

2001 추계학술발표회 논문집  
한국원자력학회

초장주기 원자로 통합 설계 툴을 위한 설계 자료 및 지식 데이터베이스 시스템  
구축을 위한 연구  
A Study on The Construction of Design Data & Knowledge Database System for  
Integrated Design Tool of Ultra Long Life Reactors

김웅수, 성풍현

한국과학기술원

**요약문**

본 연구를 통하여 ‘초장주기 원자로 통합 설계 툴’을 개발하는 데에 있어 기반이 되는 원자력 발전소 설계 지식/자료의 데이터베이스의 모델 및 구조가 정립되고 구현되었으며, 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램이 개발되었다. 설계특성상 많은 양의 정보를 처리하고 저장해야하는 원자력발전소 설계에 적합한 데이터베이스 모델은 완벽한 데이터의 독립성과 구조적 독립성 그리고 확장성을 구현하기에 적합한 관계형 데이터베이스 모델이 적합한 것으로 결론지어졌고, 이에 따라, 노심 핵물리, 열수력, 원자로 시스템 설계를 위한 자료들로 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 다음으로 구축된 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템으로부터 사용자가 원하는 데이터를 추출하는 작업과정 및 데이터베이스 프로그램의 요구사항들을 결정하였고, 추출된 데이터를 적절한 값으로 변환시켜서 내보내는 일종의 전문가 시스템을 구현하였으며, 데이터의 입출력 방식을 정립하였다. 그리고 이를 바탕으로 데이터베이스 관리 프로그램을 개발하였다.

**Abstract**

In this work, the model and structure of NPP design-data/knowledge database are determined and implemented for a integrated design tool of ultra long life reactors. And the database management program for the design-data/knowledge database system is developed. From the design characteristics of NPP, it is concluded that the relational database model is appropriate, and the database system is constructed using core physics, T/H, and system design data. Then the database management program for this database is developed through analyzing working process of designer, program requirements, data I/O interface, and implementing a simple expert system for data processing.

**I. 서론**

본 연구에서는 ‘초장주기 원자로 개념 및 최적화 설계를 위한 핵심 설계 툴’을 개발하는 데에 있어 기반이 되는 설계 지식 및 설계 자료의 데이터베이스 시스템 구축을 위한 연구를 수행하

였다. 이러한 작업의 일환으로 먼저 원자력발전소 설계 자료 및 지식 데이터베이스 시스템의 개념 및 구조 정립에 관한 작업을 수행하였다. 첫 번째로 많은 양의 정보를 처리하고 저장해야 하는 원자력발전소 설계 특성에 적합한 데이터베이스 모델의 결정을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 데이터베이스 시스템에 관한 문헌조사를 수행하였으며, 이러한 문헌조사 및 분석을 기반으로 하여 원자력발전소 설계 특성에 적합한 데이터베이스 모델을 결정하였는데, 여러 데이터 베이스 모델 중에서 완벽한 데이터의 독립성과 구조적 독립성 그리고 확장성을 구현하기에 적합한 관계형 데이터베이스 모델(relational database model)이 초장주기 원자로 개념 및 최적화 설계를 위한 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템에 적합한 것으로 결론지어졌다. 관계형 데이터베이스 모델에 있어서 그 구성은 2차원 테이블로 이루어지고, 각 데이터간의 관계는 동일 선상의 열에 의해 정의된다.

두 번째로 설계 지식 및 자료 데이터베이스 시스템의 구조를 정립하고 구현하였으며, 구현된 구조를 바탕으로 데이터베이스 시스템을 구축하는 작업을 수행하였다. 위에서 기술한 바와 같이 결정된 관계형 데이터베이스 모델을 바탕으로 네 가지 참조 액체 금속로 노형-4S, KALIMER, ENHS, Energy-Amplifier-과 각 노형에 따라 각각 9가지의 계통-core, reflector, reactor vessel, cover gas system, intermediate heat exchanger, EM-pump #1, #2, S/G, reactor vessel auxiliary cooling system-에 대하여 노심 핵물리, 열수력, 원자로 시스템 설계를 위한 자료들로 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 데이터베이스 시스템의 구축은 Oracle사의 대표적인 데이터베이스 관리시스템인 Oracle 8i을 이용하였으며, 데이터베이스 시스템이 구축되는 플랫폼은 PC를 기반으로 하였다.

세 번째로 구축된 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템으로부터 사용자가 원하는 데이터를 추출하는 방식을 결정하였고, 추출된 데이터를 적절한 값으로 변환시켜서 내보내는 일종의 전문가 시스템을 구현하였으며, 데이터의 input/output interface 방식을 정립하였다. 그리고 이를 바탕으로 데이터베이스 관리 프로그램을 개발하였다. 이를 이용 노형에 따른 계통데이터를 검색할 수 있으며, 동일 종류의 계통들에 관한 데이터도 검색이 가능하다. 또한 사용자의 설계파라미터 변경(설계출력변경 및 계통기기 변경)에 따라 설계 지식/자료 데이터들이 적절한 값으로 변환되어 추출된다. 이렇게 개발된 데이터베이스 관리프로그램을 데이터베이스시스템과 접목시켜 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 툴을 구축하였다.

## II. 데이터베이스 시스템

데이터베이스 관리 시스템(database management system: DBMS)은 상호 연관이 있는 데이터의 모임과 그 데이터를 액세스하기 위한 프로그램의 집합으로 구성된다. 이러한 데이터의 모임을 보통 데이터베이스(database)라고 하고, 특정한 조직에 관한 정보를 포함한다. 데이터베이스 관리 시스템의 주된 목적은 데이터베이스 내의 정보를 검색하거나, 데이터베이스에 정보를 저장하는 데 편리하고 효율적인 환경을 제공하는 것이다. 데이터베이스 시스템은 대량의 정보를 관리하도록 설계되었다. 데이터의 관리는 정보의 저장 구조에 대한 정의와 저장된 정보를 조작하기 위한 방법을 제공하는 일을 포함한다. 또한 데이터베이스 시스템은 시스템의 고장이나 불법적인 액세스로부터 데이터베이스의 안전성을 제공해야 한다. 데이터가 여러 사용자간에 공유될 경우, 시스템은 잘못된 결과를 방지해야 한다. 대부분의 조직에서 정보의 중요성으로 인해 데이터베이스는 귀중하게 되었으며, 이에 따라 효율적인 데이터 관리를 위한 여러 가지 개념과 기법이 개발되어 왔다.

