

# 원전 부하추종운전 History & Challenges

2022년 10월 19일

김 용 희

yongheekim@kaist.ac.kr

(042) 350-3831

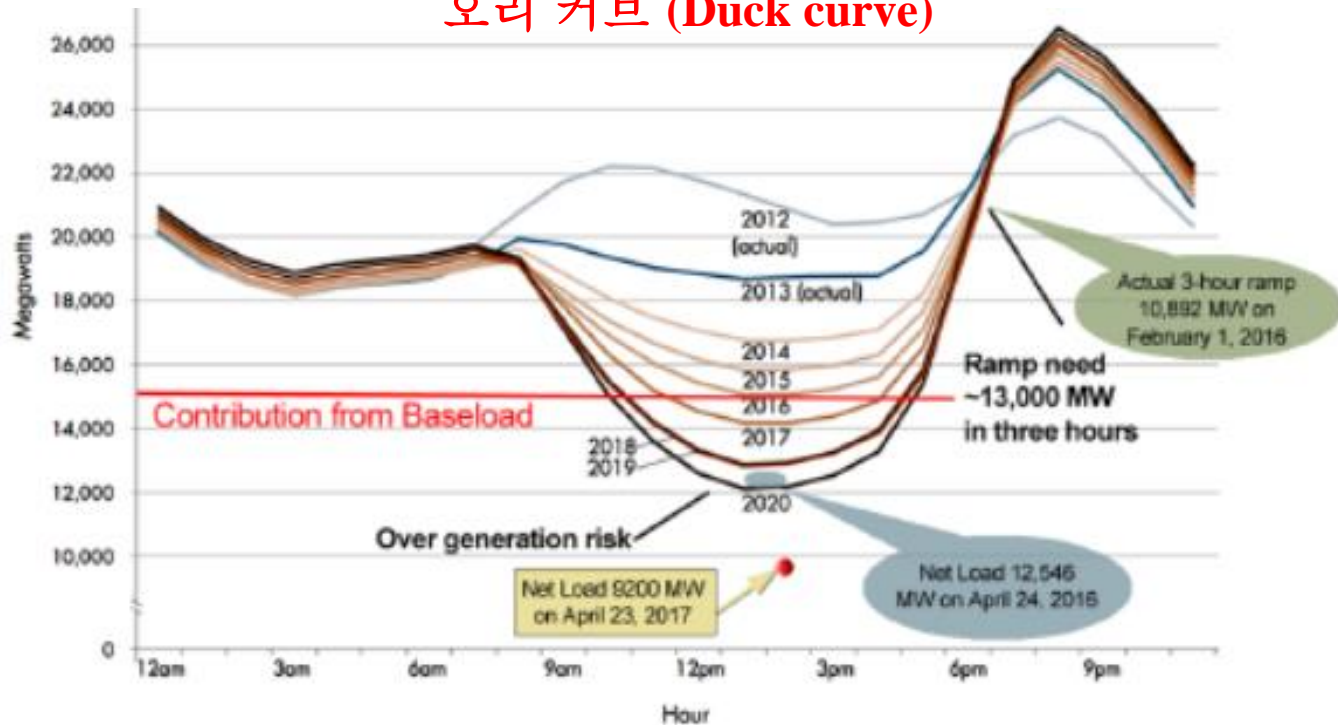
원자력및양자공학과  
한 국 과 학 기 술 원 (KAIST)

- 개요
- 상용 원전 부하추종운전 현황
- 가압경수로 부하추종운전 기술
- APR1400 일일부하추종운전 전산 모사
- 자율형 무봉산 ATOM 부하추종운전
- 결어

# 재생에너지 팽창

- 전세계 탄소 중립 정책에 따른 재생에너지 팽창
  - 사라지는 기저 부하
  - Negative price
  - 재생에너지+에너지 저장장치(ESS) 필요성 인식 확대
  - 최근 한국형 ‘오리 커브’ 발생

## 오리 커브 (Duck curve)



미국 캘리포니아 일일 부하 변동 (CAISO)

## 부하추종운전

- 안정적인 전력망 운영을 위해

**Demand (수요) = Supply (공급)**

- 일일부하추종 운전 (Daily Load-follow operation, DLFO)
- 주파수제어 운전
  - 국부 ( $\pm 2\%$ , 초단위)
  - 원격 ( $\pm 5\%$ , 분단위)
- 국내원전 기저부하 운전

- 원전은 재생에너지와 양립할 수 있나?

- 원전의 부하추종운전 현황은?
- 원전의 주파수제어 능력은?
- 국내 원전의 부하추종운전 능력은?

- 원전 부하추종운전시 연간 약 2,000억원 절감 가능하다는 2014년 연구결과



상용 원전 부하추종운전 현황

# 상용 원전 부하추종운전

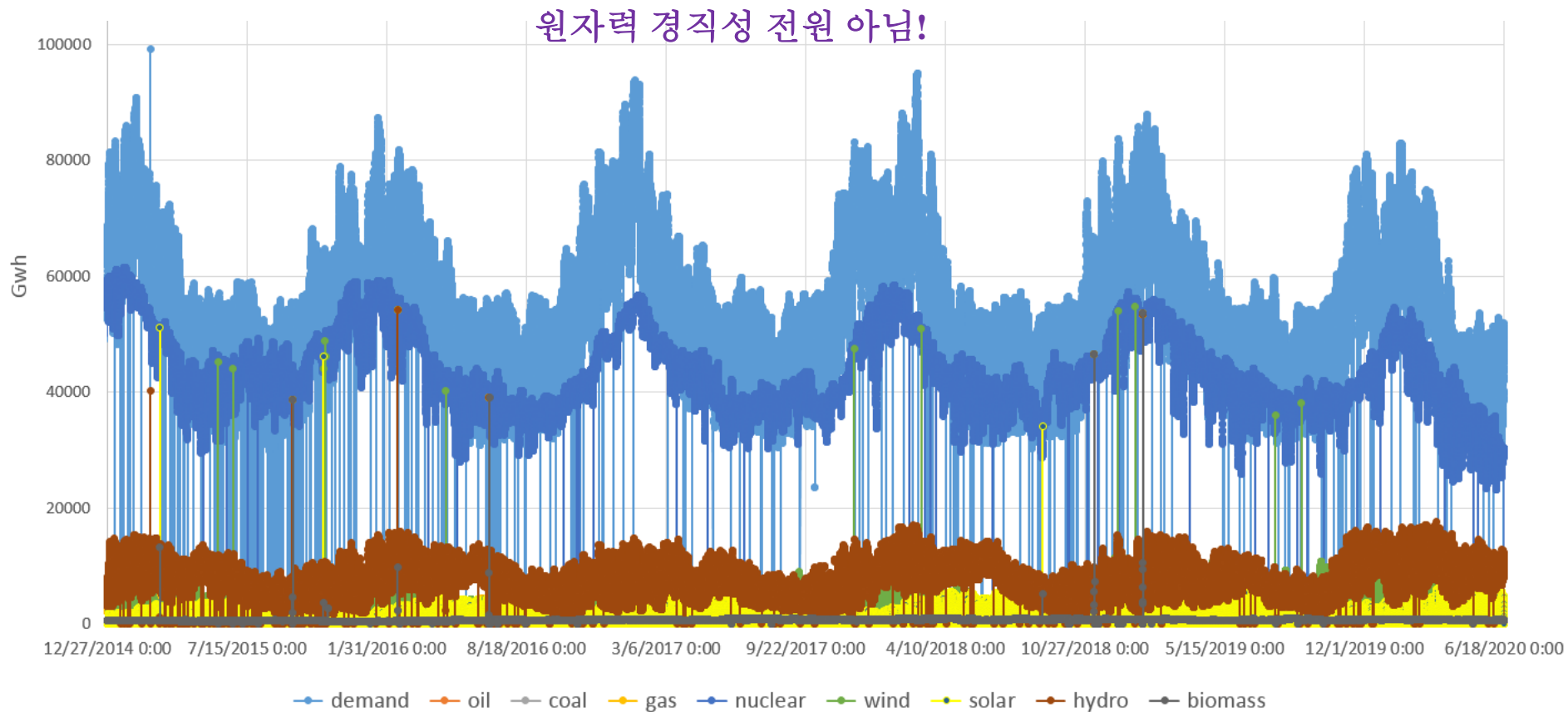
- 미국 및 국내 원전 부하추종운전 능력 있지만 필요성 없기에 사용하지 않음
  - 약간의 설비 개선후 가능
- 프랑스, 독일 (미국 기술 개선)
  - 365일 24시간 **일일부하추종운전** 및 **주파수 제어 운전** (70년대부터)
- 각국 경수로 부하추종운전 현황

국가	운전 기법	제어봉	봉산수	실적
프랑스	Mode-G 및 Mode-X	사용	사용	많음
미국	Mode-A (계획출력변동)	사용	사용	제한적 (1970~1980년)
미국	MSHIM (Mechanical Shim)	사용	미사용(?)	없음
한국	Mode-K	사용	사용	없음
독일	KWU (Overlapping CB Mode)	사용	사용	많음

- BWR, CANDU에서의 제한적인 시험 이력

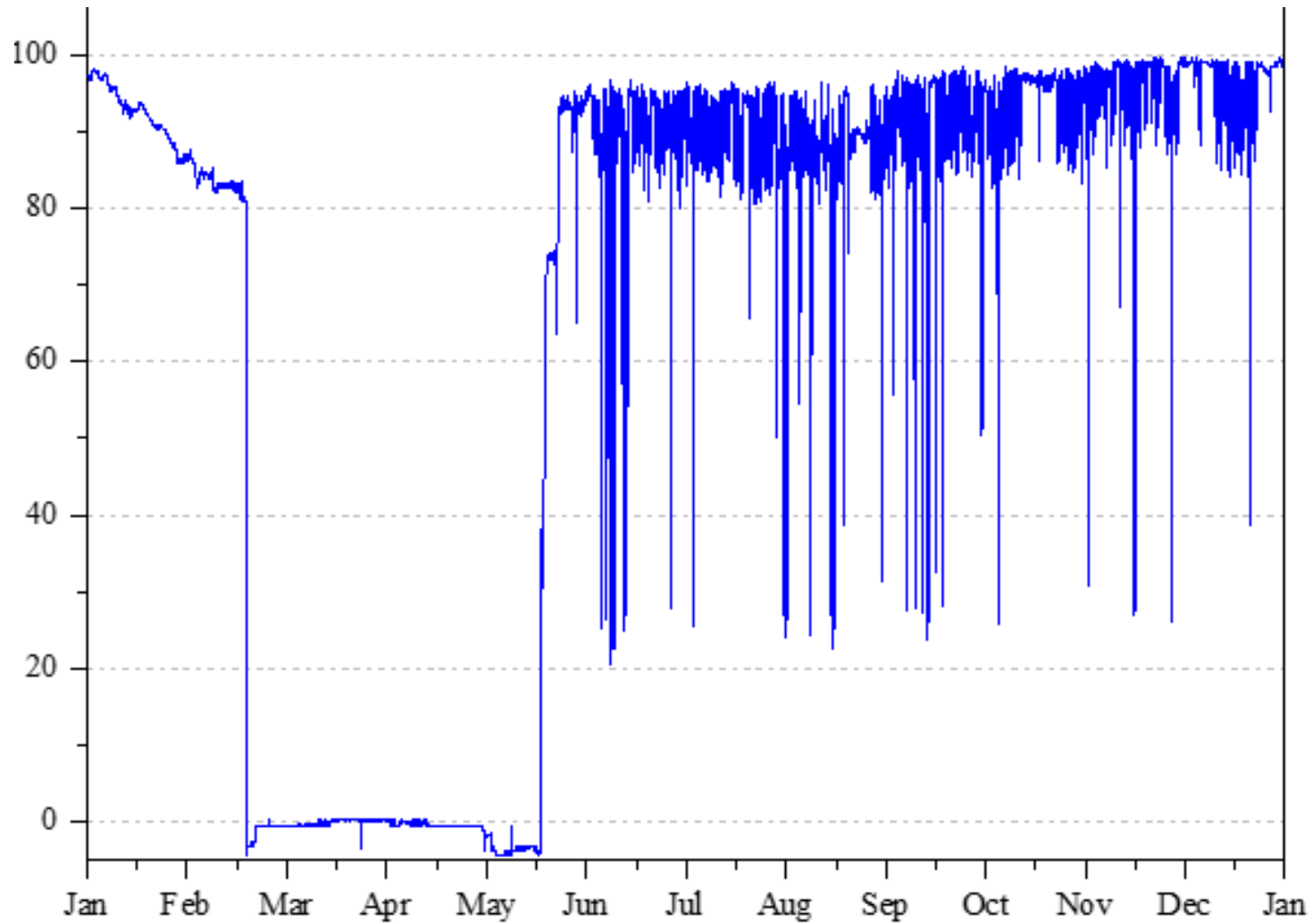
# 프랑스 상용 원전 부하추종운전

## ○ 프랑스 전기 생산 (2019)



# 프랑스 상용원전 부하추종운전

- 프랑스 Cattenom-2 가압경수로 (2017년)





# 프랑스 상용원전 부하추종운전

## ○ 프랑스 가압경수로 부하추종운전 요건

원자로 타입	PWR-900	PWR-1300	N4 (PWR)
운용시점	1971	1977	1984
운전 모드	Mode-A	Mode-G	Mode-X
부하추종 운준	30~100%	30~100%	20~100%
국부주파수제어	$\pm 2\%P$	$\pm 2\%P$	$\pm 2\%P$
원격주파수제어	$\pm 3\sim 5\%P$	$\pm 5\%P$	$\geq \pm 5\%P$
출력변동 속도	2%P/분 (70% 주기말까지) 0.2%P/분 (70% 주기말 이 후)	5%P/분 (80% 주기말까지) 2%P/분 (80% 주기말 이 후)	5%P/분 (주기초-주기말)
: 비연료 건전성에 계획출력변동률참음 (급속변출력 증가사상 PC동작하여 원자로 출력에 따른 주파수제어운전		부분강제어봉 도입 (Sycobor)	부분강제어봉 삽입 운전

## - 원자로 출력에 따른 주파수제어운전

주파수 제어	900 MWe	1300 Mwe	1500 MWe
국부 ( $\pm 2\%P$ )	18 Mwe	26 MWe	30 MWe
원격 ( $\pm 5\%P$ )	45 MWe	65 Mwe	---

# 한국 상용원전 부하추종운전 시험

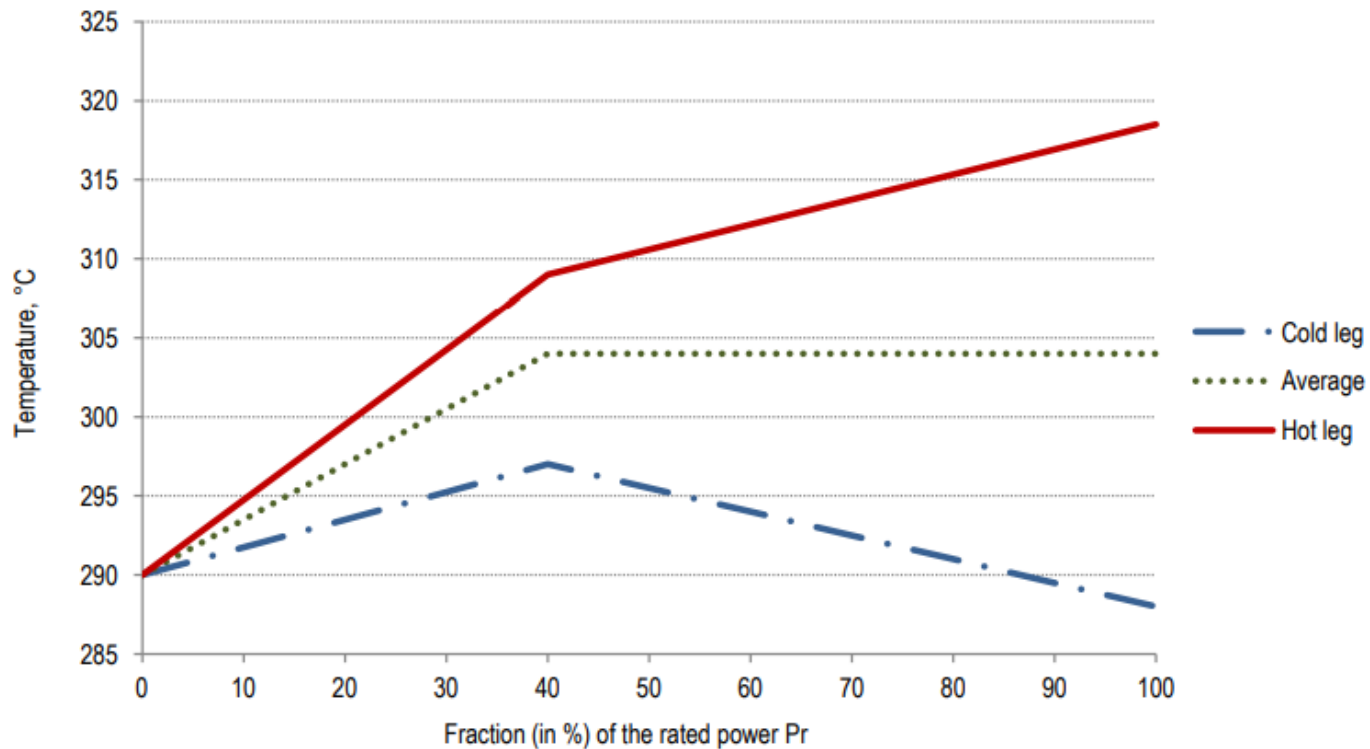
- 고리 5, 6호기 및 영광7호기
- Mode-A 방식 100-50-100 일일부하추종운전 성능 확인
- 출력 증감발 속도 = 0.3%/분

발전소명	일자	최대 $\Delta I$ 최소 $\Delta I$	$\Delta I$ 운전범위 및 (목표치)	증감발속도 및 출 력	보론 농도 최대, 최소	보론회석량
KNU-5	1985. 9. 22	+1.5(%) -9.5	+5, -5(%) (-4.5)	0.3(%) 100-50(%)	753, 682 (ppm)	20,000L/DAY BRS만 사용
	1985. 9. 23	+0.5 -6.5	+5, -5 (-4.5)	0.3 100-50	742, 690	13,460L/12Hr BRS만 사용
KNU-6	1986. 4. 4	+0.7 -7.4	+5, -5 (-4.3)	0.3 100-50	781, 723	18,500L/DAY BTRS/BRS사용
	1986. 4. 5	+2.2 -6.8	+5, -5 (-4.3)	0.3 100-50	804, 749	11,700L/DAY BTRS/BRS사용
KNU-7	1986. 8. 9	+2.59 -9.01	+3, -9 (-1.34)	0.3 100-50	896, 822	19,200L/DAY BRS만 사용
	1986. 8. 10	+1.76 -9.52	+3, -9 (-1.34)	0.3 100-50	891, 821	9,560L/DAY BTRS/BRS사용

# 가압경수로 부하추종운전 기술

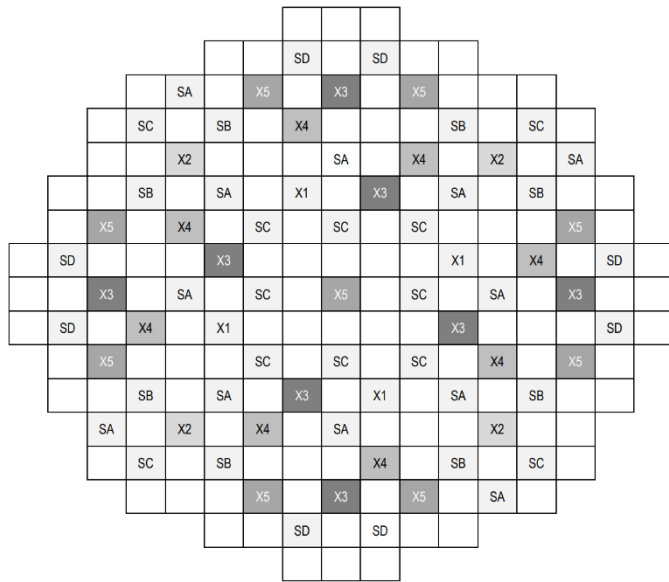
## 프랑스 Mode-G, X

- 출력에 따른 냉각재 평균온도 변화를 제한하는 전략
  - 제어봉 움직임 및 붕산수 변화 최소화
  - 냉각재 출구온도 약간 감소 → 약간 낮은 열효율
- **Mode-G**
  - 독일과 매우 유사
  - 상대적으로 중성자 흡수 단면적이 적은 물질 (SS) 기반 부분강제어봉(PSCEA) 도입

