3중보 슬래브궤도의 레일패드강성의 경화에 따른 동적거동 특성분석

Dynamic Character Analysis of 3-beam Slab Orbits depending on the Hardening of Rail Pad Stiffnesses

최현수* 최진유** 김정훈*** 박대근**** 강영종*****

Choi, Hyun-Su Choi, Jin-Yu Kim, Jung-Hun Park, Dae-Geun Kang, Young-Jong

ABSTRACT

레일패드는 궤도전체의 탄성확보 뿐만 아니라 열차하중에 의해 침목으로 전달되는 충격을 완화시켜 침목과 도상의 파손을 방지하는 역할을 하는데, 통과톤수의 증가와 기후적 요인에 의하여 패드가 열화되면 패드의 강성이 증가하게 된다. 패드의 강성이 증가하게 되면 레일을 통해 침목으로 전달되는 충격하중이 증가하게 되어 침목의 파손을 유발할 수 있을 뿐만 아니라 침목하면의 도상에도 과도한 충격하중을 전달하여 도상의 손상을 가속화시킬 수 있다. 또한 레일패드의 강성변화는 궤도의 소음과 레일의 파상마모의 진전에도 영향을 미치게 된다. 따라서 레일패드의 공용기간 중에 적정한 강성을 유지할 필요가 있으며, 통과톤수의 증가에 따른 레일패드의 경화도를 산정하는 방법과 레일패드의 경화가 궤도에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 레일패드의 교체주기에 관한 기준을 마련할 필요가 있다. 본 연구에서는 슬래브의 질량과 일정속도대역에서의 패드강성의 민감도분석을 하여 그 결과를 비교하고 레일패드경화에 따른 대상궤도의 동적거동을 수치해석을 통하여 패드강성과 차량주행속도에 따른 윤중의 변동량과 레일의 변위, 가속도 그리고 침목의 변위, 가속도의 변화정도를 분석해 보았다. 궤도시스템의 동적해석을 위한 해석 프로그램으로는 네덜란드 델프트 공과대학에서 개발된 궤도시스템 전용 해석 프로그램인 DARTS(The dynamic analysis of a rail track structure)를 사용하였다. 대상궤도는 국내 1단계 경부고속철도에서 사용되고 있는 3중보 무도상궤도를 사용하였다.

1.서 론

레일체결장치 구성품 중 하나인 레일패드는 궤도시스템에서 중요한 역할을 한다. 레일패드는 레일로부터 전달되는 충격하중을 완화시켜 침목을 보호하고, 열차주행에 따라 레일에 발생되는 고주파 진동을 저감시켜 궤도파괴를 유발하는 침목 및 도상 가속도를 낮추어 주는 역할을 한다. 이러한 레일패드는 열차의 통과톤수가 증가함에 따라 경화가 진행되고 이에 따라 탄성이 감소됨으로 인해 궤도에 악영향을 미치게 된다. 여기에서는 레일패드의 손상원인을 분석하고 패드의 경화가 궤도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 현재 국내 운행선에서 사용 중인 레일패드의 주요 손상원인인 레일패드의 밀림현상에 대해 조사하였고, 패드의 경화와 슬래브두께 감소에 따른 강성의 변화정도를 시험한 내용을 요약-분석하였다.

2. 차륜과 레일의 상호작용력 계산

구조물상에 부설된 자갈도상궤도에 대한 동적해석을 수행하기 위한 연속보모델을 나타낸 그림 1로부터 차량의 전

* 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 강구조연구실, 연구원

E-mail : s7305248@korea.ac.kr

TEL : (02)927-7715 FAX : (02)921-5166

** 정회원, 한국철도기술연구원 궤도시스템연구팀, 책임연구원

*** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 강구조연구실, 연구원

**** 정회원, 한국철도시설공단, 부장/고려대학교 건축사회환경공학과 강구조연구실, 연구원

***** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 강구조연구실, 교수

륜과 후륜에서 레일과 접촉하는 점에서의 상호작용력 F_{H_1}, F_{H_2}는 다음 같이 나타낼 수 있다.

