

자기부상열차의 원리와 장단점

자기부상열차는 자기력, 즉 자석의 힘에 의해 부상되어, 공중에 떠서 운행되는 열차이다. 자석의 힘은 다른 극끼리는 서로 잡아당기고, 같은 극끼리는 서로 반발하여 밀어내는 힘, 즉 인력과 척력이 있다.

이러한 자석의 힘은 어디서 오는 것일까. 자석 주위에는 눈에 보이지 않는 자력선이 있는데, 이 자력선이 나오거나 들어가는 곳이 N극, S극이라고 하는 자석의 극에 해당한다. 모든 자석은 두개의 극을 가지고 있고 하나의 극만 가진 자석은 없다. 췌가루를 뿌려놓은 책받침 밑에 자석을 갖다 대면 췌가루가 자석의 양쪽 끝에서부터 원형 모양으로 퍼져 나오는 모양을 볼 수 있는데, 이것이 바로 췌가루가 자력선을 따라 늘어선 모양이다.

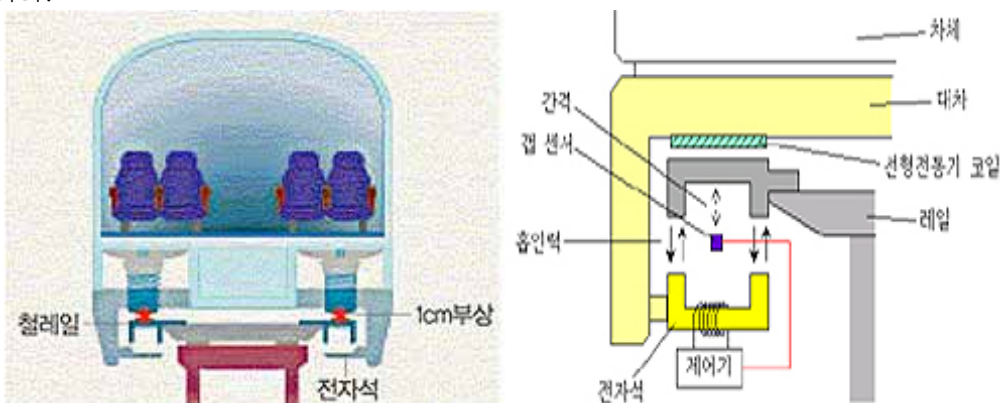
이와 같이 자석의 힘인 자력이 미치는 영역을 자기장이라고 하는데, 지구를 포함한 모든 자석은 자기장이라는 보이지 않는 힘에 의해 둘러싸여 있다. 1581년 영국 과학자 윌리엄 길버트는 지구 자체가 큰 자석으로서 남과 북으로 자극을 가지고 있다는 연구를 발표하였고, 이로써 자침이 항상 남북 방향을 가리키는 이유를 알게 되었다. 지구가 거대한 자석으로 자기장을 가지고 있기 때문에 천연자석 바위를 생산하는데, 이러한 마그네타이트(magnetite)는 전세계에 걸쳐 발견된다.

자기장은 전기가 흐르는 곳에서도 볼 수 있다. 1820년경 덴마크의 물리학자 외르스테드(Hans christian Oersted)는 우연히 나침반 위에 놓여 있는 전선에 전류를 흘렸다가 나침반의 움직임을 발견하고, 처음으로 전기에 의한 자기의 발생을 확인하였다. 이후 1831년 영국의 페러데이(Michael Faraday)는 자기장을 변화시키면 전류가 흐르게 된다고 하는 전자기 유도현상을 발견하여 전기와 자기의 상호 연관성을 보여주었다. 이와 같은 원리로 발전소 같은 곳에서는 자석을 돌려서 자기장의 변화를 일으켜 전류를 흐르게 한다.

이와 같이 자성에 의한 자력, 즉 자기와 전기는 특별한 관계가 있는데, 이 둘은 분리되지 않는다. 흐르는 전류에는 자기가 발생하며, 또한 자기장을 변화시키면 전류가 흐르게 된다. 이러한 원리에 따라 전자석을 만들어 사용하는데, 도체에 전선을 감고 전류를 흘리면, 전류의 세기에 따라 자기장이 발생되고, 자기장에 의해 도체에 극이 만들어지면서 전류가 흐르는 동안 도체는 자석이 된다. 이는 전류가 흐르는 동안 도체의 원자가 자기장에 따라 규칙적으로 배열되기 때문이다. 이러한 전자석은 전류가 흐를 때에만 자석이 되므로 필요에 따라 쉽게 사용할 수 있다.

