



2021-03

후쿠시마 원전 오염수 방출과 대응

박지영 선임연구위원

임정희 연구원

아산정책연구원

2021.1.18

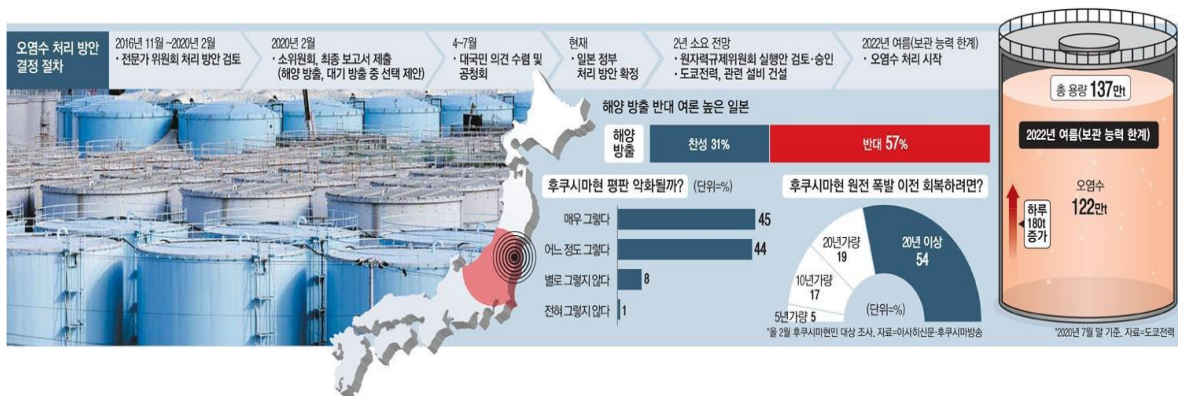
지난 12 월 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, 이하 IAEA) 사무총장은 후쿠시마 오염수의 해양방류가 기술적으로 가능하다는 견해를 다시 밝혔다. 그러나 일본내 어업계 종사자들과 우리나라를 비롯한 주변국은 해양방류에 대한 우려를 표명하고 있다. 일본의 스가 총리는 취임 후 첫 지역 방문지로 9 월 26 일 후쿠시마를 방문했으며 최대한 빨리 책임있게 처리 방침을 결정하겠다고 했다.¹ 일본 정부는 10 월 27 일 '폐로·오염수 대책 관계 각료 등 회의'를 열고 후쿠시마 제 1 원전의 방사능 오염수 처분 방법을 결정할 예정이었으나 후쿠시마 수산물에 대한 인식 악화, 스가 총리에 대한 지지도 등 여러 국내적, 국제적 상황을 고려하여 결정을 연기했다. 스가 정권은 약 124 만톤을 보관 중인 후쿠시마 원전에 대형 탱크를 더 만들어 오염수를 2023 년까지 보관하는 방법도 고려 중이라고 했지만 해양방출안을 포기할 것으로 보이지는 않으므로, 이와 관련된 진행상황 및 대응 및 협력 방안에 대해 검토해볼 필요가 있다.

1. 후쿠시마 원전 오염수 현황과 방출 계획 진행상황

현재 증설분을 포함하여 오염수 보관 총 용량 약 137만톤(약 1000개의 대형탱크에 저장) 중 약 124만톤이 차 있으며, 하루에 약 170~180톤씩 증가됨을 감안할 때, 2022년 여름에 보관

능력이 한계에 달할 것으로 추정된다.² 처리 방안에 대해 결정을 내린다고 바로 방출이 진행되는 것은 아니고, 원자력규제위원회의 실행안에 대한 검토 및 승인, 도쿄전력의 관련 설비 건설 등의 사전 작업 및 준비 과정이 약 1년 6개월에서 2년 정도 소요될 것으로 예상된다.

[그림1] 오염수 처리 방안 결정 절차



출처: TEPCO, 매일경제 <https://www.mk.co.kr/news/world/view/2020/08/808261/>

일본정부는 2016년 11월부터 다핵종제거설비(Advanced Liquid Processing System, 이하 ALPS) 등 오염수 관리에 관한 소위원회를 구성하여 논의 및 검토를 진행해왔다. 2018년 11월 13일 IAEA 전문가 그룹은 지층주입(ground injection), 해양방출(controlled discharge into the sea), 수증기방출(discharge as steam), 전기분해 수소방출(discharge as hydrogen), 지하매설(solidification for underground burial) 5가지의 오염수 방출 대안을 제시하며, 오염수에 대한 처리계획을 빠르게 결정할 것을 일본 정부에 요구했다. 이에 일본 정부는 2020년 2월 10일 ALPS 처리수 소위원회 보고서를 포함한 오염수 처리방안에 대해 IAEA에 검토를 요청했다. 4월 2일 IAEA는 이 보고서에 대한 검토 결과를 발표하면서, 일본이 검토한 방안이 기술적으로 가능하다고 확인했다. 5가지 대안 중에서 땅속주입, 수소방출, 지하매설 3가지 방법은 규제, 기술, 시간적 측면에서 현실적으로 해결되지 않은 문제들이 많으므로, 사례가 존재하는 해양방출, 대기방출 방안이 가장 실현가능한 옵션이라고 기술하고 있다. 사회적 부정적 영향에 대해서 인지하고 있으며 규제기준에의 부합과 대응조치를 함께

강구하겠다고 후술하고 있다.³ 일본이 현재 해양방출안을 강력하게 주장하고 있는 배경에는 IAEA로부터 기술적 가능성을 인정받았다는 것이 있다. 한편으로는, 해양방출방안이 현실적으로 가장 비용적으로 저렴하다는 점에서([그림2] 참조) 이 방안을 선택하려는 것이 아니냐는 비판도 제기된다.

