

도로교의 중차량 통과허용하중 설정에 관한 연구

A Study on Permit Vehicle Weight for Highway Bridges

김 상 효* 양 남 석** 김 중 학*** 전 귀 현****
Kim, Sang-Hyo Yang, Nam-Seok Kim, Jong-Hak Juhn, Gui-Hyun

ABSTRACT

Many bridges are severely damaged by the overloaded heavy vehicle and the trend will become more serious because the traffic volume is continuously increasing. Currently, the vehicles with gross weights over 40 tons or axle weight over 10 tons are not allowed on the public road. However, this regulation is not based on a systematic study on the bridge capacity and assumed to be much too conservative depending on the vehicle types and bridge types. In this study, the permit weights of heavy vehicles of diverse axle spacings and axle load distribution are calculated considering the structural characteristics of bridge superstructures. In order to consider the various load effects of heavy weight vehicle crossings, three conditions are considered in the calculation of permit vehicle load. From the results, the permit vehicle weights of bridges are calculated and simplified formulas which can be used in the case when only the vehicle dimension are known are presented.

1. 서 론

도로교를 통행하는 다양한 형식의 차량 중에서 교량구조의 안전수준에 중요한 영향을 미치는 것은 과적중 차량이며, 이러한 중차량의 교량통과 허용여부는 주로 차량하중의 특성에 의해 지배된다. 하지만 현재 국내에서와 같이 1등급 교량의 경우, 총중량 40ton, 축하중 10ton 의 중차량 통행제한 규정은 다양한 차량의 하중특성을 반영할 수 없을 뿐만 아니라 차량의 축간거리, 축의 형태, 축의 수, 교량의 경간장, 교량의 등급, 교

* 연세대학교 사회환경건축공학부 교수
** (주)다산건설컨트 구조부 사원
*** 연세대학교 토목공학과 박사과정
**** 시설안전기술공단 교량2실장, 공학박사

량의 형식 등 여러 가지 면을 고려하는 외국의 통행제한방안^{1),2),3),4)}에 비해 비합리적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 중차량의 교량통과하중 산정을 위해 현재 국내에서 생산 또는 운행되고 있는 중차량의 일반제원과 특성을 분석하여 대표차량을 선정하였고, 국내교량의 현황자료를 수집하여 다양한 분석대상교량을 선정하였다. 이로부터 국내의 현실을 감안한 다양한 중차량의 종류와 통행방법, 그리고 교량제원을 고려한 중차량의 교량통과허용하중 산정식을 제안하였다.

2. 차량하중 및 통행특성 모형

2.1 차종분류 및 축하중 분석

통행허가차량으로 모형화한 중차량은 국내에서 생산 또는 운행되는 차량^{5),6)}으로 총하중 10 ton, 적재하중 8 ton 이상의 대형화물차를 대상으로 하였으며, 군용차량 및 궤도차량, 특수중기차량은 대상에서 제외하였다. 대표차량의 분류는 차축구조에 따라 차종을 크게 6종류(T형, TT형, TTD형, TTR형, ST형, FT형)로 구분하고 이를 다시 축간거리에 따라 31종으로 세분화하였다. 여기서 T형은 2축 중형트럭, TT형과 TTD형은 텐덤축 대형트럭, TTR형은 트라이덱축 대형트럭, ST형은 세미트레일러, FT형은 플트레일러를 나타낸다. 이들 각각의 중차량은 규정적재량이 차량의 적재함에 고르게 분포되어 만재한 경우로 가정하였으며 이에 따른 축하중 분포비율은 차량의 총중량에 대한 축하중의 비율로 산정하였다.

2.2 중차량의 통행방법 및 주변차량하중의 확률모형

도로교의 손상도나 안전수준은 도로교에 발생하는 차량하중효과 최대치의 특성과 밀접한 관계가 있으며 이러한 최대하중효과는 매우 무거운 단일 중차량뿐만 아니라 중차량의 연행가능성, 도로의 교통량 등에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 중차량의 통행방법을 다음의 세 가지 경우로 나누어 중차량 통행시 발생할 수 있는 주변의 하중효과를 고려하였으며, 주변을 통행하는 차량에 의한 하중효과와 차량의 통행 특성은 국내에서 수집된 자료⁷⁾를 토대로 산정한 차량중량의 확률모형을 이용하였다.

