

데이터베이스를 이용한 한전 계통의 동적 축약

김형준*, 김영일, 이주훈, 이진, 윤용범*, 장길수*
 LG산전 전력연구소, 한국전력공사 전력연구원*

Dynamic Reduction of KEPCO's Power Systems using DataBase

Hyung-Jun Kim*, Young-Il Kim, Joo-Hun Lee, Jin Lee, Yong-Bum Yoon*, Gilsoo Jang*
 Electrotechnology R&D Center LGIS, KEPRI KEPCO*

Abstract - 본 논문에서는 한전의 전력 계통 시뮬레이터(KEPS)에서 수행되어질 2010년 한전 계획 계통의 축약 계통을 자동으로 구성하는 프로그램의 개발에 대한 연구를 기술하였다.[1] 먼저 한전 계통의 계통 데이터의 효율적인 관리를 위하여 데이터베이스를 구축하였고, 이를 이용하여 원계통의 데이터를 입력받아서 축약 계통의 데이터를 생성해내는 동적 축약 프로그램을 개발하였다. 동적 축약 프로그램은 각 발전기들의 특성을 분석하여 그룹화하는 식별부분과 이러한 식별과정을 거쳐서 구성된 발전기 그룹을 합쳐서 등가발전기로 구성하는 통합부분으로 이루어져 있으며 식별과정의 결과를 파일로 출력해내고 이를 수정할 수 있도록 하였다. 생성된 축약 계통과 원계통에 대해 조류 계산 및 동적 모의를 시행하여 그 응답특성을 비교하였다.

1. 서 론

매년 증가하는 전력의 수요에 발맞추어 한국의 전력 계통은 점점 더 거대해지고 복잡해지고 있다. 전력계통의 안정적이고 경제적인 운용을 위해 전력조류계산, 과도안정도 및 정태안정도 등의 해석이 수행되고 있으며, 전력계통과 같은 대규모 비선형 계통에 대한 상세한 해석은 많은 계산시간과 노력을 필요로 하고 있다. 컴퓨터 H/W 및 S/W의 비약적인 발전으로 해석 대상 계통의 규모에 대한 제한이 완화되고 연산 소요시간도 줄어가고 있지만, 대규모 계통의 계속적이고 포괄적인 연산은 여전히 소모적인 일이 아닐 수 없다. 또한, 전력계통에서의 다양한 현상에 대한 실시간 모의에 있어서 해석 대상 계통의 규모가 디지털 형 실시간 시뮬레이터 개발에 의해 커지고 있지만 여전히 실시간 시뮬레이터의 H/W에 의해 제한되고 있다. 따라서, 전력계통의 주요 동적/정적 특성이 반영되는 등가계통의 구성이 효율적인 전력계통 해석을 가능하게 하고, 실계통의 실시간 연산을 위해서는 필수적으로 요구된다.[2]

동적 축약에 대한 연구는 모드해석을 통해서 원 계통에 존재하는 모드들을 분석해서 그 중 주요한 모드들을 골라 축약 계통을 구성하려는 시도[3]가 이루어진 후 coherency의 특성을 이용한 축약 방법[4]을 중심으로 활발하게 진행되어 왔다. 계통을 축약하는 과정은 크게 2가지 단계로 나눌 수 있는데 첫 번째는 각 발전기들의 특성을 분석하여 그룹을 나누는 식별단계이고 그 다음 식별되어진 발전기들을 적절히 합쳐서 등가 발전기를 구성하는 통합단계이다. 이러한 축약 과정은 다루는 대상이 거대 계통이기 때문에 자동화하는 프로그램의 개발이 필수적이라 할 수 있다. 축약 프로그램으로는 EPRI에서 개발한 DYNEQ[5]라는 프로그램이 있으며 후에 이를 개선하여 DYNRED[6]라는 이름으로 상용화하였다.

본 논문에서는 전력 계통 데이터의 효율적인 관리를 위하여 데이터베이스화하는 부분과 이를 이용하여 축약 계통을 구성하는 부분에 대해서 기술하였으며 실질적으로 2010년 한전 계획 계통에 대하여 이 프로그램을 적용하여 그 결과를 보였다.