자기부상열차를 부상시키는 방식은 이러한 자석의 힘에 따라 2가지 방법이 있는데, 인력을 이용하는 흡인식과 척력을 이용하는 반발식이 있다.

흡인식 자기부상열차는 열차 차체에 설치되어 있는 전자석이 철제 레일 아래까지로 연결되어, 전자석이 철제 레일 아래에서 위쪽으로 달라붙는 구조를 가지고 있다. 전자석에 전류가 흐르면 철판에 붙으려는 힘, 즉 레일 쪽으로 흡인력이 발생하여 전자석과 함께 차체가 위 방향으로 올라감으로써 부상되는 형태이다.



이때 전자석에 전류가 계속 흐르면 흡인력이 계속 유지되고, 전자석은 결국 철제 레일 아래에 붙게 되는데, 이렇게 되면 차체가 레일에 붙어버리는 모양이 되기 때문에 열차는 움직일 수 없게 된다.

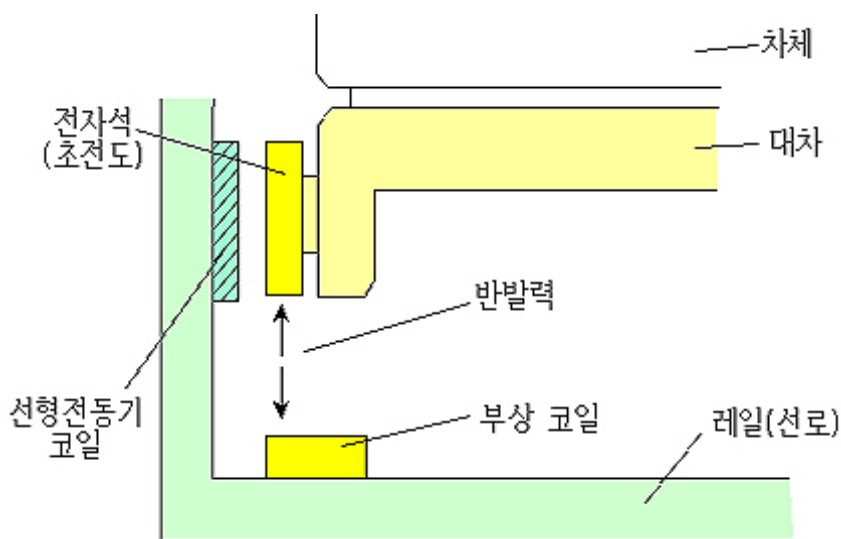
따라서 전자석이 레일 아래에 붙기 전에 전류를 차단시켜야 하는데, 전류가 차단됨으로써 전자석의 흡인력이 없어지고 열차는 부상이 정지되어 열차 자체의 무게로 인해 아래 방향으로 내려가게 된다. 이때

전류가 계속 차단되어 있으면 흡인력이 없기 때문에 열차 차체는 레일 위에 달아서 올려져 있는 모양이 되어 역시 움직일 수 없게 된다. 따라서 열차가 완전히 레일 위로 내려앉기 전에 다시 전류를 흘려 흡인력을 발생시키고, 열차가 부상되도록 한다.

이와 같은 전자석의 동작을 반복함으로써 열차가 레일과 일정 간격을 유지하면서 부상되어 있도록 하는데, 이를 위해 간격 센서를 이용한다. 간격 센서를 통하여 일정 거리 이상으로 떨어지면 전류를 흘리게 하고, 일정거리 이하로 가까이 붙으면 전류를 차단시키도록 하는데, 보통 이 간격은 약 10mm 내외이다. 이와 같이 일반적인 전자석의 흡인력을 이용하는 자기부상열차를 상전도 흡인식 자기부상열차라고 하며, 부상하는 높이가 작고 정밀도가 높은 간격 검지와 즉시 반응하는 제어시스템이 필요하다.

반발식 자기부상열차는 보통 열차 차체에 장착한 강한 자석과 궤도에 연속적으로 배치한 코일로 구성되어 있다. 코일의 윗면을 강력한 자석이 이동하게 되면 전자기유도 원리에 의해 코일의 자기극은 이동하는 자석과 같은 극이 되어, 두 극 사이에 큰 반발력이 발생하게 된다. 이러한 유도전류에 의한 자장의 반발력에 의해 부상되는 열차를 유도반발식 자기부상열차라고 한다.

