

# 진공차단기 스위칭 써지 특성 해석 및 저감 방안

## Surge Characteristics Analysis and Reduction Method of Vacuum Circuit Breaker

김 종 겹\*  
(Jong-Gyeum Kim)

**Abstract** - Vacuum circuit breaker(VCB) has been widely used for interruption of load current and fault current for high voltage motor in the industrial field. Its arc extinguishing capability is excellent compared to other breakers. But it has the potential to cause multi reignition surge by high extinguishing capability. Surge voltage is generated by the opening and closing of VCB. Multi reignition surge of VCB is steep-fronted waveform. It may have a detrimental effect on the motor winding insulation. So, most of users install a protection device to limit steep-front waveform at the motor terminal or breaker side. So, most of users install a protection device at the motor terminal or breaker side. This protective device is surge absorber(SA) such as ZnO and RC type. In this study, we analyzed whether there is any effect when two type SA is applied to the VCB multi reignition surge. We confirmed that ZnO SA is slightly more effective than RC SA for reduction of multi reignition surge.

**Key Words** : VCB, Current chopping, Multi-reignition surge, Surge absorber(SA), Induction motor

### 1. 서 론

산업현장에서 과부하 및 고장전류를 차단하기 위해 다양한 차단기가 적용되고 있다. 진공차단기(VCB)는 다른 차단기에 비해 차단 능력이 뛰어나 아크전류를 빠르게 소호시킬 수 있고, 안전성이 우수하며, 소형화·경량화·불연성·장수명·유지보수가 편리하여 유도전동기와 같은 유도성 부하의 개폐기로 널리 사용되고 있다[1,2,3].

진공차단기는 이와 같은 장점에도 불구하고 차단시에 높은 써지전압이 전동기와 같은 유도성 부하에 전달될 경우 권선절연을 열화시키는 경우가 있다. 특히 진공차단기의 높은 소호력으로 다중 재발호가 발생할 경우 급준파 써지 전압이 전동기 단자에 전달될 경우 권선의 고장은 더욱 빨라질 수 있다[2~5]. 그래서 급준파 써지 전압을 저감시키기 위해 써지 흡수기(SA)가 적용되고 있다. 써지 흡수기는 차단기 후단이나 부하측 단자에 부착하는 경우도 있고, 부착하는 위치에 따라 흡수장치의 형태도 서로 다르게 적용하고 있어 사용자가 어떤 형태를 어느 곳에 설치하는 것이 효과적인지에 대해 정확하게 파악하지 못하고 있다.

그래서 본 연구에서는 재단 및 다중 재발호 써지가 발생할 경우 전동기에 미치는 써지 전압을 줄이기 위해 차단기 후단과 부하측 입구에 설치하는 ZnO와 CR 써지 흡수기에 대해 어느 정도 효과가 있는지를 비교 분석하였다.

### 2. 재단 및 다중재발호 써지

#### 2.1 재단써지

진공차단기 개폐시 음극에서 공급되는 금속 증기 이온, 전자가 진공중에서 확산되는 양보다 작으면 점점 사이 아크가 유지되지 못하여 그림 1과 같이 아크 불안정이 발생하며, 전원 주파수 전류가 자연 영점에 이르기 전에 조기 억제되는 재단현상을 재단써지라고 한다[2,3]. 이는 차단기가 재단시 전류가 완전히 제로가 되기 전에 강제적으로 전류를 끊기 때문에 전류와 임피던스의 곱에 해당하는 써지전압이 부하측에 걸리기 때문에 권선에는 스트레스로 작용할 수 있다[2,3]. 그래서 전동기와 같은 경우 급준파 써지에 대해 전압의 크기를 제한하고 있다[4,5,6].

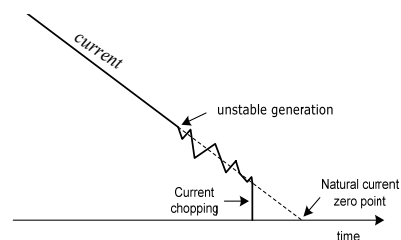


그림 1 아크의 불안정성

Fig. 1 Arc instability

전류 재단시의 진동주파수는 수 kHz의 아크 전류가 소호작용으로 유도성 부하의 경우 큰 써지 전압이 발생하게 된다. 이와 같은 전류 차단시 전동기의 단자에 걸리는 전압( $E_s$ )은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_s = I_{ch} \sqrt{(1-\gamma)Z_m} \quad (1)$$

\* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Gangneung-wonju National University, Korea

E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr

Received : December 4, 2012; Accepted : January 28, 2013

여기서  $I_{ch}$  : 전류 차단 레벨

$$Z = \sqrt{L_m / C_m} : \text{부하측 임피던스}$$

$\gamma$  : 철손 등을 고려한 손실계수

### 2.2 다중재발호 씨지

진공차단기가 전류 영점 근처에서 개극 한 경우에는 소호 직후 전극간 거리가 작기 때문에 절연내력도 낮아지고, 과도 회복전압(TRV)이 크게 되어 재방전이 일어난다. 재방전이 0.25 사이클 이내에 발생한 경우를 재발호(reignition)라고 한다[3].

그림 2는 재발호 발생시의 극간 내전압과 전류 파형을 나타낸 것이다. 차단기의 차단 명령이 보통 차단전류의 위상과는 무관하게 출력되기 때문에 전극이 기계적으로 분리되고 나서부터 전류가 완전히 차단되기까지의 시간(아크 소호시간)이 필요하다. 그림 2의 개극점 a처럼 아크 시간이 주어진 경우 전류가 실제로 차단될 때까지는 전극이 간극이 충분히 열리기 때문에 차단 후 극간에 발생하는 회복전압에 견딜 수 있는 내전압이 된다. 그러나 개극점 b처럼 아크 시간이 짧은 경우 전극의 간격이 충분히 확보되기 전에 과도회복전압(TRV)이 전극간의 내압을 상회할 경우 극간이 섬락하여 다시 아크가 이어지게 된다. 이럴 경우 재발호 전류가 전류 영점을 만들어 내기위해 흐르기 시작한 발호전류는 다시 차단되어(그림 2의 d) 전극간에 전압이 발생한다. 이 전압에 의해 다시 전극이 섬락(그림 2 e)하고 같은 과정을 반복할 경우 발생전압이 상승하게 된다.

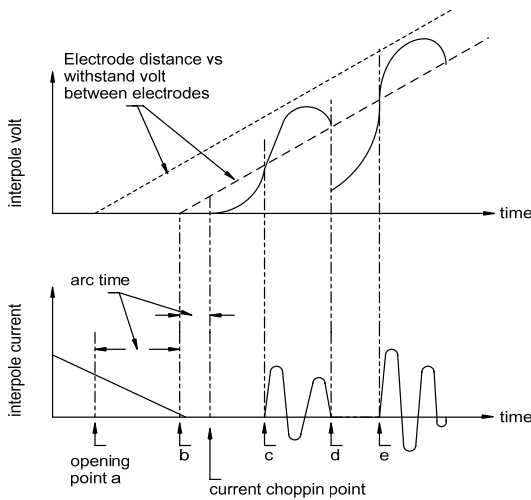


그림 2 재발호 발생 메커니즘  
Fig. 2 Reignition generation mechanism

재발호가 일어난 경우 전류가 어느 정도 이상 큰 경우에는 그대로 속호(續弧)해서 다음 전류 영점에서 차단하기 때문에 오히려 씨지 전압을 억제하지만, 적당한 개극 위상과 전류값에서 재발호시의 과도 고주파 전류를 차단해서, 그때 나타나는 과도회복전압에 견디지 못하고 다시 발호하게 된다. 이와 같이 극간 절연회복과 과도회복 전압의 경쟁에 의해 발호와 소호가 반복되는 것을 다중 재발호라고 한다[2,3]. 다중 재발호가 일어난 경우에는 전압 상승이 발생하기 때문에 전동기의 권선절연에 아주 나쁜 결과를 초래할 수 있다.

### 3. 회로 구성

그림 3은 진공차단기 차단 및 다중 재발호 씨지를 분석하기 위한 등가 회로도를 나타낸 것이다.

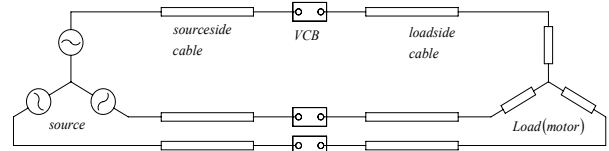


그림 3 씨지 해석용 회로도  
Fig. 3 Circuit for surge analysis

그림 3와 같은 회로에서 씨지 전압의 동작 특성을 분석하기 위해서는 전원, 케이블, 전동기에 대한 파라미터를 찾는 것이 매우 중요하다.

