

# 방폐물 취급 원전별 항만시설의 안정성 확보에 관한 연구

이윤석\* · 안영중\*\* · 윤귀호\*\*\*

\*, \*\*\*, \*\* 한국해양대학교 해사대학 선박운항과, \*\* 한국해양수산연수원

## The Safety of Harbor Facilities according to Nuclear Power Plant Handling Radioactive Waste

LEE, Yun-Sok\* · AHN, Young Jung\*\* · Yun, Gwi-Ho\*\*\*

\*, \*\*\*, \*\* Korea Maritime and Ocean University, Department of Ship Operation, \*\* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

핵심용어 : 방사선패기물, 항만시설, 수역시설, 하역안전성, 운항관리

Key Words : Radioactive Waste, Port Facilities, Water Facilities, Cargo Safety, Navigational Management

### 1. 원전별 수역시설 적정성 평가

#### 1. 국내 수심 관련 규정

◇ 국내 기술 기준(항만 및 어항 설계기준)

- 항만 및 어항 설계기준 : 해설(2014년) 제6편 수역시설 및 조설매체에
- 항로수심은 저척(底質), 선박의 종류(船種), 트림(trim), 선체침하(squat), 해도오차, 측량오차, 조설정도(造設精度) 등에 따라 여유를 고려한다.
- 항행 안전 확보를 위해 최대흘수 시의 선저와 해저와의 사이에 여유 수심(UKC-under keel clearance)을 충분하게 확보할 필요가 있음
- 정온도가 확보된 항로나 계류시설이라면 운항 선박의 흘수를 기초로 운항 매역에 따라 10%, 15%, 20%의 여유를 갖도록 설계

구분	산정 기준(D: 최대흘수)	
항만 및 어항설계 기준 - 해설	정온이 확보된 항내	1.1D
	조류가 없는 진입항로 또는 점근해역	1.15D
	조류 존재 또는 긴 항로 해역	1.2D

### 2. 정온도 및 계류안전성 평가

#### 1. 정온도 및 선체 중요 권고 기준

◇ 항정누리호의 하역 안전 정온도 기준

선형	하역안계파고(m)
소형선	0.3m
중·대형선	0.5m
초대형선	0.7-1.5m

○ 현재 운항 대상선박인 한진정선누리호의 규모를 고려하면 모든 임전의 계류시설을 포함한 항내 정온도는 0.5m 미만으로 관리되어야 하며, 필요시 방파제 보강을 통해 파랑 및 장주기파의 진입을 차단해야 한다. 또한 등가파랑 경우 항내 계류시설의 위치 변경 및 선체 중요도가 발생하지 않도록 특이한 조치 등이 강구되어야 한다.

▶ 현재 시설 및 한술 임전의 경우 방파제 지형적인 위치, 항내 정온도, 수심 등 항만 및 수역시설 전반에 대한 종합적인 안전점검이 전문기관(시설안전점검 업체나 연구소 또는 항만 설계 전문 엔지니어 등)에 의해 수행될 필요가 있다.

### 1. 원전별 수역시설 적정성 평가

#### 3. 수심 적정성 평가 결과

- 각종 설계기준에 따른 원전별 불양장 수심 검토 결과

대상 원전	항정 선박의 흘수(m)	실제 최소 수심(m)	국내 수심 기준(m)			적정성 판단
			항내 (1.10D)	진입항로 (1.15D)	간항로 (1.20D)	
인원(항광)	4.2	6.0(역전)	4.62	4.83	5.04	지속적 점검 및 관리 필요
고리	4.2	5.35	4.62	4.83	5.04	만족
월성	4.2	5.02	4.62	4.83	5.04	만족
한울(속진)	4.2	4.80	4.62	4.83	5.04	최소기준 만족 (점검 필요)

