

제212회 한림원탁토론회

후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 국내 영향

일시 : 2023년 7월 6일(목) 15:00

장소 : 코리아나호텔 7층 로얄룸

※ 온·오프라인 동시 개최



초대의 말씀

최근 일본의 후쿠시마 원전 오염수 방류는 전 세계적인 이슈가 되고 있으며, 특히 지리적으로 가장 가까이 위치한 우리나라 국민의 불안감은 점차 고조되고 있습니다. 이러한 불안감은 다양한 형태의 대립과 갈등으로 나타나고 있으며, 양극단의 올바르지 않은 정보들이 쏟아지며 혼란을 더욱 가중시키고 있습니다. 이같은 사회적 갈등을 해소하기 위해서는 과학적, 객관적 사실에 기반한 올바른 소통과 정보 공유가 가장 중요합니다.

이에 한국과학기술한림원에서는 후쿠시마 원전 오염수 방류 이슈에 대해 관련분야 전문가들과 심도있게 논의하는 자리를 마련하고자 합니다. 최고 전문가들이 한자리에 모여 후쿠시마 원전 오염수 방류가 우리나라에 미칠 영향에 대해 과학적 사실을 기반으로 다양한 관점에서 살펴보고자 하오니 많은 관심과 참여를 부탁드립니다.

2023년 7월

한국과학기술한림원

한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 마련하고 국가사회 현안문제에 대한 과학기술적 접근 및 해결방안을 도출하기 위해 개최되고 있습니다.



Program

사 회 : **윤순창** 서울대학교 지구환경과학부 명예교수

시 간	프로그램	내 용
15:00~15:05 (5분)	개 회	유욱준 한국과학기술한림원 원장
15:05~15:50 (45분)	주제발표	
	발표자	후쿠시마 오염수 발생, 처리, 방류와 영향 정용훈 KAIST 원자력 및 양자공학과 교수
		후쿠시마 방류수의 해양 확산 시뮬레이션 서경석 한국방사성폐기물학회 부회장·한국원자력연구원 책임연구원
		후쿠시마 방류수의 방사능과 인체 영향 강건욱 대한핵의학회 회장·서울대학교 핵의학과 교수
15:50~17:00 (70분)	지정토론 및 자유토론	
	좌 장	백원필 한국원자력학회 회장
	토론자	김성환 대한방사선방어학회 회장·가톨릭대학교 성빈센트병원 암병원장
		이덕환 서강대학교 화학과 명예교수
		윤순창 서울대학교 지구환경과학부 명예교수
		곽재원 아주경제 논설위원장
	자유토론	
토론요약 및 질의응답		
17:00	폐 회	