#### 3.1 전원측 파라미터

진공차단기의 개폐 동작에 의해 발생하는 씨지 특성을 해석하기 위해서는 전원, 차단기, 케이블 그리고 부하에 대한 정확한 파라미터 산출이 필요하다.

우선 전원측 인덕턴스와 커패시턴스에 대한 파라미터는 식 (2) 및 (3)과 같다.

$$L_s = \frac{V_L^2}{wP_s} \tag{2}$$

$$C_s = \frac{1}{L_s(2\pi f_s)^2} \tag{3}$$

식 (2)에서  $P_s$ 는 단락용량이고, 식 (3)에서 커패시턴스  $C_s$ 는 차단기 개방시 전원측 회로에 나타나는 감쇠진동 파형의 진동 주파수  $f_s$ 와 인덕턴스  $L_s$ 에 의해 결정된 것이다[2,3].

#### 3.2 케이블 파라미터

케이블에 대한 파라미터는 집중정수와 분포정수로 나눌 수 있다[2,3]. 집중정수 회로에서 T형과  $\pi$ 형 모델이 있다. 이 집중 정수 회로로 해석하기 위해서는 케이블에 대한 정확한 임피던스가 사용되어야 하지만, 실제 제작회사에서 제시하고 있는 값이 현장 조건에 따라 달라지므로 정확한 결과를 얻는데 어려움이 있다. 그래서 케이블에 대한 모의 해석에서는 집중정수회로를 사용하기 보다는 분포정수회로를 이용하여 모의하는 경우가 많다[2,3]. 분포 정수회로에서 케이블에서의 전파속도  $v$ 는 인덕턴스와 커패시턴스의 함수로 나타낼 수도 있지만, 케이블의 비유전율에 의한 공식을 사용하여 구할 수 있다.

$$v = \frac{1}{\sqrt{L_c C_c}} = \frac{300}{\sqrt{\epsilon_r}} \left[ \frac{m}{\mu s} \right] \tag{4}$$

식 (4)로 구해진 케이블의 전파속도는 분포정수 회로를 사용하여 케이블에 대한 영향을 해석하는데 쉽게 이용할 수 있다.

### 3.3 전동기 파라미터

전류 제한에 의한 써지 전압의 크기는 전동기의 써지 임피던스와 전류 제한값에 의해 결정되지만, 전동기의 써지 임피던스와 부하전류는 그림 4에서와 같이 전동기의 용량에 따라 달라지는데 일반적으로 용량이 클수록 작아지는 특성을 지니고 있다. 이와 같은 조건에서 차단시에 발생하는 써지 전압의 크기는 전동기 용량이 작을수록 높아지고, 전동기 용량이 클수록 높아짐을 알 수 있다[2,3].

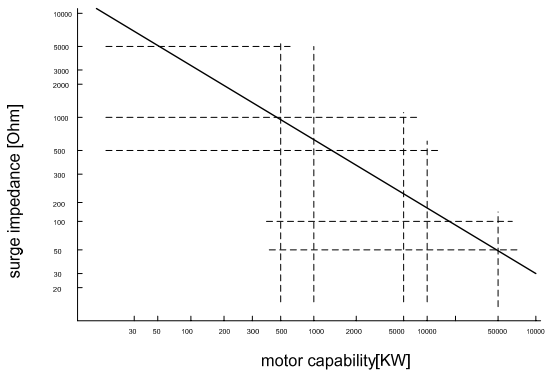


그림 4 전동기용량에 따른 써지 임피던스  
Fig. 4 Surge impedance vs motor capacity

진공차단기에 의해 전원을 개폐할 경우 차단기에 나타나 는 아크의 소호와 방전시 부하측에는 공진 현상( $X_L = X_C$ )이 발생하므로 이들을 고려하여 다음과 같이 전동기 저항을 구할 수 있다.

$$R_m = \frac{P}{3I_s^2 \cos\phi} \tag{5}$$

여기서  $P$  : 전동기 용량  
 $I_s$  : 차단전류  
 $\cos\phi$  : 돌입과 같은 초기 상태에서의 역률

또한 유도전동기의 리액턴스는 다음과 같이 구해진다.

$$L_m = \frac{V_L^2 \sin\phi_1}{\omega_o \times S} \tag{6}$$

이때 유도전동기 커패시턴스는 전동기 임피던스( $Z_m$ )로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_m = \frac{X_L}{Z_m^2} \tag{7}$$

### 3.4 다중재발호 모의 블록도

다중 재발호는 매우 짧은 시간에 일어나는 현상이기 때문에 이를 모의하기 위해서는 진공차단기의 절연 회복 특성, 고주파 전류 소호 특성과 재발호시에 흐르는 고주파 전류 회로 등을 정확하게 모델링해야 한다.

