

低壓限流퓨즈의 劣化와 對策

遮斷容量이 크고 限流性能을 가지고 있으며 또한 經濟性이 높다는 등 다른 保護機器에는 없는 우수한 性能을 가지고 있는 低壓限流퓨즈는 오래전부터 低壓受配電回路의 配線保護用, 電動機回路用 또는 半導體素子 保護用으로서 광범위에 걸쳐 대량적으로 사용되고 있다. 그림 1은 그 低壓限流퓨즈의 外觀寫眞의 일례이다.

특히 최근에는 半導體素子 保護用으로서는 그 限流作用이 가장 효과적이기 때문에 사이리스터 레오나드 등의 大容量裝置에서 파워트랜지스터를 사용한 小容量 인버터로 적용범위가 확대되고 있다.

퓨즈는 장기간 메인テナンス프리로 사용되고 있는데 최근 負荷의 制御가 세밀화됨에 따라 퓨즈에 흐르는 電流도 복잡화하여 이에 따라 퓨즈의 劣化壽命이 문제로서 주목되고 있다.

그러나 이 퓨즈의 劣化壽命에 대해서는 高壓, 低壓퓨즈 모두가 아직 해명되지 않은 부분이 많고 수년 전부터 겨우 劣化機構의 해명의 실마리를 잡게 된 것이 현상이다. 따라서 劣化에 대한 事項에 대해서는 規格화된 것이 없고 현재 퓨즈의 적용에 대한 懸案事項으로 되어 있다.

현재 이 劣化의 해명에 대해서는 연구단계에 있다.

여기서는 지금까지 解明되고 있는 低壓限流퓨즈의 劣化에 대하여 그 要因, 메카니즘, 또는 劣化防止를 위한 선정등에 대하여 설명하기로 한다.

1. 構造와 動作

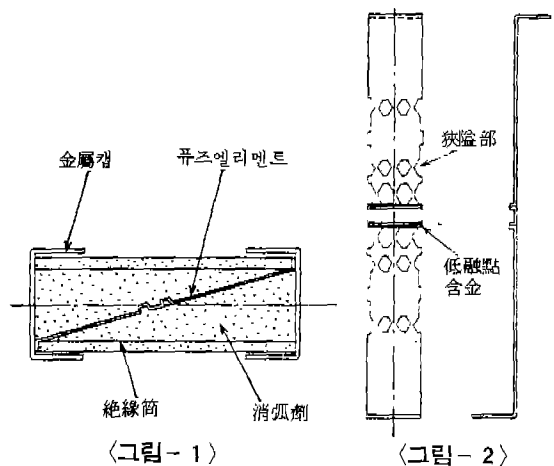
퓨즈의 劣化메카니즘을 용이하게 이해하기 위해

低壓限流퓨즈의 구조와 동작에 대하여 간단히 설명한다.

(1) 構造

그림 1은 低壓限流퓨즈의 構造例이다. 限流性能이 있는 퓨즈는 그림과 같이 金屬性 導電캡과 磁器로 된 絶緣筒 내에 퓨즈엘리먼트를 直線狀으로 배치하고 그 주위에는 消弧劑가 充填된 것이다. 이밖에 퓨즈의 동작을 확인하기 위한 表示가 있는 것은 表示用 엘리먼트가 퓨즈엘리먼트와 並列로 배치되어 있다.

퓨즈엘리먼트는 定格電流 特性에 따라 여러 가지의 形狀, 材質의 것이 선정되는데 線 또는 板狀의 銀 또는 銅 또한 銅에 銀鍍金을 한 것이 사용된다. 또한 溫度上昇의 억제 또는 여러가지의 용도에 적합한 용단특성을 얻을 목적에서 엘리먼트의 일부에 低融點合金이 附加된 것도 있다. 그림 2는 低融點

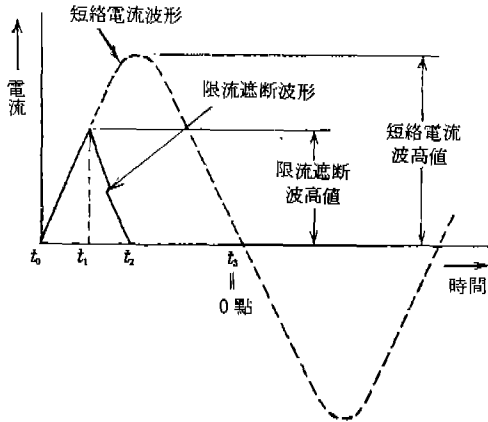


合金을 附加한 板狀퓨즈엘리먼트의 일례를 든 것이다.