[그림 2] 오염수 처리방안에 관한 평가 비교

Method of disposal	Geosphere injection	Discharge into the sea	Vapor release	Hydrogen release	Underground burial
Duration [months]	104 + 20n 912 (for monitoring)	91	120	106	98 912 (for monitoring)
Cost [Yen]	(18 + 0.65n) Billion + Monitoring cost	3.4 Billion	34.9 Billion	100 Billion	243.1 Billion
Scale	380 m ²	400 m ²	2,000 m ²	2,000 m ²	285,000 m ²
Secondary Waste	None	None	Incinerator ash may be produced depending on components in the treated water.	Secondary waste in the form of residue may be produced.	None
Radiation Exposure to Workers	No points to consider in particular.	No points to consider in particular.	There are no points to consider in particular since the height of the exhaust pipe will be sufficiently high.	There are no points to consider in particular since the height of the exhaust pipe will be sufficiently high.	To prevent radiation exposure to workers during the burial operation, installing a cover etc. is needed.
Others	The costs and duration of the exploration will increase in the event that it is difficult to find a suitable geosphere layer.	In the case of using a divider between the intake water pit and the discharge port, the cost will increase.	The duration may be extended, in case the release operation needs to be suspended due to precipitation.	The duration may be extended, in case the release operation needs to be suspended due to precipitation.	A large amount of concrete and bentonite will be needed. Construction spoil will be produced.

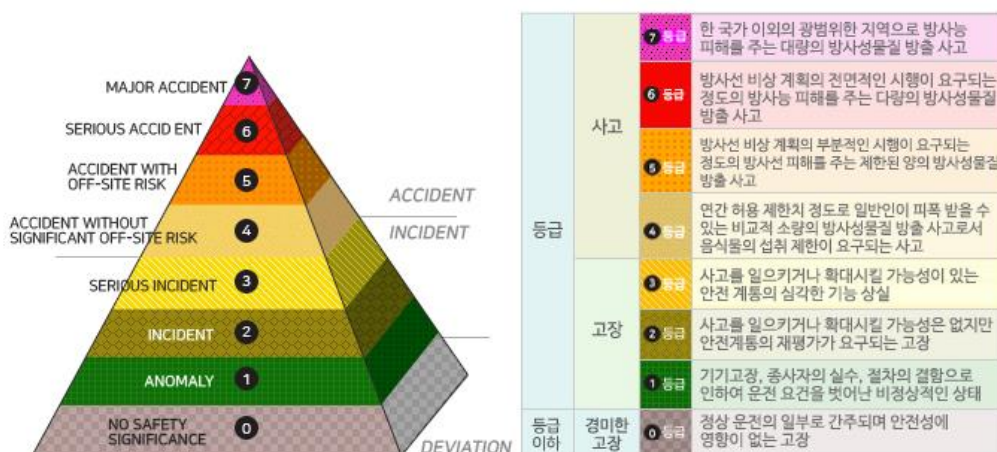
출처: The Subcommittee on Handling of the ALPS Treated Water Report, 2020.02.10, p.7

IAEA가 'timeline'에 대한 고려를 함께 언급하고 있는 것을 보면, 해양방출과 대기방출이 가장 바람직하다는 판단보다는 현실적 시간의 한계를 함께 고려한 판단으로 추정된다. IAEA는 이와 동시에 계속하여 지속적으로 관리하고 안전 점검을 할 것, 관련한 모든 이해관계자들(all stakeholders)과 소통하며 포괄적인 모니터링을 수반할 것 등을 요청하고 있다.

2. 대규모 방사능 오염 사례

IAEA의 원자력 사건 등급(INES)에 따르면 원전의 사건 등급을 0등급부터 7등급까지 분류한다.⁴([그림 3] 참고) 역사상 가장 심각한 원전사고는 1986년 우크라이나에서 발생한 체르노빌(Chernobyl) 원전사고(7등급)였으며, 2011년의 일본 후쿠시마 원전사고 또한 7등급에 해당한다. 그 외에 심각한 사고로 1957년 구소련 키시탐(Kyshtym) 원전사고(6등급), 영국 윈드스케일(Windscale) 방사능 누출사고(5등급), 1979년 미국 스리마일 섬(Three Mile Island) 원자력 발전소 사고(5등급) 등이 있었다.⁵ 냉전시대 경쟁적으로 시도되던 핵실험, 핵무기 제조를 위한 재처리 시설 관리부실, 핵잠수함 처리 과정에서 다량의 방사능이 환경으로 유출되었다.

[그림 3] 국제 원자력 사건 등급⁶(INES: International Nuclear Event Scale)



출처: 원전안전운영정보시스템, <https://opis.kins.re.kr/opis?act=KROCA1100R>

(1) 미국 Hanford⁷ 재처리시설

1955년부터 미국은 워싱턴 주 남부 Hanford 부지에서 핵무기용 플루토늄을 생산했고, 그 기간동안 방사성 원소와 기타 물질을 콜롬비아 강으로 방출했다. 1955년 9월부터 1962년 6월까지 액체 방사능 폐기물 누출에 의한 토양 오염이 발생하였고, 그 후에도 1962년 4월 7일에는 플루토늄 누출, 1963년 11월 6일, 1976년 8월 30일에는 폭발사고, 1973년 4월~6월에는 액체 방사능 폐기물의 지하누출 사고 등 크고 작은 누출 및 폭발사고가 있었다.⁸ 1944년~1972년 사이 Hanford에서 전체적으로 200여종이 넘는 방사능 물질이 대기중으로 방출되었다. 또한 Hanford가 원자로 노심을 냉각하기 위해서 Columbia 강물을 사용하면서, 그 과정에서 방사성 물질들이 강으로 유입되었는데, 컬럼비아 강의 오염도는 이 기간동안 가장 높았다. 오염된 강물에 서식하는 어패류, 오염된 물 등을 섭취하거나, 강물에서 수영 등의 활동을 통해 사람들은 방사능에 노출되기도 했다.

