

## KORA 프로그램을 활용한 암모니아 벙커링 누출 사고 피해 영향범위에 관한 연구

### A Study on Range of Damage Effects of Ammonia Leakage Accidents Using the KORA Program

제민아\* · 천정민\*\* †

Min-A Je\* and Jeongmin Cheon\*\* †

(Received 12 November 2024, Revision received 19 December 2024, Accepted 20 December 2024)

**초록 :** 암모니아는 선박 온실가스 감축을 위한 대체연료 중 하나로서 검토되고 있으며, 화물컨테이너 운송전문위원회는 암모니아 연료를 사용하는 선박의 임시지침 개발을 완료하였다. 그중 암모니아 독성 기준이 국내 산업계 및 관계 법령에서 사용하던 값과 차이가 있어 이에 대한 검토가 필요하다. 본 연구는 울산항에서 암모니아 벙커링 시 발생할 수 있는 누출 시나리오를 가정하고 Korea off-site risk assessment 프로그램을 활용하여 위험 지역을 분석하였다. 연구 결과, 암모니아는 30초 내의 짧은 누출에도 항만 인근 시설 및 타 선박에 상당한 영향을 미칠 수 있으며 항만 접안 시 벙커링 금지 및 암모니아 벙커링 전용 구역 지정 등의 제도 도입의 필요성을 확인하였다.

**키워드 :** 암모니아 연료추진선박, 벙커링 누출, KORA 분석, 피해영향 범위

**Abstract :** Ammonia is being considered as an alternative maritime fuel for greenhouse gas reduction, with the Cargo Transport Sub-Committee having developed interim guidelines for ammonia-fueled vessels. However, the ammonia exposure limits differ from domestic industry standards, necessitating further review. This study models a potential spill scenario during ammonia bunkering at Ulsan Port, using the Korea Off-Site Risk Assessment program to evaluate risk zones. Findings indicate that a brief 30-second leak could significantly impact nearby port facilities and vessels, highlighting the need for designated bunkering zones and restrictions on bunkering during docking.

**Key Words :** Ammonia-fueled Ship, Bunkering Spill, KORA Analysis, Damage Effects Range

## 1. 서 론

국제사회의 온실가스 감축 목표가 상향됨에 따라 국제해운의 온실가스 감축 목표도 점점 상

향이 되고 있다. 국제해운은 ‘2050 국제해운 탄소 중립’을 목표로 하는 ‘국제해사기구 2023 온실가스 감축전략<sup>1)</sup>이 채택됨에 따라 온실가스 감축은 점점 가속화가 되고 있다.

\*\* † 천정민(<https://orcid.org/0000-0002-8629-231X>) : 책임연구원, 방재시험연구원 친환경에너지실증사업단  
E-mail : [jmcheon@kfpa.or.kr](mailto:jmcheon@kfpa.or.kr), Tel : 055-731-1253

\*제민아(<https://orcid.org/0009-0006-5623-3585>) : 대학원생, 국립부경대학교 기계시스템공학부

\*\* † Jeongmin Cheon(<https://orcid.org/0000-0002-8629-231X>) : Responsible Researcher, Fire Insurers Laboratory of Korea.  
E-mail : [jmcheon@kfpa.or.kr](mailto:jmcheon@kfpa.or.kr), Tel : 055-731-1253

\*Min-A Je(<https://orcid.org/0009-0006-5623-3585>) : Graduate student, Department of Mechanical Systems Engineering, Pukyung National University.

선박에서의 온실가스 감축을 위해 선박 에너지 효율향상을 위한 촉발전기, 선체 저항 감소 등의 기술을 적용해 왔으나 온실가스 감축 목표를 달성하는 것에는 한계가 있다. 따라서 궁극적인 온실가스 감축을 위해서는 선박에 사용되는 연료의 전환이 필요하며 적용가능한 연료로는 암모니아, 수소, 메탄올 등이 검토되고 있다. 선박 대체연료 안전기준 개발은 국제해사기구(IMO) 산하 화물컨테이너 운송 전문위원회(CCC)에서 이루어지고 있으며, 제 10차 화물컨테이너 운송전문위원회에서 암모니아 연료를 사용하는 선박의 임시지침 개발을 완료하였다. 이로 인해 암모니아 연료의 선박 적용이 기존 우선순위로 개발 중인 수소보다 빠른 시일 내에 가능할 것으로 판단된다.

