

분전반 내 차단기의 접촉불량에 의한 이상발열에 관한 연구

김향곤, 김동우, 최효상*, 최용성**, 최충석***

전기안전연구원(한국전기안전공사), *조선대학교, **동신대학교, ***전주대학교

A Study on the Abnormal Heating of Circuit Breaker in Panel Board by Poor Connection

Hyang-Kon Kim, Dong-Woo Kim, Hyo-Sang Choi*, Yong-Sung Choi**, Chung-Seog Choi***

ESRI(Subsidiary of KESCO), *ChoSun Univ., **DongShin Univ., ***JeonJu Univ.

Abstract : In this paper, abnormal heating of circuit breaker in panel board by poor connection was studied. Firstly, calculation method of contact resistance shown in IEC 60943 was examined. Secondly, concerning abnormal heating of circuit breaker in panel board, field measurements were performed. Field measurements showed that locally abnormal heating by poor connection could be detected, therefore, in that case, immediate action was needed. Finally, experiments regarding abnormal heating between terminal of circuit breaker and electric wire were conducted. The results showed that abnormal heating above 180°C was measured. Also, in the results of analysis of electrical waveforms according to load current, voltage drop occurred around poor connection, and the oxide was generated according to mechanical vibration. In order to prevent electrical disaster caused by poor connection, adequate torque should be applied to electrical connection, and periodic check-ups are needed.

Key Words : Panel board, MCCB, ELB, Poor Connection, Abnormal Heating

1. 서 론

전력계통은 전기산업의 핵심을 이루며 발전설비, 수송설비(송전선, 변전소, 배전선 등) 및 수용설비(일반가정, 공장 등)로 구성된다. 경제활동이 증가함에 따라 더 많은 전기에너지가 요구되고 있으며 산업현장에서는 생산 활동의 안정화를 위해 무엇보다도 안정적인 양질의 전기에너지의 공급을 요구하고 있다.

전기에너지는 우리의 일상생활에서 없어서는 안 될 중요한 에너지원이지만 강전, 전기화재, 설비사고 등을 일으키는 원인으로 작용하기도 한다. 2007년에 우리나라에서 발생한 화재통계를 살펴보면 총 47,760건이 발생하여 이중 457명이 사망, 1,727명이 부상하였다. 화재 발화 원인으로서는 부주의에 의한 화재가 22,435건(43.4%)로 가장 많았으며 전기적 요인에 의한 화재가 10,533건(23.4%)으로 그 다음을 차지하였다[1].

현재 분전반(함)에서의 화재 감지 및 예방을 위한 기술 개발이 진행되고 있어 머지 않아 분전반에서의 화재 위험을 미연에 감지하여 차단하는 시스템의 구축이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 분전반 내 차단기에서의 접촉불량에 의한 이상발열에 대하여 연구하였으며 IEC 60943에서 언급하고 있는 전기 도체의 접속/접촉에서의 접촉저항에 대한 이론적 설명과 접촉저항의 계산법에 대하여 고찰하였으며 KS(한국산업규격)에 명시된 분전반에 설치되는 누전차단기 등의 단자나사 크기에 따른 체결 토크에 대하여 검토하였다. 그리고, 일선 현장에 설치된 분전반에서의 이상발열 실태를 적외선열화상장비를 이용하여 측정하였으며 이상발열 감소와 원인에 대하여 분석하였다. 또한, 차단기 단

자에서의 접속(접촉)불량 실험을 통하여 이상발열에 의한 화재위험성에 대하여 분석하였다. 이상과 같은 연구를 통하여 분전반에서의 화재 위험을 최소화하고 분전반에서의 전기사고를 예방하기 위한 자료로 활용되기를 기대한다.

2. 이론적 고찰

분전반 내에는 회로에서의 단락, 과부하(과전류), 누전 등에 의한 전기재해의 위험을 예방하기 위하여 배선용차단기, 누전차단기 등 보호장치가 설치되어 있다. 이들 차단기의 단자에 전선을 접속하는 부분에서 접속 품질이 떨어질 경우 접촉저항의 증가로 인하여 이상발열이 발생하게 된다. 이러한 이상발열 현상으로 인하여 차단기 접속 단자 부분의 변색과 더불어 차단기 외함 재료의 소손, 접촉전선의 용융과 탄화, 접속부에서의 산화물 증식 등의 현상이 나타나게 된다[2-7].

