

원자력발전소 계측 제어 설비 건전성 평가 시스템

정 학 영 | 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원 엔지니어링실 계측설비팀 부장



개발 경위

현재 전 세계적으로 운영되고 있는 발전소는 445호 기이며 이중에 20년 이상 운전되는 발전소는 약 230호기가 된다. 그리고 한국에서는 운전중인 20호기 중 15년 이상 된 발전소는 이미 9호기에 이른다.

그리고 각 나라마다 설계 수명(30~40년)이 다한 발전소의 계속 운전을 위해 설비 교체 및 안전성을 분석을 통하여 40~60년까지 연장 운전을 위해 연구 중이다.

IAEA 자료에 의하면, 일반적으로 어느 회사에서 전자 제품을 개발하면 10여년 동안은 제작사가 적극적으로 생산 공급을 담당하지만 이후 생산을 줄여 특별 주문 형식으로 소비자를 지원하다가 그 후 약 7년 이후에는 공급사가 판매를 중단하는 것이 일반적인 사

례이다. 그러므로, 고객은 향후 다른 제품으로 대체하여 운영해야만 한다.

특히 발전소와 같이 국가 기간 산업을 담당하는 곳에서는 이러한 상황을 감안하여 심각한 결과를 초래하기 전에 이에 대한 대비를 철저히 해야 한다.

그런데 한국을 포함하여 전 세계적으로 15년~20년 이상 운영중인 발전소는 다음과 같은 공통적인 문제점을 안고 있다.

① 아날로그(혹은 일부 디지털) 전자 기기(부품)의 단종 현상이다.

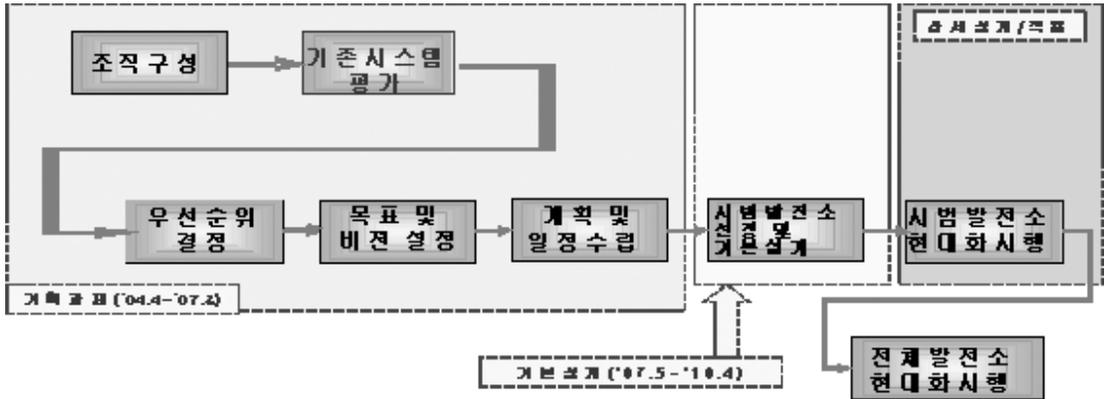
위에서 말한 바와 같이 어떤 부품이 생산되어 일정 기간(약 15~20년) 이후에는 더 이상 생산 판매를 하지 않거나 다른 기종으로 바꾸어 생산하게 된다.

현재 15년 이상 운전된 원자력발전소는 이미 상업 운전 전에 장기간 건설 공기(약 7~10년)를 거쳐 운전이 시작된 만큼, 발전소에 설치되어 운전되는 각종 계측 기기들은 그 수명이 다해 대체품을 고려하지 않으면 발전소 운영과 안전성에 치명적인 영향을 줄 수가 있다.

② 장기간 운전으로 인한 계측 기기(부품) 노화(Aging) 현상이다.

이러한 노화 현상은 곧 바로 운영 및 보수 유지비의 상승을 초래한다. 이러한 것은 바로 발전소 경제적 운영에 악영향을 주게 된다.

③ 노후화된 기기는 부분적으로 디지털 기기로 대



<그림 1> 원전 Upgrade 관리 공정 및 한수원(주)의 추진 계획

체되기도 하는데, 이러한 디지털 기기가 도입됨으로 인해 새로운 인허가 요건이 요구되는데 이에 대한 적절한 대처를 해야 한다.

④ 신규로 채용하는 인력은 이미 디지털 기술에 익숙한 인터넷 세대이다. 그러나 발전소는 여전히 아날로그 형 기술로 운영되고 있는 경우가 많다.

