'99 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

중수로 안전계통 신뢰도 데이터 관리 프로그램 (RDMS) 개발

Development of Reliability Data Management System (RDMS) for Safety Systems of PHWR Type Plants

김태운, 최성수, 허호, 박진균
㈜ 액 트
대전광역시 유성구 덕진동 150

황민영, 조병덕, 윤용기
월성원자력본부
경상북도 경주시 양남면 나아리 260

요 약

현재까지 수작업으로 행해지고 있는 중수로 안전계통 신뢰도 데이터 관리를 체계화시킨 프로그램(RDMS)이 개발되었다. 그리고 개발된 RDMS를 이용해 월성 1호기의 4개의 특수안전계통에 대한 계획예방점검주기 연장에 따른 신뢰도 분석이 수행되었다. RDMS는 월성 1호기 안전계통에 대한 주기적인 신뢰도 분석을 위해 개발되었다. 또한 RDMS는 시험절차서들의 시험주기 변경 사유 발생시 안전계통 신뢰도에 미치는 영향을 분석할 수 있는 기능을 제공할 뿐만 아니라, 시험주기 분석을 통해 안전계통 관련 시험절차서들의 최적 시험주기를 신뢰도 측면에서 분석할 수 있는 기능도 제공하고 있다. RDMS는 발전소 현장에서 주기적으로 실시되는 규제기관의 안전계통에 대한 신뢰도 검증 결과 요구시 능동적으로 대처하는데 활용될 수 있을 것이다.

Abstract

The Reliability Data Management System (RDMS) for safety systems of PHWR type plants has been developed and utilized in the reliability analysis of the special safety systems of Wolsong Unit 1 with plant overhaul period lengthened. The RDMS is developed for the periodic efficient reliability analysis of the safety systems of Wolsong Unit 1. In addition, this system provides the function of analyzing the effects on safety system unavailability if the test period of a test procedure changes as well as the function of opti-

mizing the test periods of safety-related test procedures. The RDMS can be utilized in handling the requests of the regulatory institute actively with regard to the reliability validation of safety systems.

1. 서 론

1995년 및 1997년 과학기술부 원전 안전 특별 안전점검에서 규제기관은 월성 원자력발전소의 안전계통에 대한 주기적인 신뢰도 평가 및 안전설비 부품의 사소한 고장도 신뢰도 계산에 포함시키기 위한 데이터 관리 절차의 개선을 요구한 바 있다. 하지만 수작업으로 수행되고 있는 현재의 신뢰도 분석 방법으로는 신뢰도 분석을 위해 장시간(약 6개월)이 소요되고 있는 실정이어서 규제기관의 요구사항을 충족시키기 위해서는 신속하면서도 더욱 더 세분화되고 신뢰성 있는 신뢰도 분석 실시가 절실히 요구되고 있는 상황이다.

이러한 실정에서, 중수로 안전계통 신뢰도 데이터 관리 프로그램이 개발되어 안전계통에 속한 수많은 기기에 대한 부품별 고장자료 관리, 고유 기기고장율 계산, 계통 신뢰도 분석 등이 전산화될 경우 안전계통 신뢰도 분석 업무 부하가 기존의 1/4정도로 감소될 것으로 기대된다. 아울러 주기적으로 실시되는 규제기관의 안전계통에 대한 신뢰도 검증 결과 요구시 능동적인 대처도 가능해질 것이다.

2. 신뢰도 데이터 관리 프로그램(RDMS)의 구조

본 연구에서 개발된 RDMS의 전체적인 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 알 수 있듯이, RDMS는 고유고장자료 생산에 이용되는 BECHID 코드 및 신뢰도의 정량적 분석에 이용되는 KIRAP 코드[1]와 연계되어 동작된다. 이를 위해 독립적인 신뢰도 데이터베이스를 구축하여 여기에 CANDU의 Ontario Hydro generic 데이터(1984년)[2]와 월성 1호기의 부품별 고장자료가 RDMS를 통해 입력되고 관리된다.

