

고무차륜형 경전철 고가구조물의 충격계수 계측시험연구

A Field-test Study on the Dynamic Factor of Elevated Structures for Rubber-tired Light Rail Transit

신정열*, 이안호*[†], 박재임*, 신인조**

Jeong-Ryol Shin*, An-Ho Lee*[†], Jae-im Park*, In-jo Shin**

Abstract Unlike the steel-wheeled rail transit of conventional railway including high-speed railway, the design guideline of elevated structures for rubber-tired rail transit has not been established in Korea. For this reason, the elevated structures of rubber-tired light rail transit have been designed and constructed based on the design code of conventional heavy railway bridges or on the one suggested by foreign rolling-stock manufacturer. This is why the elevated structures of rubber-tired rail transit in Korea are much massive, or over-designed and non-economically constructed. In Korea, design engineers have no way but to refer to the standard of roadway for considering the dynamic effect of rubber-tired light rail transit. Therefore, in this paper, as the basic study on the design guideline of elevated structures for rubber-tired light rail transit, authors carried out the field test to analyze the dynamic factor of elevated structures, which induced by the driving train at the speed of 5km/hr, 10km/hr to 70km/hr. Authors also briefly demonstrate the test and analyzing results of dynamic factor acting on the superstructures of elevated light-rail structures.

Keywords : Light Rail Transit, Rubber-tire, Elevated structure, Design guideline, Dynamic factor

초 록 국내 철도설계기준에는 고속철도, 일반철도, 전동차등 철제차륜형 열차에 대한 설계기준만 마련되어 있을 뿐, 고무차륜형 열차에 대한 설계기준은 별도 마련되어 있지 않다. 이러한 관계로, 고무차륜형 경전철 고가구조물은 설계당시 일반 전동차용 철도교 설계기준과 국외 경전철 차량제작사에서 제시한 설계기준을 참조하여 설계되었고, 이로 인해 경전철 고가구조물임에도 일반 철도교 수준으로 육중하게 비경제적으로 건설되었다. 특히, 국내 운영 중인 고무차륜형 경전철 고가구조물은 설계 당시 도로교 설계기준에서 제시된 충격계수 기준을 그대로 적용하여 설계되었다. 이에, 본 연구에서는 경전철 고가구조물의 합리적인 설계기준 마련을 위한 일환으로, 고무차륜형 경전철의 열차 정·동적 주행시 고가 상부구조물의 응력 및 처짐 측정 등 충격계수 계측시험을 수행하였고, 현재 철도설계 기준에서 제시하고 있는 충격계수와 계측시험결과를 비교·분석하였다.

주요어 : 경전철, 고무차륜, 고가구조물, 설계기준, 충격계수

1. 서 론

국내 경전철이 건설·운영 중인 용인, 의정부, 부산4호선, 부산-김해 사례에서 보듯이, 복잡한 도심지를 제외하고는 일반적으로 고가형태로 건설되는데, 국내 철도설계기준에는 고

† 교신저자: 한국철도기술연구원 저심도·경전철연구단(ahlee@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 저심도·경전철연구단

** 부산교통공사 기술연구소

속철도, 일반철도, 전동차등 철제차륜형 열차가 주행하는 철도교에 대한 설계기준만 제시되어 있을 뿐, 고무차륜형 열차가 주행하는 철도교에 대한 설계기준은 별도 마련되어 있지 않다. 이러한 관계로, 고무차륜형 경전철 고가구조물은 설계 당시 일반 전동차용 철도교 설계기준[1]과 국외 경전철 차량제작사에서 제시한 설계기준을 참조하여 설계되었고, 이로 인해 경전철 고가구조물임에도 일반 철도교 수준으로 육중하게 비경제적으로 건설되었다. 특히, 고무차륜형 경전철 고가구조물의 충격계수에 대해서는 국내 철제차륜형의 철도교 설계기준만 제시되어 있는 관계로 인하여 국내 도로교 설계기준을 반영하여 설계하였다. 그러므로, 효율적이고 경제적인 고가구조물의 설계 및 건설이 가능하도록 고무차륜형 경전철 특성을 반영한 고가구조물 설계기준 마련이 필요하다.