2. 본 론

2.1 데이터 베이스의 필요성

현재 널리 사용되고 있는 전력계통 해석용 시뮬레이터 PSS/E(Power System Simulator for Engineering)는 운용자가 변화하는 방대한 양의 계통 데이터를 PSS/E 입력용 데이터파일로 변환하여야 하는 어려움이 있어서 실제로 계통 모의결과를 효율적으로 사용하는 것이 불가능하므로 각 데이터의 특성을 분석하여 데이터를 효율적으로 제어할 수 있도록 하는 구조화 과정이 요구된다. 따라서 데이터베이스를 사용함으로써 정확하고 간단하게 PSS/E 입력용 데이터파일을 생성하여 모의결과를 효율적으로 사용할 수 있다는 이점과 데이터 자체의 효율적인 관리, 새로운 적용측면 확대, 유지보수 용이 등과 같은 데이터베이스 자체가 가지는 이점을 얻을 수 있다. 또한 각종 계통 데이터를 하나의 데이터베이스로 관리함으로써 다른 해석 프로그램(EUROSTAG, PSAPAC, EMTDC 등) 사용을 위한 데이터 변환 기능 구현이 용이해진다.

2.2 데이터 베이스와 축약 프로그램의 구성

본 절에서는 데이터의 종류, 데이터의 용도, 처리 형태 및 처리 과정에서의 제약조건이나 요구조건에 대한 정보를 파악하여 데이터베이스를 구축하고 이를 통한 데이터 파일의 입출력 방법, 그리고 동적 축약을 위한 프로그램과의 연동에 대하여 기술하고자 한다. 이를 위한 전체적인 구성은 그림 1과 같다.

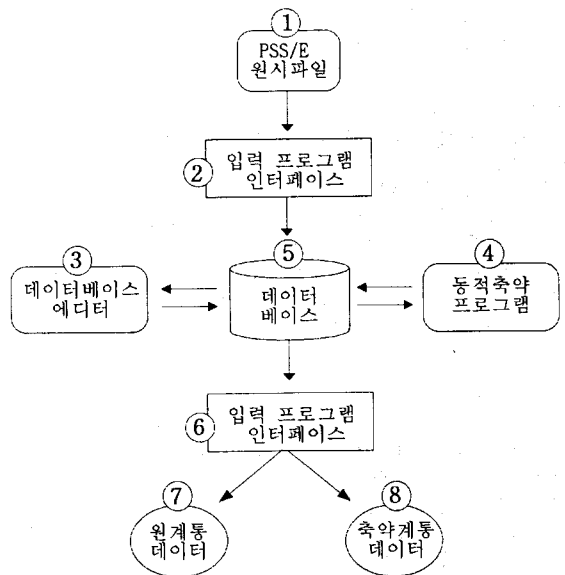


그림 1 전체 구성

위 그림에서 ②는 방대한 계통 데이터를 사용자가 데이터베이스를 사용하기 위해서 수작업으로 입력한다는 것은 비효율적이므로 기존에 작성되어 있는 PSS/E용 계통 데이터 파일(①)을 받아서 데이터베이스에 입력하는 프로그램이다. ③은 기존의 계통 데이터(①)에서 추가, 수정, 삭제, 검색 등이 요구될 경우에 데이터 파일(①)을 직접 수정하지 않고 데이터베이스에서 직접 추가, 수정, 삭제, 검색 등의 작업을 할 수 있도록 GUI (Graphic User Interface)환경으로 구성하였다. ④는 데이터베이스에 있는 계통 데이터를 받아들여서 동적 축약을 실행하는 프로그램으로 축약된 계통 데이터를 다시 데이터베이스에 입력하여 사용할 수 있도록 한다. ⑤는 데이터베이스로 축약되지 않은 원 계통 데이터와 축약된 계통 데이터를 관리한다. ⑥은 데이터베이스의 원 계통 데이터와 축약 계통 데이터를 받아서 PSS/E 구동에 필요한 원 계통(⑦)과 축약 계통(⑧)의 데이터 파일을 생성한다.

2.3 축약 프로그램

축약 프로그램은 그림 2에 보이듯이 구성된 데이터베이스로부터 원 계통의 데이터를 읽은 후 각 발전기들을 그룹화하는 식별부분과 이 결과에 따라 축약 계통을 구성하는 통합부분으로 이루어져 있으며 구성된 축약 계통 데이터를 데이터 베이스에 저장하도록 되어 있다. 또한 식별과정에 따른 결과를 텍스트 파일로 출력하여 사용자가 그 내용을 보고 수정을 할 수 있도록 되어 있다.

