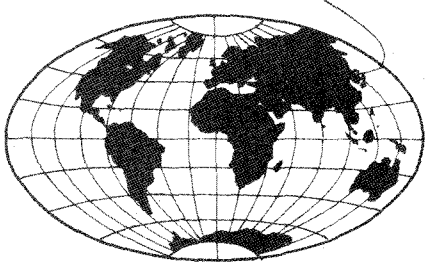


新型노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器의 新遮斷技術 "ISTAC"

1. 머리말

新型노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器 "PSS"(Progressive Super Series)를 위해 우수한 限流遮斷性能을 발휘하는 새로운 遮斷技術 "ISTAC"(Impulsive Slot Type Accelerator)를 개발하였다. 限流遮斷이란 단락차단시에 흐르는 전류를 작게 하여(이하 "限流"라 한다) 차단하는 것이다. 限流遮斷性能이 향상되면 단락사고시의 단락전류가 감소하기 때문에 배전계통의 피해를 경감할 수 있다.

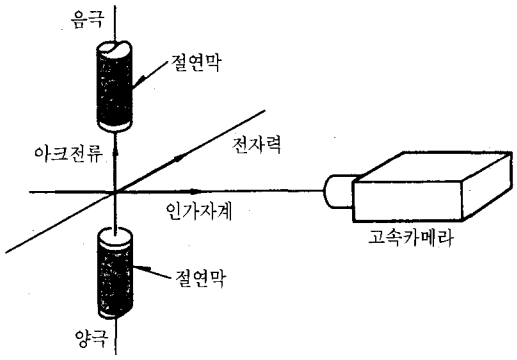
또 차단하여야 할 전류가 감소하기 때문에 노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器의 高遮斷容量化나 小型化에도 유리하게 된다. 고성능의 新型노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器를 실현하기 위하여 한류차단성능이 우수한 新遮斷技術을 필요로 하고 있었다.

ISTAC는 종래의 同社 노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器의 중심적인 차단기술인 VJC(Vapor Jet Control)技術과 磁界를 이용한 신기술을 융합함으로써 더욱 한류차단성능의 향상을 도모한 차단기술이다. 한류차단성능을 향상시키기 위해서는 차단시의 아크전압을 높일 필요가 있다. 이때문에 독자적으로 개발한 것이 VJC技術이며, 이것은 有機絶緣物의 분해가스로 아크를 냉각하여 아크전압을 높이는 방식이다. 이밖에 磁界를 이용하여 아크를 길게 늘려 아크전압을 높이는 방법이 있다. 이것은 자계에 의한 전자력으로 전극을 고속으로 開極하여 전극간에 발생하는 아크를 길게 함과 동시에 같은 자계에 의하여 아크를 灣曲시켜 아크의 實效長을 길게 하는 방법이다. 이를 위하여 종래부터 U턴固定子와 그리드를 조합시킨 消弧室이 널리 사용되고 있으나 한류차단성능의 향상을 위해서는 또한 強磁界를 발생시킬 수 있는 消弧室構造가 필요하다.

이 논문에서는 新遮斷技術 개발의 기초가 된 大電流氣中아크現象의 연구 및 신차단기술 ISTAC의 개요에 대하여 기술한다. 2장에서는 磁界中의 大電流氣中아크에 관한 연구 일부를 기술하고 3장에서 노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器의 消弧室에서의 發生磁界에 관한 연구에 대하여 기술한다. 4장에는 ISTAC의 원리, 작용효과를 밝힌다. 5장에서는 총괄과 ISTAC의 新型노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器에의 적용을 간단히 언급한다.

