

# 永久磁石 偏平形 DC 브러시리스 전동기의 토오크 特性 改善

## An Improvement of Torque Characteristics of Permanent Magnet Flat Type DC Brushless Motor

任 達 鎬\* · 任 泰 彬\*\*  
(Dal-Ho Im · Tae-Bin Im)

### 요 약

본 연구는 영구자석 편평형 DC 브러시리스 전동기의 속도변동율을 개선하기 위한 토오크 리플 감소방법에 대한 연구이다.

이를 위해 본 연구에서는 코일과 쇄교하는 공극자속 밀도의 성분중 기본파의 제5고조파성분을 조정하므로써 토오크 리플을 개선하는 방법을 개발하였으며, 대상 모델로는 VHS 방식용 1/2" VTR을 직접구동 방식의 캡스톤 모터를 모델로 하였다.

연구결과 캡스톤 모터의 토오크 리플은 종래보다 20%의 감소 효과를 나타냄으로써 캡스톤 모터의 제어시 속도변동율이 적어져서 VTR의 와우/플러터 특성이 개선되었을 뿐만 아니라 다기능에도 대응될 수 있는 우수한 성능의 캡스톤 모터 개발 할수가 있었다.

**Abstract-** The torque ripple reduction method is studied to improve the speed fluctuation of permanent magnet flat type brushless DC motors. To reduce the torque ripple, this study developed the compensation method of the 5'th harmonics component of air gap flux waveform which pass through the driving coils. As the application model, the capstan motor of direct drive method which is used in the 1/2 inch VTR was considered. As the result of this study, we can reduce the torque ripple and the speed fluctuation of the capstan motor about 20% then before and we can obtain not only better characteristics of wow/flutter but more useful capstan motors which can be applied in the multi-function VTRs.

### 1. 서 론

소형직류전동기(영구자석제자형 직류전동기)는

\*正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

\*\*正 會 員 : 韓國씨보(株) 技術研究所 勤務

接 受 日 字 : 1990年 6月 8日

1 次 修 正 : 1990年 10月 8日

속도제어가 용이하고 효율이 높으며, 기동토오크가 크고, 소형경량으로 가격이 저렴하여 가전기기, OA기기등에 많이 사용되고 있으나, 브러시와 정류자에 의한 기계적 정류구조로 인해 발생하는 전기적, 기계적 소음, 정류불량, 브러시와 정류자의 마모, 부식등 신뢰성에 단점이 있고, 최근에는

소형직류전동기(이하 소형모터라함)를 구동용, 제어용으로 사용하는 기기들이 고급화, 다기능화, 슬립화, 저가격화 됨에 따라 종래의 브러시형의 소형모터에서 브러시리스 DC전동기(이하 B.L 모터라 함)로 대체되고 있다.

그러나 B.L 모터는 종래의 브러시형 소형모터의 단점을 제거한 모터로서 제어의 용이성, 구조적 다양성, 고신뢰성등을 갖고 있으나, 정류방식이 전자 스위칭 트랜지스터에 의한 전자스위칭 방식을 사용함으로써 많은 수의 전자 스위칭 소자가 필요하게 되어 동일한 구조의 브러시형 소형 전동기 보다 가격이 높아지는등 가격적인면에서 경쟁력이 약화 되는등의 문제점을 갖고 있다. [10], [15]

따라서 B.L 모터에서는 정류에 필요한 반도체 정류소자를 최소화 해야되며, 이때 발생하는 맥동 토오크(이하 토오크 리플이라 함)는 동일 구조의 브러시형 소형모터 보다 크게 되어 동일한 성능을 갖기 위해서는 이를 최소화 해야된다. 특히 최근 소형모터를 구동용, 제어용으로 사용하는 가전기기(Video Tape Recorder, Digital Audio Tape Recorder, Compact Disk Player, Optical Disk Player, Record Player 등), 컴퓨터 주변기기(Floppy Disk Driver, Hard Disk Driver)등에는 대부분 구조에 따라 축방향 공극형의 B.L모터나 방사방향 공극형의 B.L모터를 사용하고 있고, 제어기술의 발달 및 소형박형화, 고급다기능화의 추세에 따라 구동방식 종래의 풀리와 벨트에 의한 간접구동방식에서, 모터의 축과 구동대상을 직결하는 직접구동방식(Direct Drive 방식; 이하 DD방식이라 함)을 채택함에 따라 모터의 특성이 직접 구동 대상에 전달되어 모터의 성능이 기기의 성능을 좌우하게 되는 등 모터의 성능은 더욱 중요하게 되었다.

따라서 DD방식을 채택하는 기기에 B.L모터를 채용하기 위해서는 스위칭소자의 최소화에 따른 토오크 리플을 최소화 해야만 되며, 이에 대한 연구는 B.L모터가 개발될이래 지속적으로 연구되어 왔다. [1~3] 그러나 최근 B.L모터를 사용하는 가전기기, 컴퓨터 주변기기, FA분야는 전자산업의 발달로 인해 점차 고급화 다기능, 소형경량박형화 되어가고 있고 저가격화에 따른 수요 급증과 함께 제품의 성능 및 가격 경쟁도 치열해져서 이들 기기에 사용되는 모터도 저가격의 고정밀모터를 개발하지 않으면 안되게 되었다.