참여자 주요 약력

사회



윤 순 창

서울대학교 지구환경과학부 명예교수

- 한국과학기술한림원 이학부 종신회원
- (사)미세먼지포럼 회장
- 前 한국기상학회장/이사장

좌장



백 원 필

한국원자력학회 회장

- 한국공학한림원 정회원
- 前 한국원자력연구원 부원장
- 前 OECD 원자력기구(OECD/NEA) 원자력시설안전위원회 부의장

참여자 주요 약력

주제발표자



정 용 훈

KAIST 원자력 및 양자공학과 교수

- 한국원자력학회 특임이사
- KAIST 신형원자로연구센터 소장



서 경 석

한국원자력연구원 환경안전기술연구부 책임연구원

- 한국방사성폐기물학회 부회장



강 건 옥

서울대학교 핵의학과 교수

- 대한핵의학회 회장
- 아시아지역핵의학협력기구 의장
- 서울대학교 생명공학공동연구원 원장

참여자 주요 약력

토론자



김 성 환

가톨릭대학교 성빈센트병원 암병원장

- 대한방사선방어학회 회장
- 前 대한방사선종양학회 회장
- 前 대한척추종양연구회 회장



이 덕 환

서강대학교 화학과 명예교수

- 합리적에너지정책을추구하는교수협의회(에교협) 공동대표
- 교수신문 편집인
- 前 (사)대한화학회 회장



윤 순 창

서울대학교 지구환경과학부 명예교수

- 한국과학기술한림원 이학부 종신회원
- (사)미세먼지포럼 회장
- 前 한국기상학회/이사장



곽 재 원

아주경제 논설위원장

- 가천대학교 및 호서대학교 초빙교수
- 前 원자력안전위원회 위원
- 前 중앙일보 경제연구소장/과학기술 대기자

I

주제발표

주제발표 1 후쿠시마 오염수 발생, 처리, 방류와 영향

- 정용훈 KAIST 원자력 및 양자공학과 교수

주제발표 2 후쿠시마 방류수의 해양 확산 시뮬레이션

- 서경석 한국방사성폐기물학회 부회장·
한국원자력연구원 책임연구원

주제발표 3 후쿠시마 방류수의 방사능과 인체 영향

- 강건욱 대한핵의학회 회장·서울대학교 핵의학과 교수

주제발표 1

후쿠시마 오염수 발생, 처리, 방류와 영향



정 용 훈

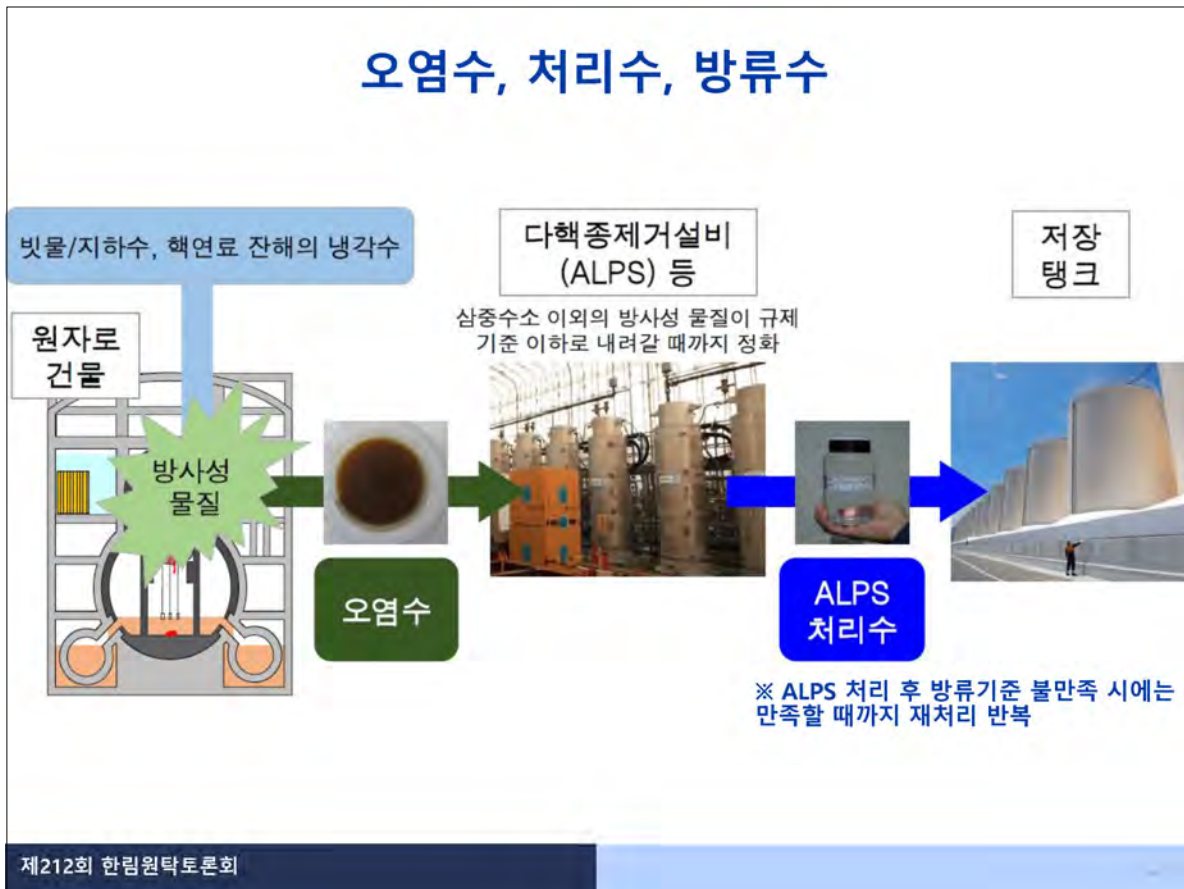
KAIST 원자력 및 양자공학과 교수

KAIST 한국과학기술원
The Korean Academy of Science and Technology

후쿠시마 오염수 발생, 처리, 방류와 영향

정용훈

KAIST 원자력 및 양자공학과



2011년 사고 시 방출된 양에도 우리 바다 영향 없었음

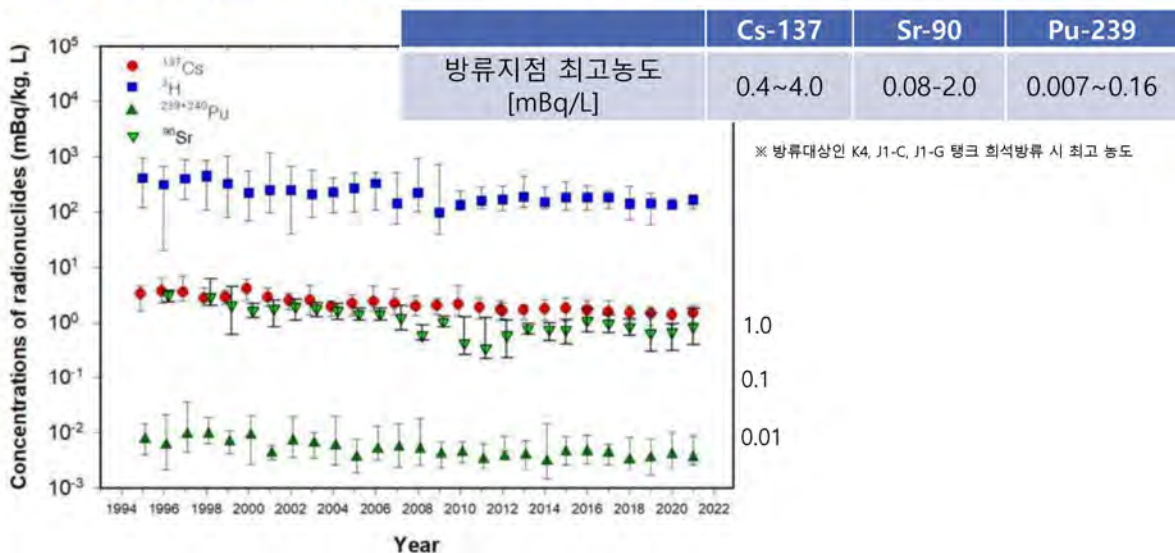
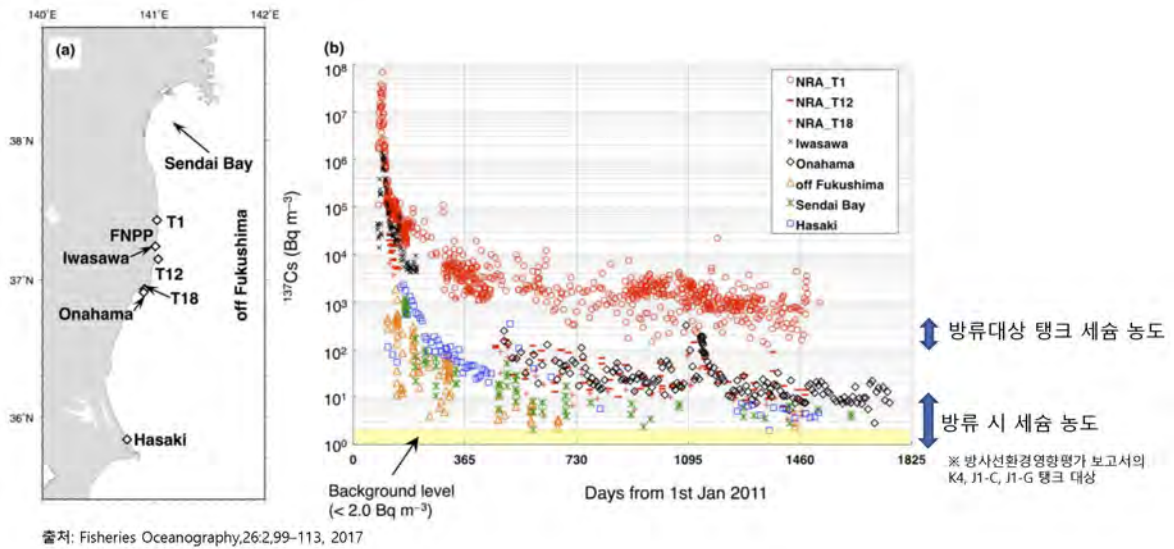


그림 2.6 표준 해수의 핵종별 연평균 방사능농도 변화
출처: 해양환경방사능조사, 한국원자력안전기술원, 2021.12

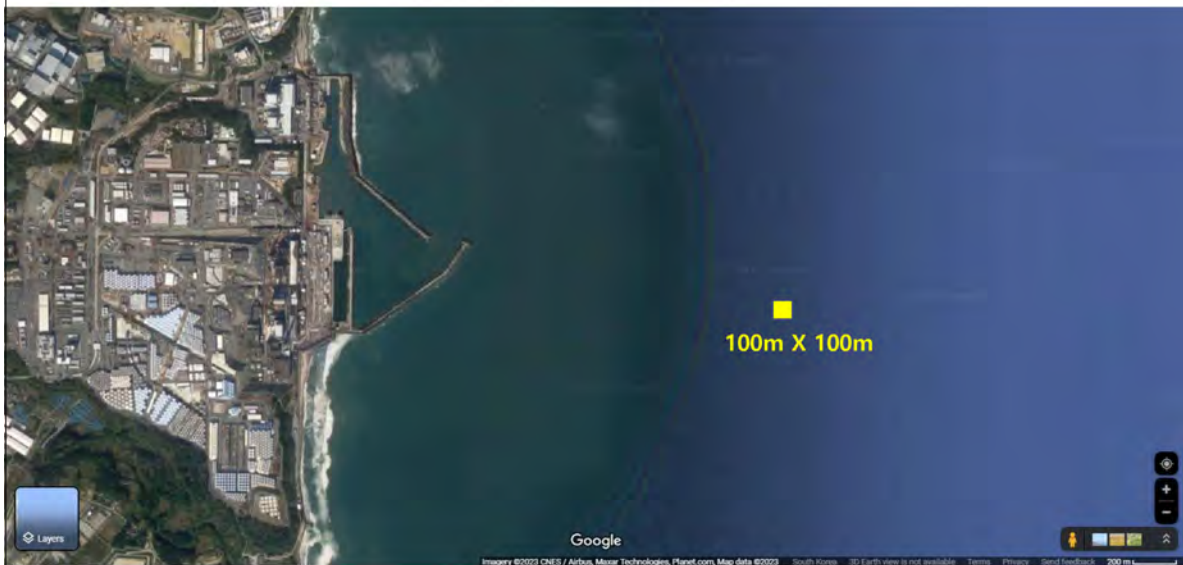
- ※ 2011년 4월 중순 후쿠시마 해수 Cs-137 농도 ~ 100,000,000 mBq/L
- ※ 2023년 6월 26일 후쿠시마 해수 Cs-137 농도 < 300 mBq/L
- ※ 방류대상 탱크의 Cs-137 농도 = 170~370 mBq/L (100만톤=100m*100m*100m)

2011년 후쿠시마 앞 바다는 현재의 방류수보다 높은 농도였음



제212회 한림원탁토론회

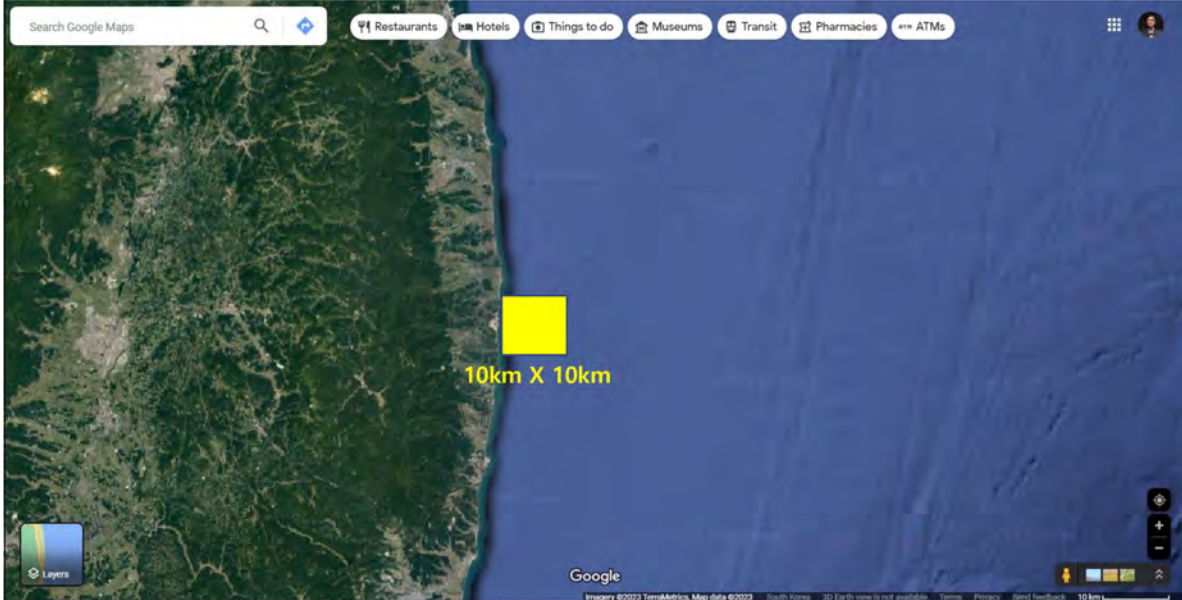
100만톤의 방류와 해수의 스케일



제212회 한림원탁토론회



후쿠시마 인근의 해산물만 섭취 시 피폭량 $\ll 1\mu\text{Sv}/\text{년}$



참고: 해양생물에 핵종이 농축되는 효과 고려, 삼중수소는 농축되지 않음.

제212회 한림원탁토론회

우리 국민의 연간 피폭량

후쿠시마 원전 오염처리수의 처분으로 인한 우리나라 국민의 방사선영향

- 원양어업으로 잡은 어류의 섭취로 우리나라 국민이 받을 수 있는 연간 피폭선량의 상세결과를 [표 4]에 제시함.

표 4. 해양방출로 인한 우리나라 국민의 예상 피폭선량.

