

K-EMS용 급전원 조류계산 프로그램 구축 및 통합

신만철*, 오성균*, 황인준*, 김건중**, 허성일***, 김선구***, 이효상***
 (주)파워이십일*, 충남대학교**, 한국전력거래소***

Implementation of Dispatcher Power Flow program for Korean Energy Management System

Man-Cheol Shin*, Sung-Kyun Oh*, In-Jun Hwang*, Kern-Joong Kim**, Seong-IL Hur***, Seon-Gu Kim***, Hyo-Sang Lee***
 Power21 Corp.*, Chungnam Nat'l univ.**, Korea Power Exchange***

Abstract - 본 논문에서는 전력IT 국책과제로 선정된 한국형 에너지 관리시스템(Korean Energy Management System, K-EMS)의 네트워크 해석 프로그램 중 하나인 급전원 조류계산(Dispatcher Power Flow, DPF) 프로그램의 구축 및 통합에 대해서 다룬다. 여기에서는 조류계산의 기본기능 보다는 실시간 운영을 위한 DB, 프로세스, 화면 간 연계 방법을 설명하고, 기존 Off-line 검토용 조류계산 프로그램과의 차이점 및 급전원 조류계산 환경에 대해 서술한다. 본 논문에 소개된 급전원 조류계산 프로그램은 K-EMS의 중간 결과물인 Baseline 단계의 성과이며, 국내 실제용 데이터를 취득하여 성공적으로 실증시험을 마친 결과임을 밝혀둔다.

1. 서 론

에너지 관리 시스템(Energy Management System)은 전국의 발전소 및 변전소의 운전상태를 실시간으로 감시 및 제어하는 것으로서, 경제적인 전력생산과 안정된 전력공급을 종합 관리하기 위해 에너지 중앙 통제소(국내에서는 전력거래소 중앙급전소와 제주지사가 해당)에 설치 운영되는 컴퓨터 설비를 말한다. EMS에는 원격감시제어 및 자료취득을 수행하는 SCADA, 자동발전제어/경제급전, 전력계통해석, 급전원 혼련 시스템으로 구성되어 있다. 그 중에서도 전력계통 해석(Network Analysis) 기능은 EMS의 핵심기능으로서 토폴로지 프로세싱(Topology Processing), 상태추정(State Estimation), 상정사고해석(Contingency Analysis), 급전원 조류계산(Dispatcher Power Flow), 고장회로해석(Short Circuit Analysis), 송전가능용량계산(Available Transfer Capacity), 전압계획(Voltage Var Dispatch) 등이 있다.

본 논문에서는 전력IT 국책과제로 선정된 한국형 에너지 관리시스템(Korean Energy Management System, K-EMS)의 전력계통해석 프로그램 중 하나인 급전원 조류계산 프로그램의 구축 및 통합에 대해서 다룬다.

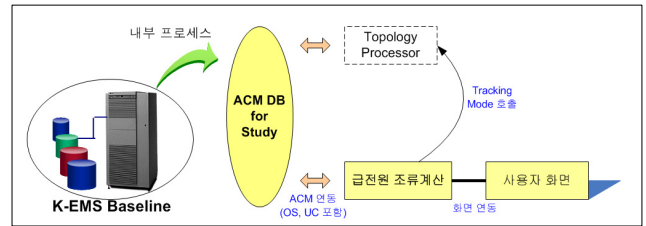
2. 본 론

2.1 DPF 프로그램 환경

DPF 프로그램은 대형 애플리케이션 개발에 적합한 객체지향개발(Object-Oriented S/W development) 방법론에 의해 개발이 진행되어, 각 개발단계에는 요구사항 분석-설계-구현-테스트의 공정을 갖고 있다. 따라서 이를 위한 개념설계로서 아키텍처, 모듈, 화면, DB에 대한 설계가 진행되었다[1]. 그러나 우리가 실제 개발을 진행해 보면, 개념설계만으로 부족한 실제 개발환경, 효과적인 API(Application Programming Interface) 적용을 만족시키기 위한 방법들이 함께 고려되어야 하는 것을 경험하게 된다. 이 절에서는 객체지향 개발 공정에서 위와 같은 실제적이고 구체적인 사항을 만족시키기 위해 특별히 고려되어야 할 환경과 API를 중심으로 서술한다.

