

# 다핵종제거설비 등 처리수(ALPS 처리수) 해양 방출에 관한 방사선 영향 평가 결과(설계 단계\*) 개정에 대해

**TEPCO**

---

2022년 4월 28일

\* 이 보고서의 평가는 해양 방출에 관한 계획의 설계·운용 관련 검토의 진척, 각 방면의 의견, IAEA 전문가의 리뷰, 제3자 평가에 의한 크로스 체크 등으로 얻을 수 있는 지식의 확충을 통해 적절히 재검토해 나가는 것이다.

# 개정 의 개요

- 2021년 11월에 'ALPS 처리수의 해양 방출에 관한 방사선 영향 평가 결과(설계 단계)'를 공표한 후 당사에서의 검토 진척이나 의견 모집을 통해 일본 국내 및 해외에서 모아진 의견, IAEA 직원과 국제 전문가의 리뷰, 원자력규제위원회와의 논의 등을 토대로 다음과 같이 평가를 일부 재검토하여 개정한다.
- 방사선 영향 평가에 관해 일반 공중의 선량 한도와 선량 구속치\*, 국제 기관이 제시한 생물종별 지정 기준치를 큰 폭으로 밀돈다는 결론은 개정 전후로 변함이 없다.

장	주요 변경점
핵심 요약	새롭게 핵심 요약을 추가
평가의 개요	1~10장의 변경 내용 반영
1. 배경	ALPS 처리수 등의 발생 등의 배경 정보를 추가
2. ALPS 처리수 취급의 검토	ALPS 처리수의 취급에 관한 검토 경위를 추가
3. 평가 실시의 목적	변경 없음
4. 평가에 대한 생각	다음 페이지 '평가에 관한 주요 변경점'을 참조
5. ALPS 처리수 등의 수질과 방출 방법	검토 진척(실시 계획·심사 회합 등)을 반영
6. 사람(공중) 방호에 관한 평가	다음 페이지 '평가에 관한 주요 변경점'을 참조
7. 환경 방호에 관한 평가	참고 자료에서 본문으로 위치 변경
8. 평가와 관련된 불확실성에 대한 고찰	다음 페이지 '평가에 관한 주요 변경점'을 참조
9. ALPS 처리수의 해양 방출에 따라 실시되는 모니터링	검토 진척(심사 회합·종합 모니터링 계획 등)을 추가
10. 맺음말	평가에 관한 변경 내용을 반영

\* 다음 페이지 참조

## 평가에 관한 주요 변경점

- 이번 개정에서는 피폭 경로의 추가 등으로 사람에 대한 선량 평가치가 약간 증가했지만, 선량 구속치와 비교하여 영향이 극히 적다는 결론은 변함이 없다.
- 2022년 2월 원자력규제위원회가 방사선 영향 평가를 확인하기 위한 생각과 평가 기준으로써 일본 국내 원자력발전소의 선량 목표치(연간 0.05밀리시버트)가 IAEA 안전 기준의 선량 구속치에 상당한다는 견해를 제시했기에 해당 수치(연간 0.05밀리시버트)를 이 평가에서의 선량 구속치로 취급한다.
- 해산물 섭취에 의한 내부 피폭 평가에서 섭취하는 삼중수소의 10%가 유기 결합형 삼중수소(OBT)인 것으로 가정한다.
- 이 보고서 평가에서의 방사성 물질의 축적에 관한 가정(평형 상태)에 대해 충실히 기재한다.
- 사람 방호에 관한 평가에서 소스텀(방출되는 방사성 물질의 종류와 양), 피폭 경로나 평가에 사용하는 해수 중 방사성 물질 농도의 일부에 대해 재검토 평가한다.
- 확산 시뮬레이션 결과로 계산 영역 경계부의 농도가 해수 중 삼중수소 농도보다 충분히 낮다는 점을 명확히 기재한다.
- 잠재 피폭에 관한 평가에서 배관 누출 및 탱크 누출의 2가지 시나리오로 재검토하고, 사고 시의 기준(5밀리시버트)을 밑돈다는 점을 확인한다.
- 이 보고서의 평가 결과가 불확실하다는 점에 대해 고찰하고, 소스텀에서의 핵종 조성과 어패류의 농축 계수 등 이행 계수의 불확실성이 크다고 평가한다.

## 이 평가에 대해

- 정부의 '기본 방침'를 토대로 당사가 검토한 설비 설계와 운용에 따라 방출한 경우의 사람 및 환경에 대한 방사선의 영향에 대하여 국제적으로 인지된 방법(국제원자력기구(IAEA) 안전 기준 문서, 국제방사선보호위원회(ICRP)의 권고)에 따라 평가하는 방법을 규정했습니다.
- 이에 따라 평가하면 선량 한도와 선량 목표치, 국제 기관이 제시한 생물종별 지정 기준치를 큰 폭으로 밑도는 결과가 도출되어, 사람 및 환경에 대한 영향은 극히 적다는 것이 밝혀졌습니다.
- 앞으로도 원자력규제위원회 실시 계획의 인가 취득을 위해 필요한 절차를 추진해 나감과 동시에 IAEA 전문가 등의 리뷰, 각 방면의 의견과 리뷰 등을 통해 평가를 재검토해 나가겠습니다.
- 또한 국내외 모든 분들의 우려를 불식시키고 이해를 양성하기 위해 계속해서 사람 및 환경에 대한 방사선 영향 관련 과학적 정보를 투명하게 발신해 나가도록 하겠습니다.

도쿄전력은 일반인 및 환경에 대한 안전을 확보하기 위해 방출수 내의 삼중수소 및 기타 방사성 물질 농도에 대해 국제 표준(IAEA 안전 기준 문서, ICRP의 권고)에 준거한 국가의 규제 기준과 각종 법령 등을 확실히 준수합니다.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
3. 평가 결과
4. 그 밖의 변경점
5. 참고

# 평가의 전제가 되는 방출 방법

- 방출하는 ALPS 처리수는 삼중수소 이외의 62핵종 및 탄소 14의 고시 농도비 총계\*가 1 미만이 될 때까지 정화한 것이다.
- 방출 전에 이들 64핵종 모두를 측정·평가(제3자 기관의 측정·평가를 포함)하여 위와 같이 정화된 것을 확인한다.
- 삼중수소의 연간 방출량은 사고 전 후쿠시마 제1원자력발전소의 방출 관리 목표치인 22조 베크렐 미만으로 한다.
- 방출 시에는 해수로 100배 이상으로 희석하여 배출구에서의 삼중수소 농도를 1,500베크렐/리터(Bq/L) 미만으로 한다. 이로써 트리튬 이외의 62핵종 및 탄소 14의 고시 농도비 총계도 100분의 1 미만으로 희석된다.
- 희석 후의 ALPS 처리수는 방출수가 희석용 해수로 쉽게 재취수되지 않도록 발전소 앞바다 약 1km의 해저에 방출한다.
- ALPS 처리수의 희석률과 성상에 이상이 발생한 경우는 긴급 차단 밸브를 신속히 닫는 것과 동시에 ALPS 처리수의 이송 펌프를 멈추고 방출을 정지한다.

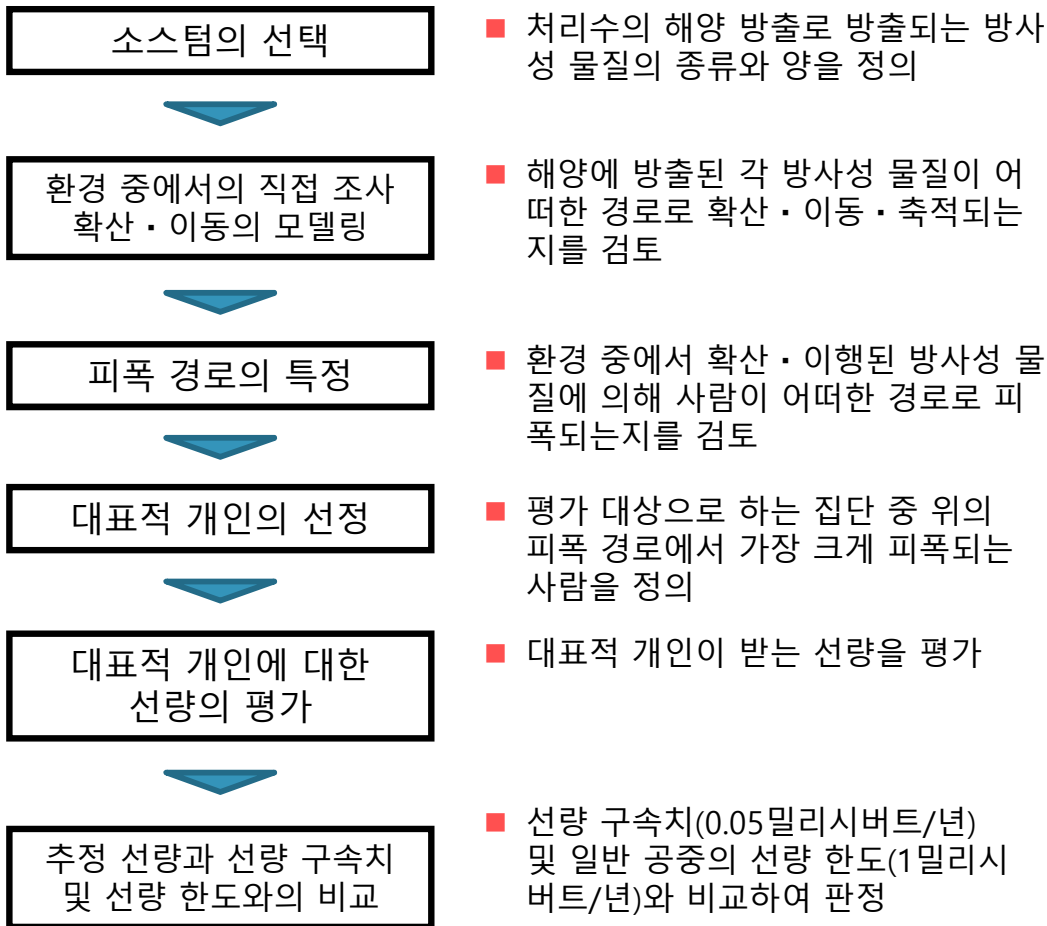
\* 고시 농도비 총계: 배수 중 여러 종류의 방사성 물질이 함유되는 경우, 각 핵종 농도의 법령상 한도에 대한 비율을 구한 후 이를 합한 것. 후쿠시마 제1원자력발전소는 배수구에서 고시 농도비 총계가 1을 초과해서는 안 된다고 법령에서 규정하고 있다. 이번에 계획한 해양 방출에서 삼중수소 이외의 방사성 물질은 희석 방출 전 단계에서 고시 농도비 총계가 1 미만이 되도록 ALPS 등으로 처리하고, 삼중수소 농도는 고시 농도(60,000베크렐/리터 미만)의 40분의 1 수준인(1500베크렐/리터)이 될 때까지 100배 이상의 해수로 희석한다. 이로써 삼중수소 이외의 방사성 물질 농도는 고시 농도를 훨씬 밑돌게 된다.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
- 2. 평가 방법**
3. 평가 결과
4. 그 밖의 변경점
5. 참고

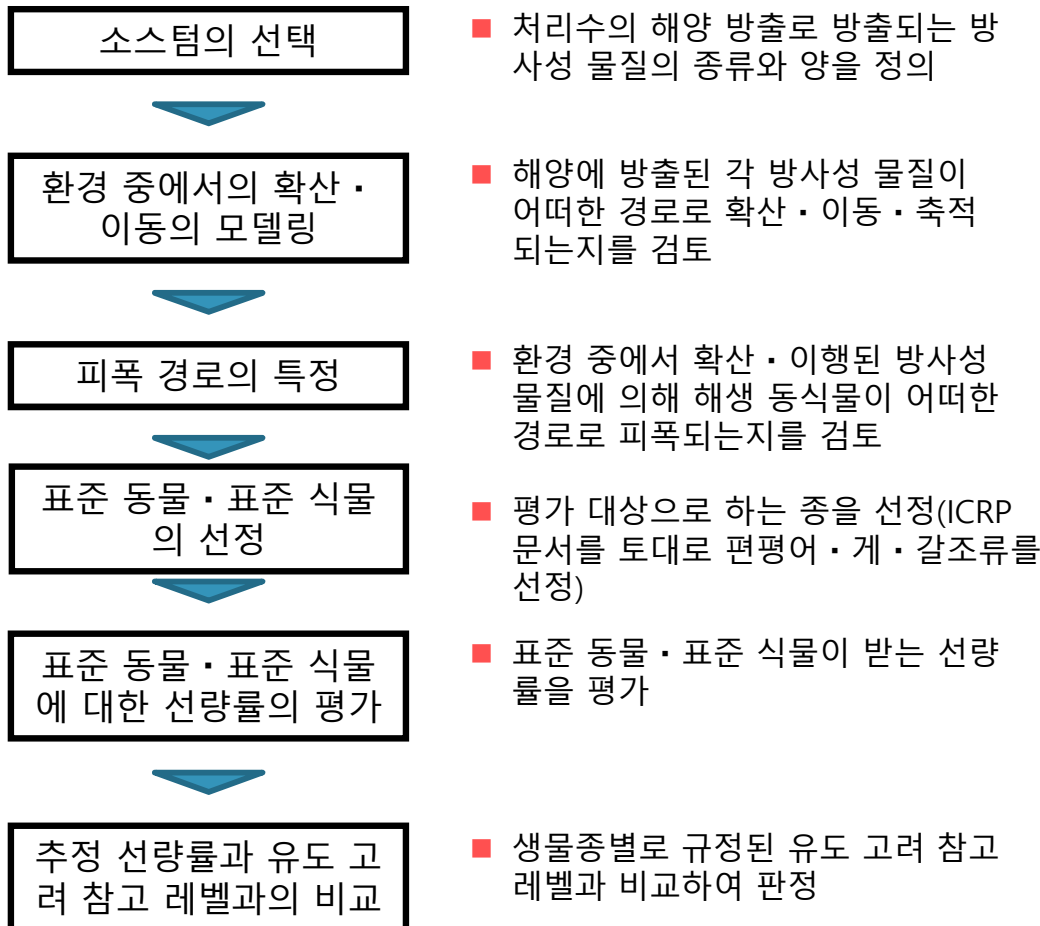
# 방사선 영향 평가 순서

국제원자력기구(IAEA)의 안전 기준 문서\*1에 따라 다음의 순서로 평가.

