

원전 기기의 기능적중요도결정 방법론에 대한 연구

송태영[†]

A Study on the Functional Importance Determination Methodology for Components in Nuclear Power Plants

Tae-Young Song[†]

(Received 21 March 2013, Revised 2 August, Accepted 8 August 2013)

ABSTRACT

In around 2000, the U.S. NPPs have developed the various advanced engineering processes based on the INPO AP-913(Equipment Reliability Process Description) and showed the high performance in availability. With these benchmarking cases, the Korean NPPs have introduced the advanced engineering technology since 2005. The first step of the advanced engineering is to analyze and determine component importance for all components of a plant. This process is called Functional Importance Determination(FID). These results are basically utilized to determine the priority with limited resources in various areas. However, because the consistency of FID results is insufficient despite applying the same criteria in the existing operating NPPs, the degree of application is low. Therefore, this paper presents the improved methodology for FID interfacing system functions of Maintenance Rule Program and results of Single Point Vulnerability(SPV). This improved methodology is expected to contribute to enhance the reliability of FID data.

Key Words : Design Function(설계기능), Safety Function(안전기능), Functional Importance Determination(FID, 기능적중요도결정), Critical Component(중요기기), Preventive Maintenance(PM, 예방정비), Maintenance Rule Program(MR, 정비효과감시프로그램), Single Point Vulnerability(SPV, 발전정지유발기기)

1. 서론

원자력발전소(이하 ‘원전’) 설계는 화력발전소와 달리 전력생산기능 뿐만 아니라 방사선안전 관점에서 안전기능 설계가 추가된다. 원전 운영자는 전력생산성 확보와 규제요건 준수를 위해 운영기간동안 이 두 설계 기능을 지속적으로 유지하여야 한다. 설계기능을 유지한다는 것은 해당 기능을 수행하기 구성된 기기들(Structures, Systems, Components, SSCs)의 신뢰성을 확보하는 것이다.

기기 신뢰성을 확보하는 프로세스에는 기기성능 감

시, 데이터 분석·평가, 예방정비, 설비개선 등 다양한 활동이 있을 것이다. 이중 가장 핵심적인 프로세스는 예방정비(Preventive Maintenance) 활동이다. 예방정비에는 시간기준(Time-based), 성능기준(Performance-based) 및 상태기준(Condition-based) 예방정비로 구분할 수 있는데, 현재 원전에서는 시간기준 예방정비를 기본으로 하고 성능기준 및 상태기준 예방정비를 도입·정착시키는 단계에 있다. 본 논문에서 예방정비는 시간기준 예방정비를 중심으로 한다.

APR1400(Advanced Power Reactor 1400)노형 원전은 호기당 약 500개 기능과 이 기능들을 수행하기 위해 약 7만개 기기들로 구성되어 있다. 이 많은 기기들은 적절한 수준으로 예방정비가 수행되어야 한다. 그러나 한정된 인적 및 물적 자원으로 인해 모든 기기들

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 중앙연구원
E-mail : songty@khnp.co.kr
TEL : (042)870-5631 FAX : (042)870-5518

을 동일한 수준으로 예방정비를 수행한다는 것은 비효율적인 것이다. 따라서 이 기기들이 안전기능과 전력생산에 미치는 영향을 고려하여 예방정비 여부와 예방정비수준을 설정하여야 할 것이다.

미국 원전에서는 2001년부터 INPO AP-913 (Equipment Reliability Process Description) 프로세스를 기반으로 설비신뢰도관리를 수행하고 있다. 국내 원전에서는 2005년에 동 프로세스를 도입하여 체계적인 설비신뢰도관리를 착수하였다. 동 프로세스에 의하면 설비신뢰도관리 첫 단계는 원전을 구성하는 기기 중에서 중요기기(Critical Components)를 분류 및 선정하는 것이다. 즉 안전성과 전력생산에 미치는 영향이 큰 기기들을 선정하여 예방정비 등 설비유지관리 활동에서 우선순위를 두고자 하는 것이다. 따라서 체계적이고 관리가능한 수준의 중요기기를 선정하는 것은 설비 엔지니어링의 핵심중 하나다

본 논문에서는 해외 원전에서 중요기기를 선정하는 방법과 그 동안 수행하였던 국내 원전의 중요기기 선정방법을 비교분석하여 최적의 방법론을 도출 및 적용함으로써 중요기기 선정 결과를 활용하는 여러 프로세스에 신뢰를 주고자 한다.

