

전력계통 신뢰도 강화를 위한 저주파계전기의 적정 부하차단 방안

논 문
59-7-5

Load Shedding Schemes of Under Frequency Relay to Improve Reliability in Power Systems

김규호* · 송경빈[†] · 김일동** · 양정재*** · 조범섭[§]
(Kyu-Ho Kim · Kyung-Bin Song · Il-Dong Kim · Jeong-Jae Yang · Beom-Seob Cho)

Abstract - This paper proposes an efficient under frequency relay load shedding scheme for the Korea power system which is more than two times than the system size and its capacity of the power system 10 years ago. The proposed method is keeping the power system stability and supports for the operating system during critical situations such as big disturbances and unstable in supply and demand. In order to determine the number of load shedding steps, the load to be shed per step, and frequency level, it is necessary to investigate and analyze maximum losses of generation due to the biggest contingency, maximum system overload, maximum keeping frequency, maximum load to be shed, and recovery frequency.

The proposed method is applied to Off-peak load(25,400MW) and Peak load(62,290MW) of Korea Electric Power Corporation to demonstrate its effectiveness.

Key Words : Under Frequency Relay, Load Shedding, Biggest Contingency, Maximum System Overload Rate, Maximum Keeping Frequency, Maximum Load to be Shed, Recovery Frequency

1. 서 론

전력계통은 큰 외란으로 발전기의 탈락, 송전선로의 상정 사고, 대규모 부하의 탈락 등이 있으며, 이러한 외란에 대한 적절한 비상대책을 수립하여 계통의 높은 신뢰도를 유지하여야 한다. 전력계통에서 안정적인 전력의 공급을 유지하면서 신뢰도를 유지하기 위해서는 예측 가능한 모든 시스템 조건에서 모든 부하에 대한 발전력과 송전망의 용량이 충분하여야 한다. 그러나 대부분의 경우 어떠한 상정사고에 대해서도 높은 수준의 신뢰도를 제공할 수 있지만 예측할 수 없는 운전 조건의 변화, 사고, 유지보수를 위한 정전, 시스템의 분리에 의한 발전력의 부족에 의한 수급 불안정은 피할 수 없다. 전력계통에서 전력 수급 불안정이 발생하면 계통 주파수의 저하 또는 상승을 초래하게 되며, 특히 대단위 발전기의 탈락에 의한 과도한 주파수 저하는 전력계통 안정운전을 저해할 뿐만 아니라, 주파수에 민감한 전동기 부하의 회전속도를 감소시켜 불량제품이 발생하는 등 산업전반에 걸쳐서 나쁜 영향을 미치게 된다. 이러한 문제점에 대한 대책으로 주파수가 일정 이하로 저하하면 저주파수 계전기에 의해 일정량의 부하를 차단하여 계통주파수를 조속히 회복시키도록 하고 있다[1].

현재 적용하고 있는 저주파수계전기(Under Frequency Relay : UFR)에 의한 부하차단방식은 '93년에 수립된 최초 부하차단주파수가 58.8[Hz]인 방식을 적용하고 있으며[2], 우리나라 계통은 그 당시에 비하여 2배 이상 규모가 커졌을 뿐만 아니라 대단위 전원단지의 증가 등 계통의 제반 여건이 변경되어 현행 저주파수 계전기 부하차단 방식의 적정성을 재검토하고 개선된 부하차단 방식이 필요한 시점이다. 또한, 해외의 저주파부하차단 방식은 저주파제어 기본 원칙에 따라 신속하게 발전력의 부족을 파악하고 과부하에 대한 계통의 주파수 특성을 파악하여 부하차단을 수행하고 있다. 특히 MAIN과 MAAC 등 대부분의 해외 전력회사 및 전력 위원회는 최초 부하차단 주파수가 59.3[Hz] 정도이며, 특히 NPCC와 FRCC는 연계선로를 운영함에 따라 59.7[Hz]에 이르고 있다[3-5].

본 논문에서는 현재 운영되고 있는 저주파부하차단방식에 대한 문제점과 계통규모 및 용량이 2배 이상 커진 계통에 적합한 적정 부하차단방식을 제안함으로써 전력수급 불안정 및 외란 발생 등에 의하여 계통 주파수 저하시 주파수를 조속히 회복시킬 수 있는 방안을 마련하였다. 특히, 최대상정고장, 최대과부하율, 최대유지주파수, 최대차단부하 및 최종회복주파수 등을 계산함으로써 단계별 저주파수 차단 적정치와 차단량을 결정하였다.

