

Time Switch용 Step Motor 개발

김철호^{*}, 이우석^{**}, 서명택^{***}, 오철수^{****}
 (주)서영테크^{*}, 부산정보대^{**}, 구미1대학^{***}, 경북대^{****}

Development of Step Motor for Time Switch

Chul-Ho Kim^{*}, Woo-Suk Lee^{**}, Young-Taek Seo^{***}, Chul-Soo Oh^{****}
 Seoyoung Tech^{*}, Busan College of Info.^{**}, Kumi College^{***}, Kyungpook N. Univ.^{****}

Abstract - Time switch is widely used to reduce the energy loss by selecting the duration of daily-based operating pattern for the electrical apparatus. Driving force of the time switch is the single-phase step motor which has the starting torque due to the asymmetrical airgap. Cogging and total torque of the tapered-airgap motor is analyzed by finite element method.

1. 서 론

Time Switch는 각종 전력제어반, 에너지 절감기구 등에서 on/off 제어를 수행한다. 24시간을 1Cycle로 하여 10분 또는 15분 단위로 스위칭 제어를 할 필요가 있는 장치에 에너지 절약 장치로 유용하게 사용할 수 있다. 대표적인 적용분야는 하루주기로 일정한 패턴으로 동작해야 하는 백열등 또는 할로겐등, 환풍기, 전열기구 등의 구동 스위치이다.

이러한 Time Switch의 구동원은 단상 Step Motor이다. 소형 경량의 구조에서 출력토크를 높이기 위해서는 전동기 설계측면에서 요구조건을 만족하는 최적설계가 이루어져야 한다. 단상 Step Motor는 공극의 편심(Taper)에 따른 디텐트 토크에 따라 초기 기동력이 결정된다. 따라서 공극의 기하학적 구조와 영구자석 회전자의 위치에 따른 토크 해석이 필요하다. 유한요소해석을 이용하여 디텐트 토크와 코일여자시 합성토크를 해석하였다. 구동토크의 해석기준은 타이머의 스위치가 on시 기계적인 부하토크를 근거로 하였다. 개발된 전동기를 이용하여 구동실험을 수행하였다.

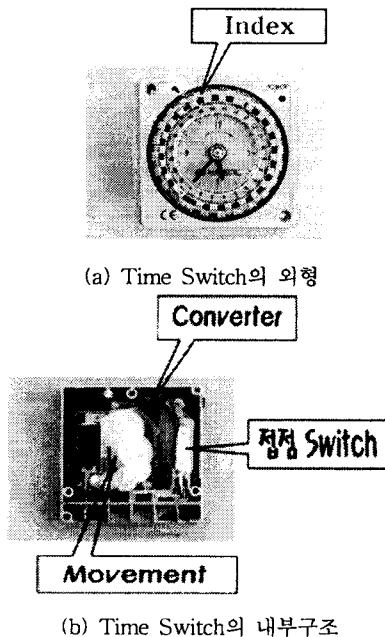
2. 본 론

2.1 Time Switch

Time Switch는 24시간 주기로, 접점을 10분단위로 on/off 시키기 위해서 외부에 시계눈금과 함께 시간설정 용 인덱스 판을 가지고 있다. 내부에는 그 구동원으로 1초에 1회전하는 단상 Step Motor와 접점 스위치, 그리고 감속기로 구성되어 있다. 이를 그림 1에 나타내었다.

이 Time Switch의 구동원원은 상용전원을 정류하여 직류 1.2V로 변환한 뒤 배터리에 충전해서 사용한다. 정상적인 전원상태에서는 접점이 동작하는 시점에서 부하에 따른 Step Motor의 탈조현상이 발생하지 않도록 충분한 토크특성을 가져야 한다. 정전 시에는 배터리에 충전된 전원을 이용해서 동작하여야 하므로 Step Motor의 동작효율이 높아야 하겠다. 즉 Step Motor에 인가되는 펄스의 on시간을 최소로 하는 것과 동시에 소비전류를 최소로 하여야 한다.

Time Switch의 설치장소는 외부의 온도영향에 직접 노출되는 경우가 많으므로 고온과 저온의 영구자석의 동작특성을 고려할 필요가 있다.



(a) Time Switch의 외형

Converter

접점 Switch

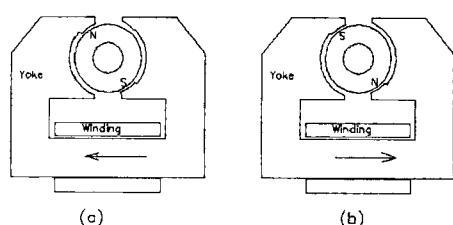
Movement

(b) Time Switch의 내부구조

그림 1. Time Switch 구조

2.2 단상 Step Motor 구동원리

단상 Step Motor의 구동원리는 최초 고정자 돌극형상 때문에 코일을 여자시키지 않더라도 영구자석 자극의 중심부가 공극이 깊은, 즉 자기저항이 최소로 되는 위치에 놓이는 디텐트(Detent) 토크가 작용한다. 구동원리를 그림 2에 나타내었다. 최초 회전자가 (a)의 위치에 디텐트되어 있는 상태에서 코일의 여자전류방향이 자장의 방향이 화살방향으로 되면 시계방향으로 180° 회전하게 되어 (b)의 위치가 되고, 이때 전류의 방향이 반대가 되어 철심에서 자장의 방향이 반대가 되면 계속해서 시계방향의 회전력이 발생하게 된다.