2. 기능적중요결정

2.1 기능적중요도결정 개요

이전에는 정성적인 경험기반 하에 기기 중요도를 선정하여 설비유지관리 활동에 사용하였다. 이에 반해 기능적중요도결정(Functional Importance Determination, FID)은 원전을 구성하는 수많은 기기들을 단순히 기기수준에서 경험기반으로 해당 기기의 중요도를 접근하는 것이 아니라, 해당기기가 속해있는 설계기능측면에서 중요도를 바라보는 것이다. 즉 설계자가 설계요건에 따라 계통기능을 설계한 의도를 파악하여 그 중요도를 결정하는 것이다. 여기서 의미하는 중요도란 해당기기가 원전 안전성(Safety), 기기 신뢰성(Reliability) 및 전력 생산성(Power Generation)에 미치는 영향을 고려하여 관리되어야 할 수준을 말한다.

기능적중요도결정 결과는 모든 설비유지관리 활동에서 의사결정을 하는데 있어 필수요소로 사용된다. 예를 들면, 예방정비, 고장정비(Corrective Maintenance), 시정조치(Trouble Shooting), 원인분석 수준결정, 성능감시(Performance Monitoring) 프로세스 등을 이행

할시 또는 장기적인 경년열화계획을 수립하거나 자재 구매시에 한정된 자원투입 우선순위를 결정하는 인자로 사용된다.

2.2 미국 원전의 기능적중요도결정 분석

2.2.1 INPO AP-913 프로세스 검토

미국 원전에서는 1988년에 NRC에서 원전 정비에 관한 정책성명 발표에서 원전 사업자가 고장과 사고 가능성을 감소시킬 수 있는 개선된 정비 프로그램 이행을 요구하였으며¹⁾, 이에 따라 90년도에 신뢰도중심 정비(Reliability Centered Maintenance) 체계를 적용하였고, 이때 정비범위를 선정하는 단계에서 정비효과감시프로그램(Maintenance Rule, MR)에서 도출된 결과를 활용하였다.

이후 2001년부터 RCM에 성능감시 및 시정조치프로그램 등을 포함하여 개발한 INPO AP-913 프로세스에 따라 설비신뢰도관리를 수행하고 있다²⁾. 동 프로세스의 첫 단계는 대상범위를 선정하는 것이다. 대부분의 미국원전은 AP-913에서 제시한 대상범위 분류기준을 준용하였으며, 일부 원전들은 AP-913의 분류기준을 크게 벗어나지 않는 범위내에서 발전소 실정에 맞게 분류기준을 추가·조정하여 사용하였다.

기술적으로 정확하고 논리적인 기기의 중요도분류·선정은 AP-913의 중요한 요소로 주요 프로세스는 다음과 같다. 먼저 중요기능을 분석한다. 설계문서, 기기 품질등급, MR 대상기능 등을 파악하여 원전 안전성, 신뢰성, 출력운전에 영향을 미치는 중요기능을 분석한다. 다음 단계는 각 기능에 속해 있는 기기를 확인하고, 기기고장이 원전 안전성, 신뢰성 및 출력 운전과 밀접한 관련이 있는 기기는 Critical 등급, 원전 안전성 및 신뢰도, 산업안전 등에 간접적인 영향을 주거나 비용 효과적인 측면에서 예방정비로 관리할 가치가 있는 기기는 Not Critical 등급, 안전성, 발전소 출력, 경제성에 대한 기능은 거의 없거나 영향을 미치지 않는 기기는 Run-to-Failure(RTF) 등급으로 분류한다.

2.2.2 미국 원전의 기능적중요도결정 프로세스 분석

2003년에 EPRI에서는 AP-913 이행을 지원하기 위해 주요원전들의 기기중요도 분류기준과 결정 프로세스들을 분석하여 보고서로 발행하였다³⁾.

Exelon 소속 원전들은 AP-913의 기기 중요도결정 프로세스를 준용하여 3개 등급(Critical, Not critical, RTF)

으로 분류하였다. 분류결과는 Table 1과 같이 Critical 기기가 70%, Not critical 기기가 15%, RTF 기기가 15%를 차지하고 있다. 이러한 중요도결정 결과를 기반으로 Exelon 발전소들은 예방정비 범위와 주기를 결정하고 있다.

