

# 고속 스위칭에 의한 송전선로 과부하 해소 연구

## A Study on the Transmission Overload Relief by Fast Switching

조 윤 성\* · 이 한 상\*\* · 장 길 수†  
(Yoon-Sung Cho · Han-Sang Lee · Gilsoo Jang)

**Abstract** - Because of computational burden and complex topology of substation, a transmission overload relief using circuit-breaker switching was very complex and difficult. However, a on-line algorithm for reducing the overloads in transmission lines has made progress due to the advance of IT technology. This paper describes the methodology for alleviating the overloads in transmission lines by circuit-breaker switching. First, the severe contingency lists and substations were selected from the results of contingency analysis. Then the switch combinations are determined using circuit-breakers of the selected substation. The topology changes are limited to equipment outage, bus split, island split, bus merge and island merge. Finally, the fast screening and full analysis methods are used to analyze the overload in transmission lines. To verify the performance of the proposed methodology, we performed a comprehensive test for both test system and large-scale power systems. The results of these tests showed that the proposed methodology can accurately alleviate the overloads in transmission lines from online data and can be applied to on-line applications.

**Key Words** : Transmission overload relief, CB switching, Topology processing, Power flow analysis

### 1. 서 론

전력계통의 광역화, 기상 이변 및 대규모 발전설비의 연계 등으로 인해 실시간 계통운영에서 계통 해석은 가장 중요한 업무 중에 하나이다. 실시간 계통운영에는 스카다로부터 취득된 온라인데이터를 기반으로 상태추정, 상정고장해석, 조류계산, 고장해석 및 안전도 개선 등의 계통해석 기능이 활용되고 있다[1]. 최근 상정고장 계통의 이상상태를 해석하는 상정고장해석과 상정계통의 안정운용 방안을 제공하는 안전도 개선 기능을 병합시키는 연구가 진행되고 있다.

상정고장 계통의 이상상태는 과부하와 전압위반이 있으며 이를 해소하기 위해 발전력 재배분, 제어설비 동작(변압기 탭, 조상설비 등) 및 설비 스위칭 등이 사용된다. 특히 설비 스위칭은 설비를 투입 및 개방하는 방법과 차단기 조작 통해 변전소의 토폴로지를 변경하여 이상상태를 해소하는 방법이 있다. 전자의 경우 가압되어 있는 설비를 정지시킬 수 있다는 단점이 있다. 후자의 경우 복잡한 토폴로지 해석 및 연산속도의 문제점을 갖고 있으나 빠르고 정밀한 토폴로지 해석을 통해 차단기 조작을 최소화 하는 제어 방안은 실시간 계통운영의 업무 효율성을 향상시킬 수 있다.

지금까지 스위칭에 의해 송전선로의 과부하를 해소하기

위한 다양한 연구노력이 있었다[2-6]. 참고문헌 [2]에서는 온라인 데이터를 활용하여 과부하를 해소하기 위해 DC 조류계산을 통해 스위칭 리스트를 스크리닝 후 AC 조류계산을 통해 결정한다. 참고문헌 [3]에서는 시험계통에 대해 고속 분할 조류계산 기법을 이용하여 선로 스위칭과 부스바 스위칭을 통한 과부하 및 전압 위반 해소 방안을 소개하였다. 그러나 실제 변전소의 차단기 스위칭을 통한 과부하 해소에 대한 참고자료는 구하기 힘든 실정이다. 변전소의 차단기 스위칭을 수행하기 위해서는 수많은 차단기 조합이 필요하며 차단기 조작을 해석할 수 있는 고속의 토폴로지 처리와 조류계산 기능이 필요하다.

본 논문은 차단기 스위칭에 의한 송전선로 및 변압기의 과부하를 해소하는 방법에 대해 설명하였다. 우선 계통운영 모드에 따라 과부하 해소를 위한 상정고장 리스트를 추출하였다. 실시간 계통운영은 실시간 모드와 스터디 모드로 구분되기 때문에 실시간 모드에서는 가장 심각한 상정고장에 대해서만 과부하 해소 방안을 제시하며 스터디 모드에서는 다양한 상정고장 및 사용자가 지정한 상정고장에 대해 해소 방안을 제시한다. 선정된 상정고장에 가장 많은 영향을 주는 변전소를 선정 후 두 개의 방법으로 차단기 조합을 결정한다. 첫째는 345kV 이상의 변전소에 대해서만 차단기 스위칭 조합을 결정한다. 해당 모드에서는 설비의 탈락을 허용하지 않는다. 둘째는 모든 변전소에 대해 차단기 조합을 결정한다. 해당 모드에서는 설비의 탈락을 사용자 선택에 의해 결정한다. 변전소의 차단기 조합은 수많은 조합이 나오기 때문에 하나의 조합에 포함시킬 수 있는 차단기 개수를 사용자 설정으로 하였다. 조합된 차단기 리스트에 대해 고속의 과부하 스크리닝 기능과 완전해석 기능을 통해 송전선로 및 변압기의 과부하 해소를 위한 방안을 제안하였다. 제안된 방안의 유용성을 검증하기 위해서 2가지의 검증 방법

