

고속충중계 자료를 이용한 차량하중 다차로재하계수 결정

Determination of Multi-Lane Loading Factors for Vehicular Load of Bridges using Weigh-In-Motion Data

황 의 승 Hwang, Eui-Seung | 정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 (E-mail : eshwang@khu.ac.kr)
응위엔 티 행 Nguyen Thi Hang | (전) 경희대학교 토목공학과 석사과정

ABSTRACT

The purpose of this study is to calculate and propose rational multi-lane loading factors for bridge design considering the probability of simultaneous truck passing in adjacent lanes and real truck weights. The probability of simultaneous truck passing is calculated by analyzing video image taken at various locations in highways and national roads. Weigh-In-Motion system data at two locations are used, which is combined with the probability of multiple presence to calculate the multi-lane loading factors for typical 2 lane and 5 lane bridges. Statistical properties of multi-lane loading factors are also calculated assuming that locations for video images and WIM data represent the overall traffic condition in the country. Results are compared with various design codes in the world and they show that the values are between the current Korea Bridge Design Code and AASHTO LRFD specification or Eurocode and are similar to Canadian Code.

KEYWORDS

multi-lane loading factor, multiple presence, Weigh-In-Motion (WIM), bridge design code

요지

본 논문의 목적은 인접차로에서 동시에 주행하는 차량재하의 확률과 실제 차량의 중량을 고려하여 합리적인 다차로 재하계수를 제시하는 것이다. 차량동시재하의 확률은 국내 여러 곳에서 촬영한 비디오영상으로부터 분석되었으며 중차량의 중량은 국내 두 곳에서 Weigh-In-Motion시스템으로부터 계측한 자료를 이용하였다. 이 두 자료를 대표적인 2차로교량과 5차로교량에 각각 적용하여 다차로재하계수를 계산하였다. 또한 본 논문에서 제시한 동시재하확률 및 WIM자료의 중량이 국내의 지역별 특성을 대표하는 값으로 가정하여 다차로재하계수의 통계적인 특성을 산출하였다. 본 논문의 결과는 국내외의 교량 설계기준과 비교하였으며 그 결과 현행 국내의 도로교설계기준의 값보다는 작고, 유로코드 및 AASHTO LRFD기준보다는 큰 값을 나타냈으며 전체적으로 캐나다의 설계기준과 유사한 값을 보이는 것으로 나타났다.

핵심용어

다차로재하계수, 횡방향동시재하, 고속충중계, 교량설계기준

1. 서론

구조물의 설계에서 하중은 가장 중요한 요소이다. 특히 교량을 포함한 도로구조물에는 고정하중, 차량활하중, 풍하중, 온도하중, 지진하중 등 여러 가지 하중들이 작용한다. 이러한 하중들 중에서 단시간 또는 중시간의

교량에 있어서 차량활하중은 가장 중요한 하중이다. 차량활하중의 영향은 통행하는 차량, 특히 중차량의 중량 뿐만 아니라 축중의 분포, 차량의 교축방향 및 교축직각 방향의 위치, 재하되는 차량의 수 등에 관계된다. 교량 설계기준에 정의되어 있는 차량활하중의 모형은 주로

차량의 총중량 또는 축중량의 특성을 반영한 것이며 중차량의 통행특성을 반영하는 교축직각방향으로 재하되는 차량의 수 및 위치 등을 규정하기 위한 하중 재하방법은 따로 규정되어 있다. 본 논문에서는 하중재하방법 중 가장 중요한 인자인 다차로재하계수(Multi Lane Loading Factor)에 대하여 분석하고 있다.

다차로재하계수는 차로가 2개 이상인 교량의 경우에 설계차량하중이 동시에 여러 차로에 재하되는 경우를 고려하기 위하여 사용되는 계수로 차량이 여러 차로에 재하되는 확률이 한 차로에 재하되는 경우보다 더 작다는 사실에 근거하여 사용하는 계수이다. 전세계적으로 다차로 재하의 경우를 고려하는 방법에 크게 두 가지 방법이 사용되고 있다. 유럽(CEN, 2002)이나 일본의 도로교설계기준(일본도로협회, 2002)에서는 모든 차로를 주재하차로와 종재하차로로 구분하고, 주재하차로에는 100%의 설계차량하중을, 종재하차로에는 감소된 크기의 차량활하중모형을 재하하도록 규정하고 있다. 반면에 우리나라의 도로교설계기준(2010)이나 미국 AASHTO(1991)이나 AASHTO LRFD(2007), 캐나다의 CHBDC(2000)에서는 설계차량하중을 재하되는 차로에 똑같이 재하되 다차로에 재하하는 경우에 감소계수를 사용하는 방법을 채택하고 있다. 우리나라의 도로교설계기준의 다차로재하계수는 국내의 통행특성에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않은 상태에서 종래의 미국 AASHTO(1991)의 값을 그대로 사용하고 있어 합리적인 계수의 도출이 필요한 실정이다.

본 논문의 목적은 국내의 여러 지점에서 수집된 중차량의 통행자료를 사용하여 국내실정을 반영한 합리적인 다차로재하계수를 결정하는 것이다. 활하중모형은 국내의 여러 지점에서 수집된 자료를 바탕으로 개발되고 제시되었다(황의승, 2008). 새롭게 제시된 설계활하중모형에 맞추어 본 논문에서는 같은 자료를 사용하여 다차로재하계수를 계산하였다. 중차량의 통행특성자료는 국내의 P지역과 B지역에 설치된 WIM(Weigh-In-Motion)시스템에서 수집된 자료를 이용하였다. 중차량들의 동시재하확률을 결정하기 위하여 P지역과 B지역을 포함한 여러 지역에서 비디오 촬영을 하고 그 영상을 분석하였다. 동시재하(다차로재하)의 경우에 대한 차량총중량은 확률지에 도시된 차량중량의 선형회귀분석에 의하여 결정되었다. 다차로재하계수는 1차로 재하와 다차로재하시의 재하확률에 따른 차량중량을 2차로교량과 5차로교량에 재하하여 결정되었으며 그 결과를 다른 국내외의 교량설계기준의 값과 비교하였다.

