

피로수명 계산용 Off-Line 전산 프로그램 개발

김종석
전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

기존의 발전소 피로수명 평가 프로그램들은 On-Line Fatigue Analysis에 중점을 두고 개발되어 운전 초기부터 Transient 모니터링 프로그램이 설치되는 시점까지의 Transient 데이터가 확보되지 않은 오래된 발전소의 경우 전 수명기간 동안의 피로수명 계산에 어려움이 많다. 따라서 본 연구에서는 특별한 경우를 제외하고는 Off-Line 계산을 하는것이 경제적이고 피로수명 평가에 문제가 되지 않는다고 판단하여 Transient 모니터링을 통해 Transient 종류를 파악하고 이를 데이터베이스화 한뒤 충분한 시간을 가지고 Transient 이력 과 응력데이터를 조합하여 CUF를 계산하는 등 프로그램 기능의 모듈화를 시도 하여 필요한 기능을 지속적으로 보완 개발해 나갈수 있도록 하였다. 본 Software는 국내 원전이 Transient Counting이나 피로분석의 전산화와 관련한 경험이 부족하고 또 외국 프로그램을 도입하여 사용하기에는 과거 데이터가 부족하여 활용에 어려움이 많을 것을 고려하여 기존의 수작업에 의한 Fatigue Evaluation의 불편함을 보완하고 On-Line Analysis의 필요성과 Off-Line Analysis의 경제성을 적절히 조합하여 현재 발전소 환경에서 가장 적절히 사용할수 있도록 개발 을 추진하였고 향후 필요한 기능은 지속적으로 보완함으로써 발전소 수명관리에 유용하게 사용될 것이다.

1. 서론

원자력 발전소가 설계될 때는 압력경계의 기기 각각에 대하여 일련의 과도상태 종류들이 명시되어져 있고 응력 및 피로분석은 이러한 기기들이 구조적으로 운전 과도상태를 지탱하기에 적절한한지를 보여주기 위하여 수행된다. 그리고 발전소 운영자는 발전소 운전중 발생하는 각종 과도상태가 이 설계 과도상태의 범위내에서 운전되는지를 감시하여 발전소 구조물의 건전성을 확인하여야 한다. 그러나 지금까지의 과도상태 측정방법은 설계 Transient 종류별 운전중 실발생 횟수를

수 집계하고 이것을 설계 Transient 허용횟수와 비교해 보는 정도의 수준이다. 이러한 방법으로는 설계시 고려되지 않은 운전 Transient의 발생 (가압기 밀립관 열성층 등), 각종 시험등으로 인한 새로운 Transient 발생 등에 대처하기 어렵고 또 출력 증 감발과 같이 자주 발생 하는 운전 Transient를 일일이 수 집계 한다는 것은 신뢰성이 없다고 판단되어 이미 선진 각국에서는 PC를 이용한 피로수명 계산 Software 를 개발하여 발전소 수명관리 업무에 활용하고 있고 국내에서도 한국전력기술(주) 의 KOMDS, 원자력연구소의 K-FAMS 등이 On-Line Transient Monitoring & Fatigue Evaluation을 위해 개발되어 있다. 그러나 이러한 대부분의 피로분석 프로그램들은 On-Line Fatigue Analysis 에 중점을 두고 개발된 이유로 운전 초기부터 Transient 모니터링 프로그램이 설치되는 시점까지의 Transient 데이터가 확보되지 않은 오래된 발전소의 경우 전 수명 기간 동안의 피로수명 계산에는 어려움이 많다. 비록 On-Line Transient 모니터링 및 출력계산이 가능하다 하더라도 발전소 전 수명기간 동안의 피로수명 계산에는 On-Line으로 계산되어진 출력 데이터와 과거 Transient 이력을 통한 실제응력 데이터를 수작업으로 조합하여 Cumulated Fatigue Usage Factor 를 구하는 등 이중의 노력을 해야한다. 따라서 본 연구에서는 발전소 피로수명 계산에 있어서 특별한 경우를 제외하고는 Off-Line 계산을 하는 것이 경제적이고 피로수명 평가에 문제가 되지 않는다고 판단하여 Transient 모니터링을 통해 Transient 종류를 파악하고 이를 데이터베이스화 한뒤 충분한 시간을 가지고 Transient 이력 과 출력데이터를 조합하여 CUF를 계산하는 등 프로그램 기능의 모듈화를 시도하여 업무를 수행하면서 필요한 기능을 지속적으로 보완할수 있도록 하였다. 본고에서는 현재 진행중인 OLFA (Off-Line Fatigue Analysis) 프로그램의 개발현황과 주요기능을 소개하였다.

