

접촉저항이 배선용 차단기 내부 온도상승에 미치는 영향

박성규* · 이종철[†] · 김윤제*

*성균관대학교 기계공학부, [†]LG산전

E-mail : yjkim@skku.edu

Effects of Contact Resistance on Temperature Rise in a MCCB

S.-K. Park*, J.-C. Lee[†] and Youn J. Kim*

*School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

[†]LG Industrial Systems

요 약

배선용 차단기(MCCB)는 과부하 및 단로 등의 이상 상태시 전류를 차단하는 기구로, 오작동시에는 중대 사고를 초래한다. MCCB를 개발하는데 있어서 고전류 및 향상된 방열성능은 소형화 및 성능향상을 필요로 하는 기기의 안전기능 및 신뢰성을 확보하는데 그 중요성이 더해 가고 있다. 또한, MCCB를 설계하는데 있어 온도상승 요인을 고려하는 것은 매우 중요하다. 온도상승의 주된 원인은 기기 내부저항, 특히 접촉부와 접촉부로부터의 저항을 들 수 있는데, 전류, 시간, 접촉면의 형상, 그리고 사용전압에 의하여 영향을 받는다. 본 연구에서는 MCCB 내부 온도분포를 예측하기 위하여 상용코드인 ICEPAK을 이용하여 수치해석을 수행하였다. 해석결과와 타당성을 검증하기 위하여 동일 모델을 사용한 실험결과와 비교하였는데, 일치된 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract — A Molded Case Circuit Breaker (MCCB) is an electric control device to interrupt the abnormal currents which result from the over-loads or short-circuits. Its malfunction will result in severe accidents. In the development of the MCCB, higher current-rating and improved thermal performance become more and more important in providing the safe function and reliability for the modern devices requiring small scale and high performance. It is also very important to consider the factors of temperature rise in the design of MCCB. The major reasons of temperature rise in the MCCB result from the resistances, which are come from the connection and contact surfaces. These resistances are influenced by current, time, configuration of contact surfaces and applied voltage. In order to predict the temperature distribution inside MCCB, we have simulated the model with some assumptions and simplifications, using commercial code ICEPAK. To verify the results of temperature field analysis, the numerical results are compared with experimental ones for the same model. The results show a good agreement with actual temperature rise obtained by experiments.

1. 서 론

배선용 차단기(Molded Case Circuit Breaker, MCCB)는 절연용기 내에 개폐기구, 트립장치 등을 일체로 조립한 것으로, 정상적으로 작동시에는 전류를 안정적으로 공급해야 한다. 또한, 사고 발생시에는 신속하게 사고전류를 차단하여 사고의 전파를 최소화해야 한다.

고도 정보화 사회로 접어들면서 안정적인 전력공급이 요구되고 있으며, 이로 인해 배선용 차단기의 중요성은

더욱 커지고 있다. 오늘날 차단기는 소형화, 고신뢰도화, 대용량화가 요구되면서 이에 따른 차단기 내부의 방열 문제가 대두되고 있다. 차단기 내부의 열을 외부로 충분히 방열하지 못하면 차단기를 구성하고 있는 도체 및 절연물의 온도가 높아져 열화가 촉진되며 이는 중대한 사고를 일으키는 원인이 된다. 예를 들어, 전류가 흐르는 주회로 도체의 과열은 절연파괴, 방전으로 발전하여 결국 단락이라는 커다란 사고로 직결된다. 따라서, IEC, ANSI 등의 관련규격에서는 각 부품에 대한 온도상승치

를 규제하고 있다¹⁾. IEC에서는 온도상승치를 두 가지 방법으로 규제하고 있다. 첫 번째는 각 부품의 최고온도(maximum temperature)이고, 두 번째는 최고온도에서 주위온도와의 차이를 고려한 최고상승온도(maximum temperature rise)이다. 최고온도는 차단기 각 부품의 열화에 의한 장기간의 제품수명과 관계가 있고, 최고상승온도는 크립(creep), 이완(relaxation) 등으로 인하여 단기간에 유발될 수 있는 부품의 성능악화와 관련된 것이다²⁾. 또한 전류를 통전하기 위해 사용되는 동일한 도체의 경우라도 볼트 등으로 단단하게 체결되어 움직일 수 없는 접촉도체와 차단기 구성 목적상 움직임이 필요한 접촉도체와의 온도차이를 달리 규제하고 있다. 이는 움직임이 있는 도체부의 산화 등에 의한 프레팅(fretting) 현상을 고려한 것이다. 접촉부(contact part)와 접속부(connection part)에서 최고온도는 각각 105°C, 115°C, 최고허용상승온도는 65°C, 75°C로 규제하고 있다.

