



# 방사성폐기물 해상운송과 관련된 교육과정 개발의 필요성에 대한 연구

김진권 · 홍정혁\* · 김원욱\* · 김종관\* · 이창희†  
(한국해양대학교 · \*한국해양수산연수원)

## A Study on the necessity of development for the Curriculum related to Marine Transportation of Radioactive waste

Jin-kwon KIM · Jeong-Hyuk HONG\* · Won-Wook KIM\* · Jong-Kwan KIM\* · Chang-Hee LEE†  
(Korea Maritime and Ocean University · \*Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology)

### Abstract

Since the export of Korean-type APR 1400 in 2009 to the UAE, Korea has been achieved management performance, quality inspections, training, nuclear fuel exports for the nuclear power plant. Despite this apparent growth, there are lacking of the research on the marine transportation of radioactive waste. And the terrible accident at the Japan nuclear power plant in 2011 has caused another reconsideration such as emergency response training and plan, reinforcement of safety regulation. According to the Korean government aims to rebuild the appropriate regulation, training, education that is necessary in order to ensure the safety of marine transportation of radioactive waste. Therefore, this study analyzed the various problems identified by the team of experts for the radioactive waste and marine field, the investigation of relevant legal basis, the need for emergency response training for the person in charge of radioactive waste and suggested the simulation-based interactive curriculum during the process of safety verification related to the marine transport of mid- and low-level radioactive waste generated at the Yeon-ggwang nuclear power(Hanbit) plant in 2015.

**Key words** : Simulation-based interactive curriculum, Marine transportation, Radioactive waste, Emergency response, Nuclear power plant

## I. 서론

### 1. 연구 배경과 목적

자원빈국인 우리나라는 이승만 대통령 재임 시절 유엔군 사령관을 통해 원자력에 대한 정보를 처음으로 접한 이후, 1956년 한미원자력협정을 통하여 ‘원자력 발전’에 대한 개념을 처음으로 도입하게 되었다. 이후 본격적인 개발은 1970년 9

월 경상남도 양산군 장안읍 고리에 최초의 원자력발전소인 600MW급 고리원자력발전소가 건설되면서 시작되었다. 그리고 이후 우리나라는 고리 2호기, 월성 1호기, 고리 3, 4호기, 영광 1,2호기 등을 건설하면서 국제적으로 21번째 원자력발전소를 운영하는 국가의 대열에 동참하게 되었다. 우리나라는 2011년 3월 동일본대지진으로 인한 후쿠시마(福島) 원자력발전소 사고가 인간 및

† Corresponding author: 051-620-5828, thethem8618@hanmail.net

주변 환경에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 육상 중심의 많은 논의와 연구가 진행되었음에도 불구하고, 여전히 중·저준위 방사성폐기물의 해상 운송 및 관련 종사자에 대한 체계적인 연구가 부족한 것이 현실이다. 따라서 이 연구는 ‘2015년 방사성폐기물의 해경 호송관련 기본연구 보고서’를 이행하면서 육·해상 전문가팀에 의하여 식별된 각종 문제점을 기반으로 관련 법적 근거의 조사, 방사성폐기물 해상운송 종사자들에 대한 비상대응교육의 필요성에 대하여 시뮬레이션 기반의 쌍방향 교육과정(안)을 개발하여 제시하고자 한다.

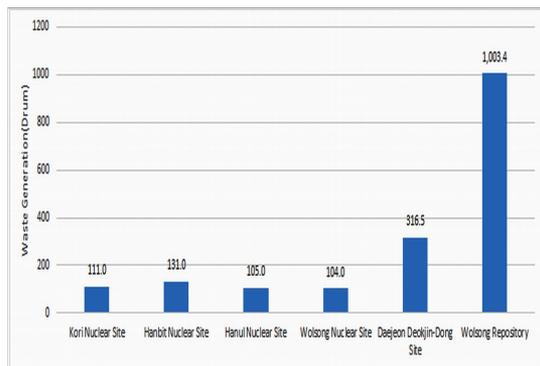
## 2. 선행 연구 고찰

방사성폐기물과 관련된 연구는 2003년에 창립된 한국방사성폐기물학회가 주도하여 방사성 안전관리, 국제적인 기술동향 및 적용 등에 대한 연구를 진행하고 있다. 특히 방사성폐기물의 해상운송에 관련하여 대표적인 선행연구는 Kim, Jin, Lee(2017)의 “선박입출항법상 방사성폐기물의 해상운송에 관한 입법론적 연구”, Lim(2010)의 “중·저준위 방사성폐기물 운반선박 방사선 방호 계획”, Ryuk, Kim, Lee(2009)의 “RADTRAN을 활용한 중·저준위 방사성폐기물 해상운송 선박의 충돌에 따른 예비 위험도 평가”, Kim, Jeong, Kim(2008)의 “중·저준위 방사성폐기물 해상운반 시스템”, Lee(2007)의 “방사성폐기물 해상운송 경로별 위험도 평가”가 있다. 선행연구들은 방사성폐기물의 해상운송에 따른 선박입출법상의 안정성 확보, 해상운송 중 제반 위험성, 안전절차, 방호계획을 위주로 개선안을 제안하고 있는 반면에 위험요소를 관리하는 종사자들에 대한 체계적인 교육의 필요성과 교육과정 개발에 대한 연구가 부족한 것이 현실이다.

