

원전감시 시스템을 위한 능동적 시간지원 규칙 모델

남 광 우[†] · 박 정 석^{††} · 류 근 호^{†††}

요 약

원전 감시, 공정 제어, 주식 시장 관리 및 통신 데이터 관리 등은 시간 개념을 갖는 데이터의 관리와 효율적인 데이터 처리를 위한 능동적 규칙 처리 기능에 필요로 한다. 그 동안 능동 데이터베이스 시스템에 시간 개념 지원을 확장하려는 연구들은 다소 있었지만 시간지원 데이터베이스를 바탕으로 한 능동 데이터베이스에 관한 구체적인 연구는 아직 많지 않다. 더욱이 실제 응용분야에 적용시키려는 노력은 찾아보기 어렵다. 이 논문은 이원시간지원 데이터베이스에 바탕을 둔 능동적 시간지원 데이터베이스 시스템에서의 능동적 시간지원 규칙 모델을 제시하였다. 아울러 제시된 규칙모델에 의한 규칙언어와 실행의 의미를 설명하고 원전 감시 시스템에 대한 적용 예를 보여주었다.

An Active Temporal Rule Model for a Nuclear Plant Monitoring System

Kwang-Woo Nam[†] · Jeong-Seok Park^{††} · Keun-Ho Ryu^{†††}

ABSTRACT

Many applications such as nuclear power plant monitoring, plant process control, stock market management, and network data management require a database system supporting both temporal data model and active rule processing. There have been some efforts to extend the temporal functionalities of the active database system, but an active database system based on temporal database, especially the one applied to the real application is rare. In this paper, we proposed an active temporal rule model based on bi-temporal database. And a rule language following the proposed rule model was described with its execution semantics. Then, how to apply to the nuclear power plant monitoring system was given as the examples.

1. 서 론

원전 감시, 공정 제어, 주식 시장 관리 및 통신 데이터 관리 등은 보다 효율적인 시스템의 구현과 처리, 그리고 기능의 확장을 위해 시간 개념을 갖는 데이터의 관리와 능동 데이터베이스의 능동적 규칙 처리 기

능을 동시에 필요로 한다[1, 2]. 원전 감시 시스템[3, 4, 5, 6]은 시간에 따라 변화하는 많은 양의 데이터를 관리 및 처리한다[7, 8, 9]. 이 시스템에서의 데이터 처리는 시간의 흐름이나, 발전소 운전원의 요구, 혹은 발전소 상태의 변화 등과 같은 사건 발생적 요인에 따라 여러 종류의 작은 단위로 구별되어 실행될 필요가 있다[10, 11, 12]. 기존의 원전 감시 시스템들은, 이와 같은 데이터의 특성이나 처리상의 특성을 잘 지원해 줄 수 있는 데이터베이스 시스템을 갖추고 있지 못하기 때문에, 해당 소프트웨어의 개발이 매우 복잡해지고, 보다

* 이 연구는 한국과학재단 핵심전문연구비(#971-0902-015-2)의 지원으로 수행되었음.

† 준 회 원 : 충북대학교 대학원 전자계산학과

†† 정 회 원 : 청주과학대학 컴퓨터학과 교수

††† 종신회원 : 충북대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수: 1998년 10월 30일, 심사완료: 1999년 7월 29일

유용한 처리 기능의 구현에 한계가 있어 왔다[8, 9, 13, 14, 15].

시간지원 데이터베이스는 시간개념을 지닌 정보의 저장, 관리를 지원한다[16]. 데이터베이스의 변경과 같은 어떤 사건의 발생 시 그 상태가 주어진 조건에 합치되면 정해진 어떤 작업을 자동적으로 수행해 주는 데이터베이스 시스템을 능동 데이터베이스 시스템이라 한다[17]. 원전 감시 시스템이, 시간지원 데이터 모델과 그를 바탕으로 한 능동 처리 기능을 갖춘 데이터베이스 시스템을 기반으로 하면, 보다 쉽고 편리하게 효율적으로 구축될 수 있으며, 아울러 그와 같이 구현된 감시 시스템은 시간지원 데이터 모델과 능동 데이터베이스 시스템이 지원하는 여러 기능들[17, 18]을 통하여 보다 다양하고 강력한 기능을 갖는 시스템으로 개선될 수 있다.

능동 데이터베이스 시스템에 시간 개념 지원을 확장하려는 연구들은 그 동안 계속적으로 진행되어 왔다. 하지만, 많은 부분은 시간지원 데이터 모델을 고려하지 않는 일반 데이터베이스 상에서의 능동 규칙에 시간적 사건이나 시간 관련 표현을 포함하는 조건부 기술을 가능하게 하는 것들로, 그들 중 일부[19, 20, 21]는 일반 데이터베이스 상에서의 능동 규칙에 시간적 사건이나, 시간 관련 표현을 포함하는 조건부 서술만 가능하다. 또한 Chomicki[22]와 Sistla[23, 24]등도 데이터베이스 자체가 시간지원 데이터 모델을 기반으로 하지 않는 상황에서 PTL(Past Temporal Logic)등을 바탕으로 한 소급 및 선행 갱신 처리 지원만을 제시하고 있으며, Jasper[25]나 Ramamritham[2]은 실시간 처리 지원을 위한 능동규칙상의 시간조건 표현에 관해 논하고 있다. Akker[26]는 데이터 모델이 일부 시간 속성을 지원하도록 확장하였지만, 완전한 시간지원 데이터베이스가 아니고 제약성을 갖는 이력 데이터베이스에 능동기능이 결합된 형태를 제시하고 있다. 그리고 Opher Etzion등은 [27]에서 능동 규칙 처리에 시간속성을 갖는 데이터 모델을 포함하는 개념을 제안하고 그를 기반으로 PARDES[28]와 TALE[29]의 능동규칙 처리에 시간속성을 갖는 데이터 모델을 대상으로 하는 내용을 포함시켰다. 그러나 이들에 의해 제시된 시간지원 능동 규칙의 내용은 매우 기본적인 제한적인 표현만을 기술하고 있어서 시간지원 데이터베이스로부터의 능동 규칙 처리에서 고려될 수 있는 여러 형태의 시간표현이나 시간연산표현을 포함하는 규칙 표현과 규칙처리

모델에 관한 정의 등이 결여되었다.

