

계자권선 절환에 의한 직류전동기의 고효율 추종 운전

High Efficiency Tracking Drive in DC Motor by Field Winding Switching Method

윤 기 정^o 김 방 현
전남대학교 전기공학과

Ki-Jeong, Yoon^o Kwang-Heon, Kim
Dept. of Electrical Eng., Chonnam National University

(Abstract)

This paper constructed the experimental system which is able to drive in series or separately excited by switching of the field winding, using a DC motor and obtained the characteristics of efficiency with speed and torque of each motor's type through the experiment. From this result, controlled drive which is able to series DCM or separately excited DCM, in the optimal point of efficiency as finding the types of motor having maximum efficiency with torque and speed.

By performing high efficiency tracking drive, it is expected that energy consumption of power source with limited energy density would be reduced, and so utility efficiency would be improved.

1. 서론

내연기관 자동차에 비해 전기자동차 특유의 장점은 무공해성, 저소음, 운전조작 및 유지보수가 쉽고 에너지의 다변화 측면에서 뛰어나지만 일종전 주행거리에 있어서 큰 단점을 보이고 있다. 일종전 주행거리를 증대시키기 위해서 고성능 2차전지의 개발과 차체의 경량화, 에너지소모의 최소화가 필요하다.

에너지소모의 최소화를 위해서 고성능 전동기와 제어장치의 개발이 요구되며, 또한 전기자동차용 전동기의 고효율 운전이 가능해야 한다. 전기자동차 구동용 전동기는 배터리 전원으로 부터 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하여 자동차를 구동시키는 핵심부로서 한정된 에너지를 이용하기 때문에 에너지 소모를 절감하여 이용 효율을 높여야 한다[1]-[4].

본 논문에서는 한 대의 직류전동기를 이용하여 계자권선용 스위치절환에 의해 직권 또는 타여자 운전이 가능하도록 실험장치를 구성하여 각 유형별 전동기의 토크, 속도에 따른 효율특성을 실험으로 구하였다. 이로부터 토크, 속도에 따른 최대효율을 보이는 전동기의 유형을 파악하여 효율 최적점(두 유형의 전동기의 효율곡선이 교차되는 점)에서 직권직류전동기 또는 타여자직류전동기로 운전이 가능하도록 제어하였다. 이렇게 고효율 추종 운전을 함으로써 한정된 에너지 밀도의 전원에 대한 에너지 소모를 감소시켜 이용효율을 증대시키고자 하였다.

2. 시스템의 구성 및 효율특성 실험

2.1 계자권선 절환을 위한 시스템 구성

그림 1은 한 대의 직류전동기를 이용하여 계자권선의 스위치 절환에 의하여 직권직류전동기와 타여자직류전동기로 운전이 가능하도록 구성된 전동기 구동회로이다. 직류전동기의 초기상태는 타여자전동기로 설정하였고, 스위치 s/w_1 또는 s/w_2 를 효율의 최적점에서 절환하여 속도와 토크에 따라 최대효율을 가지는 전동기 유형으로 운전이 가능하도록 하였다.

그림 2는 전동기 유형을 결정하기 위한 제어 흐름도이다. 직류전동기의 속도와 토크 프로필을 설정하여 일정한 샘플링간격으로 속도와 토크값을 읽고 실험으로 구해진 조건표(look-up table)의 데이터와 비교하여 어떤 전동기 유형이 고효율인지를 판단하여 스위치를 절환시킴으로써 고효율의 전동기 유형으로 구동이 되도록 제어하였다.

표 1은 실험에 사용된 직류전동기의 사양이다.

표 1. 전동기 사양

Table 1. Motor specifications

Parameters		Specification
Rated output Power		175 [W]
Armature rated voltage		120[V]
Shunt voltage		120[V]
Full load speed		1800 [rpm]
Full load current		2.8 [A]
Winding resistance	Shunt	265 [Ω]
	Series	1.7 [Ω]
	Armature + Brushes	8.0 [Ω]

2.2 효율특성 실험

직류전동기를 직권으로 운전하는 경우와 타여자로 운전하는 경우로 분류하여 전압제어 방식으로 각각의 속도, 토크에 따른 효율특성을 파악한 후 속도, 토크의 프로필을 설정하여 적용하였다. 즉, 가속, 등속, 감속에 따른 각 구간별 토크를 임의로 설정하여 전동기를 운전하고 효율특성 곡선을 파악하였다.

