

# 자기부상열차용 전원공급장치 설계

송병문    계문호    오성철    조기연    김요희  
 (한국전기연구소 전력전자연구실)

Design of the Power Conversion System for the Magnetic Levitation System

Byeong-Mun Song, Moon-Ho Kye, Sung-Chul Oh, Ki-Youn Joe, Yo-Hee Kim  
 (Korea Electrotechnology Research Institute)

**Abstract**

This paper describes the design of the power conversion system for the 3-ton prototype magnetic levitation system. Electric power needed for the propulsion and levitation system of the vehicle is supplied by the wayside rectifier through the power rail and is picked up by the on board power collector, and is supplied to the propulsion VVVF inverter and levitation chopper. In this paper, design characteristic of the VVVF inverter, chopper and power source unit which provides control power to the levitation controller and levitation power to the chopper is described

**1. 서론**

자기부상 열차의 전원공급은 추진을 위한 선형 유도 전동기와 부상을 위한 전자석의 구동을 위해서 필요하다. 일반적으로 선형 유도 전동기 구동을 위해서는 3상의 교류를 공급시켜 주어야 하는데 선형 유도 전동기가 차상에 설치되는 차상 1차 방식이 주로 쓰이며, 이 방식에서는 전력변환장치 즉 VVVF 인버터도 차내에 설치되어 있다. 그러나 선형 유도 전동기의 낮은 역속 X 효율 특성에 의해서 차내의 VVVF는 용량이 커져야 하는 단점이 있으므로 장치의 소형 경량화가 요구된다. 특히 전원 공급 방식을 직류로하는 경우 인버터 부의 정류부를 생략할 수 있으므로 장치가 소형화될 수 있다.

전자석 흡인식 방식의 전자석의 구동에는 직류가 공급되어야 하는데 전자석의 초기 부상력 및 용량에 따라서 직류 공급장치 즉 초퍼의 용량 및 입력 전압이 선택되어야 한다.

일반적으로 전력 공급의 측면으로 보면 공급 전압이 500~1500V DC로 되는 경우가 많은데 전자석의 부상 제어를 위해서는 500 ~ 1500V의 입력 전압을 주어진 전자석의 특성 및 부상 제어에 필요한 낮은 전압으로 낮추어 주는 장치가 필요하다. 이를 보조 전원장치 (Power Source Unit)라 부르는데 이로부터 제어장치에 필요한 전원도 얻을 수 있다.

본 논문에서는 각종 전원 공급 방식에 대한 비교 및 현재 개발중인 3톤 실험용 자기 부상 열차를 위한 전원 공급 장치의 구성 및 설계와 각종부품 즉 정류기, 인버터, 초퍼 및 보조 전원장치의 각종 특성에 대하여 논하였다.

**2. 전원 공급 방식의 비교**

전자석의 흡인식 (EMS) 방식의 자기부상 열차의 추진용 전원의 공급 방식은 그림 1과 같이 분류 된다.

추진용으로 어떤 방식의 선형 전동기가 쓰이는데 따라서 전원 공급 방식도 결정 되어야 하는데 일반적으로 선형 유도 전동기의 경우는 시스템 D 방식이 주로 쓰이고 있으며 선형 동기 전동기의 경우는 시스템 E 방식이 많이 쓰이고 있다. 현재 적용된 자기부상 열차의 전원공급방식은 표 1과 같다.

표1. 자기부상열차의 전원공급 방식의 예

방식	사 용 예
시스템 A	TLRV (미국)
시스템 B	PTACV Aerotrains (프랑스)
시스템 D	HSST-04, HSST-05 (일본), BPM (영국)
시스템 E	ML-001 (일본), TRANSRAPID, M-Bohn (독일)
시스템 F	HSST-03 (일본)

