大 韓 土 木 學 會 論 文 集
第29卷 第3A號 · 2009年 5月
pp. 189 ~ 197

중차량중량분포를 이용한 차량하중모형 개발(I) – 자료수집 및 단일차량 최대중량 예측

Development of Vehicular Load Model using Heavy Truck Weight Distribution (I) – Data Collection and Estimation of Single Truck Weight

황의승*
Hwang, Eui-Seung

Abstract

In this study, truck weight data and load effects of single truck on bridges are analyzed for development of new vehicular load model of the reliability-based bridge design code. Rational load model and statistical properties of loads are important for developing reliability-based design code. In this study, truck weight data collected at four locations are used as well as data from four locations in other studies. Truck weight data are collected from WIM or BWIM system, which are known to give reliable data. Typical truck types, dimensions and axle weight distribution are determined. Probability distributions of upper 20% total truck weight are assumed as Extreme Type I and 100 years maximum truck weights are estimated by linear regression on the probability paper. The load effects of trucks having estimated maximum weights are analyzed for span length from 10 m to 200 m.

Keywords : *truck weight data, vehicular load model, reliability, probability distribution, weigh-in-motion*

요 지

본 연구에서는 신뢰도기반 도로교설계기준을 위한 새로운 활하중모형을 개발하기 위하여 수집된 자료를 분석하고 단일차량의 하중효과를 구하였다. 신뢰도기반의 설계기준을 위해서는 합리적 하중모형과 함께 하중의 통계적 특성의 구축이 중요하다. 활하중의 통계적 특성의 구축을 위하여 본 연구에서 수집한 4개 지역의 자료와 타연구에서 수집된 4개지역의 자료를 이용하였다. 차량의 자료는 WIM 또는 BWIM시스템을 이용하여 신뢰할 수 있는 자료를 수집하였다. 수집된 자료로부터 대표적인 차량의 종류를 구분하였으며 각 차종별 대표적인 크기 및 중량분포를 구하였다. 각 차종별 총중량의 확률분포는 상위 20%의 자료를 극한분포(Gumbel분포)로 가정하고 확률지상에서의 선형추세선을 이용하여 100년 최대중량을 예측하였다. 예측된 차량중량에 따른 하중효과를 10-200 m까지의 지간별로 분석하였다.

핵심용어 : 차량중량자료, 차량하중모형, 신뢰도, 확률분포, WIM시스템

1. 서 론

현재 도로교의 설계에 사용되고 있는 DB24/DL24의 차량 활하중모형(건설교통부, 2005)은 1970년대에 도입된 모형으로, 미국 AASHTO(1996)의 HS20-44하중모형을 기초로 하중의 크기를 적절히 증가시킨 것이다. 그러나 이 하중모형이 도입된 이후 물동량의 증가, 중차량의 대형화 등으로 새로운 하중모형의 개발이 필요한 실정이다. 또한 현재 전세계적으로 신뢰도에 기반한 설계기준의 도입이 진행되고 있다. 이미 AASHTO(1994), OHBDC(1983), Eurocode(2002) 등의 교량 설계기준이 신뢰도의 개념을 이용한 교량설계방법을 도입하였다. 신뢰도기반 설계기준을 위해서는 새로운 하중모형뿐만 아니라 하중의 통계적 특성이 필요하다. 미국 도로교통협회(AASHTO)나 캐나다(CSA, 2001)에서는 신뢰도기반 설계기준을 도입하면서 새로운 하중모형(미국의 HL-93, 캐나다의 CL1-W)을 도입한 바 있다.

본 논문의 목적은 교량수명기간동안의 중차량의 최대총중량을 예측하는 기법을 개발하고 이를 적용하기 위해 국내 여러 지역에서의 차량자료를 수집하여 분석하는 것이다. 또한 분석된 차종별 최대중량을 이용하여 교량에 단일차량이 재하되는 경우의 하중효과를 도출하였다. 이는 후속논문에서 제안되는 새로운 활하중모형의 개발 및 통계적 특성 구축에 필수적인 선행 연구이다.

합리적인 활하중모형 개발과 통계적 특성의 구축을 위해서는 장기적인 자료의 수집과 함께 다양한 지역에서의 자료가 수집되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 WIM(Weigh-In-Motion)시스템 및 BWIM(Bridge WIM)시스템을 이용하여 국도 3개 지역과 고속국도 1개 지역에서 자료를 수집하였으

*정회원 · 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수 (E-mail : eshwang@khu.ac.kr)

며, 과거의 다른 연구에서 수집된 고속국도, 국도, 지방도에서의 4개 지역자료를 같이 분석하였다. 수집된 자료로부터 대표적인 차량의 종류를 구분하였으며 각 차종별 대표적인 크기 및 중량분포를 구하였다.

교량의 활하중모형은 교량수명기간동안의 최대하중효과에 근거하여 결정된다. 기존의 도로교 설계기준(건설교통부, 2005)에서 교량의 수명에 대한 구체적 기준은 제시된 바 없으나, 본 연구에서는 국외의 여러 기준 등을 고려하여 100년으로 가정하였다. 교량수명기간동안의 최대하중효과는 교량수명기간동안의 중차량통행량을 고려하여 차량 총중량의 확률분포로부터 결정된다. 각 지역별 총중량의 확률분포는 상위의 자료만을 이용하여 가정된다. AASHTO (1994) 및 Nowak(1999)의 연구에서는 상위 20%의 자료만을 이용하고 정규분포로 가정하였다. 이는 확률적으로 중차량의 극한중량 재하의 사건(Event)은 무거운 차량들만의 분포에 관계된다는 가정을 사용한 것이다. 그러나 극한값에 대한 확률의 이론(Ang, 1975)에서는 상위값들의 분포는 전체값의 꼬리부분의 분포에 따라 달라지며 그 형태에 따라 세 가지 종류의 극한분포를 갖음을 제시하고 있다. 본 연구에서는 상위 10%와 상위 20%를 사용하여 분포의 적합성을 분석하고 적절한 확률분포를 가정한 후 그 결과를 비교하였다. 또한 Nowak (1999)의 연구에서는 수집된 차량에 의한 지간별 하중효과와 그 확률분포를 결정한 후 하중효과의 최대값을 지간별, 하중효과별로 예측하여 많은 계산이 필요하였으나 본 연구에서는 차량의 중량에 대한 확률분포를 결정한 후 이를 이용하여 차량중량의 최대값을 계산하고, 단일차량 및 연행차량의 하중효과를 계산함으로써 계산이 간결하면서도 어떤 지간에서도 하중효과를 계산할 수 있게 하였다.