1) 일정속도, 토크가변시의 효율곡선

그림 3(a)~(d)는 속도를 일정하게 유지하고 토크를 가변시킬 때, 토크변화에 따라 나타나는 직류전동기의 유형별 효율곡선

을 실험을 통해서 구한 것이다. 그림 3에서 회전속도 $\omega_m = 1200(\text{rpm})$ 인 경우 저토크 영역인 $0.4[\text{Nm}]$ 의 구간까지는 직권적류전동기가 타여자적류전동기의 효율보다 더 높게 나타나고 있고 $0.4 \sim 1.2[\text{Nm}]$ 의 영역에서는 타여자적류전동기가 고효율운전이 되고 있음을 알 수 있다. 또한 그 이상의 토크 영역에서는 다시 직권적류전동기가 고효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 3(b)~(d)도 그림 3(a)의 경우와 같이 토크가 증가함에 따라 직권적류전동기, 타여자적류전동기, 직권적류전동기의 순으로 고효율을 나타내고 있다. 다만, 다른 점은 각각이 절환되는 토크값이 운전속도가 낮아짐에 따라 더 낮아진다는 것이다.

따라서, 저토크 영역에서는 직권적류전동기로 운전을 하다가 중간 토크영역의 두 효율곡선이 교차되는 점의 범위내에서는 직류전동기의 계자권선을 스위치로 절환하여 타여자적류전동기로 운전을 하는 것이 전영역을 직권적류전동기만으로 또는 타

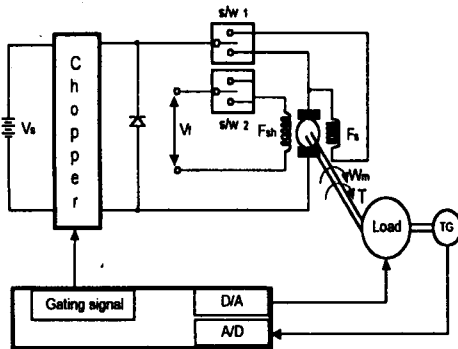


그림 1 실험장치의 구성도.
Fig. 1 Configuration of experimental system.

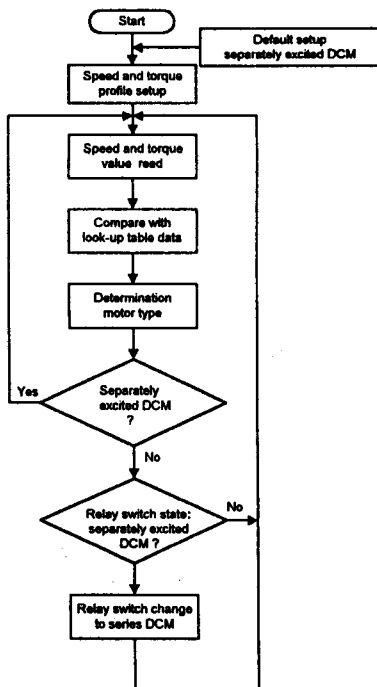


그림 2 계자권선 절환을 위한 제어 흐름도.
Fig. 2 Control flowchart for switching of the field winding.

