

전기자동차 충전기의 누전차단기 감도 전류 Trip 방지를 위한 Joule Heating 시뮬레이션 방안연구

이병국¹, 어익수^{2*}

¹지엔텔, ²호남대학교 전기공학과

A Study on Joule Heating Simulation Method to Prevent Sensitivity Current Trip of Electric Vehicle Charger

Beoung-Kug Lee¹, Ik-soo Eo^{2*}

¹GNTEL Corporation

²Dept. of Electrical Engineering, Honam University

요약 본 논문에서는 충전 시 발생하는 누전차단기 Trip으로 충전 중단에 의한 전기자동차 사용자의 불편함을 방지하기 위한 것이다. 현장 사례연구로 충전기 고장(failure) 유형, 차종별 누설전류 측정실험, 누전차단기 동작 실험 시 여름철 충전기 내부 온도가 60 ℃ 이상까지 상승하여 누전차단기가 정격 감도 전류의 80%에서 Trip으로 충전 중단됨을 확인하였다. Joule Heating 모델링을 통하여 32A 전류를 초기 시간 t=0 (s)의 기준온도 30℃에서 통전하여 t=3000 (s)경과 후에는 누전차단기 충전부 주위에서 발열이 32.4℃까지 증가함을 시뮬레이션으로 확인하였으며, 통계 검증 tool을 활용하여 온도 및 시간(s) 요인이 발생 열량에 상관관계 0.97로 검증되었다. 본 논문의 연구 실험 결과는 충전기 기구 물개발 시 충전케이스의 재질, 내부 배선의 배치, 유전 매질에 따른 Joule Heating 시뮬레이션 수행으로 여름철 충전기 내부 온도 상승에 의한 누전차단기 감도 전류 Trip을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.

Abstract This study aimed to prevent inconvenience to electric vehicle users caused by an interruption of charging by the earth leakage breaker trip that occurs during charging. As a field case study, it was confirmed that during the battery charger failure type, leakage current measurement experiment by vehicle type, and leakage current breaker operation experiment, the internal temperature of the charger rose to more than 60 ℃ in summer, and the earth leakage circuit breaker stopped charging by tripping at 80% of the rated sensitivity current. Through Joule heating modeling, 32A is energized at the reference temperature of 30 ℃ at the initial time t=0 (s). After t=3000 (s), the heat generated around the charging part of the earth leakage breaker increased to 32.4 ℃. The temperature and time factors correlated with the amount of heat generated according to the statistical verification tool with a correlation coefficient of 0.97. Overall, it is possible to prevent the leakage breaker sensitivity current trip due to an increase in temperature inside the charger in summer by performing a Joule heating simulation according to the material of the charging case, the arrangement of the internal wiring, and the dielectric medium when developing the charger device.

Keywords : Leakage breaker, Leakage current, Joule Heating, Electric Vehicle Charger, Internal temperature

*Corresponding Author : Ik-soo Eo(Honam University)

email: iseo@honam.ac.kr

Received January 20, 2021

Accepted April 2, 2021

Revised March 3, 2021

Published April 30, 2021

1. 서론

지구 온난화에 대한 수송 분야의 온실가스 및 화석연료 고갈에 따른 환경 및 에너지 문제를 해결하기 위해서 친환경 자동차 개발 보급이 본격화되고 있다[1].

수송 분야의 온실가스 감축 목표는 전력수급기본계획 및 한국판 뉴딜 종합계획 등에서 전기자동차 보급확대 및 친환경 수송 차량이 증가가 예상된다. 전 세계적인 급격한 기후 변화 및 지구온난화의 영향으로 전기자동차에 대한 소비자의 인식 전환으로 친환경 자동차에 대한 수요는 지속 증가 추세지만 충전 인프라의 부족 및 충전 중 빈번히 발생하는 고장(failure) 등으로 인해 소비자들의 관심과 선택의 폭이 확대되지 못하고 있다. 본 논문에서는 충전설비의 구성요소, 전력변환과정, 전기설비기준, 누전차단기 동작 특성의 이해를 바탕으로 충전 시 발생하는 고장 사례에 대해 조사를 진행하였으며, 차량 제조사별 누설전류 측정, 고조파 THD(Total Harmonics Distortion) 측정, 누전차단기 제조사별 동작 실험을 분석하였다. 여름철 누전차단기 감도 전류 Trip 방지를 위하여 Joule Heating 시뮬레이션의 방안 에 관한 연구를 진행하였다.

2. 본론

2.1 충전 인프라 구성요소

충전 인프라 구성요소 Fig. 1의 전력공급설비는 한국 전기설비 규정 및 KSC IEC 60364 기준이 적용되며, 충전기와 차량 간의 Charging Interface IEC 61851-1 규격이 적용된다. 완속 충전기는 단상 2선식 220V 및 급속 충전기는 3상 4선식 380V 전원을 공급한다.

