

저전압부하차단시스템(UVLS) 모델을 이용한 수도권 부하차단용량 산정에 관한 연구

강대연, 이백석

한국전력공사 중앙교육원 송변전교육팀, 송변전처 계통운영팀

A study on Application of UVLS model to decrease the load shadding in Seoul Area

Dae-Eon Kang, Back-Seok Lee

Central Education Institute of KEPCO

Abstract - Increasement of power demand 연 새 rapid industrial growth has led the expansion of power system, and it caused construction of large power transmission line(like 765kV T/L) and substation. If there are T/L faults (route contingency etc), it lead to the large scale black out in SEOUL AREA (the center of load). To minimize damage which caused by the large scale black out, KEPCO selects the method of load shadding. In this work, instead of general method of load shadding, We study the application of UVLS model to decrease the load shadding in SEOUL AREA. The study result of using the UVLS model showed that the amont of load shadding can be decreased about 400 MW compare to the existing load shadding system.

1. 서 론

도심지역을 중심으로 한 전력수요의 급진적인 성장은 전원입지의 부족과 남비현상으로 인한 대규모 전력전송 설비의 건설을 초래하여 부하중심지인 수도권에 전력을 공급하기 756kV 송전선로를 건설하여 운전 중에 있다.

수도권 부하 공급을 위해 장거리 대전력 수송을 담당 하는 765kV 송전선로에 루트사고가 발생하면 전원설비가 별로 없는 수도권에 저전압이 발생하여 대규모 정전 사태가 발생하게 되므로 이를 해소하기 위해 현재 고장 파급방지시스템을 운영하고 있다.

현재 운영중인 수도권 고장파급방지시스템은 765kV 신안성 및 신대백 T/L 루트 사고 시 345kV 동서울변전소와 서서울 변전소의 저전압계전기가 동작하면 UFR 1 단계(58.8Hz) 차단부하로 미리 선정된 수도권 154kV 변전소 부하를 그 변전소 모선의 저전압 여부와 관계없이 정해진 부하 차단량인 600MW를 차단함으로써 오히려 계통 전압 불안정을 유발할 수 있는 불합리성을 내포하고 있고 년도별로 변경되는 전력계통 구성에 따른 수도권 부하 차단량을 산정하지 않아서 현재 운영중인 수도권 고장파급방지시스템의 실효성이 의심된다.

본 논문에서는 UVLS 모델을 이용하여 모선전압의 민감도에 따른 부하차단을 모의함으로써 부하차단개소의 적정성과 신뢰도를 향상하고 부하차단효과를 제고하는 가능성 여부를 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 부하차단방식(UVLS) 모델의 적용

2.1.1 실계통 Simulation을 위한 Dynamic 모델

실계통 해석을 위한 Tool은 미국 PTI사에서 개발하여 세계적으로 사용되고 있는 계통해석 프로그램인 PSS/E를 사용하였고 동적모드 해석을 위하여 다음과 같은 Dynamic Model을 사용하였다.

DYRE Data Record : I, 'LVSHxx', LID, JBUS, V1, T1, F1, V2, T2, F2, V3, T3, F3, TB

■ IBUS

Model suffix "xx"	"I" Description	비고
BL	Bus number	모선별로 부하차단시
OW	Owner number	
ZN	Zone number	Zone별로 부하차단시
AR	Area number	지역별로 부하차단시
AL	0	

■ LID is an explicit load identifier.

■ JBUS : Bus number where voltage is measured.

■ V1, T1, F1, V2, T2, F2, V3, T3, F3, TB

CONs	Description
J	V1, first load shedding point (pu)
J+1	T1, first point pickup time(sec)
J+2	F1, first fraction of load to be shed
J+3	V2, second load shedding point (pu)
J+4	T2, second point pickup time(sec)
J+5	F2, second fraction of load to be shed
J+6	V3, third load shedding point (pu)
J+7	T3, third point pickup time(sec)
J+8	F3, third fraction of load to be shed
J+9	TB, breaker time (sec)

2.1.2. 실계통 해석 적용 Dynamic 모델 예

■ Area number를 사용한 경우

1, 'LVSHAL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05
 2, 'LVSHAL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05
 3, 'LVSHAL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05
 4, 'LVSHAL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05

◆ 1~4 : 서울, 남서울, 수원, 인천 지역의 모든 부하모선 및 발전기 모선을 대상으로 선점함을 의미한다.

