

정비 규정 도입 타당성 연구

A Feasibility Study on Adopting the Maintenance Rule

황미정

김길유

Meejeong Hwang

Kilyoo Kim

대전광역시 유성구 덕진동 150, 한국원자력연구소, 305-353

e-mail : mjhwang@kaeri.re.kr, kykim@kaeri.re.kr

요 약

국내 원자력발전소에서도 신뢰도 정보를 이용한 운영 및 규제가 활발해 지기 시작함에 따라 정비규정에 대한 필요성이 커지기 시작하였다. 본 연구의 목적은 효율적인 정비 및 규제 방안을 제안하기 위한 목적으로 성능위주 규제의 하나인 정비규정의 효용성과 적용방법을 이해하고 국내 도입에 대한 타당성을 제고하는데 있다. 또한, 주기적 안전성 평가 및 신뢰도 중심정비에 대한 소개도 다루었다.

Abstract

In Korea, as risk informed applications and regulations become active, the necessity of Maintenance Rule(MR) has increased. The objective of this study is to understand the effectiveness and the application method of the Maintenance Rule, which is one of the performance-based regulations and to propose the effective maintenance and regulation method. Also, Periodic Safety Assessment (PSR) and Reliability Centered Maintenance (RCM) are introduced a little.

1. 서 론

정비규정(Maintenance Rule)은 미국내의 모든 원자력발전소를 대상으로 1996년부터 시행되고 있는 정비관련 성능기준 규제 조치로, 발전소계통의 적절한 정비를 통해 안전기능이 상실되는 것을 방지하도록 원자력발전 사업자가 효율적인 정비를 수행하게 한다.

현재, 우리나라에서 수행하고 있는 원자력발전소 규제방식은 처방적 규제 (prescriptive regulation)이지만, 국내 원전에서도 신뢰도 정보 이용 운영 및 규제가 활발해지기 시작함에 따라 정비규정과 같은 성능기준 규제 방안에 대한 관심이 증대되고 있으며, 주기적 안전성 평가제도(Periodic Safety Review ; PSR) 및 신뢰도 중심 정비(Reliability Centered Maintenance ; RCM)의 도입으로 이들과 조화를 이룬 정비규정에 대한 요구가 점차 고려되고 있다. 그러나 PSR 시행을 채택한 우리나라는 미국과는 달리 단계적 정비 규정을 적용하는 것이 바람직할 것으로 예상되며, 최소한 신뢰도 정보 이용 응용으로 성능 변화가 초래될 기기에 대해서는 정비규정을 시행하여야 할 것으로 예상된다.

국내에서는 아직 미국의 정비규정을 공식적으로 적용한 적은 없으나, 적용 준비 연구로서 정비규정의 효용성, 방법론을 원자력 연구소에서 연구하여 왔고,^{2,3} 한전과 한전기공에서 신뢰도 중심 정비 (RCM: Reliability Centered Maintenance)와의 연관성을 연구한 바 있다⁴. 특히, 한전에서는 RCM을 더욱 확대할 계획도 있는데, 정비규정과 RCM은 매우 밀접한 관계가 있기 때문에 상호 관계 정립을 명확히 한 후 RCM을 시행하여야 중복투자 및 시행착오를 범하지 않을 것이다. 또, 올해부터 우리나라도 가동중 원전의 PSR 제도를 채택하여 고리 1호기를 시범 원전으로 시행에 들어갔는데 정비규정과 PSR의 관계도 정리할 필요가 생겼다.

그러므로 본 논문에서는 국내 원전에서의 정비규정 적용의 타당성 검토를 위해 정비규정의 전반적인 내용을 검토하고, 미국에서 시행하고 있는 정비규정을 국내에 적용할 필요가 있는지, 또, 적용한다면 국내 적용 시 어떤 방법이 타당할 것인지를 파악하였다. 아울러, 정비규정과 RCM, PSR과의 관계도 간단히 정리하였다.

