

# 하이브리드 여자방식을 이용한 SRM의 진동 소음 저감 특성

論 文

50B-9-2

## Reduction Characteristics of Vibration and Acoustic Noise of SRM Using Hybrid Excitation Method

金昌燮\* · 吳錫奎\*\* · 安珍雨\*\*\*

(Chang-Sub Kim · Seok-Gyu Oh · Jin-Woo Ahn)

**Abstract** - The simple motor construction and low cost, fault tolerant power electronic drive has made the switched reluctance drive a strong contender for many applications. But the switched reluctance drive does exhibit higher levels of vibration and acoustic noise than that of most competing drives. The main source of vibration in the switched reluctance drive is generated by rapid change of radial force when phase current is extinguished during commutation action. In this paper, a hybrid excitation method is proposed to reduce vibration and acoustic noise of the switched reluctance drive. The hybrid excitation has 2-phase excitation by long dwell angle as well as conventional 1-phase excitation. The vibration and acoustic noise are reduced because the scheme reduces abrupt change of excitation level by distributed and balanced excitation.

**Key Words** : Switched Reluctance Motor, commutation action, vibration, acoustic noise, 2-phase excitation

### 1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM이라 함) 구동 시스템은 제작이 간단하며 비용이 싸며 운전사고에 잘 견디고 산업기기, 항공기기, 자동차, 가전기기 등의 응용분야에서 높은 토크/부피 및 출력, 고효율 가변속 운전이 가능하므로 기존의 유도전동기와 영구자석 전동기에 비교될 만한 특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 SRM은 기존의 구동장치보다 높은 레벨의 소음과 진동을 발생하고 있다.

최근까지의 개발연구의 방향은 토크, 효율, 신뢰도, 비용 등에 대한 향상을 목표로 한 적정 자기회로설계와 제어방식에 집중되어 있었다[1,2]. 그러나 최근에 들어 정밀제어 및 가정용 전자제품으로의 영역을 넓히는 데에 있어 가장 장애가 되고 있는 것은 운전특성의 안정화를 위한 토크 맥동의 억제와 엄격한 소음과 진동의 저감에 대한 연구로 이에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

토크 맥동이 생겨 전동기의 토크-속도특성의 안정도를 낮게 한다. 토크 맥동은 토크 발생구간에서의 맥동과 상간 전류(commutation)작용이 원활하지 못한데 기인한다. 이중 상대적으로 상간 전류(commutation)작용이 원활하지 못하여 발생하는 토크 맥동이 더 크게 나타나 이를 저감하기 위해 상간 전류(commutation)시 2상 여자율 하는 방법이 제

시되고 있다[3,4].

또한 진동·소음 발생 원인으로는 크게 기계적인 원인과 전자기적인 원인이 있다. 기계적인 원인으로는 공심의 동심도, 직전도, 접촉 마찰, 중량 불균형 제작 등과 같은 제작상의 문제와 베어링과 같은 적용부품에서의 기계적인 진동과 공기와의 마찰 등에 의해 소음이 발생한다. 전자기적인 원인은 상 스위치의 온, 오프 순간에 발생하는 갑작스런 기자력의 변화에 의한 수축 팽창작용 등이 있다. 이 중 여러 연구보고에 의하면 SRM의 진동, 소음은 주로 고정자의 방사방향의 힘의 변동에 의해 발생하는 것으로 보고되고 있다[5,6]. 이러한 진동, 소음을 줄이기 위한 연구가 다양한 방향으로 진행되고 있다. 현재까지의 진동, 소음 저감에 관한 연구는 기계적 구조의 조정 및 권선 방식의 조정, 여자방식의 조정 등으로 진행되어왔다.

본 논문에서는 진동, 소음의 주원인인 급격한 기자력의 변화를 완화시키는 방법으로 한 상의 스위치 오프 전 다른 상이 동작하도록 중복을 시키는 하이브리드 여자방식을 채택하였다[7]. 또한 상간 적절한 중복으로 인하여 토크 맥동도 현저하게 줄일 수 있었다. 그러나 이러한 방법은 효율의 저하를 가져오는 단점이 있는 데 이는 C-dump 인버터를 사용하여 보완하였다[8]. 또한 시뮬레이션과 제어시스템의 구현을 통하여 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

