

원자력 발전소 I&C계통 설비개선을 위한 평가시스템 개발

論文

56-10-25

Development of Reliability Evaluation System for I&C System Upgrade

鄭學永[†] · 姜弦兌^{*} · 成燦昊^{**}

(Chung Hak Young · Kang Hyeon Tae · Sung Chan Ho)

Abstract - To increase availability and to enhance the safety, the modernization of Instrumentation & Control (I&C) systems is considered. The extended use of the digital technology lets nuclear power plants(NPPs) to replace their old analog systems with some proven digital systems. To adapt digital equipment to plants effectively and systematically, however, there must be an essential prerequisite, which is to evaluate current I&C equipment. This paper shows a practical methodology to evaluate the current status and reliability of I&C systems of NPPs using Reliability Evaluation System(RES) before performing upgrades or replacements for systems. The proposed method was applied to KORI Unit 2. The proposed method shows the current status of operating I&C systems effectively for upgrading I&C systems.

Key Words : Reliability, Reliability Evaluation System(RES), I&C, Upgrade, Nuclear Power Plants(NPPs)

1. 서 론

계측제어(Instrumentation & Control : I&C) 계통의 성능은 발전소의 신뢰성과 효율 및 운전비용에 큰 영향을 준다. 현재 전 세계적으로 운영되고 있는 대부분의 I&C 계통은 30~50년 전에 설계된 아날로그 장비와 릴레이 소자에 근거하여 운영되어 오고 있다. 이러한 장비들은 심한 노후화 및 성능저하, 아날로그 기기 단종 문제를 겪고 있으며, 이는 발전소의 성능에 악영향을 주고 있다. 따라서 발전효율 및 이용률을 높이기 위해 국내외 많은 전력회사들은 I&C 계통의 설비개선을 추진하고 있다[1].

산업계의 디지털 기술의 확대 적용과 그 동안 축적되어온 디지털기술의 신뢰성을 근간으로 많은 원자력 발전소에서는 기존의 노후화된 아날로그 I&C 기기를 검증된 디지털기기로 대체해오고 있다. 이러한 추세에 부합하여 국내에서도 원자력발전소 I&C 계통의 설비개선을 위한 다양한 전략 및 개발을 한국수력원자력(주)에서 진행하고 있다. 기존의 I&C 설비개선은 표준화된 설비개선의 전략이 없이 각 원자력 발전소마다 개별적으로 진행되었다[2][3]. 일대일 방식의 설비교체인 경우에 있어서 개별적 방식의 설비개선이 가능하나, 대규모 및 통합적 설비개선을 위해서는 기존의 개별적 설비개선으로는 한계가 있는 실정이다. 그러므로 전 원자력발전

소에 공통적으로 적용이 가능하고 표준화된 설비개선이 요구된다. I&C 설비 개선은 4단계로 구분하여 수행된다. 1단계로 대상 설비 각각에 대한 정보의 수집 및 분석, 2단계로 계통신뢰성평가를 수행, 3단계로 평가결과에 의해 개선우선 그룹을 선정, 마지막으로 최적 설비개선을 위한 논리적 그룹이 결정되어 설비 개선 공정에 적용된다.

본 논문에서는 원자력 발전소에서 공통적으로 적용 가능하고 통합적인 I&C 설비개선을 위하여, 중요단계인 대상 설비의 현 상태를 파악하기 위한 신뢰성평가방법론을 제안하였다. 신뢰성평가시스템의 개발을 위해 현장의 설비전문가에게 제공되는 평가질의서를 새로이 개발하였다. 또한, 이를 웹 기반으로 구축하였다. 본 논문에서 개발한 방법을 고리 2 발전소 I&C 계통의 15개 계통에 적용하여 계통신뢰성을 평가하였다. 이때 본 논문에서 제안한 방법을 통해 설비중요도, 성능성, 유지보수성, 운용효율성, 노화대응성, 단종대응성, 개선필요성에 대하여 계통을 평가하였으며, 그 결과 계통 신뢰도에 따라 설비개선 우선순위를 정하여 대상 원전의 I&C 계통 설비개선 방향을 제시하였다.

2. 통합적 설비개선의 절차

2.1 대상설비 정보 수집 및 분석

설비개선을 위한 첫 단계는 발전소 각 시스템에 대한 정보의 수집과 분석이 수행되어져야 한다. 대상 설비의 신뢰성 평가를 위해 발전소 정지와 전력 감소에 대한 기록, 문제점, 보수 상태, 시스템 건전성 보고서, 시스템 고장률 정보, 시스템 취약성, 시스템 유지보수 비용, 유지보수 수행 정보, 교체부분 재고 상태, 고장 시스템에 대한 교체지원가능 정보가 요구된다.

