

# 원전 정비효과성감시 프로그램의 성능기준설정 방법론 개선

송태영<sup>†</sup>·염동운\*·현진우\*

## Study of Performance Criteria Methodology for Maintenance Effectiveness Monitoring Program for Nuclear Power Plants

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

(Received 27 July 2012, Revised 4 August 2012, Accepted 10 August 2012)

### ABSTRACT

The systems of the nuclear power plant are designed based on the User Requirement Document, and Korea Hydro & Nuclear Power Co. (KHNP) implements preventive maintenance activities to keep the specific design function of the system consistently. To monitor the preventive maintenance effectiveness, KHNP has also developed maintenance effectiveness monitoring (MR) program based on NUMARC 93-01 since 2003, and has implemented the program in all operating plants. Recently, KHNP has upgraded MR programs by reflecting implementing experiences ; reestablishing the performance monitoring level, improving analysis for standby function and performance criteria for passive components, reestablishing the availability performance criteria and the performance criteria for the same type of components. These upgraded MR programs will contribute to enhance safety and improve equipment reliability through monitoring maintenance effectiveness.

**Key Words :** Maintenance Effectiveness Monitoring Program(MR, 정비효과성감시 프로그램), Design Function(설계기능), Safety Function(안전기능), Preventive Maintenance(예방정비), Availability Performance Criteria(APC, 이용도성능기준), Condition Monitoring Performance Criteria(CMC, 상태감시성능기준)

## 1. 서론

원자력발전소(이하 '원전') 발주시 발주자는 계약자에게 사용자요건서(User Requirement Document)를 충족하도록 원전을 건설해 줄 것을 요구한다. 이 사용자요건서에는 원자로열출력/발전출력, 주요 안전기능/전력생산기능, 원자로노심 수명, 설비유지관리계획 등 발주자가 원하는 원전설계 및 운영요건을 포함한다. 설계사는 이 요건을 만족시킬 수 있도록 설계기술기준을 적용하여 계통설계를 수행한다. 계통설계는 계통기능 설계와 계통기능을 수행할 수 있도록 계

통 구성기기 및 구성기기들의 용량설계 등이 포함된다. 제작사에서는 설계사의 설계사양을 기반으로 상세 기기설계 및 기기제작을 하여 시공, 시운전단계를 거쳐 발전소운영 단계로 전환된다.

이와 같은 Project Process에서 일반적으로 설계단계에서 설계성능을 유지하기 위한 설비의 유지관리계획도 제시하여야 한다. 그러나 현 설계체계상 국내 원전에서는 운영사에서 동 업무를 수행하고 있으나, 해외원전 발주자들은 설계단계에서 원전 운영에 요구되는 제반 운영 프로그램을 제공해 줄 것을 요구하고 있다.

운영사에서는 원전이 설계기능과 설계성능을 지속적으로 유지관리하기 위한 프로그램중 하나로 예방정비(Preventive Maintenance)를 수행하고 있다. 이때 예방정비가 적절한 수준과 주기로 수행되고 있는

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

TEL : (042)870-5640 FAX : (042)870-5518

\* 한국수력원자력(주) 한수원중앙연구원

지 여부를 감시하는 정비효과성감시(Monitoring for Maintenance Effectiveness, 이하 ‘MR’) 프로그램이 미국을 중심으로 개발·운영되고 있다.

국내 원전에서도 동 운영기술을 도입하여 2003년에 고리2발전소를 시작으로 2012년 현재 전 가동원전에 MR 프로그램을 개발·운영하고 있다.

본 논문에서는 그 동안 MR 프로그램 개발 및 운영 과정에서 제기된 성능기준 현안과 이를 해결하기 위하여 수행하였던 성능기준 설정방법론을 개선하여 프로그램에 Feedback 한 결과를 제시하고자 한다.