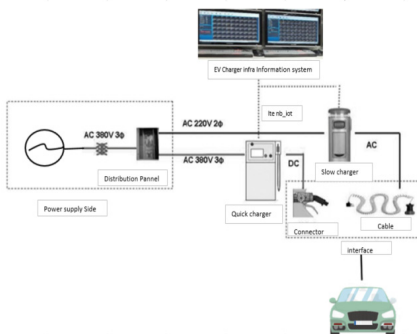


Fig. 1. Components of electric vehicle charging infrastructure

전기자동차 충전기와 충전 인프라 운영 서버 간 충전 서비스를 위해서는 TCP or UDP 프로토콜의 통신 모델을 이용하여 메시지가 전송된다. 통신방식에 사용되는 통신 모델의 종류는 LTE 통신방식과 NB-IoT 방식으로 구분할 수 있다. LTE 모델의 통신 규격은 유럽식 WCDMA에서 발전한 이동통신 규격으로 전송속도는 Download Max 75 Mbps, Upload Min 37.5 Mbps이다. NB-IoT 통신방식은 저전력 광대역 통신(LPWA:Low Power Wide Area)의 네트워크를 실현하기 위한 셀룰러 협대역(Narrow band) 무선 전송 기술방식으로 원거리 조작 가능한 LTE 주파수를 나누어 사용하여 저전력으로 데이터를 주고받을 수 있는 통신방식이다.

2.1.1 충전기 내부 구조도

완속 충전 설비의 구성요소는 안드로이드, 리눅스 기반의 OS 운영체제, 실시간 충전요금 계산을 위한 디지털 전력량계, 사용자의 편의성을 위한 TFT LCD, 내부 직렬 통신(RS-485)방식, ELB(Earth Leakage Breaker), MC(Magnet Contact) 등으로 Fig. 2와 같이 구성된다. 충전기의 동작 원리는 카드리더기를 터치하면 제어기에서 마그네틱 접점이 연결되어 아웃렛(Outlet)을 통해 차량과 연결되어 충전 시작이 진행된다.

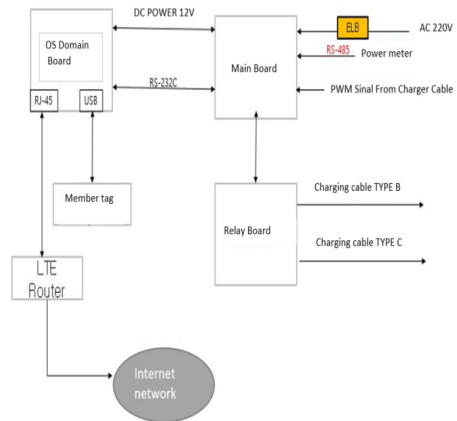


Fig. 2. Diagram of charger Internal structure

2.1.2 충전기 동작 Time Chart

상세 동작 원리는 하기 Fig. 3의 ① 점에서 충전 컨넥터를 차량에 연결하면 CP(control pilot) 신호는 펄스 진폭 변조하여 CP 전압 값을 12V에서 9V로 다운시키며 저항값은 Open에서 480 Ω으로 낮추게 된다.

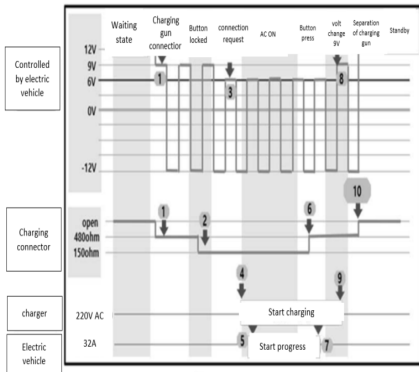


Fig. 3. Diagram of charger time chart

Fig. 3의 ②점에 충전 전이 locked 상태가 되면 전기 자동차에서 CP 신호의 전압값을 9V에서 6V로 다운시키며, 충전 컨넥터 저항값은 480Ω에서 150Ω으로 낮아져서 충전전류 32A로 충전이 시작된다.

2.1.3 전기자동차 전력 변환과정 고찰

전기자동차 충전 전력 변환 과정은 Fig. 4와 같이 교류전압 220V를 직류(DC) 전압으로 충전하기 위해 AC/DC PWM Converter를 적용하고 있다. 충전 장치는 입력부, 전력 변환부, 출력부로 구성된다. 입력부는 인덕터와 커패시터를 사용하여 전원 잡음 및 전자파 간섭을 해결한다. 전력변환부는 IGBT 소자와 다이오드 소자를 사용하여 배터리에 필요한 DC 전압을 출력한다[2].

