

# 고리 원자력 발전소 해양 방사능 유출사고 시나리오 기반의 수산업 피해 대응방안 고찰

한인성\*, 서영성\*\*, 황재동, 임월에, 윤석현

최근 발생한 일본 원자력 발전소 방사능 오염수 유출사고로 국민의 수산생물 및 해수의 안전성에 대하여 경각심이 고취되고 있다. 본 연구에서는 고리 원자력 발전소를 대상으로 방사능 오염수의 해양유출 사고가 단기간 발생할 것을 가정하여, 조류, 해류 및 해산품 자료를 활용하여 피해 예상해역과 해역별 방사능 농도 분포를 추정하였다. 위기 대응 방안은 양식업과 어선어업으로 구분하여 살펴보았다. 양식업의 경우 상황별 각 3단계로 구분하여 현재체제 유지, 조기출하와 폐기 준비, 양식생물 및 시설물 폐기로 나뉠 수 있다. 어선어업의 경우, 각 어업별로 피해예상 해역의 조업을 금지하고, 관련기관의 예측 정보를 주시하며, 어획된 어획물을 분석기관에 송부하여 지속적인 오염여부 판단을 모니터링 할 필요가 있다. 또한 예측 정보에 따라 탄력적으로 어획 해역을 축소시키거나 이동시켜 나가는 노력이 필요할 것이다.

**주제어:** 방사능 유출수, 해양, 수산업, 해수유동, 위기대응

## I. 서론

해양 방사능 오염은 핵실험과 원자력 발전소 가동 현황에 따라 인공 방사능 물질이 해양으로 유입되어 해수 및 해양생물에 오염을 유발하는 것으로, 단기적으로 수산물의 식품으로서의 직접적인 위협뿐만 아니라 체내 축적을 통한 장기적인 피해와 먹이 사슬을 통한 인간 건강과 생태계에 대한 악영향을 유발할 수 있다. 과거부터 수산물에 대한 방사능 오염은 심각한 영향을 주는 것으로 판단하여 다양한 연구가 수행되어 왔다 (장동석 외, 1970; 장동석 외, 1986). 특히 1993년 러시아 핵폐기물의 동해해역 투기에 따라 해양 환경 방사능 오염에 대한 심각성이 강조되어 해양환경방사능 감시망에 대한 중요성이 강조되어졌다(홍기훈, 1993). 이후 일부 수산물에 대한 모니터링 결과를 통한 수산물의 방사능 안전성 여부를 확인하는 연구가 일부 수행되어졌지만 (김성연 외, 1987; 이영희, 2007; 이영희, 2008; 2010). 수산업 전반에 관한 종합적인 방사능 대응에 대한 연구는 수행되지 않았다.

\* 제1저자, \*\* 교신저자

2011년 3월 발생한 일본 동북지방 대지진으로 인한 후쿠시마 원자력 발전소의 방사능 오염수 해양 유출로 인하여 국민들의 방사능 유출에 대한 공포심이 확산되어 가고 있다. 해양 방사능 오염 유출사고는 해수라는 유체를 따라 긴 시간 동안 영향을 주며, 해수의 유동 경향에 따라 영향을 받을 수 있는 해역이 달라지는 불확실성도 포함하고 있다. 농림수산물부에서는 일본 후쿠시마 원자력 발전소의 해양 방사능 유출수가 우리나라에 영향을 줄 수 있는 시기는 적어도 2~5년 이후로 예측하고 있다(국립수산과학원, 2011). 하지만, 방사능 유출해역과 우리나라 조업 가능해역을 회유하는 수산생물의 경우 정확한 피해 예측이 불가능하여 국민의 식생활을 포함한 안전에 대한 전반적인 불안감이 높아질 것이다. 현재 한국원자력안전기술원에서는 2005년부터 종합적으로 해수 및 해양생물에 대한 방사능 농도를 파악하고 있으며, 이를 원자력안전백서를 통하여 배포하고 있다. 2009년까지 우리나라 연근해역의 해수 및 해양생물 방사능 농도는 한계치 이하로 안전한 상태이다(한국원자력안전기술원, 2010). 2011년 3월 일본 후쿠시마 원자력 발전소 사고 이후에는 매일 관측을 수행하고 결과를 교육과학기술부에서 발표하고 있으며, 우리나라 해역의 해수와 해양생물은 안전한 것으로 판단하고 있다(교육과학기술부, 2011).

현재 국내 방사능 사고에 대한 대책은 원자력 시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법 제24조 제2항 및 25조 제1항(2010.3.19 시행)에 의하여 명시되어, 교육과학기술부장관이 중앙방사능 방재대책본부의 장으로 대통령령으로 정하는 바에 따라 관할 시·도지사 및 시장·군수·구청장으로 하여금 방사선 영향을 받거나 받을 우려가 있는 지역의 주민에게 즉시 방사능 재난의 발생상황을 알리게 하고 필요한 대응을 하게 되어 있다. 하지만, 방사능 오염수의 해양 유출 등에 따른 긴급 상황에 대해서는 법적으로나 제도적으로 구비된 사항이 없으며, 매뉴얼 등 체계화된 대응 방안도 만들어져 있지 않다. 단, 교육과학기술부의 원전 피해시 비상대응조치 단계별 매뉴얼에서 비상구분을 백색비상, 청색비상, 적색비상으로 구분하여 각 방재기관별 대응조치를 작성해 두고 있다. 여기서 백색비상은 방사성 물질의 위험이 원자력 발전소 건물 내에 국한된 비상사태, 청색비상은 방사성 물질의 위험이 원자력 발전소 부지 내까지 미치는 비상사태를 말하고, 적색비상은 방사성물질의 위험이 원자력 발전소 부지 밖으로 미쳐서 주민보호가 요구되는 비상사태를 말한다. 이 대책에서도 해양 및 수산분야의 대응은 언급되어 있지 않으며, 단지 청색비상의 경우 한국원자력안전기술원(KINS)의 환경방사능감시지원 조치가 있으며, 이에 의해 관련 해양/수산 기관이 협조 지원을 하는 정도일 것이다. 또한, 방사선 비상시에 대응하기 위하여 현장 지휘체계 및 시민보호 운영방안 등에 관한 연구는 일부 수행되었지만(강병위 외, 2009), 수산 현장에서의 대응 방안은 언급되어져 있지 않다.

