

# 전동차 출입문 구동을 위한 SRM용 C-dump 컨버터 Topology 특성 비교

## Characteristic Analysis of C-dump Converter Topology for SRM of Electric Multiple Unit Door Driving

윤 용 호\*  
(Yong-Ho Yoon)

**Abstract** - The speed at which the SRM (Switched Reluctance Motor) makes a transition from chopping control to single pulse operation. (i.e., low speed to high speed operation). It is unsatisfied with performance at all operational regimes. In this paper, the operational performance of SRM can be improved by using current hysteresis control method. This method maintains a generally flat current waveform. At the high speed, the current chopping capability is lost due to the development of the back-EMF. Therefore SRM operates in single pulse mode. By using zero-current switching and zero-voltage switching technique, the stress of power switches can be reduce in chopping mode. When the commutation from one phase winding to another phase winding, the current can be zero as fast as possible in this period because several times negative voltage of DC-source voltage produce in phase winding. This paper is compared to performance based on energy efficient C-dump converter topology and the proposed resonant C-dump converter topology. Simulation and experimental results are presented to verify the effectiveness of the proposed circuit.

**Key Words** : SRM, Proposed resonant C-dump converter, Energy efficient C-dump converter, ZVS, ZCS, EMU

### 1. 서 론

전동차(Electric Multiple Unit)용 출입문은 승객 또는 승무원이 승하차하는 문의 역할과 차량 주행시 외부로부터 방수, 방음 및 단열을 하는 안전 및 보호의 역할을 수행한다. 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙에 의하면 전동차용 출입문은 비상시 승객용 출입문을 외부에서 수동으로 열 수 있는 장치와 비상시 승객용 출입문을 차량 내부에서 수동으로 열 수 있는 장치를 각각 구비하여야 하며, 승객용 출입문이 서로 맞닿는 부위는 문이 완전히 닫혔을 때 틈이 없어야 하는 등 승객의 안전을 위한 규칙을 정하고 있다.

한편 전동차 출입문 구동을 위한 구동제어장치(DCU)와 연계하여 전기를 이용한 구동모터가 직류전동기가 주류를 이루고 있다. 그러나 직류전동기는 일반적으로 정류자판과 브러쉬 마모로 인해 유지보수에 어려움이 있다. 따라서 직류전동기를 대체할 수 있는 전동기를 고려할 필요가 있다. 최근 직류전원을 공급받아 구동되는 브러시리스 형태의 스위치드 리럭턴스 전동기(SRM)가 연구되고 있다[1].

일반적으로 SRM 구동용 컨버터는 비대칭 컨버터로 상당 두개의 스위치와 두개의 환류 다이오드를 가지는 구조로 효율이 높고 다양한 제어가 가능하다. 하지만, 많은 스위칭 소자의 사용으로

인하여 저전압 구동의 응용에는 적합하지 않다. 이에 대해 Modified C-dump 컨버터나 Energy efficient C-dump 컨버터 등 저전압에서 고효율의 구동이 가능한 topology가 제안되었다. 그러나 스위칭시 높은 전력손실이 발생되고 순시적인 전압의 변화에 따른 EMI가 소프트쇼핑 방식에 비해 높게 나타나는 문제점을 안고 있다[2].

본 논문에서는 전동차 출입문 구동을 위한 선행연구로 LC 직렬공진 회로를 이용하여 C-dump 컨버터를 구성하여 고성능 운전이 가능한 SRM 구동용 컨버터 topology를 적용하였다. 또한 기존의 Energy efficient C-dump 컨버터와의 특성을 비교하여 적용한 공진형 C-dump 컨버터의 우수성을 확인하는데 목적을 두었다. 사용된 SRM은 고정자 6극, 회전자 4극 250W급 전동기를 적용하였고, 시뮬레이션과 실험을 통하여 topology의 타당성을 검증하였다.

### 2. SRM 구동용 C-dump 컨버터

#### 2.1 적용된 공진형 C-dump 컨버터 동작원리[3~6]

그림 1은 본 논문에서 적용한 공진형 C-dump 컨버터 topology로 하드쇼핑 방식을 적용하였다.

기존의 발표된 논문에서는 단일펄스로 구동하기 때문에 저속에서의 구동시 높은 토크맥동을 발생시켜 원활한 운전성능을 저하시키는 요인이 된다.

\* Corresponding Author : Mechatronics team, Hanwha Thales Co., Ltd. Korea.

E-mail: dydghis@gmail.com

Received : July 19, 2016; Accepted : August 16, 2016

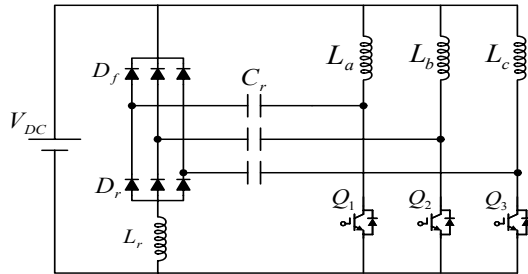


그림 1 적용된 공진형 C-dump 컨버터 topology  
 Fig. 1 Applied resonant C-dump converter topology

본 논문에서는 히스테리시스 전류제어를 추가하여 각 상의 전류를 평활화하여 저속에서 토크맥동과 스위칭손실을 저감시킬 수 있도록 하였다. 또한 하드쇼핑 방식으로 구동하면서 직렬공진을 이용해 스위치의 턴온시 발생하는 스위칭 손실을 제거하여 고성능 운전이 가능하게 하였다.

