

저항부하에서 배선용 차단기 접속단자부의 접속결함에 의한 화재위험성 분석

김동우, 이기연, 문현욱, 김향곤, 최충석
한국전기안전공사 전기안전연구원

Fire Hazard Analysis of MCCB Terminals in Resistance Load by Connection Failure

Dong-Woo Kim, Ki-Yeon Lee, Hyun-Wook Moon, Hyang-Kon Kim, Chung-Seog Choi

Abstract - 본 논문에서는 배선용 차단기 단자와 전선간의 접속결함에 의한 아크발생 및 화재위험성을 분석하였다. 실험 및 분석에 사용된 배선용 차단기는 단상 2선식의 국내의 제품으로 외형분석결과 단자구조는 제품마다 상이하였으며, 단자와 전선간의 접촉저항 측정결과 국내 제품은 접속방식에 따라 접촉저항의 편차가 컸다. 배선용 차단기 단자와 전선간 접속결함에 의한 접촉불량 발생시 단자구조에 따른 아크 및 화염의 특성 실험의 부하조건으로는 저항부하를 사용하였으며, 가진기의 축에 배선용차단기를 설치하여 진동에 의한 영향을 받도록 하였다. 인가시간은 10[분]으로 하였으며, 접촉불량이 진전됨에 따라 배선용 차단기 단자에 아크가 지속적으로 발생하였다. 대략 수분이 경과한 후 차단기가 차단되는 경우도 있었으며, 차단되지 않는 경우도 있었다. 또한 4개사의 제품 중 1개사의 제품은 접속단자 주변 절연재료로 아크에 의한 화염전이가 용이하였다.

1. 서 론

전기설비 접속부에서 발생하는 전기화재의 원인들은 단자 나사의 조임불량, 전선과 전선의 연결상태 불량, 접속기류 점접의 먼지, 습기 등에 의한 열화, 스프링 이완 및 점접 불량 등이 있다[1-4]. 이들 전기설비 내에는 전선과 전선의 접속이나 전선과 기기단자의 접속 등 다수의 전기적 접속부가 존재하며, 일반 가정에서 주로 사용되는 저압용 배선용 차단기의 전선접속은 볼트를 사용한 기계적 압력방식이 주로 사용되고 있다. 국내외 저압용 배선용 차단기의 전선과 접속하는 단자부분은 접속방식에 따라 다양하다. 그런데, 일부 소형 배선용 차단기의 단자와 전선의 접속부분은 접속시 나사에 의해서 직접 접속하게 되어 있어, 진동 등의 외력이나 이물질, 먼지 등 기타 요인에 영향을 받기 쉬운 구조로 되어 있다[5].

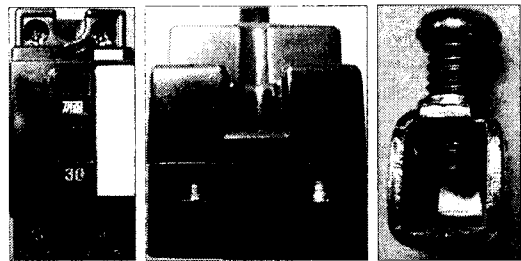
본 연구에서는 국내의 배선용 차단기 단자와 전선간의 접촉저항을 조임토크의 변화에 따라 측정 및 분석하였다. 또한, 배선용 차단기 단자와 전선간 접촉불량 발생시 단자구조에 따른 아크 및 화염의 특성을 비교 분석하였다. 실험에 사용된 배선용 차단기는 정격전압용, 단상 2선식으로, 실험시 부하조건으로는 전열기 2대를 병렬로 연결하여 사용하였으며, 가진기의 축에 배선용차단기를 설치하여 진동에 의한 영향을 받도록 하였고, 토크드라이버를 사용하여 전선과 2차측 부하중 한상의 단자의 체결토크를 0[kg·cm]으로 설정하였다. 이때, 접촉불량시 발생한 아크는 캠코더에 의해 촬영하였다. 접촉불량이 진전됨에 따라 배선용 차단기 주변 절연재료로 화염전이가 특성 및 화염에 의한 난연성 특성을 분석하여, 접촉 불량시 아크 및 화재에 의한 문제점을 고찰하고, 안전한 접속 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 배선용 차단기 단자의 구조

