

# 원전의 개량형 경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 기술 도입 분석

장귀숙<sup>○</sup> 박희운 금종룡 김영국\*

한국원자력연구소 계측제어·인간공학연구부, 충남대학교 전기정보통신공학부\*

{gsjang, hypark, jykeum}@kaeri.re.kr, ykim@cnu.ac.kr

## The Analysis of Introduction of Real-Time Active Database Technologies for Advanced Alarm Processing of Nuclear Power Plant

Gwisook Jang<sup>○</sup> Heuiyoun Park Jongyong Keum Youngkuk Kim

Korea Atomic Energy Research Institute I&C·HFE Department Chungnam National University Department of  
Computer Engineering

### 요 약

최근 원전 경보시스템은 운전원이 상황을 판단하는 데 불필요한 일시적인 경보나 결과 경보를 감축 및 억제하여 운전원의 주의를 특별히 필요한 경보에 집중하도록 하는 개량형 경보처리를 필요로 한다. 데이터베이스를 기반으로 원전 개량형 경보 시스템은 데이터베이스에 어떤 이벤트가 발생하면, 특정 공정을 검사해 조건이 맞는 경우 어떤 행동을 자동적으로 수행하여 경보처리를 수행할 필요가 있다. 또한 능동 규칙의 사용으로 데이터베이스 상태 변화에 자동으로 대응하는 유용성을 확보해야 한다. 따라서 시간제한 개념을 가지는 데이터베이스 모델과 이를 바탕으로 한 능동 처리 기능을 가진 실시간 시스템을 구축하여 경보감축 및 억제를 수행할 수 있다. 본 논문은 원전의 개량형 경보처리를 위한 데이터베이스 설계 고려 사항들을 분석하여 실시간 능동 데이터베이스 기술을 도입하기 위한 분석을 수행한다. 그리고 능동 규칙을 이용한 개량형 경보처리 예와 구현 고려사항을 파악한 후 개발 계획을 정립한다.

### 1. 서 론

1979년 미국 TMI-II 사고는 발생한 초기 3분간 300여개의 경보가 발생하여 이상상태 파악에 혼란을 초래하여 경보 시스템이 시급히 개선되어야 한다고 지적 받았다. 실제 원전 운영 시에도 초기 이상상태 발생 시에서 원자로 정지 시 수 개에서 많게는 30여개의 경보가 발생하고 원자로 정지로 인해 다시 적게는 30여개에서 많게는 80여개의 경보가 발생하는 것으로 밝혀졌다.

운전원은 30여개 이상의 경보가 발생하면 경보의 원인을 파악하는 데 혼란이 생기며, 100여개가 넘으면 상황 판단에 경보를 무시하는 것으로 나타나 있다. 그러나 단일사고에 의해 100여개의 경보가 발생한 경우를 가정할 때 원자로 정지 전까지 20여개의 경보는 하나의 원인에 의해 연속적으로 발생하는 결과 경보이며 원자로 정지로 인한 30여개의 경보는 일시적인 과도 상태로 발생하는 경보이다.

최근에는 운전원이 상황을 판단하는 데 불필요한 일시적인 경보나 결과 경보를 억제하여 운전원의 주의를 특별히 필요한 경보에 집중하도록 경보처리 방법의 적용에 대한 필요성이 대두되었고 디지털 시스템 기반의 경보처리와 VDU(Visual Display Unit) 기반의 경보 표시를 통

해 경보 감축 및 억제를 수행하는 개량형 경보시스템이 개발되고 있다[1].

본 논문은 경보의 감축 및 억제를 위해 먼저 개량형 경보시스템의 데이터베이스 설계 고려사항들을 분석하고, 이를 바탕으로 실시간 능동 데이터베이스 기술을 도입하기 위한 분석을 수행한다. 그리고 능동 규칙(active rule)을 이용한 개량형 경보처리 예와 구현 고려사항을 파악한 후 개발 계획을 정립한다.

