

'98추계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## 고리 2호기 I&C 업그레이드 및 수명관리 연구

### Kori-2 I&C Upgrade and Life Cycle Management Planing Study

신창훈, 윤명현, 박익수  
한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

이종태  
한국전력공사 고리원자력본부  
부산광역시 기장군 장안읍 고리 216

#### 요 약

본 논문은 Electric Power Research Institute (EPRI, 미)에서 개발한 계측제어 시스템 업그레이드 및 수명관리 기법의 각 단계를 따라 고리 2호기를 대상으로 실시된 계측제어 시스템의 수명관리 계획 연구 내용을 다루고 있다. 이 연구를 통하여 고리 2호기 계측제어 시스템의 신뢰성과 이용률을 향상시키고, 노후 설비에 대한 늘어나는 운영비용을 고려하여, 계측제어 시스템의 업그레이드 및 수명관리를 체계적이고 비용 측면에서 효율적으로 수행하는 과정과 방안을 제시하였다. 아울러, 기존은 물론 향후에 설치되는 계측제어 시스템을 통합하여 고려함으로써 기대되는 수명기간동안 효율적인 관리지침을 제시하였다.

#### Abstract

This paper presents the I&C system upgrade and life cycle management plan study proceeded for Kori-2 plant tracing the steps on Electric Power Research Institute (EPRI, US) developed I&C upgrade and life cycle management methodology. Through the study we proposed generic cost-effective process and plan for Kori-2 I&C upgrade and life cycle management considering rising O&M expenditure costs and greater emphasis on I&C system performance and reliability. In addition, we prepare maintenance guidelines which ensure that existing and future I&C systems can be economically maintained for the duration of the expected system lifetime.

#### 1. 서 론

디지털 기술을 채용한 제어 기술의 급속한 발전으로 기존에 사용되던 아날로그 방식의 부품과 설비의 생산이 중단되었거나 조만간 중단이 예상되는 품목이 증가하는 추세이다. 특히, 건설된 지

오래된 기존 원자력발전소의 I&C 시스템은 아날로그 부품에 대한 의존도가 높아서 부품조달의 어려움과 경년열화로 인한 유지보수 비용이 계속 증가하고 있다.

현재 국내에 건설된 지 10년이 넘는 원자력발전소가 6기이며, 이들에 대한 수명연장과 경제적인 유지보수 관리 및 성능개선이 당면한 과제로 부상했다. 그러나, 국내에는 원자력발전소의 업그레이드 및 수명관리에 관한 경험과 기술축적이 미비하기 때문에 체계적인 방법론이 수립되어 있지 않다. 이미 계측제어 계통에 대한 상당한 업그레이드가 완료된 고리 1호기의 경우 업그레이드 계획에서부터 설계, 시공 및 준공에 이르는 과정을 통하여 업그레이드 규모, 대상, 적용 방법론, 인허가 등의 측면에서 많은 시행착오와 어려움을 겪은 바 있다. 따라서, 발전소의 수명연장, 성능제고 및 보수경비 절감을 위해서 계측제어 계통의 업그레이드와 유지보수 대책 수립에 관한 일반적인 방법론이 요구되고 있으며, 여기에는 안전성 보장과 규제요건을 만족시키는 방안과 경제성에 대한 분석 기술이 뒷받침되어야 한다.

한국전력공사에서는 당면한 원자력발전소 계측제어 계통에 대한 체계적인 업그레이드 및 수명관리 계획 수립을 위하여 전력연구원과 고리원자력본부 및 EPRI와의 국제공동연구를 통하여 EPRI가 개발한 원자력발전소 계측제어 시스템 업그레이드 및 수명관리 프로그램에 따라 고리 2호기를 대상으로 적용연구를 수행하고 있다. EPRI 프로그램은 비용 측면에서 효율적이고 발전소 실정에 맞는 수명관리 계획의 도출을 목표로 하고 있다.

