

실용적 능동조향제어 전략 적용 조향성능 해석 Steering Performance Analysis on Practical Active Steering Control Strategy

*#허현무¹, 유원희¹, 김민수¹, 김남포¹

*#H. M. Hur(hmhur@krii.re.kr)¹, W.H.You¹, M.S.Kim¹, N.P.Kim¹

¹한국철도기술연구원 주행추진연구실

Key words : Active steering control, Control Strategy, Lateral force

1. 서론

철도차량은 자동차와 달리 레일이라는 정해진 선로를 윤축의 구름운동에 의하여 주행함으로 조향(steering)장치가 없다. 따라서 곡선구간 주행 시에는 레일의 종방향과 윤축 진행방향 간에 공격각(attack angle)이 발생하고 곡선구간 주행 시 저항력으로 작용한다. 이는 차륜과 레일의 마모, 소음 발생의 원인이 되어 유지보수 및 민원 측면에서 주요 현안이 되고 있다.

따라서 이와 같은 조향기능 부재로 인한 문제점들을 개선시키기 위하여 윤축을 강제적으로 조향시키기 위한 능동조향제어 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 능동조향제어 전략으로 윤축을 직접적, 혹은 간접적으로 조향하는 방법 등이 제안되고 있다.

그러나 능동조향제어 전략을 구현함에 있어서 윤축의 횡변위나, 공격각 등의 인자를 실시간으로 계측하여야 하는 데 현재까지는 센서기술의 미흡으로 실용화되고 있지 않다. 따라서 실차에 적용하기 위해서는 조향제어성능은 다소 저하되지만 구현 가능한 간접적인 능동조향제어 전략이 선호되고 있다.

본 논문에서는 실용적 관점에서 철도차량에 적용이 용이하고 구현 가능한 실용적 능동조향제어 전략을 제시하고 조향제어 성능에 대하여 분석하고자 한다.

2. 실용적 능동조향제어 전략

본 논문에서 제안한 능동조향제어 전략은 윤축의 횡변위나 공격각과 같은 인자를 필요로 하지 않고 곡선구간의 곡률을 실시간으로 추정(estimate)하여 그 곡률반경에 적합하게 전후 윤축

간 상대 조향각을 구현하여 회전중심을 곡률반경의 중심으로 지향하게 하는 방식이다. 능동조향제어 전략에 대한 흐름도는 Fig. 1과 같다.

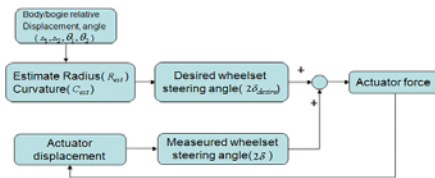


Fig.1 Practical active steering control strategy

여기서, 윤축의 조향각을 구동하는 조향 메커니즘은 두 윤축간의 상대각(2δ)을 액추에이터를 이용하여 효율적으로 제어할 수 있는 조향 메커니즘이면 가능하다.

곡률반경 추정은 Fig. 2와 같다. 곡선구간을 주행할 경우에는 차체와 대차간에는 상대각(θ₁, θ₂)과 상대변위(Δ₁, Δ₂)가 발생하게 된다. 기하학적 관계를 이용하여 곡률반경을 추정하면 다음과 같다. 삼각형 OPA와 삼각형 Aab는 합동이며 삼각형 OPB와 삼각형 Bef도 합동인 관계를 이용하여 곡률반경(R_{est})을 추정할 수 있다. 그리고 전부, 후부 대차중심이 곡률반경 상에 위치하고 있다고 가정하면 다음식이 성립한다.

$$R_{est} = 2Lx / \Delta, \quad 2\psi = 2L / R_{est}$$

여기서, L : 대차중심간거리의 반(m)

x : 상대각, 상대변위 측정을 위한 센서와 대차중심과의 거리(mm)

Δ : Δ₁ + Δ₂(mm)

그리고 대차 내 두 윤축이 곡률반경 R인 곡선에 대하여 원활히 조향시키기 위한 윤축 조향각 목표치(2δ)는 다음 식을 충족하여야 한다.

