

TSAT을 이용한 우리나라 계통의 저주파수 부하차단 방식 검토

이강완 배주천* 조범섭* 오화진*
(주)대화기술사 *한국전력거래소

A Study on Under-Frequency Load Shedding Scheme of Korea Electric Power System using TSAT

Kang Wan Lee Bae, Joo-Cheon* Cho, Burm-Sup* Oh, Hwa-Jin*
DAEHW Engineering & Consultants Co., Ltd. *Korea Power Exchange

Abstract - The frequency of power system will change when the load-generation equilibrium is disturbed. Insufficiency of generation from the imbalance between load and generation decreases the power system frequency. In case of the severe emergency, the under frequency load shedding scheme is applied for the power system defense plan. In this paper, we analyzed the dynamic characteristics of under frequency load shedding using new Transient Security Assessment Tool ; TSAT. We applied the actual UFLS scheme to these studies and considered the possible contingency.

상대적으로 매우 큰 비중을 차지한 상태이다.

1. 서 론

[표1] 지역별 최대수요 전력수급 현황

지역	수요		발전		손실		오차	
	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
서울	5647	1481	1533	447	19	-1420		
남서울	5660	1598	902	322	11	-1174		
수원	8674	1661	8093	1835	91	73		
대전	3542	897	5023	1528	99	913		
대전	6027	1772	10063	3150	225	1702		
광주	3833	1112	9921	3351	91	1746		
대구	5874	685	2849	981	109	547		
부산	5795	1740	6736	1949	43	-279		
창원	2931	1020	3630	1168	76	655		
합계	47983	11967	48748	14730	765	2763	0.125	0.562

(48,000MW 수준)

전력계통은 내적 취약성 및 자연에 의한 외적 요인으로 전력설비고장이 필연적으로 발생하게 된다. 전력설비고장으로 전원 탈락 또는 대용량 송전선로 분리 등 전력수급 불균형이 발생하게 되면 이로 인하여 전력계통 주파수가 저하하게 된다. 발전과 수요 간의 불균형으로 전력계통 주파수가 급격히 저하되면 발전기 터빈 보호를 위하여 저주파수 한계점에 도달하게 된 발전기 자동차단이 가중되어 전력계통 일부분 또는 전체 정전을 유발할 수 있다. 발전과 수요 간의 급격한 불균형으로 전력계통 주파수가 저하되어 일어나는 전력계통 붕괴를 예방하고 정전 범위를 최소화 할 수 있도록 부하차단방안(Load Shedding Scheme)이 수립되어 운영되고 있다. 본 논문은 전력계통에서 일어날 가능성이 있는 전력설비 고장에 의한 수급불균형시 저주파수계통기에 의한 부하차단방안의 적정성을 검토하기위해 신기술이 적용된 새로운 전력계통 해석 소프트웨어인 과도안정도평가도구(Transient Security Assessment Tool : TSAT)를 이용하여 전력계통의 과도동특성을 해석 및 분석한 것이다.

[표2] 지역별 최저수요 전력수급 현황

지역	수요		발전		손실		오차	
	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR	MW	MVAR
서울	2563	645	21	20	15	-1862		
남서울	2256	693	18	15	5	-1582		
수원	4231	1920	201	136	63	-1542		
대전	3180	662	3937	809	71	643		
대전	4253	935	7572	1224	196	1013		
광주	3158	610	8916	2137	88	1627		
대구	4427	869	2768	699	88	131		
부산	3688	1096	3295	610	22	-808		
창원	1487	147	3123	407	60	318		
합계	29245	8117	29854	6057	609	-2060	0.05	0.41

(29,000MW 수준 이하)