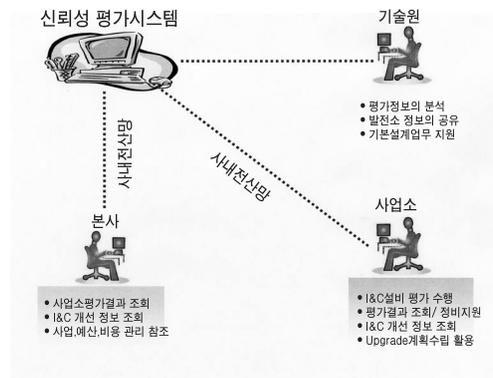
이러한 경우 신규 직원들의 발전소 운전에 적응하는 문제가 제기되며 이로 인한 발전 운영에 지장을 초래하게 된다.

상기 이유로 인해 전 세계적으로 노후화되거나 단종된 계측기기에 대한 개선(Upgrade)계획을 세워 추진 중이다.

이러한 추세에 맞추어 한국수력원자력(주)에서는 IAEA 기술보고서(IAEA TECDOC 1389(Managing Modernization of NPP I&C Sys))에서 제시하는 방법에 의거, 2004년 4월부터 3년에 걸쳐 기획 연구를 완료하였으며, 그 핵심 내용 중 하나로 기존의 운영중인 계측 기기의 건전성(신뢰성) 정도를 평가할 수 있는 시스템을 개발 운용하게 되었다.<그림 1>

개발 시스템 구성 및 기능

개발된 건전성(신뢰성) 평가 시스템을 활용하여 각 발전소의 계측 제어(Instrumentation and Control: I&C) 계통을 주기 또는 비주기로 평가할 수가 있고 또 그 결과를 종합적으로 분석할 수 있게 됨으로써 해당 I&C 계통의 성능 개선과 설비개선 계획을 수립하는



<그림 2> 평가 시스템 연결도 및 활용

데 큰 도움을 주게 되었다.

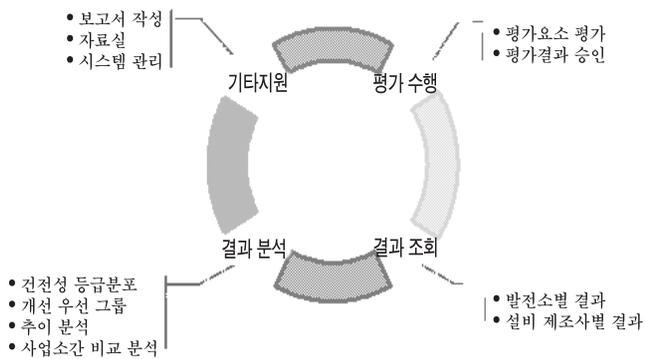
기존에는 발전소 현장의 각 I&C 설비 운용자의 경험적 기술에 의존하던 것을 객관적이고도 체계적인 평가방법을 적용하여 개발함으로써 그 평가 신뢰성을 높였다.

그리고 웹 기반으로 작성되어 어디에서든지 사내 네트워크를 통해 연결될 수 있도록 하였다.<그림 2>

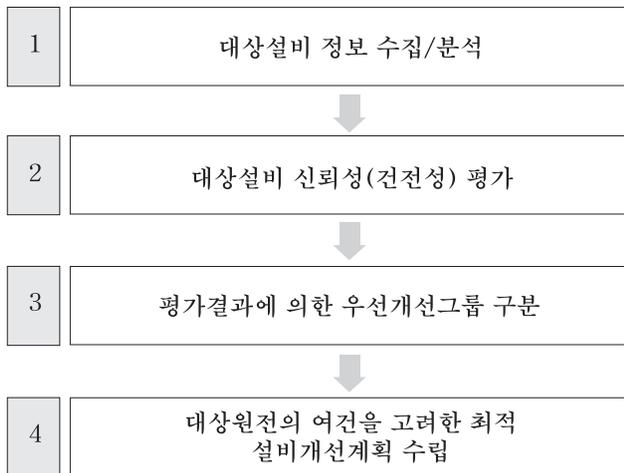
본 평가 시스템은 전체적으로 통합 시스템을 중심으로 평가 알고리즘 엔진, 2개의 Data Base 및 사용자 편의성을 고려한 User Interface로 구성되어 있다.

Data Base 1에는 평가를 위한 핵심 평가 대상 계통 자료, Data Base 2에는 Upgrade관련 각종 자료를 관리한다.