2.1.1 개발 환경 개요

<그림 1>과 같이 Baseline 실행 환경은 검토용 ACM DB(Application Common Model DB for study)[2] 데이터를 액세스하게 되고, 사용자 화면과도 연동되며, Topology Processor 프로그램의 Tracking Mode를 호출하여 노드단위 차단기 상태 정보 변경 등을 반영하게 된다. 여기에서 ACM DB는 토폴로지 프로세싱, 상태추정, 급전원 조류계산 등의 애플리케이션에서 해석기능의 구동을 위해 필요한 입출력 데이터를 의미하는 것으로서 실시간 처리를 위해 여러 종류의 인덱스를 사용하여 고속 액세스가 가능토록 만든 것이 특징이다.



<그림 1> Baseline 실행 환경

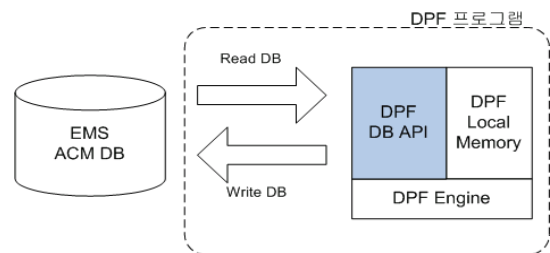
<표 1>과 같이 DPF 프로그램은 Unix 기반의 Standard C++로 환경 하에서 개발되었다.

<표 1> Baseline 개발 환경

구분	Baseline 개발환경
개발언어	Standard C++
하드웨어	HP UX
운영체제	UX 11
컴파일러	aCC 6.0

2.1.2 DB API 적용

DPF 프로그램은 EMS의 DB를 입력 받아 프로그램 내에서 연산을 수행한 후 계산 결과를 DB에 기록해야 한다. 이를 위해 DB API (Application Programming Interface)를 작성하여 DB 액세스에서 입력으로 필요한 데이터 목록과 출력으로 필요한 데이터 목록을 구분하게 된다. DPF 프로그램에서의 DB API에 대한 개념도는 <그림 2>와 같다. DPF DB API를 통해 EMS DB로부터 입력 데이터를 받아 Local memory에 저장하여 조류계산 연산을 수행한 후, 계산 결과를 Local memory에 다시 저장하여 DPF API를 통해 EMS DB에 기록하는 것이다.



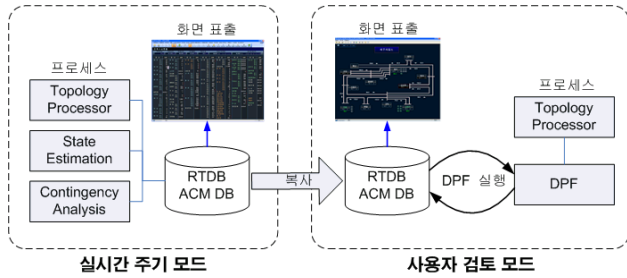
<그림 2> DB API

2.2 기존 Off-line 프로그램과의 차이점

2.2.1 실행 모드의 구분

Topology Processor, State Estimation, Contingency Analysis 프로세스는 실시간으로 일정 주기를 갖고 실행하게 되고, DB에서 입력 데이터를 받아 프로세스의 실행결과를 DB에 저장하게 되며, 화면에서 DB의 내용을 표시하게 된다. 반면, DPF 프로세스는 사용자가 원할 경우에 State Estimation 프로세스의 DB 출력결과를 이용하여 조류계산을 수행하고, 그 결과를 DB에 저장하여 화면에 표시되게 한다. 따라서 주기적으로 실행되는 프로세스와 사용자 요구에 의한 프로세스의 구분이 필요하게 되어 <그림 3>과 같이 실시간 주기 모드와 사용자 검토 모드로

구분하여 운영된다. 사용자 검토 모드에서는 실시간 주기 모드에서의 DB를 복사하여 사용하는데 그 구조는 동일하다. 다만 DB를 복사할 경우 Topology Processor와 State Estimation 결과가 반영된 상태로 복사가 수행된다[3]. 기존의 Off-line 프로그램이 단순히 파일 단위로 액세스하여 실행되는 것과 비교되는 내용이다.



〈그림 3〉 프로세스의 실행 모드 구분

2.2.2 노드 단위 모델과 Bus/Branch/Injection 모델 모의 기능

EMS 전력계통해석 프로그램은 노드 단위의 데이터를 이용하여 해석 기능을 수행하고 있다. 노드 단위 모델이란 부스바(Bus-section)나 스위칭 설비(단로기, 차단기) 형태의 데이터 모델을 의미한다. State Estimation과 DPF는 Bus/Branch/Injection 모델(즉, 전기모델)을 사용하는데, 이를 가능하게 하는 것이 Topology Processor이다[4]. 가령, 특정 변전소의 차단기 정보를 변경하였을 경우 이에 대해 Bus 정보의 변경이나 독립계통(island system)이 발생할 수 있게 된다. 사용자 화면을 통해 차단기 상태를 변경시킨 후, Topology Processor를 실행시켜 전기모델에 반영시키고 조류계산을 실행하게 되며, 조류계산 수행 후의 결과를 Bus/Branch/Injection 모델과 노드 단위 모델에 함께 출력한다. 이는 기존의 Off-line 프로그램에서 Bus/Branch 단위로 모의하던 것과 구분되는 차이점이다.