### 2. 진동, 소음 저감을 위한 SRM의 여자방식

SRM의 기계적인 구조는 가변 릴럭턴스 토크를 최대화하기 위하여 고정자와 회전자 구조가 2중 돌극형으로 되어있고, 단일 여자방식으로 구동을 하게 되어 토크 발생 메카니즘상 기존의 가변속 전동기에 비하여 비교적 높은 진동과 소

\* 準 會 員 : LG電子 研究員

\*\* 正 會 員 : 晉州産業大 産業自動化工學科 助教授 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 慶星大 電氣電子컴퓨터工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 2001年 2月 26日

最終完了 : 2001年 8月 3日

음이 발생한다. 이러한 진동, 소음은 릴럭턴스 토오크의 발생 과정에서 주된 회전력으로 작용하는 접선 방향의 힘뿐만 아니라 방사 방향의 힘이 작용하여 각 상을 온, 오프할 때 고정자 프레임을 방사 방향으로 진동시킴으로써 발생하게 된다 [5,6].

최근의 연구에 따르면 SRM의 스위칭에 따른 진동, 소음은 스위치 온, 스위치 오프 때에 각각 나타나고 특히 스위치 오프에서 가장 심하고 따라서 거의 모든 제어가 스위치 오프시의 진동, 소음을 저감하는 데 집중하고 있다. 또한 스위치 오프이후에 잠자기간에 걸리면 진동, 소음이 완화되나 운전 효율이 나빠지는 단점이 있다.

### 2.1 하이브리드 여자 방식의 SRM 구동

기자력의 급격한 변화를 개선하기 위하여 1상 여자 방식과 2상 여자방식이 결합된 하이브리드 여자방식을 제안하여 진동, 소음을 저감하고자 한다. 하이브리드 여자 방식에서는 2상 동시여자 구간을 이용하기 위하여 도통각을 늘려주게 된다. 늘어난 도통구간에 의해 상 스위치의 오프 시점이 인덕턴스가 상당히 큰 구간에서 선택되므로 상 커퓨테이션시 상 전류의 소호시간이 길어진다. 이로 인한 SRM 운전 효율이 현저하게 감소되는데, 이를 개선하고자 본 연구에서는 Boost 회로를 응용한 C-dump 회로를 구동 인버터로 구성하고[7], 진동, 소음 및 효율 특성을 검토하려고 한다.

6/4극 SRM 구동 시스템의 하이브리드 여자를 위한 SRM의 권선 구성은 기존의 집중권 1상 여자방식과 같게 한다. 2상 여자 방식의 가변 상호인덕턴스 성분의 조합을 효과적으로 이용하기 위하여 권선의 여자방향을 자속 경로의 방향이 한 방향으로 일어나도록 구성하기 위해 b상을 인근의 a상과 반대극성으로 여자하였다.

그림 1은 하이브리드 여자방식에 따른 인덕턴스와 각 상전류 파형을 보여주고 있다. b상이 오프하기 이전에 c상을 온함으로써 그림 1에서 2-3사이에 두상이 동작을 하게 되어 b상이 오프시에 발생하는 과도한 진동, 소음을 저감할 수 있으며 중첩되게 함으로서 상간의 전류과정에서 발생하는 토오크 맥동을 저감시킬 수 있다.

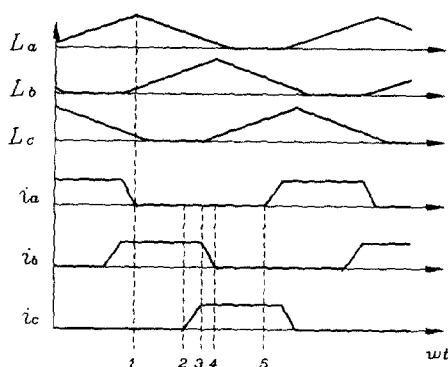


그림 1 하이브리드 여자방식의 인덕턴스 프로파일 및 상전류 파형.

Fig. 1 Inductance profile and phase current of hybrid excitation method.

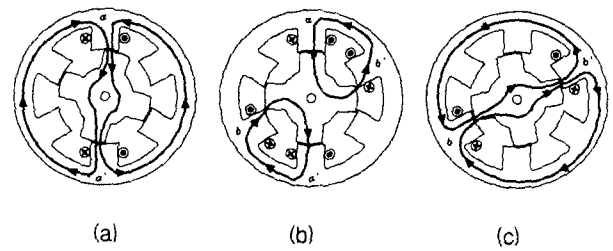


그림 2 하이브리드 여자에 의한 자속분포.

