

제 200회 원자력안전위원회

의안번호	제 1 호	보 고 사 항
보고일자	2024. 9. 12.	
공개여부	공개	

월성4호기 사용후핵연료저장조
냉각수 누설사건 조사결과

제 출 자	원자력안전위원회 위원장 유 국 희
제출일자	2024. 9. 12.

(공란)

■ ■ 목 차 ■ ■

1. 사건 개요 및 주요 경위	1
2. SFB 냉각수 누설에 따른 안전성 평가 결과 ...	2
3. 사건 조사 결과	7
4. 재발방지대책	9
5. 향후 계획	10

붙임

붙임 1 사건 전개 개략도	11
붙임 2. 열교환기 구조	12
붙임 3. 열교환기 분해점검, 원인분석 및 개선조치	13
붙임 4. 국내 SFB 열교환기 설계 현황	15
붙임 5. 해당 열교환기 정비이력	16
붙임 6. SFB 냉각수 누설량 평가	17
붙임 7. 누설 방사능으로 인한 예상피폭선량 평가	19
붙임 8. 해수·해저퇴적물·어류 시료 정밀 분석 결과 비교	20

(공란)

1. 사건 개요 및 주요 경위

- '24.6.22.(토) 02:15~04:34 간 월성 4호기 사용후핵연료저장조의 냉각수 일부가 냉각계통의 열교환기를 통해 해양으로 누설

△ 사용후핵연료저장조(이하 'SFB')

- 저장조/수용조/이송수로로 구성, 저장되어 있는 냉각수량은 약 2,390톤

※ 핵연료가 저장되는 저장조의 경우, 크기는 11.9m(가로)×19.8m(세로)×7.77m(높이)이며, 냉각수 약 1,800톤 수용

△ 열교환기

- 해수와 열교환을 통해 저장조 내 냉각수의 온도를 낮추는 기기
- 저장조 냉각을 위한 펌프 2대(P1/P2) 및 열교환기 2대(HX1/HX2), 수용조 냉각을 위한 펌프 1대(P3) 및 열교환기 1대(HX3)으로 구성
- 저장조/수용조의 펌프 및 열교환기는 상호 교차운전 가능

□ 사건 주요 경위

- (02:15) SFB 펌프 교체운전 실시(P1→P2)
- (04:17) SFB 저장조 및 수용조의 수위감소 인지
- (04:18~34) 현장 외부누설 점검 결과 특이사항이 없어 열교환기 내부 누설로 추정
- (04:34) 펌프(P2) 정지 및 열교환기(HX1/HX2) 격리 등 누설차단 조치
- (04:50) 열교환기 3대(HX1/HX2/HX3)에서 해수시료 채취(1차)
- (06:40) 열교환기 HX2 해수시료 채취(2차)
- (07:53) 한수원에서 원안위(월성원전지역사무소)에 사건 보고

□ 원안위(사무처) 조치 사항(사건 당일)

- 08:20 누설 차단조치 확인 등 현장점검 실시, 인근 해수 시료 채취·분석 등 한수원에 지시
- 08:26 한국원자력안전기술원(KINS)에 현장조사 지시
- 08:46 한수원에 예상피폭선량 계산값, 주변 감시기 수치 등 보고 요구
- 12:00 부경대를 통해 해수 방사능 현장분석 실시(~20:33)
- 14:40 KINS 현장조사 착수

※ KINS는 사건조사 착수 이후, SFB 수위감시결과('22년~), 월성원전 열교환기 분해점검 결과 확인, 해수/퇴적물/어류 채취 및 방사능 정밀분석, 재발방지 장단기 대책 검토 등 수행

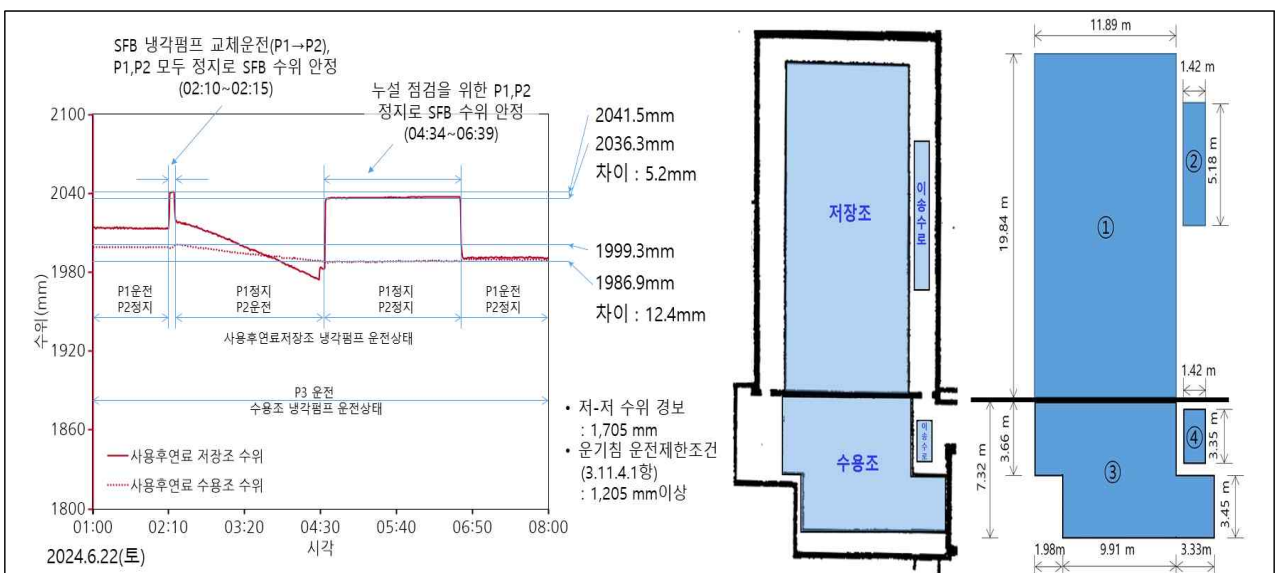
2. SFB 냉각수 누설에 따른 안전성 평가 결과

가. 냉각수 누설량

□ 한수원은 사건 당일(6.22) 저장조와 수용조의 수위 감소를 계산하여 누설량을 2.3톤으로 보고하였으나,

⇒ KINS 조사 과정에서 저장조와 수용조에 설치된 이송수로의 수위 감소(5.2~12.4mm)까지 포함·계산한 결과, 누설량은 2.45톤으로 확인

< 펌프 교체운전 이후 SFB 수위 변화 >



※ SFB 누설량 계산 방법 : (저장조+이송수로 표면적)×(수위감소량) + (수용조+이송수로 표면적)×(수위감소량) = 243.25m²×0.0052m + 96.04m²×0.0124m = 2.456 m³

나. 누설 방사능량 평가

- 누설된 2.45톤의 냉각수는 기기냉각해수(18,956톤*)와 혼합되어, 누설 당시 배수구에서 삼중수소 691 Bq/L, 베타/감마 0.0149 Bq/L의 농도로 방출된 것으로 평가

* 펌프 교체운전~열교환기 차단시(02:15~04:34)까지의 해수량

⇒ 원안위 고시(방사선방호 기준)의 방사능 배출관리기준(삼중수소 4만Bq/L, Cs-137 50Bq/L)을 만족하는 것으로 확인

- 누설 방사능량은 최대 삼중수소 13 GBq, 베타/감마핵종 0.283 MBq로 평가되었으며,

- 동 누설 방사능량은 월성4호기 배출계획서의 삼중수소 연간 배출 제한치 630 TBq 대비 0.002 %, 베타/감마는 0.541 TBq 대비 0.000052 %에 해당하는 것으로 확인

