축소 조향대차의 장애물 검지시스템 구축

김민수, 허현무
한국철도기술연구원

Construction of the Obstacle Detection Systems for a Scaled Steering Bogie

Minl-Soo Kim, Hyun-Moo Hur
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 본 논문에서는 철도차량의 능동조향시스템 연구를 위한 축소 조향대차의 장애물 검지시스템 구축에 대여 연구하였다. 철도차량에서 능동조향이란 곡선부 주행 시 차륜/레일 접촉에 의한 승차감 저하 및 차륜/레일의 마모와 소음을 줄이고, 고속주행을 위한 조향성능 및 주행안정성을 확보하기 위한 휠셋의 제어기술이다. 따라서 논문에서는 조향제어전략 및 제어기법을 연구하기 위한 축소 차량모델(견인대차와 조향대차로 구성)의 개발과정으로서 자동운전을 위한 장애물 검지시스템에 대한 연구를 수행하였으며 주행실험을 통해 그 성능을 검증하였다.

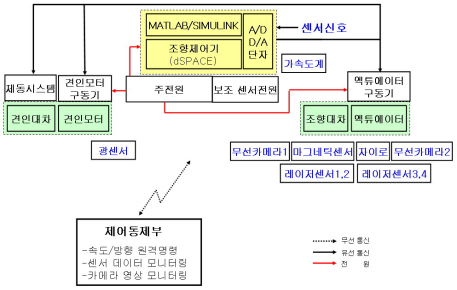
1. 서 론

도시철도시스템은 도심지역을 통과하기 때문에 곡선부 주행이 빈번하며, 특히 급곡선을 주행할 경우에는 조향 부족에 의해 차륜의 플랜지가 레일에 접촉하거나 차륜/레일의 크리프력에 의해 마모 및 스킬 소음이 발생된다. 이러한 현상은 승객의 승차감 저하 및 운영처의 유지보수 비용의 증대를 가져오게 된다. 일반적으로 기존 전동차는 차륜의 답면구배 형상에 의한 자기조향(Self-steering)에 의해 조향이 이루어지고 있다. 그 결과 곡선구간에서 심각한 소음의 발생과 차륜/레일의 과도한 마모가 유발되고 있다. 그러나 주행안정성과 조향성능은 서로 대비되는 설계특성 때문에 기구학적으로 이 두 조건을 동시에 만족시킬 수는 없다. 따라서 대부분의 철도시스템에서는 주행안정성을 중심으로 설계되어 조향성능은 떨어질 수밖에 없다.

해외에서는 이러한 조향성능을 향상시키기 위해 자기조향방식과 강제조향방식을 도입하고 있으나, 대부분의 자기조향방식은 그 효과가 일반대차에 비하여 높지 않고, 여러 링크와 조인트로 구성된 강제조향방식 또한 복잡성에 비해 부분적인 조향성능의 개선이라 할 수 있다. 강제조향대차는 차체와 대차간의 상대변위나 윤축과 대차간의 상대변위가 휠셋에 전달되어 조향을 보조하는 방법으로 대차사이의 상대변위나 윤축과 대차사이의 상대변위를 링크 등의 기구학적 구조를 통한 기계적인 방법으로 증폭하고 이 힘을 이용하여 휠셋의 조향을 보조하는 방법이다.

따라서 철도시스템의 고속화 및 친환경화라는 사회적 요구에 부응하고 기존 철도시스템이 갖는 기계적 한계를 극복하기 위하여 능동 제어기술의 적용을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[1]~[7]. 능동 조향대차는 강제 조향대차와는 달리 액추에이터를 통해 휠셋에 힘을 전달하여 휠셋의 조향을 도와주는 방법으로 별도의 제어기가 장착되어 곡선반경, 주행속도 등 다양한 환경에서 최적의 조향성능을 낼 수 있도록 고안된 조향대차시스템이다. 능동조향을 위해서는 좌우 차륜의 반경차를 이용하여 순수구름(Pure Rolling)이 발생하도록 횡방향 변위를 제어하거나, 전후 휠셋의 상대각을 제어하여 공격각(Angle of Attack)을 동일하게 함으로써 전후 휠셋에 횡압(Lateral Force)을 균등하게 분배하는 방법이 사용된다.

