

# 신규원전의 설계특성 기반 정비효과성감시 프로그램 개발

염동운<sup>†</sup> · 현진우<sup>\*</sup> · 송태영<sup>\*</sup>

## Development of Maintenance Effectiveness Monitoring Program based on Design Characteristics for New Nuclear Power Plant

Dong-Un Yeom<sup>†</sup>, Jin-Woo Hyun<sup>\*</sup> and Tae-Young Song<sup>\*</sup>

(Received 6 January 2012, Revised 30 January 2012, Accepted 7 February 2012)

### ABSTRACT

Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP) has developed and implemented the maintenance effectiveness monitoring (MR) programs for the operating nuclear power plants. The MR program is developed by reflecting design characteristics of the operating nuclear power plants to monitor the plant performance for improving the safety and reliability. Recently, KHNP has built a new nuclear power plant, and developed the MR program to establish the advanced maintenance system by reflecting unique design characteristics based on the OPR1000 standard model. So, the MR program developed in this study has another characteristics in comparison with the OPR1000 standard model, and we will verify the suitability of the MR program through evaluating initial performance of the plant. The safety and reliability of the new plant will be improved by developing and implementing the MR program.

**Key Words :** Component(기기), Design Characteristics(설계특성), Function(기능), Maintenance Effectiveness Monitoring Program(정비효과성감시 프로그램), New Nuclear Power Plant(신규원전)

### 1. 서 론

한국수력원자력(주)은 선진 정비체계 구축을 통해 원전의 안전성 및 신뢰성을 향상시킬 목적으로 정비 효과성감시 프로그램을 개발하여 2009년부터 가동 중인 경수로형 원전에서 이행하고 있으며, 2012년에는 중수로형 원전까지 확대하여 적용하고 있다.

정비효과성감시 프로그램은 별칭으로 정비규정(MR, Maintenance Rule)이라 하며, 발전소 전 계통을 기능 단위로 분류하여 발전설비에 대한 정비효과성을 감시한다. 현재 가동 중인 원전에서는 프로그램 이행 효과를 높이기 위해 각 발전소별 고유 설계특성을 반

영하여 최적화된 프로그램을 개발하였으며, 최근 건설을 완료한 신규원전의 경우에도 발전소 운영초기 단계부터 선진 정비체계 적기 구축을 위해 정비효과성감시 프로그램 개발을 수행하였다.

본 논문에서는 신규 OPR1000형 원전의 고유 설계 특성을 반영한 정비효과성감시 프로그램 개발 프로세스와 내용을 제시하고자 한다.

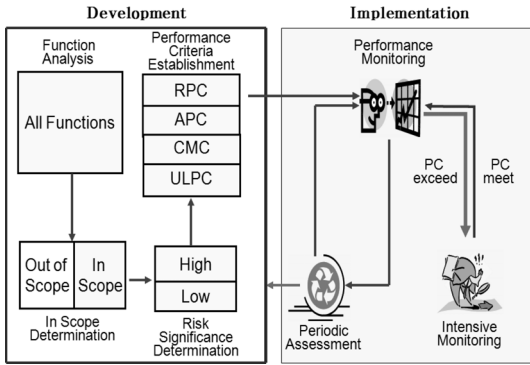
### 2. 정비효과성감시 프로그램 개요

정비효과성감시 프로그램은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 프로그램 개발 및 이행의 2단계로 구분할 수 있다. 프로그램 개발 단계에서는 발전소 전 계통에 대한 기능분류를 수행하고, 각 기능이 안전 또는 비안전 관련 기능에 해당되는지를 분석하여 관리대상 범위를

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 한수원중앙연구원  
E-mail : www@khnpp.co.kr

TEL : (042)870-5577 FAX : (042)870-5518

<sup>\*</sup> 한국수력원자력(주) 한수원중앙연구원



주) RPC (Reliability Performance Criteria)  
 APC (Availability Performance Criteria)  
 CMC (Condition Monitoring Criteria)  
 ULPC (Unit Level Performance Criteria)

Fig. 1 Process diagram of maintenance effectiveness monitoring program

선정한다. 관리대상 범위 선정 후에는 확률론적안전성 평가(PSA, Probabilistic Safety Assessment) 및 발전소 전문가들의 델파이평가 결과에 따라 각 기능에 대한 안전중요도를 결정(High 또는 Low)하고, 안전중요도, 기기 고장빈도 및 계통의 운전형태를 고려하여 신뢰도성능기준(RPC), 이용도성능기준(APC), 상태감시성능기준(CMC) 또는 호기수준성능기준(ULPC)을 수립한다.

