

## 고속철도 궤도의 곡선부 주행안전성 평가

### Study for Safety on the Curve in the High-speed Railway Track

구봉근<sup>†</sup> · 서사범<sup>\*</sup> · 이동호<sup>\*\*</sup>

Bong-Kue Koo · Sa-Bum Seo · Dong-Ho Lee

#### Abstract

The railway track and the substructures constructed in the field test section of Kyongbu High Speed Line are the structures for HSL, for the first time designed and constructed by domestic technical group. It is very important to verify the local design criteria and specifications for these structures and also to assure the recordings for vibration or deflection produced on the essential parts of the structures. The study to verify the high-speed railway track performance and to ensure the run in safety on the track in curved section during the KTX run. Finally, the conclusion are drawn as follows. The measuring values of the deflection effort of the rail and displacement for verifying the track performance in the field test section of Kyongbu HSL satisfy the criteria of the foreign countries (Japan and Germany). The measured value for the wheel load and the presumed value show the consistent tendency. The wheel loads of the exterior and interior of the rails at the speed superior to 300km/h are measured same. Finally, the comparison between the theoretical value presented during the verification of the derailment to evaluate the safety of the train run at the time of the detailed design of the track and the measured value in the field shows that the correct design of track structure was applied.

**Keywords :** Railway track design(철도궤도설계), Curved section(곡선부), Track verification(궤도 검증), Safety(안전성)

#### 1. 서론

고속철도의 궤도는 열차가 고속으로 주행할 때, 차량을 직접 지지·유도하여 주행로를 형성하는 기반시설로서 안락한 승차감을 유지하고 소음, 진동 등 주변 환경에도 적절히 대응할 수 있어야 하며, 이러한 궤도조건을 만족하기 위해서는 궤도구성 재료가 고속열차의 주행에 따른 충격과 진동에 견딜 수 있게 품질이 우수하고 균일하여야 한다.

열차가 궤도를 주행할 때, 열차와 궤도의 상호간에는 작용력이 발생하게 되며, 이 작용력의 크기는 열차의 주행속도, 축중, 선로의 선형 등의 함수로서 적절한 안전율을 갖도록 제한할 필요가 있다. 주행하는 열차의 안전성을 확보하기 위해서는 두 매개체간의 상호 작용력에 의한 차량과 궤도의 운동에 대한 안전성의 확보가 필수적이다. 이와 같이 차량의 주행으로 인하여 궤도에 전달되는 힘으로는 운

하중과 횡압이 있다. 윗하중은 한 개의 차륜을 통하여 레일에 작용하는 수직하중을 말한다. 일반적으로 윗하중은 궤도에 작용하는 정적 하중뿐만 아니라, 열차주행 시 변화하는 동적 하중의 영향도 포함하여 일컫는다.

따라서 윗하중을 실측하는 경우에도 궤도에 작용하는 동적 하중의 영향을 검토할 수 있을 뿐 만 아니라, 공차하중, 혹은 정적 하중과의 관계로부터 궤도설계 시 고려된 충격력의 영향에 대한 적절성, 또는 타당성을 확인할 수 있다.

경부고속철도 시험선구간에 부설된 궤도 및 노반구조물들은 국내기술진이 설계·시공한 최초의 고속철도용 구조물로서 이들 구조물에 대한 국내의 각종 설계 및 시방기준을 검증하고, 고속열차 주행 시 이들 구조물의 주요 부위에 발생하는 진동, 처짐 등의 계측자료를 확보하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구는 궤도시설물 중에서 최고속도에 가장 영향을 미치는 곡선부에 대한 계측분석을 통해 궤도시설물의 성능을 검증하고 설계 이론치와 실제 시공 후 부설치와의 관계를 규명하는데 목적이 있다. 또한, 경부고속철도 시운전시 열차운행조건에 따른 궤도성능의 검증은 궤

† 책임저자 : 정희원, 충북대학교 공대 토목공학과 교수, 공학박사  
E-mail : bkkoo2378@yahoo.co.kr  
TEL : (043)268-2378 FAX : (043)275-2377

\* 한국철도시설공단 일반철도궤도처장, 공학박사, 철도기술사

\*\* 한국철도시설공단 고속철도궤도처 차장, 철도기술사

도 각 부재의 강도 및 내구성을 확인하여 차량의 주행안전정성을 확인하고 차량이 궤도에 주는 영향을 파악하기 위한 중요한 자료로서 상업 운전 시 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하는 차원에서 중요하다. 그리고 국내 기술진이 부설한 궤도, 노반에 대한 프랑스 제작 차량의 기술적 연계성을 검토하기 위해서도 현장시험을 통한 검증은 반드시 거쳐야 하는 필수과정이라 할 수 있다.