## 사람에 대한 평가



## 환경 방호(사람 이외의 생물)에 대한 평가



\*1 IAEA GSG-9 "Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment"

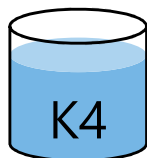
IAEA GSG-10 "Prospective Radiological Environmental Impact Assessment for Facilities and Activities"

\*2 선량 구속치: 선량 한도에 도달하기 전에 어떤 방사선 작업 또는 시설에 책임을 가진 사람이 방호 안전의 최적화를 위해 규정하는 수치. 2022년 2월 16일에 원자력규제위원회가 후쿠시마 제1원자력발전소에서는 선량 목표치(연간 0.05밀리시버트)가 IAEA 안전 기준의 선량 구속치에 상당한다는 견해를 제시했다.



# 소스 텀(방출되는 방사성 물질의 종류와 양)의 선택

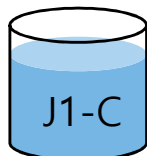
- 더 현실적인 예상이 될 수 있도록, 실제 ALPS 처리수 중 64핵종의 실측치를 모두 갖춘 탱크군 3군의 물이 각각 해수로 희석된 뒤, 방출 기간 중 계속해서 방출된다고 가정하여 평가
- 지금까지 검출된 적이 없는 방사성 물질도 검출 하한치로 포함되어 있다고 가정하여 평가
- 2021년 11월 시점의 이 보고서에서 설정한 '가상 ALPS 처리수에 의한 소스텀'을 통한 평가 결과는 피폭의 영향이 상대적으로 큰 핵종만 포함된다고 가정한 과대 평가이므로, 다른 평가 결과와는 나란히 기재하지 않고 참고 C '운용 관리치와 가상 ALPS 처리수에 의한 피폭 평가 결과에 대해'로 게재



### i. K4 탱크군

트리튬 농도: 약 19만 베크렐/리터

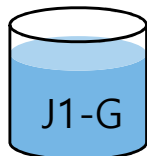
트리튬 이외의 방사성 물질의 고시 농도비 총계\*: 0.29



### ii. J1-C 탱크군

삼중수소 농도: 약 82만 베크렐/리터

삼중수소 이외의 방사성 물질의 고시 농도비 총계: 0.35



### iii. J1-G 탱크군

삼중수소 농도: 약 27만 베크렐/리터

삼중수소 이외의 방사성 물질의 고시 농도비 총계: 0.22

모든 케이스는

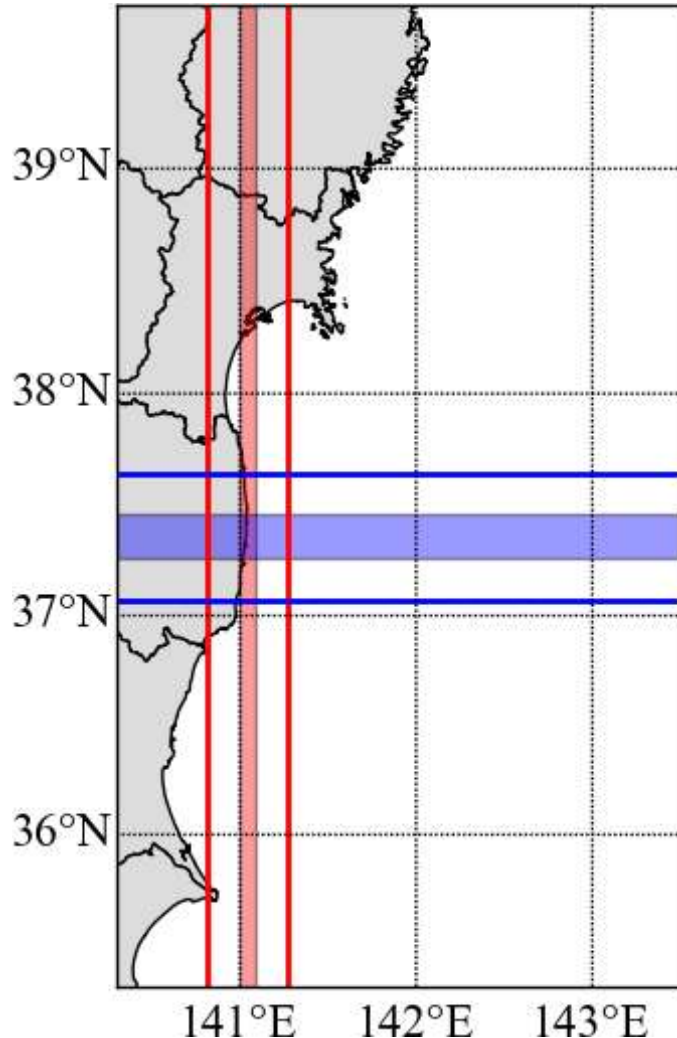
- 연간 삼중수소 방출량은 22조 베크렐 범위에서 방출
- 희석 후의 삼중수소 농도가 1,500베크렐/리터 미만 이 되도록 희석

하는 것을 전제로 한다.

\* 고시 농도비 총계: 배수 중 여러 종류의 방사성 물질이 함유되는 경우에 각 핵종 농도의 법령상 한도에 대한 비율을 구한 후 이를 합한 것. 후쿠시마 제1원자력발전소는 배수구에서 고시 농도비 총계가 1을 초과해서는 안 된다고 법령에서 규정하고 있다. 이번에 계획한 해양 방출에서 삼중수소 이외의 방사성 물질은 희석 방출 전 단계에서 고시 농도비 총계가 1 미만이 되도록 ALPS 등으로 처리하고, 삼중수소 농도는 고시 농도(60,000베크렐/리터 미만)의 40분의 1 수준인(1500베크렐/리터)이 될 때까지 100배 이상의 해수로 희석한다. 이로써 삼중수소 이외의 방사성 물질 농도는 고시 농도를 훨씬 밑돌게 된다.

# 환경 중에서의 확산 · 이행(해역에서의 확산 계산)

후쿠시마 제1원자력발전소 사고 후의 해수 중 세슘 농도의 재현 계산에서 재현성이 확인된 모델을 사용. 아울러 발전소 근방 해역을 자세히 시뮬레이션할 수 있도록 고해상도화하여 계산.



- 영역 해양 모델(Regional Ocean Modeling System: ROMS)을 후쿠시마현 앞바다에 적용
- 해역의 유동 데이터
  - 해표면의 구동력에 기상청 단기 기상 예측 데이터를 삽입한 데이터<sup>[1]</sup>를 사용
  - 외양의 경계 조건 및 자료동화\*의 원래 데이터로서 해양의 재해석 데이터(JCOPE2<sup>[2]</sup>)를 사용
- 모델 범위: 북위 35.30~39.71도, 동경 140.30~143.50도 (490km×270km), 발전소 주변 남북 약 22.5km×동서 약 8.4km의 해역을 단계적으로 고해상도화
  - 해상도(전체): 남북 약 925m×동서 약 735m(약 1km), 연직 방향 30층
  - 해상도(근방): 남북 약 185m×동서 약 147m(약 200m), 연직 방향 30층(왼쪽 그림의 빨간색과 파란색의 해치가 교차한 해역)
- 기상 · 해상 데이터
  - 2014년 및 2019년의 2년분 실시

\* 자료동화: 수치 시뮬레이션에 실측 데이터를 도입하는 방법. 너징(Nudging)이라고도 한다.

[1] 하시모토 아쓰시, 히라구치 히로마루, 도요타 야스시, 나카야 고, "온난화에 따른 일본의 기후 변화 예측(1) - 기상 예측 · 해석 시스템 NuWFAS의 장기 기후 예측에의 적용-", 전력중앙연구소 보고, 2010.

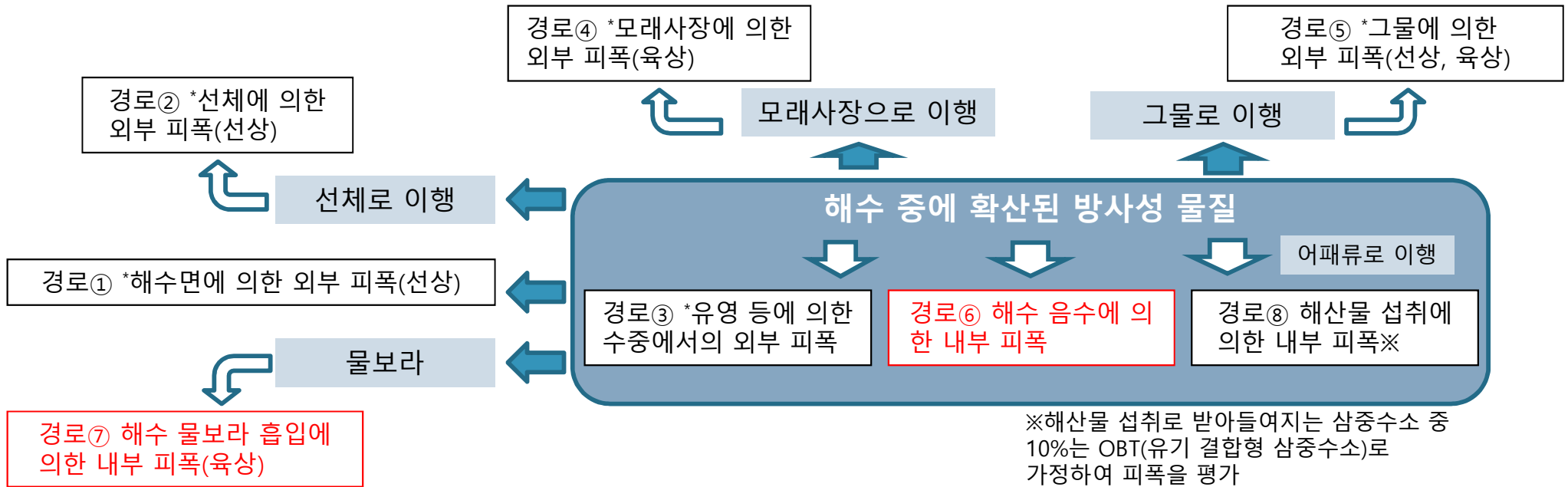
[2] Y.Miyazawa, R.Zhang, X.Guo, H.Tamura, D.Ambe, J.-S.Lee, A.Okuno, H.Yoshinari, T.Setou, and K.Komatsu, "Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis," 2009.

