

[Research Paper]

볼트풀림에 의한 터미널 블록의 접속부 발열 위험성 분석

연영모 · 김승희^{*†}

(주)메티스 연구소장, *한국기술교육대학교 IT융합SW공학과 교수

Analysis of the Risk of Heat Generation due to Bolt Loosening in Terminal Block Connector Parts

Yeong-Mo Yeon · Seung-Hee Kim^{*†}

Research Director, Research Division, METIS,

^{*}Professor, Dept. of IT Convergence Software Engineering, Korea Univ. of Technology & Education

(Received March 12, 2020; Revised April 7, 2020; Accepted April 9, 2020)

요 약

본 연구는 산업현장에서 사용되는 분전반 내 터미널 블록의 탄화 사고를 예방하기 위한 목적으로, 전선 접속부 볼트의 이상(Abnormal) 풀림 각도에 따라 변화하는 정상전류 및 과전류의 접속부 발열 위험성을 확인하고 열적 특성을 통해 위험성을 분석하였다. 이를 위하여 터미널 블록에 Resistance temperature detector (RTD) 센서 보드를 설치하여 실시간으로 터미널 블록의 발열 온도와 온도의 변화를 측정하는 새로운 기법을 적용하였다. 실험 결과 정격 전류가 작은 터미널 블록 모델의 발열 온도가 높게 나타남에 따라 부하전류에 따른 터미널 블록 용량 선정의 중요성을 확인하였다. 또한 정격전류가 높은 터미널 블록의 정격 전류가 높을수록, 이상 풀림 정도가 클수록 탄화점이 빨라짐을 확인하였다. 이러한 발열 온도 모니터링을 통해서 실시간 발열 온도를 측정할 수 있었고 열적 분석을 통해서 단계별 위험수위 설정이 가능함을 확인할 수 있었다. 본 연구의 탄화 위험성 측정 및 분석 결과는 탄화로 인한 화재 위험성에 대한 응용 연구의 이론적 기초를 제공할 수 있다. 또한 본 연구에서 새롭게 적용한 온도 센서 보드를 활용한 열화 측정 방법은 위험수준관리 및 전기적 접촉 불량으로 인한 화재 예방 활동에 광범위하게 적용 가능할 것으로 사료된다.

ABSTRACT

In this study, the risk of heat generation due to normal and overload currents that vary with the abnormal loosening angle of wire-connecting bolts were identified. The risks were analyzed based on the thermal characteristics to minimize the carbonization accidents of terminal blocks inside distribution panels typically used in industrial sites. We applied a method for measuring the heating temperature and temperature variations in the terminal blocks in real-time by installing a resistance temperature detector sensor board in the terminal block. The experimental results showed that the terminal block model with a low-rated current exhibited a higher heating temperature, thus, confirming the need to select the terminal block capacity based on load currents. Additionally, the higher the rated current of the terminal block with a high-rated current and the higher the degree of loosening, the faster the carbonization point. Such heating temperature monitoring enabled real-time thermal temperature measurement and a step-by-step risk level setting through thermal analysis. The results of the measurement and analysis of carbonization risks can provide a theoretical basis for further research regarding the risk of fire due to carbonization. Furthermore, the deterioration measurement method using the temperature sensor board developed in this study is widely applicable to prevent fires caused by poor electrical contact as well as risk-level management.

Keywords : Terminal block, Screw torque, Fire protection, Electric fire, Fire risk analysis

[†] Corresponding Author, E-Mail: sh.kim@koreatech.ac.kr. TEL: +82-41-560-1357, FAX: +82-41-640-8719

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

1. 서 론

분전반 내부의 배선 계통에서 단락 사고와 누전사고를 방지하기 위해 분전반 내에는 배선용 차단기(Molded case circuit breaker) 및 누전 차단기(Earth leakage circuit breaker)가 설치되어 있고, 다수의 전선 접속을 원활히 하고 유지 보수를 용이하게 하기 위해서 터미널 블록을 사용하고 있다⁽¹⁾.

터미널 블록이란 케이블 등 도선의 상호 접속을 용이하게 하기 위해 복수 개의 단자를 절연 재료의 판에 집중 고정된 배선 부품으로⁽²⁾, 전선의 접속, 분기 또는 중계를 목적으로 전선 접속 부를 가진 도전체(부스바)와 그것을 유지하는 절연체를 조합하여 접속단자로 구성되어 있다.

Figure 1은 터미널 블록의 구조를 보여주고 있다. 접속 단자 윗부분은 터미널 블록의 접속별 전기배선을 확인할 수 있는 기명판(Marking strip)을 끼울 수 있고 안전을 위해서 Dust cover를 사용하게 된다. 그런데 산업현장 분전반 내 터미널 블록의 탄화 사고로 설비의 안정성 저하를 초래하고 있어 이러한 안전사고를 예방하기 위해 분전반 관리자는 일상점검을 통해서 관리표준서를 기준으로 활선 상태의 분전반을 개방하고 열화상 카메라로 분전반 내 접속 부위 온도를 확인하고 있다.

Table 1은 소방청 국가화재정보 센터의 2015년에서 2019년도 사이의 화재현황 통계이다. 이에 따르면 총 전기적 요인에 의한 화재건수는 47,114건으로, 이중 접촉 불량에 의

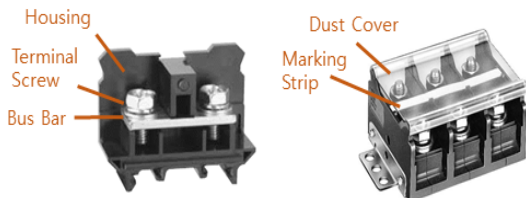


Figure 1. Terminal block structure.

