

## 모터구동밸브 안전성 평가 전산시스템 구축에 대한 연구

### A Study on the Development of the Computerized Safety Evaluation System of the Motor Operated Valve

김재천, 박성근, 이도환, 안남성, 배진효, 홍진수

한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

#### 요 약

과학기술부 규제권고사항에 따라 진행중인 원전 안전 관련 모터구동밸브의 설계기준조건에서의 성능 입증을 위한 안전성 평가는 평가대상 밸브별로 설계기준분석, 정/동적시험 시험결과 분석 및 종합적인 안전성 분석등 일련의 평가절차 수행으로 방대한 양의 평가자료가 생산되고 있다. 또한 발전소 수명기간중 지속적인 밸브 성능 확보를 위하여 안전성 평가를 수행한 밸브에 대하여 주기적인 성능 점검도 수행할 예정이어서 더욱 더 많은 양의 평가 자료가 생성될 예정이다.

지금까지는 각 밸브의 안전성 평가를 수 작업으로 수행하여 밸브의 평가 수행 및 자료 관리에 많은 인력과 시간이 소요되었으며 평가 결과의 통계적 정보를 얻기가 어려웠다. 이에 따라 전력연구원에서는 안전성 평가 절차 중 설계기준분석 절차를 전산화함으로써 설계기준분석 수행의 신뢰성 및 효율성이 증대되었고, 설계기준 분석절차의 표준화가 가능해졌으며 통계적 정보를 활용할 수 있게 되었다. 그러나 별도의 분석 코드를 사용하여야하는 상세 차압 계산, 전압 강하율 계산 등과 별도 엔지니어링 분석이 필요한 특수 형상 밸브의 취약부 분석 등은 전산화가 곤란하여 분석결과만을 입력하도록 하였다.

모터구동밸브 안전성평가 전산시스템(MOVIDIK, Motor Operated Valves Integrated Database & Information of KEPCO, 이하 MOVIDIK)은 데이터베이스로서 오라클을 사용하였으며 인터페이스는 웹을 기반으로 한 JAVA/JSP 언어를 사용하여 개발하였다.

#### Abstract

The MOVIDIK(Motor-Operated Valves Integrated Database & Information of KEPCO) system was developed to assist the design basis safety evaluation and to manage the overall data made by evaluation on the safety-related Motor-operated Valves(MOV) in the nuclear power plant. The huge amount of safety evaluation data of the MOV is being piled up as the safety evaluation work goes on. Much time and manpower was needed to do safety evaluation works without computerized system and it was not easy to obtain the statistic information from the evaluation data. The MOVIDIK will improve the efficiency of safety evaluation works and standardize the analysis process. But the some process which needs specific evaluation codes and engineering

calculation by the specialists was not computerized.

The MOVIDIK was developed by JAVA/JSP language known by the flexibility of language and the easiness of transplation between operating systems. The Oracle 8i which is the world's most popular database was used for MOVIDIK database.

## 서 론

과학기술부 규제권고사항에 따라 한전은 1999년부터 원전 안전 관련 모터구동밸브에 대한 안전성 평가를 수행 중에 있다. 아울러 안전성 평가가 완료된 밸브의 발전소 수명기간동안의 성능 확인을 위한 주기점검도 수행될 예정이다. 모터구동밸브의 안전성 평가는 크게 설계기준분석, 진단시험, 최종평가 등으로 나눌 수 있다. 설계기준분석이란 수명기간동안 다양한 운전 조건하에서 밸브가 고유 기능을 수행할 수 있도록 설계되어 있는지를 밸브 및 계통의 설계자료를 근거로 검토하는 것을 말한다. 진단시험은 설계기준분석결과를 기초로 하여 밸브의 제어스위치를 적절하게 설정하고 실제 운전조건에서 성능을 확인하기 위한 것으로서 정적시험과 동적시험이 있으며 설계기준분석결과와 진단시험 결과등을 종합 분석하여 모터구동밸브의 안전성을 평가하는 것을 최종평가라 한다.

모터구동밸브에 대한 안전성 평가가 진행됨에 따라 방대한 양의 평가 자료가 생산됨에 따라 효율적인 평가수행 및 체계적인 평가자료 관리의 필요성이 대두되고 있으나 지금까지는 이를 수 작업으로 수행하여 많은 시간과 인력이 소요되고 평가자료 관리와 통계적 정보를 취득하기가 어려웠다.

본 연구는 안전성 평가 절차 중 1단계로 설계기준분석 절차를 전산화함으로써 설계기준분석 수행의 효율성과 신뢰성을 향상시켰으며 평가절차의 표준화와 평가자료의 활용성을 제고하고 통계적 정보를 활용할 수 있게 되었다. 또한 축적된 각종 평가자료는 향후 주기점검(Periodical Verification) 및 밸브의 유지정비의 기초자료로 사용될 것이다.

## MOVIDIK의 기본설계 및 데이터 모델링

현재 MOVIDIK은 모터구동밸브의 설계기준분석 모듈만이 개발되었다. 향후 정/동적시험, 최종평가 및 주기점검 기능등이 추가될 예정이다. 그림 1은 현재 완료된 전산화 1단계인 설계기준분석과 향후 개발 예정인 정/동적시험, 최종평가 및 주기점검등 시스템 개념도를 개발 단계별로 간략히 나타내었다.

