

# 영구 자석형 동기전동기(PMSM)의 직렬저항을 이용한 제동력 운전 확보에 관한 연구

## A Study on Drive in Extending Break Power of The PMSM using series Resistor

황락훈\*<sup>0</sup>, 나승권\*\* , 김영복\*\*\*, 정남길\*\*\*

Lark-Hoon Hwang\*<sup>0</sup>, Seung-Kwon Na\*\* , Young-Bog Kim\*\*\*, Nam-Kil Chung\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 공기제동의 문제점을 보완하기 위한 유지보수와 환경문제, 효율성, 경제성 등을 개선하기 위하여 정지에서 고속영역까지의 전 영역에서 전기제동을 사용하는 방법이 제시되었다. 전기적으로 완전제동을 위한 2가지 방법으로 인버터 출력전압의 증대에 의한 방법과 전동기와 인버터 사이에 직렬저항을 삽입하는 방법을 통하여 경제적이며 실제 적용이 가능한 제어방법인 직렬저항을 삽입하는 방법을 적용하기로 하였다. 직렬 저항에 의한 전력손실을 감소시키기 위한 직렬저항을 단락 하는 방법을 사용하여 효율을 개선하고 전 영역에서의 제동력확보는 실험환경 내에서 우수한 인버터의 단자전압을 상승시키는 방법과 동일한 특성을 보였다.

### Abstract

In this paper, method using electric braking from stop area to high-speed area was presented in order to improve air-brake. And electric braking method can be improved environmental problems, efficiency, economy, etc. Method for electrical complete braking are two ways that method of inserting series resistance between the motor and the inverter, and method of inverter output voltage increase. In this paper, use series resistance insert method because economical and easy to apply. In addition, Series resistor is used short circuit method for reduce the power loss. In improved efficiency and the laboratory environment for secure braking, resistance insert method and inverter output voltage increase method showed same characteristics in all areas.

Keywords : air braking, electric braking, inverter, power loss, braking

### I. 서 론

전기제동의 확대는 증가되는 회생전력을 흡수하여 직류모선의 전압의 상승을 억제하여야 한다. 따라서 직류모선의 전압이 상승하지 않도록 차량내부에

에너지를 저장하는 장치를 설치하거나 직류모선이 회생전력을 흡수하는 능력을 가져야 한다.

본 논문은 회생전력을 흡수하는 장치가 설치되어 있는 조건으로 가정하고 견인전동기가 운전되는 전 영역에 대하여 전동차 제동에 필요한 제동력을 확보하고자 하였다. 고속영역의 제동력 확보 및 정지까지

\* 세명대학교 전기공학과 전력전자 연구실(lhwang@semyung.ac.kr)

\*\* 한국폴리텍대학 원주캠퍼스 의용공학과 (skna2@hanmail.net)

\*\*\* 세명대학교 전기공학과 (dbt1@hanmail.net)

0 교신저자 (Corresponding Author) : 황락훈 (Lark-Hoon Hwang, tel: +82-10-5487-5525, lhwang@semyung.ac.kr)

· 접수일자 : 2012년 11월 1일 · 심사(수정)일자 : 2012년 11월 2일 (수정일자 : 2013년 2월 21일) · 게재일자 : 2013년 2월 28일  
http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.01.132

전기제동을 사용함으로써 기존의 전기제동력 부족에 따르는 공기제동의 사용은 불필요하게 된다. 이 방법의 사용은 차량의 성능을 향상시킬 것이며 본 논문에서는 축소모형 추진시스템에 적용하였다.

완전 전기제동은 전기제동을 주로 사용하여 공기제동의 기회를 최소화하고자 하는 방법이다. 완전 전기제동을 사용함으로써 전기제동만으로 전동차의 제동력을 확보할 수 있다면 중간동력객차(M카)의 공기제동을 생략할 수 있으며 얻어지는 효과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째 공기제동 기회의 최소화는 제륜자 등의 제동 부품의 마모와 유지보수 비용을 절감할 수 있다.

둘째 제동순간의 소음과 부품마모에 따르는 분진 등을 감소시킬 수 있다.

셋째 비상제동 등의 문제가 없다면 카의 공기제동 장치를 생략하여 차량의 중량을 줄일 수 있다.

기존 전동차의 제동은 그림1과 같은 방법을 사용하고 있다. 공기제동과 전기제동을 병행하여 사용하며 카에서는 전기제동을 기준으로 하여 부족한 제동력을 공기제동으로 충당하고 있다. 고속영역(특성운전영역)에서는 전기 제동력이 적으므로 공기제동을 함께 사용한 블렌딩 제동으로 감속하며 정 토크 영역에서는 전기제동만으로 감속한다. 차량의 정지는 속도가 6~7[km/H]부근에서 공기제동으로 전환 하여 정착시킨다.

제안된 전기제동방법은 그림 2에 나타내었다. 고속영역에서 전기 제동력을 확보하기 위하여 운전영역을 확대하고 정 토크 제어영역의 운전을 확장하여 감속도의 변화를 최대한 줄인다. 정지 상태에서는 주행을 방지하기 위하여 정지 토크를 부여하고 정지 후 공기제동으로 전동차를 정착하도록 한다.