본 연구는 먼저 고속철도 곡선부 교량의 궤도 주행 안전성 검토를 위한 대상 선로를 경부고속철도 천안아산~대전 구간 중에서 윤하중과 횡압이 클 것으로 예상되는 곡선교량 1개소(갈원교)를 선정하고 계측에 필요한 센서 및 장비를 이용하여 윤하중, 횡압, 변위의 값을 계측하였으며, 현장 계측으로 도출된 자료를 분석하여 실시설계 시 제시된 데이터와 비교분석하여 고속철도 곡선부 궤도에서의 열차 주행 안전성을 평가하였다. 또한, 모든 계측값이 추정값과 일치하는지, 동일하게 발생하고 있는지를 분석하였다. 그러나, 고속철도 건설을 완료한 후 영업을 개시하기 전에 고속철도의 영업속도 운행에 따른 선로의 적합성 여부를 판정하는 최종 검증작업이 필요하다. 따라서 곡선구간 궤도구조의 거동특성과 성능을 파악하기 위하여 내외측 궤도의 윤하중과 횡압, 레일의 수직변위 및 횡 변위를 동시에 측정하였다.

## 2. 궤도 성능의 평가 항목 및 방법

고속철도 시험선 궤도 성능 평가에 적용한 계측항목인 하중은 내외측 궤도의 윤하중과 횡압을 측정하고 변위는 레일 수직변위와 레일 횡 변위를 측정하였으며, 이 때 사용한 계측 장비로는 5mm 2축 스트레인 게이지, 5mm 변위계 등을 이용하여 구성하였다. 계측 항목 및 장비를 정리하면 Table 1과 같다.

계측에 이용된 계측장비들의 주요 사양을 살펴보면, 데이터를 저장할 수 있는 채널은 모두 32개 채널이며, 게이지, 변위계, 가속도계를 조합하여 32개 채널을 모두 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 특히, 데이터 수집(Data Acqui-

sition) 장비는 계측 직후에 저장한 신호들을 현장에서 바로 확인할 수 있으며, 샘플링율(Sampling Rate)을 자유롭게 설정할 수 있다. 또한, 다이내믹 스트레인 앰프(Dynamic Strain Amplifier)에서 출력되는 신호가 10V 정도로 매우 크고, 증폭비를 자유롭게 조절할 수 있으므로 측정대상물 스트레인 계측범위를 미리 예측하여 설정하면 노이즈가 적은 양질의 신호를 획득할 수 있다.

### 2.1 윤하중

철도의 주행에 관한 역학에서는 이동하는 차량과 고정설비인 궤도간의 작용력이 매우 중요하며 이 작용력에 의한 운동이 안정되지 않으면 안된다. 이 양자간의 수직 방향의 작용력이 윤하중이고, 차축의 횡 방향으로 작용하는 힘이 횡압이다. 윤하중을 차상에서 측정하면 차량주행에 따른 선로의 작용상태를 알 수 있으며, 지상에서 측정하면 측정지점을 통과하는 각 차량의 작용력의 크기와 변화량을 알 수 있다. 지상에서 윤하중을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 침목간 중심에서 각 100mm 떨어진 위치의 중립축에 45°의 각도를 가지고 8방향으로 스트레인게이지를 부착하였다. 그리고, Fig. 2와 같이 결선하여 단면 힘의 영향을 배제하고 전단변형을 측정하였다. 이 상태에서 내력형의 윤하중 검정기를 이용하여 4tf(40kN)까지 재하하고 윤하중을 검정하였다. 이와 같은 전