일본 후쿠시마 원자력 발전소의 방사능 오염수 해양유출에 관해서는 고농도 방사능 오염수와 저농도 방사능 오염수가 혼재되어 다양한 경로로 배출되어 정확한 유출량이 산정되고 있지 않다. 현재 일본 문부과학성과 동경전력에서는 후쿠시마 원자력 발전소 주변부터 근외해역까지 해수중 방사성 물질의 농도를 측정하는 모니터링을 수행 중에 있다. 그 중 문부과학성은 연안역과 근해역으로 구분하여 동경전력에서는 후쿠시마 원자력 발전소 주변에 집중적으로 모니터링을 실시하고 있다. 사건 발생 약

3개월 후인 6월 중순 문부과학성의 해역 모니터링 결과 발표(일본 문부과학성, 2011)에서는 후쿠시마 원전 근외해역에서의 Cs-134 및 Cs-137은 검출되지 않았음을 확인하였지만, 6월 하순 동경전력의 원전 주변 해역 모니터링 결과 (일본 동경전력, 2011), 원전 주변 연안을 따라 20Km 반경내에서 Cs-134 및 Cs-137이 검출 한계치 (5Bq/L)를 훨씬 상회하는 값이 나타나고 있었다. 2011년 11월 분석 자료에서는 Cs-134 및 Cs-137이 모두 검출한계치 이하로 나타나고 있어 어느 정도 방사능 물질에 의한 오염사고는 진정 국면을 맞고 있다고 할 수 있다. 하지만, 사건 발생 후 수개월간 사건 발생역 부근해역의 조업이 금지되고, 일부 어류(까나리 등)에서는 우리나라 수산물 방사능 검사기준 (세슘 300Bq/kg)을 크게 상회하는 방사능 농도가 나타나는 등 수산물 전반에 대한 우려가 끊이지 않고 재기되었다. 하지만, 일본 원전사고에 따른 방사능 오염과 관련한 연구는 아직 구체적으로 이루어져 있지 않고, 해상 보험 문제와 관련한 연구만이 일부 수행되었다(홍성화, 2011).

따라서 본 연구에서는 일본 해저지진 이후 2차적 원전 사고 발생처럼 고리 원자력 발전소에서 1일간 소량의 해양 방사능 유출사고가 일어났을 경우를 가정하여, 해수유동 및 기상 등의 자연조건에 따른 피해역 산정과 이를 통한 양식업 및 어선어업의 피해 대응방안을 구체적으로 살펴보고자 한다.

## II. 상황발생 가설

### 1. 가설 설정의 근거

본 연구에서는 우선 취배수 조절시설 고장 및 파괴로 인한 해양방사능 유출에 대해서만 고려하였다. 일반적으로 방사능 유출사고가 발생하였을 경우, 대기 중 방사능 유출이 더 큰 피해를 불러오지만, 본 연구의 관심 분야인 수산업 피해만을 산정하기 위하여 대기 중 유출은 고려하지 않았다.

또한, 일본 후쿠시마 원자력 발전소 방사능 오염수 해양유출사고의 초기 단계였던 2011년 4월 4일에서 4월 6일간 약 48시간 동안 1만 1천 5백 톤의 저농도 오염수가 해수 중에 배출되었음이 보도되었다 (연합뉴스, 2011.4). 고리원자력 발전소의 온배수 유출량은 시간당 약 140톤으로 이를 기준으로 고리원자력 발전소 3호기 부근에서 고장에 의해 시간당 약 140톤의 저농도 오염수가 24시간 해양으로 유입된 것으로 가정하였다.

### 2. 가설 설정

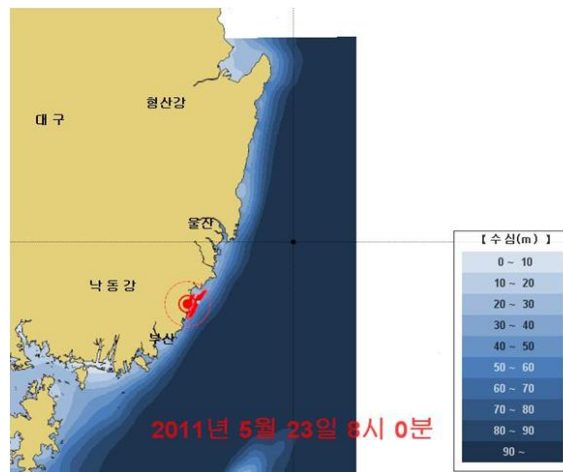
본 연구에서 사용된 가설은 다음과 같다. ① 고리 원자력 발전소 3, 4호기의 온배수의 취배수 조절 시설 고장으로 인하여 저농도 방사능 오염수 해양 유출 시작(2011. 5. 16, 08:00), ② 발전소 일부 시설 고장으로 인하여 배수구를 통한 방사능 오염수 유출을 확인(2011. 5. 16, 11:00), ③ 한국수력원자력 및

인근 군부대에 의한 해양 유출수 통제 작업이 진행되었지만 인근 해역으로 유출수 확산 위험이 확대(2011. 5. 16, 14:00), ④ 1차 유출수 통제작업이 실패되었으며, 초당 0.04톤 내외의 방사능 오염수가 해양으로 유입되고 있음(2011. 5. 16, 20:00), ⑤ 2차 유출수 통제작업에 의해 방사능 유출이 차단되었으나 24시간 동안 약 3천 5백여톤의 방사능 오염수가 해양에 유입되었다(2011. 5. 17, 08:00).

### III. 가설에 따른 유출수 거동 예측

#### 1. 해수유동을 통한 유출수 거동

본 가설에서의 사건 발생 시점인 2011년 5월 16일 기준으로 해수유동 정보를 추출하였다. 국립해양조사원에서 온라인으로 운영하는 부유물 추적 모델을 활용하여 2011년 5월 16일 08:00부터 2011년 5월 23일 08:00까지 1주일간 조류에 의한 사건발생 해역 주변의 입자 거동 양상을 살펴보았다. 조석 주기에 따라 북동 및 남서방향으로 진동하며 1주일간 북으로는 서생 부근 (사건 발생해역 약 8Km 북동쪽)에서 남으로는 대변 부근(사건 발생 해역 약 5km 남서쪽)으로 확산되는 것을 보였다(<그림 1>). 외해 쪽으로의 확산은 조류모델에서는 나타나지 않았다.