(a) (b)

(c)

그림 2. 단상 Step Motor의 구동원리

2.3 단상 Step Motor 특성해석

단상 Step Motor의 설계사양을 표1에 나타내었다. 정격전압은 1.2V이고, 부하를 on/off시키는 접점의 훌딩토크는 80mNm이다. 영구자석은 잔류자속밀도가 0.23T인 페라이트 재질을 사용하였고, 철심재질은 투자율이 높은 Ni합유량이 48%인 퍼말로이를 사용하였다.

표 1. 단상 Step Motor 설계사양

상수	단상
정격전압	1.2V
접점 훌딩토크	80mNm
영구자석	페라이트(Br: 0.23)
	직경 : 9mm
	직경 : 3mm
철심재질	퍼말로이(48%Ni)
	두께 : 1mm

기동토크를 발생시키기 위한 비대칭 공극의 형상을 테이퍼(Taper)형상으로 하였다. 영구자석 회전자에 작용하는 토크는 두가지 성분으로 분해할 수 있는데, 이는 식(1)과 같다.

$$T(i, \theta) = T_{coil}(i, \theta) + T_{core}(\theta) \quad (1)$$

합성토크 $T(i, \theta)$ 는 코일의 여자에 의한 구동토크와 영구자석과 철심사이의 릴럭턴스 토크의 합으로 표현할 수 있다. 여기서 릴럭턴스 토크성분은 코킹토크로 볼 수 있다.

무부하 코킹토크와 여자시 합성토크를 해석하기 위해 유한 요소 시뮬레이션을 수행하였다. 퍼말로이 철심재질과 페라이트 영구자석의 BH특성곡선을 그림 3과 그림 4에 나타내었다. Ni 48% 퍼말로이는 20A/m에서 1.0T의 자속밀도를 나타낸다.

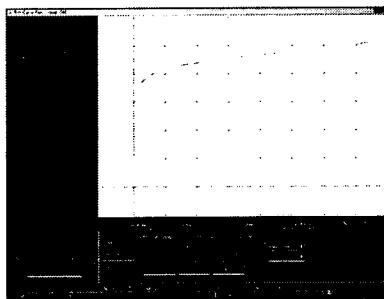


그림 3. 퍼말로이 1상한 특성

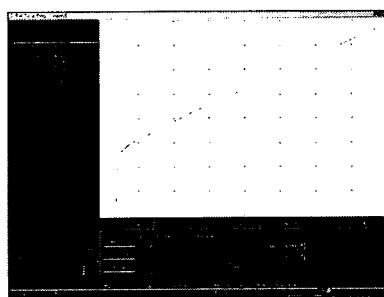


그림 4. 페라이트 영구자석 2상한 감자특성

전동기내부의 자속의 흐름에 대해 시뮬레이션 하였고, 이를 그림 5에 나타내었다. 단상 Step Motor의 구성은

철심과 영구자석, 코일로 구성되는데, 코일의 조립을 위해 철심은 두 부분으로 분리되어야 한다. 퍼말로이 재료는 투자율이 높아서 내부의 기자력강화가 미약하게 발생하지만 두 철심의 연결부분에서 충분한 접촉면적을 확보하여야 한다. 철심의 두께가 1mm정도로 매우 얕기 때문에 영구자석 조립부분 즉, 공극부분의 철심 평면도와 공극 부분의 공차유지가 중요하다.

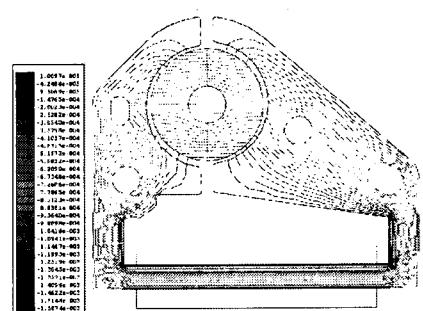


그림 5. 단상 Step Motor의 자속해석

영구자석 회전자의 위치에 따른 코킹토크를 해석하였다. 비대칭 테이퍼 공극에 의해 1회전에 2번 반복되는 코킹토크가 발생하며, 최대치는 20mNm/m이다. 그림 5에서 회전자 위치를 기준으로 시계방향으로 회전시킬 때의 코킹토크이므로 영구자석 회전자가 디텐트되는 위치는 시계방향 50° 회전위치이다.