배선용 차단기 개발시 열적인 측면에서는 정격전류의 상승에 의한 발열량의 증대 및 소형화로 인한 열전달 촉진방법을 고려하여 설계해야 한다. 그러나 이러한 열전달 메카니즘은 도체부 이외에도 주위 공기와 열전달이 존재하기 때문에 쉽게 규명할 수 없다. 설계시 직접 적용할 수 있는 일관성 있는 경향을 파악하기 위해서는 많은 경험과 실험을 수행하여 설계 데이터를 확보해야 한다. 이를 위해 전력기기의 설계에서는 높은 정확도를 가지면서도 효율적인 방열설계 방법이 점점 중요해지고 있으며, 다양한 방법이 모색되고 있다. 배선용 차단기 내부 열해석 방법에는 크게 실험적 연구와 수치적 연구로 구분할 수 있다. 실험적 연구는 비교적 정확한 값을 구할 수 있는 반면에 많은 시간과 비용이 요구된다. 또한 다양한 변수를 고려할 수 없는 등 많은 제약조건을 가지고 있다. 수치적 해석은 최근 들어 많은 발전을 이루어 왔고, 컴퓨터의 고성능화에 따라 복잡한 3차원 형상이라도 CAD로 모델링하여 열해석을 수행함으로써 높은 정확도의 방열 설계가 가능해지고 있다. 이로 인해, 제품설계시간, 실험시간, 실험비용 등을 줄일 수 있는 등 많은 효과를 얻을 수 있다. 그러므로, 차단기의 열해석은 반드시 수행되어야 할 연구 중의 하나이다. 최근 들어, 전기 및 전자 부품의 방열 설계를 위한 많은 범용 소프트웨어가 소개되고 있는데 대표적으로 ICEPAK³⁾, ANSYS, CFD-ACE 등이 널리 이용되고 있다.

본 연구에서는 배선용 차단기의 개발 및 성능개선을 위한 온도장 해석을 용이하게 실현할 수 있는 방법을 모색하였다. 이를 위해 상용코드인 ICEPAK을 이용하여 정격전류 800A에서의 차단기 내부 온도장 해석과 구성 부품에 대한 열해석을 수행하였다. 또한, 온도상승이 가장 크게 일어나는 접촉 및 접속저항이 MCCB 내부 온도

상승에 미치는 영향을 규명하였다. 배선용 차단기에 대한 온도상승 실험과 수치연구를 통하여 열전달 메카니즘에 대한 정립 및 ICEPAK의 적용성에 대한 검토연구를 수행하였다.

2. 관련 이론

Fig. 1은 MCCB의 주요 구성부를 나타낸다. MCCB는 기능상으로 트립장치(trip unit), 소화장치(arc extinguisher), 개폐기구(on/off unit)의 세 요소로 분류한다. 트립장치는 과전류 또는 단락전류를 검출하여 개폐기구를 트립시키고, 소화장치는 가동과 고정접촉자간에 발생한 아크(arc)를 소멸시킨다. 개폐기구부는 트립장치의 트립 및 수동조작에 의해 가동접촉자를 구동하고, 자동차단 및 개폐동작을 한다.

총발열량(Q)은 각 구성 부위로부터의 발열량 합계로 나타낼 수 있다. 온도상승 평균치를 ΔT 라고 하면, 이 때 성립하는 관계식은 다음과 같다.

$$\Delta T = \dot{Q} / \alpha A \tag{1}$$

여기서, α 는 평균열통과율, A는 실제 방열 표면적을 각각 나타낸다. 계산된 ΔT 는 설계상 온도상승 허용치 이하로 설정되어야 하는데, 초과될 경우에는 재설계가 요구된다⁴⁾.

일반적으로 두 개의 금속 물체가 서로 접촉하게 되면, 표면이 완전한 평면이 아니기 때문에 접촉저항 또는 압축저항이 생기게 된다. 전류 전도 관점에서 볼 때, 접촉면은 Fig. 2에 도시한 것처럼 세 영역으로 구분할 수 있다⁵⁾.