※ 사건 전후 SFB 농도 최댓값 : 삼중수소 5.31×10^6 Bq/L, 베타/감마(세슘 코발트 등) 1.15×10^2 Bq/L

다. 누설 방사능으로 인한 예상피폭선량

< 평가방법 >

- △ 누설된 방사능이 확산되어 원전 제한구역 경계(원자로 중심에서 914m)에 거주하는 주민이 받을 수 있는 연간 예상피폭선량을 평가
 - 해수에 의한 외부피폭(수영, 해변 활동 등) 및 수산물 섭취에 의한 내부피폭을 합산
- △ 평가 프로그램은 美NRC 규제지침(RG 1.109)에 기반하여 규제검증용으로 개발한 전산코드(INDAC)를 사용하여 평가(KINS)

- 금번 사건으로 누설된 방사능 최댓값을 전산코드에 입력(삼중수소 13 GBq, 베타/감마핵종 0.283 MBq)하여 예상피폭선량을 분석한 결과,

⇒ 원전 제한구역 경계에 거주하는 주민이 받을 수 있는 피폭선량은 연간 3.94×10^{-7} mSv로 평가

※ 한수원은 사건당일 5.5×10^{-7} mSv/yr로 평가되었다고 원안위에 보고(6.22)

⇒ 이는 일반인 선량한도(1mSv/yr) 대비 0.000039% 수준으로 확인

라. 해수 시료 등의 방사능분석 결과

□ 시료 채취

- (해수) 6.22~6.24 기간동안 해안 4개소(2발 배수구, 봉길해수욕장, 읍천항, 죽전항)에서 1일 2회 총 6회 채취

※ 읍천항, 죽전항은 환경방사능조사 위치가 아니나, 주민 접근 지역에서의 영향을 확인하기 위하여 추가로 시료 채취

- 또한, 신월성 취수구* 등 해상 4개소에서 1회(6.24) 해수 채취

* KINS 환경방사능 조사 시료채취 위치

[참고] 해수 확산 모델링 결과(KAERI), 삼중수소는 12시간 후 남북 7.3km, 동서 3.5km 범위로 확산되고, 48시간 후에는 대부분 북동방향 외해로 빠져나가는 것으로 평가

- (해저퇴적물·어류) 해저퇴적물은 6.27일, 어류(성대)는 7.4~7.13일간 2발 배수구 인근에서 채취

< 해수 시료 채취 위치도 >



□ 방사능 분석 결과

- △ 원안위는 사건당일 방사능 위험도를 신속하게 확인(부경대 현장분석)하고, 이와 병행하여 KINS에 정밀하게 방사능을 분석할 것을 요구
- △ KINS는 별도로 채취한 해수 등을 액체섬광계수기(LSC : 삼중수소) 및 감마선 분광분석장비(HPGe : 감마핵종)로 독립적으로 분석

현장분석 결과(부경대)

- 사건당일 고농도 방사성물질 방출 여부 및 신속하게 위험도를 확인하기 위해, 주변 해안지역 4개 시료에 대해 현장분석*을 수행
 - ⇒ 방사능 분석결과, 모든 시료의 Cs-137 농도가 방사능분석장비의 검출하한치(2.88~3.02 Bq/L) 이하로 확인
- * 현장분석 : 부산항 활어차 현장분석 장비(NaI, 검출가능농도 ~5Bq/L)를 활용하여 Cs-137 농도를 신속하게 분석(3,600초 계측)

정밀분석 결과 (KINS)

- 해수의 삼중수소는 최대 46.0Bq/L(6.22, 2발 배수구)~최소 0.918 Bq/L(6.24, 읍천),
 - 감마핵종*은 최대 0.00173 Bq/L(6.23, 읍천)~최소 0.000841 Bq/L(6.23, 봉길)로 측정
- * 감마핵종의 경우 Cs-137 이외 인공 방사성핵종은 검출되지 않음
- 해저퇴적물 및 어류는 Cs-137만 검출되었으며, 측정값은 각각 0.409 Bq/kg-dry, 0.0619 Bq/kg-fresh로 측정
- ※ 삼중수소 분석은 액체시료 대상으로만 수행(원안위 고시)

방사능 분석결과에 대한 검토

- 최근 5년간('18~'23) KINS의 환경방사능 감시결과*와 비교한 결과, 정밀분석결과가 모두 정상 변동범위 수준임을 확인
- * KINS는 매 분기(해수) 또는 매 반기(해저퇴적물, 어류 등) 시료 채취·분석

구 분		삼중수소 농도(Bq/L)		Cs-137 농도(Bq/L)	
		금번 분석결과	평상 변동범위*	금번 분석결과	평상 변동범위*
해 수	2발 배수구	1.17~46.0	0.248~45.4	0.00127~0.00164	0.00127~0.00212
	봉 길	2.85~4.11	0.205~5.16	0.000841~0.00106	<0.000798~0.00154
	해 상	0.666~0.918	<0.127~2.37	0.00118~0.00151	0.00101~0.00210
해저퇴적물		<해당 없음>		0.409 Bq/kg-dry	<0.465~1.46 Bq/kg-dry
어류		<해당 없음>		0.0619 Bq/kg-fresh	0.0207~0.142 Bq/kg-fresh

* (출처) KINS, 원자력이용시설 주변 방사선환경 조사 및 평가보고서('18~'23년)

- 읍천항, 죽전항의 경우, 주민 접근 지역의 영향 확인을 위하여 추가 분석한 위치로 봉길의 환경방사능 변동범위와 유사

※ 측정값 : (삼중수소) 읍천항 0.918~5.43 Bq/L, 죽전항 1.70~6.72 Bq/L

(Cs-137) 읍천항 0.00119~0.00173 Bq/L, 죽전항 0.00113~0.00166 Bq/L

마. SFB의 냉각기능 평가결과

- 사건 전후 SFB 냉각기능에 미친 영향을 확인하기 위해 냉각수 온도 변화를 점검한 결과, 유의할만한 온도 변화가 없었음을 확인

<사건 발생 전후 SFB 냉각수 온도 비교(운전제한치: 49°C)>

사건발생 전 (02:00)	펌프 정지 및 열교환기(HX1, HX2) 격리(04:34)	펌프 재기동 및 열교환기(HX1) 투입(06:40)
32.06 °C	32.11 °C	32.56 °C

3. 사건 조사 결과

3-1. 원인 분석 및 확대점검 결과

가. 누설 원인 분석

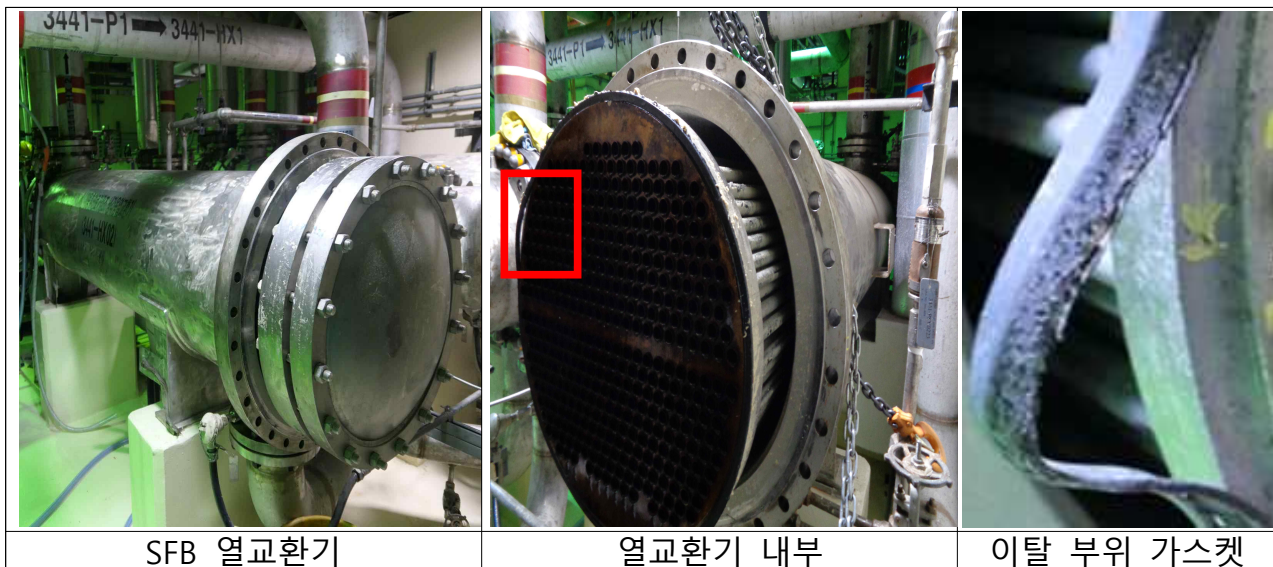
□ SFB 열교환기 분해점검 결과, 직전 열교환기 분해정비시('22.4) 가스켓* 일부 구간이 정위치에서 벗어나게 설치**되었고,