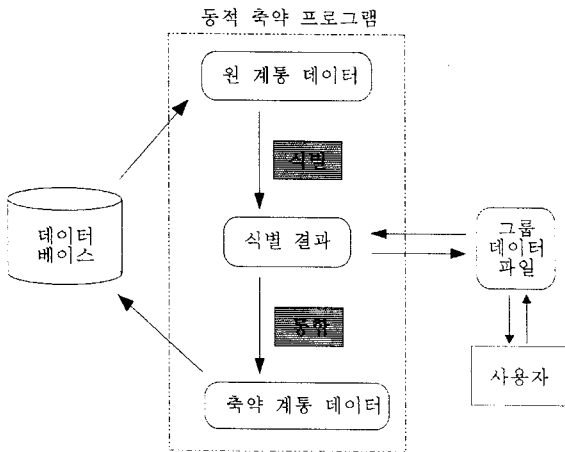


그림 2 축약 프로그램의 구성

2.4 축약 계통의 구성

2.4.1 발전기 그룹 구성

2010년 한전의 계획 계통은 발전기가 272개가 포함되어 있는 거대 계통이다. 이 계통에서 동일한 모선에 연결되어 있는 발전기들의 특성을 분석한 결과 135개의 발전기 그룹으로 나눌 수 있었다.[2] 이와 같이 식별되어진 결과는 group.txt라는 텍스트 파일로 저장이 되는데 그 내용을 그림 3에 보였다.

```
21921, 21922, 21923, 21924, 21926, 21927, 0,
21925, 0,
.....
30153, 30154, 30155,          0,
30371, 30372, 0,
0,
Num of coherent group : 135
Max Num of Gen in a coherent group : 9
```

그림 3 group.txt 파일

이 파일의 형태를 살펴보면, 각 행은 하나의 그룹을 형성하는데 각 행마다 마지막에는 0이 있어서 하나의 그룹이 끝났음을 의미하고 마지막 행에는 처음에 0이 있어서 모든 발전기들의 식별이 끝났음을 알려주고 그룹의 수와 하나의 그룹에 가장 많이 포함된 발전기의 수를 나타낸다. 사용자는 이 파일로부터 식별결과를 알아볼 수 있으며 자신이 원하는 그룹을 설정하기 위해서 이 파일을 수정할 수 있다. 예를 들어 축약되지 않고 그대로 남기를 원하는 발전기가 있다고 하면 그 발전기를 하나의 그룹으로 만들어 주면 되고 다른 그룹으로 묶인 발전기들을 하나의 그룹으로 만들고 싶다면 그들을 하나의 행으로 만들면 된다.

2.4.2 발전기 통합

통합부분에서는 이와 같이 구성된 group.txt 파일을 읽어서 그 안에 있는 그룹 정보에 따라 등가 발전기 구성을 행하게 된다. 각 그룹에 속해있는 발전기들 중에서 기준 발전기를 선정하면 그 외의 발전기들에 대한 데이터를 기준 발전기에 대한 데이터로 포함시킨다. 기준 발전기 모선을 제외한 모선 데이터는 삭제되고 부하 데이터들은 합해져서 등가 부하를 구성하게 되며 발전력에 관계된 데이터들 역시 합하여져서 등가 발전기에 대한 데이터를 구성하게 된다. 따라서 총 135개의 등가 발전기로 구성된 축약 계통이 형성된다.

2.5 축약 계통의 검증

축약 프로그램에서 구성된 축약 계통의 데이터를 데이터 베이스에 저장하는데, 이때 데이터 베이스에서는 원 계통 및 축약 계통의 데이터를 보관하고 있으며 이 데이터를 PSS/E 프로그램에서 사용할 수 있는 PSS/E용 입력 파일들을 만들어 낸다. 이와 같이 생성되어진 파일들을 가지고 조류 계산 및 동적 모의를 통해서 축약 계통의 유용성을 살펴보았다.

2.5.1 조류 계산의 결과 비교

각각의 계통에 대하여 조류계산을 수행하여 일부 결과를 표 1에 나타내었다. 1400모선에서의 전압의 크기와 위상각을 나타내었고 1400모선과 연결되어 있는 1410모선(양주), 1500모선(의정부), 1800모선(중부)과 3350모선(서인천) 사이의 선로 1회선에 흐르는 조류의 값도 비교하였다. 표에서 모선전압의 크기 및 위상각의 단위는 각각 pu와 deg.이며 P와 Q의 단위는 MW와 MVAR이다.