이에, 본 연구에서는 고무차륜형 경전철 고가구조물에 대한 국내 설계기준 마련을 위한 기초 연구로서, 경전철 고가 주요 설계요소의 구조물 규모에 미치는 영향 분석 연구[2]에서 제시된 고가구조물의 주요 영향 설계요소 중 하나인 충격계수에 대하여 열차 시험주행을 통한 현장 계측시험을 수행하였고, 그 결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 계측시험 개요

2.1.1 대상 고가구조물

고무차륜형 경전철시스템이 운영 중인 부산 도시철도 4호선의 고가 구간을 대상으로 계측 시험을 수행하였으며, 대상 구간은 Fig. 1의 고촌역(11K265)과 안평역(12K356) 사이 상행선 직선부 및 곡선부로서, 최고 시험속도 70km/hr을 고려하여 직선부는 교각번호 P88~P91 구간, 곡선부(R320m)는 교각번호 P94~P97 구간을 대상으로 계측 시험을 수행하였다.

계측대상 고가구조물 형식은 Fig. 2와 같이 경간 40m의 3경간 연속 강합성 박스 거더교(제형) 형식이며, 단면 제원은 Fig. 3과 같다. Fig. 1에서 보듯이, 두 번째 교각의 받침은 회전 변위만 가능하고 신축 변위가 불가능한 고정된 힌지이고, 나머지 교각의 받침은 신축 및 회전 변위가 가능한 롤러 형태로 구성되어 있다.



Fig. 1 Field-test site (Gochon~Anpyeong in Line 4, Busan)

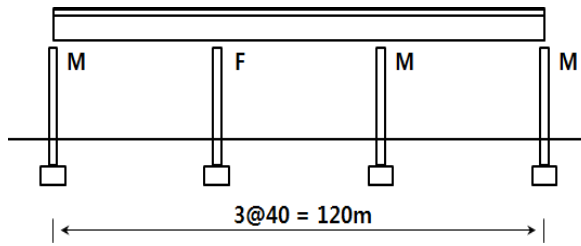


Fig. 2 Structural type of elevated structure

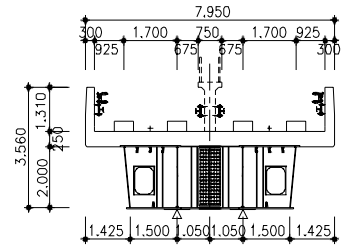


Fig. 3 The specification of elevated structure

2.1.2 주행시험 차량

주행시험 차량은 최대 축중이 9.5톤인 고무차륜형 경량전철로서, Fig.4에서와 같이 열차 길이는 6량 기준으로 57.840m이며, 1량 기준 9.640m이다. 그리고, 대차 중심간 거리가 5.3m이고, 첫 번째 차축에서 마지막 차축까지 거리가 53.5m이다.