이렇게 개발된 평가 시스템을 이용하여 현장 발전소에서는 해당 설비의 신뢰성 추이를 분석하여 종합



<그림 3> 웹(Web) 기반 평가 시스템 기능 분류



<그림 4> 설비 개선 계획 수립 절차

<표 1> 평가 알고리즘에 활용되는 상세 평가 요소

평가 요소	평가 내용
시스템 중요도	고장 영향 분석 결과와 설계상의 중요도 등을 고려한 설비의 중요도
성능성	설계상의 기능 및 성능을 만족하는 정도
유지 보수성	유지 보수의 난이도, 비용, 수행 주기, 투입 인력 등을 고려
노화 대응성	노화에 대해 얼마나 강건한가에 대한 평가
운용 효율성	설비의 운용이 효율적인가에 대한 평가
단종 대응성	기기 단종 예측 및 대안에 대한 준비 평가
개선 필요성	설비 개선의 필요성 정도

적인 개선 계획을 세울 수가 있으며, Data Base 내에 구축된 발전소 정비 경험, 설비 사양 및 평가 결과 등을 이용하여 타발전소와의 정보를 서로 공유하여 기존 계측 설비의 정비 업무에도 많은 도움을 줄 수 있도록 하였다. <그림 3>은 이러한 평가 시스템의 기능을 분류한 것이다.

특히 본사 차원에서는 이를 활용하여 전사적 차원에서 설비 개선을 위한 중·장기적인 예산을 적시·적기에 배정할 수가 있어 앞으로 발전소 운영에 큰 기여가 예상된다.

개발 시스템의 활용 전망

전체적으로 본 기획 연구의 목표는 한수원(주)의 가동중인 원전의 I&C 계통에 대해 중·장기적 설비 개선 계획을 객관적이고 체계적인 방법을 통해 수립하는 방법을 제시하고, 그 방법에 따라 국내 원전(고리, 영광, 울진)에 시범 적용한 결과를 제시하고자 하였다.

즉, 대상 설비의 현 상태 파악을 위한 건전성(신뢰성) 평가 방법을 개발하고, 그 방법에 따라 평가된 신뢰성 결과를 바탕으로 대상 원전의 I&C 설비 개선 계획(초안)을 제시하여, 대상 설비 전체에 대한 설비 개선 우선 순위를 비교, 참조할 수 있도록 하였다.

<그림 4>에서는 I&C 설비의 개선 계획 수립을 위한 절차를 나타내었다.

본 연구에서는 대상 설비의 설비 개선 계획 수립에 있어 4단계로 구분하여 수행하였다.

즉, 대상 설비 각각에 대한 정보의 수집/분석을 통해(1단계), 신뢰성 평가를 수행하고(2단계), 평가 결과에 의해 개선 우선 그룹으로 1차 계획을 수립하며(3단계), 최종

