

접속부의 강성완화를 위한 Approach zone의 매개분석

Approach zone of parametric analysis for hardness mitigation of connection

손지현* 최진유** 오지택*** 황원섭****
Son, Ji Hyun Choi, Jin You Oh, Ji Taek Hwang, Won Sup

ABSTRACT

When vehicles pass the connection between the bridge and earthwork, the difference of both sections' stiffness produces an increasing wheelload. As a consequence, it results in the excessive vibration of vehicles and the damage of bearing system. In general, steel plate girder railway bridges without ballast track have larger stiffness than the bridge with ballast, and produces larger impulse on the bridge superstructure. Thus, it is necessary to reduce the differences of both stiffness. This study presents parametric studies on the behavior of plate girder bridges and their tracks by means of various stiffnesses and the length of approach zone. The results of numerical study showed that the smaller the stiffness of both sides and the longer the length of approach zone, the variation of wheelload becomes smaller. Hence, it gives less burden into the plate girder bridges and their tracks. It is expected that the results of parametric study can be used as a preliminary data for the determination of economical length on the approach zone and the stiffness of both sides.

1. 서론

차량이 교량과 토공의 접속구간 통과 시 두 구간의 강성차이에 의한 충격으로 인해 윤중이 증가하게 되고 이로 인해 차량의 진동이 유발된다. 또한 차량의 교량 진입시 교좌장치 및 상판에 충격을 가하게 되어 교좌의 손상과 상판의 진동을 유발한다. 특히 관형교와 같은 무도상궤도를 지지하는 교량의 경우, 유도상궤도의 경우보다 강성의 변화가 더 크기 때문에 충격량의 증가효과가 더욱 크게 나타나게 되므로 교량과 토공접속구간에서의 강성차이를 완화하기 위한 방안의 마련이 더욱 절실하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 교량과 토공 접속부의 강성차이와 강성천이구간의 길이에 따른 윤중의 증가와 차량진동의 증가정도를 알아보기 위한 매개변수 해석을 수행하여 보았다.

해석 결과, 강성천이구간의 길이가 길수록 윤중의 변화량이 작아지고 이에 따라 교량과 궤도에 가해지는 부담력 역시 감소함을 알 수 있었다. 이 해석결과는 향후 강성천이구간의 경제적인 길이와 강성의 차이를 결정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

* 손지현, 학생회원, 인하대학교·한국철도기술연구원, 강구조연구실·철도구조물연구팀

E-mail : jhson3478@krri.re.kr

TEL : (031) 460-5466 FAX : (031) 460-5359

** 한국철도기술연구원 선임연구원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원

**** 인하대학교 토목공학과 교수

2. 궤도구조의 강성천이구간

2.1 접속부

교량구간에서 토공구간, 터널구간에서 토공구간 그리고 자갈도상궤도에서 콘크리트 궤도와 같이 궤도 하부구조 강성이 변화하는 구간을 접속부라 한다.

교량이나 터널과 같은 선로구축물체의 진출입부는 지지강성의 급격한 변화로 인하여 열차의 운행시 충격효과가 집중되는 취약부가 되며, 주행안정성과 승차감에 영향을 끼치게 된다.

표 1. 접속부 위치별 문제와 특징

터널/토공구간	<ul style="list-style-type: none"> · 교량에 비하여 강성변화정도가 상대적으로 작음 · 과대한 변형현상에 의한 추가적 소음 및 진동발생
교량/토공구간	<ul style="list-style-type: none"> · 일시적 작용하중과 반복적 작용하중 <ul style="list-style-type: none"> - 일시하중 : 단기변형유발 (대부분 복원) - 장기지속하중 : 소성변위 유발 (강성변화구간의 문제요인)
	<ul style="list-style-type: none"> · 과대 변위의 발생요인 <ul style="list-style-type: none"> - 주변 축대, 교대 뒷채움재의 불충분한 다짐 또는 압밀과정 - 차량하중 또는 온도하중에 의한 궤도구조 및 교량의 이동변위

