3상 3선식 Plug-In MCCB의 인장력 및 접촉저항 평가에 관한 연구

이병설 · 최충석*

전주대학교 소방안전공학과
(2013. 4. 12. 접수 / 2013. 7. 22. 채택)

Study on the Evaluation of the Tension and Contact Resistance of a 3 Φ 3 W Plug-In MCCB

Byung-Seol Lee · Chung-Seog Choi*

Department of Fire Safety Engineering, Jeonju University
(Received April 12, 2013 / Accepted July 22, 2013)

Abstract : The purpose of this paper is to evaluate the performance of a Plug-In MCCB developed for rapid power supply restoration when the MCCB is installed in a power system and to verify its reliability. Since the developed 3 Φ 3 W Plug-In MCCB can be installed on and removed from a bus bar by one touch using a plug housed at the rear, it can be replaced in a short period of time. Therefore, it can quickly respond to the normalization of a power system. When the Plug-In MCCB is installed on a bus bar, the resistance between each phase and plug was measured to be 0.46 m Ω in average. When the Plug-In MCCB is installed, the tension in the vertical direction was measured to be 112.78 N in average, which is greater than the tension of 50 N specified in the related regulation. The withstanding voltage tests performed 5 times repeatedly by applying 6 kV to the developed Plug-In MCCB for 60 seconds shows good withstanding voltage characteristics. In addition, both the general waterproof test using a water injection method and the insulation resistance analysis using a Mega meter showed good waterproof and insulation characteristics.

Key Words : tension, contact resistance, Plug-In MCCB, withstanding voltage, waterproof test

1. 서론

산업의 발전과 더불어 국민의 생활수준이 향상됨에 따라 2007년도 국민 일인당 전기사용량은 8,067 kWh/man에서 2011년 9,568 kWh/man로 약 18.6% 증가하였다. 전력 생산량 및 소비량의 증가에 따른 재해의 발생으로 인명 및 재산의 손실도 증가하고 있다^{1,2)}.

전선로에 과전류 및 단락 등이 발생하였을 때 설정된 조건에서 전선로를 차단하여 피해를 줄이기 위한 것이 배선용차단기(MCCB; Molded Case Circuit Breaker)이다. MCCB에 대한 국제 규정은 IEC 60898-1 및 EN 60898-1 등이 있다. 국내의 규정은 KS C 8321에 상용주파수 60 Hz의 교류 600 V 또는 직류 500 V 이하의 전선로 보호에 사용하도록 정의하고 있다^{3,6)}.

전력시스템에 낙뢰, 단락, 접촉불량, 트래킹 등이 발생하면 직접적인 손상을 많이 받는 기기 중의 하나가 MCCB이다^{7,8)}. MCCB는 제한된 공간의 분전반 또는 배전반 내부에 설치되어 있으므로 손상된 MCCB의 교체는 작업의 불편성 및 인접 기기의 간섭 등으로 교체 시간이 많이 걸린다. MCCB의 교체 시간을 단축할 수 있는 효율적인 기기가 필요하며, 그 중의 하나가 Plug-In MCCB를 적용하는 것이다. Plug-In MCCB의 주접점의 표시기는 폐로위치(ON)에

서는 적색, 개로위치(OFF)에서는 녹색을 표시하여야 한다. 점접 위치의 표시 방법은 신뢰성이 있어야 한다. 점접의 위치는 정확한 표시를 위하여 작동기(actuator), 전면판, 덮개 등을 차단기에 고정될 수 있도록 설계하여야 한다. 플러그인 접속과 전혀 관계없는 위치에 Plug-In MCCB를 설치할 때는 신뢰성과 충분한 안정성을 갖고 있어야 한다. 플러그인 접속과 전혀 관계없는 위치에 설치하는 Plug-In MCCB 및 플러그인 접속과 단독으로 관련 있는 위치에 설치하는 Plug-In MCCB 등은 시험으로 적합여부를 확인해야 한다⁹⁻¹⁴⁾.

따라서 본 논문에서는 반도체설비, 화학공정설비 및 금융설비 등의 전력설비에 설치된 MCCB가 손상되었을 때 신속한 전원 복구를 위해 개발된 Plug-In MCCB의 성능 평가를 실시하여 신뢰성을 검증하는데 있다.

2. 실험조건 및 방법

Fig. 1은 개발된 Plug-In MCCB를 동 부스바(copper bus bar)에 설치했을 때의 접촉(속) 저항을 분석하기 위한 실험 사진이다. MCCB의 후면에 있는 플러그 유닛이 동 부스바에 삽입되었을 때의 접촉저항을 저항측정기(Resistance Tester, 3541 Resistance HiTESTER, Hioki E.E. Co.)로 측정

*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

하였다. 저항측정은 4단자법을 적용하여 측정 오차를 보정하였다. 부스바의 재질은 동(copper)이며, 두께 3 mm, 넓이 30 mm로 제작된 반원형 평각이다. 실험이 진행될 때 실험실의 온도는 20°C, 상대습도는 30±2%의 동일한 조건을 유지하였다^{13,14)}.