○ 사건당일(6.22) 펌프 교체 운전시 유동충격으로 동 구간이 이탈하여 냉각수 일부가 해수 측으로 누설된 것으로 분석

* 가스켓 해수와 냉각수 간 격리·밀봉하는 원형(내경 56cm, 폭 1cm)의 합성고무 부품

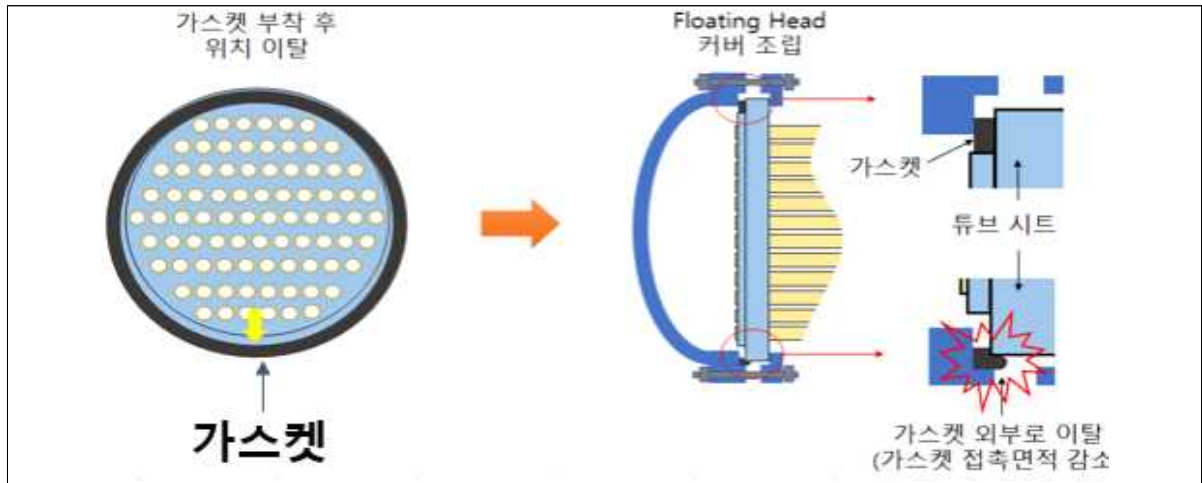
** 가스켓 총 길이 175.8cm 중 약 10cm에서 폭 1cm 중 약 0.3cm만 정위치에 안착된 상태로 조립된 것으로 확인

< 열교환기 구조* 및 가스켓 누설 발생위치 >



* 길이(378cm)×직경(66.8cm)의 스테인리스 재질(튜브는 티타늄)

□ 수직 상태인 관판(튜브 시트)에 접착제 도포 후 가스켓을 부착하는 기존 설치방법은 고무재질인 가스켓의 흘러내림이 발생하여, 아래쪽을 밀어 올리는 경우 금번과 같은 이탈 발생 가능성 확인



나. 확대 점검 결과

- 그 외 2~4호기 SFB 열교환기 전체(호기당 3대) 분해점검 결과, 가스켓이 모두 정위치에 있었고, 튜브 건전성도 이상없음 확인
 - * 1호기 SFB 열교환기(4대)는 점검 진행 중(9.27. 완료 예정)
 - ※ 방사성물질 포함 계통수를 해수로 직접 냉각하는 것은 SFB 외에는 없음을 확인
- 과거 유사사례 발생 가능성에 대해서 '22.1.1~24.6.22. 저장조, 수용조의 수위변화 확인 결과, 특이사항은 없는 것으로 확인

3-2. 운전원 대응조치 적정성

- SFB 수위 감소를 인지(04:17)하고 현장점검 후 펌프정지·열교환기 격리(04:34)를 신속하게 수행한 것은 적절한 조치로 평가
- 1차 분석결과 확인(05:50) 후 즉시 규제기관에 보고하지 않고 2차 분석(07:40) 후 보고*한 것에 대해서는 개선 필요
 - ⇒ 향후 유사 상황 발생시 우선 보고 후 필요시 정정하는 방식으로 절차 개선 요구

* 한수원은 1차 분석시 냉각수 내에 존재하는 안티몬, 코발트 핵종이 미검출되어 추가 분석이 필요하다고 판단하고 2차 분석결과 확인 후 보고했다고 해명

4. 재발방지대책

가. 열교환기 가스켓 개선 및 예방정비 강화(완료)

- ☐ 가스켓 이탈 방지를 위해 수평상태에서 접착제 도포 후 부착하고, 조립 후에 누설시험 실시
- ☐ 기존 고무재질의 가스켓 대신 내구성이 향상된 재질*로 교체
 - * 나일론 섬유 재질 함유된 Elastomer 1-Ply로 교체
- ☐ 계획예방정비 시마다 가스켓 교체 및 열교환기 분해점검 주기 단축
 - * 열교환기 튜브 건전성 확인 등 설비전반사항 확인 강화를 위하여 기존 8주기에서 3주기로 단축

나. 누설 예방, 감시 및 비상대응 강화

☐ SFB 열교환기 운전압력 변경(완료)

- 열교환기 내 해수 측 압력이 SFB 냉각수 압력보다 높도록 하여 누설 발생시에도 냉각수가 해수 측으로 누설되지 않도록 운전방법 변경

* 기존: 해수 230~250kPa < 냉각수 300~320kPa → 변경후: 해수 220kPa↑ > 냉각수 180~210kPa

※ 원 설계사인 CANDU Energy 社 검토 후 시범적용 중이며(8.14~), 현재까지 진동 등 특이사항 없음

- SFB에 해수가 유입되면 즉각 인지하여 차단할 수 있도록 냉각수 측에 전도도 감시기 설치(초당 0.613ml의 해수 유입시 경보 발생)

※ SFB에는 탈염기가 설치되어 있으며, 해수 유입시 SFB 계통 건전성(배관, 사용후핵연료 부식가능성 등)에 영향은 미미한 것으로 평가됨

☐ SFB 수위 증감률 경보 신설(완료)

