



IAEA

International Atomic Energy Agency

ALPS 처리수 방류 후 어류에서의 저농도 트리튬(TFWT 및 OBT) 측정

July 16-17, 2025

S.B. Kim, J. Mabry, N. Romeo, L. Copia, T. Matsumoto

Isotope Hydrology Laboratory, IAEA, Vienna

국제원자력기구 (IAEA)

- IAEA는 원자력 에너지의 평화적 이용을 촉진하기 위한 국제 기구.
- 본부는 오스트리아 비엔나 UN 사무소에 소재.
- 180개 회원국과 3천명 이상의 직원이 근무 중 .
- 3대 미션;
 - 평화적 사용 : 원자력 발전소와 핵 과학
 - 안전 조치: 군사적 목적 검증
 - 원자력 안전: 높은 수준의 안전 기준 촉진.

핵과학과 응용



- 2025 희망의 빛 포럼 (암, 식품, 미세플라스틱)
- Cancer Care for All: 90개국 이상이 지원을 촉구.
- Atoms4Food: FAO와 IAEA간 공동 연구.
- NUTEC 플라스틱: 104개 회원국이 핵 기술을 활용해 미세 플라스틱을 모니터링. 52개 회원국이 IAEA와 업사이클링 협력 중. 플라스틱의 9%만 재활용.

NUTEC 플라스틱

- 바이오 기반 플라스틱을 생산하는 방사선으로 기존 석유 기반 플라스틱에 대안을 제시.
- 플라스틱 폐기물을 보다 뛰어난 내구성, 강도, 높은 부가 가치 제품으로 변환시키는 방사선 기술.
- 재활용 개선을 위한 원자력 기술(사례)
 - 지속 가능한 건축을 위한 목재-플라스틱 복합재(인도네시아 & 필리핀)
 - 플라스틱 폐기물을 연료로 전환 (말레이시아)
 - 재활용 플라스틱을 사용한 철도 침목(아르헨티나)

IAEA의 ALPS 처리수 방류와 관련된 활동 검토

방사선 보호 및 안전 평가

- TEPCO의 이행 계획과 보충 문서 검토.
- 원전 특성 분석, 접근법의 안전 관련 측면, 작업시 방사선 노출, 방사선 환경 영향 평가 등 기술적 고려사항에 집중.

규제 활동 및 절차

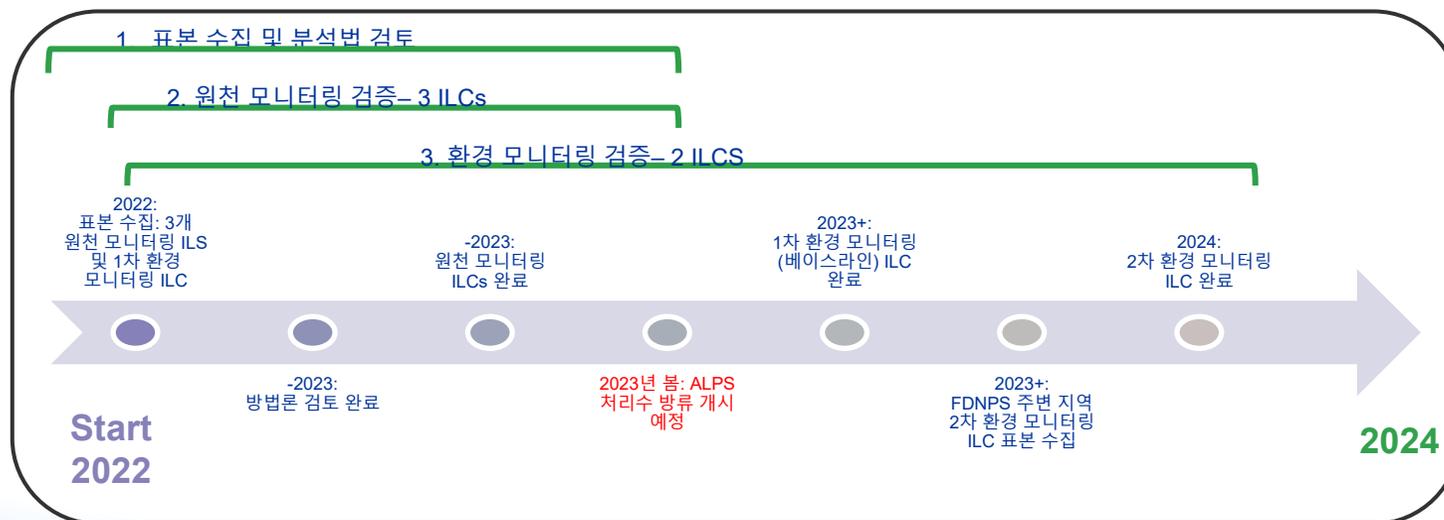
- 프로젝트와 관련된 NRA의 조치와 프로세스 검토.
- 안전 목표, 규제 요건, 규제 평가, 규제 검사 등 안전 목표에 집중.