설계기준분석은 모터구동밸브 안전성 평가수행에 있어서 첫 번째로 수행되는 분석단계이며 계통설계기준 분석, 쓰러스트 및 토크 분석, 취약부 분석, 전기제어 분석, 열동계전기 분석, 구동기 성능 분석, 설계기준 여유도 분석등 총 7가지로 구성되어 있다.

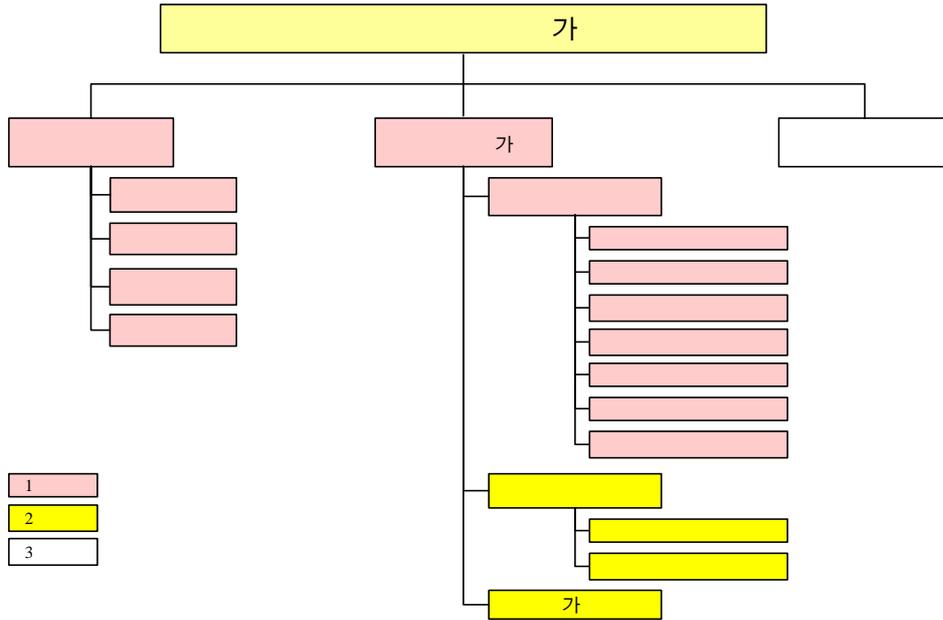


그림 1 모터구동벨브 안전성평가 시스템 개념도 및 단계별 개발도

그림 2는 MOVIDIK의 기본설계 및 모델링 작업과정을 간략하게 나타내고 있다. 설계기준분석 절차 및 자료분석을 통해 모터구동벨브 안전성 평가 중 설계기준분석에 사용되는 주요 Entity 및 Attribute를 추출하였다. 추출된 Entity 및 Attribute를 통해 자료흐름도(Data Flow Diagram)를 작성하였는데 그림 3은 이러한 자료흐름도 중 배경도를 나타내고 있다. 각종 설계기준분석 자료 및 절차서 분석을 통해 추출된 Entity 및 Attribute와 업무흐름에 따른 자료 흐름도를 더욱 세분화한 뒤 물리적인 데이터베이스 구조와 가장 가까운 ERD(Entity Relationship Diagram)를 그림 4와 같이 작성하였다. 작성된 DFD와 ERD를 기초로 하여 입출력화면을 작성하였다.