(a) a상 여자 (b) a,b상 여자 (c) b상 여자

Fig. 2 Flux distribution by hybrid excitation

(a) a-phase excited (b) a and b phases excited

(c) b-phase excited

그림 2는 하이브리드 여자방식에서의 각 여자구간에 대한 자속경로를 나타내고 있다. a상의 상 여자에 대한 그림 2(a)의 자속 경로에서 b상을 여자하게 되면 2상 여자구간인 그림 2(b)의 자속 경로가 이루어진다. 2상 여자구간에서 a상을 오프시키면 자속은 그림 2(b)의 자속 경로를 어느 정도 일정하게 유지하다가 마지막으로 1상 여자의 자속 경로인 그림 2(c)의 자속 경로를 이루게 된다. 따라서, 상 스위치 오프 시점에서의 급격한 기자력의 변화를 2상 여자기법으로 저감시킬 수 있게 된다.

### 2.2 하이브리드 여자 방식에 의한 토오크 발생

그림 3은 상 여자 방식에 따른 시뮬레이션(Vector Fields 사의 오페라) 토오크를 나타내고 있다. 하이브리드 여자방식은 1상 여자방식과 2상 여자방식의 적절한 조합에 의하여 구동되어진다.

그림 3(a)은 한 상 여자방식에 의한 발생하는 토오크를 보여주고 있고, 그림 3(b)는 동시에 두 상이 여자되었을 때 발생하는 토오크를 각각 나타내고 있다. 여기서 한 상을 여자했을 때와 두 상을 여자했을 때의 발생 토오크의 위상차를 볼 수 있다. 이를 적절히 조합을 하면 토오크 맥동을 저감하고 한 상이 스위치 오프하기 전에 적절한 제어를 병행하면 진동, 소음도 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 3(c)은 한 상과 두 상을 적절한 여자 구간을 선정하여 여자하면 평탄 토오크를 얻게 된다. 그림 3(c)의 토오크 그래프에서 초기 한 상여자의 토오크가 최대인 구간을 취하고 한 상 여자의 토오크 구간이 줄어드는 시점에서 두 상여자 구간의 토오크를 취함으로써 일정한 토오크를 얻을 수 있도록 하였다. 토오크 맥동의 발생원인 중 상간의 전류작용이 원활히 이루어지지 못해서 생기는 토오크 맥동을 현저히 줄일 수 있다. 또한 순간적으로 두 상을 여자함으로써 급격한 기자력 변화를 피할 수 있게 되어 진동, 소음의 저감이 예상된다.

### 3. 하이브리드 여자방식의 해석

SRM 드라이브의 단점인 진동, 소음은 한 순간에 한 상만 여자하여 기자력의 급격한 변화를 가져오고 이는 고정자의 프레임에 진동, 소음을 유발하는 주요 원인이 되고 있다. 이

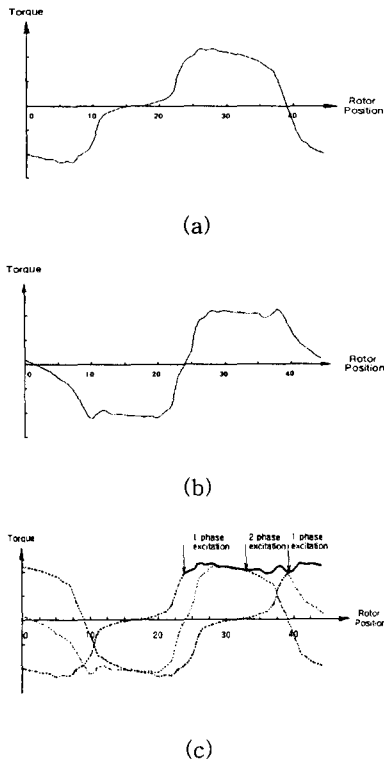


그림 3 회전자 위치에 따른 토오크.  
 (a) 1상 여자 (b) 2상 여자 (c) 하이브리드 여자  
**Fig. 3** Torque according to rotor position  
 (a) 1-phase excitation (b) 2-phase excitation  
 (c) hybrid excitation

진동, 소음을 저감하기 위해 채택한 하이브리드 여자방식의 인버터 동작특성에 대해 해석하고자 한다.

