인공지능 기반 기동 및 정지 운전지원 기술개발

운전원 인적 오류 저감을 위한 운전절차기반 기동정지 자동화시스템 개발

2022. 10. 19.

한국원자력연구원
자율운전연구실
김 정 택

CONTENTS

01 4차 산업혁명과 원자력

02 연구개발 필요성

03 연구개발 목표

04 연구개발 진행현황 및 성과

05 연구개발 성과 : 운전원 시연

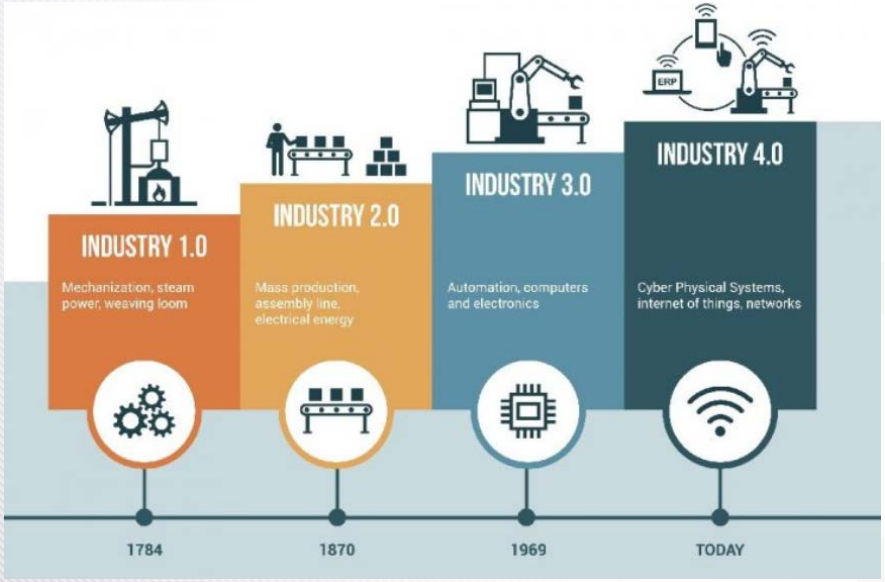
06 향후 계획

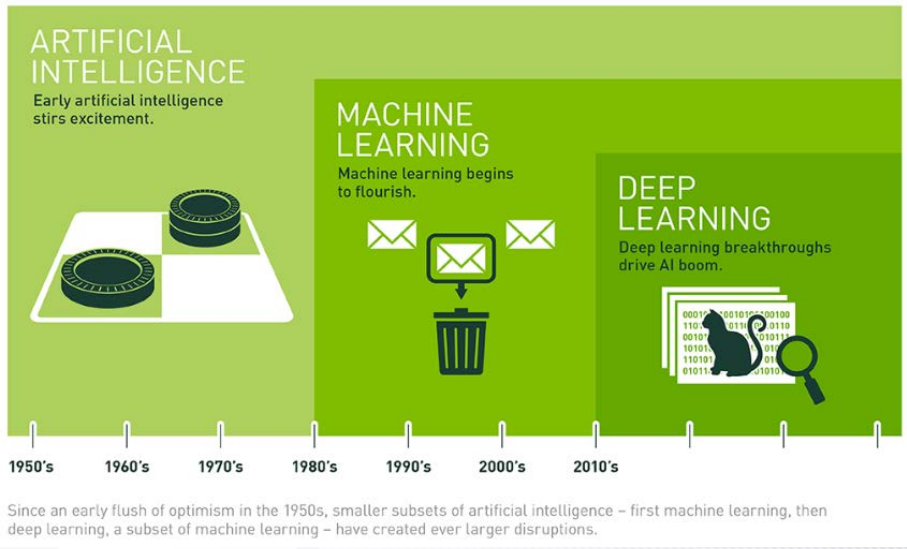
01
4차 산업혁명과 원자력

01 4차 산업혁명과 원자력

4차 산업혁명과 AI 기반의 새로운 시대

- 4차 산업혁명은 2016년 세계 경제 포럼에서 주창된 정보통신(ICT) 기술의 융합으로 이루어진 혁명 시대를 의미함
- 1950년대 정립된 AI는 1980년대까지의 두 차례의 암흑기에도 불구하고 **컴퓨팅 파워 증가와 머신러닝/딥러닝 알고리즘의 진화로 AI 부흥기가 도래함**

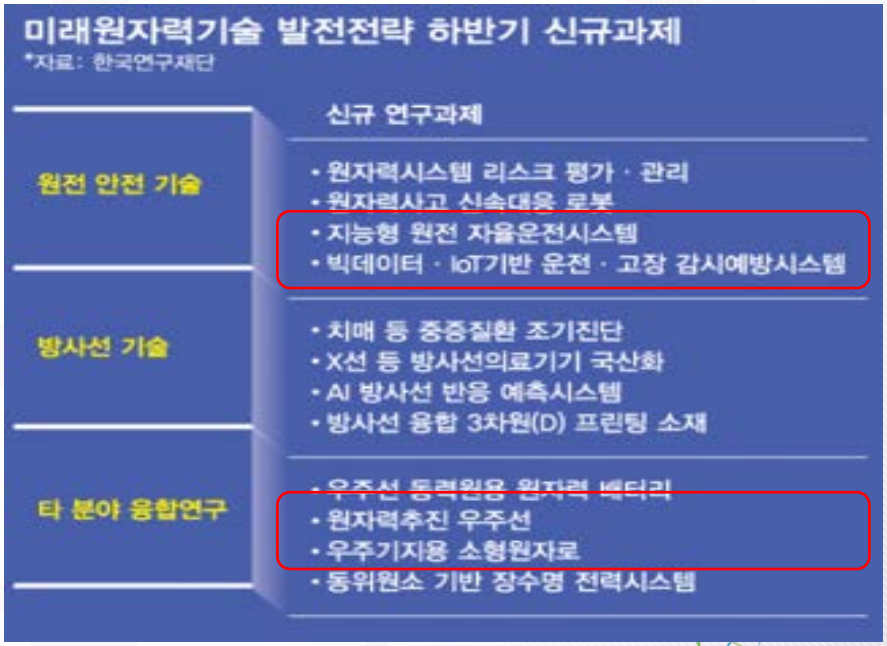




01 4차 산업혁명과 원자력

» 미래원자력기술 활용 및 수출 경쟁력 확보

- 정부의 탈원전 기조 속에서도 가동원전 안전 확보 및 해체분야 연구와 방사선 등 타 분야 융합연구에 AI, 빅데이터 등 첨단 ICT기반 기술의 접목
- 중소형 원전 SMART 또는 미래형 ISMR 원전에서 ICT기반 원자력 안전 혁신
  => 원천적인 인적오류 및 원전사고 방지 및 경쟁력 확보

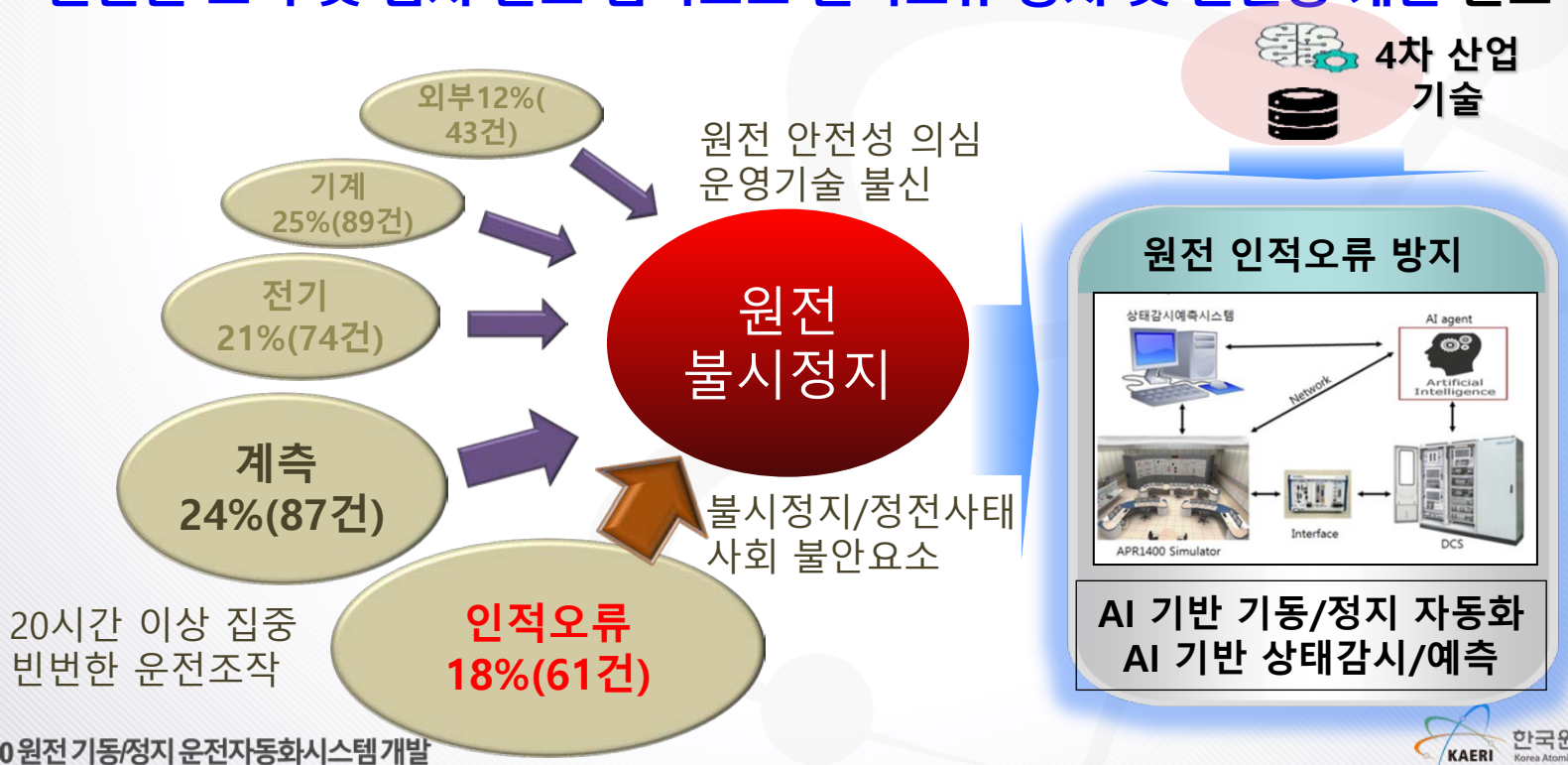


02 연구개발 필요성

02 연구개발 필요성

원자력발전소 기동 및 정지 운전

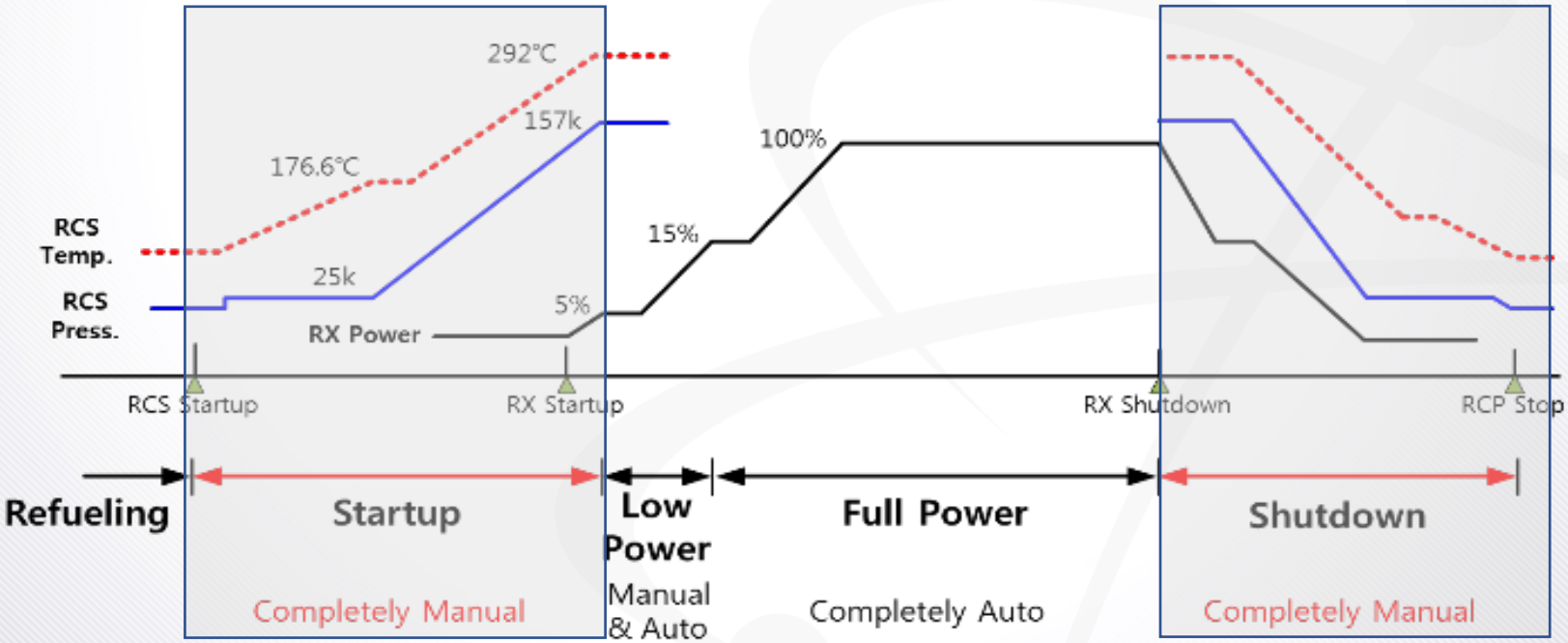
- 약 20시간 이상 소요되는 100% 수동운전으로 인적오류 발생 가능성 증가
- 지난 20년간 인적실수로 인한 원전 불시정지 18% (기동/정지 운전 9% 차지)
- **운전원 조작 및 감시 빈도 감축으로 인적오류 방지 및 운전성 개선 필요**



02 연구개발 필요성

원자력발전소 운전모드 및 자동화 범위

- 운전모드 중 일부 전출력(Full Power) 구간만 자동화 운전중
- **기동/정지 운전** 구간은 빈번한 운전원 조작이 필요한 숙련된 운전이 요구
- 기동/정지 운전 중 **운전원 과부하 및 판단 오류** 발생 가능성 높음

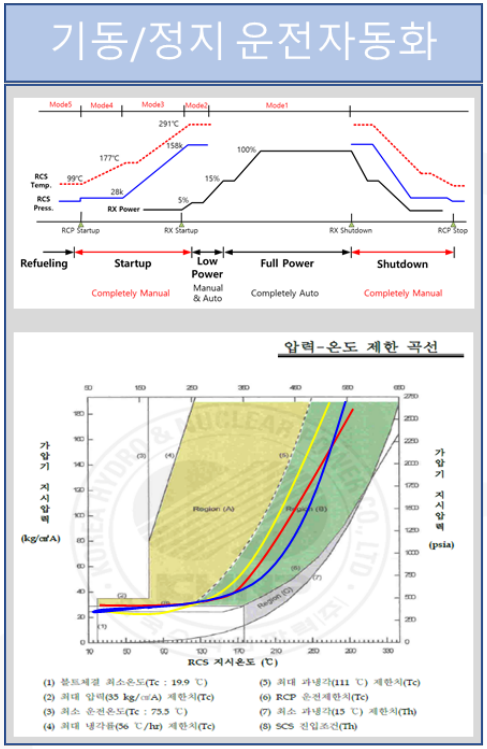


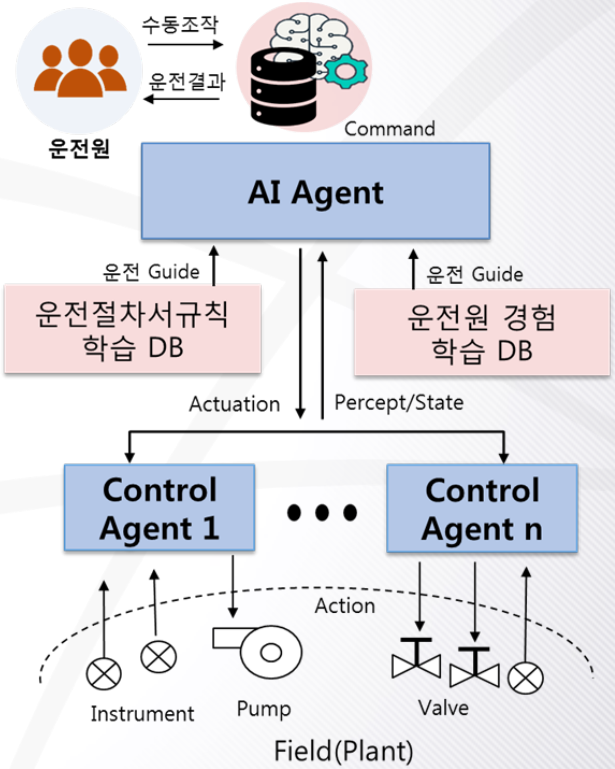
03
연구개발 목표

03 연구개발 목표

최종목표: 원전 기동/정지 운전자동화시스템 개발 및 성능검증

- 운전절차서 및 운전원 지식을 분석하여 **규칙기반 기동/정지 자동운전 및 자동제어 기술 개발**
- 운전 Data를 학습하여 인공지능 알고리즘을 이용한 최적 제어논리 개발
- 원자력발전소 시뮬레이터에 통합하여 규칙기반 자동화 및 인공지능 제어논리 성능검증

