

집중 및 분포정수 선로에 의한 진공차단기의 과도전압해석 비교

°김종겸 이은용, 조현길

한국수자원공사 충남대학교 전기공학과

Comparison of Transient Voltage Analysis of VCB using Lumped and Distribution Line Parameter

Kim, Jong-Gyeum Lee, Eun-Woong Cho Hyun-Gil  
KOWACO, Chungnam National Univ. Dept of Electric Engineering

Abstract

In this study, we analyzed the transient overvoltage using comparison of lumped and distribution line parameter and compared the results. It is certificated that analysing method is given the same result.

1. 서론

산업용설비의 전원 개폐기로 사용되는 진공차단기에 의해 부하를 개폐할 때 생겨나는 켜지전압의 크기를 해석하는 것이 과전압의 크기로 부터 발생하는 전기적인 스트레스를 줄이기 위해 중요하다. 이 켜지에 의한 과전압 해석에는 전원, 선로 및 부하측 케이블, 차단기 그리고 부하 조건 등의 사항을 함께 고려하여야 하고, 미분방정식을 사용하거나 대형 과도해석 프로그램을 사용할 때 가능하다.<sup>[1,2]</sup> 간단한 회로일 경우는 미분방정식에 의한 해석으로 가능하지만 다소 복잡한 해석의 경우는 미분방정식으로는 어려워 대형 과도해석 프로그램인 전자계 해석 프로그램(EMTP)으로 켜지전압의 크기를 해석한다. 이 EMTP로 과도전압을 해석하려면 여러 가지 입력자료가 사용된다. 그중에서 케이블에 대한 해석에서 두 가지 방법 즉 집중정수선로 및 분포정수선로등이 있는데 과전압으로 부터 기기를 보호하기 위해서는 계산시에 다소 정확한 자료를 제시할 수 있어야 할 것이다. 따라서 이같은 계산을 근거로 전체 시스템과의 연계 계산으로 정확한 과전압 해석을 구할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이같은 관점에서 EMTP를 이용하여 선로의 파라미터 비교를 통해 어느 방법이 과전압 해석시에 유리가를 분석하고자 한다.

2. 해석모델

스위칭썬지인 과전압의 크기를 계산하기 위해 우선 전원, 차단기 및 부하측에 대한 선로 파라미터를 선정하고서 이 선로 파라미터의 변화를 통해 해석한다.

2.1 해석모델기기

해석 모델로서 산업현장에서 가장 흔히 사용되는 있는 그림 1 과 같은 시스템으로 한다. 고압 6.6[kV] 전원에서 진공차단기(VCB)로 3상 농형 유도전동기를 부하로 하는 것이다. 표 1 은 계산을 위한 시스템의 요소들을 나타낸다.

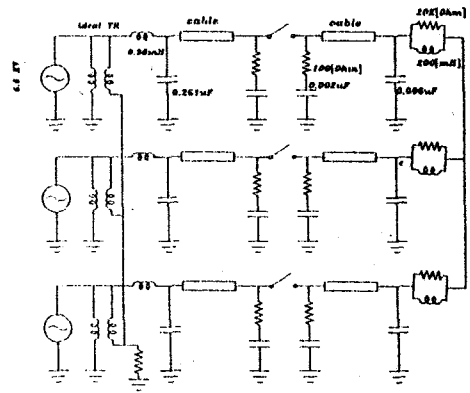


그림 1. 개폐썬지 계산 대상회로

2.2 선로모델

선로정수의 계산방법에는 집중정수선로 및 분포정수선로가 있다. 집중정수선로에는 T형과  $\pi$  형이 있는데 진공차단기와 같이 스위칭 썬지발생에 의한 과전압의 계산에는 차단기 개폐시 회로에 들어가는

전류를 억제한다는 점에서 T형 회로를 사용한다. T 임피던스와 전파속도와와 관련식으로도 구할 수 있

표 1. 계산대상 각종 모델

(I) source	(II) cable	(III) circuit breaker	(IV) induction motor
(a) ground source 	(a) lumped parameter 	(a) time control switch 	(a) L - R series 
(b) no ground source 	(b) distributed parameter 	(b) flashover gap 	(b) L - R parallel 
		(c) TACS control switch 	(c) L-C-R parallel 
			(d) L-C-R parallel 

