

# EMTP-RV를 이용한 2차 아크 모델링

## Modelling of Secondary Arc Using EMTP-RV

오 윤 식\* · 강 성 범\*\* · 서 훈 철\*\*\* · 김 철 환†

(Yun-Sik Oh · Sung-Bum Kang · Hun-Chul Seo · Chul-Hwan Kim)

**Abstract** - Most of faults occurred in transmission lines are single-phase to ground faults and transient faults. Single-phase auto reclosing is an appropriate scheme to maintain the system stability and restore the system effectively when those faults are occurred. In single-phase auto reclosing scheme, the secondary arc is generated after faulted phase is tripped to eliminate the fault and it is sustained by the capacitive and inductive coupling to the healthy phases. It is important to reclose the faulted phase after fully extinction of secondary arc because of the damage applied to system. Therefore, it is necessary to research on the detection of secondary arc extinction to ensure high success rate of reclosing. In this step, firstly, the accurate modelling of secondary arc should be performed. In this paper, the modelling of secondary arc is performed by using EMTP-RV and the simulation results show that the implemented model is correct and effective.

**Key Words** : Auto reclosing, EMTP-RV, Secondary arc, Transmission system

### 1. 서 론

송전선로에서 일어나는 90% 이상의 사고는 1선 지락사고이며 이러한 사고의 대부분은 일시고장인 경우가 많기 때문에 일정한 무전압시간 이후에 재폐로를 수행하여 시스템을 안전하게 복구하는 것이 중요하다. 단상자동재폐로 방식은 고장상의 차단기만을 트립하는 방식으로 일시적인 1선 지락 사고에 대해 계통의 안정도를 유지시키며 효과적으로 시스템을 복구할 수 있는 매우 유효한 방법이다[1-2].

1차 아크는 사고가 발생한 후에 계통으로부터 사고를 제거하기 위해 고장상 차단기가 트립되기 이전의 아크를 의미하며, 2차 아크는 고장상 차단기가 트립된 이후 발생하는 아크를 말한다. 2차 아크는 고장상과 나머지 두 건전상 간의 전자기적, 정전기적 결합에 의해 지속되며 2차 아크가 소멸되기 이전에 재폐로를 할 경우 시스템에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 성공적인 재폐로를 위해서 2차 아크가 완전히 소멸된 이후 재폐로 하는 것이 요구된다[3-5]. 2차 아크는 건전상과의 결합뿐만 아니라 주변 공기, 바람과 같은 기후 조건 및 선로 파라미터, 송전 용량, 선로 보상 방식 등과 같은 시스템 구성에 의해서도 영향을 받기 때문에 매우 랜덤적인 특성을 가지고 있다[6]. 이 때문에 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 정확한 실제 아크 특성을 나타내는 모델을 구현하는 것은 매우 복잡하고 어려운 작업이다.

과도현상 해석 프로그램 중 하나인 ATP-EMTP는 정확

한 계산을 수행하지만 사용자가 사용하기 다소 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 EMTP-RV는 ATP-EMTP에서 가지고 있는 계산의 우수성 뿐만 아니라 사용자 인터페이스 환경도 개선하여 사용자의 프로그램 활용도를 높여준다. 그러나 아직까지 EMTP-RV에는 2차 아크 모델링에 대한 모델이 구성되어 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 2차 아크방정식을 사용하여 EMTP-RV내에 최초로 2차 아크 모델을 구현하였다. EMTP-RV의 Control library를 이용한 모델링 방법은 모델의 용이성에서 기존의 ATP-EMTP의 MODELS보다 좋은 성능을 가진다.

본 논문에서는 EMTP-RV를 이용하여 2차 아크 모델링을 수행하였으며, 구현된 아크 모델은 국내 345kV 송전 계통을 통해 검증되었다.

### 2. 아크의 수학적 모델

본 논문에서 사용된 아크 모델은 식 (1)에서 나타나는 Kizilcay의 스위칭 아크방정식에 기초하였다[7-8].

