



TECHNICAL INFORMATION

36 Myeongji ocean city 9-ro,
Gangseo-gu, Busan, 618-814
Republic of Korea

Phone : +82-70-8799-8799
Fax : +82-70-8799-8419
E-mail : heocj@krs.co.kr
Person in charge: Heo Eunjung

No : 2021-ETC-01
Date : 2021.01.31

주제 : 암모니아 연료추진선박 보고서

IMO에서는 탄소배출량을 2030년에는 2008년 대비 40%, 2050년에는 70%까지 감축하는 것을 결정함에 따라 대체 연료에 대한 필요성이 높아지고 있습니다. 특히, 무탄소 연료인 암모니아는 선박 연료로서 세계적으로 관심을 끌고 있습니다.

우리선급은 암모니아를 선박의 연료로 사용하기 위하여 필요한 암모니아의 특성을 연구하여 암모니아 연료추진선박의 안전규정을 방향을 설정하고자 본 보고서를 작성하였으며, 우리 선급 검사원, 조선소, 선주 등 관계자들의 이해를 돕고자 본 기술정보를 발간하오니 관련 업무에 참고하시기 바랍니다.

첨부 : 암모니아 연료추진선박 보고서(국/영문)---1부(끝.)

배부처 : 모든 검사원, 선주, 관련 업계

Disclaimer :

Although all possible efforts have been made to ensure correctness and completeness of the contents contained in this information service, the Korean Register 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 information service.

암모니아

연료추진선박 보고서



2021. 01.
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.

차 례

1 연구배경 및 연구목적	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구의 목표	3
2 암모니아의 생산 및 사용	5
2.1 암모니아의 생산과정	5
2.2 암모니아의 사용	6
2.3 암모니아와 비교되는 탄소중립 연료	10
3 암모니아의 경제성	13
4 암모니아의 특성	15
4.1 암모니아의 물리적 특성	15
4.2 연료로써의 특성	17
4.3 차세대 연료의 연소 특성 비교	18
4.4 암모니아의 위험성	22
5 암모니아 취급시설의 안전장치	25
5.1 일반사항	25
5.2 암모니아의 해상운송	25
5.3 암모니아 육상 저장장치	26
5.4 암모니아 자동차	33
5.5 선박의 안전장치와의 비교	34
6 암모니아 연료전지와 내연기관	36
6.1 일반사항	36
6.2 연료전지	37
6.3 내연기관	38
7 IGC Code/IGF Code 요건의 분석	44
7.1 일반사항	44
8 결론	62
8.1 암모니아 사용 현황 및 관련 규정 현황	62
8.2 암모니아연료 추진선박에 적용하기 위한 관련 규칙 개정	62

1 연구배경 및 연구목적

1.1 연구배경

지구온난화의 원인 중 하나인 온실가스 배출 증가로 인류는 폭염, 홍수 등 이상기후현상에서 벗어나지 못하고 있다. 인류의 지속가능한 성장을 위하여 친환경은 필수라는 인식이 자리 잡았으며, 이에 따라 모든 산업분야에서 화석연료를 친환경 대체 연료로 전환하는 것이 진행 중이다.

유엔환경개발회의의 기후변화협약(UNFCCC)에 따라 이행해야 하는 교토의정서와 파리협정에서 해운분야의 온실가스 감축목표 달성을 위한 모든 사항을 국제해사기구(IMO)에 위임하였으며, 미세먼지(PM), SOx, NOx 배출 규제를 강화한 데 이어, 탄소 등의 온실가스 저감 목표를 구체화하였다. 탄소배출량을 2030년에는 2008년 대비 40%, 2050년에는 70%까지 감축하도록 결정하였다. (그림 1 참조)

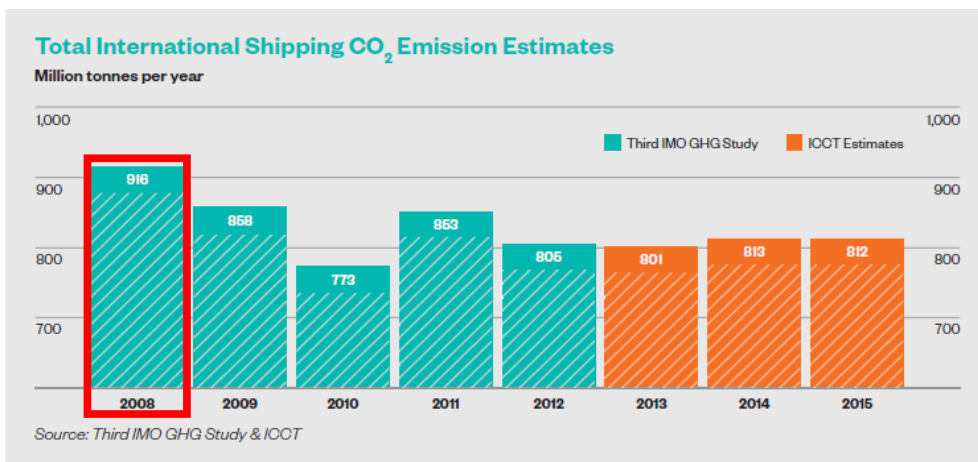


그림 1 2008년 이후 CO2 배출량

그러나 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오, Business As Usual), 이산화탄소배출량은 3,000 Mt 이상 될 것으로 예측되므로 사실상 약 85%를 감축해야 한다고 볼 수 있다. (그림2 참조)

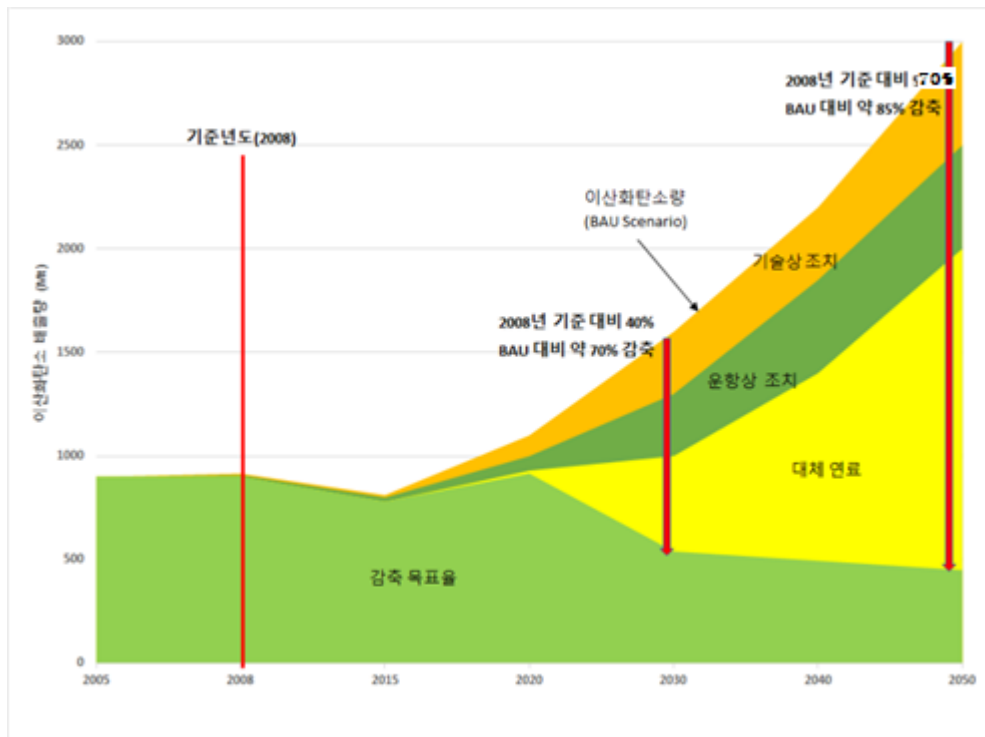


그림 2 IMO의 장기 이산화탄소 감축 계획 (데이터 출처: MEPC 72/7/3)

IMO가 제시한 2030 탄소 저감 목표 40% 달성은 현재 시행되고 있는 선박의 대형화, 추진장치 개선 등의 기술상 조치나 저속 운항과 같은 운항상의 효율을 개선하는 것으로는 다음 표 및 그림3과 같이 탄소가 저감된다. 그러나 2030년 이후에는 크게 변화가 없어 두 조치만으로는 한계가 있다.

	기술상(설계 관점) 조치	운항상 조치	합계
2008-2015	7 %	25 %	30 %
2015-2030	11 %	5 %	15 %
2008-2030	17 %	28 %	40 %

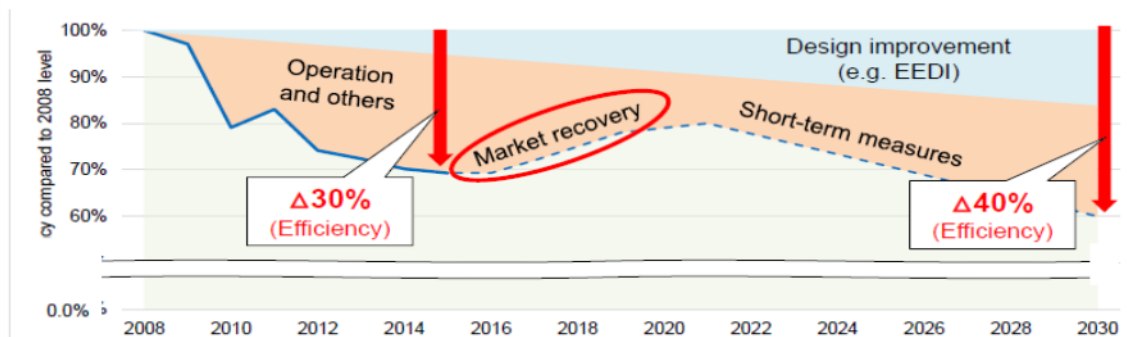


그림 3 기술 및 운항상 효율 개선에 의한 이산화탄소 감축률(출처 MEPC 72/7/3)

1.2 연구의 목표

1.2.1 목적

- 암모니아를 선박의 연료로서 사용할 수 있는지에 대한 타당성을 조사하고, 선박의 구조 및 설비에서 고려하여야 하는 암모니아의 특성을 도출하여 암모니아선박의 규정의 방향을 설정하는 것이 본 연구의 목적이다.

1.2.2 목표

- 암모니아를 선박 연료로 사용할 때의 제약사항은 다음과 같다.
 - IGC Code는 천연가스 이외의 화물도 동일한 안전수준 보장을 조건으로 연료로 사용할 수 있도록 개정되었으나 16.9.2항에 의하여 유독성으로 분류된 화물은 연료로 사용할 수 없어 이에 대한 검토가 필요하다.
 - IGF Code는 LNG에 대한 세부요건만을 규정하고 있으며, 최근 IMO CCC 회의에서는 메틸/에틸알코올에 대한 상세규정의 잠정지침 개발을 완료하였다. 연료전지, 저인화점 디젤, LPG에 대한 상세요건의 개발 작업이 진행 중이나, 암모니아의 상세요건 개발은 계획이 없다.
 - 안전성 측면에서 암모니아는 독성과 부식성을 가지고 있다. 따라서, 암모니아를 선박의 연료로 사용하기 위해서는 암모니아의 특성을 고려한 안전성 확보를 위한 기준이 필요하다.
 - 암모니아는 일반 연료보다 점화하기 어렵고 화염 속도가 매우 느린 편으로 연소 속도도 느리다는 특성이 있다. 반면, 석유 등의 연료, 염소가스, 요소가스와 혼합되거나 금, 수은, 탈륨 등의 중금속과 반응하면 급격한 폭발을 일으킨다.
 - 미연소 암모니아 배출물은 공기보다 훨씬 가벼워서 건조한 공기 중에서

는 빠르게 상승하지만, 해상에서는 공기 중의 습도와 빠르게 반응하여 선박표면에 가깝게 남아 선체부식을 일으킬 수 있을 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다. 또한 암모니아는 초미세먼지의 원인이 되므로 배출량 제한에 대한 요건을 마련하여야 한다.

- 상기의 어려움에도 불구하고 암모니아의 지속적인 사용을 하기 위하여 비용, 안전성, 가용성, 오염물질 감축량 등을 두루 고려하여야 한다. 기존의 암모니아 생산방식과 미래의 그린 암모니아 생산, 육상 분야에서의 사용 및 해상 운송 시의 경험, 암모니아 공급체인과 공정 및 선상에서연료로써의 적용 시 고려할 사항을 포괄하여 암모니아를 해상연료로 사용할 수 있도록 다음과 같은 세부 목표를 설정하였다.
- 암모니아의 특성 및 기존의 사용 분야 조사, 다른 무탄소 연료와 비교하여 가용성 분석 및 오염물질 감축량 분석
 - * 암모니아의 기존 사용분야
 - * 암모니아의 특성
 - * 수소, 메탄올, 바이오연료 등 다른 무탄소 연료와의 비교 연구를 통한 타당성 조사
- 암모니아 추진선박 구조 및 설비의 안전성에 대한 연구
 - * 암모니아 추진선박 구조·설비의 위험요소 분석자료 검토
 - * 암모니아 운반선박에 적용하기 위한 IGC Code 요건 분석 및 개정 의견 도출
 - * 암모니아 추진선박에 적용하기 위한 IGF Code 요건 분석 및 추가요건 도출
- 세부목표 결과를 바탕으로 하여 암모니아 추진선박의 안전규정 개발 방향 도출하고자 한다.

2 암모니아의 생산 및 사용

2.1 암모니아의 생산과정

2.1.1 전통적인 암모니아 생산 과정

아래 그림 5와 같이 현재 암모니아 생산 공정인 Haber-Bosch는 천연가스나 석탄을 이용한 고압 (~200 bar) 고온 (300~400°C) 반응으로 생산한다. 천연가스 개질이나 석탄 가스화를 통해 수소를 생산 분리하고 아래와 같이 수소와 질소의 발열 반응을 통해 암모니아를 합성한다.



반응 후 부피는 줄어들게 되어 고압에 적합하고 발열반응이라 저온에 더 유리한 반응이지만, 촉매의 활성 때문에 Haber-Bosch의 반응온도는 대략 300-400°C이다. 상업적으로 촉매는 iron catalysts 또는 ruthenium-based catalyst가 가장 많이 쓰이고 있다. 이 방법은 에너지 사용량이 매우 많아 에너지 사용량을 줄이기 위해 반응 압력을 낮추고자 많은 연구가 진행되고 있으나 낮은 암모니아 수율 등으로 인해 한계가 있다. 현재의 방법은 세계 이산화탄소 배출량의 약 1-2%를 생성하는 것으로 분석되고 있다.

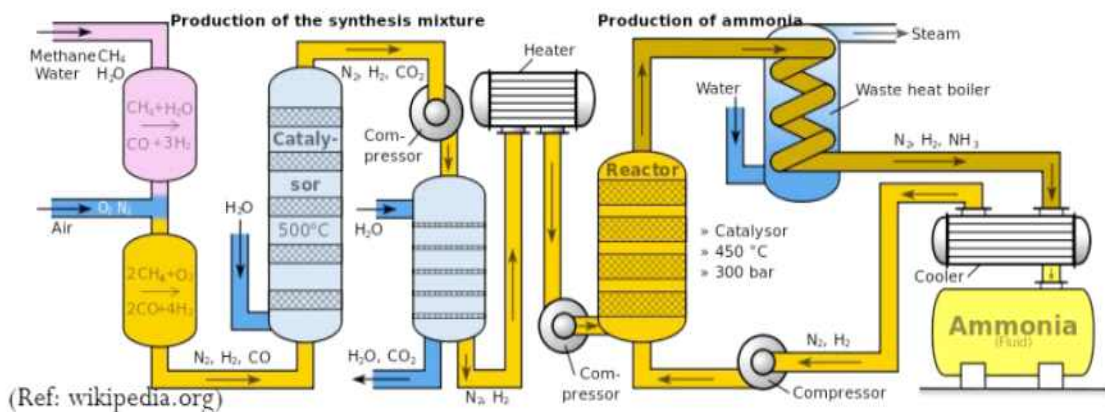


그림 4 Harber-Bosch 암모니아 생산과정

2.1.2 그린 암모니아 생산

궁극적 친환경을 위하여 탄소 배출이 없는 그린 암모니아의 합성이라는 과제가 남아 있다. 그린 암모니아는 물을 전기분해하여 수소를 생산하고, 공기에서 분리된 질소를 사용하여 전기적으로 합성하는 것이며, 이 때 재생에너지를 이용한다. 전기화학적 암모니아 공정은 대기압에서 물과 공기를 이용한 암모니아 생산 방법으로 미래에 재생에너지 전기 가격이 현재보다 저렴해질 경우 기존 Haber-Bosch 공정을 대체할 수 있는 원천기술이다. 재생에너지를 통해 전기화학적 암모니아로 생산 및 저장할 경우, 잉여 전력 손실을 최소화하여 재생에너지 전기 가격의 경제성 및 안정성을 확보할 수 있다.