한 단락 사고는 5,117건으로 나타나있다. 그러나 접촉 불량으로 발열과 동반되는 절연 열화, 트래킹에 의한 사고까지 합하면 21,808건으로 전체의 46.2%에 해당된다.

전기화재의 원인 중 접촉 불량에 의한 화재는 전기 기기의 접속부에서 체결 불량이나 진동 등에 의한 이완으로 접촉 불량이 발생하게 되어 그 부분에서 접촉저항이 증가하게 되고, Joule 열($H[\text{cal}] = 0.24I^2Rt$)에 의해 국부적으로 온도가 상승하여 전선이나 주변의 가연물을 착화시켜 발생하는데, 가장 많이 발생하는 곳 중 한 곳이 터미널 블록 전선 접속부이다⁽³⁾.

절연 열화에 의한 단락이나 지락 등에 의해 아크가 병렬 회로에서 발생하는 경우, 단락으로 귀결되면서 매우 큰 전류가 흐리기 때문에 배선용 차단기(Molded case circuit breaker, MCCB) 또는 퓨즈에 의해 차단될 수 있다. 그러나 접촉 불량이나 반 단선 등에서 발생하는 직렬 회로에서의 아크에 의한 전류는 부하의 임피던스에 의해 제한되기 때문에 차단기 용량보다 낮은 전류 값일 경우에도 차단되지 않기 때문에 온도 변경 상황에 대한 관리가 필요하다⁽⁴⁾.

특히, 터미널 블록 탄화 사고의 원인들 중, 조임 토크 불량에서 기인한 접속 부분의 절연 열화, 트래킹, 접촉 불량, 과전류 발생으로 인한 발열 사고가 흔히 발생되고 있다. 이를 감지하는 방법으로는 접속 방식의 열전대를 측정 방법과 비접촉 방식의 적외선 열화상 장치를 사용한 측정 방법 등이 있다. 그러나 터미널 블록의 접속부의 온도 감지를 상시적으로 실시하고, 감지하기에는 비용과 공간 등에 한계가 있다.

본 논문에서는 터미널 블록 상단에 온도센서 보드를 설치하여 터미널 블록 단자에 발열된 열을 터미널 블록 상측부의 온도 센서 보드를 통해서 방사 온도를 측정하여 온도의 변화를 감지하는 방법을 제안하고, 이상조임 풀림과 부하전류를 변수로 하여 정상조임 토크와 이상조임 풀림에 따른 열적 특성을 측정하였다. 도출된 결과를 바탕으로 터

Table 1. National Fire Information Center Fire Status Statistics

Cause of accident	2019	2018	2017	2016	2015	Total
Overload / Overcurrent	781	1,075	870	928	871	4,525
Electric leakage and ground fault	317	389	317	329	326	1,678
Unidentified Short Circuit	2,494	2,551	2,455	2,091	2,170	11,761
Disconnection	200	223	184	173	151	931
Short circuit by press / Damage	562	646	582	571	606	2,967
Short circuit by insulation deterioration	2,236	2,617	2,362	2,334	2,290	11,839
Short circuit by loose connection	1,054	1,139	994	980	950	5,117
Layer short circuit	105	95	92	96	97	485
Short circuit by tracking	1,068	1,168	894	923	799	4,852
etc. (Electrical factors)	621	568	514	537	719	2,959
Total	9,438	10,471	9,264	8,962	8,979	47,114

*Unit : Quantity

미널 블록 전선접속부의 부하전류와 조임 토크에 따른 탄화 위험성 수위를 분석하고자 한다.

2. 기존의 연구

먼저 차단기(MCCB) 관련 연구를 살펴보면, Kim 등⁽⁵⁾은 차단기 접속부의 직렬 아크와 부하전류의 온도 특성을 분석하는 연구를 통해 접촉 불량 시 아크 온도를 측정하여 접속부 간극이 발생한 두 도체를 전기적 추가 연결로 해결하는 방안을 제안하였다. 본 연구와 비교하여 부하전류의 접속부 온도를 측정한다는 점에서 유사하지만, 본 연구는 토크 조임과 같은 규격을 정의하고 볼트 풀림 각도 별 실험을 진행하였다. 또한 실험 시 온도 측정 방법에 있어서도 열화상 카메라가 아닌 터미널 블록의 RTD 센서 보드를 통해 온도 변화를 직접 측정하는 새로운 기법을 적용하여 열적 분석을 수행한다는 점에서 차이가 있다.

Kim 등⁽⁶⁾은 MCCB 차단기 단자 접속부의 접촉 불량에 의한 과열 사고 방지 기법에 관한 연구를 수행하여, MCCB 및 단자대 접속부의 접촉 불량에 의한 소손 특성을 분석하고, 발열 특성을 감지하여 화재를 예방할 수 있는 기법들이 제시하였다. 그러나 기존 터미널 블록을 활용한 온도 측정 방법이 아니며, 실시간 온도 변화에 대한 분석도 수행되지 않았다. Kim 등⁽⁵⁾은 터미널 블록 나사 조임 토크에 따른 전선접속부의 열적 특성에 관한 연구로써 터미널 블록 10 A, 20 A, 30 A에 정상조임토크의 5%에 해당하는 토크로 이상 조임토크로 설정하면 터미널 블록(10 A)의 최대 ΔT 는 5.3 °C, 터미널 블록(20 A)의 최대 ΔT 는 13 °C, 터미널 블록(30 A)의 최대 ΔT 는 19 °C로 크게 발생하여 터미널 블록 전선 접속부의 조임 토크에 따른 화재발생 가능성을 분석함으로써 화재 예방을 위하여 조임 토크 관리의 중요성을 강조하였다. 본 연구와 매우 유사한 접근 방법을 취하고 있으나, 본 실험은 실제 산업 현장의 설비 분전반과 유사한 높은 전류인 30 A~80 A 용량의 실험을 통해 보다 실무적 측면의 화재 위험성 분석 실험을 수행함으로써, 측정된 온도 변화 실험의 결과 자체는 유사 화재 관련 응용 연구의 이론적 기초를 제공할 수 있다. 또한 본 연구에서는 터미널 블록에 Resistance temperature detector (RTD) 센서 보드를 시제품으로 제작하여 설치하고, 온도를 모니터링하는 방법을 사용하였다는 측면에서 차이가 있다.