# 피폭 경로의 특징(평가 모델)

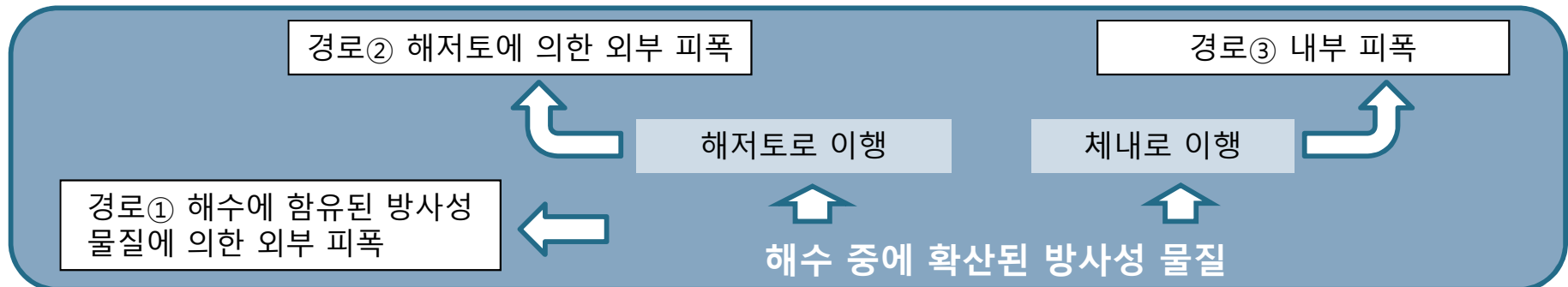
## (1) 이행 경로 및 피폭 경로(사람의 피폭)

- IAEA 안전 기준 문서나 국내 사례 등을 참고로 설정(선정 경위 등은 첨부 VI '평가 대상 이외의 이행 경로 및 피폭 경로에 대해'에 게재)

※외부 피폭은 방사성 물질을 희석하여 방출함으로써 영향이 작아진다고 예상되므로, 감마선만을 대상으로 평가(\*의 경로)



## (2) 이행 경로 및 피폭 경로(동식물)



# 환경 중에서의 확산 · 이행(평가용 방사성 물질 농도 산출) **TEPCO**

- 삼중수소를 연간 균등하게 방출하고 연간 실제 기상 · 해상 데이터를 사용하여 해역의 삼중수소 농도를 계산
- 발전소 주변 10km×10km 영역에서 삼중수소의 연간 평균 농도를 산출
- 유영 등에 의한 수중에서의 외부 피폭, 모래사장에 의한 외부 피폭, 해수 음수에 의한 내부 피폭, 해수 물보라 흡입에 의한 내부 피폭에 대해서는 모래사장 체재 시 피폭으로서 평가 지점을 재검토
- 그 밖의 피폭 경로에 대해서는 발전소 주변 10km×10km 영역에서 평가를 실시
  - 상층(해수면 및 선체에 의한 외부 피폭), 전층(그물에 의한 외부 피폭, 해산물 섭취에 의한 내부 피폭), 하층(동식물의 피폭)을 각각 계산
  - 산출한 삼중수소 농도를 기초로 방출량의 비례 계산으로 그 외의 63핵종의 농도를 산출
- 또한 평가 대상으로 삼은 해역 범위에 따른 결과가 불확실하다는 점에 대해서도 평가하므로 5km×5km 범위 및 20km×10km 범위에 대해서도 피폭 평가를 실시(첨부 XII '피폭 평가에 사용하는 해수 농도의 평가 범위에 따른 영향에 대해'에 게재)



## 선량 평가에 사용하는 해수 농도 평가 지점

출처: 지리원 지도(전자 국토 Web)를 바탕으로 도쿄전력 홀딩스 주식회사에서 작성

<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&isp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

※아울러 삼중수소 이외의 핵종도 해수에 녹은 상태로 확산 · 이행되는 것으로 평가

# 대표적 개인 및 표준 동식물의 설정

## (1) 대표적 개인(사람의 피폭)

- 생활 습관(외부 피폭)은 '발전용 경수형 원자로 시설 안전 심사의 일반 공중의 선량 평가에 대해'를 바탕으로 설정
  - 연간 120일(2,880시간) 어업에 종사하고, 그 중 80일(1,920시간)은 그물 근처에서 작업
  - 해안에서 연간 500시간 체재하고, 96시간 유영
- 해산물 연간 섭취량(내부 피폭)은 최신 식품 섭취 데이터에서 평균적인 섭취량과 어패류를 많이 섭취하는 사람의 섭취량(평균+2σ\*)의 2종류를 평가

표 6-1-13 해산물을 평균적으로 섭취하는 개인의 섭취량 (g/일)

(후생노동성 실시 2019년 국민 건강·영양 조사[6]를 기준으로 설정)

	어류	무척추동물	해조류
성인	58	10	11
유아	29	5.1	5.3
영아	12	2.0	2.1

표 6-1-14 해산물을 많이 섭취하는 개인의 섭취량 (g/일)

(후생노동성 실시 2019년 국민 건강·영양 조사[6]를 기준으로 설정)

	어류	무척추동물	해조류
성인	190	62	52
유아	97	31	26
영아	39	12	10

## (2) 표준 동식물(환경 방호)

ICRP Pub.136\*\*에서 제시한 해양 환경에서의 표준 동식물 중에서 표준 편평어, 표준 게, 표준 갈조류를 선정

- 편평어: 주변 해역에 넙치, 가자미류가 널리 서식하고 있으며 중요한 조업 대상어
- 게: 주변 해역에 꽃게류가 널리 서식
- 갈조류: 주변 해역에 모자반류와 대항이 널리 분포

\* σ: 표준 편차

\*\* ICRP Pub.136 "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"

# 대표적 개인에 대한 선량의 평가

## 외부 피폭(경로①②③④⑤)

- 선박에 의한 이동이나 수중 작업 시 해수를 통한 방사선 피폭(경로①③)

피폭량 = 실효 선량 환산 계수 × 해수 중 방사성 물질 농도

- 해수에서 선체나 모래사장 등으로 이행된 방사성 물질을 통한 방사선 피폭(경로②④⑤)

피폭량 = 실효 선량 환산 계수 × 이행 계수 × 해수 중 방사성 물질 농도

- 각 방사성 물질 1베크렐/리터로 사람이 받는 방사선량을 나타내는 실효 선량 환산 계수는 폐지 조치 공사 환경 영향 핸드북\*1에서 규정하는 계수를 사용
- 해수 중에 함유되는 각 방사성 물질 1베크렐/리터에서 선체나 모래사장 등으로 얼마나 방사성 물질이 이행되는지를 나타내는 이행 계수는 주로 롯카쇼재처리 공장의 인허가 서류\*2에서 규정하는 계수를 사용. 모래사장 이행 계수만 구 원자력안전위원회 지침류\*3에서 규정하는 계수를 사용

\*1 '발전용 원자로 폐지 조치 공사 환경 영향 평가 기술 조사 - 환경 영향 평가 파라미터 조사 연구(2006년도 경제산업성 위탁 조사) 첨부 자료 폐지 조치 공사 환경 영향 평가 핸드북', 일반재단법인 전력중앙연구소

\*2 '롯데카쇼사업소 재처리 사업 지정 신청서', 일본원연서비스 주식회사

\*3 '발전용 경수형 원자로 시설 안전 심사에서의 일반 공중의 선량 평가에 대해', 원자력안전위원회

# 대표적 개인에 대한 선량의 평가

## 내부 피폭(경로⑥⑦⑧)

$$\text{피폭량} = \text{실효 선량 계수} \times \text{섭취율}$$

- 유영 중 등에 실수로 해수를 마시는 경우의 섭취율은 시간당 0.2리터로 설정(경로⑥)

- ~~모래사장에서 피복에 의한 먼지 등을 흡입한 경우의 섭취율(경로⑦)~~  

$$\text{섭취율} = \text{해수 중 방사성 물질 농도} \times \text{호흡률} \times \text{물보라의 공기 중 농도} \div \text{해수 밀도}$$

- 호흡률은 구 원자력안전위원회 지침류\*1에서 규정하는 계수를 사용
- 물보라의 공기 중 농도는 TECDOC-1759\*2에서 규정하는 계수를 사용

- 해산물 섭취에 관한 섭취율(경로⑧)

$$\text{섭취율} = \text{해수 중 방사성 물질 농도} \times \text{농축 계수} \times \text{해산물 연간 섭취량}$$

- 실효 선량 계수는 IAEA GSR Part 3\*3에서 규정하는 것을 사용
- 농축 계수는 IAEA TRS No.422\*4에서 규정하는 어류, 무척추동물(오징어, 문어 제외), 해조류의 수치를 사용
- 해산물 시장에서의 희석이나 채취부터 섭취까지의 각 방사성 물질의 감쇠는 고려하지 않음
- 또한 해산물의 섭취율은 어류, 무척추동물(새우, 게, 오징어, 문어 포함), 해조류로 분류하여 산출

\*1 '발전용 경수형 원자로 시설 안전 심사에서의 일반 공중의 선량 평가에 대해', 원자력안전위원회

\*2 IAEA-TECDOC-1759, "Determining the Suitability of Materials for Disposal at Sea under the London Convention 1972 and London Protocol 1996: A Radiological Assessment Procedure"

\*3 IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards"

\*4 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

# 대표적 개인에 대한 선량의 평가

## 평가 기준(외부 피폭과 내부 피폭의 합산으로 평가)

- 일반 공중의 선량 한도 1밀리시버트/년과 비교
- 2022년 2월 원자력규제위원회가 방사선 영향 평가를 확인하기 위한 생각과 평가 기준으로 0.05밀리시버트/년(50마이크로시버트/년)을 IAEA 안전 기준의 선량 구속치에 상당한다는 견해를 제시했기에 이 값(0.05밀리시버트/년)을 이 평가에서의 선량 구속치로 취급

### 충실히 기재: 트리튬 이외 핵종의 이행·축적의 평가에 대해(4장)

- 트리튬의 연간 방출량은 상한치 22조 베크렐로 평가
- 7년간의 확산 시뮬레이션 계산에서 해양에서의 이류·확산의 연별 변동이 작은 것을 확인
- 본래 시간이 걸려 진행되는 방사성 물질의 이행·농축은 곧바로 평형 상태까지 도달한 것으로 평가
  - 이 평가는 1년간의 피폭 평가이지만, 장기간에 걸친 방출로 환경 중에 방사성 물질이 축적된 상태에서의 평가이므로, 방출 기간 중 이 이상 높게 피폭되는 일은 없다고 예상



# 표준 동식물에 대한 선량률의 평가

## 동식물

- 동식물에 대해서는 서식 환경에서의 선량률을 평가
- ICRP가 제시한 표준 동식물 및 선량 환산 계수를 사용하여 아래의 계산식으로 계산
- 외부 피폭은 해수에 의한 피폭과 해저토에 의한 피폭을 고려

$$\begin{aligned} \text{내부 피폭량} &= \text{내부 선량 환산 계수} \times \text{해수 중 방사성 물질 농도} \times \text{농도비(경로③)} \\ \text{외부 피폭량} &= 0.5 \times \text{외부 선량 환산 계수} \times \text{해수 중 방사성 물질 농도(경로①)} \\ &\quad + 0.5 \times \text{외부 선량 환산 계수} \times \text{해수 중 방사성 물질 농도} \times \text{분배 계수(경로②)} \end{aligned}$$

- 내부 및 외부의 선량 환산 계수는 ICRP Pub. 136<sup>\*1</sup> 및 BiotaDC<sup>\*2</sup>에서 규정하는 것을 사용
- 농도비는 ICRP Pub. 114<sup>\*3</sup>, IAEA TRS-479<sup>\*4</sup> 및 TRS-422<sup>\*5</sup>의 농축 계수에서 규정하는 것을 사용
- 분배 계수는 IAEA TRS-422에서 규정하는 것을 사용(2.3.OCEAN MARGIN *Kds*)

## 평가 기준

- ICRP가 Pub.124<sup>\*6</sup>에서 제시한 유도 고려 참고 레벨(DCRL)<sup>\*7</sup>과 비교

\*1 ICRP Pub.136, "Dose Coefficients for Non-human Biota Environmentally Exposed to Radiation"

\*2 ICRP BiotaDC 프로그램 v.1.5.1 (<http://biotadc.icrp.org/>)

\*3 ICRP Pub.114, "Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants"

\*4 IAEA Technical Report Series No.479, "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer to Wildlife"

\*5 IAEA Technical Report Series No.422, "Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment"

\*6 ICRP Pub.124 "Protection of the Environment under Different Exposure Situations"

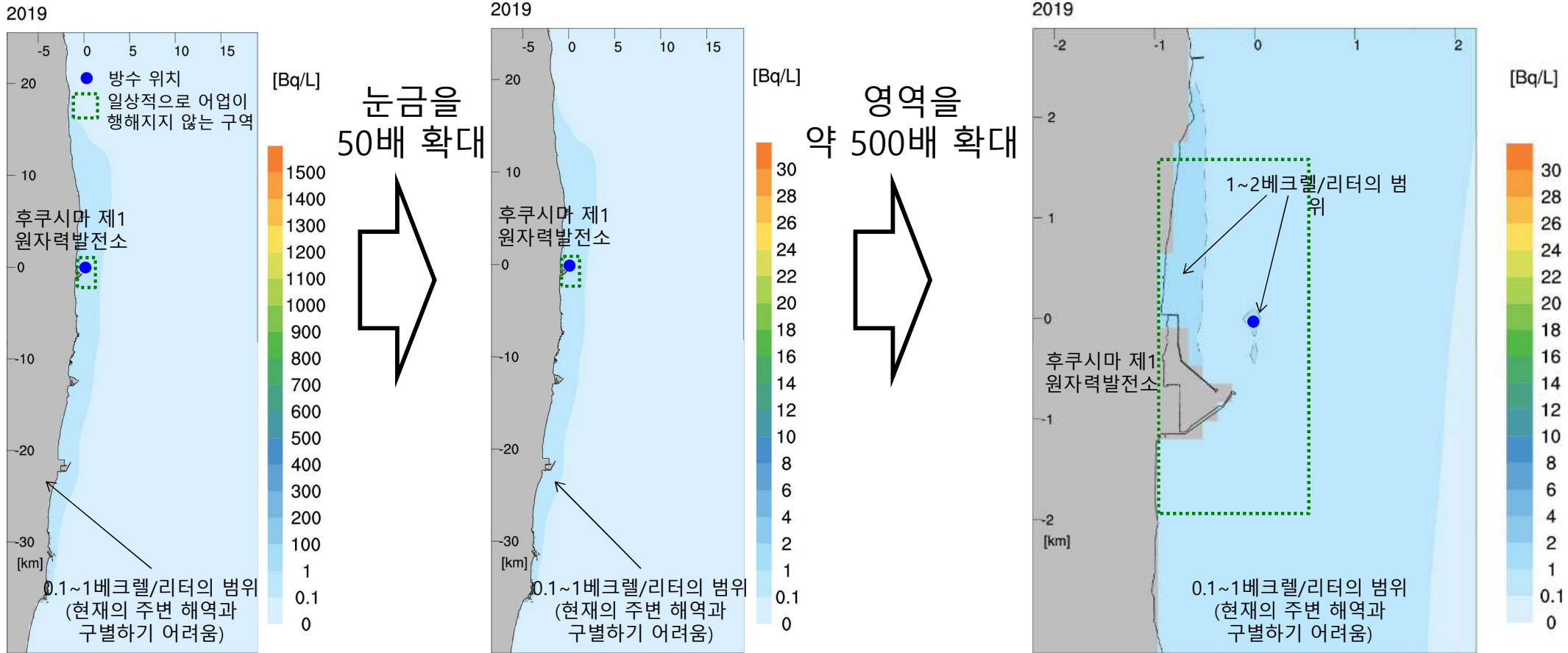
\*7 유도 고려 참고 레벨(Derived Consideration Reference Level, DCRL): ICRP가 제시하는 생물종별로 규정된 한 자리 폭을 가진 선량률 범위. 이를 초과하는 경우는 영향을 고려할 필요가 있는 선량률 레벨.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
- 3. 평가 결과**
4. 그 밖의 변경점
5. 참고

# 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과

2019년의 기상·해상 데이터를 사용하여 평가한 결과 현재 주변 해역의 해수에 함유된 삼중수소 농도(0.1~1벵크렐/리터\*)보다 농도가 높아진다고 평가된 범위(점선의 안쪽 범위)는 발전소 주변의 2~3km 범위에 그침.