[†] 교신저자, 正會員 : 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

계측설비팀장

E-mail : hychung@khnp.co.kr

* 正會員 : 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원 계측설비팀
연구원

** 正會員 : 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원 계측설비팀
선임연구원

接受日字 : 2007年 8月 28日

最終完了 : 2007年 9月 17日

2.2 대상설비 신뢰성 평가

대상 설비들의 개선우선 순위의 선정을 위해서, 대상 설비에 대한 정보 분석을 바탕으로 설비 신뢰성 평가가 수반되어야 한다. 대상 설비들의 우선순위 선정에 있어서 각 설비의 평가요소에 대한 결과뿐 아니라 현장에서 설비 정비를 담당하는 정비자의 운용 경험 또한 중요한 사항으로 고려되어져야 한다. 본 논문에서 개발된 평가질의서에는 설비 자체의 객관적 정보에 의한 객관적인 평가 뿐 아니라, 정비자의 경험을 고려한 주관적인 평가도 가능하도록 고려하였다.

2.3 평가결과에 의한 우선개선그룹 구분

대상설비의 신뢰성 평가 결과 값에 따라 개선우선그룹으로 분류된다. 평가된 결과 값이 낮을 수록 우선적으로 설비 개선이 요구된다. 개선우선그룹에 대한 분류기준을 표 1에 나타내었다.

표 1 개선우선그룹 분류

Table 1 Priority Classification for I&C Upgrade

신뢰성 평가점수	건전성 등급	개선우선 그룹
0~50	Level 1	I
50~60	Level 2	
60~70	Level 3	
70~80	Level 4	II
80~100	Level 5	

그룹 I은 다음 1~2 주기 이내의 계획예방정비기간 내에 수행되어 져야 하는 설비들로써 건전성등급 Level 1과 Level 2에

해당된다. 이 그룹은 설비의 노화, 신뢰성, 단종성 문제 등이 심각하여 설비 개선이 시급히 요구되는 설비를 포함하며, 신뢰성 평가점수로는 60점 미만에 해당된다. 그룹 II는 다음 3~5 주기 이내의 계획예방정비기간 내에 설비개선이 수행되어야 하는 설비로써 건전성등급 Level 3 및 Level 4가 이에 해당된다. 이 그룹에는 노화나 신뢰도 문제가 중간 정도인 시스템이 포함된다. 이 그룹에 포함된 시스템들의 경제적인 측면은 설치비용이 적절하거나 비용대비 경제성이 있는 시스템이며, 신뢰성 평가점수로는 60~80점에 해당된다. 마지막으로 그룹 III은 다음 6주기 이후의 계획예방정비 기간에 설비개선이 수행되어야 하는 설비로서 건전성등급 Level 5에 해당된다. 노화문제나 경제성 문제가 성능이나 비용유지 등에 심각하지 않는 시스템들이 포함된다. 신뢰성 평가점수로는 80점 이상에 해당된다.

2.4 최적 현대화를 위한 논리적 그룹핑

개선우선그룹의 분류가 끝나면, 동일 우선그룹 내의 설비

들을 설치 단계별로 재분류하여 최적 설비 개선을 위한 논리적 그룹으로 재 우선순위를 정한다. 이 논리적 우선순위는 계획예방정비기간 뿐 아니라 발전소 운전의 영향, 제어실 변화 전략, 물리적인 제약 등에 근거한 논리적인 검토가 수반되어 져야 한다. 논리적 검토는 통합효과를 최적화하고, 설치단계변화에 따른 발전소 운전의 영향을 최소화하기 위함이다. 논리적 우선순위는 설비들 사이에 공유하는 주요한 특성을 고려함으로써 형성된다. 일반적으로 개선우선 그룹 I에는 발전소 출력과 관련된 시스템이 포함되고, 그룹 II에는 주요 감시 및 제어기능이 포함되며, 그룹 III에는 기타 계통이 포함된다.