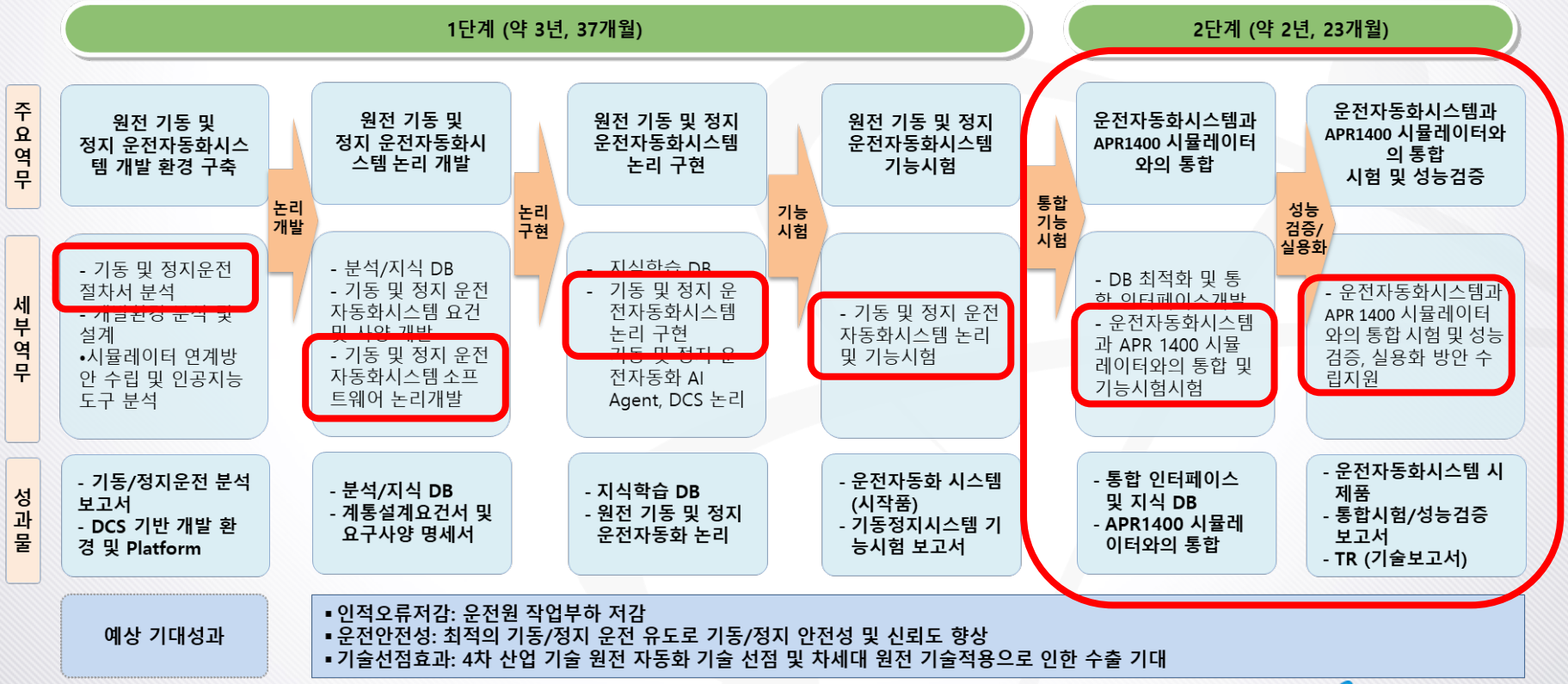




03 연구개발 목표

연구개발 연차별 목표

- 1단계 (2017.12~2020.12) : 원전 기동/정지 운전자동화시스템 **1차 시작품** 개발
- 2단계 (2021.01~2022.11) : 통합 기동/정지 운전자동화시스템 **기능/성능검증**

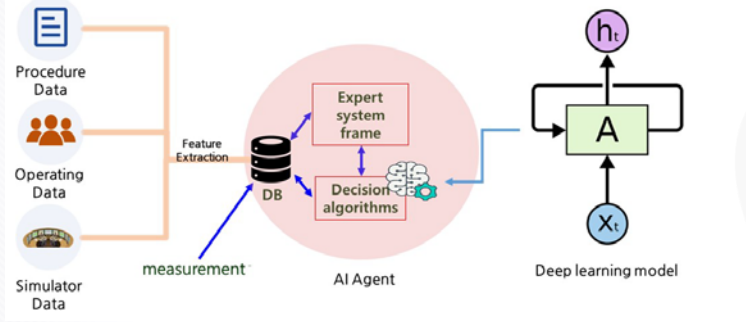


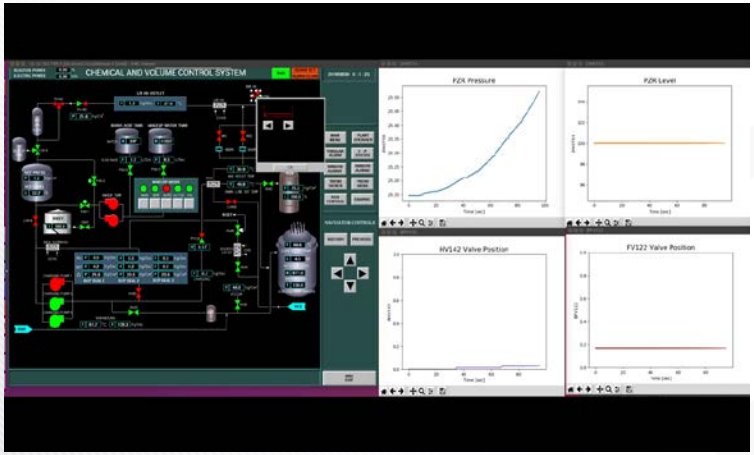
04
연구개발 진행현황 및 성과

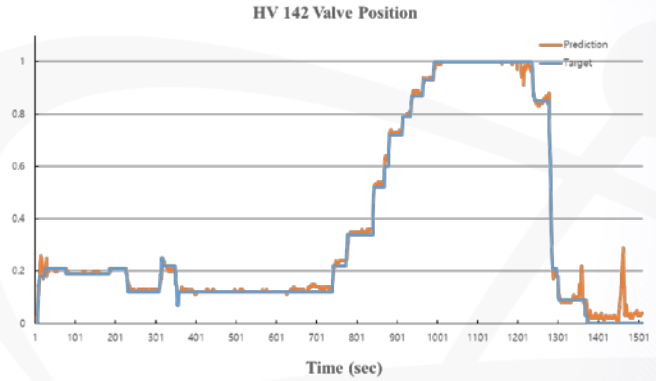
04 연구개발 진행현황 및 성과

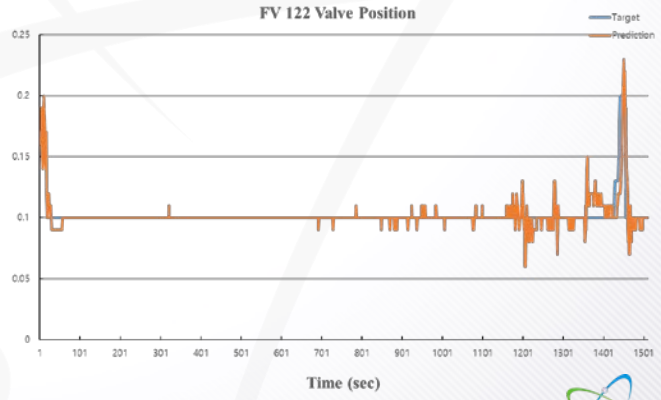
기동/정지 운전자동화 프로토타입 설계 및 개발(1단계 1 ~2차년)

- CNS(Compact Nuclear Simulator)기반 기동/정지 운전자동화 프로토타입
- 운전원에 따른 운전 경험을 반영한 딥러닝(Deep Learning)기반 운전 자동화
- 가열구간에서 기포형성 구간까지 CNS data를 학습하여 RHR valve 계도 제어







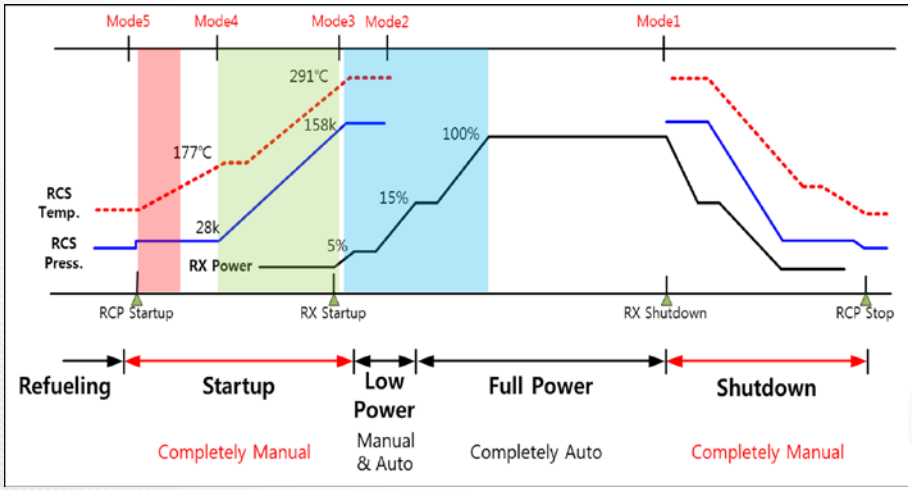


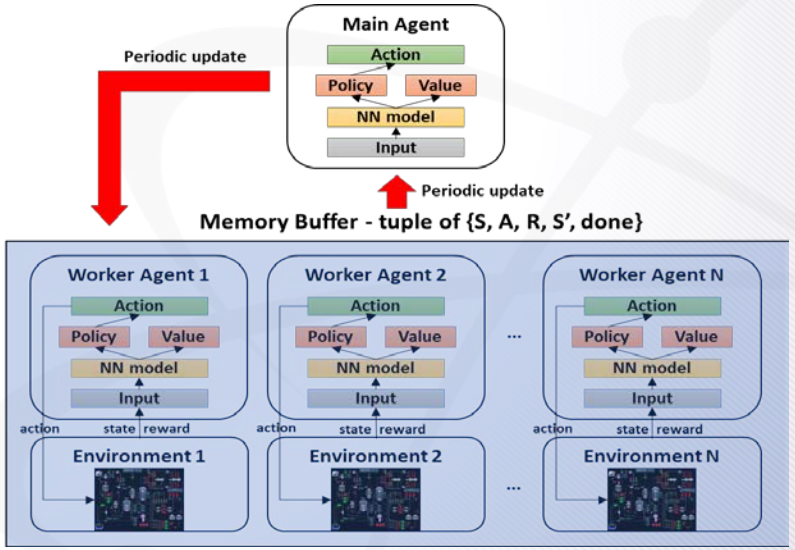
04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 – *AI기반 자동화*

딥러닝 강화학습 기반 운전자동화 구현 (CNS 시뮬레이터)

- 일부 운전 과정에 대하여 강화학습 기반 운전자동화 알고리즘 구현
  - 상온 정지 → 가압기 기포 생성 (충전수 밸브, 유출수 밸브)
  - 고온 정지 → 고온 대기 (충전수 밸브, 가압기 살수 밸브)
  - 2% 출력 → 100% 출력 (제어봉 인출, 보충수 밸브, 붕산수 밸브)





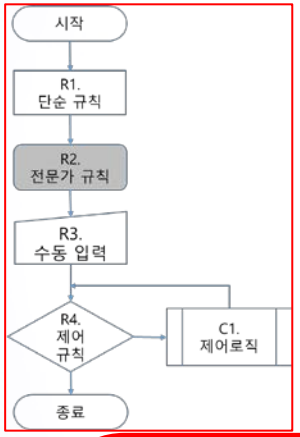
- 공통적으로 A3C (Asynchronous Advantage Actor-Critic) 강화학습 방법론 적용

04 연구개발 진행현황 및 성과

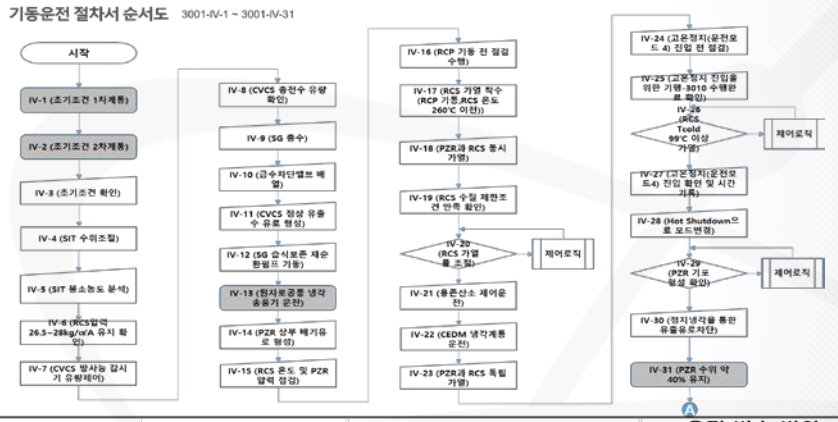
기동/정지 운전자동화시스템 규칙설계 (종합운전절차서 분석)

- 원자력발전소 종합운전절차서 기동 및 정지 운전 절차 분석
- 규칙설계를 위한 4가지 템플릿 기반 규칙기반 운전절차 규칙설계 및 구현

규칙설계 템플릿



운전절차 순서도



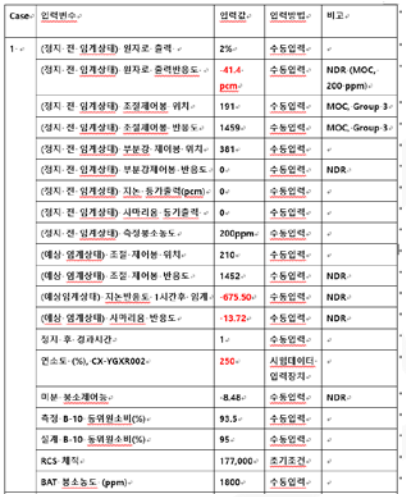
절차서	절차규칙	변수명	Tag No.	경보 (TRBL/DIS)	운전 변수 범위 (정상변수범위)
정지냉각계통 한 계열이 운전되어 15,710~18,927ℓ/min의 정지냉각유량을 형성하고 있고, 다른 계열은 운전 가능한 상태이다.	IF	SC 01A	9-441-M-PP01A		0 - 400 (0 - 400)
	정지냉각계통 한 계열 (SC 01A) = 운전 중 AND	SC 651	9-441-V-0651		N/A
	SC 651 = OPEN AND	SC 653	9-441-V-0653		N/A
	SC 653 = OPEN AND	SC 655	9-441-V-0655		N/A
	SC 655 = OPEN AND	SC 310	9-441-V-0310		N/A
	SC 310 = OPEN AND	SC 601	9-441-V-0601		N/A
	SC 601 = OPEN AND				
	15,710 < 정지냉각계통 유량 < 18,927 AND	정지냉각계통 유량	9-441-J-FI-0302A		0 - 25000 (15709.4 - 25000)
	정지냉가계통 다른 계열 (SC 01B) = 경보 없음 AND	SI-FI-302A	9-441-J-FI-0305B		0 - 25000 (15709.4 - 25000)
	SC 652 = 경보 없음 AND	SI-FI-302B			
	SC 654 = 경보 없음 AND				
	SC 656 = 경보 없음 AND	SC 01B	9-441-M-PP01B	9-SI-UA-034-01/9-SI-UA-034-02	0 - 400 (0 - 400)
	SC 311 = 경보 없음 AND	SC 652	9-441-V-0652	9-SI-UA-102-02/9-SI-UA-102-03	N/A
	SC 600 = 경보 없음	SC 654	9-441-V-0654	9-SI-UA-104-02/9-SI-UA-104-03	N/A
	THEN 절차 1-1-바 수행	SC 656	9-441-V-0656	9-SI-UA-100-01/9-SI-UA-100-02	N/A
	ELSE IF 절차 1-1-마 불만족	SC 311	9-441-V-0311	9-SI-UA-072-01/9-SI-UA-072-02	N/A
	THEN 운전원 조치/확인 대기	SC 600	9-441-V-0600	9-SI-UA-067-01/9-SI-UA-067-02	N/A
	END IF				