프로그램 이행 단계에서는 수립된 성능기준을 기반으로 기기의 기능고장 또는 이용불능이 발생하는지 성능감시를 수행하고, 기능고장 또는 이용불능시 간의 누적 값이 성능기준을 초과하게 되면 전문가위원회에서 집중감시를 결정하여 시정조치를 수행하며, 매 2년마다 정비효과성감시 프로그램을 주기적으로 평가하여 프로그램을 개선한다.

### 3. 정비효과성감시 프로그램 개발 방향

한국수력원자력(주)은 동일노형의 원전에 대해서는 정비효과성감시 프로그램의 개발 및 이행의 일관성을 유지하기 위해 표준모델을 운영하고 있으며, 기존에 가동 중인 OPR1000형 원전 8개 호기들도 표준모델을 기반으로 개발을 수행하였다<sup>1)</sup>. 따라서 신규원전에 대한 정비효과성감시 프로그램의 개발 방향은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 OPR1000형 원전 표준모델의 기능분석 및 관리대상 범위선정, 안전중요도 결정 및 성능기준 수립 결과를 기반으로 설비개선에 의한 발전소

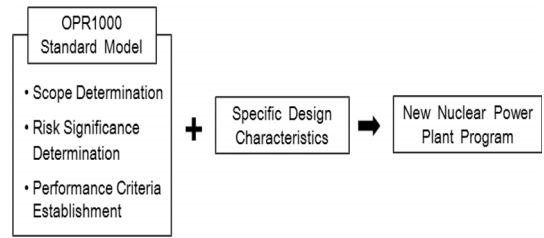


Fig. 2 Development diagram of maintenance effectiveness monitoring program for new nuclear power plant

고유의 설계특성을 분석하여 신규원전에 적합한 프로그램을 개발하였다.

## 4. 정비효과성감시 프로그램 개발

### 4.1 관리대상 범위 선정

#### 4.1.1 관리대상 범위 선정 방법

정비효과성감시 프로그램은 10CFR50.65<sup>2)</sup> 및 Reg. Guide 1.160<sup>3)</sup>에 따라 발전소를 기능단위로 감시하는 프로그램이며, 관리대상 범위 선정은 정비효과성감시 프로그램의 대상이 되는 기능을 선정하는 단계이다. 즉, 발전소에서 기기수준에서 성능감시를 수행하는 것은 감시자로 하여금 고장발생 시 시각을 협소하게 해당 기기로만 국한되도록 하는 반면에 기능수준에서 감시를 수행하면 해당 기능고장 시 전체 발전소에 미치는 영향을 포괄적으로 평가할 수 있도록 감시 시야를 넓혀줄 수 있다는 장점이 있다. 따라서 기능분석 및 관리대상 범위 선정을 기능중심으로 수행하였다.

Fig. 3은 정비효과성감시 프로그램의 기능분석 및 관리대상 범위 선정에 대한 흐름도이다.

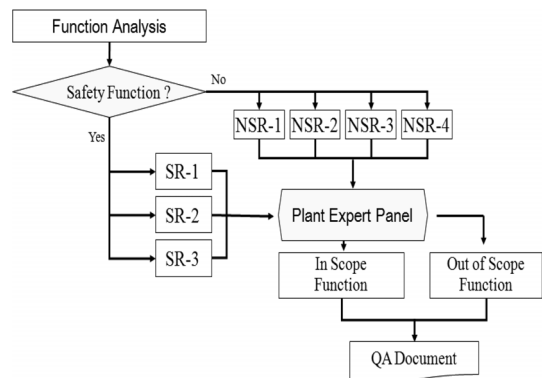


Fig. 3 Scope determination flow chart of the program

**Table 1** Examples of function analysis

Function ID	Function Description	SR			NSR			
		1	2	3	1	2	3	4
RC-01	The integrity of the reactor coolant pressure boundary	Y	Y	N	N	N	N	N
RC-02	Reactor vessel and interior structure	N	N	Y	N	N	N	N
MS-01	Supplying steam to main turbine	N	N	N	N	N	N	Y
FW-01	Supplying feedwater to steam generator	N	N	N	N	N	N	Y
AF-01	Supplying auxiliary feedwater to steam generator	N	N	Y	N	N	N	N