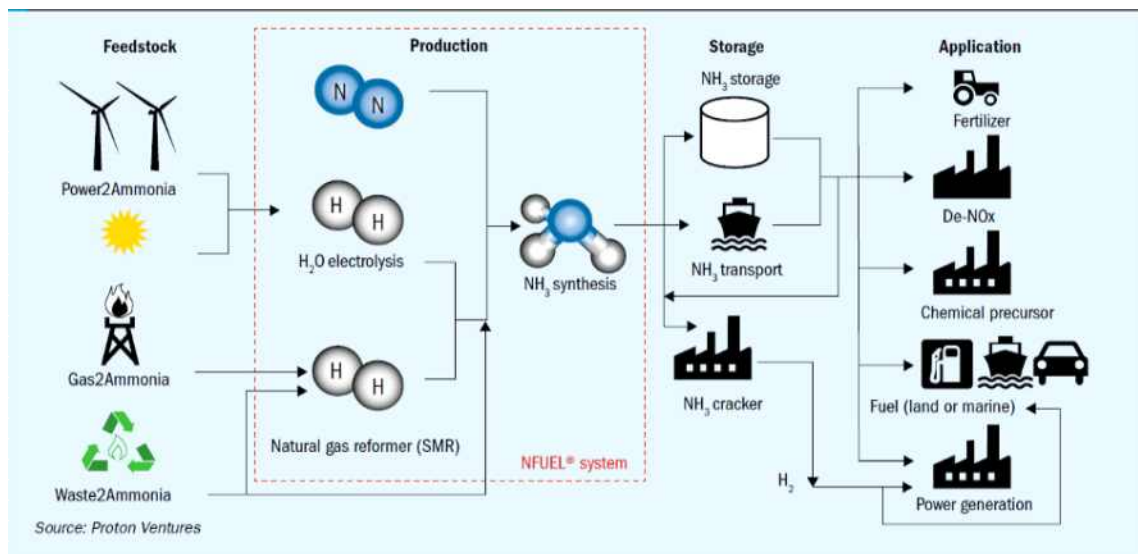


그림 5 그린 암모니아 생산과 소비

2.2 암모니아의 사용

암모니아는 120개의 항구가 이미 암모니아 관련 제품의 수입과 수출 처리를 하고 있으며, 자체 저장 시설을 가지고 있는 항구도 있다. 이러한 인프라는 연료의 가용성을 확보하는 주요한 자원이 될 수 있다. 암모니아는 다양한 분야에서 사용하여 취급에 관한 절차와 안전을 위한 교육 등도 광범위하게 보급되어 있으며, 이를 숙지한다면 선박에서의 사용도 무리가 없을 것이다.

2.2.1 비료

암모니아는 화학 전공자들에게는 탄소화합물만큼 중요한 물질로 여겨지는데 그 이유는 비료 합성과 질소 공정법(Haber-Bosch)으로 20억의 한계 인구를 80억으로 늘릴 수 있게 해준 원동력이 바로 암모니아이기 때문이다. 비종별 제조방법에 따라 크게 질소질비료, 인산질비료, 가리질비료, 복합비료로 구분되는데 암모니아는 질소질 비료에 30% 이상 사용된다.

2.2.2 산업용 원료

고순도 암모니아란 일반적으로 생산, 수입된 순도 99.8%의 원료가스를 별도의 정제과정을 거쳐 순도 99.9995(5N5)이상으로 만든 제품으로 이렇게 고순도(블루 암모니아) 및 초고순도(화이트암모니아)로 정제된 NH₃는 저순도와는 전혀 다른 가치를 갖는다. 일단 고순도 NH₃는 단순한 원료가스로서의 암모니아가 아닌 특수가스의 하나로 취급된다.

고순도 암모니아는 갈륨비소(GaAs), 실리콘게르마늄(SiGe), 인듐인(InP), 실리콘 카바이드(SiC) 등 화합물반도체를 비롯해 발광다이오드(LED), LCD 패널 시장에 주로 쓰이고 있다. 또한 최근에는 태양광 산업의 발달과 더불어 태양전지 등의 업계에서도 신규 수요가 지속적으로 창출되고 있다.

최근 수년간의 암모니아 시장 확대는 반도체와 LCD 패널이 주도해 왔다고 해도 과언이 아닐 정도로 이 두 분야의 발전이 크게 이루어졌으며, 특히 차세대 조명으로 떠오르는 UV-LED(자외선 발광다이오드)는 높은 휘도(輝度)와 낮은 제조원가로 기존 조명기구의 대체는 물론 살균, 폐수처리, 탈취, 의료용, 피부병치료, 위폐감별, 환경센서 등 응용범위가 확산되고 있어 초고순도 암모니아(순도99.99999%이상 화이트 암모니아) 수요 증가는 계속될 것으로 예상된다.

2.2.3 냉매

암모니아는 프레온과 함께 인류를 폭염으로 구해준 냉매로 사용되는 물질로써, 1832년 M. Faraday에 의해 암모니아 증기압축이론이 성립, 1859년 프랑스 F. Carre가 암모니아 흡수식냉동기로 특허를 얻었다. 현재까지 암모니아는 대형 산업용 냉동장치와 선박용으로 많이 쓰여 왔다. (선급 및 강선규칙 5편 6장 12절 냉동장치, 9편 1장 냉장설비)

암모니아는 액화하기 쉽기 때문에 범용 압축기를 사용 할 수 있으므로 수소불화탄소(HFC)¹⁾와 공용으로 하는 설계를 할 수가 있다. 증발 잠열은 물 다음으로 커서 다른 냉매보다 우수하다. 이 때문에 시스템 내 봉입단위용적 당 냉동능력은 극히 높다. 또 임계온도도 132.4℃로 높고 냉동 사이클로는 냉매 증발온도는 0~60℃까지의 넓은 온도범위로 적용할 수 있다. 일반적으로 분자량은 작은 편이 열전도율이 높다. 또한 극히 분자량이 작은 암모니아의 열전도율은 매우 높아 열교환기의 소형화가 가능하다는 장점이 있다.

2.2.4 자동차 연료 첨가제

암모니아는 요소수의 형태로 변환되어 배기가스의 NOx를 저감시키는 역할을 한다. 또한 암모니아를 염화알킬(RCI)과 같은 할로 알킬과 반응시켜 아민의 혼합물을 형성하여 디에틸아민, 헥사민의 형태로 엔진 오일 및 부식 방지, 경화 등의 용도로 연료의 첨가제로 사용하고 있다.

2.2.5 배기가스 저감장치(SCR)의 촉매

촉매를 이용하여 NOx를 제어하는 방법으로 먼저 직접 NOx를 분해하는 방법(환원제 미사용)과 환원제 이용 촉매환원법이 있다. 촉매상에서 NOx를 직접 분해하는 촉매분해법은 환원제를 공급하지 않고, NOx를 질소 및 산소로 분해하기 때문

1) 수소불화탄소(HFC)는 프레온가스의 대체물질로 분자 중에 염소를 포함하고 있지 않아 오존층은 파괴하지 않는다. 온실가스로는 분류된다.

에 비교적 유지비가 적게 소요되며, 환원제 공급장비도 불필요하기 때문에 경제적으로 유리하다. 그러나 고온(600 °C 이상)에서 우수한 촉매활성을 나타내며, 배기가스에 포함된 산소 및 이산화탄소가 NOx 분해 반응을 억제하여 제거효율 감소의 원인이 된다. 그러나 암모니아를 촉매로 한 SCR은 고정원에서 배출되는 NOx를 90% 이상을 제거할 수 있는 기술로써, 가격 경쟁력 및 촉매활성의 안정성 측면에서 현재까지 NOx 제어 기술에 있어서 최적방지기술로 상업화 되었다. 이와 관련된 규정은 한국선급의 「배기가스 배출 저감장치에 관한 지침」을 참조할 수 있다.

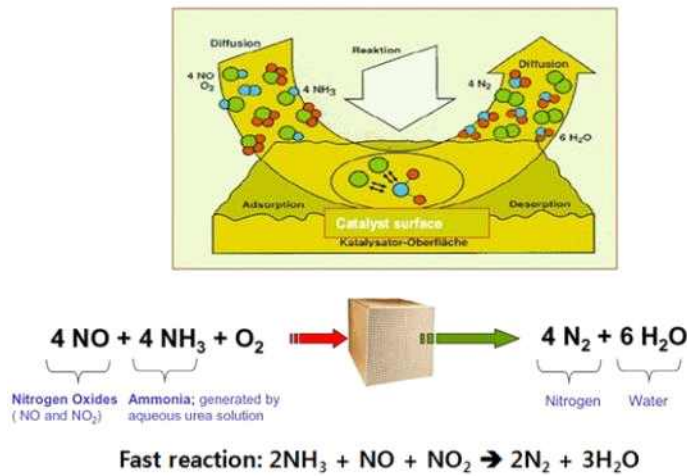


그림 6 NOx 제거 반응식

2.2.6 암모니아 엔진의 개발

연료로써 암모니아를 고려하는 것이 새로운 것은 아니다. 19세기에 이미 암모니아 연료 버스가 운행된 바 있으며, 1940년대 브뤼셀에서 전쟁 중 대중교통의 유지를 위하여 암모니아, 석탄 및 가스 하이브리드 엔진이 개발되었다. 그 당시는 환경적 요인보다는 석유가 너무 부족하기 때문에 개발된 것이었으며, 전쟁이 끝난 뒤에는 천연가스와 석유가 풍부해져 가격도 낮아졌으므로 사용할 필요가 없었다.

2.3 암모니아와 비교되는 탄소중립 연료

현재 연료 생산 및 소비과정에서 탄소의 총배출량을 '0'으로 만들 수 있는 탄소중립 연료 중 가용성이 있는 연료로 바이오연료, 수소, 메탄올 등이 대표적으로 언급되고 있다.

2.3.1 바이오 연료

저장 및 운반 측면에서 가장 우수한 탄소중립 연료는 바이오 디젤이다. 기존 화석연료와 거의 동일한 성질을 가지고 있으며, 에너지 밀도 또한 유사하기 때문이다. 이 때문에 기존 선박에서 이용하던 연료 계통장치와 연료탱크를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다.

바이오 가스 역시 주로 메탄가스로 이루어져 있어 LNG추진 선박에서 바로 사용이 가능하다는 장점이 있다.

옥수수 등을 이용하여 생산된 에탄올, 유기성 폐기물로부터 발생하는 합성가스를 이용하여 생산된 메탄올도 친환경적이지만 에탄올과 메탄올은 에너지 밀도가 낮은 편이다.

바이오 디젤과 가스 등 바이오매스를 원료로 얻어지는 연료는 단위공정이 대규모 설비투자를 필요로 하고, 과다 이용시 식량과의 경합을 유발할 수 있다. 1세대 원료인 식량 외의 축산분뇨, 음식물 쓰레기, 농수산 쓰레기를 2세대 원료로 사용 가능하나, 타 산업에서 부수적으로 생성되는 폐기물로써 원료 생산량을 증대시키기가 어려운 실정이다.



그림 7 바이오연료를 생산하는 방식 [1세대/2세대]

곡물류(1세대), 목질계(2세대)에 이어 미래의 3세대 바이오매스로 인식되는 미세조류는 광합성을 하기 때문에 대기 중 이산화탄소를 생물학적으로 회수하는 특징이 있다. 이 때문에 바이오매스로 효율적 전환이 가능하여 미세조류로 만든 바이오연료를 ‘녹색 금’이라 불리고 있다. 최근엔 미세조류 기반의 바이오연료가 전 세계 에너지 수요를 충족시킬 수 있다는 분석도 나오고 있으나 고지질을 함유한 고효율의 미세조류 개발이 필요해 대량생산이 가능해지기까지는 시간이 소요될 것으로 보인다.



그림 8 바이오연료를 생산하는 방식 [3세대]

2.3.2 수소

수소는 재생에너지를 이용한 수전해로 생산이 바로 가능하다는 장점이 있으나, 생산된 수소를 대량으로 저장하기 위해서는 -253°C 에서 액화시켜야 하므로 운송 및 저장과정에서 큰 에너지가 소모된다. 수소 액화 시, 발열량의 약 30%에 해당하는 에너지가 필요하며 저장 및 운송 과정에서 발생하는 BOG로 인해 에너지 손실량은 더욱 커지게 된다.

2.3.3 메탄올

바이오매스를 이용하여 생산하는 방법 이외에 재생에너지 전기를 이용한 수전해를 통해 생산된 수소를 이용하여 이산화탄소와 수소 또는 일산화탄소와 수소를 반응시켜 메탄올을 합성할 수 있다. 장기적으로 포집된 이산화탄소를 이용할 수 있다는 점에서 매우 친환경적이라 할 수 있으나 현재까지는 이산화탄소 포집 기술이 미비하고, 수소 역시 화석연료를 이용하여 생산되고 있는 실정이며, 메탄올의 에너지 밀도가 작아 연료로 사용하기에는 효율성이 낮은 편이다.

3 암모니아의 경제성

천연 가스의 증기 개질을 통한 기존 경로, 탄소 포집 및 저장 유무, Haber-Bosch 합성 및 물의 전기 분해에 이어 전기 화학적 암모니아 생산 (직접 전기 화학적 질소 감소) 등의 생산방식에 대한 비용은 다음 그림과 같다. 이러한 비용은 낮은 발열량을 기준으로 한 에너지 단위당 비용이며, 연료와 선박 추진 시스템에 따라 효율성이 다르다는 것을 고려하지 않았다.

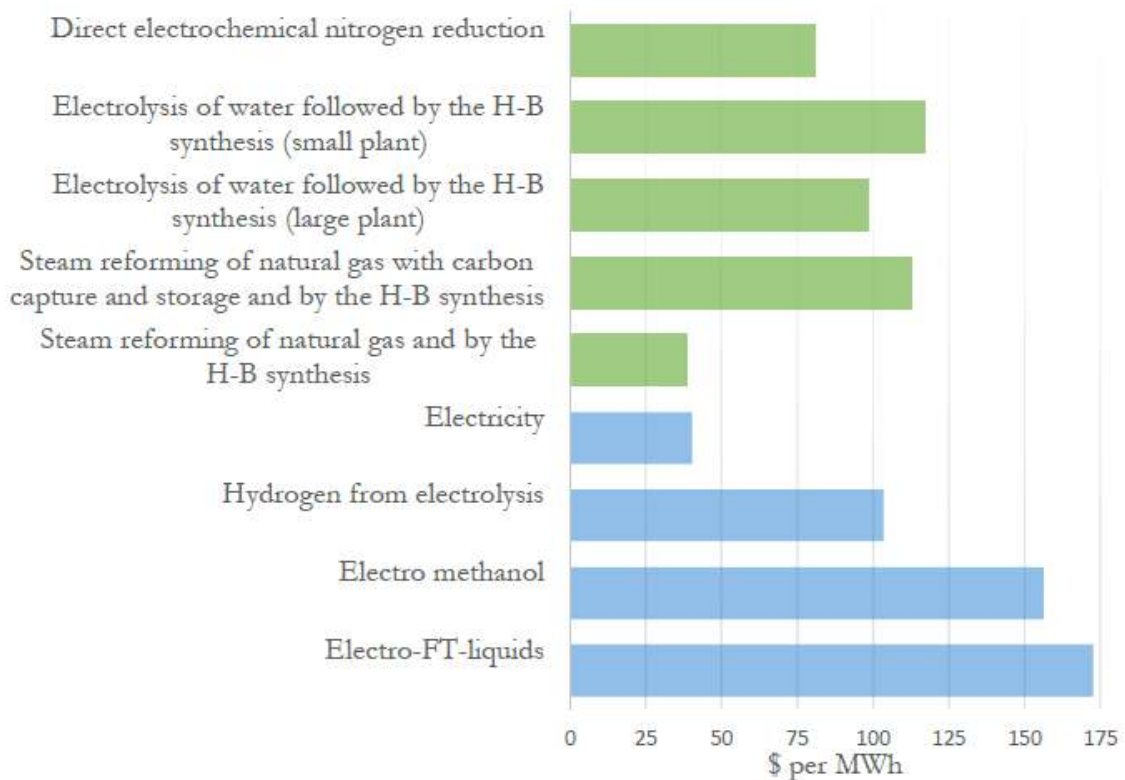


Figure 8. Indicative future production cost for different ammonia production routes in 2040 based on Hochman, et al. (2019) and compared with the cost for electricity, hydrogen and selected electrofuels production routes in 2030 based on Brynolf, et al. (2018). An electricity price of \$40.2/MWh and a natural gas price of \$14/MWh is assumed in the assessments.

