

한류형 퓨즈 시험 평가 기술

조국희, 김영배, 조문수
한국전기연구원

Estimation Technology of Current Limiting Fuse

Kook Hee Cho, Young Bae Kim, Moon Soo Cho
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 한류형 퓨즈는 크게 저압, 고압 및 초고압 한류형 퓨즈의 3종류로 분류할 수 있다. 저압형(정격전압 200/380/660V)은 주로 전원장치 보호용으로 인버터 및 UPS에 적용되고 있으며, 고압형(정격전압 3600/7200V)은 전력계통에서 수변전설비의 고압에 적용되어 VCB, 변압기, MOTOR 및 MOLD PT 등을 보호할 목적으로 사용되고 있다. 또한 초고압형(정격전압 24000/25800V)은 수배전설비의 고압에 적용되어 발전기 및 변압기 등을 보호할 목적으로 사용되고 있다. 한편, 한류형 퓨즈의 성능 및 수명을 결정하는 요인은 용단시간, 동작 특성 및 내습성에 의해 결정된다. 따라서, 환경요인(온도, 습도 및 전류)을 변화시켜 성능을 저하시킨 후 과전류를 인가하면 수명저하의 경향을 분석할 수 있다. 국내에서 생산하고 있는 저압, 고압 및 초고압 한류형 퓨즈의 신뢰성이 향상되면 전력계통에서의 신뢰성을 확보할 수 있고 따라서 대형사고로의 발전 가능성을 줄일 수 있다.

한류 퓨즈는 Ag 또는 Cu으로 만든 Wire 또는 Ribbon 모양의 엘리먼트를 가지고 만들어지는데, 이 엘리먼트는 양쪽 단자에 이어져 있고, 그 주위에는 양질의 충전제(규사 등)로 채워져 있으며, 외피는 자기나 유리 섬유와 같은 절연 Tube로 되어있다.



그림 1. 한류 퓨즈의 구조

1. 서 론

초창기에는 배전계통 기기를 손상시킬만한 큰 전류가 발생하지 않아서 Energy Limiting이 아닌 방출 퓨즈, 봉산 퓨즈만으로도 충분히 기기를 보호할 수 있었다. 그러나 도시가 확대되면서 선로의 지중화에 따라 배전 계통이 확대되고 각 수용가들은 많은 전력을 사용하게 되었다. 따라서 큰 고장 전류와 고장 Energy를 제한해야 할 필요가 생겼다. 우리나라에서도 배전 변전소 주변 변압기의 사고가 급증하고 있다. 이러한 비전용 주변압기 사고 발생시 수용가의 정전 범위는 방대해지고 사고의 복구 비용 또한 막대해져 경제적 손실은 물론 사회적으로 큰 문제점으로 야기하고 있다. 이에 한류 퓨즈(Current Limiting Fuse)의 필요성이 대두되었다.

한류* 퓨즈는 이상적이고 적당한 보호장치로 많은 특징을 가지고 있다. 즉, loop안에서 발생하는 고장 전류를 신속히 제한하고, 동작하는 동안 어떤 gas도 내뿜지 않으며, 소음이 전혀 없으며, 폭발이나 화재에 의한 염려가 거의 없다. 이러한 특징으로 한류 퓨즈는 육내나 지하와 같은 작은 공간에서 쓰이는 보호 장치로서 매우 유용하다. 또한 고장 전류를 제한함으로써 system에 가해지는 기계적인 stress와 열에 의한 stress를 크게 줄일 수 있다. 한류 퓨즈가 고장 전류를 차단시킨다는 것에는 다른 퓨즈와 목적이 같지만 최대 차단 정격이 없는데 다른 일반 퓨즈와 다르다. 즉 한류 퓨즈는 차단 용량이 40,000~50,000A나 되며, 최고점 전류의 통과를 억제시키고 고장 지속 시간을 단축시킴으로써 보다 월등히 기기를 보호할 수 있어 수요자에게 더욱더 안정된 전력을 공급할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 한류형 퓨즈의 구조와 시험 평가하는 기술에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 한류 퓨즈의 구조

