

## 열차하중 재하 방식에 따른 거동특성 분석

### A Study on the Behavior Characteristics with Different Loading case

백창진\*, 박승환\*, 조국환†

Chang-Jin Baek\*, Seung-Hwan Park\*, Kook-Hwan Cho†

**Abstract** Recently, concrete track is being increasingly constructed, as concrete track is considered safer and easier to maintain than ballast track. If settlements of roadbed under the concrete track were occurred. It is important to study safety analysis of the concrete track. So, behavior characteristics for train loading is correctly evaluated. In this study, It was compared the behavior characteristics of the stress and settlement that occur from loading case such as point loading case, 3D wheel loading case and 3D wheel loading case included suspension. The analyzed results from loading cases, behavior characteristics differ so much in loading case. Thus, loading case is an important factor to analysis the behavior characteristics for train load.

**Keywords** : Moving loading, Point loading case, 3D wheel loading, 3D wheel loading case included suspension

**초 록** 콘크리트궤도는 궤도틀림이 거의 발생하지 않고 양호한 선형을 유지함으로써 고속, 고밀도의 운행선로에서 자갈궤도에 비해 양호한 주행안전성을 가지고 있다. 그러나, 열차하중에 의해 콘크리트궤도의 하부 노반의 침하를 야기 할 수 있는데, 이는 콘크리트궤도의 문제점으로 나타나고 있다. 그러므로 열차주행에 의한 거동특성은 보다 정확하게 파악하여야 한다. 본 연구에서는 점 하중 재하 방식, 실물 크기의 Wheel을 3D로 모델링하여 재하 하는 방식, 그리고 현가장치를 고려한 실물 크기의 동력차를 3D로 모델링하여 재하 하는 방식을 동일한 콘크리트궤도 모델에 적용하여 분석하였다. 분석결과, 콘크리트궤도에 가해지는 하중재하방식에 따른 거동은 각기 상이한 것으로 나타났으며, 열차주행에 따른 거동특성을 분석하기 위해서는 하중 재하 방식이 중요한 사항인 것으로 나타났다.

**주요어** : 이동하중, 점 하중 재하, Wheel 하중 재하, 현가장치를 고려한 하중 재하

## 1. 서 론

콘크리트궤도는 궤도틀림이 거의 발생하지 않고 양호한 선형을 유지함으로써 고속, 고밀도의 운행선로에서 자갈궤도에 비해 양호한 주행안전성을 가지고 있다. 그러나 콘크리트궤도는 침하에 매우 취약하므로 정확한 거동분석이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 콘크리트궤도를 대상으로 열차주행에 의한 거동특성을 파악하기 위하여 3D수치해석을 수행하였고 다양한 하중 재하 방법을 적용하였다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수  
(khcho@seoultech.ac.kr)

\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 석사과정

## 2. 수치해석

### 2.1 하중 재하 방법에 따른 거동 특성

#### 2.1.1 집중하중에 의한 방법

Fig 1 은 고정된 지점에서 하중을 재하했을 때 지반내의 응력상태를 나타낸 것이다. 특히 레일을 체결한 궤도조건에서는 하중이 재하되는 부분만 변위가 집중되어 침목이 뜨게 되는 들뜸 현상이 발생하여 응력이 작게 전달되는 특징을 가진다. 따라서 레일을 체결한 경우에는 노반의 거동이 작게 평가 될 수 있기 때문에 주의를 하여야 한다고 알려져 있다.

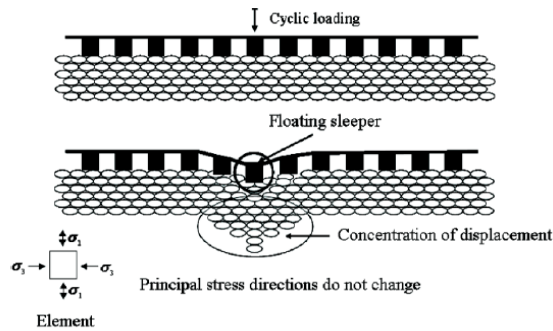


Fig. 1 Stress in soil mass with fixed point loading case

#### 2.1.2 이동하중에 의한 방법

하중이 이동하는 경우에는 노반내부에서의 응력거동은 압축, 인장, 전단응력이 동시에 복합적으로 작용하여 3차원적인 거동을 보여 고정하중과 다른 응력상태에 놓이게 된다 [1][2].