이처럼 기존의 연구는 대부분이 능동개념에 시간사건을 확장하는 개념이었거나 시간데이터 모델을 고려하였다더라도 한정적인 표현만을 다루었기 때문에 다양한 형태의 시간관련 사건이나 조건 처리 기능을 요구하는 실세계의 여러 응용분야에 적용하기에는 부족한 점이 많다. 따라서 원전 감시 시스템과 같이 데이터의 처리에 시간 속성이 고려되어야 하면서 아울러 사건의 경우에 따라 결정되는 여러 가지의 처리 형태를 능동 규칙 모델을 통해 구현하고자 하는 경우에는 다양한 시간관련 사건이나 조건 표현이 허용되는 시간지원 데이터베이스를 바탕으로 한 확장된 능동규칙 처리 시스템이 반드시 요구된다.

이 논문은 시간과 능동 기능을 함께 지원하는 시간지원 데이터베이스 상의 능동규칙 처리 시스템을 정의하여 원전감시 시스템에 적용하도록 하는 것이다. 즉 시간지원 데이터 모델에 바탕을 둔 능동 데이터베이스 시스템인, 능동적 시간지원 데이터베이스 시스템의 개념을 능동규칙 처리 개념의 정의를 통해 제시하고, 규칙언어의 정의와 실행 의미를 기술한다. 아울러, 이와 같은 능동적 시간지원 데이터베이스의 정의는, 원전 감시 시스템에서의 데이터 특성이나, 데이터 처리상의 특성을 효율적으로 잘 지원할 수 있는 새로운 데이터베이스 시스템의 제시를 전제로 하며, 원전 감시 시스템의 일부 기능에 대한 능동 규칙의 예를 통하여 실제 어떻게 적용될 수 있는 지를 보여준다. 제시된 규칙언어는 시간지원 데이터베이스를 기반으로 하기 때문에 사건의 기술에 있어 데이터의 시간속성에 관한 제약과 처리상의 의미를 함께 제시한다.

논문의 제2장에서는 능동적 시간지원 데이터베이스를 정의하고 능동 규칙 처리 시스템의 구조를 설명한다. 제3장은 능동적 시간지원 데이터베이스 규칙언어를 제시하고 제시된 규칙언어의 연산 의미를 설명한다. 제4장은 원전감시 시스템에 능동적 시간지원 데이터베이스 시스템을 적용한 예를 보여주며, 마지막 제5장에서는 결론을 맺고 있다.

2. 능동적 시간지원 규칙

능동적 시간지원 데이터베이스는 시간속성을 갖는 자료의 관리와 능동규칙의 처리기능을 모두 갖추어야 한다.

2.1 시간지원 데이터베이스

이 논문에서 제시하는 능동적 시간지원 규칙은 시간 지원 데이터베이스 기반을 전제로 한다. 먼저 여기에서 사용하는 시간관련 표현은 다음과 같이 정의한다.

[정의 1] 시점과 시간격

- 시점 TP = {tp_i | i = -∞, ..., 0, 1, ..., now, now+1, ..., ∞이고 tp_i < tp_{i+1}}, 단 now는 '현재시점' t_{now}를 표현하기 위한 지시어이며, tp_i는 년, 월, 일, 시, 분 및 초의 시간단위(chronon)로 표현되는 시점들이다.
- 시간격 TI = {시간의 구간을 나타내는 순서쌍 <vt_s, vt_e> | vt_s, vt_e ∈ TP이고 vt_s ≤ vt_e이며, <vt_s, vt_e> ∈ {{vt_s, vt_e}, [vt_s, vt_e], (vt_s, vt_e), (vt_s, vt_e)}}, 단 [와]는 각각 vt_s와 vt_e가 구간 내에 포함됨을 뜻하며, (와)는 각각 vt_s와 vt_e가 구간내에 포함되지 않음을 뜻한다.

[정의 2] 시간

시간 T = {t_i | t_i ∈ TP ∪ TI}이면서 t_i < t_{i+1}이고, i는 -∞ ≤ i ≤ ∞인 정수

[정의 3] 유효시간, 거래시간, 사용자 정의 시간, 시간 상수 및 이원시간

- 유효시간(valid time) VT = {vt | vt ∈ T}, VT ⊆ T
- 거래시간(transaction time) TT = {tt | tt ∈ T}, TT ⊆ T
- 사용자 정의 시간 UT = {ut | ut ∈ TP}, UT ⊆ TP ⊆ T
- 시간상수 TC = {tc | 절대시간 상수나 상대시간 상수}, TC ⊆ T
- 이원시간(binary time) BT = <VT, TT> = {{<vt, tt> | vt, tt ∈ T}

일반적으로 시간 개념이 지원되는 시간지원 데이터베이스는 시간개념을 적용하는 데이터의 단위(granularity)에 따라 테이블 타임 스탬핑, 튜플 타임 스탬핑, 애트리뷰트 타임 스탬핑 등으로 각각 불리우는 어느 한 방법 또는 그들의 복합방법에 의해 구성된다. 그리고 각각의 방법은 시스템의 구현방법이나 처리성능과 밀접한 관계를 갖는다[30]. 여기에서는 튜플 타임 스탬핑을 전제로 다음과 같이 시간지원 데이터베이스를 정의한다.

[정의 4] 시간지원 데이터베이스

시간지원 데이터베이스 R = {<ntt, bt> | bt ∈ BT이고, ntt는 bt에 종속적}, 단 ntt는 bt 시간 범위에서 R의 비 시간속성들의 값으로 만 구성된 튜플 인스턴스다.

이원시간 BT를 지원하는 R은 이원시간 데이터베이스다. 이원시간 데이터베이스에 대한 연산은 [30]에 잘 나타나 있다.

2.2 능동적 시간지원 규칙 모델

능동 데이터베이스 시스템은 특정한 상황의 발생을 감시하고, 그와 같은 상황이 발생하였을 때 적절한 조치를 촉발시키는 기능을 갖춘 데이터베이스 시스템이다[17]. 감시하고자 하는 상황과 그에 대한 조치 내용은 전문가 시스템에서 이용하는 것과 유사한 생성 규칙 내에 표현이 되며, 그와 같은 규칙들은 데이터베이스 내에 정의되어 저장, 관리된다. 능동 데이터베이스 시스템에서 쓰이는 능동 규칙은 일반적으로 사건-조건-조치(ECA : Event Condition Action) 형태로 표현된다.