Hadziefendic 등⁽⁷⁾은 저전압 전기 설비에서의 불량 접점에 대한 감지(Detection of poor contacts in low-voltage electrical installations) 연구에서 저전압 전기설비에서 사용하는 콘센트의 부식과 토크 감소 영향으로 와이어단자 연결부의 접촉 저항을 측정하는 방법을 통해 접촉 불량 여부를 감지할 수 있는 방법을 제시하였다. Hadziefendic 등⁽⁸⁾은 플러그 및 리셉터클의 전기 접촉 가열 시 감소된 토크의 효과에 관한 연구(Effects of a reduced torque on heating of electrical contacts in plugs and receptacles)를 통하여 콘센트

내 플러그와 와이어 연결부에 3가지의 다른 조임 토크(1 Nm, 0.2 Nm, 0.1 Nm)와 전류(8 A, 13 A, 16 A)를 인가하여 열적변화를 분석하고 접촉저항 측정 방식으로 접촉 불량을 예측하였다. 본 연구와 실험 조건은 유사하지만 접속부 접촉저항 측정 방식이 아닌 발열 온도를 실시간 모니터링하는 방식으로 탄화 위험정보를 제공하는 방식에서 차이가 있다.

이상에서 살펴본 연구들은 우리의 연구와 비교하여 다음과 같은 차이가 있다. 먼저, 실험 시료 측면에서의 차이점으로 산업현장 분전반에서 사용을 하고 있는 30 A~80 A의 터미널 블록을 사용한다. 둘째, 실험 조건 측면에 있어 정상 토크 조임과 같은 규격을 정의한 후 볼트 풀림 각도 조건을 세분화하고 대전류 발생 시험기를 사용하여 탄화 사고와 유사한 조건으로 실험을 진행한다. 셋째, 터미널 블록의 온도 측정 방법과 관련하여, 기존 연구들과 달리 RTD 센서 보드를 제작 및 설치하여 직접적인 온도 변화를 전용 모니터링 시스템을 통해 실시간 측정함으로써 화재 위험성에 대한 분석을 넘어 화재 발생의 가장 큰 원인인 탄화 사고 예방을 위한 적용 방안으로써의 가능성도 검증하였다.

3. 연구 방법

3.1 실험 및 장비

본 연구에서 터미널 블록의 이상 볼트 조임 발열 특성을 분석하는 실험을 위해서 터미널 블록을 선정하여 볼트 풀림 각도 (0°, 45°, 90°, 180°) 마다 부하전류를 다르게 입력하여 실험하였다. 이를 위해 터미널 블록은 Table 2와 같이 반도체 라인 내 전원공급 분전반에서 사용하는 IDEC⁽⁹⁾ 터미널 블록 BN30W, BN50W, BN75W를 사용하였다. 즉, 터미널 블록 내 토크 드라이버로 정상 토크 작업을 한 후 볼트 풀림 각도를 설정하고 대전류 발생 시험기를 통해 부하전류를 다르게 발생시킴으로써 토크에 발생하는 온도 변화를 측정하였다. 실험의 안전을 위해서 배선용 차단기의 용량 및 부하전류를 고려하여 KSC 터미널 블록 제조사 (IDEC) 60502-1 VDE 전선을 사용하였다.

IDEC에서 규정하는 Tightening torque 규격에 따라서 터미널 블록 접속부의 나사를 정상 조임 토크의 기준으로 조이기 위해서 Table 3과 같이 TOHNICHI 225QL3 모델 토크 드라이버를 사용하였다. 터미널 블록의 전선접속부의 접촉 불량에 의한 열적 특성을 실험 확인하기 위해 Figure 2와 같이 대전류 발생 시험기(모델명DY-303-3)를 사용하였다. 터미널 블록 전선 접속부에 발열된 복사열을 상측 온도센서 보드에서 Resistance temperature detector (RTD, 모델명 : NCP18XH103J)을 사용하여 온도를 측정하였고 Table 4와 같이 컨트롤부로 취합된 온도 데이터는 외부 단자(RS-485 통신)를 통해서 상단부로 전송하여 모니터링하였다.