Fig. 2는 개발된 Plug-In MCCB를 부스바에 설치했을 때의 인장력을 분석하기 위한 것이다. 부스바에 설치된 MCCB의 인장력은 인장시험기(Tensile tester, Shimadzu, AG-X, Japan)를 이용하였으며, 수직 방향으로 힘이 작용했을 때의 상태를 분석하였다^{13,14)}. 인장력에 대한 관련 기준은 차단기의 전면상에서 50 N의 수직 하중을 급격한 당김 없이 아랫방향으로 1 min 동안 가하고, 이어서 위방향으로 50 N의 수직하중을 1 min 동안 가한다. 시험 중 차단기는 느슨해지지 않아야 하고, 시험 후에는 계속 사용하는데 해가되는 손상이 없을 것 등을 요구하고 있다.

Fig. 1. Photograph for the measurement of contact resistance of the plug unit of the 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Fig. 2. Photograph for the measurement of tension of the plug unit of the 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 전력시스템의 신속한 전원 공급을 위해 개발된 3상 3선식 Plug-In MCCB(3Φ 3W, AC 220/380V, 225A, 60Hz, ILSUNG E&G Com.)의 실체사진이다. 일반적으로 사용되는 MCCB(3Φ 3W, AC 220/460V, 225AF, 60Hz, LS Industrial System, ABS 204b)를 이용하여 후면에 하우징된 플러그가 설치한 것을 알 수 있다. 기존 일반 MCCB는 상부 전원측(1차)의 R상, S상, T상 각각에 인입선을 연결하고, 하단의 2차측에 U상, V상, W상 등의 부하를 연결하는 구조인 반면 개발된 Plug-In MCCB는 전원측의 연결단자가 매립되어 있다. 그리고 차단기의 후면에 R상, S상, T상 각각을 하우징 형태로 플러그가 인출되어 있는 구조이다. 전원측 각각의 단자가 없으므로 볼트를 분해하고 체결할 필요가 없으며, 후면의 하우징된 플러그를 이용하여 부스바에 원터치(one touch)로 설치 및 분리가 가능하므로 차단기의 교체 시간이 짧아 전력시스템 정상화에 신속하게 대응할 수 있다^{13,14)}.

Fig. 4는 개발된 3상 3선식 Plug-In MCCB(AC 220/380 V, 225 A, 60 Hz, ILSUNG E&G Com.)를 분해한 실체사진이다. 차단기의 본체는 일반 3상 3선식 MCCB와 동일한 구조 및 특성을 갖는 제품을 사용했으며, 분리 및 설치 등을 수행할 때 안전하고 신속하게 작업이 가능한 구조이다. 전원측 각 상(phase)의 플러그는 안전성을 향상시키기 위해 하우징 형태로 제작되었다. 따라서 차단기를 OFF(꺼짐) 상태로 부스바에 원터치 체결을 하고, 부하측(2차) 각 상(phase)의 볼트를 체결한 후 MCCB의 작동손잡이를 ON(투입)하면 전원공급이 가능하다. 분해된 Plug-In MCCB의 주요 명칭은 ① 1차 연결 부스바, ② 유닛 손잡이, ③ 유닛 고정 핀, ④ 인출 유닛, ⑤ 접점 스프링, ⑥ 접점 부스바, ⑦ 인

Fig. 3. Photograph of the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

출 유닛 지지대, ⑧ 단자 볼트, ⑨ MCCB 등을 나타낸다^{13,14)}.

Fig. 5는 개발된 Plug-In MCCB(AC 220/380 V, 225 A, 60 Hz, ILSUNG Eng Com.)의 플러그 유닛의 분해된 실체 사진이다. 각 상(phase)은 독립적으로 하우징되어 있어서 전기적으로 안전할 뿐만 아니라 플러그 유닛이 부스바에 견고하게 접촉할 수 있도록 탄성이 우수한 스프링이 설치된 것을 알 수 있다. 따라서 개발된 Plug-In MCCB의 전기·물리적 특성은 관련 기준에서 제시하고 있는 동등 이상의 특성을 유지할 수 있다. 여기서, ① 1차 연결 부스바, ② 인출 유닛, ③ 접점 스프링, ④ 접점 부스바 등을 나타낸다^{13,14)}.