능동 데이터베이스 기능과 연관된 시간 지원에 관한 접근방법은 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 첫째는 시간지원 데이터베이스 모델을 다루지 않는 데이터베이스 상에서 능동 규칙의 시간적 사건이나 시간 관련 표현을 포함하는 조건부 기술만을 가능하게 하는 내용들이다. 둘째는 능동 데이터베이스 시스템을 시간 지원 데이터베이스도 처리할 수 있는 시스템, 즉 시간 지원 데이터베이스 모델 상에서 능동적 규칙 처리를 수행하는 데이터베이스 시스템으로의 확장을 제시하는 내용들이다. 전자의 경우는 규칙 내에 시간 사건이나 사건의 시간 속성을 표현하고 처리해 주며, 조건부 상에서 사건 발생의 시간 속성과 관련된 조건 표현을 처리하도록 하지만, 데이터베이스에 저장되는 데이터 자체의 시간 속성과 관련된 처리는 취급되지 않는다. 후자의 경우는 시간지원 데이터 모델을 대상으로 한 데이터의 시간 속성에 관한 연산이 능동 규칙의 사건부나 조건부 및 조치부에 나타날 수 있도록 하는 시스템으로 그 특성이나 내부적 처리에 전자의 경우와 큰 차이가 있다.

이 논문에서는 시간지원 능동 데이터베이스 시스템이라 불리는 전자의 경우와 구별하여 후자를 능동적 시간지원 데이터베이스 시스템이라고 한다. 그리고 능동적 시간지원 데이터베이스 시스템을 위한 능동적 시간지원 규칙을 다음과 같이 정의한다.

[정의 5] 능동적 시간지원 규칙 ACTER(Active Temporal Rule)

ACTER = {<E, C, A, bt> | 시간지원 데이터베이스에 대해 E 사건이 발생되었을 때 요구된 조건 C가 만족되면 해당 조치 A가 시행되어야 함을 의미하는 문법적 구조를 통해 기술되는 규칙표현으로 이원시간 bt에 의해 한정됨}

이때 사건 E, 조건 C 및 조치 A는 각각 다음과 같다.

사건 E: 능동 규칙 설정의 원인 행위로 명확히 구분되어 기술될 수 있는 시간지원 데이터베이스 트랜잭션이나 데이터베이스 외부에서 발생한 미리 정의된 특정 사건들 중의 하나 또는 그 이상의 조합. 사건의 기술은 이원시간의 연산표현을 포함한다.

조건 C: 사건발생에 따른 조치 행위의 선행조건으로, 시간지원 데이터베이스에 대한 질의를 포함한 데이터베이스 상태 확인을 위한 조건표현.

조치 A: 사건 발생의 결과로 수행되도록 기술된, 본래 사건과 별개의 작업 순서로 조건의 만족을 전제로 수행되는 시간지원 데이터베이스 관련 작업순서 또는 외부 응용작업순서.

한편, 시간지원 데이터베이스에서는 [27, 28]에서 언급된 내용과 같이 소급갱신과 선행갱신의 상황이 발생한다. 다음은 제시된 시간지원 데이터베이스와 ACTER에 기반 한 소급갱신(선행갱신) 규칙과 소급(선행) 규칙이행(rule activation)의 정의다.

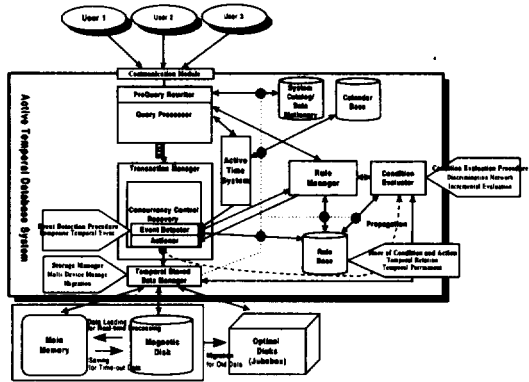
[정의 6] 소급(선행) 규칙과 소급(선행) 규칙이행

- 소급갱신: 튜플의 과거 유효시간 범위 값 갱신
- 선행갱신: 튜플의 미래 유효시간 범위 값 갱신
- 소급갱신(선행갱신) 규칙: 소급(선행) 갱신을 조치부에 갖는 규칙
- 소급(선행) 규칙이행: 과거(미래) 상태에 대한 규칙의 적용

2.3 ACTER 처리 시스템

능동적 시간지원 데이터베이스 시스템은 시간지원 데이터베이스 시스템의 기반 위에 능동규칙 처리 시스템을 추가적으로 요구한다. 더욱이 여기에서의 능동규칙 처리시스템은 일반 능동 데이터베이스 시스템의 규칙 처리시스템에 비해 시간속성을 처리할 수 있는 기

능을 추가로 갖추어야 하며, 그를 위해 달리 시스템과도 밀접한 연계를 유지하여야 한다. (그림 1)은 연구를 통해 개발된 시스템의 개념적 구조와 관계를 보여준다.



(그림 1) 능동적 시간지원 규칙 처리 시스템 구성도

(그림 1)에서 보는 바와 같이 시스템은 트랜잭션 내에 규칙과 관련된 사건의 검출을 위해 필요한 사건 검출기(Event Detector)와 조치의 실행을 위한 조치 실행기(Actioner)를 필요로 한다. 그 외에 규칙의 처리를 위한 별도의 규칙 관리자(Rule Manager)와 조건의 평가를 위한 조건 평가기(Condition Evaluator)가 별도로 되도록 하였으며, 달리 시스템 지원을 위한 능동 시간 시스템(Active Time System)을 포함시켰다.