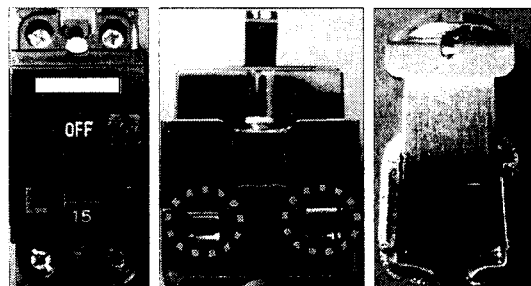
배선용 차단기(Molded Case Circuit Breaker, MCCB)는 교류 600[V]이하의 저압 옥내 전로 보호에 사용되며, 각종 기구부, 검출부 및 소호장치 등이 하나의 절연물로 쌓여져 있는 구조로 되어 있다. 관련규격으로는 KS C 8321과 IEC 60898-1 등이 있다[6][7].

그림 1은 국내에서 시판중인 소형 MCCB를 나타낸 사진이다. 그림 1(b)의 잠선부분과 (c)는 단자를 나타내고 있으며, 전선과 접속시 전선과 직접 접속하는 되어 있는 구조로 되어있다.



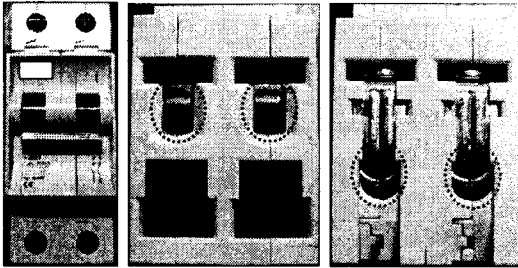
(a) 정면도 (b) 1차측 (c) 단자
그림 1. 국내 MCCB(소형, 단상2선식, 30[A])

그림 2는 일본에서 시판중인 소형 MCCB로 국내제품과 유사한 모양 및 크기를 나타내고 있다. 그러나 단자부분(2(b)와 (c))은 나사에 의한 직접접속이 아닌 중간지지물에 의한 간접접속에 의한 방식으로 국내 제품과 차이가 있다. 이 방식은 국내 제품(그림 1)과 비교하였을 때, 전선과의 접촉면적이 크므로 접촉불량에 의한 사고위험성이 적다. 또한 나사부분에 이물질이 직접 침입하기 어려운 구조로 되어 있어 부식 및 접속품질 저하의 가능성이 적다.



(a) 정면도 (b) 1차측 (c) 단자
그림 2. 일본의 MCCB(소형, 단상 2선식, 15[A])

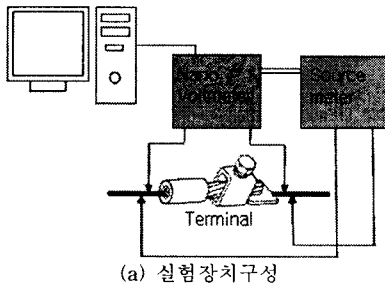
그림 3은 유럽의 MCCB를 나타낸 것으로, 단자는 전선과의 접촉면적을 크게 할 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 단자부의 모양은 타원형으로 되어 있어(그림 3(b), (c)) 전선과 접속시 접촉면적을 향상시킬 수 있고 단자로 이물질 침입을 막을 수 있는 구조로 되어 있다. 이와 같이 전선 외국의 경우 MCCB 단자부의 나사는 전선과 직접접촉이 아닌 중간지지물에 의한 간접 접속구조로 되어 있다.