- ① 유도차량에 의해 두 개 차선 이상을 통제하고 단일 허가차량만 통행하는 경우
- ② 유도차량에 의해 한 개의 차선만을 통제하고 허가차량이 통행하는 경우
- ③ 차량통행을 제한하지 않고 일반차량과 같이 통행하는 경우

3. 통과허용하중 산정기법

대상교량은 단경간 거더교(T-Beam, PSC·I-Beam, 강판형교)로, 각 구조형식별로 적용 가능한 경간에 대하여 하중효과중 최대휨모멘트를 분석하였으며, 횡분배계수는 거더의 강성에 관계없이 거더의 간격만으로 활하중 분배계수를 산정할 수 있는 1-0법을 적용하여 중차량에 의한 하중효과를 계산하였다.

선정된 통행허가차량의 중량을 단위중량(1ton)으로 재하하여 산출된 최대휨모멘트를 설계휨모멘트에 대하여 나누면 통과가능 허용총중량이 산정되며, 이와 같은 방법으로 앞서 제시된 허가차량의 세 가지 통행방법에 대하여 통과허용하중을 산정하는 기본식을 나타내면 다음의 식(1)과 같다.

$$W_{all} = \frac{M_{Design} - M_{tr}}{M_{unit}} \times W_{unit} \quad (1)$$

여기서, M_{Design} : 설계휨모멘트 (t·m)

M_{unit} : 단위하중차량에 의한 최대휨모멘트 (t·m)

M_{tr} : 주변의 다른 차량에 의한 휨모멘트 (t·m)

W_{all} : 통과허용하중 (ton)

W_{unit} : 단위하중차량의 중량 (= 1 ton)

제시된 식(1)의 통행허가차량 주변의 다른 차량에 의한 휨모멘트의 값을 다르게 적용하므로써 통행방법에 따른 허가차량의 통과허용하중을 산정하였다. 단, 통과허용하중 산정시에는 총중량의 제한과 단일축, 텐덱축, 트라이덱축 등 개별적인 축그룹의 법적제한중량에 대한 조과는 무시하여 계산하였다.

3.1 2개 이상의 차선을 통제하고 통행하는 경우

유도차량에 의해 2개 차선이상을 통제하고 허가차량이 통행하는 경우는 허가차량의 통행차선 및 인접차선에 통행하는 차량이 없으므로, 통과허용하중은 통행허가차량에 의해 발생하는 하중효과에 의해 결정되게 된다. 따라서 식(1)에서 M_{tr} 의 값을 0으로 하여 통과허용하중을 결정하였다.

3.2 1개 차선을 통제하고 통행하는 경우 및 제한없이 통행하는 경우

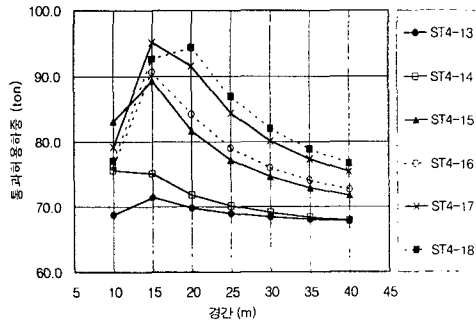
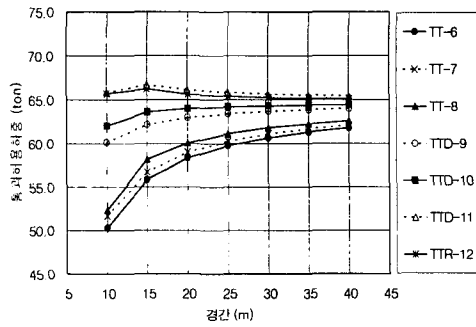
유도차량에 의해 1개의 차선을 통제하고 허가차량이 통행하는 경우와 특별한 제한 없이 통행하는 경우에는 허가차량의 인접차선을 통행하는 차량 및 연행하는 차량에 의해 발생하는 하중효과가 가중되기 때문에 이러한 주변차량에 의해 발생하는 하중효과를 고려해야 한다. 하지만 실제 교량상을 통행하는 차량은 매우 다양한 종류와 형식을 가지고 있기 때문에 결정론적인 방법에 의해 인접차선의 차량 및 연행차량의 효과를 반영하기는 현실적으로 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같이 확률론적 접근방법^{8,9)}을 이용하여 통과허용하중을 산정하였다.

