

## 기울어야 안정적인 틸팅열차



2004년 4월 1일 우리나라는 역사적인 고속열차의 시대를 열었다. 고속열차 KTX는 서울-부산 간을 2시간40분에 주파할 수 있는 속도로 전국을 일일생활권에서 반나절 생활권으로 변모시켰다. KTX는 최고 속도 350km를 자랑하며 빠른 열차의 대명사로 자리 잡았다. 400km속도를 내는 자기부상열차의 도입 전까지는 KTX의 속도 아성은 무너지지 않을 것으로 보인다.

그러나 모든 선로구간에서도 KTX가 왕좌를 유지할 수 있을까? 실제로, KTX는 빠른 속력 때문에 곡선구간이나 험난한 지형에서 자신의 최고 속도를 내지 못하고 있다. 차량최고속도, 선로최고속도, 곡선(커브)속도, 선로전환기 통과속도 등에 의해 결정되는 열차운행속도는 험준한 지형에서 달라진다. 따라서 곡선이 많고 험준한 구간에서의 KTX는 취약할 수밖에 없다. 실제로, 국내 선로의 경우, 서울 청량리역에서 경주역까지를 잇는 중앙선과 충북 제천과 강원도 태백시를 연결하는 태백선 등은 험준한 지형이라서 곡선구간이 많아 KTX에 불리한 구간으로 알려져 있다. 최고 속력 300km이상의 속력을 그대로 유지하면서 달리려면 곡선구간의 선로를 직선에 가깝게 길게 늘이면 된다. 그러나 선로가 대폭적으로 늘어나야 하므로 여기에는 엄청난 공사비용이 따르

는 단점이 있다.

그렇다면 곡선구간에서도 그대로 KTX의 속력을 유지할 수는 없는 것일까? 이러한 문제점의 대안이 바로 틸팅열차(TTX)다. 틸팅열차는 곡선구간에서도 차체를 내부로 기울여 원심력을 흡수하는 기능을 갖추어 곡선통과 속도를 20~30% 높일 수 있다. 틸팅 열차는 '기존 선로에서 달리는 가장 빠른 열차이다. 스웨덴은 이미 1990년에 틸팅 열차를 상용화했고 이탈리아, 독일, 일본, 미국, 프랑스도 차례로 보급했다. 열차의 새로운 트렌드라 할 수 있을 것이다. 이제 첨단 기술을 십분 활용해 만든 틸팅 열차의 핵심이 되는 원리와 장점에 대해 알아보도록 하자.

먼저 열차가 고속으로 달리기 위한 조건을 알아보자. 무엇보다 구동장치가 높은 출력을 내야 하고, 가급적 최고 속도를 유지해야 한다. 하지만 물리 법칙의 지배를 받는 현실에서는 출력을 깎아내리는 여러 가지 장애들이 존재하기 때문에 이를 제거하는 것이 중요하다. 바퀴와 철로 간의 마찰력, 진행 방향의 반대로 받는 공기 저항은 최고 속도를 깎아내리는 대표적인 문제다.

하지만 더욱 큰 문제가 있다. 열차의 탈선을 막


기 위해 곡선 구간에서 속도를 줄여야 한다는 점이다. 이 때문에 열차의 평균 속도는 크게 떨어지게 마련이다. 만약 곡선 구간에서 속도를 줄이지 않으면 원심력 때문에 열차는 도는 바깥쪽으로 튕겨나갈 수밖에 없다. 이런 이유 때문에 현재 운행하고 있는 KTX는 최대한 직선에 가까운 전용 철로를 새로 마련해야 했으며 곡선 구간에서는 제 속도를 낼 수 없었다.

이름인 '틸팅(Tilting)'에서 쉽게 알 수 있듯이 틸팅 열차의 가장 큰 특징은 주행 시 기울어진다 는 것이다. 차체를 기울여 곡선 구간의 원심력을 상쇄하고 속도를 떨어뜨리지 않도록 한다. 우리나라는 국토의 70퍼센트가 산악 지형이고, 자연스럽게 기존 철로에는 곡선 구간이 많다. 틸팅 열차를 적용한다면 곡선 구간에서 속도를 떨어뜨려야 할 이유가 사라지는 것이다.

