

한국형 EMS 시스템의 Baseline 계통 해석용 소프트웨어 개발을 위한 데이터 모델링

논 문
58-10-2

Data Modeling for Developing the Baseline Network Analysis Software of Korean EMS System

윤 상 윤* · 조 윤 성† · 이 옥 화* · 이 진** · 손 진 만***
(Sang-Yun Yun · Yoon-Sung Cho · Wook-Hwa Lee · Jin Lee · Jin-Man Sohn)

Abstract - This paper summarizes a data modeling for developing the baseline network analysis software of the Korean energy management system (EMS). The study is concentrated on the following aspects. First, the data for operating the each application software are extracted. Some of the EMS network application softwares are selected for basis model. Those are based on the logical functions of each software and are not considered the other softwares. Second, the common data are extracted for equipment model and topological structure of power system in Korea. We propose the application common model(ACM) that can be applied whole EMS network application softwares. The ACM model includes the hierarchy and non-hierarchy power system structure, and is connected each other using the direct and indirect link. Proposed database model is tested using the Korea Electric Power Corporation(KEPCO) system. The real time SCADA data are provided for the test. Through the test, we verified that the proposed database structure can be effectively used to accomplish the Korean EMS system.

Key Words : Korean EMS, Data modeling, Network analysis software, Application common model

1. 서 론

최근의 경기 침체에도 불구하고 지속적으로 증가하는 전력수요는 설비의 제작 기술과 더불어 전력감시 및 제어 시스템 기술의 비약적인 발전을 촉진시켜왔다. 더욱이 IT 기술의 보급이 보편화함에 따라 통신 및 디지털 기술의 전력 계통에의 접목은 점차 그 범위를 확대하고 있다. 에너지 관리 시스템(energy management system, EMS)은 전력망의 가장 상위의 시스템으로 전체적인 전력의 수급과 계통의 운영을 관장하고 있으며 최근 국외의 광역정전 사례에서도 볼 수 있듯이 그 중요성이 날로 증가하고 있다 [1]. EMS용 네트워크 어플리케이션 프로그램들은 계통 운영을 위한 상태 추정, 조류 해석, 고장 해석, 상정사고 해석 등의 결과를 주기적으로 운영자에게 제공함으로써 현재 및 미래 계통 운영을 위한 다양한 정보를 제공해야만 한다. 이를 위해서는 빠른 연산속도와 다양한 정보 제공이 필수적이며 그 근간이 되는 것은 계통 토폴로지 및 구성 설비들의 데이터 모델링 및 데이터 베이스라 할 수 있다.

이제까지 국내 EMS는 모두 국외에서 도입되었으며, 시스템의 운전 측면에 초점이 맞춰져 운용되어왔다. 그러나 유

지보수 및 시스템 사양 및 기능의 업그레이드에는 많은 제약이 있었던 것 또한 기지의 사실이다. 본 논문에서는 EMS의 네트워크 해석 소프트웨어를 국산화하기 위한 데이터 모델링 및 데이터베이스 구축에 대해 요약하였다.

일반적인 PC 또는 UNIX 기반의 네트워크 해석용 소프트웨어와 달리 전계통의 실제 운용상에 영향을 주는 EMS용 어플리케이션은 극도의 신뢰성을 요한다. 또한 실시간 해석용 소프트웨어들의 경우 수분의 주기를 가지고 주기적인 해석이 이루어지므로 빠른 해석 속도와 안정성이 필수적이다. 일반적인 파일 기반의 해석과 관계형 데이터베이스와 연동되는 방식들은 이러한 요구를 충족할 수 없는 것이 일반적이다. 따라서 본 논문에서는 대규모 계통해석에 많이 사용되는 링크구조를 이용한 실시간 데이터베이스를 제시하였다 [2-4]. 연속적인 여러 소프트웨어들의 해석을 위해 각각의 어플리케이션마다 입출력 DB를 두는 방식은 자원 배분의 효율을 저하시키므로 본 연구에서는 어플리케이션 모두가 공통으로 사용할 수 있는 공통 데이터베이스 모델을 구축하였다. 공통 데이터베이스 모델의 구축을 위해 각 어플리케이션의 논리적 기능을 전개하여 공통이되는 부분을 추출하였다. 이는 전력계통 설비 모델 및 토폴로지적 구조에 적용되었으며 어플리케이션 공통 모델(application common model, ACM)이라 부른다. ACM 모델은 계층적 구조와 비계층적 구조로 구분되어 제시되었으며 직간접적인 링크로 서로 연관되어 있는 형태이다. 본 논문에서 제시한 데이터베이스 구조는 한국전력공사의 실계통 시스템과 실시간 스카다(supervised control and data acquisition, SCADA) 데이터를 이용하여 시험하였다.