PPL 소속의 Susquehanna 원전의 첫 번째 분류기준은 기기가 속한 MR 프로그램 안전중요도를 평가하는 것으로 이는 신뢰도 관점을 고려한 것이다. 기기가 MR 프로그램의 고안전중요도 기능을 지원하는지, 저안전중요도기능을 지원하는지, 혹은 안전중요도와 상관없는 기기인지를 평가한다. 두 번째 분류기준은 기기의 고장모드영향평가(Failure Modes and Effects Analysis, FMEA)를 통해 기기 고장이 어떠한 고장 모드(안전 및 출력운전 고려)에 속하는지를 평가하는 것이다. 고장 모드는 원자로 트립 유발, 안전계통 고장유발, 기술지침서 허용정지시간 진입, 출력감발, 다중고장 시 발전정지/계통정지 유발 등으로 구분된다. 두 분류기준을 통합하여 6개의 분류등급으로 재분리 된다. 이중 1과 2는 AP-913의 Critical 등급에 해당되며, 3과4는 Not Critical 등급, 5와 6은 RTF 등급에 해당한다. 분류결과는 Table 1과 같이 Critical 기기가 5%, Not Critical 기기가 6%, RTF 기기가 83%를 차지하고 있다.

AmerenUE 소속의 Callaway 원전은 AP-913 프로세스와는 달리 중요도가 동일한 기능들에 속하는 기기들을 그룹핑한 기능적설비그룹(Functional Equipment Group, FEG)을 활용하였다. FEG 기기의 중요도를 결정하기 위해 MR 프로그램을 활용하여 고안전중요도, 저안전중요도, 비관리기능 순으로 FEG를 작성하였다. 또한 3개의 기기 중요도 분류기준(안전측면, 발전측면 및 기타 중요도 측면)을 적용하여 Important 1, 2 및 N등급으로 분리하였다. 1등급은 AP-913의 Critical 기기에 해당하며, 2등급은 Not critical 기기에 해당하고, N등급은 RTF기기에 해당한다. 만약, 기기의 고장이 MR 프로그램의 고안전중요도 기능상실을 유발하거나 발전정지를 유발한다면 1등급으로 결정된다. 분류결과는 Table 1과 같이 1등급 기기가 29%, 2등급 기기가 35%, N등급 기기가 30%를 차지하고 있다.

First Energy Nuclear Operating Company(FENOC)는 4개의 원전을 운영중인데 호기당 약 75,000개의 기기들로 구성되어있다. 이들에 대해 5개의 분류기준(Critical 1, Critical 2, Non Critical, RTF, Null)을 적용하고 있다. AP-913의 Critical을 2개로 세분류하여 Critical 1은 기기고장을 허용치 않은 기기로 발전정

Table 1 Results and Interface of FID in US NPPs (%)

INPO	AP-913	Exelon	PPL ¹⁾	Callaway ¹⁾	FENOC
Critical	1	70	5	29	2
	2				6
Not Critical		15	6	35	8
RTF	RTF	15	83	30	8
	Null				76

주1) 약 6%는 기기고장영향 불분명 등으로 미 분류된 기기

지나 안전기능 상실 등을 유발시킬 수 있는 기기이며, Critical 2는 기기고장이 발전 부분정지, 출력감발, 주 제어실 정보제공 상실 등을 유발시킬 수 있는 기기이며, Non Critical은 기기고장이 직접적인 발전정지나 안전기능 상실을 유발하지 않으나 비용효과측면에서 예방정비가 요구되는 기기이며, AP-913의 RTF를 RTF와 Null로 세분류하였으며, RTF는 기기고장이 중요기능 상실을 유발하지 않고 비용효과측면에서 예방정비가 요구되지 않는 기기이며, Null은 기기고장이 예상되지 않고 안전기능에 기여하지 않는 기기로 수동 배기·배수밸브 등을 예로 들 수 있다. 분류결과는 Table 1과 같다.

Table 1과 같이 미국 원전들은 기본적으로는 AP-913의 기능적중요도결정 분류기준을 적용하였지만, 실질적으로는 각 원전회사들의 AP-913에 대한 해석 차이와 운영환경에 따라 상이한 분류기준과 분류결과를 보이고 있다.