[표 1] 1944-1972 년 Hanford 가 방출한 주요 핵종의 방사능 추정치⁹

대기 중 방출 방사선량			컬럼비아 강에 방출된 방사선량		
방사성 핵종	방출량(TBq) ¹⁰⁾	반감기	방사성 핵종	방출량(TBq)	반감기
요오드 -131	27,380	8 일	요오드 -131	1,776	8 일
삼중수소 (H-3)	7,400	12 년			
스트론튬 -90	2,368	29 년			
세슘 -137	1,554	30년			

(2) 영국 Sellafield 윈드스케일(Windscale) 원자로 사고 (1957)

1957년 10월 영국의 아일랜드해 해안의 윈드스케일 원자력 단지에서 발생한 사고이다. 열감지기 고장으로 제1원자로에 화재가 발생하였는데, 이틀후에야 공기 채집기가 대량 유출된 방사능을 감지하게 되어 다량의 방사능 물질이 굴뚝을 통해 영국 전역과 주변 유럽 지역까지 퍼져나갔다. 이 사고로 750TBq의 요오드-131¹¹, 22TBq의 세슘-137¹², 12,000TBq의 제논-131 등의 방사성 물질이 누출되었다.¹³ 인명 대피는 없었으나, 우유가 요오드에 오염되어 주변 650 km²에서 생산된 수백만 리터를 4개월 동안 폐기처분 하였다.

당시 헤럴드 맥밀런 영국 총리가 세부적인 사항을 기밀로 하였는데, 추후 공개된 보고서 및 연구 결과들을 취합해보면, 30여명이 방사선 피폭의 직접적 영향으로 사망했고¹⁴, 100~240명의 암 사망자가 발생한 것으로 추정된다.¹⁵ 오염된 원자로는 폐쇄되었으나, 칼더홀 원자력 발전소와 함께 1981년 셀라필드로 변경하여 계속 운영되었다. 1950년대부터 2000년대까지 약21차례의 3~5등급의 사고에 해당하는 방사능 사고가 있었다.¹⁶ 또한 방사능폐기물 및 오염수를 아일랜드해로 배출해, 일부 단체들은 이로 인해 아일랜드해가 세계에서 가장 오염된 바다가 되었다고 지적하기도 했다.¹⁷ 셀라필드에서 배출된 방사능 물질들이 아일랜드해의 심각한 해양오염을 초래하였다는 결과들이 있으며, 세계 해안 및 바다 중 스트론튬, 세슘, 플루토늄 오염도가 가장 높다.¹⁸

(3) 우크라이나 체르노빌 사고(1986)

1986년 4월 26일 원전 4호기가 우크라이나 북쪽 체르노빌에서 폭발한 사고로, 이 사고로 주변 주민들은 즉시 방사능에 피폭(350~6000 mSv)되었다. 이는 자연에서 발생하는 일반 수준에 비해 3000배가 넘는 수준이었다. 4월 26일 폭발이 있는 후부터 원자로의 화재가 진압되기까지 열흘 간, 원자로에서 발생한 화재로 인한 상승 기류를 타고 막대한 양의 방사성 물질이 외부로 누출되었다. 누출된 방사성 물질은 종류만도 40종 이상에 달하며, 누출된 방사성 물질의 총량은 비활성 기체에 의한 것을 제외하면 1996년 추산치로 520만TBq에 달한다.¹⁹ 사고 당시 인근 30km까지 차폐되어 10만 명 이상의 사람들이 대피했다. 폭발 원전의 처리 기술자와 주변 방화를 제어하는 소방관 그리고 주변 주민들까지 합하면 사고로 인한 직, 간접 인원은 우크라이나 인구의 4%에 달할 것으로 추정한다.²⁰ 이 사고로 우크라이나, 러시아, 벨라루스 등 당시 옛 소련 지역(14,500 km²이상)에 방사성 낙진이 퍼졌고, 이때 방사능에 노출된 사람만 800만 명에 이른다. 주변국과 해양의 상태는 일반 자연의 방사능 수치를 넘는, 연간 1mSv 또는 크게는 2~3mSv가 증가하는 등 악영향을 미치고 있다.²¹

(4) 주변국의 대응

체르노빌 사고 발생후 인근지역인 스웨덴, 핀란드, 및 덴마크 지역 등에서 26-28 일에 걸쳐서 평소보다 6 배 이상의 방사능이 검출되고 스웨덴 정부에서 대기상황을 조사하여 항의한 후에야 소련 정부는 숨겨오던 핵 발전소 폭발사고를 인정했다. 이러한 소련 정부의 지연된 대응으로 더 광범위한 피해가 발생했다. 체르노빌 사고는 사상 최악의 원자력 사고로 평가되며 당시 서독, 스웨덴, 영국 등이 구소련에 손해배상 청구를 고려하기도 하였으나, 결과적으로 사법적 대응조치는 하지 않았다. 이는 방사능 피해에 대한 청구근거가 부족하고, 원자력 발전을 운용하는 국가들 입장에서 선례를 만드는 것을 우려하였으며, 당시 (방사능 오염에 대한) 구속력 있는 조약이 부재하였기 때문인 것으로 볼 수 있다.²²

