

송전망 축약을 위한 교육용 프로그램 개발

송형용, 정운원, 원종집, 박종배, 신종린
건국대학교

An Educational Program for Reduction of Transmission Network

Hyoung-Yong Song, Yun-Won Jeong, Jong-Jip Won, Jong-Bae Park, Joong-Rin Shin
Konkuk University

Abstract - This paper presents a window-based software package for the education and training for the reduction of power system by using locational marginal price (LMP), clustering, and similarity indices of each bus. The developed package consists of three modules: 1) the LMP module, 2) the Clustering module and 3) the Reduction module. Each module has a separated and interactive interface window. First of all, LMPs are created in the LMP module, and then the Clustering module carries out clustering based on the results of the LMP module. Finally, groups created in this Clustering module are reduced by using the similarity indices of each bus. The developed package displays a variety of tables for results of the LMPs of base network, voltages, phases and power flow of reduced network so that the user can easily understand the reduction of network. To demonstrate the performance of the developed package, it is tested for the IEEE 39-bus power system.

1. 서 론

최근 1차 에너지 가격의 급등과 전기 난방기기의 보급에 따른 전력산업 기반설비의 급속한 증대는 전력시스템의 해석에 어려움을 증폭 시키고 있다. 특히 발전·송전·배전 및 판매의 수직통합, 독점 및 규제 등으로 특징지어지던 과거의 전력산업은 수직분할 및 부문 내 경쟁 도입, 규제완화에 따른 민간자본의 참여로 인하여 전력 시스템의 장기적 투자 및 해석이 쉽게 이루어지지 않고 있다. 결국 진화하는 전력 시스템을 보다 효과적이며, 단순하게 해석하기 위해 송전계통을 간단히 축약하는 연구가 진행되었다.[1-2] 이러한 연구는 zone과 zone사이의 계통의 물리적 특성을 유지하면서 zone내부의 송전계통을 어떻게 만들 것인가에 관점을 두고 있다. 전력산업의 변화에 따른 선진전력시장에서는 총괄 비용법에 의한 가격결정 방법론에서 경제적 측면의 최적성이나 제반 계통운용 조건을 반영할 수 있는 한계 비용법으로 가격결정 방법론이 바뀌고 있다[3]. 이러한 가격결정 방법론의 변화에 따라 zone 내부의 축약과 함께 어떠한 지역으로 zone을 나눌 것인가 또한 새로운 연구가 필요하게 되었다. 특히 송전계약과 같은 송전혼잡비용이 발생하게 되면 지역별 가격체제에 따라 어떠한 zone에 속하는 가 또한 중요한 문제가 되었다. 본 논문에서는 이러한 지역별 가격체제의 특성과 송전망의 물리적 특성을 고려할 수 있는 3단계의 알고리즘을 소개하며, 이를 교육용 소프트웨어로 개발하였다. 1단계에서는 지역별 가격체제를 반영할 수 있는 모선별 한계가격을 구하게 되며, 2단계에서는 모선별 한계가격과 지역적 특성을 반영하여 zone을 나눌 수 있는 clustering, 마지막으로 모선별 한계가격과 구분된 zone을 바탕으로 zone 내부의 모선 간 유사성(Similarity)을 이용하여 송전 계통의 물리적 특성과 지역별 가격체제를 반영할 수 있는 축약계통을 구성한다. 본 논문은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 송전망 축약을 위한 알고리즘, 이를 바탕으로 구성된 교육용 소프트웨어이다. 본 논문에서 개발한 교육용 소프트웨어는 net을 이용하여 개발되었으며, 이의 검증은 위해 IEEE 39모선을 사용하여 소프트웨어의 효율성을 검증한다.