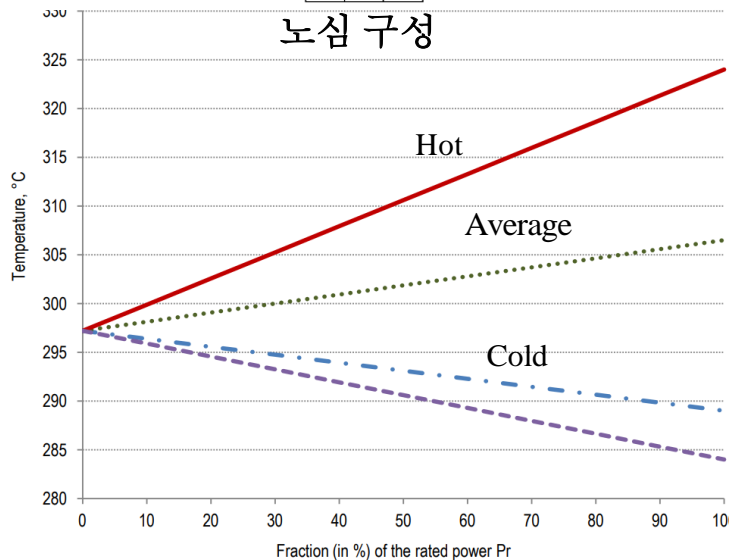


# 프랑스 Mode-G, X

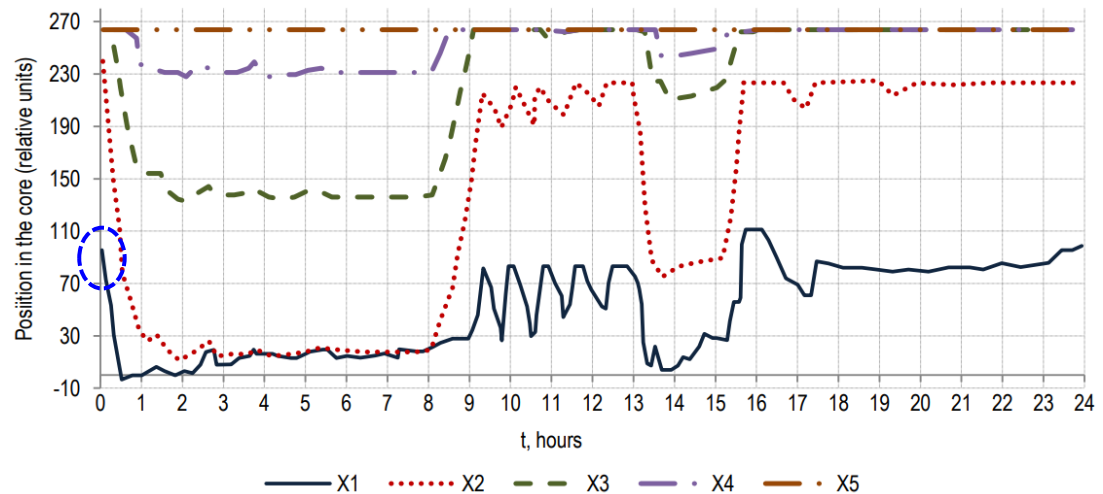
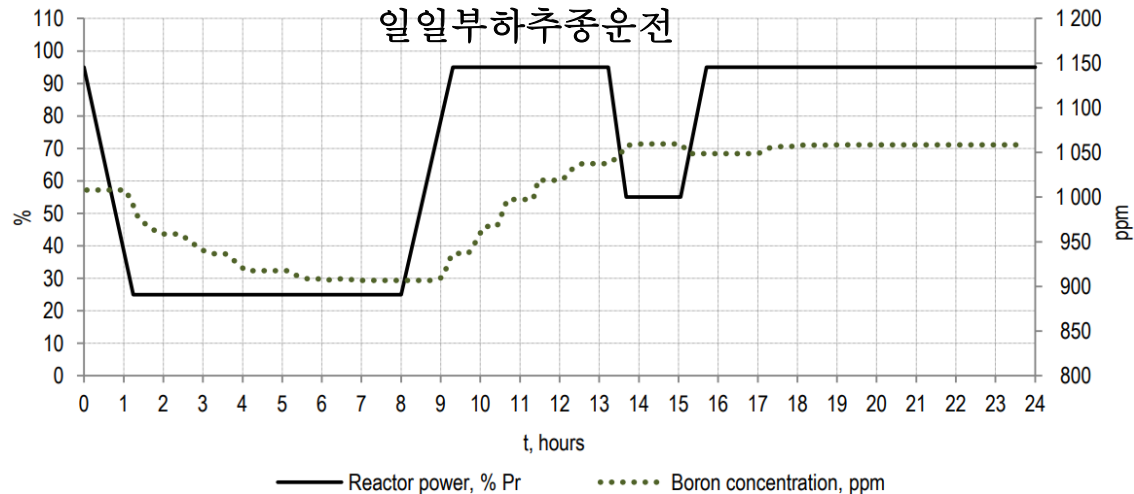
- Mode-X (N4 원자로) – 상대적으로 천천히 증가하는 냉각재 평균 온도



노심 구성



냉각재 온도



제어봉 움직임

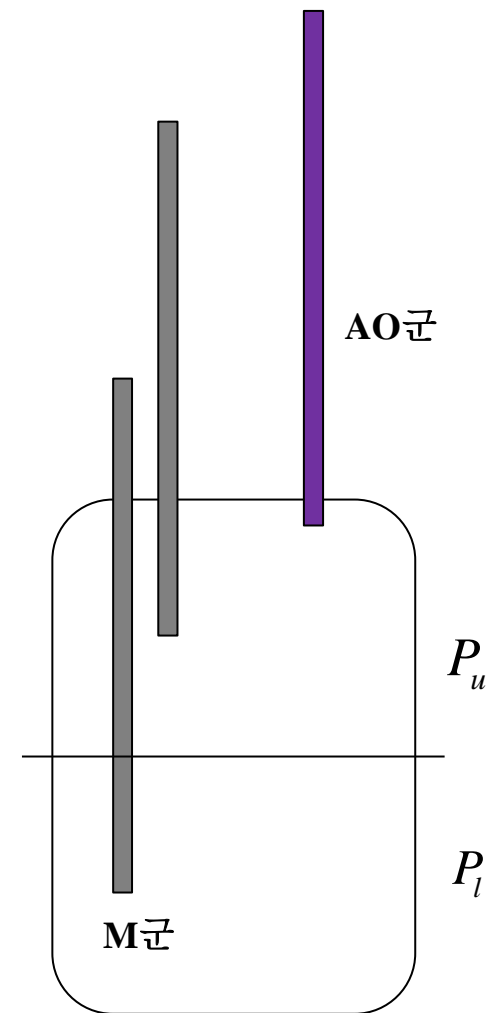
○ AP600, AP1000 시스템용 MSHIM 기법

- SS와 같은 약한 흡수체 (Mechanical Shim) 제어봉 미리 삽입 (프랑스 Mode-X와 유사)
- 축방향 출력분포

$$AO \text{ (Axial Offset)} = \frac{\text{상부출력}(P_u) - \text{하부출력}(P_l)}{\text{총출력}(P_t)}$$

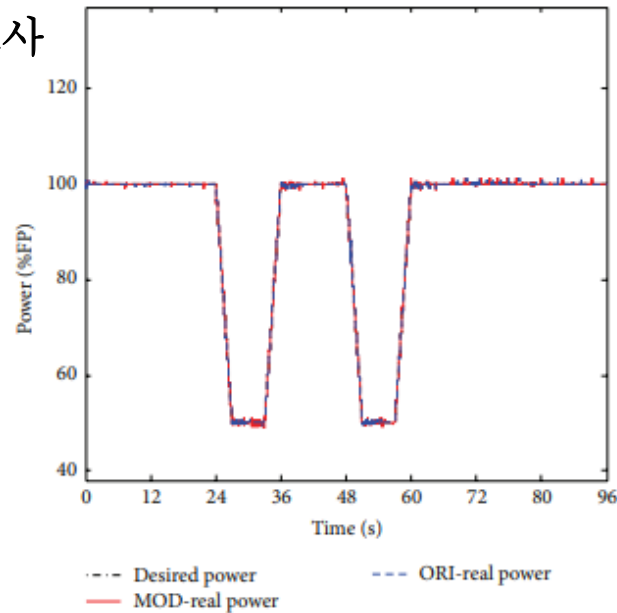
- RAOC (Relaxed AO Control)

- 1) 반응도 제어용 M군과 축방향 출력분포 제어용 AO군으로 구분되고, 이들 두 제어봉 군은 서로 독립적으로 구동됨.
- 2) 반응도 제어는 주로 'M'군으로 수행되고 출력분포를 위해 AO군이 활용되며 AO군은 Ag-In-Cd 흡수체 기반.
- 3) M군은 '중첩된' 몇 종류 제어군으로 구성되며 이들 중 일부는 처음부터 완전히 삽입되어 제논 반응도 변화를 보상함.
- 4) 삽입되어 운용되는 M군은 SS와 같은 물질로 구성되어 제어봉의 주기말 인출에 따른 침투출력 변화 최소화
- 5) 부하추종운전 중 충분한 반응도 보상을 위해서 M군은 비교적 큰 반응도가를 가진 제어봉도 포함함.
- 6) 냉각재 입구 온도를 일정하게 유지 & 평균온도는 출력에 비례

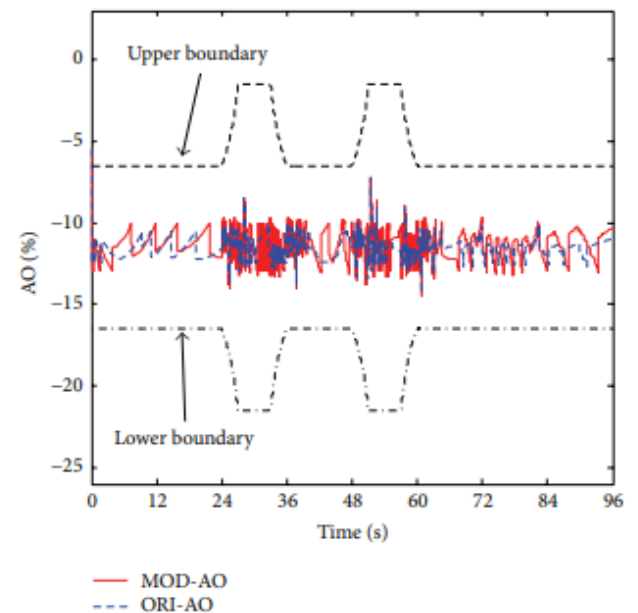


## ○ AP1000 부하추종운전 모사

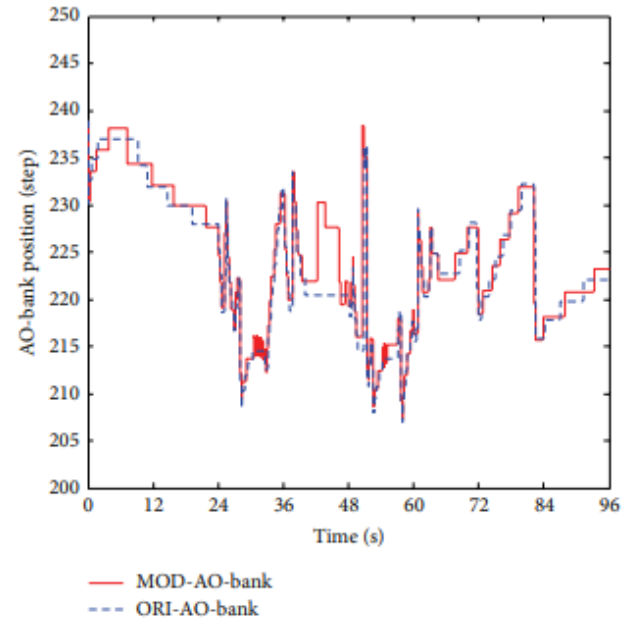
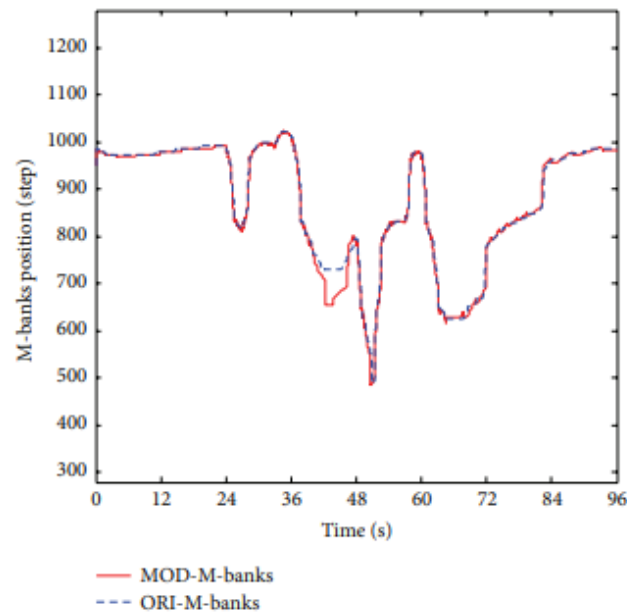
- 당초 모델(ORI)
- 중국 모델(MOD)



(a)



(b)



- 미국 AP1000와 같이 냉각재 입구온도 일정  
→ 냉각재 평균온도 출력에 비례하여 증가 (2차측 증기압 일정)
- 프랑스 Mode-G와 유사한 **Mode-K** 개발
- 차세대원전 (APR1400 전신) 부하추종운전 요건

일일부하추종운전	하루단위 100-50-100%P[(10~16)-2-(10~4)-2Hr] 출력 패턴
주파수제어	$\pm 2.5\%P$ (국부 주파수제어) $\pm 10\%P$ (원격 주파수제어) 최대 출력 변동율: $0.5\%P/\text{초}$ (국부 주파수제어) $: 2\%P/\text{분}$ (원격 주파수제어)
불시 부하 변동	100% 부하 탈락 (원자로 정지 없이) $\pm 10\%P$ 스텝 변동
선형적(Ramp) 변동율	$\pm 5\%P/\text{분}$ 부하 변동

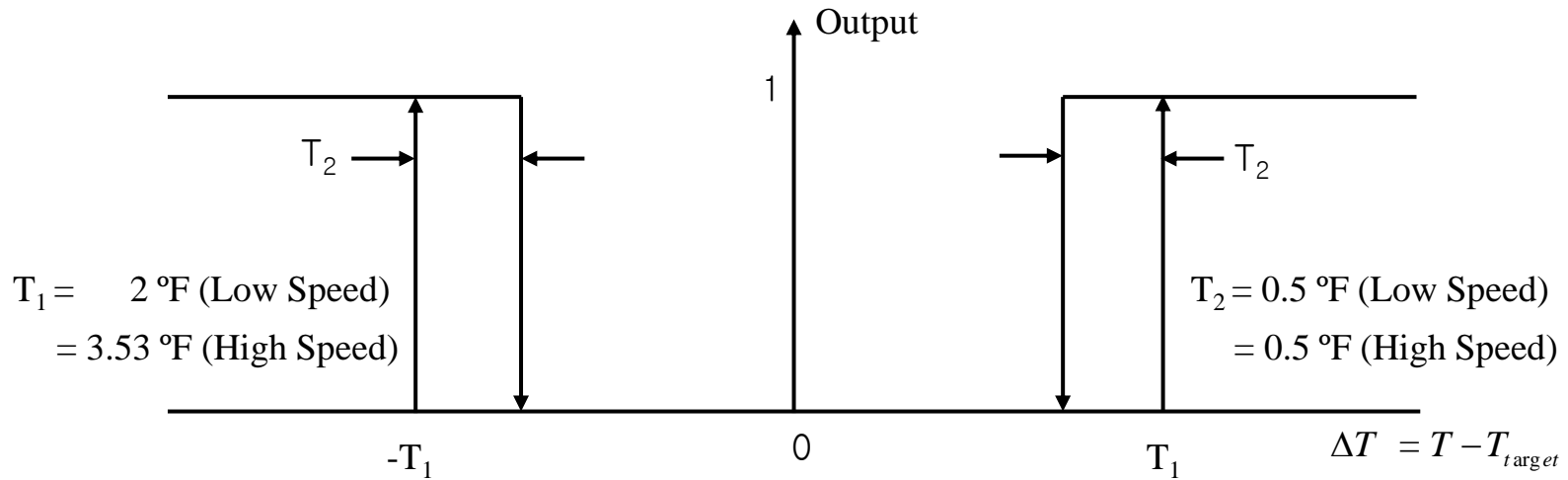
- APR1400 설계 요건과 동일
- 그러나 인허가에 포함되지 않음



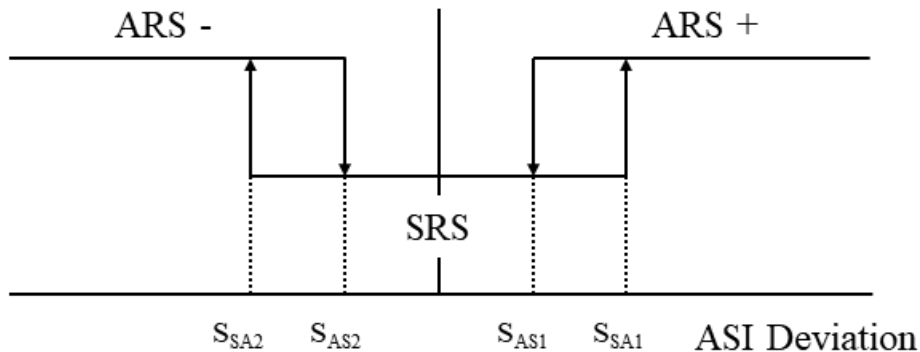
- 냉각재 평균온도 및 축방향 출력분포 ASI 동시 제어

$$\text{ASI (Axial Shape Index)} = \frac{\text{하부출력}(P_l) - \text{상부부출력}(P_u)}{\text{총출력}(P_t)}$$

- 냉각재 온도 제어:  $\Delta T = T - T_{\text{target}}$



- ASI 제어:  $\Delta \text{ASI} = \text{ASI} - \text{ASI}_{\text{target}}$



- 제어봉 선택 원리

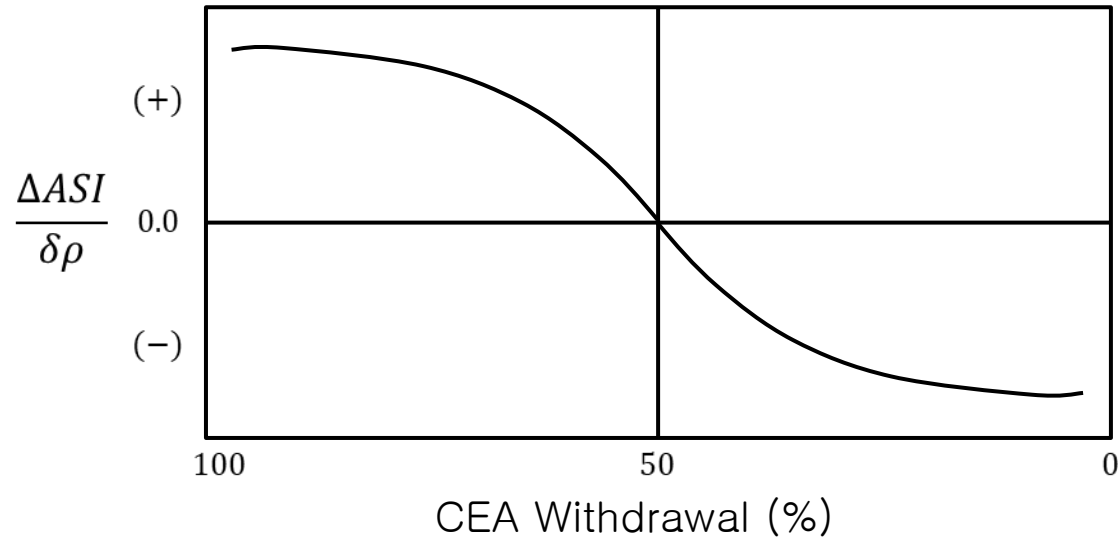
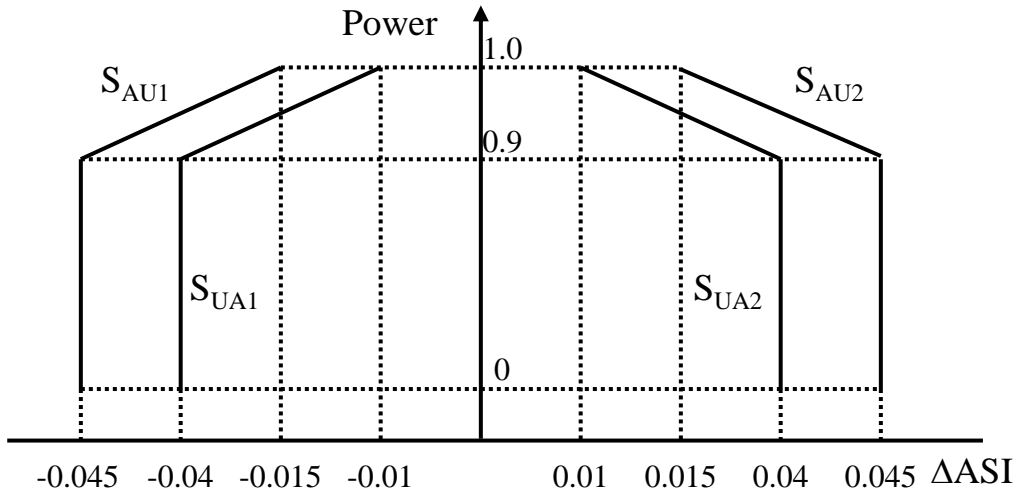


Fig. 2 Conceptual Relation between CEA movement and  $\Delta ASI$

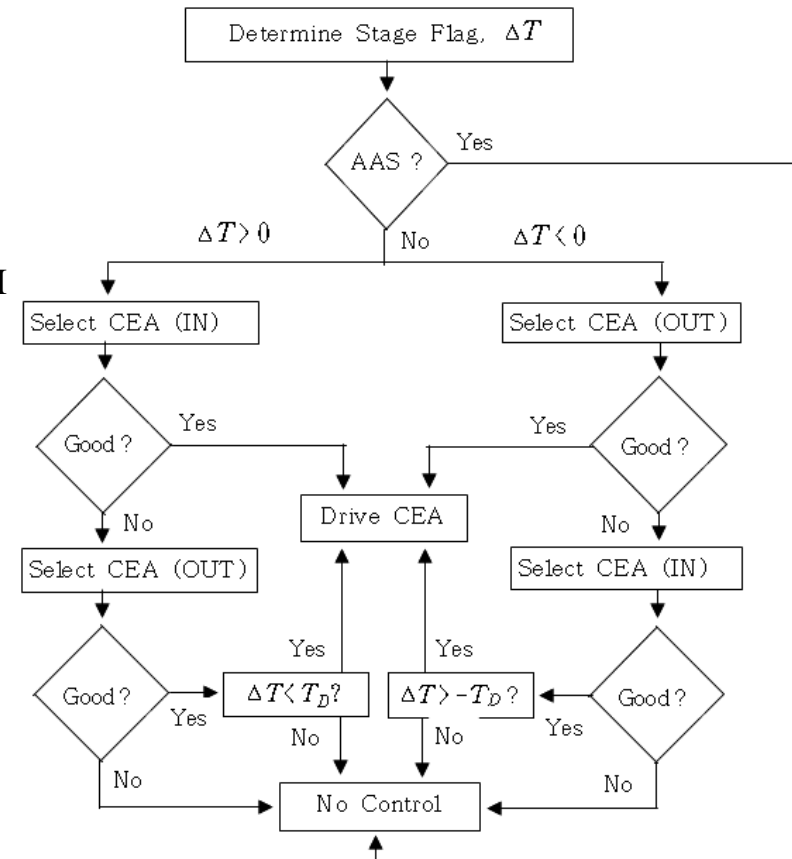
- **Regulating** 제어봉사이 고정 중첩
- **P1**은 **P2**보다 더 많이 삽입될 수 없음