Ledbetter[3]는 이동하중에 대하여 지반의 응력상태를 응력경로로 평가한 바 있다. Fig 2 는 이동하중에 대한 응력경로를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 일반적으로 고정된 지점에 수직하중을 받는 경우에는 압축거동만 받아 응력경로상에서 A->D로 거동하지만, 이동하중의 경우 응력경로상에서 보면 A->B->C->D 로 압축뿐만 아니라 인장도 받고 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 이동하중의 경우 수직하중에서의 하중 경로와 달리 인장거동을 하기 때문에 전단변형과 소성변형이 빠르게 진행된다는 것을 알 수 있다.

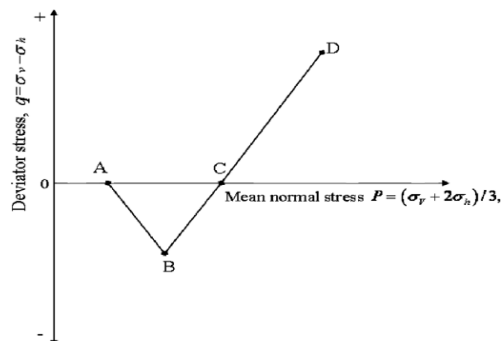


Fig. 2 Deviator stress  $q$ , vs. mean normal stress,  $p$ , stress space for a moving wheel load

### 2.1.3 차량의 현가장치를 포함한 이동하중에 의한 방법

차량의 수치해석 모델링은 궤도시스템과 종방향의 동적 특성을 포함한 차량 시스템간의 동적 상호 현상을 고려할 수 있어야 한다. 열차가 주행하게 되면 접하는 지점에서 복잡한 진동을 하게 되고, 이러한 상호작용은 주행경로에 따라 지반에 전달된다. 차량-노반 상호 작용 해석은 노반을 통과하는 열차의 동적 거동 특성이 해석상 반영이 되어 보다 현실적으로 궤도시스템의 동적 응답을 추정 할 수 있는 장점이 있으며, 노면 및 궤도의 불규칙성이 반영되어 보다 개선된 응답을 얻을 수 있다.

## 2.2 수치해석을 통한 하중 재하 방법 분석

### 2.2.1 수치해석 모델링

수치해석은 Fig 3 과 같은 집중하중 방법, Fig 4 와 같은 이동하중 방법, Fig 5 와 같은 차량의 현가장치를 고려한 이동하중 방법에 대해 동일한 콘크리트궤도 모델에 적용하여 분석하였다. 콘크리트궤도모델은 Fig 6 와 같이 노반 및 레일에 30mm의 변위 차를 두었다. 하중의 크기는 모두 동일하게 적용하였고 300km/h의 속도로 이동시켜 하중 재하 방법에 의한 거동 특성을 파악하였다. Table 1 은 차량의 재원을 나타내었다.

