

2021 추계학술발표회

APR1000 Boron Dilution Prevention System (BDPS) Concept Design (APR1000 자동 붕소희석방지계통 개념 설계)

한국전력기술
계측제어설계그룹
전성현

shcheon@kepco-enc.com



목 차

1 개요

2 APR1000에서의 붕소희석사건 경향

3 요 건

4 자동 붕소희석방지계통

5 결 론

1. 개요



● 배경

- 붕소 희석 시 붕소희석경보계통 (Boron Dilution Alarm System, BDAS) 이
용 OPR1000 원전 15분, APR1400 원전 30분 운전원 조치 시간 요건 만족
- APR1000 원전
 - 원자로냉각재계통 (Reactor Coolant System, RCS)용량이 APR1400 원전
에 비해 축소
 - EUR Rev. E은 30분 운전원 조치 시간 확보 요구
 - BDAS를 통한 대응 시 운전원 적시 조치 준수 어려움
- 붕소 희석 상황하에서 적시에 적절한 대응을 할 수 있도록 붕소희석방지
신호를 자동으로 발생시키는 독립 계통 신설 필요
 - 자동 붕소희석방지계통 (Boron Dilution Prevention System, BDPS)

● 목적

- 붕소 희석 상황 시 운전원의 조치 없이 적절한 동작이 자동으로 수행될 수 있도록
BDPS를 이용하는 방안을 제시

2. APR1000에서의 붕소희석사건 경향



● OPR1000 & APR1400:

- 비안전등급 BDAS가 붕소희석사건을 탐지하여 운전원에 경보 제공
- OPR1000: 사건 발생 알리는 경보 시점과 임계도달시점의 시간 차이가 운전원 조치 시간 15분 이상으로 확보
- APR1400: RCS 용량이 커짐에 따라 운전원 조치 시간 30분 이상으로 확보

● APR1000

- APR1400 대비 RCS 용량 축소
- 유럽 사업자 요건 EUR Rev. E 인증이 목표
- EUR Rev. E: 사건 시 운전원 조치 시간을 MCR 내 30분, MCR 외 60분 확보 요구
- 붕소희석사건 해석 결과, RCS 용량이 줄어 30분 보장 안 됨
- 사건 발생 30분 이내 미조치 시 임계 도달.
- 운전원 30분 요건에 제한 받지 않는 자동화 설계 필요

3. 요건



- **EUR Rev. E 2.1.6.7.1**

- *... autonomy objectives: the release targets of AOOs and Accident Conditions shall be met without Operator action in the MCR during the first 30 minutes from the first significant signal, ...*
 - 사고 신호로부터 처음 30분 내에 MCR에서 운전원의 조치 없이 자동화로 조치 되어야 함

- **EUR Rev. E 2.1.4.2.2**

- *Safety Class 1 SSCs shall be credited in Anticipated Operational Occurrences and Design Basis Accidents to reach the Controlled State.*
- *Safety Class 2 SSCs may also be credited.*
 - AOO 대응 설비는 안전 등급으로 설계 해야 함

- **cf. BNPP APR1400**

- BDAS가 현지 규제 기준 FANR-REG-03에 따라 비안전등급에서 안전등급으로 상향

4. 자동 붕소 희석 방지 계통



● 자동 붕소 희석 방지 계통

- 부주의한 붕소 희석 사건 발생 상황에 대응하는 계통
- 요구 시 원자로 보충수 격리 밸브를 닫아 노심 반응성 감소시키도록 설계

● 분류 및 등급

- AOO 이후에 발전소를 안전 상태로 도달시키기 위해 요구되는 기능
- 기능 미수행 시 연료 피복의 무결성 및 1차 계통의 과압 보호 상실하는 결과 초래
 - 계통은 안전 등급으로 설계 해야 함
 - 관련 SSC 또한 안전 등급으로 설계 해야 함

● 단일고장요건

- EUR Rev. E 2.1.5.1.5에 따라 단일고장요건 만족 설계

4. 자동 붕소희석방지계통 - 유체



● 화학 및 체적제어계통

➤ APR1000- BDAS 사용 시

- 기동영역감시 비율 경보설정치 (Startup Range Monitoring Ratio, SRM Ratio)를 크게 하향 조정 필요
 - 관련 I&C 계통 불확실도 허용 수준 초과 야기: 조정 불가
- 설정치를 하향 조정하지 않고, EUR Rev. E 요건을 만족하기 위해 자동으로 충전 유량 밸브를 닫는 신호를 발생시키는 BDPS를 채용 필요