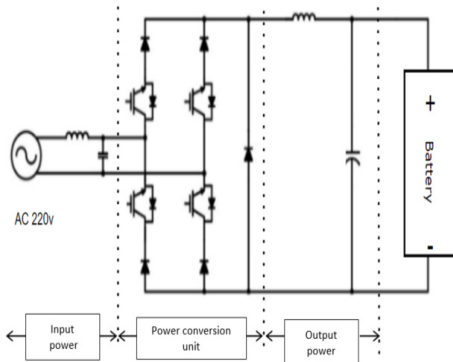


Fig. 4. Charging device configuration

교류전압, 교류전류는 정현파(sin 파)이지만 정류장치, 인버터 등의 입력 전류는 정현파가 되지 못하고 왜형파

가 된다. 왜형 파는 50Hz 또는 60Hz 기본 주파수에 대해 2배, 3배, 4배와 같이 정수의 배에 해당하는 고조파 성분이 중첩된 파형을 말한다. 왜형 파(Distortion Factor)의 성분 중에 기본파 이외의 것을 고조파(harmonic)라 하며, 제 n 고조파란 기본파에 대해 크기는 1/n 배, 주파수는 n 배인 파형으로 제2~50 차수 (120Hz~3kHz)를 말한다. 주기가 T인 비 정현 주기 파는 $f(t) = f(t + T)$ 과 같은 성질이 있으며, 푸리에 급수(Fourier Series)는 임의의 주기 함수를 삼각 함수의 무한급수로 표현할 수 있으며 수식 (1) 과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 f(t) &= a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + \dots + a_n \cos n \omega_0 t + \dots \\
 &\quad + b_n \sin \omega_0 t + \dots + b_n \sin n \omega_0 t + \dots \\
 &= a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n \omega_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n \omega_0 t \\
 a_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \\
 a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n \omega_0 t dt \\
 b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n \omega_0 t dt \quad (n = 1, 2, \dots)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

전압이나 전류의 파형은 정현파인데 사인파가 아닌 주기적인 반복 파형 즉 Fig. 5의 합성 파와 같은 비 정현파(왜형 파)는 기본주파수를 가지는 기본파와 사인파의 2배, 3배, 4배와 같은 정수배에 해당하는 주파수를 가지는 고조파로 분해된다[3].

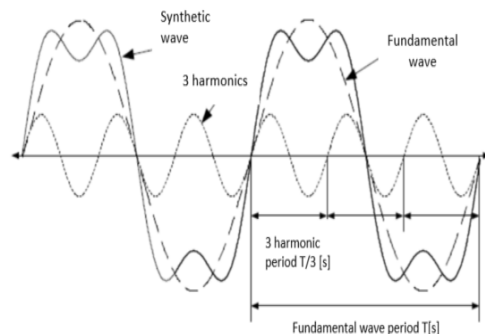


Fig. 5. Synthesis of Fundamental wave and 3 harmonics

AC 전압에 대한 고조파 분석측정 결과는 Fig. 6과 같이 THD 4%를 유지하고 있다.

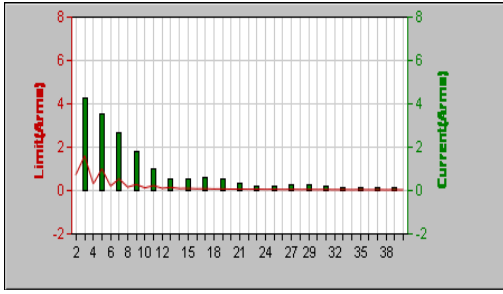


Fig. 6. Analysis of AC voltage harmonic FFT

2.1.4 KSC/IEC 60364 감전보호체계

저압 회로 감전보호 체계에는 직접 접촉 보호(기본 보호), 간접 접촉 보호(고장 보호), 저 전압 보호로 구성된다. Fig. 7의 누전차단기에 의한 추가 보호는 기본 보호 대책이 유효하지 않은 때를 대비하여 정격 감도 전류 30mA 이하의 것을 사용하여야 한다. 전류 동작형 누전차단기는 지락 전류 발생 시 변류기에 의해 검출하여 전로를 자동으로 차단하는 방식으로 검출부와 차단 부가 일체 되는 누전차단기를 말한다.

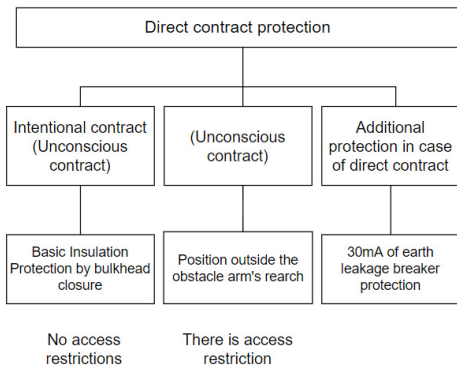


Fig. 7. Direct contact protection configuration during electric shock protection in low voltage circuit

Fig. 8의 누전차단기는 직접 접촉의 추가 보호로서 정격 감도 전류 30mA 이하의 누설전류 및 동작 시간 0.03 s 이하에서 동작하므로 인체보호가 가능하다.