- 기존 SFB 수위가 일정 수준 감소시 경보가 울렸으나, 수위 증감률(3~5mm/30분)에 따라 경보가 울리도록 하여 조기에 누설 차단

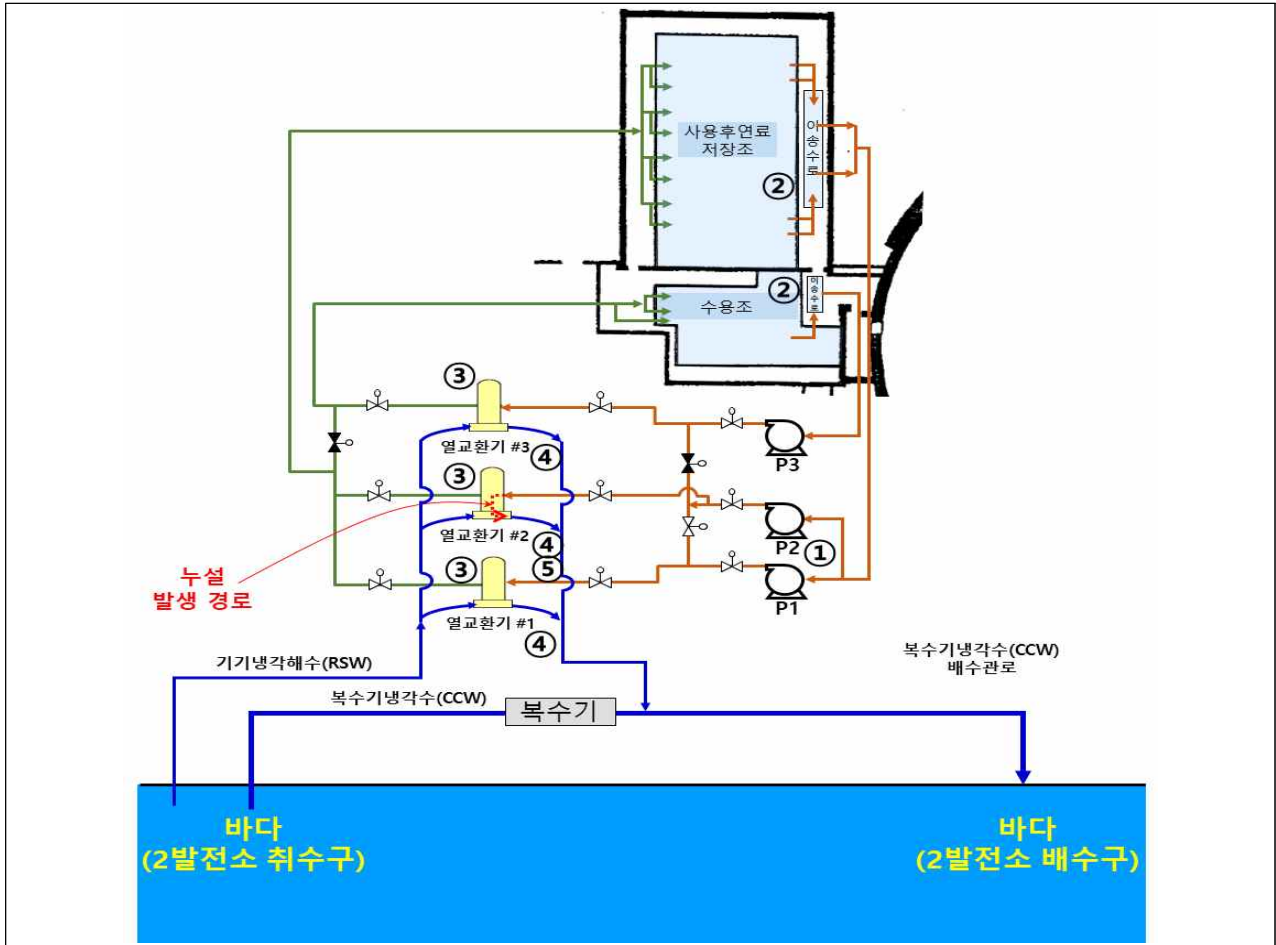
- 열교환기 해수 측 방사선감시기 및 자동차단밸브 설치(추진 중/∼'26년)
 - 열교환기 해수 측에 방사선감시기를 설치하여 이상 수치 감지시 연동된 차단밸브가 동작하여 냉각수 해양 누설 차단
- 누설징후 확인시 즉각 대응 방안 수립(조치중)
 - 수위감소 경보 등 누설징후 확인시 즉시 시료채취 등 방사능 분석을 수행할 수 있도록 인력·장비 운영 등에 대한 절차 수립(∼'25년)

다. 해양 누설 원천 방지를 위한 독립냉각 시스템으로 개선(중장기)

- 열제거원으로 해수 대신 공랭식 냉각탑/공조시스템 또는 냉동기를 이용하는 방식으로 설비 개선 검토(설계~시공에 약 3~5년 소요)

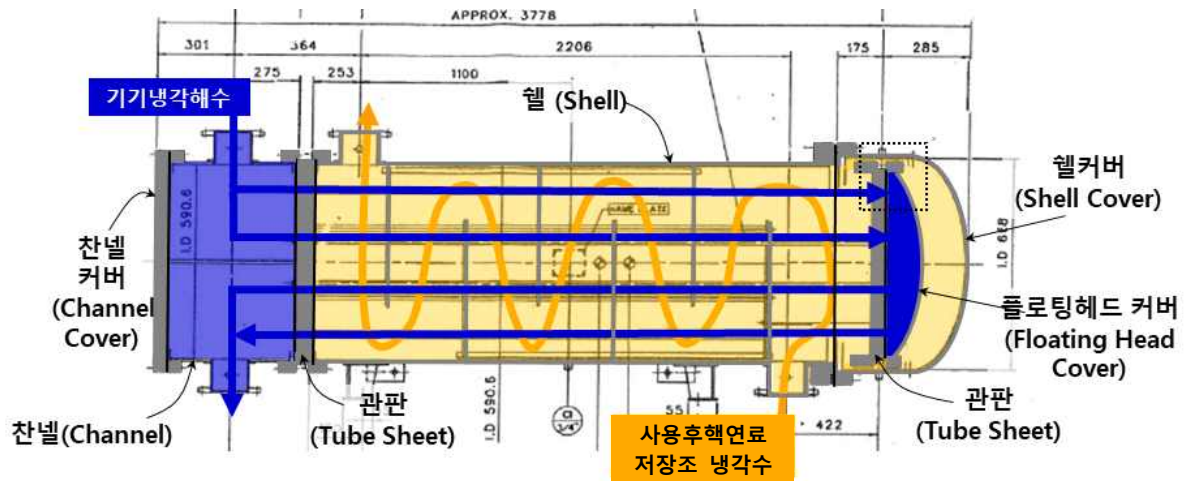
5. 향후 계획

- SFB 설비 운전상태 및 재발방지대책 이행 점검(계속)
 - ※ 원안위 지역사무소 일상검사, KINS 정기검사 과정에서 안전성 수시 점검
- 월성4호기 원자로 등 설비 안전성 종합확인 및 원자로 임계허용('24.9월)



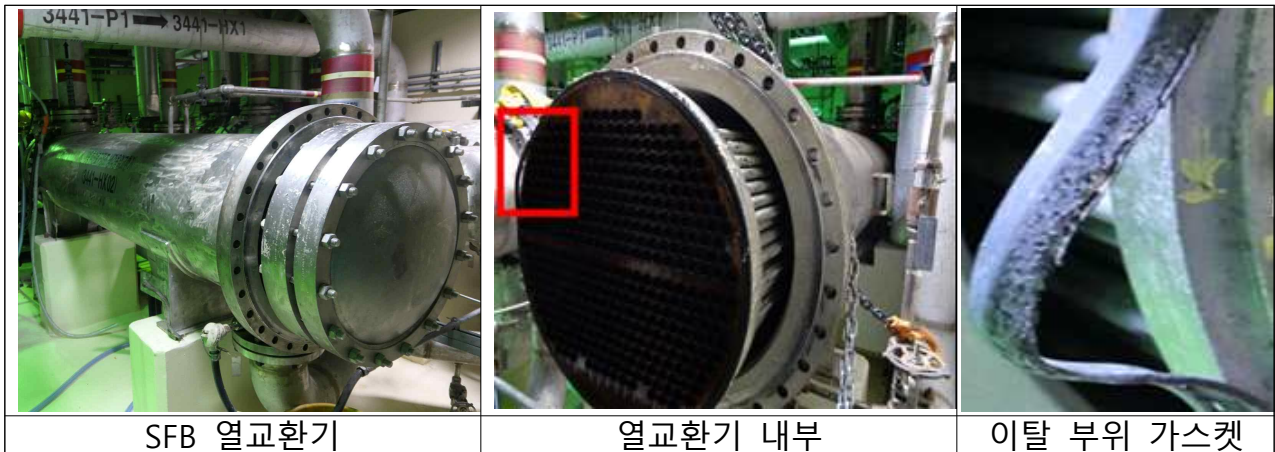
- ① (02:15) SFB 펌프 교체운전 실시(P1→P2)
- ② (04:17) 사용후핵연료 저장조 및 수용조 수위감소 인지
- ③ (04:18~34) 현장점검 결과 외부누설이 없어 열교환기 내부누설로 판단함.
- ④ (04:34) 펌프 P2정지 및 열교환기 HX1, HX2 격리
- ⑤ (04:50) 열교환기 HX1, HX2, HX3 해수시료 채취
 - (05:50) 분석결과 열교환기 HX2 측에서 삼중수소 등 검출
 - : 삼중수소(3.74Bq/cc) 및 감마핵종(Ag-110M 1.51×10^{-3} Bq/cc) 검출
 - (06:40~07:40) 2차 시료분석결과에서도 열교환기 HX2 해수에서 삼중수소 등 검출
 - : 삼중수소(6.99Bq/cc) 및 감마핵종(Ag-110M 1.55×10^{-3} Bq/cc) 검출