■ 동작모드 1 ( $t_0 \sim t_1$ )

초기 공진커패시터  $C_r$ 에 에너지가 충전되어 있는 상태를 가정한 정상상태 조건에서 전동기의 A상의 스위치가 턴온되면, 그림 2와 같이 전원을 통하여 한 상이 여자되고 이때 LC 직렬공진 회로에 의한 폐회로가 형성된다. 공진커패시터  $C_r$ 에 충전되어 있는 에너지는  $C_r$ 과 스위치  $Q_1$ , 공진인덕터  $L_r$  그리고 공진다이오드  $D_r$ 을 통하여 스위치 턴온시 영전류 (ZCS : Zero Current Switching) 스위칭을 하게 된다.

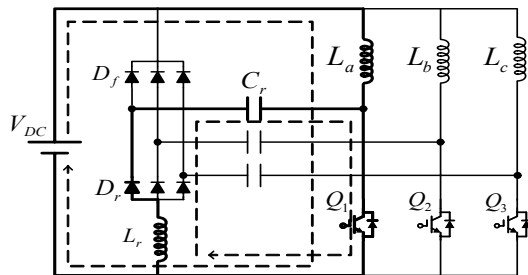


그림 2 적용된 공진형 C-dump 컨버터 동작모드 1  
 Fig. 2 Mode 1 of applied d resonant C-dump converter

그림 3은 동작모드 1일 때 각 소자인 공진커패시터, 공진인덕터, 공진다이오드, 스위치의 전압, 전류의 파형을 나타내고 있다.

■ 동작모드 2 ( $t_1 \sim t_2$ )

이 모드에서는 그림 4와 같이 두 개의 폐회로로 구성된다. 공진커패시터 전압  $V_{Cr}$ 이 방전하다가  $V_{Cr}$ 과 입력전압  $V_{DC}$ 가 전위가 같으면 공진이 완료되고 공진전류  $I_{Cr}$ 은 더 이상 A상 스위치  $Q_1$ 으로 흐르지 않는다.

각 소자인 공진커패시터, 공진인덕터, 공진다이오드, 스위치의 전압, 전류의 파형을 그림 5에서 보여주고 있다.

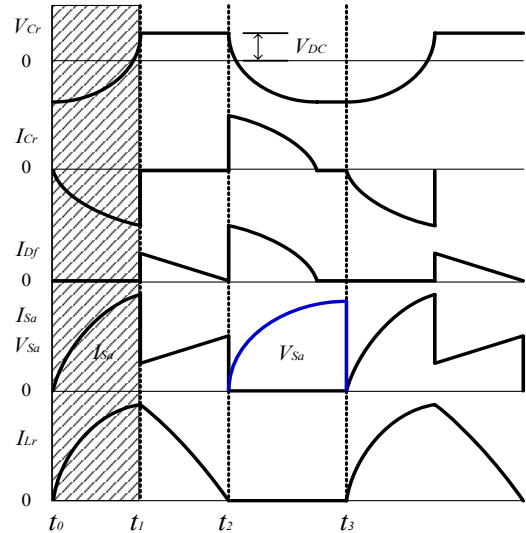


그림 3 각 소자별 파형 (동작모드 1,  $t_0 \sim t_1$ )  
 Fig. 3 Each device part waveform (Mode 1)

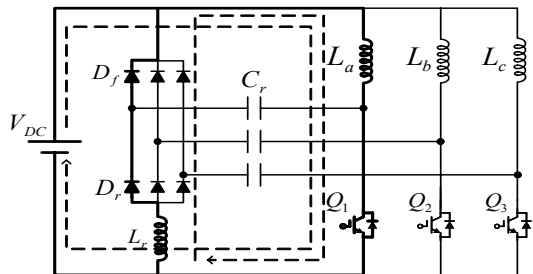


그림 4 적용된 공진형 C-dump 컨버터 동작모드 2  
 Fig. 4 Mode 2 of applied resonant C-dump converter

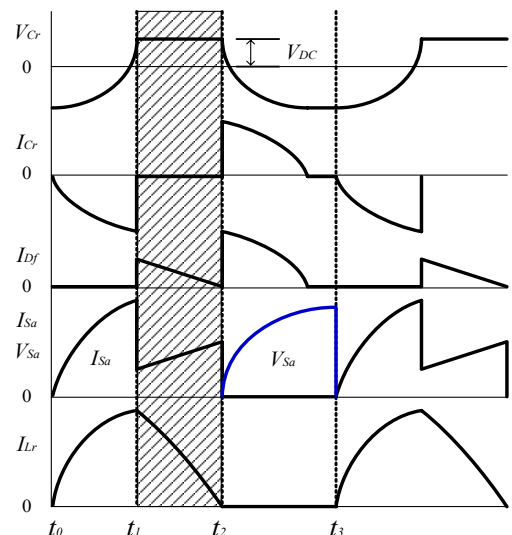


그림 5 각 소자별 파형 (동작모드 2,  $t_1 \sim t_2$ )  
 Fig. 5 Each device part waveform (Mode 2)

■ 동작모드 3 ( $t_2 \sim t_3$ )

