

단락전류 투입개폐기의 동작특성과 주접점 바운싱에 관한 연구

나철봉, 이희철, 박종화
LG산전 전력시험기술센터

The study on the dynamic characteristic and bouncing of main contact the make switch

Chil-Bong Na, Hee-Chul Lee, Jong-Wha Park
LGIS Power Testing & Technology Institute

Abstract - 단락발전기를 이용하여 대전류 단락시험을 실시하는 시험 설비중 단락전류 투입시 정밀한 투입 위상각 제어와 주접점 접촉시 바운싱이 없는 투입개폐기 특성이 요구된다. 이러한 특성을 만족시키기 위하여 공압식, 모터식, 유압식등 여러 종류의 투입개폐기가 사용되고 있으며 Actuator와 주 접점 형성설계 및 조립기술에 의한 바운싱이 없는 제품 제작이 중요하다. 본 논문에서는 정격전압 24 kV 단락전류 47 kA, 통전 시간 0.5 s의 투입용량과 연속 반복 투입시 ± 0.1 ms의 오차특성을 가진 정밀급 유압식 투입개폐기의 동작특성과 핵심부품 조사 및 바운싱 제거를 위한 대책실시와 반복시험을 통하여 투입개폐기 특성에 대한 연구를 목적으로 한다.

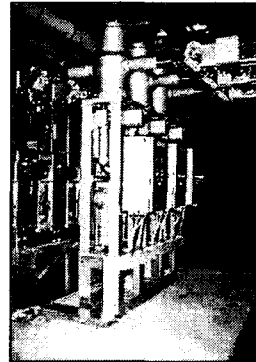


그림1 투입개폐기 외형

1. 서 론

동작책무가 빈번하고 단락전류 반복 투입 시에도 동작시간에 대한 오차가 적으며, 정밀한 투입 위상각 제어 특성이 요구되는 투입개폐기는 전기적인 절연 및 주접점 접촉시 바운싱이 없어야하며, 기계적인 내구성과 수리보전이 용이하도록 제작하는 것이 중요하다. 또한, 투입코일에 의한 전기적신호를 유압신호로 변환하는 장치와 반복동작에 의한 유압장치의 내구성, 고압질소가스의 압축에 의한 안전장치, 단락전류 투입시 주회로의 Pre-arc와 원방 제어시 노이즈에 의한 오동작 방지와 함께 주접점 바운싱 발생시 대책실시를 통하여 투입개폐기의 국산화 기술습득에 대한 고찰이 목적이다.

그림2의 구조도를 보면 상부 양쪽에 도전부 및 절연을 위한 Insulating arm이 각각 조립되어 있으며, 동작은 하부의 Actuator의 상하운동에 의해 가동접점이 고정접점에 접촉되며 전압분담을 위해 2 Point 접촉 구조로 되어 있다.

2. 본 론

2.1 투입개폐기 동작특성

2.1.1 구조 및 설비 정격

그림1,그림2와같이 투입개폐기는 상부(Upper Part)와 하부(Lower Part)로 대별되며, 상부는 주회로 전류를 통전시키는 가동/고정접점(대)과 용기내부에 절연 성능 향상을 위한 SF₆ (4~4.5 bar) 가스충전 및 안전 방압면(동작압력 7 bar)으로 구성되어 있으며, 하부는 유압장치체통의 Actuator (Stroke 7.8~8.7 mm, 내부질소압력 130 bar), Accumulator (내부질소압력 200 bar), Reservoir, 모터펌프 (용량 0.36 l/min)와 Solenoid Valves, 유압 안전장치(Safety Valves) 및 조작반(Control Box)으로 구성되어 있다.

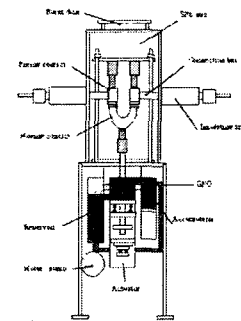


그림2 투입개폐기의 구조도

설비정격으로는 정격전압 24 kV, 정격주파수 60 Hz, 투입전류 53 kArms, 150 kAp, 투입시간 10 ms이내, 투입정밀도±0.1 ms(전기각 약 ±2.2도), Pre-firing ≤200 μs, I_t 1x10¹⁰, 연속통전전류 1000 A(차단불가), 뇌임펄스 150 kVp, 내전압 50 kV, 동작책무 C-1분-C-1분-C를 반복 동작하며, 조작코일은 투입시 13 W (800 W), 열림시 52 W (300 W) 이다. 그림1은 대전력시험실내에 설치된 단상형 투입개폐기 3대를 동일 Frame위에 설치한 외형이다.

