

고속 스피드 모터의 속도 가변을 위한 전기기어의 실험적 접근

반지형, 이지영, 홍정표, 이근호*

창원대학교 전기공학과, 남해전문대 컴퓨터응용전기과*

Experimental Investigation of Electric Gear for Speed Variation of High Speed Spindle Motor

Ji-Hyoung Bahn, Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, Geun-Ho Lee*

Changwon National University, Gyeongnam Provincial Namhae College*

Abstract – This paper introduces an electric gear to run a high speed spindle motor. Compared with inverter driving, electric gear can be used to reduce switching loss caused by using high switching frequency and improve heating problem on reactor with sinusoidal current wave form. In this paper advantages and disadvantages of electric gear are presented in comparison with those of inverter driving and mechanical gear, and its usefulness is verified by means of experimental approach.

1. 서 론

고속 전동기는 같은 용량의 전동기와 비교하였을 때, 소형 경량화가 가능한 장점을 가지므로 산업기술의 고도화 및 선진화에 따른 필수적인 기술요소이다[1,2]. 그 중에서 고속 스피드 모터는 현재 공작기계 구동용 전동기로 널리 이용되고 있으며 그 속도는 점차 고속화 되고 있다. 이러한 고속 전동기의 구동 방법으로는 고주파 스위칭에 의한 PWM 방식이 주로 사용된다. 그러나 그 속도가 점차 고속화됨에 따라 고주파 스위칭에 의한 손실이 증가하고 PWM에 의한 전류 파형의 개선을 위해 대용량 리액터를 필요로 하며 이에 따른 발열문제가 발생한다. 또한 기저속도 이상의 운전을 위해서는 별도의 기계적인 기어를 필요로 하며 이는 소음 발생으로 연결되는 단점을 가지고 있다. 이와 같이 고속화로 인한 드라이버의 부담과 기계적인 기어와 리액터를 사용하는데 따른 발열 및 소음등의 문제를 극복하기 위하여 전자기적인 기어를 생각해 볼 수 있다.

기계적 기어가 아닌 전자기적인 기어에 대한 아이디어는 [3]에서 설명하는 바와 같이 20세기 초반부터 특허의 형태로 나왔으며, 여러 편의 논문과 함께 꾸준히 연구되어오는 것에 비하면 아직 실용화 단계에 있지 못하다. 이는 단순히 영구자석을 이용하는 데만 너무 초점을 두어 에너지 밀도가 낮다는 단점 때문인 것으로 분석된다 [3].

따라서, 본 논문에서는 실용화가 가능한 전기기어(electric gear)를 검토해 보고자 한다. 개선된 모델로 제안되는 하나의 고정자에 영구자석을 사용하는 두 개의 회전자가 있는 [3]의 자기기어(magnetic gear)와는 달리, 본 논문에서 검토하는 전기기어는 발전기와 전동기의 개념을 이용하는 것이다. 최적화 과정을 거쳐 궁극적으로는 하나의 실용화 가능한 구조로 설계할 것이나, 여기서는 각각의 발전기와 전동기를 이용하는 기본 개념 설명과 함께, 모의 시스템을 구성하여 실험적 접근 결과를 통해서 그 실용화 가능성을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 전기기어의 기본 구조 및 원리

기어는 2개 또는 그 이상의 축 사이에서 회전이나 동력을 전달하는 기계부품으로서 정의되는데, 본 논문에서 제안하는 전기기어는 이러한 하나의 기계부품 대신 발전기와 전동기 한 쌍을 하나의 기어박스에 넣어 동력을 전달하는 것이다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 직접적으로 부하를 구동하던 구동 전동기에 전기기어를 부착시킬 때, 발전기와 전동기의 순서로 붙이게 된다. 이는 구동 전동기에 의해서 전기기어의 발전기 부분을 구동하고 다시 여기서 발생하는 전원으로 전기기어의 전동기를 구동시켜, 전기기어의 전동기 축에 부하를 연결하는 구조를 가지게 된다. 따라서, 기계 기어가 맞물리는 치의 개수 비에 의해서 기어비를 정의한다면, 전기기어는 한쌍의 발전기와 전동기의 극수비에 의해서 기어비가 정의 될 수 있다.