암모니아 임시지침은 조속한 산업계의 적용을 위하여 모든 세부사항을 논의하고 합의하는 것보다 독성, 위험구역의 설정, 배출기준 합의 등 주요한 사항들이 합의되어 규정으로 개발되어졌다. 암모니아 연료 적용 시 가장 우려하는 독성에 대해서는 안전기준을 단계에 따라 25 ppm, 110 ppm, 220 ppm<sup>2)</sup>으로 합의되어 관련된 산업계에서는 기준을 적용하고, 기술개발이 가능해진 것으로 판단된다.

본 연구에서는 선행연구인 임형준 등은 KORA 프로그램을 활용한 암모니아 누출사고 영향범위 결정 기여요인 연구의 환경인자를 반영하여 안전성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시했고,<sup>3)</sup> 조영도 등의 암모니아 연료 선박의 병커링 실증에 관한 연구는 사고 피해 범위를 살펴보기 위하여 KORA의 기본 토대인 ALOHA를 이용하여 분석하였으며,<sup>4)</sup> 김희진은 암모니아 추진 선박 연료 공급 계통의 정량적 위험성 평가에 대한 연구결과를 본 연구에서 활용하였다.<sup>5)</sup> 조락균 등은 상업용 선박의 LNG-암모니아연료 겸용을 위한 연료탱크 설계 최적화 연구<sup>6)</sup>가 진행 중에 있다.

최근 암모니아 연료를 안전하게 사용하기 위한 연구가 각 분야마다 활발하게 이루어지고 있으며, 위험성 관리를 위한 제도 개선의 필요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 암모니아 연료추진선박 및 병커링 선박이 항만 접안 시 발생할 수 있는

사고 시나리오에 대하여 검토하고, 누출 시 암모니아의 영향을 받을 수 있는 범위를 식별하여 국내 법제도 개선의 필요성을 제시하는 연구이다.

## 2. 암모니아의 독성

암모니아는 질소, 수소 화합물로서 낮은 농도에서도 냄새로써 식별이 가능한 무색의 기체이다.<sup>7)</sup> 암모니아는 염기성 기체로 작은 농도에서도 인체에 대한 유해성이 높은 기체로, 약 20 ppm에서도 눈, 폐 및 피부에 손상을 입힐 수 있으며, 5,000 ppm에서는 즉사할 수 있을 정도의 위험한 독성 물질이다.

따라서 암모니아의 독성에 대해서는 국가별 안전기준이 정해져 있으며, 대체적으로 작업장에서의 만성노출에 대한 기준, 급성 노출에 대한 기준으로 나뉘어져 있다. 우리나라에서도 한국산업안전보건공단에서 ‘암모니아에 대한 작업환경측정·분석 기술지침’, 고용노동부의 노출기준에 따라 독성에 대한 위험 기준이 나누어져 있다.

고용노동부에서는 25, 35 ppm(STEL, 단기간노출기준)으로 되어져 있어, 암모니아를 사용하는 플랜트 및 연구실에서는 관련 기준에 따라 운영되고 있다. Table 2와 같이 해외에서 주요 적용되는 기준은 미국산업위생협회(AIHA) 비상대응지침(Emergency Response Planning Guideline)으로 1시

Table 1 Hazard to Human based on ammonia concentration<sup>4)</sup>

Concentration (ppm)	Hazard
5	Unique detectable smell
6~20	Eye irritation and problems to the respiratory
40~200	Headache, nausea, loss of appetite, and irritation of airway, nose, and throat
400	Irritation of throat
700	Eye damage
1,700	Coughing and difficulty of breathing
2,500~4,500	Fatal damage
5,000	Possible death due to respiratory arrest

Table 2 Standard exposure limit(ppm) of ammonia to human<sup>8)</sup>

Guideline	10 min	30 min	1 hour	4 hour	4 hour
ERPG-1	-	-	25	-	
ERPG-2	-	-	150	-	
ERPG-3	-	-	750	-	
AEGL-1	30	30	30	30	30
AEGL-2	220	220	160	110	110
AEGL-3	2,700	1,600	750	550	390

간 동안 화학물질에 노출 가능한 최고 농도를 정의하고 있으며, 미국환경보호청(USEPA) 급성 노출지침 수준(Acute Exposure Guideline Levels)의 기준이 적용되고 있다. 급성노출지침 1은 자극은 있으나 회복이 가능한 수준이며, 급성노출지침 2는 비가역적이거나 오랫동안 지속될 수 있는 건강유해수준, 급성노출지침 3은 생명에 위협을 주는 수준을 제시하고 있다. Table 1은 암모니아 농도별 인체에 미치는 위험수준을 나타내고, Table 2는 암모니아에 대한 권장 노출 한계를 나타낸다.