消弧劑로서는 消弧砂가 사용되며 材質의으로는 대부분의 퓨즈는 硅砂(SiO_2)가 사용되고 있다.

(2) 動作

퓨즈에 事故電流가 흐르면 퓨즈엘리먼트의 内部 抵抗에 의하여 主熱이 발생한다. 이 발생열에 의하여 엘리먼트溫度가 融點에 도달하면 (銀의 融點은 $960^{\circ}C$, 銅의 엘리먼트는 $1083^{\circ}C$ 이다) 엘리먼트는 消弧砂 속에서 용단되어 아크가 발생하여 高温高壓의 증기가 된다. 이 金屬蒸氣는 消弧砂를 용융하면서 확산되기 때문에 급속히 냉각되어 高低抗체가 되어 限流遮斷을 한다. 限流遮斷이란 事故電流가 波高值에 도달하기 전에 電流를 억제하여 차단하는 것을 말한다. 그림 3은 限流遮斷의 波形이다. 일반 配線用 遮斷器 또는 非限流퓨즈의 경우에는 그림의 點線과 같은 波形을 그리며 電流 0點의 t_3 또는 그 이상에서 遮斷完了 되는데 限流퓨즈의 경우에는 波高值를 억제하여 t_2 에서 차단이 완료된다.

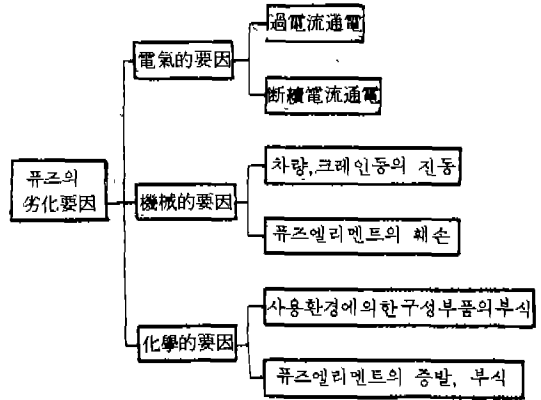


〈그림-3〉 限流퓨즈遮斷波形

2. 퓨즈의 劣化란

回路에 異常電流가 흘러 퓨즈가 용단되는 것은 正常動作인데 통상의 運轉電流(始動電流 또는 勵磁電流와 같은 過電流를 포함)에 의하여 어느날 갑자기 퓨즈가 용단동작하는 것을 劣化溶斷이라고 한다.

퓨즈가 劣化溶斷되는 主要因으로서는 그림 4와 같이 電氣的, 機械的 또는 化學的인 것이 있다. 이 중



〈그림-4〉 限流퓨즈劣化要因

에서 機械的, 化學的인 요인은 아주 없다고는 할 수 없어도 發生比率이 매우 낮고 電流通電에 起因하는 電氣的 要因이 대부분을 占하고 있다.

電氣的 要因에 의한 劣化는 퓨즈엘리먼트가 다음의 어느 것 또는 두가지를 합친 요인으로 破斷에 이르기 때문에 발생한다.

(1) 퓨즈엘리먼트의 溫度上昇에 의한 金屬組織의 변화로 結晶粗大化와 表面荒損이 발생하여 엘리먼트가 破斷에 이른다. 이 현상은 熱劣化라고 한다.

(2) 퓨즈엘리먼트가 通電에 의한 加熱冷却에 의하여 伸縮의 반복으로 기계적 피로파단에 이른다. 이 현상을 伸縮疲勞破斷이라고 한다.

3. 劣化의 메카니즘

(1) 熱劣化의 發生

퓨즈의 許容電流를 초과하여 負荷電流가 흐르면 퓨즈엘리먼트는 熱劣化가 발생한다. 이와 같은 상태에 이르면 銀엘리먼트는 表面荒損이나 金屬組織에 변화가 발생하거나 消弧砂가 엘리먼트에 부착되거나 하여 消弧砂의 이동이 곤란해져 始動電流의 온도상승과정이나 始動完了後의 온도하강과정의 伸縮력에 의하여 기계적으로 破斷된다.

