

# 대형 수소전기 상용차 제동시스템용 브레이크 레지스터의 고효율 전력제어

조명훈\*, 김민석\*, 유정상\*, 안태영\*, 박성태\*\*, 이상목\*\*, 신창용\*\*, 김수범\*\*

\*청주대학교 전기제어공학과

\*\* (주)자화전자

email: whqkrtk22@cju.ac.kr

## High-efficiency Power Control of Brake Resistors for Braking Systems of Large Hydrogen Electric Commercial Vehicles

Myeong-Hun Cho\*, Minseok Kim\*, Jeong Sang Yoo\*, Taeyoung Ahn\*

Song Tea Park\*\*, Sang muk Lee\*\*, Chang young Shin\*\*, Subeom Kim\*\*

\*Dept. of Electrical Control Engineering, Cheongju University

\*\*Jahwa Electronic.

### 요약

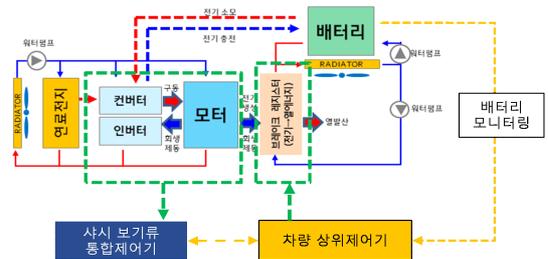
본 논문에서는 수소전기 상용차의 제동 시스템용 브레이크 레지스터를 고효율로 제어하기 위한 기술적 개념과 방법에 대해 정리하고 그 결과를 보고한 것이다. 분석에 사용된 레지스터의 동작 전압 범위는 최소 420V 최대 830V이며, 레지스터 최대 출력은 약 40kW이며 Micro-cap VER. 12 프로그램으로 수소전기 상용차 제동 시스템용 브레이크 레지스터의 전력제어 회로를 구성하고 결과를 파형으로 나타내고 분석하였다. 브레이크 레지스터의 정확한 분석을 위해서 기생 인덕턴스 및 기생 커패시턴스를 고려해 회로 모델링 했으며 스위칭 소자는 1200V 급 IGBT를 적용하였다. 분석 결과 목표 소비전력에 대한 동작 시비율을 계산한 이론 결과와 동일한 동작 특성을 나타내고 있으며 향후 실제 제동 시스템용 브레이크 레지스터 구동 시스템을 제작하여 그 결과에 대한 비교를 수행할 예정이다.

### 1. 서론

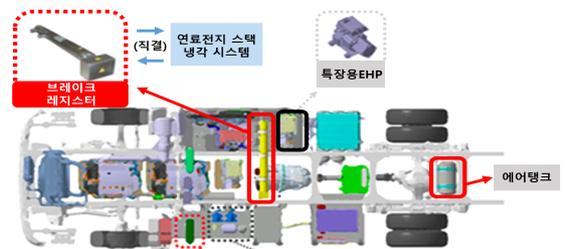
최근 환경 문제와 에너지 효율성은 중요한 고려 요소 중 하나로 떠오르고 있다. 이와 관련하여 수소전기 상용차는 친환경적이며 에너지 효율적인 대안으로 주목받고 있다. 이러한 차량은 수소 연료전지를 활용하며, 제동 시스템용 브레이크 레지스터는 그 중요한 구성 요소 중 하나이다. 먼저 수소차의 브레이크 레지스터는 고효율 에너지 회수 기술을 기반으로 동작한다. 또한 브레이크 레지스터는 고온 및 저온에서 안정적으로 작동할 수 있는 기술적 문제를 해결할 필요가 있으며 다양한 운행 조건에서 차량의 신뢰성을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 특히 경량 소재와 효율적인 디자인을 활용하여 브레이크 레지스터를 경량화하고 효율적으로 설계하는 기술 개발이 지속적으로 이루어질 필요가 있다.

그러나, 이러한 기술적 발전과 함께 몇 가지 중요한 문제점도 나타나고 있다. 첫 번째로, 브레이크 레지스터 및 연관된 기술은 비용 추가로 수소차의 가격을 상승시킬 수 있다. 두 번째로, 내구성과 신뢰성 문제는 브레이크 레지스터가 수소차에서 요구되는 긴 수명과 안정성을 충족하기 위해 극복해야 할 과제이다. 세 번째로, 수소 주유소 인프라와 관련된 문

제로, 브레이크 레지스터의 효과적인 활용을 위해 인프라 구축이 필요하며, 이는 수소차의 보급을 제한할 수 있다. 마지막으로, 제동 시스템에서 회수된 에너지를 효과적으로 저장하고 처리하는 기술적인 문제는 여전히 남아 있다. 본 논문에서는 수소전기 상용차의 제동 시스템용 브레이크 레지스터를 고효율로 제어하기 위한 기술적 개념과 방법에 대해 정리하고 그 결과를 보고한 것이다.