1993년 러시아의 태평양 함대가 퇴역 핵 잠수함을 해체하는 과정에서 발생한 액체 및 고체 방사성 물질 수천 톤을 동해에 방출했다. 러시아는 폐기되는 방사성 물질이 유해한 수준은 아니라고 주장했지만 일본과 미국은 핵 잠수함에서 분리되는 핵연료의 안전한 보관과 방사성 물질 재처리 시설 건설을 위한 비용을 지원키로 했다. 일본은 러시아 태평양 함대가 동해에 핵 폐기를 한 직후인 1993년 10월 러시아와 협정을 체결해 액체 방사성 물질 재처리를 위한 해상 부유 시설 건설에 4천만 달러를 지원하기도 했다. 러시아 비상사태부와 태평양함대 소속 전문가, 학자 등은 2003년부터 방사성 물질 폐기 해역에 대한 탐사 활동을 벌여오고 있다.²³

3. 후쿠시마 방사능 오염수 방출의 환경 영향

(1) 후쿠시마 방사능 오염

후쿠시마 사고 이후 방사능 오염은 크게 대기와 해양을 통해 진행되었다. 대기중 확산을 통한 방사능 중 인체에 영향이 큰 핵종은 요오드와 세슘이다. 방사선 영향에 관한 유엔과학위원회(UNSCEAR)의 2013년 평가에 의하면²⁴ 요오드는 100-500 PBq²⁵이 유출되어 체르노빌 유출량의 약 10%에 달하는 것으로 평가되었으며 세슘은 6 ~ 20 PBq로 체르노빌 유출량의 약 20%에 이른다. 이들 대부분은 바람에 의해 태평양 연안으로 확산되었고, 일부는 동일본 내륙으로 확산되었다. 2017년 Sakaguchi는²⁶ 후쿠시마 원전 3~35km 근방에서 세슘-134와

세슘-137의 농도가 매우 높음을 재확인하였고, 플루토늄-239, 플루토늄-240과 우라늄-236 역시 낮은 농도로 확인하였다.

후쿠시마시 거주 성인이 사고 후 1년 동안 받은 평균 유효선량은 약 4 mSv로 후쿠시마시 이외에 현내 다른 도시는 다른 현 지역과 유사 또는 약간 높은 피폭 수준을 보였다. 후쿠시마현내 계속 거주할 경우 일생에 걸쳐 추가적으로 흡수하는 방사능 양은 약 10 mSv로 추정되었다. 일본이외 다른 국가의 방사능 노출은 일본에 비해 미미했으며 건강에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 일본 내 내부피폭을 추적하기 위해 식품에 축적된 세슘의 농도를 평가한 연구에서는²⁷ 매우 낮은 비율의 규제 한도 초과 샘플이 측정되었으며 음식 섭취로 인한 내부 피폭도 낮은 것으로 평가되었다.

사고 직후 해양 오염은 바다로의 직접 방출 및 유출에 의해 사고가 수습되지 못하고 있던 1달 이내에 주로 발생했다. 2013년 보고서에서는²⁸ 해양으로 직접 배출된 방사능은 요오드가 10 ~ 20 PBq, 세슘이 3 ~ 6 PBq이고, 대기중으로 방출된 후 다시 해양으로 흡수된 요오드가 60 ~ 100 PBq, 세슘은 5 ~ 8 PBq인 것으로 추정되었다. 이들 오염은 후쿠시마 원전 80km이내에서 발생했다. 2013년 5월 부터 2015년 10월 사이 자료를 분석한 Fukuda²⁹에 따르면, 원전 해안 30km 이내의 해수에서 사고 이전보다 1~2배 높은 세슘-137이 검출되었고, 5km이내는 20~ 220 Bq/m³로 측정되었으나, 30km지점에서는 2-4 Bq/m³으로 해안에서 멀어질수록 급격하게 수치가 감소함을 보여준다.

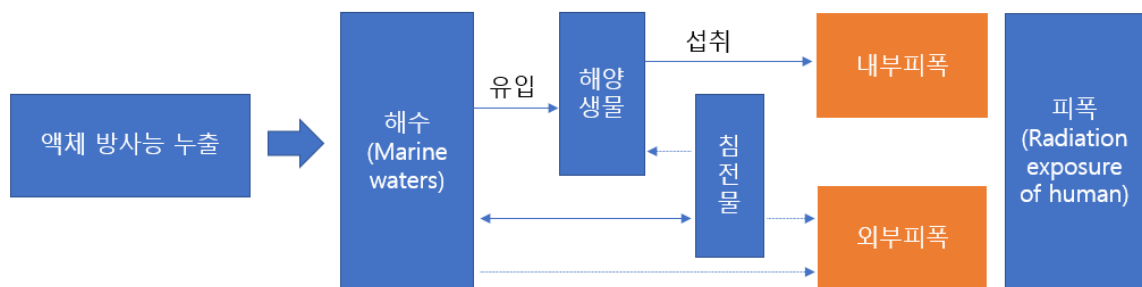
2020년 발간된 IAEA 보고서에³⁰ 따르면 사고이후 급격하게 증가했던 해저 해양수 내 세슘 농도는 2019년 기준 사고 이전 수준을 회복했다. 그러나 후쿠시마 인근 해저 퇴적물의 경우 희석되는 속도가 현저히 떨어지며 사고 이전 수준을 회복하지 못했다.

