

EMTDC를 활용한 자가용 수용가 차단기 투입전류 확률해석

윤재영\* 최흥관\*

Statistical analysis of CB making current in large scale industrial load using EMTDC

Jae-Young, Yoon\* Heung-Kwan, Choi\*

\*) Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

**Abstract** - This paper presents the statistical analysis of the circuit breaker's making current in large scale industrial loads using EMTDC. Typically, the making current includes DC components as the phase angle of making instances varies and represents as a instantaneous value not rms. Consequently, in this paper, the statistical analysis results of making current and steady state fault current for typical industrial loads presents.

1. 서론

전력계통에서 고장제거를 위하여 시행하는 차단기 재투입에 의한 투입전류(making current)는 투입 순간의 전압위상에 따라서 크기가 달라진다. 즉, 차단기를 투입한 직후에는 직류분을 포함하고 있으므로 큰 피크값의 투입전류(making current)가 흐르지만 일정시점이 경과하고 나면 계통조건에 따른 일정한 크기의 정상상태 지속 고장전류가 흐르게 된다. 여기서 초기부분에 흐르는 투입전류의 직류분은 투입위상에 따라서 서로 다르므로 확률해석을 시행하여야 정확한 분석이 가능하다. 만약, 차단기 투입이전에 투입하는 차단기의 후단에 지락고장이 발생한 상태에서 차단기 투입을 하는 경우 정상상태 부하전류가 아니라 통상적인 고장전류가 흐르게 된다. 이러한 차단기 투입전류는 고장전류 초기부분과 마찬가지로 순시치 피크값(kA\_peak)으로 표현하여야 한다. 본 논문에서는 154[kV] 자가용 수용가 계통의 차단기 투입전류를 EMTDC 프로그램을 활용하여 모의하고 확률해석을 시행하였다. 전기위상 1주기 내에서 180회의 확률해석을 시행함으로써 발생가능한 차단기의 투입전류 크기를 확률적으로 분석할 수 있는 근거를 마련하였다.

2. 자가용 수용가 차단기 투입전류에 미치는 영향요소

일반적으로 자가용 수용가 계통에서 발생하는 차단기 투입전류는 여러 가지 요소에 의하여 영향을 받을 수 있다. 아래의 표 1은 고장전류 및 투입전류 계산에 영향을 미칠 수 있는 요소를 정리한 것이며, 파급영향의 정도를 정성적으로 표기한 것이다.

3. 계통 모의방법 및 해석케이스

3.1 계통해석 케이스

본 논문에서는 설정한 기본 계통해석 케이스는 앞의 표 1에서 기술한 영향요소를 고려하여 주변 수용가 계통을 무시하고 한전 전원임피던스와 해당 수용가의 자가용 선로만으로 구성된 경우로 설정하였으며 여기에 주변 수용가를 등가적으로 고려하였을 때의 변화 양상을 고찰하였다. 그리고 주변 수용가를 무시한 기본 계통 해석 케이스에 대하여 고장임피던스를 변화시키면서 차단기 투입전류와 지속 고장전류의 변화추

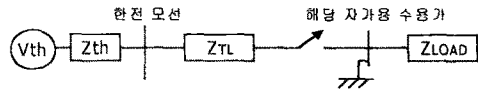
이를 분석하였다.

표 1. 지속 고장전류 및 투입전류에 미치는 영향요소

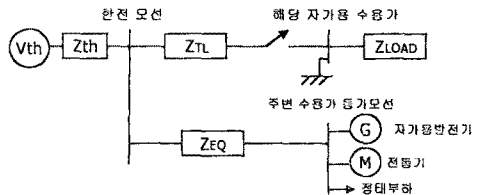
항 목	파급영향	비 고	
한전전원 등가임피던스	파급영향 最大 전원 단락용량에 비례		
고장위치/투입위치	투입전류에 파급영향 大 고장전류 파급영향은 없음	고장전류는 고장 위치에 무관	
해당 수용가 선로	선로임피에 길고 임피던스가 클수록 고장전류 감소, 파급영향 中		
고장임피던스	지락저항 클수록 고장전류 감소 파급영향 大	지락저항의 저항에 좌우	
주변 수용가	수용가선로	고장전류 분류효과 가짐. 타 수용가 선로 많을수록 고장전류 감소, 파급영향 小	고장전류 증대/감소 효과 교차.
	수용가일반부하	고장전류 분류효과 가짐. 파급영향 最小	계통용량에 비해 미미하므로 파급영향은 극히 적음.
	전동기부하비율	고장시 발전기로 동작. 파급영향 小	따라서 무시가능
	자가용 발전기	고장전류 증대효과. 파급영향 小	