누전차단기의 trip 동작 방식은 지락 전류 검출 릴레이에 의해 과전류 차단기의 trip 회로를 여자 후 자동으로 차단하는 장치이다.

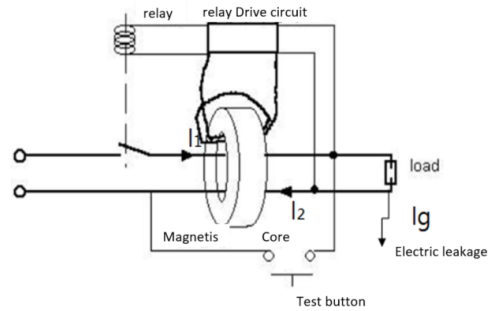


Fig. 8. Configuration of internal Circuit breaker

충전기에 사용되고 있는 누전차단기는 부하 단의 지락 전류를 검출하여 인체 감전 보호하기 위해 회로를 차단하는 방식이다. 누전차단기는 $I_1=I_2$ 전류에 의한 $\Phi_1=\Phi_2$ 로 상쇄되어 차단기 Trip Coil 동작이 없으나 누전 회로 동작 시에는 귀로전류 $I_2 = I_1 - I_g$ 가 발생된다. 누설 전류 I_g 에 의한 자속이 ZCT 검출되어 수식 (2)의 유기전압 e가 수신부로 전달되어 신호 증폭 후 Trip Coil이 여자 후, 차단기 Trip 발생으로 인체 감전보호를 하게 된다.

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} [V] \tag{2}$$

누전차단기는 전선로에서 부하 이외의 곳으로 흐르는 누설전류의 감지하여 즉 누전차단기 동작전류는 저항성 누설전류와 용량성 누설전류의 벡터 합인 수식(3)의 계산 값이 15~30mA 발생 시 누전 차단기는 Trip 되어 인체 감전보호를 하게 된다[4].

$$i_g = \sqrt{i_{gr} + i_{gc}} \tag{3}$$

i_{gr} : resistive current [mA]
 i_{gc} : capacitive current [mA]

부하 회로에 누전이 없는 Fig. 9의 정상 상태에서는 영상변류기(ZCT: Zero Sequence Current Transformer)를 통과하는 부하의 선로 전류(I_1)가 평형이 되어 영상 변류기 2차 측에서는 출력이 나오지 않아 정상적인 통전 상태가 된다.

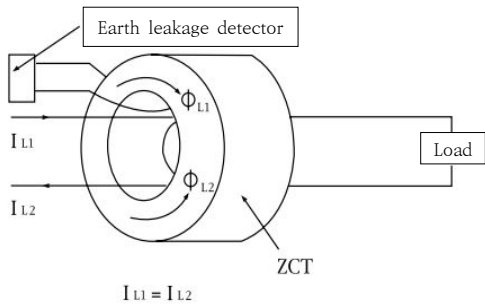


Fig. 9. Steady state

부하선로에 누전·감전이 발생한 Fig. 10의 회로의 상태에서는 영상 변류기를 통과하는 부하 전류는 $I_{L1} \neq I_{L2}$ 로 불 평형 상태가 되어, 지락전류(I_g)가 발생한다. 지락전류(I_g)는 영상변류기 2차 측으로 유기되며 누전검출부에 신호를 보내어 누전 Trip 기구를 동작시켜 부하회로를 차단한다[5].

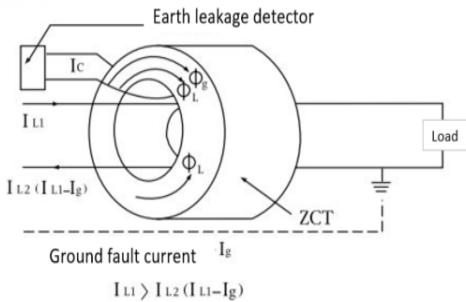


Fig. 10. Condition of earth leakage state

본 실험에 사용한 Fig. 11의 JS-0608H 저항성 누설 전류계는 활선 상태에서 기준전압과 저항 성분 누설전류 (I_{or})를 연산하여 활선 상태에서의 절연 저항값을 산출한다. 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform) 계산 방식을 사용하여 누설전류 벡터 합(I_o)에 중첩된 잡음과 고조파의 영향을 제거한 고정밀 저항성 누설전류(I_{or})의 측정이 가능하다.