그럼 틸팅 열차는 어떤 구조이기에 기울어져 달릴 수 있을까? 틸팅 기술에는 크게 두 종류가 있으며, 그 종류에 따라 구조 역시 달라진다.

첫 번째는 '수동적 틸팅'이다. 수동적이라는 의미는 기울어지는 동작과 그 각도를 인위적으로 조종하지 않는다는 뜻이다. 열차의 종단면을 상상해보자. 그리고 객실을 좌우로 자유롭게 흔들리는 상태로 두되, 그 회전축을 객실의 무게 중심보다 위에 둔다. 이렇게 하면 원심력이 우측으로 작용할 경우 무게 중심보다 위는 왼쪽으로, 아래는 오른쪽으로 힘을 받아 자연적인 틸팅이 이뤄지게 된다. 이와 같은 수동적 틸팅에는 별도의 동력이나 제어장치가 필요 없지만 얻을 수 있는 경사각이 작고 임의로 경사를 조절할 수 없다는 단점이 있다. 수동적 틸팅을 이용한 열차로는 스페인의 'Talgo XXI'이 있으며 이 열차의 경우 최대 경사각은 3.5°이다. 두 번째는 '능동적 틸팅'이다. 이는 차체와 철로 사이를 연결하는 부위,

즉 대차 부위에 별도의 동력과 제어장치를 추가하는 방식이다. 이 대차 부위는 객실을 떠받치다가 차량 내부의 컴퓨터, 자체적인 GPS 시스템, 선로에 마련된 중계장치의 신호에 맞춰 객실의 기울기를 조절한다. 능동적 틸팅은 비교적 큰 경사각(최대 8°)을 얻을 수 있으며 저속 차량과 공유해야 하는 선로에서도 큰 지장 없이 고속을 얻을 수 있다. 대신 별도의 장치와 동력이 요구되며, 정밀제어공학이 요구된다는 단점이 있다. 최근의 틸팅 열차들은 모두 이 능동적 틸팅을 채택하고 있으며, 여러 세부적인 기술 구현 방식도 개발돼 있다. 이처럼 틸팅 열차는 차량의 모든 부분이 고정되어 움직여야 한다는 통념을 깨고 물리학의 원리를 본격적으로 도입해 빨리 달린다는 고속 열차 본래의 목적과 함께 경제적인 절감 효과를 노리는 신기술이다. 세계적인 철도회사 알스톰은 이미 '펜돌리노'라는 상품명으로 틸팅 열차를 개발해 세계 곳곳에서 상용화를 이뤄놓았다.

올해 시험 운전에 들어갈 한국형 틸팅 열차는 당연히 능동형 틸팅 열차이며, 이에 더해 '틸팅조향대차'를 개발해 채택하고 있다. '틸팅조향'이란 차체의 기울기를 상황에 따라 유동적으로 조절할 수 있는 독자적인 기술을 말한다. 이로써 능동형 틸팅 열차가 갖춰야 할 세가지 조건, 즉 높은 속도를 가능하게 하는 큰 경사각, 전자 제어장치, 기존 선로를 그대로 활용하면서 구형 열차를 대체할 수 있는 능력을 겸비한 셈이다. 모든 첨단 공학제품들이 그렇듯이 많은 제어가 필요한 제품일수록 사전·사후 관리와 안정성이 보장되어야 한다. 신기술의 집약이자 각종 장점으로 무장한 틸팅 열차 역시 예외일 수는 없을 것이다. 한국형 틸팅 열차 또한 이 점에 주력하여 이점을 최대한 살리고 운행의 안전은 물론 삶의 편의를 한층 높여주길 기대해본다. 

〈자료 출처 : 과학향기(yeskisti.net)〉