선으로 우리 선급에 등록하고자하는 선박은 이 지침서의 요건을 만족하여야 한다. 또한, IGC Code 1.1.6.1항에 따라 운반에 관여하는 기국과 항만청 사이의 삼자합의 아래 정해진 적절한 예비 운송 조건 (preliminary suitable conditions of carriage)을 따라야 한다.

### 102. 용어의 정의

이 지침서에서 사용하는 용어는 다음에 별도로 명시하지 않은 경우 선급 및 강선규칙 7편 5장에 따른다.

1. **오쏘 수소(ortho-hydrogen)**이라 함은 수소분자의 두 가지 이성질체 중 하나로서 두 개의 양성자 핵스핀이 같은 방향인 상태를 말한다.
2. **파라 수소(para-hydrogen)**이라 함은 수소분자의 두 가지 이성질체 중 하나로서 두 개의 양성자 핵스핀이 다른 방향인 상태를 말한다. 파라 수소가 오쏘 수소 보다 낮은 에너지 상태를 가진다.
3. **이성질체**라 함은 같은 분자식을 가지고 있으나 원자 배열 또는 입체 구조가 서로 다른 분자를 의미한다.
4. **핵스핀**이라 함은 홀수의 질량수를 갖는 원자핵 또는 짝수의 질량수를 갖는 원자핵 중 일부가 스핀이란 고유한 각 운동량을 갖고 있는 것을 말한다. 쉽게 말하면 원자핵이 자전하는 것으로 여겨질 수 있다.
5. **폭굉(detonation)**이라 함은 폭발의 전파속도가 음속을 초과하는 과격한 폭발을 말한다.

## 제 2 절 액화수소를 운반하기 위한 잠정 권고

### 201. 잠정 권고

1. 액화수소를 산적 운반하기 위한 잠정 권고는 선급 및 강선규칙 7편 5장 19절에 일람된 LNG와 같은 유사 화물과의 비교 연구 결과를 기본으로 개발되었다.
2. 선급 및 강선규칙 7편 5장 19절에서는 각 화물에 대한 일반적인 규정의 적용을 다룬다. 각 화물에 대한 일반적인 규정의 선택은 열 'c'부터 'g'까지로 표현된다. 일반적인 규정에 더하여 특별규정이 화물의 특성/위험 요소에 따른 특정 화물에 적용될 수 있다.
3. 표 1 및 표 2는 각기 액화수소에 대하여 제안된 일반적인 규정 및 특별규정의 선택을 규정한다.

**표 1 액화수소를 산적 운반하기 위한 잠정 권고**

a	b	c	d	e	f	g	h	i
품명		선박의 형식	독립형탱크 형식 C의 요구	화물탱크내 증기부의 제어	화물증기의 탐지	계측		특별규정
Hydrogen		2G	-	-	F	C		표 2 참조

**표 2 액화수소를 산적 운반하기 위한 특별규정**

번호	특별규정	관련 위험요소
1	설계온도가 -165 °C 미만인 재료의 규정은 적절한 표준에 주의를 기울여 우리 선급의 동의를 받아야 한다. 최저설계온도가 -196 °C 미만인 경우 단열 재료의 특성시험이 예상되는 사용 온도 범위에 걸쳐 적절한 매체로 수행되어야 한다.	저온(402. 1 항 참조)
2	단열재와 같은 보기 및 구조의 재료는 화물장치의 일부에서 형성되는 저온에서의 응축 및 농축으로 인한 고농도 산소 효과에 저항력이 있어야 한다. (선급 및 강선규칙 7편 5장 1717.의 질소에 대한 규정을 참고한다.)	저온(402. 2 항 참조)
3	액화수소 및 차가운 수소증기를 포함하는 화물관은 노출된 표면이 -183 °C에 도달하지 않도록 조치를 취해야 한다. 저온에 대한 예방조치가 충분하고 효과적이지 않은 화물 매니폴드와 같은 장소의 경우 고농축 산소의 형성을 피할 수 있는 통풍과 같은 다른 적절한 조치 및 액화 공기를 회수 할 수 있는 트레이가 예방조치를 대신하여 허용될 수 있다. 공기에 노출되는 액화수소 관장치의 단열재는 불연성 재료이어야 하며 공기의 응축 및 그에 다른 단열재 안의 산소 농축을 방지하기 위하여 외부덮개에 밀봉을 갖도록 설계하여야 한다.	저온(402. 2 항 참조)
4	저온에서 응축된 불순물을 제거하기 위하여 화물 관장치에 여과와 같은 적절한 수단이 제공되어야 한다.	저온(402. 3 항 참조)
5	압력도출장치는 물 또는 얼음의 형성에 따른 막힘을 방지하도록 적절하게 설계 및 시공되어야 한다.	저온(402. 4 항 참조)
6	수소와의 접촉이 예상되는 장소에서는 필요에 따라 수소 취성으로 인한 열화를 방지하기 위하여 적절한 재료를 사용하여야 한다.	수소 취성 (403. 참조)
7	화물탱크 외판의 모든 용접이음은 완전 용입형의 맞대기용접이어야 한다. 탱크 외판과 돔의 이음부에만 용접절차의 승인시험의 결과에 따라 완전 용입형의 필릿용접을 사용할 수 있다.	투과성(404. 1항 참조)