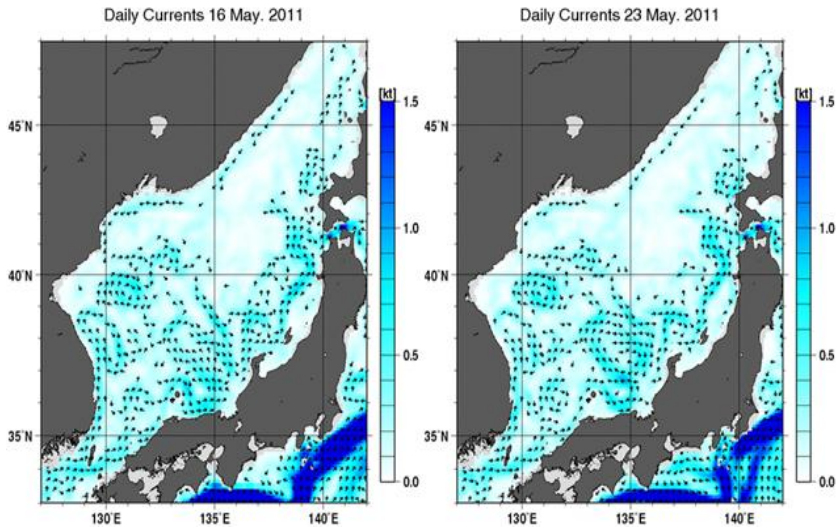


<그림 1> 부유물 추적모델에 의한 2011. 5. 16, 08:00 ~ 2011. 5.23, 08:00까지의 조류에 의한 해수입자 거동

- ※ 붉은점은 최초 부유물 투하 위치
- ※ 자료: 한국해양조사원 (<http://www.khoa.go.kr>).

더욱 정확한 유동양상을 살펴보기 위하여 바람을 고려한 해류모델 결과와 결합하여 전체적인 확산 범위 산정이 필요하였다. 따라서 일본 기상청에서 제공하는 3일 간격 동해 해류순환모델 결과를 통하

여 사건 발생부터 1주일 동안의 해류 패턴을 살펴보았다<그림 2>. 이 모델의 결과에 따르면, 2011년 5월 16일부터 2011년 5월 23일까지 동해 연안을 따라 약 25cm/s 내외의 북상하는 흐름이 지배적으로 1주일 동안 150km 해수중 입자가 북상한 것으로 추정되었다. 본 예측은 해양순환 모델과 인공위성, 선박, 부이 등의 관측자료를 종합 해석하여 산정한 값이다. 또한 해류순환모델에서도 외해쪽으로는 확산은 보이지 않아 사건발생 해역 부근의 해수 입자가 해안선을 따라 북상하였다고 추정된다. 이는 5월 일반적인 동해 남부해역의 유동양상과 거의 일치하였다(국립수산과학원, 2001).



<그림 2> 동해 해류순환모델에 의한 동해 표층 해수순환 추정도

※ 좌: 2011년 5월 16일, 우: 2011년 5월 23일

※ 자료: 일본 기상청(<http://www.jma.go.jp>).

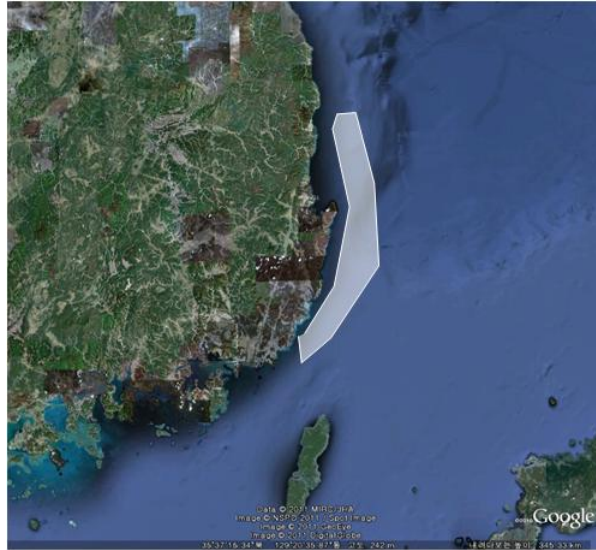
## 2. 풍향/풍속을 통한 유출수 거동

해상풍에 의한 취송류는 표면 부근의 부유물 거동에 큰 영향을 미치기 때문에 사건 발생 시기인 5월 16일의 풍향/풍속벡터를 기상청 홈페이지를 통하여 확인하였다. 사건 발생 시기인 5월 16일 08:00의 풍향은 북동풍 혹은 동풍 계열이 우세하였으며, 풍속은 3~4m/s로 매우 약하게 불었다(기상청, 2011). 따라서 바람에 의한 해수 표층의 부유물 이동은 고려하지 않아도 될 만큼 약했다고 추정할 수 있다. 또한 풍향을 보았을 때 거의 육지 방향 혹은 해류의 반대 방향이었기 때문에 오염수의 확산에는 큰 영향을 주지 못했다고 판단된다.

## 3. 오염수 분포 해역 예측

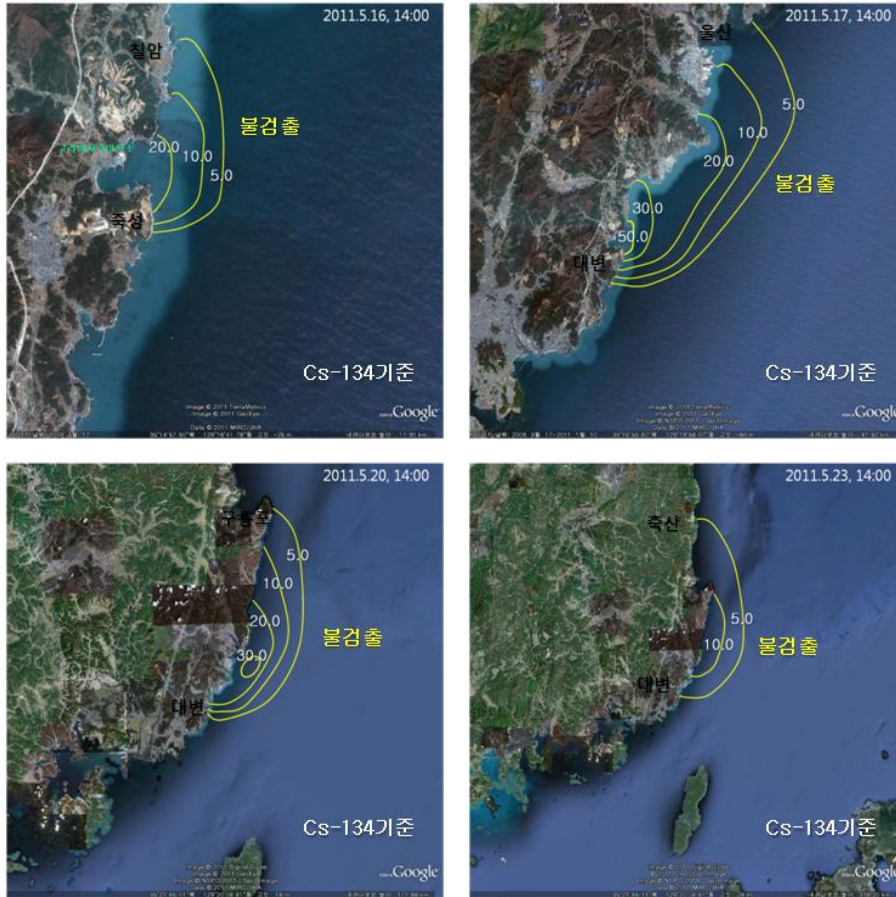
조류, 해류 및 해상풍 자료를 고려한 고리 원자력발전소 방사능 유출수의 1주일간의 분포역은 <그림 3>과 같다.