### ○ 출력에 따른 ASI 제어



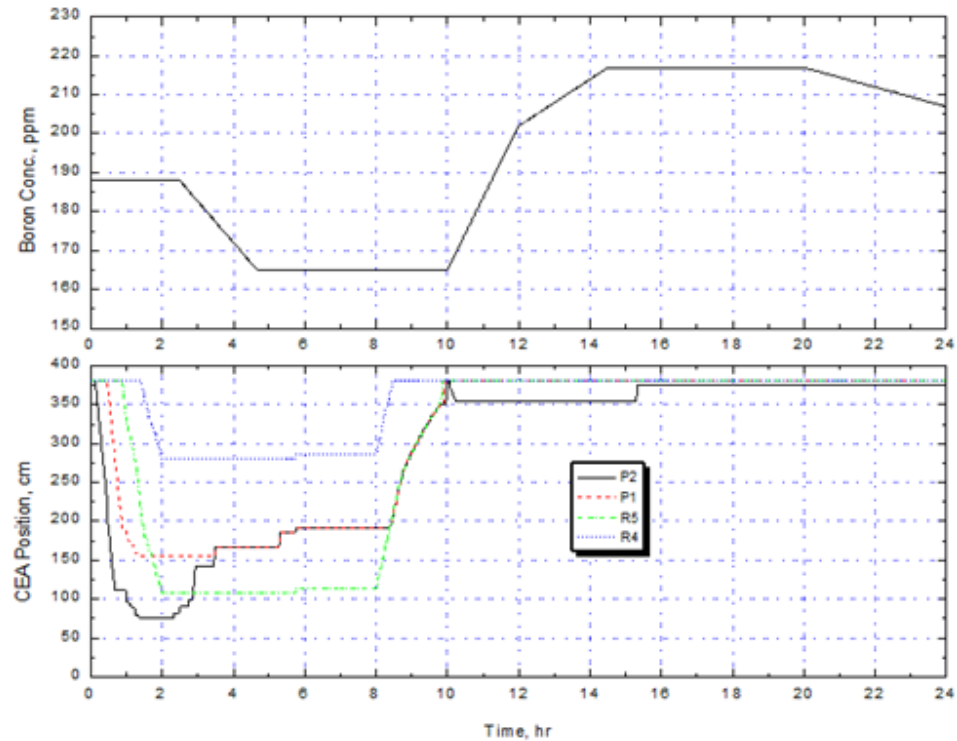
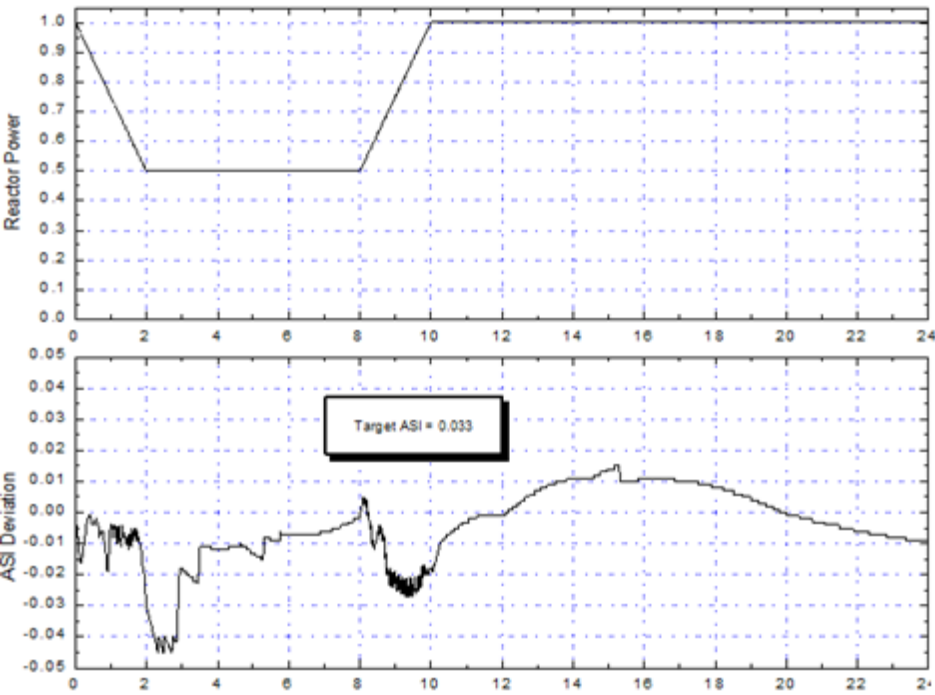
### ○ 보론 시나리오

- 단순하고 일관된 시나리오
- 과도시 보론 농도 변경 최소화
  - : 출력 감발시 일정 농도
  - : 선형적 변화
- 원칙적으로 제논 농도 변화 보상



온도 불감대 ASI 제어 논리

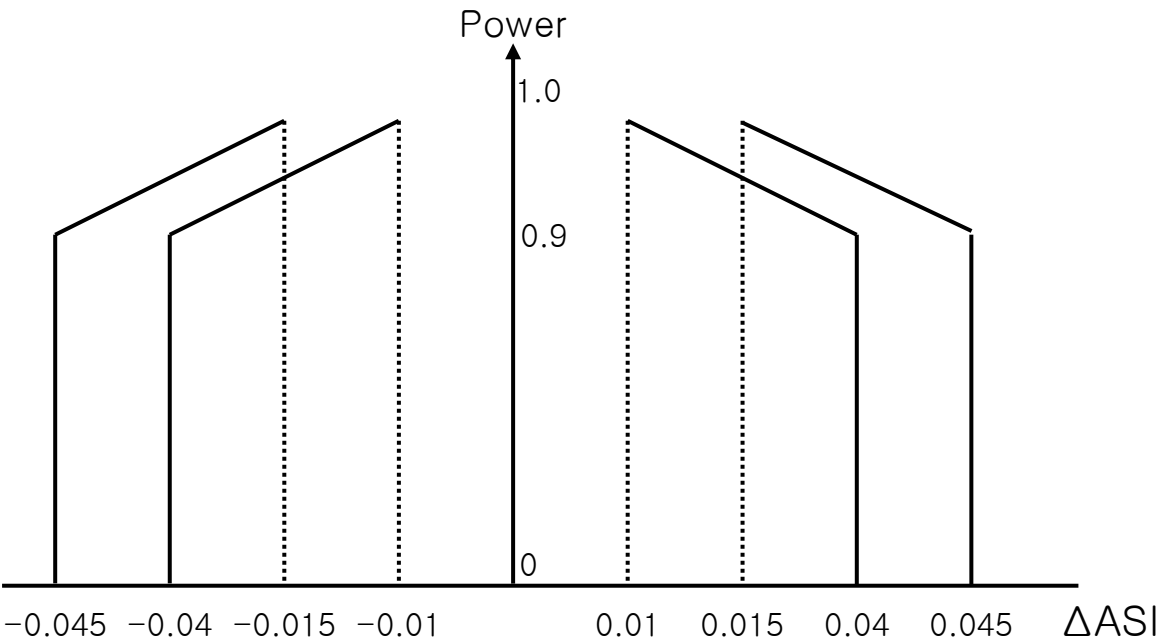
- 차세대원전 일일부하추종 운전
  - 90% 주기말 조건
  - 성공적인 일일부하추종 운전



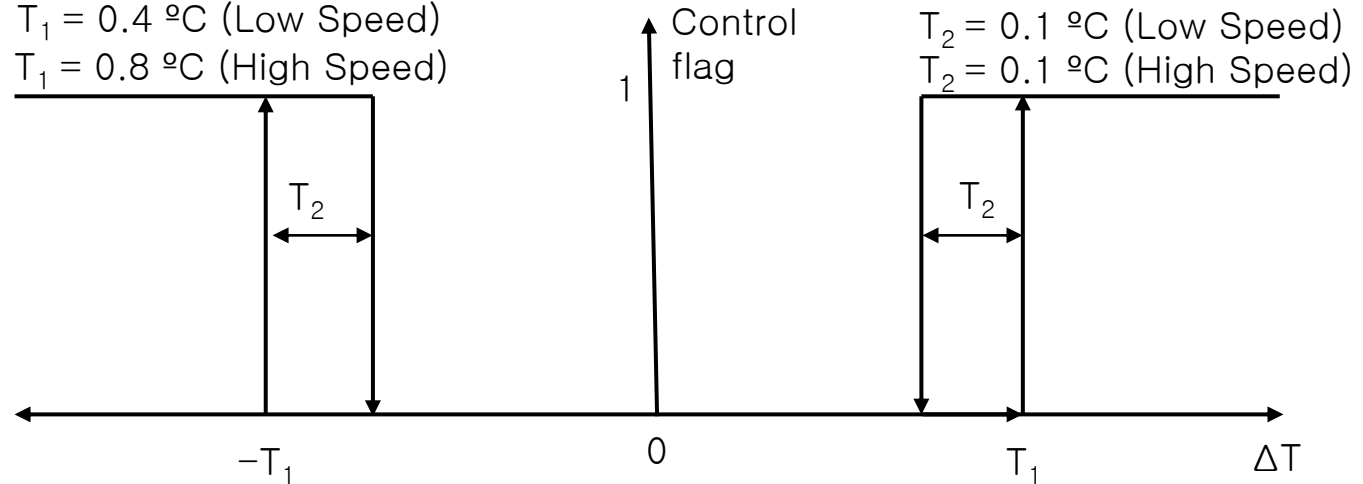
# APR1400 부하추종운전 전산모사

— 초기 노심, 주기초, 3일 운전 —

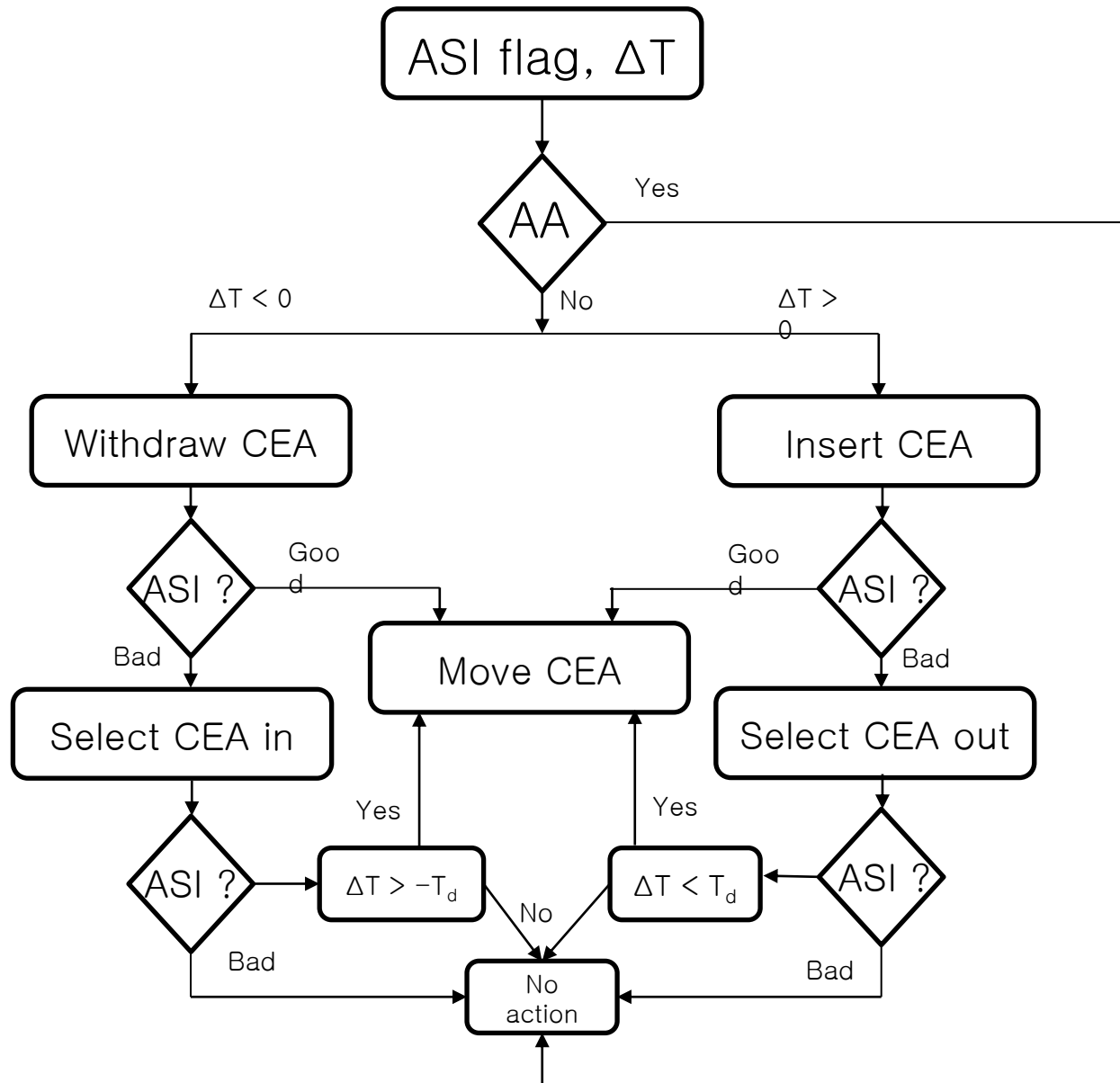
## Mode-K+ 알고리즘



$T_1 = 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Low Speed)  
 $T_1 = 0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (High Speed)



## Mode-K+ 알고리즘



CEA selection priority for positive stage flag.

Condition			Selected CEA
Stage flag	CEA direction	CEA Position	
$\Delta ASI+$	Insertion	$W_{P3} > B, W_{P3} \leq H/2$	P3
		$W_{P3} = B, W_{P2} > B, W_{P2} \leq H/2$	P2
		$W_{P3} = B, W_{P2} = B, W_{P1} > B, W_{P1} \leq H/2$	P1
		$W_{P3} = B, W_{P2} = B, W_{P1} = B, W_{R5+} > B, W_{R5+} \leq H/2$	R5+
	Withdrawal	$W_{R5} < T, W_{R5} \geq H/2$	R5+
		$(W_{R5} = T \text{ or } W_{R5} \leq H/2), W_{P1} < T, W_{P1} \geq H/2$	P1
		$(W_{R5} = T \text{ or } W_{R5} \leq H/2), (W_{P1} = T \text{ or } W_{P1} \leq H/2), W_{P2} \geq H/2$	P2
		$(W_{R5} = T \text{ or } W_{R5} \leq H/2), (W_{P1} = T \text{ or } W_{P1} \leq H/2), (W_{P2} = T \text{ or } W_{P2} \leq H/2), W_{P3} \geq H/2$	P3

\*  $W_{XX}$  = CEA XX position from reactor bottom, B = core bottom, T = core Top, H = active core height)



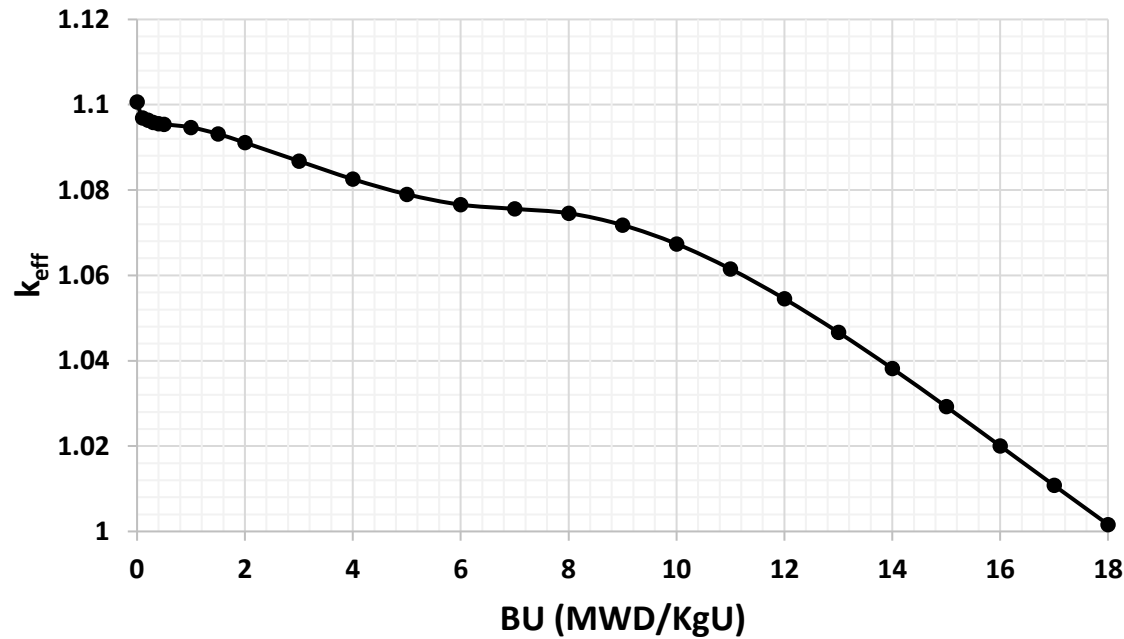
CEA selection priority for negative stage flag.

Condition			Selected CEA
Stage flag	CEA direction	CEA Position	
$\Delta ASI-$	Insertion	$W_{P3} > H/2$	P3
		$W_{P3} \leq H/2, W_{P2} > H/2$	P2
		$W_{P2} \leq H/2, W_{P3} \leq H/2, W_{P1} > H/2$	P1
		$W_{P2} \leq H/2, W_{P3} \leq H/2, W_{P1} \leq H/2, W_{R5} > H/2$	R5+
	Withdrawal	$W_{R5} > B, W_{R5} < H/2$	R5+
		$(W_{R5} = T \text{ or } W_{R5} \geq H/2), W_{P1} < H/2$	P1
		$(W_{R5} = T \text{ or } W_{R5} \geq H/2), (W_{P1} = T \text{ or } W_{P1} \geq H/2), W_{P2} < H/2$	P2
		$(W_{R5} = T \text{ or } W_{R5} \geq H/2), (W_{P1} = T \text{ or } W_{P1} \geq H/2), (W_{P2} = T \text{ or } W_{P2} \geq H/2), W_{P3} < H/2$	P3

\*  $W_{XX}$  = CEA XX position from reactor bottom, B = core bottom, T = core Top, H = active core height)

# Daily LFO in APR1400

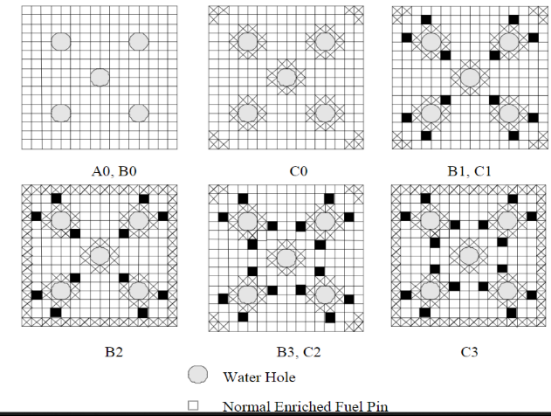
✓ APR1400 initial cycle.



Assembly Type	Number of Fuel Assemblies	Fuel Rod Enrichment (w/o)	No. of Rods Per Assembly	No. of Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Rods per Assembly	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Contents (w/o)
A0	77	1.71	236	-	-
B0	12	3.14	236	-	-
B1	28	3.14/2.64	172/52	12	8
B2	8	3.14/2.64	124/100	12	8
B3	40	3.14/2.64	168/52	16	8
C0	36	3.64/3.14	184/52	-	-
C1	8	3.64/3.14	172/52	12	8
C2	12	3.64/3.14	168/52	16	8
C3	20	3.64/3.14	120/100	16	8

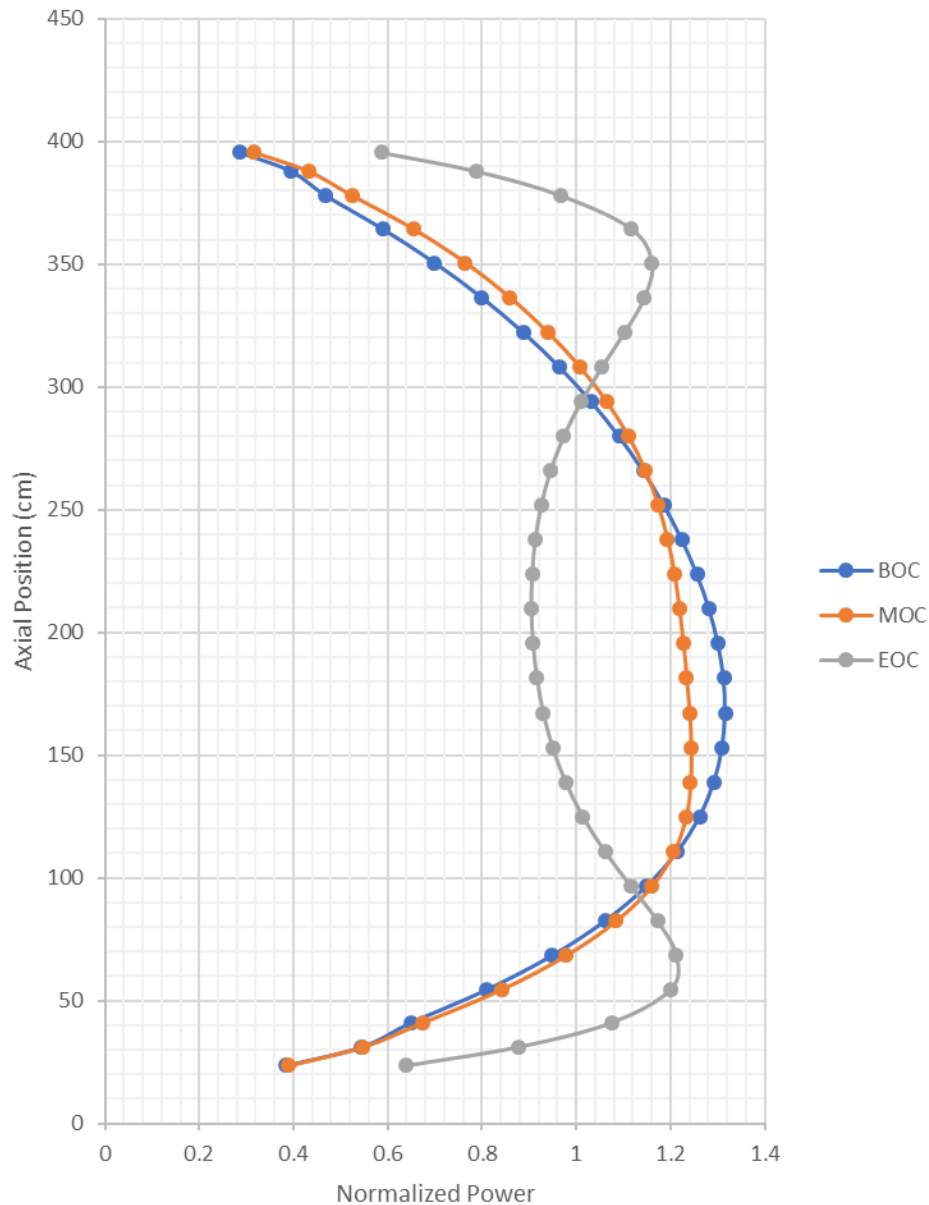
NOTES: 1. All burnable absorber rods have enriched uranium (2.0 w/o U-235).

