

저압배전계통에서 발생한 단락전류의 Bypassing 장치에 관한 연구

윤 영주 김 동구 이 세현 한 상욱
 충남대학교 홍성기능대학

A Study on the Bypassing Device for Short-fault Current produced in Low Voltage Distributed Line

Y.J. Youn D.K. Kim S.H. Lee S.O. Han
 Chungnam National University Hongsung Polytechnic College

Abstract - In this paper, we designed basic concept and structure of bypassing device which promoted the activity of low voltage line-fuse, when it perceived the too small short-fault current to activate line-fuse which located at the between secondary of pole transformer and home immediately. And we study displacement of bypass contact and electromagnetic force caused by the short-fault current by the basic experiment to understand the basic characteristic of bypassing movements.

전류이고 다른 하나는 비교적 [A]수가 큰 지락 또는 단락전류이다. 과전류는 일반적으로 수용가의 기기들에 과부하가 걸릴 때에 발생하는 과도적인 큰 전류이며, 단락전류는 전선의 상호 접촉(Short)시에 발생하는 과전류보다 더 크고 오래 지속되는 고장 전류이다.

전선퓨즈는 이렇게 두 가지 종류의 고장전류에 적절히 동작하도록 설계되어 있으며, 그 구조를 살펴보면 Fig 1과 같다.

1. 서 론

날로 늘어만 가는 인구나 도시의 집중된 부하 때문에 오늘날의 정전사고는 비록 한 순간이라고 할지라도 수용가에 막대한 영향을 미치게 된다. 이렇게 배전전압이 상승하고 부하가 밀집되어 가는 추세에서 수용가에 가장 근접한 주상변압기에서 수용가 사이의 선로는, 만약 단락이나 지락고장이 발생할 경우, 그 고장의 영향이 직접적으로 수용가와 주상 변압기로 미치게 되기 때문에 우선적으로 보호되어야 한다.

현재 이 구간에서 발생하는 사고는 주상변압기의 2차측에 설치되어 있는 전선퓨즈(Line fuse)에 의해서 처리가 된다. 이 전선퓨즈는 비교적 적은 과전류를 담당하는 용단부와 큰 단락전류를 담당하는 차단부로 구성이 되는데, 이 용단부와 차단부가 서로 보호 협조를 이루어 단락 및, 지락사고로 인한 고장전류를 처리하고 있다. 그러나 고장난 선로에서 고장점 부근의 전선의 과열에 의한 저항 증가, 아크에 의한 저항증가등에 의해서 고장전류가 차단부가 동작하는 3[kA]에 미치지 못하는 경우, 전선퓨즈의 동작의 지연이 발생하고 이 시간만큼 고장전류가 주상 변압기로 흘러 큰 피해를 발생시킬 수가 있다.

이에 본 논문에서는 이러한 전선퓨즈의 차단을 일으키는 3[kA]보다는 적지만 주상 변압기에 큰 피해를 줄 수 있는 고장전류가 발생할 경우, 이 고장전류에 대해서 전선퓨즈를 조기에 동작시키도록 도와주는 bypassing 장치에 관하여 연구하였다.

그리고 자체 해석 프로그램을 사용하여 실제 실험과 같은 실험 조건에서 시뮬레이션을 실행하여 그 결과를 실제 결과와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 전선퓨즈와 bypassing 장치의 원리

2.1.1 전선퓨즈(Line-Fuse)

전선 퓨즈는 일반적으로 배전계통에서 22.9[kV]를 220[V]나 110[V]로 바꾸어주는 주상변압기의 2차측을 보호하는 기기로서 주상변압기의 2차측 단자와 수용가의 인입구 사이에서 고장이 발생하면 동작하게끔 되어있다.

전선퓨즈가 담당하는 전류로는 크게 나누어 두 가지로 구분할 수 있는데 그중 하나는 비교적 [A]수가 적은 과



Fig 1 전선퓨즈의 구조

Fig 1에서 보여진바와 같이 전선퓨즈는 과전류를 담당하는 용단부와 단락 및 지락전류를 담당하는 차단부로 구성되어 있으며, 이 두 부분이 서로 보호 협조를 이루어 여러 종류의 고장전류를 처리하도록 설계되어 있다.

현재 계통에서 실제로 사용되고 있는 전선퓨즈는 크게 두 종류로 나뉘어져 있는데, 정격전류가 38[A](2.6 ϕ)인 것과 50[A](3.2 ϕ)인 것이다. 38[A]용과 50[A]용 모두 용단시험에서는 정격전류의 180%에서 600초, 300%에서 40초, 700%에서 6초 이내에 용단이 되어야 하며, 차단은 두 가지 종류 모두 3[kA]에서 행해져야 한다.