[그림 1] 대형 수소전기상용차의 전력 배분 구조



[그림 2] 제동시스템용 브레이크 레지스터의 위치

## 2. 브레이크 레지스터 전력제어

표 1은 대형 수소전기 상용차 제동시스템용 브레이크 레지스터의 동작 조건을 나타낸 것이다. 동작 전압 범위는 약 420-830V이며, 레지스터 최대 출력은 약 40kW이고, 절연 저항은 200MΩ 이상을 요구한다. 수소전기 상용차의 회생제동 에너지의 잉여전력을 효과적이면서 짧은 시간에 소비시키기 위해서는 레지스터와 배터리 사이에 적절한 전력제어가 필요하며 이 경우 스위칭 제어방식이 효율적이라는 것이 보고되어 있다. 식 (1)은 레지스터의 소비 전력을 나타내었고, 식 (2)는 스위칭 하는 경우 시비율 D와 소비전력의 관계를 나타낸 것이다. 식 (3)은 목표 소비전력에 대한 동작 시비율을 계산한 것이다. 식 (3)은 스위칭 주파수와 무관하고 레지스터의 소비전력에 대한 제어 시비율을 보여주고 있다. 그림 3은 브레이크 레지스터의 동작전압에 대한 특성을 나타내었다.

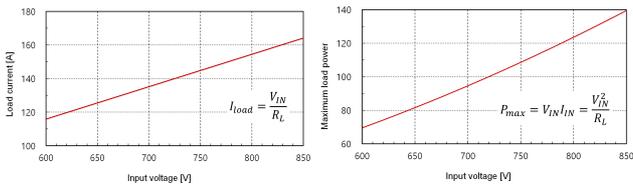
[표 1] 브레이크 레지스터의 동작 조건

항목	최저	기준	최대	단위
동작 전압	420	-	830	V
레지스터 출력	-	-	40	kW
레지스터 절연	200	-	-	MΩ

$$P_{max} = V_{IN} I_{IN} = \frac{V_{IN}^2}{R_L} \quad (1)$$

$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} P_{max} DT = \frac{DV_{IN}^2}{R_L} \quad (2)$$

$$D = \frac{R_L P_{av}}{V_{IN}^2} \quad (3)$$

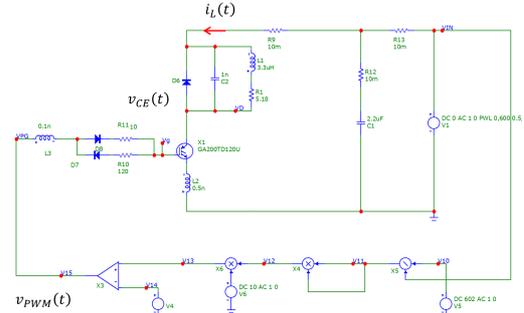


(a) 입력전압과 부하전류 (b) 입력전압과 최대 부하전력  
[그림 3] 브레이크 레지스터의 동작전압에 대한 특성

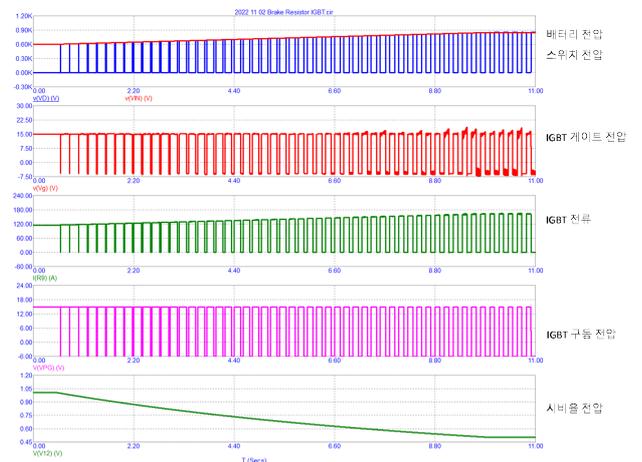
## 3. 시뮬레이션 분석 결과

그림 4는 대형 수소전기 상용차 제동시스템용 브레이크 레지스터의 동작을 위한 제어 시스템을 Micro-cap VER. 12 프로그램으로 시뮬레이션 하기 위한 회로도이다. 그림에서 레지스터는 저항과 기생 인덕턴스 및 기생 커패시턴스를 고려해 모델링 했으며 스위칭 소자는 1200V 급 IGBT를 적용하였다. 스위칭 제어에 필요한 제어회로는 식 (3)에서 표현된 시비율을 연산하도록 구성했으며 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 위로부터 배터리 전압, IGBT 게이트 전압, IGBT 전류, IGBT 구동전압 및 시비율 전압을 나타내었다.

그림 5에서 입력전압은 약 600V에서 830V까지 선형적으로 증가하면서 정전력 소비를 위한 제어 시비율이 적정하게 변화되고 있다는 것을 알 수 있다.



[그림 4] 브레이크 레지스터 시스템



[그림 5] 브레이크 레지스터의 동작 파형

## 4. 결론

본 논문에서는 수소전기 상용차의 제동 시스템용 브레이크 레지스터를 고효율로 제어하기 위한 기술적 개념과 방법에 대해 정리하고 그 결과를 보고한 것이다. 분석에 사용된 레지스터의 동작 전압 범위는 최소 420V 최대 830V이며, 레지스터 최대 출력은 약 40kW이며 Micro-cap VER. 12 프로그램으로 수소전기 상용차 제동시스템용 브레이크 레지스터의 전력제어 회로를 구성하고 결과를 파형으로 나타내고 분석하였다.

### 감사의 글

이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가 관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (1415180408)

### 참고문헌

- [1] M. Shafiu Alam etc “Protection of Inverter-based Distributed Generation with Series Dynamic Braking Resistor: A Variable Duty Control Approach” ICECE 2018.