2. 본 론

2.1 전력수급 현황

일반적으로 전력을 사용하는 부하 지점은 주거지역 또는 공업지역인 반면에 전력을 생산하는 발전소는 원활한 냉각수 공급조건 등으로 인하여 바다, 하천 및 호숫가에 설치되어 있다. 우리나라 전력수요의 40% 이상이 수도권에 밀집되어 있으나 발전은 대부분 해안선을 따라 남쪽 또는 서쪽에 편중되어 있다. [표1]은 최대수요 48,000MW수준의 지역별 전력수급 상태를 나타낸 것으로 지역별 수요배분 및 발전력 배분은 실제상황을 평균적으로 조정한 것이다. 총발전중 15,716MW가 원자력으로 이는 전체발전의 32.2%를 점유한 상태이다. [표2]는 최저수요 29,000MW 수준의 지역별 심야시간대 전력수급 상황을 가정한 것으로 전체수요는 최대수요의 60%수준이다. 최저수요에서는 15,634MW가 원자력발전으로 이는 전체 발전의 52.3%를 점유하고 있어 원자력발전이

2.2 과부하율에 대한 계통주파수 특성

전력계통에서 전력설비 고장시 발전력 부족에 따른 계통주파수 저하 특성은 수급 불균형 정도와 전력계통의 전원 및 부하의 동특성에 따라 다르게 나타난다. 다음은 전력계통 전력설비 고장시 전원 탈락으로 인하여 발생하는 수급 불균형 정도를 나타내는 과부하율(Overload)을 수식으로 표현한 것이다.

$$P_d = \frac{P_{GX}}{P_{GO} - P_{GX}} [P.U.] - (1)$$

여기서,

- P_d : 과부하율 [P.U.]
- P_{GO} : 총발전 [MW]
- P_{GX} : 탈락발전 [MW]

전원 탈락으로 발생한 과부하율이 크면 클수록 급격한 주파수 저하가 일어나고 반면에 과부하율이 작으면 상대적 으로 완만한 주파수 저하가 일어나게 된다. 따라서 과 부하율이 큰 경우 상대적으로 급격한 주파수 저하는 물론 더욱 가혹한 저주파수 상태로 진행하게 된다.

2.3 수급 불균형 계통주파수 모의

우리나라 전력계통에서 일어날 수 있는 가혹한 수급 불균형 고장은 비교적 큰 발전력을 지닌 지역에서 345kV 모선에 단락고장이 발생하여 고장으로부터 0.1초 (6사이클) 후에 보호계전기에 의해 고장이 제거되고 고 장 345kV 모선에 인접한 발전기들이 탈락하는 것으로 모의하였다. 단락사고로부터 보호계전기가 이를 검출하 여 고장 구간이 건전한 전력계통으로부터 분리되도록 차 단기를 개방할 때까지의 시간 즉, 고장제거시간(Fault Clear Time)은 다음과 같이 가정된 것이다.

순시보호계전기 동작 시간	: 2사이클
차단기 차단 시간	: 3사이클
역류 시간	: 1사이클
고장제거 시간	: 6사이클

발전력 부족으로 발생하는 수급 불균형을 해소하기 위 한 저주파수계전기에 의한 부하차단은 다음과 같다.

[표3] 저주파수계전기에 의한 부하차단

부하차단 단계	동작주파수(Hz)	동작시간(초)	부하차단율(%)	비 고
1	58.8	0.1	6	
2	58.6	0.1	7	
3	58.4	0.1	7	
4	58.2	0.1	6	
5	58.0	0.1	6	
6	57.8	0.1	5	
후 비	58.8	12	4	
	합계		41	

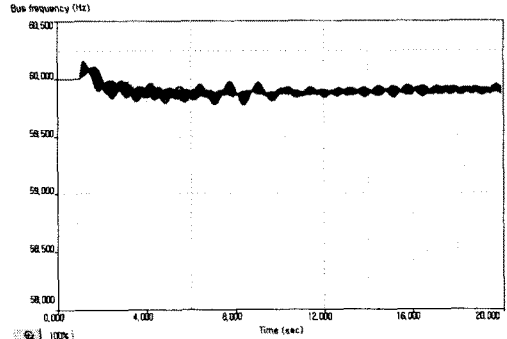
[그림1]부터 [그림6]까지는 최대 수요 전력계통에서 대 용량 전원단지 345kV 모선에 단락고장이 발생되어 0.1 초(6사이클) 동안 지속된 후에 고장이 제거되고 발전기 들이 탈락되어 수급 불균형이 발생한 상태를 모의하여 저주파수계전기에 영향을 미치는 154kV 모선 주파수 변 화를 해석한 것이다. 345kV 모선단락고장은 모의로부터 1초 후에 발생하여 0.1초 동안 고장이 지속되는 것으로 가정하였다.