\* Department of Electric and Energy Engineering, Catholic University of Daegu, Korea

\*\* The School of Railway & Electrical Engineering, Kyungil University, Korea

† Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Korea University, Korea

E-mail : gjang@korea.ac.kr

Received : March 26, 2013; Accepted : July 22, 2013

을 사용하였다. 첫째, 시험 계통 및 전 계통에 대해 송전선로 과부하 해소를 위한 입력 데이터를 데이터베이스 형식으로 생성하였다 [1]. 입/출력 파일의 형태는 엑셀의 Comma Separated Values(CSV) 형태로 구성되어 있다. 둘째, 시험 계통 및 전 계통에 대해 다양한 조건을 이용하여 제안된 방안을 검증하였다.

## 2. 제안된 과부하 해소 방안

그림 1은 실시간 계통운동을 위한 송전선로 과부하 해소 방안의 전체적인 구조에 대해 나타내었다. 그림 1의 과부하 해소 기능은 과부하 분석, 차단기 조합 구성, 과부하 스크리닝 및 과부하 완전해석 기능으로 구성되어 있다.

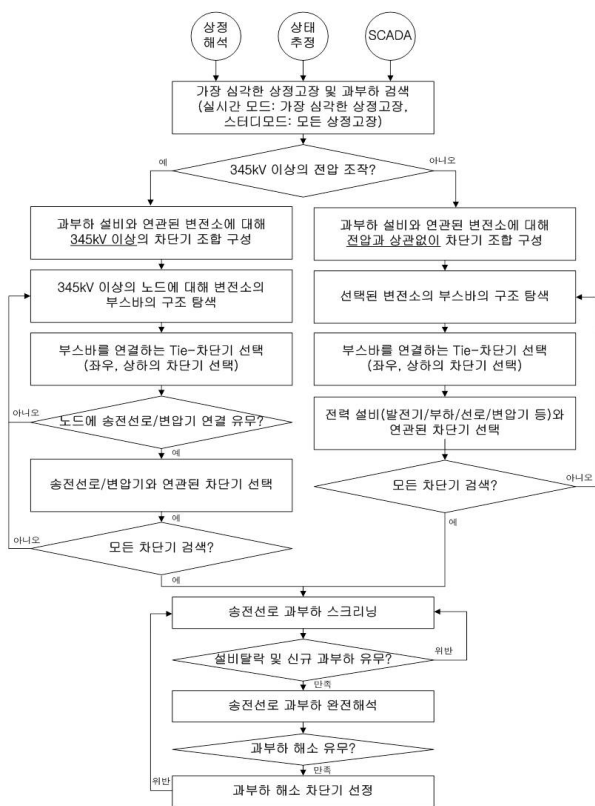


그림 1 송전선로 과부하 해소의 전체적인 구조도

Fig. 1 Overall structure of TLR

### 2.1 과부하 분석

과부하 해소는 상정고장 수행 후 발생하는 과부하를 해소하기 위해 실시간 모드 및 스터디 모드에서 수행된다. 차단기 스위칭 기반의 과부하 해소는 연산 시간에 많은 영향을 주기 때문에 실시간 모드에서는 가장 심각한 상정고장을 선택하며, 스터디 모드에서 모든 상정고장 또는 사용자 지정된 상정고장에 대해 과부하를 해소한다. 이와 같이 실시간 모드에서 상태추정 및 상정고장해석 후 발생하는 과부하를 모션 분리/병합을 통해 과부하를 해소함으로써 효율적이고 경제적인 계통 운영이 가능하다는 장점이 있다. 상정고장해석 결과를 취득하여 상정고장 해석의 우선순위가 가장 높은 고

장을 대상으로 선정한다. 선정된 상정고장에 대한 과부하 요소를 분석한다. 본 논문에서는 송전선로 및 변압기의 과부하 해소를 고려하였다. 송전 선로 및 변압기의 용량은 Normal, Emergency, Loadshed로 구성되어 있으며 상정고장 해석에 사용되는 Emergency를 기준으로 선택하였다. 분석된 과부하 요소가 많은 경우 실시간 모드에서는 가장 심각한 과부하 설비에 대해서만 차단기 스위칭을 통한 해소 방안을 제시한다. 스터디 모드에서는 모든 과부하 요소에 대한 해소 방안을 제시한다. 본 논문에서 제시하는 실시간 모드에서 수행 가능한 과부하 해소 방안은 가장 심각한 상정고장에 대해 가장 심각한 과부하 요소에 대해 해소 방안을 제시한다. 컴퓨터의 사양 및 응용 프로그램의 주기에 따라 가장 심각한 상정고장에 따라 발생하는 모든 과부하에 대해 차단기 스위칭 기반의 해소 방안을 제시한다.