※WHO 식수 가이드라인 10,000벵크렐/리터의 10만분의 1~1만분의 1



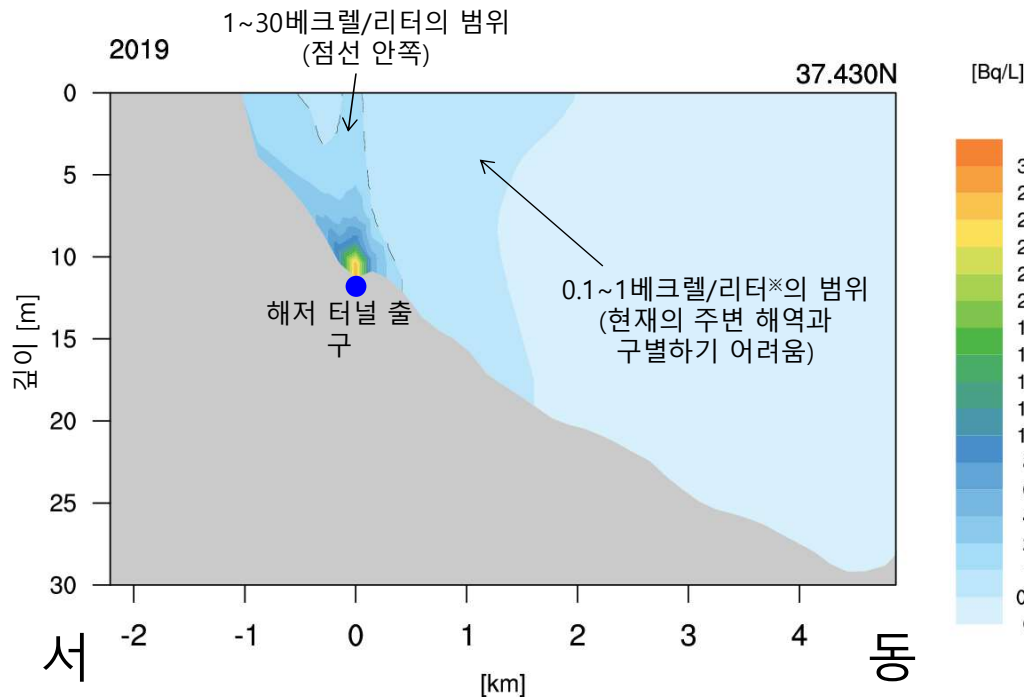
후쿠시마현 앞바다 확대도  
(최대 눈금 30벵크렐/리터로 작도)

발전소 주변 확대도  
(최대 눈금 30벵크렐/리터로 작도)

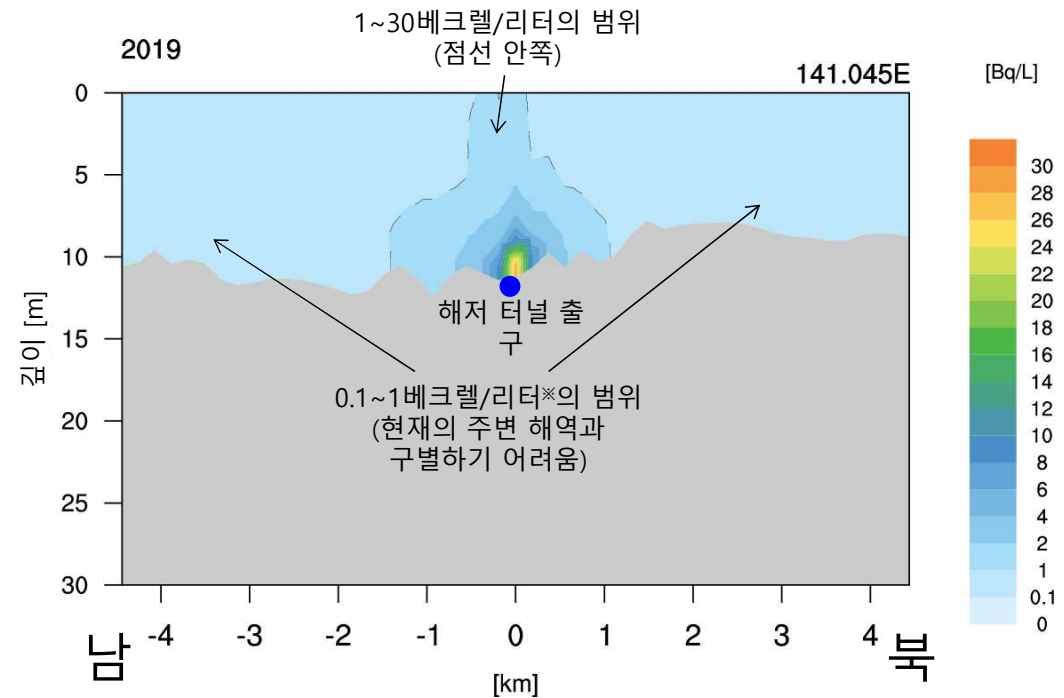
# 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과(터널 출구 주변)

확산 전의 터널 출구 주변에서 신속히 농도가 저하.

또한 ICRP 권고에 따라 규정된 일본 국내 규제 기준(6만 베크렐/리터)이나 **WHO 식수 가이드라인(1만 베크렐/리터)**을 큰 폭으로 밑돈.



터널 출구 동서 단면도  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)

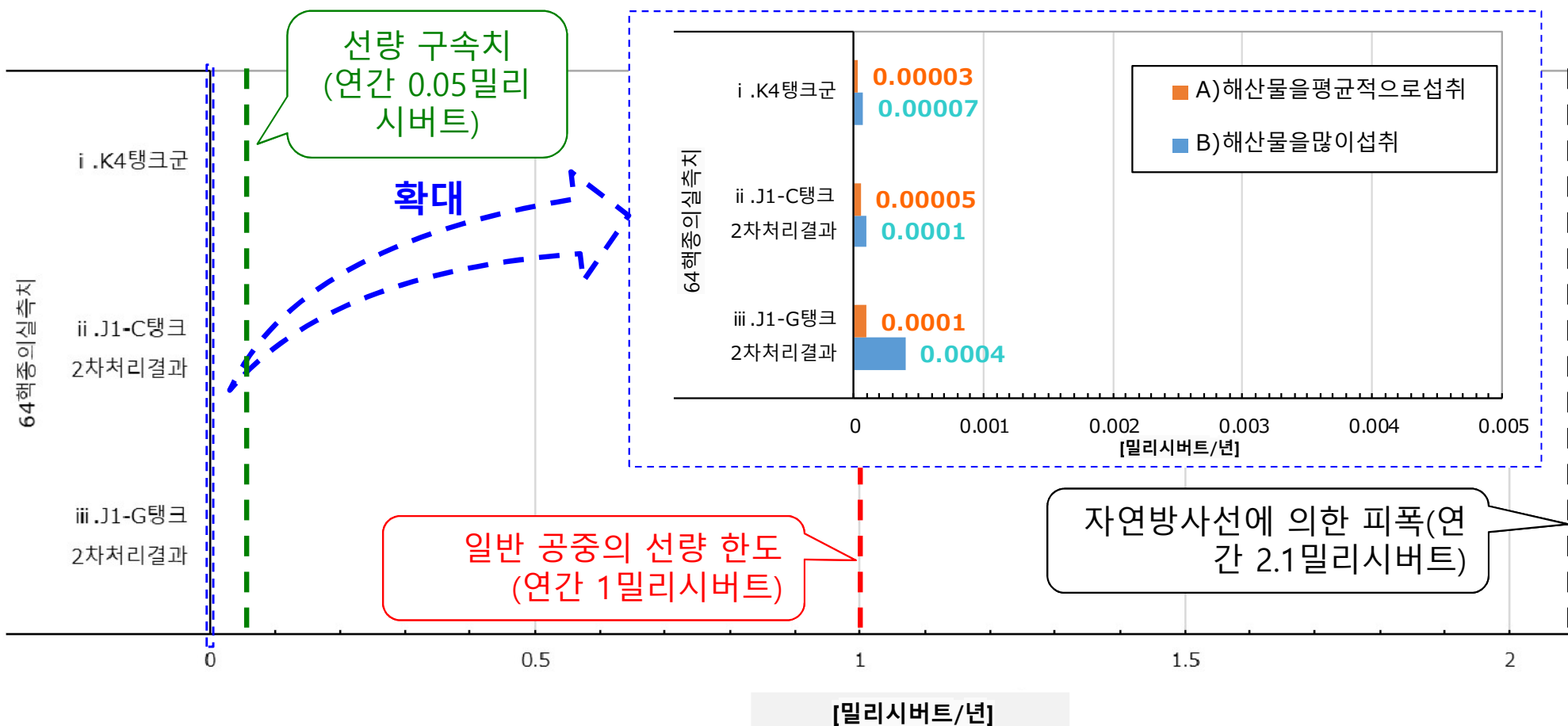


터널 출구 남북 단면도  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)

※WHO 식수 가이드라인 10,000베크렐/리터의 10만분의 1~1만분의 1

# 사람에 대한 피폭 평가 결과(설계 단계, 64핵종의 실측치에 의한 평가)

- 64핵종의 실측치에 의한 평가 결과는, 일반 공중의 선량 한도(연간 1밀리시버트)의 약 3만분의 1~약 3,000분의 1, 선량 구속치에 상당하는 일본 국내 원자력발전소의 선량 목표치(연간 0.05밀리시버트)와의 비교에서는 약 2,000분의 1~약 100분의 1



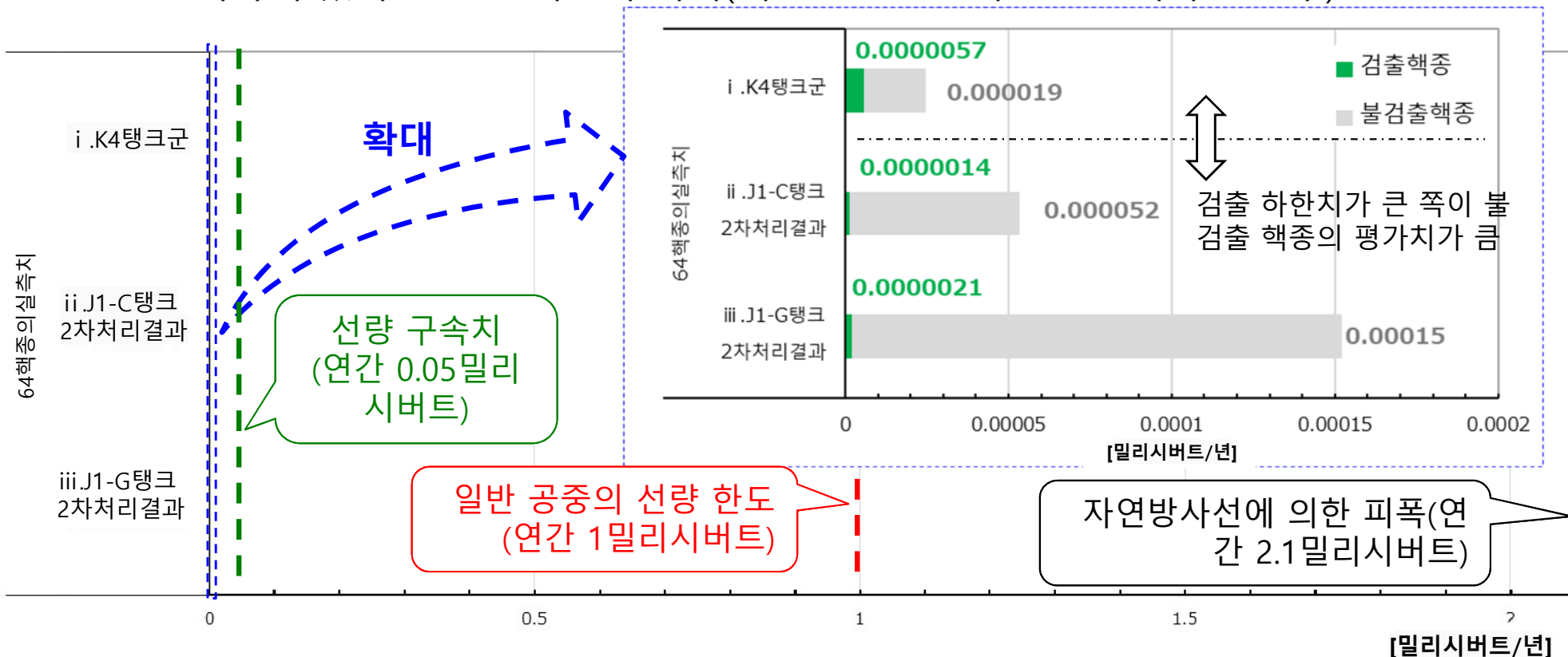
[주] 대표로 성인의 결과만 표시. 이 평가는 한 번도 검출된 적이 없는 불검출 핵종도 검출 하한치로 존재한다고 가정하여 시산한 것이다. 아울러 이 평가는 현시점에서의 결과이며, 앞으로의 검토 진척이나 사내외의 리뷰 결과 등에 따라 평가를 갱신할 수 있다.