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau}(G-g) \quad (1)$$

여기서,  $G$  : 고정 아크 컨덕턴스

$g$  : 시변 아크 컨덕턴스

$\tau$  : 아크 시간 상수

고정 아크 컨덕턴스  $G$ 와 아크 시간 상수  $\tau$ 는 Johns와 Aggarwal이 정의한 식 (2)에 의해 표현된다.

$$G = \frac{|i_{arc}|}{\mu'_0 \cdot l_{arc}}, \quad \tau = \frac{kf(I_{peak})}{l_{arc}} \quad (2)$$

\* 준 회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정

\*\* 준 회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정

\*\*\* 정 회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 박사과정

† 교신저자, 펠로우회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수

E-mail : hmwkim@hanmail.net

접수일자 : 2011년 12월 30일

최종완료 : 2012년 4월 25일

여기서,  $\mu'_0$  : 아크 길이당 아크 전압  
 $l_{arc}$  : 순시 아크 길이  
 $k$  : 비례상수  
 $l$  : 아크 전류의 peak값

**2.1 1차 아크의 수학적 모델**

아크 고장의 시변 동적 저항은 아크 전압과 아크 전류의 비로 나타낼 수 있다. 이 때 전류가 0인 지점에서 아크 저항은 아크 전압 파형의 왜곡을 발생시키는 갑작스러운 변화를 일으킨다.

Kizilcay의 스위칭 아크방정식에 기초하여 1차 아크의 아크 컨덕턴스  $G_p$ 와 아크 시간 상수  $\tau_p$ 는 식 (2)의 형태로 정의되며, 1차 아크가 지속되는 기간 동안 식 (3)을 따른다.

$$G_p = \frac{|i|}{V_p \cdot l_p}, \tau_p = \frac{\alpha I_p}{l_p} \tag{3}$$

여기서,  $G_p$  : 고정 1차 아크 컨덕턴스  
 $\tau_p$  : 1차 아크 시간 상수  
 $i$  : 1차 아크 전류  
 $V_p$  : 1차아크 전압 변화  
 $l_p$  : 고정 아크 길이  
 $I_p$  : 아크 사고저항이 0일 때, 1차 아크전류의 최대값  
 $\alpha$  : 비례 상수

식 (3)에서  $V_p$ 는 실험적인 결과에 의해 1차 아크 전류가 14[kA]~24[kA]의 범위에서 15[V/cm]로 정해졌으며, 아크 길이  $l_p$ 는 1차 아크 기간 동안은 상수로 가정된다[9]. 본 논문에서 사용된 1차 아크 파라미터 값은 표 1과 같다.

**표 1** 1차 아크 모델링에 사용된 파라미터  
**Table 1** Parameters used in modelling of the primary arc

Parameter	Value
1차 아크 전압 변화( $V_p$ )	15[V/cm]
아크 길이( $l_p$ )	250[cm]
사고전류 최대값( $I_p$ )	14000[A]
비례 상수( $\alpha$ )	$2.85 \times 10^{-5}$

**2.2 2차 아크의 수학적 모델**

2차 아크는 주변 공기, 바람과 같은 기후 조건과 선로 파라미터, 송전 용량, 선로 보상 방식 등과 같은 시스템 구성에 의해서도 영향을 받기 때문에 1차 아크보다 매우 복잡한 특성을 가진다. 2차 아크는 아크 억제전압이 계통의 아크 전압보다 더 커지기 전까지 즉, 2차 아크가 최종적으로 소호되기 전까지 부분적인 소호와 재점화를 반복한다.

2차 아크의 수학적 모델 또한 1차 아크와 마찬가지로 Kizilcay의 스위칭 아크방정식에 기초하며, 2차 아크 컨덕턴스  $G_s$ 와 시간 상수  $\tau_s$ 는 식 (4)의 형태로 표현된다.

$$G_s = \frac{|i|}{V_s \cdot l_s(t_r)}, \tau_s = \frac{\beta I_s^{1.4}}{l_s(t_r)} \tag{4}$$

여기서,  $G_s$  : 고정 2차 아크 컨덕턴스  
 $\tau_s$  : 2차 아크 시간 상수  
 $i$  : 2차 아크 전류  
 $V_s$  : 2차 아크 전압 변화  
 $l_s$  : 순시 아크 길이  
 $I_s$  : 아크 사고저항이 0일 때, 2차 아크전류의 최대값  
 $\beta$  : 비례 상수  
 $t_r$  : 2차 아크 시작시간

식 (4)에서  $V_s$ 는 2차 아크 전류가 1[A]~55[A]의 범위에서  $I_s$ 에 대한 함수이며 다음 식 (5)와 같다. 본 논문에서 사용된 2차 아크 파라미터 값은 표 2와 같다.

