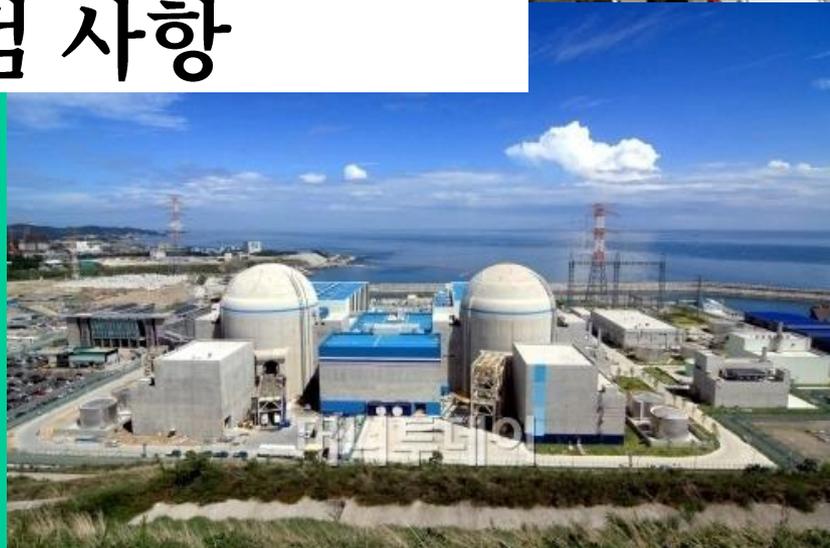


월성 원전 삼중수소 유출 및 관련 안전성 점검 사항



2021.2
원자력 안전 연구회
NSSG



상식을 뛰어넘는 기술은 없으며

도덕을 넘어서는 상식은 없다.

원전에서 계통·기기의 누설 및 작업자의 조작 실수 등에 의해 방사성물질이 비의도적으로 외부로 방출되는 유체

“2011년 대한방사선학회, 한수원 중앙연구원 발표” 인용

2005년에 Braidwood 및 Indian Point 원전에서 지하수 오염사건이 발생하자 이를 계기로 미국 원자력산업계가 이에 대한 대책을 강구하게 되었다. Braidwood 원전의 경우 사업자가 원전 주변 주민의 우물에서 삼중수소가 검출될 때까지 보고 및 공개를 미루어 주 정부로부터 고발을 당하는 등 일반 대중의 불신을 초래한 바 있다.

Indian Point 원전의 경우 해당 부지가 미국 수도인 워싱턴 D.C로 부터 지리적으로 가까워 정치적인 관심의 대상이 되었다.

또한 2010년 1월 Ver mont Yankee 원전에서 지하매설배관의 비계획적 유출에 의해 지하수가 오염된 사실이 밝혀졌다. 결국 방사성 물질을 포함하는 지하매설배관은 없다고 발언한 발전소 최고 경영자가 해고된 바 있으며, 해당 원전의 연장운전허가가 주 상원에서 부결되는 일이 발생하였다. 이를 계기로 **비계획적 유출**에 의한 지하수 오염 문제가 미국 원자력산업계의 이슈로 대두되었다.



안전규제의 실패가 혼합된 사건 발생

- 1980년대 이후 원전 구조물 외부 방출 발생
- 1997년 캐나다 중수로 Pickering 원전 누설
- 2005년 미국 NRC 미국 원전의 누설사건 계기 비계획적 방출에 의한 지하수 오염 조사
- 2007년 미국 NEI(원자력산업회) 내부지침 수립(NEI 07-07 발행)
- 2011년 후쿠시마 원전 사고,
 - “원전부지 지하수 모니터링 방안 연구” 보고서 발행
- 2012년 월성 1호기 격납건물여과배기(CFVS) 설치
- 2013년 미국 지하수 감시 관련 연방법 10CFR 20.1408 개정
- 2013년 국내 미국 NRC 10CFR 20.1408 개정 계기 일부 검토
- 2017년 월성 2,3,4 CFVS 설치 인허가 심사
- 2018년 월성 1호기 사용후핵연료저장수조 차수막 관통 확인
- 2019년 6월 “지하수 삼중수소 관리현황 및 조치 계획” 문건 발행
- 2020년 12월 한수원 내부문건 유출



일반적 지하수 오염..