## Ⅱ. 방사성폐기물의 해상운송 현황과 문제점

### 1. 방사성폐기물의 정의

한국원자력안전위원회(Korea Institute of Nuclear Safety : KINS)의 「2016년 3월 분기 중·저준위 폐기물 발생량 보고서」에 따르면 아래의 [Fig. 1] 과 같이 우리나라는 경수로형(PWR) 17기, 중수로형(PHWR) 4기를 포함하여 총 24기의 원자력 발전소에서 매년 약 1771 드럼의 방사성폐기물이 불가피하게 발생하고 있다. 여기서 의미하는 방사성폐기물은 원자력안전법 제2조 제18호에 의거하여 방사성물질 또는 그에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질(원자력안전법 제35조 제4항에 따라 폐기하기로 결정한 사용후 핵연료를 포함한다)이다.



[Fig. 1] Radioactive waste of mid and level on during the third quarter of 2016

Source: Report radioactive waste generation of mid and low level on during the third quarter of 2016, Korea Institute of Nuclear Safety, 2016.

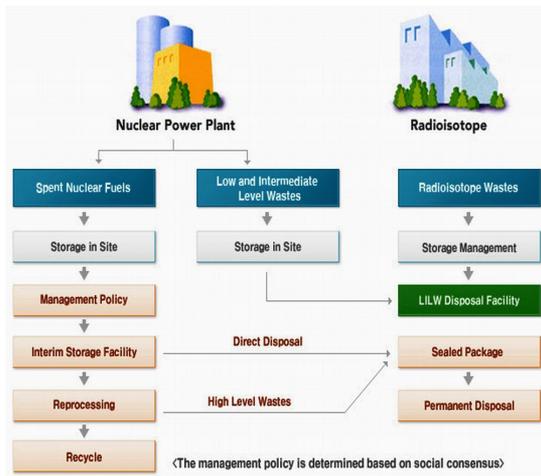
방사성폐기물은 방사능 농도와 열 발생률에 따라 고준위 방사성폐기물과 중·저준위 방사성폐기물로 구분하고 있으며, 이 논문에서 검토하고 있는 대상은 원자력 발전소 및 기관들로부터 발생하는 총량의 90%이상을 차지하고 있는 중·저준위 방사성폐기물이다. 특히 고준위 방사성폐기물에 비하여 상대적으로 세기가 약한 대표적인 중·저준위 방사성폐기물은 원자력발전소, 연구소, 병원, 산업체 등에서 발생한 작업복, 덧신, 주사기, 폐여과기, 폐수지 등 이에 해당한다. 반면 고준위

방사성폐기물은 국내에서는 사용하고 있지 않으나, 사용후핵연료 또는 사용후핵연료의 재처리하는 과정에서 부수적으로 발생하는 방사성폐기물을 의미한다(Anh et al., 2016).

## 2. 방사성폐기물 해상운송 현황

### 1) 방사성폐기물의 해상운송 및 적·양하 방식

방사성폐기물은 안전성을 최우선적으로 고려하여 국제규범에 따라 국가 주도로 관리되고 있으며, 특히 원자력 부담원칙에 따라 방사성폐기물의 관리 비용은 발생자가 부담하고 있다. 일반적으로 원자력발전소에서 발생한 중·저준위 방사성폐기물은 아래의 [Fig. 2] 와 같이 고화처리, 압축처리를 통하여 부피를 줄여 관리하고 있으며, 처리된 방사성폐기물은 원자력발전소 부지내 임시저장시설에 안전하게 저장한 후 경주에 위치하고 있는 중·저준위 방사성폐기물 처분시설로 해상운송되어 해상운송 후 영구적으로 저장 및 처분된다(Lim, 2010).



[Fig. 2] Radioactive Waste Management System

Source : Korea Radioactive Waste Agency

특히 Collins 영어 사전에 따르면, 호송선박에 대한 영어 표현은“(nautical) a ship that attends another for protection, guidance, or restraint, or as

a mark of honour”이며, 대상선박을 보호, 안내, 통제하는 의미를 포함하고 있는 것으로 확인할 수 있다. 이와 같이 전통적으로‘호송(escort)’은 대상물(선박)을 목적지까지 보호하여 운송하는 일, 전쟁 중 군함에 의한 일반선박을 호위하는 일, 죄수, 형사 피고인을 어떤 곳에서 목적지로 감시 하면서 데려가는 일을 의미한다. 호송에 대한 보호, 안내 또는 통제의 범위의 문제는 ①모든 운항의 주도권 및 통제권을 가지고 대상 선박을 보호하며 이끌어 가는 경우, ②호송선박은 대상선박 스스로 운항통제권을 유지하면서 대상선박의 안전한 운항 보조 또는 운항 중 비상상황 시에 지원 및 구조 역할을 수행하는 경우로 구분된다. 전술한 경우의 가장 큰 차이점은 책임관계의 유무에 있으며 이 연구에서는 해경에 의한 호송과 관련하여 후자의 관점에서 진행하고자 한다. 즉, 방사성폐기물 운송선박인 청정누리호의 안전운항을 담보하기 위하여 해경 호송함이 안전한 운항을 보조 또는 만약 비상상황이 발생할 경우 이에 대한 지원 및 구조를 수행하는 것을 말한다.

그리고 적·양하 방식은 국제해사기구가 제정한 선박에 의한 방사성물질의 안전운송에 관한 국제규칙(International Code for the Safe Carriage of Packaged Irradiated Nuclear Fuel, Plutonium and High-Level Radioactive Wastes on board Ships : INF Code)에 의거하여 INF 화물 즉 포장된 방사능 핵연료, 플루토늄 및 고준위 방사능 폐기물로서 IMDG 코드 제7급, 별표(Schedule) 제10, 11, 12 또는 13에 따라 운송되는 화물의 안전을 위하여 일반화물의 적·양하 방식과 아래의 [Fig. 3] 과 같이 차폐된 별도의 전용 컨테이너와 본선 자체에 설치된 크레인을 이용하여 LO-LO(Lift On-Lift Off) 방식을 적용하고 있다. 그리고 한국원자력환경공단 홈페이지상에 공개된 방사성폐기물 운반자료에 따르면 이와 관련된 항만시설은 전용선박의 안전한 입·출항, 선회장 및 약 100톤급 중량물 전용 컨테이너의 선적과 하역작업이 가능하도록 제반 시설이 구비되어 있다.