전기를 전달하는 도체의 접속/접촉에서의 접촉저항에 대한 이론적 설명, 접속/접촉 터미널에서의 열화 매커니즘, 도체의 온도상승 계산, 최대허용온도 등에 대하여 IEC 60943에서 설명하고 있다. 금속 도체의 접촉저항은 통상 0.1[Ω]이하이지만 외견상의 접촉저항은 증가하게 된다. 그림 1은 도체의 접촉상태를 나타낸 것으로 그림 1(a)과 같이 금속의 표면은 미세 가공한 도체를 서로 접촉시키더라도 전면(全面)으로 접촉되지 않고 그림 1(b)과 같이 도체 표면의 불룩부로 점접촉하며 전류는 이들 점접촉부분을 통하여 흐르게 된다. 이 접촉 면적을 실질적 면적이라고 하며, 실제로는 이 실질적 면적을 통하여 전류가 흐르게 된다.

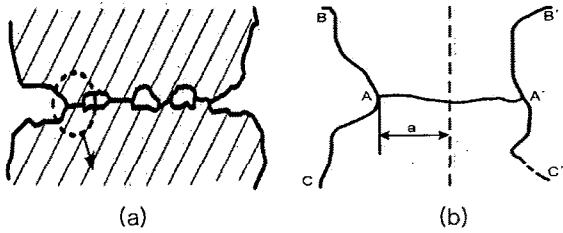


그림 1. Elementary contact point of radius a ((a) cross-section of contacts, (b) contact point of radius a)

도체의 접촉부에는 접촉저항(R_c :contact resistance)이 존재하고 이는 집중저항(R_e :constriction resistance)과 경계저항(R_i : film resistance)으로 구성된다. 집중저항(R_e)이란 전류의 통로가 좁아짐으로 해서 생기는 저항을 말하며 접촉력이 클수록, 도체의 저항률이 작을수록, 금속의 경도가 낮을수록 작아지며, 경계저항(R_i)은 도체가 외부 공기에 노출됨으로 해서 생기는 산화막 형성 등에 의한 저항을 말한다. 집중저항(R_e)과 경계저항(R_i)의 계산식 (1)과 (2)로부터 접촉저항(R_c)의 계산식은 (3)으로 나타낼 수 있다. 여기서 ρ 는 금속의 저항, n 은 접촉점의 수, a 는 도체의 지름, σ_0 는 터널저항(표면저항)을 나타낸다[8].

$$R_e = \frac{\rho}{2na} \dots\dots\dots (1)$$

$$R_i = \frac{\sigma_0}{n\pi a^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_c = R_e + R_i = \frac{\rho}{2na} + \frac{\sigma_0}{n\pi a^2} \dots\dots\dots (3)$$

표 1은 대표적인 도전재료인 구리(copper), 은(silver) 및 알루미늄(aluminium)의 터널저항을 나타낸 것이다. 앞의 계산식 (1)~(3) 으로부터 접촉저항 값을 얻기는 현실적으로 어려움이 있으며 일반적으로 접촉(접속)부를 통해 흐르는 전류와 접촉(접속)부 사이의 전압 강하를 측정하여 계산한다.

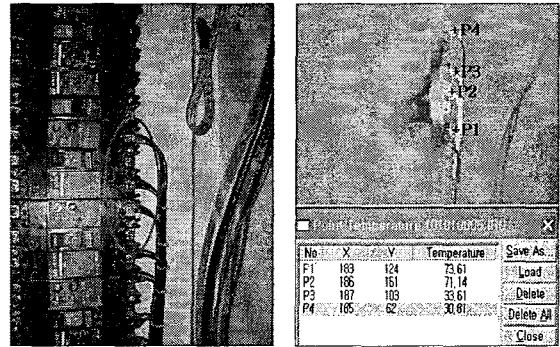
표 1. 대표적인 도전재료의 터널 저항

metal	state	tunnel resistivity($\sigma_0, \Omega m^2$)
copper	new	$2 \times 10^{-12} \sim 3 \times 10^{-11}$
	oxidised	10^{-10}
	tinned	$10^{-12} \sim 4 \times 10^{-11}$
silver	-	$4.6 \times 10^{-13} \sim 4 \times 10^{-12}$ 2.5×10^{-11}
aluminium	-	$7 \times 10^{-11} \sim 10^{-9}$

3. 이상발열에 의한 화재 위험성 조사

그림 2는 현장에 설치된 전력용 분전함 내 차단기의 발열 상황을 적외선열화상장비를 이용하여 측정, 분석한 것으로 부하측 단자(○부분)에서 70℃이상으로 발열하고 있

