한국압력기기공학회 논문집
제5권 제2호 2009년 12월 pp. 13－19

# CANDU형 원전 경년열화 감시시스템(Aging Monitor) 개발

김홍기† · 최영환* · 고한옥*

# Development of CANDU Reactor Aging Monitor

Hong Key Kim†, Young Hwan Choi* and Han Ok Ko*

**ABSTRACT**

As the operating time in nuclear power plants (NPPs) increases, the integrity of nuclear components may be continually degraded due to aging effects of systems, structures and components. Recently, a number of NPPs are being operated beyond their design life to produce more electricity without shutting down. The critical issue in extending a lifetime is to maintain the level of safety during the extended operation period while satisfying the international regulatory standards. Therefore, it is beneficial to build a monitoring system to measure an aging status. In this paper, the Aging Monitor (AM) based on lots of aging database obtained from the operating plants and research results on the aging effects was developed to monitor, manage and evaluate the aging phenomena systematically and effectively in NPPs. The AM for the CANDU is divided into 6 modules: (1) Aging Alarm/Coloring Monitor, (2) Aging Database, (3) Aging Document, (4) Real-time Integrity Monitor, (5) Surveillance and Inspection Management System, and (6) Continued Operation and Periodic Safety Review (PSR) Safety Evaluation. The proposed system is expected to provide the integrity assessment for the major mechanical components of an NPP under concurrent working environments.

**Key Words :** Aging Monitor(경년열화 감시시스템), Aging Mechanism(열화기구), Periodic Safety Review (주기적안전성평가), Time Limited Aging Analysis(시간제한 경년열화평가), Aging Management Program(경년열화관리 프로그램)

## 1. 서 론

원자력발전소의 안전한 운전을 위해서 원전 주요기기는 설계, 제작, 설치, 용접, 검사, 시험, 운전 등 전 단계에 걸쳐 종합적으로 건전성을 확인하고 있다. 하지만, 현재 공학의 한계로 인해 전 수명 기간 동안 기기의 건전성을 보장하는 것은 매우 어려운 일이다. 더욱이 운전 연한이 증가함에 따라 기기, 계통, 구조물에 나타나는 경년열화(aging)로 인해 기기 건전성은 지속적으로 취약해지고 있다. 현재 국내에는 10년 이상 가동중인 원전이 모두 15기에 달하고 있으며, 이중 9기는 20년 이상 운전 중이다[1,2]. 또한 설계수명 이후 계속운전에 들어갈 경우, 증가된 수명기간동안에 발생하는 추가적인 경년열화로 인해 기기 건전성은 더 취약해질 것이다. 따라서 가동중 원전 기기의 장수명 안전성을 확보하기 위해서는 원전 주요기기에 나타나는 경년열화에 대한 감시와 평가가 매우 중요하다.

국내에서는 2002년부터 주기적안전성평가(Periodic Safety Review, PSR) 제도가 전 원전에 대해 매 10년 마다 적용되고 있고, 설계수명 이후의 계속운전도 2005년도에 법제화 되었다. 우리나라에서 운전중인 원전의 설계수명은 30년(고리 1호기, 월성 1~4호기) 또는 40년(기타 원전)으로, 이중 고리 1호기는 2007년 6월에 30년의 발전소 설계수

† 책임저자, 회원, 한국원자력안전기술원
E-mail : k113khk@kins.re.kr
TEL : (042)868-0224 FAX : (042)868-0457
* 한국원자력안전기술원

명에 도달하여 계속운전 여부 심사 후 안전성이 입증되어 현재 운전 중에 있으며 월성 1호기는 2012년에 설계수명에 도달하게 되며 현재 압력관 교체작업 중에 있다[1-4].