- 1) 금속접촉(metallic contact) - 전류가 접촉면에서 어떠한 변이저항 없이 통과하는 영역.
- 2) 반도체 부위(semiconducting spot) - 순수한 금속접촉 부위보다 더 많은 저항막으로 덮여있는 영역.

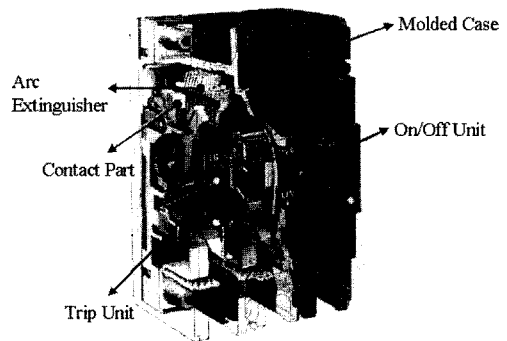


Fig. 1. Photo of a molded case circuit breaker.

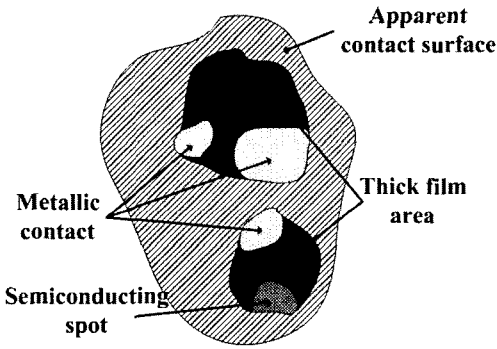


Fig. 2. Three different contact areas.

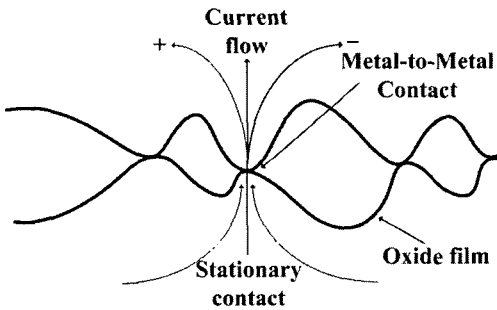


Fig. 3. Illustration of the contact surfaces.

3) 두꺼운 막 영역(thick film area) - 순수한 금속접촉을 막는 산화물, 황화물, 텅스텐산염을 포함하는 영역. 본 연구에서는 도체가 금속접촉만을 한다는 가정하에 수행하였다. 금속접촉면일 경우 Fig. 3에 도시한 것처럼 각 면의 첨두(peak)에서 접촉하게 된다⁶⁾. 이로 인해 MCCB 내부의 접촉부에서는 좁은 면적을 통하여 전류가 흐르게 되므로 큰 저항이 생기게 된다. 도체에 전류가 흐를 때, 전기저항에 의한 발열량은 다음 식으로 표현된다.

$$Q=I^2R \tag{2}$$

여기서, 발열량이 크다는 것은 에너지 손실과 온도상승을 의미한다⁷⁾.

열저항의 각 성분 계산에는 각 구성품의 치수, 열전도율, 방사율 등과 같은 자료가 필요하다. 열저항 중 열전도저항은 치수와 재료 물성으로부터 구할 수 있지만, 자연대류저항은 온도차에 의하여 저항율이 변하고, 복사저항은 온도 그 자체에 의존하기 때문에 이것에 대한 고려가 필요하다. 일반적으로는, 각 부분의 온도를 가정하여 열저항을 계산하고, 그 값으로부터 국부적인 온도를 구한다.

3. 수치적 연구

3-1. 지배방정식

난류유동에 대한 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식, 그리고 k-ε 난류모델을 사용할 때의 지배방정식은 다음과 같다⁸⁾.