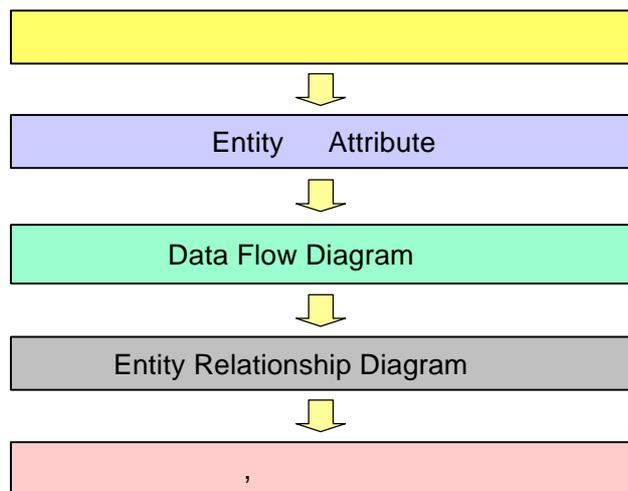


그림 2 MOVIDIK의 기본설계 및 모델링 과정

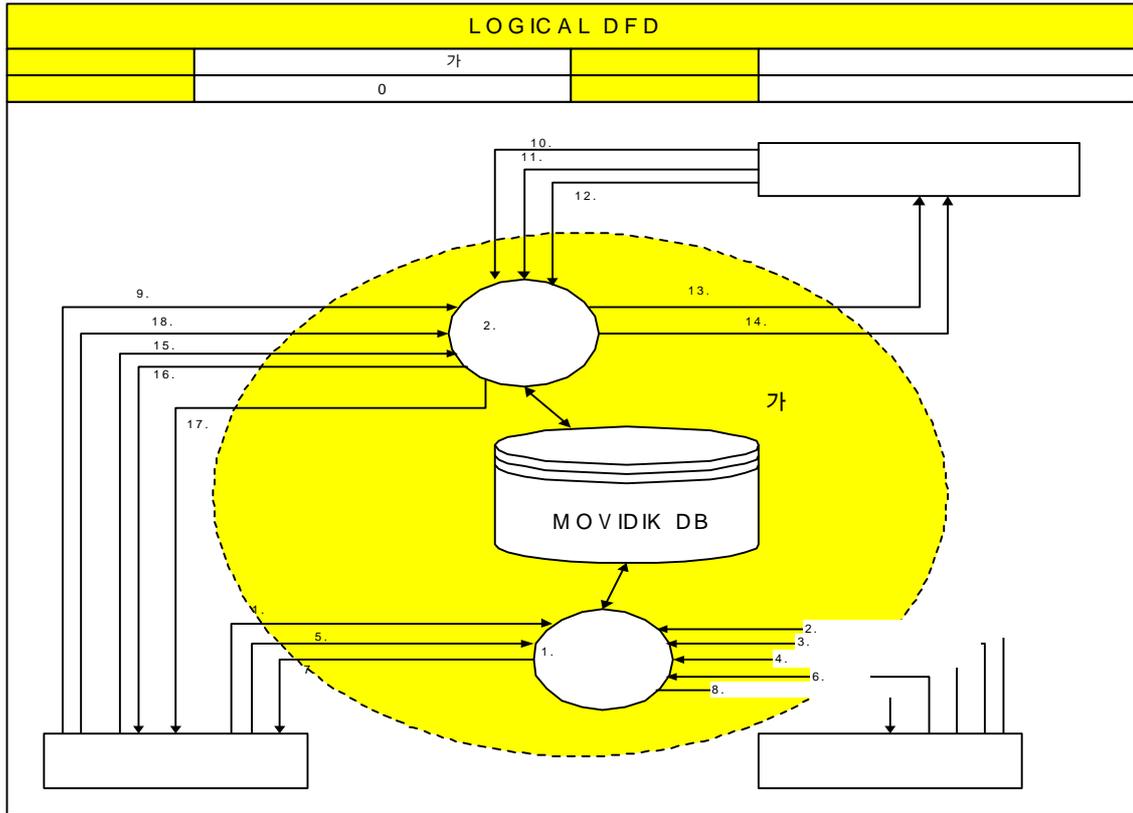


그림 3 MOVIK의 데이터 흐름(Data Flow Diagram) 배경도

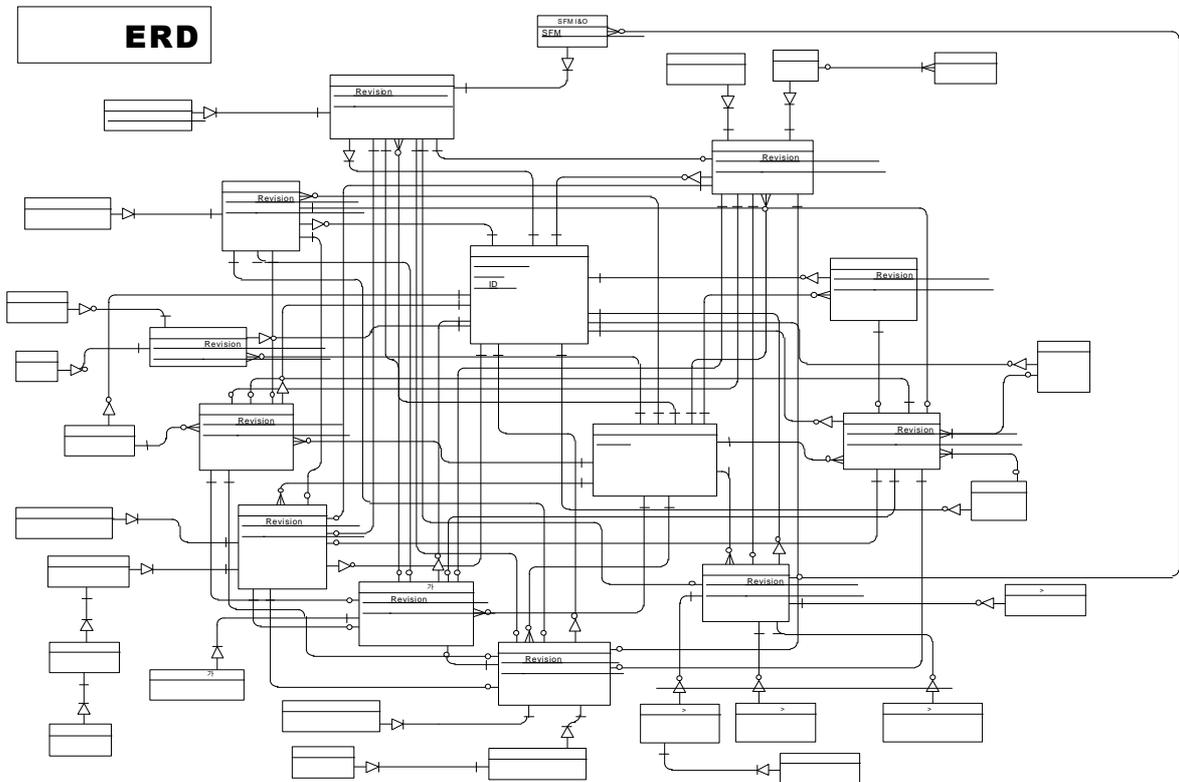


그림 4 MOVIK의 Entity Relationship Diagram(ERD)