04 연구개발 진행현황 및 성과

» 기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

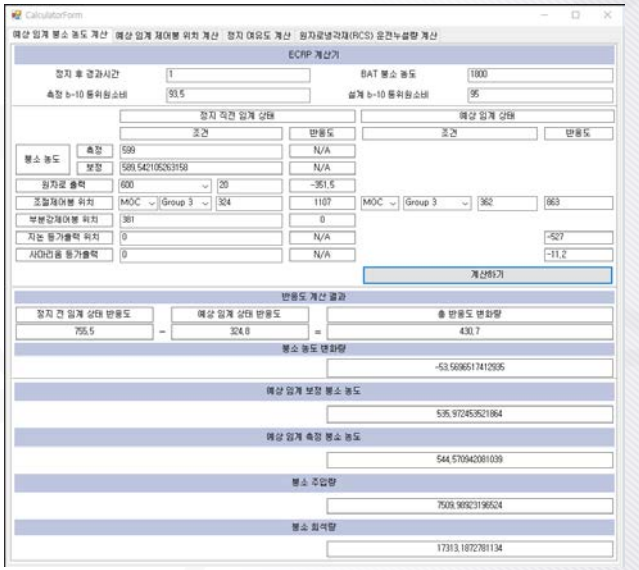
» AI Agent 기능 구현 – 필수감시자동계산기 및 계산기자동화기능 (1/2)

- 필수감시 자동계산기 (4종)
  - ➢ 예상 임계 붕소농도
  - ➢ 예상 임계 제어봉 위치
  - ➢ 정지 여유도
  - ➢ RCS 운전 누설량 계산
- 연계화면을 통한 자동계산기
  - ✓ 시험절차서 기록지 작성 (Test Cases)
  - ✓ 운전원 입력값 입력 창 개발
  - ✓ NDR 계산값 자동화
  - ✓ 시뮬레이터 입력값 화면 개발
  - ✓ 필수감시 계산 자동화



Case	입력변수	입력값	입력방법	비고
1	(정지 전 임계상태) 원자로 출력	2%	수동입력	
	(정지 전 임계상태) 원자로 출력반응도	-41.4 pcm	수동입력	NDR (MOC, 200 ppm)
	(정지 전 임계상태) 조절제어봉 위치	191	수동입력	MOC, Group 3
	(정지 전 임계상태) 조절제어봉 반응도	1459	수동입력	MOC, Group 3
	(정지 전 임계상태) 부분강 제어봉 위치	381	수동입력	
	(정지 전 임계상태) 부분강제어봉 반응도	0	수동입력	NDR
	(정지 전 임계상태) 지논 등가출력(pcm)	0	수동입력	
	(정지 전 임계상태) 사마리움 등가출력	0	수동입력	
	(정지 전 임계상태) 측정붕소농도	200ppm	수동입력	
	(예상 임계상태) 조절 제어봉 위치	210	수동입력	
	(예상 임계상태) 조절 제어봉 반응도	1452	수동입력	NDR
	(예상임계상태) 지논반응도 1시간후 임계	-675.50	수동입력	NDR
	(예상 임계상태) 사마리움 반응도	-13.72	수동입력	NDR
	정지 후 경과시간	1	수동입력	
	연소도 (%), CX-YGXR002	250	시뮬레이터 입력장치	
	미분 붕소제어능	-8.48	수동입력	NDR
	측정 B-10 동위원소비(%)	93.5	수동입력	
	설계 B-10 동위원소비(%)	95	수동입력	
	RCS 체적	177,000	초기조건	
	BAT 붕소농도 (ppm)	1800	수동입력	

필수감시 계산기 시험기록지



예상 임계 붕소농도 계산기 시험 결과

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 기능 구현 – 필수감시자동계산기 및 자동화기능 구현 (2/2)

- 필수감시(운전 제한 조건; LCO) 기능 자동화
  - 7개 필수감시 운전 제한 조건 LCO 감시
- 연계화면을 통한 필수감시 자동화
  - 시험절차서 기록지 작성 (Test Cases)
  - LCO시험 입력값 입력창 개발
  - 시뮬레이터 입력값 화면 개발
  - 필수감시(LCO) 자동화 화면

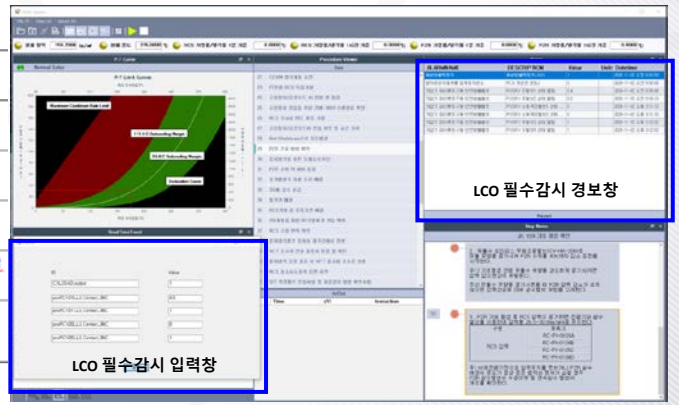
나. LCO 3.4.2, 원자로냉각재계통 임계최저온도

입력변수	입력 Case	시험입력값	출력예상값	시험출력값	판정
RCS Loop1 저온관 온도 / RCS Loop2 저온관 온도 (oC)	1	296/296	296 (정상)	296	합격
	2	276.5/276.5	276.5 (경보)	276.5(경보)	합격
	3	299.6/240.6	240.6 (경보)	240.6 (경보)	합격
	4	276.5/303.8	276.5 (경보)	276.5 (경보)	합격
	5	286.7/286.7	286.7 (정상)	286.7	합격

LCO 필수감시 시험 기록지

No.	운전제한조건	시험항목	적용	입력 변수	반영 여부
1	LCO 3.2.5	축방향출력편차	1	축방향출력편차(ASI)	운전제한조건 필수감시적용
2	LCO 3.4.2	원자로냉각재계통 임계최저온도	1, 2	RCS 저온관 온도	운전제한조건 필수감시적용
3	LCO 3.4.3	원자로냉각재계통 압력 및 온도 제한	항시	RCS 압력, 온도, 가열률, 냉각률	운전제한조건 필수감시적용
4	LCO 3.4.10	가압기 파이롯트구동 안전방출밸브	1, 2, 3, 4	가압기 안전 밸브 상태	운전제한조건필수감시적용
5	LCO 3.5.1	안전주입탱크	1, 2, 3, 4	SIT 격리 밸브 상태, SIT 수위, SIT 질소 압력	운전제한조건 필수감시적용
6	LCO 3.5.2	안전주입계통:운전중	1, 2, 3	고온관 주입 밸브 상태	운전제한조건 필수감시적용
7	LCO 3.5.3	안전주입계통: 정지중	4, 5, 6	고온관 주입 밸브 상태	운전제한조건 필수감시적용

7 개 LCO 필수감시 자동화



LCO 필수감시 입력창/경보출력 화면

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 필수감시 모듈 구현

- 가열률 및 냉각률 계산 구현

P-T 곡선의 가열률 및 냉각률 계산 및 추적 기능의 입력 변수

No.	설명	구분
I1	원자로냉각재 평균 온도	APR1400 시뮬레이터 입력
I2	가압기 온도	APR1400 시뮬레이터 입력
I3	가압기 압력	APR1400 시뮬레이터 입력

- 1분 주기 원자로냉각재 온도 가열률/냉각률(℃)=
  현재 원자로냉각재 평균 온도 − 1분 전 원자로냉각재 평균 온도

  1시간 주기 원자로냉각재 온도 가열률/냉각률(℃)=
  현재 원자로냉각재 평균 온도 − 1시간 전 원자로냉각재 평균 온도

- 1분 주기 가압기 온도 가열률/냉각률(℃) = 현재 가압기 온도 − 1분 전 가압기 온도

  1시간 주기 가압기 온도 가열률/냉각률(℃) = 현재 가압기 온도 − 1시간 전 가압기 온도

- 압력-온도 제한곡선에 따른 안전영역 필수감시
  - ➢ 현재의 RCS의 압력과 온도의 안전영역을 상시 감시하여 비안전영역 조건 만족시 경보발생
  - ➢ 필수감시 경보 알람창을 통한 경보 정보 확인 (경보 이름, 설명, 실제값, 발생시간)

- 최대 가압기 압력 $= 0.0051 \times RCS\ Tavg^2 - 0.6215 \times RCS\ Tavg + 47.79$
- 최소 가압기 압력 $= 0.000005 \times RCS\ Tavg^3 - 0.0018 \times RCS\ Tavg^2 + 0.1657 \times RCS\ Tavg + 12.71$
- *If* 최소 가압기 압력 ≤ 가압기 압력 ≤ 최대 가압기 압력

  Then 안전 영역

  If 가압기 압력 < 최소 가압기 압력 or 가압기 압력 > 최대 가압기 압력

  Then 비안전 영역

- 가열률/냉각률 결과 표시 확인(예제: 신고리3호기 PI 데이터)

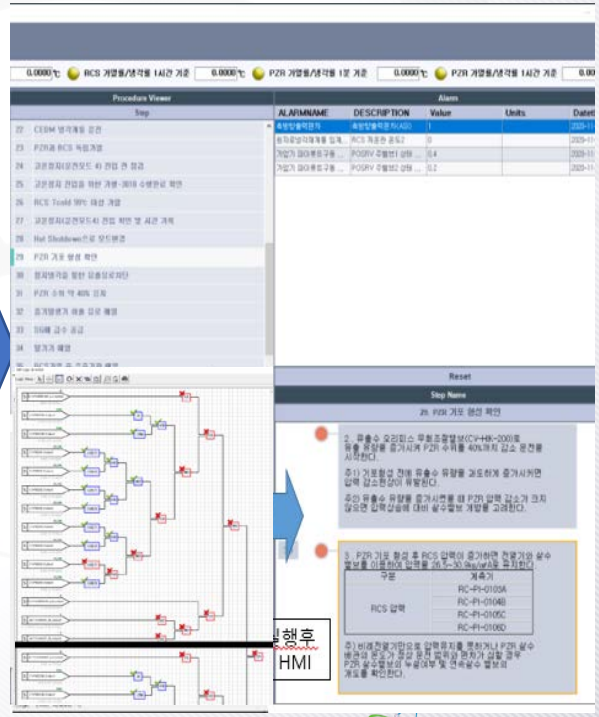
04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 절차 수행 자동화 모듈 구현

- 운영절차서 규칙설계를 Do_If-Then_Do 기반 절차기반 절차서 수행으로 규칙설계 구현
  - 절차규칙 형태 => 단순규칙, 단순 기기 작동, 수동입력, 전문가 규칙, 제어규칙(control Agent 제어기)으로 구현
- 운전절차서 운전지원 요건 분석 결과 및 한수원 운전전문가 의견을 활용하여 절차규칙 설계 : 전문가 규칙 설계
- 전문가 확인이 불가능하거나 시뮬레이터 구현 불가능한 사항은 수동입력 규칙 적용
- 종합운전절차에 따라 절차규칙 Logic 을 만족하면 다음 절차를 수행하도록 자동화 구현

절차번호	제목	절차서	절차규칙	변수명	Tag No.	운전원 조치사항	규칙형태
3001-IV-2-1-가	초기조건_2차계통	순환수계통이 정상운전 중이다.	IF 순환수계통 = 정상운전 중 [4 CW-PPs out of 6 CW-PPs = 운전 중] THEN 절차 2-1-나 수행 ELSE IF 절차 2-1-가 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	순환수계통 (CW-PP01 CW-PP02 CW-PP03 CW-PP04 CW-PP05 CW-PP06)	9-551-M-PP01 9-551-M-PP02 9-551-M-PP03 9-551-M-PP04 9-551-M-PP05 9-551-M-PP06	순환수계통 정상운전 중 확인 만족 순환수계통 정상운전 중 확인 불만족 AND 운전원 조치/확인 대기화면	전문가 규칙
3001-IV-2-1-나	초기조건_2차계통	TGBCCW 및 TGBOCW가 정상운전 중이다.	IF TGBCCW = 정상운전 중 [1 TGBCCW Pump out of 2 TGBCCW Pumps = 운전중] AND TGBOCW = 정상운전 중 [2 TGBOCW Hx out of 3 TGBOCW Hx = 운전중] -> [WH033&WH049 = OPEN, WH034&WH050 = OPEN, WH035&WH051 = OPEN] THEN 절차 2-1-다 수행 ELSE IF 절차 2-1-나 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	TGBCCW Pump (TGBCCW Pump PP01 TGBCCW Pump PP02)	9-562-M-PP01 9-562-M-PP02	TGBCCW 정상운전중 확인 만족 TGBCCW 정상운전중 확인 불만족 AND 운전원 조치/확인 대기화면	전문가 규칙
				TGBOCW Hx (TGBCCW Hx01: WH033&WH049 TGBCCW Hx02: WH034&WH050 TGBCCW Hx03: WH035&WH051)	9-561-V-0033 9-561-V-0049 9-561-V-0034 9-561-V-0050 9-561-V-0035 9-561-V-0051	TGBOCW 정상운전중 확인 만족 TGBOCW 정상운전중 확인 불만족 AND 운전원 조치/확인 대기화면	전문가 규칙

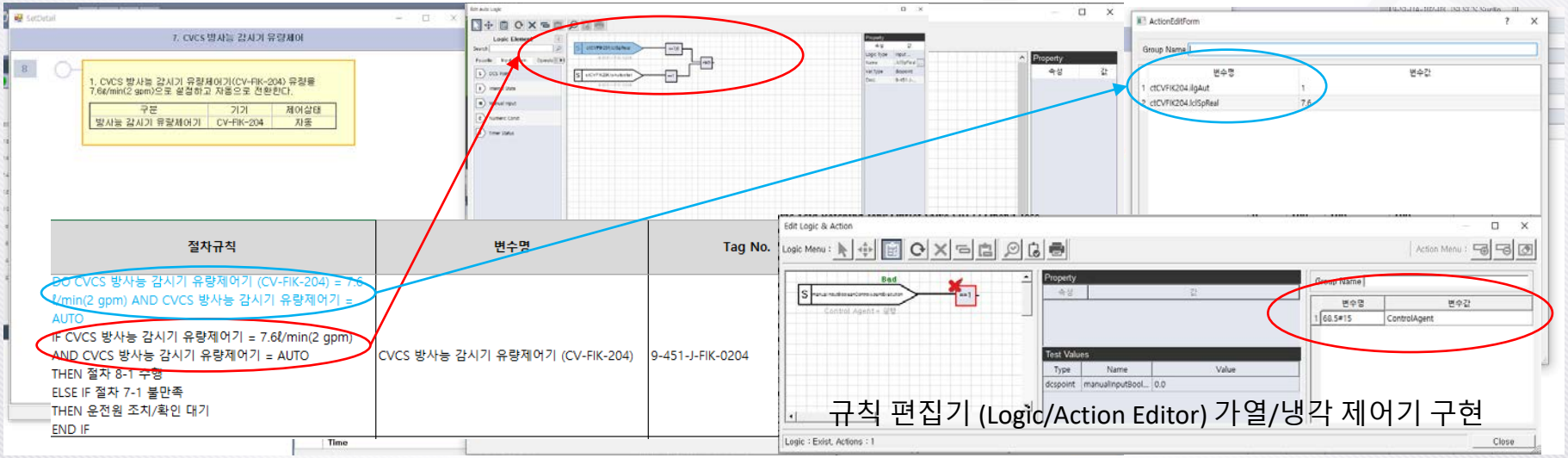


04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 절차 자동화 모듈 Tool 화구현

- 절차자동화 규칙 편집기 구현 (Logic/Action Editor)
  - 해당절차 지시문에 규칙로직 및 실행조작 작성
  - 속성창을 통한 변수명, Description 입력 가능
  - 운전절차 변경 및 Logic 추가 시 쉽게 구현하도록 Logic/Action Editor를 통한 규칙설계 구현



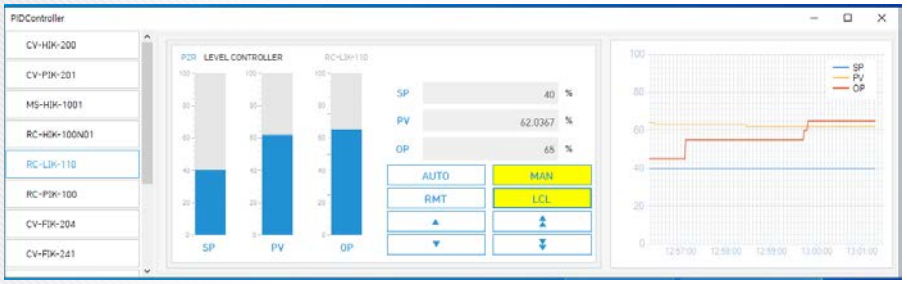
규칙 편집기 (Logic/Action Editor) 가열/냉각 제어기 구현

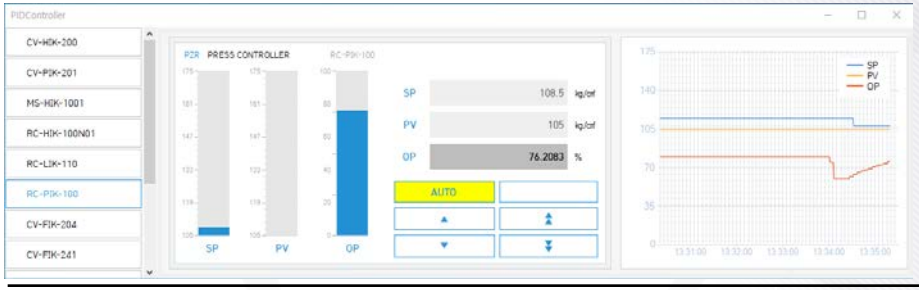
04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 자동제어 모듈 구현

