

하중효과를 고려한 차량하중 특성분석 Characteristics of Live Load Effects on Bridges

○ 김 상 호* 박 흥 석**
Kim, Sang Hyo Park, Hung Seok

Abstract

The structural soundness 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.

1. 서론

일반적으로 도로교의 안전수준에 영향을 미치는 것은 대부분 과적한 중차량(트럭, 트레일러 등)이다. 그러나 도로교를 통행하는 이들 중차량의 종류는 매우 다양하며, 중량도 많은 변이를 가진다. 따라서 이러한 특성을 반영하는 합리적인 표준차량 하중모형의 결정은 매우 어렵다. 또한 합리적인 차량모형이란 구조적인 개념에서도 실제 차량이 구조물에 미치는 영향과 같은 효과를 가질 수 있는 모형이어야 한다. 따라서 하중모형 결정에서는 교량들의 구조적 특성도 반영되어야 한다.

중차량의 과적문제는 오래전 부터 도로교 및 도로시설물에 있어 매우 심각한 상태인 것으로 지적되어 오고 있으나, 아직까지 이의 효과적인 대응책이 수립되지 못하고 있다. 이와같은 문제점은 자동차 산업의 발달에 따른 화물차량의 성능 개선과 운송사업체의 합리적인 운영에 따른 적재율 증가와 함께 더욱 심각해지고 있다. 한 보고서에 의하면 미국의 경우 60만 교량중에서 12만 5천여 교량에 결함이 있는 것으로 보고되었다.

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 차량 중량화 현상을 반영하기 위해서 1등교에 대해 DB-24를 채택하였으나, 어떤 이론적 근거나 통계적 자료가 뒷받침되지 못하고 있다.

또한 최근들어 국내 도로교 설계에서도 기존의 허용응력 설계법과는 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 적용함으로써 얻을 수 있었던 안전여유가 강도설계법에서는 없으므로 설계활하중(표준트럭하중)의 선정에 있어 많은 주의를 기울여야 한다.

본 연구에서는 차량하중이 도로교에 미치는 하중효과를 차량통행특성과 교량형식에 따라 분석하였으며, 이를 이용하여 현행 도로교 설계관련 규정들이 내포하고 있는 안전수준에 대한 분석을 실시하였다. 검토되어진 차량통행특성은 일반적인 주행을 반영하는 것과 정체시의 차량행렬이며, 교량은 단순교와 연속교에서의 일반

* 정회원 연세대학교 토목공학과

** 정회원 한국건설기술연구원 구조연구실
연세대학교 대학원 박사과정

<표 1> 지역별 차종별 평균과적율

(단위 : %)

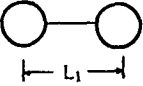
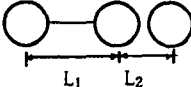
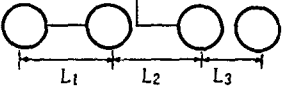

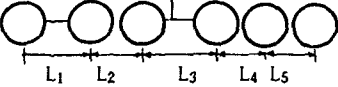
차종	지역 I: 수원, 포항	지역 II: 대구, 진영	지역 III: 논산, 진주	전체
T형	11.0	8.8	4.4	6.9
TT형	44.2	30.0	14.8	26.5
ST형	29.3	17.7	2.1	22.2

적인 경간장을 대상으로 하였다.

2. 차량하중조사 및 차량모형

본 연구에서 이용한 하중자료는 전국에 설치된 과적 검문소에서 계측하여 과적차량으로 고발조치된 차량들의 측정자료이다. 수집된 자료는 수원, 논산, 대구, 포항, 진영, 진주 등 6개 국도유지사무소에서 1989년 및 1990년 2개년간 단순한 자료들이며 수원의 경우 1991년 1월 1일 부터 5월 31일 사이의 자료가 추가되었다. 자료규모는 일반적인 중형트럭(T형) 2668 대, 탠덤축을 가진 대형트럭(TT형) 7365 대, 세미트레일러(ST형) 1958 대이다. 현행 과적단속기준은 축중 10 ton, 총중량 40 ton 이다. 과적단속자료에 대한 모집단 규

<표 2> 차량분류 및 모형

차종	세분류	차 축 구조	제 원 (m)					
			L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L _T
T형	중형트럭		4.5					8.0
TT형	탠덤축 대형트럭		4.3	1.3				9.4
ST형	세미 트레일러 (4축)		3.5	5.5	1.3			13.0
	(5축)		3.2	1.3	7.0	1.3		15.7
	(6축)		3.2	1.3	6.2	1.3	1.3	16.2

모를 결정하기 위해서는 통행차량 전체를 대상으로 조사한 측정자료[11]를 이용하였다. 즉 각 지역별로 분석된 차종별 평균과적률(표1)을 이용하여 각 국도유지사무소의 과적차량 단속자료의 모집단 규모를 추정하였다.