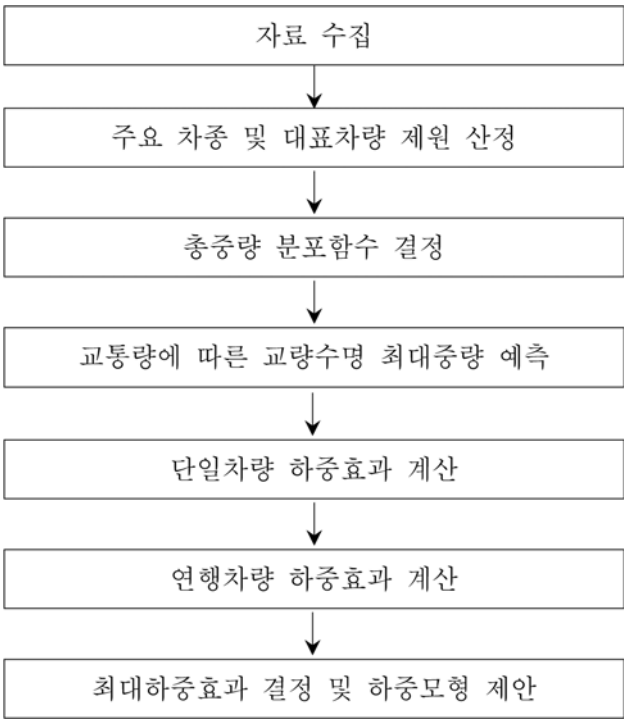


그림 1. 활하중모형의 개발 과정

차량에 의한 교량의 하중효과는 통계적으로 분석된 차량의 제원 및 축중분포와 교량수명기간동안의 최대중량을 이용하여 계산되었으며, 10 m부터 200 m까지의 단순지간 중앙점 휨모멘트, 2연속 지간의 내부지점 부모멘트, 단순지간의 지점 전단력에 대하여 분석되었다. 전체적인 활하중모형의 개발과정은 그림 1과 같으며 본 논문에서는 단일차량의 하중효과까지 다루었다.

2. 차량자료 수집

2.1 측정장치

일반적으로 차량의 중량을 측정하는 시스템은 차량을 정지 또는 서행시켜 축중을 측정하는 방식(고정식)과 고속주행의 상태에서 측정하는 방식으로 나눌 수 있다. 고정식 축중 측정시스템은 일반적인 과적검문소 또는 고속도로의 통행 요금소에서 사용되는데, 측정위치가 알려져 있어 과적의 중차량 들에 대한 측정이 효과적으로 이루질 수 없는 단점이 있다. 반면에 고속주행상태에서 측정하는 WIM시스템은 차량 운전자가 인지하지 못하는 상태에서 측정할 수 있고, 이동식으로 측정이 가능해 효과적으로 중차량, 특히 과적차량의 자료를 수집할 수 있다(고현무, 1998; 배두병, 2001). 본 연구에서는 WIM시스템 중에서 도로 노면상에서 측정하는 시스템과 교량상에서 측정하는 BWIM(Bridge WIM)시스템의 두 가지를 사용하였다.

BWIM시스템은 교량 상을 주행 중인 차량을 정지시키지 않고 차량의 총중량, 축중, 축수, 축간거리, 주행속도 등을 계측할 수 있는 시스템이다. 차량의 종류 및 축간거리, 주행속도 등은 교량 진입부에 설치된 축감지센서(피에조센서)로, 축중 및 총중량은 교량거더에 설치된 변형율계를 이용하여 역산으로 계산된다. 그림 2는 BWIM시스템의 축감지센서와 변형율센서의 반응이력과 교량내부에 설치된 장치를 보여주고 있다. BWIM시스템의 자세한 내용은 문헌(배두병 등,

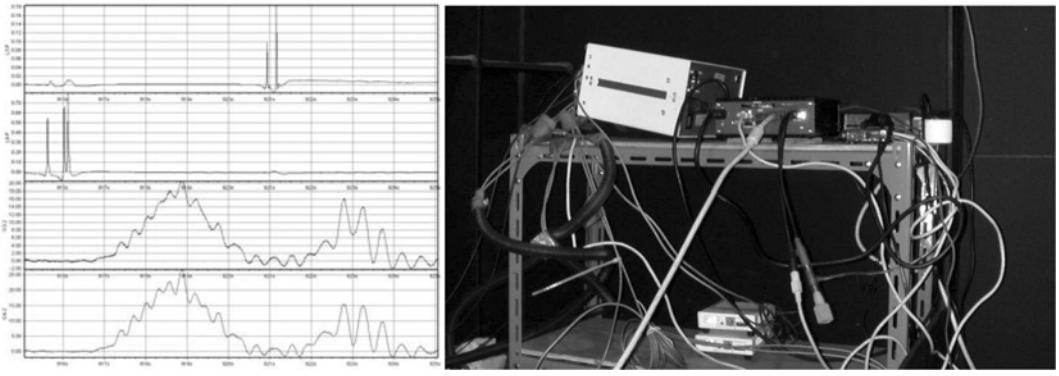


그림 2. BWIM시스템

그림 3. WIM(Weigh-In-Motion)시스템

2001, 2004; 고현무 등, 2004)을 참고 바란다. WIM(Weigh-In-Motion)시스템은 일반 도로상에 부착하여 중차량의 중량을 계측하는 시스템이다. 이 시스템은 압력에 비례하여 전기적 신호를 발생하는 피에조센서를 노면상에 매립 또는 표면에 부착하여 차량의 축중을 측정하는 시스템으로 본 연구에서는 표면부착형 피에조센서를 사용한 시스템을 이용하여 자료를 수집하였다. 그림 3은 노면에 설치된 센서 및 주요 장치를 보여주고 있다. WIM시스템에 대한 자세한 내용은 문헌(고현무 등, 2006)을 참고 바란다. 각 시스템은 중량을 알고 있는 차량을 여러 번 주행시켜 보정(Calibration) 작업을 한 후 자료 측정을 수행하였다.

2.2 자료 측정지점

중차량의 교통량 및 중량의 분포는 지역별, 노선별로 상당한 차이를 보일 수 있으므로 여러 지점에서의 자료 확보가 매우 중요하다. 본 연구에서는 도로교통량 통계연보(건설교통부, 2007)에 근거하여 가장 교통량이 많은 지역과 중차량의 교통량이 많은 지역 중 측정이 가능한 지역을 선정하였다. 또한 기존의 연구(고현무 등, 1998; 배두병 등, 2001)들에서 수집한 고속국도, 일반국도 및 지방도에서의 자료를 수집하여 총 8개 지역에서의 자료를 분석하였다.

총 8개 지역에서 수집된 자료의 총수는 200,740대이며, 그림 4에 위치와 지역별 자료수, 자료수집기간 등을 표시하였다. 단, 시스템 운영과 관리 등의 이유로 수집기간 동안 지속적으로 자료수집이 이루어지지 않은 지역도 있었다. 8개 지역 가운데 SP, DC, EH, MB, DG지역은 BWIM시스템을 이용하여 자료를 수집한 지역이며, BB, PH, MM지역은 WIM시스템을 이용하여 자료를 수집한 지역이다.