선형 유도 전동기의 추진을 위해서는 시스템 D의 방식이 가장 널리 쓰이고 있다. 초기에는 차상에 설치된 선형유도 전동기 구동을 위하여 전력 변환 장치의 크기 및 무게 제한 때문에 VVVF 인버터가 지상에 설치되어 있고 집전장치를 통하여 차상에 공급되는 시스템 F 방식이 쓰였지만 직류 전자석의 구동을 위한 직류 전원의 공급을 위하여 따로 직류 공급용 Power Rail을 설치하거나 차량내에 다시 정류기를 설치해야 하는 단점이 있는데 HSST-03에는 직류 및 3상 교류를 같이 공급하는 방식이 쓰였다. 시스템 D 방식을 선형유도 전동기 추진에 적용하기 위해서는 선형 유도 전동기 자체의 낮은 역률 X 효율 특성때문에 대용량의 VVVF 인버터를 탑재해야 하는 단점이 있지만 Guideway의 건설비가 작은 잇점으로 인하여 중·저속용 자기부상 열차에 많이 쓰이고 있는 방식이다. 또 시스템 A와 시스템 D를 비교해 보면 시스템 A에서는 집전에 필요한 변압기 및 VVVF 인버터에 정류부가 같이 포함되어 있어서 전력 변환 장치부가 크고 무겁기 때문에 시스템 D가 유리한 방식이다. 그렇지만 이들 방식은 집전 장치 (Power Collector)의 존재에 의해서 고속 시스템의 적용에는 한계가 있다.

일반적으로 고속 시스템에서는 시스템 E의 방식이 널리 쓰이고 있는데 이 방식으로는 선형 동기 전동기가 주로 쓰이며 전동기가 지상에 설치되는 지상 1차 방식으로 주로 사용되고 있다. 특히 지상에 선형 전동기가 설치되므로 전력 변환장치가 실릴 필요가 없어 자체의 무게를 줄일 수 있으므로 효율면에서는 유리하지만 Guideway 건설비가 비싼 단점

에도 불리하고 전기적인 측면으로는 가장 바람직한 시스템이다. 현재 추진중인 자기부상 시스템은 부상은 흡인식 전자석 방식이며 추진은 차상 1차 전자석 방식이고 중·저속 용도로 설계되었으므로 직류 전원을 Power Rail에 공급하여 차량의 집전장치 (Power Collector)로 집전하여 차량용 인버터 및 부상용 초퍼에 공급하는 방식인 시스템 D를 채택하였다.

3. 전원 시스템의 구성

그림 2은 전원 시스템의 블록도 나타내고 있다.

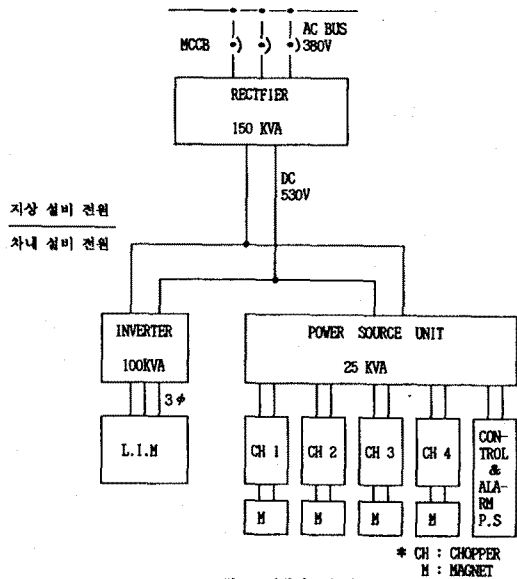


그림 2. 전원시스템 블록도

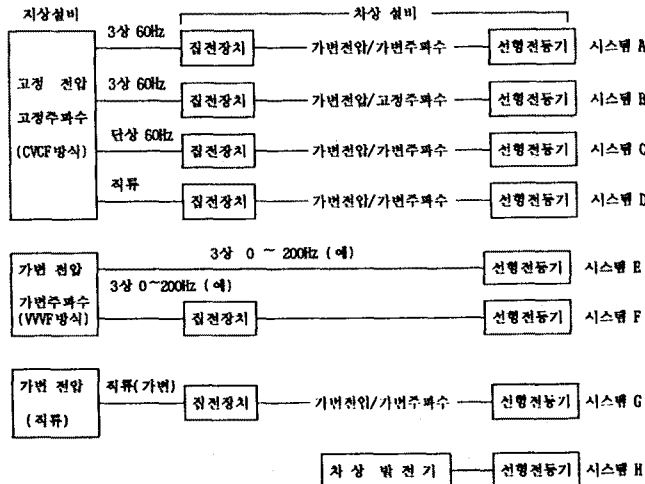


그림 1. 추진용 전력의 공급 방식

전원 시스템은 지상 설비 전원과 차내 설비 전원으로 분류된다. 지상 설비 전원은 계통 전원으로 부터 받은 교류 전원을 직류 공급 방식으로 변환하는 설비이고 150KVA급 정류기로 되어 있다. 차내 설비 전원은 추진용 선형 유도 전동기의 구동을 위한 인버터 (100KVA급), 부상용 Magnet 구동을 위한 Magnet Driver (75V, 150A용)인 초퍼 및 Magnet Driver의 입력 전원, 제어용 전원 (인버터 Chopper), Cooling 시스템용 전원, 감시·경보장치용 전원등을 위한 보조 전원장치 (Power Source Unit, 25KVA급)으로 분류된다.

