

제주 계통에서의 FTR 적용 방안에 관한 연구

김정우, 전영환, 남해곤*, 양정재**, 장시호**
 홍익대학교, 전남대학교*, 한국전력거래소**

A Study on the Application of FTR to Jeju Power System

Jung-Woo Kim, Yeong-Han Chun, Hae-Kon Nam*, Jeong-Jae Yang**, Si-Ho Jang**
 Hongik University, Chonnam National University*, KPX**

Abstract - 제주계통은 육지에 비해 상대적으로 작은 계통 규모(300~600MW)를 갖고 있지만, HVDC 연계선에 의한 의존도가 30~50%로 매우 높다. 또한, 계통에 비해 그 규모가 큰 100 MW 발전기 2대가 현재 새로 운영 중에 있는 등, 주파수 안정도 측면에서 많은 부분이 고려되어야 한다. 2006년 4월 1일 제주도 정전 사고도 주파수 안정도 문제에 기인하고 있고, 이는 HVDC 연계선 탈락 시 독립된 계통으로서의 주파수 안정도 부분에 대한 연구가 필요함을 보여준다. 2006년 4월 1일 이후, 제주도의 전력 계통은 발전설비 증대와 예비력 확보, 부하차단 방식 변화 등으로 안정적인 계통 운영을 위해 전반적인 변화를 주었다. 하지만, 지난 대규모 정전사고에서 알 수 있듯이, HVDC 연계선에 의한 의존도가 최대 50%로 높은 제주계통의 특성상, HVDC 연계선이 탈락된 이후, 독립계통으로서의 안정적인 운영을 위한 노력이 필요하다.

1. 서 론

부하차단은 발전기 탈락 등으로 인한 계통의 대규모 수급 불균형 상황을 극복하고 전력계통의 광역정전을 방지하는 최후의 방법으로 사용되어왔다. 따라서 최소한의 부하차단을 이용하여 최대의 효과를 얻고자 많은 연구가 진행되었으며, 주파수 하락 주의를 이용한 UFR(Under Frequency Relay) 방식과 주파수 변화율을 이용한 FTR(Frequency Trend Relay) 방식이 그 주를 이루고 있다. UFR 부하차단 방식은 주파수가 일정 이하로 떨어지게 되면 부하를 차단하는 방식으로, 순차적인 부하차단을 실시함에 따라 과도한 부하차단을 막아주는 장점이 있지만, 사고의 크기와 연관성을 수 없어 최종 주파수와 주파수 회복측면에서 단점을 갖고 있다. 반면 FTR 방식은 사고 초기의 주파수 변화율(df/dt)을 이용하여 사고의 크기를 판단, 비교적 많은 양의 부하를 차단함으로써 빠른 주파수 회복 효과를 볼 수 있지만, 같은 사고라 할지라도 부하 용량에 따라 사고의 크기를 다르게 판단할 수 있다는 단점을 지니고 있다. 현재 제주 계통의 경우, HVDC 연계선이 차단되는 경우를 대비하여 UFR에 의한 부하차단을 실시하고 있으나, 그 이후의 발전기 탈락 등으로 인한 전력 공급 차단의 경우에는 적절한 부하차단 적용이 어렵기 때문에 새로운 방안을 적용할 필요가 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 기존의 UFR에 FTR을 적용하는 방안을 고려하여 주파수 안정도에 기인하는 방안을 검토하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 제주계통에서의 부하차단

현재 제주계통에서는 2006년 4월 1일 사고 이후, UFR 부하차단을 5단계에서 6단계, 차단 용량을 47%에서 52%로 확대하였다. 이는 HVDC 연계선이 차단되는 것을 보다 보수적으로 대비한 것이다. 하지만, 새로 투입된 대용량 발전기인 100MW급 2기가 새로운 주파수 안정도 문제를 일으킬 위험이 있다고 판단된다. 특히 HVDC 연계선 탈락 이후, 독립된 계통으로 운영 시에는 그 문제가 더욱 심각해진다고 판단하여 본 논문에서는 N-2상정사고까지 고려한 부하차단 방식을 제안한다.

