
Analysis on Dynamic Response of PI Controllers Applied in Nuclear Power Plants

- 2015년도 추계 한국원자력학회 -

한국전력기술
원자로설계개발단
선임기술원 안명훈
mhoon@kepco-enc.com

Contents

1. 개요
2. 원전호기별 PI 제어기 특성
3. Simulation 결과 및 분석
4. 결론
5. Q&A

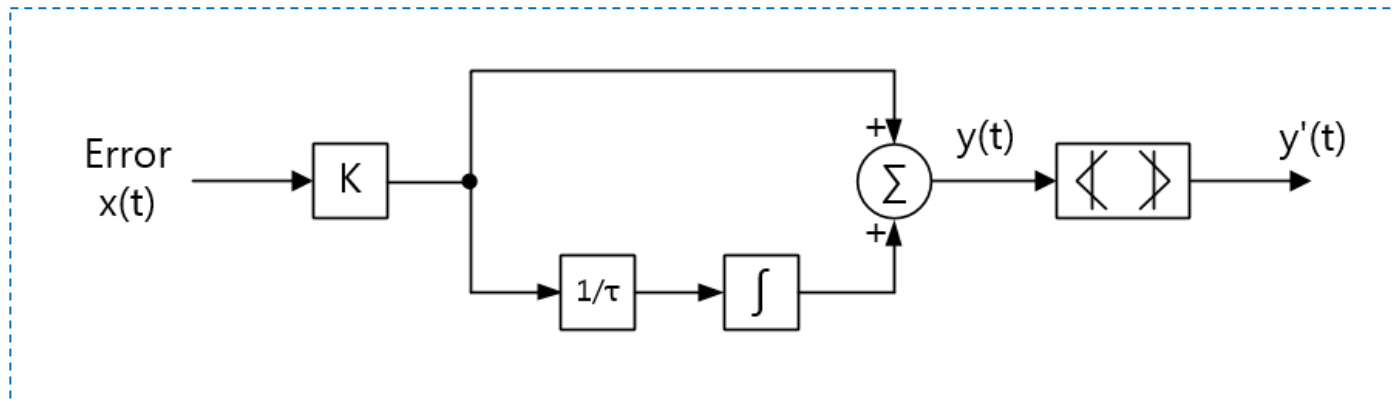
1. 개요 : PI Controller

◆ PI Controller (비례적분 제어기)

- **PI** Control : **P**roportional **I**ntegral Control

Laplace Form : $Y(s) = k \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \cdot X(s)$

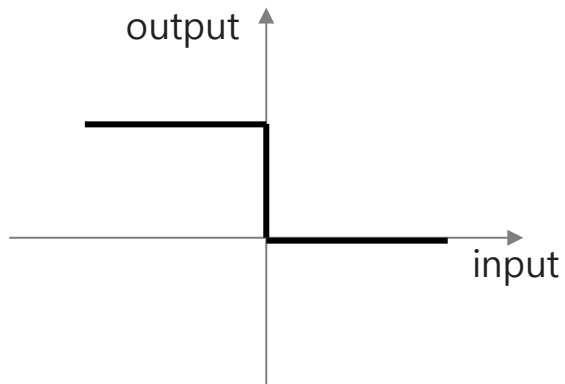
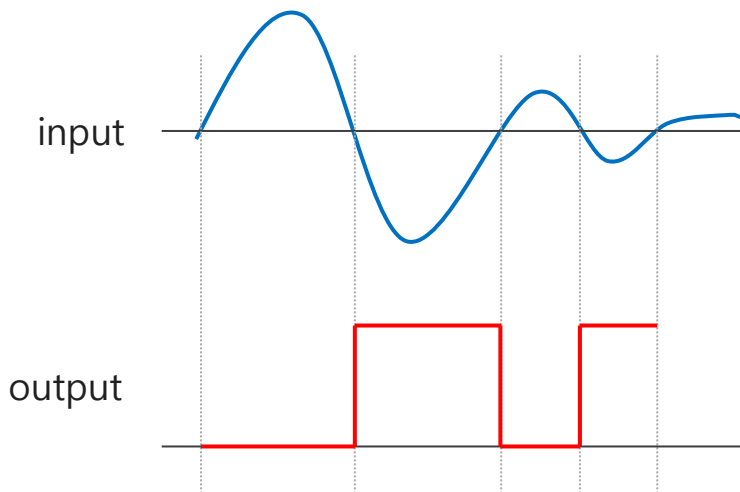
Time-domain ftn. : $y(t) = kx(t) + \frac{k}{\tau} \int x(\tau) d\tau$