Table 2. Specification of Terminal Blocks




Terminal block	IEC BN30W	IEC BN50W	IEC BN75W
MCCB	50 A (NV63-SV)	75 A (BW125JAG)	100 A (NV-125-SW)
WIRE	KS IEC 02 VDE 6.0 mm ²	KS IEC 02 VDE 16 mm ²	KS IEC 02 VDE 26 mm ²
Terminal screw	M4	M5	M6
Tightening torque (kgf·cm)	14.28 to 20.4	26.52 to 37.7	39.7 to 55.8
Rated current (UL/CSA ratings)	35 A	50 A	80 A
Wire size (AWG)	18-10	16-6	16-4
Image			

Table 3. Specification of Torque Driver


Model	Ranges (kgf·cm)	Image
TOHNICHI 225QL3	50~250 (Unit : 2.5)	

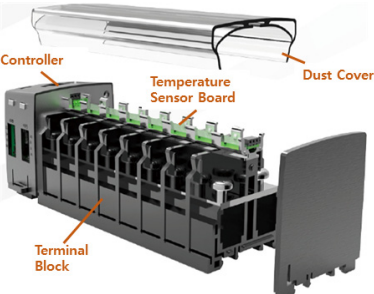
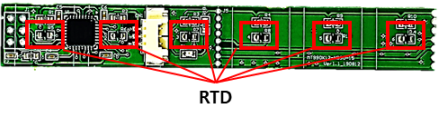


Figure 2. Large current generation tester.

3.2 실험 조건 및 방법

실험은 주위 온도 25 °C 상태에서 실시를 하였다. Figure 3 과 같이 대전류 발생 시험기 출력단 R, S, T 3상을 Figure 4의 터미널 블록 상측(적색, 노랑색, 파랑색)에 접속하고 쇼트 바를 터미널 블록 하단(반대편) R, S, T 상에 연결하여 대전류 발생 시험기 N상과 접속한다. 실험은 BN30W, BN50W, BN 75W 터미널 블록 각각에 대하여 R상 볼트의 이상 풀림 각

Table 4. Terminal Block Temperature Measurement Environment

Items	Featrues
Test image	
Temperature sensor board	

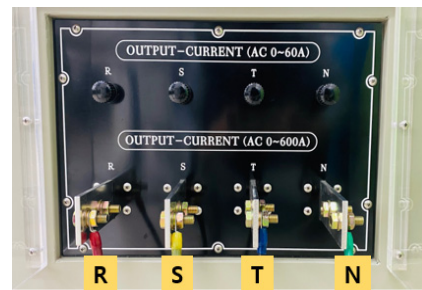


Figure 3. High current generator.

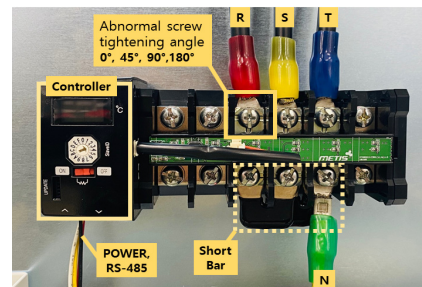


Figure 4. Wiring.

도를 0°, 45°, 90°, 180° 4단계로 설정하여 4시간마다 총 12 회 온도 변화를 측정하였다.

3.3 BN30W 터미널 블록 실험

BN30W 터미널 블록은 Figure 4와 같이 정격 와이어(AWG 18-10)를 Table 2의 터미널 블록 제조사의 사양에 따라 토크 드라이버를 사용하여 정상 조임 토크 14.28 (kgf·cm)에서 20.4 (kgf·cm)로 작업 후 대전류 발생 시험기와 연결하였다. 상세 실험 조건은 Table 5와 같으며, R상 볼트의 이상 풀림 각도를 0°, 45°, 90°, 180° 4단계로 설정하고 24 A, 30 A, 36 A 전류를 인가하여 4시간마다 온도 변화를 측정하였다.

Table 5. BN30W Terminal Block Experimental Conditions

Model	BN30W											
Input current	24 A				30 A				36 A			
Abnormal screw tightening angle (°)	0	45	90	180	0	45	90	180	0	45	90	180
Test time (H)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Table 6. BN50W Terminal Block Experimental Conditions

Model	BN50W											
Input current	40 A				50 A				60 A			
Abnormal screw tightening angle (°)	0	45	90	180	0	45	90	180	0	45	90	180
Test time (H)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Table 7. BN75W Terminal Block Experimental Conditions

Model	BN75W											
Input current	60 A				75 A				90 A			
Abnormal screw tightening angle (°)	0	45	90	180	0	45	90	180	0	45	90	180
Test time (H)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

3.4 BN50W 터미널 블록 실험

BN50W 터미널 블록은 Figure 4와 같이 정격 와이어 (AWG 16-6)를 Table 2의 터미널 블록 제조사의 사양에 따라 토크 드라이버를 사용하여 정상 조임 토크 26.52 (kgf·cm)에서 37.7 (kgf·cm)로 작업 후 대전류 발생 시험기와 연결하였다. 상세 실험 조건은 Table 6과 같으며, R상 볼트의 이상 폴림 각도를 0°, 45°, 90°, 180° 4단계로 설정하고 40 A, 50 A, 60 A 전류를 인가하여 4시간마다 온도 변화를 측정하였다.

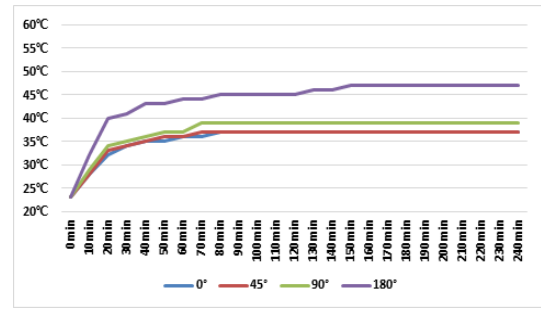
3.5 BN75W 터미널블록 실험

BN75W의 터미널 블록은 Figure 4와 같이 정격 와이어 (AWG 16-4)를 Table 2의 터미널 블록 제조사의 사양에 따라 토크 드라이버를 사용하여 정상 조임 토크 39.7 (kgf·cm)에서 55.8 (kgf·cm)로 작업 후 대전류 발생 시험기와 연결하였다. 상세 실험 조건은 Table 7과 같으며 R상 볼트의 이상 폴림 각도를 0°, 45°, 90°, 180° 4단계로 설정하고 60 A, 75 A, 90 A 전류를 인가하여 4시간마다 온도 변화를 측정하였다.