2.2 FTR 적용 방안

본 논문에서는 FTR 을 두 가지로 방법으로 나눠서 적용하였다. 첫 번째는 FTR을 HVDC 2회선 탈락을 대비하는 용도로 사용하고 UFR을 n-2 사고에 대비하는 형식의 부하차단 방식이다. 두 번째 방안은 그와는 반대로 기존의 UFR을 그대로 사용하고 FTR을 N-2 사고에 대비한 백업용으로 활용하고자 하였다.

2.2.1 적용 방안 1안

제주계통에서의 HVDC는 부하용량에 영향을 받지 않고 일정량(150MW)을 꾸준히 공급하고 있기 때문에 주파수 변화율을 이용하여 사고 용량을 감지하고 이에 맞는 부하차단을 실시하는데 어려움이 따른다.

따라서 본 방안에서는 같은 HVDC 2회선 탈락 사고라 할지라도 부하용량별로 주파수 변화율이 다르다는 것을 이용하였다. 즉 제주계통의 경우, 각 데이터별로 HVDC가 감당하는 용량은 전체의 30~50%로 다르고, 이에 따라 HVDC 2회선 탈락시의 주파수 변화율도 데이터별로 다르게 나타난다. 따라서 이를 이용하여 제주 계통 데이터를 크게 3가지로 분류, 각 주파수 변화율을 이용하여 차등적으로 부하차단을 실시하도록 한다. 이 방안에서의 FTR 기준 주파수는 59.2Hz로 기존 UFR 방식과 동일하게 적용하였고, UFR은 FTR 뒤에 배치함으로써 HVDC 2회선 탈락 이후 독립된 제주계통의 안정적인 운영을 위해 사용하였다.

<표 1> 데이터별 주파수 변화율

	off-peak	middle	peak
HVDC 2회선 Trip	-1.685	-1.425	-1.315
남제주 TP #3 Trip	-0.590	-0.742	-0.901
남제주 TP #4 Trip	-0.591	-0.836	-1.032
제주 TP #2 Trip	-0.324	-0.199	-0.257

시뮬레이션을 이용하여 표 1과 같이 3가지의 데이터별로 각 상정사고에 따른 df/dt값을 구하고, 이를 이용하여 표 2와 같이 FTR을 세팅하였다. 표 3은 이 적용방안 전체의 부하차단 방식을 보여준다.

<표 2> 적용방안 1에서의 FTR setting

FTR	1단계	2단계	3단계
Load shedding point (Hz)	59.2 Hz		
FTR shedding point	-1.0	-1.3	-1.6
Fraction of load to be shed	전체 30%	전체 40%	전체 50%

<표 3> 적용방안 2에서의 부하차단

FTR	UFR 1	UFR 2
59.2 Hz	58.4 Hz	58.0 Hz
30%	10%	5%
40%		
50%		

2.2.2 FTR 적용 방안 - 2안

이 방안의 가장 큰 특징은 FTR을 백업으로 활용하는데 있다. 이는 기존의 UFR 방식에 FTR을 추가시키는 것으로 HVDC 2회선 탈락 이후, 계통의 안정화를 가져오기 위해 FTR을 적용하는 방안이다. 대규모 발전기의 경우, HVDC와는 달리 부하량에 비례한다는 가정 하에 FTR을 고정적으로 하나만 사용하였다.

HVDC 2회선 탈락 시, UFR은 4단계까지 작동하고 최저주파수가 58.2Hz이상인 점을 감안하여 표 4와 같이 FTR을 58.2Hz에서 세팅하였다.