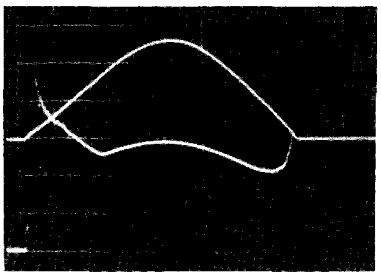
2. 磁界中大電流氣中아크의 電流電壓特性

아크電壓에 대한 磁界의 효과를 조사하기 위하여

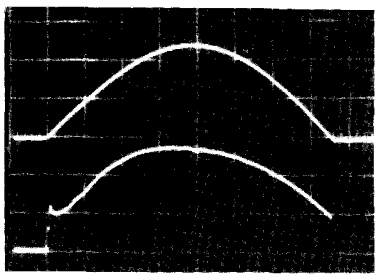


<그림 1> 實驗配置

자계중의 전극간거리가 일정한 氣中아크의 전류전압특성을 측정하였다. **그림 1**에 實驗配置를 나타낸다. 電極은 측면을 절연한 지름 5㎜의 銅텅스텐燒結合金(銅 70%, 텅스텐 30%)으로 전극간거리는 5, 10㎜의 2종류이다. 전극간에 미리 설치한 지름 0.16㎜의 銅 細線을 溶斷시켜 아크를 發弧시켰다.



(a) 磁束密度 B=1.1T



(b) 磁界없음

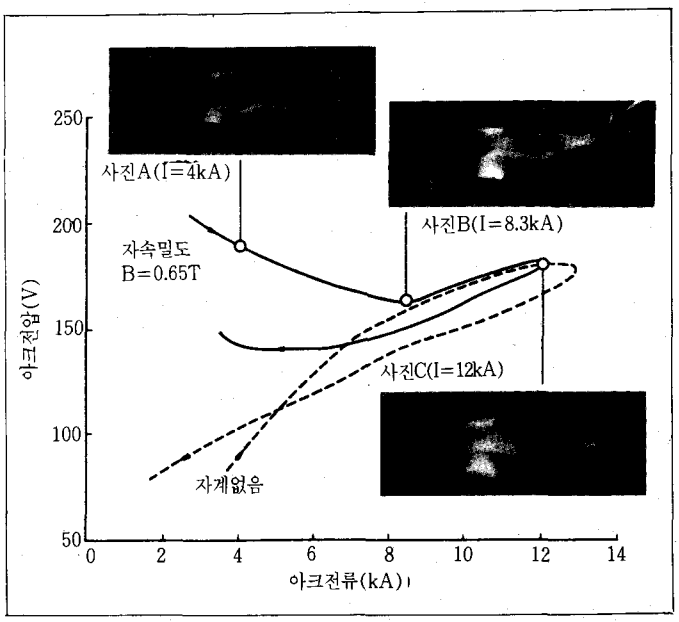
위의 波形 : 電流 4.5kA/div,
아래의 波形 : 電壓 45V/div
가로축 : 시간(1ms/div)

<그림 2> 電流電壓波形(電極間距離 L=5㎜)

아크電流는 波高値 약 10kA, 時間幅 약 8ms의 교류 60Hz의 半波이다. 磁界는 최대 약 1T의 定常磁界를 발생시킬 수 있는 空心코일에 의하여 전극의 축에 대하여 직각방향으로 印加하였다. 또 아크의 외관을 高速카메라로 촬영하였다.

그림 2는 자계중 아크의 電流電壓波形의 예로, 비교를 위해 자계가 없는 경우도 표시하였다. 波形으로 보아 자계는 소전류영역에서만 아크전압에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 發弧후, 소전류영역에서는 자계에 의하여 큰 아크전압이 발생하게 된다. 그러나 전류가 증가함과 더불어 아크전압은 감소하고, 전류가 큰 영역에서는 아크전압은 자계가 없는 경우와 거의 같은 크기가 되어 자계의 영향이 없다. 조건을 변경한 실험에 의하면 자계가 아크전압을 높일 수 있는 전류영역의 上限은 자계가 강할수록 또 전극간거리가 클수록 크다.