사건 검출기는 트랜잭션의 발생시 규칙이 명세하는 사건의 발생을 검출한다. 사건 검출기는 기본 사건(primitive event)뿐만 아니라, 기본사건들의 결합된 형태인 복합사건(composite event)의 검출도 목표로 한다. 기본 사건은 시간 사건과 시간 속성을 갖는 데이터에 대한 변경이나 삭제와 같은 데이터 접근 등을 포함하기 때문에 능동 시간 시스템의 지원을 필요로 한다. 조치 실행기는 조건의 평가가 참이 되었을 때 규칙에 명세된 조치를 실행시킨다. 규칙에서 명세하는 조치들은 다양한 형태로, 단일 문장 형태의 데이터베이스 연산이나, 일련의 프로시저어 혹은 외부 프로시저어에 대한 호출 등이된다. 조건 평가기는 규칙에 기술된 데이터베이스 연산을 포함하는 논리 연산식과 관계연산 식으로 구성된 술어(predicate)를 평가하여 그 결과를 조치 실행기에게 알린다. 술어의 평가에는 시간지원 데이터 모델상의 시간속성을 고려한 조건, 프로잭션, 집계함수등의 처리가 포함된다. 그리고 능동

시간 시스템은 시간지원 데이터베이스 시스템에서 사용하는 다중 달력 시스템의 확장으로, 규칙 자체의 시간 속성 및 규칙의 처리와 관련된 다양한 시간 표현 등을 일관성 있게 처리하도록 해 준다. 따라서 능동 규칙 시스템의 여타 구성 요소들은 능동 규칙의 시간적 표현의 처리를 위해서 모두 이 능동 시간 시스템에 의존한다.

이상의 각 구성 요소들은 실질적인 구현에 있어 이 논문에서 제안하는 능동 규칙언어의 정의와 매우 밀접한 관계를 갖는다. 따라서 이들의 세부 기능은 다음에 제안되는 능동 규칙언어의 실행 의미에 의해 구체화 된다.

3. 능동적 시간지원 데이터베이스의 능동규칙 연산

3.1 ACTER 표현 언어

능동규칙 언어는 일반적으로 사건-조건-조치에 관한 표현 외에도 규칙 실행 단위(granularity), 결합 모드(coupling mode), 규칙 실행의 원자성(atomicity), 충돌 해결 방법, 사건의 소멸 범위 및 트랜잭션 이력의 사용(inspection) 등에 관하여 명시적이거나 묵시적인 형태의 정의를 필요로 하며, 이와 같은 내용들은 규칙언어의 문법적 구조(syntax)와 의미(semantics)의 정의를 통해 이루어 질 수 있다. 다음은 정의 5에 기술된 ACTER의 정의에 근거하여 설계된 규칙언어의 구조다. 규칙과 규칙 설명에 내포된 시간 관련 개념과 시간지원 데이터베이스는 정의 2, 정의 3, 및 정의 4의 정의 내용을 의미한다.

```
CREATE TRIGGER <rule-name>
[AS VALID <temporal expression>]
[ORDER <order value>]
<temporal event>
  [<event action link>]<trigger event>[<temporal area>]
  ON <table name>|
  <temporal composite event>]
[REFERENCING <temporal references>]
[FOR [(IMMEDIATE|DEFERRED)] EACH (ROW | STATEMENT)]
WHEN <condition containing TSQL2-predicate>
DO [(IMMEDIATE|DEFERRED)(DEPENDENT|INDEPENDENT)
SEPARATE]] <actions>
```

규칙은 트리거의 유효시간을 갖는 AS VALID 구문과, 우선 순위를 나타내는 ORDER 구문, 시간지원 사건을 표현할 수 있는 사건 구문, 시간지원 데이터베이스에 대하여 시간 데이터를 참조를 할 수 있는 REFERENCING 구

문, 연결 모드를 나타내는 구문, 그리고 시간지원 조건 구문을 포괄하는 조건 평가 구문과 조치를 실행할 수 있는 조치 구문으로 나뉘어 진다. 사건의 기술은 절대 시간에 이르렀을 경우나 상대적 시간의 경과 등을 표현하는 시간사건과 시간속성을 갖을 수 있는 테이블상의 데이터 접근으로 명시되는 데이터 접근 사건, 그리고 이들의 조합으로 이루어진 복합사건 형태로 이루어 진다. 조건의 기술은 TSQL2의 술어표현을 그대로 채택하였으며, 처리는 시간지원 데이터베이스에 대한 TSQL2 질의어 표현이 되거나 외부 프로시저어에 대한 실행요구가 된다.

능동적 시간지원 데이터베이스에서 규칙은 이원시간(bi-temporal) 릴레이선에 저장된다. 이것은 규칙의 유효시간과 거래시간을 지원함으로써 실제 규칙이 생성되는 시간과 실행되는 시간의 차이를 표현할 수 있게 하고, 규칙이 생성되거나 삭제된 시간에 대한 추적(audit)을 할 수 있게 한다.

3.2 ACTER 언어의 연산 의미

(보기 1)의 예는 앞 절에서 제안된 규칙언어에 의한 규칙의 정의와 그에 대한 규칙 테이블의 인스턴스를 보여준다.

```
(보기 1) CREATE TRIGGER alarm_check
AS VALID PERIOD [4/1997-3/1998]
AFTER INSERT ON analog_inputs
REFERENCING NEW AS new_analog_input
WHEN new_analog_input.value >
  (SELECT alarm_limit
  FROM alarm_checking
  WHERE new_analog_input.analog_input_point_id=point_id)
DO INSERT INTO alarm_list
VALUES (new_analog_input.point_id, FALSE)
```

<표 1> 규칙 테이블

Trigger	Event	Condition	Action	V _{from}	V _{to}	T _{start}	T _{end}
alarm_check	e1	c1	a1	4/1997	3/1998	1/1997	uc

AS VALID절은 정의된 규칙의 유효시간을 지정함으로써 규칙 자신도 시간차원상에서 효율적으로 적용, 관리될 수 있도록 하였다. 이 절이 생략된 경우에 규칙의 유효시간은 규칙이 생성된 시점부터 현재까지가 된다.

능동규칙은 ALTER 명령을 사용하여 유효시간과 규칙의 조건 등을 변경할 수 있다. (보기 2)의 예는 현재

정의되어 있는 alarm_check라는 규칙에 유효시간을 추가하는 절의이다.

```
(보기 2) ALTER TRIGGER alarm_check
INSERT VALID PERIOD [6/1/1997-6/30/1997]
```

동시에 트리거된 규칙의 충돌은 ORDER절을 통한 순서의 명시에 의해 피할 수 있으며, 명시되지 않았을 때는 규칙이 정의된 순서를 규칙의 처리 순서로 한다. 시간사건은 규칙이 지정된 시점이나 시간범위 혹은 상대적 시간의 경과나 시간적 주기에 따라 규칙이 실행 되는 것을 가능케 한다.

