

## 주행안전성 평가를 위한 동특성 해석알고리즘 연구

정종덕\*(KRRI), 한석윤(KRRI), 천홍정(KRRI), 편장식(KRRI)

### A Study of Dynamic Characteristic Analysis Algorithm for Running Safety Assessment

J. D. Chung(KRRI), S. Y. Han(KRRI), H. J. Chun(KRRI), J. S. Pyun(KRRI)

#### ABSTRACT

It is very difficult to analyze the dynamic characteristic because railway vehicle is a very complex system which are connected various mass element with railway vehicle system. To realize and analyze actual phenomenon has restriction that usual commercial software calculates creep force under creep theory about wheel-rail contact mechanism as basic analyzing, and approach about contact point are based on two dimensional non-linear contact theory and simplified Hertzian contact which considers just displacement change on the YZ plain. Therefore, to solve these problems there should be a new approach difference with existing one. In this research, a new algorithm for finding wheel-rail contact position, calculation method of contact force and applied force will be presented.

**Key Words** : Running safety (주행안전성), Contact force (접촉력), Down grade (하구배), Railway Vehicle (철도차량)

#### 1. 서론

철도차량은 여러 질량요소들이 복잡하고 다양한 현수장치들과 연결된 단일 시스템으로 구성되어 있기 때문에 그 동특성을 해석하기가 대단히 어렵다. 이러한 동특성을 해석하기 위해 상용으로 개발된 VAMPIRE나 RecurDyn의 휠-레일의 접촉 메커니즘은 크립이론을 바탕으로 크립력을 계산하는데, 접촉점에 대한 접근방법에 있어서 YZ평면상에서의 변위값 변화만 고려하는 2차원적인 비선형 접촉이론과 Hertzian contact을 기초로 이를 단순화하여 사용하고 있기 때문에 실제적인 현상의 완벽한 구현은 어려운 실정이다. 또한 이중에서도 VAMPIRE의 경우는 자유도에 대한 제한 때문에 차량 전체에 대한 시뮬레이션 불가라는 약점을 가지고 있어 기존의 이론과는 다른 접근이 필요하게 되었다. 이러한 배경하에 수행된 본 연구는 기존의 알고리즘들이 휠의 y 방향 변위로만 접촉 위치를 찾는 것과는 다르게 실제적인 접촉 위치는 휠의 yaw값 변화에 의해서도 달라질 수 있다는 것에 착안한 것이다. 이를 위해 연속성을 가진 데이터로부터 정확한 접촉점으로 접근하는 방식을 취하였으며, 레일과 휠의 관계를 연속성을 갖는 선형식으로 구현하였고 이렇게 구성된 세 개의 선형식으로부터 접촉점을 구하는 일련의 과정을 제시하였다. 또한 휠에서의 접촉하중 및 작용력을 실제 휠에 작용하는 값들과 근사시키기 위해 선행하여 찾아낸 접촉점에 관한 정보를 가지고 휠과 레일 사이의 접촉력과 마찰력을 구한 다음 이를 이용하여 접촉하

중과 작용력을 계산하였다. 이러한 방법을 통해 지반에 대한 정보를 휠과 레일간의 접촉력 사이의 강성에 대한 파라미터 형태로 삽입이 가능하게 되었다. 여기에 부가하여 차량이 하구배를 주행시 발생하는 작용력과 주행저항을 산출하였다.

#### 2. 이론

##### 2.1 휠 레일 간 접촉 이론

$$d_{RW} = r_W - r_R \quad {}^R d_{RW} = A_R^T d_{RW} \quad (1)$$

$$A_{RW} = A_R^T A_W$$

$${}^R d_{RW} = A_R^T d_{RW} + A_R^T d_{RW} = -\tilde{w}' A_R^T d_{RW} + A_R^T v_{RW} \quad (2)$$

Fig. 1에서처럼 레일에서 바라본 휠의 자세와 휠의 상대속도는 위와 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $r_W$ 와  $r_R$ 은 휠의 중심과 레일 중심의 위치 벡터이고  $A_W$ 와  $A_R$ 은 각각 두 강체의 자세이다.

