

안전계통/기기의 신뢰도 분석 자동화를 위한 발전과장일지 전산화 프로그램 개발

김승환, 김태운, 진영호  
한국원자력연구소  
대전시 유성구 덕진동 150

요 약

본 논문은 원자력 발전소 안전계통/기기의 신뢰도를 평가하는데 있어서 필요한 데이터들을 관리하는 프로그램인 RAM-PRO의 개발에 관하여 기술하였다. RAM-PRO는 크게 두가지의 프로그램으로 구성하였는데, 먼저 발전과장일지를 전산화하여 안전계통/기기와 관련된 시험, 운전이력을 데이터베이스에 저장하는 프로그램인 RAM-NOTE와 그 데이터로부터 신뢰도를 자동으로 계산하여주는 신뢰도 감시 프로그램인 RAM-REL으로 구현하였다. 이의 구현으로 인하여 실제로 월성 원자력 발전소 1호기의 예비/비상디젤발전기의 실제 데이터를 RAM-NOTE를 이용하여 입력하여 보았으며, 그 입력된 데이터베이스로부터 RAM-REL을 이용하여 신뢰도를 계산하여 보았다. 현재는 원자력 발전소의 모든 안전계통/기기에 적용할 수 있도록 확장중에 있다.

1. 서론

안전계통/기기와 관련된 모든 작업(시험, 정비, 보수, 운전)들은 그 작업의 중요도에 상관없이 원자력 발전소 전체의 안전성과 신뢰도를 결정하는 중요요소들이다. 이러한 데이터들은 현재 주제어실의 발전과장 일지와 해당 기기와 관련된 작업의뢰서/작업보고서에 기록되어 있다. 이중에 작업의뢰서와 작업보고서는 전산데이터로서 컴퓨터에 저장되어 있으나, 발전과장일지는 수기로서 기록지에 기록되어 있을 뿐이다. 이로 인하여 각 발전소의 발전부 효율과에서는 매 분기마다 발전소 안전계통기기의 계통 신뢰도를 구하기 위해서 발전과장일지를 일일이 뒤져야 하고, 해당 기기별로 기동이력, 운전이력, 보수이력등을 구해서 이로부터 신뢰도 통계치를 얻고 있다.

그러나 이러한 방법으로는 해당 기기의 실질적인 점검/보수 기록등을 찾아내기가 어려워져서 보수의 질적 상승을 꾀할 수가 없다. 왜냐하면 각 기기마다 발전과장일지에 기록되는 데이터는 해당기기에 대한 간단한 기록(일자, 시간, 기기명, 작업의뢰서 번호, 기기의 가동, 정지시간등)만 기록하게 되어 있어, 그 기록자체가 상세하지 못하고 또한 그 기록과 관련된 전후의 상황분석이 어려우며, 이의 분석을 위하여서는 해당 작업의뢰서와 작업보고서를 일일이 검색해보아야 하며, 때에 따라서는 해당 건에 대한 담당자의 개인 기록 및 기억을 참조해야하는 경우가 많기 때문이다. 이러한 문제점을 해소하고자 본 연구에서는 발전과장일지를 전산화하게 되었으며, 주제어실에 발생하는 각 기기별 작업들을 발전과장일지 전산화 프로그램인 RAM-PRO에 입력하게 되면 해당 기기별로 신뢰도 및 분석결과를 자동으로 계산하여 출력하여 주는 프로그램을 개발하게 되었다.

## 2. RAM-Pro의 개발

### 2.1 개발 방향

다음 그림1은 신뢰도 기반 정비 최적화에 대하여 나타낸 그림이다 그림에서 보는 바와 같이 기기와 관련된 모든 작업은 작업절차서, 운전 절차서 등에 의해서 이루어지는 시간 지향적인 작업과 고장 발생에 따른 조건 지향적인 작업으로 이루어지는데 이 작업들은 각각 발전과장일지, 작업의뢰서/작업요구서등에 기록되어 진다. 이러한 데이터들을 데이터베이스에 저장하고 이로부터 신뢰도를 구하며, 기기의 유지보수에 지식기반으로 도움을 주는 구조를 가지고 있다. 본 연구는 그림1의 블록부분을 구현한 것이며 이를 위한 연구 수행절차는 다음과 같다.

