

단상 유도전동기와 BLDC 전동기의 속도제어에서의 성능비교

정인성, 성하경, 임태빈, 정병인*
전자부품연구원, *(주)모터넷

Comparison of Speed Control Performance of Single Phase Induction Motor and BLDC Motor

In-Soung Jung, Ha-Gyeong Sung, Tae-Bin Im, Byung-In Chung
Korea Electronics Technology Institute, *Motor-Net International CO., LTD.

Abstract - In the field of factory automation, single phase induction motors are frequently used for speed control application because of its simplicity and low cost. In this paper, we compare the performances of a single phase induction type speed control motor with a BLDC motor. From the experimental results in the controllable torque-speed load range, the efficiency characteristics and safe operation load areas are compared for each type sample motor.

1. 서 론

산업의 발달로 산업체는 물론이고 가전기기, 사무용 기기 등의 모든 분야에 전동기가 널리 쓰여지고 있다. 전동기의 용도중에서 소형 동력 분야에서 단순 구동용, 간단한 속도가변용 또는 속도제어용으로는 단상 전원을 이용할 수 있고 상대적으로 가격이 저렴한 단상 유도전동기가 널리 쓰여지고 있다[1].

유도전동기의 속도제어 방식을 보면, 중대형 이상의 3상 유도전동기의 경우에는 인버터를 이용한 전압-주파수 제어가 보편화되어 있다. 그러나 에어컨 팬 등의 일반 가전기기를 구동하기 위한 단상 유도전동기는 권선을 다 단으로 설계하고 중간에 탭을 내어 전원의 결선방법에 따라 강-약 또는 강-중-약 등의 단계별 속도가변 방식을 많이 사용하고 있다. 또한 공장 자동화용 전동기로 많이 쓰여지고 있는 100W 미만의 속도제어용 소형 전동기는 위상제어 방식에 의한 전동기 입력전압 가변을 통하여 속도제어를 수행하는 방식이 주로 쓰여지고 있다. 이는 비교적 간단한 회로만으로 속도제어가 가능하기 때문에 가격이 저렴하고 제어방법이 간단하여 컨베이어, 각종 생산장비 등의 동력용으로 많이 쓰여지고 있다.

최근 들어서는 모터의 고효율, 고성능화 요구에 따라 영구자석을 가지는 브러시리스 DC (BLDC) 전동기의 사용이 점차 늘어나고 있다. 그러나 영구자석의 사용과 구동용 드라이버의 필요에 따른 가격적인 불리함으로 인하여 소형정밀 구동분야를 제외하고는 아직까지 그 사용 범위가 넓지 못한 것이 현실이다[2].

본 논문에서는 100W 이하의 소형 동력분야에서 주로 사용되고 있는 속도제어용의 콘덴서 구동형 단상 유도전동기와 BLDC 전동기 각 1개 모델을 대상으로 하여 제어 가능한 속도-토크 범위 내에서 효율을 중심으로 한 성능을 비교 분석하고자 한다. 연구 방법으로는, 이론적인 접근을 지양하고 실험을 통한 결과들을 중심으로 하여 사용 부하범위에 따른 특성을 정량적으로 분석, 제시하고자 한다. 실험을 위한 전동기는 출력 50 [W]급으로 선정하였으며, 실험결과에 대한 분석을 통하여 BLDC 모터가 성능면에서 보다 우수하다는 개념적인 생각의 타당성 여부를 확인하고자 한다.

2. 전동기 종류에 따른 속도제어방법

2.1 단상 유도전동기의 속도제어

그림 1은 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 속도제어 회로 구성을 나타내고 있다. 콘덴서 구동형 단상 유도전동기는 내부에 주권선과 보조권선의 2개 권선이 시행되어 있으며 보조권선에는 전압의 위상을 변경시켜주기 위한 콘덴서가 직렬로 연결되어 있다. 또한 속도제어를 위하여 회전속도 검출용의 타코 제너레이터가 전동기 후단에 부착되어 있다. 속도제어 방식으로는 1개의 트라이액 (Triac)을 사용하여 전동기에 들어가는 전압의 크기를 제어하는 전압제어법을 사용한다. 이는 사용자의 설정속도와 전동기의 실제 회전속도를 비교하여 속도차에 비례하는 전압을 전동기에 인가하는 방법으로써, 트라이액의 도통각에 따라 전동기에 인가되는 전압의 실효치가 변화하게 된다. 그림 2는 저속 구간에서의 속도제어 개념을 설명하는 것으로, 초기 동작점 A에서 동작점이 B로 이동함에 따라 제어전압이 V2, V3으로 변화, 동작점은 A → B → C → D → E → F 순으로 변화하게 된다.