(2) 후쿠시마 원전 오염수 방출로 인한 영향

해양오염에 의한 피폭경로는 [그림4]와 같다. 침전물에 의한 외부피폭의 경우 후쿠시마 인근 지역을 제외하고는 고려할 필요가 없다. 가능성 있는 주된 피폭 경로는 해양 생물 섭취에 의한 것인데 2016년 Wada의³¹ 연구결과에 의하면 후쿠시마 현에 의해 시행된 16개 어종 수산물에 대한 광범위한 모니터링 결과 민물 어류의 방사성 세슘 농도가 바다 수산물의 농도 보다

높았으며 허용 수준을 넘는 식품에 대해 첫 2년동안 제한 조치가 적용되었다. 2014년에는 식품제한수준을 넘는 경우는 가장 높은 농도의 퇴적물이 있는 지역에 한정되었으며, 최대 방사성 세슘 농도가 750Bq/Kg을 초과하지 않았다. 도쿄전력의 보도자료에 따르면 2020년 기준 후쿠시마 인근 해수 방사능 농도는 검출한도 이하 값을 기록하고 있다.³²

[그림 4] 해양오염에 의한 피폭 경로



해양 방류는 오염물질을 해양환경에 영향을 미치지 않는 일정수준 이하로 여과하여 장기간에 걸쳐 진행하게 된다. 오염수 내의 방사능 물질 중 ALPS로 제거가 효과적이지 못한 트리튬의 경우 방출에 대해서 우리나라를 비롯한 이웃국가는 물론 일본 내 어업 종사자들의 반발이 지속되고 있다. 트리튬의 경우 과학적으로는 저선량 트리튬 피폭에 의한 피해가 존재하지 않고 원자력시설의 정상적 운영을 통해서도 저선량 방출은 지속되어 왔다. 따라서 해양방출 자체 보다는 방류시기, 농도, 기간 등에 대한 분석이 선행되어야 주변 환경으로의 영향을 판단할 수 있을 것이다.

(3) 주변국 영향과 대응 현황

정부는 이 문제를 국제적으로 공론화하기 위해 협력할 '이해당사국'으로 미국과 중국, 러시아, 캐나다, 대만 등 태평양 연안국을 이미 지목했다.³³ 하지만 이들 태평양 연안국들은 아직까지 한국 정부가 추진하는 국제 공조와 대응에 아무런 입장을 내놓지 않고 있다. 한국 정부는 2019년 9월과 10월 IAEA와 IMO에서 일본의 오염수 해양방출에 대한 우려를

표명하였고, 2020년 9월 22일에 IAEA 총회에서도 다시 한번 문제를 제기하며, 국제협력을 요청하였다.

후쿠시마 오염수의 방출 우리나라 근해에 영향을 미치는 시기는 수개월에서 5년까지 여러가지 예측 결과가 존재한다. 그러나 현실적으로 정확하게 얼마만에 한국의 연안에 도달하게 될지, 이로 인한 피해는 어느 정도에 이를지에 대한 예측이 쉽지 않은 상태이다.

중국 역시 지난 IAEA 총회에서 일본의 후쿠시마 오염수 방출에 대한 우려를 표명하였고, 2020년 10월 19일 자오리젠 외교부 대변인은 일본의 후쿠시마 원전 사고로 인해 방사성 물질이 방출되어 해양 환경, 식품 안전 및 인체 건강에 큰 영향을 미쳤으며, 일본 정부가 오염수 방출 계획의 잠재적 영향을 심층적으로 평가하고 주변국과의 충분한 협의에 기초하여 신중하게 결정하기를 촉구하였다. 또한 일본이 자국민과 주변국, 국제사회에 책임 있는 태도로 공개적이며 투명한 방식으로 신속히 정보를 발표할 것을 희망한다고 밝혔다.³⁴

일본과 맞닿은 미국과 러시아는 오염수가 방류될 경우 가장 빨리 영향을 받게 될 것으로 예상되지만 아직 정부에서 이 부분에 대한 공식 입장을 내놓지는 않고 있다. 미국 워싱턴주 보건부(Washington State department of health)는 방사능 검사 및 모니터링을 지속적으로 수행하였으나, 위험 수준이 감지되지 않는다고 공지하고 있는데,³⁵ 미국이 적극적인 대응을 하지 않는 이유는 긴급히 대응할 정도로 환경 및 건강 위험이 존재하지 않는다고 판단하기 때문으로 보인다. 다만 러시아는 한국과 공동으로 선박에 해수방사능 감시기를 설치하여 방사성 물질에 대한 감시를 강화하기로 합의하였는데 후쿠시마 오염수의 태평양 방류시 이에 대처하기 위해 협력하기 위한 것으로 볼 수 있다.³⁶ 일본 정부는 2014년 미국 방사성 폐기물 관리업체 쿠리온과 미일 합작업체 'GE-히타치 원자력에너지 캐나다', 러시아 국영기업 '로스라오'에 후쿠시마 원전의 오염수 정화 처리를 맡긴 바 있다.³⁷

호주의 방사선 방호 및 원자력 안전국(ARPANSA)는 2012년 후쿠시마 원전 사고가 호주에 미치는 영향에 대해 발표한 보고서(Assessment of the impact on Australia from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident)에서 서호주 북쪽 해안에 도달하는 데는 5년, 호주 동북부 퀸즐랜드주의 동쪽 해안에 도달하는 데는 10~15년 걸릴 것이며 방사성

물질이 그 동안 희석돼 호주에 기준치 이상의 영향을 미치는 일은 없을 것으로 예상된다고 분석했다.³⁸

오염수 방출 문제를 한국만큼 적극적으로 대응하고 있는 국가는 없으나, 후쿠시마 수산물 수입제한 조치를 취했던 54개국 중 2020년 12월 10일 기준 중국, 한국, 대만, 홍콩, 미국, EU, 영국, 싱가포르, 러시아, 인도네시아 등 16개국은 여전히 수입제한조치를 유지하고 있다.