기능분석 단계에서는 신규원전의 최종안전성분석 보고서, 운영기술지침서, 계통설명서, 설계문서 및 계통도를 참조하여 발전소 전체 계통에 대한 기능을 분류하고, 각 기능별로 고유 설계특성 및 설비개선에 따른 동일노형 가동원전과의 차이점을 분석하여 반영하였으며, 그 결과를 OPR1000형 원전 표준모델과 비교 검토하였다. 기능분석 수행 후에는 NUMARC 93-01의 방법론<sup>4)</sup>을 이용하여 Table 1의 사례에서 보는 바와 같이 각 기능이 안전관련 기능, 안전관련 기능과 연관된 비안전관련 기능 또는 정비효과성감시 프로그램의 비관리 대상인지를 분석하였다.

NUMARC 93-01에서 제시한 안전관련 기능의 범주는 설계기준사고 시 원자로냉각재 압력경계의 건전성 유지(SR-1), 원자로의 안전정지 및 안전정지 조건 유지(SR-2), 10CFR100 지침에 상응하는 잠재적 소외 방사능 누출을 유발할 수 있는 사고의 결과를 방지 또는 완화(SR-3)하는 것이다. 비안전관련 기능은 최종 안전성분석보고서에 기술된 사고 또는 과도상태 완화(NSR-1), 비상운전절차서에서 사용(NSR-2), 고장이 발생할 경우 안전관련 설비의 기능수행을 저해(NSR-3) 및 고장이 발생할 경우 원자로 정지 또는 안전관련 계통의 작동을 유발(NSR-4)하는 것이다. 정비효과성감시 프로그램에서는 안전관련 기능 및 비안전관련 기능을 관리대상 범위에 포함시키며, 분석결과는 발전소 전문가위원회에서 검토 후 신규원전의 관리대상 범위를 최종 결정하였다.

4.1.2 관리대상 범위 선정 특성

신규원전은 OPR1000형 표준모델을 적용하고 있는 가동원전과 비교하여 총 162건의 설비개선이 수행되었으며, 정비효과성감시 프로그램 개발 시작 단계에서 검토 결과, 프로그램에 영향을 줄 수 있는 설비개선은 약 64건으로 나타났다. OPR1000형 표준모델과 설계가 상이한 설비개선사항은 신규원전의 고유 설계

특성이며, 기능분석 및 관리대상 범위 선정, 안전중요도 결정 및 성능기준 수립 단계에서 지속적으로 프로그램에 미치는 영향을 분석하여 반영하였다.

신규원전의 설비개선을 반영한 결과, 기능분석 및 관리대상 범위 선정 단계에서 OPR1000형 표준모델과 비교되는 프로그램의 주요 특성을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 보조급수저장탱크 신설에 따라 보조급수펌프의 공급원 기능 수행을 복수저장탱크에서 보조급수저장탱크로 변경하였다.
- 2) 이동형 수소재결합기 대신 피동축매형 수소재결합기 설치에 따라 해당 기능을 추가하였다.
- 3) 1차기냉각수계통에 계열간 공통 연결배관을 설치함에 따라 1차기냉각해수계통의 공통연결 배관 기능을 삭제하였다.
- 4) 복합건물 신설 및 보조건물의 구성계통 변경에 따라 관련 기능들을 추가 및 변경하였다.
- 5) 대체교류디젤발전기 신설에 따라 관련 기능들을 추가하였다.
- 6) 터빈구동 주급수펌프 3대 운전에 따라 기능분석 내용 및 영향을 미치는 기능들을 변경하였다.
- 7) 신규원전에서 감시대상 기기들이 발전정지유발기기(SPV, Single Point Vulnerability)로 관리되는 점을 고려, 터빈축 밀봉증기 공급 및 제어, 상분리 냉각 및 소외전원 수전 기능을 관리대상으로 추가하였다.
- 8) 제어용 공기의 소내용 공기계통으로 공급 기능을 추가하였다.

