열동전자식 MCCB의 열적 스트레스에 따른 소손 패턴 및 작동 특성

이재혁 · 최충석*

전주대학교 소방안전공학과
(2013. 4. 9. 접수 / 2013. 6. 10. 채택)

Damage Pattern and Operation Characteristics of a Thermal Magnetic Type MCCB according to Thermal Stress

Jae-Hyuk Lee · Chung-Seog Choi*

Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University
(Received April 9, 2013 / Accepted June 10, 2013)

Abstract : The purpose of this paper is to analyze the carbonization pattern and operation characteristics of an MCCB. The MCCB is consisted of the actuator lever, actuator mechanism, bimetallic strip, contacts, up and down operator, arc divider or extinguisher, metal operation pin, terminal part, etc. When the actuator lever of the MCCB is at the top or the internal metal operation pin is in contact with the front part, the MCCB is turned on or off. It means trip state if the actuator lever or the internal metal operation pin moves to back side. In the UL 94 vertical combustion test, white smoke occurred from the MCCB when an average of 17~24 seconds elapsed after the MCCB was ignited and black smoke occurred when an average of 45~50 seconds elapsed. It took 5~6 minutes for the MCCB surface to be half burnt and took an average of 8~9 minutes for the MCCB surface to be entirely burnt. In the UL 94 test, the MCCB trip device operated when an average 7~8 minutes elapsed. If the MCCB trip has occurred, it may have been caused by an electrical problem such as a short-circuit, overcurrent, etc., as well as fire heat. From the entire part combustion test according to KS C 3004, it was found that the metal operation pin could be moved to the MCCB trip position without any electrical problems.

Key Words : damage pattern, MCCB, thermal stress, actuator lever, actuator mechanism, divider

1. 서론

전선로에 과전류 및 단락 등이 발생하였을 때 설정된 조건에서 자동적으로 전선로를 차단하여 피해를 최소로 하기 위해 설치하는 보호 기기로 전류제한기(CL; current limiter), 배선용차단기(MCCB; Molded Case Circuit Breaker or CB; Circuit Breaker or S/W; Switch), 퓨즈(fuse) 등이 있다. MCCB는 한국산업규격 KS C 8321에 정의되어 있다. MCCB는 상용주파수 60 Hz의 교류 600 V 또는 직류 500 V 이하의 전선로 보호에 사용하는 정격전류 5,000 A 이하, 정격 차단용량은 교류 200,000 A 이하 또는 직류 100,000 A 이하에 적용된다. 또한 교류용차단기의 적용범위 및 목적은 KS C IEC 60898-1에 구체적으로 제시되어 있다. 교류 및 직류용 차단기에 대한 요구사항은 KS C IEC 60898-2에 규정되어 있다. 그리고 누전전류 트립 기구를 내장한 차단기에 대한 요구 사항은 전기용품안전기준 K 61009-1, K 61009-2-1 및 K 61009-2-2 등에 규정되어 있다. KS C 8321은 국제규격 IEC 60947-2의 규격을 부합화 하였으며, 분류 및 정격 등 주요 내용의 대부분이 유사하다. NFPA 70은 사용자의 안전을 중심으로 다루고 있으며, KS C 8321과 IEC 60947-2 등과 일부 차이가 있다¹⁻⁵⁾.

그런데 이와 같은 규정 및 조건을 준수한 우수한 전기시스템이 설계되어 운용되더라도 시스템의 운용에 따른 열화(劣化)에 의해 전선로의 절연 불량, 접속(축)부의 저항 증가, 부적절한 설치 및 공사, 제품 결함 등이 발생하면 사고는 피할 수 없다. 그리고 방화 또는 실화 등이 건물에 발생하여 MCCB 외부의 소손이 심할 때 작동 상태를 판정하는데 어려움이 있는 것이 현실이다. 또한 열동전자식 MCCB가 설치된 설비에서 화재가 발생하여 화염의 지속시간이 긴 경우 전기적 통전이 없이도 온도조절장치의 작동 및 작동기구부의 TRIP BAR(트립바)의 용융 등에 의해서 MCCB는 트립 상태로 전환될 수 있다⁶⁻⁹⁾.

따라서 본 논문에서는 열동전자식 MCCB에 열적 스트레스를 인가시켜 소손되었을 때의 탄화 패턴 및 작동 특성을 과학적으로 제시함에 따라 화재 현장에서 원인 판정에 활용할 수 있는 객관적 근거를 제공하는데 있다.

