大韓土木學會論文集
第12卷 第4號 · 1992年 12月
pp. 107~116

構 造 工 學

도로교 차량하중 및 통행특성에 관한 연구

A Study on Bridge Live Loads and Traffic Modes

김상효* · 박흥석**
Kim, Sang Hyo · Park, Hung Seok

Abstract

The structural integrity of bridges is mainly damaged by overloaded heavy vehicles. The increasing volumes of overloaded heavy vehicles has been indicated as serious state. As results several countries have revised their bridge load codes.

However, because of variety of truck types and their weights it is difficult to develop rational standard truck loads. In addition the common practice that only one design configuration of standard truck is adopted to design variety of bridges causes further difficulties.

The objective of the study is to investigate the statistical characteristics of vehicle loadings based on survey data collected, in which some major factors, such as vehicle configurations, vehicle weights, traffic modes, etc., are incorporated. The vehicle load effects due to single presence of heavy truck are also tested with several short-span bridges and probabilistic characteristics of current design practices are evaluated.

요 지

도로교의 안전수준에 영향을 미치는 것은 주로 과적중차량이다. 계속 증가하는 과적중차량의 문제는 오래전 부터 매우 심각한 상태인 것으로 지적되어오고 있다. 따라서 여러나라에서 차량하중의 특성에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 일부에서는 이러한 변화를 반영하기 위하여 도로교 설계활하중을 개선하였다.

본 연구에서는 차량하중 및 통행특성의 자료를 수집하여 차량형식, 차량총중량, 축중분배, 차종혼입율, 연행특성 등을 분석하고 합리적인 모형을 제시하였다. 또한 차량하중이 도로교에 미치는 하중효과를 교량형식에 따라 분석하여 현행 도로교 설계관련 규정들이 내포하고 있는 안전수준에 대한 분석을 실시하였다.

1. 서 론

도로교에서의 차량하중은 일반적으로 고려되는 여러가지 하중들 중에서 가장 중요한 하중이며, 특히

* 정회원 · 연세대 공과대학 토목공학과 조교수
** 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원, 연세대 대학원 토목공학과 박사 과정

국내에서와 같이 자연발생적 하중이 비교적 적고, 단경간의 교량이 많은 경우(일반 국도상 교량의 87%가 20 m 미만이며, 95%가 30 m 미만임)에는 더욱 중요한 하중이다. 따라서 시방서에 제시되어 있는 표준트럭하중이 실제로 도로교를 통과하는 차량의 특성을 제대로 반영하지 못한다면 구조물의 손상을 야기하거나, 또는 비경제적으로 건설투자를 하는 결과가 되는 것이다.

도로교의 안전수준에 영향을 미치는 것은 주로 과적중차량(트럭, 트레일러 등)이다. 이러한 중차량의 과적문제는 오래전 부터 매우 심각한 상태인 것으로 지적되어 오고 있으나, 아직까지 이의 효과적인 대응책이 수립되지 못하고 있다. 이와같은 문제점은 자동차 산업의 발달에 따른 화물차량의 성능개선과 운송사업체의 합리적인 운영에 따른 적재량 증가와 함께 더욱 심각해지고 있다. 또한 경제적인 측면을 포함한 여러 요인에 의해 과적차량 통제와 관련된 법규들도 개정·완화되고 있는 추세이므로 교량설계자나 유지관리자들은 이에 대응한 합리적인 대책을 세워야 할 것이다.

현재 국내에서 사용하는 표준트럭하중(DB)은 2등교에 대한 DB-18이 미국의 AASHTO에서 제시하고 있는 HS-20과 동일하며, 국내의 심각한 차량중량화 현상을 반영하기 위해서 1등교에 대해 DB-24를 채택하였으나, 어떤 이론적 근거나 통계적 자료가 뒷받침되지 못하고 있다.

최근들어 국내 도로교 설계에서도 기존의 허용응력설계법과는 달리 각각의 대상하중의 특성을 반영하는 하중계수를 이용하는 강도설계법이 도입되고 있다. 이러한 강도설계법은 종래의 허용응력설계법과 비교할 때 매우 합리적인 방법이다. 그러나 허용응력설계법과 같이 사하중과 활하중에 대해 같은 안전계수를 적용하므로써 얻을 수 있었던 안전여유가 강도설계법에서는 없으므로 설계활하중(표준트럭하중)의 선정에 있어 많은 주의를 기울여야 한다.

그러나 국내에서는 아직까지 도로교의 설계하중, 특히 표준트럭하중에 대하여 체계적인 조사·연구가 실시된 바가 없다. 미국, 유럽, 캐나다, 일본 등지에서는 차량하중에 대한 조사연구가 많이 이루어져 있으며, 연차적인 차량하중의 특성변화도 추적하고 있다.[1-6]

본 연구에서는 도로교에 작용하는 차량하중의 합리적인 모형을 개발하기 위하여 차량하중의 자료수집을 통해 단순차량중량의 특성과 통행특성을 분석하였으며, 차량하중이 도로교에 미치는 하중효과를 교량형식에 따라 분석하여 현행 도로교 설계관련 규정들이 내포하고 있는 안전수준에 대한 분석을 실시하였다.

