

인터모달 자동화물운송시스템을 위한 회전정렬형 대차의 개념설계 및 해석

안창선
부산대학교 기계공학부

Conceptual Design and Analysis of Rotation-Aligning Bogie Mechanism for Inter-modal Automated Freight Transport Systems

Changsun Ahn

School of Mechanical Engineering, Pusan National University

요약 본 논문은 도로와 철도를 포함하는 인터모달 자동화물운송시스템을 위한 화물열차 대차 구조를 소개하고, 레일에 대한 반력 해석 결과를 논한다. 새로운 운송시스템은 시간과 비용을 획기적으로 절약할 수 있는 회전 정렬형 철도차량 방식을 기반으로 한다. 개념 설계 단계에서 고려해야 하는 중요한 문제 중의 하나는 궤도 및 대차의 특징적인 형태에서 발생하는 레일에 가해지는 횡력이다. 특히 주행 궤도에서 플랫폼 구간으로 바뀌는 천이구간에서 큰 횡력이 발생하는데, 해석 결과를 바탕으로 향후 시스템 설계 시 참조할 수 있는 설계 가이드를 제공하고자 한다. 해석 결과, 제안하는 구조가 궤도 안정성 및 주행 안정성 면에서 문제가 없어 실제 시스템에 적용할 수 있는 구조이며, 주행 구간에서 플랫폼 구간으로 궤도가 변하는 곳에서 궤도의 선형을 설계할 시, 곡률 반경과 플랫폼 궤도 사이 거리가 중요한 변수임을 밝혀졌다.

Abstract This paper presents the conceptual design and reaction force analysis of a bogie structure for an inter-modal automated transportation system, including road and rail transportation. The proposed system was based on a train with rotation-aligning bogie mechanism that can save significant time and cost. One of the critical issues in conceptual design is the lateral forces applied to the rail caused by the characteristic shapes and structure of the rails and bogie. In particular, the lateral forces are significant in the transition section between the driving and platform sections. This paper provides design guidance for the transition section through reaction force analysis. Based on the analysis result, it was confirmed that the proposed concept can be a valid design candidate of a practical system, and the radius of the rail and the distance between rails are major factors for reaction force generation.

Keywords : Inter-modal Transportation, Rotation-aligning Bogie, Train, Multi-body Dynamics, Reaction Force

1. 서론

현재 국내 대도시권은 도시의 외연적 확장과 도로 중심의 교통물류체계로 인해 심각한 교통 혼잡이 야기되고 있으며, 미래에도 대도시권의 지속적인 인구 증가와 경제력 집중에 따른 유발수요가 증가할 것으로 전망된다 [1]. 또한, 협소한 국토구조 특성상 도로운송 위주의 화

물 운송체계가 정착하여 교통 혼잡으로 인한 물류비용의 증가, 도로 시설 유지보수 비용 증가, 내륙수송비 부담증가, 대기오염 및 소음, 도로파손, 대형교통사고 등 크고 작은 문제를 지속해서 일으키고 있다 [2]. 따라서 기후변화 대응 등 사회적 요구와 ‘지속 가능한 발전’이라는 패러다임에 능동적 대처하기 위해서는 지속 가능한 신 교통물류체계의 개발이 필요한 시점이다 [3].

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원(18TLRP-B134108-02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Changsun Ahn(Pusan National Univ.)

Tel: +82-51-510-2979 email: sunahn@pusan.ac.kr

Received February 8, 2019

Revised March 12, 2019

Accepted April 5, 2019

Published April 30, 2019

전 세계적으로도 운영비용과 온실가스를 획기적으로 절감할 수 있고, 정시성이나 안전성을 확보할 수 있는 새로운 개념의 친환경 무인자동화물 운송시스템 개발에 관한 관심과 투자는 꾸준히 늘고 있으며, 아직 상용화된 사례가 없으나 조만간 상용화를 눈앞에 두고 있다[4, 5]. 미국, 독일, 네덜란드, 일본 등 선진 외국에서는 대량, 소량 화물의 운송경로를 최적화한 자동운송시스템, 물류거점 간 화물 자동운송시스템 기술, 튜브형 지하화물 운송시스템 기술 등 다양한 형태로 무인 운송을 친환경적으로 실현하기 위해 노력 중이다 [6, 7].