기존 전동차의 제동방법은 공기제동과 전기제동을 혼합한 방식으로 기계적 소모품인 브레이크 슈(라이닝)의 마모에 의한 분진, 소음, 승차감의 저하와 전기제동과 중복된 영역에서의 제동을 통한 효율 저하 등이 단점으로 지적되었다. 전 영역에서의 전기제동의 확보에 관한 많은 연구가 지속되고 있으며 이를 통한 제동력 확보에 의한 성능향상을 이루었다는 연구결과들이 제시되고 있다 [1][2][3][4].

정지에서 고속영역까지 전 영역을 전기제동으로

제동력을 확보하여 에너지 사용의 효율성의 극대화가 가능하며, 기계적 제동이 아니므로 승차감의 개선 및 분진에 의한 환경문제도 해결이 가능하며 소모성 부품인 브레이크 슈(라이닝)의 교체 주기가 길어지게 되어 경제성까지 얻을 수 있다. 여기서, 견인 전동기는 넓은 가변속도의 운전범위를 가져야 하며 고속영역에 대하여 인버터의 최대전압이 제한되므로 자속 제어를 하는 특성운전을 하게 된다. 견인 전동기의 운전 영역은 다음과 같은 3개의 영역인 정 토크, 정 출력 그리고 특성 운전영역으로 구분된다. 중속과 고속영역인 정 출력운전영역과 특성운전영역에서 제동력을 확대하기 위하여 2가지의 방법이 제시되었다 [5][6][7].

첫 번째, 인버터 출력전압의 증대방법이다. 인버터의 출력전압을 증대하는 방법은 별도의 설비가 필요하여 장치가 비대해지는 단점이 있다.

두 번째, 직렬저항의 삽입 방법을 사용하여 운전범위를 확대할 수 있다. 직렬저항은 실제 상황에 적용할 때 저항에 의한 발열을 해결해야 하는 단점이 있다[8].

본 논문은 경제성과 장비의 대형화를 막기 위하여 직렬저항을 전동기와 인버터 사이에 삽입하여 정 토크와 정 출력운전 범위 및 전기제동으로 제동력을 확대하였으며, 저항에 의한 전력손실을 방지와 효율 개선을 위한 직렬저항의 단락방법을 적용하여 실험하였으며 그 제동특성을 고찰한다.

## II. 영구자석형(PMSM)의 제동방식

영구자석형동기전동기(Permanent Magnet Synchronous motor)는 계자권선을 생략한 형태로 해석이 가능하며 구조는 고정자는 전형적인 3상 교류전동기와 같고 회전자는 2극을 가지는 단일 구조로 구성되어 있다 [9][10][11].

전기제동의 확대는 증가되는 회생전력을 흡수하여 직류모선의 전압의 상승을 억제해야 하며 이를 해결하기 위해서는 직류모선의 전압이 상승하지 않도록 차량내부에 에너지를 저장하는 장치를 설치하는 방법과 직류모선이 회생전력을 흡수하는 능력을 가

저야 한다 [12][13][14].

본 논문에서는 회생전력을 흡수하는 장치가 설치되어 있는 조건을 가정하고 전인전동기가 운전되는 전 영역에 대하여 전동차의 제동이 필요한 제동력을 확보하고자 하였다. 그림1에 전동차가 구동에서 제동 순간까지의 일반적인 상태를 나타내었다.

고속영역에서는 전기제동력 확보를 위하여 운전영역을 확대하고 정 토크 제어 영역 운전을 확장하여 감속도의 변화를 최대한 줄일 수 있도록 한다. 정지 상태는 주행을 방지하기 위해 정지토크를 부여하고 정지 후 공기제동으로 전동차를 정차시키도록 하며 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다고 기대할 수 있다.

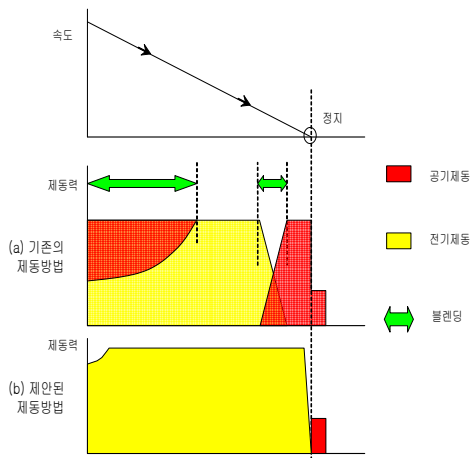


그림 1. 정지 시 전기제동

Fig.1. Electric braking of until suspend

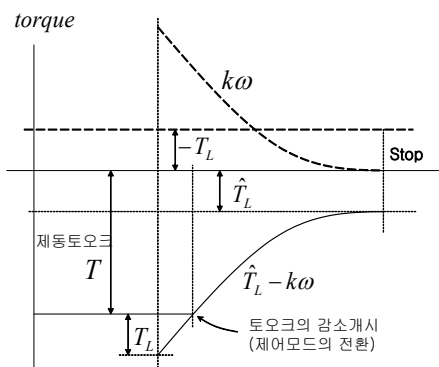


그림 2. 순간 정지 시 토크 제어

Fig. 2. Torque control of moment suspend

첫 번째, 공기제동의 최소화에 따르는 제륜자 등의 제동부품의 마모와 유지보수 비용의 절감을 통한 경제성 확보.