2. 관련 코드 및 기준

Stress Intensities 계산을 위한 코드로는 ASME B&PV Section III NB-3215 (Derivation of Stress Intensities)가 사용되었고, Ke 계산에는 ASME B&PV Sec III NB-3228.5 (Simplified Elastic-Plastic Analysis), Cumulated Fatigue Usage Factor 계산에는 ASME B&PV Sec III NB-3222.4 (e)(5) Cumulative damage, Global to Local Transformation (주변데이터를 토대로 국부데이터 환산) 에는 웨스팅하우스 WCAP 14173, S/N (Stress & Number)계산에는 ASME B&PV Section III Division 1 Appendix Table 1-9.1 Notes S/N 값 산출식, 3D Principal Stress 계산에는 웨스팅하우스에서 사용되는 3D Principal Stress 계산 software를 참조 하였다. .

3. OLFA (Off Line Fatigue Analysis) 전산 프로그램 구성

3.1 Hareware 및 Software 구성

OLFA 는 Windows 95용 Visual Basic 4.0으로 개발되었고 하드웨어는 IBM- PC 486이상 (RAM 32 M 이상 권장)이 필요하며 프로그램에서 주로 사용하는 데이터베이스는 Microsoft Access Type (MDB) 이고 Transient 데이터는 Binary file을 사용한다.

3.2 주요 기능

현재 OLFA는 발전소 운전변수 (온도, 압력, 유량 등)를 감시하여 Transient 발생이 확인 되면 Transient 데이터베이스에 입력하여 발전소 Transient counting을 수행하는 기능과, 피로분석기능과, 피로분석이 필요하나 현장여건상 계측센서를 설치할수 없을 때 주변 데이터를 조합하여 국부 데이터를 산출하는 기능, Transient 이력과 응력데이터를 조합하여 부위별 CUF를 계산하는 기능을 보유하고 있다.

3.3 데이터베이스 구성

OLFA 프로그램의 데이터베이스 구성은 크게 나누어 발전소 운전변수 데이터, GTR 데이터, Transient 이력 데이터, 설계 Transient별 응력데이터, 부위별 CUF데이터, 부위별 기계적성질 데이터로 구성되어 있으며 발전소 운전변수 데이터 및 GTR 데이터는 Binary File을 사용하고 Transient데이터 및 기타 피로분석을 위한 자료 데이터는 MDB (Microsoft Access Type)형식을 사용한다.

3.4 화면 구성

OLFA의 화면은 기본적으로 Navigation이 가능토록 하여 전체 화면에서 부분화면 으로의 전환을 손쉽게 할수있으며 마우스로 특정기기를 지시하면 즉시 해당기기의 명칭이 화면에 나타나고 마우스 클릭시 기기별 세부화면으로 이동하도록 하였고 세부화면에서 우측마우스 클릭에 의해 Pop-up 메뉴를 선택하게 하는등 사용자 편리위주로 제작되었고 Transient이력, 응력데이터, CUF데이터 보기 기능은 테이블 형태의 Browse 기능을 적용하여 손쉽게 볼수있고 수정 또한 용이하게 하였다. 그림 1-1 ~ 그림 1-6에서는 OLFA의 주요화면을 볼수있다.