그림 3은 아크의 전류전압특성의 1예이다. 아크의 외관도 표시하였다. 그림에서 磁界中의 아크에서는 發弧후의 소전류영역에서 전류전압특성이 負特性을 나타냄과 동시에 電極에서 분출하는 電極蒸氣流가 자계에 의하여 구부러져서 아크의 實效長이



<그림 3> 電流電壓特性(電極間距離 L=10㎜)

길게 늘어남을 알 수 있다(사진 A, B). 전류가 커지면 전류전압특성은 正特性을 나타내고 앞서 기술한 바와 같이 아크전압은 자계가 없는 경우와 거의 같다. 正特性領域에서는 電極蒸氣流의 구부러짐이 적어 양전극에서의 전극증기류가 直線的으로 이어지고 있다(사진 C). 따라서 正特性領域에서는 아크의 實效長이 전극간거리와 같아지고 이것은 자계가 없는 경우와 같다. 大電流에서 磁界를 걸어도 아크전압이 높아지지 않는 것은 이때문이다.

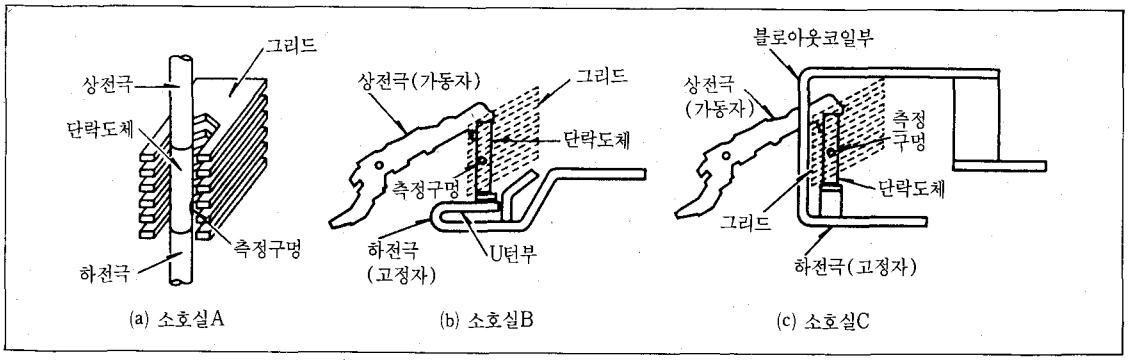
이상의 결과로 磁界를 이용하여 아크전압을 높이려 할 때 중요한 점은 다음과 같다. 첫째는 자계의 효과가 있는 것은 아크전류가 아직 작은 때만이라는 것, 둘째는 대전류가 되면 일부러 자계를 印加하더라도 효과가 없다는 것, 셋째로는 대전류까지 자계의 효과를 유지하기 위해서는 磁界를 강하게 함은 물론 전극간거리를 크게 할 것이라는 세가지 점이다.

3. 消弧室內의 磁界發生의 要因

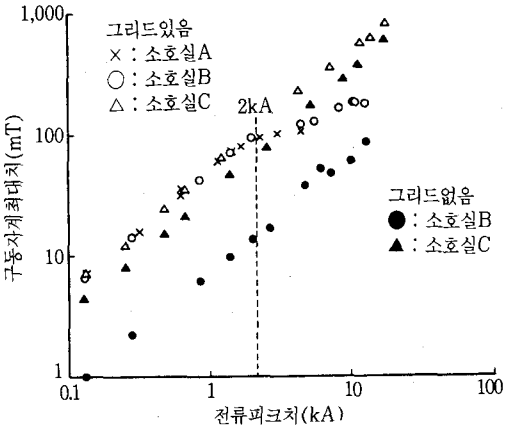
노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器의 消弧室에서는 전극을 구성하는 가동자와 고정자, 그리고 그리드라고 하는 強磁性體(일반적으로 鐵)가 널리 사용되고 있다. 전류차단시 가동자와 고정자 사이에 생긴 아크는 그리드의 強磁性에 기인하는 磁界에 의하여 그리드방향으로 길게 늘어나게 된다. 이 磁界(이하 "驅動磁界"라 한다)는 그리드외에 전극에 흐르는 전류(이하 "電極電流"라 한다)에 의하여서도 발생하며 앞에 기술한 것과 같이 可動子를 高速開極시키는데도 이용된다.

