

# 일본 방사능 오염수 방류 및 수산물 수입 재개 논란 숨은 쟁점

2023. 4. 19

건강과대안 반핵의사회 보건의료단체연합 한살림연합

# 자료집 순서

**토론회**  
**일본 방사능 오염수 방류 및  
수산물 수입 재개 논란의  
숨은 쟁점과 민중건강**

일시\_2023.04.19.(수) 19시  
장소\_서울시 NPO지원센터 1층 '퐁다'

공동주최\_건강과대안·건강권실현을위한보건의료단체연합(건강사회를위한  
약사회·건강사회를위한치과의사회·노동건강연대·인도주의실천의사협회·참  
의료실현청년한의사회·행동하는간호사회)·반핵의사회·한살림연합


사회 변혜진\_건강과대안 상임연구위원

발제1 일본 오염 수산물 수입 재개 논란의 숨은 쟁점  
송기호\_국제통상전문 변호사

발제2 저선량 방사능 오염 노출과 건강 위해  
백도명\_서울대 환경보건대학원 명예교수

토론 임미화\_한살림부산생협 환경소모임장  
최지민\_한살림 가공생산자 관리위원장

문의\_건강과대안 02-747-6887



- 발제문 1 : 일본 오염 수산물 수입 재개 논란의 숨은 쟁점
- 발제문 2 : 저선량 방사능 오염 노출과 건강 위해
- 토론문 : 한살림연합 (별도 수록)

발제 1 : 후쿠시마 수산물 수입 쟁점

# 후쿠시마 수산물 수입 재개 논란의 숨은 쟁점

송기호

2023.4.19.

건강과 대안, 건강사회보건의료연합, 반핵의사회, 한살림연합

# 차례

1. 후쿠시마 수산물 수입 금지 통상법
2. IAEA 후쿠시마 오염수 '방출' 안전성 재검토의 국제법 영향
3. IAEA 오염수 투기 합리화에 대한 대응
4. TPP 국제통상과 후쿠시마 수산물 수입 문제

# 1. 후쿠시마 수산물 수입 금지 통상법

- WTO '잠정조치(provisional measure)' : 위생검역협정 5.7조
- 중국산 사과 수입금지와 비교:세계 사과의 47%가 중국에서 생산, 중국산 사과 수입금지 조치는 통상적 조치
- 잠정조치에 붙이는 조건: '관련 과학적 증거들이 충분하지 않을 것', '관련 국제기구를 포함하여 입수가능한 적절한 정보에 기초할 것', '추가 정보 수집 노력할 것' '합리적 기간 안에 재검토할 것'

# WTO 1심에서의 일본의 승리

- 2013, 일본 8개 지역산 수산물에 방사능 검출 여부와 상관없이 금지
- 일본이 WTO 제소하여 1심 한국이 패소
- 한국 1심 패소: 자의적이고 정당화될 수 없는 차별  
"일본산 수산물과 그 밖의 나라 생산 수산물에서의 조건이 다르지 않다. 오염이 시작된 곳이 아니라도 세계 어느 곳에서나 식품은 잠재적 방사능 오염에 노출된다. 일본 수산물에서 검출되는 방사능 수치가 한국의 허용 기준보다 낮다. 일본은 일본산 수산물이 한국 방사능 기준치를 초과하지 않을 것임을 일응 입증했다."(1심 보고서 7.298항, 7.311항, , 7.349항)
- 후쿠시마 현지 조사를 하고도 아무런 결론을 내지 않은 채 2015년 6월 5일자로 일본의 WTO 제소를 이유로 활동을 중단해 버린 박근혜 정부의 무책임도 패소의 원인

# WTO 2심에서 한국 승리

- "1심이 유사한 조건 하의 차별 여부를 판단할 때, 그 기준을 일본산 수산물과 다른 나라 수산물의 특성만을 놓고 비교한 잘못이다. 유사 조건하에 있는지의 판단에서는 단지 상품만을 기준으로 하는 것이 아니라 생산된 나라의 영토적 조건의 유사성도 고려해야 한다. 일본 해양의 조건은 일본산 수산물에 잠재적 영향을 준다. 그리고 이는 한국과 유사하지 않다." (항소심 보고서 6.3항)



# 숨겨진 쟁점: 잠정조치 요건

- 문제의 소재: 한국의 조치는 처음부터 잠정조치였으나 일본은 1심에서 잠정조치 요건을 지켰는지는 아예 제소 대상에서 넣지도 않았음
- 1심: 일본은 위험성 평가를 할 수 있는 관련 자료가 충분하다고 주장하여 관철시킴 1심은 한국이 잠정조치 유지의 네 가지 요건, 충분한 관련 증거가 부족한 상태에서의 잠정조치 일 것, 획득 가능한 자료에 근거할 것, 조치 후 객관적 위험 평가에 필요한 추가 자료를 확보할 것, 합리적 기간 내에 재검토될 것을 모두 위반했다고 판단(7.6.2항) 특히 한국의 전문가 위원회가 위험평가 보고서를 공개하지 않는 등, 한국은 합리적 기간 안에 재검토를 하지 않았다고 판단(7.107항)
- 2심: 일본이 제기하지도 않은 잠정조치 조항 위반 여부를 패널이 판단한 것은 잘못이라며, 논외 문제(moot)라고 판단
- 결국 앞으로 잠정조치 요건 충족을 둘러싼 2차 분쟁이 발생할 것

## 2. IAEA 후쿠시마 오염수 '방출' 안전성 재검토의 국제법적 영향

- 'IAEA 재검토'의 의미  
일본의 영향평가보고서인 <多核種除去設備等処理水（ALPS処理水）の海洋放出に係る 放射線影響評価報告書（案）（設計段階・改訂版）>는 결국 일본의 '방출' 이 IAEA의 안전 기준에 부합한지 여부에 관한 연구이고 결론을 내리는 과정  
IAEA의 재검토는 이러한 일본의 영향 평가 결론에 대해, 한번 더 보고서의 IAEA 기준 부합 내용을 재검토하는 것임
- IAEA 재검토의 국제법적 영향  
일본의 영향평가 보고에는 아래와 같이 2011년 후쿠시마 원전 사고부터의 일본 해양 생태계에 대한 조사 분석('모니터') 결과가 들어 있으며, 수산물에 대한 방사능 피폭 위험 분석이 포함되어 있고, IAEA는 이에 대한 국제적 재검토, 즉 정당화임
- 9-3-2.国および福島県によるモニタリング  
(1) 従前の国および福島県が実施している海域モニタリング本項では、総合モニタリング計画における当社以外の実施機関、すなわち国（主に環境省、原子力規制委員会、水産庁）や福島県等が実施する海域モニタリングに関して公開情報をもとにまとめたものを記載する。関係省庁は、福島県、研究機関、漁業協同組合等と連携して、事故直後からモニタリングを開始しその結果を公表<sup>61</sup>してきており、モニタリングの内容、測定箇所等を、適時見直し、結果を公表してきている<sup>62</sup>。

# 일본 해양 '조건' 평가 및 수산물 위험 분석 자료

- IAEA의 재검토 결과는 일본의 해양 조건이 2011년 후쿠시마 원전사고에도 불구하고, 수산물과 인간에 방사능 위험을 기준치 이상으로 주지 않은 상태라는 내용을 포함
- 즉 일본의 해양 조건과 한국의 그것은 다르지 않고 유사하다는 일본 주장의 강력한 논거가 될 것임
- 한국이 2심에서 승소한 '해양 조건의 차이' 논거가 유지되지 어려울 것임
- 또한 위험평가를 할 수 있을 충분한 자료를 제공하는 것으로 평가되어 한국이 잠정조치를 유지하기 어려울 것임