2. 차량형식 및 하중모형

2.1 차량구조형식의 모형화

차량하중을 모형화하기 위해서 현재 국내에서 운행되고 있는 차량의 종류를 분석하여 대표형식을 결정하였다. 운행중인 차종을 세분하면 일반적으로 11종으로 분류되는데,[7] 본 연구에서는 차량 총중량의 특성과 도로교에 작용하는 하중형식(축간거리 및 축중분배 등)의 특성에 따라 크게 5종으로 분류하였다. 차량구조형식은 표 1에 나타난 것과 같이 덴덤이나 트라이뎀은 집중하중으로 취급하여 전 차종이 2축이나 3축으로 모형화되었다. Full trailer들은 전반적으로 운행빈도가 낮으며, 표 1에 분류한 차종들의 연행효과로서 모형화될 수 있으므로 제외하였다.

2.2 차량하중특성 분석 및 모형화

차량하중의 특성을 분석하기 위한 가장 기본적인 자료는 운행중인 차량들의 총중량과 축중에 관한 자료들이다. 본 연구에서 이용한 하중자료는 통행차량 전체를 대상으로 조사한 축중하중자료[8]와 전국에 설치된 과적검문소에서 계측하여 과적차량으로 고발된 차량들의 축중 및 총중량 자료이다. 표본조사의 규모는 전 차종에 걸쳐 9651대이며, 과적단속자료는 수원, 논산, 대구, 포항, 진영, 진주 등 6개 국도유지사무소에서 1989. 1. 1부터 1990. 12. 31까지 2개년간 단속한 자료들이며 수원의 경우 1991. 1. 1부터 1991. 5. 31사이의 자료가 추가되었다. 자료규모는 T형 2668대, TT형 7365대, ST형이 1958대이다. 과적단속자료는 차량하중모형중에서 교량손상에 특히 영향이 큰 상단부의 모형결정에 이용되었다.

과적단속자료의 모집단 규모는 표본조사자료에서 지역별로 분석된 표 2의 차종별 평균과적율을 이

표 1. 대표차량형식 및 제원

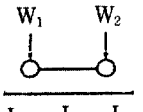
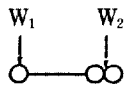
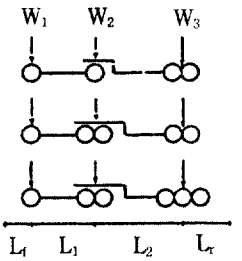
차 종	구 분	차 축 구 조	제 원 (m)				
			L_f	L_1	L_2	L_r	전 장
P형	승 용 차 소형버스 소형트럭		1.0	2.5		1.0	4.5
B형	버 스		2.0	5.5		3.0	10.8
T형	중형트럭		1.5	4.5		2.0	8.0
TT형	텐덤축 대형트럭		1.5	5.0		3.0	9.5
ST형	세미 Trailer (4축) (5축) (6축)		1.5	3.8	8.2	2.0	15.5

표 2. 지역별 차종별 평균과적률

(단위 : %)

차종	지역 I : 수원, 포항	지역 II : 대구, 진영	지역 III : 논산, 진주	전체
T형	11.0	8.8	4.4	6.9
TT형	44.2	30.0	14.8	26.5
ST형	29.3	17.7	2.1	22.2

용하여 각 국도유지사무소 단속자료의 모집단 규모를 추정하였다. 표 2에서 T형과 TT형은 축중(10 ton)이나 총중량(40 ton)기준을 초과한 차량비율이며, ST형은 총중량 기준을 초과한 차량비율이다. 이러한 기준을 선정한 것은 대부분의 과적단속차량이 T형과 TT형에서는 주로 축중이 초과되는 경우이며, ST형에서는 총중량이 초과되는 경우이기 때문이다.

수집된 자료를 분석한 결과 본 연구에서 대표차량형식으로 선정한 5종류의 차종별 총중량 분포특성은 그림 1과 같다. 하중분포특성을 살펴보면 소형승합차에 해당하는 P형은 완전한 단일모드를 가지는 분포(uni-modal distribution)이며, 중형 및 대형승합차를 나타내는 B형에서는 중형승합차등에 의해 두개의 모드를 보이고 있다. 본 연구의 주요 분석대상이 되는 T형, TT형 및 ST형에서는 외국의 조사자료와 같이 뚜렷하게 두개의 모드를 가지는 분포(bi-modal distribution)를 보여주고 있다.[4,6] 이러한 특성은 대형 중차량인 TT형과 ST형에서 보다 확실하게 나타난다. 차종별 차량하중의 분포에서 첫번째 모드는 일반적으로 빈차나 부분 적재된 차량 또는 경량 화물수송차량을 반영하는 것이고 두번째 모드는 적재율이 높은 차량을 반영하는 것이다.

