

# 전자기형 리타더의 전력회수장치를 위한 전압제어알고리즘 모델링

\*정성철, 권기현, 고종선

\*단국대학교 전자전기공학부(TEL:031-8005-3618; E-mail:jsc3404@dankook.ac.kr)

## Voltage Control Algorithm Modeling for Electromagnetic Retarder's Power Recovery Device

Sung chul Jung, Ki hyun Kwon, Jong sun Ko

Department of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University

### ABSTRACT

대형 버스 및 트럭 등과 같이 하중이 무거운 차량 같은 경우, 제동 부담이 아주 크다. 잦은 제동과 부하가 크기 때문에 마찰을 이용한 기존 방식의 브레이크들은 브레이크 과열 및 페이드 현상이 일어날 수 있다. 이러한 과부하를 분담하기 위해 현재 보조브레이크(리타더)를 사용하며, 이때의 제동에너지를 전기에너지를 회생하여 에너지를 절감하는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 와전류를 이용한 전자기형 리타더의 해석 및 제어 방법을 다룰 것이며, 제동에너지를 전기에너지로 회생하기 위해 L C 공진회로로 모델링하였다. 그리고 리타더에서 발생하는 전압을 간략히 다상변압기로 구현하였다. 제어장치의 구동펄스에 따라 바뀌는 공진회로의 전압을 분석하였으며, 이 전압을 제어하기 위한 제어기를 제안하였고 Matlab Simulink를 이용해 가상실험을 실행하였다.

### 1. 서론

전자기형 리타더는 대형차량의 구동축에 장착되어 보조브레이크 장치로서, 비탈길에서의 제동 안전성을 높일 수 있다. 리타더는 풋브레이크와 동시에 동작하며, 기존 전자식 리타더는 회전자에서 발생하는 와전류와 자기장이 결합하여 회전자의 회전방향과 반대방향으로 제동력이 걸린다. 이때 제동력은 자속밀도, 각속도, 코일의 전류에 비례한다[1]. L C 공진을 이용한 회생제동 원리는 회전자(Drum)의 잔류자기에 의해 코일에 전압을 유도하고 공진에 의해 3상 교류전원이 발생하게 된다. 이 전류에 의해 회전자계가 생성 되는데, 이 회전자계와 회전자 속도 차에 의한 와전류가 회전자에 발생하게 되면 와전류와 자기장의 상호작용으로 제동력이 발생된다. 이 제동에너지의 일부를 전기에너지로 바꿀 수 있다. 이 제동에너지 일부를 전기에너지로 회생하여 에너지를 절감할 수 있다. 이 회생에너지의 3상 전압은 정류하여 받은 DC전압을 입력으로 하여 대형차량에 사용될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 제동과 동시에 에너지 회수를 위한 방법과 그 제어 방법을 다룬다. 리타더 코일에 유도되는 전압은 자동차의 속도에 따라 크기와 주파수의 변동이 생긴다[2]. 시뮬레이션을 통해 전압 값이 효율이 좋고, 에너지 회수가 용이한 L, C의 소자 값과 스위치 제어 알고리즘을 파악한다. 그리고 제어알고리즘에 따라 PI제어기를 통해 전압을 제어하는

제어기를 제안하였다. 이 공진으로 얻어진 전압은 DC DC 변환기로 배터리에 저장함으로써 에너지를 회수하며 동시에 제동력을 얻게 된다[3]. 결과적으로 브레이크와 리타더의 온도상승을 막을 수 있다[4].