## 2. EPRI 원전 I&C 업그레이드 및 수명관리 프로그램<sup>[1]</sup>

미국내 대부분의 원자력 발전소 계측제어 설비들은 20년내지 40년전의 아날로그 기술로 설계되었으며, 지금도 대부분 초기 계측제어 설비들이 그대로 운전되고 있다. 이러한 설비들은 이미 그 수명을 다했거나 초과해서 운전하고 있는 실정이며, 이로 인해 I&C 유지보수 비용이 급증하고 있다. 미국에서는 1992년부터 새로운 법령에 의해 전력회사들이 완전 자유 경쟁이 되면서 I&C 유지보수 비용 감소를 위해 적극적으로 I&C 업그레이드를 추진하게 되었다. 각 전력회사들의 이러한 I&C 업그레이드 노력은 NRC가 디지털 I&C 업그레이드에 대한 검증 및 인허가 기준을 강화함으로써 새로운 어려움을 맞게 되면서, 계획을 포기하거나 아날로그 방식으로 I&C 업그레이드를 하여야 되는 상황에 이르렀다. 여기에 미국내 전력회사들과 EPRI는 1992년부터 저비용, 고기능의 디지털 I&C 업그레이드 방법의 개발과 이와 관련된 인허가 문제 해결을 위한 연구에 착수하여 지금도 계속 연구가 진행되고 있다. 일련의 연구를 통하여 EPRI는 발전소 계측제어 시스템의 노후화 및 재고 중단 등의 상황에 대처하고자 각 발전소의 특성에 맞는 I&C 업그레이드 방안과 수명관리 방안을 비용 측면에서 효율적으로 도출하기 위한 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램의 주요 목표는 아래와 같다.

- 계측제어 시스템에 소요되는 유지보수 비용의 감소
- 현대적 기술(특히, 디지털 기술)을 채용한 제어 및 감시 기술에 대한 평가
- 시스템 업그레이드나 유지보수 중에서 어느 것이 효율적인지에 대한 평가
- 표준화를 통한 효과적인 예비품의 확보

EPRI의 I&C 프로그램의 수행 과정은 그림 1과 같은 3단계(Phase 1,2,3)과정으로 추진된다. 1단계와 2단계는 전략적인 계획 수립 단계이며, 3단계는 I&C 업그레이드를 실제 수행하는 단계이다. 1단계의 주요 내용은 수명관리 계획 (Life Cycle Management Plan, LCMP)과 발전소 전산 및 통신망 구조 계획(Plant Communications and Computing Architecture Plan, PCCAP)의 개발이다. 수명관리 계획은 발전소의 I&C 시스템 관리를 위한 중장기 전략 수립이며, 발전소 전산 및 통신망 구조 계획은 I&C 시스템의 디지털 업그레이드를 위한 발전소 전체의 전산 및 통신망의 근간을

마련하기 위한 것이다. 2단계에서는 각 단위 시스템별로 업그레이드할 것인지, 유지보수할 것인지에 대한 평가작업을 수행한다. EPRI에서는 이러한 과정들을 체계적으로 정리하여 논리적이고, 비용 측면에서 효율적이며, 일관성 있는 방법으로 문서화하여 제시하고 있다. 3단계 과정은 이미 개발된 디지털 업그레이드를 위한 각종 요건과 지침서를 바탕으로 해당 발전소를 위한 지침서 개발 과정으로서 각 시스템별 기능요건 개발과 최종적으로 설계규격서를 만드는 과정으로 구성된다. EPRI의 디지털 I&C Upgrade Methodology와 Guideline은 1995년에 NRC의 인증(Endorse)을 받음으로써, 이를 계기로 앞으로 미국 내외에서 가동 원전의 디지털 I&C 업그레이드가 더욱 활발하게 이루어 질 것으로 보인다.

