Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 15, No. 6 pp. 3827-3831, 2014

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.6.3827
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

전력퓨즈의 열화현상 개선에 관한 연구

송재기[1], 김환용[1*]
[1]원광대학교 전자공학과

Study of Deterioration Improvement of Power Fuse

Jae-Ki Song[1] and Hwan-Yong Kim[1*]
[1]Dept. of Electronic Engineering, Wonkwang University

요 약 본 논문은 변압기 1차측에 설치된 전력퓨즈의 열화현상을 진단하고 문제점을 해결하고자 한다. 전력퓨즈의 열화현상은 퓨즈 엘리멘트에 반복하여 흐르는 평상전류에 의해 오동작하는 주된 원인이 된다. 따라서 전력퓨즈 전, 후단과 옥내 변전실내 전력기기의 온도변화와 전력퓨즈 열화현상의 관계를 규명하여, 열화현상의 원인을 제거하여 부하설비의 증설을 조사하여 전력퓨즈를 재산정하였다. 변압기는 개선전과 비교하여 평균 6[℃]가량 하락하였고, 전선로의 온도는7~8[℃]가량 개선되었다. 전력용 콘덴서와 직렬리액터는 실내온도 및 기기동조화와 관계되어 2~3[℃] 높은 상태 유지됨을 알수 있었다. 연구대상인 전력퓨즈 3상간 온도차는 0.5~1.0[℃]로 안정화 됨을 보였다. 이에 따라 옥내 변전실내의 환경적인 전력기기간의 온도 발생요인을 제거하여 전력퓨즈의 열화 및 온도상승을 억제할 수 있음을 제안 하였다.

Abstract This paper aims to solve the problem deterioration of power fuses. The deterioration of a power fuse is a cause of failure misoperation by a normal current flowing reduplicatively to fuse the element. An extension survey of a load feature rerating power fuse examined the power fuse deterioration removal, the cause of the deterioration of the power fuse, the front-after, and the thermal variation of the inside transformer room electric power equipment. The transformer showed an average improvement of 6[℃].. The temperature of the electrical line showed 7~8[℃] improvement. The static condenser and direct reactor was 2~3[℃] high-state maintenance the temperature and equipment syntonization relationship. In the subject of study 0.5~1.0[℃] stabilizing three phase power fuse temperature differential was. Suggestion in the transformer room environment power equipment between the cause temperature happen elimination to deterioration of power fuse and temperature rise control

Key Words : Power Fuse, Deterioration, Transformer

1. 서론

전력퓨즈는 고압, 특고압의 전선로나 기기를 단락전류로부터 보호할 목적으로 사용되며 변류기, 과전류 계전기, 차단기의 세가지 기능을 갖추고 있는 보호 장치로서, 전력퓨즈의 정격은 계통 최대선간 전압이 전력퓨즈의 최대설계전압보다 커서는 안 된다.

전력퓨즈 동작특성의 영역에는 안전통전영역, 보호영역, 비보호영역이 있다. 안전통전영역과 보호영역의 사이에 들어가는 비보호영역내의 사고전류는 전력퓨즈로 보호되지 않으며 녹아서 끊어지지 않아도 손상, 열화 할 우려가 있다는 단점이 있다. 전력퓨즈 본질상 이 영역을 없애는 것이 불가능 하므로 퓨즈를 사용할 때는 이점을 염두에 두고 다른 차단장치를 부가하여 보호하도록 하는 것이 좋다[1,2]. 전력퓨즈의 사용에 따른 현재의 추세는 전력퓨즈-차단기 조합형(PF-CB형), 전력퓨즈-교류 부하개폐기 조합형(PF-S형)을 사용하여, 전력퓨즈의 단점을 보완 하고 있다. 전력퓨즈 성능은 통전전류와 시간과

이 논문은 2013년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행됨
*Corresponding Author : Hwan-Yong Kim(Wonkwang Univ.)
Tel: +82-63-850-6740 email: hykim@wonkwang.ac.kr
Received March 4, 2014 Revised June 11, 2014 Accepted June 12, 2014

의 관계에서 전류가 커질수록 시간이 짧아지는 특성이 있어, 용단시간 0.1[cycle], 아크시간 0.4~0.55[cycle], 전차단 시간이 0.5~0.65[cycle]에 동작한다[2]. 단시간 허용특성은 퓨즈 엘리먼트(Element)에 사용되고 있는 재료의 내열특성으로부터 결정 된다. 엘리먼트의 열화현상은 육안으로 확인할 수 없으므로 열화상 온도체크를 통해 예방 정비 및 정전 계획을 세워야 한다. 전력퓨즈는 변압기 1차측과 연결되어 있으며, 전단 차단기와의 동작협조 관계가 있다. 전력퓨즈의 열화현상 문제는 전·후단과 상호 관계가 있으므로 이론적, 실무적으로 해결하여야 하는 필요성이 제기 된다[3,4].

