

OPR1000 노심보호연산기계통 전면개선 기술개발

2019. 10. 23

김창호

(kimch@kepco-enc.com)

원자로설계개발단 계측제어설계그룹

목 차



1. 과제 개요

2. 과제 수행 필요성

3. 전면교체 경제성 분석

4. 과제 수행 방안

5. 현안 사항 및 기타



1. 과제 개요

1. 과제 개요

❖ 노심보호연산기계통 설치 현황

Concurrent Computer 기반 노심보호연산기계통 (CPCS)

한빛 3,4,5,6, 한울 3,4,5,6 호기

Common Q 기반 노심보호연산기계통 (CPCS)

신고리/신월성1,2호기, 신고리 3,4호기

POSAFE-Q 기반 원자로노심보호계통 (RCOPS)

신한울1,2호기, 신고리 5,6호기

❖ 노심보호연산기계통 관련 국내외 기술 현황

- 원전 디지털 안전계통 적용 안전등급제어기기는 ABB의 AC160, 지멘스의 Teleperm XS, Invensys의 Triconex가 있음
- WEC는 ABB사의 AC160을 검증하여 **Common Q 기반** 노심보호연산기계통을 개발
 - ✓ 미국 Palo Verde 원전 노심보호연산기계통을 Common Q 기반으로 전면 개선함 (2003-2004년)
 - ✓ 미국 Waterford 원전 노심보호연산기계통을 Common Q 기반으로 전면 개선계약 (2019년 7월)
- 정부주도로 국내 산학연이 공동 개발한 **POSAFE-Q 플랫폼은** 안전등급 제어기기로 국내 인허가 승인을 득하였고(2010년) 신한울 1,2호기부터 발전소보호계통, 원자로노심보호계통 등의 안전계통에 적용하고 있음

1. 과제 개요

❖ Concurrent Computer 기반 노심보호연산기계통 문제점

- Concurrent Computer (CC)는 1980년대 초반의 컴퓨터 장비로써 주요 부품이 단종된 상태이거나 대체부품의 인허가에 애로를 겪고 있음
- 국내 표준형 원전에 적용된 CC 기반 노심보호연산기계통은 단일고장에 취약하며 다수의 정지 사례가 있음. 이는 CC 기반 노심보호연산기계통의 구조적 취약성에서 기인한 것임
- 이와 같은 문제점 해결을 위해 국내 표준형 원전에 적용된 CC 기반 노심보호연산기계통의 설비 개선 필요



2. 과제 수행 필요성

2. 과제 수행 필요성

❖ 표준형 원전 노심보호연산기계통 신뢰성/안전성 강화 기술 개발 필요성

- 최신 규제요건 및 기술기준에 부합하는 디지털 안전등급 설비의 적용으로 원전의 신뢰성 및 안전성 제고
- 단일고장에 의한 원자로 정지 가능성 최소화하여 원전의 사회적, 국민적 불안감 해소
- 인허가성 및 운전이력이 확보된 POSAFE-Q 국산화 플랫폼 적용으로 안정적이고 합리적인 예비품 공급을 통한 경제성 향상
- 짧은 원전유지보수 기간 중 교체를 대비한 기술개발을 통한 현장 경험 반영, 기술적 애로사항 검토, 인허가 대비 등 사전 준비가 필수
- 국내 적용 실적을 바탕으로 해외 원전 계측제어계통 교체사업에 진출할 수 있는 기반 마련
 - ✓ 다수의 해외 웨스팅하우스사가 공급한 CE형 발전소의 노심보호연산기계통 설비개선 가능

2. 과제 수행 필요성

□ 노심보호연산기계통 캐비닛 구성 (Concurrent 기반, 한빛/한울 3,4,5,6)

CHANNEL A		CHANNEL B		CHANNEL C		CHANNEL D	
RCPSSSS SIGNAL PROCESSOR	IVMS ISOLATORS	RCPSSSS SIGNAL PROCESSOR	IVMS ISOLATORS	RCPSSSS SIGNAL PROCESSOR	IVMS ISOLATORS	RCPSSSS SIGNAL PROCESSOR	IVMS ISOLATORS
I/O CHASSIS #1		I/O CHASSIS #1	I/O CHASSIS #3	I/O CHASSIS #1	I/O CHASSIS #3	I/O CHASSIS #1	
I/O CHASSIS #2		I/O CHASSIS #2	I/O CHASSIS #4	I/O CHASSIS #2	I/O CHASSIS #4	I/O CHASSIS #2	
TEST PANEL	PWR PANEL	TEST PANEL	PWR PANEL	TEST PANEL	PWR PANEL	TEST PANEL	PWR PANEL
CPOIA TRANSMITTER	CPOIA TRANSMITTER	CPOIA RECEIVER	CPOIA RECEIVER	CPOIA RECEIVER	CPOIA RECEIVER	CPOIA TRANSMITTER	CPOIA TRANSMITTER
CONSOLETTTE		CONSOLETTTE	CONSOLETTTE	CONSOLETTTE	CONSOLETTTE	CONSOLETTTE	
CPC/CPU		CPC/CPU	CEAC/CPU	CPC/CPU	CEAC/CPU	CPC/CPU	
SIGNAL CONDITIONING CHASSIS #1		SIGNAL CONDITIONING CHASSIS #1	SIGNAL CONDITIONING CHASSIS #2	SIGNAL CONDITIONING CHASSIS #1	SIGNAL CONDITIONING CHASSIS #2	SIGNAL CONDITIONING CHASSIS #1	
15V VDC DUAL P/S	5V VDC P/S	15V VDC DUAL P/S	5V VDC P/S	15V VDC DUAL P/S	5V VDC P/S	15V VDC DUAL P/S	5V VDC P/S
BLOWER	BLOWER	BLOWER	BLOWER	BLOWER	BLOWER	BLOWER	BLOWER

