

'01 춘계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

## RCM분석기법을 활용한 정비규정 대상 SSCs 결정방안

### Study on maintenance rule scoping method using classified quality class of SSCs in domestic NPPs

정현중\*, 최광희, 김영호  
한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

#### 요 약

미국의 경우 원자력발전소 정비효과 감시요건인 10 CFR 50.65(Maintenance Rule)<sup>[1]</sup> 1996년 7월부턴 원전에 적용하고 있으며, 국내 원전의 경우 정비프로그램의 최적화를 위한 RCM연구를 수행하고 있다. 정비규정은 원전 안전성 향상 측면에서 정비효과를 감시하기 위한 도구라면 RCM은 현행 정비프로그램을 최적화하기 위한 도구로 해석할 수 있다. 정비규정 이행을 위한 첫 단계는 적용대상 SSCs(Structure, System, Components)를 선정하는 것이며, RCM을 통한 정비최적화를 위해서는 먼저 집중 관리해야할 Critical Component를 결정해야한다. 이를 위하여 본 논문에서는 정비규정, 미국 원전의 RCM분석사례, 영광 1발전소 시범계통 RCM분석경험 등을 토대로 정비규정과 RCM의 상관관계에 대해 논하였으며, 영광 1발전소 RCM분석과정에서 정립한 중요기기 결정방법을 정비규정에 대상범위 결정방법으로 활용하는 방안을 제시하였다.

#### Abstract

Maintenance Rule(MR), which was effective July 1996 in U.S.A, was officially adopted in all of the U.S.A nuclear power plants. In Korea, progress in reliability centered maintenance (RCM) analysis for optimizing the maintenance program. Maintenance rule is a tool for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants. RCM is a tool for optimizing the existing preventive maintenance program. For RCM analysis, we should select critical components that are functional important. For implementation of MR, we should select the structures, systems, and components(SSCs) within the scope of MR. In this paper, reviewed relationship between RCM and MR and proposed maintenance rule scoping method using quality classification of SSCs in domestic nuclear power plants that is used in RCM analysis for Yonggwang units 1&2.

