



## 선박 연료로서 암모니아의 독성을 극복할 수 있는가?

기관규칙개발팀 최우석 수석



### 암모니아 선박 연료에 대한 안전상 우려사항

IMO의 탄소 배출 규제를 만족하기 위한 배출 가스 저감 기술 및 대체 연료 적용 기술이 개발되고 있으며, 암모니아는 무탄소 연료로서 가장 가능성 있는 대체 연료 중의 하나로 인식되고 있다. 그러나 아직도 암모니아 연료에 대한 불확실성이 존재하고 있으며, 특히 독성은 암모니아가 대세 친환경 연료로 자리매김할 것이라는 예측에 가장 의문을 남기는 요소이다. 선박 연료로서 독성 가스를 사용하는 것은 유래가 없었으며, IGC Code 및 MARPOL Annex VI/18에서도 독성 가스의 연료 사용을 금지하고 있다.

'독성 가스의 연료 사용'이라는 새로운 도전에 대한 막연한 불안감은 선박에 설치되는 암모니아 설비로부터의 연료 누출을 완벽히 제어할 수 있는지, 완벽한 누출 제어가 불가능하다면 누출로부터 선원을 안전하게 보호할 수 있는지에 대한 의문을 낳는다. 암모니아는 작은 농도로도 치명적인 인명 피해를 초래할 수 있기 때문이다.

반면에 일부에서는 육상 산업에서의 암모니아의 사용 실적 및 암모니아 화물의 선박 운송 경험을 언급하며 암모니아를 선박 연료로서 안전하게 사용할 수 있다고 한다. 이 또한 가능한 가정이지만, 육상 환경과 해상 환경의 차이 및 암모니아 화물 설비와 암모니아 연료 설비의 차이를 다음과 같이 고려한다면 그렇게 쉽게 판단할 문제는 아니다.

따라서 암모니아를 연료로 안전하게 사용을 위해서는 선박에서 발생 가능한 모든 누설 시나리오를 식별하고, 식별된 누설 시나리오와 같이 위험한 상황이 전개되지 않도록 안전 설비를 갖추고 선박 배치를 하여야 한다. 외부의 지원을 받을 수 없는 항해 중인 선박이라는 한정된 공간에서 발생 가능한 모든 누설 시나리오에 대하여 효과적인 안전 조치를 실현할 수 있는지 나의 견해를 밝히고자 한다.

### 암모니아 선박 연료 사용 시의 위험성

- 육상에 비해 선박은 공간이 한정되어 누출 사고 발생 시 대피에 제약이 있고, 외부의 구호 지원을 받을 수 없어 사고의 수습 및 대피를 선내에서 스스로 해결하여야 한다.
- 화물 암모니아는 선박의 운항 동안 화물 탱크에 격리되지만 연료 암모니아는 선박의 운항 동안 기관 구역으로 유입되어 엔진에서 연소된다. 즉, 암모니아가 선원에 노출될 수 있는 경우의 수가 훨씬 더 많아지게 된다.

암모니아의 위험성을 극복하고  
선박 연료 적용에 성공하기 위해

반드시 전제되어야 하는 것은  
실효성과 실현성이 확보된  
안전 규정!





## 암모니아 가스로부터 선원을 보호하기 위한 대책

암모니아 엔진 및 연료 공급 시스템은 제조자에 의해 콘셉트 설계가 제안되었으며, 그 콘셉트는 기존의 저인화점 연료의 설계와 유사하다. 이러한 설계 콘셉트를 바탕으로 발생할 수 있는 모든 누출 시나리오의 식별이 가능하다. 누출 가스에 대한 안전 조치는 인화성에 대한 농도(LEL)뿐 아니라 독성에 대한 농도 또한 고려되어야 하고, 가스에 사람이 노출되어도 건강에 영향을 미치지 않는 농도인 노출 허용 농도는 노출 지속 시간과 노출 빈도를 고려하여 결정하여야 한다. 이미 육상에는 여러 노출 조건에 따른 농도 기준값이 있으며, 선박의 노출 환경과 유사한 조건의 농도 기준값을 선박에 적용할 수 있다. 8시간 동안 반복되는 노출 환경에서 건강에 심각한 영향을 주지 않는 최대 평균 노출 농도(PEL-TWA by NIOSH)는 25ppm 이다. 이 값은 노출 허용 농도의 유력한 값으로 거론되고 있으며 이를 선박에 적용하는 것은 충분히 합리적이다. 또한 단시간 노출로도 건강에 심각한 영향을 미치는 농도 또한 정하여 그 농도의 가스가 선내에 노출되지 않도록 하여야 하는데, AEGL-2 농도인 220ppm으로 하는 것이 합리적이다.

상기 농도 기준값을 선박에 적용시킬 때, 선원이 농도 25ppm의 암모니아에 장시간 노출되거나 220ppm의 암모니아에 단시간 노출되지 않도록 하는 것은 가능한가? 이에 대한 기본 대책은 암모니아 누출원이 있는 가스 위험 구역의 암모니아 농도가 25ppm이 되면 가스 탐지기가 경보를 울리고, 220ppm일 시 연료 시스템을 정지하고 가스 제거 장치가 작동되는 안전 설비를 갖추는 것이다.

누출량을 포함한 각 누출 시나리오의 특성은 설계로부터 유추할 수 있으며, 주요 누출원에 대하여 다음과 같이 안전 조치를 함으로서 선원의 안전을 확보할 수 있다.

### · 기관 구역

IGF Code의 가스 안전 기관 구역 콘셉트를 적용하여 완전한 가스 안전 구역이 되도록 구현할 수 있다. 이 경우 이중관 구역의 가스 탐지를 암모니아 농도 25ppm에서 경보가 울리고, 220ppm에서 연료 시스템이 비상정지되도록 설정하여 기관 구역을 암모니아 가스가 유입될 수 없는 구조로 구현할 수 있다.