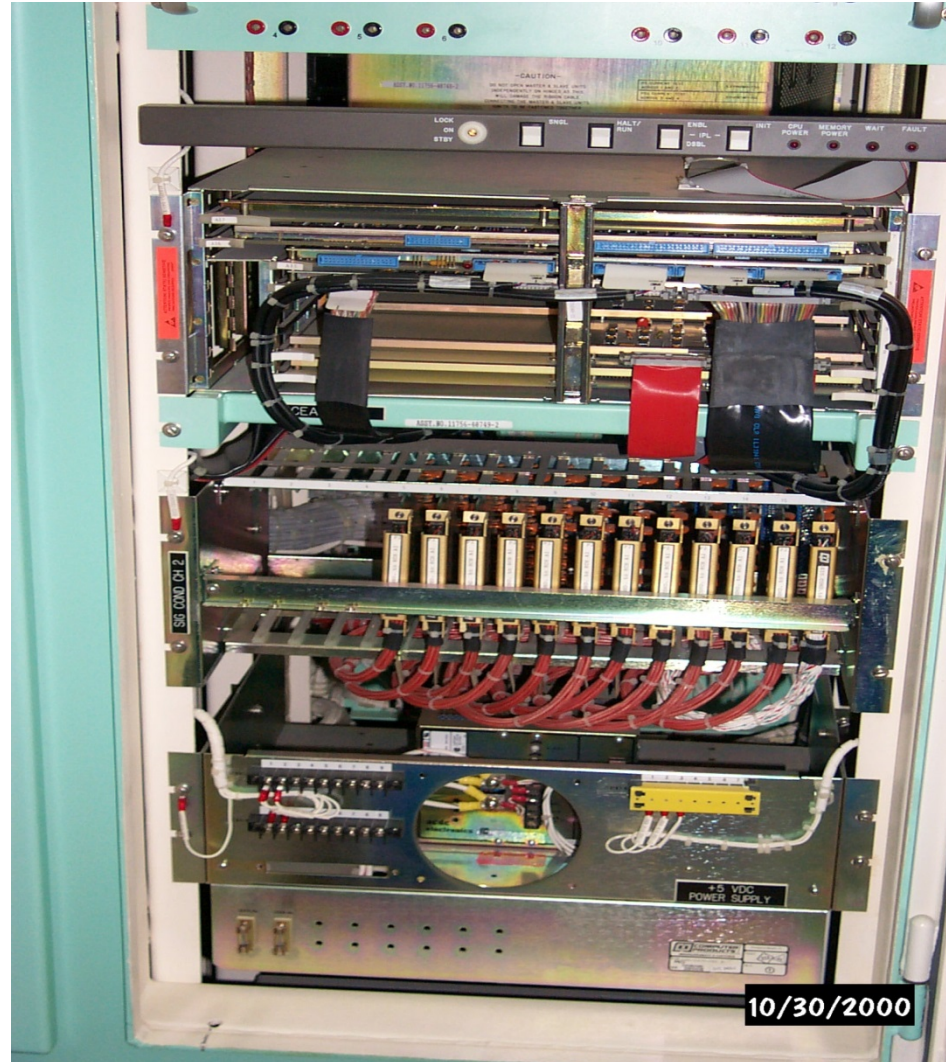
2. 과제 수행 필요성

□ 노심보호연산기계통 (Concurrent 기반, 한빛/한울 3,4,5,6)

Concurrent Computer Corp.
Model 3205

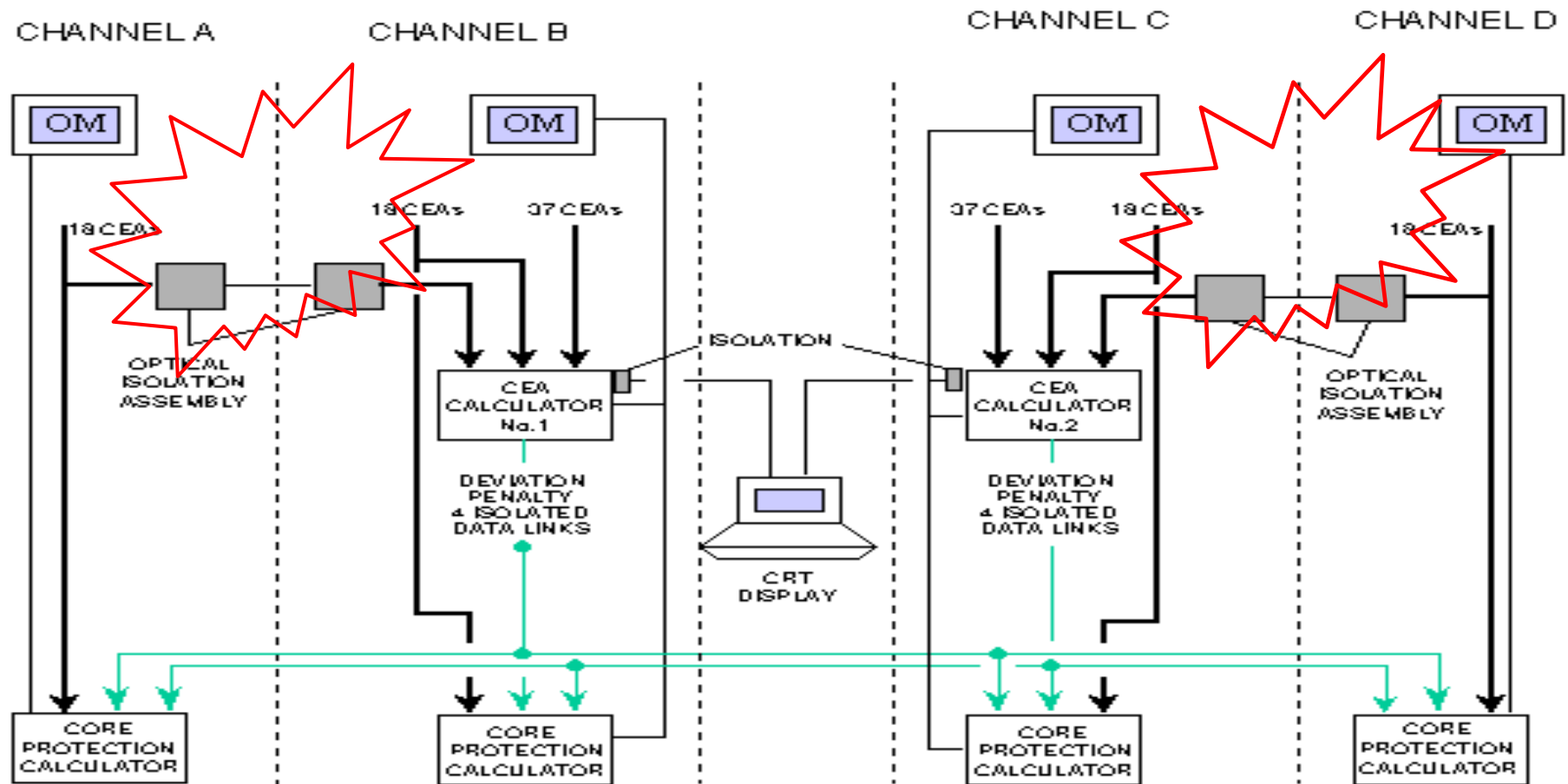
Computer Products Inc.
I/O Card

Assembly language



2. 과제 수행 필요성-단일 고장 영향

❖ CPOIA 고장 (모뎀, 케이블, 전원공급기 포함)



* NOTE : ——— DIGITAL SIGNAL
———— ANALOG SIGNAL

2. 과제 수행 필요성-단일 고장 영향

❖ CPOIA 고장 (모뎀, 케이블, 전원공급기 포함)

