

원자력발전소 증기발생기 2차측 Free-Span 잔류물질 영향평가 전산 프로그램 개발

Development of Program Evaluating the Effects on the Secondary Side of Nuclear Power Plant of Steam Generator due to Foreign Objects

유현주*

* KEPRI : Korea Electric Power Research Institute

When materials such as metal are into the secondary side of steam generator, they, so called foreign objects, may have influences on the integrity of the steam generator tubes. They cause the tube wear due to the relative motion between the tubes and foreign objects and the tube impact due to flow. The best way to avoid the effects is to remove all the foreign objects. However, it is not easy to remove the foreign materials thoroughly due to their condition such as the location. Considering the wear and impact by the foreign materials, KEPRI(Korea Electric Power Research Institute) developed the methodology to evaluate the foreign materials analytically. This methodology was described with a computer program in order to obtain the fast results. The program informs whether the tubes have the structural integrity when the foreign material strikes the tubes. Moreover, this gives us the remaining life of the steam generator tubes. In this paper, the program, which evaluates the effects of the foreign objects in the secondary side of steam generator, is introduced.

1. 서 론

원자력발전소 증기발생기 2차측에 금속 종류의 물질이 유입되는 경우 잔류물질(Foreign Objects)은 세관(S/G Tube)과 접촉하여 마모를 일으키거나 충격을 가하여 세관의 건전성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 이러한 잔류물질은 제거하여야 하나 잔류물질이 세관에 고착되어 있거나 장비가 접근하기 어려운 경우 잔류물질의 완전한 제거가 어려운 실정이다. 잔류물질의 완전한 제거가 어려운 경우 실험적 또는 해석적인 방법으로 세관의 건전성을 입증하여야 하며 이를 위하여 잔류물질이 세관에 미치는 영향을 실험적 모사에 의거한 해석적인 평가 시스템을 개발하고 있다.

잔류물질의 해석적인 평가를 위해서는 잔류물질의 속성은 물론 잔류물질의 위치와 각 발전소별 증기발생기 및 세관의 속성 등에 대한 정보가 필요하며 이를 토대로 잔류물질이 세관에 미치는 영향을 평가하게 된다. 따라서 잔류물질 및 세관의 속성을 관리하고 잔류물질로 인한 세관의 수

명 등을 계산하기 위한 전산 프로그램의 개발이 필요하다. 이러한 전산 프로그램을 통해 잔류물질이 세관에 미치는 영향을 정확히 평가하여 세관의 건전성을 입증하고자 하는 것이다. 이러한 필요성에 의해서 본 논문에서는 증기발생기 2차측 Free-Span 잔류물질 영향평가 프로그램 개발에 관하여 기술하고자 한다.

2. 장 시스템 개요

2.1 국내외 연구개발 동향

2.1.1 국내

한국전력기술(주)에서는 마모만을 고려하여 영광 3, 4호기 증기발생기에 대한 잔류물질 안전성 영향평가 프로그램을 개발하였으나 실험자료의 부족으로 실용화되지 못하였다. 증기발생기 2차측으로 유입된 잔류물질이 세관의 안전성에 미치는 영향은 잔류물질이 세관에 가하는 충격과 잔류물질과 세관의 상대운동으로 인한 마모로 분류할 수 있다. 국내에서 실험을 동반한 증기발생

기 2차측에 유입된 잔류물질에 의한 세관의 안전성에 대한 연구를 전력연구원에서 최초로 수행하였다. 또한, 규제기관의 요구에 따라 실험 결과에서 도출된 실제 마모계수와 전열관 진폭을 이용하여 잔류물질에 의한 전열관의 건전성을 평가할 수 있는 전산 프로그램을 개발하고 있다.

2.1.2 국외

증기발생기 재료(세관 및 관지지대)에 대한 Fretting Wear만을 고찰한 연구 실적은 있으나, 전반적인 증기발생기 세관의 구조안전 문제를 Fretting 피로 및 마모를 포함하여 평가한 예는 찾아보기 힘든 실정이다.