$$V_s = 75 I_s^{-0.4} [V/cm] \tag{5}$$

**표 2** 2차 아크 모델링에 사용된 파라미터  
**Table 2** Parameters used in modelling of the secondary arc

Parameter	Value
초기 아크 길이( $l_{s0}$ )	250[cm]
사고전류 최대값( $I_p$ )	45[A]
비례 상수( $\beta$ )	$2.51 \times 10^{-3}$

식 (4)에서 2차 아크 컨덕턴스  $G_s$ 와 시간 상수  $\tau_s$ 는 모두 순시 아크 길이  $l_s$ 에 의해 변화하며, 순시 아크 길이  $l_s$ 는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$l_s(t_r)/l_{s0} = \begin{cases} 10 \cdot t_r, & t_r > 0.1[s] \\ 1, & t_r \leq 0.1[s] \end{cases} \tag{6}$$

2차 아크는 아크가 최종적으로 소호되기 전까지 부분적인 소호와 재점화를 반복한다. 아크에 공급되는 전압이 아크의 재점화 전압보다 크면 재점화가 발생하며 재점화 전압보다 작으면 아크 전류는 0을 유지하며 아크가 소호된다. 재점화 전압  $V_r$ [kV/cm]은 식 (7)과 같이 표현된다.

$$V_r(t_r) = \left[ \left[ 5 + \frac{1620 T_e}{2.15 + I_r} \right] (t_r - T_e) h(t_r - T_e) \right] \cdot l_s(t_r) \tag{7}$$

여기서,  $T_e$  : 2차 아크 발생 이후부터 2차 아크 전류가 0이 될 때까지의 시간[s]  
 $I_r$  :  $I_s$ 의 실효치  
 $h(t_r - T_e)$  : 시간지연을 위한 unit step 함수

### 3. EMTP-RV를 이용한 아크 모델링

#### 3.1 아크 모델의 구성

그림 1은 아크 모델링 블록 다이어그램을 나타낸다. 송전 선로의 한 상에 지락사고가 발생하면 고장경로를 통해 아크 전류가 흐른다.

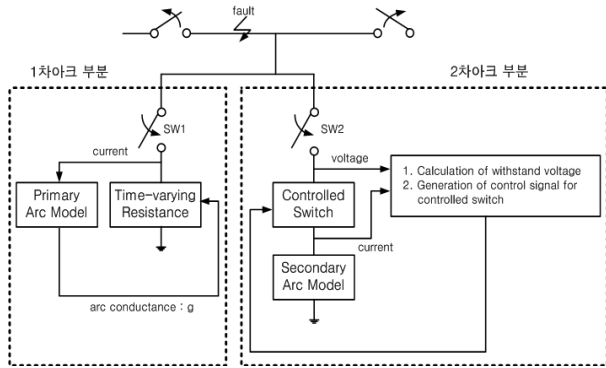


그림 1 전체 아크 모델의 블록 다이어그램  
Fig. 1 Block diagram of the entire arc model

1차 아크는 고장 발생 이후부터 사고 제거를 위해 고장상 차단기를 트립시키기 전까지 지속되며 그림 1의 SW1을 통하여 아크 모델과 연결된다. 2차 아크는 고장상 차단기 트립 이후 발생하며 SW2를 통하여 아크 모델과 연결된다. 그러므로 SW1과 SW2가 각각 폐로되는 시간은 다음과 같다.

- SW1 : 고장시작  $< t <$  차단기 트립 이전
- SW2 : 차단기 트립 이후  $< t <$  아크 최종 소호

#### 3.2 1차 아크 모델링

그림 2는 그림 1의 1차 아크 부분을 자세하게 표현한 다이어그램으로 1개의 선형 저항과 1개의 시변 비선형 저항의 병렬연결로 구성되어 있다. 시간에 따라 저항의 값이 변하는 시변 비선형 특성을 표현하기 위해, 시변 비선형 저항은 EMTP-RV의 R-nonlinear Controlled 소자를 이용하였다. Johns, Aggarwal의 1차 아크 모델은 식 (1)과 같이 미분 방정식으로 구성되어 있으며, EMTP-RV의 control device 기