2.3 국내 원전의 기능적중요도결정 고찰

국내 원전에서는 2005년에 선진 엔지니어링체계를 도입하면서 엔지니어링 첫 단계로 AP-913 프로세스와 미국 원전들의 방법론을 분석하여 별도 세부지침을 개발, 기능적중요도결정을 수행하였다. 중요도 등급은 4종류(Critical A, Critical B, Minor, No Impact)로 구분하였는데, Critical A/B 등급은 기기고장이 원자로 안전 및 발전소 운전과 밀접한 관련이 있는 기기이고, Minor 등급은 기기가 Critical에 포함되지 않고, 중대한 계통기능의 손실로 이어지지는 않으나, 발전소 안전성, 신뢰도 및 산업안전 등에 간접적인 영향을 주거나 비용-효과적인 측면에서 예방정비 수행이 유리한 기기이고, No Impact 등급은 Critical 또는 Minor로 분류되지 않은 모든 기기를 말하며, 안전성, 발전소 출력 및 경제성에 영향을 미치지 않는 기기로 예방정비 프로그램에서 RTF 기기로 적용되어 예방정비를

수행하지 않고 고장 시 고장정비를 수행한다⁴⁾.

기능적중요도결정 결과 Fig. 1과 같이 발전소별로 상이한 결과를 보이고 있다. 미국 원전들과 달리 국내 원전은 단일 원전회사이고 단일 분류기준을 적용하여 유사한 결과를 예상하였다. 그러나 원전 노형(WH, Framatome, CANDU 및 OPR1000형)이 다양하고, 발전소별 분석자의 FID 분류기준에 대한 이해도 차이와 기기수준에서 중요도결정을 수행한 것이 상이한 결과의 주요한 원인으로 평가되었다. 그리고 결정배정에 대한 문서화가 미흡하였다.

예를 들면, 보조급수계통(Aux. Feedwater System)은 비상운전시 증기발생기에 비상급수를 공급하는 기능과 손상된 증기발생기를 격리하는 기능으로 구성되어 있으며, MR 프로그램에서 고안전중요도기능을 수행하는 Critical 기능이다. 따라서 동 기능들을 수행하기 위해 구성된 기기들도 대부분 Critical 등급이거나 Minor 등급기기이다. 그러나 기존 원전에서는 보조급수펌프 수동출구밸브, 재순환밸브 및 역지밸브들을 기능수행측면을 고려하지 않고 단순히 기기수준에서 중요도를 고려한 관계로 No Impact 등급이 적용되었다. 그 결과 이들 기기들이 예방정비 대상에서 제외되어야 하는 등 기능적중요도결정 결과의 신뢰성 문제가 제기되었다.

이후 기능적중요도결정 데이터를 예방정비에 활용하기 위하여 데이터의 신뢰성을 높이기 위한 일환으로 원전 노형별로 표준화 작업을 수행하였으며, 이로 인해 데이터의 일관성이 상당히 향상되었다. 이때 적용한 주요지침은 “MR 프로그램의 고/저안전중요도와 관련된 기기들을 Critical A 및 Minor 등급과 연계, 동일 노형 원전간 불일치 사항을 상호 검토하여 표준화, 전

기계통 기기들은 부하측 중요도를 반영하여 결정” 등이다.

이런 노력에도 불구하고 아직 국내 가동원전에서는 기능적중요도결정 결과를 적용하여 예방정비 범위 및 수준 개선에 추진동력이 미흡한 상태이다. 3장에서는 기능적중요도결정 데이터가 엔지니어링 측면에서 신뢰성을 제고하고 결정근거를 공유할 수 있는 기능적중요도결정 최적방법론을 제안하고자 한다.

3. 기능적중요결정 최적방법론 제안

기존 적용중인 국내의 기능적중요도결정 방법과 결정기준을 비교분석한 결과 다양한 방법을 적용하고 있으나, 기본적으로는 기능적중요도결정에서 기능적이라는 의미에 부합되지 해당기기가 수행하는 기능측면을 고려하여 중요도결정을 해야 한다는 것과 다양한 엔지니어링 프로세스와의 연계성을 반영해야 한다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 기능적중요도결정에서 두 가지 기본원칙을 충족하도록 최적방법론을 제시하고자 한다.