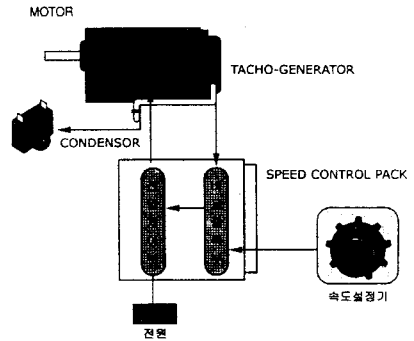


그림 1. 단상유도전동기의 속도제어회로 구성
Fig. 1 Configuration of speed control system using single phase induction motor.

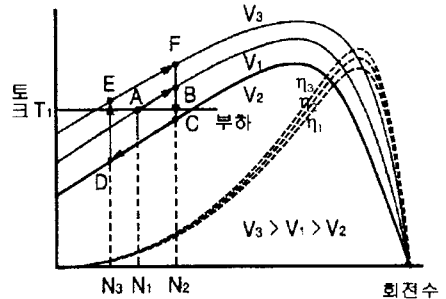


그림 2. 전압가변에 의한 유도전동기의 속도제어
Fig. 2. Speed control of induction motor by voltage variation.

이러한 루프는 제어기에 의해 매우 작게 유지되며 전동기는 사용자가 설정한 일정 속도로 회전하게 된다. 유도전동기를 단순 구동하는 경우에는 전동기의 속도-토크(N-T) 곡선상의 한 점에서 운전점이 결정된다. 그러나 속도 제어시에는 이상적으로 운전점이 인가되었을 경우의 N-T 곡선 내부의 어느 지점에서든 운전이 가능하게 된다. 그림 2에 점선으로 표시한 것은 전압, 회전속도에 따른 효율곡선을 나타내고 있으며, 어느 전압에서도 최대 효율시의 회전속도가 일정함을 알 수 있다.

2.2 BLDC 전동기의 속도제어

BLDC 전동기의 속도제어는 주로 입력전압의 펄스폭 변조방식(PWM)에 의해 이루어진다. BLDC 전동기의 특성상 필요시되는 회전자 위치검출장치로는 주로 홀(Hall) 센서가 이용되며, 모터의 회전속도도 홀센서의 신호를 이용하여 검출하게 된다. BLDC 전동기의 속도 제어회로의 구성은 전술한 단상 유도전동기의 제어 블록과 유사하다[3]. 다만 유도기에서와는 달리 전동기에 전력을 공급하기 위하여 DC 정류부와 6개의 전력용 스위칭 소자가 사용되어 제어회로의 주된 원가상승 요인이 된다.

그림 3은 BLDC 전동기의 입력전압 가변에 따른 N-T 곡선 및 효율곡선을 나타내고 있다. 효율곡선은 전압이 증가함에 따라 넓어지게 되어, 넓은 회전속도 구간에서 높은 효율특성을 나타냄을 알 수 있다.

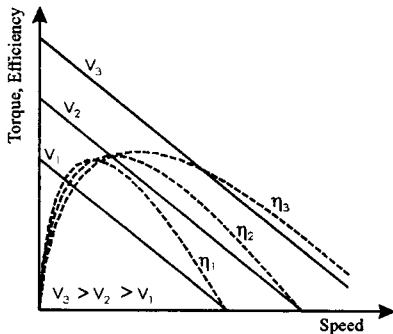


그림 3. 전압가변에 따른 BLDC 전동기의 특성곡선
Fig. 3 Performance curves of BLDC motor according to voltage variation

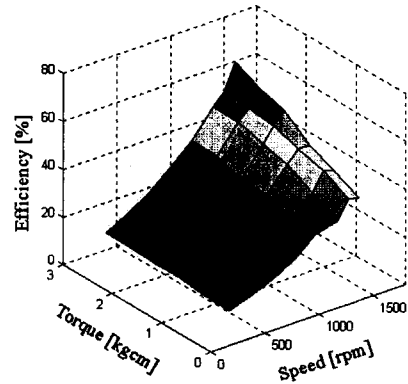
3. 실험결과 및 분석

속도제어 성능분석을 위한 유도전동기는 출력 50W급의 4극 전동기로서 220V 60Hz 전원에서 최대효율이 60% 정도이며, 제어가능 속도는 최저 200rpm에서 최고 1600rpm이다. 성능비교용으로 선정된 BLDC 전동기는 최대효율 65~70%로서, 최대출력은 50W 내외로서 동일하나 최대속도가 3000rpm으로서 유도전동기에 비하여 회전속도가 2배 가량 높으며, 발생토크는 유도전동기 발생토크의 1/2에 대응되는 사양이다.