## 2. MR 성능기준 설정 현안

### 2.1 MR 프로그램 개발 Process

원전은 수많은 설비들로 구성되어 있는데, 이들을 동일한 수준으로 유지관리 한다는 것은 한정된 자원으로서는 한계가 있다. 따라서 Fig. 1과 같이 리스크 정보성능기반(Risk-Informed & Performance Base)으로 정비효과성감시 또는 계통성능 감시를 수행하는 선진 원전운영기술인 MR 프로그램에서는 원전 안전에 영향을 미치는 안전수행기능(설비)과 전력생산에 영향을 미치는 주요 전력생산기능(설비)을 선정하여 집중관리를 통해 정비자원의 효율화를 기하고 있다.

관리대상으로 선정된 기능은 확률론적안전성평가(Probabilistic Safety Assessment, 이하 ‘PSA’) 정보와 전문가 지식기반 델파이(Delphi) 평가기법을 활용하여 안전(또는 리스크)중요도를 고중요도기능과 저중요도기능으로 구분하며 고중요도기능은 더 상세한 수준으로 감시한다. 또한 안전중요도 정보와 운전형태를 기반으로 감시하고자 하는 성능기준을 설정한다.

그리고 원전 운영중 매일 발생하는 통지(Condition

Report)/오더(Work Order)분석을 통해 발전소 현 상태가 성능기준을 만족하는 지 여부를 평가하고, 성능기준을 초과시에는 집중감시대상으로 결정, 원인분석 및 조치를 수행하여 운전 초기의 설계성능을 유지할 수 있도록 관리한다.

### 2.2 MR 프로그램 성능기준 설정

미국에서 연방법으로 규정하고 있는 정비규정(10 CFR 50.65)에서는 안전에 상응하며, 실질적이고, 산업계의 운영경험을 반영하여 성능기준(목표)을 수립하여<sup>1,2)</sup> 예방정비계획이 효과적으로 수립되어 이행되고 있는지를 감시하도록 요구하고 있다.

동 요건 이행을 위하여 원전 산업계에서는 NEI 주관으로 NUMARC 93-01(원전 정비효과성 감시를 위한 산업계 지침서)<sup>2)</sup>을 개발하여 성능기준 설정 방법론을 제시하고 있다. 이 방법론을 지침으로 하여 미국 원전에서는 각 원전사들의 운영특성에 따라 다양한 방법으로 성능기준을 설정하여 운영하고 있다.

국내 원전에서도 NUMARC 93-01 지침과 미국 원전의 적용 사례 및 2003년 이후 국내원전 이행 경험기반으로 지속적으로 성능기준 설정 방법론을 최적화시키고 있다.

성능기준 설정 기본원칙은 정비수행의 적절성을 효과적으로 감시할 수 있도록 설정되어야 하며, 이 성능기준은 설계기능을 만족하기 위한 최소한의 기준이다. 성능기준 종류에는 Fig. 1과 같이 기기의 기능고장(Function Failure) 여부를 감시하는 신뢰도성능기준(이하 ‘RPC’), 기기의 이용불능(Inoperable or Out of Service)으로 인한 리스크 증가 여부를 감시하는 이용도성능기준(이하 ‘APC’), 발전정지 및 안전계통 작동을 유발시키는 기능을 감시하는 호기수준성능기준(ULPC)과 기능고장 전 성능저하 추이를 감시하는 상태감시성능기준(이하 ‘CMC’)으로 구성되어 있다.

Fig. 2와 같이 고중요도는 안전기능 기여도가 높아 상세수준 감시가 요구되므로 계열수준에서 RPC 및 APC 설정을 한다. 또한 저중요도 대기기능은 대부분이 상시운전시에는 대기상태를 유지하다가 비정상·비상운전시 작동하여 필수안전기능을 수행·지원하므로 고중요도와 동일한 수준에서 감시한다<sup>2)</sup>. 여기에는 ‘비상방산수 주입기능 및 공학적안전설비의 비상배기기능’ 등이 있다<sup>3)</sup>. 저중요도 상시운전기능은 대부분이 전력생산기능을 수행하며 기능고장이 발생하면 발전정지나 출력감발을 유발하므로 별도의 상세수준

