

국제규격에 기초한 진상전류 개폐 시험회로에 대한 연구

이 동준*, 노 창일*, 정 흥수*, 김 선구*, 김 원만*, 김 선호*, 나 대열*, 김 철환**
 * 한국전기연구원, ** 성균관대학교

A study on the capacitive current breaking test circuit based on international standard

Lee Dong-Jun*, Roh Chang-Il*, Jung Heung-Soo*, Kim Sun-Koo*, Kim Won-Man*, Kim Sun-Ho*, La Dae-Ryeol*, Kim Chul-Hwan**
 * Korea Electrotechnology Research Institute, ** Sungkyunkwan University

Abstract - 개폐기, 차단기와 같은 스위치기어들은 지중케이블이나 가공선로, 콘덴서 뱅크에 흐르는 진상 전류의 개폐를 많이 하게 된다. 이때 진상전류의 크기는 정격 차단전류나 부하전류보다 그 크기가 매우 작다. 그러나 스위치기어 측면에서는 전압을 고려하였을 때 가혹한 시험이며, 이는 차단 후 극간에 걸리는 과도한 회복전압에 기인한다. 본 논문에서는 국제규격에서 요구하는 진상전류 시험의 회로조건들을, 회복전압 측면에 바탕을 두고 고찰해 보았다.

1. 서 론

진상전류 개폐시험의 목적은 개폐 후, 개폐기나 차단기의 극간에 인가되는 상용주파 회복전압에 대한 절연성능을 검증하는 시험이다. 특히 극간에 인가되는 상용주파 회복전압은 전원측과 부하측의 접지조건이나 정상분 커패시턴스와 영상분커패시턴스의 조건에 따라 그 크기가 달라진다. 따라서, IEC와 같은 국제 규격에서는 이러한 진상전류 개폐시험을 위해 여러 가지의 책무를 규정하고 있으며, 각각의 시험회로에 대한 조건도 제시하고 있다. 이러한 시험회로에 대한 조건은 실제 전력계통에서 발생 가능한 환경을 재현하기 위한 것이다.

실제로 전력계통에서 이러한 진상전류를 개폐하는 조건은 여러 가지이며 콘덴서뱅크의 개폐, 케이블 및 가공선로 충전전류의 개폐가 대표적인 예이다. 본 논문에서는 3상 시험회로에 대해서만 고려하였다.

2. 본 론

2.1 시험회로조건
 2.1.1 IEC 60265-1

시험회로 전원측의 접지조건은 비접지계통에서 사용되는 개폐기의 경우 비접지, 접지계통에서 사용되는 개폐기의 경우 접지를 원칙으로 하고 있다. 단, 선로충전개폐의 경우 첫상차단계수 1.5를 얻기 위하여 TRV 제거 또는 부하측의 접지 제거에 대하여 언급하고 있다. 전원측 접지를 할 경우에는 접지 임피던스의 경우 $Z_0 < 3Z_1$ 을 만족하여야 한다.

진상전류회로를 구현하기 위하여 실제와 같은 장거리 케이블과 선로의 구현이 현실적으로는 어려우므로 규격에서는 콘덴서를 이용하여 시험회로의 구현에 대해 허용하고 있다. IEC 60265-1의 경우 케이블 충전과 선로충전의 경우로 나누어 시험회로에 대한 조건을 제시하고 있다. 케이블 충전 시험회로의 경우 제품이 사용될 계통의 케이블이 belted cable인 경우 전원측은 접지하고 시험회로는 $C_1 = 2C_0$ 를 만족하여야 한다. 전원측이 비접지일 경우에는 앞의 조건은 무시한다. 선로충전의 경우 전원측은 접지하고 시험회로는 $C_1 = 3C_0$ 를 만족하여야 한다.

