

승용차 전용 교량 설계용 활하중 모델

김 상 진*

Design Live Loads for Passenger Cars Bridges

Sang-Jin Kim*

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a live load model for the design and construction of passenger car bridges. The passenger car live loads that are developed in this study corresponds to the truck live loads in the existing highway bridge design standards. The survey for the dimensions and weights of passenger cars is necessary to develop design live loads. Dimensions of design cars were determined from the survey of cars that are produced in Korea in 2002. Car weight data were taken from the weight survey data for the development of design live loads for passenger car parking garages in USA. Data of car dimensions and weights were used to calculate the maximum load effects(moment and shear) in structures. The probability distribution of the extreme load effects for the design life of the structures were determined from the statistical analysis. From the probability distribution of the extreme load effects, uniformly distributed lane loads were calculated. Uniformly distributed lane loads are the live loads for the design of long span bridges. For the design of short span bridges or slabs, a design passenger car was developed.

Key Words : Live load, Passenger car, Bridge

1. 서 론

본 연구의 목적은 승용차 전용 조립식 고가도로 건설기술 개발에 필요한 승용차 전용 고가도로 설계용 활하중 모델을 개발하는 것이다. 본 연구에서 개발되는 승용차 전용 도로의 활하중 모델은 기존의 도로교 설계기준[1]의 트럭활하중 모델에 대응되는 하중이다. 최근 차량의 지속적인 증가로 인하여 극심한 교통

혼잡이 유발되고 있으며, 이로 인하여 막대한 경제적 손실이 초래되고 있다. 2000년 통계청 조사 한국 주요 경제 지표에 따르면 한 해 전국 교통 혼잡비용만 20조원에 이르고 있으며 매년 16%씩 상승하는 추세이다[2]. 따라서 도로의 확충 방안으로, 보상비와 민원, 공사기간, 교통통제기간 등의 측면에서, 고가도로의 건설이 효과적인 방법으로 대두되고 있다[3]. 특히 고가도로의 차량을 승용차로 제한할 경우 사용하중의 경감으로 건설비가 절감되며 상부구조의 경량화로 조립식 공법의 적용이 용이하여 공기 및 교통 통제기간을 단축할 수 있게 된다[4,5].

승용차 전용 조립식 고가도로를 실제 현장에 적용

* 제주대학교 토목환경공학전공
Major of Civil & Environmental Eng., Cheju Nat'l Univ.

하기 위해서는 광범위한 연구개발이 선행되어야 한다. 실용화를 위한 필수 연구내용은 승용차 전용에 따른 설계기준의 설정, 공장제작 현장조립을 위한 부재별 구조형식의 연구, 부재연결부에 대한 강도 및 피로거동 연구 및 통행제한을 최소화할 수 있는 조립식 가설공법에 대한 연구로 대별할 수 있다[4]. 특히 사용하중을 승용차로 제한할 경우 기존 설계기준의 트럭 활하중 모델은 더 이상 적용이 되지 않으며 승용차 전용도로용 활하중 모델이 개발되어야 한다. 승용차 전용 고가도로용 활하중 모델의 개발은 다른 연구를 진행하기 위한 가장 기본적인 연구이다.

승용차 전용 고가도로용 설계 활하중 모델을 개발하기 위하여 기본적으로 승용차의 치수와 중량에 대한 조사가 필요하다. 설계 승용차의 치수는 2002년 말 현재 국내에서 생산되는 승용차의 제원을 조사하여 결정하였다. 승용차 치수의 조사결과는 승용차 전용 고가도로의 차로 폭을 결정하는 데에도 유용하다. 또한 승용차 이외의 차량에 대한 고가도로의 통행을 차단하는 최대 통과 높이의 결정에도 유용할 것으로 판단된다.

승용차의 중량을 측정 또는 조사하는 방법으로서 여러 가지를 검토하였다. 검토한 결과 Wen과 Yeof[6]가 승용차용 주차장 설계 활하중 개발에 사용한 중량 조사 자료가 적합하여 이것을 고가도로용 설계 활하중 모델 개발에 이용하였다. 치수와 중량조사 자료를 이용하여 구조물이 받게 되는 최대 하중효과(모멘트와 전단력)를 계산하였다. 그리고 최대 하중효과에 대한 통계적 분석을 실시하여 설계 년한 최대 하중효과(모멘트와 전단력)의 확률분포를 결정하였다. 설계 년한 최대 하중효과의 확률분포로부터 등가의 등분포 하중을 계산하여 비교적 시간이 긴 교량에 적용되는 차선하중으로 하였다. 그리고 시간이 짧은 교량이나 바닥판을 설계할 경우에는 승용차 1대의 효과만 고려되므로 차량하중을 따로 유도하였다.