코일이 여자될 때 합성토크는 식(1)에서처럼 코일의 여자에 의한 구동토크와 영구자석과 철심사이의 릴럭턴스 토크인 코킹토크의 합으로 표현할 수 있다. 그림 6에 합성토크의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그래프의 앞 부분은 코킹토크와 코일여자에 따른 구동토크 성분이 같은 방향으로 작용한 결과이고 뒤 부분은 반대로 작용한 결과이다. 단상 Step Motor에서 짧은 시간에 코일이 여자된 회전자가 180°회전하면 1초 뒤에 반대방향으로 여자되므로 합성토크는 그래프의 앞쪽 성분에 좌우된다고 볼 수 있다. 이 때 합성토크의 최대치는 60mNm/m이다.

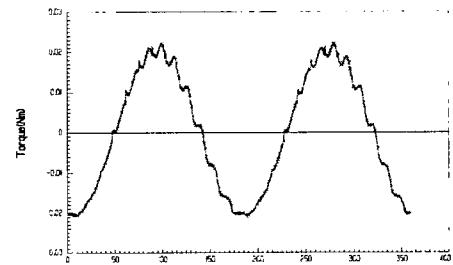


그림 6. 코킹토크 해석

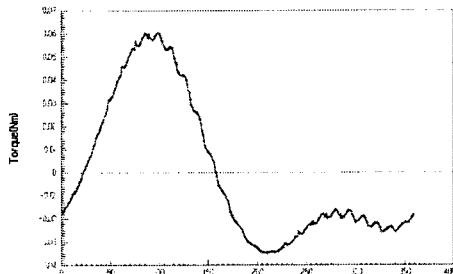


그림 7. 여자시 합성토크해석

제작된 단상 Step Motor에 구동실험을 수행하였다. 두개의 다른 구동장치를 이용하였는데, 구동주파수는 모두 2초이다. 첫 번째 구동장치는 코일이 여자되는 시간이 32ms이고, 두 번째 구동장치는 48ms이다.

정전시 장시간동안 Time Switch를 구동시키기 위해서는 전압인가 시간을 줄여 배터리의 전력소모를 최소로 하여야 한다. 하지만 영구자석 회전자가 충분히 회전하지 못한 상태에서 여자전원이 끊어지면 단상 Step Motor는 제대로 동작할 수 없다. 점점동작이 필요없는 무부하 상태에서는 회전에 문제가 없지만, 부하상태에서는 보다 오랜시간 전류가 인가되어야 한다. 32ms 구동장치에서는 부하시 털조현상이 많이 발생하였고, 따라서 Time Switch의 시간 정밀도가 떨어지게 된다. 부하시 회전자가 충분히 다음위치까지 회전할 수 있는 토크가 가해지도록 여자시간이 조정되어야 하며, 본 연구에서는 48ms로 선정하였다.

[4] Jacek F. Gieras, Mitchell Wing, "Permanent Magnet Motor Technology", Marcel Dekker, Inc., 1997

[5] S. Bentouati, Z.Q. Zhu and D. Howe, "Permanent Magnet Brushless DC Motors for Consumer Products", <http://mag-net.ee.umist.ac.uk/reports/P11/p11.html>

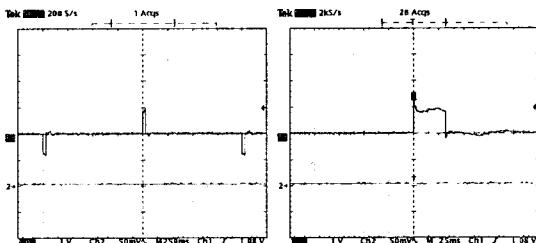


그림 8. 구동전압 파형 (여자시간32ms)

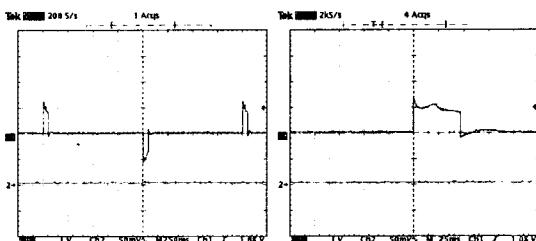


그림 9. 구동전압 파형 (여자시간48ms)

3. 결 론

각종 전력기기들의 에너지 절약과 효율적 사용을 위해 최근 들어 Time Switch가 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 Time Switch 구동용 단상 Step Motor의 개발을 위해 유한요소해석을 수행하였다. 구조가 간단하며, 그래서 가격이싼 단상 Step Motor는 기동토크를 얻기 공극비대칭효과를 이용한다. 이를 위해 영구자석 회전자 위치에 따른 코킹토크를 해석하였으며, 코킹토크와 코일여자 토크의 합성토크인 최종출력토크를 해석하였다. 구동 특성을 알아보기 위해 두가지 다른 구동장치를 이용하여 특성실험을 수행하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] P.P. Acarnley, "Stepping Motor: a guide to modern theory and practice", IEE, 1992
- [2] Edward P. Furlani, "Permanent Magnet and Electro-mechanical Devices : Materials, Analysis, and Application", Academic Press, 2001
- [3] T. Kenjo, A.Sugawara, "Stepping Motors and Their Microprocessor Controls", Oxford University Press, 1994