* 정 회 원 : LS산전 전력연구소 책임연구원 · 공박

** 정 회 원 : LS산전 선형연구소 수석연구원

*** 정 회 원 : LS산전 자동화연구소 책임연구원 · 공박

† 교신저자, 정회원 : LS산전 전력연구소 선임연구원 · 공박

E-mail : yschol@lsis.biz

접수일자 : 2009년 4월 5일

최종완료 : 2009년 8월 22일

2. EMS용 네트워크 어플리케이션의 구성

한국형 EMS 시스템의 네트워크 어플리케이션(network application, NA) 프로그램은 표 1과 같이 구성되어 있다. 표 1에서처럼 개발된 프로그램이 다양하나 이는 데이터 모델링 관점에서 다음과 같이 4개의 기본 모델로 요약될 수 있다 [5-9].

1) 토폴로지 프로세서(topology processing, TP) 모델 : 계통의 토폴로지 상태를 절점(node) 상태에서 차단기류(CB, LS)의 투입(close)/개방(open) 상태를 이용하여 모선(bus) 상태로 변환하며, 계통 설비의 상태(활선(live)/비활선(dead)) 및 해석 영역인 독립계통(topological island)을 구분한다.

2) 상태추정(state estimation, SE) 모델 : 토폴로지 프로세서가 생성한 모선 구조에 대해 SCADA 데이터의 비동기성(unsynchronous) 및 오류 데이터를 보정하며 조류계산을 위한 모선 전압 및 위상 초기치와 유입 조류(injection MW/MVAr)의 양을 계산한다.

3) 조류계산(load flow, LF) 모델 : 상태추정 결과를 초기치로 하여 모선 전압과 위상 및 모선간 전력조류를 계산한다. 표 1의 네트워크 어플리케이션 중 급전원 조류계산, 전압 계획, 상정사고 해석, 송전가능 용량 계산 및 송전선 과부하 해소 등이 조류계산 모델에 기반하여 연산을 수행한다.

4) 고장계산(short circuit analysis, SCA) 모델 : 계통의 정상, 역상, 영상분 임피던스 모델에 기반하여 고장시 각 부의 고장전류를 계산하며, 제전기 정정 및 보호기기 정격 등의 점검을 위한 데이터를 제공한다.

표 1 한국형 EMS NA 프로그램의 구성

Table 1 Details of NA programs in KEMS

번호	NA 프로그램	기능	소속 모델
1	Topology Processor	계통 토폴로지 처리	TP
2	State Estimator	계통 상태 추정	SE
3	Dispatcher LF	급전원 조류 계산	LF
4	Voltage Scheduler	전압 계획	
5	Contingency Analysis	상정사고 해석	
6	T/L Transfer Cap	송전가능 용량 산정	
7	T/L Overload Relief	송전선 과부하 해소	
8	Short Circuit Analysis	고장 계산	SCA
9	Outage Scheduler	휴전 계획	-

3. NA 프로그램의 모델링을 위한 요구사항 분석

NA 프로그램의 모델링을 위한 요구사항 분석은 앞서 표 1에서 설명한 4가지 모델(토폴로지 프로세서, 상태 추정, 조류 계산 및 고장 해석)로 구분되었다. 토폴로지 프로세서, 상태추정, 조류계산 및 고장계산에 대한 모델링 요구사항은 그림 1의 (a)에서 (d)까지와 같이 나타내었다. 그림에서 branch는 2노드 설비로 선로, 변압기, 영 임피던스 선로(zero impedance line)를 통칭하는 것이며, injection은 1노드 설비로 발전기, 병렬장치(shunt capacitor/reactor), 부하 및 소내부하 등을 통칭하는 것으로 정의되었다. 토폴로지 프로세서의 경우 노드를 그룹화하여 이후 어플리케이션이 사용

할 모선을 생성하는데 필요한 데이터 위주로 도출되었고, 상태추정의 경우 모선 전압/위상을 추정하는데 필요한 토폴로지 프로세서의 결과와 각 SCADA 측정치 및 측정 품질을 위주로 도출되었다. 또한 조류계산 및 고장계산의 경우 상태추정결과인 모선 전압/위상 및 유입 조류와 계통 구성요소들의 임피던스를 위주로 도출되었다.

요구사항 중 중복을 제외한 각 모델별 특징을 표 2에 정리하였다.