[†] 교신저자, 시니어회원 : 숭실대 전기공학부 부교수 · 공박
E-mail : kbsong@ssu.ac.kr

* 시니어회원 : 한경대 전기공학과 조교수 · 공박

** 정 회 원 : 두원공과대학 교수 · 공박

*** 정 회 원 : 한국전력거래소

§ 정 회 원 : 한국전력거래소

접수일자 : 2010년 5월 29일

최종완료 : 2010년 6월 7일

2. 부하차단 방식의 국내외 현황

2.1 국내 현황

우리나라의 UFR(under frequency relay)에 의한 부하차단방식은 1985년 3월 이후, 고리 #3 Gen 계통 병입시 검토

하여 계통출력의 47%를 적정차단 부하량으로 결정하여 시행하였고, 1992년 말 이후, 계통출력의 증가 및 다수 대용량 발전기의 계통 병입 등 주파수변화에 영향을 미치는 제반 계통조건이 변동됨에 따라 재검토 후 최적의 UFR 차단 방식을 적용하며 계통전원 탈락시 계통주파수의 조기 회복으로 계통안정 운전에 만전을 기하도록 하고 있다. 현재의 적용하고 있는 부하차단 방식은 최저주파수를 57.8Hz, 최종 회복 주파수를 59.0Hz, 단 특정율의 발전력 탈락 시 58.8 - 59.0Hz로 회복하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 목표치 선정 기준은 최저주파수의 경우, 주파수 저하에 의한 발전기 2차 탈락(울진 N/P #1,2 Gen 57.7Hz에서 RCP 트립)을 방지하기 위한 기준이다. 또한, 주파수 저하 시 발전소 터빈 블레이드 운전가능시간을 고려하여 최대상정 고장 시 59.0Hz 이상으로 회복하도록 한다. 1992년 개선한 UFR 부하차단 방식은 차단단계를 9단계에서 7단계로 변화하고 총 부하차단률을 47%에서 41%로 변경하였으며 표 1에 요약하였다 [2,6].

표 1 UFR 차단방식의 비교

Table 1 The Comparison of UFR Load Shedding

UFR 차단방식 (1985년-1992년)				UFR 차단방식 (1992년-현재)		
차단 단계	주파수 [Hz]	동작 시간[초]	차단 부하[%]	주파수 [Hz]	동작 시간[초]	차단 부하[%]
1단계	58.8	0.1	6	58.8	0.1	6
2단계	58.6	0.1	7	58.6	0.1	7
3단계	58.4	0.1	7	58.4	0.1	7
4단계	58.2	0.1	3	58.2	0.1	6
5단계	58.0	0.1	4	58.0	0.1	6
6단계	57.8	0.1	3	57.8	0.1	5
7단계	57.4	0.1	6			
8단계	57.2	0.1	6			
후 비	58.8	12	3	58.8	12	4
계			47	계		41

2.2 국외 현황

1990년 NERC는 전력계통의 계획과 운영에 관계된 모든 참가자에게 NERC 추종 프로그램을 적용하기 위해 42개의 전력계통 계획 표준과 102개의 감시 표준을 제정하였다. 이

표 2 저주파수 부하차단 해외 현황 요약

Table 2 Summary of UFR Load Shedding

Council	[Hz]	Percent Load Shed[%]											
		59.7	59.5	59.4	59.3	59.1	59.0	58.9	58.8	58.7	58.5	58.3	58.2
NPCC		10							15				
ERCOT					5			10			10		
MAAC					10			10			10		
MAIN					10		10			10			
ECAR			5		5	5		5		5			
FRCC		9			7					6		5	
WECC							5.3		5.9		6.5	6.7	6.7

에 따라 10개의 지역 신뢰도 위원회(ECAR, ERCOT, FRCC, MAAC, MAIN, MAPP, NPCC, SERC, SPP, WSCC)는 전력계통 계획과 운용에 대한 가이드라인을 제시하였고, 해외의 저주파 부하차단 방식을 표 2에 요약하였다[3-5].

3. 부하차단 프로그램의 요구 조건

3.1 최대상정고장

3.1.1 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준(고시)

최대상정고장을 선정하기 위해 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준(고시)을 참고하였다. 국내 '전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준(고시)'은 수정 및 보완을 거쳐 2005년 1월 24일 제 고시되었다. 전기품질 기준에서 계통주파수 조정 및 유지범위는 정상시 60±0.2Hz의 범위 이내이고, 비상상황시 62Hz ~ 57.5Hz 범위 이내이다[2].

3.1.2 최대상정고장 선정

전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준을 중심으로 상정고장에 대한 우리나라 전력계통의 안정도를 살펴보면 다음과 같다.

■ 발전기 1기 또는 발전단지의 1모선 상정고장에 대해 검토하면, 발전력 탈락은 최대 608만kW이며 2007년 최저 수요(2,540만kW)시 발전력탈락률은 23.94%이다. 이 경우 과도안정도는 안정이며, 예비율과 부하차단으로 계통의 동요를 방지할 수 있으므로 최대상정에서 제외한다.

■ 765kV 1회선 상정고장시 계통의 과도안정도는 안정하며, 발전력 탈락에 대해 계통의 안정도를 유지할 수 있다.

■ 345kV 1모선 상정고장 및 765kV 1모선 상정고장시, 조류계산의 발산으로 계통의 모의해석에 대해 어려움을 경험했으며, 전압안정도 및 해석기법에 대한 연구의 필요성이 요구된다.