다중 재발호 써지 현상을 모의하기 하기 위해서는 스위치의 개폐동작을 반복할 필요가 있는데 이는 전자계과도해석 프로그램(EMTP)의 TACS(Transient Analysis Control Switch) 기능을 적용하면 가능하다[7]. 그림 5는 진공차단기의 절연회복특성과 고주파 전류 소호 특성 등의 다중 재발호 써지 해석을 위한 EMTP에 포함되어 있는 TACS 프로그램 사용을 위한 시스템 블록도를 나타낸 것이다.

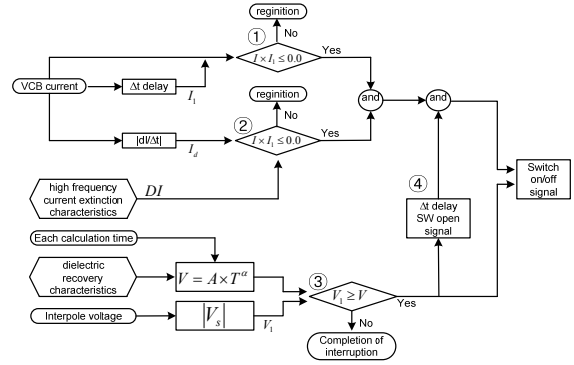


그림 5 진공차단기의 모델 블록도  
Fig. 5 Model block diagram of VCB

그림 5에서 ①은 각 계산 스텝의 진공차단기 전류  $I$  와 한 스텝(step) 앞의 전류  $I_1$  의 적이 제로 이하가 된 것을 판정해서 전류 영점을 통과하는 것을 판단한다. 또 ②는 진공차단기 전류  $I$  의 전류 기울기  $I_d$  가 진공차단기의 고주파 전류 소호특성  $DI$  이하 인가를 판단한다. 그리고 ①, ② 양쪽의 조건이 만족할 때에 진공차단기의 개방(open) 신호가 생긴다. ③은 진공차단기의 극간전압  $V_s$  가 진공차단기의 극간 내전압  $V$  보다 크다는 것을 판단했을 때 진공차단기 닫힘(close) 신호를 발생한다.

또 진공차단기의 개방시에 흐르는 고주파 전류의 초기부에 계산상 고주파의 성분이 중첩하는 경우가 있다. 이 고주파 성분의 영점에서 진공차단기 개방신호가 발생하는 것을 막기 위해, ④에 진공차단기를 닫은 후  $\Delta t$  사이 진공차단기 열림 신호를 발생하지 않게 설정한다.

실제 재발호 써지 발생 현상은 진공 차단기의 전극이 기계적으로 열려 있는 상태에서 전극간에 아크가 발생했다가 소멸하는 것으로 다중 재발호는 전기적 접촉과 차단을 반복하는 것이다.

그림 5에서와 같이 본 연구에서 사용된 차단기의 절연회복 전압  $V$  는 다음과 같다.

$$V = A(\text{time}x - t_{open})^\alpha \tag{8}$$

여기서  $A$  : 차단기 내압 곡선 기울기  
 $\alpha$  : 상수  
 $\text{time}x$  : 실제 모의시간  
 $t_{open}$  : 차단기 실제 개방시간

진공차단기는 고주파 아크를 차단하는 우수한 능력을 가지고 있기 때문에 수 사이클이 지나면 고주파 진동전류를 차단한다.

### 3.5 써지 흡수기(SA)의 특성

스위칭 써지에 의한 전기적 스트레스를 저감을 위해 사용되는 보호장치로서 산화아연 소자(ZnO)를 사용한 것과 저항과 콘덴서를 직렬로 연결한 RC 써지 흡수기가 널리 알려져 있다.

#### 3.5.1 ZnO SA[8]

과도전압을 줄이는데 ZnO와 같은 비선형 소자를 이용하고 있다. 이 소자는 소자에 유입되는 전압을 제한하기 위해 사용되는 비선형 전압-전류 특성을 가지고 있다. 표 1은 본 해석에 사용된 4.16kV SA 정격 데이터이다.