- 한말 및 한술 임전의 정온도 검토 : 항만시설(방파제)이 남풍풍 방향으로 개방

→ 계류 중인 선박은 불가피하게 한자한 파랑(너울) 및 장주기파 등의 영향을 받아 선체 동요가 발생할 개연성이 매우 큼, 파랑 진입으로 선체 동요 발생 시, 안전하역기준에 따른 권고기준 준용하여 하역 여부를 결정할 필요 있음

### 2. 정온도 및 계류안전성 평가

#### 2. 항정누리호 기준 하역 안전성 기준

✓ 항정누리호 안전 하역을 위한 선체 중요 기준

- 전후중요 1.0m, 좌우중요 1.2m, 상아중요(heave)는 0.6m 미만
- 선수중요 · 중중요(pitch)는 1° 미만, 항방향중요(roll)는 2° 미만

◇ 항정누리호 하역안전 선체 중요 권고 기준

선형	하역장비	전후 중요 (surge, m)	좌우 중요 (sway, m)	상아 중요 (heave, m)	선수 중요 (yaw)	중방향 중요 (pitch)	항방향 중요 (roll)
연안(항광)선 <10,000DWT	ship's gear	1.00	1.2	0.6	1	1	2
	quarry cranes	1.00	1.2	0.8	2	1	3
선적(항광)선 30,000~150,000DWT	crane elevator	2.0	1.0	1.0	2	2	6
	bucket wheel conveyor belt	1.0	0.5	1.0	2	2	2
		5.0	2.5	-	3	-	-

▶ 특이 안정적인 계류 및 하역작업을 위한 정온도 확보가 절대적으로 요구되나, 파랑이 항내 진입하여 선체 운동이 발생함에 따라 선체 일부부과 해저가 접촉할 우려가 있어 계류 시설 전반의 수심 증설에 대한 검토가 필요하다.

▶ 스웰의 영향 고려 최대 흘수의 20% 또는 해당 해역의 파랑의 크기를 관측하여 소 · 중형선박 적용 해당 파고의 2/3 수준의 여유수심을 확보하는 것이 바람직하다.

\* First Author : lys@kmou.ac.kr, 051-410-5098

† Corresponding Author : captyun@kmou.ac.kr, 051-410-5095

## 2. 정온도 및 계류안전성 평가

### 3. 장주기파 영향 계류안전성 분석

✓ 장주기파 너울의 영향 분석을 위한 계류안전성 평가

◇ 계류안전성 분석 및 평가 실시

- TTI(Tension Technology International)社 OPTIMOOR SW(Ver. 6.2.6)
- 계류 상향 모델링, 계류라인 배치, 환경 외력 모델링 실시
- 계류안전성 평가 시나리오별 변수 설정

◇ 계류안전성 분석 및 평가 결과

- 안정적 계류가 가능한 한계 외력:  
→ 파랑 270도, 파고 0.2m, 주기 10~25초

- 장주기 작용 원인: 항만시설 내부 파랑 주기 계속 표시하거나 해당정보를 선박 통보하는 기상 정보 시스템 필요

- 계류안전성 평가에서 한계 외력 (파고 0.15m 이상, 주기 8초 이상)의 환경조건이 30분간 지속적으로 적용할 경우, 이에 적용을 중지하고 대기 또는 긴급 출항 등을 검토해야 함.