교량상의 하중효과 분석에 이용한 차종별 차량모형은 <표 2>에 정리되어 있는 것과 같다. 이들 외의 차량형식의 하중조사자료는 분석에서 제외하였다. 분석된 결과는 대표차량형식(T형, TT형, ST형)에 따라 정리하였다.

3. 단일차량에 의한 하중효과

일반국도 교량의 대부분을 차지하는 단경간 교량 (일반 국도상 교량의 87%가 20m 미만이며, 95%가 30m 미만 인[2])에서는 차량통행특성에 관계없이 1대 이상의 중차량이 연행하여 재하될 가능성이 매우 낮다. 또한, 교량구조에 최대하중을 발생시키는 재하배치에서는 연행하는 중차량에 의해 증가되는 하중효과는 작다. <표1>의 각차량의 전장(L_T)과 기본적인 차간거리를 고려하면 이러한 결과를 예측할 수 있다. 중차량의 연행가능성이 있는 40m 이상의 경간장에 대한 중차량의 연행효과

<표 3> 단일차량에 의한 하중효과분석 (전체)

a) 정규분포 (1%)								b) 대수정규분포 (1%)							
차종	대상 교량	평균	표준 편차	99%	99.9%	99.99%	충중량 상한치	차종	대상 교량	평균	표준 편차	99%	99.9%	99.99%	
T형	10 m	0.20	0.21	0.68	0.84	0.97	1.27	T형	10 m	0.38	0.10	0.69	0.84	0.99	
	25 m	0.19	0.16	0.56	0.68	0.78	1.02		25 m	0.32	0.08	0.56	0.68	0.79	
	40 m	0.18	0.16	0.54	0.66	0.76	0.98		40 m	0.31	0.08	0.54	0.66	0.77	
	연속교	0.13	0.11	0.37	0.46	0.52	1.03		연속교	0.22	0.05	0.37	0.45	0.53	
TT형	10 m	0.57	0.39	1.48	1.78	2.03	2.27	TT형	10 m	0.82	0.18	1.32	1.56	1.78	
	25 m	0.46	0.25	1.05	1.24	1.40	1.70		25 m	0.65	0.14	1.05	1.24	1.42	
	40 m	0.41	0.25	1.01	1.20	1.36	1.62		40 m	0.61	0.14	1.01	1.20	1.38	
	연속교	0.32	0.17	0.70	0.83	0.93	1.73		연속교	0.44	0.09	0.71	0.83	0.95	
ST형	10 m	0.20	0.37	1.07	1.35	1.59	2.16	ST형	10 m	0.56	0.17	1.08	1.35	1.63	
	25 m	0.27	0.34	1.06	1.32	1.54	2.02		25 m	0.59	0.16	1.07	1.32	1.57	
	40 m	0.32	0.36	1.16	1.43	1.66	2.19		40 m	0.65	0.18	1.17	1.43	1.70	
	연속교	0.20	0.23	0.74	0.92	1.06	2.05		연속교	0.41	0.11	0.75	0.92	1.09	

는 뒤에 분석되어 있다.

하중효과의 분석대상 교량으로는 단순교 3종(경간장 10m, 25m, 40m) 및 3경간 연속교 (경간장 30-30-30 m) 총 4종류를 선정하였다. 단일차량에 의해 발생된 하중 효과들 중에서 본 연구에서 분석한 것은 단순교의 경우 중앙에서의 최대 휨모멘트이며, 3경간 연속교에서는 중앙, 측경간 중앙 및 내부지점에서의 최대 휨모멘트이다. 분석된 결과는 <표3>과 <표4>에 정리되어 있다.

