

부하 역률을 고려한 직접부하제어 실행시 계통의 민감도 분석

Sensitivity Analysis of the Power System Considering the Load Power Factor While using Direct Load Control

채 명 석[†]
(Myeong-Suk Chae)

Abstract - Recently, the power load is growing larger and because of the environmental limitation of generation, the expansion of generation facilities are becoming more difficult. For that reason the importance of the demand-side resources come to be higher. One method of the demand-side resource, the DLC Program, has executed, and moreover, the loads which are available to be controlled are increasing. It should be considered of some kinds of power system components such as DLCs, because the fact that using the demand resources will be an important part of the power system. This paper considers the power factor of the load-bus which is shedded in the direct load control program. and then analyze the power system using flow sensitivity and voltage sensitivity. In this paper, we assumed two scenarios through the rank of the load power factor at each bus and to compare and evaluate each case, we used Power World for the simulation.

Key Words : Load Power Factor, Direct Load Control, Demand Resource, Voltage Sensitivity

1. 서 론

최근에 전력계통은 점점 커지고 복잡해지고 있으며 수요 또한 계속해서 증가하고 있다. 이에 계통 안정화의 필요성은 더욱 중요시되고 있지만 공급측면에서의 발전자원 확충을 위주로 하는 전통적인 안정화 방법들은 비용 및 환경의 제약을 받는 실정이다. 이를 극복하기 위한 방안으로 발전자원의 부족분을 부하의 삭감이나 부하의 차단을 통해 그 용량만큼의 발전자원 부족분을 대체가능하게 하는 부하관리 프로그램을 실행하고 있다. 이러한 방법들 중에 직접부하제어(Direct Load Control : DLC)는 전력수급 상황에 따라 적절한 부하제어를 통해 효과적인 운영을 할 수 있게 하며 참여한 부하 또한 편익을 제공받을 수 있게 하는 큰 장점이 있다. 현재 시행되고 있는 직접부하제어 프로그램은 전력회사와 수용가가 약정을 체결하고 피크부하 발생 시 공급 예비율의 확보 차원에서 약정에 의한 시간 및 횟수만큼 수용가의 전력사용 설비를 제어하고 있으며 점차적으로 제어 부하의 확보량을 늘려가고 있는 추세이다[1, 2]. 하지만 부하제어에 있어서는 계통 요소가 고려되지 않고 단지 약정에 의한 일괄적인 제어가 이루어지고 있다. 부하의 삭감 혹은 차단이 전체 시스템의 안정화에 기여하는 점은 자명하지만 계통 요소를 포함하여 DLC를 실행한다면 한층 더 시스템의 신뢰도에 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

본 논문에서는 DLC가 계통에 적용되었을 때 모선의 민감도를 이용하여 계통에 미치는 영향을 분석하였으며 일반적인 DLC가 적용된 경우와 부하단의 역률을 통한 DLC를 가정하여 모의함으로써 시스템에 대한 영향을 비교, 분석하였다. 모의에는 IEEE 14모선 계통을 대상으로 상업용 전력계통 해석 프로그램인 Power World를 사용하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 계통 모의

본 논문에서는 전력 조류 계산을 기반으로 유효전력 민감도와 전압 민감도 지수를 분석에 이용하였고 연속조류계산을 이용하였다. 연속조류계산은 매우 느린 단점이 있지만 수렴이 다른 전력 조류 계산을 풀기에 가장 적당한 방법으로써 전압 임계점의 범위를 넘을 때까지 전력 조류 연산을 한다. 즉, Base case를 전통적인 방법인 뉴턴-랩슨법을 이용하여 계산하며 임계점까지의 해를 구하고 부하의 변화와 동시에 계속적인 전력 조류 계산을 함으로 특정 모선의 전압 임계점도 찾아 낼 수 있다[3, 4]. 연속조류계산은 전압안정도를 평가하기에 적합한 방법으로써 모선계통의 부하량을 계속해서 증가시키며 임계점을 찾아내며 P-V 곡선을 그려내기에 적합한 방법이지만 직접부하제어를 포함하였을 때는 부하량이 감소하는 경우로 본 논문에서는 원래의 방법과는 반대로 부하량을 계속해서 감소시키는 방법론만을 이용, 이때의 민감도 및 민감도 지수를 분석하였다. 유효전력 민감도로는 특정 모선의 부하유효전력이 변화하였을 때 식 (1)과 같이 각 부하모선에서 전압 변화율을 사용하였고 또, 전압 민감도 지수는 부하의 유효전력이 변화하였을 때 전체 모선의 전압 변화량의 합에 대한 특정 모선의 변화량에 대한 비율을 사용하였고 식 (2)과 같다[5].