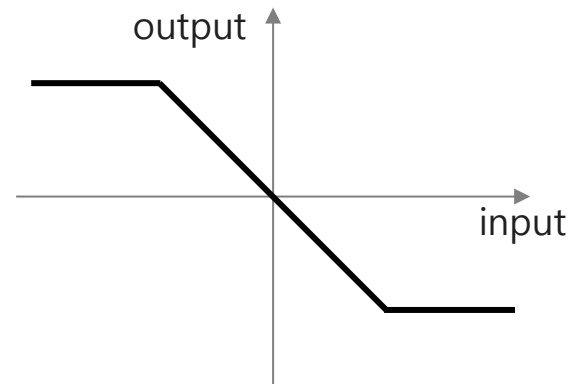
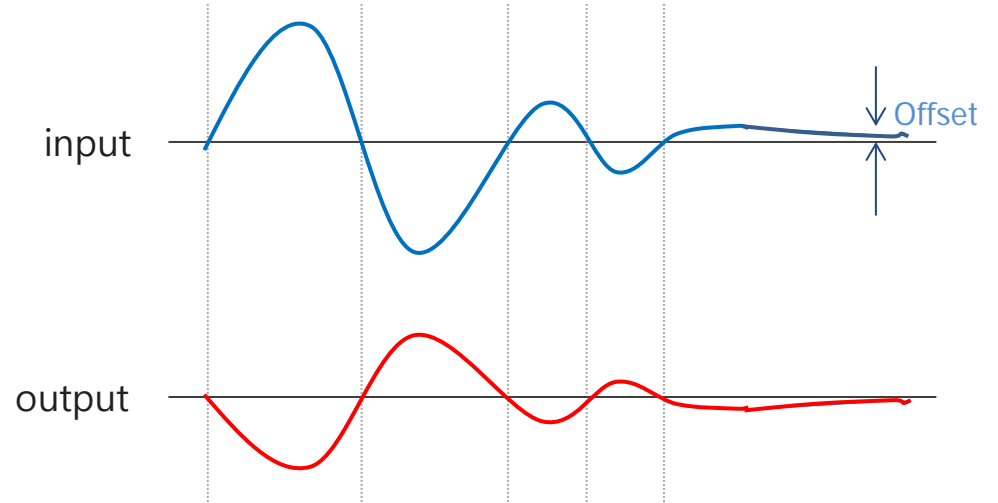
1. 개요 : Other Control Schemes

◆ On-off 제어 / P(Proportional) 제어

< On-Off 제어 >

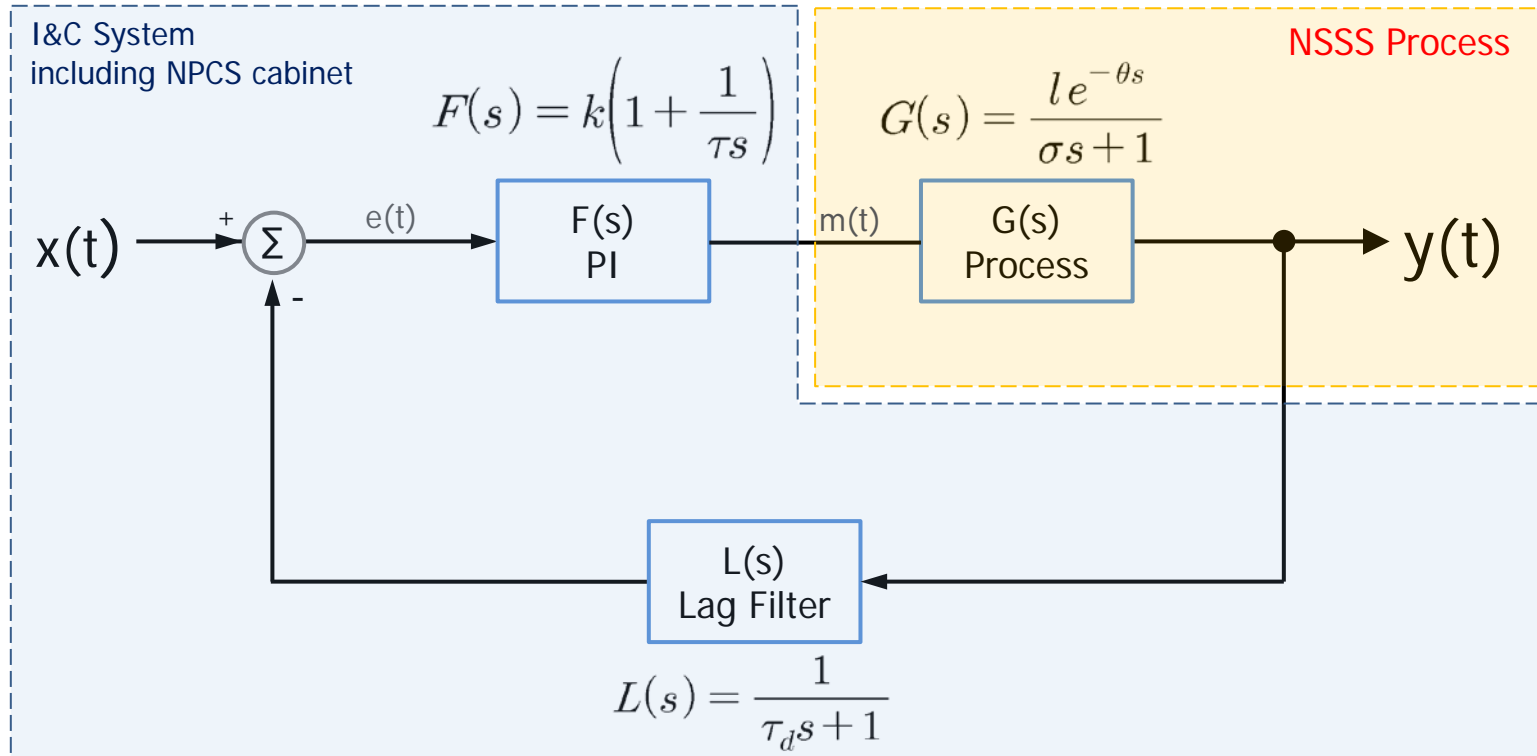


< P 제어 >



1. 개요 : PI Controller

◆ Closed Loop Control System



2. 원전호기별 PI 제어기 특성

◆ 원전 호기별 NSSS Control System의 I&C Platform 비교

NPP System	YGN 3&4 UCN 3&4	YGN 5&6 UCN 5&6	SKN 1&2 SWN 1&2	SKN 3&4 BNPP	SHN 1&2
PPCS PLCS	Foxboro 200 (Analog)	Foxboro 200 Micro	Ovation DCS	Ovation DCS	OPERA DCS
FWCS SBCS	Foxboro 200 Micro	Omron PLC (Duplication)			
RRS	(Replaced with the 'Triconex' for FWCS)			Ovation DCS	OPERA DCS