두 번째, 제동순간의 소음과 승차감의 저하 방지, 부품 마모에 따르는 분진감소에 따르는 친환경적인 전동차 기술 확보.

세 번째, 비상제동의 문제가 없을 경우 전동차의 공기제동장치 생략을 통한 차량의 중량 감소.

2-1. 정지까지의 전기제동 방법과 정지순간 토크의 제어

전기제동에 의하여 전동기를 정지시킬 때 극 저속에서 속도측정과 정지시점의 토크 제어는 극 저속에서 속도에 비례한 제동 토크를 발생하도록 제어함으로써 정지까지 전기제동을 한다. 전동기의 제동과 정지를 위해서 다음과 같은 단계를 거쳐서 전동기를 정지하는데 다음의 조건을 두는 것으로 한다. 그림 3에서 동작하는 구간을 다음과 같이 나타낸다.

- (1) 정지 후의 회전을 방지한다.
- (2) 제동 토크가 0이 되는 점에서 공기 브레이크가 작동된다.
- (3) 구배구간에 대하여도 제동 토크를 발생시키도록 하고 이 경우 공기 브레이크 기능과 합해진 제동력으로 정지시키는 것으로 한다.

위 조건에 대하여 정지하는 순간 속도에 비례하며 제동 토크를 발생하는 식(1)을 얻을 수 있다

$$T = k\omega \tag{1}$$

식(1)과 그림 3의 (1)구간의 제동 토크가 같은 점인 (2)가 존재한다. 따라서 구간 (3)에서 감속하는 속도는 식 (2)와 같이 된다.

$$\omega = \omega_0 e^{-\frac{k}{j}t} \tag{2}$$

그림 3의 (2)점에서 토크의 제어모드를 전환하여 전동기를 제어하여야 한다. 토크 제어의 전환점은 감속을 위한 회생제동의 크기와 식 (2)에 의한 토크가 같은 점이 되므로 식 (2)는 토크의 전환점을 정하는 상수가 된다. 실제의 경우는 작용하는 공기 브레이크의 동작은 응답에 지연이 있기 때문에 전동차에 응용

할 때 공기 브레이크의 동작은 토크를 감소하는 시점에서 공기제동을 개시시키고 제동 토크의 감소 기울기의 조절에 의하여 만족하는 승차감을 얻을 수 있는 상태를 실험적으로 찾아야 한다.

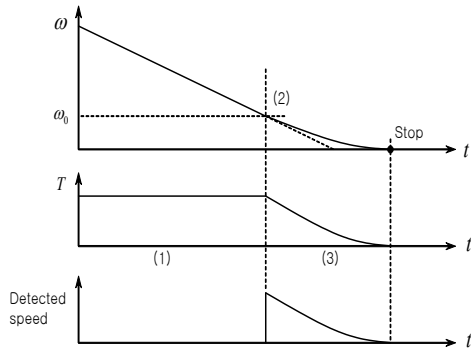


그림 3. 제동 시퀀스  
Fig. 3. Braking sequence

전동기는 식(2)와 같이 속도에 비례하는 토크를 발생하므로 전동기가 정지하면 더 이상의 움직임이 없으며 공기제동으로 정지력을 갖도록 하고 전력변환기의 회생을 오프(off)하면 제동이 완료된다.

전동차의 전기제동은 발전제동과 회생제동을 들 수 있다. 발전제동은 제동저항에서 열에너지로 변환하여 발산함으로써 제동력을 얻으며 발생한 열에너지는 지하터널의 온도 상승을 유발 시킨다. 회생제동은 가선으로 제동에너지를 보냄으로써 제동력을 얻으며 회생전력을 주위에 운전하고 있는 다른 전동차에 보내 에너지의 효율적인 사용을 기대할 수 있다.

정지까지의 전기제동 방법을 사용하기 위해서는 정지순간의 토크제어와 속도검출이 필요하다. 전동차가 구배를 올라갈 때에 대한 토크 감소방법을 설명하기 위한 것으로 전동차의 제동은 제동 토크( $T$ )로 감속하면서 속도에 비례한 토크( $k\omega$ )와 구배에 의한 부하토크( $T_L$ )에 의하여 식 (3)과 같이 된다.

$$T < \hat{T} - k\omega \quad (3)$$

식 (3)인 순간부터 제어모드를 전환하여 제동토크는 식 (4)로 감소시킨다.

$$T = \hat{T}_L - k\omega \quad (4)$$

정지하면 구배에 해당하는 부하 토크를 상쇄하는 토크로 정지를 유지한다. 전동차는 정차를 시키기 위해서 정 토크의 전기제동으로 감속하며 정지의 순간에는 제동 토크를 감소시켜야 한다. 따라서 그림 4와 같이 감속구간과 정지의 순간은 토크 제어의 방법이 다르게 되므로 제어모드를 전환하는 방법을 사용하게 된다. 또 운전 중 가속도의 변화는 승차감에 영향을 주므로 모드의 전환은 극 저속에서 이루어진다. 또한, 정지 제어의 블럭도를 그림5와 같이 나타 낼 수 있다.