- (1) 최대하중효과 분석 - 모의분석을 통한 인접차선차량 및 연행차량에 의한 최대하중효과를 Gumbel의 Type-I 분포를 이용하여 모형화
- (2) 하중효과의 수준 결정 - 주변차량에 의한 하중효과 확률분포에서 설계활하중의 안전수준과 동일한 수준을 갖는 하중효과를 산정
- (3) 통과허용하중 산정 - 계산된 하중효과를 식(1)의 M_{tr} 의 값에 적용하여 통과허용하중을 산정

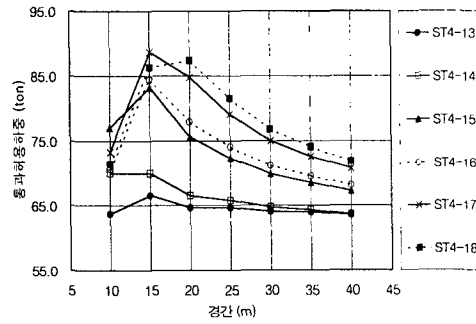
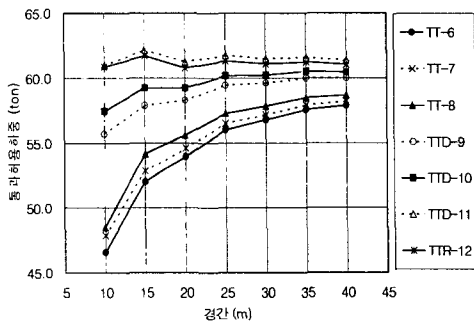
4. 통과허용하중 산정

인접차선을 통행하는 차량 및 연행차량에 의한 하중효과를 고려하기 위해 통행허가차량의 연간 예상통행 빈도를 500대, 1000대, 3000대로 가정하였으며, 차량통행모형에 적용한 중차량혼입률은 국도상에서 조사된³⁾ 평균수준의 중차량혼입률인 25%를 사용하였는데, 이 값은 기존의 연구자료에서 설계활하중의 안전수준을 분

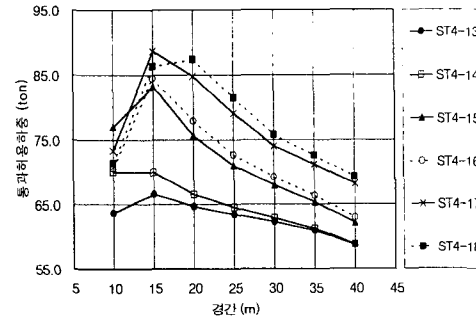
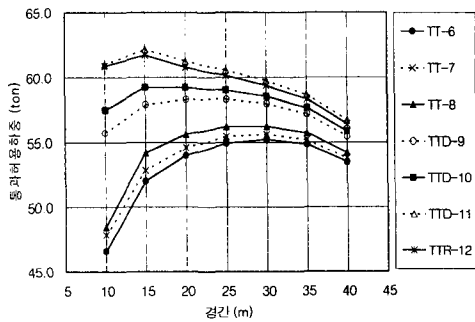
석하기 위해 사용된 중차량혼입물이다. 또한 하중효과 분석을 위해 거더간격은 1.0 m에서 3.0 m 까지 50 cm 간격으로 변화시키고, 지간장은 10 m ~ 40 m 를 5 m 간격으로 변화시키면서 통과허용하중을 산출하였다. 그림 1은 TT형, TTD형, TTR형 차량과 ST-4축 차량의 경우, 통행방법에 따른 통과허용하중을 교량의 경간에 대하여 나타낸 그림이며, b)와 c)는 통행허가차량의 연간 예상통행빈도가 1000대인 경우의 통과허용하중이다.