연속방정식 :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{3}$$

운동방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_{u_i} \tag{4}$$

에너지방정식 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial q_j}{\partial x_j} + S_h \tag{5}$$

위 식에서 S_{u_i} 와 S_h 는 각각 소스항을 나타내며, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$h = C_p T + \frac{1}{2} u_i u_i \tag{6}$$

$$\tau_{ij} = -(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \tag{7}$$

$$q_j = -\left(\frac{\mu}{\sigma} + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial h}{\partial x_j} \tag{8}$$

$$S_{u_i} = -\frac{2}{3}(\mu + \mu_t) \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) \tag{9}$$

$$S_h = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{1}{2} u_i u_i \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_t u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_t u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \tag{10}$$

난류 운동에너지 및 소산율 :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} + \mu_t G - \rho \epsilon \tag{11}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} + \frac{\epsilon}{k} (C_1 \mu_t G - C_2 \rho \epsilon) \tag{12}$$

여기서,

$$\mu_i G = \mu_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (13)$$

$$\mu_i = C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (14)$$

위에서 μ_i 는 난류점성계수, k 는 난류운동에너지, ϵ 는 난류운동에너지 소산율, G 는 난류운동에너지 생성율, C_{μ} , C_1 , C_2 는 모두 경험적인 상수로서, 흔히 다음의 값을 사용한다.

$$C_{\mu}=0.09, C_1=1.44, C_2=1.92$$

3-2. 수치해석 기법

본 연구에서는 MCCB 내 온도장 해석을 위하여 Fig. 4에 도시한 바와 같이 실제 모델과 동일한 치수로 모델링하였다.

먼저 해석영역은 외함과 주위공기와의 열전달을 고려하기 위하여 외함을 포함하는 영역을 선정하였다. 해석 영역은 개방형태로 설정하여 해석영역으로 주위공기가 출입할 수 있도록 경계조건을 설정하였다¹⁰⁾. 배면은 단열벽으로 하여 열의 출입이 없도록 하였다. 벽온도는 25.8°C로 하였고, y축으로의 중력가속도를 고려하였다. 또한 본 연구에서 적용한 모델은 Rayleigh 수와 Prandtl 수가 각각 3.97×10^6 과 0.709이며, 자연대류와 난류유동을 고려하였다.

ICEPAK은 solver로 FVM(Finite volume method) solver인 Fluent를 사용하고, 수치해석에 사용된 난류모델은 zero-equation(mixing length model)을 사용하였다. Zero-equation은 대부분의 전기, 전자 부품 또는 시스템 해석에 널리 적용되는 난류모델이다. 전류는 기기 내부의 도체를 따라 x-방향으로 이동하게 되는데, 기기 내부의 도체는 하나의 도체가 아니라 여러 개의 도체 집합이므로 도체간 접촉부에는 큰 저항이 발생하게 된다. 특히 접속부와 접촉부에서 가장 높은 저항값을 갖는다. 접속부와 접촉부를 제외한 다른 부분에서는 볼트 접속을

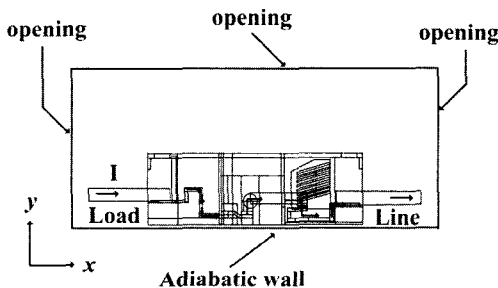


Fig. 4. Schematic diagram of the molded case circuit breaker.

하고 있는데, 본 연구에서는 볼트로 접속된 부분에서 발생하는 접촉저항은 크지 않기 때문에 무시하였다. 일반적으로, 복사열전달은 물질이 갖고 있는 전자에너지가 전자기파의 형태로 방출, 흡수되어 물질 내부에너지의 변화를 수반하는 현상을 말한다¹⁰⁾. 본 연구에서는 표면에서의 복사만 고려하였으며, 주위 공기는 복사에 영향을 미치지 않는 것으로 가정하였다. 이러한 가정은 진공이나 공기에서의 복사열전달을 해석시에는 타당한 가정이라 할 수 있다.