표 2 각 NA 모델별 요구사항 분석 결과

Table 2 Results of demand analysis for each NA model

모델명	입력 정보	출력 정보
TP	-전력설비와 노드(node)간 링크 -차단장치 개폐정보 -HVDC 관련 설비 링크	-전력설비와 모선(bus)간 링크 -설비 상태(live/dead) -독립계통 정보
SE	-각 설비의 SCADA 측정값 및 그 품질 정보 -설비 임피던스 정보 -토폴로지 처리 결과	-모선의 전압 위상 및 크기 추정값 -TR의 탭(tap) 추정치 -계통 요약 정보
LF	-상태추정 계산 결과 -각 설비의 제어 정보 -토폴로지 처리결과	-모선의 전압 위상 및 크기 계산값 -제어요소 권고치 -계통 요약 정보
SCA	-상태추정 계산 결과 -변압기 결선 정보 -설비 임피던스 정보	-모선 및 지로(branch)의 고장시 전류 및 전압 -보호기기 정격 위반

4. 공통 데이터 모델 구축

본 논문에서는 네트워크 해석 소프트웨어가 공통으로 사용하는 데이터베이스 모델을 어플리케이션 공통 모델(application common model: ACM)이라 정의하였다.

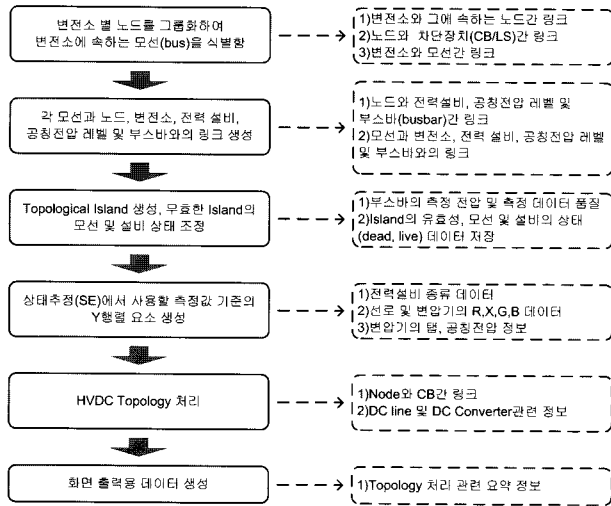
ACM은 앞서 설명한 각 어플리케이션의 요구사항과 표 3의 계통 구성요소들인 각 계통 설비에 대한 공통 데이터 모델을 이용하여 설계되었다. 표 3의 계통 설비 모델링은 토폴로지 프로세서, 상태추정, 조류 및 고장계산에서 공통으로 사용할 수 있도록 모델링 되었다.

ACM은 계층적 모델과 비 계층적 모델로 나뉘어 지며, 어플리케이션 소프트웨어의 구동 및 급전원의 화면 표출을 위한 사항들을 고려하여 설계되었다. 각 테이블간의 관계를 설정하기 위해 본 논문에서는 링크 리스트 모델(linked list model)을 사용하였다 [3]. ACM 데이터베이스의 각 테이블은 다음의 3가지 링크를 사용하여 관계가 설정된다.

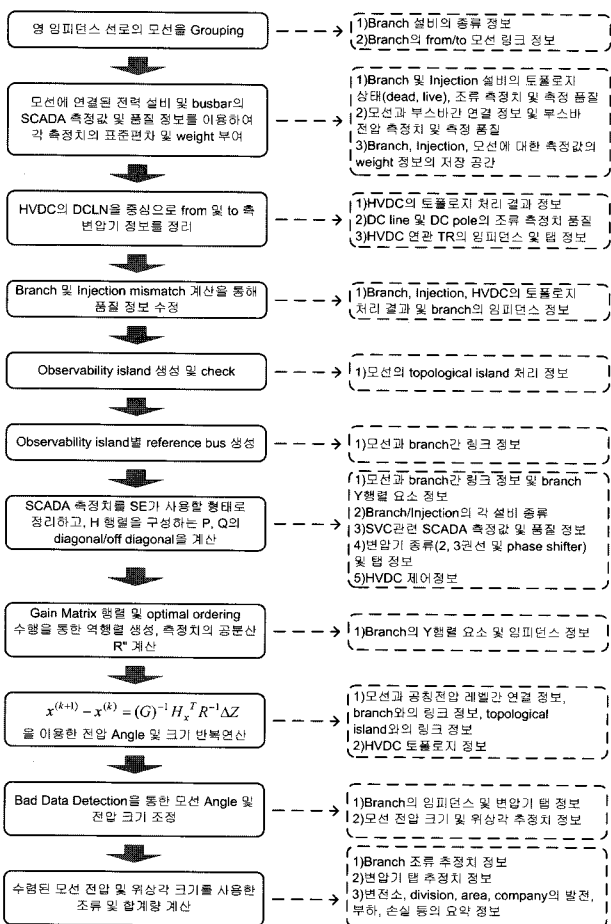
1) 테이블의 각 데이터 레코드에 대한 식별자: 일반적으로 연속적인 정수값을 사용한다.