데이터 접근사건은 예약어 ON 다음에 테이블명을 명시하도록 함으로써 사건의 정의를 통해 규칙이 적용 되는 대상 데이터의 영역이 지정된 테이블로 한정되도록 해 준다. 데이터 접근사건절의 맨 앞에는 BEFORE 나 AFTER를 사용하여 사건을 일으키는 데이터베이스 연산의 실행 전을 사건 발생 시점으로 할 것인지, 실행 후를 발생 시점으로 할 것인지 지를 명시할 수 있다. <event action link> 부분에 BEFORE나 AFTER 대신 INSTEAD OF가 쓰여지면 데이터베이스 연산의 실행 전을 사건 발생 시점으로 하고, 사건을 발생시키는 연산의 내용을 실행되지 못하게 하고 규칙의 나머지 조건과 조치부 내용이 대신 실행되도록 한다. 생략 시는 연산의 실행 후를 사건 발생 시점으로 한다. <trigger event>와 <temporal area>는 사건의 중심이 되는 데이터베이스 연산과 그 연산의 대상이 되는 거래시간 혹은 유효시간의 표시를 통해 사건의 범주를 한정해 준다. 데이터 접근사건은 INSERT, DELETE, UPDATE 연산 중의 하나에 의해 설정된다. 그리고 UPDATE에 의한 사건일 경우에는 OF <column list> 구의 추가적인 기술에 의해 사건을 속성 단위에서 정의 할 수 있다. <temporal area>부분에는 FOR VALID PERIOD에 의한 유효시간의 범위를 기술하여 연산의 시간적 대상 범위를 명시해 줄 수 있다.

앞에서 설명한 바와 같이 이 논문에서 제안하는 능동 규칙은 시간지원 데이터베이스 상에 트리거 영역에 대한 정의를 포함한다. 이것은 '어떤 시간영역의 데이터베이스에 대해 삽입이나 삭제 혹은 갱신이 발생했을 때 규칙이 트리거 되는 가'에 대한 정의를 의미한다. (보기 3)의 예는 alarm_list 테이블 상에서 '유효시간이 1997년 4월부터 6월 사이에 해당되는 데이터에 대한 삽입이나 갱신'을 사건으로 하는 경우를 보여준다.

```
(보기 3) CREATE TRIGGER alarm_suppression
INSERT or UPDATE
FOR VALID PERIOD [1997/4-1997/6]
ON alarm_list
REFERENCING NEW AS new_alarm
WHEN new_alarm.point_id = 'changing_pump_1_flow_rate'
DO REJECT
```

시간지원 데이터베이스 시스템은 달력 시스템의 지원을 필요로 한다. 시간지원 데이터베이스 상의 능동 규칙 정의에 있어, 사건의 기술이나 조건의 기술에 복수개의 역법을 사용함으로써 사용자와 친근한 형태의 트리거를 정의할 수 있게 하였다. (보기 4)의 예는 1997년 설날부터 1998년 12월 31일까지 기간중의 휴일에 발전소 출력이 80%이하가 되면 경보를 발생시키는 트리거의 예이다.

```
(보기 4) CREATE TRIGGER Holiday-Alarm
INSERT
FOR VALID (PERIOD [Newyearsday, 1997 - December
31, 1997])
CALENDARIC WITH Korean-Holiday ON Holiday
ON calculated_items
REFERENCING NEW AS new_calculated
WHEN new_calculated.calculated_point_id = 'PPWRPCT' AND
new_calculated.Value < (SELECT alarm_limit
FROM alarm_checking
WHERE point_id =
'PPWRPCT')
DO INSERT INTO alarm_points
VALUES ('PPWRPCT', FALSE)
```

<표 2> Alarm_Checking 테이블

Point_Id	Type	Description	Alarm_Limit	Alarm_Color
PPWRPCT	LOW	Plant Power is too low	80	RED

일반적으로 규칙은 과거 트랜잭션에 의해 변경된 데이터들을 참조하기 위해 REFERENCING 절을 갖는다. REFERENCING 절은 데이터 접근사건과 함께 기술 되어 OLD AS에 의한 데이터의 과거 값이나, NEW AS에 의한 새로운 값의 참조를 가능하게 한다. 참조 되는 데이터의 단위는 정의되는 규칙의 규칙실행 단위에 따라, 튜플 혹은 테이블이 된다. (보기 5)의 예는 analog_inputs 릴레이션에 대한 검색 시에 검색이 요구된 데이터의 유효시간만을 past_period라는 변수로 참조함을 의미한다.

```
(보기 5) CREATE TRIGGER Tape_request
BEFORE SELECT ON analog_inputs
REFERENCING VALIDTIME PERIOD
AS past_period
```

```
WHEN past_period BEFORE Last_vacummed_date
DO call request_backup_media(past_period)
```

FOR절은 IMMEDIATE와 DEFERRED에 의해 사건-조건 처리시점 연계(E-C Time Coupling) 모드를 설정할 수 있도록 하고, EACH ROW나 EACH STATEMENT에 의해 규칙실행 단위를 명시하도록 한다. IMMEDIATE 모드는, 인터럽트를 허용하지 않는 일련의 갱신 단위를 기준으로, 사건을 일으키는 갱신 단위가 완료되는 즉시 조건부가 평가되도록 하고, DEFERRED 모드는 트랜잭션이 commit되기 직전에 조건부가 평가되고 규칙의 나머지 부분의 처리가 이루어지도록 한다. IMMEDIATE나 DEFERRED가 생략되면 DEFERRED 모드로 간주된다.

WHEN절은 규칙의 조건부에 대한 표현으로 TSQL2 질의어 조건 절의 표현을 도입하여 시간속성의 표현이 그대로 사용되도록 했으며, REFERENCING절을 통한 데이터 참조가 이 절에 인용되어 쓰일 수 있다.

DO절은 조치 절을 기술해 주는 부분으로, 먼저 IMMEDIATE, DEFERRED 및 SEPARATE에 의해 조건-조치 처리시점 연계(E-C Time Coupling) 모드를 설정으로 시작된다. IMMEDIATE 모드는 규칙의 조건부 평가가 완료되는 즉시 조치부의 실행이 이루어지도록 한다. DEFERRED 모드는, 조건부 평가가 트랜잭션 내에서 어느 시점이든 이루어진 후이고, 트랜잭션이 commit되기 직전인 시점에 조치부의 실행이 이루어지도록 한다. DEPENDENT SEPARATE는 규칙을 트리거 시킨 트랜잭션의 commit이 확인된 경우에만, 조치부가 별도의 트랜잭션으로 생성되어 실행되도록 하고, INDEPENDENT SEPARATE는 규칙을 트리거 시킨 트랜잭션의 commit 여부와 관계없이 조치부에 대한 별도의 트랜잭션이 생성되어 실행되도록 한다.