<표3>은 전체 조사자료에 대한 분석 결과를 정리한 것이며, <표4>는 <표1>에서와 같이 평균과적률의 수준에 따라 조사자료를 크게 3지역으로 분류하여 지역적

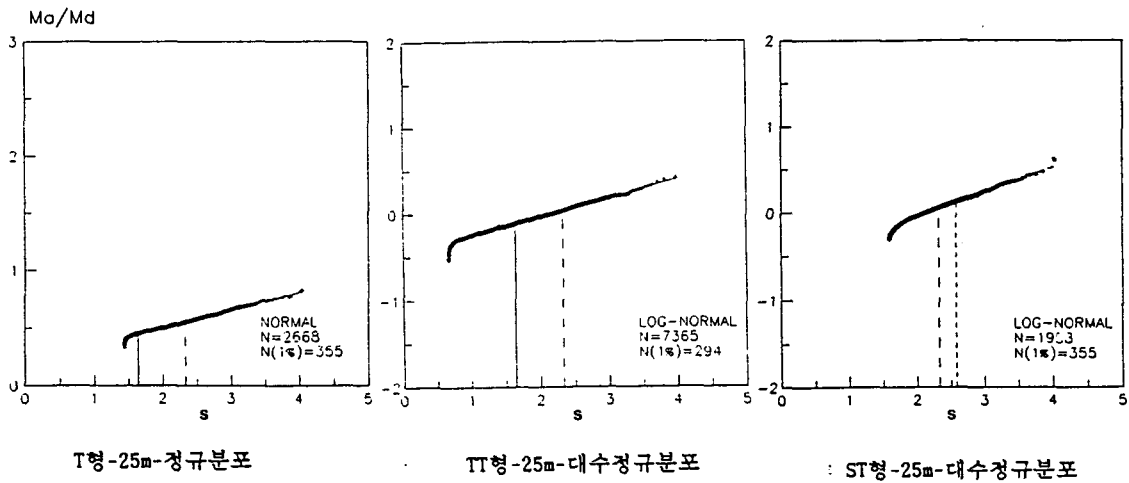
<표 4> 단일차량에 의한 하중효과 분석 (지역별)
ST형 (대수정규분포, 1%)

차종	지역	평균	표준 편차	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
	Total	0.65	0.18	1.17	1.43	1.70
연속교	I	0.48	0.14	0.89	1.10	1.32
	II	0.49	0.12	0.84	1.01	1.18
	III	0.41	0.09	0.68	0.80	0.93
	Total	0.41	0.11	0.75	0.92	1.09

특성을 분석한 결과중 ST형 - 대수정규분포의 결과만을 정리한 것이다. 확률적 특성을 분석하기 위해 정규분포와 대수정규분포 및 지수분포 등에 대한 적합도를 검토하였으며, 전반적으로 정규분포와(T형)와 대수정규분포(TT형 및 ST형)가 적합한 것으로 나타났다. <그림1>은 몇가지경우에 대한 적합도를 보여주고있다.

<표3>과 <표4>에 정리된 결과는 분석된 하중효과들의 상부 1% 영역에 대한 적합도 검사에 의해 선정된 확률 모형이며, 99% 치는 이 모형에서 1% 초과 가능성을 가지는 값을 의미한다. 또한 <표 3> 및 <표 4>에 정리된 결과는 각 대상교량별로 현행 1등급 설계트럭하중인 DB24 및 DL24에 의한 하중효과에 의해 표준화된 하중효과비이다. 즉 1.0을 초과한 결과는 현행설계하중에 의해 요구되는 하중효과를 초과하는 하중효과를 발생시키는 중차량을 의미한다.

<표 3>의 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 대표차중이라고 할 수 있는 5축 ST형에 있어 차량총중량의 대부분이 비슷한 비율로 분배되는 두개 텐덤축의 재하구간이 9.6m (표 2)에 이르며, 단일 텐덤축을 구성하는 2축의 축중합이 전후텐덤축 각각 평균 22.2ton(전 텐덤축) 및 22.8ton(후 텐덤축) 으로 TT형의 텐덤축중합의 평균 26.6ton보다 낮다[2]. 10m와 같은 단경간 교량에 있어서는 ST형의 두개 텐덤축이 동시에 재하되는 경우 보다 한 텐덤축이 재하되는 경우가 불리하며 따라서 TT형 차량이 ST형 차량보다 큰 하중효과를 일으킬



〈그림 1〉 단일차량에 의한 하중효과 적합도 분석

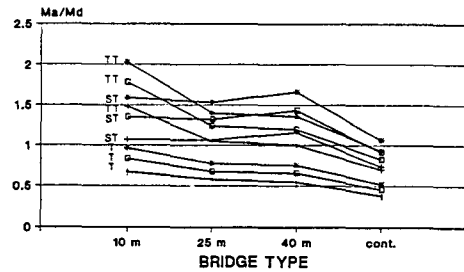
가능성이 높다고 하겠다.

경간장에 따른 하중효과의 변화특성은 전체 하중재하 구간이 짧은 T형(4.5 m) 및 TT형(5.6 m)에서는 〈그림 2〉와 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 두 개 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.