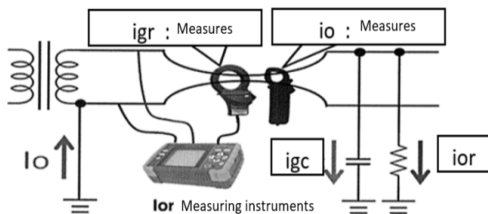


Fig. 11. Measuring method of resistive leakage ammeter

2.2 사례연구

2.2.1 현장 조사

완속 충전기의 운영사의 고장(failure) 현장 조사 결과 Table 1 과 Fig. 12를 통하여 알 수 있듯이 충전기 내부의 누전차단기 Trip 및 충전중단 현상이 다른 고장 유형보다 빈도수가 높게 나타나고 있으며, 특히 여름철 주위 온도의 증가로 인한 누전차단기 Trip으로 충전중단 현상의 발생 빈도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Table 1. Investigation of site failure

Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
Earth leakage circuit breaker Trip	14	14	15	16	15	17	24	23	12
Communication failure	14	12	14	15	15	16	14	13	12
Charging interruption phenomenon	5	6	5	5	16	29	34	38	7
Bad emergency button	13	2	3	6	5	5	6	7	4
PCB Control	2	3	2	1	1	1	2	1	1
Earth resistance exceeded	3	1	1	2	2	2	3	3	2
Bad cable	6	5	2	1	1	1	1	1	1
Bad Connector	1	1	2	1	1	0	1	0	2
Etc	1	4	3	1	1	0	1	1	2

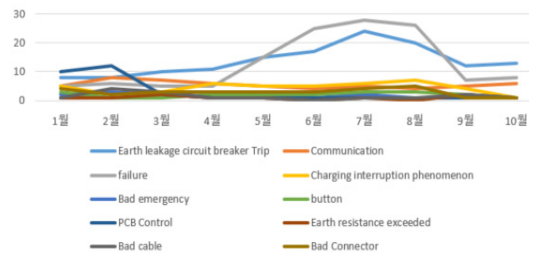


Fig. 12. Analysis result of Charger failure

2.2.2 차량 제조사별 누설전류

실험조건은 Table 2와 같은 실험 준비를 하여 주위 온도 20℃ 환경에서 충전 시간은 50~60분간 충전을 진행하였으며 시험 횟수는 3회 측정을 진행하였다.

Table 2. Specifications of test preparation

Materials	Specifications
Slow charger	7kW 2EA
Earth leakage circuit breaker 1Φ2W 50AF/40AT	Rated current: 40 A Rated sensitivity current: 30 mA Operating time: 0.03 s
Vehicle manufacturer	By vehicle model: 3EA
Resistive leakage ammeter	JS-0608H
Leakage ammeter	Clamp Leaker 140

전기자동차의 누설전류는 Fig. 13 및 Table 3과 같이 1.5 mA 이상의 누설전류가 발생함을 측정 결과로 확인하였다.

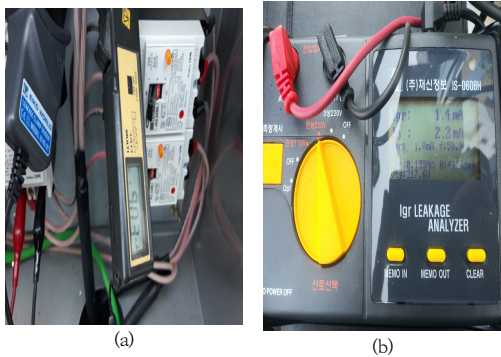


Fig. 13. Leakage current measurement data by electric vehicle manufacturer
(a) Leakage current(Clamp Leaker)
(b) IGR measurement (Js-0608h)

측정 결과 차량 제조사별 누설 전류 값 I_o 는 전기설비 기술기준 13조에 부합되지 않는 수준의 누설 전류 값이 측정되며, 용량성 누설전류가 충전 중 발생하고 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Leakage current measurement data by electric vehicle manufacture

Manufacturer	Leaker 140	Js-0608h	
	I_o [mA]	I_{gr} [mA]	I_{gc} [mA]
Company A	8.41	1.5	2.1
Company B	11.96	1.8	1.7
Company C	9.03	1.8	2.3

“한국 전기설비 규정의 132항에 의하면 (전로의 절연 저항 및 절연내력) ① 사용전압이 전로의 절연성능은 기술기준 제52조를 충족하여야 한다. 다만 저압 전로에서 정전이 어려운 경우 등 절연저항 측정이 곤란한 경우 저항 성분의 누설전류 1 mA 이하이면 그 전로의 절연성능은 적합한 것으로 본다. 저압인 전로에서 정전이 어려운 경우 등 절연저항 측정이 곤란한 경우에는 누설전류를 1 mA 이하”로 규정되어 있으며, 저압 전로의 절연 저항값은 Table 4와 같다.

Table 4. Insulation performance standard of low-voltage power line

Voltage of converter	DC Test voltage (V)	Insulation Resistance (M Ω)
SELV and PELV	250	0.5
FELV, 500V Below	500	1.0
500V Excess	1,000	1.0

SELV(Non-grounding circuit configuration) and PELV(Ground circuit composition)is a circuit that is electrically insulated between primary and secondary, and FELV is a circuit that is not electrically insulated between primary and secondary.

