

저용량 A.T.S. 접점의 아크 마모 특성 연구

Arc erosion characteristics of A.T.S. contacts for low power

*한세원, *조한구, **문희봉

Han Se-Won, Cho Han-Goo, Moon Hee-Bong

*한국전기연구원 신소재응용연구그룹, **오성기전(주)

Abstract

A.T.S.의 스위칭 구조와 접점 환경은 주로 아크 전류, 접촉 저항, 아크 시간 등의 물리적 요인이 주로 마모와 특성에 영향을 미치게 된다. 사용되는 접점 재료는 W 또는 WC-Cu 계로 형상과 크기는 전형적인 반구형 구조의 접촉으로 구동이 이루어진다. 따라서 A.T.S.용 접점의 아크 마모 특성 시험을 위한 고려 요인은 이러한 점을 고려하여 시험과 분석이 이루어 졌다. 접점의 마모 특성 실험식으로부터 실제적인 관점에서 보면 제한된 수명을 나타내는 n_L 을 보장하기 때문에 $b < 1$ 의 경우가 가장 바람직한 결과로 ATS 접점 시편의 경우 $b \approx 0.99$ 로 안정된 접점 아크 마모 특성을 갖는 것으로 판단된다. 아크 전압에 대한 모델링과 실험에서 접점 간극 거리 $l < 0.1\text{mm}$, 아크전류 $i < 100\text{A}$ 의 시험 조건에 대해 검토한 결과 ATS 접점 시편의 아크 전압은 $u_a = 10.2\text{V}$ 로 계산되었다. 이 값은 실험적인 값과 상당히 접근하는 특성을 갖는 것으로 나타났으며, 아크에 의한 마모를 억제하기 위해 첨가하는 WC 또는 W의 복합 소결로 인해 아크 에너지가 감소되는 것을 보여준다. 한편 접점의 아크 동작이 분리되는 순간의 동작 시험에서 기존 W(50%wt)-Cu(50%wt) 접점의 값과 비교하면 분리시 아크 전압은 상대적으로 낮아지는 현상은 W강화 첨가량의 증가로 인한 아크 에너지 감소의 제한성을 나타내는 것으로 사료된다.

Key Words : ATS, Electrical Contact, Arc Erosion, Arc Voltage, Arc Energy,

1. 서론

A.T.S.(automatic transfer switch)는 아파트, 공장, 빌딩, 오피스텔 등 주요 설비의 변전실에 설치되어 상용전원이 정전 되었을 경우 비상 전원으로 자동 절체되는 기능성 개폐기로 최근에 공급이 늘어나는 추세이다. A.T.S. 차단부 전극으로 주로 사용되는 고압 접점의 경우 차단 아크섬락에 의한 침식을 방지 기술로 방법으로 텅스텐계 또는 텅스텐 카바이드계를 소결하여 아크 발호에 대한 내구성을 갖도록 설계, 제작된다. 또한 새로운 첨가물을 미량 활용하면 아크 섬락 및 접촉 저항 특성을 개선하여 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

A.T.S. 접점은 개폐시 높은 아크 전류에 영향을

받기 때문에 아크 마모 거동을 이해하는 것은 매우 중요하다. 접점 재질, 형상 그리고 아크 마모 특성을 정량적으로 평가할 수 있는 시험 방법이 최근 관련 연구의 선진국에서는 많이 개발되어 적용되고 있으나 국내의 경우 이에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 접점의 아크 특성에 대한 이해는 주변 소호 절연물의 설계와 접촉 강도, 미세 조직 안정화 및 최적 형상 등을 개발하는데 큰 도움이 된다. 본 연구에서는 저용량 A.T.S. 접점의 내아크 특성에 대한 시험을 실시하여 차단부 접점의 아크 거동과 마모 특성 및 주변 소호 절연물에 미치는 영향 등을 검토하였다.

2. 아크 마모

전력용 접점의 마모를 일으키는 인자는 다양하

며 그 관계도 복잡적이다. 그림 1은 이러한 인자와 상관성을 정리한 도표이다. 일반적으로 전기적 스트레스에 의한 물리적 요인, 접점의 크기와 소재와 관련된 구조적 요인, 스위칭 조건 및 아크 지속과 관련된 소호 조건으로 대별된다. 이러한 요인을 모두 포함한 정량적인 아크 마모 시험을 시행하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 대상 스위치의 동작 특성과 접점의 환경을 고려하여 최적의 시험적 방법을 선택하는 것이 중요하다. 이런 이유로 하여 IEC 등의 공표된 규격으로 충분한 정보를 얻지 못하는 것도 사실이며 관련 연구자의 어려움도 발생하게 된다.