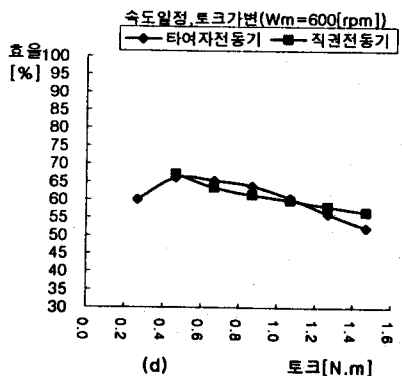
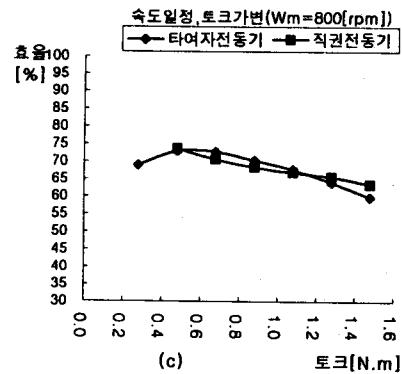
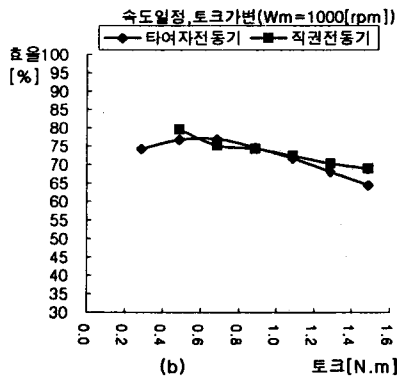
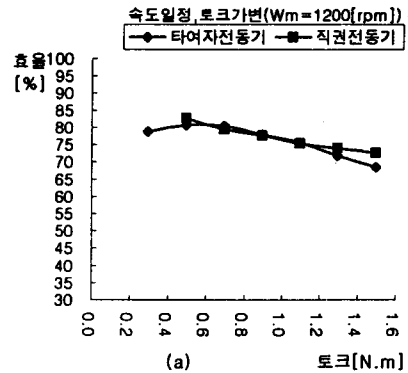
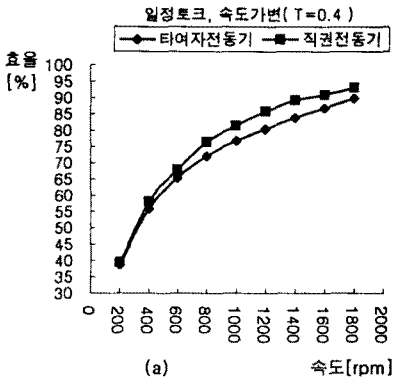
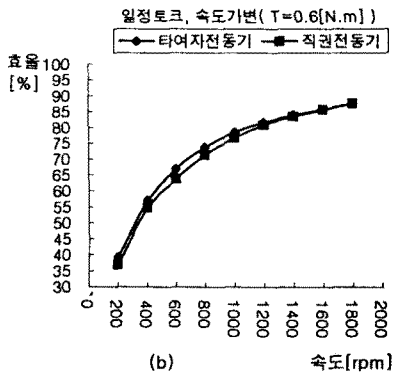


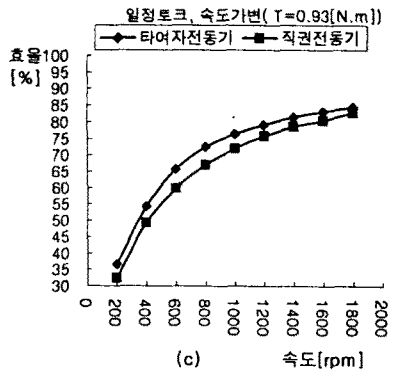
그림 3 일정속도일때 토크-효율 특성곡선.
Fig. 3 Characteristics of torque-efficiency with constant speed.



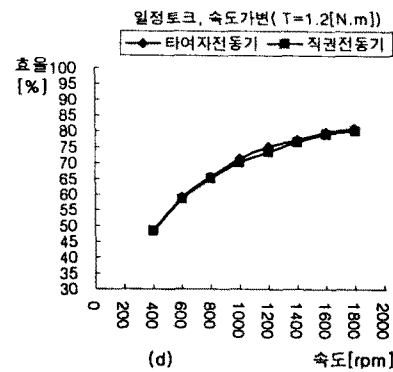
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 4 일정토크일 때 속도-효율 특성곡선.
Fig. 4 Characteristics of speed-efficiency with constant torque

여자직류전동기만으로 운전을 하는 것보다 효율적인 운전이 가능함을 알 수 있다.

