

Innovative CVCS Design in SMR

2020.12.17.

정 장 규

원자로설계개발단 신기술사업그룹

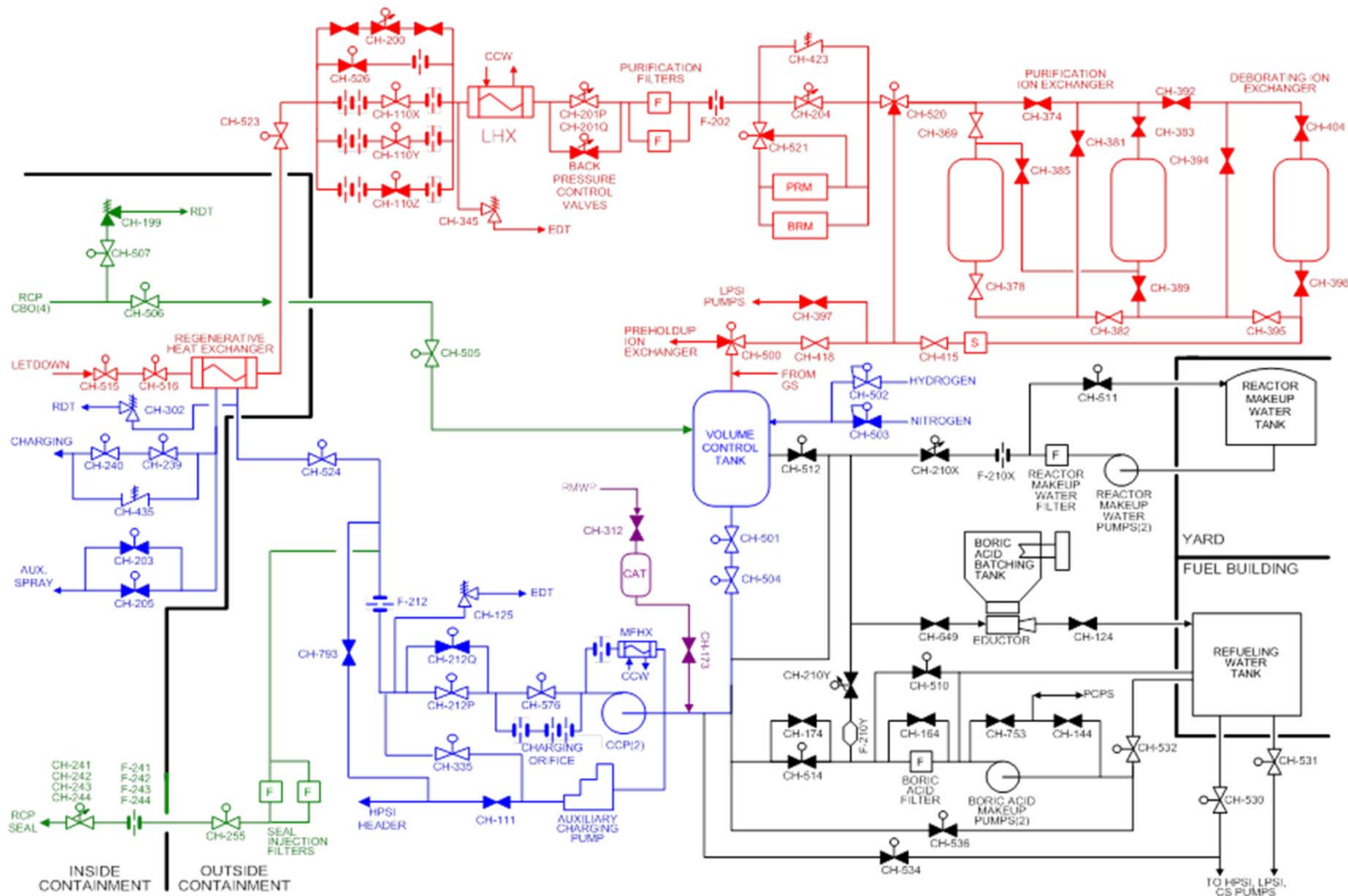


순서

- 1 주요 원전 CVCS 개요
- 2 SMR용 혁신형 CVCS 개발방향
- 3 봉산 노심 과 무봉산 노심 CVCS 설계관점 비교
- 4 정부과제 수행 개요 및 정화 설비 개선안
- 5 SMR용 혁신형 CVCS 설계 안 및 비교
- 6 결론

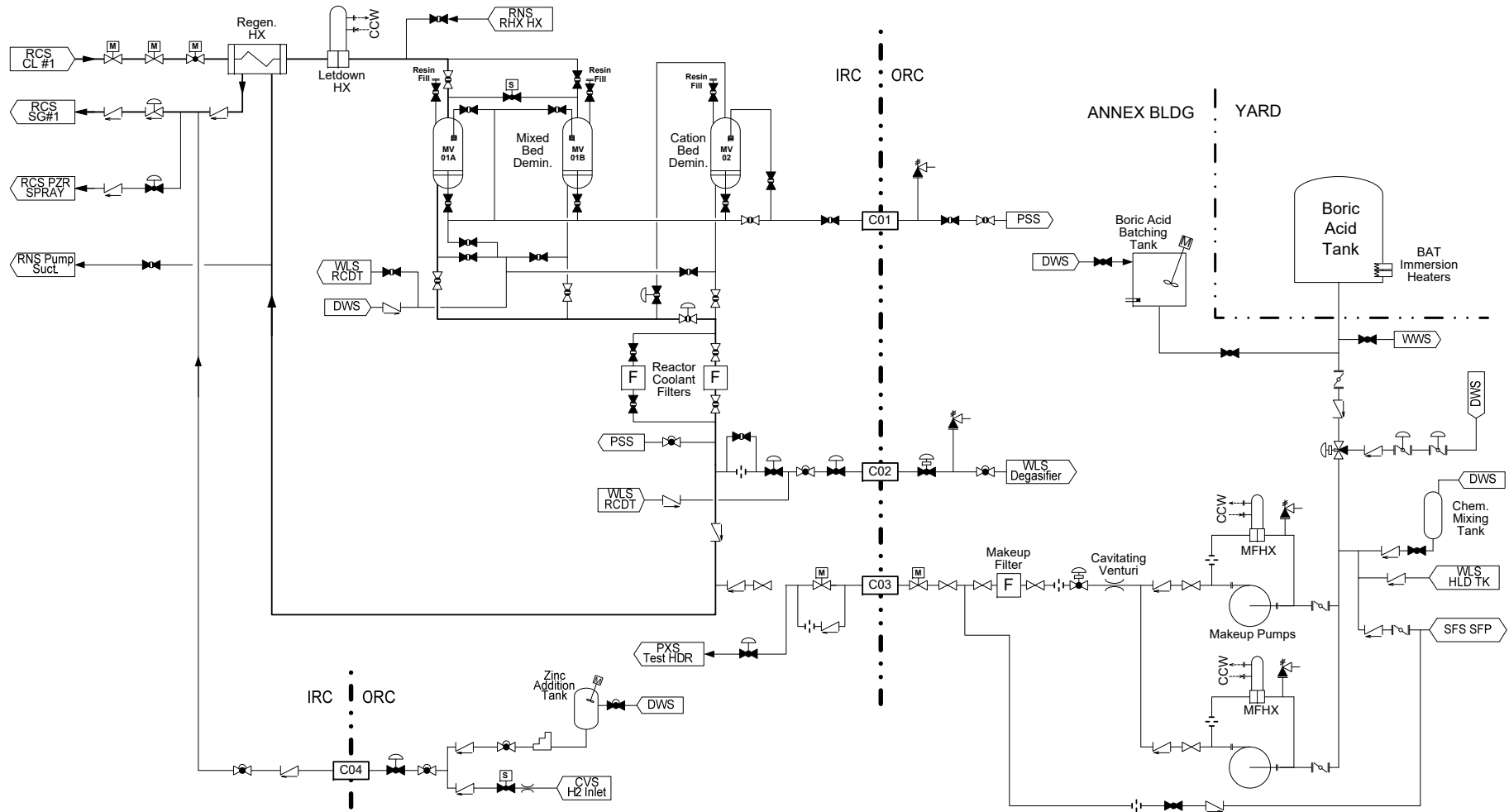
1. 주요 원전 CVCS 개요

CVCS of Large PWR(APR1400)