[표4] 발전기 탈락 수급 불균형에 대한 부하차단

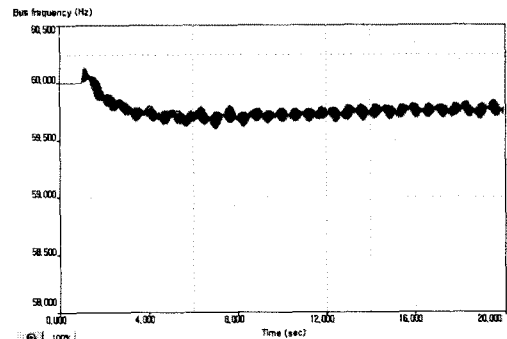
탈락 대수	탈락[MW]	수급불균형[%]	부하차단		비 고
			단계	%	
1	950	1.99			
2	1900	4.06			
3	2900	6.33			
4	3900	8.70			
5	4900	11.17			
6	5900	13.77	1단계	6.00	부하차단

최대수요시 총발전 : 48,748 MW

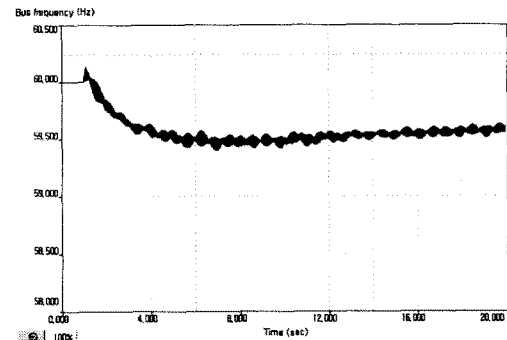
최대수요 전력계통 운전 상태인 경우 5대의 발전기가 탈락되어 수급 불균형에 의한 과부하율이 11.17%가 되 어도 저주파수 최초 동작치인 58.8Hz에 못 미친다. 그러 나 6대의 발전기가 탈락하게 되면 수급 불균형에 의한 과부하가 13.77%가 되어 계통 주파수가 부하차단 1단계 인 58.8Hz 이하로 저하되어 1단계 저주파수계전기들이 동작 6%의 부하차단이 일어나고 이로 인하여 계통주파 수가 회복 상태로 진행하는 것을 나타내고 있다.