2. WIM시스템과 비디오영상을 이용한 차량 통행특성

2.1. WIM시스템

본 논문에서 사용된 차량의 중량자료는 Weigh-In-Motion(WIM) 시스템에서 수집된 자료이다. WIM시스템은 압전센서(piezoelectric sensor)를 이용하여 차량의 축중량과 축간거리 등을 간편하게 계측할 수 있는 시스템이며 그림 1(a)와 (b)에 P지역과 B지역에 설치된 WIM센서를 보여주고 있다. WIM시스템에는 두 개의 압전센서와 한 개의 루프센서를 사용하는 것이 일반적이며 측정된 축중량, 축간거리, 차량속도 등은 시스템 본체에 저장되고 주기적으로 PC에 전송되어 분석될 수 있다(권순민 등, 2009, 2010).



(a) P지역



(b) B지역

그림 1. 축중측정을 위한 WIM시스템 설치

2.2. 차량 중량자료

계측된 자료로부터 대표적인 중차량의 종류와 형태가 결정되었으며 표 1에서 WIM시스템에서 내장된 차종 형태 및 국내기준 차종에 따른 차량 형태 및 축배치를 요약하였다. 그림 2에서는 P지역에서의 대표적인 중차량의

총중량에 대한 히스토그램을 보여주고 있는데 차종 70(국내기준 차종 7)과 차종 91(국내기준 차종 10)이 다른 차종보다 더 무거운 중량을 나타내고 있어 교량설계에 지배적인 차종임을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 차종 70과 차종 91만을 고려하여 분석을 수행하였다.

표 1. 대표적인 중차량 형태

CODE	국내기준 차종	형태	축배치
40	4	Two axle single	
50	5	Three axle single	
60	6	Four axle single	
70	7	Five axle single	
91	10	Five axle semi tractor-trailer	

2.3. 다차로재하의 확률

다차로재하는 한 차로 또는 인접차로에 두 대 이상의 차량이 동시에 재하되는 경우를 의미한다. 한 차로 상에 두 대 이상의 차량이 앞뒤로 주행하는 경우는 설계차량 활중중모형에서 이미 고려되는 것으로 본 연구에서는 다루어지지 않는다. 두 대 이상의 차량이 인접한 차로들에 동시에 재하되는 효과는 교량설계 시에 일반적으로 두 가지 방법으로 고려된다. 첫 번째 방법은 차로당 재하되는 하중을 똑같이 재하하고 다차로재하에 따른 감소계수를 곱하는 방법으로 우리나라(국토해양부, 2010), 미국(AASHTO, 2007), 캐나다(CSA, 2000)의 교량설계기준에서 채택하고 있다. 두 번째 방법은 주재하차로에는 설계차량하중모형을 재하하고 인접차로에는 감소된 크기의 하중모형을 재하하는 방법으로 유럽(Eurocode, 2001) 및 일본(일본토목학회, 2002)에서 채택하고 있다. 본 연구에서는 기존의 도로교설계기준에서 사용하고 있는 다차로재하계수를 계산하였다.

두 차로 이상의 인접차로에 재하되는 중차량의 효과는 동시재하의 확률과 차량중량간의 상관관계수에 따라 달라지는데 본 연구에서는 국내 실정을 반영하기 위하여 여러 장소에서 비디오촬영을 실시하고 이를 분석하였다. 그림 3에서는 P지역과 S지역에서의 비디오촬영 모습을 보여주고 있다. 비디오영상분석에서는 차량중량의 상관도를 정확히 파악하기 어려우므로 두 대의 차량중량사이의 상관도는 완전상관(fully correlation)과 완전무관(uncorrelation)의 경우만을 고려하였다. 즉,