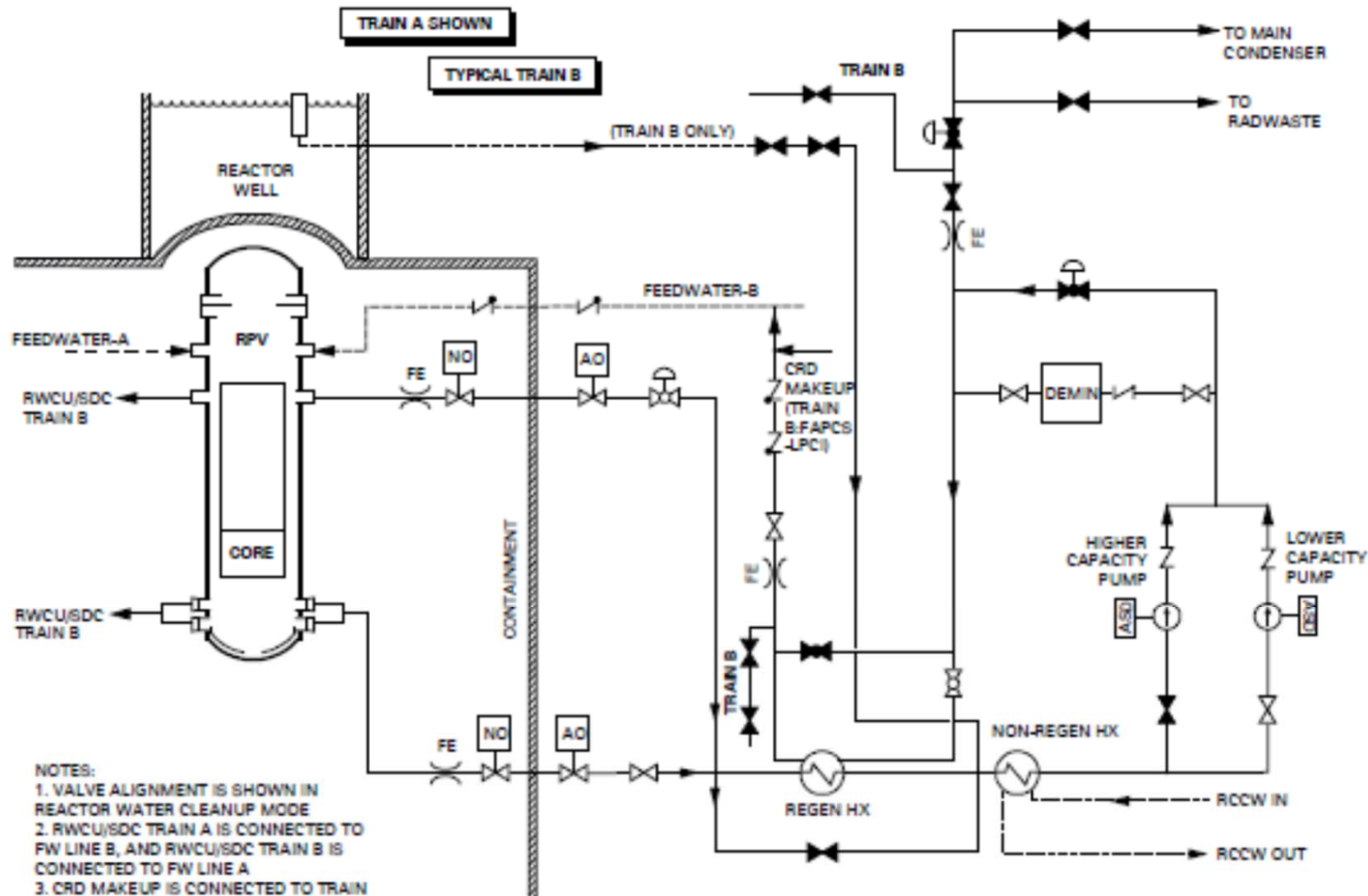
1. 주요 원전 CVCS 개요

CVCS of Large PWR(AP1000)



1. 주요 원전 CVCS 개요

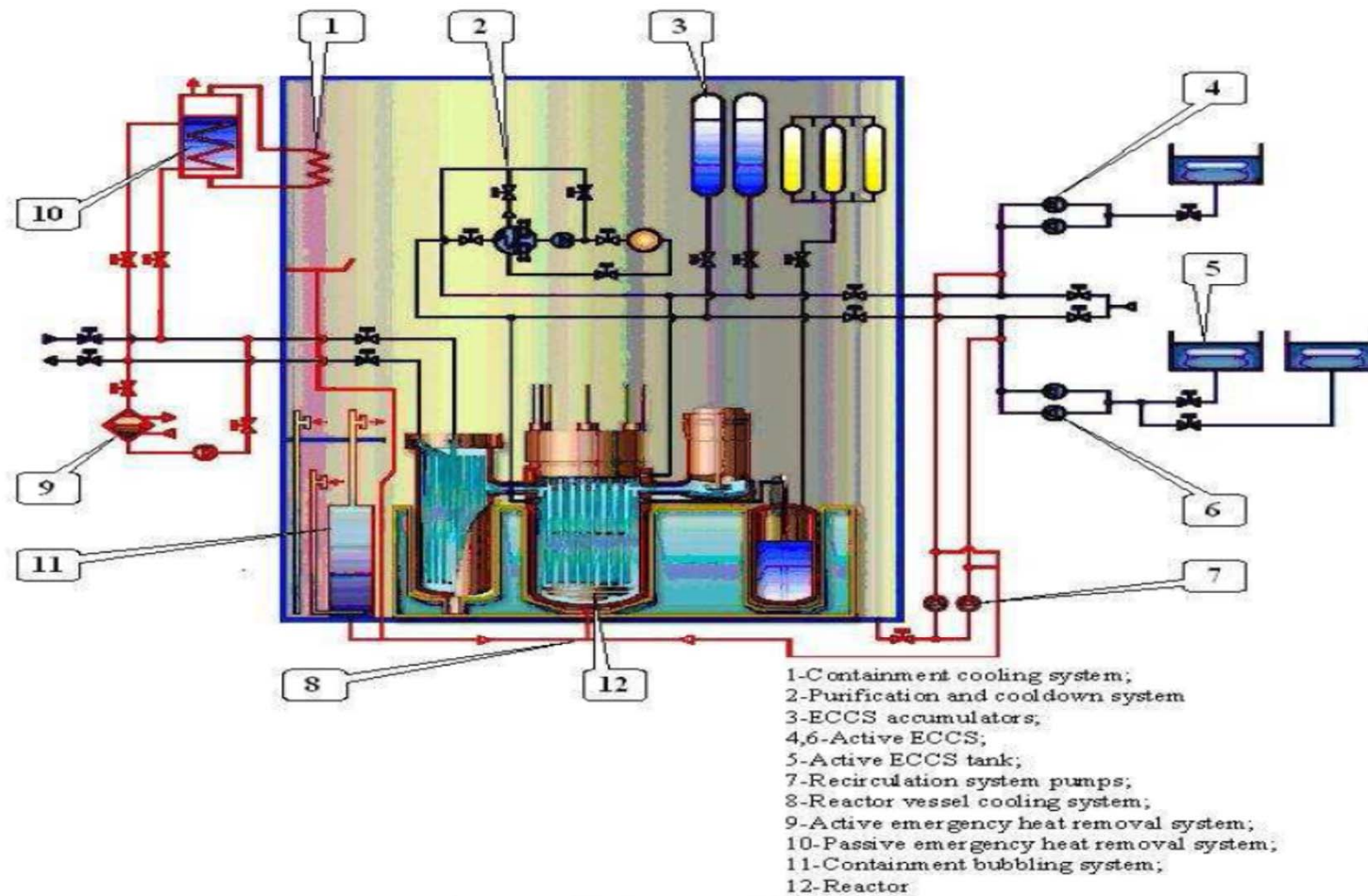
CVCS of Large BWR(ESBWR)



Reactor Water Cleanup/Shutdown Cooling System Schematic(RWCU/SDC)