표 1 : 전력조류계산 결과 비교

		원 계통	축약 계통
모선 전압	크기	1.0285	1.0280
	위상각	-31.31	-31.32
1400-1410	P	234.4	234.4
	Q	44.3	43.8
1400-1500	P	-328.3	-328.4
	Q	62.0	60.9
1400-1800	P	255.7	255.7
	Q	-133.2	-133.2
1400-3350	P	-284.6	-284.6
	Q	3.7	5.6

2.5.2 동적 모의의 결과 비교

원 계통과 축약계통의 동적 특성을 비교하기 위해서 두 계통에 대하여 각각 동일한 고장을 발생시키고 제거시키는 동적 모의를 행하였다. 정상 상태에 있는 두 계통에 대하여 0.1초 시점에 발생한 1400모선에서의 삼상 단락사고가 0.05초간 지속되다가 해소된 사고를 상정하

여 4초까지 시뮬레이션을 수행하였다. 각 계통의 1400모선 전압의 위상각 변이를 그림 4에 나타내었다. 횡축은 0초부터 4초까지의 시간을 나타내고 있으며 종축은 -40도에서 -10도까지의 위상각의 크기를 나타내고 있다. 진한 색의 선이 축약 계통의 응답이고 연한 색의 선이 원 계통에서의 응답이다. 그림을 통해 축약계통이 원 계통의 동특성을 제대로 반영하고 있음을 알 수 있다.

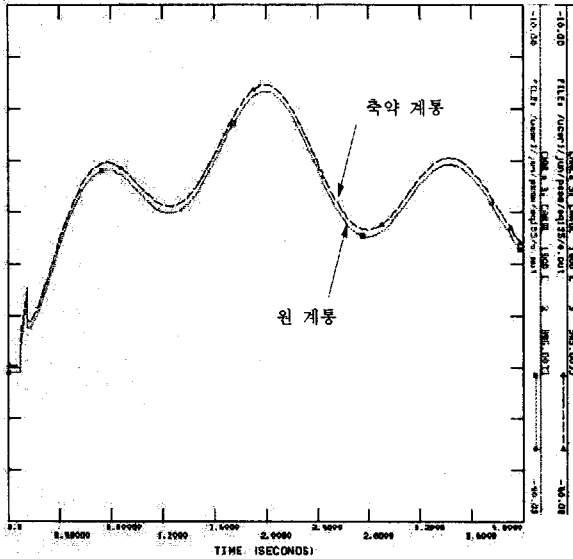


그림 4 1400모선의 위상각의 비교

3. 결 론

본 논문에서는 대규모 계통에 대한 등가축약 계통 구성의 자동화를 위한 데이터베이스를 이용한 축약 프로그램의 개발과 그 응용에 대하여 살펴보았다.

한전 계통은 전력의 수요와 공급에 맞추어 매년 그 구성이 달라지는데 계통의 구성이 바뀌더라도 쉽게 변화된 데이터를 수정하고 입력할 수 있도록 편리한 GUI환경으로 데이터 베이스를 구축하였고 또한 그에 따른 축약 계통을 구성하는 축약 프로그램을 개발하였다. 2010년 한전의 계획 계통에 대하여 적용한 결과 272기의 원 계통으로부터 135기의 축약 계통을 얻을 수 있었다. 두 계통의 조류 계산 및 동적 모의의 결과를 비교하였는데 매우 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 다양한 축약 이론을 프로그램으로 구현하면 각 이론들에 따른 여러 축약 계통을 구성할 수 있을 것이며 비교를 통해서 더욱 정확한 축약 계통을 구성할 수 있을 것이다. 이와 같이 구해지는 축약 계통은 원 계통에 비해 그 규모가 현저히 줄어들게 되어 대규모 계통의 해석과 운용에 많은 도움을 줄 수 있으리라 기대된다.

【참 고 문 헌】

- [1] 한국전력, LG산전, "전력계통 해석용 시뮬레이터 개발 및 설치," 연구개발 계획서, 1998
- [2] 장길수, 윤용범, 송석하, 추진부, "한전계통의 동적 축약계통 구성에 관한 연구", 1999년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1067-1069.
- [3] J.M. Undrill, and A.E. Turner, "Construction of Power System Electromechanic Equivalents," IEEE Trans. on PAS, Vol. 90, pp. 2049-2059, September/October 1971
- [4] Róbin Podmore, "Identification of coherent Generators for Dynamic Equivalents," IEEE Trans. on PAS, Vol. 97, No. 4, pp. 1344-1354, July/August 1978.
- [5] R. Podmore, "Development of Dynamic Equivalents for

- Transient Stability Studies," EPRI Report EL-456, 1977.
 [6] P. Kundur, G.J. Rogers, D.Y. Wong, J. Ottavangers and L. Wang, "Dynamic Reduction," EPRI Report TR-102234, 1993