

# 국내 전력계통 안정화를 위한 다단계 부하차단 제어전략 수립에 관한 연구

## A Study on Multi Level Load Shedding Control Scheme Strategy for Stabilization of the Korean Power System

이 윤 환<sup>†</sup>  
(Yun-Hwan Lee)

**Abstract** - Korean Power System are operating a load shedding system to prevent voltage instability phenomenon caused by severe line contingencies. In order to apply the load shedding scheme should be selected a location, amount, delay time. Current load shedding system is load shedding amount that has been calculated in the steady-state analysis to load shed the total amount in first level, load shedding amount calculated in advance, it is possible to perform an unnecessary load shedding. In this paper, set a multi-level load shedding control strategy step-by-step selection of load shedding amount for the prevention of excessive load shedding. In addition, through a voltage resilience analysis of the power system by applying motor load ratio and sensitivity parameter to selection the multi level load shedding ratio and delay time. For this reason, to take advantage of the limit data of interchange power, by utilizing interface power flow data to set a multi-level load shedding control strategy for the stabilization of the Korean Power System.

**Key Words** : Load shedding, Interface power flow margin, Voltage stability control scheme, Power system analysis

### 1. 서 론

최근의 전력산업은 신기술의 개발 등에 따라 경제성 확보에 많은 비중을 두고 있는 추세이다. 전력계통의 운전점을 안정도 한계점에 임박하여 운영하면 전압안정도의 여유를 확보하지 못하여 전압붕괴에 따른 광역정전을 야기할 수 있다. 전압안정도 여유 확보와 경제성은 서로 상충되는 특성을 보이고 있으므로 계통의 적정한 안정도 여유를 산정하는 것은 매우 중요하다. 하지만 전력계통의 대규모화 및 복잡화에 따른 계통특성의 변화에 따라 다양한 사고에 대한 예측이 어려워지고 있으며, 인접한 계통과의 연계로 인한 사고 예측의 불확실성은 더욱 증가하고 있다[1, 2].

국내 전력계통은 수도권지역에 부하가 밀집하여 대부분의 전력을 비수도권에서 공급 받고 있다. 수도권에 전력을 공급해주는 대용량 송전선로에 사고가 발생하게 되면 복상조류의 제약으로 인해 전압불안정 문제가 발생할 수 있다. 이는 비정상적인 무효전력의 수급 불균형 문제를 초래하여 계통운영의 신뢰도와 안정성을 확보할 수 없게 된다. 이러한 구조적인 문제는 유효전력에 비해 상대적으로 손실이 큰 무효전력의 수급 문제로 이어져 계통의 전압안정도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 전력계통의 전압 불안정 현상을 방지하기 위하여 최종적인 제어수단인 부하차단 방안(Under Voltage Load Shedding Scheme)을 적용할 수 있다.

부하차단 방안은 계통 동요 시 전력계통의 전압불안정을 방지하기 위해 가장 쉽고 확실한 제어조치이다. 최소한의 부하차단을

통해 효과적으로 전체 계통의 안정화를 달성할 있게 설계되어야 하므로, 가장 심각한 계통상황을 고려하여 최적의 제어전략을 수립해야 한다. 부하차단 방안은 차단위치, 차단용량, 차단시간의 3가지 주요 산정요소가 존재하는데, 일반적으로 차단위치 선정 및 차단용량 산정은 정적해석을 기반으로 수행되며 차단시간은 동적해석을 기반으로 산정된다. 차단위치는 사고 발생 시 영향을 받는 민감한 모선들로 선정되며, 차단용량은 오프라인 해석을 통해 최대부하일 때를 가정하여 정해진다. 하지만 미리 산정된 부하를 차단하게 되면 계통의 상황을 정밀하게 반영하지 못하여 불필요한 부하차단을 수행 할 가능성이 존재한다. 이를 방지하기 위해 단계별로 부하차단용량을 산정하는 다단계 부하차단 제어전략에 대한 연구가 이루어지고 있다[3, 4].

다단계 부하차단 제어전략을 활용하여 과도한 부하차단에 따른 경제적 손실을 최소화함과 동시에 계통의 상태에 따라 정확한 부하차단용량을 산정할 수 있게 된다. 하지만 각 단계별 차단용량을 동일한 비율로 산정할 경우 사고에 대비한 부하차단 용량을 정확하게 반영하기 어려워 전압불안정 현상을 야기할 수 있게 된다. 또한, 계통의 전압불안정은 계통 내 모터부하의 비율에 따라 많은 영향을 받을 수 있다. 오늘날 단상 소형 냉난방 모터부하의 지속적인 증가로 인해 계통 내에 모터부하의 비율이 높은 경우 사고 후 전압 회복 지연되어 전압불안정이 발생할 수 있다. 계통의 전압이 낮아져 모터가 실속(Stall) 되기 시작하면 계통의 무효전력을 급격하게 소모하여 효과 파급에 의한 광역정전을 야기시킬 수 있다. 따라서 계통에 사고가 발생하면 모터부하 밀집지역에 대한 빠른 부하차단을 통해 광역정전을 방지할 수 있다 [5, 6]. 모터부하 고려 시에는 모터부하 특성 파라미터의 선정이 중요한데, 본 논문에서는 국내계통에서 계통내의 모터부하 특성을 고려한 부하모델링에 대한 연구가 추가적으로 필요한 상황이