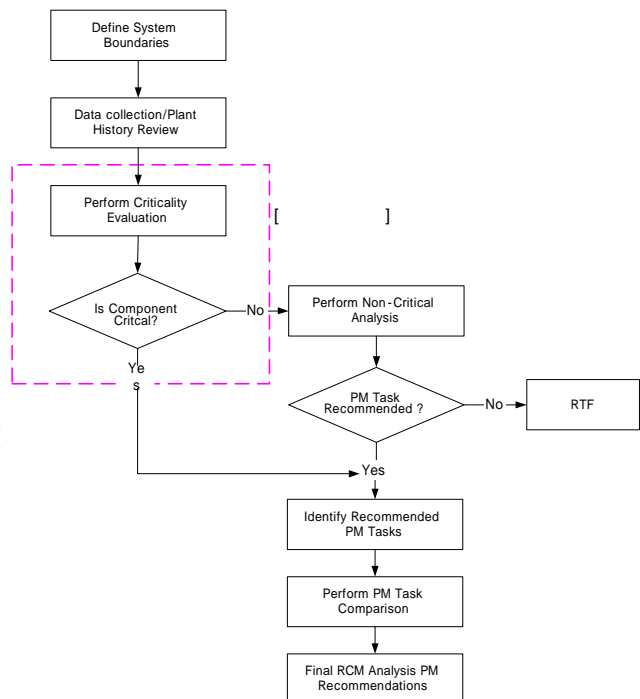
# 1. 서 론

국내 원전의 경우 일부 시범계통 신뢰도기반정비(RCM: Reliability Centered Maintenance)분석을 통하여 그 효과를 인식하고 이를 점차 확대해 나가는 추세에 있으며, 미국에서 이행중인 정비규정(10 CFR 50.65 : Maintenance Rule)<sup>[1],[2],[3]</sup>에 대해서는 국내 적용 타당성을 연구하고 있는 수준이다. '80년대부터 미국 원전에 적용하기 시작한 RCM은 기본적인 개념에 있어서는 변화가 없지만 '90년대로 들어서면서 RCM분석 소요비용을 줄이기 위한 간략화 RCM분석기법(Streamed RCM methods)<sup>[4]</sup>이 소개되면서 분석방법에 있어서 많은 변화를 가져왔다. 최근 가장 널리 사용되는 Criticality Checklist 기법에서는 기기 고장영향평가를 위해 기존에 활용하던 FMEA (Failure Modes & Effects Analysis)대신 Checklist를 활용한다. 정비규정에서 제시하는 적용대상 SSCs(Structures, Systems, Components)결정 기준도 Checklist와 유사한 형태를 가진다. RCM 이든 정비규정이든 시발점은 중요기기 또는 정비규정 대상 범위를 결정하는 것이며, Checklist 항목에 대한 세부기준이 명확하여야 일관성 및 정확성을 기할 수 있다. 국내 원전에서는 품질관리 활동을 효과적으로 수행하기 위하여 그리고 과학기술부 고시에서 요구하는 가동중 시험을 위하여 기기 등급을 분류하여 관리하고 있다. 따라서 본 논문에서는 먼저 RCM과 정비규정과의 관계에 대해 알아보고 RCM 및 정비규정 측면에서 국내원전 기기 등급분류결과를 활용한 중요기기 및 정비규정 대상범위 결정방법을 제시하였다.

## 2. 중요기기 결정방법

### 2.1 RCM분석에서의 평가방법

원자력발전소에서 수행하는 예방정비(Preventive Maintenance)의 목적은 주요설비의 고장을 예측, 예방, 또는 최소화하여 발전소의 안전성 및 이용률을 향상시키기 위한 것이다. 발전소에 설치된 수많은 기기중 예방정비대상 기기를 정하고 이에 적합한 정비방법 및 주기를 결정하는 Methodology로 신뢰도기반정비(RCM: Reliability Centered Maintenance)기법이 널리 활용되고 있다. RCM의 핵심단계는 계통분석과 정비분석과정으로 구분된다. 계통분석과정은 해당 기기의 기능상 중요도를 평가하여 중요기기(Critical Component)를 결정하는 것이며, 정비분석과정은 중요기기에 대한 최적의 정비방법을 결정하는 것이다. RCM 분석기법중 최근 가장 널리 활용되고 있는 Criticality Checklist 방법은 [그림. 1]과 같은 단계로 분석한다. 여기서는 예방정비프로그램을 통해 예방하고자하는 발전소영향을 미리 정해놓고 해당 기기가 고장이 발생할 경우 정해놓은 영향을 미치는 기기를 중요기기로 결정하는 방법으로 중요기기를 결정한다.

