

주파수변화율을 이용한 제주계통 부하차단 방안

장병태, 이소영, 조경보, 곽노홍, 안정식, 오화진\*, 조범섭\*  
전력연구원, 전력거래소\*

A Scheme for the Load Shedding on Cheju Power Systems using Rate of Change of Frequency

B T Jang, S Y Lee, K B Cho, N H Kwak, J S Ahn, H J Oh\*, B S Cho\*  
KEPRI, KPX\*

**Abstract** - Power systems must be operated within limits that will ensure adequate generation and transmission capacity to avoid cascading. In developing a set of operating limits, it is important to do so within a general framework in order to ensure that the operating objectives are met. In the this regard, when the system experiences a generation-load imbalance, the principles of sound operation will be maintained by bringing under control an unscheduled power flow condition as quickly as possible. This paper presents load shedding application which responds both to frequency and to rate of change of frequency. Its application is in the operating situation of load suddenly in excess of generation, either because of generator or other equipment failure. A scheme which is able to utilize rate of change of frequency as well as frequency itself is an improvement over existing scheme.

1. 서 론

대부분의 현존하는 전력계통들은 교류형태이며 정상 운전범위 주파수인 60Hz를 유지하기 위한 광범위한 노력이 행해지고 있다. 주파수 값의 추이는 전력계통에서 발생할 수 있는 다양한 외란에 대해서 가혹한 고장의 정도를 표시할 수 있는 적절한 값으로 이용되고 있다. 전력계통에서 정상운전시 수송되는 전력은 수요와 공급의 균형하에서 운영되기 위하여 다양한 피드백 제어시스템을 갖추고 있다. 하지만 때때로 이러한 균형이 유지되지 않는 상황이 전력계통에서는 야기되어진다. 이러한 경우에 있어서는 가속(초과 발전력을 갖춘 경우)과 연속적인 과주파수 또는 감속(발전력 부족일 경우)과 연속적인 저주파수를 일으키도록 발전기 회전 에너지를 상호작용 시킨다. 저주파수 상황 후에 두드러진 전력 부족이 해소되지 않는다면 계통 고장의 사고파급을 초래한다. 따라서 신속히 전력부족을 해소하기 위한 단계들이 필요하다. 이러한 방법중의 하나가 운영중인 전력계통의 상정사고 해석결과 계획된 부하차단을 사용하는 것이며 주파수 저하 값을 기준으로 하여 사전설정된 단계별로 필요한 부하의 개별적 양을 신중히 제거하는 것이다. 따라서 계통의 임의 점에서 지역의 주파수가 관측되어질 수 있기 때문에 주파수 저하 단계별 설정값에 따라 자동으로 차단기를 차단하고 전력계통으로부터 개별 부하들을 끊는다. 이런 방법이 적절히 행해진다면 전력 균형을 재달성할 수 있으며 치명적인 계통고장은 피할 수 있다. 이 논문에서는 HVDC로 연계된 제주계통에서 연계선의 고장이 제주도내 발전중인 여타 발전기에 비해 계통외란의 규모가 상대적으로 큰 특징을 이용한 새로운 부하차단 방안을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 제주계통의 현황

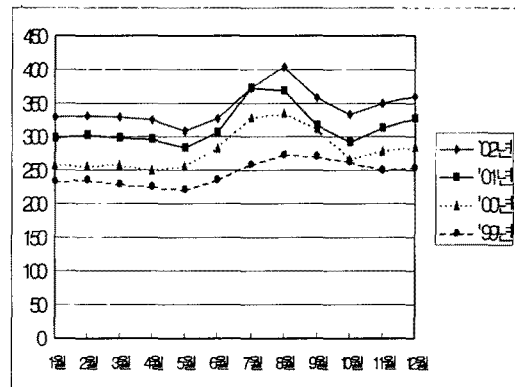


그림 1. 제주계통의 4년간 최대부하 추이도

제주계통의 최근 4년간 최대부하를 살펴보면 1999년 272.4MW, 2000년 336.1MW, 2001년 373.3MW, 2002년 403.9MW로서 증가율은 1999년 4.2%, 2000년 14.4%, 2001년 11.8%, 2002년 9.5%로 변화하고 있다. 육지계통에서 생산한 전력을 HVDC 연계선을 이용하여 제주계통에 공급하고 있으며 고장발생시 제주 전지역 정전 등 계통안정도를 감안하여 HVDC 연계선의 조류는 제주계통부하의 50%를 담당하며 HVDC 2회선으로 최대 150MW까지 제주계통에 공급하고 있다. 제주계통 전체 전력수요량이 300MW 이내까지는 부하변동에 따라 HVDC 2회선의 조류량이 추종제어되며 전력을 공급하고 있다. 제주계통의 구성요소로서는 HVDC 2회선, 발전기 수 14기, 부하모선 수 20개로 구성되어 있다.