- 자동제어 모듈 구현을 위하여 총 7개 자동제어 규칙설계 구간 구현 (종합 3001 절차서 기준)
- 운전모드 조건별 RCS 가열을 위한 가열률 조절 신규 PID 제어기 구현





절차번호	제목	절차규칙	변수명	Tag No.
3001-IV-20-1	RCS 가열률 조절	RCS 가열 시작 (Mode4 진입조건 99 ℃까지)	열교환기 출구유량 제어밸브 (SC 310, SC 311) 열교환기 우회유량 제어밸브 (SC 312, SC 313) 가열률 조절기 (신규 PID 제어기)	9-441-V-0310 9-441-V-0311 9-441-V-0312 9-441-V-0313
3001-IV-26-1	RCS Tcold 99℃ 이상 가열	RCS 가열 시작 (Mode3 진입조건 177 ℃까지)	열교환기 출구유량 제어밸브 (SC 310, SC 311) 열교환기 우회유량 제어밸브 (SC 312, SC 313) 가열률 조절기 (신규 PID 제어기)	9-441-V-0310 9-441-V-0311 9-441-V-0312 9-441-V-0313
3001-IV-29-2	PZR 기포 형성 확인	PZR 수위 40% 까지 자동제어	PZR 수위 (Representative PZR Level (WR) L) PZR 수위제어기 (RC-LIK-110)	9-431-J-LI-1113 9-431-J-LIK-0110
3001-IV-29-3	PZR 기포 형성 확인	RCS 압력 26.5~28kg/㎠A 유지	RCS 압력 (RC-PI-0103A, RC-PI-0104B, RC-PI-0105C, RC-PI-0106D 전열기 (P-1, P-2) 전열기 조절기(P-100) PZR 살수밸브 (RC 100F, RC 100E) 살수밸브 조절기(H-100)	9-431-J-PI-0103A 9-431-J-PI-0104B 9-431-J-PI-0105C 9-431-J-PI-0106D 9-431-M-PZR-P1 9-431-M-PZR-P2 9-431-J-PIK-0100 9-431-V-0100F 9-431-V-0100E 9-431-J-HIK-0100

절차번호	제목	절차규칙	변수명	Tag No.
3001-IV-44-1	PZR'저'압력에 의한 정상 우회신호 정상 복귀 확인	RCS 압력증가 제어 시작 (35.15kg/㎠A <= RCS 압력 < 50.3kg/㎠A)	RCS 압력 (RC-PI-0103A, RC-PI-0104B, RC-PI-0105C, RC-PI-0106D 전열기 (P-1, P-2) 전열기 조절기(P-100) PZR 살수밸브 (RC 100F, RC 100E) 살수밸브 조절기(H-100)	9-431-J-PI-0103A 9-431-J-PI-0104B 9-431-J-PI-0105C 9-431-J-PI-0106D 9-431-M-PZR-P1 9-431-M-PZR-P2 9-431-J-PIK-0100 9-431-V-0100F 9-431-V-0100E 9-431-J-HIK-0100
3001-IV-49-1	RCS 온도 260℃까지 가열 및 PZR 압력 유지	RCS 가열 시작 (Mode3 진입조건 260 ℃까지)	열교환기 출구유량 제어밸브 (SC 310, SC 311) 열교환기 우회유량 제어밸브 (SC 312, SC 313) 가열률 조절기 (신규 PID 제어기)	9-441-V-0310 9-441-V-0311 9-441-V-0312 9-441-V-0313
3001-IV-54-1-라	PZR 압력 105kg/㎠A 압력 자동제어	PZR 압력제어기 AUTO/LOCAL 모드에서 압력을 105kg/㎠A부터 158.2kg/㎠A 까지 순차적으로 상승 자동제어	PZR 압력제어기 (RC-PIK-100)	9-431-J-PIK-0100

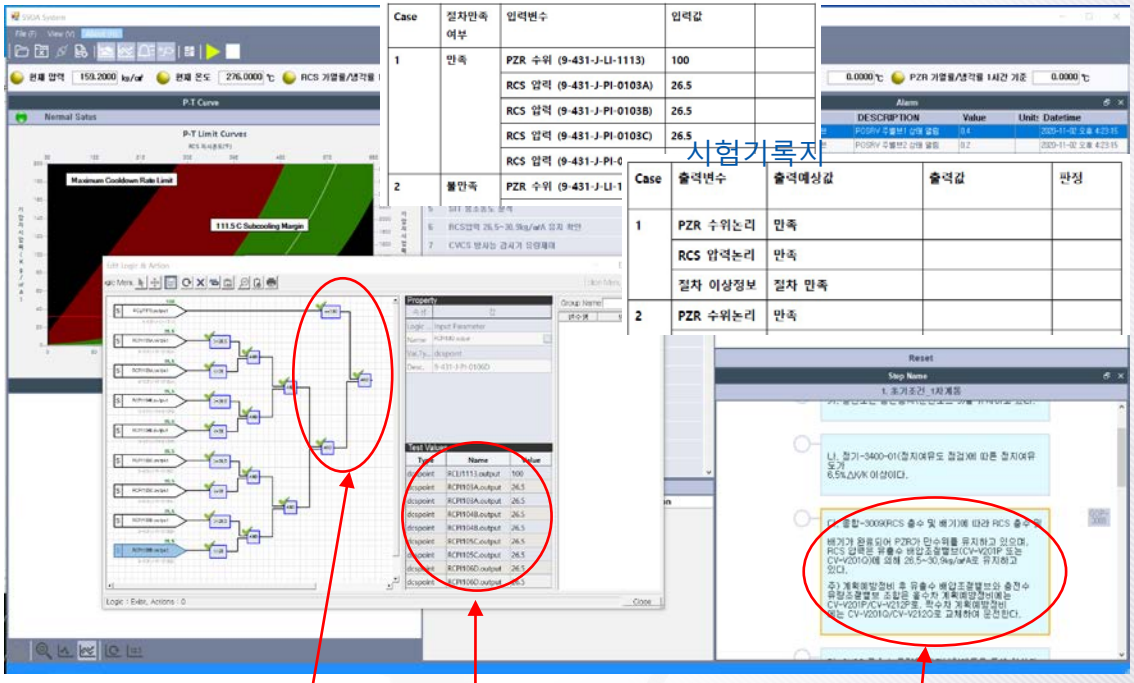
04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 기능 – 운전절차규칙 (단순규칙) (1/4)

- 시험 절차번호
  - "초기조건_1차계통", 3001-IV-1-1-다
- 시험입출력 / 절차서 기록지
  - 시험절차서 기록지 작성 (Test Cases)
  - 시험입출력 화면 개발

절차번호	제목	절차서	절차규칙	변수명	Tag No.
3001-IV-1-1-나	초기조건_1차계통	종합-3009(RCS 충수 및 배기)에 따라 RCS 충수 및 배기가 완료되어 PZR가 만수위를 유지하고 있으며, RCS 압력은 유출수 배압조절밸브(CV-V201P 또는 CV-V201Q)에 의해 26.5~28kg/㎠A로 유지하고 있다.	IF PZR 수위 = 만수위 (100%) AND 26.5 <= RCS 압력 <= 28 kg/cm2 THEN 절차 1-1-라 수행 ELSE IF 절차 1-1-나 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	PZR 수위 (Representative PZR Level (WR) L)	9-431-I-LI-1113
				RCS 압력 (RC-PI-0103A, RC-PI-0104B, RC-PI-0105C, RC-PI-0106D)	9-431-I-PI-0103A 9-431-I-PI-0104B 9-431-I-PI-0105C 9-431-I-PI-0106D



04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 기능 – 운전절차규칙시험 (전문가규칙) (2/4)

- 시험 절차번호
  - “초기조건_2차계통”, 3001-IV-2-1-가

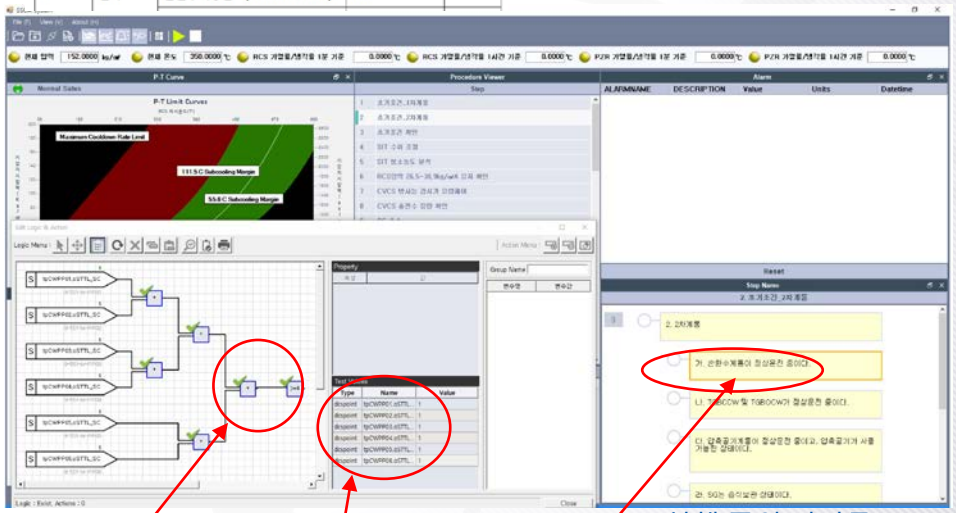
- 시험입출력 / 절차서 기록지
  - 시험절차서 기록지 작성 (Test Cases)
  - 시험입출력 화면 개발

절차번호	제목	절차서	절차규칙	변수명	Tag No.
3001-IV-2-1-가	초기조건_2차계통	순환수계통이 정상운전 중이다.	IF 순환수계통 = 정상운전 중 [4 CW-PPs out of 6 CW-PPs - 운전중] THEN 절차 2-1-나 수행 ELSE IF 절차 2-1-기 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	순환수계통 (CW-PP01 CW-PP02 CW-PP03 CW-PP04 CW-PP05 CW-PP06)	9-551-M-PP01 9-551-M-PP02 9-551-M-PP03 9-551-M-PP04 9-551-M-PP05 9-551-M-PP06

시험기록지

Case	절차만족 여부	입력변수	입력값
1	만족	순환수계통펌프(9-551-M-PP01)	ON
		순환수계통펌프(9-551-M-PP02)	ON
		순환수계통펌프(9-551-M-PP03)	ON
		순환수계통펌프(9-551-M-PP04)	ON
		순환수계통펌프(9-551-M-PP05)	ON
		순환수계통펌프(9-551-M-PP06)	ON
2	만족	순환수계통펌프(9-551-M-PP01)	ON

Case	출력변수	출력예상값	출력값	판정
1	순환수계통펌프논리	만족		
	절차 이상정보	절차 만족		
2	순환수계통펌프논리	만족		



04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 기능 – 운전절차규칙 현장기기 수동작동(수동규칙) (4/4)

- 시험 절차번호
  - "CVCS 정상유출수 유로 형성", 3001-IV-11-1-다

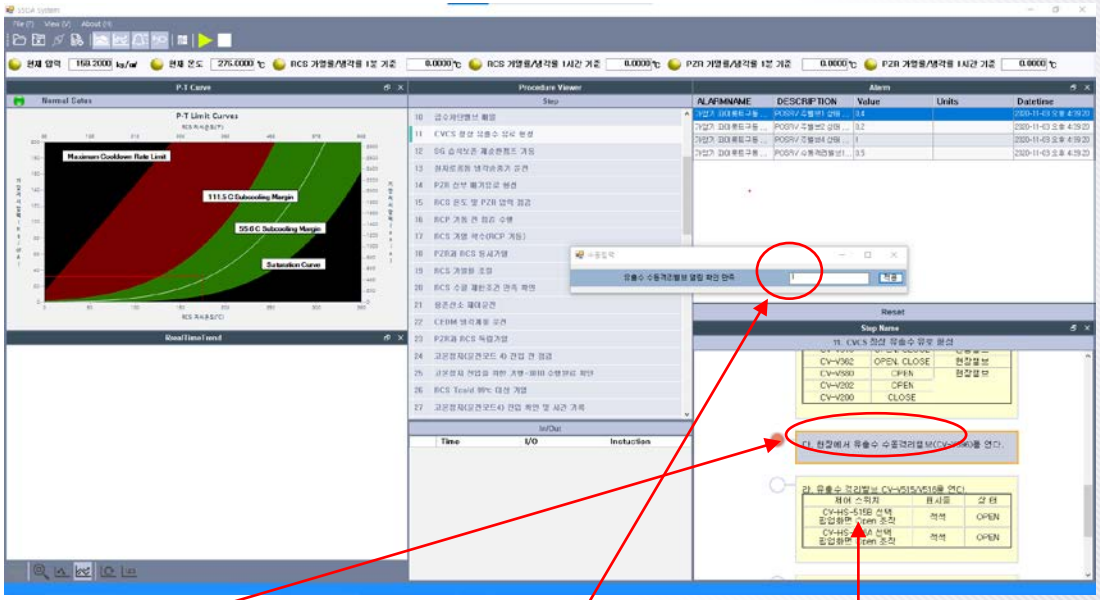
- 시험입출력 / 절차서 기록지
  - 시험절차서 기록지 작성 (Test Cases)
  - 운전원 수동입력 화면 개발
  - 시험출력 지시문 표시 개발

절차번호	제목	절차서	절차규칙	변수명	Tag No.
3001-IV-11-1-다	CVCS 정상 유출수 유로 형성	현장에서 유출수 수동격리밸브(CV-V396)를 연다.	DO 유출수 수동격리밸브 = OPEN (수동입력) IF 유출수 수동격리밸브 = OPEN THEN 절차 11-1-라 수행 ELSE IF 절차 11-1-다 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	유출수 수동격리밸브 (CV-V396, (수동입력))	N/A

Case	절차만족 여부	입력변수	입력값	입력방법
1	만족	유출수 수동격리밸브, CV-V396	Open	수동입력

시험기록지

Case	출력변수	출력 예상값	출력값	판정
1	유출수 수동격리밸브 논리	만족		
	절차 이상정보	절차 만족		
2	유출수 수동격리밸브 논리	불만족		



04 연구개발 진행현황 및 성과

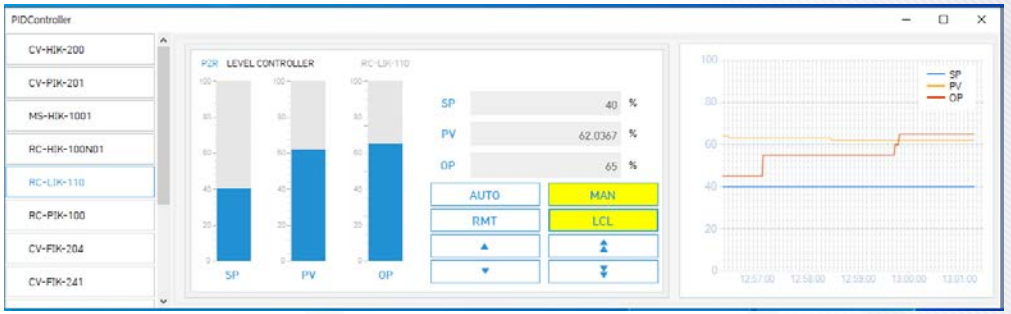
기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

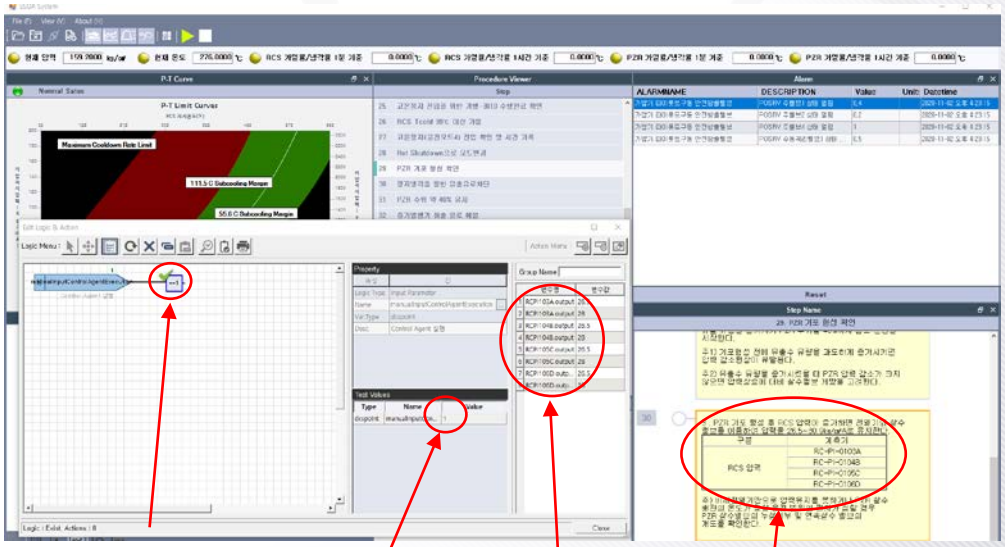
AI Agent 기능 – 운전절차규칙 (제어규칙) (3/4)