## II.1 데이터베이스의 의미

사전적 의미의 데이터베이스는 조직화된 데이터의 집합이다. 여기서 데이터란 기록, 저장할 수 있는 알려진 사실을 의미한다. 그러므로 데이터베이스는 최소한의 중복데이터를 가지는 구조적인 상호 관련된 데이터들의 집합이라 할 수 있다. 일반적인 데이터는 현실세계로부터 단순한 관찰이나 측정을 통해서 수집한 사실(fact) 또는 값(value)들로 정리되지 않은 자료를 의미한다. 하지만 데이터베이스 시스템에서의 데이터는 어떤 기준에 의해 정리되고 기록된 자료로 정의한다. 데이터베이스는 협의의 의미로 상호 관련된 데이터의 집합으로 컴퓨터를 사용하는 레코드 유지시스템을, 광의적으로는 정보를 유지하고 요구할 때, 이 정보를 이용 가능하게 하는 시스템을 말하며 다음과 같은 특징을 가진다. 첫째로 데이터베이스는 최소한의 중복 데이터를 갖는다. 둘째 구조적이고 상호 관련된 데이터의 집합이다. 끝으로 데이터베이스 관리 시스템에 의해 관리된다는 점이다.

## II.2 데이터베이스 시스템의 목적

데이터베이스에 관한 이론이 정립되지 않은 때에 요구되는 정보의 저장은 다듬어지지 않은 데이터를 그대로 컴퓨터에 저장하는 파일(file) 저장에 지나지 않았다. 이렇게 파일들을 저장한 시스템을 파일 시스템이라 불렀으며, 이는 현재의 데이터베이스의 기본이 되었다. 더 나아가 시스템은 이들 파일을 조작하기 위하여 많은 응용프로그램들을 가지게 되는데, 응용프로그램들을 시스템 프로그래머가 작성하게 되며 필요에 따라 새로운 요구가 발생하면 그 요구에 맞게 정보를 수록한 새로운 영구적 파일을 만들어야 하며 데이터 파일을 처리할 새로운 응용프로그램을 첨가하여야 한다.

위에서 기술한 파일 처리 시스템(file-processing system)은 운영체제가 지원한다. 이러한 경우에는 레코드가 여러 개의 파일에 저장되는 경우도 생기며, 레코드를 파일에서 추출한다든지 파일에 첨가하는 프로그램들이 서로 다르게 여러 개 작성되는 일도 생길 수 있다. 이러한 방법은 다음과 같은 단점을 지니고 있다.

첫째로 데이터의 중복과 비 일관성이 발생하게 된다. 파일과 응용프로그램이 장기간 여러 다른 프로그래머들에 의해 개발되므로, 파일은 서로 다른 형식을 가지고 프로그램은 여러 개의 프로그래밍언어로 작성될 수 있다. 또한, 동일한 정보가 여러 파일에 중복 될 수 있다. 이러한 중복은 데이터를 저장하거나 액세스하는데 드는 비용을 증가시킨다. 뿐만 아니라, 데이터의 비 일관성(data inconsistency)이라는 문제를 야기시킬 수 있다. 데이터의 비 일관성이란 동일한 데이터에 대한 여러 사본의 값들이 서로 일치하지 않는 것을 말한다. 동일한 대상에 대한 정보가 한 파일레코드에서는 변경되고 다른 파일레코드에서는 변경되지 않는다면, 데이터의 비 일관성이 나타나게 되는 것이다. 둘째로 데이터 액세스상에 난점이 생기게 된다. 예를 들어 어떤 동일한 특징을 갖는 레코드 리스트를 추출하고 싶을 경우 이러한 리스트의 작성 요구가 시스템을 처음 설계할 때 생각하지 못했던 것이라면, 그러한 리스트를 작성하는 응용프로그램이 존재하지 않게 된다. 물론 그러한 요구에 맞는 응용프로그램을 작성하여 첨가할 수 있으나, 시스템 개발 시에 고려하지 않았던 요구가 생길 때마다 매번 응용프로그램을 작성한다는 것은 비효율적일 뿐만 아니라 데이터 처리비용의 증가를 야기한다. 그러므로 일반적인 요구사항을 만족시키는 데이터 검색 시스템이 개발되어야 한다는 것을 지적할 수 있다. 셋째로 데이터의 고