2.1.2 유압계통

그림3 유압계통도의 화살표 방향순으로 투입신호시 Actuator 동작은 투입코일에 의한 전기적 신호를 2-Way Valve에서 유압신호로 변환후 Quick Drain Valve에 의해 순간적으로 유압이 Reservoir로 배출되면서 Actuator 하부에 충전된 질소의 압력(130 bar)에 의해 가동접점이 고정접점에 접촉하여 주회로 전류를 통전시키는 구조이며, 반대로 열림시에는 트립 코일의 신호에 의해 순환모터펌프 동작에 의해 유압(336 bar)이 서서히 상승하고 Actuator 내부의 질소압력보다 높아지게 되면 주접점이 열리게 된다. 유압계통에 사용되는 전체 오일량은 약 1.5 l이며, 사용된 Accumulator의 용량은 0.6 l로서 질소충전압력은 약 200 bar가 Pre-charge 되어 있다. 사용된 Accumulator의 역할은 일정한 용기내에 압축성

이 극히 작은 유압유에 대해 압축성있는 Gas등을 사용하여 그 상호작용에 의한 위치에너지를 이용, 시스템 압력을 축적하거나 충격을 완화시키는등 유체특성을 보완 해주며 특히 Motor와 Pump의 크기축소, 운전경비(전기료) 절감 효과가 있다.

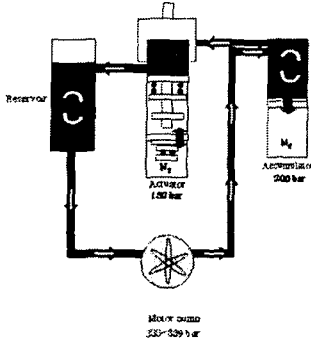


그림3 유압 계통도

2.2 핵심부품

2.2.1 가동/고정 접점(대)

그림4는 접점(대) 외형으로 접점과 통전부, 절연물, 지지대로 구성되어 있으며, 표1, 표2는 성분 및 물성치를 조사한 결과치 이다. 반복투입시 접점 마모방지를 위해 CU25W75를 사용하였고, 통전 및 Crack 방지로 통전부는 CuCr1을 사용하였으며, 절연물은 38 Ø 두께 6 mm의 내부가 빈 에폭시 수지물을 사용하였다.

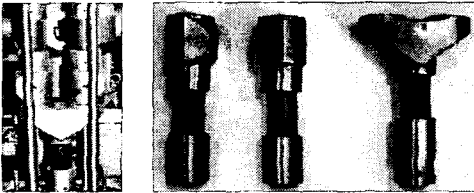


그림4 가동/고정 접점(대) 외형

그림5~그림7은 접점부를 절단후 250배 현미경 확대한 것으로 그림7에서와 같이 접점부의 접합면을 볼때 은납을 이용한 브레이징 용접시 볼 수 있는 층이 없는 것으로 보아 가열가압방식에 의한 접합 또는 폭발용접후 그림4와 같은 형상으로 가공한후 연마를 실시하여 표면거칠기를 조정하였다.

따라서 정기보수(약 2만회 사용후)시 접점면 표면 연마(사포)후 재사용이 가능하나, CuW부의 Crack 발생시에는 재사용 및 수리(접점 제거후 신품 재용접 작업)가 불가능하다.

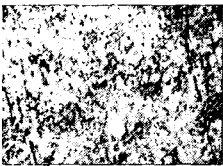


그림5 CuW부

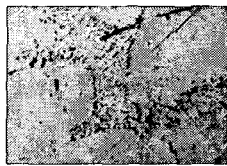


그림6 CuCr부



그림7 접합부

품명	재질	Cu	W	Cr	Fe	Ni	Co
접점	CuW	26.3	Bal	Tr	0.08	0.14	0.05
동대	CuCr	Bal	Tr	1.13	0.02	0.03	Tr

