

유한요소법을 이용한 체적저항과 접촉저항 발열 해석

Volume and Contact Resistance Heat Analysis using Finite Element Method

#정용호¹, *최성원¹, 김성훈², 이경원², 윤희석³, 최정욱⁴, 김성웅⁴

#Y.H.Jung¹(yhjung@topplus.co.kr), *S.W.Choi¹, S.H.Kim², K.W.Lee², H.S.Yoon³, S.W.Kim⁴, J.W.Choi⁴
¹전남대 기계공학과, ²남부대 산학협력단, ³전남대 기계시스템공학부, 케이유엠(주)

Key words : Volumetric Resistance, Finite Element Analysis, Electric Wire

1. 서론

전기에너지를 이용하는 각종 전기제품, 산업용 기기, 자동차 등에 터미널, 커넥터 등의 전장 부품 소자가 많이 사용되고 있다. 이러한 전장 부품 소자들 중 접속 단자류는 대개 암수 한 쌍으로 구성되고 특정 부위에서 면 접촉으로 연결되는데 이들을 설계함에 있어서 체적저항 및 접촉 저항에 의한 발열을 고려하지 않으면 과열에 의한 손상 및 화재로 번질 수 있다. 따라서 발열량에 맞는 터미널, 커넥터 등의 설계가 이뤄져야 하며, 이를 위해서는 연선, 체적저항, 접촉저항에 대한 발열 특성을 파악해야 한다. 연선과 체적저항, 접촉저항에 대한 발열 특성은 실험뿐만 아니라 해석적 접근을 통해 분석할 수 있다.

해석적 접근을 위해서는 발열해석에 대한 모델 정립이 우선 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 발열해석을 위한 해석적 모델을 정립하는데 있다.

2. 체적저항 발열 온도 계산 및 유한요소 해석

전류량에 따른 체적저항에 의한 발열 해석과 이론식에 의해 계산된 발열온도를 비교하기 위하여 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

- 여기서, R : 체적저항(Ω)
- ρ : 저항체의 비저항(Resistivity, Ωmm)
- l : 저항체의 길이(mm)
- A : 저항체의 단면적(mm^2)

이 때 발열량(Q)은 $Q = V \cdot I = I^2 \cdot R$ 로 계산할 수 있고, 이론식에 의한 발열 온도(T)는 아래와 같다.

$$T = T_0 + \frac{Q}{\rho_m \cdot C_p}$$

여기서, C_p 는 비열, ρ_m 은 밀도를 의미한다.

전류량에 따른 체적 저항 발열 온도 유한요소 해석은 MSC. Marc[2]을 이용하였다. Fig. 1은 체적 저항 발열 온도 이론 계산식을 이용하여 전류량에 따른 발열 온도를 구한 값과 유한요소 해석 결과를 비교하였는데 이론식과 유한요소 해석 결과가 잘 일치함을 보여서 유한요소 해석의 이론적 신뢰성을 보여주고 있다.

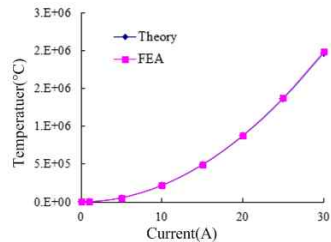


Fig. 1 Theory and FE analysis results on the volumetric resistance heat temperature

3. 체적저항 발열 온도 측정 및 유한요소 해석

Fig. 2는 전류량에 따른 체적저항 발열 온도를 측정하기 위한 실험의 개념도를 나타낸 것으로 발열 온도는 중앙에서 열전대를 이용하여 측정하였다. 체적면의 끝단에 전류를 직접 인가하였고, 전선이 포함된 경우는 전선의 끝단에 전류를 인가하여 발열 온도를 측정하였다. 실험 시편은 MAX251C를 사용하였다.

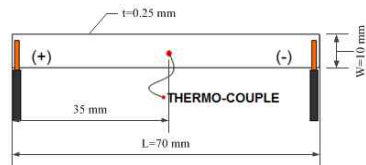


Fig. 2 Schematic diagram of the volumetric joule heating.

