

# 자기부상 열차의 무접촉 유도급전 기술



| 한 경 희 |  
한국철도기술연구원  
연구원



| 김 형 철 |  
한국철도기술연구원  
전철전력실장



| 김 남 포 |  
한국철도기술연구원  
책임연구원

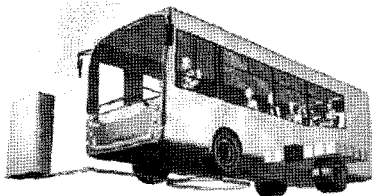
최근 스위칭 소자와 자성재료 기술의 개발에 힘입어, 전력시스템 및 에너지변환시스템은 놀랄만한 발전이 이루어져 왔다. 그 중 하나가 기존의 유선을 이용한 전력공급 방식과 달리 무선의 전자 유도방식으로 에너지가 전송되는 “유도급전(Inductive Power Transfer)” 기술이다. 초창기 이 기술은 소형가전, 산업용 청정 생산라인과 같은 제한된 영역의 소규모 전력공급을 위해 고안되었다. 그러나 현재, 센서기술 등을 이용한 고정밀 제어 기술 발전은 물론 유도

급전 기술의 높은 신뢰성이 알려지면서 승객이 탑승하는 교통수단에까지 적용 개발하는 단계에 이르렀다.

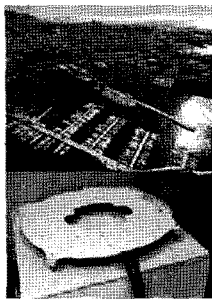
현재, 승객 탑승이 가능한 운송 시스템에서의 기술적용을 위한 개발노력이 우리나라를 포함한 독일, 스위스 등의 나라에서 활발하게 시도되어지고 있으며 특히, 독일에서는 이를 Transrapid에 적용하기 위한 프로젝트가 진행되어왔다. 기존 저속차량에 적용된 예와는 달리, 고속주행에 방해가 되지 않도록 형상을 설계하는 부분이 Transrapid 차량내부 전원공급을 위한 유도급전 기술이 가져야 할 특징이라 할 수 있다.

Transrapid 차량은 정지된 상태, 혹은 100km/h 이하의 속도에서 부상용 자석과 온도조절 같은 on-board 소비전력을 외부로부터 공급받아야 한다. 새로운 무접촉 유도 전력 공급 시스템인 IPS는 독일의 Transrapid 프로젝트로 개발되었다. IPS를 적용한 전력 공급시스템은 Transrapid 성능을 개선하고 동시에 가이드웨이에 기계적인 접촉을 하지 않고 동작한다. IPS 시스템의 설계 기능 사양에 대해서 알아보기로 한다.

Transrapid의 주 설계 특징으로 가이드웨이의 일부분이 되는 모터 권선을 가지는 long stator 방식을 들 수 있다. 이러한 시스템 방식에서는 기존의 철도 시스템과 같이 추진을 위해 차량이 별도의 에너지를 필요로 하지 않는다. 지지와 조향을 위한 자석과, 온도 조절, 그리고 차량 전자제품에 필요한 전력만이 요구되어 소비전력이 상당히 줄어들게 된다. 이러한 에너지는 선형 발전기(LIG)와 지지 자석의 극에 부착된 코일에 의해 공급된다. 이 시스템은 추진력에



• 3 buses each with 56 x 6V Batteries  
• Charging 60kW for 10 minutes/hour



- People Moving (Porto Antico, Italy)
- Flat pick-up charging Type

그림 1. Wampfler의 People moving



의해 제공되는 운동에너지를 차량내부 전력공급을 위해 전기에너지로 변환한다. 선형 발전기의 물리적인 이론에서, LIG를 이용한 최대 공급 에너지는 차량의 속도에 비례한다. 그러므로, TR08에서 시스템이 최적상태일 때, 100km/h 이상에서 100%의 전력공급이 가능하다.

저속주행 혹은 차량이 정차되어 있는 경우, 다시 말해서 차량이 역사 근처에 있을 경우, 이 Transrapid에는 부가적인 에너지 공급 장치가 필요하다. TR08은 전류 집전체와 가이드웨이에 부착된 전력선으로 구성된 기존 시스템을 이용한다. 이러한 기계적인 시스템은 정지시부터 전체 속도 영역인 500km까지 무접촉 운전을 하는 Transrapid의 기본 개념과 완전하게 상반되는 개념을 가지는 것이며 아래와 같은 단점을 가지고 있다.

- 마찰 마모로 인한 전류 집전체의 주기적인 유지보수가 필요함
- 스파크 발생
- 전력선의 위치범위가 제한적임
- 차량의 집전체로 인한 공기역학 및 소음측면에서 불리한 집전구조
- 집전성능이 눈, 비, 먼지에 민감함
- 안전성을 위한 전류 집전체의 적절한 이격거리 확보

<IPS 시스템>

IPS의 기본 이론은 변압기의 전자 유도 원리와 동일하다. (그림 2)

1차 코일은 가이드웨이에서 유도 loop로서의 역할을 한

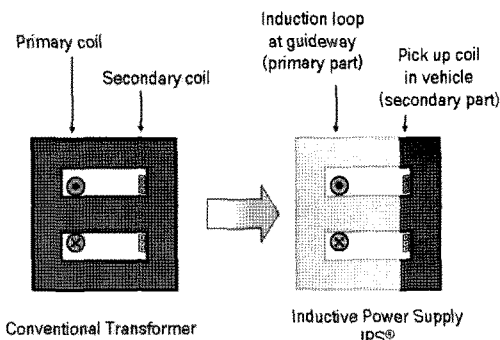


그림 2. IPS 시스템의 물리적 원리

다. 그리고 2차 코일은 차량에 부착된 pickup코일의 형태로 설치된다.