방사성핵종	피폭선량 (mSv/yr)	핵종	피폭선량 (mSv/yr)
H-3	4.4×10^{-11}	Ru-106 ¹⁾	1.6×10^{-13}
C-14	2.2×10^{-9}	Rh-106	NA
Tc-99	7.9×10^{-13}	I-129	3.3×10^{-11}
Co-60	1.4×10^{-11}	Cs-134	4.1×10^{-12}
Sb-125	1.4×10^{-11}	Cs-137	3.2×10^{-11}
Sr-90	1.2×10^{-9}	Ba-137m ²⁾	NA
Y-90 ¹⁾	NA ³⁾		
합계			3.5×10^{-9}

- 연간피폭량이 0.0035 nSv (ALPS 추가여과 고려 X)
- 방사성 물질의 생물체 농축도 모두 고려됨. 삼중수소는 농축되지 않음.
- 하루 청정음식섭취 피폭량이 1000 nSv 이상

제212회 한림원탁토론회

오염되지 않은 음식으로 인한 인체내 방사능

총 방사능: 7,000 Bq(베크렐) (70kg 기준)



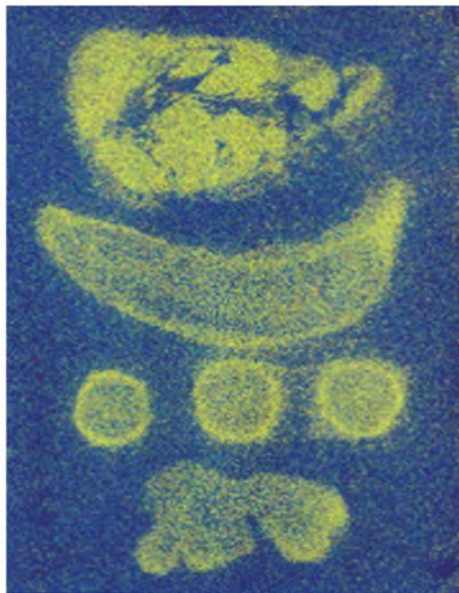
Typical natural Korean faces from the present day.
ILLUSTRATION: THE KOREA FACE INSTITUTE

칼륨	4,000
+ 탄소	2,500
+ 루비듐	500
+ 삼중수소	40
+ 납/폴로늄	20
+ 우라늄	1

연간 음식 피폭 0.5mSv (밀리시버트)
~ 매일 1 μ Sv (마이크로시버트) 이상

※ 1Bq/L 수준의 삼중수소 섭취로 장기간 피폭되었으나 영향은 없음.

음식에 존재하는 자연 방사성 물질



바나나 1개 ~ 0.1 마이크로시버트

1 마이크로시버트, 1 나노시버트

- 10m 높은 집에 사는 것으로 인한 추가 피폭량 = 1 $\mu\text{Sv}/\text{년}$
- 1cm 높은 집에 사는 것으로 인한 추가 피폭량 = 1 $\text{nSv}/\text{년}$

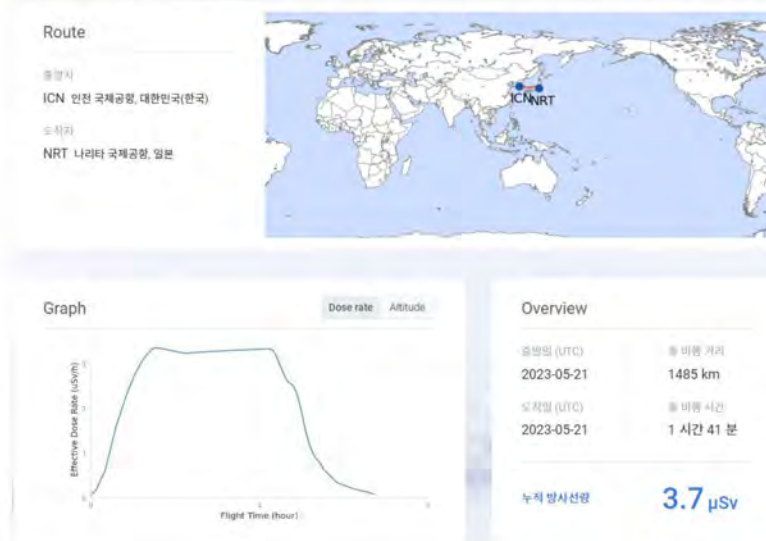


제212회 한림원탁토론회

12

삼중수소 1500 Bq 섭취 = 0.027 μSv

후쿠시마 시찰단의 일본 왕복비행으로 인한 피폭량 = 7.4 마이크로시버트



※ 후쿠시마 시찰단은 비행기 탑승으로 인해 방류기준 삼중수소 농도 1500 Bq/L의 방류수 274리터 섭취 피폭량 피폭

제212회 한림원탁토론회

13

자연 방사선 피폭과 인공 방사선 피폭

국내 자연산 전복 1kg



폴로늄-210 (377 Bq)

0.45 mSv

※ 내장 무게 비중 25% 기준

세슘 범벅 우럭 1kg

(원전 내항에 가두어진 상태에서 채취됨)



세슘-137 (18000 Bq)

0.23 mSv

먹어서 증명하라?

Q. 모자관계가 의심되는 경우 확인하는 적절한 방법을 고르시오.

- 1) 아들에게 엄마를 아줌마라 부르게 시켜봐서 아줌마라고 하면 남
- 2) DNA 검사

방사능은 측정 가능하며, 측정 가능한 것을 애써 피하면서 공포를 유지?

주제발표 2

후쿠시마 방류수의 해양 확산 시뮬레이션



서 경 석

한국방사성폐기물학회 부회장
한국원자력연구원 책임연구원

KAST 한국과학기술원
The Korean Academy of Science and Technology

후쿠시마 방류수의 해양 확산 시뮬레이션

서경석
한국원자력연구원
한국방사성폐기물학회 부회장

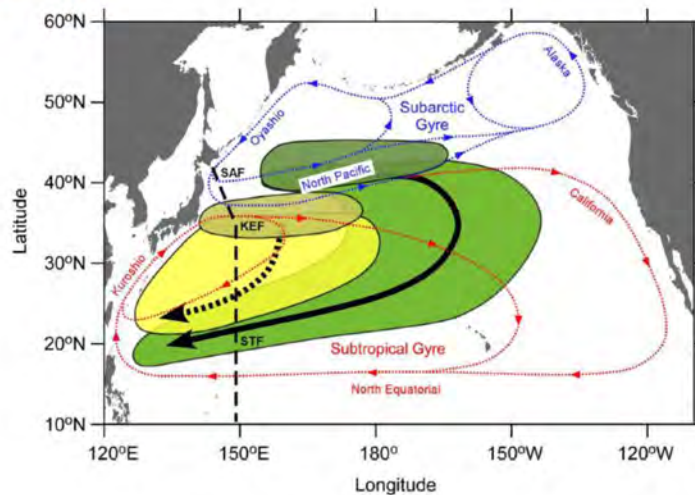
1. 오염수 현황

- 2011년 후쿠시마 원전 사고 후 원자로 건물에 냉각수 주입, 빗물 및 지하수 유입으로 인한 오염수 발생
- 2023년 6월 기준으로 다핵종 제거설비 장치인 알프스(ALPS : Advanced Liquid Processing System)로 처리된 오염수는 133만 톤 정도임.
- 이 중 30%는 완전히 정화되었고 70%는 방류 전 추가 정화 필요
- 알프스 장치는 삼중수소를 제거할 수 없어 일본은 배출 기준(6만 Bq/L)의 1/40(1,500 Bq/L) 이하로 희석하여 해양에 방류하기로 결정

※ 日측의 오염수 방류 실시 계획안

오염수를 ALPS를 이용하여 62개 핵종을 기준치 이하로 처리하고, 걸러지지 않는 삼중수소는 자연해수와 희석하여 배출농도 1,500 Bq/L (일본 배출기준인 6만 Bq/L의 40분의 1), **연간 배출량 22 TBq** 이하로 방류

2. 해류 모식도



노란색 : 아열대 수괴 (Subtropical Mode Water), 녹색 : 중앙 수괴 (Central Mode Water)
 파란색 점선 : 아한대 표층수 (Subarctic gyre), 빨간색 점선 : 아열대 표층수 (Subtropical gyre)
 SAF : SubArctic Fronts, KEF :Kuroshio Extension Fronts
 STF : SubTropical Fronts

*출처 : Kumamoto, Scientific report (2013)

3. KAERI-KIOST 공동 삼중수소 해양확산 시뮬레이션

- 한국원자력연구원(KAERI)과 한국해양과학기술원(KIOST)은 입자추적기법*에 기반한 3차원 방사성물질 해양확산모델을 자체 개발하였음
 - * 유입된 방사성물질 입자가 해류를 타고 어떻게 퍼져나가면서 희석되는지를 수치적으로 해석하는 모델
 - * 방사성 핵종의 수송, 부유물로의 흡착-탈착, 해저면으로의 침적-재부유 고려 가능 (삼중수소 실험에서는 불필요)
- 양 기관에서 독자적으로 개발한 입자추적기법 기반 방사성물질 해양확산모델은 국제원자력기구(IAEA)의 '방사능 모델 비교 프로그램'에 참여하여 검증된 모델임
 - * 국제원자력기구 기술보고서 발간 (IAEA-TECDOC-1876, 2019년)
- 양 기관은 독자적으로 개발한 해양확산모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 이용하여 앙상블* 예측 결과를 생산하였음
 - * 단일 수치모델이 갖는 예측의 한계를 보완하기 위해 여러 개의 예측을 조합하여 좀 더 정확한 예측치를 도출하는 방법으로 국제적으로도 모델의 신뢰도를 높이기 위해 활용