립을 들 수 있다. 데이터가 여러 개의 파일에 산재해 있고 파일간의 형식이 서로 다르기 때문에, 원하는 데이터를 검색하기 위한 응용프로그램을 새로 작성한다는 것은 어려운 일이 아닐 수 없다. 넷째로 동시 액세스 시 모순점이 생기게 된다. 시스템의 전반적인 기능을 향상시키고 보다 빠른 응답시간을 얻기 위해 대다수의 시스템에서는 복수의 사용자가 동일한 데이터를 동시에 갱신하도록 하는데 이러한 환경 하에서는 동일한 데이터에 대한 갱신요구들이 동시에 발생하는 경우 데이터의 비 일관성이 나타날 수 있다. 이러한 가능성을 막기 위해서는 시스템 자체에 적절한 제어가 있어야만 한다. 그렇지만 위에서 기술한 파일 시스템에서는 데이터가 사전에 통제되지 않은 많은 응용프로그램에 의해 액세스되므로, 제어를 가하기가 매우 어렵다. 끝으로 무결성 문제를 들 수 있다. 데이터베이스 내에 저장된 데이터 값들은 일정형식의 일관성 제약(consistency constraint)들을 만족해야 한다-일관성 제약 조건을 무결성 제약조건(integrity constraint)이라고도 한다-. 예를 들어 어떤 데이터 값에 100 이상이면 안된다는 상한선을 들 수 가있다. 이러한 제약조건들은 여러 응용프로그램 내에 적절한 코드를 첨가함으로써 시스템 내에 반드시 유지되어야 한다. 그러나 새로운 제약조건이 첨가될 경우, 새로운 제약조건을 유지하기 위해 기존의 응용프로그램을 변경하기가 어렵다. 특히 새로운 제약조건이 서로 다른 파일 내의 여러 개의 데이터 항목에 적용될 때 더욱 어려운 문제가 생긴다. 이러한 문제점들로 인하여 데이터베이스 관리 시스템의 개발이 촉진되었다.

### II.3 데이터베이스 모델

데이터베이스 구조의 근간을 이루는 것이 데이터 모델이다. 데이터 모델은 데이터, 데이터의 관계, 데이터의 의미 및 일관성 제약조건 등을 기술하기 위한 개념적 도구들의 모임이다. 많은 형태의 데이터 모델이 제안되었는데, 이들 중 대표적 모델로서 관계형, 네트워크 및 계층 모델이 있다.

#### (가) 네트워크 모델

네트워크 모델(network model)에서 데이터는 레코드(record)들의 모임으로 표현되고, 데이터간의 관계는 링크(link)로써 표현되는데, 링크는 포인터(pointer)로 생각할 수 있다. 각 레코드는 필드(속성)의 모임으로 구성되며, 각 필드는 하나의 데이터 값을 갖는다. 링크는 정확하게 두 레코드 사이의 연관이다. 네트워크 데이터베이스 설계를 표현할 때 쓰이는 기법인 데이터-구조도(data-structure diagram)는 다음과 같은 기본적인 두 개의 구성요소로 구성되는데, 사각형은 레코드 형을 나타내고 선은 링크를 나타낸다.

#### (나) 계층 모델

계층 모델에서도 네트워크 모델에서와 마찬가지로 데이터는 레코드의 모임으로 표현되며, 데이터간의 관계는 링크로 표현된다. 계층모델에서의 유일한 차이점은 레코드가 임의의 그래프가 아닌 트리의 모임으로 구성된다는 점이다. 계층 데이터베이스는 링크를 통해 서로 연결된 레코드들의 모임으로 구성된다. 레코드는 네트워크 모델의 레코드와 유사하다. 각 레코드는 필드(속성)의 모임이며, 각 필드는 오직 하나의 데이터 값을 갖는다. 링크는 정확하게 두 레코드 사이의 연관이다. 따라서, 링크는 네트워크 모델의 링크 개념과 유사하다. 모든 레코드는 뿌리가 모

사 노드인 트리로 구성된다. 계층 데이터베이스는 이러한 모사노드를 뿌리로 하는 트리의 모임이며 따라서, 트리군(forest)를 형성한다. 이러한 트리를 데이터베이스 트리라고 한다.

계층 모델에서는 특정 레코드의 내용이 다른 여러 위치에 중복되어야 할 필요성이 있다. 이러한 중복은 같은 데이터베이스 트리 내에서 발생하거나 서로 다른 여러 트리에서 발생한다. 레코드의 중복은 두 가지 중요한 단점이 있다. 첫째 갱신이 수행될 때 데이터의 비일관성이 발생할 수 있다. 둘째 불필요한 기억 공간의 낭비가 발생한다.

트리-구조도는 네트워크 모델의 데이터 구조도와 유사하다. 데이터 구조도에서는 레코드 형이 임의의 그래프 형태로 구성되지만, 트리-구조도에서는 레코드 형이 뿌리를 갖는 트리 형태로 구성된다는 점이 중요한 차이점이다. 뿌리를 갖는 트리의 의미에 대하여 좀더 자세히 살펴보면, 첫째 그래프 내에 순환(cycle)이 있을 수 없다. 둘째 부모와 자식 사이의 관계는 일대다 또는 일대일 관계이어야 한다.

#### (다) 관계형 모델

관계형 모델(relational model)은 데이터와 데이터간의 관계를 테이블의 모임으로 나타내며, 각 테이블은 유일한 이름을 가진 여러 개의 열(column)로 구성된다. 1970년 E. F. Codd는 “대규모 공유 데이터 뱅크용 관계형 데이터 모델(A Relational Model of Data for Large Shared Databank)”이라는 제목의 논문을 발표하였다. 이는 관계형 데이터베이스 모델의 모태가 되었으며, 네트워크형 모델에서 구현하지 못한 완벽한 데이터의 독립성과 구조적 독립성 그리고 확장성을 구현하기에 이르렀다. 즉, 관계형 데이터베이스 모델의 근본 목적은 데이터베이스의 구조를 그대로 유지하면서 데이터 그 자체만이 변할 수 있는 데이터베이스의 설계에 있었으며, 그 구성은 2차원 테이블로 이루어지고, 각 데이터간의 관계는 동일 선상의 열에 의해 정의된다. 이러한 관계형 데이터베이스가 1980년대 이후 가장 각광받는 데이터베이스가 되었다.

관계형 모델은 포인터나 링크를 사용하지 않는다는 것이 계층 모델이나 네트워크 모델과 다르다. 대신에 관계형 모델은 포함하는 값들로 레코드를 연결한다. 또한 수학적 기초에 기본을 두고 있다.