- PLC : Programmable Logic Control
- DCS : Distributed Control System
- PPCS : Pressurizer Pressure Control System
- PLCS : Pressurizer Level Control System
- FWCS : Feedwater Control System
- SBCS : Steam Bypass Control System

2. 원전호기별 PI 제어기 특성

◆ 원전 호기별 NSSS Control System의 I&C Platform 비교

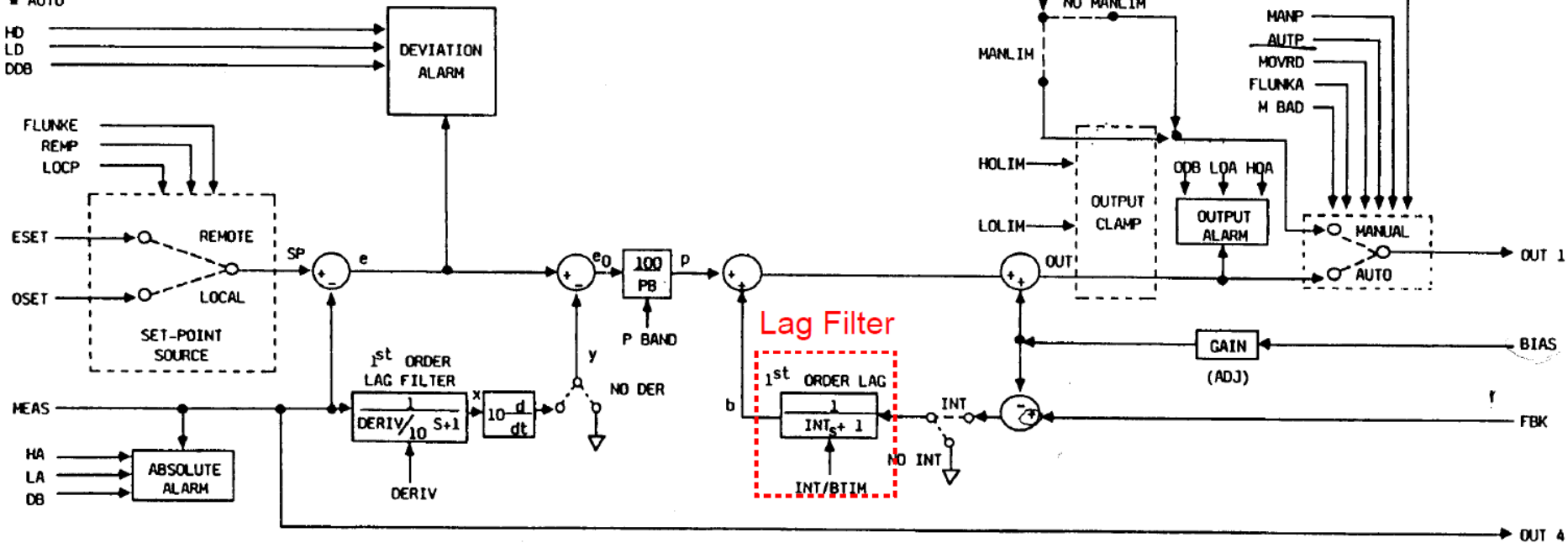
- Foxboro System : 영광3,4호기, 울진3,4호기
- Omron PLC : 영광 5,6호기, 울진5,6호기, 신고리1,2호기, 신월성1,2호기
- Ovation DCS : 신고리 3,4호기, BNPP 1,2,3,4호기
- OPERA DCS : 신한울 1,2호기

2. 원전호기별 PI 제어기 특성 – Foxboro System

◆ Foxboro System

CONTROL MODE PRIORITY (1=HIGHEST)

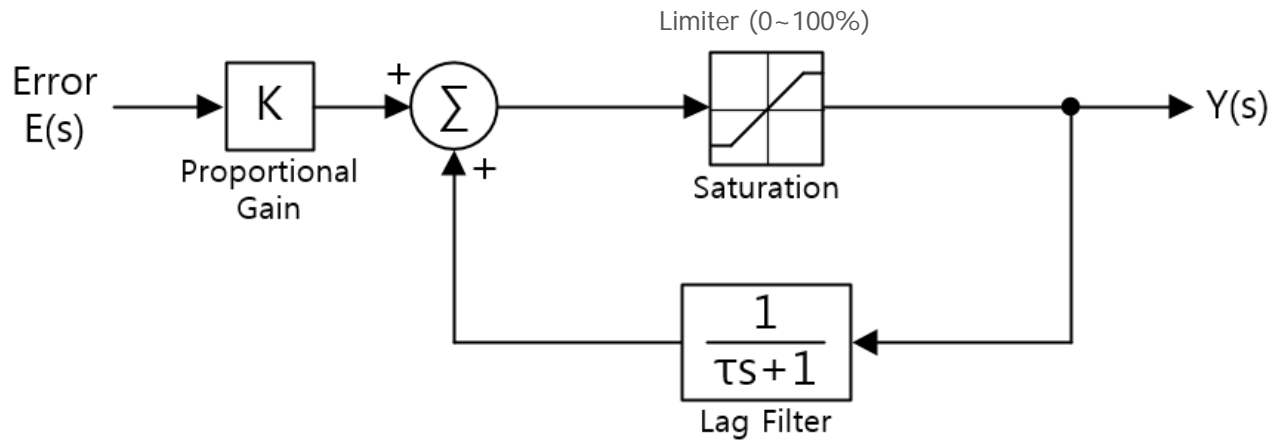
- 1 = MANUAL/MOVRD
- 2 = TRACK
- 3 = SKIP
- 4 = AUTO