[Fig. 3] Loading/Unloading of Radioactive Waste container

청정누리호는 컨테이너를 수직으로 포개어 쌓아올리는 특수한 형태의 화물창 구조를 가지고 있으며, 물양장 주변에 별도의 적·양하 장비를 갖출 필요 없이 화물창 및 갑판에 설치된 크레인을 이용하여 차폐된 전용컨테이너를 중형 치수에 맞추어 4개의 가이드레일을 따라 화물창에 수납할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이를 통하여 청정누리호에 승선하는 선원 및 기타 작업자들은 만일에 발생할 수 있는 방사성 누출빈도와 양으로부터 최소화될 수 있고, 적·양하에 따른 시간 절감과 안정성을 확보할 수 있게 되었다(P.A. Booker, et al., 2001).

#### 2) 청정누리호 및 해경 호송함의 주요 제원

국제적으로 방사성폐기물 전용선박은 항해 안전, 방사선 안전 및 환경 영향을 기본 개념으로 INF 코드에서 IBC(Intermediate Bulk Container) Type 1에 따른 특수 설계와 건조방식 적용되었다. 대표적으로 영국의 Pacific Sandpiper호는 이중선체, 방사선 차폐구조로 충돌, 좌초, 조난 등 해난사고에 대하여 안전성을 확보되도록 설계되어 있고, 방사선 감시 및 측정설비, 화재방지 및 소화설비 등 각종 안전설비, 위성통신과 자동항법장치, 화재사고 방지설비 설치(화물창 냉각설비, 소화전 등) 등이 설치되어 운항 안정성을 확보하고 있다(Gavin J. Cartr, 2004).

국내의 경우 한국원자력환경공단은 (주)한진으로부터 '청정누리호'를 선체용선하여 승무원 20명과

방사능 안전관리자 2명을 포함하여 총 22명이 승선시켜서 운항하고 있다. 아래의 [Fig. 4]와 같이 청정누리호의 상세 제원은 최대 속도 12노트(시속 22.224km), 길이 78.6m, 폭 15.8m, 총톤수 2600톤이다. 특히 동 선박은 INF 코드에 의거하여 태풍과 해일 등 재난이 발생해도 방사성 물질이 누출되지 않도록 레이더, 이중선체, 이중엔진, 3중 차폐구조, 방사선 안전설비, 각종 소화설비, 위성통신, 기상정보 장치, 36시간 비상전원 공급장치 등 안전시스템을 갖추고 있다.

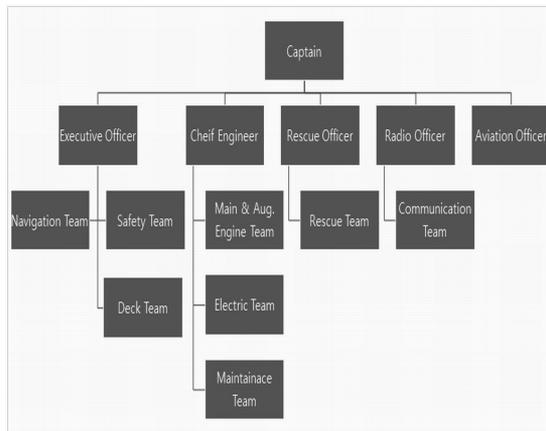


[Fig. 4] Hanjin Cheongjeong Nuri

그리고 국내에서 운용 중인 해경 함정은 다음과 같이 구분된다. ①대형함인 삼봉급(5,000톤), 태평양급(3,000톤), 제민급(1,500톤), 한강급(1,000톤)과 ②중형함인 태극급(500톤), 해우리급(300톤, 250톤), ③소형정인 해누리급(100톤), P-정(50톤이 주력, 30톤) 등이 있다. 그중에서 방사성폐기물의 해상운송에 투입되는 청정누리호의 안전한 호송 및 구난업무를 위해서는 헬리콥터가 탑재된 태평양급 이상의 함정이 동원되어야 함에 따라 이 연구에서는 태평양급 함정의 제원을 중심으로 분석하고자 한다.

호송함의 경우 3,000톤급 중 제일 먼저 건조된 3001함은 1988년 2월 24일 경북 포항 동방 1마일 해상(수심 96m)에서 침몰한 유조선 경신호 구조에 대형 함정에 대한 필요성이 제기됨에 따라 1994년에 취역했다. 3001함은 해저 500~1,000m까지 탐색할 수 있는 음파탐지기와 무인원격조종카

메라, 150m까지 분사 가능한 소화장비, 시간당 유출유 15톤을 회수할 수 있는 해양오염방제장비, 25만톤급 선박을 예인할수 있는 예인장비, 220~300톤을 인양하고 이초작업을 지원할 수 있는 장비를 갖춘 다목적 구난함으로서 더불어 해난사고시 신속하게 인명을 구조하기 위한 헬리콥터 1대를 함미에 탑재할 수 있다. 일반적인 3,000톤급 해경함정의 제원은 길이 112.7m, 폭 14.2m, 흘수 6.9m, 최대속력 29 kts, 최대항해거리 4,000 mile, 승조원 구성은 아래의 [Fig. 5]와 같다.