2절에서는 고속주행을 위한 조향성능 및 주행안정성을 확보하기 위해 설계된 조향제어시스템에 대해 살펴보고, 3절에서는 1/5로 축소모델로 제작된 차량 1량에 제안된 장애물 검지시스템을 탑재하여 검지능력을 분석하였다.



<그림 1> 조향대차 곡선주행 특성시험시스템 구성도

2. 조향제어시스템

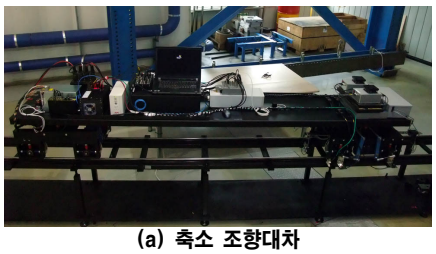
2.1 곡선주행 특성시험시스템

철도시스템의 휠셋이 곡선을 주행하게 되면 내측궤도와 외측궤도 사이로 정의되는 궤간의 반경차에 의하여 내측 차륜보다 외측 차륜의 접선 속도가 더 빨라야 순수구름을 도모할 수 있다. 그러나 기존 철도시스템의 휠셋은 고정 휠셋이기 때문에 내외측 차륜의 회전 속도는 같으므로 결국에는 외측 차륜의 반경이 내측 차륜의 반경보다 커야한다. 따라서 원활한 곡선주행을 하기위해서는 휠셋이 좌우방향으로 이동하여 차륜 답면구배에 의한 차륜의 회전 반경의 차이가 이루어져야 하며, 그 차이는 기하학적인 계산에 의하여 결정된다. 그림1에는 이러한 조향제어시스템 중에서 측정된 차륜-레일의 횡변위 정보를 토대로 차륜의 요모멘트를 제어하는 제어전략을 갖는 조향대차 곡선주행 특성시험시스템에 대한 구성도를 나타내었다. 조향대차 특성시험시스템은 제어통제부, 조향제어기부, 전원부, 견인모터부, 조향대차부, 그리고 각종 센서부로 구성된다.

<표1> 조향대차 곡선주행 특성시험시스템 구성도

모듈	수행내용
제어통제부	· 외부에서 속도, 방향 명령 · 조향제어기의 신호모니터링 · 무선카메라를 통한 차륜/레일 접촉 영상
조향제어기부	· 엑츄에이터로의 조향신호 발생 · A/D. D/A를 통한 신호 입출력 · Matlab/Simulink와 dSPACE를 이용한 제어기설계
엑츄에이터부	· 제어신호에 기초한 휠셋에 요모멘트 생성 · 에츄에이터 변위신호 출력
센서시스템부	· 레이저센서에 기초한 차륜/레일 상대변위 계측 시스템 · 가속도를 이용한 진동측정 · 조향대차의 요각 측정 · 마그네틱센서를 이용한 곡선부 감지
장애물검지부	· 거리측정센서를 이용한 장애물 검지 · 검지신호 분석을 통한 견인 모터의 방향제어

그림 2에는 축소 조향대차와 곡선부 시험선로를 나타내었다. 축소조향대차 및 시험선로는 1/5 스케일로 제작되었으며, 시험선로는 직선부(6.41m)-곡선부(14.30m)-직선부(9.41m)로 구성되어 있고 양단에 보호벽(장애물)이 설치된 총 30.11[m] 길이의 축소선로이다.