2.3 차종 분석 및 차량제원

국내에서 도로교통량통계연보(건설교통부, 2004)에 사용하는 차량의 종류는 이전부터 고속국도와 지방도에서는 8종, 일반국도에서는 11종으로 구분하여 사용하고 있었으나, 2007 도로교통량통계연보(건설교통부, 2008)부터는 도로등급에 상

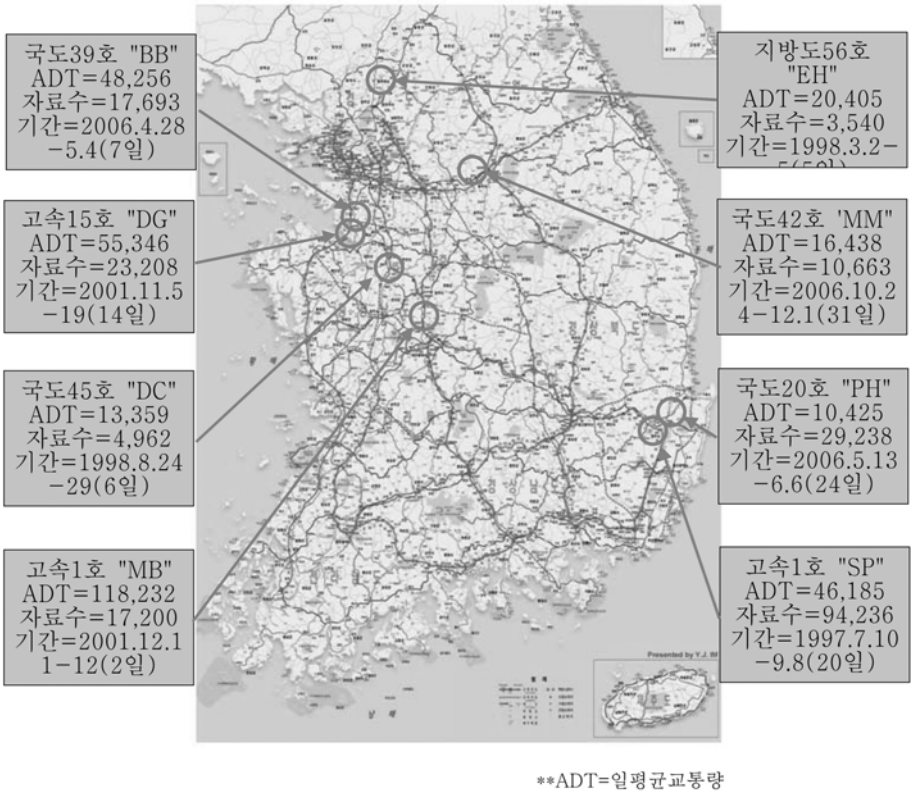


그림 4. 자료 수집 지역

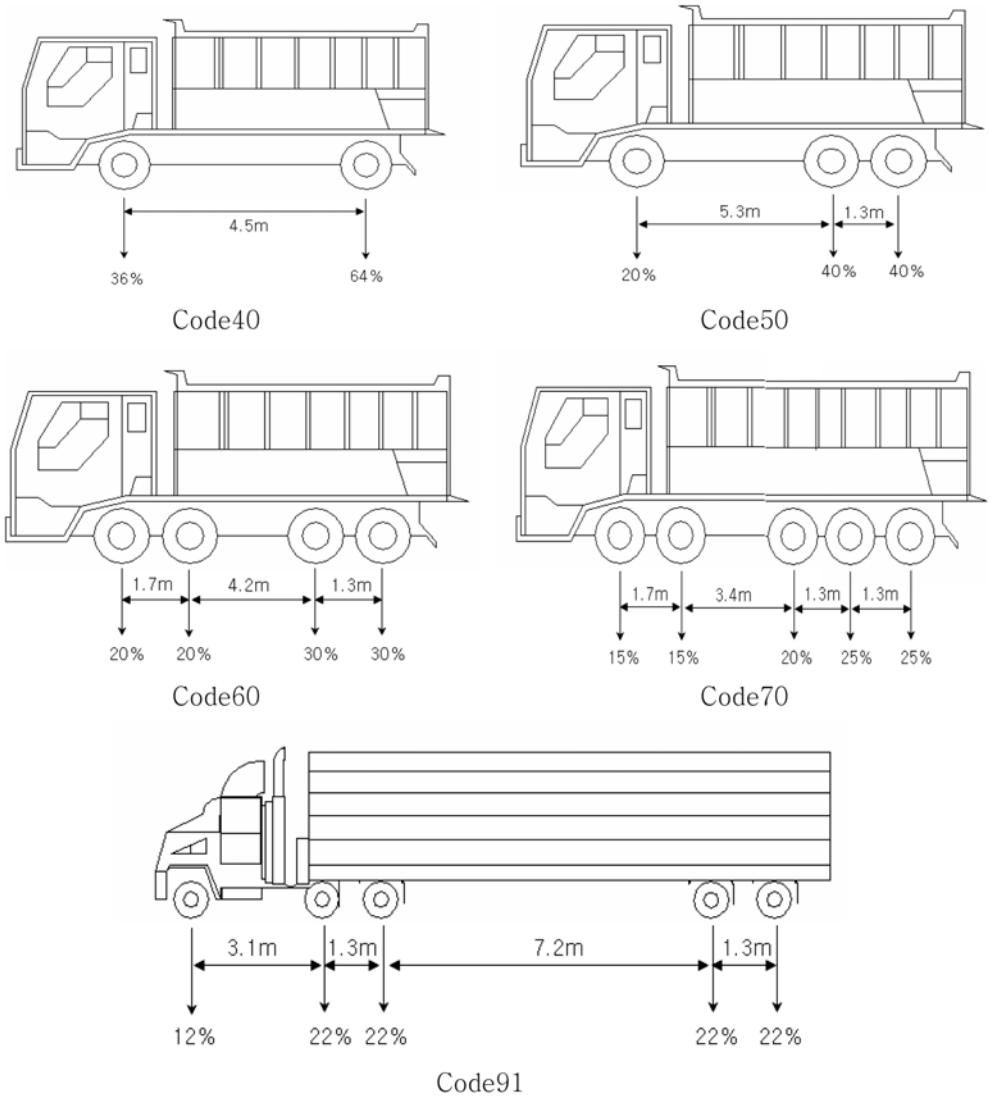


그림 5. 차종별 대표차량 모형 및 차량제원

관없이 총 12종으로 구분하여 사용하고 있다. 그러나 BWIM시스템이나 WIM시스템에서는 축수와 축간거리에 따라 좀더 다양한 분류기준을 사용하고 있으며 기존의 연구(고현무 등, 1998; 배두병 등, 2001)에서는 국내에 운행중인 차량을 기준으로 시스템 내부에서 자동으로 차종분류가 되도록 차종별 Code를 정하였다. 본 연구에서 수집한 모든 자료는 BWIM 또는 WIM시스템에서 수집된 자료들이므로 모든 차량자료에 차종이 시스템에서 정한 Code대로 부여되고 있다. 따라서 앞으로의 분석은 이 Code에 따라 수행하였으며, 표 1에 국내 기준의 차종과 본 연구에서 사용한 차종의 Code를 비교하였다.