3.1 계통기능분석결과를 활용한 FID 수행

기존 국내원전에서는 기기의 기능역할 측면을 고려하는 체계적인 방법론이 없었고, 계통기능을 고려한 MR 프로그램 개발도 기능적중요도결정 수행과 유사한 시기에 시작한 관계로 MR 프로그램의 계통기능분석결과를 연계하여 활용한다는 것을 전략적으로 접근하지 못하였다. 이후에 두 프로세스의 연계성 고려가 기술적으로 필요한 것으로 검토되었다.

MR 프로그램 개발 첫 단계는 계통 기능분석이다. 원전을 구성하고 있는 약 130개 계통을 대상으로 기능분석을 하면 약 500~600개의 안전관련(Safety Related, SR) 기능과 비안전관련(Non-Safety Related, NSR) 기능으로 분류할 수 있다⁵⁾. MR프로그램에서 대상기능을 선정하기 위한 기준과 FID 분류기준과의 연계성을 분석하면 Table 2와 같다.

예를 들면, 증기발생기에 급수원을 공급하는 주급수계통(Main Feedwater System)은 일반적으로 10개의 SR 및 NSR 기능으로 구성되어 있는데, 이중 “정상운전시 증기발생기에 급수공급” 및 “주급수제어, 증기우회제어 및 원자로출력제어 입력신호 제공” 기능은 NSR4 기준에 해당되어 MR 프로그램 대상기능이다. 또한 동 기능상실은 발전정지를 유발시키므로 FID 분류기

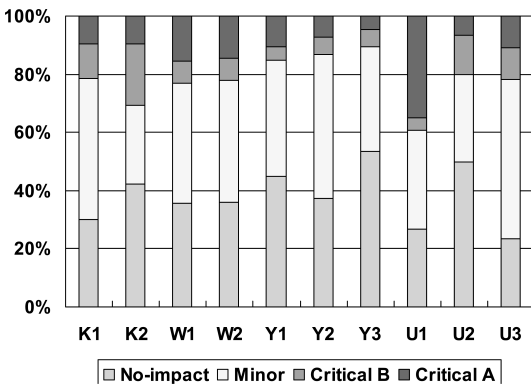


Fig. 1 Results of FID in Domestic NPPs

Table 2 Interface between MR Function and FID Criteria

MR 대상범위 선정기준	FID 분류기준
	Critical A,B 해당 항목
NSR4	발전정지, 출력감발 50% 이상(C-1a)
SR2	허용정지시간 72시간 이하(C-2a)
SR2	허용정지시간 72시간 초과(C-2b)
NSR4	원자로정지(C-3a)
SR2,NSR4	공학적안전설비(ESF) 작동(C-4)
SR2	필수안전기능제어 불능(C-5a)
SR2	필수안전기능제어 부분상실(C-5b)
SR2	원자로 정지 또는 유지시키는 능력의 저하 또는 상실(C-6a)
SR2	다중 안전기능 설비 중 일부 계열의 상실을 유발(C-6b)
SR2,3,NSR2	비상운전절차서 수행능력상실(C-7)
SR3,NSR1	소외방사능 누출 사고 영향 방지/완화 능력 상실(C-8)
SR1,2,3	MR 프로그램 고안전중요도 기능의 상실(C-9)

준 C-1a 에 해당된다. 따라서 동 기능을 수행하는 관련 기기들은 기본적으로 C-1a(Critical A)를 적용함으로써 체계적으로 기능적중요도결정을 수행하여야 한다.

3.2 발전정지유발기기를 연계한 FID 수행

발전정지유발기기(Single Point Vulnerability, SPV)란 단일 기기고장으로 원자로 및 발전정지를 유발시키는 기기를 의미하며, SPV 대상기기를 분석 및 선정하는 목적은 대상기기에 대한 운전절차 개선, 설계변경 및 예방정비 개선 등의 신뢰도개선 조치를 통해 원전 불시정지를 최소화하는 프로세스이다. 국내 원전에서는 2008년부터 SPV 대상기기를 선정하여 신뢰도개선 활동을 수행하고 있다.