일단 generic 부품별 고장자료와 월성 1호기의 specific 부품별 고장자료에 대한 데이터베이스가 구축된 후에는 RDMS가 내장하고 있는 BECHID 코드를 이용하여 기기그룹별로 고유고장자료를 생산해 낼 수 있다. 이렇게 생산된 고유고장자료는 데이터베이스에 저장되었다가, 신뢰도 계산이 요구되는 시점에 데이터베이스에 있는 시험루프별 시험주기와 함께 KIRAP의 입력파일을 자동으로 생성시키는데 이용되고, 이 입력파일을 이용해 KIRAP을 실행시켜 월성 1호기의 4개의 특수안전계통(제1정지계통, 제2정지계통, 비상노심냉각계통, 원자로건물계통)의 이용불능도가 계산되도록 되어 있다.

3. 신뢰도 데이터 관리 체계화

3.1 부품별 고장자료 수집 및 정리

월성 1호기의 계통 이용불능도 계산을 위한 데이터로는 Ontario Hydro 1984 데이터를 generic 데이터로 하고, 여기에 월성 1호기 부품고장자료를 specific 데이터로 처리하여 구한 고유고장자료 값을 이용하였다. 또한 RDMS 개발에 있어서 Ontario Hydro 1984 데이터베이스만으로 해당 기기의 고장율을 파악할 수 없는 경우에 한해서는 Darlington A Risk Assessment (DARA) 데이터[3]를 사용하였다.

다시 말해 본 연구에서는 월성 1호기의 계통 이용불능도 계산을 위해 Ontario Hydro 1984 데이터를 generic 데이터로 하고, 월성 1호기의 1985년부터 1998년까지의 14년에 걸친 부품별 고장자료를 specific 데이터로 하여 BECHID 코드를 이용해 고유고장자료를 생산하였다. 그리고 고유고장자료가 기기그룹별로 정리되어 있기 때문에, 고장수목의 기본 사건을 구성하는 세부 기기별 데이터로서 해당 기기그룹별로 계산된 고유 고장값을 이용하였다. 현재까지 수집되고 정리된 월성 1호기 부품고장자료의 계통별 현황은 표 1과 같다. 이러한 고장자료들은 현장의 안전 및 공정계통 정기점검/시험 평가보고서 및 현장 신뢰도 분석 수행 결과들로부터 수집되었다.

실제 부품별 고장자료 정리를 위해서 다음과 같은 업무들이 수행되었다.

- 기기 고장율 일반자료(Generic Data)의 수집
- 고장이력 분석
- 계통별 구성 기기수의 파악
- 고장수목 기본사건에 대한 고장분류 번호 대응
- 고장수목 기본사건에 대한 시험절차서 대응

3.2 계통별 고장수목 작성

본 연구의 신뢰도 데이터 관리 대상 계통으로는 4개의 특수안전계통이 선정되었다. 이러한 계통들에 대해 월성 1호기의 고장수목을 작성하기 위해, 먼저 월성 2, 3, 4호기에 대해 원자력연구소에서 수행했던 Level 2 Probabilistic Safety Assessment[4]에서 작성되었던 고장수목을 검토한 후 이를 월성 2호기의 고장수목으로 하고, 여기에 1호기 및 2호기의 설계차이를 반영해 월성 1호기의 고장수목이 작성되었다. 이렇게 한 이유는 1989년에 작성된 월성 1호기 고장수목은 약 10년전의 기술을 기반으로 작성된 반면에, 1997년에 작성된 월성 2호기 고장수목은 AECL 및 SPEC-

TRUM사 등의 기술지원을 바탕으로 원자력연구소가 작성하였기 때문에 보다 기술적 배경이 탄탄하다고 사료되었기 때문이다.