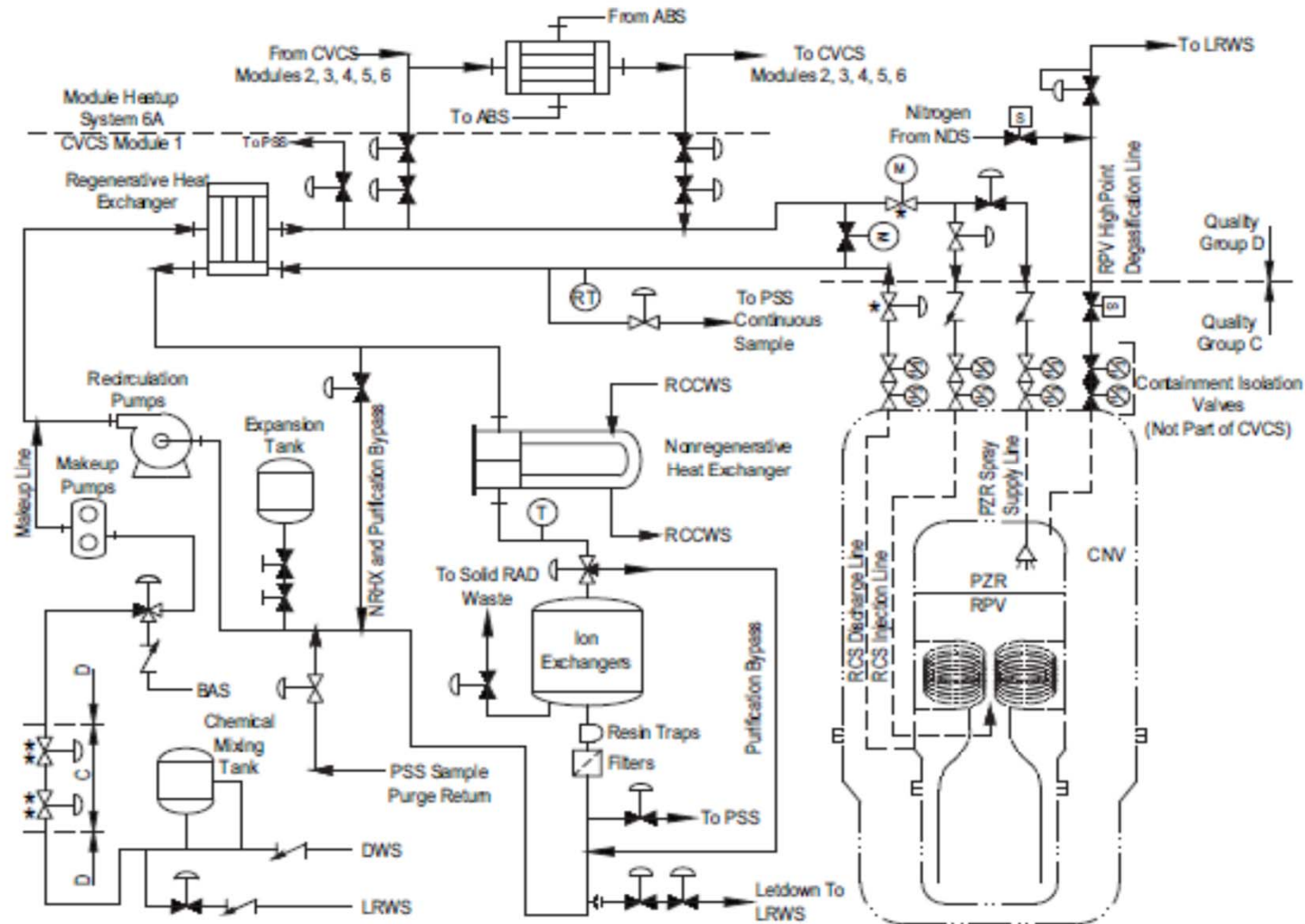
1. 주요 원전 CVCS 개요

CVCS of SMR(KLT-40S)



1. 주요 원전 CVCS 개요

CVCS of SMR(NuScale)



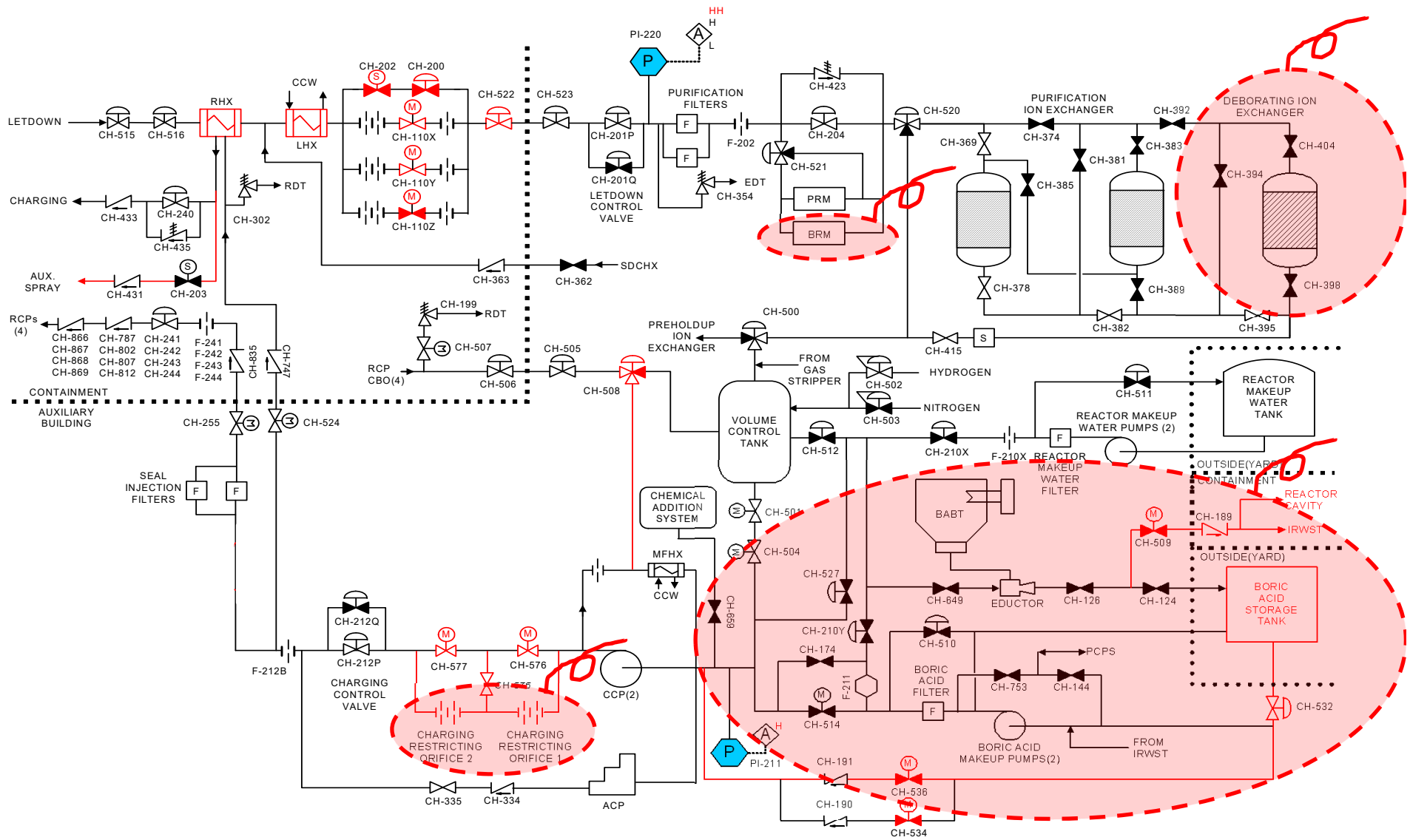
2. SMR용 혁신형 CVCS 개발방향

- ❖ 단순화(불산관련 설비제거:무불산기술적용)
- ❖ 소형화(모듈화, 판형열교환기 적용)
- ❖ 공용화(Makeup 설비, Surge 탱크 등)
- ❖ 최적화(혁신적 순수정화설비 적용)
- ❖ 운전 편의성(레진교환설비 제거)
- ❖ 폐기물량 최소화(레진제거 or 최소사용)