MCCB 내 온도장 해석을 위해 실제 형상과 동일한 모델을 근거로 격자를 생성하였다. 격자생성은 ICEPAK 내의 자동격자 생성법을 사용하였다. 자동생성법은 경계격자의 분포로부터 내부 격자를 자동으로 생성할 수 있는 장점이 있는 반면, 문제의 성질이나 형상의 특징에 따라 내부 격자점 조절에 사용자 의도를 반영시킬 수 없거나 크게 제한을 받는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서는 격자 생성시 불균일 격자를 부여하였다. 가장 큰 관심대상인 도체부와 형상 특징에 따라 내부도체 접촉부에는 조밀격자(enhanced grid)를 분포시켜 정확한 해를 얻고자 하였고, 비관심대상인 해석영역 윗부분은 성긴격자(coarse grid)를 분포시켜 계산시간을 단축하였다. 또한 경계면에서의 정확한 해를 위하여 O-grid 기법을 사용하였다. 생성된 격자수는 약 650,000개이다.

4. 실험적 연구

본 연구에서는 실질적인 열전달 메커니즘을 파악하고, ICEPAK을 이용한 해석결과와 비교하기 위한 데이터 확보를 위하여 MCCB에 대한 온도상승 실험을 수행하였다. 사용된 정격전류는 800 ± 5 A이며, T/R 단자와 시료 연결을 위해 단면적이 250 mm²인 KIV 케이블 2개를 사용하였다(Fig. 5 참조). 실험에 사용된 MCCB는 3상 분

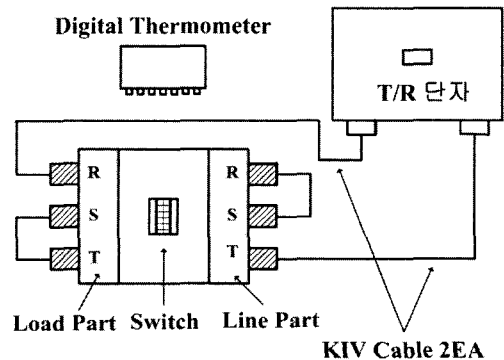


Fig. 5. Schematic of experimental set-up.

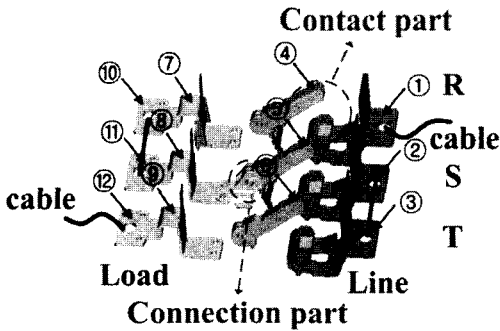


Fig. 6. Temperature measurement points.

리형이며, 전류가 흐르는 모든 회로는 안정성을 위하여 외함에 둘러싸여 있고, 외함은 절연용기(molded case)로 구성하였다. 실험은 IEC-60694 규격에 의하여 실시하였고, 1시간에 1°C 이상의 온도변화가 없을 경우, 정상상태에 도달한 것으로 판단하였다. 온도상승 실험을 시작하기 전에 주회로 저항, 접점의 접촉저항, 가동부의 접촉저항을 DC multi-drop tester를 사용하여 측정하였다. 본 실험에서는 외함으로 둘러싸인 내부 온도를 측정하기 위하여 외함의 한쪽면을 절개한 후 각 부위(12개소)에 온도측정을 위한 열전대(thermocouple)를 부착시켜 실험을 수행하였다. Fig. 6의 ①~⑫로 표시된 부분은 열전대를 부착하여 온도를 측정할 위치이다. 실험 후 24시간 자연냉각 후 전체저항과 접촉저항을 측정하였다. 이 때, 주위온도 변화를 최소화하기 위하여 오일(oil) 속에서 측정하였다.

5. 결과 및 고찰

본 논문에서는 MCCB 내부의 온도장을 고찰하기 위하여 전자장비 열설계 프로그램인 ICEPAK을 사용하여 모델링하였다. 그리고 위에서 언급한 실험대상과 동일한 조건으로 수치해석을 수행하였다. Fig. 6에 저항과 온도

Table 1. Comparison between the experimental and numerical results of the temperature distribution at various points.

[unit : °C]			
No.*	Exp.	Num.	Error (%)
①	89.2	101.1	13.341
②	169.6	175.2	3.3019
③	164.2	172.2	4.8721
④	164.1	178.8	8.9580
⑤	236.2	234.2	0.8467
⑥	200.7	199.6	0.5481
⑦	170.1	181.1	6.4668
⑧	191.7	194.8	1.6171
⑨	136	128.2	5.7353
⑩	155.6	168.1	8.0334
⑪	161.3	171.1	6.0756
⑫	94.7	93.0	1.7951

*The numbers are shown in Fig. 6.