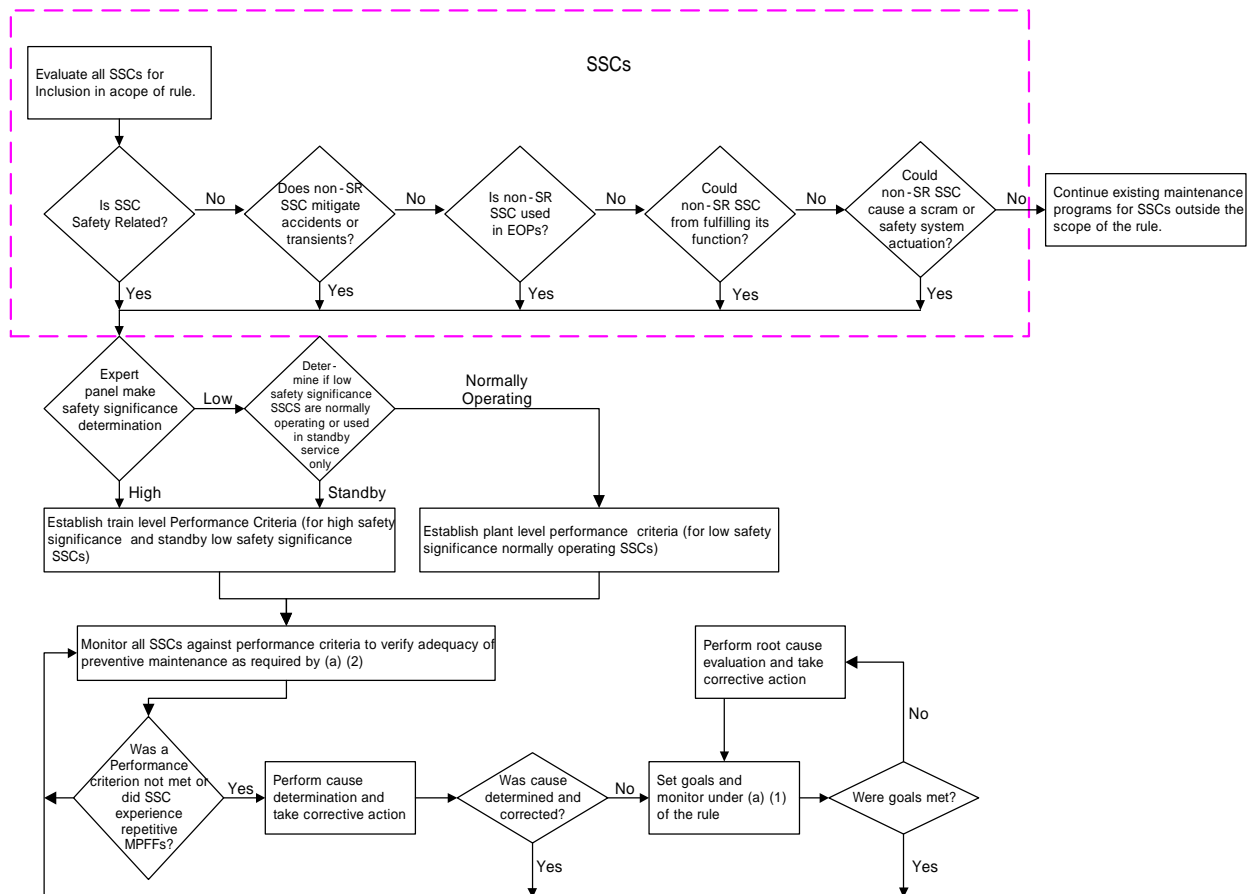


[그림. 1] Criticality Checklist Process<sup>[4]</sup>

## 2.2 정비규정(Maintenance Rule)

정비규정은 정비규정 내에서 관리하여야 할 SSCs(Structures, Systems, Components)를 결정하고, 규정 내에 포함되는 SSCs의 중요도에 따라 발전소 수준 또는 SSCs수준의 성능기준을 설정하여 SSC의 성능을 감시하고 적절한 시정조치를 하도록 하는 것이다. 정비규정의 목적은 발전소 안전성에 영향을 줄 수 있는 SSCs를 성능감시를 통하여 집중 관리하여 신뢰성을 확보하고 이를 통하여 원전 안전성을 향상시키고자하는 것이다. 정비규정 이행단계는 1)정비규정대상 SSCs 선정, 2)위험도에 미치는 영향이 큰(Risk Significant) SSCs 선정, 3)성능기준(Performance Criteria) 설정, 4 성능감시 및 시정조치(Corrective Action), 5)주기적인 평가, 6)문서화로 요약되며, NUMARC 93-01에서는 [그림. 2]와 같이 정리하고 있다. 정비규정에서는 아래의 SSCs를 정비규정 범위에 포함시킬 것을 요구하고 있다.

