

DCS-GRAPHIC 설계로 인한 원자력발전소 터빈운전원의 운전능력 향상

박종범, 양승권

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

발전소 기동 및 저출력 운전시 원자력발전소(PWR) 터빈운전원(T/O)들은 증기발생기 수위제어를 위해 배전반(MCR)에 증기발생기 수위제어 관련 경험이 있는 운전원 3명 이상이 좁은 보드 앞에서 각자 S/G A, B, C의 주요 파라미터들을 감시하며 수동운전하게 된다. 이렇게 운전원들이 많은 위험부담을 안고 수동운전하는 이유는 증기발생기 수위제어는 증기발생기 내부의 광역수위 측정범위가 약 14.2(m)이고, 주요 제어변수를 측정하는 협역수위는 약 3.2(m)로 매우 적어서 물의 Swell, Shrink 현상과 급수온도의 영향으로 제어하기 매우 어렵기 때문이다. 그러나 DCS(Distributed Control System)내의 한 부분인 공정감시제어를 위한 MMI(Man Machine Interface) Software를 사용하면 한사람이 증기발생기 수위 제어 전 계통의 감시 및 제어가 가능하게 된다. 또한 과거나 현재의 변화 추이 및 문제점 분석은 물론, 계통의 결함 발생시 경보가 발생하여 경보발생 화면을 선택할 경우 어느부분에서 결함이 발생했는지를 보여준다. 만약 이 화면을 운전원이 아닌 현장 Engineer가 보았을 경우는 결함부분의 확인 및 결함카드 보수가 가능하여 운전원들의 작업부담 감소와 이로 인한 다른 계통 점검 시간을 충분히 확보할 수 있다.

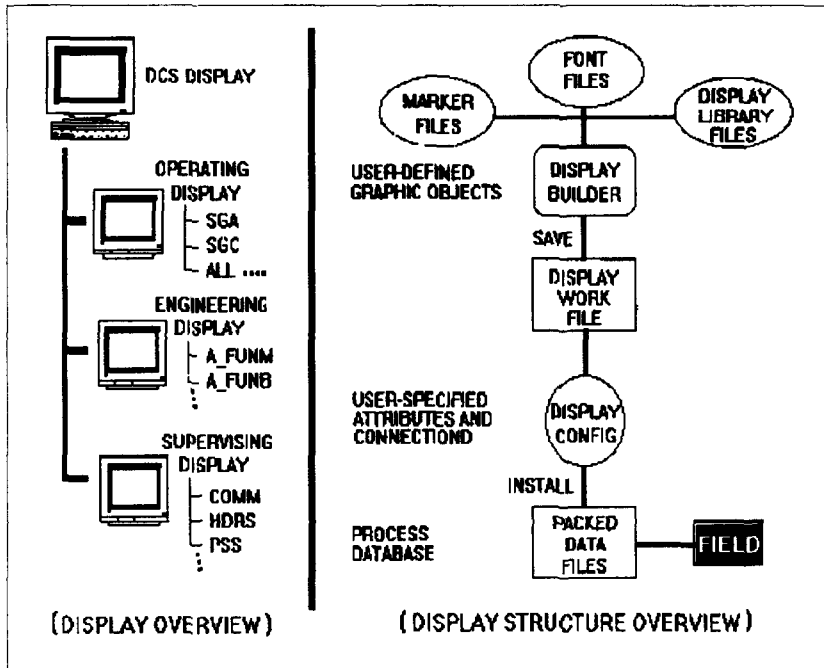
1. 서 론

원자력발전소에서 가장 까다로운 제어 대상중의 하나는 증기발생기 수위 제어계통(S/G Level Control System)이다. 국내 대부분의 원전이 아날로그 제어방식(Analog Control System :ACS)을 갖고 있는 관계로 발전소 기동시나 저출력운전에서 수위제어의 어려움을 겪고 있고 계통의 과도 상태 발생시 신속한 안정 제어가 힘든 실정이며 이러한 현상은 증기발생기 수위제어에 주요변수