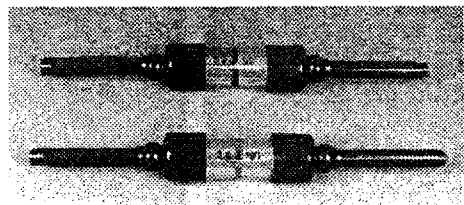


Fig 2 전선퓨즈(38[A]용과 50[A]용)

Fig 2는 현재 사용되고 있는 두 가지 종류의 전선퓨즈의 실물을 보여주고 있다. 투명한 예폭시 수지로 된 내통과 외통이 용단부와 차단부를 감싸고 있으며, 내통과 외통의 양단에는 금속제로 된 슬리브가 연결되어 있고, 그것을 고무로 감싼 구조로 되어있다. 전선퓨즈의 동작 여부는 투명한 내통과 외통을 통해 용단부와 차단부의 파손여부를 보아 확인할 수 있으며, 따로 동작 Indicator를 장치한 것도 있다.

Fig 3은 50[A]용 퓨즈를 예로 들어 용단부와 차단부의 동작영역을 서로 비교한 것이다. B영역 이상에서는 전선의 과열에 의한 또는 아크로 인한 저항의 증가로 고장전류가 한류되어 전선퓨즈의 차단부가 정확하게 동작하지

않고 시간지연이 발생할 가능성이 있는데, 이런 전류가 만약 변압기로 그대로 흐를 경우, 주상변압기에 적지 않은 전기적, 기계적 충격을 주게 되어 고장을 발생시키게 된다.

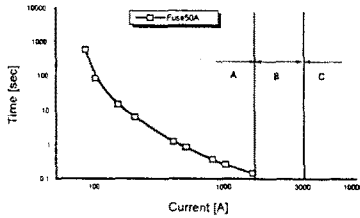


Fig 3 용단부와 차단부의 동작영역 비교

이에 본 연구에서는 이 영역의 전류에 대한 변압기의 적절한 보호대책을 마련하기 위해 전선퓨즈가 정확하게 동작하기 힘든 이 구간에서의 전류를 회로를 강제적으로 단락시켜 전선퓨즈가 확실하게 동작하게끔 도와주는 bypassing 장치를 연구하게 되었다.

2.1.2 bypassing 장치의 원리

주상변압기의 2차측에서 수용가의 인입구에 이르는 선로에서 단락 및 지락고장이 발생할 경우, 고장전류는 주상변압기에 제일 먼저 피해를 입게 된다. 이를 방지하기 위해 현재 사용되고 있는 보호장치가 바로 전선퓨즈이다. 그런데 이 구간의 선로에서 단락 및 지락고장이 발생하였을 때, 고장점에서의 아크저항이나 전선의 과열로 인한 저항의 증가에 의하여 고장전류가 제한되는 경우가 생길 수 있고, 이 경우에는 전선퓨즈가 제한된 고장전류를 제대로 차단시켜 주지 못하거나 퓨즈의 동작이 지연될 가능성이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 전선퓨즈의 차단부가 동작하는데 시간지연이 발생할 가능성이 있는 1.5[kA]~3[kA] 영역의 전류에서 퓨즈를 신속히 동작시킬 필요가 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 본 연구에서는 퓨즈의 차단부가 즉시 동작하지 않는 범위의 작은 전류가 흘렀을 때, 선로를 강제적으로 단락시키고 이때 발생하는 큰 단락전류를 이용하여 전선퓨즈를 동작시키는 방법을 사용하였다.

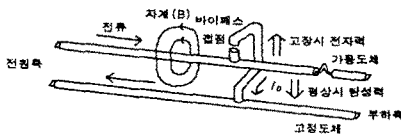


Fig 4 bypassing 장치의 기본 원리

Fig 4는 bypassing 장치의 기본 원리를 설명한 것이다. 두 개의 평행한 도체에 AC 고장 전류가 흐르는 경우 위쪽의 도체에 흐르는 전류는 플레밍의 법칙에 따라서 그림에서의 화살표 방향으로 자기 B를 발생시키고, 아래쪽의 도체의 경우에는 엇도체와 전류의 방향이 반대로 되므로 결국 두 도체는 서로 밀어내는 결과가 된다. 다음 반 Cycle의 경우에도 마찬가지로 자계의 발생결과, 서로 밀어내는 결과가 나온다. 이 때 Fig 4에서와 같이 아래의 도체를 고정시켜 놓고 고장전류를 흘리면 위쪽의 도체가 엇방향으로 움직이게 되고, 이때 바이패스 접점이 접촉되어 단락회로가 형성되며 고장전류는 부하측을 통하여 흐르지 않고 바이패스 접점을 통하여 직접 흐르게 된다. 이 단락전류 I_B 는 초기의 고장전류보다 더 큰 값이 되며, 전선퓨즈를 동작시키게 된다.