제212회 한림원탁토론회

3. KAERI-KIOST 공동 삼중수소 해양확산 시뮬레이션

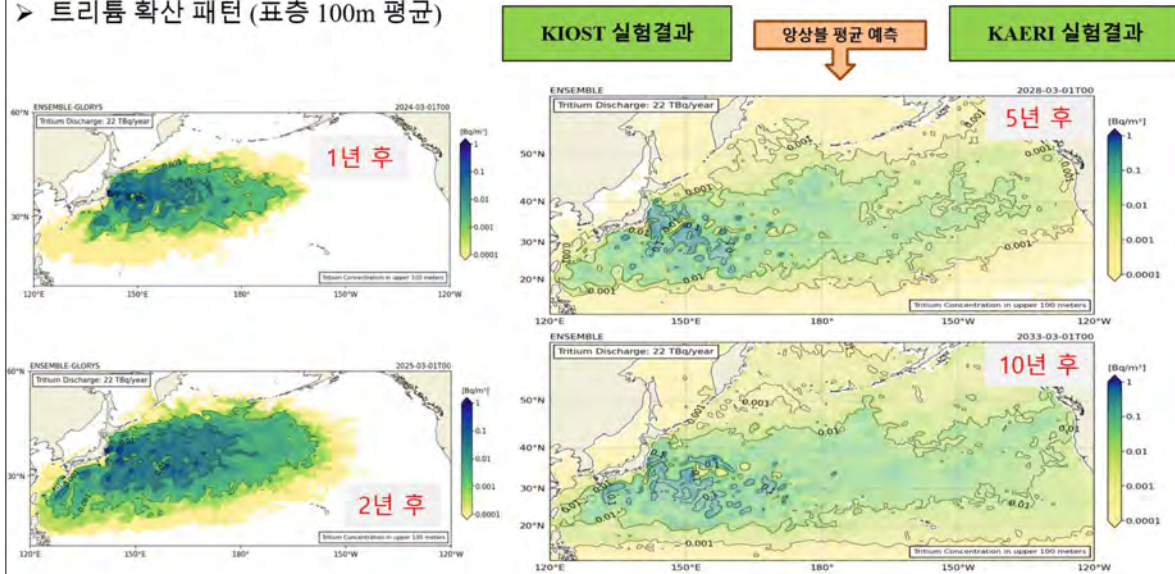
- 해양순환장: 과거 10년(2011~2020년)의 유럽 GLORYS 해양 재분석자료 (일평균)
- 계산영역: 북태평양 (98°E-76°W, 5°S-70°N)
- 원자력연구원(KAERI) : 정규 사각 격자 0.125°×0.125°
해양과학기술원(KIOST): 정규 삼각 격자 0.25°×0.25°
- 확산계수: 10~100 m²/s (수평), 0.0001~0.001 m²/s (연직)
- 입력 조건: 2023년 3월부터 연간 22 TBq의 삼중수소 방출, 실험 기간: 10년

*해류자료 출처 : 유럽 메카르터 해양센터

제212회 한림원탁토론회

3. KAERI-KIOST 공동 삼중수소 해양확산 시뮬레이션

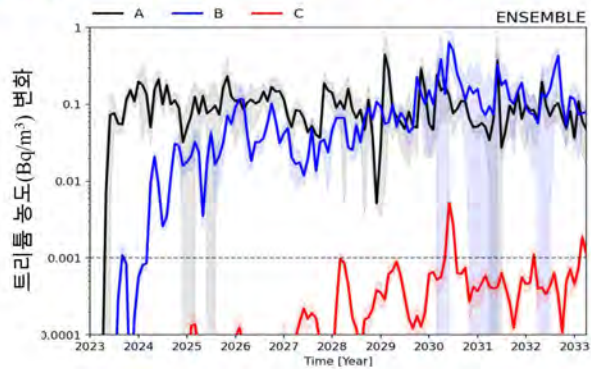
▶ 트리튬 확산 패턴 (표층 100m 평균)



방출된 삼중수소는 10년 후 북태평양 전체로 확산

3. KAERI-KIOST 공동 삼중수소 해양확산 시뮬레이션

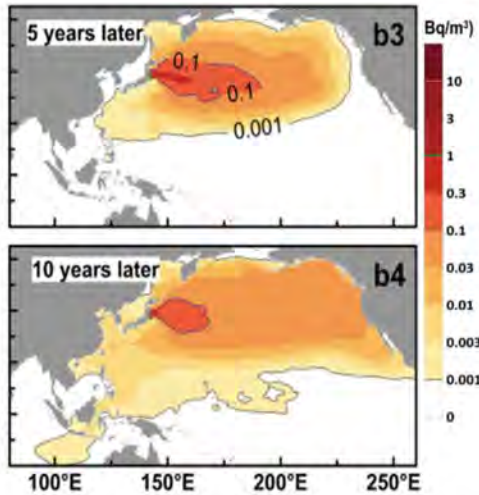
▶ 관할 해역에의 유입 검토



- 관할 해역에 유입되는 시기는 매년 해류의 특성에 따라 변동될 수 있음
- 관할 해역C의 농도는 2년 후 0.0001 Bq/m³ (=10⁻⁷ Bq/L) 의 농도가 일시적으로 유입되었고, 4~5년 후부터 유입되어 10년 후에는 약 0.001 Bq/m³ (=10⁻⁶ Bq/L) 내외*로 수렴
 ※ 한국원자력안전기술원의 해양방사능 조사보고서(2021)에 따르면, 국내 해역의 삼중수소 평균 농도는 0.172 Bq/L로, 해당 농도는 기존에 존재하는 삼중수소 농도의 1/10만 수준으로 분석기기로 검출되기 힘든 농도
- 계속 시뮬레이션 하더라도 비슷한 수준의 농도로 유지될 것으로 예상

4. 국외 삼중수소 해양확산 관련 연구

❖ 중국 제1 해양연구소 (Zhao et al., 2021)



- 1/2도의 저해상도 모델
- 10년간에 걸쳐 오염수의 희석 없이 0.9 PBq (900조 Bq)의 삼중수소를 방출하는 것으로 가정

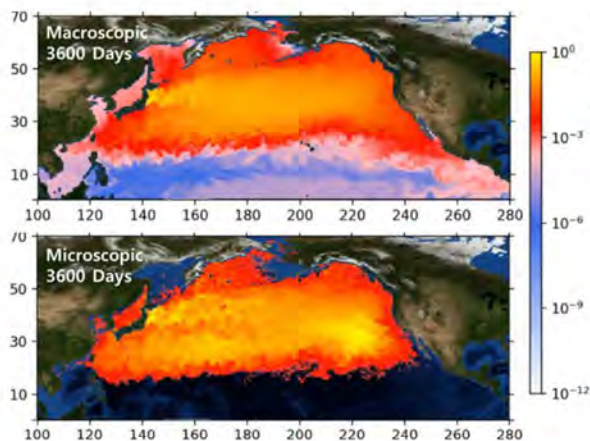


5년 경과 후, 약 0.001 Bq/m³
(=10⁻⁶ Bq/L)의 농도로 우리나라 제주 해역에 도달

*출처 : Zhao, Marine Pollution Bulletin (2021)

4. 국외 삼중수소 해양확산 관련 연구

❖ 중국 칭화대 (Liu et al., 2022)



- 1/3도 해상도의 해류정보 사용
- 상대농도비로 제시
- 거시확산분석(격자적분)* 및 미세확산 분석(입자추적) 결과를 동시에 제시



약 10년 경과 후, 상대농도 0.01의 삼중수소가 제주해역에 도달

*출처 : Liu, National Science Review (2022)

5. 결론 및 토의

- 일본측 오염수 방류 실시 계획안에 기반하여, 2023년 3월부터 10년 간 연간 22 TBq의 삼중수소 방출 실험을 수행함
- 한국원자력연구원과 한국해양과학기술원의 공동 시뮬레이션 앙상블 결과, 후쿠시마 앞바다에서 방출된 삼중수소는 **10년 후 북태평양 전체로 확산**되는 것으로 나타남
- 우리나라 관할 해역에는 약 4~5년 후 유입되고, 농도는 **10년 후 약 0.001 Bq/m³ (=10⁻⁶ Bq/L) 내외**로 수렴됨
- 해당 농도는 국내 해역의 기존 트리튬 농도(평균 0.172 Bq/L)의 1/10만 수준으로, 분석기기로 검출되기 힘든 수준의 농도
- 공동 시뮬레이션 연구 결과는 국외(중국) 시뮬레이션 연구 결과와 유사함
- 미래 예측에 대한 불확실성을 줄이기 위한 추가적인 연구 필요