고리 원자력 발전소 방사능 유출수는 최대 영덕 축산 주변 해역까지 북상하여 분포할 가능성이 높았다. 외해역으로의 확산은 거의 나타나지 않을 것으로 추정되었으며, 강한 해류의 북상 영향으로 남쪽으로의 확산도 제한되었을 것으로 판단되어 대한해협을 통한 남해역으로의 오염수 이동은 없었을 것이다.



<그림 3> 조류, 해류 및 해상풍 분포를 통한 사건발생 1주일 후의 오염수 분포역

이를 방사능 농도 확산과 결합하여 <그림 4>와 같은 분포를 추정하였다. 2011년 5월 16일, 14:00에는 고리 원자력 발전소 주변에만 20Bq/L 이상의 고농도 오염수가 존재하였다. 하루 뒤인 5월 17일 14:00에는 5Bq/L의 오염수가 울산항 부근까지 북상하였으며, 고리 원자력 발전소 부근에서는 계속 방사능 농도가 상승하였다. 사건 발생 4일 후인 5월 20일 14:00에는 5Bq/L의 오염수가 구룡포 근처 해역에 도달하였다. 고리 원자력 발전소 부근의 방사능 농도는 3일 전에 비하여 많이 감소하였다. 사건 발생 7일 후인 5월 23일 14:00에는 5Bq/L의 오염수가 영덕 축산 부근 해역에 도달하였다. 고리 원자력 발전소 부근의 방사능 농도가 눈에 띄게 줄면서 더 이상의 확산은 일어나지 않을 것으로 추정되었다. 다음과 같은 시나리오를 통하여 동해 남부해역에서 동해 중부해역까지 주변해역의 양식장 및 연안 어업 종사자에게 신속한 정보제공이 요구된다.



<그림 4> 유출수 거동을 통하여 추정된 Cs-134 방사능 농도 분포 (단위 : Bq/L)

#### IV. 수산업 현황 및 대응방안

설정된 가설에 의하여 2011년 5월 16일부터 5월 23일까지 피해가 우려되는 해역은 주로 동해 남부 해역에서 동해 중부해역까지로 한정지을 수 있으며, 이에 따른 수산업 현황과 그 대응 방안을 살펴보았다.

##### 1. 예상 피해역의 수산업 현황

###### 1) 양식업

피해가 예상되는 경북, 울산, 부산 지역의 어류 양식 현 사육량(2010년 기준)을 살펴보면 부산이

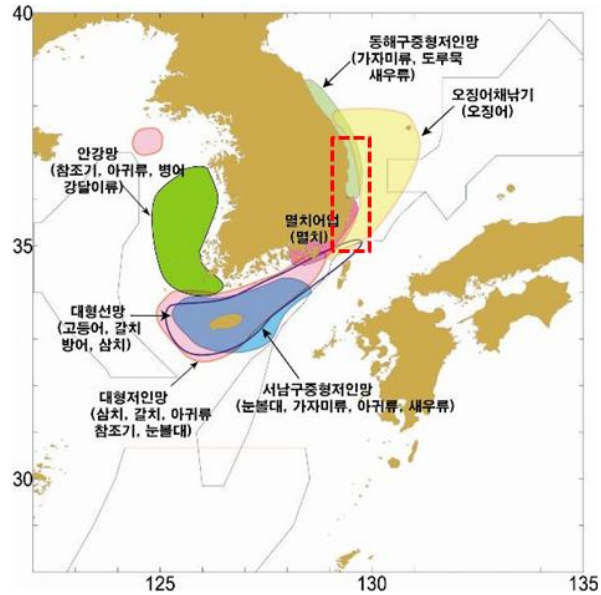
1,546천마리, 울산이 1,722천마리, 포항이 15,281천마리, 경주가 10,458천마리, 영덕이 672천마리, 울진이 946천마리 등으로 나타나고 있다. 어류양식은 포항과 경주에서 동해 남부 및 중부해역의 대부분 양식이 이루어지고 있으며, 일부 부산과 울산을 중심으로 양식이 이루어짐을 알 수 있다. 대부분 어류 양식이 이루어지고 있는 경북 지방 어류양식의 어종별 양식현황을 보면 조피볼락이 13,011천마리로 양식의 절반 이상을 차지하고 있다. 육상양식으로 가자미류 (2,072천마리), 넙치류 (4,145천마리)가 일부 양식이 되고 있었고, 기타로 참돔, 돌돔, 송어류 등이 소량으로 양식되고 있다(통계청, 2011; 통계청, 2011).

피해 예상해역의 양식업 면적을 알기 위하여 품종별 어업면허 현황을 통계청 2007년 자료를 통하여 살펴보았다. 해조류의 경우, 부산지방에서 김과 미역을 중심으로 넓은 면적의 양식이 이루어져있다. 부산에서 김 양식이 887ha, 미역 양식이 476ha였다. 그 외 울산에서 미역 양식이 327ha로 부산과 울산에서의 김, 미역 양식이 전체 해조류 양식의 95% 이상을 차지하였다. 패류의 경우, 경북지방의 기타 패류 및 전북 양식이 대부분을 차지하였다. 경북지방의 기타패류양식이 1,312ha, 수하식 전북 양식이 328ha, 바닥식 전북 양식이 776ha로 나타나 이들 양식이 피해 예상해역의 패류양식의 95% 이상을 차지하고 있었다. 어류의 경우, 앞서 살펴본 바와 같이 경북지방의 어류양식이 대부분을 차지하고 있었다. 경북지방의 가두리 어류 양식이 72ha로 70% 이상을 차지하고 있었다. 그 외, 경북지방의 우렁챙이 양식도 많은 면적을 차지하여 695ha를 차지하고 있었다.