# 평가 결과(설계 단계, 실측치에 의한 평가)의 불검출 핵종에 관한 고찰

■ 64핵종의 실측치에 의한 평가에서는, 지금까지의 분석 평가에서 한 번도 검출된 적이 없는 불검출 핵종도 검출 하한치로 존재한다고 가정했으므로 '불검출 핵종'에 의한 기여가 대부분을 차지하여 실제 평가 결과는 더 낮을 것으로 추정

- ✓ 앞으로 평상시보다 낮은 검출 하한치로 연 1회 정도 측정을 실시하여 불검출 핵종에 의한 영향의 수준을 파악하기 위해 노력한다.
  - i. K4: 검출 하한치를 낮춘 상세 분석
  - ii. J1-C, iii. J1-G: 지속적으로 운용 가능한 검출 하한치

피폭에 있어 불검출 핵종의 기여(해산물을 평균적으로 섭취하는 경우)



[주] 대표이면서 성인의 결과만 표시. 아울러 이 평가는 현시점에서의 결과이며, 앞으로의 검토 진척이나 사내외의 리뷰 결과 등에 따라 평가를 갱신할 수 있다.

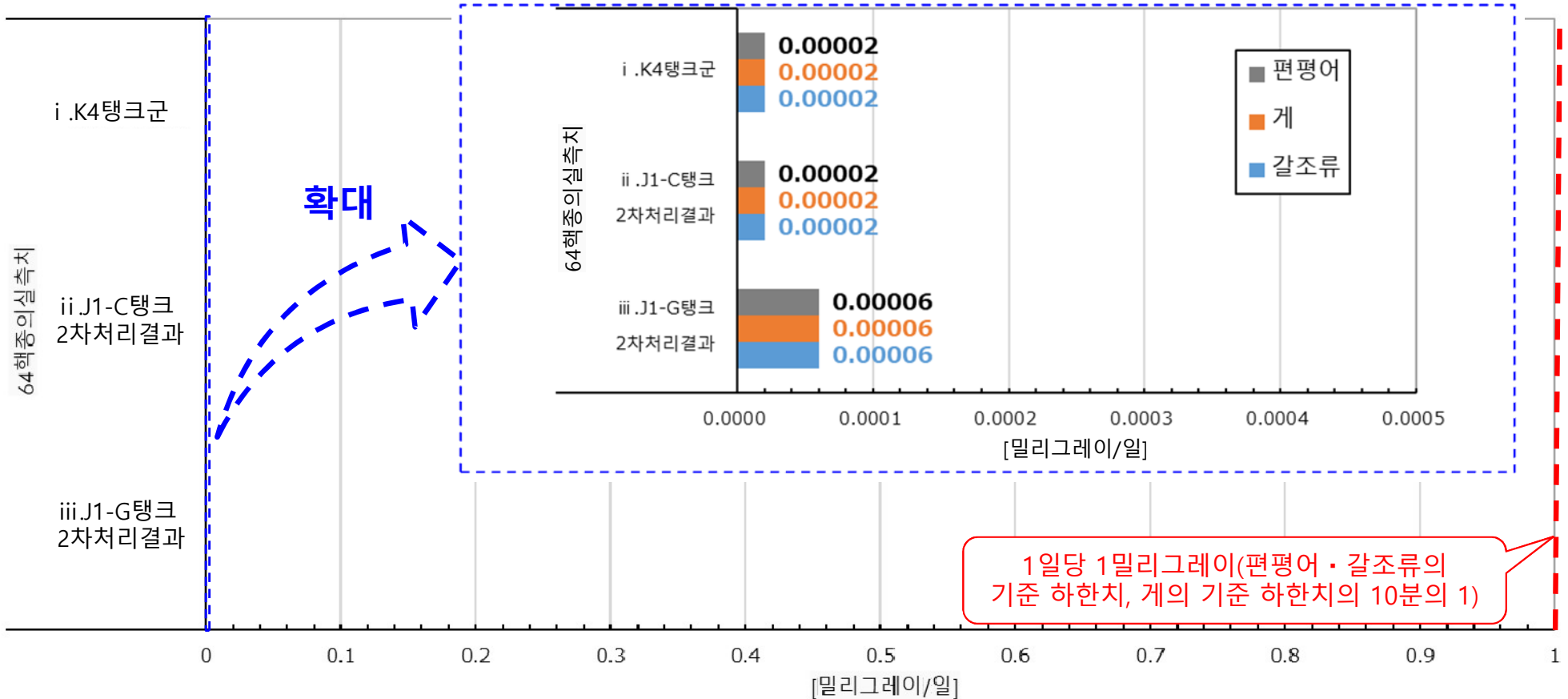
# 동식물에 대한 피폭 평가 결과

## (설계 단계, 64핵종의 실측치에 의한 평가)

변경 없음(일부 표현 재검토)



- 64핵종의 실측치에 의한 평가 결과는, 평가상의 기준인 유도 고려 참고 레벨\*(편평어 1~10밀리그레이\*\*/일, 게 10~100밀리그레이/일, 갈조류 1~10밀리그레이/일)의 하한치에 대해 약 5만분의 1~약 2만분의 1(게는 약 50만분의 1~약 20만분의 1)



[주] 이 평가는 한 번도 검출된 적이 없는 불검출 핵종도 검출 하한치로 존재한다고 가정하여 시산한 것이다. 아울러 이 평가는 현시점에서의 결과이며, 앞으로의 검토 진척이나 사내외의 리뷰 결과 등에 따라 평가를 갱신할 수 있다.

\* 유도 고려 참고 레벨(Derived Consideration Reference Level, DCRL): ICRP가 제시하는 생물종별로 규정된 한 자리 폭을 가진 선량률 범위.

이를 초과하는 경우는 영향을 고려할 필요가 있는 선량률 레벨.

\*\* 그레이: 물질의 흡수 선량(흡수한 에너지량)을 나타내는 단위. 시버트는 인체가 받은 방사선에 의한 영향의 크기를 나타내는 단위.

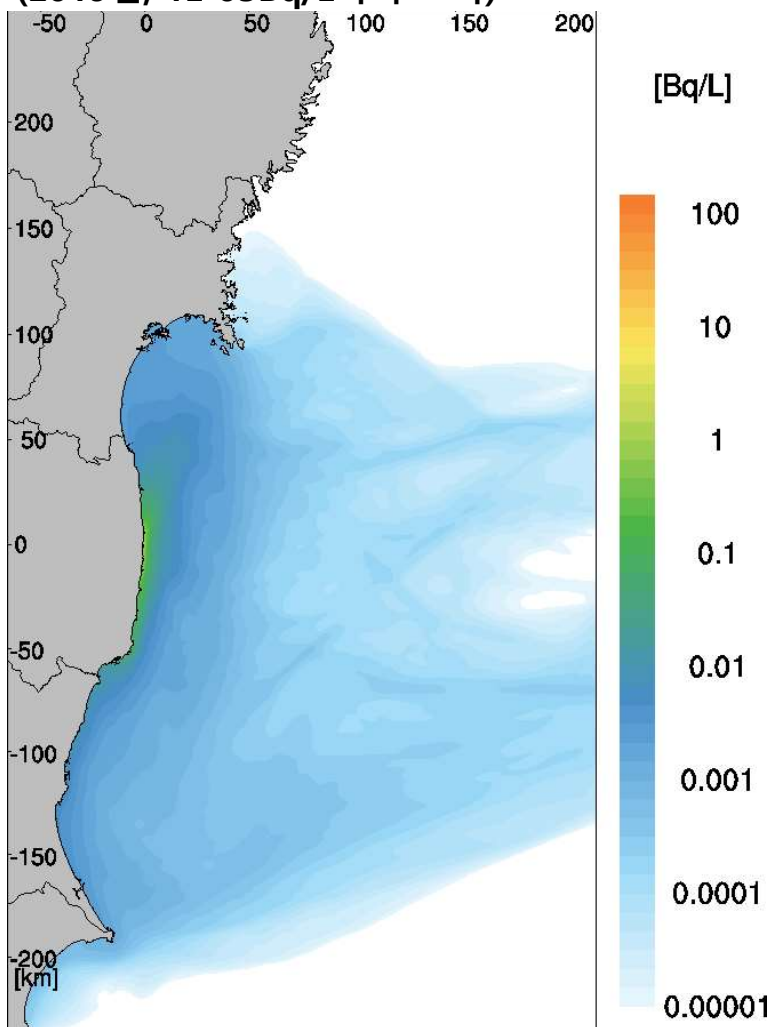
정확히는 '시버트=수정 계수×그레이'이지만, 감마선과 베타선에서는 거의 동등.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
3. 평가 결과
- 4. 그 밖의 변경점**
5. 참고



# 그 밖의 변경점(시뮬레이션의 계산 영역 바깥쪽에 대한 영향)

계산 영역 전체의 연간 평균 농도 분포도  
(2019년, 1E-05Bq/L까지 표시)



숫자는 발전소로부터의 거리 [km]

- 2019년의 기상·해상 데이터로 계산한 전체 영역의 연간 평균 농도에 대해 1E-05Bq/L까지 지도로 나타낸 결과는 왼쪽의 그림과 같다.
- 계산 범위 경계에서 2014년~2020년까지의 연간 평균 농도의 최대치는 아래의 표에서 볼 수 있듯이 모두 동쪽으로, 1.1E-04~2.6E-04Bq/L이며, 일본 주변 해역에서의 해수 중 삼중수소 농도(약 1.0E-01Bq/L)와 비교하여 충분히 낮다.
- 발전소 주변 10km×10km 범위의 연간 평균 농도에서 계산한 피폭 평가 결과는 일반 공중의 선량 한도인 연간 1밀리시버트는 물론 선량 구속치인 연간 0.05밀리시버트와 비교해도 크게 낮기에, 결과적으로 계산 영역 바깥쪽은 그 이하의 농도가 되므로 방사선 영향을 평가할 필요는 없을 것으로 보인다.

각 연도의 모델 경계(남북·동서)에서의 연간 평균 농도의 최대치와 위치

연도	농도(Bq/L)	위치(발전소로부터의 거리)		
		동서	남북	표층으로부터의 깊이
2014	1.1E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약162km	약 9.0m
2015	2.6E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약102km	약 0.6m
2016	1.4E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약6km	약 5.5m
2017	2.4E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약30km	약 9.0m
2018	1.9E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약97km	약 0.6m
2019	1.6E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약68km	약 1.7m
2020	1.9E-04	동쪽으로약218km	남쪽으로약25km	약 1.7m

## 그 밖의 변경점(잠재 피폭에 관한 평가의 재검토)

- 잠재 피폭에 관한 평가는 개정 전에는 참고로 평가했지만, 원자력규제위원회의 ALPS 처리수 처분 관련 실시 계획에 대한 심사 회합의 논의에서 설비를 고려한 시나리오 선정, 현실적인 소스 텀 사용, 이행 경로, 피폭 경로의 망라성과 같은 의견을 수렴하여 아래의 표와 같이 평가 방법을 재검토한 후 본문에 기재했다.
- 시나리오 선정을 재검토하면서 유출량이나 피폭 경로가 변경되고 평가치가 커졌으나, 사고 시의 기준인 5mSv와 비교하여 작은 결과라는 점은 변함이 없다.