그리드와 전극전류 중 어느쪽이 驅動磁界발생의 지배적인 요인인가를 밝히는 실험을 하였다. 구동자계의 측정은 **그림 4**에 표시하는 3종류의 소호실 A, B, C에서 실시하였다. 그리드는 말발굽형을 한 두께 1.6㎜의 冷間壓延鋼板을 간격을 두어 쌓은 것이다. 실제로 아크를 발생시켜서 磁界를 측정하는 것은 곤란하므로 지름 6㎜의 단락도체로 아크를 모의하고 단락도체에 설치한 測定孔內의 자계를 측정하였다. 소호실 A, B, C에서 그리드와 短絡導體 및 測定孔의 형상, 배치는 모두 같다. 短絡導體의 양단에는 각각 上電極, 下電極이 설치되어 있다. 그림 4의 (a)는 電極電流에 의한 영향을 없애기 위해 길이 250㎜의 直線모양의 전극을 사용하여 그리드만의 발생자계를 측정하기 위한 消弧室이다. 그림 (b), (c)는 開極狀態의 소호실을 모의한 것으로 上電極은 可動子에 상당한다. (b)는 U턴固定子가 있는 소호실, (c)는 블로아웃固定子가 있는 소호실을 모의하였다. 이들 消弧室에서는 가동자 및 고정자 U턴部 또는 블로아웃코일部의 전류도 驅動磁界를 발생시킨다. 測定孔은 지름 3㎜로서 여기에 가우스미터(F. W. Bell製, Model 9200)의 프로브를 삽입하여 교류 60Hz의 전류를 흘려서 구동자계를 측정하였다.

驅動磁界는 교류 60Hz의 전류에 대하여 그리드의 強磁性에 기인되는 것으로 생각되는 지연(늦음)



<그림 4> 消弧室形狀



<그림 5> 驅動磁界

이 있으므로 전류피크치와 구동자계최대치의 관계를 구하였다. 소호실 B, C에서는 그리드가 없는 상태에서도 측정하였다. 결과를 **그림 5**에 표시한다.

小電流領域(<2kA)에서는 그림에서 그리드가 있는 경우, 驅動磁界는 어느 소호실 형상에서도 거의 같아 電極形狀에 의한 차이는 없음을 알 수 있다. 이것은 전극전류에 의한 자계가 강자성체인 그리드에 의하여 자기차폐되어 그리드에 의한 구동자계만이 나타나기 때문이다. 또 그리드가 없는 경우의 측정결과가 보여주는 것과 같이 전극전류의 자계는 그리드에 의한 자계에 비하여 작으며 특히 U턴고정자의 발생자계는 작다.

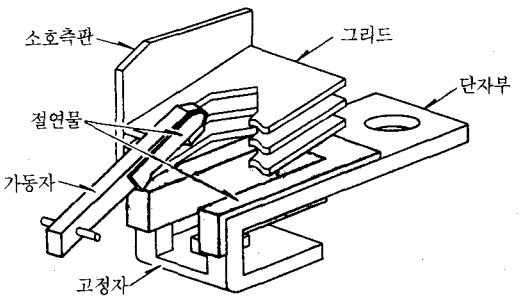
한편 大電流가 되면 전극형상에 의한 차가 나타나고 있다. 이것은 그리드가 磁氣的으로 포화됨으로써 자극전류에 의한 구동자계가 현저해졌기 때문이다. 소호실 A의 직선모양의 전극에서는 전극전류는 구동자계를 발생시키지 않기 때문에 그리드가 포화되면 구동자계도 포화한다. 소호실 B에서는 전극전류에 의한 구동자계가 작기 때문에 그리드가 포화된 후에는 구동자계의 전류에 대한 증가율이 격감하고 있다. 소호실 C에서는 전극전류가 발생하는 구동자계가 크기 때문에 구동자계의 전류에 대한 증가율은 대전류영역에서도 소전류영역과 거의 같다. 이상의 결과는 아크에 작용하는 驅動磁界의 측정결과이지만 可動子를 구동하는 자계에 관하여서도 같을 것으로 추측할 수 있다.