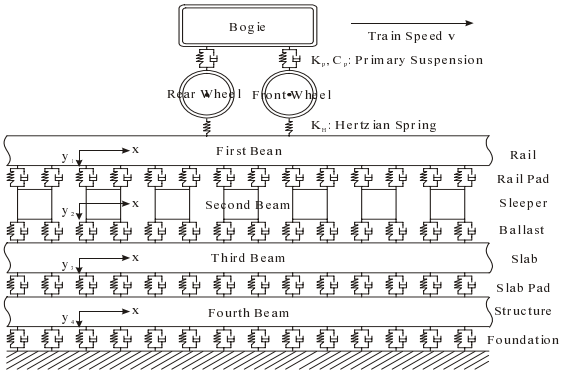

그림1. 3중보 슬래브궤도의 역학적 모델링

$$\begin{Bmatrix} F_{H_1} \\ F_{H_2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_H(\overline{y}_{w_1} - \overline{y}_{r_1} - \overline{y}_{y/w_1}) \\ K_H(\overline{y}_{w_2} - \overline{y}_{r_2} - \overline{y}_{y/w_2}) \end{Bmatrix}$$

3. 구조해석

3.1 해석모델

slab 궤도는 3중보 슬래브궤도를 대상으로 하였다. 이 궤도는 침목매립식 궤도형태로 유럽 및 아시아권에서 많이 사용되고 있는 궤도이다.

3.2 궤도 제원 및 단면

구분		Rheda2000
Rail		UIC 60
Sleeper		
Half length	m	0.72
Height	m	0.30
Avg.width(defining volume)	m	0.25
Width at base(defining contact area)	m	0.27
Density	M/m³	2,40
Sleeper distance	m	0.65
Length of sleeper base-slab contact area	m	0.72
Young modules E	KN/m²	3.4e+7
Rail pad		
Static stiffness	10³KN/m²	**20~210**
Viscuous damping	KN/(m²/s)	**40**
Density	M/m³	0.1107

Slab Concrete		
Young modules E (TCL)	KN/m²	3.4e+7
Young modules E (HSB)	KN/m²	1.0e+7
Poisson's ratio	[-]	0.20
Dencity	M/m³	2.40

표1. 궤도제원

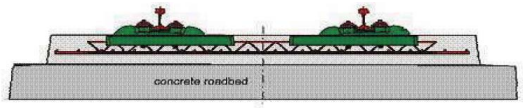

그림2. 대상궤도의 궤도단면

3.3 차량 모델

차량은 KTX차량의 각종 제원을 기본으로 하였다. 차량의 주행안전성을 검토하기 위해서는 실제 주행하는 20량 1편성의 차량을 고려하여 해석하는 것이 합리적이지만 본 검토의 목적인 궤도의 거동을 살펴보는 목적으로는 가장 큰 중량을 가진 동력차만을 고려하여 해석하여도 결과에 영향이 없기 때문에 동력차 부분만을 고려하여 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 차량의 모델은 (그림 3)과 같으며 물성치 및 제원은 (표 2)와 같다. 차체는 강체거동을 하는 질량체로, 차체 아래의 2차 현가장치는 스프링과 댐퍼로, 대차는 강체거동을 하는 질량체로, 대차아래의 1차 현가장치는 스프링과 댐퍼로 모델링하였다. 차량의 바퀴는 강체거동을 하는 질량체로 모델링하였으며, 휠과 레일의 접촉효과는 헤르쯔안 스프링으로 모델링하여 고려하였다.