# 3. IAEA '투기' 합리화에 대한 대응

- IAEA 차원이 아니라 UNEP, UN 해양법 협약 적용
- 한국의 독자적 해양생태 주권
- 한국이 일본에 요구한 자료 목록
  - (1) '21.4./처분 시 안전성 검증체계 등 실시계획 심사 절차·기준 질의
  - (2) '21.10./해양모니터링 기준 등 실시계획 심사 절차·기준 질의
  - (3) '22.2./방사선영향평가 검토 기준 등 실시계획 심사 관련 질의
  - (4) '22.9./사용전검사 대상, 방법 등 실시계획 심사 관련 질의
  - (5) '23.2./측정평가핵종 재선정 판단근거 등 실시계획 심사 관련 질의

## 해양 생태적 접근

- 8-2-4. 海産物の濃縮係数、海底土の分配係数における不確かさ（認識的不確かさ） IAEA TRS-422 に示されている海産物摂取による内部被ばくに使用している魚介類の濃縮係数は、海水の濃度と魚介類の濃度の調査結果から、海水中濃度と海洋生物の濃度は平衡状態にあると仮定して求められている。ただし、生物や海底土への移行プロセスは時間がかかるのに対して、海水の移動は早く、調査時点で平衡状態となっていたかは定かではない。また、魚介類の種類や海底土の土質、調査場所などによるばらつきも大きい。このような事情を踏まえ、IAEA TRS-422 では上下一桁程度の不確かさの存在を示唆している。(p.153)

# 국제해양법재판소 긴급구제

- 한국과 일본이 가입한 UN해양법협약 제290조가 규정하는 '잠정조치'(provisional measure)란 피소국의 UN 해양법 의무 위반에 대한 최종적인 판단이 나오기 전에 긴급한 경우에 임시적으로 내리는 조치
- 1999년, Southern Bluefin Tuna 사건 (New Zealand v. Japan; Australia v. Japan):일본이 참다랑어 어획량을 늘릴 목적으로 조사 사업을 진행하자 뉴질랜드와 호주가 일본을 유엔해양법재판소(ITLOS)에 잠정조치를 구하였음  
해양법재판소는 일본에 대하여 당사국들이 가장 최근에 합의했던 다랑어 포획 수준을 넘는 포획을 금지하는 등의 5가지 내용의 긴급구제를 명령

## **4. TPP 국제통상과**

### **후쿠시마 수산물 수입 문제**

# TPP협정 요건과 일본 가입 동의

- TPP의 위생검역협정 7.14조(긴급 조치)
- TPP에 가입하면, 후쿠시마 수산물 수입 금지는 법리적으로나, 사실적으로 유지가 매우 어렵게 됨
  - (1) 법리적으로 아래와 같이 6개월 안에 재검토 의무
- “2. If a Party adopts an emergency measure, it shall review the scientific basis of that measure within six months and make available the results of the review to any Party on request. If the emergency measure is maintained after the review, because the reason for its adoption remains, the Party should review the measure periodically.”
- (2) 사실적으로 TPP 가입에는 일본의 동의가 요건



# 후쿠시마 오염수 해양투기 위험 검토

백 도명

서울대학교 명예교수  
국립암센터 암예방사업부

# 두가지 서로 다른 관점

- 처리수 (treated water)
  - 오염제거 처리가 된
- 방류 (discharge)
  - 대안을 모두 고려하여 특별한 불확실성이 없는 상황에서 처리
  - 정상적인 처리
- 오염수 (contaminated water)
  - 오염이 되었거나, 되어 있는
- 투기 (dumping)
  - 대안을 모두 고려하지 못하고 쫓긴 상태에서 불확실성을 안고 처리
  - 비정상적인 처리

# 발제에 따른 검토 항목

- 일본 정부의 지금까지 조치에 대한 IAEA 검토 중간보고서(4차)에 대한 검토
  - [1] 해양 투기는 꼭 필요한가?
    - 어떠한 원칙 하에 투기(방류)의 필요성을 결정하여야 하는가?
  - [2] 해양 투기에 따른 위험은 무엇인가?
    - 그에 대한 기본 자료가 구축되어 있는가?
  - [3] 해양 투기의 영향은 무해한가?
    - 저선량 방사선의 영향은 없거나 혹은 있더라도 측정이 불가능한가?

[1] 해양 투기는 꼭 필요한가?

# IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

Report 4: Review Mission to TEPCO and METI  
(November 2022)

도쿄전력 후쿠시  
마 다이치 핵발전  
소의 ALPS-처리  
수와 관련된 안전  
관련 조치에 대한  
국제원자력기구  
의 검토

(4차 보고서,  
2022. 11.)

# Fundamental Safety Principles

Jointly sponsored by

Euratom FAO IAEA ILO IMO OECD/NEA PAHO UNEP WHO



IAEA



WHO

## Safety Fundamentals

---

No. SF-1



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

# IAEA 10가지 원칙 중에서 4가지만 고려

3.	SAFETY PRINCIPLES .....
	Introduction (3.1–3.2) .....
	Principle 1: Responsibility for safety (3.3–3.7) .....
	Principle 2: Role of government (3.8–3.11) .....
	Principle 3: Leadership and management for safety (3.12–3.17) .
	Principle 4: Justification of facilities and activities (3.18–3.20)...
	Principle 5: Optimization of protection (3.21–3.24) .....
	Principle 6: Limitation of risks to individuals (3.25–3.26) .....
	Principle 7: Protection of present and future generations (3.27–3.29) .....
	Principle 8: Prevention of accidents (3.30–3.33) .....
	Principle 9: Emergency preparedness and response (3.34–3.38) .
	Principle 10: Protective actions to reduce existing or unregulated radiation risks (3.39–3.40) .....

## II.1. Crosscutting Requirements and Recommendations

### (a) Overview

SF-1 [1] states the fundamental safety objective and ten associated safety principles, and briefly describes their intent and purpose. The following safety principles are considered in the development of requirements applicable to discharges:

- **Principle 1, Responsibility for safety:** The prime responsibility for safety must rest with the person or organization responsible for facilities and activities that give rise to radiation risks.
- **Principle 5, Optimization of protection:** Protection must be optimized to provide the highest level of safety that can reasonably be achieved.
- **Principle 6, Limitation of risks to individuals:** Measures for controlling radiation risks must ensure that no individual bears an unacceptable risk of harm.
- **Principle 7, Protection of present and future generations:** People and the environment, present and future, must be protected against radiation risks.