구조물 및 배관 오염

오염 영역

Crack

침투 (Permeation)

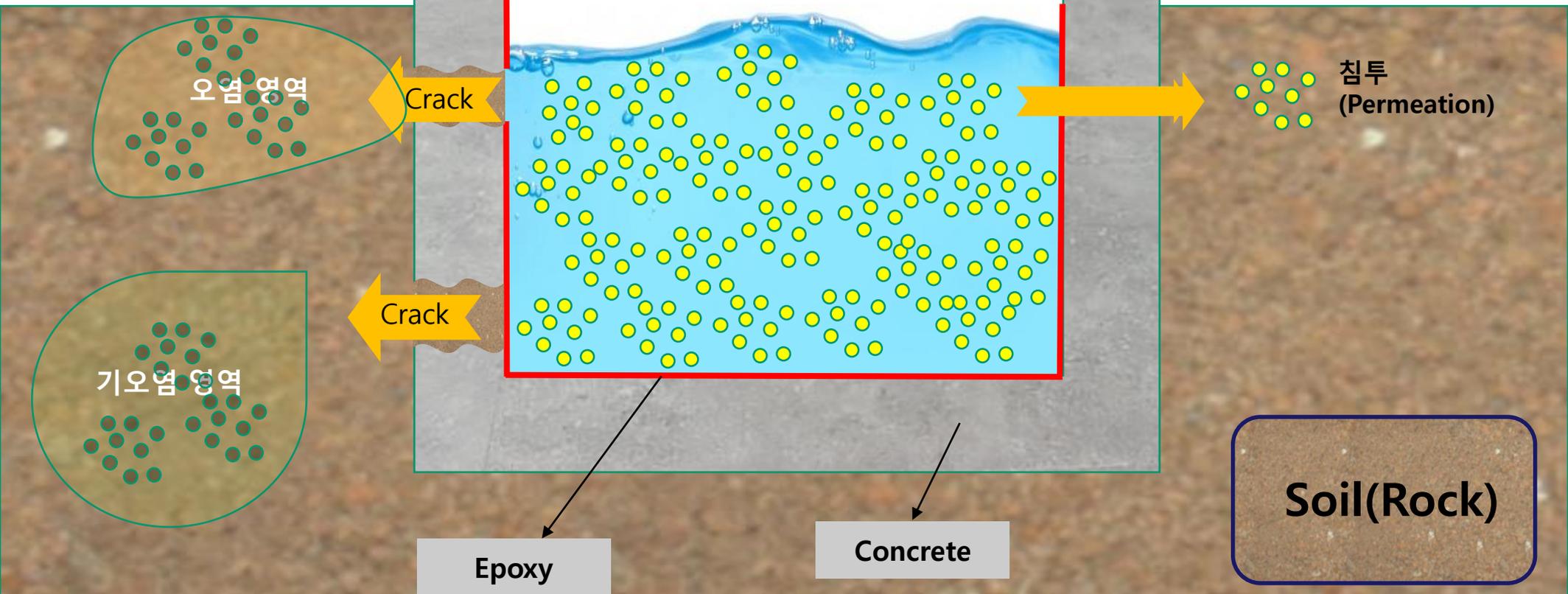
Crack

기오염 영역

Soil(Rock)

Epoxy

Concrete





일반적 콘크리트 누수..