3.3 신뢰도 데이터 관리 프로그램(RDMS) 개발

■ 고유고장자료 생산 코드 개발

계통의 신뢰도 분석에 있어서 가능한 한 정확한 부품 고장율을 확보 사용하는 것은 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 그러나 원자력발전소의 부품은 대부분 신뢰도가 매우 높기 때문에 부품의 고장율이 매우 낮아, 해당 발전소 자체의 정확한 고장율을 계산하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 일반적으로 고장율 계산에는 외국의 경험을 기반으로 만들어진 일반자료(generic data)를 사용하는 것이 통례지만 특정 발전소의 부품 고장자료가 많아지면 합리적인 추론을 통하여 이를 반영한 특정 발전소 고유의 부품 고장자료를 생성하는 것이 바람직하다. 따라서 이미 개발된 CANDU형 원자력발전소의 일반자료 및 월성의 현장 고장자료들을 이용하여 보다 적합한 고유고장자료를 생성하기 위해, Bayesian 이론을 이용하여 발전소 특성을 반영한 고장율 자료를 계산할 수 있는 전산코드인 BECHID가 이미 개발되었다 [5].

그러나 기존에 개발된 BECHID 코드는 MS-DOS 환경에서 작동할 수 있도록 구성되었기 때문에, 본 연구에서는 FORTRAN으로 프로그래밍되고 MS-DOS 환경에서 작동되도록 구현된 BECHID 코드를 윈도우즈용 프로그래밍 언어인 Visual Basic으로 다시 프로그래밍하여 윈도우즈 환경에서 작동할 수 있도록 개선하였다. 또한 기존의 DOS 용 BECHID 코드에서는 프로그램 및 컴퓨터 메모리의 제한 때문에 계산하지 못했던 경우들도 윈도우즈용 BECHID 코드에서는 계산이 될 수 있도록 개선하였다.

■ 윈도우즈용 신뢰도 데이터 관리 프로그램(ＲＤＭＳ)의 개발

BECHID를 사용하여 신뢰도 분석을 위한 고장율을 얻기 위해서는 각각의 부품에 대한 일반자료 및 발전소별 특성자료가 필요하다. 또한 발전소별 특성자료를 얻기 위해서는 부품의 개수와 현재까지의 고장횟수 및 누적운전시간에 대한 정보가 필요하다. 일반적으로 발전소의 고장자료는 DR(Deficiency Report)이나 WR(Work Report) 등에 의해 기록으로 남겨지고 있고, 이는 결국 모든 DR이나 WR을 수작업으로 정리하여 고장횟수 및 누적운전시간을 계산해야 한다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 이러한 불편함 없이 쉽게 고장자료의 추가, 편집, 삭제 및 입력된 고장자료들을 바탕으로 고유 기기고장율을 계산할 수 있고, 이를 바탕으로 계통 이용불능도를 계산하기 위한 입력파일의 고유 기기고장율 및 점검주기를 변경시켜 줄 수 있는 기능을 가진 RDMS를 개발하였고, 그림 2부터 그림 5까지는 RDMS의 주요 기능에 대한 개괄적인 흐름도를 보여준다 [6].

이 그림들에서 Data Base들 중 짙은 색으로 표시된 부분들은 영구 저장되는 Data Base 파일들을

의미하고, 점선으로 표시된 부분은 임시로 만들어진 Data Base 파일들을 의미한다. 또한 굵은 실선은 프로그램의 실제적인 수행 순서를 나타내고, 점선은 프로그램 수행에 필요한 Data Base와의 Interaction을 의미한다. 그림 6은 개발된 RDMS의 CRT 화면을 보여주고 있다.