# 방사선 방호의 정당화 원칙이 무시됨

- **Principle 4: Justification of facilities and activities**
- For facilities and activities to be considered justified, the benefits that they yield must outweigh the radiation risks to which they give rise. For the purposes of assessing benefit and risk, all significant consequences of the operation of facilities and the conduct of activities have to be taken into account. (IAEA)
- The principle of justification: Any decision that alters the radiation exposure situation should do more good than harm.
- This means that, by introducing a new radiation source, by reducing existing exposure, or by reducing the risk of potential exposure, one should achieve sufficient individual or societal benefit to offset the detriment it causes. (ICRP)



# 대안의 문제

- 해양 투기 (dumping into the sea)
- 해양 투기에 있어 이득은 단지 도쿄전력회사만의 경제적 이익
- 저장 용기 보관
- 30년이면 반감기를 3번 거치는 기간
- 저장 용기를 보관할 용지 또한 존재
- 저장에 있어 이득은 지역 주민, 어부, 인접국가 모두의 이익

- 2016년 일본 아오모리에서 열린 환경과학연구소와 ICRP의 합동 심포지엄에서 ICRP의 Real A씨가 발표한 데이터에 따르면 많은 실험에서 RBE는 2~3 수준임을 나타내고 있으며, 1를 나타내는 경우는 거의 없다.
- ‘ICRP 보고서’는 삼중수소물의 RBE를 1로 하고 있어서, 위험성을 1/2~1/3로 저평가했다. 이런 평가는 만약 해양 방출을 한다면 현재의 농도보다 2배~3배 더 희석해야 함을 시사한다. 요컨대 해양방출에는 80년~120년이 걸린다는 것이며, 육상보관에서 방사능이 1/1000로 감소하는 기간과 크게 다르지 않다.

[2] 해양 투기의 위험은 무엇인가?  
- 그에 따른 기본 자료가 구축되어 있는  
가?

# 일본 환경 방출 기준

- A. 일본 :

- 주변 감시 구역 외 수중 농도 한도: 60,000Bq/L (삼중수소만 배출할 경우에 대한 일본 통산성 고시)

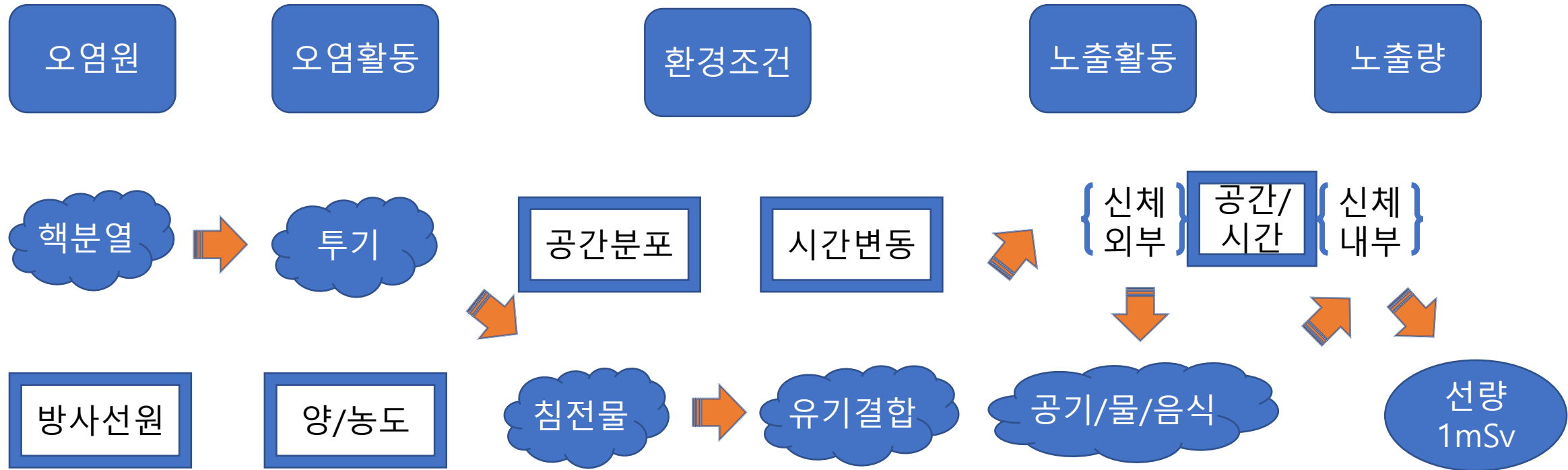
- 후쿠시마 제1핵발전소 지하수 바이패스 및 서브드레인 배출수의 운용 목표치: 1,500Bq/L

- 우선 폐로작업으로 인하여 일반인들에게 영향을 주는 추가선량을 발전소 부지 경계선에서 1mSv/년 미만으로 설정하고, 도쿄전력에서 설정한 3종류의 방사선 피폭가능성중에서 액체 폐기물에 할당된 선량(경구 섭취에 의한 피폭)은 현장 환경에 따라 약 20%로 할당했음. 다른 종류의 방사선은 원자로에서 직접 방출하는 방사선과 기체폐기물로 인한 방사선 이어서 다음과 같이 고시 농도 대비와의 총합이 약 0.2가 되도록 각 핵종의 운용 목표치를 설정했다.

- $1/60$  (Cs 134) +  $1/90$  (Cs137) +  $5/30$  (Sr90)+ $1,500/60,000$  (삼중수소) = 0.219

- 즉, 발전소 부지 내에서 물을 1년간 경구 섭취할 경우 내부 피폭 선량이 0.219mSv/년에 상당.

# 환경선량 계산에서의 가정과 추정들



# IAEA Review of Safety Related Aspects of Handling ALPS-Treated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

Report 4: Review Mission to TEPCO and METI  
(November 2022)

도쿄전력 후쿠시  
마 다이치 핵발전  
소의 ALPS-처리  
수와 관련된 안전  
관련 조치에 대한  
국제원자력기구  
의 검토

(4차 보고서,  
2022. 11.)

# 오염원의 현황

- the “selection of radionuclides subject to removal by ALPS”
- "absence of evidence is not evidence of absence"
- selecting those that should be "subject to measurement and assessment with vigorous verification”
- 일본정부 – ALPS로 걸러지는 방사선 핵종 중에서 선정
- ‘근거가 없다’는 것이 ‘없다는 것의 근거’는 아님
- ‘적극적 확증과정을 동반하는 측정과 평가’의 대상이 되어야 하는 방사선 핵종의 선정

TABLE: II-1: RADIONUCLIDES IN THE REVISED SOURCE TERM PROPOSED BY TEPCO.

<b>C-14</b> Carbon	<b>Y-90</b> Yttrium	<b>I-129</b> Iodine	<b>Eu-154</b> Europium	<b>Pu-239</b> Plutonium
<b>Mn-54</b> Manganese	<b>Tc-99</b> Technetium	<b>Cs-134</b> Cesium	<b>Eu-155</b> Europium	<b>Pu-240</b> Plutonium
<b>Co-60</b> Cobalt	<b>Ru-106</b> Ruthenium	<b>Cs-137</b> Cesium	<b>U-234</b> Uranium	<b>Pu-241</b> Plutonium
<b>Ni-63</b> Nickel	<b>Cd-113m</b> Cadmium	<b>Ce-144</b> Cerium	<b>U-238</b> Uranium	<b>Am-241</b> Americium
<b>Se-79</b> Selenium	<b>Sb-125</b> Antimony	<b>Pm-147</b> Promethium	<b>Np-237</b> Neptunium	<b>Cm-243</b> Curium
<b>Sr-90</b> Strontium	<b>Te-125m</b> Tellurium	<b>Sm-151</b> Samarium	<b>Pu-238</b> Plutonium	<b>Cm-244</b> Curium