차량 총중량의 확률모형화에서는 이러한 특성을 반영하기 위하여 각 모드에 대한 확률모형을 분석하였다. 과적중차량의 하중특성을 나타내는 차량하중 분포의 상부꼬리부분의 모형화가 중요하므로 T형, TT형 및 ST형에서는 상부의 1% 부분을 두번째 모드에서 분리하여 모형화하였다.

상부에 대한 적합도 분석대상으로 선정된 확률분포는 정규분포, 대수정규분포 및 지수분포등으로

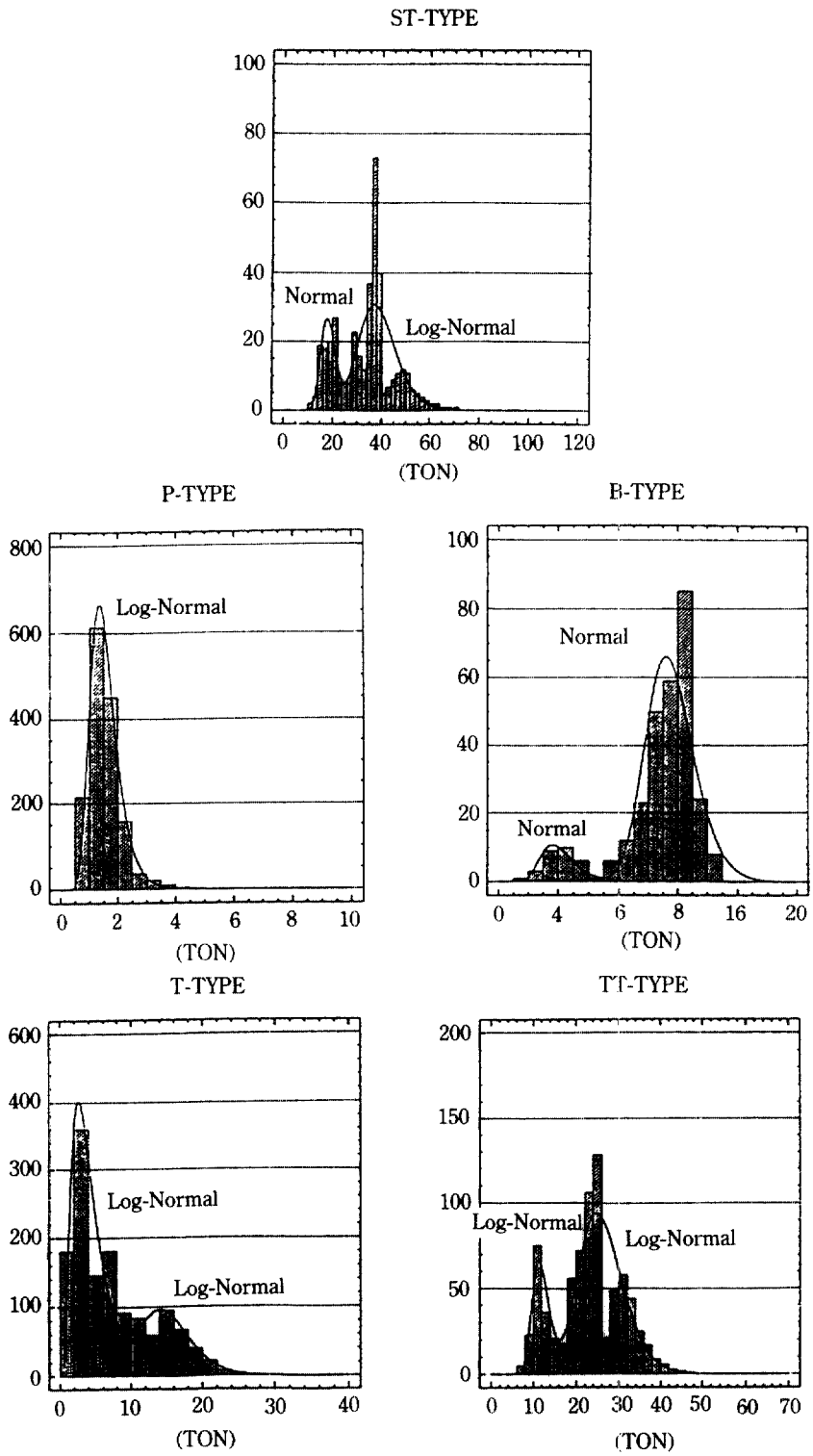


그림 1. 대표차량의 중량분포.