그림1-1 암호입력 및 해당 발전소 선택



그림1-2 원자로 냉각재 계통 입체도
- Pull-down Menu 지원
- 대상기기 클릭시 상세도면으로 전환

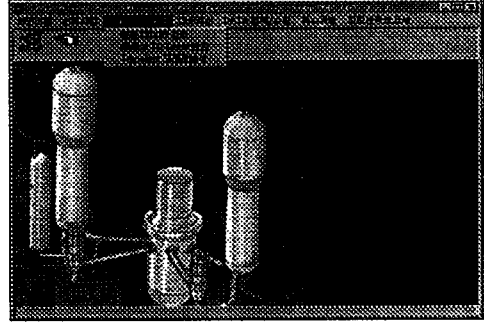


그림1-3 가압기 밀림관 상세도면
- 마우스 버튼에 의한 Pop-up 메뉴 지원

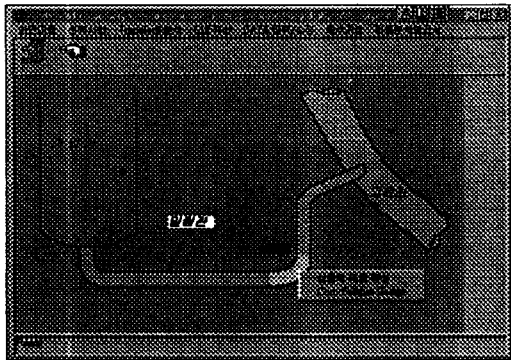


그림1-4 특정 부위 온도 Transient 모니터링
- 특정기간 동안의 Transient 관찰

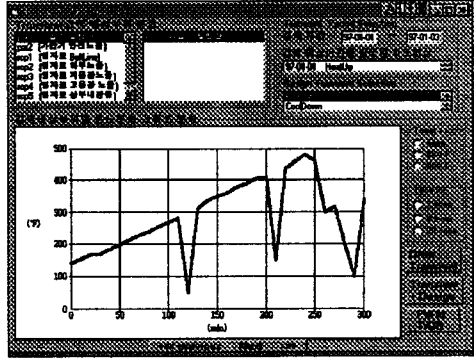


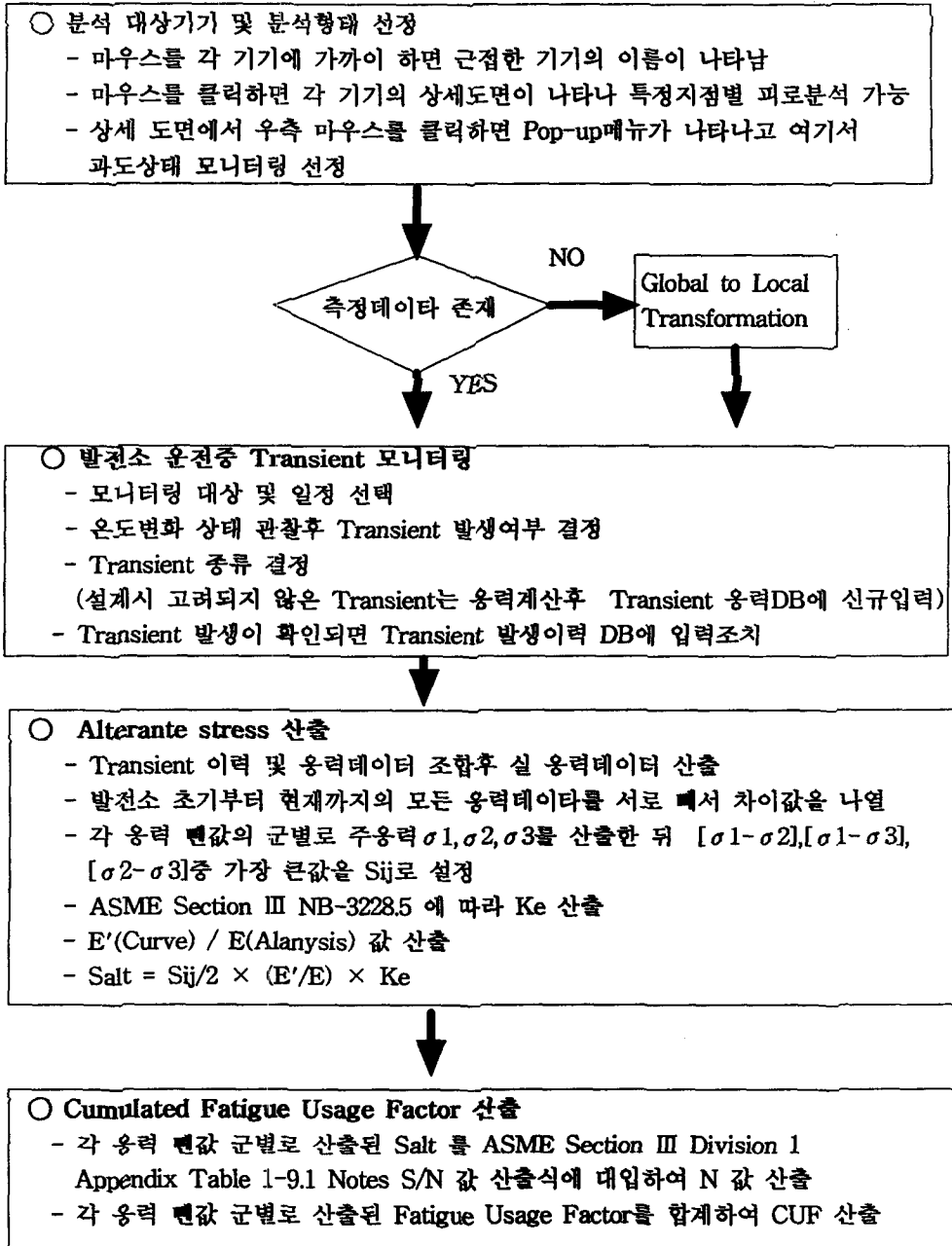
그림1-5 Cumulated Fatigue Usage Factor계산
- Transient 이력과 응력조합으로 CUF계산