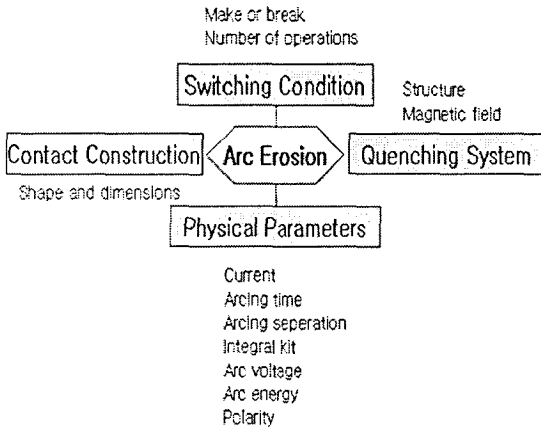


그림 1. 아크 마모 요인

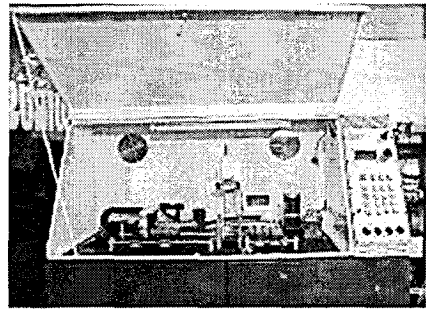
3. 실험 방법

그림 2 (a)는 ATS의 아크 마모 시험기의 사진이다. 구동부(b)는 수평형으로 선형 모터 제어 방식으로 이루어져 있으며, 압력센서를 이용하여 접촉 순간마다 일정한 접촉 압력이 작용하도록 정밀 제어가 가능하도록 설계되었다. 사실 기존 캠구동 방식에 의한 접촉으로 아크 마모 시험을 실시하는 경우 아크가 발생하면서 접촉 표면의 구조가 강제적으로 손상되어 정량적인 평가가 힘들었다. 따라서 동작에 따라 접촉압력을 일정하게 유지하므로 아크 마모의 시험 조건을 안정화시킬 수 있다

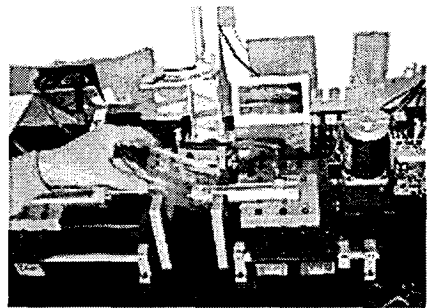
표 1은 아크 마모시험 장치의 기본 제어 조건을 나타낸 것이다. 동작 속도는 1500op/h이며 아크 전류를 최대 100A까지 시험이 가능하다.

표 1. 아크 마모시험 장치의 기본 제어 조건

항목	제원
시험 전원	AC 220V
시험 주파수	60Hz
아크 전류	0-100A
접촉유지시간	1-99초
접촉휴지시간	1-99초
최대동작주기	999999회
접촉압력	0.1-500g
동작속도	1500op/h



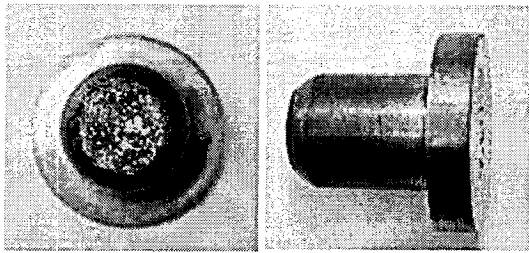
(a)



(b)

그림 2. (a)아크 마모 시험기와 (b)구동부

시험에 사용된 접점 시편은 W(40%wt)-Cu(60%wt)계로 ATS용으로 일반적으로 사용되는 조성이다. 시편의 직경은 10mm로 그림 3과 같은 형태로 가공하여 시험하였다.



