

직류 분권전동기의 속도 특성

(Speed Characteristics of Direct Current Shunt Motors)

신명호*

(Myoung-Ho Shin)

Abstract

It is well known that speed of a direct current shunt motor is inverse proportional to flux. This paper presents speed expression to show that speed is not inverse proportional to flux. The presented speed vs. flux curves are verified by experimental result that shows the need of the revision of speed vs. flux curves shown in conventional text books.

Key Words : DC Shunt Motor, Speed, Flux

1. 서 론

직류분권전동기의 회전속도와 자속과의 관계는 참고문헌 [1-4]에서, 수식의 전개를 통하여 자속과 속도가 반비례하는 것으로 제시되어 있다. 그러나 자속이 감소하면 자속의 감소로 인하여 전기자전류가 증가하므로 자속과 속도는 반비례 관계가 성립하지 않게 된다.

참고문헌 [5]에서는 자속의 변화에 따른 속도의 변화가 단순히 반비례 관계가 성립하는 것이 아니라고 서술되어 있으나 정량적인 수식전개와 수식에 의한 속도곡선의 내용이 제시되지 못하였다.

본 논문에서는 참고문헌 [1-4]에 제시된 자속변화에 따른 속도곡선 및 부하전류 변화에 따른 속도곡선에

대해서 살펴본 후, 계자전류의 함수로서의 속도수식을 전개하고 계자전류의 변화에 따른 속도그래프를 제시한다. 또한 직류 분권전동기의 계자전류 변화에 따른 속도측정의 실험결과에 의해서 제안한 직류 분권전동기 속도수식의 타당성을 입증하며, 참고문헌 [1-4]에 나타나 있는 계자전류 변화에 따른 속도곡선의 수정의 필요성을 제안한다.

2. 기존의 계자전류에 따른 속도곡선

직류분권전동기에서 속도 N (rpm)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$N = k \frac{V - I_a R_a}{\Phi} \quad (1)$$

여기서 k 는 상수, V 는 공급전압, I_a 는 전기자전류, R_a 는 전기자저항, Φ 는 자속이다.

식 (1)에서 회전수 N 과 자속 Φ 는 반비례 관계가 성립하는 것으로 나타나 있다.

* 주저자 : 서울과학기술대학교 전기정보시스템공학과 부교수
Tel : 02-970-6408, Fax : 02-978-2754
E-mail : mhshin@seoultech.ac.kr
접수일자 : 2012년 1월 14일
1차심사 : 2012년 1월 18일
심사완료 : 2012년 2월 14일

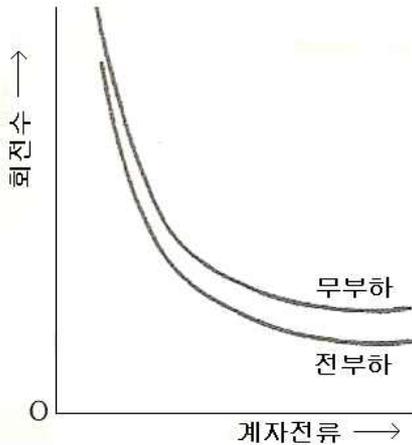


그림 1. 참고문헌 [1]에서 제시한 회전수 대 계자전류
Fig. 1. Speed vs. field current shown in reference [1]

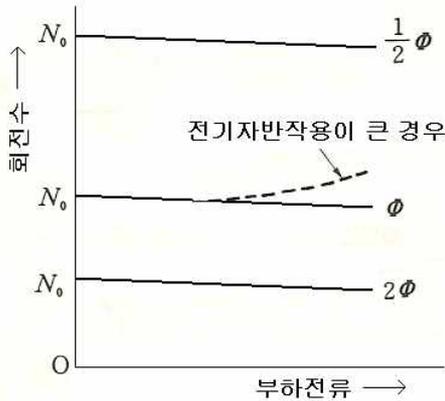


그림 2. 참고문헌 [1-4]에서 제시한 회전수 대 부하전류
Fig. 2. Speed vs. load current shown in references [1-4]