2. 실험조건 및 방법

Fig. 1은 UL 94 5V Plaque 조건에서 연소 실험을 위한 실험사진이다. 실험실의 실내 온도는 20~22℃, 상대 습도는 18±2%를 유지하였다. 그리고 각각의 조건에 따라 MCCB

*Corresponding Author: Chung-Seog Choi, Tel : +82-63-220-3119, E-mail: choi365@jj.ac.kr
Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University, 303, Cheonjam-ro, Wansan-Gu, Jeonju 560-759, Korea

Fig. 1. Combustion test of the thermal magnetic type MCCB according to UL 94.

Fig. 2. Combustion test of the thermal magnetic type MCCB according to KS C 3004.

의 반소, 전소 실험 등을 실시하였으며, 외부의 탄화 패턴 및 내부의 작동 특성 등을 해석하고자 한다¹⁰⁾.

Fig. 2는 일반화염에 의한 연소 실험을 위한 것으로 한국산업규격 KS C 3004에 제시되어 있는 ‘고무·플라스틱 절연전선 시험방법 제4조’의 규정을 근거한 실체사진이다. 연소 실험이 완료된 후의 실험 대상물의 자연 소화 여부를 확인하였고, 연소 불꽃의 길이는 180 mm 이하를 유지시켰다. 즉, 구획된 안전한 공간에 지지대를 설치하여 MCCB를 60°로 고정시켰다. 가스 토치로 일반화염을 인가하여 반소 및 전소 실험이 각각 진행되었다. 일반화염에 의해 탄화된 MCCB의 소손 패턴은 실체카메라(Camera D 90, 2009, Nikon, Japan)를 사용하여 분석하였다¹¹⁾.

3. 결과 및 고찰

MCCB의 차단시간은 각각의 정격전류에 따라 다르게 적용된다. 예를 들면 정격차단용량 30A 이하에서 정격전류 2배의 전류가 흘렀을 때 2 min 이내에 차단되도록 되어 있다. MCCB의 분류 및 정격에 대한 비교는 KS C 8321, IEC 60947-2, NFPA 70 등에 언급되어 있다. KS C 8321은 국

제규격 IEC 60947-2의 규격을 부합화 하였으며, 분류 및 정격 등 주요 내용 대부분이 유사한 것으로 확인 되었다. NFPA 70의 규정은 ‘National Electrical Code’을 지칭하는 것으로 제품의 규격 시험 조건이 아니고 사용자 안전을 중심으로 다루고 있으므로 KS C 8321과 IEC 60947-2 등과 일부 차이가 있음을 알 수 있다. MCCB의 시험 방법 및 검사 기준은 KS C 8321, IEC 60947-2, IEEE C37.51 등에 언급되어 있으며, 주요 항목은 시험, 검사, 제품정보 및 표시 등을 비교하였다^{1-5,12)}.

Fig. 3은 본 연구에 사용된 열동전자식 MCCB의 외형 및 명칭을 나타낸 것이다. ① 작동손잡이(actuator lever), ② 작동기구부(actuator mechanism), ③ 온도조절장치(bimetallic strip), ④ 접촉점(contacts), ⑤ 상하가동편(up and down operator), ⑥ 소호장치(arc divider or extinguisher), ⑦ 금속작동핀(metal operation pin), ⑧ 전원측 단자(source terminal), ⑨ 부하측 단자(load terminal) 등이다.

Fig. 4는 열동전자식 MCCB의 금속작동핀의 위치를 나타낸 것이다. MCCB의 ON 상태 및 OFF 상태와 TRIP 상태에서의 차이를 설명하기 위해 나타낸 실체사진이다. ON/OFF 상태에 있을 때에는 금속작동핀이 전면부에 밀착된 상

Fig. 3. External view and part name of the thermal magnetic type MCCB.

Fig. 4. Comparison of the metal operation pin positions according to the operation status of the thermal magnetic type MCCB.

태이나 TRIP 상태가 되면 금속작동편이 후면으로 이동하는 것을 알 수 있다. 즉, 어떤 원인에 의해 작동손잡이가 소손되어 MCCB의 작동 상태를 판단할 수 없을 때에는 내부의 금속작동편의 위치를 보고 판정하는 것이 과학적인 해석이다.