## 2) 어선어업

피해가 예상되는 동해 남부해역에서 동해 중부해역까지 피해 예상시기의 어업 예상도를 신속하게 작성하여야 한다. <그림 5>는 국립수산물과학원에서 작성한 2011년 5월의 어업 예상도이다(국립수산물과학원, 2011).

이 어업 예상도를 통하여 가자미, 도루묵, 새우류의 어획을 주 대상으로 하는 동해구 중형저인망 어업, 오징어를 주 대상으로 하는 오징어 채낚기 어업, 멸치류를 주 어획하는 멸치어업, 고등어, 갈치, 방어, 삼치 등을 주로 어획하는 대형선망 어업 등이 주로 방사능 유출수의 영향 해역에서 조업할 것으로 판단되어 진다. 이와 별도로 주요 어종의 회유경로를 파악하고 예상어종을 선별하는 작업이 이루어져야 한다. 작성된 어업 예상도를 토대로 영향 가능 예상 어업에 대하여 농림수산물부 수산정책관실과 협의하여 대응방안을 수립해야 될 것이다.



<그림 5> 2011년 5월 어선어업 예상도

※ 붉은 점선은 가설에 따른 피해예상해역.

## 2. 문제점

피해가 예상되는 경남 및 경북의 동해안 연안 양식업은 주로 동해 남부해역에서 해조류 양식, 동해 중부해역에서는 어류양식과 패류 및 우렁챙이 양식이 중심이 되고 있어 일률적인 피해 대응 방안이 아닌 각 양식업별 피해 대응방안 마련이 필요하다. 어선어업의 경우도 동해 중부해역의 경우에는 동해구 중형저인망 및 오징어 채낚기 어업이 중심이 되고, 동해 남부해역은 대형선망 및 멸치어업이 중심이 되어 형성될 전망으로 각 어업에 대한 대응 방안 마련이 필요하다. 따라서 동해 남부 및 중부해역에 방사능 유출수 사고가 발생하였을 경우, 양식업 및 어선어업의 각 업종별 대응 방안 수립이 필요하다고 말할 수 있다.

## 3. 대응방안

피해가 예상되는 해역의 양식업 및 어선어업의 현황과 설정된 피해 가설에 의하여 3단계로 구분하여 대응 방안을 살펴보았다.

### 1) 양식업

#### (1) 어류양식

어류양식은 주로 경북지방의 가두리 양식을 통한 조피볼락 양식이 많은 부분을 차지하고 있다. 각 단계별 대응 방안을 살펴보면, ① 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이며, 방사능 유출수의 위험이 적은 해역의 경우, 해상, 육상, 축제식 양식은 현재 체제를 유지하며, 국립수산과학원 등 관련기관의 방사능 유출수 거동 정보를 주시한다. ② 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이나, 방사능 유출수의 위험이 예측되는 해역에서는 해상 및 축제식 양식에서 성어는 조기출하, 미성어는 수거 준비를 하며 육상양식은 취수중단 준비를 하고, 산소 공급 장치를 준비한다. ③ 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이상으로 방사능 유출수의 영향을 받은 해역에서는 해상 및 축제식 양식은 양식장내 생물을 수거 후 폐기 조치하다. 또한 육상양식은 취수를 중단하고 산소 공급 장치를 가동토록 한다.

## (2) 해조류양식

해조류양식은 주로 부산, 울산지방의 김과 미역 양식이 대부분을 차지하고 있다. 각 단계별 대응 방안을 살펴보면, ① 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이며, 방사능 유출수의 위험이 적은 해역의 경우, 양식업은 현재 체제를 유지하고, 국립수산과학원 등 관련기관의 방사능 유출수 거동 정보를 주시한다. ② 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이나, 방사능 유출수의 위험이 예측되는 해역에서는 상업적 이용이 가능한 해조류는 조기 출하하고, 이용이 불가능한 해조류는 수거 후 폐기 준비를 한다. ③ 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이상으로 방사능 유출수의 영향을 받은 해역에서는 양식 해조류 및 양식 시설물을 수거하여 폐기 조치한다.

## (3) 패류양식

패류양식은 주로 경북지방의 기타 패류 및 수하식/바닥식 전복 양식이 대부분을 차지하고 있다. 각 단계별 대응 방안을 살펴보면, ① 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이며, 방사능 유출수의 위험이 적은 해역의 경우, 바닥식, 침하식, 수하식 패류 양식 모두 현재 체제를 유지하고, 국립수산과학원 등 관련기관의 방사능 유출수 거동 정보를 주시한다. ② 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이나, 방사능 유출수의 위험이 예측되는 해역에서는 성패는 조기출하를 시도하며, 미성패는 수거 후 폐기 준비를 한다. ③ 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이상으로 방사능 유출수의 영향을 받은 해역에서는 양식 패류 및 양식 시설물을 수거하여 폐기 조치한다.

## (4) 기타양식

기타양식은 주로 경북지방의 우렁챙이 양식이 대부분을 차지하고 있다. 각 단계별 대응 방안을 살펴보면, ① 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이며, 방사능 유출수의 위험이 적은 해역의 경우, 우렁챙이 양식의 현재 체제를 유지하고, 국립수산과학원 등 관련기관의 방사능 유출수 거동 정보를 주시한다. ② 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이하이나, 방사능 유출수의 위험이 예측되는 해역에서는 상업 가능생물은 가공식품으로의 활용 등을 위하여 조기 출하를 하고 상업적 이용이 불가능한 생

물은 수거 후 폐기 준비를 한다. ③ 해역의 방사능 수치가 검출한계치 이상으로 방사능 유출수의 영향을 받은 해역에서는 우렁챙이 양식생물 전량 및 양식 시설물을 수거하여 폐기 조치한다.

## 2) 어선어업

### (1) 동해구 중형 저인망

사건 발생 시기경의 동해구 중형 저인망 어업은 강원 거진 연안에서 경북 구룡포 연안해역에 걸쳐 가자미, 도루묵, 새우류, 대구 등을 대상으로 어장 형성이 예상된다. 따라서 ① 방사능 유출수의 동한 난류 북상 영향에서 벗어난 강원 거진 연안에서 경북 죽변 연안해역으로 어장을 축소하여 어업을 수행한다. ② 국립수산물과학원, 한국원자력안전기술원 등 관련기관의 방사능 유출수 확산 정보를 참고로 어획 어장을 변경한다. ③ 어업활동으로 포획된 어종별 5Kg은 농림수산물부 농림수산물검역검사본부로 송부하여 수산물 방사능 검사 시료에 협조하며, 제공된 수산물의 방사능 농도에 따라 대응 체계를 수립한다.