II. 승용차의 치수

승용차 활하중 모델 개발과 승용차 전용 고가도로의 차로폭 및 제한 높이 결정에 필요한 승용차 치수

를 조사하였다. 조사된 승용차 치수는 차축거리, 좌우 윤거, 차폭, 높이, 차량 길이, 내민 길이 등이다. 차량의 치수에 대한 조사는 2002년 말 현재 국내에서 생산 중인 승용차와 승합차 중에서 자동차 관리법[7]에서 승용차로 분류되는 10인 이하 운송 자동차를 조사하여 최대 높이를 찾아내어 그 높이보다 낮은 모든 종류의 승용차와 지프차, 승합차 및 소형 상용차(화물차)를 조사대상에 포함하였다. 승용차 전용도로에는 승용차만 통행하도록 통제되어야 한다. 그러나 현실적으로 차량을 통제할 수 있는 확실한 수단은 높이이므로 조사 범위에 자동차 관리법을 만족하는 승용차를 조사하여 가장 큰 높이를 찾아내고 그 높이보다 낮은 모든 종류의 차량을 조사에 포함하였다.

Table 1에 조사된 승용차 차량치수를 요약·정리하여 나타내었다. 첫 번째 행에 차로 폭 결정 및 제한 높이 결정과 승용차 활하중 모델 개발에 사용될 차량의 길이와 차축거리, 좌우 차륜거리, 내민 길이의 값을 나타내었다. 차폭의 최대 값과 높이의 최대값은 승용차량 점유폭과 차로폭, 승용차 이외의 차량통제를 위한 통과 제한 높이 결정에 유용하다. 따라서 둘째 행과 셋째 행에 승용차량 치수 조사에서 구한 각 치수의 최대 값과 최소 값을 나타내었다. 또한 승용차 활하중 모델 개발에 사용되는 차량의 치수인 차량의 길이와 차축거리, 좌우 차륜거리, 내민 길이에서 최대치나 최소치는 중요하지 않으며 여러 차량을 대표하여 나타낼 수 있는 값을 선정하는 것이 중요하다. 따라서 나머지 행에서는 이러한 값을 찾기 위한 치수를 나타내었다. 네 번째 행에 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙[8] 및 자동차 관리법[7]에서 소형 자동차로 분류되는 차량의 치수를 나타내었다. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙에서는 도로구조설계의 기준이 되는 설계기준 자동차를 소형 자동차, 대형 자동차, 세미트레일러로서 구분하고 있다. 승용차 전용 고가도로의 경우는 소형 자동차에 해당하므로 소형 자동차의 치수를 나타내었다. 그리고 마지막 세 행은 실제 차량의 치수를 나타낸다. 비교적 판매대수가 많은 차량인 Avante와 Sonata에 대한 치수를 나타내었다.

조사된 승용차의 최대폭 1.9m는 차량 하중의 점유폭 결정과 도로의 횡단치수를 결정하는 데 사용될 것

Table 1. Summary of car dimensions

	length (mm)	width (mm)	height (mm)	axle spacing (mm)	wheel distance (mm)	protruded length(mm)	
						front	back
representative value	4700	1900	1900	2700	1500	800	1200
maximum value	5355	1895	1900	3200	1650	2265	
	Chairman	Carnival	Galloper	Chairman	Equus	Musso Sports	
minimum value	3230	1400	1330	1840	1220	1115	
	Damas	Damas	Tuscani	Damas	Damas	Visto	
small vehicle in road design standard	4700	1700	2000	2700	1300	800	1200
Hyundai Avante	4510	1720	1420	2610	1475	1900	
Hyundai Sonata	4745	1820	1425	2700	1530	2045	
Kia Rio SF 1500cc	4240	1680	1435	2410	1430	840	985

이다. 조사된 승용차의 최대 높이 1.9m는 승용차 전용도로 통행 차량을 통제하기 위한 높이의 기준이 될 수 있다. 차량의 길이 4.7m와 차축거리 2.7m, 윤거 1.5m와 앞 내민길이 0.8m, 뒤 내민 길이 1.2m는 승용차 활하중 모델의 개발에 이용될 것이다.

조사된 승용차량 치수로부터 결정된 설계 승용차량의 치수를 Fig. 1에 나타내었다. 설계 승용차량의 점유폭은 2.5m로 하고 차로폭은 3.25m로 하였다. 기존의 도로교설계기준[1]에서는 차량의 최대폭 2.5m에다 주행상의 여유를 보고 설계차량의 점유폭을 3.0m로 하고 있으며 표준차로폭은 3.6m로 하고 있다. 승용차 전용도로의 경우에는 조사된 승용차량의 최대폭 1.9m에다 주행상의 여유를 고려하여 승용차량의 점유폭을 2.5m로 결정하였고 차로폭은 좀 더 여유를 두어 3.25m로 하였다.

승용차 전용 고가도로의 차로폭 3.25m와 일반 고속도로의 표준차로폭 3.6m와의 차이가 승용차의 점유폭 2.5m와 트럭의 점유폭 3.0m와의 차이보다 작은 이유는 일반 고속도로의 표준차로폭이 승용차와 트럭의 구성 비율에 따라 결정되었을 것으로 판단되기 때문이다. 즉 표준차로폭 3.6m는 트럭과 승용차의 통행 빈도를 고려하여 결정된 값으로 생각되며 트럭운행의 편의성보다는 승용차운행의 편의성이 많이 고려되었을 것으로 판단된다.

따라서 승용차 전용도로의 차로폭과 일반 고속도로의 표준차로폭의 차이는 차량폭의 차이만큼 크지 않다.