■ 윈도우즈용 신뢰도 분석 프로그램과의 연계

상기와 같은 방법으로 계산된 고유 기기고장율과 사용자가 설정한 점검주기를 바탕으로, 이미 개발된 정량적 신뢰도 분석 프로그램인 KIRAP을 사용하여 각각의 계통에 대한 계통 이용불능도를 계산할 수 있도록 KIRAP의 입력파일을 자동 생성하는 기능을 구현하였다. 한국원자력연구소에서 개발한 KIRAP은 윈도우즈(windows) 환경하에서 작동되는 고장수목 편집기(fault tree editor)로서, 윈도우즈의 장점인 다중 편집창 (multiple edit windows), 마우스를 이용한 선택, 메뉴(menu)를 이용한 명령수행 기능 등을 기본적으로 가지고 있어, 편리하게 고장수목 편집작업을 수행할 수 있다.

4. 월성 1 호기의 안전계통 신뢰도 분석

월성 1호기의 4개의 특수안전계통의 계통별 신뢰도 분석에서 가정한 사항들은 다음과 같다.

1) 관련된 시험밸브를 재장치하지 않는 인적 오류값은 Human Reliability Analysis 결과값에 기초해 1.0E-3으로 설정하였다.

2) 계획예방점검주기는 15개월과 20개월로 가정하였다.

3) 최소단절집합계산에서 절삭한계치(cutoff value)는 1.0E-9로 설정하였다.

본 연구에서 개발된 RDMS와 신뢰도 분석 프로그램인 KIRAP을 이용해 신뢰도 분석을 수행한 결과가 표 2에 나와 있다.

제 1정지계통의 경우 9개(월성 2호기의 경우 10개)의 트립변수들중 가압기 저수위 트립 및 증기발생기 저수위 트립에 대해 이용불능도 값이 최대치로 계산되었는데, 계획예방점검주기가 15개월일 경우 2.885E-4로 계산되었다. 한편 계획예방점검주기를 15개월에서 20개월로 연장했을 경우, 이용불능도 값은 3.033E-4로 계산되어 1.0E-3의 안전요건을 만족시키고 있으므로 20개월로의 계획예방점검주기 연장이 제 1정지계통 신뢰도 분석 측면에서는 아무 문제가 없음을 알 수 있다.

제 2정지계통의 경우 9개의 트립변수들중 가압기 저수위 트립에 대해 이용불능도 값이 최대치로 계산되었는데, 계획예방점검주기가 15개월일 경우 5.480E-4로 계산되었다. 한편 계획예방점검주기를 15개월에서 20개월로 연장했을 경우, 이용불능도 값은 5.480E-4로 계산되어 1.0E-3의 안전요건을 만족시키고 있으므로 20개월로의 계획예방점검주기 연장이 제 2정지계통 신뢰도 분석 측면에서는 아무 문제가 없음을 알 수 있다.

비상노심냉각계통에서는 열전달 격리밸브의 제어는 문제가 없다는 가정아래 비상노심냉각계통의 기동과 증기발생기의 급속냉각을 고려하였다. 이 두 가지를 고려한 비상노심냉각계통에서 비상노심냉각수의 기동실패로 인한 이용불능도는 계획예방점검주기가 15개월일 때 8.193E-4로 계산되었다. 한편 계획예방점검주기를 15개월에서 20개월로 연장했을 경우, 이용불능도 값은 9.984E-4로 계산되어 1.0E-3의 안전요건을 만족시키고 있으므로 20개월로의 계획예방점검주기 연장이 비상노심냉각계통 신뢰도 분석 측면에서는 아무 문제가 없음을 알 수 있다.

원자로건물계통의 경우, 계획예방점검주기가 15개월에서 이용불능도는 5.979E-4로 계산되었다. 또 계획예방점검주기가 20개월일 경우 6.035E-4로 계산되어 계획예방점검주기의 연장에 따른 이용불능도는 미미한 차이만 있다. 결론적으로 월성 1호기의 경우, 계획예방점검주기를 15개월에서 20개월로 연장하는 데는 신뢰도 측면에서 문제가 없다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구를 통해 현재까지 수작업으로 행해지고 있는 중수로 안전계통 신뢰도 데이터 관리를 전산화시킬 수 있는 프로그램인 RDMS가 개발되었는데, RDMS를 통해 다음과 같은 기능들이 구현되었다.