a) 2개 이상의 차선을 통제하는 경우



b) 1개 차선만 통제하는 경우



c) 제한없이 통행하는 경우

그림 1 통행허가차량의 통행방법에 따른 통과허용하중 (1등급, 거더간격 2.0m)

4.1 통행허가차량의 통행빈도에 따른 통과허용하중 분석

그림 2는 연간 예상통행빈도가 1000대인 경우를 기준으로 통행허가차량의 예상통행빈도에 따른 통과허용하중의 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 실선은 연간 예상통행빈도가 500대인 경우이며, 점선은 연간 예상통행빈도가 3000대인 경우이다. 연간 예상통행빈도가 1000대인 경우를 기준을 하였을 때, 500대인 경우의 통과허용하중은 약 0.4%정도 증가되고, 3000대인 경우는 약 1%정도 감소함을 알 수 있었다. 따라서 통행허가차량의 연간 예상통행빈도가 통과허용하중에 미치는 영향은 미미함을 알 수 있다.

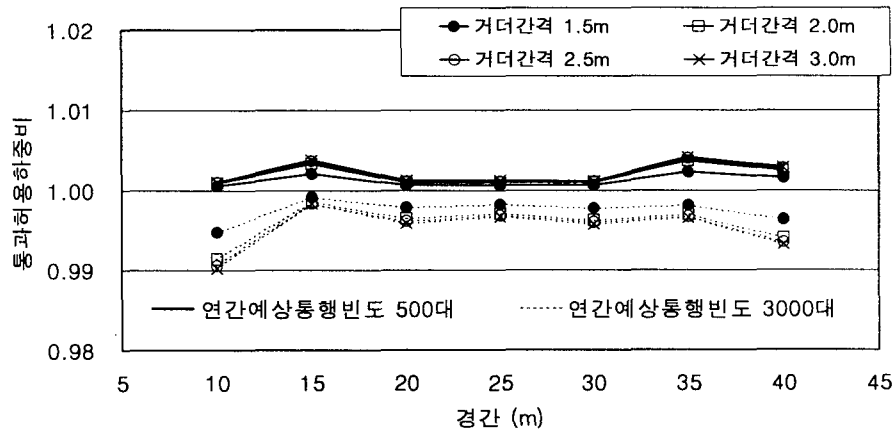


그림 2 통행허가차량의 예상통행빈도에 따른 통과허용하중의 변화

4.2 통행방법에 따른 통과허용하중 비교

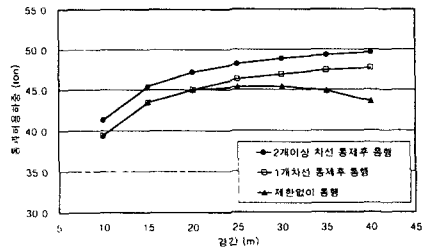
그림 3에서 a),b)는 거더간격 1.5m, 통행허가차량의 연간예상통행빈도가 1000대인 경우, TT형-7번 차량과 ST형-21번 차량의 통과허용하중을 통행방법에 따라 나타낸 그림이며, 2개 이상의 차선을 통제하고 단일 허가차량만 통행하는 경우가 가장 높은 통과허용하중이 산정되고, 1개의 차선만을 통제하고 통행하는 경우가 가장 낮은 통과허용하중이 산정됨을 알 수 있다.

그림 3의 c)는 2개 이상의 차선을 통제하고 단일 허가차량만 통행하는 경우의 통과허용하중에 대한 다른 통행방법의 통과허용하중비율을 도시한 그림이며, 1개의 차선만을 통제하고 통행하는 경우가 단일 허가차량만 통행하는 경우의 약96% 수준이며, 제한없이 통행하는 경우는 경간에 따라 87%~96% 정도의 수준임을 알 수 있다.