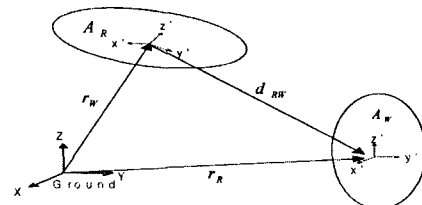


Fig. 1 Kinematics of two rigid bodies in the space

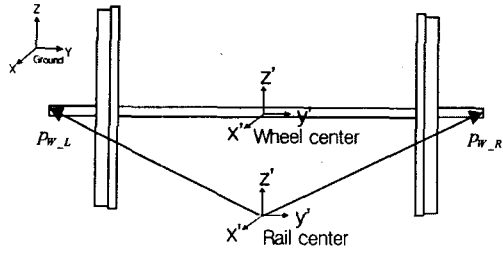


Fig. 2 Two point of wheel in rail coordinate

휠과 레일의 접촉점은 항상 휠의 중심을 지나는 선상에 존재하게 된다. 이것은 휠의 중심선 위에 있는 반경이 레일과 접촉할 경우 가장 큰 접촉 반경이 되기 때문이다. 따라서 2차원 평면상에서의 휠과 레일의 접촉점은 하나의 휠을 통과하는 선형식과 두개의 레일 선형식으로 부터 계산할 수 있다. 휠의 중심을 지나는 선분은 휠의 중심 좌표에서의 Y축 위에 존재하고, 휠의 Y축에서의 임의의 길이를 가지는 점을 정하여 이것을 벡터의 값으로 계산하게 되면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s'_{WN'L} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -l_0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad s'_{WN'L} = \begin{Bmatrix} 0 \\ -l_0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

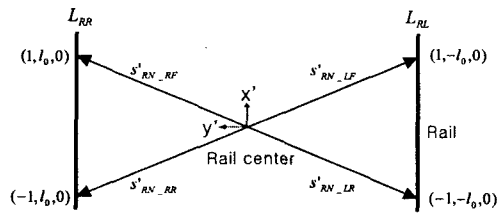


Fig. 3 Linear equation for rail

## 2.2 하구배 구현 및 구배 저항의 적용

식 (4)는 휠질량 중심에 작용하는 선형력과 그것이 만들어내는 토크를 ground 좌표계에서 벡터로 변환되는 것을 나타내고 있다.

$$f_c = A_c c_c f_c'' \quad (4)$$

차량이 주행 중에 하구배를 주행하게 될 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_c = f_c - f_{Re s}(x) \quad (5)$$

## 3. 적용사례

상기의 관련이론을 입증하기 위해서는 실제 차량으로 시험을 실시한 후 해석결과와 비교 평가하여야 하나 현재 완성되지 않은 차량에 대해서 본 연구에서는 하구배에서의 속도 감소 데이터를 적용한 KHST 고속철도차량의 동특성 해석과 시험결과를 비교하여 검증하고자 한다.

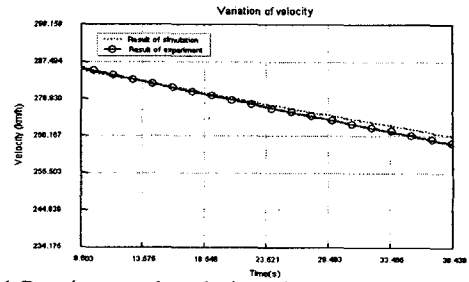


Fig. 4 Running speed analysis and test result of KHST in the down grade

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 해석결과와 시험결과가 상당히 잘 일치함을 볼 수 있다. 따라서 본 연구 결과로서 Fig. 5에 나타내었으며, 제시된 차량의 해석결과는 향후 시험수행 후 결과값과 근소한 차이를 보일 것으로 예측되어진다.

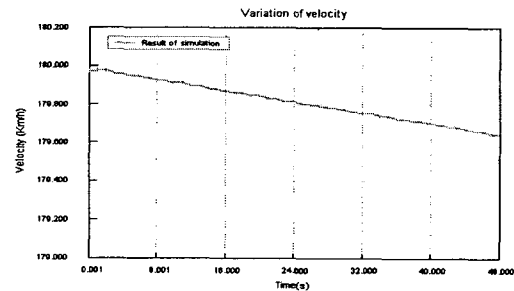


Fig. 5 Running speed analysis of railway vehicle in the down grade

## 4. 결론

이상의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존의 크립이론에 의해 제한적으로 구현하였던 휠-레일 간 메카니즘을 보다 현실성 있게 구현하였다.

(2) 본 연구에서 제시한 알고리즘에 의해 KHST 편성을 해석한 결과와 기존의 시험에서 얻어진 데이터는 상당히 잘 일치하였다.

(3) 향후 완성된 차량 편성에서 얻어진 시험데이터와의 비교평가가 필요하다.

## 참고문헌

1. 한국철도기술연구원, 2004, 기존선 속도향상을 위한 선로시스템 개선 기술개발,
2. V.K. Garg and R.V. Dukkipati, Dynamics of Railway Vehicle Systems, New York, Academic Press, 1984.
3. E.J. Haug, Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Vol. 1: Basic Methods, Allyn & Bacon, Inc. Needham Heights, MA, USA, 1989.