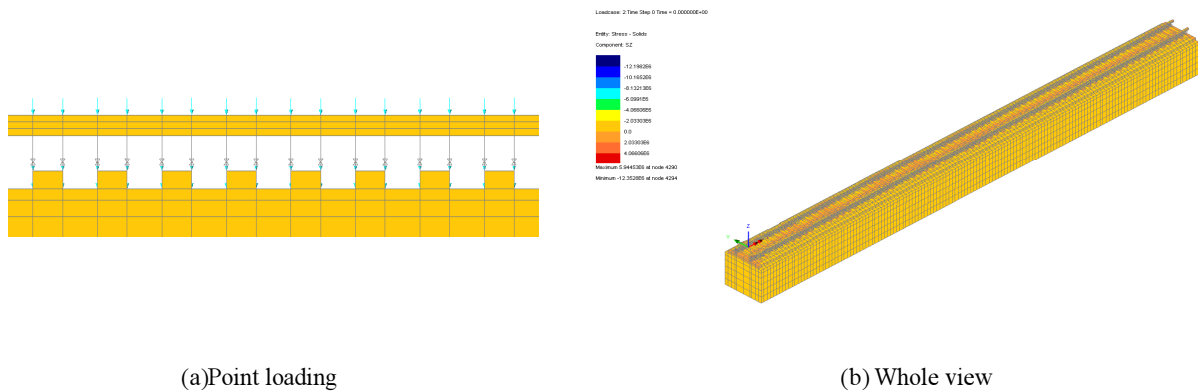


Fig. 3 Point loading case model

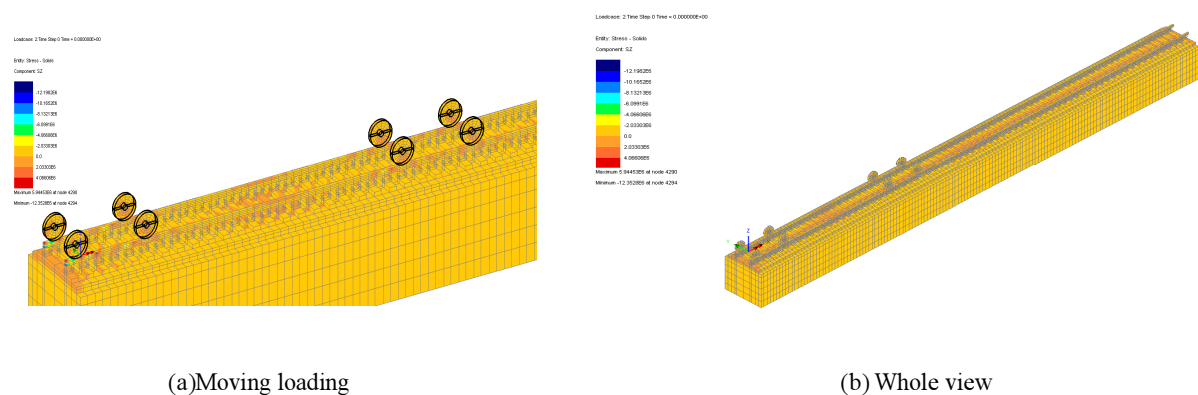
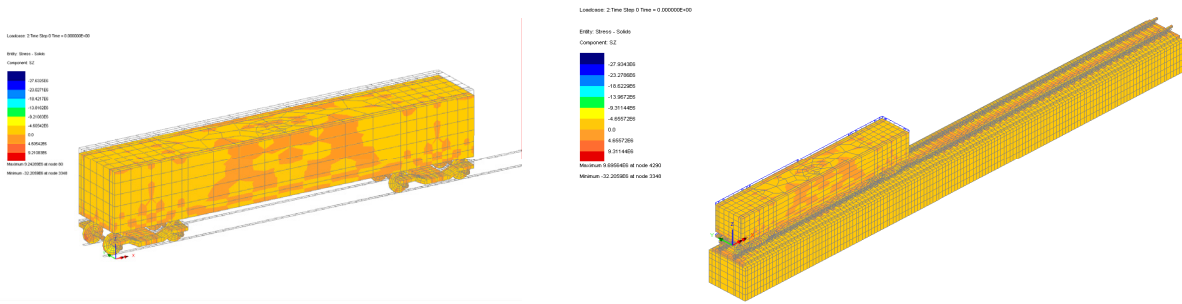