조치부는 TSQL2에서 정의된 시간지원 데이터베이스 연산 명령어 또는 질의어가 되거나, 외부 프로시저어에 대한 실행 요청 명령어로 이루어지며, 역시 REFERENCING절을 통한 데이터 참조가 이 절에 인용되어 쓰일 수 있다.

규칙실행의 원자성 측면에서 제안된 규칙언어는 조치부의 실행 중 새로운 규칙을 트리거 시키는 일이 발생되면 실행중인 조치 내용을 중지하고 새롭게 트리거된 규칙의 처리 단계로 진행되도록 하는, 인터럽트 트리거링 방식을 택하였다. 이 방식은 사건-조건 처리시점 연계의 IMMEDIATE 방식으로 정의된 규칙도 일

관성 있게 처리되도록 해준다.

사건의 소멸 방식은 해당 규칙별로 조건 평가가 완료되는 시점에 소멸되도록 하는 방식을 택하였다. 이 방법은 기존의 능동 데이터베이스 시스템에서 가장 많이 채택된 방식으로, 원전 정보 시스템처럼 하나의 데이터베이스에 입력된 데이터를 바탕으로 여러 가지의 처리가 발생하는 경우, 동일 사건에 의해 별개의 여러 규칙이 트리거 되고, 이들이 서로 독립적으로 처리, 실행되도록 함에 있어 적합한 형태이다.

트랜잭션 이력의 사용에 있어 과거 값은 트랜잭션이 시작되기 이전의 값(pre-transaction state)으로 하고, 규칙의 조건 평가에서 고려되는 과거 사건에 의해 영향받은 내용으로는 가장 최근에 규칙을 실제 트리거 시킨 사건에 의한 변화들만을 고려한다.

소급갱신(선행갱신) 규칙과 소급(선행) 규칙이행에 의한 소급(선행)갱신은 [27]에서 지적된 데이터 참조 시점 문제, 과거에 거부된 입력데이터 참조문제를 포함하여 규칙의 연쇄적인 트리거링에 의한 무한 루핑 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 여기에서는 동일 규칙이 동일 데이터항목의 과거 혹은 미래의 동일시기에 대해서는 1회의 트리거링 만을 허용함으로써 이러한 문제를 피하도록 하였다. 원전 감시 시스템과 같은 실제 응용 시스템에서 일반적으로 동일한 데이터 항목에 대한 동일한 과거시점 값의 변화에 대한 반복적인 동일 규칙의 적용에 대한 요구는 필수적이지 않다.

4. ACTER의 적용

이 장에서는 앞에서 제안한 ACTER 연산을 원전감시 시스템에 적용하기 위한 데이터베이스 스키마 설계와 스키마에 정의된 데이터들이 감시 시스템에서 동작되는 예를 기술한다.

4.1 스키마 설계

원자료와 주변설비의 여러 부위에 설치된 각종의 센서들에 대한 데이터는 전체 정보처리의 기반이 된다. 그리고 센서들은 각각의 특성에 따라 시시각각으로 원전의 각 부위의 상태를 감지하여 여러 형태의 데이터들을 생성하게 된다. 생성된 데이터는 그 자체가 원전의 상태를 판단할 수 있는 정보로 사용되기도 하고, 원전의 상태를 나타내는 새로운 변수값의 계산을 위한 입력이 되기도 한다. 원전 감시 시스템은 아날로그 데

<표 6> Analog Inputs 테이블 2

Point_Id	Value	Status	V _{min}	V _{to}	T _{start}	T _{end}
...
RCP100X	151	0	1997/7/3 08:20:15	1997/7/3 08:20:18	1997/7/3 08:20:15	-
RCP100X	152	0	1997/7/3 08:20:18	-	1997/7/3 08:20:18	-
...

<표 7> Alarm_Checking 테이블

Point_Id	Type	Description	Alarm_Limit	Alarm_Color	V _{min}	V _{to}	T _{start}	T _{end}
...
RCP100X	HIGH	Pressurizer Pressure High Alarm	151.9	RED	1997/3/1	-	1997/3/1	-
...

<표 8> Alarm_List 테이블

Point_Id	Type	Acknowledge	V _{min}	V _{to}	T _{start}	T _{end}
...
RCP100X	HIGH	FALSE	1997/7/3 08:20:18	-	1997/7/3 08:20:18	-
...

과 같이 HIGH 경보를 위한 한계 값 설정이 되어 있는 경우에 앞의 RCP_Press_Alarm 능동 규칙에 의해 Alarm_List 테이블에는 <표 8> 에 나타난 것과 같은 새로운 튜플이 추가됨을 보여준다.

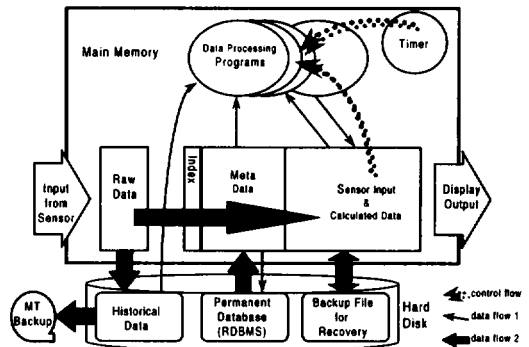
4.3 비교 평가

현재 국내 원자력 발전소에서 사용중인 소프트웨어에서는 기존의 일반 데이터베이스를 사용하기 때문에 복잡하고 비효율적으로 데이터가 관리되고 있으며 그를 기반으로 한 응용프로그램 역시 매우 복잡한 구조를 이루고 있다.

(그림 3)은 실제로 최근 일부 원전에 설치되어 사용 중인 원전 감시 시스템의 예다. 여기서 보여주는 바와 같이 원전 감시 시스템의 정보처리 컴퓨터인 PCS(Plant Computer System)상에서의 데이터처리 형태를 살펴보면 다음과 같다[7].