□ 열교환기 구조



※ 튜브/셸 열교환방식 (한국중공업 제작), 튜브측 기기냉각해수, 셸측 SFB 냉각수

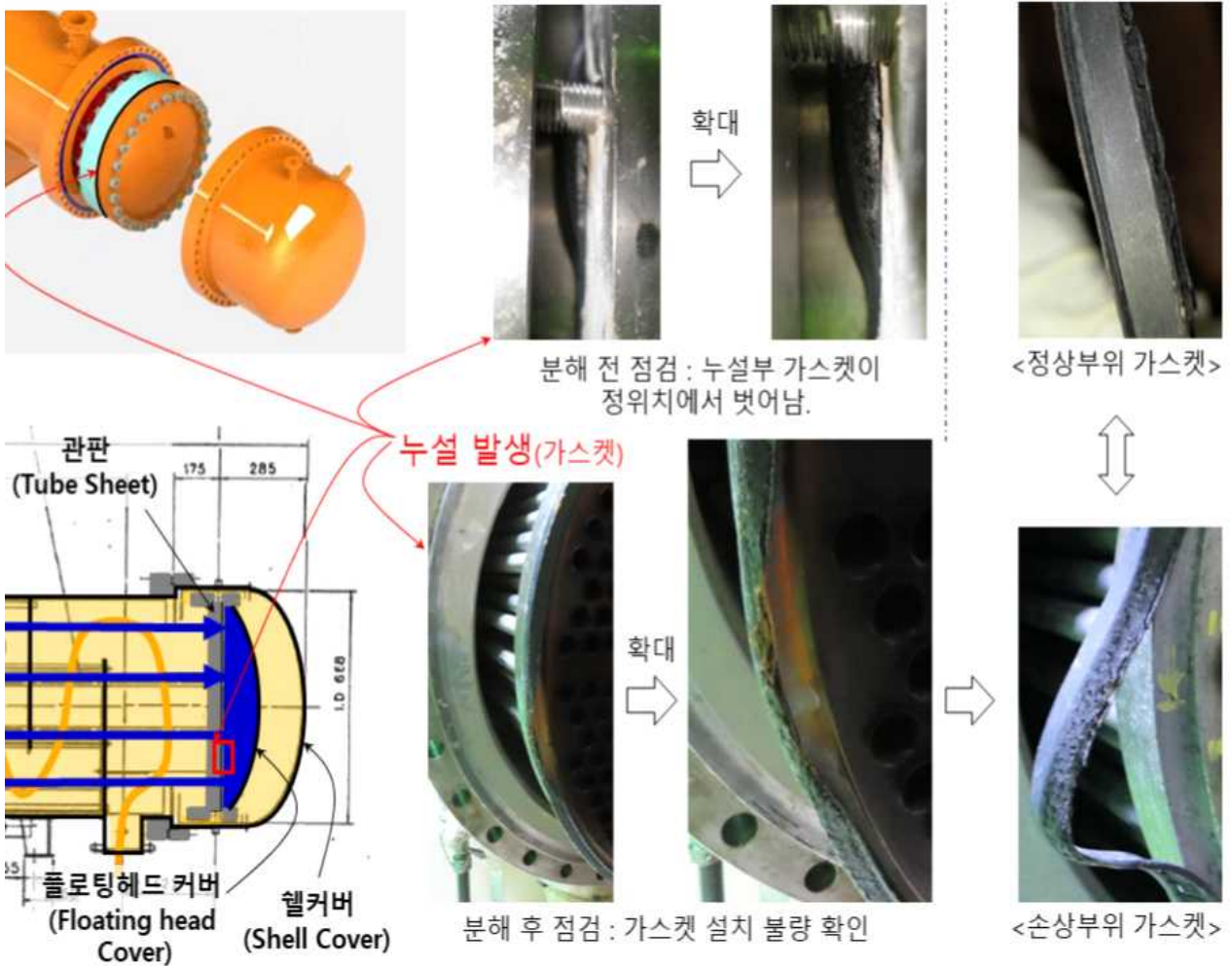
< 열교환기 구조* 및 가스켓 누설 발생위치 >



* 길이(378cm)×직경(66.8cm)의 스테인리스 재질(튜브는 티타늄)

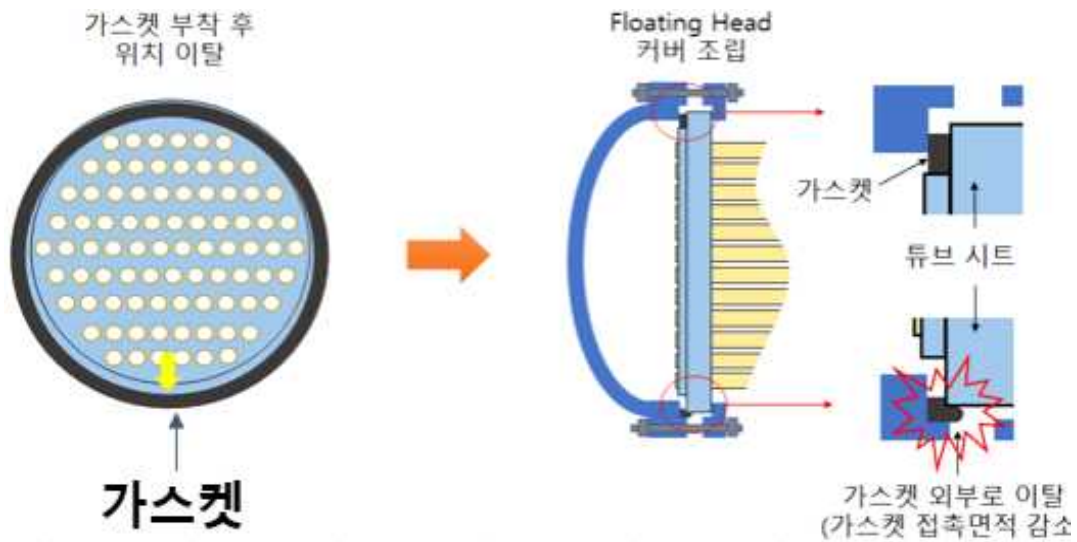
□ 분해점검(HX2) 결과

- 관판과 플로팅헤드 사이 가스켓이 정위치에서 벗어나 있음을 확인(약10cm)