를 제공하는 협역수위 범위가 3.25(m)로 매우 작고, 그 내부에서 발생하는 물의 Swell, Shrink 현상과 급수온도 영향때문이다. Swell, Shrink 현상은 동일부피의 물에서 물속의 기포양에 따라 수위가 증가하고 줄어드는 현상을 말하며, 증기발생기내에서 증기유량의 증가로 압력의 감소를 초래하면 갑자기 수위가 증가하는 현상이 나타나는데 이러한 현상을 Swell 현상이라한다. 또한 증기유량의 감소와 증기발생기내의 압력증가로 기포량이 줄어들어 수위가 감소하는 현상을 Shrink 현상이라고 한다. 결국 낮은 온도의 급수가 증기발생기안에 공급되면 물의 응축현상으로 급수를 계속증가 시켜도 수위가 저하되며 공급된 물이 가열되면 운전원이 생각하고 있는 수위높이 보다 높게 지시하게 되며, 결국 이러한 반대 현상들로 수위제어는 매우 어렵게 된다.

증기발생기 수위제어 DCS는 이러한 아날로그 제어와 함께 운전되도록 설계, 설치하여 기존 아날로그제어(ACS) 이상시 혹은 저 출력 수위 제어시 자동으로 운전되면서 수위를 제어한다. 그리고 운전원이 수동으로 전환하면 수동제어도 가능하며, DCS가 기존 ACS와 병렬로 운전되다가 ACS의 오동작 및 계통 문제 발생시는 이를 감지하여 자동으로 Back-up System이 작동하면서 DCS로 자동운전전환 된다.

S/G Level DCS의 운전용 Graphic Program은 DCS의 워크스테이션에 탑재, 운전되며 운전원들의 계통 운전 및 감시를 돕는 기능을 갖는다. S/G Level DCS 운전 Graphic은 MMI를 고려하여 설계되었으며 계통의 각종 운전 parameter를 on-line으로 감시, 원활한 제어가 가능하도록 설계되었다.



<그림-1>. USERS GRAPHIC DISPLAY

2. DCS(Distributed Control System) GRAPHIC 설계

2-1. 화면설계

모니터의 그래픽을 설계할때는 운전원들이 손쉽게 사용할 수 있고, 사용자 교육이 용이하도록 충분히 배려해야 한다. 따라서 이런 필요성을 충족시키기위해 코드의 표준화, 정보의 양립성 및 매직넘버 개념등 3가지 요소를 반드시 그래픽설계에 포함시켜야 한다. 이 3가지 개념은 아래와 같다.

2-1-1. 코드의 표준화(STANDARDIZATION)

기존 표시장치(Graphic Display)가 설치되어 운영중인 공장이나 현장에 새로운 표시장치를 추가로 설치하는 경우, 두 표시장치 모두 동일한 정보를 전달할 수 있도록 표준화 되어야 한다.

2-1-2. 양립성(COMPATIBILITY)

정보처리에 있어서 “양립성”이란 인간의 예측과 자극에 대한 응답결과 사이의 관계를 말하는 것으로 정보의 변환, 즉 재코드화(Recording)과정을 의미한다. 양립성과 재코드화는 상호반비례 관계가 있는데 결국 양립성 증가는 학습 및 응답속도 증가를 가져온다. 이는 작업자로 하여금 심리적 부담 경감 및 오류감소의 혜택을 받도록 기여한다.

2-1-3. 매직넘버(MAGIC NUMBER)

사람이 절대적기준으로 식별할 수 있는 단일차원(Single Dimension Identification)의 전형적 범위로서 MILLER(1956)는 “매직넘버 7 ± 2 ”를 제시하였다. 그러나 보통사람의 경우 자극 차원의 종류에 따라 15종이상(피아노음은 상대적으로 1800쌍 까지비교, 절대적으로는 5음정도)확인도 가능하다.