## MOVIDIK에 의한 설계기준분석

설계기준이란 모터구동밸브가 전 수명기간동안 다양한 운전 조건하에서 그 고유기능을 수행할 수 있도록 설계되어야 하는 기준을 말하며 설계기준분석이란 밸브 및 밸브가 설치된 계통의 설계자료를 근거로 각 밸브가 이러한 설계기준에서 요구되는 기능을 할 수 있는지에 대해 검토하는 것을 말한다.

밸브가 동작될 때 발생하는 부하는 밸브 전후단의 차압을 비롯하여, 밸브 스템 및 디스크 자체무게와 디스크의 삽입/인출 시 발생하는 밸브 시트와의 마찰력, 스템과 패킹과의 마찰력 등이 있는데, 이중 차압은 다른 힘들에 비해 밸브의 운전성에 미치는 영향력이 가장 크다. 차압이 가장 크게 발생하는 운전모드를 설계 기준 운전모드라 하고 최대 차압이 발생하는 조건에서 밸브의 운전성이 보장되어야 한다.

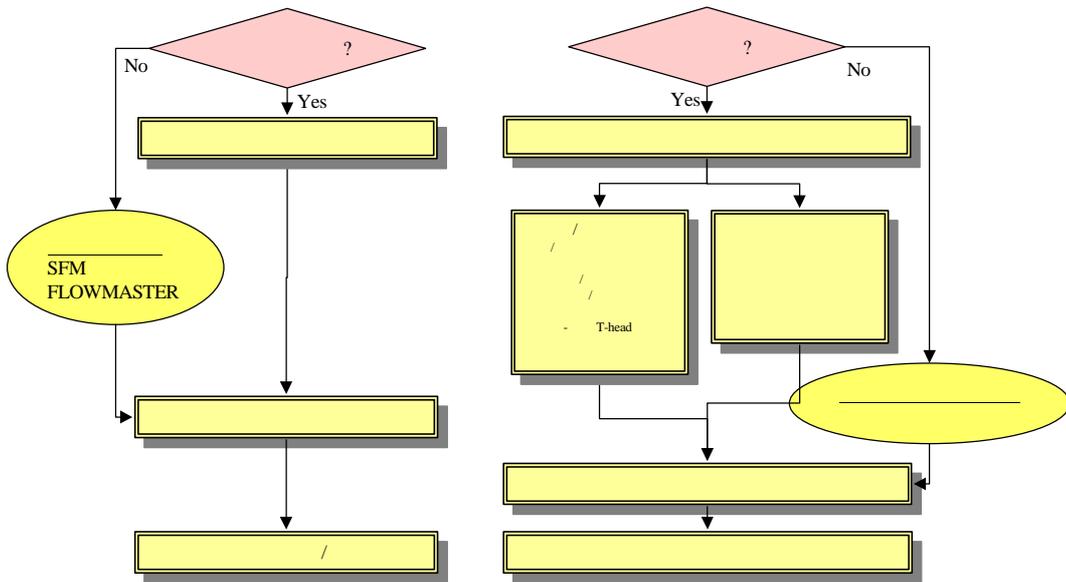


그림 5 계통설계기준 분석 및 취약부 분석 흐름도

차압계산방법은 차압계산의 효율성 및 실효성을 고려하여 우선 계산방법이 비교적 간단하나 보수적인 표준차압계산방법에 의하여 먼저 계산하고 표준차압계산 방법으로서 적용이 어려운 경우에는 밸브 유형, 유량 또는 배관의 종류에 따라 실제 밸브가 동작되는 운전조건을 최대한 반영할 수 있는 최적 차압계산을 하는데 이를 표준차압계산과 비교하여 상세 차압계산이라 하며 이는 별도의 분석코드를 이용하여야 한다. 그림 5에서 보는바와 같이 MOVIDIK의 설계기준분석 모듈은 표준차압계산인 경우 MOVIDIK의 분석모듈을 이용하고 상세 차압계산인 경우 SFM이나 FLOWMASTER 코드를 사용하여 얻은 차압 계산 결과를 그 입력값과 함께 MOVIDIK의 데이터베이스에 저장하도록 되어있다. 이렇게 얻은 최대차압은 최소요구 쓰러스트에 영향을 미치는 다른 요인들과 함께 쓰러스트 토크 분석모듈에 전달되어 최소요구 쓰러스트/토크 값을 구하는데 사용된다.