<sup>†</sup> Corresponding Author : Coon Tec, Korea

E-mail : yunan2@naver.com

접수일자 : 2016년 10월 30일

최종완료 : 2016년 11월 23일

므로 문헌상에서 일반적으로 제시하고 있는 파라미터를 적용하며, 사고 후 전압회복에 영향을 주는 파라미터인 관성상수의 값을 변화시켜 전압을 회복하는 감시보선의 전압파형을 분석하여 각 단계별 부하차단 비율을 산정하고 차단시간을 검토한다. 효과적인 부하차단 제어전략 수립을 위해 4개년도 한전 하계 첨두 부하 계통 운영데이터를 활용한다. 다양한 계통의 상황을 검토하기 위하여 모터부하 비율을 40~60%로 적용하여 동적해석을 수행하였으며 신안성-신서산 765kV선로 사고 발생 시 재폐로 시간 및 발전기 안정화 장치 운영현황 등을 고려하여 단계별 차단용량 및 차단시간을 산정하여 효과적인 다단계 부하차단 제어전략을 수립한다.

## 2. 국내 부하차단 방안 분석

부하차단 방안은 계통에 외란이 발생하여 전압이 일정 시간 동안 일정 전압 이하로 지속되었을 경우에 지정된 부하를 차단하여 전압 붕괴에 따른 광역정전을 방지 할 수 있도록 전압을 회복시키는 제어 조치이다. 부하차단 방안은 각 계통의 고유 특성에 따라 적절하게 설계되어야 하는데, 정해진 방안이 존재하지 않으므로 계통의 부하특성 등을 고려하여 적합한 방안을 모색해야 한다. 부하차단 시스템을 설계할 경우 계통 보호 담당자와 계통계획 담당자간의 상호 협조가 필요하다. 계통계획 담당자는 예측 가능한 고장 상황에서 전압 안정도의 유지를 목적으로 해야 한다. 전압 안정성이 유지되기 위한 최적의 차단용량을 산정하기 위해 PV 해석을 활용하여 계통 모의를 수행한다.

국내의 경우 FV(용통 전력 한계)해석을 통하여 결정하는데 전력계통 시스템의 모델링에 따라 정확도가 크게 의존되게 된다. 국내 계통은 부하집중지역과 발전집중지역이 원거리화 되어 있는 구조적인 특성으로 인하여 용통선로를 활용하여 장거리 송전으로 전력을 공급하고 있다. 용통선로 사고 발생 후에도 계통이 안정적으로 운전되기 위해서는 부하 집중지역의 비싼 발전기를 기동하여 발전력을 공급해야하기 때문에 비경제적으로 계통을 운영하게 된다. 하지만 경제적 계통운동을 위하여 발전 집중지역의 싼 발전기를 기동하게 되면 용통한계보다 더 많은 용통전력을 전송할 수 있게 된다. 이러한 경우 345kV 용통선로에서 사고가 발생하면 계통은 운전점을 찾을 수 없으므로 전압불안정 현상이 발생한다. 따라서 안정성을 확보하기 위하여 최대 증가 가능한 용통한계를 설정하여 용통한계 이내로 계통을 운영해야 한다.

그림 1은 765kV 선로고장을 고려한 경우의 용통전력(FV) 해석 곡선을 나타낸다. x축은 발전집중지역의 발전력을 증가시키고 부하 집중지역의 발전력을 감소시켜 용통전력 양을 점차 늘려가는 발전력 패턴을 의미한다. 용통한계에서 계통이 운전 중에 있는 경우 345kV 선로사고 발생 시에는 A점에서 B점으로 운전점이 이동하게 되어 계통이 안정화되게 된다. 하지만, 계통이 용통한계에서 운전하고 있을 경우 765kV 선로 고장 시에는 매우 심각한 전압불안정 현상이 발생하게 된다. 용통한계점인 발전력 A와 동일한 발전력 패턴을 가질 때 765kV 선로고장이 발생하게 되면 계통이 안정화 될 수 있는 운전점인 그림 1의 B점으로 이동할 수 있는 적절한 부하차단을 수행하여야 한다[7].