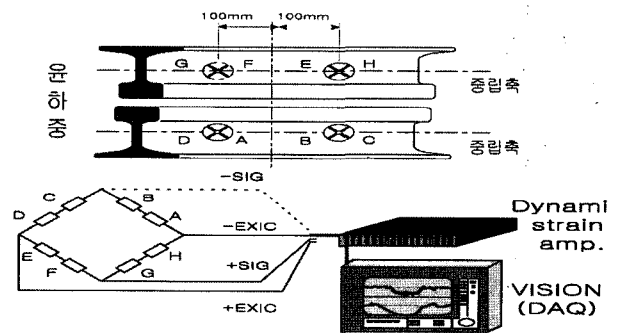


Fig. 1. Wheel Load Gauge and Measuring system

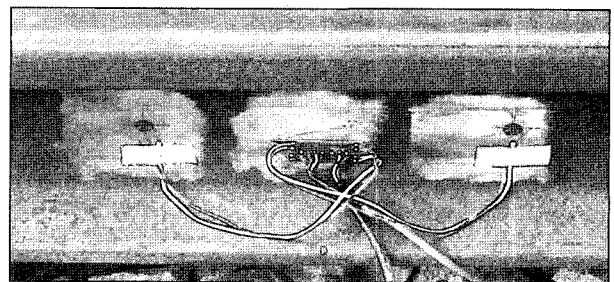


Fig. 2. Real Wheel Load Gauge Installation

Table 1. Measuring Items and Equipment

구분	계측항목	장비
하중	윤하중	5mm 2축 스트레인 게이지
	횡압	5mm 2축 스트레인 게이지
변위	레일 상하방향 변위	5mm 변위계
	침목 상하방향 변위	5mm 변위계
	레일 두부 횡변위	5mm 변위계

단변형에 의한 측정은 인접 차륜의 파형이 완전히 분리되어 기록되기 때문에 하나의 차축에 의해 발생한 윤하중의 기준선 판별이 용이하다는 특징이 있다. 또한, 전단 변형방식은 8-게이지법(풀 브릿지 결선법)이기 때문에 노이즈가 적고 비교적 깨끗한 기록이 얻어지는 장점이 있다.

**2.2 횡압**

횡압은 레일의 접촉면을 통하여 차륜의 수평방향인 레일에 직각으로 작용하는 힘을 말하며, 차량이 완전히 안정되고 곡선에서 캔트가 균형이 되어 차량의 하중이 윤축에 의해 모두 전달이 된다면 횡압이 발생하지 않아야 이상적이다. 그러나, 실제로는 곡선 통과 시 윤축의 전향과 캔트의 과소, 혹은 과대에 의한 원심력과 차량 사행, 분기기 및 신축이음매의 충격력에 의해 횡압이 발생된다.

Fig. 3, 4는 레일에 발생하는 횡압을 측정하기 위한 게이지의 부착 모습과 측정시스템과의 연결 모습을 나타낸다.

횡압측정은 침목간 중심에서 각 100mm 떨어진 위치의 레일 저부상면에서 내측에 스트레인 게이지를 부착하고 결선면 레일 종 방향 힘의 영향을 배제시켜 전단력으로 측정할 수 있다.

**2.3 변위**

열차가 주행하고 있는 레일과 침목의 변위를 측정함으로

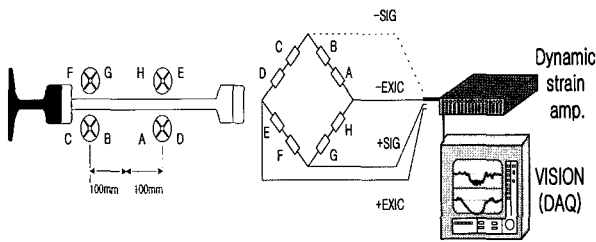


Fig. 3. Lateral Load Gauge and Measuring System

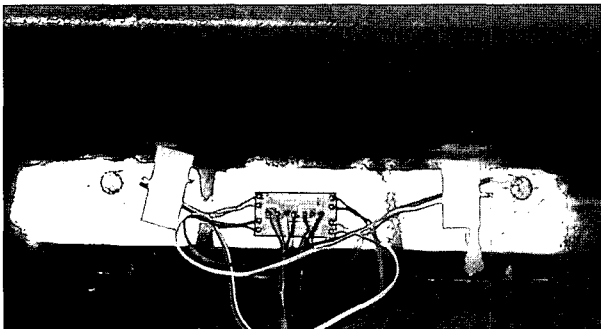


Fig. 4. Real Lateral Load Gauge Installation

써 동적 하중이 최고치일 때 그 영향을 평가할 수 있다. 레일과 침목의 처짐은 시험차량에서 최고 속도까지 다양한 속도에서 측정하였으며 스프링 계수를 확인하기 위해 레일과 침목 사이의 상대적 변형을 이용하였다.