그림 9 전기 화학적 암모니아 생산 비용

탈탄소를 달성하기 위하여 해양 연료로 사용하여야 하는 그린 암모니아의 생산 비용은 자본 투자 비용, 고정 운용 비용과 원료로 쓰이는 에너지에 대한 비용을

합산하여 추정한다. 그린 암모니아의 예상 손익분기 판매 가격은 아래 그림과 같다.

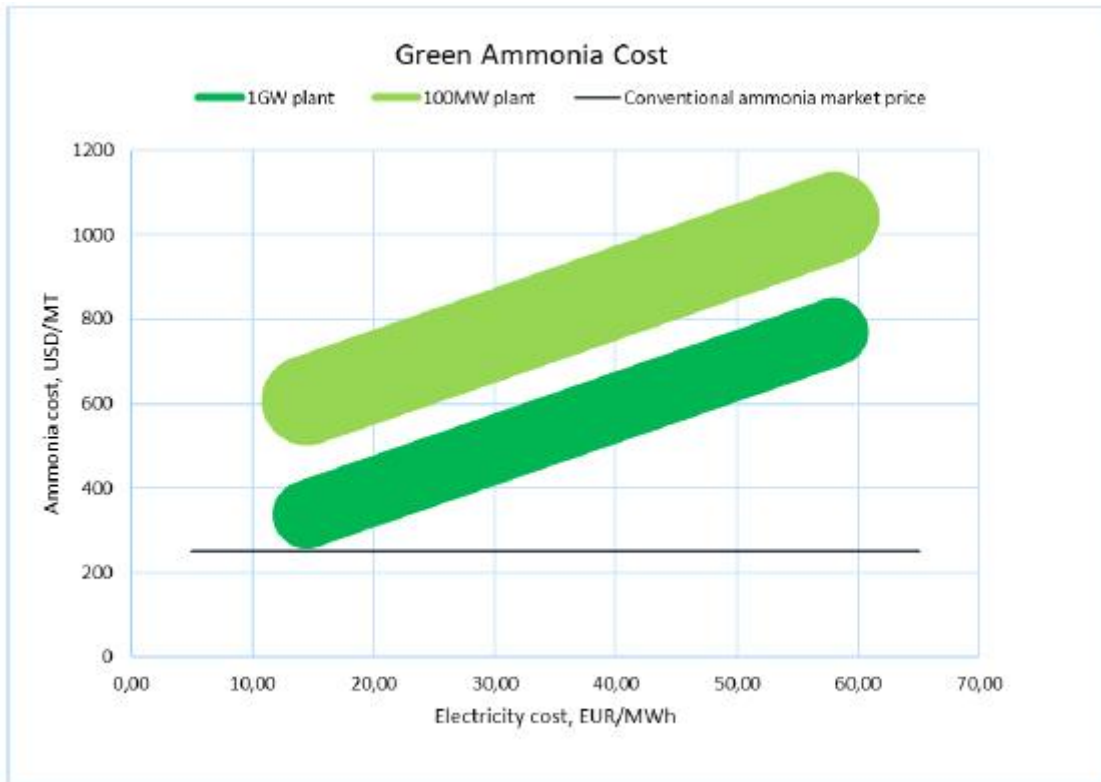


그림 10 재생 에너지를 이용한 그린 암모니아 생산 비용(출처: hafniabw.com)

2025년부터 소규모 공장이 등장하여 톤당 650-850 USD 범위의 그린 암모니아 비용이 발생할 것으로 예상된다. 2030년에는 더 큰 발전소가 건설되고 그린 암모니아 비용은 톤당 400-600 USD로 떨어질 것으로 예상되며, 2040년에는 비용이 톤당 275-450 USD 수준으로 떨어질 것으로 기대하고 있다. 암모니아의 사용량이 늘어날수록 가격도 경쟁력이 있을 것이라는 분석이다.

4 암모니아의 특성

4.1 암모니아의 물리적 특성

- 암모니아는 37.8 °C에서 증기압이 1.46 MPa로써, 비교적 액화하기 쉬운 가스이다. 암모니아는 LPG와 같이 상온에서도 일정압력을 가하게 되면 액화가 된다.
- 일반적인 암모니아의 물리적 특성은 표 1에 요약하였으며, 이해를 돕기 위하여 다른 탄소중립 연료의 특성을 함께 작성하였다.

특성	암모니아	수소	메탄올	메탄(LNG)	프로판(LPG)
인화점 (°C)	-	-150	11	-188	-105
자연발화온도 (°C)	651	535	464	595	459
점화에너지 (mJ)	8	0.011	0.14	0.28	0.25
기본 연소 속도 (cm/s)	12	312	56	40	46
공기 중 인화성 농도 범위(%)	15-28	4-75	5.5-44	5-15	2.2-9.5
대기압에서의 비등점 (°C)	-33.5	-253	64.7	-161	-42
임계온도 (°C)	132.4	-239.9	239	-82.95	96
임계압력(임계온도에서의 포화증기압) (MPa)	11.28	1.297	8.1	4.6	4.26
정압/정적비열비 k (Cp/Cv)	1.312	1.405	1.233	1.31	1.13
45°C에서의 증기압	1.78	-	0.045	-	1.5
액상/기상 부피비	850배	800배	-	600배	300

표 1 암모니아의 물리적 특성

- 암모니아 기체는 무색의 강한 냄새를 가지고 있어 누출 시 바로 알 수 있다는 장점이 있다. 공기보다 가볍기 때문에 환기성이 좋으며 천정이나 높은 곳
- 2) IGF Code에서는 37.8 °C에서 절대압력 0.28 MPa를 초과하는 증기압을 갖는 유체를 가스로 정의한다.

에 모이는 성질이 있어 누출가스의 제어가 쉬운 편이고, 암모니아 자체의 폭발성이 거의 없어 해양 연료로 사용하는 것이 용이하다.

- 암모니아가 공기 중 다른 물질과 결합할 경우 그림 12와 같이 초미세먼지의 주요성분을 만들어내므로 그대로 방출해서는 안 된다. 환경부에서는 암모니아에 대하여도 배출기준을 표 2와 같이 정하여 관리하고 있다.

구 분		배출허용기준
일 반 (10 종)	먼지(mg/Sm ³)	5~50
	아연 및 그 화합물(mg/Sm ³)	4
	일산화탄소(ppm)	50~300
	암모니아(ppm)	12~30
	질소산화물(ppm)	10~250
	황산화물(ppm)	10~250
	황화수소(ppm)	2~5
	이황화탄소(ppm)	10
	탄화수소(ppm)	40~200
	구리 및 그 화합물(mg/Sm ³)	4

표 2 대기오염 물질의 배출허용기준(출처: 환경부)

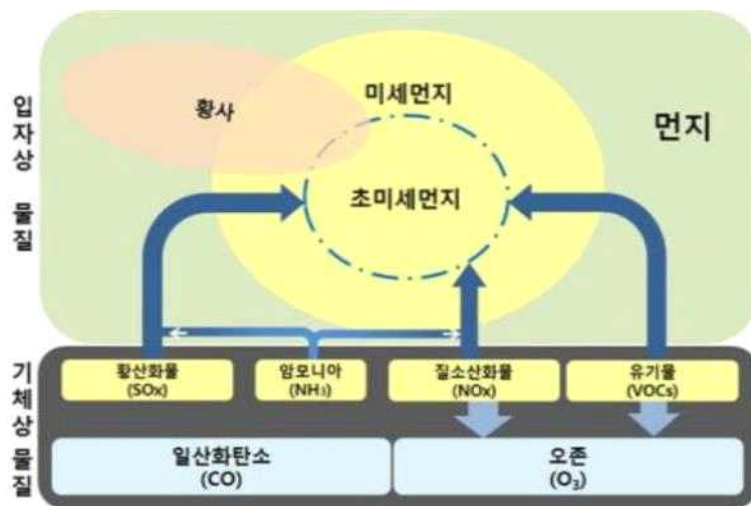


그림 11 초미세먼지 생성과 암모니아 (출처: 대한경제)

- 액체의 온도를 높이거나 기체에 가해진 압력을 감소시키면 액체의 표면뿐만 아니라 내부에서도 기화가 일어나게 된다. 이렇게 내부에서 기화되

어 끓는 현상을 비등이라 하며, 암모니아가 기화하기 시작하는 비등점은 1기압 하에서 암모니아의 온도가 $-33.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이다.

- 암모니아탱크는 노출압관 상에 설치되면 복사열로 인해 용기가 가열된다. 암모니아의 용기를 가열하였을 경우 암모니아의 온도가 상승하여 체적이 팽창하고 용기 내의 압력이 상승하게 된다.
- 탱크 내부가 액체로 채워져 안전밸브에 액체가 접촉한 상태가 되면, 가스를 배출하도록 설계된 안전밸브는 기능을 제대로 하지 못하게 되어 용기 내의 압력은 계속 올라가게 되고 최악에는 용기가 파열하는 위험성이 있다. 이를 예방하고자 용기에 충전한도를 제한하여야 한다.
- 암모니아는 고압에서 쉽게 액화되고, 대기온도에서 쉽게 기화한다. 가압하의 암모니아는 탱크가 파괴되는 경우 대부분의 내용물은 증기 또는 미세한 에어로졸 상태로 방출되어 대기로 확산된다. 단, 대량 방출 시 액체로부터 생성된 암모니아 기체는 공기와 혼합가스를 형성하며, 이는 공기보다 무거워 선박 표면에 체류하면서 선체 부식을 발생시킬 수 있다.

4.2 연료로서의 특성

- 액화 암모니아는 비교적 낮은 체적 에너지를 가지고 있으며 (표 2 참조), 기존 화석 연료와 비교할 때 약 4.1배 정도의 탱크가 필요하다. 미래에너지의 저장 성능은 공간 제약이 상대적으로 심한 선박에서는 매우 주요한 요소이며, 액화 암모니아는 가압 탱크 또는 저온 탱크에 저장할 수 있다. 가압 탱크의 경우 약 1 MPa , 저온 탱크의 경우 약 $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 암모니아 저장이 가능하다. 연료의 저장 및 운반 측면에서 고려할 때 암모니아는 바이오 디젤이나 메탄올보다는 좋지 않으나, 바이오 가스나 수소보다는 저장 특성이 월등히 뛰어나다. 이에 따라 다른 탄소중립 연료에 비하여 운송 비용이 저렴하고, 운송 기술 또한 이미 확보된 상황이다.

- 임계온도는 가스가 액화될 수 있는 상한온도이다. 즉, 임계온도 이상에서는 아무리 큰 압력을 가하여도 액화되지 않는다. LNG의 경우, 임계온도가 $-82.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이므로 상온에서는 액화되지 않고 저장방식도 저온식 또는 저온압력식이어야 한다. 암모니아의 경우, $132\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이므로 대기온도($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)에서 일정 압력을 가하면 액화가 가능하여 저장이 편리하다.
- 표3의 발열량, 옥탄가, 화염속도 등의 연소 특성도 고려되어야 한다. 차세대 에너지라 불리는 연료들의 특성은 다음 표와 같다. 발열량은 수소에 비하여 매우 낮은 편이지만 메탄올과는 비슷한 수치이다.

연료	암모니아	액화수소	수소가스	LNG	MGO/ 디젤유	메탄올
저장상태	액체	액체	기체	액체	액체	액체
저장온도 ($^{\circ}\text{C}$)	25	-253	25	-162	25	25
저장압력 (kPa)	1000-1700	101-3600	25000	101-125	101	101
밀도 (kg/m^3)	603 (25°C 액체상태)	71	17.5	430-470	840	786
발열량 (MJ/kg)	18.6-18.8	120	120	49	43	19.7
옥탄가	>130	>130	>130	120	-	109
화염속도	0.015	3.5	3.5	0.34	-	0.43

표 3 차세대 연료의 특성

4.3 차세대 연료의 연소 특성 비교

4.3.1 연소 특성의 중요성

선박에서 취급하는 연료의 연소 특성 파악은 화재 및 폭발과 관련되어 선박의 안전 확보에 중요하다. 연료의 취급, 처리, 사용 등에 있어 장치의 불안정한 상태 또는 인적오류에 의해 연료가 누출되는 경우, 누출된 연료가 공기와 혼합하여 혼합기체를 형성하고 주위에 발화원이 존재한다면 화재 혹은 폭발이 발생할 수 있기 때문이다. 대표적인 화재 및 폭발 특성치로는 인화성 농도범위, 인화점, 자연 발화온도, 점화에너지, 연소열 등을 들 수 있다.

일반적으로 폭발은 가연성 가스나 증기가 공기와 혼합하여 기상부분의 용적이 크고, 밀폐 공간 상태에 있을 때 점화원과 맞닿을 때 일어나는 폭발 형태로서 선박의 기관과 배관 장치 등에서 발생할 수 있다. 만일 가연성가스나 증발된 액체가 대기 중에 방출될 때, 누출로부터 형성된 가스운(gas cloud)이 폭발하는 범위 안에 존재하지 않거나, 점화원이 부족하다면, 가스운은 희석되거나 대기 중으로 사라질 것이다.

가스폭발에 영향을 주는 주요 변수는 연료와 산화제의 형태, 증기운의 연료 농도와 크기, 점화원의 세기와 위치, 폭발방출 면적의 크기, 위치 및 형태, 구조요소와 설비의 위치와 크기, 착화지연시간, 밀폐계 및 개방계 등에 의한 주위의 기하학적 조건 등을 들 수 있다. 따라서 가스폭발은 이들 인자에 대해 대단히 민감하므로 폭발 현상을 예측하기란 쉽지 않다.

가스폭발 방지의 일반적 방법은 산화제의 농도저하와 가연성가스의 농도 저하를 들 수 있다. 또한, 손실 예방에 대한 방법은 제한된 공간에서의 연소를 초기 단계에 감지, 저지함으로써 폭발의 결과를 가져올 수 있는 압력 발달을 예방하는 폭발억제기술, 용기 내부에서 일어난 폭연으로 발생하는 압력에 견디도록 용기와 그 부속장치를 설계하는 폭연압력억제기술 및 폭발의 발화원으로 작용하는 스파크의 진화설비 등을 들 수 있다. 또한 설비설계는 예방방법의 유효성, 설비의 신뢰성, 그리고 인명에 대한 위험성 등의 요소를 고려해야 한다.

선박에서 사용하는 연료의 화재 및 폭발 특성치는 한국산업안전공단에서 제공하고 있는 MSDS(Material Safety Data Sheet)를 통해 얻을 수 있다. 또한 미국 화학공학회 DIPPR(Design Institute for Physical Property Data)의 환경, 안전, 보건 특성치(Properties in the Environmental, Safety and Health Database)에서 화재 및 폭발 파라미터(Fire and Explosion Parameters)를 통해 폭발하한계와 상한계, 인화점, 자연발화온도, 연소열의 자료를 얻을 수 있다. 그러나 화재 및 폭발 특성치는 다양한 조건에서 실험함으로써 정확한 자료를 추출하는 데는 많은 연구와 고찰이 필요하다.

4.3.2 암모니아

암모니아는 가스로써, 일반적인 액체 연료의 인화점을 측정하는 방법인 밀폐용 기시험으로 측정하기에는 적절하지 않아서 암모니아의 MSDS 상에는 not applicable/none으로 표기된 경우가 많다. 자연발화온도는 배기가스온도에 의한 가스가 노출될 수 있는 환경에서의 온도제한과 관련된다. IGC Code에서는 배기가스의 온도를 535 °C로 제한하고 있으며 암모니아는 651 °C로 LNG보다 높아 온도제한에 대하여 추가로 고려할 사항이 없다.

암모니아는 수소와 마찬가지로 탄소를 포함하고 있지 않으면서 수소분자보다 수소를 하나 더 포함하고 있고, 상온에서 1 MPa 정도의 압력을 가하면 액상을 유지하는 특성을 가지고 있어 기존의 암모니아 및 LPG 인프라를 그대로 사용가능한 장점이 있다. 암모니아의 연료로써의 안정성은 프로판(Propane)보다 우수하며 가솔린 연료와 비슷하다고 알려져 있다.

암모니아를 차량 연료로 사용한 것은 1930년대까지 거슬러 올라가며, 가정용 연료로 사용하기 위한 연구 또한 진행된 바 있다. 연료로써의 암모니아는 가솔린과 비교하여 kg당 0.44배의 열량인 18.6 MJ/kg을 갖는다. 그럼에도 불구하고 연료로 널리 쓰이지 못한 이유는 가솔린 연료와 비교하여 화염 전파속도가 현저히 떨어지는 단점을 가지고 있으며, 연료 특성에 의해 질소산화물(NOx) 발생이 증가할 수 있고, 엔진 제어에 따라 암모니아슬립이 발생하여 배출가스와 함께 배출될 수 있는 문제가 있기 때문이다.