주제발표 3

후쿠시마 방류수의 방사능과 인체 영향




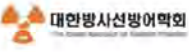
강 건 욱

대한핵의학회 회장
서울대학교 핵의학과 교수

KAST 한국과학기술원
The Korean Academy of Science and Technology

후쿠시마 방류수가 인체에 미치는 영향

강건욱
서울대학교병원 핵의학과
대한핵의학회장

<h2 style="margin: 0;">삼중수소의 인체영향에 관한 과학적 분석</h2> <p style="margin: 10px 0 0 0;">2016. 07.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;">   </div>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>3장 국내·외 원자력시설 삼중수소 방사선 관리</td> <td style="text-align: right;">61</td> </tr> <tr> <td>3.1 절 국내 원자력발전소의 삼중수소 관리</td> <td style="text-align: right;">61</td> </tr> <tr> <td>1. 원전 삼중수소 배출 관리 및 현황</td> <td style="text-align: right;">61</td> </tr> <tr> <td>2. 삼중수소 제거설비 (TRF)</td> <td style="text-align: right;">62</td> </tr> <tr> <td>3. 원전 삼중수소 환경 관리</td> <td style="text-align: right;">64</td> </tr> <tr> <td>3.2 절 국내 연구용 원자로의 삼중수소 관리</td> <td style="text-align: right;">74</td> </tr> <tr> <td>1. 연구로의 삼중수소 배출관리 및 현황</td> <td style="text-align: right;">74</td> </tr> <tr> <td>2. 연구로의 삼중수소 환경관리</td> <td style="text-align: right;">75</td> </tr> <tr> <td>3.3 절 캐나다 삼중수소 방사선 관리</td> <td style="text-align: right;">79</td> </tr> <tr> <td>1. 삼중수소의 생산 및 배출 현황</td> <td style="text-align: right;">79</td> </tr> <tr> <td>2. 원자력발전소 주변 환경에서의 삼중수소 농도</td> <td style="text-align: right;">83</td> </tr> <tr> <td>3. 삼중수소 배출에 의한 주민선량</td> <td style="text-align: right;">90</td> </tr> <tr> <td>3.4 절 삼중수소관리 결과</td> <td style="text-align: right;">94</td> </tr> <tr> <td>3.5 절 참고문헌</td> <td style="text-align: right;">95</td> </tr> <tr> <td> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>4장 삼중수소의 인체영향</td> <td style="text-align: right;">97</td> </tr> <tr> <td>4.1 절 삼중수소의 위험도 평가</td> <td style="text-align: right;">97</td> </tr> <tr> <td>1. 생물학지효과비(BE)</td> <td style="text-align: right;">97</td> </tr> <tr> <td>2. 삼중수소도 인한 건강상의 영향</td> <td style="text-align: right;">108</td> </tr> <tr> <td>4.2 절 국외 삼중수소 의학연구 사례</td> <td style="text-align: right;">115</td> </tr> <tr> <td>1. 지진량방사선에 대한 의학연구</td> <td style="text-align: right;">115</td> </tr> <tr> <td>2. 삼중수소의 인체영향에 대한 의학연구</td> <td style="text-align: right;">116</td> </tr> <tr> <td>3. 의학 연구 사례 결과</td> <td style="text-align: right;">126</td> </tr> <tr> <td>4.3 절 참고문헌</td> <td style="text-align: right;">127</td> </tr> <tr> <td> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>III. 결론</td> <td style="text-align: right;">135</td> </tr> <tr> <td> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>부록: 전문용어</td> <td style="text-align: right;">138</td> </tr> </table>	3장 국내·외 원자력시설 삼중수소 방사선 관리	61	3.1 절 국내 원자력발전소의 삼중수소 관리	61	1. 원전 삼중수소 배출 관리 및 현황	61	2. 삼중수소 제거설비 (TRF)	62	3. 원전 삼중수소 환경 관리	64	3.2 절 국내 연구용 원자로의 삼중수소 관리	74	1. 연구로의 삼중수소 배출관리 및 현황	74	2. 연구로의 삼중수소 환경관리	75	3.3 절 캐나다 삼중수소 방사선 관리	79	1. 삼중수소의 생산 및 배출 현황	79	2. 원자력발전소 주변 환경에서의 삼중수소 농도	83	3. 삼중수소 배출에 의한 주민선량	90	3.4 절 삼중수소관리 결과	94	3.5 절 참고문헌	95	 		4장 삼중수소의 인체영향	97	4.1 절 삼중수소의 위험도 평가	97	1. 생물학지효과비(BE)	97	2. 삼중수소도 인한 건강상의 영향	108	4.2 절 국외 삼중수소 의학연구 사례	115	1. 지진량방사선에 대한 의학연구	115	2. 삼중수소의 인체영향에 대한 의학연구	116	3. 의학 연구 사례 결과	126	4.3 절 참고문헌	127	 		III. 결론	135	 		부록: 전문용어	138
3장 국내·외 원자력시설 삼중수소 방사선 관리	61																																																								
3.1 절 국내 원자력발전소의 삼중수소 관리	61																																																								
1. 원전 삼중수소 배출 관리 및 현황	61																																																								
2. 삼중수소 제거설비 (TRF)	62																																																								
3. 원전 삼중수소 환경 관리	64																																																								
3.2 절 국내 연구용 원자로의 삼중수소 관리	74																																																								
1. 연구로의 삼중수소 배출관리 및 현황	74																																																								
2. 연구로의 삼중수소 환경관리	75																																																								
3.3 절 캐나다 삼중수소 방사선 관리	79																																																								
1. 삼중수소의 생산 및 배출 현황	79																																																								
2. 원자력발전소 주변 환경에서의 삼중수소 농도	83																																																								
3. 삼중수소 배출에 의한 주민선량	90																																																								
3.4 절 삼중수소관리 결과	94																																																								
3.5 절 참고문헌	95																																																								
4장 삼중수소의 인체영향	97																																																								
4.1 절 삼중수소의 위험도 평가	97																																																								
1. 생물학지효과비(BE)	97																																																								
2. 삼중수소도 인한 건강상의 영향	108																																																								
4.2 절 국외 삼중수소 의학연구 사례	115																																																								
1. 지진량방사선에 대한 의학연구	115																																																								
2. 삼중수소의 인체영향에 대한 의학연구	116																																																								
3. 의학 연구 사례 결과	126																																																								
4.3 절 참고문헌	127																																																								
III. 결론	135																																																								
부록: 전문용어	138																																																								

삼중수소 특성

□ 삼중수소의 방사선적 독성은 다른 인공/자연 방사성 핵종에 비해 매우 약함

핵종	선량환산계수* (mSv/Bq)	H-3 대비 상대 가중치	에너지 (keV)	방사선 종류	생성기원
H-3	2.0E-08	-	18.6	베타선	인공/자연
K-40	6.2E-06	310배	1,461	감마선	자연
Cs-137	1.3E-05	650배	662	감마선	인공
Po-210	1.8E-04	9,000배	5,304	알파선	자연

☆ 선량환산계수 : ICRP 72, 134, 137

□ 인체 유입시 물과 같이 자유롭게 이동하며 짧은 시간에 전신에 분포되고, 특정장기에 축적되지 않음

□ 땀, 소변 등으로 배출되어 약 10일이 지나면 인체 내 삼중수소가 반으로 줄어듦

삼중수소 선량계수

Table 6.10: Parameters for the HTO Model Recommended by Taylor (2003)

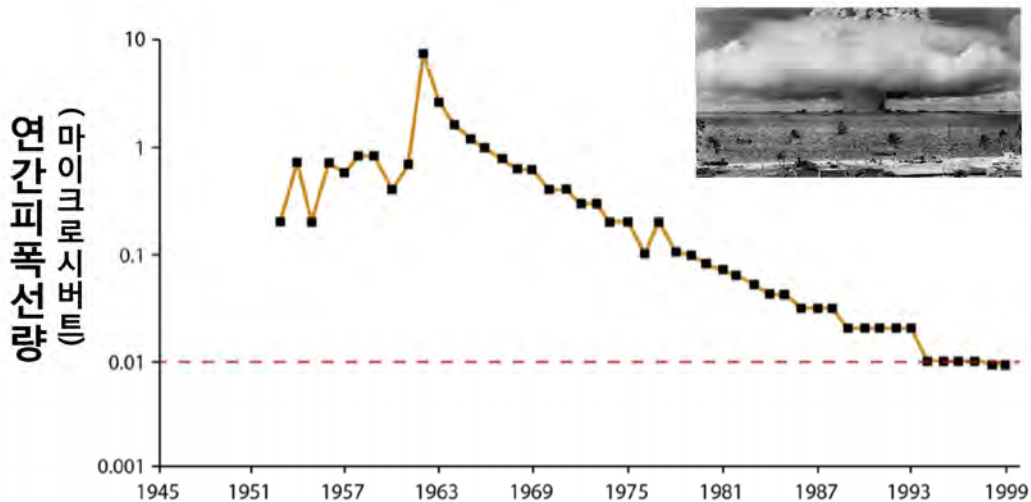
Model Component	Distribution (%)	Biological Half-Life (Days)
HTO	99	10
OBT ₁	0.98	40
OBT ₂	0.02	350

¹ Short-term OBT compartement

² Long-term OBT compartement

OBT포함 선량계수 1.7×10^{-8} mSv/Bq
 ICRP 선량계수 2.0×10^{-8} mSv/Bq

미소 등 핵실험에 의한 전세계인의 삼중수소 피폭량



국가	식수의 삼중수소 농도 한도 (Bq / L)
EU	100
미국	740
캐나다	7,000
러시아	7,700
스위스	10,000
WHO	10,000
핀란드	30,000
호주	76,103 1 mSv

월성원자력본부 주변주민

삼중수소 영향평가 용역 최종보고서

A study for the effect of tritium among residents
nearby wolsong nuclear power plants

동국대학교 경주캠퍼스 산학협력단
조선대학교 산학협력단
한국원자력의학원


2015. 9.