■ 765kV 2회선 상정고장시 계통의 과도안정도는 불안정하며, 고장파급방지장치 및 수도권 부하차단에 의해 계통의 동요를 방지하기 위한 조치가 취해진다. 765kV 신서산 #1,2 2회선 상정고장시 당진 T/P와 태안 T/P의 발전력이 탈락될 수 있으며, 현재 고장파급장치 및 수도권 부하차단으로 계통

의 동요를 방지할 수 있다.

■ 765kV 2루트 상정고장은 신서산-신안성 선로와 신대백-신가평 선로로 발생 가능성이 매우 희박하며 발생시 계통의 과도안정도는 불안정이며, PSS/E 모의 해석시 조류계산이 발산하며, 전압안정도 불안에 의한 연쇄(Cascading)고장에 대한 심층적인 연구 검토가 요구된다. 또한, 2개의 대규모 발전단지 탈락에 대한 상정고장의 경우 발생 가능성이 매우 낮으므로 최대상정고장의 선정에서 보류한다.

■ 765kV 선로와 345kV 선로의 단계적인 상정고장을 검토한다. 다음의 계통도를 참고하면 신서산-신안성 765kV 선로 고장 후 단계적인(Cascading) 상정고장으로 아산-화성 345kV 선로 탈락 사고 발생을 가정한다.

- 이 경우 신서산 모선 근처의 발전단지는 당진화력(4,000MW), 태안화력(4,000MW), 보령T/P(3,000MW), 보령C/C (1,800MW), 평택T/P(1,400MW), 평택C/C(480MW) 등으로 구성되어 있다.
- 2007년 9월 25일 실적(계통부하 28,813MW, 신서산 모선 근처 발전단지의 발전출력 합계 6,190MW)을 기준으로 발전력 탈락은 21.5%
- 2007년 10월 15일 실적(계통부하 35,254MW, 신서산 모선 근처 발전단지의 발전출력 합계 9,093MW)을 기준으로 발전력 탈락은 25.8%
- 2007년 5월 21일 실적(계통부하 33,769MW, 신서산 모선 근처 발전단지의 발전출력 합계 9,174MW)을 기준으로 발전력 탈락은 27.2% 이다.
- 우리나라 계통의 최대상정고장은 신서산-신안성 765kV 선로고장 후 단계적인(Cascading) 상정고장으로 인하여 아산-화성 345kV 선로가 탈락하는 고장이 발생하여 발전력이 27.2% 탈락될 수 있다.
- 따라서 off-peak 시 발전탈락량 27.2% 일 때 과부하율은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{과부하율} = \frac{33,769 - (33,769 - 9,174)}{33,769 - 9,174} \times 100 = 37.3\%$$

3.2 최대과부하율

3.2.1 최소부하시 최대과부하율

앞에서 계산된 발전탈락량 27.2%를 고려하여 최소부하(25,400MW)시 발전력 탈락에 관한 과부하율을 계산하면 다음과 같이 약 37.4%이다[3].

$$\text{최소 부하시 발전탈락량} = 25,400 \times 27.2\% = 6,908.8 \text{ MW}$$

$$\text{최소 부하시 과부하율} = \frac{25,400 - (25,400 - 6,908.8)}{25,400 - 6,908.8} \times 100 = 37.4\%$$

3.2.2 최대부하시 최대과부하율

최대부하시 신서산 모선 근처 발전기용량은 당진화력(4,000MW), 태안화력(4,000MW), 보령T/P(3,000MW), 보령C/C (1,800MW), 평택T/P(1,400MW), 평택C/C(480MW) 이

다. 최대수요시 복합발전은 수도권에서 운전될 것이기 때문에 보령C/C (1,800MW)와 평택C/C(480MW)를 제외한 최대용량은 12,400MW 이다. 최대용량의 90%로 운전한다고 가정하면 최대상정고장과 관련된 발전탈락량은 12,400*90%=11,160MW로 가정할 수 있다. 2007년 최대부하 62,285MW에 대하여 약 17.9% 이다.

$$\text{최대 부하시 발전탈락량} = \frac{11,160}{62,285} \times 100 = 17.9\%$$

$$\text{최대 부하시 과부하율} = \frac{62,285 - (62,285 - 11,160)}{62,285 - 11,160} \times 100 = 21.8\%$$

따라서 최소부하시 발전탈락량이 27.2% 일 때 과부하율은 37.4% 이고, 최대부하시 발전탈락량이 17.9% 일 때 과부하율은 21.8%이므로 발전탈락량 0 - 35%의 범위에서 부하차단계획을 수립하면 미래의 불확실성을 고려한 부하차단 계획이 수립되는 것으로 볼 수 있다.