먼저 발전과장 일지와 관련된 모든 데이터를 수집하였고, 이 연구에 적용할 계통을 선정하였으며, 해당 계통의 신뢰도 구성 요소들을 선정하였고, 이를 토대로 RAM-PRO를 설계하고 구현을 하였다.

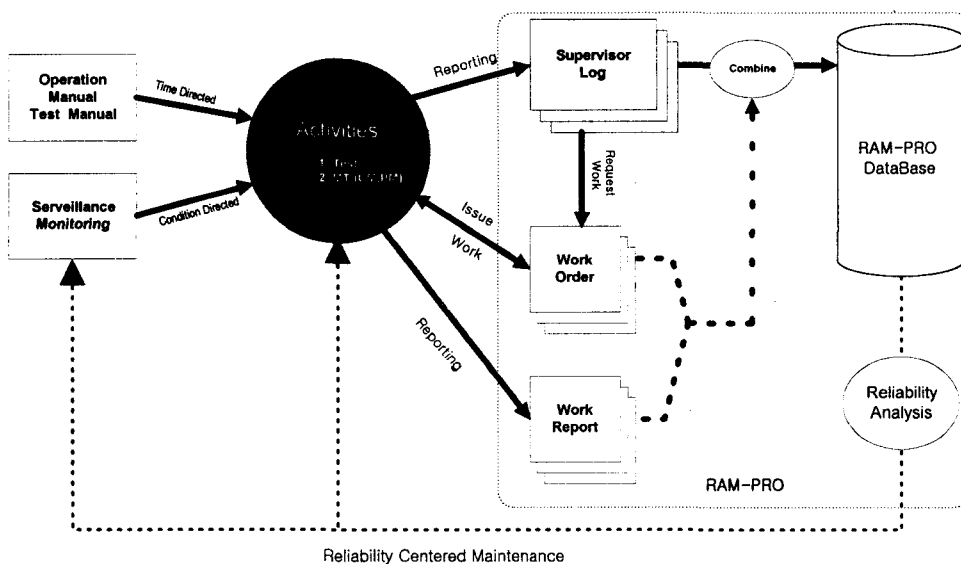


그림 1 신뢰도 기반 정비 최적화(연구부분)

#### 2.1.1 발전과장일지

본 연구를 위하여 가장 선행되어야 할 일은 각 기기에 대하여 실질 데이터가 기록된 발전과장일지를 입수하여 분석하는 것이었다. 수 기록으로 기록된 발전과장일지는 해당 연도의 것은 주제어실에서 기록 중에 있었으며, 과년도의 것은 최근 것에서 오래된 것까지 발전부 효율과 및 자료실에서 습득할 수 있었다. 발전과장일지에는 현재 발전소의 운전상태, 시험중인 계통/기기, 보수중인 계통/기기, 작업의뢰서 발행 사항, 운전 및 조작 사항, 그리고 다음 담당자에 대한 인계사항등의 항목들을 기록하게 되어 있었으며, 그 데이터로부터 데이터베이스의 구성에 필요한 각 항목들을 도출해 낼수 있었다.

### 2.1.2 작업의뢰서/작업보고서

발전과장일지에 기록된 데이터만으로는 각 작업별로 신뢰도 및 계통별 통계를 구해내기 위한 항목을 도출하기에는 부족함이 많았다. 즉 현행의 발전과장일지에서는 해당 작업별로 개괄적으로 작업의 사실을 기록한 것이기 때문에 경우에 따라서는 해당 작업의 정확한 분석이 어려운 경우도 있었다. 이러한 문제점을 해소하기 위해서 해당 작업과 관련된 작업의뢰서와 작업보고서를 분석한 후에야 결론을 내릴 수 있게되었다.

