

**차단기 차단용량 산정을 위한 고장계산 절차**

박헌경, 김건중, 박철우, 신만철, 임종호, 류정현, 윤용범\*, 차승태\*  
 충남대학교 전기공학과, \*한전전력연구원

**The Fault Current Procedure for the Interrupting Capacity Calculation of the Circuit Breaker**

H.K. Park, K.J. Kim, C.W. Park, M.C. Shin, C.H. RHIM, J.H. Ryu, Y.B. Yoon\*, S.T. Cha\*  
 Chungnam National University, \*KEPRI

**Abstract** - Power demands are increased because of the growth of the economy and the improvement of a given condition life. For this reason, the fault current of the power system is largely increased and the fault current procedure for the proper interrupting capacity calculation of the existing or the new circuit breaker is essential. This paper is basis on collection of the case of foreign countries. It presented the new procedure of the fault current for the interrupting capacity of the circuit breaker. This procedure is applied to the future power system and calculates the fault current.

통신선으로의 유도전압 등의 검토에 넓게 사용된다. 하지만 고장계산은 계통 파라미터의 결정에 수반되는 근사화, 온도에 따른 파라미터의 변화, 변화가 심한 고장 임피던스, 시간에 따라 변화하는 발전기 임피던스 등의 이유로 많은 오차를 내포하고 있기 때문에 정확한 계산을 수행하는 것은 어려운 일이다.

**1. 서 론**

산업발전과 국민생활 수준의 향상으로 전력수요는 빠른 속도로 증가하고 한전계통은 장기 송변전 설비계획에 의거 초고압 송전선로가 연차적으로 증설 확장되고 있으며, 이에 따라 운전비용 및 투자비 절감 등의 경제성 관점에서 전력계통의 계획 및 효율적 운용은 매우 중요한 위치를 차지하게 되었다.

일반적으로 고장전류는 계통의 AC성분의 정상상태시의 전류만을 계산하여 표시하는 반면 차단용량은 계통의 DC성분을 고려하며 AC성분의 과도시 피크(Peak)성분까지 고려한다. 차단용량은 고장계산의 불확실성 등을 고려하여 계산된 결과보다 어느 정도 여유를 두는 것이 일반적이며 여유를 주는 방법은 R-X 비에 의한 방법 등 여러 가지가 사용되고 있다.

전력계통에서는 고장용량 계산 결과에 따라 접지방안을 선택하고, 차단기의 차단용량 만족여부를 판정하며 보호계전 방식도 정해진다. 보호계전은 전력계통의 고장상태를 감지하고 고장여부에 따라 신속하고 정확하게 최소 사고 구간을 전력계통으로부터 분리 차단함으로써 정전범위 축소와 사고파급을 억제하여 전력공급의 신뢰성을 향상시키는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 따라서 신속 정확한 보호설비의 정동작이 보장되기 위해서는 실제 전력계통 운용시 발생하는 다양한 운전조건들을 고려한 정밀도가 높으면서도 일관된 절차에 의한 고장용량계산 방식이 요구되고 있다. 본 논문에서는 선진외국 사례를 기반으로 고장계산시 반영되어야 할 요소를 분석하여 차단기의 차단용량 선정을 위한 고장계산 절차를 제시하고자 한다.

**2.2 차단기 차단용량 산정을 위한 고장계산**

차단기의 차단용량을 산정하기 위해서는 차단기가 설치된 지점에 흐르는 정상운전 상태에서의 전류, 최대 순간전류 (momentary current), 차단기 접점이 개방되는 시점에서의 대칭 단락전류, 비대칭 단락전류를 필요로 한다.

이를 위한 고장전류 계산에서 모든 계통 운전조건을 상세히 반영하는 것은 그 경우의 수가 무한히 많기 때문에 불가능하다. 따라서 차단용량 결정을 위한 고장전류 계산에서는 부하와 병렬 어드미턴스를 무시하는 등의 과정을 거쳐 고장전류계산 과정을 단순화한다.