2. 본 론

2.1 정비규정 내용

미국 정비규정(10CFR50.65)의 내용은 간단하며 일부를 요약하면 다음과 같다.

(a) (1)

- SSC의 성능이나 상태를 운전면허자가 설정한 목표를 기준으로 Monitoring 해야 한다. 목표는 안전성에 부합되고 산업계의 운전 경험을 고려해야 한다. 성능이나 상태가 목표에 미달하면 적절한 시정조치(corrective action)을 취해야 한다.

(a) (2)

- 성능이나 상태가 적절한 예방정비에 의해 효과적으로 조절되는 SSC는 (a)(1)항과 같이 monitoring이 요구되지 않는다.

(a) (3)

- 성능 및 상태 감시와 관련 목표치, 그리고 예방정비 행위를 적어도 매 재장전 주기마다 평가하여야 한다.
- 신뢰도와 이용불능도는 균형을 이루어야 하고 정비이용불능 기기에 의한 안전 기능의 성능에 관한 전반적인 영향을 평가할 수 있어야 한다.

(a) (4)

- 정비 수행에 앞서 정비로 인해 야기되는 위험도 증가에 대해 평가 및 관리해야 한다. 이 평가에 포함되는 대상 SSCs는 위험도 정보 평가를 통해 안전성과 대중의 건강에 미치는 영향이 큰 것으로 제한한다.

2.2 정비규정 도입 배경 및 필요성

원자력발전소의 안전 운전을 위한 규제 사항인 기술지침서 (Technical Specification)에서 요구하는 허용정지시간(Allowed Outage Time ; AOT), 가동중 시험(In-Service Test ; IST) 및 가동중 검사(In-Service Inspection ; ISI) 주기 등에 대한 규제치는 지금까지 대부분 공

학적인 판단에 의해 결정론적으로 설정되어 왔다. 그러므로 이들 규제치가 너무 보수적으로 설정되어 원전의 원활한 운전에 방해가 되어 경제성 면에서 원자력발전의 경쟁력 감소를 초래한다는 의견이 발전사업자들에 의해 제기되어 왔다. 이에 따라 발전사업자들은 그동안 수행된 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment ; PSA) 결과와 오랜 운전경험을 바탕으로 신뢰도 정보를 이용한 각종 규제치의 완화에 대한 연구를 수행하게 되었으며, 실제로 이 연구 결과를 적용하여 규제 완화를 도모하고 있다.

국내·외의 많은 원전 사업자들은 PSA 기법을 활용하여 위험도 증가 허용치 범위 내에서 허용정지시간의 증가를 포함한 기술지침서를 개정했거나 개정 중에 있다. 미국의 원자력 규제 위원회에서는 1993년의 기술지침서 개정에 관한 최종 정책 성명에서 "기술지침서 개정 시 특정 발전소의 PSA 결과 또는 일반적인 PSA 결과를 활용할 수 있다"라고 언급하였고, 1998년도에는 신뢰도 정보를 이용한 의사 결정과 기술지침서 개정 등에 관한 규제 지침을 발표하였다. 이에 국내에서도 영광 1,2호기와 고리 3,4호기의 원자로보호계통과 안전주입 작동계통의 허용정지시간과 시험주기 완화⁶에 대한 연구를 한국전력에서 수행한 바 있다. 국내 규제 기관인 안전기술원에서도 위험도 정보를 이용한 의사 결정에 관한 기본 원칙을 발표한 바 있다.

이와 같이, 발전소의 안전성에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에서 규제를 완화하면 불필요한 발전소의 정지를 줄일 수 있을 뿐 아니라, 운전 중 정비 등이 더욱 활발히 이루어질 수 있다. 그러므로 발전소의 계획예방정비(Overhaul) 기간도 줄일 수 있어 경제적인 측면에서의 효과가 커질 것으로 기대한다. 그러나 원전 운영의 경제성만을 추구하기 위해 신뢰도 정보를 이용해 기술지침서나 규제 사항을 완화시킬 경우, 상대적으로 안전성은 낮아진다. 그러므로 신뢰도 정보를 이용한 규제 완화가 활발히 이루어지고 있는 미국에서는 안전성 유지 측면에서의 보완 조치로 정비규정(Maintenance Rule)을 수행하도록 하고 있다. 국내에서도 신뢰도 정보를 이용한 의사결정이 활발하게 수행되기 위해서는 안전성 확보를 위한 정비규정과 유사한 기능을 가진 규정 확립이 필요할 것으로 예상된다.