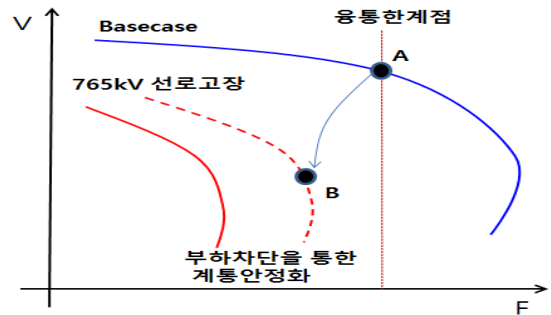


그림 1 765kV 선로고장에 따른 FV 해석  
Fig. 1 FV Analysis of 765kV line contingency

### 2.1 4개년도 부하차단 용량 분석

다음 표 1은 연도별 국내 계통의 하계 최대 부하 시 신안성-신서산 765kV 선로고장 시, 발전기 안정화 장치 운영현황을 고려했을 때의 부하차단 용량을 보인다[8].

표 1 연도별 부하차단 용량

Table 1 Annual amount of load shedding

연도(년)	2012	2013	2014	2015
부하차단 용량(MW)	1460	1540	1513	810

연도별로 차단용량이 증가되고 있음을 볼 수 있으나 2015 년도의 경우 차단용량이 감소하는 특징을 보였다. 이는 HVDC 등 전력전자설비의 계통 연계로 인한 계통의 스트레스 감소가 주된 원인으로 분석된다[9].

### 3. 모터부하 고려에 따른 계통 영향력 분석

모터부하의 파라미터 중 저항 및 리액턴스 성분의 변화는 무효전력 소비량을 변화시키는 효과는 있지만 계통의 전압 파형이 밀접하게 연관되지 않는다고 할 수 있는 반면에 관성상수는 전압파형에 영향을 미쳐 지연 회복 현상을 발생시키게 되어 계통의 안정성에 직접적으로 연관되어 전압파형의 변동이 발생한다는 것을 분석한바 있는데, 이는 모터부하가 회전기기로서 댐핑(Damping) 특성을 가지고 있기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다[10].

따라서 모터부하 파라미터 중 저항 및 리액턴스는 일반적으로 문헌에서 제시한 값들을 그대로 적용해도 계통안정도에 크게 영향을 주지 않는다고 볼 수 있다. 모터부하 파라미터의 계통 영향력 해석을 통하여 저항 및 리액턴스 성분의 값이 계통에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 확인하였다. 이를 바탕으로 일반적으로 해외문헌에서 제시하고 있는 값을 그대로 적용하여 모의를 수행한다. 다음 표 2는 본 논문에서 적용한 시뮬레이션 파라미터 값을 나타낸다[11].

본 논문에서는 관성상수 H 값과 모터부하의 비율을 다양하게 구분하여 4개년도 용통전력 한계 데이터를 활용하여 계통 안정화에 미치는 영향을 분석한다.

2012, 2014년에는 모터부하의 비율이 증가되면 H값을 높여도

표 2 시뮬레이션 파라미터 적용값

Table 2 Applied the parameter of simulation

Parameter	Value
고정자 저항 (Rs)	0.043
고정자 리액턴스 (Xs)	0.074
회전자 저항 (Rr)	0.025
회전자 리액턴스 (Xr)	0.051
관성 상수 (H)	1.0 ~ 1.6

전압불안정 현상이 발생하였으며, 2013년에는 모터부하 60%, H값 1.0에서 전압불안정 현상이 나타났다. 2015년에는 전압불안정 현상이 나타나지 않았다. 이는 모터부하의 비율이 높고 관성상수 H값이 낮은 수록 계통 불안정을 야기하며, 반대로 모터부하의 비율이 낮고 H값이 높아질수록 계통 불안정이 적게 발생되고 있음을 의미한다. 2012, 2014년 결과에서 H값 1.6을 적용하였을 때 전압불안정이 나타났으므로, 상기 두 개년도의 결과를 바탕으로 부하차단용량과 차단 시간을 검토 및 비교하여 다단계 부하차단용량 및 차단 시간 검토 데이터를 선정하였다. 다음 표 3은 H값의 변화에 따른 계통의 전압 안정 및 불안정 결과를 보인다.

표 3 모터부하 비율과 H값 변화에 의한 계통안정화 결과

Table 3 Result of the motor load ratio and H value changes

연도	모터비율(%)	관성 상수(H) 값		
		1.0	1.3	1.6
2012	40	안정	안정	안정
	50	불안정	안정	안정
	60	불안정	불안정	불안정
2013	40	안정	안정	안정
	50	안정	안정	안정
	60	불안정	안정	안정
2014	40	안정	안정	안정
	50	불안정	불안정	안정
	60	불안정	불안정	불안정
2015	40	안정	안정	안정
	50	안정	안정	안정
	60	안정	안정	안정

#### 4. 다단계 부하차단 제어 전략 수립

##### 4.1 부하차단 비율에 따른 전압회복력 관찰 및 1단계 차단 용량 선정

위에서 분석한 결과를 바탕으로 2012, 2014년 데이터에 대해 총 부하 차단용량의 40%~70%의 비율로 부하를 차단한 후 전압의 회복력을 관찰한다. 다음 그림은 2012, 2014년의 모터부하 비율 60%, H값 1.6을 적용하여 부하차단을 수행한 전압 파형의 회복력에 대한 결과를 보인다.