표 1. 제주계통의 모선별 부하차단량 예시

모선명	MW	1Stage	2Stage	3Stage	4Stage	5Stage	LS [MW]	%
영재수	73.00	10.95	10.95	-	7.30	-	29.20	40
신재주	52.00	7.80	-	10.40	10.92	-	29.12	56
한림	24.00	2.40	3.60	7.20	-	-	13.20	55
한덕	31.00	6.20	-	6.20	-	7.75	20.15	65
서귀포	27.00	-	4.32	5.40	11.34	-	21.06	78
한라	40.00	2.00	7.20	-	-	10.80	20.00	50
청산	18.00	0.90	3.78	-	-	-	4.68	26
제주	2.14	0.11	0.21	0.43	-	-	0.75	35
중문	3.27	0.16	-	0.65	-	-	0.82	25
합계(MW)	270.41	30.52	30.05	30.28	29.56	18.55	138.98	
%	100%	11.29	11.12	11.21	10.93	6.86	46.32	%

## 2.2 제주계통데이터 PSS/E 검증

PSS/E 다이내믹 데이터의 검증을 위하여 30초동안 다이내믹 시뮬레이션을 수행하여 그림 2와 같이 전 발전기들의 위상차가 안정한 범위내에서 운전되므로 계통데이터의 효용성을 검증하였다.

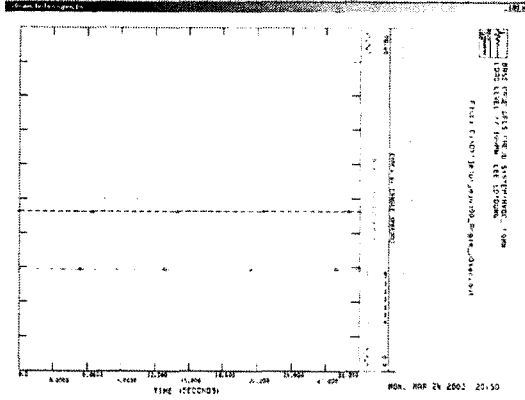


그림 2. 제주계통 발전기 위상각 출력 파형

## 2.3 상정사고 사례 및 주파수변화율 분석

제주계통에서 운전중인 발전기의 탈락 등 다양한 외란 발생 상정사고 사례에 대해 제주 전 지역의 각 모선에서의란 발생시점부터 10사이클 동안 주파수변화율의 추이를 분석하였다. 그림 3은 제주계통 전체 전력수요량이 300MW일 때 계통부하의 50%인 150MW를 HVDC 연계선으로 전력을 공급하여 계통운용 중에 HVDC 2회선 동시 탈락시 제주계통에 설치된 전체 발전기 모선 및 부하 모선 지점의 주파수변화율을 나타내었다. 주요 특징으로는 계통의 정상운전중에 외란이 발생한 시점 이후 2싸이클 이내에서 주파수변화율의 크기가 가장 두드러지게 나타나고 있다는 점이다.

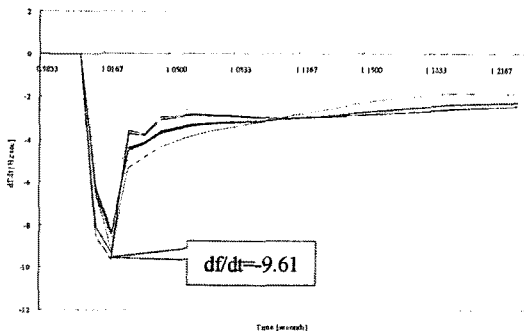


그림 3. 연계선 150MW 탈락시 주파수변화율 분석

그림 4는 제주계통 전체 전력수요량이 397MW 일때 HVDC 연계선의 조류는 150MW를 담당하여 계통 운영중일때 제주도내에 설치된 발전기중의 하나인 설비용량 18.7MW 발전기 탈락시 제주계통에 설치된 전체 발전기 모선 및 부하모선 지점의 주파수변화율을 나타내었다. 또한 그림 5는 그림 4와 동일한 조건하에서 탈락하는 발전기를 75MW로 설정하였을 때의 시뮬레이션 결과이다.