특히 B.L모터의 분야에는 고성능 영구자석의 개발, 구동용 IC의 개발 실용화, 고성능 자기센서의

개발과 함께 성능적인 면에서 많은 발전이 있었으며, 수요의 증가로인한 대량생산으로 가격도 종래 보다 큰 폭으로 개선되었지만, 최근 국내의 환율 변동, 무역마찰등으로 인해 외국과의 치열한 경쟁을 벌이고 있는 B.L모터 응용기기의 경우에는 아직도 외국과 성능 및 가격 면에서 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 수량적인 면에서 B.L모터를 가장 많이 사용하고 있으며 성능적, 구조적인 면에서도 급속도로 발전하고 있고 일본등과 치열한 경쟁을 하고 있는 VHS방식의 1/2" VTR용 캡스톤 모터를 DD브러시리스화 함에 따라 발생하는 토오크 리플 문제를 개선하고, 소형박형화 함으로써 캡스톤 모터의 성능이 VTR에 크게 영향을주는 DD 방식의 VTR에 있어서 보다 우수한 성능의 VTR개발을 가능케 하고자 하였다. 특히 본 개발 과정에서는 브러시리스 DD 캡스톤 모터의 토오크 리플 성분을 이론적으로 분석, 공극자속과형중 토오크 리플에 영향을 주어 제어시 회전변동을 크게 하는 고조파 성분을 구동용 영구자석의 착자시 조정하는 방법을 개발함으로써 회로나 부품 추가없이 토오크 리플을 최소화 하였으며, 이를 이용하여 고정도의 회전 변동을 갖는 편평형 B.L모터를 개발하여 가격의 변동없이 캡스톤 모터의 성능을 개선 함으로써 보다 좋은 성능의 VTR 개발을 가능케 하였다.

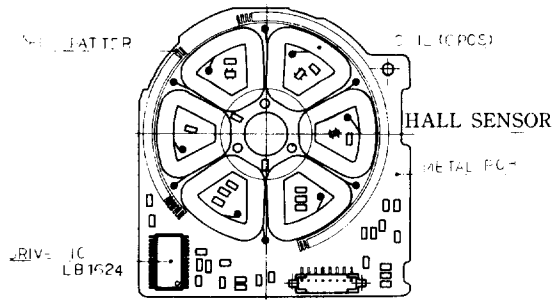
## 2. DD 캡스톤 모터의 구조

### 2.1 구조

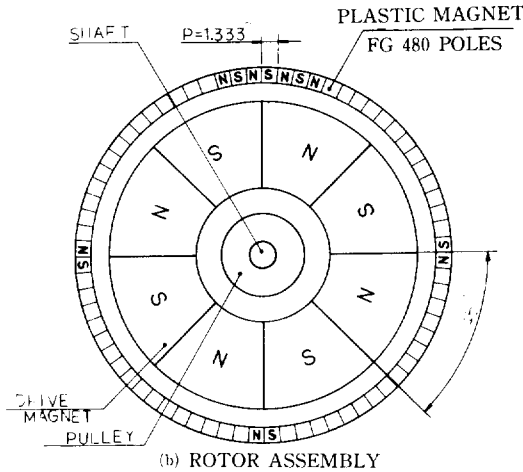
VHS 방식의 1/2"VTR용 DD 캡스톤 모터는 그림1과 같은 구조의 편평형 B.L모터를 가장 많이 사용하고 있으며, 본 연구에서는 그림 1과 같은 구조의 캡스톤 모터에서 발생하는 토오크 리플을 최소화시키고자 하였다.

그림1(a)는 고정자 구조이다. 고정자는 철기판 위에 그림 1(c)와 같이 3상 Y-결선으로 배치되어 있는 6개의 코일과, 회전자의 위치를 감지하는 3개의 홀소자, 감지된 회전자의 위치신호를 받아서 코일에 전류를 흘려주는 정전류 구동방식의 구동 IC로 구성되어 있다.

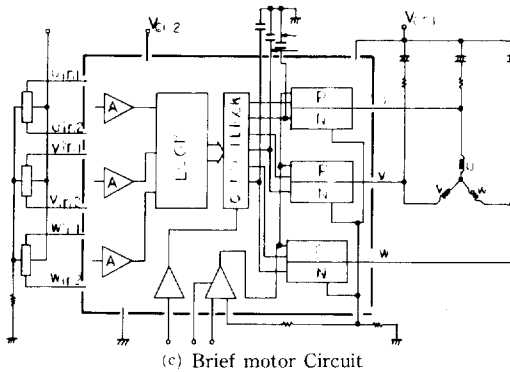
그림1(b)는 회전자 구조이다. 회전자는 방사상 등간격 8극으로 착자된 원형상의 웨라이트 자석과 모터의 회전속도를 검출할 수 있도록 회전자 외주 철기판 대향면에 480극이 균등 피치로 착자되어



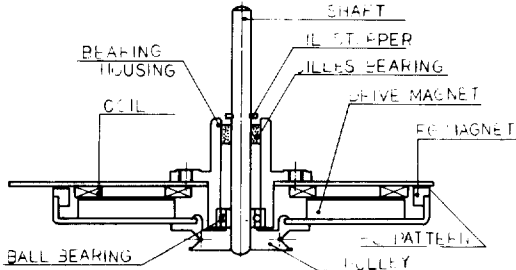
(a) STATOR ASSEMBLY



(b) ROTOR ASSEMBLY



(c) Brief motor Circuit



(d) MOTOR ASSEMBLY

그림 1 1/2"VTR용 캡스텐 모터  
Fig. 1 Capstan motor for 1/2" VTR

있는 플라스틱 자석으로 구성되어 있다.

그림1(d)는 모터 조립도로서 모터의 회전력은 코일과 자석에 의해 발생되며, 모터의 회전자속도는 고정자 기판 위에 있는 속도기전력 발생코일 (FG 패-턴)과 회전자에 착자된 FG 자극에 의해 발생되도록 구성되어 있다.

### 2.2 구동방법 및 토오크 리플

그림2는 3상 6코일 8극의 영구자석으로 구성된 편평형 B.L 모터의 각 파형도이다. 그림2에서 모터가 120°통전 정전류 구동방식으로 구동할 경우 발생하는 토오크 리플은 그림2(b)와 같이 전류가 일정하고, 코일과 쇄교하는 자속이 정현파(그림 2(a))일 경우 전기각 360° 1 주기에서 6주기의 토오크 리플(그림2(d))을 발생하므로 제어시 고도의 정속성을 요구하는 캡스텐 모터에서는 그림2(d)의 토오크 리플을 가능한 최소화 해야 된다.