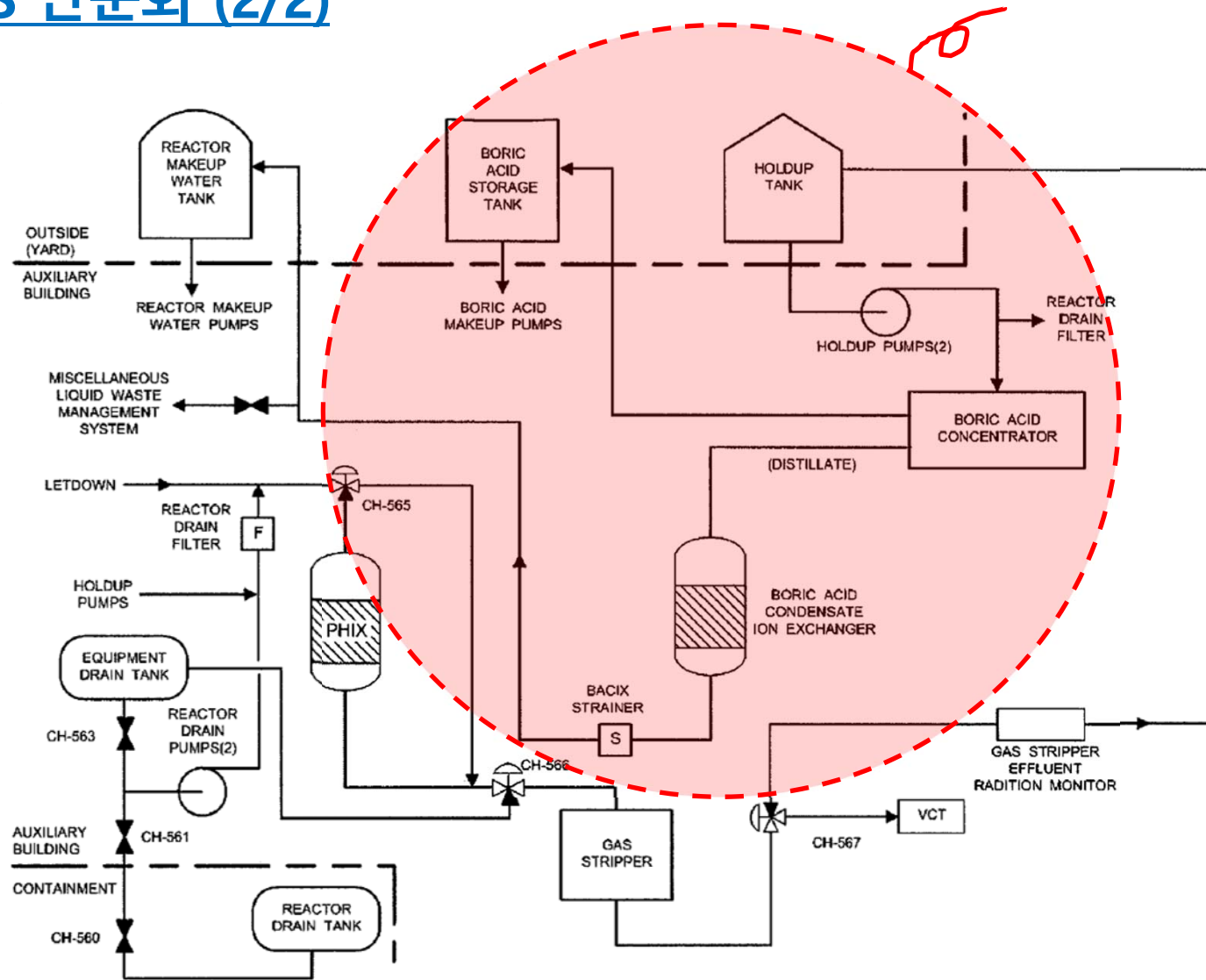
3. 봉산 노심 과 무봉산 노심 CVCS 설계관점 비교

설계특성	봉산 노심	무봉산 노심
특징	<ol style="list-style-type: none"> 1. 봉산관련 설비 필요 - BAC, BAMP, BAST 등 2. 원자로 냉각재에 이온 및 부식생성물이 순수에 비해 많고 봉산 유발 PWSCC (David Besse 원전 압력용기헤드 부식) 3. 봉산제거 이온교환기/리튬제거 이온교환기 필요 4. 봉산희석운전으로 액체/기체 폐기물 증대(레진 처리설비 필요) 5. 봉산희석사고 방지설비 필요(충전유량제한설비) 6. NSSS 주요기기에 봉산요건 추가로 내부식성 설계 및 제작/자료 입증필요로 기기비용증대 7. 수용성 봉산을 사용한 입증된 2차 독립반응도 제어계통 사용가능 8. 원자로 냉각재에 이온, 부식생성물이 많아 혁신적 정화설비 사용 불가능 9. CIPS(AOA) 발생증대, 장주기, 출력증강, 부하추종에 방해 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 봉산관련 설비 불필요로 CVCS 단순화 가능 2. 원자로 냉각재가 순수에 가깝고 Ph제어를 위해 알칼리이온 미량첨가로 정화대상물질이 적고 봉산유발 PWSCC없음 3. 봉산제거 이온교환기/리튬제거 이온교환기 불필요 및 BWR가 같은 필터와 IX가 결합된 Compact한 탈염기 사용가능 4. 봉산희석운전이 없어 액체/기체 폐기물 적음 5. 봉산희석사고 배제로 방지설비 불필요 6. NSSS 주요기기 비용 감소 예상 7. 2차 독립반응도제어기능 제거.-기계적 다른 2차 독립반응도제어계통 필요 8. 원자로 냉각재가 순수에 가까워 혁신적 정화설비 사용가능 9. CIPS(AOA) 발생, 장주기, 출력증강, 부하추종에 봉산노심보다 유리

CVCS 단순화 (1/2)



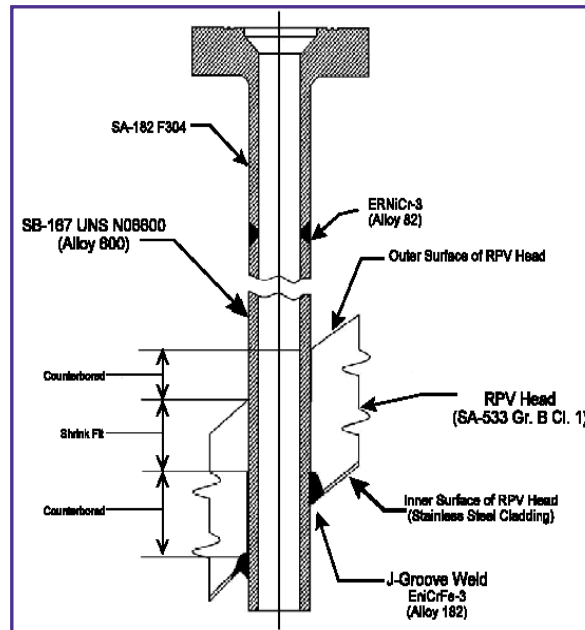
CVCS 단순화 (2/2)



붕산유발부식사례(1/2)

□ Davis Besse 발전소 원자로헤드 손상 ('02.3)

- 원인 : PWSC에 의한 관통부 균열 및 누설된 붕산수에 의한 부식으로 원자로 헤드 CEDM 노즐부위 손상
- 폭 4~5 inch, 깊이 6 inch 크기의 손상으로 모재 관통



4. 정부과제(핵심요소기술개발) 개요

과제명	무봉산 운전 계통설계 기술 및 적합소재 기술개발 (Development of Boron Free Operational Reactor System Design and Material Selection Technology)	
과제 목표	해외 원전 수출 및 신형로 개발 기술경쟁력 강화를 위한 무봉산운전 노심설계 및 원자로 계통설계 기술 확보	
과제 수행기간	2013.06.01~2018.05.31(5년)	
기술 성숙도(TRL)	3~4, 개념설계	
기술개발방향 및 전략	<ol style="list-style-type: none"> 1) 대형 및 중소형 가압경수로 차세대 노형개발에 활용될 핵심요소기술로서 혁신적인 무봉산운전 노심설계 기반기술을 확보 2) 주요 핵심분야별 원자력 전문기관 및 중소기업이 분담하여 시너지효과 있는 기술개발 3) 국내 원전설계 및 기술개발경험과 축적된 기술을 최대한 활용 4) 부족 기술에 대해서는 국내외 기술협력을 통한 기술 확보 	

4. 정부과제(핵심요소기술개발) 개요

기술개발 범위 및 내용

무봉산 운전 계통설계 기술 및 적합소재 기술개발



구성
요소
기술

원자로 계통설계 기반기술

- 무봉산 노심설계
- 무봉산 노심설계 코드체계구축
- 무봉산 수화학 관리지침 개발
- 무봉산 노심 안전/성능 평가

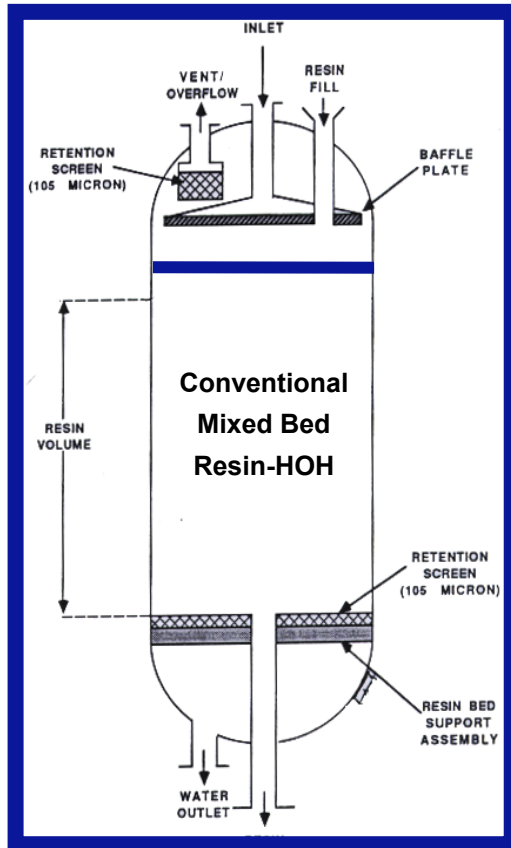
노심 제어 및 관리 기술개발

- 무봉산 노심 잉여 반응도 및 출력분포 제어/관리
- 독립적 다중 원자로정지계통 구축
- 무봉산 노심보호감시 관련 노내외 계측기 개발
- 부하추종운전 제어 논리 개발