Fig. 5는 레일 변위계, 침목 변위계, 레일 두부 횡 변위 측정 변위계 설치 모습을 나타낸 것이다.

Fig. 6은 변위계의 측정 시스템을 도시한 그림이다.

레일두부 횡변위 측정값을 이용하여 레일 탈팅으로 인한 궤도의 최대 궤간 폭을 알 수 있어 안쪽 레일과 바깥쪽 레일에 가해지는 힘이 레일의 수평 처짐에 가하는 충격량을 평가할 수 있으며, 또한, 곡선구간에서 발생 가능한 최대 캔트와 최대 캔트 부족량의 정도를 알 수 있다.

**3. 윤하중, 횡압 및 변위의 분석**

**3.1 계측 구간의 선정**

곡선구간 궤도구조의 거동특성과 성능을 파악하기 위하여 갈원교의 곡선(R=7,000)에서 계측을 실시하였다. 갈원교는 시점 127km273에서 종점 127km668에 이르는 전체 교장 395m의 곡선교량이며, 127km293 지점에서 계측을 실시하였다. 곡선구간에 대한 계측환경을 Table 2에 정리하였다. 곡선구간의 내외측 궤도의 윤하중, 횡압, 레일 수직변위, 레일 횡 변위를 같은 측정 개소에서 동시에 측정하였다.

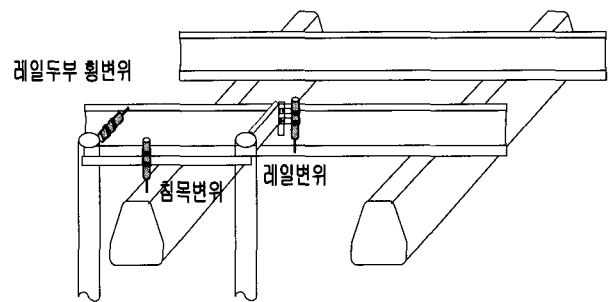


Fig. 5. Displacement Installation

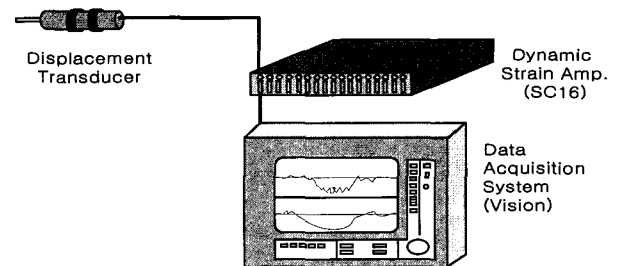


Fig. 6. Displacement Measuring System

Table 2. Measuring Condition for Curve section

측정 회수	장 소	계 측 항 목	열 차 번호	측정 시 온도
1	갈원교 127km 293 (하)	윤하중, 횡압, 레일 횡 변위	KTX-03	26.3℃
2		윤하중, 횡압, 레일 횡 변위 레일수직변위	KTX-02	29.4℃
3		윤하중, 횡압, 레일 횡 변위 레일수직변위	KTX-03	30℃
4		윤하중, 횡압, 레일 횡 변위 레일수직변위	KTX-02	30℃
5		윤하중, 횡압, 레일 횡 변위 레일수직변위	KTX-02	31℃
6		윤하중, 횡압, 레일 횡 변위, 레일수직변위, 체결장 치레일 횡 변위	KTX-02	25.4℃