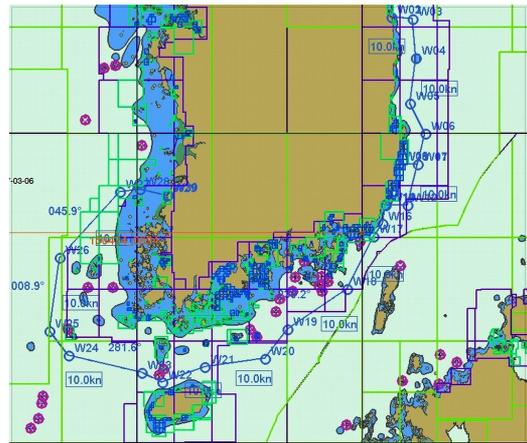
[Fig. 5] Crew Composition on Convoy ship

### 3. 주요 호송 항로의 개요 및 제반 문제점

#### 1) 주요 호송 항로

국내 원자력발전소에서 발생한 방사성폐기물은 특수 제작된 철허드럼에 압축 밀봉된 상태로 임시저장고에 저장되다가 전용 크레인을 이용하여 청정누리호 선적되어 그림 [Fig. 6]과 같이 울진(한울)↔월성, 고리↔월성, 영광(한빛)↔월성 구간을 1년에 9차례로(1회 : 1,000드럼) 연간 9,000드럼의 방사성폐기물을 경주시 양북면 봉길리에 지어진 중·저준위방사성폐기물 처분시설(경주 방사성폐기물처분장)으로 반입되고 있다. 특히 해상, 기상 조건에 조금의 문제가 있을 경우 청정누리호는 자체적인 절차서에 따라 선박의 입출항을

통제하고 있으며, 아쉽게도 항만당국에서는 이와 관련된 별도의 상세기준이 부재한 실정이다.



[Fig. 6] Sailing Route

#### 2) 주요 문제점

첫째, 청정누리호의 입출항과 직접적인 관계가 있는 물양장 주변 해역의 통항량 및 해양사고에 대한 체계적인 데이터베이스가 마련되어 있지 않아 통항 안전에 많은 위험이 상존하고 있다. 대표적으로 월성원전 물양장의 나아리 부근 해역에서 2010~2015년까지 해양안전심판원의 해양사고 재결서를 분석한 결과에 따르면, 해양사고는 충돌사고 16건, 좌초/침몰사고 5건, 화재/폭발 3건, 선원사망 2건 및 해상구조물 및 부표 접촉사고 2건으로 총 28건으로 집계되었다. 특히 해당 물양장 주변 해역은 수심도 낮고, 어선과 상선의 왕래가 빈번함에 따라 충돌사고가 16건으로 전체사고의 57.1%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

둘째, 국제원자력운송협회(World Nuclear Transport Institute : WNTI)의 ‘INF 코드 및 특수 제작 선박’ 보고서 및 INF 코드에 따르면 INF 선박은 SOLAS협약, MARPOL협약, IMDG코드, INF 코드상의 요건을 준수 및 충족해야 한다. 그리고 INF 코드 제9장(관리·훈련), 제10장(선상비상대응 계획)은 INF선박에 승선하고 있는 선원의 교육, 훈련, 비상대응에 대한 규정을 명시하고 있다. 특

히 제9장의 내용에 따르면“INF 화물을 운송하는 선박의 관리 및 훈련은 주관청이 만족하도록 제공되어야 한다”라고만 규정되어 있음에 따라 교육시간 및 내용이 명시되지 못한 한계가 있다. 따라서 국내의 경우 청정누리호에 승선하는 선원에 대한 별도의 교육과정이 존재하지 않고, 세계 최초로 시도되고 있는 안전 호송과 관련된 개별 주체간의 협업을 위한 비상대응교육이 부족하고, 제10장에서 요구하는 선상비상대응계획상에 전술한 협업사항이 명시되어 있지 못한 문제점을 갖고 있다.

셋째, 해상운송과 관련하여 한국원자력환경공단은 (주)한진 소속의 청정누리호를 용선하여 화물을 위탁하여 연안을 주로 항해하고 있음에 따라 풍랑·해일, 태풍에 관한 기상특보(주의보 또는 경보)가 발표되거나 제한된 시계, 저수심, 어선 밀집, 주변 통항량 등을 종합적으로 고려한 항로의 안정성, 국가차원의 입출항 및 운항통제에 대한 체계적인 점검 및 관련 법제가 마련되어 있지 못한 실정이다.

넷째, (주)한진의 경우 청정누리호에 대한 비상대응 관련 시나리오 및 절차서가 존재하며, 비상사건 발생시 해경, 한국원자력환경공단, 원자력안전위원회, 산업통상자원부 등과의 공조체계가 완성된 비상대응 및 안전 관리절차(safety case)가 책임주체, 권한 등이 고도화되어 있지 못한 실정이다. 따라서 충돌, 좌초 등과 같은 대형 해양사고가 발생할 경우 기존 선박과는 다른 피해가 전개될 수 있음에 따라 이에 대한 대비가 필요하다.

### Ⅲ. 방사성폐기물 안전 호송과 관련된 국내외 법규 및 교육의 필요성에 대한 검토

#### 1. 개요

일반 국민들은 원자력 관련 기관 및 단체들의

사회적 기여 및 안전 관련 홍보에도 불구하고 방사성폐기물 전용선박인 청정누리호를 이용한 해상운송의 안정성 특히 대형 해양사고로 연계되는 것에 대하여 많은 걱정을 하고 있다. 따라서 우선적으로 방사성폐기물의 해상운송과 직접 관련된 양 당사자간의 교육체계를 확립하여 만일에 발생할 수 있는 해양사고를 대비해야 한다. 따라서 제3장은 방사성폐기물의 해상운송 및 교육에 관계되는 법적 근거를 조사하기 위하여 국내외 법규를 검토하고, 한국원자력환경공단, 해양경찰, (주)한진의 실무자들을 대상으로 안전 및 직무교육, 비상대응교육 등의 필요성에 대하여 언급하고자 한다.