3. 원자력발전소 I&C계통 설비개선

본 논문에서는 I&C 설비개선을 위한 단계 중 대상설비의 개선 우선순위를 결정하기 위한 신뢰성평가를 위한 시스템을 제안하였다. 설비 신뢰성 평가 및 개선 우선순위를 정하기 위해서 IAEA I&C 설비개선 권고 사항에 따라 시스템중요도, 성능성, 유지보수성, 노화대응성, 운용효율성, 단종대응성 및 개선필요성의 7개의 평가요소를 선정하여 계통을 평가하였다[1]. 그림 1에 I&C설비개선을 위한 신뢰성평가 구성을 나타내었다. 각 계통을 평가하기 위해서 질의응답 방식의 평가질의서를 개발하였고, 설계자료, 운용자료 및 운용 경험 등을 바탕으로 설비 전문가가 정성적 및 정량적으로 평가할 수 있도록 질문 문항을 구체화하였다. I&C 계통 각각에 대해 7개의 평가요소별로 평가를 수행하고, 수행된 평가요소 결과 값에 가중치를 적용하여 최종적으로 대상 설비의 신뢰도를 결정하였다. 또한 시스템 중요도 평가를 할 때 I&C 계통 고장모드영향분석(Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)을 수행하여 해당설비의 객관적인 설비중요도와 고장영향을 평가하였다. I&C 계통의 신뢰성 및 현 상태를 평가를 위해 웹 기반의 신뢰성평가 시스템을 개발하여 수행하였다.

3.1 I&C 설비 고장모드영향분석(FMEA)

I&C 설비에 대한 FMEA의 수행 목적은 대상 설비에 대한 객관적인 설비중요도와 고장영향을 파악하기 위한 것으로, FMEA 수행 결과는 평가요소 중 설비중요도에 반영된다. 본 논문에서는 사례연구로 고리 2발전소에 대해 FMEA를 수행하였다.

3.1.1 평가결과 정량화 기준

고장영향평가 작성기준은 조사대상 계통에 대한 위험도, 감지도를 정량화 평가하였고, 조사대상 계통의 고장 발생도는 조사대상 기간인 1997년부터 2005년 9월까지의 고장발생 횟수만을 기준으로 평가하였다. 평가항목별 배점과 대상계통에 대한 안전영향, 기기등급 및 고장요건을 포함한 심각도, 및 접점주기, 시험주기 및 경보 범위를 포함한 검출도에 대한 고장영향 평가 항목별 배점을 표 2에 나타내었고, 각 시스템평가 작성 기준 배점을 표 3에 나타내었다.

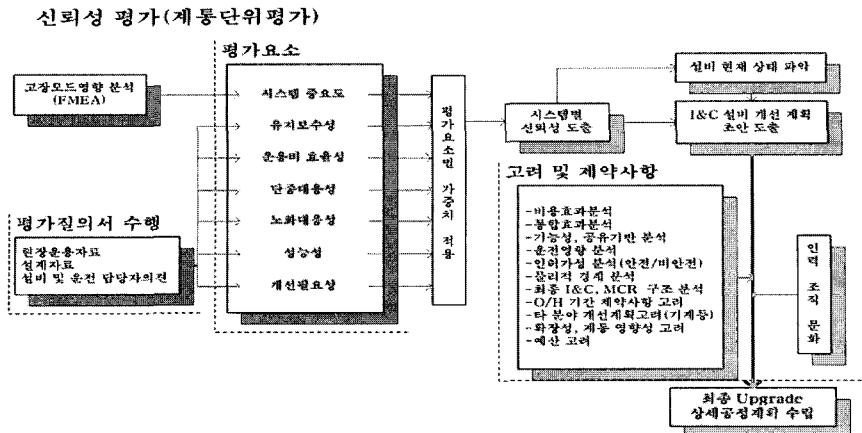


그림 1 I&C계통 설비개선을 위한 신뢰성평가 구성
Fig. 1 RES Configuration for I&C System Upgrade

표 2 고장영향평가항목별 배점

Table 2 FMEA Score Table

평가항목	세부항목	배점	심각도	검출도
안전에의 영향	원자로정지	60	60	
	터빈정지		50	
	출력감발		40	
	과도상태 유발		40	
	기동지연		30	
	기타 영향		10	
대상루프 기기등급	안전기능	30	30	
	안전 관련 기능		20	
	사고시 관련 비안전		10	
	비안전		0	
고장 요건사항	운전제한조건 있음	10	5	
	비상운전절차 포함		5	
고장 감지	기기점검 18개월	20	10	
	기기점검 36개월		20	
	기능시험 12개월내	30	10	
	기능시험 18개월		20	
	기능시험 36개월		30	
	경보 신호범위	50	범위별	