4.3.3 수소

수소는 연소 후 물이 생성될 뿐 오염물질이 만들어지지 않아 화석연료를 대체할 무공해 에너지원으로 각광받고 있다. 또 연소열도 커 발열량이 석유보다 약 3배가량 높은 효율적인 에너지이다. 이 때문에 적절한 조건으로 통제하면서 수소를 연소시키면 일반 가정에서도 에너지원으로 이용할 수 있다. 그러나 수소는 금

속을 녹이는 성질과 저장과 운반이 매우 어렵고, 수소가 누출되면 엄청난 폭발이 일어나기도 하여 취급이 매우 까다로운 물질이다.

수소는 현재 육상에서 석유화학이나, 석유정제 분야에 주로 사용되고 있으며, 「고압가스안전관리법」에 따라 고압가스로 규제 받고 있다. 수소 충전 차량용기의 압력은 최고 70MPa의 초고압이므로 밀폐공간에 가스가 누출될 때 큰 사고가 일어 날 수 있다.

수소는 모든 원소에서 가장 가벼우므로 연료로서, 현재 사용되고 있는 연료인 LNG, LPG 그리고 가솔린 등과 비교할 때 빠르며, 부력도 매우 빠르게 증가한다. 또한 수소는 상온에서 무색, 무취, 무미한 가연성 가스이고 무독성가스로서 LNG나 LPG와 비슷한 성질을 가지고 있다. 폭발위험성은 폭발범위가 넓으므로 다른 연료보다 위험하다고 할 수 있으며, 폭발위험성 역시 폭발위험성과 상관관계가 있으므로 위험성이 크다고 볼 수 있으나, 밀폐구역이 아니고 개방구역인 경우는 다른 연료들과 비슷하다고 보고되어 있다. 수소의 폭발에 필요한 최소발화 에너지의 경우 기존의 연료보다 적은 에너지로 폭발이 일어날 수 있으므로 위험성은 크며, 또한 화염속도는 LNG나 LPG에 비해 약 6~7배정도 빠르므로 위험성은 크다고 할 수 있다.

4.3.4 메탄올

메틸 알코올이라고도 하는 메탄올은 인화점이 11℃으로 매우 낮으며, 이 온도에서 메탄올과 공기 혼합기는 점화용 화염이나 작은 스파크에 의해 점화될 수 있는 표면에 존재한다. 표면에서 화염의 형태로 확산되면, 표면온도는 비등점까지 증가하여 온도의 상승이 진행되는 동안, 증발속도 또는 연소속도 또한 이에 따라 증가한다.

4.3.5 에탄올

에틸 알코올이라고도 하는 에탄올은 인화점이 13℃이며, 자연발화온도가 363℃로 메탄올에 비해서도 낮은 편이다. 연소하기 쉬우며, 증기에서 인화하면 폭발하기도 한다. 연소과정에서 생성되는 아세트알데히드와 같은 인체에 해로운 생성물들을 제어할 필요가 있다.

4.4 암모니아의 위험성

4.4.1 일반사항

- 암모니아의 연료 관점에서의 위험성은 전통적인 연료(HFO, MDO 등)와 액화가스 연료인 LNG 및 LPG의 특성 및 위험성과는 차이가 있다. 따라서 기존의 연료와 비교하여 추가적인 위험성을 식별하기 보다는 IGC Code에 따라 화물로 이송할 때 고려하였던 위험성 및 냉매나 촉매로 사용할 때의 위험성을 식별하여 선박의 연료로 사용할 때 발생할 수 있는 위험성을 식별하는 것이 합리적이라고 할 수 있다.
- 암모니아 연료선박의 구조 및 설비에 대한 안전성을 연구하기 위해서는 암모니아의 일반 특성 중 위험성을 이해하는 것이 중요하다.

4.4.2 독성

암모니아 액체는 점막을 강하게 자극하고 흡입할 경우 후두 경련, 후두염, 기관지염 등을 일으키고, 신속하게 처치하지 않는 경우 질식사에도 이르게 하는 독성이 있다. 암모니아는 염기성을 띠기 때문에 생체 조직에 대해서 자극성이 있기 때문에 신체가 암모니아에 장기간 노출되는 경우 눈, 간, 신장, 또는 허파의 손상을 일으킬 수 있다. 암모니아가 피부에 접촉할 경우 타는 느낌을 주고 피부가 붉게 변하며, 장기간 노출될 경우 진물이 나는 등 피부 조직이 손상될 수 있다. 두피에 접촉할 경우 머리가 빠질 수 있다. 마실 경우 입 안과 목에 통증을 느끼

고 위통, 구역질, 허탈 상태에 빠질 수 있다. 농도에 따른 증상은 다음과 같다. 이는 사람에 따라 차이가 있을 수 있다.

농도 (ppm)	증상
5	특유의 냄새가 난다.
6-20	눈 자극과 호흡기계에 문제를 일으킨다.
40-200	두통, 매스꺼움, 식욕감퇴, 기도와 코, 목구멍 자극이 일어난다.
400	목에 자극을 준다.
700	눈이 상할 수 있다.
1700	기침을 하고, 숨을 쉬기가 힘들어진다. 순간적인 호흡 곤란을 겪기도 한다.
2500-4500	조금만 노출되어도 치명적일 수 있다.
5000 이상	호흡 정지로 인하여 사망한다.

암모니아는 유독성 기체이기 때문에, 세계 대부분의 나라에서는 작업장이나 일상 생활에서 허용될 수 있는 농도 기준을 정하여 관리하고 있다. 허용 농도는 15분 간 접촉하는 경우의 단시간 허용 농도(short term exposure limit, STEL)와 8시간 작업 시간을 기준으로 하는 시간당 평균 접촉 질량(time weight average concentration, TWA)으로 구분되는데, 암모니아의 경우 STEL은 35 ppm, TWA는 25 ppm 정도이다. 미국의 경우에는 직업 안전 건강 관리청(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)의 규정에 의해 허용 농도가 관리되며, 「산업안전보건법」에 따라 관리된다.

4.4.3 부식성과 재료의 선정

가스운반선은 온도나 압력을 조절하여 가스를 액화시켜 운송한다. 이 때문에 저온에서도 깨지지 않는 강재로 압력을 견딜 수 있도록 가스탱크를 제작해야 한다. 일반적으로 암모니아는 LPG를 수송하는 선박과 비슷한 사양으로 건조되며, 이러한 선박의 탱크는 두 가스의 끓는점(LPG -42°C, 암모니아 -33°C)과 압력을 동시에 견딜 수 있는 강재로 제작한다. 탱크가 가스 압력으로 응력을 받으면 해

당 부위의 금속 조직이 열화해 부식이 잘 일어나며, 이로 인해 균열이 생기면 가스가 누출될 수 있다. 또한 탱크 제작 시 강제 용접 후 발생하는 응력을 고온의 열처리(PWHT)로 제거하는데 열처리 후 강도와 인성의 저하를 막는 것도 중요하다.

암모니아 증기가 수분과 접촉하면 구리, 아연 및 그 합금, 그리고 고무와 플라스틱을 부식시킬 수 있다. 은, 금, 수은, 탈륨 등의 중금속은 폭발성 화합물을 형성할 수 있으므로 특히 주의하여야 한다.

4.4.4 가스의 증기압

암모니아 액체는 기화하면 약 850배 이상 부피가 팽창하므로 밀폐설비 내에서 압력상승을 초래한다. 암모니아 연료탱크는 독립형 탱크 형식C를 적용하여 압력 식으로만 탱크내의 압력을 제어할 경우 탱크의 설계 압력이 높아질 수밖에 없다.

4.4.5 화재 및 폭발 위험성

암모니아의 화재 위험성은 미약하지만, 염소, 하이포염소산염 표백제, 할로젠계 물질 등 강한 산화제와 접촉하면 폭발성 혼합물을 생성되어 폭발할 수 있다. 또한, 기름이나 가연성 물질이 존재할 경우, 대형 폭발이 발생할 수 있으므로 화재 방지를 위하여 다른 연료와 분리하여 취급하여야 한다.

4.4.6 냄새

암모니아는 가스 특유의 냄새가 매우 강하며, 암모니아의 냄새 역치는 공기의 5-50ppm (ppm)이다. 암모니아는 과거 냉장고의 냉매로도 사용되었지만 자극적인 냄새가 퇴출의 원인 중 하나이다. 반대로 누출 시 바로 알 수 있다는 것은 장점이 될 수 있다.

5 암모니아 취급시설의 안전장치

5.1 일반사항

- 암모니아는 이미 육상에서 오랜 기간 동안 산업계에서 다양한 용도로 사용돼 왔으며 암모니아 취급에 관한 안전규정은 「고압가스 안전관리법」, 「산업안전보건기준에 관한 규칙」, 「유해화학물질 관리법」 등이 있다.
- 육상시설은 선박의 구조 및 배치와 다름을 고려했을 때 선박에 직접적으로 적용할 수 없다. 따라서 육상에서의 안전기준의 취지를 이해함으로써 선박에 적용하는 것에 대한 적절성 및 대체요건을 검토하였다.

5.2 암모니아의 해상운송

수백만톤의 암모니아는 선급 및 강선규칙 7편 5장 액화가스 산적운반선(IGC Code)의 적용을 받는 저온압력식 또는 저온식의 탱크가 설치된 가스운반선으로 전세계에 유통된다. 앞서 기술한 바와 같이 일반적으로 암모니아는 농업용 및 산업용으로 소비되며, 직접 소비자에게 전달되기도 하지만, 종종 항구의 암모니아 전용 저장시설에 하역하기도 한다.



그림 12 액화가스 산적운반선

5.2.1 저온식 운송

암모니아의 저온식 운송에 통상 적용되는 독립형탱크 형식 A는 종래에 사용되어 있는 선체강도 해석법에 따라 인정하는 기준에 의해 설계되는 탱크를 말한다. 이 탱크가 주로 평면구조로 제작되는 경우, 설계증기압은 0.07 MPa 미만이어야 한다. 대기압에서 화물온도가 -10 °C 미만인 경우 완전 2차 방벽이 설치되어야 하며, 통상 -45 ~ -50 °C를 견디는 저온강을 사용한다.

5.2.2 가압식 운송

암모니아의 가압식 운송에는 독립형탱크 형식 C가 적용되며, 가장 간단한 형태이다. 설계압력은 통상 45 °C에서 프로판의 포화압력에 해당하는 압력인 1.75 MPa 정도이며, 무접기 때문에 용적의 제한이 있고, 비용이 높다. 고압으로 재액화 설비 등을 고려할 필요가 없다.

5.2.3 반가압식, 반 저온식 운송

IGC Code 상으로는 독립형탱크 형식 C로 분류되며, 반가압식 운송 방식의 탱크 설계압력은 0.5 ~ 0.7 MPa이다. 가압식 탱크에 비하여 설계압력이 낮으므로 두께가 감소되고, -10 °C에 견디는 강재를 사용한다.

5.3 암모니아 육상 저장장치

암모니아를 운송하지 않는 일반 선박이 암모니아를 연료로 이용하기 위해서는 병커링이 세계 각국의 항구에서 가능하여야 한다. 전세계의 120개 항구는 암모니아를 수입 및 수출할 수 있는 저장설비를 갖추고 있으며, 이를 병커링에 이용할 수 있다.

암모니아 병커링 시 해결해야 할 과제는 암모니아 대량 배출이다. LNG나 LPG

의 경우 온실가스로 분류되긴 하지만, 인체와 접촉하지 않는 한, 특별히 해를 끼치지 않고 무색무취이다. 그러나 암모니아는 특유의 냄새 뿐만 아니라 배출될 경우 초미세먼지를 유발하므로, 적절한 조치 없이는 항구도시의 새로운 오염원으로 떠오를 수 있다. 따라서 육상 저장장치의 안전장치를 참고하여 병커링 시에도 대량 누출이 없도록 추가 조치를 강구하여야 한다.



그림 13 암모니아 저장 탱크 <출처:Source: Proton Ventures.>

5.3.1 암모니아 관련 법률

- 산업안전보건법

제12조(안전보건표지설치), 제41조(물질안전보건자료의 작성·비치 등), 제42조(작업환경측정 등), 제43조(건강진단), 제49조의 2(공정안전보고서의 제출 등)

- 산업안전보건기준에 관한 규칙- 제17조(비상구의 설치) 및 제18조(비상구의 유지)

- 제230조(폭발위험장소의 설정 및 관리), 제232조(폭발 또는 화재 등의 예

방), 제2절(화기등의 관리 : 239조 내지 244조), 제255조(화학설비를 설치하는 건축물의 구조), 제273조(계측장치 등의 설치) 내지 제279조(대피 등), 제299조(독성이 있는 물질의 누출방지), 제311조(폭발위험장소의 전기 기계기구 선정 등) 등.

- 무수암모니아 저장에 관한 기술지침

5.3.2 무수암모니아 저장에 관한 기술지침

「한국산업안전보건공단(KOSHA)」에서는 독성물질인 무수암모니아의 저장에 관한 필요한 사항을 정하여 암모니아 누출 등으로 인한 중대산업사고를 예방하기 위하여 「무수암모니아 저장에 관한 기술지침」을 발행한 바 있다. 이 지침은 무수암모니아를 액체 상태로 저장하는 설비의 설계, 검사, 위치 선정 및 설치 등에 적용하며, 무수암모니아란 기체 또는 액체 상태의 무수암모니아를 말하며, 암모니아가 물에 용해된 상태는 지칭하지 않는다.

5.3.3 지침의 안전 관련 조치사항

○ 저장설비

- 저장탱크의 용량은 경제성 및 안전성을 고려하여 비저온으로 구형용기에 저장할 때는 500톤에서 3,000톤 범위로 하고, 저온으로 저장할 경우에는 5,000톤 이상의 대용량을 저장하며 일반적으로 20,000톤에서 35,000톤 범위로 한다.
- 저장설비는 암모니아 누출 시 그 영향을 최소화할 수 있도록 바람의 방향을 고려하여 배치한다.
- 저장설비는 점검 및 보수가 용이하고 운전원이 접근하기 쉬운 장소에 설치한다.

- 저장설비는 외부 충격에 의한 손상이나 폭발, 화재 부식성 물질의 누출에 의한 손상 가능성을 최소화할 수 있도록 다른 공정 설비와 충분히 이격하여 설치한다.
- 저장탱크의 모든 노즐은 플랜지식이어야 하며 특별한 경우를 제외하고 맨홀 뚜껑 또는 저장탱크의 상부에 설치하여야 한다.

○ 암모니아 저장설비의 재료

- 철판의 설계인장강도는 최대허용치를 초과해서는 안 된다.
- 구리 및 구리합금 재질을 사용해서는 안 된다.
- 저장설비의 용접이음부에 대하여 100% 비파괴검사를 실시하여야 한다.
- 내부의 용접부와 임시부착물이 설치되었던 자리는 100% 자분 탐상검사를 가동 전에 실시하여야 한다.
- 동체에 노즐을 붙인 용접부위는 초음파 탐상검사를 하여야 한다.
- 음향방출시험을 할 경우에는 저장탱크 시험기간 중에 실시하여야 한다.
- 비파괴검사에 합격된 후 용접 이음부위에는 후열처리(Post weld heattreatment)를 실시하여야 한다.

○ 방유제3)

- 저장탱크 주위에는 누출방지용 방유제를 설치하여야 하며, 방유제 유효용량계산은 KOSHA GUIDE, “방유제 설치기술지침”에 따른다.
- 방유제 및 그 내부 바닥의 재료는 액체 암모니아가 침투할 수 없는 것을 사용하여야 하며 방유제의 단면적은 누출된 암모니아의 기화를 억제할 수 있

3) 방유제란 저장탱크를 설치할 때 콘크리트 등으로 만드는 벽으로써 지진 등의 원인으로 손상이 생겨 누출이 될 경우 설비 밖으로 유출되는 것을 방지함.

도록 최소화하여야 한다.

- 액체암모니아의 누출에 대비하여 방유제 내부에 누출된 액체암모니아를 긴급으로 회수 또는 다른 장소로 이송할 수 있는 설비의 설치를 고려하여야 한다.
- 방유제 내부에는 항상 빗물 등이 고여 있지 않도록 배수설비를 설치하여야 한다.