### III. 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 구현

#### III.1 설계 지식/자료

본 연구에서는 네 가지 참조 액체 금속로 노형과 각 노형에 따른 아홉 가지 계통에 관하여 설계 지식/자료 데이터베이스를 구축하였다. 참조 액체 금속로 노형은 4S, KALIMER, ENHS, Energy-Amplifier이고, 각 노형에 따른 아홉 가지의 계통은 Core Region, Reactor Vessel, Reflector, Cover Gas System, IHX(intermediate heat exchanger), EM-Pump(#1), EM-Pump(#2), Steam Generator, RVACS(reactor vessel auxiliary cooling system)이다. 따라서 설계 자료/지식 데이터베이스는 최대 36 개의 계통과 설계하는 노형에 대한 9개의 계통을 합하여 총 45개의 계통을 바탕으로 하게 되었다. 그리고 데이터베이스 구축을 위해, 각 계통에 대해서 필요한 데이터 속성들(attributes)을 지정하였다. 예를 들어 노심 계통의 경우 표 1과 같이 지정하였다.

### III.2 설계 지식/자료 데이터베이스 모델링 및 구축

본 연구에서는, 데이터베이스 시스템에 관한 문헌조사 결과, 여러 데이터 베이스 모델 중에서 완벽한 데이터의 독립성과 구조적 독립성 그리고 확장성을 구현하기에 적합한 관계형 데이터 베이스 모델(relational database model)이 초장주기 원자로 개념 및 최적화 설계를 위한 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템에 적합한 것으로 결론지어졌다. 관계형 데이터베이스 모델에 있어서 그 구성은 2차원 테이블로 이루어지고, 각 데이터간의 관계는 동일 선상의 열에 의해 정의되는데, 몇 가지 계통 기기들에 대한 관계형 데이터베이스 모델링의 예를 들면 표 2와 같다. 표 2에서 행(row)은 계통 기기 각각을 나타내고 있으며, 열(column)은 속성을 나타내고 있다. 이러한 관계형 데이터베이스 모델을 앞에서 설명한 9 종류의 계통에 적용하여 총 9개의 데이터 테이블을 구축하였다. 각각의 데이터 테이블은 같은 종류에 속한 계통 기기를 행으로 하고, 같은 종류에 속한 계통의 데이터 속성을 열로 하여 만들어졌다. 이렇게 구축된 9 개의 계통별 관계형 데이터베이스 테이블은 대각선 방향으로 연결되어 계통 기기 전체에 대한 데이터 베이스 테이블로 완성되었다. 다음으로 이렇게 완성된 원자력 발전소 설계 지식/자료 데이터 베이스 테이블을 기반으로 하여 Oracle8i를 이용해서 PC 기반의 플랫폼에 원자력 발전소 설계 지식/자료 데이터베이스를 구축하였다. 데이터베이스 구축에는 SQL(structured query language)이라는 언어를 사용하였다.

### III.3 설계 자료 데이터베이스 시스템 프로그램의 구축

본 연구에서는 원자력발전소 설계 시에 설계 자료 데이터베이스로부터 데이터가 추출되어 제공되는 방식을 기본적으로 다음과 같이 고려하였다. 원자력발전소 설계 시에 먼저 하나의 참조 노형을 기준으로 하여 데이터를 추출한다. 그 다음으로 선택된 참조 노형으로부터 각 계통 기기를 대체하거나 설계파라미터를 변경하면, 그에 따라 적절한 데이터를 추론 및 추출한다. 그러므로 이와 같이 설계하는 방식을 고려할 때, 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 틀이 지원해 주어야 할 designer의 작업 process 및 요구사항(requirement)들을 순서대로 정리하면 다음과 같다:

- ① 참조 노형(4S, KALIMER, ENHS, Energy-Amplifier)의 선택
- ② 교체할 system component(9 가지 중)의 선택
- ③ plant parameter(설계출력등)의 변경
- ④ 제공할 설계 데이터의 추출 및 추론
- ⑤ 데이터베이스의 갱신
- ⑥ 설계 데이터의 제공
- ⑦ 설계 데이터의 입수

다음으로, 앞 절에서와 설명한 것과 같이, Oracle 8i를 이용하여 구성된 관계형 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스로부터 위에서 나열한 작업 process 및 요구사항들을 구현하여 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램을 개발하였는데, 위에서 나열한 작업 process 및 requirement는 다음과 같이 구현하였다.

#### III.3.1 작업 process 및 requirement의 구현

(가) 참조 노형(4S, KALIMER, ENHS, Energy-Amplifier)의 선택

원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 프로그램에 있어서, 설계 데이터가 원자력발전소 노형을 기준으로 추출될 수 있어야 한다. 구축된 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스는 관계형 데이터베이스 모델링에 따라 구현되어 있다. 그러므로 각 행은 각각의 계통기기를 나타내며, 각 열은 데이터의 속성을 나타내게 된다. 따라서 참조노형 중 하나를 선택하는 경우 SQL 언어에서 select 문을 사용해서 데이터의 속성 중 참조노형이 원하는 노형일 경우에 부합하는 행을 추출하는 방식으로 참조노형을 선택 및 추출하게된다.

(나) 교체할 system component(9 가지 중)의 선택

계통 기기를 대체하기 위해서는 해당 계통 기기의 종류를 기준으로 한 데이터가 추출될 수 있어야 한다. 교체할 계통 기기 중 하나를 선택하는 경우 SQL 언어에서 select 문을 사용해서 데이터의 속성 중 대상 계통 기기가 원하는 계통 기기일 경우에 부합하는 행을 추출하는 방식으로 교체할 계통 기기에 대한 데이터를 선택 및 추출하게된다.

(다) plant parameter(설계출력등)의 변경

사용자의 의도에 따라 설계출력을 변경할 경우 화면 인터페이스에서 키보드를 통하여 입력받을 수 있으며, 입력받은 데이터를 제공할 설계 데이터의 추출 및 데이터베이스 갱신에 사용할 수 있도록 구현하였다.