이상으로 限流遮斷性能을 향상시키기 위해서는 전극전류의 구동자계를 강화할 필요가 있음을 알 수 있다. 그리드는 소전류, 거의 과부하전류영역까지는 큰 구동자계를 발생하지만 대전류, 과부하전류영역을 넘는 영역에서 포화하고 만다. 따라서 그리드는 短絡遮斷時에 포화되어 버려 그 이상의 驅動磁界를 발생할 수 없게 된다. 또 종래의 U턴고정자의 발생자계는 예상외로 작은 것을 알 수 있다.

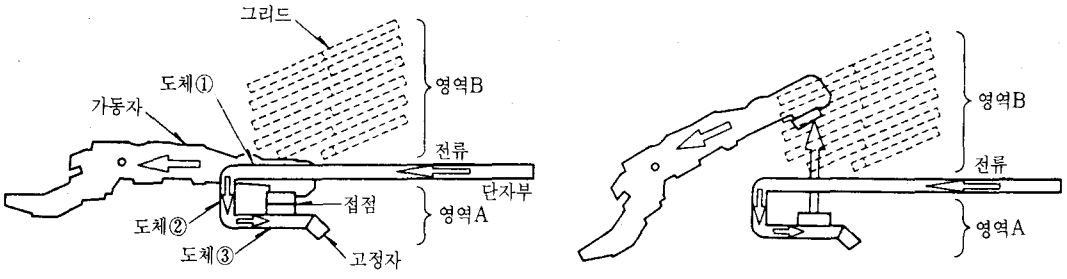
4. 新遮斷技術 ISTAC

磁界를 이용하여 限流遮斷性能을 향상시키기 위해서는 큰 구동자계를 발생할 수 있는 電極構造가 필요하다. U턴고정자에서는 驅動磁界를 발생하는 것은 그림 4(b)에 표시하는 U턴部만이며 다른 도체의 전류가 발생하는 磁界는 구동자계와는 역방향 즉 逆驅動磁界이다. 이것이 U턴固定子의 발생구동자계가 작은 원인이다. 블로아웃固定子에서는 소호실전체, 즉 可動子가 開極한 후의 전극간 아크전체에 큰 驅動磁界를 작용시키는 것을 목적으로 소호실전체를 블로아웃코일로 싸고 있다. 따라서 驅動磁界는 세지만 그때문에 여분의 스페이스가 필요하게 되어, 小型化가 현저한 노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器에서는 실용성이 적다. 그러나 2장에서 얻은 示唆에서 開極후의 전극간아크전체에 반드시 驅動磁界를 걸 필요는 없을 것으로 예상된다.