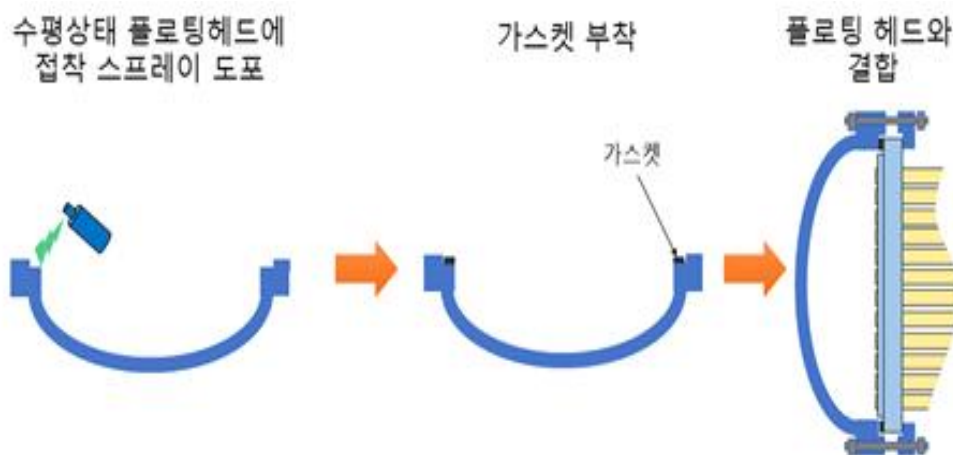


□ 가스켓 설치 오류 원인 분석 및 개선조치

- (기존 설치방법) 튜브시트에 접착제 도포 후 가스켓 부착 및 커버 조립
- (문제점) 가스켓 흘러내림이 발생할 수 있고, 아래쪽을 밀어올리는 경우 금번과 같은 가스켓 이탈 발생 가능



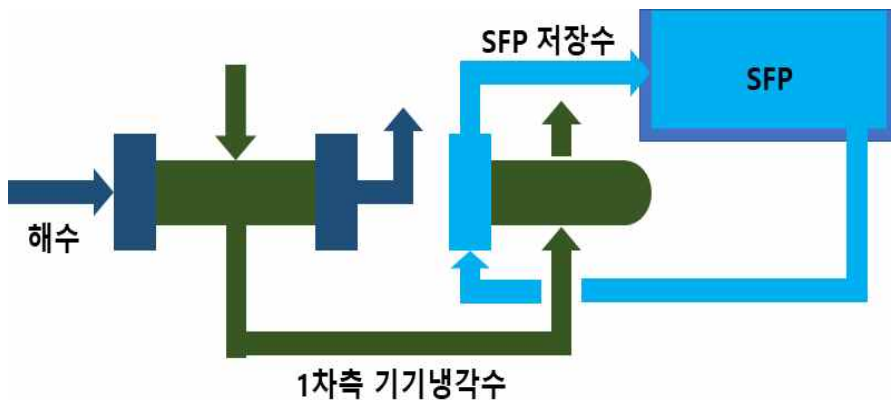
- (작업방법 개선조치) 수평상태의 플로팅헤드 커버 가스켓 설치면에 접착 스프레이를 도포하여 가스켓을 정렬한 후 관판과 조립하는 순서로 작업절차 개선



□ 국내 원전 사용후핵연료저장조 열교환기 설계 현황

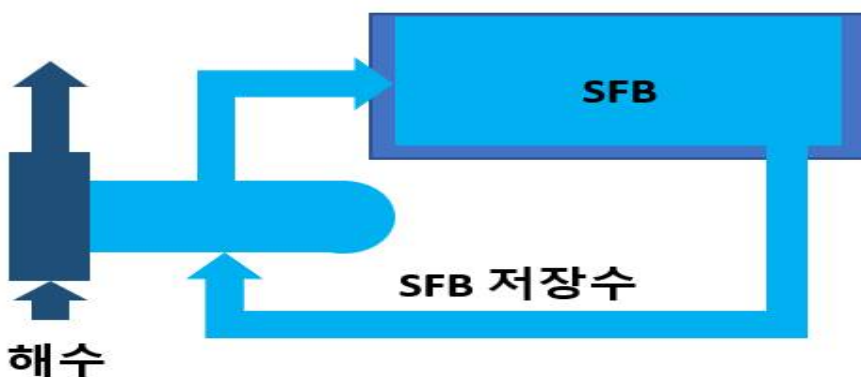
〈경수로〉

- 해당원전(22기) : 고리1~4, 신고리1~2, 한빛1~6, 신월성1~2, 한울1~6, 신한울 1~2
- 열교환 방식 : SFP 냉각수를 기기냉각수로 열교환하고, 기기냉각수는 해수와 열교환
- 압력 : 기기냉각수 > 사용후핵연료저장조(SFP)



〈중수로〉

- 해당원전(4기) : 월성1~4
- 열교환 방식 : SFB 냉각수를 해수와 직접 열교환
- 압력 : 해수 < 사용후핵연료저장조(SFB)