- 1) 센서 데이터는 매초마다 입력되고 PCS 소프트웨어는 값의 변화에 관계없이 매초 값을 주기억장치 내 센서입력데이터 영역에 변경 저장한다.
- 2) 그에 따라 저장된 값들을 바탕으로 한 계산도 입력값의 변화 여부에 관계없이 매초 혹은 정해진 주기마다 주어진 공식을 반복 계산한다.
- 3) 과거에 센서로부터 입력되거나 계산에 의해 산출된 값들과 같은 이력 데이터가 저장 관리되는 데

이터베이스는 없다. 단지 정해진 두 종류의 시간 간격으로 센서 입력 데이터를 저장 관리하는 화일 시스템이 구현되어 있으며 이를 HDSR(Historical Data Storage & Retrieval)이라 한다. HDSR은 화일시스템으로 구현되어 있기 때문에 하드코드화된 프로그램 모듈들에 의해 관리되는 정해진 형태의 자료구조만을 지원할 수 있을 뿐, 다양한 형태의 검색 요구는 지원하지 못한다. 아울러 HDSR 화일 내에 저장되는 데이터 항목들의 순서나 개수가 바뀌면, 과거에 저장된 데이터들의 자료구조가 유지되지 못하기 때문에 그 시점 이전에 저장된 과거데이터들의 검색은 불가능하게 된다.



(그림 3) 기존 원전 감시 시스템의 데이터 처리

<표 9> 능동적 시간지원 DB 사용 시스템의 장점

비교 사항	구분	기존 시스템	능동적 시간지원 DB 사용 시스템	능동적 시간지원 DB 사용 시 장점
· 시간속성을 갖는 데이터의 저장, 관리		time-stamp를 붙인 데이터를 순차파일로 파일 시스템이 관리	이원시간 지원 DB로 DBMS가 관리	DBMS를 통한 데이터 관리의 일반적 장점
· 과거 이력 데이터의 검색		순차 파일 검색을 위한 응용 프로그램 모듈 사용	시간지원 질의어를 통한 DB 검색	다양하고 효과적인 검색 가능
· 시간속성 연산		해당 연산 별 응용 프로그램 모듈 구현	능동적 시간지원 질의의 사용	다양하고 효과적인 연산 가능
· 시간의 흐름에 따른 데이터 값의 변화 감시		해당 데이터 항목별 응용 프로그램 모듈을 구현하여 정기적으로 반복 실행	DB에 능동적 시간지원 규칙 정의	간편한 구현. 상대적 시스템 load 감소
· 시간 사건의 감시		사건별 시간 관련 시스템 인터럽트 처리 모듈	DB에 능동적 시간지원 규칙 정의	간편한 구현
· 감시 대상 내용의 변경		프로그램 모듈의 변경	능동적 시간지원 규칙 갱신	간편한 구현
· 감시 대상 내용의 추가		프로그램 모듈의 추가 구현과 정기적인 반복 실행을 위한 모듈 스케줄러 변경	DB에 능동적 시간지원 규칙 추가	간편한 구현. 추가적인 시스템 load 증가 없음

이와 같은 기존의 시스템과 비교하여 앞에 제시된 적용 예는, 능동적 시간지원 데이터베이스 ACTER를 통해 원전 감시 시스템의 기능들이 어떻게 편리하고 효율적으로 구현되어 동작할 수 있는지를 보여 주었다. 다음의 <표 9>는 원전 감시 시스템 소프트웨어의 구현과 기능에 있어 ACTER와 같은 능동적 시간지원 데이터베이스가 지원되는 경우와 그렇지 않은 기존 시스템과의 차이를 보여주고 있다.

5. 결론 및 향후 연구

원전 감시 시스템은 시간속성을 갖는 데이터의 능동적 처리를 요구한다. 이 논문에서는 이와 같은 데이터베이스 응용분야의 요구를 만족시키기 위한 능동적 시간지원 규칙모델과 언어 체계를 설계하였고 적용 예를 보여 주었다.

시간지원 데이터베이스 상의 능동규칙은, 시간 사건이나 시간 속성을 참조하는 데이터 접근 사건에 근거한 데이터의 능동적 처리를 가능하게 하였다. 이와 같은 기능들은 원전 감시 시스템에서 요구되는 시간의 흐름에 따라 변화되어 가는 값들의 저장 관리 기능과, 그와 같은 시간속성을 갖는 데이터들에 대해 사건발생적 요인에 따라 반복적으로 수행되는 다양한 데이터 처리 형태를 효율적으로 구현하도록 해 준다.

제안된 능동규칙 언어는 표현 형태에 있어, 현재 ISO의 SQL92의 확장 표준화 안으로 작성되고 있는 SQL3의 SQL/Foundations에 기술된 트리거 표현 문법 형태를 따르면서 시간지원 데이터 모델을 위한 확장을 추구하였고, 또 시간지원 데이터 모델과 그에 대한 질의어는 TSQL2의 제안을 채택하고, TSQL2의 질의 표현

형태를 능동규칙 표현 확장에 도입함으로써 SQL/Temporal의 시간속성 개념 정의나 표현형태로부터 크게 벗어나지 않도록 하였다. 즉, 제시된 능동 규칙언어는 시간속성의 표현이나 능동규칙의 표현에 있어, 개발중인 SQL3의 표준화 안을 따르도록 함으로써, 사용자의 부담을 최소화하도록 하였으며, 여타 응용분야의 능동규칙 표현이나 시간속성을 갖는 데이터 관리 요구에도 일반적으로 적용될 수 있다. 아울러, 이 논문은 원전감시 시스템의 구축 예를 통하여 능동적 시간지원 데이터베이스의 실용성을 보여주었다.

한편, 제안된 ACTER 언어는 실시간 처리를 위한 시간제약 조건의 기술[2,25]과 소급 및 선행 갱신과 관련되어 발생할 수 있는 문제점[23,27]에 대한 궁극적 해결책을 현재 포함하지 않기 때문에 이들에 대한 추가 연구가 요구된다.