본 논문에서는 변압기 1·2차 측이 전력퓨즈의 열화현상에 영향을 주는 것을 평가 하고, 부하설비 증가에 따른 전력퓨즈의 재선정을 진행하여 평가하였다.

2. 전력퓨즈의 구조 및 열화현상

2.1 전력퓨즈의 구조

전력퓨즈의 구조는 한류형 전력퓨즈와 비한류형 전력퓨즈로 나눈다. 한류형 전력퓨즈는 사고 전류에 대한 한류효과가 매우 우수하고, 고속 차단 성능은 0.5[cycle] 이내로 우수하며, 차단용량이 매우 높아 계통의 예상 사고전류 계산이 불필요하다. 또한 차단 시 에는 소음이나 아크의 발생이 없어 신뢰성 및 안정성이 좋다. 하지만 사용정격의 300 ~ 400[%]이하의 작은 전류는 동작 특성 오차가 발생하며, 주로 단락 보호의 백업용으로 사용토록 권장한다[1,2].

한류형 퓨즈의 소호원리는 고장전류가 발생하면 퓨즈 엘리멘트가 급속히 과열되고, 엘리멘트 전체에 걸쳐 녹는점 및 증발이 진행되면서 소호 매질(규사)속으로 흡수된다. 이때 아크 및 아크열에 의해 생성된 유리질 절연물이 퓨즈저항을 급속히 증가시키고 과전압이 발생되는데 전류의 위상과 전압의 위상이 거의 일치되어, 전류의 통과를 강제적으로 억제(한류효과)시켜 준다. 이 감소된 전류는 아크가 소멸될 때 까지 흐른다.

비한류형 퓨즈는 사고전류에 대한 한류효과가 거의 없으며 차단용량이 작아서 계통의 예상사고전류를 계산하여 적정차단 용량 확인이 가능하다. 차단시에는 소음이 매우 커서 옥내에서는 소음기를 부착해 사용하기도 하며, 용단 시 아크가 발생함으로 매우 위험한 상황으로 발전 가능하고, 옥외용 또는 넓은 설치 공간 확보 후 사용을 한다. 비한류형 퓨즈의 소호원리는 고장전류가 발생하면 퓨즈 엘리멘트가 녹아서 끊어지게 되면서 아크가 발생된다. 이때 용융가스(금속가스)가 발생되며, 아크열로 의해 에폭시 튜브 내부에서 열 분해성 절연(소호)가스가 발생한다. 열 분해성 절연(소호)가스는 아크를 억제시키게 되며 퓨즈 통의 일단 및 양단으로 분출시켜 전류영점에서 극간의 절연내력을 재기전압 이상 높여 차단한다[5,6].

2.2 전력퓨즈의 열화현상

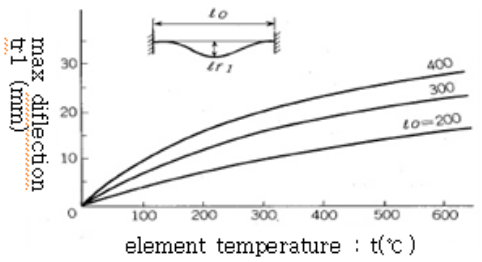
전력퓨즈의 열화 발생은 반복 하여 흐르는 과부하전류에 의해 퓨즈가 오동작하는 주된 원인이 된다. 열화발생의 원인은 퓨즈 엘리멘트의 온도상승에 따른 금속 조직의 변화와 반복적인 가열과 냉각에 의해 일어나는 신축피로가 있다.

퓨즈의 열화를 결정하는 요인에는 외부환경으로부터 받는 스트레스로 구성부품이 열화하는 기계적 요인과 전류통전으로 인한 스트레스로 가용체가 열화하는 전기적 요인으로 나누어진다. 또한 가열에 의한 단면의 변형으로 인해 생기는 신축피로 현상과 소호사내에서의 퓨즈 엘리먼트 열화현상이 있다[7,8]. 전기적 요인에 의한 열화는 서서히 진행된다는 점에서 그 도중의 과정에 열화를 진단할 수 있으면 재빨리 퓨즈를 교환할 수 있고 불필요한 용단에 의한 트러블을 방지할 수 있다[6]. JIS C 4604 규정의 과도전류 및 반복횟수는 Table 1과 같다.