Fig. 5는 UL 94 수직연소 실험을 준용하여 반소 실험이 완료된 열동전자식 MCCB의 실체사진이다. 화염이 MCCB의 좌측 하단에 착화되고 평균 17~24 sec의 시간이 경과되었을 때 흰 연기가 발생 하였다. 그리고 평균 45~50 sec가 경과되면서 검은 연기가 발생하였으며, 연소가 지속되는 동안 화염이 일정하게 유지되었다. MCCB가 반소되는데 평균 5~6 min이 필요하였으며, 화염 공급이 차단됨에 따라 차단기에 착화된 화염은 자연 소화되었다. 즉, 화염이 직접 공격된 곳은 탄화가 심하게 발생하였지만 간접화염에 의해 노출된 곳은 소손이 거의 없는 것으로 확인되었다^{13,14)}.

Fig. 6은 Fig. 5의 내부 실체사진을 나타낸 것이다. 전면 및 좌측면 일부 등에서 탄화 흔적이 확인되었으나 금속작동편, 온도조절장치, 접점 등의 소손은 거의 없는 것을 알 수 있다. 따라서 화염이 초기에 진압되면 MCCB의 외형은 탄화가 발생하여도 내부의 주요 기능은 비교적 양호한 것을 알 수 있다^{13,14)}.

Fig. 7은 UL 94 실험에 의해 표면이 전소된 열동전자식 MCCB의 실체사진이다. 화염이 착화되고 평균 17~24 sec

(a) front (b) left side (c) right side
Fig. 7. Carbonization pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is entirely burnt by the UL 94 test.

의 시간이 지났을 때 흰 연기가 발생하였다. 그리고 평균 5~6min의 시간이 경과 하였을 때 화염이 최성기 도달하였다. 화염이 지속된 상태에서 평균 7~8min의 시간이 경과할 때 MCCB의 트립 장치가 작동하였고, 표면이 전소되는데 평균 8~9min 정도 소요되었다. MCCB의 트립 장치가 작동하는 것으로 보아 열동전자식 MCCB는 전기적인 원인뿐만 아니라 서서히 온도가 상승하면 트립 장치가 작동한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 화재현장의 MCCB에서 트립 상태가 확인되었다면 전기적 단락 및 과전류 등에 의해서만 작동되는 것이 아니며 화열의 지속시간이 일정 시간 유지되면 MCCB에서 트립 현상이 발생할 수 있으므로 원인 판정에 주의가 요구된다.

Fig. 8은 Fig. 7의 내부 실체사진을 나타낸 것이다. Fig. 7(b)를 살펴보면 금속작동편(ㄱ)이 전면부에서 후면부로 이동하였고, 상하가동편(ㄴ)이 상으로 이동하였다. 즉, MCCB를 트립 상태로 판정 할 수 있으며, 탄화의 흔적을 확실하게 알 수 있었다.

Fig. 9는 KS C 난연성 실험 조건을 준용하여 반소 실험한 열동전자식 MCCB의 실체사진이다. Fig. 9(a)을 보면 작동손잡이는 ON 상태를 유지하였고, 상부 덮개가 소손이 심한 것으로 확인된다. 물질의 연소 속도와 등은 분포에 따라 화염의 직접적인 영향을 받은 곳은 탄화가 심하지만 착화지점과 먼 곳일수록 탄화의 흔적도 적고 그을

(a) front (b) left side (c) right side
Fig. 5. Carbonization pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is half burnt by the UL 94 test.

(a) front inside (b) left inside (c) right inside
Fig. 6. Internal damage pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is half burnt by the UL 94 test.

(a) front inside (b) left inside (c) right inside
Fig. 8. Internal damage pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is entirely burnt by the UL 94 test.

Fig. 9. Carbonization pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is half burnt by the combustion test according to KS C 3004.

림이 생긴 것을 알 수 있다^{13,14)}.

Fig. 10은 Fig. 9의 내부 실체사진을 나타낸 것이다. 직접 화염에 노출된 곳은 심하게 탄화되었으나 그 밖의 곳은 일부의 그을음 및 소손의 흔적이 확인된다. 또한 금속작동핀도 변형이 없는 것을 알 수 있다^{13,14)}.

Fig. 11는 KS C 난연성 실험 조건을 준용하여 표면이 전 소된 MCCB 외부를 나타낸 실체사진이다. Fig. 11(a)에 나

Fig. 10. Internal damage pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is half burnt by the combustion test according to KS C 3004.

Fig. 11. Carbonization pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is entirely burnt by the combustion test according to KS C 3004.

Fig. 12. Internal damage pattern of the thermal magnetic type MCCB whose surface is entirely burnt by the combustion test according to KS C 3004.

타난 바와 같이 상부 덮개는 심하게 탄화되었고, 좌측 및 우측도 탄화 패턴이 확실하게 판정된다^{13,14)}.