- \*1) 한전전원 등가임피던스는 전력을 공급하는 한전 변전소의 단락용량을 의미
- \*2) 주변 수용가는 동일 한전변전소에서 전력을 공급하는 여타 수용가를 의미

이러한 계통해석 케이스를 나타내면 아래 그림 1.과 같다.



(a) 주변 수용가를 무시한 기본 계통해석 케이스



(b) 주변 수용가를 고려한 계통해석 케이스

그림 1. 차단기 투입전류 및 고장전류 해석 케이스

3.2 계통 모의방법

기본적으로 EMTDC 내에서의 기기모델을 활용하여 계통을 구성하였으나 전압과 주파수 의존형 정태부하 등은 EMTDC 내에서의 사용자 정의모델을 작성하여 해석 시에 사용하였다. 확률해석은 투입위상을 전기각도 1°를 기준으로 하여 반주기 내에서(8.33ms)에서 180회 시행하였으며, 투입위상의 분포는 정규분포가 아닌 전기각도 0°에서 시작하

여 순차적으로 1° 씩 증가시키는 방법을 사용하였다. EMTDC에서 모의한 계통 구성을 나타내면 그림 2.와 같다.

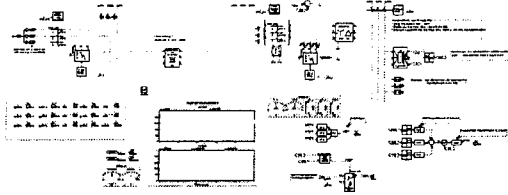


그림 2. EMTDC 모의계통 (주변 수용가 무시 경우)

#### 4. 계통해석 해석결과

위의 계통해석 케이스에 대하여 각각 한전 변전소의 단락용량에 따른 변화를 고찰하기 위하여 주변 수용가의 영향을 무시한 경우 특정 변전소의 2001년도 최대 및 최소 단락용량 조건을 적용하여 분석하였으며 차단기 투입전류 및 지속 고장전류의 확률해석 결과를 나타내면 아래 표 2.와 같다.

표 2. 주변수용가를 무시 해석케이스 (고장임피던스=0Ω)

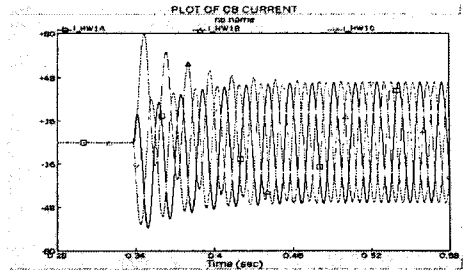
계통조건	투입전류 해석결과 (kA_peak)				지속 고장전류 (kA_rms)			비고
	최대치	최소치	평균치	표준편차	최대치	평균치	표준편차	
HW_BASE_MAX (특정 변전소 최대 단락용량 조건)	79.97	75.24	78.28	1.43	31.58	31.58	-	
	2% Level : 75.33 98% Level : 81.23				2% Level : 31.58 98% Level : 31.58			
HW_BASE_MIN (특정 변전소 최소 단락용량)	76.79	72.22	75.15	1.39	30.23	30.23	-	
	2% Level : 72.32 98% Level : 77.99				2% Level : 30.23 98% Level : 30.23			

\*) 해석결과는 A, B, C 3상의 값 중에서 큰 값을 분석한 것임.