* = FROM DISPLAY STATION, FOXNET HOST, OR FOXNET WORKSTATION

2. 원전호기별 PI 제어기 특성 – Foxboro System

◆ Foxboro System

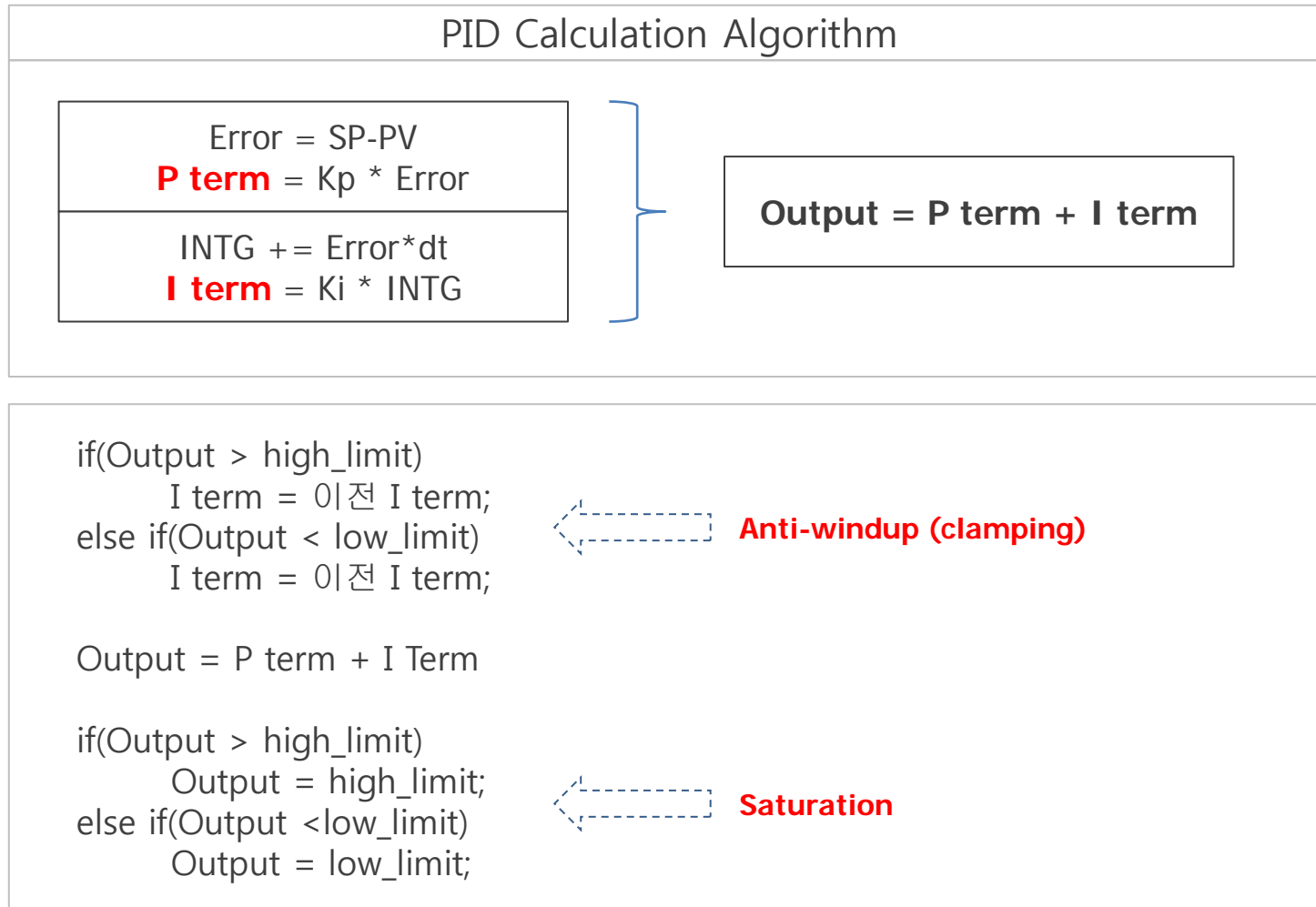


$$Y(s) = k E(s) + H(s) Y(s) \quad \leftarrow \quad H(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