**2. 본 론**

**2.1 고장계산 개요**

전력계통의 고장계산은 송전선이나 발·변전소에 1선 지락이나 선간단락 등의 각종 고장이 발생했을 때, 고장점 및 계통의 각 지점의 전압, 전류를 구하는 것으로 보호계전방식, 차단기의 고장전류 차단용량, 송전선이나 변압기 및 그 외의 전력기기의 과전류, 과전압내력, 근접

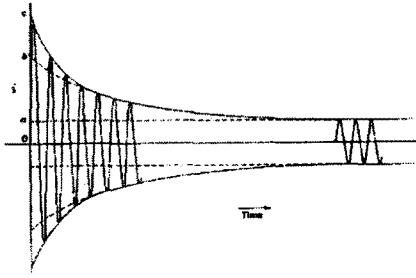
**2.2.1 대칭 단락전류와 비대칭 단락전류**

전력계통에서 고장이 발생하면 AC 성분의 고장전류 (대칭 단락전류)외에 시간에 따라 감소하는 DC 전류도 같이 흐르며 차단기는 이 두 전류성분을 차단할 수 있어야 한다.

**2.2.2 동기기의 전기자 반작용에 의한 AC성분의 감소**

동기발전기 근처에서 고장이 발생하면 DC성분과 같이 AC성분도 전기자 반작용에 의해 대칭전류의 크기도 시간에 따라 감소한다.

또한 동기기 각 상의 전압위상은 서로 120도의 차이를 가지고 있으므로 삼상단락이 발생하더라도 각 상의 DC 성분은 각 상이 서로 다른 값을 가진다. [그림 1]은 무부하로 운전 중인 발전기 단자에서 삼상 단락이 발생하는 경우, 각 상의 단락전류에서 DC 성분을 제거한 대칭고장전류를 보여주고 있다.

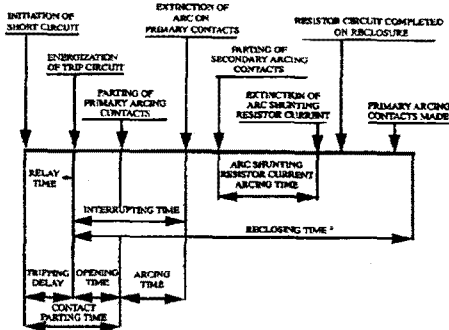


[그림 1] 시간에 따른 동기 발전기 고장전류의 대칭성분

### 2.2.3 차단기의 동작시퀀스 및 차단용량 산정

[그림 2]는 차단기의 동작 시퀀스를 보여주고 있는데 고장이 발생하면 계전기는 고장을 감지하여 차단기의 동작여부를 결정한다. 계전기가 고장을 감지하는데 소요되는 시간을 트립 지연시간 (tripping delay) 또는 계전기 시간이라 한다. 트립 지연시간은 최소한 0.5 사이클이며 이를 최소 트립 지연시간이라 한다.

이어서, 계전기가 트립신호를 내면 차단기의 주접점(primary arcing contact)이 개방되는데, 트립 신호로부터 주접점이 완전히 개방되는데 소요되는 시간을 개극시간 (opening time)이라 한다. 트립 지연시간과 개극시간을 합한 시간을 접점분리시간 (contact parting time, CPT)라고 하는데, 고장전류를 성공적으로 제거하는 것은 CPT에서의 고장전류를 차단기접점의 개방에 의해 기기의 손상 없이 차단하는 것이 관건이므로, 이 CPT 값은 차단용량을 결정하는데 가장 중요한 변수가 된다.



[그림 2] 차단기 동작 시퀀스 및 시간

### 2.3 관련 기술규격 비교검토

본 논문에서는 국제 규격중 가장 널리 사용되는 대표적인 ANSI와 IEC를 대상으로 고장계산 및 차단기 선정에 관한 기준을 분석하였다. 다음 [표 1]은 관련 기술규격 IEEE와 IEC를 비교한 결과이다.