### 3. 모델의 선정

#### 3.1 기본모델과 발생토오크

그림2에서 코일에 쇄교하는 자속의 파형이 정현 파이고, 전류가 일정할때 토오크 리플은 코일과 쇄교하는 자속의 파형과 전류의 형태에 따라 결정 됨을 알 수 있으며, 이를 수식으로 설명하면 다음과 같다.

그림1과 같은 편평형 B.L모터에서 발생하는 토 오크는 그림3과 같이 Az방향의 자장내에 Z개의 도체에 전류 I가 CW 방향으로 흐를때 발생하는

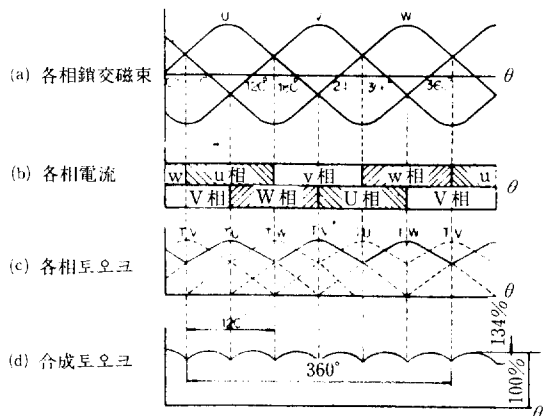


그림 2 3상 B.L 모터의 파형  
Fig. 2 Waveform of 3-phase B.L motor

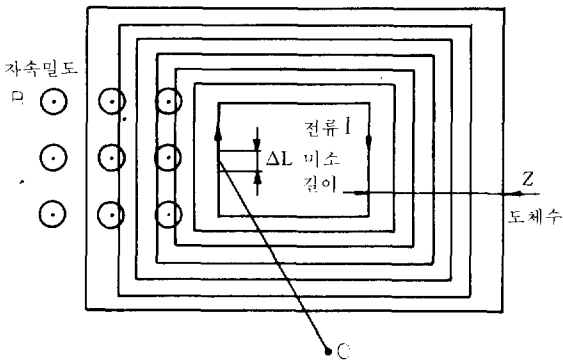


그림 3 기본모델  
Fig. 3 Basic model

토오르크로 생각할 수 있다.

그림3에서 Az방향의 자장내에 놓인 길이가 L인 임의 도선에 전류 I가 흐를 경우 도체가 받는 힘은

$$F_i = (I \Delta L_m \times B_n) Z_i \quad (1)$$

로 된다.

식(1)에서 첨자 m은 한도선을 분할할 수 있고, n은 미소길이 코일의 위치를 나타내며, 각각 i에 대응된다.

따라서 이때 중심 O에 대한 회전반경을 R<sub>i</sub>라고 하면 발생하는 토오르크는

$$T_i = R_i \times F_i = R_i \times (I \Delta L_m \times B_n) Z_i \quad (2)$$

이고 전체 토오르크

$$T = \sum_i (R_i \times (I \Delta L_m \times B_n)) Z_i = \sum_i (R_i \times (\Delta L_m \times B_n)) Z_i \times I \quad (3)$$

으로 되며, 여기서  $\sum_i (R_i \times (\Delta L_m \times B_n)) Z_i$ 를 토오르크 상수 K<sub>t</sub>로 놓으면 (3)식은

$$T = K_t \cdot I \quad (4)$$

로 표현할 수가 있다.

### 3.2 발생토오르크의 분석

식(4)에서 편평형 B.L모터의 토오르크 파형은 전류 I가 일정하면 토오르크 상수 K<sub>t</sub>에 의해서 결정되고 K<sub>t</sub>는 자속밀도 B의 함수가 되므로 코일에 흐르는 전류 파형 및 자속밀도의 파형의 형태를 변화시키면 토오르크 파형도 변화시킬 수 있음을 의미한다.

이에따라 일반적으로 B.L모터에서 토오르크 리플을 개선하는 방법으로는

- (a) 코일의 쇄교자속의 합성파를 구형파로 해서 정전류로 구동하는 정전류 구동방법
  - (b) 코일의 쇄교자속의 합성파를 정현파로 해서 정전압으로 구동하는 정현파 구동방법
  - (c) 발생하는 토오르크 리플의 주기에 맞추어 강제로 리플 감쇄 전류를 흘려 제어를가하는 방법
  - (d) 토오르크 리플 주파수를 회전변동에 영향이 작게 되는 영역으로 이동시켜 설정하는 방법
- 등이 있다. [10], [15]

그러나 (b)의 방법은 정현파 구동에 의한 방법으로 이론적으로는 토오르크 리플이 영인 가장 우수한 방법이나, 홀소자의 출력편차, 윗셀트 전압, 영구자석 자극간의 출력편차, 코일의 위치정밀도 유지 등의 관점에서 안정생산이 매우 어려우며, (c)의 방법은 발생된 토오르크 리플 파형에 동일한 주기로 토오르크 리플을 강제로 상쇄시키는 전류를 흘리므로써 토오르크 리플을 제거할 수 있으나, 이는 구동회로가 복잡하게 되어 구동IC의 가격이 높아지는 등의 문제가 있고, (d)의 방법은 편평형 B.L모터에서 효율, 자기 평형의 면에서 문제가 있는 등의 안정 생산과 저가가격화를 추구하는데에는 문제가 있다. [2], [12], [13], [14]

이러한 이유로 본 연구에서는 최근 소형정밀 B.L모터의 구동용 IC로 가장 많이 사용하고 있는 정전류 구동 IC를 사용해서 (a)의 방법을 이용해, 기존의 캡스턴 모터에서 회로부품이나 제조공정의 추가없이 토오르크 리플을 감소시킬 수 있는 방법을 개발하였다.