정비규정에서는 원자력 발전사업자가 각 SSC(Structures, Systems, Components)에 대해, 그 설계 기능을 수행할 수 있도록 적절한 성능 기준을 설정하고 이를 기준으로 SSC의 성능이나 상태를 감시할 것을 요구하고 있다. 그러므로 정비규정은 발전소 전체를 대상으로 한 안전관련 SSC 또는 비-안전관련 SSC의 성능이나 상태를 감시하여 효율적인 정비가 수행되도록 하는데 있다. 그 결과, 각 SSC가 설계 기능을 수행하도록 하고, 비-안전관련 SSC의 고장으로 인해 안전관련 SSC의 사용을 불가능하게 하여 요구 시 원자로 정지를 위한 기능을 마비시키는 사건이 최소화되도록 한다. 즉, 적절한 정비를 통하여 발전소의 안전 기능이 상실되는 것을 막아 발전소의 위험도가 높아지는 것을 방지하기 위한 규제조치로, 어떤 기기나 계통의 성능 목표를 정하고 감시를 통해 설정된 성능 목표를 초과하지 않게 정비를 수행하도록 한다. 즉, 규제 기관은 발전 사업자가 성능기준에 따라 발전소의 상태를 설정된 성능 기준치 이상으로 유지시키도록 정비를 수행하고 있는지를 규제하는 것이다.

위에서 설명한 바에 의하면, 정비규정은 기술 지침서에서 언급되고 있는 SSC 뿐 아니라 보조(Balance of Plant : BOP)계통까지 감시하는 규제강화의 일환으로만 인식되기 쉽다. 그러므로 규제기관이나 발전사업자 모두 비용 측면에서 그 필요성을 간과할 수 있다. 그러나 현 규제 제도 하에서 생산성을 향상시키기 위한 노력으로 인해 발전소의 안전 수준을 과도하게 저하시킬 가능성이 있다. 실제로 신뢰도 정보 이용 규제를 통해 각종 규제 완화를 시

도하고 있으므로, 정비규정은 이로 인한 위험성을 저하시킬 수 있는 하나의 수단이 될 수 있다. 즉, 규제 완화를 통해 발전소의 경제성을 어느 정도 향상시킬 수는 있으나, 낮아지는 신뢰도로 인해 잠재적으로 안전성이 낮아지는 맹점을 갖는다. 물론, 허용 위험도 증가 제한치를 설정하고 이 기준치 이내로 제한하기는 하지만, 안전성이 낮아짐으로 인해 그만큼 위험 부담은 내재하게 된다. 그러므로 경제성 향상을 위해 신뢰도 정보 이용 규제를 통한 규제 완화 조치가 취해질 경우, 이와 더불어 안전성 유지를 위한 합리적인 정비 기술의 필요성이 대두하게 되었다. 실제로 정량적 위험도에 근거한 정비는 위험도 평가 및 관리능력 향상, 운전에서의 융통성 증가 등의 효과가 있으며, 이를 통해 발전소 안전성 및 경제성 향상의 이득을 얻을 수 있다. 이와 같은 필요성에 의해 정비규정이 시행되었으며, 정비규정 프로그램을 적용하여 얻을 수 있는 이득은 효율적인 정비 활동을 통해 발전소의 성능을 유지 시킴으로써 안전성의 저하를 막아 발전소 불시정지 수를 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 이 성능을 유지하는 범위 내에서 신뢰도 정보 이용 규제를 통해 각종 규제를 완화해 경제성도 향상시킬 수 있다는 데 있다.