표 2 액화수소를 산적 운반하기 위한 특별규정(계속)

번호	특별규정	관련 위험요소
8	누설을 막을 수 있는 이중관 구조 또는 수소 누설을 탐지할 수 있는 고정식 수소 탐지기가 화물 밸브, 플랜지, 실(seals)과 같은 수소 누설이 일어날 수 있는 장소에 제공되어야 한다.	투과성(404. 2항 참조)
9	헬륨, 또는 5% 수소와 95% 질소 혼합물이 화물 탱크 및 화물관의 밀폐시험 매체로 사용되어야 한다.	투과성(404. 3항 참조)
10	탄산가스 소화장치를 위한 탄산가스의 양은 모든 경우에 있어서 화물 압축기실 및 펌프실 총용적의 75% 이상에 상당하는 가스량을 공급하는데 충분한 양이어야 한다.	수소에 의한 화재(407. 3항 참조) 넓은 범위의 인화성 한계(410. 참조)
11	단일 손상으로 단일 성능의 저하가 발생할 수 있는 경우 이를 고려하여 적절한 안전 조치를 취해야 한다.	고압(408. 참조)
12	화물격납설비에 진공 단열이 사용될 때, 필요한 경우, 실험에 근거하여 우리 선급이 적절하다고 인정하는 바에 따라 단일 성능이 평가되어야 한다.	일반(401. 참조)
13	공기 중 습기로부터 형성된 얼음이 쌓여 벤트가 막히지 않도록 적절한 수단이 제공되어야 한다.	저온(402. 2항 참조)
14	보일오프가스를 처리하기 위한 수단이 충분히 고려되어야 한다.	고압(408. 참조)
15	전도성 기계 벨트의 설치 그리고 운전 및 보수절차에서의 예방조치를 포함하는 회전 또는 왕복 기계와 관련된 정전기가 충분히 고려되어야 한다. 화물구역에서 작업하는 각 선원에게는 정전기 방지 의류와 신발 및 휴대용 수소탐지기가 제공되어야 한다.	정전기(409. 2항 참조)
16	액화수소 산적운반선에 대한 운전매뉴얼은 환경조건과 관련된 다양한 운전의 제한 사항이 포함되어야 한다.	넓은 범위의 인화성 한계(410. 참조)
17	예열, 불활성가스 퍼지, 가스프리, 수소 퍼지 및 예냉각을 위한 적절한 절차를 수립해야 한다. 절차는 다음을 포함해야 한다. 1. 온도 제한에 따른 불활성가스의 선택 2. 가스 농도 측정 3. 온도 측정 4. 가스 공급률 5. 각 작업의 시작, 정지, 재개 및 종료 조건 6. 회수 가스의 처리 7. 가스의 배출	위험한 퍼징 운전의 방지(411. 참조)
18	오쏘 수소(ortho-hydrogen)에서 파라 수소(para-hydrogen)로의 변환으로 인한 과도한 열을 피하기 위하여 거의 순수한 파라수소(즉 95% 초과)만 적하되어야 한다.	일반(401. 참조)
19	수소 화재를 탐지하는 화재탐지기는 수소 화재의 특성을 고려하여 우리 선급이 적절하다고 인정하는 바에 따라 선택되어야 한다.	수소 화재의 특성(407. 4항 참조)
20	거주구역, 업무구역, 기관구역 및 제어장소로의 인화성 가스의 침입을 최소화하기 위하여 설계 단계에서 벤트출구로부터의 수소의 확산이 분석되어야 한다. 분석 결과에 따라 위험구역의 확장을 고려하여야 한다.	낮은 밀도 및 높은 확산(405. 참조)

표 2 액화수소를 산적 운반하기 위한 특별규정(계속)