이와 같은 생각에서 개발한 것이 ISTAC이다. 그



<그림 6> ISTAC消弧室構造



(a) 開極前　　(b) 開極後

<그림 7> 試作消弧室側面圖

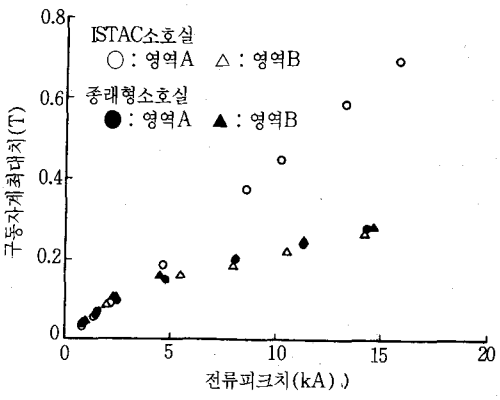
림 6 및 **그림 7**은 각각 消弧室의 원리적 구조와 試作한 소호실의 측면이다. 그림 7(a)에 표시하는 것과 같이 소호실은 두 개의 영역 A, B로 나뉘어져 있다. 전류차단시의 초기에 가동자가 폐극상태에서 개극하기 시작했을 때 가동자의 일부와 접점간에 발생한 아크는 영역 A에 있다. ISTAC의 固定子에 그림에 표시하는 전류가 흘렀을 때 도체 ①, ②, ③의 전류가 발생하는 磁界는 영역 A에서는 紙面에 수직하게 되고 이것은 모두 驅動磁界가 된다. 이것이 U턴固定子와의 큰 차이점이다. 또한 이 驅動磁界는 전류에 의해서 발생하기 때문에 대전류에서도 포화하지 않고 전류에 비례하여 증대한다. 이때문에 차단초기의 영역 A에 있는 아크와 가동자에는 강력한 구동자계가 작용한다.

한편 그림 7(b)에 표시하는 可動子開極후(遮斷中後期)에는 영역 B에서는 固定子의 도체 ①의 전류에 의한 磁界는 실은 逆驅動磁界로 된다. 그러나 영역 B는 消弧그리드로 둘러싸여 있기 때문에 그리드가 磁氣的으로 포화하지 않는 과부하전류 이하에서는 3장에서 기술한 바와 같이 驅動磁界는 그리드만으로 결정된다. 또 短絡遮斷時 그리드가 포화하여 영역 B에 역구동자계가 작용하여도 이 영역에 달한 가동자는 이미 개극후이기 때문에 차단초기의 가동자의 고속개극에는 관계가 없다. 또 이 領域의 아크는 개극후의 대전류아크이며 2장에서 기술한 바와 같이 磁界는 아크전압에 영향을 미치지 않는다. 따라서 이 逆驅動磁界는 限流遮斷에 악영향을 끼치지 않을 것이 기대된다.

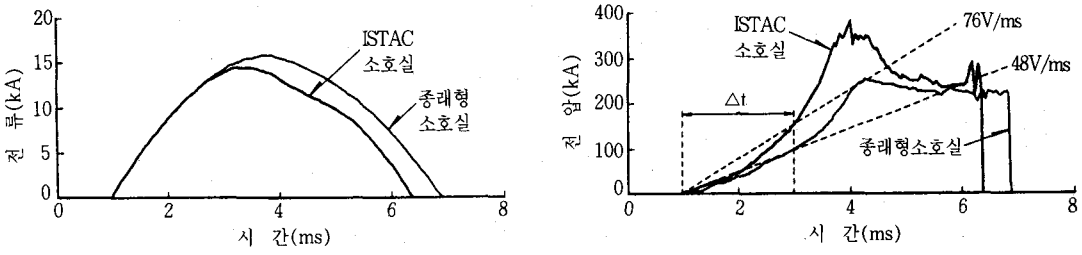
ISTAC에서는 可動子가 固定子의 안쪽을 운동하기 때문에 실용상은 그림 6에 표시한 것과 같이 固定子의 導體의 일부분을 절연할 필요가 있다. 이것은 開極후의 아크가 도체로 이행하는 것을 막기 위해서이다. 또한 이 절연물은 VJC효과도 발휘한다. 통상, 절연물에 접촉한 아크는 절연물이 방출하는 열분해가스에 의해 밀려 되돌려지지만 ISTAC에서는 영역 A의 아크는 강력한 구동자계로 절연물에 강제로 밀어붙여진다. 이 결과 절연물에 의한 아크 冷却効果 즉 VJC효과도 크게 될 것으로 예상된다.

이하, 실제로 試作한 ISTAC소호실과 종래형의 소호실(U턴固定子+그리드+VJC技術)과의 비교결과를 기술한다.