➤ 개수 : $18 \times 2 \times 2 = 72$ 개

➤ 1개 고장 시 영향

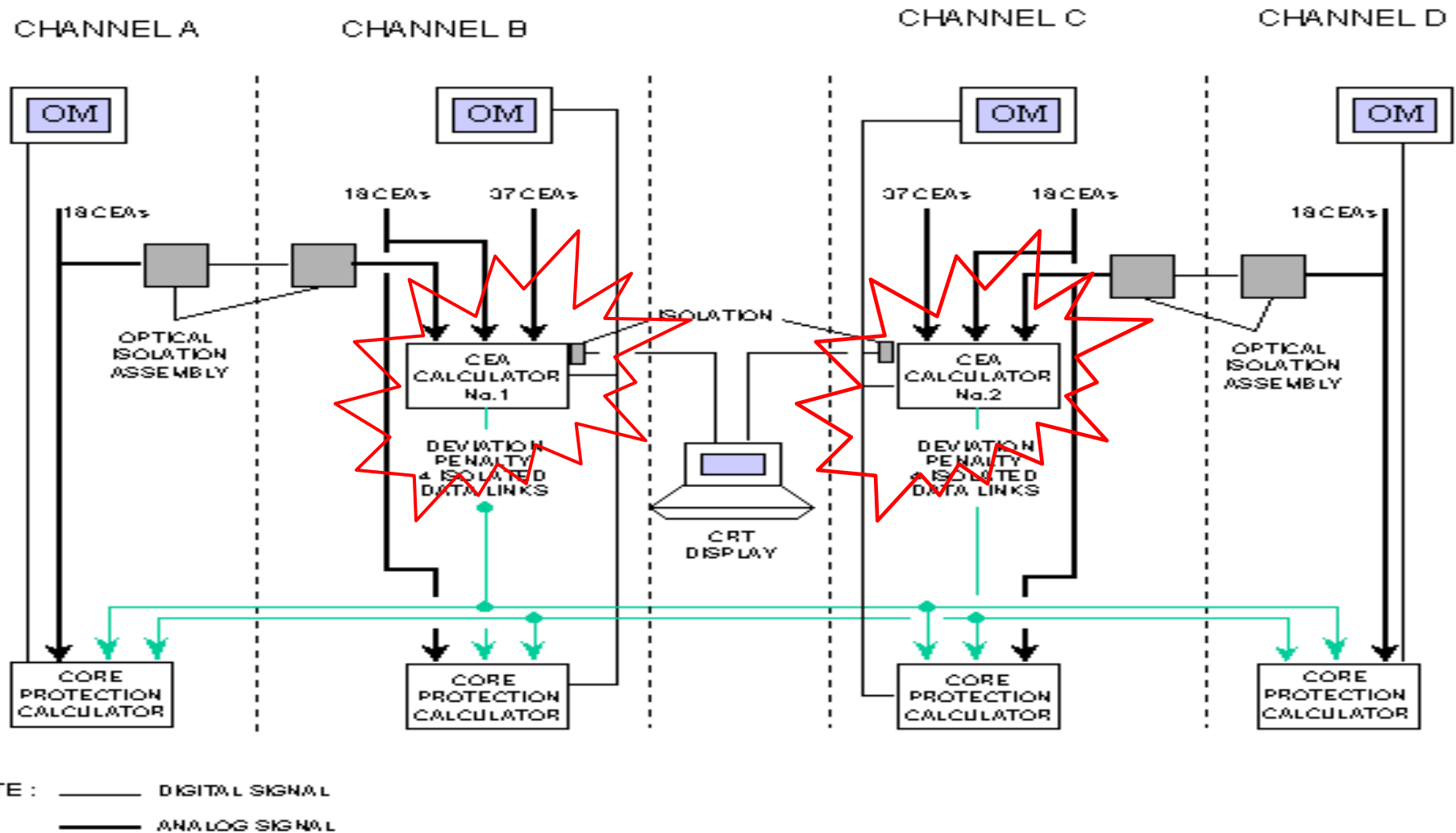
✓ 발전소정지 => 출력감소 (12발과제)

➤ 부품 단종에 따른 재고 부족 가능

✓ 모뎀(케이블) 수명기간 10년 : $72 \times 2 = 144$ 개 필요함

2. 과제 수행 필요성-단일 고장 영향

❖ CEAC 고장



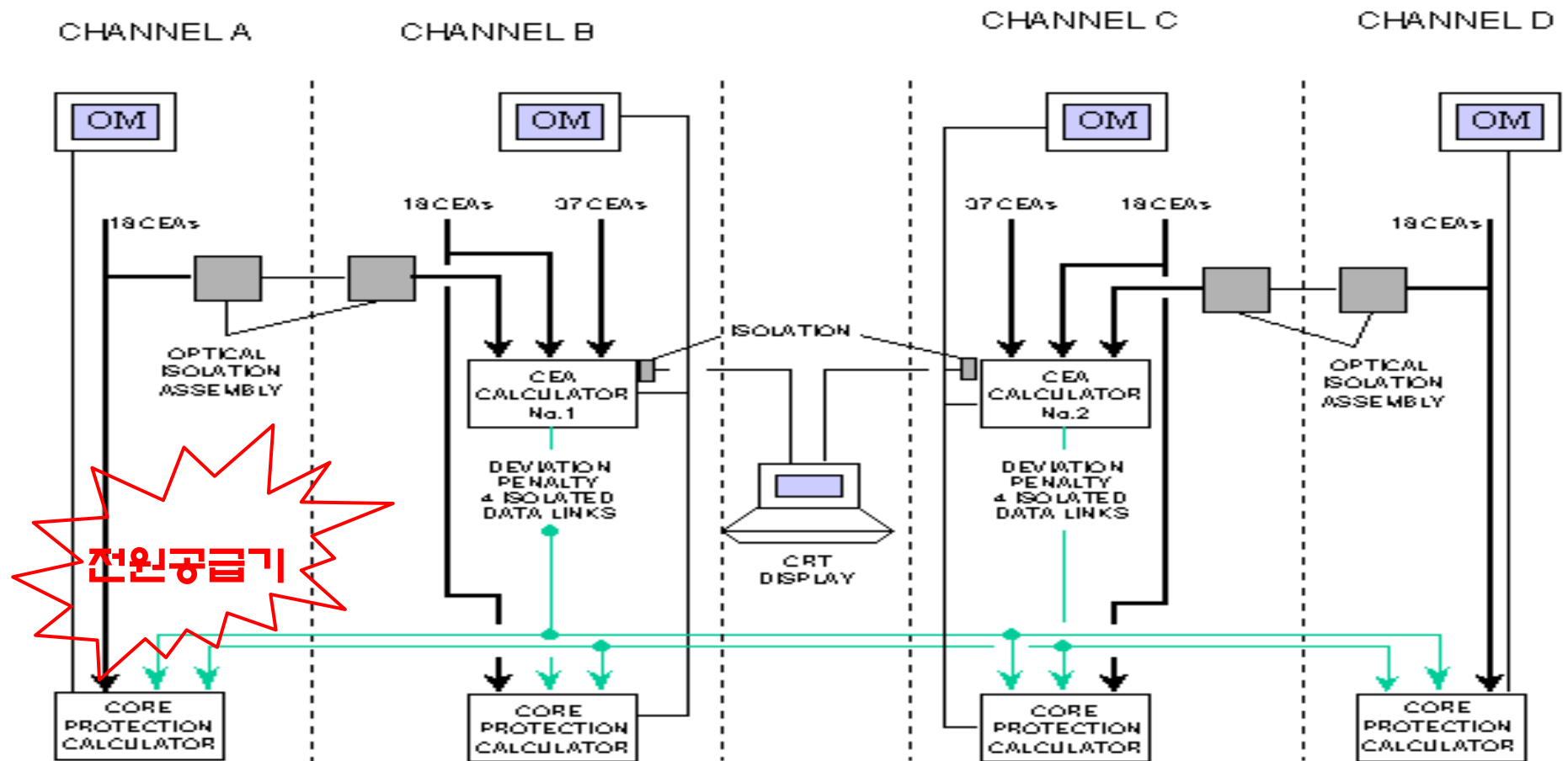
2. 과제 수행 필요성-단일 고장 영향

❖ CEAC

- 개수 : 2대/전체 채널
- 1대 고장 시 영향
 - ✓ CEANOP : 1 또는 2로 설정 (TS 조치사항)
 - ✓ 나머지 CEAC 한 대로 운전
- CEAC 한 대 고장 시 운전에 부담 증가됨