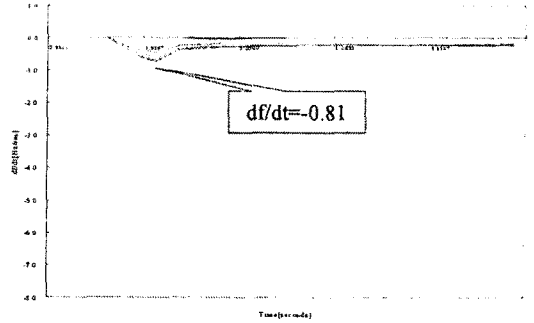


그림 4. 제주도내 발전기 18.7MW 탈락시 주파수변화율 분석

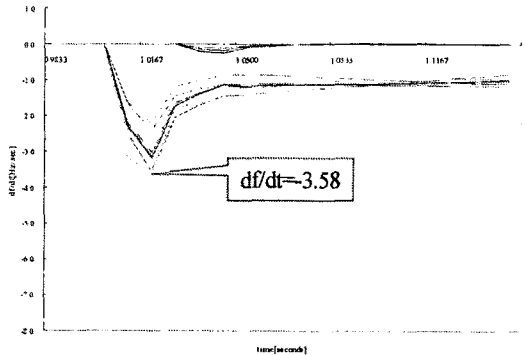


그림 5. 제주도내 발전기 75MW 탈락시 주파수변화율 분석

## 2.4 연계선 차단시 사전차단 적용 사례

2.3절에서 연계선 차단시 그리고 제주도내 발전기 탈락시 제주도 전 지역의 주파수변화율을 분석하였다. 연계선 차단시 주파수 변화율이 제주도내 발전기 탈락시보다 상대적으로 크기 때문에 이러한 특징을 부하차단 방안에 이용하여 그림 6과 같은 방안을 제시하였다. 제주계통에서 연계선 차단이 발생하면 주파수변화율의 크기로 연계선 차단임을 우선적으로 판정한다. 또한 전체 전력수요량이 300MW 이내까지는 부하변동에 따라 HVDC 2회선의 조류량이 추종제어되며 공급비율로는 상시 제주계통 부하의 50%까지 공급하고 있는 실정이므로 부하의 Peak시와 Off-Peak시에 연계선이 공급하고 있는 조류의 크기에 따라 단계별 차단이 이루어진다. 그림 6의 경우에는 연계선의 조류량이 100MW에서 150MW까지 제주계통부하변동에 따른 추종으로 연계선 조류량의 크기를 반영한 부하차단 방안 예시이다.

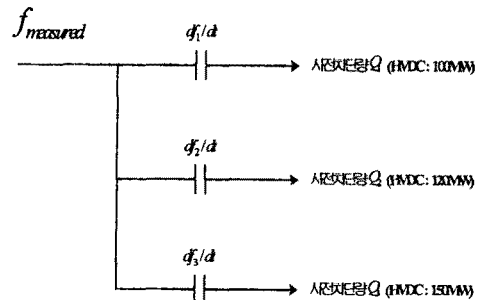


그림 6. 제주계통 주파수변화율을 이용한 부하차단 방안

그림 7은 연계선 차단시 주파수변화율을 이용한 사전 부하차단 방안과 기존의 주파수 저하값을 이용한 부하차단 방안의 시뮬레이션 비교결과 파형이다. 58.2Hz까지 주파수가 저하되었다가 59.5Hz에 도달하는 시뮬레이션 결과 파형은 기존 부하차단 적용 시뮬레이션 결과이며 상위 파형은 제주계통 전체 전력수요량이 300MW이면서 연계선 전력공급량이 150MW로 제주계통에 전력을 공급하고 있는 상황에서 연계선 차단시 사전 차단량 150MW 즉 총부하의 50%를 차단시 시뮬레이션 결과이며 기존 방안보다 신속히 차단이 이루어지고 정상 주파수 값에 훨씬 가까이 도달하고 있는 것을 보여주고 있다.