그림 8에 3장과 같은 방법으로 측정한 ISTAC소호실의 영역 A와 B의 驅動磁界를 표시한다. 예상한 대로 영역 A의 구동자계는 전류에 비례하여 증



<그림 8> 아크驅動磁界의 比較



(a) 電流波形　　(b) 電壓波形

<그림 9> 遮斷波形

가하고 있고, 대전류에서는 종래형에 비하여 압도적으로 크다. 또 소전류에서도 종래형과 같은 정도의 구동자계가 발생되고 있다. 영역 B를 보면 소전류에서는 예상대로 固定子가 만드는 逆驅動磁界의 영향은 없으나, 예상에 반하여 대전류에서도 종래형消弧室의 구동자계와 대차가 없다. 이것은 可動子의 전류가 발생하는 驅動磁界가 크게 기여하고 있기 때문이라고 생각할 수 있다.

그림 9는 ISTAC소호실과 종래형소호실에 의한 단락차단시의 電流電壓波形의 예이다. 아크電壓에 의한 限流를 피하기 위한 단상 60Hz, 전원전압 330Vrms, 단락전류 19kArms의 高임피던스回路에서의 遮斷波形이다. ISTAC에서는 波形으로 알 수 있듯이 종래형에 비하여 아크電壓의 피크値가 크고 또 電流零點前의 消弧피크도 현저하다. 限流에 중요한 차단초기의 아크電壓의 첫시작(상승)을 비교하기 위하여 전류가 흐르기 시작하면서부터 2ms (△t)까지의 아크電壓의 평균상승률을 구하였다. 종래형 48V/ms에 대하여 ISTAC에서는 76V/ms이고 약 1.6배의 전압상승률을 나타내고 있다. 이것은 차단초기의 강력한 구동자계에 의한 아크의 伸長과 可動子의 高速開極 및 VJC효과의 융합결과이다.

5. 맺음말

이상 기술한 바와 같이 新遮斷技術 ISTAC는 磁界中의 大電流氣中아크의 기초연구와 消弧室내에서의 發生磁界의 연구에서 생겼다. ISTAC는 독자적인 電極構造를 갖고 있으며 한류차단성능의 향상에 필요한 차단초기의(아크와 可動子에 대한) 驅動磁界를 비약적으로 높일 수가 있다. 또 종래의 同社 노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器의 중심적 遮斷技術인 VJC技術도 계승하고 있다. 이들 두 개의 技術의 융합에 의하여 試作한 ISTAC소호실에서는 차단초기의 아크전압의 상승속도가 종래형소호실의 1.6배에 달하여 限流遮斷性能의 대폭적인 향상이 가능하다. 또한 ISTAC의 消弧室構造에서는 전류가 클수록 구동자계가 커지므로 대전류차단이 될수록 큰 효과를 발휘한다고 생각된다.

新遮斷技術 ISTAC는 新型노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器에 탑재되어 있으며 그 고성능화(보호성능의 강화, 소형표준화, 고기능화)에 기여하고 있다. ISTAC의 적용에 있어서는 소호실구조의 최적화를 위하여 三次元磁界解析의 적용, 또한 固定子의 절연에서 필요한 耐아크性이 우수한 新消弧絶緣材料나 단락차단후의 절연저항의 저하를 억제하는 新材料도 개발되고 있다.

新型노퓨즈遮斷器·漏電遮斷器에서는 限流遮斷性能의 향상에 의하여 보호성능의 강화는 물론 차단에 필요한 소호실스페이스도 반감하고 있다. 이에 따라 외형치수의 소형표준화, 空스페이스의 附加機能의 탑재에 의한 高機能化에도 공헌하고 있다.

이 원고는 日本 三菱電機技報를 번역, 전재한 것입니다. 本稿의 著作權은 三菱電機(株)에 있고 翻譯責任은 大韓電氣協會에 있습니다.