표 3. 중차량 총중량의 상단부(1%) 확률분포특성 (단위 : ton)

차종	확률분포	특성계수		분포최대값			조 사 초대값	조사규모 (1% 규모)
		μ, λ	σ, ξ	99%	99.9%	99.99%		
T형	정 규	6.66	6.64	22.3	27.4	31.7	33.0	2668
	대수정규	2.49	0.26	22.1	27.1	31.4		(355)
TT형	정 규	18.4	9.76	41.1	48.5	54.7	60.6	7365
	대수정규	3.24	0.21	41.3	48.3	55.0		(294)
ST형	정 규	16.6	16.9	56.0	68.8	79.5	90.6	1958
	대수정규	3.42	0.26	56.3	68.8	81.2		(355)

표 4. 대표차량의 중량 확률분포특성

차 종		분포형태	계 수		하한치 (ton)	상한치 (ton)	보정계수
			μ, λ	σ, ξ			
P형		L-N	0.398	0.317	0.7	5.0	1.0
B형	1번 모드	Normal	4.089	1.020	1.4	17.1	0.098
	2번 모드	Normal	11.552	1.542	4.0	24.0	0.902
T형	1번 모드	L-N	1.338	0.620	1.25	24.1	0.733
	2번 모드	L-N	2.721	0.221	1.25	24.1	0.277
	3번 모드	L-N	2.490	0.260	23.5	40.0	1.0
TT형	1번 모드	L-N	2.467	0.178	7.3	41.3	0.219
	2번 모드	L-N	3.253	0.203	7.3	41.3	0.781
	3번 모드	L-N	3.240	0.210	41.3	65.0	1.0
ST형	1번 모드	Normal	18.541	3.000	11.3	63.4	0.260
	2번 모드	L-N	3.650	0.202	11.3	63.4	0.742
	3번 모드	L-N	3.420	0.260	59.7	105.0	1.0

이들은 외국의 연구결과 차량하중 특성을 잘 반영하는 분포들이다.[6] 중차량의 상부 1%에 대한 적합도 분석에서는 전반적으로 대수정규분포가 적합한 것으로 나타났으며, 분석결과는 표 3에 정리되어 있다.

표 4에는 분석된 결과에 근거하여 선정된 대표차량에 대한 총중량의 확률분포모형이 정리되어 있다. 표 4의 확률분포모형에는 각 차종별, 각 모드별로 상·하한치가 선정되어있다. 각 차종별 하한치는 조사된 차량제원의 최소자중으로 부터 선정된 것이며, 상한치는 조사자료로부터 각 축중별 최대치를 분석하여 합성한 중량이다. 각 모드별 상·하한치는 각 모드별로 선정된 확률분포모형과 조사자료의 분포모형에 따라 결정된 것이며 보정계수는 하한치와 상한치를 정하므로써 파생되는 분포변화를 올바르게 보정하기 위한 것이다.

표 5. 총중량의 축중분배율 (단위 : %)

차 종	W_1	W_2	W_3
P형	50	50	–
B형	40	60	–
T형	30	70	–
TT형	20	80	–
ST형	10	45	45

표 5는 차종별 총중량의 축중분배율의 모형이며, 이들 중 중차량의 모형은 과적단속자료를 분석한 결과로써 현행 도로교 표준트럭하중의 분배율(20 : 80 또는 11 : 44 : 44)과 유사한 것을 알 수 있다.

3. 차량통행특성

3.1 차종혼입률 및 차간거리

차종혼입률은 통행차량의 특성중에서 차량중량특성과 함께 매우 중요한 특성이다. 각 국도상의 차종혼입률은 도로교통량 통계연보[9]의 자료를 이용하여 분석한 결과, 전 국도를 중차량혼입율에 따라 3개 혼입률 유형으로 분류할 수 있었다. 표 6은 지역별 및 전 국도에 대한 차종혼입률의 분석결과를 정리한 것이다.

주행속도와 차간거리는 서로 밀접한 관계를 가지는데 연행중인 차량렬에 있어서 차간거리도 중요한 교통특성중의 하나이다. 본 연구에서는 국도상의 차량행렬을 Video로 촬영하여 연행중인 차량들의 차간거리를 분석하였다. 표 7에는 주행속도에 따른 차간거리가 정리되어 있다. 참고로 일본의 경우[6] 주행속도(km/h)가 $0 \le V < 2$일 경우 2.71 m, $2 \le V < 4$일 때 3.66 m, $4 \le V < 6$일 때 4.44 m, $6 \le V < 10$일 때 5.80 m, $10 \le V < 30$일 경우 8.05 m로 분석되었는데, 우리나라 국도상을 주행하는 차량들의 차간거리가 더 짧음을 알 수 있었다. 이는 동일한 중량의 차량들이 운행할 경우 우리나라 교량들이 더 가중된 하중효과를 나타낸다는 것을 보여준다.

3.2 연행차량특성

도로교 구조물의 극한상태에 대한 안전성에 관계되는 차량하중의 발생상황은 교량제원 즉, 경간장이나 교폭, 연속경간수 등과 관계를 가지나 일반적으로 매우 과적한 단일 중차량에 의한 경우와 중차량의 연행에 의한 경우로 나눌 수 있겠다. 그러나 단일 차량의 경우 매우 특수한 경우를 제외하면 적재능력에 한계가 있어 후자의 경우가 보다 위험한 것으로 보고되고 있다.[6] 연행하는 중차량의 효과가 가중되는 것은 주행속도가 매우 낮은 교통정체현상시 차량간격이 매우 좁아 도로교의 영향경간장 상에 보다 많은 차량이 재하되는 경우이다. 또한 연행하는 자동차열의 특성을 분석하면 각종 차량의 주행능력이나 추월능력의 차이에 의해 특정한 차종의 차량들, 특히 중차량의 연행빈도가 높게 나타난다. 연행하는 차종은 선행하는 차종과 관계를 가지므로 본 연구에서와 같이 5종의 차종을 모형화하는 경우 식 (1)과 같은 변이확률행렬(transition probability matrix)에 의해 모형화된다.