우리나라에서도 물류비용 및 서비스를 좌우하는 수송비용과 물류 인프라 초기투자비용을 최소화하면서 교통혼잡, 온실가스 배출 등 사회·환경 비용을 절감하기 위한 단절 없는(seamless) 인터모달 자동화물운송 시스템 기술개발이 필요한 실정이다 [2].

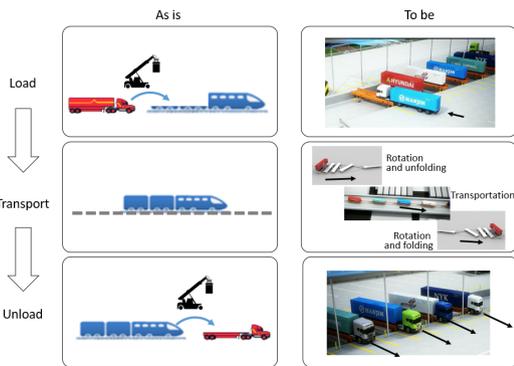


Fig. 1. Concept of seamless inter-modal freight transport system

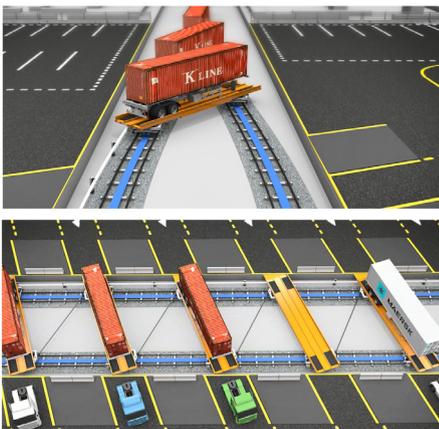


Fig. 2. Conceptual operation of rotation-aligning bogie mechanism

이를 위하여 하역작업을 획기적으로 단순화하고 인프라를 경량화할 수 있는 Fig. 1과 같은 새로운 형태의 무인자동 인터모달 화물운송시스템 기술개발이 필요하다 [3]. 특히 상·하역 구간에서 절차와 비용을 획기적으로 단순화할 수 있는 방식은 운송 차량이 직접 화물운송시스템에 접근할 수 있는 구조가 필요하다. 도로 화물차량이 화물차량에 직접 이를 위하여 Fig. 2와 같이 차량이 플랫폼 구간에서 회전하여 정렬하는 구조가 적절하다. 현재의 상·하차방식은 육상 운송수단과 화차사이의 화물을 크레인을 이용하여 옮기는 방식이다. 하지만 제안하는 방식의 구조는 플랫폼에서 화차가 플랫폼과 거의 수직으로 정차할 수 있어 도로교통 수단이 화차 위로 접근할 수 있어서, 직접 화물을 상차하거나 하역할 수 있다.

본 논문에서는 이와 같은 기능을 하는 대차구조의 개념설계안과 플랫폼에 진입하는 구간인 천이 구간에서의 궤도구조를 소개하고, 구조적인 특징에서 오는 안정성 문제에 대하여 논의하도록 하겠다. 이를 위하여 대차의 개념설계를 바탕으로 동적 모델을 수립하고 수치적 해석을 수행하여 천이 구간에서의 궤도 선형 설계 및 대차의 설계 시 참고할 수 있는 수치적 해석 결과 및 설계 참고사항을 제공하고자 한다.

2. 회전정렬형 대차 시스템

회전정렬형 운송대차 시스템은 일반궤도에서 플랫폼의 궤도로 연결되는 천이구간을 지나며 회전정렬이 가능하도록 적용된 메커니즘으로 이루어진다. 전체적으로는 Fig. 3과 같이 아코디언 방식으로 접힐 수 있는 구조이며 주행 구간에서 일반 기차처럼 주행하나, 플랫폼 구간에서는 접혀서 차량 간 간격이 좁아지고 플랫폼과 수직에 가깝게 정렬되어 육상 운송수단이 철도 차량 위에 직접 접근이 가능하다.

