'99 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

정비 규정 이행을 위한 신뢰도 중심 정비(RCM) 기법의 역할

A Role of Reliability Centered Maintenance Methodology for Maintenance Rule Implementation

최상훈, 박희묵, 곽병무

한전기공주식회사
경기도 성남시 분당구 금곡동 196번지

요 약

정비규정은 그 이행을 위해 Risk-informed 개념의 고려를 요구하는 Performance-based 규정이다. 그리고 신뢰도 중심 정비(RCM)는 정비 프로그램을 최적화 하기 위한 Performance-Based 접근 기법이다. 따라서 RCM은 그 근본적인 개념 때문에 정비규정을 훌륭하게 지원 할 수 있으며 고장의 원인에 근거하여 가장 적절하고 효과적인 정비업무를 식별하는 RCM 개념은 계통 및 기기가 그들 본래의 기능을 확실히 수행할 수 있다는 기초를 마련해 준다. 뿐만 아니라 정비규정의 목적이 정비 효과성을 감시하여 궁극적으로는 발전소 안전성을 확보하자는 것이지만 실질적으로는 이용 가능한 재원을 효과적으로 활용토록 하는 것이 이행 과정의 주요 사항이다. 따라서 정비규정의 적절한 이행과 활용은 RCM과 더불어 발전소 정비 최적화를 위한 좋은 접근 방법이 될 수 있다. 더구나 RCM과정은 living프로그램을 요구하며 정비규정 감시는 RCM분석의 효과성을 평가하기 위하여 필요한 Feedback을 제공해 주므로 상호 좋은 보완 관계에 있다.

Abstract

Maintenance rule is a performance-based rule that calls for risk-informed considerations for its implementation. And Reliability Centered Maintenance is a performance-based approach to optimize maintenance program. Therefore, RCM methodology can support the maintenance rule implementation due to its basic concept and provides the basis to ensure that systems and components are capable of performing their inherent functions. Furthermore, the object of maintenance rule implementation is to ensure the plant safety through monitoring the effectiveness of maintenance but it is a important matters that applicable resources effectively use in its implementation process. For that reason, appropriate use of the maintenance rule can become a excellent approach for maintenance optimization with RCM. And RCM process requires the living program and maintenance rule monitoring provides feedback necessary to assess the effectiveness of RCM analysis.

1. 서론

"원자력 발전소에서의 정비 유효성 감시"라는 제목하의 정비 규정이 미국에서 발표되어 미국내 전 원전에서는 1996년 7월 10일부터 이규정을 적용하고 있다. 정비규정은 그 이행을 위해 Risk-informed 개념의 고려를 요구하는 Performance-based 규정이다. 이것은 규정에서 요구하는 주요 활동이 규정의 범위 내에 있는 구조물, 계통, 기기(SSC)의 성능이나 상태를 감시하는 것이라는 개념의 Performance-based 규정이며, 추가적인 활동과 개선 조치는 SSC의 성능이 발전소 고유의 성능 기준값 이하로 떨어질 때만 요구된다. 또한 이 정비 규정은 성능감시 요구사항 및 저하된 성능에 대해서 요구되는 대응방안이 SSC의 Risk 중요도에 따라 등급이 정해진다는 개념의 Risk-informed 규정이다. 일반적으로 Risk-Significant 설비에 대해서는 더 특별한 성능 기준과 더 상세한 고장 평가, 그리고 더 엄격한 주기적 평가를 요구하는 반면 적은 안전성 영향을 가진 설비는 더 적은 노력과 주의를 요구하고 있다.

정비 규정이 제정된 궁극적인 목적은 전반적인 정비 프로그램을 효과적으로 관리함으로써 정비로 인한 원전의 위험도를 최소화하기 위한 것이다. 더불어서 이용 가능한 재원을 효과적으로 활용토록 하는 것이 이 정비규정 이행 프로그램의 주요 사항이며 이러한 측면에서 현재 정비 최적화 기법으로 활용되고 있는 기능 중심의 RCM 기법은 그 기본적인 개념 때문에 정비규정 이행을 지원해 줄 수 있는 훌륭한 도구 중에 하나이다. 반대로 정비규정은 RCM평가를 위한 living프로그램을 제공하기 위한 강력한 지원도구가 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이 정비 규정이 국내 원전에 적용될 경우 RCM이 어떻게 정비규정을 지원 할 수 있고 어떻게 사용 가능한 재원을 최대화 할 수 있는지를 RCM의 견지에서 검토, 분석하였으며 정비 규정 이행 요구사항과 RCM 이행 과정을 비교하여 상호 부합되는 점과 부합되지 않는 점을 분석하였다.