1) 4개의 특수안전계통에 속한 수많은 기기에 대한 부품별 고장자료 관리 및 고유 기기고장율 계산의 전산화

2) 안전계통 관련 시험절차서들의 시험주기 변경이 해당 계통의 이용불능도에 미치는 영향에 대한 신속한 신뢰도 분석

본 연구에서 개발된 RDMS는 현재 월성 1호기 안전계통에 대한 주기적인 신뢰도 분석에 활용되고 있는데, 안전계통에 속한 기기에 대한 부품별 고장자료 관리, 고유 기기고장율 계산, 계통 신뢰도 분석 등의 전산화를 통해 안전계통 신뢰도 분석 업무 부하가 기존의 1/4정도로 감소될 것으로 기대된다. 또한 시험절차서들의 시험주기 변경 사유 발생시 안전계통 신뢰도에 미치는 영향을 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 시험주기 분석을 통해 안전계통 관련 시험절차서들의 점검주기 최적화 연구에도 활용할 수 있을 것이다. 아울러 주기적으로 실시되는 규제기관의 안전계통에 대한 신뢰도 검증 결과 요구시 능동적인 대처도 가능해질 것이다. 그리고 RDMS는 월성 전 호기 모두에 적용될 수 있도록 범용으로 구현되었기 때문에 월성 2, 3, 4호기에도 보급되어 신뢰도 분석 업무에 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 한국원자력연구소, PSA Workstation KIRAP 개발, KAERI/TR-847/97.

2. Ontario Hydro, Component Reliability Data for CANDU Nuclear Stations, Design & Construction Branch Report No. 84458, 1984. 12.
3. Ontario Hydro, Darlington NGS A Risk Assessment, Chapter 7 Risk Assessment Data, 1993. 1.
4. **전력연구원, 가압 중수로 원전 2 단계 확률론적 안전성 평가**, 1997. 8.
5. **한국전력공사 기술연구원, 월성 1 호기 주요안전계통의 신뢰도 분석**, 1989. 6.
6. **월성원자력본부, 중수로 안전계통 신뢰도 데이터관리 및 분석 프로그램 개발**, 1998-술(개)173.03-71, 1999. 2.

표 1. 월성 1 호기 계통별 고장자료 현황

계통명	현 황	고장자료 수
제 1 정지계통	1985 년부터 1998 년까지의 14 년간의 고장자료	156 건
제 2 정지계통	1985 년부터 1998 년까지의 14 년간의 고장자료	182 건
비상노심 냉각계통	1985 년부터 1998 년까지의 14 년간의 고장자료	186 건
원자로건물 계통	1985 년부터 1998 년까지의 14 년간의 고장자료	250 건

표 2. 월성 1 호기 안전계통 신뢰도 분석 결과

계 통 명	이용불능도		이용불능도 목표치
	15 개월	20 개월	
제 1 정지계통	2.885E-4	3.033E-4	1.0E-3
제 2 정지계통	5.480E-4	5.480E-4	1.0E-3
비상노심냉각계통	8.193E-4	9.984E-4	1.0E-3
원자로건물계통	5.979E-4	6.035E-4	1.0E-3

