

배터리 모듈 센싱라인 보호를 위한 연성 인쇄 회로 기판 패턴 퓨즈 용단 시간 특성 분석

손영우¹⁾, 이승현¹⁾, 이성규¹⁾, 권현진¹⁾, 유문식²⁾, 김승현²⁾, 김종훈^{1)*}
¹⁾*충남대학교 에너지저장변환연구실. ²⁾유라코퍼레이션

Analysis of pattern fuse melting time characteristics on flexible printed circuit board for battery module sensing line protection

Youngwoo Son¹⁾, Lee Seunghyun¹⁾, Seongkyu Lee¹⁾, HyunJin Kwon¹⁾,
 Moonsik Yo²⁾, Sunghyun Kim²⁾, Jonghoon Kim^{1)*}

¹⁾ Energy Storage Conversion Lab., Chungnam National University, ²⁾Yura Corporation

ABSTRACT

배터리 시스템 어셈블리(Battery System Assembly)에서 배터리 관리를 위한 전압, 전류, 온도 측정을 위한 센싱라인의 과전류로부터 보호를 위한 퓨즈를 사용하고 있다. 퓨즈는 전기 회로에 장착되어 회로에 규정된 전류보다 큰 전류가 발생하면 규정된 시간 내에 전류를 차단하여 회로를 보호하는 장치이다. 본 연구는 패턴 퓨즈의 설계 파라미터에 따른 용단시간측정 실험과 수치 시뮬레이션이 수행되었다. 그 결과 패턴 퓨즈 설계 파라미터에 따른 용단 시간 특성과 열확산 현상에 대한 분석 실험 및 수치 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

1. 서론

세계적인 신재생에너지 확대 정책에 따라 전기자동차 시장이 급격하게 성장하고 있다. 석유 의존도가 높은 기존의 내연기관 자동차는 환경오염과 에너지 공급의 불안정성을 초래한다. 이에 대한 대안으로 전기자동차가 주목 받고 있으며, 기술적 발전과 지속적인 인프라 구축으로 전기자동차의 보급이 더욱 촉진되고 있다. 전기자동차는 내연기관 자동차와 다르게 배터리 팩을 사용하고 있으며 전기자동차 화재의 원인으로 배터리 과열, 충돌 및 손상, 충전 및 방전 오류 등이 거론되고 있다. 화재의 원인은 여러 가지로 추정되지만 근본적으로 배터리의 단락 또는 과전류 상황을 방지하는 것이 중요하다. 배터리 시스템 어셈블리(Battery System Assembly)에서 배터리 관리를 위한 전압, 전류, 온도 측정을 위한 센싱라인의 과전류로부터 보호를 위한 퓨즈를 사용하고 있다. 퓨즈는 전기 회로에 장착되어 회로에 규정된 전류보다 큰 전류가 발생하면 규정된 시간 내에 전류를 차단하여 회로를 보호하는 장치이다. 일반적으로 전기회로에서 사용되는 퓨즈는 외부의 온도 환경으로부터 영향을 최소화하기 위하여 카트리지를 적용한다. 카트리지의 구성은 일반적으로 진공상태의 유리관 퓨즈, 세라믹으로 구성되어 외부 온도 및 시스템 장착 환경의 영향을 최소한으로 받는다. 연성 인쇄 회로 기판(Flexible Printed Circuit Board, FPCB)에 패턴 형태로 회로를 설계하여 퓨즈를 제작하면, 카트리지가 적용된 퓨즈 대비 재료비 감소 및 공정 간소화에 따른 비용감소효과를 기대할 수 있지만, 카트리지가 적용된 퓨즈 대비 외부 환경 및 FPCB의 제작에 대한 영향 때문에 발생한 줄열(Joule heating)이 퓨즈에 누적되지 못하고 주변으로 확산하게 되어 퓨즈의 용단 특성이 변하게 된다^[1]. 따라서 연성 인쇄 회로 기판(Flexible Printed Circuit Board, FPCB)에 패턴 퓨즈의 용단특성을 분석하기 위하여 COMSOL Multiphysics를 활용하여 설계 파라미터에 따른 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 그에 따라서 패턴 퓨즈에서 발생한 줄열 및 주변으로 열을 분석하였다.