3.3 최저유지주파수

발전기 제조사는 발전기의 터빈 손상 가능성 5%에 대해 계통으로부터 차단(Trip)을 권고한다[3]. 발전기 제조사로 부터의 권고에 기반을 둔 요구사항이 ANSI/IEEE Standard C37.106-1987 이다. 주파수 57.8Hz에서 7.5초 지속시 발전기는 계통으로부터 차단이 요구되기 때문에 발전기의 2차 탈락을 방지하기 위해 최저유지주파수를 57.8Hz로 한다.

3.4 최대차단부하

차단되는 부하량은 시스템 주파수를 정상 또는 정격에 근접한 값(정격주파수의 1Hz 범위내)으로 원상 복귀하는데 필요한 충분한 양으로 결정되어야하며 이를 위해 차단 부하량은 과부하량과 거의 같게 결정된다. 따라서 최대차단부하량은 최대상정고장시 발전력탈락량으로 한다. 즉, 최대차단부하량은 최소부하(25,400MW)시 최대발전탈락량인 27.2%로 한다.

3.5 최종회복주파수

최종회복 주파수는 부하차단이 시작되는 주파수 보다 커야할 것이다.

4. 부하차단 방안의 비교

현재까지 사용되고 있는 기존 UFR 부하차단방식(1992년 개정)과 본 연구에서 제시한 새로운 UFR 부하차단 방식을 표 3에 비교하였다. 기존 부하차단방식은 최초 부하차단주파수가 58.8Hz에서 6%를 시작으로 57.8Hz까지 매 0.2Hz 내려갈 때 마다 6-7%의 부하를 차단(6단계)하고 후비보호 1단계 차단을 포함하여 총 7단계로 41%의 부하를 차단할 수 있게 하는 방식이다. 이에 비하여 새로운 방식은 최초 부하차단주파수가 기존 방식보다 0.3Hz 높은 59.1Hz에서 5%를

차단하기 시작하며 58.1Hz까지 매 0.2Hz 내려 갈 때마다 5~6%의 부하를 6단계 차단하며 후비보호를 포함하여 전체 7단계에 총 37%의 부하를 차단할 수 있는 방식이며, 차단 동작 지연시간은 모두 0.1sec 및 후비 12.0sec로 기존 방식과 동일하다. 새로운 방식은 계통 주파수 저하 사고시 보다 더 신속하게 대응하므로 적은 양의 부하차단으로도 주파수 회복을 달성 하고자 하는 방식이라 할 수 있다.

표 3 UFR 차단방식의 비교

Table 3 The Comparison of UFR Load Shedding

UFR 부하차단방식(1992년-현재)				새로운 UFR 부하차단방식		
차단 단계	주파수 [Hz]	동작 시간[초]	차단 부하[%]	주파수 [Hz]	동작 시간[초]	차단 부하[%]
1단계	58.8	0.1	6	59.1	0.1	5
2단계	58.6	0.1	7	58.9	0.1	5
3단계	58.4	0.1	7	58.7	0.1	5
4단계	58.2	0.1	6	58.5	0.1	6
5단계	58.0	0.1	6	58.3	0.1	6
6단계	57.8	0.1	5	58.1	0.1	6
후비	58.8	12	4	59.1	12	4
계			41	계		37

4.1 새로운 방식의 효용성(성능) 비교

UFR에 의한 부하차단 방식의 효용성을 비교하기 위하여 다음과 같이 두 가지 Case에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 시행하였다.

계통 조건

Case A : Off-peak 부하(25,400MW)일 때 순동예비력 최소 1.2%(300MW)

Case B : Peak 부하(62,290MW)일 때 순동예비력 최소 1.2%(750MW)

KG 및 KL :

문헌[7]에서 조사 분석한 대표적인 우리나라 계통의 발전기 정수 및 부하정수로서 최소값, 중간값, 최대값을 적용한다.

KG : 2.0, 4.0, 6.0, KL : 2.0, 2.5, 3.0

발전력탈락량 : 4%, 10%, 15%, 20%, 31.5%, 35%

앞에서 상정한 최대 발전력탈락이 27.2%(과부하율 37.3%) 인데 비하여 그 보다 큰 경우(31.5%, 35%) 까지 고려한 이유는 예상하지 못한 더 큰 발전력이 탈락될 경우에 대하여도 부하차단 방식의 효용성을 입증하기 위한 것이다.

4.1.1 Case A - Off-peak 부하(25,400MW)

(1) 순동예비력 1.2%(300MW)인 경우

그림 1과 그림 2는 KG가 2.0일 때 KL을 2.0과 2.5로 변화시키면서 발전력탈락을 일으켜 기존의 방식과 새로운 방식의 주파수의 변화를 나타낸 것이다.