번호	특별규정	관련 위험요소
21	수소 누출시 폭발성 혼합물의 형성을 방지하기 위하여 다음과 같은 적절한 안전 조치를 충분히 고려해야 한다. 1. 저온 수소가스의 바닥면 이동 및 따뜻한 수소가 갇힐 수 있는 공간의 높은 지점에서 탐지가 가능하도록 하는 가스탐지기의 설치, 그리고 2. 다음과 같은 적절한 지침을 고려하여 육상 액화수소 저장을 위한 “모범사례”의 적용 “극저온 안전매뉴얼 - 제4판 (1998)”.	일반(401. 참조)
22	선급 및 강선규칙 7편 5장 1810.의 3항 (2)호에 요구되는 화재탐지 수단으로 가용성 엘리먼트를 사용하는 경우 수소 화염에 적절한 화재탐지기가 같은 장소에 제공되어야 한다. 화염탐지기의 잘못된 경보로 인한 비상차단장치의 작동을 방지하기 위하여 적절한 수단이 강구되어야 한다. (예를 들면 단일 센서에 의한 비상차단장치 작동의 방지(투표방식)).	화재 위험요소 (407. 4항 참조)
23	증발 잠열, 비열, 온도와 관련된 수소 가스의 부피 및 인접구역의 열용량을 고려하여 액화수소 누출이 발생할 수 있는 폐위된 장소의 환기 용량을 향상시키기 위한 고려가 필요하다.	낮은 밀도 및 높은 확산(405. 참조)
24	액화 및 가스 수소 배관은 선급 및 강선규칙 7편 5장 16절에 언급된 경우 이외에는 폐위장소를 통과하지 않아야 한다. 다만 다음의 경우 폐위된 장소를 통과할 수 있다. 1. 30% LFL 이하에서 경보가 작동하고 60% 이하에서 차단밸브를 작동하는 가스탐지장치가 설치된 장소(선급 및 강선규칙 7편 5장 1604.의 2항 및 8항 참조), 및 적절히 환기되는 장소, 또는 2. 불활성 상태로 유지되는 장소, 또는 3. 진공도가 감시되는 진공 단열을 사용하여 화물격납설비의 일부를 구성하는 공간	투과성(404. 참조)
25	액화수소 화물로부터 증가하는 위험이 선내 인원, 환경, 선박의 구조적 강도 또는 보존성에 미치는 영향을 다루었는지 확인하기 위하여 위험도 평가가 수행되어야 한다. 합리적으로 예측 가능한 고장이 발생한 후의 액화수소 및 수소가스의 특성, 물리적 배치, 운전 및 유지보수와 연관된 위험을 고려해야 한다. 위험도 평가의 경우 예를 들면 HAZID, HAZOP, FMEA/FMECA 등의 적절한 방법이 IEC/ISO 31010:2009 “위험 관리 - 위험도 평가 기술” 및 SAE ARP 5580-2001 “비 자동차 분야 적용을 위한 권장 고장모드 및 효과 분석(FMEA) 지침”을 고려하여 도입되어야 한다.	일반(401. 참조)
26	도출밸브의 용량 선정은 가장 가혹한 시나리오에서 수행되어야 한다. 해당 시나리오가 화재로 인해 발행하는지 또는 전체 단열시스템으로부터의 진공 손실에 의하여 발생하는지가 평가되어야 하며 격납설비에서 발생하는 열 유속의 결과적 크기를 각 경우에 대하여 고려해야 한다.	고압 위험요소 (408. 참조)
27	기준온도에서의 충전한도 98%를 초과하는 것은 허용되지 않는다.	고압 위험요소 (408. 참조)
28	용접이음이 가능한 곳에서는 수소 배관의 플랜지 연결은 피해야 한다.	투과성(404. 2항 참조)
29	수소 화재의 불꽃이 눈에 보이지 않는 성질에 대한 적절한 고려가 필요하다.	화재 위험요소 (407. 1항 참조)

### 제 3 절 일반적인 규정에 대한 설명

#### 301. 액화수소의 특성

액화수소 및 LNG의 물리적 특성에 대한 비교 연구를 바탕으로 액화수소에 대한 IGC 코드에서의 일반적인 규정의 적용이 고려되어야 한다. 액화수소 및 LNG는 극저온 액체로서 무독성이며 인화성 고압가스를 생성한다. 참고로 표 3은 수소와 LNG의 주요성분인 메탄과의 물리적 특성의 비교를 보여준다.

표 3 수소와 메탄의 물리적 특성 비교

	수소	메탄
끓는 온도(K)*	20.3	111.6
액체 밀도(kg/m <sup>3</sup> )*	70.8	422.5
가스 밀도(kg/m <sup>3</sup> )**	0.084 (Air: 1.198)	0.716 (Air: 1.198)
점도(g/cm.s × 10 <sup>-6</sup> )	Gas 8.8 Liquid 13.49	Gas 10.91 Liquid 116.79
공기 중 화염온도 (°C)	2396	2230
최대연소속도 (m/s)	3.15	0.385
증발열 (J/g)*	448.7	510.4
최저 인화성 한계 (% 부피율)***	4.0	5.3
최고 인화성 한계 (% 부피율)***	75.0	17.0
최저 폭굉 한계 (% 부피율)***	18.3	6.3
최고 폭굉 한계 (% 부피율)***	59.0	13.5
최소 점화에너지 (mJ)***	0.017	0.274
자기발화온도 (°C)***	585	537
독성	No	No
임계점 온도 (K)	33.19****	190.55
임계점 압력 (kPaA)	1297****	4595
(비고)		
* 비교 목적의 기준 끓는점		
** 표준 온도 및 압력		
*** 25°C and 101.3 kPaA에서 공기 혼합물의 점화 및 연소 특성		
**** 표준수소		