2.2 기초실험장치 및 실험방법

앞서 구상한 bypassing 장치를 실제로 구성하기 위해 bypass 접점 동작의 자세한 기초 특성을 알기 위해서는 본 연구에서는 다음과 같은 기초특성 실험장치를 구성하였다.

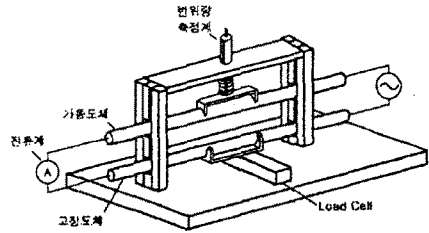


Fig 5 bypass 기초특성 실험장치

고정도체와 가동도체는 동파이프로 길이는 200[mm]의 것을 사용하였으며, 도체의 움직임에 가장 큰 영향을 끼치는 도체의 무게는 약 236[g]으로 측정되었다. 가동도체와 고정도체 사이는 도체가 움직일 때 유연성을 갖도록 접지선을 사용하였으며, 도체와 전원장치와의 연결은 대전류가 흐르기 때문에 부스바를 사용하였다. 가동도체 윗부분에는 가동도체의 변위량을 측정하기 위하여 변위 측정계(Potentiometer)를 설치하였는데, 이 변위 측정계는 0~30[mm]의 거리를 측정하는 것을 사용하였다. 고정도체의 하부에는 고정도체가 받는 힘을 측정하기 위하여 로드셀(Load Cell)을 장치하였다. 전류의 투입시간은 마그네틱 스위치를 수동으로 조정하였기 때문에 임의적으로 변화하였지만, 대략적으로 0.2~0.3초 정도로 되었다. 전류는 각각 500[A], 700[A], 1000[A], 1200[A], 1400[A]에서 실험을 실시하였다. 똑같은 전류대에서 5회씩 반복 실험하여 결과를 산출해 내었으며, 측정한 항목으로는 전류의 투입시간, 전자반발력의 피크(peak)값과 시간, 그리고 고 변위의 피크(peak)값과 시간이다.

2.3 실험결과 및 고찰

전류를 500[A]에서 1400[A]까지 단계적으로 높여가면서 bypass 동작특성을 실험한 결과 고장전류에 대한 전자 반발력과 도체의 변위등을 파악하여 그 결과를 검토해 보았다.

2.3.1 전자반발력 측정

Fig 6은 전류의 변화에 대한 전자 반발력의 peak 값의 변화를 표시한 것이다. 각각의 전류에 대해서 5회씩 실험한 결과를 오차값으로 표시하였는데, 각 실험마다 나온 데이터 값이 상당히 오차가 적고 안정적임을 확인할 수 있었다.

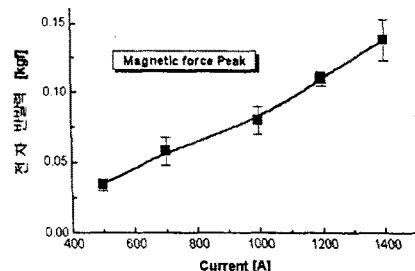


Fig 6 단락전류에 대한 전자반발력

그리고 실험한 전류에 대해서 전자 반발력이 비록 한 쪽에서 측정된 것이지만 상당히 선형적으로 변화하고 있음을 파악할 수 있었다. 또한 Fig 6을 통하여 이번 연구에서는 실험하지 못한 좀더 높은 전류영역에서도 전자 반발력이 어느 정도로 발생할 것인지를 예측하는 것이 가능하게 되었다.

2.3.2 변위거리 측정

Fig 7은 전류에 대한 도체의 변위거리의 peak값들의 변화를 표시한 것이다. 변위의 peak값들은 전자 반발력과는 다르게 전류에 대해서 2차함수적으로 비선형적으로 증가하는 것을 알 수가 있다. 이것은 전류의 크기가 증가할수록 도체의 이동 peak치가 2차함수적으로 증가한다는 의미로 실제로 나중에 장치를 설계할 때, 매우 중요시되어야 하는 점이다.

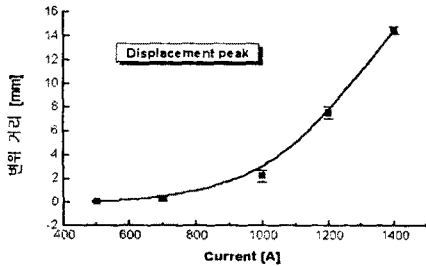


Fig 7 단락전류에 대한 도체의 변위

즉, 큰 전류에 대해서는 도체의 변위값이 선형적인 비례값보다 더 커지기 때문에 구속 스프링의 반발력 특성을 적절히 조절하여야만 원하는 bypass 동작을 얻을 수 있는 것이다. 또한 Fig 7에서 700~800[A] 정도가 되어야 도체가 움직이기 시작하는데, 이렇게 도체가 움직이기 시작하는 점, 변위거리가 전류에 대해서 비선형적으로 증가한다는 점, 그리고 구속 스프링의 탄성력 등이 실제 bypass 장치를 설계할 때에 고려가 되어야 한다.