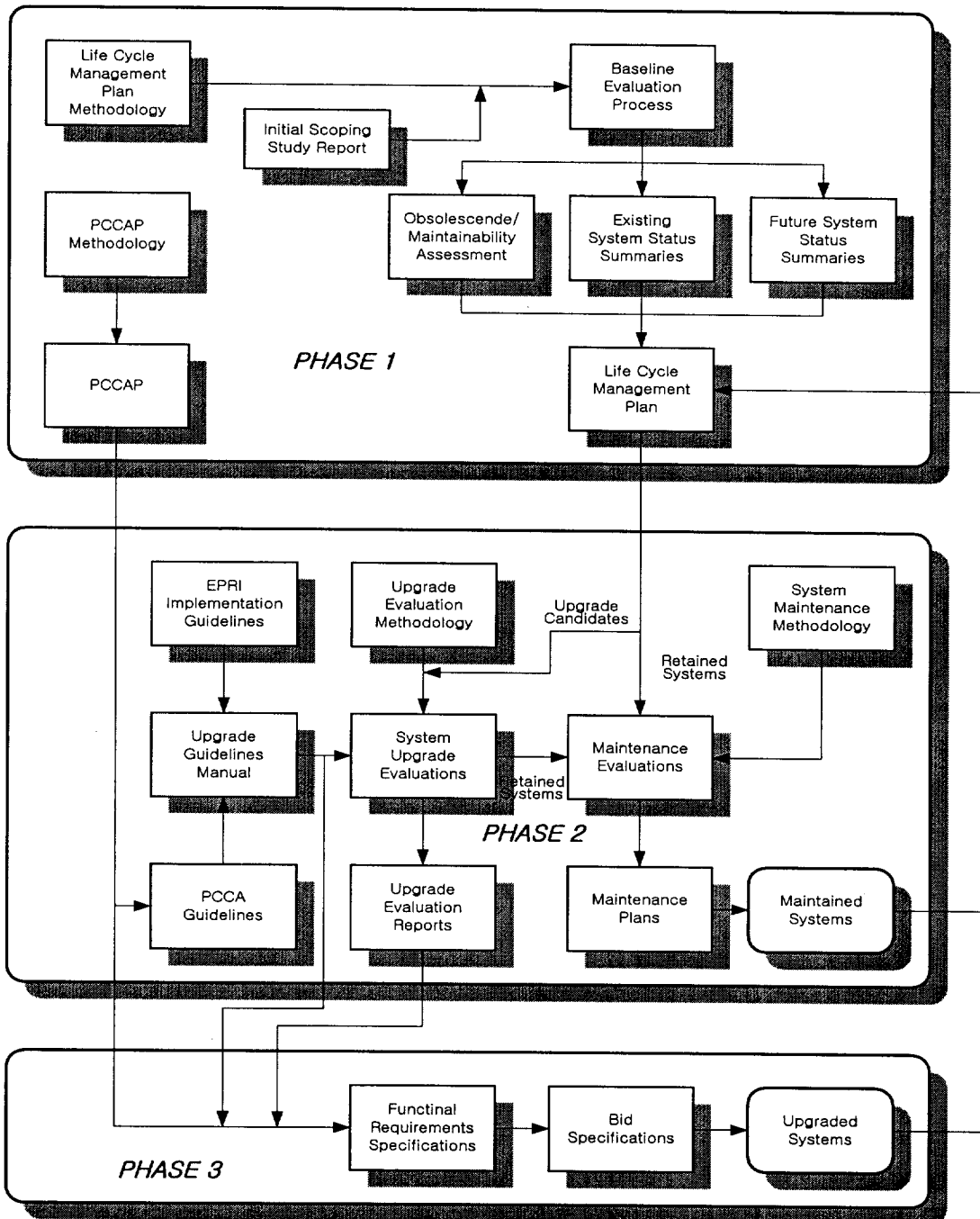


그림 1. EPRI I&C 업그레이드 및 수명관리 프로그램의 진행 과정

### 3. 고리 2호기 I&C 업그레이드 및 수명관리 연구

연구시작 당시 고리 1호기는 이미 I&C 업그레이드가 진행중인 상황이었기 때문에 대상 발전소를 고리 2호기로 선정하였다. 총 3단계의 EPRI I&C 업그레이드 및 수명관리 프로그램 중에서 2단계까지 연구수행 범위를 확정하고, 현재 2단계 연구가 진행 중이다. EPRI 프로그램에 따라 고리 2호기 상황에 적합한 업그레이드 및 수명관리 계획을 도출하기 위하여 발전소 현지에서 상당한 자료수립 활동이 수행되었다.

#### 3.1 Initial Scoping Study and Baseline Planning

연구의 범위를 설정하기 위한 Initial Scoping Study 및 Baseline Planning 활동 수행을 위하여 전력연구원과 EPRI 연구원들의 여러차례에 걸친 고리 2호기 방문조사를 토대로 수행되었다. 수행된 주요 내용은 아래와 같다.