기어비를 정의하는 데 앞서 먼저 전동기의 속도와 극수와의 관계를 정의하면 식 (1)과 같다. 이는 회전자가 회전자계의 회전속도와 동일하게 회전하는 동기기에 적용되는 식이므로, 슬립이 존재하는 유도기에서 회전속도 N 은 (2)와 같다[4].

$$N_s = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

$$N = N_s - N_s s \quad (2)$$

여기서 N_s 는 동기속도, p 는 극수, f 는 주파수이며 s 는 유도전동기에서의 slip이다.

보다 고속화를 위한 공작기계 구동용 전동기에 이용될 증속기어를 위해서는 발전기 부분이 저속이고, 전동기 부분이 고속이 되어야 한다. 따라서 식 (1)에서 보듯이, 극수와 회전수는 반비례 관계에 있으므로, 발전기의 극수가 전동기의 극수에 비해서 많아야 한다.

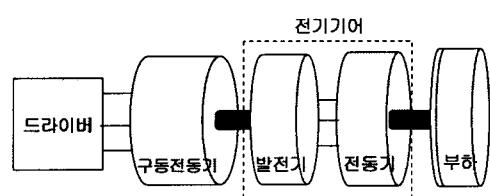


그림 1 전기기어의 구조

증속을 위한 기어비(증속비) N_{gear} 를 일반화된 수식으로 표현하면 다음 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$N_{gear} = \frac{P_{gen}}{P_{mot}} \quad (3)$$

여기서 동기발전기의 극수가 P_{gen} 이고 유도 전동기의 극수가 P_{mot} 이라면 식(1),(2)에 의해 구동부 직류전동기의 속도는 $\frac{P_{gen}}{P_{mot}}$ 배로 증속된다.

2.2 고속 전동기 시스템에서 전기기어의 이점

고속 시스템에 사용되는 공작기계 구동용 전동기에 전기기어를 사용하는 경우의 특징을 정리하면 표 1과 같다.

인버터 자체적으로 고속스위칭을 구현하던 기존의 방법에서는 [5,6]에서 설명하는 바와 같이 스위칭 리플 전류로 인하여 소음이 크게 발생하고 고조파 손실로 인한 발열이 심하다는 단점이 있었다. 그러나 상대적으로 주파수가 낮은 인버터와 전기기어를 사용하게 되면, 기어의 발전기의 역기전력 파형을 정현적으로 함으로써 인버터 사용 시 발생하는 노이즈 문제를 해결할 수 있으며 전류파형의 개선을 위해 큰 리액터뿐만 아니라, 별도의 증속 기어를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

기존의 고주파 스위칭 드라이버와 전기기어 사용 시의 전류 개선에 대한 개념도를 그림 2와 3에 나타내었다. PWM에 의한 전류의 파형은 많은 고조파 성분을 포함하고 있기 때문에 일반적으로 고주파 저감용 리액터 필터를 연결하여 사용한다[5,6]. 리액터 필터를 통과한 전류의 파형은 그림 2에서와 같이 고조파의 영향이 줄어든 형태를 보인다.

이에 비해 전기기어는 구동부 전동기를 구동하여 발전기를 회전시키고 발전기에서 발생한 전압을 기어부 전동기에 인가하는 형태이므로, 구동전동기가 드라이버에 의해서 고주파가 많은 전류에 의해서 구동된다고 하더라도, 발전기에서 정현파 전압이 발생한다면 부하단에 전류의 고주파 성분에 의한 영향을 전달하지 않을 수 있다.

2.3 실험을 위한 전기기어 구성

본 논문에서 제안하는 전기기어의 효용성을 검증하기 위하여 그림 4와 같은 모의시스템을 구성하였다. 식 (3)

에서 알 수 있듯이 전기기어의 증속비는 $\frac{P_{gen}}{P_{mot}}$ 로 나타난다.

표 1 고속 시스템에서 전기기어 사용에 따른 장단점

	기존의 증속 방법		전기기어를 사용하는 경우
	고속스위칭 드라이버	기계 기어	
장점	-광범위한 운전 영역 -기동 및 정지 용이	-높은 동력 전달 효율	-전동기의 정현파 구동이 가능 →고주파 손실 감소 -높은 효율
단점	-대용량 리액터 필요 -Noise 발생 -고주파 스위칭 손실 -발열 손실	-소음 발생 -마모에 따른 교체 필요	-증속비 변화 시 전기기어의 교체 필요