○ 배관

- 배관은 지상에 설치하고 기계적 손상, 부식 및 화재 등을 고려하여야 한다.
- 모든 배관 등에는 암모니아를 취급하고 있음을 표시하여야 한다.
- 저장탱크의 액체암모니아 인입배관 끝부분의 위치는 인입배관의 파열 등으로 인한 액체암모니아의 역류를 방지할 수 있도록 저장설비의 최대액면 높이보다 높아야 한다. 다만, 액체암모니아 인입배관 끝부분의 위치를 저장설비의 액면 높이가 이하로 할 경우에는 저장설비내의 액체암모니아 인입 배관 상부에 구멍을 뚫어 역류를 방지하여야 한다.
- 액체암모니아의 토출측 배관에는 배관파열 등으로 인한 암모니아의 누출을 방지할 수 있도록 원격조작이 가능한 긴급 차단밸브를 설치하여야 한다.
- 연결부위의 수는 최소로 하여야 한다. 배관연결시 용접이음이 바람직하며 플랜지 이음은 저장용기 등 장치와의 연결에만 사용한다.
- 액체암모니아용 배관에는 열팽창 안전밸브를 설치하여야 한다.
- 배관류에 사용되는 재질은 0℃ 이하의 온도에서도 취성파괴가 일어나지 않는 것이어야 한다.
- 밸브는 일반적으로 플랜지형이어야 하며 탄소강으로 된 용접형의 밸브를 사용할 때는 충격시험에 합격한 것이어야 한다.

○ 암모니아의 이송

- 펌프의 토출측 배관에는 펌프의 특성 및 운전특성에 따라서 최소유량 배관 (Minimum flow line)을 저장탱크에 순환되도록 설치한다.
- 펌프는 저장설비의 액면이 낮을 때 또는 펌프의 토출측 압력이 낮을 때 정지되도록 연동되어야 한다.
- 탱크로부터 펌프로 가는 액체출구 라인은 가능한 한 거리가 짧아야 하고 충분히 보냉이 되어야 한다.

○ 전기설비

- 암모니아 압축기, 건물 등과 같이 전기설비가 설치된 곳은 암모니아 누출시 대기중으로 배출이 잘 되도록 환기시설을 하여야 한다.
- 외부에 구리가 노출되는 전동기를 사용하여서는 안 된다.

○ 현장안전설비

- 외부충격으로부터 배관이나 기타 암모니아 취급 설비가 피해를 입지 않도록 충돌방지벽을 설치하여야 한다.
- 암모니아 설비 주위에는 세안 세척 시설을 두어야 한다.
- 현장에는 다음과 같은 안전장비를 즉시 사용할 수 있도록 비치하여야 한다.
 - (가) 암모니아 저장지역에 들어갈 때 사용되는 방독면.
 - (나) 인명구조용 호흡기구 2세트.
 - (다) 비상 및 인명구조용 방호의
 - (라) 플라스틱 또는 고무로 된 장갑, 장화
 - (마) 보호안경
 - (바) 구급함

○ 근로자 교육

- 암모니아의 특성과 액화가스의 성질
- 부주의한 장비취급으로 인한 암모니아 액체 및 가스의 누출사고와 위험성 및 결과
- 암모니아를 누출시켰을 경우의 행동요령
- 방호장비, 소화기 및 방독면의 올바른 사용법

○ 운전

- 암모니아를 저장탱크에 주입하기 전에 저장탱크 내의 산소함유량을 용량기준으로 0.025 % 이내로 줄여야 한다.
- 암모니아 손실을 최소한 줄이면서 산소를 최대한 제거하기 위해서는 암모니아 주입 전에 내부공기는 먼저 물로 대체시키고 물은 다시 질소로 대체시켜야 한다. 이때 잔류수분은 100 ppm을 초과하지 않아야 한다.
- 액체암모니아 중의 산소농도는 적어도 한 달에 1회 이상 검사하고 질량기준으로 2.5 ppm을 초과하지 않는지 확인한다.

○ 가동중지

- 검사를 목적으로 암모니아 저장설비를 가동중지 할 경우에는 먼저 정상적인 펌프를 이용하여 액체암모니아를 최대한 배출시키고 남아있는 액체는 압력 차이에 의한 수송방법을 사용하여 완전히 배출시킨다.
- 공기는 가장 낮은 지점에서 인입하고 용기의 가장 높은 지점에서 암모니아 가스가 배출되도록 한다.
- 발화 위험성은 일반적으로 낮으나 조금이라도 위험성이 예상되면 공기 대신 질소를 용기에 주입시켜야 한다.
- 번개가 칠 경우에는 암모니아/공기 치환작업을 하여서는 안 된다.

5.4 암모니아 자동차

순수한 암모니아는 열화학적 특성이 LPG의 주성분인 프로판과 비슷하여 자동차 엔진과 같은 내연기관에 사용하는 것이 가능하다. 다만, 암모니아는 발화점이 높고 연소속도가 느리기 때문에 단독 연료로 사용하기에는 아직까지 기술적 한계가 있다. 이로 인하여 현재는 가솔린-암모니아, 천연가스-암모니아 등 두 가지 연료를 혼소하는 엔진 위주로 개발되고 있다.

우리나라에서는 세계에서 3번째로 암모니아를 연료로 사용하는 자동차를 개발하여 시운전에 성공했으며, 암모니아와 휘발유를 7:3으로 혼합한 연료를 쓰도록 개조하여 휘발유 자동차 대비 이산화탄소 배출 비율이 13.5%에서 3.5% 이하로 줄였다.

5.4.1 암모니아 연료 공급 펌프

- 액상의 암모니아를 연료탱크로부터 엔진으로 공급하기 위한 이송펌프이며, 산업용 암모니아 펌프를 개조해 사용했다.



그림 14 암모니아 연료 공급 펌프

5.4.2 암모니아 연료관

- 암모니아는 고무류, 플라스틱, 구리 등과 반응하며 부식성이 크다. 전체 연료관을 테플론과 스테인레스 재질로 교체하고, 연료계 부품의 고무링과 같은

기밀제를 암모니아에 적합한 재질로 교체했다.

5.4.3 암모니아 배출량 저감

- 미연소된 암모니아의 배출을 막아 배출가스의 청정성을 확보하기 위하여 배기관 후단에 산화촉매를 장착하여 암모니아 배출량을 저감했다.



그림 15 암모니아 배출 저감장치

5.5 선박의 안전장치와의 비교

- 육상저장탱크 및 자동차에서의 암모니아사용에 대한 위험성 및 안전장치는 IGF Code와 유사하게 주로 저장시설의 보호 및 가스의 누설에 대하여 다루고 있다. 이 때 독성과 부식성에 대하여 특별히 고려하고 있다.
- 육상저장탱크와 선박의 화물저장탱크에 대하여 각 Code에서 규정하고 있는 요건을 비교하면 다음과 같은 차이를 보인다.
 - 육상에서의 설치환경과 선박에서의 설치환경은 공간의 제한, 선박의 항해에 따른 바람의 영향, 화재 및 폭발의 영향, 가스설비 주위의 구조물(누설가스 분산의 방해물) 등 여러 부분에 있어서 다르다. 따라서 안전장치도 선박에서 요구하는 규정이 다소 차이날 수 있다.

- 방화부분에 있어서 육상과 선박에서의 요건이 다르다. 선박은 화기와 연료탱크와의 분리를 한정된 공간에서 확보하여야 하며 화재로부터 탱크를 보호하기 위하여 코퍼뎀 또는 A-60급 방열을 설치함으로써 고화재 위험구역의 화재로 인해 연료탱크가 영향을 받지 않도록 하고 있다.
 - 육상 저장탱크가 저온으로 저장하는 이중벽 구조인 경우 내벽과 외벽 사이에 단열재를 충전하거나 저장탱크 외부에 단열재를 시공한다. 단열재는 암모니아와 비반응성이어야 하며, 불에 타지 않는 것이어야 한다. 탱크외부에 단열재를 시공하는 경우에는 그 단열재 외부는 암모니아에 의해 부식되지 않는 재질로 보호되어야 한다.
 - 육상 저장탱크 안전밸브의 토출측 배관 및 벤트배관 등에서 배출되는 암모니아가 대기로 그대로 방출되지 않도록 적절한 세정설비의 설치를 고려하고 있다.
- 자동차와 선박의 연료공급장치에 대하여 각 Code에서 규정하고 있는 요건을 비교하면 다음과 같은 차이를 보인다.
- 자동차에서는 탱크 냉각용 살수장치를 설치하지 않는다. 냉각용 살수장치는 탱크가 외부에 노출된 경우 복사열로 인하여 탱크 내부의 온도가 상승하는 것을 방지하기 위한 것으로서 자동차의 연료탱크는 차량의 내부나 하부에 위치하므로 복사열의 영향을 크게 받지 않으므로 살수장치가 요구되지 않는다.
 - 누설가스를 개방된 외부로 방출하는 자동차는 강제통풍이 아닌 자연통풍이 되도록 통풍관을 차체의 하부에 설치한다. 이는 차량이 달리면서 외기와 압력차로 인해 누설가스가 자연적으로 차량 밖으로 배출되기 때문이다. 선박의 경우에는 그 구조상 통풍덕트를 아래로 배치할 수 없으며, 효율적인 통풍을 위하여 강제통풍을 요구한다.

6 암모니아 연료전지와 내연기관

6.1 일반사항

암모니아는 여러 가지 형태로 변환되어 에너지원이 된다. 내연기관의 연료로 직접 연소를 하거나, 연료전지에 직접 연료로 쓰이거나 수소 연료전지 등의 수소 에너지 캐리어로 활용되기도 한다.

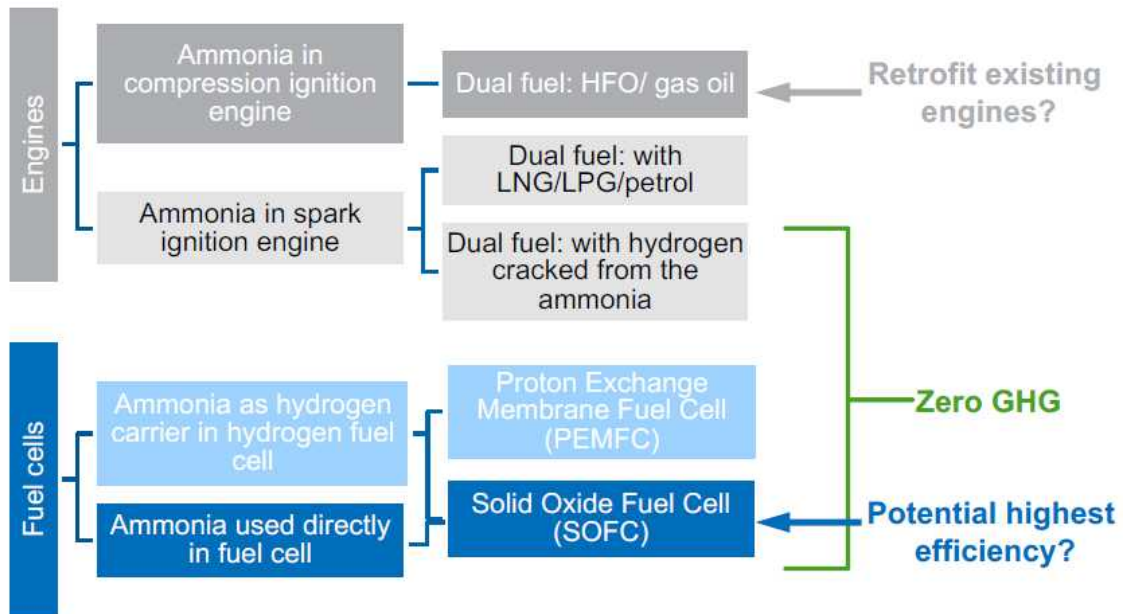


그림 16 암모니아연료의 다양한 형태(출처: Ricardo)

수소가 가장 궁극적인 친환경 에너지원이기는 하지만, 현재 수소에너지 공급산업에는 여러 가지 한계들이 존재한다. 대표적인 단점은 수소의 부피당 저장 용량이 작아 경제적인 대용량 저장과 장거리 운송이 어렵다는 것이다. 액화수소로 저장하여 이송시키는 것이 가장 에너지 보존 차원에서는 가장 효율적이지만, 수소를 액화시키는 과정과 유지하는 과정에서 비용이 증가하여 수소의 가격을 높인다. 이를 극복하기 위하여 수소를 다른 형태의 화합물로 변화하여 부피당 저장 용량을 증가시키고 저장 비용을 줄이는 수소 에너지 캐리어에 대한 연구가 진행 중에 있다.

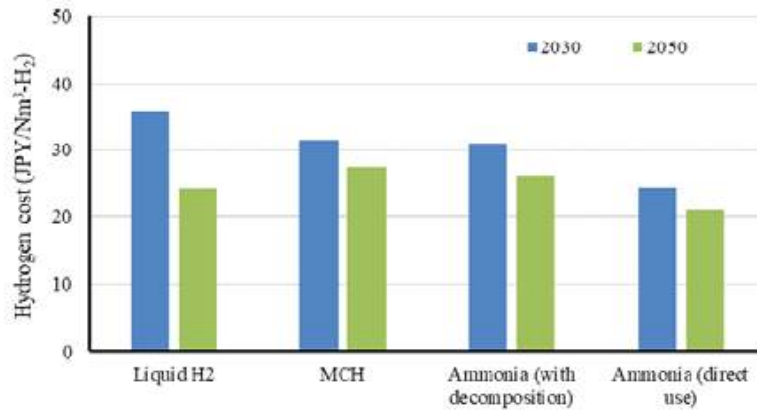


그림 17 생산방법에 따른 수소 가격 비교표

6.2 연료전지

암모니아를 직접 연료로 사용하는 연료전지는 다음 그림과 같은 형태로 배치할 수 있다.

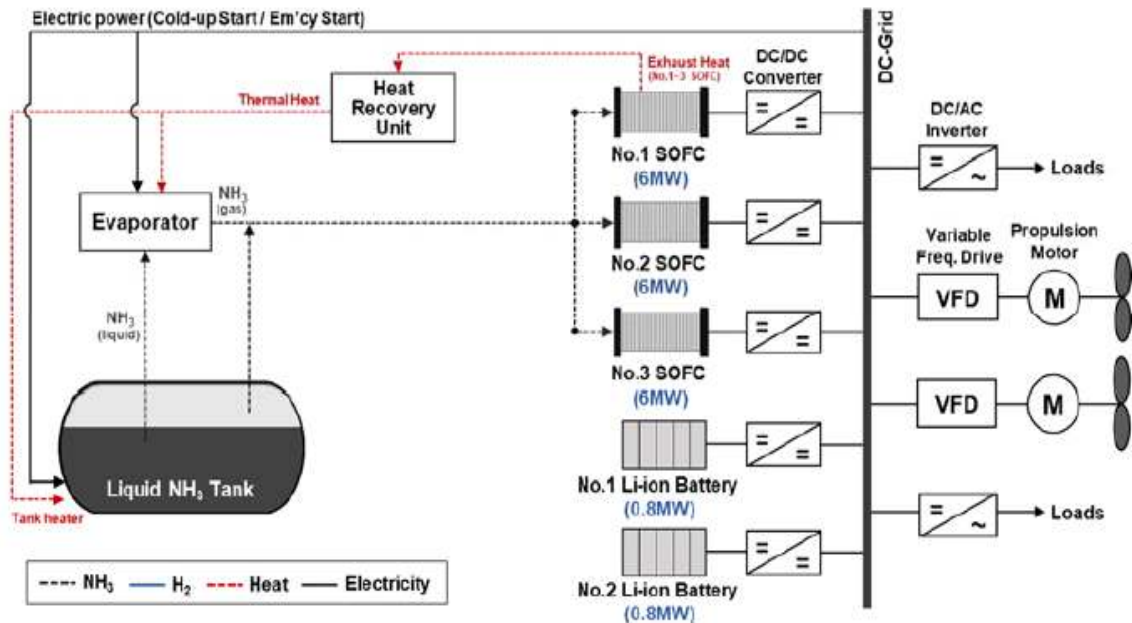


그림 18 연료전지(SOFC)에 의한 전기추진 시스템 (출처 : Journal of Marine Science and Engineering 2020, 8, 183-한국선급 미래연구팀)

직접 암모니아 연료전지는 전해질인 지르코니아의 한 쪽 면에 설치한 연료극에 발전의 연료가 되는 암모니아 가스를 직접 공급하고 반대측의 공기극에 공기를

공급함으로써 양극 사이에서 전력을 발생시키는 원리에 기초하고 있다. 암모니아 연료는 부재의 접합부에서 누설되면 배관부가 부식하는 문제가 있을 수 있는데, 암모니아 연료를 누설없이 접합할 수 있는 특수한 유리를 개발하여 해결할 수 있다. 암모니아 직접 연료전지는 순수소와 비교하여도 동등한 수준의 양호한 발전특성이 확인되었다.