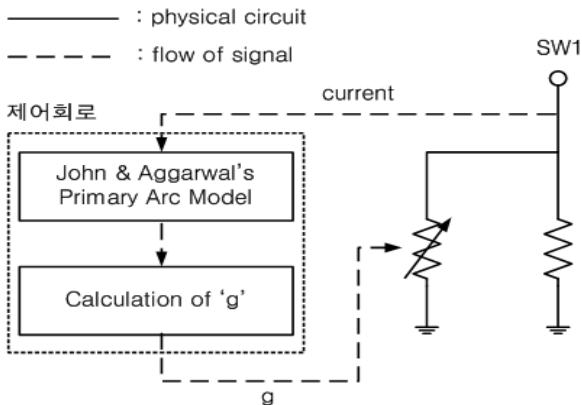


그림 2 1차 아크 모델의 블록 다이어그램  
Fig. 2 Block diagram of the primary arc model

능을 이용하여 미분 방정식을 Laplace 형태로 변환하여 구현하였다. 그 결과로 출력되는 시변 아크 컨덕턴스  $g$ 는 시변 비선형 저항으로 입력되어 회로가 시간에 따라 다른 저항값을 가지게 한다.

그림 3은 입력, 내부, 출력신호들을 제어하기 위해 EMTP-RV를 이용하여 제어회로를 구성한 것을 나타낸다. 제어회로 내의 신호들은 EMTP-RV의 control device 소자를 이용하여 처리된다.

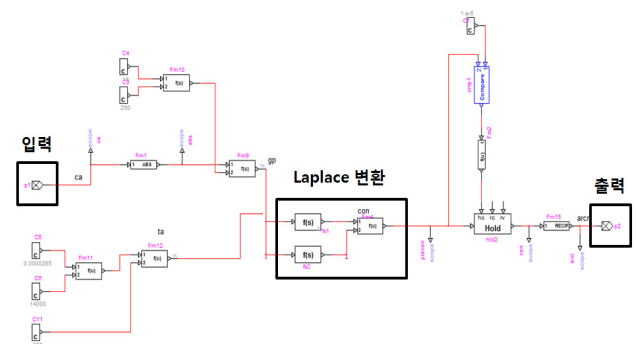


그림 3 EMTP-RV를 이용한 1차 아크 모델의 제어회로의 모델링  
Fig. 3 Modelling of control circuit of the primary arc model using EMTP-RV

#### 3.3 2차 아크 모델링

그림 4는 그림 1의 2차 아크 부분을 자세하게 표현한 다이어그램으로 4개의 선형 저항, 1개의 제어 스위치, 2개의 다이오드 그리고 다이오드에 연결된 전원으로 구성되어 있다. 제어 스위치는 EMTP-RV의 Controlled Switch 소자를 이용하여 표현되었다. 2차 아크 경로는 제어 스위치 SWC가 폐로 될 때 형성되며 제어회로의 출력에 따라 부분적인 재점호 및 소호를 반복한다. 그림 4에서 나타나듯이 2차 아크 모델의 제어 회로는 총 3개의 submodel로 나뉘어져 있으며 각각의 submodel은 다음과 같은 기능을 한다.

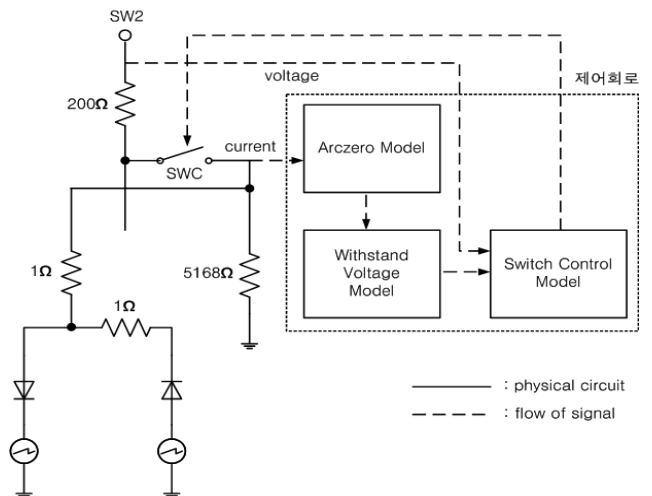


그림 4 2차 아크 모델의 블록 다이어그램  
Fig. 4 Block diagram of the secondary arc model

- Arczero : 2차 아크 전류의 값이 0인 지점을 찾아내는 submodel로 출력이 Withstand Voltage Model의 입력이 됨
- Withstand Voltage : Arczero의 출력을 입력으로 받아 재점호 전압을 출력하는 submodel로 출력은 Switch Control submodel의 입력이 됨
- Switch Control : 재점호 전압과 계통의 사고 전압을 입력으로 받으며 두 전압의 크기 비교를 통해 2차 아크 경로를 연결하는 스위치인 SWC를 제어하는 신호를 출력하는 submodel

EMTP-RV를 이용하여 2차 아크 모델의 제어회로를 모델링하면 그림 5와 같다.