**3.1 C-dump 인버터의 적용**

하이브리드 여자방식에서 그림 3(c)와 같은 평활 토오크를 얻을 수 있다. 그러나, 하이브리드 여자 방식에서 2상 여자구간을 취하기 위하여 상의 도통각을 늘려주게 되고, 늘어난 도통각에 의해 상 스위치의 오프 시점이 인덕턴스가 상당히 큰 구간에서 선택되어 지므로 인하여 상 전류(commutation)시 상전류의 소호 시간이 길어진다. 이로 인한 상 전류시 부토오크의 영향을 줄이기 위하여 본 연구에서는 그림 4와 같이 전력 회생부를 Boost회로로 구성한 C-dump 인버터를 응용함으로써 상 스위치의 제어와 전력 회생용 초핑 스위치의 제어를 분리하여 상당 하나의 스위치가 필요하고 상전류의 중첩이 가능하도록 상간의 완전한 독립성을 지닌다. 그러면서도 에너지 회수용 커패시터 전압의 크기가 곧 역전압의 크기가 되게 함으로서 커패시터의 동작전압에 부담은 크게 경감된다.[7]

하이브리드 여자방식에서 그림 3(c)와 같은 평활 토오크를 얻을 수 있다. 그러나, 하이브리드 여자 방식에서 2상 여자구간을 취하기 위하여 상의 도통각을 늘려주게 되고, 늘어난 도통각에 의해 상 스위치의 오프 시점이 인덕턴스가 상당히 큰 구간에서 선택되어 지므로 인하여 상 전류(commutation)시

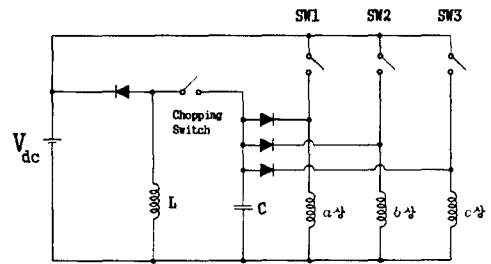


그림 4 하이브리드 여자방식을 위한 C-dump 인버터.  
**Fig. 4** C-dump inverter for hybrid excitation method

상전류의 소호 시간이 길어진다. 이로 인한 상 전류시 부토오크의 영향을 줄이기 위하여 본 연구에서는 그림 4와 같이 전력 회생부를 Boost회로로 구성한 C-dump 인버터를 응용함으로써 상 스위치의 제어와 전력 회생용 초핑 스위치의 제어를 분리하여 상당 하나의 스위치가 필요하고 상전류의 중첩이 가능하도록 상간의 완전한 독립성을 지닌다. 그러면서도 에너지 회수용 커패시터 전압의 크기가 곧 역전압의 크기가 되게 함으로서 커패시터의 동작전압에 부담은 크게 경감된다.[7]

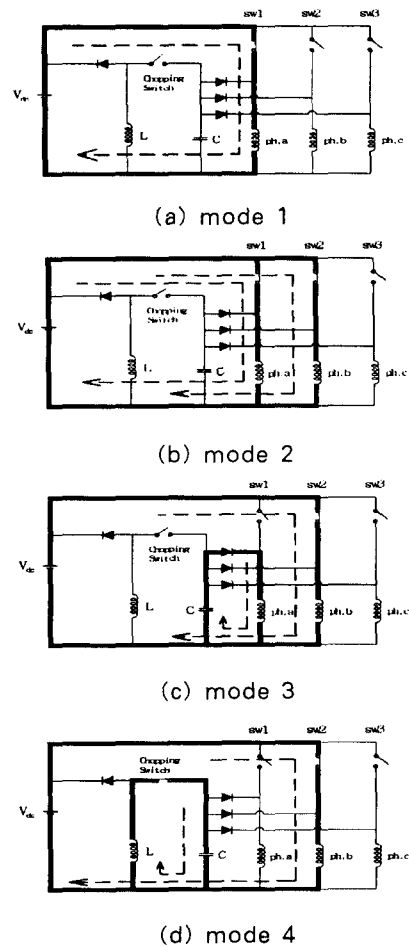


그림 5 C-dump 인버터의 동작과정  
**Fig. 5** Operation mode of C-dump inverter

그림 5는 a상에서 b상으로 전류(commutation)될 때 인버터의 동작상태를 보여주고 있다. 에너지 회수용 커패시터의 전압이 일정하다고 가정하면 상권선 양단에는 스위치 온에 의한 전원전압이 가해지고 스위치 오프에 의하여 역전압이 인가된다.

