

신규원전 여유도 관리 방안 연구

A Study on the method of Margin Management for New Nuclear Power Plant

박 유 진*

Park, You-Jin

Abstract

In the domestic nuclear power industry, concern about safety of nuclear power plants is continuously increased with the Fukushima nuclear power plant accident. In order to enhance the safety of nuclear power plants, it is important to ensure that the power plants are operating with proper margin within the original design bases. Margin management is the process of ensuring that the NPP designer and operator are aware of the physical and operating limits, and potential and probability of failure, for each component in the plant. All components are subject to margin considerations, but the most important components by scope and attention are those related to safety-related systems and NPP safe shutdown.

키 워 드 : 운전여유도, 분석적여유도, 설계형상, 운전형상

keywords : operational margin, analytical margin, design configuration, operational configuration

1. 서 론

1.1 연구의 목적

2011년 발생한 후쿠시마 원전사고로 원전 안전성에 대한 우려가 지속되고 있는 가운데 국내 원전산업은 그 어느 때보다 원전의 안전성 및 신뢰성 강화를 위해 노력을 기울이고 있다. 이러한 안전성 강화의 일환으로 설계요건과 실제 발전소 형상의 일치성을 보증하고 운전 중인 발전소 가 원 설계기준 내에 적절한 여유도를 가지고 운전되고 있음을 확인하는 방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 국내의 원전의 여유도 관리 현황을 살펴보고 신규 국내 건설원전의 설계 및 운전여유도 관리방안에 대해 논하고자 한다.

2. 원전 여유도 관리 방안

2.1 국내외 여유도 관리 현황

1980년대 미국은 원전건설 시 경제성을 중시하여 기기 제작과 시공에만 중심을 두고 설계결과 자체에는 낮은 여유(Margin)를 부여했다. 또한 발전소 운영자의 설계에 대한 낮은 이해도로 인해 설계변경시 기존 설계결과물에 대한 변경영향 검토가 정확히 이루어지지 못했다. 이에 문제점을 인식한 미원자력위원회(NRC)는 운영원전을 대상으로 설계-형상간 불일치 사항을 검토하였으며 조사결과, 현장 배관상태와 설계문서간 불일치, 설계변경시 설계여유도 확인 미흡 등의 문제가 발견되어 원전 운영자에게 시정조치를 요구했으며 이에 따라 많은 미국의 원전들은 추가적인 설비관리를 위해 엄청난 비용을 지출해야 했다.

국내 건설원전의 설계는 종합설계사에 일임하여 업무를 수행하고 있으나 원전 발주자와 종합설계사간 계약조항에 설계여유도 관리에 대한 요건이 명확치 않고 종합설계사의 지적재산권 문제로 여유도 정보의 이권이 어려운 실정이다. 또한 원전 발주자 측면의 여유도 관리 체계 부재로 설계변경시 원 설계자에 대한 의존도가 심화되고 있다.

국내 가동원전의 경우, 발전소별 품질등급이 높은 기기를 대상으로 운전여유도 감시시스템을 운영하고 있으나 계통 비정상 상황 등 사건 발생시 운전원 조치시간 확보를 위한 Set-point와 실제 운전값간 차이를 감시하는 정도에 머물러 있어 여유도 관리 수준에는 한계를 가지고 있다.

2.2 설계형상 및 운전형상

원전에서 여유도는 모든 SSC(System, Structure, Component)의 설계 및 운전제한치에 포함된 보수성으로 발전소 기술기준 및 규제요건을

* 한국수력원자력 중앙연구원 플랜트건설기술연구소 차장, 교신저자(03101321@naver.com)

만족하고 설계기준의 일관성 확보를 위한 발전소의 설계 및 운전형상의 여유도를 말한다.

설계형상(Design Configuration)은 어떤 계통이 설비형상정보(도면, 기기속성, 자재명세 등)와 정확히 일치되도록 구축되어 있음을 보여주는 것이며 운전형상(Operational Configuration)은 어떤 계통이 발전소 현재 전 모드에서 운전절차서와 일치되게 밸브 라인업, 운전배열, 대기모드 등이 정확히 반영되어 있음을 보여주는 것이다. 운전형상은 설계형상이 설계기준내에 유지되는 동안, 각종 설계변경시 설계형상 이내에서 보수적으로 유지되어야 한다. 즉 설계형상 및 운전형상은 원전 건설 또는 운전중에 항상 적절한 여유도를 확보해야 한다.

2.3 신규원전 여유도 관리(Margin Management) 방안

국내 원전의 설비유지관리 프로세스 및 SSC의 중요성을 고려하여 아래와 같이 신규원전의 여유도 관리방안을 제시하고자 한다.