PSR 및 계속운전 평가 시 가장 중요한 요소는 장기 가동에 따른 기기 경년열화 평가이다. 원전에서는 열피로, 기계적 피로, 진동, 조사취화, 열취화, 응력부식결함(Stress Corrosion Cracking, SCC), 유동가속부식(Flow Accelerated Corrosion, FAC), 일반부식, 마모 등 매우 다양한 형태의 경년열화 현상이 나타나고 있으며, 운전조건 및 재질 사양에 따라서도 경년열화의 영향이 다르게 나타나고 있다. 또한 경년열화에 대한 평가 방법도 매우 다양하다. 피로 및 조사취화 등 정량적인 평가가 가능한 경우에는 시간제한 경년열화평가(Time Limited Aging Analysis, TLAA)를 수행하고 있으며, 부식이나 계통 평가 등 정량적인 접근이 어려운 경우에는 경년열화관리 프로그램(Aging Management Program, AMP)을 적용하고 있다. 경년열화 평가 대상 역시 기기(압력용기, 배관, 열교환기), 유체계통, 능동기기(펌프, 밸브), 구조물, 전력 설비 및 계측 설비, 화재설비, 디젤발전기(DG), 터빈, 복수기 등 매우 다양하다. 따라서 이와 같이 다양한 경년열화 기구, 평가방법 및 적용 대상을 가지고 있는 원전의 경우에는 전 호기에 대해 이를 종합적으로 관리, 감시, 검사, 평가, 활용할 수 있는 수단이 필요하다.

본 논문에서는 가동중 원전 주요기기를 감시, 검사, 평가하여 경년열화 상태를 정량화하는 방법론에 대해 제안하였으며, 이를 CANDU형 원전에 적용하여 웹기반 CANDU형 원전 경년열화 감시 시스템(CANDU Aging Monitor, CANDU AM)을 개발하였다.

## 2. Aging Monitor 기본 개념

### 2.1 열화인자(Aging Factor)

열화인자(Aging Factor, AF)는 각 열화기구(Aging Mechanism)에 대한 열화매개변수(Aging Parameter, AP)와 허용값을 이용하여 결정한다. Table 1에는 CANDU형 원전에 대한 열화기구, AP, 허용기준이 제시되어 있다. 현재까지 제시된 다양한 평가방법과 정보를 이용하여 각 AP의 열화값(Aging Value, AV)을 계산하고 이것을 허용값과 비교하면 AF는 0과 1사이의 값으로 계산된다. Table 1에는 각 열화기구에 따라 AF를 계산할 수 있는 관계식이 제시되어 있다. AF 값이 1인 경우는 열화값이 허용기준에 도달했다는 것을 의미하며, 0은 경년열화가 발생하지 않는 것을 의미한다. 이를 통하여, AF는 기기의 경년열화정도를 정량적으로 나타낼 수 있으며, 본 논문에서는 효과적인 AF 계산을 수행하기 위하여 열화기구와 관련된 데이터베이스를 구축하였다.

### 2.2 Aging Monitor 구성 및 내용

AM은 Fig. 1과 같이 총 6개의 세부 모듈(경년열화 경보상태 감시모듈(M1), 경년열화 데이터베이스 모듈(M2), 문서 모듈(M3), 실시간 건전성평가 모듈(M4), 검사 및 감시결과 관리 시스템 모듈(M5), 계속운전 및 PSR 안전성평가 모듈(M6))로

**Table 1** Equations to calculate AFs for aging mechanism[5-8]

| Aging Mech. | | AP | Acceptance Criteria | Relevant Equns. of AF |
|---|---|---|---|---|
| 압력관 | 처짐 | $g_s$ | $g_s > 0$ | $AF(G) = (5.6 - g_s) / 5.6$ |
| | 두께감소 | $t_w$ | $t_w > 3.68mm$ | $AF(T) = (t_i - t_w) / (t_i - 3.68)$ |
| | 직경팽창 | $d_e$ | 초기 직경의 5% 이내 | $AF(D) = (d_e - d_i) / 0.05 d_i$ |
| | 연신량 | $l_e$ | $l_e > 76.2mm$ | $AF(E) = l_e / 76.2$ |
| 칼란드리아관 | 처짐 | $c_e$ | 압력관처짐 + Gap > 51.2mm | $AF(C) = c_e / 51.2$ |
| 증기발생기 세관 | 마모 | $t_w$ | 두께의 40% | $AF(TW) = (t_i - t_w) / 0.4 t_i$ |
| | 관막음 | $n$ | 한계 세관 개수(356개) | $AF(P) = n / (3558 \times 0.1)$ |
| 공급자관 | 감육 | $t_w$ | $t_w > t_m (t_m = (PD_o) / 2 (S_m + P_y) + A)$ | $AF(TW) = (t_i - t_w) / (t_i - t_m)$ |
| 주요기기 | 결함 | $a$ | $a > a_c$ | $AF(C) = a / a_c$ |
| | 피로 | CUF | 1 | AF(F) = CUF |