### · 연료 준비실 및 탱크 연결부 구역

구역 내 가스 탐지기가 암모니아 농도 25ppm에서 경보를 울리고, 220ppm에서는 가스 제거 장치가 작동하고 연료 시스템이 정지되어 구역 내 가스누출 및 가스 농도를 제한할 수 있다.

### · 벙커링 시

벙커링 스테이션 주위의 위험 구역에 사람의 접근을 통제하고, 매니폴드 주위의 가스 탐지기가 암모니아 농도 25ppm에서 경보를 울리고, 220ppm에서는 가스 제거 장치가 작동하고 벙커링 작업이 중지되어 누출 암모니아 가스를 제어할 수 있다.

### · 연료관의 퍼징 시

대기로 누출되는 암모니아 연료는 암모니아 처리 장치를 통해 농도 220ppm으로 저감하여 방출하여야 한다.

상기와 같이 통상적인 작동 상태에서 발생하는 누출 가스는 노출 허용 농도를 만족시키는 설비를 구현하는 것이 가능함을 산업계에서 확인하였다. 다만, 탱크 주위의 화재 또는 충돌로 인한 탱크의 압력 도출 밸브가 개방되는 경우에는 대량 누출이 발생하며, 이에 대해서는 탱크를 충돌로부터 보호하고 탱크 주위에 화재가 발생하지 않도록 하는 안전 조치를 강화함으로써, 비상 상황의 발생 가능성을 제거하고 또한 만일의 비상 상황에 대비해 실현 가능한 가스 저감 장치 설치와 함께 실효성 있는 비상 대응 계획을 수립하여야 한다.

모든 가스 누출원에 대해서는 독성 구역을 설정하여 안전 구역을 독성 구역과 멀리 떨어져 배치하거나 격리함으로써 안전 구역으로의 암모니아 가스 유입을 차단하여야 한다. 암모니아 독성 구역은 25ppm을 경계로 정의되어야 한다.

이외에도 독성에 대한 많은 안전 사항이 구체적으로 고려되어야 하지만, 상기 대책을 통해 기본 안전 개념인 '위험 수준 농도의 암모니아 가스로부터 선원의 보호'를 실현할 수 있다고 확신한다.



## 안전 규정의 개발

지금까지의 연료의 안전 규정이 인화성만을 다루어 왔다면, 암모니아 연료는 독성도 다루어야 하기 때문에, 독성이라는 새로운 위험 특성에 대한 목표 안전 수준이 합의되어야 하고 합의된 안전 수준에 부합하는 노출 허용 농도를 정해야 한다. 이어서, 그 안전 수준을 만족하기 위해 선박에 요구되는 기능을 정의하고 그 기능을 구현하기 위한 세부 요건을 개발하여야 한다.

IMO에서는 지난 CCC8차부터 암모니아 연료 규정을 개발하기 시작하였으며, 2024년 개발 완료 및 2025년 잠정 지침의 발효를 목표로 작업에 박차를 가하고 있다. 개발 과정에서 암모니아의 독성에 대한 안전 확보에 중점을 두고 있으며, 여러 회원국 및 다양한 분야의 산업계에서 위험에 대한 이슈를 제기하고 안전성 확보에 대한 의견을 나누고 있다. 또한 암모니아 가스의 처리 과정에서 발생하는 암모니아 빌지의 해양 배출 기준은 MEPC와 협력하여 개발하기로 하였다.

다만, IGF Code로서 '암모니아 연료 규정' 개발을 먼저 진행 중이며, IGC Code의 '암모니아 화물의 연료 사용에 대한 규정' 개발의 경우 IGF 암모니아 연료 규정 개발 이후에 이를 기반으로 IGC Code를 개정하는 것으로 진행 예상된다. LNG 연료와 LPG 연료에서 그러하였듯이 아마 암모니아 연료의 첫 적용 선박은 암모니아 운반선이 될 것이다. 따라서 IGF Code의 '암모니아 연료 규정' 개발과 더불어 IGC Code의 '화물의 연료 사용에 대한 규정' 개발이 시급히 진행되어야 할 것이다.

안전 규정은 실효성과 실현성이 확보되어야 한다. 즉 요구되는 안전 조치가 위험성을 제거하는 데 효과적이어야 함과 동시에 안전 조치를 실현하는 것이 가능하여야 한다. 이를 위해서는 규정의 개발 과정에서 암모니아 전문가, 선박 운전자, 선박 건조자, 안전 전문가 등 암모니아 연료와 관련된 다양한 분야의 의견을 수렴하는 것이 중요하다. KR은 분야별 입장에 따른 암모니아 연료에 대한 다양한 의견을 듣고 있으며, 실효성과 실현성이 확보되는 암모니아 규칙을 개발하고 있다.

## 암모니아 추진선 시대가 머지않았다!

IMO의 암모니아 연료 선박 잠정 지침 발효 및 암모니아 엔진 개발이 2025년까지 완료될 것으로 예상된다. 암모니아 연료를 안전하게 사용하기 위해서는 안전 규정과 기술의 개발은 물론, 여기에 추가하여 선원의 교육, 암모니아 설비의 정비 및 검사, 암모니아 설비의 운영 매뉴얼 정립 등 인적 요소 또한 중요하다. 현재 산업계에서는 암모니아 연료 선박의 안전성에 대한 우려가 있지만, 규제 기관과 산업계의 협력을 통해 과거에도 '저인화점 연료'라는 도전에 성공했듯이 '독성 연료의 사용' 또한 그러할 것이다. 즉, 암모니아를 선박 연료로서 안전하게 사용할 수 있다고 확신한다.