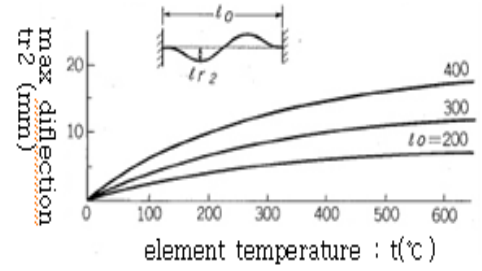
가열에 의한 퓨즈 엘리멘트 형상변화는 퓨즈 링크 내에서 직선 당김, 나선당김 방법에 따라 다르다. 직선 당김 엘리멘트 온도와 늘어짐의 관계는 Fig. 1과 같다.

[Table1] Transient current and the number of repetition of regulation JIS C 4604

time & number / equipment	Transient current	through current time	regulation number of repetition
trans former	· magnetizing transient current	· rated current × 10 as that 0.1sec	· hundred times
electric motor	· starting current	· rated current × 5 as that 10 sec	· ten thousand times
condenser	· condenser transient current	· rated current × 70 as that 0.002 sec	· hundred times



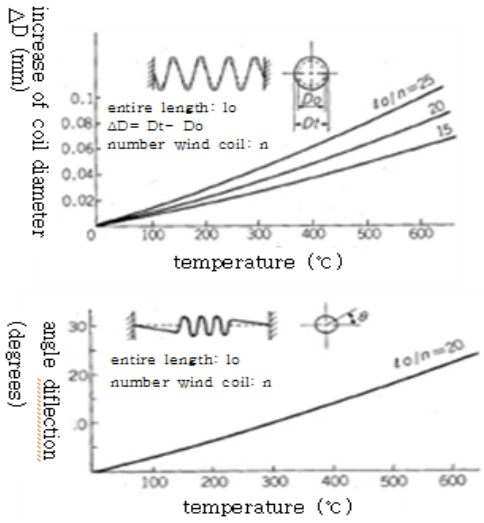
(a) one direction slag in high temperature regime



(b) two way slag in high temperature regime

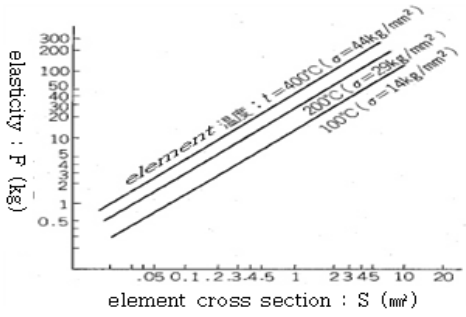
[Fig. 1] Relation of slag and straight line pull element temperature

고온상태 400[mm] 한 방향 엘리멘트에 가해지는 온도가 600[℃]일 때 최대 30[mm]가 늘어진다[1]. 양방향 엘리멘트에서는 최대 20[mm]가 늘어진다. 나선 당김 엘리멘트 온도와 비틀림 각의 관계는 Fig. 2와 같다.



[Fig. 2] Relation of a bare wire pull element temperature and torsional angle

전 길이 l_0에 걸쳐 코일로 되어 있는 형상에서는 가열에 의해 늘어난 양이 코일 직경 D_0의 증가에 의해 흡수된다.



[Fig. 3] Fuse element elasticity in the arc suppressing silica sand

소호사내 퓨즈 엘리멘트 신축력은 Fig. 3 과 같으며 400[℃]에서 내부응력이 44[kg/㎟]이지만, 직선 당김 선 엘리멘트의 퓨즈에서 통전가열을 반복하여도 수백 회 이상 견딘다. 일반적으로 직경 0.5[mm]정도의 선 엘리멘트는 규사 속을 자유로이 움직이고 변형한다[1,2].

3. 실험 적용 및 결과

전력퓨즈는 적외선 열화상 진단 장비를 통해 연구 및 안전진단을 진행하였다. 적외선 열화상 진단장비의 열화상 화질은 320×240 픽셀로 측정 온도범위가 -20[℃]~1500[℃]이며, 5개의 스팟 고온계를 사용하여, 열화상 및 실화상을 동시저장 할 수 있다[6].

본 논문의 실험 방법은 동일 장소인 변전실에서 오전 9시와 오후 6시를 기준으로 실험을 10회 수행하였다. 온도측정은 현장의 3변전실 내 변압기, 전력퓨즈, 전력용 콘덴서, 리액터, 전선로의 온도를 각 각 측정하였다.