그러나 미국의 경우와는 달리 국내에서는 이미 유럽에서 시행되고 있는 PSR을 도입하기로 한 실정이므로, 정비규정의 역할을 검토하고 국내 실정에 적합한가를 살펴봐야 할 필요가 있다.

정비규정의 주요 역할은 크게 다음 2가지로 요약할 수 있다.

- 1) 기기 성능 감시 : 주기적으로 기기의 성능을 감시하므로 신뢰도 정보 이용 정비 및 운영으로 변화된 기기 성능을 감시할 수 있다.
- 2) 배열 변화 감시 : 정비 전에 정비가 원전의 안전성에 미치는 영향을 평가하므로 안전한 정비를 가능하게 한다.

한편, 위의 정비규정 역할을 원활히 수행을 하기 위한 필요 조건이면서 부수적 결과로 정비규정은 다음의 역할도 한다.

- 3) 신뢰도 자료의 수집 : 성능 감시를 위해 기기의 고장, 정비, 점검 이력 등을 수집하여 분석한다.

우리나라의 신뢰도 정보 이용 응용 및 규제에 해당하는 예는 먼저 최근에 인허가를 받은 영광 1,2호기 및 고리 3,4호기의 원자로보호계통과 공학적 안전설비 작동계통 (RPS/ESFAS)의 정기점검 주기 및 허용정지 시간 완화⁶와, 영광 3,4호기 비상발전기 시험주기 완화⁷가 대표적이다. 그밖에 격납건물 종합누설률 시험 주기 연장⁸, 허용정지 시간 변경에 대한 연구⁹, 위험도 정보를 이용한 가동중 시험 방법¹⁰ 등이 있다. 또, 신뢰도 정보 이용 가동중 검사도 내년부터 연구하기로 되어 있는 등 우리나라에서 신뢰도 정보 이용 응용 및 규제가 비교적 활발하며 앞으로 더욱 활발할 것으로 전망된다. 그러므로 기기 성능 감시를 하는 정비규정과 같은 규제 조치가 필요할 것으로 예상된다. 신뢰도 정보 이용 응용 및 규제에 관한 일반 지침인 미국 규제 지침¹¹에도 신뢰도 정보 이용 응용 시에는 성능 변화를 감시할 수 있는 정비규정 같은 프로그램이 필요함을 강조하고 있다. 그러나 PSR은 10년마다 한 번씩 수행하는 발전소의 안전성 평가이므로 지속적인 성능 변화를 감시하기에는 적합하지 않을 것으로 예상된다.

그러나 정비규정의 두 번째 역할은 자발적 운전제한조건 (LCO)에 들어가서 운전 중 정비

(on-line maintenance)를 많이 실시하는 미국의 경우 꼭 필요하지만, 규제에 의해 자발적 운전제한조건에 들어갈 수 없는 우리나라에서는 그 필요성이 반감된다. 따라서 우리나라가 정비규정을 채택하더라도 미국정비 규정의 (a)(4)항은 운전중 정비가 활성화되는 때인 한 전 민영화 후 전기 공급자 자유선택 (Deregulation) 시기가 도래하여 발전 사업자간 경쟁이 치열해질 때까지는 보류해야 할 것이다.

2.3 정비 규정과 RCM, PSR의 관계

본 논문에서는 국내에서의 정비규정 도입 필요성 및 도입할 경우 어떤 형태의 정비규정 도입이 필요한가 등을 논하고 있지만, 미국에서는 정비규정을 도입한지 4년이 지났다. 이제 미국에서 정비규정은 예방정비 (PM) 처럼 늘 있는 정비의 일환이 되었고, RCM은 신규과제로 수행되지 않고 그 개념만 PM 선정 및 개선에 활용되고 있다. 즉, INPO에서는 기기 신뢰도 처리 과정(Equipment Reliability Process)이라고 하여¹² 정비규정, RCM, PM, 그리고 장기 정비 전략을 서로 잘 연관시킨 신뢰도 정보 이용 정비를 제시하고 있다. 따라서, 미국과 달리 PSR을 추가로 고려해야 하는 우리나라에서는 INPO의 기기 신뢰도 처리 과정의 장기 정비 전략에 기기 노후화 (Aging) 관리를 추가하면, 정비규정, RCM, PM, 장기 정비 전략, 그리고 PSR이 서로 결합된 원전 정비 모델을 구성할 수 있을 것으로 기대된다.