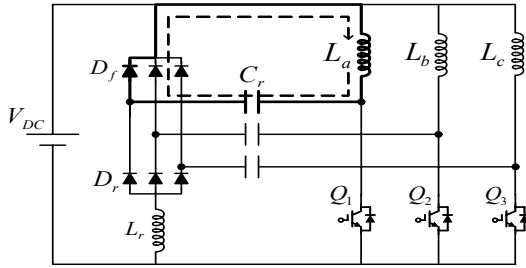


그림 6 적용된 공진형 C-dump 컨버터 동작모드 3  
Fig. 6 Mode 3 of applied resonant C-dump converter

히스테리시스 전류 밴드에 의해 상위 전류값이  $I_a > I_{high}$  가 되면 스위치  $Q_1$ 은 턴오프하게 되고, 상권선  $L_a$ 에 축적되어 있는 에너지는 공진커패시터  $C_r$ 에 에너지를 덤프하게 되는 모드이다.  $L_a$ ,  $C_r$ , 환류다이오드  $D_f$ 를 통하여 폐회로가 형성되어 입력전원은 차단되고 상권선  $L_a$ 의 전압  $V_{La}$ 가 입력전원이 되어 환류모드 (Free-wheeling)의 형태가 된다. 이 모드의 각 소자별 파형은 그림 7과 같다.

히스테리시스 전류밴드의 하위 전류값  $I_a < I_{low}$  상태가 되면, A상 스위치  $Q_1$ 이 다시 턴온 하게 된다. 동작모드 1, 2, 3은 다음 상 스위치  $Q_2$ 가 턴온 될 때까지 반복하게 된다.

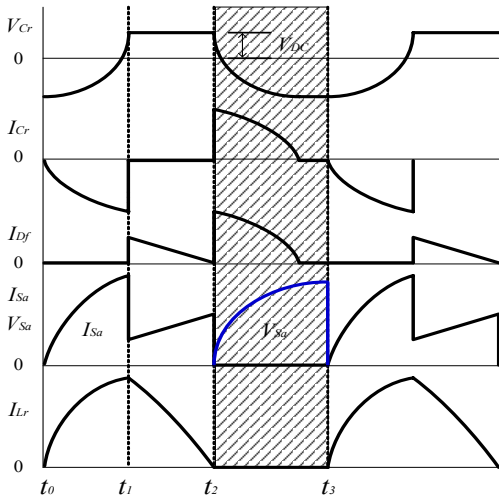


그림 7 각 소자별 파형 (동작모드 3,  $t_2 \sim t_3$ )  
Fig. 7 Each device part waveform (Mode 3)

■ 동작모드 4

이 모드는 한 상의 여자가 종료되고 다음 상을 여자 시키는 전류(Commutation)구간으로 그림 8과 같다. B상 스위치  $Q_2$ 가 턴온 되면, 초기에 B상의 공진 커패시터에는 어떠한 에너지도 충전되어 있지 않으므로 동작하지 않는다. 이때 A상의 공진 커패시터  $C_r$ 에 덤프 되어 있는 에너지가 다음 상으로 A상권선  $L_a$ 를

통하여 그림 8의 ①과 같은 폐회로를 구성하여 B상을 여자 시킨다. 입력전원  $V_{DC}$ 는 차단되고 공진커패시터  $C_r$ 을 입력전원으로 하여  $V_{Cr} = V_{DC}$ 가 될 때까지 B상을 여자 시킨다.

공진커패시터  $C_r$ 이 완전히  $V_{DC}$ 가 되면 ②와 같은 폐회로를 구성하여 입력전원으로 B상을 여자 시킨다.

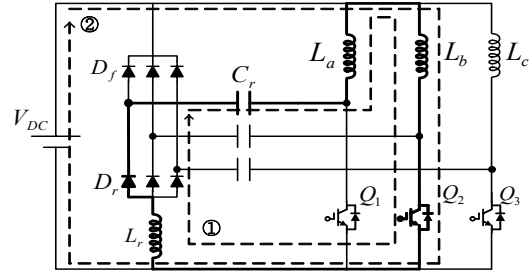


그림 8 적용된 공진형 C-dump 컨버터 동작모드 4  
Fig. 8 Mode 4 of applied resonant C-dump converter

2.2 Energy efficient C-dump 컨버터

그림 9는 Energy efficient C-dump 컨버터의 topology로 상수보다 하나 더 많은 스위치와 다이오드, 덤프커패시터 그리고 전원 측에 직렬로 블록킹 다이오드가 추가되는 구조이다. 전동기의 초핑모드 동안에 어떤 복잡한 제어 없이 상전류의 환류가 가능하므로 제어가 용이하고 스위칭 소자의 전압정격은 기존의 C-dump 컨버터나 Modified C-dump 컨버터에서 공급전압의 2배( $2V_{dc}$ )가 걸리는 것에 비해 1배( $V_{dc}$ )가 걸리므로 컨버터 소자에 드는 비용을 줄일 수 있다[7,8].

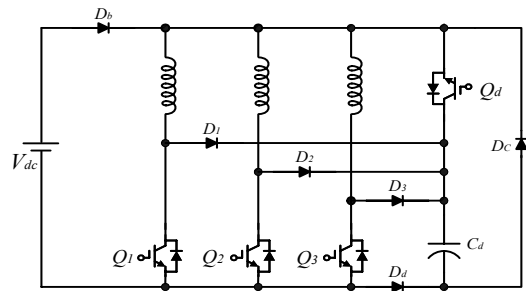


그림 9 Energy efficient C-dump 컨버터  
Fig. 9 Energy efficient C-dump converter

또한 Modified C-dump 컨버터에서 용이하지 않은 각 상전류의 중첩을 가능하게 함으로써 토오크 발생 영역을 충분히 활용할 수 있다.