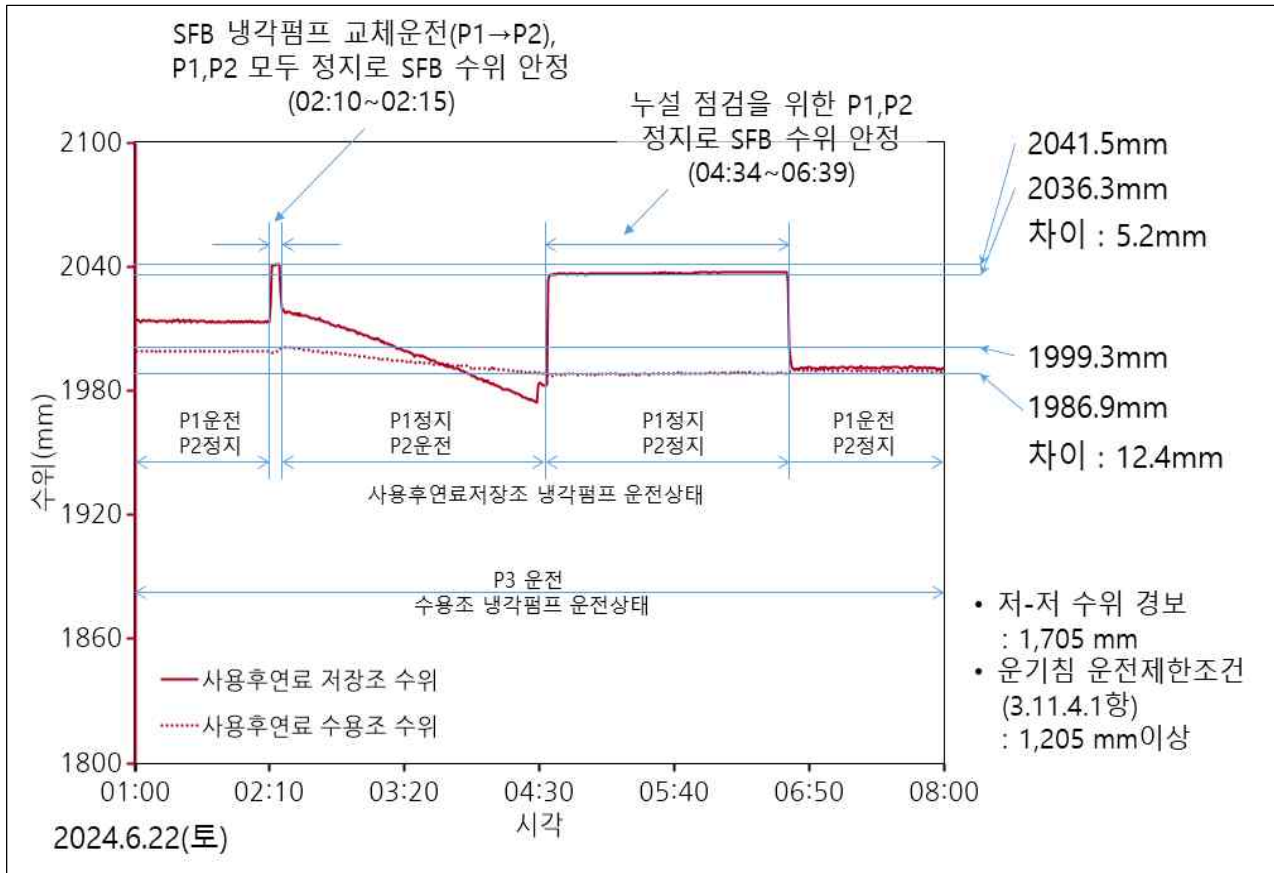
□ 열교환기(HX2) 분해/정비 이력

정비 오더 유형	사유	정비내역	시작 ~종료일
PM01	내부 청소	분해점검	'11.8.29 ~'11.9.28
CM02	저장조 온도상승	분해점검 및 청소	'11.9.16 ~'11.10.23
CM01	열교환기(HX1, HX2, HX3) 분해점검 준비	분해작업 준비	'11.9.17 ~'11.9.24
PM01	열교환기 분해점검	분해점검	'11.11.10 ~'12.1.10
CM01	성능시험(2015.11.24.) 전/후 정비	분해점검 및 청소	'15.11.30 ~'15.12.11
PM02	내부 청소를 위한 분해점검	분해점검 및 청소	'20.7.23 ~'20.10.28
CM02	이물질로 인한 막힘	튜브 및 쉘측 청소	'22.02.28 ~'22.5.7
CM02	열교환기 막힘	튜브(해수측) 청소	'22.3.2 ~'22.5.20

※ 정비작업 오더 유형 구분

- CM01 : 작업지시(작업설계가 필요 없이 간단히 수행할 수 있는 경우)
- CM02 : 고장정비(발전소 과도 등에 영향은 없으나 작업설계가 필요한 경우)
- PM01 : 경상예방정비
- PM02 : 계획예방정비

□ 저장조/수용조 수위 감소량 분석



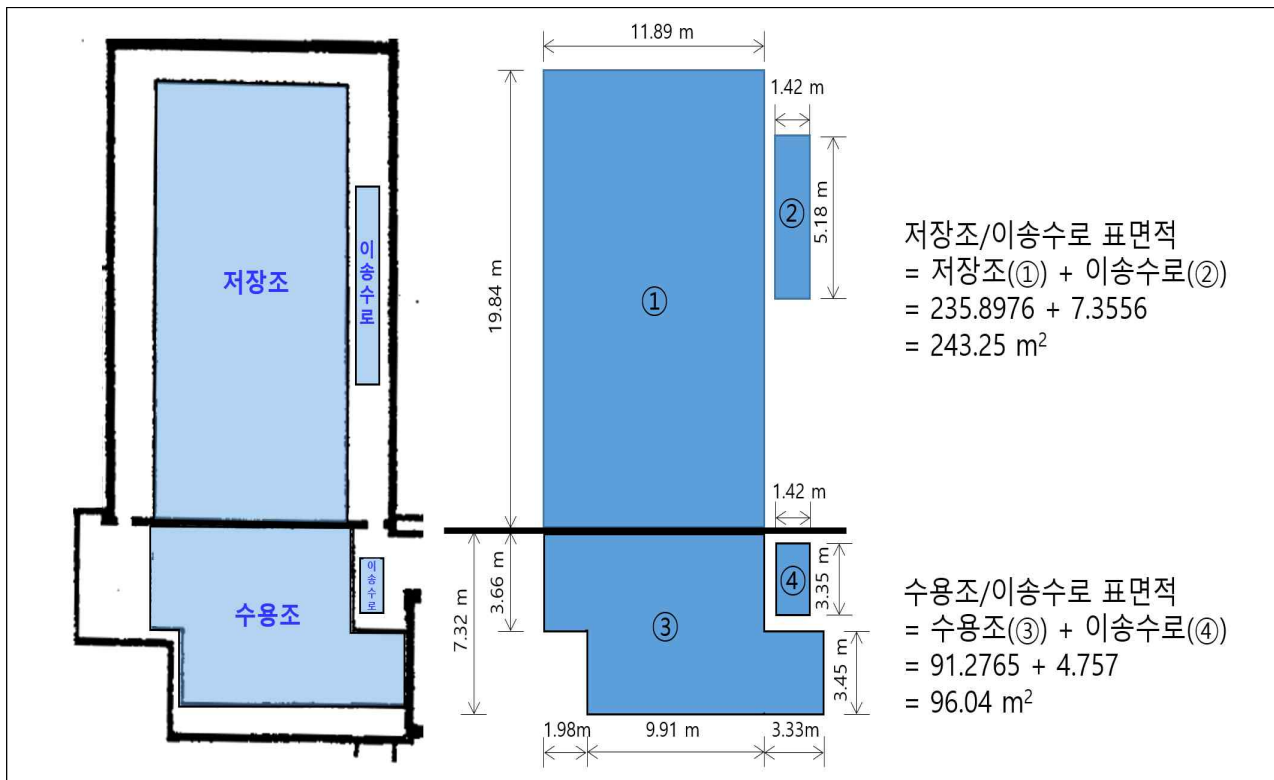
- 사용후핵연료 저장조 : 수위 감소량은 누설 전후 P1/P2 펌프가 모두 정지되어 수위가 안정된 상태를 비교하여 계산함

$$\Rightarrow 5.2\text{mm} = 2,041.5\text{mm} - 2,036.3 \text{ mm}$$

- 사용후핵연료 수용조 : 수위는 P3펌프가 계속 운전되고 있어, 누설기간 수위 변화를 수용조 대표 수위로 사용하여 계산함

$$\Rightarrow 12.4\text{mm} = 1,999.3\text{mm} - 1,986.9 \text{ mm}$$

□ 저장조-이송수로, 수용조-이송수로 표면적 계산



□ 사용후핵연료 저장조 냉각수 누설량 평가

○ 누설량 = 저장조 및 이송수로 누설량 + 수용조 및 이송수로 누설량

$$= (\text{저장조/이송수로 표면적}) \times (\text{저장조 수위감소량}) + (\text{수용조/이송수로 표면적}) \times (\text{수용조 수위감소량})$$

$$= 243.25 \text{ m}^2 \times 0.0052 \text{ m} + 96.04 \text{ m}^2 \times 0.0124 \text{ m}$$

$$= 1.265 \text{ m}^3 + 1.191 \text{ m}^3 = 2.456 \text{ m}^3$$

⇒ 질량으로 환산 : $2.456 \text{ m}^3 \times 0.996 \text{ ton/m}^3 = \mathbf{2.45 \text{ ton}}$

□ 예상피폭선량 평가방법

- (KINS) Reg. Guide 1.109를 기반으로 국내 방사선방호 체계의 근간인 ICPR-60 권고에 적합하도록 개발한 INDAC 코드를 활용하여 사업자 평가 결과를 비교·검증
- (한수원) Reg. Guide 1.109를 기반으로 ICPR-60 개념을 적용한 K-DOSE-60 전산코드를 이용하여 예상피폭선량을 계산

		KINS	한수원
피폭경로	외부피폭	- 해변활동/수상활동/수영활동	- 해변활동/수상활동/수영활동
	내부피폭	- 수산물 섭취	- 수산물 섭취
입력변수 자료값		- KINS 규제지침 2.2	- 주민피폭선량계산지침(ODCM)
평가코드		- INDAC (규제검증코드)	- K-DOSE-60

□ 예상피폭선량 평가결과

- '24.6.22. 발생한 SFB 냉각수 누설량(2.45톤)을 6.18, 6.22. 총 3회 수행한 분석결과(핵종별 농도)를 기준으로 누설 방사능량 등을 산정하여 평가
- "최근 3년 핵종농도 이용" : 검출빈도가 많은 핵종은 최근 3년 분석치 중 최대값, 10 반감기 이상 미검출 핵종은 제외 등을 통해 평가