### 2.2 차단기 조합 구성

그림 1에 나타나 있듯이 차단기 조합의 구성은 과부하 해소 방안 및 연산 시간에 가장 많은 영향을 준다. 본 논문에서는 차단기 조합을 구성하기 위해 2가지 방안을 제시하였다. 첫 번째 모드는 345kV 이상의 차단기만 스위칭 대상에 포함시켰다. 해당 모드는 전력설비의 탈락을 허용하지 않기 때문에 차단기 스위칭으로 인해 전력설비가 탈락하면 해당 조합은 대상에서 제외한다. 두 번째 모드는 전압 레벨에 상관없이 차단기 조합을 구성한다.

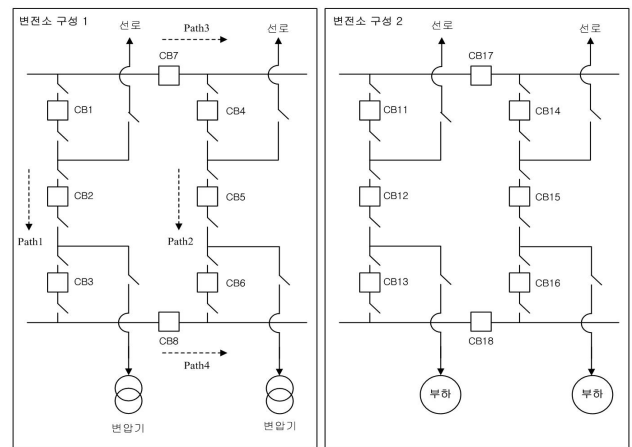


그림 2 변전소 구성 타입

Fig. 2 Type of configuration of substation

제시된 두 가지 모드의 단점은 차단기 개수가 많아지면 조합의 수가 많아지게 된다. 만약 차단기 개수가 50개, 각 조합에 3개의 차단기가 포함되어 있다면 50C3를 통해 19,600개(50\*49\*48/(3\*2))의 조합이 발생한다. 차단기 개수가 증가하거나 조합에 포함되는 차단기의 개수가 증가한다면 차단기 조합의 개수도 많이 증가하게 된다. 따라서 차단기 개수를 줄이기 위해 부스바를 연결하는 차단기(좌우, 상하)와 설비와 연관된 차단기에 대해서만 차단기 조합에 구성하였다. 345kV 이상의 차단기에 대해 차단기 조합을 구성할 때 그림 2의 <변전소 구성1>에 대해서는 8개의 차단기(단로기 제외)를 모두 사용하지만 <변전소 구성2>에 대해서는 차단기 #13과 #14를 제외한 6개의 차단기를 사용한다.

### 2.3 과부하 스크리닝

차단기 조합이 완료된 후 상정고장과 개별 차단기 조합을 반영시킨 후 토폴로지 처리[7]를 수행하고 조류해석을 수행해야 한다. 그러나 수많은 차단기 조합을 반영하는데 너무 많은 단계를 수행해야 하기 때문에 연산 시간이 증가한다. 이와 같은 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 스크리닝 기법을 제안하였다. 과부하 스크리닝은 다음과 같은 단계로 수행된다.

단계 1) 차단기 조합에 해당하는 차단기 상태만을 변경한 후 토폴로지 처리를 수행한다.

단계 2) 토폴로지 수행 후 설비 탈락 유무를 확인한다. 설비가 탈락되면 단계 1)로 이동 후 다음 차단기 조합에 대해 수행한다.

단계 3) 차단기 조합에 해당하는 차단기와 상정고장에 해당하는 차단기의 상태를 동시에 변경한 후 토폴로지 처리를 수행한다.

단계 4) 단계 3)에서 수행된 결과를 기반으로 조류계산을 수행한다. 조류계산은 1회 반복연산만 수행한다.

단계 5) 조류계산 결과를 바탕으로 과부하 상태를 확인 후 과부하율이 지정된 범위 내에서 존재하면 해당 조합에 대해 과부하 완전해석을 수행한다. 설정 범위를 초과하면 단계 1)로 이동 후 다음 차단기 조합에 대해 수행한다.