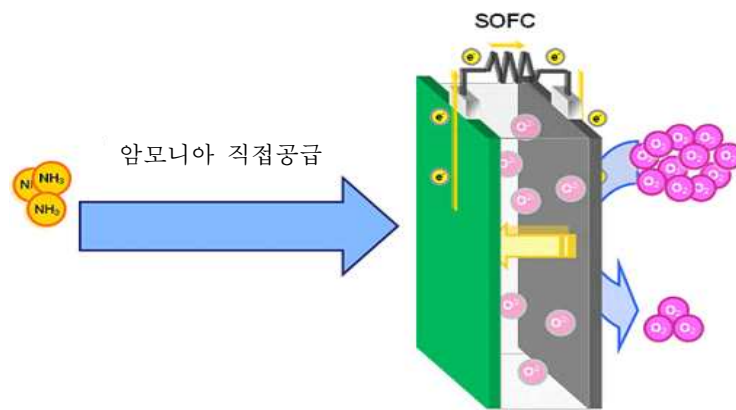


그림 19 SOFC 연료전지의 원리 <출처:일본 JST>

6.3 내연기관

암모니아가 실제로 어떻게 선상에서 처리되고 왕복 엔진에서 연소되는지 분석해야 한다. 업계는 현재 암모니아 엔진을 개발하고 있으며, MAN Energy Solution사에서는 2022년, Wärtsilä사는 2023년 내에 구현할 명확한 로드맵을 가지고 있다.⁴⁾ 이중 연료 기술은 암모니아를 연소시키는 입증된 솔루션이며, 대체 연료와 기존 연료의 다양한 혼합 가능성 덕분에 선박 추진에 암모니아를 점진적으로 도입할 수 있는 이점을 제공한다. 또한 상용화된 LNG 및 LPG 연료에 채택된 솔루션은 각각 암모니아를 위한 기관 관련 안전 조치 및 연료 공급 프로세스 솔루션의 출발점이 된다.

4) SNN 쉬핑뉴스넷/2020.07.07.일자

6.3.1 일반사항

- 현재 상선에 적용할 수 있는 암모니아 연료 기관은 MAN Energy Solution사와 Wärtsilä사에서 개발이 진행 중이다.
- 이 항목에서는 현재까지 제공된 엔진의 정보를 기반으로 하여 선박에 설치되어 운전 시 안전성을 확보하는데 있다.

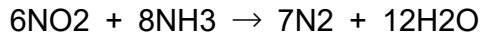
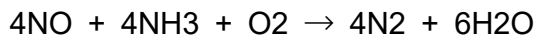
6.3.2 MAN Energy Solution, ME-LGIA (2행정 디젤사이클 기관)

- 개요
 - ME-LGIA엔진(이하 엔진이라 한다.)은 설치 실적은 없고, ME-LGIP엔진을 기반으로 개발 중이다.
 - MAN사의 2행정 암모니아 연료 엔진의 개념은 액체 가스 분사 프로판 (ME-LGIP, LPG) 및 액체 가스 분사 메탄올 (ME-LGIM)의 기존 엔진 개념과 유사한 개념으로 설계된다. LGIM 개념은 LGIP 엔진 개념을 기초로 한다. 또한 LGIM 엔진의 개발은 암모니아와 관련된 몇 가지 문제를 다루었다. 예를 들어 부식, 독성 및 낮은 인화성이다.
 - 엔진은 액체상태의 암모니아를 사용하는 2행정 디젤 사이클 기관이다. 암모니아는 자연발화 온도가 높고 연소속도가 느려서 점화되기 위해서는 파일럿 오일이 필요하여 MDO/HFO를 파일럿 오일로 사용한다.
 - 연료는 엔진 연결부 까지 액체 상태의 70 bar로 공급되며, 부스터 연료 주입밸브를 통하여 600-700 bar로 가압되어 실린더에 주입된다. 따라서 연료공급시스템이 ME-GI엔진보다 상대적으로 저압으로 구성된다.

- 일반적으로 질소와 물을 발생시키는 암모니아 발열 연소는 다음의 반응에 의해 설명된다.



- NOx 배출은 배기 가스 후처리 기술, 선택 촉매 감소(SCR) 시스템으로 줄일 수 있다. 환원제인 NH3는 배기 가스에 주입되어 질소와 물만 폐기물로 만든다.



- 암모니아는 구리, 구리 합금, 니켈 농도가 6% 이상인 합금 및 플라스틱에 부식성이 있으므로 연료 시스템에서는 이러한 물질을 피해야 한다. 암모니아 엔진의 Sealing ring은 테플론 타입이다.
- 엔진이 요구하는 암모니아연료의 물성치는 표4와 같다

표 4 엔진이 요구하는 연료별 물성치

Table 1

Energy storage type	Supply energy	Energy density	Required tank volume	Supply pressure	Injection pressure	Emission reduction compared to HFO Tier II			
	MJ/kg	MJ/L	m ³ *1	bar	bar	%	%	%	%
HFO	40.5	35	1,000	7-8	950	SO _x	NO _x	CO ₂	PM
Liquefied natural gas (LNG -162°C)	50	22	1,590	300 methane	300 methane	90-99	20-30	24	90
				380 ethane	380 ethane	90-97	30-50	15	90
LPG (including Propane / Butane)	42	26	1,346	50	600-700	90-100	10-15	13-18	90
Methanol	19.9	15	2,333	10	500	90-95	30-50	5	90
Ethanol	26	21	1,750	10	500				
Ammonia* (liquid -33°C)	18.6	12.7	2,755	70	600-700	90-95	Tier	95	90
Hydrogen (liquid -253°C)	120	8.5	4,117						
Marine battery market leader, Corvus, battery rack	0.29	0.33	106,060						
Tesla model 3 battery Cell 2170 *2	0.8	2.5	14,000						

Table 1: Physical and chemical fuel properties related to combustion in two-stroke engines, where *1 is based on a 1000 m³ HFO tank, the additional space required for insulation is not included in the table. All pressure values are for high-pressure injection and *2 the values for the Tesla battery do not contain the energy/mass needed for cooling/safety/classification

○ 연료공급

- 엔진 연료공급의 개략도는 그림 20과 같다.

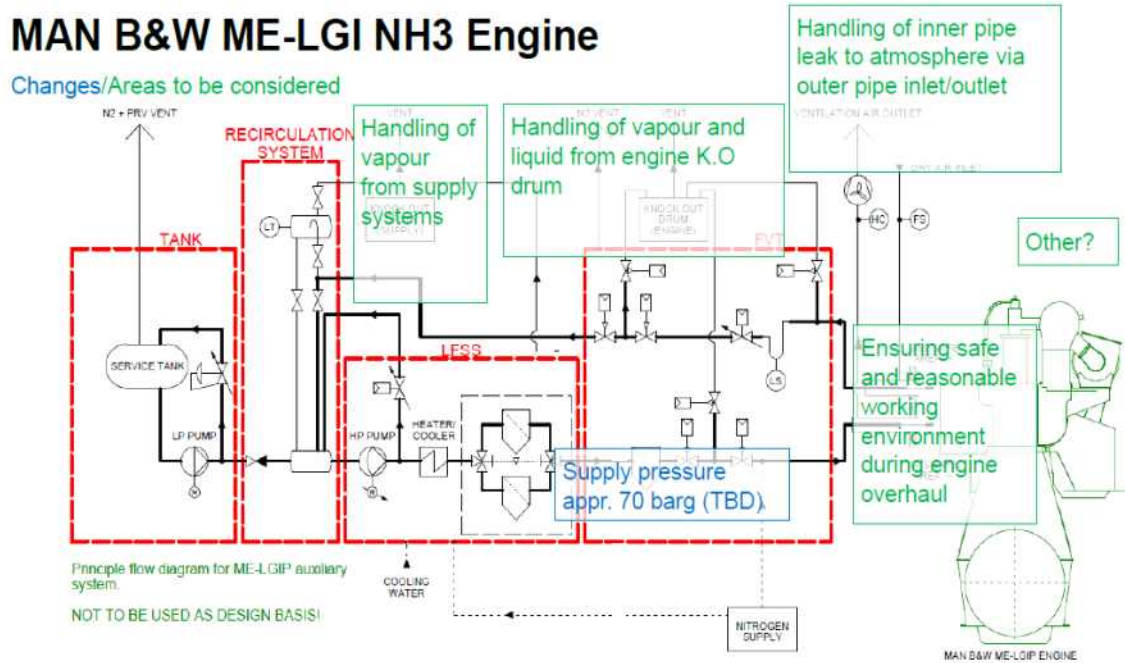


그림 20 ME-LGIA엔진 연료공급의 개략도

- 암모니아 연료공급탱크(Fuel service tank)는 연료/화물 탱크를 오염으로부터 분리하기 위하여 설치한다.
- 연료공급장치(LFSS, liquid fuel supply system)는 통상 펌프, 압축기, 열교환기, 밸브, 필터 및 계기로 구성되는데, 여기서는 액체상태의 암모니아를 사용하므로 기화기는 제외된다. 암모니아는 펌프로 70 bar 정도로 가압되고 열교환기를 통해 엔진에 요구되는 온도(25 °C~55 °C)의 범위에 들어오도록 한다.
- 연료밸브 트레인(FVT, fuel valve train)은 이중차단 및 배출밸브, 벤트밸브, 질소공급밸브, 압력조절밸브 및 각종 센서류 등의 밸브집단으로 그림 4-5와 같이 구성된다. 이러한 밸브집단은 IGF Code의 요구사항에 따른 것으로서 이상 상태시 연료의 효과적인 차단 및 연료 배출을 목적으로 설치된다.

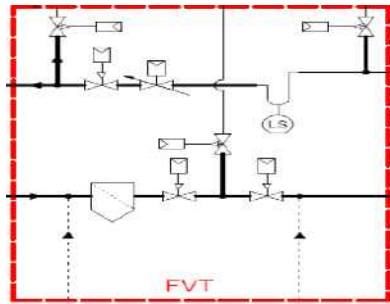


그림 21 연료밸브 트레인의 개략도

○ 안전장치

- ME-LGIA엔진에 적용되는 안전장치는 ME-GI엔진의 안전장치와 동일하다. 대부분 IGF Code에서 요구하는 다음과 같은 규정을 적용하고 있다.

- * 이중차단 및 배출밸브 : 연료공급관에 설치되는 밸브로 연료공급의 효율적인 차단을 위하여 이중의 밸브를 차단하고 밸브사이의 관을 벤트함으로서 연료공급 관장치와 엔진을 효과적으로 차단한다.
- * 주연료밸브 : 가스탐지, 통풍고장 등의 이상 상태가 발생하면 주 가스 공급관을 차단하여 연료가 공급되지 않도록 한다.
- * Ventilation : 시간당 30회 환기 용량을 가진 별도의 기계식 환기 시스템은 밸브, 플랜지 주변 공간을 포함한 폐위된 가스관의 공간을 환기한다.
- * 질소퍼징장치 : 연료관장치 및 탱크의 잔여가스를 배출하기 위하여 질소퍼징장치가 설치된다. 연료관장치의 퍼징은 주 연료밸브가 차단되면 관장치 내의 잔여연료를 배출하기 위한 용도로 사용되고, 탱크의 퍼징은 검사 및 수리를 목적으로 탱크 내부를 가스프리 할 목적으로 사용된다.
- * 이중관 : 폐위구역 내의 연료관은 외측 관 또는 덕트로 폐위하여 내측의 연료관에 가스누설이 발생하더라도 구역 내에 가스가 방출되는 것을 방지한다. 내측 관과 외측 관 사이에는 가스탐지기 및 강제 배기통풍을 설치하여 누설가스를 탐지하고 배출할 수 있도록 한다.

- 이 외에 폭발방지를 위한 압력도출밸브, 누설가스 탐지 장치 등은 LNG 연료엔진인 ME-GI 엔진의 안전개념과 동일하게 적용된다.
- 추가로 고려되어야 할 사항 : 이와 같이 ME-LGIA 엔진은 ME-GI 엔진과 다르거나 추가로 적용되는 안전장치가 없는데, 암모니아 연료 특성을 고려할 때 다음과 같은 사항에 대하여 고려해야 할 것으로 사료된다.
 - 연료가 액체상태로 공급됨 :
 - * 배출(bleed) 관 내 액체 암모니아 배출 (벤트마스트로의 연결이 허용되지 않음)
 - * 질소 퍼징 시 액체 또는 높은 비중의 가스를 퍼징함.(퍼징 압력 및 용량 고려)
 - 암모니아는 유독성이며, 그대로 배출 시 대기오염의 원인이 됨 :
 - * 암모니아의 독성으로 인하여 선원이 머무를 수 있는 곳에는 누출이 있어서는 절대 안 됨.
 - * 암모니아는 초미세먼지를 생성하는 원인 물질로 일정 농도 이상을 대기 중 방출을 허용해서는 안 됨.

7 IGC Code/IGF Code 요건의 분석

7.1 일반사항

- IGF Code는 2017년 1월 1일부터 시행되어 저인화점 연료를 사용하는 선박에 적용된다.
- 저인화점 연료라 함은 가스 또는 SOLAS II-2에서 허용하는 연료유 보다 낮은 인화점을 가지는 액체 연료로서 주로 LNG(기체연료), Methyl alcohol/Ethyl alcohol(액체연료), LPG(기체 또는 액체연료⁵⁾), 암모니아 등이 이에 해당된다.
- IGF Code가 저인화점 연료의 사용에 대하여 개발된 규칙이지만, 현재까지 개발된 상세요건은 LNG에 대해서 적용할 수 있는 요건이다. IMO에서는 Methyl alcohol/Ethyl alcohol(MSC Circular로 발행 예정)에 대한 상세요건을 개발 완료하였고, 연료전지와 LPG에 대해서는 상세요건의 개발이 진행 중이지만, 암모니아에 대해서는 아직 개발 계획이 없다.
- IGC Code 16.9에서는 독성 제품으로 식별된 화물의 연료 사용은 허용하지 않고 있다.

7.1.2 IGC Code 중 암모니아의 특성으로 인하여 적용되는 요건

IGC Code 전체를 적용해야 하지만 무수암모니아 화물의 특성으로 인하여 특별히 적용되는 요건이 있으며, IGF Code 개정 시 반영할 수 있다.

5) LPG는 압력을 가하면 상온에서 액체상태가 되므로 기관에 따라 기체 또는 액체상태로 공급될 수 있다.

7.1.3 IGF Code 요건

- IGF Code의 요건의 개념은 모든 가스 및 저인화점 연료에 적용하는 요건의 목적 및 선박이 갖추어야 하는 기능요건에서 확인할 수 있다. 여기서 기능요건이라 함은 안전적, 환경적, 성능적 측면에서 선박이 갖추어야 할 최소한의 기능을 요구하는 것으로서 선박의 설계 및 안전 개념의 기본이 되는 요건이다. 암모니아에 대한 상세요건은 암모니아의 특성을 고려하여 최소한 기능요건을 만족할 수 있도록 개발되어야 한다.
- IGF Code의 목적 및 기능요건은 다음과 같다.

목적	저인화점 연료를 사용하는 추진기관 및 기타 기관장치가 설치되는 선박의 안전하고 환경친화적인 설계, 건조, 운전에 대하여 규정함.
기능요건	<ol style="list-style-type: none"> 1. 주기관과 보조기관의 성능 및 안전에 대한 신뢰성 확보 2. 통풍, 탐지 및 기타의 안전조치를 통해 연료의 위해요소의 위험성을 최소화 3. 안전조치로 인하여 동력의 손실방지 4. 위험구역이 안전에 미치는 영향을 최소화 5. 위험구역에는 설비의 설치를 최소화하여야 하고, 승인된 안전형 장비만 설치 6. 의도하지 않은 가스의 축적 방지 7. 장치의 외부 손상방지 8. 위험구역 내 발화원 최소화 9. 연료탱크에서 대기로의 벤트 방지, 연료의 격납, 공급, 수급 장치로부터 누설방지 10. 관장치, 격납설비 및 도출밸브의 적절한 설계, 제작 및 설치 11. 기관장치 및 부품의 안전하고 신뢰성 있는 작동 확보 12. 화재나 폭발에 대한 이중화 확보 13. 안전한 작동을 위한 제어, 경보, 감시 및 차단장치 설치 14. 가스누설가능 지역에 고정식 가스탐지장치 설치 15. 화재탐지, 방화 및 소화장치 설치 16. 연료장치의 안전, 가용성 및 신뢰성 확보를 위한 시운전 및 유지 보수 17. 장치 및 구성품이 규칙 및 표준에 적합함을 확인할 수 있는 기술문서 작성 18. 단일 고장이 장치의 안전 및 신뢰성을 훼손하지 않도록 조치

- 상기 기능요건을 만족시키기 위한 LNG연료의 상세요건을 요약하면 다음과 같다.