### 3.3 토오르크 리플의 개선 방법

3상 양방향 120°통전 정전류 구동방식의 B.L모터의 합성토오르크는 그림2(d)와 같은 토오르크 리플을 갖게 되며, 이는 아래의 2개의 정현파의 조합으로 생각할 수 있다.

$$T = K \sin \theta + K \sin(\theta + 60^\circ) \quad (5)$$

그러나 정전류 구동방식에서는 통전구간중 코일에 쇄교하는 자속이 일정하게 되면, 발생하는 토오르크는 그림 4와 같이 일정하게 되며, 이는 코일과 쇄교하는 자속을 구형파 만들면 토오르크 리플을 감소시킬 수 있음을 의미한다. [14]

그러나 영구자석에서 발생하는 자속파형을 완전한 구형파로 만드는 것은 현실적으로 매우 어려움에 따라 토오르크 리플을 최소화시키는 자속파형을 찾아야만 된다. 따라서 본 연구에서는 모터에서

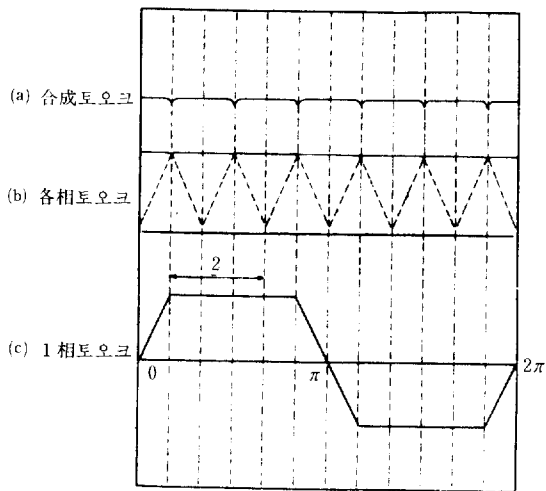


그림 4 토크파형  
Fig. 4 Waveform of torque

발생되는 토크 리플을 최소화시키기 위한 방법으로 영구자석 착자시에 기본파의 기수배의 고조

파성분을 임의로 가하여 쇄교자속을 구형파에 가깝게하는 방법을 개발하여 토크 리플을 감소시키고자 하였다. [16]

이상의 개념으로, 코일과 쇄교하는 자속이 구형파로 될때 발생하는 토크는

$$T = K_1(\sin\theta + \sin(\theta + 60^\circ)) + K_2(\sin 3\theta + \sin 3(\theta + 60^\circ)) + K_3(\sin 5\theta + \sin 5(\theta + 60^\circ)) + K_4(\sin 7\theta + \sin 7(\theta + 60^\circ)) \quad (6)$$

식(6)과 같이 고조파가 포함된 항으로 표현할 수 있으며, 이를 각성분별로 분석하면 3차 고조파 성분에 대해서는

$$\begin{aligned} & \sin 3\theta + \sin 3(\theta + 60^\circ) \\ &= \sin 3\theta + \sin(3\theta + 180^\circ) \\ &= \sin 3\theta - \sin 3\theta \\ &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

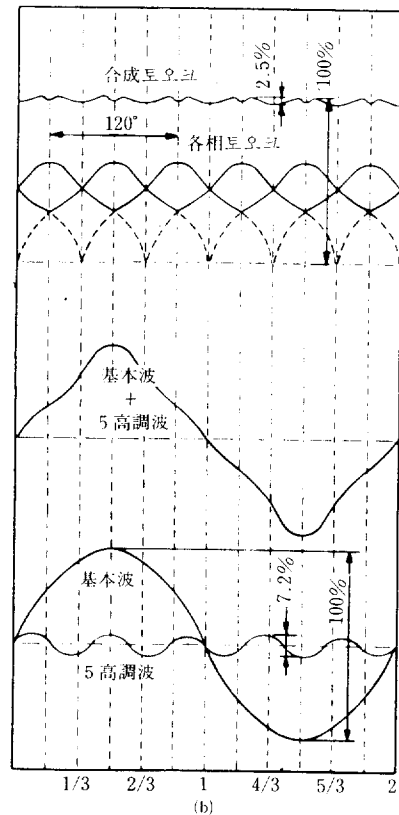
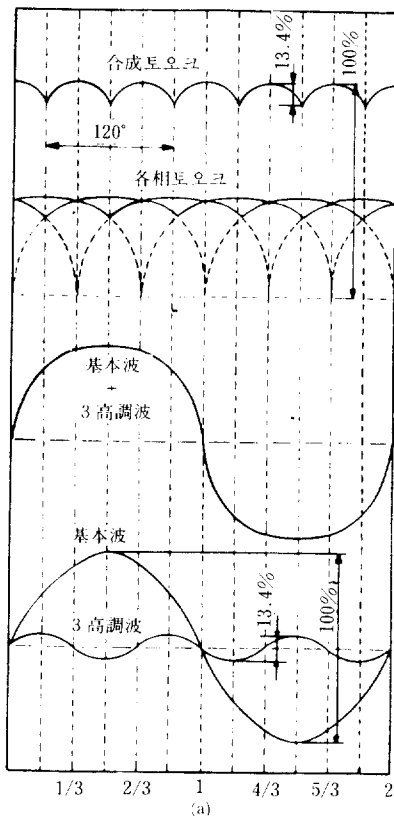


그림 5 토크 파형의 비교  
Fig. 5 Compare with waveform of torque

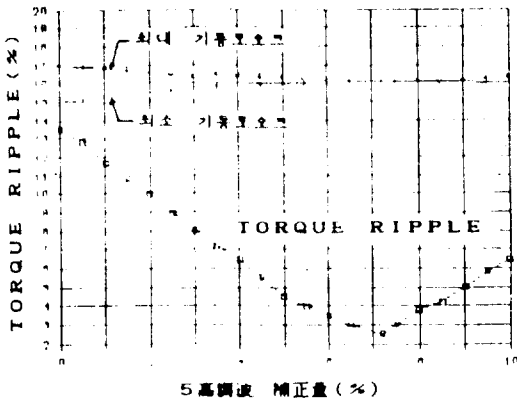


그림 6 5고조파 보정량 對 토크 리플 및 기동 토크

Fig. 6 Graph of compensation amount of 5th harmonics V.S torque ripple and starting torque

로써 그림5(a)와 같이 3차 고조파에 대해서는 각 상의 토크 파형은 구형파에 가깝게 되나, 이를 3상에 대해 합성하면 토크 리플 성분은 이론적으로도 13.4%가 되므로 토크 리플 성분은 3차 고조파성분에 의해서는 조정이 불가능함을 알 수 있다.