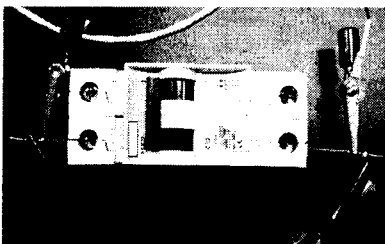
(a) 정면도 (b) 1차측 (c) 2차측
그림 3. 유럽의 MCCB(400[V], 단상 2선식)

2.2 조임토크에 따른 접촉저항

위의 2.1에서 분석한 바와 같이 MCCB 단자 구조는 국내의 제품별로 상이하다. 그림 4는 이러한 MCCB 단자의 접촉저항을 비교 분석하기 위한 장치구성을 나타내고 있다. 실험에 사용된 MCCB는 그림 1(A사), 그림 2(B사), 그림 3(C사)에 나타낸 것과 같다. 측정장비로는 나노볼트미터(Nanovoltmeter, Keithley, 2182A)와 소스미터(AC and DC current source, Keithley, 6221)를 사용하였고, 차단기 1차측과 2차측에 600[V] IV 전선(전선길이: 5[cm], 전선직경: 2[mm])을 접속한 후, 토크크기(0, 10, 15, 20[kg·cm])에 따른 접촉저항을 측정하였다.



(a) 실험장치구성



(b) 단자의 접촉저항 측정 부분

그림 4. 조임토크에 따른 접촉저항 측정 장치구성

조임토크 변화에 따른 접촉저항의 측정값은 표 1에 나타내었다. 국내 배선용 차단기(A사)의 접촉저항은 일본(B사)이나 유럽제품(C사)에 비해 낮게 측정이 되었으나, 조임토크의 증가에 따라 전선의 일부가 손상이 되었으며, 전선이 나사에 정확히 접속이 되지 않고 이탈이 용이하였다. 이 경우 접촉저항이 표 1의 측정치 보다 더

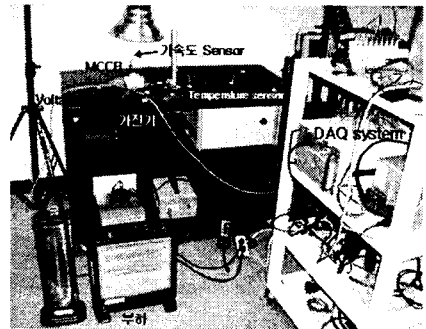
크게 나타났다. 일본(B사)의 MCCB의 경우는 국내제품에 비해 접촉저항이 더 크게 측정되었으나, 그 크기는 미미하며, 조임토크의 증가에 따라 접촉저항이 점차 감소하였으며, 전선이 접속부에서 이탈되기 어려운 구조로 되어있기 때문에 토크에 따른 접촉저항의 편차가 작았다. 유럽(C사)의 MCCB의 경우는, 일본의 경우와 유사하였으며, 접속단자의 구조가 타원형이어서 접촉저항이 일본의 경우보다 조금 작았다.

표 1. 조임토크 변화에 따른 접촉저항

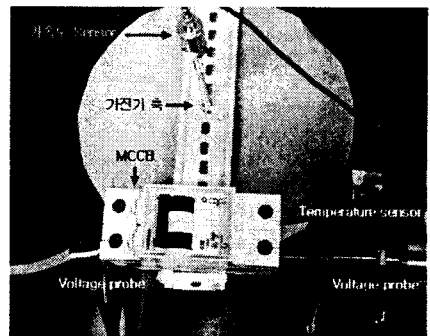
| 조임토크 [kg·cm] | 접촉저항[mΩ] | | |
|-----------------|----------|--------|--------|
| | A사(국내) | B사(일본) | C사(유럽) |
| 0 | 4.28 | 12.5 | 3.75 |
| 5 | 2.98 | 4.77 | 3.24 |
| 10 | 2.89 | 4.6 | 3.18 |
| 15 | 2.90 | 4.5 | 3.1 |
| 20 | 2.95 | 4.47 | 3.0 |