2. 정비 규정 이행 과정상의 RCM 역할

정비 규정 이행의 일차적인 주요 항목은 ①정비 규정 범위 내의 구조물, 계통, 기기(SSC) 선정, ② 위험 중요도 및 성능 기준 수립과 목표설정 및 감시, ③ 효과적인 예방정비 프로그램에 해당하는 SSC 식별, ④ 정비 활동 수행으로 인한 위험도의 평가, ⑤ 주기적인 정비 유효성 평가, ⑥ 관련 문서의 서류화 등이다. 이와 같은 정비 규정의 이행과정에서 RCM의 역할을 보다 명확히 하기 위하여 정비 규정 전반에 대하여 다루기보다는 각 과정별로 RCM이 어떻게 지원할 수 있는지를 분석하였다.

가. 정비 규정 범위 내의 구조물, 계통, 기기(SSC) 선정

정비 규정 이행을 위한 첫 번째 단계는 전체 발전소 설비들 중에서 정비 규정 적용 대상 SSC를 선별한 다음 Risk-Significant SSC를 식별하는 것이다. 따라서 어떤 계통이 규정의 범위 내에 포함되는 것으로 결정된 다음에는 관련 기기 들을 선별해야 하는데 RCM은 규정의 범위 내에 있는 관련 기기 들을 식별하는데 사용될 수 있다. 중요한 계통기능을 지원하는 기기 들은 기능 중심 RCM 분석의 계통 기능고장 분석(Functional Failure Analysis) 단계에서 식별되며 고장 모드 및 영향 분석(FMEA)에서 어떤 기기의 고장이 발전소에 미치는 영향을 평가하는 것은 발전소를 정지시키거나 안전 계통을 작동

하게 하는 기기 들을 식별하는데 도움을 줄 수 있다. 물론 이 단계는 PSA, IPE, EQ,프로그램 등이 활용되지만 이 것만으로는 충분치 않으므로 RCM과 같은 정성적인 평가를 통하여 보완되어야 하는 것이다.

좀더 현실적인 측면에서 보면 어떤 계통이 규정의 범위 내에 포함되도록 식별되었을 때 이 계통에 포함되어 있는 모든 기기 들을 정비 규정 적용 대상 기기로 선별하는 것은 다음 이행 단계를 고려 할 때 무리가 있다. 즉, 성능 감시 및 고장 이력 관리, 정비 유효성 평가, 서류화 등과 같은 후속적인 업무를 수행해야 하는 부담이 주어진다. 계통내의 기기들 중에는 고장이 나더라도 직접적으로 계통 중요 기능의 고장 원인이 되지 않는 기기들이 있으며 이러한 기기들은 범위에서 제외하는 것이 적절하다. 또한 실질적으로 모든 기기들을 정비 규정 범위에 포함하여 관리하는 데는 많은 노력과 예산, 인력이 필요로 된다. 이러한 이유로 계통이 수행하는 여러 기능 중에서 중요 기능을 선별하고 이 기능과 관련된 기기들 만을 식별하여 규정의 범위에 포함하는 것이 타당하다. 이러한 측면에서 볼 때 기능 중심의 RCM은 계통 기능고장 분석(FFA)을 통하여 각 계통의 기능을 분석하며 각 기능과 관련된 기기들을 식별하게 되는데 이 결과를 정비 규정 이행에 활용할 수 있다.

뿐만 아니라 NUMARC 지침서(93-01)에서는 정비규정 범위 외의 SSC에 대해서도 적절한 정비 활동의 수행을 요구하고 있는데 일반적으로 규정 범위 밖에 있는 계통 및 기기 들은 정비와 관련된 요구사항들이 정해져 있지 않다. 그러나 RCM분석은 그러한 계통에 대해서도 적절한 정비업무를 식별해 준다.