1. ‘주기관과 보조기관의 성능 및 안전에 대한 신뢰성 확보’와 관련된 상세요건은 ‘IGF Code, 10. Power Generation including propulsion and other gas consumers’에 규정되어 있다. 기관의 형식별로 내연기관, 보

일러, 가스터빈에 대한 요건을 다루고 있다.

- * 내연기관에 대한 주 내용은 (1) 배기가스 내 미연소 가스로 인한 폭발방지 및 폭발에 대한 안전장치(폭발도출장치), (2) 기관 내 의도치 않은 가스누설로 인한 폭발에 대한 안전장치(폭발도출장치), (3) 착화실패 또는 불완전 연소 감시 및 가스공급 차단 (4) 기관 내 가스누설에 대한 감시(가스탐지장치) 등이다.
- * 보일러에 대한 주 내용은 (1) 연소실 및 연도에 연료가스축적 방지 (2) 비정상적인 점화 시 가스공급 차단 (3) 보일러의 연소실 및 가스공급관의 미연소 가스 퍼징 등이다.
- * 가스터빈에 대한 주 내용은 (1) 배기가스 내 미연소 가스로 인한 폭발에 대한 안전장치(폭발도출장치), (2) 비상정지원리에 따라 설치된 가스터빈은 별도의 기밀구역에 설치 (3) 통풍의 이중화 요건(100% 2대) (4) 불완전 연소에 대한 감시(가스탐지장치) 및 가스공급 차단 (5) 배기온도의 감시 및 고온 시 자동정지 등이다.

2. '통풍, 탐지 및 기타의 안전조치를 통해 연료와 관련된 위해요소의 위험성을 최소화'와 관련되는 상세요건은 가스누설가능지역에 대한 통풍요건 및 가스탐지 요건이다. 요건의 내용은 통풍이 요구되는 구역, 통풍용량, 통풍 흡입구 및 통풍 출구의 배치, 에어록의 설치에 대하여 다루고 있고 세부요건의 내용은 다음과 같다.

- * 연료의 수급부터 기관까지의 공정은 <매니폴드 → 연료 탱크 → 연료 탱크와 밸브 및 연료공급관 연결부(탱크연결부 구역)→ 압축기, 열교환기 등의 연료공급 장비(연료준비실) → 기스밸브유닛 → 기관>으로 구성된다.
- * 통상 가스누설의 가능성이 높은 부분은 병커링 매니폴드, 장비 및 탱크와 배관의 플랜지 연결부위, 밸브, 탱크(독립형 탱크 C형식은 누설이 되지 않도록 제작되므로 제외한다), 가스기관(가스안전 기관구역 개념(이중관)으로 제작된 기관은 제외한다), 연료관의 손상부(연료관이 폐위구역을 지나가는 경우 손상을 고려하여 연료관을 배관 또는 덕트로 연료관의 외측을 폐위하여야 한다.)등이다.

- * 따라서 상기의 누설 가능성이 높은 구역을 포함하는 구역에 대하여 누설가스가 축적되지 않도록 가스탐지장치 및 배기식 강제 통풍장치를 설치하여야 한다.
- * 상기에 언급된 누설가능성이 많은 부분이 설치된 구역은 탱크연결부 구역, 비상정지로 보호되는 가스연료기관이 있는 구역, 연료준비실, 연료수급장소 및 연료관을 폐위하는 이중관 및 덕트이다. 각 구역은 시간당 30회(즉, 용량으로만 단순계산했을 때 1회 환기에 소요되는 시간은 2분이다)의 환기능력을 갖춘 배기식 통풍장치를 설치할 것을 요구하고 있으며, 누설에 대한 안전조치 다음과 같다.
 - ① 연료관이 손상되어 액화가스연료가 누설되는 경우를 가정하면, 액체가스(-160 ℃)는 바닥으로 흘러 내리면서 급격하게 기화가 된다.
 - ② 기화의 초기 단계에서 -100 ℃까지는 공기보다 무거워서 바닥에 가라앉게 되고, 공기 중의 증기를 응축시켜 육안으로 확인되는 증기구름을 형성하게 된다.
 - ③ 온도가 점점 올라감에 따라 액체대비 가스의 부피는 600배로 팽창되고 가스는 상부로 올라가게 되며 가스가 분산됨에 따라 가스의 농도는 낮아져서 인화성 분위기인 5% ~15%에 도달하게 된다.
 - ④ 연료준비실에는 배기 통풍장치가 연속해서 작동하고 있으므로 누설되는 가스는 배기 덕트를 통해 open deck 로 배출되게 된다. IGF Code에서 통풍배치에 대한 구체적인 요건은 규정하지는 않지만, LNG가 가스가 분산되면서 구역의 상부에 축적되는 현상을 고려할 때 덕트의 흡입구는 구역의 상부에 배치하게 된다.
 - ⑤ 가스탐지기가 가스누설을 탐지하면 LEL의 20%에서 경보를 울리고 LEL의 40%에서는 탱크 밸브가 자동으로 차단되어 연료의 공급이 정지된다.
 - ⑥ IGF Code에서 가스탐지기의 위치는 가스가 축적될 수 있는 장소 및 통풍출구 측에 배치하도록 규정하고 있는데, 최상의 배치를 찾기 위하여 물리적 연기시험 또는 가스분산해석을 하

도록 규정하고 있다. LNG가 가스가 분산되면서 구역의 상부에 축적되는 현상을 고려할 때 구역의 상부 및 덕트의 흡입구 측에 설치하고 있다.

3. '안전조치로 인하여 동력의 손실방지'와 관련되는 상세요건으로는 연료 공급시스템의 이중화 요건이다.

* 비상정지로 보호되는 기관구역의 추진기관 및 발전용 기관은 2개의 구역에 나누어서 설치하도록 요구하고 있고 어느 하나의 구역에 연료 공급이 차단되어도 동력이 손실되지 않도록 요구하고 있다.

* 연료공급장치는 탱크부터 기관까지 전체 장치에 걸쳐서 완전한 이중화를 요구하고 있다. (독립형 탱크 C 형식은 탱크를 1개로 하는 것을 허용하되 탱크연결부 구역만 분리할 것을 요구하고 있다.)

4. '위험구역이 안전에 미치는 영향을 최소화'와 관련되는 상세요건으로는 위험구역에 대한 다음 요건을 규정하고 있다.

* 위험구역의 범위를 규정하고 위험구역내의 전기설비의 설치를 제한하고 있다

* 위험구역으로 부터의 가스유입을 방지하기 위하여 위험구역의 통풍 개구와 비위험구역의 개구와의 최소거리요건을 규정하고 있다.

* 위험구역과 비위험구역간의 출입은 에어록을 통해 가능하도록 규정하고 있다.

* 위험구역에 가스탐지 및 배기식 강제 통풍장치를 설치할 것을 요구하고 있다.

* 위험구역에 가스누설 탐지 시 경보 및 가스공급차단장치 등의 안전기능을 요구하고 있다.

5. '위험구역에는 설비의 설치를 최소화하여야 하고, 승인된 안전형 장비만 설치'와 관련되는 상세요건으로는 IGF Code 14. Electrical installation에서 위험구역에 설치되는 전기설비에 대하여 IEC

60092-502을 따르도록 규정하고 있다.

6. '의도하지 않은 가스의 축적 방지'와 관련되는 상세요건으로는 누설 방지, 통풍, 가스탐지, 가스누출부의 배치 및 비위험구역의 개구 배치에 대한 요건을 규정하고 있다.

* 기관구역의 배치개념에 2가지 배치 개념(가스안전 기관구역, 비상정지장치로 보호되는 기관구역)을 규정하고 있다.

* 연료관을 이중관으로 폐위, 연료관이 관통하는 것을 허용하는 구역을 규정하고 있다.

* 상기 2에서 언급한 통풍 및 가스탐지요건을 규정하고 있다.

* 통풍마스트의 구조 및 높이 요건에 대해서 규정하고 있다.

* 가스누출부와 비위험구역의 개구간의 최소 거리를 규정하고 있다.

7. '장치를 외부의 손상으로부터 보호'와 관련되는 상세요건으로는 탱크의 보호, 연료관의 보호 등이 있다.

* 선박의 충돌하더라도 연료탱크가 손상되지 않도록 선측 및 선저에서의 연료탱크이 최소거리를 규정하고 있다.

* 개방갑판 및 로로구역 등에 설치되는 연료관은 보호덮개로 보호하도록 규정하고 있다.

8. '위험구역 내 발화원 최소화'와 관련되는 상세요건은 상기 5.와 연관되며, 위험구역에서는 발화원이 될 수 있는 전화기, 손전등, 카메라와 같은 휴대식 기기의 사용도 제한되어야 한다.

9. '연료탱크에서 대기로의 벤트 방지, 연료의 격납, 공급, 수급 장치로부터 누설방지'와 관련되는 상세요건으로는 탱크 내 온도/압력 제어, 2차 방벽, 연료 및 병커링장치의 퍼징, 탱크 연결부구역 등이 있다.

* 병커링 시 또는 운항시 액화연료의 기화로 인하여 연료탱크의 압력이

탱크의 설계압력을 초과하는 것을 방지하기 위하여 탱크에 PRV를 설치하게 되고 탱크의 압력이 PRV의 설정압력 이상이 되면 탱크내의 가스가 대기로 방출되게 된다. IGF Code 6.9.1에서 비상시를 제외하고는 연료가스의 대기방출을 금지하고 있으며, 비상시를 제외하고는 PRV가 열리지 않도록 탱크내의 압력 및 온도를 제어하기 위한 수단(재액화, 연소, 압력축적 또는 냉각)을 갖추어야 한다.

- * 연료의 격납, 공급, 수급 장치로부터 누설방지를 위하여 연료격납설비는 2차 방벽을 설치하여야 한다(독립형 탱크 형식 C제외).
- * 연료관은 용접이음이어야 하고 폐위구역을 지나가는 연료관은 이중관 또는 덕트로 폐위하여야 한다.
- * 누설 가능성이 높은 탱크 연결부는 개방압관에 설치된 경우를 제외하고는 별도의 구역(탱크연결부 구역)으로 폐위하여야 한다.

10. ‘관장치, 격납설비 및 도출밸브의 적절한 설계, 제작 및 설치’와 관련되는 상세요건으로는 탱크 및 관의 재료선정 및 시험, 두께 계산, 응력 해석, 열신축으로 인한 과도한 응력방지, 도출밸브의 용량 및 배치에 대하여 규정하고 있다.

11. ‘기관장치 및 부품의 안전하고 신뢰성 있는 작동 확보’와 관련되는 상세요건으로는 탱크 및 시스템의 설계요건을 규정하고 있다.

- * 연료 탱크의 2차방벽, 설계 하중, 구조해석 등의 요건을 규정하고 있다.
- * 배관의 설계조건, 두께, 조립 및 이음 방법에 대한 요건을 규정하고 있다.
- * 연료공급의 이중화, 연료공급관의 외측관 설계에 대한 요건을 규정하고 있다.
- * 내연기관, 보일러, 가스터빈의 가스누설, 불완전연소, 폭발방지 등에 대한 요건을 규정하고 있다.

12. '화재나 폭발에 대한 이중화 확보'와 관련되는 상세요건으로는 연료탱크의 구역 간 경계, 비상정지장치로 보호되는 기관구역의 이중화 및 경계요건을 규정하고 있다.
- * 2개의 연료탱크를 A-60급 방열 또는 코퍼뎀으로 분리된 구역에 설치하여야 한다.
 - * 비상정지장치로 보호되는 기관구역은 두 개의 기관을 분리된 구역에 설치하여야 한다.
 - * A류 기관구역과 고위험 화재구역은 A-60급 방열 및 코퍼뎀으로 분리되어야 한다.
13. '안전한 작동을 위한 제어, 경보, 감시 및 차단장치 설치'와 관련되는 상세요건은 연료탱크, 연료수급, 가스 및 화재 탐지, 이상상태에 대한 안전장치 작동을 규정하고 있다.
- * 연료탱크의 넘침방지 장치 및 압력감시 장치를 설치할 것을 요구하고 있다.
 - * 병커링 시 이상상태에 대한 경보 요건을 규정하고 있다.
 - * 가스탐지기를 설치해야 하는 장소 및 탐지 농도에 대한 요건을 규정하고 있다.
 - * 이상 상태 시 작동해야 하는 안전장치에 대한 요건을 규정하고 있다.
14. '가스누설가능 지역에 고정식 가스탐지장치 설치'와 관련되는 상세요건은 상기 2. 및 4.과 관련되는 요건으로서 고정식 가스탐지장치가 설치되어야 하는 구역, 개수 및 설치 위치에 대하여 규정하고 있다.
15. '화재탐지, 방화 및 소화장치 설치'와 관련되는 상세요건은 화재탐지기가 설치되어야 하는 장소, 방화구조 및 소화장치의 설치에 대하여 규정하고 있다.

- * 연료준비실, 연료저장창 구역과 A류 기관구역, 화재고위험구역간의 방열구조에 대한 요건을 규정하고 있다.
 - * 탱크 냉각용 물분무장치, 드라이케미컬 분말 소화장치, 화재 탐지장치에 대한 요건을 규정하고 있다.
16. ‘연료장치의 안전, 가용성 및 신뢰성 확보를 위한 시운전 및 유지 보수’와 관련해서는 연료장치에서 요구되는 기능 및 관련 안전장치의 작동을 시험 및 검사를 통해서 확인 하여야 한다.
17. ‘장치 및 구성품이 규칙 및 표준에 적합함을 확인할 수 있는 기술문서 작성’ 와 관련한 상세요건은 IGF Code에 있는 요건은 아니지만 선급의 요건으로서 도면 및 자료제출 항목을 규정하고 있다.
18. ‘단일 고장이 장치의 안전 및 신뢰성을 훼손하지 않도록 조치’와 관련한 상세요건은 연료공급장치 및 가스탐지장치 등에 대한 이중화를 요구하고 있다.
- * 단일연료 장치에서는 연료공급장치는 연료탱크로부터 연료소모장치까지 전체 장치에 걸쳐 완전한 이중화 및 분리가 되도록 배치하여야 한다
 - * 비상정지장치로 보호되는 기관구역, 이중관의 사이공간, 탱크연결부 구역, 연료준비실에는 2중의 가스탐지장치를 설치하여야 한다
 - * 비상정지장치로 보호되는 기관구역은 두 개의 기관을 분리된 구역에 설치하여야 한다.

7.1.4 메틸/에틸 알코올 연료선박에 대한 잠정지침

- LNG 상세요건에 추가하여 메틸/에틸 알코올 연료의 특성을 고려한 안전 규정은 MSC.1/Circ.1621 INTERIM GUIDELINES FOR THE SAFETY OF SHIPS USING METHYL/ETHYL ALCOHOL AS FUEL을 기준으로 작성하였다.

1. ‘연료탱크’와 관련되는 상세요건은 ‘5 Ship design and arrangement’ 와 ‘6 Fuel containment system’에 규정되어 있으며, 극저온인 LNG와 달리 메틸/에틸 알코올은 상온에서 안정적인 액체상태로 존재한다는 점에서 적용해야 하는 규정이 LNG에 비하여 간단하다.
2. ‘재료 및 관 설계’와 관련되는 상세요건은 ‘7 Material and general pipe design’에 규정되어 있으며, 연료탱크와 마찬가지로 극저온은 고려하지 않으며, 연료로 인한 부식을 고려하도록 규정하였다.
3. ‘벙커링’과 관련되는 상세요건은 ‘8 Bunkering’에 규정되어 있으며, 연료의 특성을 고려하여 다음을 규정하고 있다.
 - * 비상 사용을 위한 샤워 시설 및 눈 세척장을 연료와 접촉할 수 있는 구역과 가까운 곳에 설치하도록 규정하고 있다.
 - * 선박의 연료호스는 개방압판 또는 독립된 기계식 배기식 통풍장치가 있는 보관실에 보관하여야 하며, 시간당 최소 6회 환기하여야 한다.
 - * 벙커링 완료 후 벙커링 배관으로부터 액체를 배수하기 위한 수단이 제공되어야 한다.
4. ‘소화’와 관련되는 상세요건은 ‘11 Fire safety’에 규정되어 있으며, 연료탱크의 하부, 벙커링 스테이션 등에 내알코올성 소화장치의 설치를 추가로 요구하고 있다.

7.1.5 암모니아에 적용하기 위하여 수정 및 보완이 필요한 상세요건

- 상기에서 언급한 바와 같이 IGF Code의 상세규정은 LNG를 기반으로 하고 있으며, 암모니아는 독성과 부식성을 갖고 있다는 측면에서 LNG 보다는 메틸/에틸 알코올과 더 유사하다고 할 수 있다.
- 암모니아의 특성 중 인명 안전에 가장 우려되는 부분은 독성이다. 암모니아

의 독성은 IGC Code 및 메틸 알코올 연료 요건을 참조하여 인신의 보호에 대한 요건을 면밀히 검토하여야 한다.