측정지점을 도시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 load부, line부, 접속부 및 접촉부를 선정하여 온도 및 저항을 측정하였다. Table 1은 측정지점에서의 실험 값과 수치해석 값의 비교를 나타내고 있다. ①점에서 최대오차인 13%를 나타내었고, ④, ⑩점에서 8%의 비교적 큰 오차를 나타내었다. 반면에 ⑤, ⑥, ⑧, ⑫점에서는 2% 미만의 오차를 보여준다. R, S, T상별로 비교해보면, R상에서 9.20%의 가장 큰 오차를 보였고, S상에서 2.96%, T상에서 3.24%의 오차를 나타내었다. 이것은 스위치를 on/off 시킬 때, 스위치 장치의 비틀림(torsion)에 의해 R상에서 많은 저항이 발생되기 때문이라고 판단된다. Table 2는 실험 전과 후의 주회로 저항값을 나타내고 있다. 실험 전과 후의 저항값을 비교해보면, 실험 후 주회로의 전체저항과 접점의 접촉저항은 증가하였고, 가동부에서의 접속저항은 감소한 것을 볼 수 있다. 가동부에서의 접속저항이 감소한 것은 산화막이 파괴되었기 때문이라고 보여진다. Table 3은 가동부 저항값을 나타

Table 2. Experimental results of the resistance values at various points of whole part.

No*	[unit : μΩ]					
	R		S		T	
	before	after	before	after	before	after
①~④	72	72	75	83.8	76.3	78.6
①~②	44	42	49.2	42.9	47.8	43.4
③~④	10.6	10.5	11.4	11.1	11.4	11.7
②~③	17.4	19.5	14.4	29.8	17.1	23.5
Contact resistance power [W] (②~③)	11.136	12.48	9.216	19.072	10.944	15.04

*The numbers are shown in Fig. 7.

Table 3. Experimental results of the resistance values at various points of movable part.

No*	[unit : $\mu\Omega$]					
	R		S		T	
	before	after	before	after	before	after
①~④	24.1	22.1	29.2	22.9	27.8	23.4
①~②	18	18	18	18	18	18
③~④	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
②~③	14	10	24.2	11.6	21.4	12.6
contact resistance power [W] (②~③)	2.24	1.6	3.872	1.856	3.424	2.016

*The numbers are shown in Fig. 8.

낸다. 표에서 볼 수 있듯이 실험 후에 가동부 전체 저항과 접속부 저항은 감소하였다. Tables 2와 3에서 공통적으로 알 수 있는 것은 접촉부(contact part)에서는 실험 후에 저항이 증가하였고, 접속부(connection part)에서는 실험 후에 저항이 감소한다는 것이다. Table 하단에는 수치해석과 비교하기 위하여 접촉저항을 주열발열식을 이용하여 발열량으로 환산하였다. Figs. 7과 8은 각각 주회로와 가동부에서의 저항 측정 지점을 나타내고 있다.

Fig. 9는 Table 1의 값을 그래프로 표현한 것인데, 일부 구간을 제외하고 모든 구간에서 일치하는 것을 볼 수 있고, 경향 또한 흡사하다는 것을 알 수 있다. 그리고 수치해석 값이 실험값과 당초 목표하였던 오차범위 $\pm 5\%$ 에서 크게 벗어나지 않음을 알 수 있다. 부분적으로 차

이가 나는 원인("a", "b")은 실험에서는 Line부와 Load부 끝단에서의 열손실이 전도와 복사작용에 의하여 일어나지만, 수치해석에서는 전도에 의한 열손실만을 고려하였기 때문이라고 판단된다. 따라서, 실험에서 측정된 온도값이 수치해석 값보다 낮음을 알 수 있다.