4. 국제규범

런던협약/런던의정서

폐기물 기타 물질의 투기에 의한 해양오염 방지에 관한 협약(Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972, 이하 런던협약)에서는 금지되지 않는 수준의 저준위(low-level) 방사능 물질에 대해서는 사전에 특별허가를 받도록 되어있다. 런던협약을 강화한 런던의정서에 따르면, 고준위(high-level) 핵폐기물은 물론이고 저준위 핵폐기물도 해양투기가 전면 금지된다. 우리나라는 해양환경의 보호 목적을 강조하며 후쿠시마 원전 오염수의 방류가 런던의정서 틀내에서 논의되어야 함을 강조하고 있고³⁹ 중국과 칠레 등 일부 국가가 2019년 IMO 당사국 총회에서 한국의 입장과 같은 의견을 밝힌 바 있다. 그러나 방사능 오염수 처리는 해양투기가 아닌 자국 연안 방류이므로 국제기준 이하의 처리수 방출 시 이들 규범의 적용은 어렵다.

유엔해양법협약

유엔해양법협약은 해양문제에 관해 광범위하게 규율하고 있는 조약으로, 제12부에서 해양환경의 보호와 보전과 관련한 조항들을 두고 있다. 유엔해양법협약 제192조에서는 해양환경을 보호하고 보전할 일반적 의무를 규정하고 있고, 제194조 1항에서는 해양환경의 오염을 방지, 경감 및 통제하는데 필요한 모든 조치를 취하고, 이와 관련 자국의 정책을 조화시키도록 규정하고 있다. 2항에서는 자국의 관할권이나 통제 하의 활동이 타국과 타국

환경에 대해 오염으로 인한 손해를 주지 않도록 보장하고, 또한 오염이 자국이 주권적 권리를 행사하는 지역 밖으로 확산되지 아니하도록 보장하는데 필요한 모든 조치를 취하도록 규정한다. 일본이 연안에 위치한 후쿠시마 원자력 발전소로부터 오염수를 방출한다고 하더라도, 이러한 방출행위로 인한 해양오염이 다른 국가에 영향을 미치게 된다면 이에 위반될 수 있다. 제194조 3항에서는 육상오염원으로부터, 대기로부터, 대기를 통하여 또는 투기에 의하여 특히 지속성있는 유독·유해하거나 해로운 물질의 배출을 가장 극소화시키기 위한 조치를 포함하도록 규정하고 있다.

사용후 핵연료 및 방사성 폐기물 관리의 안전에 관한 공동협약

사용후 핵연료 및 방사성 폐기물 관리의 안전에 관한 공동협약(Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, 1997)은 체르노빌 사고이후 사용후핵연료와 방사성폐기물의 안전성을 확보하고 유지하기 위해 채택된 협약으로, IAEA 의 방사성폐기물 관리원칙을 확대, 강화하여 구속력있는 법제도로 만든 것이다. 동 협약 제 11 조에서는 각국이 방사성폐기물 관리의 모든 단계에서 방사선 및 그 밖의 위험으로부터 충분히 보호되도록 적절한 조치를 행하도록 하고 있으며, 특히 국제적으로 인증된 기준 및 표준을 적절하게 고려하여 적절한 보호수단을 국가차원에서 적용하도록 하며, 미래 세대에 끼칠 영향을 고려하여 조치를 취할 것을 규정하고 있다.

상기 국제규범들은 환경에 해를 미치는 것과 다른 국가에게 영향을 미치는 것을 경계하며 제한조치들을 규정하고 있다. 따라서 일본의 오염수 방출에 대한 세부 계획이 없고 환경에 대한 과학적 분석이 부족한 현재 시점에서 법적인 대응을 논하기는 어렵다. 그러나 유엔해양법협약 상의 협력 관련 규정들을 강조할 필요가 있다. 유엔해양법협약 제 197 조에서는 지구적, 지역적 차원에서 협력할 의무를 규정하고 있으며, 제 199 조는 가능한 한 오염의 영향을 제거하고 피해를 방지 또는 최소화하도록 협력하고, 해양환경 내 오염사고에 공동으로 대처하기 위한 비상계획을 개발하고 촉진시키도록 규정한다. 이밖에 과학조사연구를 촉진시키고 정보 및 자료 교환하며(제 200 조), 규칙제정을 위한 과학적 기준 설정을 위해 협력하도록(제 201 조) 하며, 오염의 위험이나 영향 감시 및 영향평가(제 204 조, 제 206 조)를 할 의무들을 두고 있다. 런던의정서에서도

지역협력(제 12 조), 기술 협력 및 지원(제 13 조), 해양오염원에 의한 오염의 방지, 감축 및 제거를 위한 과학적, 기술적 연구를 촉진하는 조치를 취할 것(제 14 조) 등의 규정을 두고 있다. 이를 근거로 일본의 오염수의 안전한 정화 및 처리를 위해 과학 기술적 협력을 활성화하고, 적극적 조사 및 정보 교환에의 협력을 확보할 필요가 있다.

5. 향후 대응 방안: 환경영향에 대한 과학·기술 협력, 정보 공유 시스템 구축

현재로서 내각의 오염수의 처분방안 결정, 도쿄전력의 세부계획 수립 및 원자력규제위원회의 최종 승인까지 실제 오염수 방출이 이루어지기 전 2 년의 시간이 남아있다. 이 기간동안 한국이 취해야 하는 대응 방안은 오염수 방출에 대해 바로 사법적인 대응을 선포하기 보다는 해양오염 방지를 위한 과학·기술 협력 지점을 먼저 마련하는 것이다. 동북아 지역은 세계에서 가장 원자력시설의 밀집도가 높고 향후 시설에 대한 제염과 해체 수요 또한 높다. 비단 사고에 대한 대응뿐 아니라 발생 가능한 오염을 관리하기 위해 사전적으로 방사능 영향을 예측하는 기술, 사고 발생시 즉각적으로 대응할 수 있는 프로토콜 구축이 필요하다. 이를 위해서는 동북아 지역 원자력 시설 안전관리에 대한 정보가 실시간으로 공유될 수 있는 모니터링 시스템이 존재해야 한다.