새로운 안전기준 적용 및 원전 노후화에 따른 안전 검증 등을 위해 10년마다 가동중 원전의 종합적 안전성을 평가하는 PSR이 고리1호기를 시범대상으로 올해부터 시행되기 시작했다. 그러므로 일부에서는 PSR을 수행하기 때문에 정비규정이 필요 없는 것이 아닌가 하는 의문을 갖는데, 다음과 같은 이유로 PSR을 수행하여도 정비규정은 필요하다.

첫째, PSR은 향후 10년 동안 안전하게 원전이 운영될 수 있는가를 10년을 주기로 점검하는 것이고, 정비규정은 현재의 정비가 효과적으로 잘 수행되고 있는 지를 수시로 점검하는 것으로 상호 비교할 대상이 아니며,

둘째, PSR은 주기가 10년이므로, 신뢰도 정보 이용 규제 실시로 변화하는 성능을 감시 및 정정하기에는 주기가 너무 길다. 그러므로 매 달 또는 최소한 분기별 주기로 성능을 감시하는 정비규정이 필요하다. 또한 이런 성능 감시는 지금 서서히 논의되고 있는 원전 수명 연장을 위한 데이터로도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

2.4 국내 실정에 적합한 정비규정

2.2절에서 논의한 바와 같이 우리나라의 경우는 미국 정비 규정의 (a)(4)항을 일단 보류하였다가 운전 중 정비가 활발해질 경우 시행하는 것이 나을 것이다. 또한, 정비규정의 적용 범위를 처음부터 광범위하게 설정하지 말고 단계적으로 적용범위를 확대해 가는 것이 좋을 것으로 예상되는데, 우선 신뢰도 정보 이용 응용에 의해 성능이 영향을 받는 기기(SSC)부터 정비규정을 적용한다. 예를 들면, 영광 3,4 호기 비상디젤발전기의 경우처럼 비상디젤발전기 신뢰도 프로그램을 시행하는 경우, 시험주기를 완화할 수 있다. 이렇게 시험주기가 변화하는 경우, 성능 변화를 monitoring 하여야 하는데 이런 기기를 정비규정 적용 대상으

로 하는 것이다.

고리 3,4 및 영광 1,2 호기의 RPS/ESFAS의 허용정지시간 및 일상점검주기 (STI: Surveillance Time Interval)를 신뢰도 정보를 이용하여 최근에 완화하였는데, 완화 조건으로 그 계통의 성능을 감시해야하므로 이 계통에 대해 정비규정을 우선 적용한다. 이는 시험 점검 주기가 길어진 경우 시험 중 인적오류가 일어날 가능성이 높아지므로 규제 완화 후의 이런 오류를 방지하기 위한 조치가 필요하기 때문이다.

그 다음 정비규정 범위 대상으로는 일단 PSA에서 모델링하는 SSC를 대상으로 하는 것이 좋다. PSA에서 모델링 된 것이 주요 안전 관련 계통이므로 정비규정 적용이 용이할 것이기 때문이다. 이 후 대상 범위는 정비규정의 원래 제정 취지가 BOP (Balance of Plant) 기기가 안전기기에 영향을 미치는 것을 줄이기 위한 것이기 때문에 전문가 Panel로부터 비안전 계통의 추천을 받아 적용하는 것이 바람직 할 것이다.