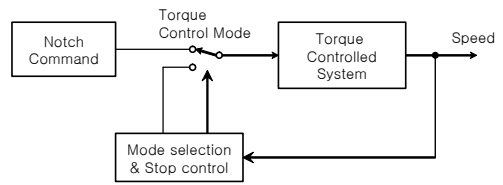


그림 4. 제어 모드의 변이  
Fig. 4. Transfer of control mode

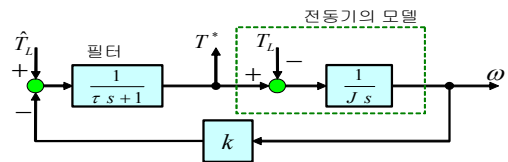


그림 5. 정지 제어  
Fig. 5. Stop control

## 2-2. 전원회로와 인버터 출력전압 증대

전동기의 정격을 고려하여 낮은 전압으로 구동하며 그림 6과 같이 인버터의 구동회로는 48[V]의 배터리를 사용하고 가선의 전압강하의 효과를 가지도록 직류 출력에 직렬 저항을 가변 할 수 있도록 한다. 전동기는 회생제동을 사용하므로 배터리의 충전회로는 손실에 해당하는 전력만 공급하면 되므로 슬라이더스 와 정류기에 의한 간단한 회로로 구성한다.

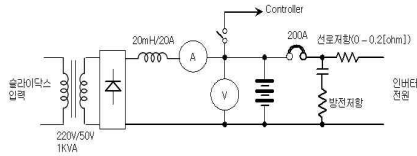


그림 6. 전원회로  
Fig. 6. Source circuits

그림 7은 최대 운전범위까지 정 토크 운전을 하기 위하여 2대의 인버터에 의하여 전압의 가변범위를 넓히며 자속 제어 영역을 확보하기 위하여 직렬 리액터를 연결한다.

인버터 INV-1은 전류제어를 하며 INV-2는 전압 제어로 구동하도록 하며 두 대의 인버터는 변압기에 의하여 가변전압의 범위를 넓히게 되어 최대 운전범위에서도 정 토크운전이 가능하도록 구성하였다.

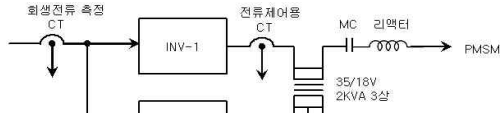


그림 7. 전력 변환기 장치  
Fig. 7. Implementation of Power converter

제동 에너지를 모두 직류전원으로 보내 회생전력을 활용할 수 있지만 실제 적용하기에는 장치가 비대해 지므로 차량에 장착하기에는 어려운 문제가 발생할 수 있다.

2-3 직렬저항 삽입과 직렬저항의 단락

제동에너지를 모두 직류전원으로 보내 회생전력으로 활용할 수 있지만 실제 적용하기에는 장치가 비대해지는 단점이 생겨 차량에 장착하기에 어려운 문제가 발생할 수 있다.

출력전압을 증대하여 제동력 확보에 적용하기에는 실제 장치가 비대해지는 단점이 있어, 소형화가 요구되기 때문에 전동기와 인버터 사이에 직렬저항을 삽입하여 제동에너지의 일부를 저항에서 소비시키는 방법을 제안하였으며, 이 경우에는 그림 8의 INV-1만을 사용하여 운전이 가능하게 된다.

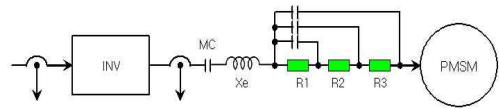


그림 8. 직렬저항을 사용한 전동기회로  
Fig. 8. Motor circuit using a series resistance

그림8과 같이 직렬저항을 삽입하여 사용하였을 때, 전력손실에 의한 효율을 개선하기 위하여 구동상태에서 점차적으로 저항의 값을 줄인 후 단락 시키는 방법을 제안하였다.

또한 직렬저항을 삽입하였을 때, 제동 토크를 변화시키지 않고 인버터의 포화전압으로 전동기의 구동이 가능하였다.