4.1.3 관리대상 범위 선정 결과

발전소 전문가위원회에서 최종 결정된 정비효과성감시 프로그램의 관리대상 범위 선정 결과는 Table 2와 같다. 신규원전 전체 146개의 계통 중에서 86개(58.9%) 계통이 관리대상 계통으로 선정되었으며, 60개(41.1%) 계통은 비관리대상으로 결정되었다. 기능

**Table 2** Results of in scope determination

System		Function	
Total	In Scope	Total	In Scope
146	86 (58.9%)	482	267 (55.4%)

은 전체 482개 중에서 267개(55.4%) 기능이 관리대상 기능으로 선정되었으며, 215개(44.6%) 기능은 비관리 대상으로 결정되었다.

**4.2 안전중요도 결정**

**4.2.1 안전중요도 결정 방법**

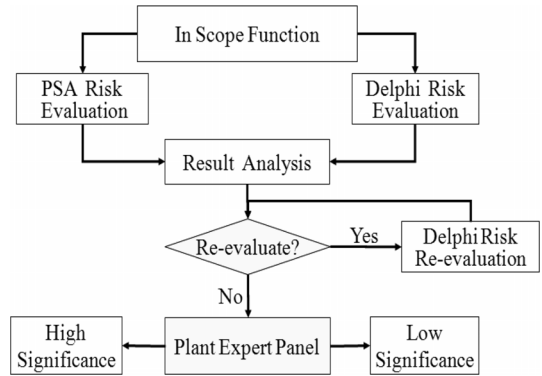
안전중요도 결정은 대상범위 선정 단계에서 정비 효과성감시 프로그램의 관리대상으로 포함된 기능들에 대해 성능기준 및 성능감시 수준을 설정하기 위해 안전중요도의 수준을 결정하는 것이다. 안전중요도 수준은 확률론적안전성평가(PSA)에 모델링된 경우, 노심손상빈도(CDF, Core Damage Frequency), 위험도감소가치(RRW, Risk Reduction Worth) 및 위험도증가가치(RAW, Risk Achievement Worth)의 중요도 정보를 활용한 정량적인 방법과 발전소 분야별 전문가의 정성적인 델파이(Delphi) 평가 방법을 활용하여 결정한다. 즉, 정량적인 평가와 정성적인 평가간의 상호 보완을 통해 안전중요도 결정의 객관성을 확보하기 위함이다<sup>5)</sup>.

Fig. 4는 정비효과성감시 프로그램의 안전중요도 결정에 대한 흐름도이다.

신규원전의 정비효과성감시 프로그램 개발 시 안전중요도 결정 단계에서는 OPR1000형 표준모델을 기반으로 신규원전의 고유 특성에 의한 평가 결과를 고려하여 안전중요도를 결정하였다.

PSA 중요도 평가는 OPR1000형 표준모델과 신규원

전의 PSA 결과가 동일하지 않은 점을 고려하여 관리 대상 범위로 선정된 267개 기능 중 PSA에 모델링된 184개의 기능들에 대해 CDF, RRW 및 RAW 정보를 도출하여 Table 3에 따라 중요도를 평가하였다. PSA



**Fig. 4** Risk significance determination flow chart of the program

**Table 3** Criteria of PSA risk significance evaluation

PSA Significance	Criteria
High	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>RRW \geq 1.005</math> or</li> <li>○ <math>RAW \geq 2</math> or</li> <li>○ Including minimal cut set that account for about 90% of the CDF</li> </ul>
Low	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>RRW &lt; 1.005</math> and</li> <li>○ <math>RAW &lt; 2</math> and</li> <li>○ Not including minimal cut set that account for about 90% of the CDF</li> </ul>