2. 과제 수행 필요성-단일 고장 영향

❖ 전원공급기 고장



* NOTE : ——— DIGITAL SIGNAL
———— ANALOG SIGNAL

2. 과제 수행 필요성-단일 고장 영향

❖ 전원공급기 고장

➤ 종류 :

- ✓ I/O 5V (6개),
- ✓ I/O $\pm 15V$ (6개)
- ✓ AUX 5V (4개) 단일형

➤ 1대 고장 시 영향

- ✓ 채널 트립 발생, 발전소정지 가능
- ✓ 전원공급기의 Capacitor의 노화에 따른 주기적 교체 필요
- ✓ 부품 단종에 따른 재고 부족

2. 과제 수행 필요성 -기기 단종 영향

❖ 가동원전 현장 용역 요청 현황 (CPCS)

발전소	제목	설계역무담당자
한빛, 한울	노심보호연산기계통 입출력 전원공급기 이중화	계전설계팀
한빛, 한울	노심보호연산기계통(CPCS) 광모뎀 모델 (CPOIA) 변경	계전설계팀
한빛, 한울	노심보호연산기계통(CPC/CEAC) AI CARD 업그레이드	계전설계팀

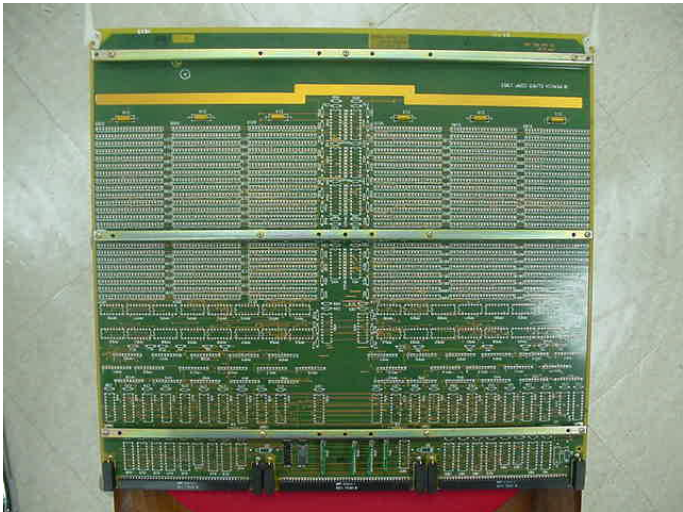
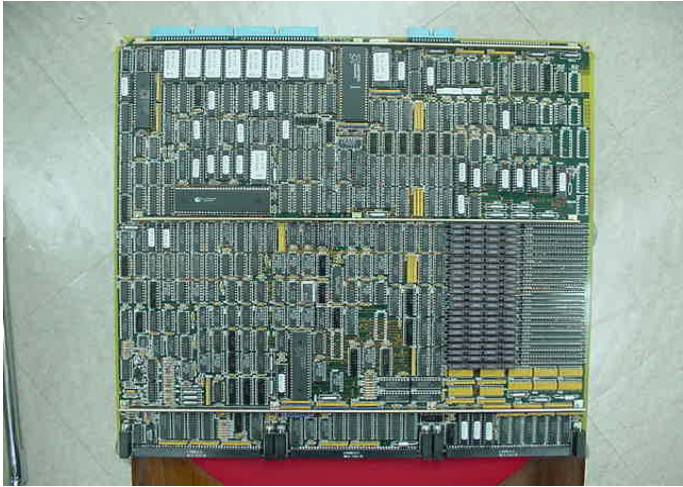
2. 과제 수행 필요성 -기기 단종 영향

❖ 교체항목 및 주요 이슈

- 노심보호연산기계통 **입출력 전원공급기 이중화**
 - ✓ 기기검증 (내진검증, EMI)
- 노심보호연산기계통(CPCS) **광 모뎀 모델변경**
 - ✓ SMA 타입에서 ST 타입 변경 : 성능 문제점 발견
- 노심보호연산기계통(CPC/CEAC) **AI CARD 교체**
 - ✓ 기존 모델 단종 (RTP Korea) : 새 모델 인허가 어려움
- **각종 보드 교체 (CPU, MPC, MACRO 보드 단종)**
 - ✓ 국내 중소기업체 신형개발 : 성능 검증, 인허가 어려움