- 시험 절차번호
  - "PZR 기포 형성 확인", 3001-IV-29-3

- 시험입출력
  - 시험절차서 기록지 작성 (Test Cases)
  - 시험입출력 화면 개발
  - Action 편집 화면 개발

절차번호	제목	절차서	절차규칙	변수명	Tag No.
3001-IV-29-3	PZR 기포 형성 확인	PZR 기포 형성 후 RCS 압력이 증가하면 전열기와 살수 밸브를 이용하여 압력을 26.5~28kg/㎠A로 유지한다. 주) 비례전열기만으로 압력유지를 못하거나 PZR 살수 배관의 온도가 정상 운전 범위와 편차가 심할 경우 PZR 살수밸브의 누설여부 및 연속살수 밸브의 개도를 확인한다.	CONTROL AGENT 자동제어 구간 GO PID RCS 압력 자동제어 (전열기, 살수밸브 사용) - RCS 압력 26.5~28kg/㎠A 유지 IF Control Agent = 실행 (RCS 압력: 26.5~28kg/㎠A) AND 절차 30-1수행 ELSE IF 절차 29-3 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	RCS 압력: RC-PI-0103A, RC-PI-0104B, RC-PI-0105C, RC-PI-0106D 전열기 (P-1, P-2) 전열기 조절기(P-100) PZR 살수밸브 (RC 100F RC 100E) 살수밸브 조절기(H-100)	9-431-J-PI-0103A 9-431-J-PI-0104B 9-431-J-PI-0105C 9-431-J-PI-0106D 9-431-M-PZR-P1 9-431-M-PZR-P2 9-431-J-PIK-0100 9-431-V-0100F 9-431-V-0100E 9-431-J-HIK-0100





04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

○ 기동/정지 운전자동화시스템(SSOAS) 안정화 구현

○ JOG형 밸브 OPEN(100%)/CLOSE(0%) 명령 자동화

- 밸브에 대한 JOG OPEN(100%)/CLOSE(0%)를 수동으로 조작하던 규칙설계를 자동화 조작 처리
- MSIV 우회제어밸브를 자동으로 시간간격을 두고 연속적으로 10%, 30%, 50% OPEN 하도록 수정함 (표 참조)

○ 토글형 밸브 AUTO/MANUAL/CLOSE 명령 자동화

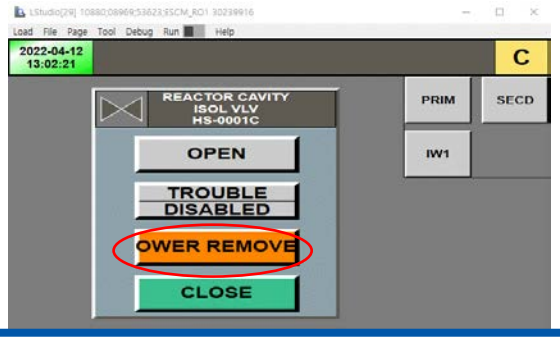
- MSIV 전단배수밸브 타입 경우, 운전원이 수동으로 수행하는 밸브에 대한 조작 명령을 OPEN → MANUAL/COLSE → AUTO/CLOSE 순서의 자동화 조작 처리로 개선함

○ 전원구동형 밸브 POWER 체크 및 OPEN/CLOSE 자동화

- Reactor Cavity 격리밸브 타입 경우, 밸브를 OPEN 시, 자동으로 'Power Removed'가 아닌지 체크하고 해제하여 밸브를 OPEN하도록 자동화 처리로 개선함 (그림 참조)

3001-IV-35-3-마	RCS가열 중 주증기관 예열	MSIV 우회제어밸브(MS-V019/V020/V021/V022)를 서서히 열어 예열을 시작한다. 주) 2차계통 예열이 시작되면 주기적으로 2차계통 누설여부를 확인하여 누설 부위를 정비해야 한다.	주) Information Provision DO MSIV 우회제어밸브 = 조절 OPEN [MS-V019 = 조절 OPEN AND MS-V020 = 조절 OPEN AND MS-V021 = 조절 OPEN AND MS-V022 = 조절 OPEN] IF MSIV 우회제어밸브 = 조절 OPEN [MS-V019 = 조절 OPEN AND MS-V020 = 조절 OPEN AND MS-V021 = 조절 OPEN AND MS-V022 = 조절 OPEN] THEN 절차 35-3-바 수행 ELSE IF 절차 35-3-마 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF

3001-IV-35-3-마	RCS가열 중 주증기관 예열	MSIV 우회제어밸브(MS-V019/V020/V021/V022)를 서서히 열어 예열을 시작한다. 주) 2차계통 예열이 시작되면 주기적으로 2차계통 누설여부를 확인하여 누설 부위를 정비해야 한다.	주) Information Provision DO MSIV 우회제어밸브 = 조절 OPEN 방법 : 3, 5, 8, 13 %(각 2초 delay 후 actuation) [MS-V021 = 조절 OPEN AND MS-V022 = 조절 OPEN AND MS-V023 = 조절 OPEN AND MS-V024 = 조절 OPEN] IF MSIV 우회제어밸브 = 조절 OPEN [MS-V021 = 조절 OPEN AND MS-V022 = 조절 OPEN AND MS-V023 = 조절 OPEN AND MS-V024 = 조절 OPEN] THEN 절차 35-3-바 수행 ELSE IF 절차 35-3-마 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF



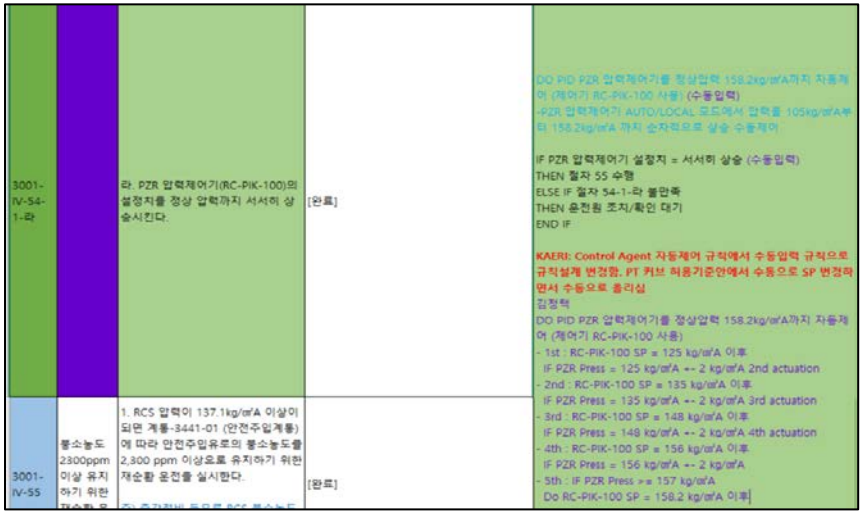
04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

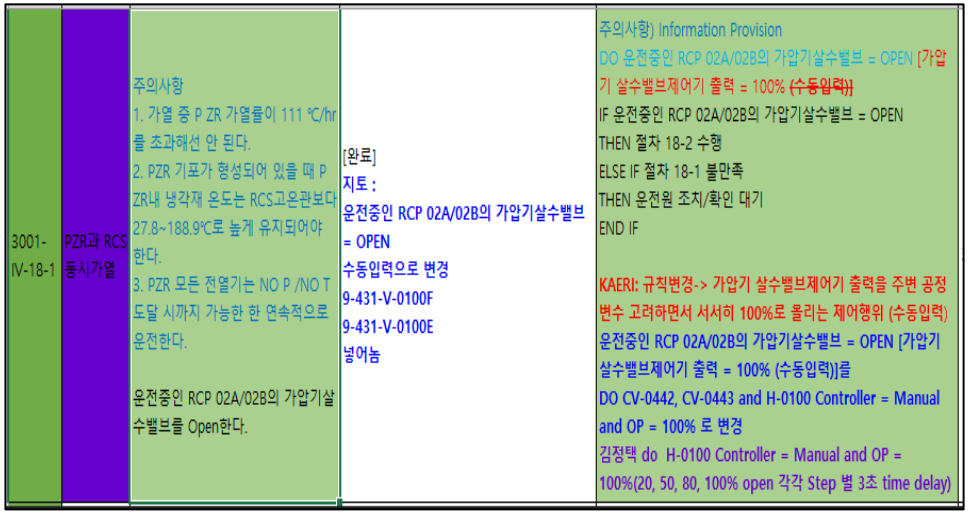
○ APR1400 시뮬레이터 연계 논리 개선 : 계통간의 연계 반영 단계적 동작 자동화

○ 가열 운전 절차서 3001, 3002 기능시험 결과
- Valve 단계적 Open/Close 자동화 : 15 개 절차 수정
- Setpoint 설정치 출력 단계적 자동화 : 5개 절차 수정
- 수동 운전 → Do 수행 자동화 : 15개 절차 수정
- 변수 오류 및 Logic 평가 개선 : 40 여개 절차 수정

○ 냉각 운전 절차서 3004, 3005 기능시험 결과
- Valve 단계적 Open/Close 자동화 : 6 개 절차 수정
- 단계적 설정치 출력 자동화 : 4개 절차 수정
- 수동 운전 → Do 수행 자동화 : 11개 절차 수정
- 변수 오류 및 Logic 평가 개선 : 20 여개 절차 수정



Setpoint 설정치 출력 단계적 자동화



단계적 Valve Open 출력 자동화

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

AI Agent 기능 – 기기동작 자동화 시뮬레이터 DB 연계 기능

- 시험 절차번호
  - “PZR 상부 배기유로 형성”, 3001-IV-14-1-나
- 시험입출력 / 절차서 기록지
  - 시험입력 : 변수입력창 Action 목록의 PX-V005, 006 개방 신호
  - 시뮬레이터 상태에 따라 자동작동
  - 시험출력 : 시뮬레이터화면 밸브 (PX-V005, 006) 상태 개방 상태 (Red) 표시

절차번호	제목	절차서	절차규격	변수명	Tag No.
3001-IV-14-1-나	PZR 상부 배기유로 형성	PZR 상부 1차측 시료채취 원자로건물 격리밸브 (PX-V005, 006)을 개방한다.	DO PZR 상부 1차측 시료채취 원자로건물 격리밸브 = OPEN IF PZR 상부 1차측 시료채취 원자로건물 격리밸브 = OPEN THEN 절차 15-1 수행 ELSE IF 절차 14-1-나 불만족 THEN 운전원 조치/확인 대기 END IF	PZR 상부 1차측 시료채취 원자로건물 격리밸브 (PX-V005, PX-006)	9-461-V-0005 9-461-V-0006

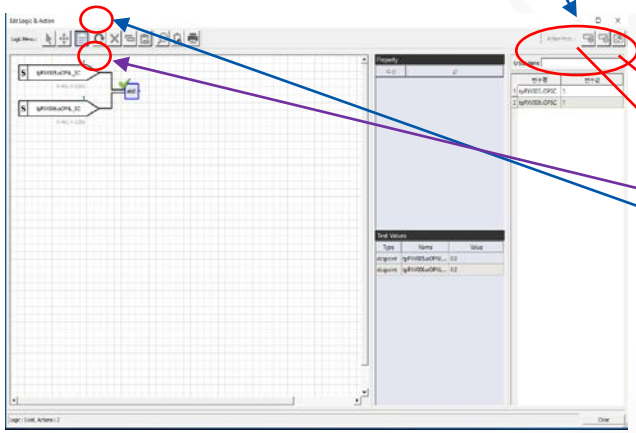
APR1400 시뮬레이터

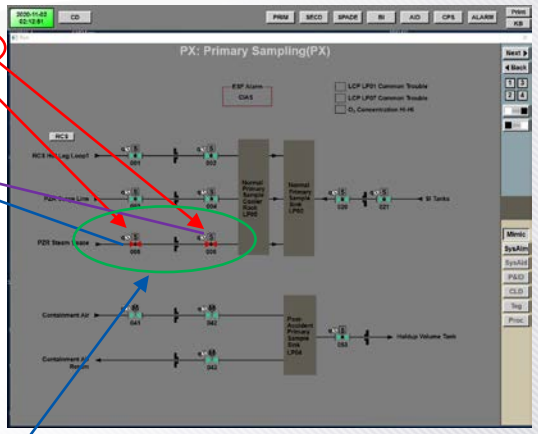
신호명	AI 에이전트 출력상태	시뮬레이 상태	일치여부	판정
PZR 상부 1차측 시료채취 원자로건물 격리밸브(PX-V005)	Open			
PZR 상부 1차측 시료채취 원자로건물 격리밸브(PX-V006)	OPEN			
RCP (RC 02A)	START			

시험기록지

Action 신호 출력

Action 목록(시험입력)





AI 에이전트

MMI (시험출력)

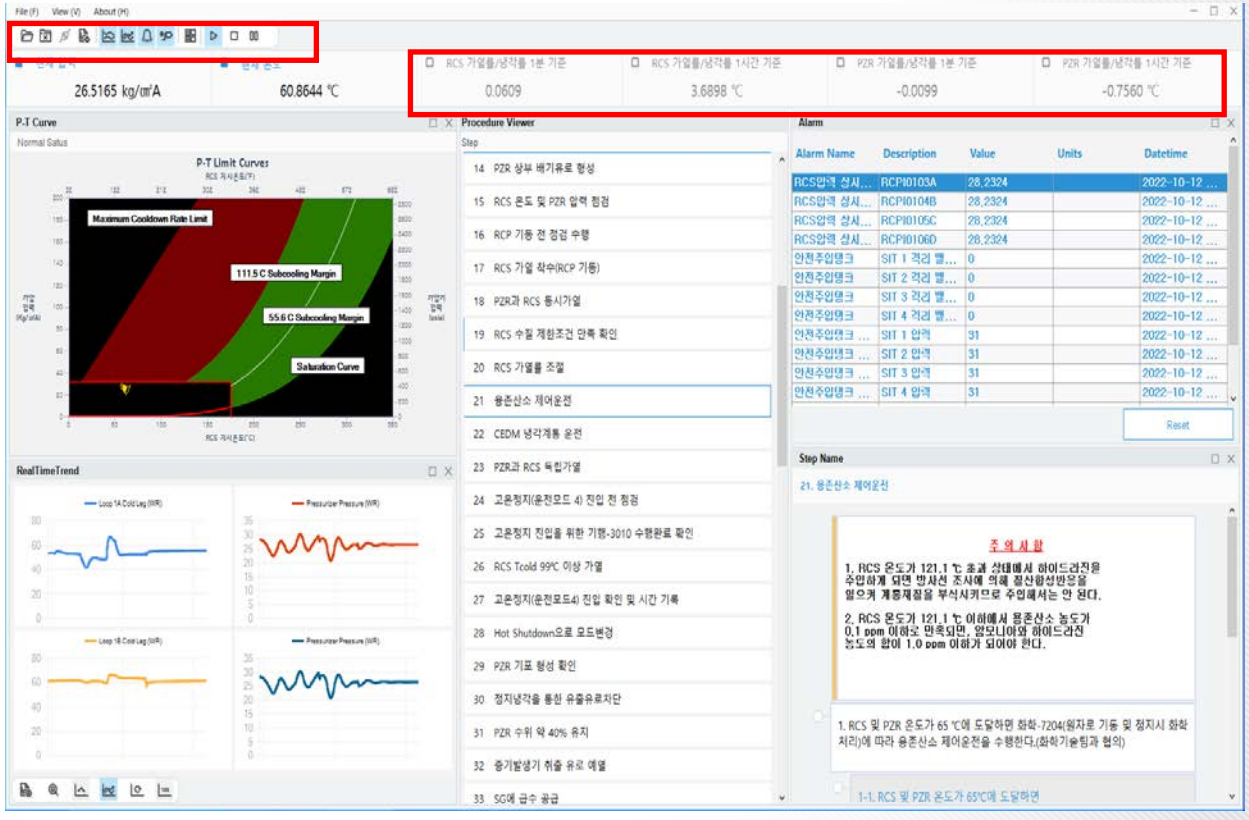
APR1400 시뮬레이터

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

기동/정지 자동화시스템 AI Agent 운전 연계화면 모듈 구현

- **AI Agent Main 화면**
  - P-T Curve 화면
  - Trend 화면, 절차서 수행 화면
  - 필수감시기능 경보 알람창 (압력/온도 안전구간 상시감시)
  - 절차서 만족 평가 실행 화면
- 운전연계화면
  - 가열률/냉각률 계산값 표시 (1분 or 1시간)
  - 자동화운전 시작/정지 기능 버튼
  - 운전원 자동계산기 실행 버튼 (SDM, ECP 등)



기동/정지 자동화시스템 AI Agent Main 화면

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

기동/정지 운전자동화시스템 – Control Agent 기능

- 기동 및 정지 운전 중 제어 자동화 구간에 대한 자동제어 로직 수행 기능
  - 수동 조작기기 단순 조작 명령
  - 제어규칙에 대한 제어자동화 수행
  - RCS 온도 가열률/냉각률 제어자동화 수행
  - RCS 온도/기기동작에 따른 S.P 조절 등 자동화 수행
  - APR1400 시뮬레이터 연계 수행

- AI Agent 와의 운전 연계화면 기능
  - 수동 조작기기 명령 수행 여부 확인
  - AI Agent의 제어 출력신호 Control Agent 제어자동화 연계화면(DCS 제어블록) 처리

