

고리 제2발전소 순수생산설비 DCS 시뮬레이터 개발

김태우*, 서인용**, 이용관***

The development of DCS simulator for the make-up demin-water treatment system of Kori #3&4

Kim Taewoo, In-yong Seo, Yong-Kwan Lee

Abstract

DCS (Distributed Control System) is adapted in the most fossil power plant in our country but that is not true in the nuclear power plant (NPP) because of the safety problem. KEPRI has developed many simulators for the training of the operators working in power plants. With this accumulated high technology we are developing a DCS simulator for the performance verification of the developed DCS for the make-up demin-water treatment system of Kori #3&4. In this paper we explain how we develop the system model and show a simulation result.

Key Words: DCS, 시뮬레이터, 순수생산설비,

* 한전전력연구원(KEPRI) 원자력연구실

** 한전전력연구원(KEPRI) 원자력연구실

*** 한전전력연구원(KEPRI) 원자력연구실

1. 서론

고리 제2 발전소 3,4 호기의 발전용수 급수 관리를 위한 원수 전처리, 정수생산, 여과기 역세운전, 탈기기 운전, 순수생산 탈염설비 운전, 이온교환수지 재생 및 순수공급을 위한 설비에 '원전용 DCS(Distributed Control System)'를 개발하여 설치, 운전하기 전에 시물레이터를 이용하여 DCS 성능을 검증하기 위함이다.

2. 모델개발 이론

2.1 GFlow+ 개발 개요

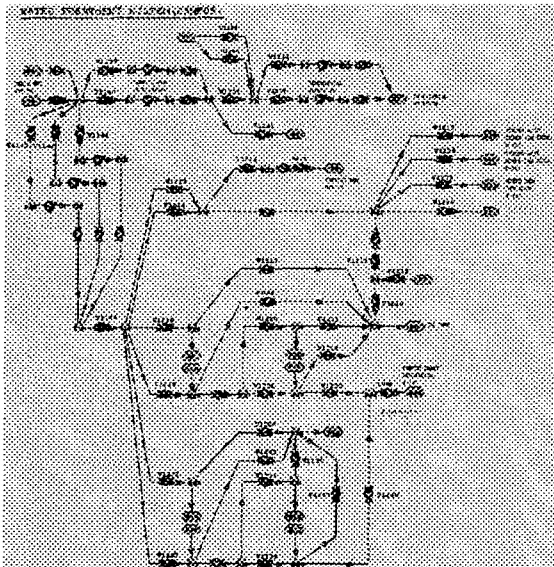


그림 1. 노드 구성의 예

GSE사에서 제공된 GFlow+를 사용하였으며, 이는 단상류인 계통에서 유량과 압력을

정확하고 안정적인 값으로 구할 수 있는 개발 틀이다. 먼저 개발범위 내에 있는 부분의 기기(Component)를 중심으로 유량노드와 압력노드를 구성하고 기본적인 설계자료로부터 GFlow+ 입력화일을 만들었다. GFlow+가 요구하는 입력화일은 계통에서 사용하고자 하는 변수명 정의 파일, 유량노드 및 압력노드 구성 파일이다. GFlow+를 실행하여 자동적으로 소스화일을 생성하였다. 노드 구성의 예는 그림 1.과 같다.

2.2 GFlow+를 이용한 BOP 계통 모델링

BOP(Balance Of Plant) System이라 함은 발전소에서 에너지를 제외한 모든 부분을 지칭하며, 주요 Component로는 각종 Pump, Heat Exchanger, Tank, Chiller 및 Valve(MOV, AOV, SOV)등이 있다. BOP Modeling은 열역학, 유체역학, 동역학 등을 이용하여 각종 Component들의 유량, 압력, 온도, 질량, 부피 등을 계산해 주는 Dynamic Part와 각 Component들을 제어하여 Main control Panel로 연결해주는 Logic Part로 나뉘어 진다. Logic Part는 각종 Specific Component들을 생성하고 Engineer의 판단에 따라 Unique Component들을 직접 Coding 한다. Dynamic Part는 각 System의 Flow 및 Pressure를 Modeling 하는데 정형화된 Tool 인 GFlow+를 사용하였다.

2.2.1 Simulation Software 개발 절차

첫째, Data Collection : 개발시 필요한 발전소 Data를 수집한다.