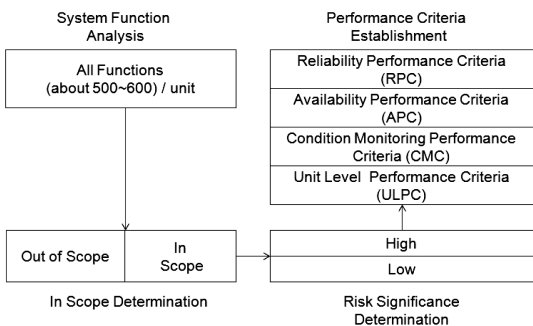


Fig. 1 Process of MR Program Development for Nuclear Power Plants

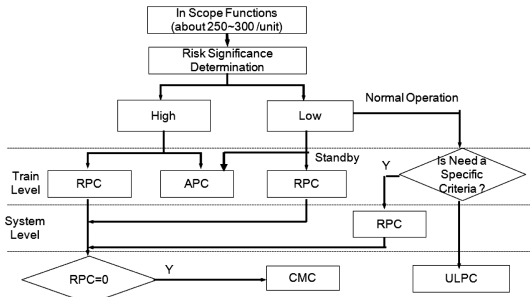


Fig. 2 Flow Chart for Performance Criteria Establishment of MR Program

의 성능기준을 수립치 않고 호기수준에서 성능기준을 설정한다. 또한 기능고장시 공학적안전설비 작동을 유발시키는 기능도 동 성능기준을 적용한다.

그러나 직접적으로 발전정지를 유발하지 않거나 별도의 상세수준의 성능감시가 효과적인 경우에는 계통수준에서 RPC를 설정한다. 그리고 RPC 0회로 설정되어 기능고장이 허락되지 않는 고신뢰도 기능에는 추가적으로 CMC를 설정할 수 있다.

2.3 MR 프로그램 성능기준 설정 현안

국내 원전에서는 2.2항에 기술된 성능기준 설정 방법론을 적용하여 MR 프로그램을 개발·이행해 본 결과 국내원전 운영특성과 경험을 고려하여 다음과 같이 개선이 요구되는 사항들을 도출하였다. 성능 감시수준 불명확, 대기기능 분류 및 성능기준 설정 부적합, 피동기에 대한 성능기준 설정 불일치, 이용도성능기준 적용 미흡 및 동일 유형설비의 성능기준 설정 불일치 등으로 인해 계통엔지니어(System Engineer)가 성능기준 만족여부를 감시하기 위해 통지·오더 분석시 혼란과 오류가 발생하고 있어, 원인을 분석하고 성능기준 설정 방법론을 개선하여 MR 프로그램을 최적화시켰다.

3. MR 성능기준 설정 방법론 최적화

3.1 성능 감시수준 설정방법 개선

기본적으로 MR은 미국 원전에서 규제수단으로 도입된 프로그램으로 규제지침에서 요구하는 최소한의 요건을 만족시키도록 운영하는 발전소도 있고, MR의 범위를 넓게 해석하여 실질적인 설비 신뢰도를 감시하고 향상시킬 수 있는 목적으로 운영하고 있는 발

전소도 있다. 이의 대표적인 곳이 미국 Exelon 사 소속 원전들이다. 국내원전 MR 프로그램도 규제요건을 충족시키는 것은 물론 설비신뢰도 향상 관점에서 성능기준을 설정하였다. 즉, NUMARC 93-01에서는 안전중요도에 따라 계통(System), 계열(Train), 기기(Component)수준에서 성능기준을 설정하도록 요구하고 있으나<sup>2)</sup>, 국내원전에서는 정비효과성 감시를 구체적으로 수행하기 위하여 성능기준 설정수준(Establishment Level)과 감시수준(Monitoring Level)으로 구분하여 설정하였다. 설정수준은 성능감시를 하고자 하는 범위이며, 감시수준은 관리하고자 하는 기능고장(Function Failure) 수준을 말한다. 그러나 Process, 전기 및 계측 분야별로 서로 상이한 설정 및 감시수준을 적용하였는데, 이는 명확한 설정지침 미흡에 의한 것이었다. 그래서 MR 프로그램 이행경험을 반영하여 다음과 같이 개선하였다.