**Table 4** Criteria of Delphi risk significance evaluation

Delphi Significance	Criteria
High	Total Score $\geq 404$
Low	Total Score $< 404$

**Table 5** Examples of risk significance determination

Function ID	Function Description	Risk Significance		
		PSA	Delphi	Final
RC-01	The integrity of the reactor coolant pressure boundary	High	High	High
RC-02	Reactor vessel and interior structure	High	High	High
MS-01	Supplying steam to main turbine	Low	Low	Low
MS-03	The steam generator protection from the over-pressure	High	Low	High*
RP-02	Supplying reactor trip signal by CPC	Low	High	High**

\* : PSA 중요도(High)를 고려, 안전중요도를 High로 결정  
 \*\* : 델파이 중요도(High)를 고려, 안전중요도를 High로 결정

중요도 평가결과, 중요도 High는 72개 기능, 중요도 Low는 112개 기능으로 나타났다.

델파이(Delphi) 평가는 관리대상 범위로 선정된 267개의 기능 중 OPR1000형 표준모델과 동일한 255개의 기능은 표준모델의 평가 결과를 준용하였고, 설비개선 및 관리대상 범위로 추가된 기능, 표준모델과 PSA 평가 결과가 크게 상이한 12개의 기능을 대상으로 발전소 전문가들이 중요도 평가를 수행하였다. 델파이 평가 방법은 사고대응기능 4개 항목과 정상운전기능 6개 항목에 대해 전문가들이 평가를 수행한 후 결과를 취합하여 평점을 계산하고, 가중치를 곱하여 Table 4에 따라 중요도를 평가하였으며, 총 12개의 기능 중 중요도 High는 2개 기능, 중요도 Low는 10개 기능으로 평가되었다. 발전소 전문가위원회에서는 PSA 및 델파이 중요도 평가결과를 검토한 후 신규원전의 안전중요도를 최종 결정하였다.

Table 5는 신규원전의 안전중요도 결정 사례를 보여주고 있다.

#### 4.2.2 안전중요도 결정 특성

신규원전의 안전중요도 평가 단계에서 이용한 PSA 정보는 OPR1000형 표준모델과 비교하여 상세분석을 수행하였고, 국내 원전의 운전경험이 반영되지 않은 일반데이터를 사용하여 얻어진 결과라는 특징이 있다<sup>6)</sup>.

그 결과 및 관리대상 범위 선정 단계에서 나타난 고유 설계특성에 따라 안전중요도 결정 단계에서 OPR 1000형 표준모델과 비교되는 프로그램의 주요 특성을 요약하면 다음과 같다.

1) 보조급수저장탱크 신설에 따라 해당 기능은 중요도 High가 되었으나, 가동원전에서 보조급수공급원으로 사용된 복수저장탱크의 중요도는 Low로 변경하였다.

2) 가동원전에서 중요도 Low였던 1차기기냉각수 계통의 완충탱크와 관련된 기능은 PSA 상세분석 수행에 따라 중요도 High로 평가하였다.

3) 비상디젤발전기에 대한 PSA 중요도가 가동원전과 비교하여 상대적으로 높게 High로 평가되어 지원설비인 공기조화설비의 중요도까지 High로 변경하였다.

4) 신설된 대체교류디젤발전기 관련 기능들은 PSA 및 델파이 평가 결과에 따라 중요도 Low로 결정하였다.

5) 발전정지유발기기(SPV)로 관리하는 점을 고려 관리대상으로 추가된 터빈축 밀봉증기 공급 및 제어,

상분리 냉각 및 소외전원 수전 기능은 PSA에 모델링되어 있지 않아 델파이 평가 결과에 따라 중요도 Low로 결정하였다.

6) 주제어실 정보 및 상태지시 기능의 경우, 가동원전에서는 PSA 중요도가 High였으나 신규원전에서는 PSA에 모델링되어 있지 않아 델파이 평가 결과에 따라 중요도 High로 결정하였다.