### 2.4 과부하 완전해석

과부하 완전해석의 목적은 상정고장과 차단기 조합을 순차적으로 반영하여 해석함에 있다. 과부하 완전해석은 다음과 같은 단계로 수행한다.

단계 1) 선정된 상정고장에 관련된 차단기의 상태를 변경 후 토폴로지 처리를 수행한다.

단계 2) 단계 1)의 결과를 바탕으로 조류계산을 수행한다.

단계 3) 스크리닝 단계를 통과한 차단기 조합에 해당하는 차단기의 상태를 변경 후 토폴로지 처리를 수행한다.

단계 4) 단계 3)에서 수행된 결과를 기반으로 조류계산을 수행한다.

단계 5) 조류계산 결과를 바탕으로 과부하 상태를 확인 후 과부하가 해소되면 해당 결과를 화면에 출력한다.

## 3. 차단기 스위칭을 통한 과부하 해소 알고리즘

앞장에서 송전선로 및 변압기의 과부하를 해소하기 위해서는 고속의 토폴로지 처리 및 조류계산 알고리즘의 필요성을 언급하였다. 발변전소를 구성하고 있는 차단기의 조작에 따라 발생 가능한 토폴로지 조합은 매우 많다. 또한 토폴로지 처리된 계통에 대한 수 많은 조류계산을 수행한다. 본 논문에서는 고속의 상정고장해석을 위해 사용되는 토폴로지 처리 및 조류계산 알고리즘을 기반[1]으로 과부하 해소에 적합한 효율적인 방안을 제안하였다.

### 3.1 차단기 조합 구성

앞장에서 설명한 것처럼 변전소를 구성하는 차단기를 모두 차단기 조합 대상으로 선정하는 것보다 변전소 구성에 따라 차단기를 조합 대상으로 선정하는 것이 효율적이다. 또한 전압레벨에 따라 차단기를 구성하는 방안을 제안하였

다. 차단기 조합을 구성을 위해 전 계통에 대해 345kV 이상의 변전소를 분석하면 몇 개의 변전소 타입으로 구성되어 있으며 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 부스바와 부스바가 상하로 연결되어 있으며 차단기가 상하를 연결하는 설비이다. 또한, 부스바와 부스바가 상하 연결 및 좌우로 연결되어 있으며 차단기가 상하와 좌우를 연결하는 설비이다. 그림 2의 <변전소 구성1>에 나타나 있듯이 좌우 연결은 CB#7, 상하 연결은 CB#1~CB#6이다.

- 일부 변전소는 부스바와 부스바가 환류리액터로 구성되어 있다.

- 일부 변전소는 부스바 시스템이 두개로 구성되어 있으며 전기적으로 두 시스템을 연결할 수 없다.

변전소를 구성하는 부스바를 연결하는 방법은 좌우보다 상하가 많기 때문에 상하를 연결하는 차단기를 적절하게 조합하는 것이 중요하다. 그림 2의 <변전소 구성1>에 대해 차단기 조합을 구성할 때 Path1에 속한 차단기 1개와 Path2에 속한 차단기 1개를 하나의 조합으로 구성한다. 좌우로 연결하는 차단기도(Path 3, 4) 조합에 구성된다.

### 3.2 토폴로지 처리

과부하 해소를 위한 토폴로지 처리는 상정고장에 사용되는 토폴로지 처리 부분과 변전소의 토폴로지 처리 부분으로 구성되어 있다. 과부하 해소를 위한 토폴로지 처리는 그림 3과 같다. 토폴로지 처리를 통해 모선의 병합 및 분리가 판별되며 신규 독립계통 발생 유무도 판별된다.

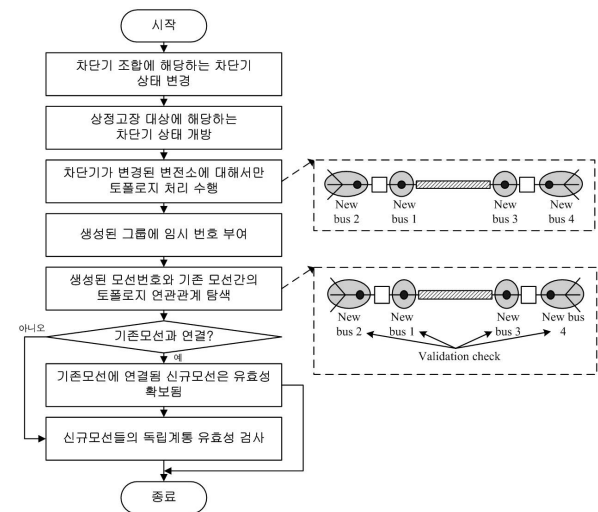


그림 3 제안된 토폴로지 처리 흐름도

Fig. 3 Proposed flowchart for topology processing

### 3.3 조류계산

그림 1에 나타나 있듯이 조류계산은 과부하 해소를 위해 수많은 연산을 수행한다. 스크리닝 단계에서는 1회만 반복 연산을 수행 후 위반 유무를 결정하며, 완전해석 단계에서는 정상적으로 조류계산을 수행한다. 본 연구에서는 빠르고 정확한 스크리닝을 위해 Decouple 조류계산을 이용해 스크리닝 및 완전해석을 수행하였다. 특히 빠른 연산을 위해서는 부분적인 갱신을 이용한 조류계산은 매우 중요하다.