2019년 11월 28일에는 제12차 한중일 원자력안전 고위규제자회의(TRM)에서 동북아 원자력안전이라는 공통의 목표를 달성하기 위해 협력의 필요성을 재확인하고, 향후에도 지속적으로 긴밀하게 협력하기로 하였다. 인접국 원전 사고 시 신속한 정보교환과 조기대응을 위해 실시하는 한·중·일 합동방재훈련 결과와 향후계획을 점검하였고 원자력안전위원회는 중국, 일본 수석대표와 양자회의를 개최하여 후쿠시마 원전 오염수 처리에 대한 한국 국민의 우려와 국제공조체계 강화 필요성을 전달하기도 하였다. 의사결정 과정에서 지구환경과 미래세대에 미치는 영향을 최소화하는 책임있는 자세를 가지고, 검토중인 모든 대안들에 대해 면밀한 분석과 평가를 수행할 것을 요청하였으며, 한국을 포함한 주변국에 충분한 설명과 협의절차를 거쳐 국제사회와의 공감과 이해를 구할 것을

당부하였다. 오염수 처리와 관리의 안전성에 대해서도 과학적으로 신뢰할 수 있도록 투명하게 정보를 제공해 주기를 요청하였다.⁴⁰

문제제기를 하고 우려를 표명하는 것에서 나아가 보다 현실적인 대응조치가 요구된다. 한·중·일 원자력안전 고위규제자회의(TRM)과 한중일 과학기술장관 협의체를 활용하여 원자력 안전에 대한 관리와 협력을 강화하고 일본의 후쿠시마 오염수 및 방출 문제를 논의하는 것이 더 현실적인 방안이다. 현재는 일본이 일방적으로 공표한 정보를 바탕으로 확인하는 정도에 그치고 있으므로 일본이 모든 정보를 투명하게 공개할 것을 요구하고 협력기반을 통해 정보를 공유하며 공동조사를 수행할 필요가 있다. 방사능의 인체 유해성 및 해양환경에의 영향 등의 과학, 기술적 현존 문제들에 대해서 공동으로 연구하는 한편, 오염수의 처분 방식의 대안가능성, 해양방출시의 영향에 관한 모니터링 방식 등을 개발하여 궁극적으로 주변국의 국민 건강 및 안전에 기여할 수 있는 방안으로 견인하는 것이 바람직할 것이다.

현재 일본의 오염수 방출 결정을 지연시키는 결정적인 이슈는 일본 내 반대 여론이며 일본도 오염수 처리에 대한 국제 공조가 필요한 상황이다. 원자력발전소의 해체와 제염 시 후쿠시마 수준의 대규모 오염수를 배출하지는 않겠지만 일정량의 처리수 배출이 일어날 수 있다. 중국 연안에 위치한 원전의 제염과 해체 시 한국과 일본은 직접적인 영향권에 위치하며 우리나라 경우도 원전시설 폐쇄시 일본에서 모니터링을 요구할 수 있다. 따라서 후쿠시마 오염수 처리에 대한 과학적 근거를 바탕으로 한 동북아와 태평양 지역의 공조와 협력이 필요하며 향후 처리방안에 대한 공감대 구축이 요구된다.

한국으로서는 일본의 오염수 처리에 대한 공동연구와 협조를 진행하는 동시에 한국 근해에 끼치게 될 피해의 물리적, 수치적 피해의 산정, 인근 주변국에의 영향 등을 정확하게 파악하고 대비할 필요가 있다. 실제로 오염을 초래할 것인지, 어떤 피해를 초래할 것인지, 이에 대한 정화 및 관리는 어떻게 할 것인지에 대해 명확한 근거를 갖추기 위한 과학적, 기술적 차원의 분석과 개발 및 연구가 요구된다.