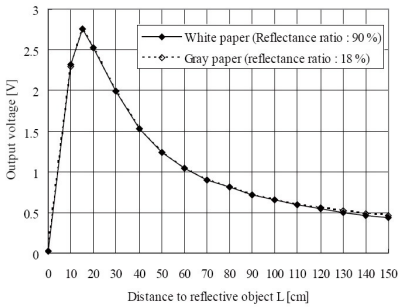
(a) 축소 조향대차

(b)곡선부 시험선로

<그림 2> 축소 조향대차 곡선주행 특성시험시스템

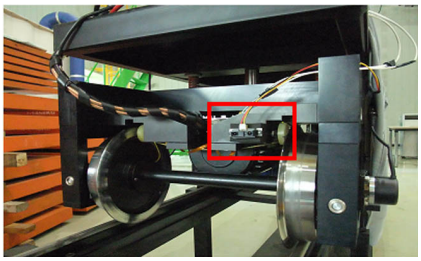
2.2 장애물 검지시스템

축소조향대차의 장애물 검지시스템에 사용된 센서는 샤프사의 거리측정센서(GP2Y0A02YK모델)로서 20cm~150cm의 측정거리에 따라 아나로그 전압출력을 생성해 준다. 센서의 입력전압은 4.5~5.5 [V]이고 거리에 따른 센서의 출력특성은 그림 3과 같다.



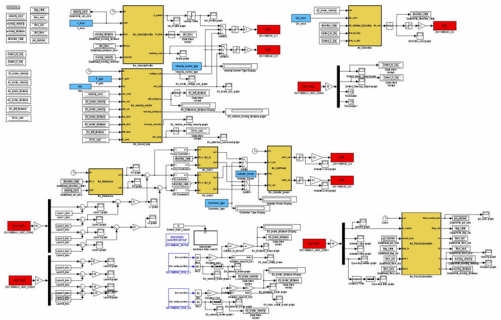
〈그림 3〉 거리측정 센서의 출력특성

그림 4에는 축소조향대차의 양단에 장착된 장애물 검지센서의 장착 위치 및 형태를 보여주고 있다.

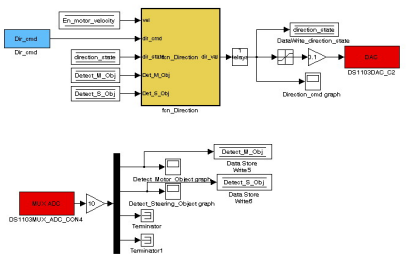


〈그림 4〉 장애물 검지용 거리측정센서

그림 5-(a)에는 모듈단위로 구성된 전체 조향제어시스템을 나타내었으며, 5-(b)에는 그 중에서 장애물 검지 및 차량의 방향제어를 위한 모듈이다. 각 모듈은 Matlab/Simulink에서 작성되어 컴파일되고 dSPACE 시스템으로 전송되어 빠른 제어기시스템 설계를 가능하게 해준다.