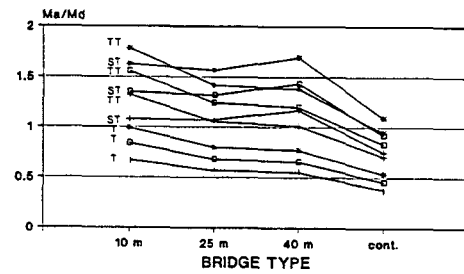
연속교에서는 모든 차량형식에 있어 단순교보다 낮은 하중효과비를 보여주고 있어 과적차량에 대한 하중효과 분배능력이 단순교보다 유리한 것을 알 수 있다. 물론 운행하는 차량에 의해 발생하는 하중효과의 특성은 약간 차이를 보이겠지만, 교량구조물의 극한한계상태에 영향을 미칠 수 있는 수준의 과적차량이 운행할 가능성은 매우 낮으므로 분석대상교량들과 같은 단경간교량에서는 크게 우려할 바는 아니다. 중차량의 과적률에 따라 분류한 지역별 특성은 T형과 TT형에서는 특별한 경향을 보이지 않으나 대표적인 중차량인 ST형에서는 〈표 4〉와 같이 지역에 따라 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 따라서 설계하중의 선정에서 이와같은 지역적 특성이 반영되도록 하는 것이 필요하다고 판단된다.

〈표 5〉에는 현행 설계활하중 및 관련 설계기준에 대한 초과가능성이 정리되어 있다. 결과를 살펴보면 가장

심각한 수준인 10 m 단순교에서는 T형에 의한 하중효과 수준은 현행 1등급 설계하중을 초과할 가능성이 1.69×10^{-4} 정도이나 ST형은 초과가능성이 0.154×10^{-1} 이며, TT형은 초과가능성이 무려 0.135 수준에 이르고 있다. 물론 교량설계에서 각종 안전여유가 주어지므로 설계하중을 초과하였다고 하는 것이 바로 파괴를 의미하는 것은 아니다. 참고로 미국 AASHTO시방서에서 하중계



(a) 정규분포



(b) 대수정규분포

〈그림 2〉 단일차량에 의한 하중효과

<표 5> 각종 설계수준에 대한 초과가능성 분석 (단일차량)

확률 분포	차 종	대상 교량 (m)	평균	표준 편차	설 계 하 중		AASHTO		콘크리트시방서		허용응력설계법	
					1등급	2등급	1등급	2등급	1등급	2등급	1등급	2등급
정 규 분 포	T	10	0.20	0.21	3.81	2.62	9.39	6.80	7.62	5.48	10.95	7.98
		25	0.19	0.16	5.06	3.50	12.38	8.99	10.06	7.25	14.44	10.53
		40	0.18	0.16	5.13	3.56	12.44	9.05	10.13	7.31	14.50	10.59
		연속	0.13	0.11	7.91	5.64	18.55	13.62	15.18	11.09	21.55	15.86
	TT	10	0.57	0.39	1.10	0.46	4.11	2.71	3.15	2.00	4.95	3.35
		25	0.46	0.25	2.16	1.16	6.84	4.67	5.36	3.56	8.16	5.66
		40	0.41	0.25	2.36	1.36	7.04	4.87	5.56	3.76	8.36	5.86
		연속	0.32	0.17	4.00	2.53	10.89	7.70	8.71	6.06	12.82	9.15
	ST	10	0.20	0.37	2.16	1.49	5.33	3.86	4.32	3.11	6.22	4.53
		25	0.27	0.34	2.15	1.41	5.59	3.99	4.50	3.18	6.56	4.72
		40	0.32	0.36	1.89	1.19	5.14	3.63	4.11	2.86	6.06	4.32
		연속	0.20	0.23	3.48	2.39	8.57	6.21	6.96	5.00	10.00	7.28
대 수 정 규 분 포	T	10	0.38	0.10	3.87	2.76	6.86	5.75	6.14	5.03	7.41	6.30
		25	0.32	0.08	4.75	3.58	7.90	6.73	7.14	5.97	8.47	7.30
		40	0.31	0.08	4.74	3.61	7.79	6.66	7.05	5.92	8.35	7.22
		연속	0.22	0.05	6.86	5.58	10.31	9.03	9.48	8.20	10.94	9.66
	TT	10	0.82	0.18	1.02	-0.30	4.60	3.27	3.73	2.41	5.25	3.92
		25	0.65	0.14	2.13	0.78	5.77	4.42	4.89	3.54	6.43	5.08
		40	0.61	0.14	2.29	1.03	5.72	4.45	4.89	3.62	6.34	5.07
		연속	0.44	0.09	4.16	2.74	7.99	6.56	7.06	5.64	8.68	7.26
	ST	10	0.56	0.17	2.10	1.13	4.71	3.74	4.08	3.11	5.19	4.22
		25	0.59	0.16	2.11	1.03	5.02	3.94	4.32	3.24	5.55	4.47
		40	0.65	0.18	1.72	0.66	4.57	3.51	3.88	2.82	5.09	4.03
		연속	0.41	0.11	3.51	2.42	6.45	5.36	5.74	4.65	6.99	5.90