그러나 제5차 고조파에서는

$$K_5(\sin 5\theta + \sin 5(\theta + 60^\circ)) \quad (8)$$

로써 기본파에 제5고조파를 가할 경우 자속의 파형은 왜형파로 되나 토크 파형은 그림6에서와 같이 제5고조파 성분의 양에 따라 변화함을 알 수가 있다.

그림 5(b)는 기본파에 5차고조파를 인가 했을때의 토크파형이다. 즉 이는 정전류구동방식의 B.L모터에서 토크 리플을 감소시키기 위해서는 코일과 쇠교하는 자속의 파형의 기본파에 제5고조파 성분을 가하여 이를 조정함으로써 최소화 할 수가 있음을 의미함에 따라, 본 연구에서는 그림6과 같이 기본파에 제5고조파를 더하여 토크 리플이 최소가 되는 점을 구하므로써 토크 리플을 최소화 하였다.

그림6에서는 제5고조파 성분의 조정량에 따른 토크 리플의 변화 및 효율의 변화를 시뮬레이션으로 구한 결과이다. 이 결과 제5고조파 성분을 기본파에 대해서 7.2%로 조정했을때 그림5(b)와 같이 토크 리플은 2.5%로 최소로 되어 그림2의 종래 보정전 13.5%에 비해 토크 리플을 대폭으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있었으며, 또한 이

때 최소 기동토크도 약간은 향상됨에 따라 효율의 감소를 최소화 시킬 수 있음을 확인하였다.

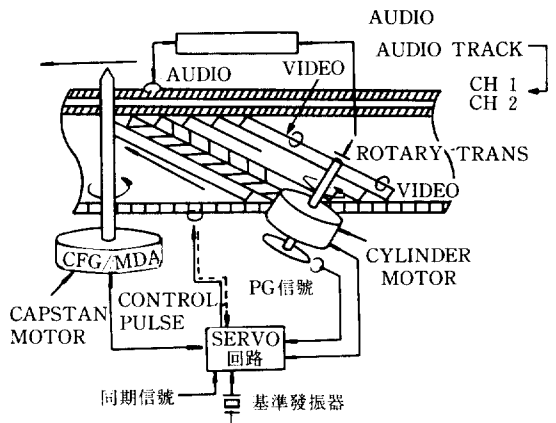
#### 4. 적용모델

##### 4.1 개발 모델

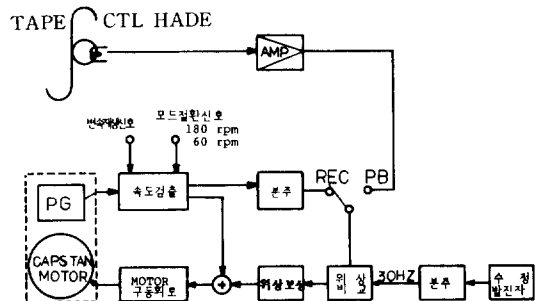
이상의 검토결과를 본 연구에서는 VHS방식의 1/2" VTR에서 테이프의 속도를 모-드에 따라 일정하게 주행시켜주는 캡스턴 모터를 DD브러시리스화 함에 따라 발생하는 토크 리플 개선에 이용하였다.

표1은 현재 사용되고 있는 VHS방식의 1/2" VTR용 캡스턴 모터의 사양이며, 그림7은 VHS 방식 VTR의 제어계 구성을 나타냈다.

그림7에서 기록시 캡스턴 모터는 비데오 테이프를 일정속도(SP 모-드: 33.35mm/sec, EP 모-드: 11.12mm/sec)로 주행시키고, 실린더 모터는 비데오 헤드를 기록하고자 하는 영상신호 중의 수직동기 주파수의 1/2로 회전시켜서 수직블랭킹기



(a) servo system



(b) signal flow

그림 7 VTR 制御界의 信號 흐름도

Fig. 7 Signal flow proces of VTR servo system

**표 1** 캡스텐 모터의 사양  
**Table 1** Specification of Capstan motor

항 목	규 격	항 목	규 격
정격 전압	12VDC	무부하 회전수	1750rpm
정격 부하	85 gr-cm	무부하 전류	90mA
정격부하전류	300mA	기동 토오크	450gr-cm
최대소비전력	3.6W	정격 회전수	180rpm
FG 신호	주파수 720Hz(180rpm 정격회전수 제어시) 주파수 변동율 : 0.1%rms		
	주파수 240Hz(60rpm 속도제어시) 주파수 변동율 : 0.2%rms		

간을 각 트랙의 하단에 오도록 헤드와 테이프의 상대적 위치를 일정하게 유지하도록 하며, 재생시 캡스텐 모터는 기록시의 테이프 속도와 동일한 속도로 테이프를 주행시켜 실린더 모터에 의해 정확히 30Hz로 회전하는 비디오 헤드와 기록된 비디오 트랙위를 추적하도록 하는 기능을 갖고 있다.

따라서 VTR에서의 캡스텐 모터와 실린더 모터의 정속성은 VTR의 생명인 화면상태와 직결됨에 따라 VTR용 캡스텐 모터는

- (a) 장시간 고속탐색기능에 있어서 회전속도는 60 rpm~1260rpm으로 광범위하고 변속이 쉬울 것.
- (b) Fine Slow 기능에 있어서 DD캡스텐 모터는 Incremental 동작을 하므로서 기동정지에 대한 신속한 응답으로 정지위치점이 정확할 것.
- (c) 테이프를 정확하게 주행시키기 위한 기동력 확보를 위해 1.1~1.4Kg의 핀치 로울러의 압착력 보다 큰 축압 하중에 견딜 것.
- (d) VTR실장시 가능한 소형으로 가격이 저렴할 것.