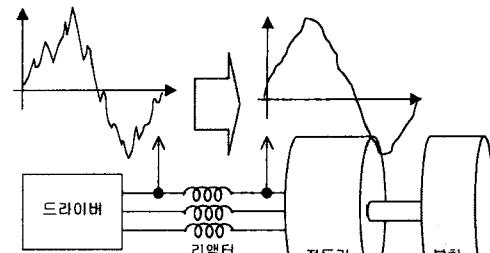


그림 2 고속화에 따른 전류왜곡과 이를 해결하기 위해 리액터를 부착했을 때의 전류 개선 파형에 대한 개념도

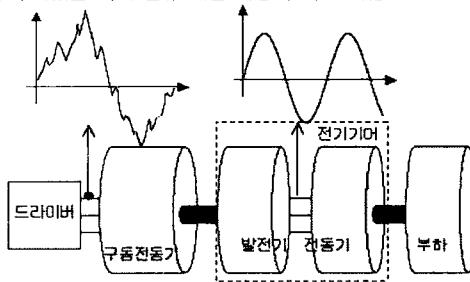


그림 3 전기기어 사용 시 전류 파형에 대한 개념도

따라서 전기기어의 증속을 위해서는 기어부 전동기의 극수가 기어부 발전기 극수보다 적어야 한다. 실험을 위한 모의시스템의 전기기어로는 8극의 동기발전기와 4극의 유도 전동기가 사용되었다. 구동부 전동기로는 직류전동기가 사용되었다. 그림 4에서 가장 우측에 위치하는 것이 기어부를 구성하는 8극의 동기발전기이며 구동용 직류전동기와 커플링을 통해 연결되어 있다. 그림의 좌측에 위치하는 전동기가 기어부 전동기가 되는 4극의 유도 전동기이다.

실험에 사용된 기어부 전동기 및 발전기의 사양은 표 2에 나타내었다.

2.4 실험 결과

그림 4와 같이 시스템을 구성하고 직류전동기의 속도를 1000[rpm]에서 2200[rpm]까지 100rpm씩 증가시키면서 기어부 전동기의 속도를 측정하였다. 각각의 속도에 대한 직류 전동기의 속도와 기어부 유도전동기의 속도를

그림 5에 나타내었다. 이상적인 속도 비는 $\frac{P_{gen}}{P_{mot}}$ 으로

1:2로 예상 되었지만 실제 실험에서는 유도전동기를 사용하여 slip이 존재하므로 구동부와 기어부 전동기간의 속도 비는 1000[rpm]에서 1:1.96, 2000[rpm]에서 1:1.905로 예상했던 증속비보다 약간 작은 값으로 나타났다. 따라서 기어부 전동기로 Line-start형 동기전동기를 사용한다면 구동부에 대해 정확한 증속비로 증속이 가능할 것으로 예상된다.

표 2에 나타낸 것처럼 유도전동기의 정격속도가 상대적으로 낮기 때문에 구동부의 운전속도 영역이 2100[rpm]까지만 확보 되었으며 그 이상에서는 증속 비가 크게 떨어지는 양상을 보였다.

동기발전기에서의 출력되는 전압과 전류의 파형은 그림 6에 나타내었다. 구동부 전동기 1000, 2000 [rpm]운전 시 발생하는 전압의 주파수는 각각 67.12, 133.39[Hz]로 측정되었으며 각각에 대해 기어부 유도전동기의 속도는 1960, 3810[rpm]으로 측정되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 모의 시스템의 실험을 통해 전기 기어의 실용화 가능성을 검토하였다. 기어부 전동기의 극수를 기어부 발전기 극수의 1/2이 되는 것을 사용함으로써 약 2배 정도의 중속이 가능 했다.

그러나, 실험에 사용된 기어부의 전동기를 유도기대신 Line-start형 동기전동기를 사용할 경우 정확한 중속비를 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 기동 시는 유도기로 동작되어 기동실패하지 않고, 정상상태 운전 시에는 동기 기로 동작되므로 유도기를 사용하는 것보다 효율을 개선 할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 시스템에 적합한 설계를 통해 전기기어를 구성하여 보다 넓은 운전속도 영역을 확보하고 나아가 전기기어의 효율을 최적화하는데 대한 연구가 계속될 것이다.

