

전동기의 구동 및 전기 제동력 제어 방법

A Method of Controlling the Driving and Electric Braking Force of the Electric Motor

곽연근

한국폴리텍대학 포항캠퍼스 전기제어과

Yeon-geun Kwag

Department of Electrical Control, Korea Polytechnic College Pohang Campus, Gyeongsangnam-do, 37859, Korea

[요 약]

현재 공기제동의 문제점을 보완하기 위한 유지보수와 환경문제, 효율성, 경제성 등을 개선하기 위하여 정지에서 고속영역까지의 전 영역에서 전기 브레이크의 모든 주행 범위와 관련된 제동력을 제시하였다. 결과적으로는 제동력의 효율과 첨단 기술은 에너지 활용을 확장 시켰으며, 본 논문을 통하여 모든 주행 범위에서의 소음이 저감되며, 유지 보수 비용의 절감 효과가 있었다.

트랙션 모터는 인버터의 최대 전압을 제어하는 고속 운전 특성 구동을 위해 트랙션 모터의 가변 속도와 트랙션 모터의 단자 전압을 가져 와야 한다. 따라서 시뮬레이션을 통한 구동 및 브레이크 변경에 대해 연구하였다.

[Abstract]

To improve maintenance, environmental issues, efficiency, and economics to supplement the current air braking problems, braking power related to the entire driving range of electric brakes was presented in all areas from stop to high speed. As a result, the efficiency of braking power and cutting-edge technology have expanded energy use, and through this paper, noise in all driving ranges can be reduced, and maintenance costs can be reduced. The traction motor must bring the variable speed of the traction motor and the terminal voltage of the traction motor to drive high-speed driving characteristics that control the maximum voltage of the inverter. Therefore, we studied driving and brake changes through simulation.

Key word : Motor drive, Motor control, Electric braking, Inverter, Power loss.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.4.280>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 29 June 2020; Revised 23 July 2020

Accepted (Publication) 25 August 2020 (30 August 2020)

*Corresponding Author : Yeon-geun Kwag

Tel: +82-54-288-2285

E-mail: ngkwag@kopo.ac.kr

1. 서론

근래의 전동차는 차량의 성능향상을 위한 전기제동의 확대에 관하여 많은 연구가 지속되고 있다. 전 운전영역에 대한 전기제동은 회생에너지의 활용 효과를 극대화 할 수 있다. 고속 영역에 대한 제동 에너지는 저속영역에 비하여 크게 상승시킬 수 있고, 또한 공기제동을 사용할 때 브레이크 슈와 라이닝의 마모도 저속영역보다 훨씬 크기 때문에 고속 영역으로 전기제동의 확대는 소음과 분진의 발생 감소에 상당한 효과를 가진다.

견인 전동기를 구동하는 전력 변환기는 자속제어 영역에서는 전압이 포화하는 특성을 가지고 있다. 이 특성을 부여하기 위해서는 전력 변환기의 제어와 PWM 변조과정에서 변조율이 임의의 크기에서 제한되는 기능을 주어야 한다. 또한 DC전압변동에 대하여도 변조율을 보상하도록 하여야 한다[1]-[4].

따라서 본 논문에서는 견인 전동기의 전기제동으로 제동력을 확보하는 방법에 관한 것으로 전기제동의 방법과 속도 검출 및 정지 순간의 전기제동 방법을 통하여 전기제동으로 정차 가능하며 실험을 통하여 확인하였다[4]-[7].

II. 전동기 구동 및 제어

2-1 최대 전압 제한

인버터의 출력전압을 변조율에 의하여 제한하는 기능을 들 때 최대 변조율보다 큰 전압 벡터로 계산 되었을 때 제한하는 전압벡터는 공간벡터 변조과정에서 보정 할 수 있으나 전동기의 운전특성에서 그림 1과 같이 구동 시의 벡터도를 생각할 수 있다. 따라서 인버터의 전압은 포화되어있고 PMSM은 전기누설 리액턴스가 적으므로 벡터도를 만족하는 리액턴스를 외부에 연결해야한다. 그림 2는 제동할 때 전동기의 전압과 전류를 나타낸 것이다. 그림 1 및 그림 2는 구동시와 제동시 모두 고속의 상태에서 운전을 가능하게 한다.