2. Gadolinia is present only in the central 92% of the burnable absorber rods. The top and bottom 12 inches of the burnable absorber rods do not contain gadolinia.



A0	A0	C3	A0	B1	A0	B3	C2	B0
A0	B3	A0	B3	A0	B1	A0	B3	C0
C3	A0	C2	A0	C3	A0	C3	B1	B0
A0	B3	A0	B3	A0	B3	A0	B2	C0
B1	A0	C3	A0	C2	A0	B1	C0	
A0	B1	A0	B3	A0	B3	C1	C0	
B3	A0	C3	A0	B1	C1	C0		
C2	B3	B1	B2	C0	C0			
B0	C0	B0	C0					

## Daily LFO in APR1400



0.92	0.89	1.06	0.91	1.13	0.97	1.05	1.11	1.04
0.87	0.89	1.21	0.95	1.19	0.96	1.20	1.21	0.85
0.89	0.91	1.21	0.93	1.13	0.92	1.17	1.20	0.82
0.89	0.98	0.89	1.01	0.95	1.15	0.96	1.04	1.08
0.89	1.13	0.94	1.18	0.95	1.20	0.96	1.13	0.87
0.91	1.15	0.94	1.16	0.93	1.14	0.95	1.12	0.85
1.06	0.89	1.09	0.91	1.11	0.95	1.12	1.07	0.96
1.21	0.94	1.25	0.96	1.24	0.95	1.21	1.08	0.77
1.21	0.94	1.24	0.94	1.21	0.94	1.21	1.09	0.76
0.91	1.01	0.91	1.02	0.93	1.04	0.95	0.99	0.76
0.95	1.18	0.96	1.19	0.95	1.16	0.90	0.95	0.62
0.93	1.16	0.94	1.17	0.95	1.16	0.92	0.98	0.64
1.13	0.95	1.11	0.93	1.13	0.94	1.11	1.09	
1.19	0.95	1.24	0.95	1.23	0.92	1.07	0.87	
1.13	0.93	1.21	0.95	1.24	0.94	1.10	0.88	
0.97	1.15	0.95	1.04	0.94	1.01	1.07	0.80	
0.96	1.20	0.95	1.16	0.92	1.09	1.00	0.63	
0.92	1.14	0.94	1.16	0.94	1.15	1.07	0.66	
1.05	0.96	1.12	0.95	1.11	1.07	0.83		
1.20	0.96	1.21	0.90	1.07	1.00	0.70		
1.17	0.95	1.21	0.92	1.10	1.07	0.74		
1.11	1.04	1.07	0.99	1.09	0.80		BOC	
1.21	1.13	1.08	0.95	0.87	0.63		MOC	
1.20	1.12	1.09	0.98	0.88	0.66		EOC	
1.04	1.08	0.96	0.76					
0.85	0.87	0.77	0.62					
0.82	0.85	0.76	0.64					

- ✓ Unrodded core power profile.
- ✓ EOC is 90% of cycle length.

## Daily LFO in APR1400

R5				R3		R5		R3	A
	R2		S		R1		S		B
		R3				P2			C
	S		P1		S		S		D
R3				R4		R2			E
	R1		S		S				F
R5		P3		R2		R4			G
	S		S						H
R3									I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

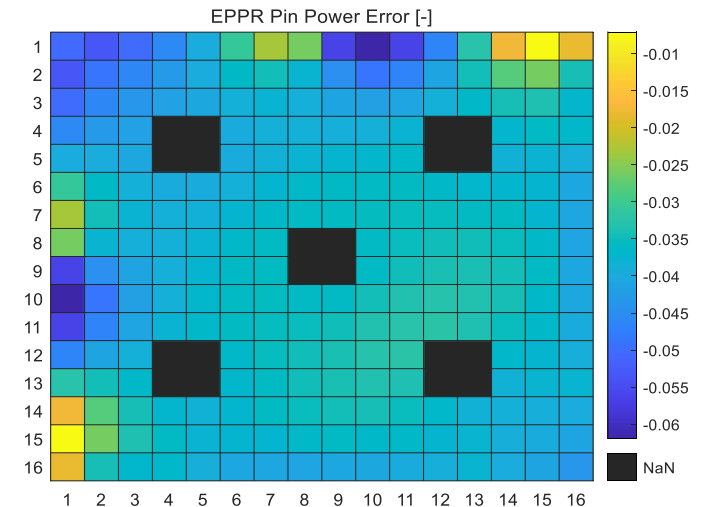
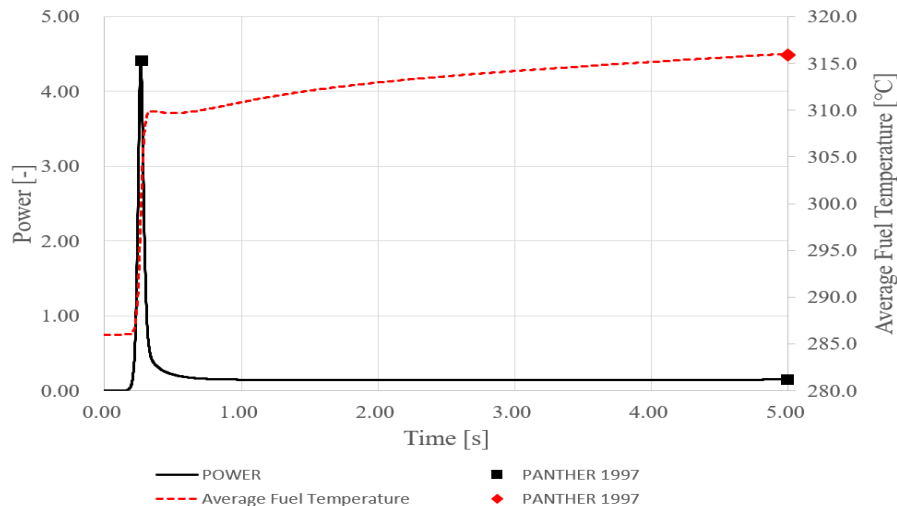
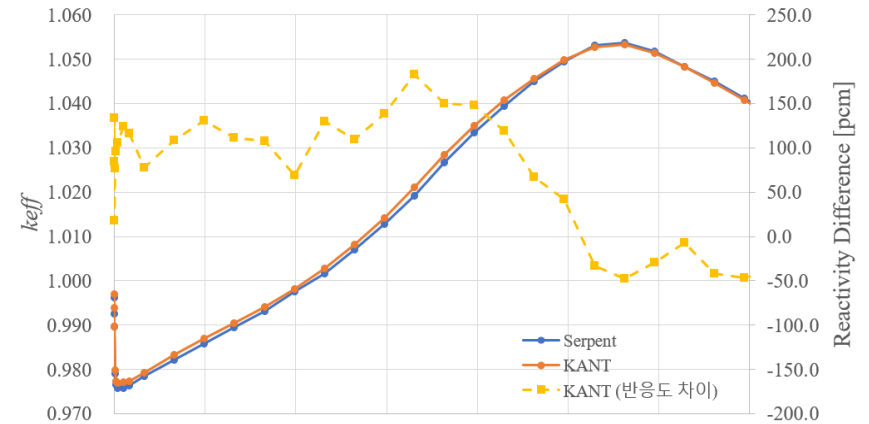
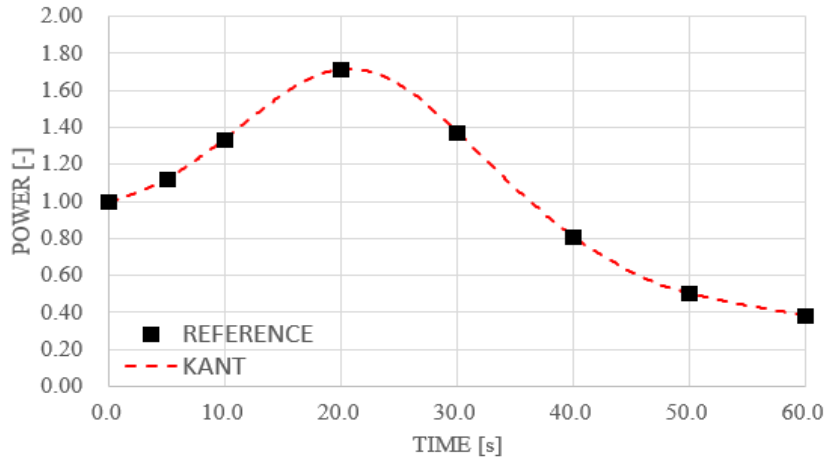
P = PSCEA, R = Regulating bank, and S = Shutdown bank).

Full Strength Control Element Assembly	
CEA in core	81*
Clad material	Inconel625
Burnable absorber	B <sub>4</sub> C
Clad OD (cm)	2.073
Partial Strength CEA	
CEA in core	12
Clad material	Inconel625
Burnable absorber	Inconel625
Clad OD (cm)	2.073

\* 45 regulating banks and 36 shutdown banks

# 다물리 노달코드 KANT

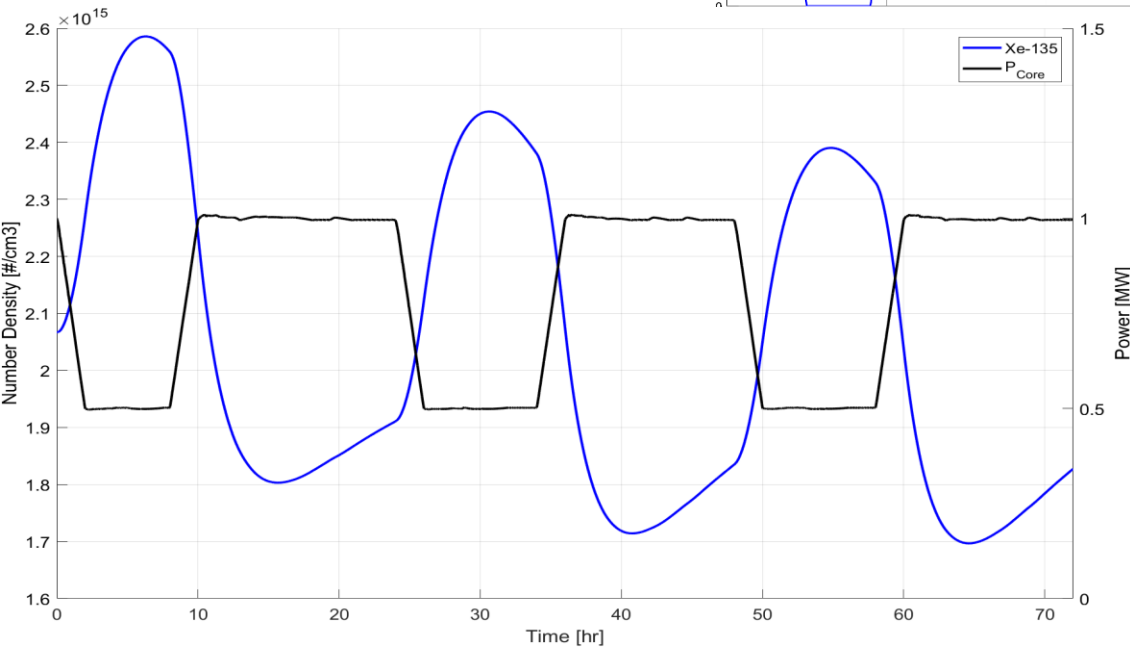
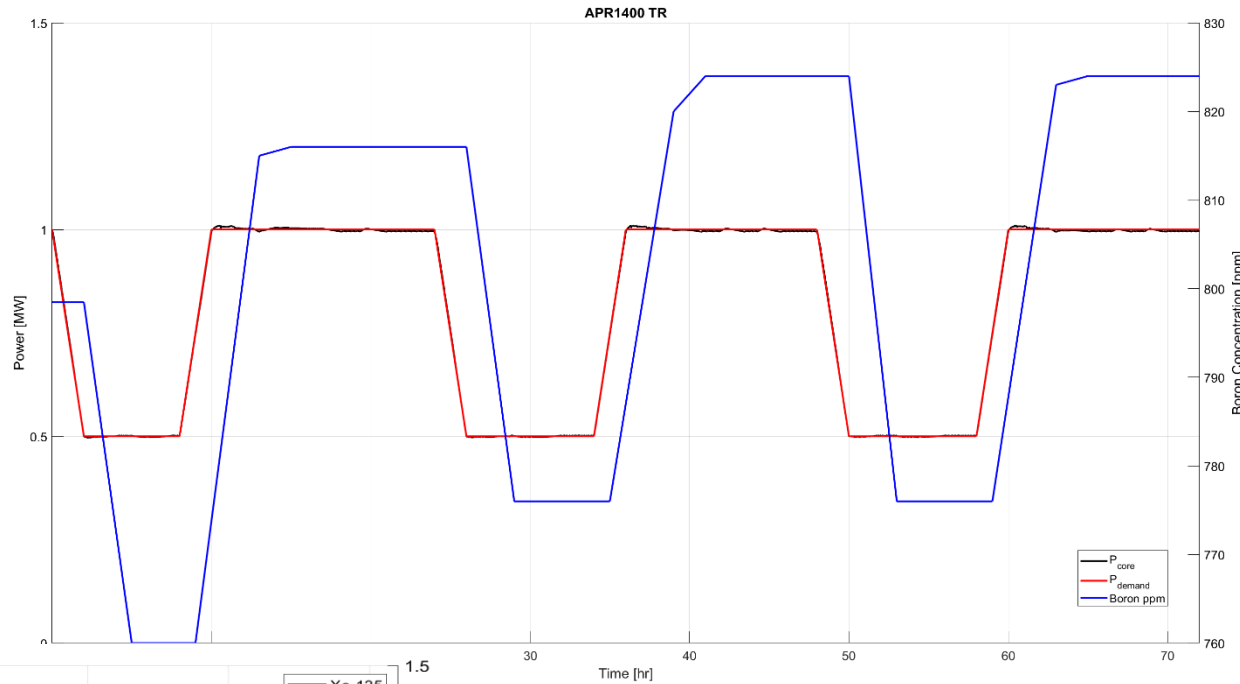
- KAIST Advanced Nodal Tachygraphy (KANT)
  - NEM 기반 다물리 노달 코드
  - 정상 및 과도상태, 거시연소, EPPR 봉출력 재구성



# Daily LFO in APR1400

## Scenario 1

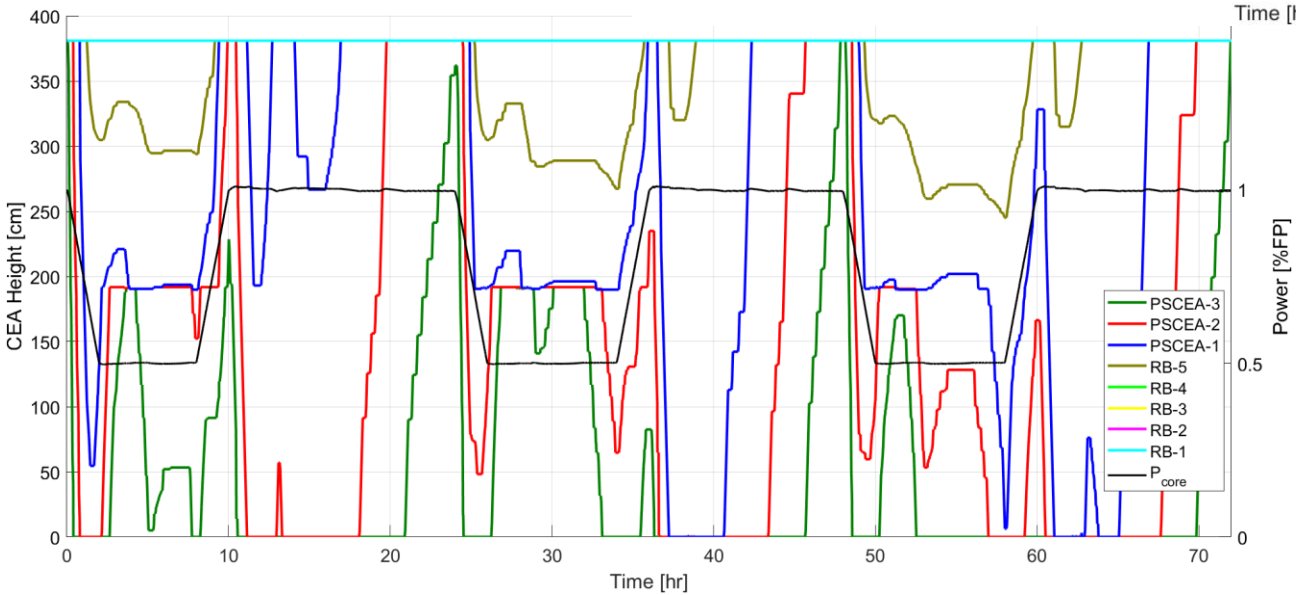
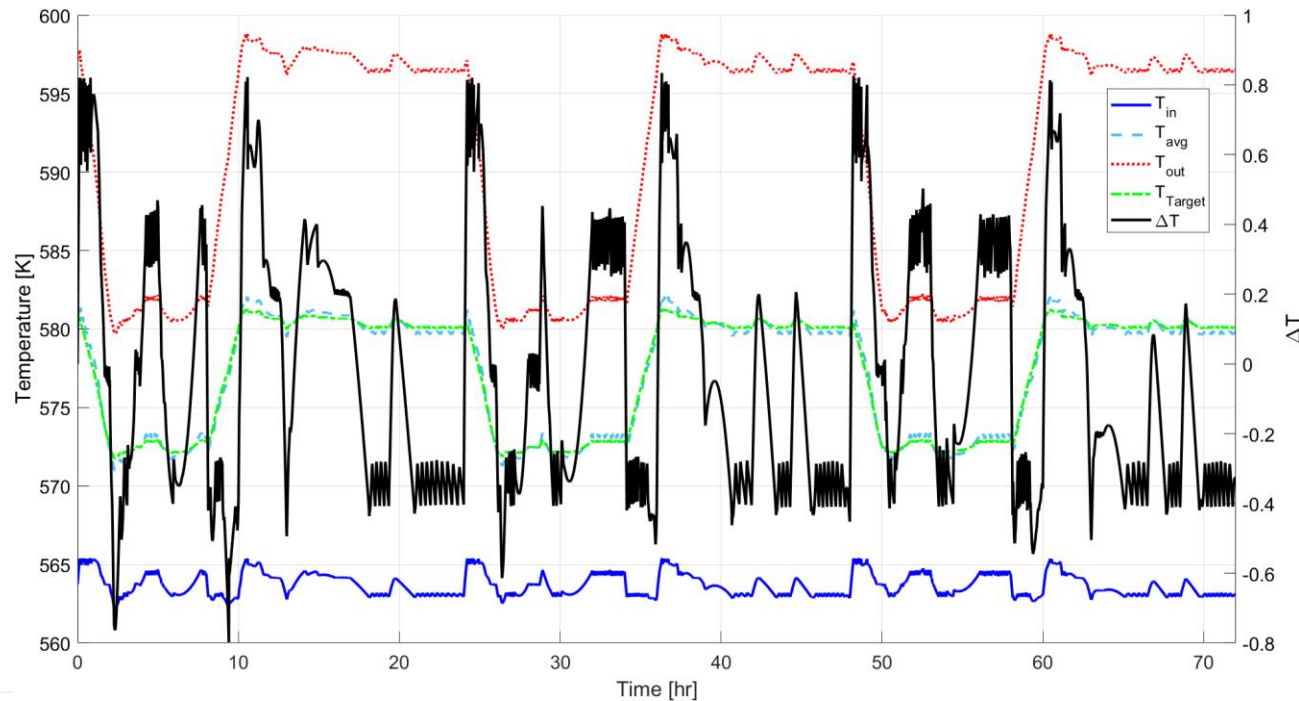
- BOC
- 72-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 1