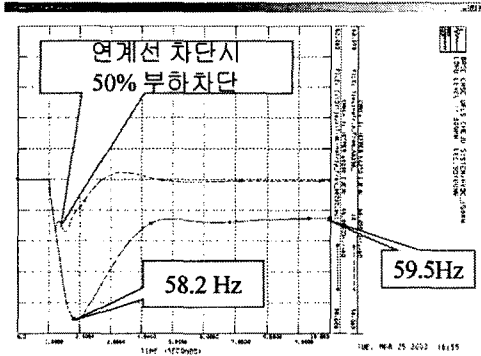


그림 7. 연계선 150MW 탈락시 사전 부하차단 결과

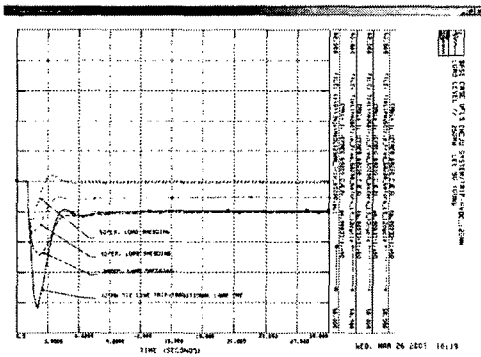


그림 8. 연계선 조류변화를 반영한 사전 부하차단 결과

### 3. 결 론

육지계통에서 HVDC 연계선으로 제주계통 총 전력수요량의 일부를 수전하는 계통에서 연계선의 탈락은 제주계통에 심각한 과도상태를 야기시킬 수 있다. 이러한 발전력과 부하의 불균형의 과도상태를 해소시키기 위한 방안으로 저주파수시 부하차단 방안이 적용되고 있다. 기존 부하차단 방안은 주파수 값만을 이용한 부하차단이었지만 본 논문에서는 주파수변화율을 이용한 새로운 부하차단 방안을 제시하였다. 연계선 차단시 주파수변화율의 크기를 감지하여 제주도 내의 발전기 탈락 등 외란과 상대적으로 구분하므로써 저주파수보호계전기에 연계선 차단임을 제공하므로써 긴급시 부하차단 방안을 기동시키게 하는 것이다. 기존 부하차단 방안과 시뮬레이션 비교결과 전력계통의 외란시 부하차단 시행 시점이 기존 부하차단 시점보다 신속히 이루어졌으며 최종 주파수 도달 값도 정상 주파수 값 60Hz에 더욱 근접하여 도달하였다. 따라서 이러한 부하차단 방안을 연계선으로 전력

을 공급받는 제주계통의 특수한 상황에 적용하게 되면 육지로부터 계통분리시 주파수안정도를 보다 신속히 안정화시킬 것으로 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] B. C. Widrevitz and R. E. Armington, "A Digital Rate-of-Change Underfrequency Protective Relay for Power Systems," IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-96, no. 5, Sept./Oct. 1977.
- [2] Peter Crossley, Franc Ilar, Daniel Karlsson, "System Protection Schemes in Power Networks", Developments in Power System Protection, Conference Publication No. 479, IEE 2001.
- [3] D. Novosel and R. L. King, "Using Artificial Neural Networks for Load shedding to Alleviate Overloaded Lines" IEEE PES Winter Meeting, Feb. 1993, Paper 93 WM 036-4 PWRD
- [4] P.M.Anderson, M.Mirheydar, "An Adaptive Method for Setting Underfrequency Load Shedding Relays" Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 2, May 1992
- [5] L. H. Fink et al, "Emergency Control Practices" IEEE Trans. on PAS, Vol. 104, pp.2336-2441, Sep. 1985.
- [6] North American Electric Reliability Council, "System Disturbances:1986-1991" NERC Reports.
- [7] M. Mandozzi et al, "Recent Improvements of Emergency Control of ENEL Power System in Interconnected and isolated Operation" Proc. of CIGRE, Paper 39-302, Paris, 1992
- [8] Y. Ohura et al, "Microprocessor-based Stabilizing Control Equipment for Survival of Isolated Mid-City Power System" IEEE Trans. PWRD, pp.99-104, Oct. 1986.
- [9] Shih, L.J.; Lee, W.J.; Gu, J.C.; Moon, Y.H. "Application of  $df/dt$  in Power System protection and its implementation in microcontroller based intelligent load shedding relay" Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 1991. Conference Record. Papers presented at the 1991 Annual Meeting, 1991
- [10] 한국전력공사, "전력계통의 동기탈조 보호계전장치 운용에 관한 연구", 1989
- [11] 한국전력공사, "지역급전의 전력계통 해석업무 전산화 연구", 1995
- [12] 한국전력공사, "적정주파수 관리방안 및 주파수 유지율이 산업계에 미치는 영향조사", 1999
- [13] 한국전력공사, "系統保護 데이터베이스 構築에 關한 研究", 1992