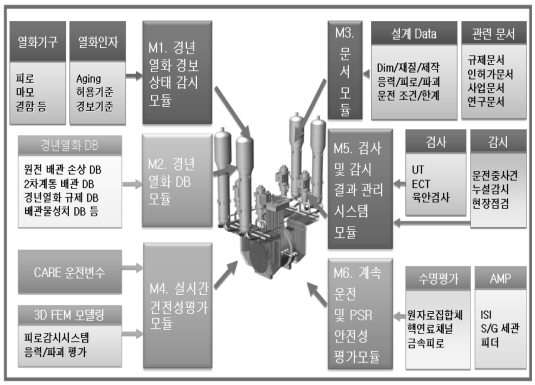



**Fig. 1** Aging Monitor modules

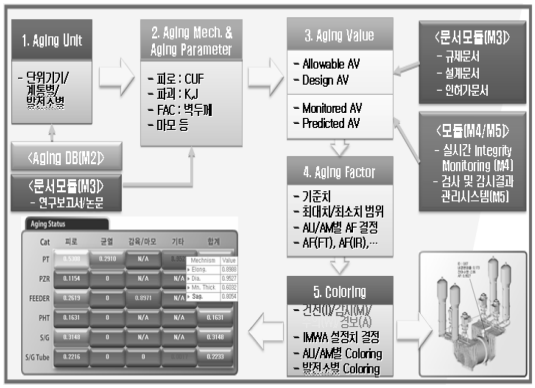



**Fig. 2** Flow chart for Aging Coloring & Alarming monitor

구성되어 있다.

AM의 핵심 모듈은 경년열화 경보상태 감시모듈(M1)이며 그 외의 모듈(M2-M5)은 경년열화 경보상태 감시모듈을 지원하는 모듈들이다. 또한, 계속운전 및 PSR 안전성평가 모듈(M6)은 계속운전과 PSR의 경년열화 평가에 활용되는 모듈이며, 각 모듈의 내용 및 기능은 다음과 같다.

경년열화 경보상태 감시모듈(M1)은 AM의 핵심 모듈로서 현재 원전 주요기기의 경년열화 상태를 정량적으로 나타내는 모듈이다. Fig. 2와 같이 지원 모듈(M2-M5)을 활용하여 각 기기에 대한 AV를 결정한다. 이 값은 열화정도를 정량화한 AF로 환산되며 열화정도는 이 값에 따라 색깔로 구분하여 경년열화 경보상태창에 표시된다. 경년열화 데이터베이스 모듈(M2)은 국내외 열화 관련 손상/운전경험 데이터베이스로 Fig. 2에서와 같이 열화단위(Aging Unit) 및 열화기구를 결정하는데 활용되며, 또한 계속운전 및 PSR 안전성평가 모듈에도 활용된다. 경년열화 데이터베이스에는 원전배관손상 DB, 경년열화규제 DB, 배관 물성치 DB, 2차계통 배관 DB, 재료물성치 DB 및 사고사례 DB로 구성되어 있다. 문서모듈(M3)은 열화와 관련된 문서 데이터베이스로 열화단위, 열화기구 및 열화값을 평가할 때 활용되며, 이 모듈은 캐나다와 국내의 규제문서, 규제제출용 사업자문서, 사업용 사업자문서 및 일반문서로 구성되어 있다. 실시간 건전성평가 모듈(M4)은 주요기기에 대한 응력 및 피로 평가 등에 활용되는 모듈로서 해석에 필요한 주요 변수(압력, 온도)에 대한 정보가 DB에 저장되어 있다. 또한 상세 해석에 필요한 핵증기공급계통(Nuclear Steam Supply System, NSSS)의 3차원 수치모델과 웹기반 열화평가 프로그램들로 구성되어 있다. 검사 및 감시결과 관리시스템 모듈(M5)은 운전중 발전소 감시 및 정기검사 기간중 검사결과를 관리하는 모듈로 이 모듈에 입력된 검사 및 감시결과는 각 열화기구에 대한 열화값을 결정하는데 활용된다. 이 모듈은 검사 및 감시 결과를 주기적으로 입력하고 계산 및 평가를 통해 경년열화 경보상태 감시모듈(M1)에 AF값을 제공한다. 계속운전 및 PSR 안전성평가 모듈(M6)은 AM결과를 이용하여, 계속운전 및 PSR의 경년열화 평가에 활용하는 모듈이다.