- BOC
- 72-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA

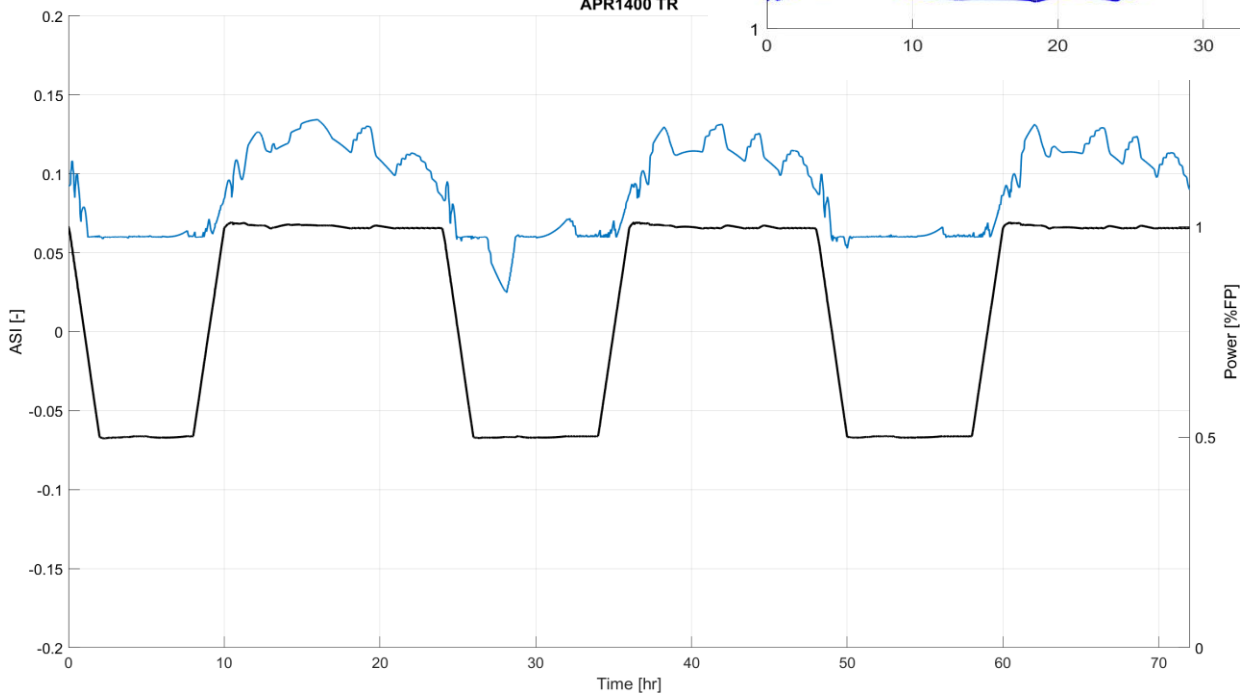
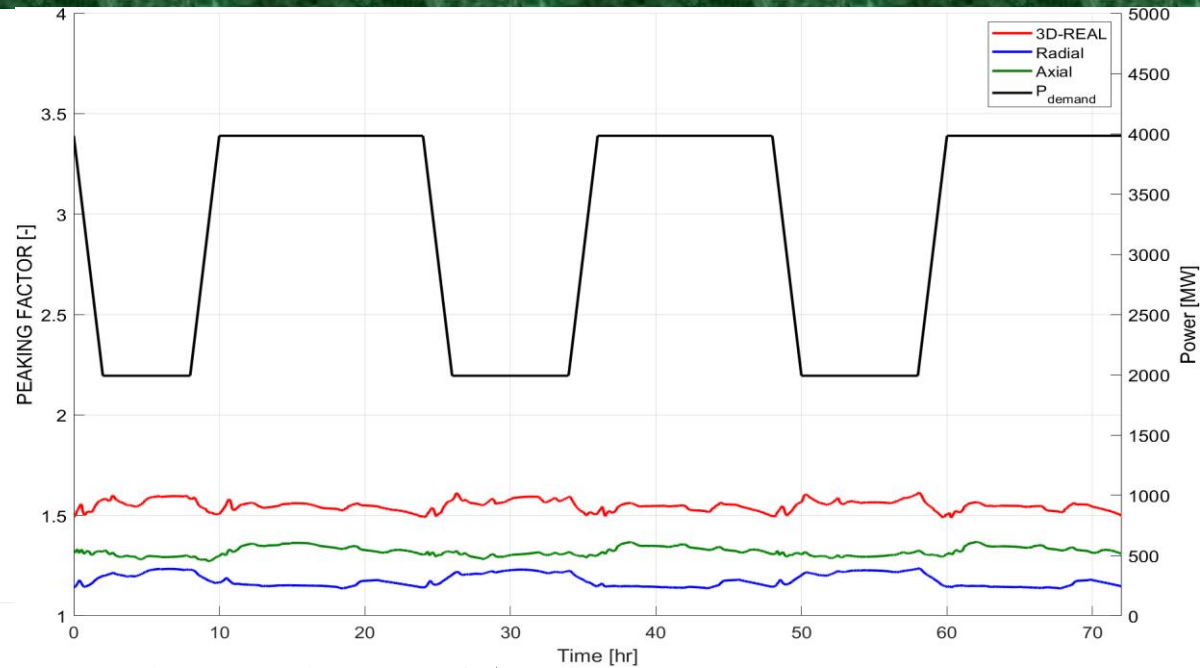


## Daily LFO in APR1400

## Scenario 1

- BOC
- 72-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA

APR1400 TR

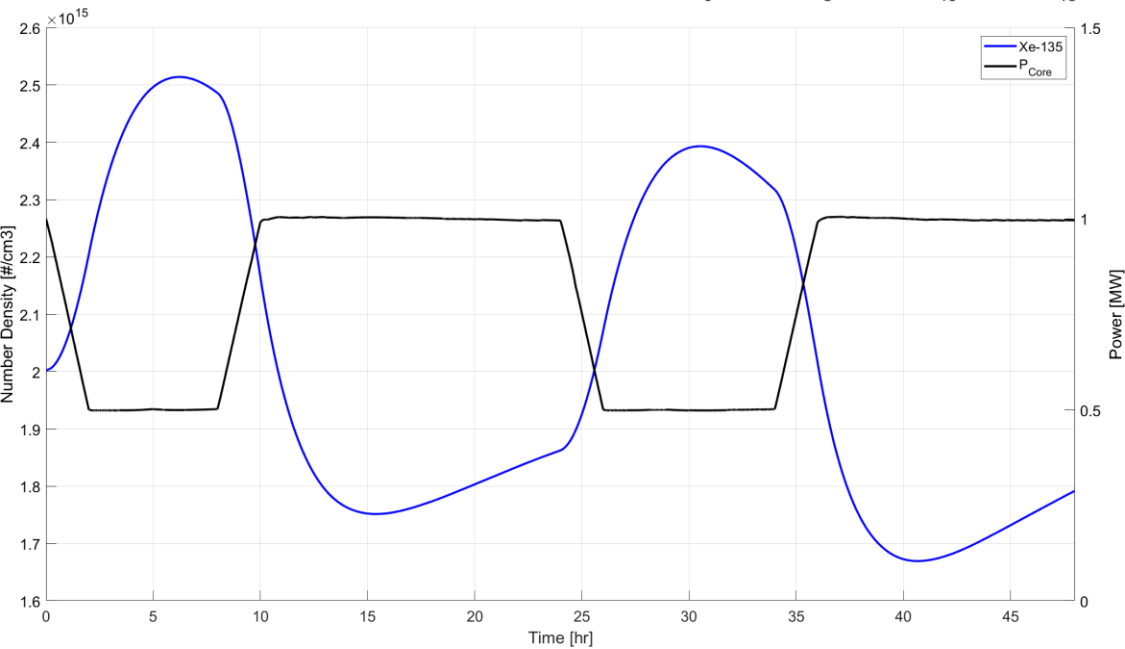
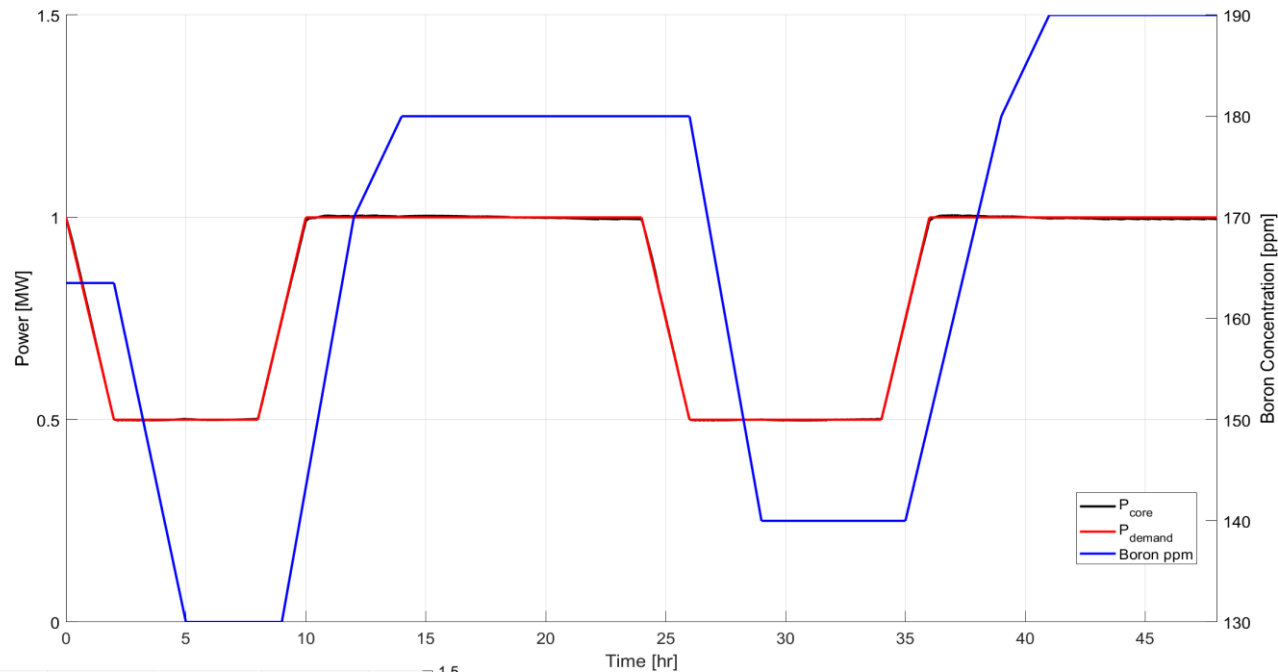




## Daily LFO in APR1400

## Scenario 2

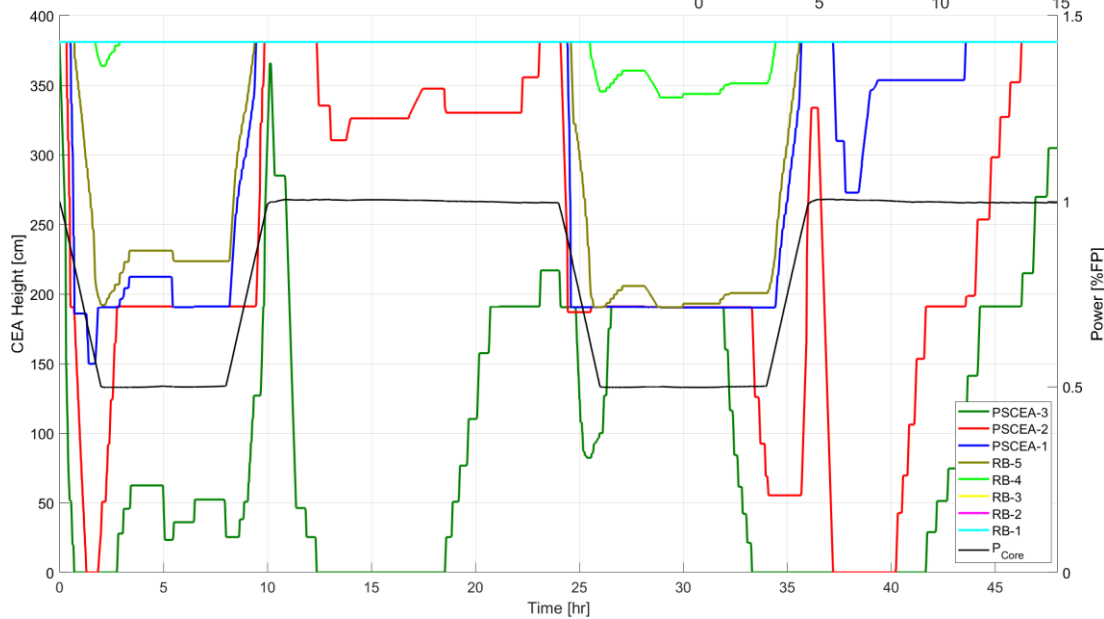
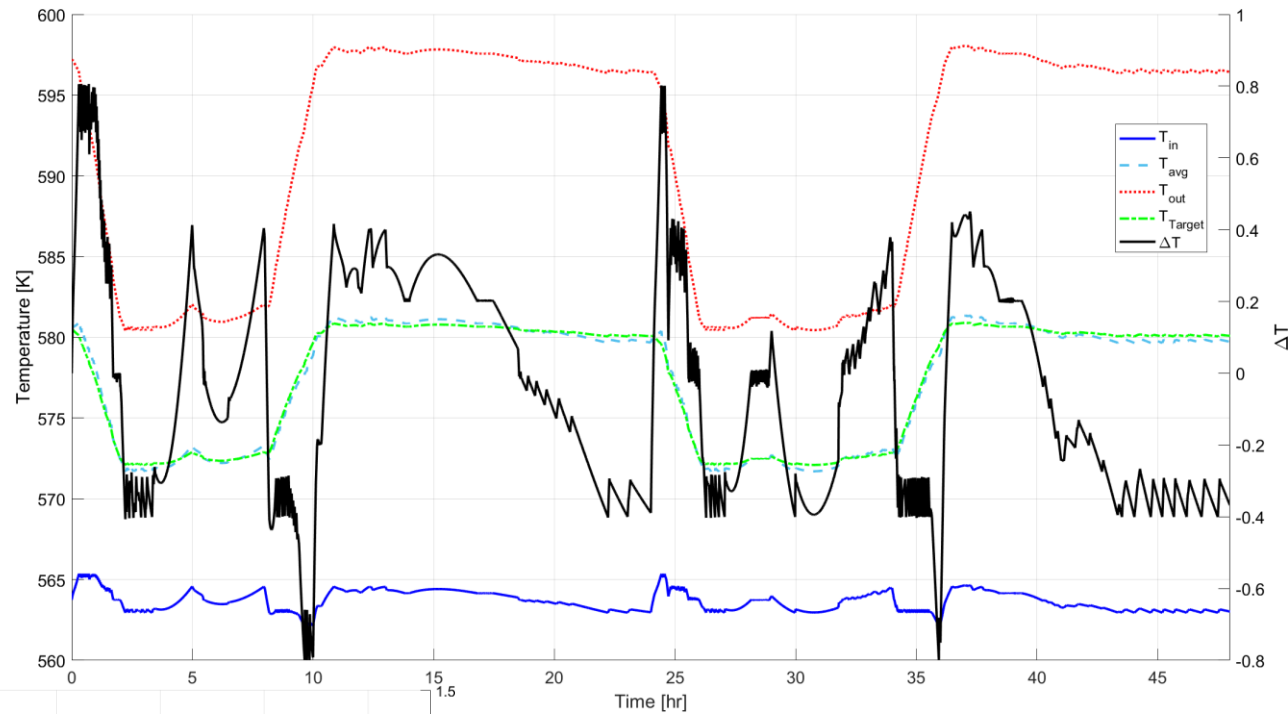
- 16 GWD/MTU
- 48-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 2

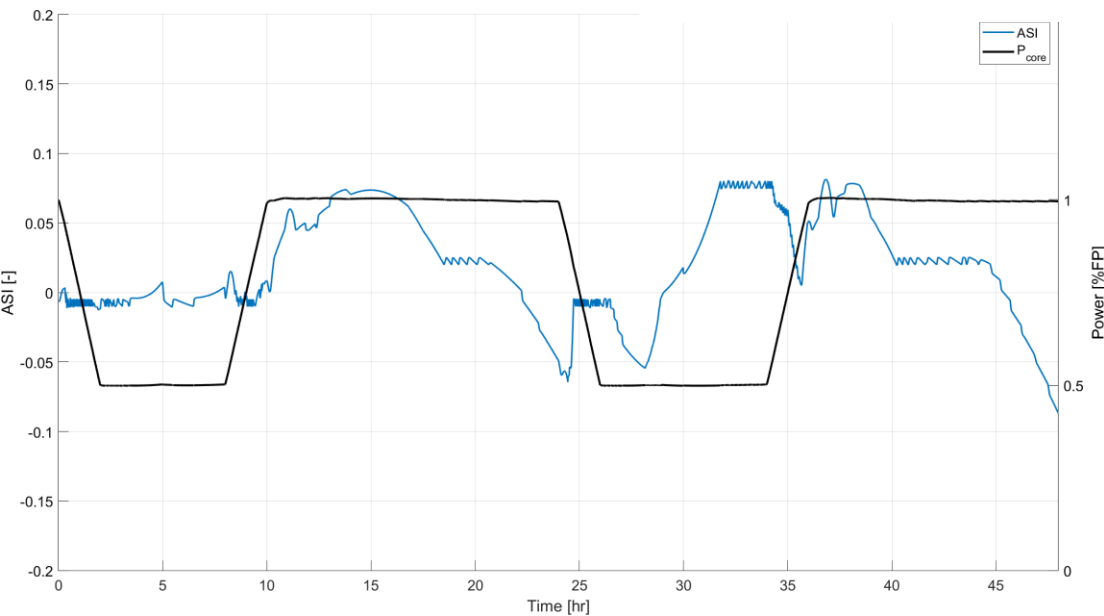
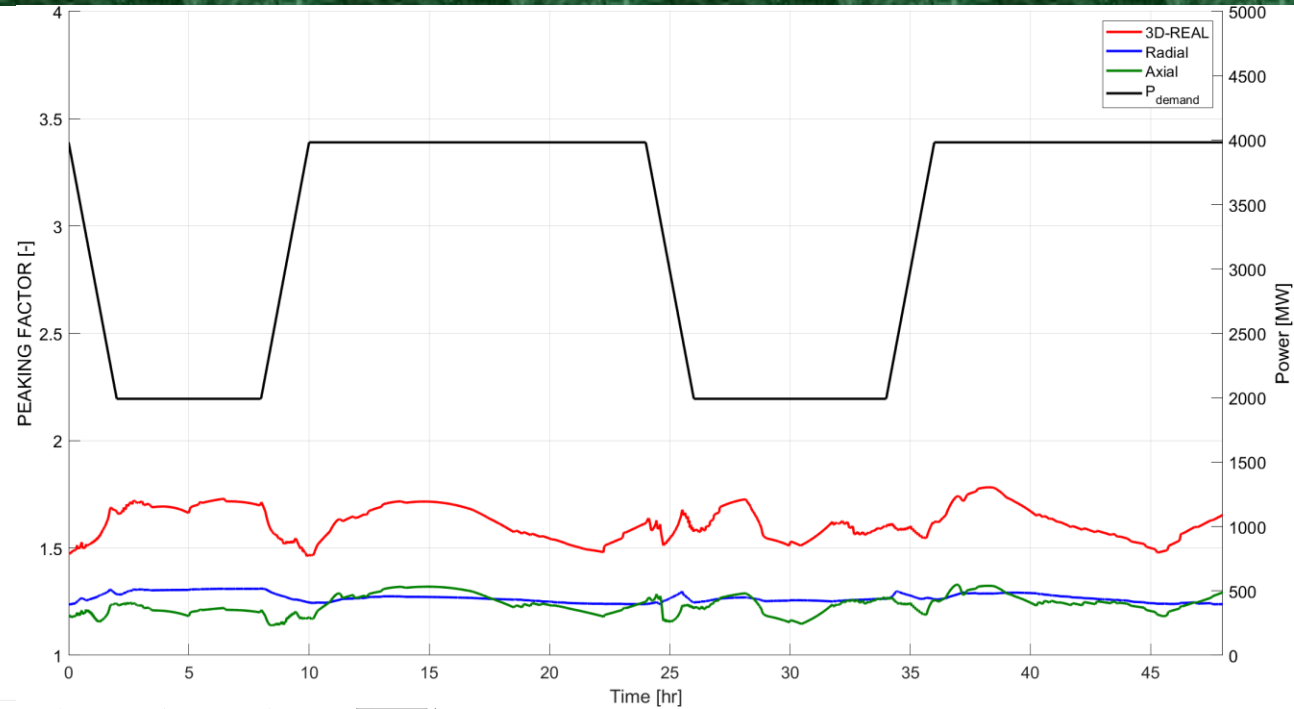
- 16 GWD/MTU
- 48-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 2

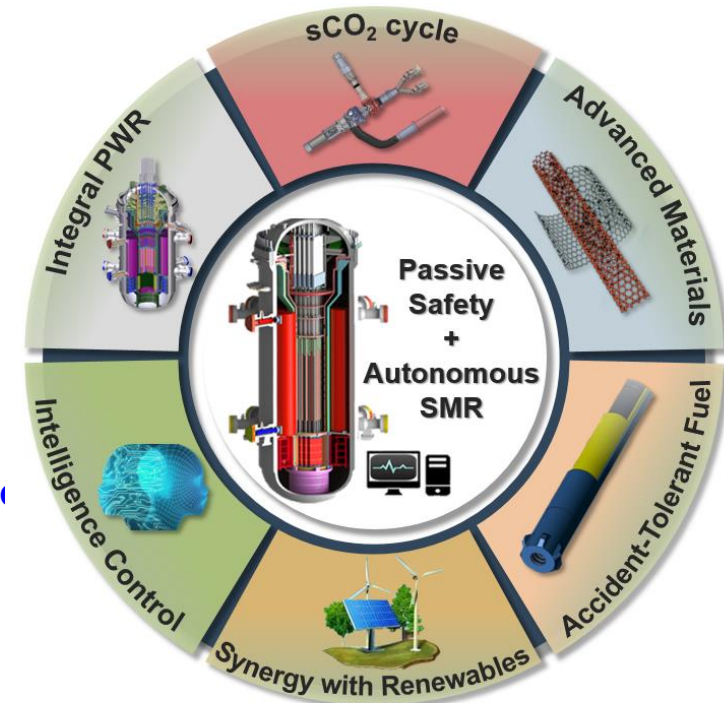
- 16 GWD/MTU
- 48-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