- (1) 안전관련 SSCs(structures, systems, or components)
- (2) 비-안전관련 SSCs
  - i. 사고 또는 과도사건을 완화시키는데 필요하거나, 비상운전절차서에 사용되는 비-안전관련 SSCs
  - ii. 고장시 안전관련 SSCs가 안전관련 기능을 수행할 수 없도록 하는 비-안전관련 SSCs
  - iii. 고장시 발전소 불시정지 또는 안전관련 계통의 작동을 유발할 수 있는 비-안전관련 SSCs



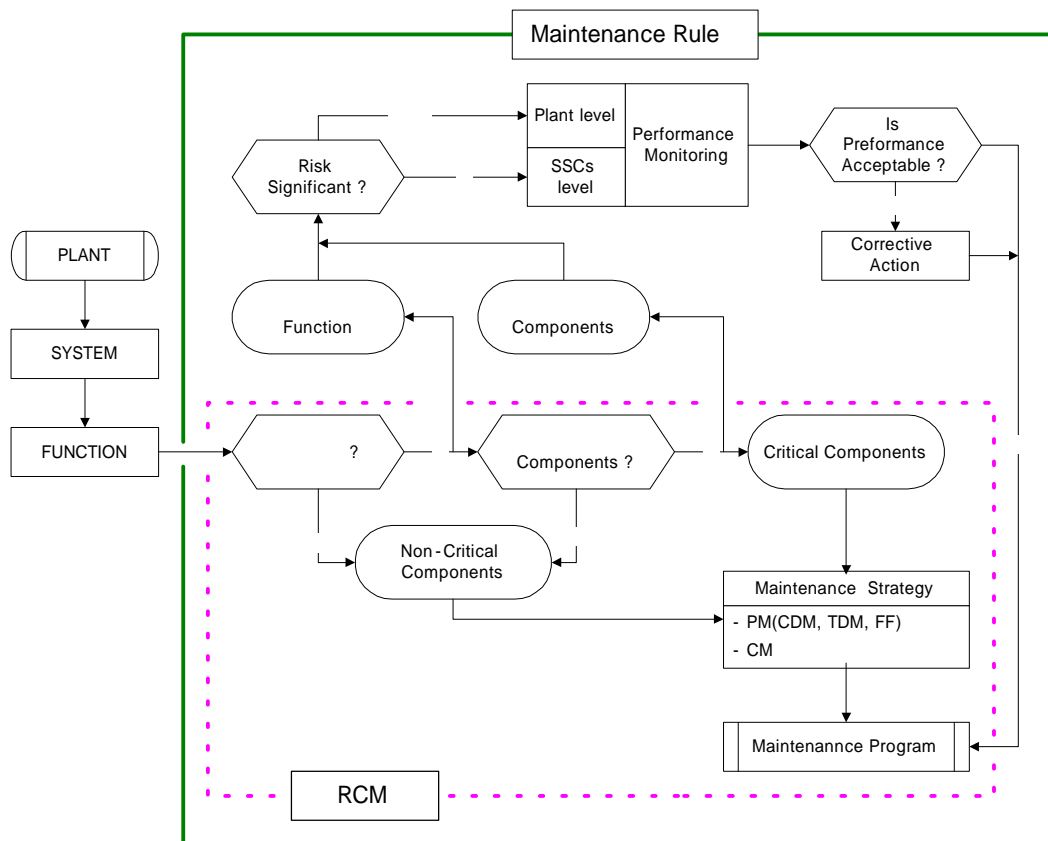
[그림. 2] 정비규정 이행 흐름도<sup>[3]</sup>

### 3. RCM 기법을 활용한 중요 SSCs 선정방안

#### 3.1 RCM과 정비규정의 상호관계 설정

RCM은 정비프로그램을 최적화하기 위한 체계적인 접근방법이며, 정비규정은 정비효과를 감시하기 위한 규제방안이라 할 수 있다. 신뢰도기반정비(RCM)의 목적은 중요한 기능을 수행하는 기기의 고장을 예측, 예방 또는 최소화할 수 있도록 정비프로그램을 최적화 함으로서 궁극적으로 발전소 안전성 및 이용률을 향상시키기 위한 것이며, 고장 예방과 정비비용 측면에서 가장 효과적인 정비방법을 찾음으로서 정비에 소요되는 비용을 절감하기 위한 것이다. 이에 반해, 정비규정은 원전의 안전성에 큰 영향을 주는 기기의 고장 최소화/수행능력 보장 및 운전기간 동안의 효과적인 정비 등을 위한 정비규제 요건이다. 즉, 정비규정은 위험도에 근거한 성능기준 법령으로서 원전의 구조물, 계통 및 기기들의 성능을 감시할 것을 요구하고 있다.