2012년에는 총 부하차단 비율의 40%를 차단했을 때 전압이 회복되었다. 하지만 2014년의 경우에는 총 부하차단의 70%를

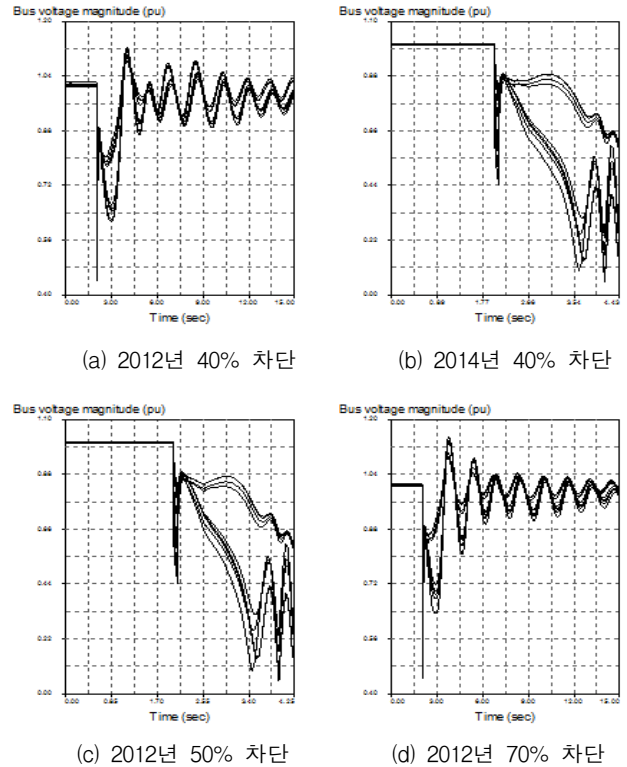


그림 2 2012년, 2014년의 부하차단 적용 시 전압변동

Fig. 2 Voltage variation applying to load shedding 2012 and 2014

했을 때 전압이 회복 되는 것을 알 수 있다. 각각의 부하비율에 대한 1단계 부하차단용량은 12년의 경우에는 총 부하차단 용량이 약 584 MW이고, 2014년은 총 부하차단용량의 약 1059 MW를 차단했을 때 전압이 회복 되는 것을 알 수 있다. 하지만 2013년의 경우에는 H값이 1.0일 때 전압불안정 현상이 나타났고, 2015년에는 H값이 1.0임에도 불구하고 전압 불안정 현상이 나타나지 않았다. 사고 제거 시간에 따른 전압 회복력에서 차이가 발생할 수 있으므로 짧은 시간 차이라도 사고 후 부하차단 시간은 전압불안정에 많은 영향을 준다. 위의 결과 2014년이 2012년에 비해 많은 양의 부하차단을 해야 안정하게 나타났으므로 2014년 데이터를 기준으로 하여 부하차단 비율과 1단계 차단시간에 따른 시뮬레이션 결과를 검토한다.

##### 4.2 1단계 부하차단시간 및 차단용량 변화에 따른 전압 변화

2014년 모터부하 60%를 적용기준으로 하여 부하차단 비율을 40~70%까지 10%의 Step으로 설정하였고, 부하차단 시간을 0.3~0.5초로 0.1초의 Step으로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 표 4는 부하차단용량 비율 및 부하차단 시간 변화에 따른 계통 안정화의 결과를 보인다.

위의 표 4에서 보듯이 부하차단용량의 비율이 증가하거나 부하차단 시간이 감소하면 계통이 안정한다는 것을 알 수 있다. 위 결과를 바탕으로 부하차단 시간이 가장 짧고, 부하차단용량의 비율이 가장 적은 시간인 0.3초를 기준으로 하여 1단계 부하차단용량과 부하차단 시간을 선정한다.