3. 결 론

정비가 효율적으로 수행되면 안전 기기의 신뢰도(Reliability), 이용도(Availability) 및 사용가능도(Operability)가 향상되어 안전관련 계통의 고장이 줄고, 이에 따라 불시정지 (Transient) 사건 수도 줄어 안전성 측면에서 향상이 있을 것으로 예상된다. 뿐만 아니라 불시정지 또는 사고를 초래하거나 줄여주는 안전관련 SSC(Structures, Systems, Components)의 고장을 찾아 적절한 조치를 취할 수도 있다. 안전관련 계통의 고장을 줄이는 것은 심층방어 (Defense in Depth; DID) 측면에서의 목적과도 일치한다. 또한, 정비를 수행함으로써 실제 설계기준의 설계 가정과 여유도가 유지되고 기기가 사용 불가능할 정도로 노화하지 않음을 검증하는 것도 중요하다. 그러므로 원자력발전소에서의 정비 업무는 일반 대중의 건강과 안전을 보호하는 측면에서 매우 중요하다.

그러므로 본 논문에서는 효율적인 정비 방안 모색을 위해, 미국에서 정비규정이 시작되게 된 경위와 그 역할을 검토하고 국내에서의 정비규정 시행 필요성을 고려하였다. 그리고 정비규정 시행 시 (a)(4)항은 일단 보류하고, 정비규정 적용 범위도 단계적으로 시행할 것을 기술하였다. RCM도 정비규정과 연관을 진 종합적인 원전의 정비 모델을 고려하여 시행하여야 하며, PSR을 시행하더라도 그 성격이 정비규정과는 다르므로 신뢰도 정보를 이용한 규제 완화를 활발히 수행하기 위해서는 정비규정이 필요함을 밝혔다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. U.S. NRC, "Requirements for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at

- Nuclear Power Plants", 10 CFR 50.65, July 1991
2. 김길유, 외, "정비규정의 국내 원전 적용 첫 타당성 연구", 한국원자력학회, 98추계학술 발표회, 1998, 10
 3. 황미정 외, "정비규정 적용을 위한 성능 기준 평가", 한국원자력학회, 00추계학술발표회, 2000, 5
 4. 최상훈, "정비규정 이행을 위한 신뢰도 중심 정비(RCM) 기법의 역할", 한국원자력학회, 99추계학술발표회, 1999, 10
 5. 조종철 외, "가동원전 주기적 안전성평가 제도화 방안", 한국원자력학회, 97추계학술 발표회, 1997, 10
 6. 김명기 외, "정기점검주기 연장에 따른 RPS/ESFAS 계측설비 드리프트 영향 분석", 한국원자력학회, 99추계학술발표회, 1999, 10
 7. 김승환 외, "영광 3,4호기 비상발전기 신뢰도 데이터베이스시스템 설계 및 구현", 한국 원자력학회, 98추계학술발표회, 1998, 10
 8. 서미로 외, "격납건물 종합누설률 시험 주기연장에 따른 위험도 분석", 한국원자력학회, 98추계학술발표회, 1998, 10
 9. 강대일 외, "울진 3,4호기 허용정지 시간 변경에 대한 연구", 한국원자력학회, 98추계학 술발표회, 1998, 10
 10. 강대일 외, "위험도 정보를 이용한 가동중 시험 방법의 울진 3,4호기 적용", 한국원자 력학회, 98추계학술발표회, 1998, 10
 11. NRC Reg. Guide 1.174, "An Approach for Using Probabilistic Assessment In Risk-Informed Decisions On Plants-Specific Changes to the Licensing Basis", July 1998.
 12. INPO AP-913, "Equipment Reliability Process Description", March 2000.
 13. IAEA, "Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants", Safety Series No. 50-SG-012, A Safety Guide, Vienna, 1994.
 14. 김길유 외, "정비규정 도입 연구", 한국원자력학회, 2000추계학술발표회, 2000. 10
 15. Nuclear Management and Resource Council, NUMARC 93-01, Rev.2, "Industry Guideline for Monitoring the Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Rev.2", 1996. 4