◆ 첫 번째 : 0.9 PU 이하로 모선전압이 0.5초 이상 [0.9, 0.5, 0.1] 지속될 때 부하 10%를 차단

◆ 두 번째 : 0.92 PU 이하로 모선전압이 1.0초 이상 지속될 때 부하 5%를 차단

◆ 세 번째 : 0.95 PU 이하로 모선전압이 1.5초 이상 지속될 때 부하 5%를 차단

◆ 차단기의 breaker time은 0.05초임을 각각 의미한다.

■ BUS number를 사용한 경우

4515, 'LVSHBL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05
 5880, 'LVSHBL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05

- 1410, 'LVSHBL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05
 1610, 'LVSHBL', 1, 0, 0.9, 0.5, 0.1, 0.92, 1.0, 0.05, 0.95, 1.5, 0.05, 0.05
 ◆ 1410 : 해당 변전소 모선의 부하차단을 시행함을 의미
 ■ 첫 번째 : 0.9 PU 이하로 모선전압이 0.5초 이상 [0.9, 0.5, 0.1] 지속될 때 부하 10% 차단
 ■ 두 번째 : 0.92 PU 이하로 모선전압이 1.0초 이상 지속될 때 부하 5% 차단
 ■ 세 번째 : 0.95 PU 이하로 모선전압이 1.5초 이상 지속될 때 부하 5% 차단
 ■ 차단기의 breaker time은 0.05초임을 의미한다.

2.1.3 UVLS 모델 적용 실 계통 해석 절차

- ① Area number 모델 사용 : 저전압 개소 선정
 * Area number 모델 적용시 해당 지역의 모든 저전압 모선에서 지정된 양만큼 부하차단을 실시하게 되므로 부하 차단량이 증가하므로 모선전압이 매우 낮은 개소를 선정하는데만 사용
 ② BUS number 모델 사용 : 최소 부하 차단량 선정

2.2 UVLS 실 계통 적용 해석

2.2.1 현행 시스템 적용 년도별 수도권 부하 차단량 산정

현행 고장파급방지시스템을 유지한다는 전제로 765kV 1루트 사고를 상정하여 계통이 불안정한 경우 계통의 안정화를 위하여 필요한 수도권의 최소 부하 차단량을 검토하였다.

2.2.1.1 대상계통 및 검토조건

2005년, 2006년, 2007년, 2010년 Peak계통을 대상으로 하였고 2007년 이후의 계통은 765kV 신안성-신가평 1회선을 건설, 운전하는 조건에서 검토하였다. Peak 계통이므로 리액터를 운전하지 않는 조건으로 검토하였다.

검토조건으로는 765kV 신서산, 신태백 T/L의 선로고장과 당진화력과 울진원자력 발전기 일부를 차단하는 조건으로 검토하였고 조류계산 모드를 사용하였다.

2.2.1.2 조건에 따른 수도권 부하 차단량 산정 결과

년도별	사고 송전선로	안정여부	부하차단량 (MW)	05년 대비 차단량
2005년	신안성 1루트	안정	600	신안성 대비 신태백 200MW 상승
	신태백 1루트	불안정	600	
2006년	신안성 1루트	불안정	600	260MW 상승
		안정	860	
	신태백 1루트	불안정	800	80MW 상승
2007년	신안성 1루트	안정	880	900MW 상승
		안정	1,500	
	신태백 1루트	안정	500	300MW 감소
2010년	신안성 1루트	안정	2,000	1,400 MW 상승
	신태백 1루트	안정	1,000	200 MW 상승

2.2.1.3 검토결과

신안성 T/L 사고시 부하 차단량은 꾸준히 증가하나 신태백 T/L 사고시 부하 차단량은 2007년 신안성-신가평 T/L 1회선 운전으로 05년 대비 년도별로 소폭 상승 또는 감소하는 경향이 있으며, 장기적으로 신안성 T/L 사고에 대한 수도권 부하 차단량 감소를 위한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

2.2.2 저전압 개소 적용 수도권 부하 차단량 산정

현행 고장파급방지시스템을 유지하되 부하모선의 전압 민감도를 고려하여 765kV 1루트 사고시 저전압이 크게 발생하는 수도권 변전소 모선을 대상으로 계통의 안정화를 위해 필요한 최소 부하 차단량을 검토하였다.

2.2.2.1 대상계통 및 검토조건

2005년, 2006년, 2007년, 2010년 Peak계통을 대상으로 하였고 2007년 이후의 계통은 765kV 신안성-신가평 1회선 건설, 운전 조건으로 검토하였다. Peak 계통이므로 리액터를 운전하지 않는 조건으로 검토하였다.