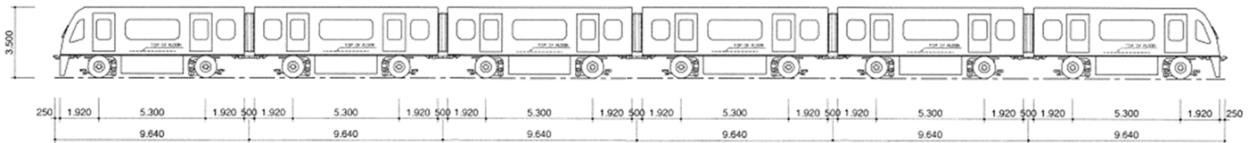


Fig. 4 The configuration of test AGT train

2.1.3 시험방법

고가구조물의 충격계수를 분석하기 위하여 동적 재하시험을 수행하였다. 시험차량의 주행

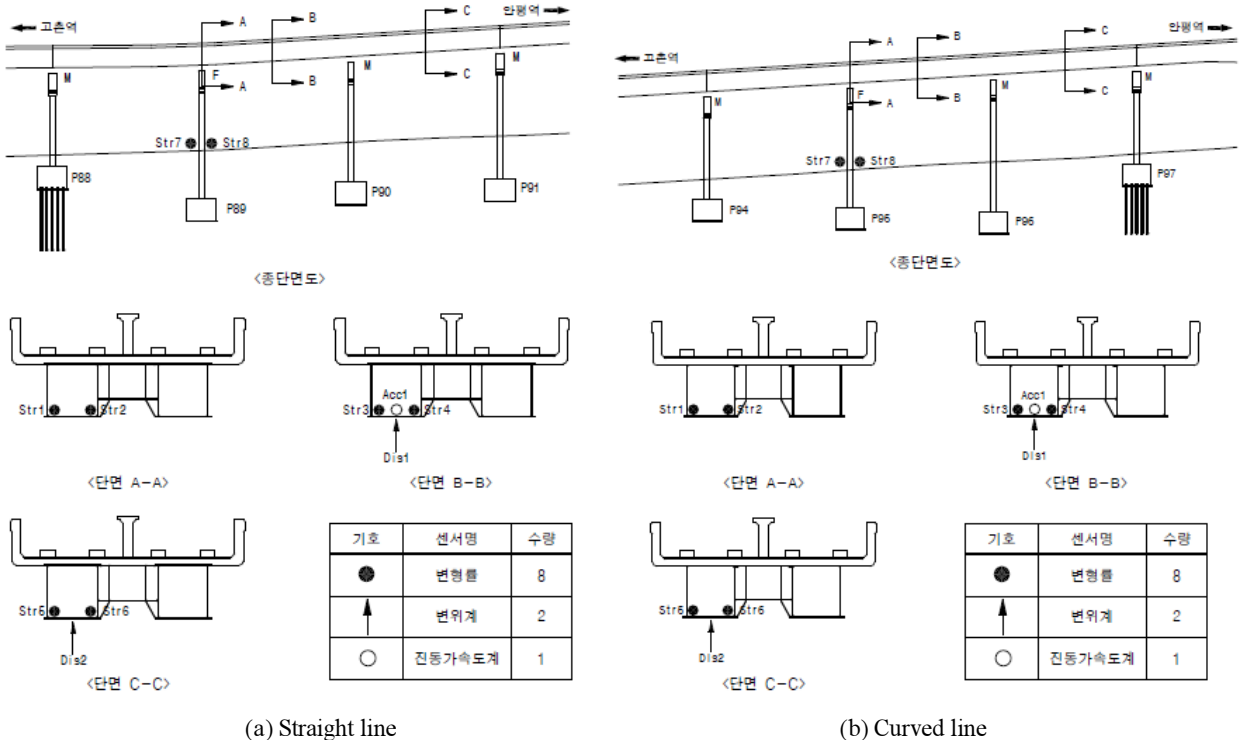


Fig. 5 The test line and the location of sensors

속도는 최저 5km/hr, 10km/hr에서 70km/hr까지 10km/hr씩 일정 속도로 증가시키면서, Fig. 5의 직·곡선부 구간을 상기 속도별로 안평역에서 고촌역 방향으로 정속 주행 시험을 수행하였다. 이를 위해, Fig. 5에서와 같이 상부 고가구조물에 변형율과 변위계를 설치하였는데, 변형율 게이지, Str1~Str6은 상부 제형박스 구조물 내부에 부착하였고, 변위계, Dis1, Dis2는 단면 B-B, C-C의 경간 중앙부에 설치하였다. Fig. 5에 센서 위치별 번호를 표시하였으며, 직·곡선부 구간의 센서 위치 및 번호는 동일하다.

2.2 시험결과 및 분석

충격계수는 속도별 계측된 변형율 및 처짐의 시간이력곡선으로부터 식(1)의 일반적인 충격계수 산정식을 사용하여 충격계수를 산정하였다. 충격계수 산정을 위한 최대 정적 응답은 동적 응답곡선에서 충격효과를 제거(low-pass filter)한 응답곡선으로부터 도출하였다.

$$i = \frac{D_{Dynamic}}{D_{Static}} - 1 \quad (1)$$

Fig. 6(a)는 직선부 구간의 상부 구조물에 설치된 변형율 센서 Str1, Str2에 의해 계측된 정적 및 동적 변형율을 나타내며, Fig. 6(b)는 직선부 구간 상부 구조물의 경간 중앙에 설치된 변위 센서 Dis1, Dis2에 의해 계측된 정적 및 동적 변위를 나타낸다.