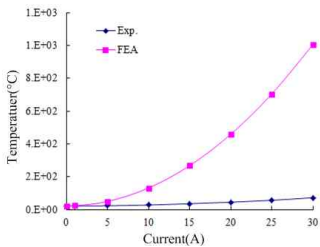


Fig. 3 Comparison of Experiment and FEA including volumetric resistance effect

Fig. 3을 보면, 실험과 유한요소 해석결과에서 큰 온도 차이를 보이는데 이는 대류 열전달과 전선의 전도 및 방열효과를 고려하지 않았기 때문으로 판단된다. 따라서 등가 저항법을 이용한 전선의 전기저항 발열특성 해석 기법[1]을 적용하여 전선의 발열 및 방열 조건을 포함한 해석을 수행하였다.

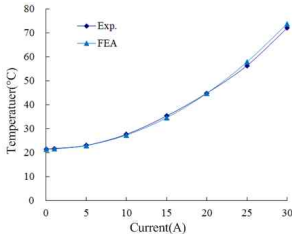


Fig. 4 FE model and Temperature distribution including the volumetric resistance effect

Fig. 4는 해석과 실험 결과를 비교한 그래프이며, 대류 열전달과 전선이 고려한 경우는 실험결과와 매우 잘 일치하고 있음을 보인다.

4. 접촉저항 발열온도측정 및 유한요소 해석

시편의 접촉저항에 따른 발열온도를 측정하기 위해 Fig. 5와 같이 실험장치를 만들어 실험을 수행하였다. 인가전압은 13V, 인가전류는 1A, 5A, 10A, 15A, 20A, 30A를 적용하였다.

접촉저항 유한요소 해석을 실험과 동일한 조건으로 수행하였으며, 이때 실험에서 구한 접촉저항 값을 적용하였다. Fig. 6은 유한요소 해석을 위한 모델과 해석결과를 보여주고 있다.

Fig. 7은 전류량에 따른 접촉저항 발열 온도측정 결과와 유한요소 해석결과를 그래프로 보여주고 있다. 해석결과는 실험결과와 3.5°C이하의 온도차를 보이며 실험결과에 근접한 결과를 보여주고 있다.

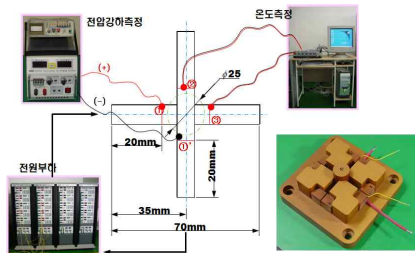


Fig. 5 Schematic diagram of contact joule heating

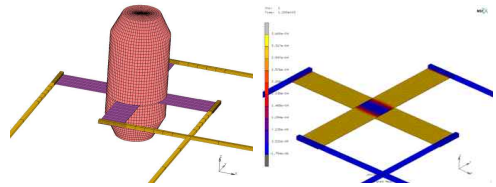


Fig. 6 FE model and Temperature distribution including the contact resistance effect

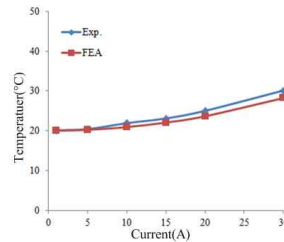


Fig. 7 Comparison of Experiment and FEA including contact resistance effect

5. 결론

전장 부품 및 소자의 전기저항 발열해석 기법을 정립하기 위해 본 연구를 수행하였다. 체적 저항 발열 특성에 대해서는 유한요소 해석 결과와 이론치를 비교하여 신뢰성을 확인 하였으며, 접촉저항 발열 특성은 대류 열전달과 전선의 전기저항 발열, 접촉저항 발열을 고려한 해석모델을 구성하고 실험결과와 비교하여 해석 기법의 신뢰성을 확인하였다.

참고문헌

1. 정용호, 최성원, 김성훈, 이경원, 윤희석, 최정욱, 김성웅, "등가저항법을 이용한 전선의 전기저항 발열 해석", 한국정밀공학회 춘계 학술대회, 2012.
2. MSC. Marc and Mentat User's manual Version 2010.