독립적인 표본 추출, 데이터 검증 및 분석

- 일본측 데이터 검증을 위한 독립적 표본 추출과 분석.
- ALPS 처리수와 환경 시료 분석 수행.
- 작업시 노출 모니터링 결과 검증.



IAEA 원천 검증 & ALPS 처리수 방류 관련 환경 모니터링



환경 모니터링 검증

ILCs 베이스라인 & 방류 후:

해수, 퇴적물, 어류, 해조류 공동 샘플링, 분할 표본

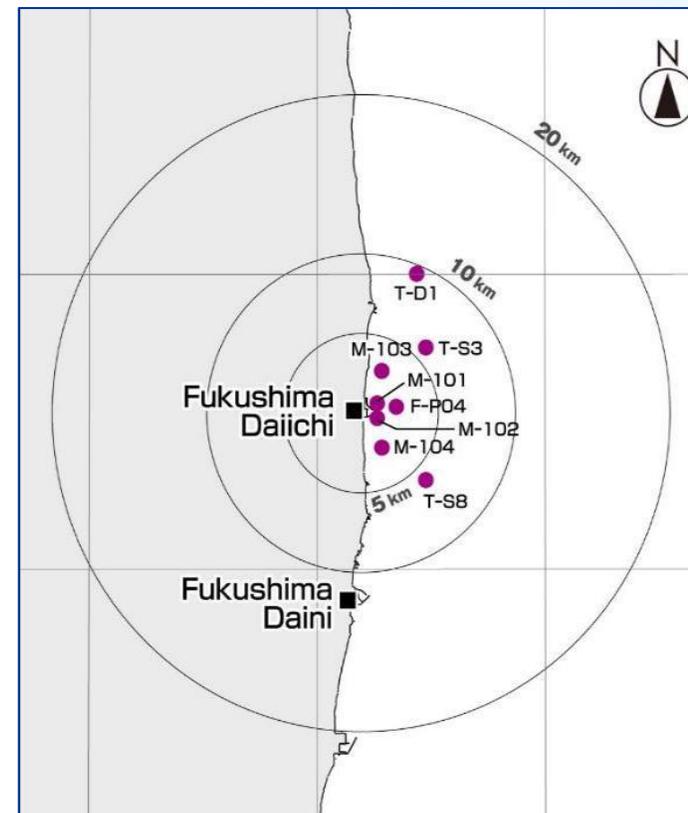
결과의 통계학적 비교

참여 랩:

IAEA (모나코, 비엔나)

ALPS 관련 모니터링을 수행하는 일본 내 랩

선정된 IAEA ALMERA 랩 (5-7개 국가)