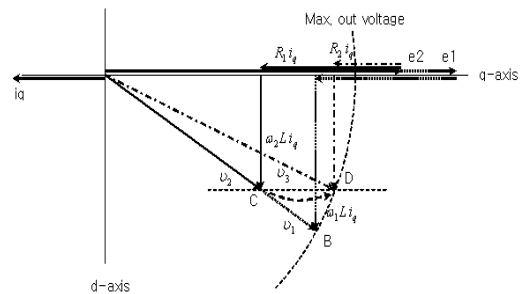


그림 9. 직렬 저항 단락  
Fig. 9. Short of series resistance

그림9와 같이 직렬저항의 단락 시 B점에서 운전하고 있는 전동기가 정 토크제동으로 감속하여 C점에서 운전 중일 때, 직렬저항을 변화(감소)시키면 저항강하가 적어지므로 운전 점을 이동할 수 있다. 전동기가 제동하여 감속하게 되면 같은 동작을 반복하여 인버터의 최대 전압범위 내에서 운전하게 되면 직렬저항을 제거하여 단락 시킬수 있다. 속도에 따라 저항을 단락 시킴으로써 고속영역에서 제동력을 확보하고 속도가 낮아지면 저항을 단락 시킴으로써 효율적인 측면을 개선할 수 있다.

III. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 축소 견인시스템의 제원은 다음 Table 1과 같다. 이와 같은 축소 견인 시스템을 이용하여 다음과 같은 실험을 진행하였다.

표 1. 견인 시스템 제원

Table 1. Reduction traction system

구분	종류	정격	비고
구동전동기	PMSM	5[kW]	서보전동기
관성체	직결방식	7.2[Nms <sup>2</sup> /rad]	
부하용전동기	PMSM	5[kW]	서보전동기
속도검출기	레졸바		tamagawa
운전범위		824[rpm]	최대 1200 [rpm]
인버터	병렬 FET	350[A]	전류 제어형PWM
제어기	16 비트 DSP	56F8345	

3-1 정지순간의 제어 실험

속도 궤환의 이득과 필터의 시정수는 정지순간의 제동토크를 감소하는 시간에 관계된다. 이 기간 중에는 감속도의 비율이 변하기 때문에 실제의 경우 승차감에 상당한 영향을 주게 될 것으로 보인다.

다음 그림10과 그림11, 그림12, 그림13들은 각각 속도의 궤환과 필터의 시정수에 따른 정지 동작을 측정한 것으로 필터의 시정수가 클수록 전류의 진동이 적고 안정된 운전이 관찰되었으며 궤환량이 클수록 토크를 감소하는 기간 즉 감속도의 변화기간이 짧아지고 있다.

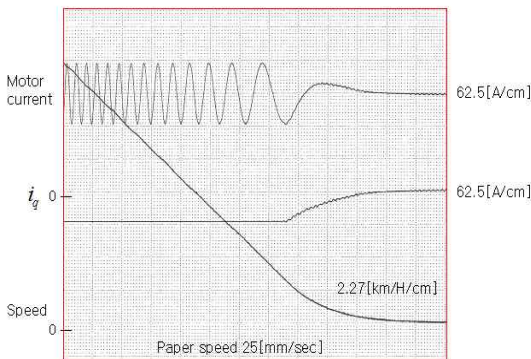


그림 10. 속도 궤환, 필터 시정수  
Fig. 10. Speed feedback : 50, Filter time constant : 0.0384[s]

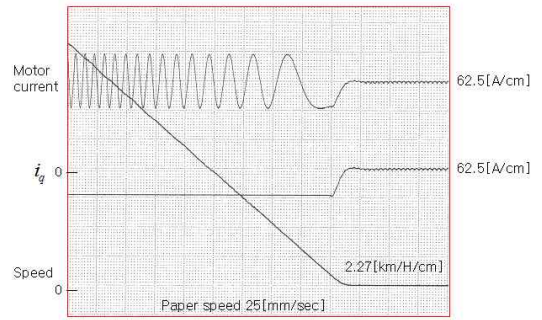


그림 11. 속도 궤환, 필터 시정수  
Fig. 11. Speed feedback : 250, Filter time constant : 0.0384[s]

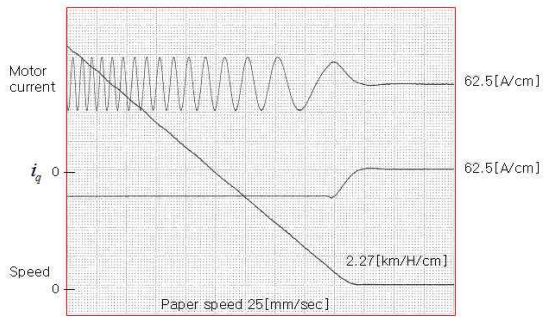


그림 12. 속도 궤환, 필터 시정수  
Fig. 12. Speed feedback : 250, Filter time constant : 0.0788[s]

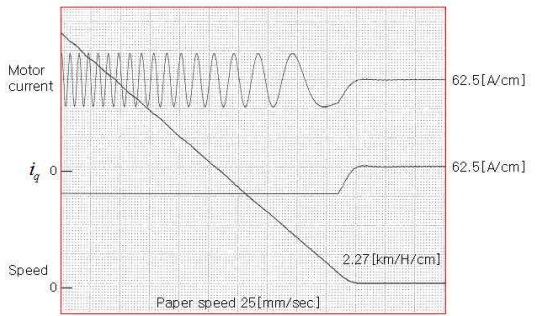


그림 13. 속도 궤환, 필터 시정수  
Fig. 13. Speed feedback : 250, Filter time constant : 0.0384[s]

부하 토크 추정기의 PI제어기 이득조정으로 얻어진 정지특성을 살펴보면 정지할 때 제동 토크를 감소하는 기간과 전류의 진동 등은 필터의 시정수, 속도 궤환량, 부하 토크 추정기의 이득에 관계하며 실제의 적용단계에서는 승차감을 고려하여 정할 필요성이 있다.