또한 영구자석을 이용한 영구자석 반발식도 있다.



반발식 자기부상열차의 전자석으로는 부피와 무게가 작으면서도 강력한 자장을 발생시킬 수 있는 초전도 자석이 필요하다. 열차 차체에 설치되어 있는 초전도 자석이 N극일 때 레일에 있는 전자석(코일)도 같은 N극이어서 서로 밀어내게 되고, 이때 그 앞의 전자석은 S 극이므로 열차가 앞으로 나아가는 동안 전자석의 전류 방향을 반대로 하여 N극으로 바꾸게 되면 열차의 부상은 계속 유지된다.

이와 같이 반발식 자기부상열차는 열차와 레일 간격이 작아지면 자동적으로 반발력이 증대하여 부상하게 되므로 자기력 제어는 필요없다. 그러나 강력한 자석이 필요하므로 초전도 자석을 이용하며, 초전도 자기부상열차라고도 하는데, 보통 부상 높이가 100mm 가량이며, 시스템의 안정성과 신뢰성이 높은 반면에 저속에서는 부상될 수 없어 별도의 지지 기구를 필요로 한다.

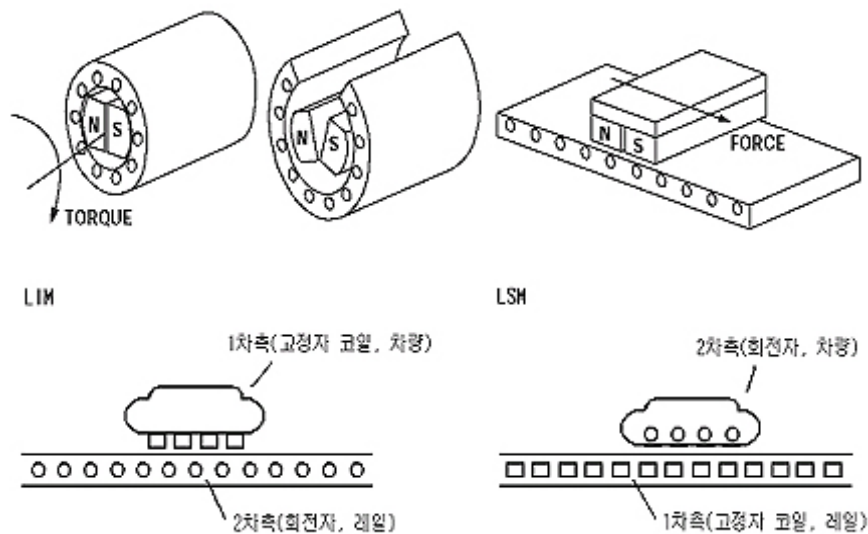
그러나 열차와 같이 무거운 물체를 공중에 띄운 상태에서 빨리 달리게 하려면 매우 센 자석이 필요하다. 이런 자석은 영구자석으로 만들기 어렵고 전자기유도를 이용한 전자석을 사용해야 하는데, 강한 전자석을 만들려면 코일을 많이 감거나 전류를 많이 흘려주어야 한다. 그러나 코일을 많이 감으면 크기가 너무 커지거나 무게가 많이 나가게 되고, 전류를 많이 흘려주면 코일의 저항 때문에 열이 많이 발생하는 단점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 초전도 전자석을 사용하는데, 초전도 전자석이란 초전도체를 이용한 전자석을 말한다. 초전도체란 아주 낮은 온도에서 전기의 흐름을 방해하는 전기저항이 완전히 없어지는 물질을 말하는데, 전기저항이 없으면 많은 전류를 흘릴 수 있게 된다. 초전도체 자석은 전기를 적게 사용하면서도 일반 전자석 보다 매우 강력하다.

이러한 초전도 현상은 1911년 네덜란드의 과학자 오네스(Heike Kamerlingh Onnes)에 의해 처음 발견되었고, 여러 가지 초전도체를 발견하여 노벨 물리학상을 받았다. 어떤 물체에서 초전도현상을 보이는 시점의 온도를 임계온도라 하는데, 오늘날 과학자들은 임계온도를 상온까지 올린 초전도체 개발에 노력하고 있다.