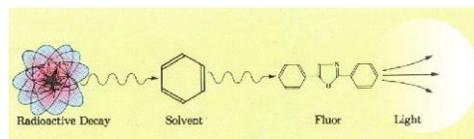
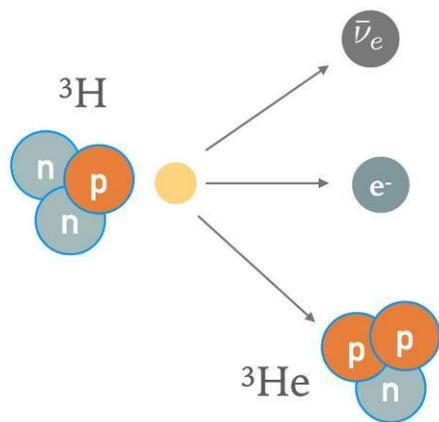


배경

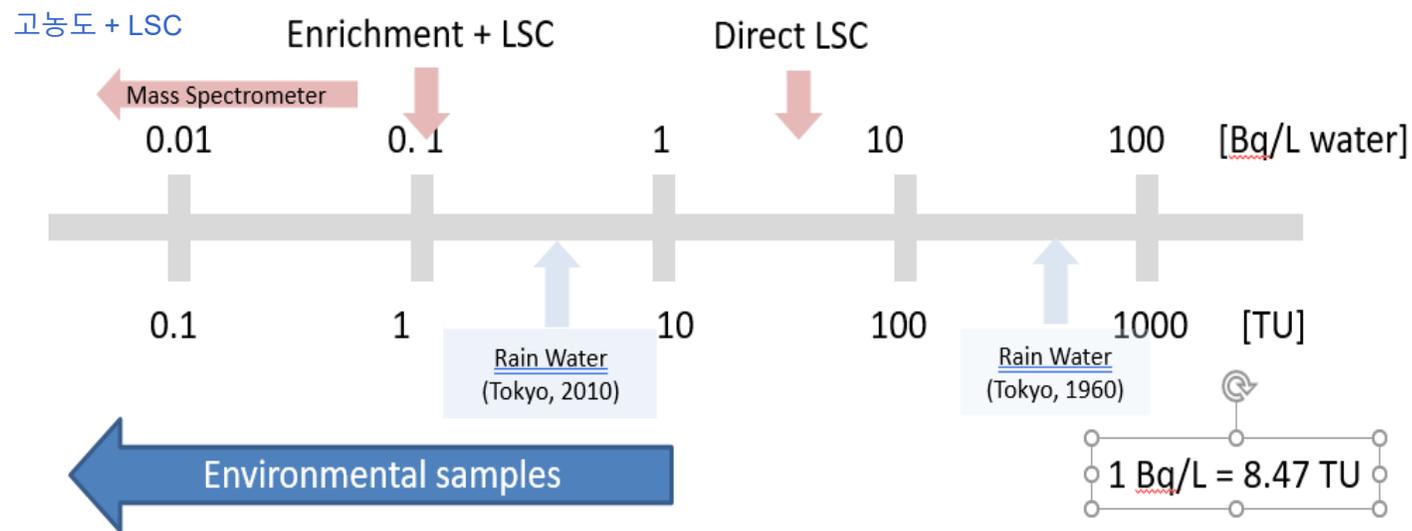
- IAEA는 ALPS 처리수 방류 전 환경 OBT 측정을 위한 두가지 방법 수립에 착수.
- IAEA의 IHL은 어류 샘플에 저농도 OBT를 적용.
- OBT 측정의 정확도 개선과 OBT 분석 불확실성 감소가 우리의 목표.