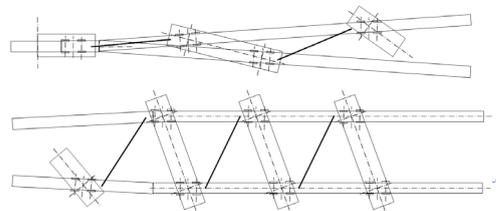


Fig. 3. Conceptual operation of automated inter-modal freight transport system

2.1 회전정렬 대차

회전정렬을 가능케 하기 위한 대차는 Fig. 4와 같이 차량과는 회전형 조인트로 연결되며 한쪽에는 안내 궤도에 접촉하는 안내 바퀴가 설치되어 있다. 대차는 차량의 전후방에 설치되며 플랫폼 구간에서 전방 대차와 후방 대차가 다른 궤도를 주행하도록 천이구간에서 분기된다. 각 차량의 단부에는 회전정렬 연결용 호이스트가 설치된다. 연결용 호이스트는 차량에 핀으로 연결되어 있으며 1편성 차량 대수를 조절하는 경우 핀 결합을 해제 또는 체결하는 방식을 이용한다. 따라서 다차량 1편성 또는 단일 차량 1편성 등의 다양한 운영이 가능하다. 추진 및 제동장치는 모두 대차에 모듈식으로 설치되어 대차가 위의 화차가 회전하더라도 간섭을 받지 않도록 하였다.

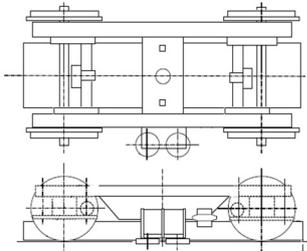


Fig. 4. Rotation-aligning bogie

2.2 궤도

회전정렬형 운송대차 시스템을 위한 궤도는 주행구간에는 일반 철도 궤도와 동일하나 플랫폼에서는 전방대차용 궤도와 후방대차용 궤도 두 개로 분기하여 Y자형 형태를 갖는다. Fig. 5와 같이 분기를 위하여 전방 대차용 안내 궤도는 오른쪽에, 후방 대차용 안내 궤도는 왼쪽에 설치된다. 이 궤도를 따라서 전방 대차는 오른쪽 궤도로 후방 대차는 왼쪽 궤도를 따라서 주행하게 되고 각 대차에 베어링으로 연결된 화차는 회전하면서 플랫폼으로 진입하게 된다.

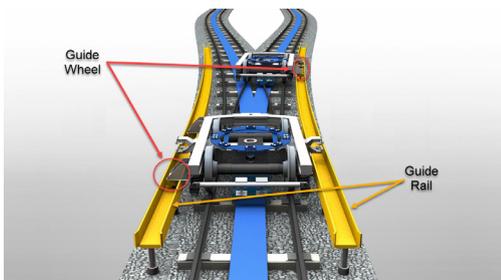


Fig. 5. Rail shape in transition section

3. 동역학적 반력 해석

제안하는 회전정렬형 대차시스템의 반력해석을 위해 서 Fig. 6와 같은 3량 1편성 차량을 고려하였다. 각 차량은 두 개의 대차와 한 개의 차체로 연결된 링크 구조물로 가정하였다. 각 구성품은 모두 강체로 가정하였다. 반력해석에 필요한 궤도는 Fig. 7과 같이 약 200m 정도의 주행 궤도와 약 80m 정도의 천이 구간, 그리고 약 100m 정도의 플랫폼 구간의 궤도로 구성되어 있다. 단, Fig. 7은 해석용 궤도의 천이 구간만을 확대하여 보여준다.