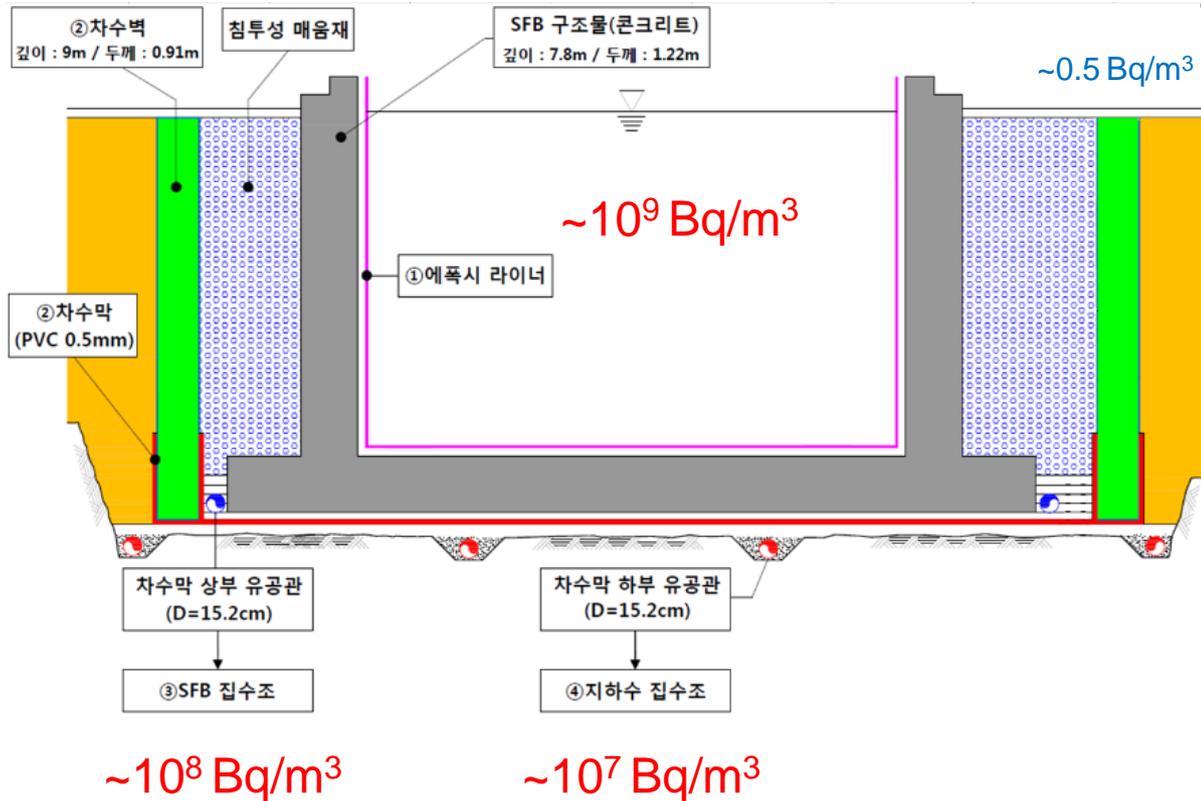
벽면



바닥 밑

1

열성 유출 확인-지하구조물



- 균열여부와 무관한 삼중수소 측정
- 감마핵종 : 균열 유출 확인
- 측벽토양 삼중수소 미량 검출 : 하부 미측정

지하수 배수계통 감시결과 [단위 : Bq/m³]

호기	시료채취 위치	삼중수소	감마핵종
#1 ('19.8 ~ '20.05)	터빈갤러리 배수 중단지점	$1.61 \times 10^6 \sim 2.40 \times 10^6$	불검출
	SFB 집수정	$3.01 \times 10^8 \sim 3.54 \times 10^8$	불검출
	SFB 하부 지하수	$1.61 \times 10^6 \sim 3.97 \times 10^7$	불검출
#2 ('19.8 ~ '20.05)	터빈갤러리 배수 중단지점	$1.22 \times 10^6 \sim 1.69 \times 10^6$	불검출
	SFB 집수정	$1.18 \times 10^8 \sim 3.93 \times 10^8$	불검출
	SFB 하부 지하수	$2.99 \times 10^6 \sim 2.60 \times 10^7$	불검출
#3 ('19.8 ~ '20.5)	터빈갤러리 배수 중단지점	$1.40 \times 10^5 \sim 3.14 \times 10^6$	불검출
	SFB 집수정	$3.38 \times 10^8 \sim 3.53 \times 10^8$	불검출
	SFB 하부 지하수	$1.60 \times 10^5 \sim 8.61 \times 10^6$	불검출
#4 ('19.8 ~ '20.5)	터빈갤러리 배수 중단지점	$3.00 \times 10^4 \sim 6.20 \times 10^5$	불검출
	SFB 집수정	$2.31 \times 10^8 \sim 5.30 \times 10^8$	미량검출** (7회)
	SFB 하부 지하수	유입수 없음	



2

당면 현안 위주 지하수 감시

- 2013년 이후 부지 감시 최소 도입
- 안전 규제 전무 : 해체/환경 기반 기술 검토 개념 부재

월성 1~4호기 지하수 관측공(총 27개)

1발전소 (총 13개)	‘13년 1월부터 감시(7개)		‘19년 5월부터 추가 감시(6개)	
	NP-1, SP-2, SP-10, NE-1, NE-2, SP-4, SP-11		WS-1, WS-2, WS-9, WS-10, SP-1, SP-3	
2발전소 (총 14개)	‘13년 1월부터 감시 (3개)	‘17년 6월부터 추가 감시(8개)	‘19년 1월부터 추가 감시(3개)	
	SP-5, SP-7, SP-9	WS-3, WS-4, WS-5, WS-6, WS-7, WS-8, WS-13, SP-8	4호기 SFB #1/2/3	

- 『운영기술지침서』와 『원자로 및 관계시설 보고·공개규정』에 따르면

[원안위 고시] 사고·고장 발생 시 **보고**·공개 규정(즉시 및 상세)

6. 시설로부터 **환경으로 방사성물질이 방출**된 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 경우