나. 위험도 및 성능 기준 설정/목표 설정

RCM분석은 지금까지의 여러 사례연구에서 실증된 것처럼 계통의 성능을 개선하는데 도움을 줄 수 있다. 만약 어떤 기기의 고장결과가 계통의 중요한 기능에 영향을 미친다면 적절한 예방정비 업무가 부여되거나 어떤 적절한 체계가 그 고장을 예측 또는 감지하도록 갖추어져 있어야 한다. 이러한 평가 과정은 정비로 예방할 수 있는 기기의 기능 고장을 예방하는데 도움을 준다.

정비규정에서 저하된 성능의 SSC가 목표설정을 해야하는지 아닌지를 결정하는데 있어서의 중요한 요소는 저하된 성능이 정비로 예방할 수 있었느냐 없었느냐를 평가하는 것이다. 즉, 정비로 예방 할 수 있는 기능 고장(Maintenance Preventable Functional Failure)이었느냐를 평가하는 것이다. 평가 결과 정비로 예방 할 수 있는 기능 고장일 경우는 성능 감시 목표를 설정해야 하며 이런 면에서 RCM은 정비로 예방할 수 있는 기기의 기능 고장 원인을 식별하여 다루기 때문에 적절히 지원할 수 있다. 또한 RCM은 고장을 예측하거나 예방하기에 가장 적절하고 효과적인 예방정비 업무를 식별하여 서류화하는 체계적이고 논리적인 접근방법을 사용한다. 그러므로, 이 RCM분석은 정비로 예방할 수 있는 계통 및 기기의 성능에 대한 직접적인 기초 자료를 제공한다.

정비 규정 이행시 만약 고장이 계통의 중요한 기능에 영향을 미치지 않는다면 Run-to-failure 전략을 택하게 되며, 정비규정 담당자는 Run-to-failure 전략에 대해 의

도적으로 이 방법을 결정했는지 여부를 판별하게 된다. 이 때 RCM 분석 내용을 활용할 수 있는데 이것은 RCM은 기기의 Run-to-failure가 계통과 발전소에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 평가하고 정비 업무 선정 단계에서 Run-to-failure 방법을 고려하여 판단하기 때문이다. 만약 Run-to-failure를 의도적으로 결정한 이유가 어떤 고장이 중요한 기능상실의 원인이 되지 않기 때문이었다면 그것은 정비로 예방할 수 있는 기능고장이 아니며 정비 규정 a(1)범주의 계통으로 등급을 조정하지 않아도 된다.

다. 효과적인 예방정비 프로그램이 이행되는 SSC의 판별

정비 규정에서는 SSC의 성능이나 상태가 적절한 예방정비를 통해 효과적으로 관리되고 있고, 이러한 SSC의 성능이나 상태가 여전히 본래의 기능을 수행할 수 있다는 것이 증명된 곳에서는 (a)(1)항에 규정된 감시는 요구하지 않고 있다. 효과적인 예방 정비 프로그램이란 기기 고장은 최소화하고, SSC 성능은 유지 또는 향상하여 원하는 결과를 성취하는 프로그램을 말한다.

RCM은 기존의 예방정비 프로그램을 검토하여 적절한 예방 정비, 상태 감시 및 시험에 대한 권고 사항을 만들어 낸다. 또한 RCM은 계통의 고장 이력 검토 결과와 새로운 정비 기법을 검토 한 다음 RCM 분석 과정에 반영하여 계통성능을 향상시키기 위한 예방정비 프로그램을 조정하기 때문에 정비의 유효성을 평가한다고 말 할 수 있다. 주기적인 예방정비, 상태 감시, 검사, 시험, 고장 추이 분석 등이 SSC의 만족한 성능을 보장하기 위해 적용가능하고 효과적인 예방 정비 활동을 결정하는데 이용 가능한 방법들이다.