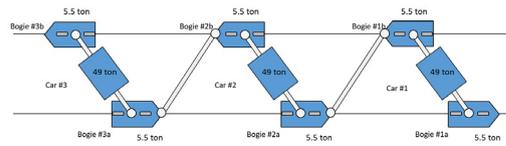


Fig. 6. Configuration of simplified 3-car train

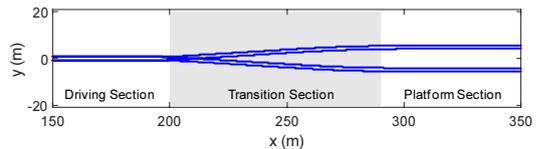


Fig. 7. Rail model for transition section

3.1 모델링

3량 1편성 차량은 Fig. 6와 같이 총 11개의 강체로 이루어진 링크구조이다. 각 강체의 운동은 동역학적 관계식과 기구학적 관계식으로 정의되며 그 식들은 아래와 같다. 호이스트가 연결되지 않은 최 선행 대차 ($k\alpha=1a$) 및 최 후행 대차 ($k\alpha=3b$)의 경우의 운동 방정식은 아래와 같다.

$$-\dot{x}_{k\alpha} + v_{xk\alpha} = 0 \tag{1}$$

$$-\dot{y}_{k\alpha} + v_{yk\alpha} = 0 \tag{2}$$

$$-\dot{\theta}_{k\alpha} + \omega_{k\alpha} = 0 \tag{3}$$

$$-m\dot{v}_{xk\alpha} + f_{xk\alpha-t} + T_{k\alpha} \cos(\theta_{k\alpha}) - (R_{k\alpha-1} + R_{k\alpha-2}) \sin(\theta_{k\alpha}) = 0 \tag{4}$$

$$-m\dot{v}_{yk\alpha} + f_{yk\alpha-t} + T_{k\alpha} \sin(\theta_{k\alpha}) + (R_{k\alpha-1} + R_{k\alpha-2}) \cos(\theta_{k\alpha}) = 0 \tag{5}$$

$$-I_{bogie} \dot{\omega}_{k\alpha} + R_{k\alpha-1} c - R_{k\alpha-2} c = 0 \tag{6}$$

$$y_{k\alpha} - rail_{\alpha}(x_{k\alpha}) = 0 \quad (7)$$

$$\theta_{k\alpha} - rail_{\alpha} \angle_{\alpha}(x_{k\alpha}) = 0 \quad (8)$$

여기에서 k 는 차량 번호로 1, 2, 3의 값을 가질 수 있고 α 는 전방 대차의 경우는 a, 후방 대차의 경우는 b의 값을 갖는다. x 와 y 는 각각 대차의 x 와 y 방향 위치를 v_x , v_y 는 각각 대차의 x 와 y 방향 속도를 나타낸다. θ 는 대차의 각도를 ω 는 각속도를 나타내며, f 는 연결 지점에서의 반력을 T 는 대차에서 발생하는 구동력 또는 제동력을 의미한다. R 은 궤도와 대차 간 횡 방향 반력이다. $rail(\)$ 함수는 주어진 x 위치에서 궤도의 y 위치를, $rail_angle(\)$ 함수는 주어진 x 위치에서 궤도의 각도를 의미한다. I 는 회전관성모멘트를 m 은 질량을 의미한다. 식 (1)~(6)은 속도와 위치간의 관계 및 뉴턴의 법칙에 의한 운동방정식이며, 식 (7)과 (8)은 대차가 주어진 궤도 위를 주행하기 위한 기구학적 거리 및 각도 관계식이다. 링크가 연결된 대차 ($k\alpha=1b, 2a, 2b, 3a$)의 경우의 운동 방정식은 아래와 같다.

$$-\dot{x}_{k\alpha} + v_{xk\alpha} = 0 \quad (9)$$

$$-\dot{y}_{k\alpha} + v_{yk\alpha} = 0 \quad (10)$$

$$-\dot{\theta}_{k\alpha} + \omega_{k\alpha} = 0 \quad (11)$$

$$-m\dot{v}_{xk\alpha} + f_{xk\alpha-t} + f_{xk\alpha-l} + T_{k\alpha}\cos(\theta_{k\alpha}) - (R_{k\alpha-1} + R_{k\alpha-2})\sin(\theta_{k\alpha}) = 0 \quad (12)$$