3.2. 계측 결과 및 분석

곡선구간에서 궤도내측 레일의 윤하중과 궤도외측 윤하중의 상관관계를 파악하기 위하여 내외측 레일 모두에 윤하중 게이지를 부착하여 속도에 따른 영향과 곡선구간에서 윤하중의 발생 매커니즘을 분석하였다. 윤하중의 측정은 열차가 160km/h~300km/h로 주행하는 동안 수행하였다. 그 결과, 160km/h의 저속 주행 시는 내측 윤하중이 외측 윤하중보다 약 3ton정도 크게 발생하고 있는데, 이는 곡선구간에서 균형속도 이하로 주행하므로 캔트 초과구간과 같이 윤하중이 작용하고 있는 것으로 속도가 증가함에 따라 내측에서는 윤하중이 감소하고 있었으며 외측궤도에서는 윤하중이 증가하고 있었다. 300km/h의 속도에 이르러 내외측 레일의 윤하중이 균등하게 발생하였으며 직선구간을 주행하는 열차의 윤하중과 비슷한 값을 나타냈다. 곡선통과시의 차량에는 곡선반경, 캔트 및 속도에 의존한 원심력이 작용하여, 이에 의해 내외측 레일의 정상적인 하중증감이 생긴다. 주행속도가 균형속도 이하(캔트초과)인 경우에는 외측레일 윤하중이 정적 윤하중보다도 작아지고, 균형속도 이상(캔트부족)인 경우에는 반대로 커지게 된다. Fig. 7은 경부고속철도 곡선궤도의 곡선반경, 캔트, 구간, 등을 윤하중 추정식에 대입하여 얻은 값과 실제 궤도에서 계측한 실험값을 속도에 따라 비교한 그래프이다. 속도가 증가함에 따라 추정값과 실제 계측값 모두에서 궤도내측의 윤하중은 감소하고 외측에 작용하는 윤하중은 증가하는 경향을 보이고 있다. 추정값이 실제 계측값보다 대략 20% 정도 크게 발생하고 있는데, 이는 곡선구간의 내외측 레일에 대한 윤하중 추정식에서 속도증가에 따른

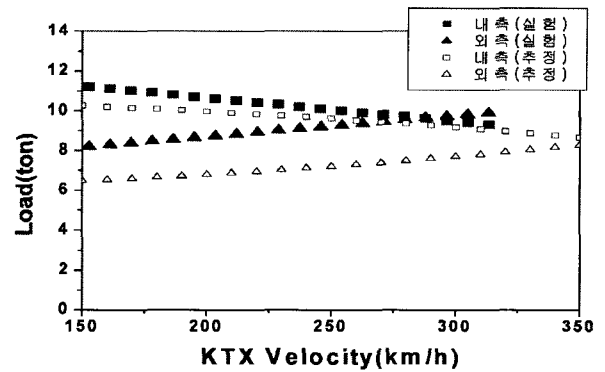


Fig. 7. Wheel Load Assumption value and Test Value

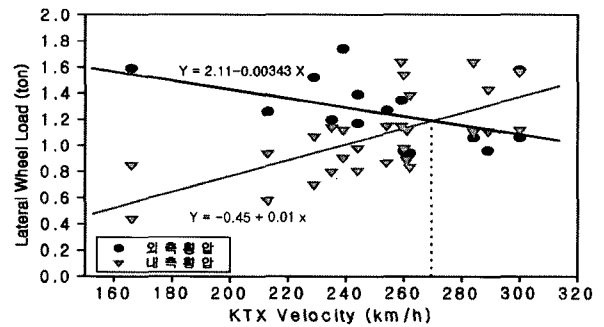


Fig. 8. Lateral Load Measuring Results in Curve

윤하중 증대경향이 고려되지 않은 탓으로 판단된다.

Fig. 8은 동력차에 의해 발생한 최대 횡압을 속도별로 도시한 그림이다.

곡선구간에서 궤도외측의 횡압은 속도에 따라 다르게 발생한다. 저속(캔트초과)에서는 횡압과 횡 변위가 한 방향으로 작용하다가 열차 속도가 증가함에 따라 양방향으로 작용하고 있다. 또한, 동력차와 객차에 의한 횡압도 다른 방향성을 가지고 횡압이 작용하고 있다.

궤도는 곡선구간에서 캔트를 가지고 있어, 횡 방향 변위의 방향성도 중요하며 횡압과 횡 변위는 상호적인 관계를 가지고 있다. 따라서, 횡 방향 변위 계측 값의 방향성을 다음과 같이 정의한다. 횡압은 게이지 부착의 여건 때문에 편의상 내측으로 하중을 받을 때를 양의 방향으로 한다. Fig. 9와 Fig. 10은 곡선 외측레일에서 동일한 열차하중에 의해 발생한 횡압과 횡 변위를 나타낸 그림이며, 하중이 동일한 방향으로 작용함을 알 수 있다.

열차주행 시 체결장치에 의한 횡 변위의 구속효과를 파악하기 위해 동일한 조건에서 체결장치 위의 레일두부에서 발생하는 횡 변위와 침목과 침목 사이의 레일중앙 두부에서 발생하는 횡 변위를 동시에 비교하였다.