$$[P] = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots\cdots & p_{1,5} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots\cdots & p_{2,5} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ p_{5,1} & p_{5,2} & \cdots\cdots & p_{5,5} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기에서 $p_{i,j}$는 i번 차종의 차량뒤를 j번 차종의 차량이 연행하는 확률이다. 이때 m번 차종이 n대 연행할 가능성은 $p_{m-n} = p_m(1) \times [p_{m,m}]^{n-1}$ 이며, T형, TT형, ST형이 연행할 가능성은 $p_3(1) \times p_{3,4} \times p_{4,5}$ 이다. 여기에서 $p_m(1)$은 m번 차종의 단순혼입률이다.

표 7. 연행차량행렬의 주행속도별 차간거리

주 행 속 도 (Km/h)	평 균 거 리 (m)
0~5	1.20
5~10	2.56
10~20	4.80
20~30	5.84
30~35	10.17

표 6. 지역별 차량혼입률

지 역	P 형	B 형	T 형	TT형	ST형	조사 지점	총연장(Km)
A	54.0	8.0	21.4	14.4	1.7	161	4099
B	64.8	8.9	15.3	8.6	1.1	180	4443
C	74.8	9.4	9.8	4.4	0.6	175	3706
전 체	66.0	8.9	14.7	8.4	1.1	516	12247

A: 중차량율 (T+TT+ST) 30% 이상
B: 중차량율 (T+TT+T) 20%~30%
C: 중차량율 (T+TT+ST) 20% 이하

표 8. 차량행렬의 연행특성

a) 전체 (단위 : %)

	연행혼입률					단순 혼입률
	경차량		중차량			
	P	B	T	TT	ST	
P	75.74	2.77	10.91	7.79	2.79	71.25
B	69.93	6.63	10.77	9.86	2.82	2.79
소계	78.44		21.56			74.04
T	60.02	2.66	21.72	11.78	3.81	12.95
TT	58.77	2.46	15.37	18.98	4.42	9.69
ST	56.56	2.72	15.83	13.74	11.16	3.32
소계	61.71		38.29			25.96

b) 중차량을 30% 이상인 지역 (단위 : %)

	연행혼입률					단순 혼입률
	경차량		중차량			
	P	B	T	TT	ST	
P	71.58	2.44	12.57	10.33	3.09	66.00
B	66.15	4.44	15.04	12.14	2.22	2.35
소계	73.90		26.10			68.35
T	54.03	2.59	24.31	14.60	4.47	15.39
TT	55.59	1.80	17.63	19.97	5.01	12.52
ST	51.94	1.83	19.61	16.16	10.45	3.79
소계	56.59		43.41			31.56

c) 중차량을 20% 미만인 지역 (단위 : %)

	연행혼입률					단순 혼입률
	경차량		중차량			
	P	B	T	TT	ST	
P	80.49	3.15	9.02	4.89	2.44	78.37
B	73.47	8.68	6.75	7.72	3.38	3.40
소계	83.59		16.41			81.77
T	73.02	2.83	16.10	5.67	2.38	9.63
TT	68.04	4.39	8.79	16.07	2.71	5.84
ST	65.02	4.35	8.89	9.29	12.45	2.76
소계	73.77		26.23			18.23

표 8은 전국의 4개 국도상에서 총 44,000여대의 통행차량을 조사하여 차량행렬의 연행특성을 분석한 결과이다. 여기에서 단순혼입률과 연행률(p_{ij})은 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 차종을 경차량과 중차량으로 크게 분류했을 때, 전체의 경우는 중차량의 혼입률이 25.96%인데 비해 중차량 뒤에 연행할 가능성은 38.29% 로 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 총중량이 매우 큰 ST형의 경우, 단순혼입률이 3.32% 인데 비하여 ST형 뒤에 ST형이 연행할 가능성은 11.16%로 3배 이상 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 하중효과를 고려한 차량하중 특성 분석

4.1 단일차량에 의한 하중효과 분석

앞에서 분석한 차량 총중량의 특성으로 부터 현행 도로교 설계하중의 확률적 수준을 직접적으로 비교하는 것은 대표차량형식의 제원이 표준설계트럭하중의 제원과 차이가 있으므로 불가능하다. 또한 일반국도 교량의 대부분을 차지하는 20~30 m 미만의 단경간 교량에서는 차량통행특성에 관계없이 1대 이상의 중차량이 연행하여 재하될 가능성이 매우 낮다. 따라서 차량하중조사자료를 이용하여 실제 통행차량이 도로교에 발생시키는 하중효과를 분석하여, 현행설계하중에 의한 하중효과와 비교하므로써 현행 설계하중의 확률적 수준을 검정하였다. 여기에서 차량하중자료가 축하중으로 조사되어 있어 조사자료를 각 축에 그대로 적용하기 위하여 표 1에서 텐덤축 및 트라이뎀축간 거리를 1.3 m로 하여 형식제원을 보다 세분화 하였다.[7]