### (2) 오징어 채낚기 어업

사건 발생 시기경의 오징어 채낚기 어업은 동해남부에서 남해동부해역에 걸쳐 부분적인 어장형성이 이루어진다. 북상회유의 시작으로 울릉도 남부해역까지 어장이 확대되어 지지만, 한어기로 접어들어 전체적인 어획은 부진할 것으로 예상된다. ① 현재 어장보다 외해쪽으로 약 30mile (50Km) 정도 어장을 이동하여 어획활동을 지시하고, 회유경로에 따라 어획 중지 방안을 고려한다. ② 울릉도 주변 해역 등 외해역의 어획활동은 오염수의 영향이 미칠 가능성이 적어 현재와 같은 어획활동을 유지한다. ③ 어업활동으로 포획된 어종별 5Kg은 농림수산물부 농림수산물검역검사본부로 송부하여 수산물 방사능 검사 시료에 협조하며, 제공된 수산물의 방사능 농도에 따라 대응 체계를 수립한다.

### (3) 멸치 어업

사건 발생 시기경의 멸치어업은 자망어업의 경우 남해 동부 및 동해 남부 연안해역의 수온상승으로 접안 내유하는 어군 대상으로 어장이 형성된다. 포항에서 기장 연안해역에 걸쳐 활발한 봄철어기가 시작될 것으로 예상된다. 멸치 어업은 고리 원자력 발전소 방사능 오염수 해양유출의 위험이 가장 많이 노출되는 어업으로 판단된다. ① 남해의 거제도 주변해역에서 가덕도 주변해역 까지만 어획을 실시하고 동해 남부해역에 대해서는 국립수산물과학원과 한국원자력 안전기술원 등의 관련기관의 방사능 유출수 확산 정보를 참고로 어획 재개를 결정한다. ② 어업활동으로 포획된 어종별 5Kg은 농림수산물부 농림수산물검역검사본부로 송부하여 수산물 방사능 검사 시료에 협조하며, 제공된 수산물의 방사능 농도에 따라 대응 체계를 수립한다.

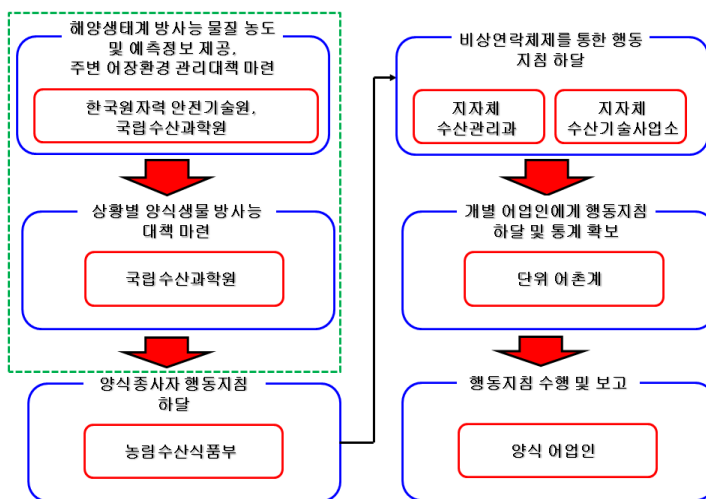
(4) 대형선망 어업

사건 발생 시기경의 대형선망 어업은 제주도에서 대한해협 부근해역에 걸쳐 고등어, 갈치, 삼치, 방어 등 난류성 회유어종을 대상으로 어장 활동이 이루어질 것이다. 대형 선망어업은 주 어획대상 어장이 방사능 유출수 우려 해역에 대한해협 서수도 연근해 등 일부만 포함되어 있어 심한 어획 차질은 빚어지지 않을 전망이다. ① 부산에서 기장 부근 해역의 어획활동은 연안에서 50mile 이상 벗어난 해역에서만 실시하고, 제주도에서 부산 부근 해역에서는 현재의 어획 활동을 유지한다. ② 어업활동으로 포획된 어종별 5Kg은 농림수산식품부 농림수산검역검사본부로 송부하여 수산물 방사능 검사 시료에 협조하며, 제공된 수산물의 방사능 농도에 따라 대응 체계를 수립한다.

4. 수행지침 체계

1) 양식업 수행지침 체계

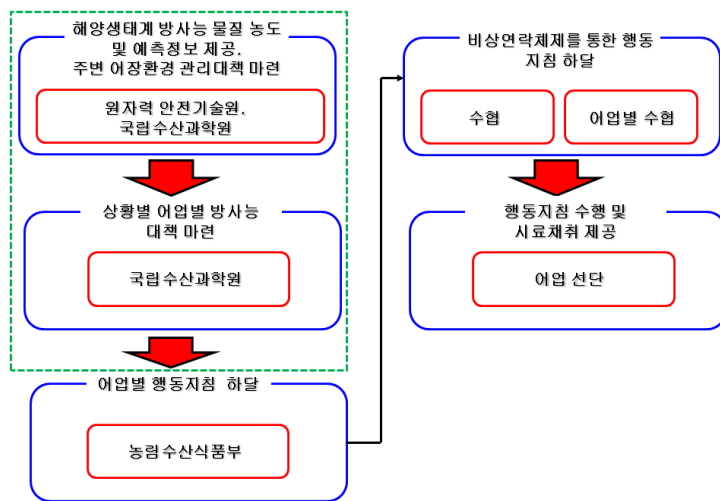
양식업 분야의 수행지침 체계는 <그림 6>과 같다. 우선 국립수산과학원 및 한국원자력안전기술원 등 관련기관에서는 해양생태계 방사능 물질 농도 및 예측정보 제공, 주변 어장환경 관리대책 마련 방안을 마련한다. 또한 국립수산과학원에서는 상황별 양식생물 방사능 대응방안을 마련한다. 이 자료를 기초로 농림수산식품부에서는 양식종사자에게 행동지침을 하달하게 되고, 지방자치단체의 수산관리과 및 수산기술사업소에서는 농림수산식품부의 행동지침을 비상연락체제를 통하여 하달하게 된다. 단위 어촌계에서는 지방자치단체로부터 받는 행동지침을 개별 어업인에게 하달함과 동시에 통계확보를 위한 노력을 수행하게 된다. 개별 양식어업인은 행동지침을 수행하고, 통계자료 확보 및 현장 발생 상황을 보고하게 된다.