뿐만 아니라 정비 이력의 검토 분석은 반복되는 정비를 수행한 그런 기기 들과 비효과적인 정비로 인해 재 작업한 항목들은 식별 할 수 있으며 이러한 정비 감시 및 정비 규정 평가는 정비의 유효성 여부를 평가하기 위한 RCM으로의 Feedback을 제공 해준다. 반면에 정비규정은 초기 분석이나 재분석을 해야하는 계통의 순위를 정하는데 도움을 줄 수 있다. 만약 계통이 a(1)범주의 계통으로 분류되었다면 RCM 분석 대상 계통의 상위등위로 정해져야하며 어떤 계통이 고장 날 경우 발전소를 긴급정지 시키는 결과를 가져오고 이것이 a(1)범주에 해당하는 계통이라면 가능한 한 빨리 분석 일정이 잡혀야 할 것이다.

라. 정비 활동 수행으로 인한 위험도의 평가

정비 규정에서는 서베일런스, 정비 후 시험, 사후 및 예방정비 등 모든 정비 활동을 수행하기 전에 이러한 정비 활동의 결과로 초래되는 위험도의 증가를 평가하고 관리할 것을 요구하고 있다. 이러한 요구 사항의 배경은 정비 활동이 안전성을 유지하는데 필요한 발전소 설비의 신뢰도 수준을 제공하기 위하여 수행되어야 하며 안전성, 신뢰도, 이용도에 대한 이득과 잠재적인 영향 사이의 균형을 이루기 위하여 주의 깊게 관리되어야 한다는데 있다. 위험도를 평가하는 방법은 정량적, 정성적, 혼합된 방법이 있다.

RCM은 유지하려고 하는 주요한 발전소 안전성 기능을 식별하기 때문에 정성적으로 위험도 평가를 지원할 수 있다. 기능 중심의 RCM에서는 FFA와 FMEA를 통하여 중요

한 발전소 안전성 기능과 이 기능을 유지하는데 필요한 기기 들이 식별된다. 따라서 이러한 분석 결과는 위험도를 평가하기 위한 기초자료로서 제공될 것이다. SSC를 운전중지 함으로 인하여 초래되는 발전소 전체의 영향은 RCM 과정에 의해서 개선될 수 있는데 이것은 RCM분석이 계통 운전 중에 수행될 수 있는 비관입성 상태 감시를 권고하기 때문이다. 그렇게 함으로서 기기가 많은 시간 운전중지 되거나 가동할 수 없는 상태로 되는 것을 최소화 되도록 할 수 있다.

마. 주기적인 정비 유효성 평가

정비 규정에서 요구하는 주기적인 정비유효성 평가는 성능 및 상태감시 활동과 관련 목표 그리고 예방정비 활동은 적어도 24개월을 초과하지 않는 매 핵연료 재장전 주기로 수행되어야 한다는 것이다. RCM분석은 일반적으로 한 분석가에 의해서 1년에 단지 3-4개 계통만을 분석할 수 있기 때문에 시간이 많이 소요되므로 정비규정 이행 초기에는 주기적인 정비 평가를 위해서 요구하는 정해진 시간에 부합될 수는 없다. 그러나 정비규정의 범위 내에 있는 모든 계통에 대한 RCM 분석을 완료한 다음에는 FMEA나 Critical기기 선정 등이 사전에 수행 되어있기 때문에 규정의 요구사항에 보다 더 빠르게 대응할 수 있다.

정비규정은 최적화된 예방정비 프로그램을 요구하며 RCM은 계통이 운전 중지되는 시간을 가능한 한 최소화할 수 있도록 하는 비관입성 상태감시 방법을 지정한다. RCM 과정을 통해서 권고된 업무들의 최적화는 계통의 가동성을 증가시키며 이 때문에 SSC에 대한 정비를 정하는데 적절하다. 또한 RCM은 정비재원의 사용을 최적화 할 수 있는 가장중요한 기기에 초점을 맞춘다.

바. 규정 이행 과정상의 모든 문서 서류화

NUMARC 지침서에서는 정비규정 이행과정중의 모든 서류들이 서류화되어야 한다고 언급하고 있다. 우선 정비 규정 적용 대상으로 식별된 SSC 목록과 선정 근거들이 문서화되어야 한다. 그리고 초기의 성능 기준 및 근거, 설정된 목표값 및 원인 결정 결과, 감시및 추이 분석 활동, 이러한 활동의 결과로 취해진 조치들의 문서화를 요구하고 있다.