둘째, Software Requirement Spec(SRS) 작성 : Simulation의 Scope을 결정한다.

셋째, Detailed Design Spec(DDS) 작성 : Dynamic 및 Control Module를 개발한다.

넷째, Non Integration System Test(NIST) 수행 : Load에서의 각 System Module을 Test 한다.

다섯째, Integration System Test(IST) 수행 : 타 System과 Interface를 Test 한다.

2.2.2 Flow Path 및 Flow Balance Validation

System의 Flow Path가 유효한지 최종 점검하고, 정상상태 및 비정상 상태에서의 System의 Flow Balancing을 발전소 운전일지 데이터에 근거하여 조정한다.

2.2.3 Pressure 및 Heat Balance Validation

System의 각 Node 들의 압력을 발전소 운전일지 데이터에 근거하여 조정하고, System에서 Heat Balancing을 각 Flow 및 각 Node에서 Pressure에 근거하여 계산 조절한다.

2.2.4 Tank pressure Modeling

$$P_t = P_g + k_2 M_f$$

P_t ; Total pressure at the bottom of a tank

k_2 ; Conversion factor for static head and tank geometry, M_f /cross sectional area

M_f ; Mass of fluid in the tank

P_g ; Pressure of gas in the tank

2.3 각 Pump Modeling Validation

System에서 사용되는 Pump들의 Suction과 Discharge Node의 차압조절 및 토출량조절을 통한 Pump 효율을 조정한다. 그리고 Run-Out Region에서의 Pump Coefficient를 계산하여 실제 흐름량과 최소 흐름량을 비교, 분석하여 Run-Out Region을 포함한 Pump Modeling을 하였다.

2.3.1 Pump Modeling

1) Suction Pressure Modeling

$$\text{if } V_p > 0, P_s = P_u - K(F/V_p)^2$$

$$\text{else, } P_s = 0$$

V_p = Suction valve position

P_s = Suction pressure(psia)

P_u = Upstream pressure(psia)

F = Pump flow(lb/sec)

K = Pressure drop coefficient

2) Discharge Pressure Modeling

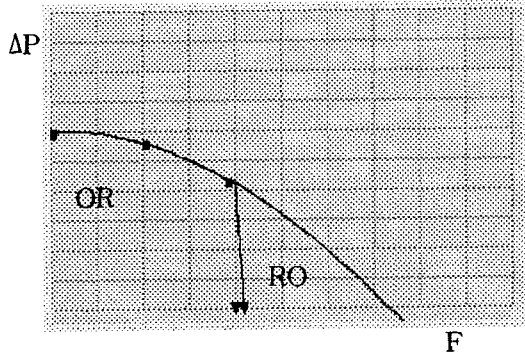


그림 2. 펌프특성곡선

$$\Delta P = P_d - P_s$$

OR = Operating Region

RO = Run out Region

$$\Delta P = P_d - P_s = k_1 N^2 + k_2 N F + k_3 F^2$$

P_d ; discharge pressure

P_s ; Suction pressure

N ; Normalized pump speed

k_i ; pump coefficient, $i=1,2,3$

위 식에서 상수 k_1, k_2, k_3 값을 각각의 Pump 특성곡선으로부터 계산하여 구해진 2차 방정식으로써 임의의 점의 Pressure와 Flow 량을 구할 수 있다.

3. 시뮬레이터 동작상태 확인 및 튜닝

현장에서 취득한 자료를 근거로 하여 개발된 시뮬레이션 모델이 정상상태로 동작하는지 ISD(Interactive Symbolic Debugger) 화면에서 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있으며 현장

과 일치하도록 튜닝할 수 있다.

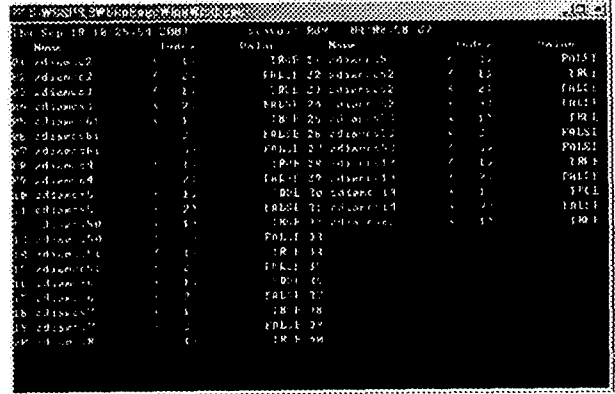


그림 3. ISD 화면

3.1. 각종 Component Test

주요 Valve들의 Stroke Time 및 관련된 Logic Test, System의 각 Tank의 Pressure, Level, Heat Balance등의 Test를 수행한다.