설정수준은 NUMARC 93-01 지침에 따라 안전중요도를 기준으로 설정한다. 감시수준은 기기고장이 기기 자체에만 영향을 미칠 경우에는 기기수준(Component Level), 유로상실, 계열기능 상실, 계통기능 상실에 영향을 미칠 경우에는 각각 유로수준(Segment Level), 계열수준(Train Level) 및 계통수준(System Level)으로 설정하도록 방법을 명확히 하였다.

Fig. 3과 같이 발전소 냉방수계통(Plant Chilled Water System)은 NUMARC 93-01 지침을 그대로 적용하면 동 계통기능은 저중요도 상시운전기능이고 직접적으로 발전정지를 유발시키지 않으므로 계통수준에서 성능기준을 설정한다. 그러나 동 계통은 50% 용량의 3개 유로로 구성되어 있어<sup>4)</sup> 계통수준에서 기능상실(Fig. 3의 A 부위) 발생가능성이 낮으므로 각 유로에 대한 정비효과성을 감시하기에는 적합하지 않다. 따

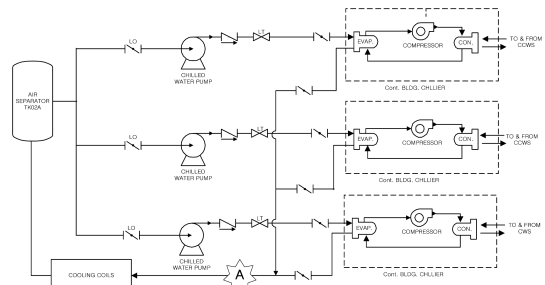


Fig. 3 Establishment Level and Monitoring Level of Plant Chilled Water System in Uljin #3 Plant

라서 계통수준에서 성능기준(WI01)을 설정하고, 냉방수 공급기능 달성여부는 각 유로의 신뢰성 확보여부로 감시할 수 있다. 그래서 감시수준을 유로수준에서 설정하여, 실제 3년간의 운전이력을 기반으로 RPC 3회로 설정하였다. 동 방법론을 적용할 경우 실질적으로 각 유로를 구성하고 있는 냉방수 펌프 및 냉방기 고장감시를 통해 효과적으로 예방정비가 수행되고 있는지를 감시할 수 있다. 만약 각 유로의 기기고장이 유로상실을 유발하지 않는다면 기기수준에서 설정했을 것이다.

특히 Process에서 계열(Train)에 해당하는 수준이 계측에서는 Channel이고 전력계통에서는 Division이므로 감시수준 설정 시 이를 고려해야 한다.

### 3.2 대기기능 분석 방법 개선

Fig. 1의 계통기능분석 단계에서 해당기능이 대기기능인지 여부를 결정한다. 이의 목적은 첫째 해당기능에 대한 정확한 이해를 하기 위해서이고, 둘째 저중요도 대기기능에 대해 더 상세한 관리를 목적으로 한다. 이는 대부분의 대기기능이 안전 및 비안전설계와 관계없이 안전기능을 수행하기 때문이다<sup>2)</sup>.

이전 기준에 의하면 상시운전중이거나, 상시 가압 상태를 유지하거나, 또는 정상운전중 기능상실 여부를 확인할 수 있다면 상시운전기능을 적용하였다. 예를 들면 Fig. 4와 같이 중압 안전주입 기능을 수행하는 안전주입탱크(Safety Injection Tank)는 정상운전시 기술지침서(Technical Specification)에서 요구하는 수위, 압력 및 봉산농도로 유지하고 있으며, 유지 못할 시에는 경보 등을 통해 상시감시가 가능하므로 상시운전기능을 적용하였다<sup>3)</sup>. 이후 이와 같은 기능들이 대기기능인지 상시운전기능인지에 대한 논란이 있었다. 그러나 동 기능은 운전가용성(Operable)을 유지하고 있다가 안전주입신호에 의해 고압 안전주입이후 설계에서 의도된 안전기능을 수행하므로 대기기능으로 재분석하였다. 이와 같은 특성을 가진 기능들은 대기기능에 적합한 성능기준을 설정해야 한다.