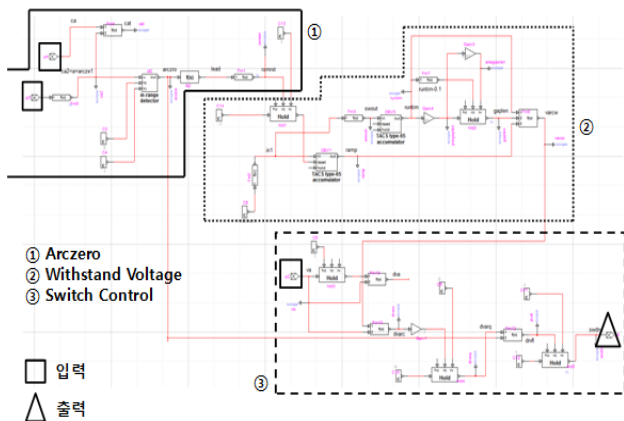


그림 5 EMTP-RV를 이용한 2차 아크 모델의 제어회로 모델링  
Fig. 5 Modelling of control circuit of the secondary arc model using EMTP-RV

2차 아크 모델의 3가지 submodel은 각 submodel의 출력이 다른 submodel의 입력이 되거나 입력 신호에 영향을 미치는 순환적 제어회로로 구성되어 있다.

#### 4. 시뮬레이션 및 결과 분석

##### 4.1 계통 모델

그림 6은 EMTP-RV를 이용해 구현된 아크 모델을 검증하기 위한 345kV 송전 계통의 계통 모델을 나타낸다. 발전

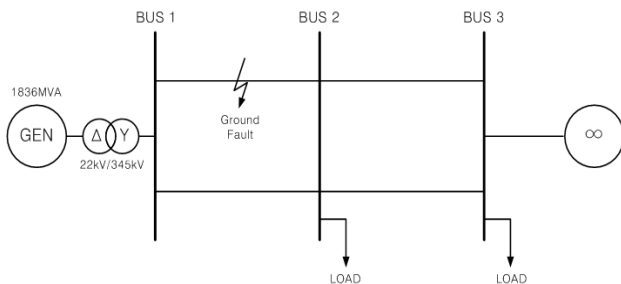


그림 6 구현된 아크 모델을 검증하기 위한 345kV 계통 모델  
Fig. 6 345kV system model to verify the implemented arc model

소는 612[MVA] 용량의 발전기 3기로 구성되며, 송전선로는 2회선으로 구성되어 있다. 송전선로의 선로 파라미터들은 표 3에 나타나 있으며 1선 지락사고는 BUS1-BUS2 구간의 1회선에서 모의되었다.

표 3 345kV 계통 모델의 선로 파라미터

Table 3 Line parameters of 345kV system model

선로	파라미터	영상분	정상분
BUS1	R[Ω/km]	0.144943	0.017553
	L[Ω/km]	0.895618	0.301808
BUS2	C[μS/km]	2.140836	5.310921
BUS2	R[Ω/km]	0.1562705	0.0175805
	L[Ω/km]	0.914902	0.300813
BUS3	C[μS/km]	2.147204	5.3267185

##### 4.2 시뮬레이션 조건

EMTP-RV를 이용한 아크 모델의 성능을 검증하기 위해 다양한 모의조건이 고려되었다. 모의 조건은 크게 두 가지로 나뉘며, 계통의 선간전압 및 송전선로의 길이를 변화시키며 아크 모델의 성능을 검증하였다. 표 4는 계통의 선간전압과 송전선로의 길이에 따른 다양한 case를 나타낸다. case1~10은 선간전압에 따른 아크 모델의 성능 검증을 위한 case이며, case11~20은 선로의 길이에 따른 아크 모델의 성능 검증을 위한 case이다. 선간전압의 모의 범위는 정격전압의 약 ±7%로 선정하였으며, 선로의 길이는 10km~100km 까지 10km 간격으로 분류하였다.

표 4 아크 모델 검증을 위한 모의 조건

Table 4 Simulation conditions for verification of the arc model

case	선간전압[kV]	case	선로길이[km]
1	323	11	10
2	327	12	20
3	332	13	30
4	337	14	40
5	341	15	50
6	345	16	60
7	349	17	70
8	353	18	80
9	356	19	90
10	359	20	100

지락사고 모의 시 전제 조건은 다음과 같다.