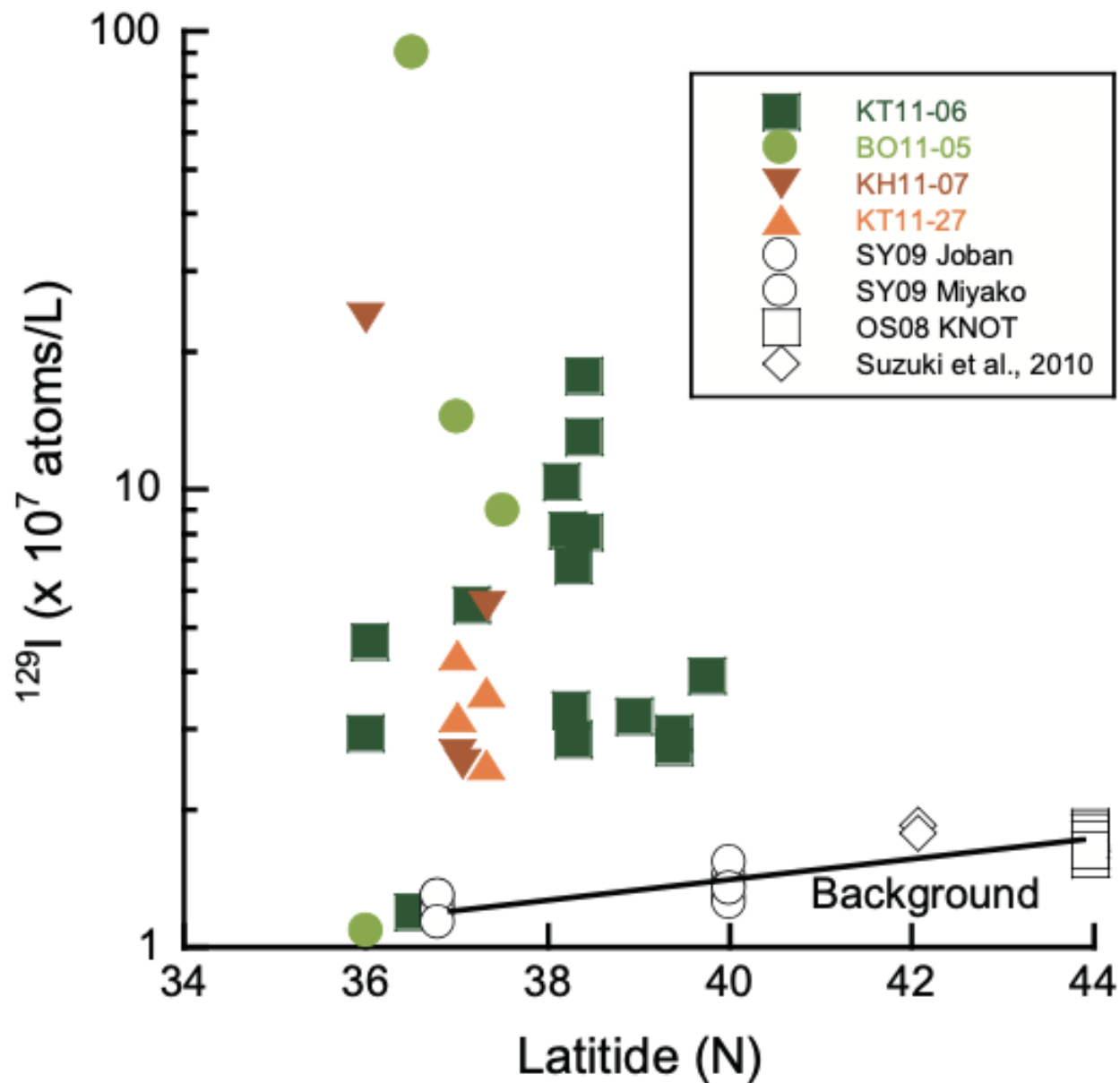
Note 1: Nuclides with a red border were added to ensure the approach is conservative.

Note 2: Tritium will also be measured in addition to these radionuclides.



# Source Term에 대한 IAEA의 지적

- However, the TF noted that as a consequence of revising the source term, the radionuclides now contributing most to the dose have changed. In particular, C-14 and I-129 are now in the top three radionuclides contributing most to the overall dose to the representative person from the discharge of the APLS treated water.
- 전체 1000여종이 넘는 핵종 중에서 오염수의 문제되는 방사선 핵종 선정 결과가 달라짐
- 특히 C-14, I-129, H-3 등 가장 문제되는 핵종 3가지 중 2가지가 달라짐



Biogeosciences Discuss., 10, 1401–1419, 2013  
 www.biogeosciences-discuss.net/10/1401/2013/  
 doi:10.5194/bgd-10-1401-2013  
 © Author(s) 2013. CC Attribution 3.0 License.

This discussion paper is/has been under review for the journal Biogeosciences (BG).  
 Please refer to the corresponding final paper in BG if available.

## Iodine-129 concentration in seawater near Fukushima before and after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

T. Suzuki<sup>1</sup>, S. Otsaka<sup>1</sup>, J. Kuwabara<sup>2</sup>, H. Kawamura<sup>1</sup>, and T. Kobayashi<sup>1</sup>

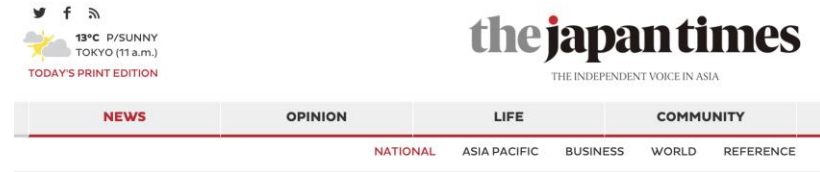
<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency, Ibaraki, Japan

<sup>2</sup>Japan Atomic Energy Agency, Aomori, Japan

**Fig. 2.**  $^{129}\text{I}$  concentrations in surface seawater ( $< 50$  m) before and after the 1FNPP accident as a function of latitude. The dark green, light green, dark orange, and light orange symbols indicate cruises KT-11-06, BO-11-05, KH11-07, and KT-11-27, respectively, after the 1FNPP accident. The white symbols indicate a cruise before the Fukushima NPP accident.

# 실제 일본 언론에 보도된 오염현황

- According to Tepco, a maximum of 62.2 Bq/L I-129, far higher than the 9 Bq/L legal limit, was found in the water filtered by the Advanced Liquid Processing System, which was reportedly capable of removing everything but tritium.
- (2018. 8. 19)



## NATIONAL ALPS system at Fukushima No. 1 plant failing to remove more than tritium from toxic cooling water



The defunct Fukushima No. 1 nuclear power plant, which was hit by a triple core meltdown in March 2011, is shown in February. | KYODO

# 언론보도 오염 현황

- Tepco, which gathered data in fiscal 2017 through March, also detected a maximum 92.5 becquerels of ruthenium 106, shy of the 100 becquerel legal limit, as well as 59 becquerels of technetium 99 against the limit of 1,000 becquerels.
- Fishermen and residents are worried about the water discharge plan, and a government panel debating how to deal with it has mainly focused on the tritium rather than the other substances.
- Water is injected perpetually to keep the fuel cold but it is extremely toxic.