취약부는 취약부위가 일반형상인 경우는 MOVIDIK의 분석모듈을 사용하여 최대허용 쓰러스트/토크를 계산한다. 일반형상인 경우 취약부위는 밸브유형에 따라 그림 5에서 보는바와 같이 게이트-글로브 밸브인 경우와 버터플라이 밸브인 경우로 나뉘어 계산된다. 특수형상인 경우 전문가에 의한 엔지니어링 분석작업을 거친 뒤 그 결과를 데이터베이스에 저장하도록 되어있다.

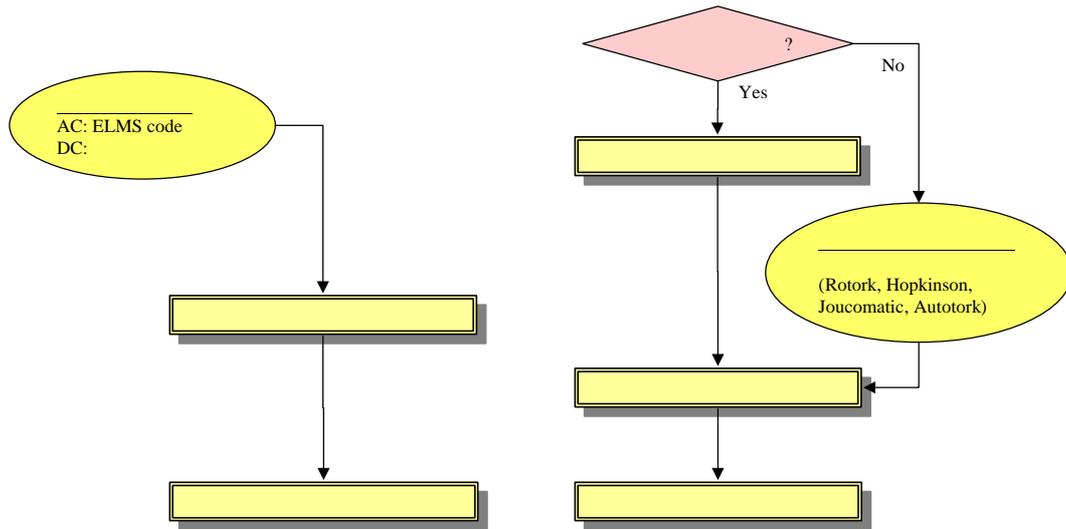


그림 6 전기제어분석, 열동계전기 분석 및 구동기 성능분석 흐름도

모터구동밸브가 최대차압을 극복하기 위한 최소 요구 쓰러스트 및 토크가 얻어지면 모터구동밸브가 최소 요구 쓰러스트 및 토크 이상의 동력을 낼 수 있는가를 분석하여야 하는데 모터구동밸브가 동작해야 하는 설계기준조건에서는 모터구동밸브외에도 많은 전기적 부하가 발생하여 밸브에 공급되는 전압이 강하된다. 현재 모터구동밸브 안전성 평가의 전압 강하율 계산에는 전력계통 분석코드인 ELMS 전산코드를 이용하고 있는데 MOVIDIK의 연산 모듈에는 포함되어 있지 않기 때문에 분석 결과만을 데이터베이스에 저장한다. 계산된 전압 강하율은 구동기 성능분석을 위한 기초자료로 사용된다. 구동기 성능분석은 설계기준조건에서 모터가 스톱되지 않고 구동기가 손상되지 않는 범위에서 구동기가 보증하는 최대유용 쓰러스트/토크를 구하는 것이다. 현재 국내 원전에서 모터구동밸브에 사용되는 구동기의 80% 이상이 미국 리미토크社에서 제작한 구동기이며 이는 MOVIDIK의 구동기 성능분석 모듈을 사용하여 구동기 성능 분석을 할 수 있다. 하지만 그 외 다른 종류의 구동기인 경우 제작사별로 제공하는 성능 분석값들을 사용하거나 추가적인 엔지니어링 분석을 수행하여 최대유용 쓰러스트/토크를 구한 뒤 데이터베이스에 그 결과를 저장하도록 되어있다.

각 모듈에서 구한 값들과 장비 및 센서의 불확실성, 단힘 또는 열림 시의 토크/리미트스위치 설정값 등을 고려하여 설계기준 여유도 분석모듈에서 밸브의 최종적인 설계기준 여유도 값을 구할 수 있다.

## MOVIDIK의 시스템 구조

MOVIDIK은 Web을 기반으로 하여 사용자의 공간과 시간의 제약을 해결함으로써 이용이 편리하며 또한 객체지향언어를 사용하여 소프트웨어의 재 사용성을 증대시킴으로서 운영 및 유지보수가 용이한 장점을 살리면서 개발하였다. MOVIDIK은 제원은 아래와 같다.