**표 4** 차단용량 비율 및 부하차단 시간 변화에 의한 결과

**Table 4** Result of the load shedding amount ratio and delay time changes

부하차단용량	부하차단 시간 0.5초일 때	부하차단 시간 0.4초일 때	부하차단 시간 0.3초일 때
40%	불안정	불안정	안정
50%	불안정	안정	안정
60%	불안정	안정	안정
70%	안정	안정	안정

**4.3 단계별 부하차단용량 및 차단시간 선정**

단기 전압안정도를 확보하기 위해 사고 발생 후 1~1.5초 안에 부하를 차단해야 한다. 1단계와 2·3단계의 부하차단용량 및 부하차단 시간과 전압회복 특성과의 관계는 관련이 없다고 판단되므로, 1·2·3단계가 모두 차단되는 최대시간을 1.5초로 설정하고, 1·2·3단계가 모두 차단되는 최소 시간을 0.9초로 하여 표 5와 같이 3가지 시나리오로 분류하여 사례연구를 수행한다.

**표 5** 사례연구 시나리오

**Table 5** Case study scenario

구분	내용	비고
시나리오 1	단계별 동일한 Time Step을 적용	case 1~6
시나리오 2	시나리오 1의 설정에서 1단계 차단시간만 0.3초로 적용	case 7~12
시나리오 3	시나리오 2의 설정에서 2·3단계 차단시간을 1단계 차단시간 기준으로 정해진 Time Step을 적용	case 13~21

위의 3가지에 대해서 단계별 부하차단 비율은 다음 표 6과 같이 고정시키고 단계별 차단 시간에만 변동을 주도록 한다.

**표 6** 총 부하차단용량 대비 단계별 차단비율

**Table 6** Simulation results according to scenario

1단계 차단용량 (%)	2단계 차단용량 (%)	3단계 차단용량 (%)
40	30	30
50	30	20
60	40	0

**4.3.1 시나리오 1을 적용한 사례연구 결과**

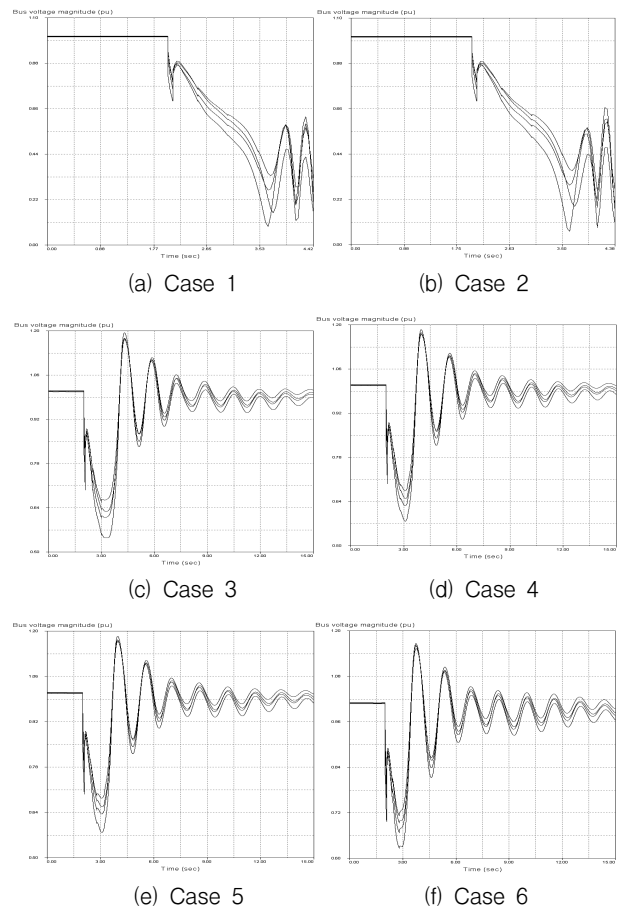
3가지 시나리오 중 1·2·3단계 차단용량 모두에 일정한 Time Step을 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 다음 표 7은 사고 발생 후 계통 안정화를 위한 부하차단 시간을 1·2·3단계에 모두 0.5 및 0.4초를 적용한 시나리오를 보인다. 그림 3은 표 7을 적용한 경우의 전압 파형의 결과를 나타낸다.

Case 1, 2의 전압파형의 보면 총 부하차단이 사고 발생 후 1.5초 후에 이루어졌지만 전압이 붕괴되는 것을 알 수 있다. Case 3~6의 경우 전압이 회복되어 계통이 안정화 되는 결과를 보이는데, 이는 전압불안정 현상 발생 시 사고가 빠른 시간에 제거되면

**표 7** 부하차단 Time Step을 0.5초로 적용한 경우

**Table 7** Applying the load shedding time step 0.5 sec

구분	1단계 차단용량 (%)	1단계 차단시간 (sec)	2단계 차단용량 (%)	2단계 차단시간 (sec)	3단계 차단용량 (%)	3단계 차단시간 (sec)
Case 1	40	0.5	30	1.0	30	1.5
Case 2	50	0.5	30	1.0	20	1.5
Case 3	60	0.5	40	1.0	X	
Case 4	40	0.4	30	0.8	30	1.2
Case 5	50	0.4	30	0.8	20	1.2
Case 6	60	0.4	40	0.8	X	



**그림 3** Time Step 0.5초 및 0.4초를 적용한 경우의 전압 변동

**Fig. 3** Voltage variation according to load shedding time step 0.5 and 0.4 sec

계통안정화에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 알 수 있는 결과다.