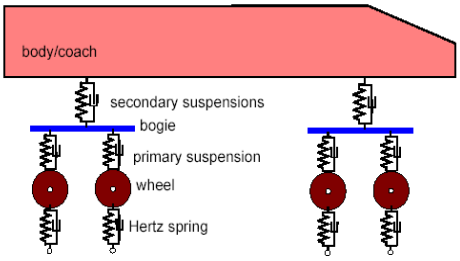

그림3. 해석에 사용된 차량 모델

항목	물성치 및 제원
차체질량(ton)	54.96
차체의 관성모멘트(Gallop motion, ton · m^2)	1131.9
대차질량 (ton) (스프링하질량 포함)	2.42
대차의 관성모멘트 (Y-Y) (ton · m^2)	2.593
스프링하질량(윤축질량) (ton)	2.048
1차 현가장치 스프링 (MN/m)	2.504
1차 현가장치 댐퍼 (MN/sec/m)	0.032
1차 현가장치 스프링 (MN/m)	2.536
1차 현가장치 댐퍼 (MN/sec/m)	0.057

표2. KTX 동력차 및 동력대차의 물성치 및 제원

4. 레일패드강성 변화에 따른 슬래브궤도의 동적거동 분석

궤도의 동적응답은 차량의 운행속도 및 차량과 궤도시스템의 동특성과 연계되어 나타난다. 본 연구에서는 궤도시스템의 동특성에 큰 영향을 미치는 레일패드의 강성변화와 함께 차량의 운행속도를 변화시켜가면서 각 속도대역별로 레일패드의 강성이 변화할 경우를 고려하여 총 84가지 경우의 동적해석을 수행하여 궤도부담력의 변화를 비교 분석하였다.

-레일패드 강성 변화 : 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 MN/m^2
-열차속도 변화 : 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 km/h