$$-m\dot{v}_{yk\alpha} + f_{yk\alpha-t} + f_{yk\alpha-l} + T_{k\alpha}\sin(\theta_{k\alpha}) + (R_{k\alpha-1} + R_{k\alpha-2})\cos(\theta_{k\alpha}) = 0 \quad (13)$$

$$-I_{bogie}\dot{\omega}_{k\alpha} + R_{k\alpha-1}c - R_{k\alpha-2}c + f_{xk\alpha-l}d_{\alpha}\sin(\theta_{k\alpha}) + f_{yk\alpha-l}d_{\alpha}\cos(\theta_{k\alpha}) = 0 \quad (14)$$

$$y_{k\alpha} - rail_{\alpha}(x_{k\alpha}) = 0 \quad (15)$$

$$\theta_{k\alpha} - rail_{\alpha} \angle_{\alpha}(x_{k\alpha}) = 0 \quad (16)$$

$$-x_{k\alpha-l} + x_{k\alpha} + d_{\alpha}\cos(\theta_{k\alpha}) = 0 \quad (17)$$

$$-y_{k\alpha-l} + y_{k\alpha} + d_{\alpha}\sin(\theta_{k\alpha}) = 0 \quad (18)$$

위 식들에서 d 는 대차의 무게중심과 호이스트의 연결 지점간의 거리를 의미한다. 차체의 운동 방정식은 아래와 같다.

$$-\dot{\theta}_k + \omega_k = 0 \quad (19)$$

$$-m\dot{v}_{xk} - f_{xka-t} - f_{xkb-l} = 0 \quad (20)$$

$$-m\dot{v}_{yk} - f_{yka-t} - f_{ykb-l} = 0 \quad (21)$$

$$-I_{zk}\dot{\omega}_k - f_{xka-t} \frac{L_{train}}{2} \sin(\theta_k) \quad (22)$$

$$+ f_{xkb-t} \frac{L_{train}}{2} \sin(\theta_k) + f_{yka-t} \frac{L_{train}}{2} \cos(\theta_k)$$

$$- f_{ykb-t} \frac{L_{train}}{2} \cos(\theta_k) = 0$$

$$v_{xk} - \frac{v_{xka}}{2} - \frac{v_{xkb}}{2} = 0 \quad (23)$$

$$v_{yk} - \frac{v_{yka}}{2} - \frac{v_{ykb}}{2} = 0 \quad (24)$$

$$(x_{kb} - x_{ka})^2 + (y_{kb} - y_{ka})^2 - L_{train}^2 = 0 \quad (25)$$

$$\theta_k - \tan^{-1} \frac{y_{kb} - y_{ka}}{x_{kb} - x_{ka}} = 0 \quad (26)$$

여기에서 L_{train} 은 앞뒤 대차의 무게중심 간의 거리를 의미한다. 대차와 대차를 연결하는 호이스트의 방정식은 아래와 같다.

$$-\dot{\theta}_{jk} + \omega_{jk} = 0 \quad (27)$$

$$-m\dot{v}_{xjk} - f_{xka-l} - f_{xjb-l} = 0 \quad (28)$$

$$-m\dot{v}_{yjk} - f_{yka-l} - f_{yjb-l} = 0 \quad (29)$$

$$-I_{zjk}\dot{\omega}_{jk} - f_{xka-l} \frac{L_{link}}{2} \sin(\theta_{jk}) \quad (30)$$

$$+ f_{xjb-l} \frac{L_{train}}{2} \sin(\theta_{jk}) + f_{yka-l} \frac{L_{train}}{2} \cos(\theta_{jk})$$

$$- f_{yjb-l} \frac{L_{train}}{2} \cos(\theta_{jk}) = 0$$

$$v_{xjk} - \frac{v_{xka}}{2} - \frac{v_{xjb}}{2} = 0 \quad (31)$$

$$v_{yjk} - \frac{v_{yka}}{2} - \frac{v_{yjb}}{2} = 0 \quad (32)$$

$$(x_{ka-l} - x_{jb-l})^2 + (y_{kb-l} - y_{ka-l})^2 - L_{link}^2 = 0 \quad (33)$$

$$\theta_{jk} - \tan^{-1} \frac{y_{jb-l} - y_{ka-l}}{x_{jb-l} - x_{ka-l}} = 0 \quad (34)$$

여기에서 유도한 식은 총 34 종류이나 3량 1편성 열차의 경우 6대의 대차와 3대의 차량이 존재하여 총 96개의 식이 존재한다. 이 중 54개의 식은 미분방정식이며 42개의 식은 대수 방정식이다. 따라서 이 시스템은 미분 방정식

과 대수 방정식이 동시에 존재하는 미분 대수 방정식으로 이루어진 시스템이다.