그림 1은 참고문헌 [1]에 제시된 계자전류 I_f 의 변화에 따른 속도파형을 나타내고 있다. 철심에서 자속이 포화되지 않았다고 가정하면 자속과 계자전류는 비례한다고 볼 수 있으므로 회전속도와 계자전류는 그림 1과 같이 반비례하는 것으로 나타난 것이다. 무부하에 비해서 전부하 시에 속도가 감소한 것으로 표현되어 있는 것을 알 수 있다. 그러나 자속이 감소하면 반비례의 관계가 있는 속도가 증가하는 것으로 되어 있으나 자속이 감소하면 역기전력이 감소하여 I_a 는 증가하므로 속도와 자속은 그림 1처럼 반비례관계가 성립하지 못하고 복잡하게 된다.

그림 2는 참고문헌 [1-4]에서 제시된 부하전류 변화

에 따른 속도곡선을 나타내고 있다. 자속을 증가시키면 속도가 감소하고 자속을 감소시키면 속도가 증가하는 것으로 나타나 있으나, 속도와 자속이 반비례관계가 성립하지 못하므로 이 그래프 또한 잘못된 것이다.

3. 제안한 계자전류에 따른 속도곡선

직류 분권전동기의 토크 T 는 식 (2)와 같다[1].

$$T = k_1 \Phi I_a \quad (2)$$

여기서 k_1 은 상수이다.

역기전력을 E 라 하면 전기자전류 I_a 는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$I_a = \frac{V - k_2 \Phi N}{R_a} \quad (3)$$

여기서 k_2 는 상수이다.

철심에서의 자속의 포화를 무시하고 자속과 계자전류가 선형관계가 성립한다고 가정하면 다음의 식 (4)가 성립한다.

$$\Phi = k_3 I_f \quad (4)$$

여기서 k_3 는 상수이다.

식 (4)의 Φ 를 식 (3)에 대입하면 I_a 는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$I_a = \frac{V - k_4 I_f N}{R_a} \quad (5)$$

여기서 $k_4 (= k_2 k_3)$ 는 상수이다.

식 (5)의 I_a 와 식 (4)의 Φ 를 식 (2)에 대입하면 다음 식을 얻는다.

$$T = k_1 k_3 I_f \frac{V - k_4 I_f N}{R_a} = \frac{k_5 V}{R_a} I_f - \frac{k_6 N I_f^2}{R_a} \quad (6)$$

여기서 $k_5 (= k_1 k_3)$ 와 $k_6 (= k_1 k_3 k_4)$ 는 상수이다.

식 (6)을 속도 N 에 대해서 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$N = \frac{k_5 V I_f - R_a T}{k_6 I_f^2} \quad (7)$$

식 (7)에서 $\frac{dN}{dI_f} = 0$ 의 조건으로부터 N 이 최대가 되는 계자전류 I_{fm} 과 이 때의 최대속도 N_m 을 구하면 각각 다음의 식과 같다.

$$I_{fm} = \frac{2R_a T}{k_5 V} \quad (8)$$

$$N_m = \frac{k_5^2 V^2}{4k_6 R_a T} \quad (9)$$

식 (7)을 이용하여 속도 대 계자전류의 그래프를 그리면 그림 3과 같다. 속도가 0[rpm]이 되는 계자전류 I_{f0} 는 식 (7)에서 $N=0$ 의 조건으로 구하면 다음과 같다.

$$I_{f0} = \frac{R_a T}{k_5 V} \quad (10)$$

무부하일 때의 속도는 식 (7)에서 $T=0$ 으로 놓으면 식 (11)과 같이 표현되며, 이 때의 속도곡선은 그림 3과 같은 형태가 아니라 그림 1과 같은 형태가 된다.