장주기/장수명 재료 적합성 평가 기술개발

- 장주기 운전용 제어봉/가연성 중성자 흡수체 재료선정 기술
- 장수명 주요기기 재료 적합성 평가 기술

4-1. 정화설비 개선안: BWR 필터/레진 카트리지



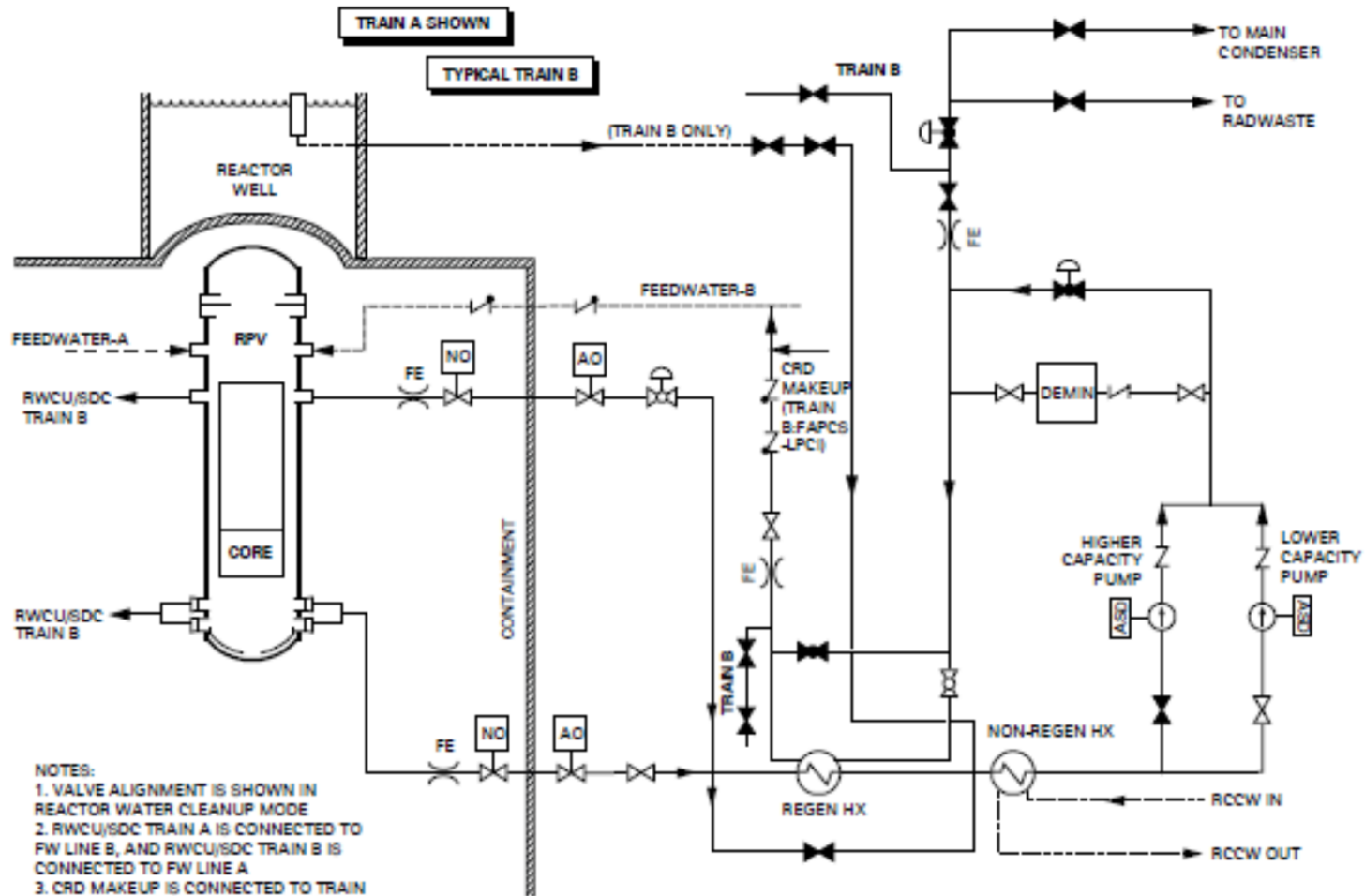
**PWR
Deep Bed Vessel
(Bead)**



**BWR
Precoat Filter/Demin
(Powdered)**

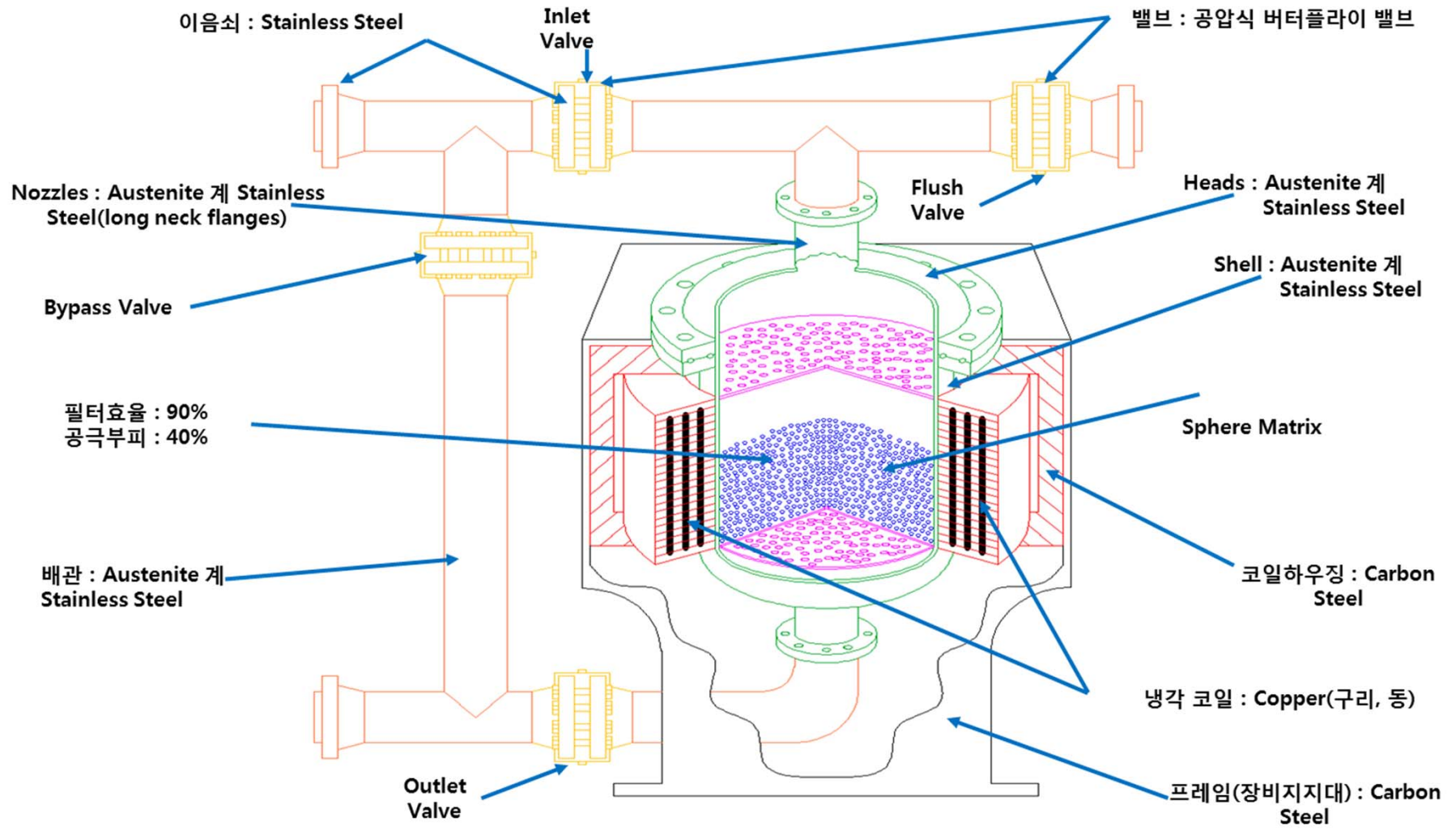
4-1. 정화설비 개선안: BWR 필터/레진 카트리지 적용사례

ESBWR



Reactor Water Cleanup/Shutdown Cooling System Schematic(RWCU/SDC)

4-1. 정화설비 개선안: EMF(Electro Magnetic Filter)-Ball Type



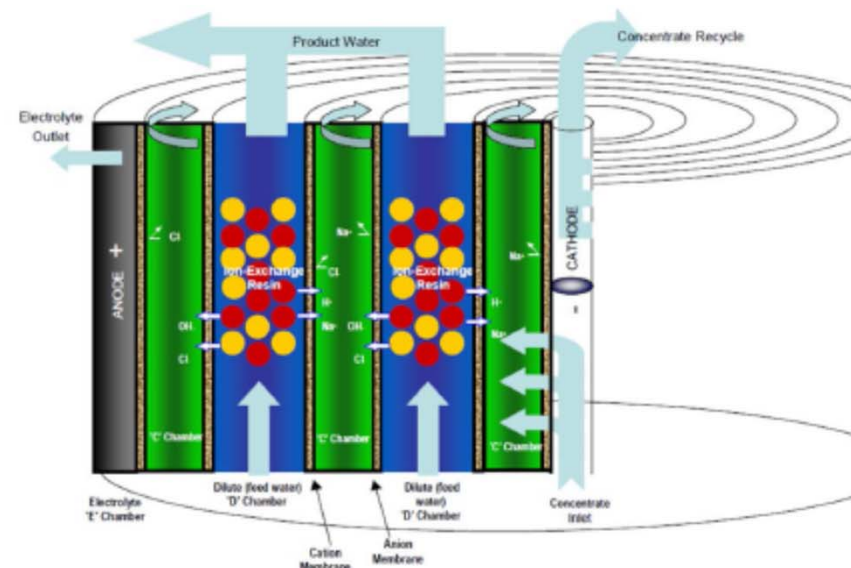
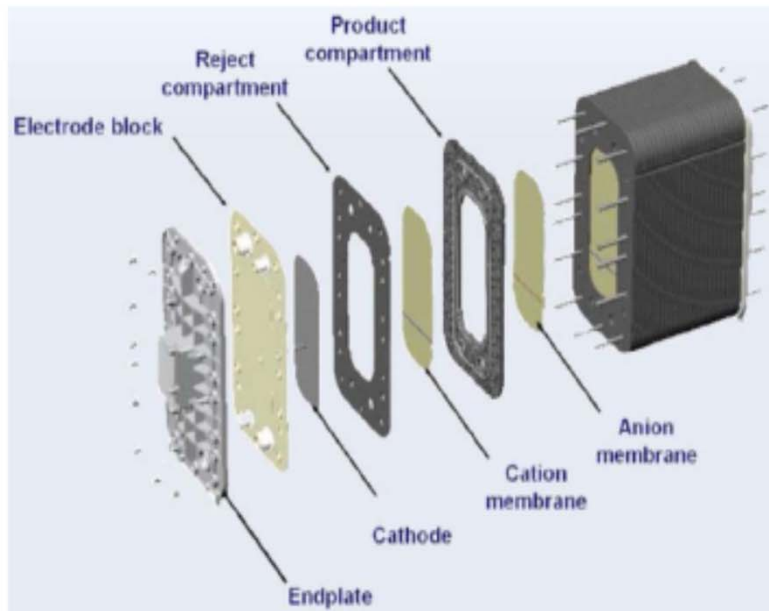
4-1. 정화설비 개선안: EMF 적용사례