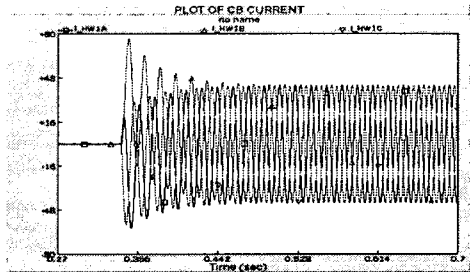
위의 표 2에서 특정 변전소의 최대 단락용량 조건에서 지속고장전류는 모든 경우 31.58(kA\_rms)로 일정하게 나타났으며, 차단기 투입전류의 최대치 79.97(kA\_peak), 최소치 75.24 (kA\_peak), 평균치 78.28(kA\_peak)로 해석되었다. 또한, 본 해석결과로 구해진 평균치 78.28(kA\_peak) 및 표준편차 1.43(kA\_peak)를 가지고 본 해석결과를 정규분포 형태로 가정한다면 누적분포 곡선에서 2% Level은 75.33 (kA\_peak), 98% Level은 81.23(kA\_peak)으로 추정되었다. 이는 본 해석결과에서 구해진 투입전류의 최대치가 T=0.341(sec)에서 79.97(kA\_peak)과는 서로 다른 결과이다. 즉, 본 해석결과를 토대로 하여 추정할 때 확률해석을 다시 시행하는 경우 차단기 투입전류의 최대치가 81.23(kA\_peak)를 초과할 확률이 2%가 될 수 있음을 의미한다. 위의 해석결과에 대한 차단기 투입전류 파형을 나타내면 그림 3.과 같다.

주변 수용가의 고장전류 분기로 인한 고장전류 감소효과와 자가용 발전기 및 전동기 부하가 고장전류 증대에 미치는 영향을 종합적으로 분석하기 위하여 주변 수용가 계통을 증가 처리하여 계통해석을 시행하였다. 주변 수용가의 증가 처리방법은 주변 수용가와 연결하는 병렬 송전선로를 아주 짧은 거리의 등가선로 (ACSR 240[mm<sup>2</sup>], 0.5km)로 모의하였으며, 자가용 발전기와 부하를 각각 등가용량으로 처리하였으며, 전체적인 등가처리 모의방법은 다음과 같다.

- 주변 수용가 연결선로 : ACSR 240[mm<sup>2</sup>] 0.5km
- 주변 수용가 자가용 발전기 등가용량 : 20MW
- 주변 수용가 전동기 부하 등가용량 : 30MW(PF=0.9)
- 주변 수용가 정태 부하 등가용량 : 5MW(PF=0.95)



(a) 차단기 투입전류 및 지속고장전류 파형 (특정 변전소 최대 단락용량 조건)



(b) 차단기 투입전류 및 지속고장전류 순시치 파형 (특정 변전소 최소 단락용량 조건)

그림 3. 주변 수용가 계통 무시한 경우의 차단기 투입전류 해석결과

이와 같이 주변 수용가를 증가적으로 고려한 경우의 확률 해석 결과를 나타내면 표 3.과 같다. 최대 단락용량 조건의 해석결과를 살펴보면 주변 수용가를 무시한 앞의 해석결과와 비교할 때 전반적으로 투입전류는 평균치가 78.28kA에서 78.49kA로 미미하게 상승하였으나 고장전류는 31.58kA로서 거의 동일하였다.

표 3. 주변 수용가 고려 해석케이스 (주변 수용가 증가 모의, 고장임피던스=0Ω)

계통조건	투입전류 해석결과 (kA_peak)				지속 고장전류 (kA_rms)			비고
	최대치	최소치	평균치	표준편차	최대치	평균치	표준편차	
HW_BASE_MAX (특정 최대 단락용량 조건)	80.20	75.43	78.49	1.44	31.58	31.58	-	
	2% Level : 75.53 98% Level : 81.45				2% Level : 31.58 98% Level : 31.58			
HW_BASE_MIN (특정 최소 단락용량 조건)	77.02	72.43	75.37	1.39	30.23	30.23	-	
	2% Level : 75.52 98% Level : 78.23				2% Level : 30.23 98% Level : 30.23			

\*) 해석결과는 A, B, C 3상의 값 중에서 큰 값을 분석한 것임.