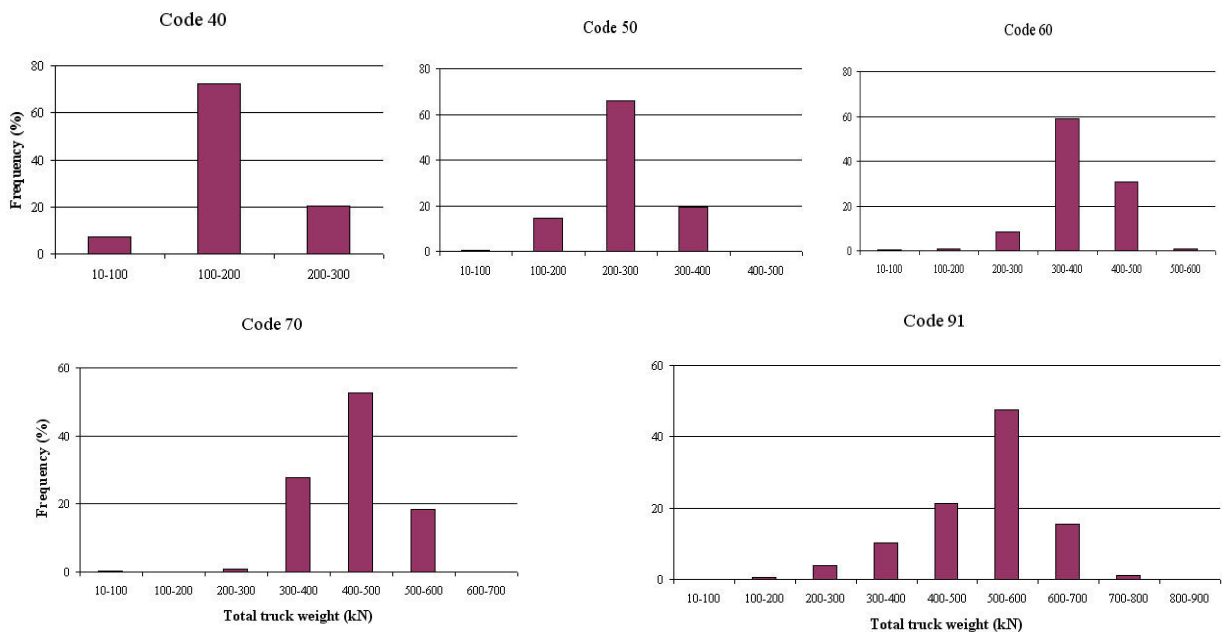


그림 2. P지역의 총중량 히스토그램



(a) P지역



(b) S지역

그림 3. 다차로재하확률 결정을 위한 카메라 설치

같은 차종의 차량이 같은 형태의 화물을 적재하는 경우를 완전상관으로 가정하였다. 표 2는 여러 지역에서의 비디오영상 분석에 의한 동시재하의 확률을 나타내고 있다. P지역과 B지역은 WIM시스템이 설치된 곳으로 P

지역은 도로교통량통계연보 상 중간정도의 교통량을 나타내나 차량중량은 매우 무거운 지역이다. B지역은 일일교통량이 많은 지역이며, S지역은 교통량이 매우 많고 주간에는 주로 정체가 되는 지역으로 동시재하의 확률이 매우 높음을 알 수 있다. 표 2에는 Nowak의 연구(1993)에서 사용된 확률도 같이 나타내었다. 표 2에서 완전무관의 동시재하의 확률은 $1/n$ 이며, 완전상관의 동시재하의 확률은 $1/n \times 1/m$ 으로 계산된다.

표 2. 다차로재하의 확률

지역	동시재하의 확률		비고
	완전무관 1/n	완전상관 1/m	
P지역	1/25	1/90	중간정도의 ADTT(=8,388대), 매우 무거운 차량중량
B지역	1/20	1/60	높은 ADTT(=27,919대)
S지역	1/10	1/5	매우 높은 ADTT(=43,458) 및 정체지역
Nowak의 자료	1/15	1/30	참고문헌(Nowak, 1993)

표 3에서는 두 대에서 5대까지 차량의 동시재하의 경우의 수를 각 지역별 확률을 사용하여 계산한 표이다. 예를 들어 5대의 차량이 N-N-F-F인 경우는 5대 중 3대의 차량은 완전상관으로, 나머지 두 대의 차량은 완전무관으로 주행하는 경우를 나타낸 것이며 이 때의 확률은 S지역에서 $1/250,000$ 이다.

표 3. 본 논문의 측정위치와 Nowak자료의 다차로재하의 경우

차량수와 상관도		P지역	B지역	S지역	Nowak자료
1 대		-	-	-	-
2 대	N	25	20	10	15
	F	2,250	1,200	50	450
3 대	N-N	625	400	100	225
	N-F	56,250	24,000	500	6,750
	F-F	5,062,500	1,440,000	2,500	202,500
4 대	N-N-N	15,625	8,000	1,000	3,375
	N-N-F	1,406,250	480,000	5,000	101,250
	N-F-F	126,562,500	28,800,000	25,000	3,037,500
	F-F-F	11,390,625,000	1,728,000,000	125,000	91,125,000
5 대	N-N-N-N	390,625	160,000	10,000	50,625
	N-N-N-F	35,156,250	9,600,000	50,000	1,518,750
	N-N-F-F	3,164,062,500	576,000,000	250,000	45,562,500
	N-F-F-F	284,766,000,000	34,560,000,000	1,250,000	1,366,875,000
	F-F-F-F	25,628,900,000,000	2,073,600,000,000	6,250,000	41,006,250,000

** N : 완전무관의 경우, F : 완전상관의 경우

3. 다차로재하계수의 결정

3.1. 결정과정

다차로재하계수의 결정은 다음과 같은 절차에 따라 구해진다.

- (1) 차량중량의 통계적 특성은 2.2에서와 같이 WIM 시스템으로부터 수집된 자료를 이용하고, 동시재하의 확률은 2.3에서와 같이 비디오영상분석에서 얻어진 결과를 사용한다.
- (2) 차량의 중량은 검별확률분포를 이용하여 검별확률지에 도시하여 교량수명기간(이 연구에서는 100년으로 가정)동안의 최대중량을 예측하고, 동시재하의 확률에 따른 두 대 이상의 차량재하 경우의 차량중량을 마찬가지로 검별확률지로부터 계산한다.
- (3) 상용구조해석프로그램을 이용하여 대표적인 2차로교량과 5차로교량을 모델링한 후, 각 차로에 한 차량 최대중량을 재하하여 구한 단면 최대모멘트의 값과 각 차로에 동시재하되는 차량의 중량을 재하하여 얻은 단면의 최대모멘트값과의 비율로 동시재하계수를 결정한다.