검토조건으로는 765kV 신서산, 신태백 T/L의 선로고장과 당진화력과 울진원자력 발전기 일부를 차단하는 조건으로 검토하였고 조류계산 모드를 사용하였다.

또한 부하모델을 적용하여 조류계산이 수렴하는 조건에서 수도권 저전압 개소를 선정하여 필요한 최소 부하 차단량을 산정하였다.

2.2.2.2 조건에 따른 수도권 부하 차단량 산정 결과

년도별	사고 송전선로	안정여부	부하차단량 (MW)	05년 대비 차단량
2005년	신안성 1루트	안정	300	신안성 대비 신태백 300MW 상승
	신태백 1루트	안정	600	
2006년	신안성 1루트	안정	800	500MW 상승
	신태백 1루트	안정	810	210MW 상승
2007년	신안성 1루트	안정	1,200	900MW 상승
	신태백 1루트	안정	420	180MW 감소
2010년	신안성 1루트	안정	1,900	700 MW 상승
	신태백 1루트	안정	920	110 MW 상승

2.2.2.3 검토결과

현행 고장파급방지시스템 적용 년도별 수도권 부하 차단량과 비교해서 보면 전체적으로 부하 차단량은 줄어들었으나 신안성 T/L 사고시 부하 차단량은 마찬가지로 지속적으로 증가하고 신태백 T/L 사고시 부하 차단량은 2007년 신안성-신가평 T/L 1회선 운전으로 05년 대비 소폭 상승 또는 감소하는 경향이 있으며 신안성 T/L 사고에 대한 수도권 부하 차단량 감소를 위한 장기적인 대책이 필요할 것으로 판단된다.

2.2.3 UVLS 모델 적용 수도권 부하 차단량 산정

UVLS Area 모델을 사용하여 수도권 지역의 저전압 개소를 선정한 다음, UVLS BUS 모델을 사용 전압 민감도를 고려하여 저전압 지속시간을 조정하고, 또한 부하 차단량을 조정하여 모선별로 10 ~ 50%의 범위 내에서 필요한 최소 부하 차단량을 산정하였다.

2.2.3.1 대상계통 및 검토조건

2005년, 2006년, 2007년, 2010년 Peak계통을 대상으로 하였고 2007년 이후의 계통은 765kV 신안성-신가평 1회선을 건설, 운전하는 조건으로 검토하였다. Peak 계통이므로 리액터를 운전하지 않는 조건으로 검토하였다.

검토조건으로는 765kV 신서산, 신태백 T/L의 선로고장과 당진화력과 울진원자력 발전기 일부를 차단하는 조

건으로 검토하였고 동적모드를 사용하였으며 부하모델을 적용하여 Dynamic이 수립하는 조건에서 수도권 저전압 개소를 선정, 필요한 최소 부하 차단량을 산정하였다.

2.2.3.2 조건에 따른 수도권 부하 차단량 산정결과

년도별	사고 송전선로	안정여부	부하차단량 (MW)	05년 대비 차단량
2005년	신안성 1루트	안 정	240	신안성 대비 신태백 140MW 상승
	신태백 1루트	안 정	380	
2006년	신안성 1루트	안 정	540	300MW 상승
	신태백 1루트	안 정	430	50MW 상승
2007년	신안성 1루트	안 정	1,200	960MW 상승
	신태백 1루트	안 정	-	380MW 감소
2010년	신안성 1루트	안 정	1,000	760 MW 상승
	신태백 1루트	안 정	45	335 MW 감소

2.2.3.3 검토결과

저전압 개소 적용 결과에 비하여 60 ~ 900MW의 부하 차단량 감소를 시험할 수 있으며, 2007년도 765kV 신안성-신가평 1회선 운전으로 인하여 신태백 T/L 사고로 인한 수도권의 저전압 발생 가능성은 거의 없는 것으로 판단된다.

신안성 T/L 사고시 부하 차단량은 앞의 2가지 다른 방법으로 검토한 결과보다는 감소했지만 부하 차단량이 지속적으로 증가하므로 SVC 등 능동적인 조상설비계획이 필요할 것으로 판단된다.