비대칭 브리지 컨버터와 비교해 볼 때 상당 스위치가 하나이므로 스위치의 손실을 줄일 수 있고 상당 스위치 각각은 독립된 절연전원을 가지는 구동부를 구성해야 한다. 그러나 Energy efficient C-dump 컨버터의 경우 상당 스위치가 없으므로 회로가 간단히 구성되고 경제적이다. 그리고 하단의 스위치는 공통

전원 단자를 구성하므로 절연된 하나의 전원으로 3개의 구동회로를 구성한다. 기존의 C-dump 컨버터와 비교해 볼 때 회로가 간단하고 부피를 줄일 수 있고 중첩제어까지 가능하여 제어를 다양하게 구현할 수 있으나 제어는 조금 복잡하게 구현되는 특성을 갖는다[9,10].

### 3. 시뮬레이션

본 논문은 전동차 출입문 구동을 위한 SRM용 C-dump 컨버터 topology 특성을 비교분석하기 위하여 전용 시뮬레이션 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션 구성은 크게 SRM과 회전자의 위치 검출을 위한 위치 제어부, 적용된 공진형 C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터부, 그리고 전동기의 각 상에 인가되는 전류를 제어하기 위한 히스테리시스 전류제어부로 구성하였다.

#### 3.1 Energy efficient C-dump 컨버터

그림 10은 SRM을 500rpm으로 구동시 설정한 히스테리시스 100mV의 밴드폭을 가지고 스위치를 턴온, 턴오프하는 각 상의 전류 파형을 나타내고 있다.

그림 11은 한 상의 스위치 전압 및 전류파형으로 게이트 턴온, 턴오프시 전압, 전류가 교차됨을 볼 수 있다. 스위칭 소자가 스위칭 동작을 할 때 일정한 스위칭 시간인 턴온 시간과 턴오프 시간이 존재하며 그 동안 스위치의 전압과 전류가 중복된다. 이 중복부분은 전력손실을 의미하며 일반적으로 스위칭 손실이라고 한다. 스위칭 손실로서 소비되는 에너지는 턴온 시간과 턴오프 시간에 정비례하고 있으며 고속의 스위칭 소자를 사용함으로써 저감될 수 있다.

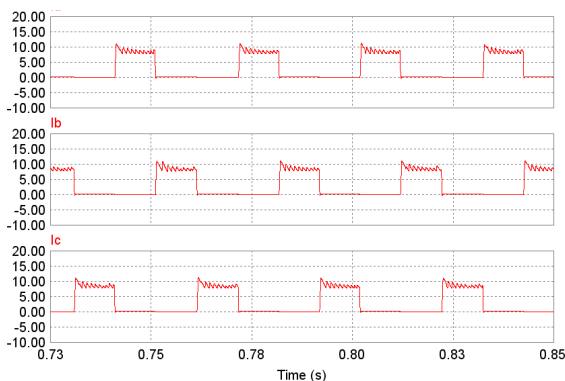


그림 10 500rpm에서의 3상전류 파형  
Fig. 10 3-phase current waveform at 500rpm

그림 12는 SRM 한 상의 상전압 파형으로 히스테리시스 초핑은 거의 일정한 주파수 대역에서 이루어지고 있으며 상의 전류(Commutation)시에는  $-V_{dc}$  가 입력되어 빠른 전류 소호를 이룬다. 하지만 고속으로 구동하는 경우 소호시간이 짧아져 꼬리

전류(Tail current)가 발생하고 이로 인한 역토오크가 발생할 수 있다.

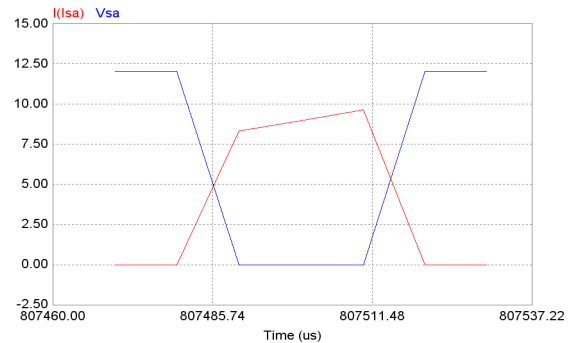


그림 11 한 상의 스위치 전압 및 전류 파형  
Fig. 11 A switch-current and voltage waveform on one phase