(a) 정면 (b) 측면

그림 3. 아크 마모 시험 후 접점 시편 형상

4. 결과 및 고찰

4.1 아크 마모 특성

그림 5는 접점 시편에 대해 아크 시험의 전형적인 동작 파형을 나타낸 것이다. 접점의 마모 특성은 일반적으로 전류가 흐르는 조건에서 스위칭 구동 횟수에 따른 접점의 질량 감소율로 나타낸다. 이것은 접점의 수명을 결정하는 출발점이기도 하다.

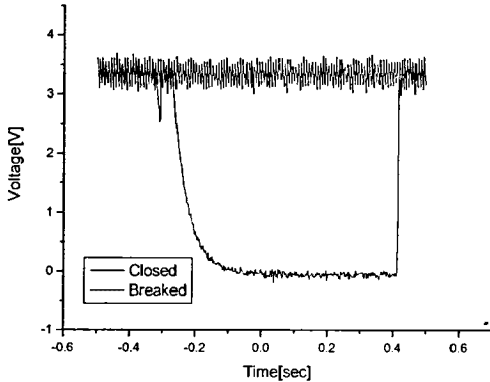


그림 4. 전형적인 아크 시험의 동작 파형

그림 6은 동작 횟수에 따른 접점의 마모 특성을 나타낸 것이다. 아크 시험 조건은 접촉압력을 구동 횟수의 증가에 따라 일정하게 제어하지 않고 스프링 압력에 의한 접촉력을 유지하는 방법으로, AC 220V, 30A에서 접촉 유지시간과 휴지시간을 각각 1초로 하여 시험하였다. 아크 마모 특성 시험 속성상 정량적인 마모율을 비교하기 위해 다수개의 시편에 대해 동작 횟수를 1만회 이상으로 늘리면서 시험하는 것이 중요하다.

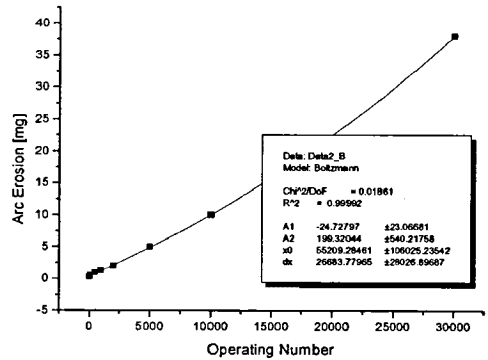


그림 6. 동작 횟수에 따른 접점의 마모 특성

접촉 마모량 δm 은 동작에 따라 먹급수 함수관계를 갖게 되어 다음과 같은 경험식으로 나타낼 수 있다.

$$\delta m = a n^b \quad \text{for } n \leq n_L \dots\dots\dots (1)$$

여기서 상수 a 와 먹급수 상수 b 는 주로 아크 전류와 소재 종류에 의해 결정된다. 일반적으로 먹급수 상수 b 는 거의 1.0 정도의 값을 갖는다.

실제적인 관점에서 보면 제한된 수명을 나타내는 n_L 을 보장하기 때문에 $b < 1$ 의 경우가 가장 바람직한 결과이다. ATS 접점 시편의 경우 그림 4에서 알 수 있듯이 $b \approx 0.99$ 로 전형적인 안정된 접점 아크 마모 특성을 갖는 것으로 판단된다.

보다 실제적인 평가를 위해 아크 마모 특성은 스위칭 구동 횟수에 따른 접점 곡명의 감소율 δp 를 측정하여 평가한다. 이것은 간단히 다음과 같은 경험식으로 정의된다.

$$\delta p = a_1 n^{b_1} \quad \text{for } n \leq n_L \dots\dots\dots (2)$$

여기서 δp 의 단위는 mm이다. 이 관계식은 모든 AC 용 접점에 대해 아크 마모 특성을 평가하는 역학적 함수로 적용할 수 있다. 한편 스위칭 구동이 증가하면서 아크에 의한 최대 크레이터의 깊이를 의미하는 접점 높이의 변화율 δh 를 측정하면 δp 와 거의 동일한 실험적 결과를 얻을 수 있다. 표 2에 ATS 용 접점 시편에 대해 측정 결과로부터 상수 값은 비교하였다.