SPV 대상기기를 선정 프로세스는 일차적으로 운전경험 기반으로 정성적 SPV 대상기기를 선정하고, 고장모드영향분석(FMEA)을 통해 정량적 SPV 대상기기를 선정한다. 대상기기 선정기준은 단일기기로 인한 발전정지유발기기는 TC1(Trip Criticality 1), 동일 기능수행 기기중 2개의 다중기기 고장으로 인한 발전정지유발기기는 TC2, 3개의 다중기기 고장으로 인한 발전정지유발기기는 TC3로 정의한다⁹⁾. 이때 상호 프로세스간에 연계성고려가 되어야 한다. 즉, TC1 대상기기는 FID 분류기준 중 C-1a(발전정지) 및 C-3a(원자로 정지)와 연계되므로 Critical A 로 선정되었는지 검토하고 반영하여야 한다. 또한 TC2 대상기기는 FID 분

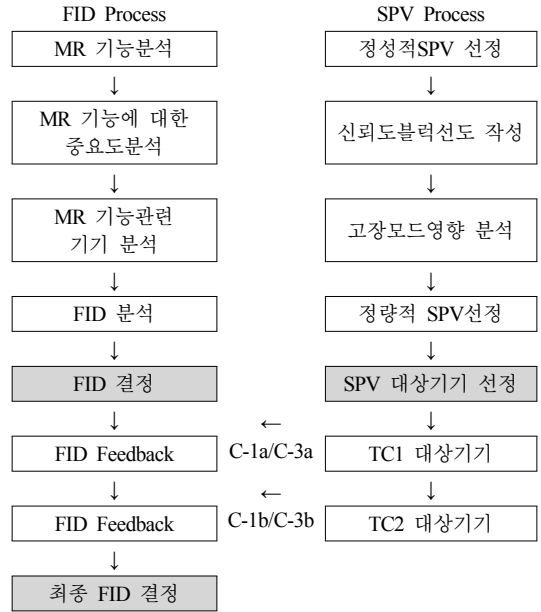


Fig. 2 Interface between FID Process and SPV Process

류기준 중 C-1b(출력감발 50% 미만) 및 C-3b(원자로 또는 터빈 부분정지)와 연계되므로 Critical B로 선정되었는지 검토하고 반영하여야 한다⁷⁾.

그러나 기존 기능적중요도결정 프로세스에서는 두 프로세스간에 상호 연계성이 시스템적으로 고려되지 않아 기능적중요도결정 데이터의 불정확성이 존재하였다. 따라서 Fig. 2와 같이 TC1,2 대상기기가 Critical A,B와의 연계성을 분석하여 반영하여야 한다. 또한 역으로 FID 프로세스에서 C-1a,b 또는 C-3a,b로 분석된 기기가 SPV 대상기기에 반영되어 있는지도 비교 검토되어야 할 것이다.

3.3 계측관련기기의 FID 방법론 개선

3.3.1 계측기 FID 방법론

원전 한 호기당 기능위치 기준 구성기기는 약 6~7만개로 구성되어 있는데, 이중 약 50% 정도는 계측관련 기기로 구성되어 있다. Fig.3과 같이 이들 계측기들은 신호 감지로부터 감시, 제어 및 보호기능을 수행하기까지 여러 단계의 신호처리 과정을 거치는데, 각 단계마다 별도의 기능위치가 부여되어 있어 기능적중요도결정 분류기준을 적용하는데 혼동이 있었다. 즉 어느 단계까지 동일 중요도를 적용할 것인지 기준이 불명확하여 분석자에 따라 상이한 결정을 하였다.