2.2.3 미래 계통 검토

이 밖에도 급전원 조류계산 프로그램은 휴전계획(Outage Schedule) DB 데이터와 연계하여 미래 시점의 계통 상태를 반영하여 계통을 검토할 수 있어, 기존 Off-line 프로그램에서 사용자가 인위적으로 휴전 시나리오를 적용하는 방식과 차이점이 있다. 급전원 조류계산에서는 검토할 시점(날짜와 시간)을 지정하는 것만으로 미래 계통에 대한 검토를 수행할 수 있다.

2.3 급전원 조류계산 프로그램 검증

2.3.1 단위 프로세스 검증

급전원 조류계산 프로세스의 정확성을 검증하기 위해, 입력 데이터로 현재 전력거래소에서 EMS설비로 운용되고 있는 NEMS의 상태추정 결과를 사용하였고, 결과의 비교는 NEMS의 조류계산 결과를 사용하였다. 이를 표로 정리하면 <표 2>와 같다.

〈표 2〉 단위 프로세스 검증 방법

구분	설명	비고
시험 입력 데이터	제주, 육지를 포함한 2007년 6월 전계통 데이터(3048 모선 규모)	NEMS 상태추정 결과
결과 비교 데이터	NEMS SE 결과에 대해 Power Flow를 수행한 결과와 비교	NEMS 조류계산 결과
시험 항목	조류계산 단독수행 시험	
	조류계산 수행관련 파라미터 설정 시험	
	조류계산 수렴 정확도 시험	
	모선전압의 초기 조건 설정	
	무효전력 발전 한계량 해지	

시험결과 급전원 조류계산 프로그램은 전계통 모의 결과 NEMS 조류계산 결과에 비해 전체 1MW (0.01pu) 미만의 차이로 수렴한다는 사실을 알게 되었다. 또한 수행 성능에 있어 2GHz CPU에서 수행시 0.4 ~ 0.6 초 범위 내에 계산시간이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 이에 대한 구체적인 결과는 <표 3>과 같다. 표를 보면, 수렴 정확도에 있어서 KEMS DPF가 NEMS PF와 전체 1MW (0.01 pu) 미만의 차이로 수렴한다는 것을 알 수 있다. 성능 면에 있어 KEMS 조류계산 수행 성능 규격이 10초 미만인 것을 감안하였을 때, 1초 미만의 계산시간은

매우 우수한 성능을 발휘한다는 것을 알려준다.

〈표 3〉 계산결과 비교

		조류계산 수행전 또는 수행후 데이터				조류계산 수행결과 비교			
						최대 크기 차이 [pu]			
						최대 허용 차이 [deg]			
						0.00655			
						0.243			
Bus No.	Bus Name	NEMS SE (시밀일린 데이터)		KEMS DPF 결과		NEMS PF 결과		KEMS DPF 결과 vs NEMS PF 결과	
		Mag	Deg	Mag	Deg	Mag	Deg	Mag	Deg
1	ADU 3	1.0233	-0.233	1.0240896	-1.311337	1.02409	-1.3113	8.83E-07	3.719E-06
2	ADU 4	1.0099	-2.693	1.0086013	-3.72721	1.0096	-3.7272	1.288E-06	1.007E-06
3	ADU 5	1.0134	-3.717	1.0121789	-4.753963	1.01218	-4.754	1.138E-06	3.691E-06
4	BCU 6	1.0227	-1.086	1.0281268	-1.623147	1.02819	-1.6230	3.239E-06	5.337E-06
5	BCU 7	1.0234	-1.021	1.0281268	-1.623147	1.02819	-1.623	3.239E-06	5.337E-06
12	BCU C/D/E	0.9486	8.986	0.9486	8.3634131	0.9486	8.363	0.000E+00	4.131E-04
13	BCU C/D/E	0.8458	-1.685	0.8458	-1.623129	0.8458	-1.623	0.000E+00	7.143E-06
16	BCU 14	0.9745	-1.243	0.9769237	-1.623143	0.97693	-1.623	6.334E-06	5.723E-06
17	DUE 15	1.0226	-1.184	1.0242995	-1.802169	1.0243	-1.8022	4.683E-07	3.118E-06
18	DUE 16	0.8893	-7.735	0.8910924	-8.330634	0.8911	-8.3306	7.857E-06	3.410E-06
...
3822	WMI	1.0226	-2.112	1.0200908	-31.86205	1.01956	-31.704	5.308E-04	1.420E-01
3823	WMI	1.0226	-2.112	1.0200908	-31.86205	1.01956	-31.704	5.308E-04	1.420E-01
3824	HKI	1.0288	-6.461	1.0358271	-35.06629	1.03396	-35.2103	1.567E-03	1.440E-01
3825	HKI	1.0288	-6.461	1.0358271	-35.06629	1.03396	-35.2103	1.567E-03	1.440E-01
3826	SHI	1.0104	5.696	1.0488771	-33.33663	1.0452	-33.3094	6.917E-04	1.488E-01
3827	BCN	1.0238	-2.051	1.0213403	-35.06786	1.01983	-35.2092	1.510E-03	1.413E-01
3828	BCN	1.0238	-2.051	1.0213403	-35.06786	1.01983	-35.2092	1.510E-03	1.413E-01