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업
(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다

[참 고 문 헌]

- [1] 송재홍, 차영범, 양현섭, 이정종, 홍정표, "표면부착형 영구자석 초고속 회전기의 설계" 대한전기학회 학제학술대회 논문집, pp.939~941, 2003
- [2] 송재홍, 변지섭, 남혁, 홍정표, "표면부착형 영구자석 초고속 전동기의 설계 특성 및 실험" 대한전기학회 학제학술대회 논문집, pp.752~754, 2003
- [3] Peter Omand Rasmussen, Torben Ole Andersen, Frank T. Jorgensen, and Orla Nielsen, "Development of a High Performance Magnetic Gear," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 41, No. 3, pp.764~770, May/Jun 2005
- [4] Mohan, Undeland and Robbins, *Power Electronics*, John Wiley & Sons, Inc. 2003
- [5] 이근호, 하경호, 김영균, 이지영, 홍정표, 이진기, "Metal Powder를 이용한 PWM 컨버터 입력단 AC리액터 개발", 대한저기학회 학제학술대회 논문집, pp.619~621, 2002
- [6] Geun-Ho Lee, Young-Kyun Kim, Ji-Young Lee, Jung-Pyo Hong, Kyung-Ho Ha, and Kil-Moon Yoon, "Development of AC Reactors by Using Powder Material," *ISEF2003*, vol. 1, pp.369~374, 9, 2003

표 2 실험 전동기 사양

	기어부 발전기	기어부 전동기
정격 출력	400[w]	400[w]
정격 속도	3000[rpm]	1660[rpm]
극 수	8극	4극
정격 전압	200/220[V]	220/380[V]
정격 전류	2.5[A]	2.4[A]

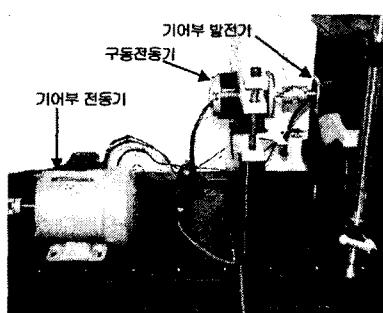
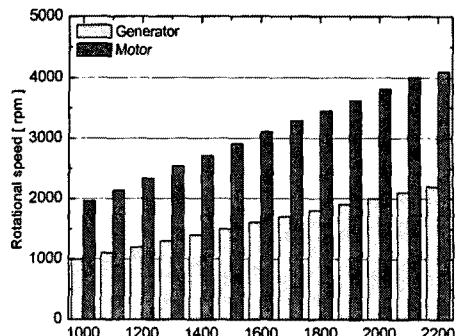
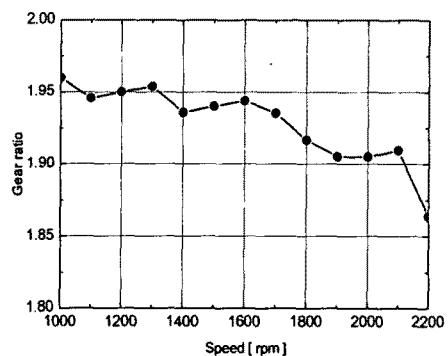


그림 4 전기기어 모의 시스템

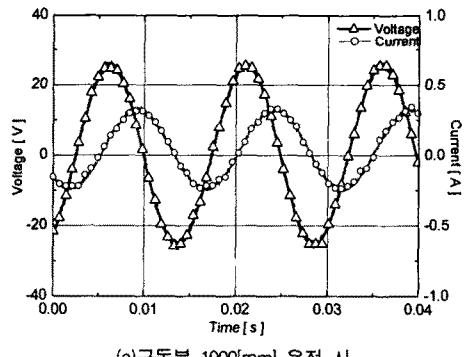


(a)기어부 속도

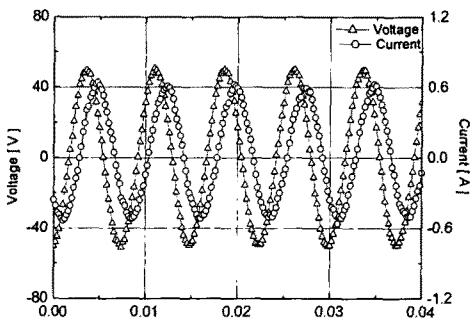


(b)속도에 따른 중속비

그림 5 구동전동기 속도 변화에 따른 기어부 발전기와 전동기의 속도 및 중속비 변화



(a)구동부 1000[rpm] 운전 시



(b)구동부 2000[rpm] 운전 시

그림 6 구동전동기 속도 변화에 따른 기어부 발전기의 전압 전류 파형