2.3 접속결함에 의한 접속단자의 아크 및 화염특성

실부하에서 MCCB 접속단자의 접속결함에 의한 접속단자의 아크 및 화염특성을 분석하기 위해 그림 5와 같이 실험장치를 구성하였다. 실험에 사용된 MCCB는 국내의 제품 4개사로, 실험전원으로는 단상 220[V], 60[Hz]를 사용하였다. 실험시 부하조건으로는 전열기 2대(900[W]+570[W])를 병렬로 연결하였으며, 접속결함조건으로는 배선용 차단기 2차측 중 한상의 조임토크를 토크 드라이버(FDS2-S, Tohnichi, japan)를 사용하여 0kg·cm으로 설정하였고, 가진기의 축에 MCCB를 연결하여 5[G], 6[Hz]의 진동이 전달되도록 하였다. 접속결함에 의한 접속단자의 아크 및 열화특성은 캠코더를 이용하여 촬영하여 분석하였다.



(a) 접속결함 유도 및 측정 시스템



(b) MCCB 단자 측정부분

그림 5. 접속결함에 따른 화염특성 실험장치 구성

그림 6-그림 9는 국내의 MCCB 2차측 접속단자와 전

선간에 접촉불량시 아크 및 화염의 진행과정을 촬영한 실험결과와 일부이다.

그림 6은 국내 소형 MCCB(A사)의 단자와 전선간에 진동을 인가하였을 때 아크의 진전과정을 나타낸 것이다. 아크의 발생은 진동을 인가하기 시작한 초기부터 초록색의 불꽃이 발생하기 시작하였으며, 9[분] 가량 경과한 후, 전선과 단자 사이에 적색의 적열부(hot zone)가 관측되었다(그림 6(d), (e), (f)). 이후 배선용 차단기는 차단이 되어 아크와 불꽃의 진전은 멈추었다.

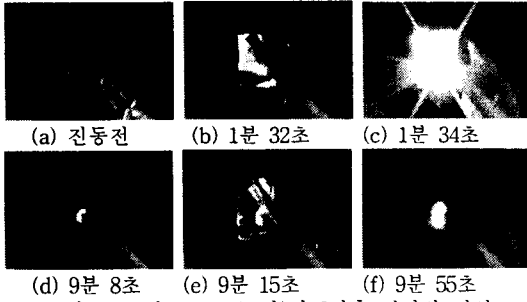


그림 6. 국내 MCCB(A사)의 2차측 단자와 전선

그림 7은 일본의 소형 MCCB(B사)의 단자와 전선간에 진동을 인가하였을 때 아크의 진전과정을 나타낸 것이다. 아크의 크기는 그림 6에 비해 작았으며, 간헐적으로 관측되었다. 이후 4[분] 20[초] 경과 후, 스위치가 차단이 되어 아크는 멈추었다.



그림 7. 일본 MCCB(B사)의 2차측 단자와 전선

그림 8은 유럽의 MCCB(C사)의 단자와 전선간에 진동을 인가하였을 때 아크의 진전과정을 나타낸 것이다. 아크의 발생은 진동을 인가하기 시작한 초기부터 흰색과 열은 초록색의 불꽃이 발생하기 시작하였으며, 8[분] 가량 경과한 후, 전선과 단자 사이에 적색의 불꽃이 관측되었으며, 그 빈도가 점차 증가하여, 적열부(hot zone)가 관측되었다(그림 8(c)).



그림 8. 유럽 MCCB(C사)의 2차측 단자와 전선

그림 9는 미국의 MCCB(D사)의 단자와 전선간에 진동을 인가하였을 때 아크의 진전과정을 나타낸 것이다. 아크의 발생은 그림 6, 그림 8과 같이 진동을 인가하기 시작한 초기부터 흰색과 열은 초록색의 불꽃이 발생하기 시작하였으며, 1[분]이 경과된 후부터 단자 주위의 절연재료가 변형되기 시작하였다(그림 9(c)). 이후 주변절연재료의 변형이 점차 확대되어 용융되어 녹아내리기 시작하였으며(그림 9(d)-(f)), 6[분]후 스위치가 차단되어 아크 및 화염은 멈추었다. 이전의 모델 A, B, C사(그림 6-그림 8)와 비교하였을 때 단자 주변의 절연재료가 녹아내려 이러한 현상이 지속될 경우 2차 화재로 진전될 가능성이 높은 것으로 나타났다.