2) 레코드 값: 이름, 상위 계층의 이름, 특성 값(임피던스, 열적 제한치, 공칭 전압 등)

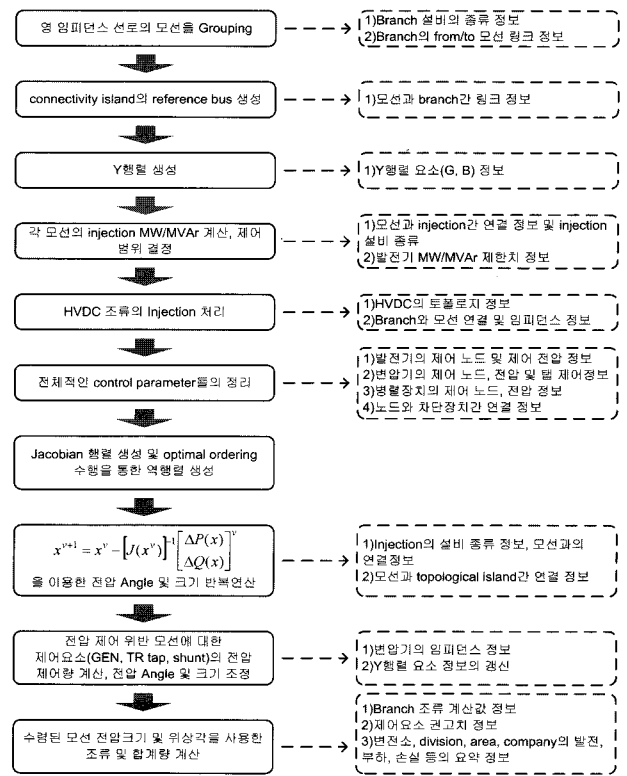
3) 다른 테이블(또는 레코드)로의 연결: 이것은 head, sibling 및 indirect index의 3가지로 구분된다. Head index는 연결된 테이블의 첫 번째 레코드를 가리키는 포인터이며



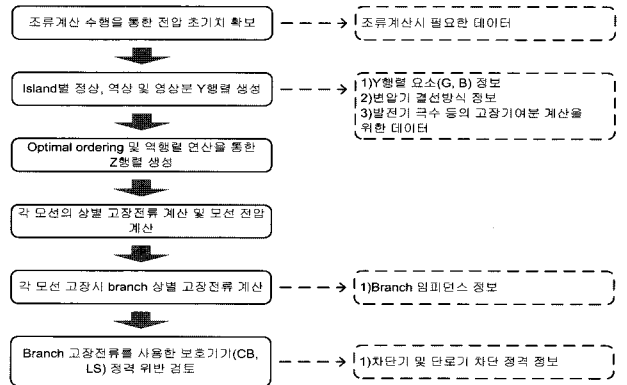
(a) 토폴로지 프로세서 모델을 위한 요구사항 분석



(b) 상태추정 모델을 위한 요구사항 분석



(c) 조류계산 모델을 위한 요구사항 분석



(d) 고장계산 모델을 위한 요구사항 분석

그림 1 어플리케이션 프로그램의 모델링을 위한 요구사항 분석

Fig. 1 Demand analysis for each application programs

sibling index는 head index와 관련된 다음번의 레코드를 가리키는 포인터이고 indirect index는 1:1 링크를 가리키는 포인터이다. ACM 데이터베이스에 대한 링크 리스트의 예를 그림 2에 나타내었다. 만일 특정 모선에 연결된 발전기들의 유입 전력(injection)을 구한다고 하면, head index(HI_Gen) 및 sibling index(SI_Bus)를 이용하여 유입 MW 및 MVar

을 계산할 수 있다. 그림 2에서 보는바와 같이, 모선 1의 head index는 발전기 1번을 가리킨다. 또한 발전기 1번의 모선 1에 대한 sibling index는 2이다. sibling index에 대한 추적을 통해 모선 1번에는 발전기 1번, 2번, 3번이 연결되어 있음을 발견할 수 있다. 따라서 모선 1번의 유입 MW는 발전기 1, 2, 3 각각의 MW의 합이된다. 만일 sibling index가 0이면, 이것은 다음 레코드 검색상의 마지막 레코드라는 의미이다. 만일 발전기의 토폴로지 정보를 찾는다면, 모선으로의 indirect index(IL_Bus)를 사용할 수 있다. 그림 1의 발전기 4번의 indirect index는 해당 발전기가 모선 2번에 연결되어 있음을 나타낸다.