위와 같은 방법으로 입수된 데이터로부터 데이터베이스의 구성에 필요한 항목들을 도출할 수 있었고, 해당 항목별로 분류된 데이터의 범주들을 구할 수 있었다. 즉 그림1에서와 같이 RAM-PRO 데이터베이스에 저장되어야 할 데이터는 발전과장일지와 작업의뢰서, 작업보고서로부터 취합된 자료가 정규화 되어 저장되어 있다.

### 2.1.3 연구 계통 선정

본 연구에서 구현한 계통은 우선적으로 월성 1호기의 예비디젤발전기/비상디젤발전기를 적용 모델로 하였다. 그 이유는 예비디젤발전기/비상디젤발전기가 소외전력공급원 차단시와 같은 유사시의 발전소 내 전력공급을 담당해야할 주요 기기로서 기동 요구시 항상 기동 및 부하운전 되어야 하므로 항상 기기의 신뢰도를 감시하여야 하며, 또한 자체로서 하나의 작은 발전소로서 원자력 발전소 전반에 해당하는 기능들을 비상디젤 발전기 하나에 전반적으로 구현되어 있기 때문이다.

### 2.1.4 신뢰도 계산

본 연구에 적용한 신뢰도(R) 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R &= (1 - U_m) * R_s * R_r \\ R_s &= \text{기동신뢰도} \\ R_r &= \text{부하운전신뢰도} \\ U_m &= \text{보수로 인한 이용불능도} \\ R &= \text{신뢰도} \end{aligned}$$

또한

$$\begin{aligned} U_m &= \text{시험시간} + \text{보수시간} / \text{총운전시간} \\ R_s &= N_{ss} / N_{sd} \\ R_r &= N_{rs} / N_{rd} \\ N_{sd} &= \text{기동요구회수} \\ N_{ss} &= \text{기동성공수} \\ N_{rd} &= \text{부하운전요구수} \\ N_{rs} &= \text{부하운전성공수} \\ N_{rf} &= \text{부하운전실패수} \end{aligned}$$

그러므로 비상예비디젤발전기의 신뢰도는 다음과 같은 식으로 계산될 수 있다.

$$R = (1 - U_m) * R_s * R_r = (1 - U_m) * (N_{ss} / N_{sd}) * (N_{rs} / N_{rd})$$

## 2.2 RAM-PRO의 구축

RAM-PRO는 크게 발전과장일지를 입력하기 위한 발전과장일지 입력기(RAM-NOTE)와 RAM-PRO 데이터베이스에 입력된 발전과장일지를 토대로 신뢰도를 자동으로 구해주는 신뢰도 계산기(RAM-REL)로 구성되어 있다. 먼저 주 제어실에서 각 기기별로 발생하는 각종의 작업별호 RAM-NOTE에 입력하면 그것으로부터 자동으로 RAM-REL에 의해서 자동으로 신뢰도를 구할 수 있도록 되어 있다.

### 2.2.1 데이터베이스의 구조

RAM-PRO에 정의된 데이터베이스는 다음 표1과 같은 구조를 가지고 있다.

번호	필드	비고
1	기기명	기기종류
2	운전형태	
3	시작시각	일자, 시각
5	종료시각	일자, 시각
6	출력상태	시험/정비
7	시험결과	성공/실패/
8	내용	작업 상세 내용
9	작업보고서	관련보고서 번호
10	작업의뢰서	관련보고서 번호
11	고장유형	기동/운전 실패
12	고장계통	