이들 대기기능들의 특징은 정상운전중에는 기능고장여부를 확인할 수 없고, 동작신호나 정기점검과 같은 시험과정을 통해 기능고장여부를 확인할 수 있다. 계측분야에서는 계측센서나 전송기 기능은 상시운전기능이지만, 설치치 도달에 의해 동작하는 스위치 기능은 대기기능이 될 것이다. 또한 비정상·비상시에만

사용되더라도 상시 지시기능을 수행하는 계측기는 정상운전 기능으로 분석된다.

그리고 성능기준 범위내에 상시운전기능과 대기기능이 혼합되어 있다면 기본적으로 두 개의 기능으로 구분하여 관리하며, 만약 통합기능 관리가 적합하다면 보수적인 관점에서 대기기능으로 관리한다. Fig. 4와 같이 안전주입탱크 후단 밸브(HV 51)는 상시 개방 상태를 유지하고 있으므로 상시운전기능이나 안전주입탱크와 통합하여 감시되므로 대기기능으로 분석하였다.

### 3.3 피동기기 성능기준설정 방법 개선

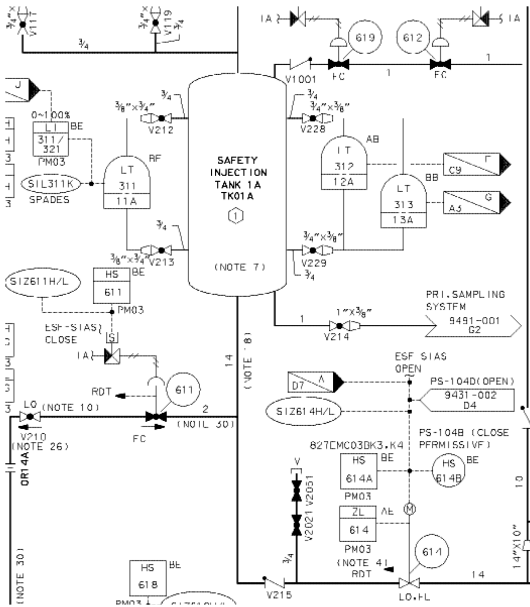
대부분의 피동기기들은 고신뢰도 설비이므로 기능고장 발생가능성이 낮아 상태감시성능기준을 적용한다. 본 논문에서는 피동기기 중 안전관련 탱크들에 대한 성능기준 설정 방법에 대해 기술하고자 한다.

대표적인 안전관련 탱크에는 중압안전주입 기능을 수행하는 안전주입탱크(Safety Injection Tank), 공학적인안전펌프에 흡입원을 제공하는 연료재장전수탱크(Refueling Water Tank), 보조급수펌프 흡입원을 제공하는 보조급수저장탱크(Aux. Feedwater Storage Tank) 등이 있다.

현재 이들 기능들에 대한 성능기준 설정 및 감시방법은 RPC 또는 CMC를 적용하였는데 분야별로 불일치하고 구체화가 미흡한 상태였다. 미국 원전들을 검토한 결과 다양한 성능기준 설정방법을 적용하고 있는데, 이의 내용을 분석하여 실질적이고 효과적인 성능감시를 수행할 수 있도록 다음과 같이 성능기준 설정 방법을 개선하였다.

Fig. 4와 같이 기술지침서에서 요구하는 봉산수 저장·공급기능을 수행하는 안전주입탱크 자체는 기능고장 가능성이 매우 낮다. 따라서 동 기능에는 RPC에 CMC를 추가하여 기능상실전에 성능저하 추이를 감시할 수 있도록 개선하였다.