#### 4.2.3 안전중요도 결정 결과

전문가위원회에서 최종 승인한 정비효과성감시 프로그램의 안전중요도 결정 결과는 Table 6과 같다. 정비효과성감시 프로그램의 관리대상 기능으로 선정된 267개의 기능들 중 PSA에 모델링된 기능은 184개(68.9%), 모델링되지 않은 기능은 83개(31.1%)이다. PSA 모델링된 기능을 대상으로 PSA 중요도를 평가한 결과, 중요도 High는 72개(27%), 중요도 Low는 112개(41.9%)로 나타났다. 델파이 평가는 OPR1000형 표준모델의 결과를 포함하여 267개의 관리대상 기능 전체를 대상으로 확인한 결과, 중요도 High는 61개(22.8%), 중요도 Low는 206개(77.2%)로 나타났다.

신규원전 전문가위원회에서는 PSA 및 델파이 평가 결과를 검토한 후 최종적으로 267개의 관리대상 기능 중 안전중요도 High는 91개(34.1%), Low는 176개(65.9%)로 결정하였다.

**Table 6** Results of risk significance determination

In Scope Function	PSA Significance			Delphi Significance		Final Risk Significance	
	High	Low	None	High	Low	High	Low
267	72	112	83	61	206	91	176
100(%)	27	42	31	23	77	34	66

### 4.3 성능기준 수립

#### 4.3.1 성능기준 수립 방법

정비효과성감시 프로그램의 관리대상 기능들에 대한 안전중요도가 결정되면 해당 기능들에 대한 성능 감시를 위해 성능기준을 수립해야 한다. 성능기준은 관리대상 기능의 성능이 적절하게 발휘되는지 확인하고 성능감시 목표를 설정하는데 필요하다. 성능기준 설정수준 및 감시수준은 NUMARC 93-01에서 제시한 방법론에 따라 안전중요도와 운전형태를 고려하여 신뢰도성능기준(RPC), 이용도성능기준(APC), 상태감시 성능기준(CMC) 또는 호기수준성능기준(ULPC)을 수

립한다<sup>7)</sup>.

신규원전의 정비효과성감시 프로그램 개발 시 성능 기준 수립 단계에서는 OPR1000형 표준모델을 기반으로 관리대상 범위 선정 및 안전중요도 결정 시 나타난 신규원전의 고유 특성과 PSA 정보를 고려하여 성능기준을 수립하였다. 관리대상 기능간의 상호 연계성 분석은 총 267개의 기능들 중 신규원전에서 추가 또는 변경된 기능 위주로 분석을 수행한 후 반영하였다.

총 267개의 관리대상 기능들간의 상호 연계성 분석 후 도출된 성능기준은 126개이며, 각 성능기준의 핵심기 파악, 기능고장 정의 및 성능기준간의 경계를 설정하였다. 핵심기간 해당 성능기준의 기능고장을 발생시키는데 큰 영향을 미치는 기기로서 기능고장 정의 및 성능기준 수립을 위한 데이터분석용 기초자료로 활용된다.

성능기준 설정수준은 NUMARC 93-01의 방법론에 따라 안전중요도 High는 계열수준, 중요도 Low는 계통수준으로 정하였으며, 단일 계열로 구성된 기능에 대해서는 안전중요도에 상관없이 계통수준으로 정하였다. 또한, Fig. 5의 흐름도에서 보는 바와 같이 안전중요도가 High인 경우에는 신뢰도성능기준(RPC) 및 이용도성능기준(APC), 중요도가 Low이면서 대기상태를 유지하는 경우는 신뢰도성능기준(RPC)을 수립하였다. 안전중요도가 Low이면서 상시운전되는 기능 중 NSR-4에 해당되는 기능은 호기수준성능기준(ULPC), ULPC에 해당되지 않는 경우에는 RPC를 수립하였다. 그리고 RPC가 "0"이거나 탱크 등과 같이 상태감시가 적합한 경우에는 상태감시성능기준(CMC)을 수립하였다.

신뢰도성능기준(RPC)은 성능감시 기간 동안 허용되는 기능고장(MRFF, Maintenance Rule Functional Failure) 수로 정의된다. 성능기준 설정값은 PSA에 모

델링된 경우와 PSA 유추(Surrogate) 및 확장(Extension) 등 확대적용이 가능한 경우에는 EPR1 방법론을 사용하였고, PSA 정보를 활용하여 성능기준을 수립할 수 없는 경우에는 안전중요도가 High이면 95% 성공률, 중요도가 Low이면 90% 성공률을 적용하였다<sup>1)</sup>.