2.1.2 IEC 62271-100

콘덴서뱅크 전류 개폐시험의 경우 전원측과 부하를 접지한다. 단, 접지조건은 $Z_1 \leq 3Z_0$ 를 만족하여야 하며, 비접지 콘덴서뱅크의 경우 이 조건은 무시된다. 케이블 충전과 선로충전의 경우 차단기가 사용될 계통의 접지조건과 시험회로가 일치하여야 한다. 단, 중성점 접지 계통에 사용되는 차단기를 위한 시험회로의 경우 전원측은 접지 및 $Z_1 \leq 3Z_0$ 인 조건도 만족하여야 한다.

부하의 경우 IEC 60265-1과 마찬가지로 콘덴서를 사용하며, 시험회로는 선로충전의 경우 52kV를 기준으로 그 미만인 경우 $C_1 = 3C_0$, 52kV 이상인 경우 $C_1 = 2C_0$ 를 만족하여야 한다. 케이블 충전전류 시험회로의 경우 IEC 60265-1과 동일하다.

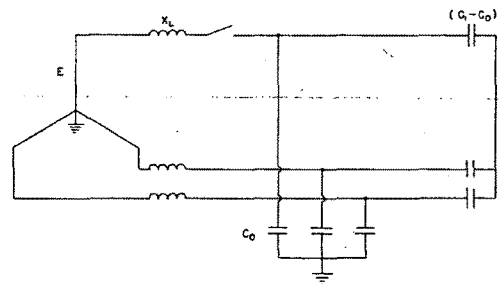
IEC 60265-1, IEC 62271-100 모두 유사한 시험조건을 요구하고 있으며, 다양한 접지조건과 임피던스 조건 모두 개폐시 파시험품에 인가되는 회복전압의 크기를 맞추기 위한 규정일 뿐이다. 따라서, 상기의 회로조건에서 발생할 수 있는 회복전압을 파악하는 것이 정확한 시험회로와 시험조건을 파악하는 것이다.

2.2 3상 진상전류회로

2.1에서 제시하는 여러 가지 시험조건에 기초하였을 때 진상전류회로는 전원측 직접접지라는 가정하에 크게 표 1과 같이 구분할 수 있다.

<표 1> 접지 조건에 따른 진상전류회로의 구분

Type	종류	대상계통 또는 예
1	커패시턴스가 직접 접지	접지 콘덴서뱅크 screened cable
2	일부 커패시턴스만 접지	가공선로 belted cable
3	커패시턴스가 비접지	비접지 콘덴서뱅크

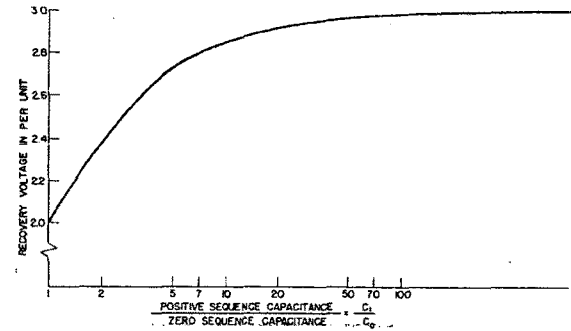


<그림 1> 일반화된 진상전류 회로

그림 1은 진상전류 회로의 일반화된 등가회로이다. 그림 1을 참조하여 표 1의 3가지 경우에 대하여 정상분 커패시턴스와 영상분 커패시턴스를 비는 다음과 같다.

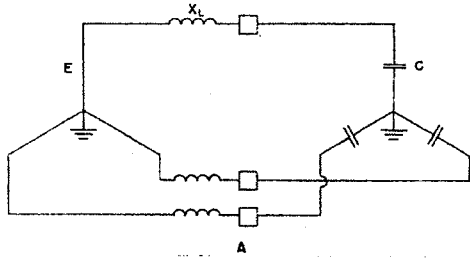
- 1) Type 1 - 커패시턴스가 직접 접지되었을 경우 : $C_1 - C_0 = 0$, 즉 $\therefore \frac{C_1}{C_0} = 1$
- 2) Type 2 - 일부커패시턴스만 접지되었을 경우 : $\alpha \leq \frac{C_1}{C_0} \leq \beta$ (여기서, α 와 β 는 계통마다 다름)
- 3) Type 3 - 커패시턴스가 비접지: $C_0 = 0$, $\therefore \frac{C_1}{C_0} = \infty$

그림 2는 정상분 커패시턴스와 영상분 커패시턴스의 비에 따른 첫상 극간회복전압의 크기를 나타낸다.