#### 2. 국내법 검토

##### 1) 육상 중심의 법규

방사성폐기물 해상운송에 필요한 교육과 관련된 사항을 명시하고 있는 국내법은 부재한 상태이다. 대부분의 육상 중심의 법규들은 방사선피폭에 대한 점검 및 안전교육 등은 명시하고 있으나 해상운송 분야는 사각지대로 제외되어 있다. 그럼에도 불구하고 관련 법규들은 검토하면 다음과 같다. ① 총 13개장과 121개 조문으로 구성된 원자력의 연구, 개발, 이용과 관리에 관한 기본사항과 방사성물질폐기물의 허가, 운반 및 폐기사항의 신고에 대한 사항을 규정하고 있는 원자력안전법, ②방사능방재 및 시설방호체제 및 방사능재난관리체제를 구축하기 위한 법적, 제도적 기틀을 마련하고, 원자력 사업자에 대하여 해당 원자력시설에 대한 물리적 방호운영체제, 물리적 방호규정 및 방호비상계획을 수립과 관련된 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법, ③ 방사성폐기물로 인한 위해(危害)를 방지하고 공공의 안전과 환경보전을 통하여 방사성폐기물을 안전하고 효율적으로 관리하기 위한 방사성폐기물관리법, ④방사선 등의 연구·개발 및 이용 과정에서 발생하는 방사성폐기물의 수거·운반·집·저

장 및 처리 시설을 설치·운영과 관련된 제반 산업의 육성과 관련된 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥법, ⑤원자력발전소의 운영에 수반하여 예상되는 원자로의 운전 등으로 인한 원자력손해가 발생한 경우 피해자에 대한 손해배상제도와 관련된 원자력손해배상법, ⑥13개 조문으로 구성되어 있고, 방사성폐기물의 분류, 처분방식, 처분제한, 처분허용, 자체처분허용기준, 표지 및 표시제거, 행위제한, 자체처분 대상 폐기물의 관리, 방사선 및 방사능의 측정·평가기준, 자체처분절차서 등과 관련된 방사성폐기물 구분 및 자체처분 기준에 관한 규정, ⑦「원자력안전법 시행령」, 「원자력안전법 시행규칙」 및 「방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙」 중 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 필요한 사항을 규정과 관련된 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정이 있다.

## 2) 해상 중심의 법규

원자력 발전소가 존재함에 따라 기본적으로 육상 중심의 특별법이 있음에도 불구하고 방사성폐기물의 해상운송에 대한 개념이 1993년 IAEA 규정을 보완하여 권고적 성격의 INF 코드, 2001년 개정된 INF 코드가 전부이다. 국내법 역시 해상에서 방사성폐기물의 안전운송에 대한 별도의 특별법은 존재하지 않고 단지 타법상의 위험물 운송에 따른 포괄적인 법규만이 아래와 같이 존재한다. 예컨대, ①무역항의 수상구역 등에 출입하려는 선박의 입항 및 출항, 정박지의 사용 등에 대한 세부사항을 규정하고, 선박의 이동명령 및 선박교통의 제한 등에 대한 권한을 명시함으로써 선박교통관제를 시행할 수 있는 근거를 규정하고 있으며, 무역항의 수상구역 등에 대한 위험물 관리 제도를 규정한 선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률, ②한국 연안에서도 선박의 대형화, 고속화 그리고 특정해역에서의 해상교통량 확대로 인하여 예상되는 해양사고의 증가를 방지하기 위하여 우리나라 연안에서의 특수한 지리적 조건과

특성에 맞추어 입법된 기본적인 해상교통질서법로서 선박 및 사업장의 안전관리를 위하여 선박 안전관리체제를 수립하도록 규정하고 이에 따른 선박 점검 및 사업장 안전관리 내용을 규정하고 있으며, 국제해상충돌방지규칙을 수용하고 있는 해상안전법, ③선박안전법 제41조 제4항의“~방사성물질 운송선박에 대한 기준, 사용후핵연료, 플루토늄 및 방사성폐기물을 운송하는 선박의 선체 배치, 복원성, 화재안전과 화물구역의 온도제어, 화물고박장치 및 전원장치 등~”에 대한 필수사항은 방사성물질 운송선박의 안전기준을 명시하고 있는 선박안전법이 있다.

## 3. 국제법 검토

### 1) 육상 중심의 법규

1984년부터 최근까지 일본에서 프랑스까지 약 8,000톤의 핵물질을 해상 운송한 사례, 1997년 대만이 북한으로 핵폐기물을 해상 운송하고자 했던 사례 등을 비추어 볼 때 원자력의 평화적 이용에 대한 국제원자력기구(IAEA)의 국제법적인 노력을 오랫동안 지속되어왔다. 예컨대, 국가간 운송 중에 있는 평화적 목적에 사용되는 핵물질과 국내 사용 저장 및 운송 중에 있는 평화적 목적에 사용되는 핵물질에 적용되는 핵물질방호협약은 국제핵운송에 관하여는 영역 내에 있는 또는 자국의 관할권에 속하는 선박 또는 항공기가 자국으로 운송하거나 자국으로부터 타국으로 운송하는 경우에 선적되어 있는 핵물질이 동 협약의 부속서에 기술된 수준으로 보호하는데 의의가 있다. 주목할 것은 운송당사국에게 ‘사전통고제도’가 적용되므로, 핵물질 수송선박이 영해나 EEZ를 통과하는 경우에 연안국에게 사전통고를 해야 할 의무는 부담하지 않는다(Park, 2012). 그리고 방사성폐기물의 처분은 발생국 안에서 처리할 것을 원칙으로 함과 동시에 모든 국가는 외국의 사용후핵연료 및 방사성폐기물이 자국 영역 안으로의 수입을 금지할 권리를 인정하고 있는 사용후핵연

료 및 방사성폐기물 관리의 안전에 관한 협약은 사용후핵연료 및 방사성폐기물의 국경간 이동은 동 협약 및 구속력 있는 관련 국제협약의 규정에 부합하는 방식으로 수행되어야 하며, 원산지국, 목적지국은 각각 사전통보, 동의가 있어야 하고, 경유국을 통과하는 이동은 특정운송방식과 관련된 국제적 의무를 명시하고 있다(Kim, 2001).