3.2. 단일차로의 중차량 최대중량

단일차량의 교량수명기간동안의 최대중량을 결정하기 위하여 WIM시스템으로부터 수집된 자료의 상위 10%를 이용하였으며 이는 최대중량의 분포는 이론적으로 극한분포를 가진다는 극한치이론을 적용한 것이다. 본 연구에서 수집한 자료의 상위 10%의 자료를 검별확률지에 도시하면 그림 4와 같으며 자료의 도시형태가 거의 직선을 나타내고 있어 상위 10%의 자료가 검별확률분포를 갖음을 알 수 있다. 이 때 교량수명기간의 최대중량은 다음 식(1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$W_{\max} = \mu + \sigma \ln(N) \quad (1)$$

여기서, W_{\max} : 교량수명기간(100년) 동안의 최대중량

μ : 평균중량

σ : 중량의 표준편차

N : 교량수명기간동안의 차량대수이다.

그림 4는 P지역 차종 91에 대하여 상위 10%의 자료를 검별확률지에 도시하고 선형회귀선을 이용하여 교량

수명기간동안의 중량을 계산하는 그림이다. 결과적으로 단일차량의 차종 70과 차종 91에 대한 최대중량은 표 4와 같이 계산되었다.

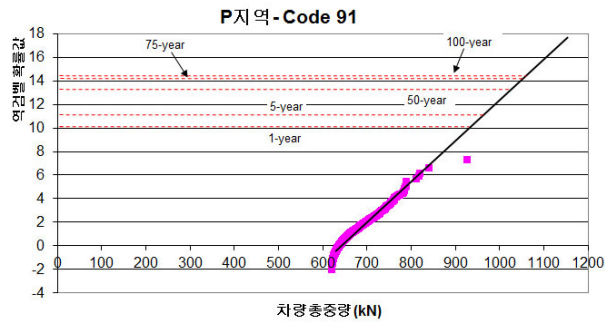


그림 4. 상위 10%자료의 검별확률지 도시

표 4. 단일차량의 중차량 최대중량

	차종 70	차종 91
P지역	778 kN	1101 kN
B지역	930 kN	1222 kN

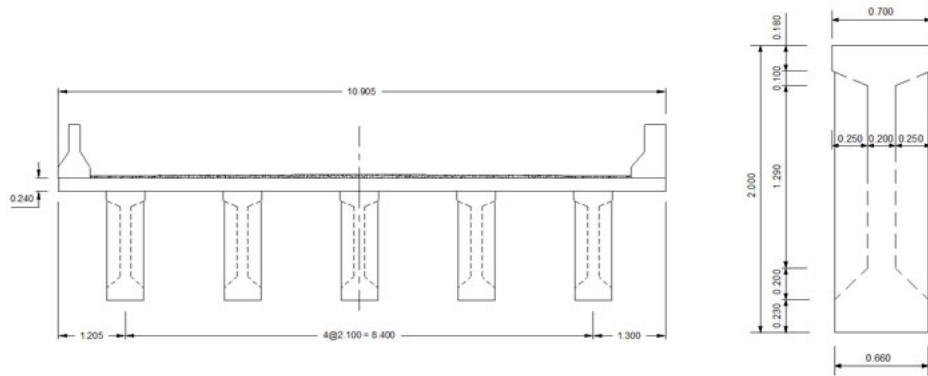
3.3. 다차로 경우의 중차량 최대중량

두 대, 세 대, 네 대, 다섯 대의 차량이 동시에 재하되는 경우의 차량중량은 동시재하의 확률을 고려하여 결정된다. 3.2에서 언급한 단일차량의 최대중량을 구하는 방법과 동일하게 적용하되 동시재하의 확률을 고려하여 최대중량을 구한다. 즉, 동시재하의 확률이 1/100이면 이 경우의 최대중량은 그림 4의 검별확률지에서 1년 최대값에 해당하는 차량중량으로 계산된다. 이와 같이 계산된 S지역의 동시재하 확률을 이용하여 차종 91의 동시재하차량의 중량을 구하면 표 5와 같다.

3.4. 구조해석 교량

단일차량과 동시재하차량에 의한 단면력의 비교를 위하여 두 개의 교량이 모델링되었다. 한 교량은 5개의 프리스트레스트콘크리트거더를 갖는 2차로 교량으로 단면은 그림 5와 같다. 지간은 30m이다. 다른 교량은 11개의 프리스트레스트콘크리트거더를 갖는 5차로 교량으로 단면은 그림 6과 같다.

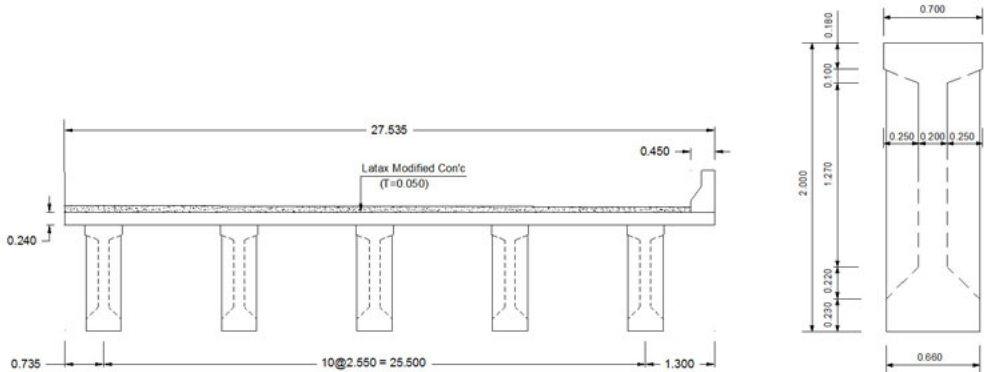
다차로재하계수는 표 4의 중량을 갖는 차량을 재하되는 모든 차로에 재하한 경우의 지간중양점 휨모멘트에 대한 표 5의 중량을 갖는 차량을 각각의 차로에 재하한 경우의 비율로 계산된다. 완전무관의 경우에는 동시재하확률을 고려한 차량중량과 평균적인 중량을 갖는 차