변압기와 뚜렷하게 구분되는 제일 큰 차이점은 자기장이 철심 코어를 통해 쇄교하지 않는다는 것이다. 그럼에도 불구하고 효과적으로 에너지 전송효율을 높이려면, 주파수를 기존 50Hz에서 20kHz로 높여 공극을 가지는 무접촉 시스템을 실현시킬 수 있다.

유도 loop의 기하학적 구조는 전자기적 유도효과를 주행 방향 및 속도에 영향을 받지않도록 설계되어야 한다.

IPS 시스템은 그림2에서와 같이 다음의 필수적인 요소로 이루어져 있다.

가이드 웨이 근처 혹은 고정된 요소:

- 변압기, 인버터 결합회로를 가지는 전력공급기
- 전력 공급기와 유도 loop사이의 동축 케이블
- 1차 케이블과 보상 컨덴서를 가지는 가이드 웨이에서의 유도 loop

차량에 탑재된 이동요소:

- 자속을 효율적으로 전달받는 구조의 pickup 코일
- 차량전기회로의 전압레벨조정 및 정류용 승압 컨버터

그림 3과 같이 IPS 시스템은 가이드웨이에서 20kHz 전류를 공급하는 1차측으로 구성되며, 일반적으로 20kV 계통에 연결되어 전기에너지를 공급한다. 변압기는 400V 3상

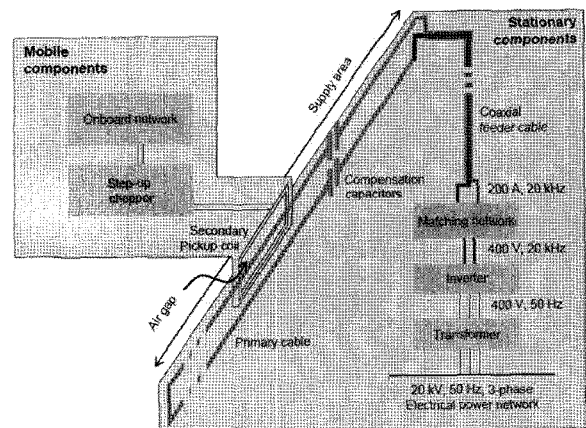


그림 3. IPS 시스템 요소 및 시스템 구성



그림 4. IPS 1차 케이블

전압을 컨버터를 통하여 인버터에 공급하며, 이 인버터는 수백 kW의 정격전력과 20kHz 주파수의 단상 구형파 교류 전압을 발생시켜 200A 유효전류를 공급하는 일정 전류원으로 변환한다.

1차 케이블은 가이드웨이의 양 측면을 따라 부착되어 유도 loop를 구성한다. 시스템이 20kHz로 동작할 때, 주파수에 의한 영향을 저감하고, 전류용량의 증대를 위하여 리츠 와이어(수천 가닥의 가는 선이 절연된 전력케이블, 그림 4)를 사용한다. 이러한 종류의 케이블이 표피효과를 줄여 전력의 소실을 저감하는 효과를 갖는다.

차량에는 가이드웨이의 유도 loop와 자기적으로 결합되는 2차 pickup coil이 취부된다. 이 경량화된 구조는 구성품의 무게와 수량을 저감하는 구조이며, 기하학적인 배열은 차량

과 가이드웨이 구조물의 공극조절을 하지 않고도 유도 loop와 pickup 코일간의 공극을 최소화시킨다.

IPS 시스템은 무접촉 유도 에너지 전송의 원리가 있어서 기존의 전력선과 전류 집전체 장치에 비해 몇 가지 장점을 가진다.

- 완만한 표면으로 고속에서 소음저감
- 눈, 얼음, 먼지와 같은 외부 환경의 영향으로부터 내구성
- 안전성 관련 제어와 전류 집전체 연결을 위한 별도의 기능 필요 없음
- section마다 32 pickup coil채용으로 인한 높은 집전용량 확보
- 차량의 전력 케이블량 저감
- 가이드웨이의 유도 loop 설치를 위한 엄격한 허용범위에 대한 여유
- 유지보수비용 저감

Transrapid에 적용된 IPS 시스템은 실내 성능시험 이후 300m의 가이드웨이에 설치되어 외부시험을 통하여 검증되었으며, 이때, 온도, 공기역학적 압력 등과 같은 다양한 항목의 시험절차를 통과하여 전기, 기계적인 특성을 만족하는 급전시스템으로 성공적인 적용을 구현할 수 있을 것으로 기대된다. ☺