① 발전력탈락과 부하차단에 따른 최저주파수와 부하차단량

- 새로운 부하차단방식(그림 1(b), 그림 2(b) 참조)이 기존의 부하차단방식(그림 1(a), 그림 2(a) 참조) 보다 0.3Hz 더 높은 주파수인 59.1Hz에서 최초부하차단을 시작하기 때문에 최저주파수가 대부분 기존 방식보다 더 높은 것을 확인할 수 있다.
- 새로운 부하차단방식에서는 발전력탈락이 10%와 15%일 때 KL이 2.0과 2.5인 경우를 제외하고는 부하차단량이 다소 많거나 비슷하다는 것을 알 수 있다. 최저주파수가 기존 방식 보다 높은 것이 부하차단량이 많기 때문이기도 하다. 발전력탈락이 4%일 때는 두 방법 모두 계통 주파수가 최초 부하차단주파수까지 저하하지 않았기 때문에 부하차단이 이루어지지 않았다.

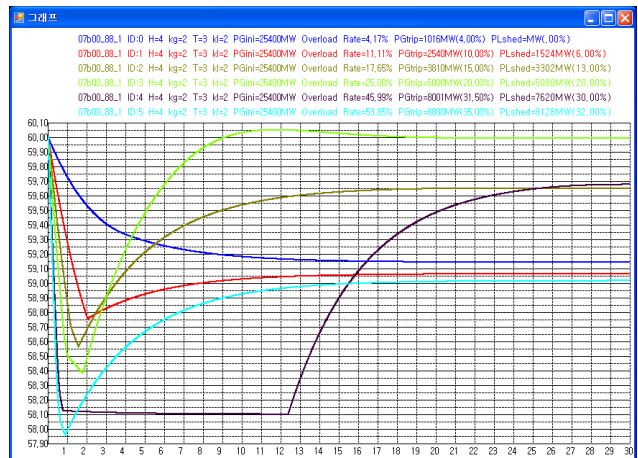


그림 1(a) Case A : off-peak 부하(25,400MW), 1.2, 2.0, 2.0 (예비력, KG, KL) - 기존방식

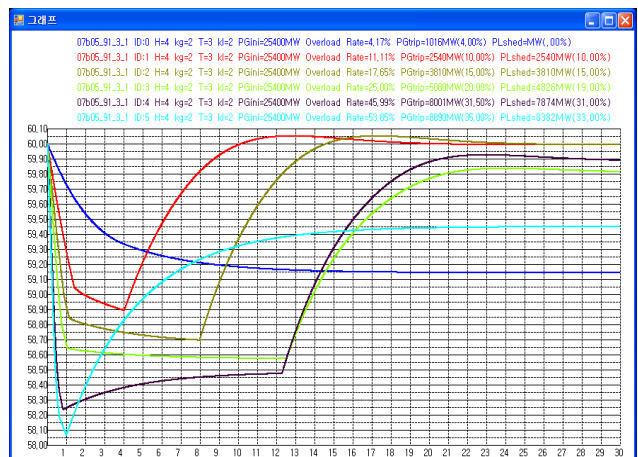


그림 1(b) Case A : off-peak 부하(25,400MW), 1.2, 2.0, 2.0 (예비력, KG, KL) - 새방식

② 발전력탈락과 부하차단에 따른 최종회복주파수와 회복시간

- 새로운 부하차단방식(그림 1(b), 그림 2(b) 참조)에 의한 최종회복주파수는 기존의 방식에 의한 최종회복주파수(그림 1(a), 그림 2(a) 참조) 보다 대부분의 경우 더 높으며

회복시간도 대부분 빠르다. 이것은 새로운 방식은 각 단계별 차단량은 기존의 방식 보다 적지만 차단이 실행되는 단계가 많기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 20%일 때 KL이 2.0과 2.5인 경우는 최종회복주파수를 기존의 회복주파수 보다는 낮지만 적은 부하차단량으로 안정되게 회복시킬 수 있음을 알 수 있다.

③ Overshoot가 발생하는 경우

- KL이 2.0일 때 발전력탈락이 10%, 15%의 경우 부하차단에 의해 과차단이 되어 60.0Hz에서 60.1Hz 범위내에서 overshoot가 발생한 후에 60Hz 이하로 감소하는 경우가 있다. 이것은 부하정수 KL이 2.0인 경우는 계통에서 볼철과 같은 계절에 해당되는 부하정수가 최소값으로 되는 경우로서 기존의 부하차단방식에서도 60.0Hz에서 60.1Hz 범위 내에서 overshoot가 발생(그림 1(a), 그림 1(b) 참조)하고 있다. KL이 2.5일 때는 기존 부하차단방식(그림 2(a) 참조)의 경우만 overshoot가 발생하며 새로운 부하차단방식(그림 2(b) 참조)은 발생하지 않는다.