**4.3.2 시나리오 2를 적용한 사례연구 결과**

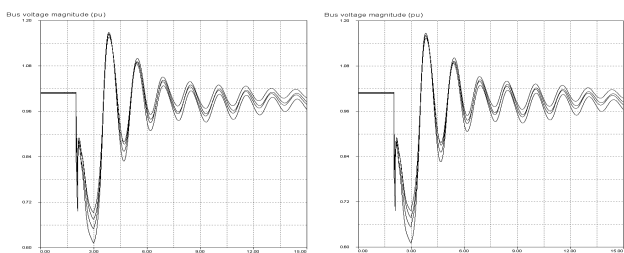
3가지 시나리오 중 시나리오 1의 설정에서 1단계 차단시간을 0.3초로 고정하고 2·3단계 차단시간은 시나리오 1의 설정을 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 다음 표 8은 사고 발생 후 계통 안정화를 위한 부하차단 시간을 1단계 0.3초, 2·3단계에 Time Step을 적용한 시나리오를 보인다.

**표 8** 1단계 부하차단시간만 0.3초로 적용한 경우

**Table 8** Applying the first level load shedding time 0.3 sec

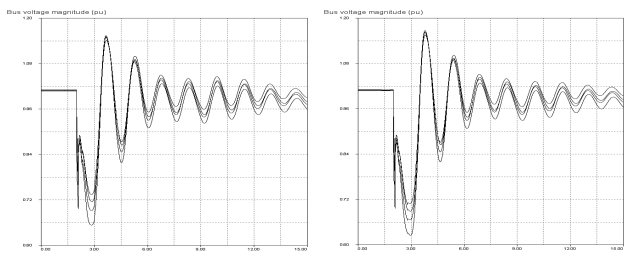
구분	1단계 차단용량 (%)	1단계 차단시간 (sec)	2단계 차단용량 (%)	2단계 차단시간 (sec)	3단계 차단용량 (%)	3단계 차단시간 (sec)
Case 7	40	0.3	30	1.0	30	1.5
Case 8	50	0.3	30	1.0	20	1.5
Case 9	60	0.3	40	1.0	X	
Case 10	40	0.3	30	0.8	30	1.2
Case 11	50	0.3	30	0.8	20	1.2
Case 12	60	0.3	40	0.8	X	

다음은 표 8을 적용한 경우의 전압 파형의 결과를 나타낸다.



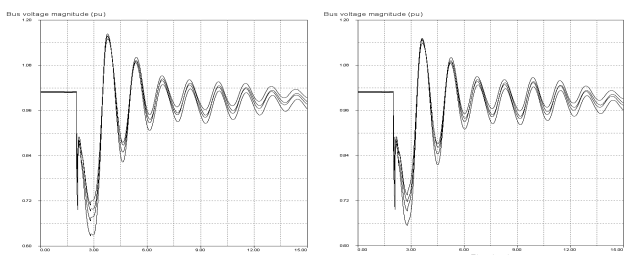
(a) Case 7

(b) Case 8



(c) Case 9

(d) Case 10



(e) Case 11

(f) Case 12

**그림 4** 1단계 부하차단시간만 0.3초로 적용한 경우의 전압 변동

**Fig. 4** Voltage variation according to first level load shedding time 0.3 sec

Case 7~12의 경우는 전압이 회복되어 계통이 안정화 되는 결과를 보이고 있다. Case 1, 2에 비해 1단계 부하차단이 빠른 시간에 이루어지게 되면 계통 안정화에 영향을 끼칠 수 있다는 것을 알 수 있는 결과이다.

**4.3.3 시나리오 3을 적용한 사례연구 결과**

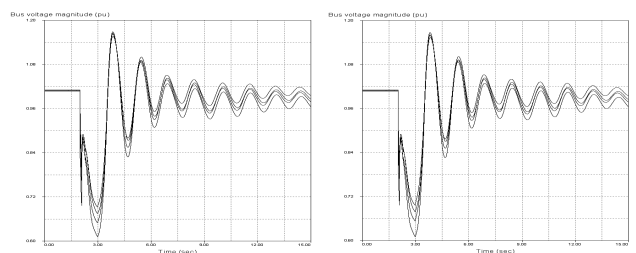
3가지 시나리오 중 시나리오 2의 설정에서 1단계 차단시간 0.3초를 기준으로 2·3단계 차단시간은 정해진 Time Step으로 설정한다. 다음 표 9는 사고 발생 후 계통 안정화를 위한 부하차단 시간을 1단계 0.3초, 2·3단계에 0.5 및 0.4초, 0.3초를 적용한 시나리오를 보인다.