RCM의 중요기기와 정비규정 대상 SSCs를 결정하는 방법은 서로 같다. 그러나 정비규정은 주로 안전기능 측면만 고려하지만 RCM에서는 안전기능측면뿐만 전력생산 측면도 고려한다. 따라서 RCM의 중요기기 결정방법을 정비규정대상 기기 선정방법으로 사용할 수 있다. RCM의 정비규정의 개념적인 관계는 [그림. 3]과 같다.



[그림. 3] RCM과 정비규정의 개념적 관계

### 3. 중요기기 결정방법

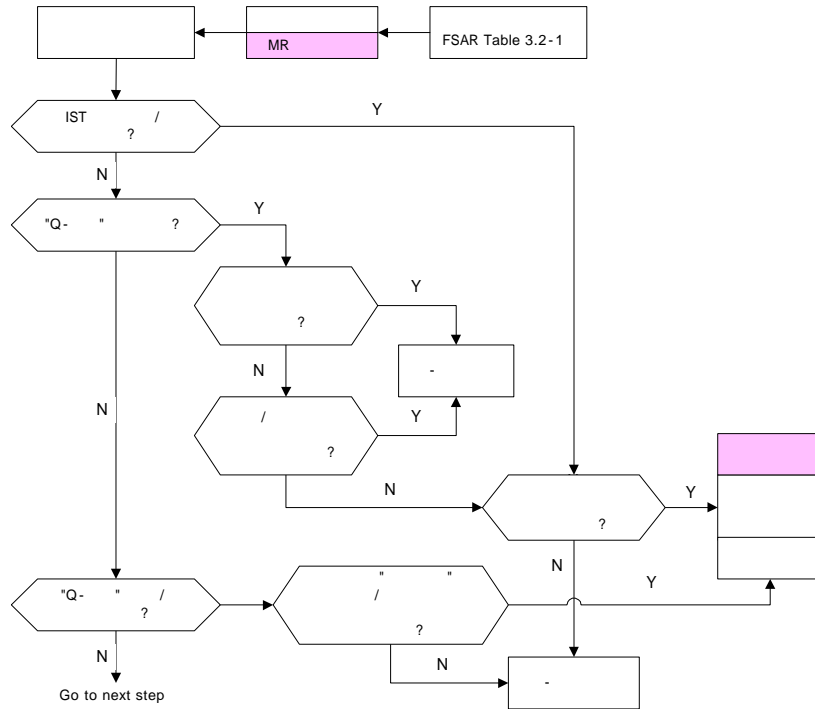
국내 원전은 안전등급이 부여된 주요 펌프 및 밸브에 대하여 안전기능 수행능력을 확인하고 원자로 가동기간동안 시간의 경과에 따른 취약한 정도를 감시, 평가하기 위한 가동중 시험 규정<sup>[9],[10],[11]</sup>의 이행목적으로 펌프 및 밸브 가동중 시험계획서<sup>[12]</sup>를 작성, 운영하고있다. 이 계획서에는 펌프/밸브의 안전등급 분류결과와 시험대상 펌프/밸브에 대한 시험계획이 기술되어 있으며, 가동중시험 대상기기 결정 기준은 RCM분석 단계에서 안전관련 중요기기 결정기준과도 일치하며, 정비규정 b(1) 기준과도 일치한다. 그리고 품질관리 활동을 효과적으로 수행하기 위하여 설계단계에서 고려한 품질군(Quality Group)과 내진등급(Seismic Category)을 고려하여 안전성등급(Safety-Related Class: "Q"등급), 안전성영향등급(Safety-Impact Class: "T"등급), 신뢰성등급(Reliability-Critical Class: "R"등급), 및 일반산업등급(Industrial Standard: "I/S"등급)으로 품질등급(Quality Class)<sup>[8]</sup>을 분류하여 관리하고 있다. 상기 품질등급 중 "Q"등급 분류 기준은 "원자로냉각재 압력경계의 건전성을 보증해야 하는 설비, 원자로를 안전정지 시킨 후 계속적인 안전 유지 기능을 가진 설비 및 10 CFR 100에 서술된 소외 주민 피폭선량 초과를 유발할 수 있는 심각한 사고를 완화, 방지하는 기능을 가진 설비의 등급"으로 규정하고 있으며, 이 또한 안전관련 중요기기 결정기준 및 정비규정 b(1) 기준과 일치한다.