2. 본 론

2.1 LMP

본 프로그램에서는 모선별 한계가격을 세 가지 구성요소, 즉 손실비용, 혼잡비용, 그리고 전압품질비용으로 분해할 수 있는

LMP 방법론을 사용하였다[4]. 이를 위해서 참고 논문에서는 먼저 모선별 한계가격을 포함한 등식과 부등식 제약조건에 대한 잠재가격을 도출할 수 있는 기법을 제시하고, 도출된 잠재가격으로부터 모선별 한계가격의 구성요소를 도출할 수 있는 방법론을 제안하였다. 모선별 한계가격의 구성요소를 도출하기 위하여, 먼저 모선별 한계가격을 포함한 등식과 부등식 제약조건에 대한 잠재가격 도출방법론을 제시하고 계통에 대한 최적화를 위해 라그랑지안 함수를 사용한다. 각 발전기의 유·무효발전량은 본 최적화 문제에서 제어변수가 되며, 각 모선의 전압과 위상각의 기는 상태변수가 된다. 이러한 변수들을 통해 라그랑지안 방정식들은 각 잠재가격(즉, λ_i^P , λ_i^Q , $\rho_i^{V,max}$ 등)의 선형연립방정식이 되기 때문에 행렬의 형태로 나타낼 수 있다.

2.2 Clustering

본 프로그램에서 사용한 클러스터링 기법은 사용자의 클러스터링의 개수를 기준으로 하여 송전망 이용률이 큰 모선을 순차적으로 클러스터링하여, 지역정보와 지역 가격을 동시에 고려하는 클러스터링 방법이다[5]. 본 클러스터링 기법은 기존의 FCM 방법[6]에서 변형된 유사측도를 제한한다. 제한된 유사측도는 Liu에 의해 소개된 유사측도 증명 순서를 따르나, Liu가 제한한 유사측도와는 다르다. 지역정보에 의한 거리측도를 고려하기 위해 다음과 같은 기하학적인 거리식을 고려한다.

$$s(A, B) = 2/(1 + distance) \quad (1)$$

또한 경쟁적 시장에서 가격을 결정하는 방법론 중 시장참여자에게 위치에 따른 신호를 제공할 수 있는 시장가격(LMP)을 기준으로 유사측도를 계산한다. FCM에 의해서 지역에 따른 유사측도의 비용함수가 최소가 되는 각 그룹의 클러스터 중심점을 찾을 수 있으며, 모선별 한계가격을 0과 1사이의 소속등급의 정도로 그룹화를 할 수 있어야 한다. 지역별 유사측도와 비용에 의한 유사측도를 동시에 고려할 경우 아래와 같은 식을 세울 수 있다[7].

$$s(A, B) = w_1 s_1(A, B) + w_2 s_2(A, B) \quad (2)$$

2.3 축약

본 프로그램에서 사용한 축약 기법은 모선별 한계가격기리 유사한 모선거리의 클러스터링을 통해, 각 모선의 유사지수를 구하고 이것을 바탕으로 유사지수가 높은 발전 모선, 부하 모선을 각각 축약하는 기법이다[8]. 여기서 유사지수는 임의의 두 모선의 물리적 변화가 전력계통에 미치는 영향이 얼마나 유사한가를 판단하는 지수이다[9]. 이 축약 기법은 크게 다음과 같은 단계에 따라 진행된다.

- Step 1: Optimal Power Flow 수행 후 모선별 한계가격계산
- Step 2: Zone 구성
- Step 3: Zone 안의 모선 쌍에 대한 Similarity Indices 계산
- Step 4: Error Factor 설정 (SI의 최대허용값)
- Step 5: Similar Buses Group 구성
- Step 6: 축약계통 구현
- Step 7: 원시 계통을 기반으로 한 전압과 위상을 계산
- Step 8: 선로 어드미턴스 계산 (Newton-Raphson 기법 사용)

3. 사례 연구

본 논문에서는 IEEE 39-BUS RTS 시스템을 이용하여 교육용 송전망 축약 프로그램을 검증하였다. 발전기 비용 데이터와 클러스터링 데이터는 각각 Table 1, 2와 같고, 입력 파라미터는 다음과 같이 정의 하였다.