### 2. 개량형 경보시스템의 요구 사항 분석

#### 2.1 개량형 경보시스템 특성

원전의 개량형 경보시스템은 원전의 이상 상태 시 효과적으로 원전의 상태에 따른 변화에 능동적으로 대처하고 경보의 원인 분석을 통해 운전원에게 필수적인 정보를 실시간으로 알려준다. 경보처리의 기본 기능은 원전 상황에 따른 경보생성, 경보감축 및 억제를 통해 운전원의 의사 결정에 효과적인 정보를 제공하는 것이다. 개량형 경보시스템은 원전의 안전 기능을 수행하는 시스템은 아니지만 정보 활용의 중요도로 인해 고신뢰도 감시 시스템으로 설계한다. (다중화, 다양화, 고품질 등급, 시험성 확보)

개량형 경보시스템은 연성 실시간 시스템으로서 고정

된 외부 입력신호수와 입력 주기 1초 이내의 응답시간 만족하고, 99% 가용도를 만족한다. 개량형 경보시스템의 구조는 Hot-standby 이중화 구조로 하드웨어(처리기, 통신 등) 문제나 소프트웨어적인 문제 발생 시 고장회복(failover)을 수행한다.

## 2.2 경보처리를 위한 데이터베이스 설계 고려사항

개량형 경보시스템은 원전의 지속적인 감시 및 즉각적인 응답을 해야 하는 디지털 기술 기반의 실시간 시스템이다. 그래서 외부 환경으로부터 다양한 변화들을 감지하면서 여러 가지 하부 시스템을 관리하고 실시간으로 대량의 데이터를 처리해야 하기 때문에 실시간 데이터베이스 개념 도입이 필요하다. 실시간 데이터베이스는 종료시한이라는 시간개념을 가지고 각 트랜잭션은 정해진 종료 시한 내에 수행을 완료할 수 있다 또한 경보감축 및 억제에 위해 기존의 수동적인 데이터베이스 개념이 아닌 능동 개념을 도입할 수 있다.

능동 데이터베이스는 기존 데이터베이스에 능동 규칙(active rule)과 규칙 거동(active behavior)을 통합하여 광범위하고 고도화된 응용 프로그램을 지원하기 위해 90년대에 활발한 연구가 진행되었다. 능동 데이터베이스는 다양한 이벤트를 감시하고 트리거된(triggered) 이벤트를 감시하고 조건절을 평가하여 참이 되면 그에 해당하는 액션절을 실행한다. 즉, 규칙이란 이벤트(event), 조건절(condition), 액션절(action)로 구성된다[2].

개량형 경보시스템을 위한 데이터베이스의 자세한 설계 고려사항은 다음과 같다.

- o 주기억장치 개념의 필요성  
원전의 개량형 경보시스템의 내진 요건을 만족하지 못하는 디스크 장치 사용을 배제한다
- o 실시간 개념의 필요성  
외부 환경으로부터 다양한 변화들을 감지하면서 실시간으로 대량의 데이터를 처리해야 한다 또한 실시간 트랜잭션 처리는 동시성을 갖는 여러 태스크 내에서 이루어져야 하며, 논리적 결과의 정확성 및 주어진 시간 내에 결과를 도출해야 한다
- o 시간지원 개념의 필요성  
시간의 흐름에 따라 축적된 데이터들을 효율적으로 저장, 이 데이터에 대하여 공통적인 이력관리와 시간적인 추적을 수행할 수 있는 연산 제공이 필요하다.
- o 능동 개념의 필요성  
경보감축 및 억제에 위해 기존의 수동적인 데이터베이스 개념이 아닌 능동 개념을 도입할 수 있다 즉, 데이터베이스에 어떤 이벤트가 발생하면 특정 공정을 검사해 조건이 맞는 경우 어떤 행동을 자동적으로 수행하여 경보처리를 수행할 필요가 있다 또한 능동 규칙의 사용으로 데이터베이스 상태 변화에 자동으로 대응하는 유용성을 확보해야 한다

이와 같은 데이터베이스의 설계 고려사항을 바탕으로 본 논문은 경보감축 및 억제를 수행하기 위해서는 시간제한 개념을 가지는 데이터베이스 모델과 그를 바탕으로 한 능동 처리 기능을 가진 실시간 시스템을 구축하여야 함을 제안한다.

## 3. 경보처리를 위한 실시간 능동데이터베이스 도입 분석

### 3.1 실시간 능동 데이터베이스 현황

능동데이터베이스는 능동규칙을 통해 사용자 또는 응용프로그램의 명시적 요구와 특정 연산에 대응해서 스스로 조건부 조치를 자동으로 수행할 수 있다 특히 능동규칙은 사용자 수준에서 정의 수정 및 삭제가 가능하여 데이터베이스 시스템의 활용 영역을 극대화할 수 있는 특성이 있다. 정의된 능동규칙은 규칙 컴파일러에 의해 실행 가능한 규칙으로 등록되어, 처리 엔진에 의해 정해진 순서에 따라 실행되어 트리거하는 사건이 감지되면 조건 평가 후 조치를 수행하는 일련의 규칙 실행이 개시된다.