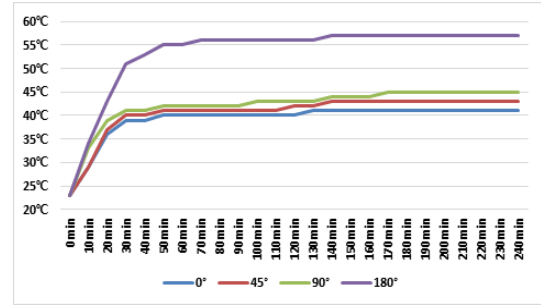
4. 실험 결과

4.1 BN30W 터미널 블록 실험 결과

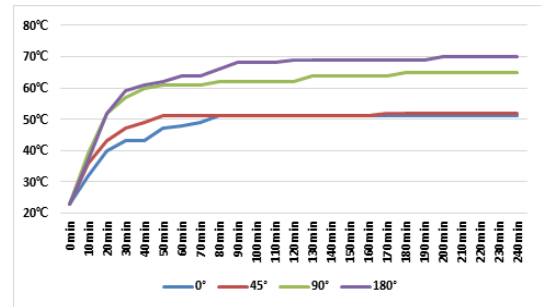
BN30W 터미널 블록에 24 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정된 결과 Figure 5(a)와 같이 터미널 블록 볼트 0°폴림에서 37 °C, 45°폴림에서 37 °C, 90°폴림에서 39 °C, 180°



(a) BN30W (Current 24 A)



(b) BN30W (Current 30 A)



(c) BN30W (Current 36 A)

Figure 5. The temperature change of BN30W terminal block.

폴림에서 47 °C로 온도가 상승하였다.

BN30W 터미널 블록에 30 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정된 결과 Figure 5(b)와 같이 터미널 블록 볼트 0°폴림에서 41 °C, 45°폴림에서 43 °C, 90°폴림에서 45 °C, 180°폴림에서 57 °C로 온도가 상승하였다. BN30W 터미널 블록에 36 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정된 결과 Figure 5(c)와 같이 터미널 블록 볼트 0°폴림에서 51 °C, 45°폴림에서 52 °C, 90°폴림에서 65 °C, 180°폴림에서 70 °C로 온도가 상승하였다.

터미널 블록 BN30W는 정상 조임 토크에서는 4시간 실험 결과 Table 8과 같이 24 A (37 °C), 30 A (41 °C), 36 A (51 °C)의 발열을 확인하였고, 이상 폴림 각도 45°에서는 24 A (ΔT 0 °C), 30 A (ΔT 2 °C), 36 A (ΔT 1 °C) 전류에서는 온도 변화가 작게 나타났다. 그러나 이상조임 각도가 90°에서부터는 24 A (ΔT 2 °C), 30 A (ΔT 4 °C), 36 A (ΔT 14 °C)로 온도 변화 확인이 가능하여 접속부의 정상조임 토크 기준보다 이상조임 각도가 커질수록 발열 특성이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이것을 그래프로 가시화하면 Figure 6

Table 8. BN30W Test Results

Model	Abnormal screw tightening angle	Input current (°C)			Temperature difference (°C)		
		24 A	30 A	36 A	ΔT	ΔT	ΔT
BN30W	0°	37	41	51	0	0	0
	45°	37	43	52	0	2	1
	90°	39	45	65	2	4	14
	180°	47	57	70	10	16	19

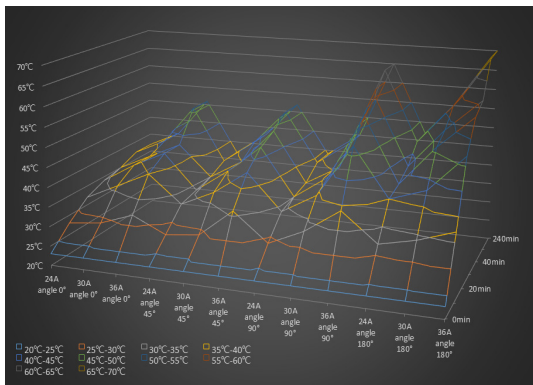


Figure 6. BN30W torque and current temperature.

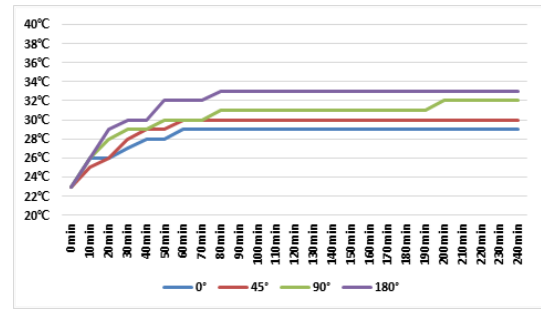
과 같다. 결론적으로 열적 분석을 통해서 BN30W 터미널 블록 부하전류 별 정상 발열 기준을 설정할 수 있으며 Figure 8의 4개의 꼭짓점 온도는 단계적 위험수위의 기준점이 된다.