## 3. CANDU Aging Monitor 구축

### 3.1 경년열화 경보상태 감시모듈(M1) 구축

Fig. 3은 AM의 기본 개념을 바탕으로 구축된 웹기반 CANDU AM의 초기화면이며, 각 모듈들은 AM 화면상에서 Aging Coloring & Alarming Monitor(M1), Aging Database(M2), Aging Document (M3), Realtime Integrity Monitor(M4), S/IManagement System(M5) 및 Safety Evaluation (M6)으로 구현되었다. AM 상에 구현된 각 모듈에 대한 내용 및 기능은 다음과 같다.

Aging Coloring & Alarming Monitor는 M1에 해당하는 모듈로 3개의 창(Aging Status, Aging Value, Aging Trend)으로 구성되어 있다. Aging Status는 Aging Coloring & Alarming Monitor에서 가장 핵심이 되는 창으로 원전 주요 기기별, 손상 기구별 AF를 하나의 표로 나타낸다. 세로축은

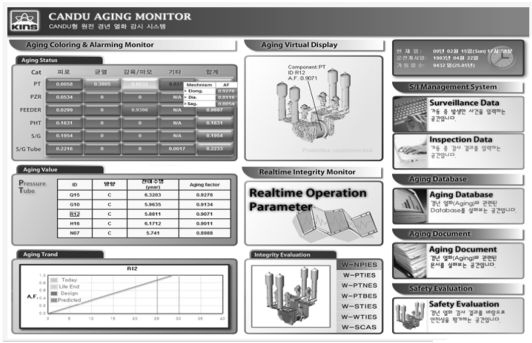



**Fig. 3** Initial screen of CANDU Aging Monitor

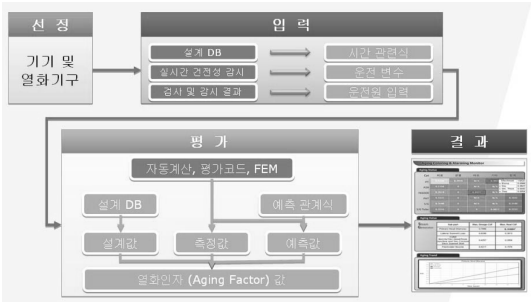



**Fig. 4** Process to determine Aging Factors

원전 주요기기를 나타내며, 가로축은 열화기구를 보여준다. 본 논문에서 고려한 주요기기는 압력관(PT), 가압기(PZR), 공급자관(FEEDER), 열수송계통배관(PHT), 증기발생기(S/G) 및 증기발생기세관(S/G Tube)이고, 열화기구는 피로, 균열, 감육/마모 등이다. 표 안에 있는 숫자는 AF를 나타내며, 이 값들에 따라 각 칸의 색이 청색(건전, 0-0.2), 녹색(감시, 0.2-0.5), 황색(주의, 0.5-0.75), 적색(경보, 0.75 이상)의 단계로 표시된다. Aging Status 창에서 특정 AF값을 클릭하면 Aging Value 창에서 해당 기기의 세부부분(sub-part)에 대한 AF의 현재값 및 설계값이 표시된다. Aging Trend는 Aging Value와 연계되어 있으며, Aging Value의 특정 세부부분을 클릭하면 AF의 시간에 따른 경향을 원전 가동 당시부터 현재, 또 앞으로의 예측(수명말기 및 계속운전시)까지 확인할 수 있다.