정비프로그램의 최적화를 위한 RCM에서는 발전소 안전성 및 전력생산에 영향을 미치는 기기를 찾아내기 위한 고장영향 평가를 수행하며, 정비규정 이행을 위해서는 정비효과 감시대상에 포함시켜야하는 SSCs 결정을 위한 고장영향 평가를 수행하게된다. 고장영향 평가를 위해서는 중요도결정목록을 먼저 작성해야하며, 이 목록은 관리대상 기기를 결정하는 기준이 된다. 효과적이고 일관성 있는 분석이 이루어지기 위해서는 각 항목에 대한 세부평가기준이 수립해야한다. 영광 1 발전소 RCM분석을 위하여 정비규정과 해외사례를 참고하여 [표. 1]과 같이 중요도결정목록을 작성하였다. 이 목록 중 '항목 A'는 정비규정 b(1)항과 일치하므로 여기서 수립한 세부 평가기준은 정비규정 범위에 포함시켜야하는 안전관련 SSCs 결정방법으로 사용하기에 충분하다. 안전관련 중요기기 결정을 위한 세부 평가기준은 다음과 같다.

[표. 1] 중요도 결정목록

Plant : Comp ID :	System :	
<b>평가하고자 하는 기기의 고장이 발생할 경우</b>		
A. 다음의 안전기능 수행능력을 상실 또는 저하시키는가 ?	Y	N
a. 원자로냉각재계통(RCS) 압력경계 건전성 유지기능		
b. 원자로 안전정지 및 안전정지 유지기능		
c. "방사선량 등에 관한 규정"(고시 제96-35호)에서 정한 소외피폭선량 제한치를 초과할 우려가 있는 상황을 예방하거나 완화시키는 기능		
B. 전력생산에 영향[원자로 또는 터빈 (부분)정지, 출력감발, 과도상태 유발, 발전소 기동지연 등]을 주는가 ?	Y	N
C. 기술지침서의 운전제한조건(LCO)을 위반하는가 ?	Y	N
D. 공학적 안전설비(ESF) 동작을 유발하는가 ?	Y	N
E. 안전관련 기능에 영향을 주는 비-안전관련 기기의 기능을 상실시키는가 ?	Y	N
F. 사고/과도현상완화기능을 수행하는 비-안전관련 기기의 기능을 상실시키는가 ?	Y	N
G. EOP 또는 AOP에 사용되는 비-안전관련 기기의 기능상실을 유발하는가 ?	Y	N
H. 중요 고장모드(Critical Failure Mode)로 분류해야 할 다른 이유가 있는가 ?	Y	N
<b>Component Critical ?</b>	<b>Y</b>	<b>N</b>

품질등급분류결과를 활용하여 안전관련 중요기기{[표. 2]의 항목 "A"} 여부를 평가하며, 평가 절차는 [그림. 4]와 같다. 평가대상은 가동중 시험대상 펌프/밸브, "Q-등급" 기계, 전기, 계측설비로 한정하여 평가하며, 세부 평가방법은 다음과 같다.



[그림. 4] 안전관련 중요기기 결정 흐름도

분석대상 기기가 가동중시험 대상 펌프/밸브인 경우 각각의 고장모드에 대하여 가동중 시험계획서와 "원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정"을 참조하여 안전기능을 상실 또는 저하시키는 고장모드인가를 평가한다.