2) 일정토크, 속도가변시의 효율

그림 4(a)~(d)는 토크를 일정하게 유지하면서 회전속도 ω_m 을 가변할 때의 직류전동기의 유형별 효율곡선을 나타낸 것이다. 그림 3(a)~(d)에서 보이는 것과 마찬가지로 토크 0.6[Nm]와 1.2[Nm]에서 두 효율곡선이 겹침을 알 수 있다. 또한 토크가 일정할 때 속도가 증가함에 따라 효율이 점차 증가되고 토크의 변화에 의해서 직권직류전동기와 타여자직류전동기의 효율곡선이 서로 겹친 후 역전되어 나타남을 그림 4(c)와 (d)에서 알 수 있다.

따라서 속도일정시 토크를 가변시키는 경우와 같은 결론을 얻을 수 있다. 즉 저토크영역에서는 직권전동기로 운전을 하며 중간영역에서 타여자전동기로 전환을 해 줌으로써 두 효율곡선의 차이만큼 고효율 운전이 가능함을 알 수 있다.

3. 속도-토크 프로필에 따른 고효율 추종 운전

그림 5와 같은 속도와 토크의 프로필에서 t_1 구간과 t_3 구간은 각각 가속구간, 감속구간으로서 토크는 실험모터의 정격인 0.93[Nm]로 설정한다. 등속구간인 t_2 에서 등속도를 1000, 800, 600[rpm]으로 설정하고, 토크는 0.6[Nm] 또는 0.4 [Nm]로 하였다.

그림 3, 4의 데이터를 참조한 속도와 토크의 프로필에 따른 효율곡선은 그림 6, 7에 나타낸 것과 같다. 그림 6은 등속구간에서 토크가 0.6[Nm]에서 회전속도가 1000, 800, 600[rpm]인 경우의 효율곡선을 보인 것이다. 등속도가 800[rpm] 이상의 경우인 그림 6(a)는 가속구간과 등속구간에서 타여자직류전동기의 효율이 직권직류전동기보다 더 크게 나타나고, 등속구간과 감속구간의 전환점에서 두 효율곡선이 교차된 후 직권직류전동기가 더 높은 효율로 운전이 되고 있음을 알 수 있다. 또한 등속구간의 속도가 600[rpm]인 경우는 800[rpm] 이상의 경우와는 다르게 가속구간에서만 타여자전동기의 효율이 더 좋음을 그림 6(b)를 통해 알 수 있다.

그림 7은 등속구간에서 토크가 0.4[Nm]이고 회전속도가 1000, 800, 600[rpm]의 경우의 전동기 유형별 효율곡선을 나타낸 것이다. 800[rpm] 이상인 경우의 그림 7(a)는 그림 6과 다르게 가속구간에서 등속구간으로, 등속구간에서 감속구간으로의 전환점에서 두 효율곡선이 서로 반전됨을 알 수 있다. 그러나 600[rpm]인 그림 7(b)는 그림 6(b)와 같은 형태의 효율곡선을 보이고 있다.

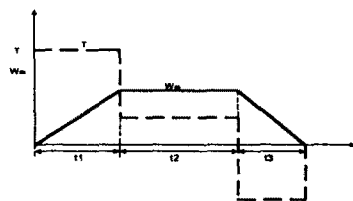


그림 5 속도-토크의 프로필.
Fig. 5 Profile of speed and torque.

4. 결론

그림 3과 4 이상의 실험에서 운전 구간별로 전동기의 효율차가 속도와 토크의 프로필에 따라서 가속, 등속, 감속구간에서 더 높은 효율로 운전되는 전동기의 유형이 다르며, 전동기 유형별 효율차이는 가속구간에서 약 5~6%, 등속구간에서 약 2~4%, 감속구간에서 약 3~5%를 보이고 있다.

따라서 본 논문에서는 속도와 토크의 프로필에 따른 효율곡선이 교차되는 지점의 속도와 토크값을 실험을 통하여 조건표로 작성을 하였다. 그리고 전동기 구동시 일정간격마다 속도와 토크값을 읽어 조건표의 데이터와 비교하여 고효율로 운전이 되는 전동기유형으로 전환시키는 전환점으로 선정하였다.

즉, 그림 6과 7의 A~E가 각각의 전환점이 된다.