암모니아 연료의 독성은 미량이 누출되더라도 승조원에게는 큰 영향을 미칠 수 있으며, 이는 육상의 누출 사고에서도 많은 사례가 있다. 따라서 선박에서의 독성안전 기준은 육상에서 경험한 독성을 기반으로 설정되었다.

### 3. 암모니아 연료추진선박 지침

제 10차 화물컨테이너운송전문위원회에서 개발이 완료된 암모니아 연료추진선박 지침은 앞에서 언급된 독성들에 기반하여 선박에서의 독성에 대한 기준을 수립하였다. 선박에서의 경험, 사례 등이 부족하여 완벽한 지침을 만들지는 못하였으나 선박에 적용할 수 있는 독성기준을 수립하였다는 데 큰 의의가 있다고 판단된다.

암모니아에 대한 독성 농도기준에 대하여 3가지 주요한 기준을 수립하였다.

독성구역을 설정하는 농도는 220 ppm으로 설정되었으며, 액화가스산적 운송 코드의 안전거리를

기준으로 독성경계구역을 설정하고, 가스분산해석을 통하여 안전구역에 대한 검증을 수행하여야 한다.<sup>2)</sup>

암모니아의 승조원 노출에 대해서는 25 ppm, 110 ppm, 220 ppm으로 합의되어 농도기준에 따라 구역 표시, 경고 및 안전시스템이 적용되어야 한다.<sup>2)</sup> 암모니아의 대기방출에 대해서는 정상적인 상황에서 독성 저감장치를 활용하여 110 ppm 이하로 배출해야 하며, 긴급상황에서만 저감장치를 사용하지 않고 배출할 수 있도록 하였다.<sup>2)</sup>

암모니아 누출에 대비하여 선박 내 승조원이 안전하게 대피할 수 있는 안전구역이 의무화되었으며, 독립적인 산소 공급이 가능할 수 있도록 구정화되었다.<sup>2)</sup>

독성에 대한 주요한 사항들은 위와 같이 정리해 볼 수 있다. 따라서 암모니아 연료추진선박 지침에서 정의한 독성을 바탕으로 국내 항만에 접안 시 발생될 수 있는 누출 시나리오를 구성해 보고, 국내 대기환경보전법 등과의 연관성 등에 대하여 검토를 수행의 필요성이 식별되었다.

## 4. 암모니아 벙커링 시나리오의 설정

### 4.1 벙커링 대상 지역

국내에서는 암모니아 관련한 연구가 활발하게 진행 중이며, 울산시에서는 ‘암모니아 벙커링 규제자유특구’ 사업이 진행 중으로 중대형 암모니아 추진선에 연료를 공급하는 벙커링 기술 실증이 예정되어<sup>9)</sup> 있다. 따라서 울산항을 벙커링 대상 항만으로 선정하였다.

울산항은 울산 본항, 온산항, 미포항, 울산신항<sup>10)</sup>으로 이루어져 있으며, 원유, 석유화학 제품 등을 처리기준 국내 1위의 항만이다. 울산 본항의 경우, 수심이 7~27 m로<sup>10)</sup> 대형 선박이 접안이 가능하며, 화학제품 생산 플랜트도 인근에 위치하고 있어 암모니아 벙커링의 가능성이 울산항 내에서 가장 높다. 또한 LNG 벙커링을 수요가 2035년 기준 최대 1,200천 톤 예상되는 항으로, 대체연료의 수요가 높은 항만 중의 하나로서 암모니아 연료추진선의 벙커링이 가장 많이 발생될 것으로 예상된다.<sup>11)</sup>

## 4.2 암모니아 연료추진 선박의 선정

울산 본항 중 인구밀집지역에 가장 가까운 접안시설은 SK 3번 부두로, 50,000 M/T, 수심 13 m, 전장 230 m까지 접안 가능하다. 따라서 약 5만 톤급 제품유 운반선이 접안 가능하다. 따라서 암모니아 연료추진선박은 5만 톤급 제품유 운반선으로 가정하고, 선박의 제원을 추정하였다. 가정된 선박의 제원은 Table 3에 나타내었다.