표 2. 접속구간에서 발생하는 주요 문제점

구분	발생현상	주요 문제점
궤도파괴 발생	도상마모의 세립화, 분니발생과 함께 궤도마모, 변형과 열화발생	궤도구조의 성능감소로 유지보수비 급증
궤도틀림 증가	줄틀림, 면틀림의 누적발생	차량동요로 인한 승차감악화
	열차주행시 윤중 및 소음발생	민원방생 및 환경파괴
	궤도틀림량 한도치초과, 복합틀림 동시발생	열차탈선발생

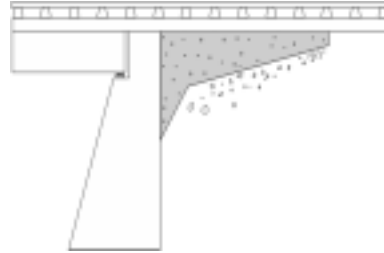
특히 이러한 급변구간에서 최초로 부등변위가 발생한 이후부터는 열차의 운행에 비례하여 변위가 점진적으로 증가하여 상당한 수준까지 발생하게 된다. 이 부등변위의 진진비율은 열차의 질량, 속도, 현가장치의 탄성과 감쇠등과 같은 열차 동특성과 밀접한 관계를 갖는다.

지지강성의 급격한 변화는 궤도에 동적하중을 증가시키게 되며, 이 하중은 부등변위를 증가시키게 된다. 이로 인한 부등변위는 부가적인 열차의 진동을 야기시키게 되며 지지강성 급변구간을 통과 할 때마다 증가하게 된다. 일단 부등변위가 발생하게 되면 이로 인하여 궤도의 파괴가 야기된다.

2.2 강성천이구간



(a)추가레일설치



(b)Approach Block 도입

그림 1. 강성천이 완화도 개념

접속구간을 보강하기 위해서 Approach Block, 그라우팅, 완충궤도, 보강레일 등등 많은 방법들이 제안되어 왔다. 이들 중 많은 방법이 정량적 해석을 바탕으로 설계하기 보다는 단순보강차원에서 설계를 수행하여 이론적 근거가 불명확하고 또한 그 효과도 불투명한 것도 사실이다. 따라서 규정화된 접속구간에서의 차량에 대한 주행안전성 및 승차감 기준과 궤도손상방지 기준을 만족하는 궤도 설계를 위해서는 접속구간에서 차량과 궤도의 거동을 정량적으로 평가할 수 있는 해석기법에 필요하다.

이에 교량의 진·출입부의 강성차이를 저감시키기 위하여 approach zone의 길이와 노반과 교량의 강성차를 매개변수로 하여 연구를 수행하고자 한다.

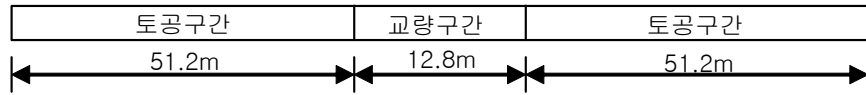
3. 차량-궤도-교량의 상호작용해석

3.1 해석모델

자갈도상궤도의 해석을 위한 모델의 기본형상은 (그림 2)과 같고 각 궤도구성요소의 물성치는 표 3과 같다. 레일은 전단을 고려한 Timoshenko Beam을 사용하였으며, 레일패드와 스프링과 댐퍼로, 침목은 강체거동을 하는 질량체로, 자갈도상과 궤도하부 노반은 하나의 스프링과 댐퍼로 모델링하였고 침목을 제외한 궤도 구성체의 질량은 무시하였다.

(a) 일반적인 토공구간 모델

(b) 궤도해석의 기본모델



(c) 토공구간과 교량구간의 길이

그림 2. 궤도해석의 기본 모델

표 3. 해석에 사용된 궤도 물성치

항목	물성치 및 제원	항목	물성치 및 제원
레일	UIC60	침목단위길이당 질량	0.24 ton/m
레일패드스프링계수	$46 \times 10^3 \sim 480 \times 10^3$ kN/m	침목침목간격	0.40m
레일패드댐핑계수	3.0×10^1 kN/sec/m	도상 및 노반 탄성계수	1.26×10^5 kN/m
침목저면유효폭	0.27 m	도상 및 노반 댐핑계수	98kN/sec/m

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 4)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.