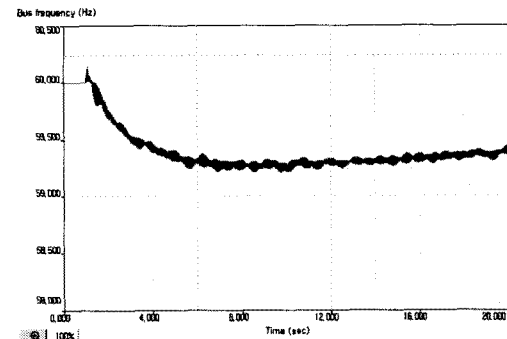
[그림1] 최대수요시 발전기1대 탈락 154kV 모선 주파수



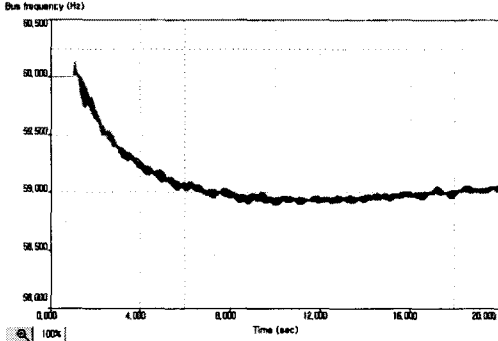
[그림2] 최대수요시 발전기2대 탈락 154kV 모선 주파수



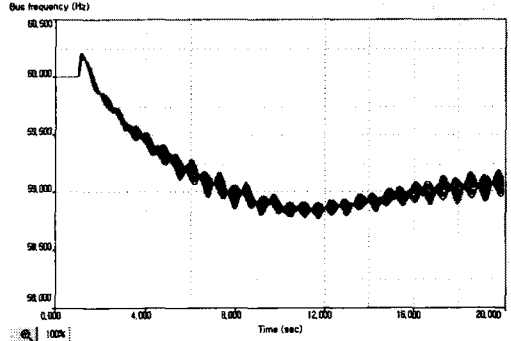
[그림3] 최대수요시 발전기3대 탈락 154kV 모선 주파수



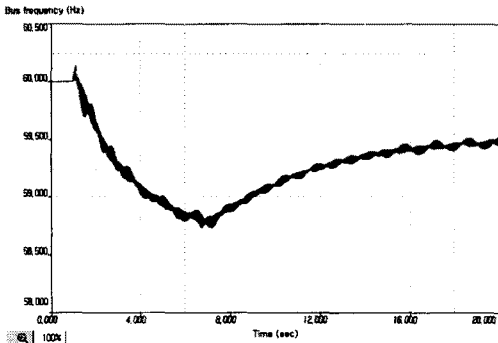
[그림4] 최대수요시 발전기4대 탈락 154kV 모선 주파수



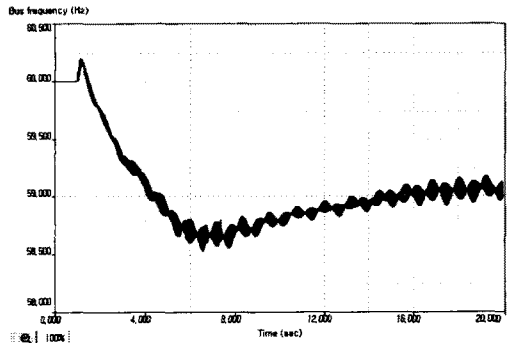
[그림5] 최대수요시 발전기5대 탈락 154kV 모선 주파수



[그림8] 최저수요시 발전기2대 탈락 154kV 모선 주파수



[그림6] 최대수요 발전기6대 탈락 154kV 모선 주파수



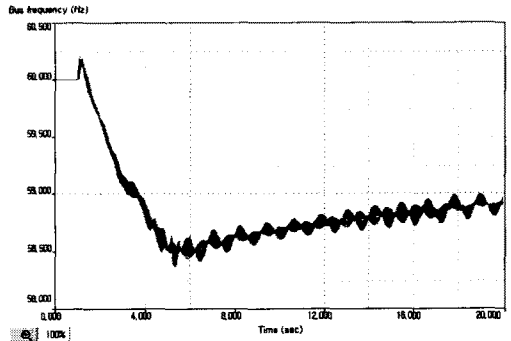
[그림9] 최저수요시 발전기3대 탈락 154kV 모선 주파수

[그림7]부터 [그림12]까지는 앞에서와 같이 최저수요 전력계통에서 대용량 전원단지 345kV 모선에 단락고장이 발생되어 보호계통기에 의거 고장제거 및 발전기 탈락이 발생한 전력계통 사고를 모의하여 154kV 모선 주파수 변화를 해석한 것이다. [표5]는 발전기 탈락 수급 불균형에 대한 부하차단을 나타낸 것이다.