4.2 BN50W 터미널 블록 실험 결과

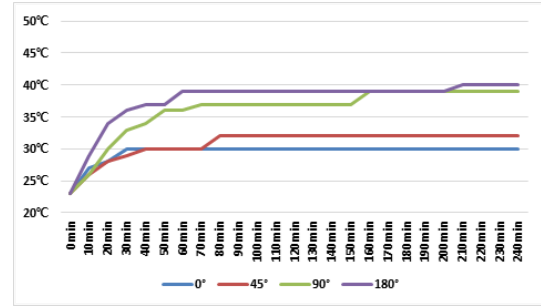
BN50W 터미널 블록에 40 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정한 결과 Figure 7(a)와 같이 터미널 블록 볼트 0°풀림에서 29 °C, 45°풀림에서 30 °C, 90°풀림에서 32 °C, 180°풀림에서 33 °C로 온도가 상승하였다. BN50W 터미널 블록에 50 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정한 결과 Figure 7(b)와 같이 터미널 블록 볼트 0°풀림에서 30 °C, 45°풀림에서 32 °C, 90°풀림에서 39 °C, 180°풀림에서 40 °C로 온도가 상승하였다. BN50W 터미널 블록에 60 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정한 결과 Figure 7(c)와 같이 터미널 블록 볼트 0°풀림에서 36 °C, 45°풀림에서 37 °C, 90°풀림에서 41 °C, 180°풀림에서 49 °C로 온도가 상승하였다.

터미널 블록 BN50W는 정상조임 토크에서는 4시간 실험 결과 Table 9와 같이 40 A (29 °C), 50 A (30 °C), 60 A (36 °C)의 발열을 확인하였고, 이상 풀림 각도 45°에서는 40 A (ΔT 1 °C), 50 A (ΔT 2 °C), 60 A (ΔT 1 °C) 전류에서는 온도 변화가 작게 나타났다.

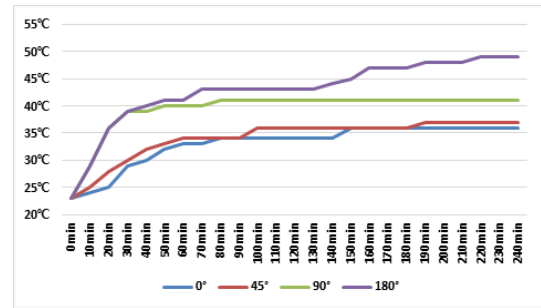
하지만 이상 풀림 각도 90°에서부터는 40 A (ΔT 3 °C), 50 A (ΔT 9 °C), 60 A (ΔT 5 °C)로 온도 변화 확인이 가능하여 접속부의 정상조임 토크 기준보다 이상조임 각도가 커질수록 발열 특성이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이것



(a) BN50W (Current 40 A)



(b) BN50W (Current 50 A)



(c) BN50W (Current 60 A)

Figure 7. The temperature change of BN50W terminal block.

을 그래프로 가시화하면 Figure 8과 같다. 결론적으로 열적 분석을 통해서 BN50W 터미널 블록 부하전류 별 정상 발열 기준을 설정할 수 있으며 Figure 12의 4개의 꼭짓점 온도는 단계적 위험수위의 기준점이 된다.

4.3 BN75W 터미널 블록 실험 결과

BN75W 터미널 블록에 60 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정한 결과 Figure 9(a)와 같이 터미널 블록 볼트 0°풀림에서 28 °C, 45°풀림에서 37 °C, 90°풀림에서 39 °C, 180°풀림에서 40 °C로 온도가 상승하였다. BN75W 터미널 블록에 75 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정한 결과 Figure 9(b)와 같이 터미널 블록 볼트 0°풀림에서 30 °C, 45°풀림에서 41 °C, 90°풀림에서 42 °C, 180°풀림에서 43 °C로 온도가 상승하였다. BN75W 터미널 블록에 90 A 전류를 4시간 동안 인가하여 측정한 결과 Figure 9(c)와 같이 터미널 블록 볼트 0°풀림에서 34 °C, 45°풀림에서 51 °C, 90°풀림에서 52 °C, 180°풀림에서 58 °C로 온도가 상승하였다. 터미널 블록

Table 9. BN50W Test Results

Model	Abnormal screw tightening angle	Input current (°C)			Temperature difference (°C)		
		40 A	50 A	60 A	ΔT	ΔT	ΔT
BN50W	0°	29	30	36	0	0	0
	45°	30	32	37	1	2	1
	90°	32	39	41	3	9	5
	180°	33	40	49	4	10	13

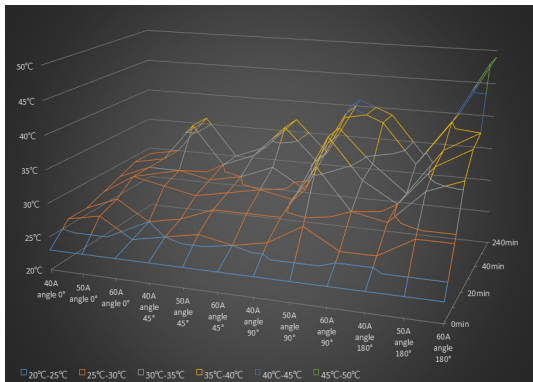


Figure 8. BN50W torque and current temperature.