한류 퓨즈는 사고가 발생하기 전에는 선로의 일부이지만, 선로에 대전류를 유발한 사고가 발생하면 퓨즈는 큰 전류에 의해 변화를 일으키게 된다. 즉, 고장전류를 감지한 퓨즈는 급속히 가열되어 엘리먼트 전체에 걸쳐 용융 증발하여 녹은 엘리먼트는 주위의 규사속으로 흡수하게 된다. 퓨즈가 없는 경우의 단락전류에 대해서 엘리먼트는 충분히 가열기 때문에 단락전류의 최고값까지는 상승하지 않는다. 아크에 의해 생긴 고열에 의해 아크 발생 부근의 규사를 녹여 Fulgurite 라는 유리 같은 물체를 만든다. 아크에 접촉한 충전물은 용융 소결 상태로 되는데 이것을 Fulgurite라 한다. 이 Fulgurite는 아크를 억제시키고 퓨즈의 저항을 급속하게 증가시킨다. 이 저항 때문에 전류의 위상각이 전압과 거의 일치된다. 즉, 엘리먼트가 녹을 때 회로를 상대적으로 고 저항체로 만든다. 그래서 전류의 위상을 전압위상과 거의 일치하도록 이동시키고 전류의 통과를 강제로 억제 시켜준다. 이 감소된 전류는 아크가 소멸될 때까지 계속 흐른다.

2.2 한류 퓨즈의 특성

2.2.1 용단시간-전류특성(용단특성)

퓨즈의 용단시간은 엘리먼트의 치수 오차 등에 의해 편차가 있기 때문에 그 곡선으로 표시된다. 그 편차는 전류측에서 평균값에 대하여 약 ±20% 이내이고, 각각의 퓨즈 형식에 제조자가 명시하게 되어 있다. 용단 특성은 적용상의 기준이 되는 특성이고, 퓨즈의 용도별로 규격화되어 있다. 한류 퓨즈의 용단 현상은 0.01초 이하의 극히 짧은 시간에서는 엘리먼트 각부에 발생하는 열은 그 부분의 온도를 상승시킬 뿐이고 다른 부분으로 이동하지 않는다. 용단 전류가 작아지면 용단부가 용단 온도에 도달하는 시간이 길어지고 용단부의 발생열은 냉각부 및 소호사로 발산되어 용단시간이 한층 길어지게 된다.

2.2.2 동작시간-전류특성(동작특성)

동작시간은 퓨즈에 전류가 흐르기 시작하여 차단이 완료할 때까지의 시간이다. 동작특성은 용단시간의 편차를 포함한 실제 시간의 최대값에서 표시된다. 용단의 규약

시간과 실제시간이 일치하는 0.1초 내지 1초 이상에서는 Cycle Order의 아크 시간을 무시할 수 있기 때문에 편차를 고려한 용단특성의 최대값과 동작특성은 일치한다. 동작특성은 직렬 퓨즈 간의 동작협조 및 직렬기기, 전선과의 보호협조를 생각한 다음의 허용특성과 함께 필요한 특성이다.

2.2.3 허용시간-전류특성(허용특성)

허용특성이란 정해진 조건에서 엘리먼트에 현저한 열화가 생기지 않고 통전할 수 있는 전류-시간의 한계치를 표시하는 특성이 있다. 정해진 조건이란 반복 통전회수, 통전시간 및 정지시간과의 관계등이다. 퓨즈에는 적용기기 회로에 특유의 과도전류 외에 여러 가지 단시간 과부하 전류가 흐르는 것도 있고 또 퓨즈가 목표로 하는 기기 회로 이외의 회로에 적용되는 경우를 고려한 허용특성은 용단특성의 전시간 영역에 걸쳐서 표시된 것이 많다. 허용특성에 대하여 정해진 조건은 규격상 규정된 것이 없고, 제조사 각각이 조건을 명시할 필요가 있다. 일반적으로 허용특성은 용단특성에 대한 전류특성에서 60~80% 위치에 이동한 특성곡선으로 표시되는 것이 많다.