독일 NPP

Power Plants	Reactors	Locations	Remarks
Stade (West Germany)	PWR (630 MWe)	S/G blowdown	Application
Neckarwesteim (West Germany)	PWR (1,269 MWe)	S/G blowdown	Application
Biblis (West Germany)	PWR (1,240 MWe)	S/G blowdown Feedwater	Application
ISAR-1 (West Germany)	BWR (900 MWe)	Feedwater	Reviewing (Ball type EMF)
Tullnerfeld (West Germany)	BWR	Feedwater	Reviewing
Gundremmingen (West Germany)	BWR (1,284 MWe)	Condensate Prefilter	Reviewing

4-1. 정화설비 개선안: EDI(Electro De-Ionization) Technology

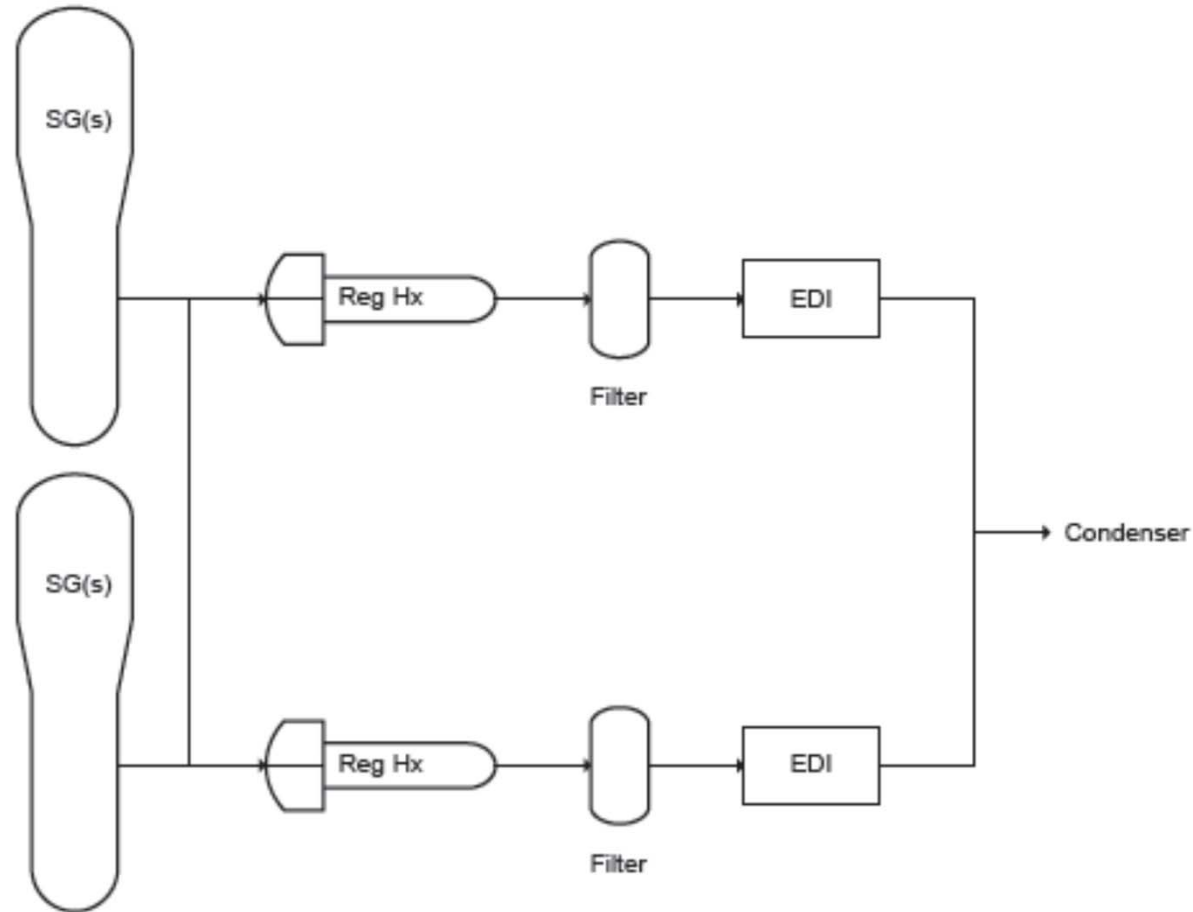
Two types of EDI modules are used in industry applications: **plate and frame units** and **spiral wound units**.



EDI is also used in other industries (e.g., for ultrapure water production).

4-1. 정화설비 개선안: EDI 적용사례

AP1000, Rinhals Unit 2(Sweden) SG Blowdown Purification System



4-1. 정화설비 개선안: Hollow Fiber Filtration(HFF)