표 2. ATS 용 접점 시편의 아크 마모 상수

접점시편	δm		δh	
	a	b	a1	b1
W(40%wt)-Cu(60%wt)	0.018	0.99	0.27	1.14

4.2 아크 에너지

아크 에너지는 다음과 같은 물리식으로 표시된다.

$$E_a = \int_0^{t_a} u_a(t) i(t) dt \dots\dots\dots (3)$$

여기서 u_a 는 접점 간에 걸리는 전압, i 는 아크 전류를 의미한다. 저압회로의 경우 접점 간 아크 길이 $l < 10mm$, 아크 지속 시간 $t < 10ms$ 정도를 유지하기 때문에 아크 전압은 거의 접점 재질의 고유 특성에 의해 결정된다. 보다 낮은 아크 전류의 경우 아크의 역학적 거동은 거의 무시할 수 있어 아크 전압 $u_a = f(i, l)$ 의 통계적 특성으로 나타낼 수 있다.

$$u_a = f[i(t), l(t)] \dots\dots\dots (4)$$

아크 에너지가 계산되면 아크 전압은 접점의 실험식은 접점을 동작하거나 차단하는 요인으로 유용하게 사용할 수 있다.

4.3 아크 전압

그림 5는 ATS 접점 시편에 대해 접점 간극을 달리하면서 아크 전류와 아크 전압 특성을 실험한 결과이다. 이 결과를 다항식으로 정리하면 다음과 같다.

$$u_a = a + bl^n + cf_1(i) + dl^m f_2(i) \dots\dots (5)$$

이식은 다음과 같은 두 가지 형태의 식으로 나누어 정리할 수 있다.

$$u_a = a + bl^n + \frac{c + dl^m}{i_0 + i} \dots\dots (6)$$

$$u_a = a + bl^n + \frac{dl^m}{i_0 + i} \dots\dots\dots (7)$$

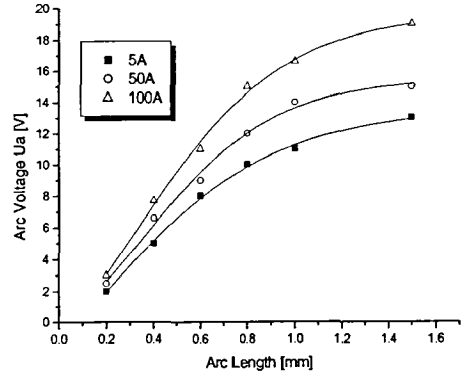


그림 5. ATS 접점 시편의 아크 전류에 따른 아크 전압 특성 시험($l < 2mm$)

여기서 오직 2개의 독립 변수가 존재하므로 모든 다른 인자는 접점 재질에 따르는 종속적 상수가 된다. 접점 간극 거리 $l < 0.1mm$, 아크전류 $i < 100A$ 의 시험 조건에 대해 검토하면 전압은 접점 양극과 음극간의 전압 강하를 나타내는 상수 a 와 $c/(i_0 - i) > 0$ 요인에 의해 주로 영향을 받는다. 표 3과 같이 ATS 접점 시편에 대해 각 실험적 상수값을 정리하여 5A, 1mm 아크 거리에서 접점의 아크 전압 $u_a = 10.2V$ 로 계산되었다. 이값은 실험적인 값과 상당히 유사한 특성을 갖는 것임을 알 수 있다.

순수한 Ag의 경우 아크 에너지는 약 11V 이상의 값을 갖는다. 아크에 의한 마모를 억제하기 위해 첨가하는 WC 또는 W의 복합 소결로 인해 아크 에너지를 감소시키는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 Ag-Ni 접점의 경우에서도 마찬가지로 특성을 나타내었다.

표 3. ATS 접점 시편의 실험적 상수값($l < 2mm$, 1mm, 5A)

시편	a	b	c	d	α	i_0	$U_a(1mm)$
W/Cu	10.2	23.5	9.5	87	0.45	0.5	10.2V
Ag/Ni	10	24.6	3.2	54.5	0.45	0.5	10.0V

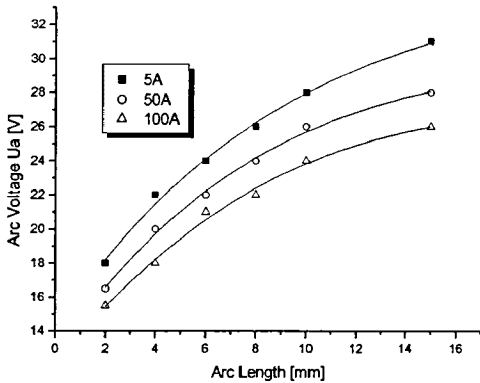


그림 6. ATS 접점 시편의 아크 전류에 따른 아크 전압 특성 시험($l < 20\text{mm}$)