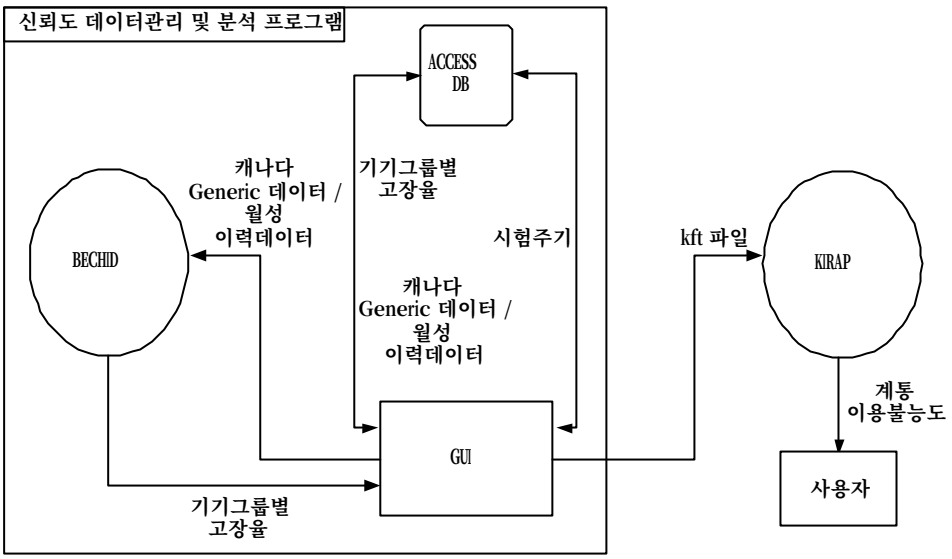

그림 1. RDMS**의 개괄적 구조**

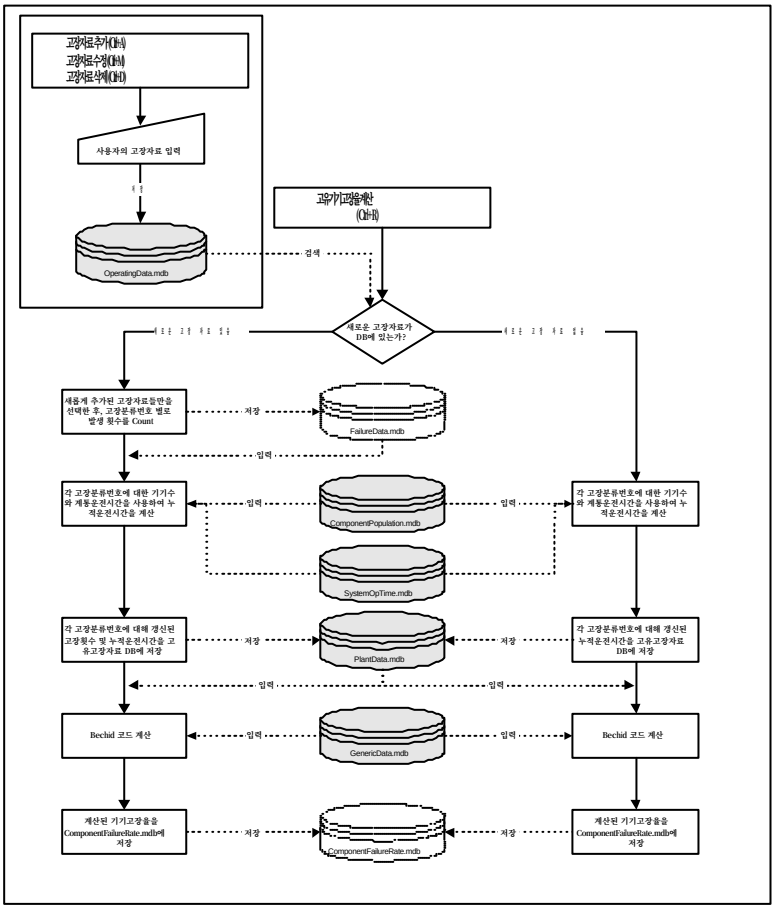

그림 2. RDMS**에서 고장자료의 추가, 수정, 삭제 기능 및 사용자가 입력한 고장자료를 이용한 고유 기기고장율 계산 기능**