그래서 신고리1발전소 기능적중요도결정 과정을 수

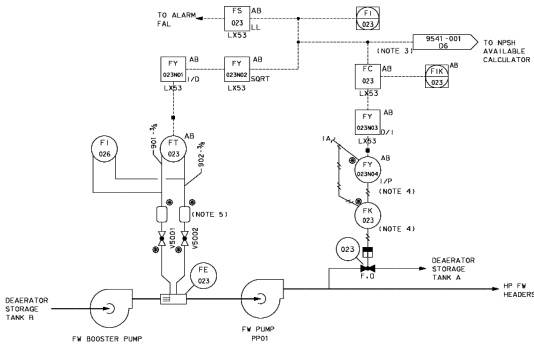


Fig. 3 C&ID Diagram of Main Feedwater System

행하면서 다음과 같이 체계적인 기준을 수립하였다. 신호감지기(예, TE, FE, VE 등)는 관련 프로세스 기기(예, 펌프, 밸브, 냉방기 등)의 감시, 제어 및 보호 기능과 연계하여 중요도결정을 적용하며, 단 TEW와 같이 고유 고신뢰도를 가지고 있는 피동기기는 RTF를 적용한다. 신호처리기기(예, FT, FY, FQY, FC 등)도 관련 프로세스 기기와 연계하여 중요도결정을 적용하며, 단 디지털 처리부는 소프트웨어적으로 처리되어 예방정비 대상이 아니므로 RTF를 적용한다. 그리고 신호출력(정보제공)기기(예, FI, FR, FS, FK 등)중에 안전관련 주제어실 경보, 지시 및 제어기기들은 Critical B를 비안전관련 계측기들은 Minor 등급을 적용하고, 보호관련 계측기들도 기본적으로 Minor 등급을 적용한다. 단 현장 지시기기들은 기본적으로 RTF를 적용한다. 또한 기기 작동관련 핸드스위치와 리미트스위치 등은 관련 프로세스 기기와 연계하여 중요도결정을 수행한다.

예를 들면, Fig. 3과 같이 주급수승압펌프(BFWP) 유량제어 프로세스에서 신호감지기 FE-023은 “펌프 최소 재순환유량 제어” 기능 관련기기이므로 Critical B, 신호처리기기 중 FT-023, FY-023N04는 Critical B를 적용하고 디지털기기인 FY-023N01,02,03, FC-023은 RTF, 정보제공기기 중 현장지시기 FI-026은 RTF를 적용하고 주제어실 정보제공기기 FS-023, FI-023은 디지털기기이므로 RTF를 적용한다. 그리고 작동관련기기인 FK-023은 Critical B를 적용하고 디지털기기인 FIK-023은 RTF를 적용한다.

3.3.2 정주기시험관련 계측기 FID 방법론

기존 기능적중요도결정 방법론에서는 3.3.1항과 같이 기본적으로 현장지시기들은 예방정비 등 설비관리

활동이 불필요하여 RTF를 처리하였다, 따라서 정기시험과 관련된 일부 계측기들이 RTF로 분류되어 교정(예방정비)대상에서 제외된 기기가 있었다. 이후 2012년에 규제기관에서는 “안전관련 기기의 운전가능성을 주기적으로 확인하는 정기시험 수행시에 판정기준 만족과 관련된 현장 계측기들은 작동 유효성이 보증되어야 한다”고 권고하였다⁸⁾. 또한 정기시험 절차서에서도 “측정기기는 교정이 완료되고 유효기간 이내에 있어야 한다”고 명시되어 있다. 따라서 이를 근거로 하여 정기시험 뿐만 아니라 주기시험도 포함하여 다음과 같이 계측기들에 대한 기능적중요도결정 기준을 명확히 하여 규제요건을 만족하고자 하였다.

정기시험과 관련된 안전계통 계측기들은 Critical B 이상, 안전계통 이외의 정주기 시험과 관련된 계측기들은 M-9(고장을 허용할 경우 규제관련 위해요인 여부)를 적용하여 Minor 이상을 적용한다.

예를 들면, Table 3과 같이 보조급수펌프 정기시험에서 현장 계측기인 펌프 재순환유량과 입·출구 압력값을 측정하여 시험 만족여부를 판정하므로 Fig. 4에서 재순환유량계(FI-015)와 입·출구 압력계(PI-003, 021)

Table 3 Acceptance Standard of AFWP Surveillance Test

점검항목	계기	판정기준			
		기준값	허용범위	경고범위	조치범위
재순환유량 (L/s)	FI-015	34.8	N/A	N/A	N/A
입구압력 (kg/cm ²)①	PI-003	1.9	N/A	N/A	N/A
출구압력 (kg/cm ²)②	PI-021	121.9	N/A	N/A	N/A
차압 (kg/cm ²)	②-①	120	110 ≤ P ≤ 132	N/A	< 110 > 132