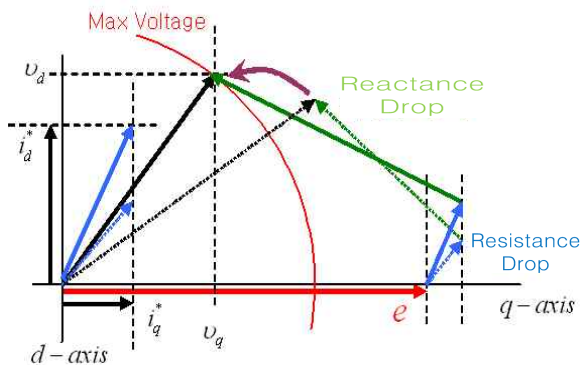


그림 1. 구동 시 벡터도
Fig. 1. Vector diagram when driving

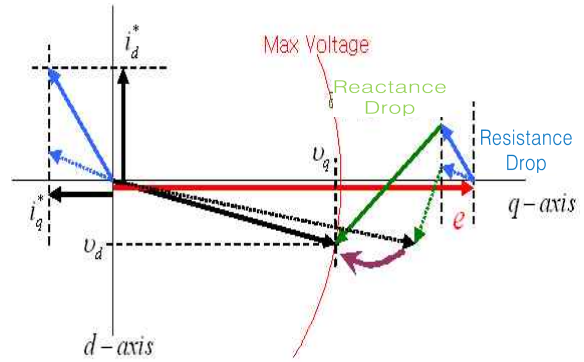


그림 2. 제동 시 벡터도
Fig. 2. Vector diagram during braking

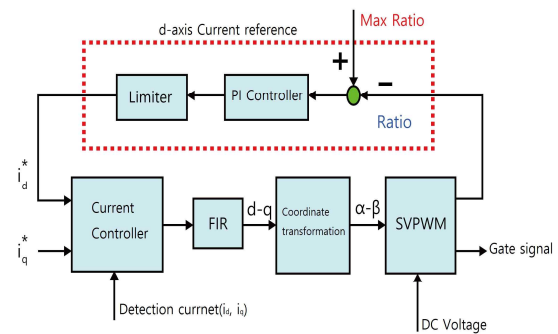


그림 3. 전류 제어 블록도
Fig. 3. Current control block diagram

그림 3은 변조율을 제한하기 위하여 d축 전류를 설정하는 블록도를 나타낸 것이다. 직류전압에 대한 변조율의 보상과 전류 제어기를 포함하고 있고, PMSM의 외부에 연결된 직렬 리액턴스는 전류의 응답을 느리게 하므로 이를 보정 하기 위하여 디지털 필터를 사용하였다.

스위칭 방식은 손실을 줄임으로써 효율도 높이고 열 발생이 상대적으로 적고 소자의 크기도 줄일 수 있어 전체 시스템 크기를 줄일 수 있다. 하지만 제어가 어렵고 제어 시 요구되는 부품 수도 증가하며 스위칭 시 리플이 발생하여 전자파를 고려해야 해야 한다.

2-2 제동 방법

전기제동의 확대는 증가 되는 회생전력을 흡수하는 장치가 설치되어 있다는 조건으로 가정하고, 견인전동기가 운전되는 전 영역에 대하여 전동차의 제동에 필요한 제동력을 확보하고자 하였다. 그림 4는 기존의 제동방법과 제한된 제동 방법이다. 고속영역에서 전기제동력 확보를 위하여 운전 영역을 확대하고 정 토크 제어 영역 운전을 확장하여 감속도의 변화를 최대한 줄 일수 있다.

