

열저항 계수와 전자식 프리차지릴레이의 수명에 관한 연구

김상덕*, 권병욱*, 서민영*, 정재문*
 *주식회사 유라테크
 e-mail:kongdori@yura.co.kr

A Study on Thermal Resistance Coefficient and Lifespan of Electronic Precharge Relay.

Sangduck, Kim*, Byungwook, Kwon*, Minyoung, Seo*, Jaemoon, Jung*
 *YURATECH

요약

본 연구에서는 프리차지릴레이의 수명을 결정하는 주요 요인 중 하나인 IGBT의 열 저항 계수와 프리차지릴레이의 수명 간의 관계를 연구하였다. 이를 위해, 서로 다른 열 저항 계수를 가진 IGBT를 이용하여 프리차지릴레이의 동작 수명을 비교 분석하였으며 실험 결과, IGBT의 열 저항 계수가 증가함에 따라 프리차지릴레이의 동작 수명이 감소함을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 IGBT 열 저항 계수가 프리차지릴레이의 수명에 중요한 역할을 함을 나타내며, 이를 통해 프리차지릴레이의 수명을 예측할 수 있게 되었다.

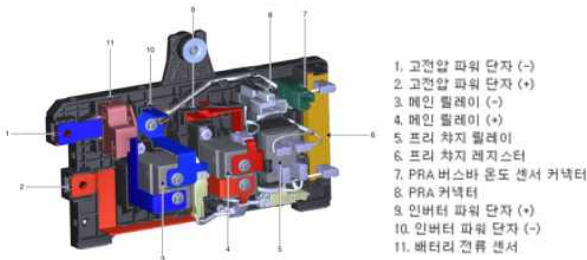
전자식 프리차지릴레이의 신뢰성 향상과 제품 수명 예측에 기여할 것으로 기대되며, 향후 연구에서는, 다른 요소와 동작 수명 간의 관계를 보다 광범위하게 연구하여, 전자식 프리차지릴레이의 향상된 성능과 신뢰성을 달성하기 위한 더욱 정교한 방법을 제안할 계획이다.

1. 서론

전기 자동차의 배터리 모듈 PRA(Power Relay Assembly)는 구동 모터와 인버터의 전원을 공급하고 차단하는 고전압 박스이다. 이 고전압 박스는 고전압 릴레이, 프리차지 회로, 전류 센서, 퓨즈, 다중 전류 버스바, 와이어링 하네스 등 다양한 모듈 및 소재 부품으로 이루어져 있으며, 특히 프리차지 릴레이는 배터리와 인버터 사이의 전압차를 감소시켜 고전압 메인 릴레이를 동작하기 전에 안정화시키는 역할을 한다.

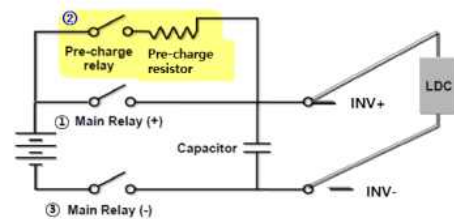
내부 접점 단자에서 발생할 수 있는 과도한 전압 및 스파크를 예방함으로써 수명과 신뢰성 부분에서 매우 큰 역할을 수행하고 있다고 볼 수 있다.

프리차지 회로는 프리차지 릴레이가 연결되면 프리차지 저항을 통해 일정한 전류가 흐르고 캐패시터가 충전되면서 인버터 단의 전압이 배터리 전압과 동일해지는 원리로 동작하며, 이를 통해 배터리의 안전성을 높이고 구동 시스템의 안정성을 유지한다.



[그림 1] 전기구동차 PRA 구성

1. 고전압 파워 단자 (-)
2. 고전압 파워 단자 (+)
3. 메인 릴레이 (-)
4. 메인 릴레이 (+)
5. 프리 차지 릴레이
6. 프리 차지 레지스터
7. PRA 버스바 온도 센서 커넥터
8. PRA 커넥터
9. 인버터 파워 단자 (+)
10. 인버터 파워 단자 (-)
11. 배터리 전류 센서



[그림 2] 배터리-인버터 전원공급 시스템 회로

이는 배터리 단과 인버터 단의 전위차로 인해 메인 릴레이

IGBT는 고전압, 고전류 제어용으로 사용되는 전력 반도체 소자로, MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)와 BJT(Bipolar Junction Treansistor)의 특성을

결합한 소자이다. IGBT는 전압이 높은 상태에서도 손실이 적고, 높은 스위칭 속도와 전류 강도를 제어할 수 있는 특성을 가지고 있다.

여기서 열은 전자부품의 수명을 단축시키는 가장 큰 요소로 프리차지릴레이는 제품의 안전성과 효율을 높이기 위해 IGBT를 채용한다.

