

진상 전류 개폐 시험 회로에 관한 연구

이 동준*, 노 창일*, 김 선구*, 나 대열*, 박 병락*, 김 철환**
 *한국전기연구원, **성균관대학교

A Study on the capacitive current breaking test circuit

Lee Dong-Jun*, Roh Chang-IL*, Kim Sun-Koo*, Ra Dae-Ryeoi*, Park Byung-Rak*, Kim Chul-Hwan**
 * Korea Electrotechnology research institute, ** Sungkyunkwan university

Abstract - 오늘날 전력계통에서 개폐기, 차단기들은 케이블 충전이나 선로충전, 콘덴서 뱅크의 부하전류와 같은 진상 전류의 스위칭을 많이 하게 된다. 이때 진상 전류의 크기는 개폐기나 차단기의 정격 차단전류보다 그 크기가 매우 작다. 그러나 차단 책무는 개폐기나 차단기에 상당히 가혹하며, 이는 차단 후 극간에 걸리는 과도한 회복전압에 기인한다[2,3]. 상용주파 회복전압은 차단 성능을 검증하는 요소중의 하나로서 사고시 임피던스에 의해 변화한다. 본 논문에서는 IEC 60265-1에 따른 케이블 충전 전류 시험(Test duty 4a) 회로를 모의하고 IEC 60265-1에서 규정하는 규정치 이내에서 영상분 임피던스의 변화에 따른 상용주파 회복전압의 변화를 살펴보았다 [1].

1. 서 론

그림 1은 케이블 충전전류의 차단 후 개폐기에 나타나는 일반적인 상용주파 회복전압을 보여주고 있다. 용량성 회로이기 때문에 부하측 전압은 차단후 피크전압으로 유지되고 개폐기 1차측 전압은 전원전압과 같으므로 0.5주기후 개폐기에 정격의 2배에 가까운 회복전압이 인가되며, 이러한 과도한 회복전압에 의해 재점화가 발생할 수 있고 계통의 구성에 따라 과전압을 유발하기도 한다 [2,3].

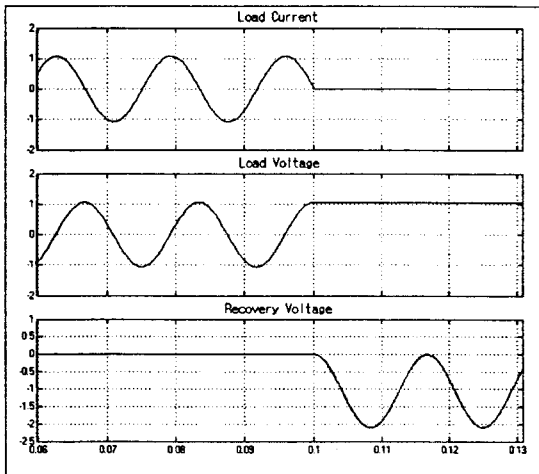


그림 1. 진상전류 차단후의 회복전압

2. 본 론

2.1 관련규격[1]

IEC 60265-1의 케이블 충전전류 시험(Test duty 4a) 항목중 관련된 사항을 살펴보면 표1과 같다.

정격전압 Ur [kV]	정격 케이블충전 전류 Ir [A]	
25.8	16	
전원측 회로 TRV		
정격 전압 Ur [kV]	과도 회복전압 과고치 Uc [kV]	시간 t3[μS]
25.8	44.2	88
전원회로의 접지 조건(중성점 접지 계통에서 사용시)	전원회로의 중성점은 접지. 영상분 임피던스는 전원측 정상분 임피던스의 3배미만.	
케이블 대응으로 콘덴서 사용시	용량성 임피던스의 5%를 넘지 않는 비유도성 저항을 콘덴서와 직렬로 연결 가능	

표 1. IEC 60265-1 관련 규정

2.2 관련이론

그림 2의 시험회로는 시뮬레이션에 사용된 회로이며, 실제 한국전기연구원 전기시험연구소의 500MVA급 시험회로이다. 시험회로는 3상 지락사고로 볼 수 있으며, 대칭성분을 이용하면 시험회로를 쉽게 해석할 수 있다. 먼저, 전압과 전류는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$V_a = Z_f I_a + Z_g (I_a + I_b + I_c) \quad (1)$$

$$V_b = Z_f I_b + Z_g (I_a + I_b + I_c) \quad (2)$$

$$V_c = Z_f I_c + Z_g (I_a + I_b + I_c) \quad (3)$$

위의 식 (1), (2), (3)을 대칭성분으로 표시하면 다음과 같이 된다.