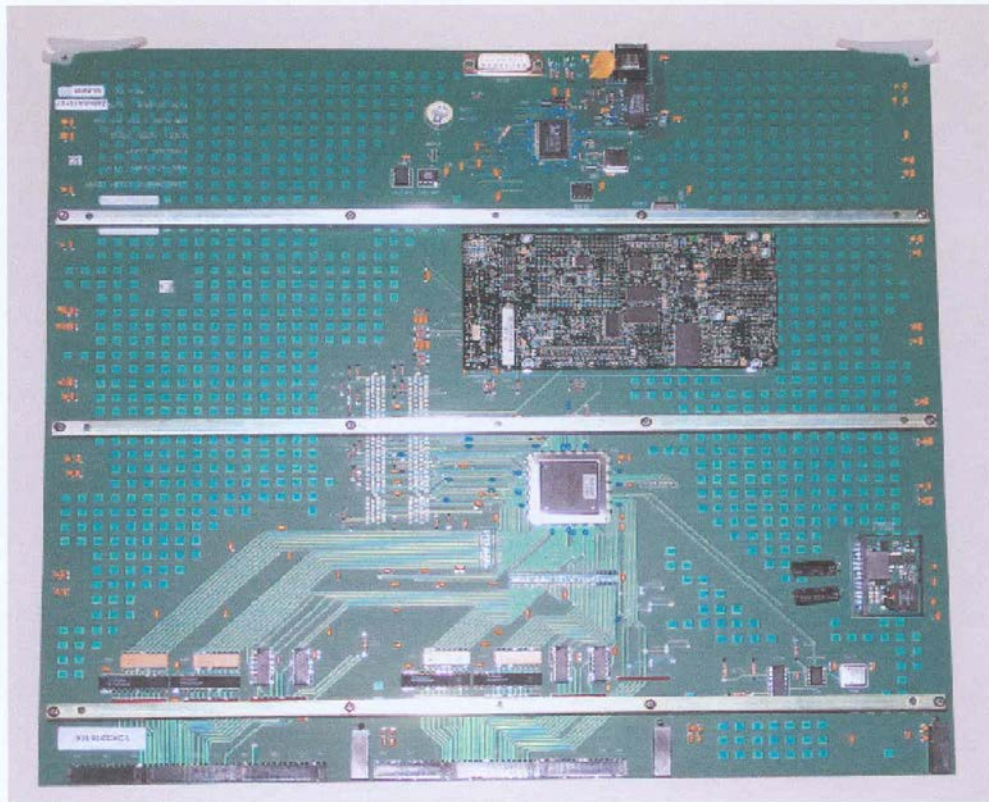
2. 과제 수행 필요성 -기기 단종 영향

❖ 3205 CPU Board



CNC 3205-P750

Replacing the old CPC/CEAC & PDAS 3205 CPU



2. 과제 수행 필요성 -기기 단종 영향

❖ 부품 단위 개선의 문제점

- 노심보호연산기계통(CPC/CEAC) AI CARD 교체
 - ✓ 기존 모델 단종 (RTP Korea)
- 각종 보드 교체 (CPU, MPC, MACRO 보드)
 - ✓ 중소기업 신형개발 : 성능문제점 발생
 - ✓ 통합 보드도 부품 단종으로 생산 불가 (2019년 6월)

2. 과제 수행 필요성 -기기 단종 영향

❖미국 내 CE 형 발전소 전면 개선

➤PVNGS 2, 3, 4호기 전면 개선 (WEC)

✓2004년 완료

➤Waterford NPP 3호기 CPCS 전면 개선 수주 (WEC)

✓2019년 6월

➤ANO CPCS 전면 개선 용역 수주 노력 (WEC)



3. 전면교체 경제성 분석

3. 전면교체 경제성 분석

❖ 발전소 정지 이력 : 제어봉 광송수신기 관련

발전소	일시	고장원인	대체 시 트립방지 가능
한빛 4호기	1996. 6. 18	39번 제어봉 광송수신기 고장	○
한빛 4호기	1996. 7. 10	39번 제어봉 광송수신기 고장	○
울진 5호기	2005. 1. 10	6번 제어봉 광송수신기 고장	○
한빛 3호기	1995. 8. 7	70번 제어봉 광송수신기 고장	○
한울 3호기	2005. 12. 20	36번 제어봉 RSPT 고장	○
한빛 6호기	2008. 12. 6	23번 원인불명(광수신기로 추정)	?
한빛 4호기	2000. 2. 7	27번 제어봉 광송수신기 고장	○

(출처 : 컨스 원전안전운영정보시스템)

3. 전면교체 경제성 분석

❖ 발전소 정지 이력 : 기타 고장

발전소	일시	고장원인	대체 시 트립 방지 가능
한울 3호기	1998. 6. 1	제어봉연산기 AI 모듈 고장	O
울진 4호기	2004. 7. 26	CEAC1 전원 공급기 고장 + 운전원 실수	O
울진 3호기	1998. 6. 1	CEAC AI 모듈 결함	O

(출처 : 키스 원전안전운영정보시스템)