즉, 동 기능의 신뢰도성능기준은 계열수준에서 RPC 0회로 설정하고, 기능고장정의(Function Failure Definition)는 계통수준에서의 기능상실을 고려하여 ‘각 안전주입탱크수위 유지를 할 수 없는 경우와 봉산수 공급유로가 고장인 경우를 기능고장으로 정의한다’로 개선하고, 상태감시기준은 기기수준에서 개별 기기 및 운전변수를 고려하여 CMC 1회로 설정할 수 있다. 이때 상태감시불만족 정의는 ‘안전주입탱



**Fig. 4** Performance Criteria Establishment of Safety Injection Function through Safety Injection Tank in Shinkori #1 Plant

크 수위 및 압력이 운전제한조건(Limiting Conditions for Operation)을 초과시에 상태감시 불만족이다. 그리고 정기점검 절차서에 의한 탱크 육안검사 판정기준 초과시에도 상태감시 불만족이다'로 개선하였다. 안전주입탱크를 좀 더 상세한 수준으로 감시하기 위해 운전제한조건 초과를 기능고장으로 정의하고, 탱크 저수위 및 저압력 경보수준을 상태감시불만족으로 설정할 수도 있다. 즉 성능기준 성격과 효과적인 감시를 위해 운전제한조건 사항을 기능고장이나 상태감시 불만족으로 설정할 수 있다.

**3.4 이용도성능기준 설정 방법 개선**

이용도성능기준(APC)은 안전기능을 수행하는 기기들의 이용불능시간(Inoperable Time or Out of Service Time)을 감시·관리하기 위한 성능기준이다. 안전기능을 수행하는 기기들은 항상 비정상·비상사건이 발생시에 동작하여 원자로를 안전하게 정지시키고 안전정지(Safety Shutdown)상태를 유지할 수 있어야 한다. 이를 위해서 이들 기기들은 이용불능상태로 있는 시간이 최소로 관리되어야 할 것이다. 즉, 발전소 정비 및 운전 수행자는 안전기능을 하는 기기들에 대해 리스크관리 관점에서 정비나 시험을 수행하여야

한다.

이용도성능기준은 기본적으로 안전기능을 수행하는 모든 기능에 설정되어야 한다. NUMARC 93-01 에서는 안전 고중요도기능과 저중요도 대기기능에 이용도성능기준을 수립한다는 지침이 제시되어 있다<sup>2)</sup>. 이 지침을 기준으로 이용도성능기준을 설정하였으나 원전 노형별로 또는 분야별로 설정범위와 수준이 상이하였다. 그래서 Table.1과 같이 원전설비들의 운영조건을 고려하여 이용도성능기준 설정을 구체화 할 수 있도록 방법을 개선하였다. 설정은 PSA 정보와 실제 발전소 성능이력을 기반으로 설정하였다.

고중요도는 운전모드와 PSA 모델링 여부와 관계없이 모든 기능에 이용도성능기준을 설정한다. 일차적으로 PSA 정보와 운전요구시간(Demand Operating Time)을 활용하고 PSA 정보가 없다면 운전요구시간과 실제 최근 3년 동안의 이용불능시간을 분석하여 성능기준을 설정한다. 만약 고중요도이지만 해당 기능을 수행하는 기기들의 이용불능시간 관리가 의미가 없다면 이용도성능기준을 설정하지 않는다. 이의 대표적인 기능에는 '가압기 안전밸브에 의한 원자로 냉각재계통 과압 방지'가 있다<sup>3)</sup>. 동 기능은 정상운전 중 정비가 불가능하므로 이용불능시간 감시가 의미가 없다.

저중요도 대기기능은 구체적인 성능기준이 요구되지만, 고중요도와 같이 이용도성능기준이 필수적으로 요구되는 것이 아니라 이용도성능감시가 효과적이라고 고려되면 적용하였다. 즉, PSA에 모델링이 되어 있거나 예방정비 및 정기시험을 통해 이용불능시간이 발생하는 등 이용불능시간 관리가 필요하다면 신뢰도성능기준에 추가하여 이용도성능기준을 설정하였다.

저중요도 대기기능도 PSA 정보와 운전요구시간을 활용하고, PSA 정보가 없거나 정상운전중 정비가 불가능하다면 이용도성능기준을 설정하지 않는다. 이의 예로서는 '가압기 보조살수 제공'으로 PSA 모델링이 되어 있지 않으므로 이용도성능기준을 적용하지 않았다.