예방 정비 프로그램에 관련된 활동들은 적절한 발전소의 관리 절차에 따라 문서화되어야 한다. 예를 들어, 수리, 시험, 검사 또는 기타 정비 활동의 결과들은 발전소 특정 절차에 따라 문서화되어야 한다. 그리고 정비 규정 이행 프로그램의 주기적인 평가 내용 및 결과의 문서화를 요구하고 있다.

RCM에서는 모든 분석과정과 living 프로그램을 위한 주기적인 평가 내용이 서류화된다. 즉, 분석 대상 계통 선정 과정, 계통 기능 고장 분석 내용, 각 계통 기능 관련 기기 식별 내용, 기기 고장 모드별 영향 분석 내용, 고장 모드별 고장 원인 식별 내용, 정비 업무 선정 과정, 정비 이력 분석 내용, Living 프로그램을 위한 주기적인 평가 내용 등이 서류화된다. 따라서 RCM은 NUMARC 지침서에서 요구하는 서류화 사항에 부합되며 정비 규정 이행에 필요한 관련 문서의 서류화를 지원 할 수 있다.

3. 정비규정 요구사항과 RCM 과정의 비교

가. 부합되는 점

정비규정 요구 사항	R C M 과정
◇ 효과적인 정비를 통한 발전소의 **안전성 유지** 요구	◇ 적절하고 비용 효과적인 정비에 의해서 향상된 기기 신뢰도를 통하여 발전소 **안전성을 유지**하고 효율을 증가
◇ 적절한 SSC와 관련 정비업무를 결정하는데 **체계적인 과정**을 포함할 것을 요구	◇ 계통 및 기기 선정, 계통 및 기기의 고장 분석, 정비업무 분석을 위한 **체계적인 과정 제공**
◇ 정비프로그램을 이행하는데 있어서 현재의 발전소 정비 프로그램 및 정비활동의 활용을 통한 **통합된 접근을 권고**	◇ **정비 조직과 부서 외부로부터의 데이터 및 정비 관련 활동을 활용하고 융합**
◇ 정비 프로그램의 **지속적인 감시 및 주기적인 평가** 요구	◇ RCM과정은 **Living프로그램**을 포함하고 있는데 **현재의 상태에서 가장 적절하고 비용 효과적인 업무가 결정되어 수행되도록** 하고 이러한 평가를 할 때 산업체의 운전경험을 활용하도록 강조
◇ 정비에 대한 **신뢰도 접근 방법이** SSC의 위험 중요도를 설정하는 한가지 방법이라고 언급.	◇ Critical한 안전성 기능을 수행하는데 필요한 SSC를 결정 할 때 **신뢰도를 바탕**으로 하고 정성적으로 지원함
◇ SSC선정 과정과 a(1) 및 a(2)활동을 **서류화**하라고 기술	◇ RCM과정은 계통 및 기기의 선정 기준과 PM 업무의 기술적인 근거를 **서류화**함
◇ **안전성 기능에 영향을 주는 비 안전성 관련 SSC에 대한 고장모드의 식별 요구**	◇ RCM은 계통의 관련 기기에 대한 **지배적인 고장모드와 고장원인을 식별**하고 평가함
◇ 발전소 고유 또는 산업체 경험을 바탕으로 **원자로 불시정지나 안전성 계통의 작동 원인이 되는 비 안전성 관련 SSC 고장의 식별 요구**	◇ RCM은 RCM 과정의 일부분으로서 **발전소 고유 및 산업체에서 경험한 고장모드 및 원인 데이터를 검토**함
◇ 계통의 성능기준을 결정하는데 **계통 시험과 성능감시 데이터를 사용**하도록 권고	◇ RCM은 **현재의 시험 업무를 평가**하고 기기 고장을 예방하는 새로운 업무와 일상적으로 설비성능을 감시하는 업무를 권고함