<표 4> 적용방안 2에서의 부하차단

1단계	2단계	3단계	4단계	FTR	5단계	6단계
59.2 Hz	59.0 Hz	58.6 Hz	58.4 Hz	58.2 Hz	58.0 Hz	57.6 Hz
10%	10%	10%	10%	20%	7%	5%

FTR의 효과적인 적용을 위해, HVDC 2회선 탈락 이후 독립된 제주계통에서의 남제주 기력 #3 발전기를 표 5와 같이 시간 별로 탈락시키면서 주파수변화율(df/dt)을 관찰하였다.

<표 5> 남제주TP#3 탈락 시의 df/dt

sec	off-peak	middle	peak
3	-0.923	-0.861	-0.707
5	-0.951	-0.632	-0.520
10	-0.842	-0.760	-0.530
15	-0.910	-0.811	-0.619

표 5의 df/dt를 바탕으로 FTR을 표 6과 같이 세팅하였다.

<표 6> 적용방안 2에서의 FTR setting

FTR	1단계
Load shedding point (Hz)	58.2 Hz
Rate of frequency shedding point	-0.5
Fraction of load to be shed	전체 부하량의 20%

2.3 사례 연구

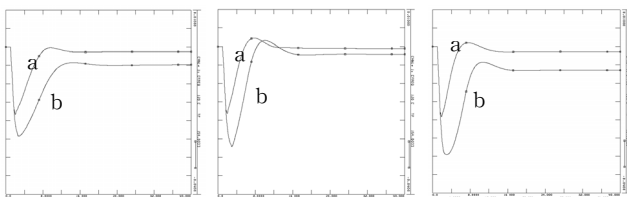
표 7의 데이터를 이용하여 사례연구를 실행하였다. 사고는 정상상태 운전 중 1초에 HVDC 2회선 동시 탈락 사고(그림 1)와 그 이후 5초에 남제주TP #3 탈락 사고(그림 2, 3)로 상정하였다. 시뮬레이션은 40초간 실행하였다. 그림은 off-peak, middle, peak 순으로 배치하였다.

<표 7> 사용 데이터

구 분		off-peak (MW)	middle (MW)	peak (MW)	
중부발전	제주기력 #2	48.395	53	57	
	제주 내연	-	40	38	
남부발전	남제주 기력 #3	50	70	95	
	#4	50	70	95	
	남제주 내연	#1	-	-	7.983
		#2	-	-	7.983
		#3	-	-	9
		#4	-	-	9
제주 연계선		#1 75	75	75	
		#2 75	75	75	
합 계		300	383	471	
예비력		131	86	40	
남제주TP #3 탈락 시 예비력		81	56	35	

2.3.1 적용 방안 - 1안

각 데이터별로 FTR 적용 시 나타나는 주파수 변화를 그림 1,2와 같이 나타내었다. a는 FTR 적용, b는 기존의 UFR을 나타낸다.



<그림 1> FTR 적용 1안(1)

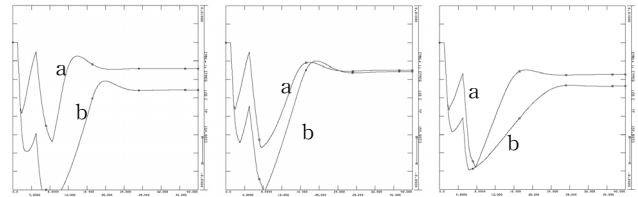
기존의 UFR을 적용하였을 경우, off-peak와 middle 데이터는 4단계까지, peak 데이터는 3단계까지 부하차단이 실행되었다. FTR 적용 시에는 부하차단량이 늘어남 반면, 표 8에서와 같이 주파수 회복에 현저한 효과를 보이고 있다.