04 연구개발 진행현황 및 성과

» 기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

» Control Agent 기능 구현 및 시험

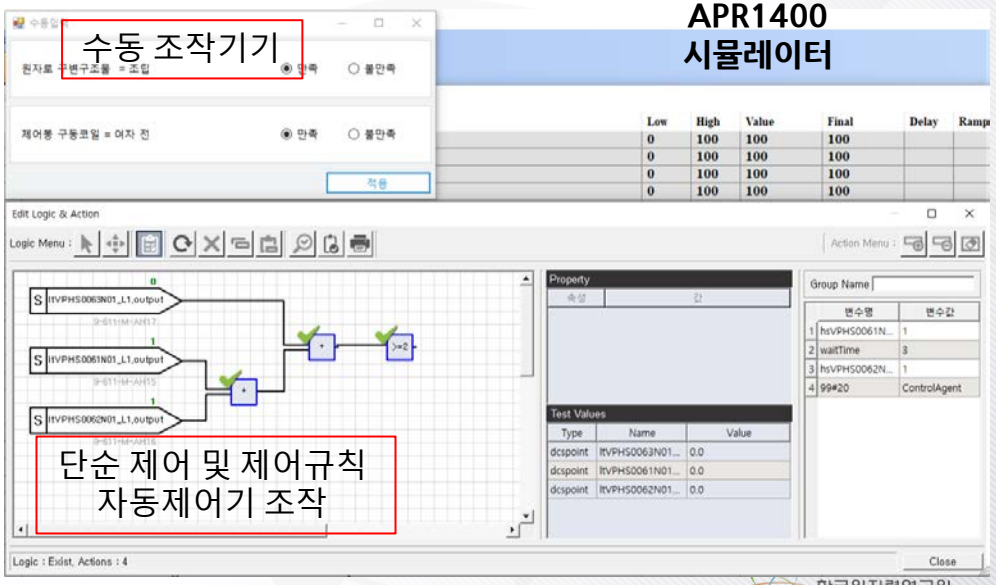
DCS
모사 컴퓨터

Control Agent

Interface

APR1400
시뮬레이터

- 단순 제어기기 조작 기능
  - 펌프/밸브 Open / Close 기능
  - APR1400 시뮬레이터 연계 확인
- 제어자동화 수행
  - 제어규칙 PID 자동제어기 기능
  - APR1400 시뮬레이터 연계 확인
- AI 에이전트 연계기능
  - 수동 조작기기(펌프/밸브) 명령 확인
  - 제어자동화 주요입력(SP, PV, OP 등) 확인

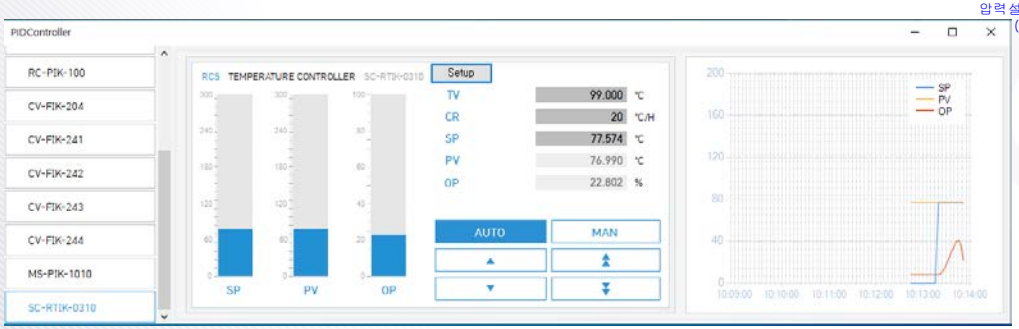


04 연구개발 진행현황 및 성과

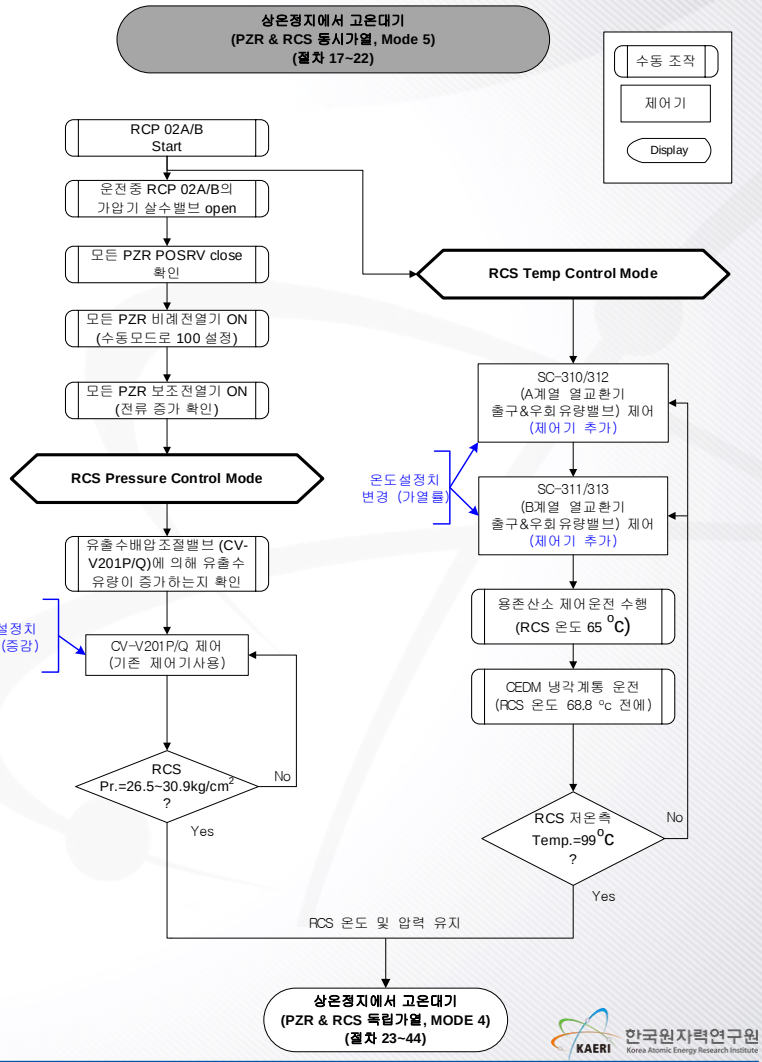
기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 자동제어 모듈 구현

- 3001-IV-18-4 : RCS 압력 자동제어 (기존 자동제어기 사용)
  - 제어대상 : 유출수 배압 조절밸브
  - 제어조건 : 26.6~28kg/cm^2 로 유지 (PIK-201 사용)
- 3001-IV-20-1 : RCS 가열률 자동제어
  - 제어대상 : 열교환기 출구유량 제어밸브, 열교환기 우회유량 제어밸브
  - 제어조건 : Mode 4 진입조건 99 ℃까지, 가열률 : 55℃/hr 이하



RCS 가열률 자동제어기



04 연구개발 진행현황 및 성과

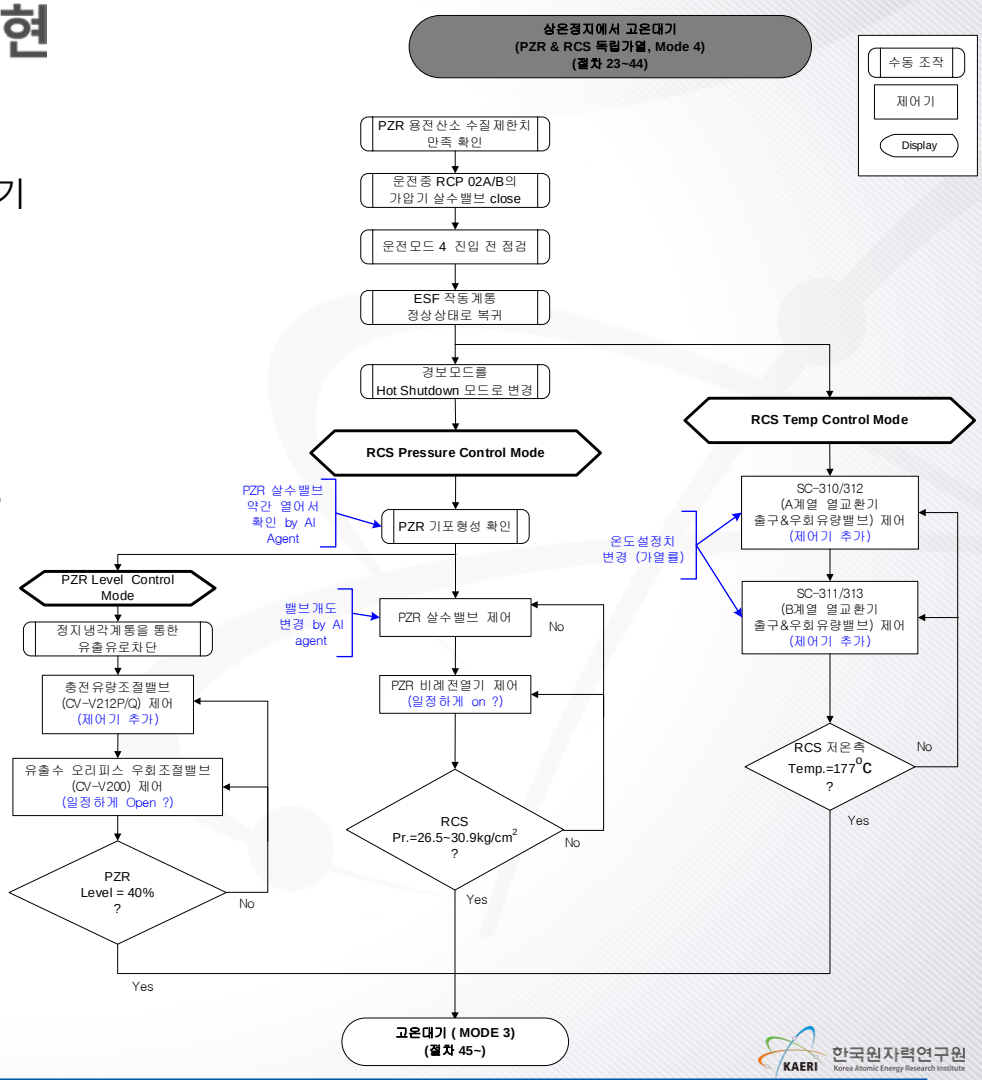
기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 자동제어 모듈 구현

- 3001-IV-26-1 : RCS 가열률 자동제어
  - 제어대상 : 열교환기 출구유량 제어밸브, 열교환기 우회유량 제어밸브
  - 제어조건 : Mode 3 진입조건 177 ℃까지, 가열률 : 55℃/hr 이하

- 3001-IV-29-2 : PZR 기포형성 확인 후 PZR level 40% 자동제어
  - 제어대상 : 유출수 오리피스 우회조절밸브, 충전유량조절밸브
  - 제어조건 : PZR level 40% 유지

- 3001-IV-29-3 : RCS 압력 자동제어
  - 제어대상 : 전열기, 살수밸브
  - 제어조건 : 26.6~28kg/cm² 로 유지

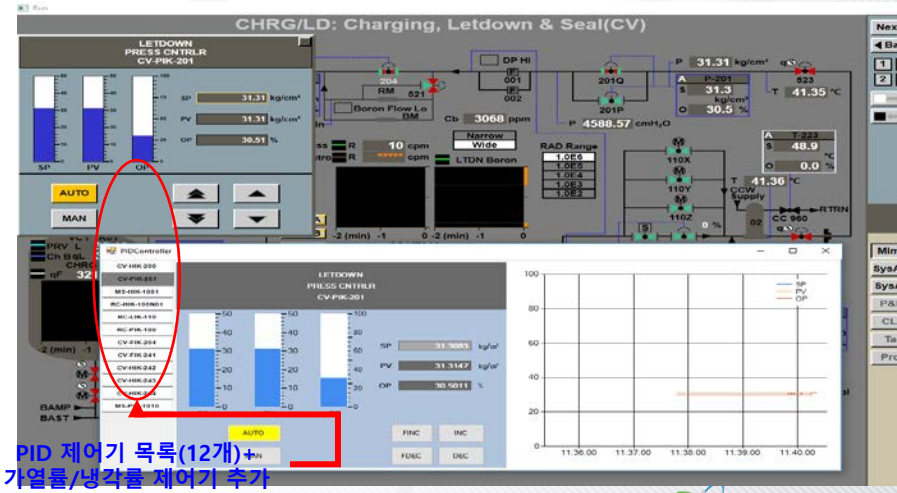


04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 운전 연계화면 모듈 구현

- Control Agent 연계화면 구현
  - PID, Trend Display window
  - PID 제어기 목록(13개) 제공
    - 유출수 배압조절기 (CV-PIK-201) – 우측 그림
    - 방사능 감시기 유량제어기(CV-FIK-204)
    - 유출수 오리피스 우회조절밸브 유출유량 조절기(CV-HIK-200) …
    - 신규 가열률/냉각률 제어기 추가
  - 12개 PID 제어기 시뮬레이터 연계 모듈 개발
  - AI Agent와 Control Agent 통합 연계 구현

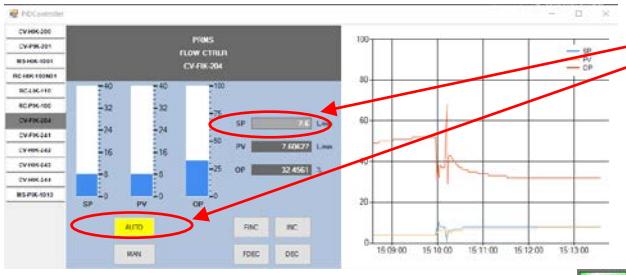


04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 기능 – 시뮬레이터 DB 연계 기능

- 시험절차번호
  - "CVCS 방사능 감시기 유량제어", 3001-IV-7-1
- 시험입출력 / 절차서 기록지
  - 시험입력 : 연계화면 CV-FIK-204 유량 설정치 7.6, Auto로 설정
  - 시험출력 : 시뮬레이터화면 제어기



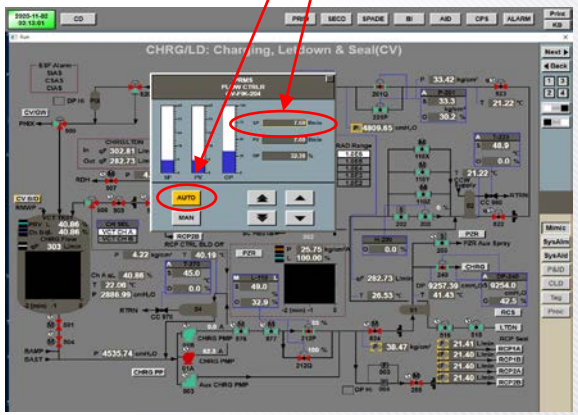
시험입력

시험출력

Control 에이전트

제어기 명	신호명	Control 에이전트 출력 값/상태	시뮬레이터값/상태	일치여부	판정
CVCS 방사능 감시기 유량제어기	유량 SP	7.6	7.6		
	Auto/Manual	Auto	Auto		
가압기 수위제어	가압기 수위 SP	40	40		

시험기록지



APR1400
시뮬레이터

04 연구개발 진행현황 및 성과

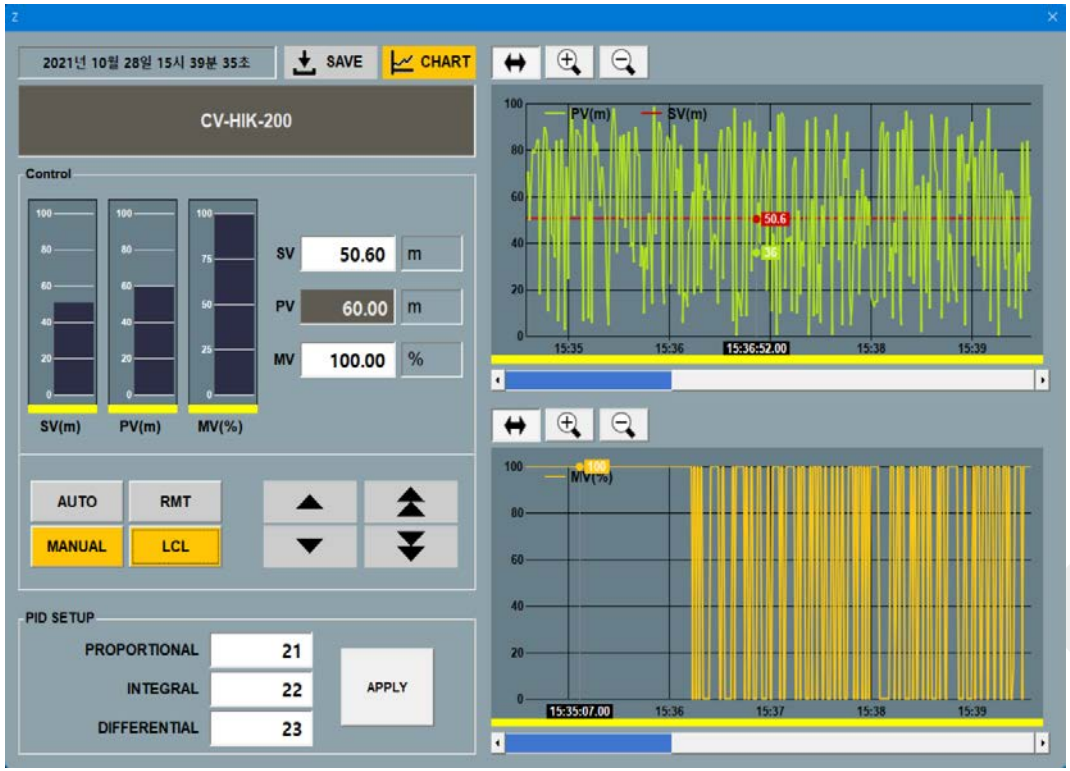
기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