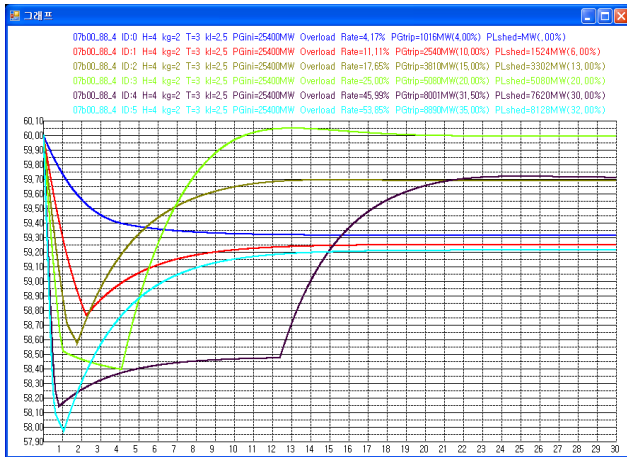


그림 2(a) Case A : off-peak 부하(25,400MW), 1.2, 2.0, 2.5 (예비력, KG, KL) - 기존방식

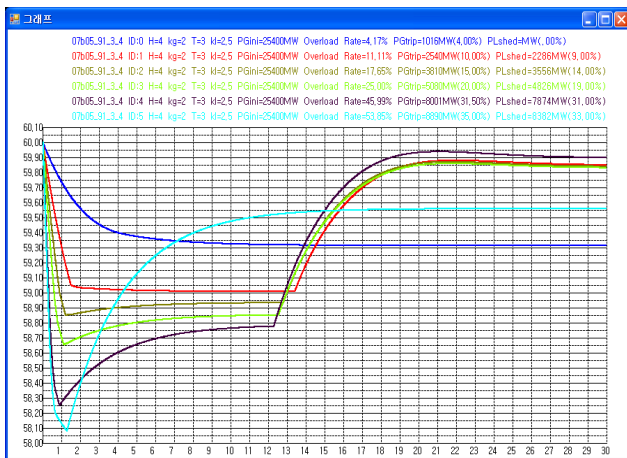


그림 2(b) Case A : off-peak 부하(25,400MW), 1.2, 2.0, 2.5 (예비력, KG, KL) - 새방식

4.1.2. Case B - Peak 부하(62,290MW)

(1) 순동예비력 750MW(1.2%)인 경우

Case A의 경우와 유사하게 최저주파수, 최종회복주파수 및 회복시간 그리고 부하차단량을 비교 분석하였다(그림 5.20 - 그림 5.28 참조).

- ① 발전력탈락과 부하차단에 따른 최저주파수와 부하차단량 - 순동예비력이 1.2%인 경우는 새로운 부하차단방식은 발전력탈락이 1.61%, 4.08%일 때 그리고 기존 방식은 발전력탈락이 1.61%, 4.08%, 6.12%일 때는 최초 부하차단주파수까지 주파수가 저하하지 않았기 때문에 부하차단이 이루어지지 않은 경우가 많다.
- 부하차단량이 다소 많은 새로운 방식이 최종회복주파수가 높으며, 기존의 부하차단방식 보다 주파수를 안정되게 회복시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

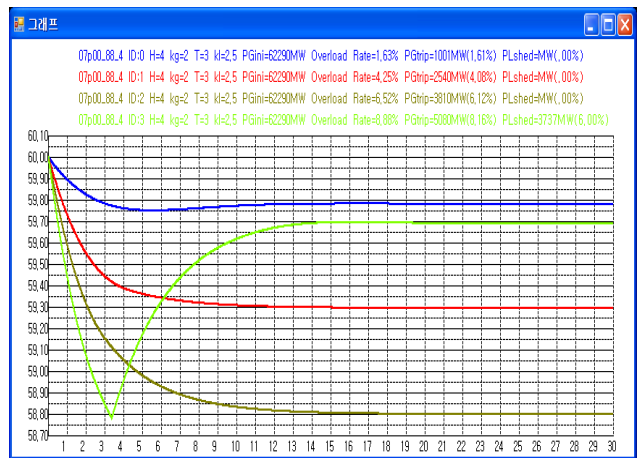


그림 3(a) Case B : peak 부하(62,290MW), 1.2, 2.0, 2.5 (예비력, KG, KL) - 기존방식

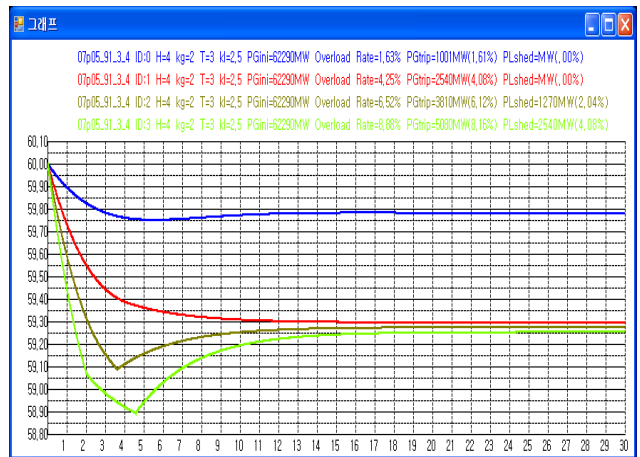


그림 3(b) Case B : peak 부하(62,290MW), 1.2, 2.0, 2.5 (예비력, KG, KL) - 새방식

② Overshoot가 발생하는 경우

- KL=2.0, 발전력탈락량 6.12%인 경우 새로운 부하차단방식은 Overshoot가 없는 반면에, 기존의 부하차단방식은 60.0Hz

에서 60.1Hz 사이에서 발생(그림 5.20(a) - 그림 5.22(a) 참조)한다.