그림 5(b)는 a, b상이 동시에 도통되는 구간을 나타내고 있고 그림5(c), (d), (e)는 b상이 동작하고 a상을 회수용 회로를 이용하여 기계적인 출력으로 변환되지 않은 자기회로내에 자기에너지를 초과 스위치의 시비율에 따라 전원전압으로 회수되는 과정을 나타내고 있다.

### 3.2 상전류 파형의 비교

그림 6은 하이브리드 여자방식에 의한 운전시 비대칭 인버터와 본 논문에서 제안한 C-dump 인버터에서의 상전류 파형을 보이고 있다. 비대칭 인버터의 하이브리드 여자방식 경우에는 2상 중첩을 위하여 토오크 각을 늘려줌으로서 커뮤테이션시 전류 소호시간이 상당히 길어짐을 그림 6(a)에서 보이고 있다. 전류소호시간이 길어짐에 따라 부토크의 발생을 유발하여 효율이 낮아진다. 이에 대한 보완이 요구되어진다.

비대칭 인버터에서 나타나는 효율저하를 개선하기 위해 도입한 C-dump 인버터를 이용한 하이브리드 여자방식에서는 매우 짧은 시간 동안 상 권선의 축적 에너지가 캐패시터로 회수됨으로, 비대칭 인버터에 비해 상전류의 커뮤테이션시 전류의 소호를 빠르게 할 수 있어 효율의 저감없이 소음진동을 저감시키고 맥동토크를 완화시킬 수 있다.

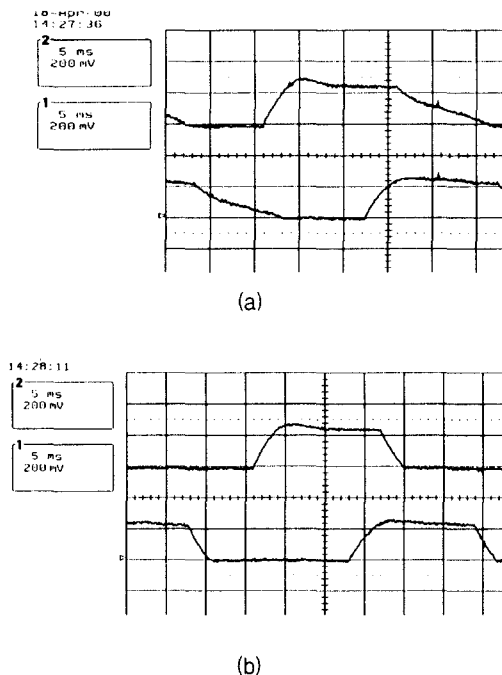
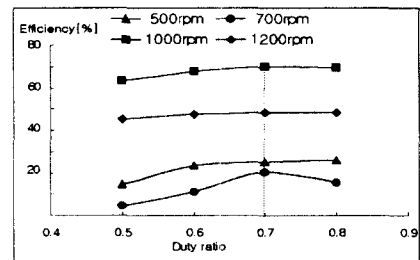


그림 6 하이브리드 여자방식에서 상전류  
 (a) 비대칭 인버터 (b) C-dump 인버터  
 Fig. 6 Currents in hybrid excitation  
 (a) asymmetric inverter (b) C-dump inverter

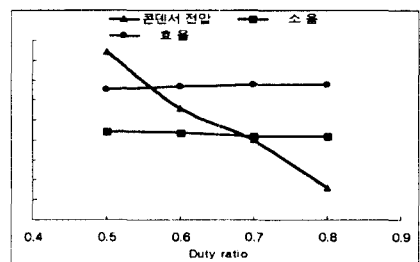
### 3.3 시비율에 따른 특성 해석

하이브리드 여자방식을 위한 C-dump 인버터에서 자기 에너지 회수회로의 성능을 결정지어 주는 것은 그림 4에서의 초핑 스위치의 시비율(duty ratio)이다.