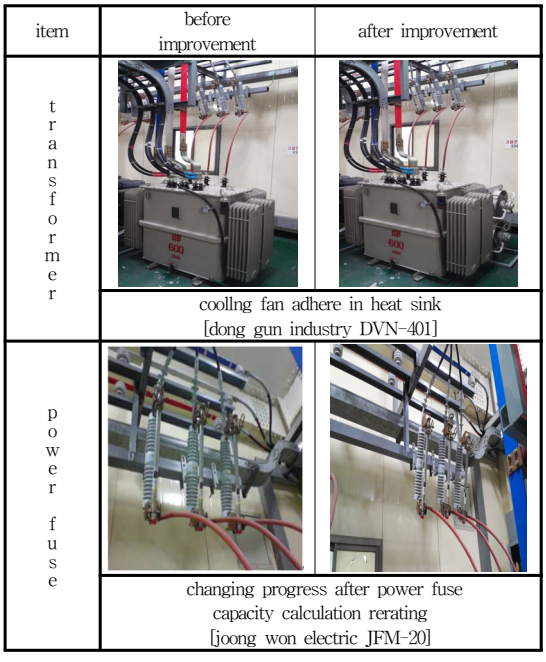
[Table 2] Capacity calculation of power fuse

trans former power rating [kVA]	trans former rated current In [A]	trans former magneti zing inrush current [A] If=10In	symetrical fault current effective value[A] Is=100In/%Z	fuse rating selection range
300	7.56	75.6	126.1	10K~ 12K
500	12.6	126	210.1	140K

온도 측정후의 판정은 3상온도 비교법으로 동일조건하에서 3상 평형부하이고, 전선의 굵기가 같은 경우의 다른 부위와 비교하여 판별한다. 측정점의 정확한 온도보다는 비교하고자 하는 측정점 간의 온도차를 중요시 한다.

변압기 1차측 전력퓨즈는 JFM-20으로 600[kVA]변압기의 상단에 부착되어 있어 환경적으로 변압기의 온도 및 전력퓨즈 통전에 의한 온도에 직접적인 영향을 받는다. 전력퓨즈의 용량 산정은 Table 2와 같다. 본 논문 대상인 전력퓨즈는 부하증가로 과전류에 의한 온도상승으로 엘리멘트 재료의 증발 및 결정의 약화에 의한 열화 가능성이 있다. 반복 과전류는 퓨즈 열화의 주요원인으로 엘리멘트의 변형, 피로 ,소호제와의 마모손상을 일으킨다. 특히 소호제와의 마찰로 변형 및 단면 감소와 반복 응력으로 균열이 발생하여 열화 한다.

따라서, 전력퓨즈의 온도상승에 따른 열화현상은 변전실내의 환경적인 부분과 전력퓨즈의 용량 산정 오류로 인한 부분으로 파악하였다. 개선사항의 환경적인 부분으로는 변전실내 온도상승 억제를 고려하였다. 전력퓨즈의 정격은 부하증가를 고려한 용량 산정을 하여 500[kVA] 변압기 보호용으로 교체 하였으며, 전력퓨즈 홀더 및 링크는 3상를 1개조로 모두 교체 하였다.

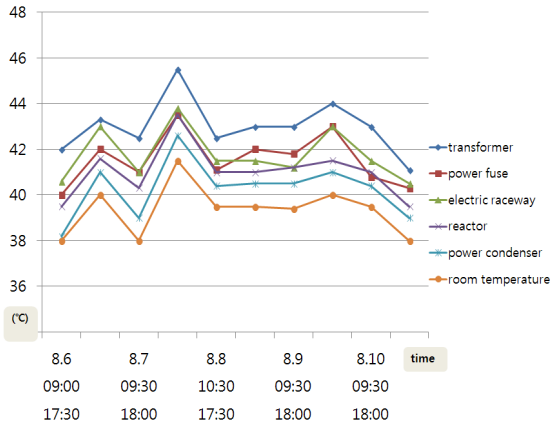


[Fig. 4] Before and after improvement of transformer and power fuse

Fig. 4는 변압기와 전력퓨즈의 개선 전,후이다. 유입변압기 방열판 부분에 냉각휀을 부착하여 변압기 온도상승을 억제하였으며, 전력퓨즈 용량을 재 산정 후 3상교체를 진행하였다.

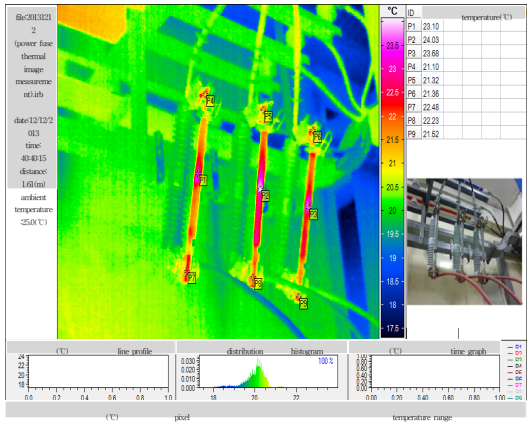
전력퓨즈를 중심으로 전단과 후단의 전력설비의 온도상승 억제조치 및 개선을 통해 전력퓨즈의 3상간의 온도차는 0.5[℃]~1.0[℃]로 안정됨을 확인하였다.