Fig. 11과 같이 궤도 외측의 레일중앙에서 발생한 횡 변위와 체결장치 위 레일두부에서 발생한 횡 변위는 거의 차이가 발생하지 않았으며, 체결장치 위의 횡 변위는 0.22~0.48mm, 레일중앙에서는 0.32~0.51mm로 측정되었다.

레일의 횡 방향 변위는 레일중앙과 체결장치 위를 구분하여 측정하였다. 측정결과, 열차 주행 시 방향성을 무시한 횡

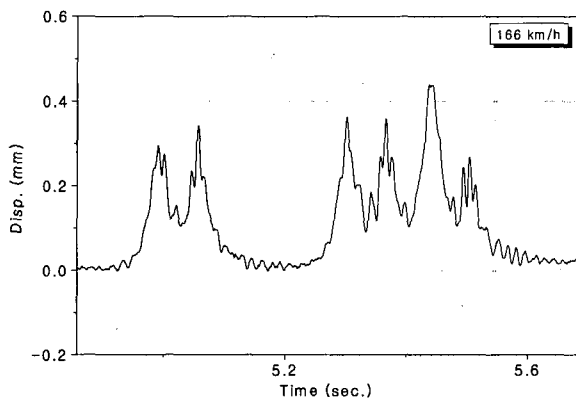


Fig. 9. Lateral Displacement Measuring Results in Curve

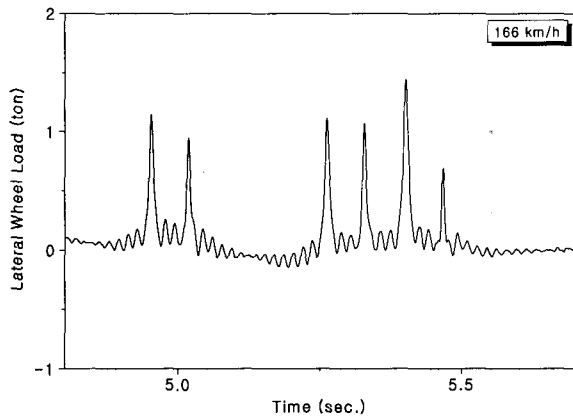


Fig. 10. Lateral Load Measuring Results

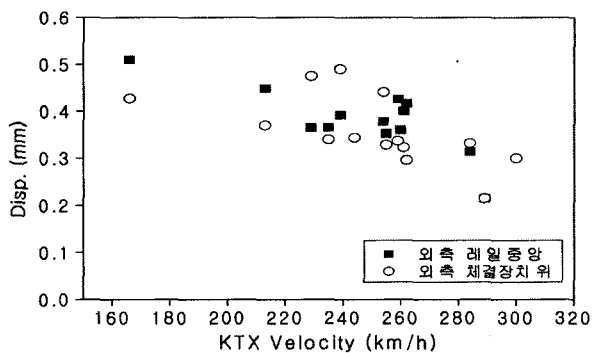


Fig. 11. Displacement of Rail and fastener by Velocity

변위의 절대량은 속도에 따라 감소하고 있다. 또한, 체결장치 위에서의 횡 변위와 레일중앙에서의 횡 변위는 거의 일치하며 속도에 따라 절대값이 감소하는 경향을 알 수 있다.

곡선구간의 내외측 궤도에서 레일의 수직변위를 측정하였다. Fig. 12는 속도에 따른 내외 레일의 수직변위를 동시에 측정하여 계측결과를 속도에 따라 도시한 결과이다. 운하중의 변화와 마찬가지로 속도가 증가함에 따라 외측레일의 수직변위는 증가하고 내측레일의 수직변위는 감소함을 보이고 있으며, 또한 약 300km/h에 이르러 양 궤도에서 동일한 변위가 발생됨을 알 수 있다. 그리고, 운하중이 크게 작용하는 곳에서 레일변위가 크게 측정되어 곡선구간의 내외측 레일의 운하중 증감 경향과 일치하여 발생하고 있다.

Fig. 13은 곡선구간에서 내외측 레일에 대한 침목변위의 측정결과이다. 속도증가에 따른 변위 변화는 레일변위 변화와 유사하다. 즉, 외측레일에서는 속도 증가에 따라 침목변위가 증가하고 있고, 내측의 침목변위는 속도에 비례하여 감소하고 있다. 침목의 수직변위는 레일 수직변위의 약 40~50%만이 발생하고 있다.