# 방사선 핵종 침전물

- The Task Force further noted that it is not clear as to whether **sedimentation is included in the dose assessments** for humans and flora and fauna based on the modelling approach that has been used. TEPCO confirmed that the methodology described had only been used to identify minor exposure pathways and had not been used in calculations of doses.
- The Task Force noted that **TEPCO has not considered in-growth of progenies in the sediments** over the discharge period.
- 침전물 섭취를 통한 먹이사슬에 대한 고려
- 영국 카디프 지역 삼중수소 침전물에 의한 어류의 삼중수소 오염이 보고됨

# 유기결합 삼중수소 (OBT)

- However, ICRP 56 says that the exact proportions of OBT in the various molecular components of the human diet are unknown and there are uncertainties associated with the doses received following the intake of tritium. It was agreed that there are uncertainties about OBT formation in seafood and the associated doses to humans, flora and fauna.
- 유기결합 삼중수소의 축적 가능성에 대한 고려
- 캐나다 원전 가동에 따른 주변 지역 조류에서의 유기결합 삼중수소 축적이 보고됨

# 생체 축적(bioaccumulation)의 최근 소견

- Jaeschke BC, Bradshaw C. Bioaccumulation of tritiated water in phytoplankton and trophic transfer of organically bound tritium to the blue mussel, Mytilus edulis. J Environ Radioact. 2013 Jan;115:28-33.
- Kim SB, et al. Organically bound tritium (OBT) formation in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): HTO and OBT-spiked food exposure experiments. Appl Radiat Isot. 2013 Feb;72:114-22.
- Duff MC , et al. Assimilation and transport of organic bound tritium in an irrigated pine forest. Environ Sci Process Impacts. 2019 Jun 19;21(6):938-949.
- Choi YH et al. Tritium levels in Chinese cabbage and radish plants acutely exposed to HTO vapor at different growth stages, Journal of Environmental Radioactivity, 2005; 84(1):79-94 -> OBT/TFWT 24~2800

# 노출 경로 및 노출 인구에 대한 가정들

- In the REIA, TEPCO has stated that whilst there are currently no permanent inhabitants 3 km north of the site, the representative person could still travel to the beach in that area. Therefore, TEPCO has used this location for calculation of external doses.
- TEPCO further acknowledged that not including consumption of seafood from this location by the representative person may be questioned.
- TEPCO stated that the representative person for the potential exposure assessment is a fisherman (adult) who consumes seafood from 3km north of the site. TEPCO further explained that they had now included doses from internal exposure pathways for other age groups (inhalation of sea spray, ingestion of seafood and inadvertent ingestion of water).
- 후쿠시마 다이치 핵발전소 북쪽 3 키로 지점
- 성인, 어부
- 연령군의 차이에 대한 고려 X
- 내부피폭에 대한 고려 X
  - 해양 안개
  - 해산물 복용
  - 해양수 음용



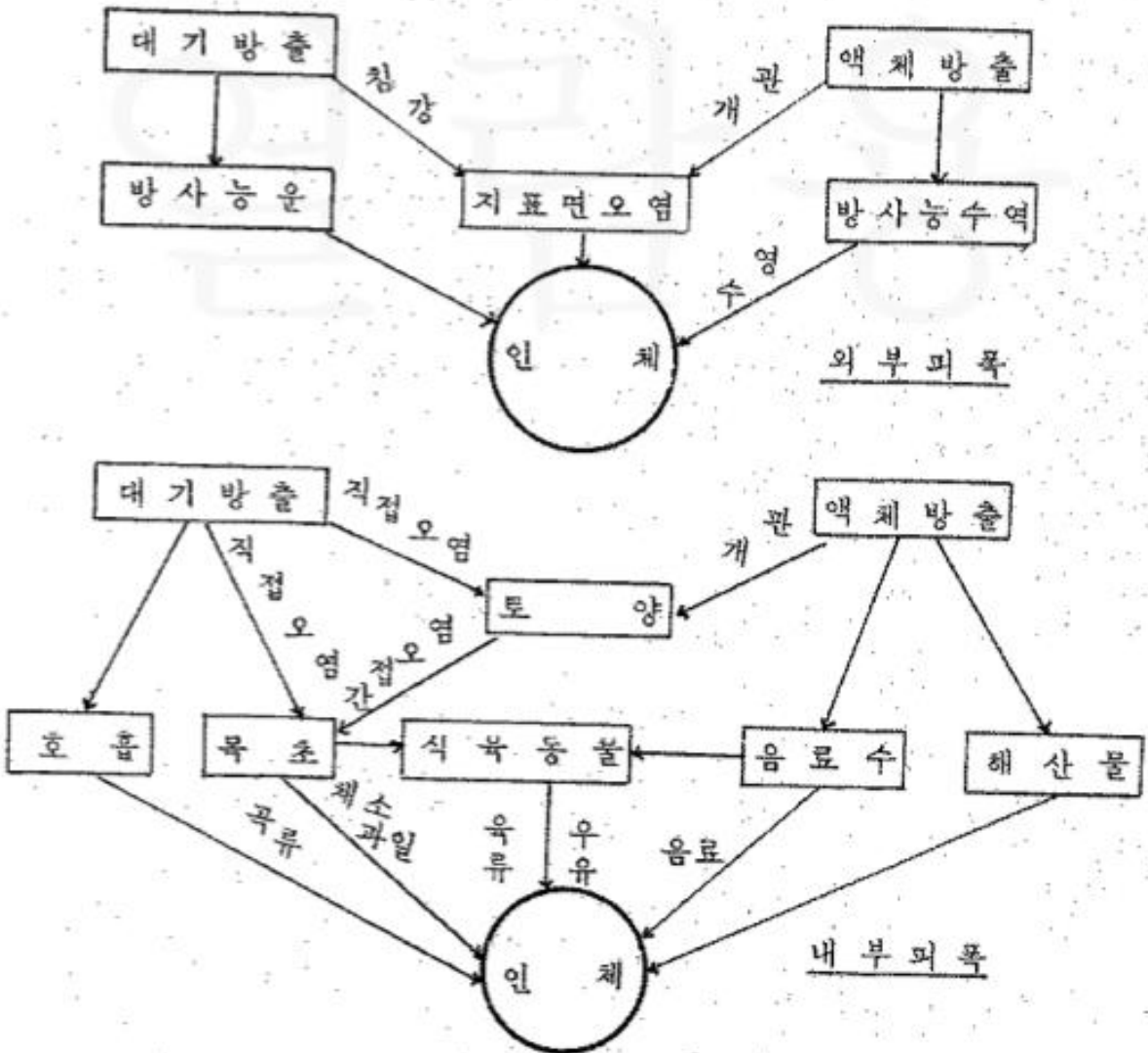
# 원전 주변지역 주민 환경선량

## 환경거동 및 매체접촉 활동

- 기체
  - 대기
  - 피부 접촉
  - 표면 침적
- 액체

## 매체 접촉 활동 시간 및 선량

- 실내
  - 호흡
  - 섭취
  - 피부접촉
- 실외
  - 농사
  - 해안활동, 수영



圖表 3.1 人體의 放射能 被曝經路

- 정상운전
- 불활성 기체
  - C<sup>4</sup>, H<sup>3</sup>
- 해조류, 해산물 양식
  - I<sup>131</sup>
- 비정상운전

을 제14-1호증

# 한국인 매체 접촉 활동

표-6. 연령군별 해변활동, 해수욕 및 해상활동 시간(단위: hr/yr)