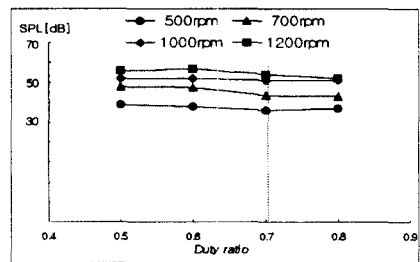
그림 7(a)는 부하를 5[kg·cm]로 고정시킨 상태에서 속도를 4가지로 구분하여 운전하였고, 또한 각각의 속도에서 시비율을 변화시키면서 속도에 따른 효율을 구하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림 7(b,c)는 속도가 1000[rpm] 일 때의 시비율에 따른 회수회로내의 콘덴서 전압, 그리고 전동기의 소음 사이의 상관 관계를 나타내기 위하여 나타낸 그래프이다.



(a)



(b)



(c)

그림 7 초핑스위치의 시비율 특성  
 (a) 효율특성 (b) 일정속도에서의 특성(1000rpm)  
 (c) 소음특성  
 Fig. 7 Duty ratio characteristics of chopping switch  
 (a) efficiency (b) characteristics of 1000rpm (c) noise

그림 7에서 초핑 스위치의 속도, 부하에 따라 변화시키는 것이 바람직하나 제어를 간단히 하기 위해서 시비율이 약 0.7근처에서 효율이나 소음특성이 전반적으로 좋은 특성을 보여주고 있으므로 앞으로의 실험에서 시비율을 0.7로 하여 실험을 할 것이다.

4. 진동·소음 저감의 실험적 해석

본 실험에 이용된 전동기는 표 1에서와 같은 회전자와 고정자의 극호각이 각각 16°와 17°인 600[W]급 12/8극 SRM이며, 부하실험 및 진동·소음 실험을 위하여 동력계(MAGTROL社의 Model No.:HD-705-7)와 진동 가속도 센서(Piezotronics社의 M353B65 Mini High Sensitive Accelerometer) 및 소음측정기(CEL社의 디지털 사운드메터)를 사용하여 그림 8과 같이 구성하였다. 여기서 진동 가속도 센서는 고정자 극의 프레임 표면에 부착되어 졌고, 소음 측정기는 프레임에서 1피트 지점에 방사방향으로 설치하였다.

표 1 전동기의 제원

Table 1 Specification of the tested SRM

고정자극호각	17 [deg.]	회전자극호각	16 [deg.]
고정자극절	30 [deg.]	회전자극절	45 [deg.]
고정자외경	135.0 [mm]	회전자외경	74.0 [mm]
고정자내경	74.3 [mm]	축직경	24.0 [mm]
고정자요오크폭	10.5 [mm]	회전자요오크폭	11.0 [mm]
고정자극높이	19.7 [mm]	회전자극높이	13.9 [mm]
적층길이	60.0 [mm]	철심두께	0.5 [mm]

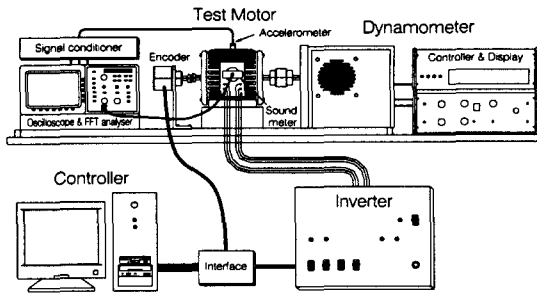


그림 8 실험 시스템의 구성도

Fig. 8 Configuration of test system

그림 9는 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식으로 하였을 때의 전류파형과 진동을 보여주고 있다. 이 그림에서 보듯이 1상 여자방식인 그림 9(a)에서의 진동보다 하이브리드 여자방식인 그림 9(b)의 진동이 많이 저감되었음을 알 수 있다. 따라서 진동을 저감시키기 위해 채택한 하이브리드 여자방식의 우수함을 알 수 있다. 속도에 따른 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식의 비교는 그림 10에서 보여주고 있다. 그림 10(a)는 소음을 비교한 것으로서 두 방식 다 속도가 증가함에 따라 소음은 커지나 전 속도구간에서 하이브리드 여자방식이 1상 여자방식보다 소음이 작고, 1상 여자방식에서처럼 일부 속도에서 소음이 심한 현상도 없다.