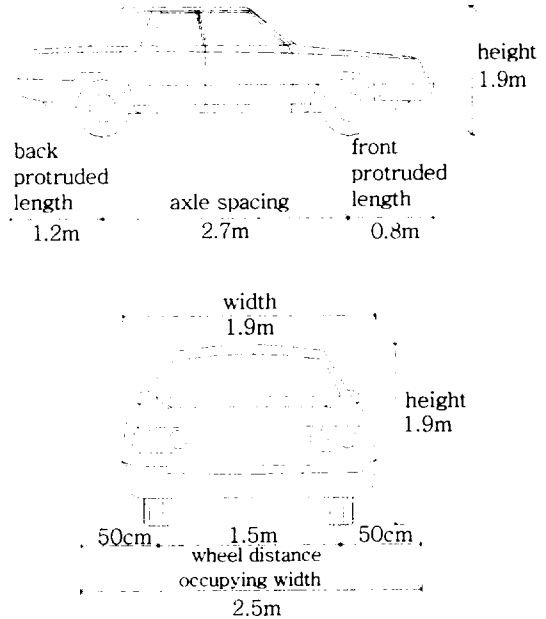


Fig. 1. Dimensions of design passenger car

III. 설계 승용차 활하중의 개발

3.1. 개요

주어진 지간의 구조물이 받게 되는 하중효과(전단력 또는 모멘트)의 확률분포는 승용차의 총중량 확률분포와 재하 승용차의 치수 및 축하중분배, 축거, 차

량간격을 이용하여 승용차를 재하하여 구할 수 있다. 이렇게 구한 하중효과에 대한 확률분포는 주어진 표본 집단으로부터 구조물에 재하가 실현되는 경우이다. 구조물의 설계 년한 동안 표본 집단의 수는 주어진 표본 집단의 수보다 훨씬 크고 같은 크기의 표본 집단은 아주 여러 번 발생하게 되며 설계 활하중에 대한 확률분포는 각 표본집단의 최대값에 대한 확률분포이다. 설계 년한 동안의 극한 하중효과에 대한 확률분포는 주어진 표본 집단에 의한 하중효과와 확률분포를 변환시켜 얻게 된다. 이렇게 구한 극한 확률분포를 이용하여 설계 년한 동안 극한 하중효과와 98%가 초과되지 않는 극한 하중효과 값을 계산하였다(Fig. 2를 참고). 98%를 초과하지 않는 극한 하중효과와 값은 공칭 하중효과에 하중 계수를 곱한 값에 해당한다[9]. 따라서 공칭 하중효과를 얻기 위해서는 98%를 초과하지 않는 극한 하중 효과의 값을 하중계수로 나누어야 한다. 이렇게 구한 공칭 하중효과를 등가의 등분포하중을 계산하여 설계차선하중을 구하였다. 하중효과는 대표적으로 단순지간의 최대 전단력과 최대모멘트를 고려하였으며 각각의 경우에 대해서 유도되는 등가의 등분포하중 중에서 큰 값을 설계차선하중으로 하였다. 그리고 지간이 짧은 교량의 경우에는 승용차 1대의 효과만 고려되므로 차량하중을 따로 유도하였다.

98%를 초과하지 않는 극한 하중값을 하중계수로 나누어 공칭 하중값을 얻는 방법은 기존의 설계기준을 최대한 유지하기 위한 수단이다. 즉 기존의 설계기준의 하중계수나 저항계수 등을 바꾸지 않고 설계하중만 트럭 활하중에서 승용차 전용 활하중으로 바꾸기 위한 불가피한 방편이다. 원칙적으로는 대부분의 설계자가 받아들일 만한 크기와 형태의 공칭하중을 먼저 결정하고 공칭하중에 상응하는 하중계수를, 저항과 하중의 변동성을 함께 고려한 신뢰성 해석을 통하여, 결정하는 것이 바람직하다. 그러나 이렇게 할 경우 하중계수의 조정뿐만 아니라 구조물 종류(철근콘크리트, 프리스트레스트콘크리트, 강구조, 복합구조)에 대한 저항 거동(전단, 모멘트)에 따라 저항계수를 신뢰성 해석을 통하여 다시 조정하여야 하는 등 설계 기준의 전반적인 수정이 불가피하게 된다. 따라서 이렇게 하는 것은 상당한 시간을 필요로 하며 항

후 수행되어야 할 과제가 된다.