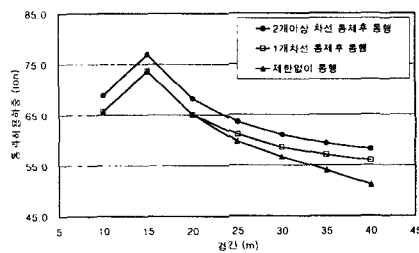
4.3 통과허용하중 산정식

그림 4는 차량의 제원만을 고려하여 통과허용하중을 산정하는 간편식을 제시하기 위해 경간에 대한 차종별 통과허용하중을 차량의 최원축간거리에 따라 정리하였고, 거더간격의 변수를 고려하지 않기 위해 1.0m~3.0m의 거더간격 중에서 가장 적게 계산된 통과허용하중을 고려하였으며, 교량의 경간에 관한 변수를 고려하지 않기 위해 앞서 제시된 모든 경간에 대한 통과허용하중을 하나의 그래프에 도시하였다. 도시된 그

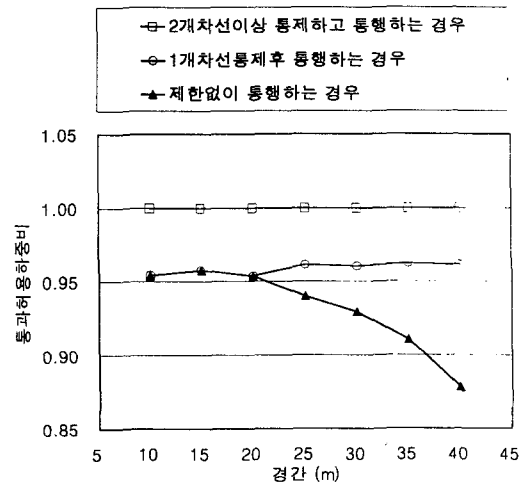
을 연결하여 차량의 제원만을 고려하여 통과허용하중을 계산할 수 있는 간편식을 제시하였는데, 표 1과 같다. 그림 4의 d)는 통행방법을 고려하지 않고 통행하는 경우 사용될 수 있는 간편식을 제시하기 위하여 앞선 3가지 통행방법을 비교하여 하한값을 연결하여 나타낸 그림이다.