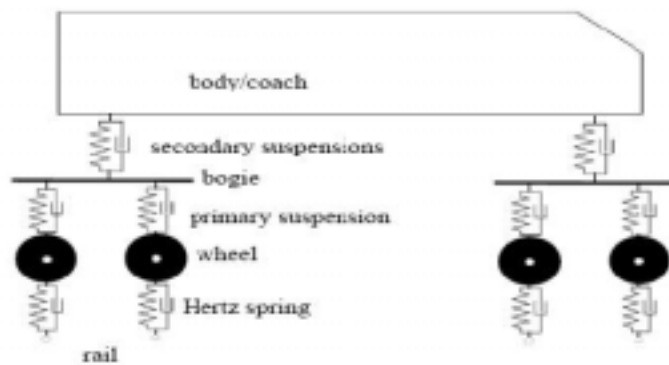


그림 3. 해석에 사용된 차량 모델

표 4. KTX 동력차 및 동력대차의 물성치 및 제원

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

판형교(12.8m)는 보요소를 사용하여 해석모델을 작성하였고 요소의 길이는 목침목 간격인 0.4m를 사용하였다. 판형교의 침목수는 33개를 사용하였다. 궤도구조는 토공구간을 사용하였고 물성치는 실험에 의해 구해진 제원값을 사용하였다.

표 5. 판형교 제원 및 단면계수

교량형식	경간 (m)	자중 (KN)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	A (m ²)
판형교	12.8	1.54	2.04×10^7	1.732×10^{-2}	0.03455

3.2 해석의 경우

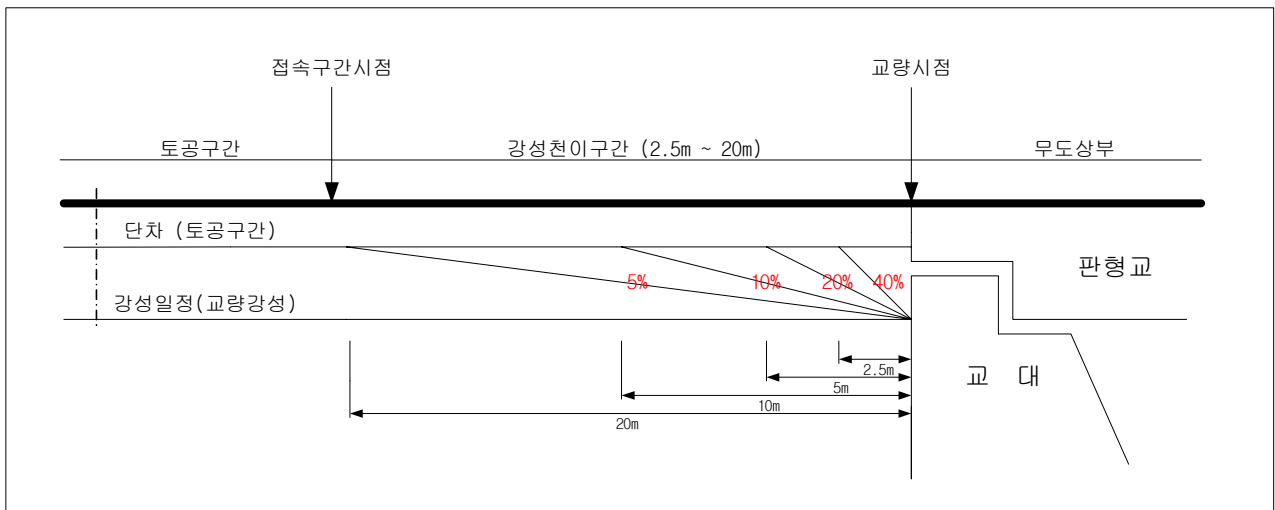


그림 4. 접속구간과 교량의 거리 및 강성비율

궤도의 교량과의 강성천이구간의 길이와 강성변화비율로 인한 윤중변화를 보고자 함이 본 논문의 방향이므로 차량의 종류는 KTX 1량, 속도는 150km/h 사용하였다. 강성천이구간의 길이는 2.5m, 5m, 10m, 20m로 사용하였으며 강성변화비율을 선형적으로 증가시키기 위해 5%~40%로 나누어 분석하였다.