## 2) 해상 중심의 법규

SOLAS협약 부속서 제7장(위험물의 운송) 제2규칙에 따르면, 방사성 물질은 제7등급(class 7)로 명시되어 분류되고 있다. 따라서 대상물질의 해상운송은 반드시 물질의 표시, 식별, 포장, 표시, 컨테이너 수납 증명서, 용기와 포장, 적재방법 등이 구체적인 요건으로 규정되어 운송되어야 한다. 특히 2002년 5월 24일 MSC. Res 122(75)에 의거하여 SOLAS협약 제7장에 강제 사항으로 채택되어 2004년 1월 1일 기준으로 발효된 IMDG 코드는 방사성 물질에 대하여 연안국의 승인을 득한 후 항만으로 이송되어야함을 명시하고 있다(박언경, 2008).

그리고 핵연료, 플루토늄, 고준위 방사성 폐기물의 해상운송과 관련된 선박의 기준을 제시하고 있는 INF 코드는 해당 선박에 대한 손상의 복원성, 방화 안전 조치, 선박의 구조, 전원 공급, 방사성 방호, 선박의 관리와 훈련, 긴급비상대응계획 등에 대한 안전의 관점에서 기술적 요건을 명시하고 있다.

## 4. 교육의 필요성

원자력안전위원회는 2014년 3월“후쿠시마 원전 사고 후속대책 추진현황 및 향후 조치계획”보고서에 따라 한국수력원자력 및 한국원자력환경공단을 중심으로 원자로 안전정지, 방사성물질 외부방출제어, 자연재해에 따른 비상대응 및 주민보호 등을 포함하는 50개의 안전관리 강화 대책을 마련하고 권고하였다. 이러한 안전관리정책의 후속으로 국내 유일의 방사성폐기물 해상운송 전

용선박과 세계 최초로 시도되는 해상호송에 투입되는 해경 함정간의 비상대응체계를 구축하고, INF 코드 제9장, 제10장의 교육, 훈련 및 비상비상대응계획에 대한 규정을 현실화하기 위하여 아래와 같이 관련 당사자들에게 교육을 실시할 필요가 있다.

첫째, 원활한 의사소통과 비상대응능력을 배양하기 위하여 해양경찰에 의한‘청정누리호’의 호송업무는 고리원전, 울진원전, 한빛원전으로부터 발생하는 중·저준위 방사성 폐기물의 안전한 해상운송을 이행과 관련된 지식, 장비운용, 절차, 법률 등을 교육해야 한다.

둘째, 중·저준위 방사성 폐기물의 안전한 해상운송을 위하여 한국원자력환경공단, 해경, (주)한진(청정누리호) 등의 실무담당자들은‘청정누리호’와 관련된 비상상황이 발생할 경우 효과적인 대응업무를 수행하기 위한 시나리오 기반의 시뮬레이션 교육을 이수하여 실제 훈련에 소요되는 시간, 인력 등의 비용을 최소화하고 교육의 효과를 극대화할 수 있는 체계를 구축해야 한다.

셋째, 중·저준위 방사성 폐기물의 안전한 해상운송에 특화된 훈련 프로그램을 운영·시행함으로써 민·관이 협업하여‘청정누리호’안전 운항을 담보할 수 있는 교육인증 절차를 마련하여 가장 높은 수준의 안전이 관리되도록 해야한다.

## IV. 이론과 실습이 통합된 시나리오 기반의 교육과정의 개발

### 1. 개요

교육학자인 쿠퍼(H. Kuppfer)는“사회적 실체에 교육학의 인식은 항상 뒤처져 있다”라는 주장을 통해 행동주의 교육의 필요성을 역설하였다(Cho, 2016). 즉 그 동안 방사성폐기물과 관련된 주요 연구들은 원자력 관련 사고발생에 따른 반성적 활동의 일환으로 안전규제와 관리에 대한 내용들이 대부분이었다. 그러나 원자력 관련 사고의 예

방을 위하여 교육적 관점에서 이와 같은 문제를 해결하는 방법으로 실증적 데이터에 기반한 교육 수요, 내용, 과정개발을 통하여 ‘실질 당사자인 교육생들 간의 경험과 지식을 연결할 수 있는 교육과정(쌍방향 교육과정)’의 개발이 필요하다. 특히 해경 호송 중 발생할 수 있는 비상상황에 효과적으로 대처할 수 있는 비상대응 시나리오에 기초한 청정누리호 선원 및 해경 호송 요원에 대한 교육과정을 개발하여 제안하고자 한다.

## 2. 설문조사를 통한 시나리오 교육과정의 문제점 및 개선사항 식별

### 1) 교육과정의 개요 및 문제점

방사성 폐기물의 안전한 호송과 관련하여 청정누리호 선원, 해경 호송함 요원, 한국원자력환경공단 운항담당 실무자들을 대상으로 시뮬레이션 기반의 쌍방향 교육과정은 수탁 형태로 2015년에 한국해양수산연수원에서 처음 시도 하였다. 따라서 동 교육수행의 결과와 개선을 통하여 향후 유사 교육과정을 개발하고 운영하는데 있어서 Brown, J.S., & Duguid, P.(1993)가 언급한 상황학습이론에 근거한 교육진행은 아래의 <Table 1>과 같으며, 이론, 실습, 참여형으로 구분하여 교육생(15명을 대상으로 함)의 이해도를 높이고자 노력하였다.