$$T(s) \equiv \frac{Y(s)}{E(s)} = k \left(1 + \frac{1}{\tau s} \right)$$

2. 원전호기별 PI 제어기 특성 – Omron PLC & OPERA DCS

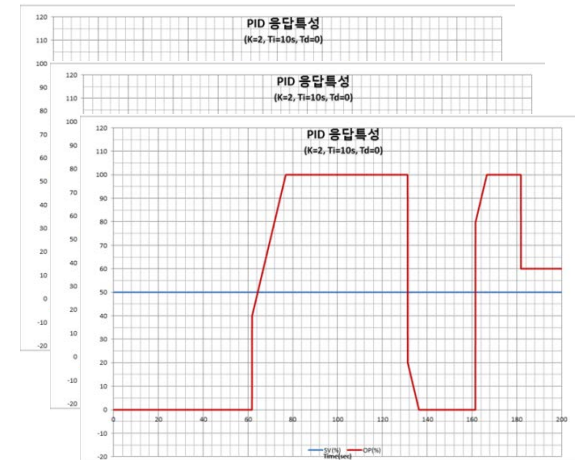
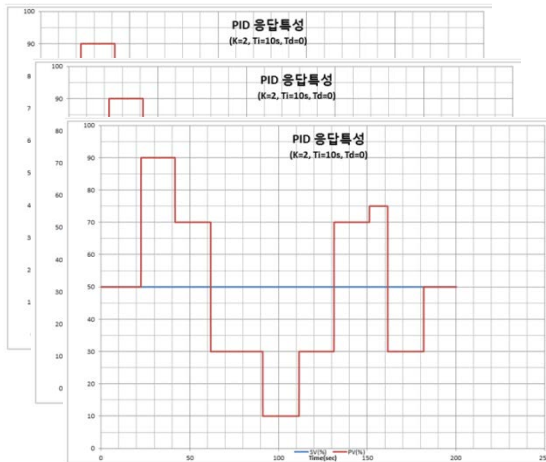
◆ Omron PLC & OPERA DCS System



2. 원전호기별 PI 제어기 특성 – Ovation DCS

◆ Ovation DCS

- Simulation 수행 및 PI 제어기 입출력 신호 파형 분석
- PI 제어기 응답특성에 대한 귀납적 분석 → 유효한 계산 알고리즘 도출



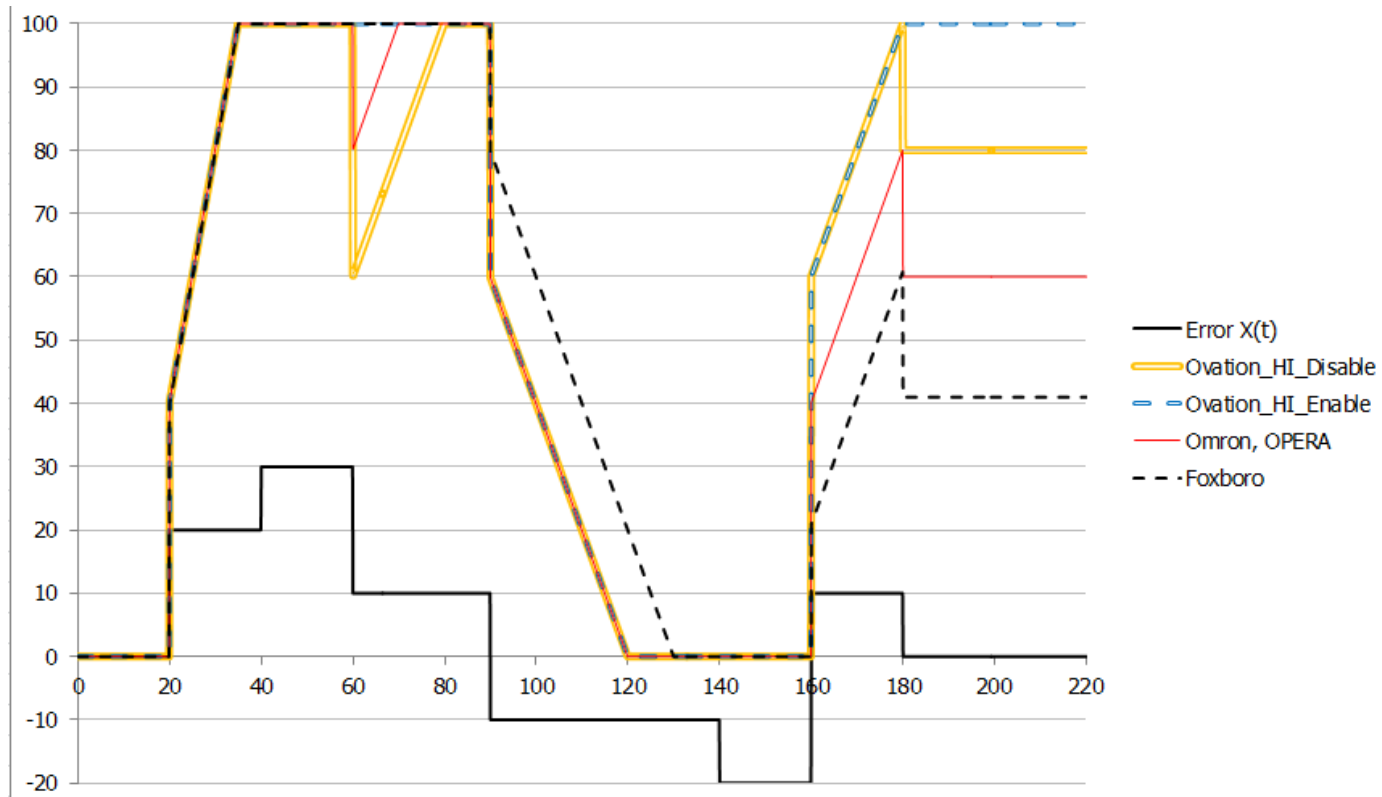
2. 원전호기별 PI 제어기 특성 - 도출된 I&C Platform별 PI 제어기 계산 알고리즘