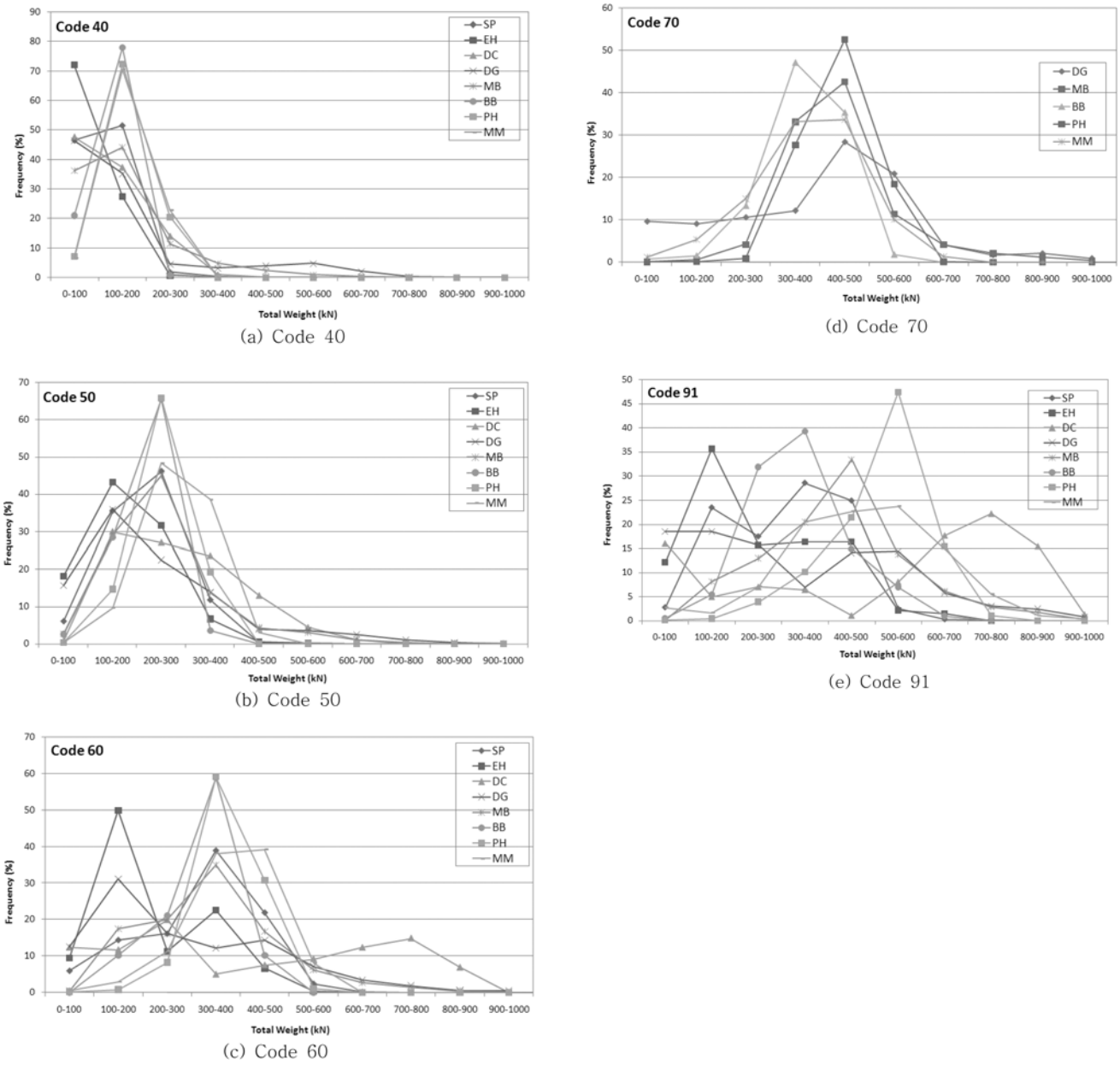
차량 활하중 모형 개발을 위해 수집된 자료의 통계분석결과를 토대로 국내에 운행중인 차량중 대표적인 중차량의 차종을 Code40(소형화물차B), Code50(중형화물차A), Code60(중형화물차B), Code70(중형화물차C), Code91(대형화물차C)로 분류하였으며 그림 5에 각 차종을 그림으로 표시하였다. 각 차종의 축중분포와 축간거리는 수집된 차량자료로부터의 축중분포와 축간거리의 평균값으로 정하였다. 실제로 중차량들의 축중분포는 재하물의 중량과 배치에 따라 조금씩 달라지나, 하중효과에서 큰 차이가 없으므로 본 연구에서는 총중량에 상관없이 같은 축중분포를 갖는 것으로 가정하였다.

표 1. 차종의 Code 비교

차종분류표 (2008도로교통량 통계연보 기준)	WIM 또는 BWIM 시스템의 Code	차량의 형태
1(승용차, 미니트럭)	20	
2(버스)	20	
3(소형화물차A)	20	
4(소형화물차B)	40	
5(중형화물차A)	50	
6(중형화물차B)	60, 70	
7(중형화물차C)	70	
8(대형화물차A)	81	
9(대형화물차B)	41	
10(대형화물차C)	91	
11(대형화물차D)	-	
12(대형화물차E)	92	

표 2. 지역별, 차종별 전체 차량자료 평균 총중량(kN)과 자료수

차종 \ 지역		SP	EH	DC	DG	MB	BB	PH	MM	평균
Code 40	평균중량	102.86	84.72	120.05	151.17	144.14	125.40	161.43	168.06	132.23
	자료수	44,987	1,410	3,487	15,124	9,407	12,630	5,133	6,373	-
Code 50	평균중량	213.22	176.08	287.40	231.12	253.03	218.42	253.88	285.12	239.78
	자료수	17,247	1,117	1,005	2,504	3,084	3,120	3,998	2,968	-
Code 60	평균중량	313.58	271.88	424.14	287.47	336.60	312.12	369.21	390.40	338.18
	자료수	12,043	873	477	3,571	1,316	138	791	653	-
Code 70	평균중량	-	-	-	395.91	436.03	372.11	437.79	379.39	404.25
	자료수	-	-	-	1,646	1,176	382	4,348	653	-
Code 91	평균중량	308.51	247.22	527.34	325.97	419.78	338.21	511.67	473.65	394.04
	자료수	19,959	140	486	363	2,217	1,423	14,968	493	-