### 4. 사례 연구

본 논문에서는 개발된 과부하 해소 알고리즘의 유용성을 검증하기 위해 시험 계통 및 전 계통에 대해 시험하였다. 시험 계통의 모의를 통해 제안된 알고리즘의 정확성을 검증하였으며, 전 계통의 모의를 통해 제안된 알고리즘의 연산속도 및 실시간 계통운영이 가능한지를 검증하였다.

#### 4.1 시험 계통

그림 4는 과부하 해소를 위한 시험 계통이며 구성된 시험 계통의 특징은 다음과 같다.

- 노드 중심으로 전력설비가 구성되어 있다.
- 차단기, 발전기, 부하, 조상설비, 선로, 변압기, 부스바, 영입피턴스 선로 및 SVC로 구성되어 있다.
- 2개의 변전소로 구성되어 있으며, 차단기 스위칭은 변전소 #2에 대해서만 정밀 모델링하였다.
- 변전소 #2의 부스바는 6개로 구성되어 있다.
- 토폴로지 처리결과 13개의 모선으로 구성되어 있다.

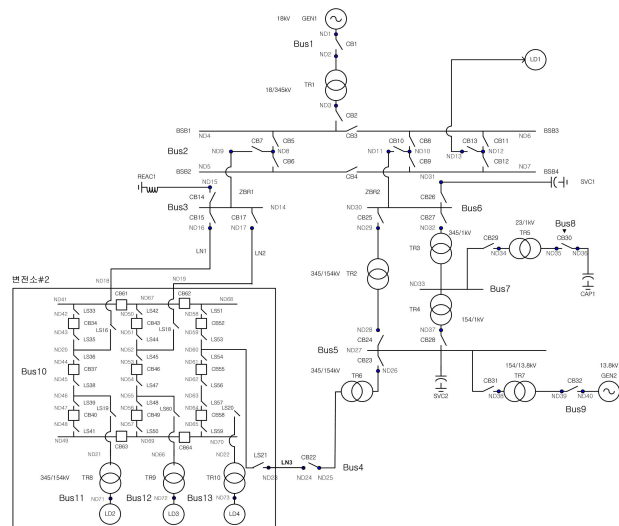


그림 4 시험 계통  
Fig. 4 Test system

#### 4.1.1 변압기 사고에 따른 선로 과부하 해소

본 시나리오는 그림 4의 변압기 #2의 사고에 따른 선로 #3의 과부하를 해소하는 것이다. 우선 그림 4의 모든 차단기는 투입되어 있는 상태이며, 모선 개수는 13개이다. 하나의 차단기 조합에 포함되는 차단기 개수는 7개로 설정하였다. 표 1은 사고 전후의 변전소 #2의 조류계산 결과이다.

표 1 사고전후 변전소 #2의 조류계산 결과 비교  
Table 1 Result of powerflow of substation #2 for fault

설비명	송전선로[MVA]			변압기[MVA]			
	사고전	사고후	차이	설비명	사고전	사고후	차이
LN#1	80	75	-5	TR#8	119	119	0
LN#2	80	75	-5	TR#9	45	45	0
LN#3	39	49	+10	TR#10	36	36	0

본 시나리오에서는 선로 #3의 Emergency에 해당하는 한계 용량을 45 MVA로 설정하였다. 선로 #3의 과부하를 해소하기 위해 변전소 #2의 차단기를 대상으로 하였으며 총 1023개의 조합이 적용되었다.