수설계법(Load Factor Design Format)을 위해 제시한 하중계수를 고려하면, 즉 일반식

$$P = 1.3 [D + 1.67 (L + I) + \dots]$$

에 있어서의 활하중계수 2.17 (= 1.3 x 1.67)에 대해 분석하면 T형에서는 초과가능성이 거의 없으며, ST형에서는 0.140 x 10⁻⁹의 수준이며, TT형에서도 0.206 x 10⁻⁴ 수준에 불과하다.

현재 국내에서 널리 적용되는 허용응력설계법에 의해 확보되는 안전수준을 최소 2.5 이상이라고 본다면 이를 초과할 가능성은 더욱 낮은 수준이다. 그러나 현행 콘크리트 표준시방서에서 제시한 활하중계수 1.8에 대한 초과가능성은 10 m 경간장 교량에 있어 각각 표준정규 분포지수로 β = 7.62 (T형), 3.15(TT형), 4.32(ST형)의 수준이 되므로 보다 상세한 검토를 요한다.

<표 3>에는 참문헌 2 에서 분석한 각 차종별 총중량 상한치(T형 40 ton, TT형 65 ton, ST형 105 ton)에 의한 하중효과도 산정되어 있다. 이 값들을 살펴보면 T

형에서는 모든 경우에 있어 시방서에 내포된 안전수준을 상회할 가능성이 없으며, TT형에서는 10 m 경간장에서 최대 2.27까지 발생할 수 있으므로 AASHTO의 활하중계수 2.17을 상회할 가능성이 있다. ST형에서도 40m 경간장에서 최대치 2.19로 2.17을 상회할 가능성이 있다. 그러나 어떠한 경우에도 2.5의 안전수준은 초과되지 않는 것으로 나타났다. 현행 콘크리트 표준시방서의 활하중계수 1.8은 TT형 10m 및 ST형의 모든 경우에 있어 초과될 가능성이 매우 높은 것으로 나타나고 있다.

4 연행차량 하중효과 분석

10m, 25m 등의 단경간 교량에서는 일반적으로 단일 중차량에 의한 하중효과가 도로교 구조물의 안전성에 영향을 주게 된다. 즉 비교적 중차량인 TT형과 ST형의 차두간격(headway)이 일반적으로 10m를 상회하므로 하중효과 면에서 불리한 형태로 두대 이상이 동시에 재하될 가능성이 거의 없다는 것이다. 그러나 40 m 이상의

장경간 교량에서는 이러한 가능성이 높아지며 특히 교량상에서 정체가 발생할 경우 차두간격이 짧아져 더욱 심각한 하중효과를 일으킬 수 있다. 따라서 40m 와 80m 경간장의 교량에 대해 연행하는 차량에 의한 하중효과를 분석하였다. 여기에서는 차두간격이 최대한 좁아지는 정체를 고려하였다.

본 연구에서 검토되어진 차량행렬은 국도상 5개지점 <표 6>에서 직접 수집한 차량행렬자료를 이용하고, 각 차량의 총중량은 참고문헌[2]에서 개발한 차종별 총중량모형을 이용하여 모의발생 하였다. 각 차종별 차량형식 및 축중분배율도 개발된 모형을 이용하였다.

연행차량렬에 의한 하중효과분석은 정체가 발생한 상황을 고려하였으므로 정체차량행렬의 길이를 평균 30분간의 통행량으로 가정하였다. 이는 조사대상지역에서는 통상적인 정체는 발생하지 않고 돌발적인 요인에 의한 정체만이 발생하며, 이러한 요인은 30분 정도에 해소될 수 있다고 가정하는 것이다. 따라서 조사된 차량행렬자료를 30분 간격으로 분할하여 이용하였다.

본 연구에서는 1회 정체시 교량에 발생할 수 있는 최대하중효과를 조사하여 이를 Type-I 극한값 분포를 이용하여 모형화 하였다. <표 6>은 Type-I 극한값 분포모형의 각종 계수를 경간장별 지역별로 정리한 것이다. Type-I에 대한 적합도는 <그림 3>의 몇가지 예로부터 알 수 있다. <표 6>의 결과는 3회의 모의실험결과에 대한 대표치로 Type-I 극한값 분포에서 상부 30% 만을 모형화한 것이다.