자율형 무봉산 SMR 부하추종운전

# 카이스트 ‘자율형 SMR ATOM’ 연구

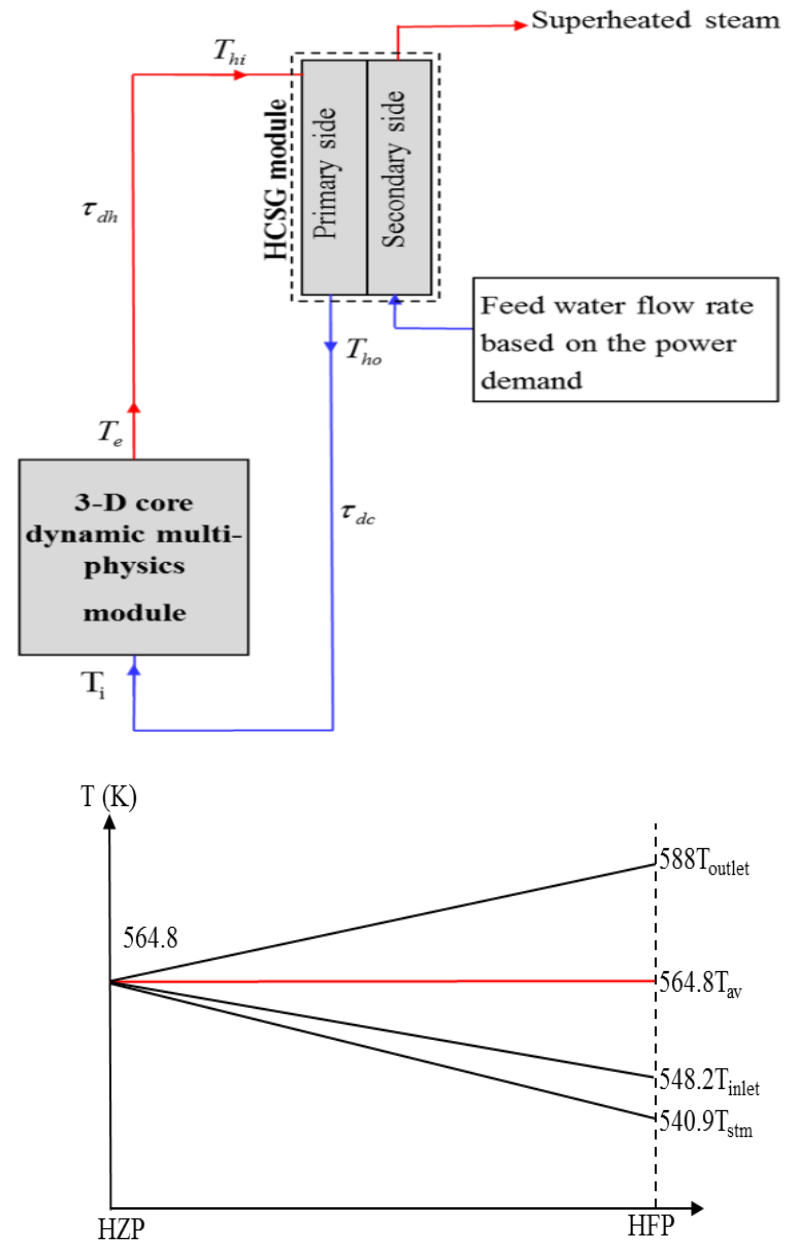
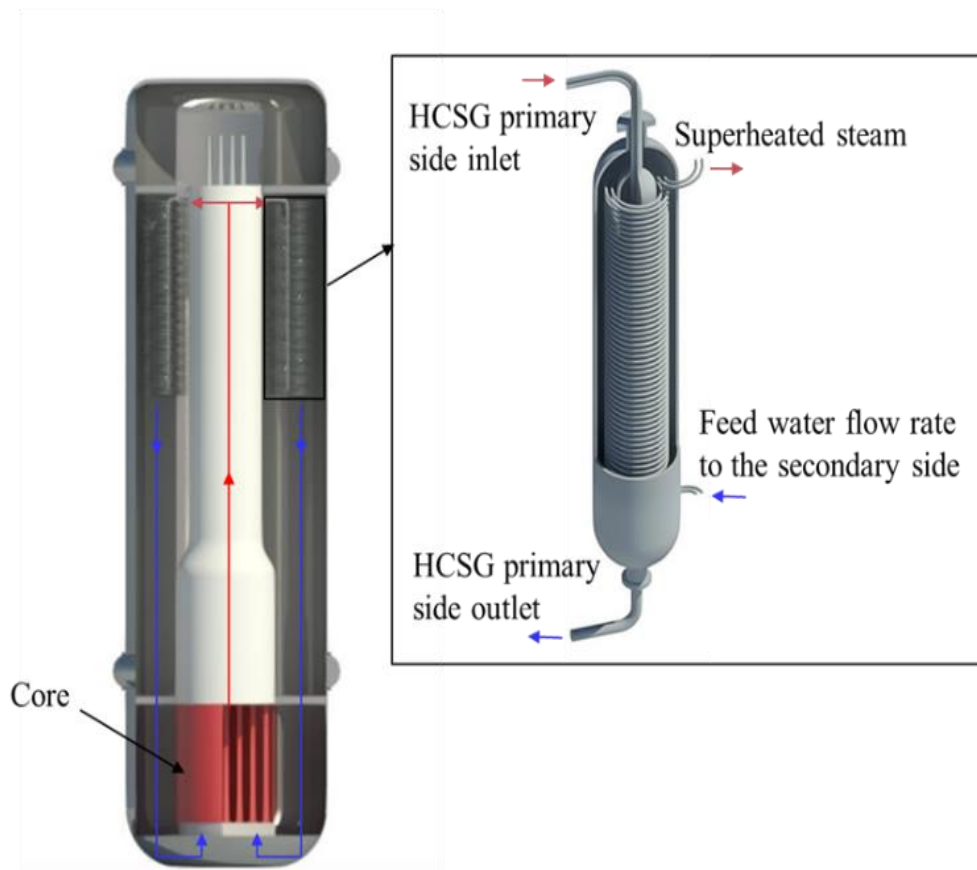
- 자율운전 소형모듈형 원자로 연구센터 (CASMR)
- 카이스트 중심 6개 대학 참여
  - 3개 연구부
  - : 노심 및 연료주기, 시스템 및 I&C, 핵연료 및 재료
- 과제 기간
  - 2016년 7월 1일 ~2022년 12월 31일
- 자율운전 SMR 시스템 **ATOM**  
 (Autonomous Transportable On-demand reactor Module)  
 원천-핵심기술 개발
  - SMR 설계의 새로운 패러다임 및 지향점 제시
  - 고급 융복합 고급인력 양성
- 주요 연구성과
  - 혁신 무봉산 **SMR** 개발
  - 세계 최초 자율운전 **SMR** 핵심기술 개발
  - 고유-혁신 사고저항성 핵연료 개발
  - 초고성능 구조재 개발
  - 고성능 초임계 CO<sub>2</sub> 발전사이클 기술 선도



Design Concepts of ATOM

# ○ Helical Coil Steam Generator in KANT

- Superheated steam
- Constant inlet coolant temperature



- **No active control of the reactor power and axial power shape during load-follow operations**

- **Coolant average T should be in the dead-band!**
- **Always acceptable axial power shape**

- Control only in the feed-water flow rate and the governor value

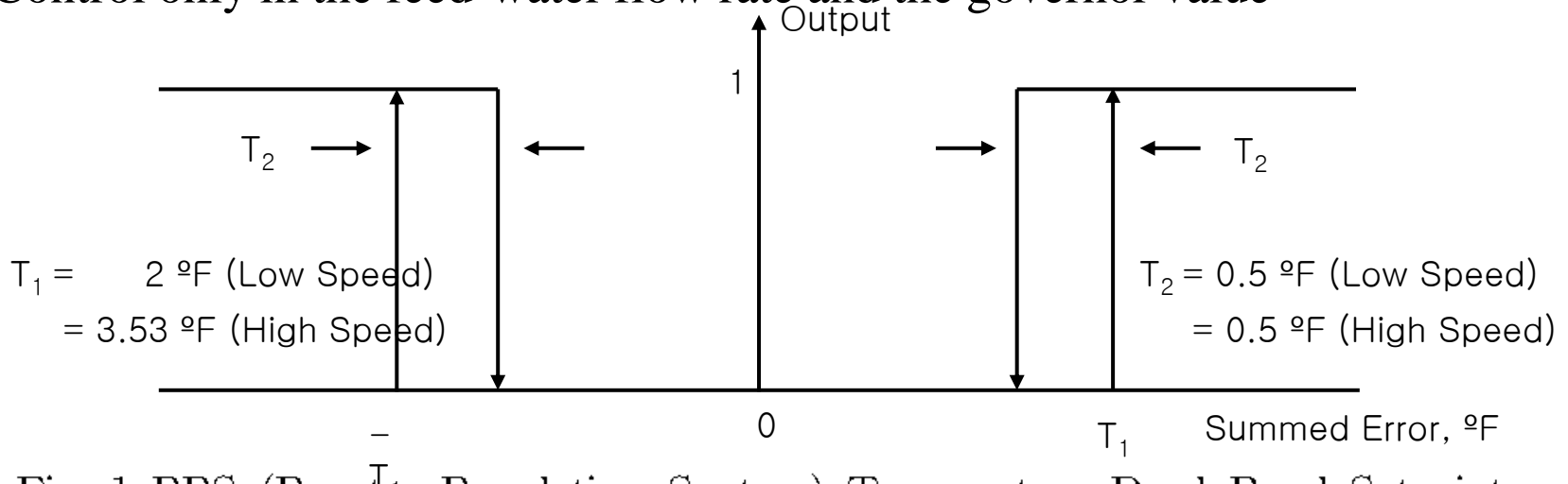
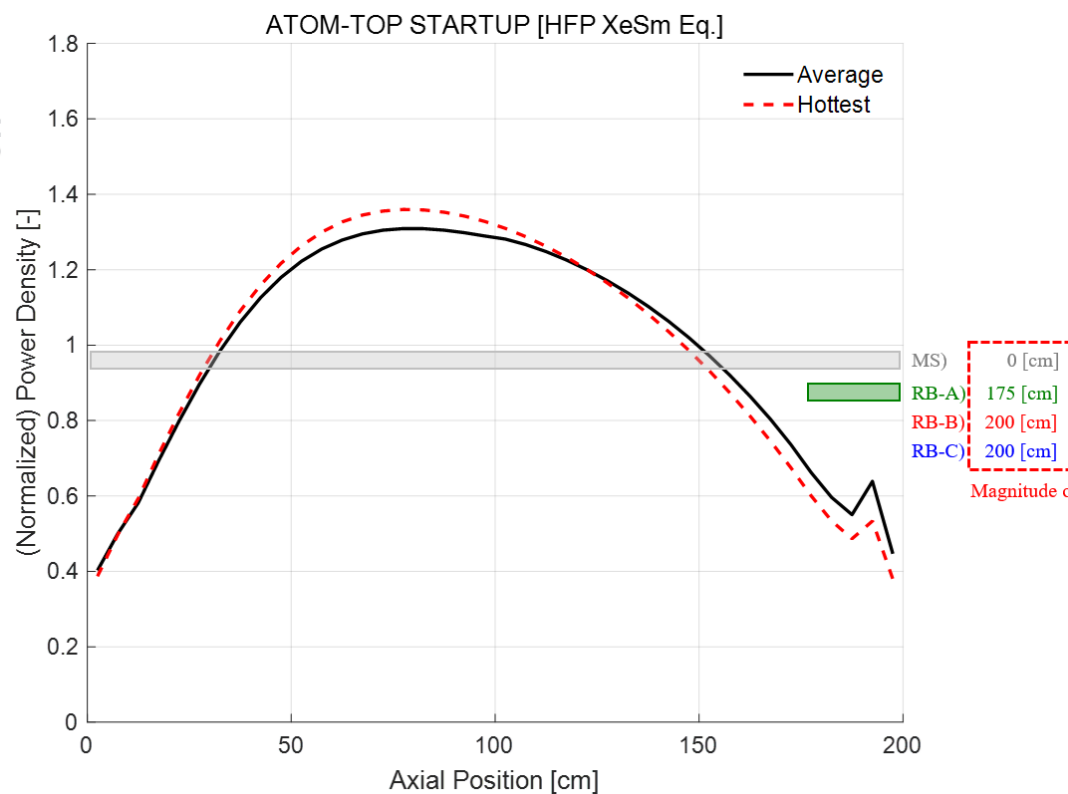
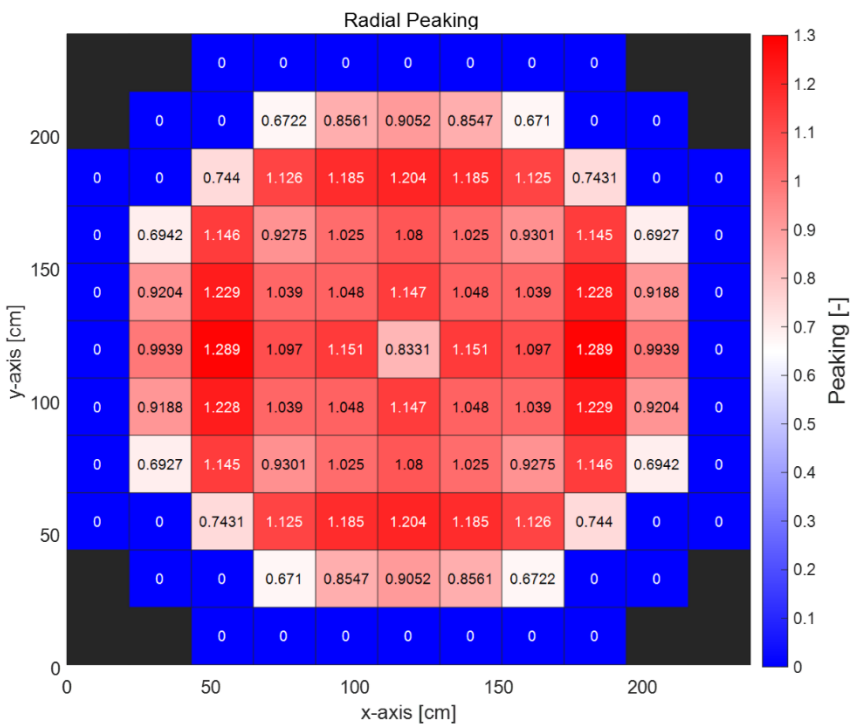


Fig. 1 RRS (Reactor Regulating System) Temperature Dead-Band Setpoints

# ATOM 피동 부하추종운전

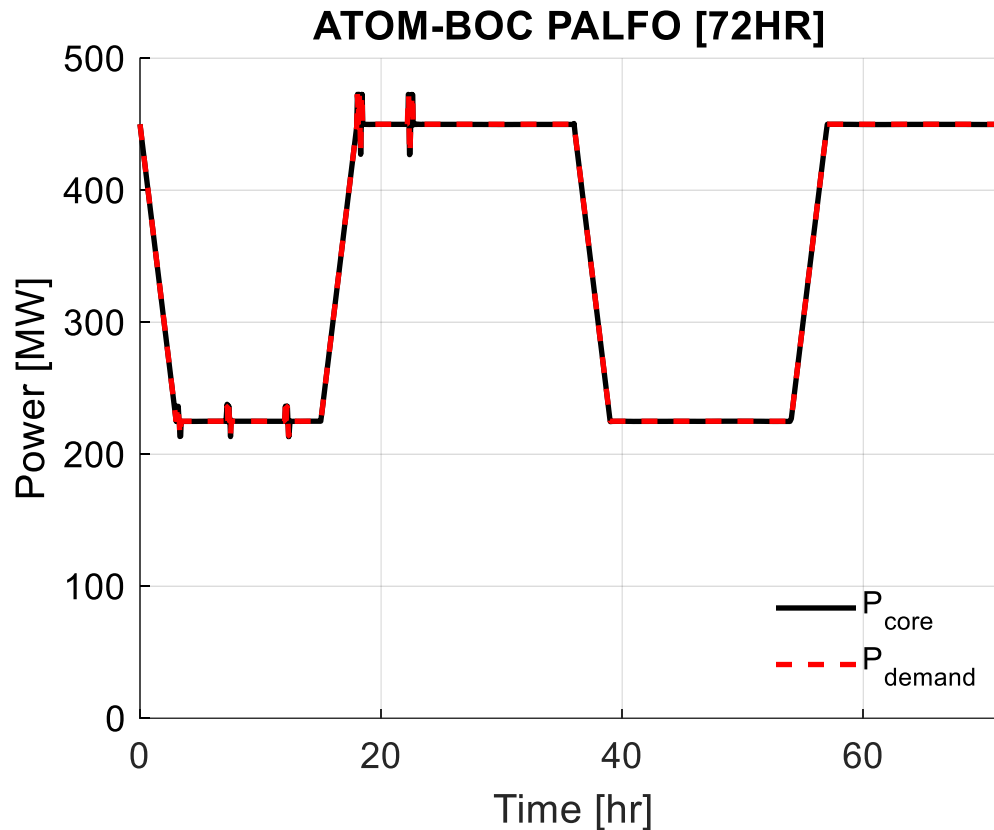
- 3D multi-physics analysis using the KAMT code system
- BOC of ATOM core with pan-shape CSBA and reduced fuel radius (TOP)



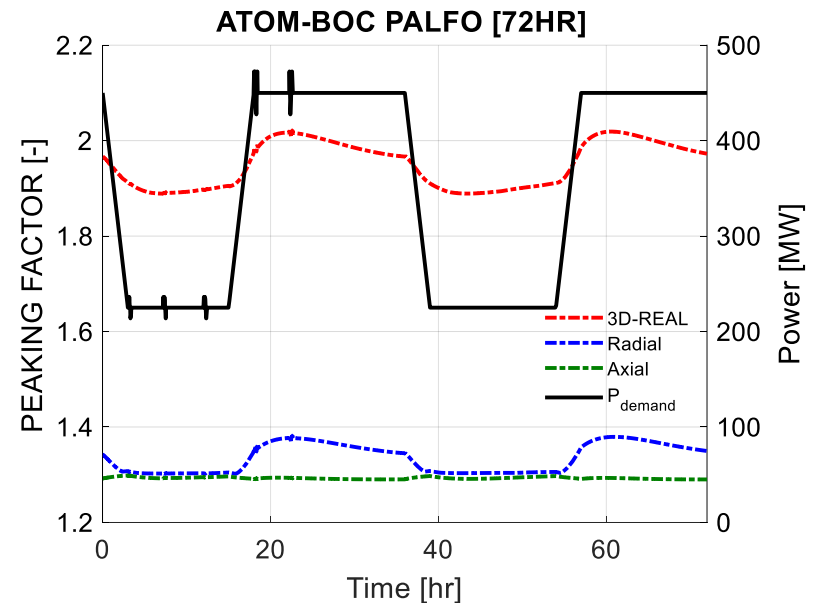
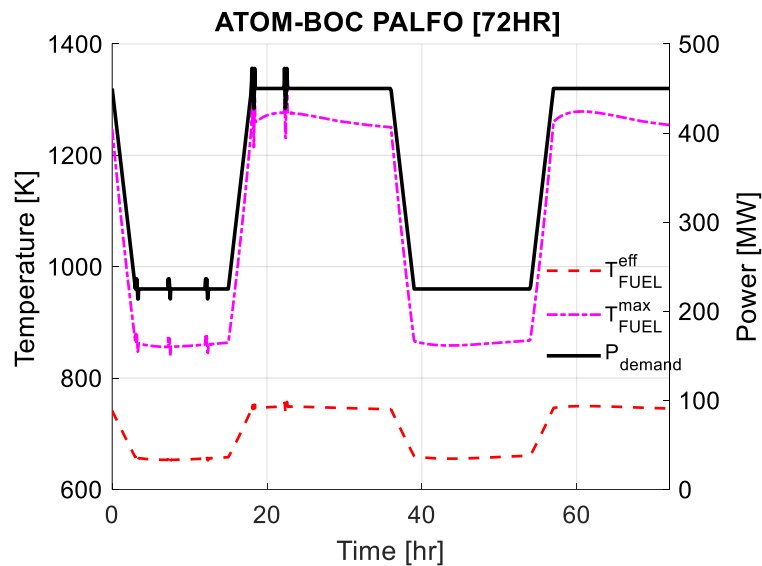
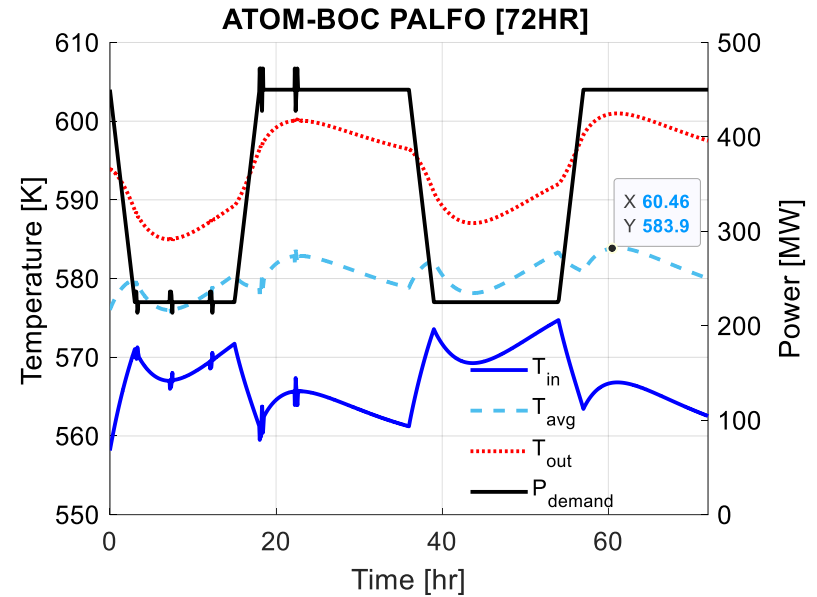
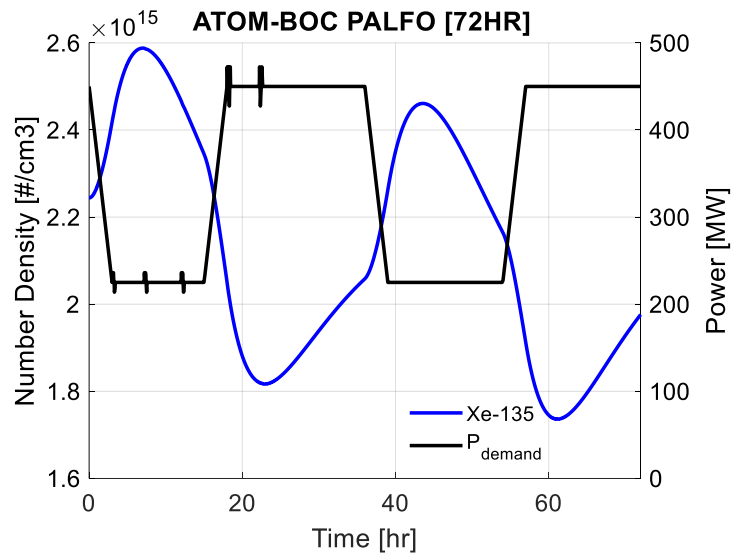