구분	핵종	농도 (Bq/m ³)	누설 방사능량 (Bq)	방사능농도 (Bq/L)	배출관리 기준*에 대한 비율(%)	예상피폭선량(mSv/yr)	
						KINS	한수원
6.18(화), 시료	삼중수소	4.65×10 ⁹	1.14×10 ¹⁰	6.01×10 ²	1.51	2.80×10 ⁻⁷	2.08×10 ⁻⁷
	베타/감마	9.62×10 ⁴	2.36×10 ⁵	1.24×10 ⁻²	0.025		
6.22(토), 1차시료	삼중수소	5.31×10 ⁹	1.31×10 ¹⁰	6.91×10 ²	1.73	3.94×10 ⁻⁷	2.99×10 ⁻⁷
	베타/감마	1.15×10 ⁵	2.83×10 ⁵	1.49×10 ⁻²	0.030		
6.22(토), 2차시료	삼중수소	5.13×10 ⁹	1.26×10 ¹⁰	6.65×10 ²	1.66	2.12×10 ⁻⁷	1.63×10 ⁻⁷
	베타/감마	8.55×10 ⁴	2.1×10 ⁵	1.11×10 ⁻²	0.022		
최근 3년 핵종농도 이용	삼중수소	6.47×10 ⁹	1.59×10 ¹⁰	8.38×10 ²	2.1	1.38×10 ⁻⁶	1.02×10 ⁻⁶
	베타/감마	5.76×10 ⁵	1.42×10 ⁶	7.49×10 ⁻²	0.15		

* 배출관리기준 농도 : 삼중수소 4만Bq/L, Cs-137 50 Bq/L

※ 월성4호기 배출계획서의 연간 배출제한치 : (삼중수소) 630 TBq, (C-14) 0.492 TBq, (기타핵종) 0.0491 TBq

붙임 8

해수·해저퇴적물·어류 시료 정밀 분석 결과 비교

□ KINS 해수시료 분석 결과

○ 삼중수소 농도

(단위 : Bq/L)

구분	지점	1차 (6/22 채취)	2차 (6/22 채취)	3차 (6/23 채취)	4차 (6/23 채취)	5차 (6/24 채취)	6차 (6/24 채취)	평상 변동범위*
해안	2발 배수구	45.8±0.5	46.0±0.5	36.1±0.5	36.7±0.5	1.26±0.13	1.17±0.13	0.248~45.4
	읍천	5.43±0.18	2.88±0.14	1.08±0.16	1.39±0.14	1.09±0.12	0.918±0.124	-
	죽전	6.72±0.20	4.78±0.17	3.42±0.22	2.58±0.19	2.33±0.15	1.70±0.13	-
	봉길	4.11±0.16	3.81±0.16	3.32±0.20	3.25±0.20	2.85±0.16	2.99±0.16	0.205~5.16
해상	해상1	기상악화로 시료 채취 불가				0.666±0.115	기상악화로 시료 채취 불가	-
	해상2					0.673±0.115		<0.127~2.37
	해상3					0.797±0.117		-
	해상4					0.918±0.124		-

* 출처 : KINS, 원자력이용시설 주변 방사선환경조사 및 평가보고서 ('18~'23년)

○ 감마핵종 농도

(단위 : Bq/L)

구분	지점	1차 (6/22 채취)	2차 (6/22 채취)	3차 (6/23 채취)	4차 (6/23 채취)	5차 (6/24 채취)	6차 (6/24 채취)	평상 변동범위*
해안	2발 배수구	<0.07882**	0.00133 ±0.00015	0.00136 ±0.00015	0.00128 ±0.00014	0.00127 ±0.00013	0.00164 ±0.00015	0.00127 ~0.00212
	읍천		0.00135 ±0.00015	0.00162 ±0.00015	0.00173 ±0.00016	0.00139 ±0.00014	0.00119 ±0.00013	-
	죽전		0.00141 ±0.00016	0.00165 ±0.00016	0.00166 ±0.00016	0.00117 ±0.00014	0.00113 ±0.00014	-
	봉길		0.000917 ±0.000112	0.000841 ±0.000132	0.00106 ±0.00013	0.000992 ±0.000122	0.000961 ±0.000130	<0.000798~ 0.00154
해상	해상1	기상악화로 시료 미채취				0.00151 ±0.00015	기상악화로 시료 미채취	-
	해상2					0.00118 ±0.00014		0.00101 ~0.00210
	해상3					0.00145 ±0.00014		-
	해상4					0.00147 ±0.00014		-

* 출처 : KINS, 원자력이용시설 주변 방사선환경조사 및 평가보고서 ('18~'23년)

** 시료량 부족으로 신속분석 수행(HPGe장비로 80,000초 계측, MDA값 ~0.07882Bq/L)

□ 한수원 해수시료 분석결과

○ 삼중수소 농도

(단위 : Bq/L)

구분	지점	1차 (6/22 채취)	2차 (6/22 채취)	3차 (6/23 채취)	4차 (6/23 채취)	5차 (6/24 채취)	6차 (6/24 채취)
해안	2발 배수구	47.8±2.7	52.4±2.7	39.2±2.8	36.5±2.7	<3.40	<3.40
	읍천	6.31±1.61	4.34±1.44	3.60±2.04	<3.19	<3.31	<3.40
	죽전	7.70±1.65	6.42±1.56	3.45±1.96	<3.32	<3.51	<3.43
	봉길	4.50±1.61	4.53±1.50	4.06±1.99	4.14±1.99	<3.54	<3.34
해상	해상1	기상악화로 시료 채취 불가				<3.50	기상악화로 시료 채취 불가
	해상2					<3.42	
	해상3					<3.52	
	해상4					<3.64	

○ 감마핵종 농도

(단위 : Bq/L)

구분	지점	1차 (6/22 채취)	2차 (6/22 채취)	3차 (6/23 채취)	4차 (6/23 채취)	5차 (6/24 채취)	6차 (6/24 채취)
해안	2발 배수구	0.00121 ±0.00018	0.00169 ±0.00016	0.00175 ±0.00016	0.00173 ±0.00015	0.00132 ±0.00015	0.00148 ±0.00017
	읍천	0.00152 ±0.00017	0.00194 ±0.00017	0.00156 ±0.00017	0.00179 ±0.00017	0.00168 ±0.00016	0.00181 ±0.00018
	죽전	0.00102 ±0.00018	0.00155 ±0.00018	0.00148 ±0.00019	0.00158 ±0.00015	0.00130 ±0.00015	0.00147 ±0.00015
	봉길	0.000878 ±0.000156	0.000839 ±0.000131	0.00115 ±0.00013	0.00125 ±0.00016	0.00119 ±0.00018	0.00115 ±0.00016
해상	해상1	기상악화로 시료 미채취				0.00169 ±0.00016	기상악화로 시료 미채취
	해상2					0.00170 ±0.00017	
	해상3					0.00151 ±0.00015	
	해상4					0.00156 ±0.00016	

□ **해저퇴적물·어류 시료에 대한 분석결과 비교**

구 분		방사능(Cs-137) 농도(Bq/L)	정상변동범위*(Bq/L)
해저퇴적물	KINS	0.409 Bq/kg-dry	<0.465~1.46 Bq/kg-dry
	한수원	0.473 Bq/kg-dry	
어류	KINS	0.0619 Bq/kg-fresh	0.0207~0.142 Bq/kg-fresh
	한수원	<0.0407 Bq/kg-fresh	

* 출처 : KINS, 원자력이용시설 주변 방사선환경조사 및 평가보고서 ('18~'23년)

〈 안전 담당자 〉

원자력안전위원회 원자력안전과	
과 장 임시우	(02) 397 - 7281
사무관 안상준	(02) 397 - 7288
한국원자력안전기술원 원자력검사단	
단 장 김민철	(042) 868 - 0015
실 장 김성현	(042) 868 - 0962