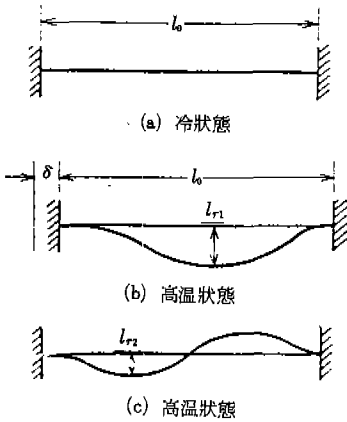
중래에 퓨즈의 劣化는 엘리먼트가 점차 가늘어져 自然溶斷이 되는 것으로 막연하게 설명이 되어 왔는데 실제로는 熱劣化에 의해서도 엘리먼트의 기계적인 破斷이 발생하고 있다.

(2) 伸縮疲勞劣化

低壓限流퓨즈 대부분은 그림 2와 같이 퓨즈엘리먼트가 직선으로 배치되고 그 兩端은 金屬캡으로 고정되어 있다.

電流通電에 의하여 엘리먼트가 溫度上昇이 되면 엘리먼트는 伸張되려고 하는데 兩端이 고정되어 있기 때문에 엘리먼트의 내부에는 壓縮力이 발생한다. 또한 電流通電을 중지하면 冷却에 의하여 엘리먼트가 縮小되려고 한다. 즉 電流通電의 斷燒에 의하여 엘리먼트 溫度는 上昇, 下降을 되풀이하여 그때마다 엘리먼트에는 압축, 신장의 應力이 더해진다. 이 應力이 엘리먼트材料의 疲勞限界를 초과하면 드디어 破斷에 이른다. 이 현상이 伸縮疲勞破斷이다.

그림 5는 伸縮疲勞破斷에 이르기까지의 엘리먼트의 形狀變化를 든 것이다. (a)는 퓨즈에 電流가 흐르고 있지 않는 冷狀態, (b), (c)는 通電電流에 의하여 엘리먼트가 신장하여 變形된 상태이다. 이 그림은 엘리먼트가 線狀인 경우인데 板狀 엘리먼트의



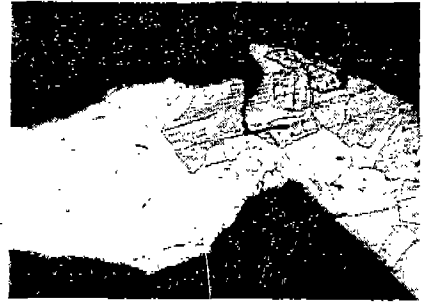
〈그림 - 5〉 加熱에 의한 엘리먼트의 形狀變化



〈그림 - 6〉 伸縮疲勞에 의한 龜裂이 발생한 組織寫眞

경우에도 마찬가지이다. 板狀엘리먼트의 경우에는 板厚方向은 消弧砂의 拘束에 의하여 동작이 곤란하나 긴 방향의 이동은 비교적 용이하여 이때의 變形 및 破斷은 엘리먼트의 狹隘部에 집중적으로 발생한다.

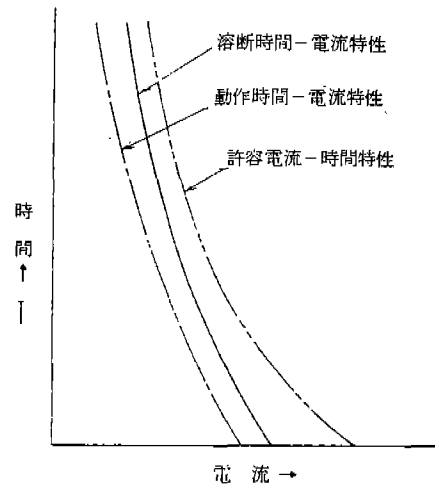
그림 6은 伸縮疲勞에 의하여 균열이 발생한 銀板엘리먼트의 組織이고 그림 7은 熱疲勞와 伸縮疲勞의 양쪽이 더해져 破斷 직전의 銀板엘리먼트의 組織寫眞을 든 것이다.