이용도성능기준은 NUMARC 93-01 지침에서는 중요도에 따라 이용도 90% 이상을 유지하도록 제시하고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 실제 적용시에는 각 발전소의 운영특성을 고려하여 설정될 것이다. 국내 원전에서는 고중요도 기능은 95%, 저중요도 기능은 90% 및 고신뢰

**Table 1** Establishment Method of APC

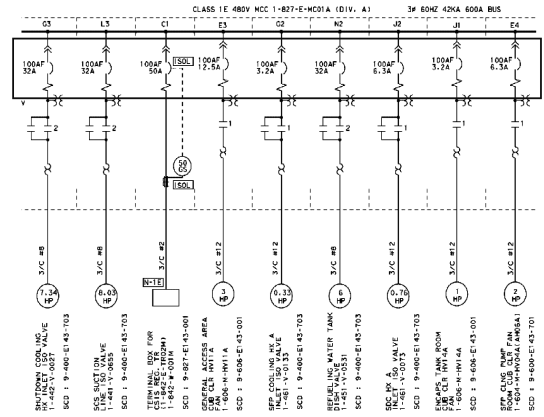
Safety Significant	Standby or Normal Operating Function	PSA Modelled	APC Establishment
High	All	Yes	Yes
High	All	No	Yes
Low	Standby	Yes	Yes
Low	Standby	No	No
Low	Normal	N/A	No

도 기능은 95% 이상 수준을 만족하도록 설정하였다. 이용도성능기준 설정 시에는 연관되는 성능기준 및 운영조건을 고려하여야 한다. 즉 대부분의 이용도성능기준이 설정된 기능에는 신뢰도성능기준이 설정될 것이다. 이때 이용도성능기준은 신뢰도성능기준과 균형화(Balancing)를 고려해야 한다. 만약 빈번한 예방정비와 시험으로 실제 이용불능시간이 많이 발생한다면 이용도성능기준은 높은 수준으로 설정될 것이고, 이로 인해 기능고장이 발생할 가능성이 감소하므로 신뢰도성능기준을 초과할 가능성은 낮을 것이다. 반대로 예방정비 주기를 길게 계획·수행한다면 이용불능시간 발생은 감소하나, 이로 인해 기능고장 발생가능성은 증가하므로 신뢰도성능기준을 초과할 가능성도 증가할 것이다. 따라서 동일 기능에 이용도성능기준과 신뢰도성능기준을 병행하여 설정 시에는 리스크 및 기능고장 최소화 관점에서 두 성능기준간의 균형화를 고려하였다.

**3.5 동일 유형설비의 성능기준 설정방법 개선**

Fig. 1의 계통기능분석 결과 해당기능이 동일 유형의 다수 기기들로 구성된 기능들이 있다. 이들 기능들의 특징은 기기 고장발생시에 해당계통의 기능상실을 유발하는 것이 아니라, 연계되는 계통 기능상실을 유발한다는 것이다.

이의 대표적인 기능은 Fig. 5와 같이 전기분야에서 ‘안전등급 480V MCC 부하차단기 기능’이다. 동 기능은 신고리1호기 기준으로 Division A, B로 구성되어 있으며, 각 Division에는 8개의 MCC(Motor Control Center)가 있고, 8개 MCC에서 약 150개 부하에 전원을 공급하는 동일 유형의 부하차단기로 구성되어 있다<sup>5)</sup>. 이들 각 차단기 고장발생 시에는 ‘안전등급 480V MCC 부하차단기 기능’을 상실시키는 것이 아니라, 차단기를 통해 전원을 공급받는 부하측의 기능상실을 유발시킨다.



**Fig. 5** Load Breaker Function from Class 1E 480V MCC in Shinkori #1 Plant

따라서 이와 같은 동일유형 성격의 기기를 개별로 감시하는 것 보다는 동일 성능기준으로 관리함으로써 이들 기기의 공통 고장원인 분석과 고장추이 감시를 위해 CMC로 관리하는 것이 효과적일 것이다. 이전에는 분야별 해석차이로 RPC와 CMC를 혼용하였다. 물론 해당기기 고장시 동일유형 기기감시를 위해 CMC를 적용하고, 동시에 연계되는 계통의 기능상실을 유발한다면 RPC도 적용될 것이다.

