

조 정 수

부 산 대 학 교

박 경 업 \*

한 국 전 기 연 구 소

1. 서 론

전력수요의 증가에 따른 전력계통의 초고압 대용량화에 따라 그 계통의 전기적 특성이 달라지게 된다. 따라서 전력계통에 사용될 전력용 기기의 성능판정을 위한 시험규격도 달라진 계통특성에 맞게 수정을 해야 하며 이러한 목적에서 고압용 AC 차단기 관련규격인 IEC(International Electrotechnical Commission) 56-2 및 56-4도 1981년에 부분적으로 개정되었으며 개정된 부분은 주로 과도회복전압 부분으로서 주요 개정내용을 보면 정격전압 100 KV 이상에 대해서는 초기상승률을 1KV/μs 에서 2KV/μs로 올리고 지연시간을 실제 계통에 맞게 짧게하고 차단기와 주모선간의 선로에서 발생하는 전압진동에 의한 초기 과도회복전압을 규정하고 근거리 선로고장의 선로측 전압에 지연시간을 도입한 점이다.

이러한 IEC의 개정으로 인해 IEC를 기본으로하여 제정한 국내 관련규격들에 대한 재검토가 불가피하게 되었다. 그러나 국내 관련규격에 대한 재검토는 먼저 국내 계통에 대한 철저한 분석이 선행되어야 함은 필수적이다. 전력계통에 대한 분석은 실제로 계통에 고장을 일으켜 실측하여 분석하는 것이 가장 확실한

방법이겠으나 이에 는 경제적인 손실은 물론 여러가지 현실적인 어려움이 따른다. 따라서 이제까지는 주로 TNA(Transient Network Analyzer)를 이용하여 계통의 과도현상에 대한 분석을 하였으나 1970년경 미국 BPA(Bonneville Power Administration)에서 EMTP(Electromagnetic Transient Program)를 개발한 이후 선진 각국에서는 전력계통의 과도현상을 해석하는 데 EMTP를 많이 이용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 전력계통의 해석을 위한 기초연구단계로 모델계통을 선택하여 등기회로를 작성하고 EMTP를 이용하여 과도회복전압을 계산한 다음 그 결과를 개정된 IEC에서 규정하고 있는 값들과 비교 분석하였다.

2. 전력계통의 과도회복전압 계산

2.1 대상변전소의 선정

ITRV(Initial Transient Recovery Voltage)[1]를 무시하면 변전소의 차단기에 인가되는 과

도회복전압의 파형은 주로 다음의 요인에 의해 크게 좌우된다.

- 송전선의 수
- 송전선의 서지(surge) 임피던스
- 송전선의 길이
- 발전기와 변압기의 임피던스
- 단락전류

위의 사항들을 모델계통에 적용시켜 보면 차단조건이 가혹할 것으로 예상되는 변전소들을 선정할 수 있으며 다음과 같은 특성을 가진 변전소가 해당된다.

- 병렬송전선로수가 작은 경우
- 송전선 1회선당 단락전류가 큰 경우
- 단락전류가 비교적 크면서 길이가 짧은 선로를 포함하고 있는 경우
- 단락용량이 아주 큰 경우

따라서 본 연구에서는 상기 조건에 맞는 변전소로서 N103, N403, N703 변전소를 선정하였다.

## 2.2 등기회로의 작성

모델계통의 모든 변전소에서의 3상지락고장시의 고장 전류를 구하여 단락용량 map을 작성한 다음 아래와 같은 방법으로 각 기기의 정수를 결정하여 등기회로를 작성한다.

- 1) 계산대상 및 인접 변전소는 각 기기의 구성 및 정수를 상세하게 조사하며 변압기, 모선의 대지 캐패시턴스, 케이블의 유무, PD의 유무, 송전선의 회선수, 선로길이, 도체수, 선로정수 등이 포함된다. 또 변압기의 인덕턴스는 계통의 단락용량 또는 임피던스에 의해 구한다.
- 2) 계산대상 변전소보다 2단 이상의 후방 변전소는 집중 R, L, C의 병렬회로로 환산한다. 이때의 각

정수는 2단 이상의 후방변전소가 대상변전소의 과도회복전압에 미치는 영향이 작다는 점을 고려하여 다음과 같이 계산한다[2][3].