평가 순서	개정 전 보고서	이 보고서
시나리오 선정	배관 파손으로 1일에 ALPS 처리수 5,000m <sup>3</sup> 유출	케이스 1: 배관 파손으로 1일에 500m <sup>3</sup> 로 20일간 유출 케이스 2: 탱크 파손으로 1일에 30,000m <sup>3</sup> 유출
소스텀	모두 Te-127	실측치에 의한 소스텀
이행 경로, 피폭 경로	해표면에 의한 외부 피폭만	통상 시의 피폭과 동일
대표적 개인	방수구로부터 1km 지점에서 작업 중	통상적인 생활 중에 모래사장 평가 지점에서 피폭, 내부 피폭도 고려
평가 결과	7.3E-05mSv	케이스 1: 7E-04 ~ 5E-03mSv 케이스 2: 4E-02 ~ 2E-01mSv

## 그 밖의 변경점(불확실성의 고려)

- IAEA의 GSG-10에서는 방사선 영향 평가에서 데이터의 편차나 불확실성에 대해 고려하도록 요구하고 있다.
- 개정 전 보고서에서는 권말에 참고로 불확실성에 대해 기재했다.
- 이 보고서에서는 원자력규제위원회의 ALPS 처리수 처분 관련 실시 계획에 대한 심사회합의 논의를 바탕으로 더 많은 파라미터와 조건에 대해 파라미터 조사와 같은 방법을 사용하여 자세히 평가하고자 했다.
- 큰 불확실성으로서는 소시스템의 핵종 구성과 어패류의 농축 계수 등의 이행 계수를 들 수 있는데, 피폭 평가 결과는 선량 한도인 연간 1mSv나 선량 구속치인 연간 0.05mSv에 비해 충분히 작아 평가의 보수성이 손상되는 일은 없을 것으로 보인다.

1. 평가의 전제가 되는 방출 방법
2. 평가 방법
3. 평가 결과
4. 그 밖의 변경점
- 5. 참고**

# [참고] 안전 확보를 위한 설비의 전체상

출처: 지리원 지도(전자 국토 Web)를 바탕으로 도쿄전력 홀딩스 주식회사에서 작성  
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>



\*공동 어업권 비설정 구역

당분간 해수와 ALPS 처리수가 혼합·희석된 것을 수갱을 활용하여 직접 확인한 후 방출을 시작

## 측정·확인용 설비(K4 탱크군)

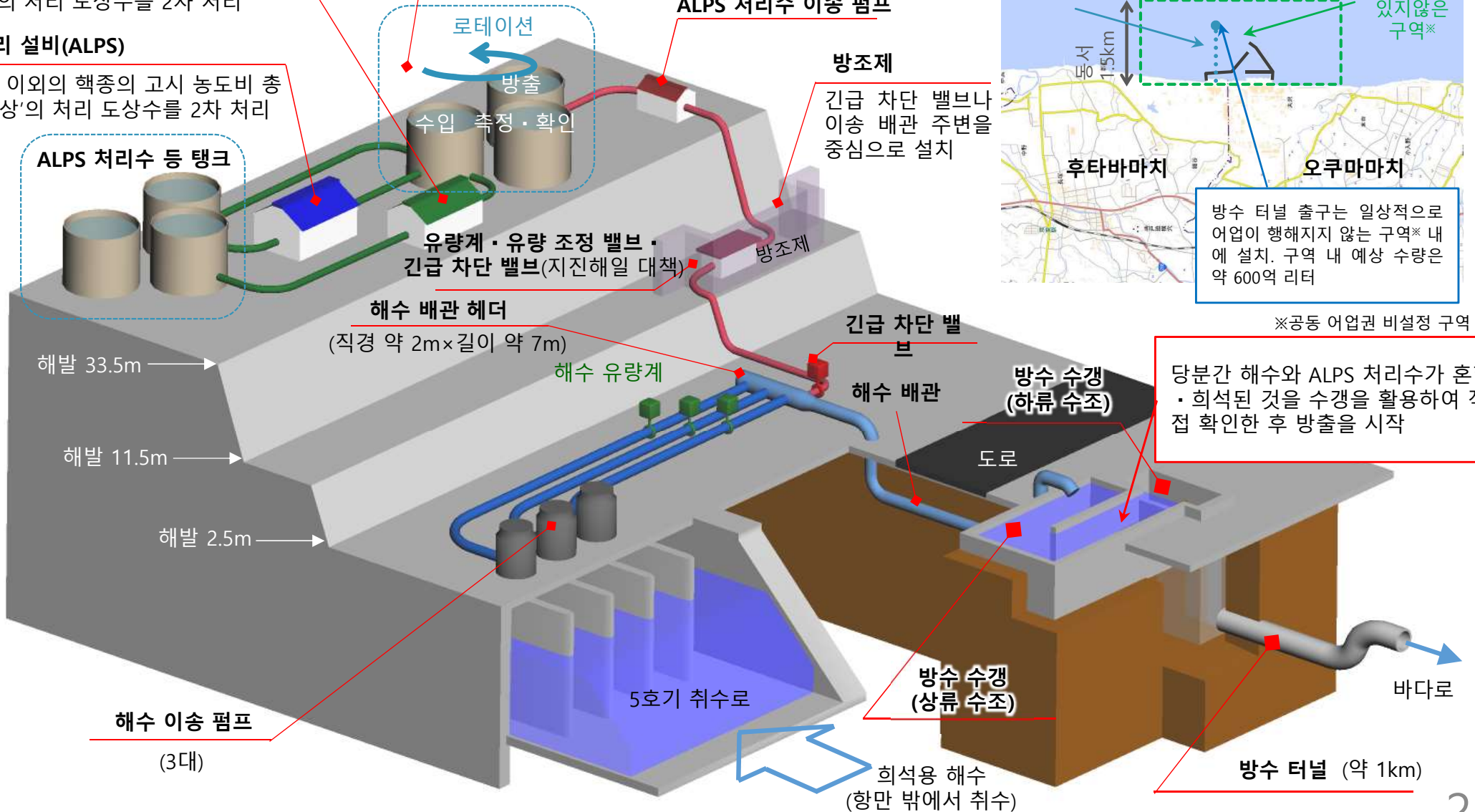
3군으로 구성되어 각각 수입, 측정·확인, 방출 공정을 담당하며, 측정·확인 공정에서는 순환·교반으로 균질화한 물을 채취하여 분석을 실시 (약 1만m<sup>3</sup>×3군)

## 2차 처리 설비(신설 역침투막 장치)

삼중수소 이외의 핵종의 고시 농도비 총계 '1~10'의 처리 도상수를 2차 처리

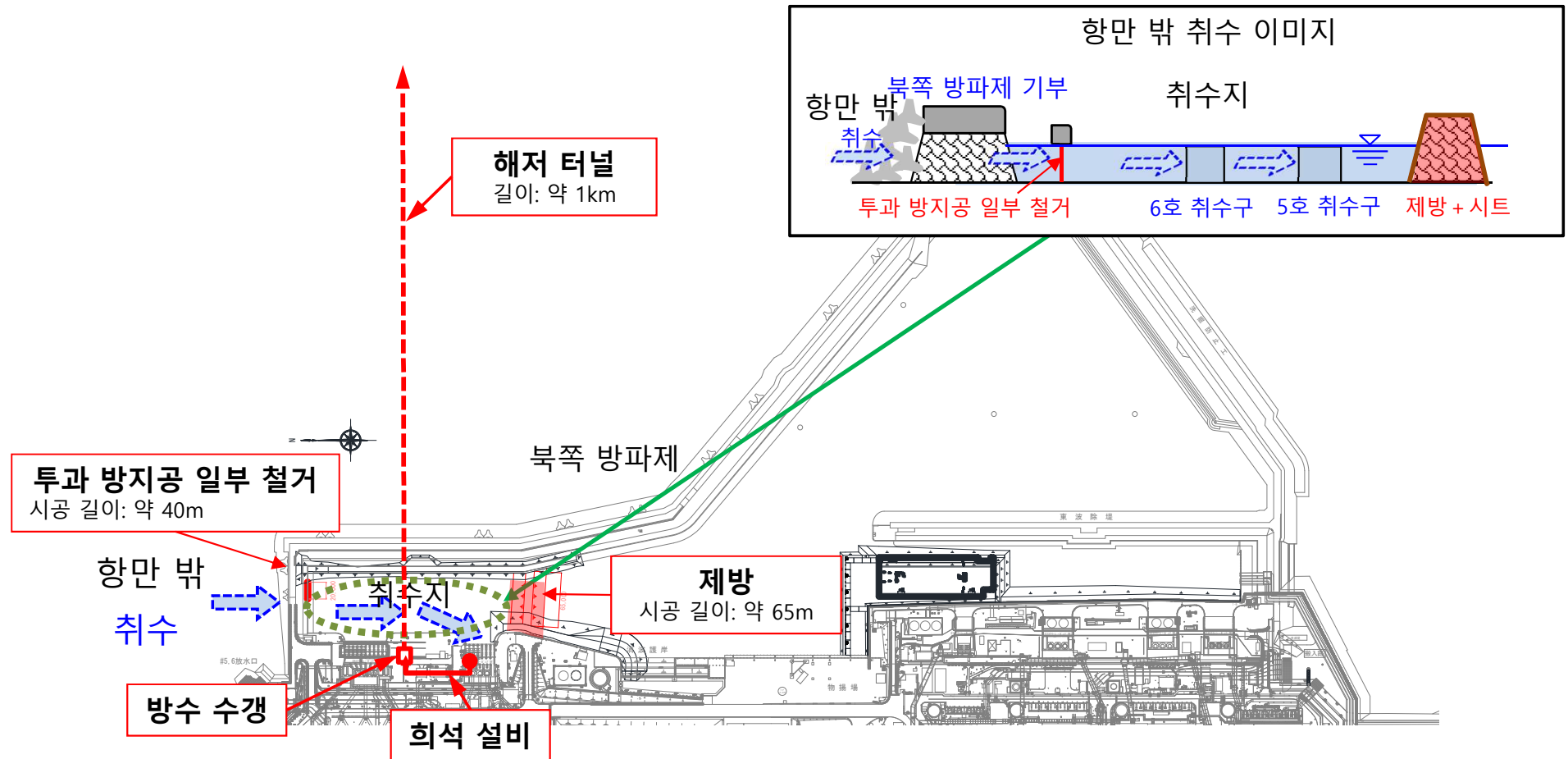
## 2차 처리 설비(ALPS)

삼중수소 이외의 핵종의 고시 농도비 총계 '1 이상'의 처리 도상수를 2차 처리



# [참고] 항만의 설계

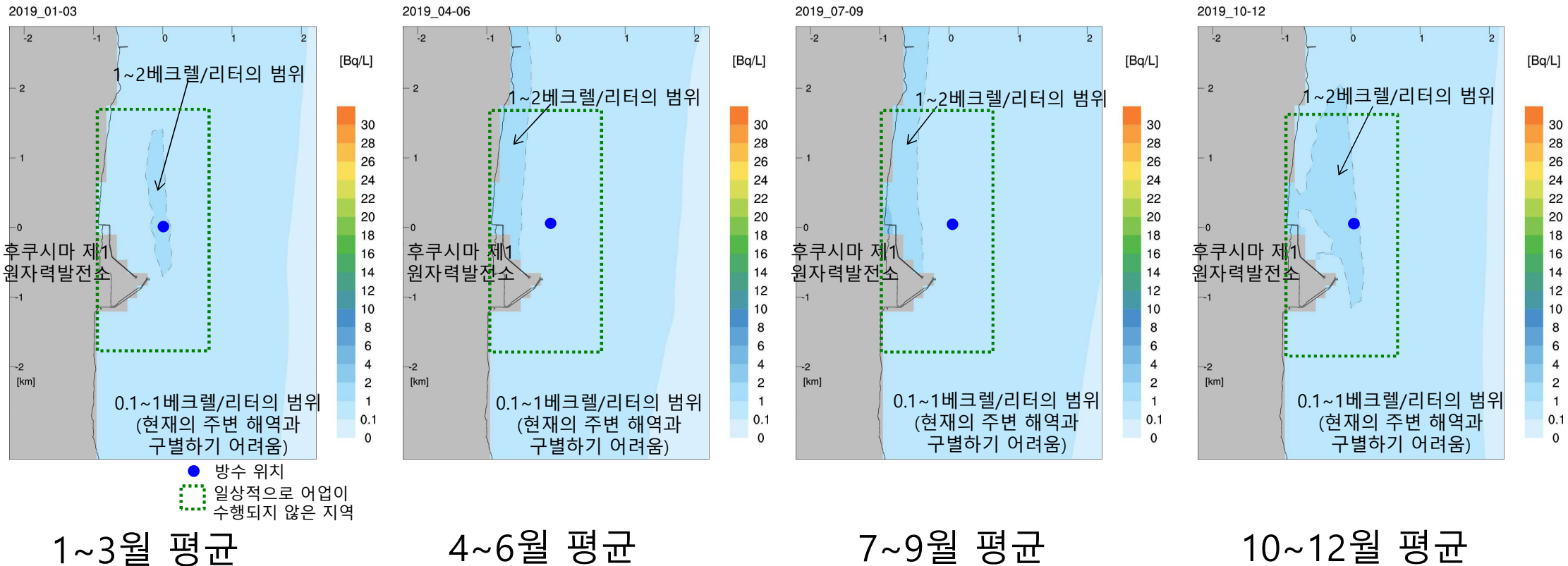
- 북쪽 방파제의 일부를 개조하여 항만 밖의 해수를 희석용으로 취수하고 제방으로 항만 안과 분리하여 **항만 안의 해수가 희석용 해수와 직접 혼합되지 않도록** 한다.
- 연안에서 약 1km 떨어진 장소에 방수하여 해수가 **쉽게 재순환되지 않는**(희석용 해수로서 쉽게 재취수되지 않는) 설계로 한다.
- 해저 터널은 해양 시추 조사 등을 실시한 후에 세부 사항을 검토한다.