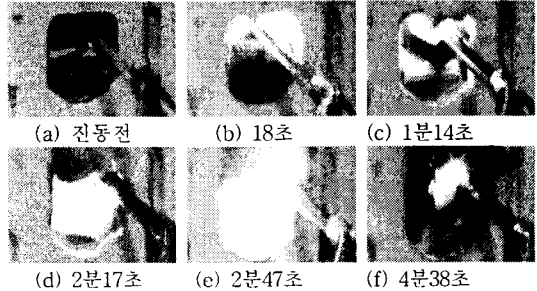


그림 9. 미국 MCCB(D사)의 2차측 단자와 전선

3. 결 론

본 연구에서는 국내의 배선용 차단기의 단자구조분석, 단자와 전선간의 토크변화에 따른 접촉저항분석, 접촉결함에 의한 아크발생 및 화재위험성을 분석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 국내 MCCB 접속단자의 구조는 대부분 단자부분이 전선과 접속시 나사에 의해 직접 접속하게 되어 있어, 접속면적 감소로 인한 접촉저항 증가가 용이하며, 이물질 등이 침입하기 용이한 구조로 되어 있다. 반면, 선전 외국의 MCCB 접속단자의 대부분은 나사에 의한 직접 접속이 아닌 중간지지물에 의한 간접접속방식으로 전선과 단자의 접촉면적이 증가하는 구조로 되어 있으며, 먼지 등 이물질 침입이 어려운 구조로 되어 있다.

2) 국내의 MCCB 단자와 전선간 조임토크에 따른 접촉저항을 비교 분석한 결과, 국내 A사의 접촉저항은 일본(B사)이나 유럽(C사)제품에 비해 단자와 전선이 정확히 접속된 경우는 접촉저항이 낮게 측정되었으나 접속방식에 따라 전선의 이탈이 용이하여 접촉저항의 편차가 컸다. 반면, 일본(B사)과 유럽(C사)제품은 접속방식 및 조임토크에 따른 접촉저항의 편차가 작았다.

3) 저항부하에서 접속단자의 접속결함에 의한 아크 및 화염 특성을 분석한 결과, 접속결함이 발생한 후, 접속단자와 전선간에 아크가 지속적으로 발생하였으며, MCCB 스위치는 대부분 아크가 발생한 후 10[분] 전후로 차단되었으며, 아크발생 초기에는 초록색의 불꽃이 발생하였으나, 시간이 경과함에 따라 일부 모델에서 적열부가 관측되었다. 또한 4개사의 제품 중 1개사의 MCCB 절연재료의 재질은 아크가 발생함에 따라 녹아내리며 착화되어 2차 화재로 진전될 가능성이 높았다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전기안전공사, "전기해체통계분석", pp. 7-11, 2005.
- [2] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp. 189-198, 2004.
- [3] 김향곤 외 5, "접촉압력에 따른 전선 열결기구의 열 특성변화", 한국화재소방학회 춘계학술대회, pp.127-132, 2002.
- [4] 김향곤 외 4, "저압용 비닐절연전선에서의 적열 아크 특성 분석", 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회, p. 57-59, 2006.
- [5] 김봉우 외 4, "저압용 차단기의 단자구조에 따른 접촉면적 및 접촉저항에 관한 연구", 한국화재소방학회 추계학술논문발표회, pp.99-104, 2006.
- [6] 한국산업규격(KS C 8321), "배선용 차단기", 2002.
- [7] 한국산업규격(KS C IEC 60898-1), "가정용 및 이와 유사한 설비의 과전류 보호용 차단기- 제1부: 교류용 차단기", 2002.