(a) 교량 단면

(b) 거더 단면

그림 5. 대표적인 5거더 2차로 교량의 단면



(a) 교량 단면

(b) 거더 단면

그림 6. 대표적인 11거더 5차로 교량의 단면

표 5. 동시재하 차량의 중량(S지역 확률, 차종 91)

			지역	1차로	2차로	3차로	4차로	5차로	
1대			P	1051	평균중량 = 613				
			B	1138	평균중량 = 472				
2대	N	10	P	986	613				
			B	1034	472				
	F	50	P	940	940				
			B	960	960				
3대	N-N	100	P	920	613	920			
			B	929	472	929			
	F-N	500	P	874	874	613			
			B	856	856	472			
	N-F	500	P	613	874	874			
			B	472	856	856			
	F-F	2,500	P	828	828	828			
			B	783	783	783			
4대	N-N-N	1,000	P	854	613	854	613		
			B	824	472	824	472		
	F-N-N	5,000	P	808	808	613	808		
			B	751	751	472	751		

(표 계속)

4대	N-F-N	25,000	P	613	808	808	613		
			B	472	751	751	472		
	N-F-F		P	613	762	762	762		
			B	472	678	678	678		
	F-N-F		P	762	762	613	762		
			B	678	678	472	678		
F-F-F	P	716	716	716	716				
	B	605	605	605	605				
5대	N-N-N-N	10,000	P	788	613	788	613	788	
			B	720	472	720	472	720	
	F-N-N-N	50,000	P	742	742	613	742	613	
			B	646	646	472	646	472	
			N-F-N-N	P	613	742	742	613	742
				B	472	646	646	472	646
	F-N-F-N	250,000	P	696	696	613	613	696	
			B	573	573	472	472	573	
			F-N-N-F	P	696	696	613	696	613
				B	573	573	472	573	472
	N-F-N-F	P	613	696	696	613	613		
		B	472	573	573	472	472		
	N-F-F-N	P	613	696	696	696	613		
		B	472	573	573	573	472		
	F-N-F-F	1,250,000	P	650	650	613	613	613	
			B	500	500	472	472	472	
			N-F-F-F	P	613	650	650	650	650
				B	472	500	500	500	500
F-F-F-F	6,250,000	P	604	604	604	604	604		
		B	427	427	427	427	427		

량의 재하로부터 휨모멘트가 계산되며, 완전상관의 경우에는 모든 차로에 동시재하확률을 고려한 같은 중량의 차량이 재하된다. 예를 들어 P지역의 WIM자료를 사용하여 2차로교량에 차중 70의 중차량이 재하되는 경우 각 차로에 표 4의 778kN의 중량을 갖는 차량을 재하하면 외측거더에 3356.76kNm의 휨모멘트가 발생한다. 완전무관의 두 대의 차량이 동시에 재하되는 경우에는 표 5에 의하여 각 차량의 중량은 각각 717kN, 478kN이고 이를 교량의 각 차로에 재하하면 외측거더에 2760.93kNm의 휨모멘트가 발생하므로 다차로재하계수는 $2760.93/3356.76 = 0.82$ 가 된다. 마찬가지로 방법으로 2차로교량에 대하여 두 지역의 WIM자료(P지역, B지역)를 사용하고, 4가지 경우의 동시재하확률(P지역, B지역, S지역, Nowak자료)을 고려하여 완전무관/완전상관의 경우의 내측거더/외측거더의 다차로재하계수를 구하면 표 6의 값과 같다. 가장 재하확률이 높은 S지역의 완전상관의 경우에 최대 0.91의 다차로재하계수값을 보이고 있다. 같은 방법으로 5차로 교량에 대하여서도 2차로재하부터 5차로재하의 경우까지 다차로재하계수를 구하여 정리하면 표 7과 같다.

표 6. 2차로 교량의 다차로재하계수

지역(완전무관/ 완전상관)	차중	WIM 지역	외측거더		내측거더	
			완전 무관	완전 상관	완전 무관	완전 상관
P지역확률 (25/90)	70	P	0.82	0.81	0.76	0.81
		B	0.74	0.75	0.64	0.75
	91	P	0.76	0.75	0.68	0.75
		B	0.70	0.71	0.58	0.71
B지역확률 (20/60)	70	P	0.82	0.83	0.76	0.83
		B	0.74	0.78	0.64	0.78
	91	P	0.74	0.77	0.67	0.77
		B	0.70	0.74	0.59	0.74
S지역확률 (10/5)	70	P	0.84	0.91	0.77	0.91
		B	0.76	0.88	0.65	0.88
	91	P	0.78	0.88	0.69	0.88
		B	0.72	0.86	0.60	0.86
Nowa 자료확률 (15/30)	70	P	0.83	0.85	0.76	0.85
		B	0.75	0.80	0.64	0.80
	91	P	0.77	0.80	0.69	0.80
		B	0.71	0.77	0.59	0.77