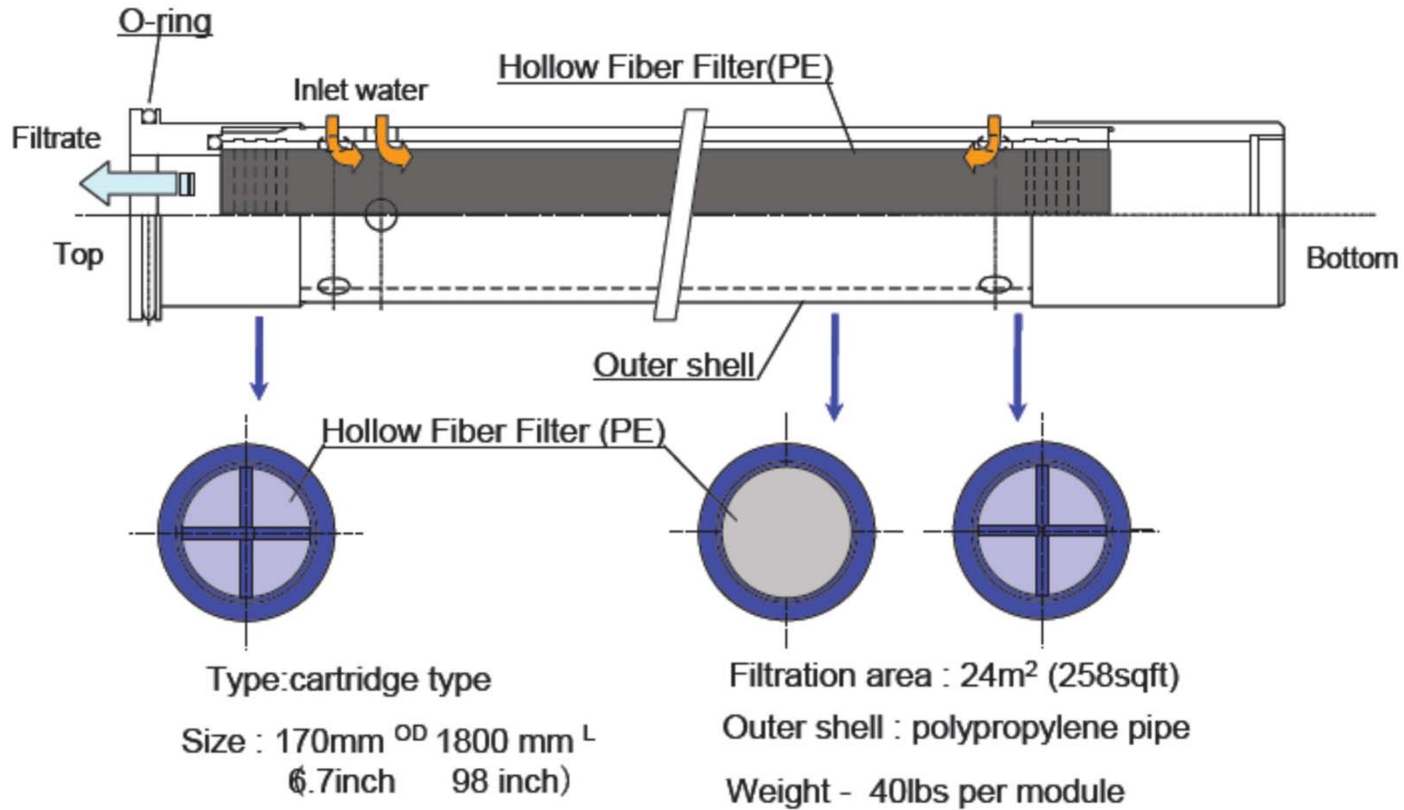


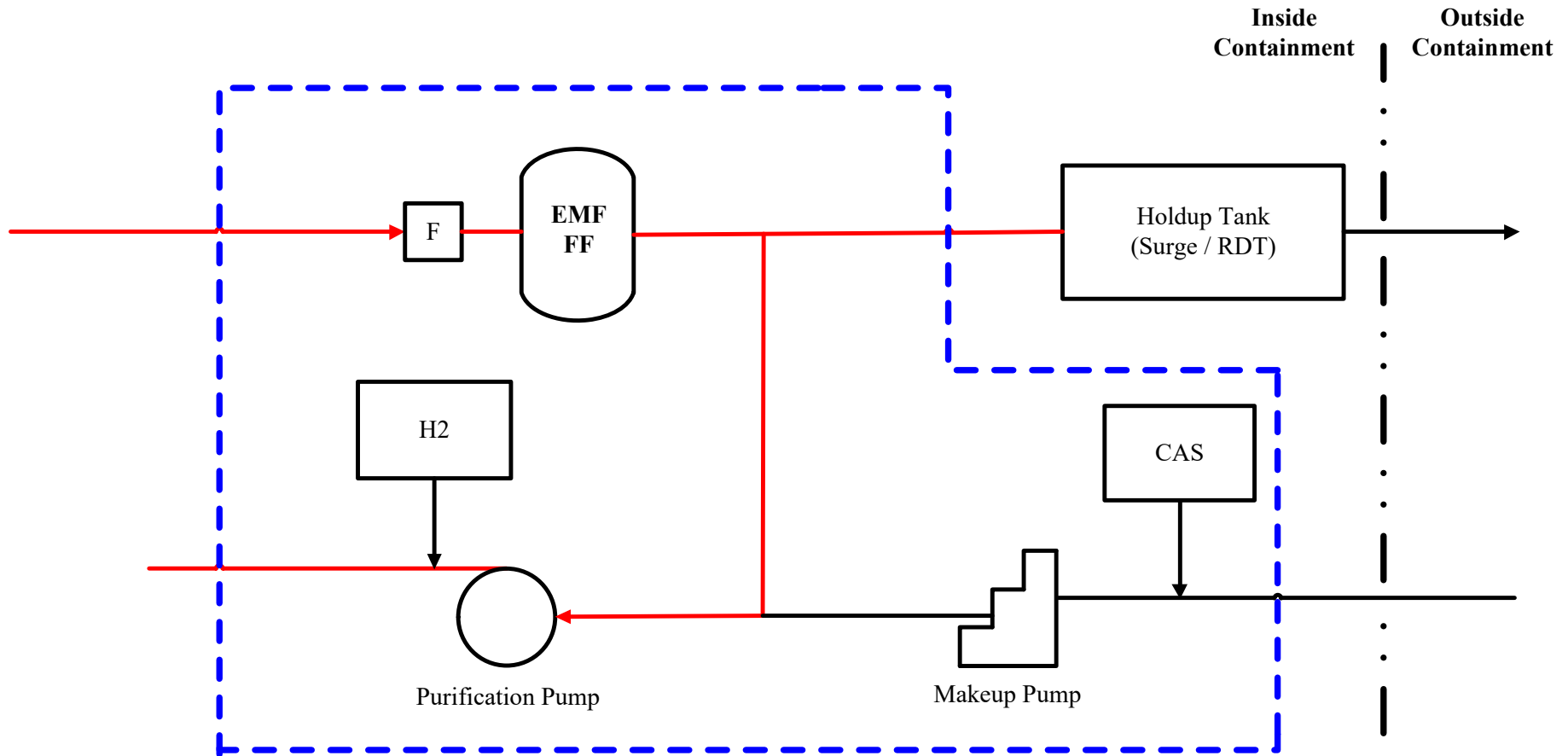
Figure 2-1
Typical Hollow Fiber Filter Design

5. SMR용 혁신형 CVCS 설계 안 및 비교

설계특성	고온/고압정화	저온/고압정화	저온/저압정화
장 점	<ol style="list-style-type: none"> 가장 단순 <ul style="list-style-type: none"> 감온(RGHX/LDHX)설비 및 감압설비(다단오리피스) 불필요 모듈로 공장제작/현장설치성(상) 단단충전펌프 사용가능으로 비용절감 	<ol style="list-style-type: none"> 비교적 단순 <ul style="list-style-type: none"> 감압설비(다단오리피스) 불필요 모듈로 공장제작/현장설치성(중) 단단충전펌프 사용가능으로 비용절감 레진을 안쓰는 입증된 상용로 SGBD계통 및 순수계통 정화설비 사용가능 감온설비추가 비용이 고온정화 설비보다 저렴 충전노즐 열피로 문제해결 	<ol style="list-style-type: none"> 대형상용로에서 입증된 설계 레진을 안쓰는 입증된 상용로 SGBD계통 및 순수계통 정화설비 사용가능 IX 및 필터 등이 CV밖에 설치되어 정비가 쉬움 배관 및 기기의 저압/저온 설계로 비용절감(감압비용저렴), 정화설비외 공용화유리 충전노즐 열피로 문제해결 VCT 설치로 펌프 NPSH 확보 및 가스관리 쉬움 단단Makeup펌프사용가능
단 점	<ol style="list-style-type: none"> 고온/고압정화설비개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> EMF 및 관련 세정설비 고온 이온성불순물 제거설비 배관 및 기기의 고압/고온 설계로 비용증대 충전노즐 열피로 문제 VCT제거 시 C-14증가 등 가스관리 어려움 CV안에 설치되어 기기보수 및 폐기물처리 어려움 고압Makeup 펌프 필요 	<ol style="list-style-type: none"> 감온(RGHX/LDHX)설비 추가필요: 판형열교환기 채택으로 비용최소화 및 공간축소 배관 및 기기의 고압/고온 설계로 비용증대 VCT제거 시 C-14증가 등 가스관리 어려움 : VCT 추가 고려 CV안에 설치되어 기기보수 및 폐기물처리 어려움 고압Makeup 펌프 필요 	<ol style="list-style-type: none"> 가장 복잡 <ul style="list-style-type: none"> 감온/감압설비 필요 이온교환기 및 레진사용으로 폐기물량 증대: 무붕산이기때문에 상기 장점 2항 적용가능 모듈로 공장제작/현장설치 어려움 고압충전펌프 사용으로 비용증대
적용노형	KLT-40S	AP1000/NuScale	OPR1000/APR1400