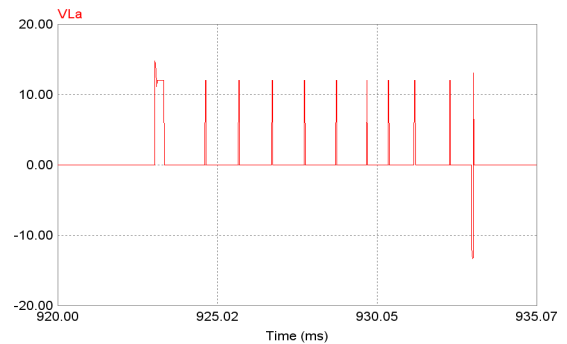


그림 12 한 상의 상전압파형  
Fig. 12 A phase voltage waveform on one phase

#### 3.2 적용된 공진형 C-dump 컨버터

본 논문에서 적용된 공진형 C-dump 컨버터 topology를 이용하여 SRM을 500rpm으로 구동시 3상 전류파형을 그림 13에서 보여주고 있다. topology 특성상 하드초핑의 방식을 적용함에 따라 LC 시정수의 변화폭이 급격하여 Energy efficient C-dump 컨버터보다 많은 초핑을 이루어짐을 확인할 수 있다. 그러나 그림 14에서 보듯이 많은 초핑에도 불구하고 영전압 스위칭(ZVS : Zero Voltage Switching)을 함으로써 스위치의 전압과 전류가 중복으로 인한 스위칭 손실이 그림 11에 비해 적음을 알 수가 있다. 따라서 Energy efficient C-dump 컨버터보다 높은 효율을 얻을 수 있다.

그림 15는 SRM 한 상의 상전압 파형으로 Energy efficient C-dump 컨버터에 비해 높은 역전압 특성을 갖는다. 따라서 보다 빠른 전류소호로 인하여 고속운전 시에도 상대적으로 우수한 성능을 갖는다. 상권선에 인가되는 역전압은 동작모드 3에서 환류모드 동작시 공진커패시터의 전압  $V_{Cr}$ 에 의해 이루어진다. 고속으로 운전하거나 중부하 인가시에 상권선  $I_{Lph}$ 에 흐르는 전류  $I_{Lph}$ 에 따라  $V_{Cr}$  전압은 결정된다.

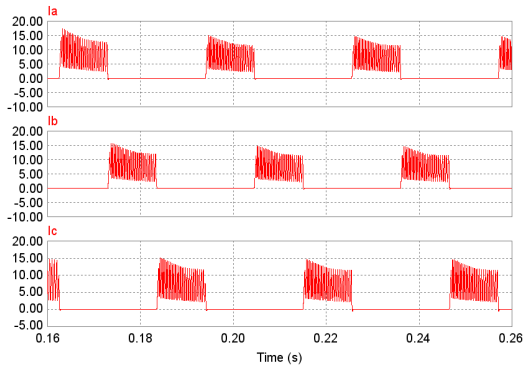


그림 13 500rpm에서의 A, B, C상 전류파형  
Fig. 13 3-phase current waveform at 500rpm

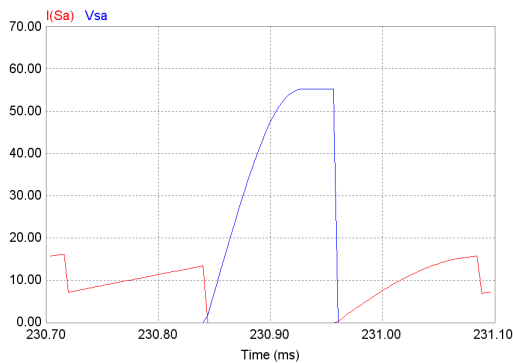


그림 14 한 상의 스위치 전압 및 전류 파형  
Fig. 14 A switch-current and voltage waveform on one phase

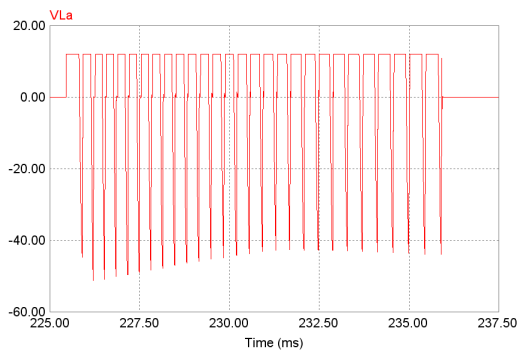


그림 15 한 상의 상전압파형  
Fig. 15 A phase voltage waveform on one phase

그림 16은 공진커패시터, 환류다이오드, 스위치, 공진인덕터, 및 입력전원 각부의 파형으로 스위치가 턴온시 공진 커패시터 전압  $V_{Cr}$ 은 방전을 시작하고 공진인덕터 전류  $I_{Lr}$ 은 증가하기 시작한다.  $V_{Cr}$ 이 완전히 방전되고  $V_{dc}$ 가 되면  $I_{Cr}$ 은 차단되어 공진상태가 완료된다. 그러나 공진인덕터에 축적되어 있는 전류  $I_{Lr}$ 은 상 스위치가 완전히 오프 될 때까지 상 권선을 여자시킨다.



그림 16 적용한 공진형 C-dump 컨버터의 각 부 파형  
Fig. 16 Waveforms of each device part

### 5. 실험결과

그림 17은 본 논문에서 SRM 구동을 위한 적용된 공진형 C-dump 컨버터와 Energy efficient C-dump 컨버터의 특성을 보기위해 구성된 전체 시스템을 보여주고 있다. 사용된 SRM의 전동기 상수는 표 1과 같다.

표 1 SRM 사양

Table 1 Specifications of SRM

정격 출력	250[W]	상 권선저항	0.02166[Ω]
고정자 극수	6[pole]	최대 인덕턴스	1.332[mH]
회전자 극수	4[pole]	최소 인덕턴스	0.241[mH]

#### 5.1 Energy efficient C-dump 컨버터

그림 18, 19는 500 rpm, 3,000 rpm 구동시 SRM의 A, B, C 각 상의 전류파형으로 히스테리시스 전류제어에 의해 일정전류로 제어되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 3,000 rpm과 같이 고속운전시 그림 19에서 보듯이 빠른 전류소화가 이루어지지 않아 꼬리전류가 발생됨을 확인할 수 있다.