Fig. 12은 Fig. 11의 내부를 나타낸 실체사진이다. 작동 손잡이는 녹아서 작동 상태를 정확히 판정하는데 한계가 있는 것을 알 수 있다. 또한 단자, 소호장치, 온도조절장치 등 내부는 화염의 공격으로 탄화 패턴이 형성되었다. 작동 기구부의 트립바는 녹아 흘러 내렸으며, 작동금속핀은 트립 상태로 이동된 것이 확인된다. 따라서 KS C 3004에 준용한 표면의 전소 실험에서도 전기적인 요인이 없이도 작동금속핀(▲)은 트립 상태로 이동할 수 있다는 것이 확인되었다. 따라서 사고 현장에서 수거된 열동전자식 MCCB의 금속작동핀의 상태를 근거로 단락 또는 과부하 등이 발생했다고 판정하는 것은 심각한 오판의 우려가 있음을 알 수 있다.

4. 결론

따라서 본 논문에서는 열동전자식 MCCB에 열적 스트레스를 인가시켜 소손되었을 때의 탄화 패턴 및 작동 특성을 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 열동전자식 MCCB의 작동손잡이가 상부에 있거나 내부의 금속작동핀이 전면부에 밀착된 상태는 ON 또는 OFF 상태이며, 작동손잡이가 중간 또는 내부의 금속작동핀이 후면으로 이동하면 트립 상태를 의미한다.
- 2) UL 94 수직연소 실험에서 화염이 착화되고 평균 17~24 sec의 시간이 경과되었을 때 흰 연기가 발생 하였고, 평균 45~50 sec가 경과되면 검은 연기가 발생하였다. MCCB가 반소되는데 평균 5~6 min이 걸렸으며, 표면이 전소되는데 평균 8~9 min 정도 소요되었다.
- 3) UL 94 실험에서 화염이 평균 7~8 min 인가되었을 때 MCCB의 트립 장치가 작동되었다. 즉, MCCB의 트립 장치가 작동되었다면 전기적 단락 및 과전류 등의 요인뿐만 아니라 화열에 의해서도 트립이 발생했는지 확인해야 한다.
- 5) KS C 3004에 의한 전소 실험에서도 전기적인 단락 및 과부하 현상 등이 없어도 작동금속핀은 트립 상태로 이동할 수 있다는 것이 확인되었다.

Reference

- 1) Korean Standards Association, "KS C IEC 60898-1, 60898-2", Korean Agency for Technology and Standards, 2008.
- 2) Korean Standards Association, "KS C 8321, 8111", Korean Agency for Technology and Standards, 2008.
- 3) International Electrotechnical Commission, "IEC 60947-2", IEC, 2004.
- 4) Korean Standards Association, "K 61009-1, K 61009-2-1, K 61009-2-2", Korean Agency for Technology and Standards, 2010.
- 5) National Fire Protection Association, "NFPA 70", National Electrical Code, 2008.
- 6) C. S. Choi, H. K. Kim and D. O. Kim, "A Study on the Characteristics Analysis of Strands Melted by Over Current", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 19, No. 1, pp. 60-65, 2004.3.
- 7) C. S. Choi, H. K. Kim and K. M. Shong, "A Study on the Short-Circuit Characteristics of Vinyl Cords Damaged by External Flame", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 72-77, 2004.12.
- 8) C. S. Choi, "Firefighting and Electrical Installation", Donghwa Tech. Publishing Co., pp. 371,411, 2013.
- 9) C. S. Choi, H. W. Kim, K. S. Lee, Y. S. Lim, C. H. Lee and J. H. Chung, "Electrical Fire Engineering", Donghwa Technology Publishing Co., pp. 193-197, 2004.
- 10) UL 94, "Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances", Underwriters Laboratories Inc., 1996.
- 11) Korean Standards Association, "KS C 3004 Flame-Resistance Test", Korean Agency for Technology and Standards, 2008.
- 12) Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE C37.51", IEEE, 2008.
- 13) D. W. Kim, K. Y. Lee, H. W. Moon, H. K. Kim and C. S. Choi, "Damage Properties and Overheat Detection Techniques of Connection Parts of MCCB and Terminal Block", Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 22 No. 4, pp. 54-60, 2008.
- 14) D. W. Kim, K. Y. Lee, H. W. Moon, H. K. Kim and C. S. Choi, "Fire Hazard Analysis of MCCB Terminals in Resistance Load by Connection Failure", Spring Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 88-90, 2007.