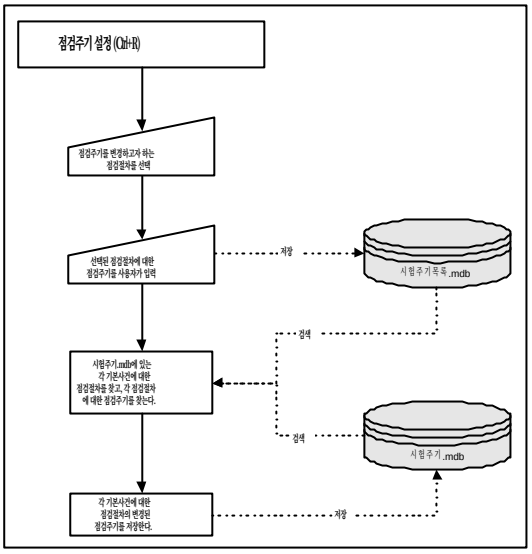

그림 3. RDMS에서 사용자가 입력한 점검주기를 설정해 주는 기능

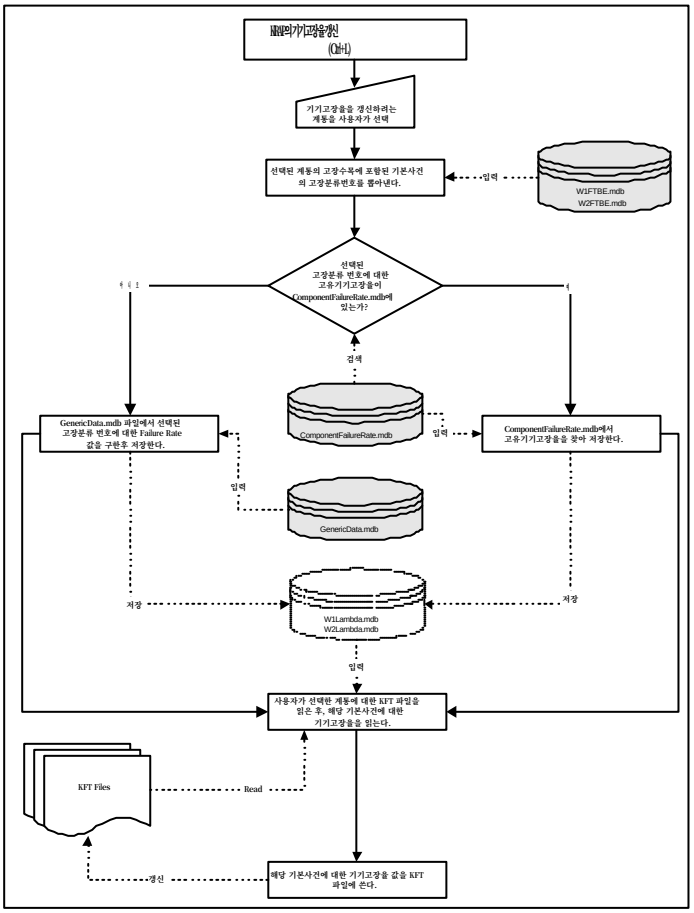

그림 4. RDMS에서 파일의 기기고장율 부분을 고장자료를 통해 계산된 고유 기기고장율로 갱신하는 기능