본 선박의 연료탱크는 선박용 중유 기준으로 암모니아 연료의 탱크 용량으로 환산이 필요하다. 기존의 제품유 운반선의 탱크 용량인 1,531.906 m<sup>3</sup>에 비중 0.99, 총발열량 41.6 MJ/kg을 적용할 경우, 63,090,016 MJ의 에너지로 환산된다. 암모니아 연료의 발열량인 18.6 MJ/kg, 비중 0.88, 및 탱크 충전율 85%, 390 g/kWh<sup>13)</sup>의 연료소비를 적용할 경우, 액화 암모니아의 용량은 3,854,473 m<sup>3</sup>이며, 탱크의 용량은 4,534.678 m<sup>3</sup>로 환산된다.

Table 3 Ship's particulars of MR Tanker<sup>12)</sup>

Guideline	Specifics	
Dimensions	L.O.A	183.0 m
	Breadth M.L.D	32.2 m
	Depth M.L.D	19.1 m
Main Engine	Maker / Model	MDT / 6S50
	MCR	10,320 kW
	SGC	135.3 g/kWh
Tank Capacity	Fuel Oil Tank	1,531.906 m <sup>3</sup>
	Gas Oil Tank	58.362 m <sup>3</sup>

## 4.3 암모니아 병커링 방식 및 선박의 선정

Table 4 Bunkering ship condition<sup>14)</sup>

Parameter	Value
Ammonia Liquid state	-33.4℃, atmospheric pressure
Hose Diameter and Length	8" pipeline(Flange), 40 m long
Flow Rate	1,500 m <sup>3</sup> /h
Bunkering ship Tank Capacity	20,000 m <sup>3</sup>
Fuelled ship Tank Capacity	4,534.678 m <sup>3</sup>

대상 항만인 SK 3번 부두는 돌핀 형태의 부두로서 트럭을 이용한 병커링은 어려우며 선박을 통한 병커링이 가능하다. 현재까지 암모니아 병커링 전용 선박의 건조사례는 전무하여, 선행연구에서 사용한 암모니아 병커링 선박의 제원을 활용하여 병커링 상태를 가정하였다. Table 4는 병커링 가정 상태를 나타낸다.

## 4.4 누설 시나리오의 선정

암모니아 연료추진선박 및 병커링 선박은 액체 상태로 암모니아가 저장되어져 있으며, 탱크는 저압 냉동식 탱크로서, 액화온도인 -33.6℃, 0.1 MPa로<sup>14)</sup> 설정하였다.

병커링 선박과 암모니아 연료추진선박을 연결하는 8 inch 호스에서 1,500 m<sup>3</sup>/h 수준으로 연료를 이송을 설정하였다. 누설에 대한 가정은 미국 석유화학협회의 위험기반검사 기준 API 581에 따라 파공의 크기는 8 inch로 설정하였다. 아래 Table 5는 API 581을 나타낸다.

누출 시간은 비상정지 시스템의 작동시간인 30 초<sup>16)</sup> 및 싱가포르 항만<sup>15)</sup>에서의 권고하는 1분, 한국산업안전공단사의 최악 및 대안의 사고 시나리오 선정에 관한 기술지침 중 독성가스 10분<sup>17)</sup> 3가지 케이스를 선정하였다.

Table 5 Method of Leak point at API581<sup>15)</sup>

Leak	Range	Leak hole
Small	0 ~ 1/4 in	1/4 in
Middle	1/4 ~ 2 in	1 in
Large	2 ~ 6 in	4 in
Rupture	- 6 in	Hole Size (Max 16 in)

## 4.5 위험지역 설정을 위한 예측 모델

우리나라는 화학물질을 사용하는 사업장을 대상으로 화학사고 예방관리계획서를 관계 법령에 따라 제출하여야 한다. 환경부 산하 화학물질안전원에서 개발한 프로그램 KORA는 미국의 환경보호청(EPA)에서 개발한 화학물질 위험평가 소프트웨어 ALOHA를 기반으로 만들어졌으며, 화학사고 예방관리계획서 작성을 지원하는 프로그램으로

Table 6 Input data for using KORA<sup>19)</sup>

Analysis Factor	Input data
Submission and description criteria	Facility, Factory
	Judgment of criteria
Analysis of Accident effect	Position
	Weather Condition
	Scenario
	Information of Surrounding environment
Risk Analysis	Management of Scenario
	Risk Analysis
Basic Information	General information
	Harmful Chemical Substance
Processing and Facility information	General of Facility
	Fixed Risk monitoring system
Environment Assessment	Result of Judgment

피해영향범위, 위험성 분석 등을 국내 지도, 인구, 기상청 데이터와 연계하여 분석할 수 있다.<sup>18)</sup>

Table 6은 KORA에 입력한 데이터를 나타내었다. 이를 통하여 화학물질 취급시설 사고에 따른 피해영향범위를 판단하고, 주변 시설, 인구 등을 종합적으로 고려하여 시설의 승인여부를 결정한다.