지지대 주성분 Fe, Mn, Cr이 소량 첨가된 Steel 계통

표1. 성분조사

항목	CuW부	CuCr부
비중	14.75	-
경도 (Hv)	298~330	161~175
ACS%	37.3%	87.4%
조직상태	전형적인 CuW 조직이며 W-입도는3~5 μ m임 (그림5)	CuCr에 Cr이 부분적으로 과포화조직이 보임 (그림6)

표2. 물성치 조사

2.2.2 Actuator/Accumulator

Actuator의 구조는 그림8과 같이 상단의 네모란 부분이 GPO (Operational Power Group)로서 투입상태 유지 및 준비와 피스톤이동, SF₆ 가스누설방지를 하고 원통내부의 상단에 유압, 하단에 질소가스가 충전되어 있고 중간부분의 빈공간에 근접센스 2개가 위치하여 접점의 위치상태를 감시하며, 내부의 피스톤 이동거리는 약 15 mm 이다. 설비적격에 따른 절연거리에 대응하여 피스톤의 이동거리가 정해지며 각 제품마다 그림의 CAD를 사용하여 길이와 Size을 설계한다.

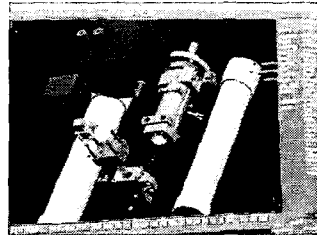
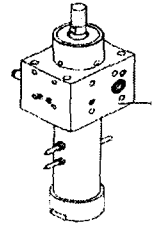


그림8 CAD 화면 및 Actuator 외형



2.2.3 Quick Drain Valve/2-Way Valve

전기신호를 유압신호로 바꿔주는 2-Way Valve와 투입시 순간적인 오일배출과 열림시 서서히 유압을 상승시키는 작용을 하는 Quick Drain Valve는 그림9 유압계통의 원내위치에서 Valve 역할을 하며, 빈번한 동작에 (1만5천회/년)의한 풀림등의 문제발생시 그림11과같이 투입시간 특성에 영향을 미친다

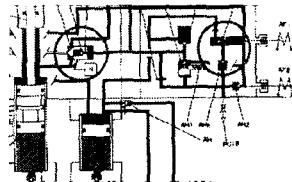


그림9 유압 계통 및 2-Way Valve 외형

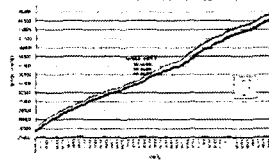
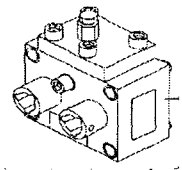


그림10 동작회수 누적치

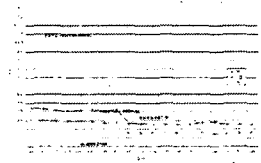


그림11 투입시간 평균치

2.3 주점점 바운싱 특성

2.3.1 바운싱 측정 방법 및 파형

여러 가지 측정방법중 그림12와 같이 DAS를 이용하여 측정하는 방법을 표준으로 설정하고, 측정시 그림 우측과 같이 정상적인 파형이 측정되어야 한다. 측정방법은 투입신호는 제어실내 컨트롤러에서 바운싱은 주점점에 직접 연결하여 측정한다.

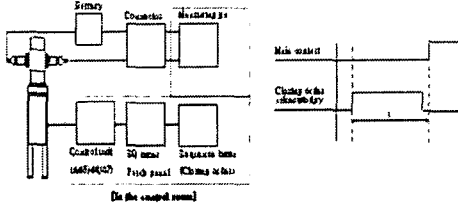


그림12 측정시스템(DAS)을 이용한 측정회로도

상기와 같은 측정방법으로 측정시 그림13과 같은 파형이 측정되었으며, 정상파형 대비 투입후 약 2 ms이내에서 약 2~3회 바운싱이 발생하였다.

따라서 단락전류 투입시 Pre-arc 및 피크전류치에 의한 점점 및 제품 손상이 예상되므로 개선이 필요하다.

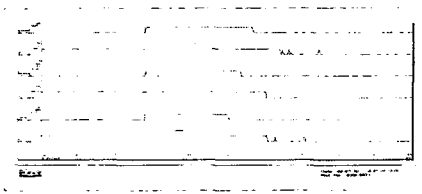


그림13 주점점 바운싱 파형

2.3.2 바운싱 제거를 위한 대책실시

2.3.2.1 점점 Crack 조사

주점점 접촉시 점점부의 Crack에 의한 바운싱 발생요인을 조사하기위해 주점점 해체후 세정액 → 침투액 → 세정액 → 현상액 순으로 액상침투시험을 실시한 결과 그림14와 같이 붉은색액이 침투하여 점점 Crack 상태를 확인하였다.