#### 302. 각각의 규정에 대한 설명

##### 1. 선박의 형식(c란)

- (1) 연구의 결과로서 다음의 관점이 코드에 할당된 선박의 형식과 관련하여 언급되었다.
  - (가) 형식 1G는 IMDG 코드에서 등급 2.3의 위험물에만 할당되며 등급 2.1 및 2.2에는 할당되지 않는다.
    - \* 독성 및 인화성 가스는 등급 2.3(보조 등급 2.1)으로 분류된다.
  - (나) 형식 2G 및 형식 2PG는 주로 등급 2.1의 비독성 인화성가스에 할당된다.
  - (다) 형식 3G는 등급 2.2의 비독성 비인화성에만 할당된다.
- (2) 형식 2PG는 설계온도가 -55°C 미만인 액화수소에는 적합하지 않다. 액화수소는 등급 2.1 위험물임을 고려하여 액화수소에 형식 2G를 할당하는 것이 적절하다.

##### 2. 독립형 탱크 형식 C의 요구 (d란)

독립형 탱크 형식 C는 증기의 밀도가 공기보다 무거운 등급 2.3의 위험물에만 할당된다. 독립형 탱크 형식 C는 액

화수소에 요구되지 않는 것으로 간주된다.

### 3. 화물탱크 증기 공간의 제어 (e란)

화물증기 및 공기의 반응성을 고려하여 건조 및 불활성화와 같은 특별한 환경제어가 액화 화학제품에 일반적으로 요구된다. LNG의 경우와 같이 액화수소에는 이러한 요건을 적용할 필요는 없는 것으로 간주된다.

### 4. 증기의 탐지 (f란)

수소는 인화성 및 비독성이므로 액화수소의 증기 탐지로서 인화성(F)을 요구하는 것이 적절하다.

### 5. 계측(g란)

수소는 높은 점화 가능성 및 공기 중 넓은 인화성 범위를 가지며 밀폐식 계측이 가스가 공기 중으로 누출되는 것을 방지하는데 효과적임을 고려하여, 메탄과 같이 인화성 또는 독성 화물에 대해서는 원칙적으로 밀폐식 계측(C)을 요구하는 것을 근거로 수소에 대해서도 밀폐식 계측을 요구함이 적절한 것으로 간주된다.



## 제 4 절 액화수소의 위험요소에 대한 특별규정

### 401. 고려하여야 할 액화수소의 위험요소

1. 액화수소와 연관된 위험요소는 다음과 같다.

- (1) 낮은 점화에너지
- (2) 넓은 인화성 한계 범위
- (3) 화재 시 화염의 낮은 가시성
- (4) 충격파와 함께 폭발을 일으킬 수 있는 높은 화염속도
- (5) 산소가 풍부한 분위기를 초래할 수 있는 불활성 가스 및 공기 구성요소의 저온 및 액화/응결
- (6) 높은 투과성
- (7) 낮은 점도
- (8) 용접급속을 포함하는 수소 취성

진공 단열이 채택된 경우 액화수소의 예상운반온도에서 단열 성능의 조기 저하 가능성을 충분히 고려하여야 한다. 진공 단열 평가는 저온진공압력의 정상범위 또는 상한에 대하여 구명하여야 하며 진공의 손실이 이 값과 관련하여 정의 되어야 한다. 따라서 화물격납설비 및 배관의 설계 및 시험 시에 진공압력의 영향이 고려되어야 한다. 지지구조 및 인접하는 선체구조는 진공 단열의 손실로 인한 냉각을 고려하여 설계하여야 한다.

2. 수소는 주위온도에서 75% 오쏘 수소 및 25%의 파라 수소의 평형 농도를 갖는 혼합물이다. 20 K에서 액화될 때 오쏘 수소에서 파라 수소로 느리지만 연속적으로 변환된다. 수소의 핵스핀 이성질체의 발열 변환(오쏘 수소에서 파라 수소로)이 발생할 수 있으며 변환의 영향으로 격납설비의 냉각 용량 및 도출밸브 용량에 충격을 줄 수 있다.
3. 액화수소 산적운반선에 대한 특별규정의 고려에서 이 지침서 끝부분에 언급된 참고문헌 특히 ISO/TR 15916 “수소 시스템의 안전을 위한 기본적인 고려사항”, AIAA “수소 안전표준 및 수소 시스템”, NFPA 2 “수소 기술 코드”의 연구가 수행되었다. ISO/TR 15916을 기본으로 액화수소운반선의 주요 특별규정이 제공되었다. 이 표준은 액화수소 육상 탱크저장시설, 탱크트럭 등을 언급하고 있으며 액화수소의 특성을 논의할 때의 기본적인 관점을 포함한다.
4. 액화수소가 있는 환경에서 미량의 공기는 응축되거나 응고되어 불안정하고 폭발성인 혼합물을 발생시킬 수 있다. 적절하게 보호된 위험구역 내에서 응축 공기의 가능성이 고려되도록 주의를 기울여야 한다.