$$N = \frac{k_5 V}{k_6 I_f} \quad (11)$$

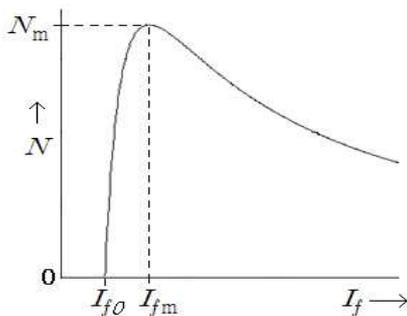


그림 3. 속도 대 계자전류
Fig. 3. Speed vs. field current

4. 계자전류 변화에 따른 속도곡선 고찰

계자전류 변화에 따른 속도곡선의 특성을 살펴보기

위하여 식 (7)을 이용한 해석을 수행하였다. 사용한 직류 분권전동기의 파라미터는 정격출력 0.25[HP], 정격전압 120[V], 전기자권선회로의 등가저항이 8.3[Ω], $k_4=0.28$, $k_5=1.275$ 이다.

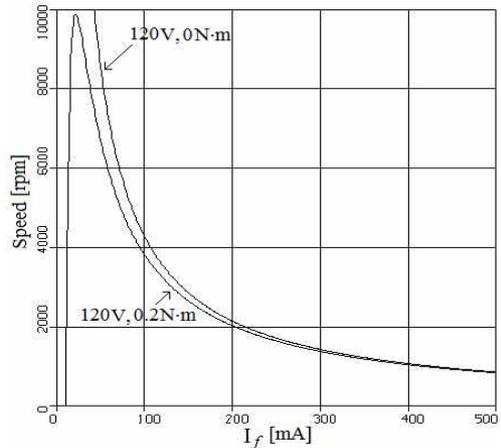


그림 4. 속도 대 계자전류($V=120$, $T=0$ (N.m) 및 $V=120$, $T=0.2$ (N.m))
Fig. 4. Speed vs. field current($V=120$, $T=0$ (N.m) and $V=120$, $T=0.2$ (N.m))

그림 4는 입력전압이 120[V]이며, 무부하인 경우와 토크가 0.2[N.m]인 경우의 속도곡선을 나타내고 있다. 무부하인 경우 식 (11)과 같이 속도는 계자전류와 반비례관계가 성립하므로 속도곡선은 그림 1에 나타나 있는 곡선과 같은 형태가 되고 있음을 알 수 있다. 그러나 무부하가 아닌 경우 속도곡선의 형태는 그림 1과 달리 최대점을 가지며, 계자전류의 감소에 따라 속도는 점점 감소하다가 결국 0[rpm]이 되고 있음을 나타내고 있다.

그림 5는 120[V], 0.95[N.m]의 경우와 90[V], 0.95[N.m]의 경우의 속도곡선을 나타내고 있다. 공급전압의 감소에 따라 최대속도점이 감소하면서 우측으로 이동하고 있음을 알 수 있으며, 또 그림 4와 비교할 때 토크의 증가에 따라서 최대속도점이 우측으로 이동했음을 알 수 있다. 그리고 그림 2에서 자속을 감소시키면 속도가 증가하는 것으로 나타나 있는데, 그림 5를 보면 계자전류를 최대속도점에서의 값보다 더 작은 값으로 감소시켜서 자속을 감소시키면

속도가 오히려 감소하게 됨을 알 수 있다. 따라서 그림 2의 속도그래프에는 오류가 있음을 알 수 있다.

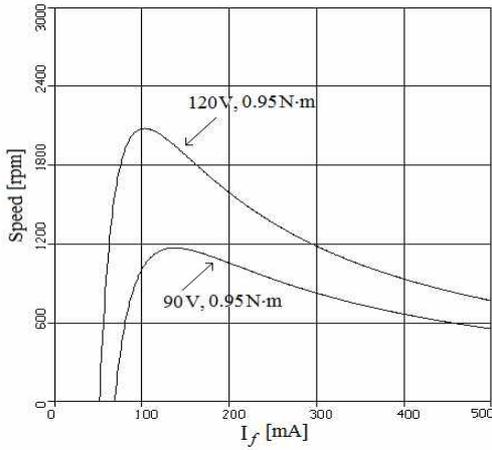


그림 5. 속도 대 계자전류 ($V=120, T=0.95$ [N.m] 및 $V=90, T=0.95$ [N.m])
 Fig. 5. Speed vs. field current ($V=120, T=0.95$ [N.m] and $V=90, T=0.95$ [N.m])