# [참고] 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과(계절 평균)

현재 주변 해역의 해수에 함유된 삼중수소 농도(0.1~1벵크렐/리터\*)보다 농도가 높아질 것으로 평가된 범위(점선 안쪽 범위)는 계절 평균을 보더라도 **발전소 주변에 그침.**

※WHO 식수 가이드라인 10,000벵크렐/리터의 10만분의 1~1만분의 1



# [참고] 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과(확산 경향)

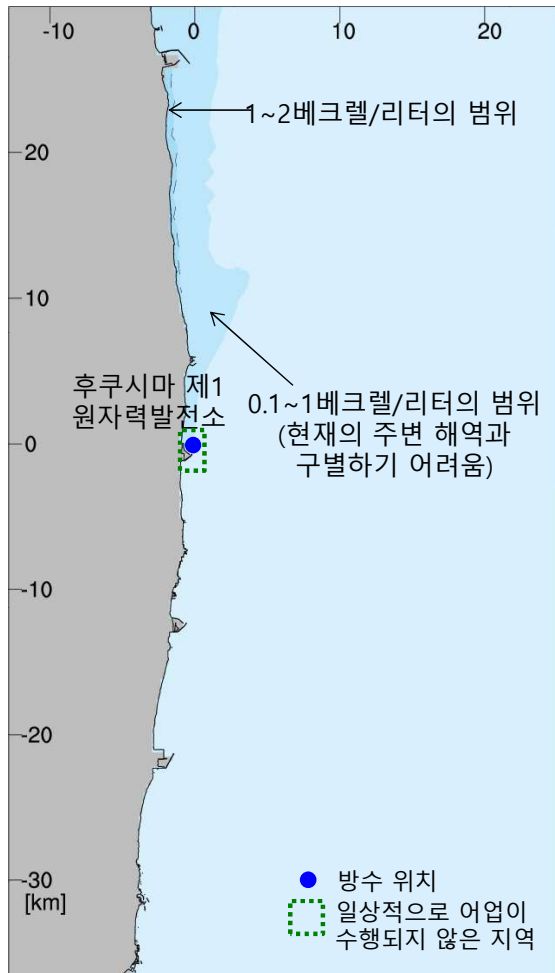
시뮬레이션 결과 중에서 현재 주변 해역의 해수에 함유된 삼중수소 농도(0.1~1베크렐/리터\*)보다 농도가 높아질 것으로 평가된 범위(1베크렐/리터를 초과하는 범위)가 가장 확산되는 날이라도 방수구의 남북 30km 정도의 범위에 그침.

\*WHO 식수 가이드라인 10,000베크렐/리터의 10만분의 1~1만분의 1

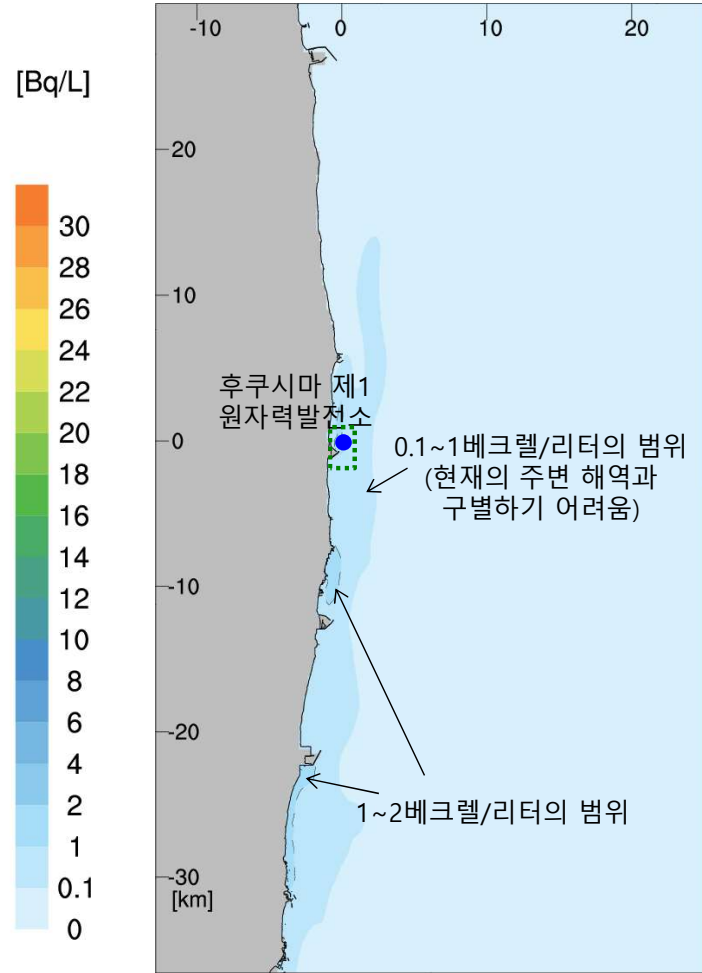
20190521

20190211

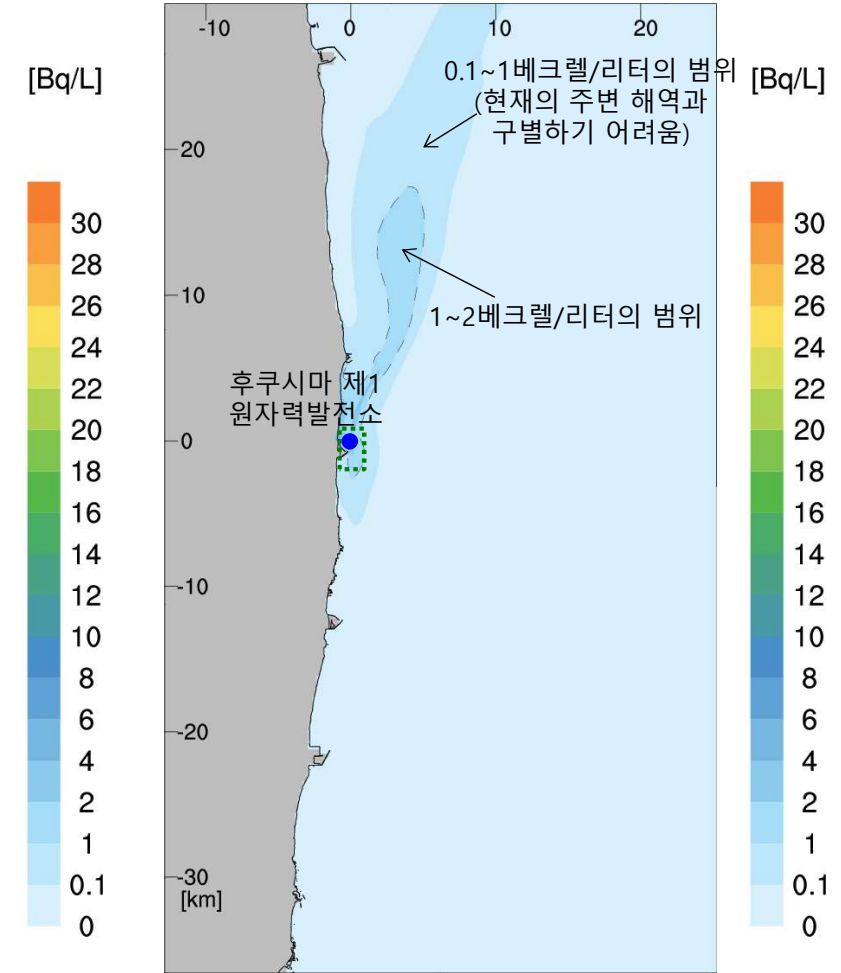
20190829



가장 북쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)



가장 남쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)



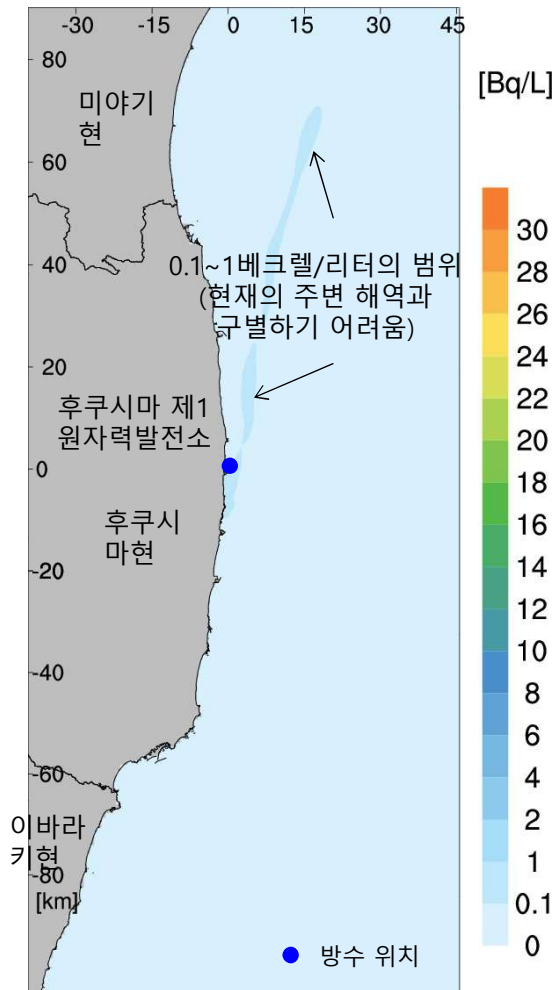
가장 동쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)



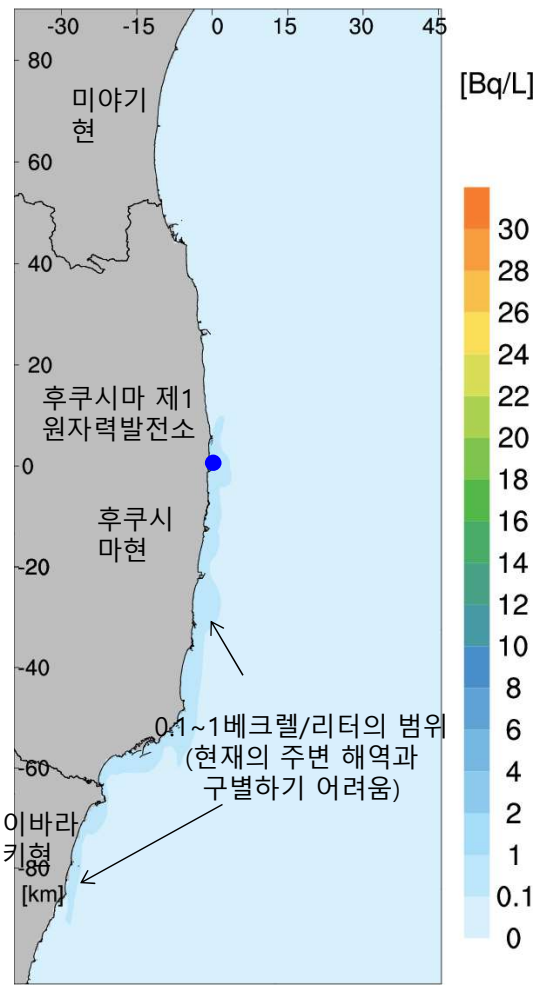
# [참고] 해양에서의 확산 시뮬레이션 결과(확산 경향)

아울러 실제 측정에서는 현재 주변 해역의 해수에 함유된 삼중수소 농도(0.1~1베크렐/리터\*)와 구별할 수 없는 낮은 농도(0.1베크렐/리터를 초과하는 범위)에 대해서도 시뮬레이션 결과 중에서 가장 확산되는 날의 확산 범위를 확인하면 다음의 경향을 볼 수 있음.

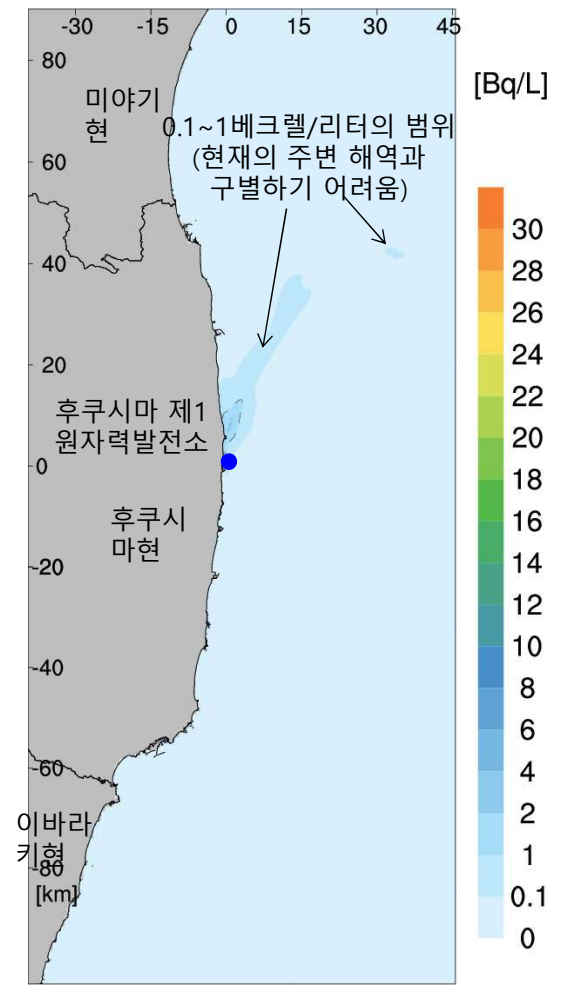
\*WHO 식수 가이드라인 10,000베크렐/리터의 10만분의 1~1만분의 1  
 20190827                      20191027                      20190806



가장 북쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)



가장 남쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)



가장 동쪽으로 확산되는 경우  
(최대 눈금 30베크렐/리터로 작도)

# [참고] 방출 위치의 차이가 확산에 미치는 영향의 고찰

변경 없음(일부 표현 재검토)



이번 계획에 따른 확산 시뮬레이션과 더불어 방출 위치를 현재의 5·6호기 방수구 위치로 한 연안 방출을 예상한 경우의 시뮬레이션도 실시(단 취수 위치에 따른 재순환은 무시).