표 3 계통 설비의 모델링 결과

Table 3 Results of power system equipment modeling

모델명	단선도	모델 정보
차단기(CB, LS)		-CB_status= 1은 "close"상태를 의미 -만일 상태 측정값이 "suspect"이면, 가장 최근의 "good" 데이터를 사용
Busbar		-만일 전압 측정값이 "good"이고 전압 최대/최소 기준치를 만족하면 해당 부스바 측정 전압의 상태를 "유효함"으로 취급
송전선로		-Y행렬 요소인 g11 및 b11은 _____, -만일 조류 측정치(12 또는 21)가 "good"이면 해당 선로의 측정 상태를 "유효함"으로 취급
변압기		-3권선 변압기는 2권선 3개로 모델링 되었으며, Delta 형태를 다음과 같이 Y로 변환함 -여기서, _____ 는 Y로 변환된 임피던스임 -Y행렬 요소인 B11 및 B12는 다음과 같이 계산됨 _____ , _____ 여기서, _____ 이고 _____ 임. _____ 는 변압기 기기 공칭전압이며 _____ 는 시스템 공칭전압임
영 임피던스 선로		-From/to 노드 및 모선이 있으나 계산시는 다른 모선으로 병합됨. 임피던스는 무시함
발전기		-발전기 소내부하(Aux)의 경우 Gen MW 출력에 따라 구간단위로 결정값을 사용 -만일 측정품질이 "good"이면 해당 측정값을 "유효함"으로 취급
병렬장치(shunt cap/react) 및 SVC		-개별 장치 단위의 토폴로지 모델 -1개 모선에 여러개의 설비가 있을 수 있음 -만일 MVar 용량이 (+)이면, shunt capacitor로, (-)이면 shunt reactor로 모델링 -SVC의 경우 무효전력 제한치 및 Slop으로 특성화됨
부하		-만일 측정품질값이 "good"이면 해당 측정값을 "유효함"으로 취급
HVDC		-DC 내부를 설비(차단기, DC line, DC pole) 및 노드를 이용하여 모델링 함 -DC converter가 DC pole에 소속된 구조이며, DC line을 중심으로 토폴로지 정보가 집약됨 -SE의 경우 AC 전압 추정치와 DC 전류 추정치를 사용하여 DC 전압을 계산함

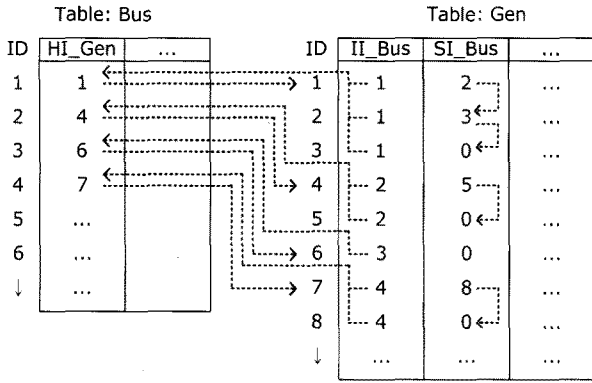


그림 2 링크 리스트 모델의 예
Fig. 2 Example of linked list model

그림 3은 KEMS 데이터베이스의 전체적인 구조를 나타내었다. 그림 3에서 보는 바와 같이, KEMS 데이터베이스는 3가지 부분으로 나뉘어진다. 하나는 실시간 데이터베이스(SCADA 데이터 DB)이고, 다른 하나는 ACM DB이며, 나머지 하나는 오프라인 데이터베이스(offline DB)이다. 실시간 데이터베이스는 고정된 키(static key)를 사용하여 ACM 데이터베이스와 링크되어 있으며, 고정된 키는 각 SCADA 데이터 측정 포인트마다 유일한 주소(address)를 가진다. 또한 그 주소는 표 4에서 언급한바와 같이 몇 개의 ID들을 사용하여 구성된다. 토폴로지 프로세서의 데이터 이동(data propagation: DP) 기능이 주기적으로 실시간 데이터베이스의 값들을 ACM 데이터베이스로 전송한다. 오프라인 데이터베이스는 CIM(common information model) 기반이며, DBMS는 Oracle을 이용하여 구축되었다. 오프라인 데이터베이스의 값들이 데이터 추가 및 삭제등으로 인해 부분 수정되는 경우 비주기적으로 ACM 데이터베이스를 전체적인 갱신을 수행한다. ACM DB에서 1개의 테이블 그룹(group)은 여러개의 고정(static) 및 변동(dynamic) 테이블들을 포함하고 있으며 이는 어플리케이션이 한번에 임/출력할 데이터양을 줄이기 위함이다. 본 논문에서는 이와같은 테이블 구조를 평행 테이블(parallel table) 구조라 정의하였으며 평행 테이블들에서, 동일한 레코드의 데이터는 동일한 전력설비의 데이터를 나타낸다.