3.2. 운전모드별 Line-Up 설정

정상운전, 기동/정지운전, 비정상운전 등 각 운전모드별 Valve Open/Close, Pump의 Start/Stop, Controller 조작등에 관하여 Line-Up을 하고 ISD 상의 Select File을 작성하여 Stand-Alone 상태에서 Test한다.

3.3. Setpoint Validation

Annunciator, Controller, Safety 관련 Component등에 Setpoint를 초과하는 값을 주어 비정상 상태에서 작동하는가에 대한 Test 및 Validation을 한다.

3.4 Simulation 결과

현장에서 취득한 자료를 초기값으로 입력하고, 시뮬레이션을 수행한 결과가 그림4와 5에서 보여진다.

그림 4는 Flow Path 28 전단의 Press Node로서 입력되는 유량, 온도, 압력의 변화의 따라 그림 5의 Flow Path 28에 유량 및 온도가 형성되는 결과를 보여준다.

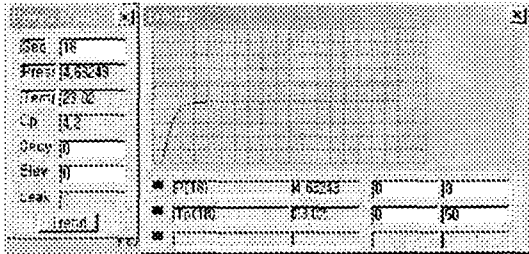


그림 4. Press Node 18

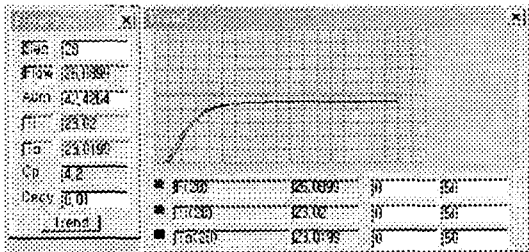


그림 5. Flow Path 28

4. 결론

현재 국내 대부분의 화력 발전소는 DCS를 이용한 운전이 보편화 되고 있다. 그러나 원자력 발전소의 경우 DCS를 적용함에 있어 현장의 대한 안전성 문제와 발전소의 운영 특성상 DCS를 직접 적용함에 많은 어려움이 있

다.

이런 어려움을 해결하기 위해 원자력 발전소에서 운전원 교육훈련에 사용되는 시뮬레이터 분야가 점차 확대되고 정착되고 있고, 시뮬레이터 분야에서 축적된 기술을 이용하여 현재 개발 중인 원전 DCS를 현장에 적용하기 전에 먼저 현장과 일치하는 현상을 시뮬레이션 모델을 개발하여 DCS를 시뮬레이터에 적용하여 성능을 검증하고 보완, 개선하여 보다 안전한 설비를 현장에 제공 하고자 한다.

참고문헌

- [1] 고리 제2발전소 순수생산설비 운전절차서
- [2] 고리 제2발전소 순수생산설비 P&ID(O-M-AM-001,002, AN-001,002,003)
- [3] Wiring Diagrams and Element Diagrams(E-703)
- [4] GSE사의 SimSuite Power SimExec User Guide
- [5] GSE사의 GFlow+ User Guide

● 저자소개 ●

김태우

1998 한밭대학교 제어계측공학과 학사

1997~2000 태안화력 발전소 근무

2001 고리 원자력교육원 2호기 시뮬레이터 개발참여

2002~현재 전력연구원 연구원

서인용

1984 성균관대학교 공과대학 전기공학과 학사

1989 부산대학교 산업대학원 전기공학과 석사

2001 BROWN대학교 응용수학과 석사

2003 BROWN대학교 공과대학 전기학과 박사

1984~1989 고리원자력 근무

1990~현재 전력연구원 선임연구원

관심분야: System Identification, Simulation.

이용관

1974 연세대학교 이과대학 물리학과 학사

2002 한국과학기술원 원자력공학과 석사

1977~현재 전력연구원 수석연구원