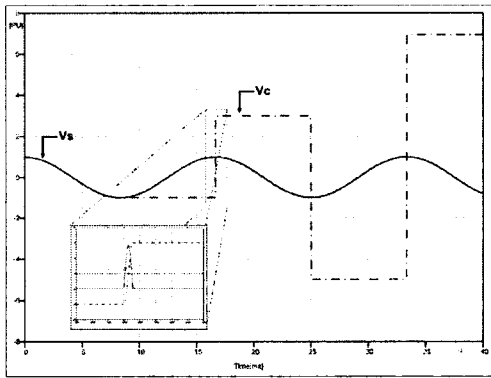
<그림 2> 정상분 커패시턴스와 영상분 커패시턴스의 비에 따른 첫상 극간회복전압

2.2.1 Simulation
 1) Type 1



〈그림 3〉 Type 1 회로

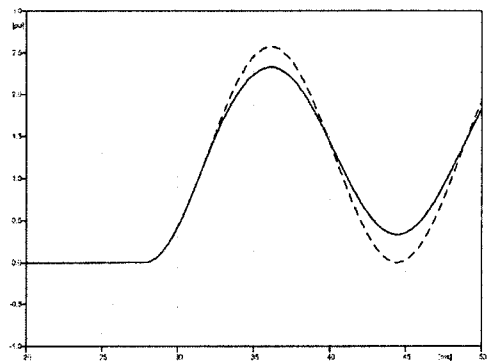
Type 1을 시험회로로 구현시에는 그림 3과 같이 양단접지가 필요하며, 따라서 3상회로이지만 단상회로로 해석이 가능하다. 그림 4의 경우 충전전류 개폐 후 0.5주기 후 마다 restriking이 발생한 최악의 경우를 simulation한 파형이다. 이는 restriking 발생시 개폐기나 차단기가 첫 natural frequency 0점에서 계속해서 차단했을 경우에 가능하다. 콘덴서의 터미널 전압 V_c 는 $-1[pu] \rightarrow 3[pu] \rightarrow -5[pu] \rightarrow 7[pu]$ 로 증가하는 모습도 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 Type 1회로의 개폐 후 restriking 발생시 콘덴서 전압

2) Type 2

일부 커패시턴스만 접지된 회로의 경우 가공선로 또는 belted 케이블이 해당된다. 규격에서는 $\frac{C_1}{C_0}$ 를 2 또는 3으로 시험하도록 요구하고 있다.



〈그림 5〉 정상분, 영상분 커패시턴스의 비에 따른 극간회복전압

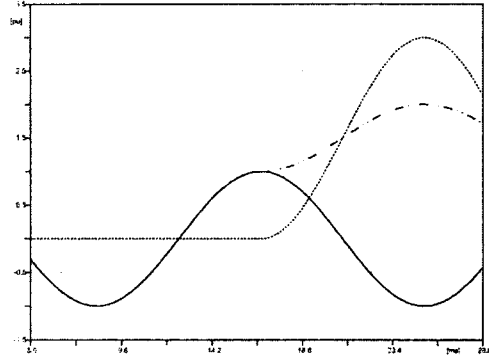
그림 5는 $\frac{C_1}{C_0}$ 을 3으로 조정하여 시뮬레이션한 결과 파형과 결과 데이터이다. 점선으로 표시한 파형은 type 2 회로에서 극간에 인가될 수 있는 최대회복전압이며 직선은 정상개폐시의 경우이다. 표 2는 커패시턴스의 비율 2 및 3으로 시뮬레이션한 결과 데이터이다. 최악의 경우 극간회복전압은 그림 2에서 제시한 데이터와 비슷한 결과를 보여주고 있다.