이런 유형에는 전기 및 계측분야에서 차단기(Breaker), 전원공급기(Power Supply), 전자카드(Electronic Card), 계전기(Relay) 등이 있고 Process 분야에서는 ‘원자로 건물 관통부 격리밸브 운전가능성 확인’이 있다. 동 기능은 비상운전시 방사선물질이 원자로건물 외부로 누출되는 것을 방지하기 위해 격리밸브들이 자동 격리기능을 수행하는지 여부를 확인하는 것이다<sup>3)</sup>. 확인 대상에는 3개월 주기로 36개 및 18개월 주기로 86개 격리밸브가 있다<sup>5)</sup>. 따라서 격리밸브들의 성능저하 추이를 감시하기 위해 CMC를 적용하며, 한 관통부에는 두 개 이상의 격리밸브가 다중으로 설치되어 있는데 다중기기가 동시에 격리기능을 못한다면 해당기능 상실을 유발하므로 RPC를 적용하였다.

**4. 결론**

본 논문에서는 2003년 고리2발전소를 시작으로 개발되어 시범적용을 거쳐 2012년부터 전 가동원전에 적용중인 MR 프로그램의 이행과정에서 제기된 성능기준 현안들을 분석하고, 이들 현안들을 해결하기 위해 수행하였던 성능기준 설정 방법론 개선사항들을

다음과 같이 제시하였다.

1. 성능 감시수준 불명확 현안은 실질적인 정비효과성을 감시하기 위해 성능기준 설정수준과 감시수준으로 구분하고, 기기고장이 기기자체에만 영향을 미칠 경우에는 기기수준, 유로상실, 계열기능 상실, 계통기능 상실에 영향을 미칠 경우에는 각각 유로수준, 계열수준 및 계통수준으로 설정하도록 방법을 구체화 하였다.

2. 대기기능 분류 및 성능기준 설정 부적합 현안은 기동신호 및 시험과정을 통해서만 작동되어 기능수행 여부를 확인할 수 있는 경우만 대기기능으로 분류하고, 기본적으로 고중요도와 동일한 수준의 성능기준을 설정하였다.

3. 피동기기에 대한 성능기준 설정 불일치 현안은 피동기기의 속성을 고려하여 신뢰도성능기준에 추가적으로 피동기기의 성능저하 추이를 감시할 수 있는 상태감시성능기준을 설정하였다.

4. 이용도성능기준 적용 현안은 안전중요도와 발전소 운영조건을 고려하여 적합한 수준의 이용도성능기준을 설정하여 안전기능의 이용불능시간을 관리한다. 이것은 안전기능의 리스크를 최적으로 감시·관리하고자하는 것이다.

5. 동일 유형설비의 성능기준 설정 불일치 현안은 동일 유형기기의 공통 원인분석과 성능저하 추이 감시를 통해 설비신뢰도를 향상시키고자 하는 목적이므로 상태감시성능기준을 설정하였다.

본 논문에서 제시된 바와 같이 MR 프로그램의 성능기준이 최적화되어 프로그램의 신뢰성이 제고될 때 동 프로그램이 좀 더 유용한 발전소 운영수단으로 사용될 것이다. 그리고 MR 프로그램을 통해 계통기능에 대한 이해도 향상과 정비효과성을 감시·관리하여 안전기능에 집중적인 예방정비 자원투입으로 원전의 최우선 목표인 안전성 증진에 기여할 것이다.

또한 규제기관에서 추진중인 가동중정비(On-Line Maintenance) 선행조건중의 하나인 계통성능감시 및 안전기능의 이용불능시간 관리에도 활용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. Nuclear Regulatory Commission, July 1991, "Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants", 10CFR50.65.
2. Nuclear Energy Institute, December 2010, "Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants", NUMARC 93-01, Revision 4, pp 15-23.
3. KHNP, December 2011, "Program for Maintenance Effectiveness Monitoring in Shinkori #1,2 Units".
4. KHNP, December 1998, "Final Safety Assessment Report for Uljin #3,4 Units", pp 9.2-41-44.
5. KHNP, June 2010, "Final Safety Assessment Report for Shinkori #1,2 Units", pp 8.3-19-20.