등의 조건을 만족해야 되며, 특히 이를 DD브러시레스화할 경우에는

- (1) 전동기 자체의 토오크 변동이 적을 것
- (2) 관성/기동 토오크 변동이 작을 것
- (3) 외란에 대해 제어성이 우수할 것
- (4) 축수는 저회전시에 고축압 하중에 견디고 저온, 고온시, 고속회전시 손실 토오크가 작고 변동이 작을 것
- (5) 박형, 경량일 것
- (6) 저가격으로 생산성이 좋을 것

의 조건을 만족하여야 한다.

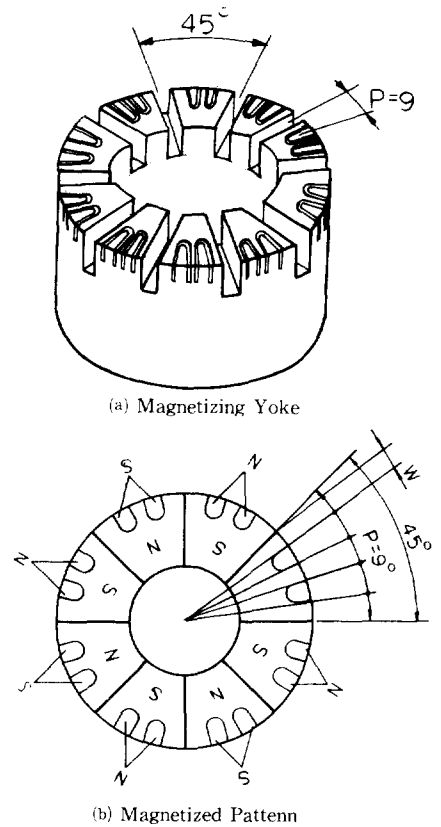
그러나 VTR은 그림7(b)의 제어블럭도에서와

같이 캡스텐 모터에서 발생하는 모터회전속도 검출신호인 FG신호(180rpm에서 720Hz)를 30Hz로 분주하여 기준신호와 비교해서 FG신호의 편차(속도변동분)분만큼의 속도를 제어전압으로 변환하여 전류를 가감하는 제어방식을 사용함에 따라, VTR에서는 캡스텐 모터의 속도변동에 대한 규제를 표1의 사양중 FG 신호의 주파수 변동율로써 규제하고 있다.

따라서 캡스텐 모터는 속도 변동율을 최소화하기 위해서는 상기의 조건중 (1)항의 토오크 리플을 최소화해야 한다.

**4.2 개발 모델의 실험 결과**

이에 따라 본 연구에서는 앞에서 검토된 개념을 기초로 캡스텐 모터의 토오크 리플을 감소시키기 위해 코일과 쇠교하는 자속의 기본파에 제5고조파를 구동용자석 착자시 조정할 수 있도록 그림8(a)와 같이 구동용 자석 각 극의 외주 부분에 균등



**그림 8** 캡스텐 모터의 착자 요-크 및 착자 형태  
**Fig. 8** Magnetizing yoke and magnetized pattern of capstan motor

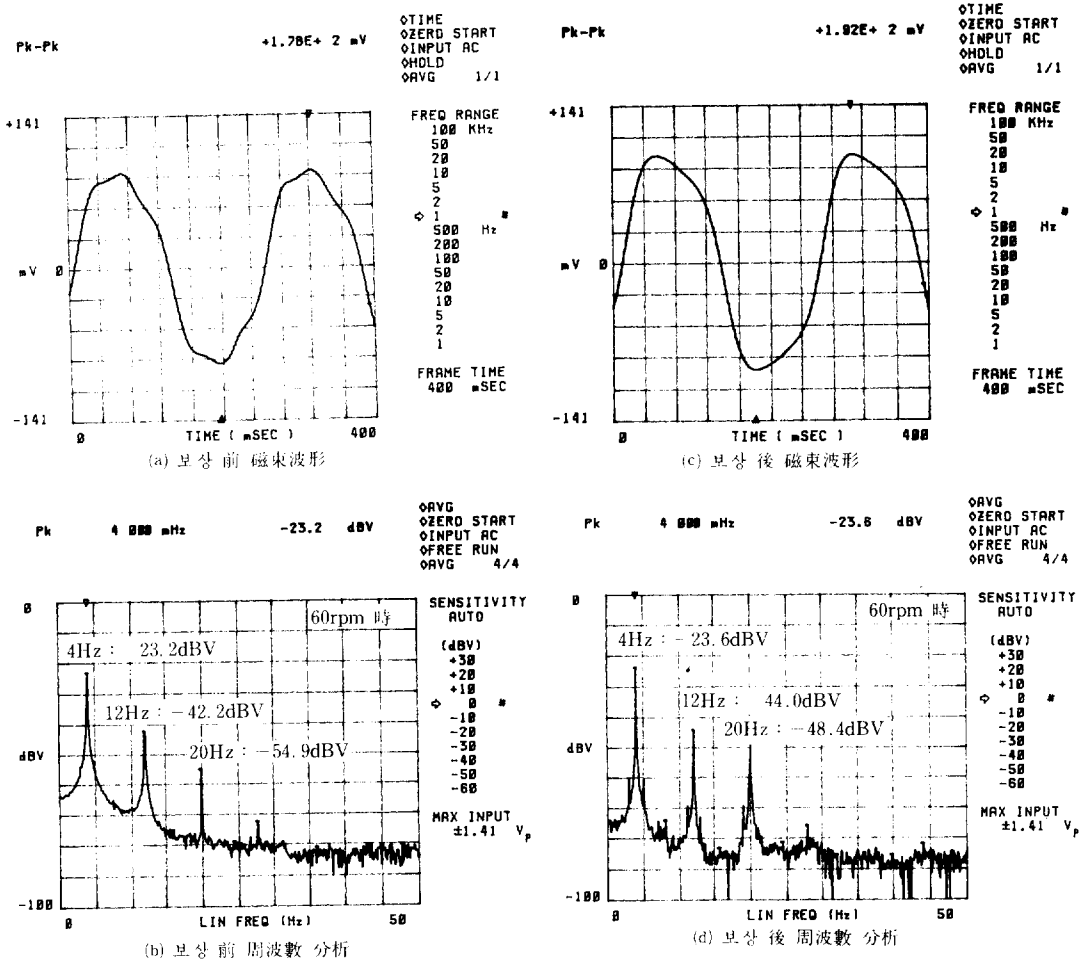


그림 9 着磁 補賞 前後의 磁束波形과 周波數 分析

Fig. 9 Flux waveform & FFT analysis before and after magnetizing compensation.