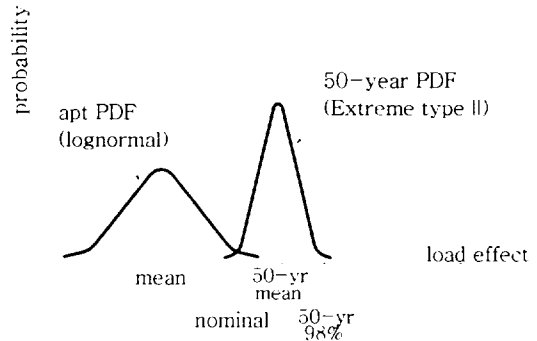


Fig. 2. Transformation of load

3.2. 승용차의 중량조사

승용차 전용 고가도로용 설계 활하중 모델을 개발하기 위하여 필요한 승용차의 중량으로 Wen과 Yeo [6]가 승용차용 주차장의 설계 활하중 개발에 사용한 중량 조사 자료를 이용하였다. Wen과 Yeo[6]의 연구에서 하중 조사는 Chicago시, Urbana-Champaign시, Boston시와 Cambridge시에서 실시되었다. 총 519대의 차량이 조사되었으며 조사된 차량의 공차 중량은 7,541 N(Geo Metro)에서 38,308 N(Chevy Suburban)이었다. 조사된 차량의 중량의 확률분포는 대수 정규분포가 가장 적합한 것으로 판정되었다. 차량중량의 표본 평균은 $\mu_w = 15,200$ N이고 표준편차는 $\sigma_w = 4,831$ N이었다.

주차장 건물에서 조사된 승용차의 중량은 공차중량이다. 따라서 고가도로용 승용차 하중모델을 개발하기 위해서는 승객과 화물이 적재된 승용차의 총중량에 대한 확률분포가 필요하다. Wen과 Yeo[6]은 승객과 화물 하중의 평균값을 실제 승용차 중량의 17%로 가정하였으며 이것은 대략 승객 2명과 화물 하중 1,107N에 해당한다. 승객과 화물 하중을 포함한 차량 총중량에 대한 통계값은 총중량이 공차중량과 적재계수(차량중량의 17%)의 곱으로 표현되고 각각을 대수 정규분포로 가정하면 총중량의 확률분포도 대수 정규분포이다. 따라서 총중량에 대한 평균은 $\mu_w = 18,777$ N이고 표준편차는 $\sigma_w = 5,606$ N으로 결정된다.

3.3. 승용차의 치수, 간격 및 총중량 분담률

승용차 차선하중을 유도하는데 사용된 내민길이는 2m, 차축거리는 4.5m, 차량간격은 1.5m이다. 이러한 치수는 실제 교통에서 실현 가능한 거의 가장 불리한 하중상태를 나타낸다. 앞에서 조사된 승용차의 대표적인 차량치수에서 차축거리는 2.7m이다. 그러나 차선하중을 유도하는 데 사용되는 재하차량에서는 계산의 편의상 안전축의 값 2.5m로 하였으며 내민길이는 2m로 하여 전체 차량의 길이는 4.5m로 하였다. 차량 간격은 1.5m로 가정하였다. 운전면허시험의 정지선 정지거리가 0.5~1.0m이고 시속 10km/h에서의 안전거리가 3m인 점을 고려한다면 차량간격 1.5m는 차량이 거의 정지한 상태로써 교통이 매우 혼잡한 상태를 나타낸다.

승용차의 총중량은 앞축이 60%를 담당하고 나머지 40%를 뒤축이 담당하는 것으로 가정하였다. 앞축과 뒤축 모두 동일한 크기의 타이어와 동일한 개수의 타이어를 사용하고 있어 승용차의 설계시 총중량 부담을 앞축과 뒤축이 동일하게 하는 것을 목표로 설계한 것으로 추정된다. 그러나 대부분의 경우 전륜구동이고 구동축에 다소 무겁게 총중량이 배치되어 있고 앞자리에서부터 재하 됨을 고려하여 다소 총중량이 불균등하게 분배될 것으로 판단되어 앞축과 뒤축의 총중량 분담률을 다르게 하여 앞축을 60%로 하고 뒤축을 40%로 하였다.

3.4. 최대 전단력

대표적인 단순지간으로서 20 m 지간에 최대 전단력이 발생되도록 승용차가 재하 된 경우가 Fig. 3에 나와 있다. 지간 20 m의 경우에 승용차 3대와 마지막 1대의 앞축까지 재하가 가능하다. 주어진 지간에 대한 최대 전단력의 영향선의 종거도 그림에 나와 있다. 그림 3에 주어진 지간 20 m에 대한 최대전단력 V 는 승용차 각각의 차축하중과 영향선의 종거를 곱한 값을 합하여 구할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned}
 V &= (0.6 \times 1 + 0.4 \times 0.875) W_1 \\
 &+ (0.6 \times 0.7 + 0.4 \times 0.575) W_2 \\
 &+ (0.6 \times 0.4 + 0.4 \times 0.275) W_3 \\
 &+ (0.6 \times 0.1) W_4 \\
 &= 0.95 W_1 + 0.65 W_2 + 0.35 W_3 + 0.06 W_4 \quad (1)
 \end{aligned}$$