[표 1] 관련 기술규격

검토항목	기술 규격	
	IEEE	IEC
모선 전압	가장 높은 전압	공칭전압의 1.1배 또는 1.05배
부하영향	대용량 회전기 부하를 제외하곤 무시	비회전 부하는 영상네트워크를 제외하고는 무시 동기 또는 비동기 전동기 부하의 경우 고려
발전기 정수	(포화) 차과도	포화 차과도
송변전 제어설비: shunt 변압기 tap	무시 특별한 언급 없음	무시 단 영상은 고려
차단전류	고려	특별한 언급 없음
고장종류 (일반적으로 3상단락> 일선지락)	$X1 > X0$ 일 때 일선지락 전류가 큼	$1.0 > Z_{(0)} / Z_{(1)} > 0.23$
대칭/비대칭 성분의 영향	앞의 기술 참조	앞의 기술 참조
민수용발전기의 계통연계 영향	가장 보수적인 값 고려	특별한 언급 없음
발전기 근단/원단 고장의 분리	분리	분리
DC 성분 계산을 위한 저항 값	DC 저항 값이 아님. 기준 제시	DC 저항 값이 아님. 기준 제시

### 2.4 신규계산 기준안

미래 계통을 계획하고 설계하는 것은 계통에 어떠한 외란이 작용할지 모르는 불확실성이 존재하기 때문에 최대한 보수적, 즉 최대한 Margin을 높이는 방향으로 행해져야 한다. 이러한 대원칙을 정하고 앞장에서 검토한 기술 규격을 고려하여 다음과 같이 고장계산 기준을 적용하였다.

#### 2.4.1 신규 기준안 선정 배경

1) 미래 계통의 발전기 운전 상황은 조건에 따라 변하게 된다. 반면 차단기는 한번 선정하면 발전기 운전상황과 같이 상황에 따라 수시로 변경할 수 없다. 따라서 차단기를 선정하기 위해서는 발전기 운전 상황이 최악이 되도록 전발전기를 투입하여 고장계산을 해야 한다..

2) 전동기 전류는 고장전류에 크게 기여하므로 대용량 회전기 부하의 경우는 고려하지만 나머지 부하는 고장전류에 비해 그 영향이 매우 작으므로 차단기를 선정하기 위해서는 부하를 무시한다.

3) 실존 발전기의 차과도 리액턴스는 포화하게 되므로 포화 차과도 리액턴스를 사용한다.

4) shunt와 같은 Control장치는 계통을 조절하는 설비이다. 이러한 Control장치는 계통 상황에 따라 수시로 변화하게 되므로 차단기 선정을 위한 고장계산에서는 이 설비들을 normal 값으로 설정해서 계산을 수행해야 한다. 따라서 shunt는 계통에서 제외하고 변압기 Tap은 normal 값을 사용한다. 참고로 Control장치는 차단기 선정 이후 계통의 변화에 따라 투입되는 설비이기 때문에 차단기 선정을 위해 고려해서는 안 된다.

5) 자기 branch의 고장전류는 차단기를 통하여 흐르지 않기 때문에 차단전류의 영향을 배제한 값을 고장용량의 결정에 사용해야 한다.

### 2.4.2 신규 기준안

현재 한전에서 사용하고 있는 전력계통 해석 프로그램인 PSS/E 사용시 3상단락 고장계산 고장계산 절차는 다음과 같다.