하중효과의 분석대상 교량으로는 단순교 3종(경간장 10 m, 25 m, 40 m)을 선정하였다. 단일차량에 의해 발생된 하중효과들 중에서 본 연구에서 분석한 것은 단순교에서 중앙부의 최대 휨모멘트이며, 분석된 결과는 표 9에 정리되어 있다. 표 9에 정리된 결과는 각 대상교량별로 현행 1등급 설계트럭하중인 DB-24및 DL-24에 의한 하중효과에 의해 표준화된 하중효과비이다. 즉 1.0을 초과한 결과는 현행설계하중에 의해 요구되는 하중효과를 초과하는 중차량을 의미한다.

표 9에 정리된 결과는 대표차량의 총중량 분포특성의 상단부 분석에서와 같이 분석된 하중효과들의 상부 1% 영역에 대한 적합도 검사에 의해 선정된 확률모형이다. 확률적 특성을 분석하기 위해 정규분포와 대수정규분포 및 지수분포 등에 대한 적합

표 9. 단일차량에 의한 하중효과분석 (전체 : 대수정규분포)

차종	대상교량	평균	표준편차	99%	99.9%	99.99%	총중량 상한치
T형	10m	0.38	0.10	0.69	0.84	0.99	1.27
	25m	0.32	0.08	0.56	0.68	0.79	1.02
	40m	0.31	0.08	0.54	0.66	0.77	0.94
TT형	10m	0.82	0.18	1.32	1.56	1.78	2.27
	25m	0.65	0.14	1.05	1.24	1.42	1.70
	40m	0.61	0.14	1.01	1.20	1.38	1.55
ST형	10m	0.56	0.17	1.08	1.35	1.63	2.16
	25m	0.59	0.16	1.07	1.32	1.57	2.02
	40m	0.65	0.18	1.17	1.43	1.70	2.18

도를 검토하였으며, 전반적으로 대수정규분포가 적합한 것으로 나타났다.

표 9의 결과를 분석하면 10 m와 같은 단경간 교량에서는 TT형 차량에 의한 하중효과가 ST형 차량보다 심각한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 차량형식과 조사된 축중의 특성으로 부터 예측할 수 있다. 즉 ST형의 대표차종이라고 할 수 있는 5축 ST형에 있어 차량총중량의 대부분이 비슷한 비율로 분배되는 두개 텐덤축의 재하구간이 9.6 m에 이르며 전·후텐덤축중이 각각 평균 22.2 ton(전 텐덤축) 및 22.8 ton(후 텐덤축) 으로 TT형의 텐덤축중합의 평균 26.6 ton보다 낮다.[7]

경간장에 따른 하중효과의 변화특성은 전체 하중재하 구간이 짧은 T형(4.5 m) 및 TT형(5.6 m)에서는 그림 2와 같이 경간장이 길어짐에 따라 하중효과비가 급속히 떨어지는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 T형과 TT형 차량에서는 총중량의 70~80%가 각각 후륜축과 텐덤축에 분배되며 그 재하구간이 1.3 m이하로 매우 짧기 때문이다. 그러나 ST형에서는 전체하중 재하구간이 12.8 m(5축 ST형)에 이르며 총중량이 주로 분배되는 두개 텐덤축의 재하구간도 9.6 m에 이르므로 10 m 및 25 m경간에서 보다 40 m 경간에서 더욱 높은 하중효과비를 보이고 있다. 여기에서 추가로 고려하여야 할 사항은 표준트럭하중에서는 총중량이 주로 분배되는 두개의 후륜축간의 거리가 4.2 m인 점이다.

중차량의 과적률에 따라 분류한 지역별 특성은

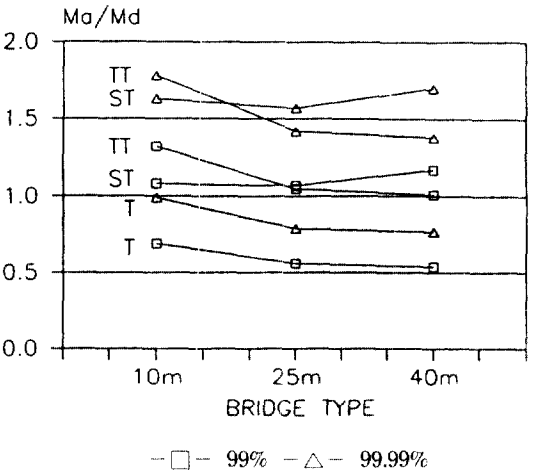


그림 2. 지간장에 따른 하중효과의 변화(대수정규분포)

표 10. 단일차량에 의한 하중효과 분석 (지역별) ST형 (대수정규분포, 1%)