환경 ^3H 분석

- 붕괴 계수: 액화 스킨레톤 카운터 (농축 샘플에 적용)
- ^3He 내성장을 활용한 원자 수 측정: 질량 분석기

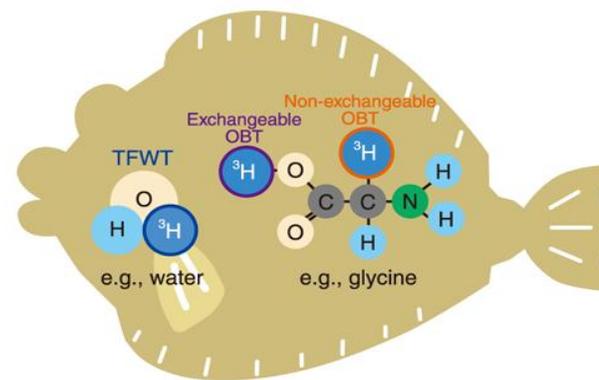


IHL 저농도 트리튬 시설



트리튬 타겟 농도

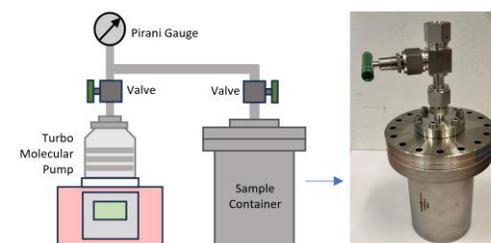
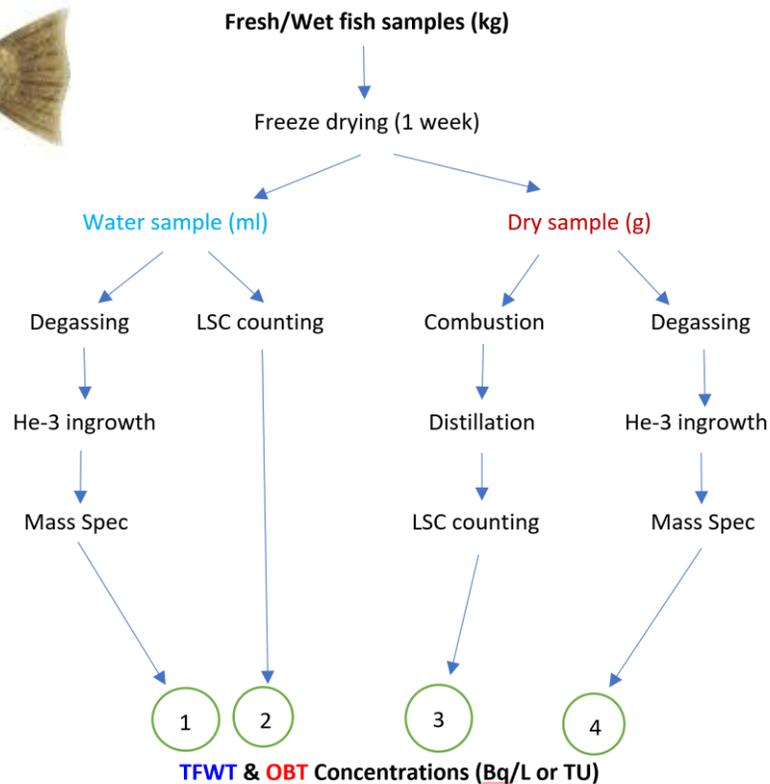
- 해수 & TFWT = 0.1 Bq/L
- 어류 내 OBT = 0.5 Bq/L c.w.