2.2.4 고장파급방지시스템, 저전압개소 적용, UVLS 모델 적용 결과 비교

년도별		2005년	2006년	2007년	2010년
신안성 T/L 1루트 사고시 부하차단량 [MW]	현행 방식	600	860	1,500	2,000
	저전압 적용	300	800	1,200	1,900
	UVLS 적용	240	540	1,200	1,000
감소량(현행 방식 - UVLS)		-360	-320	-300	-1,000
신태백 T/L 1루트 사고시 부하차단량 [MW]	현행 방식	800	880	500	1,000
	저전압 적용	600	810	420	920
	UVLS 적용	380	430	-	45
감소량(현행 방식 - UVLS)		-420	-450	-500	-955

2.2.4.1 신안성 T/L 사고시 수도권 부하 차단량

2005년부터 2007년까지 현행 수도권 고장파급방지시스템을 적용했을 때보다 UVLS 모델을 적용했을 경우 약 330MW의 부하 차단량이 감소했으며, 2010년 계통에서는 약 1,000MW의 부하 차단량이 감소했음을 알 수 있다.

2.2.4.2 신태백 T/L 사고시 수도권 부하 차단량

2005년부터 2007년까지 현행 수도권 고장파급방지시스템을 적용했을 때보다 UVLS 모델을 적용했을 경우 약 460MW의 부하 차단량이 감소했으며, 2010년 계통에서는 약 950MW의 부하 차단량이 감소했음을 알 수 있다.

2010년 계통에 대한 해석은 신고리 원자력발전소 4개

호기와 2010년도 신월성 원자력발전소 4개호기 준공을 전제로 한 계통이므로 현재의 발전소 및 송전선로 건설 여건의 악화와 송전선로 건설비의 수익자 부담 원칙 등을 고려해 볼 때 정해진 년도에 건설되기 어려울 수도 있으므로 추후 재검토의 필요성이 있다.

따라서 2007년까지의 계통만을 고려한다면 UVLS 모델을 적용하여 감소되는 수도권의 부하 차단량은 약 300 ~ 500 MW에 이를 것으로 판단된다.

3. 결 론

전력수요는 주로 수도권과 지역 거점 도시를 중심으로 집중화 경향을 띄고 있다. 그러나 전원설비는 남쪽에 있어서 수요단지로의 대규모 전력수송이 불가피하게 되었고 이로 인하여 많은 문제점이 야기되고 있는 실정이다.

대규모 전력을 수도권으로 수송하는 전력설비에 고장이 발생하게 되면 수도권 일부 지역에 유효전력 및 무효전력 불균형에 의한 전압 불안정이 발생하며 조기에 이를 해소하지 못할 경우에 광역정전으로 이어져 사회적으로 많은 손실을 초래할 수 있다.

그동안 대규모 전력전송 설비인 765kV 송전선로의 고장으로 인하여 초래될 수 있는 광역 정전을 사전에 예방하기 위하여 765kV 신안성 T/L 고장시 수도권에 전력공급과 부하의 균형을 유지하는 충분조건으로 일부 발전력의 탈락과 수도권 부하를 차단하는 시스템을 도입하는 고장파급방지시스템을 채택하여 운영하고 있다.

그러나 이 시스템은 전력계통의 년도별 변화추이를 정확하게 반영하고 있지 않고 수도권 일부 345kV 변전소 모선의 저전압계전기 동작 시 UFR 1단계(58.8Hz) 차단부하로 미리 선정된 부하를 모선전압의 양, 불량여부와 관계없이 차단하는 불합리함을 내포하고 있기 때문에 본고에서는 이러한 문제점을 극복하고자 UVLS 모델을 이용하여 모선전압의 민감도에 따른 부하차단을 모의하여 765kV 송전선로 고장 시 수도권변전소의 모선전압 민감도에 따른 적절한 부하 차단개소를 선정하여 최소한의 부하 차단용량으로 최대의 계통 안정도를 확보하는 방안을 찾아내고자 시도하였다.

UVLS 모델을 적용할 경우 현행 고장파급방지시스템보다 신안성 T/L 사고시는 약 330MW 정도, 신태백 T/L 사고시에는 약 460MW의 부하 차단량 감소를 시험하였다. UVLS 모델을 적용하면 765kV 송전선로 1루트 고장시 현행 고장파급방지시스템보다 수도권 부하차단량이 감소한다는 것을 이론적으로 증명하였지만 UVLS 시스템은 아직 국내에 설치, 운영한 사례가 없으므로 향후 UVLS 시스템의 도입과 설치 타당성에 대한 연구용역을 통해 765kV 송전선로 사고 시 수도권의 부하차단 용량을 가장 합리적으로, 최소한으로 제한할 수 있도록 연구용역 등을 시행하여 구체적으로 증명할 필요가 있다고 생각한다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전기연구원, "대규모 정전예방을 위한 단기 계통 운영 정책 수립에 관한 연구", 최종보고서, 2004