2.2.3 누전차단기 제조사별 감도전류 동작실험

충전기에 설치된 누전차단기가 정상 동작범위(정격감도 전류 30mA 이하 및 동작 시간 0.03 s 이하)의 기준에 적합하지 확인하기 위하여 CA 6030 계측기를 사용하였다. 측정된 결과는 Table 5와 같이 제조사별 미소한 차이는 나타내고 있지만, 완속 충전기에 사용되고 있는 누전차단기나 시중 품에 판매되고 있는 누전차단기는 Fig. 14와 같이 정격 감도 전류 30mA 이하 및 동작 시간 0.03 s 이하의 정상범위 내에서 동작함을 알 수 있었다.

Table 5. Measurement of operation test by manufacturer

manufaturer	Operating time [ms]	Rated sensitivity current [mA]	Remark
A	29.3	17.4	Use of slow charger
B	16.4	24.6	
C	15.8	15.4	
D	16.4	24.6	Commercial products

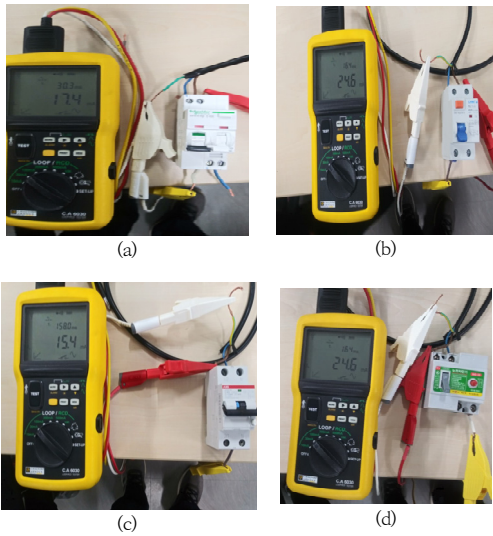


Fig. 14. Measurement result of operation test by manufacturer
(a) case A (b) case B (c) case C (d) case D

2.2.4 충전기 내부온도 측정

충전 중 여름철 충전기 내부 온도는 약 63℃까지 상승함을 Fig. 15와 같이 알 수 있다.

입력어트시간	request
2020-07-17 14:51:54	{"current":3250,"order_key":"20200717125624901","chargeid":"D88039E92720","temperature":63}
2020-07-17 14:46:54	{"current":3270,"order_key":"20200717125624901","chargeid":"D88039E92720","temperature":63,"time":}
2020-07-17 14:41:54	{"current":3270,"order_key":"20200717125624901","chargeid":"D88039E92720","temperature":62,"time":}

Fig. 15. The internal temperature of the charger in summer

봄/가을철 충전 중 Fig. 16은 충전기 내부 온도는 약 42℃~45℃ 범위에서 측정되었다.

입력어트시간	request
2020-10-27 19:17:29	{"current":3280,"order_key":"20201027183704729","chargeid":"D88039E94CCD","temperature":43,"tin
2020-10-27 19:12:30	{"current":3280,"order_key":"20201027183704729","chargeid":"D88039E94CCD","temperature":42,"tin
2020-10-27 19:07:29	{"current":3280,"order_key":"20201027183704729","chargeid":"D88039E94CCD","temperature":41,"tin

Fig. 16. The internal temperature of the charger spring and fall

충전기 메인 내부 구조도 Fig. 17에서 확인 할 수 있듯이 충전기 내부는 누전차단기(ELB) 및 전력량계, 교류전자계폐기(MC) 등으로 구성된다. 또한, 각 기기의 연결은 내부배선을 통하여 연결된 구조로 국제 보호 등급 IP44를 만족하기 위하여 밀폐형 구조로 되어있어 내부 온도 방열에 취약한 구조로 되어있다.

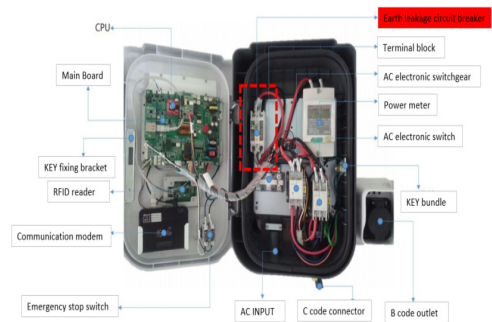


Fig. 17. Composition of electric parts inside the charger

2.2.5 누전차단기 제조사별 동작특성

누전차단기의 동작 시간 % 변화율 Fig. 18 (a) 에서 알 수 있듯이 주위 온도 20℃에서 150%로 동작 시간 특성곡선을 나타내고 있으며, 주위 온도 50℃에서는 80%로 동작곡선이 감소하게 된다. 또한, Fig. 18 (b)정격 전류의 % 변화율 곡선은 주위 온도 30℃에 105%에서 정격전류에 동작하지만, 주위 온도 60℃로 상승 시 정격전류의 80%에서 동작하는 것을 Fig. 18 (b)의 특성곡선을 통해 알 수 있다.