어류 분석에서의 ^3H



OBT (Bq/L)	
^3He 내성장	파르 연소
$0.54 \pm 0.04^*$	0.70 ± 0.22
$0.28 \pm 0.02^*$	<0.66



동결 건조

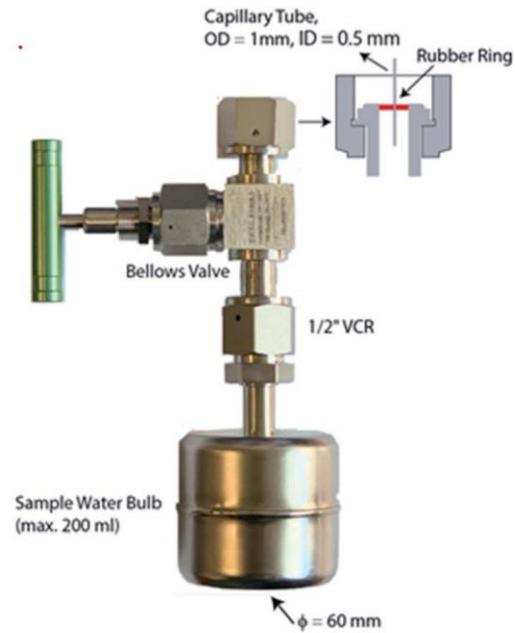
- 각 유닛을 하나의 어류 샘플에 적용



- 운영 시간 (6일): 주요 건조 0.1 mbar 이하 (100시간). 최종 건조 (0.01 mbar 이하, 44시간).
- 압력 증가 시험(PIT)으로 샘플의 완전 건조 여부 확인(5% 미만).
- 오븐 내의 무게 변화 확인 (65°C).

물 샘플 컨테이너

- 물 샘플 약 100 mL.
- 탈가스 공정 후
1~2개월의 ^3He 내성장.



Water sample container for ^3He ingrowth analysis at the IAEA.



OBT 샘플 컨테이너



- 100% 금속 제작.
지름 10cm, 높이
16cm (1.26L 용량)
- 약 90g의 건조 샘플
적용.

^3He 내성장을 활용한 TFWT

- ^3He 내성장법은 IAEA의 IHL에 의해 설계 및 구축.
- 이 시스템은 0.5에서 10 TU의 샘플에 대해 2~3개월의 보관 기간으로 100mL의 물 샘플 달성.
- 개발된 시스템은 어류 샘플의 유기 결합 트리튬(OBT) 분석에 적용.

^3He 내성장을 활용한 OBT

- 비파괴 방식.
- OBT 결과 확인까지 오랜 대기 시간.
- 검출 한계 하향 조정 달성 가능.
- 현재 일부 랩에서만 가용.
- 결과를 Parr 연소법을 따라 기본 LSC 방식에 비교.

ALPS 프로젝트용 ILC (1)

TABLE 10. ACTIVITY CONCENTRATIONS OF ^3H (OBT, TFWT) IN FISH SAMPLES

Nuclide	Sample number: Species	IAEA	CAN	KANSO	KEEA	KINS	MERI
^3H (OBT, (Bq kg ⁻¹ f.w.))	T23FA0001: Olive flounder	0.0155 ± 0.0021	<0.064	<0.043	<0.028	<0.32	–
	T23FA0002: Redwing searobin	0.0175 ± 0.0023	<0.064	<0.043	<0.030	<0.32	–
	T23FA0003: Pufferfish	0.0119 ± 0.0019	<0.15	<0.062	<0.030	<0.33	–
	T23FA0004: Silver croaker	0.0145 ± 0.0026	<0.16	<0.049	<0.033	<0.4	–
	T23FA0005: Crimson sea bream	0.0090 ± 0.0020	<0.15	<0.044	<0.029	<0.35	–
	T23FA0006: Japanese jack mackerel	0.0163 ± 0.0028	<0.18	<0.054	<0.035	<0.43	–
^3H (TFWT, Bq L ⁻¹)	T23FA0001: Olive flounder	0.067 ± 0.011	<0.12	<0.30	<0.20	<2.8	<0.32
	T23FA0002: Redwing searobin	0.076 ± 0.013	<0.11	<0.30	<0.21	<2.8	<0.33
	T23FA0003: Pufferfish	0.077 ± 0.013	<0.096	<0.33	<0.21	<2.8	<0.33
	T23FA0004: Silver croaker	0.072 ± 0.011	<0.055	<0.33	<0.21	<2.8	<0.31
	T23FA0005: Crimson sea bream	0.0690 ± 0.0090	<0.11	<0.31	<0.21	<2.7	<0.31
	T23FA0006: Japanese jack mackerel	0.055 ± 0.011	<0.053	<0.31	<0.21	<2.8	<0.31

- ^3He 내성장법으로 초저 트리튬 농도 달성 가능!