위 3가지 개념을 그래픽설계에 반영한 결과는 다음과 같다. 첫째, 코드의 표준화를 통해 운전원은 이미 사용중인 도면으로부터 익숙해져 있는 모델을 그대로 새화면에서 접하므로 이해가 빠르게 된다. 둘째, 양립성의 개념 도입으로 재코드화 과정없이 곧바로 화면을 활용할 수 있게 된다. 셋째, 매직넘버의 적용으로 화면당 색깔이 9개를 넘지 않고, 수치변화량도 절대적개념으로 9개 미만 이므로 간단한 모델링이 가능해진다.

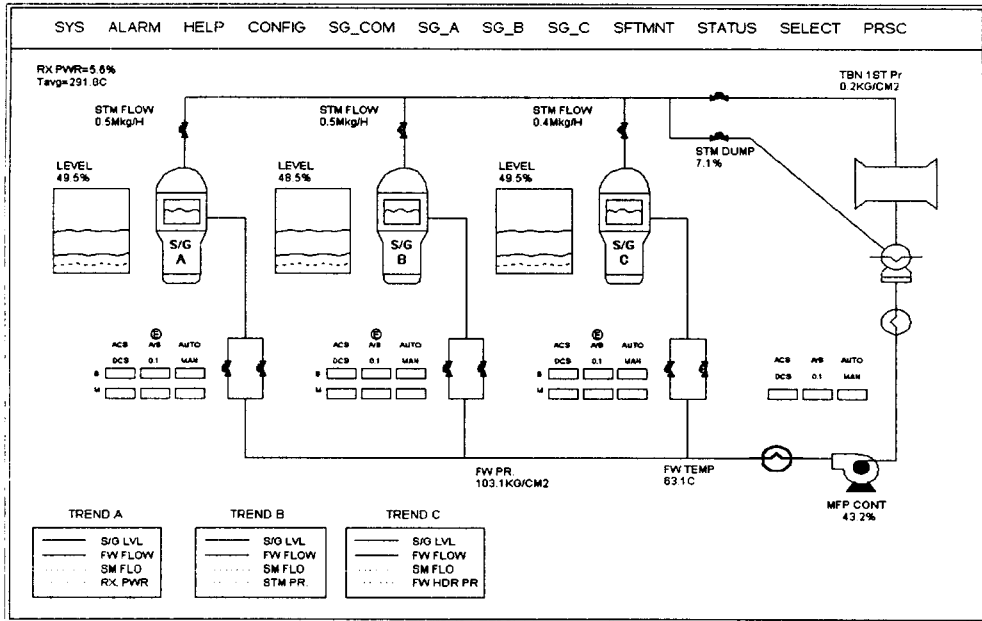
2-2. 화면구성

화면의 구성은 크게 3부분으로 나눌수 있다.

2-2-1. OPERATING 화면

S/G Level DCS의 대표적인 화면으로 3개의 S/G Level과 주요 운전변수의 Trend, 그리고 DCS 제어 Switch 운전 상태를 연속적, 종합적으로 감시할 수 있는 화면이며, 운전원이 변화추이를 정확하게 볼수 있도록 최대한의 Trend공간을 확보하기 위해 S/G 좌측에 Trend Block을 배치하였다. 즉, 이 화면은 운전원들이 한눈에 전체시스템의 흐름을 이해할 수 있도록 설계한 화면이며, 좀더 상세한 운전상태 감시를 위해 S/G A, B, C 각각을 선택하면 선택한 화면이 나타나도록

설계하였다.



<그림-2>. 전 체 화 면

가. 경향감시(Trend)