- 가. 배수구, 배기구 이외의 곳에서 액체 또는 기체 방사성물질이 **환경으로 방출**이 확인되었을 때
- 나. 계획 또는 통제되지 않은 상태에서 방사성물질이 **환경*으로 방출**이 확인되었을 때

※ 환경이란 발전소 관리 범위를 벗어나는 외부구역을 의미 (원자로 및 관계시설 보고·공개 규정 해설집 Ⅲ.1.6.2, 원안위 발간, '20.06)

[운영기술지침서] 3.13.1.1.가. 배출되는 액체방사성물질의 배수구에서의 농도는 배출관리기준을 초과해서는 안된다. ※ 배출관리 기준 : 40,000Bq/L

- 비계획적 유출여부 판단기준을 환경(발전소 외부구역)으로의 방출 유무로 규정 하고 있는 바,
 (결론) 발전소 내에서 인적오류·노후설비 균열 등에 의하여 누설이 확인될 경우에는
 원자력안전법에 따른 운영기술지침서 위반이라고 볼 수 없음

4

비과학적 대응

-3호기 터빈건물 하부지하 배수로의 일부지점(맨홀2,3)에서

삼중수소 농도가 최대 **713,000Bq/L** 고인물 발견('19.4)

☞ 고인물 전량 액체폐기물계통으로 회수, 관련 절차에 따라 처리

※ 터빈건물 하부지하 배수관로는 발전소 지하 가장 낮은 부분에 위치하여 지하수 등의 유입수를 모으는 기능을 함. 이 물은 냉각해수와 합쳐져 배수구로 배출됨

(2발 배수구 5년 최대치 : 13.2 Bq/L)

-고인 물의 삼중수소 농도가 높아진 원인은 공기중 삼중수소가 물로 전이 된 것으로 추정함

(실험기간) '20.9.10~11.24

(실험결과) 약 **1,800배** 증가(675 → 1,240,000 Bq/L)

(조치계획) ① 자체 실험 결과 외부전문가 검증

② 기체 삼중수소 유입 방지 위한 보조건물 밀봉강화

- 고농도 오염원이 필요한 단순 해명

- 유출원 확인 필요

- 캐나다사례 최대100 농축(액체Bq/l / 기체Bq/m³) : ~7000 Bq/m³ 필요

불완전한 과학분야 : 장기, 저선량, 반복, 유전효과 등 ALARA

- ICRP가 1977년 권고
- 방사선방호의 기본사고 방식

"As Low As Reasonably Achievable"

방사선방호의 최적화로서 「모든 피폭은 사회적 경제적 요인을 고려에 넣으면서 합리적으로 달성가능한 한 낮게 억제해야 한다」 는 기본정신 --> **공학적 도덕성**

- 삼중수소의 유해성 기본전제 상식
- 사업자 운영 :
 - 삼중수소 저감장치 : 계통 삼중수소 약40% 로저감
 - 방출기준(40000 Bq/L) 0.1% 미만 운전

- ◎ 사업자 및 규제기관 고유 업무 : 유출 인정
- ◎ 사업자 환경/지하/구조물 오염 확인
- ◎ 외부 연구 및 검증 필요
- ◎ 현체계 당면 업무
 - 제도 정비 (지하수)
 1. 원자력안전법
 2. 규제지침 및 기준값
 3. 사업자 운전 절차서

- □개 요
 - - 후쿠시마 원전사고 이후, 국내 전 원전에 대한 안전점검을 실시하여 안전성을 확인하고 50개 후속대책을 수립.시행('11.5월, 추가 6건, '15.12월 목표) : **성급한 대응항목 선정**
 - - 50개 후속대책 이행과정에서 안전성 강화대책의 일환으로 추가대책 마련 요구('14.3, 원안위)
 - - 중대사고를 포함한 사고관리 신설('16.6 시행)
 - - 현재 51건 완료, 기획예산(1.1 조) 중 약30% 집행