최종적으로 도출된 계층적(hierarchy) 데이터베이스 모델 구조를 그림 4에 도시하였다. 그림에서 실선은 테이블간의 연관관계가 head/sibling index로 연결되었다는 것을 나타내고, 점선은 indirect index만으로 연결되었음을 나타낸다. 그림에서 H는 해당 테이블에서 실선으로 연결된 테이블로의 head index가 있다는 의미이며 I는 해당 테이블에서 실선 또는 점선으로 연결된 테이블로의 indirect index가 있다는 의미이다. 또한 그림에 표시되지는 않았지만 head index와 실선으로 연결된 테이블에는 sibling index가 있다. 음영이 있는 테이블은 동적(dynamic) 테이블이며 없는 테이블은 정적(static) 테이블을 의미한다. 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 계층적 데이터베이스는 링크 리스트 중 head 및 sibling 인덱스를 이용한 포함관계를 가지고 구성되었다. 예를 들어, 어떤 변전소에 속하는 설비(CB, TR, Load 등)는 변전소에서 각 설비를 가리키는 head index와 각 설비에서의 sibling 인덱스를 이용하여 찾을 수 있다. 앞서 설명한 것처럼 모든

구조는 검색(search)방식이 아닌 1:1형식으로 구성되어 빠른 데이터 추출 및 인식이 가능하도록 구성되었다.

최종적으로 도출된 대표적인 비 계층적(non-hierarchy) 데이터베이스 모델 중 대표적인 것들을 그림 5(a)와 그림 5(b)에 도시하였다. 계층적 구조가 정적(static) 테이블들의 연관관계를 위주로 물리적 포함관계를 나타내기 위해 구성되는데 반해, 비 계층적 구조는 동적(dynamic) 테이블들의 연관관계를 위주로 기능적 연관관계를 나타내기 위해 구성된다. 각 구조의 특징을 아래와 같이 요약하였다.

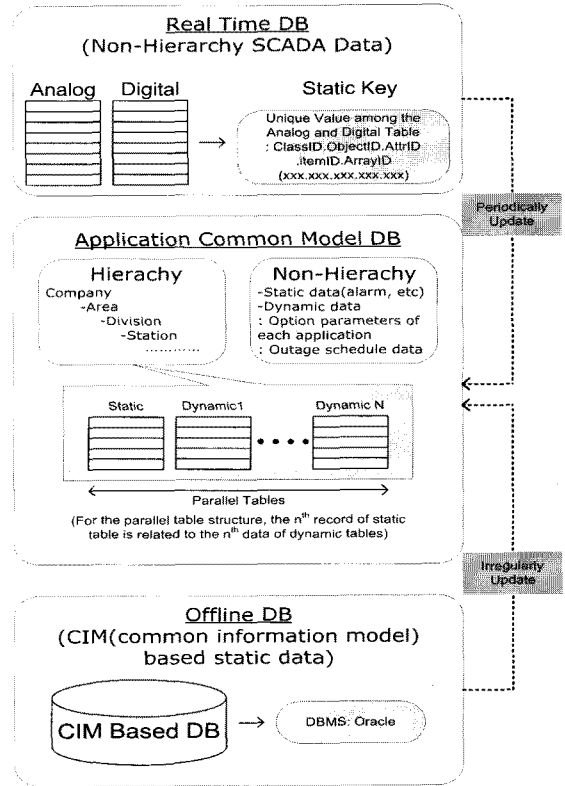


그림 3 KEMS 데이터베이스 구조
Fig. 3 Database structure of KEMS

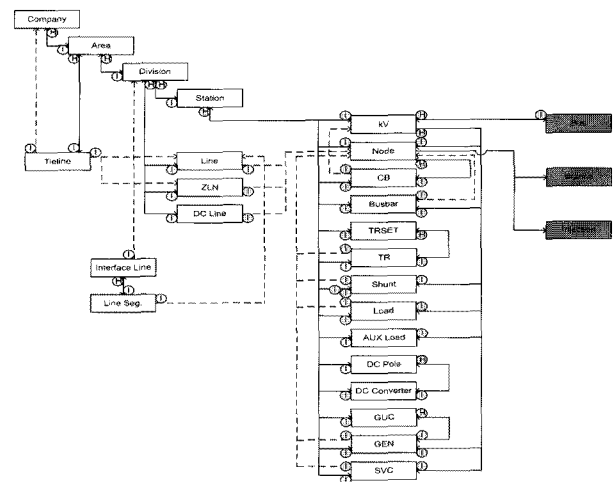
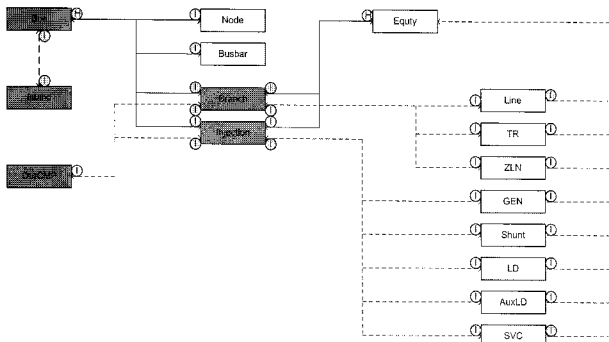
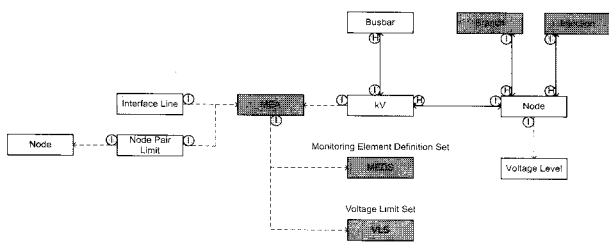