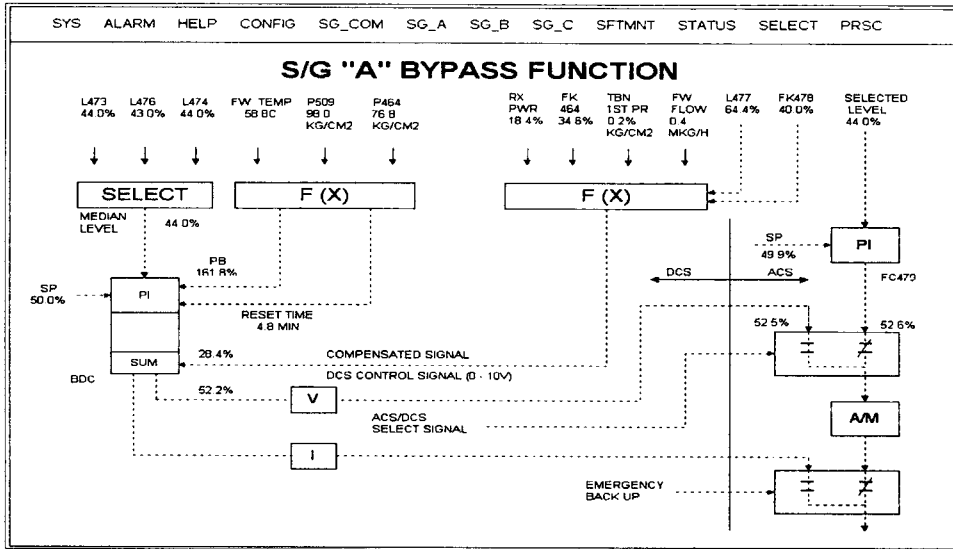
S/G Level 제어의 주요 운전 변수인 S/G Level, FW Flow, STM Flow, STM Pressure 등의 on-line 값을 연속적으로 감시할 수 있는 기능을 갖으며, 20초 간격으로 데이터를 수집하여 40분 동안 변화추이를 볼 수 있게 하였다. 여기서 각 지시치는 100분율로 환산한 값이며 색상을 각각 달리하여 운전변수값을 명확히 구분 할 수 있도록 하였다.

나. 스위치(Switch Ass'y)

배전반 DCS 제어 스위치는 'Bypass'와 'Main'의 두 Block 으로 구분되어 있고, 각 Block 에는 ACS(Analog Control System) 또는 DCS 의 각 운전 상태를 보여주는 항목과 Auto Backup 동작 유무를 확인할 수 있는 항목들을 표시한다. 또한 그림-2 처럼 각채널의 ACS, DCS 의 'Bypass' 'Main' 과 Auto, Manual 운전 상태를 확인하는 기능을 추가하였고, 각 운전 상태의 변화시 색상이 변하도록 구성하였다. 특히 Auto/Manual 항목에는 TR(Tracking)을 Box 안에 내장하여 DCS 'Auto'운전시 Tracking 하고 있는 주체가 'Bypass' 또는 'Main' 인지를 알수 있도록 하였다. 예를 들면 'Main'에 붉은 'TR'글씨가 나타나 있으면 Main 으로 운전중이라는 것을 운전원이 인지할 수 있도록 설계하였다. MFWP speed control 의 switch block 의 구성도 동일하나 tracking 기능은 없다. 특히 'ACS'는 물론 'DCS'로의 제어조차 불가능시에 직접 V/V를 Control할 수 있는 Emergency Back-up 기능이 있고, Emergency Back-up 동작시 붉은 lamp가 점등되도록 설계하였다.

2-2-2. ENGINEERING 화면

ACS/DCS의 제어상태를 상호 비교, 분석 및 감시할 수 있도록 설계 하였으며, 기존 ACS Fail 시 혹은 제어 불량시 DCS가 바로 Back-up 되는 상태를 보여준다. 숙달된 보수운전원들이 이 화면을 통하여 문제가 발생한 부위와 계통의 정상운전을 위해 보수해야 할 결함카드 위치를 알 수 있도록 정보를 제공해준다.