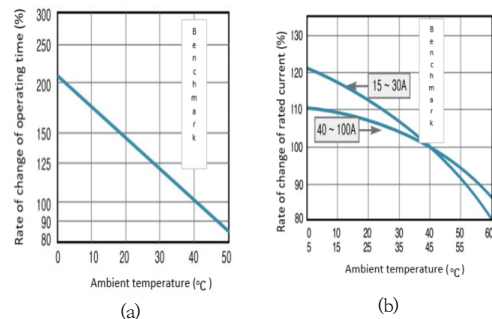


Fig. 18. Operation characteristic curve of earth leakage circuit breaker
(a) Rate of change of operating time
(b) Rate of change of rated current

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 누전차단기 Joule Heating 시뮬레이션

충전기 내부의 온도변화 분포를 확인하기 위하여 COMSOL 프로그램의 Electric Currents Interface의 Joule Heating 모듈을 Time Dependent 기반으로 32A의 전류를 50분간 인가하였다. 실험 결과 충전기 내부의 온도변화 분포를 Fig. 19(a)(b)와 같이 충전부 근접 구간에서 발열이 발생함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

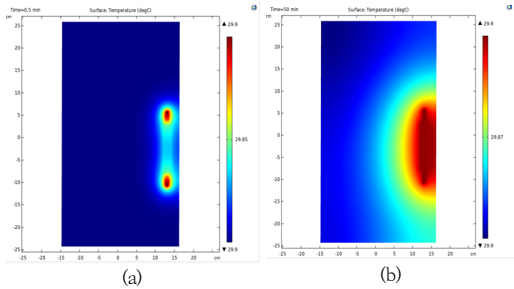


Fig. 19. Temperature change of Joule Heating inside the charger

- (a) 1 minute elapsed after applying current
- (b) 50 minute elapsed after applying current

시뮬레이션에 사용된 방정식은 아래 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 변수로는 재료의 전도도(σ_s), 유전율(ϵ_r), 표면저항(ρ_s), 방열판 두께(d_s), 커패시턴스(C_s)값이 영향 인자가 됨을 알 수 있다.

$$n \cdot (J_1 - J_2) = \frac{(\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon_r)}{d_s} (V - V_{ref}) \quad (4)$$

$$n \cdot (J_1 - J_2) = \left[\frac{1}{\rho_s} (V - V_{ref}) + C_s \frac{\partial}{\partial t} \right] (V - V_{ref})$$

Q_j : Boundary Current Source [A/m²]

J_1 : Inward Current Density [A/m²]

J_2 : Current Density [A/m²]

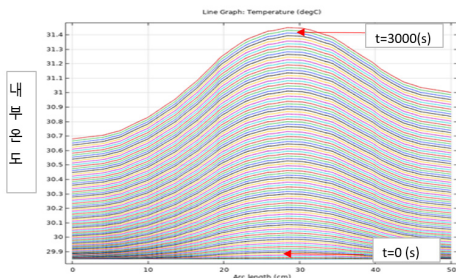


Fig. 20. Results of Joule Heating Simulation

Fig. 20의 Joule Heating 시뮬레이션 결과 초기 시간 (s) t=0의 기준온도 30℃에서 t=3000경과 후에는 누전차단기 충전부 주위에서 발열이 32.4 ℃까지 증가함을 실험 결과 알 수 있었다.

3.2 통계적 다중 회귀분석을 통한 적합도 고찰

충전기 내부의 발열량을 확인하기 위하여 연속형의 두 변수 사이의 적합도 분석을 수식 (5) 로 활용하였다.

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{KA(T_H - T_C)}{L} \quad (5)$$

Q : transferred of the heat energy [Kcal]
 K : thermal conductivity [Kcal/m · h °C]
 L : plate thickness[mm]
 t : heat transfer time[s]
 A : plate area [mm²]

누전차단기 감도 전류 Trip의 영향요인인 주변 온도 및 전류 통전시간 방열판의 판의 두께를 다음 Table 6과 같이 검증을 하였다.

Table 6. Simulation data of internal heating value of charger

Temperature [℃]	Time [s]	Plate thickness[mm]	Calories generated Q [kcal]
20	10	20	0.3
22	600	20	19.8
24	1200	20	43.2
26	1800	20	70.2
28	2400	20	100.8
30	3000	20	135
32	3600	20	172.8

Fig. 21 Fig. 22에서 나타나듯이 발생 열량에 대한 온도 및 통전시간은 지수 함수적 증가 특성을 나타내고 있다.