$$V_a = Z_f (I_{a0} + I_{a1} + I_{a2}) + 3Z_g I_{a0} \quad (4)$$

$$V_b = Z_f (I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}) + 3Z_g I_{a0} \quad (5)$$

$$V_c = Z_f (I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2}) + 3Z_g I_{a0} \quad (6)$$

(4), (5), (6)을 정리하면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$V_{a1} - Z_f I_{a1} = -2(V_{a0} - Z_f I_{a0} - 3Z_g I_{a0}) \quad (7)$$

$$V_{a1} - Z_f I_{a1} = V_{a0} - Z_f I_{a0} - 3Z_g I_{a0} \quad (8)$$

위의 두 수식을 만족하기 위해서는 $V_{a0} = I_{a0} = 0$ 이어야 하므로 개폐기를 투입하여도 영상분 전류는 흐르지 않을 것이다. 하지만 개폐기가 차단할 때의 상황은 다르게 된다. 개폐기의 First pole clear후 회로는 더 이상 3상 지락사고회로가 아니며, 부하측을 접지 하였기 때문에 second, third pole clear때까지는 Z_g 를 통해 흐르는 지락전류가 발생하게 된다.

2.1에서 언급한 바와 같이 접지계통에 사용되는 개폐기의 케이블 충전전류 시험회로는 영상분 임피던스가 전원측 정상분 임피던스의 3배를 넘지않아야 한다고 규정하고 있다. 그러므로, 이 규정을 만족하기 위해서는 부하측을 반드시 접지 하여야 하며, 또한 Z_g 를 조정하여 영

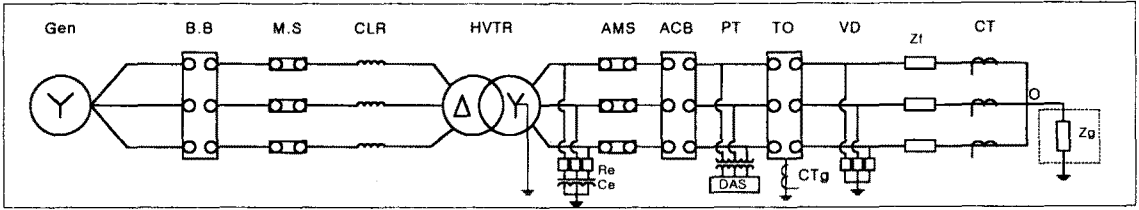


그림 2. 충전전류 개폐시험 회로도

상분 임피던스를 조정 가능하다. 이때 영상분 임피던스의 크기에 따라 차단후 개폐기에 인가되는 상용주파 회복전압은 다를 것이다.

2.3 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용한 시험회로는 그림 2와 같고 회로도에 표시된 약어는 다음과 같다.

Gen	Generator (500MVA)	PT	Potential transformer (6000:1)
B.B	Backup breaker	TO	Test object
M.S	Making switch	VD	Voltage divider (10000:1)
CLR	Current limiting Reactor	CT	Current transformer (20:1)
HVT R	Transformer (100MVA)	Z _l	Load
AMS	Auxiliary making switch	Z _g	Load (For zero sequence impedance)
ACB	Auxiliary circuit breaker	DAS	Data acquisition system

표 2. 시험회로의 사양

시뮬레이션회로는 향후 Field Test를 고려해 한국전기연구원 전기시험연구소(의왕소재)의 500MVA급 단락시험 설비를 기준으로 시뮬레이션 하였다. 현재 전기시험연구소의 500MVA 단락발전기는 중성점 비접지 방식이므로 시뮬레이션에 사용된 발전기 모델도 중성점 비접지 방식으로 하였으며, TRV network, 변압기 1,2차 Bus의 임피던스도 시뮬레이션에 모두 포함하였다. 실제 시험시에는 3대의 단상 단락변압기를 이용하여, 1, 2차측을 Δ, Y결선으로 사용하지만 시뮬레이션에서는 3상 변압기 모델을 사용하였다. 변압기 모델은 단락변압기 특성 시험을 통해 얻은 데이터를 이용하였고 비선형 특성은 그림 3과 같다.

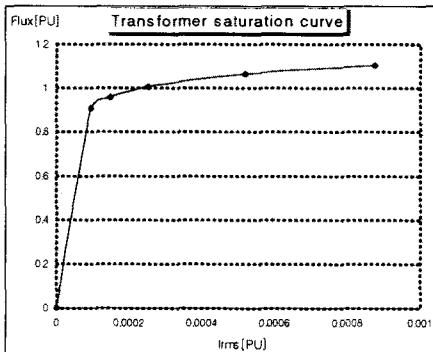


그림 3. 변압기 포화 특성 곡선

시뮬레이션은 25.8kV, 600A정격을 가진 개폐기의 케

이불 충전전류 시험회로를 모의하였으며, IEC 60265-1에 따라 선로나 케이블은 저항과, 리액터 또는 콘덴서로 대치 가능하므로 IEC 60265-1에서 요구하는 케이블 충전전류(Duty 4a)에 맞는 저항과 콘덴서 파라메타를 산정하여 시뮬레이션 하였다.