<그림-3>. 제 어 화 면

2-2-3. SUPERVISING 화면

| S/G A | | | S/G B | | | S/G C | | |
|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|-----------|--------|-----------|
| CH. FAIL | | | CH. FAIL | | | CH. FAIL | | |
| SEL L | NORMAL | 46.5 % | SEL L | NORMAL | 43.6 % | SEL L | NORMAL | 45.2 % |
| LREF | NORMAL | 49.9 % | LREF | NORMAL | 49.9 % | LREF | NORMAL | 49.9 % |
| F / 466 | NORMAL | 0.4 MKg/H | F / 476 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F / 486 | NORMAL | 0.3 MKg/H |
| F / 465 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F / 475 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F / 485 | NORMAL | 0.4 MKg/H |
| FC 479 | NORMAL | 31.0 % | FC 489 | NORMAL | 53.2 % | FC 499 | NORMAL | 50.3 % |
| FC 478 | NORMAL | 5.8 % | FC 488 | NORMAL | 3.9 % | FC 498 | NORMAL | 4.7 % |
| CH. FAULT | | | CH. FAULT | | | CH. FAULT | | |
| L473 | NORMAL | 46.8 % | L483 | NORMAL | 46.2 % | L498 | NORMAL | 46.6 % |
| L476 | NORMAL | 46.3 % | L486 | NORMAL | 42.8 % | L496 | NORMAL | 46.2 % |
| L474 | NORMAL | 46.5 % | L485 | NORMAL | 44.0 % | L495 | NORMAL | 45.3 % |
| L477 | NORMAL | 63.9 % | L487 | NORMAL | 65.6 % | L497 | NORMAL | 62.6 % |
| F476 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F486 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F496 | NORMAL | 0.5 MKg/H |
| F477 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F487 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F497 | NORMAL | 0.5 MKg/H |
| F474 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F484 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F494 | NORMAL | 0.5 MKg/H |
| F475 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F485 | NORMAL | 0.5 MKg/H | F495 | NORMAL | 0.5 MKg/H |

<그림-4>. 경 보 화 면

'OPERATING' 화면에서 Parameters 중 경보발생시 해당 경보를 선택할 경우 'OPERATING' 화면상태에서 'STATUS' 화면상태로 전환되며 'FAULT' 된 지점을 확인할 수 있고, 그밖의 다른 채널들의 각 parameters 정상 유무도 동시에 확인할 수 있도록 설계하였다.

3. 화면 효과 (DCS Link)

DCS 의 그래픽은 실제 발전소 현장과 DCS Rack의 주요 운전 Parameters 을 On-line 상태로 감시하되 특별한 Parameters 은 아래와 같은 효과를 주어 감시하도록 하였다.

- 화면변환 및 출몰
- 색변환 및 수직채움
- Data 저장
- 상태표시
- DATA 입력
- 경향감시

또한 DCS 의 그래픽을 이용한 기능들은 다음과 같다.

- PID 의 Gain 및 Reset time 조정
- DCS 와 현장과 Interface 상태
- DCS 와 Workstation 과의 연결상태
- 현장과 DCS 의 스위치 연결상태
- 병렬운전, 즉 계통 Off 상태에서 여러 가지 PID Set Point Tunning중의 Simulation.

4. 결 론

본 원자력발전소 DCS-Graphic 설계를 통해 발전소 기동 및 저출력운전시 항상 겪게되는 터빈 운전원들의 운전 불안정성에 기인한 발전소 정지 부담을 경감케 되었다. 특히, 사용자편의 위주로 화면이 설계되었기 때문에 운전원이 짧은시간에 효과적인 운전관련 정보 취득이 용이해져서 보다 정교한 증기발생기 수위제어가 가능해졌다. 본 원자력발전소 DCS-Graphic 은 동일한 원전에도 적용이 가능하여 향후 확대적용시 효율적인 발전소 운전에 기여할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. FOXBORO KOREA LTD, "INTEGRATED CONFIGURATOR SYS 1".
2. Mark S.Sanders and Ernest J.McCormick, "Human Factors In Engineering and Design", McGraw-Hill (1993).
3. 조병욱, "원자로 설비", 한국전력공사(1991)
4. 이광규·박제원 공저, "원자로 노심관리", 한국전력공사(1991)
5. 한국전력공사 전력연구원, "증기발생기 수위 종합 디지털 제어 계통", 중간보고자료(1996)
6. 박종범, 양승권 "월성1호기 중수증기 회수계통 운전원의 운전능력 향상" 한국원자력학회 '96 추계학술 발표회 논문집