4. 요소부품의 특성

1) 정류기 (Rectifier)

전력계통으로부터 3상 AC 380V의 전원을 받아 DC 530V로 정류시켜 차내 설비 전원으로 공급하는 장치이며 지상 설비로 되어 있다. 표 2은 정류기의 특성을 나타내고 있다.

표2. 정류기의 전기적 특성

항 목	성 능 및 특 성
○ 입력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3<math>\phi</math> 3<math>\omega</math> 380V AC</li> <li>• 60Hz</li> <li>• <math>\pm 15\%</math></li> <li>• <math>\pm 5\%</math></li> </ul>
• 입력 정격 전압	
• 입력 정격 주파수	
• 전압 변동 범위	
• 주파수 변동 범위	
○ 출력	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC 530V</li> </ul>
• 정격 전압	

또한 정류기는 자기부상 시스템의 전이변환장치로 부터 회생되어 오는 회생 에너지에 대해서도 대처 할 수 있도록 DBU (Dynamic Brake Unit) 와 Soft Start 기능도 포함하도록 설계 되었다.

2) 인버터

3 Ton급의 추진 시스템용 전원 공급 장치는 정격 380V AC, 35A의 선형유도 전동기 (Linear Induction Motor, LIM) 4대를 구동하기 위한 장치로써 100KVA급 인버터로 되어 있다.

자기부상열차용 인버터의 특징은 자상에 설치되므로 소형 경량화 및 LIM의 낮은 효율 및 역률 특성으로 대응화가 요구되며 수송수단으로서의 고신뢰도가 요구된다. 개발한 추진용 인버터는 전압형 인버터이며 형태상으로는 전원 공급 방식이 DC이므로 기존의 범용 VVVF 인버

터의 정류부를 제외한 구조이다. 또 기존의 인버터와는 달리 열자에 설치할 수 있도록 Horizontal Mounting type으로 설계되었으며 인버터 Unit과 외부 Panel 등은 충격을 고려하여 완충기를 설치하였다. 100KVA급 인버터의 일반 사양은 표 3과 같다.

표 3. 100KVA급 인버터 사양

항 목	성 능 및 특 성
1. 일반 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3상 전압형 인버터</li> <li>• Horizontal Mounting Type</li> <li>• 100KVA</li> <li>• 200A</li> </ul>
- 주회로	
- 구조	
- 용량	
- 정격전류	
2. 전기적 특성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC 530V</li> <li>• <math>\pm 15\%</math></li> <li>• 3<math>\phi</math> 3<math>\omega</math> 380V AC</li> <li>• 2 ~ 320Hz</li> <li>• <math>\pm 0.01\%</math> (Max. Freq)</li> <li>• 0.004Hz</li> <li>• 150% 1분</li> <li>• 0.5 ~ 120sec</li> <li>• Auto/Manual</li> <li>• PWM Control</li> <li>• Over Current, Voltage</li> <li>• Over Load Protection</li> <li>• Current Limitation</li> </ul>
○ Input	
- 정격전압	
- 전압 변동 범위	
○ Output	
- 정격출력	
- 주파수 제어 범위	
- 주파수 정확도	
- 주파수 분해능	
- 고하부 내력	
- Soft Start/Stop Time	
- 운전 모드	
- Control System	
○ Protection Functions	

3) Chopper

부상용 Magnet Driver는 자기 부상 열차의 부상용 전자석의 구동을 위해서는 입력의 직류 전원 (DC 75V)을 부상 Controller의 명령에 따라 직류 전압을 공급함으로써 부상 Magnet로부터 안정한 부상력을 낼 수 있도록 하는 구동 장치이며 이 구동 방법은 전압 가역형 초퍼 (1 ~ 4상한) 방식으로하며 직류 전압을 공급한다.