2. 패턴 퓨즈 용단 특성 시험

2.1 실험 방법

패턴 퓨즈의 용단 특성을 분석하기 위하여 그림1과 같이 실험 장치를 구성하였다. 실험에 사용된 테스트 쿠폰의 전류를 인가 하기 위한 전류 인가부와 패턴 퓨즈의 저항을 측정하기 위하여 테스트 쿠폰의 FPCB의 일부분의 동박을 노출 시켰다. 용단 특성 시험에서 적용된 전류는 5A 적용하였다. 이때 용단까지 도달하는데 소요되는 시간을 측정하였다.

사용된 FPCB 테스트 쿠폰 사양은 그림 2와 같이 패턴 폭(w)에 대한 용단 시간 특성을 분석하기 위하여 패턴 폭을 증가하였다. 또한 패턴 높이(h)에 대한 용단 시간 특성을 분석하기 위하여 패턴 폭을 증가하여 테스트 쿠폰을 제작 하였다. 이때 패턴의 폭 및 높이가 변경되어도 패턴 퓨즈의 저항값이 동일하도록 패턴 퓨즈의 총 길이는 일정하게 테스트 쿠폰을 제작 하였다.

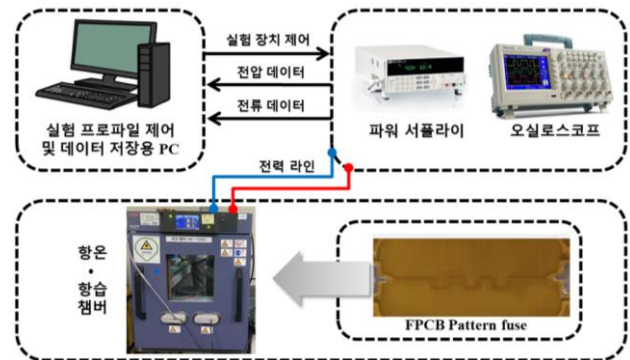


그림 1 패턴 퓨즈 용단 시간 측정 실험 계략도

Fig. 1 Schematic diagram of pattern fuse melting time measurement experiment

2.2 실험 결과

그림 3(a)는 패턴 폭 변경에 따른 용단 시간 시험 결과 이다. 패턴 폭이 증가할수록 용단 시간 또한 1.39 ~ 1.53 s로 증가됨을 확인할 수 있다. 그에 반하여 패턴 높이 변경에 따른 용단 시간 특성은 증가되었다가 감소되는 결과로 일정한 경향성이 나타나지 않았고 그 결과는 그림 3(b)에 나타나 있다. 이로써 패턴 설계 파라미터에서 용단 시간에 영향도가 큰 설계 파라미터는 패턴 폭으로 판단된다.

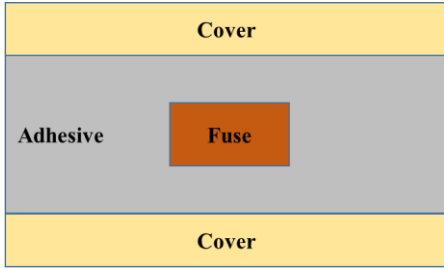
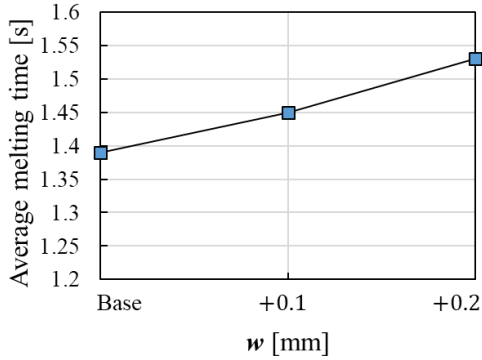
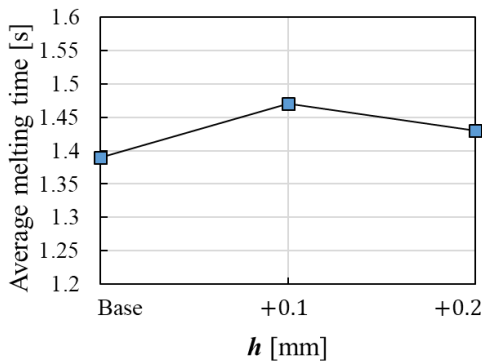