그림 4 계층적 공통 데이터베이스 구조
Fig. 4 Hierarchy common database structure



(a) Bus, branch 및 injection 구조



(b) Monitoring group 설정 구조

그림 5 비계층적 공통 데이터베이스 구조

Fig. 5 Non-Hierarchy common database structure

1) Bus, branch 및 injection 구조: 각 프로세서는 각 설비 데이터들의 데이터를 빈번히 참조하며, 토폴로지 프로세서를 제외하고는 모선(bus) 데이터를 사용한다. 따라서 좀더 빠른 데이터 입출력이 가능하도록 선로(line), 변압기(TR), 영 임피던스 선로(zero impedance line, ZLN)를 branch(2 node 설비)로 구성하고, 발전기(gen), 병렬장치(shunt), 부하(load), SVC는 injection(1 node 설비)로 구성하였다.

2) Monitoring group: 전압, branch 과부하, 응통선로 과부하 및 노드간 위상차를 감시하기 위한 것으로, 모든 감시 대상은 MEA(monitring element assignment)를 통해 MEDS(monitring element definition set) 및 VLS(voltage limit set)으로 할당되어 그룹으로 관리할 수 있도록 하였다.

5. 실증 시험

KEMS에서 개발된 토폴로지 프로세서, 상태추정 및 조류 계산 프로그램을 사용하여 제한한 데이터 모델 및 데이터 베이스 구조의 효율성을 테스트 하였다. 본 논문에서 사용한 시험 계통은 EMS 해석 범위에 속하는 전계통을 대상으로 하였으며 그 구성도를 그림 6에 나타내었다.

시험계통은 2008년 11월의 SCADA 데이터와 앞서 정의한 ACM형태의 데이터를 이용하여 시험되었다. 해석 대상 계통을 요약하면 표 4와 같다.

각 프로그램별 시험 결과 토폴로지 프로세서의 경우 평균 약 0.4-0.5초, 상태추정 프로그램의 경우 평균 4-6초, 조류 계산 프로그램의 경우 평균 1-2초 정도가 소요되었다. 현재 국내 도입된 EMS 시스템의 실시간 네트워크 어플리케이션의 주기가 5분임을 감안하면 실시간 연산을 수행하기에 크게 손색없는 결과라 할 수 있다.

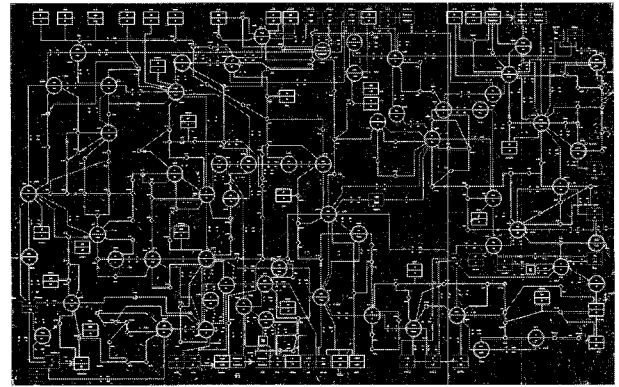


그림 6 시험대상 계통의 단선도

Fig. 6 One line diagram of test system

표 4 시험 계통 요약

Table 4 Summary of test system

번호	항목	내용
1	지역(Area)	육지 및 제주
2	전력관리처(Division)	12개 지역관리처
3	변전소(Station)	724개(전체 중 제주 12개)
4	노드(Node)	29733개
5	차단기 및 단로기	32988개
7	Branch	선로 1787개, 변압기 2895개, 영 임피던스 선로 12개
8	Injection	발전기 307, Shunt 1867, 부하 2506, Aux 부하 259

2008년 11월 7일자 특정 데이터 셋트 1개의 결과를 표 5에 나타내었다. 표에 나타내지 않았으나 토폴로지 프로세서의 수행결과 유효 모선이 3470개 도출되었으며, 독립계통(island)은 2개(육지 및 제주)로 구분되었다. SCADA 측정값, 상태 추정 결과 및 조류 계산 결과를 각 공칭전압별로 부스바(busbar) 전압의 최소 및 최대치를 이용하여 비교하였다. SCADA 측정치에는 비 동기적 오차 및 오류 데이터(bad data)에 의한 약간의 오차(error)가 섞여 있으며 345kV 및 154kV 계통에 전압이 매우 낮은 것은 소수의 부스바(busbar) 측정 전압에 이와 같은 오류가 섞여 있기 때문이다. 이를 제외한 대부분은 공칭값과 유사한 범주에 있다. 이러한 오류는 상태추정을 거치며 평활화(normalized)되어 일반적인 전압 범주로 수렴되었음을 알 수 있으며 조류계산을 통해 topological island별로 전체적인 계통 오차(mismatch)가 허용량 이하가 되는 수렴치를 계산하게 됨을 볼 수 있다.