◆ PI Controller Algorithm

Foxboro	Omron PLC / OPERA DCS	Ovation DCS
<pre> n=0; I[-1]=0; y[-1]=0; while (1) { P[n] = K * e[n]; ΔI = (Δt / τ) * (y[n-1]-I[n-1]); I[n] = I[n-1] + ΔI; y[n] = P[n]+I[n]; if (y[n] > HOLIM) { y[n] = HOLIM; } else if (y[n] < LOLIM) { y[n] = LOLIM; } n++; } </pre>	<pre> n=0; I[-1]=0; y[-1]=0; while (1) { P[n] = K * e[n]; ΔI = (K/τ) * e[n] * Δt; I[n] = I[n-1] + ΔI; y[n] = P[n]+I[n]; if ((y[n] > HOLIM) OR (y[n] < LOLIM)) { I[n] = I[n-1]; } y[n] = P[n]+I[n]; if (y[n] > HOLIM) { y[n] = HOLIM; } else if (y[n] < LOLIM) { y[n] = LOLIM; } n++; } </pre>	<pre> n=0; e[-1]=0; y[-1]=0; while (1) { ΔP = K * (e[n] - e[n-1]); ΔI = (K/τ) * e[n] * Δt; y[n] = ΔP + ΔI + y[n-1]; if (HI_Enable == 'TRUE') { if ((e[n]>=0) AND (y[n-1]==HOLIM)) { y[n] = HOLIM; } else if ((e[n]<=0) AND (y[n-1]==LOLIM)) { y[n] = LOLIM; } } if (y[n] > HOLIM) { y[n] = HOLIM; } else if (y[n] < LOLIM) { y[n] = LOLIM; } n++; } </pre>