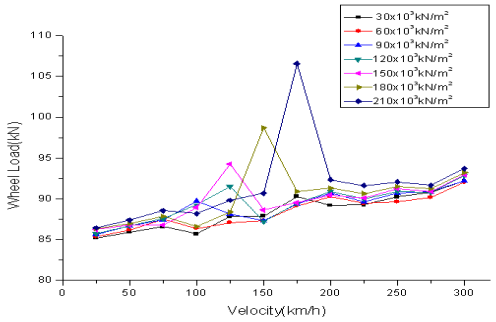

그림4. 강성에 따른 윤중의 최고치 변화

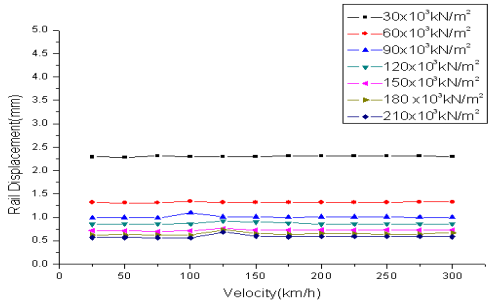

그림5. 패드강성에 따른 레일변위의 최대값 추이

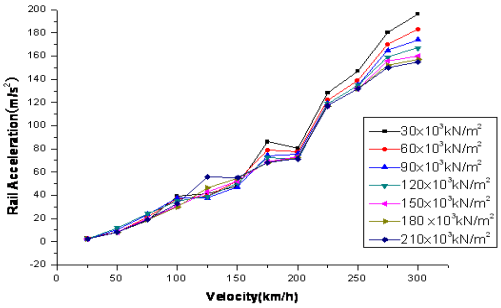

그림6. 패드강성에 따른 레일가속도의 최대값 추이

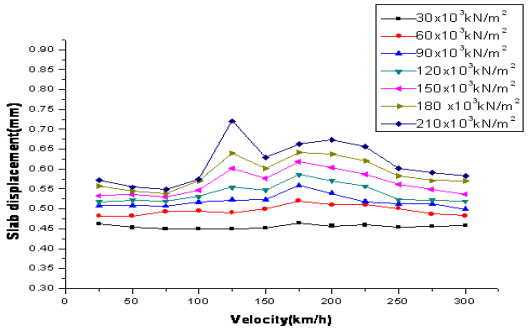

그림7. 패드강성에 따른 슬래브변위의 최대값 추이

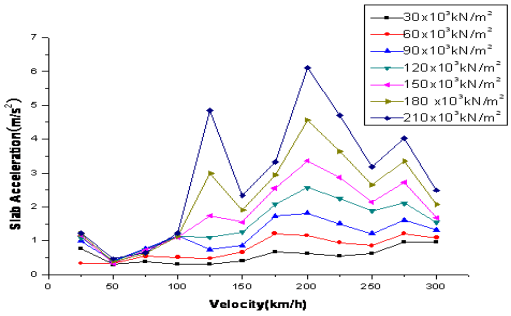

그림8. 패드강성에 따른 슬래브가속도의 최대값 추이

5. 결론

① 패드강성의 증가에 따라 궤도시스템의 고유주파수가 증가하고 주행속도의 증가로 인해 가진주파수가 역시 증가하기 때문에 레일패드의 강성변화에 따라 1차 피크치가 발생되는 대역이 달라지게된다. 차량의 주행속도가 동일할 경우에는 패드의 강성이 증가함에 따라서 윤중이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있는데 같은 속도대역에서는 패드의 강성이 증가할수록 궤도시스템 강성이 증가하여 충격량이 증가함에 따라 윤중이 증가하는 것으로 분석된다.

② 레일패드의 강성변와 속도에 따른 레일변위와 가속도를 살펴본 결과, 레일의 변위는 속도의 변화에 대한 영향은 작은 것으로 나타났으며, 동일속도대역에서는 레일패드의 강성이 증가할수록 레일의 변위는 감소하며 그 감소비율은 레일패드강성의 증가비율과 비례함을 알 수 있었고, 레일패드의 강성이 작을수록 속도가 증가할수록 레일의 가속도가 증가함을 알 수 있었다.

③ 패드의 강성과 속도변화에 따른 침목의 변위와 가속도 변화를 살펴본 결과, 속도의 변화가 침목의 변위에 크게 영향을 미치지 못하는 반면에 동일 속도 대역에서의 패드강성에 따른 변화를 살펴보면 패드의 강성이 증가할수록 침목의 변위가 증가됨을 알 수 있었다. 즉 차량하중의 도상으로의 전달률이 높아져 궤도틀림의 진행을 가속화시킬 수 있으므로 패드열화의 정도에 따른 패드교체 가능성을 보여주고 있다. 침목가속도의 변화경향을 살펴보면, 저속도 대역에서는 패드의 강성차이에 의한 가속도가 크지 않지만 고속대역에서는 패드의 강성에 따라 가속도의 차이가 크게 나타나고 있는 이는 속도의 증가에 따라 진동차단효과가 커지는 것을 의미하므로 고속대역에서 패드강성관리가 중요함을 보여주고 있다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임(R0A-2005-000-10119-0).

참 고 문 헌

1. 한국고속철도건설공단, 시운전시 궤도 노반시설물 성능검증 연구보고서, 2003 양신추, “차량/궤도 상호작용해석을 통한 레일패드강성영향 분석”, 한국철도학회 2004추계학술대회 논문집, pp 197-205
2. 윤태영, “레일패드의 경화에 따른 궤도의 동적응답 변화 특성 분석”
3. 양신추, “도시철도궤도의 저진동설계기준 제정에 관한 연구”
4. 양신추, 강윤석, 김만철, 이종득 “슬래브궤도의 방진효율성 평가기법 개발”
5. 강윤석, 김은, 이일화, 양신추, “ 개발형 콘크리트 슬래브궤도의 성능평가”
6. 양신추, “ 궤도 설계동하중 산정을 위한 차량/궤도 상호작용 해석기법 개발”
7. 이동욱, “ 피로효과를 고려한 레일패드 스프링계수 변화에 따른 콘크리트슬래브 궤도의 거동분석“
8. 이일화, 강윤석, 김은, “ 현장시험을 통한 고속철도용 슬래브궤도 토노반의 지지력특성 평가