이와 같은 원리로 부상되어 운행되는 자기부상열차는 자동차의 엔진에 해당되는 것으로 선형전동기를 사용하여 견인된다. 선형전동기란 회전운동을 하는 일반 전동기와는 달리 직선운동을 하는 전동기를 말한다. 선형전동기는 장치의 구성이 매우 간단하여 유지보수가 용이하며 비용을 절감시킬 수 있고, 정밀한 위치제어가 가능하다는 장점이 있다. 이러한 선형전동기에는 선형유도전동기(LIM, Linear Induction Motor)와 선형동기전동기(LSM, Linear Synchronous Motor)가 있다.

선형전동기는 전동기의 선형운동을 위해 회전형 전동기를 축방향으로 잘라서 평면적으로 펼쳐 놓은 구조를 가지고 있는데, 동작 원리는 일반 회전형 전동기와 다를 바 없으며, 전력을 공급하는 고정자를 가동부로 하는 차상 1차 방식과, 고정자를 고정부로 하는 지상 1차 방식으로 구분된다. 고정자 코일을 차량에 탑재하여 추진력을 얻는 차상 1차 방식을 선형유도전동기(LIM) 방식, 또는 short stator 방식이라고 하고, 지상에 고정자 코일을 설치하는 지상 1차 방식의 경우를 선형동기전동기(LSM) 방식, 또는 long stator 방식이라고 한다.



선형동기전동기 방식은 계자와 전기자 사이에 전력의 교환이 없기 때문에 공극을 크게 할 수 있고, 단 효과(ending effect)가 없기 때문에 효율이 좋으며, 선형유도전동기 방식에 비해 추진력이 매우 크기 때문에 시속 500km의 고속용에 적합하다. 그러나 동기를 위한 위치신호가 필요하며, 레일 전체에 걸쳐 전자석 코일을 설치해야 하므로 건설비용이 높아져 경제성이 떨어진다.

선형유도전동기 방식은 열차에 전자석 코일이 설치되므로 차체가 무거워지고 소음이 상대적으로 크며 속도도 빠르지 않지만 건설비가 저렴하다는 장점을 가지고 있다.

전류가 흐르는 주변으로 유도되어 발생하는 자기장은 보통 송전선 첩탑 주위의 가축이나, 사람에게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 자기장은 자연상태에서도 지표면에서 약 0.5가우스(1가우스는 10,000분의 1 테슬라) 정도 존재한다. 우리 생활 주변의 자기장은 대개 5,000가우스 미만 정도이며, 병원에서 사용하는 MRI 장비가 약 5,000~10,000가우스 정도이다. 자기부상열차는 전자석을 사용하기 때문에 전자기장에 대한 인체의 유해성 문제는 계속 제기되고 있으나, 열차 실내에서 자연상태 정도까지의 수준으로 제작이 가능하다.

이와 같이 자기부상열차의 원리는 자석의 성질을 이용하여 열차를 부상시켜 선형전동기의 추진력으로 움직여 달리게 하는 것이다. 부상된 상태의 열차는 레일 위에 바퀴가 맞닿아 있는 것보다 마찰 저항이 적기 때문에 적은 동력으로 큰 속도를 얻을 수 있고, 상대적으로 전동기의 높이를 낮추어 차량의 높이를 낮출 수 있다.

자기부상열차의 최대 장점은 소음과 진동이 적은 안락한 승차감이라 하겠다. 열차와 궤도사이의 마찰력도 없기 때문에 아주 빠른 속도를 낼 수 있으며, 등판 능력 및 곡선통과 능력이 우수하면서도 부품 소모가 적고 오염 배출이 적어 친환경적이며, 유지보수 및 운영비가 저렴하다. 또한 자기부상열차는 차량이 궤도를 감싸 안는 구조로 탈선, 전복 등의 사고가 없는 안전한 열차이며, 차체 경량화 및 구조물 슬림화 등이 가능하기 때문에 초기 투자 비용 이 저렴하다.

자기부상열차는 대개 국가 프로젝트로 기술개발이 이루어졌으며, 전문가들이 장기간 집중적으로 연구개발 및 시험을 수행하여왔기 때문에 기술의 신뢰성 및 첨단성이 높은 편이다. 그러나 아직까지 자기부상열차는 신개념의 수송시스템으로 기존의 철도 시스템과 호환 운행되지 않으며, 아직 본격적인 실용화가 이루어지지 않은 형편이다. 그럼에도 불구하고 독일, 일본 등 철도 선진국에서는 미래 교통수단으로서 지속적으로 꾸준히 연구개발에 투자하고 있다