ALPS 프로젝트용 ILC (2)

TABLE 13. ACTIVITY CONCENTRATIONS OF ^3H (OBT, TFWT) AND ^{14}C IN FISH SAMPLES

Nuclide	Sample	IAEA	CAN	JCAC	KAKEN	KINS	TPT	Reference value
^3H (OBT, (Bq kg^{-1} f.w.))	E-SF3: Olive flounder	0.0462 ± 0.0044	<0.067	0.066 ± 0.016	–	<0.37	–	–
	T-S2: Olive flounder	0.0251 ± 0.0031	<0.066	–	<0.035	<0.37	–	–
	T-S7: Olive flounder	0.0188 ± 0.0025	<0.073	–	–	<0.37	<0.032	–
^3H (TFWT, (Bq L^{-1}))	E-SF3: Olive flounder	1.218 ± 0.041	1.24 ± 0.08	1.17 ± 0.059	–	<1.8	–	–
	T-S2: Olive flounder	0.086 ± 0.016	<0.11	–	0.092 ± 0.026	<1.8	–	–
	T-S7: Olive flounder	0.14 ± 0.015	0.14 ± 0.04	–	–	<1.8	0.12 ± 0.021	–
^{14}C (Bq kg^{-1} f.w)	E-SF3: Olive flounder	22.7 ± 4.6	25.69 ± 0.53	22.7 ± 0.35	–	21.64 ± 0.71	–	23.31 ± 0.99



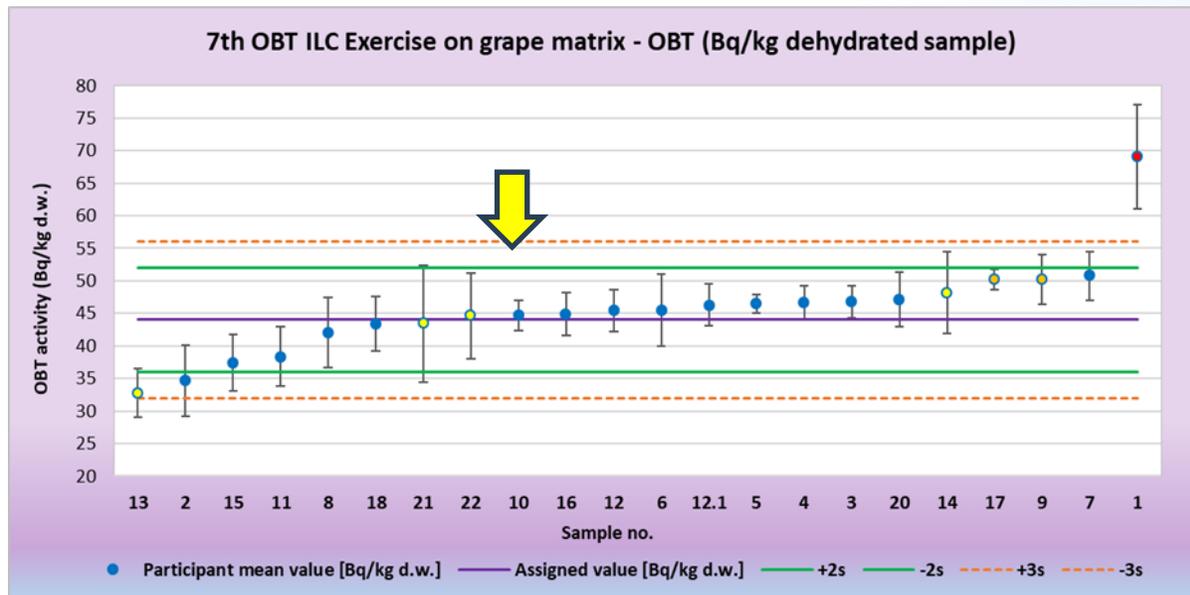
7th OBT ILC 사례

- 2024년 SNN-Cernavoda NPP (루마니아)가 주관
- 11개 국가 22개 랩 참여
- 건조 포도 샘플



Figure 3. Dispatched samples.