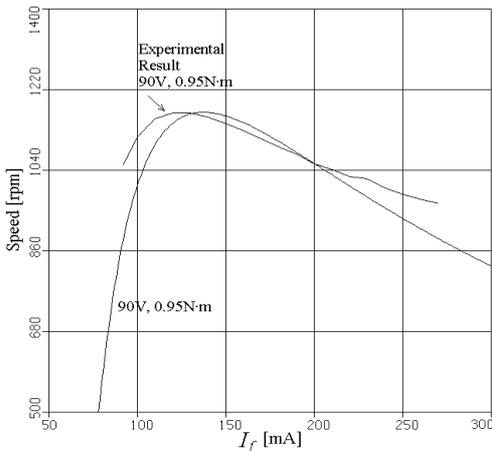


그림 6. 속도 대 계자전류 ($V=90, T=0.95$ [N.m]) 일 때 실험결과 및 해석결과
 Fig. 6. Speed vs. field current (experimental and analytical results at $V=90, T=0.95$ [N.m])

그림 6은 실험결과와 해석결과를 비교한 모습을 나타내고 있다. 실험은 직류 분권전동기의 축에 다이내모미터를 연결하여 0.95[N.m]의 일정한 부하를 가한 상태에서 계자전류의 값을 변화시키면서 속도를 측정하는 방법으로 수행하였다. 결과를 보면 해석결과와

실험결과가 약간의 오차를 보이고 있으나, 실험결과는 해석결과와 같은 형태가 되고 있음을 알 수 있다. 즉 속도가 최대가 되는 계자전류의 값이 존재하며, 그 값 이하로 계자전류를 감소시키면 계자전류의 감소에 따라 속도가 감소하고 있는 모습을 나타내고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 해석 및 실험결과에 의해서 참고문헌 [1-4]에서 제시한 계자전류 변화에 따른 속도 곡선이 잘못되어 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 직류 분권전동기의 계자전류의 변화에 따른 속도식을 유도하였으며 실험결과를 통하여 전개한 식의 타당성을 입증하였다. 해석 및 실험결과, 계자전류 변화에 따른 속도곡선은 기존의 교과서에 나타나 있는 것과 같이 반비례하는 관계가 성립하는 것이 아니라 계자전류의 변화에 따라 최대속도점이 존재하며 최대속도점 이하로 계자전류를 감소시키면 속도가 증가하는 것이 아니라 오히려 감소하게 되는 결과를 얻었다. 이러한 결과를 바탕으로 기존의 교과서에 수록되어 있는 내용의 수정 및 보완이 필요함을 알 수 있었다.

References

- [1] 이윤종, “신편전기기계”, 동명사, pp.50-54, 2001.
- [2] 김영길, 김용주, 원종연, 박복기, “전기기계”, 동일출판사, pp.68-69, 2002.
- [3] 안민옥, 이공희, 김병인, 이영희, 이춘수, “전기기기”, 태영문화사, pp.71, 2005.
- [4] 최중헌, 박성택, “에너지변환을 위한 전기기기”, 태영문화사, pp.482-487, 1991.
- [5] Stephen J. Champan 저, 안진우, 신편석 공역, ‘전기기기’, McCRAW-HILL KOREA, pp.516-518, 2001.

◇ 저자소개 ◇



신명호 (申明昊)

1967년 11월 27일생. 1989년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991~1996년 삼성종합기술원 근무(선임연구원). 2002년 8월~현재 서울과학기술대학교 전기정보시스템공학과 부교수.