3.2 반력 해석

96개의 식으로 이루어진 미분 대수 방정식을 풀기 위하여 Runge-Kutta Method 기반의 solver [8]를 활용하였다. 여러 가지 조건에서 레일에 가해지는 반력을 해석하였다. 3.2.1절에서는 열차가 10km/h로 천이 구간을 진입하는 경우 반력을 해석하였으며, 다음 절에서는 천이 구간의 궤도 선형이 변하는 경우 반력의 변화를 해석하였다. 각 해석 조건은 각 절에 상세히 표기되어있다.

3.2.1 천이 구간 주행 시 반력

열차가 10km/h (2.8m/s)의 속도로 천이 구간을 진입하는 경우 발생하는 반력을 해석하였다. Fig. 8은 천이 구간 근처에서의 대차의 운동 상태를 나타낸다. 천이구간에서 진입하면 #1a, #2a, #3a 대차는 오른쪽 궤도를 #1b, #2b, #3b 대차는 왼쪽 궤도를 추종하게 되며, 레일의 각도와 위치에 따라 각속도와 횡방향 속도를 갖게 된다. 레일을 따라서 각 대차는 회전을 하게 되며 이 회전을 회전모멘트와 연결용 호이스트에서 전달되는 힘에 의해 반력이 생성된다.

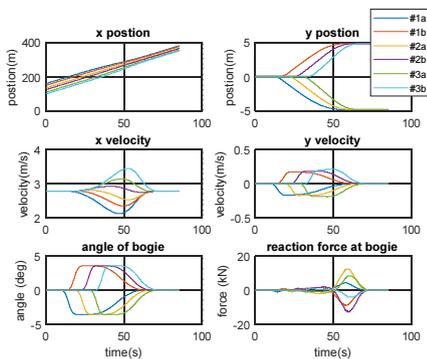


Fig. 8. Dynamic states of train bogies

Fig. 9에 있는 차량의 운동 상태를 살펴보면 천이 구간에 진입하면서 회전운동이 일어나고 이에 따라 차량의 속도가 다소 감소함을 알 수 있다. 이러한 자세와 속도의 변화는 차량이 회전하면 발생한다. 차량 사이를 연결하는 호이스트는 앞 차량과 뒷 차량을 연결하며 힘을 전달하는 역할을 한다. 주행 궤도에서는 차량과 호이스트가 일렬로 정렬되고 전달하는 힘의 방향이 궤도와 평행하지

만, 천이 구간에서는 차량과 호이스트가 엇갈리는 방향으로 위치하며 호이스트와 궤도가 사선을 이룬다. 따라서 호이스트가 전달하는 힘은 궤도에 대한 수직 성분이 존재하게 된다. 이 힘이 대차 차륜과 궤도가 만나는 지점에서 횡력으로 작용하게 된다.