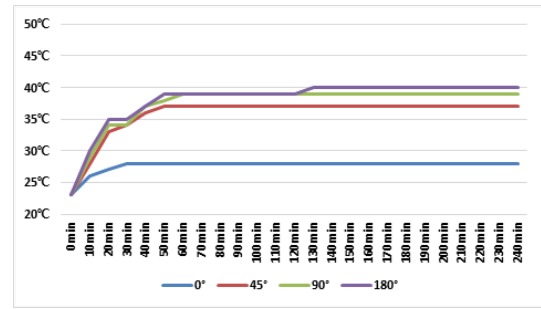
BN75W는 정상조임 토크에서는 4시간 실험 결과 Table 10과 같이 60 A (28 °C), 75 A (30 °C), 90 A (34 °C)의 발열을 확인하였고, 실험한 터미널 블록 중 발열 온도가 가장 낮았다.

그리고 이상 풀림 각도 45°에서는 60 A (ΔT 9 °C), 75 A (ΔT 11 °C), 90 A (ΔT 17 °C) 전류마다 온도변화가 크게 나타나고 있어 접속부의 정상조임 토크 기준보다 이상조임 각도가 커질수록 발열 특성이 가장 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이것을 그래프로 가시화하면 Figure 10과 같다. 결론적으로 열적 분석을 통해서 BN75W 터미널 블록 부하전류 별 정상 발열 기준을 설정할 수 있으며 Figure 10의 3개의 꼭짓점 온도는 단계적 위험수위의 기준점이 된다.

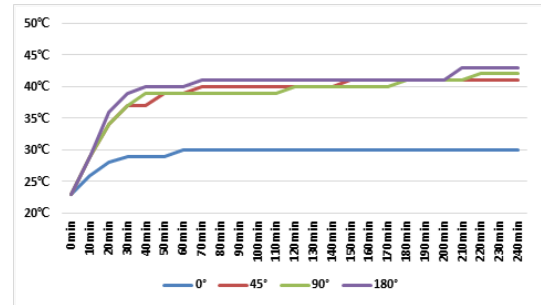
5. 결 론

온도센서 보드를 이용하여 터미널 블록 조임 토크의 풀림각도와 부하전류에 따른 열적 특성을 측정한 결과 다음과 같은 시사점을 도출하였다.

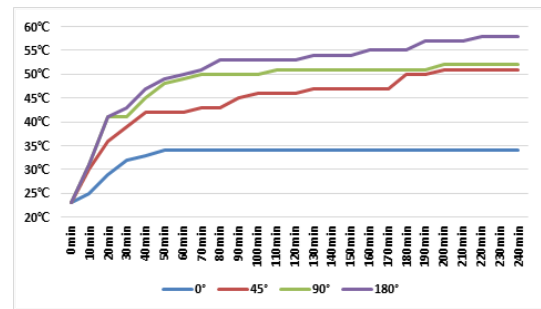
첫째, Table 8, 9, 10에서와 같이 부하전류 변화, 이상 풀림 각도에 따라서 열적 변화가 있음을 확인하였으며 정상조임 토크에서 BN30W 24 A (37 °C), BN50W 40 A (29 °C), BN75W 60 A (28 °C) 로서 정격전류가 작은 BN30W 모델의 발열 온도가 크게 나타남을 확인하였다. 이는 최초 설비 구축 시 부하전류에 따른 터미널 블록의 용량 선정이 중요하다 하는 것을 확인할 수 있는 실험 결과이다. 둘째, Figure 11



(a) BN75W (Current 60 A)



(b) BN75W (Current 75 A)



(c) BN75W (Current 90 A)

Figure 9. The temperature change of BN75W terminal block.

Table 10. BN75W Test Results

Model	Abnormal screw tightening angle	Input current (°C)			Temperature difference (°C)		
		60 A	70 A	90 A	ΔT	ΔT	ΔT
BN75W	0°	28	30	34	0	0	0
	45°	37	41	51	9	11	17
	90°	39	42	52	11	12	18
	180°	40	43	58	12	13	24

과 같이 정격전류가 작은 BN30W 모델은 이상 풀림 각도가 90°에서 24 A (ΔT 2 °C), 30 A (ΔT 4 °C), 36 A (ΔT 14 °C) 로서 접속부 발열되는 온도 차이가 작게 나타나지만, Figure 12와 같이 정격전류가 큰 BN75W 모델은 이상 풀림 각도가 45°에서 60 A (ΔT 9 °C), 75 A (ΔT 11 °C), 90 A (ΔT 17 °C) 열적 변화가 크게 나타나고 있다. 이는 터미널 블록의 타화 위험 임계온도 설정을 터미널 블록의 모델과 부하

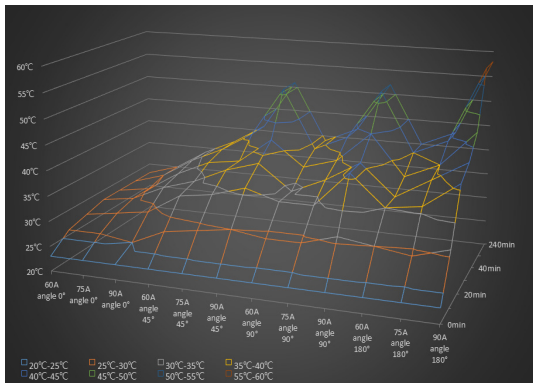


Figure 10. BN75W torque and current temperature.

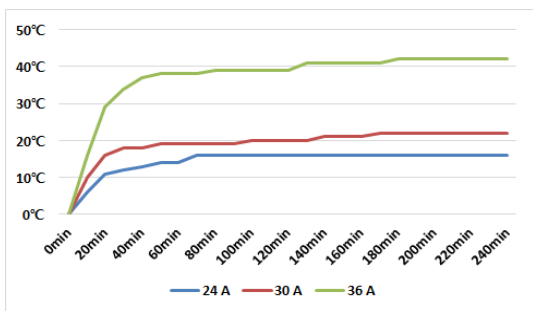


Figure 11. BN30W torque release 90°.

