

송전선로 고장시 발전기 차단에 의한 전압강하 억제방안

이백석 · 문봉수 · 권태원  
한국전력공사 송변전처

A Study for constrainting Voltage drop by Generation shut down in case of Transmission Line fault

Baek Seok Lee · Bong Soo Moon · Tae Won Kwon  
Korea Electric Power Corporation

**Abstract** - 전력계통에 대규모 발전단지가 증가함에 따라 송전선로의 전압 격상 및 송전선로 용량증대로 대처하고 있으나 중조류 선로가 고장시 인근계통에 미치는 영향이 커 이에대한 대책으로 상정고장에 대비하여 한계치를 설정하여 운영함에 따라 계통제약이 발생된다. 본 논문에서는 발전력이 집중되어있는 개소의 상정고장시 전압안정도를 향상시키기 위한 여러 방안중에서 발전기 차단에 의한 계통전압 향상방안을 실제계를 통해 모의함으로써 전압향상 및 전력조류 운영한계치 증가등을 통해 경제적인 계통운영방안을 제시하였다.

1. 서 론

전력계통의 과도안정도를 향상하기위한 방안으로 발전소 인근선로 고장시 발전기들이 동기를 유지하는 목적으로 고장파급방지 시스템을 설치하여 최소 발전기탈락으로 안정도가 향상되도록함이 주목적이나 발전력이 집중되어 있는 지역에서 여러 루트의 송전선로로 발전력을 수송중 루트 고장시 잔여루트에 중조류가 수송되어 계통전압이 저하하므로 중조류선로의 용통전력량을 경감함으로써 계통 전압이 강하되지 않도록 하는 방안이 필요하다. 이와 관련하여 고장대비 무효전력보상설치 및 발전기 추가운전등으로 전압향상이 가능하나 추가비용이 소요되므로 송전선로 고장시 운전예비력을 고려한 발전기차단 및 조류의 적정배분으로 계통전압향상에 기여할수 있다

2. 본 론

2.1 사례계통

사례의 경우는 발전단지가 집중된 태안 및 당진화력의 경우로 당진 2,000MW, 태안 3,000MW의 발전력이 345kV 아산T/L과 신서산T/L로 수송되어 수도권으로 공급하고 있는 2002년 하계 Peak 계통을 대상으로 하였다

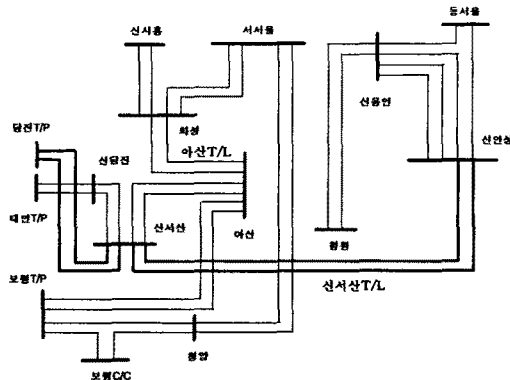


그림1

2.1.1 발전소 연계계통의 전압

정상시 계통전압은 표1과 같이 중조류가 흐르는 화성 서서울, 청원등의 전압이 상대적으로 낮았다

발전소	화성	신서산	청원	서서울	의정부
전압(kV)	352	351	350	350	359

표1. 345kV 정상시 계통전압

상시 아산T/L은 외부에서 무효전력이 248MVar정도 필요하며, 신서산T/L은 충전용량이 회선당 415MVA로 상시 계통에 588MVar 정도의 무효전력을 공급하고있으며 아산T/L은 상시 2,286MW, 신서산T/L은 2,588MW의 유효전력을 공급하고 있다

2.1.2 발전력 주요 수송선로 고장시 계통특성

그림1에서 아산T/L 고장시 인근계통의 전압 및 조류이동을 검토한결과 청원S/S의 전압이 10kV정도 수도권의 전압이 6-8kV 정도 저하되었다.