Fig. 7(a) 및 7(b)는 각각 직선부 구간의 변형율 센서, Str1~Str6 및 변위 센서, Dis1~Dis2에 의해 계측된 정·동적 응답치를 가지고 산정된 충격계수이다. 변형율에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 8.2%로 나타났으며, 변위에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 2.5%인 것으로 나타났다. 전반적으로 변형율 센서에 의해 측정된 충격계수 값이 변위 센서에 의해 측정된 충격계수 값보다 크게 산정되었다.

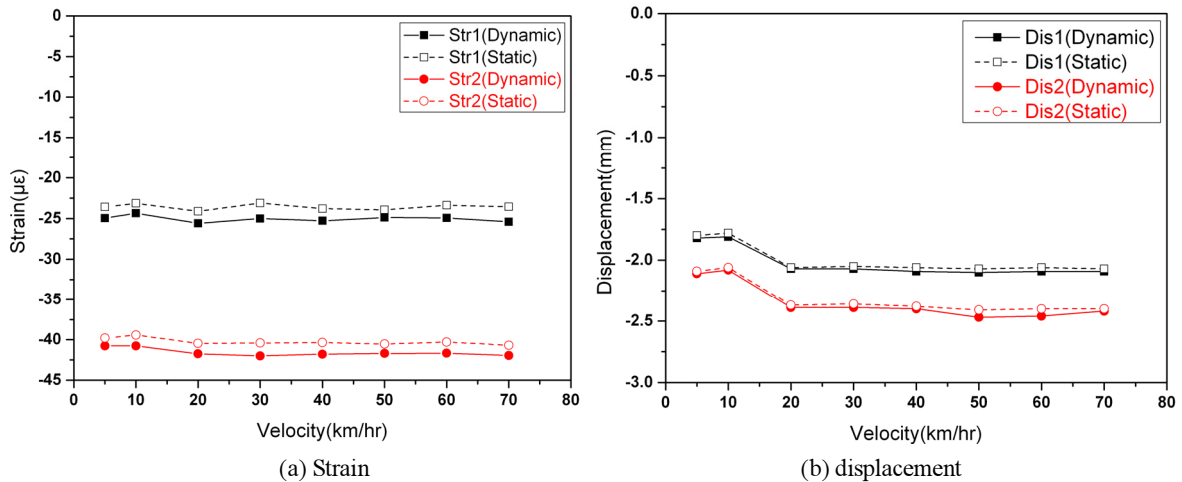
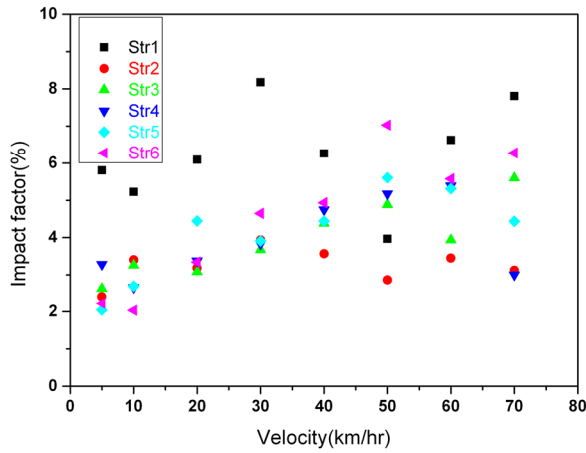
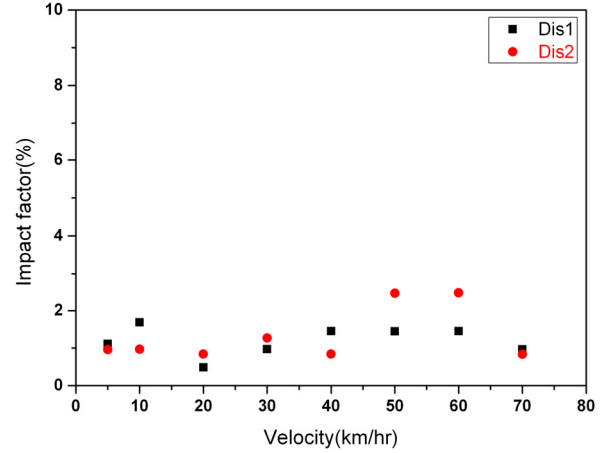