(라) 제공할 설계 데이터의 추출

원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 프로그램은 제공할 데이터를 추출한 후, 추출된 데이터를 추론과정을 거쳐서 변경된 설계 파라미터에 적절한 초기 값으로 변환할 수 있어야 한다. 모든 계통 기기의 데이터 속성(attribute)을 보간법(interpolation)에 의해서 추론할 수 있는 타입과, Knowledge base에 의해서 추론할 수 있는 타입으로 분류하였고, 이 분류에 따라 다음과 같이 구현하였다.

㉔ 보간법에 의한 데이터 추론

설계 중인 plant에 선택된 계통 기기 각각에 대해 그 계통 기기의 원래 설계출력과 현재 설정된 설계출력을 비교하여 그 차이에 비례하여 데이터 값을 변환한다. 예를 들어, 설계 중인 plant에 KALIMER 노형의 증기발생기가 선택 되어 있고, 설계출력이 120 MWe로 설정되었다면, 증기발생기의 radius와 height 데이터 속성의 값은 다음과 같이 변환된다.

KALIMER 원자로의 설계출력 : 150 MWe

KALIMER 증기발생기의 radius(m) 데이터 값 : 1.45

KALIMER 증기발생기의 height(m) 데이터 값 : 21

원래 설계출력과 설정된 설계출력의 비, CR :  $\frac{120}{150}$

여기서 radius와 height가 같은 정도로 변환되는 것을 기준으로 하면,

설계 plant 증기발생기의 radius(m) 데이터 초기 값 :  $1.45 \times \sqrt{CR}$

설계 plant 증기발생기의 height(m) 데이터 초기 값 :  $21 \times \sqrt{CR}$

이러한 방법을 통하여 보간법이 가능한 설계 데이터 속성들의 값을 추론, 변환하였다.

#### ㉔ Knowledge base에 의한 데이터 추론

보간법으로 데이터 값을 추론할 수 없는 데이터속성들은 일종의 Knowledge base를 구현하여 값을 추론하였다. 현재 셋업이 되어있는 노형(예를 들면, 4 가지 참조노형)의 해당 데이터 값들과 그 노형의 설계출력들을 기준으로 설정하고, 현재 설정된 설계출력이 기준출력들을 기준으로 한 구간범위 중 어느 범위에 해당하는가를 판단하여, 해당 기준출력과 연결된 데이터 값을 설계 데이터 값으로 결정한다. 예를 들어, 설계 중인 plant에 KALIMER 노형의 중간 열교환 계통(IHX)이 선택되어 있고, 설계출력이 120MWe로 설정되었을 때, 중간 열교환 계통의 입구온도와 출구온도의 설계치를 추론하는 경우를 고려하면 다음과 같다:

4S 원자로의 설계출력 : 50 MWe

4S 노형의 IHX의 입구온도(°C) 데이터 값 : 460

4S 노형의 IHX의 출구온도(°C) 데이터 값 : 310

ENHS 원자로의 설계출력 : 50 MWe

ENHS 노형의 IHX의 입구온도(°C) 데이터 값 : 511

ENHS 노형의 IHX의 출구온도(°C) 데이터 값 : 352

KALIMER 원자로의 설계출력 : 150 MWe

KALIMER 노형의 IHX의 입구온도(°C) 데이터 값 : 529.7

KALIMER 노형의 IHX의 출구온도(°C) 데이터 값 : 360

Energy-Amplifier 원자로의 설계출력 : 625 MWe

Energy-Amplifier 노형의 IHX의 입구온도(°C) 데이터 값 : 해당 없음

Energy-Amplifier 노형의 IHX의 출구온도(°C) 데이터 값 : 해당 없음

따라서 기준 설계출력에 의한 범위는, A :  $(-\infty, 50)$ , B :  $[50, 100)$ , C :  $[100, 387.5)$ , D :  $[387.5, \infty)$ 와 같이 설정할 수 있다. 여기서, 현재 설정된 설계출력 120 MWe는 구간 C에 속하며, 그러므로 설계출력이 120 MWe인 설계 plant의 중간 열교환 계통의 입구온도와 출구온도 데이터의 초기 값은 KALIMER 노형의 IHX 데이터 값으로 설정된다. 즉, 설계 plant 원자로의 설계출력 : 120 MWe, 설계 plant IHX의 입구온도(°C) 데이터 값 : 529.7, 설계 plant IHX의 출구온도(°C) 데이터 값 : 360이 된다. 이러한 방식을 통하여 전문가 시스템에 의한, 설계 데이터 값의 추론, 변환을 통한 제공을 구현하였다.

#### (마) 데이터베이스의 갱신

앞에서 수행된 process들에 의해 추출되고, 추론 및 변환된 설계 데이터들은 구축된 데이터베이스의 design plant 영역에 갱신된다. 데이터의 갱신은 SQL 언어에서 update문을 사용하여



구현하였다.

#### (바) 설계 데이터의 제공

위에서 설명한 과정들에 의해 추출 및 변환되어 설정된 설계데이터들은 계통별로 필요한 쪽에 제공된다. 이 때 데이터의 제공은 ASCII file을 통해 수행되며 각 계통 기기 별로 데이터 파일이 만들어져서 전달된다. 또한 데이터의 입/출력 인터페이스를 위해 ASCII file의 형식(format)을 설정하는 것이 필요하며, 다음과 같이 결정되었다. 첫째로 데이터 file에 있어서 한 행은 다음과 같이 정의한다: [데이터 속성(attribute)] : [데이터 값]. 둘째로 각 계통별로 데이터 속성(attribute)들의 순서가 정해져 있으며, 그 순서에 따라 행을 출력한다. 해당 행의 데이터 값들이 없는 경우는 삭제하지 않고 데이터 속성까지만 행을 출력한다.