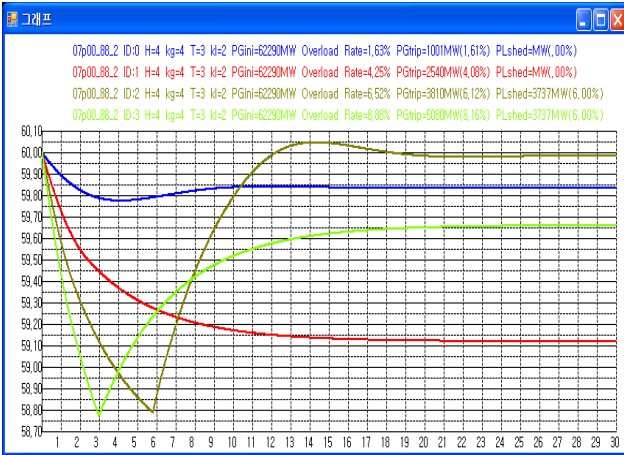


그림 4(a) Case B : peak 부하(62,290MW), 1.2, 4.0, 2.0 (예비력, KG, KL) - 기존방식

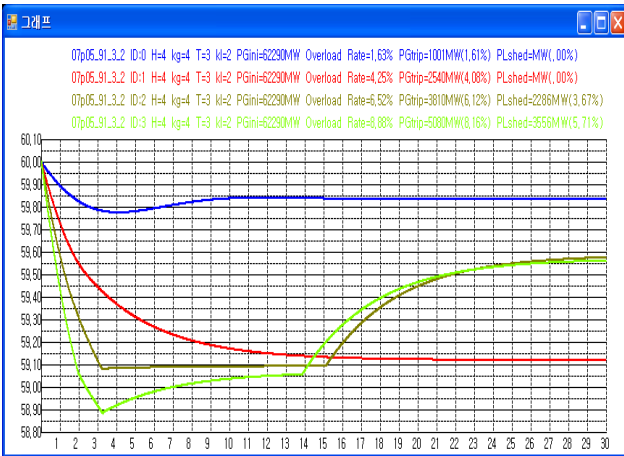


그림 4(b) Case B : peak 부하(62,290MW), 1.2, 4.0, 2.0 (예비력, KG, KL) - 새방식

4.3 계통 안정회복 신뢰도 강화를 위한 추가 방안

지금까지 검토한 것은 계통 최대상정고장을 발전력탈락량 27.2%로 하였다. 그러나 해외에서의 과거 대형 사고를 보면 의외의 큰 사고들이 발생되는 경우가 있다. 따라서 이에 대한 추가적인 고려가 가능하다면 더 신뢰성 있는 보호방식이 될 것으로 판단된다. 이러한 차원에서 이미 기존방식에서 차단 부하량이 37%(후비보호제외)나 확보되어 있으므로 새로운 방식의 33%(후비보호제외)를 제외한 나머지 4%를 비차단 부하로 해제하지 말고 이 부하(4%)를 57.9Hz에서 차단할 수 있도록 표 4와 같이 1단계를 더 추가하는 것이 바람직하다. 이에 대하여 시뮬레이션 한 결과를 보면 발전탈락량이 44%에 이를 경우 추가 1단을 적용하지 않는 경우는 최종회복주파수가 58.83Hz에 머물러 불충분하게 회복됨을 알

수 있다(그림 5 참조). 그러나 추가 1단을 적용하였을 경우에는 59.65Hz까지 회복됨을 확인할 수 있다(그림 6 참조).

표 4 새로운 UFR 차단방식의 신뢰도 강화 방안

Table 4 Scheme to Improve Reliability of UFR Load Shedding

새로운 UFR 부하차단방식			
차단단계	주파수[Hz]	동작시간[sec.]	차단부하[%]
1단계	59.1	0.1	5
2단계	58.9	0.1	5
3단계	58.7	0.1	5
4단계	58.5	0.1	6
5단계	58.3	0.1	6
6단계	58.1	0.1	6
7단계	57.9	0.1	4
후비	59.1	12	4
계			41