Fig. 14는 곡선구간의 내외측 레일에 대한 탈선계수 변화

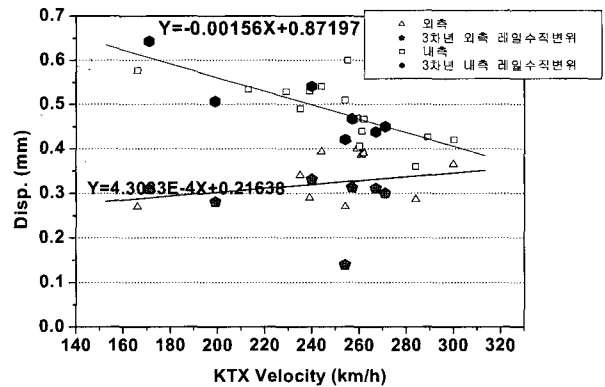


Fig. 12. Rail vertical displacement in Curve

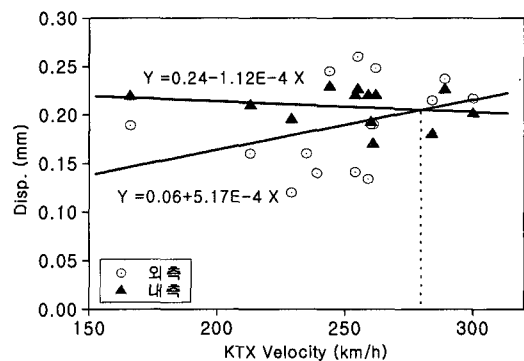


Fig. 13. Vertical displacement of sleepers in Curve

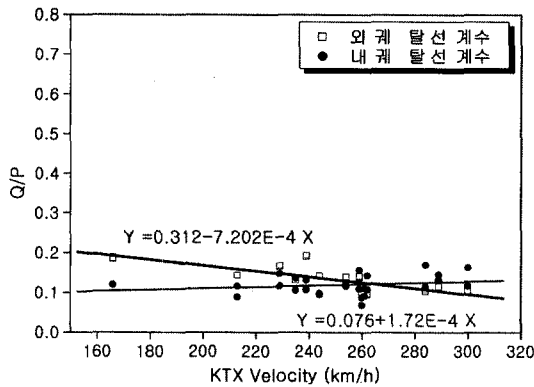


Fig. 14. Variation of Derail coefficient in Curve

를 속도별로 나타낸 그림이다. 곡선의 외측레일에서는 균형 캔트의 속도 이하로 주행할 경우에 탈선계수가 크게 나타나며 주행열차의 속도가 증가할수록 탈선계수의 수치는 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 경부고속철도 곡선구간의 설계기준 속도가 350km/h인데, 저속으로 주행하면 마치 캔트 초과 구간을 주행하는 것처럼 외측 궤도가 거동을 하기 때문인 것으로 판단된다. 곡선구간의 탈선계수는 최대 0.3을 넘지 않으므로 저속주행 및 고속주행시 탈선에 대해서는 매우 안전하다고 할 수 있다.

그리고, 내측레일에서도 거의 일정하나 선형회귀 분석에서는 미소하게 증가하는 것으로 분석되었다. 그러나, 캔트초과 상태라고 할 수 있는 저속주행이나 최고속도 주행에서도 임계 탈선계수(1.2)의 20% 정도만이 측정되어 탈선에 대해서는 매우 안전하다고 할 수 있다.

또한, 곡선구간에서 내측궤도와 외측궤도에서 운하중과 레일수직 변위를 동시에 측정하였을 뿐만 아니라, 횡압과 레일의 횡 변위도 동시에 측정하였다. 레일에 작용하는 운하중과 레일 수직변위의 비는 등가 레일 스프링 계수가 되며, 횡압과 횡 변위의 관계에서 횡방향의 레일 스프링계수를 추정할 수 있다. Table. 3은 곡선구간의 내외측 레일에서 측정한

Table. 3. comparison Measuring Data of Curve with straight section

구 분	선형회귀 분석상 균형속도	계 측 값	
		곡선구간	직선구간
운 하 중	300km/h	9.844ton	10.1ton
레일수직변위	316km/h	0.389mm	0.325mm
침목수직변위	279.3km/h	0.205mm	0.172mm
횡 압	270km/h	1.19ton	-
레일중앙 횡변위	300km/h	0.22mm	0.182mm

결과들을 분석하여 선형회귀 분석상의 균형속도와 그 때의 계측값과 직선구간에서 최고속도로 주행할 때의 계측값의 평균값을 비교한 표이다. 직선구간은 접속구간을 제외한 토공구간, 교량구간, 터널구간에서 290km/h~300km/h 속도로 주행할 때의 평균값이다.