### 402. 저온 위험요소

1. 적절한 재료의 선정

- (1) 선급 및 강선규칙 7편 5장 604.의 표 7.5.6 및 표 7.5.7는 설계온도가  $-165^{\circ}\text{C}$  이상인 배관 또는 화물탱크에 대한 재료 선정을 규정한다. 표 7.5.6의 비고 2 및 표 7.5.7의 비고 3에 따르면 설계온도가  $-165^{\circ}\text{C}$  미만인 재료에 대한 규정은 우리 선급의 동의를 얻어야 한다. 이와 관련하여 AIAA의 간행물은 이러한 설계온도에 해당하는 몇 가지 적절한 재료를 소개한다.
- (2) 선급 및 강선규칙 7편 5장 419.의 3항에서 의도된 사용온도에 적합한 다양한 특성에 대하여 단열재료 사용되는 재료의 시험을 요구하지만 최소시험 온도는  $-196^{\circ}\text{C}$  이다. 수소의 기준 끓는점  $-253^{\circ}\text{C}$ 을 언급하지는 않는다. 액화수소를 운반할 경우 특별규정은 낮은 설계온도에 대한 고려가 필요하다.

2. 응축된 공기의 측정

- (1) 기준 끓는점이  $-196^{\circ}\text{C}$ 인 질소의 경우 공기 응축 및 산소 농축이 우려된다. 다음의 특별규정이 선급 및 강선규칙 7편 5장 1717.에 이미 포함되어 있다. “구조재료 및 단열재 등과 같은 보조적인 의장품은 화물장치의 각 부가 저온으로 되기 때문에 응축 및 농축에 의한 높은 산소 농도의 영향에 견딜 수 있어야 한다. 산소가 풍부한 분위기가 형성되지 않도록 하기 위해서 응축이 발생할 수 있는 장소에는 통풍을 충분히 고려하여야 한다.” 유사한 특별규정이 수소에 적용된다.
- (2) 공기 중의 습기로부터 형성된 얼음 축적이 벤트를 막을 수 있으며 벤트 및 관련 배관의 파열을 일으킬 수 있는 과도한 압력을 초래할 수 있다. (4항 참조)

3. 응축된 불순물의 제거

관 내 응축물이 포함된 불순물과 같은 불순물 제거는 별도로 고려하여야 한다. 필터의 설치는 적절한 수단일 수 있으며 특별규정으로 규정되어야 한다.

4. 물 또는 얼음의 형성에 따른 막힘의 방지

압력도출장치는 공기의 온도 및 습도에 따라 화물의 저온 및 증기로부터 초래하는 물 또는 얼음의 형성으로 인하여 막힐 수 있다. (2항 참조) 이러한 현상을 방지하기 위한 적절한 수단이 제공되어야 한다.

#### 403. 수소 취성

1. 수소 취성으로 인한 손상을 방지하기 위하여 적절한 재료의 선정이 요구된다. 참고로 AIAA의 간행물은 수소 취성에 저항성을 가지는 몇 가지 적절한 재료를 소개하고 알루미늄이 가장 영향이 적은 재료라는 결론을 내린다.
2. 해양 환경에서 액화 및 가스 수소 설비 설계를 위한 재료 선정에 대하여는 국제 또는 국가 표준을 따라야 한다.

#### 404. 투과성

##### 1. 화물탱크로부터의 누설 방지

수소 누설을 완화하기 위하여 수소의 높은 투과성을 고려하여 탱크 형식에 상관없이 완전용입 맞대기용접이 요구됨이 적절하다. 또한 선급 및 강선규칙 7편 5장 420.의 1항 (1)호 및 (2)호를 고려하여 돛과 탱크판의 연결부 용접 및 노즐 용접은 탱크 형식에 상관없이 완전용입이어야 한다.

##### 2. 배관으로부터의 누설 방지

밀폐구역에서의 탐지되지 않는 수소 축적을 완화하기 위하여, 높은 투과성을 고려한 수소 누설 가능성을 줄이기 위한 효과적인 조치를 취해야 한다. 효과적인 조치는 이중관 구조 또는 수소 누설과 관련하여 높은 위험성을 가지는 것으로 평가되는 구역에 고정형 수소 누설 탐지기를 설치하는 것일 수 있다. 용접부, 이음부 및 실(seal)을 통한 수소 누설은 수소시스템 설계를 위한 중요한 고려사항이며 중요한 운전 문제이다.