Fig. 4는 AF를 계산하는 상세절차를 보여주고 있다. 계산에 필요한 입력값은 열화기구 및 해석방법에 따라 설계 DB, 검사 및 감시 결과를 활용한다. 열화값은 열화기구에 따라 AM 내부에서 자체 계산하거나 3차원 FEM 해석 및 평가 프로그

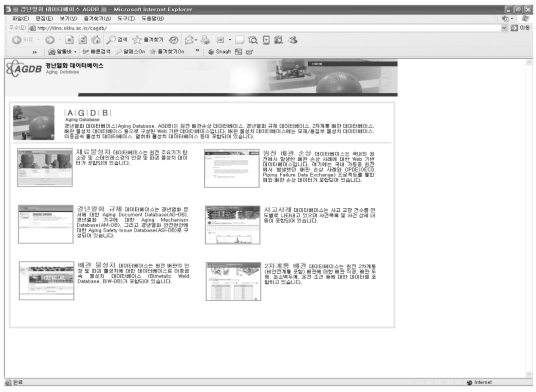


**Fig. 5** Initial screen of Aging Database

램을 활용하여 계산된다. 계산된 열화값은 Table 1에 제시된 관련 식을 바탕으로 AF 값으로 환산되어 Aging Status 창에 표시된다.

### 3.2 CANDU AM 지원모듈 구축

3.2.1 경년열화 데이터베이스 모듈(M2)

경년열화 데이터베이스는 열화대상 및 열화기구를 결정하는데 활용되며, Fig. 5와 같이 원전배관손상 DB, 경년열화규제 DB, 배관 물성치 DB, 2차계통 배관 DB, 재료물성치 DB 및 사고사례 DB 등 총 6개의 DB가 구축되어 있다. 원전배관손상 DB는 국내외 원전에서 발생한 배관 손상 사례에 대한 웹기반 데이터베이스로 이곳에는 국내 가동중 원전에서 발생했던 배관 손상 사례와 OPDE (OECD Piping Failure Data Exchange) 프로젝트를 통해 수집된 해외 배관 손상 데이터가 포함되어 있다. 경년열화규제 DB는 경년열화 문서에 대한 Aging Document Database(AD-DB), 경년열화 기구에 대한 Aging Mechanism Database(AM-DB), 그리고 경년열화 안전현안에 대한 Aging Safety Issue Database (ASI-DB)로 구성되어 있다. 배관 물성치 DB는 모재/용접부 물성치 데이터베이스, 이종금속 물성치 데이터베이스, 열취화 물성치 데이터베이스 등을 포함하고 있다. 2차계통 배관 DB는 원전 2차계통(비안전계통 포함) 배관에 대한 배관 직경, 배관 두께, 최소벽두께, 운전 조건 등에 대한 데이터를 포함하고 있다. 재료물성치 DB는 원전 주요기기 탄소강 및 스테인레스강의 인장 및 파괴 물성치 데이터가 포함되어 있다. 사고사례 DB에는 CANDU형 원전에서 발생한 사고에 대한

**Fig. 6** Aging Document

정보가 등록되어 있으며, 총 93건의 사고에 대한 데이터가 상세정보와 함께 저장되어 있다.

3.2.2 문서모듈(M3)

AM에서는 경년열화와 관련된 문서들을 정리해 놓은 문서모듈을 개발하였다. 문서모듈은 열화와 관련된 문서 데이터베이스로 열화단위, 열화기구 및 열화값을 결정할 때 활용되며, 계속운전 및 PSR 안전성평가 모듈에서도 활용된다. 문서모듈은 Fig. 6과 같이 캐나다와 국내의 규제문서, 규제제출용 사업자문서, 사업용 사업자문서 및 일반문서 등 총 8,788건의 문서로 구성되어 있다.