**표 9** 1단계 차단시간 기준으로 Time step을 적용한 경우

**Table 9** Applying the based on first level load shedding time step

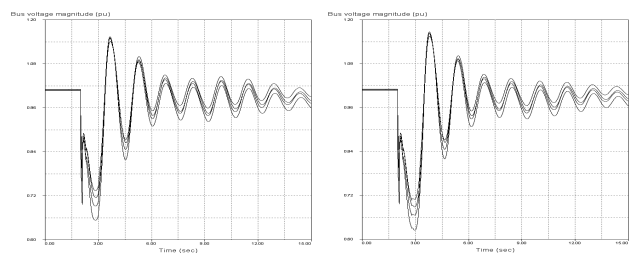
구분	1단계 차단용량 (%)	1단계 차단시간 (sec)	2단계 차단용량 (%)	2단계 차단시간 (sec)	3단계 차단용량 (%)	3단계 차단시간 (sec)
Case 13	40	0.3	30	0.8	30	1.3
Case 14	50	0.3	30	0.8	20	1.3
Case 15	60	0.3	40	0.8	X	
Case 16	40	0.3	30	0.7	30	1.1
Case 17	50	0.3	30	0.7	20	1.1
Case 18	60	0.3	40	0.7	X	
Case 19	40	0.3	30	0.6	30	0.9
Case 20	50	0.3	30	0.6	20	0.9
Case 21	60	0.3	40	0.6	X	

다음은 표 9를 적용한 경우의 전압 파형의 결과를 나타낸다.



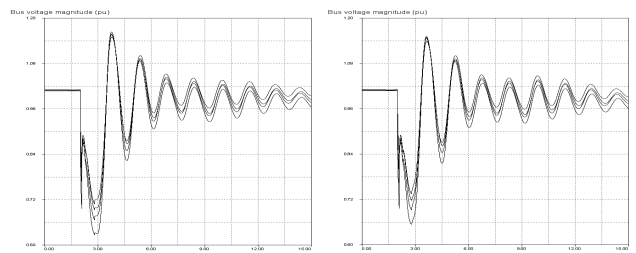
(a) Case 13

(b) Case 14



(c) Case 15

(d) Case 16



(e) Case 17

(f) Case 18

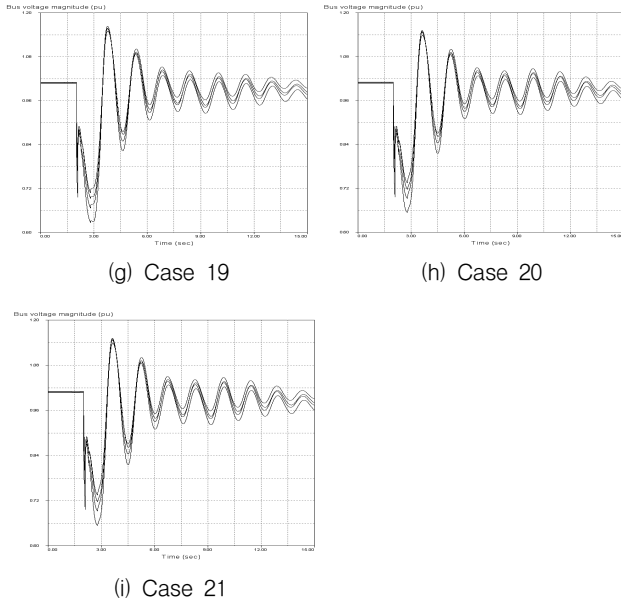


그림 5 1단계 차단시간 기준으로 Time Step을 적용한 경우의 전압변동  
 Fig. 5 Voltage variation according to the based on first level load shedding time step

Case 1, 2의 결과와 Case 4~21의 결과를 비교해 보면 1단계에 부하차단이 이뤄졌음에도 불구하고 1단계 부하차단의 시간이 길어지고, 2·3단계에 부하차단이 뒤늦게 이뤄진다고 해도 전압불안정 현상이 나타나는 것을 알 수 있다. Case 3의 경우에는 부하차단시간이 길어졌음에도 불구하고 1단계 부하차단용량이 증가하고 총 부하차단에 소요되는 시간이 사고발생 후 1초에 조치가 이루어져 전압 안정이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이를 통해서 초기 부하차단용량이 줄어들수록 신속한 부하차단이 중요하게 작용하는 것을 다시 한 번 더 확인할 수 있다. 또한, 전압 파형의 회복 특성은 단계별 차단용량에 따라 크게 달라지지 않는 것을 볼 수 있다. 2단계와 3단계 차단용량의 변화 및 다양한 차단시간은 전압 회복에는 크게 영향을 주지 않게 된다. 결론적으로 1단계 부하 차단용량과 차단시간이 전압 회복에 가장 큰 영향을 미쳐 계통 안정화에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 단계별 차단용량이 가장 적고 차단시간이 가장 빠른 Case 19를 기준으로 하여 다단계 부하차단 제어전략의 부하차단용량 및 부하차단 시간으로 선정한다.