표 1 4.16kV 써지 흡수기 정격

Table 1 4.16kV SA Rating

Rated Volt	8/20 $\mu$ s Maximum Discharge Voltage(kV)					
	1.5kA	3kA	5kA	10kA	20kA	40kA
6.0kV	19.0	20.0	21.0	22.0	26.0	30.5

표 1에서와 같은 제작사 데이터를 사용하여 해석에 적용하는 경우도 있지만, 식 (9)와 같이 전압-전류 특성을 비선형 방정식을 사용하면 된다[5,7].

$$i = p \left( \frac{v}{V_{ref}} \right)^q \quad (9)$$

여기서  $i, v$  는 각각 흡수기의 전류와 전압이고,  $p, q$  그리고  $V_{ref}$  는 장치의 상수로서 임의의 기준전압이다.

#### 3.5.2 RC SA

급준파로부터 전동기와 같은 권선을 절연을 보호하기 위해 부하측 앞단에 사용하는 써지 흡수기로서 RC 써지 흡수기는 정상적인 동작에서는 거의 개방회로에 가깝고, 써지 주파수에서 도달하는 써지에 대해서는 거의 단락회로 역할을 한다[5]. 그래서 써지 흡수기는 전동기 단자에 도달하는 써지를 흡수하고 그 급준도를 완화시키는 역할을 한다.

써지 흡수기는 단지 써지의 준도를 줄일 수 있지만, 그 크기를 제동하지는 못한다. 써지 흡수기 C에 직렬로 작은 값의 제동저항은 높은 크기의 써지 에너지 일부분을 흡수하고 그것을 작은 값으로 제동할 수 있다. 재발호 전류를 확실하게 제동하기 위한 저항은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_{sa} \geq 2 \times \sqrt{\frac{L_c}{C}} \quad (10)$$

여기서  $L_c$  는 케이블의 인덕턴스이다.

식 (10)에서의 저항값은 거의 30~100[ $\Omega$ ]이고, 저항값의 계산에 포함된 합성 커패시턴스  $C$  는 다음과 같다. 차단기의 과도회복전압(TRV)를 줄이기 위해 저항과 결합하는 커패시턴스는 대개 0.1~1[ $\mu$ F] 정도의 값이 많이 사용되고 있다[5].

### 4. 특성 해석

재단시의 써지 전압의 크기 분석을 위해 사용한 전동기는 4.16[kV] 1,600[hp]이다. 이때 1[pu] 전압의 크기는 3.39[kV]이다. 전원측에서 차단기까지의 거리는 대부분 짧기 때문에 일정한 거리를 설정하고, 차단기에서 전동기까지의 거리는 현장에 따라 짧은 경우도 있고, 긴 경우가 있으므로 거리의 변화와 보호장치의 설치 전후에 대해 해석하였다.

차단기의 재단 전류값은 현재 접촉자의 재질 개선으로 수 [A]로 이하이므로 본 해석에서는 5[A]를 적용하였다. 과도 특성을 분석하기 위해서는 전자계 과도 해석 프로그램을 적용하였다[7].

#### 4.1 재단써지 해석

##### 4.1.1 보호장치(SA)를 사용하지 않은 경우

써지 보호장치를 사용하지 않고 재단시에 전동기에 나타나는 3상 전압(REC\_A[○], REC\_B[□], REC\_C[△])의 크기를 해석한 결과는 그림 6과 같다.