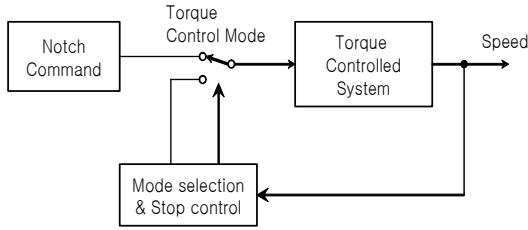


그림 8. 제어 모드의 전환
Fig. 8. Switching of Control Mode

III. 시뮬레이션 및 실험 결과

위 실험을 위해서 역행 패턴을 사용하였고 제동은 그림 9에서 $v7=v8$ 으로 하여 B7에 의하여 정 출력 제동을 하였으며, PC Link Electric machines를 통하여 특성을 확인하였다.

P(1~3)노치와 B7에 의한 구동과 제동을 반복하였을 때 그림 10으로 측정이 되었다,

P4 노치와 B7에 의하여 속도가 80~100 km/H까지 운전했을 때 각각 그림 11~12으로 측정이 되었다. 전기제동만으로 정차를 확인 할 수 있었으며 고속영역의 제동력의 확보는 정 토크와 정 출력운전의 확대가 가능하게 되었다.

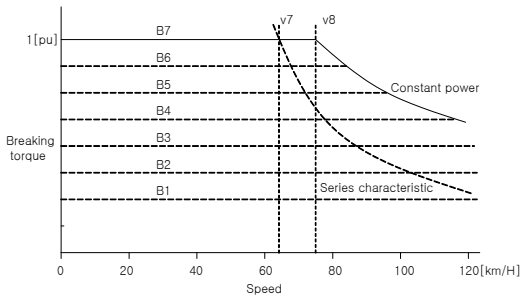


그림 9. 제동 패턴
Fig. 9. Braking pattern

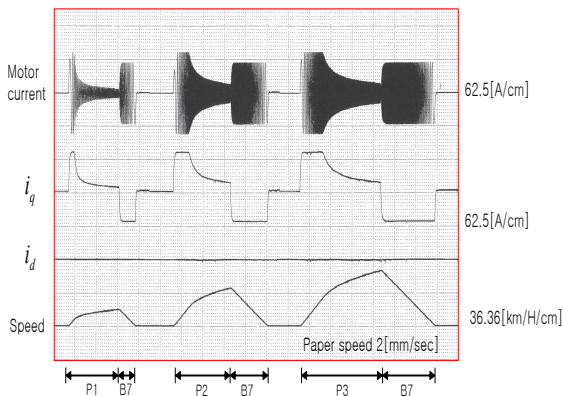


그림 10. 노치(P1~3) 운전
Fig. 10. Notch (P1 ~ 3) Operation

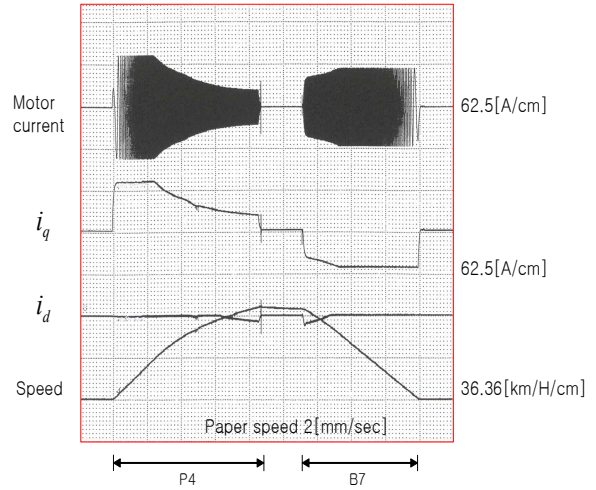


그림 11. 노치(P4) 운전(80km/H)
Fig. 11. Notch (P4) Operation (80 km / H)