1997년 이후에는 실시간 데이터베이스와 능동 데이터베이스 개념을 합치는 연구가 이루어 졌다 실시간 능동 데이터베이스는 실시간 데이터베이스에 외부환경에 대해 다양하고 신속한 반응을 하는 능동적인 요소를 적용한 것이다.

실시간 능동 데이터베이스는 외부의 사건이나 다른 트랜잭션에 의해서 트랜잭션들이 수행되는 실시간 데이터베이스이다. 그리고 실시간 능동 데이터베이스에서 트랜잭션은 각 트랜잭션이 만족해야 하는 종료시한 외에 능동 규칙에 의해서 다른 트랜잭션을 수행하는 능동관계를 만족해야 한다.

이와 같은 실시간 데이터베이스 시스템 개념은 능동 데이터베이스 시스템의 비예측성(unpredictability)을 보완한다 [3].

### 3.2 경보처리에 적용 시 효과

경보처리에 실시간 능동데이터베이스를 적용 할 때 다음과 같은 효과가 있다.

- o 사용자가 응용프로그램의 변경이나 지식 없이 규칙 정의 언어를 이용하여 규칙을 정의할 수 있음
- o 응용 프로그램의 코드 수정 없이 빠른 시간 안에 논리를 재정립할 수 있음
- o 각 규칙이 이벤트로 상호 연계되어 컴포넌트 조립처럼 복잡한 경보논리를 모델링할 수 있어 편리함
- o 코드 크기를 줄임

### 3.3 능동 규칙을 이용한 개량형 경보처리 예

- 1) 기기-상태 의존  
해당 기기(펌프, 밸브 등)의 상태에 따라 관련 경보를 경

보로 고려할 필요가 없을 때 경보를 감축한다 또한 원전의 운전 모드에 사용되지 않는 기기에 대한 경보를 감축한다

표 1 기기-상태 의존의 능동 규칙 적용 예

사건	트리거	액션
E1	펌프 트립	트리거 C1
E2	저 유량	트리거 C2
C1	E1사건과 E2사건 동시발생	저 유량 경보는 경보 감축

2) 다중 설정치 관계

어떤 변수의 경보가 발생된 상태에서 같은 변수에 대해 더 심각한 경보가 발생하면 덜 심각한 경보를 억제한다

표 2 다중 설정치 관계의 능동 규칙 적용 예

사건	트리거	액션
E1	가압기 고압력	트리거 C1
E2	가압기 고-고 압력	트리거 C2
C1	E1 사건 이후 연이어 E2 사건 발생	덜 심각한 고압력 경보의 우선순위를 낮게 설정하여 경보 억제

3) 원인-결과 관계

어떤 부분의 오류로 인한 원인 경보는 다른 부분의 결과 경보를 야기한다 이와 같이 운전원의 대응이 필요 없는 결과경보를 억제한다

표 3 원인-결과 관계의 능동 규칙 적용 예

사건	트리거	액션
E1	주급수펌프 흡입 저유량	트리거 C1
E2	히터 드레인 탱크 저 유량	트리거 C2
C1	E1 사건 이후 연이어 E2 사건 발생	결과경보는 우선순위를 낮게 설정하여 경보 억제

4.0 경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 시스템 개발

4.1 구성 요소

실시간 능동 데이터베이스 시스템은 미리 정의된 상황을 자동적으로 감시하는 능력과 미리 정의된 활동에 따라 반응하는 능력을 가져야 한다. 이와 같은 실시간 능동 데이터베이스 시스템의 특징은 다음과 같은 메카니즘이 필요하다 [4].

- o 반응 거동(reactive behavior)을 기술해야 한다.

- 규칙언어는 기본 수단으로 제공되어야 한다
- 반응 거동을 정의하는 활동을 규칙사항(rule specification)이라고 한다.
- 응용의 복잡성에 따라 규칙 사양도 복잡해지므로 능동 데이터베이스는 규칙언어 외에 지원 도구를 제공해야 한다. (규칙설계, 규칙 검증 및 규칙개발 과정의 다른 과정 등)

- o 반응 거동을 시험할 수 있어야 한다

- 연관된 상황을 감시하고 반응하는 메카니즘이 필요하다.
- 능동 DBMS에 의해 수행되는 활동들은 규칙처리 정의에 포함된다.