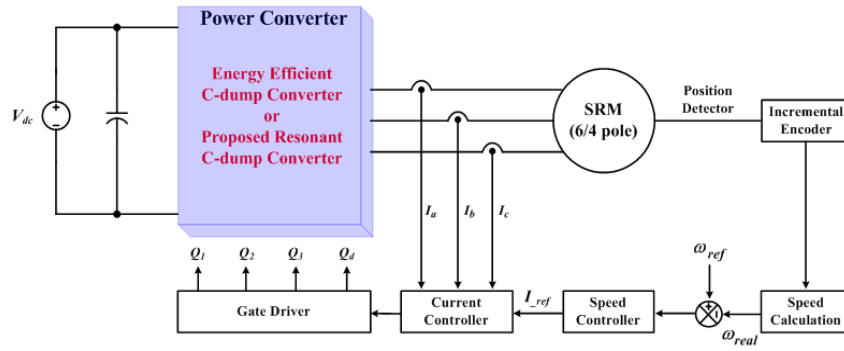


그림 17 전체블록도  
Fig. 17 Block diagram of SRM system

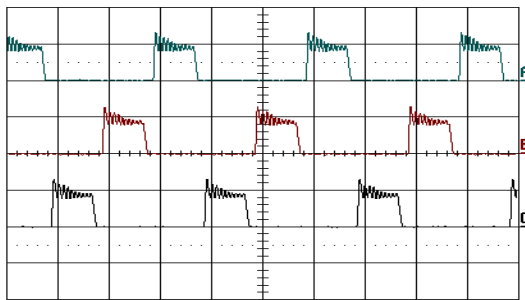


그림 18 500rpm에서의 3상 전류파형 (10A, 5ms/div)  
Fig. 18 3-phase current waveform at 500rpm

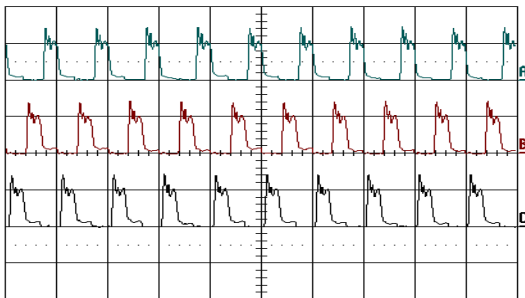


그림 19 3,000rpm에서의 3상 전류파형 (10A, 5ms/div)  
Fig. 19 3-phase current waveform at 3,000rpm

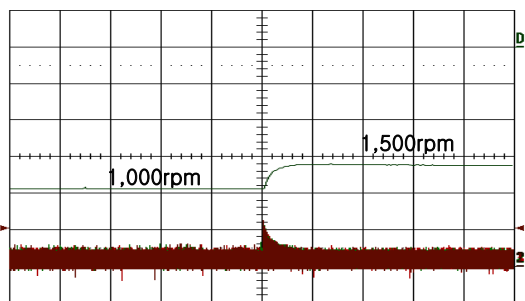


그림 20 속도가변시 속도 및 3상전류파형 (20A, 1S/div)  
Fig. 20 Speed and 3-phase current waveform in case of speed change

그림 20은 1,000rpm에서 1,500rpm으로 속도가변시 속도와 전류파형으로 속도가변 후 정상상태에 약 0.6초의 응답시간이 소요된다. 그림 21은 한 상의 스위치 전압 및 전류파형을 보여 주고 있으며 스위치의 턴온, 턴오프시 전압 및 전류가 중복되는 부분이 발생한다. 상기에서 언급했듯이 중복구간은 스위칭 전력손실에 해당되며, 손실을 최소화하는 것이 필요하다.

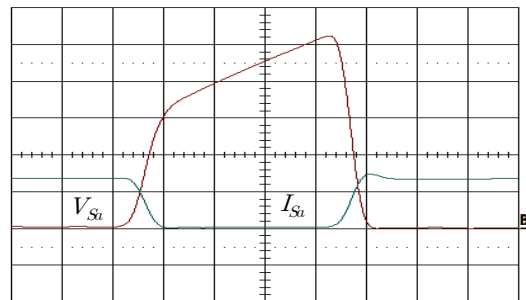


그림 21 한 상의 스위치 전압 및 전류파형 (10V, 2A, 20us/div)  
Fig. 21 A switch-current and voltage waveform on one phase

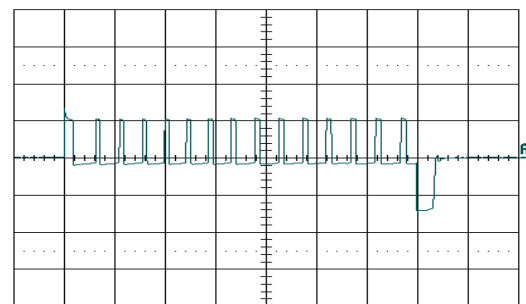


그림 22 한 상의 상전압 파형 (10V, 1ms/div)  
Fig. 22 A phase voltage waveform on one phase

또한 한 상의 상전압 파형을 그림 22에서 확인할 수 있으며 한 상의 여자구간동안 소프트 초핑을 하다가 전류(Commutation) 시  $2V_{dc}$ 의 전압이 역으로 인가되어 전류소호를 이루게 된다. 그러나 구동시 소호시간이 전류시간 이내에 이루어지지 않게 되어

역토크이 발생으로 운전성능을 저하시키는 요인이 된다.