발전소	화성	신서산	청원	서서울	의정부
전압(kV)	346	345	340	343	351

표2. 아산T/L 고장시 전압

신서산(신서산-신안성)T/L고장시에는 태안, 당진, 보령화력의 발전력이 아산T/L에 Loading되므로 중조류에 의한 무효전력손실 및 전압강하로 조류계산 수렴이 불가하였다. 이에대한 부하인근 지역에 무효전력보장 및 발전기 추가운전등이 필요하다.

2.1.2.1 경제급전시 필요 무효전력 및 추가발전량

2002년 한전계통의 경제급전 운전기준 주요수송선로 고장시 전압안정도를 확보하기위한 무효전력 소요량과 추가 소요발전량의 규모 및 유,무효전력의 여유치등의 추이를 검토하였다.

주요선로 고장대비 전압안정도를 확보하기위한 발전소별 필요 조상설비량은 아래와 같다.

발전소	양주	의정부	영서	신서산	화성
S.C 설치량	200	200	150	250	300
SVC	-	1,100	1300	1400	1400
발전소	신성남	서서울	청원	신제천	신안성
S.C 설치량	200	300	200	200	-
SVC	1,100	1,300	1,200	-	1,050

표3. 필요 조상설비량

상기 설치량은 2002년 하계대비 설치량이외의 추가 소요량이며, 경제급전을 고려시 S.C 추가 설치량은 약 2,000MVar이며, SVC 소요량은 화성, 신서산S/S에 설치시 최대 1,400MVar이 소요되며, 신안성S/S에 설치시는 약 1,000MVar의 SVC가 추가로 필요하다. 경제급전시 수요대별 추가발전량은 아래 표4와 같다.

수요대별 운전시간은 2000년 실적치를 적용하였으며 주요선로인 345kV이상의 루트사고를 고려한 추가발전량은 수요대별 평균 1,300MW정도이다.

수요대별	운전시간	추가 발전량(MW)
100%-96%	98	1,540
95%-86%	843	1,337
85%-76%	3,179	1,416
75%-66%	2,764	1,320
65%이하	1,876	1,080
총계	8,760	-

표4. 추가발전량

### 2.1.2.2 유,무효전력 여유치

정상 및 상정고장시 유효전력 여유치는 표5와 같다.

구 분	유효전력여유(MW)
정상 상태	1,072
아산T/L 고장	112
울정T/L 고장	(-36)
신계천T/L 고장	(-55)
서청T/L 고장	317
신서산T/L고장	(-1,175)

표5. 유효전력 여유

신서산T/L 상정고장시 유효전력이 1,175MW정도 가장 크게 부족하며 아산T/L고장시는 112MW정도의 여유가 있음을 알수있다.

정상 및 상정고장시의 모선별 무효전력 여유치는 표6과 같으며 신서산T/L 고장시 청원S/S에서 무효전력 부족량이 1,244MVar로 가장크며, 아산T/L고장시에는 수도권의 주요모선의 무효전력 여유량은 약 200MVar 정도이며 유,무효전력의 부족량이 신서산T/L 고장시 가장 큼을 알수있다.

구분	무효전력 여유(MVAr)				
	화성	서서울	신시흥	신안성	청원
정상시	1716	1604	1730	1488	1592
신서산 고장	-945	-932	-1018	-892	-1294
아산 고장	248	213	269	226	270
울정 고장	41	36	36	29	34
신계천 고장	131	105	120	88	108
서청 고장	687	608	731	624	805

표6. 무효전력 여유

### 2.1.3 발전기 차단에의한 전압강하 억제효과 분석

그림1에서 태안, 당진화력의 발전력이 수송선로가 아산 T/L 및 신서산T/L로 신서산T/L의 고장시는 조류계산이 불가함을 검토하였으며 이에대한 대책으로 잔여선로인 아산T/L의 중조류를 경감함으로써 전압이 향상되는 효과를 분석하였다. 동작 Scheme은 현재 한전에서 사용중인 고장파급방지시스템의 적용으로 신서산T/L 고장시 태안과 당진화력 발전기 각 1기를 전송신호를 보내 차단하는 시스템이다.