2. IGBT 사양 및 동작평가

본 연구에서는 Maxium junction temperature가 동일한 소자 4종을 선정하여 비교평가를 진행하였다. 이 중 평가 대상이 된 IGBT의 요소는 Thermal Resistance Junction to Case(IGBT)로, 전자부품 내부의 접합부에서 케이스로 전달되는 열 저항을 나타낸다. 이 값은 IGBT 소자의 열 특성을 설명하는 중요한 요소 중 하나이며, 적절한 열 관리 및 냉각 시스템을 설계하는 데 필수적인 정보이다.

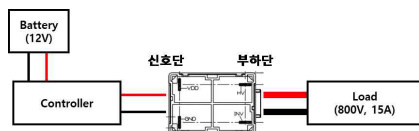
아래 [표 1]은 시험평가를 진행한 IGBT의 사양이다.

[표 1] 제조사별 IGBT 사양

제조사	Max. Temp	Thermal Resistance Junction to Case(IGBT) (°C/W)	Thermal Resistance Junction to Ambient (°C/W)
A社	~175°C	0.32	40
B社		0.38	-
C社		0.44	40
D社		0.48	42

동작 수명평가 방법은 상온상습(20±15°C, 65±20%) 조건에서 각 시료가 장착된 릴레이를 고정시키고, 릴레이 부하(Load)는 800V, 15A로 연결 후, 동작신호와 비동작신호를 각 1초간 반복적으로 걸어주어 고장 한계횟수를 확인하는 것이며, 이 방법은 고객사 비정상차단 전류동작수명평가를 참고하여 진행하였다.

평가 시료는 각 제조사별 5개씩 제작하였으며, 총 20개의 시료를 동작시켜 한계 동작횟수를 확인하였다.



[그림 3] 동작수명평가 구성

3. 결론

평가 결과 제조사별로 한계 동작횟수의 평균값은 A社 76.6회, B社 64.8회, C社 57회, D社 51.6회로 열저항계수가 높을수록 한계 동작횟수의 평균값 낮아지며, 동작수명은 낮은 것으로 확인 되었다.

[표 2] 동작 수명평가 결과

제조사 (열저항계수)	시료번호	한계 동작횟수
A社 (0.32°C/W)	#01	77
	#02	78
	#03	76
	#04	74
	#05	78
	평균	76.6
B社 (0.38°C/W)	#06	63
	#07	68
	#08	65
	#09	64
	#10	64
	평균	64.8
C社 (0.44°C/W)	#11	56
	#12	55
	#13	58
	#14	59
	#15	57
	평균	57
D社 (0.48°C/W)	#16	51
	#17	51
	#18	52
	#19	53
	#20	51
	평균	51.6

추가로 프리차지릴레이 제품의 동작수명과 IGBT의 열저항계수와의 상관관계는 아래의 식과 유사한 결과를 보이는 것을 확인하였으며, 동작수명을 어느정도 유추할 수 있게 되었다. 동작수명상수는 평가를 통해 임의로 만든 상수이지만, 추가 평가를 통해 실제 측정치와 예측치 사이의 간극을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

$$\text{예상 한계동작횟수} = 1 / \text{열저항계수} \times \text{동작수명상수}$$

[그림 4] 예상 한계동작횟수 예측

[표 3] 동작 수명평가 결과

제조사	실제한계 동작횟수	예측치	차이
A社	76.6	78.1	-1.5
B社	64.8	65.8	-0.5
C社	57	56.8	+0.2
D社	51.6	52.0	-0.4

이번 연구에서 IGBT를 사용한 프리차지릴레이의 한계동작 횟수에 대한 예측 알고리즘을 개발하고, 이를 통해 제조업체가 제품 평가 및 유지보수 계획을 수립하는 데 도움이 될 수 있는 방법을 제시하였다.

결과적으로, 이번 연구에서 개발된 예측 알고리즘을 활용하면, 한계동작횟수를 완벽하게 예측할 수는 없지만, 제품 평가 및 유지보수 계획을 수립하는 데 큰 도움이 되며, 이는 제품의 수명과 안정성을 높이는 데 큰 기여를 할 수 있다.

더불어, 제조사는 이러한 알고리즘을 활용하여 제품 수명을 연장시키기 위한 디자인 및 공정 개선을 시도할 수 있어 산업적인 비용 절감을 이룰 수 있을 것으로 기대한다.

3. 후기

본 연구는 산업통상자원부의 한국산업기술진흥원 소재부품 기술기반 혁신사업 (과제번호 : P0021673, P0021665)의 지원에 의해 수행되었습니다.