3. 전면교체 경제성 분석

❖ 발전소 정지 후 복구 시 시간

➤ ~ 2016년 : 단기간 수리가능

✓ 한울 3호기 : 제어봉 제어카드 손상 (2005, 11/24 ~ 11/25) : 2일

✓ 한울 3호기 : 제어봉제어카드 손상 (1999, 1/22 ~ 1/23) : 2일

➤ 2017년 ~ 2018년 (I&C 관련) : 원안위 보고 등으로 장시간 소요

✓ 신고리 3호기 : 제어봉집합체 시험 중 부적절한 제어봉 삽입 (2018, 8/21 ~ 9/13) : 23일

✓ 한울 6호기 : 발전소제어계통 전자카드고장 (2018, 6/3 ~ 6/28) : 25일

✓ 한울 5호기 : 발전소제어계통 전자카드 고장 (2018, 7/5 ~ 8/25) : 51일

✓ 평균 33일 소요

❖ OPR1000 발전 원가(2018년 기준) : 15억/일

❖ 원자로 1회 정지 시 경제적 손실

✓ 15억(OPR1000 기준) x 33일(상기 평균) = 495억

✓ 원전에 대한 사회적, 국민적 신뢰 손실 막대함



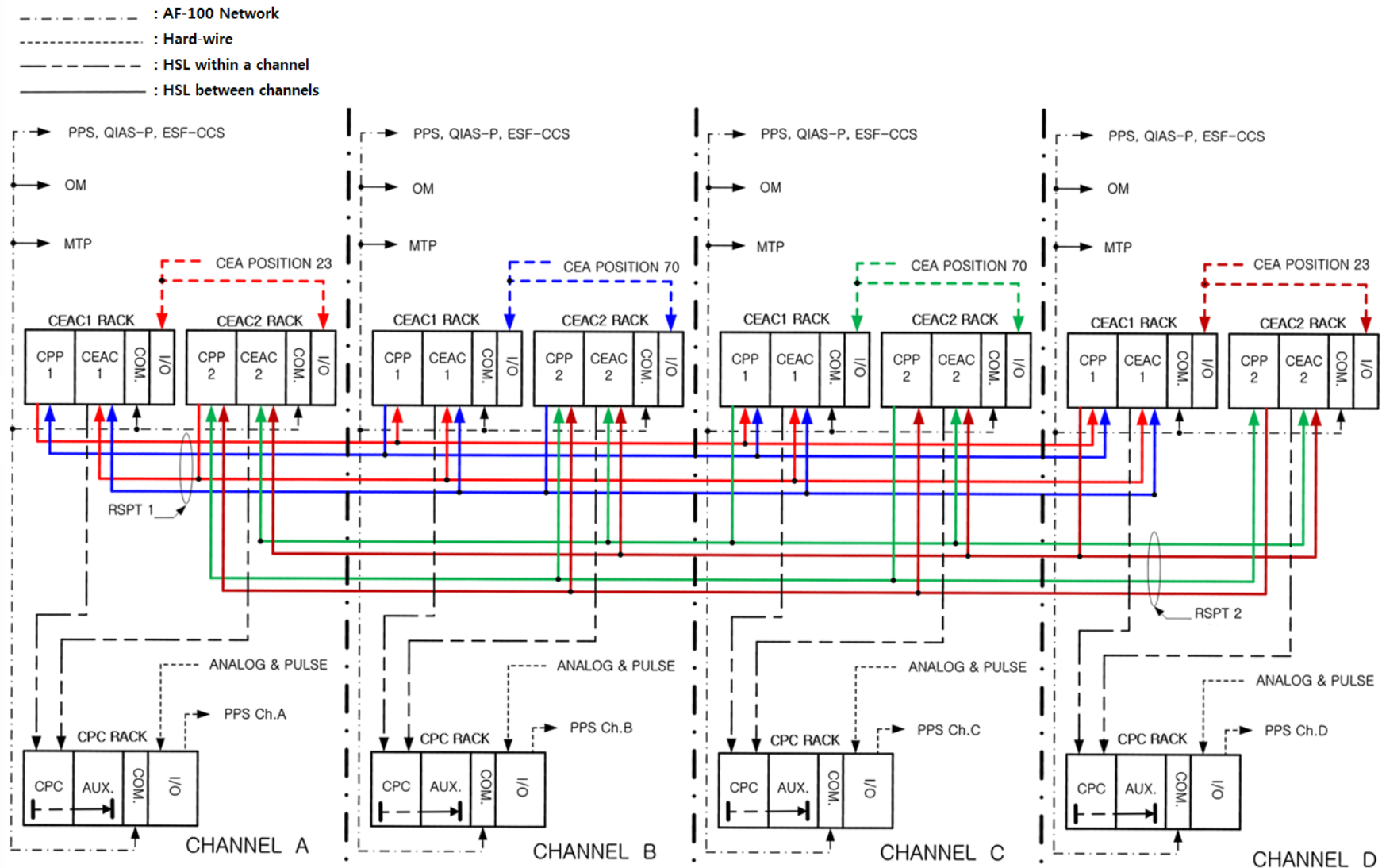
4. 과제 수행 방안

4. 과제 수행 방안

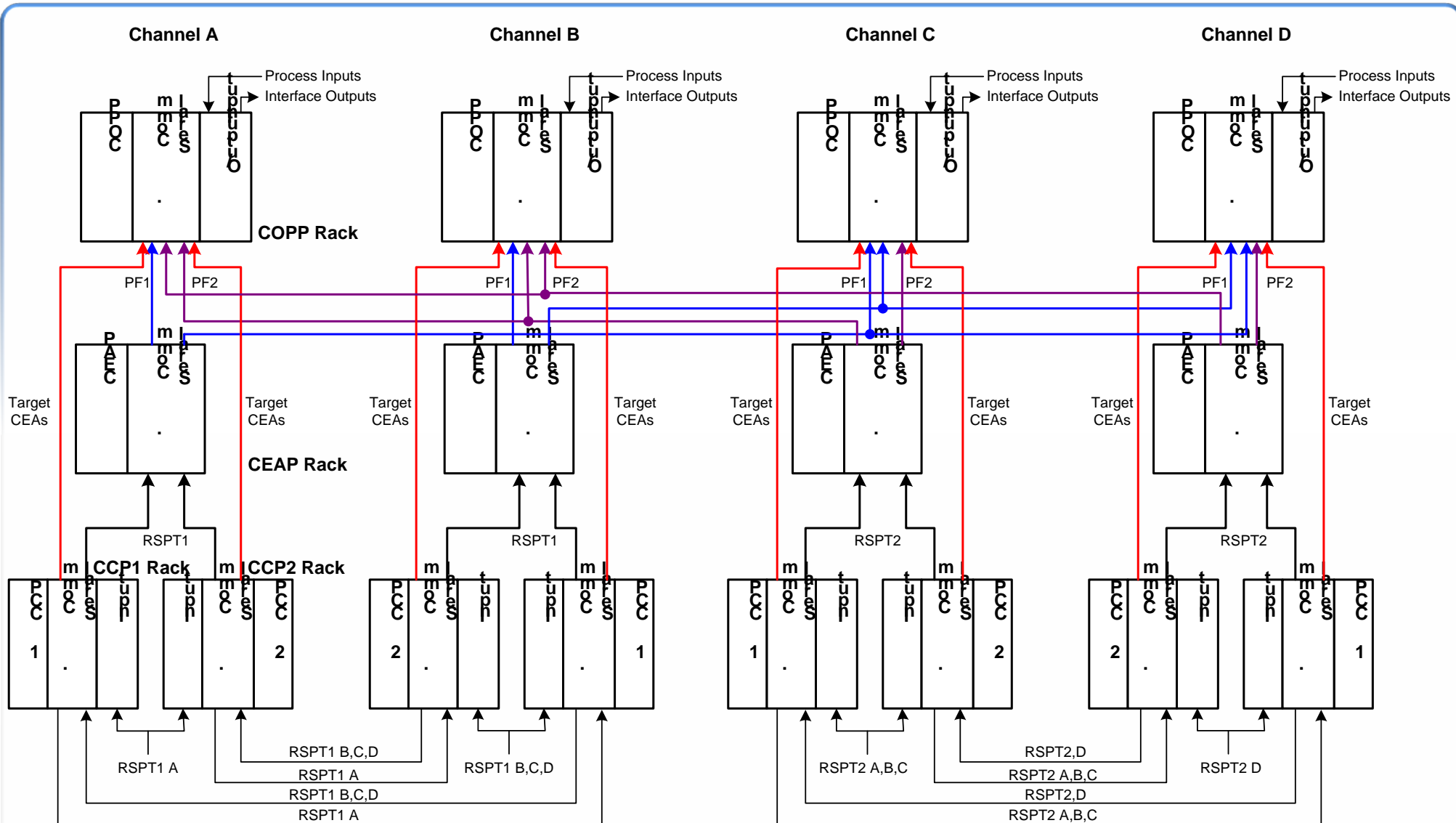
표준형 원전 노심보호계통 신뢰성/안전성 강화 기술 개발 최종 목표

- 가동원전 적용 안전성 및 신뢰성이 강화된 노심보호연산기계통 개발
- 최신 규제요건 및 기술기준을 만족하는 계통 설계와 상세설계
- 국산 안전등급 기기를 사용한 OPR1000용 노심보호연산기계통 시제품 제작
- 현장 설치 및 인허가 획득을 위한 각종 보고서 작성