Fig. 4 Moving loading case model



(a) Moving loading included suspension

(b) Whole view

Fig. 5 Moving loading case model included suspension

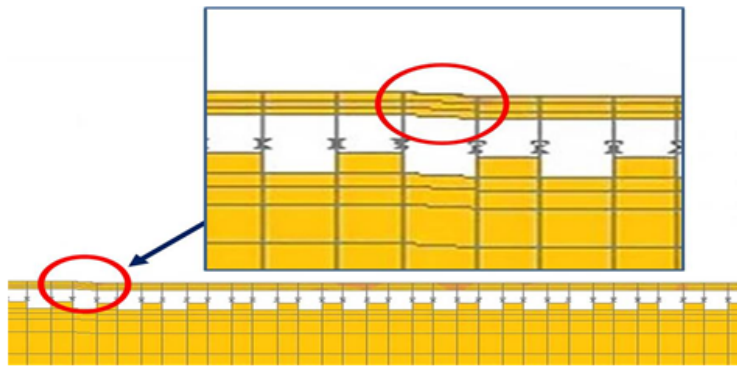


Fig. 6 Concrete track model included settlement

Table 1 Properties of power car

차량모델	물성치	차량모델	물성치
주행속도(km/h)	300	차륜반경(mm)	430
차체질량(tonf)	27.48	차륜탄성계수(kN/m <sup>2</sup> )	2.1E8
대차질량(tonf)	1.21	대차간 거리(m)	14.0
스프링하중(tonf)	1.024	축간거리(m)	3.0
1차 현가장치 스프링계수 (kN·s/m)	1.252E3	2차 현가장치 스프링계수 (kN·s/m)	1.26E3
1차 현가장치 댐핑계수 (kN·s/m)	16.0	2차 현가장치 댐핑계수 (kN·s/m)	28.5

### 2.2.2 수치해석 결과

Fig 7 에서 나타난 바와 같이 집중하중의 경우 -0.34mm의 변위가 발생하였으며 재하 된 지

점에서만 변위가 발생하는 것을 알 수 있다. Fig 8 은 이동하중방법에 따른 결과인데 이 경우  $-0.61\text{mm}$ 의 변위가 발생하였다. 또한 하중의 이동으로 응력거동이 압축, 인장, 전단응력이 동시에 복합적으로 작용하여 집중하중방법보다 복잡한 형상으로 나타난 것을 알 수 있다. 현가장치를 고려한 이동하중방법의 경우 Fig 9 에 나타난 바와 같이  $-1.13\text{mm}$ 의 변위가 발생하였으며 실제 열차의 하중에 의해 나타나는 변위의 형태와 매우 유사하게 나타났다. 이는 현가장치를 통한 열차의 동적 거동 특성이 해석상 반영이 되어 나타난 것으로 판단된다.

이러한 결과를 볼 때 하중 재하 방법에 따라 변위의 차이가 확연히 달라지며, 실제 철도 하중에 대해 평가하는 경우 현가장치를 고려하여 이동하중으로 평가하여야 보다 정확한 동적 거동이 평가 될 수 있다는 것을 확인 할 수 있다.