이용도성능기준(APC)은 관리대상 기능의 이용불능 시간(OOST, Out of Service Time)을 효율적으로 관리하기 위하여 수립하며, 성능기준 설정값은 운영기술 지침서의 허용정지시간(AOT, Allowed Outage Time), PSA 모델의 시험 및 정비사건에 대한 이용불능도 데이터 및 운전경험을 반영하여 설정하였다.

상태감시성능기준(CMC)은 기능고장(MRFF)이나 예방가능기능고장(MPFF, Maintenance Preventable Functional Failure)을 허용할 수 없는 경우 및 피동형 기기와 같이 상태감시가 효율적인 성능기준을 대상으로 관련 절차서 및 관리 프로그램을 활용하여 성능감시 방법을 수립하였다.

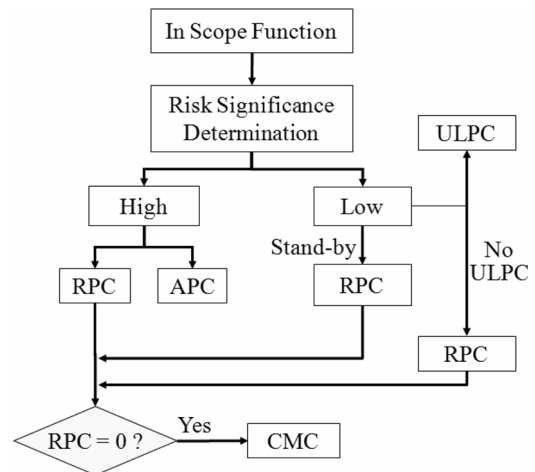


Fig. 5 Performance criteria establishment flow chart of the program

Table 7 Examples of performance criteria establishment

PCID	Performance Criteria Description	Risk Significance	Level	Performance Criteria
AF01	Supplying feedwater to steam generator	High	Train	RPC : 1 APC : 3 days
AX01	Suction of the auxiliary feedwater pump	High	System	CMC
FW03	Isolation of the feedwater	High	System	RPC : 1 APC : 3 days
IA01	Supplying instrument air	Low	System	RPC : 3
TA01	Turbine protection	Low	System	RPC : 1

호기수준성능기준(ULPC)은 해당 기능이 비계획 발전정지, 30% 이상의 출력감발 및 공학적인안전계통작동에 해당되는 기능들에 대해 감시기간 3년 동안의 허용횟수를 부여하였다.

Table 7은 신규원전 정비효과성감시 프로그램의 성능 기준 수립 사례를 보여주고 있다.

#### 4.3.2 성능기준 수립 특성

정비효과성감시 프로그램의 성능기준 수립 단계에서는 신규원전의 설비개선 및 PSA 정보 활용에 따라 OPR1000형 표준모델과 비교하여 21개의 성능기준이 변경되었으며, 주요 특성을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 피동축매형 수소재결합기 설치에 따라 해당 성능기준의 RPC를 설정하였다.
- 2) 1차기기냉각해수계통의 공통 연결배관 기능이 삭제됨에 따라 해당 성능기준을 변경하였다.
- 3) 대체공류디젤발전기 신설에 따라 상시 공기조화 기능은 RPC, 대용량 공기조화 기능은 RPC/APC 성능기준을 수립하였다.
- 4) 모터구동 주급수펌프 대신 터빈구동 주급수펌프 3대 운전에 따라 표준모델의 모터구동 주급수펌프와 관련된 성능기준을 삭제하였다.
- 5) 안전중요도 변경에 따라 방사성물질 함유계통과 해수냉각 계통간 열전달 성능기준의 APC를 삭제하였다.
- 6) 노외핵계측계통의 검출기가 핵분열함으로 단일화 됨에 따라 노외핵계측계통 성능기준을 통합하였다.
- 7) 전력계통의 안전도선과 배터리를 통합하여 성능기준을 수립하였다.