선박 배치에 따른 파랑 설정

## 5. 방폐물 운반선 관련 개선 방안

### 1. 돌양장 용어 변경

✓ 원전별 화물 취급 "돌양장" 용어 사용

- 항만 및 어항설계지침 제18항 어항계류시설, 18-2 "안벽 및 돌양장" 개선 정의
- 어선의 집안시설 등에서 전면수심이 기준면(약최저저조위 (10.00m) 이하 4.5m 이상의 수심에 시설되는 집안시설은 안벽(auywall)이라 하고, 4.5m 미만의 수심에 시설되는 집안시설은 돌양장(fighter's wharf)이라고 한다.
- 방사성폐기물은 취급에 상당한 주의가 요구되는 위험화물이며, **특정 상 최우선적인 관리와 안전이 우선적으로 확보되어야** 하는 항만 및 수역시설임에도 불구하고 제8편 계류시설의 제18항 어항계류시설에 명시된 "돌양장"으로 구분되어 관리되고 있는 상황이다. 돌양장이라는 시설명은 선박입출항법과 여객선법 등의 대상이 아니기 때문에 항만 및 수역시설, 소화·소방 안전설비 등의 규정에도 적용되지 않고 있다.
- ※ 최상위 위험물 관리가 필요한 방폐물 운반선 사용 부두에 관한 법령의 사각지대에서 항만시설 규정을 적용 받지 않고 있으며, 항만시설 관리라는 전문가 및 조직 자체가 없음

선적 작업      항해      양하

## 2. 정온도 및 계류안전성 평가

### 4. 계류안전성 종합 분석

- 장주기(주기 10~25초, 파고 0.2m 이상, 파랑 180~315°)가 대상선박에 입사할 경우, 대부분의 계산에서 **선체 운동량이 허용값보다 크게 작용하였으며**, 이로 인해 계류선의 최대장력은 72.6톤으로 파단력의 약 159%로 초과하였고, 계산주의 최대전력은 160.5톤으로 허용전력보다 약 160%로 초과하였으며, 방충재의 최대반력은 67톤으로 허용반력의 약 149%로 초과하여 **인정적인 계류가 불가능하였다.**
- 안전정정누리호의 계류안전성 판별 결과, 계류시스템(계류라인, 견인력, 방충재 마중)의 배치나 특성에 따라 상이할 수 있으나 일반적인 상황에서 지속적으로 안정적인 계류가 가능한 한계 외력은 파랑 270°, 파고 0.2m, 주기 10~25초의 조건으로 분석되었다.
- 따라서, 비교적 주기가 긴 장주기 성분이 작용하는 원전에서는 항만시설 내부에 파랑의 크기와 주기를 자동으로 계측하여 표시하거나 해당 정보를 선박에 통보하는 기상 정보시스템을 설치하여 운용할 필요가 있다.
- 계류안전성 평가에서 한계 외력(파고 0.15m 이상, 주기 8초 이상)의 환경조건이 30분간 지속적으로 적용할 경우 이에 적용을 중지하고 대기 또는 긴급 출항 등을 검토해야 한다.

## 6. 종합 평가

### 1. 돌양장 및 부두 시설

- (돌양장 용어 수정) 돌양장은 수심 4m 미만의 어선을 위한 시설에 사용되는 용어로 부적절한 시설에 대한 부두(계류시설) 용어(고리원전부두, 월성원전부두 등)로 명칭 변경 필요
- (부두시설 등) 모든 원전의 "돌양장"을 부두시설(항만설비)로 지칭하여 정식 등록(선박 입·출항 신고, 안전관리 사각지대 해소)
- 국내 연안을 이용하는 모든 선박은 반드시 선박 입·출항신고를 이행하며, 취급화물의 특성을 고려할 때 부두(계류)시설에 대한 안전관리가 필요함에도 불구하고 제도권 밖에서 운영 중임
- ※ 정식 부두(계류)시설로 인가 후 선박 입출항 신고, 부두시설의 안전진단 등 해당수신부, 지자체, 해양경찰 등의 안전 관리 범위내에서 운영되어야 함

### 2. 정온도 외력시스템(방파제)

- (항만시설-외력시설) 고리, 월성, 월진원전의 외력시설인 방파제 배치가 E-S(남동풍) 계열의 너울과 장주기파에 매우 취약함(항내 정온도 유지 불가, 방파제 재배치 또는 기둥 길감)
- 정온도 기준 미충족 - 아역한계파고 0.5m, 장주기파 0.2m 이하 조건이 미충족(방파제 또는 너울 치단 설계 전면 재검토 필요)
- 항내 외력 모니터링 설비 미비 - 항내 바람, 파고, 조류, 장주기파를 관측하여 선박에 실시간 제공하는 관측 모니터링 시스템 확충