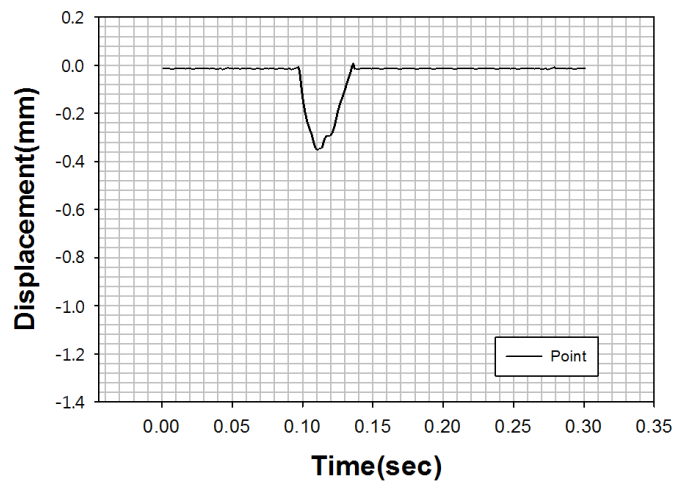


Fig. 7 Rail displacement applied point loading case

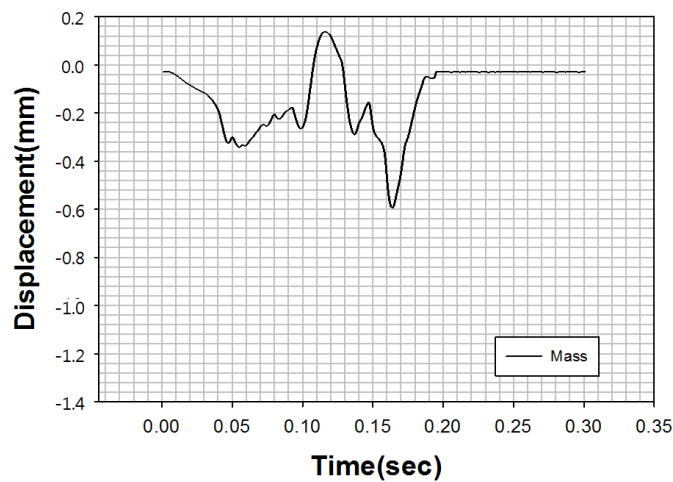


Fig. 8 Rail displacement applied moving loading case

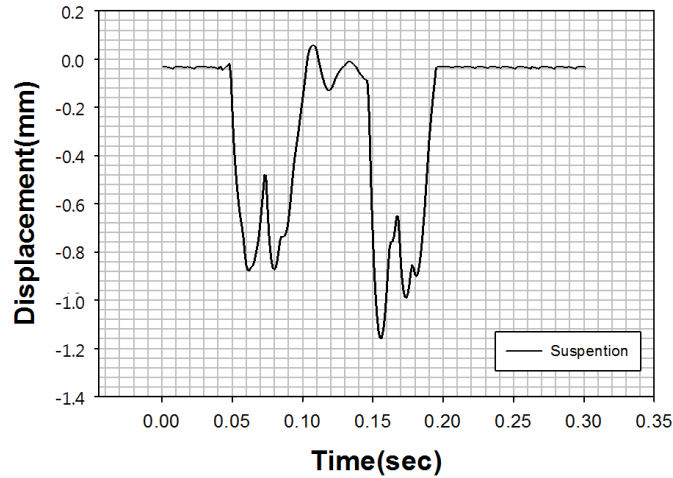


Fig. 9 Rail displacement applied moving loading case included suspension

### 3. 결론

본 연구에서는 집중하중 방법, 이동하중방법 그리고 차량의 현가장치를 고려한 이동하중 방법으로 동일한 모델에 재하 하여 비교/검토 하였다.

- 1) 하중을 재하 하는 방법에 따른 레일의 변위 검토결과 각기 상이한 것으로 나타났다.
- 2) 현가장치를 고려한 이동하중방법 해석 시 실제 열차 하중에 의한 변위 결과와 가장 유사하게 나타났다.
- 3) 본 해석모델을 이용할 경우 보다 복잡한 형태의 노반변형에 대한 해석이 가능할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- [1] S.K. Hwang, S.H. Lee, C.Y. Choi (2002) Characteristics of Displacement of the Reinforced Roadbed Material with Cycle loading, *Journal of the Korea Society for Railway*, 5(2), pp. 83-89.
- [2] C.Y. Choi (2008) Prediction of plastic settlement for railway roadbed under Moving single Wheel Load, Ph D thesis, Dept, of Civil and Environmental system Engr., University of Incheon, South Korea
- [3] R.H. Ledbetter (1997) General deformation (elastic and inelastic) and stress distribution theory in soils, Technical Report S-77-10, Soils and Pavements Laboratory, *US Army Engineer Waterways Experiment station*, Vicksburg, Mississippi, 117pages.