#### (사) 설계 데이터의 입수

원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 프로그램은 외부로부터 전달받은 데이터를 받아 들일 수 있어야 한다. '설계 데이터의 제공'과 마찬가지로 ASCII file을 통해 입력받는 것으로 설정하였으며, 이 경우에도 입/출력 인터페이스를 위해 입력 ASCII file의 형식(format)을 설정하는 것이 필요하며, 출력 파일과 같은 방법으로 결정하였다.

### III.3.2 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램

데이터베이스 시스템 관리 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그래밍 하였는데, Oracle8i에 구현된 데이터베이스로부터 데이터를 처리하기 위해 Microsoft Visual C++ 과 Oracle8i DBMS의 연동을 ODBC(open database connectivity)를 이용하여 그림 1과 같이 구현하였다. ODBC를 사용하면 응용프로그램 작성 시 어떠한 데이터베이스를 사용하는가에 무관하게 프로그래밍을 할 수 있는 장점이 있다. 위 그림에서처럼 응용프로그램에서 데이터베이스에 접근하기 위해서 공통규격인 ODBC API를 사용하기 때문이다. 이러한 방식으로 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램을 개발하였다.

#### (가) 사용자 인터페이스

개발된 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램의 사용자 인터페이스는 그림 2와 같다. 상단부에는 참조노형을 선택할 수 있는 버튼이 있으며, 그 아래에는 변경할 계통 기기의 종류를 선택하여 검색하고, 변경할 계통 기기를 선택할 수 있는 버튼이 있다. 설계 plant에 선택된 계통 기기들은 그 아래쪽에 표시된다. 중앙부에는 설계출력을 변경할 수 있는 부분이 있으며, 모든 작업에 관련된 메시지들은 화면 오른쪽의 메시지창에 표시된다. 화면 하단부에는 설계 데이터들을 file로 변환 제공하는 버튼과, 데이터를 입력받을 수 있는 버튼이 있다. 화면 오른쪽 상단부의 'Refresh'버튼은 프로그램을 초기화하는데 사용된다.

#### (나) 참조 노형의 선택

프로그램을 시작하고 참조 노형중 하나를 선택하게 되면(4S를 선택할 경우) 선택된 노형을 기준으로 데이터가 추출되게 되는데, 내부적으로는 다음과 같이 동작한다.

```
SQL> select * from systable
  2  where PLANT_TYPE = '4S';
```

COMP_NAME	COMP_TYPE	PLANT_TYPE
Core_4S	core	4S
Reflector_4S	reflector	4S
CGS_4S	CGS	4S
SG_4S	SG	4S
EMP1_4S	EM-pump	4S
EMP2_4S	EM-pump	4S
IHX_4S	IHX	4S
RxVessel_4S	RxVessel	4S
RVACS_4S	RVACS	4S

9 rows selected.

그림 2의 설계발전소 데이터 란을 보면 선택된 참조노형인 4S의 9 가지 계통들이 선택되어 데이터가 추출되었음을 알 수 있으며, 화면 오른쪽 메시지 창에 참조노형 선택에 따른 작업 메시지가 출력되었음을 알 수 있다.

(다) 변경할 계통 기기들의 선택

참조 노형을 선택한 후의 다음 process 중의 하나가 변경할 계통 기기의 종류를 선택, 검색하고 원하는 계통 기기로 변경하는 작업이다. 선택된 참조노형의 계통 기기 중에서 증기발생기 계통을 변경하려 한다면, 계통 기기 검색버튼을 누름으로써 데이터베이스 내의 모든 증기발생기 계통들을 검색할 수 있으며, 내부적으로 다음과 같이 동작한다.

```
SQL> select * from systable
  2  where COMP_TYPE = 'SG';
```

COMP_NAME	COMP_TYPE	PLANT_TYPE
SG_4S	SG	4S
SG_ENHS	SG	ENHS
SG_KALIMER	SG	KALIMER
SG_EAMP	SG	EAMP

4 rows selected.

그림 2에서 보면, 교환할 계통 선택 란에 위에서 검색된 증기발생기 계통들이 표시되게 된다. 그 다음으로 교환할 계통 기기와 같은 종류의 계통 기기들이 검색된 후 그 중에서 원하는 계통 기기를 찾아서 교환하게 되는데, '교환할 계통 선택' 박스의 버튼을 눌러 앞/뒤로 검색하면

서 원하는 계통 기기가 표시되었을 때 선택함으로써 이루어지게 된다. 이러한 작업이 수행된 후 메시지 창에서 선택된 계통 기기로 교환되었음을 알리는 메시지를 볼 수 있다. 또한 교환할 계통의 종류는 복수로 선택이 가능하며, '설계발전소 데이터' 란과 메시지 창에 보면 S/G, IHX, Rx Vessel이 각각 교환되었음을 확인할 수 있다.

#### (라) 설계출력의 변경

사용자는 설계 plant의 설계출력을 변경할 수 있으며, 이는 '설계출력 변경' 란에 원하는 출력을 입력함으로써 수행된다. 예를 들어 설계출력을 120 MWe로 설정했다면, 그림 2에서 보는 것처럼 120을 입력하고 변경 버튼을 누르면 된다. 오른쪽 메시지 창에 설계출력이 변경되었음을 알리는 메시지를 볼 수 있다.