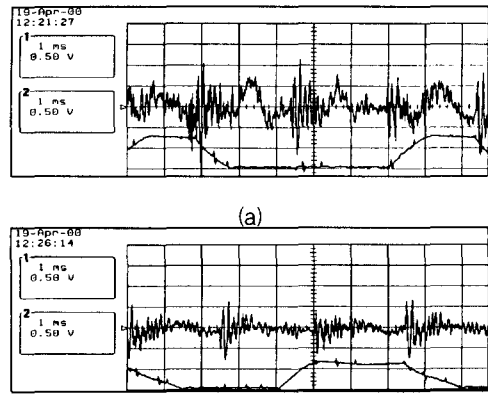


그림 9 C-dump 인버터의 도통각 조정에 의한 진동 (1000[rpm], 10[kg·cm])

(a) 1상여자방식 (b) 하이브리드 여자방식  
Fig. 9 Vibrations according to dwell angle in C-dump inverter (1000[rpm], 10[kg·cm])  
(a) 1-phase excitation method (b) hybrid excitation method

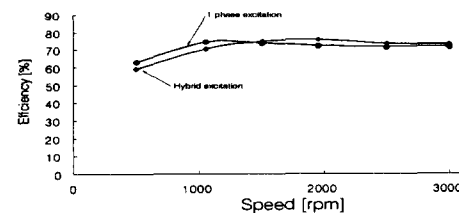
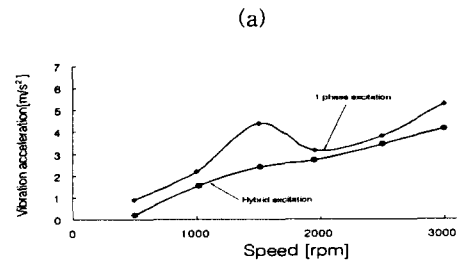
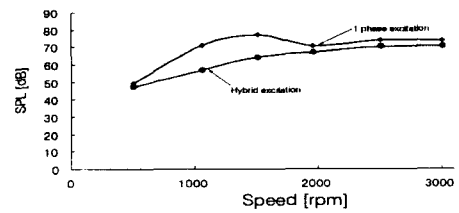
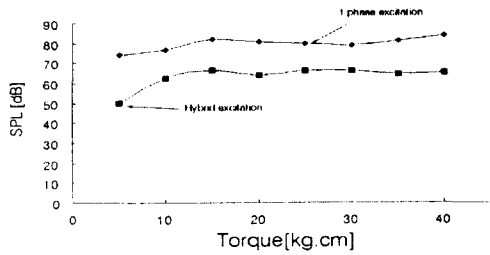


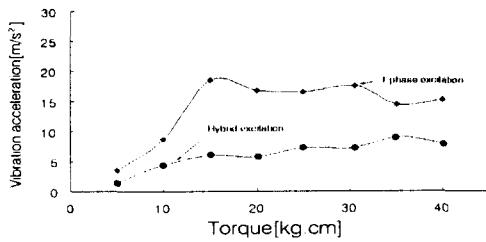
그림 10 속도에 따른 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식의 비교 (부하 5[kg·cm])

(a) 소음 (b) 진동가속도 (c) 효율  
Fig. 10 Comparison between 1-phase excitation and hybrid excitation according to speed (load 5[kg·cm])  
(a) noise (b) vibration (c) efficiency

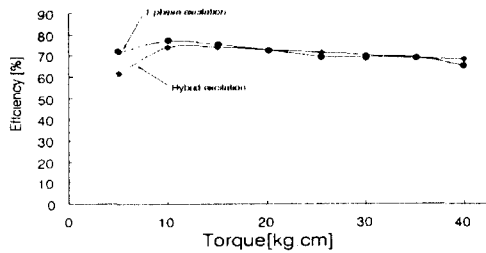
그리고 진동특성은 소음 특성과 유사하며 전반적으로 하이브리드 여자방식이 진동이 작음을 알 수 있다. 효율특성은 전반적으로 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식이 거의 유사함을 알 수 있다. 이 결과로서 하이브리드 여자방식을 채택함으로써 소음 진동을 저감할 수 있었고 C-dump 인버터를 사용하여 문제점으로 대두된 효율의 저하를 개선할 수 있었다.