표 3 시스템 평가 작성 기준

Table 3 System Evaluation Criteria Table

평가항목	세부항목	배점	배점기준
안전 및 품질등급	안전기능	100	100
	안전관련 기능		70
	사고시 관련 비안전		50
	비안전		30
안전에 미치는 영향	원자로정지	100	100
	터빈정지		80
	출력감발		60
	과도상태 유발		50
	기동지연		40
운전에 미치는 영향	발전소 정지동작 수행	100	50
	운전원 부담증가		30
	특정 절차서 수행		20
타 시스템에 미치는 영향	원자로보호계통 동작조건	100	100
	공학적 안전설비 동작조건		70
	주증기 및 주급수 보조동작		50
	터빈 제어계통 동작조건		30
	기타 영향		10

3.1.2 고리 2발전소 I&C설비 FMEA 수행 결과

본 FMEA 수행은 고리 2발전소의 주요 계측제어 계통의 고장에 따른 영향을 전체적인 관점에서 평가함으로써 각 계통의 상세 내용 뿐 아니라 설비고장에 따른 발전소 내 영향을 파악하여 계통의 안정적 운전과 설비의 교체 및 운전수명 평가를 위한 기반 지식을 구축하기 위하여 수행된 조사, 평가 작업이다.

표 4 고리 2발전소 고장영향평가 결과

Table 4 Result f FMEA of KORI Unit 2

대상계통	심각도		검출도		평점			
	안전 영향	기기 등급	고장 요건	점검 주기	시험 주기	경보 범위	심각도 (100)	검출도 (50)
노내 중성자속 측정계통	30	20	5	10	10	30	55	25
W7300 공정제어계통	40	30	10	10	20	10	80	20
경보처리계통	0	20	10	20	20	10	30	25
주터빈 조속기제어 계통	40	20	10	10	20	30	70	30
봉산재순환계통	0	10	10	20	10	30	20	30
지진감시 계통	30	20	10	10	10	30	60	25
소내 방사선감시계통	30	30	10	10	20	20	70	25
디지털 제어봉위치지시 계통	0	10	10	10	20	20	20	25
추기 및 급수가열 계통	0	10	10	15	20	30	20	33
노외핵계측계통	40	30	10	10	10	10	80	15
제어봉제어계통	30	30	10	10	10	10	70	15
반도체식 보호계통	60	30	20	10	10	10	100	15
터빈 감시계통	40	20	10	20	20	10	70	25

표 4에는 고리 2 발전소의 고장영향평가 결과로서 대상계통의 심각도 및 검출도를 기반으로 평가한 결과를 나타내었고, 표 5에는 고리 2 발전소의 시스템 영향평가 결과를 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 대상 설비에 대한 설비 중요도와 고장영향을 파악함으로서 현 설비의 객관적인 설비비중요도를 정량적으로 산출할 수 있다.

표 5 고리 2발전소 시스템 영향평가 결과

Table 5 Result of System Affect Evaluation of KORI Unit 2

대상계통	안전 및 품질 등급	안전에 미치는 영향	운전에 미치는 영향	타시스템에 미치는 영향	심각도	검출도	발생도	합계
노내 증성자속 축정계통	70	40	50	50	55	25	202	492
W7300 공정제어계통	100	60	100	70	80	20	59	498
경보처리계통	70	20	30	10	30	25	88	273
주터빈 조속기제어 계통	70	60	80	50	70	30	0	360
봉산재순환계통	50	20	30	10	20	30	32	192
지진감시 계통	70	40	50	10	60	25	7	262
소내 방사선감시계통	100	40	30	10	70	25	36	311
디지털 제어봉위치지시 계통	50	20	30	10	20	25	4	159
추기 및 급수가열 계통	50	20	30	50	20	33	195	398
노외핵계측계통	100	60	100	70	80	15	202	627
제어봉제어계통	100	40	100	50	70	15	28	403
반도체식 보호계통	100	100	100	100	100	15	11	526
터빈 감시계통	70	60	80	50	70	25	149	504

3.2 I&C 설비 신뢰성 평가

3.2.1 평가내용 및 가중치 적용

신뢰성평가수행을 위한 평가요소에 대한 평가내용을 표 6에 나타내었다.