APR1400 분산제어용 Control Agent 제어기 구현

○ 가열률/냉각률 신규제어기용 P, I, D 계수값 설정 창 추가

○ Heatup 또는 Cooldown 온도 제어를 위한 설정창 (target, heatup rate) 추가

○ 제어된 결과 확인을 위해 setpoint, Process value, Manipulated value 를 확인할 수 있도록 트랜드 화면 추가



○ 가열 및 냉각 운전 자동화 시나리오

- AI Agent
  - target value와 heatup/cooldown rate 전송
- Control Agent
  - Heatup/cooldown rate에 따라 온도제어
  - target value에 도달하면 온도 유지

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 기능 – 가열률/냉각률 제어기 기능 구현(PID) (1/2)

- 기능시험 범위
  - 개발된 PID 제어기의 user interface (제어기 화면) 기능 적합성
  - '상온정지 상태로부터 고온대기 상태운전' 절차에 따른 RCS 온도 및 RCS 압력 자동제어 기능 적합성
- PID 제어기 user interface 기능 시험 결과
  - 가영률/냉각률 제어기 기능
    - 설정치 모드 : Local/Remote
      - Local : 직접 설정 여부
      - Remote : AI Agent 로부터 설정 여부
    - 출력 모드 : Auto/Manual
      - Auto : 제어기 연산 결과 출력 여부
      - Manual : 직접 설정 여부
    - PID Setting 모드 : P/I/D value
      - PID set : PID 값 직접 설정 여부

가열률/냉각률 PID 제어기 user interface

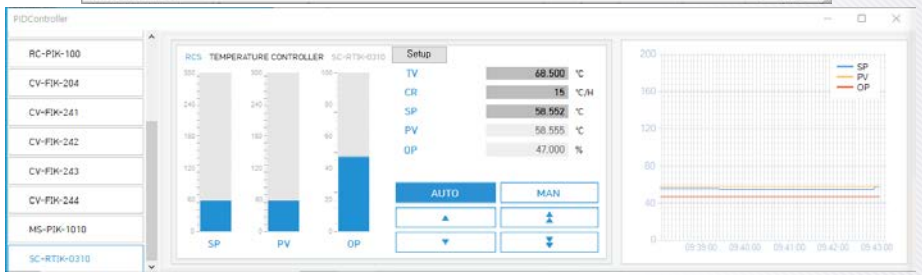
04 연구개발 진행현황 및 성과

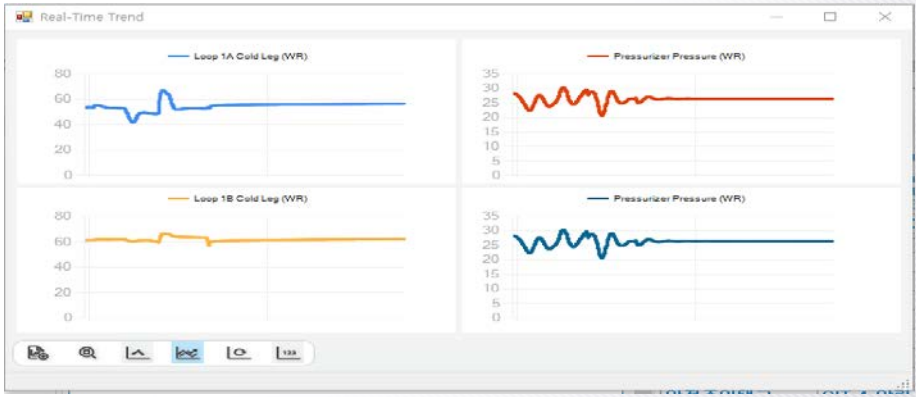
기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

Control Agent 기능 – 가열률/냉각률 제어기 기능 및 시험 (PID) (2/2)

- RCS 온도 및 RCS 압력 자동제어 기능
  - 기능 시험 항목

	제어수단	범위
RCS 온도제어	잔열제거펌프의 열교환기 출구측 조절밸브	상온에서 99℃까지 시간 당 28℃ 이내로 가열
RCS 압력제어	유출유량 조절밸브	냉각재계통의 압력을 23 ~ 28kg/cm² 로 유지





가열률 제어 출력에 따른 온도 및 압력제어 시험 결과

  - 시험 결과
    - RCS 온도제어
      - 가열율 설정치 (시간당 20 ℃)에 따라 RCS 가열되는 것 확인
      - RCP 기동에 따라 온도 변화 발생되지만, SCS 출구측 밸브 조절을 통해 온도 제어 가능
    - RCS 압력제어
      - 압력 설정치 (28.0 kg/cm²)에 따라 RCS 압력 제어 확인
      - Back Pressure 밸브 S.P 조절에 따라 압력 변화 발생함

04 연구개발 진행현황 및 성과

» 운전자동화시스템 논리기능 및 통합 성능검증 시험

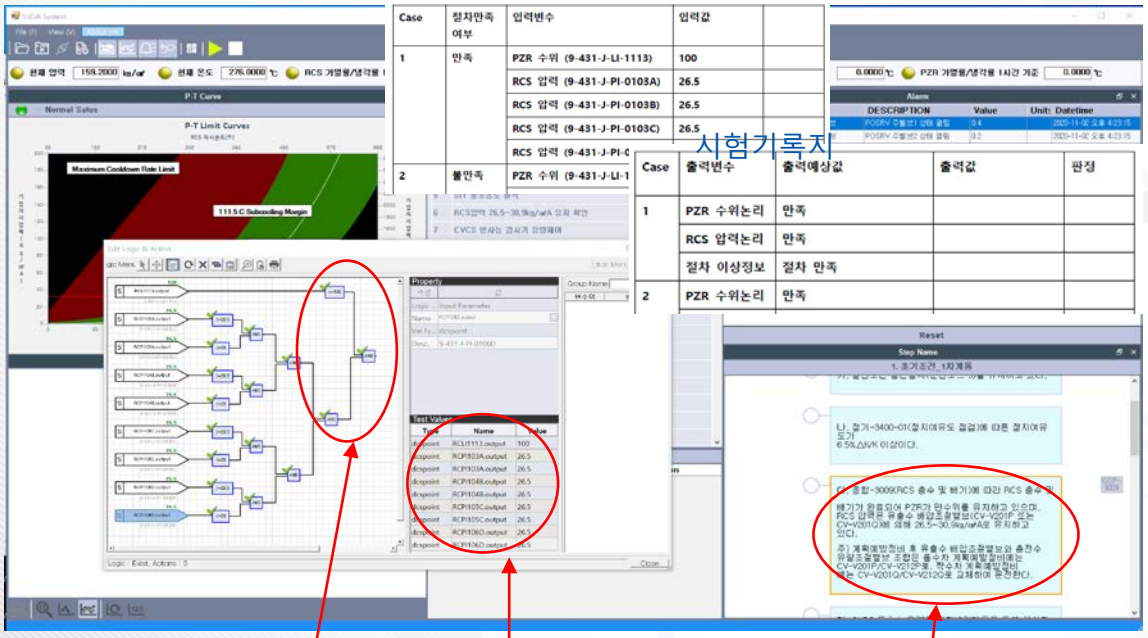
» 기동/정지 자동화시스템 논리/기능 통합 시험 구성도

04 연구개발 진행현황 및 성과

운전자동화시스템 논리 및 기능시험

AI Agent Logic 기능 시험

- 연계화면 기능
  - 발전소 상태 확인 화면 기능
  - 절차수행 화면 표시 기능
  - 필수감시 및 기타 경보 화면 확인 기능
  - 규칙설계를 위한 로직 뷰어 또는 편집기 기능



AI Agent

Interface

APR1400
시뮬레이터

04 연구개발 진행현황 및 성과

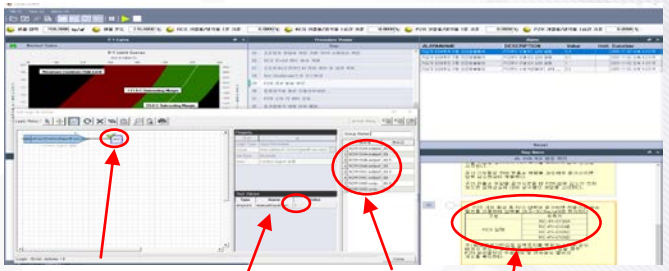
기동/정지 운전자동화시스템 논리 구현

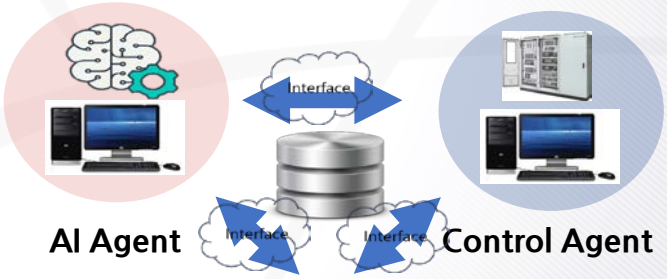
통합 기동/정지 운전자동화시스템 기능시험

- 통합 연계기능 사전시험
  - AI 에이전트 – Control 에이전트 – ARP1400 시뮬레이터
  - 통합 연계기능 확인 시나리오 수행

- 필수감시 기능
  - 주요 기술지침서, 주의 및 제한사항의 상시 모니터링 기능 확인
  - 초기조건/주의사항 확인을 위한 운전원 수동 계산 입력기 기능 확인

- 기동운전절차 자동화기능 통합시험
  - 단순/전문가 규칙 자동화
  - AI Agent/Control Agent 연계 제어규칙 자동화
  - RCS 가열률/냉각률 제어 자동화 및 계통 영향 연계시험
  - 수동입력규칙 자동화





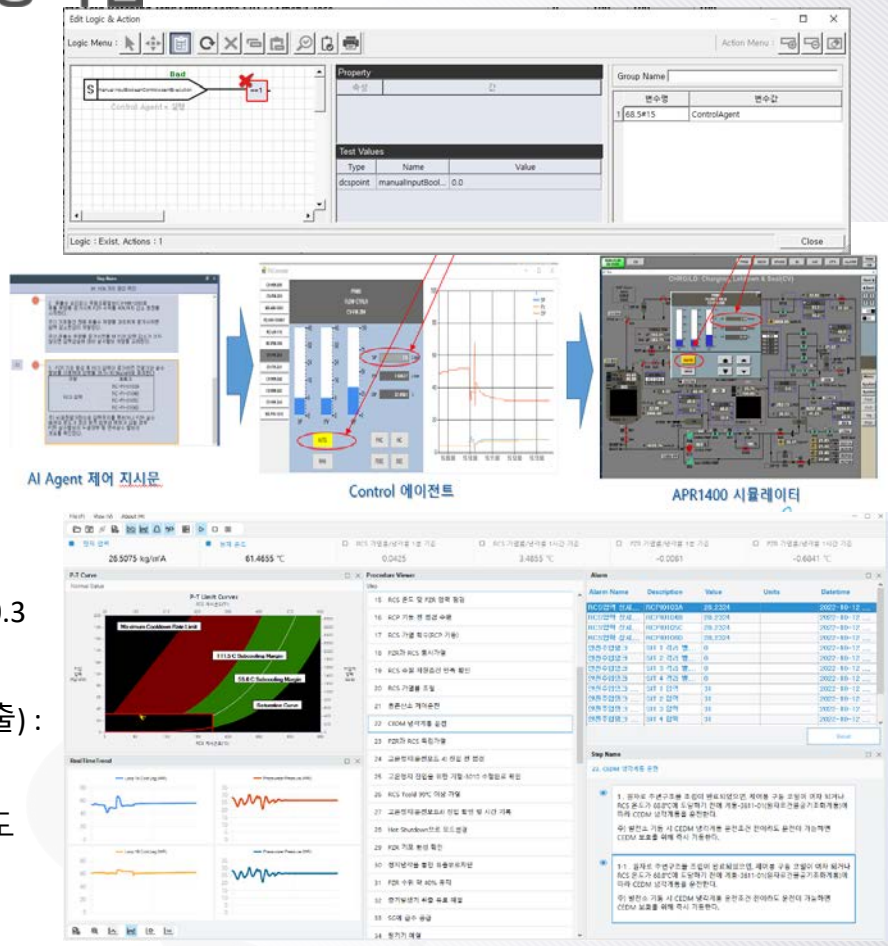
APR1400
시뮬레이터

04 연구개발 진행현황 및 성과

통합 운전자동화시스템 논리 및 기능시험

통합 기동/정지 운전자동화시스템 기능시험

- AI Agent/Control Agent/**APR 1400 시뮬레이터 연계시험**
  - 데이터 송수신 시험
  - MMI 화면 입출력 기능시험
  - AI Agent 에서의 운전 절차서 수행 기능 시험
  - AI Agent에서 Control Agent로의 입출력 송수신 시험
  - AI Agent에서 Control Agent 로 출력된 제어 명령 수행
  - APR 1400 시뮬레이터에서의 제어 명령 수행 결과 확인
- 통합 성능검증 시험
  - ✓ 통합 시험 환경 구축 및 확인(CRI 시뮬레이터)
  - ✓ 통합 기능 시험 수행
    - ✓ 종합 3001-IV-1-1(초기조건) ~ 3001-IV-52(RCS 압력 50.3 Kg/Cm2) : 가열, 기포생성, 압력 조절 절차수행 시험
    - ✓ 종합 3002-IV-5-1(붕산 희석) ~ 3002-IV-14(조절본 인출) : 가열 및 부분강, 제어봉 그룹 인출 시험
    - ✓ 종합 3004-IV-1(붕소균일화) ~ 3002-IV-20(저온관 온도 유지) : 정지 및 부분강 제어봉 그룹 삽입 시험
    - ✓ 종합 3005-IV-1(정지여유도 계산) ~ 3002-IV-21(유출유량조절) : 냉각, Rx 정지, 34.8 Kg/cm2 감압

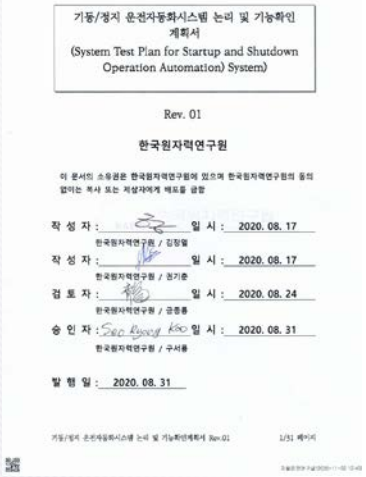


통합 기능 절차서 수행 시험 화면

04 연구개발 진행현황 및 성과

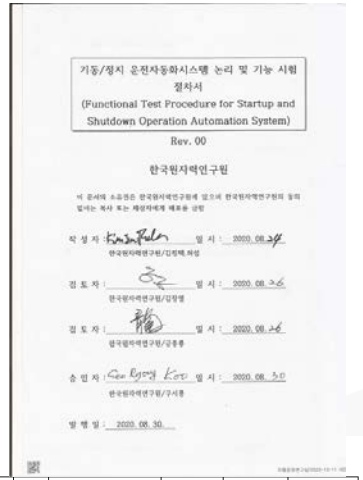
기동/정지 운전자동화시스템 시작품 논리기능 및 통합 시험

- 원전 인허가 기반 운전자동화시스템 시험 계획서/절차서/보고서 작성
- 운전자동화시스템 주요 모듈 AI에이전트 및 Control 에이전트 소프트웨어 시험
- 기동/정지 운전자동화시스템 논리/기능/통합 성능 검증 시험


기동/정지 운전자동화시스템 논리 및 기능확인 계획서
(System Test Plan for Startup and Shutdown Operation Automation) System)

Rev. 01

한국원자력연구원


기동/정지 운전자동화시스템 논리 및 기능 시험 절차서
(Functional Test Procedure for Startup and Shutdown Operation Automation System)

Rev. 00

한국원자력연구원

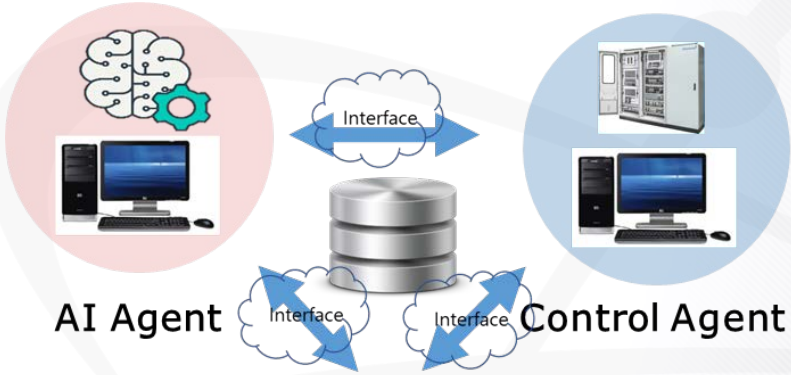


표 7.3 시험 기록지 (Typical 예시 1)