- (1) 인덕턴스는 그 변전소에 유입되는 단락전류로부터 구한다. 즉 
$$L = \sqrt{V/wP}$$
, 단 V=계통선간전압(KV), w=각 주파수, P=유입 단락용량(MVA)

- (2) 캐패시턴스는 그 지점의 과도회복전압의 주파수가 IEC에서 규정한 2-파라메타 과도회복전압의 주파수와 동일하다고 보고  $t_3$ (파고시간)로부터 구한다. 즉 
$$C = (2.35 * t_3^2) / (2 * 3.14)^2 * L$$
, 단  $t_3$ 는 IEC규격의 2-파라메타 과도회복전압의 파고시간

- (3) 저항은 그 지점의 진폭률이 IEC규정치와 동일하다고 보고 변압기의 경우 1.4 발전기의 경우 1.8을 적용하여 계산한다[4].

$R = a * \sqrt{L/C}$ , 단 a는 그 선로의 과도회복전압 진폭률을 결정하는 값으로 변전소의 경우 2 발전소의 경우 7

위와같은 방법을 적용하면 가장 중요한 영향을 미치는 대상변전소 주변의 회로정수가 정확하게 모의 가능하며 그다지 영향을 미치지 않는 후방 변전소에 관해서도 차단시의 전압분담을 정확하게 설정하는 것이 가능하므로 필요이상의 복잡한 계산을 하지않고도 비교적 정확한 과도회복전압을 구하는 것이 가능하다. N703 변전소에서 고장이 발생한 경우의 등기회로를 그림 2.1에 나타냈다.

## 3. 결과분석

### 3.1 등가회로의 모델링 범위

고장변전소로부터 가능하면 먼곳까지 상세하게 계통의 회로정수를 입력하여 계산할수록 계산결과가 정확할 것은 틀림이 없다. 그러나 등가회로 작성시간과 컴퓨터의 계산시간을 고려하지 않을 수는 없다. 이런 관점에서 고장변전소에서 2단, 3단, 4단 및 5단 후방을 R, L, C 등가회로로 각각 처리하여 그결과를 비교하였다(그림 3.1 참조). 그림에서 알 수 있듯이 초기상승률은 2단 후방을 등가회로로 처리한 모델링으로도 충분하며 피크치는 - 이 변전소에서는 - 3단 후방에서 등가회로로 처리하는 것이 정확함을 알 수 있다.

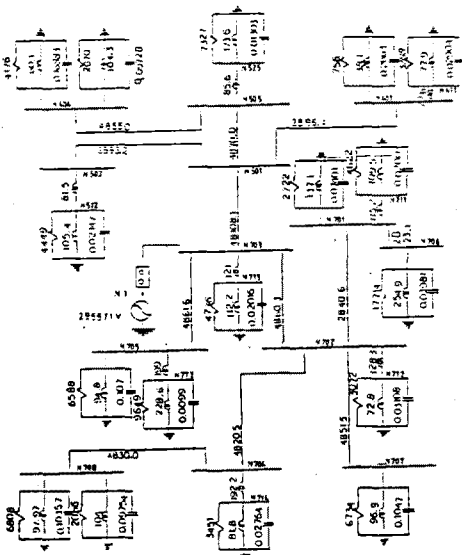


그림 2.1 계산용 등가회로 (N703)

### 3.2 최적 time step 의 선정

time step 은 정확도가 크게 문제되지 않으면 가능하다면 크게 정할수록 좋을 것이다. 그러나 우선 ti-

me step 은 반드시 계산대상 회로중에서 가장 짧은 선로에 대한 빛의 통과시간보다는 작아야 한다. 그리고 선택할 수 있는 최대 time step은 통과시간의 1/5 정도가 좋다는 보고도있다[4]. 그림 3.2에 time step을 1 $\mu$ s에서 50 $\mu$ s까지 변화시켰을 때의 과도회복전압의파형의 변화를 나타냈으며 이때 가장 짧은 선로의 길이는 17.5 Km 였으며 통과시간은 58.3  $\mu$ s 였다.그림에서 알 수 있듯이 오차는 10 $\mu$ s에서 피크치는 0.4% 피크시간은 0.2%의 오차(1 $\mu$ s 때와 비교해서)가 발생했으며 통과시간이내이면 그다지 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