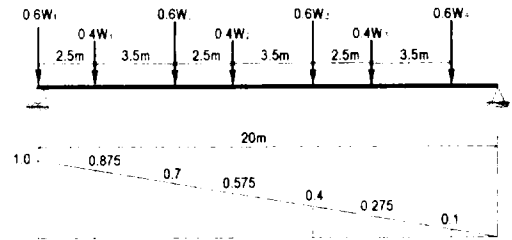


Fig. 3. Vehicle loading and influence line for shear force

여기서 V 는 승용차가 재하 되었을 경우의 지점 최대 전단력이고 W_i 는 승용차 총중량으로서 통계학적으로 독립적이고 동일한 평균과 표준편차를 갖는 확률변수이다. 따라서 최대 전단력 V 의 평균 μ_V 와 표준편차 σ_V 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \mu_V &= (0.95 + 0.65 + 0.35 + 0.06) \mu_{W_T} \\
 &= 2.01 \mu_{W_T} = 2.01 \times 1,816 = 3650 \text{ kg} \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_V &= \sqrt{0.95^2 + 0.65^2 + 0.35^2 + 0.06^2} \sigma_{W_T} \\
 &= 1.205 \sigma_{W_T} = 1.205 \times 572 = 690 \text{ kg} \quad (3)
 \end{aligned}$$

식 (1)의 최대 전단력은 대수정규분포인 축하중의 선형함수이다. 따라서 최대 전단력은 더 이상 대수정규분포가 아니다. 중간한계값의 정리에 따르면 아주 많은 수의 확률변수의 합은 정규분포로 가까이 간다 [10]. 겨우 4개의 확률변수가 최대 전단력의 산정에 포함되었으므로 최대 전단력의 확률분포는 정규분포와 대수정규분포의 중간 정도에 해당하게 된다. 대수정규분포를 사용할 경우에는 그 결과가 다소 안전측일 것이다. 본 연구에서는 최대 전단력의 확률분포를 대수정규분포로 가정하여 다소 안전측의 결과를 얻고자 하였다. 일반적으로 변동계수가 작을 때(<0.20)는 정규분포로 가정한 것과 대수정규분포로 가정한 것과의 차이는 그다지 크지 않을 것이다.

3.5. 극한최대전단력

3.4절에서 구한 최대 전단력의 평균과 표준편차는 표본숫자 519대에 대한 값이며 교량의 설계년한 동안에는 이 숫자보다 훨씬 많은 숫자의 차량이 존재할 것이다. 따라서 표본숫자 519대에 대한 최대 전단력의 평균과 표준편차를 설계 년한 동안에 발생하는 차량 숫자에 대한 극한 최대 전단력의 평균과 표준편차로 변환하여야 한다. 설계년한 동안 519대의 승용차 표본 집단이 작용하여 발생하는 최대 전단력은 아주 여러 번 발생하게 되고 각각의 경우는 통계적으로 독립적으로 변할 것이다. 필요로 하는 것은 설계 년한 동안에 519대의 표본집단이 여러 번 발생할 경우에 최대 전단력의 극한값에 대한 확률분포이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 극한값의 점근분포를 사용할 수 있다[10]. 최대 전단력에 대한 분포는 3.4절에서 설명한 것처럼 대수정규분포로 가정한다.

3.4절에서 설명하였듯이, 한 시간 내에 재하 되는 승용차의 수가 다소 작으므로, 대수 정규분포가 정규 분포보다 더 적절한 확률모델일 것이다. 대수정규 확률변수 V 의 표본집단 519대가 n 번 발생할 때의 극한값 V_n 은 제2형 극한분포에 근접할 것이다[10]. 2001년 서울지방경찰청의 서울시 교통량 조사 자료에 따르면 차로당 통과 교통량이 최대인 곳은 동호대교로 27,000대/일/차로이다[11]. 따라서 표본집단 519대는 하루에 27,000/519=52개가 존재하게 된다. 그리고 설계년한 50년에 대해서는 519대의 표본집단은 $n=52 \times 365 \times 50=949,000$ 개가 존재한다. 즉 $n=949,000$ 은 충분히 큰 숫자로서 극한값 V_n 은 제2형 극한분포에 근접한다.

제2형 극한분포인 V_n 의 누적확률분포함수를 구하는 과정을 요약하면 다음과 같다. 보다 구체적인 이론적인 배경은 Gumbel[12]과 Ang and Tang[10]에서 찾을 수 있다. 최대 전단력 V 를 로그 취한 값에 대한 표준편차 ζ_V 와 평균 λ_V 를 구하면 다음과 같다.

$$\zeta_V = \sigma_{\ln v} = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\sigma_V^2}{\mu_V^2}\right)} = 0.1871 \quad (4)$$

$$\lambda_V = \ln \mu_V - \frac{1}{2} \zeta_V^2 = 8.1851 \quad (5)$$

제2형 극한분포인 V_n 의 누적확률분포함수에 대한 파라미터 v_n 과 k_n 는 다음과 같이 구한다.

$$v_n = e^{\lambda_n} = 8,733 \quad (6)$$

$$k_n = \alpha_n = 28.038 \quad (7)$$

여기서

$$\lambda_n = \zeta_V \sqrt{2 \ln n} - \zeta_V \frac{\ln \ln n + \ln 4\pi}{2\sqrt{2 \ln n}} + \lambda_V \quad (8)$$

$$\alpha_n = \frac{\sqrt{2 \ln n}}{\zeta_V} \quad (9)$$

따라서 제2형 극한분포인 극한 최대 전단력 V_n 의 누적확률분포함수는 다음과 같이 된다.

$$F_{V_n}(v) = \exp\left[-\left(\frac{891}{v}\right)^{28.038}\right] \quad (10)$$

Fig. 2에서 설명한 바와 같이 극한 최대 전단력 V_n 의 누적확률분포함수의 값 $F_{V_n}(v)$ 이 98%인 점 v 를 공칭하중에 하중계수를 곱한 계수하중으로 가정하고 하중계수로 계수하중을 나누어 공칭하중을 구한다. 식 (10)에서 98%되는 전단력의 값은 $v=98,363N$ 이고 이것을 현행 도로교설계기준[1]의 강도설계법의 활하중계수 2.15로 나누면 45,750N이 된다. 그리고 이것을 다시 시간 20m에 대한 등가분포 차선하중으로 환산하면 4,576N/m가 된다.