표 6 평가요소 내용

Table 6 Definition of Evaluation Factor

평가요소	평가내용
설비 중요도	주요목적/기능, 설비 중요성
	적용 운전모드/운전상황, 타 설비와의 연계
성능성	수행기능요건 만족도, 개선요구사항
	적용 기술의 정도, 주요고장/개선 이력
유지 보수성	유지보수를 위한 기술수준
	유지보수 수행 빈도, 난이도, 정비 소요시간/인력
	고장정보(MTBF, MTTR)/고장영향
노화 대응성	노화설비/부품, 노화설비 정비능력 보유
	노화에 따른 운전 영향, 노화상태/예상수명
	설비환경(온도, 습도) 영향
	설비 예비품 상태, 설비 점검주기 적절성
운용 효율성	설비고장에 의한 예상되는 경제적 손실
	유지보수 주기 및 비용의 적절성
	예비품 구매비용, 정비소요 인력비용
	전체유지보수비용증 현 설비 유지보수 점유비율
단종 대응성	기능 상실 유발하는 단종 부품
	단종시 발전소 운전에의 영향, 단종 가능성/시기
	대체품 조달 방법, 예비품 확보 상태
개선 필요성	설비 주요 현안, 설비개선 필요 사유
	설비 미개선시 영향, 설비 개선 시 비용 효과
	현재 설비 개선 계획 여부
	설비개선에 필요한 기술 보유 여부
	설비 개선 요구 범위

각 평가요소별로 평가점수를 산정하여 각각의 평가요소에 대해 가중치를 적용하여 최종적으로 해당 시스템의 신뢰도를 구하였다. 표 7에 나타난 가중치는 해당 평가요소가 계통 전전성에 영향을 미치는 정도에 따라 결정되고 낮을수록 계통 전전성에 더 큰 영향을 주도록 하였으며 경험적으로 결정되었다. 예를 들어, 시스템중요도, 단종대응성, 노화대응성과 관련된 계통은 설비개선을 우선적으로 적용해야하는 계통이므로 이 평가요소에 대해서는 다른 평가요소보다 상대적으로 낮은 가중치를 적용함으로 낮은 계통 전전성을 가지게 되어 설비개선 우선그룹에 속한다. 평가요소별로 적용되는 가중치는 각 평가요소별 평가 결과에 대해 적용되어 최종적으로 각 대상 설비에 대한 신뢰도를 얻기 위해 사용된다.

표 7 평가요소와 가중치 적용

Table 7 Evaluation Factor and Weighting Value

평가요소	가중치
시스템중요도	1.0
성능성	5.0
유지보수성	5.0
노화대응성	2.0
운용효율성	5.0
단종대응성	2.0
개선필요성	5.0

3.2.2 평가 질의서 개발

정확한 평가를 수행할 수 있도록 7개의 평가요소별로 각각의 질의서를 개발하였다. 질의서는 EPRI 및 국내 원자력 발전소에서 설비개선에 대한 수행 사항을 포괄하고 있으며 [4], 원전 I&C 설비 전문가들의 의견을 반영하여 통합적 설비개선에 상용하는 질의서를 개발하였다. 표 8에 나타낸 바와 같이 평가질의서의 구성은 정성적 및 정량적으로 평가되도록 하였다. 질문 각각의 중요도에 따라 각 질문 사항에 대해 기준 점수를 할당하였다. 이 기준 점수를 바탕으로 각 질문 항목에 대한 답변에 따라 평가 점수가 구해지며, 각 질문의 평가 점수의 합이 해당되는 평가 요소의 최종 평가 점수가 된다.

표 8 평가요소 질의서 구성

Table 8 Constitution of Questionary

평가 요소	총 문항수	정량적 평가	정성적 평가
설비중요도	10	9	1
성능성	15	7	8
유지보수성	23	19	4
노화대응성	10	5	5
운용효율성	10	5	5
단종대응성	9	8	1
개선필요성	13	7	6
총 계	90	60	30

3.2.3 설비평가 적용방법

각각의 평가질문에는 질문 자체의 영향이나 중요도에 따라 표 9에 나타낸 바와 같이 차등 등급이 적용되었다.

표 9 평가질문 등급

Table 9 Grade of Questionary

등급	정의	배점
상	가장 직접적인 영향을 주는 높은 중요성을 갖는 질문	20
중	중간정도의 중요성을 갖는 질문	14
하	중간 이하의 중요성을 갖는 질문	8

질문 유형에는 아래와 같이 2가지 형태가 있다. 즉, 단일 답변을 요구하는 질문과, 다중 답변이 가능한 질문으로 구분된다. 단일 답변 선택 유형의 경우는 표 10에 나타낸 바와 같이, 질의 평가점수는 질문배점 × 답변가중치로 나타내었다.