1) 능동 규칙

능동 규칙은 다음과 같이 구성된다 즉, ACTER (Et, Ct, At | tb) 는 Et (< a' | tb >) - Ct (< a' | tb >) - At (< a' | tb >) 의 형태로 구성된다 즉, 이벤트 Et 가 발생하였을 때 요구된 조건 Ct가 만족되면 해당 액션 At 가 시행되도록 함을 의미한다 이벤트 Et는 원인 행위로 명확히 구분 가능한 트랜잭션과 데이터베이스 외부에서 발생한 기 정의된 특정 사건 하나 이상의 조합을 의미한다. 조건 Ct는 조치행위의 선행 조건으로서 데이터베이스에 대한 질의를 포함한 데이터베이스 상태확인을 위한 조건 표현이다 액션 At는 사건발생 결과로 수행되도록 기술하는 것으로 본래 이벤트와 별개의 작업 순서로 조건의 만족을 전제로 수행되는 데이터베이스 작업순서 또는 응용작업 순서를 기술한다

2) 규칙 실행

규칙실행 동안 발생하는 주요단계는 그림과 같다[5].

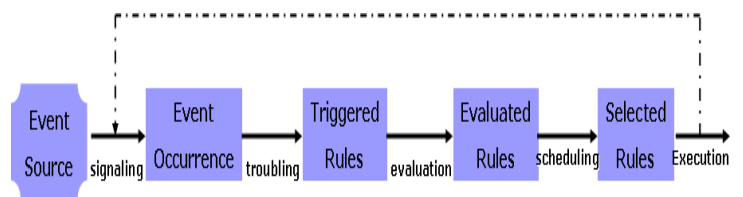


그림 2 능동 데이터베이스의 규칙실행 단계

- o Signaling  
사건 발생으로 인해 “이벤트 발생” 인식단계
- o Triggering  
발생한 사건이 연관된 규칙을 트리거하는 단계
- o Evaluation  
트리거된 규칙의 조건을 평가하는 단계
- o Scheduling  
규칙충돌셀이 어떻게 처리되는지 방법을 기술하는 단계

o Execution

선택된 규칙을 실행하는 단계로서 액션이 실행되는 동안 다른 사건들은 연결된 규칙 실행이 가능함

4.2 주요 현안

경보 감축 및 억제를 위해 실시간 능동 데이터베이스 기술 적용 시 주요현안은ECA 규칙 즉 지식을 어떻게 기술해야 하는 가와 기술된 지식을 어떻게 실행할 것인가 하는 것이다. 이와 연관된 주요 현안은 그림 3과 같다. 주요 현안들 중 경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 적용에서 가장 중요한 현안은 결정론적인(deterministic) 품질을 확보할 수 있는 개발 방법론 설정이다.

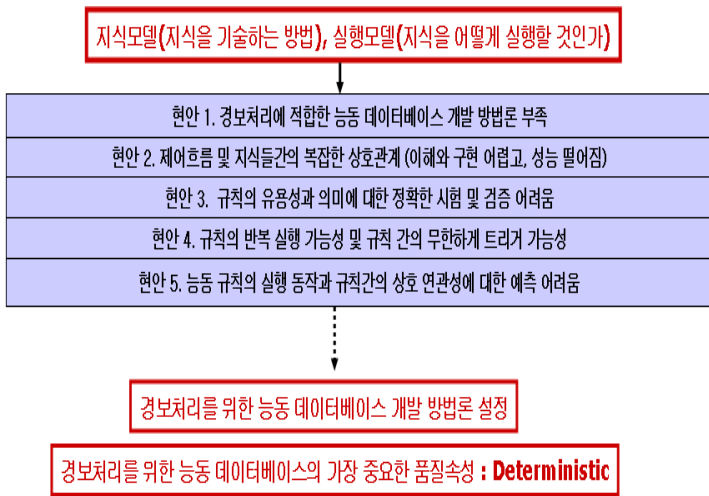


그림 3 실시간 능동 데이터베이스 기술 현안

4.3 실시간 및 능동 관점의 구현 시 고려사항

o 실시간 관점의 구현 고려사항

실시간 시스템인 경보시스템은 외부 환경에 대해서 다양하고 신속한 반응을 해야 하기 때문에 능동적인 요소를 지원해야 한다. 그리고 실시간 트랜잭션 모델링 방법, 동시성 제어, 회복기능, 주기억장치 기반 데이터베이스 및 실시간 인덱싱 기법을 고려해야 한다

o 능동 관점의 구현 고려사항

능동 규칙의 효율적인 설계 방법이 정립되어야 한다 또한 정의된 능동 규칙은 규칙 컴파일러에 의해 실행 가능한 규칙으로 컴파일 되어 규칙 시스템에 등록되며 동시에 규칙베이스에 저장된 능동 규칙을 지원하는 규칙 컴파일러가 필요하다. 그리고 규칙들을 설계하고 가상적으로 규칙들의 적용을 확인하여 잠재적인 오류를 줄일 수 있는 검증설비가 필요하다