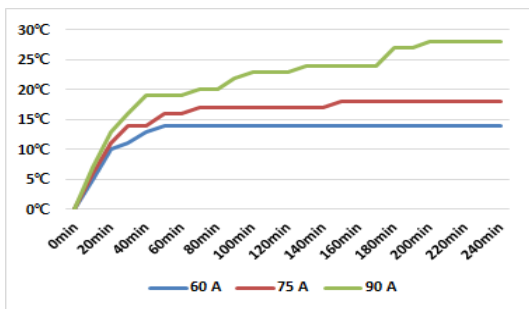


Figure 12. BN75W torque release 45°.

전류에 따라 다르게 설정할 필요가 있음을 시사한다. 종합적으로 볼 때, 정격전류가 높을수록, 이상 풀림이 커질수록 탄화점에 더 빨리 가까워진다 할 수 있다.

결론적으로, 실시간 온도 모니터링 시스템을 통해서 실시간 발열 온도 측정 분석하면 터미널 블록의 작업 불량과 노후화에 따른 환경요인을 감지하고 안전사고 사전 예방을 위한 단계별 위험수위 표준 설정으로 작업자의 일상점검의 부하를 줄이고 접촉 불량으로 인한 안전사고 예방에 도움이 되리라고 기대된다.

그러나, Hadziefendic 등⁽¹⁰⁾의 연구에 따르면 저전압 전기 설비의 전기접점 접촉 불량 실험에서 점점 재질과 접촉면적에 따라 발열 온도차가 다르게 발생을 한다. IDEC 터미널 블록 경우 Figure 1과 같이 Housing은 Modified PPE, Terminal screw는 Steel (Zinc chrome-plated), Bus bar는 Brass

(Nickel-plated)로 구성되어 있어 코팅물질 재료에 따라 온도 변화에 한계를 가지고 있어 제조사별로 온도 변화의 정도는 다르게 나타날 수 있다. 그리고 상기 실험은 터미널 블록 볼트 1개의 풀림에 따른 온도 변화를 측정하였으나, 다수의 볼트 풀림 조합 시 실제 발열 온도와 온도 변화의 폭은 다르게 발생할 수 있다. 또한 발열 온도의 정확한 변화를 측정하고 모니터링하기 위하여 반드시 설비 운전 이전에 실제 환경에서 터미널 블록의 현재 온도 측정을 포함하여 발열 온도 데이터를 추적하도록 유의가 요구된다.

본 연구는 온도센서 보드를 통하여 분전반 내 터미널 블록의 온도 모니터링과 열적 분석을 측정할 수 있음을 확인하였으며, 이를 통한 측정 결과는 탄화로 인한 화재 위험과 관련된 응용 연구의 이론적 기초를 제공할 수 있고 터미널 블록 작업의 불량 확인 및 설비 노화에 따른 안전사고 예방 등 접촉 불량으로 인한 화재 예방에 크게 기여할 것으로 사료된다.

향후에는 온도센서 보드에서 측정된 방사 온도를 통해서 접촉부 온도를 예측함으로써 화재 예방을 위한 사전 예보 시스템을 개발하는 한편, 부하전류도 함께 측정하여 복합적인 원인 하에서의 온도 측정 및 발열 온도 측정에 대한 연구도 추가로 진행할 예정이다.

References

1. D. K. Kwak, S. H. Choi, Y. J. Park and J. H. Kim, "A Study on Smart Distribution Panel for Electrical Fire Prevention", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, p. 245 (2015).
2. Naver, "Terminal Block, Electronic Terminology Dictionary", Editorial Board of a Monthly Electronic Technologies (1995).
3. S. K. Kim, S. W. Jee, S. M. Park and C. H. Lee, "A Study on the Thermal Characteristics of Wire Connection Part Depending on the Screw Torque", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 4, pp. 82-88 (2012).
4. D. H. Kim and D. K. Hwang, "Analysis of Electrical and Thermal Signal for Series Arc in Electrical Contact", Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 30, No. 5, pp. 1-7 (2015).
5. T. W. Kim, C. H. Park and S. I. Lee, "Characteristics & Fire Risk in Accordance with the Series Arcing in the Connecting Portion of the Circuit Breaker", Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2016, No. 7, pp. 1553-1554 (2016).
6. D. W. Kim, K. Y. Lee, H. W. Moon, H. K. Kim and C. S. Choi, "Research on Overheat Protection Techniques of Connection Parts of MCCB by Poor Contact", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 22, No. 4, pp. 54-60 (2008).

7. N. Hadziefendic, N. Kostic, J. Trifunovic and M. Kostic, "Detection of Poor Contacts in Low-Voltage Electrical Installations", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* Vol. 9, No. 1, pp. 129-137 (2018).
8. N. Hadziefendic, J. Trifunovic and M. Kostic, "Effects of a Reduced Torque on Heating of Electrical Contacts in Plugs and Receptacles", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 8, No. 11, pp. 1905-1913 (2018).
9. IDEC, "BN-W/BNH-W Series Terminal Blocks", pp. 1-5, <http://www.idec.com>, Accessed Feb. 17 (2020).
10. N. Hadziefendic, M. Davidovic, V. Djordjevic and M. Kostic, "The Impact of an Incomplete Overlap of a Copper Conductor and the Corresponding Terminal on the Contact Temperature", *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 7, No. 10, pp. 1644-1654 (2017).