7th OBT ILC 사례 (1)



- 21개 데이터셋 평가.
- 로버스트 값은 44 ± 4 Bq/kg 건조 중량
- 허용값은 32.7 Bq/kg 건조 중량에서 50.8 Bq/kg-건조 중량까지 다양.

7th OBT ILC 사례 (2)

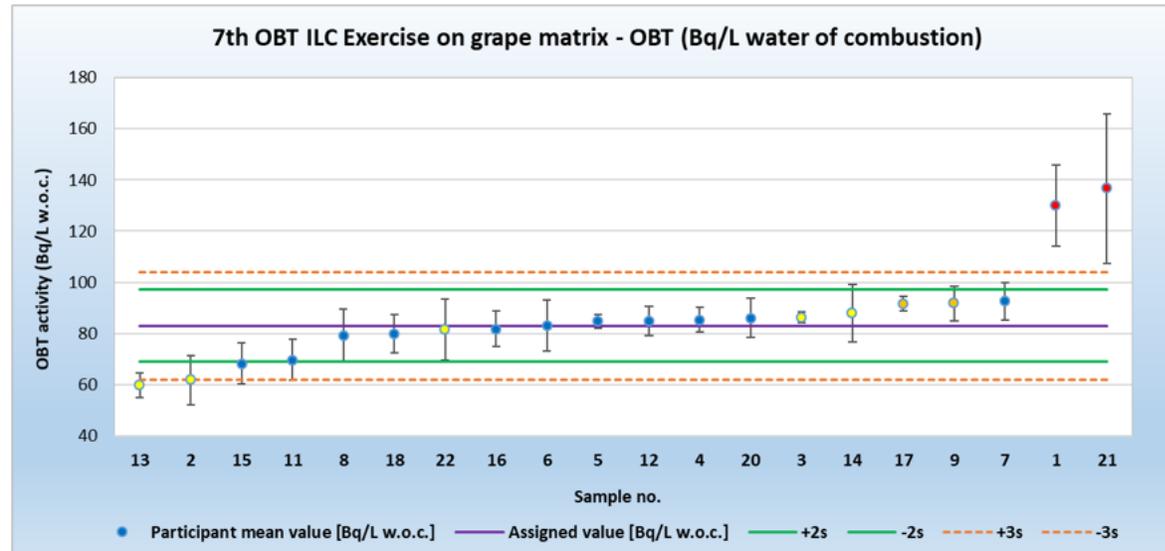


Figure 4. Submitted OBT results – activity concentrations (Bq /L water of combustion).

- IHL의 값이 주최측에 미 보고.
- IHL 값은 연소수 1리터당 83.3 Bq.
- 지정값은 83.0 Bq/L.
- 허용값 범위는 59.7 Bq/L에서 92.6 Bq/L.

결론

- ^3He 내성장 시스템은 어류 샘플 내 저농도 트리튬 측정을 위해 IAEA의 IHL에서 지속적으로 개선 중.
- 이 방식은 ^3He 내성장 기간 2개월 미만, 건조 샘플 (<100g)에서 0.01 Bq까지의 OBT 정량화를 위해 설계됨.
- 7th OBT 사례까지, IHL의 OBT 측정값이 통합 및 검증됨.
- IAEA는 ALPS 방류수 관련 환경 모니터링을 지속적으로 검증할 예정.



IAEA

International Atomic Energy Agency



감사합니다!

sangbogkim1019@gmail.com