

# 곡선부 곡률반경 추정을 위한 실험적 연구 Experimental Study on the Curvature Estimation of the Railway Curve Section

\*#허현무<sup>1</sup>, 박준혁<sup>1</sup>, 김형진<sup>1</sup>

\*#H. M. Hur(hmhur@krri.re.kr)<sup>1</sup>, J.H.Park<sup>1</sup>, H.J.Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : Curve, Curvature, Estimation

## 1. 서론

철도에 있어 곡선구간은 주행속도를 저하시키고 한편으로는 차륜플랜지와 레일케이시코너부의 접촉으로 차륜의 횡압을 증대시켜 차륜과 레일의 마모를 초래하고 소음을 발생시키는 구간이다. 직선구간에서 차량 성능과 관련된 인자가 주로 최고 속도 주행 시의 사행동 안정성이라 한다면, 곡선구간에서는 주로 곡선통과 속도의 향상, 탈선 예방, 그리고 유지보수와 관련된 연구가 중요하다고 할 수 있다.

따라서 곡선구간 주행 시 통과속도를 향상시키기 위한 틸팅열차나 차륜과 궤도의 마모, 소음을 저감시키기 위한 조향대차와 같은 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 능동형 액추에이터를 적용하여 차량의 성능을 향상시키기 위한 능동형 차량 개발 분야에서는 능동제어를 시작하기 위한 시종점 구간인 곡선구간에 대한 식별이 매우 중요하다. 이를 위하여 곡선 진출입 부근에 위치인식 센서를 적용하여 곡선을 인식하는 방법이 적용되기도 하고 자이로센서를 이용한 스마트센서가 활용되고 있다. 그러나 이들 센서는 센서 활용에 있어 모두 장단점을 갖고 있는 게 사실이다.

본 논문에서는 이러한 기존 곡선구간 검지방법의 문제점을 극복하고 곡선부 곡률반경을 효율적으로 추정할 수 있는 방법을 제안하였고 실선로 주행시험을 통한 실험적 검증연구를 수행하였다.

## 2. 곡률반경 추정방법

곡선부 주행 시 곡률정보를 실시간으로 획득하기 위한 곡률반경 추정(estimate)방법을 제안하였다.

본 곡률반경 추정방법은 Fig.1과 같이 철도차량

이 곡선구간 주행 시 발생하는 차체/대차간 상대각 및 길이방향 변위 측정을 통하여 곡률반경을 추정하며 다음과 같다.

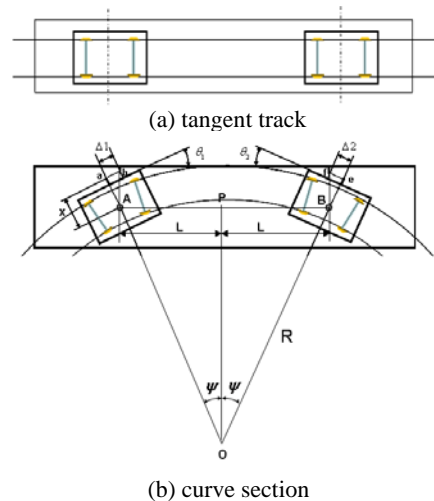


Fig.1 Relative displacement and angle between body and bogie

Fig.1의 (a)와 같이 직선구간 주행 시에는 차체와 대차간에 상대각( $\theta_1, \theta_2$ )이나 길이방향 상대변위( $\Delta_1, \Delta_2$ )가 발생하지 않는다. 그러나 Fig.1(b)와 같이 곡선구간을 주행할 경우에는 상대각과 상대변위가 발생하게 된다. 철도차량의 동적 특성에 따라 전, 후부의 상대각이나 상대변위가 동일하게 발생하지는 않는다. 그러나 대차가 곡선중심으로 수직으로 위치하는 Radial steering 조건을 충족하면 전, 후부의 상대각과 상대변위는 동일하게 된다. 대차가 Radial steering조건에 있다고 가정하고 그림 5.18(b)의 기하학적 관계를 이용하여 곡률반경을 추정하면 다음과 같다.