Chopper의 주회로는 2개의 Power Transistor와 Diode로 구성되어 있으며 부상시스템에서의 부상력은 초기 부상과 정상상태의 부상이 큰 차이가 있으므로 급변한 전류 변화에 대처 할 수 있도록 설계 되어 있고 제어 방식은 PWM 제어방식과 Short Pulse 제거 회로를 삽입하여 고조파 저감 및 시스템의 안정화를 취하고 있다.

표 4은 부상용 Chopper의 특성을 나타내고 있다.

4) Power Source Unit

자기 부상열차의 전원 공급방식은 DC 530V로 되어 있기 때문에 Magnet Driver의 입력전원, 제어용 전원, Drive 전원, Sensor 및 계측기 구동전원, Cooling 전원 및 감시·경보 구동 전원을 구동하는데는 각각 다른 입력 전원을 요구하고 있다. 따라서 이들의 요구 전원을 분석

한후 DC-DC Converter 특성에 맞게 설계하여 25KVA급 Power Source Unit를 개발하였다.

그림 3은 Power Source Unit의 블록도를 나타내고 있다.

표 4. 부상용 Chopper의 특성

항	목	성능 및 특성
1. 일반특성	- 주회로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전압가역형 초퍼 (1-4 상한 운전)</li> <li>• PWM 제어</li> </ul>
	- 제어 방식	
2. 전기적 특성	○ 입력 전원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC 75V~DC 85V</li> <li>• 2KHz</li> <li>• 2KHz</li> <li>• 150A</li> <li>• 30A</li> <li>• 강제 공냉식</li> </ul>
	○ 출력	
	• 스위칭 주파수	
	• 부하전류의 기본 주파수	
	• 최대 공급 전류	
	• 정격 전류	
	• 부하 저항	
○ 냉각 방식		

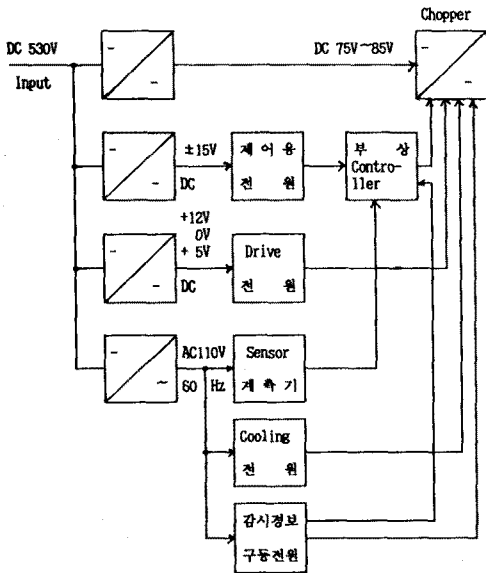


그림 3. 25KVA급 Power Source Unit 블록도

4. 결 론

본 논문에서는 현재 한국전기연구소에서 개발중인 3본 Prototype 자기부상 열차의 전원공급 장치 설계에 대하여 논하였다. 개발중인 자기부상 열차는 Power Rail에 직류 전원을 공급해서 차량의 집전 장치를 통하여 공급되며 추진용 인버터 및 차내 전원 장치 부상용 초퍼에 공급하여 각각 3상 교류 및 전자석 구동용 직류를 얻게 된다. 차내 전원장치의 설계에 있어서는 다음의 사항에 유의 하여야 한다.

- ① Power Rail에의 전원 공급 방식의 결정 (직류 혹은 교류)
- ② 주어진 운행 특성에 따른 전원 공급 장치 용량의 최적화
- ③ LIM 특성에 따른 인버터 용량의 증가에 따른 소형경량화
- ④ 승객의 승차감 및 외부 환경에 영향을 미치지 않도록 저소음화
- ⑤ 운송 수단의 구동장치로 쓰이므로 신뢰성 보장

개발된 전원장치의 특성 시험 결과는 다음 기회로 미룬다.

본 연구는 '89년 과학기술처 특정연구과제로 수행되었음.

참고문헌

1. I. BOLDEA, S.A. NASAR, "Linear Motion Electromagnetic Systems", John Wiley & Sons, 1985.
2. F. Takei, K. Suzuki, "Auxiliary Power System for HSST-05, Proc. of Maglev '89, 1989.
3. K. Nagata, H. Sekimoto and M. Murai, " Levitation Magnet Driver for HSST-Controlled by SI Thyristors," Proc. of Maglev '89, 1989.