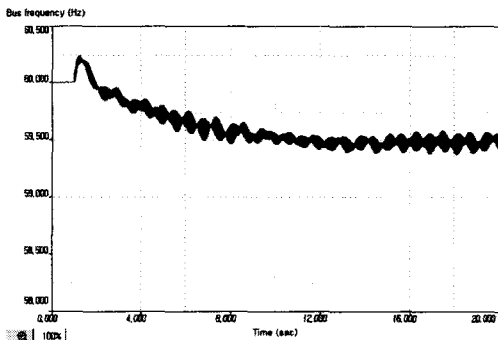
[표5] 발전기 탈락 수급 불균형에 대한 부하차단

탈락 대수	발전기 탈락		부하차단		비고
	탈락[MW]	수급불균형[%]	단계	%	
1	950	3.29			
2	1900	6.80	1	4.24	
3	2900	10.76	2	9.45	
4	3900	15.03	2	12.79	
5	4900	19.64	3	18.84	
6	5900	24.63	4	23.58	

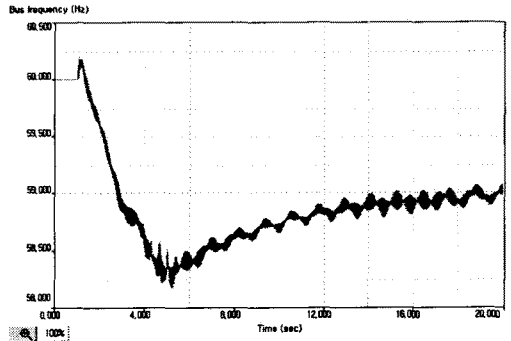
최저수요시 총발전 : 29.854MW



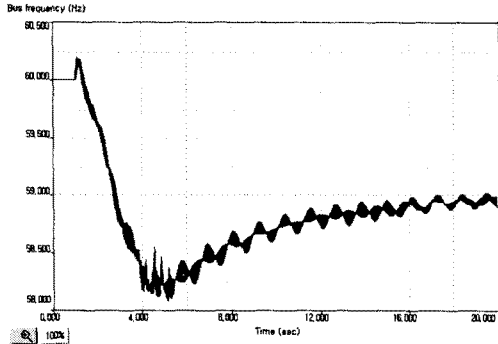
[그림10] 최저수요시 발전기4대 탈락 154kV 모선주파수



[그림7] 최저수요시 발전기1대 탈락 154kV 모선 주파수



[그림11] 최저수요시 발전기5대 탈락 154kV 모선주파수

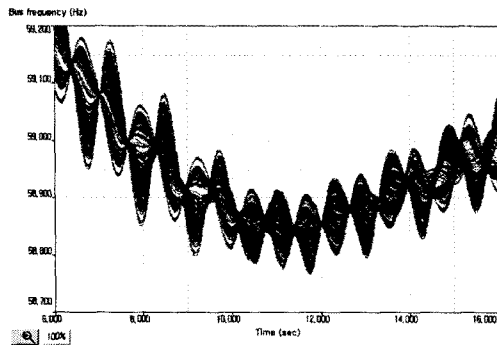


[그림12] 최저수요시 발전기6대 탈락 154kV 모선주파수

해석 결과 단락고장 초기에 주파수가 순간적으로 올라가는 현상은 송전계통에서 단락고장이 발생하면 송전전력이 고장 전에 비해 저하하기 때문인데, 이는 고장점 가까운 발전기들이 가속하게 되어 계통주파수가 상승하기 때문이다.

최대수요에서는 6대의 발전기가 탈락하여 불균형이 13.77%가 되어 계통주파수가 1단계 저주파수계전기 정정치인 58.8Hz 이하가 되어 1단계 부하차단이 일어나는 반면에 최저수요에서는 2대의 발전기가 탈락하여 수급불균형이 6.80%인 상태에서도 지역에 따라서는 일부 154kV 모선 주파수가 1단계 저주파수계전기 동작치인 58.8Hz 이하가 되어 1단계 부하차단이 일어나는 것으로 모의되었다. 이는 최저수요에서는 주파수 조정 능력이 없는 원자력발전 점유율이 높은 반면에 조속기추종 운전(Governor Free Control)을 하는 발전 점유율이 상대적으로 적기 때문이다.