종합적으로 판단하면 표 3.의 주변 수용가를 고려한 해석결과와는 앞의 주변 수용가를 무시한 경우와 거의 동일하다. 이러한 이유는 기본적으로 한전 계통용량에 비하여 주변 수용가의 자가용 발전기와 전동기 부하용량이 아주 적고 큰 임피던스를 가진 변압기를 통하여 연결되어 있어 고장전류 증대효과가 미미하며, 또한 주변 수용가 선로로의 고장전류 분기에 따른 감소효과도 있기 때문이다. 즉, 위의 주변 수용가 증가 발전기 용량과 전동기 용량을 변화시켜도 고장전류에 미치는 영향은 지극히 적다. 또한, 앞의 주변 수용가를 무시한 해석 케이스에서 최대 차단기 투입전류가 발생하는 경우에대하여 고장 임

피던스를 변경시키면서 투입전류 크기와 지속 고장전류의 변화 추이를 살펴보면 아래 표 4.와 같다. 아래의 고장 임피던스 변동에 따른 투입전류 및 지속고장전류 해석결과에서 알 수 있듯이 고장저항이 커짐에 따라서 투입전류와 지속고장전류가 급격히 감소됨을 알 수 있다. 따라서, 지락고장의 상태에 따라서 차단기 투입전류와 고장전류의 크기는 크게 변할 수 있음을 뜻한다.

표 4. 고장임피던스 변동에 따른 투입전류 및 지속 고장전류 변화추이 (주변 수용가 무시)

계통 조건		투입전류 (kA <sub>peak</sub> )	지속고장전류(kA <sub>rms</sub> )
HW_BASE_MAX_R1 ~ R5 (고장저항 변화)	Rf=0( $\Omega$ )	79.97	31.58
	Rf=0.1( $\Omega$ )	76.12	31.46
	Rf=0.2( $\Omega$ )	72.62	31.31
	Rf=0.5( $\Omega$ )	63.76	30.62
	Rf=1( $\Omega$ )	52.86	28.93
	Rf=10( $\Omega$ )	12.01	8.33
HW_BASE_MDX_R1 ~ R5 (고장저항 변화)	Rf=0( $\Omega$ )	76.79	30.23
	Rf=0.1( $\Omega$ )	73.23	30.13
	Rf=0.2( $\Omega$ )	69.98	29.99
	Rf=0.5( $\Omega$ )	61.72	29.38
	Rf=1( $\Omega$ )	51.46	27.87
	Rf=10( $\Omega$ )	11.97	8.30

## 5. 결 론

위와 같은 계통모의 및 EMTDC 해석결과를 바탕으로 하여 자가용 수용가의 차단기 투입전류 분석결과에 대한 결론은 다음과 같다.

- 차단기 투입전류는 투입위상에 따라서 달라지며, 특정 변전소에서 공급받는 특정 자가용 수용가에 대한 계통 분석결과 의 한 예를고찰하면 다음과 같다. 주변 수용가 계통을 고려 하지 않은 경우 한전 변전소의 최대 단락용량 조건에서 투입위상에 따른 180회 확률해석 결과 최대 투입전류는 79.97(kA), 평균치 78.28(kA)로 분석되었다. 또한, 모 선 지속 고장전류는 31.58(kA)로 나타났다.
- 또한, 주변 수용가 계통을 등가 모의한 해석 케이스에서는 180회 확률해석 결과 최대치 80.2(kA), 평균치 78.49(kA)로서, 위의 기본 해석 케이스 보다 약간 큰 값을 나타내었으나, 결과적으로 주변 수용가의 영향은 극히 미미한 것으로 분석되었다. 이는 전체 계통용량 대비 주변 수용가의 용량이 미미하기 때문인 것으로 분석된다.
- 또한, 모든 경우에 있어서 고장 임피던스가 증가함에 따라서 지속고장전류 및 차단기 투입전류는 크게 저감되었다. 이는 상식적으로 고장임피던스가 고장전류 크기에 미치는 영향이 상대적으로 매우 크다는 사실과 일치한다.

### (참 고 문 헌)

- [1] EMTDC Manual V3.0.8
- [2] 한전 단락용량 자료집 (2001년)
- [3] Gross, "Power System Analysis"