2.3.2 실시간 통합 프로세스 검증

<그림 3>과 같은 급전원 조류계산 프로그램의 실행 모드에서의 시험을 위해, 먼저 제주계통에 대해 실증시험을 진행하였다. 이 시험에서는 계산결과와 정확성과 DB 액세스, Topology Processor 연계, 화면 연동 측면에서 진행되었다. NEMS의 결과와 비교하였을 때 네 가지 측면 모두 만족하는 것을 확인하였다[5].

그 후, 국내의 육지계통 및 제주계통을 함께 고려하여 급전원 조류계산 프로그램의 실증시험을 4개월간 수행한 결과 알고리즘의 정확성과 DB/프로세스/화면 연동에서의 안정성을 확인할 수 있었다. 그리하여 K-EMS의 Baseline 단계를 성공적으로 완료할 수 있었다.

3. 결 론

지금까지 급전원 조류계산 프로그램의 통합 및 구축 과정을 살펴보았다. 기존의 Off-line 프로그램과[6, 7]과는 다른 개발환경(Unix / C++ / ACM DB)과 DB API의 적용을 경험하였다. DB 액세스/프로세스 연동/화면 연동과 같은 복잡한 실행 모드의 적용과 기존 Off-line 프로그램과 차별화된 기능을 모의할 수 있게 되었다.

다만 더 사용하기 편리하고 효과적인 화면의 배치에 대한 부분은 실제 급전원의 의견을 반영하여 지속적으로 개선을 진행할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부에서 시행한 전력산업 연구개발사업(과제번호 : R-2005-1-398-004)으로 수행되었습니다. 관계자분들께 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 신만철, 김건중, 오성균, 윤상윤, 허성일, 김선구, 이효상, "한국형 EMS의 급전원 조류계산 기능 설계에 관한 연구", 대한전기학회 전력IT 연구회 춘계학술대회 논문집, p.33-35, 2007년 5월
- [2] 윤상윤, 조운성, 손진만, 이욱화, 이진, 김홍래, 신만철, 허성일, 김선구, 이효상, "한국형 EMS의 Application S/W를 위한 Common DB의 설계에 관한 연구", 대한전기학회 전력IT 연구회 춘계학술대회 논문집, p.52-53, 2007년 5월
- [3] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation Operation And Control", p.499~500, John Wiley & Sons inc.
- [4] A. Monticelli, "State Estimation In Electric Power Systems - A Generalized Approach", p.143~159, Kluwer Academic Publishers
- [5] Man-Cheol Shin, Sung-Kyun Oh, Dong-Kyu Baek, Kern-Joong Kim, Seong-IL Hur, Seon-Gu Kim, Hyo-Sang Lee, "Study for development of power flow program in EMS", ICEE conference Okinawa, July, 2008
- [6] 오성균, 김건중, 신만철, 김태균, 김용학, "전력계통 종합해석 패키지 개발 - 조류계산 모듈 검증", 대한전기학회 전력기술부회 춘계학술대회 논문집, p.159-161, 2004년 5월
- [7] 신만철, 김건중, 황인준, 김태균, 김용학, "전력계통 종합해석 패키지 개발 - 시스템 통합", 대한전기학회 전력기술부회 춘계학술대회 논문집 p.35-38, 2004년 5월