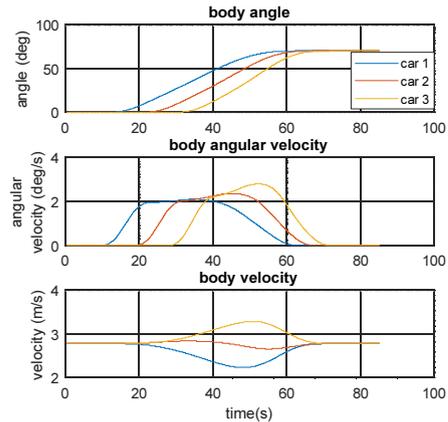


Fig. 9. Dynamic states of train cars

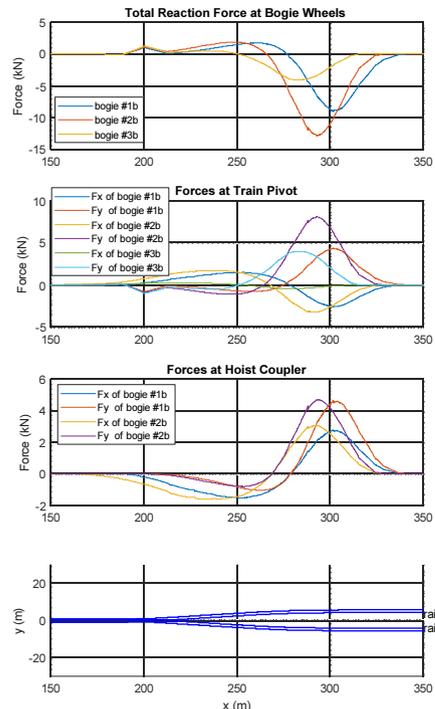


Fig. 10 Force at each point in transition phase

Fig. 10에 보이는 것처럼 천이 구간 진입 시보다 천이

구간 종료 지점에서 더 많은 횡력이 발생한다. 이는 천이 구간 종료 지점에서 차량의 회전 각도가 더 커서 더 많은 횡력을 발생시키기 때문이다.

3.2.2 천이 구간의 선형에 따른 반력 변화

2여러 가지 조건에서 궤도에 가해지는 반력을 해석하였다. 천이 구간의 궤도 선형은 Fig. 11과 같이 천이 구간 길이(l), 주행 구간과 천이 구간 연결 지점 곡률반경 (r_1), 천이 구간에서 플랫폼 구간 연결 지점 곡률반경 (r_2), 플랫폼 구간의 궤도 간 간격(d) 등으로 결정된다. 해석 결과, 대차에서 궤도에 전해지는 반력은 곡률반경 r_2 와 궤도 간격 d , 천이 구간 길이 l 에 영향을 가장 많이 받았다. 따라서 이 세 가지 요소의 변화에 따른 반력을 해석하였다.