(a) Code 40

(b) Code 50

(c) Code 60

(d) Code 70

(e) Code 91

그림 6. 각 지역 차종별 총중량 분포

2.4 대표적 차량의 통계 분석

수집된 차량자료로부터 대표적인 중차량들의 지역별 평균 총중량은 표 2와 같다. 평균적으로 가장 무거운 차량은 Code70과 Code91로 이들 차량들이 교량에 가장 큰 하중효과를 줄 것으로 판단된다. 따라서 3장의 최대중량 및 하중효과 계산에는 이들 차종을 기준으로 분석하였다. 각 차종별

총중량히스토그램은 그림 6과 같다. 대부분 지역별로 유사한 중량히스토그램을 보이고 있으나 Code91의 경우 지역별 편차가 심한 것으로 판단된다. Code70차량은 비교적 최근에 운행이 되기 시작하여 SP, EH, DC지역에서는 발견되지 않았다.

3. 단일차량의 최대중량 및 하중효과

3.1 최대 총중량 예측기법

차량에 의한 최대하중효과를 분석하기 위하여 운행중인 차량의 최대중량을 예측하는 것이 필요하다. 수집된 자료는 몇 일에서 몇 주간의 자료이므로 이 자료를 근거로 교량수명기간 동안의 최대중량을 예측하고 여기에 단일 차량의 효과 및 연행 차량의 효과를 고려하여야 한다. 본 연구에서 사용된 예측기법은 총차량자료 중 중량이 큰 극한값들을 이용하여 그 확률분포를 가정하고 수명기간동안의 차량수를 근거로 최대중량을 예측하는 기법이다. 미국 AASHTO(AASHTO, 1994; Nowak, 1993, 1999)에서는 상위 20%의 자료를 정규확률분포로 가정하고 최대하중효과를 구하였는데, 이는 상위 20%의 차량들만이 최대중량의 발생사건에 관계된 것으로 가정한 것이다. 구체적으로 상위 몇 %의 자료를 이용하느냐 하는 문제는 객관적으로 제시된 바 없는 것으로 판단된다. Maes(1992)의 온도하중에 대한 연구에서는 상위 0.5%의 자료만을 이용하여 극한값을 결정한 바 있다. 본 연구에서는 상위 10%와 20%자료의 분석결과를 비교하였다.

교량의 수명기간은 대해서 현행 국내 설계기준(건설교통부, 2005)에 명확한 정의는 없으나, 전세계적으로 75년에서 100년 정도의 설계수명을 사용하고 있으므로 본 연구에서는 교량수명을 100년으로 정하였다. 전체적인 극한 총중량 및 하중효과 예측 절차는 그림 7과 같다.

3.2 총중량 확률지 도시

확률지(Probability Paper)는 자료의 누적값을 도시한 그래프로, 여기에 도시된 그림은 확률변수의 누적분포함수와 유사하나 세로축을 확률값이 아닌 역확률값($z=\Phi^{-1}(p)$)으로 바꾸어 그린 그림이다(Ang, 1975). 따라서 만약 자료가 정규분포이면 정규확률지에 도시하였을 때 직선으로 표시되게 된다. 이를 이용하여 각 자료의 확률분포를 예측할 수 있다. 본 연구에서는 각 지역에서 얻은 차량자료로부터 Code40, Code50, Code60, Code70, Code91의 차량의 총중량을 정규 확률지와 Gumbel 확률지를 그려서 비교하였다. 그림 8은 PH지역의 차종별 총중량자료를 비교한 것이다. 다른 지역의 그림은 문헌(고현무 등, 2008)을 참고 바란다. 수집된 전체 자료는 정규분포에 더 부합하는 것으로 판단된다.

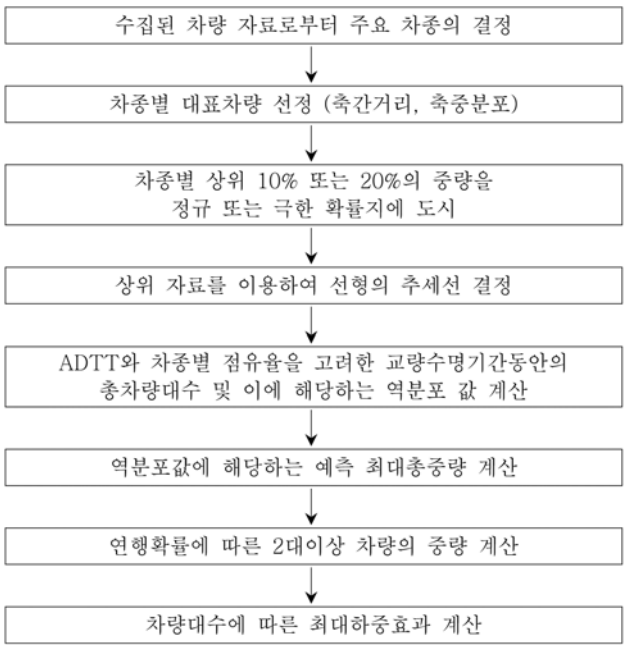


그림 7. 최대총중량 및 하중효과 예측 절차

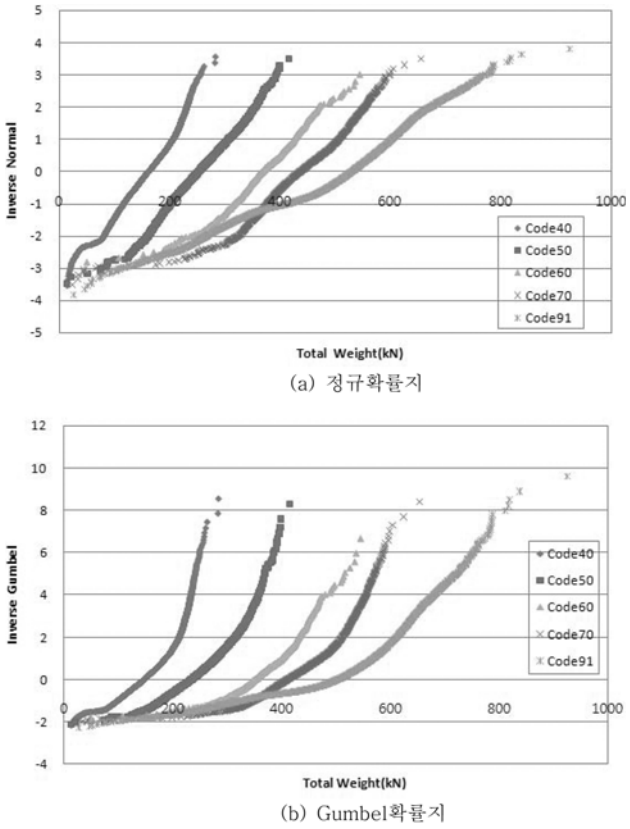
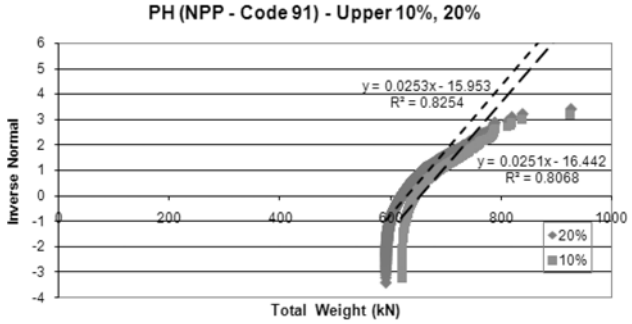