표 2 차단기 조합 리스트

Table 2 Combination of circuit-breaker

번호	조합 개수	차단기 리스트	번호	조합 개수	차단기리스트
1	1	#64	6	1	#52
2	1	#58	7	2	#52, #64
3	2	#58, #64	8	1	#49
4	1	#55	...	...	..
5	2	#55, #64	1023	7	#34, #43, #52, #61, #62, #63, #64

표 2는 차단기 조합의 일부이다. 표 2의 차단기 조합에 대해 과부하 해소를 진행하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

- 차단기 조합 번호 1, 2, 4, 6, 8의 처리는 과부하 해소에 영향을 미치지 않는다.
- 차단기 조합 번호 3의 처리는 노드 #70으로 구성된 부스바 #6을 정지상태로 만들어 과부하 해소에 영향을 미치지 않는다.
- 차단기 조합 번호 5의 처리는 선로 #3을 편단선로로 만들기 때문에 과부하 완전해석 단계에서 제외된다.
- 차단기 조합 번호 1023의 처리는 6개의 부스바를 개별로 분리할 뿐 과부하 해소에 영향을 미치지 않는다.
- 차단기 조합 번호 7의 처리는 변압기 #10과 부하 #4를 분리시킴으로써 선로 #3의 과부하를 해소할 수 있다. 그림 5는 차단기 스위칭 전후의 변전소 #2의 모선 심볼릭이다. 그림 5에 나타나 있듯이 차단기 #52와 #64의 상태에 개방함으로써 모선분리가 발생한다.

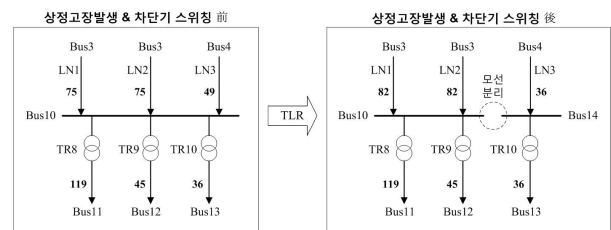


그림 5 차단기 스위칭(CB#52, #64)에 의한 모선의 변경  
Fig. 5 Change of bus structure by switching(CB#52, 64)

본 논문에서 제안된 알고리즘의 유용성을 검증하기 위해 PSS/E 사용하였다. 그림 5의 모선 구조를 PSS/E 입력데이터로 구성하여 차단기 스위칭 전후의 조류계산 결과를 비교하였다. 표 3은 제안된 알고리즘과 PSS/E의 조류계산 결과를 나타내고 있으며 154kV 이상의 모선에 대해서만 나타내었다.

표 3 차단기 스위칭에 따른 조류계산 결과 비교

Table 3 Result of powerflow by circuit-breaker switching

모선 번호	스위칭 前 [p.u]			스위칭 後 [p.u]		
	PF <sup>†</sup>	PSS/E	차이	PF <sup>†</sup>	PSS/E	차이
3*	0.9919	0.9919	0.0000	0.9914	0.9914	0.0000
4	0.9912	0.9912	0.0000	0.9903	0.9903	0.0000
5	0.9956	0.9956	0.0000	0.9959	0.9959	0.0000
10	0.9905	0.9905	0.0000	0.9900	0.9900	0.0000
11	0.9742	0.9742	0.0000	0.9737	0.9737	0.0000
12	0.9828	0.9828	0.0000	0.9823	0.9823	0.0000
13	0.9828	0.9828	0.0000	0.9819	0.9818	0.0001
14	-	-	-	0.9896	0.9896	0.0000

†: 본 논문에서 제안된 알고리즘, \* 모선 2, 3, 6은 동일 모선임

4.1.2 선로 사고에 따른 선로 과부하 해소

본 시나리오는 그림 4의 선로 #2의 사고에 따른 선로 #1의 과부하를 해소하는 것이다. 본 시나리오의 조건은 앞의 시나리오와 동일하다. 선로 #2의 과부하를 해소하기 위해 변전소 #2의 차단기를 대상으로 하였으며 총 1023개의 조합이 적용되었다. 본 시나리오에서는 선로 #1의 Emergency에 해당하는 한계 용량을 130 MVA로 설정하였다. 사고 전의 선로의 용량은 표 1과 동일하며 사고 후의 선로 #1의 용량은 155MVA 이며, 선로 #3의 용량은 44MVA이다. 과부하 해소를 수행 후 차단기 #61과 #63의 상태 변경에 관한 정보를 출력한다. 그림 6은 차단기 스위칭 전후의 변전소 #2의 모선 심볼릭이다. 본 논문에서 제시한 결과를 반영하여 과부하를 해소할 수 있음을 확인할 수 있다.

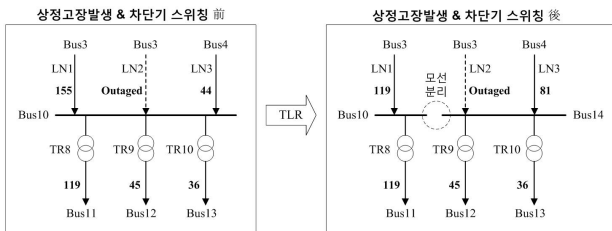


그림 6 차단기 스위칭(CB#61, #63)에 의한 모선의 변경  
Fig. 6 Change of bus structure by switching(CB#61, 63)

4.2 전 계통

전 계통에 대한 과부하 해소 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 EMS 시스템의 데이터를 추출하여 데이터베이스 형태로 구축하였다. 입력 데이터는 CSV 파일 형태로 구성하였다. 전 계통 데이터는 차단기 35,764개, 브랜치 설비 5,035개, 인젝션 설비 5,310 개 등으로 구성되어 있다.