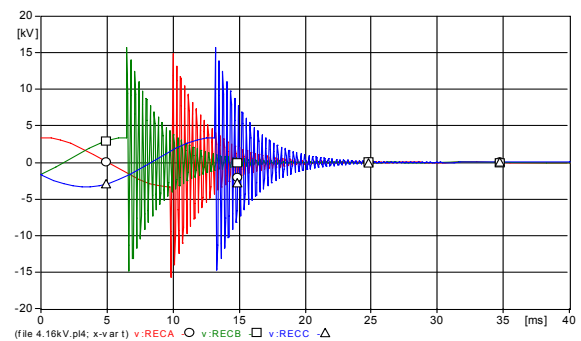


그림 6 재단시의 써지전압

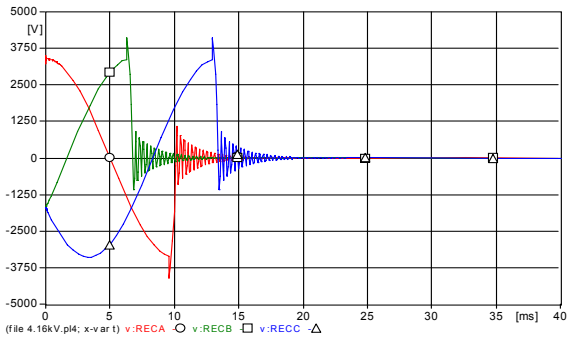
Fig. 6 Surge voltage at chopping

그림 6에서와 같이 케이블 길이가 10[m]로 짧은 경우 피크 전압의 크기는 15.70[kV]로서 4.62[pu]에 해당되는 전압이 전동기 입구측에 걸리게 된다. 또한 케이블 길이의 변화에 따른 전동기에 나타나는 전압의 크기는 IEEE std 522-2004에서 권고하는 기준 범위 5[pu]이내에 해당된다[9].

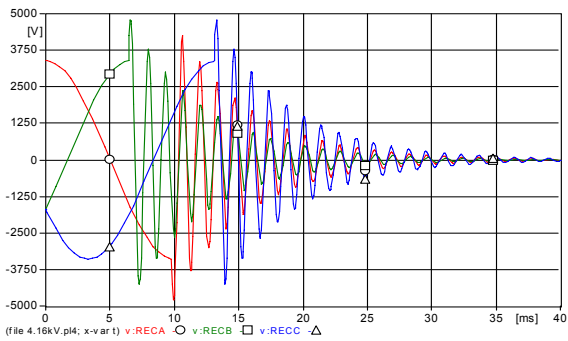
##### 4.1.2 보호장치(SA)를 사용한 경우

개폐 동작은 일회성이 아니라 에너지를 공급하는 동안 지속적으로 일어날 수 있으므로 전압의 크기가 높을 경우 반복적인 동작으로 전동기 권선 절연을 열화시킬 수 있다. 따라서 이들 써지 전압으로부터 전압의 크기를 제한할 필요가 있다.

써지 전압의 크기를 줄이기 위해 써지 흡수기를 적용하고 있다. 이중에서 차단기 2차측에는 ZnO SA를 많이 사용하고 전동기 단자에는 RC SA를 적용하고 있다. 그래서 여기서는 두 가지를 적용한 경우 전압의 변화를 해석하였다. 그림 7은 그림 6의 조건을 그대로 사용하고 차단기 2차측과 전동기 입구단에 SA를 설치하고서 해석한 결과이다.



(a) ZnO SA 적용한 경우



(b) RC SA 적용한 경우

그림 7 SA를 적용한 경우 써지 전압  
Fig. 7 Surge voltage with SA

그림 7(a)는 전류 차단시 전압의 크기를 줄이기 위해 ZnO SA를 적용한 경우의 해석결과로서 일정 전압 이상이 도래할 경우 통과하지 못하도록 한 소자 특성 때문에 ZnO를 통과하고서는 바로 거의 제로에 가깝게 떨어진다. 이에 비해 RC SA를 적용한 그림 7(b)의 경우 설치 전에 비해 전압의 크기는 ZnO SA와 거의 비슷하게 저감되지만, 전류 차단 이후에 감쇠진동이 짧은 기간 동안 나타나고 있다.

현장에서 설치 운전하는 전동기의 경우 차단기에서 거리가 짧은 경우와 긴 경우가 있다. 그래서 부하측 거리의 변화에 따른 써지 전압의 크기를 분석하였다.

표 2 케이블 길이에 따른 써지 전압

Table 2 Surge voltage by cable length

케이블 길이[m]	SA 미부착시		SA 부착시			
	kV	pu	ZnO		RC	
	kV	pu	kV	pu	kV	pu
10	15.70	4.62	4.10	1.2	4.78	1.41
50	10.76	3.17	4.08	1.2	4.72	1.39
100	8.84	2.60	4.05	1.19	4.64	1.37
200	6.77	1.99	4.01	1.18	4.52	1.33
500	5.14	1.51	3.92	1.15	4.26	1.25

표 2는 케이블 길이 변화에 따라 차단기 전동기 입구측에 나타나는 전압에 대해 ZnO 와 RC SA를 부착한 경우에 대해 저감되는 전압의 크기를 비교 분석한 결과이다. 케이블 길이가 짧은 경우가 써지전압의 크기는 더 높다는 것을 알

수 있다. 이들 전압의 크기를 줄이기 위해서는 SA장치가 필요하다.