그림 8. PH지역 Code별 총중량의 정규확률지 및 Gumbel 확률지 도시

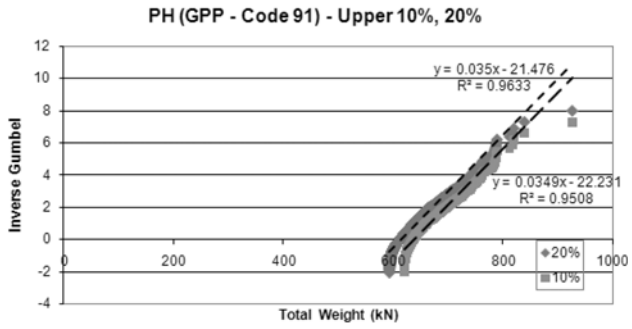
반면에 확률분포의 이론에 의하여 임의의 확률변수의 최대값 또는 최소값의 분포는 극한분포를 갖는 것으로 알려져 있다(Ang, 1975). Nowak의 연구(1999)에서는 상위 20%의 자료가 정규분포를 갖는 것으로 가정하였다. 본 연구에서 수집된 자료에 대하여 상위 20%의 자료를 정규확률지와 Gumbel확률지에 도시하면 그림 9와 같다. 정규확률분포로 가정한 경우와 Gumbel분포로 가정한 경우의 선형추세선에 대한 결정계수(R^2)의 값이 각각 약 81%와 95%로 나타났다. 따라서 10% 또는 20%의 상위자료 만을 확률지에 도시한 경우에는 확률이론의 결과와 마찬가지로 Gumbel확률에 더 가까운 것으로 판단되며, 본 연구에서는 상위자료의 확률분포를 Gumbel분포로 가정하였다. Gumbel분포의 누적분포함수는 식(1)과 같다.

$$F_{Y_n}(y) = \exp[-e^{-\alpha_n(y-u_n)}] \quad (1)$$

여기서, α_n은 location parameter, u_n은 scale parameter이다.



(a) 정규확률지



(b) Gumbel확률지

그림 9. PH지역, Code 91의 상위 10%, 20%자료의 정규확률지 및 Gumbel확률지 도시

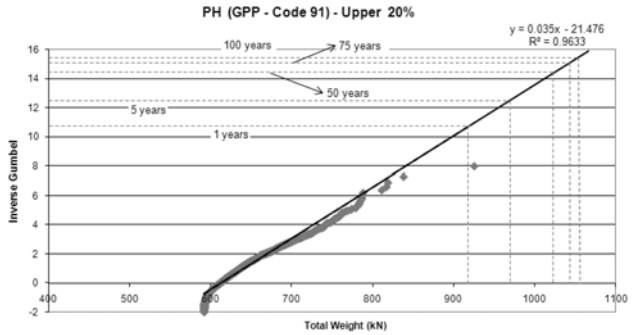


그림 10. PH지역 상위 20% Gumbel확률지에서의 Code91에 대한 최대중량 추정

또한 본 연구에서는 상위 10%와 20%의 자료를 이용한 경우를 비교, 검토하였다. 대표적으로 PH지역의 Code91에 대하여 상위 10%와 20%의 자료와 그 선형추세선을 Gumbel확률지에 도시하면 그림 9와 같다. 다른 지역의 그림은 문헌(고현무 등, 2008)을 참고 바란다.

3.3 극한 차량중량 예측

그림 10은 PH지역 Code91의 상위 20%의 자료와 그 추세선을 그린 것이다. Gumbel확률지에서 상위자료의 선형추세선을 이용하여 교량수명기간동안의 최대중량을 추정하는 계산과정은 다음과 같다.

① 수집된 자료를 기준으로 PH지역의 일평균자료수는 1,231.25대이다.

② 수집된 자료로부터 Code91은 이중 51.19%이며, 일일 교통량은 624대이다.

③ 교량수명을 100년으로 가정할 때 Code91의 총 대수는 22,763,833대이다.

④ 이 차량대수에 해당하는 역Gumbel확률값은 다음 식에 의하여 15.331이다.

$$z = -\ln(-\ln p) \tag{2}$$

여기서 p는 누적분포함수의 값으로 100년 최대값의 누적분포함수의 값은 $n/(n+1)$로 계산된다. n은 100년간의 총차량대수의 20%이다.

⑤ 추세선 식 y=0.035x–21.476에 의하여 y(역Gumbel확률값)가 15.331일 때, x(예상최대중량)는 1,051 kN이다.

참고로 도로교통량 통계연보(2007)에 의한 중차량교통량(ADTT)는 3,439대로 수집된 자료와 차이가 난다. 이러한 차이는 소형트럭 교통량의 차이 때문인 것으로 판단되는데 그 이유는 다음과 같다. 첫째로 소형트럭과 중형 또는 대형버스의 차축거리가 유사하여 차축거리 만으로 차종을 분류하는 WIM시스템에서의 차종분류상의 오류가 발생한 것으로 판단되며, 둘째로는 WIM시스템의 자료에서 피에조센서의 민감도에 따라 측정된 자료의 최소중량이 약 14.5 kN으로 나타났는데, 공차의 소형트럭의 경우에는 이보다 중량이 작아 측정이 되지 않은 경우가 발생한 것으로 판단된다. 다만, 교량의 활하중은 무거운 중량의 차량에 관계되므로 소형차량에서의 오차는 본 연구의 결과에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

이와 같은 계산에 의하여 Gumbel확률지(GPP)에서 지역별, 차종별 최대중량을 상위자료 10%와 20%에 대하여 구하여 정리하면 표 3과 같다. 이때 교량수명기간에 대하여서는