●●● 기술 개발

<표 1> 평가 알고리즘에 활용되는 상세 평가 요소

순번	그룹	시스템명	평가점수	위치
1	I	#1 RPN (노외핵계측계통)	53.9	울진1발
2	II	#1 KIT (소내전산계통)	60.3	울진1발
3	II	#1 GRE (터빈조속기계통)	61.7	울진1발
4	II	#3 주터빈조속기계통(TBN Control System)	62.0	고리2발
5	II	#3 추기/급수가열기계통(Heater Drain System)	63.5	고리2발
6	II	#3 공정제어보호계통(W 7300 Process System)	64.5	고리2발
7	II	#3 SSILS	66.2	고리2발
8	II	#1 SSILS	66.2	영광1발
9	II	#3 노외핵계측계통(Nuclear Instrumentation System)	66.5	고리2발
10	II	#DRPI(제어봉위치지시계통)	66.7	울진1발
11	II	#1 AFR(주급수제어유계통)	66.9	울진1발
12	II	#1 GSE(터빈보호계통)	67.5	울진1발
13	II	#1 RGL(제어봉제어계통)	68.8	울진1발
14	II	#1 RIC(노내핵계측계통)	69.0	울진1발
15	II	#1 KRG(공정제어계통)	69.7	울진1발
16	II	#1 ABP AHP(급수 고저압가열계통)	70.2	울진1발
17	II	#1 주급수펌프제어계통(Main Feedwater Control System)	72.2	영광1발
18	II	#3 제어봉제어계통(Rod Control System)	73.0	고리2발
19	II	#1 제어봉제어계통(Rod Control System)	73.9	영광1발
20	II	#1 제어봉위치지시계통(Digital Rod Position Indication System)	74.0	영광1발
21	II	#3 FISHER	74.6	고리2발
22	II	#3 주터빈감시계통(Main Turbine Supervisory Monitoring System)	75.0	고리2발
23	II	#1 RPR(원자로보호계통)	75.2	울진1발
24	II	#1 노외핵계측계통(Nuclear Instrumentation System)	75.9	영광1발
25	II	#3 지진감시계통(Seismic Monitoring System)	76.5	고리2발
26	II	#1 노내핵계측계통(Digital Flux Mapping System)	77.0	영광1발
27	II	#1 공정제어보호계통(W 7300 Process Control & Protection System)	77.4	영광1발
28	II	#1 원자로보호계통(Solid State Protection System)	77.6	영광1발
29	II	# 3 ESF보호계통(ESG Protection System)	78.3	고리2발
30	II	#1 FISHER	78.9	영광1발
31	II	#3 원자로보호계통(Solide State Protection System)	79.0	고리2발
32	II	#3 방사선감시계통(Digital Radiation Monitoring System)	79.2	고리2발
33	III	#1 KTR(소내방사선감시계통)	80.6	울진1발
34	III	#3 제어봉위치지시계통(Rod Position Indication System)	80.6	고리2발
35	III	#3 경보계통(Plant Annunciator System)	81.2	고리2발
36	III	#1 지진감시계통(Seismic Monitoring System)	81.9	영광1발
37	III	#1 KIS(지진감시계통)	82.0	울진1발
38	III	#1 KSA(주제어실경보계통)	84.7	울진1발
39	III	#1 경보계통(Plant Annunciator System)	85.9	영광1발
40	III	#3 노내핵계측계통(Digital Flux Mapping System)	88.1	고리2발

적으로 대상 발전소의 여건에 따라 최적 설비 개선 계획을(4단계) 확정하도록 하였다.

건전성 평가 시스템은 이러한 절차 중에 1, 2단계에서 활용된다.

이러한 평가 시스템을 위하여 내부적으로 7개의 평가 요소를 가지고 I&C 해당계통을 평가하게 되는 바 그 7요소의 기능은 <표 1>과 같다.

이러한 평가 요소들은 이들을 평가할 수 있는 700여개의 정성적 및 정량적 질의 형태를 통하여 1차적으로 대상 설비들을 평가한다(상대적 점수로 환산됨).

이렇게 평가된 결과는 <그림 4>의 3, 4단계에서처럼 발전소의 특수 상황 및 제한 사항을 반영하여 최종적 개선(Upgrade) 우선 순위 선정을 선정하게 된다.

여기 사용되는 발전소 특수 상황과 제한 사항은 다음과 같은 사항을 종합적으로 반영하게 된다.

- 안전 등급 분류 사항
- 기능성과 공유 기반 사항
- 주제어실과 인간 기계 연계(MMI) 사항
- 기존 시스템들의 공통 설비 사항
- 물리적인 경계 사항 및 계획 예방 정비 기간 (Over-hall)
- 예방 정비 기간 제약 사항
- 확장성, 계통 영향성, 통합 효과 분석
- 예산 및 타계통(기계 및 전기 분야 등) Upgrade 계획

향후 전망

이렇게 개발된 평가 시스템은 시범적으로 고리 1발전소(15계통), 영광 1발전소(11계통), 울진 1발전소(14계통)의 주요 I&C 계통에 적용되었다<표 2>.

<표 2>에서 그룹 I, II, III로 표시되어 있는 것은 본 평가 시스템을 통하여 평가된 결과를 순차적으로 개선해야 할 후보 계통들을 재그룹핑한 것을 의미하며 평가 점수가 낮을수록 개선의 우선 순위는 높아지게 된다.

이렇게 평가된 결과는 실제로 발전소 별로 적용시에는 현장별 특수 상황과 제한 사항을 고려, 통합 평가를 통하여 최종 확정되게 된다.

평가 시스템은 웹-베이스로 연결되어 발전소별 필요에 따라 발전소 다양한 I&C 계통을 확대하여 평가할 수가 있다.

한수원(주)에서는 본 기획 과제에 이어 한국표준형 원전인 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기에 적용될 Upgrade 기본 설계 과제를 2007년 5월부터 3년에 걸쳐 수행될 예정이다.

본 기본 설계 과정에서는 기획 단계에서 개발된 건전성 평가 시스템을 보다 현장 사정에 맞게 확대 적용될 것이며, 현장의 특수 상황과 제한 사항을 고려하여 최종적인 설비개선 계획 수립에 활용되게 된다. 