표 10 단계별 부하차단용량 및 차단시간 선정 결과  
 Table 10 Multi level load shedding amount and time selection result

구분	1단계	2단계	3단계
차단용량(%)	40	30	30
차단시간(sec.)	0.3	0.6	0.9

### 5. 결 론

본 논문에서는 효과적인 다단계 부하차단 제어전략을 수립하기 위해 4개년도 한전 하계 첨두부하 계통의 융통한 계데이터를 활용하여 다단계 부하차단용량과 차단시간을 선정하였다. 실제 계통의 안정도에 영향을 미칠 수 있는 모터부하를 적용하여 가장 심각한 사고에도 계통이 안정화 될 수 있는 부하차단의 효용성에 대한 검토를 수행하였다. 지금까지는 부하차단용량을 미리 결정하여 계통이 안정화 될 수 있는 조건에 만족할 경우에 대하여 연구가 진행되었다. 부하차단용량을 보수적으로 산정할 경우 불필요한 부하차단으로 인해 경제성이 확보되지 않게 된다. 반면, 너무 경제적으로 설계할 경우 전압불안정을 방지하지 못할 수도 있다는 단점이 상존하고 있어 계통 상황에 따라 적합한 제어룰 수행하는 방안이 필요하다.

본 논문에서 제안한 단계별 부하차단용량과 차단시간을 활용한다면 향후 지능형 부하제어 시스템의 설계에 있어서 계통안정화를 위한 제어 전략 수립에 중요한 바탕이 될 것이다. 이를 위해, 모터부하의 파라미터 변화를 고려한 더 많은 계통데이터의 검토 결과의 적용 또한 필요할 것으로 사료된다.

### References

- [1] Liu, X.; Liu, X.; Li, Z. Cyber risk assessment of transmission lines in smart grids. *Energies* 2015, 8.
- [2] De Boeck, S.; van Hertem, D. Integration of distributed PV in existing and future UFLS schemes. *IEEE Trans.Smart Grid* 2016.
- [3] Estebsari, A.; Pons, E.; Huang, T.; Bompard, E. Techno-economic impacts of automatic undervoltage load shedding under emergency. *Electr. Power Syst. Res.* 2016, 131.
- [4] R. Verayah ; A. Mohamed ; H. Shareef ; I. H Z Abidin, "Multi-level optimization strategy for load shedding with tracing capability index", 5th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, ICCSCE 2015
- [5] Taegyun Kim, Hongjoo Kim, Byongjun Lee, Su-chul Nam, Jeong-hoon Shin, "An analysis of Load Shedding Effect according to the ratio of induction motor in Korean Power System", KIEE Summer conference, 2011
- [6] Baekkyeong Ko, Taegyun Kim, Byongjun Lee, Su-chul Nam, Jeong-hoon Shin, "A Study on KEPCO system Voltage Stability Evaluation(765kV Line Fault) according to Motor Load Characteristic Change, KIEE Fall conference, 2011.
- [7] Tae-Gyun Kim, Byong-Jun Lee, Hwa-Chang Song, Bu-II Kang, Jong-Man Jo, "Calculation of the Optimal Load Shedding amount and location considering Interface Flow Limit", KIEE Fall conference, 2009.

- [8] Baekkyeong Ko, Byongjun Lee, Su-chul Nam, Jeong-hoon Shin, Taegyun Kim, "A Study on KEPCO system to calculate Multiple Step Load Shedding Amounts and Time", KIEE Spring conference, 2012.
- [9] KEPRI, Development of Load Shedding system on metropolitan area through On-line wide area monitoring, 2012
- [10] Yun-Hwan Lee, "An Analysis of Delayed Voltage Recovery Phenomenon according to the Characteristics of Motor Load in Korean Power System", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 65P, No. 3, pp. 178~182, 2016
- [11] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control", 1994
- [12] "Under Voltage Load Shedding Protection", Working Group C-13, System Protection Subcommittee IEEE PES Power System Relaying Committee Draft 4.1,

---

## 저 자 소 개



### 이 윤 환 (李 允 煥)

2010년 고려대 일반대학원 전자전기공학과 졸업(석사), 2014년 동대학원 졸업(박사). 2014년~2016년 한국스마트그리드사업단 신사업추진실 대리, 2016년~쿤텍(주) 기술연구소 선임연구원  
E-mail : yunan2@naver.com