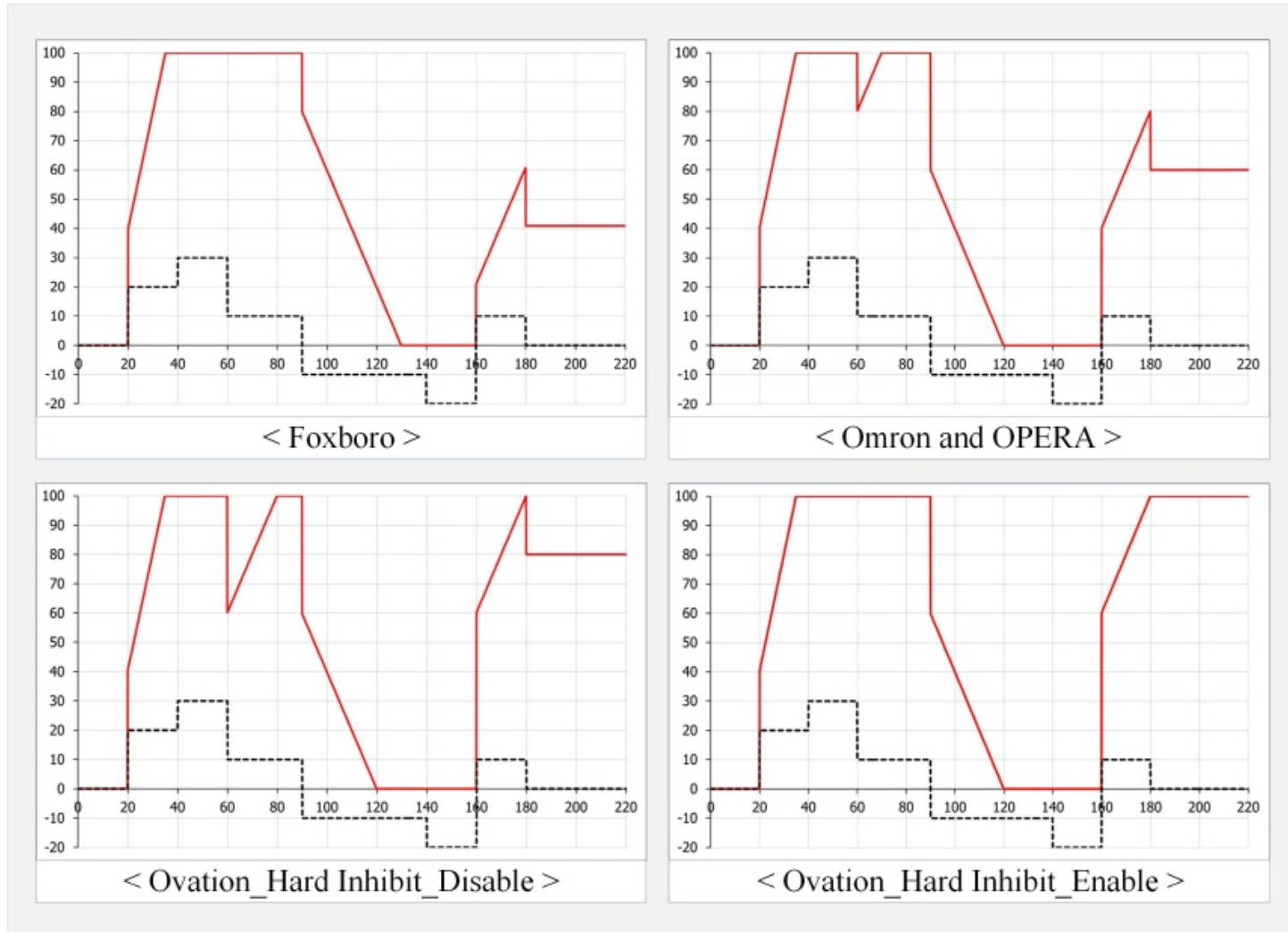
3. Simulation 결과 및 분석

◆ 원전 호기별 NSSS Control System의 Platform 비교



3. Simulation 결과 및 분석

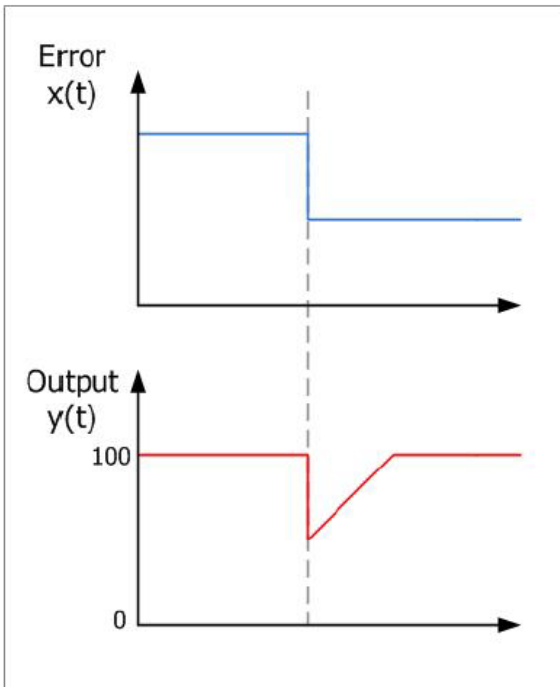
◆ 원전 호기별 NSSS Control System의 Platform 비교



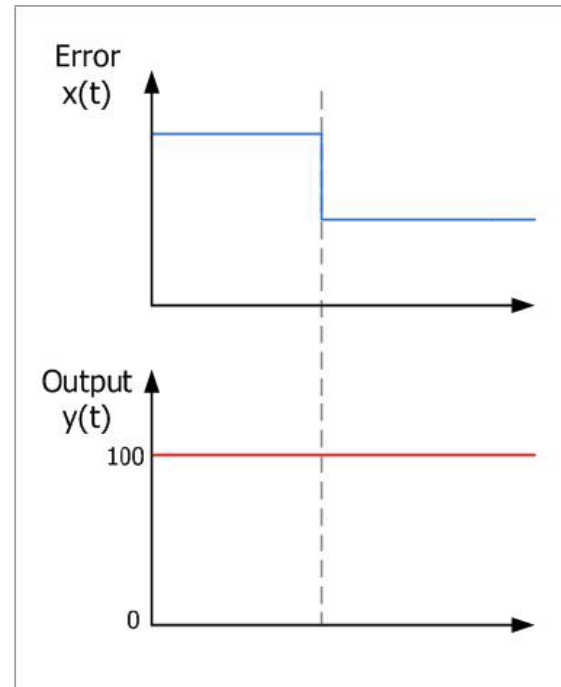
3. Simulation 결과 및 분석 : Hard-inhibit function in the Ovation DCS

◆ Hard-Inhibit 기능

정의 : PI 제어기 Output이 Limit 값(0 또는 100%)인 경우,
Error 신호의 부호가 바뀌지 않는 한 Output값이 그대로 유지되는 기능



Hard Inhibit (X)