Fig. 6은 개발된 3상 3선식 Plug-In MCCB를 부스바에 설치했을 때 전기저항을 측정하기 위한 것이다. 실제 현장에서 사용되는 동일한 동 부스바에 개발된 차단기를 설치하였고, 각 상간의 접촉 저항을 측정하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다. 각각의 상과 플러그 사이의 저항은 평균 0.46 mΩ으로 측정되었다. 이런 정도의 저항은 일반 전선 및 케이블 등을 연결할 때 발생하는 값이며, 전기설비기술 기준 및 국제규격 등에서 제시하는 기준치 보다 매우 적은 것을 알 수 있다. 따라서 개발된 Plug-In MCCB를 부스바에 설치할 때 접촉(속)부의 전기적인 저항은 문제가 없음이 증명되었다. 접촉(속)점의 저항을 4단자 측정법을 적용하여 오차를 보정하였고, 분석의 신뢰성을 확보할 수 있었다. 실험이 진행될 때의 온도는 20°C, 상대습도는 30±2%를 일정하게 유지하였다^{13,14)}.

Fig. 4. Photograph of the disassembled 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Fig. 5. Photograph of the disassembled plug unit of the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Fig. 6. Measurement of contact resistance when the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB is installed on a bus bar.

Table 1. Contact resistance measurement result of the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Sections	Resistance(mΩ)	No.	Judgment
Bus bar of R phase ↔ R phase of Plug-In MCCB	0.51	5	Good
Bus bar of S phase ↔ S phase of Plug-In MCCB	0.42	5	Good
Bus bar of T phase ↔ T phase of Plug-In MCCB	0.44	5	Good
Average	0.46	5	Good

Fig. 7은 개발된 3상 3선식 Plug-In MCCB를 설치했을 때 인장력을 분석하기 위한 것이다. 실제 현장에서 사용되는 동일한 동 부스바에 개발된 차단기를 설치하고 부스바와 플러그 사이의 인장력을 측정하였다. 인장력은 수직 방향으로 힘이 작용했을 때의 상태를 분석하였다. Fig. 4,8은 수직 방향에 대한 인장력의 변화를 나타낸 곡선이며, 평균 112.78 N으로 측정되었다. 또한 동일한 조건에서 5회 반복 측정 한 값은 Table 2와 같으며, 관련 기준 및 규격에서 제시하고 한계보다 우수한 특성을 보이는 것으로 확인되었다. 즉, 볼트 체결방식에 비해 성능의 저하가 없는 것은 물론 시스템의 안전성에 문제가 없음이 입증된 것이다^{13,14)}.

Fig. 8은 개발된 Plug-In MCCB의 내전압 실험(withstanding voltage test)을 위해 나타낸 실체사진이며, Table 3은 실험결과이다. 내전압 실험은 KS C 2127에 근거한 내전압 시험기(withstand voltage tester, Hitop Tester, TOS5101, Kikusui

Fig. 7. Tension measurement curve when the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB is installed on a bus bar.

Table 2. Tension measurement result of the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Directions	Tensile force(N)	No.	Judgment
Force of vertical direction	108.4	5	Good
	111.0	5	Good
	115.3	5	Good
	112.4	5	Good
	116.8	5	Good
Average	112.78

Fig. 8. Withstanding voltage test of the 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Table 3. Withstanding voltage test result of the developed 3 Φ 3 W plug-in MCCB.

Sections	Test voltage(kV)	No.	Judgment
R phase $\leftrightarrow$ Enclosed	6	5	Good
R phase $\leftrightarrow$ S phase	6	5	Good
R phase $\leftrightarrow$ T phase	6	5	Good
Average	6	5	Good

Electronics Co.)를 이용하였다. Plug-In MCCB의 R상-외함, R상-S상, R상-T상, R상-N상 등에 각각 60 sec 동안 6 kV의 시험 전압을 인가하였다. 개발된 차단기의 내전압 측정은 각각 5회 반복 실시하였으며, 모두 특성이 양호한 것으로 확인되었다¹³⁻¹⁵⁾.

Fig. 9는 개발된 Plug-In MCCB의 일반 방수 성능 실험이 완료된 후에 내전압 특성을 측정하는 과정을 나타낸 실체 사진이며, Table 4는 측정결과이다. 일반 방수 실험은 ‘환경시험 방법(전기·전자) 내수성 시험 지침 KS C 0284’의 규정에 근거한 내전압시험기를 이용하여 실험이 진행되었다. Plug-In MCCB의 R상-외함, R상-S상, R상-T상, R상-N상 등에 각각 60 sec 동안 6 kV의 전압을 인가하였다. 개발된 차단기의 내전압 측정은 각각 5회 반복 실시하였으며, 모두 특성이 양호한 것으로 확인되었다. 따라서 산업현장의 일반 방수 조건의 사용이라면 제품의 성능에 문제가 없이 정상적인 기능을 발휘할 수 있다는 것이 입증되었다¹³⁻¹⁵⁾.