표 1 RAM-PRO DB의 주요 필드구성

### 2.2.2 RAM-NOTE

RAM-NOTE는 현재 발전부 발전과에서 입력하고 있는 발전과장 일지를 전산화한 모듈로서, 기록지상에 남기는 각종의 정비, 운전, 이력 정보를 데이터베이스에 자동으로 저장되도록 구현하여 관리 및 분석에 도움을 주도록 구현한 시스템이다. 먼저 RAM-NOTE(발전과장일지 입력기)는 그림 2와 같이 발전과장이 SDG 및 EPS와 관련된 시험 및 정비자료를 입력할 수 있도록 각종 기기명, 운전형태(시험,정비,확인점검), 시작일자 및 시각, 종료일자 및 시각, 시험 및 정비 지속시간, 출력상태(경상, 계획, 간이), 시험결과(성공, 기동실패, 운전실패등), 그리고 실제 작업내용등을 입력할 수 있도록 구현하였다. 다음 그림2는 RAM-NOTE의 입력화면이다. 그림에서 보는 바와 같이 기기에 대한 시험과 정비 이력을 입력할 수 있도록 구현되어 있다. 이 데이터로부터 입력되는 자료는 RAM-PRO데이터베이스에 저장되므로 RAM-REL에서 신뢰도 계산을 위한 기초데이터로 사용된다. RAM-NOTE의 입력구조를 도식화하면 다음 그림3과 같다.

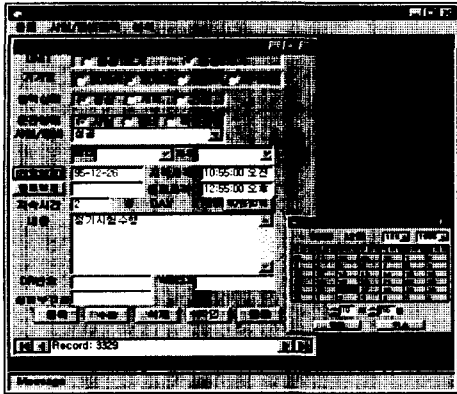


그림 2 RAM-NOTE

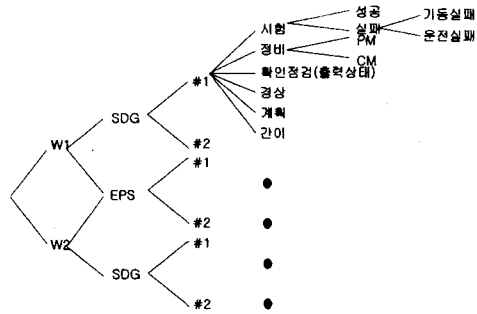


그림 3 RAM-NOTE 입력구조

### 2.2.3 RAM-REL

신뢰도 분석기는 발전과장일지 입력기(RAM-NOTE)를 이용하여 입력한 정비 및 운전 이력 정보를 기초로 하여 SDG의 신뢰도를 분석하는 모듈이다. 구현된 모듈로는 기기별 유효 신뢰도, CM 대 PM 구성비 분석 모듈, 연도별 가동 시간, 원인별 시험 실패 현황, 하부계통별 기동(운전) 실패 현황이 있다. 또한 기기별 유효 신뢰도 분석 모듈은 연도별 정비 시간, 총 기동 횟수, 기동 성공수, 운전 성공수 등을 이용하여 각 SDG 및 EPS의 연도별 부하운전 신뢰도를 구할 수 있도록 구현하였으며, 또한 각 연도별로 기동건수, 기동성공수, 부하운전성공수, 이용가능도, 신뢰도 등의 정보를 검색할 수 있도록 구현하였다.

CM 대 PM 구성비 분석 모듈은 각 시스템별로 고장정비(CM)와 예방정비(PM)의 비율을 계산하여 출력하여주는 모듈로서 전체 정비 시간으로부터 CM대PM의 비율을 분석하여 효율적인 정비 기법을 유도할 수 있도록 만든 모듈이다.

그리고 고장 원인별 분석 모듈은 시험 실패 현황을 기동 및 부하운전 실패에 대한 실패 원인별로 분류 및 분석하여 출력하여 주는 모듈이고, 고장계통별 기동(운전) 실패 현황은 하부계통별로 분류하여주는 모듈이다. 그림 4는 RAM-REL의 출력 예이다.