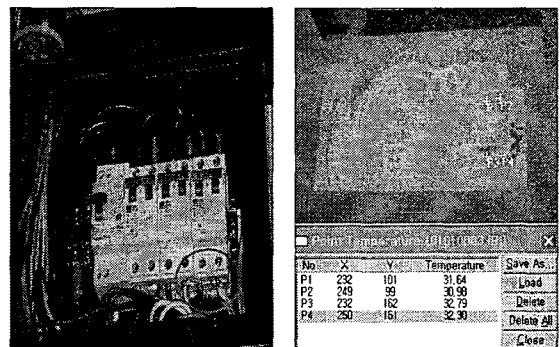
음을 알 수 있었으며 발열에 의한 전기재해의 예방을 위해 즉각적인 조치가 요구된다.



(a) 분전함의 모습 (b) 이상 발열 측정

그림 2. 분전함 내 차단기의 이상발열 측정(1)

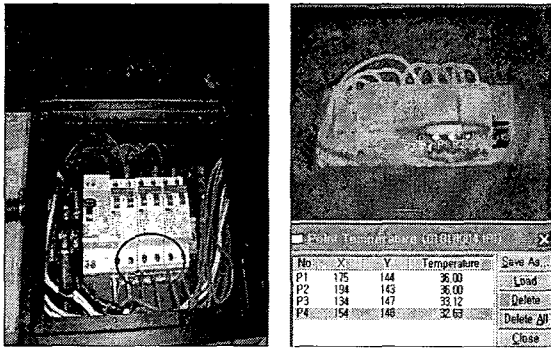
그림 3은 복합상가에 설치된 분전함 내 차단기의 발열 상황을 측정 한 것으로 전반적으로 입출력 전선에서 30℃ 이상의 열이 발생하고 있으며 최우측 차단기의 부하측 단자(○부분)가 다른 부분보다 약간 높게 열이 발생하고 있다. 이는 부하의 편중이나 접속품질의 저하가 원인으로 판단된다.



(a) 분전함의 모습 (b) 이상 발열 측정

그림 3. 분전함 내 차단기의 이상발열 측정(2)

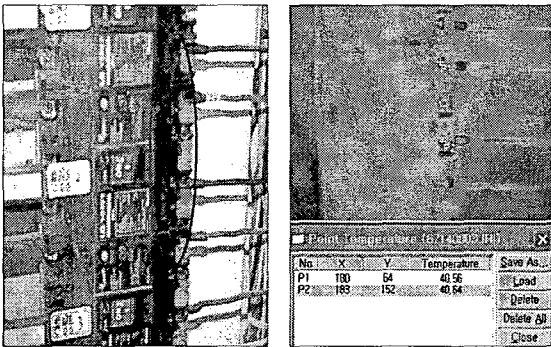
그림 4는 그림 3과 같이 주상복합상가에 설치된 분전함 내 차단기의 발열 상황을 측정 한 것으로 우측 2번의 차단기 부하측(○부분)의 발열이 다른 부분에 비해 심하게 발생하고 있음을 알 수 있다. 이는 부하의 편중이나 체결불량이 원인이며 부하 편중의 경우 각 차단기 별로 적절하게 부하를 분담하도록 하거나 전선의 체결불량의 경우 단자사리의 체결 토크를 규정된 값 이상으로 체결력을 확보할 필요가 있다.



(a) 분전함의 모습 (b) 이상 발열 측정

그림 4. 분전함 내 차단기의 이상발열 관측(3)

그림 5는 전력용 분전함 내 차단기의 이상 발열을 측정 한 것으로 부하전류는 10.5A로 측정되었으며 전원측 보다는 부하측 단자의 발열이 심함을 알 수 있었다. 이는 부하측 전선을 접속하는 접속단자의 체결력 저하에 의한 접촉저항 증가로 발열이 발생한 것으로 사료되며 차단기 단자나사의 지름에 따른 적정 토크의 체결과 체결력의 유지가 요구된다.