2.3 한류 퓨즈의 보호협조

Back-up 한류 퓨즈는 간단한 구조를 가지고 있으며, 큰 고장 전류를 완벽하게 차단할 수 있다. 그러나 작은 고장 전류의 차단에는 문제가 있다. 따라서 Back-up 퓨즈는 최소차단전류(Minimum interrupting current : MIN. I/C)를 가지고 있다. 이 최소차단 전류는 수백 ampere 정도이며 제조 회사에 의해 명시된다. MIN. I/C는 퓨즈가 정상적으로 녹게 되는 가장 작은 전류를 말한다. 따라서 Back-up 퓨즈는 저전류 차단을 위한 방출 퓨즈와 같은 저전류 차단 장치와 함께 사용될 때 모든 고장 전류에 대하여 완벽하게 보호할 수 있다.

방출 퓨즈의 최대차단 전류(MIN. I/C)와 Back-up 퓨즈의 MIN. I/C 곡선이 만나는 점을 Cross-over Point라고 하는데, 이 Cross-over Point가 변압기 2차 단자 측에서 단락사고 발생시 단락 전류 Is보다 우측에 있어야 한다. 즉 2차측에서 단락 사고 발생시 방출 퓨즈는 녹지만 Back-up 퓨즈는 녹지 않아야 된다. 그림 2에 방출 퓨즈와 Back-up 퓨즈의 Cross-over Point를 나타내었다.

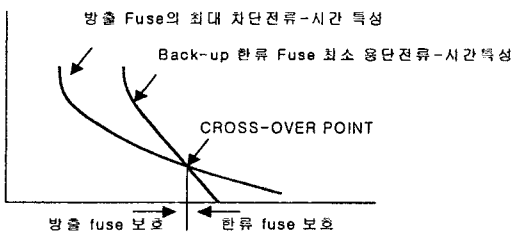


그림 2. 방출 퓨즈와 Back-up Fuse의 Cross-over Point

한류 퓨즈는 변압기 코일 내부 단락시 대전류가 발생하게 되면 순간적으로 도체(엘리먼트)는 용단되고, 고저항으로 된다. 대전류는 이 저항을 통과하면서 급격히 감소되어 전원 공급단으로부터의 사고 파급을 방지해 준다. 퓨즈의 정격이 클수록 통과 전류가 크지만 이 통과 전류가 커지면 변압기를 통과시킬 수도 있는 큰 Energy가 발생하므로 가능한한 정격 전류가 작은 한류 퓨즈를 사용해야 한다. 그림 3에 최대통과전류를 표시하였다.

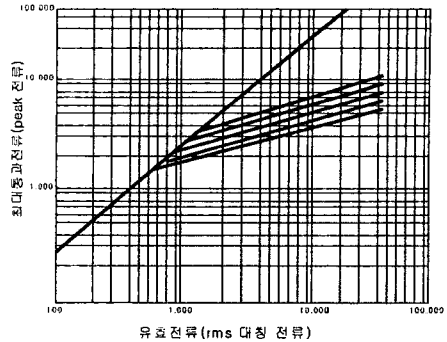


그림 3. 최대 통과 전류

2.4 한류 퓨즈 시험

2.4.1 차단시험

차단시험은 퓨즈의 정격 차단전류, 최소 차단전류, 전류제한 특성, 동작 과전압 등을 확인하기 위하여 하는 것이며 미리 통전가열하지 않은 신품 퓨즈에 대하여 시험한다. 퓨즈는 완전히 조립되어 가능한 한 실제 사용상태에 가까운 설치상태에서 시험하며, 차단시험은 그림 4의 단상회로에서 그 때마다 퓨즈 1개를 사용하여 시험한다. 고유전류의 특성은 오실로그래프를 사용하지만 최소 차단전류 등의 퓨즈 용단에 시간이 많이 걸리는 영역의 전류측정에는 지시 전류계를 사용하여도 좋다. 또한, 소전류 영역의 차단시험인 경우는 고유전류 측정시에 퓨즈를 도체로 단락하지 않아도 좋다. 차단시험에서 시험 퓨즈의 발호 순간에 상당하는 시험의 고유전류 값을 고유 차단전류로 한다. 다만, 발호시점이 단락개시로부터 0.5사이클 이내일 때는 단락개시 후 0.5사이클인 점에서의 값으로 한다. 전원전압은 단락 전에 시험 퓨즈의 전원쪽에 인가되어 있는 선간 전압의 실효치로 표시하며 전원전압 파형의 어긋남률은 10[%]를 넘지 않는다.