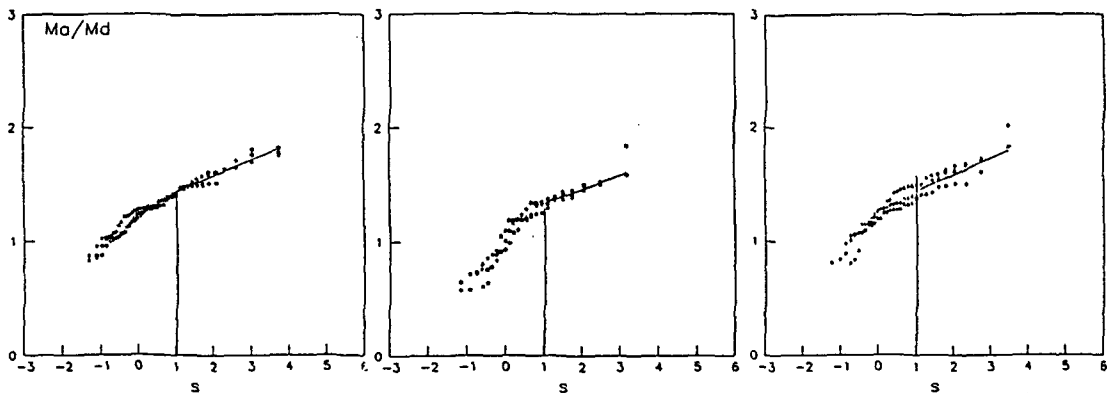
<표 7>에는 각 조사지역별 차량행렬 조사자료에서 분석한 중차량 연행률로부터 산정한 TT형과 ST형들의 연행가능성(2대 및 3대)과 <표 6>에 정리된 1회 정체 최대하중효과 모형을 이용하여 산정한 각종 설계수준에

<표 6> 연행차량렬에 의한 하중효과 분석 (Type-I 최대값 분포)

지간	지역	기울기	절편	평균	표준편차
40 (m)	수원 - 인천	0.120	1.484	1.553	0.154
	마산 - 진영	0.170	1.105	1.203	0.218
	경주 - 울산	0.146	1.289	1.373	0.187
	포항 - 경주	0.105	1.415	1.476	0.135
	평택 - 천안	0.157	1.224	1.315	0.201
80 (m)	수원 - 인천	0.135	1.307	1.385	0.173
	마산 - 진영	0.150	0.913	1.000	0.192
	경주 - 울산	0.156	1.212	1.302	0.200
	포항 - 경주	0.124	1.210	1.282	0.159
	평택 - 천안	0.103	1.203	1.262	0.132

대한 초과가능성이 정리되어 있다. 전반적인 분석결과를 살펴보면 일부분을 제외하면 중차량의 연행률이 증가함에 따라 1회 정체 최대값 분포가 상향이동하는 것을 알 수 있다. 또한 경간장에 따른 영향은 경간장이 길어짐에 따라 최대값 분포가 하향이동하는 경향을 보이고 있다.

<표 7>을 살펴보면 비교적 높은 한계수준을 제외하면 전반적으로 중차량 연행가능성과 비례하여 한계수준 초과가능성이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 <그림 3>에 있는 확률분포형태에서 알 수 있듯이 모형화에 이용된 자료들이 전부 $Ma/Md = 2.0$ 이하의 수준이며 대부분 1.8 이하의 수준으로 이 수준의 자료만으로 분석한 모형을 이용하여 $Ma/Md = 2.5$ 와 같은 상대적으로 높은 한계수준의 초과가능성을 산정하는 데에 기인한다고 할 수 있으며 좀더 검토되어야 할 부분이다.