##### 3. 효과적인 밀폐시험의 실시

- (1) 화물탱크 및 화물 관/밸브에 대한 밀폐시험은 각각 선급 및 강선규칙 7편 5장 420.의 3항 (2)호, 513.의 1항 및 513.의 2항 (3)호에 따라 요구된다. 수소의 높은 투과성 때문에 공기를 대신하여 헬륨, 또는 5% 수소와 95% 질소 혼합물이 밀폐시험의 매체로 사용되어야 한다.
- (2) 수소 설비의 관장치는 설계압력에서 누설시험을 하여야 한다. 시험 매체로서 헬륨과 같은 작은 분자의 추적가스를 가지는 산소프리(oxygen-free) 질소의 사용 그리고 누설을 식별하기 위한 전자 누출 탐지기 사용을 고려해야 한다.

##### 4. 적절한 운전절차의 확인

이송 중 누설을 방지하기 위한 운전절차를 포함하는 지침서/매뉴얼, 누출시 조기 탐지 방법 및 누출 후 적절한 조치를 제공하여야 한다. 이를 위하여 선급 및 강선규칙 7편 5장 1803.의 화물의 안전한 운반에 필요한 데이터를 주는 정보가 선내에 비치되어야 하고 관계자 모두가 이용할 수 있어야 한다. 선내에 비치해야 될 상기 규칙은 구체적으로 유출이나 누출시 취해야 할 조치, 사람과 화물의 접촉사고에 대한 대책, 화물 이송 절차 및 비상절차에 대한 정보를 요구한다. 운반 및 이송 운전 중 액화수소를 위한 절차 상 매뉴얼과 관련하여 선급 및 강선규칙 7편 5장 18절의 요건이 적용가능하며 특별규정은 요구되지 않는다.

#### 405. 낮은 밀도 및 높은 확산성

수소의 낮은 밀도 및 높은 확산성은 개방공간에서 가연성 분위기를 형성할 가능성을 감소시킬 수 있지만 수소-공기 중 산소 혼합물이 발생할 수 있는 화물구역에서의 폐위구역은 적절한 통풍이 필요하다. 선급 및 강선규칙 7편 5장 1202.는 이러한 폐위구역에 대하여 고정식 통풍장치 또는 이동식 기계통풍이 요구된다. 상기 요건은 액화수소 산적운반선에 적용 가능하며 이와 관련하여 특별규정은 요구되지 않는다.

#### 406. 점화가능성

1. 선급 및 강선규칙 7편 5장은 가연성 화물의 점화를 방지하기 위하여 507.의 4항에서 배관 및 화물탱크는 전기적으로 접지, 1101.의 2항에서 모든 점화원의 배제, 1002.의 1항 등에서 가연성 물체로부터의 화재 및 폭발의 위험을 최소화하기 위한 전기설비를 요구한다.
2. 선급 및 강선규칙 7편 5장은 IEC(International Electrotechnical Commission)에서 발행한 관련 표준에 따른 것을 요구하며 IEC 표준은 수소를 포함하는 가연성 가스의 각 특성에 따른 이러한 안전조치의 상세를 규정한다. 수소의 점화가능성에 관련하여 특별규정은 필요하지 않다. 수소/공기 혼합물에서 사용되는 전기기기는 각각 IEC 60079-20-14에 따른 내압 방폭구조에 대한 최대 실험안전점온도 및 최대표면온도에 기초한 온도 등급을 기본으로 하는 그룹으로서 적어도 "II-C" 및 "T-1"의 형식이어야 한다.

#### 407. 화재 위험요소

### 1. 화재 시 인원의 안전

수소 화재로 인한 화염 및 자외선의 영향을 피하기 위하여 소방원장구 및 보호장구를 사용하는 것이 효과적이다. 선급 및 강선규칙 7편 5장은 이미 1106.의 1항에서 가연성 제품을 운반하는 선박에 대하여 소방원장구 그리고 1403.에서 안전장구를 요구한다. 선급 및 강선규칙 7편 5장 1803.에 의해 요구되는 화물정보의 문제로서 상기 사항이 고려되어야 한다. 수소 화재의 불꽃이 눈에 보이지 않는 성질에 대한 적절한 고려가 필요하다.

### 2. 소화장치의 호환성

수소 화재 시 드라이 케미컬 분말소화장치 또는 탄산가스 소화장치가 효과적인 것으로 간주되며 이러한 소화장치는 선급 및 강선규칙 7편 5장 1104. 및 1105.에서 이미 요구된다. 3항에서 언급되는 탄산가스 요구량의 증가와 관련한 것을 제외하고 다른 형식 소화장치의 설치에 대한 특별규정은 불필요한 것으로 간주된다.