## ATOM 피동 부하추종운전

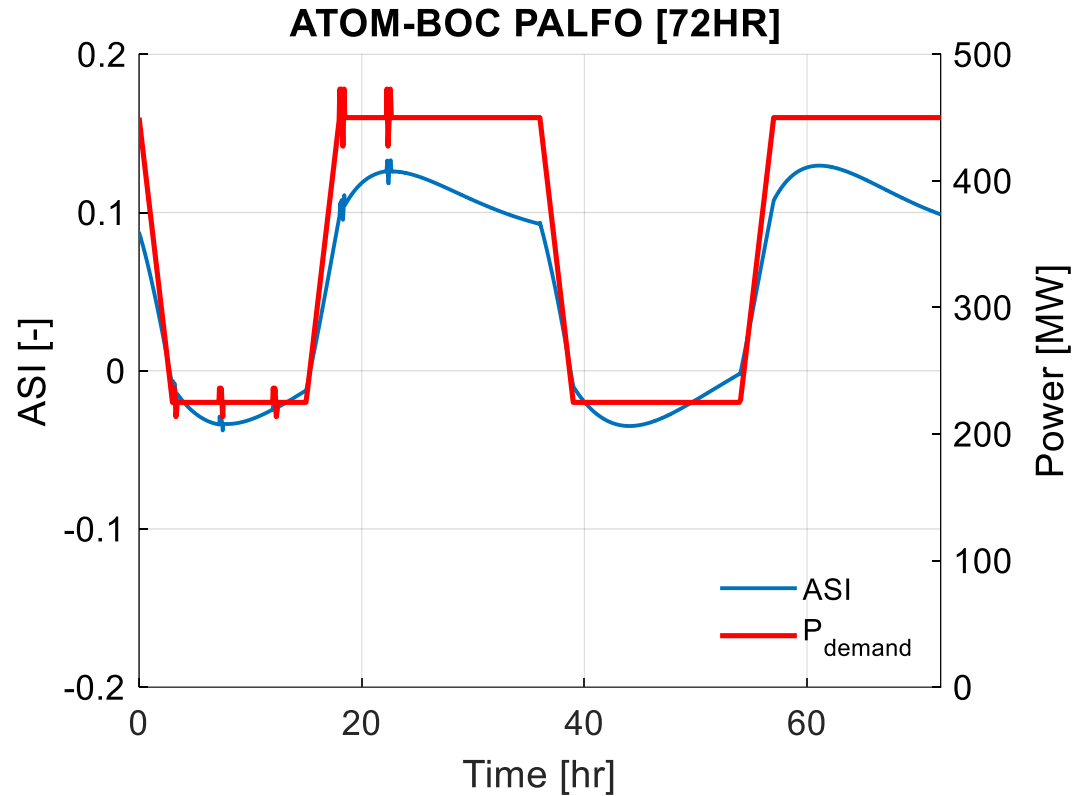
- Daily load-follow operation with secondary frequency control
- Demand power vs. Core power (BOC)



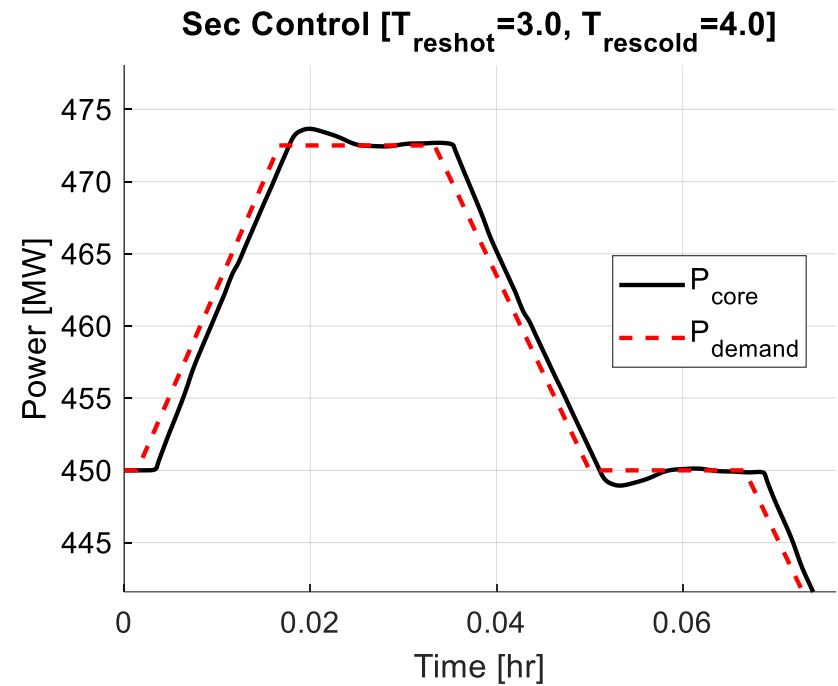
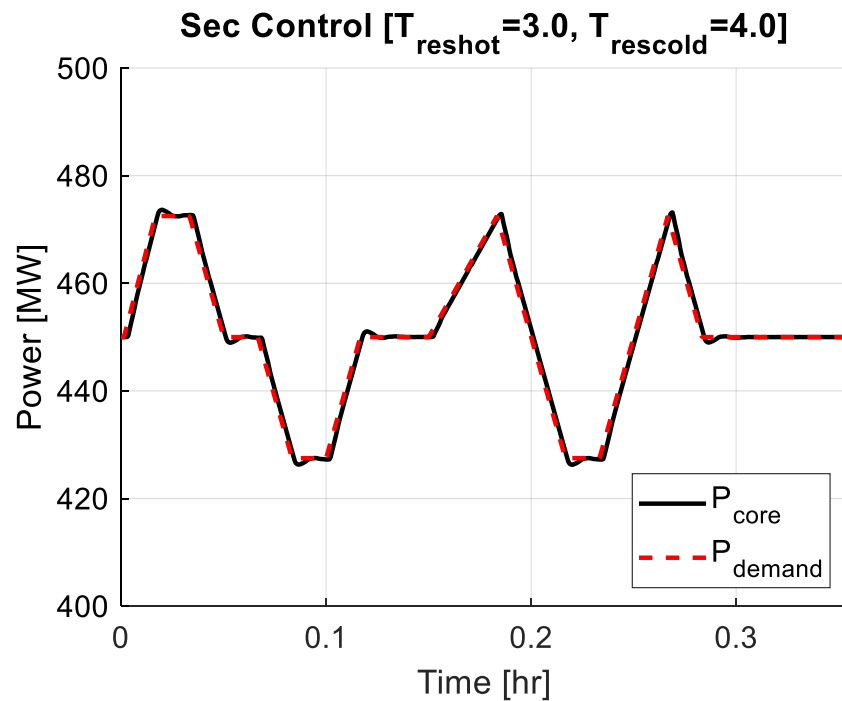
## ○ Reactivity &amp; Temperatures in PALFO



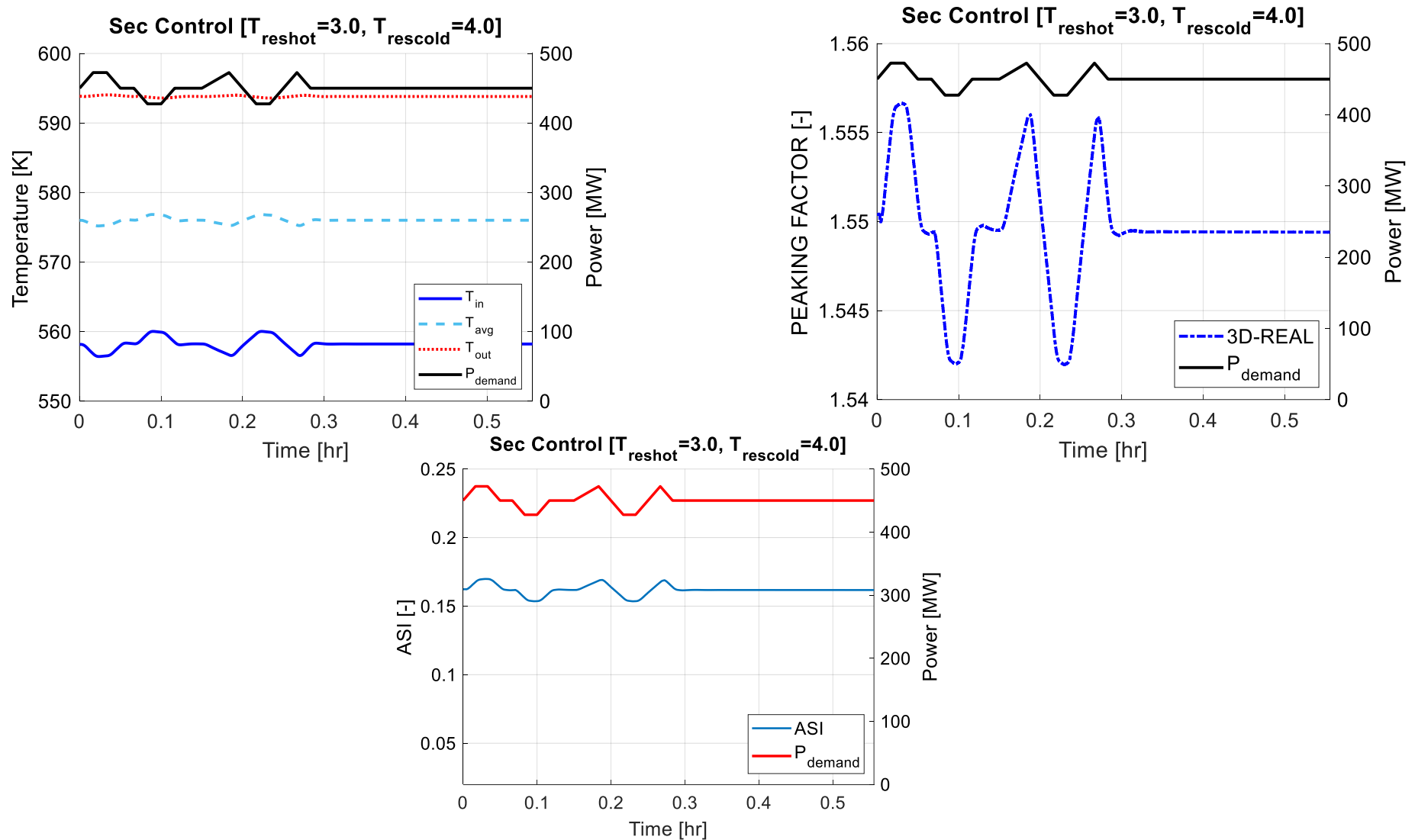
## ○ ASI in PALFO



## ○ Secondary Frequency Control



## ○ Secondary Frequency Control



## 주요 연구개발 필요성

- 부하추종운전을 고려한 노심설계
- 부하추종 운전시 출력에 따른 ASI 범휘 현실화
- 자동 붕소농도 조절 시스템 개발
- 고성능 주파수제어 운전을 위한 저붕산 노심설계
- 부분강제어봉(PSCEA) 반응도가 최적화
- PSCEA 삽입 운전으로 보론 농도 변화 최소화
- 붕산시나리오 최적화를 위한 제논 반응도가 예측 기능 개발
- 제어봉 수명 극대화 설계 및 운전 전략
- ATF 핵연료 개발을 통한 부하추종운전 성능 극대화
- 수소 생산과 부하추종운전 연계

- 국내 APR1400 부하추종운전 능력은 있지만 설계로 구현되지 않음
- Mode-K+를 사용하는 경우 APR1400 성공적인 일일부하추종운전 가능
- APR1400 국부 주파수제어 운전 (Governor-free operation) 가능성 높음
  - 그러나 주기초 봉산 농도는 충분히 낮아야 함
- APR1400 수출경쟁력 제고를 위해서 ATF 와 함께 부하추종운전 극대화 기술 필요

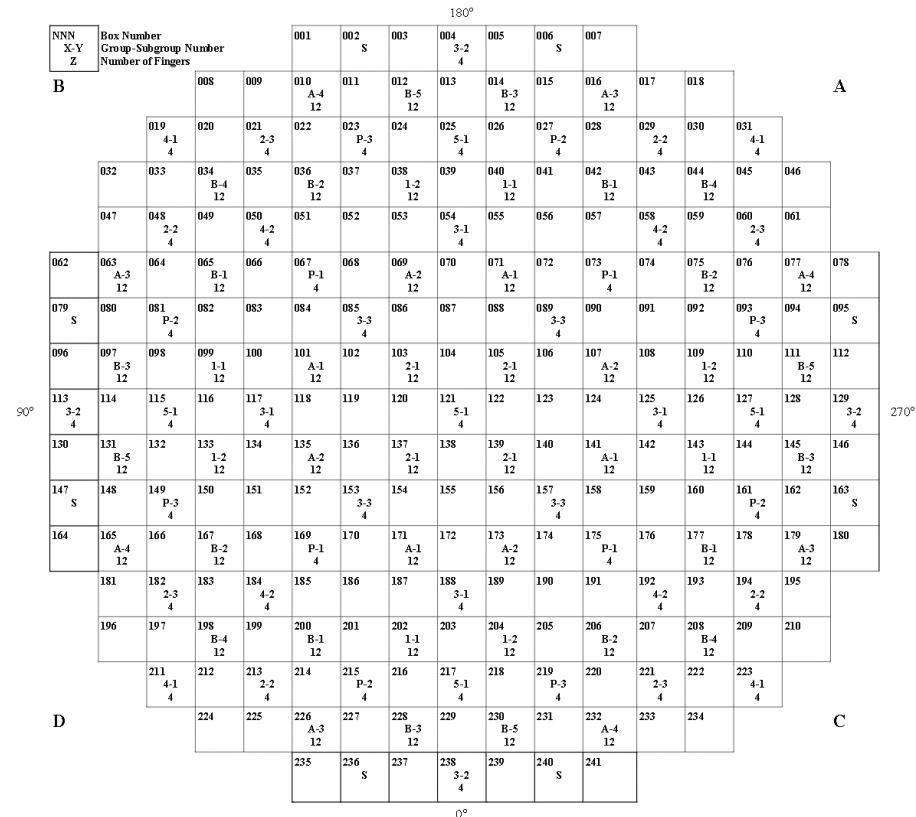
감사합니다!



# Daily LFO in APR1400

- ✓ T/H coupled.
- ✓ Equilibrium Xenon & Samarium.
- ✓ Clean core.
- ✓ Boron concentration = 803 ppm

	$k_{eff}$	Worth (pcm)
ARO	1.000001	—
All Inconel-PSCEA in	0.998064	194
All Mn-PSCEA in	0.996566	344
RR5 in	0.996202	381
RR4 in	0.995311	471
RR3 in	0.990821	926



- 5 - Lead Regulating Bank (5)
- 4 - Second Regulating Bank (8)
- 3 - Third Regulating Bank (12)
- 2 - Fourth Regulating Bank (12)
- 1 - Last Regulating Bank (8)

- B - Shutdown Bank B (20)
- A - Shutdown Bank A (16)
- P - PSCEA Group (12)
- S - Spare CEA Location (8)

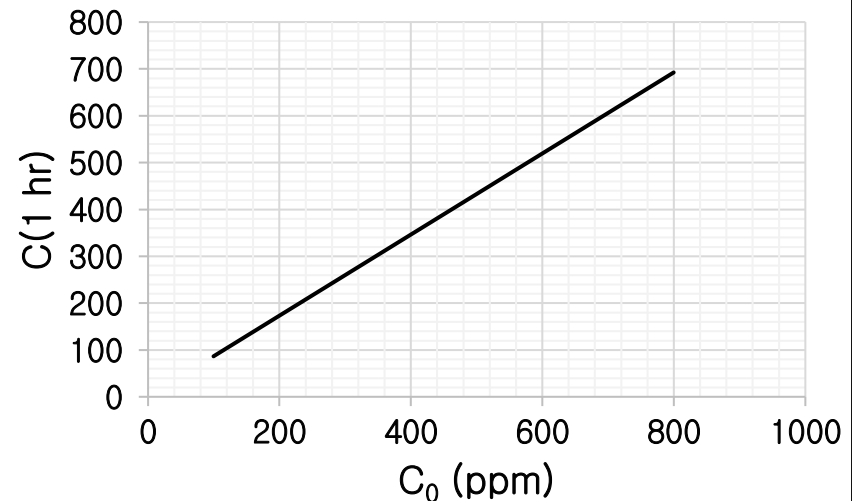
# Daily LFO in APR1400

Soluble boron scenario:

- Dilution starts after ramp down completion.
- Boration begins on the half way of ramp up.
- Dilution/Boration level is to compensate the xenon concentration change.
- Considering APR1400 maximum dilution capacity.

$$C(t) = C_0 e^{-t/\tau}$$

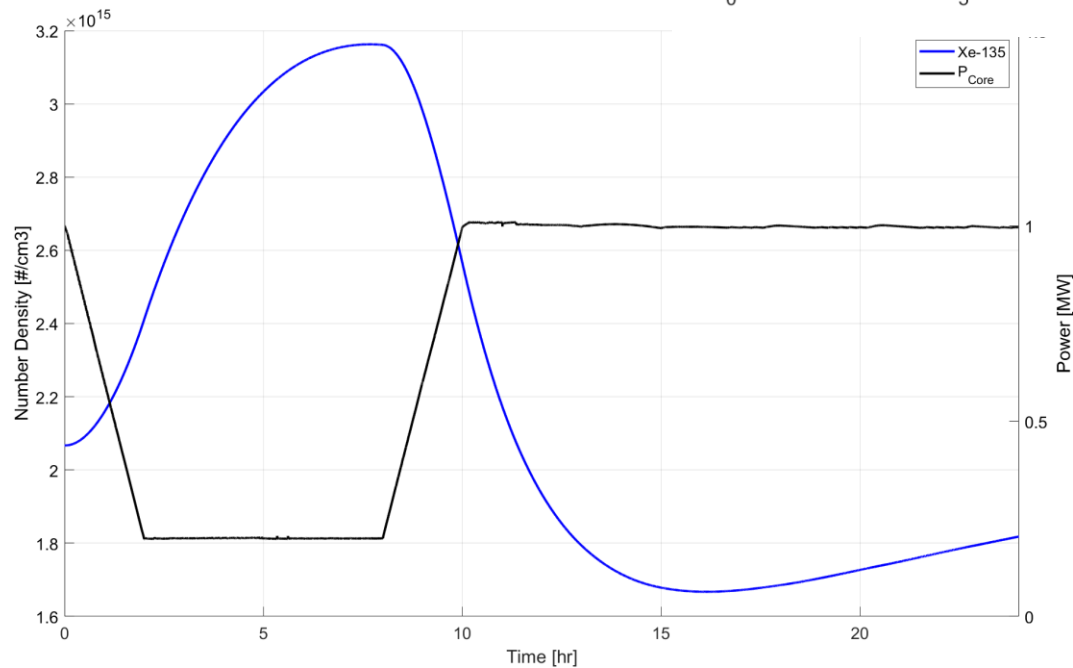
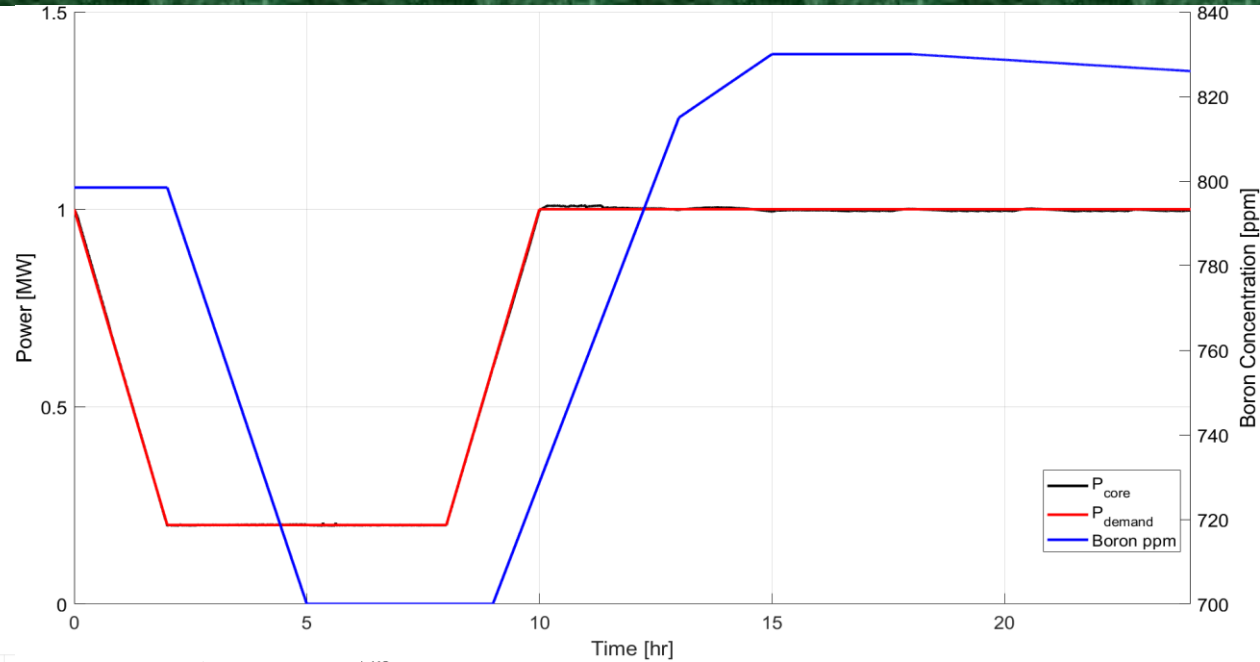
- ✓  $C(t)$  = Boron concentration at time  $t$ .
- ✓  $C_0$  = Initial boron concentration.
- ✓  $\tau$  = boron dilution time constant