- ¹ “菅首相、震災復興「全閣僚への指示書に記載」 基本方針では欠落”, 毎日新聞, 2020. 09. 26, <<https://mainichi.jp/articles/20200926/k00/00m/040/145000c>>.
- ² TEPCO, <https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/>.
- ³ IAEA, IAEA Follow-up Review of Progress Made on Management of ALPS Treated Water and the Report of the Subcommittee on Handling of ALPS treated water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, 2 April 2020, (<https://www.iaea.org/sites/default/files/20/04/review-report-020420.pdf>)
- ⁴ “The Use of the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) for Event Communication”, IAEA, 2014. (<https://www.iaea.org/publications/10784/the-use-of-the-international-nuclear-and-radiological-event-scale-ines-for-event-communication>)
- ⁵ “INES The international nuclear and radiological event scale”, 08-26941/E, International Atomic Energy Agency & Nuclear Energy Agency, 2008. (<https://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf>)
- ⁶ ‘국제 원자력 사건 등급(INES : International Nuclear Event Scale)’는 1990 년에 개발되어 시범적용을 마친 후 1992 년부터 본격적으로 사용되고 있으며, 현재 전 세계적으로 약 60 여 개국이 원자력 사건 등급평가에 이 체계를 사용하고 있다. 우리나라는 1993 년부터 이 체계를 도입하여 사건 등급평가를 수행하고 있다.
- ⁷ Robert Gillette, “Radiation Spill at Hanford: The Anatomy of an Accident”, *Science*, New Series, Vol. 181, No. 4101 (Aug. 24, 1973), pp. 728-730 참고
- ⁸ IAEA-TECDOC-867, Significant incidents in nuclear fuel cycle facilities 참고.
- ⁹ 1987 년 말에 시작된 헨포드 환경 선량 재건 프로젝트(Hanford Environmental Dose Reconstruction Project(이하 HEDR)에서 수행된 대중 누출 방사선 량의 추정치를 의미함. 헨포드 핵시설에서 40 년 이상 방사성 물질을 환경에 방출했으나, 1986 년까지 이러한 방출량에 대해 알려지지 않았었다. 1986 년 2 월, 미국 에너지부는 대중의 압력과 정보자유법에 따른 요청에 따라 19,000 페이지 분량의 문서를 공개했다. (<https://web.archive.org/web/20091227061941/http://www.doh.wa.gov/Hanford/publications/history/release.html#7>).
- ¹⁰ 1 큐리(Ci) = 3.7 billion Bq(0.037TBq)
- ¹¹ United States Environmental Protection Agency. (<https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-iodine>)
- ¹² 다량의 Cs-137 에 대한 외부 노출은 화상, 급성 방사선 질환 및 심지어 사망을 유발할 수 있다. 강력한 감마선으로 암세포를 죽이기 때문에 병원에서 자궁암 등의 치료에 사용되기도 하지만, 정상세포가 이에 노출되면 반대로 암 위험이 증가할 수 있다.
- ¹³ Hazards of Nuclear and Allied Radiations A second Report to the Medical Research Council (Dec, 1960), Appendix H. “The Nuclear Reactor Accident at Windscale-October 1957: Environmental Aspects”, p. 129. (<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/37/004/37004435.pdf?r=1&r=1>)
- ¹⁴ <https://www.nytimes.com/1988/01/02/world/britain-suppressed-details-of-57-atomic-disaster.html?auth=login-email&login=email>
- ¹⁵ <https://www.irishtimes.com/news/the-unacceptable-toll-of-britain-s-nuclear-disaster-1.970400>, http://www.bbc.co.uk/cumbria/content/articles/2007/10/02/windscale_outside_feature.shtml,
- ¹⁶ G A M Webb et al. “Classification of events with an off-site radiological impact at the Sellafield site between 1950 and 2000, using the International Nuclear Event Scale”, *Journal of Radiological Protection*, Vol. 26, No.1(2006), pp.33-49.
- ¹⁷ <http://corecumbria.co.uk/alternative-tour-of-sellafield/irish-sea/>, <https://web.archive.org/web/20160303235706/http://www.greenpeace.org.uk/nuclear/sellafield-nuclear-reprocessing-facility>

- 18 IAEA-TECDOC-1429 Worldwide marine radioactivity studies (WOMARS) Radionuclide levels in oceans and seas Final report of a coordinated research project, January 2005, pp. 137-140. (https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE_1429_web.pdf), <https://www.independent.ie/irish-news/huge-rise-in-nuclear-pollution-of-irish-sea-26183332.html>
- 19 UNSCEAR 2000 Report, vol.2, Annex J “Exposures and effects of the Chernobyl accident”, pp.453-566 참고
- 20 The Nuclear Energy Institute (NEI), Chernobyl Accident and Its Consequences (<https://www.nei.org/resources/fact-sheets/chernobyl-accident-and-its-consequences>)
- 21 김병철, “체르노빌 사고 장기분석”, 한국환경산업기술원, p.4 재인용
- 22 Patricia Birnie, Alan Boyle, and Catherine Redgwell, *International Law & the Environment*, 3rd ed. (Oxford: Oxford University Press, 2009), p. 518.
- 23 “러시아는 방사성 물질 폐기 어떻게 수습했나”, 연합뉴스, 2011 년 4 월 5 일.
- 24 UNSCEAR 2013 Report Vol. 1. Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami, United Nations, 2014.
- 25 1PBq=10¹⁵Bq
- 26 Sakaguchi, A., P. Steier, Y. Takahashi et al. “Isotopic Compositions of ²³⁶U and Pu Isotopes in “Black Substances” Collected from Roadsides in Fukushima Prefecture: Fallout from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident”, *Environmental Science&Technology*, Vol. 48(7) (2014), pp. 3691-3697.
- 27 Orita, M., K. Nakashima, N. Hayashida et al. “Concentrations of radiocesium in local foods collected in Kawauchi village after the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station” *Scientific Reports* 6(1) (23 June, 2016).
- 28 https://www.unscear.org/docs/reports/2013/13-85418_Report_2013_Annex_A.pdf
- 29 Fukuda, M., T. Aono, S. Yamazaki et al. “Dissolved radiocaesium in seawater off the coast of Fukushima during 2013–2015”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* Vol.311(2) (30 Aug, 2016), pp.1479-1484.
- 30 Environmental Transfer of Radionuclides in Japan following the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, October 2020.
- 31 Wada, T., A. Tomiya, M. Enomoto et al. “Radiological impact of the nuclear power plant accident on freshwater fish in Fukushima: An overview of monitoring results”, *Journal of Environmental Radioactivity* vol.151 part.1 (Jan 2016), pp. 144-155.
- 32 TEPCO, <http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/f1/smp/index-e.html>
- 33 “정부, 日 원전 오염수처리 IAEA 에 '국제공조'”, *Chemical News*, 2019 년 9 월 5 일.
<<http://www.chemicalnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=863>>
- 34 <http://www.ecns.cn/news/politics/2020-10-19/detail-ihazqys6709867.shtml>.
- 35 Washington State Department of Health, <https://www.doh.wa.gov/CommunityandEnvironment/Radiation/FukushimaUpdate>
- 36 <https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/2026459>
- 37 “日 후쿠시마 오염수 문제 침묵하는 이해당사국들...국제 공조 가능할까”, *동아사이언스*, 2019 년 9 월 16 일.
<<http://dongascience.donga.com/news.php?idx=31148>>
- 38 <https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/technicalreports/tr162.pdf>, p.11,
<https://www.arpansa.gov.au/sites/default/files/legacy/pubs/factsheets/ImpactonAustralia.pdf>
- 39 <https://www.mof.go.kr/iframe/article/view.do?articleKey=36626&boardKey=10¤tPageNo=1>
- 40 <https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/2041425>