표 2에서 알 수 있듯이 SA를 부착한 경우가 부착전에 비해 써지 전압의 크기를 정격전압에 가깝게 저감시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있으며, 두 가지 SA 중에서 ZnO SA가 RC SA에 비해 조금 더 전압의 크기를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

## 4.2 다중 재발호에 대한 해석

### 4.2.1 보호장치(SA)를 사용하지 않은 경우

써지 보호장치를 사용하지 않고 다중 재발호시에 전동기에 나타나는 전압의 크기를 차단기에서 전동기까지의 케이블 길이 400m로 설정한 경우 다중 재발호시의 3상 써지전압 파형은 그림 8과 같다.

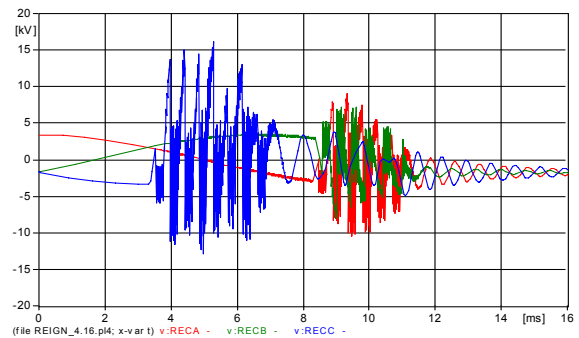


그림 8 다중 재발호시의 써지전압  
Fig. 8 Surge voltage at multi reignition

그림 8에서 같이 차단기 극간 내압보다 과도회복전압이 큰 경우 재발호가 일어나고, 이 과도전압은 첫 번째 상에서 가장 높고, 일시적으로 지속하며, 정격전압보다 높아 전동기 권선에 나쁜 영향을 주게 된다. 그래서 이들 다중 재발호 전압의 크기를 제한하기 위한 보호 장치가 필요하다.

### 4.2.2 보호장치(SA)를 사용한 경우

급준과 써지 전압의 크기를 제한하기 위해 SA를 설치하고 있다. 그러나 어떤 SA를 어느 곳에 설치해야 저감효과가 높은지를 분석하기 위해 차단기 2차측과 전동기 입구단에 설치하는 SA의 종류별 전압 크기를 분석하였다.

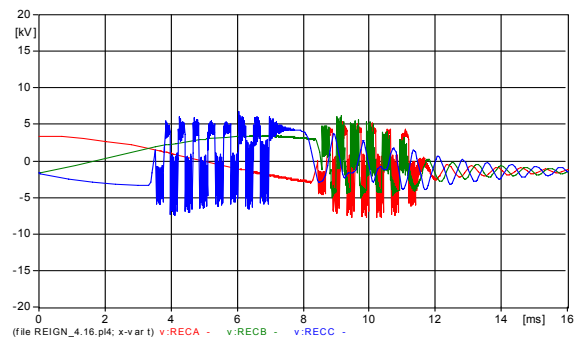


그림 9 ZnO SA를 사용한 경우 전압파형  
Fig. 9 Voltage waveform with ZnO SA

그림 9는 그림 8의 조건에 대해 차단기 2차측에 ZnO SA를 설치한 경우에 대한 전동기 단자측에서의 전압 파형을 나타낸 것이다.

그림 9에서 알 수 있듯이 일정 전압의 크기를 벗어날 경우 전압을 제한하는 소자의 특성을 그대로 반영하기 때문에 재발호 썬지 전압의 크기를 매우 저감한 크기가 전동기에 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 10은 그림 8과 같은 조건하에서 전동기 단자측에 RC형 SA를 사용한 경우에서 전동기 단자에 나타나는 전압을 나타낸 것이다.

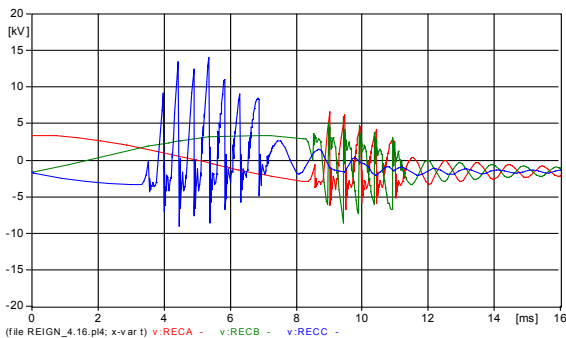


그림 10 RC SA를 사용한 경우 전압파형  
Fig. 10 Voltage waveform with RC SA

그림 10에서 알 수 있듯이 그림 9에서와 달리 전압의 크기를 낮추는 효과보다는 급준파의 반복성을 줄이는 데 그치고 있다는 것을 알 수 있다.