3.6. 차선하중과 차량하중

3.4절과 3.5절의 등가분포 차선하중은 지간이 20 m인 경우이다. 지간이 20 m이외의 다른 여러 지간에 대해서 같은 방법으로 등가분포 차선하중을 구할 수 있다. 또한, 최대전단력에 대한 경우와 유사한 방법으로 최대모멘트에 대해서도 등가분포 차선하중을 구할 수 있다. 구한 차선하중을 Fig. 4에 나타내었다. 전단력으로부터 유도된 차선하중이 다소 크지만 지간이 아주 짧은 경우를 제외하고는 전단력과 모멘트로부터

유도한 차선하중의 크기가 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 전단력과 모멘트로부터 유도된 공칭 차선하중에서 큰 값을 차선하중으로 취하여 공칭하중으로 하였다. 설계 승용차 차선하중의 값을 Table 2에 나타내었다.

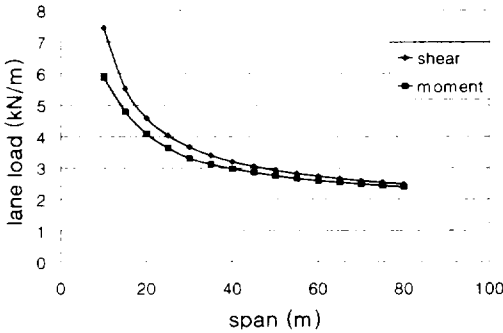


Fig. 4. Lane load for passenger car

Table 2. Design lane load for passenger car

span(m)	lane load (N/m)
<10	7,450
15	5,540
20	4,610
25	4,070
30	3,680
35	3,430
40	3,240
45	3,040
50	2,940
55	2,850
60	2,750
65	2,650
70	2,600
75	2,550
>80	2,500

앞에서 구한 승용차 차선 하중은 지간이 긴 경우에 여러 승용차가 동시에 재하 될 경우이다. 지간이 짧은 교량이나 바닥판을 설계할 경우에는 승용차 1대의 효과만 고려되므로 차량하중을 따로 유도하였다. 승

용차 차량하중은 1대의 효과만 고려되므로 앞에서의 통계적인 덧셈이나 전단력과 모멘트로부터의 등가분포 차선하중의 변환은 불필요하며 필요한 것은 519대의 표본집단에 대한 승용차 중량을 설계년한에 대해서 변환시켜 제2형 극한분포를 구하는 과정만 필요하다. 유도된 승용차 차량하중과 조사된 승용차 치수를 바탕으로 결정된 설계 승용차 차량하중을 Fig. 5에 나타내었다. 승용차 차선하중의 경우는 기존의 도로 교설계기준의 DL하중에 해당한다고 볼 수 있으며 승용차 차량하중의 경우는 DB하중에 해당한다고 볼 수 있다. 차선하중의 경우는 부재의 길이가 비교적 긴 부재의 설계를 지배하고 차량하중의 경우는 부재의 길이가 비교적 짧은 부재의 설계를 지배한다.

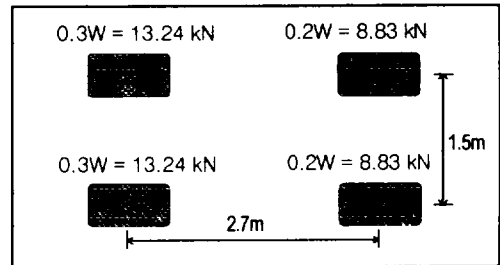


Fig. 5. Design vehicle load for passenger car

IV. 설계 승용차 활하중의 검토

4.1. 설계년한과 차선수의 변화

앞에서 승용차의 활하중을 유도하면서 설계년한을 50년을 사용하였다. 그러나 관점에 따라서는 설계년한을 30년 또는 75년과 같이 다른 설계년한을 선호할 수도 있으므로 이에 대한 검토가 필요하다. 설계년한이 달라질 경우 앞에서 유도한 것 중에서 변화되는 것은 설계년한 동안에 발생하는 통과교통량이다. 즉 30년이면 50년 통과 교통량의 30/50배이며 75년이면 50년 통과 교통량의 75/50배이다. 각 설계년한에 대한 통과 교통량을 고려한 공칭차선하중의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 차선하중은 설계년수가 어느 정도 클 경우부터는 큰 변화를 보이지 않는다. 즉 설계년한을 30년, 50년, 또는 75년으로 하는 것은 설계