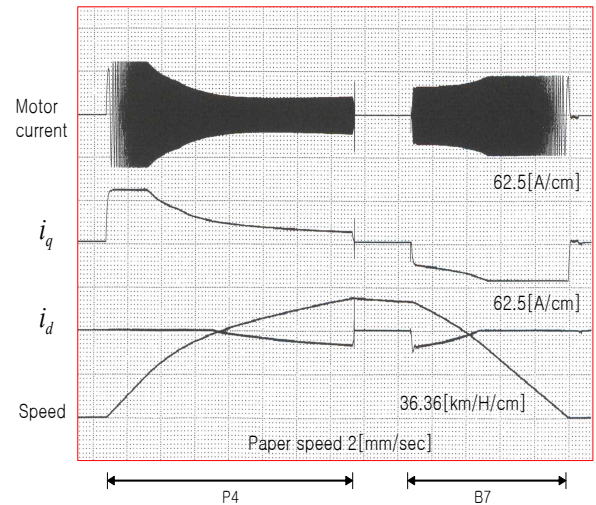


그림 12. 노치(P4) 운전(100km/H)
Fig. 12. Notch (P4) Operation (100 km / H)

IV. 결론

본 논문에서 전동기의 구동과 제동 실험에 있어서 전류의 스텝 응답과 거기에 따른 유도 전동기의 구동시의 운전 패턴과 제동시의 패턴이 어떻게 변화하게 되는지 시뮬레이션을 통하여 제동할 때 전동기의 인가전압을 높임으로써 정 토크와 정 출력의 운전범위를 확대 할 수 있었고, 고속영역의 정 출력운전 영역을 확대하여 고속영역에 대한 전기 제동력을 확보하였다. 전기제동을 사용할 경우 기존 제동보다 에너지의 활용 효율을 개선 할 수 있었으며, 거기에 따른 브레이크 계통의 유지보수에 비용 또한 절감효과를 가져올 수 있다.

References

- [1] K. Matatsuok, M. Kondo, and Y. Shimizu, "Totally-enclosed type traction motor using permanent magnet synchronous motor," *IEEJ Transactions IA*, Vol. 124, No. 2 pp. 175-182, 2004.
- [2] K. Yoshida, "Development of main circuit system using direct drive motor (DDM)," *JR EAST Technical Review*, No.1-Autumn, pp. 46-52, 2002.h
- [3] Y. Toshiaki, and S. Shigetomo, "Traction motors aiming at high efficiency and low maintenance," *Toshiba Review*, Vol. 58, No. 9 pp.14-17, 2003.
- [4] T. Suzuki, T. Koseki, and S. Sone, "A Study on a method of train automatic stopping control with a pure electric brake," in *IEE Japan Joint Technical Meeting on Transportation & Electric Railways and Linear Drive*, Sapporo: Japan, pp. 15-18, 2000.
- [5] T. Suzuki, T. Koseki, and S. Sone, "A study on increasing regeneration rate of electric trains with constant power brake pattern," *National Convention Record, I.E.E. Japan*, Vol. 5, No. 252, pp. 2090-2091, 2001.
- [6] H. Tabuchi, T. Suzuki, and T. Koseki, "A proposal and study on braking signs for increasing rate of electric brake," *National Convention Record, I.E.E. Japan*, Vol. 5, No. 253, pp. 2092-2093, 2001.
- [7] H. Liu, H. W. Kim, H. K. Jang, I. Jang and J. Lee, "Ferrite PM Optimization of SPM BLDC Motor for Oil-Pump Applications According to Magnetization Direction", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 30, No. 4, pp. 1-5, 2020 .



곽연근 (Yeon-Geun Kwag)

2004년 08월 동의대학교 산업기술대학원 전기공학과 (공학석사)
2006년 03월 한국폴리텍 울산캠퍼스 전기과 조교수
2015년 02월 한국폴리텍 영주캠퍼스 전기제어과 부교수
2018년 02월 ~ 현재 한국폴리텍 포항캠퍼스 전기제어과 부교수
※관심분야 : 전기기기, 전기 설비, 승강기 분야 등