표 3. 지역별, 차종별 단일차량 총중량 예측값(kN)

	지역	10%	20%
Code 70	SP	-	-
	EH	-	-
	DC	-	-
	DG	1935.3	2107.4
	MB	1793.2	1990.2
	PH	737.8	760.3
	MM	914.8	927.0
	BB	752.4	758.8
	평균(1)	1226.7	1308.7
	평균(2)	801.7	815.3
	C.O.V	0.100	0.097

	지역	10%	20%
Code 91	SP	1134.3	1080.6
	EH	1247.3	1217.3
	DC	1214.2	1261.9
	DG	1824.9	2053.9
	MB	1755.1	1936.0
	PH	1056.4	1051.5
	MM	1337.2	1341.5
	BB	1025.5	1138.3
	평균(1)	1324.4	1385.1
	평균(2)	1169.1	1181.8
	C.O.V	0.093	0.086

표 4. 지역별 수집된 자료와 예측중량의 비교(kN)

지역		SP	EH	DC	PH	MM	BB	평균
ADTT		5,265	2,018	931	3,439	844	6,745	3,066
Code 70	상위20% 자료의 평균	-	-	-	524.2	515.3	455.1	498.2
	자료의 최대값	-	-	-	654.9	662.0	533.0	616.6
	예측된 최대값	-	-	-	760.3	927.0	758.8	815.4
Code 91	상위20% 자료의 평균	464.8	448.0	835.3	629.4	687.2	494.3	593.2
	자료의 최대값	946.6	638.7	960.7	925.2	960.1	687.0	853.1
	예측된 최대값	1,080.6	1,217.3	1,261.9	1051.5	1,341.5	1,138.3	1,181.9

그림 10에 보인 바와 같이 75년과 100년의 차이가 약 1% 정도로 별로 없는 것으로 판단되므로 최대중량은 교량수명 100년을 가정하여 구하였다. 최대총중량 예측값에서 Code70과 Code91 모두 DG와 MB지역에서의 값이 비정상적으로 크게 나오고 있다. 이들 값은 타연구에서 BWIM시스템을 이용하여 수집된 자료로써, 자료수집이 전체 차로에서 이루어지지 않고 일부 차로에서만 수행되었기 때문에 BWIM이 설치되지 않은 차로에서의 차량의 효과가 중첩되어 차량중량이 과도하게 계산된 것으로 판단된다. 따라서 DG와 MB 지역의 값은 제외하고 나머지 지역의 자료만으로 분석하였다. 표 3에서 평균(1)은 모든 지역의 값을 평균한 값이고, 평균(2)는 자료의 신뢰성에 문제가 있는 지역의 값을 제외하고 나머지 지역의 값을 평균한 것이다. 마지막으로 10%자료를 이용하는 경우와 20%자료를 이용하는 경우를 비교하면, 대체적으로 20%자료를 이용한 경우가 약 1.4%정도 큰 값을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 상위20%자료의 Gumbel확률지에서의 값을 최대중량으로 사용하였다. 여기서의 최대중량은 중차량들이 추정된 확률분포(Gumbel분포)를 갖고 운행할 때 교량수명기간(100년) 동안 발생하는 중량의 최대값을 확률적으로 예측한 값이다. 각 지역별 최대총중량은 Code70의 경우에는 759 kN~927 kN이며 평균은 815kN이다. Code91의 경우에는 1,051 kN~1,341 kN이며, 평균은 1,182 kN이다. 지역별 편차에 의한 변동계수(C.O.V)는 Code70과 Code91 모두 약 10%정도로 판단된다.

표 4는 지역별 ADTT, 자료의 평균중량, 예측 최대중량을 나타낸 표이다. 여기서 ADTT는 일방향 중차량통행량으로 2007도로교통량통계연보(2008)를 기준으로 차종 4부터 12까지의 대수를 합한 값이다. ADTT와 예측 총중량의 상관관계는 별로 없는 것으로 판단된다.

3.4 한 대의 최대차량중량에 의한 하중효과

단일 차량의 최대하중효과를 산정하기 위하여 표 3의 결과로 나온 100년 최대총중량의 평균값과 그림 5의 대표차량 제원을 사용하여 단순지간에 대한 중앙점 휨모멘트, 2연속지간의 내부지점 부모멘트 및 단순지간 지점의 전단력을 구하였다. 세로축은 현재 사용중인 1등교 차량활하중모형인 DB24 또는 DL24하중에 대한 비율로 표시하였다.

그림 11은 차종별 하중효과를 비교하기 위하여 PH지역의 차종별 단순지간 중앙점 휨모멘트비를 그린 것으로 Code70(총중량 760.3 kN)과 Code91(총중량 1,051.5 kN)이 지배적인 것을 알 수 있다. 그림 12는 3.3에서 결정한 대로 총중량

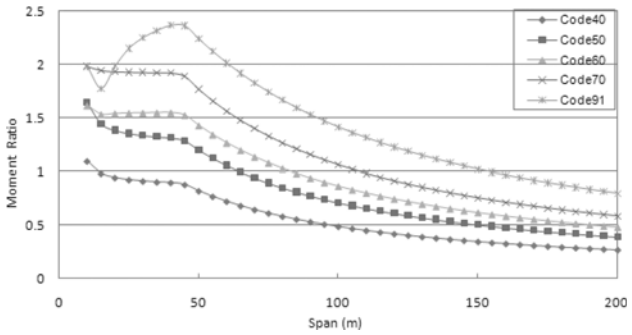


그림 11. PH지역의 차종별 최대총중량에 의한 단순지간 중앙점 휨모멘트비

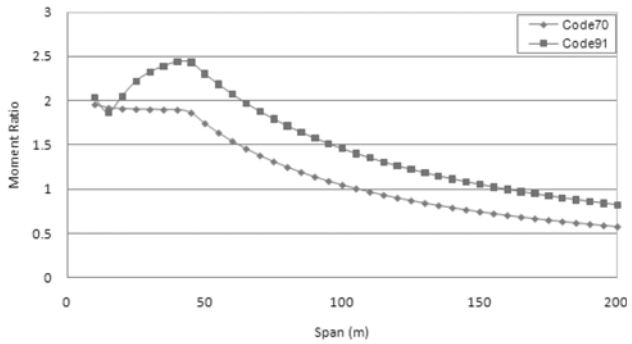


그림 12. Code70과 Code91의 평균 최대총중량에 의한 단순지간 중앙점 휨모멘트비

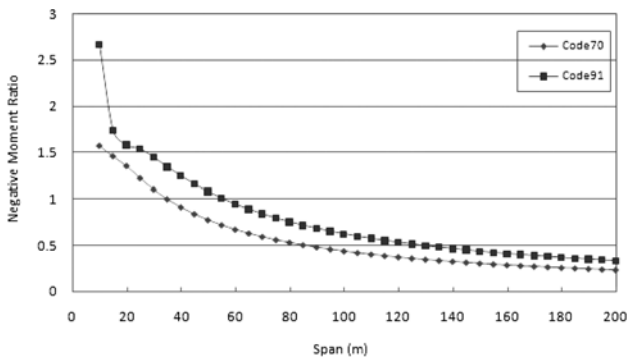


그림 13. Code70과 Code91의 평균 최대총중량에 의한 연속지간 내부지점 부모멘트비

815.4 kN의 Code70차량과 총중량 1,181.9 kN의 Code91차량에 의한 단순지간 중앙점 휨모멘트비를 그린 것으로 지간 15 m에서는 Code70이, 그 외의 지간에서는 Code91이 지배적임을 알 수 있다. 그림 13은 2연속지간의 내부지점 부모멘트비를 그린 것으로 모든 지간에서 Code91이 지배적임을 알 수 있다. 그림 14는 단순지간의 지점 전단력비를 그린