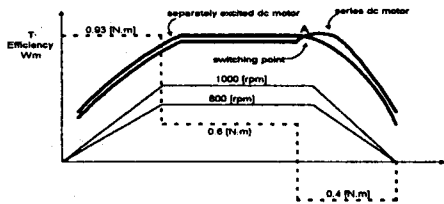
그러므로 전환점 A~E에서 계자권선의 스위치를 전환하여 구간별로 고효율운전을 보이는 전동기유형으로 운전됨 함으로써 효율향상을 이룰 수 있음이 확인되었다.

본 논문에서는 한정된 에너지 밀도의 전원을 이용하는 전동기의 운전에 있어 에너지 이용효율을 높이기 위해 직류전동기를 사용하는 경우 전동기 유형별 효율특성을 실험을 통해 파악한 후 각 구간에서 고효율을 보이는 유형의 전동기로 운전이 가능하도록 계자권선을 스위치로 전환해 줌으로써 이용효율을 개선시킬 수 있음을 보였다. 즉, 실험을 통해 얻어진 효율곡선에 대한 데이터를 조건표로 작성하여 운전 토크와 속도를 비교하여 고효율을 보이는 전동기 유형으로 전환함으로써 직권 또는 타여자중 하나의 구조로 운전할 때 보다 효율향상이 이루어짐을 보였다.

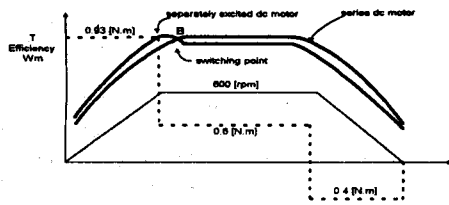
따라서 본 논문은 속도와 토크에 따르는 효율특성곡선을 추종하도록 직류전동기의 유형을 전환해 줌으로써 고효율 운전이 가능하며, 한정된 에너지 밀도를 가진 전지전원에 적용하여 고효율 운전을 수행함으로써 에너지 소모의 절감 효과를 가져와 일층전 주행거리의 증대를 꾀할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 한국전기연구소, "93 EXPO 전시운영용 전기자동차 개발", 대전세계박람회조직회, 1993, pp 2-24
2. 오성철, 송병문, "전기 자동차용 충전기의 개발", 대한전기학회지, 제41권 8호, pp.10-17, 1992. 8
3. 박창순, 장기찬, "전기자동차용 전동기", 대한전기학회지, 제 41권 8호, pp.18-21, 1992. 8
4. 임성기, "전기자동차 개발", 대한전기학회지, 제48권 12호, pp.21-30, 1992. 12
5. L. E. Unnewehr, "ELECTRIC VECHICLE TECHNOLOGY", A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1982, pp.1-144
6. 윤병도, 우정인, 정재윤, 차득근, 김민희, "전력전자", 보성각, pp.191-297, 395-432, 1994
7. Theodore Wildi, "Electrical Machines, Drives, and Power Systems", PRENTICE HALL, 1997, pp. 96-117
8. N. H. Fetih, G. A. Girgis and G. M. Abdel-Raheem, "Speed control of a dc series motor using a modulated phase-angle controlled single triac", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 4, No. 3, pp.538-543, sept. 1989.



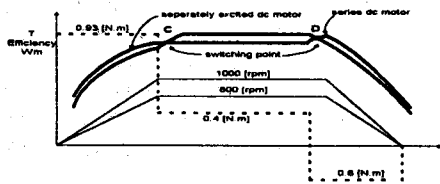
(a)



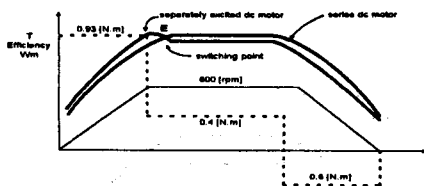
(b)

그림 6. 속도-토크 프로필에 따른 효율 추종 운전(등속구간의 토크가 0.6[Nm]인 경우).

Fig. 6 Efficiency tracking drive with speed-torque profile (when torque is 0.6[Nm] in constant region).



(a)



(b)

그림 7 속도-토크 프로필에 따른 효율 추종 운전(등속구간의 토크가 0.4[Nm]인 경우).

Fig. 7 Efficiency tracking drive with speed-torque profile (when torque is 0.4[Nm] in constant region).