- 1) OS : MS Windows 2000 Server
- 2) DBMS : RDBMS (Oracle 8.0)
- 3) Web Server : JAVA WebServer
- 4) 개발언어 : JAVA/JSP
- 5) 개발방식 : Web

6) 통신방식 : TCP/IP, HTTP

MOVIDIK의 네트워크 구성은 그림 7과 같다. MOVIDIK 서버는 전력연구원 내 위치하고 있으며 각 발전소에서는 약간의 환경설정 만으로 쉽게 MOVIDIK 서버에 접근할 수 있다.

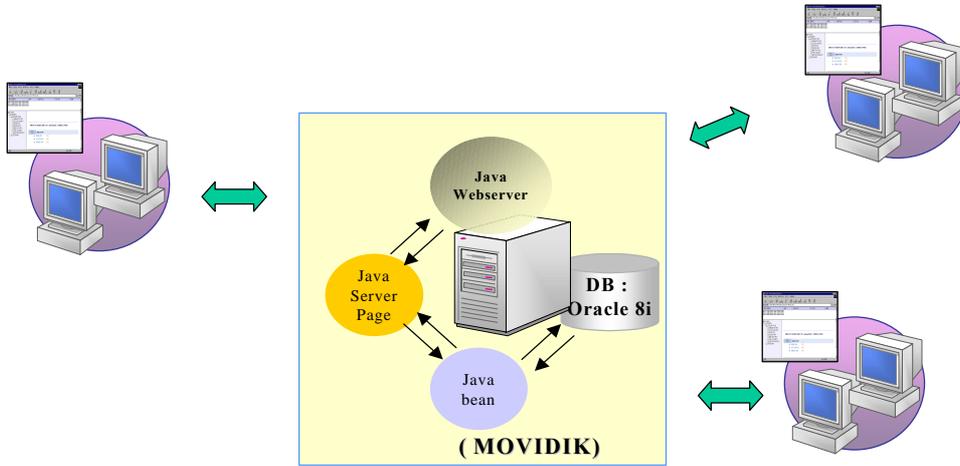


그림 7 MOVIDIK의 네트워크 구성

MOVIDIK은 그림 8에서 보는바와 같이 정보를 저장하는 데이터베이스와 이를 관리하는 웹 응용프로그램으로 구성되어 있다. 데이터베이스는 크게 시스템정보, 기초정보 그리고 설계기준분석정보로 나뉘고 시스템 정보는 다시 코드 정보와 사용자 정보로 나뉜다. 응용프로그램은 시스템 관리모듈, 기초자료 관리모듈, 설계기준분석 관리모듈 나뉜다. 다시 설계기준분석 관리모듈은 계통설계기준 분석, 쓰리스트 및 토크 분석, 취약부 분석, 전기제어 분석, 열동계전기 분석, 구동기 성능 분석, 설계기준 여유도 모듈 등 7가지의 모듈로 구성되어 있다.

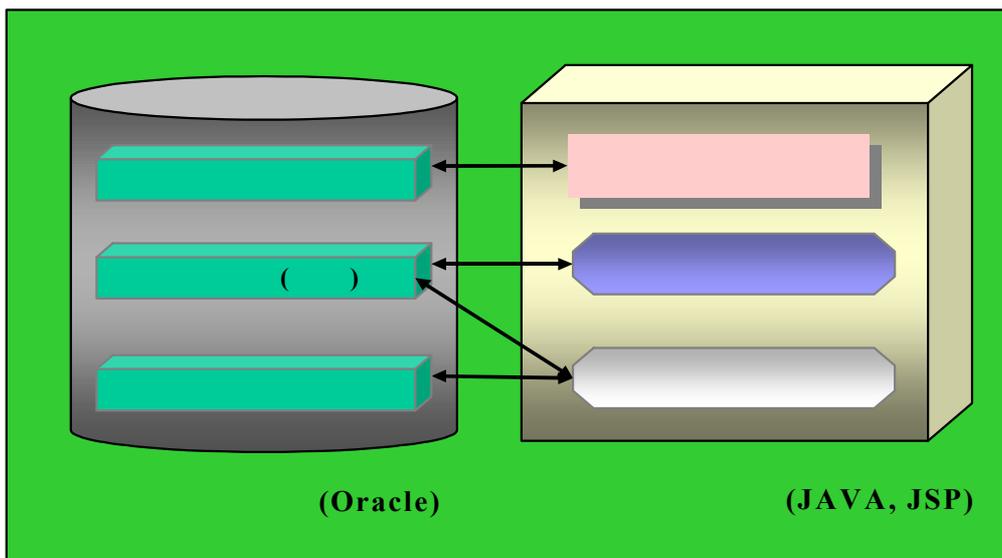


그림 8 MOVIDIK 데이터베이스와 시스템 구조도

설계기준분석 자료는 상태에 따라 승인정보, 등록정보, 작업정보로 구분되어지고 현재 작업자가 작업중인 정보를 작업정보, 승인을 받기 위해 작업자가 승인대기 시켜놓은 자료를 등록정보, 작성 및 승인 단계를 거쳐 공식적으로 검토가 끝난 자료들을 승인정보라 한다. 일단 승인이 이루어진 자료는 각 밸브 별로 저장되어 이력관리가 가능하도록 구성하였다.