3-2 부하토크가 있는 정지제어의 실험

구동전동기를 가속한 다음 일정속도에서 제안된 방법으로 제동실험을 하였다. 실험 장치는 직접구동 방식의 축소모형이며 회전속도가 824[rpm]일 때 전동차의 속도는 120[km/H]에 해당한다. 그림14와 그림 15는 80[km/H]까지 가속 후 제동상태를 측정된 것이다. 각각 부하전동기의 토크가 (+)일 때와 (-)의 에 대하여 실험한 것이며 전동차가 구배를 오를 때와 내려갈 때에 해당된다.

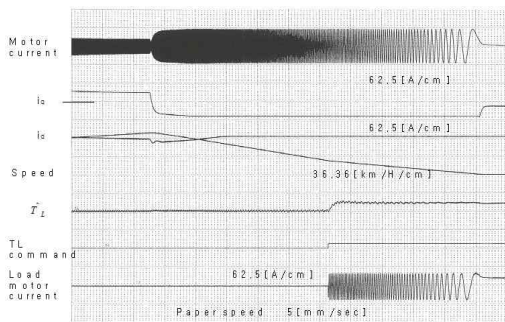


그림 14. 정지제어와 (+)부하 토크 추정  
Fig. 14. Estimation of (+)load torque and stop control

부하 토크의 추정결과는 정지하는 순간에만 사용되며 그림14, 그림15 및 그림16에서 토크 성분의 전류가 감소하는 구간이 제어모드를 전환하여 정지제어를 하는 구간이 된다. 그림14와 그림15를 관찰하면 정지한 후에도 부하 토크를 추정하고 있으며 구배의 조건에서 정지 토크를 발생함을 알 수 있다.

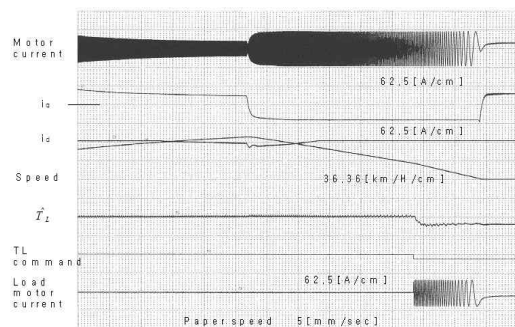


그림 15. 정지제어와 (-)부하 토크 추정  
Fig.15. Estimation of (-)load torque and stop control

그림 16은 정지의 순간을 확대하여 측정된 것이다. 극 저속에서 정지제어가 이루어짐을 나타내었다. 부

하 토크의 추정결과는 정지하는 순간에만 사용되며 그림14, 그림15 및 그림16에서 토크 성분의 전류가 감소하는 구간이 제어모드를 전환하여 정지제어를 하는 구간이 된다. 그림14와 그림15를 관찰하면 정지한 후에도 부하 토크를 추정하고 있으며 구배의 조건에서 정지 토크를 발생함을 알 수 있다.

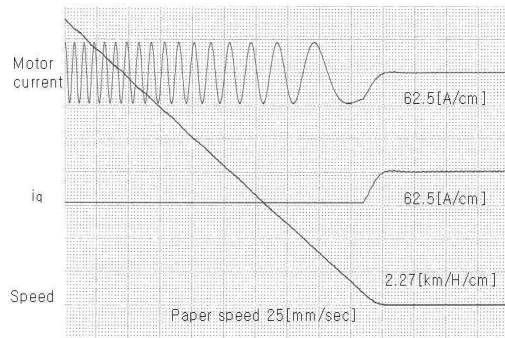


그림 16. 정지제어  
Fig. 16. Stop control

3-3 제동력 확보의 실험

제동의 경우 전 구간에서 정 토크의 제동이 가능하도록 인버터의 전압을 확보할 수 있으므로 임의의 전압에서 포화하도록 전압을 제한하여 운전하였으며 제동력이 커짐과 가속 운전으로 인한 정 출력운전의 제한 및 직렬저항의 삽입으로 제동패턴을 확대하여 실험하였다.