접점의 아크 동작이 분리되는 순간의 동작을 설정하기 위해 접점간 아크 길이 $l > 10\text{mm}$ 로 하여 실험한 경우 그림 6과 같은 특성 곡선을 얻었다. 표 4는 이 측정값으로부터 각 요인을 분석한 결과 아크 전압은 다음과 같은 식으로 모의하면 잘 일치하는 것으로 나타났다.

$$u_a = a + bl + \frac{c + dl}{i_0 + i} \dots\dots\dots (8)$$

순수 Cu의 경우 이러한 실험 조건에서 아크 에너지는 약 24V 정도로 이값과 비교하면 W(40%wt)-Cu(60%wt) 접점의 경우 분리시의 아크 에너지는 낮아진 것을 확인 할 수 있다. 이것은 최종적으로 아크 에너지 U_a 값이 낮아지기 때문에 아크 마모는 줄어들게 됨을 의미한다. 한편 기존 W(50%wt)-Cu(50%wt) 접점의 값과 비교하면 분리시 아크 전압은 상대적으로 낮아지는 것으로 분석되었다. 이러한 현상은 W강화 첨가량의 증가로 인한 아크 에너지 감소의 제한성을 나타내는 것으로 사료되지만 이에 대한 보다 상세한 연구와 분석은 향후 추진할 예정이다.

표 4. ATS 접점 시편의 실험적 상수값($l < 20\text{mm}$, 10 mm, 50A)

시편	a	b	c	d	α	i_0	$U_a(10\text{mm})$
W/Cu (60)	21	30	120	320	0.45	0.5	21.35V
W/Cu (50)	25	22	60	220	-	2	25.26V

5. 결론

접점의 마모 특성 실험식으로부터 실제적인 관점에서 보면 제한된 수명을 나타내는 n_L 을 보장하기 때문에 $b < 1$ 의 경우가 가장 바람직한 결과로 ATS 접점 시편의 경우 $b \approx 0.99$ 로 안정된 접점 아크 마모 특성을 갖는 것으로 판단된다. 아크 전압에 대한 모델링과 실험에서 접점 간극 거리 $l < 0.1\text{mm}$, 아크전류 $i < 100\text{A}$ 의 시험 조건에 대해 검토한 결과 ATS 접점 시편의 아크 전압은 $u_a = 10.2\text{V}$ 로 계산되었다. 이 값은 실험적인 값과 상당히 접근하는 특성을 갖는 것으로 나타났으며, 아크에 의한 마모를 억제하기 위해 첨가하는 WC 또는 W의 복합 소결로 인해 아크 에너지가 감소되는 것을 보여준다. 한편 접점의 아크 동작이 분리되는 순간의 동작 시험에서 기존 W(50%wt)-Cu(50%wt) 접점의 값과 비교하면 분리시 아크 전압은 상대적으로 낮아지는 현상은 W강화 첨가량의 증가로 인한 아크 에너지 감소의 제한성을 나타내는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원으로 산·학·연 컨소시엄사업으로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] E. Walczuk, S. Stolarz, K. Wojtaik, "Experimental study of Ag-W-Re composite materials under high current conditions", Proc 32th IEEE Holm Conference, Boston, pp.77-83, 1986 and IEEE Trans. Vol. CHMT-10, No.2, p.283-26, 1987

- [2] E. Walczuk, "Testing apparatus for investigations of characteristics of contact materials during current switching off up to 20 kA", Proc. 10th ICEC, Budapest, 1980, pp. 1079-1084
- [3] H. A. Kalvonjian, L. L. Jedynek, "Contact resistance data processing using an on line digital microprocessor", IEEE Trans. Hybrids and Packing, Vol. PHP-13, Nol.1, 1977
- [4] Z. Feng, S. S. Babu, M. L. Santella, "An incrementally coupled electrical thermal mechanical model for resistance spot welding", 5th International Conference on Trends in Welding Research, Pine Mountain, GA, 1-5, 1998
- [5] J. W. McBride, K. Pechrach, "Arc motion and gas flow in current limiting circuit breakers operating with a low contact switching velocity", IEEE Trans. on Components and Packing Technologies, Vol.25, No.3, pp.427-433, 2002