#### 4.3.3 성능기준 수립 결과

신규원전 정비효과성감시 프로그램의 성능기준 수립 결과는 Table 8과 같다. 관리대상 기능으로 선정된 267개 기능들의 상호 연계성 분석 수행 후 총 126개의 성능기준을 수립하였으며, 최종적으로 전문가위원

회에서 RPC/APC를 함께 적용하는 성능기준 37개, RPC만 적용하는 성능기준 70개, CMC를 적용하는 성능기준 19개를 승인하였다.

Table 8에서 신규원전의 성능기준과 OPR1000형 표준모델을 비교하여 본 결과, 고유 특성에 따라 상호간에 차이가 나타났으며, 향후 누적된 고장통지 및 오더를 이용하여 초기 성능평가를 수행함으로써 신규원전 정비효과성감시 프로그램의 적합성을 입증할 것이다.

#### 4.3.4 성능기준 적용

정비효과성감시 프로그램을 이행 중인 기존 가동원전의 경우, 성능감시 수행 중 기능고장이 발생하게 되면, 발전소 시스템엔지니어가 예방정비, 설비개선 및 정비방법 등에 대한 타당성 검토를 수행하고, 기능고장 누적으로 성능기준 초과 시에는 기능고장이 재발되지 않도록 집중감시 조치계획을 수립하여 시정조치를 수행함으로써 안전/비안전관련 설비의 안전성 및 신뢰성을 향상시키고 있다.

신규원전의 경우에도 초기 성능평가를 거쳐 정비효과성감시 프로그램 성능기준의 적합성이 입증되면 발전소에 적용하여 성능감시를 수행함으로써 신규원전의 신뢰도를 제고시킬 것이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 신규원전의 선진 정비체계 구축을 위해 수행한 정비효과성감시 프로그램 개발 프로세스 및 내용을 제시하였다.

1. 동일노형의 원전들과 비교하여 프로그램 개발 및 이행의 일관성을 확보하기 위해 OPR1000형 표준모델을 기반으로 개발하였다.
2. OPR1000형 표준모델의 관리대상 범위선정, 안전중요도 결정 및 성능기준 수립 결과를 기반으로 설비개선에 의한 고유의 설계특성을 반영하여 신규원전에 적합한 프로그램으로 개발하였으며, 그 결과, 신규원전의 신뢰성이 향상될 것으로 판단된다.
3. 성능기준 수립 후 OPR1000형 표준모델과 비교하여 본 결과, 발전소 고유 특성에 따라 상호간에 차이가 있었으며, 향후 누적된 고장통지 및 오더를 이용하여 초기 성능평가를 수행함으로써 신규원전 정비효과성감시 프로그램의 적합성을 입증할 것이다.

결과적으로 정비효과성감시 프로그램의 개발 및 이행을 통해 발전소의 설계기능과 성능이 유지되고 있

**Table 8** Results of performance criteria establishment

Plant	Performance Criteria			Total
	RPC/APC	RPC	CMC	
New Nuclear Power Plant	37	70	19	126
OPR1000 Standard Model	35	66	26	127

는지 정비효과성을 감시함으로써 신규원전의 안전성 및 신뢰성이 향상될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. KHNP, July 2009, “Development of the Maintenance Rule Implementation Programs for OPR1000 Nuclear Power Plants”, Final Report.
2. Nuclear Regulatory Commission, July 1991, “Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants”, 10CFR50.65, pp. 1-2.
3. Nuclear Regulatory Commission, June 1993, “Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants”, Regulatory Guide 1.160, pp. 1-11.
4. Nuclear Energy Institute, July 2000, “Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants”, NUMARC 93-01, Revision 3, pp. 4-33.
5. KHNP, July 2009, “Development of the Maintenance Rule Implementation Programs for Kori Units 1&2”, Final Report, pp. 3-84.
6. KHNP, “Probabilistic Safety Assessment for Shin-kori Units 1&2”, Final Report.
7. Jerng, D. W., Chang, H. S., Ju, T. Y., April 2011, “Development of a Maintenance Effectiveness Monitoring Program for CANDU Reactors”, Annals of Nuclear Energy, pp. 1512-1518.