[†] Corresponding Author : Dept. of New&Renewable Energy,
Kunjang University Collage, Korea

E-mail : mschae@kunjang.ac.kr

접수일자 : 2015년 11월 9일

수정일자 : 2015년 11월 21일

최종완료 : 2015년 11월 24일

유효전력 민감도

$$\alpha_l = \frac{dV_l}{dP} \quad (1)$$

여기서, l : 부하모선

α_l : 부하모선의 유효전력 민감도

dV_l : 부하모선의 전압 변화량

전압 민감도 지수

$$S_k = \frac{dV_k}{\sum_{i=1}^N dV_i} \quad (2)$$

여기서, S_k : 전압 민감도 지수(Voltage Sensitivity Factor)

dV_k : k 모선의 전압 변화량

$\sum_{i=1}^N dV_i$: N개 모선의 전압 변화량의 합

2.2 DLC 적용시의 계통 모의

전체 시스템의 부하에서 DLC를 적용하는 부하모선의 유효전력량은 아래의 표 1과 같이 전 부하 유효전력량에 대해 30%까지 6가지 상황으로 나누어 모의하였으며, 역률이 좋은 부하를 우선으로 하여 DLC를 적용하는 경우(CASE 1)와 역률이 좋지 않은 순서의 부하를 우선으로 하여 DLC를 적용하는 경우(CASE 2)로 나누어 분석하였다. 실제 계통의 모

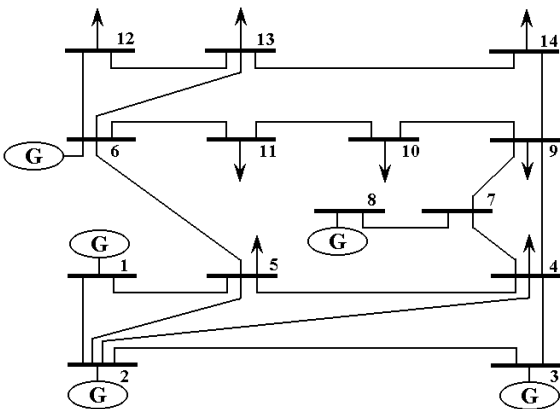


그림 1 IEEE 14모선 계통

Fig. 1 IEEE 14-bus test system

표 1 DLC 적용 부하량 및 적용 모선

Table 1 The amount of load and bus number by using DLC

DLC 적용 부하량		적용 모선 번호	
[%]	[MW]	CASE 1 (상위 역률)	CASE 2 (하위 역률)
0	0	-	-
5	12.95	11, 6,	10
10	25.90	11, 6, 13,	10, 5, 2
15	38.85	11, 6, 13, 4	10, 5, 2, 14
20	51.80	11, 6, 13, 4	10, 5, 2, 14
25	64.75	11, 6, 13, 4	10, 5, 2, 14, 9
30	77.70	11, 6, 13, 4, 3	10, 5, 2, 14, 9

호를 위해 계통이 부하에 요구하는 역률 수준은 배제하였다.

모의에 사용된 시스템은 그림 1에 나타난 IEEE 14모선 계통을 사용하였다.

표 1에서 DLC 적용부하량을 % 량으로 구분하여 BASE_ BASE인 경우 0%, BASE_DLC1인 경우 5%, BASE_DLC2인 경우 10%, BASE_DLC3인 경우 15%, BASE_DLC4인 경우 20%, BASE_DLC5인 경우 25%, BASE_DLC6인 경우 30% 를 적용하여 각 모의 결과를 나타내었다.

2.2.1 CASE 1. 상위 역률 우선 DLC 적용 시 모의

표 2에서 보인 바와 같이, CASE 1에서는 모의에 사용된 시스템의 부하 중 역률이 좋은 5개 부하모선의 부하량을 표 1에서의 계통 전 부하량의 백분율만큼 차례로 직접부하제어를 시행하여 그 부하량 만큼 차례로 차단, 삭감하여 모의하였고, 본 CASE 1의 결과를 바탕으로 한 모선 전압 데이터와 부하 모선별 유효전력 민감도, 각 모선의 전압 민감도 지수는 아래의 그림 2, 그림 3, 그림 4에 나타내었다.