Fig. 10은 기기내부 도체의 두께를 변화시켰을 경우이다. 현재 기기내부 도체의 두께는 4 mm인데, 이를 5 mm로 변화하여 수치해석을 수행하였다. 도체의 단면적을 키우면 전기저항 감소로 인한 발열량의 감소와 대류 열전달 면적이 증가하므로 열전달을 향상시킬 수 있다. 또한, 전체적으로 온도가 감소하였지만, 국소적으로는 접촉, 접속부에서 가장 많은 온도 감소가 이루어졌고(약 15°C), load부와 line부에서도 비슷한 온도감소가 발생하였다(약 5~10°C). 기기 내부의 전체 도체 두께를 변경하는 것이 아니라 국소적인 면적변화(특히 온도상승이 많이 일어나는 접촉부 및 접속부)로 온도강하가 가능하다

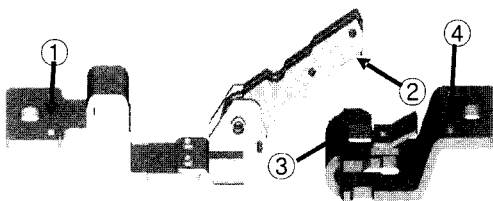


Fig. 7. Resistance measurement points for whole parts.

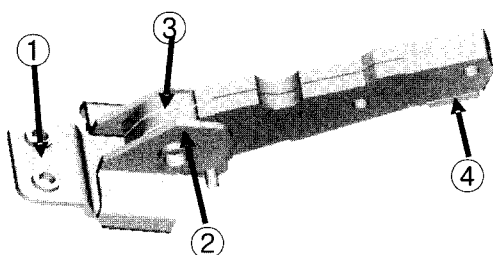


Fig. 8. Resistance measurement points for movable parts.

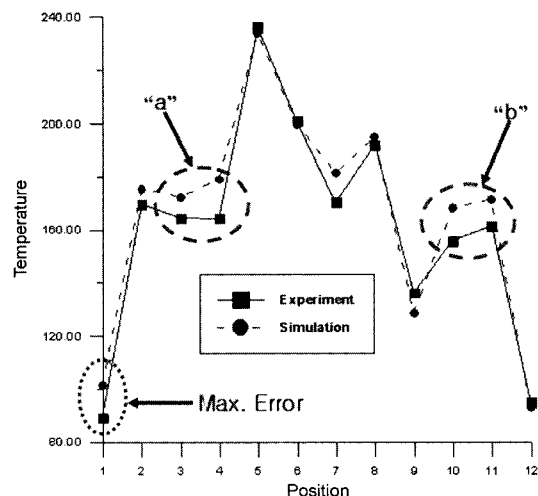


Fig. 9. Comparison between the experimental and numerical results of temperature distribution.

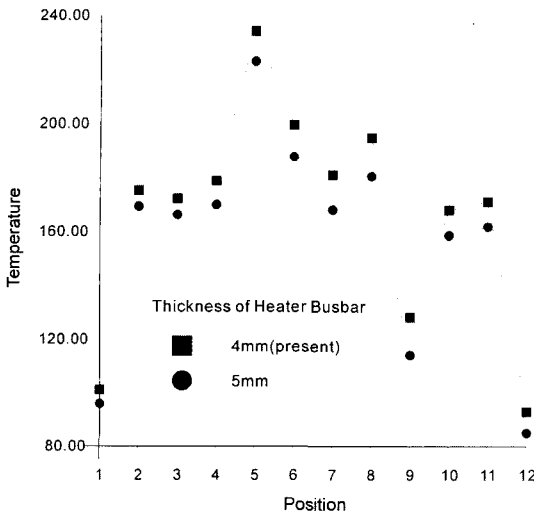


Fig. 10. Thickness effect on the temperature distribution.

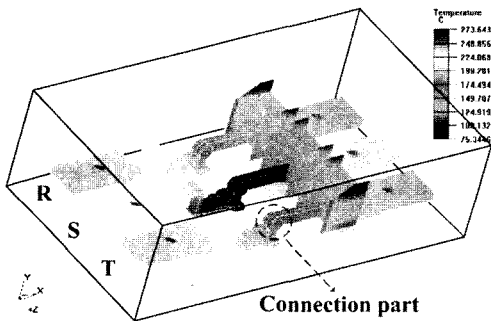


Fig. 11. Contour plot of temperature distribution in the MCCB.

고 판단된다.