### 5.2 적용된 공진형 C-dump 컨버터

그림 23은 500rpm에서의 3상 전류파형으로 하드쇼핑에 의한 방식이 적용되므로 Energy efficient C-dump 컨버터보다 히스테리시스 전류제어 폭이 상당히 넓게 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 SRM을 3,000rpm 구동시 3상 전류파형을 그림 24에서 나타내고 있으며 히스테리시스 전류제어의 특성으로 고속운전으로 갈수록 한 상의 초핑수는 감소하여 적절한 운전성능을 가진다.

동작모드 4에서 설명하였듯이 한 상의 전류시 상전류가 음의 방향으로 증가하다 감소함을 볼 수 있는데, 이것은 A상에 덤프된 에너지가 전류(Commutation)시 다음 상을 여자시켜 효율을 상승시킨다.

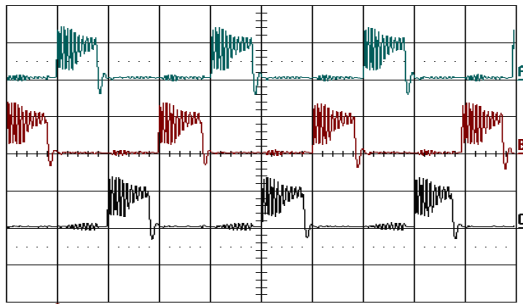


그림 23 500rpm에서의 3상 전류파형 (10A, 5ms/div)  
 Fig. 23 3-phase current waveform at 500rpm

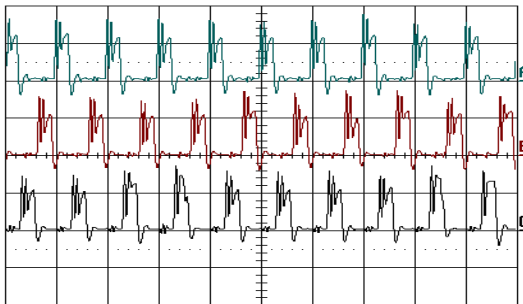


그림 24 3,000rpm에서의 3상 전류파형 (10A, 5ms/div)  
 Fig. 24 3-phase current waveform at 3,000rpm

그림 25는 그림 20과 같이 1,000rpm에서 1,500rpm으로 속도가변시 속도와 3상 전류파형으로 Energy efficient C-dump 컨버터와 동일한 속도응답특성을 보여준다. 또한 한 상의 스위치 전압 및 전류파형을 그림 26에서 나타내고 있으며 스위치의 턴온시 ZCS(Zero Current Switching)를 이루고, 턴오프시 ZVS (Zero Voltage switching) 및 ZCS가 동작됨을 확인할 수 있다. 하드쇼핑에 의해 스위치의 손실을 그림에서 보는 바와 같이 무손실의 스위칭을 함으로써 Energy efficient C-dump 컨버터 보다 높은 효율 및 고성능의 운전이 가능함을 확인할 수 있다.

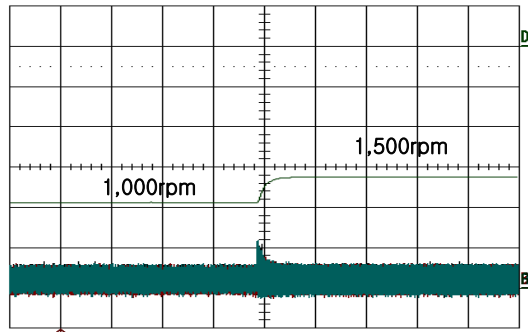


그림 25 속도가변시 속도 및 3상전류파형 (20A, 1s/div)  
 Fig. 25 Speed and 3-phase current waveform in case of speed change

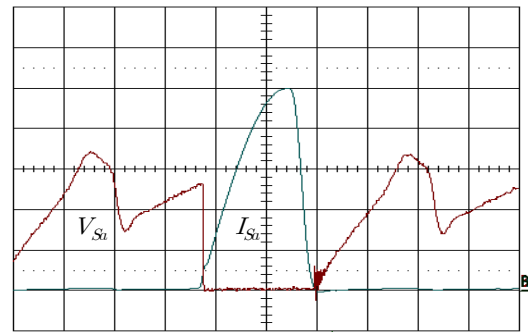


그림 26 한 상의 스위치 전압 및 전류파형 (10V, 5A, 50us/div)  
 Fig. 26 A switch-current and voltage waveform on one phase

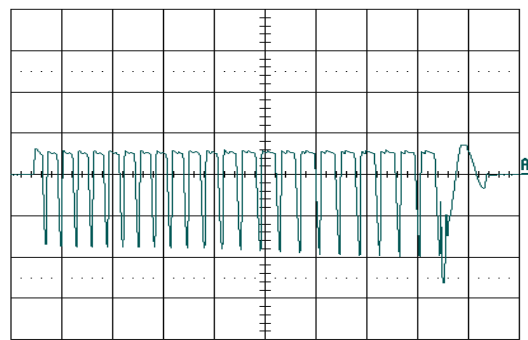


그림 27 한 상의 상전압 파형 (20V, 1ms/div)  
 Fig. 27 A phase voltage waveform on one phase

그림 27은 한 상의 상전압 파형으로 상권선에 축적되어 있던 전류에 의해서 상전압의 크기가 결정되어 고속운전에서는 더욱 높은 전압이 인가된다. 따라서 고속운전에서 전류(Commutation) 시에도 빠른 전류소호를 이루어 역토크의 발생구간은 존재하지 않게 되어 전동기의 운전성능을 향상시킨다. 그림 28은 각 소자 별 전압 및 전류파형으로 적용된 공진형 C-dump 컨버터 동작원리에서 설명한 동작모드와 동일한 파형을 확인할 수 있다.