#### (마) 데이터베이스의 갱신 및 데이터의 제공

앞의 과정에 따라 모든 작업(원하는 데이터의 선택, 추출, 변경)의 수행이 진행된 후 'EXPORT DATA' 버튼을 누르면, 현재까지의 설계 plant 데이터들이 데이터 추론과정을 거치게 되며 설계출력에 적합한 값으로 변환이 이루어지게 되는데, 이는 앞 절에서 설명한 데이터 추론 방식에 따르게 된다. 데이터 추론까지 끝난 설계 plant 데이터들은 데이터베이스 내의 설계 plant 영역에 갱신되어 저장됨과 동시에 각 계통별로 ASCII file로 만들어져서 외부로 출력되게 된다. 이 때 각 계통별 파일 이름은 지정되어 있는 이름을 사용하게 된다. 그림 3에서 보면 설계 plant의 S/G는 KALIMER 노형의 S/G로 대체되었지만, 설정된 설계출력이 원래의 출력과 달라졌으므로 그에 따라서 데이터 값들이 추론, 변환되어 갱신되었음을 확인할 수 있다.

#### (바) 외부로부터 데이터의 입력

'IMPORT DATA' 버튼을 누르면 계통별로 파일을 읽어서 받아들인 데이터를 데이터베이스 내의 설계 plant 영역에 갱신하게 된다. 데이터 입력이 성공적으로 수행되면 그에 따른 메시지 박스를 띄우게 되며, 해당 계통 기기에 대한 입력 파일이 없을 경우 그에 따른 메시지 박스를 띄우게 되고, 그 계통 기기의 데이터는 갱신되지 않는다.

#### (사) 작업순서 위반의 처리

만일 참조 노형을 선택하지 않고 바로 변경할 계통 기기를 선택하는 경우 또는 'EXPORT DATA' 버튼을 눌러서 데이터를 갱신 및 출력하려고 하는 경우, 즉 정해진 작업 process를 위배할 시에는 메시지 박스가 생성되면서 수정해야 할 작업을 알려주게 된다. 또한 교환할 계통 기기 선택에 있어서, 계통의 종류를 선택하여 검색하지 않은 상태에서 교환할 계통 기기를 선택하는 경우에도 같은 방법으로 처리되며, 현재까지 성공적으로 수행된 작업단계로 되돌린다.

계통	데이터 속성(attributes)
c o r e	thermal power (MWth)
	electric power (MWe)
	linear heat rate (W/cm)
	peaking factor
	inlet/outlet Temp. (°C)
	operation life (years)
	diameter (m)
	height (m)
	breeding ratio
	No. of assembly
	length of assembly (m)
	fuel rod p/d, diameter (mm)
	reflector material
	reflector thickness (cm)
	reflector length (m)
	fuel composition
	Pu enrichment of fuel (w/o)
	Pu fissile weight of fuel (ton)
burnup reactivity swing (%Δk/k)	

표 1 노심 계통에 대한 데이터 속성

COMP_NAME	COMP_TYPE	PLANT_TYPE	.....
Core_4S	core	4S	.....
Reflector_4S	reflector	4S	.....
CGS_4S	CGS	4S	.....
SG_4S	SG	4S	.....
EMP_4S	EM-pump	4S	.....
IHX_4S	IHX	4S	.....
RxVessel_4S	RxVessel	4S	.....
RVACS_4S	RVACS	4S	.....
Core_KALIMER	core	KALIMER	.....
Reflector_KALIMER	reflector	KALIMER	.....
CGS_KALIMER	CGS	KALIMER	.....
SG_KALIMER	SG	KALIMER	.....
EMP_KALIMER	EM-pump	KALIMER	.....
IHX_KALIMER	IHX	KALIMER	.....
RVACS_KALIMER	RVACS	KALIMER	.....
RxVessel_KALIMER	RxVessel	KALIMER	.....