표 10 단일 답변 선택 유형에 적용되는 가중치

Table 10 Weighting Value for Single Answer Selection Questionary

답변 항목 보기유형	보기항목수 "2"	보기항목수 "3"	보기항목수 "4"	보기항목수 "5"
①	1	1	1	1
②	0.7	0.7	0.7	0.8
③		0.4	0.4	0.6
④			0.2	0.4
⑤				0.2

다중 답변이 가능한 질문의 경우는 여러 개의 답변을 요구하는 경우가 이에 해당된다. 이 경우에는 답변 선택 개수에 따라 평가점수를 결정하는 방식이다. 질의 평가점수는 답변 선택개수 × 답변가중치 + 기본점수로 나타내며, 기본 점수는 문항등급 및 보기 항목 수에 따라 결정된다. 각 평가요소에 포함된 질의 사항에 대해서 평가자의 답변을 통해 질문 각각에 대한 평가점수가 구해진다. 구해진 각 질문의 평가 결과 값들을 더하여 총합을 백분율로 나타낸 것이 해당 평가요소의 평가점수가 되며 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 각 설비의 평가요소별 평가점수를 결정한 후, 식 (2)에서 평가요소에 대한 가중치를 적용하여 대상 설비의 신뢰도 평가 점수가 결정된다.

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot \omega_{ijk}}{\sum_{j=1}^n A_{ij}} \times 100 \quad (1)$$

여기서,

F_i : i 번째 평가요소의 평가점수, $i = 1, 2, \dots, m$, m = 총 평가요소 수)

A_{ij} : i 번째 평가요소 j 번째 문항의 질문등급, $j = 1, 2, \dots, n$

ω_{ijk} : j 번째 문항의 답변결과에 대한 답변등급, k : 평가자가 선택하면 고정된 숫자가 됨, $k = 1, 2, \dots, n_j$,

$n_j = n$ 번째 문항의 선택된 답변등급.

n : 총 문항 수

$$S = \frac{\sum_{i=1}^m W_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^m W_i} \quad (2)$$

여기서, S : 설비 신뢰도 평가 점수

W_i : i 번째 평가요소의 가중치 ($W_i > 0$)

m : 총 평가요소 수

각각의 설비에 대한 최종적인 신뢰도는 총 3단계의 평가과정인 질의평가, 평가요소 평가, 평가요소 가중치 적용을 거쳐 구해진다.

3.3 웹기반 신뢰성 평가시스템

3.3.1 평가시스템 구조

I&C 신뢰성 평가시스템은 그림 2에 나타낸 바와 같이, 사용자를 위한 웹-인터페이스 부분과 데이터 처리를 위한 웹 서버 및 데이터베이스 부분으로 구성되어 있다. 데이터베이스는 평가 결과 데이터, Upgrade 계획 데이터, I&C 개선 정보 데이터 등으로 구축하였다. Servlet Container에는 평가 알고리즘이 탑재되어 있고, 데이터베이스와 웹 서버를 연결하는 기능을 한다. 평가시스템의 구성 사양은 표 11에 나타내었다.

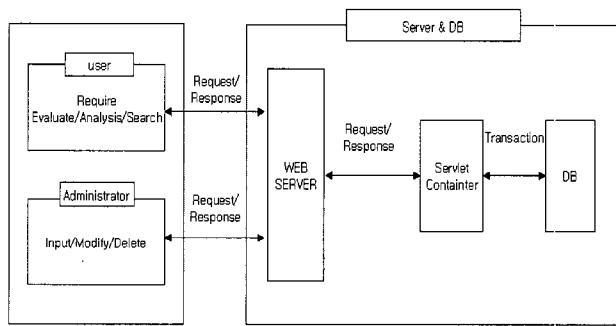


그림 2 평가시스템 구조

Fig. 2 I&C RES Structure

표 11 신뢰성평가시스템 소프트웨어 구성

Table 11 S/W Configuration for RES

구분	구성	사양
S/W	OS	Windows XP-Pro
	DBMS	MySQL
	Web Server	Resine
	통계 S/W	J-Freechart

4. 사례 연구

본 논문에서 신뢰성 평가를 위한 대상설비는 고리 2 발전소 I&C 계통의 노내핵계측계통, 경호계통, 제어봉우치지시계통, 방사선감시계통, 원자로보호계통, ESF보호계통, 지진감시계통, 주터빈감시계통, FISHER계통, 제어봉제어계통,