### 3. 탄산가스 소화장치의 가스량의 증가

- (1) 선급 및 강선규칙 7편 5장 1105.의 1항은 다음과 같이 요구한다. "105.의 9항에서 규정한 화물기기구역의 기준에 적합한 폐구역, 그리고 모든 선박의 화물지역 내의 화물전동기실은 FSS 코드의 규정에 적합한 고정식 소화장치가 설치되어야 하고 가스화재의 소화용으로 요구되는 농도 또는 분무율이 고려되어야 한다."
- (2) FSS 코드의 5장 즉 고정식 가스소화장치에 대하여 화물구역에 대한 탄산가스의 양은 별도로 제공하지 않는 경우 FSS 코드 2.2.1.1에 따라 선내에서 보호되어야 하는 가장 큰 화물구역 총 용적의 30% 이상에 상당하는 양의 가스를 공급하는데 충분한 양을 요구한다.
- (3) 다른 한편으로 NFPA 12는 수소 화재에 대한 탄산가스의 설계 용량은 보호되어야 할 구역의 총 용적의 75% 이상을 요구한다. 탄산가스 증가량에 대한 특별규정이 탄산가스 소화장치에 대하여 제공되어야 한다.

### 4. 수소 화재의 특징

수소는 고온에서 연소되지만 일반적으로 프로판이나 기타 탄화수소 보다 적은 복사열을 방출한다.(동일 크기의 프로판 화염에서 방출되는 것의 약 10%) 수소 화염에 의해 방출되는 열은 탄화수소에 비하여 상대적으로 낮지만 연소열, 연소속도 및 화염크기의 차이를 고려하는 것이 중요하다. 수소 화염은 무색이거나 거의 무색이다. 이러한 특성으로 인하여 수소 화재를 탐지하기가 더욱 어렵게 만든다. 비교적 작은 수소 화재도 진압하기가 아주 어렵다. 화재를 진압하기 위한 신뢰할 수 있는 유일한 방법은 수소 공급원을 차단하는 것이다.

## 408. 고압 위험요소

1. 고압은 선급 및 강선규칙 7편 5장에서 일람된 수소 및 다른 가연성가스에 공통의 위험요소이다. 과압을 방지하기 위해서 선급 및 강선규칙 7편 5장에서는 압력 제어 및 압력 설계와 같은 다양한 조치를 요구한다. 구체적으로 선급 및 강선규칙 7편 5장 802.는 화물탱크의 압력 제어의 규정과 관련하여 화물탱크에 압력도출밸브의 장착을 요구한다. 또한 선급 및 강선규칙 7편 5장 701.의 1항에서는 기계적 냉각의 사용을 통한 온도 제어 및/또는 온도 및 압력의 가능한 증가를 견딜 수 있도록 설계하는 것을 요구한다. 게다가 선급 및 강선규칙 7편 5장 1502.에서는 열팽창에 의해 증가하는 화물부피를 고려한 화물탱크의 충전한도를 규정한다. 이러한 요건은 수소에 적용가능하며 이와 관련하여 다른 특별규정이 불필요한 것으로 간주된다.
2. 진공 단열시스템은 액화수소격납장치에 사용될 가능성이 높으며 이러한 시스템의 단열 성능은 시스템 설계에 따라 시스템의 손상에 의하여 악영향을 받을 수 있다. 단열시스템의 급격한 저하가 발생하면 화물탱크의 온도가 급격히 상승하거나 액화수소의 증발 속도가 압력도출밸브의 용량을 초과할 수 있다. 이러한 위험한 단열 성능의 저하를 방지하려면 적절한 안전조치를 취해야 한다.
3. 단열 성능이 저하된 경우 보일오프는 수소에 있어서 LNG 보다 더 큰 문제일수 있다. 보일오프가스를 처리하는 수단은 다음의 문제를 참작하여 신중하게 고려되어야 한다.
  - (1) 수소의 재액화는 매우 특별하고 값 비싼 장비가 필요하다. 보일오프를 피하기 위한 화물 냉각 역시 비용의 문제를 가진다.
  - (2) 선급 및 강선규칙 7편 5장 704.의 1항에도 불구하고 수소의 열산화(thermal oxidation)는 선급 및 강선규칙 7편 5장 103.의 동등효력 승인을 득하여 허용될 수 있다.
4. 이러한 관점에서 특별규정이 필요한 것으로 간주된다.

## 409. 건강 위험요소

### 1. 저온에서의 인체 안전 문제

차가운 수소가 인체에 미치는 영향 관련하여 적절한 보호장구가 효과적이다. 이러한 측면에서 선급 및 강선규칙 7편 5장 1401.에서는 제품의 특성을 고려한 적절한 보호장구를 필요로 하며 특별규정은 불필요한 것으로 간주된다.

2. 정전기

수소의 점화에너지는 매우 낮으며 정전기에 의하여 쉽게 점화될 수 있다. 적합한 보호장구에 관한 선급 및 강선규칙 7편 5장의 요건에 따라 이 문제에 대한 적절한 고려가 필요하다.

3. 산소 고갈 및 질식

수소의 누출은 산소 농도 저하로 인한 질식을 유발할 수 있다.