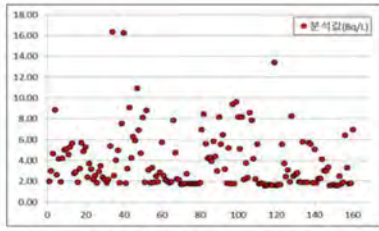
 한국수력원자력주
월성원자력본부

월성원전 주변 및 대조지역 주민
삼중수소 농도 측정 용역 최종보고서

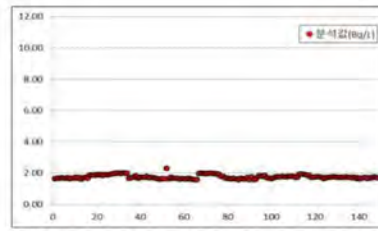
㈜오른비텍
한국방사선진흥협회
㈜라드솔
(의)삼성의료재단 강북삼성병원
경희대학교 국제캠퍼스 산학협력단

2020. 07

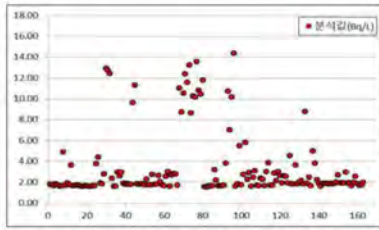
 한국수력원자력주
KHNPP 방사선보건원



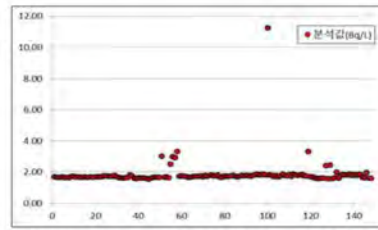
<그림 3.10> 요시료 중 삼중수소 농도 분포 (경주시 양남면)



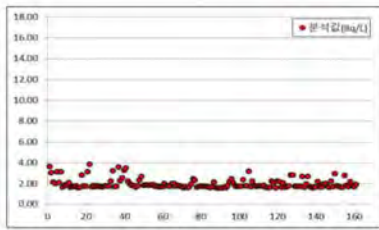
<그림 3.13> 요시료 중 삼중수소 농도 분포 (경주시내)



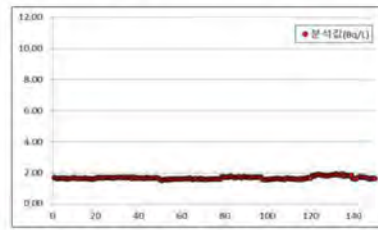
<그림 3.11> 요시료 중 삼중수소 농도 분포 (경주시 양북면)



<그림 3.14> 요시료 중 삼중수소 농도 분포 (울산시 북구)



<그림 3.12> 요시료 중 삼중수소 농도 분포 (경주시 각포읍)



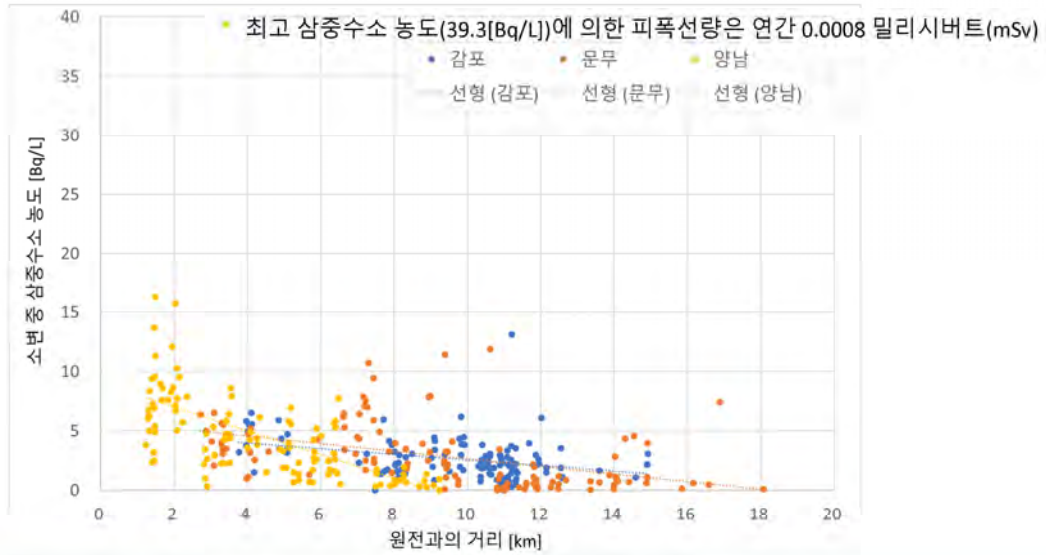
<그림 3.15> 요시료 중 삼중수소 농도 분포 (서울북면시)



월성원전 주변 지역주민 건강 영향

• 월성원전 주변 주민 요시료 삼중수소 측정

- 거리가 멀어질 수록 삼중수소 농도 감소



잘못된 신화로 인한 국민 피해

• 삼중수소 농도

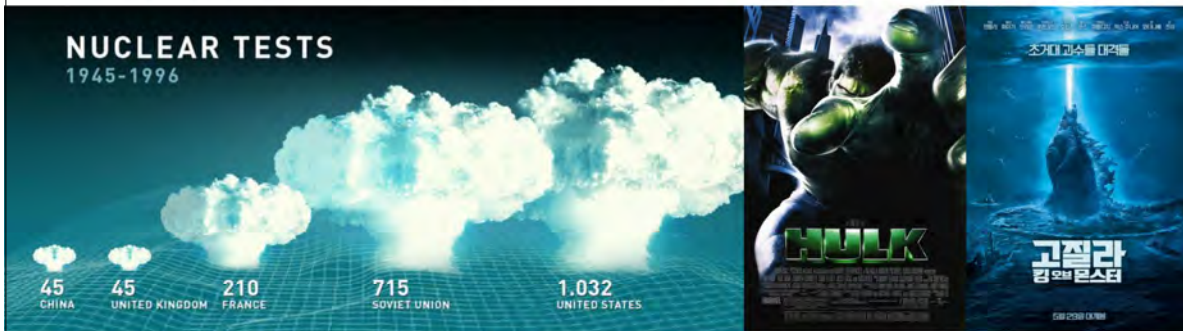
- 식수: 리터 당 1~2 베크렐
- 해산물: Kg 당 0.1~0.2 베크렐
- 후쿠시마 오염수 방류 후 6~7년 후 해산물
0.1~0.2 + 0.000001 베크렐
- 0.000001 베크렐 = 6250억분의 1밀리시버트/년
- 한사람이 6250억년 동안 노출되면 1 밀리시버트

• 국민 피해

- 낙인효과로 인한 어민, 수산업, 요식업의 경제적 피해
- 해산물 기피 현상으로 인한 암발생 증가

공포 마케팅과 가스라이팅

- 냉전시대 정치인
- ICRP를 비롯한 전문가
- 환경단체
- 미디어 (언론, 영화, SNS 등)



방사능 피하려다 건강에 되레 해로울 수도

기고



강진욱

서울대학교병원
방사선안전관리실장·
국제방사선보호위원회
(ICRP) 의료분과위원

요즘음 수산물이면 무조건 기피하는 분들이 많다. 후쿠시마 원전 오염수 유출이 통제되지 않고 있다는 뉴스를 접하면 태평양이 온통 방사능에 오염된 것 같고, 국내산 수산물을 봐도 입맛이 싹 달아난다. 더군다나 방사성 세슘 기준치를 낮췄다는 것이 kg당 100베크렐이라니 너무 높은 숫자 아닌가? 소량이라도 있으면 위험하지 않을까? 걱정이 꼬리에 꼬리를 문다. 방사능 환경에서 살아남으려면 이 수치가 갖는 의미를 알아야 한다.

방사선이 두려운 이유는 미량이라도 암을 발생시킬 우려가 있기 때문이다. 일본 원폭 피해자를 장기 추적한 결과 100밀리시버트 이상의 방사선량에 노출되면 피폭되지 않은 사람에 비해 암 발생이 증가하고 100밀리시버트에선 그 가능성이 0.5% 정도다. 그러나 100밀리시버트 이하의 방

사선량에서는 암 발생 가능성이 너무 낮아져 그 영향이 얼마나 되는지 알 수가 없다. 이에 암 발생 확률은 그냥 비례해 줄어든다고 가정했다. 예를 들면 1밀리시버트면 0.005%로 계산하여 가정하는 것이다. 이는 만에 하나도 안 일어나는 수치다.

국제기구(식품기준위원회)는 식품을 통해 인공적 방사능에 노출되는 것을 연간 1밀리시버트를 넘지 않도록 정했다. 우리나라도 이에 따라 식품 중 방사능 기준치를 정해 관리하고 있다.

이는 어느 정도 되는 양인가. 매일 기준치 kg당 100베크렐의 수산물을 지속적으로 섭취해도 1밀리시버트를 넘지 않는다. 발암 확률로 보면 0.005% 이하다. 그렇다면 방사성 세슘이 없다고 밝혀진 음식에는 방사능이 없을까? 아니다. 모든 음식에는 방사성 칼륨, 방사성 세슘 등이 미량 들어 있다. 후쿠시마 원전 사고 이전인 2004년 한국원자력안전기술원에서 환경방사능을 보고한 결과에 따르면 쌀·우유·육류·녹차·커피 등 검사한 모든 음식에서 방사성 칼륨이 kg당 50~1000베크렐 수준이었고, 방사성 세슘은 그보다 1000분의 1 수준에서 검출되었다. 후쿠시마 원전 사고 이전에도 이렇게 많은 방사능이 음식에 있었다니 당

황하는 분이 있을지도 모르겠다.