차종	지역	평균	표준편차	99%	99.9%	99.99%
10 m	I	0.61	0.22	1.30	1.71	2.14
	II	0.67	0.19	1.22	1.50	1.78
	III	0.56	0.14	0.97	1.17	1.37
	Total	0.56	0.17	1.08	1.35	1.63
25 m	I	0.70	0.20	1.28	1.58	1.88
	II	0.70	0.17	1.20	1.45	1.69
	III	0.58	0.13	0.97	1.15	1.33
	Total	0.59	0.16	1.07	1.32	1.57
40 m	I	0.77	0.21	1.40	1.73	2.05
	II	0.79	0.18	1.32	1.57	1.81
	III	0.64	0.15	1.06	1.25	1.44
	Total1	0.65	0.18	1.17	1.43	1.70

T형과 TT형에서는 특별한 경향을 보이지 않으나 대표적인 중차량인 ST형에서는 표 10과 같이 지역에 따라 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 따라서 설계하중의 선정에서 이와같은 지역적 특성이 반영되도록 하는 것이 필요하다고 판단된다.

4.2 현행 설계기준의 검정

표 11에는 현행 설계활하중 및 관련 설계기준에 대한 초과가능성이 신뢰성지수(β)로 정리되어 있다.

표 11. 각종 설계수준의 단일차량에 의한 초과가능성 분석 (대수정규분포)

차종	대상교량(m)	설계하중		AASHTO		콘트리트시방서		허용응력설계법	
		1등급	2등급	1등급	2등급	1등급	2등급	1등급	2등급
T	10	3.87	2.76	(6.86)	(5.75)	(6.14)	(5.03)	(7.41)	(6.30)
	25	4.75	3.58	(7.90)	(6.73)	(7.14)	(5.97)	(8.47)	(7.30)
	40	4.74	3.61	(7.79)	(6.66)	(7.05)	(5.92)	(8.35)	(7.22)
TT	10	1.02	−0.30	4.60	3.27	3.73	2.41	(5.25)	3.92
	25	2.13	0.78	(5.77)	4.42	(4.89)	3.54	(6.43)	(5.08)
	40	2.29	1.03	(5.72)	(4.45)	(4.89)	3.62	(6.34)	(5.07)
ST	10	2.10	1.13	(4.71)	3.74	4.08	3.11	(5.19)	4.22
	25	2.11	1.03	(5.02)	3.94	4.32	3.24	(5.55)	4.47
	40	1.72	0.66	4.57	3.51	3.88	2.82	(5.09)	4.03

여기에서는 각 차종별 총중량 상한치(T형 40 ton, TT형 65 ton, ST형 105 ton)에 의한 하중효과(표 9)를 상회하는 설계기준에 대해서는 일단 초과가능성이 없는 것으로 가정하였다. 그러나 상한치에 의한 하중효과는 본 연구에서 선정한 축중분배모형에 의한 결과이므로 축중분배가 모형보다 편중되는 경우에는 총중량 상한치에 의한 하중효과보다 큰 하중효과가 발생할 수 있으므로 표 11에는 이러한 경우의 결과를 함께 정리하였다.

결과를 살펴보면 가장 심각한 수준인 10 m 단순교에서는 T형에 의한 하중효과수준은 현행 1등급 설계하중을 초과할 가능성이 0.54×10^{-4} 정도이나 ST형은 초과가능성이 0.179×10^{-1}이며, TT형은 초과가능성이 무려 0.154 수준에 이르고 있다. 물론 교량설계에서 각종 안전여유가 주어지므로 설계하중을 초과하였다고 하는 것이 바로 파괴를 의미하는 것은 아니다. 참고로 미국 AASHTO시방서에서 하중계수설계법(Load Factor Design Format)을 위해 제시한 하중계수를 고려하면, 즉 일반식

$$P=1.3[D+1.67(L+I)+\cdots] \quad (2)$$

에 있어서의 활하중계수 2.17(=1.3×1.67)에 대해 분석하면 10 m 단순교에 대하여 T형과 ST형에서는 초과가능성이 거의 없으며, TT형에서도 0.211×10^{-5} 수준에 불과하다. 그러나 AASHTO에서 활하중에 대한 기본계수 1.67에 1.3의 하중계수를 추가로 고려하는 것은 통상적으로 통행하는 차량에 대한 안전여유라기 보다는 극한한계상태(ultimate limit state)에 대한 안전여유를 확보하기 위한 것이라는 것을 감안하면 국내의 통행차량하중의 수준이 매우 높다는 것을 알 수 있다.

현재 국내에서 널리 적용되는 허용응력설계법에 의해 확보되는 안전수준은 교량에 따라 다소 차이가 있으나 일반적인 단경간 콘크리트 교량에서 설계하중대비 2.5 수준이라고 본다면 단일차량에 의한 하중효과가 1등교에서 이를 초과할 가능성은 무시할 수 있다. 그러나 현행 콘크리트 표준시방서에서 제시한 활하중계수 1.8에 대한 초과가능성은 10 m 경간장 교량에 있어 T형에서는 가능성이 없으나 TT형과 ST형에서는 각각 신뢰성지수로 $\beta=3.73$(TT형), 4.08(ST형)의 수준이 된다. 이는 단위차량에 대한 초과 가능성이며 표 9에 정리된 TT형과 ST형의 총중량 상한치의 하중효과수준이 활하중계수 1.8의 수준을 상회하고 있음을 감안할 때, 현행 활하중계수 또는 설계하중에 대한 세심한 검토를 요한다.