수원-인천, 80 m

포항-경주, 80 m

D-5) 경주-울산, 40 m

<그림 3> 연행차량에 의한 하중효과 적합도 분석

〈표 7〉 중차량의 연행가능성과 한계수준 초과가능성

지 역	연행가능성 (TT + ST)		지 간 (m)	교 량 등 급	초과가능성		
	2대	3대			콘크리트시방서	AASHTO	허용응력설계법
마산 진영	0.00840	0.00127	40	1	1.6629×10^{-2}	0.1889×10^{-2}	0.2730×10^{-3}
				2	0.2107	0.4507×10^{-1}	0.1073×10^{-1}
			80	1	0.2700×10^{-2}	0.0228×10^{-2}	0.0254×10^{-3}
				2	0.0529	0.0847×10^{-1}	0.0164×10^{-1}
포항 경주	0.02649	0.00586	40	1	2.5238×10^{-2}	0.0746×10^{-2}	0.0325×10^{-3}
				2	0.8439	1.2324×10^{-1}	0.1244×10^{-1}
			80	1	0.8545×10^{-2}	0.0431×10^{-2}	0.0303×10^{-3}
				2	0.2763	0.3377×10^{-1}	0.0468×10^{-1}
경주 울산	0.03990	0.01010	40	1	2.9746×10^{-2}	0.2376×10^{-2}	0.2498×10^{-3}
				2	0.4824	0.9343×10^{-1}	0.1790×10^{-1}
			80	1	2.2806×10^{-2}	0.2137×10^{-2}	0.2596×10^{-3}
				2	0.3383	0.6712×10^{-1}	0.1416×10^{-1}
수원 인천	0.04181	0.01134	40	1	6.9319×10^{-2}	0.3258×10^{-2}	0.2103×10^{-3}
				2	0.9529	2.6007×10^{-1}	0.3772×10^{-1}
			80	1	2.5609×10^{-2}	0.1660×10^{-2}	0.1452×10^{-3}
				2	0.5168	0.8858×10^{-1}	0.1477×10^{-1}

경간장에 따른 초과가능성의 변화는 경주 - 울산의 Na/Md = 2.50 한계수준을 제외하면 경간장에 따라 감소하는 것을 보여주고 있다. 이러한 현상은 경간장, 즉 검토대상 하중효과에 영향을 주는 하중재하길이 증가함에 따라 전체재하길이에 걸쳐 중차량이 동시에 재하될 가능성이 낮아짐에 따라 나타나는 것이다.

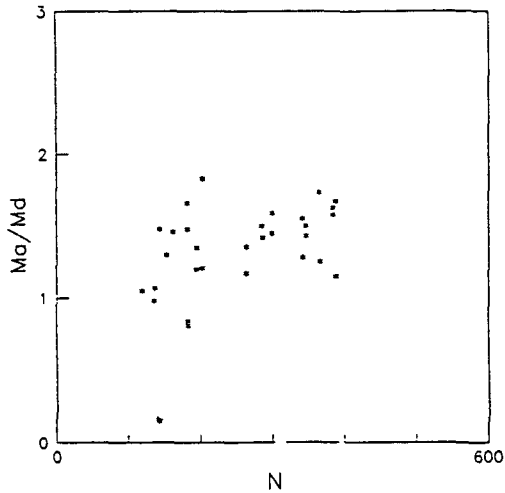
〈표 7〉에서는 〈표 6〉에 있는 평택 - 천안구간을 제외하였는데 그 이유는 평택 - 천안지역의 자료규모가 작기 때문이다. 전반적인 한계수준 초과가능성을 살펴보면 허용응력설계법에서 최소한 확보된다고 할 수 있는 2.50 수준이 초과될 가능성은 조사대상지역중 가장 높은 지역(경주 - 울산)에서 40 m 경간장에 대해 0.25×10^{-3} 수준이다. 즉 교량상에서 발생하는 30분간의 정체 4000회중 초과되는 하중효과가 평균 1회 발생가능한 수준으로 매우 낮은 수준으로 판단된다. 그러나 2등교 수준에 대해서는 가장 초과가능성이 높은 지역(수원 - 인천)에서 3.77×10^{-2} 으로 100회 정체중 평균 3 ~ 4회 발생가능한 수준이며 이는 높은 발생빈도라고 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 고려한 차량연행형식은 정체시 발생하는 것을 가정하여 차간거리를 결정하였기 때문에 교량상에 차량이 비교적 많이 재하된 반면에, 주행속도가 매우 낮아(5km/hr 이하) 차량에 의한 충격효과의 발생을 무시할 수 있다. 그러므로 설계시 40 m 교량형식

에 적용하는 충격계수는 이 경우에 또 다른 안전여유로 고려할 수 있으며 따라서 2등교에 대한 초과가능성은 0.120×10^{-2} 으로 낮아지게 되고 이는 1000회 정체발생에 대해 평균 1회 발생하는 빈도로 비교적 낮은 수준으로 판단된다.