4.2.1 2회선 선로 사고에 따른 과부하 해소

본 시나리오는 2회선 사고 발생시 변전소에 발생하는 선로 및 변압기의 과부하에 대해 전압에 상관없이 변전소를 구성하고 있는 차단기를 이용하여 과부하를 해소하는 것이다. 상정고장은 북부산~울산TP와 북부산~신온산이며, 사고 발생시 신울산~신온산 154kV 선로 과부하 및 신울산

변압기 #5의 과부가 발생한다. 그림 7인 신울산 변전소에 대한 구성도이며, 154kV 중심으로 표현하였다. 신울산 변전소의 154kV 모선은 분리되어 운전되고 있다. 만약 차단기 #6100, #6200, #6300 중에서 하나만 투입되어도 모선은 병합된다.

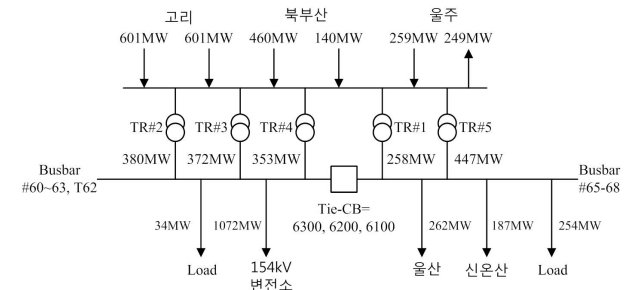


그림 7 선로 2회선 사고에 따른 신울산 변전소의 계통도  
Fig. 7 Configuration of Sinulsan S/S for double line fault

본 논문에서 제안한 과부하 해소 방안 동시에 2개의 과부하를 해소하지 않기 때문에 개별적으로 과부하를 해소하였다. 첫 번째 모의(시나리오 1)는 변압기 TR#5의 과부하 해소이며, TR#5의 Emergency에 해당하는 한계 용량을 600MVA이다. 변압기 과부하를 해소하기 위해 1566개의 차단기 조합이 생성되었으며 하나의 조합의 최대 4개의 차단기가 포함될 수 있다. 과부하 해소를 수행 후 차단기 #6300의 상태 변경에 관한 정보를 출력한다. 그림 7에 나타나듯이 차단기 #6300을 투입하게 되면 154kV 모선이 병합되어 운전되므로 TR#5의 흐르는 조류가 TR#1~TR#4로 배분되기 때문에 TR#5에 흐르는 조류가 감소하게 된다. 두 번째 모의(시나리오 2)는 신울산~신온산 154kV 선로 과부하 해소이며, 선로 Emergency에 해당하는 한계 용량을 542MVA이다. 모의 조건은 첫 번째 모의와 동일하다. 첫 번째 모의 결과와 동일하게 수행 결과는 차단기 #6300의 상태 변경이며, 154kV 모선의 병합운전이 신울산~신온산 154kV 선로의 과부하를 감소시킬 수 있다.

표 4 상정고장에 따른 과부하 해소 결과

Table 4 Result of TLR for some contingencies

상정고장 선로명	과부하 설비	차단기 스위칭
동해~신제천 2회선 (시나리오 3)	이원~태백 선로	#62610, #67660
신마산~의령 2회선 (시나리오 4)	광양~하동 선로	#60610, #65660
서인천~신부평 1회선 (시나리오 5)	서인천~신부평 선로	#7172, #7272, #7372

4.2.2 다양한 사고에 따른 과부하 해소

본 시나리오는 다양한 사고에 따른 과부하 해소다. 표 4의 동해~신제천 2회선 사고시 이원~태백 154kV 선로의 과부하는 차단기 #62610과 #67660의 스위칭(모선 분리)으로 해결할 수 있다. 다음으로 신마산~의령 2회선 사고시 광양~하동 154kV 선로의 과부하는 차단기 #60610과 #65660의

스위칭(모선 분리)으로 해결할 수 있다. 마지막으로 서인천~신부평 1회선(4회선중 1회선) 사고시 다른 서인천~신부평 회선의 과부하는 차단기 #7172, #7272 및 #7372의 스위칭(모선 분리)으로 해결할 수 있다. 위 3개의 모의는 모선 분리를 통한 과부하 해소를 나타내고 있다.