2등급 교량에서는 T형을 제외한 모든 경우에서 초과가능성이 상당히 높으므로 교량등급의 선정에 주의가 필요하다.

본 연구에서는 단일 차선에 대한 설계하중대 통행차량하중의 수준을 비교·분석하였다. 일반적으로 도로교는 2차선이상의 교폭을 가지며, 2차선에 동시에 과적차량이 재하되는 가능성은 낮으므로 2차선이상 교량의 안전수준은 확률적으로 다소 높아질 것이다. 이에 대한 연구와 장경간 교량에 대한 연구결과는 향후 발표될 예정이다.

5. 결 론

본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 통행차량의 대표차량형식은 P, B, T, TT형 및 ST형등 5종으로 하며, 각 차종별로 분석된 차량중량의 분포형태에 따라 확률모형을 제시하였으며, 이는 외국의 연구결과와 매우 유사하나 전반적으로 중량이 높은 것으로 나타났다.

2) 통행특성의 분석에서는 지역별로 차종혼입률이 뚜렷한 특성을 보이고 있으며, 평균과적률도 지역적 차이가 큰 것으로 나타났다. 이러한 특성은 도로교에 대한 하중효과의 분석결과에서도 뚜렷한 안전수준의 차이를 보이고 있다. 통행차량행렬은 뚜렷한 연행특성을 보이고 있으며, 이러한 연행특성은 장경간 교량의 안전수준 분석에서 매우 중요한 특성으로 반드시 고려되어야 한다. 이에 대한 분석은 현재 진행되고 있다.

3) 단일차량이 각종 형식의 도로교에 발생시키는 하중효과를 분석하였다. 이는 국도상 교량의 대부분을 차지하는 단경간의 교량에 대한 안전성은 주로 단일차량에 의한 하중효과 수준에 의해 좌우되므로 매우 중요한 분석이다. 분석된 결과를 살펴보면 10 m와 같은 단경간 교량에서는 ST형보다 총중량은 작지만 비교적 통행빈도가 높은 TT형이 불리한 하중효과를 발생시킨다는 것을 알 수 있었다. 그러나 40 m 정도의 지간장에서는 ST형이 불리한 하중효과를 발생시킨다.

4) 교통하중에 의해 발생되는 하중효과는 현행 설계하중에 의한 하중효과와 비교할때 일반적으로 지간장이 길어짐에 따라 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉 현행 도로교설계하중에 의해 설계된 교량은 교량형식 및 지간장에 따라 안전수준에 많은 차이가 있으며, 현행 콘크리트 시방서와 같이 낮은 하중계수를 사용하는 경우 안전수준은 매우 낮은 것으로 나타났다. 또한 지역적인 교통특성에 따라서도 안전수준에 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 향후 신설교량에서의 2등급 교량의 선정은 세심한 주의를 요하며, 현행 설계하중 및 활하중계수에 대한 보다 집중적인 자료수집과 체계적인 연구를 통한 개선이 요구된다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. Csagoly, P.F., and Knobel, Z., "The 1979 Survey of Commercial Vehicle Weights in Ontario", *Ministry of Transportation and Communications, MTC Report RR-230,* Downsview, Ontario, 1981.
2. Jacob, B., and Siffert, M., "An High Performant WIM System By Piezo-Electric Cables and Its Applications", *Int. Symposium on Heavy Vehicle Weight and Dimensions,* Kelowna, BC, CANADA, June 1986.
3. Jacob, B., Maillard, J.B., and Gorse, J.F., "Probabilistic Traffic Load Models and Extreme Loads on a Bridge", *5th Int. Conf. on Structural Safety and Reliability,* 1989, pp.1973~1980.
4. Bruls, Pr., Jacob, M., and Sedlacek,Pr., *Traffic Data of the Europeran Countries, 2nd draft,* Eurocode on Actions No9, Part 12-W.G.2, Feb. 1989.
5. Grouni, H.N., and Nowak, A.S., "Calibration of the Ontario Bridge Design Code 1983 Edition", *Canadian Journal of Civil Eng.,* Vol.11, No. 4, Dec. 1984, pp.760~770.
6. 阪神고속도로공단, **阪神고속도로의 설계하중체계에 관한 조사연구,** 설계하중위원회보고서, 1986.
7. 한국건설기술연구원, **도로교 설계하중의 확률론적 분석,** 최종보고서, 1991.12.
8. 한국건설기술연구원, **도로포장 설계지침서 작성 및 자동차 축하중 조사연구,** 최종보고서, 1988.
9. 건설부, **도로교통량 통계연보,** 1990.

(接受 : 1992. 9. 29)