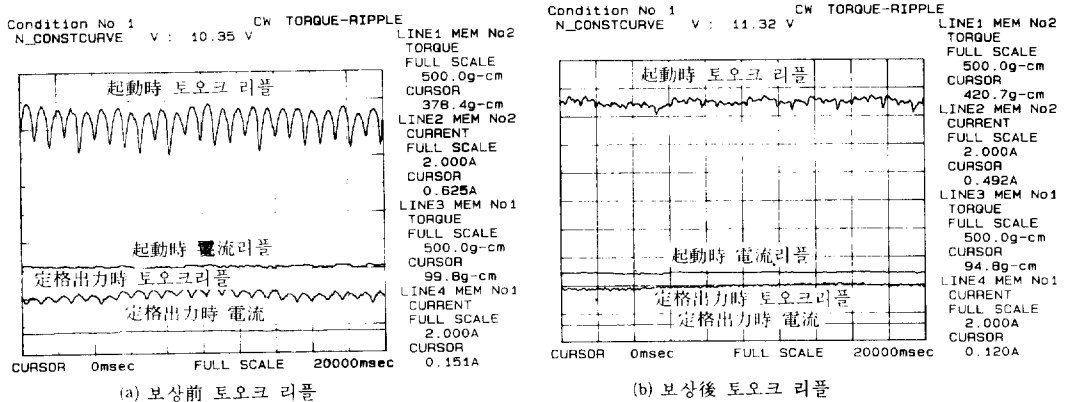


그림 10 補賞前後의 토오크 리플

Fig. 10 Torque ripple of before and after compensation



간격으로 5등분되는 지점에 보정극이 설치된 착자요-크를 개발하여 그림9(c)와 같은 자속파형을 형성시킴으로써, 그림10과 같이 토오크 리플을 종래보다 20%감소 시킬 수가 있었다. 그림8(a)는 본 연구에서 개발된 착자요-크이며, 그림8(b)는 착자된 구동용자석의 착자형태이다.

그림9는 착자 보정 전후의 지속파형과 이를 FFT로 주파수분석한 것으로써 그림9(c)의 제5차 고조파 성분이 보정착자된 파형은 그림9(d)와 같이 제5고조파성분인 20Hz 성분이 보정 전보다 6.5dBv 증가됨을 알 수 있으며, 이 결과 토오크 리플은 보정전의 그림10(a)에서 그림10(b)로 개선됨을 확인할 수가 있다.

그림10은 종래의 캡스틴 모터와 본 개발모델의

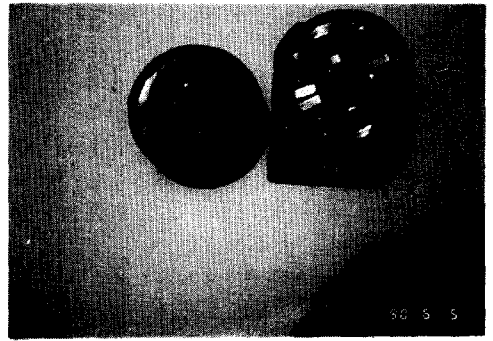


사진 1 1/2" VTR용 캡스틴 모터  
Photo. 1 Capstan motor for 1/2" VRTs

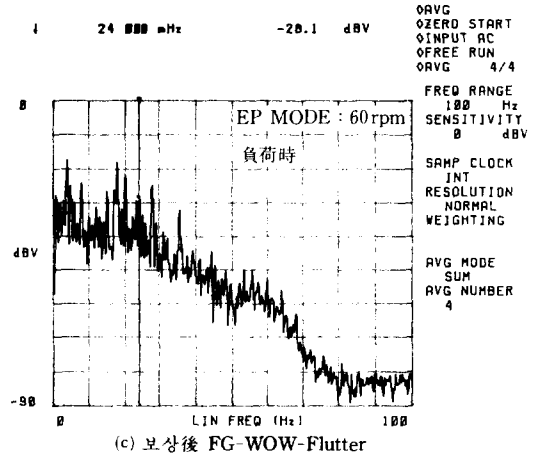
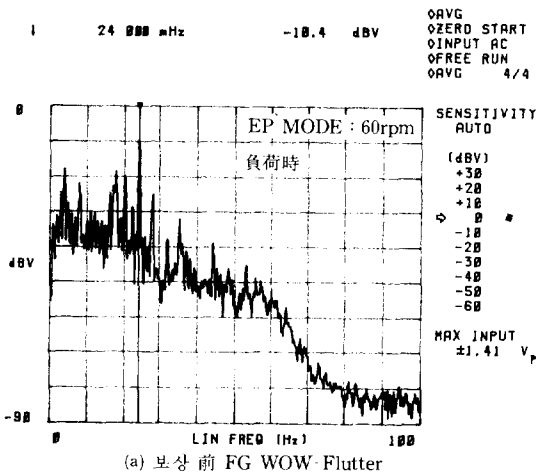


그림 11 補償 前後의 Capstan FG wow-flutter의 FFT 分析

Fig. 11 FFT analysis of Capstan FG wow-flutter before and after compensation.