KORA는 화학플랜트의 사고를 가정하고, 운전 조건, 사고위치, 기상 정보 등을 활용하여 피해에 즉범위를 산정, 인근 사회에 미치는 영향을 종합적으로 판단<sup>19)</sup>하는 프로그램으로 취급시설에서 발생될 수 있는 화재, 폭발 독성화산 등에 대하여 판단하며, 최종적으로 사고시나리오에 대한 위험도를 산정한다.

날씨의 인자는 2023년 1월부터 12월까지 울산의 평균 풍속, 기온, 풍향 등을 중관기상관측자료(ASOS, Automated Synoptic Observing System)를 기반으로 산출하였다.<sup>20)</sup>

#### 4.6 독성 위험 지역 산출 결과

##### 4.6.1 국제 가스 탱커 터미널 운영자 협회 규정(30초)

국제 가스 탱커 터미널 운영자 협회(SIGTTO,

The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators)에서는 선박 및 항만의 사고 발생 시 긴급 차단장치는 30초 이내에 작동하도록 권고하고 있다. 따라서 30초를 기준으로 220 ppm의 피해반경은 약 309.5 m, 110 ppm의 피해반경은 469.1 m, 25 ppm 기준 피해반경은 1231.6 m이다.

Fig. 1은 누출 시간 30초, 220 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다. Fig. 2는 누출 시간 30초, 110 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다. Fig. 3은 누출 시간 30초, 25 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다.