두 가지 해석에서 전압의 크기는 IEEE std 522-2004에서 권고하는 기준 범위 5[pu]/1.2[μs] 이내에 해당된다.

표 3 케이블 길이에 따른 썬지 전압  
Table 3 Surge voltage by cable length

케이블 길이[m]	SA 미부착시		SA 부착시			
			ZnO		RC	
	kV	pu	kV	pu	kV	pu
10	10.18	2.99	4.18	1.23	8.72	2.56
50	14.57	4.29	6.36	1.87	8.61	2.53
100	15.14	4.45	5.13	1.51	8.72	2.56
200	16.89	4.97	6.38	1.87	8.67	2.55
300	17.28	5.01	7.39	2.17	15.1	4.44
400	16.15	4.75	6.82	2.00	14.0	4.12
500	14.66	4.31	8.41	2.47	13.1	3.85

표 3은 4.16[kV] 1,600[hp] 전동기에서 다중 재발호가 발생하는 조건에서 케이블 길이의 변화에 대해 SA를 설치하지 않은 경우와 SA를 설치한 경우 전압의 크기 변화를 나타낸 것이다.

표 3에서 알 수 있듯이 케이블 길이가 어느 조건에서 가장 높은 전압이 나타나며, 이때 전압은 IEEE 규정에서 제한하는 범위를 초과하고 있다는 것을 알 수 있다. SA를 부착한 경우에서 RC보다는 ZnO가 전압의 크기를 제한하는데 더 효과적이라는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서 진공차단기의 다중 재발호 발생시에 대한 메커니즘 해석과 이들 급준파 썬지 전압이 발생하여 전동기에 영향을 주는 것에 대해 보호 장치의 설치 전후에 대한 전압의 크기 차이를 분석하였다.

급준파 썬지 전압의 경우 케이블 길이 변화에 대해 어느 특정한 길이에서 높게 나타날 수 있다는 것과 이들 전압의 크기를 줄이는데 SA를 설치하는 것이 효과적이며, 차단기 2차측에 설치한 ZnO SA가 전동기측 단자에 설치하는 RC SA보다 더 좋은 효과를 발휘하고 있음을 확인할 수 있었다.

## References

- [1] A. N. Greenword et al., "A Guide to the Application of Vacuum Circuit Breakers", IEEE Trans on PAS, Vol. 90, No.4, pp.1588~1597, 1971
- [2] Jong-gyeum Kim et al, "A Study on the Reduction Method and the Analysis of VCB Switching Surge for High Voltage Induction Motor", KIEE, Vol.43, No.5, pp.761~769, May.1994
- [3] 日本電氣學會 技術報告書, "真空遮斷器・開閉器の開閉サージと適用技術", 第 4222號, 1992. 5
- [4] B. K. Gupta et al., "Degradation of Turn Insulation in Motor Coils under Repetitive Surges", IEEE Trans on EC, Vol.5, No.2, pp.320~326, May, 1990
- [5] A. Borghetti et al., "Transient Recovery Voltage in Vacuum Circuit Breakers Generated by the Interruption of Inrush Currents of Large motors", 9th Int, Conference on Power Systems Transient(IPST), Jun 14~17, 2011
- [6] A. Borghetti et al., "Transient Recovery Voltage in Vacuum Circuit Breakers Generated by the Interruption of Inrush Currents of Large motors", 9th Int, Conference on Power Systems Transient(IPST), Jun 14~17, 2011
- [7] H.W. Dommel, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.
- [8] F. Tighilt et al., "Voltage distribution on ZnO polymeric arrester under pollution conditions", UPEC2010, 31st Aug~3rd Sept, 2010
- [9] IEEE Std 522-2004, "IEEE Guide for Testing Turn Insulation of Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Electric Machines".

## 저 자 소 개



### 김종겸 (金宗謙)

1961년 10월 3일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1996년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 강릉원주대학교 전기공학과 교수. 현재 당학회 평의원

Tel : 033) 760-8785

E-mail : jgkim@gwnu.ac.kr