4. 과제 수행 방안- Common Q CPCS



4. 과제 수행 방안- POSAFE-Q RCOPS



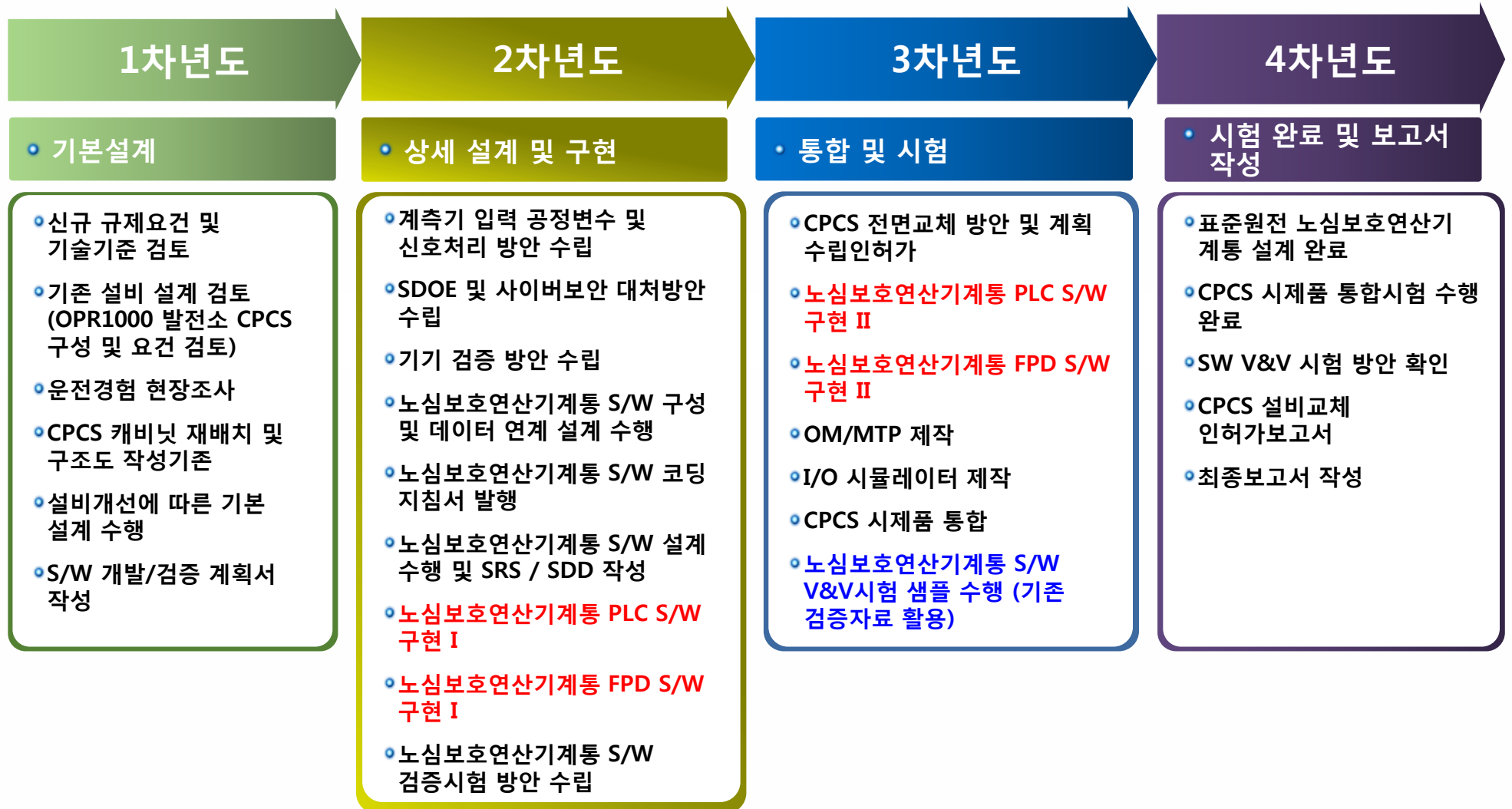
4. 과제 수행 방안- POSAFE-Q RCOPS

❖ 노심보호연산기계통 플랫폼 별 비교

구분	Concurrent CPCS	Common-Q CPCS	RCOPS
프로세서 Type	Concurrent 3205	AC160	POSAFE-Q
주요 구성 부품	CPC, CEAC(B,C)	CPC, AuxCPC, CEAC(2), CPP(2),	COPP, CEAP, CCP(2)
프로세서 개수	6	24	16
채널 간 광 격리기 개수(통신 구조)	80	42(이중화)	32(이중화)
RSPT 신호처리(CEAC)	B: RSPT 1 C: RSPT 2	A,B,C,D: RSPT1/RSPT2	A,B: RSPT1 C,D: RSPT2
채널 내 CEA 신호 다중 확보 기능	No	Yes	Yes
CPC(COPP)의 Penalty Factor 활용	PF1/PF2	PF1/PF2	다중 PF1/PF2

4. 과제 수행 방안

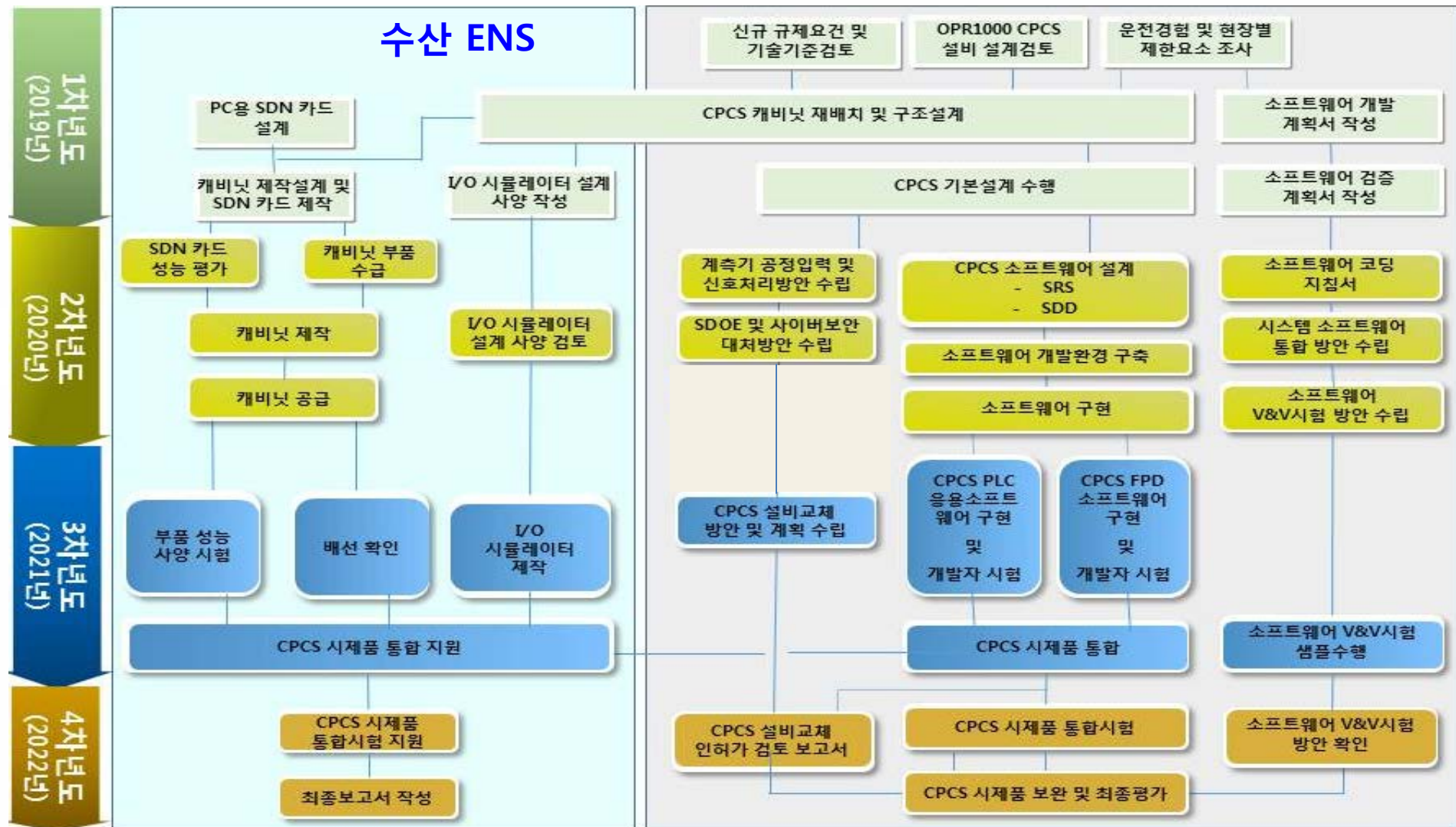
• 노심보호연산기계통 기술 개발 연차별 목표 및 내용



4. 과제 수행 방안

❖노심보호연산기계통 기술 개발 추진 전략

한전기술



4. 과제 수행 방안

❖ Flat Panel Display (OM, MTP 용)