Fig. 6 The responses of superstructure according to the velocity of light rail transit (in straight line)

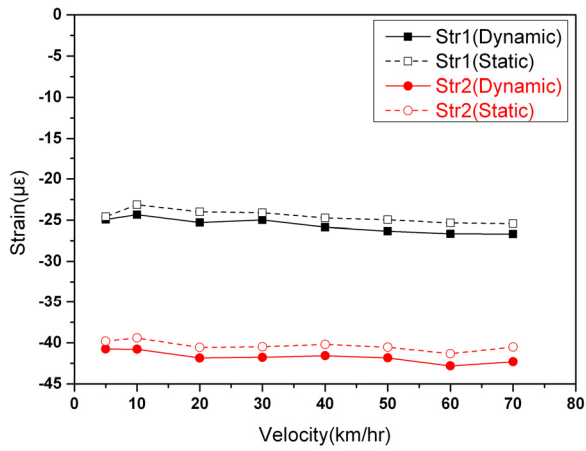


(a) Dynamic factor analyzed from strain

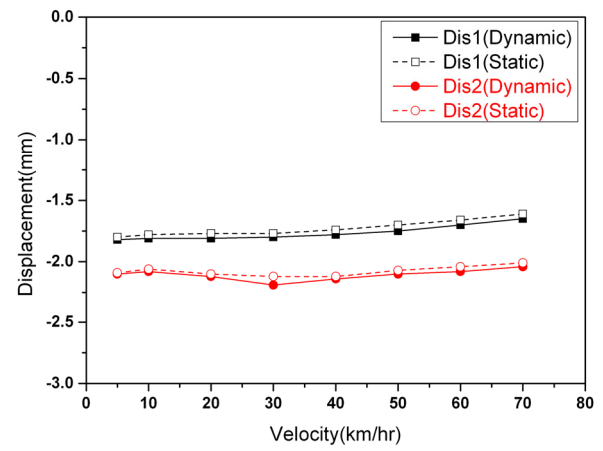


(b) Dynamic factor analyzed from displacement

Fig. 7 The test result of dynamic factor of elevated light rail structure (in straight line)