방사성 칼륨은 반감기가 12억년으로 태곳적부터 토양과 동식물, 인체에 존재하는 자연방사성물질이고, 방사성 세슘은 체르노빌 원전사고 이후 전 세계에 미량이 퍼졌다. 우리는 우리도 모르는 사이 kg당 100 베크렐이 넘는 자연방사성물질을 늘 섭취하고 있었고, 다른 자연 방사능을 포함하면 연평균 3밀리시버트를 받고 살고 있다. 북유럽의 경우 자연 방사능이 높아 연평균 7밀리시버트를 받는다. 그러나 암 발생률은 우리나라보다 높지 않다. 이 정도 수치에서는 모든 생명이 적응하고 살아왔다.

최근 일본산 수산물뿐만 아니라 국산 수산물도 기피하여 육류 섭취가 늘어났다고 한다. 육류 섭취는 대장암을 비롯해 암 발생 확률을 20% 정도 높인다고 한다. 극미량의 방사능이 무서워 육류 섭취를 늘린다면 0.005%의 위험이 무서워 20%의 위험을 택하는, 하나는 알고 둘은 모르는 셈이다.

건강은 균형이다. 과도한 공포나 몸에 좋다는 음식에 대한 지나친 집착은 건강에 해를 끼친다. 건강 정보를 아는 것은 중요하다. 그러나 위둘릴 필요는 없다. 제대로 알고 지혜롭게 이 시대를 살아가야 한다.



II

토론

좌 장 **백원필** 한국원자력학회 회장

지정토론 1 **김성환** 대한방사선방어학회 회장·
가톨릭대학교 성빈센트병원 암병원장

지정토론 2 **이덕환** 서강대학교 화학과 명예교수

지정토론 3 **윤순창** 서울대학교 지구환경과학부 명예교수

지정토론 4 **곽재원** 아주경제 논설위원장

지정토론 1



김 성 환

대한방사선방어학회 회장
가톨릭대학교 성빈센트병원 암병원장

전 세계적으로 1인당 연평균 자연 방사선 피폭량은 2.4 mSv로 알려져 있다. 한국원자력안전기술원에 따르면, 우리나라는 3.08mSv(밀리시버트)이며 다소 높은 이유는 화강암이 많은 한반도의 지질학적 특성 때문이다. 다른 나라들도 살펴보면 핀란드 6.1 mSv, 미국은 3.0 mSv, 일본은 1.5 mSv이다. 가슴 X선 사진을 촬영하는 데 피폭되는 방사선량이 0.1 mSv이므로 우리나라에서는 약 12일의 자연 방사선량에 해당하는 방사선피폭량이다. 우리나라의 1인당 연평균 자연방사선 피폭량인 3.08밀리시버트(mSv)을 자세히 살펴보면 공기 중의 라돈 가스 흡입(1.40 mSv), 지각으로부터 오는 영향(1.04 mSv), 음식물 섭취(0.38 mSv), 우주선의 영향(0.248 mSv), 해외여행 등 (0.007 mSv)이 있다. 여기서 해외여행의 경우에는 어디로 어떻게 가느냐에 따라 방사선 피폭량이 달라지는 데, 비행고도가 높아져 자기장의 보호막이 약한 북극항로를 지나 유럽이나 미국을 왕래하는 경우 방사선 피폭량이 높아진다. 이것은 서울에서 제주를 왕복하는 피폭량인 평균 0.001 mSv의 100배인 0.1 mSv의 피폭량이다.

또한 세계의 일부 지역은 자연방사선량이 아주 높은 지역이 있다. 이란 람사르, 브라질의 가라파리, 인도의 케랄라, 중국의 광둥성 양강현등이 알려져 있다. 이지역들에서 이렇게 높은 방사선량을 보이는 이유는 대지에 있는 방사성물질에 영향을 받고 있기 때문이다. 하지만 역학조사상에서 이들 지역의 암발생과 기형발생빈도가 높다는 증거는 아직 없다.

우리나라의 많은 과학자들께서 예측하는 후쿠시마 원전 오염수를 처리후 방류에 따른

우리나라사람에게 미칠 방사선량은 1.6×10^{-12} mSv이다. 이를 바탕으로 현재 후쿠시마 원전 오염수 처리 후 방류로 인한 우리나라에서 증가하는 방사선량이 미미하므로 여기에 따른 암과 기형의 발생이 유의하게 증가할 가능성은 없다라고 볼 수 있으나, 혹시 모를 가능성에 대비해 우리나라 해역에서 해양생태계에 대한 모니터링(monitoring)을 해야 할 것이다.

지정토론 2



이 덕 환

서강대학교 화학과 명예교수

후쿠시마 오염수 괴담은 여러 면에서 2008년 광우병 괴담의 판박이다. 이념과 팬덤에 집착하는 ‘정치’와 어설픈 감성에 호소하는 ‘선동’이 합리와 이성을 강조하는 ‘과학’을 압도해버렸다는 점에서 그렇고, 엉터리 억지·괴담의 발원지가 처음부터 분명하다는 점에서도 그렇다. 그렇다고 ‘삼중수소·베크렐’과 같은 전문용어로는 ‘핵폐수’나 ‘방사능 테러’와 같은 선동적 구호를 극복할 수 없다는 이유로 정부가 ‘떡방 홍보’로 방향을 바꾼 것을 용납할 수도 없다.

후쿠시마 괴담의 대부분은 ‘명문대 명예교수’로부터 시작되었다. 초등학교 수준의 과학적 상식에도 맞지 않는 엉터리이고, 억지다. ‘세슘·플루토늄은 무거워서 아래로 가라앉는다’는 주장은 원자·분자 수준에서는 지구중력에 의한 영향보다 열운동이 훨씬 더 중요하다는 상식을 외면한 것이다. ‘해류’는 오염물질을 특정지역으로 운반해주는 고속도로가 아니다. 오히려 오염물질을 넓은 지역으로 분산시키는 역할을 한다는 것이 상식이다. 삼중수소가 해양 생태계의 먹이사슬을 통해서 ‘축적’된다는 주장도 ‘삼중수소수’의 화학적 정체를 무시한 억지다.

후쿠시마 오염수의 ‘음용 가능성’에 대한 논란도 부끄러운 것이다. 오염수를 ALPS로 걸러내고, 바닷물로 충분히 희석하면 방사성 핵종의 농도가 ‘먹는 물 수질 기준’을 충족시킬 수 있는 것은 분명한 사실이다. 그렇다고 처리수를 마실 수 있느냐는 질문이 성립되는 것은 아니다. 일상생활에서의 먹는 물에는 수질기준 이외에 ‘수도법’도 적용된다. 후쿠시마 오염수는 수도법에서 정한 ‘원수’ 또는 ‘상수원’이 될 수 없는 것이다.

과학기술계와 대학의 사회적 책임도 무겁다. 명문대학 명예교수의 역지는 어제오늘에 시작된 것이 아니다. ‘태평양의 물고기는 한 마리도 먹지 말아야 하지만, 한반도 근해의 물고기는 먹어도 된다’고 우겼던 2013년의 발언이 그 시작이었다. 자정(自淨) 능력을 갖추지 못한 대학과 과학기술계가 괴담을 막을 수 있는 때를 놓쳐버렸다는 뜻이다. 호미로 충분히 막을 수 있었던 일을 가래로도 막을 수 없는 상황으로 악화시켜버린 사회적 책임은 온전하게 과학기술계와 대학에 있다.

지정토론 3



윤 순 창

서울대학교 지구환경과학부 명예교수

오늘 후쿠시마 원자력 오염수 처리 후 방류에 즈음하여, 우리나라 원자력 안전분야의 최고의 전문가 세 분(KAIST 원자력 및 양자공학과 정용훈교수님, 서울대병원 핵의학과 강건욱교수님(대한핵의학회 회장), 원자력안전기술원 책임연구원 서경석박사님)의 특별 발제 내용을 요약하면 첫째는 우리 바다에서 Cs-137, Sr-90, Pu-239 및 삼중수소에 의한 방사선 측정결과를 보면 후쿠시마 사고 전(1995년 이후)이나 사고 직후나 또 12년이 지난 지금까지 의미있는 변화가 없었다는 것이고, 둘째로는 방사능의 세기가 해산물이나 인체의 영향이 없는 수준이고, 셋째는 오염수를 처리한 후 연간 22TBq의 삼중수소를 방류하더라도 해류의 흐름을 따라 빠르면 4~5년, 또는 10년 후에 우리나라 제주해역에 유입되므로, 그 동안 북태평양에서 희석이 되어 1/백만 또는 1/1,000만 Bq/L이 되어 국내 해역의 삼중수소 농도의 1/10만 수준으로 분석기기의 검출 한도 미만이 된다는 것입니다.

즉, 이달 말로 예정된 후쿠시마 오염수 처리 후 방류 시에, 우리 해역에서 어획한 해산물을 사 먹어도 안전한 것인지에 대해 국민 여러분들이 이성적으로 판단할 수 있는 과학적 근거가 제시되었다고 하겠습니다.

우리나라의 원자력 안전에 관한 과학기술력이 여느 분야보다도 세계적으로 높게 인정받고 있는 대표적인 K-과학기술이라고 자랑할 수 있음에도 불구하고, 후쿠시마 원자력 오염수의 처리 후 방류에 즈음하여 향후 우리 해역에 미치는 영향에 대하여 과학적인 평가보다는 비과학적이고 비이성적인 목소리가 높아져 수많은 우리 국민이 해산물 섭취를 불안해하고 있는 것을 보면 안타깝기 그지없고, 우리나라 과학자로서 자괴감만 깊어집니다.