- 암모니아는 부식성을 갖고 있으며, 암모니아 증기가 수분과 접촉하면 구리, 아연 및 그 합금, 그리고 고무와 플라스틱을 부식시킬 수 있다. 또한 은, 금, 수은, 탈륨 등의 중금속은 폭발성 화합물을 형성할 수 있으므로 특히 주의하여야 한다. 니켈강을 사용할 때에도 산업계에서는 부식성을 고려하여 6% 이상을 권고하고 있다.
- 암모니아는 자연발화온도가 651 °C로 매우 높고, 발화할 수 있는 공기 중 농도 범위(LFL)가 15 % ~28 % 정도로 상당히 높은 편이어서 미연소가 발생될 위험이 많다. 이는 곧 암모니아 슬립의 발생 가능성이 높다는 뜻이며, 의도치 않은 배출이 있을 수 있다고 간주된다. 암모니아는 그대로 배출될 경우 해상의 습기와 만나 부식성을 띄거나, NOx 등과 반응을 일으켜 초미세먼지를 발생시키므로 특별히 주의하여야 한다.
- 암모니아는 독성과 함께 특유의 강한 냄새를 가지고 있어 지역사회의 민원으로부터 자유롭지 않다. 따라서 병커링 시 이를 고려하여야 한다.
- 상기의 암모니아 특성을 고려할 때, 다음과 같은 상세 요건은 암모니아 연료에 직접적으로 적용할 수 없거나 추가적인 요건을 적용해야 할 것으로 판단된다.

- 독성과 관련된 IGF Code 요건

5.4.1 기관구역의 배치

- 기관구역의 배치개념은 ‘가스안전 기관구역’ 과 ‘비상차단으로 보호되는 기관구역’이 있다. ‘비상차단으로 보호되는 기관구역’은 기관구역 내에 가스가 누설되면 누설가스의 배출이 효과적으로 이루어 져야 한다는 것이 전제되어야 한다. 암모니아 증기의 비중은 무겁지 않아 환기가 어려운 것은 아니지만, 누출이 되면 인체에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 기관구역의

배치개념에서 ‘비상차단으로 보호되는 기관구역’은 허용하지 않는 것이 필요하다.

- 부식성과 관련된 IGF Code 요건

6.7.2 연료탱크 압력도출밸브의 벤트관

- 연료탱크의 압력도출밸브로부터 도출되는 암모니아는 벤트관을 통하여 벤트마스트로 배출된다. LNG가스의 경우에는 공기보다 가벼워서 압력이 없어도 벤트마스트를 통해 대기로 배출된다. 암모니아는 건조한 상태에서는 대기 배출이 용이하지만, 해상상태에서는 습기와 만나 무거워져 바닥으로 깔릴 수 있으며, 이는 선체의 부식을 유발할 수 있다. 또한 그대로 배출된 암모니아는 초미세먼지를 발생시키는 촉매 역할을 한다. 따라서 이에 대한 고려가 필요하다.

- 냄새 및 독성과 관련된 IGF Code 요건

8. 병커링

- 병커링 매니폴드는 가스누설의 가능성이 높은 부분임에도 불구하고 누설가스의 탐지에 관련된 사항을 다루고 있지 않다. LNG의 경우 누설된 액화가스는 기화하여 상부로 확산되어 가스탐지기의 실효성이 떨어지고, 누설된 LNG는 주위 공기의 수분을 응축시켜 증기구름을 형성하므로 육안으로 누설확인이 가능하기 때문이다. 암모니아는 특유의 냄새로 인하여 누설여부는 식별하기 쉽지만 항구에서 누설될 경우, 인체에 영향을 미치지 않는 정도의 농도라도 민원을 유발할 수 있다. 따라서 병커링 시에도 배출에 대한 규정이 필요하며, 인체에 해를 미치는 일정농도 이상의 암모니아 배출은 차단하여야 한다.
- 암모니아는 그 성질이 LPG와 유사하며, 육상시설에 있어서 국내 LPG 기지의 LPG 이송장치는 로딩암을 이용하고 있으며, 가스누설에 대한 가스탐지장치 및 비상정지장치가 설치되어 있다. 다만, 비상분리장치⁶⁾는 설치되어 있지 않다. LPG 이송

6) 선박의 과도한 거동(motion)으로 인해 이송장치 및 매니폴드에 작용하는 하중이 설계하중을 초과하지 않도록 이송장치를 선박과 안전하게 분리하는 장치이다. LNG 이송장치에는 비상분리장치가 설치되어 있다.

장치 요건을 인용하되, 이송장치 및 매니폴드를 과도한 하중으로 부터 보호하고 암모니아의 누설을 방지하기 위하여 비상분리장치의 설치를 고려하여야 한다.

- 가스연료로 인한 위험은 병커링 작업에서 극대화된다. 따라서 병커링 설비에서 요구되는 안전장치와 더불어 암모니아 병커링 작업 시의 선원의 안전에 대한 교육 등도 고려되어야 한다.
- LNG가 극저온임을 고려할 때, 병커링 측면에서는 암모니아 병커링이 LNG병커링 보다는 위험성이 덜할 것으로 판단되며, 현재 LNG에 대해서 제공되고 있는 요건 및 권고사항들 중 암모니아에 불합리한 내용(롤오버, 극저온과 관련된 내용 등)만 선별하여 제외하고 암모니아에 대해 추가로 고려하여야 할 내용(암모니아 누출 시 인명에 대한 안전조치)을 추가한다면 암모니아에 적용하여도 무방할 것으로 판단된다.

13. 통풍

- 암모니아의 벤트는 암모니아의 의 농도를 10ppm 이하로 희석시키거나, 암모니아를 모으거나, 환기구 마스트를 안전한 높이로 연장하는 등의 방법 중 하나를 채택한다.

- 연료의 저장온도와 관련된 IGF Code 요건

6.4 액화가스연료의 격납

- LNG는 임계온도가 $-83\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이이므로 LNG연료 저장탱크의 설계온도는 $-83\text{ }^{\circ}\text{C}$ 보다 낮을 수밖에 없다. 따라서 IGF Code에서는 연료탱크 내의 연료온도를 극저온($-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하)으로만 고려하고 있다.
- 암모니아는 대기압에서 연료의 온도가 $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이고, 압력식 탱크를 사용하는 경우에는 상온이다. 따라서 암모니아 연료탱크의 설계온도는 IGF Code에서 규정하는 온도범위를 높게 확대할 필요가 있다.

- IGC Code 중 적용이 가능한 요건: 14. 인신의 보호

14.2. 보호장구

- 화물작업에 종사하는 승무원의 보호를 위하여 운반되는 화물의 특성을 고려하여 눈 보호구를 포함한 보호장구 비치

14.3 응급기구

- 부상당한 사람을 구조 할 수 있는 들것을 접근하기 쉬운 위치에 보관
- 산소소생기 등 비치

14.4 안전장구

- 소방원장구에 추가하여 완전히 갖춘 3조 이상의 안전장구를 비치

14.5 개개의 화물에 대한 인신보호규정

- 비상탈출에 적합한 호흡보호구 및 보호안경을 승선자 전원용으로 비치
- 오염제거 샤워기 및 눈 세척기 설치

- IGC Code 중 적용이 가능한 요건: 17.13 암모니아

- 1. 무수암모니아는 탄소망간강 또는 니켈강으로 만든 용기 또는 제조설비에 응력부식 균열을 발생시킬 수 있다. 이 균열발생의 위험성을 최소화하기 위하여 아래 규정의 대책을 적절히 따라야 한다.
- 2. 탄소망간강이 사용되는 화물탱크, 제조용 압력용기 및 화물용 관장치는 규격최소 항복응력이 355 N mm^2 이하이며, 실제 항복응력이 440 N mm^2 이하의 세립강으로 만들어야 한다. 다음의 구조적 또는 조작상의 대책 중 하나에 따라야 한다.
 - (1) 규격최소 인장강도가 410 N mm^2 이하인 낮은 강도의 재료를 사용하여야 한다.
 - (2) 화물탱크 등은 용접후 응력제거 열처리를 하여야 한다.
 - (3) 운반 시의 온도는 $-33 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 제품 비등점에 가까운 온도를 최

대한 유지하여야 하며, 어떠한 경우에도 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 를 초과하여서는 아니 된다.

- (4) 암모니아는 질량 0.1 % 이상의 수분을 함유하여야 하며, 선장은 이를 확인할 수 있는 문서를 비치하여야 한다.
- 3. 2항의 탄소망간강보다 더 높은 항복응력을 갖는 탄소망간강을 사용하는 경우, 완성된 화물탱크 및 관장치 등은 용접후 응력제거 열처리를 실시하여야 한다.
 - 4. 냉각장치 응축부의 프로세스용 압력용기 및 관장치가 1항에 규정한 재료를 사용할 경우, 용접후 응력제거 열처리를 실시하여야 한다.
 - 5. 용접봉의 인장 및 항복 특성은 가장 작은 실제의 수치로써 탱크 또는 관장치 재료의 특성보다 커야 한다.
 - 6. 니켈 함유량이 5 %를 초과하는 니켈강과 2항 및 3항의 요건에 적합하지 않는 탄소망간강은 암모니아의 응력 부식 균열을 발생하기 쉬우므로 이 제품의 운반용 용기 및 관장치로 사용하지 않아야 한다.
 - 7. 운반온도가 2항 (3)호의 규정에 적합한 경우, 니켈 함유량이 5 %를 초과하는 니켈강을 사용할 수 있다.
 - 8. 암모니아의 응력부식 균열의 위험성을 최소화하기 위하여 질량비 2.5 ppm 미만의 용해산소량을 유지할 것을 권장한다. 이를 위한 최상의 방법은 다음 표에서 운반온도의 함수로써 주어지는 값보다 작은 암모니아액을 탱크에 넣기 전에 탱크내의 평균 산소량을 감소시키는 것이다.

운반온도 T ($^{\circ}\text{C}$)	O_2 (% 체적비)
-30 이하	0.90
-20	0.50
-10	0.28
0	0.16
10	0.10
20	0.05
30	0.03

중간온도의 산소 %는 보간법으로 구한다.

7.1.6 암모니아연료에 대한 위험도 평가의 적용

- IGF Code의 상세 요건은 LNG 및 메틸/에틸알코올에 대해서만 규정하고 있으며, 이외의 연료에 대해서는 IGF Code의 목적 및 기능요건을 충족시키고 동일한 수준의 안전을 확보하도록 요구하고 있다.
- 기능요건의 충족 및 동일한 수준의 안전성 확보를 검증하기 위한 방법은 위험도 평가 및 위험도 기반 승인이 된다. 따라서 암모니아 연료에 대해서는 모든 위해요소를 식별하여 이에 대한 위험도 평가를 수행하여 위험도 기반 승인 기준을 만들어야 한다. 이 경우, 위험도 평가의 범위가 넓고 매 프로젝트 마다 평가 결과가 다를 수 있기 때문에 승인기준 또한 다를 수 있다. 따라서, 신뢰성 있고 일관성 있는 상세 기준을 만들어 위험도 평가를 수행하여야 하는 항목을 줄이는 것이 이 연구의 최종 목표이다.
- LNG연료의 경우 위험도 평가를 수행하여야 하는 항목은 다음과 같이 한정되어 있다.
 - 5.10.5 드립트레이 (드립트레이의 용량 결정)
 - 5.12.3 에어록 (가스위험구역에서 사고 시에도 가스안전구역에 가스가 방출되지 않는지 확인)
 - 6.4.15.4.7 사고설계조건(위험도 평가에 따라 관련 사고 시나리오 결정)
 - 8.3.1.1 병커링 지역 (폐위 또는 반폐위 된 경우 위험도 평가수행 및 강제통풍 장치)
 - 13.4.1 탱크연결부 구역 (다른 폭발 방지 수단에 따른 통풍용량의 저감)
 - 15.8.1.10 추가의 가스탐지장치 (필요한 경우 거주구 및 기관실의 통풍 입구에 가스탐지기 설치)
 - 부록의 4.4 사고결과 등급계수의 감소

- 부록의 6.8 추가의 관련 사고시나리오 결정

- 메틸/에틸 알코올 연료의 경우 LNG에 추가하여 독성과 부식성을 고려하여야 한다.
- 암모니아의 특성을 고려하여 추가로 위험도 평가를 수행하여야 항목에 대한 요건을 다음과 같이 제안한다.

- IGF Code 4.2를 적용함에 있어서 암모니아 연료에 대해서는 위험도 평가 범위에 최소한 다음을 포함하여야 한다.

- * 암모니아 연료의 사용에 있어서 특성을 고려하여 선체, 선박설비 및 선원에 발생할 수 있는 위험성을 확인하기 위하여 위험도 평가를 수행하여야 한다.
- * 가스누설과 관련하여 다음의 구역에 대해서는 위험도 평가를 수행하여 가스누설에 대하여 LNG연료와 동등한 안전을 확보하여야 한다. 위험도 평가의 결과에 따라 통풍해석 및 가스분산해석의 수행을 요구할 수 있다.
 - 탱크연결부 구역, 연료준비실, 벙커링지역, 벤트마스트 주위, 이중관의 사이 공간, 가스밸브유닛 폐위구역, 탱크저장창 구역 (독립형 탱크 형식 C제외)

7.1.7 선원 교육

- IGF Code(Part D의 19)에서는 STCW 협약 및 코드에 따른 교육을 시행할 것을 요구하고 있다.
- IMO Res. MSC.397(95)에 따라, IGF Code를 적용받는 선박에 종사하는 선장, 사관, 선원의 훈련 및 자격에 대한 요건은 STCW 협약(Regulation V/3) 및 STCW 코드(Section A-V/3)에 추가되었다.
- STCW 협약의 Regulation V/3 및 STCW 코드의 Section A-V/3의 요건은

IGF Code의 적용을 받는 모든 저인화점연료에 대하여 적용된다.

- STCW 코드의 Section A-V/3에는 교육의 수준을 기본교육(basic training)과 상급교육(advanced training) 항목을 구분하여 안전임무에 책임이 있는 선원은 기본교육을 받아야 하고 선장, 기관해기사 및 연료를 취급하는 선원은 상급교육을 받아야 한다. 또한 IGF Code 적용선박에 승선하는 모든 선원은 선박 및 장비에 대한 친숙화 훈련을 받아야 한다.
- IGF Code의 '18 Operation'에서는 LNG병커링 작업에 대한 책임자의 역할, 안전장치의 점검, 작업 전 점검사항, 병커링 공급측과의 통신, 병커링 중의 조치사항 등을 규정하고 있다.

8 결론

8.1 암모니아 사용 현황 및 관련 규정 현황

- 암모니아는 비료, 산업용 원료, 냉매 등으로 사용되었으며, 선박의 화물로는 익숙하기 때문에 암모니아의 위험성에 대하여 관련 규정은 마련되어 있다. 그러나 연료로써의 사용은 안전성이 검증되지 않은 위험요소가 존재하고 있으며, 선박의 구조 및 배치 환경을 고려한 규정이 필요하다는 것을 본 연구를 통해 확인하였다.
- 선박연료로서 LNG나 메틸/에틸 알코올 등 기존의 저인화점연료와 다른 위험요소가 존재하므로 현행의 IGC Code 및 IGF Code의 상세요건을 그대로 적용하는 것은 적절하지 않다는 것을 확인하였다.

8.2 암모니아연료 추진선박에 적용하기 위한 관련 규칙 개정

- 선박의 연료로서 암모니아의 사용은 전통적인 액체연료 및 LNG, LPG, 메틸/에틸 알코올 등의 연료와 비교했을 때 추가적인 위험성이 존재하는 것은 분명하다. 다만, 이러한 위험성은 암모니아의 특성을 고려한 추가적인 안전조치로서 위험도를 낮출 수 있으며, 제7장을 활용하여 기존의 IGF Code의 요건에 대체요건 및 추가요건을 개발하여야 한다.
- 제7장을 활용하여 개발된 요건을 IGF Code에 적용할 때, 선박마다 구조, 배치 및 시스템이 다양하기 때문에 이러한 다양성에 영향을 받는 암모니아의 위험성에 대해서는 위험도 평가를 수행하여야 한다.
- IGC Code는 암모니아에 대한 안전규정이 대체로 마련되어 있으므로, 이를 고려하여 연료로 사용할 때의 위험성을 식별하여 IGC Code 16장의 대체요건 또는 추가요건을 개발하여야 한다.

암모니아연료추진선박 보고서

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>