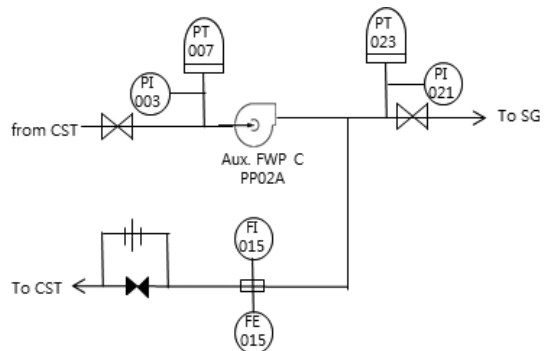


Fig. 4 Simplified Diagram of Aux. Feedwater System

는 Minor 등급을 적용한다. 이들 기기들은 기기수준에서는 단순한 현장 계측기이므로 예방정비가 불필요한 기기로 인식될 수도 있으나, 중요기기의 운전가능성 시험을 위한 기기이므로 주기적인 교정이 수행되어야 한다.

4. 고찰 및 결론

미국원전에서는 104호기의 원전을 안전하고 효율적으로 운영하기 위해 INPO, EPRI, NEI 등을 비롯한 원전 유관기관에서 많은 연구활동을 수행하였다. 그 결과 INPO AP-913 등 다양한 선진 엔지니어링체계를 개발·활용하여 2000년 이후부터 평균 이용률 90% 이상의 높은 성과를 보이고 있다.

이를 벤치마킹하여 2005년부터 국내원전에서는 미국의 선진 엔지니어링체계를 도입하기 시작하였다. 도입 초기에 해외 연구기관에서 개발한 설비관리프로세스 지침에 대한 이해도 부족, 해외원전과의 운영문화의 차이 및 체계적인 도입·정착전략 부족 등으로 인해 기대했던 효과를 보이지 못한 것으로 평가되었다.

이후 국내 원전 운영환경을 고려하여 설비유지관리 프로세스 최적화를 위해 다양한 노력을 하고 있고, 이의 일환으로 본 논문에서는 설비유지관리 활동의 출발점인 기능적중요도결정 최적화를 위해 분류기준 방법론 개선방안에 대해 다른 설비관리프로세스와의 연계성 관점에서 고찰해 보았다. 기본적으로 설비관리는 설계기능과 설계성능을 지속적으로 만족하도록 하는 것이다. 이를 위해서 모든 설비관리프로세스들은 단순히 기기수준에서 관리하는 것은 불합리하므로 해당기기로 인해 영향을 미치는 계통기능 관점에서 관리되어야 한다.

그리고 표준화된 기능적중요도결정 프로세스와 분류기준에 따라 기능적중요도결정을 수행하여도 분석

자의 판단 및 운영환경에 따라 상이한 결정을 할 수 있다. 따라서 성능감시 및 예방정비 계획수립 등에 활용하면서 부적합한 사항을 도출하여 지속적으로 개선하여야 할 것이다. 이와 같은 엔지니어링 활동이 지속적으로 수행될 경우 국내 원전도 경험기반 원전 운영 문화에서 프로세스와 데이터기반을 중요시 하는 선진 운영체제로 변하게 될 것이다.

후기

본 연구는 한국수력원자력(주) 재원으로 신규원전의 설비관리 인프라 구축을 위하여 설비관리의 첫 단계인 기능적중요도결정 최적화 연구의 일환으로 수행하였음.

참고문헌

1. Nuclear Regulatory Commission (NRC), March 1988, "Policy Statement for Maintenance in Nuclear Power Plants".
2. Electric Power Research Institute (EPRI), 2003, "Critical Component Identification Process", TR-1007935.
3. Institute of Nuclear Power Operations (INPO), 2001, "Equipment Reliability Process Description", AP-913, Rev.3.
4. KHNP, 2012, "기능적중요도결정(FID) 지침", Rev.6.
5. KHNP, 2011, "Program for Maintenance Effectiveness Monitoring in Shinkori #1,2 Units".
6. KHNP, 2011, "발전정지유발기기 관리 및 SPV Monitor 운영 지침", Rev.2.
7. Sang Dae Lee, September 2011, "FID Improvement of RCS System utilizing Single Point Vulnerability in NPPs", Transactions of the KPVP, Vol. 7, No. 2.
8. KINS, August 2012, "정기시험 관련 일부 계측기 교정대상 분류 및 교정주기 부적합".