형 집중정수선로는 1 단에서 여러단으로 나누어 해석하는 것도 가능하다. 여기서는 집중정수와 분포정수선로의 비교를 하는 관점에서 1 단형 집중정수선로로 해석하였다. 분포정수선로 모델에 대해서는 전자계과도해석프로그램(EMTP)에서 선로의 주파수 의존 효과를 고려한 주파수 의존선로 모델(Semlyen, Marti model), 근사값으로 특정주파수에서의 선로정수를 이용하는 분포정수선로(무손실선로 모델 또는 Lee model)가 있다.<sup>[2,3]</sup>

분포정수선로에서는 선로의 임피던스와 전파속도, 길이 등이 필수 입력자료로 선정되어야 한다. 분포정수 모델에는 계산시간 구간  $\Delta t$  에 따라 계산의 정확도가 결정되기 때문에 식 (1) 과 같은 제한을 둔다.

$$\Delta t < \frac{r}{10} \sim \frac{r}{20} \quad (1)$$

여기서  $r$ : 진행파의 전파시간[s]

분포정수회로의 모델을 이용하는 경우 선로의 길이가 짧은 경우 최종시간  $T_{max}$  에 비해 계산시간구간

$\Delta t$  가 너무 작고, 계산시간이 너무 크게 되는데 비해 집중정수회로의 모델을 이용하는 경우  $\Delta t$  의 영향을 그다지 받지 않는 장점을 가지고 있다.

그리고 집중정수나 분포정수선로의 입력자료 산출은 다음과 같이 시행한다. 집중정수선로에 사용되는 저항, 인덕턴스 및 캐패시턴스는 케이블 제작사에서 제시한 자료를 사용하거나 IEEE에서 제시한 식 (2) 와 같이 분포정수 선로에 사용하고 있는 케이블의 씨지

다.

$$\begin{cases} L = \frac{Z}{v} \\ C = \frac{1}{vZ} \end{cases} \quad (2)$$

분포정수선로의 경우에 필요한 씨지임피던스는 케이블의 설치조건과 치수등으로 구할 수 있고, 전파속도는 케이블의 비유전율로부터 구해진다.

### 2.3 적용이론

차단기 개폐씨지와 같은 과도전압 해석범으로는 분포정수선로의 진행파 개념을 이용한 Dommel법이 사용된다.

저항과 인덕턴스등의 회로정수가 고르게 분포되어 있는 무손실 분포정수선로의 전압과 전류에 대한 시간과 공간에 대한 파동방정식은 식 (3) 과 같다.

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 V(x, t)}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 I(x, t)}{\partial t^2} \end{cases} \quad (3)$$

이들 파동방정식에 대한 일반해는 식 (4) 와 같다.

$$\begin{cases} V(x, t) + Z_o I(x, t) = 2F_1(t-x/c) \\ V(x, t) - Z_o I(x, t) = 2F_2(t+x/c) \end{cases} \quad (4)$$

식(4)에서  $t-x/c$  혹은  $t+x/c$  가 일정하면  $F_1$  혹은  $F_2$  의 값도 일정하며 무손실 분포정수선로의 양단전압 방정식은 식 (5) 와 같이 된다.

$$\begin{cases} V_1(t-\tau) + Z_o I_1(t-\tau) = V_2(t) - Z_o I_2(t) \\ V_1(t) - Z_o I_1(t) = V_2(t-\tau) + Z_o I_2(t-\tau) \end{cases} \quad (5)$$

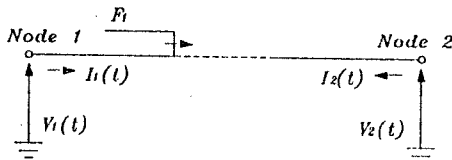
식(5)를 식 (6)과 같이 절점전류로 변형할 수 있다.