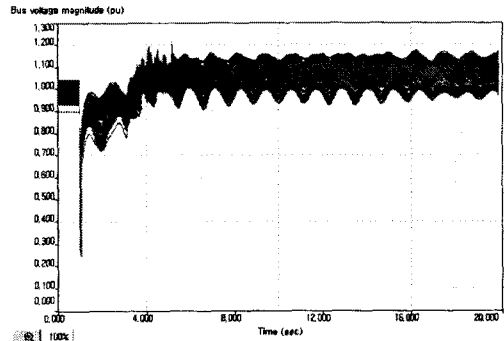
[그림13]은 최저수요시 발전기2대 탈락 154kV 모선 주파수의 부하차단 부분을 확대한 것으로 주파수 진동이 보이고 1단계 저주파수계전기 동작치인 58.8Hz 이하가 부분적으로 한정되어 있다. 즉 [표5]에 나타난 것과 같이 1단계저주파수계전기에 의한 부하차단 목표 6%에 못 미치는 4.24% 부하차단만으로 계통 주파수가 회복되어 가는 것을 보여주고 있다. 이는 지역에 따라 계통 주파수가 다르게 나타나기 때문이다.



[그림13] 최저수요시 발전기2대 탈락 154kV 모선 주파수

전력계통에서 발전기가 탈락하면 유효전력이 수요에 못 미치게 되어 계통 주파수가 저하되고 아울러 무효전력이 부족하게 되어 전압 강하가 발생한다. [그림14]는 최저수요시 발전기6대 탈락 154kV 모선전압을 나타낸 것이다. 여기에 나타난 것과 같이 단락고장시 큰 전압강하가 발생하고 고장이 제거된 후 발전기 탈락으로 지역에 따라서는 저주파수계전기에 의한 부하차단 이전까지 전력계통의 안정 운전을 위협할 수 있는 전압강하가 있음을 보여주고 있다. 따라서 발전기 탈락과 같은 전기고

장의 경우 계통 주파수 검토는 물론 전압안정도 검토도 필요하며 경우에 따라서는 저전압계전기에 의한 부하차단방안도 적용하는 것이 바람직할 것이다.



[그림14] 최저수요시 발전기6대 탈락 154kV 모선전압

3. 결 론

과도안정도평가도구를 이용하여 전력계통에서 발생할 수 있는 수급불균형을 모의한 결과 최저수요 조건 하에서 수급불균형에 의한 계통주파수 저하가 더욱 심한 것으로 나타났다. 이는 최저수요에서 주파수 조정능력이 없는 원자력발전 점유율이 상대적으로 높기 때문에 주파수 저하가 가중되어 나타나는 현상이다. 이는 전력계통의 전원 구성 형태 및 규모의 크기에 따라 계통 주파수 특성이 다르게 나타나는 것을 의미한 것이다. 따라서 전력계통 구성 변경 또는 규모 확대 등이 예상될 경우는 부하차단 방안의 적정성을 체계적으로 검토할 필요가 있음을 보여주고 있다.

전력계통에서 발생하는 전원 탈락의 경우 유효전력 부족으로 인한 가혹한 수급불균형이 계통 주파수를 저하시키고, 이와 함께 무효전력 부족으로 급격한 전압강하를 유발하여 전력계통의 안정운전을 위협하게 된다. 따라서 앞으로는 저전압계전기에 의한 부하차단도 고려되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 송길영, "신편 전력계통공학", 동일출판사, PP490-491, 1998.9
- [2] 이강완, "계통주파수특성분석에 관한 연구보고서", 한국전력공사, PP49-52, 1987.12
- [3] 이강완, 임주일, 김형태, "정유공장 전력계통 동특성을 고려한 부하차단 사례연구", 대한전기학회, 2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 pp.61-65, 2000.7
- [4] 류성호, 이강완, 김광원, 황갑주, "전력시장에서의 적정 운영 예비력 기준에 관한 연구", 대한전기학회논문지, 52권, 5호, 2003.5
- [5] P.Kunder, "Power System Stability and Control", McGraw - Hill, 1993
- [6] P.M. Anderson, "Power System Protection", McGraw - Hill, 1999
- [7] John Berdy, "Load Shedding - Application Guide", General Electric Company, 1968