오늘날 우리나라 과학기술입국의 시작이라고 볼 수 있는 한국과학기술연구원(KIST)이 1966년에 설립되어 불과 50년 만에 과학기술 강국으로 발전하여 세계 10대 경제 대국에 이르게 되었지만, 원자력 분야는 이보다 훨씬 앞선 1959년 2월에 원자력연구소가 발족하였고, 2년 더 앞서 1957년에는 UN 산하기구로 발족한 국제원자력기구(IAEA)의 창립 회원국으로 참가하여 이후 60여년간 원자력발전과 원자력 안전기술분야에 세계 최고의 수준으로 발전하였으며, 핵의학 분야에서도 세계핵의학회 회장(이명철 전 한림원장 등)을 배출하는 등 세계 핵의학 발전에도 중추적인 역할을 하고 있습니다.

이와 같이 원자력 안전에 관한 한 세계 최고의 과학기술력을 확보하고 있는 대한민국에서 후쿠시마 오염수 처리 후 방류에 즈음하여 과학자의 목소리는 작아지고, 목소리가 큰 비과학적이고 비상식적인 주장이 난무하여 국민적 우려가 증폭되고 있는 작금의 현실을 어떻게 진단하고 어떠한 해법을 제시할 수 있을 것인지? 오늘 이 원탁토론회에 참석하신 여러분들의 집합적인 지혜가 사회적 울림이 되어 국민적 우려를 완화하고 향후에도 과학기술을 존중하는 사회로 발전할 수 있기를 간절히 바랍니다. - 끝 -

지정토론 4



곽재원

아주경제 논설위원장

1. 과학적 안전과 사회적 안심은 괴리가 있다. 정치의 대결은 이 괴리를 파고든다. 야당(진보 좌파)과 환경론자들은 반원전이라는 이념적 자세를 견지한다. 후쿠시마 제1원전 오염 처리수 방류도 과학적 접근보다는 반원전 이념에 근거하여 ‘대화 없는 반대’로 일관하고 있다. 이는 비판받을 소지가 크지만 정부로서는 ‘국민적 안심’을 확보 해야 하는 엄중한 과제도 있음을 명심 해야 한다.

- 대책은 3군(群)의 당사자를 향한 소통을 강화하는 것이다. 소통은 일회용이나 면피용이 되면 안된다. 언제, 어디서나 부단히 이뤄져야 한다.

* 3군은 수산업자와 어민, 국민, 원전 지역주민(원전평판에 민감한)을 칭한다.

2. (가칭) 후쿠시마 오염처리수 방류 대책 포럼 운영하는 것이다.

- 참여자: 원전전문가, 사회학자, 심리학자, 법률가, 일반국민(남녀노소배분) 등

- 재원: 정부가 일정액을 지원, 운영은 민간자율

- 방향: 3년 이상 운영하면서 원전 관련 자료들을 빅데이터화

3. 한일중이 주축이 된 ‘동아시아 원자력 안전 시스템’을 보다 강력히 가동토록 정부의 자세를 재삼 가다듬고 미래의 유사한 이슈에 효과적/효율적으로 대응할 수 있게 해야 한다.

4. 일본 정부에는 우리가 원할 때 언제든지 관련 정보를 제공할 수 있도록, 또는 정기적으로 자료 개방과 협력 및 논의를 할 수 있는 새 틀을 짜야한다.

5. 국회 내에 여야합동 (가칭)원자력안전대책위를 만들고 간사(중재자)를 법원에서 파견받는 형식을 취해 합의 또는 공론화를 도모한다.

- '원자력 정책 결정에 대한 속의 민주주의를 겨냥한 첫 일보'로 시도해 볼 수 있다.

한림원탁토론회는...



한림원탁토론회는 국가 과학기술의 장기적인 비전과 발전전략을 세우고, 동시에 과학기술 현안문제에 대한 해결방안을 모색하기 위한 목적으로 개최되고 있는 한림원의 대표적인 정책토론 행사입니다.

지난 1996년 처음 개최된 이래 지금까지 200여회에 걸쳐 초중등 과학교육, 문·이과 통합문제, 국가발전에 미치는 기초과학 등 과학기술분야의 기본문제는 물론 정부출연연구소의 발전방안, 광우병의 진실, 방사능, 안전 방제 등 국민생활에 직접 영향을 미치는 문제에 이르기까지 광범위한 주제를 다루고 있습니다.

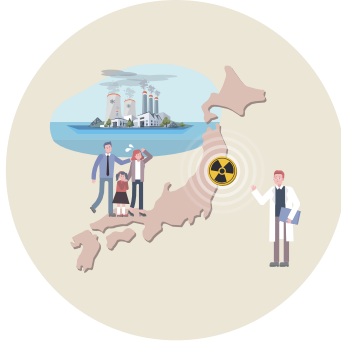
한림원은 과학기술 선진화에 걸림돌이 되는 각종 현안문제 중 중요도와 시급성에 따라 주제를 선정하고, 과학기술 유관기관의 최고책임자들을 발제자로 초빙하여, 한림원 석학들을 비롯해 산·학·연·정의 전문가들이 심도 깊게 토론을 진행하고 있습니다.

토론결과는 책자로 발간, 정부, 국회와 관련기관에 배포함으로써 정책 개선방안을 제시하고 정책 입안자료를 제공하여 여론 형성에 기여하도록 힘쓰고 있습니다.

■ 한림원탁토론회 개최실적 (2021년 ~ 2023년) ■

회차	일 자	주 제	발제자
182	2021. 2. 19.	세계대학평가 기관들의 객관성 분석과 국내대학을 위한 제언	이준영, 김 현, 박준원
183	2021. 4. 2.	인공지능 시대의 인재 양성	오혜연, 서정연
184	2021. 4. 7.	탄소중립 2050 구현을 위한 과학기술 도전 및 제언	박진호, 정병기, 윤제용
185	2021. 4. 15.	출연연구기관의 현재와 미래	임혜숙, 김명준, 윤석진
186	2021. 4. 30.	메타버스(Metaverse), 새로운 가상 융합 플랫폼의 미래가치	우운택, 양준영
187	2021. 5. 27.	원격의료: 현재와 미래	정 용, 최형식
188	2021. 6. 17.	배양육, 미래의 먹거리일까?	조철훈, 배호재
189	2021. 6. 30.	외국인 연구인력 지원 및 개선방안	이한진, 이동헌, 버나드에게
190	2021. 7. 6.	국내 대학 연구 경쟁력의 현재와 미래	이현숙, 민정준, 윤봉준
191	2021. 7. 16.	아이들의 미래, 2022 교육과정 개정에 부쳐: 정보교육 없는 디지털 대전환 가능한가?	유기흥, 오세정, 이광형
192	2021. 10. 15.	자율주행을 넘어 생각하는 자동차로	조민수, 서창호, 조기춘
193	2021. 12. 13.	인간의 뇌를 담은 미래 반도체 뉴로모픽칩	윤태식, 최창환, 박진홍
194	2022. 1. 25.	거대한 생태계, 마이크로바이옴 연구의 미래	이세훈, 이주훈, 이성근
195	2022. 2. 14.	양자컴퓨터의 전망과 도전: 우리는 무엇을 준비해야 할까?	이진형, 김도헌
196	2022. 3. 10.	오미크론, 기존 바이러스와 무엇이 다르고 어떻게 대응할 것인가?	김남중, 김재경

회차	일 자	주 제	발제자
197	2022. 4. 29.	과학기술 주도 성장: 무엇을 해야 할 것인가?	송재용, 김원준
198	2022. 6. 2.	더 이상 자연재난은 없다: 자연-기술 복합재난에 대한 이해와 대비	홍성욱, 이호영, 이강근, 고상백
199	2022. 6. 17.	K-푸드의 가치와 비전	권대영, 채수완
200	2022. 6. 29.	벤자민 버튼의 시간, 노화의 비밀을 넘어 역노화에 도전	이승재, 강찬희
201	2022. 9. 26.	신약개발의 새로운 패러다임	김성훈, 최 선, 김규원
202	2022. 9. 29.	우리는 왜, 어떻게 우주로 가야 하는가?	문홍규, 이창진
203	2022. 10. 12.	공학과 헬스케어의 만남 - 시가 여는 100세 건강	황 희, 백점기
204	2022. 10. 21.	과학기술과 사회 정의	박범순, 정상조, 류석영, 김승섭
205	2022. 11. 18.	지속 가능한 성장과 가치 혁신을 위한 수학의 역할	박태성, 백민경, 황형주
206	2022. 12. 1.	에너지와 기후변화 위기 극복을 위한 기초과학의 역할	유석재, 하경자, 윤의준
207	2023. 3. 15.	한국 여성과학자의 노벨상 수상은 요원한가?	김소영, 김정선
208	2023. 3. 22.	기정학(技政學) 시대의 새로운 과학기술혁신정책 방향	이승주, 이 근, 권석준
209	2023. 4. 13.	우리 식량 무엇이 문제인가?	곽상수, 이상열
210	2023. 5. 24.	대체 단백질 식품과 배양육의 현재와 미래	서진호, 배호재
211	2023. 6. 14.	영재교육의 내일을 생각한다	권길현, 이덕환, 이해정



제212회 한림원탁토론회

후쿠시마 오염수 처리 후 방류의 국내 영향

이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금 지원을 통한 사업으로
우리나라의 사회적 가치 증진에 기여하고 있습니다.

행사문의

한국과학기술한림원(KAST) 경기도 성남시 분당구 돌마로 42(구미동) (우)13630
전화 (031)726-7900 팩스 (031)726-7909 이메일 kast@kast.or.kr