표7은 Governor free 운전을 고려한 신서산T/L 고장시 계통전압이며 표8은 Governor free 운전 불고려의 경우이다.

변전소	화성	신시흥	청원	서서울	의정부
전압(kV)	331	331	330	331	342

표7. Governor free 운전을 고려한 전압

변전소	화성	신시흥	청원	서서울	의정부
전압(kV)	329	329	329	328	338

표8. Governor free 운전 불고려시 전압

Governor free 불고려시 발전기 차단에의한 발전력 부족은 삼천포화력의 스윙모션에서 담당하였으나, 고려시는 Governor free 운전을 하고있는 발전기에서 유효전력을 분담함으로써 Governor free운전을 고려시에는 불고려시보다 2-4kV정도 계통전압이 향상됨을 알 수 있다.

실제통에서도 중요선로 사고시에 발전기 1,000MW정도가 탈락해도 Governor free 운전 발전기가 추가 발전을 함으로서 주파수저하를 방지하며 전력시장운영 기준에도 주파수예비력 확보량이 1,000MW, 운전상태 500MW의 대기예비력을 확보토록 규정하고있으며 모의 결과의 주파수값도 59.92Hz를 유지하고 있다.

### 2.1.3.1 발전기 차단 적용시 용통전력 한계분석

신서산T/L 1루트 고장을 고려한 발전기 추가운전시와 발전기 차단에의한 수도권 용통전력 한계치를 분석한 결과는 표9와 같다.

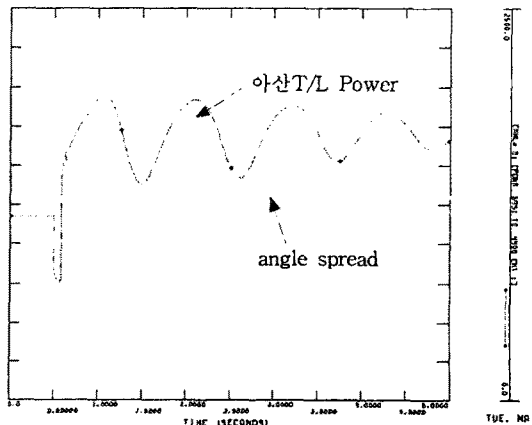
구 분	용통전력(MW)	
	Peak	Off-peak
발전기 추가운전 (수도권)	8,800	8,600
발전기 차단 (태안, 당진)	9,500	8,800

표9 용통전력 한계치 비교

발전기 추가운전은 신서산T/L 고장시에 무효전력이 부족하지 않도록 수도권에 고장대비 운전올리는 경우이며 발전기 차단은 아산T/L에 중조류가 흐르지 않도록 고장대비 고장파급방지장치 시스템을 설치 운영시며 태안, 당진화력의 발전기 각 1기를 차단하는 경우이다. 기존 방식의 한계치 설정값보다 피크시의 경우 700MW정도의 용통전력 증가효과가 있다.

### 2.1.3.2 선로고장 및 발전기 차단시 과도안정도

신서산T/L 고장 및 발전기 차단시 과도상태의 계통이 안정한지를 검토하였다. 신안성 모선사고후 계전기, 차단기 동작시간 5Cycle이며 보조계전기 동작, 신호전송시간 3Cycle의 차단기 접점을 이용시 안정여부를 검토한 결과는 아래 그림2와 같다.