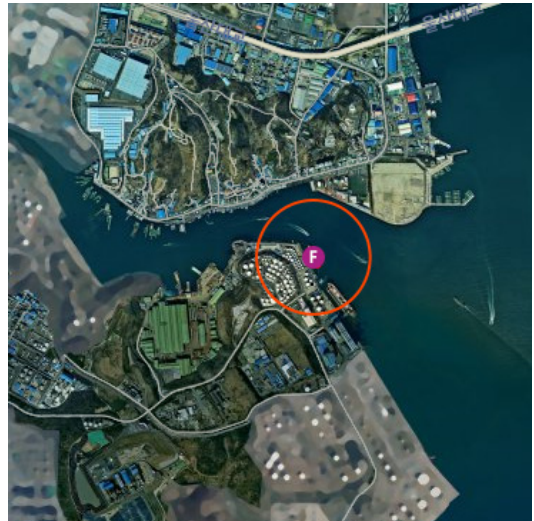


Fig. 1 Leak time 30 sec at 220 ppm

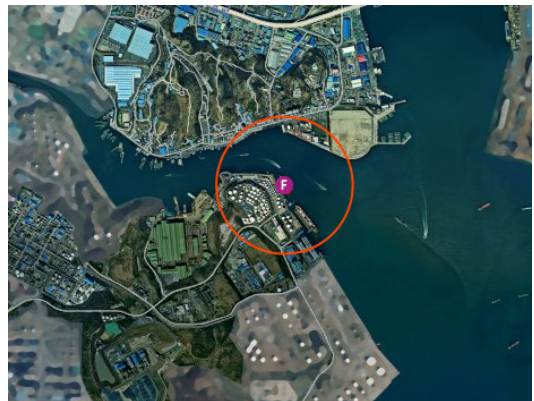


Fig. 2 Leak time 30 sec at 110 ppm



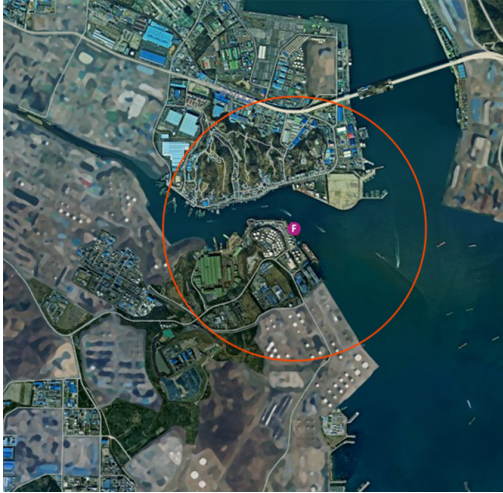


Fig. 3 Leak time 30 sec at 25 ppm

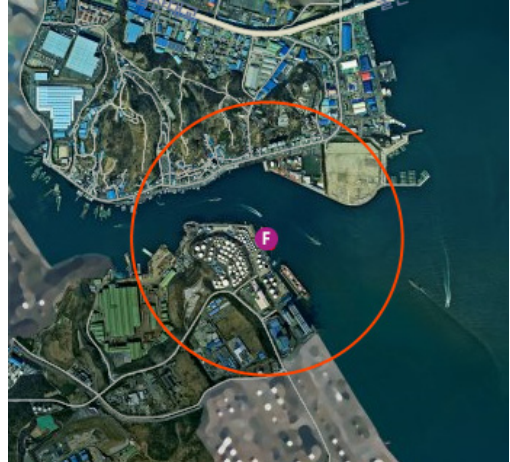


Fig. 5 Leak time 1 min at 110 ppm

#### 4.6.2 싱가포르 항만 규정(1분)

싱가포르 항만에서는 1분 이내에 비상차단을 통하여 누출을 멈추도록 하고 있다. 따라서 1분을 기준으로 220 ppm의 피해반경은 약 469.1 m, 110 ppm의 피해반경은 726.1 m, 25 ppm 기준 피해 반경은 2024.4 m이다.

Fig. 4는 누출 시간 1분, 220 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다. Fig. 5는 누출 시간 1분, 110 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다. Fig. 6은 누출 시간 1분, 25 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다.

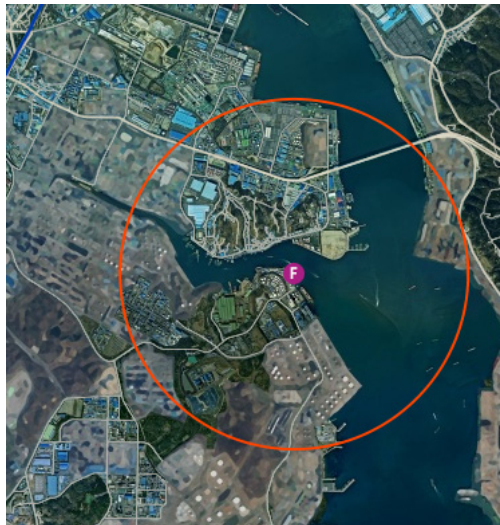


Fig. 6 Leak time 1 min at 25 ppm



Fig. 4 Leak time 1 min at 220 ppm

#### 4.6.3 한국산업안전공단 기술지침(10분)

싱가포르 항만에서는 1분 이내에 비상차단을 통하여 누출을 멈추도록 하고 있다. 따라서 1분을 기준으로 220 ppm의 피해반경은 약 2227.4 m, 110 ppm의 피해반경은 3824.1 m, 25 ppm 기준 피해 반경은 10,000 m이다.

Fig. 7은 누출 시간 10분, 220 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다. Fig. 8은 누출 시간 10분, 110 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다. Fig. 9는 누출 시간 1분, 25 ppm 조건에서의 피해반경을 나타낸다.