현재 주변 해역의 해수에 함유된 삼중수소 농도(0.1~1베크렐/리터\*)보다 농도가 높아질 것으로 평가되는 범위(점선 안쪽 범위)는 연안 방출의 경우 발전소 주변의 6~7km 범위가 되는 것에 비해 **현재안(해저 터널)은 2~3km 범위에 그침.**

※WHO 식수 가이드라인 10,000베크렐/리터의 10만분의 1~1만분의 1

## 후쿠시마현 앞바다 확대도

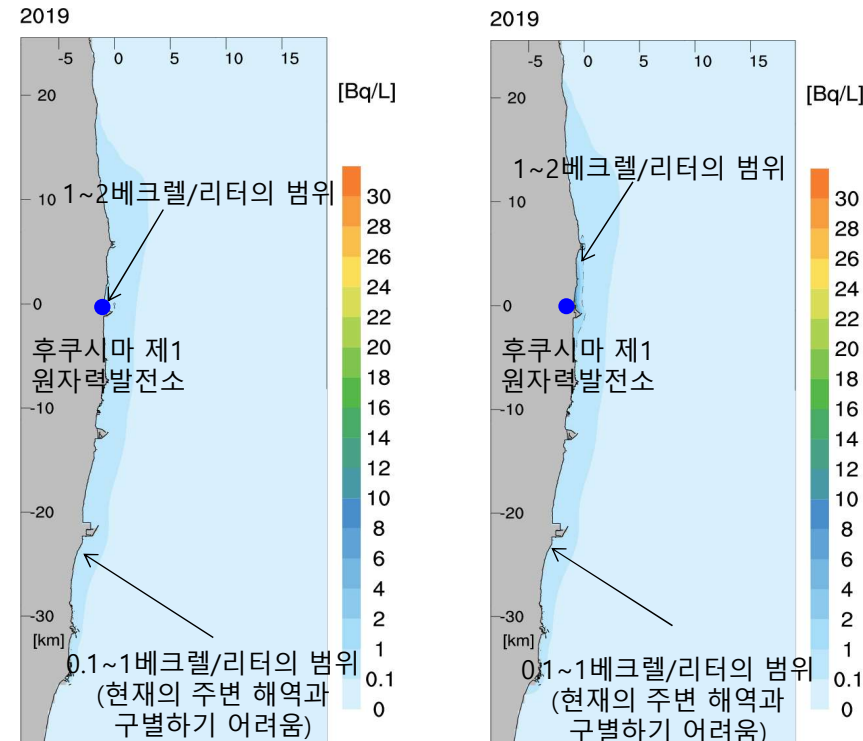
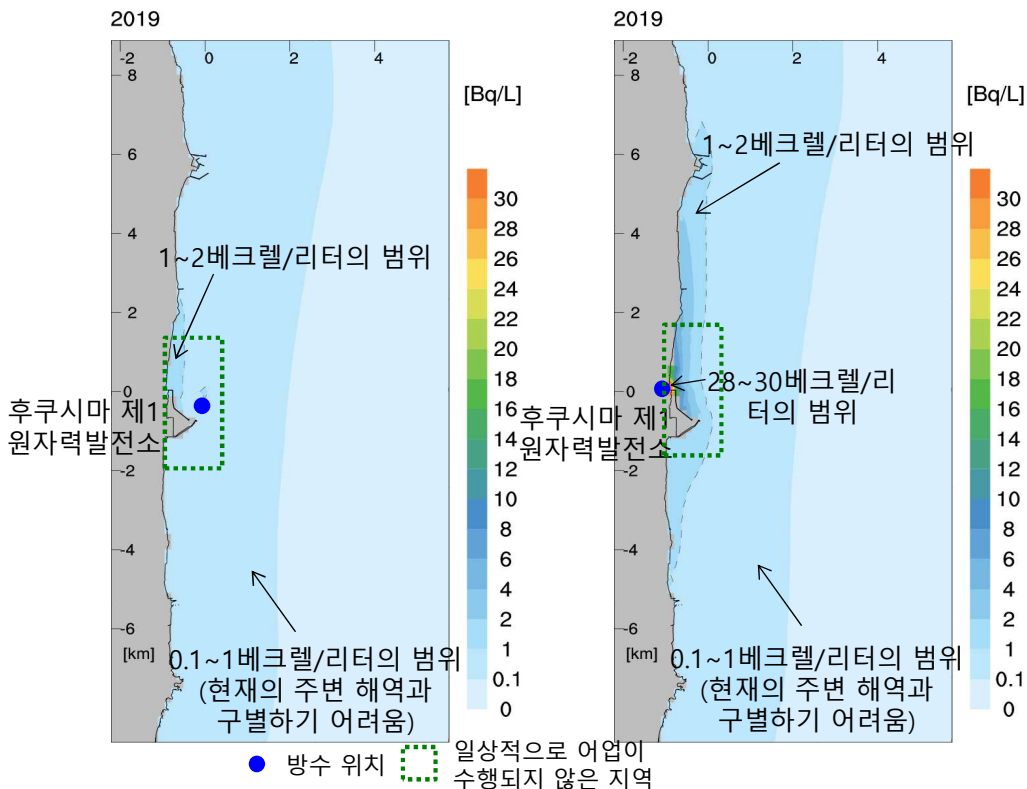
## 광역도

현재안

연안 방출안

현재안

연안 방출안



# [참고] 사람 및 환경에 대한 방사선 영향 평가의 전제 조건

- 삼중수소 방출량: 연간 22조 베크렐

평가 케이스	i. K4 탱크군	ii. J1-C 탱크 2차 처리 결과	iii. J1-G 탱크 2차 처리 결과
트리튬 농도 [Bq/L]	19만	82만	27만
연간 ALPS 처리수 방출량 [m <sup>3</sup> /년]	12만	2.7만	8.1만

- 해양에서의 이류·확산을 고려하여 후쿠시마 제1원자력발전소 주변 10km×10km 범위 내의 평균 해수 농도를 사용하여 평가

✓ 영역 해양 모델 'ROMS: Regional Ocean Modeling System'을 일반재단법인 전력 중앙연구소에서 후쿠시마현 앞바다에 적용한 모델을 사용

- 피폭 경로로 다음의 경로를 설정

사람에 대한 방사선 영향 평가	환경에 대한 방사선 영향 평가
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓해수면에 의한 외부 피폭</li> <li>✓선체에 의한 외부 피폭</li> <li>✓유영 중의 외부 피폭</li> <li>✓모래사장에 의한 외부 피폭</li> <li>✓그물에 의한 외부 피폭</li> <li>✓해수 음수에 의한 내부 피폭</li> <li>✓해수 물보라 흡입에 의한 내부 피폭</li> <li>✓해산물 섭취에 의한 내부 피폭</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓해수에 의한 외부 피폭</li> <li>✓해저 퇴적물에 의한 외부 피폭</li> <li>✓체내에 받아들인 방사성 물질에 의한 내부 피폭</li> </ul>

# [참고] 사람에 대한 방사선 영향 평가 결과 상세

평가 조건	소스 팀의 핵종 조성	실측치에 의한 소스 팀 ( )안은 개정 전 수치					
		i. K4 탱크군		ii. J1-C 탱크 2차 처리 결과		iii. J1-G 탱크 2차 처리 결과	
		A: 평균	B: 많은	A: 평균	B: 많은	A: 평균	B: 많은
외부 피폭 (mSv*/년)	해수면	6.5E-09 ( 6.5E-09 )		1.7E-08 ( 1.7E-08 )		4.7E-08 ( 4.7E-08 )	
	선체	4.8E-09 ( 5.2E-09 )		1.2E-08 ( 1.3E-08 )		3.3E-08 ( 3.4E-08 )	
	유영 중	4.5E-09 ( 2.8E-10 )		1.2E-08 ( 7.6E-10 )		3.2E-08 ( 2.0E-09 )	
	모래사장	7.8E-06 ( 5.0E-07 )		2.1E-05 ( 1.3E-06 )		5.6E-05 ( 3.6E-06 )	
	그물	1.6E-06 ( 1.6E-06 )		4.3E-06 ( 4.3E-06 )		1.2E-05 ( 1.2E-05 )	
내부 피폭 (mSv/년)	해수 음수	3.3E-07 ( - )		3.1E-07 ( - )		3.2E-07 ( - )	
	물보라 흡입	9.3E-08 ( - )		2.0E-07 ( - )		4.0E-07 ( - )	
	해산물 섭취	1.5E-05 ( 1.5E-05 )	6.1E-05 ( 6.1E-05 )	2.8E-05 ( 2.8E-05 )	1.1E-04 ( 1.1E-04 )	7.9E-05 ( 7.9E-05 )	3.0E-04 ( 3.0E-04 )
합계(mSv/년)		3E-05 (1.7E-05)	7E-05 (6.3E-05)	5E-05 (3.4E-05)	1E-04 (1.1E-04)	1E-04 (9.4E-05)	4E-04 (3.1E-04)
일반 공중의 선량 한도: 1mSv/년 선량 구속치에 상당하는 일본 국내 원자력발전소에 대한 선량 목표치: 0.05mSv/년							

\* mSv: 밀리시버트

# [참고] 동식물에 대한 방사선 영향 평가 결과 상세

변경 없음(일부 표현 재검토)



평가 케이스		실측치에 의한 소스 텀 ( ) 안은 개정 전 수치		
		i. K4 탱크군	ii. J1-C 탱크군	iii. J1-G 탱크군
피폭 (mGy*/일)	편평어	2E-05 ( 1.7E-05 )	2E-05 ( 2.2E-05 )	6E-05 ( 5.6E-05 )
	계	2E-05 ( 1.7E-05 )	2E-05 ( 2.2E-05 )	6E-05 ( 5.5E-05 )
	갈조류	2E-05 ( 1.9E-05 )	2E-05 ( 2.3E-05 )	6E-05 ( 5.9E-05 )
<b>유도 고려 참고 레벨(DCRL)</b> 편평어: 1-10mGy/일      계: 10-100mGy/일      갈조류: 1-10mGy/일				

\* mGy: 밀리그레이

## [참고] 방사선 영향 평가 보고서에 대한 의견 모집의 대응

- 작년 11월에 이 보고서를 공표함과 동시에 보고서의 내실화를 목적으로 의견 모집을 실시
  - 모집 기간: 2021년 11월 18일 00:00~2021년 12월 18일 00:00(1개월간)  
(모두 일본 시간 기준)
  - 응모 방법: 당사 홈페이지상에서 응모 양식에 기입
  - 사용 언어: 일본어, 영어
  
- 응모 의견 수: 총 414건(시스템 오류가 원인으로 보이는 중복 기입 14건 포함)
  - 일본어 응모: 395건, 영어 응모: 19건
  
- 모집 의견의 반영 상황
  - 평가의 추가·재검토(평가 조건의 추가 등) : 9건
  - 기재의 내실화(평가 조건의 기재 추가 등) : 32건
  - 기재의 적정화(오류 기재의 정정 등) : 5건
  
- ➔ 모집된 대표적인 의견에 대한 당사의 응답은 다음 페이지 참조

# [참고] 방사선 영향 평가 보고서의 주요 반영 사항

	반영 내용의 구체적인 예
평가의 추가·재검토	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 피폭 경로의 추가(유영 중 음수, 해수 물보라 흡입)</li> <li>■ 잠재 피폭 평가 방법의 재검토</li> <li>■ 유기 결합형 삼중수소가 미치는 영향의 고려</li> <li>■ 이미 환경에 방출된 방사성 물질이 미치는 영향</li> <li>■ 모델 경계의 구체적 농도에 따른 모델 밖에서의 영향에 대한 고찰</li> <li>■ 평가에 사용하는 해수 농도에 관한 케이스 스터디</li> </ul>
기재의 내실화	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 처분 방법 선정 경위에 관한 장 및 참고의 추가</li> <li>■ 환경 중에서의 핵종 축적에 관한 기재의 추가</li> <li>■ 시뮬레이션에서 사용한 모델 및 평가 조건의 추가 기재</li> <li>■ 보고서 공표 이후의 검토 및 원자력규제청 심사 진척의 반영</li> <li>■ 지금까지 공표한 문서 기재 정보의 전기(방출 기간의 고찰 등)</li> <li>■ 방사선 이외의 환경 영향에 관한 평가 결과</li> <li>■ 모니터링에 관한 기재의 추가</li> </ul>
기재의 적정화	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 이해하기 어려운 표현의 재검토</li> <li>■ 영어 번역판 번역 품질의 개선(향후 공개 예정)</li> <li>■ 오류 기재의 수정</li> </ul>