- 반복 횟수 = 50;
- 클러스터링의 수 = 3;
- 거리의 가중치 = 0.7;
- 가격의 가중치 = 0.3;

< Table 1. 발전기 비용 입력 데이터 >

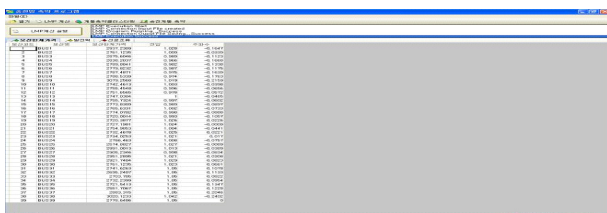
모선	가격상수	중분 가격 계수		최소출력	최대출력
		1차	2차		
30	118.91	18.28	0.0082	60	700
31	81.83	18.28	0.0096	120	1500
32	216.78	18.28	0.0060	60	1050
33	219.78	18.60	0.0060	120	700
34	244.39	18.28	0.0087	60	840
35	118.91	18.28	0.0082	60	700
36	81.83	18.28	0.0096	120	1500
37	216.78	18.28	0.0060	60	1050
38	219.78	18.60	0.0060	120	700
39	244.39	18.28	0.0087	60	840

< Table 2. 클러스터링 입력 데이터 >

모선	위치좌표		LMP	모선	위치좌표		LMP
	X	Y			X	Y	
1	0.9	9.0	29.20	21	8.7	2.8	45.84
2	0.6	6.2	28.52	22	10.0	2.8	45.84
3	3.0	7.5	31.40	23	11.1	2.8	45.84
4	4.7	7.5	32.77	24	8.2	4.3	45.84
5	7.0	7.6	37.56	25	1.4	4.7	24.97
6	8.5	7.6	38.26	26	2.7	3.0	55.00
7	9.6	8.4	37.80	27	4.6	3.5	51.44
8	8.5	9.1	37.34	28	2.7	1.5	55.00
9	6.1	9.5	30.56	29	2.7	0.8	55.00
10	10.8	5.8	40.00	30	0.0	6.2	28.52
11	9.7	6.3	39.42	31	8.3	6.6	38.26
12	11.1	7.1	40.00	32	11.3	5.8	40.00
13	8.5	5.5	40.57	33	8.0	1.7	45.84
14	6.6	6.0	41.73	34	5.5	1.0	45.84
15	6.6	4.9	43.78	35	10.0	1.6	45.84
16	6.5	4.0	45.84	36	11.1	1.6	45.84
17	5.0	4.5	47.89	37	0.7	3.7	24.97
18	4.2	6.0	46.39	38	8.7	0.0	55.00
19	6.9	2.8	45.84	39	3.4	9.5	29.88
20	6.9	1.7	45.84				

3.1 LMP 계산

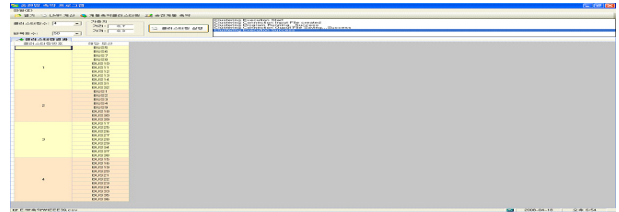
LMP 계산 실행 버튼을 클릭하게 되면 LMP 계산 프로그램이 실행되면서 우측에 실행과정이 표시된다. LMP 계산 프로그램이 정상적으로 실행이 완료되면 결과인 모선 한계 가격, 발전력 및 선로조류를 바로 확인할 수 있다. 이것은 축약이 되기 전에 선로조류 및 발전력을 알 수 있는 과정으로 송전계통 축약 후에 선로조류의 변화를 비교해 볼 수 있게 함으로써 사용자가 보다 쉽게 LMP를 학습할 수 있도록 하였다.



<그림 1> LMP 계산 모듈

3.2 Clustering

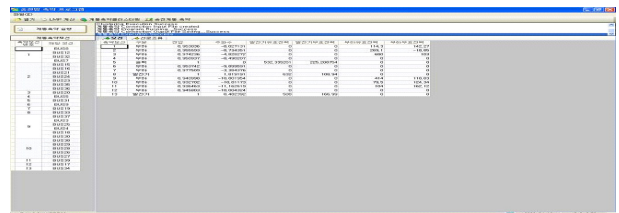
클러스터링 수, 반복횟수, 거리 및 가격 가중치를 입력한 후 클러스터링 실행 버튼을 클릭하게 되면 계통축약클러스터링 프로그램이 실행되면서 우측에 실행과정이 표시된다. 계통축약클러스터링 프로그램이 정상적으로 실행 완료되면 그 결과인 계통축약클러스터링 결과가 하단에 자동으로 표시된다. 사용자가 클러스터링 개수와 반복횟수, 거리 혹은 가격에 대한 가중치를 결정함으로써 다양한 시뮬레이션을 가능 하도록 하였다.