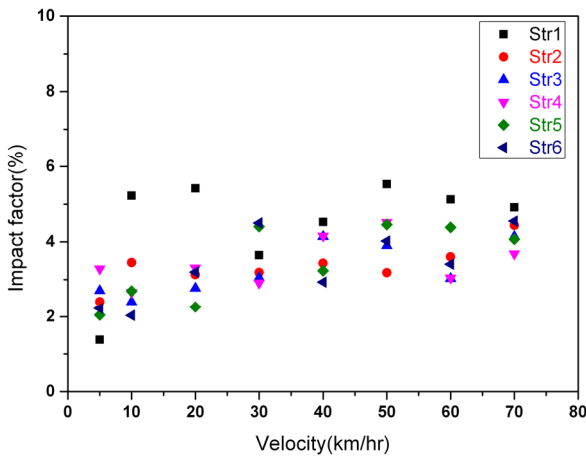


(a) Strain

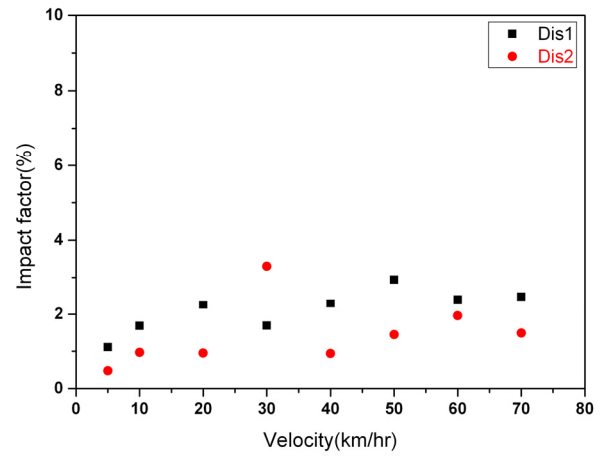


(b) displacement

Fig. 8 The responses of superstructure according to the velocity of light rail transit (in curved line)



(a) Dynamic factor analyzed from strain



(b) Dynamic factor analyzed from displacement

Fig. 9 The test result of dynamic factor of elevated light rail structure (in curved line)

마찬가지로, Fig. 8(a)는 곡선부 구간의 상부 구조물에 설치된 변형율 센서 Str1, Str2에 의해 계측된 정적 및 동적 변형율을 나타내며, Fig. 8(b)는 곡선부 구간 상부 구조물의 경간 중앙에 설치된 변위 센서 Dis1, Dis2에 의해 계측된 정적 및 동적 변위를 나타낸다.

Fig. 9(a) 및 9(b)는 각각 곡선부 구간의 변형율 센서, Str1~Str6와 변위 센서, Dis1~Dis2에 의해 계측된 정·동적 응답치를 가지고 산정된 충격계수이다. 변형율에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 5.5%로 나타났으며, 변위에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 3.3%인 것으로 나타났다. 전반적으로 변형율 센서에 의해 측정된 충격계수 값이 변위 센서에 의해 측정된 충격계수 값보다 크게 산정되었다.

이상에서와 같이, 고무차륜형 경전철 고가구조물의 최대 충격계수는 최대 8.2%로 10% 이하로 확인되었다. 설계당시 도로교 설계기준을 준용하여 당해 시험대상 고가구조물에 적용된 충격계수는 18.5%이다. 이렇듯, 상부구조물의 규모를 결정하는 충격계수를 어느 정도 완화 제시할 수 있을 것으로 보이며, 이로 인해 상부구조물 규모에 의해 하부구조에 전달되는 사하중이 작아지기 때문에 하부구조물 규모 역시 줄일 수 있을 것으로 보여 경제적인 설계로 건설비 절감이 가능할 것으로 사료된다.

3. 결론

본 연구는 경전철 특성이 반영된 경제적인 국내 고가구조물 설계기준을 마련하기 위한 기초 연구로서, 고무차륜형 경전철 고가구조물의 충격계수에 대하여 열차 시험주행을 통한 현장 계측시험을 수행하였고, 그 분석 결과는 다음과 같다; (1) 직선부 구간의 충격계수는 변형율에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 8.2%로 나타났으며, 변위에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 2.5%인 것으로 나타났고, (2) 곡선부 구간의 충격계수는 변형율에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 5.5%로 나타났으며, 변위에 의해 산정된 실측 충격계수는 최저 0.5%, 최대 3.3%인 것으로 나타났으며, (3) 당해 시험대상 고가구조물에 적용된 도로교 설계기준 상 충격계수가 18.5%로서, 실측치와 비교해 볼 때 어느 정도 완화된 기준 제시가 가능할 것으로 판단되어, 상·하부 고가구조물의 경제적인 설계로 건설비 절감이 가능할 것으로 사료된다.

향후 충격계수에 대한 추가 반복 시험결과를 토대로, 확률론적 분석을 통하여 고무차륜형 경전철 고가구조물에 대한 적정 충격계수 연구를 추진할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 산업기술연구회의 “저비용 고성능 철도 인프라 기술 개발” 연구과제에 대한 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 한국철도시설공단(2004), 철도설계기준(철도교편)
- [2] 신정열, 이안호, 박원빈, 임철수, 조강희 (2013) 경전철 고가 주요 설계요소의 구조물 규모에 미치는 영향 분석, 2013년 한국철도학회 춘계학술대회 발표논문집, pp.1390-1395.