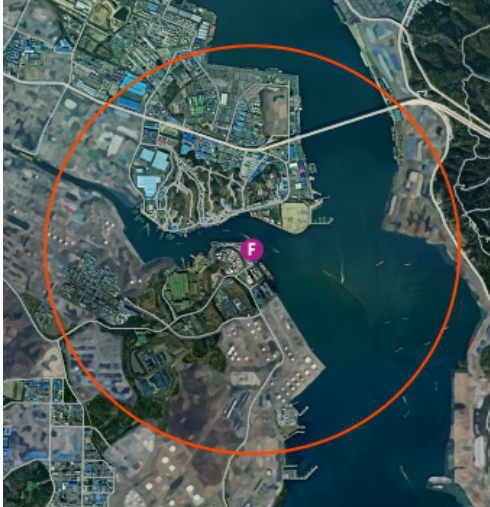


Fig. 7 Leak time 10 min at 220 ppm

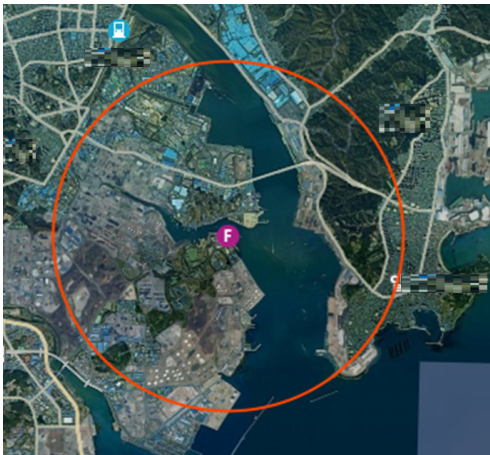


Fig. 8 Leak time 10 min at 110 ppm

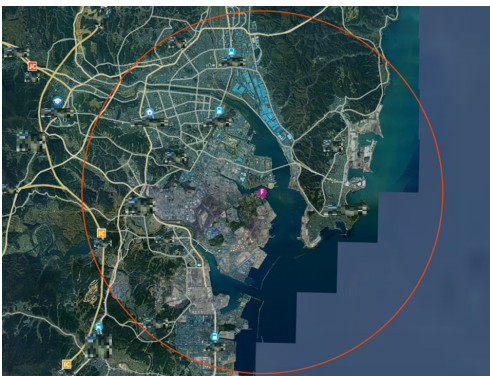


Fig. 9 Leak time 10 min at 25 ppm

## 5. 결 론

국내 화학사고는 2012년까지 20건 미만이었으나 2013년부터 80건 이상으로 증가되었으며, 수은, 염화수소, 암모니아 순으로 사고의 빈도가 높은 것으로 나타났다.<sup>21)</sup> 해상에서의 화학사고는 연간 2.6건으로 발생빈도는 낮으나, 선박에서의 발생한 화학사고의 국가재난으로 이어질 정도로 피해 규모는 광범위하다.<sup>21)</sup>

특히 울산항은 국내 암모니아 사용량의 60%를 처리하고 있어 사고가 발생할 가능성이 가장 높은 지역이며, 26년 인도를 목표로 세계 최초 암모니아 연료 추진 선박이 건조 중에 있기 때문에 누출에 대한 영향 평가 및 안전에 대한 검토가 필요하다.<sup>23)</sup>

본 연구에서는 울산항 암모니아 벙커링 시 발생될 수 있는 시나리오 3가지를 선정하여 위험구역에 대한 평가를 수행하였다. 암모니아 벙커링 시 약 30초의 누설만으로도 주변의 플랜트 및 타 선박에도 영향을 미칠 수 있다는 사실이 확인되었다. 10분간의 누설이 지속된다면 약 2.2 km 반경에 영향을 줄 수 있으며, SK 3번 부두의 경우, 인근 다중이용시설, 학교, 영유아시설에도 심각한 영향을 미칠 수 있다.

항만 접안 중 암모니아 벙커링 누설 사고가 발생한다면 인근 선박 및 주변 사회에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 벙커링을 위한 구역을 별도로 지정해야 할 필요성이 있다.

또한 10초의 누설만으로도 후각으로 암모니아를 식별할 수 있는 농도인 25 ppm는 사고발생지로부터 약 1.2 km 이내의 지역사회에 영향을 미치게 된다. 10분의 누설의 경우, 약 10 km 이상의 지역에서 암모니아의 악취를 식별할 수 있기 때문에 관련 암모니아 벙커링 중 누설의 피해를 최소화하기 위한 안전규정 및 대응체계의 개발이 시급하다.

현재 육상 암모니아 플랜트에 적용되는 법령인 화학물질안전관리법, 고압가스안전관리법 등을 선박 벙커링에 적용하는 것에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 따라서 암모니아 벙커링 안전을 확

보하기 위한 법령제정 및 제도 개선이 필요하다.

이를 위해서는 항만의 특성을 반영한 누출 억제용 방호벽 및 방제시설에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료되며, 해당 연구결과는 지자체, 해양경찰, 소방청 및 항만청등이 유기적으로 암모니아 병커링 누설 대응 계획 및 관계 법제도를 수립하는데 큰 기여를 할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 논문은 2024년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구논문임. (20220633, 친환경 선박 실용화를 위한 법제도개선 및 IMO 의제개발)

## Author contributions

J. Cheon; Conceptualization, Formal analysis, Project administration, Supervision. M. A. Je; Visualization, Writing-original draft, Writing-review & editing.