(a) 모듈단위의 조향제어시스템

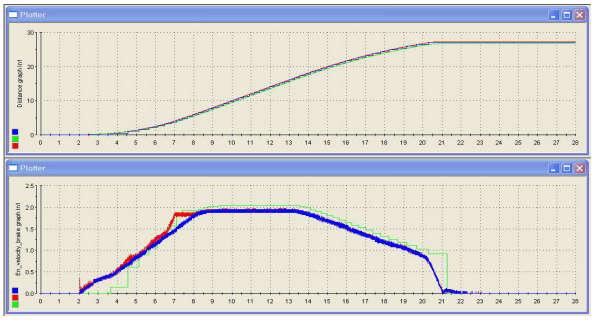


(b) 장애물 검지 및 방향제어 모듈

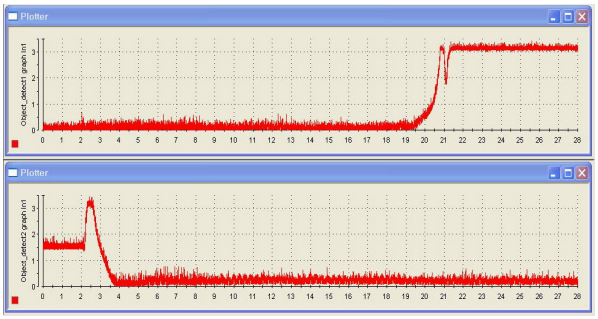
〈그림 5〉 모듈별 조향제어시스템

3. 실험 및 결과

곡선주행 특성시험은 차량이 2 [m/s]의 속도로 R=20인 곡선부 선로를 이동할 때, 곡선부 시험선로 양단에 설치된 장애물에 대한 거리센서의 장애물 감지특성을 검토하는 것으로 진행하였다. 그림 6에는 차축에 설치된 엔코더로부터 입력받은 신호를 dSPACE에서 수신 및 신호처리한 계측화면 중 차량의 이동거리(총 30.11[m]인 축소선로에서 차량의 길이(3.2[m])를 제외한 거리(26.91[m])) 및 차량의 이동속도(2[m/s])에 대한 정보를 각각 나타내었다.



〈그림 6〉 축소조향대차의 이동거리 및 차량 이동속도 곡선



〈그림 7〉 장애물 검지센서의 출력

그림7은 장애물 검지센서의 출력으로서 그림7의 상단화면은 진행방향의 전두부에 설치된 거리센서의 출력을, 그리고 그림7의 하단에는 후두부에 설치된 거리센서의 출력을 각각 보여주고 있다. 차량의 출발 시 전두부에는 장애물이 없기 때문에 0[V]가 출력되고, 도착 시(장애물 감지 시)에는 3[V]의 출력이 발생되는 것을 알 수 있다. 또한 후두부는 출발 시에만 장애물을 감지하고 있어 1.5[V]~3[V]를 출력하고 있는데, 이는 0[cm]에서 15[cm]까지는 출력이 증가하다 이후부터는 다시 감소하는 거리측정센서의 출력특성(그림 3) 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 1/5스케일로 제작된 축소 조향대차의 장애물 검지시스템 구축에 대해 연구하였다. 철도차량에서 능동조향 기술은 곡선부 주행 시 발생되는 승차감 저하, 차륜/레일의 마모 및 소음을 줄이고, 고속주행을 위한 조향성능 및 주행안정성을 확보하기 위한 제어기술이다. 조향제어전략 및 제어기법을 개발하기 위한 축소모델(견인대차와 조향대차로 구성)의 개발과정에서 거리센서를 이용한 장애물 검지시스템을 설계하여 실험을 통해 성능을 검증하였다. 이는 차량의 자동운행 시스템 설계에 반영되어 사용될 예정이다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Matsumoto, Y. Sato, " Multibody Dynamics Simulation and Experimental Evaluation for Active-Bogie-Steering Bogie ", Int'l Symposium on Speed-Up and Service Technology for Railway and Maglev Systems, 2006

[2] T.X. Mei, T.M. Goodall, " Recent Development in Active Steering of Railway Vehicles ", Vehicle System Dynamics, 2003

[3] Katsuya Tanifuji, " Active Steering of a Rail Vehicle with Two-Axle Bogies based on Wheelset Motion ", Vehicle System Dynamics, 2003

[4] John T pearson, Roger M Goodall, " An Active Stability System for a High Speed Railway Vehicle ", Electronic systems and control division research, 2003

[5] Yoshihiro Suda, Takefumi Miyamoto, " Active Controlled Rail Vehicles for Improved Curving Performance and Response to Track Irregularity ", Vehicle System Dynamics Supplement, 2001

[6] Min-Soo Kim, Yeun-Sub Byun, Hyun-Moo Hur, Design of Active Steering Controller of the Scaled Railway Vehicle, INTERNATIONAL JOURNAL OF CIRCUITS, SYSTEMS and SIGNAL PROCESSING, Vol.2 No.3, 2008.

[7] Min-Soo Kim, Joon-Hyuk Park, Won-Hee You, Construction of Active Steering System of the Scaled Railway Vehicle, INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT, Vol.2, No.4, 2008.