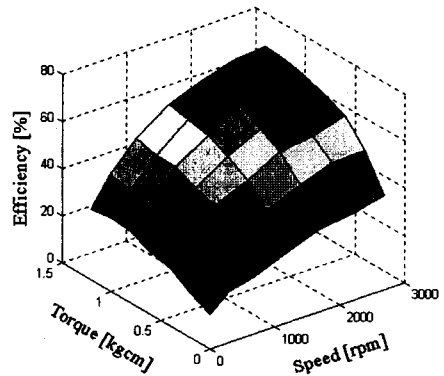
속도제어시의 회전속도-토크에 따른 특성측정은 일본 SUGAWARA사의 Motor Analyzer(모델명 EMA-1)를 이용하였으며, 모터를 일정 회전속도로 제어하는 상태에서 부하를 조금씩 증가시켜가면서 입력력 특성을 기록하고 다시 회전속도를 변경시키는 방식으로 수행하였다.

그림 4는 회전속도와 부하 토크별로 측정된 효율분포를 나타내고 있다. 유도전동기와 BLDC 전동기 모두 효율은 드라이버 입력단의 입력을 기준으로 하여 측정하였다. 측정결과 유도전동기의 경우에는 그림 2에서 개념적으로 도시한 바와 같이 부하의 크기에 상관없이 1600 rpm 근처에서 최대효율점이 결정되었으며 회전속도가 감소함에 따라 급격하게 감소함을 알 수 있다.

동일 회전속도를 기준으로 한 경우에는 부하토크가 감소함에 따라 효율이 감소하였는데, 이는 발생토크 감소를 위하여 제어기에서 모터로 입력되는 실효 전압이 낮아짐에 따라 전원의 고조파 성분이 증가하여 나타나는 효율의 감소로 이해할 수 있다. 또한 제어기에서 기본적으로 소비하는 전력의 비중이 상대적으로 높아지는 것도 한 요인으로 들 수 있다. BLDC 전동기의 경우에는 그림 3에서 개념적으로 나타내었듯이 효율의 분포가 대부분의 부하점에서 높게 나타났다. 최대효율은 약 66%로서 유도전동기의 60%에 비하여 그다지 높지 않았으나 전 부하구간에 대하여 비교하는 경우에는 매우 큰 차이가 있음을 알 수 있다.



(a) Single phase induction motor



(b) BLDC motor

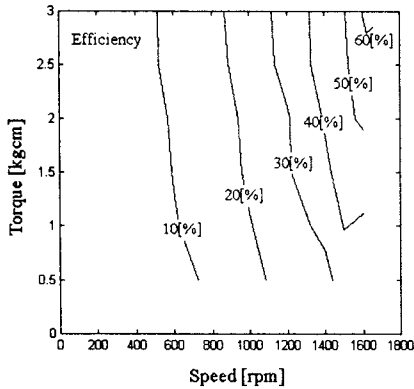
그림 4. 속도-토크에 따른 효율분포

Fig. 4 Efficiency distribution according to speed and torque.

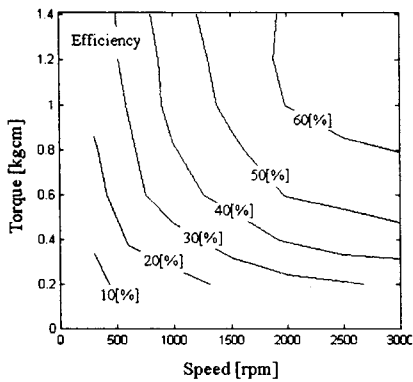
그림 5는 그림 4로 나타난 효율분포 결과를 등고선으로 도시한 것으로, 유도전동기의 경우에는 회전속도가 감소함에 따라 효율도 급격하게 감소하고 있으나 BLDC 전동기의 경우에는 매우 넓은 부하 범위에서 상대적으로 높은 효율을 유지함을 알 수 있다.

그림 6은 전동기 종류에 따른 손실의 분포를 나타내고 있다. 손실은 전기적 입력에서 기계적 손실을 감해서 구한 값으로, 전동기의 온도상승을 정성적으로 예측할 수 있다. 유도전동기의 경우에는 최대 부하점(1600rpm, 3kgcm)에서 약 40W의 손실을 나타내고 있으나 저속, 고토크 부하로 이동할수록 손실량이 매우 높아짐을 알 수 있다. 반면 BLDC 전동기의 경우에는 최대 부하점(3000rpm, 1.5kgcm)에서 약 22W의 손실을 나타내고 있으나 저속 경부하로 이동할수록 손실량이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 유도전동기의 경우에는

저속 운전시에 온도상승이 매우 심하여 저속-고토크 부하에서는 연속운전이 불가능함을 예상할 수 있으며, BLDC 전동기는



(a) Single phase induction motor



(b) BLDC motor

그림 5. 속도-토크에 따른 효율의 등고선도
Fig. 5 Contour lines of efficiency according to speed and torque.