국외에서도 증기발생기 2차측에 유입된 잔류물질에 의한 세관의 안전성에 대한 연구를 직접적으로 수행한 사례는 없고, 다만 잔류물질이 있는 특정 증기발생기에 대한 마모 평가만을 수행한 정도이며 개발된 전산 프로그램은 없는 실정이다.

2.2 시스템 특징

전력연구원에서는 각 원자력발전소의 요청에 의해 독창적인 해석적 방법으로 세관의 건전성을 평가하여 왔으며, 규제기관의 요구에 따라 실험 결과에서 도출된 실제의 마모계수와 진폭을 사용하여 해석과정을 전산화하였다. 전산 프로그램 개발 당시 첫 번째 TSP(혹은 FDB) 상부에 대한 MRPC 검사를 하지 않았으므로 첫 번째 TSP(혹은 FDB)에서의 잔류물질은 관심 밖이었다. 잔류물질 관련 전산 프로그램도 Tubesheet와 첫 번째 TSP 사이에 존재하는 잔류물질에 의한 전열관 안전성 평가에 국한하였으므로 잔류물질이 Tubesheet와 첫 번째 TSP(혹은 FDB) 사이에 존재할 경우에만 적용이 가능하다. 그러나 검사기술의 발달과 검사요건의 강화로 증기발생기 2차측 첫 번째 TSP 상부에서 발견되는 잔류물질 건수는 매년 증가하는 추세이며, 연도별 증기발생기 2차측 첫 번째 TSP 상부 잔류물질 개수는 다음과 같다.

- '98년 : 영평 1호기 1개(FDB 상부)
- '01년 : 고리 3호기 1개(FDB 상부)
- '03년 : 울진 5호기 2개
(SG No. 1 09C 상부, 01H 상부),
울진 4호기 1개(BPC 상부)
고리 4호기 1개(FDB-2단 TSP 사이)

현재 FDB(혹은 첫 번째 TSP) 위쪽에 잔류하는 잔류물질을 발견하고 제거하기 위한 장비의 개발과 관련된 연구가 활발히 진행 중이며, 개발된 장비가 현장에 적용되면 FDB(혹은 첫 번째 TSP) 상부에서 잔류물질이 발견될 가능성은 더욱 커지고 FDB 상부의 잔류물질은 관지지대에 있는 잔류물질에 비해 제거가 훨씬 어려울 것으로 예상된다. 또한 Data가 부족한 상태에서 첫 번째 TSP 상부쪽 잔류물질에 의한 전열관 안전성 평가는 보수적일 수밖에 없으며, 결과적으로 불필요한 전열관 보수를 동반하게 된다. 그러므로 지나친 보수성을 배제한 증기발생기 세관의 잔존수명 예측으로 불필요한 세관 Sleaving 또는 Plugging 방지하고 규제기관의 요구에 능동적으로 대처하며 실제상황에 적합한 건전성을 신속히 해석할 수 있는 프로그램개발이 필요하다.

3. 장 시스템 설계

3.1 시스템 개략도

잔류물질 영향 평가 전산프로그램 개발은 사용자 요구분석 및 설계, 잔류물질 평가 기능 개발 및 테스트, 프로그램 검증 등 체계적인 전산프로그램 개발절차에 따라 수행된다. 사용자 요구분석 과정에서는 응용기능 개발에 대한 사용자의 요구사항과 관리대상 데이터의 종류와 입출력형태 등을 정의한다. 프로그램 설계과정에서는 데이터베이스 설계와 사용자 인터페이스 설계, 잔류물질 영향 평가 기능에 대한 설계가 수행된다. 프로그램 설계결과에 따라 영향 평가 기능 등 응용기능이 개발될 것이며 프로그램에 대한 테스트 과정을 거쳐 프로그램의 정확성이 검증될 것이다. 프로그램 검증은 수계산 결과와의 비교과정을 통해 검증될 수 있을 것이다.