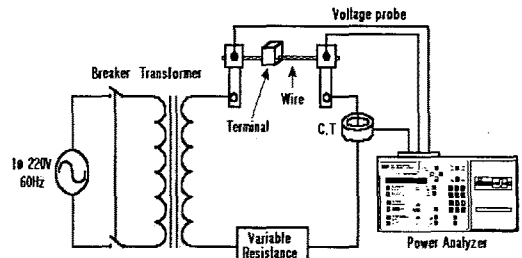
(a) 분전함의 내부 모습 (b) 이상 발열 측정

그림 5. 분전함 내 차단기의 이상발열 관측(4)

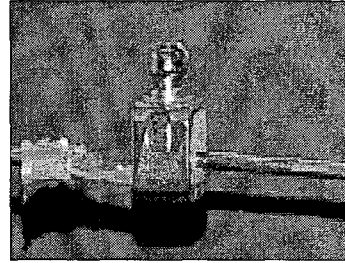
4. 실험 및 분석

4.1 실험 방법

그림 6(a)는 저압용 차단기 단자에서의 접속불량시 이상발열과 전기적 특성을 측정하기 위한 실험장치의 개략도이다. 실험전원으로는 단상 220V 60Hz를 사용하였으며, LR부하장치(LR-30AE, Dahwa.Eng., Korea)를 이용하여 부하전류를 각각 2A, 3A, 4A로 조정하였다. 실험에는 단상 220V 누전차단기(30A, 30mA, 30ms)를 사용하였으며 전선을 접속하는 차단기의 단자를 차단기에서 분리하여 그림 6(b)과 같이 단자에 1.6mm의 나동선을 접속한 후 외부에서 바이브레이터(가진기)를 이용하여 접속 불량을 일으켰다. 이때 단자의 발열 상황은 적외선열화상장비(TVS-8500, Avio, Japan)를 이용하여 측정하였으며 단자와 접속 전선사이의 전기적 특성은 정밀전력분석계(AR110A, Yokogawa, USA)를 이용하여 측정, 분석하였다.



(a) 실험장치의 개략도



(b) 차단기 단자와 전선의 접속 상태

그림 6. 차단기 단자의 접속불량 실험 장치의 개략도

표 2는 누전차단기(KS C 4613)의 정격 전류에 따른 스팀드 나사의 호칭을, 표 3은 단자나사의 호칭에 따른 각각의 조임 토크를 나타낸 것이다[9]. 표 2와 3에서 알 수 있듯이 30A 이하의 누전차단기에는 M5의 스팀드 나사를 사용하며 이의 적정 조임 토크는 5 kg·cm임을 알 수 있다.

표 2. 정격 전류에 따른 나사 호칭(KS C 4613)

정격 전류 A	스팀드의 나사 호칭(최소)
30 이하	M5
30 초과 50 이하	M6
50 초과 100 이하	M10
100 초과 225 이하	M12
225 초과 400 이하	M20
400 초과 600 이하	M24
600 초과 1000 이하	M27
1000 초과 1200 이하	M30
1200 초과	- (*)

표 3. 단자나사에 따른 조임 토크(KS C 4613)

단자나사의 호칭	M3	M3.5	M4	M4.5	M5	M6	M8	M10 이상
조임토크 kg·cm	5	8	12	15	20	25	55	75

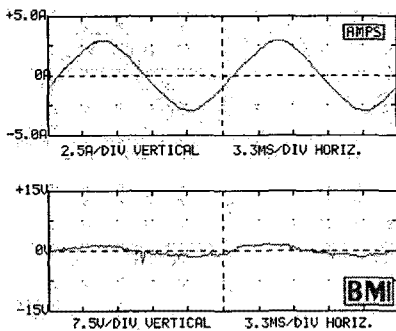
4.2 실험 결과 및 고찰

그림 7은 3A의 부하전류에서 단자의 발열 상태를 나타낸 것으로 중앙부분은 180℃ 이상의 온도로 발열함을 확인할 수 있었다. 이 상태로 지속하게 되면 단자 주위의 차단기 외함 절연재료가 탄화되고 또한 주위에 가연성 물질이 존재할 경우에는 화재의 위험이 있다.

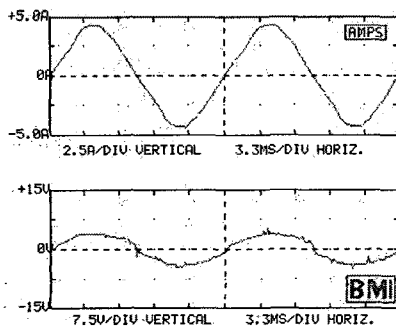


그림 7. 차단기 단자의 발열 상황(3A, 적외선 이미지)