CASE X

입력 종류	시험 입력값	출력 변수	출력 기대값	시험 출력값		판정 (P/F)
				Simulator 출력값	시험대상에서의 출력값 (화면 등)	
입력변수_1		입력에 대한 응답으로 확인 가능한 변수 기술	시험입력으로 기대되는 출력값	실제 측정된 출력값		
.....						
입력 m 변수						

절차번호	세부절차	플랜트(시뮬레이터) 상태 값			예상 결과 만족 여부	AI Agent 상태 (결과 만족상태)	판정 (P or F)
			수행전	수행 후			
가동-XXXX	가-(1)	가압기 압력	30	40	가-(1) 만족	*****	
		Thot	70	80			
		Charging VV 상태	off	on			
		LD 밸브 상태	on				

APR1400
시뮬레이터

04 연구개발 진행현황 및 성과

기동/정지 운전자동화시스템 개발 설계 문서 작성

기동/정지 자동화시스템 통합 논리 및 기능시험 계획서 및 절차서

- 운전자동화시스템 설계요건서, 설계사양서 등 설계문건 개발
- 운전자동화시스템 논리 및 기능시험, 통합시험 계획서 개정 (Rev.01
  - AI 에이전트/Control 에이전트 상세 구현내용 따른 시험항목 개정
  - 운전자동화시스템 시험수행 전략 반영
- 운전자동화시스템 논리 및 기능시험, 통합시험을 위한 절차서 및 시험결과서 작성(Rev.00)
  - 운전자동화시스템 상세 시험범위 및 시험항목 기술
  - 시험수행 전략에 따른 시험 기록지 템플릿 개발 및 시험결과 기록

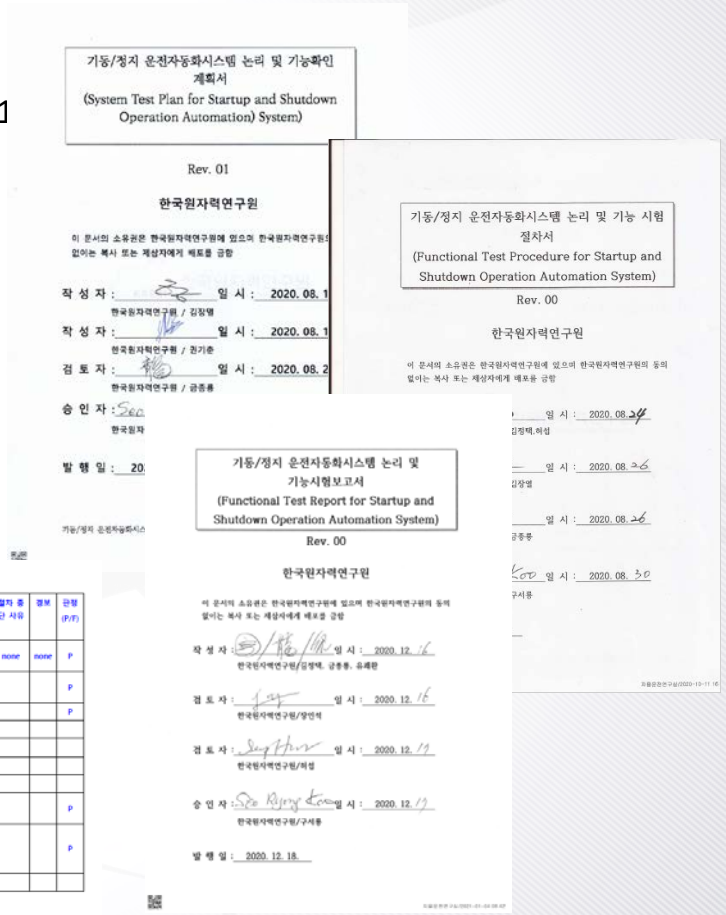


표 7.3 시험 기록지 (Typical 예시 1)

CASE X

입력 종류	시험 입력값	출력 변수	출력 기대값	시험 출력값		판정 (P/F)
				Simulator 출력값	시험대상에서의 출력값 (화면 등)	
입력변수_1		입력에 대한 응답으로 확인 가능한 변수 기술	시험입력으로 기대되는 출력값	실제 측정된 출력값		

입력 m 변수						

04 연구개발 진행현황 및 성과

운전원 조작빈도 분석 및 정량적 평가

- 조작빈도 분석 결과 규칙기반 운전자동화에 따라 48.5%의 운전자동화율 가능
- 운전자동화에 의한 운전원 작업부하 경감률 47.26% (약 ½ 작업부하 경감효과)

구분		측정방법	비고
직무빈도	감시직무빈도	(자동화 적용후 감시직무 횟수)/(기존 감시직무 횟수)	감시, 확인, 기록, 판단
	수동조작빈도	(자동화 적용후 수동조작 횟수)/(기존 수동조작 횟수)	제어, 계산
운전원 작업부하		(자동화 적용후 작업부하)/(기존 작업부하)	직무별 부하가중치(난이도) 적용

절차서	운전자동화 이전		운전자동화 이후		자동화율
			수동	자동	
3001	전체 항목수	198	64	134	**67.68%**
	감시직무빈도	124	38	86	69.40%
	수동조작빈도	74	26	48	64.90%
3002	전체 항목수	171	126	45	**26.32%**
	감시직무빈도	66	40	26	39.40%
	수동조작빈도	105	86	19	18.10%
합계	전체 항목수	369	190	179	48.5%
	감시직무빈도	190	78	112	58.9%
	수동조작빈도	179	112	67	37.4%

절차서	총 작업부하	자동화 담당부하	잔여 작업부하	작업부하 경감률
3001	1023.53	665.9	357.6	65.07%
3002	836.30	213.0	623.3	25.47%
합계	1859.83	878.9	980.9	47.26%

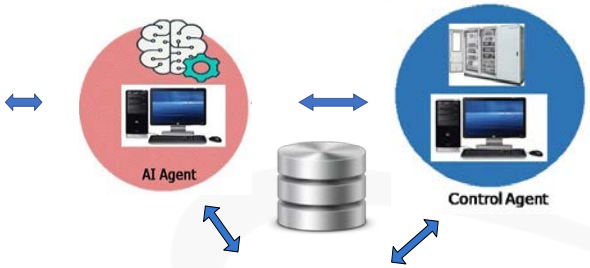
05 연구개발 성과 : 운전원 시연

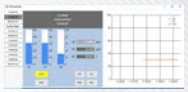
기동/정지 운전자동화시스템 운전원 시연

기동/정지 운전자동화시스템(OAS) 현장 운전원 시연

- CRI 현장설치 구성
  - AI 에이전트 (PC/화면)
  - Control 에이전트(PC/화면)
  - APR1400 시뮬레이터

AI Agent MMI





Control Agent MMI

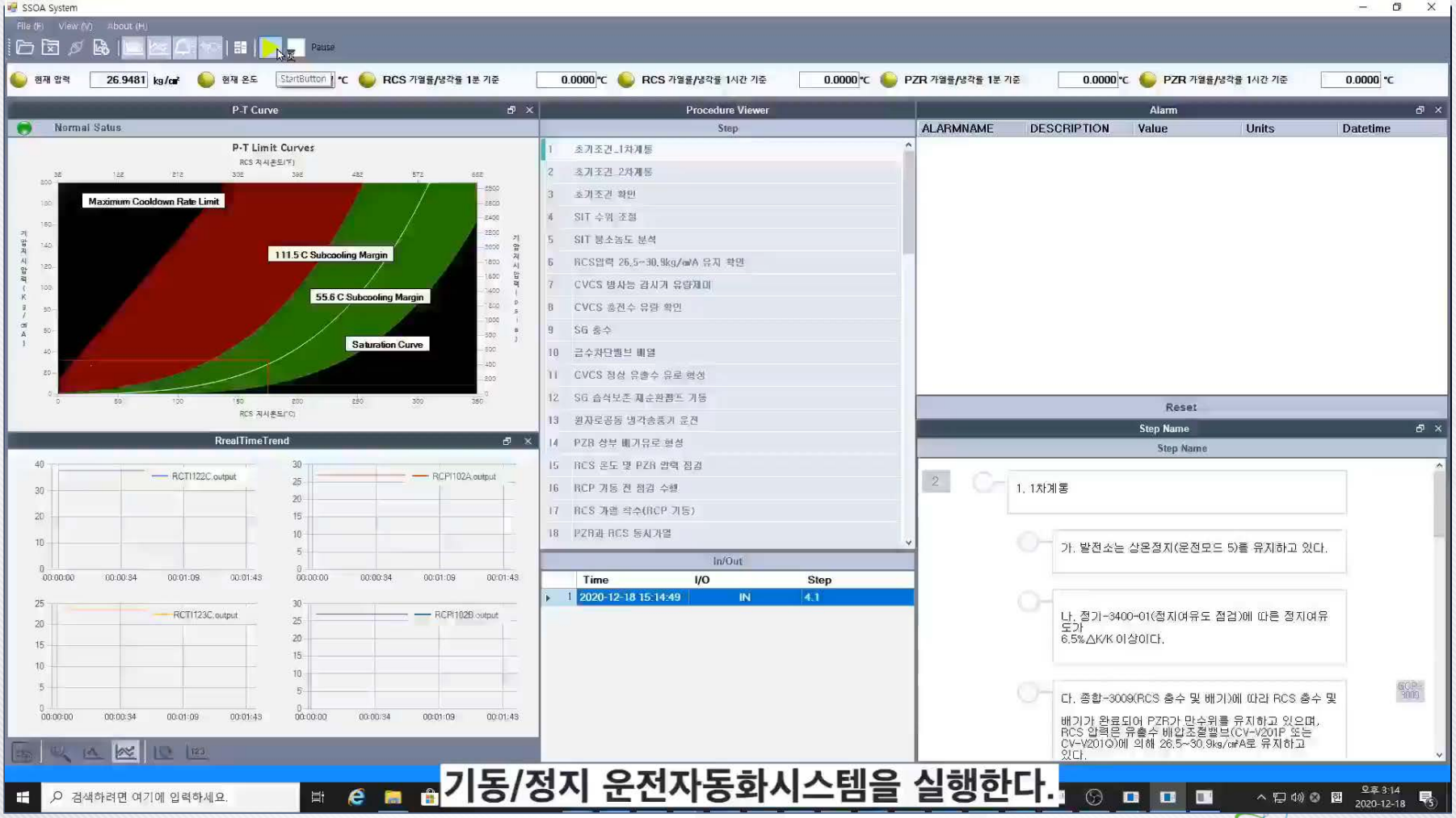
APR1400
시뮬레이터

APR1400 MMI

- CRI 현장시연 시나리오(안)
  - 1. AI 에이전트 / Control 에이전트 개별 기능시험
  - 2. 기능시험 동영상 Play
  - 3. 기동운전 일정구간 시연 (3001-IV-1 ~ 3001-IV-23)

05 연구개발 성과 : 운전원 시연

기동/정지 운전자동화시스템 기동운전구간 시연 영상



기동/정지 운전자동화시스템을 실행한다.

05 연구개발 성과 : 운전원 시연

» 기동/정지 운전자동화시스템 시연 운전원 의견 요약

- **초기조건 확인 등 단순작업 등은 자동화 좋음, CPS와 통합하여 적용하면 좋을 것임. CPS Upgrade 시 통합 추가하면 좋겠음.**
- **가열/냉각/가압기 저압/증기발생기 저압 설정치 자동 Reset 기능 유용**
- **가열/냉각 제어중 RCS 압력제어 자동화 필요**/현장의견 반영, 발전부와 협력 필요
- 기동/정지 지동화시스템의 사용을 위해 계통의 운영 사전 교육이 필요함.

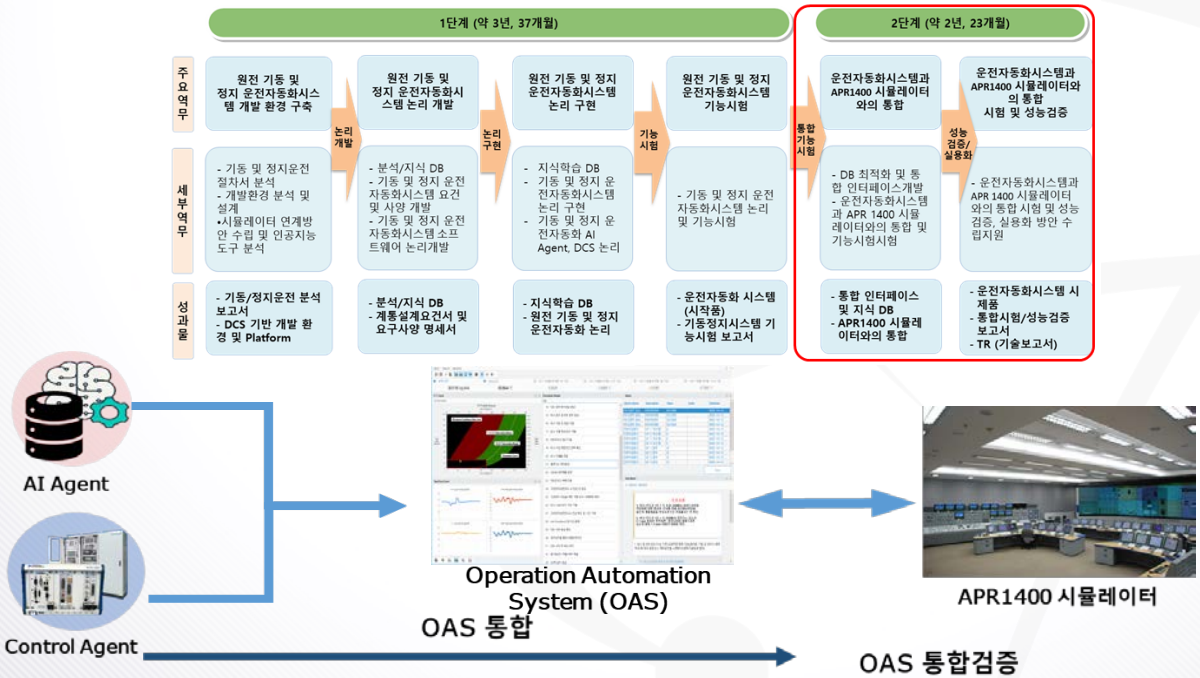
다음은 주관적인 의견을 묻는 설문지입니다. 질문에 맞게 본인의 의견을 기술해주시기 바랍니다.

	질문	답변
1	운전자동화시스템에서 보완이 필요한 사항이 있었습니까? 있다면, 그렇게 생각한 이유는 무엇입니까?	자동동작되는 부분, 초기조건 자동확인 등 시스템기능은 원활했습니다. 보완점은 각 절차에 조작이 자동으로 될 때 다른 변수가 영향을 끼치는 부분도 자동제어가 되었으면 좋겠습니다. 그리고 자동제어 절차의 경우 실제 발전소를 운전하고 있는 발전부 검토 및 적절성 확인을 했으면 됩니다.
2	본인의 경험을 참고하여, 이 운전자동화시스템에 추가로 필요한 기능을 제안하고 싶은 것이 있습니까?	~~자동제어가 시작되는 시점은~~ 추가되어야 될 필요한 기능은 없는 것으로 판단됩니다.
3	향후 발전소에 적용된다면, 어떤 계통을 가장 많이 확인할 것 같습니까? 또, 그렇게 생각한 이유는 무엇입니까?	냉각률 및 가열률 조절 (냉각 및 가열운전) 해당내용은 지속적으로 확인해야되는 부분이라 자동화가 되면 굉장히 편리할 것 같고 다른 업무로 병행할 수 있는 장점이 될 듯 합니다.
4	향후 발전소에 적용된다면, 어떤 운전원에게 제공되는 것이 필요하다고 생각합니까? (SS, SRO, RO, EO, TO) 또, 그렇게 생각한 이유는 무엇입니까?	RO, TO, EO 이유: 대부분 종합운전의 경우 실제 조작을 하는 운전원들에게 모두 필요한 것으로 보입니다. (종합절차의 경우 모든 운전원들 조작사항이 있음)
5	운전자동화시스템에 대한 주관적인 평가를 자유롭게 기술해주십시오.	모두 자동화를 하는 것보다 종합절차의 루틴업무로 냉각 및 가열운전, 만액시 압력제어 (RCP 운전가능압력, LTOP 개방 안되도록 제어 등) 일부 운전원들이 지속적으로 확인해야되는 관련 절차에 중점적으로 관리하여 ~~업무부하를~~ 품질을 높이는게 좋을것 같습니다. 초기조건 자동확인은 좋았습니다.

06 연구개발 향후 계획 및 Summary

통합 기동/정지 운전자동화시스템 상용화 및 인허가 추진

- 발전소 시뮬레이터 통합와 기동/정지 운전자동화시스템(OAS) 통합 시험
- 기동/정지 운전자동화시스템(OAS) 실용화 방안 수립 및 인허가 추진
  - 단계적 실용화 : 일부기능 CPS와 통합 적용(절차확인 및 단순 규칙 우선 적용)
  - ISMR, SMART 100 등 신규 원전 설계적용



THANK YOU