<그림 6> 방사능 오염 사고 가설에 따른 양식업 수행지침 체계 모식도

## 2) 어선어업 수행지침 체계

어선어업 분야의 수행지침 체계는 <그림 7>과 같다. 우선 국립수산과학원 및 한국원자력 안전기술원 등 관련기관에서는 해양생태계 방사능 물질 농도 및 예측정보를 제공하고, 주변 어장환경 관리 대응방안을 마련한다. 또한 국립수산과학원에서는 상황별 어업별 방사능 대응방안을 마련한다. 농림수산식품부에서는 어업별 행동지침을 하달하고, 수협 및 어업별 수협에서는 농림수산식품부로부터 하달된 행동지침을 비상연락체제를 통하여 어업 선단에 알리게 된다. 각 개별 어업선단에서는 행동지침을 수행하고, 수산생물의 방사능 오염 여부를 판단할 수 있는 시료 채취에 협조하여야 한다.



<그림 7> 방사능 오염 사고 가설에 따른 어선어업 수행지침 체계 모식도

## V. 결론

현재 우리나라 원자력 발전소는 가동중인 원자로가 총 21기이며, 시운전과 계획 단계인 원자로가 총 11기이다. 계속 원자력 발전소에 대한 전력 생산 비율은 높아질 전망이다. 뿐만 아니라, 중국에서의 원자력 발전소는 현재 13기가 운영되고 있으나, 2020년까지 총 40기를 운용할 계획이다. 하지만, 더욱 중요한 것은 중국이 계획하고 있는 원자력 발전소가 대부분 우리나라의 상류역에 해당하는 동중국해에 위치를 한다는 것이다. 동중국해의 해수는 전 계절에 걸쳐 동중국해 대륙붕을 따라 우리나라로 유입되게 되어 있다(국립수산진흥원, 2001). 일본 후쿠시마 원자력 발전소와 같은 사고가 중국에서 일어날 경우 대형 참사로 이어질 가능성이 매우 높다.

하지만 방사능 사고에 대한 해양/수산분야의 방제 대책에 대해서는 법규와 규정이 미비되어 있을 뿐만 아니라, 이에 대한 매뉴얼 작성 등 사고에 대한 대비가 이루어져 있지 않다.

본 연구는 일본 후쿠시마 원자력 발전소 사고를 통하여 높아진 방사능 오염수의 해양유출 사고에 대비하여 상황발생 가설을 설정하였다. 설정된 가설에 의한 과학적인 오염수 확장역을 추정하여 양식업 및 어선어업의 각 어업별 위기 관리 대응 방안을 집중적으로 논의되었다.

고리 원자력 발전소에서 사고 발생에 따른 방사능 오염수의 해양유출 사고가 단기간 발생한 것을 가정하여, 조류, 해류 및 해상풍 자료를 활용하여 피해 예상해역과 해역별 방사능 농도 분포를 추정하였다. 추정된 해역별 방사능 농도 분포를 이용하여, 피해 예상해역의 양식업 및 어선어업의 현황을 살펴보았다. 양식업은 어류, 해조류, 패류 및 기타 양식생물에 대한 대응방안을 각 어업별로 작성하였다. 또한 어선어업은 피해 예상시기 및 예상해역에 따라 동해구 중형저인망, 오징어채낚기, 멸치어업, 대형선망 어업 등에 대하여 단계별 대응방안을 각 어업별로 작성하였다.

양식업의 경우 상황별 각 3단계로 구분하여 현재체제 유지, 조기출하와 폐기 준비, 양식생물 및 시설물 폐기로 나누었다. 방사능 오염수에 일부분만 오염되어도 상업적 가치가 없어지기 때문에 김출한 계치 이상의 해역에 노출된 생물 및 시설물은 폐기되어야 할 것이다. 단, 육상양식의 경우는 취수를 중단하고 산소공급장치를 활용하여 사태를 지켜볼 필요가 있을 것이다.

어선어업의 경우, 각 어업별로 피해예상 해역의 조업을 금지하고, 관련기관의 예측 정보를 주시하며, 어획된 어획물을 분석기관에 송부하여 지속적인 오염여부 판단을 모니터링 할 필요가 있다. 또한 예측 정보에 따라 탄력적으로 어획 해역을 축소시켜 나가는 노력이 필요할 것이다.

본 연구에서는 임의시기에 발생한 사고를 가설로 설정하여 마련된 위기 대응 방안을 마련하였다. 실제로 사건 발생이 일어날 수 있는 다양한 시기 및 유출사고의 규모에 따라 수산업 전반에 걸쳐 체계적인 매뉴얼 작성이 향후 필요할 것이다. 이와 같은 매뉴얼은 국가 위기관리를 위하여 매우 중요하게 작용할 것이라 판단된다.

## 참고문헌

- 강병위 외. 2009. 인구 밀집지역에서의 방사선 비상시 현장지휘체계 및 시민보호 운영방안 고찰. 국가 위기관리학회보. 1: 21-31.
- 교육과학기술부. 2011. 우리나라 해수 일본 원전사고 영향없어. 교육과학기술부 보도자료.
- 국립수산진흥원. 2001. 한국해양편람 제 4판. 국립수산과학원 보고서.
- 국립수산과학원. 2011. 일본 동북해역 방사능 누출에 따른 우리나라 해양 및 회유어종 영향분석. 국립수산과학원 보고자료..
- 국립수산과학원. 2011. 2011년 5월 전망 월간 어황 예보. 국립수산과학원 보고서.
- 기상청. 2011. 2011년 5월 기상월보. 기상청 보고서.
- 김석연·이영희. 1987. 인천연안지역 새우의 방사능 오염에 관한 연구. 산업과학기술연구논문집. 15:

261-266.