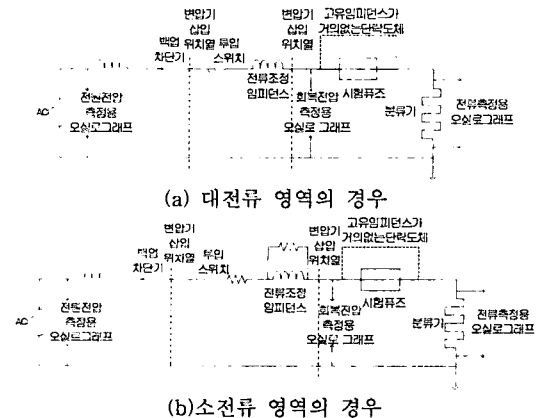


그림 4. 차단시험회로

2.4.2 반복 과전류 특성시험

반복 과전류특성 시험은 통풍의 영향이 없는 장소에서 미리 통전가열하지 않은 신품 퓨즈로 시험한다. 시험 전압은 정격전압 이하여도 좋으나, 시험 주파수는 58~62[Hz]로 하고 전류파형은 되도록 정현파로 한다. 통전시간은 변압기용 퓨즈일 때 0.1초로 한다. 통전전류는 퓨즈 정격전류의 10배로 하고, 통전 간격은 30분 간격 또는 그 이하로 한다.

2.4.3 허용시간-전류특성시험

허용시간-전류특성 시험은 통풍의 영향이 없는 장소에서 미리 통전가열하지 않은 신품 퓨즈로 시험한다. 시험

전압은 정격전압 이하여도 좋으나, 시험 주파수는 58~62[Hz]로 하고 전류파형은 되도록 정현파로 한다. 통전 시간은 60초로 하며, 통전전류는 허용시간-전류특성상의 60초에 대응하는 전류로 한다. 통전 간격은 30분 간격 또는 그 이하로 하며, 통전 횟수는 시험의 종류 A 일때 반복 3회 통전한 후 60초 용단전류로 용단특성 시험을 한다. 시험의 종류 B는 반복 100회 통전하여 용단 유무를 조사한다.

2.4.4 용단특성시험

규격(ANSI C 37-40, 41, 47, 48a)에 15.5[kV] 특고압 한류형 퓨즈는 정격전류의 170~240[%]로 통전하였을 때 1,000초 이내에 용단되어야 한다고 명시되어 있다. 시험 퓨즈는 제작의 약 30배 되는 tank에 기름을 넣은 상태에서 그 퓨즈의 양단에 전류를 통전하여 그 용단전류를 측정하도록 규정되어 있다. 용단시간-전류 특성 곡선은 퓨즈 양단자에 흘려 퓨즈가 용단될 때까지의 시간을 측정하여 이를 log-log graph에 표시하도록 규정되어 있다. 용단시간이 7초 이상 되는 것은 전자 timer로 측정하고, 용단시간이 7초 이하인 경우에는 오실로스코프로 용단시간을 측정한다.

2.4.5 내전압 시험

내전압 시험은 상용 주파 내전압 시험과 너펠스 내전압 시험으로 이루어진다. 인가부분과 퓨즈의 상태는 표 1과 같다. 상용주파 내전압 시험에서 시험전압의 파형 및 주파수 시험 전압의 파형은 되도록 정현파로 하고 주파수는 48~62[Hz]로 한다. 만약 파형이 정현파와 현저하게 다를 경우에 그 시험전압의 파고치는 규정된 시험전압에 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값 이상이어야 한다. 너펠스 내전압 시험에서 시험전압의 파형 및 시험 횟수 파형은 $\pm 1.2/50[\mu s]$ (파형의 허용범위는 첫파장에서 $\pm 30\%$), 끝파장에서 $\pm 20\%$)로 한다.)로 하고 시험 횟수는 정부 극성별로 각 3회로 한다.