구분		소아(5세)		소년(10세)		십대(15세)		성인			
		기존	본 연구	기존	본 연구	기존	본 연구	기존	본 연구		
									어업	비 어업	전체
해변 활동 시간	평균	9.5	38.5	-	54.2	47	84.1	8.3	1042.3	221.2	381.9
	최대	14	120.0	-	440.0	67	275.0	12	4,440.0	402.0	2,240.0
수영 시간	평균	142	64.1	-	42.1	106	63.1	21	88.3	42.4	47.1
	최대	300	220.0	-	185.0	240	200.0	60	495.0	160.0	174.0
해상 활동 시간	평균	-	13.0	-	20.9	-	20.3	2,509	813.1	47.1	255.8
	최대	-	20.0	-	80.0	-	72.0	3,100	2,058.0	202.5	1,572.0

# 한국인 음식물 섭취량

표-31. 성인 연령군의 최대개인 음식물 섭취량(단위 : g/day)

구분	최대개인 섭취량			평균개인 섭취량		
	기존	신규	증감율 (%)	기존	신규	증감율 (%)
곡 류	434.2	439.1	1.1	293.0	291.9	-0.4
김 치	238.6	246.2	3.2	150.7	145.9	-3.2
채 소	364.2	443.3	21.7	200.0	222.8	11.4
과 일	483.6	265.8	-45.0	185.1	87.5	-52.7
우 유	200.5	200.5	0.0	39.7	42.5	7.1
소 고 기	58.6	43.1	-26.5	28.7	20.5	-28.6
돼지고기	72.1	79.0	9.6	36.1	36.7	1.7
닭 고 기	69.5	78.4	12.8	34.0	38.5	13.2
어 류	77.6	88.8	14.4	39.4	43.7	10.9
갑 각 류	20.9	24.2	15.8	9.1	10.4	14.3
연 체 류	16.6	17.9	7.8	8.9	8.7	-2.2
해 조 류	16.3	18.0	10.4	9.5	10.3	8.4
총계	2,052.9	1,944.2	-5.3	1,034.2	959.5	-7.2

주민피폭선량평가(INDAC) 체계 개선 방향 연구 (KINS/RR-808). 2011. 2. 한국원자력기술원

摂取量 및 生活習慣

경 로	영 아	유 아	소 아	성 인
곡 류 (Kg/yr)		366.2	604.6	646.4
채 소 류 (Kg/yr)		41.9	68.3	73.9
우 유 (l/yr)	31.89	31.89	65.7	60.63
육 류 (Kg/yr)		33.8	55.8	59.7
어 류 (Kg/yr)		75.9	125.5	134.0
해 조 류 (Kg/yr)		4.0	6.6	7.1
해 번 활 동 (hr/yr)		120.0	180.0	350.0
해 수 욕 (hr/yr)		9.4	18.9	2.0
해 상 활 동 (hr/yr)				11.0
호 흡 량 (㎥/yr)	1400	2900	6200	6200

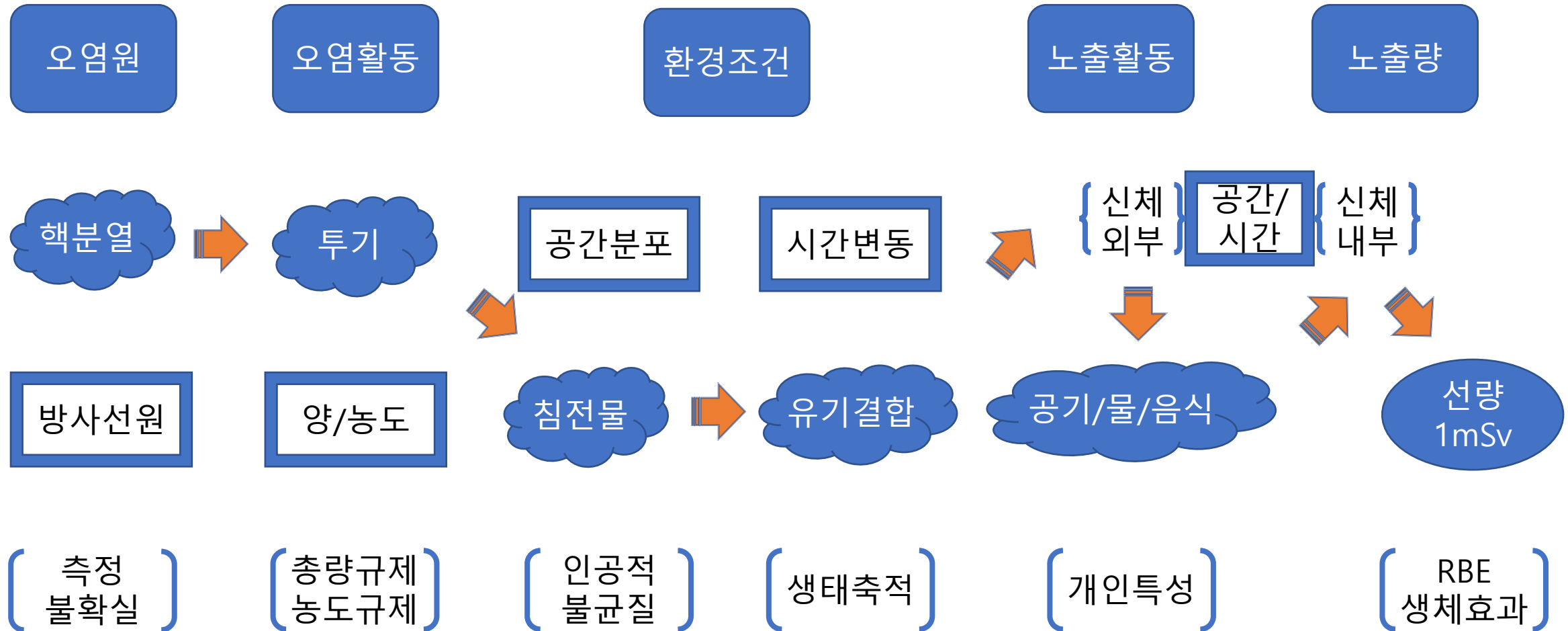
• 해상활동

- 1572 h/yr <-> 11.0 h/yr

• 해조류

- 6.5 Kg/yr <-> 7.1 Kg/yr

# 선량 계산 가정과 추정의 근거와 불확실성



[3] 해양 투기의 영향은 무해한가?

- 저선량 방사선은 영향이 없는가?

# Low Dose, Background Radiation

- Low dose, Low dose rate
- 100 mGy for LET radiation
- 0.1 G/hr
- 10 mGy for HET radiation
- 0.01 G/hr
- Background Radiation
- 1 mSv from background radiation



# 선량/건강손상 평가의 2가지 접근

## Radon Exposure

Epidemiology    건강  
Measurement    영향

Health physics    유효  
Dosimetry        선량

- Alpha particle in the air
- Bq/m<sup>3</sup>
- detector
- Working level month
- Lung cancer risk among miners

- Energy
- Biokinetics, model physiology, phantom measurements
- Gy, Sv for organ dose
- Radiation detriment by lifetime risk of cancer and heritable effects