운하중만 직선구간에서 0.26ton 정도 곡선구간보다 크게 측정되었으며, 레일수직변위는 곡선구간이 직선구간의 120%, 침목수직변위는 119%, 레일의 횡 변위는 121% 발생하고 있다. 곡선구간에서 300km/h로 주행할 경우 직선구간에서 300 km/h로 주행하는 때와 거의 일치하여 계측값이 측정되었으므로, 곡선구간의 캔트는 적절하게 설계된 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구는 경부고속철도 시험선구간에서 KTX 운행시 교량 위 곡선부의 궤도 성능을 검증하고 열차의 주행안전성을 검토하였다. 경부 고속철도 시험선 구간의 궤도성능을 검증하기 위하여 곡선구간에서의 레일 휨응력과 변위 등을 측정한 결과, 운하중의 측정값과 운하중 추정 값의 경향이 일치하고 있으며, 300km/h의 속도에 이르러 내외측 레일 운하중이 동일하게 발생하고 있었다.

또한, 레일압력, 침목변위, 운하중, 레일변위 등을 함께 측정하여 레일 스프링 계수, 침목 스프링계수 등을 동시에 평가한 궤도강성과 구조계수 비를 산정하여 고속철도 궤도의 정량적인 보수주기가 예측 가능할 것으로 판단된다.

그리고, 궤도실시설계 시에 검토한 탈선에 대한 열차주행 안전성의 검토에서 제시된 이론 치를 실제 현장 계측 치와 비교분석한 결과, 적절한 궤도구조설계가 적용된 것으로 판명되었다.

경부고속철도 시험선 구간의 궤도의 성능을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 운하중의 측정값과 해석적인 이론 추정 값의 증감 경향이 일치하고, 300km/h의 속도에 이르러 내외측 레일에 대한 운하중이 동일하게 발생하였다.
- (2) 레일의 중앙과 체결장치의 횡 변위를 비교한 결과, 체결 장치에 의한 횡 방향 구속 효과는 레일중앙과 동일하게 발생하였다.
- (3) 실측값으로 평가한 등가 레일 스프링 계수를 궤도설계 시 가정한 값과 비교한 결과, 궤도설계 시 매우 보수적(안전측)으로 가정하였음을 알 수 있었다.
- (4) 탈선에 대한 열차주행 안전성 검토에서 제시된 이론 치와 실제 현장 계측 치를 비교분석한 결과, 적절한 궤도

구조설계를 적용한 것으로 판단되었다.

### 후 기

이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

### 참 고 문 헌

1. 한국고속철도건설공단, “시운전시 궤도, 노반 시설물의 성능검증”, 2000~2003
2. 고속전철사업기획단, “고속철도 콘크리트구조물(RC 및 PSC) 설계표준시방서 해설(안)”, 1991.
3. 한국고속철도건설공단, “경부고속철도 제 5-2 공구 서울기점 (120km890~132km000) 노반 신설기타공사”, 1997.
4. 한국고속철도건설공단, “선로건설기준 및 건설규칙(안)”, 1998
5. 한국철도기술연구원, “고속철도 선로구축물 계측시스템구축에 관한 연구”, 1998
6. 한국철도기술연구원, “경부고속철도 시험선구간의 선로구축물 자동화계측 방안에 관한 연구 보고서”, 1999.
7. 한국철도기술연구원의, “선로구축물 시스템 엔지니어링 기술개발 (1단계 보고서)”, 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부, 1999
8. 이동호, “고속철도 곡선부 궤도주행 안전성에 관한 연구”, 동국대학교 산업기술 환경 대학원, 2003.
9. 서사범, 「선로공학」, 삶과 꿈, 1999.
10. 한국고속철도건설공단, 「고속철도핸드북」, 1993
11. 이기승, 강기동 “97 지하철 궤도시설 유지관리 세미나 주제발표 자료집”, 서울시지하철공사, 1997
12. 엄주환, 유영화, 엄기영 “기존선 궤도의 충격계수 산정에 관한 연구”, 한국철도기술연구원, 2003
13. 서사범, 「최신철도선로 (Modern Railway Track)」, 도서출판BG 북갤러리, 2003.