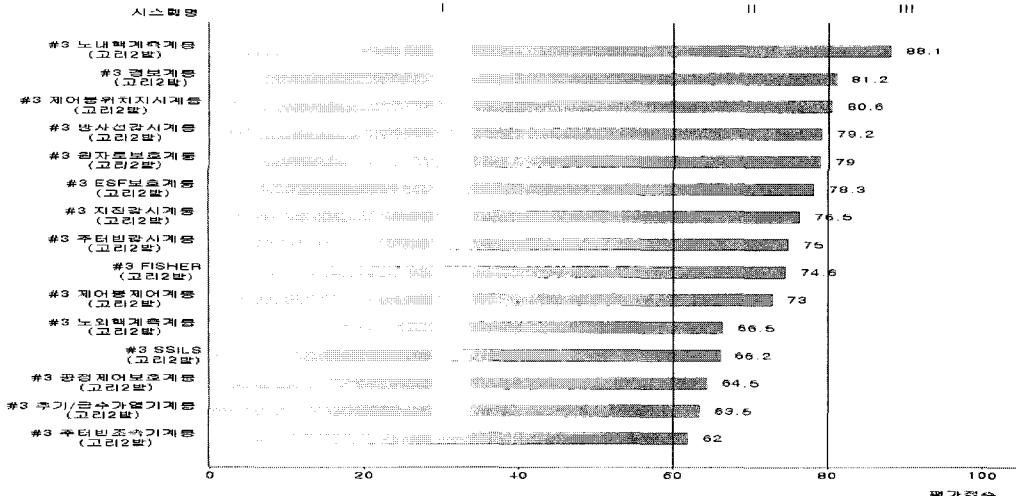


그림 3 고리 2발전소 평가대상 I&C 설비 신뢰성 평가결과 (개선그룹 I ~ III)

Fig. 3 Result of I&C System Reliability Evaluation in KORI Unit 2

노외핵계측계통, SSILS계통, 공정제어계통, 주기 및 급수가 열기 계통, 주터빈조속기계통의 15개 계통에 대해서 평가를 수행하였다. 설비평가에 참여한 설비담당자는 각각 대상 설비의 정비 담당 또는 설비 전문가로 구성되었다. 평가수행은 웹 기반 신뢰성 평가시스템을 통해 수행되었다.

4.1 고리 2발전소 신뢰성 평가의 사례연구

고리 2발전소의 평가대상 I&C 설비는 노내핵계측계통 등 15 계통으로 구성되어 있다. 각각의 계통은 고유의 기능을 가지면서, 상호 영향을 주고받는다. 또한 각 계통에는 여러 단위의 모터, 펌프, 전자소자 등의 기기 및 부품이 포함되어 있다. 본 논문에서 평가한 대상은 기기 및 전자소자 기반의 평가가 아니라 통합적 설비개선을 위해 단위기기들을 포함하고 있는 계통 평가가 목적이다.

본 논문에서 개발한 신뢰성 평가방법으로 모의한 고리 2발전소의 15개의 평가 대상 I&C 설비의 신뢰성 평가 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있듯이 대부분의 계통이 그룹 II에 포함되었음을 알 수 있다. 1~2 주기 이내에 즉시로 개선이 요구되는 계통은 없으나, 주터빈조속기계통, 주기 및 급수가열기계통, 공정제어보호계통, SSILS 및 노외핵계측계통 등은 계통 신뢰성이 낮은 계통으로 운전 시 고장의 원인이 될 수 있으므로 운전 상태를 계속 주시해야 할 계통이다. 각각의 계통 신뢰성 점수는 세부적으로 7개의 평가요소에 의해 종합적으로 결정되고, 고리 2발전소의 I&C 대상 계통에 대한 개별 평가요소별 점수를 표 12에 나타내었다. 제안한 평가시스템을 고리 2발전소 I&C 설비 전문가에 의해 평가된 결과, 그룹 I에 포함된 계통은 나타나지 않았다. 표 13에 나타낸 바와 같이, 대부분의 계통이 계획예방정비 3~4 주기내에 개선이 필요한 계통이며, 노외핵계측계통, SSILS계통, 공정제어보호계통, 주기급수기계통, 및 주터빈조속기계통은 개선 시기가 계획예방정비 3~4 주기 초기가 적절함을 나타내었다.