잔류물질 영향 평가 프로그램은 Windows XP를 기본적인 운영체제(OS)로 선정하고 Visual Basic.Net을 사용하여 개발한다. 또한 Database는 작은 사이즈의 MS Access-DB를 사용하여 각종 데이터를 저장 관리한다. 본 시스템의 특징은 사용자가 동시에 많이 사용하지 않는 시스템이므로 작고 효율적이며 결과를 신속하게 도출해 주는 시스템으로 최적화를 도모하고자 한다. 시스템에 주화면은 다음 그림1. 과 같다.

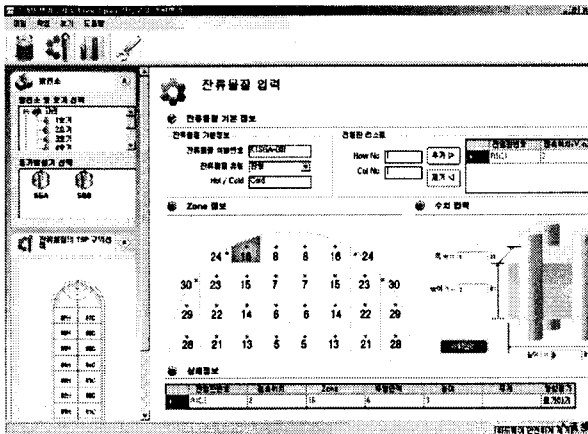


그림 1 주화면

3.2 시스템 기능

시스템의 주요기능들은 다음과 같다.

1) 증기발생기 및 세관 속성 관리기능

- 증기발생기 속성 관리
 - 원자력발전소별 증기발생기 모델과 세관 재질 등 관리
 - 세관의 구역(Zone) 구분 및 구역별 유체의 밀도와 속도 등 관리

- 증기발생기 세관 속성 관리
 - 세관의 구경과 두께, 반경 등 관리
 - 세관의 구역(Zone) 식별 관리

○ 발전소 및 호기 식별

- #### 2) 잔류물질의 속성 관리기능
- 발전소별 잔류물질 식별 및 속성 관리
 - 잔류물질의 크기와 면적 등
 - 잔류물질의 위치 및 영향을 미칠 수 있는 세관 식별

3) 잔류물질 영향 평가기능

- 잔류물질에 의해 각 세관에 미치는 영향 평가
 - 잔류물질과 접촉세관 식별
 - 직각 접촉력(FM) 계산
 - 연당 마모량(Vw) 계산
 - 40% 마모량 및 세관 수명 계산
 - 세관의 건전성 판정

- 외부 데이터 Import 기능
 - 선행 Processor(ATHOS 3) 출력결과 Import

4) 조회 및 출력기능

- 조회기능
 - 세관 및 구역(Zone) 조회
 - 잔류물질 조회
- 출력기능
 - 잔류물질 영향평가 결과 출력(PDF 출력)

4. 결 론

증기발생기 2차측 Free-Span 잔류물질 영향 평가 프로그램은 기존에 수작업으로 계산 되어 왔던 잔류물질 영향평가를 자동으로 수행하여 신속한 결과를 얻을 수 있어 수작업오류를 줄일 수 있고, 원자력발전소 현장에서 실무담당자 스스로가 영향평가를 수행할 수 있어 규제기관 요구에 능동적 대처가 가능하다. 또한 적기 평가로 핵 예방정비 기간 연장방지가 가능하다. 본 프로그램은 현재 개발중에 있으며 완료 후 사용자 교육 후에 사용자들이 도출한 수정 및 보완 사항을 수렴하여 프로그램에 적극 반영하고자 한다.

후 기

본 논문은 현재 전력연구원에서 수행 중인 “증기발생기 2차측 Free-Span 잔류물질 영향 평가 프로그램 개발” 과제의 산출물이다.

참 고 문 헌

- (1) H.N. Kim, 2002, System Operations Manual for Program Evaluating the Effects on the Secondary Side of Steam Generator due to Foreign Objects, version 1.0
- (2) H.N. Kim, 2002, Technical Report for Development of Program Evaluating the Effects on the Secondary Side of Steam Generator due to Foreign Objects, kepri
- (3) J.C. Jo, and W.K Shin, "Fluid Elastic Instability Analysis of Operating Nuclear Steam Generator U-tubes", Nuclear Eng. Design Vol 193, P55-71.