4. 자동 봉소희석방지계통 - 계측



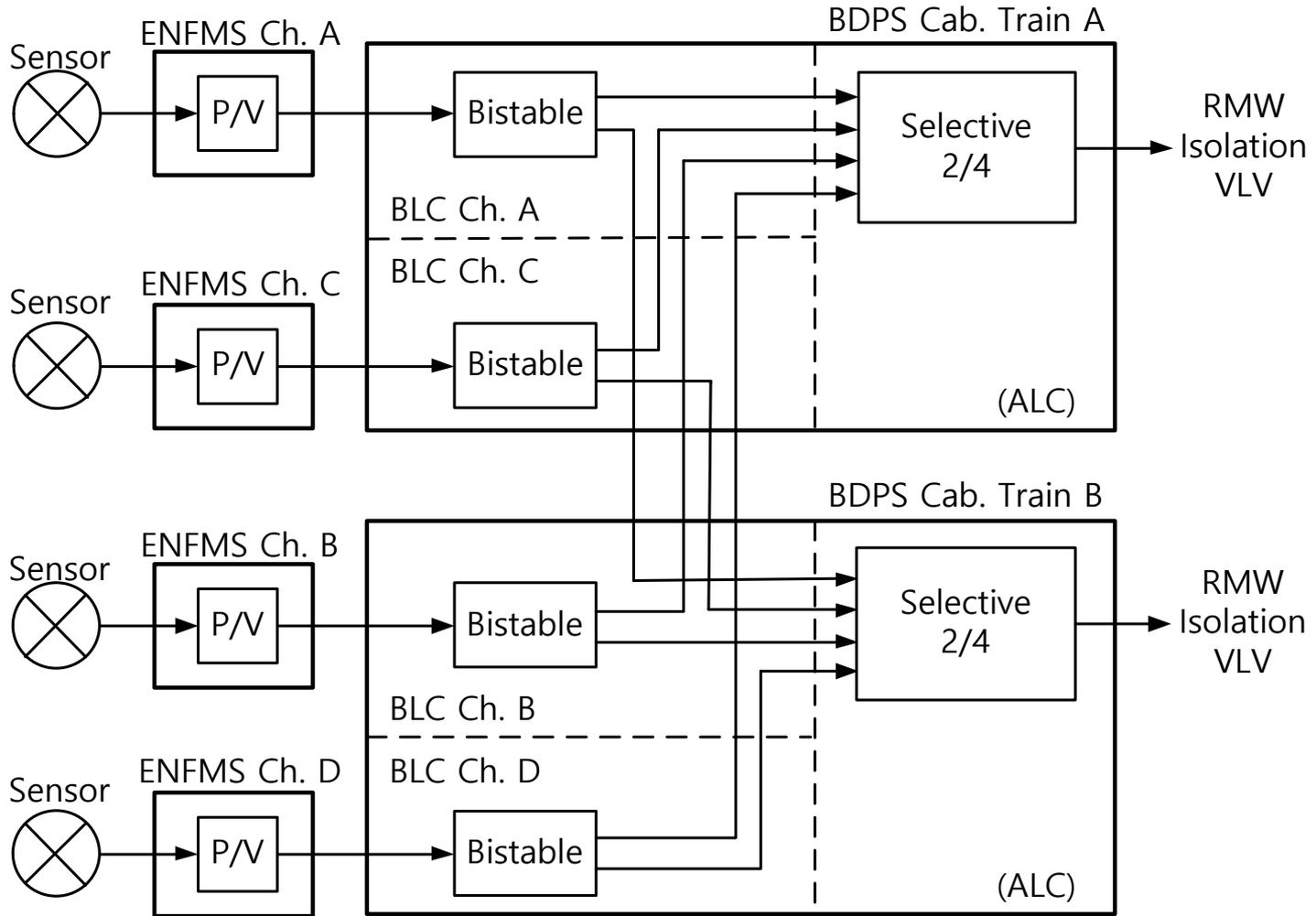
● 입력

- 노외중성자속감시계통 (ENFMS)의 기동 영역 채널 (start-up CH) 중성자속 상승률
- 기동 영역 중성자속 상승률이 가변설정치 초과 시 BDPS 한 채널 개시 신호 발생

● 구성

- 단일고장요건을 고려하여, ENFMS 기동 영역 네 채널 입력 중, 두 채널이 동시에 개시 조건을 만족 시 BDPS 개시 신호 발생
- MCR에서 수동으로 또는 원자로 트립 시 BDPS 개시 신호 발생 기능
- 발전소 기동 및 정지 시 불필요한 트립 방지를 위한 운전 우회 기능
- 유지보수 목적을 위한 채널 우회 기능

4. 자동 봉소희석방지계통 - 계측



ALC: Actuation Logic Circuit
 BLC: Bistable Logic Circuit

4. 자동 붕소희석방지계통 - 계측



- **공통원인고장 (Common Cause Failure, CCF)**

- BDPS는 소프트웨어 없이 하드웨어 기반 설계
- 안전등급 계측제어계통 소프트웨어 CCF 가능성 배제

- **BDAS**

- BDAS의 경보 기능은 BDPS의 일부로 편입
- APR1000에 별도 BDAS 설계 불필요

5. 결론



- EUR Rev. E에서는 사고 이후 30분간 MCR에서 운전원의 조치 없이 안전성 확보 요구
- APR1000에서 AOO로 분류되는 붕소 희석에 대한 해석 결과는 BDAS만으로는 EUR Rev. E의 30분 운전원 요건을 만족하지 못함: 자동 동작하는 BDPS 신설을 통한 해결 제안
- 붕소 희석 발생 시 운전원의 수동 조치 부담 경감
- 자동화된 BDPS는 붕소 희석 시의 운전원 부담과 임계 가능성을 줄여, 원전의 안전성에 기여