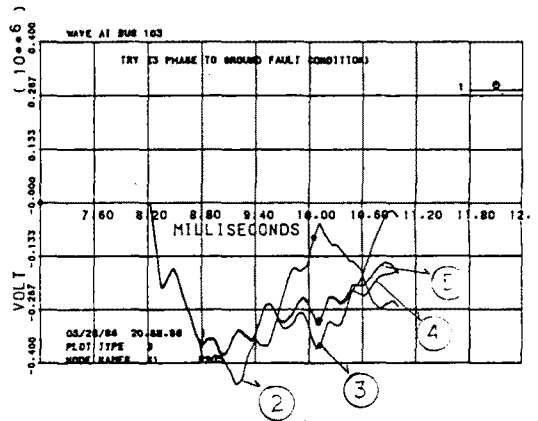


그림 3.1 모델링 범위에 의한 영향

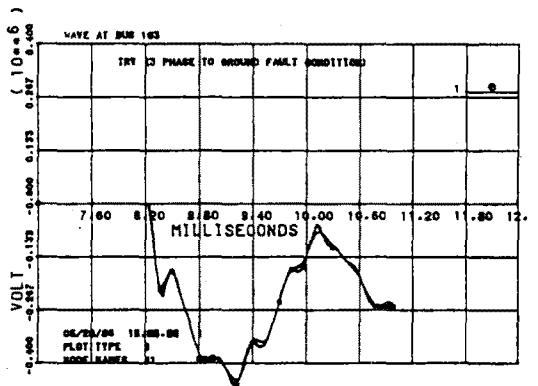


그림 3.2 Time step에 따른 IRV 파형의 변화

3.3 IEC 규격치와의 비교

그림 2.1을 EMTP를 이용하여 계산한 파형을 그림 3.3 에 나타냈다. 그리고 변전소 N103, N403, N703 에서의 결과를 1981년에 개정된 IEC와 비교해보 면 표 3.1 과 같다.

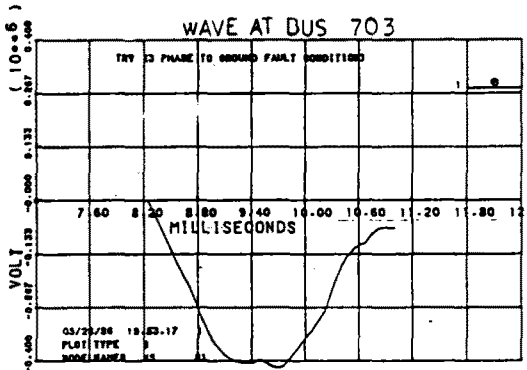


그림 3.3 N703에서의 과도회복전압 파형

표 3.1 계산결과와 IEC 규격치와의 비교

항 목	N103	N403	N703	IEC 규격, 362KV 21.5KA 50W기준
크기비드스(μS)	139.2	218	818	128
크기비드스(KV)	279	312	522	384
크기상승률(KV/μS)	2.0	1.44	0.64	3.0
고장전후(RA,Ω)	24.6	20.3	23.3	18.9

\*크기비드스는 등가단락회로 값에서 제1차단계수 1.33을 중간 값임

4. 결 론

이상은 모델로 선택한 전력계통에서 과도회복전압의 상승률이 가혹할 것으로 예상되는 변전소를 3개 선정

하여 EMTP를 이용하여 과도회복전압을 계산한 과정 및 결과를 나타낸 것이다. 본 연구에 의하면

- 1) 모델링 범위는 초기 상승률의 경우 2단, TRV 피크치의 경우에는 3단까지 정확하게 모의해야 하며
- 2) time step은 가장 짧은 선로에 대한 빛의 통과시간 이내이면 대부분 문제가 없으나 특히 정확한 결과가 요구될 때는 짧은 time step을 사용하는 것이 좋다.

또 계통의 정확한 데이터가 입수되고 실측까지도 가능하다면 우리나라 전계통에 대한 TRV의 분석이 가능할 것이며 이를 바탕으로

- 1) AC 고압차단기에 대한 우리나라 실정에 맞는 독자적인 규격의 제정이 가능할 것이며
- 2) 차단기 등의 전력용 기기 설치시 크게 도움이 될 것이다.

참고문헌

- [1] IEC Publication 56-2, 56-4
- [2] Working Group 13.01. -Transient Recovery Voltage in Extra-high Voltage Networks(362KV and above).Electra 1979, March (No. 63)
- [3] 我が国の電力系統に於ける過渡回復電圧に関する調査報告. 電気学会技術報告(工部)第190号, 昭和60年0月
- [4] Working Group 13.05. -The Calculation of Switching Overvoltages. Electra 1974, JANuary (No. 32)