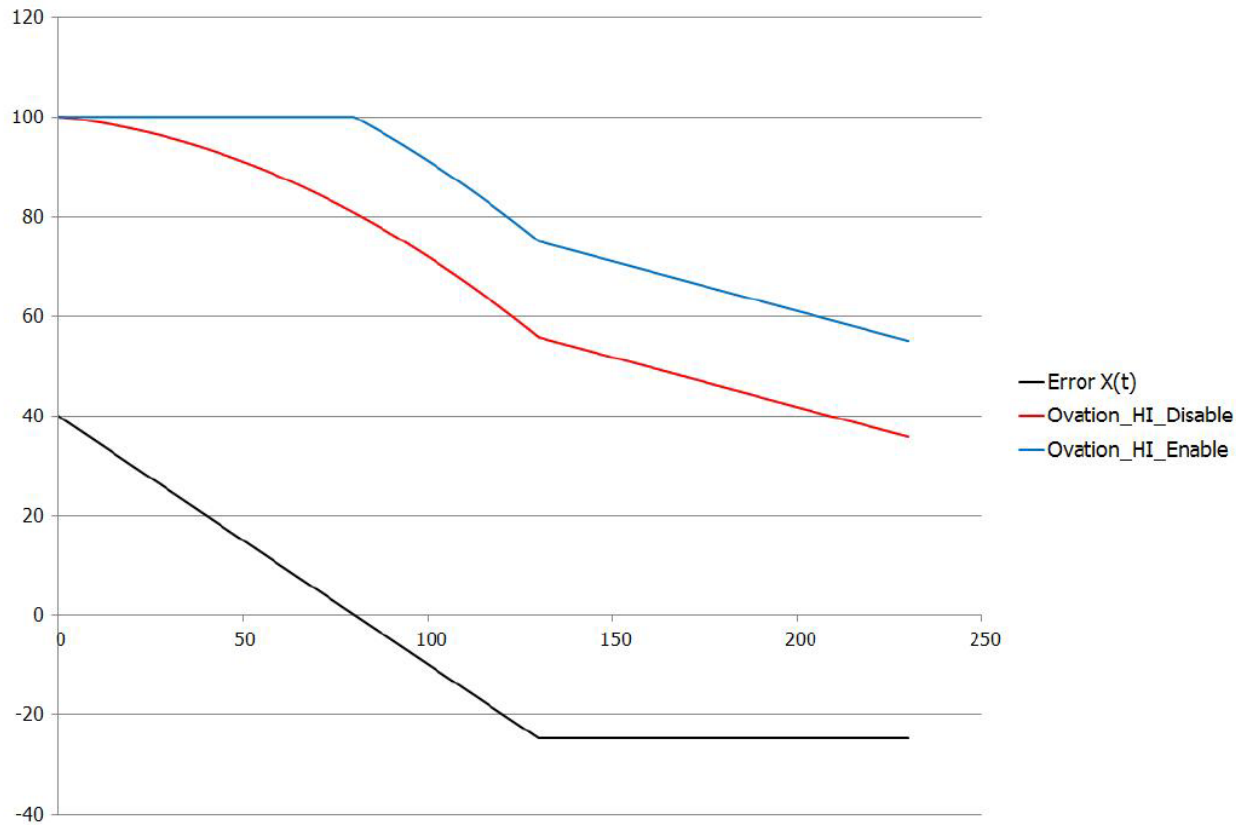


Hard Inhibit (O)

3. Simulation 결과 및 분석 : Hard-inhibit function in the Ovation DCS

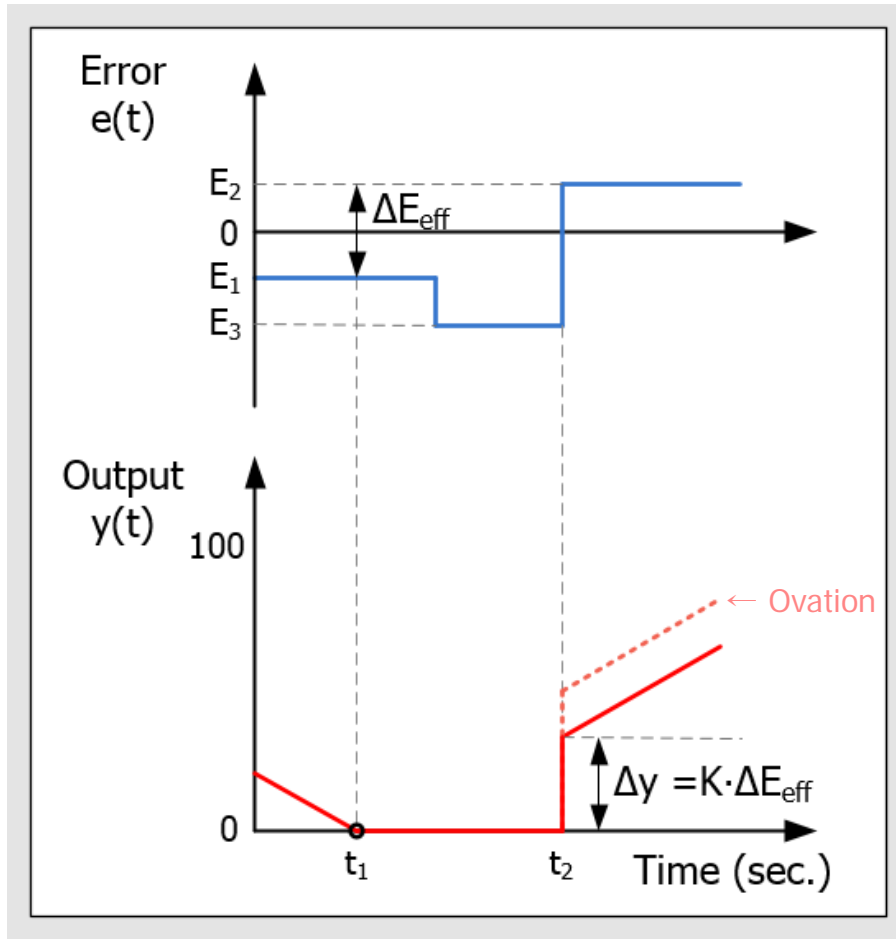
◆ Hard-Inhibit 기능

* Input Signal Ramp function 신호



3. Simulation 결과 및 분석 : Omron, OPERA system의 고유 특성

◆ Error-holding effect



Output이 Low_Limit (0%)에 도달하는 시점($t=t_1$)
Anti-windup (Clamping) => I term이 고정됨.

반면 Ovation DCS의 경우, Error의 순간적인
변화량에 의해서만 출력신호의 변화량이 결정됨.

$$\therefore \Delta y = f(e[n], e[n-1])$$

3. Simulation 결과 및 분석

◆ I&C Platform별 PI 제어기 특성 정리

Property	Foxboro	Omron PLC	OPERA	Ovation
Saturation	O	O	O	O
Hard inhibit function	X	X	X	O
Clamping (I term 고정)	X	O	O	X

4. 결론

◆ 수행한 업무

- 시뮬레이션 수행 및 Platform별 PI 제어기의 동적 응답특성 및 차이 분석
- 검증된 PI 계산 알고리즘 도출

◆ 활용 방안

- 모든 조건에서의 NSSS 제어계통의 출력신호 예측
- 발전소의 거동 관련 문제 발생시, 현장의 운전자료를 바탕으로 원인분석 및 문제해결
- 발전소 성능해석코드에 Platform별 PI 제어기 계산 알고리즘을 적용 --> 최적의 Setpoint 계산
- Matlab을 이용한 시뮬레이션 모델링

◆ 향후 기술개발 계획

- 발전소 공정모델을 추가 → Closed Loop Control System에 대한 모델링 및 시뮬레이션 수행

5. Q&A

Q&A
감사합니다.