- 연합뉴스. 2011. 일 오염수 통제력 상실.. ‘죽음의 바다’ 공포. 언론보도(2011.4.5).
- 이영희. 2007. 동해 해안에서 채취한 해조류의 방사능 오염에 관한 연구. 인천대학교 기초과학논문집. 18: 35-46.
- 이영희. 2008. 남해안 지역에서 채취된 해조류와 해수의 방사능 오염에 관한 연구. 인천대학교 기초과학논문집. 20: 27-38.
- 이영희. 2010. 여수 근해의 해조류 방사능 오염에 관한 연구. 인천대학교 기초과학논문집. 21: 35-45.
- 일본 동경전력. 2011. 동경전력주식회사 후쿠시마 제1원자력발전소 주변의 해수중의 방사능 농도분포.
- 일본 문부과학성. 2011. 미야기현, 후쿠시마현, 이바라기현 근해의 해역모니터링 결과.
- 장동석·전정남. 1970. 수산물의 방사능 오염에 관하여. 국립수산과학원 연구보고.
- 장동석 외. 1986. 한국 남해안 주요 패류 및 해조류의 방사능 오염. 국립수산과학원 연구보고.
- 통계청. 2011. 2010 어류양식동향조사. 통계청 간행물. 1-290.
- 통계청. 2011. 2010 천해양식어업권 통계 - 품종별 양식어업권(면허) 현황.
- 한국원자력안전기술원. 2010. 원자력안전백서. 한국원자력안전기술원 보고서.
- 홍기훈. 1993. 핵개발에 따른 해양 환경 방사능 오염. 해양정책연구. 8(2): 439-472.
- 홍성화. 2011. 해상보험에 있어서 방사능 오염손해에 대한 보상 문제. 한국항해항만학회지. 35(5): 455-462.

---

**韓仁盛:** 일본 나가사키대학에서 이학박사 학위를 취득하고(논문: Short time scale water exchange Processes between the Kuroshio and the Shelf Water in the East China Sea), 현재 국립수산과학원 수산해양종합정보과 해양수산연구사로 재직 중이다. 주요 관심분야는 기후변화(해양변동, 적응대책), 위기관리(해양오염, 해양방재) 등이며, 전문분야 연구로 “해양수산분야 기후변화 적응 연구”를 통하여 농림수산식품부 등 국내의 “농림수산식품 및 해양분야 기후변화 적응대책”을 수립하고, 관련 저서 및 정책자료를 완성하였고 “기후변화와 해양생태계(2010)”의 저서를 발간하였고, 일본해양학회에 “Heat Supply of Tsushima Warm Current in the East Sea (2003)” 및 “Spatiotemporal Characteristics of Interannual Temperature Variations in the Tsushima Strait (2010)” 등을 발표하였다(hanis@nfrdi.go.kr).

**徐榮祥:** 부경대학교에서 이학박사학위를 취득하고(논문: 위성원격탐사에 의한 한반도 근해의 해양학적 특성, 2001), 현재 국립수산과학원 수산해양종합정보과 과장으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 위성원격탐사(해양변동모니터링), 기후변화(해양기후변화와 수산자원변동) 등이다. 전문분야연구로 2011년 국토해양부의 “우리나라 해양생태계기반조사”, “해양생물표본조사사업”과 국립수산과학원의 “수산업의 기후변화에 대한 영향연구 및 대응전략” 과제의 총괄책임을 맡고 있다. 최근에는 “기후변화와 해양생태계변동(2010)”, “해양정보관리(2010)”, “해양환경공학(2009),”서해(2010) 등 저서를 발간하였다. 해양 및 수산학회 등 학회에 65편 이상의 연구 논문을 게재하였다 (Simulation of Snowstorm over the Yellow Sea Using a Mesoscale Coupled Model, Asia-Pacific J. Atmos. Sci., 46(4), 437-452(2010), Year-to year and inter-decadal fluctuations in abundance of pelagic fish populations

in relation to climate-induced ocean conditions, J. Ecol. Field. Biol., 31(1): 45-67(2010).

**黃才東**: 부경대학교에서 이학박사학위를 2004년 취득(논문: 수치모델을 이용한 동중국해역에서의 저염분수 거동에 관한 연구)하였으며, 현재 국립수산과학원 수산해양종합정보과에 근무 중이다. 주요 분야는 첨단위성 해양정보 활용 시스템 운영을 통한 특이 해양정보 제공 및 한반도 연근해의 해양변동 파악 및 예측 등이 있다. 장기관측된 자료를 이용해 우리나라 주변해역의 기후변동분석 등을 해양환경안전학회지 등에 게재하였다(jdhwang@nfrdi.go.kr).

**林月愛**: 부산대학교에서 이학박사 학위를 취득하고(논문: 한국 남해안의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조 발생과정에 관한 연구), 현재 국립수산과학원 수산해양종합정보과 근무 중이다. 주요 관심분야는 적조발생기작 및 적조생물의 생리생태연구 등이며, 전문분야 연구로 "독성플랑크톤 모니터링"를 통하여 국내의 유독성플랑크톤을 모니터링하여 이들이 생태계에 미치는 영향을 연구하고 있다(limwa@korea.kr).

**尹錫賢**: 인하대학교에서 이학박사학위를 2004년 취득(논문: 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포와 요각류의 생산력 연구)하였으며, 현재 국립수산과학원 수산해양종합정보과에서 해양수산연구사로 재직중이다. 주요 관심 분야는 하구역 해양생태계 현황 및 변동 파악 연구, 동중국해 해양생태계 변동 및 기후변화에 따른 생태계 장기변동연구 등을 수행하고 있다. 2009년 "생태계가 살아있는 바다 서해-현황과 특성"이라는 서적을 발간하였으며, Journal of Marine Science(SCI)에 경기만 요각류의 생산력 연구 결과를 등재하였으며, 이 외에 한국해양학회지 및 해양환경안전학회지 등에 10여 편의 논문을 게재하였다(shyoun@nfrdi.go.kr).

투 고 일: 2011년 11월 23일

수 정 일: 2012년 01월 13일

게재확정일: 2012년 02월 06일

## Consideration to the Countermeasure of Fisheries Damage for the Scenario of Radiation Leakage Accident at the Gori Nuclear Power Plant

In Seong Han, Young Sang Suh, Jae Dong Hwang, Wol Ae Lim, Suk Hyun Yoon

Recently, it is arouse people's attention to the alert of radioactivity contamination for fisheries resources and ocean water by the occurrence of radiation leakage accident at the Nuclear Power Plant of Fukushima, Japan. Assuming the short-time radiation leakage accident at the Gori Nuclear Power Plant, we estimated the estimated damage oceanic area and distribution of radioactivity concentration at each oceanic area. Countermeasure for emergency was examined to aquaculture industry and fishing industry. In case of Aquaculture, we devided 3 level for each status: ① preservation, ② shipment in the early stage, ③ disuse the aquaculture resouces including construction. In case of Fishing, it is needed to ① prohibition the fisheries activities in the estimated damage fishing grounds, ② close observation to prediction informations by related organizations and ③ sending the fhisherries sample to analysis organizations for decision whether it is polluted or not. Moreover, ④ it is also needed to flexible reduction effort of fishing grounds according to the prediction informations.

**Key words:** radioactivity contamination, ocean, fisheries, current, countermeasure