$$2\delta_{desire} = 2d / R_{est}$$

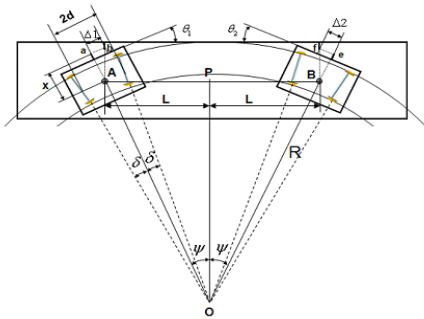


Fig.2 Principle of curve radius estimation

3. 조향성능 해석

제안한 능동조향제어전략의 타당성을 분석하기 위하여 다물체동역학 S/W를 활용한 R300인 곡선구간 주행 시 조향성능을 해석하였다. Fig. 3은 차량 및 궤도 모델을 나타낸다.

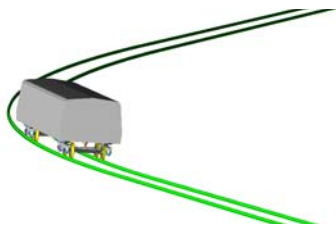
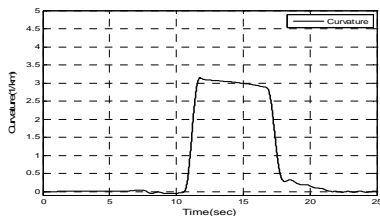
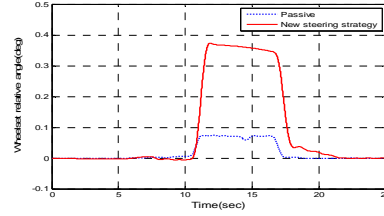


Fig.3 Curve running simulation

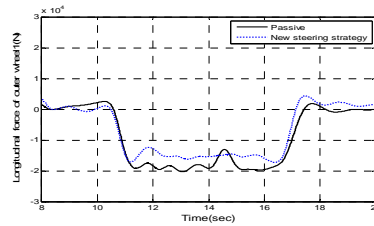
Fig. 4는 해석결과를 나타낸다. (a)는 R300곡선의 곡률(curvature, 1/km)을 추정한 결과로 이론값인 3.3에 근사한 값을 보이고 있다. (b)는 두 윤축간의 상대조향각을 나타낸 결과로 조향장치가 적용 안된 수동시스템에 비하여 조향각이 크게 증가하여 원활한 곡선 적응을 도모하고 있고 목표조향각 0.4°에 근사한 곡선 추종을 하고 있음을 보이고 있다. (c)와 (d)는 각 각 전부 윤축의 종방향, 횡방향 작용력을 나타내고 있다. 수동시스템에 비하여 작용력이 저하함을 알 수 있다.



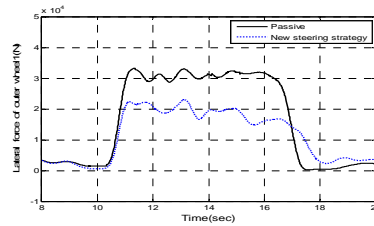
(a) curvature estimation



(b) wheelset steering angle



(c) wheelset longitudinal force



(d) wheelset lateral force

Fig.4 Analysis results of the steering control

4. 결론

실용적 관점에서 철도차량에 적용이 용이하고 구현 가능한 실용적 능동조향제어 전략을 제시하였고 조향제어성능을 해석하였다.

기존 능동제어전략의 문제점을 극복하고 실차 구현이 가능하도록 제안한 새로운 능동조향제어 전략은 곡선주행해석 결과, 제어전략의 타당성을 보여주었다고 할 수 있으며 실용적 측면에서 능동조향제어기술 실차 적용에 효용성이 클 것으로 기대한다.

참고문헌

1. 허현무 외, "능동/반능동 조향기술 기초연구," 한국철도기술연구원, 2009.
2. T.X. Mei, R.M.Goodall, "Recent Development in Active Steering of Railway Vehicles", *Vehicle System Dynamics*, Vol. 39, 415~436, 2003