$$\begin{cases} I_1(t) = \frac{V_1(t)}{Z_o} + J_1(t-\tau) \\ I_2(t) = -\frac{V_2(t)}{Z_o} + J_2(t-\tau) \end{cases} \quad (6)$$

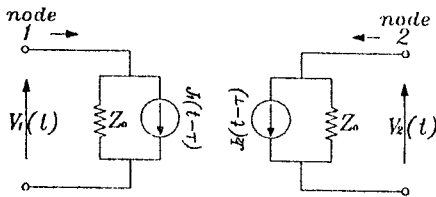
이는 그림 2 와 같이 나타내진다.

그리고 절점 1 과 2 의 등가전류원은 식 (7) 과 같다.

$$\begin{cases} J_1(t-\tau) = -\frac{V_2(t-\tau)}{Z_o} - I_2(t-\tau) \\ J_2(t-\tau) = -\frac{V_1(t-\tau)}{Z_o} - I_1(t-\tau) \end{cases} \quad (7)$$



(a) 무손실분포정수선로



(b) 등가회로

그림 2. 무손실분포정수선로의 등가회로

그림 2 에서와 같이 다른 절점 및 자기 절점의 과거 이력의 영향이 자기 절점의 등가전류원으로 주어지기 때문에 절점 1 과 2 가 독립된 단자로 취급이 가능하기 때문에 어느 절점에 있어 현재시간  $t$  의 전류값은 선로의 전파시간  $\tau$  바로 앞의 시간  $t-\tau$  에서의 선로의 전압, 전류에 의해 정해진다. 이는 분포정수선로의 개념이 없어진 상태로 해석상 취급이 용이하다.<sup>[23]</sup>

### 3. 계산결과

입력자료등으로 부터 스위치 개폐시 전동기 입구 단에 나타나는 전압의 크기를 고압 농형 유도 전동기별의 용량별로 선정하였다. .

그림 3 은 용량별로 집중정수 및 분포정수선로 각자에 대한 과전압의 크기를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 과전압의 크기 해석에는 별 차이가 없음을 알 수 있다. 단지 프로그램 실행에서 분포정수선로를 이용하는 것이 집중정수 선로를 사용하는 것보다 소요시간의 측면에서 오래 지속되는 점이 다르다.

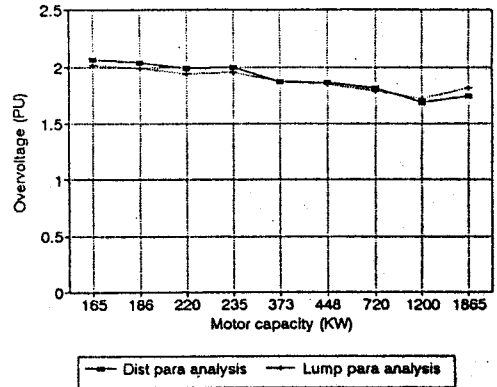


그림 3. 분포 및 집중정수선로에 의한 계산결과

### 4. 결론

진공차단기로 진원을 개폐할 때 발생하는 과전압이 부하에 미치는 영향을 할 때 회로중 케이블의 집중정수와 분포정수에 의한 해석방법은 그 계산결과 거의 일치함을 확인할 수 있었다. 그러나 집중정수해석에 비해 분포정수선로에 의한 해석이 시간이 다소 더 걸림을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 수행한 계산까지 해석기법을 기본으로 하여 다중 재발호와 같은 과전압의 해석에도 집중정수와 분포정수선로에 의한 해석으로 비슷한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 계산 소요시간을 짧게 하려면 빠른 집중정수선로에 의한 해석이 다소 유리할 것임을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] 이은용외 3 인, "고압전동기용 진공차단기의 스위칭 씨지 해석 및 지갑대책연구", 대한전기학회 논문지 제 43권 5 호, pp.761~769, 1994, 5
- [2] 일본전기학회 기술보고서 II 부, "진공차단기개폐의 씨지와 적용기술", No.421, 1992
- [3] BPA, "Electromagnetic Transients Program Rule Book", 1985