

連續車輛荷重에 의한 衝擊荷重의 影響에 관한 研究

A Study on the Effect of a Series of Trucks on Dynamic Load Factor

黃義勝*

Hwang, Eui-Seung

ABSTRACT

This study deals with the effect of a series of moving trucks on the Dynamic Load Factor (DLF). The DLF is calculated by investigating the load effect of moving trucks. Therefore, analytical models for trucks, bridge, and road profiles were developed and dynamic structural analysis computer program were developed. Then the DLFs are calculated as a ratio of maximum dynamic load effect and maximum static load effect. Trucks used in this study are 5 axle semi tractor-trailer with the weight of 36 and 54 ton. Simply supported prestressed concrete box girder bridges with 20 and 40m span length are selected.

From the results of the DLF for various headway distances, they show a very scattered and relatively high values of the DLF in case of a 20m span length bridge. For a 40m span length bridge, the results show less scattered and small increase of the DLF compared to a 20m span length bridge.

I. 서론

교량의 설계시 고려하는 하중에는 여러가지가 있다. 이 중에서 특히 단경간이나 중경간 교량의 경우에는 차량하중이 가장 중요한 하중중의 하나이다. 현행 시방서¹⁾에서는 차량하중을 정적인 효과와 동적인 효과로 나누어 각각 활하중(Live Load)과 충격하중(Dynamic 또는 Impact Load)으로 구분하여 고려되어지고 있다. 그러나 실제로 정적효과와 동적효과는 따로 발생하는 것이 아니지만 교량설계시에는 차

량주행중의 효과를 인위적으로 구분하여 사용하고 있다. 즉 설계차량(Design Truck)이 정적최대효과를 나타내는 지점에 정지하여 있다고 생각하여 그 효과를 정적하중(활하중)이라 하고 실제 주행중의 최대 효과 중에서 이 정적효과를 제한 나머지를 충격하중이라 하는 것이다. 또한 시방서에서는 이 충격하중을 정적하중(활하중)의 값에 어떤 계수를 곱하여 구하게 되는데, 이 계수를 충격하중계수라 한다. 따라서 이 충격하중계수를 정하려면 실제 주행중의 최대 효과를 구해야 하므로 이 계수는 차량과 교량의 동적특성 및 노면의 영향을 받게 된다. 또한 차량주행

* 正會員, 韓國建設技術研究院 先任研究員, 工博

특성과도 밀접한 관계가 있는데 이는 정적하중효과를 산출하는 것과 관련이 있기 때문이다.

실제 차량주행특성을 보면 증차량이 연이어 교량을 통과하는 경우가 빈번하여 실제 시방서에서는 이의 효과를 고려하기 위해 시간이 긴 경우에는 트럭하중 대신에 등분포하중을 사용하고 있다. 따라서 충격하중도 연속차량이 주행하는 경우를 고려해서 그 계수를 정하여야 한다. 이 논문에서는 두 대의 차량이 일정한 간격(차간거리, Headway Distance)을 갖고 주행하는 경우에 이의 충격하중의 영향에 관하여 알아보려고 한다.

II. 동적모델

1. 차량모델

동적 관점에서 보면 차량은 몸체, 현가장치, 바퀴로 구성되어 진다. 이 연구에서는 차량이 Multi-Leaf Spring형식 현가장치를 갖고 있는 것으로 가정된다. 이러한 Multi-Leaf 현가장치는 진동의 각 주기에 비선형적인 거동으로 에너지를 발산시키는 장치이며 Fancher²⁾가 개발한 식이 사용되었다.

바퀴는 탄성선형으로 거동되어짐으로 가정되어지며 Fancher²⁾에 의해 제안된 876 KN/m/tire가 사용되어 진다. 차량의 몸체는 강제운동을 하는 등분포 질량으로 표시되며 수직방향 처짐과 Pitching 회전이 고려되어 진다. 차량에 대한 운동방정식은 수직방향과 회전의 평형상태로부터 구해진다.

2. 노면요철

노면요철의 영향을 나타내기 위해 노면형상이 구해지며, 이는 PSD(Power Spectral Density) 함수

로 표시되는 Random Process에 의해 나타내어진다.

이 Random Process는 Stationary Gaussian Random Process로 모델되어지며 Inverse Fourier Transform으로 다음과 같이 구해진다.

$$X(t) = \sum_{n=1}^N \sqrt{4 S(\omega_n) \Delta \omega} \cos(\omega_n t - \theta_n) \dots (1)$$

여기서 $S(\omega_n)$ 은 PSD 함수이고 ω_n 은 진동수, θ_n 은 0 부터 2π 까지 등분포된 random variable 이다. 대표적인 PSD 함수는 다음과 같다.

$$S(r) = ar^{-n} \quad r_a \leq r \leq r_b \dots (2)$$

여기서 a 는 조도계수, n 은 형상계수, r 는 spacial frequency, r_a , r_b 는 r 의 최저, 최고 경계치이다.