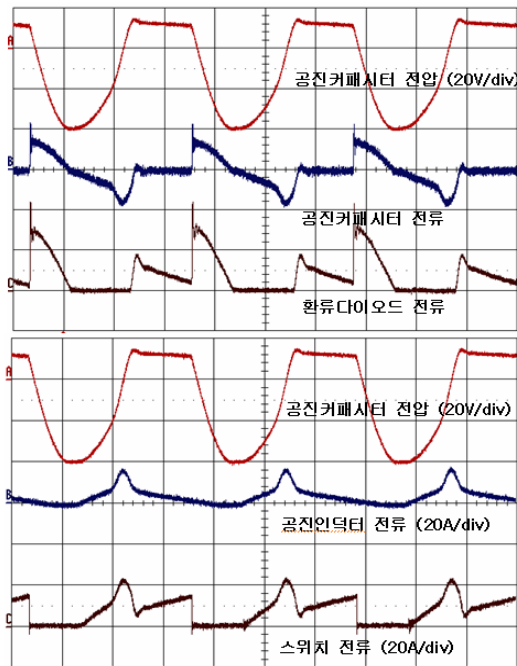


그림 28 각 소자별 전압 및 전류파형  
 Fig. 28 Waveform of each device part

## 6. 결 론

본 논문에서는 전동차 출입문 구동을 위한 선행연구로 현재 적용되고 있는 직류전동기를 대체하여 SRM을 적용하기 위한 topology를 연구하였다. LC 직렬공진 회로를 이용하여 공진형 C-dump 컨버터를 구성하여 고성능 운전이 가능한 SRM 구동용 컨버터 topology를 적용하였다.

스위치의 턴온시 ZCS(Zero Current Switching)를 이루고, 턴오프시 ZVS(Zero Voltage switching) 및 ZCS가 동작됨을 확인함으로써 하드스위칭에 의해 손실을 줄이는 스위칭으로 Energy efficient C-dump 컨버터 보다 높은 효율 및 고성능의 운전이 가능함을 확인할 수 있다.

## References

[1] R. Krishnan, "SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DRIVES," CRC Press. 2000.  
 [2] M. Asgar, E.Afjei, A.Siadatan, "A New Class of Resonant Discharge Drive Topology for Switched Reluctance Motor," Power Electronics and Applications, pp.1-9, 2009  
 [3] P. Kavitha, B. Umamaheswari, "R Dump Converter without DC Link Capacitor for an 8/6 SRM: Experimental Investigation," The Scientific World Journal, pp. 1-13, 2015.

[4] X. Liu, Z. Q. Zhu, M.Hasegawa et al., "Performance comparison between unipolar and bipolar excitations in switched reluctance machine with sinusoidal and rectangular waveforms," Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, pp. 1590-1595, 2011.  
 [5] A. R. Kazemi, M. Asgar, E. Afjei, A. Siadatan, "A new rotor position detection method using bifilar windings and resonant circuit in SRM drive," Proceedings of the Power and Energy, pp. 744-748, 2010.  
 [6] K. W. E. cheng, "Topology Analysis of Switched Reluctance Drives for Electric Vehicles," Proceedings of the Power Electronics and variable Speed Drives, no. 475, pp. 512-517, 2000.  
 [7] Y.H. Yoon, "High Performance Control of Switched Reluctance Motor Drive System for Automobiles by C-dump Converter," SKKU. Master's Thesis, 2002.  
 [8] Sayeed Mir, "Energy Efficient C-dump Converters for Switched Reluctance Motors," IEEE Transaction on Power Electronics vol. 12, No. 5, 1997.  
 [9] Y.H. Yoon, S.H. Song, T.W. Lee C.Y Won and Y.R. Kim, "High Performance Switched Reluctance Motor Drive for Automobiles using C-dump Converters," Proceedings of the IEEE-ISIE, vol. 2. pp. 969-974, 2004.  
 [10] A. Hava, V. Blasko, and T. A. Lipo, "A Modified C-dump Converter for Cariable Reluctance Machines," IEEE Trans. Ind. Application, vol. 28, 1992.

## 저 자 소 개



### 윤 용 호 (Yong-Ho Yoon)

2002년 성균관대 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 졸업(공학박). 2007년~2011년 삼성탈레스 종합연구소 메카트로닉스그룹 전력전자팀 전문연구원. 2011년~2015년 한국산업기술시험원 신재생사업센터 책임연구원. 2015년~현재 한화탈레스 종합연구소 메카트로닉스팀 전문연구원.

Tel : 031-8020-7577

Fax : 031-8020-7777

E-mail : dydghis@gmail.com