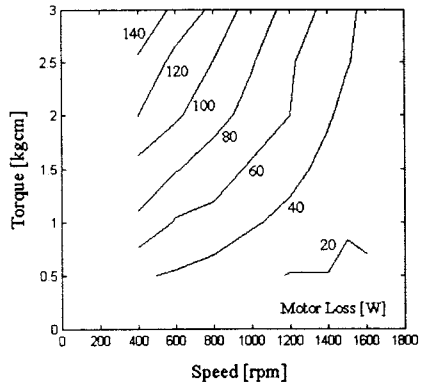
의 경우에는 고속-고토크 부하에서 온도상승이 적정 수준으로 이루어질 경우에는 저속에서는 온도상승의 염려가 없음을 알 수 있다. 또한 동일한 출력으로 설계될 경우에는 유도전동기에 비하여 BLDC 전동기의 체적이 상당히 작아질 수 있음을 예상할 수 있다.

그림 7은 이러한 결과를 바탕으로 하여 온도상승을 고려한 연속운전 가능영역을 개략적으로 도시한 것으로, 측정대상 전동기는 출력만 동일하고 속도-토크 특성에 차이가 있으므로 대응관계를 고려하여 동일 그림상에 나타내었다. 동일 출력일 경우에도 BLDC 전동기의 운전 가능영역이 훨씬 넓음을 확인할 수 있으며, 저속-고토크 영역을 포함한 넓은 부하범위에서 유도전동기를 사용할 경우에는 보다 높은 출력의 전동기를 선정하여야 함을 알 수 있다.

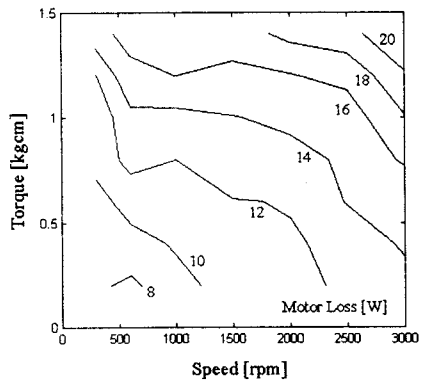
4. 결 론

본 논문에서는 100W 이하의 소형 동력분야에서 사용되고 있는 단상 유도전동기 방식 및 BLDC 전동기 방식의 속도제어용 전동기를 대상으로 하여 속도-토크 변화에 따른 성능을 효율 및 손실을 중심으로 살펴보았다.

성능 분석결과 유도전동기의 경우에는 저속영역에서 매우 낮은 효율특성을 보였으며 이로 인하여 운전가능한 부하범위에도 제약이 많음을 확인하였으며, BLDC 전동기의 경우에는 매우 넓은 부하범위에서 높은 효율특성을 보임을 정량적으로 비교할 수 있었다.



(a) Single phase induction motor



(b) BLDC motor

그림 6. 속도-토크에 따른 손실의 등고선도
Fig. 6 Contour lines of loss according to speed and torque.

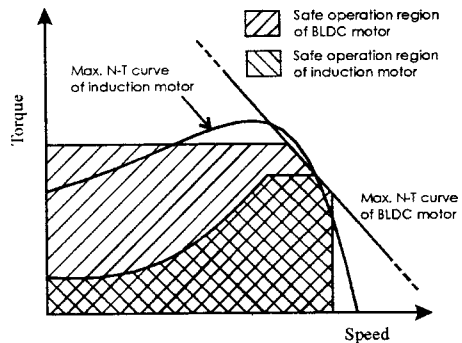


그림 7. 손실에 따른 온도상승을 고려한 운전가능영역
Fig. 7 Safe operation regions considering temperature rising due to the motor loss.

(참 고 문 헌)

- [1] 이득기, 이경주, 김홍근, "단상 유도전동기의 속도제어 시스템", 대한전기학회 논문지, Vol. 50B, No. 5, pp. 229-237, May, 2001.
- [2] '99년도 소형모터 산업실태조사 보고서, 전자부품연구원, 1999.
- [3] Oriental Motor Catalogue, Oriental Motor Co., (Japan), 2000.