<그림 2> Clustering 모듈

3.3 계통 축약

계통축약 실행 버튼을 클릭하게 되면 계통축약 프로그램이 실행되면서 우측에 실행과정이 표시된다. 계통축약 프로그램이 정상적으로 실행 완료되면 그 결과인 계통축약모선, 모선결과 및 선로조류를 바로 확인할 수 있다. 송전계통축약 창은 원시데이터를 보여주는 부분과 축약후의 결과를 보여주는 창으로 나누어져 있다. 첫째, 모선 창은 축약 후 각 모선의 구분과 전압, 주파수, 발전력, 부하력을 보여주는 창이며, 선로조류는 축약 후 시스템의 변화에 따른 선로조류의 변화를 나타내고 있다. 둘째, 계통축약모선은 어떠한 모선들이 모여 새로운 모선으로 바뀌었는지를 보여주는 창이다.



<그림 3> 송전망 축약 모듈

4. 결 론

전력산업에 경쟁 및 시장이 도입되고 있는 현재 및 미래 상황에서 보다 효율적이고 경제적인 전력계통 및 전력시장의 운영에 필수적인 시스템 축약 기술들이 연구되고 있다. 본 논문에서는 전력계통의 전력조류 특성 및 전력시장의 모선별 가격을 바탕으로, 전력계통의 전체 송전망을 몇 개의 작은 시스템으로 축약하는 프로그램을 개발하였다. 전력계통의 조류 제약 발생 시, 송전계통을 모선별 가격측면에서 분석할 경우, 유사한 모선별 가격을 나타내는 모선들을 각각 하나의 지역 (zone)으로 정의하여 송전계통을 몇 개의 지역으로 그룹핑 하고 이에 따라 송전계통을 기술적인 측면에서 축약하는 송전계통 축약 프로그램 패키지를 개발하였다. 이 프로그램은 송전 축약에 대한 내용을 LMP 계산, 클러스터링, 시스템 축약 등 세분화 하고, 이를 도시화 하여 사용자가 각각의 내용과 결과를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 본 시스템 축약 프로그램은 IEEE 39 모선으로 결과를 확인 하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. I. Alomoush and S. M. Shadidehpour, "Fixed Transmission rights for zonal congestion management", IEE Proc.-Gener., vol.146, No.5, pp.471-476, Sep. 1999
- [2] H. K. Singh, and S. C. Srivastava, "A sensitivity based network reduction technique for power transfer assessment in deregulated electricity environment", IEEE, 991976-1981, 2002
- [3] W. W. Sharkey, The Theory of Natural Monopoly, Cambridge, University Press, 1982.
- [4] Ki-Song Lee, Yun-Won Jeong, Jong-Bae Park, Joong-Rin Shin, Jin-Ho Kim "A New Approach to Calculation of the Components of Locational Marginal Price", KIEE, vol.55A, No.8, pp.341-350, Aug. 2006
- [5] Hyun-Hong Kim, Hyoung-Yong Song, Jin-Ho Kim, Jong-Bae Park, Joon-Rin Shin "Regional Grouping of the interconnected network system through Sequential Clustering", in Proc. KIEE Power Engineering Society, pp.252-254, Nov. 2007
- [6] J. S. R. Jang, C. T. Sun, and E. Mizutani, Neuro-FuzzySoft Computing, Prentice Hall, 1997
- [7] S. H. Lee, J. H. Kim, S. H. Jang, J. B. Park, Y. H. Jeon, S. Y. Sohn, "An Advanced Fuzzy C-Mean Algorithm Regional Clustering of Interconnected Systems", LNAI, pp.606-615, 2007
- [8] Dong-Su Lee, "A study on Network Reduction in the zone by using Similarity Index", Master Thesis, Hongik University, Feb. 2006
- [9] H. K. Singh, and S. C. Srivastava, Senior Member, IEEE, " A Sensitivity based Network Technique for Power Transfer Assessment in Deregulated Electricity Environment", IEEE, pp.1976-1981, 2002