특히 교육시간의 대부분을 두 개의 모의선교에

서 실선과 유사한 형태의 선박모형을 기초로 사전에 합의된 시나리오에 따라 교육생과 강사가 직접 소통하며 실습할 수 있는 훈련참여형의 비중이 높아서 교육생의 만족도가 높게 나타났다. 그러나 전체적인 만족도는 높으나 개별 교육과정 운영에 따른 문제점은 다음과 같이 지적되었다. 첫째, 시뮬레이터 운용 중 개별 선교와 강사간에는 문제가 없지만, 사전에 충분한 모의 도상교육이 이루어지지 않아 개별 선교간의 통합교육을 진행할 때 의사소통, 비상상황 인식, 대응방안 모색, 교육진행 등의 문제가 발생하였다. 둘째, 교육생이 해당 선박의 구조에 따른 비상예인절차방법을 이해하지 못하고 있으며, 방사성폐기물의 정의와 위험회피방법 및 장비에 친숙화가 부족하였다. 셋째, 전형적인 시나리오의 한계로 인하여 다양한 위험을 대응할 수 없으며, 사고 발생 시 보고체계의 미비와 통신 연락의 한계가 주요 문제로 지적되었다.

### 2) 개선점

첫째, 도상교육을 선행하고, 이를 바탕으로 시뮬레이터 실습교육을 병합하여 민관합동 교육이 진행될 수 있도록 교육과정을 개발해야 한다. 특히 실제 훈련에 필요한 시간, 장소, 인원 동원의 한계를 극복하고, 최대한 현실화된 시뮬레이션 환경을 구축하기 위하여 실선 모형, 항만(물양장 중심) 및 항로 데이터베이스를 추가적으로 확보할 교육 효과를 극대화할 필요가 있다.

둘째, 국내 민간기업 전문가와의 토론회 수업의 비중을 확대하여 구조·구난의 이론, (선수 또는 선미)예인절차 및 종류 등에 대한 집중적인 교육과 피호송선박의 사고 발생에 따른 신속한 구조작업을 위하여 해당 선박의 구조와 특이사항에 대한 교육과정이 삽입되어야 한다. 더불어 전문적인 원자력 관련 육해상 법규에 대한 기본적인 이해와 함께 고정·이동식 방사성 측정장비에 대한 사용방법 및 개인보호장구에 대한 착용방법을 실습할 수 있는 과정을 추가로 편성해야 한다.

<Table 1> Training Type for Safety Convoy

| Type                   | Contents   |
|------------------------|--|
| Theoretical Training   | Provides information and knowledge necessary for training such as the main specifications, emergency towing method |
| Practical Training     | Simulator familiarization and conduct a demonstration according to the scenario                                    |
| Participatory Training | Trainer conduct their role and duty according to each emergency response plan for scenario using simulator         |

셋째, 사고 및 테러의 형태와 범위가 지속적으로 변화되고 있는 현실을 감안하여 기존의 형식을 벗어난 사고유형 예컨대, 드론(dron)을 이용한 테러, 무인잠수정을 통한 선저 충돌 등과 같은 비전형 시나리오를 개발하여 비상상황에 대비하여야 한다. 그리고 육상과 해상을 포괄하는 방사성폐기물 해양사고 비상대응체계를 개발하여 교육생들에게 교육하여야 한다.

넷째, 방사성폐기물의 해상운송과 관련된 민관연은 년단위 상호 방선 체계의 마련, 공동안전세미나를 개최하여 안전한 호송을 위한 기술개선 및 연구 활동이 지속적으로 진행하여야 하며, 이를 통해서 향후 호송관련 안전 및 직무자격증을 이수할 수 있는 국가공인 교육 매트릭스를 마련해야 한다.

### 3. 교육과정 개발

#### 1) 주요 교육 장비 및 시나리오

시뮬레이션기반의 쌍방향 교육과정의 효율적인 운영을 위해서는 교육장비와 시나리오가 갖추어져 있어야 한다. 따라서 교육과정 운영을 위한 최소한의 교육장비와 시나리오는 다음과 같다. 첫째, 아래의 [Fig. 7]과 같이 Full-Mission Ship Handling이 가능한 2채널 이상의 시뮬레이터와 2개 선교가 개별 또는 통합 시뮬레이션이 가능해야 한다.



[Fig. 7] Training Scene using Simulator

둘째, 아래의 <Table 2>와 같이 단독 상황이 아닌 상호 작용에 기초한 세부적인 시나리오를 작성하여 교육이 진행되어야 한다.