〈그림 - 7〉 熱劣化와 伸縮疲勞의 양쪽에 의하여 破斷直前の 組織寫眞

4. 퓨즈의 劣化防止

퓨즈의 劣化는 通電電流의 크기에 기인하므로 劣化防止를 위해서는 適用負荷 電流에 대하여 퓨즈엘리먼트가 熱劣化, 伸縮疲勞劣化가 발생하지 않는 定



〈그림 - 8〉 퓨즈의 時間電流 特性曲線

定格電流를 선정하는 것이다. 선정에 있어서는 그림 8과 같은 3종류의 特性曲線 중의 許容時間 電流 特性曲線을 사용하여 검토를 한다. 그림 12의 3종류의 時間電流特性의 상호관계는 다음과 같다.

(1) 溶斷時間-電流特性曲線

이 特性曲線은 퓨즈의 時間電流特性의 기준이 되는 特性이다. 이 特性曲線은 퓨즈엘리먼트가 용단되는 時間-電流特性을 平均值로 표시한 것으로 그 不均衡幅은 KS-C 8101이고 電流軸에서 최대 ±15%로 규정하고 있다.

(2) 動作時間-電流特性曲線

퓨즈가 過電流를 차단하는 時間電流特性이며 (1)의 용단시간 전류특성의 불균형을 포함시킨 最大值에 아크시간을 가한 特性이다. 대체로 過負荷領域에서 500ms, 短絡領域에서 5~10ms 정도의 아크시간을 가한 위치로 되어 있다.

퓨즈에 의한 過負荷保護는 機器, 電線등의 허용특성이 이 동작특성 이상으로 되어 있어야 한다.

(3) 許容時間-電流特性曲線

別名으로 不劣化特性이라고도 하는데 이 特性曲線에 표시된 時間 이상으로 過電流가 흐르면 퓨즈는 용단되지 않는 경우에도 엘리먼트에 履歷이 남게 되어 溶斷特性이 용이하게 끊어지는 방향으로 變位된다.

劣化溶斷이 발생하지 않는 퓨즈를 선정하기 위해서는 許容되는 過負荷를 포함한 通常負電流가 퓨즈定格電流를 초과하지 않아야 되는 것은 물론이고 電動機의 始動電流 또는 變壓器의 勵磁突入電流등 短時間에 흐르는 過電流가 許容時間 電流特性曲線을 초과하지 않도록 선정한다.

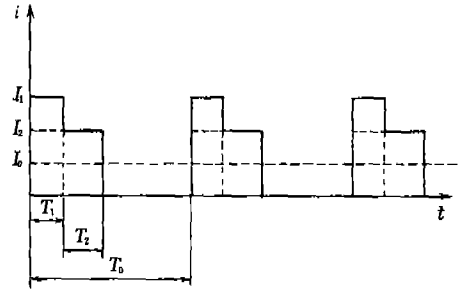
또한 이밖에 負荷電流의 은, 오프가 빈번한 回路에서는 반복 疲勞劣化對策으로서 퓨즈와 함께 구성되는 直列機器와의 保護協調上 허용되는 범위에서 가능한 한 큰 定格電流를 선정하는 것이 수명의 향상과 연결된다.

또한 半導體素子 保護用 퓨즈의 선정에서는 負荷電流는 그림 9와 같은 斷續通電이 많기 때문에 이에 대해서는 前述한 선정검토 이외에 다음 式에 의한 實効電流를 계산하여 이 電流值가 퓨즈 定格電

流의 일정비율 이하가 되도록 低減한 선정을 한다.

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I_1^2 T_1 + I_2^2 T_2}{T_0}}$$

이 低減比率는 負荷電流의 通電모드 또는 퓨즈의 구조에 따라 實질적으로는 정하기가 곤란하나 實効電流 I_{eff} ÷ 퓨즈定格電流 < 0.6으로 함으로써 반복 통전에 의한 劣化溶斷이 방지된다.



〈그림-9〉 一定周期の 斷續通電波形

5. 퓨즈의 劣化判定

사용중인 퓨즈가 劣化되어 있는지 여부를 判定하기 위한 調査방법으로서는 다음 사항을 고려해 본다.

- (i) 抵抗值調査
- (ii) X線調査
- (iii) 溫度上昇 와트損試驗
- (iv) 溶斷試驗
- (v) 퓨즈엘리먼트의 金屬組織調査

이 중에서 (i)~(iii)은 퓨즈非破壞에 의하여 調査가 가능한 것 (iv), (v)는 퓨즈의 파괴조사이다.

현재 일반적인 劣化判定法으로서 사용되고 있는 것은 溶斷試驗에 의하여 特性變化를 조사하는 방법 또는 퓨즈를 解体하여 퓨즈엘리먼트의 外觀이나 金屬組織을 현미경사진으로 촬영하여 검사하는 방법이 있다.