- I&C 시스템에 대한 내부조직 및 책임 파악
- 고리 2호기 I&C 시스템의 현황 조사 및 대상 시스템 선정
- I&C 시스템 성능을 반영하는 발전소 자료 입수
- 제어 및 감시 기능을 수행하는 컴퓨터 관련 시스템 조사
- 발전소 운영 목표 및 달성을 위한 내부계획 조사

Initial Scoping Study 및 Baseline Planning의 결과, I&C 업그레이드에 대한 체계적인 계획 수립 필요성이 나타났으며, 총 20개 시스템을 대상으로 EPRI 프로그램의 2단계까지를 연구 수행 범위로 결정하였다. Westinghouse W2500 전산기 교체와 기존의 컴퓨터 환경을 통합한 발전소 전산 및 통신 계통의 기본구조 개발, 7300 제어 및 보호 계통의 교체 및 유지보수를 위한 장기 계획 수립, 대상 시스템에 대한 유지보수성 평가 및 우선순위 부여 등이 중점적으로 고려사항으로 판단되었다. 표 1에 연구 대상 시스템의 목록을 보였다.

#### 3.2 시스템 현황 파악 및 유지보수성 평가

표 1에 선정된 시스템의 현재 상황을 기술하기 위한 System Status Summary의 작성을 위하여 고리 2호기 현지의 운전원 및 계측제어부원들과 시스템별로 상세한 면담을 통하여 자료를 수집하였으며, Trouble Report (1993년 ~ 1997년), Trip Report (1993년 ~ 1997년), 설비개선 제안서 및 계획서 (1993년 ~ 1997년), FSAR 7장 (I&C), OA 통신망 자료 등을 검토하였다. 이를 토대로 작성된 System Status Summary는 20개 대상 시스템뿐만 아니라 향후 시스템(Future System), 발전소 네트워크 및 배전반 MMI의 현재 상황도 상세히 기술하고 있으며, 고리 2호기에서 자체적으로 수행하였거나 계획 중인 기존의 프로젝트와 유지보수 계획에 관한 검토 내용도 포함하고 있다.

선정된 시스템을 대상으로 EPRI 프로그램에서 제공하는 유지보수성 평가 기법(Maintainability Assessment Methodology)<sup>[1]</sup>를 적용하여 업그레이드 대상 시스템(Upgrade Candidate System), 및 유지보수 대상 시스템(Retained System)으로 분류하였다. 2단계 연구에서 업그레이드 대상 시스템은 우선 순위의 부여를 통한 시스템별 업그레이드 평가(Upgrade Evaluation) 작업으로 연결되며, 유지보수 대상 시스템은 시스템별 유지보수 계획(Maintenance Plan) 수립 작업에 연결된다. 여기에는 향후 시스템에 대한 요건을 포함함으로써 기존 시스템과 향후 시스템 간의 통합시 유지보수성에 일관성을 유지할 수 있도록 하였다.

표 1에 시스템별 분류현황을 보였다.

표 1. 선정된 I&C 시스템 목록

No.	System	Category
1	Westinghouse P2500 Process Computer	UC
2	Steam Generator Feedwater and Main Steam Flow (7300)	UC
3	Steam Generator Main Steam Pressure (7300)	UC
4	Nuclear Instrumentation	UC
5	Rod Control	RS
6	Solid State Protection System	UC
7	Incore Instrumentation	UC
8	Turbine Electric Control	RS
9	Turbine Supervisory Equipment	UC
10	Operator Aid Control System	RS
11	Temperature Scanning System	UC
12	Seismic Monitoring	UC
13	Waste Disposal	RS
14	Digital Rod Position Indication	RS
15	Digital Radiation Monitoring	RS
16	Heater Drain	RS
17	Boron Recovery	UC
18	Auxiliary Feedwater Control	UC
19	Integrated Computer System	FS
20	Liquid Radwaste System	UC

UC - Upgrade Candidate, RS - Retained System, FS - Future System

### 3.2 업그레이드 및 수명관리 지침

고리 2호기에서 자체적으로 수행하였거나 계획 중인 기존의 프로젝트와 유지보수 계획을 반영하여 고리 2호기 실정에 맞는 I&C 업그레이드 및 수명관리 지침을 제시하였다. 기본 수행지침은 아래와 같다.