표 2 적용 모선별 역률

Table 2 Power Factor of each bus by using DLC

CASE 1(상위 역률)		CASE 2(하위 역률)	
모선번호	역률	모선번호	역률
11	0.97	10	0.84
6	0.95	5	0.85
13	0.95	2	0.86
4	0.98	14	0.86
3	0.95	9	0.87

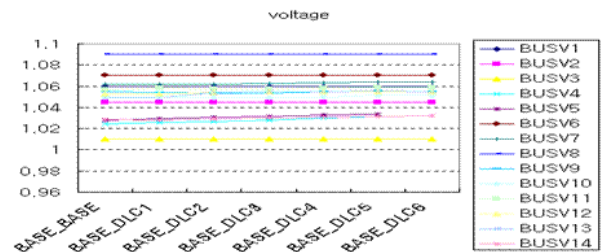


그림 2 상위 역률 우선 DLC적용 시 모선의 전압

Fig. 2 Bus voltage while the bus with higher power factor curtailed

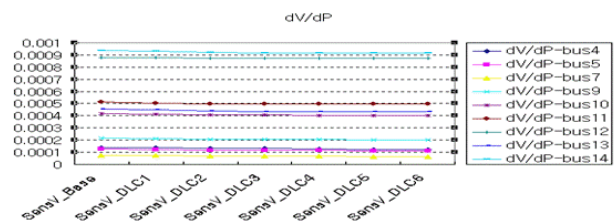


그림 3 상위 역률 우선 DLC적용 시 유효전력 민감도

Fig. 3 Sensitivity of Power while the bus with higher power factor curtailed

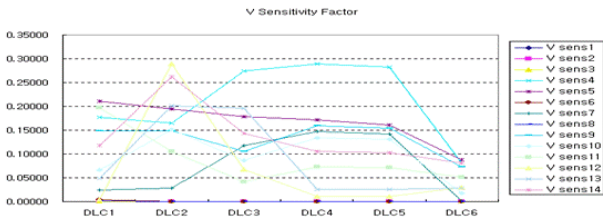


그림 4 상위 역률 우선 DLC적용 시 전압 민감도 지수
 Fig. 4 Voltage sensitivity factor while the bus with higher power factor curtailed

2.2.2 CASE 2. 하위 역률 우선 DLC 적용 시 모의

CASE 1과는 반대로 표 2에서 보인바와 같이, CASE 2에서는 모의에 사용된 시스템의 부하 중 역률이 나쁜 5개 부하모선의 부하량을 표 1에서의 계통 전 부하량의 백분율만큼 차례로 직접부하제어를 시행하여 그 부하량 만큼 차례로 차단, 삭감하여 모의하였고, 본 CASE 2의 결과를 바탕으로 한 모선 전압 데이터와 부하 모선별 유효전력 민감도, 그리

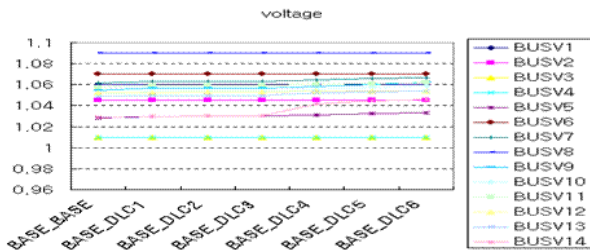


그림 5 하위 역률 우선 DLC적용 시 모선의 전압
 Fig. 5 Bus voltage while the bus with lower power factor curtailed

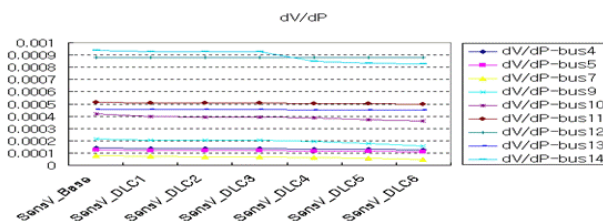


그림 6 하위 역률 우선 DLC적용 시 유효전력 민감도
 Fig. 6 Sensitivity of Power while the bus with lower power factor curtailed

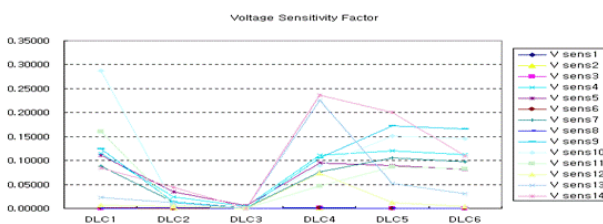


그림 7 하위 역률 우선 DLC 적용 시 전압 민감도 지수
 Fig. 7 Voltage sensitivity factor while the bus with lower power factor curtailed

고 각 모선의 전압 민감도 지수는 아래의 그림 5, 그림 6, 그림 7에 나타내었다.