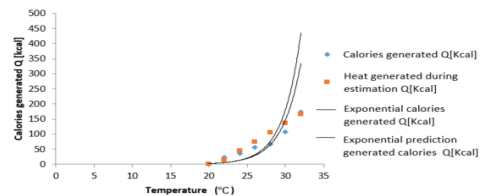


Fig. 21. Line fit of temperature

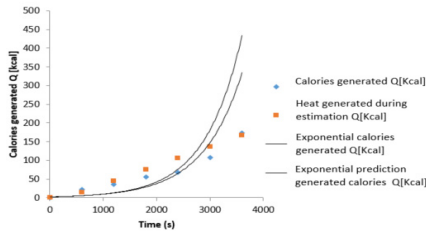


Fig. 22. Line fit of time

회귀분석 통계치를 Table 7에서 확인 시 다중 상관계수 값이 0.97로, 누전차단기 감도 전류 Trip이 온도 특성에 영향을 받고 있음을 통계 검증으로 알 수 있었다.

Table 7. Statistics and goodness-of-fit

Regression statistics	X/Y	Standard	t	p	
Time [s]	Coefficient	error	statistic	value	
Multiple correlation coefficient	0.997	Y Intercept	4904.76	2.026	0.13
Coefficient of determination	0.995	Temp	245.42	-2.027	0.13
Adjusted coefficient of determination	0.990	time	0.819	2.086	0.12

4. 결론

본 논문의 결론은 여름철 옥외 설치된 충전기에서 충전기 내부 온도상승에 따른 누전차단기 감도 전류 이하에서 trip 되어 충전 사용자의 충전중단 현상이 발생하고 있으며, 그 대책 방안은 다음과 같다.

- 1) Joule Heating 시뮬레이션으로 기준온도 30°C에서 32A 전류 통전 시 $t=3,000s$ 경과 후 누전차단기 충전부 주위에서 발열이 32.4°C 까지 증가함을 실험 결과 확인하였으며, 다중 회귀분석 검증 시 발생 열량에 대한 온도 및 시간(s)의 요소가 다중 상관 계수 값 0.97로 검증되었다. 대책 방안으로는 충전기 기구 물 개발 시 충전케이스의 재질, 내부 배선의 배치, 유전 매질에 따른 Joule Heating 시뮬레이션을 통한 누전차단기 감도 전류 trip을 방지할 수 있을 것으로 연구 결과 알 수 있었다.
- 2) 또한, 전기설비의 절연 저항값은 기술기준 제52조에 규정하고 있는 절연저항 측정이 어려운 경우 저항 성분의 누설전류는 1mA 이하로 규정하고 있

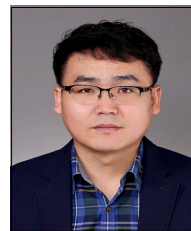
나, 전기자동차에서 발생하고 있는 누설전류는 1mA 이상 수준의 누설 전류값이 측정되고 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] Yong-Gi. Sa, Chan-Hoon. Haan, "A Study on the Estimation of Additional Cost for the Certification of Zero Energy Apartment Buildings", vol.20, No.5, pp.21-30, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2019.20.5.021>
- [2] Seung-Ho. Kim, Jae-Beom. Park, "A Study on the Algorithm for Single Phase Control of IGBT PWM Rectifier", vol.17, No.4, pp.26-33, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.4.26>
- [3] Ngoc-Thinh. Quach, Sang-Heon. Chae, Jin-Hong. Ahn, Eel-Hwan. Kim, "Harmonic Analysis of a Modular Multilevel Converter Using Double Fourier Series", vol.13, No.1, pp.298-306, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5370/JEET.2018.13.1.298>
- [4] Wan-Su. Ko, Chung-Seo. Choi, "Development and Safety Evaluation of Earth Leakage Alarm Breaker Equipped with Fire Current (IGR) Alarming Function", vol.34 No.3, pp.43-48, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.32b27a7f>
- [5] Kyung-Chul. Han, Yong-Sung. Choi, "Study on Characteristics of Leakage Current and Insulation Resistance for a Circuit According to Load Types", vol.23 No.2, pp.364-369, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7471/ikeee.2019.23.2.364>

이 병 국(Beoung-Kug Lee)

[정회원]



- 2010년 8월 : 조선대학교 전자공학과 졸업
- 2019년 8월 ~ 현재 : 호남대학교 대학원 재학 중
- 1996년 1월 ~ 2005년 6월 : (주) LG전자 통신운영 사업부 근무
- 2005년 6월 ~ 현재 : 지엔텔 서버 기술팀 근무중

<관심분야>

전기설비, EV 충전, Smart Grid, 사물인터넷

어 익 수(ik-soo Eo)

[종신회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 대학원
전기공학과 (석사)
- 2008년 2월 : 서울벤처대학원 컴
퓨터응용학과 (박사)
- 1998년 2월 ~ 현재 : 호남대학교
전기공학과 교수

〈관심분야〉

전기설비 및 조명분야