표 1. 인가부분과 퓨즈의 상태

인가부분	퓨즈의 상태
각 상 주회로 단자간	폐로상태 (퓨즈 3극을 제조자가 지시하는 최소 상간치수로 부착하여 한다.)
주회로 단자와 대지간	폐로상태 (회로차단형 퓨즈는 개로 상태에서도 한다.)
동상 주회로 단자간	개로상태 (회로차단형 퓨즈에 대하여 한다.)

2.4.6 와트손실 시험

와트손실 시험은 온도 시험과 동일 조건하에서 정격전류의 50[%], 100[%] 및 150[%](종류 C퓨즈에 한한다.)의 전류를 통전하고 최종 온도에 달한 후 퓨즈 링크 양끝사이에 와트 손실을 측정한다.

2.4.7 온도상승시험

온도시험은 통풍의 영향이 없는 장소에서 하며 접속부, 단자 및 퓨즈 링크에 대하여 한다. 또한, 가능한 한 사용상태에 가까운 상태로 부착한다.

① 시험전압, 전류 및 주파수 : 시험전압은 정격전압 이하이어도 되지만 시험전류는 정격전류로 하고 시험 주파수는 58~62[Hz]로 한다.

② 주위온도 : 특별히 지정하지 않는 한 상온(5~35 [°C])에서 하여 40[°C]를 넘지 않는 것으로 한다. 주위 온도는 높이가 도전부의 중앙이며 거리가 1~2[m]인 위치에 약 0.5[l]의 기름에 담긴 온도계를 3군데 이상 놓고 온도의 눈금평균을 취한다. 또, 온도시험 중에 주위온도가 변화할 때는 전체 시험기간의 끝나기 1/4동안의 온도 평균을 주위 온도로 한다.

③ 접속 도체 : 퓨즈 양 끝에 표 2의 동선 또는 동대를 접속한다.

④ 온도상승은 최종의 일정온도를 확인하기 위해 충분한 시간을 갖고 측정하나 1시간 당 1[°C]를 넘는 변화가 인정되지 않을 때 이 온도를 최종온도로 한다.

표 2. 접속도체

정격전류[A]	단면적[mm ²]	길이[m]
25이하	20~30	1 이상
25초과 60이하	40~60	1 이상
60초과 100이하	80~100	1 이상
100초과 200이하	120~160	1 이상
200초과 400이하	250~350	1 이상
400초과 630이하	500~600	1 이상
630초과 1,000이하	800~1,000	1 이상

2.4.8 저항 시험

저항시험은 단자간 및 퓨즈 링크 접속부 정격전류의 10[%]이하의 전류를 이용하여 저항을 직류전압 강하법으로 측정한다. 저항값은 측정장소의 주위공기 온도와 함께 기록되어야 한다.

3. 결 론

한류형 퓨즈의 특성을 평가하기 위한 방법으로서는 차단 시험, 반복 과전류 특성시험, 허용시간-전류특성 시험, 용단특성 시험, 내전압시험, 와트손실 시험, 온도시험, 저항시험 등을 설명하고 평가결과를 해석하는 기술에 대하여 기술하였다.

[참 고 문 헌]

[1] M. Hudis, "New Test Facility Examines Arc Interruption Technology" Allis Chalmers Engineering Review 41, pp. 8-11, 1976
 [2] H. W. Mikulecky, "Pre-Test Determination of Current for Maximum Thermal Arc Energy Release in Current Limiting Fuses" IEEE PES Summer Meeting Paper, F75-556-1, July 1975
 [3] I-T-E Imperial Corporation, "Development of Fault Current Limiters for Electric Power Systems-Final Report (RP281-1)", Electric Power Research Institute, EPRI TD-130, March 1976
 [4] M. L. Evans and W. N. Rothenbuhler, "Planning for Fault Current Limiters on Electric Power Systems", Electric Power Research Institute, EPRI EL-276 SR, pp. 20-1 through 20-12, April 1977
 [5] F. Plonski and S. Welk, "Fault Sensing for a Switched Resistor Fault Current Limiter", presented at The Fourth Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, October 1977