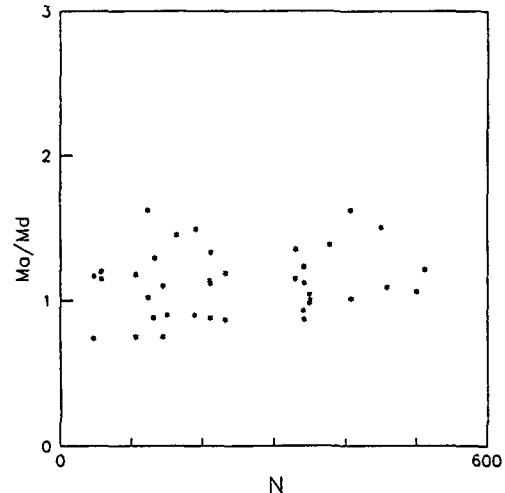
현행 강도설계법에 의한 설계에서 확보되는 안전수준은 가장 초과가능성이 높은 지역(수원 - 인천)에 있어 1등교가 6.93×10^{-2} 이며, 2등교에서는 무려 0.9529로 매우 위험한 수준이며, 충격계수에 의한 안전여유를 고려할 때에도 1등교 0.256 $\times 10^{-2}$ 및 0.2218로 1등교는 비교적 낮은 수준이나 2등교는 매우 높은 수준으로 이러한 지역에서의 2등교 교량의 선정은 문제가 있으며, 특히 교량설계시 강도설계법의 적용은 많은 검토가 되어야 할 것이다.

본 연구의 조사대상지역중 정체시 연행차량에 의한 하중효과가 가장 낮은 지역(마산 - 진영)에 있어서는 현행 강도설계법에 의한 1등교가 1.66×10^{-2} , 2등교가 0.2107의 수준이며, 충격계수에 대한 안전여유를 고려하였을 때는 1등교가 0.159×10^{-2} , 2등교가 0.397×10^{-1} 으로 수원 - 인천구간과 비교하여서는 상대적으로 낮은 수준이지만 2등교에서는 여전히 높은 발생빈도이므로 교량선정이나 설계시 많은 주의가 필요하다.

앞에서 언급하였듯이 연행차량행렬의 길이를 각 조사



(a) 마산 - 진영



(b) 경주 - 울산

<그림 4> 30분 통행량과 최대하중효과

지점에서의 30분 교통량으로 취하였기 때문에 각 정체행렬에 있어 정체길이가 다르게 된다. 본 연구에서 조사된 대상지점에서의 30분교통량은 100대 ~ 600대의 분포를 가지고 있다. 따라서 각 정체행렬에서의 최대하중효과의 크기와 정체길이, 즉 30분 교통량과의 상관관계를 검토하였으나 뚜렷한 관계를 발견할 수 없었다(그림 4). 그러나 이에 대한 추가검토가 필요하다고 판단된다.

공간장에 따른 초과가능성의 변화에 대한 분석으로부터 교량의 안전수준이 교량형식에 따라 일관성이 결여되었다는 것을 알 수 있으며 향후 도로교 설계하중에 대한 합리적인 연구 및 보정이 요구된다고 하겠다.

5. 결론

본연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 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 경간장에서는 ST형이 불리한 하중효과를 발생시킨다. 연속교에서는 구조형식 특성상 단순교보다 낮은 하중효과가 발생하고 있다.

2. 교량의 경간장이 길어짐에 따라, 단일차량에 의한 하중효과보다 연행차량행렬에 의한 하중효과가 중요해진다. 본연구에서는 정체시에 발생할 수 있는 연행차량행렬에 대해서 분석하였는데 1회 정체길이는 30분간의 통행량으로 가정하였고 매 정체시에 발생하는 최대하중효과는 Type-I 최대값 분포를 이용하여 분석하였다. 최대하중효과의 모형은 차량통행특성중 중차량의 연행특성과 밀접한 관계를 보이고 있으며, 교량경간장과도 상관관계를 가진다. 즉, 교량경간장이 길어짐에 따라 연행차량행렬에 대한 교량의 안전성은 높아진다.

3. 교통하중에 의해 발생하는 하중효과는 현행 설계하중에 의한 하중효과와 비교할때 일반적으로 경간장이 길어짐에 따라 낮아지는 것으로 분석되었다. 즉 현행 도로교설계하중에 의해 설계된 교량은 교량형식 및 경간장에 따라 안전수준에 차이가 있다는 것이다. 또한 지역적인 교통특성에 따라라도 안전수준에 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 현행 설계하중에 대한 보다 체계적인 연구를 통한 개선이 요구된다고 하겠다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 도로포장 설계지침서 작성 및 자동차 축하중 조사연구, 최종보고서, 1988.
2. 한국건설기술연구원, 도로교 설계하중의 확률론적 분석, 최종보고서, 1991.