나. 부합되지 않는 점

정비 규정 요구 사항	R C M 과정
◇ 정비규정은 기기 운전성을 달성하기 위한 가장 효과적인 방법을 요구하지 않고 대신에 **적절한 업무를 식별**하도록 하고 있음.	◇ RCM은 기기 운전성을 달성하는데 있어서 PM업무의 **적절성과 비용효과성을 둘다 고려하여** 업무를 선정하도록 초점을 맞춤
◇ 정비 규정의 SSC범위는 통상적인 **RCM프로그램 범위보다 더 적음**	◇ RCM은 발전소의 PM이념과 평가 기법을 통한 **전체적인 PM프로그램의 최적화/개량화**에 초점을 맞춤
◇ 정비 규정에서는 기기 수준이 아니라 **계통/계열 수준의 감시**를 요구하고 있음	◇ RCM은 중요한 계통기능과의 관련성에 따라 **기기 수준의 신뢰도 및 운전성에 집중**함
◇ 발전소 **고유 또는 산업체 운전 고장 경험**에만 제한하고 있음	◇ RCM은 **경험뿐만 아니라 잠재적인 고장**을 포함하는 지배적인 고장모드 및 원인을 평가함
◇ 정비규정은 계통/계열의 신뢰도와 이용불능도의 균형을 유지하고 정비활동으로 인한 발전소의 Risk를 평가하도록 요구	◇ RCM은 **각 기기나 기기 그룹에 대한 정비활동을 최적화** 하는 것을 찾는 것임

4. 결론

RCM과 정비 규정은 둘 다 Performance-Based 개념을 고려한 기법과 규정이라는 점에서 그 일치성이 있기 때문에 RCM은 많은 부분에서 정비 규정 이행 과정을 지원이나 보완 할 수 있는 것으로 분석되었다. 물론 정비 규정을 이행하기 위해서는 PSA, IPE 그리고 Expert Panel, 다른 신뢰도 기법 등이 지원되어야 하지만 RCM 기법은 효과적인 정비 프로그램의 유지라는 측면에서 정비 규정과 밀접한 공통점이 있기 때문에 다른 평가 기법보다 많은 부분을 지원할 수 있는 것으로 판단된다.

정비 규정 이행의 중요한 사항은 초기의 프로그램을 개발하는 것보다도 주기적으로 평가하여 개선, 보완하고 지속적으로 감시하는 것이다. RCM과정은 living프로그램을 요구하며 정비규정 감시는 RCM분석의 효과성을 평가하기 위하여 필요한 feedback을 제공해 준다. 즉, 정비규정 감시 프로그램에 의해서 이루어지는 주기적인 평가는 RCM의 living프로그램을 제공해 준다.

설비의 성능 저하에 대한 가장 좋은 방어 수단은 사전에 정비활동을 취하는 접근방법이다. RCM은 이러한 필요성에 부합되기는 하지만 전체적인 RCM과정이 정비규정을 따

르는데 요구되지는 않는다. RCM기법은 정비활동에 대한 근거를 서류화하기 위하여 그리고 기기 성능이나 정비전략에 있어서 취약한 위험 중요도 계통을 걸러내기 위하여 사용될 수 있다. 또한 RCM은 위험중요도 및 대기 계통들이 그들의 의도된 기능을 수행할 수 있다는 것을 보증하도록 도와준다.

뿐만 아니라 정비규정의 궁극적인 목적이 안전성 및 일부 안전에 영향을 미칠 수 있는 비안전성 관련 SSC의 정비 효과성을 감시하는 것이지만 실질적인 이행 과정을 살펴보면 정비 최적화를 기할 수 있는 내용들이 많이 내포되어 있다. 계통/계열의 신뢰도 및 이용 불능도 감시, 고장 근본원인 분석, 주기적인 프로그램 평가, 정비 활동에 대한 Risk 평가 등이 정비 최적화를 위한 과정이라고 말 할 수 있다. 따라서 정비 규정의 적절한 이행과 활용은 RCM과 더블어 발전소 정비 최적화를 위한 좋은 접근 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 10 CFR 50.65, "Requirement for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev. 2(Draft)", 1999. 7
2. Regulatory Guide 1.160, "Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev. 2", NRC, 1997
3. Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev.3(Draft), NUMARC, 1999. 7
4. "RCM 기술과정 해외 훈련 보고서", 한전기공(주), 1996
5. "신뢰도 중심 정비 분석 방법 개발 및 영광 1,2호기 시범계통 분석 연구 보고서", 전력연구원, 1999
6. "Handbook on Safety Related Maintenance", IAEA, 1993
7. "Reliability Centered Maintenance Handbook", EPRI, TR-100320, 1992