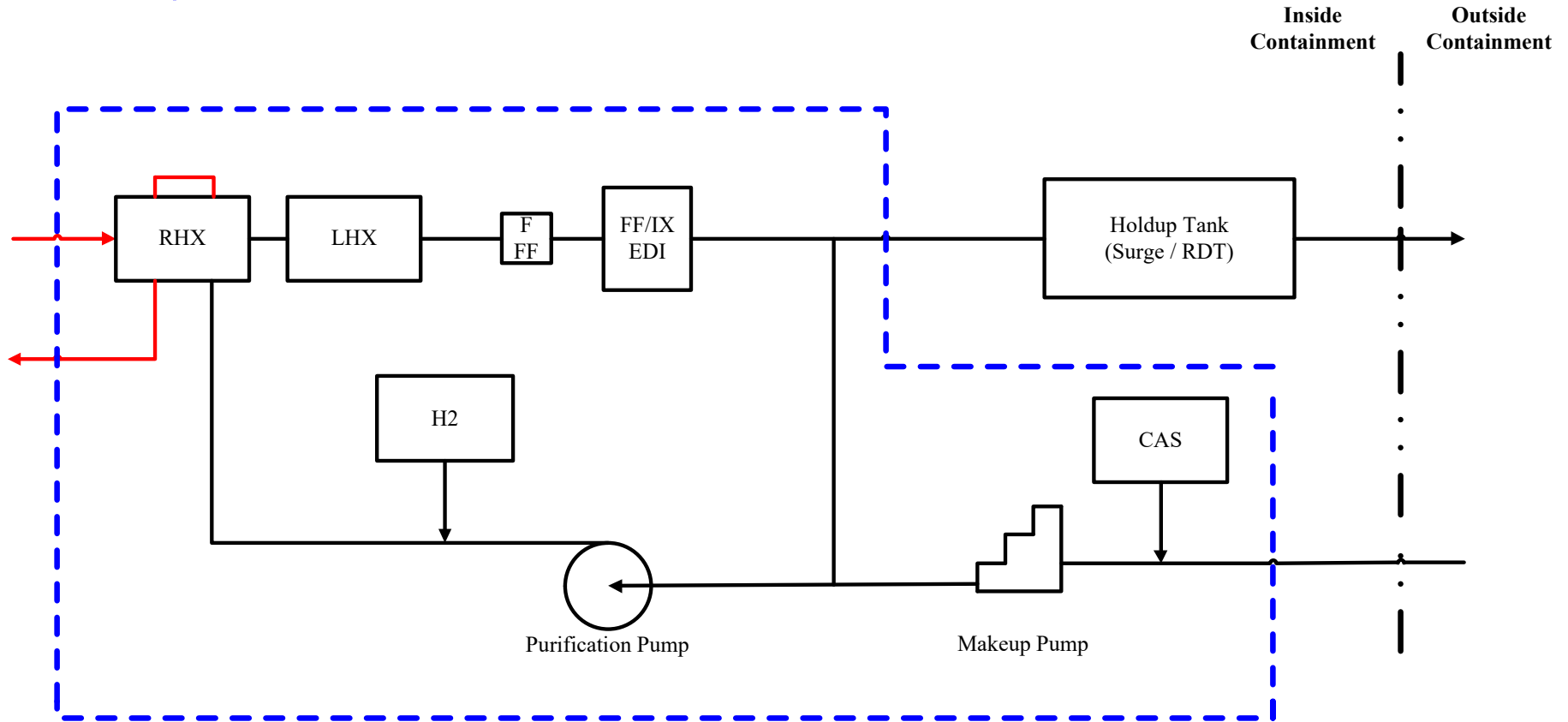
5. SMR용 혁신형 CVCS 설계 안 및 비교

고압/고온정화



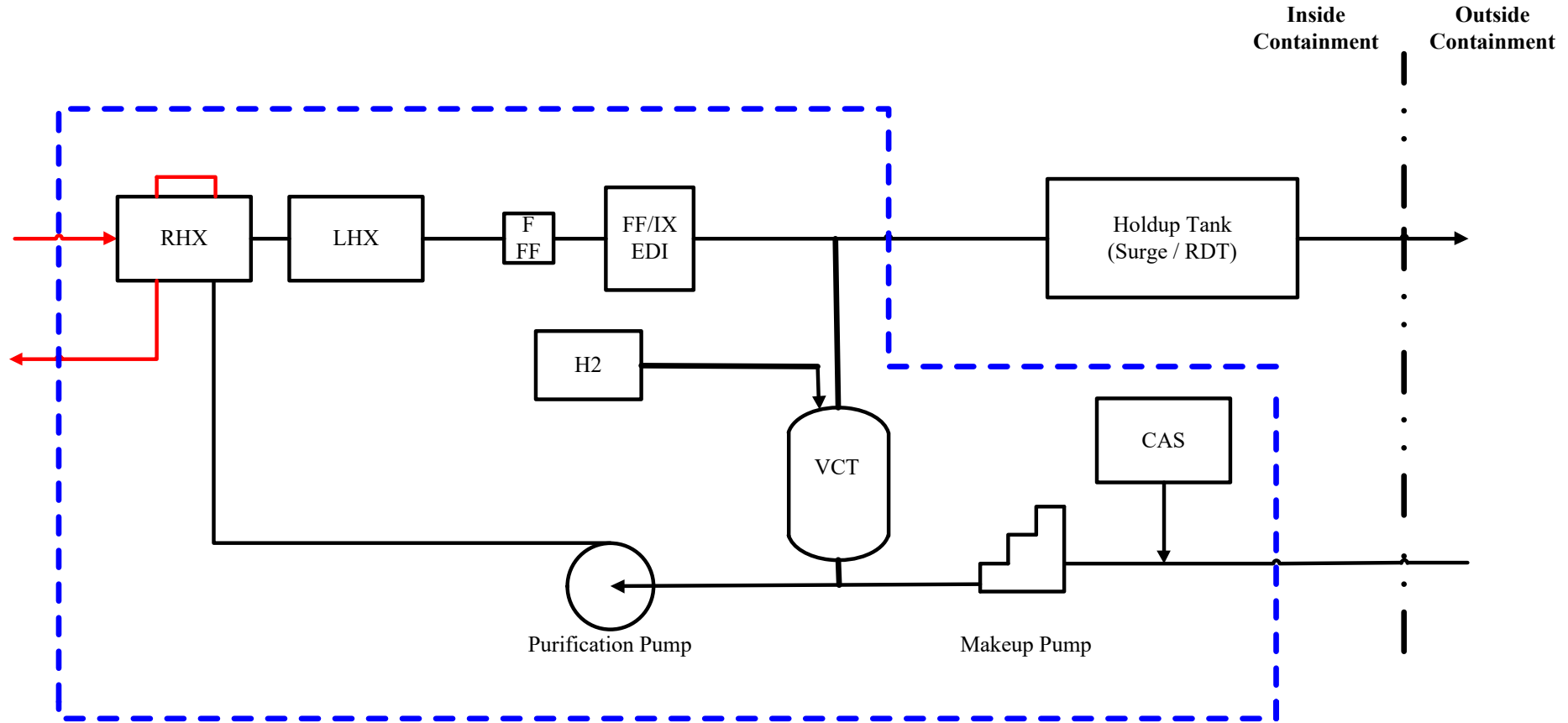
5. SMR용 혁신형 CVCS 설계 안 및 비교

고압/저온정화-1



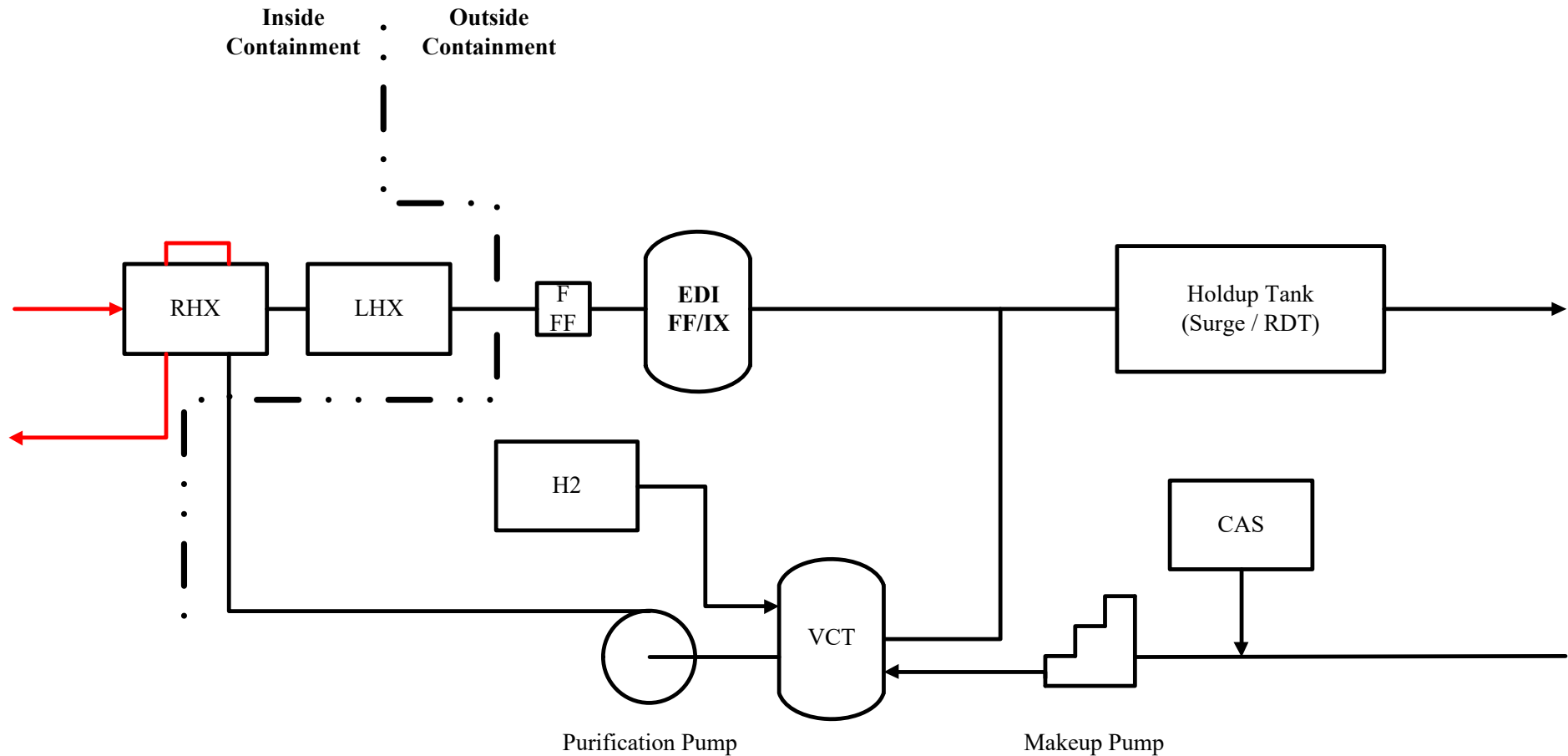
5. SMR용 혁신형 CVCS 설계 안 및 비교

고압/저온정화-2



5. SMR용 혁신형 CVCS 설계 안 및 비교

저압/저온정화



6. 결론

1. 무봉산 기술적용 CVCS 단순화(봉산관련설비 제거 등)
2. 정화계통은 이온교환기 레진을 대체하여 단순화/소형화/폐기물 을 저감하는 혁신개념 적용추진(미세필터, EDI, 나노레진, ESBWR의 필터/이온교환기/스트레이너 일체형 등에 대한 적용성 검토 및 최적 정화설비 개발 및 성능입증)
3. 재생열교환기 및 유출열교환기는 판형 열교환기 적용 크기 축소
4. 모듈 제작 기술개발 및 최적위치선정
 - 공장제작/현장설치/고압배관 최소화
 - 필터/정화기기 원격교체시스템(자동화/로봇시스템) 개발
5. 체적제어탱크(VCT) 제거 시 영향평가 및 가능성 검토, 고압VCT설 계 가능성검토
6. 시료채취계통 자동화 도입
7. 최적 탈기 방안 수립 및 개발(진공탈기, 증발식 탈기, Deaerator 등)
8. NuScale CVCS 대비 경제적 /기술적 경쟁력 확보

감사합니다