2.3 시뮬레이션 결과[3-6]

임피던스 Z_g를 조정하여 영상분 임피던스 Z₀가 Z₁의 3배를 넘지 않도록 변경하며 차단시 개폐기 극간에 인가되는 회복전압의 크기를 시뮬레이션해 보았다[7].

2.3.1 Without Z_g

그림 4, 5는 Z_g를 삽입하지 않고 부하측을 직접접지하였을 때의 결과 파형이다. 먼저, 그림 4는 개폐기의 부하전류 차단시의 파형을 보여주고 있다. 2.2에서 언급한 대로 부하전류는 시험중 접지측으로 흐르지 않음을 알 수 있다. 예상했던 대로 First pole clear후에 접지측을 통해 전류가 흐름을 알 수 있다.

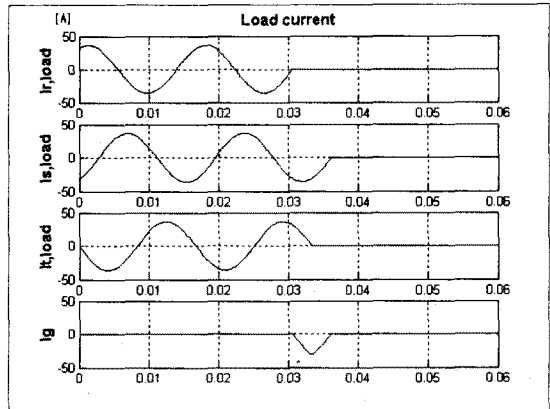


그림 4. 부하전류

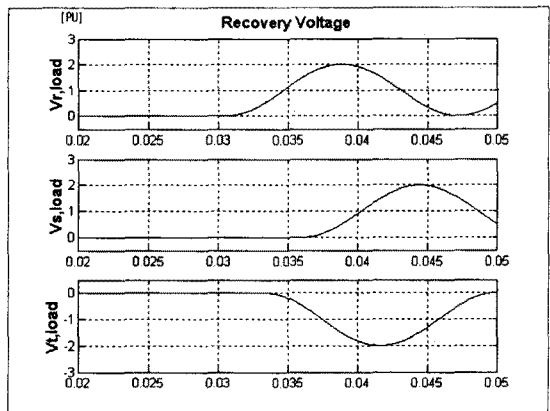


그림 5. 차단 후 개폐기에 인가되는 회복전압

그림 5는 개폐기 양단에 인가되는 회복전압을 보여주고 있다. First pole clear후 커패시터에 충전된 전압에 의해 R상의 회복전압은 0.5주기 후 정격전압의 약 2배가 나타남을 알 수 있다.

2.3.2 $Z_0 \approx 2Z_1$

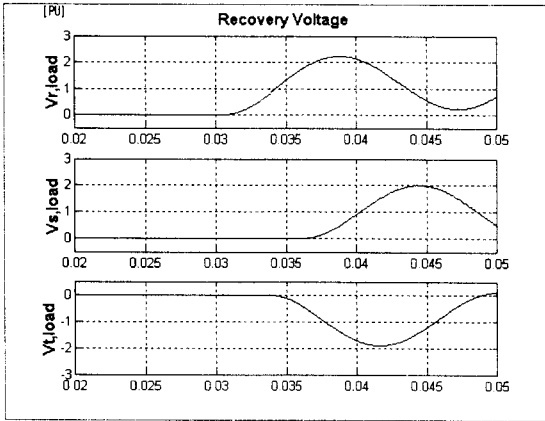


그림 6. 차단 후 개폐기에 인가되는 회복전압

그림 6은 $Z_0 \approx 2Z_1$ 일 때의 결과 파형이다. First pole clear후 R상의 회복전압이 정격전압의 2배 이상이 인가되었다. 이는 First pole clear후 접지측으로 전류 Ig가 흐르게 되며, 따라서 Zg의 커패시턴스에 의한 O점의 전위상승으로 정격전압의 2배 이상의 회복전압이 개폐기에 인가된다.