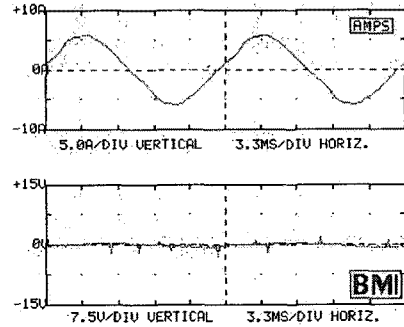
그림 8은 누전차단기 단자와 접속 전선 사이에 접촉 불량이 발생하였을 때의 전기적 특성을 나타낸 것이다. (a)~(c)는 접속부에서 진동에 의하여 황색의 불꽃이 발생할 때의 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. (a)의 2A 부하전류에서 접속부분에서의 전압강하는 1.0V, 소비전력은 1.864W였으며 (b)의 3A 부하전류에서는 3.1V의 전압강하와 9.329W의 소비전력을 나타냈다. 또한, (c)의 4A 부하전류에서는 0.5V의 전압강하와 0.879W의 소비전력을 나타냈다. 단자와 전선 접속부에서의 진동에 의한 발열과 아크가 발생하였으며 접촉면에서는 약간의 동산화물이 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 부하설비의 전원품질에 있어 이러한 접속 또는 접촉 불량에 의한 저항 증가는 접촉 불량 개소에서 전압강하가 발생하며 결과적으로 부하에 걸리는 전압을 분배함으로써 부하설비의 수명이나 정상적인 동작에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다.



(a) 2A 부하전류



(b) 3A 부하전류



(c) 4A 부하전류

그림 8. 부하전류에 따른 전압, 전류 파형 분석

5. 결론

이상과 같은 접촉저항에 대한 이론적 고찰과 현장 분전반의 발열 실측, 접속불량에 의한 차단기 단자의 이상발열 실험과 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 도체의 접속에 따른 접촉저항의 측정에 대하여 IEC 60943에서 언급하고 있으며 일반적으로 접속(접촉) 불량 부위 양단의 전압강하와 통전전류를 통하여 계산한다.
- 2) 분전반의 이상발열에 대한 현장 실측결과, 단자와 전선 접속부에서의 체결력 저하에 의한 발열과 부하의 편중에 의한 발열이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 분전반에서의 전기재해 예방을 위하여 차단기 단자 등 전선을 접속하는 부분은 규정된 체결토크를 유지할 수 있도록 하고 부하의 편중에 의한 발열이 발생하지 않도록 차단기의 용량과 전선의 굵기 등을 고려하여 부하분담을 재조정할 필요가 있다.
- 3) 차단기 단자접속부에서의 이상발열을 실험한 결과, 180℃ 이상으로 발열됨을 확인할 수 있었으며 국부적인 발열에 의해 기기의 소손과 축열에 의한 화재위험이 있음을 알 수 있었다.
- 4) 차단기 단자와 접속 전선 사이에서의 접속(접촉) 불량 발생시 전기적 특성을 분석한 결과, 접속 불량개소에서 전압 강하가 발생하였으며 접속불량개소에서 불필요한 전력이 소비됨을 확인할 수 있었다. 또한, 진동에 따른 아크와 더불어 약간의 산화물이 생성됨을 확인할 수 있었다.

분전반에서의 전기재해 예방을 위해 지속적인 점검과 더불어 관련 기술의 개발과 보급이 요구된다 하겠다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부에서 시행하는 전력산업연구개발사업(R-2007-2-234-01)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 소방방재청, "2007 및 2007.12월 화재 분석", 2008.
- [2] 김향곤, 최충석, 김동욱, 최효상, "비닐절연전선의 산화물 성장 특성과 화재조사에의 적용", 대한전기설비학회 논문지, 56P권, 1호, pp.37-44, 2007.
- [3] 최충석, 김향곤, 길형준, 김동욱, "Poor contact dependent characteristics of electric fire for terminal block", Transactions on Electrical and Electronics Materials, Vol.7 No.7, pp.571-576, 2006.
- [4] 堀田悦博, "亞酸化銅増殖發熱現象について", 日本火災學會誌, Vol.24, No.1, pp.52-58, 1974.
- [5] 科學警察研究所, "電氣的接續部における酸化物の生成と發光發熱現象", 科學警察研究所報告 法科學編, Vol. 49, No.1-2, pp.31-37, 1996.
- [6] 최충석, 김향곤, 김동욱, 김동우, "직렬아크에 따른 산화물 증식 및 전압파형 분석", 대한전기학회 논문지, Vol.55P. No.3, pp.146-152, 2006.
- [7] John J. Shea, "Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring", 51st IEEE Holm conference on Electrical Contacts 2005, pp.167-175. 2005.
- [8] IEC 60943, " Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals", 1998.
- [9] KS C 4613, 누전차단기, 2002.