# Steps of Dosimetry and Uncertainty

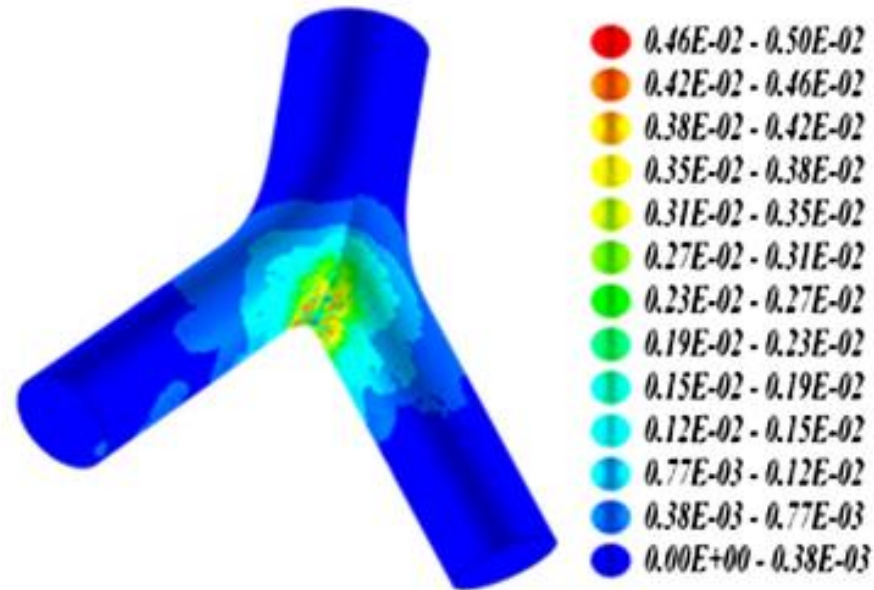
- Energy
  - Radiation: Low/High Energy Transfer
- Damage
  - Space
  - Time
  - Character
- Dose Index
  - Average, Peak, Sum,
- Activity (Becquerel, Curie)
- Absorbed dose (Gray, Joule/Kg), 흡수선량
- Equivalent dose (Sievert, Joule/Kg), 등가선량
  - Radiation weighting factor
- Effective dose (Sievert, Joule/Kg), 유효선량
  - Tissue weighting factor

# 환경 중 내부피폭 방사선택종 Radon/Iodine

- Internal exposure
- Spatial heterogeneity
  - Airway bifurcations
  - Thyroid nodules
- Temporal heterogeneity
  - Organically binding
    - Hydrogen - hydrocarbon
    - Iodine – sea weed
  - Sporadic uncontrolled discharge

# Spatial heterogeneity of dose, Radon

Radiation and Environmental Biophysics (2022) 61:561–577



**Fig. 2** Distribution of transformed basal and secretory cells in a bronchial airway bifurcation model irradiated by radon progeny alpha particles based on direct hits plus indirect contributions of bystander cells

- the maximum particle enhancement factors
- 344 in homes vs. 461 in mines
- Considering larger parts of the bronchial epithelium and the effects of mucociliary clearance, the maximum local tissue dose in 3 mm<sup>2</sup> patches is still about 4.3 Gy in mines and 1.1 Gy in homes corresponding to the ~10 mGy upper limit for the macroscopic low dose range.

B.G. MADAS. Radon exposure and the definition of low doses

# Temporal heterogeneity of dose, Tritium

- 삼중수소 기체 (tritiated gas: HT)
  - 0.01% of inhaled HT converted to HTO in the body
- 중수 TFWT (tissue free water tritium)
  - 10 days
- 유기체
  - Short term OBT (exchangeable organically bound tritium) 40 days
  - Long term OBT (non-exchangeable organically bound tritium) 350 days

# Radiation Detriment (ICRP Publication 152, 2020 June)

- Radiation detriment is a concept used to quantify the harmful stochastic effects of low-level radiation exposure to the human population. It is determined from lifetime risk of cancer for a set of tissues and organs taking into account their severity in terms of lethality, quality of life, and years of life lost. It also considers heritable effects. The radiation detriment is estimated as a sex- and age-averaged risk indicator for a composite reference population.
- dose and dose-rate effectiveness factor (DDREF), age at exposure, sex difference and lethality fraction

# Detriment 계산에서 노출시작연령 민감도

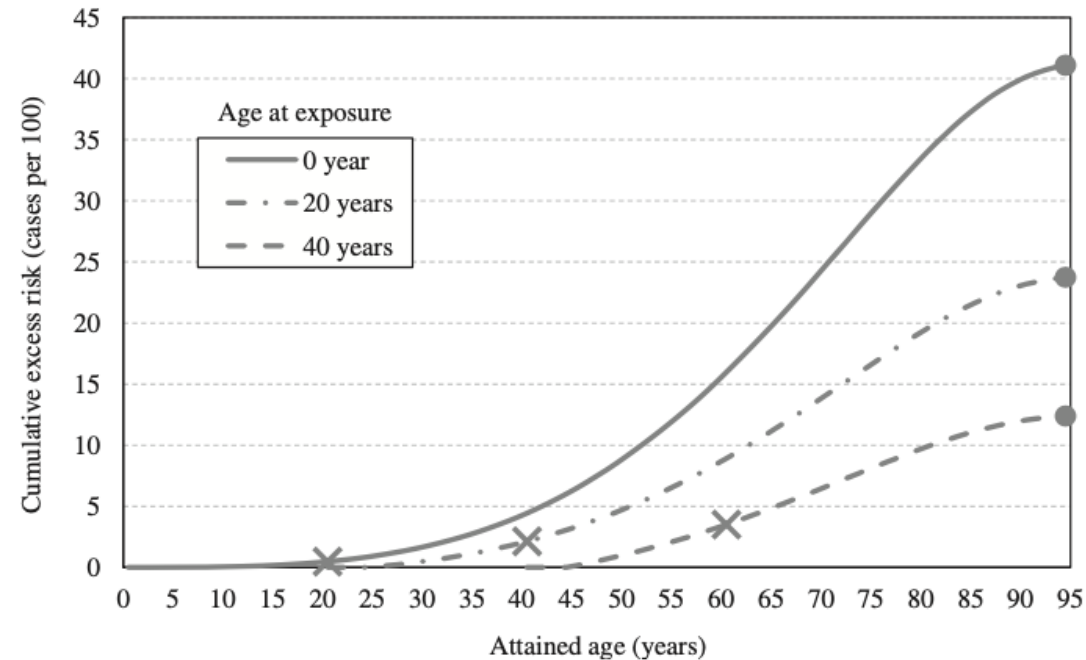


Fig. 3.10. Cumulative excess risk per Gy for all solid cancers in Euro-American females estimated by the excess absolute risk model. The risk calculated for 0.1 Gy was multiplied by 10, which is expressed as the risk per Gy. The data points marked by circles correspond to those in Fig. 3.11. The cross markers indicate the cumulative excess risk 20 years after the exposure.

# Detriment 계산에서 남녀, 연령 민감도

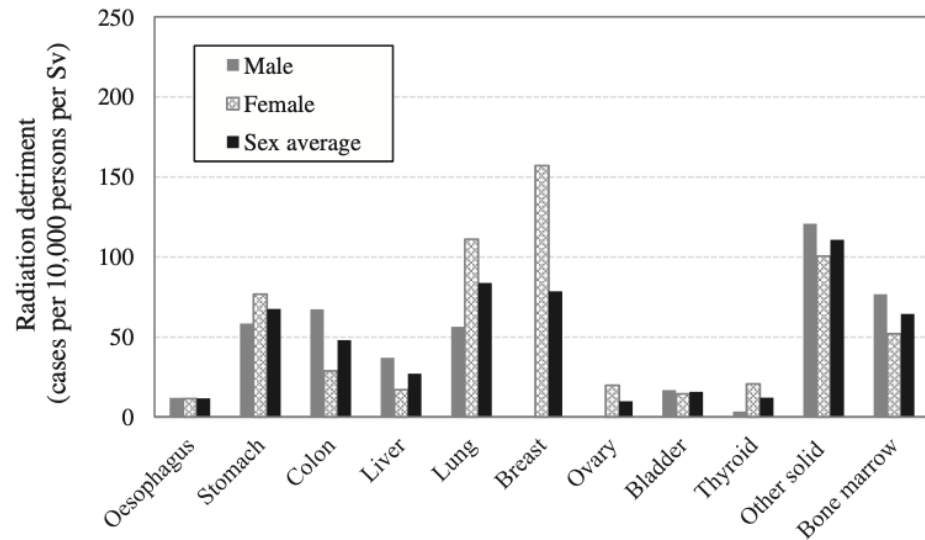


Fig. 4.1. Comparison of radiation detriments between males, females, and the average for both sexes. Reference detriment is the average for both sexes.