**4.2.3 과부하 해소 연산속도**

표 5는 개발된 과부하 해소 알고리즘의 연산속도를 나타내고 있다. 표 5의 결과는 처리되는 차단기 스위칭의 우선 순위가 높아 연산속도가 빠르다. 예를 들어 시나리오 4번에 대해 차단기 스위칭 결과가 1017번째에서 과부하가 해소된다고 가정하면 총 연산속도는 18초이다. 이와 같이 차단기 스위칭 조합의 순번에 따라 연산속도는 결정이 된다. 향후 병렬처리 알고리즘을 적용한다면 상정고장에 대응하는 모든 과부하를 해소하는데 연산속도가 빠를 것이다.

**표 5** 과부하 해소 알고리즘의 연산속도

**Table 5** Computational speed of TLR

모의 시나리오	조합 순위/총조합수	시간(sec)*
시나리오 1	9/1566	0.4
시나리오 2	9/1566	0.4
시나리오 3	27/139	0.38
시나리오 4	38/1018	0.48
시나리오 5	1/27	0.10

\* 모의 환경: Intel(R) Core(TM) CPU 3.4GHz, 4.0GB RAM

**6. 결 론**

본 논문은 차단기 스위칭에 의한 송전선로 및 변압기의 과부하를 해소하는 알고리즘을 제안하였다. 과부하 해소 알고리즘은 차단기 조합 생성, 과부하 스크리닝 및 과부하 완전해석 기능으로 구성되어 있다. 차단기 조합을 생성하는 기능은 변전소의 전압레벨에 따라 345kV 이상의 차단기에 대해서만 차단기 조합을 구성하는 방안과 전압레벨에 상관없이 차단기 조합을 구성하는 방안으로 구성되어 있다. 차단기 스크리닝 단계를 설비의 탈락에 영향을 미치는 차단기 조합을 제외하는 기능을 수행한다. 차단기 완전해석 기능은 고속의 토폴로지 처리 및 조류계산 기능을 활용하여 과부하 해소 방안을 판별하였다. 마지막으로 제안된 알고리즘의 유용성을 검증하기 위해 13모선 시험계통 및 전 계통에 대해 다양한 시험 모의조건을 사용하여 검증하였다.

향후에는 실시간 계통운영을 위해 상정고장에 대응하는 모든 과부하를 해소할 수 있도록 빠른 연산을 위해 병렬처리 방법을 이용한 과부하 해소에 관한 연구가 필요하다.

**감사의 글**

본 연구는 2011년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20114010203010)입니다.

**References**

[1] Y-S. Cho, Y-S. Yun, "Development of the contingency analysis program of Korean energy management system", The Transaction of KIEE, vol. 59, no. 2, pp. 232-241, Feb. 2010.

[2] J. N. Wrubel, P. S. Rapcienski, K. L. Lee, B. S. Gisin, G. W. Woodzell, "A practical experience with corrective switching algorithm for on-line applications", IEEE Trans. Power Syst., vol. 11, no. 1, pp. 415-421, Feb. 1996.

[3] W. Shao, V. Vittal, "Corrective switching algorithm for relieving overloads and voltage violations," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 4, pp. 1877-1885, Nov. 2005.

[4] B-H. Lee, J-M. B, "A study on an algorithm based on sensitivity method for alleviating overloads in power networks", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 22, no. 8, pp. 96-103, Aug. 2008

[5] Y-M. Park, K-H. Lee, "Application of bus separation in substation for line overload alleviation", The Transaction of KIEE, vol. 44, no. 10, pp. 1252-1257, Nov. 1995.

[6] A. A. Mazi, B. F. Wollenberg, M. H. Hesse, "Corrective control of power system flows by line and bus-bar switching", IEEE Trans. Power Syst., vol. PWRS-11, no. 3, pp. 258-264, Aug. 1986.

[7] A. Monticelli, State Estimation in Electric Power Systems: A Generalized Approach, Boston: Kluwer, 1999.

**저 자 소 개**

**조 윤 성 (趙 尹 晟)**

1977년 7월 5일생. 2008년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 2012년 LS산전 중앙연구소 책임연구원, 현재 대구가톨릭대학교 전기에너지공학과 조교수  
E-mail : philos@cu.ac.kr

**이 한 상 (李 漢 相)**

1980년 1월 17일생. 2010년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(공학박), 현재 경일대학교 전기철도공학부 조교수  
E-mail : hslee80@kiu.ac.kr

**장 길 수 (張 吉 洙)**

1967년 10월 26일생. 美. Iowa 주립대 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(공학박), 현재 고려대 전기전자전파공학과 교수  
E-mail : gjang@korea.ac.kr