3.2.3 실시간 건전성평가 모듈(M4)

실시간 건전성평가 모듈(M4)은 주요기기에 대한 응력 및 피로평가를 수행하는 모듈로서 Fig. 3에서와 같이 Real-time Operation Parameter와 Integrity Evaluation으로 구성되어 있다. Real-time Operation Parameter는 국내 가동중 원전에 대한 운전데이터(온도/압력)를 수집/관리하는 실시간 기기건전성 감시 및 평가 시스템(Real-Time Integrity Monitoring & Evaluation System, R-TiMEs)과 연동되어 있으며, 이를 통해 관심부위의 실시간 운전데이터를 사용자에게 제공한다. Integrity Evaluation은 웹기반 배관건전성 평가코드, 증기발생기 세관결함 평가코드, 배관감육 평가코드, 응력부식균열 평가코드 및 압력관 평가코드로 구성되어 있다.

압력관 평가코드는 Fig. 7과 같이 W-PTIES (Web-based Pressure Tube Integrity Expert System), W-PTBES (Web-based Pressure Tube Blister Evaluation

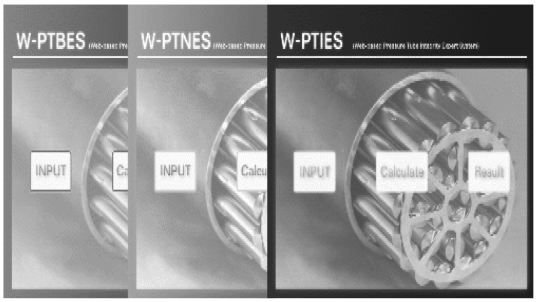



**Fig. 7** Pressure tube evaluation codes

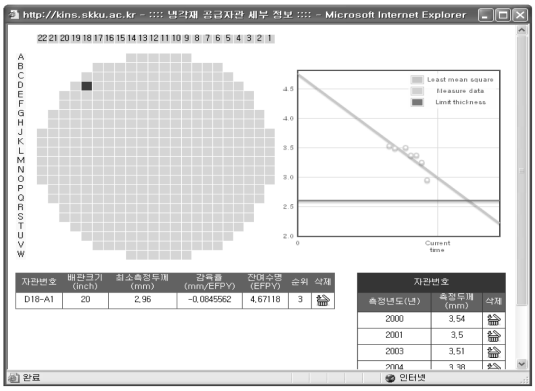
System) 및 W-PTNES (Web-based Pressure Tube blunt Notch Evaluation System)로 구성되어 있다. 각 프로그램은 1991년 캐나다의 AECL(Atomic Energy of Canada Limited)에서 발간한 FFSG (Fitness For Service Guideline for zirconium alloy pressure tubes in operating CANDU reactors)[9]의 압력관 건전성평가 절차에 따라 개발되었다. W-PTIES는 FFSG에서 제시한 건전성평가 절차 중 예리한 결함에 대한 평가 프로그램이며, W-PTBES는 Blister에 대한 평가 프로그램이다. 마지막으로, W-PTNES는 둔한 노치에 대한 평가 프로그램이다.

3.2.4 검사 및 감시결과 관리시스템 모듈(M5)

검사 및 감시결과 관리시스템 모듈은 가동중 원전의 감시 및 O/H 기간중 검사결과를 관리하는 모듈로 입력된 결과는 열화기구에 대한 AF를 계산하는데 활용된다. 이 모듈은 감시 및 검사 결과를 주기적으로 입력하고 계산 및 평가를 통해 경년열화 경보상태 감시모듈(M1)에 AF 값을 제공하며, 그 결과는 Aging Coloring & Alarming Monitor 창에 표시된다.