표 7. 5차로교량의 다차로재하계수

	WIM 지역	P지역 확률 (25/90)				B지역 확률(20/60)				S지역확률 (10/5)				Nowak의 확률 (15/30)						
		외측거더		내측거더		외측거더		내측거더		외측거더		내측거더		외측거더		내측거더				
		차종 70	차종 91	차종 70	차종 91	차종 70	차종 91	차종 70	차종 91	차종 70	차종 91	차종 70	차종 91	차종 70	차종 91	차종 70	차종91			
1 차로		P	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
		B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
2 차로	완전무관	P	0.79	0.78	0.76	0.68	0.8	0.77	0.76	0.67	0.81	0.80	0.77	0.69	0.80	0.80	0.76	0.69		
		B	0.76	0.73	0.64	0.58	0.76	0.73	0.64	0.59	0.77	0.75	0.65	0.60	0.77	0.74	0.64	0.59		
	완전상관	P	0.81	0.75	0.81	0.75	0.83	0.81	0.83	0.77	0.90	0.87	0.91	0.88	0.85	0.85	0.85	0.80		
		B	0.75	0.71	0.75	0.71	0.77	0.73	0.78	0.74	0.87	0.85	0.88	0.86	0.80	0.77	0.80	0.77		
3 차로	완전무관	P	0.78	0.74	0.77	0.69	0.75	0.76	0.78	0.70	0.82	0.80	0.80	0.73	0.78	0.74	0.78	0.71		
		B	0.73	0.69	0.65	0.61	0.74	0.70	0.66	0.62	0.78	0.75	0.69	0.66	0.73	0.69	0.67	0.64		
	부분상관	P	0.63	0.60	0.50	0.58	0.64	0.60	0.50	0.60	0.70	0.66	0.53	0.68	0.63	0.60	0.51	0.62		
		B	0.54	0.47	0.38	0.48	0.56	0.50	0.39	0.50	0.63	0.61	0.43	0.59	0.54	0.47	0.40	0.53		
		P	0.63	0.60	0.70	0.60	0.64	0.60	0.72	0.63	0.70	0.67	0.79	0.72	0.63	0.60	0.74	0.65		
		B	0.55	0.48	0.59	0.52	0.56	0.50	0.60	0.55	0.64	0.61	0.70	0.65	0.55	0.48	0.64	0.59		
	완전상관	P	0.62	0.50	0.63	0.50	0.65	0.54	0.66	0.55	0.81	0.71	0.81	0.75	0.62	0.50	0.70	0.61		
		B	0.50	0.43	0.50	0.43	0.54	0.49	0.55	0.48	0.75	0.70	0.75	0.71	0.50	0.43	0.61	0.55		
4 차로	완전무관	P	0.61	0.58	0.68	0.58	0.62	0.59	0.69	0.59	0.64	0.62	0.63	0.62	0.71	0.58	0.70	0.60		
		B	0.53	0.46	0.54	0.46	0.54	0.47	0.55	0.48	0.57	0.51	0.58	0.51	0.53	0.46	0.56	0.49		
	부분상관	Case 1	P	0.62	0.53	0.65	0.53	0.64	0.55	0.67	0.55	0.72	0.67	0.75	0.66	0.62	0.53	0.69	0.59	
			B	0.51	0.44	0.51	0.43	0.54	0.47	0.53	0.46	0.62	0.60	0.64	0.58	0.51	0.44	0.57	0.51	
		Case 2	P	0.54	0.50	0.64	0.52	0.55	0.52	0.65	0.53	0.58	0.56	0.71	0.61	0.54	0.50	0.67	0.56	
			B	0.45	0.36	0.48	0.40	0.46	0.38	0.50	0.42	0.49	0.43	0.57	0.50	0.45	0.36	0.52	0.47	
	완전상관	P	0.53	0.42	0.56	0.42	0.56	0.45	0.59	0.45	0.69	0.63	0.73	0.64	0.53	0.42	0.63	0.52		
		B	0.40	0.32	0.40	0.44	0.44	0.35	0.44	0.48	0.61	0.55	0.63	0.60	0.40	0.32	0.50	0.55		
	5 차로	완전무관	P	0.50	0.46	0.59	0.45	0.52	0.47	0.60	0.47	0.57	0.55	0.67	0.56	0.50	0.46	0.63	0.50	
			B	0.40	0.31	0.41	0.32	0.42	0.33	0.43	0.38	0.49	0.41	0.52	0.44	0.40	0.31	0.46	0.37	
		부분상관	Case 1	P	0.44	0.25	0.62	0.49	0.42	0.24	0.62	0.49	0.63	0.62	0.62	0.49	0.44	0.25	0.62	0.49
				B	0.25	0.14	0.26	0.16	0.32	0.21	0.32	0.23	0.68	0.56	0.63	0.57	0.25	0.14	0.41	0.32
P				0.66	0.55	0.66	0.55	0.68	0.57	0.67	0.56	0.62	0.62	0.62	0.62	0.69	0.59	0.69	0.59	
B				0.52	0.44	0.52	0.44	0.54	0.47	0.53	0.46	0.60	0.53	0.59	0.52	0.58	0.49	0.56	0.49	
Case 2			P	0.59	0.45	0.60	0.46	0.61	0.48	0.61	0.49	0.61	0.55	0.68	0.57	0.65	0.53	0.64	0.52	
			B	0.44	0.35	0.43	0.34	0.47	0.39	0.45	0.36	0.60	0.54	0.54	0.46	0.51	0.44	0.48	0.40	
			P	0.60	0.46	0.59	0.46	0.61	0.48	0.63	0.49	0.68	0.57	0.70	0.59	0.64	0.52	0.64	0.52	
			B	0.43	0.34	0.43	0.35	0.45	0.36	0.46	0.38	0.54	0.46	0.57	0.48	0.48	0.40	0.50	0.42	
Case 3	P	-				-				-				-						
	B	0.33	0.23	0.35	0.25	0.37	0.27	0.39	0.28	0.55	0.48	0.52	0.44	0.43	0.34	0.42	0.34			
	P	-				-				-				-						
	B	0.32	0.22	0.32	0.22	0.36	0.27	0.36	0.27	0.57	0.50	0.57	0.50	0.43	0.34	0.43	0.34			
완전상관	P	-				-				-				-						
	B	0.36	0.26	0.37	0.27	0.38	0.29	0.39	0.30	0.50	0.42	0.48	0.40	0.42	0.33	0.42	0.33			
	P	-				-				-				-						
	B	0.35	0.38	0.34	0.36	0.38	0.38	0.39	0.36	0.52	0.38	0.53	0.36	0.42	0.38	0.42	0.36			
5 차로	Case 3	P	-				-				-				-					
		B	-				-				-				-					
	완전상관	P	-				-				-				-					
		B	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49		
완전상관	P	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49	0.62	0.49			
	B	0.41	0.32	0.41	0.32	0.41	0.32	0.41	0.32	0.41	0.32	0.41	0.32	0.41	0.32	0.41	0.32			