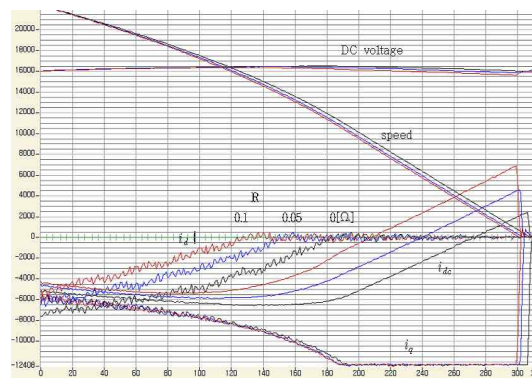


그림 17. 직렬 저항을 사용한 제동 특성  
Fig. 17. Braking characteristics using a series resistance

그림17에서 와 같이 직렬 저항을 사용한 제동 상태를 나타내었고 직렬 저항 제동 특성으로 직류 전류

의 직권 제동 특성곡선을 나타내어 직렬저항을 사용한 제동저항 값의 변화에 따라 저항이 클수록 제동특성이 양호하게 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

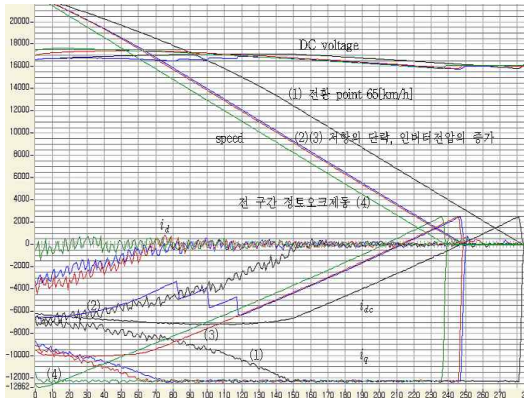


그림 18. 제동 특성의 비교

Fig. 18. Compare with braking characteristics

그림 18은 각 제동특성을 비교한 것으로 (1)은 65[km/h]에서 정 출력과 정 토크 제동을 전환 하였을 때의 제동 특성을 나타내며, (2)는 저항을 단락 하는 방법일 때를 나타내며, (3)은 인버터 최대전압을 증가시켰을 때를 나타내며, (4)는 (3)의 방법으로 전 구간을 정 토크로 제동했을 때를 나타낸다.

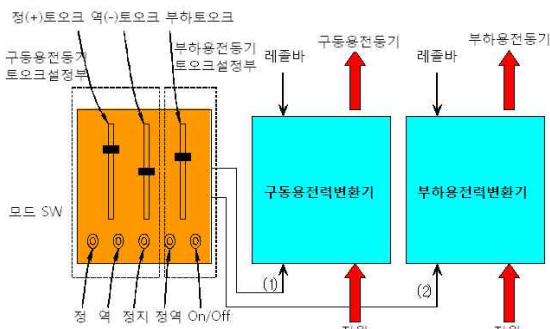


그림 19. 축소 모형 시스템

Fig. 19. Miniature model propel system

그림 19는 본 논문의 전체적인 실험 장치와 같은 축소모형 추진시스템으로 구동하면 각각 부하 전동기의 토크가 (+) 일 때와 (-)의 에 대하여 실험한 것이며 전동차가 구배를 오를 때와 내려갈 때에 해당된다.

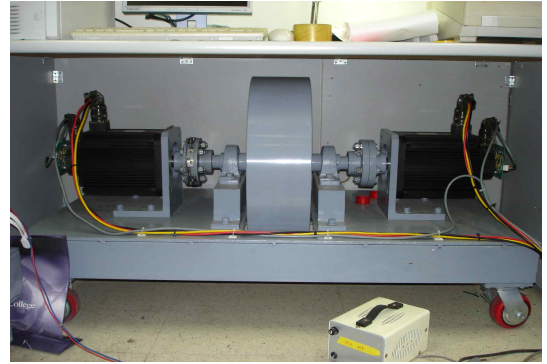


그림 20. 전동기 실험 장치

Fig. 20. Experimental equipment of motor

그림20은 실제 전동기 실험장치를 나타내었다. 따라서 전기제동으로 정지하고 공기제동으로 정차한 후 전기제동을 없애는 방법으로써 완전 전기제동이 이루어지며 이러한 제동의 사용은 소음과 분진을 줄이는 환경적 효과와 전동차의 성능을 개선하는 장점이 얻어지게 된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서 제안된 직렬저항 삽입하는 방법을 적용한 축소모형 5[kW]급 영구 자석형 동기전동기 (PSPM)를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 인버터의 최대전압을 증가시키는 방법과 저항을 삽입하여 점차적으로 감소시켜 단락 시키는 방법은 동일한 특성을 얻을 수 있어 장치의 공간적 문제를 해결할 수 있다.

(2) 직렬저항의 전압강하에 의한 전동기의 전압이 상승하여 지속 제어 영역이 좁아지고 정 토크 운전 영역이 확대할 수 있다.

(3) 삽입된 저항을 주어진 상황에 맞게 변환하여 전압강하에 의한 효율문제를 개선할 수 있다.

(4) 축소 모형에서 실험한 것으로 실제의 적용에 있어서 발열 문제와 저항의 취부 등의 고려사항들이 발생할 수 있다.

국내의 전동차는 공기제동과 전기제동을 병행한 블렌딩 제동방법을 사용하고 있지만, 완전한 전기제동을 하기 위하여 정지에서 고속영역까지의 정지토



크를 갖도록 하였다. 따라서 정지 후 공기제동에 의한 정차 브레이크를 사용하도록 한다면 공기제동의 사용기회를 최소화 할 수 있다.