하중에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

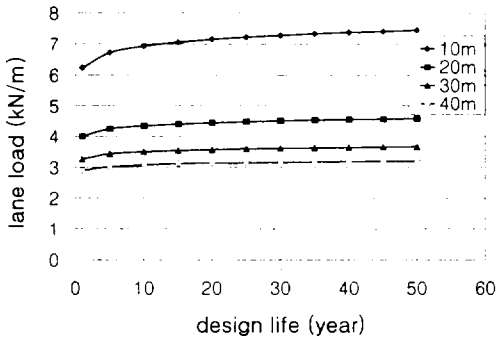


Fig. 6. Variation of lane load per design life

앞에서 유도한 승용차 활하중은 차선수가 1인 경우이다. 차선수가 증가할수록 차선당 통과교통량이 감소할 것이다. 차선당 통과교통량이 작은 효과는 설계년한이 감소하여 통과교통량이 작은 효과와 유사하다. 따라서 차선수의 증가에 따른 차선당 통과교통량의 감소는 설계년한의 감소에 따른 통과교통량의 감소로 인한 차선하중의 변화를 검토하는 것과 동등하다. 위에서 언급하였듯이 설계년한이 다소 감소한다고 해도 차선하중의 크기의 변화는 미미하다. 따라서 차선수의 증가에 따른 차선하중의 감소는 고려하지 않는 것이 타당하다. 여러 차선이 동시에 재하 될 경우에 활하중을 일정비율로 감소시키는 다차선 하중 감소계수는 승용차 활하중의 경우 적용되지 않는다.

4.2. 차간 거리의 변화

승용차의 활하중의 유도에 차간거리는 1.5m로 가정하였다. 이 거리는 충분히 작은 거리이며 이보다 작은 거리일 경우는 아주 드물 것이다. 그러나 차간 거리의 영향이 어느 정도인지 알아보기 위해 차간 거리를 변화시킨 경우에 대한 차선하중의 변화를 살펴 보았다. Fig. 7은 차간거리의 변화에 따른 차선하중의 변화를 나타낸다. 차간 거리는 1.5m에서 크게 줄어들 가능성은 없다. 극단적인 경우인 0.5m를 살펴보다더라도 1.5m인 경우와 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

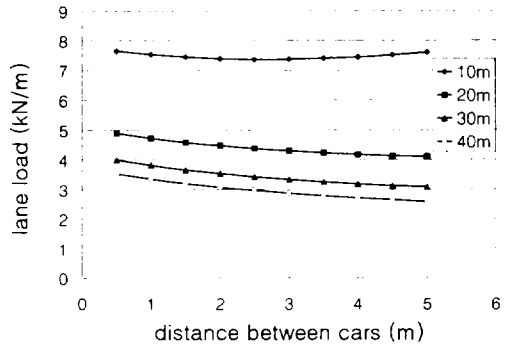


Fig. 7. Variation of lane load per distance between cars

4.3. 적재율의 변화

승용차 활하중의 유도에서 승객과 화물 하중의 평균적재율은 승용차 증량의 17%로 가정하였다. 이것은 대략 승객 2명과 화물 하중 1,107N에 해당한다. 그리고 변동계수는 33%로 가정하였다. 적재율의 변화에 대한 차선하중의 변화를 살펴보기 위하여 적재율 17%이외의 경우에 대해서 차선하중을 구하고 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 공차중량 대비 적재율 17%는 이미 상당히 큰 값이다. 따라서 적재율이 이보다 클 가능성은 적으며 적재율이 작은 경우에는 차선하중의 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

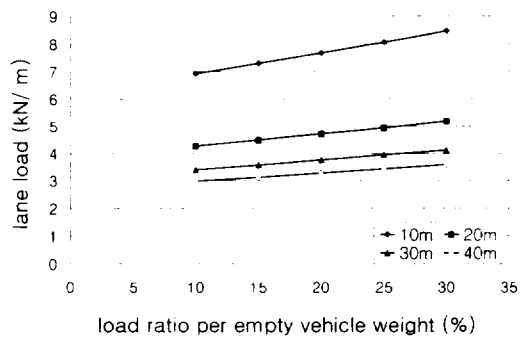


Fig. 8. Variation of lane load per loading ratio

4.4. 기존 설계하중과의 비교

개발된 승용차 활하중이 기존의 도로교 설계 활하중

[1]과 비교한 결과가 Fig. 9에 나와 있다. 기존의 교량 1등급 설계 활하중과 승용차 활하중을 비교하였다. 승용차 활하중의 기존 1등급 활하중에 대한 비율은 지간에 따라 다르나 대체로 15% 내외이다. 3등급 활하중의 경우와 비교하면 약 27%정도이다.