- 사고 시작 시간 : 0.2[s]
- 고장상 차단기 트립 시간 : 0.266667[s]
- case1~10 : 선로길이 42[km], 고장지점 21[km]
- case11~20 : 계통전압 = 정격전압, 고장지점은 선로 중앙 지점

### 4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

EMTP-RV를 이용한 아크 모델을 연결하여 지락사고를 모의한 결과는 그림 8과 같다. 그림 7은 1선 지락사고 시 고장상의 전압 파형을 나타낸 것으로 아크 모델을 연결했을 경우(a)와 그렇지 않을 경우(b)를 구분하여 나타내었다. 그림 7(b)의 경우 고장상을 트립한 이후 추가적인 아크 파형이 없이 바로 회복전압을 출력하지만 그림 7(a)의 경우는 고장상 트립 이후 2차 아크의 전형적인 모습을 띄며 일정시간 후에 최종 소호되는 모습을 나타낸다.

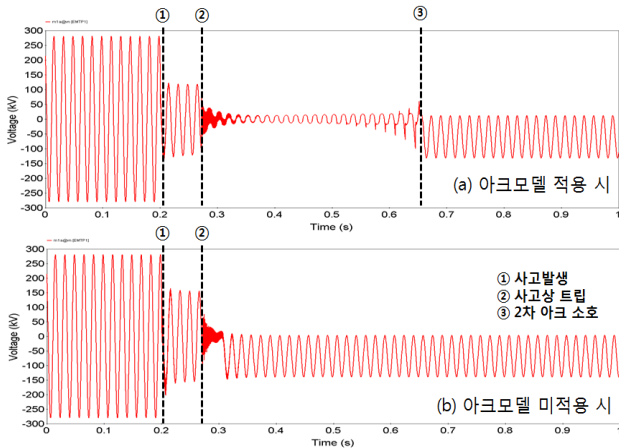


그림 7 345kV 송전선로에서 1선 지락사고 시 고장상 전압 (a) 아크모델 적용 시, (b) 아크모델 미적용 시  
 Fig. 7 Voltage of faulted phase in case of single-phase to ground fault in 345kV transmission line (a) Applying the arc model, (b) Not applying the arc model

그림 8(a)는 그림 7(a)의 2차 아크 전압을 확대한 것이며 그림 8(b)는 참고문헌 [6]에 제시된 해외의 실계통에서 실제 측정된 2차 아크 전압의 파형이다. EMTP-RV를 통해 모델

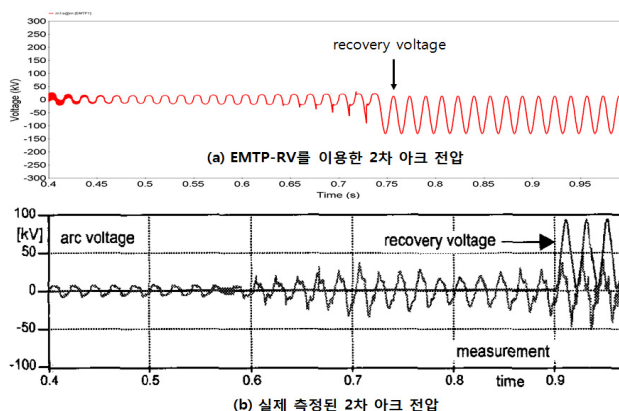


그림 8 1선 지락 사고 시 고장상 전압 (a) 아크 모델 적용 시, (b) 실제 측정 시  
 Fig. 8 Voltage of faulted phase in case of single-phase to ground fault (a) Applying the arc model, (b) Measuring the real voltage

링 된 2차 아크 전압 파형은 그림 9(b)와 계통의 정격전압이 다르기 때문에 2차 아크 소호 시간은 다르지만 실제 측정된 2차 아크 전압과 비교해 볼 때 유사한 형태를 보이며 이를 통하여 EMTP-RV를 이용한 아크 모델이 정상적으로 동작하는 것을 알 수 있다.

표 5는 표 4의 모의 조건에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 2차 아크 소호 시간은 회복 전압이 나타나기 시작하는 시점으로 계산되었다.