4. 다차로 재하계수의 제안값

4.1. 다차로재하계수의 통계값

표 6과 표 7의 값으로부터 1~5차로교량에 대한 다차로재하계수의 최대값, 최소값, 평균을 계산하여 표 8에 정리하였다. 지역별로 보면, 대체적으로 재하확률이 가장 높은 S지역의 값이 가장 큰 값을 보이고 있으며 P지역의 값이 가장 낮은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 이들 4개 지역의 재하확률이 국내의 대표적인 값으로 가정하면 평균적인 다차로재하계수의 값은 표 8(b)에 보인 바와 같이 1~5차로에 대해 각각, 1.0, 0.77, 0.62, 0.51, 0.48 정도이며 최대값은 각각 1.0, 0.85, 0.79, 0.71, 0.68 정도이다.

표 8(b)의 통계값으로부터 본 연구에서는 도로교설계를 위한 다차로재하계수를 표 9와 같이 제안하였다.

표 8. 다차로계수 계산값

(a) 지역별 다차로계수

지역	차로수	평균	최대	최소	표준편차	변동계수
P	1	1	1	1	0	0
	2	0.74	0.81	0.58	0.06	0.08
	3	0.58	0.78	0.38	0.1	0.18
	4	0.46	0.68	0.14	0.12	0.26
	5	0.45	0.66	0.22	0.19	0.42
B	1	1	1	1	0	0
	2	0.75	0.83	0.59	0.06	0.09
	3	0.6	0.78	0.39	0.09	0.15
	4	0.48	0.69	0.21	0.11	0.23
	5	0.47	0.68	0.27	0.11	0.24
S	1	1	1	1	0	0
	2	0.8	0.91	0.6	0.09	0.11
	3	0.7	0.82	0.43	0.08	0.12
	4	0.59	0.75	0.41	0.08	0.13
	5	0.51	0.7	0.32	0.2	0.39
Nowak	1	1	1	1	0	0
	2	0.77	0.85	0.59	0.07	0.09
	3	0.61	0.78	0.4	0.1	0.16
	4	0.49	0.71	0.14	0.12	0.24
	5	0.49	0.69	0.32	0.11	0.22

(b) 다차로계수의 통계값

차로수	평균	최대	최소	표준편차	변동계수
1	1	1	1	0	0
2	0.77	0.85	0.59	0.07	0.09
3	0.62	0.79	0.4	0.09	0.15
4	0.51	0.71	0.23	0.11	0.22
5	0.48	0.68	0.28	0.15	0.32

제안된 값은 표 8(b)의 통계값으로부터 최대값과 평균에 두 배의 표준편차를 더한 값(약 상위 95%의 값)을 계산하여 가장 가까운 0.05의 배수값으로 계산한 값이다.

표 9. 다차로재하계수의 제안값

차로수	다차로재하계수
1	1
2	0.9
3	0.8
4	0.7
5 이상	0.65

4.2. 다른 기준과의 비교

표 9의 제안된 다차로재하계수의 값을 현행 도로교설계기준(2010), 유로코드(2001) 및 AASHTO LRFD(2007)의 값과 비교하였다. 유로코드의 경우 우리나라와 달리 다차로재하계수의 값을 사용하지 않고 차로별로 다른 크기의 하중을 재하하기 때문에 본 연구의 결과와 비교하기 위하여 위에서 언급한 5차로 교량에 유로코드에서 규정하고 있는 방식대로 재하하여 등가의 다차로재하계수를 구하였다. 유로코드의 활하중모형은 표 10과 같이 차로별로 다른 크기의 하중을 재하하고 있으며 그 재하방법은 그림 8과 같다. 해석 결과 및 국내 현행 도로교설계기준과 AASHTO LRFD기준의 다차로재하계수를 비교하면 표 11과 같다.