# Daily LFO in APR1400

## Scenario 3

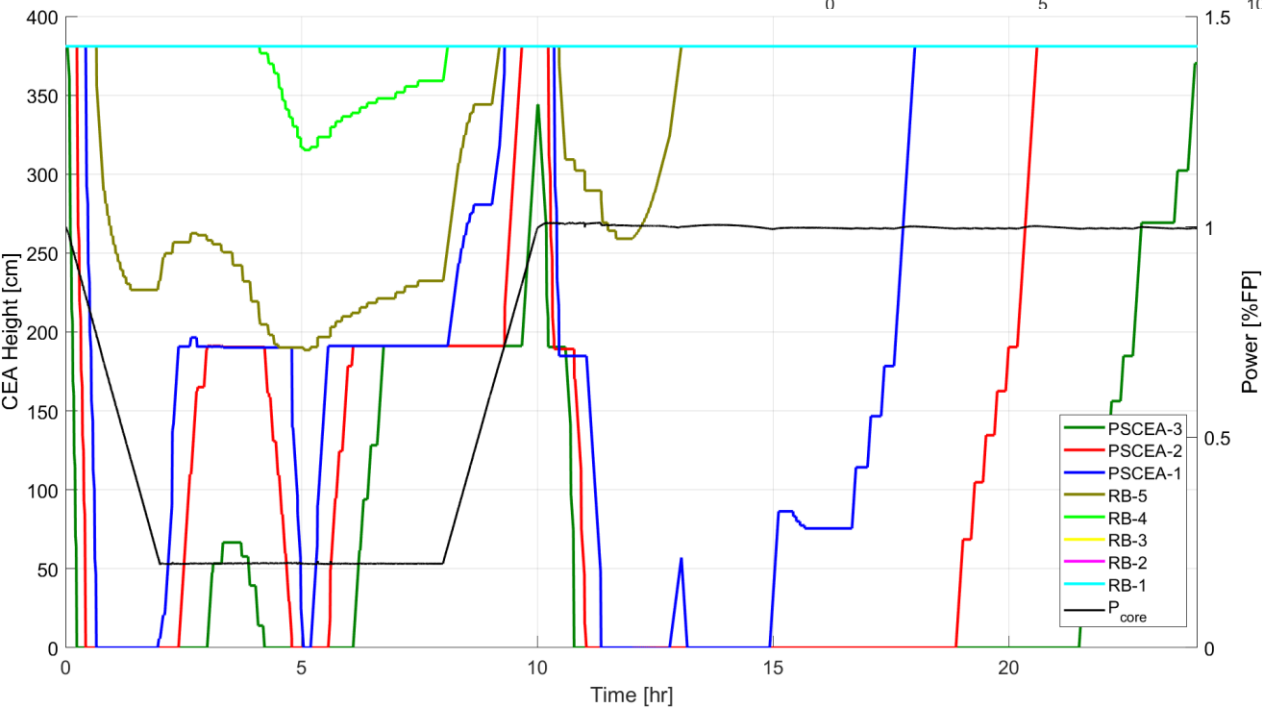
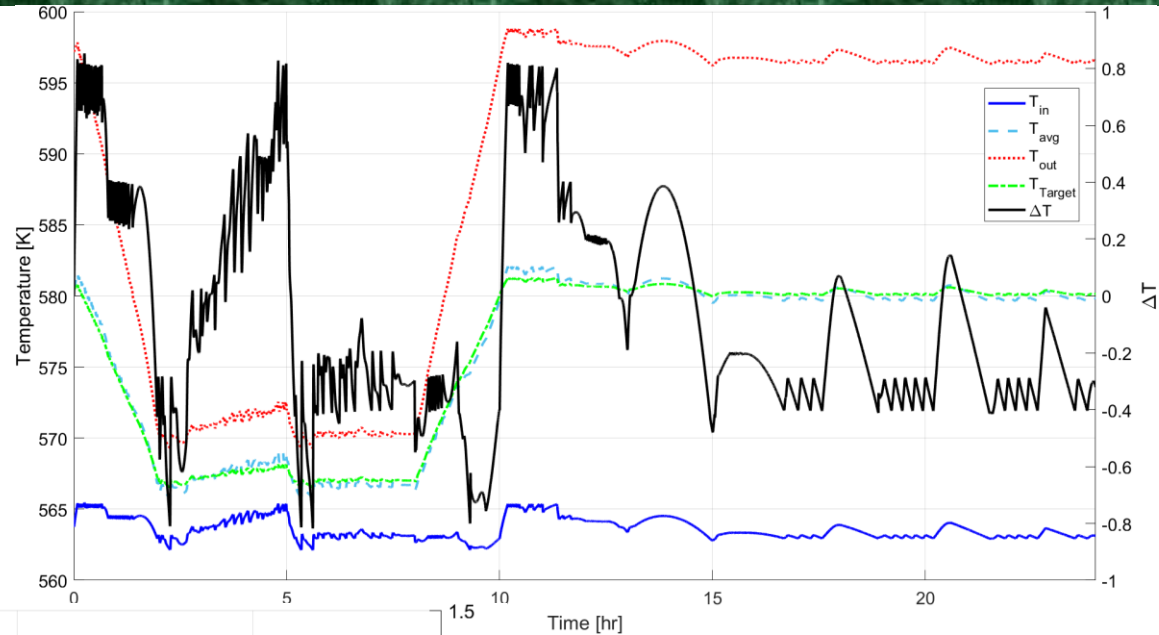
- BOC
- 24-hour LFO
- 100-20-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 3

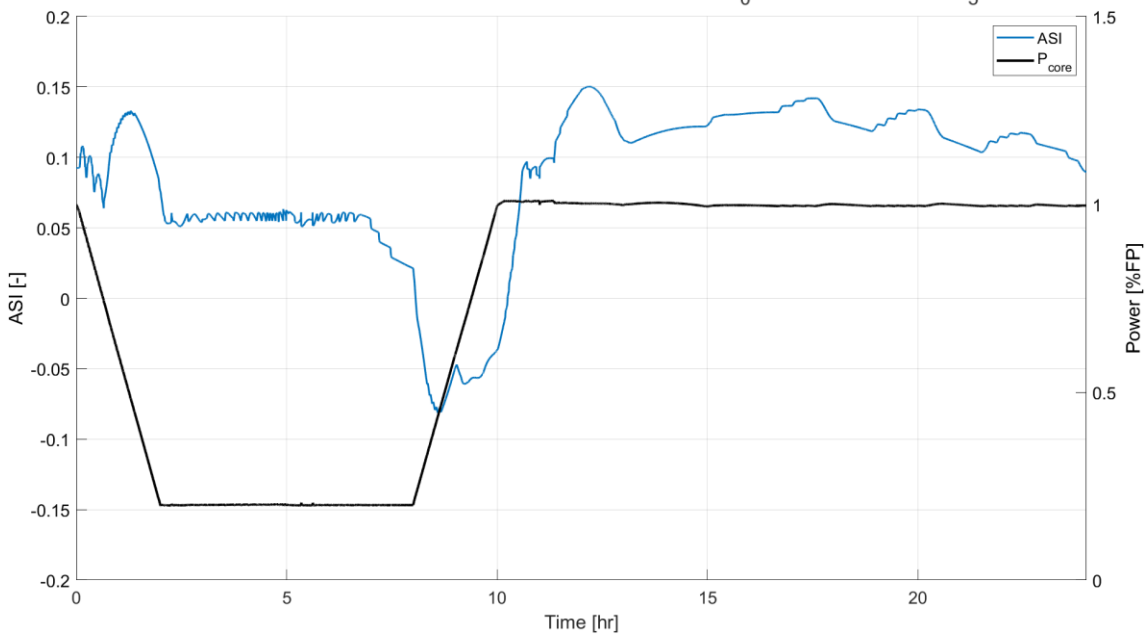
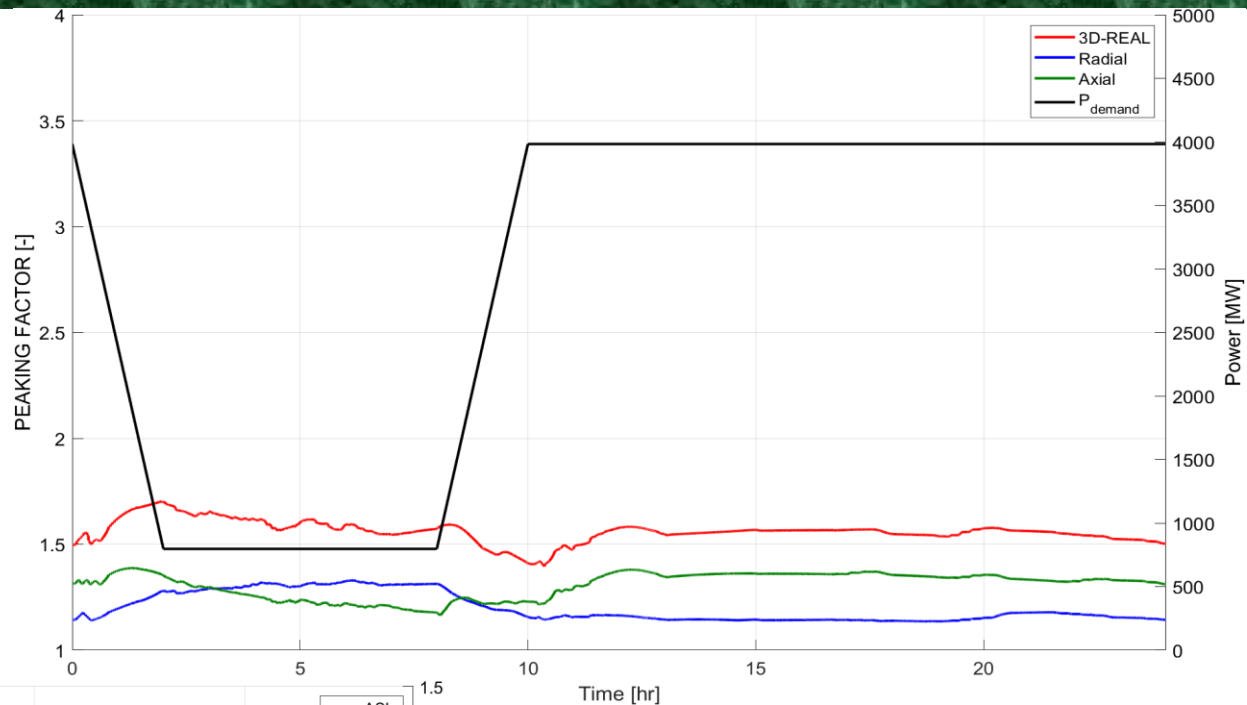
- BOC
- 24-hour LFO
- 100-20-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 3

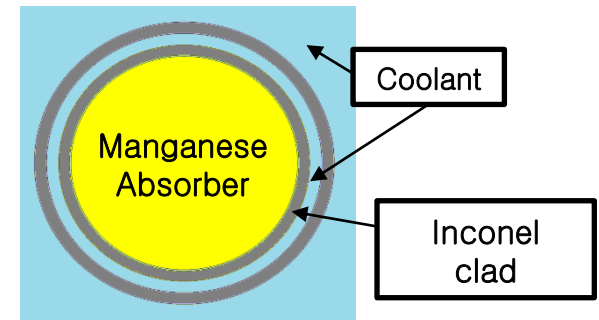
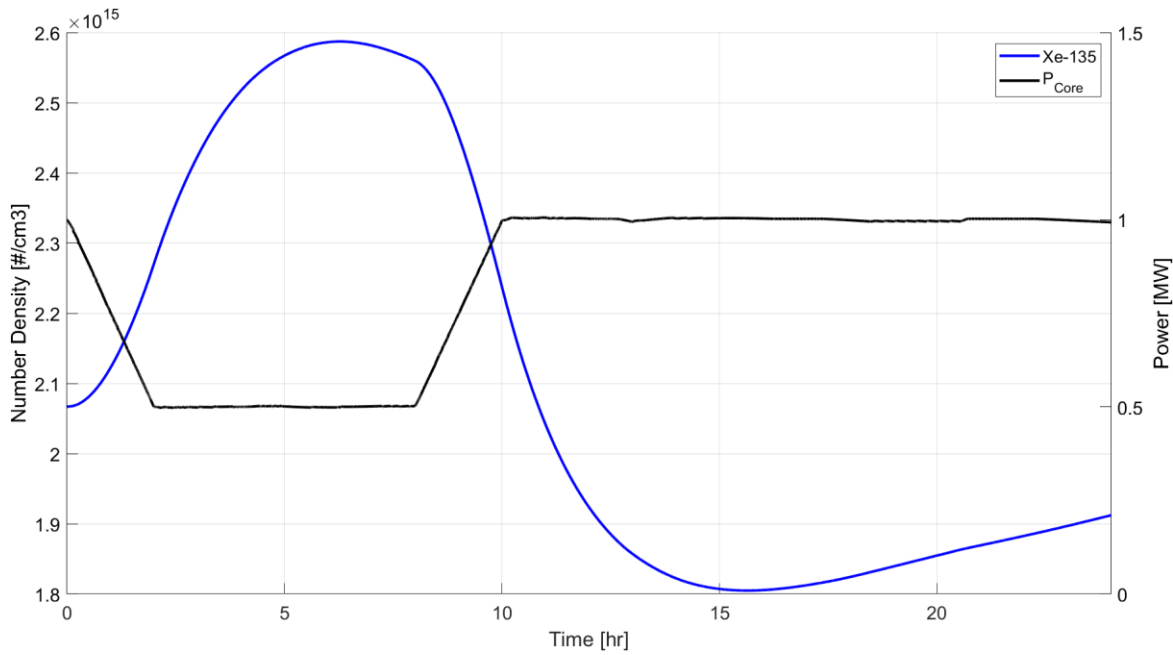
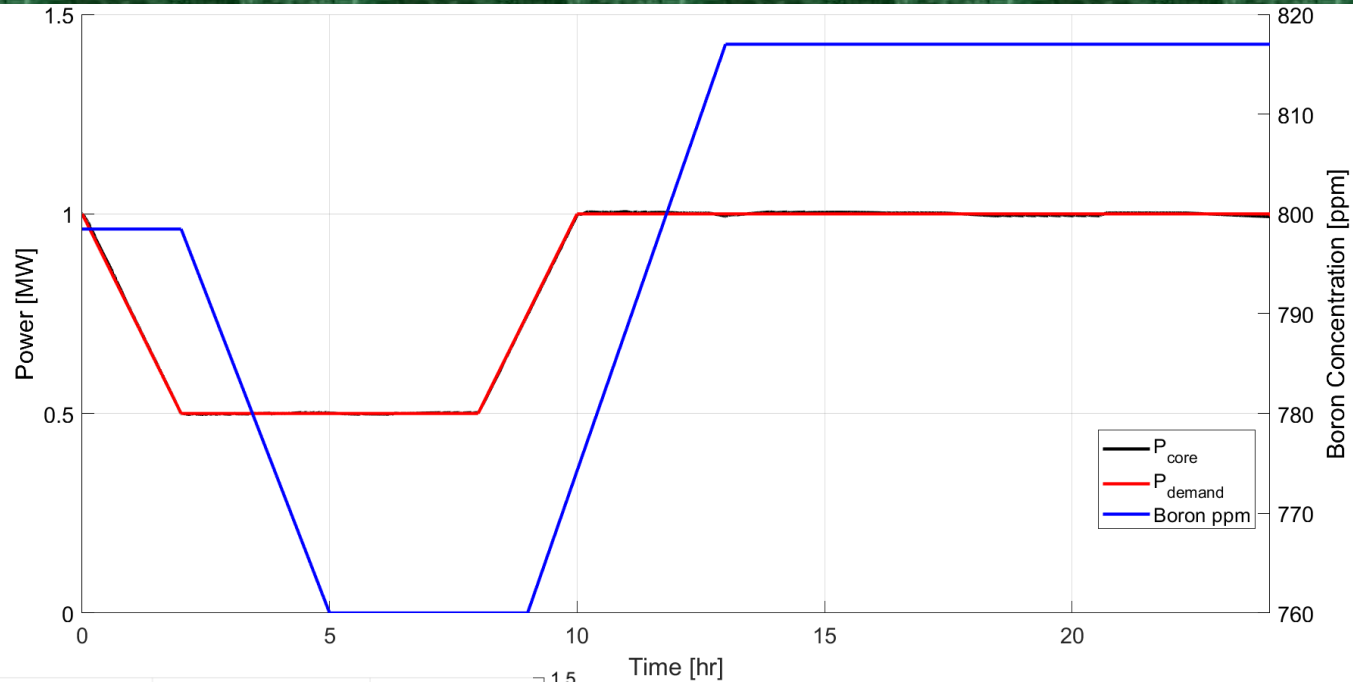
- BOC
- 24-hour LFO
- 100-20-100
- 2-hour ramp.
- Inconel-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 4

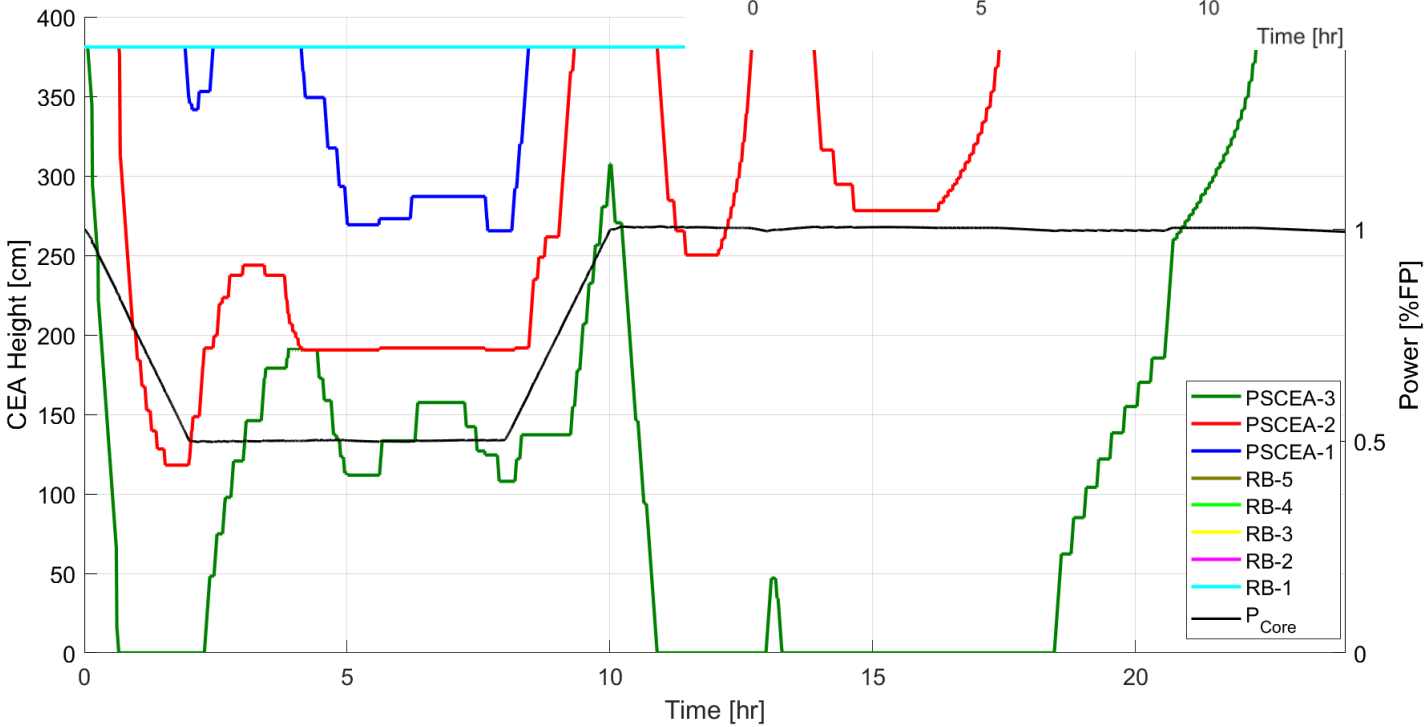
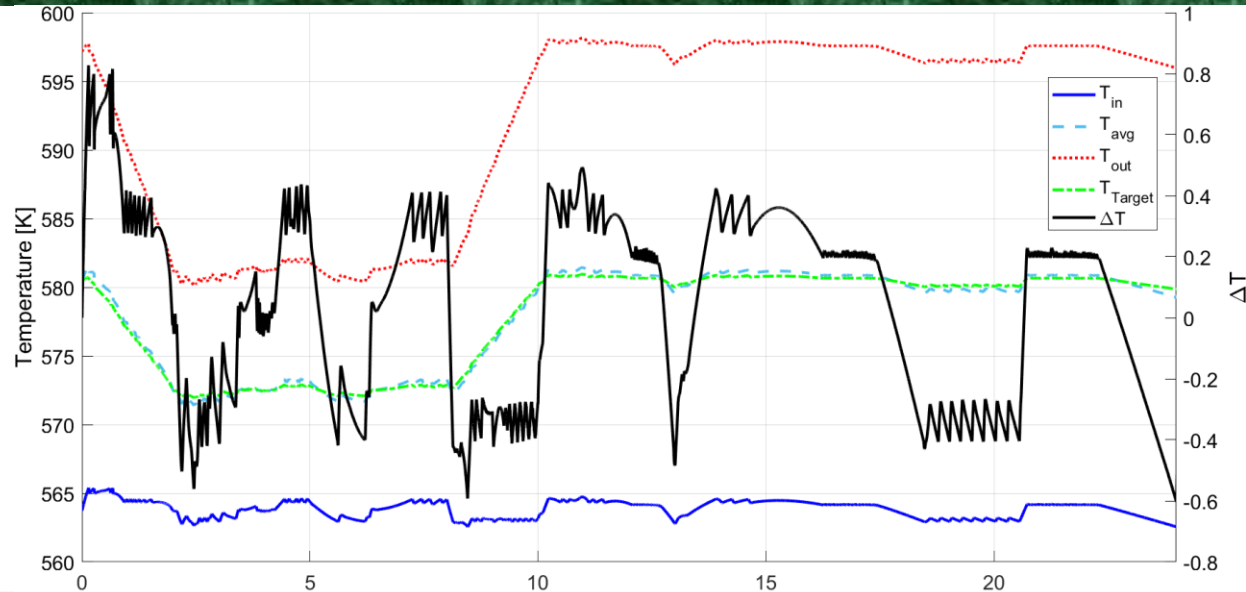
- BOC
- 24-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Mn-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 4

- BOC
- 24-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Mn-PSCEA



## Daily LFO in APR1400

## Scenario 4

- BOC
- 24-hour LFO
- 100-50-100
- 2-hour ramp.
- Mn-PSCEA