첫 번째로 여유도 관리 대상 선정을 위해 원전 설비운영프로세스를 검토하였으며, 현실적으로 모든 설비의 여유도를 관리하는 것은 어려우므로 단계적 접근법을 활용하여 가동중시험(In-Service Test)기기 및 발전장비유발기기(Single Point Vulnerability)를 중점적으로 검토하였다. 원전의 가동중시험은 원자로시설의 안전관련 펌프 및 밸브에 대한 안전기능 수행능력을 확인하고 원자로 가동 기간 동안 시간의 경과에 따른 취약화 정도를 감시·평가하기 위한 시험으로 신한울1,2호기 기준으로 43개 밸브와 730개의 펌프가 대상이다. 발전장자유발기기는 자체의 단일고장으로 원자로정지, 발전정지 또는 50%이상의 출력감발 등 발전소 정지 및 과도상태 유발가능 기기이며 신고리3,4 기준으로 총 1,329개의 기기가 대상이다. 계측설비의 여유도 계산의 복잡성(하나의 설비가 타 기기의 여유도에 영향을 미침) 및 여유도 정보 활용성/확장성을 고려하여 여유도관리 대상기기는 가동중시험기기로 선정하였다.

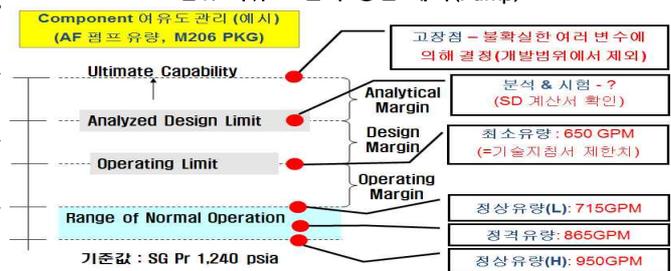
두 번째로 여유도관리가 국내 원전 첫 적용사례임을 고려하여 기기별 기준값 및 특정 설계변수를 관리하고 여유도의 유동적 변화는 고려치 않았다. 여유도 수준은 미국 원자력연구소(EPR)의 모델을 참조하여 운전여유도(Operational Margin), 설계여유도(Design Margin), 분석적여유도(Analytical Margin) 3가지 레벨로 분류하였다.

마지막으로 설계사 지식재산권 확보 및 계약여건 등 현실적인 여건을 감안하여 선정된 기기의 운전 및 설계여유도 정보를 각종 설계기준문서 및 계산서를 기반으로 발췌하여 단계적 DB를 구축하는 것을 고려하였다. 1단계로 특정기기의 온도/압력/유량/응력과 같은 단일 변수 위주로 해당 SSC의 Design Parameter/시운전 시험결과 값/운영단계 정기시험 값 등을 추적할 수 있도록 시스템 UI 구현 및 DB를 구축하고, 2단계에는 설계변경시 Design Parameter값을 Re-calculation 할 수 있는 기반을 제공하여 적정 여유도를 확인 및 유지할 수 있는 방안 마련하였다. 이와는 별도로 신규 설계요건관리체계 구축시 설계계산서에 운전 및 설계여유도 정보를 명시하고 각 요건간 추적성을 부여하도록 계약조항에 해당요건 명시이 필요하다.

표 1. 여유도 관리 수준

여유도 Level	정의
운전여유도	계통 운전한계와 계통 정상운전 영역의 차이 (운영자 관리)
설계여유도	분석된 설계한계와 계통 운전한계의 차이 (설계자 설정)
분석적여유도	한계능력과 분석된 설계한계의 차이

그림1. 여유도 관리 방안 예시(Pump)



3. 결 론

원전 안전운영의 전제조건은 운전형상이 설계형상내에 설계형상은 설계기준내에 있음을 보증하는 것이며 이는 운전되고 있는 원전이 설계기준 및 인허가기준 내에서 있음을 의미하는 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 국내 원전의 설비관리 프로세스를 고려하여 여유도 관리 수준을 3가지로 분류하였으며 가동중시험기기를 대상으로 단계적 여유도 정보를 구축하는 방안을 마련하였다. 이를 통해 향후 신규 원전의 각종 설계변경시, 보다 신뢰성 있는 변경영향 검토가 가능하고 운전중인 기기가 설계형상 및 운전형상내 운영되고 있음을 입증하는 기반을 마련하였다. 이를 토대로 향후 구조물 및 계통의 관점의 여유도 관리방안까지 확대하여 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. INPO AP-932(New Plant Configuration Management Development & Implementation Process, 2009.11)
2. CM-AA-5002(Margin Management, 2010, Dominion)