이 檢査法에 의하여 퓨즈의 나머지 수명까지 구하는 것이 가능하면 매우 효과적이네 유감스럽게도 현시점에서는 劣化의 징후 유무의 판정뿐이고 劣化壽命을 定量的으로 파악하는 기술까지는 아직 확립되어 있지 않다.

6. 퓨즈保守上の 주의사항

사용중인 퓨즈가 劣化 등으로 용단되었을 경우에는 다음과 같은 트러블이 豫測된다.

퓨즈의 劣化가 진행된 경우 퓨즈의 特性으로서 용단이 용이한 方向으로 變位하여 通常電流에 의하여 不意에 誤動作을 하게 된다. 劣化에 의한 誤動作인 경우 복수개의 퓨즈가 동시에 용단되는 케이스는 거의 없고 1개만이 용단되므로 欠相事故가 발생하며 특히 電動機回路에서는 欠相運轉에 의한 捲線의 燒損事故로 발전할 위험성이 있다.

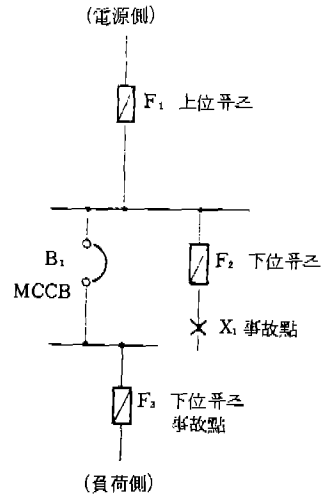
따라서 이미 사용중인 퓨즈에 대해서는 劣化溶斷에 의한 트러블防止對策으로서 保守點檢時에 다음과 같은 주의가 필요하다.

(1) 퓨즈엘리먼트의 劣化 이외에 사용 환경의 영향에 의한 구조부품의 汚損이나 劣化도 고려하여 정기적인 메인テナンス를 통하여 각 부의 過熱, 變色을 점검한다.

(2) 퓨즈는 事故電流가 흘러 차단동작을 할 경우에는 3相回路用에서는 3개중 1개가 용단되지 않고 남는 케이스가 많은데 이 경우에도 반드시 남은 퓨즈를 포함한 전부를 新品과 교환한다.

이것은 남은 퓨즈에도 事故電流가 흘러 퓨즈엘리먼트가 劣化되었을 가능성이 있기 때문이다. 따라서 豫備퓨즈는 반드시 3相用은 3개 1조, 單相用은 2개 1조를 준비해야 된다.

(3) 퓨즈가 回路中에 直列로 사용되고 있을 경우 즉 그림 10과 같이 電源에 대하여 上位와 下位에 直



〈그림 - 10〉 퓨즈와 퓨즈의 直列使用回路圖

列로 설치되어 있을 경우 上位퓨즈의 許容時間 電流特性이 下位퓨즈의 動作時間特性에 대하여 여유가 있는 선정을 하는데 下位퓨즈가 負荷側의 단락 사고로 빈번하게 동작할 경우 등에는 적절한 시기에 上位퓨즈도 新品과 교환한다.

低壓限流퓨즈는 적절한 사용방법에 의존함으로써 경제성이 높고 우수한 보호기라는 것은 과거 수십년의 사용실적에서도 잘 알려지고 있다.

그러나 適用方法에 따라서는 오랜 기간중에 퓨즈 엘리먼트가 劣化하여 誤溶斷되는 약점도 있다.

여기서는 低壓限流퓨즈의 劣化和 對策에 대하여 개요를 설명했다. *

● 支部消息 ●

'85 電氣技師補修教育 실시

忠南北 285명, 全南 242명 參加

충남북지역과 광주지역의 85년도 전기기사 보수교육이 지난 7월 23·24일, 29·30일에 걸쳐 대전 기독교 연합봉사회관과 광주무진회관에서 각각 실시되었다.

이번 보수교육으로 忠南 206명, 忠北 79명 도합

285명의 忠南北지역 대상자와 242명의 光州지역 대상자가 교육을 이수하게 되었다.

국가기술자격법 제 4조 및 동 시행령 제 12조에 의하여 실시된 이번 보수교육은 국가기술자격법 개정 이후 처음으로 실시되는 교육이다.