검사 및 감시결과 관리시스템 모듈은 Fig. 3에서와 같이 S/I Management System으로 구현되었다. 검사모듈에는 압력관, 증기발생기세관(ECT), 공급자관, 열수송 계통 배관(PHT), 증기발생기, 가압기 등에 대한 가동중검사(ISI) 결과를 입력할 수 있다. 데이터 입력 후에는 내부계산 및 관련 평가코드 해석을 통해 각 기기의 열화에 대한 상세정보와 잔여수명 등이 계산되며, Fig. 8과 같이 열화기기 및 열화기구에 따라 세부정보가 표시된다. 감시모듈은 발전소 운전중 발생하는 운전중 사건

(a) The wear status of feeder pipes




(b) The detail information of the specific feeder pipe

**Fig. 8** Inspection module

**Fig. 9** Surveillance module

(Transient)과 누설감시/현장점검으로 구성되어 있다. 운전중 사건(Transient)은 정상운전조건, 비정상운전조건, 비상운전조건, 설계기준사고 및 시험조건으로 되어 있으며 정상운전조건 및 비정상운전조건에 대한 결과는 주요 기기의 피로해석에 활용된다. Fig. 9는 운전중 사건(Transient)을 입력하는 초기화면이며, 우측상단에 있는 Event History 버튼을 클릭하면 월성 1호기 가동 이후 발생한 모든 운전중 사건(Transient)의 발생빈도가 표로 나타난다. 누설감시/현장점검은 월성 1호기 가동중 발생한 기기의 누설에 관한 데이터베이스이며, 이곳에는 누설일자, 누설위치, 누설원인 등에 대한 정보가 저장되어 있다.

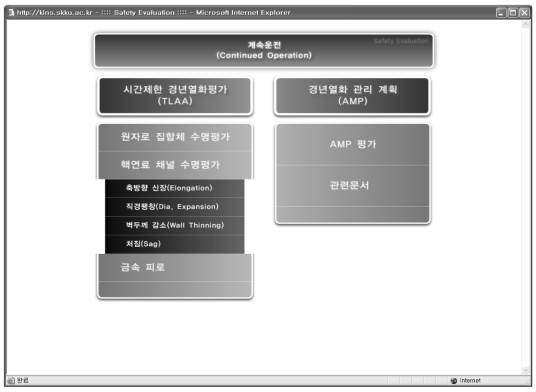
3.2.5 계속운전 및 PSR 안전성평가 모듈(M6)

CANDU형 원전의 수명평가(Time Limited Aging Analysis, TLAA)에 관한 사항은 법령상에서 원자로집합체 및 핵연료채널 수명평가, 기기의 내환경검증 등 총 7개 내용에 대해 평가를 수행토록 되어 있으며 본 모듈에서는 AM과 관련된 원자로집합체 및 핵연료채널 수명평가와 금속 피로 평가 분야에 활용 될 수 있도록 구성하였다.

원자로집합체 수명평가에는 칼란드리아관 처짐(sag)에 대한 검사이력과 평가결과가 저장되어 있으며, 핵연료채널 수명평가에는 압력관의 축방향 신장, 직경팽창, 벽두께감소 및 처짐에 관한 검사이력과 평가결과가 있다. 금속피로 평가에는 CANDU형 원전 주요기기(압력관, 가압기, 공급자관, 열수송배관, 증기발생기, 증기발생기세관)의 피로에 관한 평가결과가 포함되어 있다.

경년열화 관리계획(Aging Management Program, AMP) 평가에 관한 사항은 법령상에서 안전등급 기기 가동중검사(ISI), 안전등급 지지대 가동중검사, 일회검사, 원자로집합체 등 총 38개의 AMP에 대한 평가를 수행하도록 되어 있으며, 개발된 CANDU AM에서는 안전등급 기기 가동중검사(ISI), 증기발생기 세관 건전성 및 피더배관 평가에 활용될 수 있도록 구성하였다. 또한 AMP 및 계속운전과 관련된 문서들이 구축되어 있다. 문서 DB에는 심사지침서, 심사보고서 및 검사보고서를 포함하는 규제자문서와 사업자문서에는 사업자평가보고서 및 기타문서로 구성되어 있으며 기타문서에는 미국 심사지침서 및 기 수행된 고리 1호기 계속운전에 관련된 문서가 포함되어 있다.