표 5 다양한 모의 조건에 따른 2차 아크 소호 시간

Table 5 Extinction time of the secondary arc according to various simulation conditions

모의 조건	case	2차 아크 소호 시간[s]
선간전압	1	0.601845
	2	0.603095
	3	0.621220
	4	0.610908
	5	0.644970
	6	0.628755
	7	0.636429
	8	0.628408
	9	0.628720
	10	0.653096
선로길이	11	0.411844
	12	0.471844
	13	0.503094
	14	0.618824
	15	0.619762
	16	0.637470
	17	0.652818
	18	0.635804
	19	0.644970
	20	0.638095

선간전압의 크기에 따른 2차 아크 소호 시간은 대체적으로 선간전압이 클수록 아크 소호가 늦어지는 경향을 보였다. 이는 아래의 식 (8)에서 나타나는 아크 소호 실험식에 부합하는 결과이다. 식 (8)은 일반적으로 널리 알려진 아크 소호 실험식으로, 실험적으로 결정된 2차 아크 소호 시간을 나타낸다.

$$t = 10.5 + \frac{V_{L-L}}{34.5} \text{ [cycles]} \tag{8}$$

여기서,  $t$  : 2차 아크 소호에 걸리는 시간  
 $V_{L-L}$  : 계통 정격전압

선로길이에 따른 결과는 case14~20과 같은 중, 장거리 선로에 대해서는 실험식과 유사한 결과를 보였으나 case11~13과 같이 단거리 선로의 경우에는 2차 아크 소호 시간이 크게 줄어드는 모습을 확인할 수 있다.

그림 9는 case1~10의 시뮬레이션 결과와 실험식에 의해 계산된 2차 아크 소호 시간의 오차를 나타낸다. EMTP-RV를 이용한 아크 모델은 실험식과 비교해 최대 2.295[cycle], 최소 0.262[cycle]의 오차를 가지며 평균적으로 약 1.117[cycle]의

비교적 작은 오차를 보였다. 이러한 분석결과를 통하여 2차 아크 모델링이 정확하게 수행되었다고 할 수 있다.

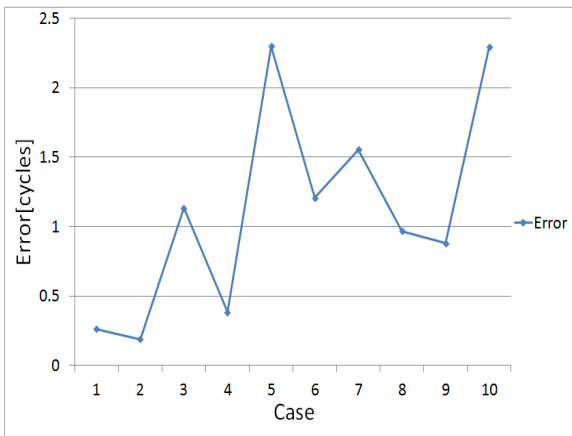


그림 9 2차 아크 소호 시점의 오차  
Fig. 9 Error of the secondary arc extinction time

4.4 ATP-EMTP 결과와의 비교

EMTP-RV의 성능을 검증하기 위해 ATP-EMTP의 MODELS를 이용한 2차 아크 모델링과의 비교 분석을 수행하였다.

그림 10(a)는 EMTP-RV를 이용한 2차 아크 모델링 결과이며, 그림 10(b)는 ATP-EMTP의 MODELS를 이용한 2차 아크 모델링 결과를 나타낸다. 두 방식 모두 고장 이후 동일한 1차 아크 파형을 나타내며, 고장상 트립 이후에도 유사한 2차 아크 파형을 나타내며 동일한 시간에 2차 아크가 소호되는 것을 알 수 있다.

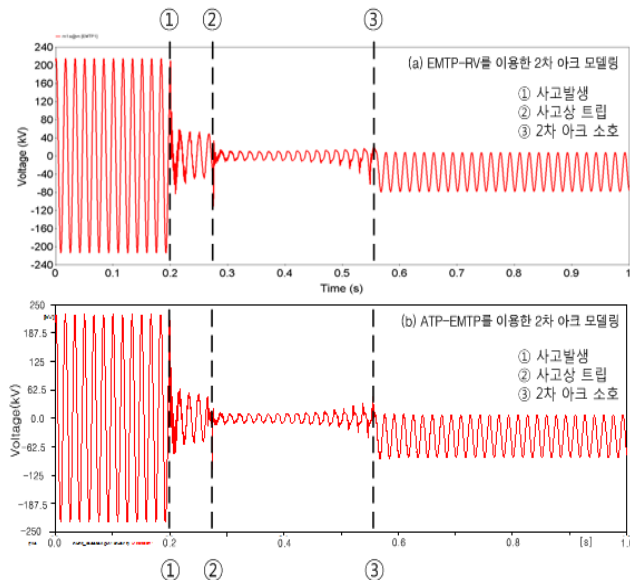


그림 10 모델링 방식에 따른 고장상의 아크 전압  
(a) EMTP-RV를 이용, (b) ATP-EMTP를 이용  
Fig. 10 Arc voltage of faulted phase according to method of modelling  
(a) Using EMTP-RV, (b) Using ATP-EMTP