### 2. 제어알고리즘 모델링

#### 2.1 L-C공진회로

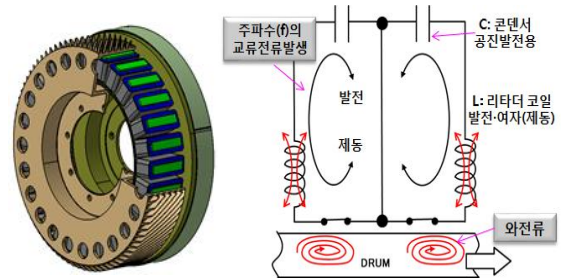


그림 1 L-C공진을 응용한 회생제동 원리  
Fig. 1 Regenerative braking system applied L-C circuit

위의 그림 1은 L C 공진을 이용한 회생제동 원리를 표현한 것이다. 유도발전기와 같은 원리로 회전자(Drum)에 잔류미소자기에 의한 코일에 전압이 유도되면, 이 코일의 흐르는 전류로 인해 자속이 생기게 되며 잔류미소자기는 점점 커지게 된다. 이에 포화상태에 이르고, L C 공진회로에 의한 3상 교류 전압 발생 및 회전자계를 생성하여, 회전자계와 회전자의 속도 차에 의한 와전류가 발생하게 된다. 이때 회전자계의 회전속도는 발전을 위해 회전자의 속도보다 작게 설정된다[5]. 이때 리타더 코일에 유도되는 전압은 식 (1)과 같이 간략화 하였다.

$$e = \Phi_m \omega_e \sin(\omega_e t) \quad (1)$$

#### 2.2 시뮬레이션 회로구현

회생제동 원리를 시뮬레이션 하기 위해 회전자(Drum)에 유도되는 전압은 변압기로 구현하였고, 커패시터와 코일의 소자 값은 자동차 주 속도를 50km/h로 가정하고 공진주파수를 계산하여 선정하였다. 전압의 크기는 구동펄스의 주파수와 듀티, 자동차 속도에 따라 달라지고, 먼저 알고리즘을 파악하기 위해 3상 대신 단상으로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 파라미터 값들은 표 1과 같다. 여기서  $L_1, L_2, C_1, C_2$ 는 그림 1의 공진회로의 소자 값에 해당한다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 파라미터

Table 1 parameters of simulation

$L_1, L_2$	75 [mH]	Pulse freq.	20~70 [Hz]
$C_1, C_2$	120 [ $\mu$ H]	Pulse duty	15~90 [%]
r(tire)	0.5 [m]	Car velocity	10~70 [km/h]
$\Phi_m$	2 [Wb]	$K_p$	2
poles	24	$K_i$	3

그림 2는 에너지회수를 위한 전압제어 알고리즘이다. 여기서 출력되는 전압은 DC DC변환기로 전달된다.

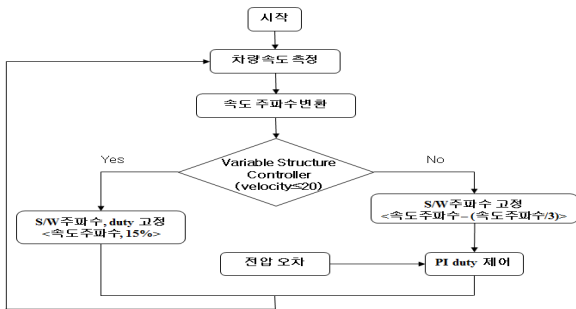


그림 2 전압제어 알고리즘

Fig. 2 Voltage control algorithm

그림 2에서 20km/h일 때의 해당하는 3상 RMS 전압 값은 300V이다. 만약 속도가 20km/h에 도달하지 못할 경우 전압 값 또한 300V에 도달하지 못한다. 따라서 최대의 전압을 얻을 수 있는 방향으로 제어를 해야 한다. 속도가 20km/h이상인 경우, 듀티가 낮을수록 전압이 높게 나오는 PI제어기를 사용하여 전압을 제어하기로 한다. 그림 3은 그림 2의 알고리즘을 추가한 전체 시뮬레이션 회로이다.