2.3 각 사례 비교

2.3.1 유효전력 민감도 비교

민감도는 시스템의 안정도에 크게 영향을 미칠 정도로 크진 않지만 두 가지 사례를 유효전력 민감도 측면에서 비교해보았을 때 역률이 좋지 않은 부하를 우선으로 차단한 CASE 2의 민감도가 역률이 좋은 부하를 우선적으로 차단한 CASE 1보다 작다는 것을 확인 할 수 있으며 이는 역률이 좋지 않은 부하를 우선으로 차단하면 각 부하 모선의 전압 변동을 줄일 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 민감도의 크기는 대체적으로 발전 모선과의 거리와 관련이 있었으며 거리는 모든 선로의 단위당 임피던스가 동일하다고 가정하고 선로 조류를 기준으로 한 선로 임피던스를 이용하였다. 즉, 발전 모선과의 거리가 가까울수록 전압 변동은 크지 않다.

2.3.2 전압 민감도 지수 비교

결과적으로 DLC가 실행될 때 실행 모선의 전압값은 그 외의 모선보다 변화량이 큰 것을 확인 할 수 있으며 그림 4와 그림 7에서 보듯 CASE 2의 전압 민감도 지수를 CASE 1의 전압 민감도 지수와 비교해 보았을 때 유효전력 민감도와 마찬가지로 CASE 2의 경우가 더 작다는 것을 확인 할 수 있으며 역률이 나쁜 부하를 우선적으로 차단함으로써 DLC 적용 이후 모선 전압의 변동을 줄일 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 DLC 프로그램의 부하 차단에 있어서 역률을 고려한 사례를 계통 모의를 통해 비교, 분석하였고 이를 통해 역률이 좋지 않은 부하를 먼저 차단시키는 것이 계통전압에 미치는 영향을 감소시킬 수 있다는 것을 확인하였다. 차후 DLC 확보 용량의 증가가 예상됨에 따라 DLC 프로그램 또한 효율적으로 운영되어야 한다. 현재의 DLC 프로그램이 예비력 확보의 차원에서 계통의 안정성을 보장하지만 기존의 DLC에 현재의 계통 요소를 포함시켜 운용함으로써 긴급 상황에서도 유연한 대처를 할 수 있다. 뿐만 아니라 모선 전압 및 부하 전압의 변동률을 줄여 불필요한 전압 조절을 방지 할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만 수요가 수도권에 집중되어 있는 우리나라 계통의 특성상 DLC의 적용에 대해 역률 외의 계통 요소를 고려한 실계통 모의가 필요하며 안정도 측면에서 전 부하량 대비 최대 DLC적용 부하량 산정에 관한 연구 또한 필요하다.

References

[1] KEPCO, "Power Demand Management Operation Manual" 2005 . 5
 [2] MOTIE, "Development of Training System to Operate DLC Resource in Competitive Electricity Market", Final Report, 2006 . 6
 [3] V. Ajjarau, C. Christy "The Continuation Power

- Flow : A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis”, IEEE transactions on power systems, Vol 7, No 1, February 1992
- [4] Carson W. Taylor, “Power System Voltage Stability”, McGrawHil, 1994
- [5] P. Kundur, “Power System Stability and Control”, McGrawHil, 1994
- [6] J. Qiu, and S. M. Shahidehpour, “A new approach for minimizing power losses and improving voltage profile”, IEEE Trans. on Power System, PWRS-2, 1987, pp.287-295
- [7] N. Deeb, S. M. Shahidehpour, “Linear reactive power optimization in a large power network using the decomposition”, IEEE Trans. on power system, Vol.5, No. 2, May 1990, pp. 428-438
- [8] K. Y. Lee, Y. M. Park, and J. L. Ortiz, “A united approach to optimal real and reactive power dispatch”, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 104, 1985, pp.1147-1153
- [9] Q. H. Wu, J. T. Ma, “Power system optimal reactive power dispatch using evolutionary programming”, IEEE Trans. on Power System, Vol. 10, No.3, August 1995, pp.1243-1249
- [10] Z. X. Lianf, J. D. Glover, “A zoom Feature for a Dynamic Programming Solution to Economic Dispatch Including Transmission Losses,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol, 7, pp. 544-549, May 1992

저 자 소 개



채 명 석 (蔡 明 錫)

1968년 10월 30일생. 1992년 원광대학교 전기공학과 졸업(학사), 1994년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재, 군장대학교 신재생에너지계열 교수
E-mail : mschae@kunjang.ac.kr