3. 교량모델

교량을 모델하는데 정적 및 동적의 횡분배 계수는 같다고 가정하였다. 결과적으로 전체 교량이 하나의 단순보로 고려되어 다음과 같은 Modal equation of motion이 구해진다.

$$\ddot{Z}_n(t) + 2\xi_n \omega_n \dot{Z}_n(t) + \omega_n^2 Z_n(t) = F_n(t)/M_n \dots (3)$$

$$\text{여기서 } M_n = \int_0^L \phi_n^2(x) m dx = \frac{mL}{2} \text{ (modal mass)}$$

$$F_n(t) = \int_0^L \phi_n(x) p(x, t) dx \text{ (modal force)}$$

$$\phi_n(x) = \sin \frac{n\pi x}{L} \text{ (mode shape)}$$

$$\omega_n = n^2 \pi^2 \sqrt{EI/mL^4} \text{ (natural frequency)}$$

$$EI = \text{상부구조단면의 휨강성}$$

$$P(x, t) = \text{차량축하중}$$

$$\xi_n = \text{damping 계수}$$

$$m = \text{교량 상부구조 단위길이당 질량이다.}$$

교량의 Damping 계수는 각 Mode에 2%로 가정되었다.

이러한 운동방정식은 Newmark β 방법에 의해 풀어진다. 자세한 해석과정은 문헌을 참고바란다.³⁾

Ⅲ. 차량 주행 특성

차량의 주행 특성중 가장 중요한 변수들에 연행율과 차간거리가 있다. 1990 ~ 91년에 한국건설기술연구원에서 조사한 자료⁴⁾에 의하면 차간거리는 차량속도와 밀접한 관계가 있으며 주행속도별 차간거리는 표 1에 보이는 것과 같다.

<표 1> 연행차량의 주행속도별 차간거리

주행속도 (km/h)	평균거리 (m)
0 - 5	1.2
5 - 10	2.06
10 - 20	4.8
20 - 30	5.84
30 - 35	10.17

표 2에서는 차량연행율을 보여주고 있는데 경차량 다음에 중차량이 올 확률이 약 30 ~ 50%가 됨을 보여주고 있다.

<표 2> 차량 연행율

지 역	중차량을	경 - 중	중 - 중
수원 - 인천	32.3	26.0	45.5
진영 - 마산	17.6	16.1	24.5
울산 - 경주	30.0	26.3	38.5
경주 - 포항	18.9	16.7	28.1
평택 - 천안	31.1	25.0	44.5

경 - 중 : 경차량후에 중차량이 올 확률
중 - 중 : 중차량후에 중차량이 올 확률

위에서 본바와 같이 차량 연행율에서 중차량후에 중차량이 올 때가 상당히 높은 빈도를 나타내고 있으며 이는 하중계산시에 연행차량의 중요성을 나타내고 있다.

Ⅳ. 해석결과

연행차량의 충격하중에 대한 효과를 분석하기 위해 지간 20m 및 40m의 단순 Prestress Concrete Box Girder 교량을 선정하였으며 중차량으로는 5축 Semi Tractor-Trailer를 선택하였다. 그림 1은 이 연구에 사용된 총중량 36ton 과 54ton의 5축 Semi Tractor-Trailer의 제원을 보이고 있다. 차량 두 대 사이의 차간거리는 그림 2에 정의되어 있다. 그림 3에서는 개발된 프로그램으로부터 연행차량에 따른 중앙점모멘트의 대표적인 시간 이력 곡선을 보여주고 있다.

차간거리에 따른 충격하중계수의 영향을 분석하기 위해 차간거리를 7.6m에서 28m까지 변화시키면서 그 결과를 그림 4와 5에 도시하였다. 두 차량이 바로 근접하여 오는 경우 차간거리의 최소치는 약 4.2m가 되는데 실제 이런 경우는 정체시의 거리가 되며 정