표 2 관계형 데이터베이스 모델링의 예

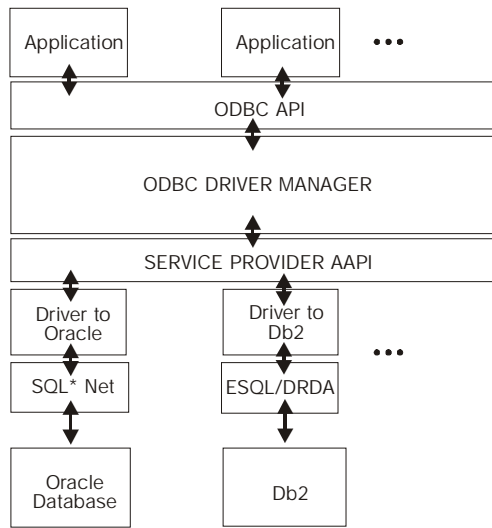


그림 1 ODBC를 이용한 Oracle과의 연동

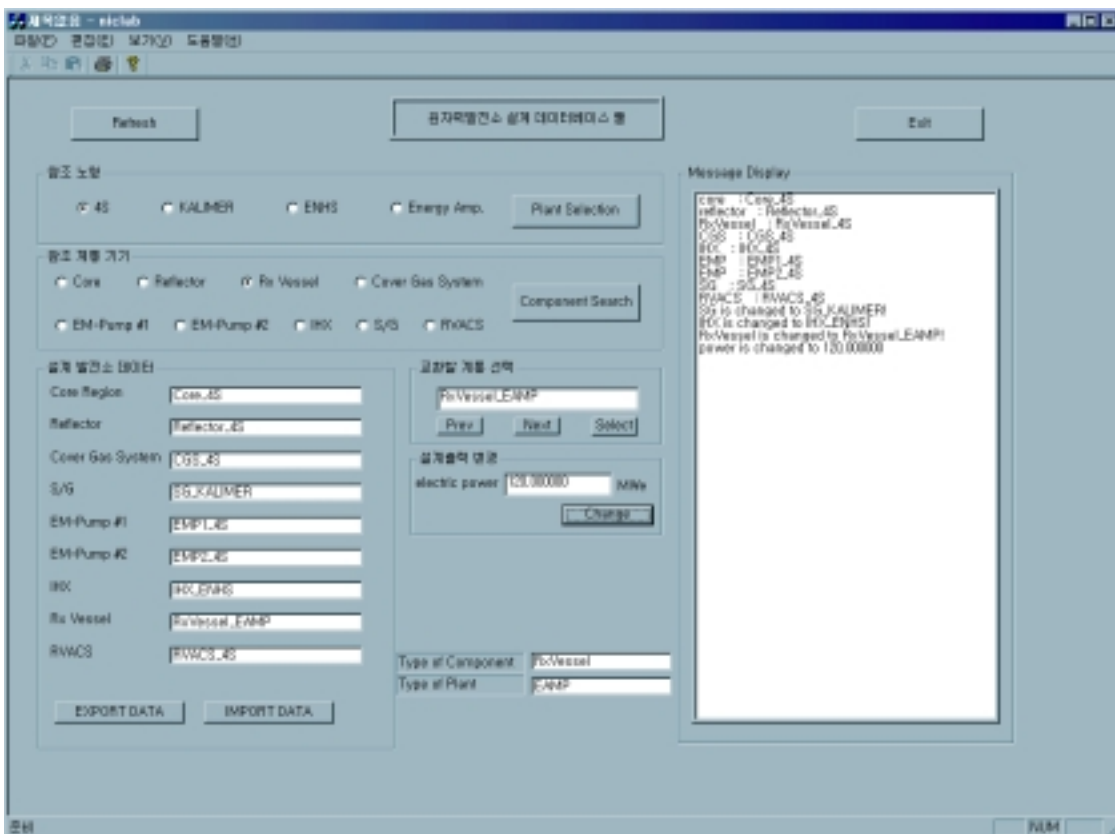


그림 2 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램의 사용자 인터페이스

COMP_NAME	SG KALIMER
COMP_TYPE	SG
PLANT_TYPE	KALIMER
SG_R	1.450
SG_H	21.000
SG_P	15500.000
SG_FR	1823.700
SG_I	502.000
SG_O	333.000
SG_SM	2-1/4Cr-1Mo steel
SG_TM	2-1/4Cr-1Mo steel
SG_TCOOL	water
SG_SCOOL	Na
SG_DRVM	EMP
SG_SAFE	SGACS air cooling

데이터베이스내의 의 데이터

Component Name : SG_DGN
Component Type : SG
Plant Type : DGN
radius: 1.297000
height: 18.783000
pressure: 15500.000000
flow rate: 1458.960000
inlet temp.: 502.000000
outlet temp.: 333.000000
tube structure material: 2-1/4Cr-1Mo steel
shell structure material: 2-1/4Cr-1Mo steel
tube coolant: water
shell coolant: Na
drive mechanism: EMP
safety: SGACS air cooling

외부로 출력된 데이터

그림 3 데이터의 추론

#### IV. 결 론

본 연구를 통하여 ‘초장주기 원자로 핵심 설계 틀’을 개발하는 데에 있어 기반이 되는 원자력 발전소 설계 지식/자료의 데이터베이스의 모델이 결정되었고, 데이터베이스 시스템의 구조가 정립되고 구현되었으며, 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템 관리 프로그램이 개발되었다. 데이터베이스 모델에는 크게 계층모델, 네트워크 모델, 관계형 모델 등이 있는데 설계특성상 많은 양의 정보를 처리하고 저장해야하는 원자력발전소 설계에 적합한 데이터베이스 모델은 여러 데이터베이스 모델 중에서 완벽한 데이터의 독립성과 구조적 독립성 그리고 확장성을 구현하기에 적합한 관계형 데이터베이스 모델이 적합한 것으로 결론지어졌다. 2차원 테이블 방식의 관계형 데이터베이스 모델의 특징을 보면, 포인터나 링크를 사용하지 않는다는 것이 계층 모델이나 네트워크 모델과 다르다. 대신에 관계형 모델은 포함하는 값들로 레코드를 연결한다. 또한 수학적 기초에 기본을 두고 있고, 각 데이터 간의 관계는 동일 선상의 열에 의해 정의된다.

그 다음으로 개념연구를 위한 원자력발전소 설계 자료 데이터베이스 시스템을 구축하는 작업을 수행하였다. 네 가지 참조 액체 금속로 노형-4S, KALIMER, ENHS, Energy-Amplifier-과 각 노형에 따라 각각 9가지의 계통-core, reflector, reactor vessel, cover gas system, intermediate heat exchanger, EM-pump#1, #2, S/G, reactor vessel auxiliary cooling system- 즉 36개의 계통기기에 대하여 노심 핵물리, 열수력, 원자로 시스템 설계를 위한 자료들로 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 데이터베이스 시스템의 구축은 Oracle사의 대표

적인 데이터베이스 관리시스템인 Oracle 8i을 이용하였으며, 데이터베이스 시스템이 구축되는 플랫폼은 PC를 기반으로 하였다. 구축된 설계 지식/자료 데이터베이스 시스템으로부터 사용자가 원하는 데이터를 추출하는 작업 process 및 그에 따른 데이터베이스 프로그램의 요구사항 (requirement)들을 결정하였고, 추출된 데이터를 적절한 값으로 변환시켜서 내보내는 일종의 전문가 시스템을 구현하였으며, 데이터의 input/output interface 방식을 정립하였다. 그리고 이를 바탕으로 데이터베이스 관리 프로그램을 개발하였다. 데이터베이스 관리 프로그램은 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 프로그래밍 하였는데, Oracle에 구현된 데이터베이스로부터 데이터를 추출하기 위해 Microsoft Visual C++ 과 Oracle DBMS의 연동을 ODBC (Open Database Connectivity)를 이용하여 구현하였다. 이렇게 개발된 데이터베이스 관리프로그램을 데이터베이스 시스템과 접목시켜 원자력발전소 설계 지식/자료 데이터베이스 툴을 구축하였다.

## References

- [1] Henry F. Korth, Abraham Silberschatz, "Database System Concepts", 1991
- [2] Robert Lafore, "C++ Programming", 1997