표 10. 유로코드의 활하중모형

차로	Axle loads Q_{ik} (kN)	q_{ik} (kN/m ²)
Lane 1	300	9
Lane 2	200	2.5
Lane 3	100	2.5
Other lanes	0	2.5

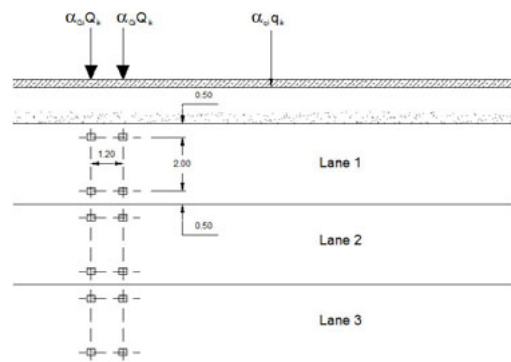


그림 8. 유로코드 활하중모형의 재하방법

표 11. 다른 설계기준의 다차로재하계수 비교

차로수	유로코드			AASHTO LRFD	도로교설계기준 (2010)	본 연구의 제안값
	외측거더	내측거더	평균			
1	1	1	1	1.2(1.0)	1.0	1.0
2	0.834	0.77	0.802	1.0(0.83)	1.0	0.9
3	0.73	0.591	0.661	0.85(0.71)	0.9	0.8
4	0.672	0.422	0.547	0.65(0.54)	0.75	0.7
5 이상	0.641	0.455	0.548	0.65(0.54)	0.75	0.65

표 11에서 AASHTO LRFD기준은 2차로의 활하중모형을 기준으로 1차로의 경우 1.2를 사용하도록 하고 있다. 본 연구에서의 제안값과 비교하기 위하여 1차로를 1.0으로 하는 경우의 값이 괄호안에 계산되어 있다. 표 11 및 그림 9에서 대체적으로 본 연구의 제안값은 유로코드나 AASHTO LRFD기준의 값보다는 크고 현행 도로교설계기준보다는 작은 것을 알 수 있다.

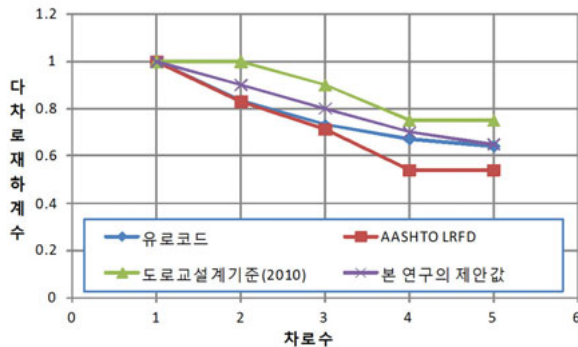


그림 9. 유로코드, AASHTO LRFD기준과 본 연구의 결과 비교

5. 결론

본 연구에서는 교량설계 시 사용하는 다차로재하계수의 합리적인 값을 산정하기 위하여 중차량의 다차로재하확률을 비디오를 이용하여 국내의 여러 장소에서 계측하여 구하고, 국내 실제 중차량의 중량을 계측한 WIM자료에 근거하여 통계확률적인 방법으로 다차로재하계수를 계산하였다. 이를 바탕으로 도로교설계기준에 사용될 다차로재하계수의 값을 제안하였으며 이를 국내외 설계기준의 값과 비교하였다. 본 연구의 내용으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 국내의 교통특성을 다양하게 반영할 수 있도록 고속국도 및 일반국도의 4개 지점에서 다차로 동시재하의 확률을 비디오영상을 통하여 분석하였다. 분석한 결과 차량의 중량이 완전무관한 확률은 1/20~1/25 정도이며 완전상관의 확률은 동시재하 기준 1/5~1/90 정도이다.

2. 4개지역의 동시재하확률과 2개지역 WIM자료의 중차량중량자료를 교차적용하여 다차로재하계수를 2차로 및 5차로교량에 재하하여 다차로재하계수를 구한 결과 평균값은 1~5차로까지 각각 1.0, 0.77, 0.62, 0.52, 0.48로 나타났다.

3. 계산된 다차로재하계수의 통계값으로부터 설계기준의 다차로재하계수의 값은 1~5차로재하에서 각각 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.65로 제안되었으며 이는 유로코드와 AASHTO LRFD기준의 값보다는 약간 크고, 현행 국내 도로교설계기준보다는 작다.

감사의 글

본 연구는 교량설계핵심기술연구단 및 초장대교량 사업단 제1핵심과제를 통하여 지원된 국토해양부 건설기술혁신사업(03산C02-01, 08기술혁신E01)에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

권순민, 서영찬 (2009) 고속축하중측정시스템 개발과 과적단속시스템 적용방안 연구, *한국도로학회논문집*, 한국도로학회 제11권 제4호, pp69~78

권순민, 박희구, 김지원, 강경구 (2010) 과적단속을 위한 고속축중계시스템의 성능향상 방안 연구, *한국ITS학회 2010년도 춘계학술대회*, 한국ITS학회, pp 151~156

국토해양부(2008) 2007 도로교통량통계연보, 국토해양부

진재현(2007) *Weigh-In-Motion System을 이용한 차량 활하중모형개발에 관한 연구*. 석사학위논문. 경희대학교

황의승(2008). *신뢰도기반 도로교설계기준을 위한 활하중모형 개발*. 교량설계핵심기술연구단 기술총서

AASHTO(1991), *Design Specifications for Highway Bridges*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

AASHTO(2007), *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

CEN(2002), *Eurocode 1 : Actions of Structures, EN1991*, European Committee for Standardization, Washington, DC.

CSA(2000), *Canadian Highway Bridge Design Code, CAN/CSA-S6-00*, Standard Council of Canada, Toronto.

Nowak, A.S., Nassif, H. and DeFrain, L. (1993) Effect of Truck Loads on Bridges. *J. of Transp. Engrg., ASCE*, Vol. 119, No. 6, pp. 853-867.

日本道路協會(2002) *道路橋示方書・同解説*, 日本道路協會

접 수 일 : 2011. 11. 8
 심 사 일 : 2011. 11. 13
 심사완료일 : 2011. 12. 5