- 1) Case 메뉴로 전발전기 데이터를 Open한다.
- 2) File Input의 RESQ를 선택하고 정상분 data를 읽기 위해 terminal용으로 "1"을 입력한다.
- 3) OPTN 메뉴는 다음과 같이 선택한다.
  - Short Circuit Units : Physical (kA 단위로 표시)
  - Shor Circuit Coordinates : Polar
- 4) 포화값을 반영하기 위해 CONG SQ를 선택한다.
- 5) FLAT, CL을 선택한다. (Tap=1, Charge=0, Shunt=0)
- 6) BKDY 메뉴를 사용하여 아래항목을 입력한다.
  - Default fault duty time을 입력
  - Number of levels back for contributions output 입력
  - Breaker duty data file 입력 (Breaker duty data file은 RWDY activity를 통해 만들 수 있다)
  - 모선 3상 단락고장을 모의하고자 하는 Bus 선택
- 7) 계산결과에 의해 고장전류의 차단기정격, 초과 여부를 판정한다
- 8) 계산결과는 Report를 통하여 화면에서 확인하거나 파일로 저장한다

### 2.5 현행 절차와 신규 기준안과의 비교

[표 2]는 고장용량 계산시 현행 고장계산 절차를 적용하여 계산된 값과 신규 고장계산 절차를 적용하여 계산된 고장전류를 비교한 결과이다.

[표 2] 현행절차와 신규기준안에 의한 고장전류

3상단락								
검토 년도	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015
백분율(%)	93	94	94	94	94	94	94	94
	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	100	100	100	100	100	100	100
고장전류 차이(kA)	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	1.9
편차(%)	0-7	0-7	0-7	0-7	0-7	0-7	0-7	0-7
초과 현행기준	4	4	3	3	8	10	10	16
개소 신규기준	3	4	2	2	4	6	5	10
1선지락								
검토 년도	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015
백분율(%)	64	67	68	65	67	68	68	67
	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	100	100	100	100	100	100	100
고장전류 차이(kA)	0	0	0	0	0	0	0	0
	-	-	-	-	-	-	-	-
	3.5	3.3	3.4	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1
편차(%)	0-56	0-49	0-48	0-54	0-50	0-48	0-48	0-50
초과 현행기준	4	4	9	9	14	16	18	26
개소 신규기준	2	6	7	8	14	16	17	24

현행절차는 CPT=0 에서의 고장전류를 계산하였고 신규절차는 CPT=0.02s 에서의 고장전류를 계산하였다. 즉,

대칭전류의 감쇠영향을 반영하였다. 현행 한전에서는 고장전류의 대칭성분만을 계산하므로 두 절차의 비교를 위하여 대칭성분만을 고려하였다. 백분율을 보면 현행 한전절차에 의한 계산값보다 신규 고장계산 절차에 의한 값이 더 작거나 같고, 신규 고장계산 절차에 의한 고장계산이 현행 한전절차에 의한 계산시보다 초과개소 또한 줄어들었음을 알 수 있다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 장기계통 고장전류 분석

장기 계통 고장전류 분석은 2004년도부터 2010년도, 2015년도 한전계통에 대해 다음과 같은 순서로 시행되었다.

첫 번째로, 3상단락의 대칭 및 비대칭 고장전류를 계산한다. 이때 CPT는 1.2cycle이다.

두 번째로, 1선 지락의 대칭전류를 계산한다.

세 번째로, 차단기 용량(대칭용량 및 비대칭용량)을 넘어서는 모선을 도출한다.

50KA, 31.5KA 차단기의 정격 접점분리시간(CPT)은 1.2cycle로 가정하였다. 차단기 비대칭 정격을 계산하기 위한 S-Multiplier는 [표 3]과 같다.

[표 3] CPT 및 S-Multiplier와의 관계

정격 접점분리시간 (Contact Parting Time)	비대칭 정격을 위한 S-Multiplier
1.2 cycle	1.64
2.0 cycle	1.45
3.0 cycle	1.33
4.0 cycle	1.22

차단기 비대칭 정격은 차단기 대칭 정격에 S-Multiplier를 곱하여 구할 수 있다. 그러므로 차단기 대칭정격 50kA 차단기의 경우 비대칭 정격은 82kA, 차단기 대칭정격 31.5kA인 경우 비대칭 정격은 51.66kA가 된다.