<Table 2> Emergency Scenario

| Number | Type of Emergency Response Scenario  |
|--------|--|
| 1      | Man overboard  |
| 2      | Transfer Patient   |
| 3      | Oil Spill Response   |
| 4      | Main Engine Failure  |
| 5      | Steering gear Failure  |
| 6      | Rescue on Enclosed Space   |
| 7      | Collision  |
| 8      | Fire   |
| 9      | Flooding   |
| 10     | Grounding  |
| 11     | Emergency Towing   |
| 12     | Abandon Ship   |
| 13     | Security   |
| 14     | other (Typhoon, Tsunami and Communication Failure Response, Dron, Fishing net) |

#### 2) 교육과정 개발 모형

전체 교육과정은 선종별 운항특성 및 선체구조 이론, 방사성폐기물 안전관리 절차 및 측정장비 운용 실습, 시나리오별 도상훈련, 시뮬레이터기반 비상대응실습, 평가 및 문제점 토론으로 이어지는 5개의 모듈에 대하여 총 16시간을 배정하여 방사성폐기물 안전호송 교육과정을 개발하였다. 이 교육 과정은 2015년에 처음으로 시도된 안전호송 교육과정과 비교하여 ‘방사성폐기물 안전관리 절차 및 측정장비 운용 실습’ 교육과정이 추가되었고, 도상훈련과 관련된 교육과정을 실제 시뮬레이터 실습 이전에 배치함으로써 교육생들의 친숙도를 높여 교육의 효과를 극대화하였다. 따라서 불가피하게 총 교육시간은 기존의 14시간으로 16시간으로 확대되었으며 세부 교육 시간과

내용은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Training Curriculum for Safety Convoy

| Item Time      | Curriculum                                       | Method                 |
|----------------|--|------------------------|
| 1              | Characteristics of ship                          | Theoretical Training   |
| 1              | Hull structure and equipment                     | Theoretical Training   |
| 2              | Safety management procedure of Radioactive Waste | Theoretical Training   |
| 3              | Practice of measuring equipment                  | Practical Training     |
| 2              | Role training of each Scenario                   | Participatory Training |
| 2              | Emergency response practice using simulation     | Participatory Training |
| 2              | Discussion                                       | Participatory Training |
| 1              | Assessment                                       | -                      |
| Total : 16 hrs |  |                        |

## V. 결론

국내에는 현재 원전 24기를 운영 중임에도 불구하고 프랑스, 영국 등과는 달리 아직까지 영구적으로 고준위 방사성폐기물에 대한 관리 방안이 부재한 실정이다. 따라서 발전소 내부 저장 용량의 포화 문제에 대한 현실적인 해결 방안(임시저장 용량의 확장, 부지 외 중간저장시설의 건설, 최종 처분 장 확보 등) 및 발전소의 단계적인 폐쇄 등이 지속적으로 논의되고 있다. 이와 더불어 중·저준위 방사성폐기물의 해상운송 역시 주변 어민, 관련 지자체 등의 안정성 확보와 관련된 문제로 인하여 장기 대책을 수립하는 과정에서 여러 갈등과 난관에 당면하고 있다. 따라서 일반 국민·환경단체·주민 등의 불신을 대화와 협상을 통하여 불식시키기 위해서는 방사성폐기물 전용 선박인 청정누리호의 안전성 확보 및 관련 교육이 최우선 과제로 고려되어야 한다.

따라서 전술내용을 정리 및 제언하면 다음과

같다. 이 연구는 해상운송의 직접당사자인 청정누리호, 해경 호송함 승조원들을 위한 맞춤형 수탁교육과정을 개발하는 것과 관련된 방사성폐기물 해상운송의 현황 분석 및 국내외 법규 분석을 통한 이론적 근거를 제시하여 이해관계자들을 설득하여 합의를 도출하는데 필요한 사항을 마련하였다. 특히 보수적인 관점에서 위험요소들을 파악하여 청정누리호의 항해계획 및 호송계획 수립 및 비상사고 발생에 따른 골든타임(Golden time)을 확보하고, 고도의 안전성과 협업이 필요한 해상 호송작업을 성공할 수 있도록 체계적인 교육과정을 모형의 형태로 제시하였다.

추후 연구과제로 방사성폐기물 해상운송과 관련된 국가비상대응체계를 수립하여 해양사고 발생 시 손상을 다투는 위기를 슬기롭게 극복하고 관리할 수 있는 위험관리체계를 마련하고자 한다.

## References

- Ahn, Jae-Hong · Kim, Jae-Young & Park, Chung-Hyun (2016), Disposal and Management of Radioactive Wastes, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 64(6), 38~41.
- Brown, J. S. & Duguid, P.(1993), Stolen knowledge. Educational Technology, 33(3), 10~15.
- Cho, Sang Sik(2016), 4th Industrial Revolution and the act of future education, Media and Education, 6(2), 153~154.
- Gavin J. Carter(2004), Review of the fundamental issues and key considerations related to the transportation of spend nuclear fuel, Nuclear Management Organization, 10~14.
- Kim, Hong Kyun(2001), Instruments to Stop Taiwan's Nuclear Waste Shipping Plan under the International Environmental Law, Seoul international law journal, 8(1), 70~71.
- Kim, Jin-Kwon · Jin, Ho-Hyun & Lee, Yun-cheol (2017), A Legal Study on the Transportation of the Radioactive Waste by Sea under Act on the Arrival, Departure, etc. of Ships, Maritime Law Review, 29(1), 201~227.
- Kim, Min-Cheol · Jeong, Seong-Hwan & Kim, Jong-Min

- (2008), Maritime Transportation system for the Low and Intermediate Level Radioactive Waste, Journal of the Korean Radioactive Waste Society, 6(2), 361~362.
- Lim, Seok-Nam(2010), Radiation Protection Plan for the Maritime Transportation for the Low and Intermediate Level Radioactive Waste, Journal of radiation protection and research, 10(11), 208~209.
- P. A. Booker(2001), Development of the INF Code and its relationship to the Ships of the Pacific Nuclear Transport Fleet, Pacific Nuclear Transport Ltd., 1~5.
- Park Eon-Kyung(2012), International Nuclear and other Radioactive Materials Transport Control in the Light of the International Law: With Priority given to Marine Transport, The Institute of Legal Studies Kyung Hee University, 47(2), 200~205.
- 
- Received : 04 April, 2017
  - Revised : 19 April, 2017
  - Accepted : 01 May, 2017