그림 2 FPCB 테스트 쿠폰 형상 단면
Fig. 2 FPCB test coupon geometry cross section



(a)



(b)

그림 3 FPCB 테스트 쿠폰 설계 파라미터에 따른 용단 시간 측정 시험 결과 (a)패턴 폭 변경에 따른 용단 시간 (b) 패턴 높이 변경에 따른 용단 시간

Fig. 3 Melting time measurement test results according to FPCB test coupon design parameters (a) Melting time according to pattern width change (b) Melting time according to pattern height change

3. 수치 시뮬레이션

2.1 경계 조건

수치 시뮬레이션은 COMSOL Multiphysics을 활용하였으며, 전기-열 연동 해석방법을 적용하였다. 패턴 퓨즈의 구리 물질 부분에 그림 4와 같이 전류 조건을 인가하면 그에 따른 주울 열이 발생하고, 발생된 열이 퓨즈에 누적되면서 구리의 녹는점까지 도달하는 용단시간을 분석하였다.

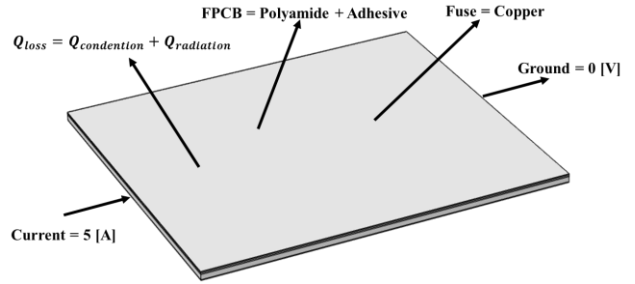


그림 4 수치 시뮬레이션 경계 조건
Fig. 4 Numerical simulation boundary conditions

2.2 결과

그림 5는 전류 인가가 인가되는 시간에 따른 퓨즈의 온도변화는 나타내는 그래프이다. 구리의 녹는점은 약 1080°C이고 이 온도에 도달하는 시간은 1.4 s로 시험결과 대비 약 0.7% 오차율의 결과를 나타내고 있다.

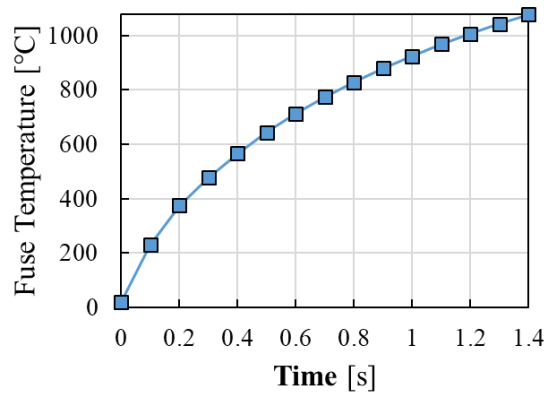


그림 5 수치 시뮬레이션 용단 시간
Fig. 5 Numerical simulation fusing time

3. 결론

본 논문은 패턴 퓨즈 설계 파라미터에 따른 용단 시간 특성을 분석하기 위하여 테스트 쿠폰 제작하여 시험 진행하였고, 열확산 특성을 분석하기 위하여 COMSOL Multiphysics을 활용하여 수치 시뮬레이션 수행한 결과, 패턴 퓨즈의 용단 특성에 가장 큰 영향을 주는 설계 파라미터 변수로는 패턴 폭으로 나타났다.

본 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원(No. 20210501010020, MMC타입 ESS 및 재생에너지 연계 고압형 허브스테이션 핵심기기 개발)과 산업기술평가관리원의 재원으로 인지컨트롤스(No. 20015572, 전기차 급속 충전 및 고출력 운전 대응을 위한 상변화 물질 적용 배터리 팩 열관리 기술 개발)의 지원을 받아 수행되었음.

참고 문헌

[1] Y.W. Son, C. Choi, D. Kang, B.G. Choi, J. Kim, "Numerical simulation by pattern fuse design parameters." 2022 한국자동차공학회 춘계학술대회 (2022): 433-433.