(그림2)

발전기 차단에 의한 과도안정도 해석결과 Angle 초기치가 64도에서 발전기 차단후 1.42sec뒤에 angle spread가 100도 이었으나 점차 안정화 되었으며 아산 T/L의 조류도 정상시 신서산T/L과 아산T/L의 4,700MW에서 1,000MW가 탈락된 3,700MW 만이 아산T/L로 분담되어 안정함을 알 수 있다. 화성S/S의 전압도 발전기 차단후 0.4sec후에 0.95p.u까지 회복이 되었다

### 2.1.3.3 발전기 차단량에 따른 전압 한계치

신서산T/L 고장후 아산T/L이 분담할 수 있는 조류 한계치를 설정하기 위해 태안, 당진화력의 발전력 감발에 따른 전압강하 한계치를 검토하였다. 신서산T/L 고장대비 태안이나 당진화력의 발전력의 탈락 한계치는 약 760MW정도이며 아산T/L이 감당할수 있는 감발량으로, 당시의 화성S/S 모선전압은 326kV 이었다.

## 3. 결 론

이상과 같이 발전력이 집중되어 있는 개소의 여러 루트 중 1루트가 고장 발생시 잔여루트에 미치는 영향을 검토한 결과 잔여 선로가 전압강하로 인한 무효전력손실이 증가할 경우 이에대한 대책으로 계통안정도에 영향이 없는 한계치를 설정하여 발전기를 차단함으로써 전압안정도 및 고장대비 응통전력을 향상시킬수 있는 방안을 검토 하였다. 이와 관련하여 향후 전체계통에서 운전되는 발전력이 감소하는 결과의 대비책 수립방안이 필요하다.

### [참 고 문 헌]

- (1) BERGEN, "Power System Analysis",
- (2) 한국전력공사 계통계획실 "전력계통계획수립기준에 관한연구" 2001.8
- (3) 대한전기학회 전기학회지 "전력계통 안정도 해석기술" 2001.7 page 15
- (4) PTI "PSS/E Application manual"
- (5) 한국전력거래소 "전력시장운영규칙" 2001
- (6) P. Kundur "Power System Stability and Control " EPRI

### [별첨] 발전기 차단회로 설치 시스템 구성

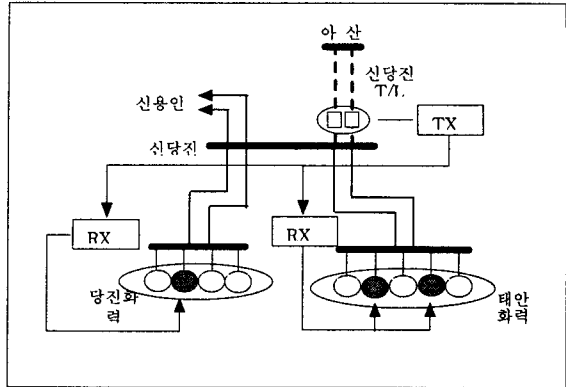
우리나라 계통에서는 대단위 발전단지 인출선로 1루트 고장으로 단지내 전 발전기가 동기탈조될 우려가 있을 경우 계통안정운동을 위해 해당 송전선로를 감지하여 일부 발전기를 최단시간내에 차단하는 고장파급방지시스템을 설치 운영하고 있다  
(그림 3. 시스템 구성 설치예)

발전기가 불안정한 경우는 고장발생시간부터 발전기를 차단하는 시간이 짧을수록 안정화되며, 차단이 필요한 발전기 대수를 줄일수 있다.

대부분 차단기 접점을 이용하여 차단시간 및 신호전송시간을고려하여 설치를 하나, 계전기 접점을 이용하여 시간을 줄일수 있다. 또한 주간과 심야의 발전기 차단에 필요한 시간이 다르므로 심야 운전조건에서 안정가능한 기준에 적합하도록 차단시간을 결정해야 한다

아래 시스템과 같이 신당진 1루트 고장시 차단기 접점을 이용하여 태안이나 당진화력의 발전기를 탈락하는 장

치로 발전기 예방정비등 운전대수 변경에 따른 조건을 고려하여 수시로 변경이 가능한 하드웨어 구성이 가능하며 현재 영광, 울진N/P, 평택T/P등에 설치 운영중에 있다.



(그림3. 시스템 구성도)