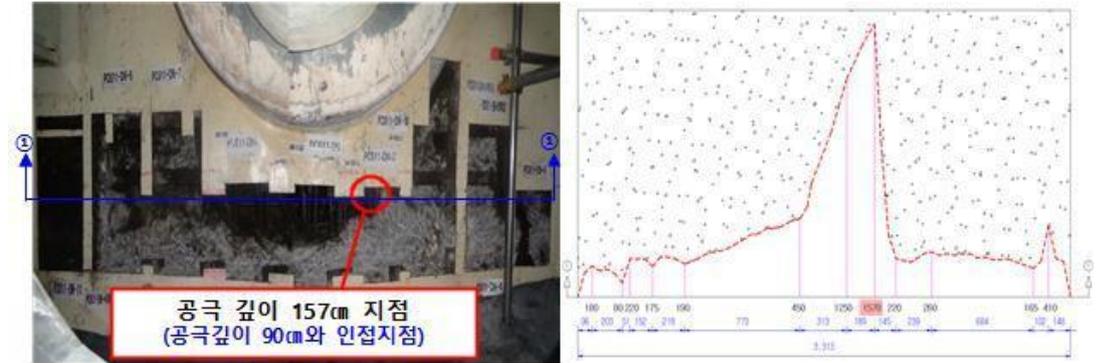
- □주요 현안
 - - 이동형 발전차량 부정 : 작동 불능, 비계획적 도입
 - - 피동형수소제거 설비 설치 : 화재 의혹 및 검증 실패
 - - 격납건물 배기 또는 감압설비 설치 : 사업 진행/연구 비리 의혹, 도입/설계/인허가 의혹

- □ 대책
 - 안전 대책 재점검
 - 규제 개혁
 - 고유 안전성을 반영한 시설 재검토토
 - 내진 대응 재평가(설치물)
 - 해석 적정성 검토(중대사고, 확률론 등)

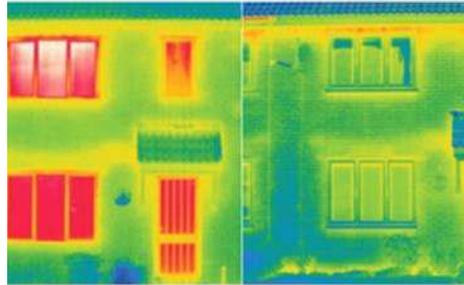
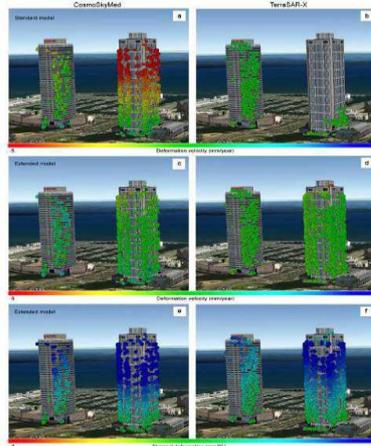
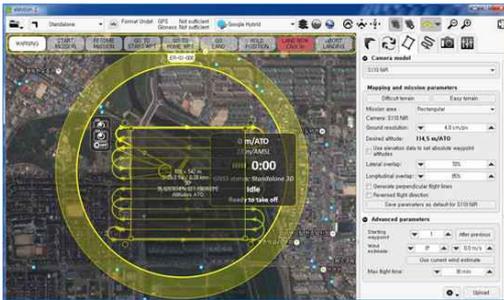
8

고유(구조물) 안전성

- 격납건물 철판 (라이너 플레이트, CLP: Containment Liner Plate) 배면 부식 발생
 - 한빛 2호기 정기검사 중 부식 확인('16.6.28), 쏘 원전 확대 점검, **원인 미입증**
- 규제 체계의 공백
 - 30년간 육안검사 시행 : 해외 사례 미반영
 - 경제성을 위한 격납건물 시험 조건의 완화
 - 현재 격납건물 일부만 검사 완료
- 원전 노후화에 따른 격납건물 건전성 확인 필요
 - 의도적으로 철판에 **국한된** 원인 제시
 - 원인규명 의지 지연에 따른 신뢰성 상실
- 격납건물 철판 두께가 시공 시부터 미달
 - 공사 품질 관리 허점 노출
- 한빛 4호기 콘크리트 공극
 - 대규모 공극 발견
 - 현재 재가동 기약 없음



- 지속적인 열화 검사 필요
- 구조/기밀 안전성 재평가 필요
- 구조물 장기 안전성 검사 도입 필요
 1. UAV 기반 원전시설 안전성 조사
 2. PSinSAR 기반 원전시설 안전성 조사
 3. 열화상 및 분광분석 기반 원전시설 안전성 조사
 4. 레이저스캐너 기반 원전시설 안전성 조사



- # 긴급 누설 확인 및 보수 : 차수막
- # 예비 기준안 긴급 도입 필요
- # 지하구조물 누설/오염 확인
 - 기누설 확인 및 감시 프로그램 재검토
- # 노후화 대책/개념 도입
- # 혁신적 규제 체계 개선
 - 원자력 국가안전체계 기능 정상화
 - 고유안전성 기반 규제 도입
 - 선행 규제 적극 도입
 - 사업/연구 적정성 검토