Component	Material	Stress	Time	CUF
1	SA508	100	1000	0.01
2	SA508	150	1000	0.04
3	SA508	200	1000	0.16
4	SA508	250	1000	0.64
5	SA508	300	1000	1.44

그림1-6 데이터 베이스 입력 및 수정

ID	Name	Value	Unit
1	Pressure	100	MPa
2	Temperature	300	°C
3	Flow Rate	1000	L/min
4	Power	10000	W

3.5 프로그램 흐름도



4. 향후계획

현재 OLFA프로그램은 Transient 모니터링과 Fatigue Usage Factor계산이 주요 기능이지만 향후 발전소에 실제 적용하여 활용하게 되면 보다 많은 부분의 기능 개선이 필요할것으로 본다. 지금은 발전소의 운전변수 데이터를 Binary파일로 변환하여 디스켓을 통하여 OLFA 에서 읽어들인후 Transient Counting을 하지만 향후 발전소 OACS로 부터 분석팀 사무실로 운전변수를 On-Line 전송하여 모니터링 및 피로분석하고 그 결과를 보고서로 프린트 할수있는 기능을 추가할것이며 발전소 Transient Conting에 있어서도 운전변수를 분석원이 확인한 뒤 설계 Transient데이터와 비교하여 Transient종류를 결정하는 방식에서 컴퓨터가 데이터 형태를 분석하여 Transient 종류를 알려주는 방식으로 전환할 생각이다.

5. 결 론

본 Software는 국내 원전이 Transient Counting이나 피로분석의 전산화와 관련한 경험이 부족하고 또 외국 프로그램을 도입하여 사용하기에는 과거 데이터가 부족하여 활용에 어려움이 많을 것을 고려하여 기존의 수작업에 의한 Fatigue Evaluation의 불편함을 보완하고 On-Line Analysis 의 필요성과 Off-Line Analysis 의 경제성을 적절히 조합하여 현재 발전소 환경에서 가장 적절히 사용할수 있도록 개발하였고 향후 필요한 기능은 지속적으로 보완함으로써 발전소 수명관리에 유용하게 사용될 것이다.