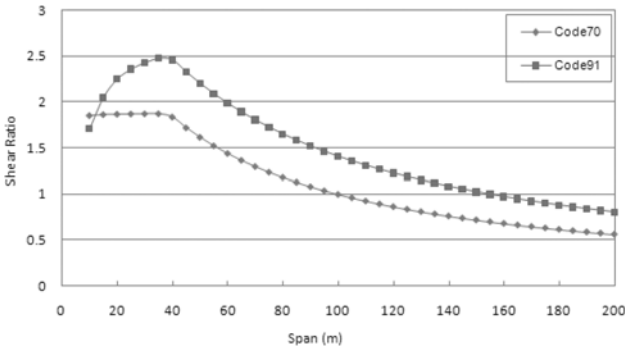


그림 14. Code70과 Code91의 평균 최대총중량에 의한 단순지간 지점 전단력비

것으로 지간 10 m에서는 Code70이 그 외 지간에서는 Code91이 지배적임을 알 수 있다. 그림 11~14에서 지간 10 m와 15 m에 대하여 경우에 따라 Code70에 의한 하중효과가 Code91보다 크게 나타난 것은 그림 5에 나타난 차량들의 축간거리에 따라 모든 차축이 교량상에 있지 않아 발생한 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 새로운 활하중모형을 개발하기 위하여 WIM시스템을 이용하여 자료를 수집, 분석하였으며 통계확률적 분석을 통하여 교량수명기간동안의 최대중량을 차종별, 지역별로 예측하고 그 하중효과를 분석하였다. 신뢰도기반의 설계기준을 위해서는 합리적 하중모형과 함께 하중의 통계적 특성의 구축이 중요하다. 활하중의 통계적 특성의 구축을 위하여 본 연구에서 수집한 4개 지역의 자료와 타연구에서 수집된 4개지역의 자료를 이용하였다. 차량의 자료는 WIM 또는 BWIM시스템을 이용하여 신뢰할 수 있는 자료를 수집하였다. 수집된 자료로부터 대표적인 차량의 종류를 구분하였으며 각 차종별 대표적인 크기 및 중량분포를 구하였다. 각 차종별 총중량의 확률분포는 상위 20%의 자료를 이용하여 극한제I분포(Gumbel분포)로 가정되었으며 이 확률분포를 사용하여 100년 최대중량을 예측하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 수집된 자료로부터 상위 자료의 확률분포를 확률지를 이용하여 분석한 결과 정규분포보다는 Gumbel분포에 더 잘 맞음을 보여주었다. 이는 극한값들의 이론적 분포와 일치한다. 확률적으로 예측된 최대차량중량의 계산에서 교량수명기간 75년 및 100년의 차이는 약 1%정도이고, 상위 10%와 20%의 자료를 사용하는 경우의 차이도 약 1.4%로 모두 큰 차이는 없는 것으로 판단된다.
2. 교량의 활하중을 지배하는 중차량은 Code70과 Code91이며 확률적인 방법으로 예측된 최대차량중량의 지역별 평균값은 Code70의 경우 815 kN, Code91은 1,182 kN정도이다. 이 값들은 국내에서 교량수명기간(100년)동안 예상할 수 있는 중차량의 최대총중량으로 교량의 극한하중을 결정하는 기준이 된다.
3. 예측된 중차량 최대중량의 지역별 편차는 약 10%정도이며, 교통량과 최대중량과의 상관관계는 별로 없는 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2005년도 경희대학교 교원 연구년제 지원(KHU-20070202)에 의한 결과입니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고문헌

건설교통부(2005) **도로교 설계기준**. 건설교통부.

건설교통부(2008) **2007 도로교통량통계연보**. 건설교통부.

고현무 등(1998) **도로교 차량 활하중 및 피로하중모형 개발에 관한 연구**. 연구보고서, 건설교통부 R&D/96-0013, 서울대학교.

고현무 등(2004) **교량설계핵심기술연구단 연차보고서 (세부과제명 : 합리적 설계고도화를 위한 신뢰도기반 설계기준 개발)**. 연구보고서, 서울대학교.

고현무 등(2006) **교량설계핵심기술연구단 연차보고서 (세부과제명 : 합리적 설계고도화를 위한 신뢰도기반 설계기준 개발)**. 연구보고서, 서울대학교.

고현무 등(2008) **교량설계핵심기술연구단 연차보고서 (세부과제명 : 합리적 설계고도화를 위한 신뢰도기반 설계기준 개발)**. 연구보고서, 서울대학교.

배두병 등(2001) **고속도로 교량 활하중 정형화를 위한 BWIM SYSTEM 개발**. 연구보고서, 도로연 01-26, 한국도로공사 도로연구소.

배두병, 황의승(2004) 강교량설계를 위한 피로 하중 모형. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제1A호 pp. 225-232.

AASHTO (1994) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications,* 1st Edition, Washington, D.C.

AASHTO (1996) *Standard Specifications for Highway Bridges*, Washington, D.C.

Ang, A. H-S. and Tang, W. (1975) *Probability Concepts in Engineering Planning and Design-Decision Risk and Reliability.* John Wiley & Sons, New York, N.Y.

Eurocode (2002) Eurocode 1. Actions on Structures, European Committee for Standardization.

OHBDC (1983) *Ontario Highway Bridge Design Code*, Ontario, Canada.

Maes, M.A., Dilger, W.H. and Ballyk, P.D. (1992) Extreme values of thermal loading parameters in concrete bridges. *Canadian Journal of Civil Engineering* 19, pp. 935-946.

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.

Nowak, A.S. (1999) *Calibration of LRFD Bridge Design Code*. NCHRP Report 368, National Academy Press, Washington, D.C.

(접수일: 2009.1.5/심사일: 2009.2.23/심사완료일: 2009.4.13)