<표 8> FTR 적용 1안(1)

	off peak		middle		peak	
	UFR	FTR	UFR	FTR	UFR	FTR
최저주파수(Hz)	58.23	58.85	58.37	58.91	58.54	58.90
회복주파수(Hz)	59.61	59.92	59.87	59.97	59.71	59.93
부하차단량(MW)	101	150	137	153	128	141

HVDC 2회선 탈락 시 주파수 회복속도가 기존의 UFR에 비해 현저히 향상되었고 이에 따라 주파수 회복단계에서 사고가 났으며, 상향 조정된 UFR 1단계(58.4Hz)가 동작하여 기존의 UFR에 비해 상당한 효과를 보

인다. peak 데이터의 경우, HVDC 2회선 탈락 사고 이후, 남아있는 부하차단 단계가 기존의 UFR과 새로운 FTR적용 모두 58.4Hz 이후이기 때문에 최저주파수에 큰 변화가 없다. 그림 2의 데이터는 표 9와 같다.



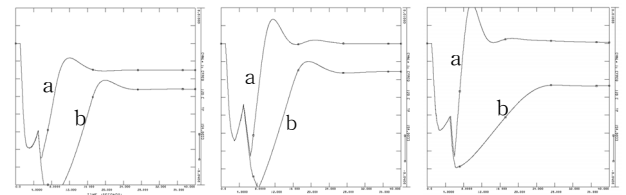
<그림 2> FTR 적용 1안(2)

<표 9> FTR 적용 1안(2)

	off peak		middle		peak	
	UFR	FTR	UFR	FTR	UFR	FTR
최저주파수(Hz)	57.42	58.38	57.58	58.29	57.92	57.97
회복주파수(Hz)	59.22	59.57	59.53	59.55	59.29	59.48
부하차단량(MW)	135	180	182	192	203	212

2.3.2 적용 방안 - 2안

이 방안에서의 HVDC 2회선 탈락은 기존 UFR과 동일한 형태로 시뮬레이션 되기 때문에 생략하였다.



<그림 3> FTR 적용 2안

middle 데이터의 경우, 남제주 TP#3의 발전량이 70MW인데 반해, 차단 용량은 76.6MW로 상대적으로 많은 양을 차단한 결과를 가져오고, 이로 인하여 주파수가 60.41Hz까지 overshoot 현상이 발생한다. peak의 경우, 발전기 탈락사고에 의한 사고용량이 95MW이고, 이에 의한 부하차단 용량은 전체 20%인 94.2MW로 정확한 용량의 부하차단이 실행되었다. 하지만, 발전력 탈락 사고로 인해 UFR 4단계와 FTR이 동시에 작동하게 되면서 부하를 과도하게 차단하는 현상이 생겨 주파수의 overshoot가 발생하였다. 그림 3의 데이터는 표 10과 같다.

<표 10> FTR 적용 2안

	off peak		middle		peak	
	UFR	FTR	UFR	FTR	UFR	FTR
최저주파수(Hz)	57.42	58.03	57.58	58.11	57.92	58.11
회복주파수(Hz)	59.22	59.55	59.53	60.00	59.29	59.99
부하차단량(MW)	135	161	182	213	203	269

3. 결 론

본 논문에서 제안한 두 가지 방안 모두 N-2 상정 사고에도 효과적인 부하차단 방식이 될 수 있음을 보였다. 첫 번째 방안은 off-peak와 같이 심각한 경우에도 계통의 안정화가 가능하였고, 두 번째 방안은 기존의 부하차단 방식에 크게 벗어나지 않는 방안임에도 불구하고 계통 안정화에 기여함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] J.G. Thompsom, B. Fox, "Adaptive load shedding for isolated power systems", IEE Proc-Gener. Transm. Distrib., Vol. 141, No. 5, 491~496, September 1994
 [2] P.M. Anderson, M. Mirheydar, "An Adaptive Method for Setting Underfrequency Load Shedding Relays", IEEE Transactions on Power System, Vol. 7, No. 2, 647~655, May 1992
 [3] P.M. Anderson, M. Mirheydar, "A Low-Order System Frequency Response Model", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 5, No. 3, 720~729, August 1990