## MOVIDIK의 기능

MOVIDIK의 가장 주된 기능은 우선 수 작업으로 수행되던 설계기준분석 업무를 전산화함으로써 기존에 수행되던 많은 엔지니어링 작업을 신속하고도 정확하게 수행할 수 있게 되었다. 특히 개정이 필요한 분석이 발생하였을 경우 매우 간편하게 개정내용을 반영하고 그 결과를 확인할 수 있게 되었다. 그림 9는 MOVIDIK을 이용하여 설계기준분석을 수행하는 모습을 나타내고 있다.

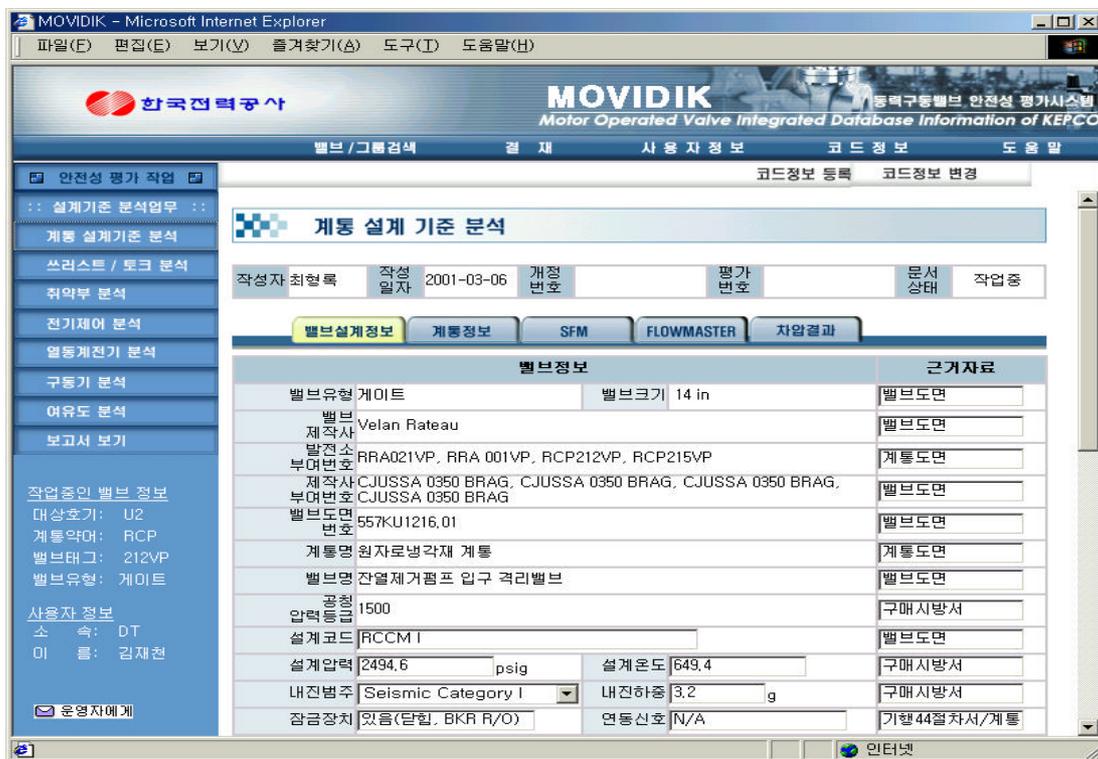


그림 9 MOVIDIK을 이용한 설계기준분석 수행

기존의 수 작업을 통한 설계기준분석의 가장 어려운 점은 분석보고서가 최초 작성분에 이어 개정분이 계속 발생할 때 개정 이력에 따라 자료를 일관성 있게 관리하기가 쉽지 않았다는 것이었으며 타 발전소나 비슷한 종류의 밸브에 대한 자료들을 검토하고자 할 때 시간적 지역적 제약을 받는다는 것이었다. MOVIDIK은 인트라넷 공간에서 서비스를 제공할 수 있으므로 이러한 제약을 극복할 수 있으며 그림 10에서 보는바와 같이 전 발전소의 평가밸브에 대해 광범위한 자료 및 개정이력 자료를 일관되게 유지 검색할 수 있다.

한편, 모터구동밸브 안전성평가와 관련하여 방대한 양의 평가자료들이 축적되면 축적된 설계기준분석 정보 및 기초정보들을 이용하여 유용한 통계자료들을 뽑아낼 수 가 있다. 이러한 통계자료들은 현장에서 밸브의 각종 문제점들을 해결하거나 문제점들에 대한 원인분석을 위한 귀중한 자료로 사용될 수 있으리라고 기대된다.