## 3. 청정누리호 안전 운항 시기

□ 선박 안전 운항 관리 기준

✓ 원전별 기상상황에 따른 운송시기 결정 기준 수립

◇ 기상상황에 따른 선박의 안전 운항 범위관련 조사

- 선박출항제 기준(해사안전법 제36조 선박출항제, 해사안전법시행규칙 제31조)
- 청정누리호의 기상상황별 운송 기준검토(비상대응 계획서 5장 운항제한 요건)
- 출산항 위험물 운반선의 운항제한 기준조사(입출항, 아역중단, 긴급출항 기준조사)
- 관련연구사례(아역중단, 긴급이탈 등속기준 20~23m/s, 파고기준 1.0~1.5m)

◇ 청정누리호의 안전운항을 위한 운송시기

1	운송시기는 주요 원전과 피항지 위치 및 이동 시간을 감안, 편만시점 기준으로 72시간(3일 이내) 이내 태풍주의보, 풍랑주의보, 시정주의보 등과 같은 기상특보가 발표되지 않는 기간으로 한다.
2	폭풍해일과 지진해일 등 주의보 발표 시, 즉시 긴급 이원출항하여 피항지로 이동, 48시간 이내 전선, 저기압 통과에 따른 풍랑 정보 및 태풍주의보 발표 예상 시 피항지로 이동, 안전하게 대기.
3	특정 원전부두(돌양장)에서의 집 이원기준은 풍랑주의보(해상에서 풍속 14m/s 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고 3m 이상)를 준수한다.
4	특정 원전부두(돌양장)에서의 계류안전성을 고려한 아역중단 기준은 풍속 20m/s, 일반적인 파고 1.0m, 장주기파에 의한 항내 너울은 0.2m를 한다.
5	특정 원전부두의 계류안전성을 고려한 긴급 출항 기준은 풍속 23m/s, 일반적인 파고 1.5m, 장주기파에 의한 항내 너울은 0.4m를 기준으로 한다.

## 6. 종합 평가

### 3. 항만설비 및 부대설비

- (항만시설-아역 및 부대설비) 모든 원전 돌양장에 항만시설(아역, 안전, 소화, 방제, 부대설비 등)이 미비하여 비상 상황시 적절한 대응 및 대응 불가
- 아역시설 - 선박충 크레인의 고장, 기상이나 선체운동 등과 같은 사유로 이용 불가할 경우 아역작업 불가(육상 대체 크레인 없음)
- 부대설비 - 소화설비, 안전설비, 통신·감시설비, 비상대응 설비는 없고 동력설비, 보안설비, 계류 시설 등은 매우 미비한 상황임
- ※ 방사성폐기물 전용부두에 적합한 아역설비·안전·소화·통신·부대설비 기준 마련

### 4. 수역시설(수심 및 선화장)

- (수역시설-수심) 지속적인 침식 및 너울로 인한 선체 운동(Heaving) 대응 가능 여유 수심 확보
- 안벽, 안술 - 지속적인 수심 및 관리(최소 분기물 1회 수심 측량)
- 고리, 월성, 안술 - 운항 최대물수의 20% 여유수심 확보 필요
- ※ 너울과 장주기파로 상하·좌우운동이 자주 발생, 선적 집중과 선체 손상 우려가 있음
- (수역시설-선화장) 방파제 진입 이후 부두에 접, 이면에 발생한 선화하여 최소 2회(청정누리호 선벽설) 이상 확보 필요
- 안벽, 고리, 월성 - 예선 운동에 따른 선박 선화·자세유지에 필요한 선화 및 조류수역 확보
- ※ 항내 수심 5.04m 이상으로 최소 160m 이상의 직경