Fig. 10은 개발된 Plug-In MCCB의 일반 방수 실험을 완

Fig. 9. Withstanding voltage test of the 3 Φ 3 W plug-in MCCB for which the general waterproof test was completed.

Table 4. Withstanding voltage characteristics of the plug-in MCCB for which the general waterproof test was completed.

Sections	Test voltage (kV)	No.	Judgment
R phase $\leftrightarrow$ Enclosed	6	5	Good
R phase $\leftrightarrow$ S phase	6	5	Good
R phase $\leftrightarrow$ T phase	6	5	Good
Average	6	5	Good

Fig. 10. Insulation performance measurement of the 3 Φ 3 W plug-in MCCB for which general waterproof test was completed.

Table 5. Insulation resistance measurement of the plug-in MCCB for which general waterproof test was completed.

Sections	Resistance	No.	Judgment
R phase $\leftrightarrow$ Enclosed	OL, ∞	5	Good
R phase $\leftrightarrow$ S phase	OL, ∞	5	Good
R phase $\leftrightarrow$ T phase	OL, ∞	5	Good
Average	OL, ∞	5	Good

료한 후 절연성능을 측정을 나타낸 실체사진이며, Table 5는 측정결과이다. 일반 방수 실험이 완료된 각 차단기의 상(phase)과 상(phase) 사이의 절연성능을 절연저항계(insulation tester or megger, 2426, 500 V, Yokogawa M&C Co.)로 분석하였다. Plug-In MCCB의 R상-외함, R상-S상, R상-T상,

R상-N상 등의 사이에 직류 500 V를 인가하여 분석하였다. 개발된 각각의 차단기의 절연성능은 각각 5회 반복 실시하였으며, 모두 특성이 양호한 것으로 확인되었다^{13,14)}.

4. 결론

본 논문에서는 반도체설비, 화학공정설비 및 금융설비 등의 전력설비에 설치된 MCCB가 소손되었을 때 신속한 전원 복구를 위해 개발된 Plug-In MCCB의 성능 평가를 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 개발된 3상 3선식 Plug-In MCCB는 후면의 하우징된 플러그를 이용하여 부스바에 원터치로 설치 및 분리가 가능하므로 차단기의 교체 시간이 짧아 전력시스템 정상화에 신속하게 대응할 수 있다.
- 2) Plug-In MCCB를 부스바에 설치했을 때 각각의 상과 플러그 사이의 저항은 평균 0.46 mΩ으로 측정되어 특성이 양호한 것을 알 수 있다.
- 3) Plug-In MCCB를 설치했을 때 수직방향의 인장력 평균 112.78 N으로 측정되어 관련 규정의 기준치인 50 N보다 우수함을 알 수 있다.
- 4) 개발된 Plug-In MCCB에 60 sec 동안 6 kV의 전압을 인가한 내전압 실험을 5회 반복한 결과 특성이 양호한 것을 확인하였다. 또한 일반 방수 실험 및 절연성능 등은 모든 항목에서 우수한 특성을 확인할 수 있었다.

References

- 1) H. I. Cho, "Statistics of Electric Power in Korea", KEPCO, 2012.
- 2) Y. S. Park, "Fire Statistics", NEMA, 2011.
- 3) International Electrotechnical Commission, "IEC 60898-1", 2011.
- 4) European Standard, "EN 60898-1", 2011.
- 5) IEC 60943, "Guidance Concerning the Permissible Temperature Rise for Parts of Electrical Equipment, in Particular for Terminals", 2nd edition, 1998.
- 6) IEC 60050-441, "International Electrotechnical Vocabulary (IEV) Chapter 441: Switch Gear and Control Gear and Fuses", 1984.
- 7) 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 of Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 22 No. 4, pp. 54~60, 2008.
- 8) 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.
- 9) Korean Standards Association, "KS C 8321, 8111", Korean Agency for Technology and Standards, 2008.
- 10) 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.
- 11) C. S. Choi, "Firefighting and Electrical Installation", Donghwa Tech. Publishing Co., pp. 284, 371, 411, 419~423, 2013.
- 12) Korean Standards Association, "K 60898-2 Circuit-breakers for Overcurrent Protection for Household and Similar Installations-Part 2: Circuit-breaker for a.c. and d.c. Operation", Korean Agency for Technology and Standards, 2010.
- 13) Ilsung E&G Com., "Clip Member, MCCB Unit and Distributing Panel", No.10-0974483, 2010.
- 14) Ilsung E&G Com., "Clip Body, MCCB Unit and Distributing Panel", No.10-1019958, 2011.
- 15) Korean Standards Association, "KS C 2127", Korean Agency for Technology and Standards, 2008.