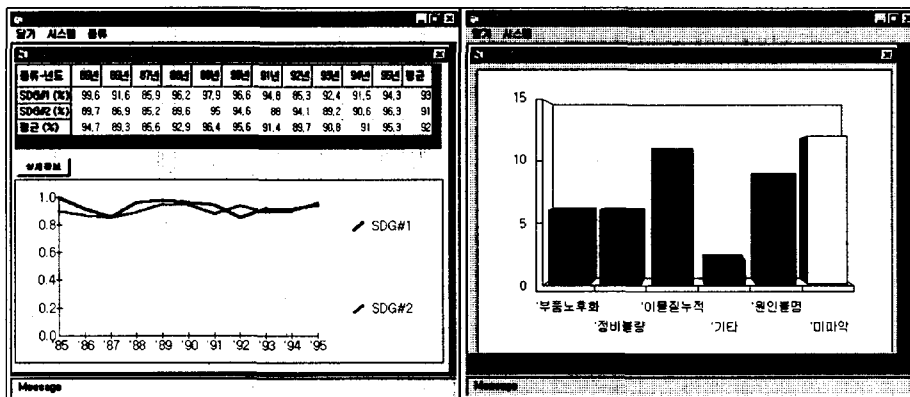


그림 4 RAM-REL의 출력 예

### 3. 신뢰도 분석

그림 4에서 보는바와 같이 시동공기 계통에서 이물질 누적으로 기동실패가 수차례 발생하였고, 해수부식에 의한 누수, 누유등으로 부하운전실패가 있었다. 그러나 윤활유 필터 및 냉각수 계통 열 교환기의 재질을 탄소강에서 타이타늄으로 교체하여 최근에는 부하운전 실패가 격감하였다. 기동실패를 줄이기 위해서는 시동공기계통의 설비 개선이 요구된다.

### 4. 결론

RAM-PRO의 개발로 인하여 현재 기록지상에 기록되는 발전과장일지를 전산 데이터 로써 저장할 수 있게되었다. 이로 인하여 전산데이터베이스로부터 해당 기기의 신뢰도를 구할 수 있게 되었으며, 이로 인한 관련 인력 절감 및 정확한 신뢰도를 계산할 수 있게 되었다. 이는 이번 연구에서 구현한 월성 1호기뿐만이 아니라 다른 발전소에도 공히 이용될 수 있으므로, 전 발전소에서 이러한 방식을 이용한다면 더욱 향상된 신뢰도 관리/감시 프로그램을 이용할 수 있게된다.

그러나 현재의 구현 모듈은 단독 실행형 모듈이므로 관련 데이터를 네트워크 상에서 공유할 수가 없는 단점이 있다. 그러나 기본적으로 각 작업별 데이터의 입력은 주제어실의 한곳에서만 발생하지만, 신뢰도의 검색은 여러 부서에서 가능하므로 이에 대하여 클라이언트/서버 방식 혹은 인트라넷 버전으로의 구현이 필요하다고 생각되며, 또한 국내 경수로형 원자력 발전소에서 운영중/준비중인 발전소 정비 전산시스템인 PUMAS/N-II와의 연계를 고려 해 보아야겠다.

### 참고문헌

1. Choi S.Y., S.H.Kim, S.M.Bae, K.Y.Kim, T.W.Kim, "Reliability Improvement Program for Standby Diesel Generators of a Nuclear Power Plant", IPEC Guangzhou '97, International Conf. on Plant Engineering, Guangzhou, China, Nov. 1997.
2. Regulatory Guide 1.155, " Station Blackout ", U.S. NRC, June 1988
3. P. Samanta, et. al., Emergency Diesel Generator: Maintenance and Failure Unavailability, and Their Risk Impacts " NUREG/CR-5994 (BNL-NUREG-52363), October 1994.
4. KEPCO, Quarterly safety evaluation reports for safety systems of Wolsong Unit 1, 1985-1993, Shift supervisors logs, and Deficiency/work reports (DR/WR), 1985-1995.
5. Tae-Woon Kim, et. al, " Reliability Improvement Project of Standby Diesel Generators of Wolsong Unit 1 ", September 1997. (in Korean).
6. Tae-Woon Kim, et. al, "Reliability Aanalysis of Standby Diesel Generators of a Nuclear Power Plant", MARCON 97, Tennessee USA, May. 1997.