위의 차단기 대칭·비대칭 정격을 기준으로 1선 지락 발생시에 차단기 대칭정격을 초과하는 모선과 3상 단락시 차단기 대칭 및 비대칭 정격을 초과하는 모선의 년도 별 고장전류 변화 추이를 검토하고자 한다.

(1) 1선지락고장시 차단기 대칭정격 31.5kA 초과 모선의 고장 전류

모선 번호	모선 이름	CB 정격 [kA]	검토 연도							
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015
4460	평택TP1	31.5	41.2	41.3	39.4	37.5	39.6	40.0	40.0	34.4
8595	POSCO-SS	31.5	44.2	43.9	43.9	44.0	44.0	42.8	43.2	43.5
10280	안정	31.5	6.3	6.3	6.4	31.0	31.0	34.0	34.0	31.9

(2) 1선지락고장시 차단기 대칭정격 50kA 초과 모선의 고장전류

모선 번호	모선 이름	CB 정격 [kA]	검토 연도								
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	
1310	신파주1	50						39.5	38.5	46.1	50.5
1465	종로	50		42.4	44.0	43.9		48.2	48.9	48.7	51.1
1610	성동1	50	40.9	51.1	53.1	53.5	55.5	55.7	55.5	58.6	
1611	왕십리	50	40.5	50.4	52.4	52.8	54.8	54.9	54.8	57.8	
1615	방산	50									50.9
1635	한남	50	35.2	42.6	44.1	44.2	45.2	45.4	50.3	52.8	
1655	군자	50	37.3	32.3	49.7	50.1	51.6	51.7	51.6	53.6	
1670	마장	50	40.1	50.2	52.1	52.5	54.5	54.6	54.5	57.5	
1680	신당	50	38.7	47.8	49.6	49.8	51.1	51.3	51.1	53.8	
1695	중앙	50	27.2	31.2	46.5	45.4	48.7	49.0	48.8	51.2	
1710	미금1	50	38.4	48.4	49.4	49.1	53.1	53.2	53.1	58.3	
1711	미금1S	50	19.6	48.4	49.4	49.1	53.1	53.2	53.1	58.3	
1720	구리	50	38.1	47.1	48.0	47.2	48.2	48.3	48.2	52.4	
1730	상봉	50				46.9	47.4	47.6	47.4	51.2	
1745	휘경	50	39.3	48.1	49.4	49.2	53.1	53.2	53.1	57.6	
1880	을지	50						48.3	48.2	50.5	
1980	용두	50						51.8	52.0	51.8	54.5
3660	신사중#21	50				48.4	48.6	51.5	51.5	46.3	
3810	신부평1	50	43.2	43.3	51.2	51.0	51.2	51.3	51.5	51.7	
3811	부평	50	43.2	43.3	51.2	51.0	51.2	51.3	51.5	51.7	
4510	신성남1	50	42.3	43.0	47.8	49.5	50.1	50.8	50.7	49.8	
4610	서서울1	50	49.9	50.4	47.8	48.1	48.5	48.8	49.4	49.2	
9710	신당산1	50	42.6	42.6	43.1	43.2	43.1	43.0	43.0	51.2	
10260	신교정12	50	29.4	29.4	33.3	41.6	41.6	42.3	42.4	50.7	

(3) 3상단락고장시 차단기 대칭정격 31.5kA 초과 모선의 고장전류

모선 번호	모선 이름	CB 정격 [kA]	검토 연도								
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	
1875	현저	31.5	28.9	33.5	37.3	36.9	38.3	24.9	25.0	27.0	
1876	현저S	31.5	28.9	33.5	37.3		38.3	24.9	25.0	27.0	
4460	평택TP1	31.5	36.6	36.7	34.6	32.2	34.3	34.8	34.8	32.4	
6370	덕진	31.5	32.9	32.3	19.7	29.5	30.5	30.7	30.9	27.0	
6790	두마	31.5	11.6	11.7	11.7	11.6	29.0	29.1	29.3	35.4	
7670	북광주	31.5	34.7	35.0	35.1	35.8	38.4	38.5	36.6	39.0	
7980	순천	31.5	27.3	28.6	29.7	30.0	31.2	31.6	31.6	29.9	