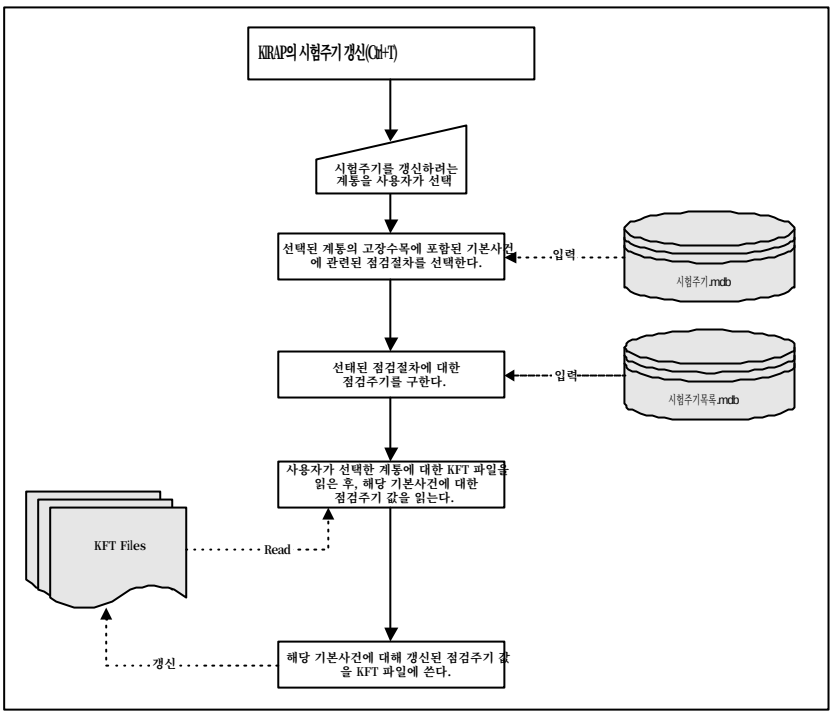

그림 5. RDMS에서 KFT 파일의 점검주기 부분을 사용자가 입력한 값으로 갱신하는 기능

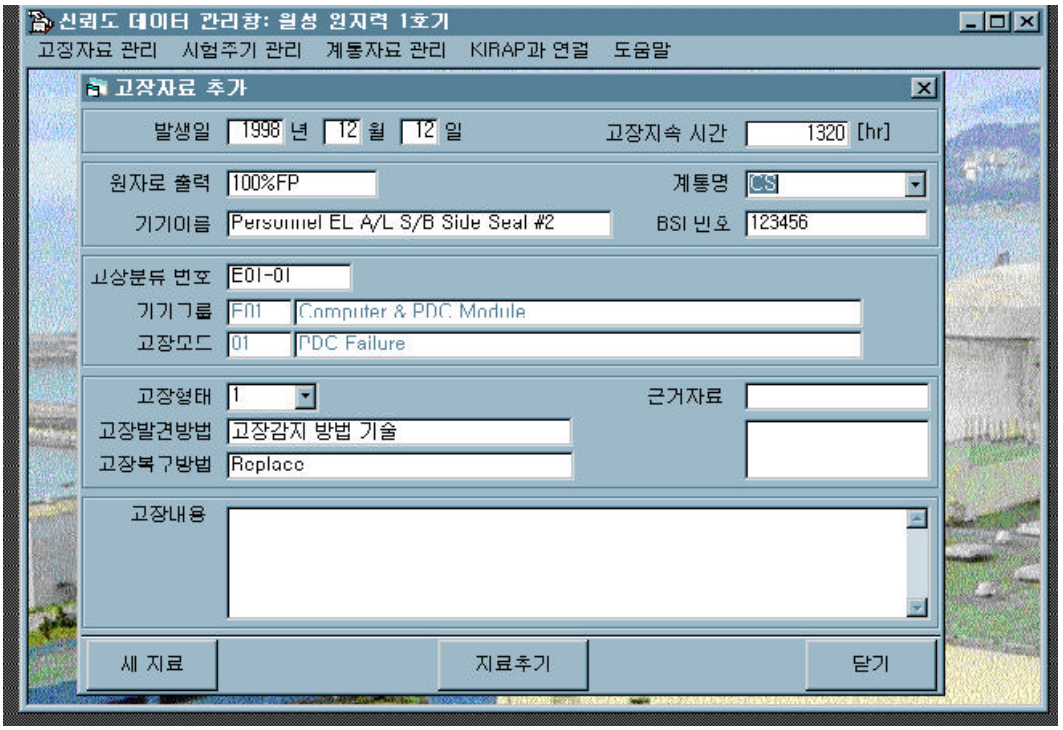

그림 6. RDMS의 CRT 화면