- 1) 시스템의 업그레이드 시, 적어도 20년간 예비품을 확보할 수 있는 시스템을 적용함으로써 기능 향상을 기하고, 부품 단종 위험을 최소화한다.
- 2) 업그레이드 우선 순위 결정을 위한 판단 기준은 아래와 같다.
  - 부품 단종 문제가 있는 Upgrade 대상 시스템이 최우선 순위가 된다.
  - 기타 시스템들은 Long-form Maintainability Assessment<sup>[1]</sup>에 의한 점수로 우선 순위를 결정한다.
  - 결정된 순위는 직원 면담과정에서 수집된 자료를 이용하여 종합적으로 조정한다.
- 3) MMI를 개선하고 일관성을 유지해야 한다.
- 4) 운전 및 보수 비용을 아래와 같은 방법으로 감소시킬 수 있어야 한다.
  - I&C 시스템 신뢰도 향상
  - 공급자에 대한 의존성 감소
  - 가능하면 호기간 공통 시스템이나 부품 사용
  - 표준화
  - 새로운 시스템에 대한 하드웨어, 소프트웨어 관리 문제 해결
- 5) 발전소의 효율, 가용성, 안전성을 유지하고 개선해야 한다.

- 6) 정보의 가용성과 발전소 데이터의 분배를 개선해야 한다.
- 7) 새로운 시스템을 정의하고, 입수하고, 설치하는데 있어서 아래와 같은 방법으로 비용과 시간을 감소할 수 있어야 한다.
  - 모든 새로운 시스템에 대한 기능 요건 개발에 EPRI 방법 사용
  - 모든 새로운 시스템에 대한 일반 요건에 기초가 되는 일반적인 발전소 지침서 개발
  - 새로운 시스템의 설치에 사용되는 허가된 플랫폼이나 공정 제어 기기의 목록 작성
  - 초기 투자 비용뿐만 아니라 전체 수명관리 비용을 고려한 공급자 선정의 최적화
  - 부품 선정 및 평가를 위한 표준화된 간단한 방법 개발
- 8) 시스템 상호간에 환경적인 영향이 최소화되어야 한다.
- 9) 다음 부서간에 교류나 교육을 강화해야 한다.
  - 발전부
  - 계측제어부
  - Engineering 부서
  - 품질관리부
- 10) 모든 업그레이드 시스템에 대해서 human factor에 대한 검토를 해야 한다.

#### 4. 결 론

원자력발전소 계측제어 시스템은 발전소의 신뢰성과 이용률에 밀접한 관련이 있고, 노후 설비에 대한 늘어나는 운영비용을 고려하여 발전소 실정에 맞는 체계적이고 비용 측면에서 효율적인 시스템의 업그레이드와 수명관리가 이루어져야 한다. EPRI 프로그램에 따라 고리 2호기 상황에 적합한 업그레이드 및 수명관리 계획을 도출하기 위하여 발전소 현지에서 상당한 자료수집, 면담, 토론 등의 활동이 수행되었다. 발전소 I&C 시스템 전반에 걸친 현상 파악과 유지보수성 평가를 통하여 업그레이드 및 수명관리 대상 시스템 그리고 향후 설치 시스템을 선정하였고, 발전소 전반에 걸친 업그레이드 및 수명관리 지침을 제시하였다. 향후 연구에서는 이를 토대로 시스템별 업그레이드 평가 보고서 및 유지보수 계획서 작성을 통하여 발전소 현지의 유지보수 계획에 반영하고자 한다.

#### 참고문헌

- [1] D. Quick, S. Murray, F. Florio and M. Bliss, "Instrumentation and Control Life Cycle Management Plan Methodology", TR-105555, EPRI, 1995. 8.
- [2] M. Bliss, E. Brown, F. Florio and M. Stofko, "Instrumentation and Control Upgrade Evaluation Methodology", TR-104963, EPRI, 1996. 7.
- [3] 윤명현, 신창훈, 이규봉, 박익수, "Kori-2 I&C Upgrade Planning Life Cycle Management Plan (LCMP)", TM.92IJ02.P1998.464, 전력연구원, 1998.7.
- [4] M. Yoon, I. Park, W. Pierce, R. Mattu and C. Wilkinson, "Adopting Modern Computer System Technology to Nuclear Power Plant Operations", pp. 165~170, 14th IFAC Workshop on DCCS, 1997. 7.