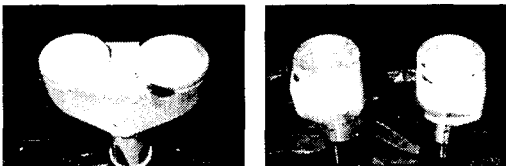


그림14 액상침투 시험후 점점 상태

2.3.2.2 질소가스 압력 조정

투입시 Actuator 내부에 충전된 질소가스압력에 의해 투입력이 결정되므로 질소가스 압력을 상승시켜 투입후 동작시간을 측정한 결과 그림15, 그림16과 같이 120~160 bar 에서 투입력은 변화하나 동작시간의 변화는 작은 것으로 나타났다.

$$\begin{aligned} \text{투입력 } F &= PA = 130 \text{ bar} \times \Pi r^2 = 130 \times \Pi \times 31^2 \\ &= 4,000 \text{ kgf} \end{aligned}$$

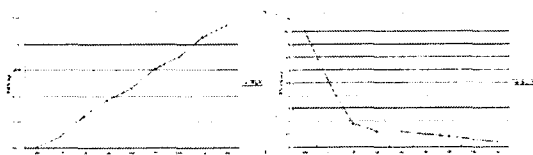


그림15 투입력 변화

그림16 동작시간변화

2.3.2.3 Actuator Stroke 변경

그림8의 CAD를 사용하여 Simulation 결과 현재 8mm의 주점점 Stroke를 6 mm로 변경시 바운싱 상태가 양호한 것으로 추정되어 주점점에 에폭시 절연물 길이를 재 조정하여 점점에 전체길이를 2 mm 길게 제작하고 Actuator stroke도 함께 조정하였다.

2.3.2.4 측정회로 및 지지대 고정

하부 지지대 미고정으로 투입시 투입개폐기 진동에 의한 바운싱 제거를 위해 그림18과 같이 콘크리트 바닥면에 4개의 고정력 앵가로(M20x200) 고정하고 측정회로 전원을 배터리 9 V에서 DC Power Supply를 사용하여 20 V 인가 및 주점점 측정 회로에 저항을 추가 삽입하여 측정회로를 변경하였다.

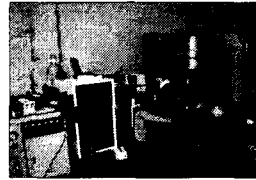


그림17 동작시간측정



그림18 하부고정

2.3.3 대책실시후 측정파형

2.3.2 대책 실시후 그림19 중간의 동작특성 시험기를 사용하여 측정한 결과 좌측하단부의 점점 바운싱 상태와 우측의 오실로그래프와 같이 양호한 파형이 측정되었다.

또한 그림1의 대전력시험실내에 정상적으로 설치후 그림12의 DAS를 이용하여 측정한 결과 그림20과 같은 파형을 얻어 바운싱이 제거되었다.



그림19 동작특성 시험기 및 측정파형

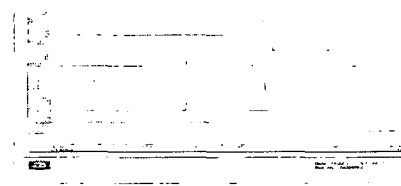


그림20 정상 파형

3. 결 론

본 논문에서는 대전력시험실내에 설치 사용중인 ETNA(프)사 투입개폐기의 구조와 특성에 영향을 미치는 핵심부품 조사 및 주점점 바운싱에 미치는 요인을 분석하고 대책을 실시하여 정밀급 투입 특성을 유지하였으며, 표준 측정회로 설정과 함께 향후 설비보전 및 핵심부품 국산화 제작에 효과가 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] ETNA(프), "Technical Instructions", ch.1~5, 2000
- [2] 현대올레아유(주), "종합 Catalog", pp.62~74, 2003
- [3] KSA, "KS B0550", 비파괴시험용어, pp.9~13, 1996
- [4] 함길호, 박지훈, 이희철, "대전력 시험기술 및 설비에 대한 고찰", 전기학회, Vol.49, No.5, pp.51~59, 2000