2.4 자체해석 시뮬레이션

자체해석 시뮬레이션은 두 평행도체에 단락전류가 흐를 때, 발생하는 전자 반발력을 계산하기 위해서 행해졌으며, 자체해석 전문 프로그램 Magnet 5.2.3을 사용하였다. 도체로 유입되는 전류는 각각 500, 1000, 1500, 2000[A]의 경우를 계산하였으며, 전류의 방향은 위의 도체로 들어가서 아래의 도체로 나오는 경우를 해석하였다.

Fig 8은 고장전류가 흘렀을 때 발생하는 전자 반발력에 대해서 시뮬레이션의 결과와 실제 실험한 값의 결과를 서로 비교한 것이다.

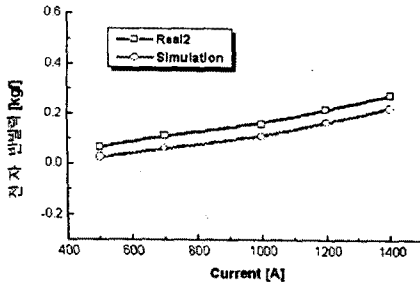


Fig 8 전자 반발력의 시뮬레이션과 실제시험값과의 비교

Fig 8에서는 실제 측정된 값이 시뮬레이션에서 나온 결과값보다 더 크게 나왔는데, 그 값이 차이가 실험한 모든 전류대에서 일정하게 약 0.05[kgf]로 발생하였다. 즉, 실험한 모든 전류에서 실제 실험값이 시뮬레이션 값보다 약 0.05[kgf] 정도 더 크게 나왔다는 것인데, 이는 실험값과 시뮬레이션의 비교에서 무시될 수 있을 정도의 값으로 볼 수 있다. 그리고 실험값과 시뮬레이션의 값의 곡선에서 서로 기울기가 같은 것으로 보아 시뮬레이션의 결과가 충분히 신뢰할 수 있다고 사려된다.

3. 결론

본 논문에서는 주상변압기의 2차측과 수용가의 인입구 사이에서 전선퓨즈의 용단부나 차단부가 곧바로 동작하기 힘든 정도의 작은 단락전류가 발생하였을 때, 이를 미리 감지하여 전선퓨즈의 동작을 촉진시켜 주는 bypass 장치를 만들기 위하여 bypass 장치의 기본적인 설계 및 구상을 하였고, bypass 동작의 기본특성을 파악하기 위하여 단락전류가 흘렀을 때의 접점의 이동거리나 이때 발생하는 전자력 등을 기본적인 실험을 통하여 파악하였다. 또한 자체해석 프로그램을 이용하여 실제 실험과 같은 조건에서 시뮬레이션 하여 시뮬레이션 결과를 실제 실험결과와 비교하였다. 이러한 일련의 연구 결과, 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. bypass 장치의 실제 제작시 매우 중요한 값인 스프링의 반발력, 전류에 대한 전자반발력, 일정한 무게를 갖는 도체의 변위거리 등의 데이터를 확보하였다.
2. 1500[A] 이상에서는 실험에 사용한 도체의 경우 약 15[mm] 이상 도체가 움직인다는, 그리고 발생하는 힘이 약 0.3[kgf]로 접점 동작에 충분히 만족스러운 실험의 결과, 실제 장치 설계시 장치 동작의 확실성과 유효성을 확인하였다.
3. 본 연구의 bypass 장치를 설치할 경우, 현재 전선퓨즈의 차단부가 동작하는데 시간지연이 발생할 가능성이 있는 1.5~3[kA] 범위의 고장전류를 좀더 확실히 처리할 수 있다.

(참고 문헌)

- [1] 한전 배전기자재 구매 시방서 152-115-116 (전선퓨즈)
- [2] 關口輝一, 岡崎正幸 외 4인, “瞬時動作形低壓ヒューズの開發”, T. IEE Japan, Vol. 113-B, No. 4, pp. 397~404, 1993
- [3] 關口輝一, “低壓系統短絡故障瞬除去裝置の開發”, 電力中央研究報告, 研究報告: W88023, pp. 1~10, 平成元年 3月
- [4] 이세현, 박두기, 윤영주, 구경완, 한상욱, “아크 플라즈마에 의한 Copper Element의 burnback에 관한 연구”, '97 대한전기학회 전기재료연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 35~39, 1997