표 12 계통평가요소별 점수

Table 12 Evaluation Factors' Score for Systems Evaluation

평가요소 계통	설비 중요 성	성능 성	유지 보수 성	노화 대응 성	운영 효율 성	단종 대응 성	개선 필요 성
노내핵계측계통	64	87.1	81.5	100	94.1	86.8	53.9
경보계통	59.5	77.4	73.9	78.0	97.1	66.0	58.2
제어봉위치지시계통	63.4	75.9	78.3	76.0	82.4	73.8	50.9
방사선감시계통	68.1	71.7	69.6	76.3	89.4	84.6	55.5
원자로보호계통	97.8	78.7	74.4	91.4	72.6	77.9	49.0
ESF보호계통	98.9	80.5	77.9	87.4	76.6	72.4	57.7
지진감시계통	64.9	74.8	72.4	74.0	94.1	61.2	69.8
주터빈감시계통	45.6	85.0	74.6	63.1	72.0	68.5	70.1
FISHER계통	61.2	72.7	75.4	65.4	98.3	60.3	71.5
제어봉제어계통	57.7	68.1	74.9	78.9	74.4	73.2	71.8
노외핵계측계통	96.7	69.3	60.7	68.3	70.9	67.1	73.3
SSILS계통	95.9	56.9	75.4	76.6	54.9	61.0	72.2
공정제어계통	87.9	71.0	61.5	72.9	54.6	67.6	73.3
주기 및 급수가열기계통	57.5	52.9	59.9	64.0	66.9	69.3	74.1
주터빈조속기계통	71.6	61.8	66.3	59.4	66.9	42.2	81.4

표 13 I&C 계통 설비개선 시기

Table 13 Appropriate Time for I&C System Upgrade

개선시기 그룹	3~4 주기 이내		5~6 주기 이후
	초기	후기	
그룹 II		방사선감시계통	
		원자로보호계통	
		ESF 보호계통	
		지진감시계통	
		주터빈감시계통	
		FISHER계통	
		제어봉제어계통	
		노외핵계측계통	
		SSILS계통	
		공정제어보호계통	
그룹 III		주기급수기계통	
			노내핵계측계통
			경보계통
			제어봉위치지시계통

5. 결 론

기존의 개별적으로 진행되어 왔던 I&C 설비의 개선과 달리, 본 논문에서 제안한 방법은 대규모 및 통합적 설비 개선을 위한 표준화된 방법이다. 원자력 발전소에 공통적으로 적용 가능하고, 통합적으로 설비개선을 하기 위하여 I&C 계통 설비개선을 위한 중요단계인 대상 설비의 현재 상태를 파악하기 위한 신뢰성평가방법을 제안하였고, 이를 위한 평가시스템을 개발하여 국내 원자력발전소에 제안한 설비개선 평가 방법 및 평가 시스템을 적용하였다. 본 논문에서 제안한 방법으로 계통을 평가하여 평가된 계통의 설비중요도, 성능성, 유지보수성, 운용효율성, 노화대응성, 단종대응성, 개선 필요성에 대한 신뢰도에 따라 설비개선 우선순위를 정하였다. 이는 현장 설비개선 전문가의 판단을 보조할 수 있는 데이터로 활용할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 산업자원부의 전력산업연구 개발사업 지원과제(과제번호: R-2004-A-065)에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] IAEA, "Managing modernization of nuclear power plant instrumentation and control systems", IAEA-TECDOC-1389, Feb, 2004.
- [2] Hang-Bae Kim, Jae-Hack Kim, Ho-Joon Suh, Jai-Bok Han, " Upgrade of Control, Protection and Computer System at Kori Unit 1", International Topical Meeting on Nuclear Power Instrumentation, Control, and Human-Machine, NPIC & HMIT 2000, Washington D.C., Nov, 2000.
- [3] KEPRI, "Kori-2 I&C Upgrade Planning", Republic of Korea, Daejeon, 1999.
- [4] EPRI, "Instrumentation and Control Upgrade Evaluation Methodology", EPRI TR-104963-V2, 1996.

저 자 소 개



정 학 영 (鄭 學 永)

1959년 8월 19일생. 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사(1995년). 현재 원자력발전기술원 계측설비팀장. 관심 분야는 고장진단, 제어알고리즘개발.
E-mail : hychung@khnp.co.kr



강 현 태 (姜 弦 兑)

1971년 8월 29일생. 부산대학교 전기공학과 석사(2002년). 현재 원자력발전기술원 계측설비팀 연구원. 관심분야는 원전 I&C System Upgrade, System Reliability, Statistical Process Control.
E-mail : nalburushim@khnp.co.kr



성 찬 호 (成 燉 昊)

1970년 1월 23일생. 한양대학교 기전공학과 석사(1995년). 현재 원자력발전기술원 계측설비팀 선임연구원. 관심분야 원전 계측설비 Upgrade.
E-mail : chsung@khnp.co.kr