2.3.3 $Z_0 \approx 3Z_1$

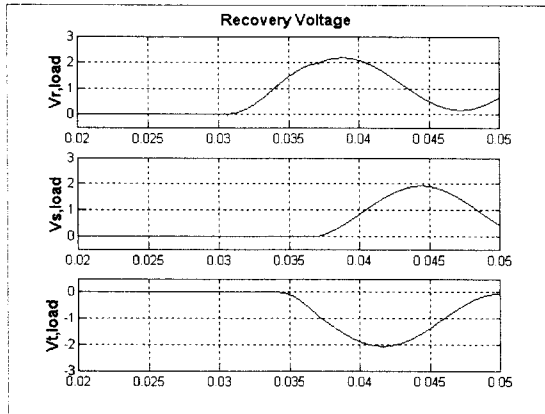


그림 7. 차단 후 개폐기에 인가되는 회복전압

그림 7은 $Z_0 \approx 3Z_1$ 일 때의 결과 파형이다. 역시 First pole clear후 Zg에 전위 상승에 의해 R상에 정격전압의 2배 이상의 상용주파 회복전압이 인가됨을 알 수 있다.

2.3.4 Z_0 의 변화에 따른 회복전압 비교

그림 8은 영상분 임피던스를 조절하기 위한 임피던스 Zg의 변화에 따른 첫 번째 차단상에 인가되는 상용주파 회복전압 파형을 나타내고 있다.

먼저, 임피던스 Zg없이 부하측을 직접접지 할 경우 정격전압의 2배에 해당하는 상용주파 회복전압이 인가됨을 확인할 수 있다. 또한, 임피던스 Zg를 추가하면 Zg의 커패시턴스에 의해 O점의 전위상승으로 인해 정격전압의 약 2.2배 이상의 상용주파 회복전압이 인가된다. 영상분 임피던스가 정상분 임피던스의 3배에 가까워 질 수록 상

용주파 회복전압의 크기는 영상분 전류의 감소로 인한 O점의 전위 하락으로 약간 줄어들게 된다. 하지만 회복전압의 상승률은 증가함을 그림 8에서 확인할 수 있다.

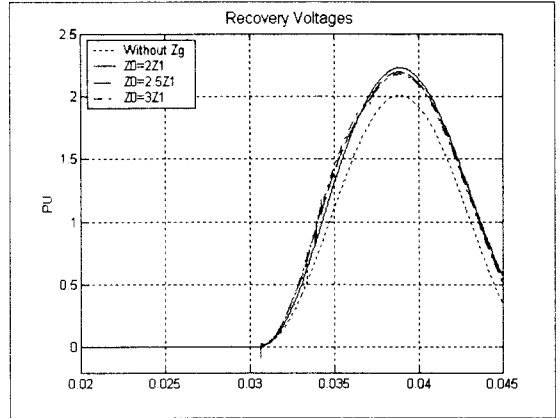


그림 8. 차단 후 개폐기에 인가되는 회복전압

3. 결 론

본 논문에서는 한국전기연구원 전기시험연구소의 500MVA급 단락시험 설비의 실제 파라메타들을 사용하여, IEC 60265-1의 케이블 충전전류 시험(Test duty 4a)회로에서 영상분 임피던스의 변화에 따른 상용주파 회복전압의 변화를 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 시뮬레이션 결과 영상분 임피던스의 증가를 통해 상용주파 회복전압의 상승률 및 크기가 증가함을 확인하였다. 이는 피시험품인 개폐기에 더욱 가혹한 시험 조건이 될 것이며, 따라서 본 논문의 결과를 이용한다면 개폐기의 성능확인에 더욱 도움이 될 것이다.

앞으로 본 논문의 결과를 바탕으로 field test를 실시하여 결과를 검증한 후, 향후 개폐기의 케이블 충전전류 시험에 반영할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEC, "IEC 60265-1 High-voltage switches - Part1: Switches for rated voltages above 1kV and less than 52kV", Jan, 1998.
- [2] R.P.P.Smeets, A.G.A.Lathouwers, " Capacitive Current Switching Duties of High-Voltage Circuit Breakers: Background and Practice of New IEC Requirements", Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 3, pp.2123 -2128, 2000.
- [3] Allan Greenwood, "Electrical transients in power systems", pp. 100-104, 1990.
- [4] William D. Stevenson, Jr., "Elements of Power System Analysis", pp.275-304, McGRAW-HILL book company, 1988
- [5] Vincent Del Toro, "Electrical Power Systems", pp. 408-443, Prentice-Hall International, Inc., 1992.
- [6] Paul M. Anderson, "Analysis of faulted power system", pp. 19-52, IEEE press, 1995.
- [7] Duane Hanselman, "Mastering MATLAB", Prentice-Hall International, Inc., 1993.