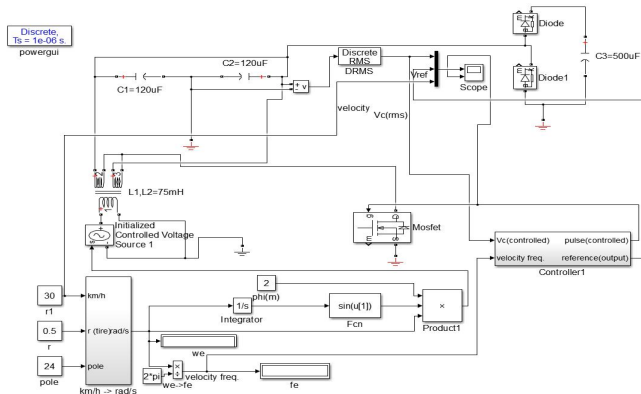


그림 3 시뮬레이션 회로

Fig. 3 Simulation circuit

### 3. 시뮬레이션 결과

그림 4는 제안한 방법과 제어 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 10km/h인 경우에는 목표 전압인 300V를 얻기 위해 15%의 일정한 듀티를 인가하였고, 20km/h이상인 경우에는 PI제어기를 이용하여 듀티를 제어하여 목표 전압인 300V를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

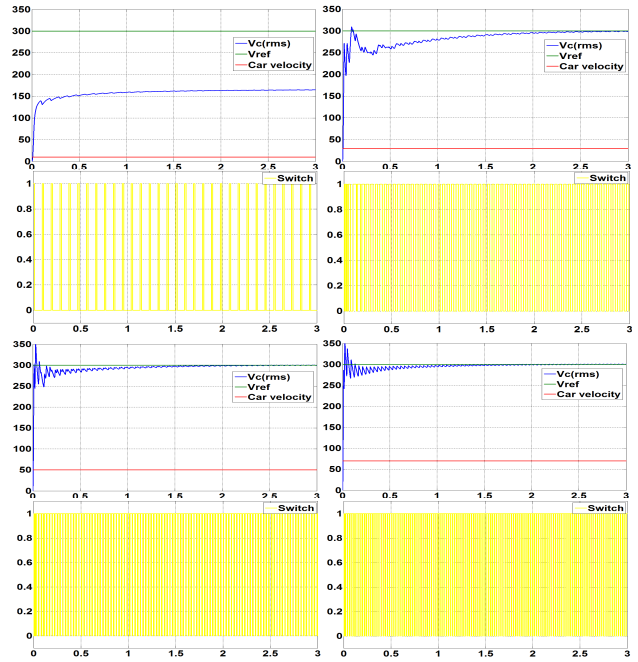


그림 4 차 속도에 따른 시뮬레이션 결과(10,30,50,70km/h)

Fig. 4 Simulation result with car velocity(10,30,50,70km/h)

### 4. 결론

본 논문에서는 전자기형 리타더의 제동에너지를 전기에너지로 회수하기 위해 전압제어 방법을 사용하였고 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후에는 실제와 더 가깝게 하기 위해 동작이 증명된 변압기모형을 유도발전기로 변경하여 실제 리타더와 동일한 상태로 시뮬레이션을 수행할 예정이다.

본 연구는 한국에너지기술평가원의 연구비 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- [1] Zhang Long Xi, Li De Sheng, Yin Wang Lei, "Study on influence factor of braking torque in liquid cooled eddy current retarder with a structure of two salient poles", Journal of Chemical & Pharmaceutical Research, Vol. 6 No. 5, pp1135 1141, 2014
- [2] Baoquan Kou, Member, IEEE, Yinxi Jin, He Zhang, Lu Zhang, and Hailin Zhang, "Analysis and Design of Hybrid Excitation Linear Eddy Current Brake", IEEE Trans. ENERGY CONVERSION, Vol. 29, No. 2, 2014, June
- [3] 광태균, 고종선, 유창희, 이준영, "전기식 회생 보조 브레이크 시스템을 위한 DC DC 컨버터 설계", 전력전자학회논문집, pp297 298, 2014, July
- [4] Y. Gao, L. Chu, and M. Ehsani, "Design and control principle of hybrid braking system for EV, HEV and FCV", IEEE, VPPC, 2007
- [5] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr. Steppen D.Umans, Electric Machinery sixth edition, McGrawHill, 2003