〈표 2〉 시뮬레이션 결과

C_1/C_0	구분	극간회복 전압	C_1/C_0	구분	극간회복전압
2	정상개폐시	2.22	3	정상개폐시	2.32
2	최악의 경우	2.4	3	최악의 경우	2.57

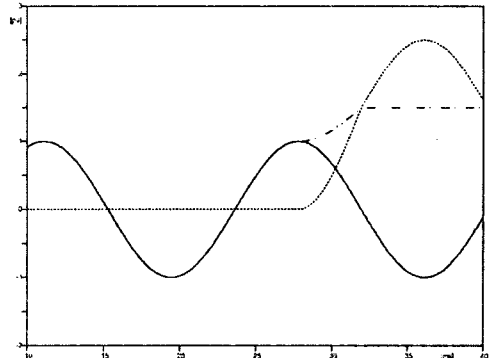
3) Type 3

커패시턴스가 비접지인 경우 $\therefore \frac{C_1}{C_0} = \infty$ 이며 그림 2와 같이 최대 3[pu]에 가깝게 가장 큰 회복전압이 극간에 인가된다.



〈그림 6〉 비접지 콘덴서뱅크 개폐시의 극간회복전압

그림 6은 type 3에서 발생할 수 있는 최대 회복전압을 보여주며, 실제 개폐시험 회로에서 정상적인 개폐가 이루어졌을 경우에는 발생하지 않는다. 그림 7은 정상적인 개폐가 이루어졌을 경우의 첫극에 인가되는 극간회복전압, 콘덴서 뱅크의 전압 및 전원전압을 나타내고 있다.



〈그림 7〉 비접지 콘덴서뱅크 개폐시의 극간회복전압

2.2.2 전원축 조건

상기의 simulation들은 전원축이 $\frac{X_0}{X_1} = 1$ 라 가정한 것이며, 회복전압 또한 $\frac{X_0}{X_1} \leq 3$ 를 만족하는 한 회복전압의 크기는 거의 변화가 없다. 그러나 리액턴스나 고저항 접지와 같이 접지 임피던스가 커지게 되면 직접접지보다 비접지특성쪽에 가깝게 되므로, 회복전압의 크기는 급격히 증가한다. 만약, 전원축의 전원을 제거하게 되면 type 3의 결과와 같이 첫극에 걸리는 극간회복전압이 최대 3[pu]가 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 국제규격에서 요구하는 진상전류 개폐시험의 조건에 대하여 파악하고, 크게 3가지의 회로로 구분하여 각각의 회로에 대한 회복전압을 시뮬레이션을 통해 확인해 보았다.

그 결과 극간에 걸리는 극간회복전압은 접지 콘덴서뱅크, 가공선로, 비접지 콘덴서뱅크마다 차이를 알 수 있었고, 그 크기는 restriking free 조건에서 접지 콘덴서뱅크 < 가공선로 < 비접지 콘덴서뱅크임을 알 수 있었다.

따라서, 진상전류 개폐시험시 피 시험품의 실 사용계통의 조건에 대한 정확한 파악후에 각각에 맞는 회복전압이 인가될 수 있도록 시험회로를 설계하도록 하여야 한다.

또한, 본 논문에서는 언급하지 않았지만 각각의 시험회로에서 restriking 발생시 발생하는 중성점 및 콘덴서 뱅크의 전압상승 및 회복전압에 대한 연구가 계속해서 필요하다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] IEC, "IEC 60265-1 High-voltage switches - Part1: Switches for rated voltages above 1kV and less than 52kV", 1998.
- [2] IEC, "High-voltage switchgear and controlgear-Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers", 2003.
- [3] Allan Greenwood, "Electrical transients in power systems", 1990.
- [4] 이 동준, 진상 전류 개폐 시험 회로에 관한 연구, 대한전기학회 하계 학술대회, 2001