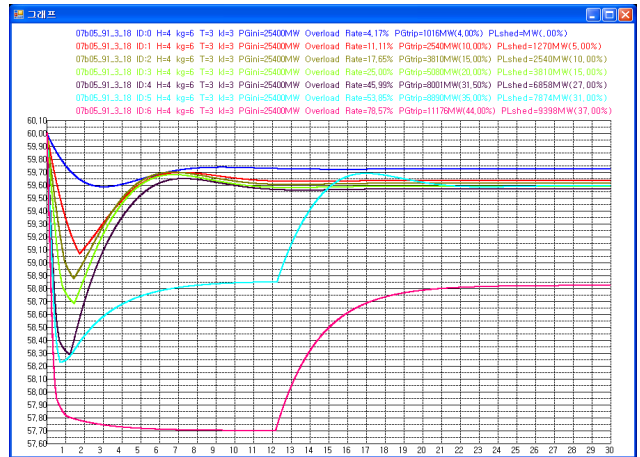


그림 5 새로운 UFR 차단방식의 예상치 못한 사고 발생시 결과(Case A의 예비력 5.9%)

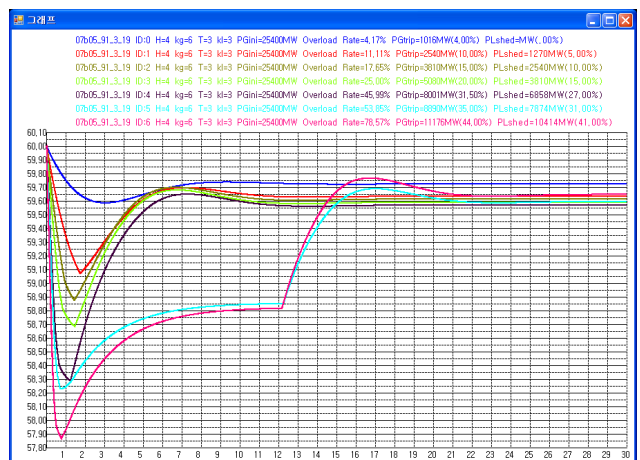


그림 6 새로운 UFR 차단방식의 신뢰도 강화를 위한 추가 방안 결과(Case A의 예비력 5.9%)

5. 결 론

본 논문에서는 우리나라 저주파수 부하차단 프로그램의 현황을 조사하고, 현재까지 사용되고 있는 UFR 부하차단방식과 새로운 UFR 부하차단 방식을 비교하였다.

발전력탈락에 의한 부하차단의 결과 대부분의 경우 최저 주파수는 기존의 UFR 부하차단방식보다 높게 유지되었으며, 최종회복주파수 및 회복시간은 overshoot 없이 정상치에 더 접근 하였다. 따라서 본 연구에서 제안하는 UFR 부하차단 방식이 기존의 UFR 부하차단 방식 보다 효과적이고 안정적임을 확인하였다. 또한, 기존방식에서 차단 부하량이 37%(후비보호제외)나 확보되어 있으므로 새로운 방식의 33%(후비보호제외)를 제외한 나머지 4%를 비차단 부하로 해제하지 않고 이 부하(4%)를 57.9Hz에서 차단할 수 있도록 1단계를 더 추가하는 방안을 제안함으로써 주파수를 안정되게 회복할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력거래소, "저주파계전기에 의한 걱정 부하차단 방식에 관한 연구", 2008
- [2] 제 3 차 전력수급 기본계획(산업자원부 고시, 2006. 12)
- [3] GE 보고서, "Load Shedding, Load Restoration and Generator Protection Using Solid-state and Electromechanical Underfrequency Relays", GET-6449
- [4] 호주 저주파 부하차단 보고서, "NEMMCO Operating Procedure"
- [5] WECC 저주파 부하차단 보고서, "WECC-ONF-Report", July, 2005
- [6] 한국전력공사, "전력계통운용자료집", 1996 계통운용처 pp.170
- [7] 정봉상, 전영환, 김일동, 양정재, "우리나라 계통의 주파수응답특성에 의한 발전기정수 산정에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제58권, 제4호, pp.688-693, 2009



송 경 빈 (宋 敬 彬)

1963년 9월 15일생. 1986년 연세대전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 텍사스 A&M 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년 한전전력연구원 선임연구원. 1998년 대구효성가톨릭대학교 전임강사. 2000년 계명대학교 전임강사. 2002년 - 현재 송실대학교 전기공학부 부교수.



김 일 동 (金 一 東)

1949년 6월 23일생. 서울 대학교 공대 전기과 졸업. 한국 전력계통보호분야 25년 근무. 현 두원공과대학 교수(11년)
Tel : 031-670-7168
Fax : 031-670-7161
E-mail : idkim0623@hanmail.net



양 정 재 (梁 正 宰)

1967년 2월 21일생. 1989년 건국대학교 전기공학과 졸업. 현재 한국전력거래소 계통운영처 계통 보호팀 차장
Tel : 02-3467-6752
Fax : 02-3456-6759
E-mail : jjyang@kpx.or.kr



조 범 섭 (趙 範 燮)

1954년 8월 21일생. 조선이공대 졸업. 2004년 조선대 산업대학원 석사, 발송배 전기기술사, 전력거래소 중앙급전소장

저 자 소 개



김 규 호 (金 圭 浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년 안산공과대학 전기과 부교수, 2009년 - 현재 국립한경대학교 전기공학과 조교수