5 axle Semi Tractor-Trailer

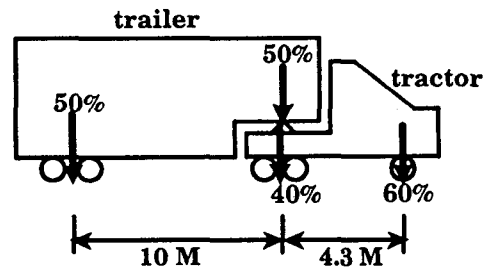


그림 1. 5축 Semi Tractor-Trailer

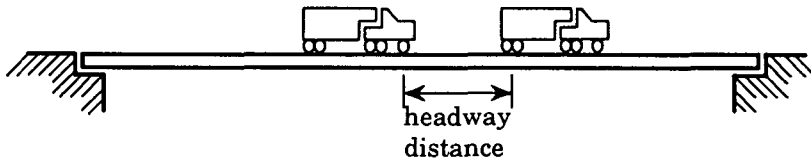


그림 2. 연행차량의 차간거리

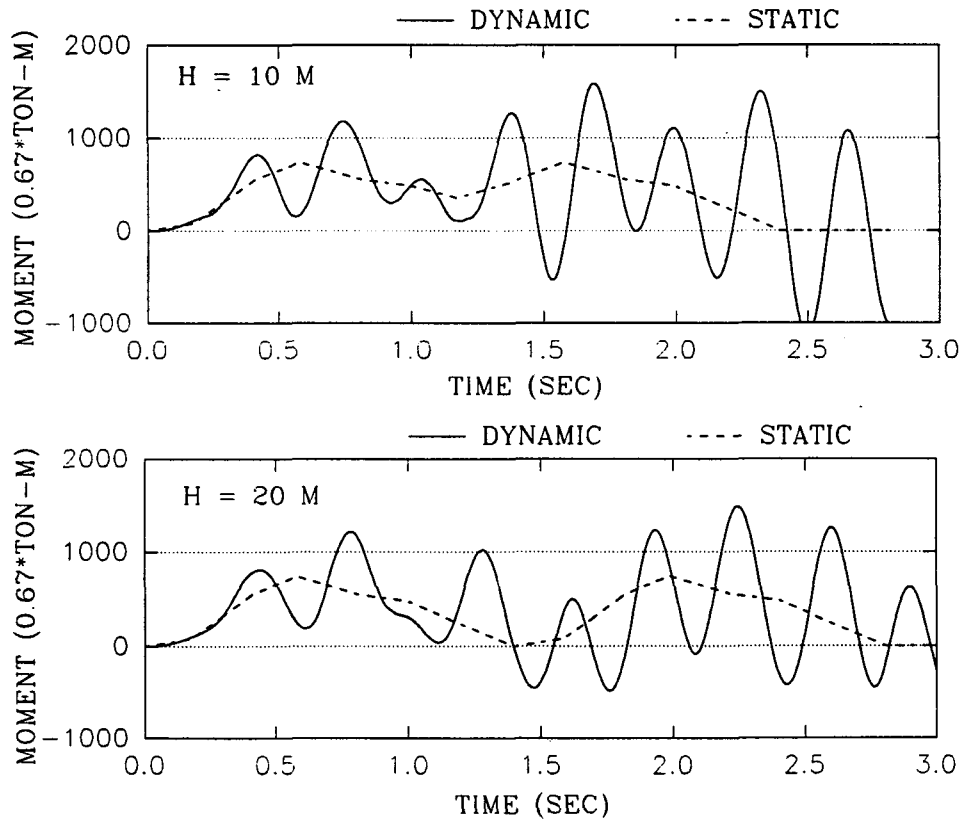


그림 3. 연행차량에 의한 교량 중앙점모멘트의 시간이력곡선

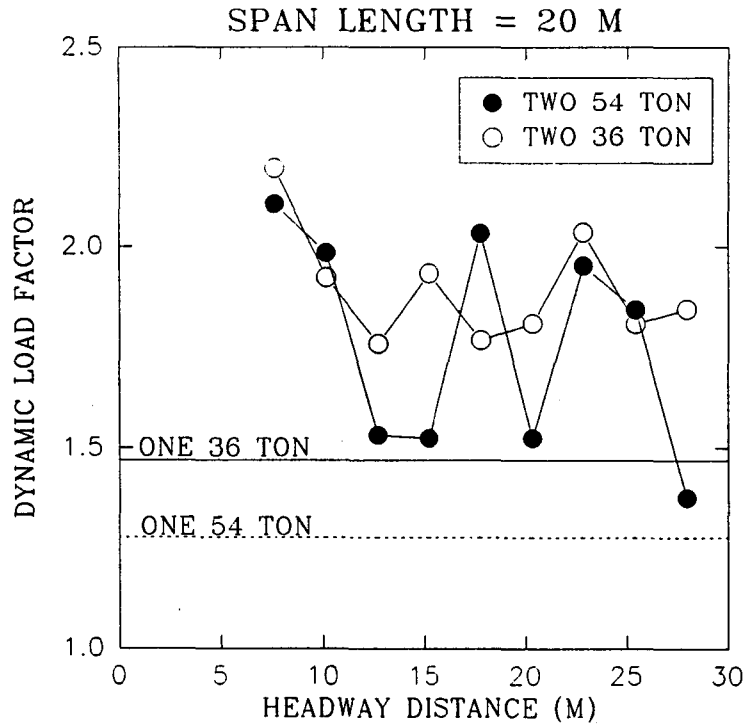


그림 4. 차간거리에 따른 지간 20m 교량의 충격하중계수

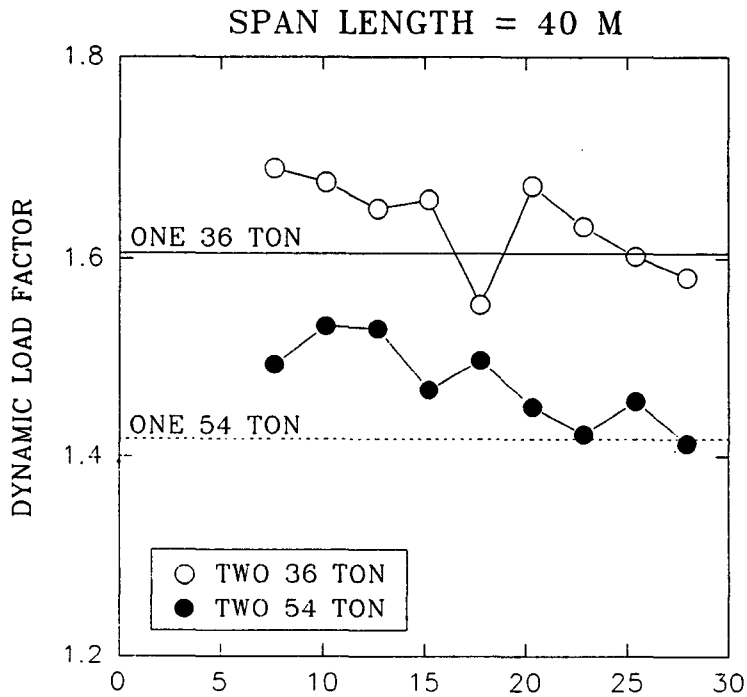


그림 5. 차간거리에 따른 지간 40m 교량의 충격하중계수

상적인 주행속도에서는 표 1에서 보는 바와 같이 10m이상이다. 또한 정체시 또는 아주 느린속도의 경우에는 교량의 동적효과가 거의 없으므로 이 연구에서는 최소 차간거리를 7.6m로 하였다. 그림 4(지간 20m)의 경우 차간거리에 따라 충격계수가 많은 변화를 보여주고 있으며 단일차량의 경우보다 상대적으로 높은 값을 보이고 있다. 차간거리가 무한대로 될 때는 단일차량이 지나가는 경우와 동일하므로 차간거리가 늘어남에 따라 충격하중계수의 값은 결국 감소할 것으로 예상된다. 단일차량에 의한 충격하중계수의 값도 그림에 보여주고 있다.

지간길이 40m의 경우에는 최대정적하중효과가 차간거리에 따라 변하는데 차간거리 18m이상에서는 단일차량이 주행할 때와 같으며 그 이하에서는 단일차량의 하중효과보다 더 큰 값을 갖게 된다. 따라서 그림 5에서 차간거리 18m 이하에서는 최대동적하중효과를 단일차량 주행시의 최대정적효과로 나눈값을 사용하였다. 