## References

- IMO, 2023, “2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships”, Resolution MEPC.377(80).
- IMO, 2024, “Interim Guidelines for Ships Using Ammonia as Fuel”, CCC 10, WP.6, Annex.1.
- H. Lim, S. Kwak, J. Jung, T. Ryu, W. Choi, J. Lee, J. Lee, Y. Lee, J. Kim, J. Yoon and J. Ryu, 2018, “A Study on the Factors Affecting the Influence Ranges of Ammonia Leakage by Using KORA Program”, Journal of the Korean Institute of Gas, 22(3), 38-44. (<https://doi.org/10.7842/kigas.2018.22.3.38>)
- Y. D. Jo, S. A. Shin, S. M. Lee, C. M. Jun, S. S. Lee and J. J. Kim, 2024, “A Study on the Bunkering of Ammonia Fueled Ships”, Proceedings of the Korean Gas Society Conference, 173-173.
- H. J. Kim, 2022, “A Study on Human Damage Minimization Through Quantitative Risk Assessment of Ammonia-Powered Ship Fuel Supply System”, Ph.D. Dissertation, Graduate School of Pusan National University, Busan, Korea.
- Y. Lee, J. K. Park, J. Choi, B. Lee, J. Lim and N. K. Cho, 2022, “Design Optimization of Ammonia-LNG Combined Fuel Tank for a Commercial Vessel”, Journal of Power System Engineering, 26(6), 21-30. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2022.26.6.021>)
- C. S. Kim, 2023, “Analysis of Safety Requirements for Ships Using Ammonia as Fuel and Study on the International Guideline”, Master’s Thesis, Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea.
- IMO, 2020, “Forecasting the Alternative Marine Fuel: Ammonia”, CCC 7/INF.8.
- Naver News, 2024, “Discussion on the Future of Ammonia-Fueled Ships”, Naver News, October 15. (<https://n.news.naver.com/mnews/article/056/0011812169>)
- K. D. Kim, 2017, “A Study of LNG Bunkering Demands on Ulsan Port for Demonstration of Floating LNG Bunkering Terminal”, Journal of the Korean Institute of Gas, 21(1), 65-71. (<https://doi.org/10.7842/kigas.2017.21.1.65>)
- S. T. Kim, 2015, “A Study on Economic Efficiency of MR Tanker Using Liquefied Natural Gas Fuelled Propulsion System”, Master’s Thesis, Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan, Korea.
- Managing Emissions from Ammonia-Fueled Vessel, 2024, “An Overview of Regulatory Drivers, Emission Type, Sources, Scenarios, Reduction Technologies, and Solution”, ([https://cms.zerocarbonsipping.com/media/uploads/documents/Ammonia-emissions-reduction-position-paper\\_v4.pdf](https://cms.zerocarbonsipping.com/media/uploads/documents/Ammonia-emissions-reduction-position-paper_v4.pdf))



13. S. T. Lim, 2022, "Analysis of Fuel Consumption for Application of Ammonia Propulsion Model in Ammonia Transport Ships", *Journal of Power System Engineering*, 26(1), 83-91.  
(<https://doi.org/10.9726/kspse.2022.26.1.083>)
14. Y. Mengyao, 2023, "Ammonia as a Marine Fuel - Consequences from Accidental Release and Mitigation Measures", 2023 MPA Ammonia Fuel Workshop.
15. D. B. Kim, 2023, "A Study on the Prediction of Chemical Accident Damage at Hazardous Chemicals Handling Workplaces in Busan Metropolitan City", Master's Thesis, Graduate School of Kyungsung University, Busan, Korea.
16. KOSHA, "Selection of Worst and Alternative Accident Scenarios Related Technical Guidelines".
17. SIGTTO, "Recommendation for Emergency Shutdown and Related Safety System".
18. I. Shin, J. Cheon and J. Lee, 2023, "A Study on the Hazard Area of Bunkering for Ammonia Fueled Vessel", *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 29(7), 964-970.  
(<https://doi.org/10.7837/kosomes.2023.29.7.964>)
19. T. E. Son and E. J. Lee, 2022, "Dispersion Model of Initial Consequence Analysis for Instantaneous Chemical Release", *Journal of Korean Society of Safety*, 37(2), 1-9.  
(<https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2022.37.2.1>)
20. Korea Meteorological Administration, 2024, "Meteorological Data: Ground ASOS Real-Time Data", Korea Meteorological Administration Website, October 12.  
(<https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltnList.do?pgmNo=36>)
21. National Fire Agency, 2024, "Press Release: Updates on Hazard Management", National Fire Agency Website, November 26.  
([https://www.nfa.go.kr/nfa/news/pressrelease/press/?boardId=bbs\\_000000000000010&mode=view&cntId=1731](https://www.nfa.go.kr/nfa/news/pressrelease/press/?boardId=bbs_000000000000010&mode=view&cntId=1731))
22. Cargo Times, 2024, "Ammonia-Fueled Ships and Future Safety Guidelines", Cargo Times Online, November 26.  
(<https://www.cargotimes.net/news/articleView.html?idxno=77377>)
23. Haesa News, 2024, "Progress and Challenges in Ammonia Bunkering Technology", Haesa News Online, November 27.  
(<http://www.haesanews.com/news/articleView.html?idxno=128549>)