410. 넓은 범위의 인화성 한계

1. 수소 화재의 진화

- (1) 406.에 언급된 바와 같이 선급 및 강선규칙 7편 5장에서는 화재 및 폭발의 위험을 최소화하기 위한 적절한 형식의 전기설비의 사용을 포함하는 가연성 제품에 대한 점화원의 제거를 요구한다. 수소의 점화가능성과 관련하여 특별 규정은 불필요한 것으로 간주된다.
- (2) 또한 수소의 인화성 한계의 넓은 범위와 관련하여 소화제로서 탄산가스의 증가된 양은 407.의 3항에 언급된 바와 같이 명시되어야 한다. 수소의 인화성 한계의 넓은 범위와 관련하여 특별규정은 불필요한 것으로 간주된다.

2. 차가운 수소 가스의 처리

인화성 한계의 넓은 범위는 차가운 수소 가스의 처리를 주요 위험요소로 만든다. 냉기의 아랫바람(down wind) 및 4 % 미만의 부적절한 희석은 안전 제어구역 바깥에서 먼 점화원으로부터 통풍구로 역화(flash-back)할 가능성을 제공한다. 낮은 점화에너지 및 넓은 가연성 범위는 심각한 문제를 야기할 수 있다.

411. 위험한 퍼징 운전의 예방

- 1. 유지보수를 위한 화물 운전 중 배관 및 탱크는 그림 1과 같이 불활성가스로 퍼지 되어야 한다. 안전을 위해 불활성 가스 기체의 온도 및 끓는점을 적절히 고려하여야 한다. 퍼지 속도, 지속시간 또는 혼합 범위가 너무 낮으면 수소의 잔여 포켓 또는 퍼지 가스가 내부에 남아 있게 된다. 따라서 적절한 퍼지를 위해 시스템 내의 여러 위치에 신뢰할 수 있는 가스농도측정 값을 확보해야 한다. 온도는 여러 위치에서 측정해야 한다. 산화제는 수소가 들어있는 장비(특히 질소로 희석된 공기를 포함하는 쿨드박스 공기 또는 특수한 환경에서 쿨드박스 내 프로세스 배관에서 응축될 수 있는 산소가 풍부한 공기)에 존재할 수 있다.
- 2. 위험요소를 완화하기 위하여 특별한 조치를 취할 수 있다. 예를 들면 화물 배관 또는 프로세스 장비로 수소를 주입하기 이전에 질소 퍼지로 공기를 제거해야 한다. 그 다음 후속공정에서 교체될 가능성이 있는 질소를 수소 퍼지로 제거해야 한다. ↓

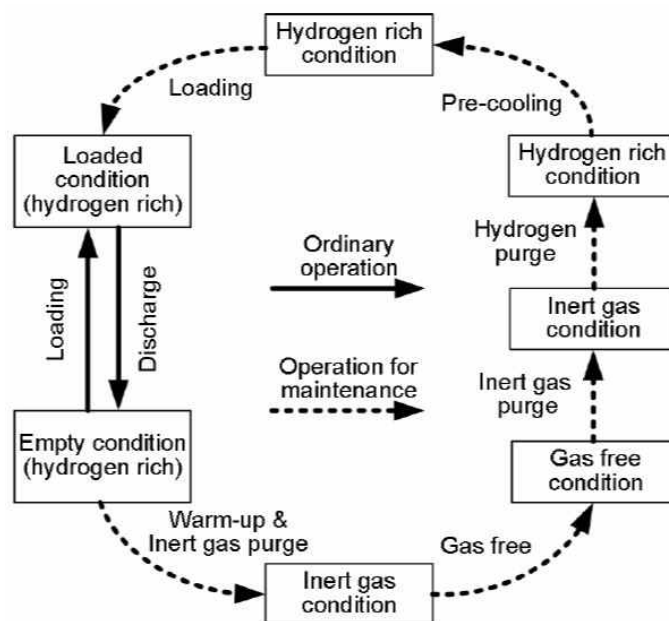


그림 1 배관 및 탱크의 불활성가스 퍼지 절차

## 참고 문헌

- 1) ISO/TR 15916, Basic consideration for the safety of hydrogen systems (ISO)
- 2) AIAA G-095A-2017 American Institute of Aeronautics and Astronautics, Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems
- 3) NFPA 12: Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems 2005 Edition (NFPA)
- 4) IEC 60079-20-1 Ed. 1.0:2010 (b) Explosive atmospheres - Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification - Test methods and data
- 5) UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods - Model Regulations, Nineteenth revised edition
- 6) NFPA 2: Hydrogen Technologies Code 2016 Edition (NFPA)
- 7) IEC/ISO 31010:2009 Risk management - Risk assessment techniques
- 8) Cryogenics Safety Manual - Fourth Edition (1998)
- 9) SAE ARP 5580-2001 "Recommended failure modes and effects analysis (FMEA) practices for non-automobile applications"
- 10) National Institute of Standards and Technology (NIST) RefProp database

---

발 행 2021년 2월 23일

## 액화수소 산적운반선 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© 2021, KR

이 규칙 및 적용지침의 일부 또는 전부를 무단전재 및 재배포  
시 법적제재를 받을 수 있습니다.