4. 해석결과 및 분석

4.1 운중의 비교

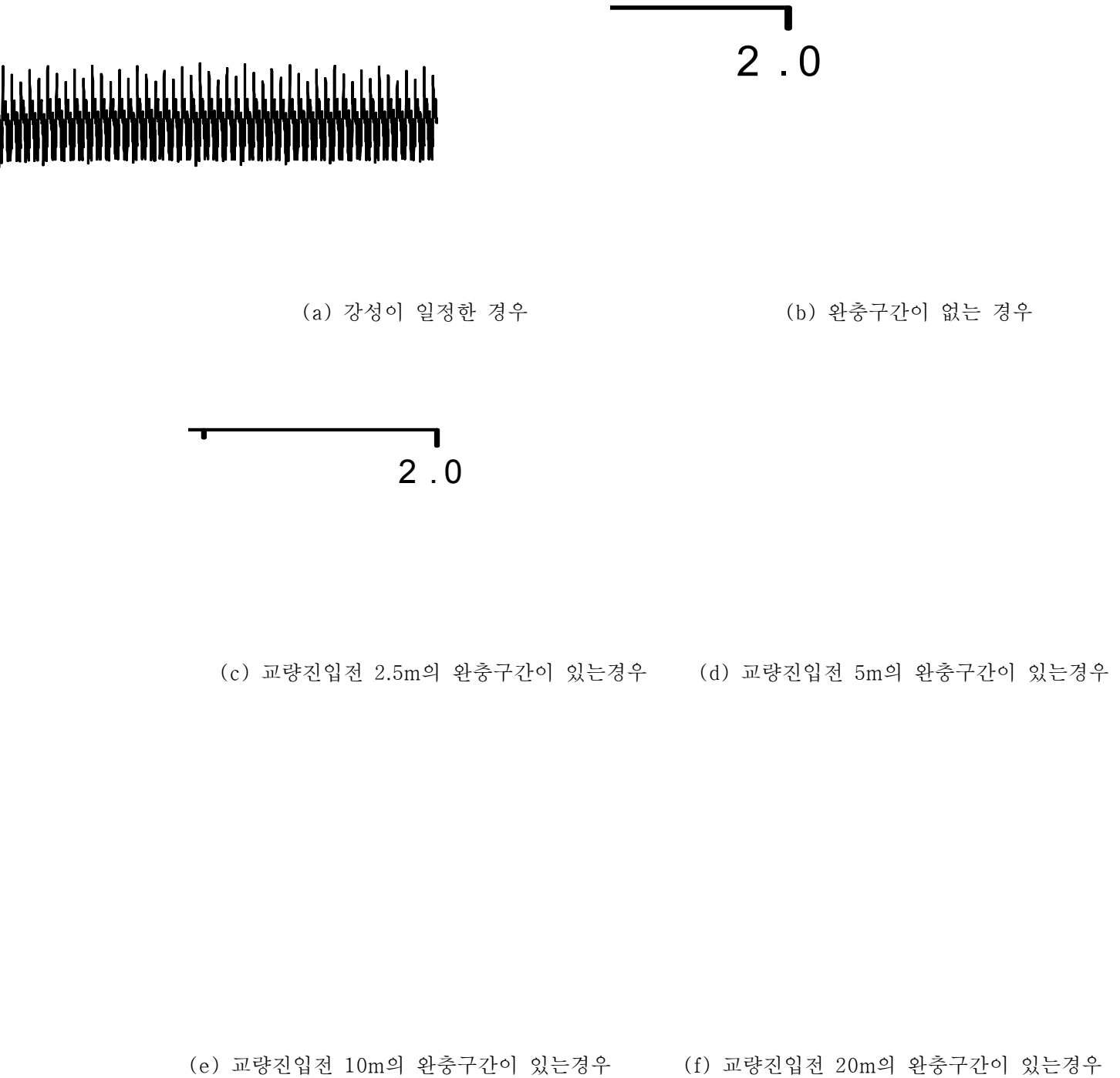


그림 5. 완충구간의 길이에 따른 운중

앞의 해석방법에 따라 강성천이구간의 궤도와 교량의 거동 해석을 실시하였다. 그림5는 완충구간의 길이에 따른 운중의 변화를 보여주며 운중은 접속구간의 길이가 증가할수록, 교량으로 진입할 때 운중변화가 작아짐을 알 수 있다.