Fig. 11은 MCCB 내부 도체의 온도분포를 나타낸 것인데, 가동부에서 가장 높은 온도를 갖게 됨을 알 수 있다. 이것은 가동부에서 저항이 가장 크고, 주열가열(Joule heating)에 의한 발열량 때문이다. 소화장치에서 온도가 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 이를 통해 소화장치(arc extinguisher)가 아크 소화 뿐만이 아니라 냉각 역할도 한다는 것을 알 수 있다. 또한 가운데 위치한 S상에서 가장 높은 온도를 보이는데 이는 R상이나 T상에 비해 상대적으로 방열성능이 낮고, 주위도체에 의하여 가열되기 때문이다. 따라서, S상의 온도를 낮추기 위해서는 내부에서 외부로 빠져나가는 환풍구의 적절한 위치설계가 필요하다.

Fig. 12는 MCCB 내부유동에 대한 수치해석 결과를 나타낸다. MCCB는 밀폐시스템이므로, 그림에서 보는 바

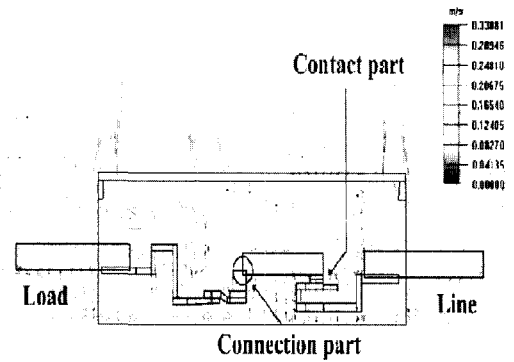


Fig. 12. Contour plot of velocity distribution in the MCCB.

와 같이 내부에서의 유동은 0.1 m/s 이하로 거의 없다. 따라서, 대류에 의한 열전달 효과는 기대하기 어려울 것으로 예측된다. 최고속도는 주위공기가 MCCB case와 접촉하여 상승되는 지점에서 발생하였으며 약 0.35 m/s의 값을 나타내었다.

6. 결 론

본 연구는 MCCB 온도상승 실험과 ICEPAK을 이용한 수치해석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) ICEPAK을 이용하여 수치해석을 수행한 결과, 최대오차는 13% 이었지만, 평균오차는 초기에 목표하였던 $\pm 5\%$ 이내의 값을 나타내었다. 이를 통하여 CFD를 이용한 수치해석 연구의 신뢰성을 검증할 수 있었다.
- 2) 도체의 두께를 1 mm 증가시키면 발열량의 감소와 대류열전달 면적이 증가하여 기기 내부 온도가 5~15°C 정도 감소하였다.
- 3) 접촉면에서는 첨두(peak) 접촉이 일어나므로, 저항이 다른 부분보다 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 이로 인해 10~20°C 가량 온도 상승이 더 일어나는 것을 확인할 수 있었다.
- 4) 3상 중에서 S상에서의 온도상승이 가장 크게 일어나므로, 기기 내부의 적절한 위치에 환풍구를 설치하면 온도상승을 억제할 수 있다.

참고문헌

1. IEC-60943: "Guidance Concerning the Permissible Temperature Rise for Parts of Electrical Equipments, in particular Terminals", 2nd Edition (1998).
2. Thomas, E., Browne, J.R.: "Circuit Interruption",

- Marcel Dekker, Inc. (1984).
3. ICEPAK User Seminar : Advanced Technology Engineering Service (2001).
 4. Keiji Mashimo, Yukihiro Saita, Ken Koizumi and Hideki Nakazato: "Heat Transfer Analysis for Vehicle Electronic Parts", 古河電工時報 제 110호 (2002).
 5. Shea, J. J. and Bindas, J.J.: "Measuring Molded Case Circuit Breaker Resistance", IEEE Transaction on Components, Hybrid and Manufacturing Technology, Vol. 16, No. 2 (1993).
 6. Slade, P.G.: "Electrical Contacts", Marcel Deeker, Inc. NewYork (1999).
 7. Turner, C. and Turner, H.W.: "The temperature rise and millivolt drop of contactor contacts", Proceeding Engineering Seminar on Electric Contact Phenomena, pp. 233-241 (1967).
 8. Patankar S.V.: "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere, Washington D.C. (1980).
 9. Hoffman, K.A., "Computational Fluid Dynamics for Engineers", EES books, New York (1993).
 10. Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., "Fundamental of Heat and Mass Transfer", Wiley, 4th Edition, New York (1996).