삼각형 OPA와 삼각형Aab는 합동이며 삼각형 OPB와 삼각형Bef도 합동이므로 다음 식이 성립된다.

$$\theta_1 = \Delta_1/x, \theta_2 = \Delta_2/x, \Delta = \Delta_1 + \Delta_2, \psi = L/R$$

$$2\psi = \theta_1 + \theta_2$$

$$= \Delta_1/x + \Delta_2/x = \Delta_1 + \Delta_2/x$$

$$= \Delta/x = 2L/R$$

따라서 곡률반경 R은 다음과 같다.

$$\therefore R = 2Lx/\Delta$$

여기서,

- $\Delta_1, \Delta_2$  : 차체/대차간 길이방향 상대변위(mm)
- $\theta_1, \theta_2$  : 차체와 전후부 대차간 상대각(rad)
- x :  $\Delta_1, \Delta_2$  측정을 위한 대차 취부 센서와 대차중심과의 거리(mm)
- L : 대차 중심간 거리의 반(m)
- R : 곡률반경(m)
- $\psi$  : 차체/대차간 선회각(rad)

### 3. 실차시험

제한한 곡률추정방법의 타당성을 검증하기 위하여 기존선 구간을 대상으로 하여 실차시험을 수행하였다.

시험선로는 곡선빈도가 높은 충북선(오송~봉양)구간으로 하였으며 시험차량은 한국형틸팅열차시제차량을 대상으로 하였다. 차체/대차간 상대변위 계측을 위하여 차체와 대차와 길이방향으로 구속되어있는 볼스터 사이의 간격을 레이저변위 센서를 이용하여 측정하였다. Fig. 2는 상대변위 계측센서와 Data acquisition system을 나타낸다.



Fig. 2 Sensor and DAQ system

Fig. 3은 실차시험결과로서 R400곡선 구간의 곡률(curvature, 1/km)을 나타낸다. 곡률반경 추정값의 타당성을 검증하기 위하여 궤도검측차량에서 검측한 곡률값과 비교하였다. 궤도검측차량에서 검측한 결과와 매우 잘 부합하는 곡률반경 추정값을 나타내고 있다. 또한 Fig. 4는 충북선 전구간에

대한 곡률반경 추정결과를 나타낸다. 선형개량으로 궤도검측데이터가 확보되지 않은 일부 구간을 제외하고는 궤도검측데이터와 거의 근사한 결과를 보이고 있다.

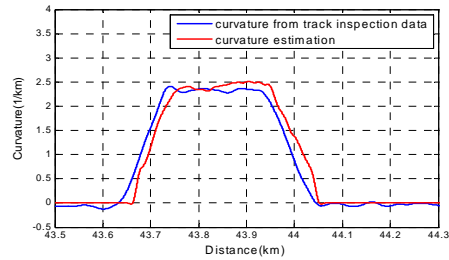


Fig. 3 Curvature estimation result(R400)

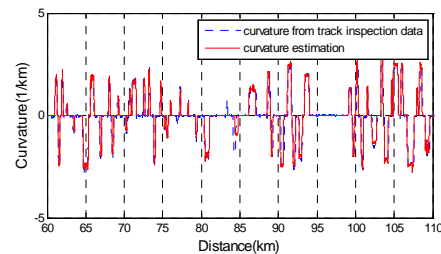
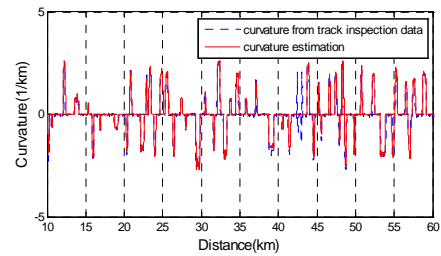


Fig. 4 Curvature estimation result(Chungbuk line)

### 4. 결론

곡선구간의 곡률반경을 실시간으로 추정할 수 있는 방법을 제안하였고 실차시험을 통하여 제한한 추정방법의 타당성을 확인하였다.

본 곡선구간 곡률반경 추정방법은 향후 곡선부 주행성능 향상을 위한 능동형 철도차량 개발 분야에서 곡선부 인식을 위한 요소기술로 효율적으로 활용될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 허현무 외, "능동/반능동 조향기술 기초연구," 한국철도기술연구원, 2009.