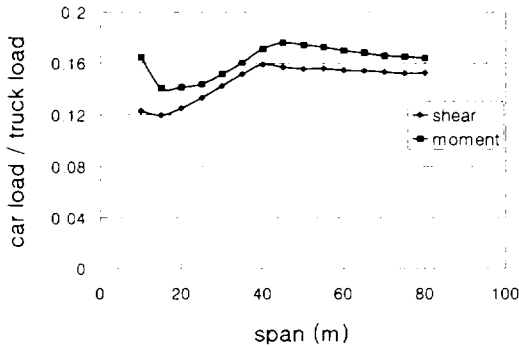


Fig. 9. Passenger car lane load and existing design load

Fig. 10은 승용차의 총중량을 29.4kN과 19.6kN인 값으로 가정하고 계산한 등가분포 차선하중을 본 연구에서 개발한 승용차 차선하중과 비교하고 있다. 비록 29.4kN인 경우에 대한 차선하중을 산정하여 보았으나 실제로 있어서는 19.6kN인 승용차조차도 여러대가 거의 간격이 없이 연행하여 있을 경우는 거의 없을 것이다. 따라서 공칭 승용차 차선하중은 지간 약 30m를 지나면서 승용차 총중량 19.6kN을 가정하여 구한 차선하중보다 다소 작은 값을 갖는다. 공칭 승용차 차선하중에 활하중 계수 2.15를 곱한 계수하중의 경우는 80m지간에 총중량 29.6kN인 승용차로 가득 찬 경우의 등가분포 차선하중보다 큰 값을 나타낸다. 물론 이 경우는 지극히 발생하기 힘든 경우이다. 실제로는 29.6kN인 승용차를 발견하기도 힘들뿐만 아니라 29.6kN인 승용차가 80m 지간에 좁은 간격으로 연행하여 있는 경우는 비록 설계년한 50년 동안이라도 발생할 확률이 지극히 작을 것이다.

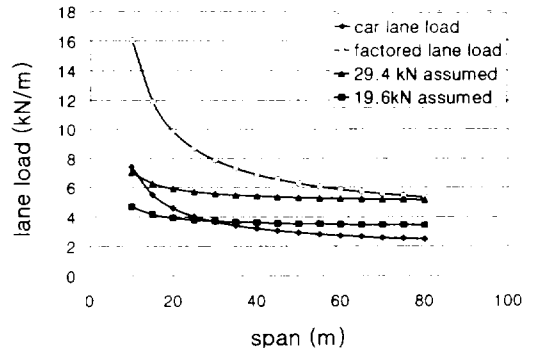


Fig. 10. Lane load based on gross vehicle weights of 29.6 kN and 19.6 kN

V. 결론

본 연구에서는 승용차 전용 조립식 고가도로 설계에 필요한 활하중 모델을 개발하였다. 본 연구에서 개발된 승용차 전용 도로의 활하중 모델은 기존의 도로교 설계기준의 트럭활하중 모델에 대응되는 하중이다. 승용차 전용 고가도로용 설계 활하중 모델을 개발하기 위한 설계 승용차의 치수는 2002년 말 현재 생산되는 승용차의 제원을 조사하여 결정하였다.

승용차의 중량은 미국에서 승용차용 주차장 설계 활하중 개발에 사용한 중량 조사 자료를 고가도로용 설계 활하중 모델 개발에 이용하였다. 차량 중량의 확률분포를 정립하였으며 구조물이 받는 최대 활하중 효과를 계산 모멘트와 전단력에 대한 통계적 분석을 실시하여 설계 년한 최대 하중효과(모멘트와 전단력)를 발생시키는 등가의 등분포하중을 계산하여 비교적 지간이 긴 교량에 적용되는 차선하중으로 하였다. 그리고 지간이 짧은 교량의 경우에는 승용차 1대의 효과만 고려되므로 차량하중을 따로 유도하였다.

차선수의 증가에 의한 차선 당 교통량의 감소로 인한 차선하중의 크기 감소는 크지 않았다. 따라서 여러 차선에 하중이 재하 될 경우 활하중을 일정비율로 감소시키는 다차선 하중 감소계수는 승용차용 활하중의 경우 적용되지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 건설교통부, 2000, 도로교설계기준, 도서출판 건설정보, 서울, p.474.
- 2) 통계청, 2000, 한국 주요 경제지표, p.320.
- 3) 한국건설기술연구원, 1996, 조립식 고가도로 건설 기술 개발을 위한 기초연구, 건기연96-061.
- 4) 김승억, 홍완기, 박석호, 이재영, 2003, 승용차전용 조립식 고가도로의 도입과 활용, 대한토목학회지, 제51권, 제2호, pp. 32-38.
- 5) H.D. Lee and S.K. Jacobsen, 1997, Preliminary Study: Fly-over Bridge, the University of Iowa College of Engineering and NNW Inc..
- 6) Y.H. Wen and G.L. Yeo, 2001, Design live load for passenger car parking garages. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 3, pp. 280-289.
- 7) 자동차관리법, 2002, - 법률 제06730호.
- 8) 건설교통부, 2000, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 - 해설 및 지침, 기문당, 서울, p678.
- 9) A.S. Nowak, 1995, Calibration of LRFD Bridge Design Code, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 8, pp. 1245-1251.
- 10) H.S. Ang and H. Tang, 1984, Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Wiley, New York, p.560.
- 11) 서울지방경찰청, 2001, 2001 서울시 교통량 조사 자료.
- 12) E. Gumbel, 1958, Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York, p457.