### 감사의 글

본 논문은 2012년 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 이루어졌습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

### Reference

- [1] T. Suzuki, T. Koseki, S. Sone, A Study on a Method of Train Automatic Stopping Control with a Pure Electric Brake I.E.E.Japan Joint Technical Meeting on Transportation & Electric Railways and Linear Driver, TER-00-37LD-00-64, pp.15-18, July 2000.
- [2] L. Kovudhikulrungsri, T. Koseki, "Speed Estimation in Low-Speed Range for an Induction Motor to Realize Pure Electric Brake", *I.E.E. Japan Joint Technical Meeting on Transportation & Electric Railways and Linear Drive*, TER-00-38LD-00-65, pp.19-24, July 2000.
- [3] S. Takashi, K. Takafumi, "Simple Train Automatic Stopping Control with Constant Power Braking Pattern Supposing the Pure Electric Brake." *I.E.E. Japan 2001 Japan Industry Applications Society Conference (JISAC2001)*, Vol. 3, pp. 1285-1288, August 2001.
- [4] H. Tabuchi, T. Suzuki, T. Koseki, "A Proposal and Study on Braking Signs for Increasing Rate of Electric Brake", *2001 National Convention Record, I.E.E. Japan*, Vol. 5, No. 253, pp. 2092-2093, March 2001.
- [5] Dong-Sup Oh, Sung-Eop Oh, Min-Ho Park, Se-Jin, Seong, In-Su, Km "A Study on high speed Motor controller using DSP, *Power Electronics Conference, Proceedings of the 2005*
- [6] Jung-Seok Yun, Kwang-Heon, Kim "Permanent magnet synchronous motor (PSPM) technical design and magnetization" *Journal of Power Electronics*, Vol 7, No 5, 2002.
- [7] Lark-Hoon Hwang, Seung-Kown Na, Ji-Cheol Park, Seung-Wook Kang, Ik-Soo Ahn, Jong-Rae Kim "A Study on Extending Break Power of The PMSM using series Resistor" 2012 Spring Conference of the Korean Society for Railway, Proceedings of the May, 2012
- [8] K. Yoshida, "Development of Main Circuit System using Direct Drive Motor (DDM)", *JR EAST Technical Review No.1-Autumn*, pp. 46-52, 2002.
- [9] H. Tabuchi, T. Suzuki, T. Koseki, "A Proposal and Study on Braking Signs for Increasing Rate of Electric Brake", *2001 National Convention Record, I.E.E. Japan*, Vol. 5, No. 253, pp.2092-2093, March 2001.
- [10] Y. Toshiaki, S. Shigetomo "Traction Motors Aiming at High Efficiency and Low Maintenance" *toshiba review Vol.58, No.9*, pp 14 ~17. 2003
- [11] George Ellis, Jens Ohno Krah, Observer-based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems., *PCIM 2001*, 2001.
- [12] Reza Hoseinnezhad, Peter Harding A Novel Hybrid Angle Tracking Observer for Resolver to Digital Conversion. *44th IEEE Conference on Decision & Control, and the European Control Conference*, pp7020-7025, 2005.
- [13] Texas Instruments, TMS320F240 DSP Solution for Obtaining Resolver Angular Position and Speed. *Application Report SPRA605*, February 2000.
- [14] Analog Devices, 12-Bit R/D Converter with Reference Oscillator., *Analog Devices*, 2003.

황 락 훈 (Lark-Hoon Hwang)



1981년 명지대학교 전기공학과  
공학사  
1983년 명지대학교 전기공학과  
공학석사  
1989년 명지대학교 전기공학과  
공학박사  
1988년 3월~1991년 2월 충남 전문대학

(현 대덕대학) 전기과 조교수

1991년 3월 ~ 현재 세명대학교 전기공학과교수

관심분야 : 에너지 변환, 전동기 제어, 전력전자 응용  
분야, 반도체 시뮬레이션 등

정 남 길 (Nam-Kil Chung)



1985년 숭실대학교 전자공학과  
공학석사  
1986년 2월 ~ 1996년 1월 (주)이디  
부설연구소 책임연구원  
1996년 1월 ~ 현재 (주)이디미디어  
대표이사 등  
2010년 3월~현재 세명대학교 전기

전자공학과 박사과정

관심분야 : 전력전자, 계측제어

나 승 권 (Seung-Kwon Na)



1999년 세명대학교 전기공학과  
공학사  
2001년 세명대학교 전기전자공학  
공학석사  
2008년 세명대학교 전기전자공학  
공학박사  
1981~1988:부산위생(한방)병원

1988~1994 : 한국수자원공사

1994~현재 : 한국폴리텍대학 원주캠퍼스 의용공학과 교수

관심분야 : 의용공학 및 에너지변환, 전력전자

김 영 복 (Young-Bog Kim)



1986년 원광대학교 전자공학과  
공학사  
1990년 건국대학교 산업대학원  
전자공학과 석사  
2010년~현재 세명대학교 전기전자  
공학과 박사과정  
1986~ 2007주식회사 이디  
2008~현재 서울종합직업전문학교

전기계측제어과 교사

관심분야 : 전력전자, 계측제어, 태양광 및 풍력 발전