가동중시험 대상에서 제외된 펌프/밸브를 포함한 기타 안전성등급("Q"등급) 기계설비인 경우 각각의 고장모드에 대하여 P&ID의 설비등급 분류결과와 "원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정"을 참조하여 안전기능을 상실 또는 저하시키는 고장모드인가를 평가한다. "Q-등급"으로 분류된 기기라도 아래에 해당하면 비-중요 기기로 분류한다.

- 운전 편의를 위해서만 사용되는 밸브(예; 배기, 배수, 계측기, 시험용)
- 계통, 기기 보수 목적으로만 사용된 밸브

안전성등급("Q"등급) 전기/계측설비에 대해서는 각각의 고장모드가 안전관련 "중요기기"와 관련한 아래의 전기/계측 기능을 상실 또는 저하시키는 고장모드인지 그리고 기술지침서의 운전제한조건 확인 기능을 상실하거나, 안전관련 계통의 상태, 정보 제공기능을 상실 또는 저하시키는 고장모드인지를 평가한다.

- 안전관련 "중요기기"에 구동전원이나 동력을 공급하는 기능.
- 안전관련 "중요기기"에 안전기능 수행에 필요한 수동 또는 자동작동을 위한 정보를 제공하거나 그 설비를 제어하는 기능.

- 안전성 관련 “중요 기기”의 안전기능 수행에 필요한 전원공급 또는 신호송신 기능.
- 안전성 관련 “중요 기기”가 적절한 안전기능을 수행하도록 보장하거나 유지하기 위한 수동 또는 자동의 연동기능.
- 안전성 관련 “중요 기기”의 상태감시(Condition Monitoring) 기능

#### 4. 결 론

RCM과 정비규정과 상호 연관관계에 대해 알아보고 RCM 연구과정에서 정립한 중요기기 결정방법을 정비규정 대상 SSCs를 결정하는 방법으로 활용하는 방안에 대해 연구하였다. 정비규정은 안전관련 SSCs와 일부 비-안전관련 SSCs에 대한 정비효과를 감시하도록 요구하고 있다. 국내 원전에서도 안전관련 설비들은 각종 규정에 따라 적절하게 등급을 분류하여 관리하고 있다. 현재 진행중인 영광 1발전소 RCM분석 연구에서 설비 등급분류결과를 중요기기 결정과정에서 활용하여 분석의 일관성과 효율성측면에서 많은 효과를 보고있다. RCM에서 다루는 안전관련 기능 분류 방법은 정비규정에서 제시하는 안전관련 SSCs에 대한 정의와 일치하며, 이를 활용함으로써 정비규정 대상 중요기기를 결정할 수 있다. 또한, 이를 잘 활용한다면 정비규정 이행시 소요되는 노력의 상당부분이 경감될 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Requirements for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants, USNRC, 10CFR50.65
2. Monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants, USNRC, Reg. Guide 1.160 rev.2
3. Industry guidelines for monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants, NUMARC 93-01 rev. 2
4. Comprehensive low cost reliability centered maintenance, EPRI, 1995.9, TR-105365
5. Performance centered maintenance(PCM) methodology, ComEd, ER-AA-210
6. Preventive maintenance basis development, PVNGS, 30DP-9MP08
7. Reliability Centered Maintenance(RCM) Handbook rev.2, Limerick Generating Station, 94.8
8. 품질등급 분류 및 관리, 영광원자력본부, 1996.12, 영일-품질-3-1
9. 원자로시설의 가동중 점검 및 가동중 시험에 관한 규정, 과학기술부, 1998.4, 고시 제98-15호
10. 원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정, 과학기술부, 1994.4, 고시 제94-10호
11. Inservice testing of pumps and valves, 영광 1,2호기 FSAR 3.9.6
12. 영광 1,2호기 안전등급 펌프 및 밸브 가동중시험계획서, 1997.10
13. 정비규정의 국내 원전 적용 첫 타당성연구, 김길유 외, 한국원자력학회, '98년 추계학술발표회, 1998.10
13. 정비규정프로그램 연구, 황미정, 김길유, 한국원자력학회, '99년 춘계학술발표회, 1998.10