개선후 전력 기기별 온도 변화는 Fig. 5와 같다.



[Fig. 5] The after improvement to temperature change by power eqiupment

변압기는 개선전과 비교하여 평균 6[℃]가량 하락하였고, 전선로의 온도는 7~8[℃]가량 개선되었다. 전력용 콘덴서와 직렬리액터는 실내온도 및 기기동조화와 관계되어 2~3[℃] 높은 상태 유지됨을 알 수 있었다.



[Fig. 6] Infrared thermal image measurement of power fuse

Fig. 6은 개선 후 전력퓨즈의 적외선 열화상 부위별 온도측정이다. Fig. 6의 전력퓨즈 중앙의 측정점 P1, P2, P3는 23.1[℃], 24.03[℃], 23.68[℃]로 3상간 최고-최저 온도차는 0.5~1.0[℃]로 안정화됨을 보였다. 전력퓨즈 부위별 온도는 중앙점 P1, P2, P3 > 링크2차측 P7, P8, P9 > 홀더1차측 P4, P5, P6 순으로 부위별 편차가 있었다.

이에 따라, 전력퓨즈의 열화현상 억제는 변전실내 환경적인 부분과 주변기기온도 상승과 밀접한 관계가 있으며, 용량 산정, 기동부하분산, 각 전력 기기간 온도 관계에 따라 영향을 받음을 알 수 있었다.

따라서, 산업현장의 변전실 상황은 기기의 배치, 변전용량 등 조금씩 다를 수 있으나, 환경적인 부분을 적용한다면 전력퓨즈의 수명연장과 안정적 전력공급에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 옥내 변전실에서 전력퓨즈의 열화현상 문제점을 조사하고 개선방안을 제시 하였다. 전력퓨즈는 한개 상이나 두개상만 따로 교체하였을 경우 추후 노후화로 인한 결상현상이 발생할 수 있으므로 반드시 3상 1개조를 한꺼번에 교체하였다.

변압기 2차측 전로의 온도상승 현상은 변압기의 떨림과 전선로 덕트 밀폐에 따른 원인으로 추정되어 밀폐된 닥트에 환기구를 설치하여 전선 및 부스바의 온도를 낮추었다. 또한 냉각 휀을 설치하여 변압기의 온도를 6[℃] 낮추었다.

변압기의 온도상승은 냉각휀으로 억제하고, 전선로 열화현상의 원인이었던 부스바의 볼트, 너트 교체 및 조임과 닥트의 환기구 설치로 인해 전선로의 온도는 7~8[℃] 하락 하였다. 이로 인해 문제의 주체였던 전력퓨즈의 상간 온도차는 0.5~ 1.0[℃]로 균일화, 안정화 되었다.

References

[1] Lee Dung So Gil, So Won Gu Cha, "Thermal Aging and Thermal Fatigue of Power Fuses", Bu Sa Si Bo, 50 Volume, 12 Issue, 1977

[2] "Power fuse renewal guide", Japanese Industrial Standard, 2004.

[3] K. H. Cho, Y. B. Kim, M. S. Cho, "Estimation Technology of Current Limiting Fuse", 2004 Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conference Journal., 2004.

[4] "Electic Equipment Safety Diagnostic Report", Pacfic Glass Co., Ltd, 2009~2013.

[5] "http://www.lsis.biz/" , LSIS Co., Ltd, 2012.

[6] "http://www.joongwon.co.kr/", Joongwon Co., Ltd, 2013.

[7] "Electrc Safety Thechnology Sep. Oct 2013 Vol. 232", Korea Electrical Safety Corporation, 2013.

[8] http://www.keea.or.kr, Korea Electric Engineers Association, 2013.

송 재 기(Jae-Ki Song) **[정회원]**

- 2009년 2월 : 원광대학교 전기공학 졸업
- 2014년 2월 : 원광대학교 교육대학원 (석사)

<관심분야>
전력전자계통, 전기 물성 및 재료

김 환 용(Hwan-Yong Kim) **[정회원]**

- 1978년 2월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1984년 8월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1979년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 전자공학과 교수

<관심분야>
임베디드 시스템, SoC설계, 전력전자계통