- 한빛 3,4 ~ 한올 5,6 : Plasma Display
- 한올 5,6 DPPS : Xycom (단종)
- 신고리/신월성 1,2호기 ~ BNPP
 - ✓ DPPS Xycom (단종)
 - ✓ CPCS : 상용 컴퓨터 (Kontron), LCD (TFS) (단종)
 - ✓ QNX 4.25g : WEC CGID 수행
- 신한올 1,2호기
 - ✓ 상용 컴퓨터 (Kontron) (단종)
 - ✓ QNX 6.3.2 : HFC CGID 수행
- 신고리 5,6호기
 - ✓ 상용 컴퓨터 (Men ^), QNX 6.3.2 (단종예정)
- 본 과제 적용
 - ✓ 상용 컴퓨터 (미 결정)
 - ✓ QNX 7.0

4. 과제 수행 방안

목표 실적 -정량적 성과목표

평가항목	기술목표	평가방법
1. 노심보호계통	<ul style="list-style-type: none"> 수명주기 문서 생산 <ul style="list-style-type: none"> 설계요건서, 시방서등 계통설계문서 완료 SW 수명주기 설계 문서 작성의 완료 건수 소프트웨어 성능 검증 <ul style="list-style-type: none"> 소프트웨어 구현 및 개발자 시험 완료 소프트웨어 샘플 검증 시험 비교 결과 (OPR1000 검증 데이터 이용) 성능시험 비교 결과 <ul style="list-style-type: none"> (DNBR 및 LPD 계산값 $\pm 1\%$ 이내, OPR1000 검증 데이터 이용) 	<ul style="list-style-type: none"> 개발된 제품에 대한 설계 보고서 개발된 제품에 대한 시험 보고서



5. 현안 사항 및 기타

5. 현안 사항 및 기타

❖ 주요 현안

1) 현장 적용 시 적용 코드 및 표준

- Code Cut-off 설정 필요
- 디지털 장비 개선에 따른 공통원인 고장 분석 여부
- 사이버 보안 및 SDOE 적용 여부

2) 현장 설치 현안

- 기존 설비 대비 캐비닛 사이즈 변경
- 연계 계통 설계 변경

5. 현안 사항 및 기타

❖ 1차년도 과제 추진을 위해 우선 수행 필요 업무

1) 한수원과의 협조 채널 구축 필요: 현장 운전 경험 및 문제점 개선 방안 도출

- 현장 및 엔지니어링팀 협조 체제 구축

2) CPCS 캐비닛 재배치 및 구조도 (초안) 작성

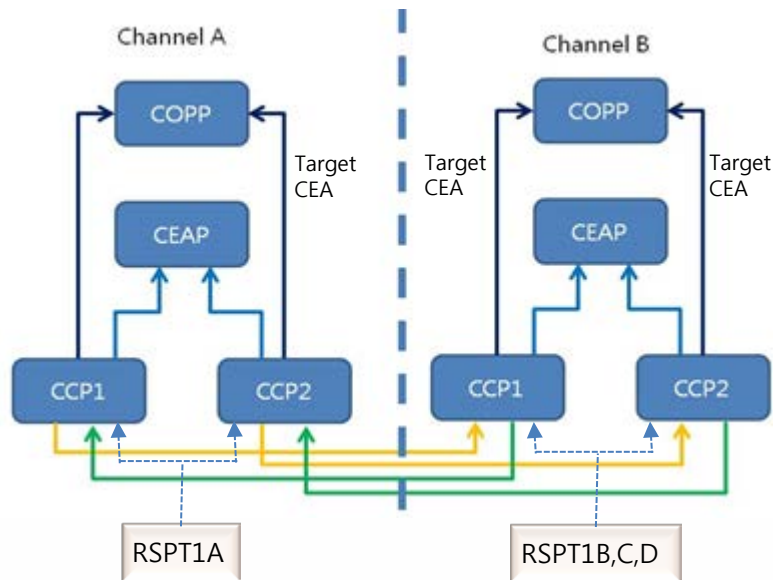
- 기존 설비 검토 결과 및 도출 개선 사항 -> 계통구성 확정
- 현장 상황을 고려한 CPCS 캐비닛 재배치 및 계통 구조도 작성

3) 수산ENS와 연계사항 협의 및 일정 수립

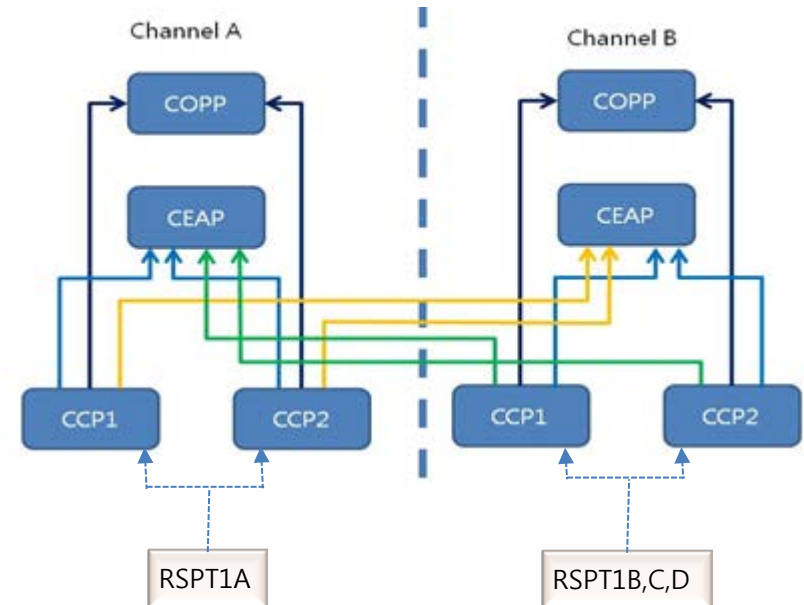
- 업무 연계 항목 및 일정 확인:
 - ✓IO Simulator 사양
 - ✓개발설비 사양: 계통 구성 확정 필요 <- 표준원전 요건 및 개선사항 반영
- 개발설비 및 I/O Simulator 제공 가능 일정 확인

5. 현안 사항 및 기타

- ❖ 표준원전 CC기반 CPCS 운전 경험 조사 및 분석 – 개선안 도출 및 요건화
- ❖ 신한울1,2호기 RCOPS 경험 확보 – 개선안 도출 및 요건화
- ❖ MMI 개선 검토
 - CEAPDS, Analog Meter / Recorder 개선 방안
 - PMAS 설비 교체와 연계
- ❖ 계통구조 개선



❑ 신한울 1,2/신고리5,6 계통구성



❑ 계통구성 개선안



감사합니다.