그림 10 MOVIDIK을 이용한 각종 이력검색

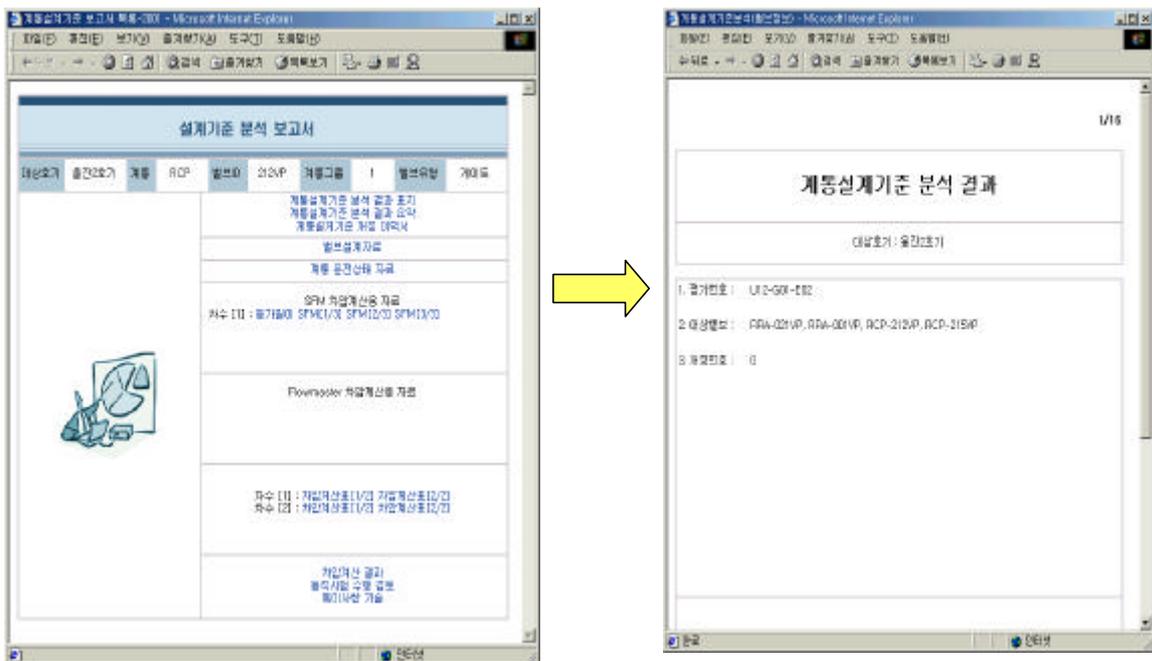


그림 11 MOVIDIK을 이용한 각종 설계기준분석 문서작성

현재 설계기준분석 보고서는 작성, 검토, 승인 등의 3 단계를 거쳐 생산되도록 절차화 되어 있으며 이렇게 생산된 보고서는 규제기관에 제출하도록 되어있다. MOVIDIK을 이용하면 기존에 수 작업으로 수행하였던 보고서 제작을 그림 11에서 보는바와 같이 기 수행되었거나 수행중인 설계기준분석 자료들을 이용하여 설계기준분석 모듈 내에 있는 7가지 분석 모듈별로 각각 보고서를 제작할 수 있다.

## 결 론

MOVIDIK은 모터구동밸브 안전성 평가의 신뢰성을 제고함과 동시에 효율성을 증대시키기 위하여 개발되었으며 향후 정·동적시험결과 분석, 최종평가 수행 및 주기점검 관련 기능을 추가로 개발하여 모터구동밸브 안전성 평가 전 과정을 전산화 할 예정이다. 현재 MOVIDIK은 설계기준분석 수행뿐만 아니라 평가 이력 관리 및 각종 분석보고서 제작이 가능하다.

모터구동밸브에 대한 안전성 평가는 여러 종류의 전산코드에 의한 계산, 진단장비에 의하여 취득한 진단신호 분석 및 전문가에 의한 엔지니어링 분석작업이 수반될 수밖에 없으므로 모든 평가과정을 MOVIDIK 단독으로 처리할 수는 없다. 하지만 각종 분석자료에 대한 총괄적인 데이터베이스를 구축하고 엔지니어링 분석을 일관성 있게 수행할 수 있도록 하므로써 분석업무의 효율 향상과 평가대상 밸브들에 대한 종합적인 평가와 체계적인 자료 관리와 활용이 가능해지며 이를 궁극적으로 원전 안전 관련 주요기기의 하나인 모터구동밸브의 신뢰성 제고에 기여할 것으로 기대된다.

## Reference

1. 김범년 외, "시범원전 동력구동밸브 안전성 평가 및 진단기술 개발", KEPRI TR.99NP01.C1999.777, 1999
2. W. Grant, R. Keating, "Application Guide for Motor-Operated Valves in Nuclear Power Plants", EPRI NP-6660-D Research Project 2814-6, 1990
3. 신뢰도 기반정비 분석방법 개발 및 영광 1,2호기 시범 계통분석 연구, RCM Analysis Methodology Development and Pilot System Study for YGN Unit 1 & 2, 1999.7, TR 96NJ10.J1999.328, 전력연구원
4. MOV DATABASE DESCRIPTION AND FUNCTIONS, 1999.9, Tony Morris, CRANE MOVATS
5. Candace C. Fleming, Barbara von Halle, "Handbook of Relational Database Design", Addison-Wesley Publishing Company, 1989
6. 이주현, "실용 소프트웨어 공학론 -구조적·객체지향기법의 응용사례 중심으로-", 법영사, 1993
7. Rama Velpuri, "Backup & Recovery Handbook", McGraw-Hill, 1996