결과적으로 지간길이 40m의 경우 지간길이 20m의 경우보다 변화량이 적으며 단일차량에 의한 충격계수보다 약간 증가하고있다. 차간거리가 25m 이상에서는 단일차량이 주행할 때와 거의 같음을 알 수있다. 또한 그림 4와 5를 비교해 보면 지간 40m의 경우 무거운 트럭이 더 낮은 충격하중계수를 갖는 반면 20m의 경우에는 별차이가 없음을 보여주

고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 연행차량 특성중 차간거리가 충격하중계수에 미치는 영향을 알아보았다. 연행차량은 활하중을 결정하는데 중요한 지표가 되므로 이 경우의 충격하중계수를 구하는 것도 시방서의 규정을 개정하는 중요한 자료가 된다. 본 연구의 해석결과로부터 20m 교량의 경우 차간거리에 따라 많은 변화를 보여주고 있으며 단일차량의 경우보다 훨씬 높은 값을 보인 반면 40m 교량에서는 변화가 적고 충격하중의 증가율도 적었다. 즉 연행차량은 지간이 짧은 경우에 더 큰 영향을 주고있다.

참고문헌

1. 건설부, "도로교 표준 시방서," 1983.
2. Fancher, P.S. et al., "Measurement and Representation of the Mechanical Properties of Truck Leaf Springs," Society of Automotive Engineers Technical Paper Series 80095, Warrendale, Pennsylvania, 1980.
3. Hwang, E.S., "Dynamic Loads for Girder Bridges," Ph.D. Thesis, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1990.
4. 한국건설기술연구원 "도로교 설계하중의 확률론적 분석," 최종보고서, 1991.