4.2 접속구간의 길이와 윤중변화

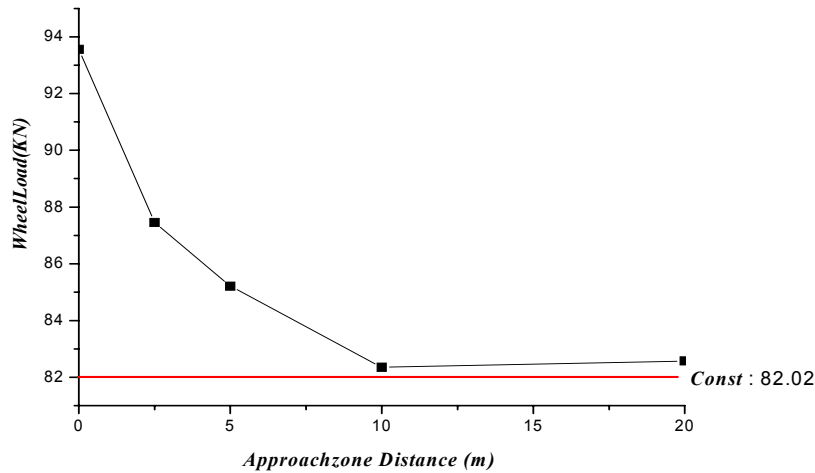


그림 6. 접속구간 길이에 따른 윤중최대값

윤중의 변화를 보면 완충구간이 없을때의 윤중이 가장 크고 접속구간의 길이가 10~20m정도가 되면 윤중이 비슷하게 되는 경향을 보였다. 완충구간의 길이가 짧을수록 윤중값이 크게 나타났고 강성이 일정한 경우는 교량에 진입하는 윤중값이 82.02KN으로 완충구간의 길이와 상관없이 작음을 알 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구계획

본 연구에서는 토공 접속부의 강성차이와 강성천이구간의 길이에 따른 판형교의 거동과 판형교상 궤도의 거동을 알아보기 위한 매개변수 해석을 수행하였다.

해석 결과, 강성천이구간의 길이가 길수록 윤중값이 작아짐을 알 수 있었다. 완충구간을 거쳐 열차하중이 가장 먼저 통과하는 교량진입부의 교좌부분에 충격량을 줄일 수 있다. 이로 인해 교량의 취약개소인 교좌부분의 성능을 향상시켜 차량의 주행안정성과 승차감완화에도 도움 줄 것이라 사료된다.

교량의 접속구간의 조절을 통해 궤도구간에서 교량으로 진입시의 교량에 가해지는 부담력을 감소시킬 수 있다. 교량의 부담력 감소를 통해 교량의 교좌부파손을 방지할 수 있다.

현재까지 조사된 바에 의하면 판형교의 손상 중 교좌부 파손은 전체의 35%에 이른다. 이 연구를 토대로 보다 깊이 있는 연구를 통해 접속구간의 길이를 결정하게 되면 교좌부 파손을 줄일 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 해석결과는 강성천이구간의 경제적인 길이와 강성의 차이를 결정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 열차주행안정성과 승차감의 문제를 해결하기 위해서 차량가속도, 레일, 침목의 처짐과 가속도 데이터를 분석하여 해석정도를 향상시켜 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. 이일화 외, "고속철도 교량/토공 접속부에서의 궤도 및 차량 거동 특성", 한국철도학회
2. 이진욱 외, "열차운행시 터널-토공접합부에서의 강성천이구간에 대한 실험적 연구", 한국철도학회
3. 한국고속철도공단, "고속철도공사 전문시방서(노반편)", 2003.4
4. "Modern Railway Track, 2nd ed." 2001, Coenraad Esveld, MRT Production