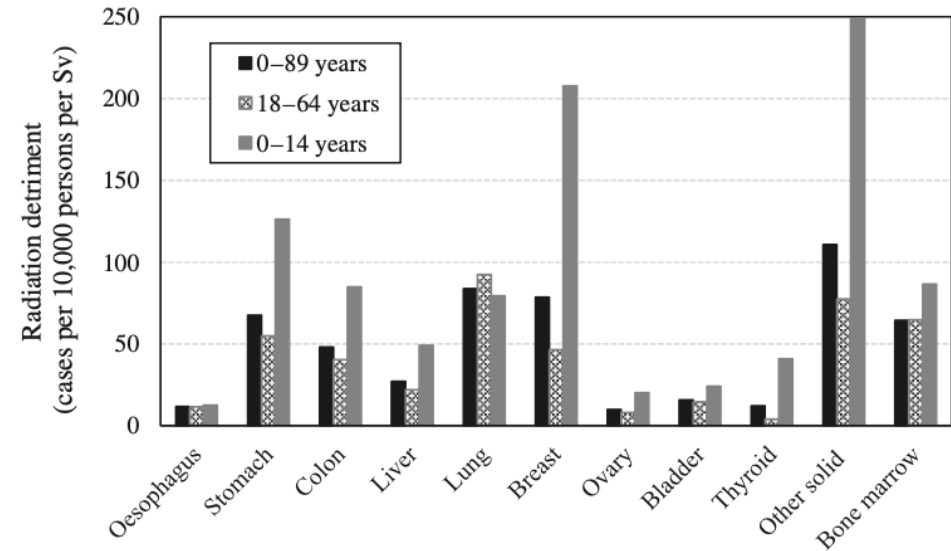


Fig. 4.3. Comparison of radiation detriments calculated for different age at exposure categories. Reference detriment is based on the whole population (aged 0-89 years at exposure).



# Radon Dose Conversion Coefficient (ICRP)

**Table 1. Dose conversion convention coefficients obtained by equating ICRP values for total radiation detriment (all cancers and hereditary effects) with estimates of lung cancer risk from radon exposure<sup>(13)</sup>.**

Exposed population	Lifetime lung cancer risk (WLM <sup>-1</sup> )	Total detriment (Sv <sup>-1</sup> )	Effective dose (mSv WLM <sup>-1</sup> )
	<i>ICRP Publication 65<sup>(1)</sup></i>	<i>ICRP Publication 60<sup>(12)</sup></i>	
Whole	$2.8 \times 10^{-4}$	$7.3 \times 10^{-2}$	4
Workers	$2.8 \times 10^{-4}$	$5.6 \times 10^{-2}$	5
	<i>ICRP Publication 115<sup>(1)</sup></i>	<i>ICRP Publication 103<sup>(2)</sup></i>	
Whole	$5.0 \times 10^{-4}$	$5.7 \times 10^{-2}$	9
Workers	$5.0 \times 10^{-4}$	$4.2 \times 10^{-2}$	12

# 환경 피폭선량 평가 상의 문제점

- 원전가동 초기 불안정한 운전
  - 급격한 변화
- 내부피폭에 따른 민감군
  - 갑상선 결절
- 매체접촉 활동에 대한 비현실적 고려
  - 최대 해상활동의 차이 100배

# 삼중 수소의 건강영향

- 방사선으로 인한 인체영향 중 가장 심각한 것은 DNA 손상이다. 삼중 수소가 DNA에 흡수되어 체내에 오래 머무르면 영향이 커진다.
- DNA 속에 흡수된 삼중수소는 단백질, 탄수화물, 지방 등의 결합과는 달리 대사작용을 통해 감소하지 않고 DNA 속에 오래 머문다. 더군다나 DNA와 결합한 삼중수소의 반감기는 훨씬 길어지고, 실험용 쥐의 간세포와 뇌세포에서는 각각 약 1년과 약 2년(실험용 쥐의 수명은 약 3년)이라는 보고도 있다. 가장 위험한 것은 분열할 때 HTO에 피폭해서, **오래 지속하는 세포**, 예를 들어 **태아의 신경세포나 난자**이다. 이럴 경우 난자 DNA와 결합한 삼중수소는 다음세대로 유전될 가능성이 있다. 삼중수소의 베타 $\beta$ 선 비정 거리는  $0.5\sim 0.7\mu\text{m}$ 로 짧지만 DN와 결합하면 DNA 손상은 용이하게 일어난다.

# 삼중 수소의 건강영향 역학조사

- 캐나다의 CANDU형 원자로는 삼중수소를 환경에 많이 배출하고 있으며, 주변에서 소아백혈병이나 선천성 이상이 증가했다는 보고가 2016년의 UNSCEAR 보고서에서도 거론한 바 있다. 특히 피커링(Pickering) 핵발전소의 HTO 방출이 많아, 25km 권역에서 **선천성 이상, 사산, 신생아 사망률** 증가가 보고되었다.
- 독일의 KiKK 조사(2008년)에서는 핵발전소에서 5km권역의 5세 미만 **어린이들의 백혈병**과 암이 다른 지역보다 증가하고 있다고 보고했다. 원인은 핵발전소에서 배출하는 HTO와  $^{14}\text{C}$ (탄소-14) 때문으로 추정된다. 2018년에는 삼중수소에 피폭한 핵시설 노동자의 염색체 이상이, 피폭하지 않은 노동자에 비해 약 3배 많다고 보고되었다.

# 저선량 피폭에 대한 정리

- 역학조사를 통해 저선량 피폭의 영향이 통계적으로 유의한 수준에서 구체적으로 확인됨
- 환경 중 피폭선량 평가는 그 가정과 계산 방법에 있어 많은 불확실성을 포함하고 있어, 특히 라돈, I-131, I-129, 삼중수소 등을 포함한 내부 피폭의 경우, 일괄적으로 평균 집단을 대상으로 계산된 선량 수치와 실제 **성별이나 연령 등에 따른 영향**의 내용과 크기가 서로 일치하지 않고 있음
- 저선량 피폭영향을 없거나 측정되지 않는 것으로 치부하면 안 됨

<별도첨부>

# 토론문 : 방사능 오염과 먹거리 안전과 건강

- 한살림, 후쿠시마 오염수 방류를 저지하고 안전한 먹거리를 넘어 생명운동으로
- 후쿠시마 원전 오염수가 방류에 따른 해악과 우려

임미화 한살림부산생협 환경소모임장,

최지민 어업회사법인 해농수산 관리부장