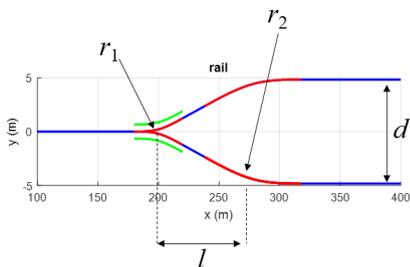


Fig. 11. Design variables for rail shape

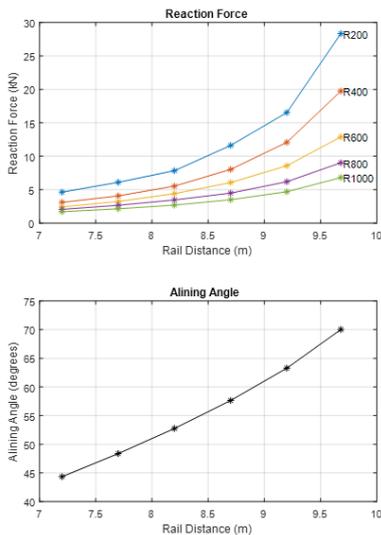


Fig. 12. Reaction forces to rail distance

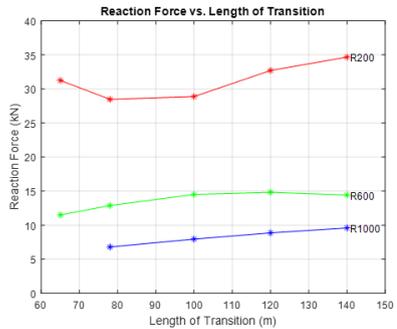


Fig. 13. Reaction forces to length of transition phase

궤도 간 거리에 따른 해석 결과인 Fig. 12를 보면 천이 구간에서 궤도 반력은 열차의 회전 각도가 큰 지점(천이 구간과 플랫폼 구간이 만나는 지점)에서 주로 발생함을 알 수 있다. 따라서 천이 구간과 플랫폼 구간이 만나는 지점의 곡률 반경이 반력에 큰 영향을 준다. 반경이 작을수록 반력이 커짐을 알 수 있다. 또한, 플랫폼 구간에서 궤도 간 거리도 반력에 큰 영향을 주고 있으며 궤도 간 거리가 가까울수록 즉 열차의 정렬 각도가 작을수록 반력이 줄어든다. 열차의 정렬 각도와 반력 크기와 상충관계가 있음을 알 수 있다. 플랫폼에서 지상차량의 접근성을 높이기 위하여 정렬 각도를 키우면 궤도에 가해지는 횡반력이 늘어날 수 있다. Fig. 13에 따르면 천이 구간의 길이는 반력에 큰 영향은 없으나 현재 길이(78m)보다 길어지면 반력이 다소 증가함을 보인다. 위 해석에서 보면 현재 설계에서는 약 35kN 이내의 횡반력이 존재하고 이는 철도차량 주행 안정성 기준을 만족하는 수치이다.

Table 1. Stability Criteria for Running Train

Category		Criteria	Note
Run Stability	Deraul Factor	0.8	Regular Rail
Run Stability	Lateral Force	68 kN	KTX

4. 결론

본 논문에서는 회전정렬형 대차 구조와 이를 위한 궤도 구조를 소개하고 수치적인 해석을 수행하였다. 해석 결과 제안하는 구조는 주행 안정성 및 궤도 안정성을 보장할 수 있는 구조이므로 실제 개발 가능성이 높은 구조라 여겨진다. 향후 이 구조를 바탕으로 인터모달 자동운

송 시스템을 설계 시 플랫폼에서 가능한 궤도간 거리를 줄이고 천이 구간에서 곡률반경을 크게 하는 것이 궤도에 가해지는 횡력을 줄이는데 도움이 됨을 밝혔다.

References

- [1] Hyunglim Choi, Hong-Seung Roh, Yeonju Min, Yongsung Park, (2011)“New Developments for Underground Freight Transportation System in Korea”. *Journal of the Korean society of civil engineers*, Vol.59, No.8, pp. 35-43. Aug. 2011.
- [2] Seungjin Shin, Hong-Seung Roh, Sung-Ho Hur, Donghyun Kim, “Freight Transport Demand and Economic Benefit Analysis for Automated Freight Transport System : Focused on GILC in Busan” *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol.33, No.3, pp. 17-33, Sept. 2017.
- [3] Hong-Seung Roh, A Technology Development Plan on Automated Intermodal Freight Transport System for Cost Saving and Freight Transport System Innovation, The Korea Transport Institute, 2014
- [4] Arjan van Binsbergen, Rob Konings, Lori Tavasszy, Ron van Duin, “Innovations in intermodal freight transport: lessons from Europe”, in *The 93th annual meeting of the Transportation Research Board*, Washington, USA, Jan 12-16, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1918.4329>
- [5] J. C. Rijsenbrij, B. A. Pielage, J. G. Visser, State-of-the-art on automated (underground) freight transport systems for the EU-TREND project. Delft University of Technology, Delft, 2006.
- [6] Hong-Seung Roh, Jaehak Oh, Seungju Jung, Jinsu Moon, Yeonju Min, Soyoun Jang, A Technical Study on the Automated Container Transport System (AutoCon) between Seoul and Busan in Korea, The Korea Transport Institute, 2010
- [7] Seungjin Shin, Hong-Seung Roh, Sung-Ho Hur, “Technical Trends Related to Intermodal Automated Freight Transport Systems (AFTS)”, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol.34, No.2, pp. 161-169, June 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2018.06.013>
- [8] Claus Bendtsen, Per Grove Thomsen, Numerical Solution of Differential Algebraic Equations, Technical University of Denmark, 1999

안 창 선(Changsun Ahn)

[정회원]



- 2005년 2월 : 서울대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2011년 4월 : 미시간대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2007년 8월 : 현대자동차 연구원
- 2012년 12월 ~ 2013년 8월 : 한국기계연구원 선임연구원
- 2013년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

동역학, 자동차 제어, 무인주행