참고 문헌

- [1] A. Datta, Research Issues in Databases for ARCS : Active Rapidly Changing data Systems, SIGMOD RECORD, Vol.23, No.3, Sept. 1994.
- [2] K. Ramamritham, R. Sivasankaran, J.A. Stankovic, D.T. Towsley, and M. Xiong, Integrating Temporal, Real-Time, and Active Databases, SIGMOD Record, Vol.25, No.1, Mar. 1996.
- [3] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Functional Criteria for Emergency Response Facilities, NUREG-0696, Feb. 1981.
- [4] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Requirements for Emergency Response Capability, Suppli-

- ment 1 to NUREG-0737, Dec. 1982.
- [5] M.J. Stofko, S.E. Dlugolenski, R. Hoffman, R.M. Versluis, and P.J. Gaudio, *Advanced Computer Applications for Plant Monitoring Systems*, Nuclear Plant Journal, May-June 1989.
- [6] M.G. Johnson, *Design Specification for the Plant Monitoring System for YongGwang Nuclear Power Plant Units 3&4*, ABB C-E Design Document 10487-IC-DS710-00, Jun. 1989.
- [7] L.E. Olbrych, *Software Design Specification for the Plant Computer System Software for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-00, Jan. 1996.
- [8] G. Sibley, *Software Design Specification for the HDSR Module for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-06, May 1996.
- [9] J.W. Soisson, *Software Design Specification for the Update Time Dependent Variables Module for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-20, Aug. 1994.
- [10] J.S. Park, *Software Design Specification for the BOP Application Module for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-28, Oct. 1994.
- [11] L.E. Olbrych, *Software Design Specification for the In-Core Application Module for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-20, Aug. 1994.
- [12] K.Y. Sohn and J.N. Lanzalotta, *Software Design Specification for the Critical Function Monitor Module for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-23, Mar. 1996.
- [13] G. Sibley, *Software Design Specification for the Input Maintenance Facility for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-45, Mar. 1996.
- [14] G. Sibley, *Software Design Specification for the HDSR Startup Modules for the UIChin Nuclear Power Plant Units 3 and 4*, ABB C-E Design Document 91791-IC-SX710-49, May 1996.
- [15] 한국전력, 발전소 감시전산기 프로그램 문제점 및 개선방향 표, 한전 공문 영본(이측)758.12-676 붙임, 4월 1996.
- [16] R. Snodgrass and I. Ahn, "Temporal Databases," *IEEE Computer*, September 1986.
- [17] J. Widom and Ceri, S (editors). *Active Database Systems - Triggers and Rules For Advanced Database Processing*. Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- [18] A. Tansel, J. Clifford, S. Gadia, A. Segev, and R. Snodgrass (eds.). *Temporal Databases : Theory, Design, and Implementation*. Benjamin/Cummings, Redwood City, CA, 1993.
- [19] R. Chandra, A. Segev, M. Stonebraker, *Implementing Calendars and Temporal Rules in Next Generation Databases*, Lawrence Berkeley Lab. TR 34229, Berkeley CA, 1993.
- [20] K. R. Dittrich, S. Gatzui, *Time Issues in Active Database Systems*, Proceedings of the Intl. Workshop on an Infrastructure for Temporal Databases, Arlington, Texas, June 1993.
- [21] N.H. Gehani, H.V. Jagadish, I.S. Mumick, *Temporal Queries for Active Database Support*, Proceedings of the Intl. Workshop on an Infrastructure for Temporal Databases, Arlington, Texas, June 1993.
- [22] J. Chomicki and D. Toman, *Implementing Temporal Integrity Constraints using an Active DBMS*, *IEEE Tran. on Knowledge and Data Engineering*, V.7, No.4, pp.566-581, Aug. 1995.
- [23] M. Deng, P. Sistla, O. Wolfson, *Temporal Conditions with Retroactive and Proactive Updates*, Proceedings of ARTDB 1995, International Workshop on Active and Real-Time Database Systems, Skovde, Sweden, June 1995.
- [24] P. Sistla, O. Wolfson, *Temporal Triggers in Active Databases*, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE)*, pp.471-486, June 1995.

- [25] H. Jasper, O. Zukunft, Time Issues in Advanced Workflow Management Applications of Active Databases, TR-IS-AIS-95-02, Fachbereich Informatik Univ. Oldenburg, Jun. 1995.
- [26] J.F.P. van den Akker and A.P.J.M. Siebes, DEGAS : A Temporal Active Data Model based on Object Autonomy, Report CS-R9608, CWI, Amsterdam, The Netherlands, 1996.
- [27] O. Etzion, A. Gal, A. Segev, Temporal Active Databases, Proceedings of the Intl. Workshop on an Infrastructure for Temporal Databases, Arlington, Texas, June 1993.
- [28] O. Etzion, A. Gal, A. Segev, Data Driven and Temporal Rules in PARDES, Proceedings of Conference on Rules in Database Systems, Edinburgh, pp.92-108, 1993.
- [29] A. Gal, O. Etzion, A. Segev, TALE-A Temporal Active Language and Execution Model, LBL-TR-95, Lawrence Berkeley Laboratory, June 1995.
- [30] R. Snodgrass (editor). The TSQL2 Temporal Query Language, Kluwer Academic Pub., 1995.



남 광 우

e-mail : kwnam@dblab.chungbuk.ac.kr
 1995년 충북대학교 전자계산학과 (학사)
 1997년 충북대학교 대학원 전자계산학과(석사)
 1999년 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 수료

관심분야 : 시공간 데이터베이스, GIS, 인터넷 데이터베이스



박 정 석

e-mail : jspark@cjcnet.chongjunc.ac.kr
 1981년 숭실대학교 전산학과(공학사)
 1983년 숭실대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)
 1996년 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 수료

1983년~1996년 한국원자력연구소(선임연구원)
 1996년~현재 청주과학대학 컴퓨터과학과 조교수
 관심분야 : 능동적 시간 데이터베이스, 실시간 능동 데이터베이스, 통합 데이터베이스



류 근 호

e-mail : khryu@dblab.chungbuk.ac.kr
 1976년 숭실대학교 전산학과(이학사)
 1980년 연세대학교 산업대학원 전산전공(공학석사)
 1988년 연세대학교 대학원 전산전공(공학박사)

1976년~1986년 육군군수 지원사 전산실(ROTC 장교), 한국전자통신연구원(연구원), 한국방송대 전산학과(조교수) 근무
 1989년~1991년 Univ. of Arizona Research Staff (TempIS 연구원, Temporal DB)
 1986년~현재 충북대학교 컴퓨터과학과 교수
 관심분야 : 시간 데이터베이스, 시공간 데이터베이스, GIS 및 지식기반 정보검색시스템, 객체와 지식베이스 시스템