4.4 개발 계획

경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 시스템 개발 계획은 그림 4와 같다. 경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 기술 적용은 프로토타입 개발 및 시험을 통해 기술현안들의 상호관계를 분석하여 최적의 설계 방법을 설정해야 한다.

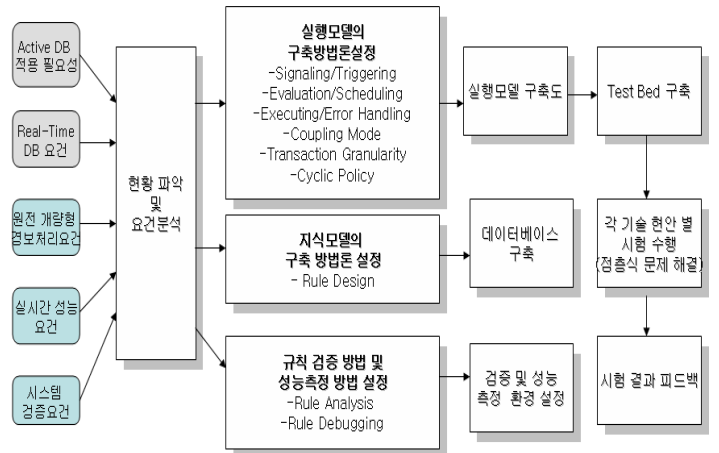


그림 4 경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 시스템 개발 계획

5.0 결론

최근 원전 경보시스템은 운전원이 상황을 판단하는데 불필요한 일시적인 경보나 결과 경보를 감축 및 억제하여 운전원의 주의가 특별히 필요한 경보에 집중하도록 하는 개량형 경보처리를 필요로 한다. 데이터베이스를 기반으로 원전 개량형 경보 시스템은 데이터베이스에 어떤 이벤트가 발생하면, 특정 공정을 검사해 조건이 맞는 경우 어떤 행동을 자동적으로 수행하여 경보처리를 수행할 필요가 있다. 또한 능동 규칙의 사용으로 데이터베이스 상태 변화에 자동으로 대응하는 유용성을 확보해야 한다.

따라서 시간제한 개념을 가지는 데이터베이스 모델과 그를 바탕으로 한 능동 처리 기능을 가진 실시간 시스템을 구축하여 경보감축 및 억제를 수행할 수 있다

본 논문은 원전의 개량형 경보처리를 위한 데이터베이스 설계 고려사항들을 분석하여 이를 바탕으로 실시간 능동 데이터베이스 기술을 도입하기 위한 분석을 수행하였다. 그리고 능동 규칙을 이용한 개량형 경보처리예와 구현 고려사항을 파악한 후 개발 계획을 정립하였다.

실시간 능동 데이터베이스의 주요현안은ECA 규칙 즉 지식을 어떻게 기술해야 하는 가와 기술된 지식을 어떻게 실행할 것인가 하는 것이다. 개량형 경보처리를 위한 실시간 능동 데이터베이스 기술 적용에서 가장 중요한 현안은 결정론적인(deterministic) 품질을 확보할 수 있는 개발 방법론 설정이다. 앞으로 프로토타입 개발 및 시험을 통해 기술현안들을 극복할 수 있는 방안들을 도출하여 실시간 능동 데이터베이스 기술 적용을 통해 개량형 경보처리가 가능함을 객관적인 자료를 근거로 확인할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 한국원자력연구소, 인간공학 설계검토지침의 초안개발(III), 1999
- [2] 오성균, 능동 데이터베이스의 병렬 규칙 실행 모델에서 멀티 프로세스 할당 정책, 한국데이터베이스 학술대회 논문집, 1999
- [3] Sang H. Son, System issues in supporting active real-time databases, ARTDB-95, Sweden, 9-11, June, 1995
- [4] Anca Vaduva, Rule Development for Active Database Systems, 1999
- [5] Umeshwar Dayal. Active Database Management System. In proceeding of the Third International Conference on Data and Knowledge Base, page 150-169, Jerusalem, June 1988