기동시 및 정격부하시 토오크 리플을 토오크 리플 측정치로 측정한 것으로써 그림10(b)에서와 같이 본 개발모델에 적용된 방법이 기동시나, 정격부하시에도 토오크 리플이 종래보다 20%나 개선되었음이 확인되었으며, 또한 이와같이 개선된 모터를 VTR에 장착시켜 제어시 토오크 리플이 FG주파수 변동에 미치는 영향 즉 와우/플러터 변동값을 FFT로 분석하면, 그림11과 같이FG 주파수 변동 성분에 포함되어 있는 토오크 리플 성분인 24Hz 성분이 (EP 모드 : 60rpm時) -10.4dBv에서 -28.1dBv로 감소되었음을 알 수가 있다. 즉 캡스틴 모터는 VTR내에서 회전시 모터에서 발생하는 FG주파수변동분을 제어전압으로 변환하여 전류를 가감하므로써 속도제어를 함에 따라 (그림7(b)) 제어시 속도변동에 영향을 주는 성분은 모두 FG 신호에 포함되므로 이 FG신호의 변동치를 FFT로 분석하게 되면 토오크 리플이 FG 주파수 변동에 미치는 영향을 평가할 수 있게 된다.

따라서 제어시 캡스틴 모터의 FG 신호를 광대역 와우/플러터계로 입력시켜 나온 출력을 FFT로 분석해 보면 그림11과 같이 60rpm 정속도 제어시 FG 신호에 포함된 신호중 토오크 리플 성분인 24 Hz성분 가장큰을 알 수 있으며, 이성분은 그림11에서와 같이 종래보다 17.7dBv나 감소됨을 확인할 수가 있다.

이상의 결과로 캡스틴 모터의 토오크 특성이 개선됨에 따라 보다 와우/플러터 성능이 향상된 VTR의 개발이 가능케 되었다.

사진 1은 본연구로 개발된 캡스틴 모터로써 현재 VTR에 채용되어 생산되고 있는 모터이다.

5. 결 론

본 연구에서는 영구자석 편평형 B.L모터를 사용하는 1/2"VTR용 DD캡스톤 모터의 토오크 리플을 감소시키기 위한 방법으로써 모터의 공극 자속의 기본파에 제5고조파를 추가하는 방식을 개발하였다. 본 연구 결과로 개발된 DD 캡스톤 모터는 추가비용 없이 영구자석 착자시 보정극을 설치해서 토오크 리플을 종래의 모터의 20%로 감소시켜 제어시 속도변동율을 극소화함에 따라 가격과 성능면에서 일본등과 치열한 경쟁을 하고있는 1/2" VTR을 성능 및 가격적인 면에서 보다 경쟁력을 강화 할 수 있었으며, 또한 본 연구를 기초로 개발제작된 DD 캡스톤 모터는 매월 20만대 이상 안정적으로 생산되어 현재의 1/2" VTR에 적용되고 있음에 따라 그동안 일본으로 부터 수입하여 오던 것을 국내에서 생산하므로써 수입대체 효과를 얻고 있다. 또한 본 연구에서 개발된 영구자석 편평형 B.L모터의 토오크 리플 감소방법은 구조와 특성이 유사한 FDD용 스펀들 모터, 편평형의 VTR용 실린더 모터, 편평형 DC 브러시리스 FAN 모터 등에 이용하게되면 이들 기기의 성능향상에 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kaoru Matsuoka, "Automatic design method of flat-type motors", National Technical Report, vol. 33 no. 5, pp. 101~111, Oct. 1987
- [2] Nobuyoshi Yokobori, Minoru Koda, Kazumi Iwasaki, "Direct drive capstan motor for VHS VTRs", National Technical report, vol 28, no. 3, pp. 162~171, June 1982.
- [3] Tadao Shioyama, Nobuyoshi Yokobori, Hiroshi Okamoto, Minoru Koda, "Rotary head assembly having direct coupled electronic commutation motor for VHS VTRs", National Technical report, vol. 28, no. 3, pp. 152~161, June. 1982.
- [4] Toshio Ihaji, Soichiro Fujioka, Susumu Yamamoto, "Drive system for brushless DC motors without rotor position sensors", National Technical Report, vol. 33, no. 5, pp. 71~78, Oct. 1987.
- [6] C.K. Taft, R.G. Gauthier, M. Salter, "Static and dynamic models for high speed operation of brushless three phase motors". IMCS Urbana, [1]., pp. 65~74, 1984.
- [7] C.K. Taft, R.G. Gauthier, "Brushless motor torque speed curves", IMCS, Urbana, [1]., pp. 73~89, 1985.
- [8] C.K. Taft, T.J. Harned, "The dynamic characteristics of three phase brushless dc motor", IMCS, Urbana.[1]., pp. 51~62.
- [9] C.K. Taft, R.G. Gauthier, "Brushless motor torque speed curves", IMCS. [1], pp. 7~16.
- [10] M. Liska, B. Ulrich, "Magnetic stepper motors and brushless DC motors : Principles and applications in drive units", IEE CON. NO. 136. Small electrical machines. pp. 15~18, March. 1976.
- [11] R.A. Ashen, H.R. Bolton, "Performance and design of a brushless dc torque motor", IEE CON. no. 136, pp. 17~30, March. 1976.
- [12] James R. Ireland, "Ceramic permanent magnet motors", Electrical and design and application, pp. McGraw-Hill Book Co. 1968.
- [13] 有田陽二, 高橋常照, "希土 PLASTIC 磁石의 MICRO MOTOR의 應用", Mitsubishi Chemical R & D Review 1, pp. 109~116, 1987.
- [14] T. Nakata, N. Takahashi, K. Uehara, "Analysis of Magnetic Characteristics of A Brushless DC Motor Taking Into account the Distribution of Magnetization." IEEE Trns. On MAG. vol. MAG-22, no. 5, pp. 1084~1086 sept. 1986.
- [15] "DC MOTOR SPEED CONTROLS SERVO SYSTEMS", Elector-Craft Corporation. pp. 6.1~6.35, 1977.
- [16] SHIGEKI KAWADA "Flat type synchronous rotary electric machine." 특허 60-43051, 1985, FUNUC K.K