(4) 3상단락고장시 차단기 비대칭 정격 51.66kA 초과 모선의 고장전류

모선 번호	모선 이름	CB 정격 [kA]	검토 연도								
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	
4460	평택TP1	51.66	57.8	58.0	54.3	52.1	54.5	55.2	55.2	49.8	

(2) 3상단락고장시 차단기 대칭정격 50kA 초과 모선의 고장전류

모선 번호	모선 이름	CB 정격 [kA]	검토 연도								
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2015	
1310	신파주1	50						38.6	38.7	46.0	50.5
1610	성동1	50	38.7	47.6	49.6	50.3	52.1	52.4	52.1	54.7	
1611	왕십리	50	38.3	46.9	49.0	49.6	51.3	51.6	51.4	53.9	
1670	마장	50	37.8	46.7	48.7	49.3	51.0	51.3	51.0	53.5	
1710	미금1	50	36.3	45.3	46.3	46.3	49.7	50.0	49.8	54.5	
1711	미금1S	50	26.1	45.3	46.3	46.3	49.7	50.0	49.8	54.5	
1745	휘경	50	37.0	44.4	45.8	45.7	49.5	49.8	49.6	53.6	
1980	용두	50						48.2	48.4	48.2	50.4
4510	신성남1	50	41.7	42.6	46.7	48.4	49.1	50.1	49.9	48.8	

(2) 3상단락고장시 차단기 비대칭 정격 82kA를 초과하

는 모선은 없다.

#### 4. 결 론

이 논문에서는 선진기술규격을 검토하여 고장계산절차의 이론적 배경을 연구함으로써 신규 고장계산 절차안을 마련하였다.

장기계통 고장전류의 변화 추이를 살펴본 결과는 다음과 같다. 3상단락시 차단기 대칭정격 50kA를 초과하는 모선은 1선지락시에도 초과됨을 알 수 있으나 3상단락시 차단기 대칭정격 31.5kA를 초과하는 모선과 1선지락시 차단기 대칭정격 31.5kA를 초과하는 모선중 10280 안정을 제외하고는 일치하지 않음을 알 수 있다. 그러므로 차단기 정격 선정시 3상단락과 1선지락이 개별적으로 고려되어야 한다. 고장전류가 차단기 대칭 정격을 만족한다고 해도 비대칭 정격을 초과하는 경우가 생길 수도 있고, 반대로 차단기 비대칭 정격을 만족해도 대칭 정격은 초과되는 경우가 존재할 수 있다. 그러나 앞의 결과로부터 3상단락시 차단기 비대칭 정격을 초과하는 모선은 4460 평택TP1 하나이므로 대체로 모선 고장전류가 차단기 비대칭 정격을 만족한다고 볼 수 있다. 몇 개의 케이스를 제외하고는 일반적으로 계통 확장과 더불어 고장용량이 증가한다는 것을 알 수 있고, 고장용량이 일시적으로 높아졌다가 감소하는 모선에 대해서는 차단기 교체를 보류할 수도 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE Power Engineering Society, IEEE Std C37.010-1999 "IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis"
- [2] IEEE Std C37.04-1999 "IEEE Standard Rating Structure for AC High Voltage Circuit Breakers"
- [3] International Electrotechnical Commission, International Standard IEC 909 "Short-circuit Current Calculation in Three-phase a.c. Systems", 1988
- [4] W. D. Stevenson, Elements of Power System Analysis, Fourth Ed., McGraw-Hill Book Co, 1982
- [5] P. M. Anderson, Analysis of Faulted Power Systems, The Iowa State University Press, Ames, 1973