표 5 프로그램의 수행결과(2008년 11월 7일자)

Table 5 Summary of analysis result(2008 Nov. 7)

구분	SCADA 측정치 (최소-최대 PU)	상태추정 결과 (최소-최대 PU)	조류계산 결과 (최소-최대 PU)
전압 레벨kV			
765	0.993-1.009	0.978-0.995	0.979-1.009
345	0.601-1.084	0.972-1.046	1.006-1.044
154	0.600-1.057	0.993-1.066	0.997-1.083

6. 결 론

본 논문에서는 한국형 에너지관리 시스템의 네트워크 해석용 소프트웨어를 위한 공통 데이터 모델의 구축에 대해 다루었다. 이를 위해 다양한 네트워크 어플리케이션 중 그 근간이 되는 프로그램 모델을 선정하였으며 각각의 모델 프로그램의 입출력 요구사항을 정리하였다. 본 논문에서 제시한 모델은 기본적으로 실시간 데이터베이스 형태의 메모리 DB를 구축함으로써 어플리케이션 프로그램의 데이터 입출력 시간을 경감하도록 설계되었다. 직간접 링크와 평형 테이블 구조로 작성된 DB 구조는 연산을 위한 데이터 탐색 시간을 줄임으로써 연산속도를 향상하는 효과를 얻었다. 국내 실정 및 향후 확장을 고려한 계층적 DB 구조를 설계하였으며 세부 계통 설비에 대한 공통 모델을 구축하였다. 또한 어플리케이션 전용 및 화면 등의 서비스를 위해 비 계층적 DB 구조를 설계하였다. 본 논문에서 제시하는 공통 데이터 모델은 한국형 에너지 관리 시스템에서 개발된 어플리케이션 프로그램을 사용한 실시간 시험을 통해 검증되었다. 검증결과, 연산 속도 및 기능 수행을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 본 논문의 연구결과는 향후 대규모 시스템의 계통해석을 위한 자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] F.Maghsoodlou, R. Masiello, and T. Ray, "Energy management systems", IEEE P&E Mag., vol.2, no.5, pp.49-57, 2004.
- [2] H. P. Mooney and J. W. Evans, "A complete relational DBMS for an EMS product", IEEE Trans. on PWRs, vol. 3, no. 1, pp.325-329, 1998.
- [3] S. A. Soman, S. A. Khaparde and S. Pandit, Computational methods for large sparse power systems analysis, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [4] 안영태 외 6명, "한국전력 송전계통 보호 데이터베이스 구축," 대한전기학회 논문지, vol. 48A, no. 7, pp. 847-854, 1999년 7월.
- [5] A. Abur and A. G. Exposito, Power system state estimation - Theory and implementation, Marcel Dekker(New York), 2004.
- [6] G.A. Maria, A.H. Yuen, and J.A. Findlay, "Control variable adjustment in load flows,"IEEE Trans. on Power Systems, vol. 3, No. 3, pp.858-864, Aug. 1988.
- [7] W.F. Tinney and J.W. Waler, "Direct solutions of sparse network equations by optimally ordered triangular factorization,"Proceedings of IEEE, Vol. 55, No. 11, pp.1801-1809, Nov. 1967.
- [8] E.M.L. Beale, Mathematical programming in practice, John Wiley & Sons(New York), 1968.
- [9] IEC Std 60909-0, Short circuit currents in three-phase a.c. systems-Part0: calculation of currents, 2001.
- [10] 한국전력거래소, K-EMS Technical Specification Rev. 2, 한국전력거래소, 2006년 5월.

저 자 소 개



윤 상 운 (尹 尙 潤)

1970년 8월 28일생. 2002년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 LS산전 전력연구소 책임연구원
E-mail : syyun@lsls.biz



조 윤 성 (趙 尹 晟)

1977년 7월 5일생. 2008년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 LS산전 전력연구소 선임연구원.
E-mail : yschol@lsls.biz



이 욱 화 (李 旭 和)

1969년 3월 27일생. 1998년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 LS산전 전력연구소 책임연구원
E-mail : whleea@lsls.biz



이 진 (李 鎭)

1963년 1월 12일생. 2002년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LS산전 선형기술연구소 수석연구원
E-mail : jinlee@lsls.biz



손 진 만 (孫 普 滿)

1970년 10월 1일 생. 2006년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 LS산전 자동화제품연구소 책임연구원
E-mail : jmsohn@lsls.biz