5. 결 론

본 논문에서는 EMTP-RV를 이용한 아크 고장을 모델링하였다. 모델링 시 EMTP-RV내의 다양한 기능을 사용하여 1차 아크의 특성을 결정하는 시변 비선형 저항과 2차 아크 경로를 제어하는 스위치 제어 신호를 표현하였다. 아크 모델은 국내 345kV 송전 계통에 적용하여 다양한 모의 조건에 따라 성능을 검증하였으며, 모델의 적용 유무에 따른 고장상 전압 파형의 차이를 확인하였다. 또한 2차 아크 소호 시간은 실험식과 평균적으로 1.117[cycle]의 비교적 작은 오차가 있는 것으로 확인되었다. 제안된 모델은 전형적인 2차 아크 특성을 잘 표현하였으며, 이를 활용하여 재폐로 알고리즘 구현 및 재폐로 방식 연구에 효과적으로 사용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Power System Relaying Committee Working Group, "Single phase tripping and auto reclosing of transmission lines IEEE committee report", "IEEE Trans. Power Del., vol. 7, no. 1, pp. 182-192, Jan. 1992.
- [2] S.P. Ahn, C.H. Kim, R. K. Aggarwal. and A. T. Johns, "An alternative approach to adaptive single pole auto-reclosing in high voltage transmission systems based on variable dead time control," IEEE Trans. Power Del., vol. 16, no. 4, pp. 676-686, Oct. 2001
- [3] Wang. Z.J., Yin. Z.D., Wang. M.M., "Influence of Coordinate Controllable Neutral Reactors on UHV Secondary Arc Current", International Conference on Energy and Environment Technology, Vol. 2, pp. 156-159, Oct. 2009.
- [4] M. I. Khoroshev, V. Faybisovich. "Analysis of adaptive single phase auto-reclosing for high voltage transmission lines with various compensation levels[C]", IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, 2004, pp. 598-602.
- [5] M. Ramold, G. Idarraga, J. Jager. "Transient shunt reactor dimensioning for bulk power transmission systems during normal and faulty network conditions[C]", International Conference on Power System Technology, 2006, pp. 1-6.
- [6] M. Kizilcay, G.Ban, L. Prikler, "Interaction of the Secondary Arc with the Transmission System during Single-Phase Autoreclosure", Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, 7 pp. Vol. 2.
- [7] L. Prinler, M. Kizilcay, G. Ban, P. Handl, "Improved secondary arc models based on identification of arc parameters from staged fault test records", presented at the 14th Power System Computation Conf., Sevilla, Spain, June 2002.
- [8] M. Kizilcay, T. Pniok, "Digital Simulation of Fault

Arcs in Power Systems", EMEP Journal, vol., 1, no. 1, pp. 55-60, 1991.

- [9] S. Goldberg, William F. Horton, D. Tziouvaras, "A Computer Model of the Secondary Arc in single phase operation of Transmission Lines", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 586-594, Jan. 1989.

## 저 자 소 개



### 오 윤 식 (吳潤植)

1987년 7월 10일생. 2011년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업. 2011년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정.

Tel : 031-299-4630

Fax : 031-299-4137

E-mail : fivebal2@naver.com



### 강 성 범 (姜聲範)

1988년 5월 1일생. 2011년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업. 2011년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정.

Tel : 031-299-4630

Fax : 031-299-4137

E-mail : trueksb@nate.com



### 서 훈 철 (徐薰徹)

1982년 1월 19일생. 2004년 성균관대 정보통신공학부 졸업. 2006년 동 대학원 정보통신공학부 졸업(석사). 2006년~현재 동 대학원 정보통신공학부 박사과정

Tel : 031-290-7166

Fax : 031-299-4137

E-mail : hunchul12@skku.edu



### 김 철 환 (金喆換)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124

Fax : 031-299-4137

E-mail : hmwkim@hanmail.net