Fig. 10에서와 같이 해당 평가항목을 선택하면, 평가대상 ID, 측정값, 잔여수명 등 상세평가 내용의 출력이 가능하도록 구축하였다.




(a) The initial screen

| ID | 최대 측정 연신량 (mm) | 연신량 변화율 (mm/Year) | 잔여수명 (Year) | Aging Factor |
|---|---|---|---|---|
| A09 | 34.6866 | 6.9E-008 | 29.8109 | 0.4552 |
| 측정 일자 | 측정 연신량 (mm) | 측정 일자 | 측정 연신량 (mm) | |
| 2001.01.06 | 16.808 | 2001.07.07 | 18.3908 | |
| 2002.01.07 | 19.621 | 2002.07.06 | 19.6636 | |
| 2003.01.07 | 21.4917 | 2003.07.07 | 22.1104 | |
| 2004.01.06 | 23.8487 | 2004.07.07 | 25.2774 | |
| 2005.01.07 | 26.9739 | 2005.07.07 | 27.8088 | |
| 2006.01.06 | 28.9269 | 2006.07.07 | 29.0601 | |
| 2007.01.05 | 30.2853 | 2007.07.06 | 30.8585 | |
| 2008.01.17 | 32.0111 | 2008.07.03 | 33.3078 | |
| 2009.01.07 | 34.6866 | | | |
| ID | 최대 측정 연신량 (mm) | 연신량 변화율 (mm/Year) | 잔여수명 (Year) | Aging Factor |
| A10 | 36.726 | 7.8E-008 | 25.3439 | 0.482 |
| 측정 일자 | 측정 연신량 (mm) | 측정 일자 | 측정 연신량 (mm) | |
| 2001.01.06 | 15.2481 | 2001.07.07 | 20.1011 | |
| 2002.01.07 | 21.2795 | 2002.07.06 | 20.5687 | |

(b) The detail screen

**Fig. 10** Safety evaluation module

## 4. 결 론

본 논문에서는 CANDU형 원전 주요기기의 경년열화를 종합적이고 체계적으로 감시/평가/관리할 수 있는 CANDU AM을 개발하였다.

AM 및 열화인자에 대한 기본개념을 제안하였으며 Aging Coloring & Alarming Monitor와 CANDU AM지원모듈을 구축하였다. 개발된 CANDU AM은 CANDU형 원전 경년열화 관련 인허가 및 규제 기반 데이터 활용 등 규제 관리에 활용될 수 있으며, 열화 관련 현장 문제 발생 시 결함 해석 및 배관 두께 감육과 같은 평가에 활용될 수 있다.

또한 계속운전의 시간제한 경년열화(TLAA) 평가와 경년열화 관리계획(AMP) 수립 시 활용될 수 있으며 매 10년 마다 수행되는 주기적안전성평가(PSR)의 경년열화 인자 평가 시 활용 될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부의 원전기술혁신분야 주요기기 수명관리 신기술개발의 세부과제로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. USNRC, Standard Review Plan (SRP) for Review of License Renewal Application for NPPs, USNRC, 2005
2. USNRC, Nuclear Power Plant Generic Aging Lessons Learned (GALL), USNRC, 2005
3. 10 CFR 54, “Requirements for Renewal of Operating Licenses for Nuclear Power Plants”, U.S.NRC,
4. IAEA, Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Series NS-G-2.10, IAEA, 2003
5. IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: CANDU reactor assemblies, IAEA-TECDOC-1197, IAEA, 2001
6. IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: CANDU pressure tubes, IAEA-TECDOC-1037, IAEA, 1998
7. IAEA, Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Steam generators, IAEA-TECDOC-981, IAEA, 1997
8. IAEA, Nuclear power plant life management processes: Guidelines and practices for heavy water reactors, IAEA-TECDOC-1503, IAEA, 2006
9. AECL, Fitness-forService Guidelines for Zirconium Alloy Pressure Tubes in Operating CANDU Reactors, COG-91-66, AECL, 1996