(a)



(b)



(c)

그림 11 부하에 따른 1상 여자방식과 하이브리드 여자방식의 비교 (속도 1000[rpm])

(a) 소음 (b) 진동가속도 (c) 효율

Fig. 11 Comparison between 1-phase excitation and hybrid excitation according to load (speed 1000[rpm])

(a) noise (b) vibration (c) efficiency

그림 11은 속도(1000[rpm])를 일정하게 유지시키고 부하를 변동시켰을 때 기존의 비대칭 인버터의 1상 여자방식의 고효율 운전에서의 소음, 진동가속도, 효율과 비대칭 인버터에서 하이브리드 여자방식을 적용 시켰을 때의 소음, 진동가속도, 효율을 비교한 것으로 효율은 비슷하나 소음, 진동 특성은 많이 저감되었음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

SRM의 여러 장점으로 그 활용 범위가 점차 확대되고 있으나 가정용 등에 적용하는데 있어서 타 전동기에 비하여 큰 토크 맥동과 진동·소음이 문제점으로 대두되고 있다.

이러한 진동·소음의 주된 요인으로 방사 방향의 급격한 전자력의 변화를 들 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 방사 방향의 급격한 전자력의 변화를 저감시키는 방법으로서 하이브리드 여자방식을 적용하였고, 이를 이용하여 진동·소음을 저감할 수 있었다. 또한 상간 전류작용이 원활하지 못해 발생하는 토크 맥동도 현저히 저감할 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다. 그러나 하이브리드 여자방식에서는 도통 구간이 길어짐으로 인한 부토크의 발생으로 효율이 저감된다. 이러한 효율의 저감을 C-dump 인버터를 적용하여 개선하였고, 또한 진동·소음을 개선할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] Jawad Faiz and John W.Finch ; "Aspects of Design Optimization for Switched Reluctance Motors," IEEE Trans. on EC, Vol.8, No.4, pp.704-713, 1993
- [2] R. C. Becerra, M. Ehsani, and T.J.E. Miller; "Commutation of SR Motors", IEEE Trans. on PE, Vol.8, No.3, July 1993
- [3] P. C. Kjaer, J.J. Gribble, T.J.E. Miller ; "High-Grade Control of Switched Reluctance Machines," Proc. of IAS/IEEE Sandiego, California, pp.92-100, 1996
- [4] Iqbal Husain, M. Ehsani ; "Torque Ripple Minimization in Switched Reluctance Motor Drives by PWM Current Control," IEEE Trans. on PE, Vol.11, No.1, pp.91-98, 1996.
- [5] Chi-Yao Wu, Charles Pollock ; "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," IEEE Trans. on IA, Vol.31, No.1, pp.91-98, 1995.
- [6] Derrick E. Cameron, Jeffrey H.Lang and Stephen D.Umans ; "The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable-Reluctance Motors," IEEE Trans. on IA, Vol.28, No.6, pp.1250-1255, 1992.
- [7] 김창섭, 오석규, 안진우 : "하이브리드 여자방식 SRM의 진동·소음 저감 특성", 대한전기학회 하계학술대회논문집, B권, pp638-640, 2000
- [8] 추영배, 황영문 : "최적 전자에너지 회수작용을 갖는 VRM 시스템의 적정정수해석", 대한전기학회논문지, Vol.44, No.11,

## 감사의 글

본 논문은 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소의 주관으로 수행된 과제임.

저 자 소 개



김 창 섭 (金 昌 燮)

1972년 6월 15일 생. 1999년 경성대 전기공학과 졸업. 2001년 경성대 대학원 전기전자공학과졸업(석사). 2001년~현재 LG전자 모터사업부 연구원

Tel : 051-620-4779, Fax : 624-5980

E-mail : k-chang-s@hanmail.net



안 진 우 (安 珍 雨)

1958년 5월 26일 생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998-1999년 Univ. of Winsconsin-Madison 방문교수. 현재 경성대 전기전자컴퓨터공학부 부교수.

Tel : 051-620-4773, Fax : 624-5980

E-mail : jwahn@star.ks.ac.kr



오 석 규 (吳 錫 奎)

1967년 6월 2일 생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1997년 8월 동 대학원 졸업(공학박). 1993~1994년 (주)현대중공업 근무. 1998년~현재 진주산업대 산업자동화공학과 조교수

Tel : 055-751-3385, Fax : 751-3389

E-mail : sgoh@chinju.ac.kr