a) TT형-7번 차량의 경우

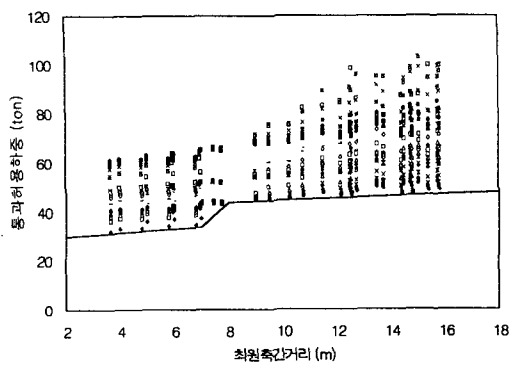


b) ST형-21번 차량의 경우

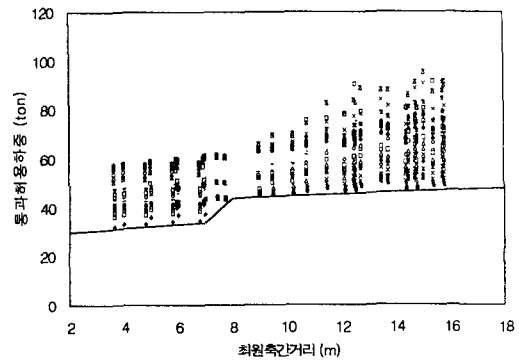


c) 통행방법에 따른 통과허용하중비

그림 3 통행방법에 따른 통과허용하중의 비교

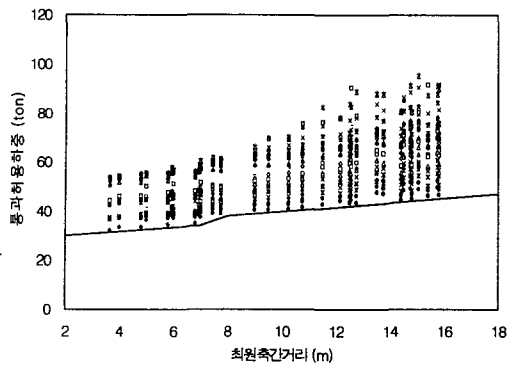


a) 2개이상 차선을 통제하고 통행하는 경우

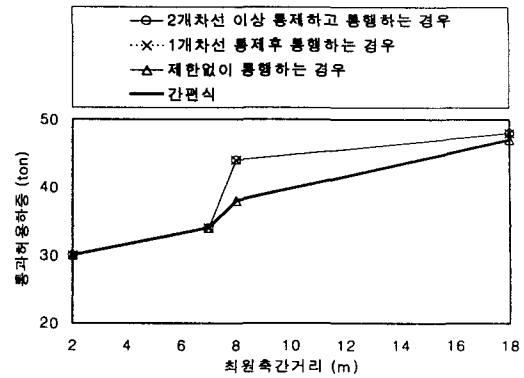


b) 1개 차선을 통제하고 통행하는 경우

그림 4 통행허가차량의 통행방법에 따른 통과허용하중 (1등급 거터교)



c) 제한없이 통행하는 경우



d) 통행방법에 따른 통과허용하중 산정식

그림 4(계속) 통행허가차량의 통행방법에 따른 통과허용하중 (1등급 거더교)

표 1 통과허용하중 산정식

통행방법 \ 최원축간거리	$L < 7\text{ m}$	$7\text{ m} \leq L < 8\text{ m}$	$L \geq 8\text{ m}$
2개차선 이상 통제	$W = 0.8L + 28.4$	$W = 10.0L - 36.0$	$W = 0.4L + 40.8$
1개차선 통제	$W = 0.8L + 28.4$	$W = 10.0L - 36.0$	$W = 0.4L + 40.8$
제한없이 통행	$W = 0.8L + 28.4$	$W = 4.0L + 6.0$	$W = 0.9L + 30.8$
교량형식 및 통행방법을 고려하지 않은 경우	$W = 29.0$	$W = 9.0L - 34.0$	$W = 0.7L + 32.4$

여기서, W 는 통과허용하중(ton)이며, L 은 차량의 최원축간거리(m)이다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 국내에서 생산 또는 운행되고 있는 중차량의 일반제원과 특성을 분석하여 차종을 분류하였고, 분류된 차종에 따라 교량구조물에 미치는 하중효과를 현행 설계트럭하중이 요구하는 하중효과와 비교하여 분석하였다. 또한 모의분석기법을 이용하여 허가차량이 통행하는 인접차선차량 및 연행하는 차량에 의한 하중효과를 고려하여 허가차량의 통행방법에 따른 하중효과를 분석하였으며, 분석된 하중효과로부터 다양한 형식 및 제원의 교량에 대한 통과허용하중을 차종에 따라 제시하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 국내에서 1등급 교량의 경우 축중 10 ton 과 총중량 40 ton 을 초과하는 차량에 대해 통행을 제한하고 있으나, 본 연구결과 축중을 10 ton 으로 제한한다 하더라도 설계활하중인 DB-24와 동일한 하중효과를 발생시키는 중차량의 총중량은 차종에 따라 상당히 변화함을 알 수 있었다. 따라서 중차량의 통행제한 시 총중량은 차종에 따른 제한규정을 두는 것이 타당할 것으로 판단된다.

- 2) 통행차량의 길이가 교량의 유효경간장 보다 긴 경우에는 통과허용하중이 크게 계산되었으며, 이는 통행 차량의 통과허용하중이 차량의 축하중에 의해 결정되는 것으로 분석된다. 따라서 본 연구에서 제시된 방법을 적용함에 있어서는 축하중의 제한에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 통행허가차량의 주변을 통행하는 차량의 통행모형에 평균중차량혼입률인 25%를 사용하였으나, 실제 도로상에서는 지역별로 중차량혼입률의 차이가 있으므로 중차량혼입률에 따른 통과허용하중에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.
- 4) 미국의 AASHTO LRFD 시방서에서는 permit vehicle에 대한 stress limit state의 검토시에는 활하중계수를 1.75에서 1.35로 낮추어 적용하도록 하고 있다. 따라서 AASHTO를 준용할 경우 유도차량에 의해 주행차선 및 주변차선을 통제하고 중차량이 통행하는 경우에는 본 연구에서 제시한 통과허용하중보다 30% 할증된 중량의 중차량이 통행 가능하나, 이를 적용하기 위해서는 관련 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 건설교통부의 “교량 정밀안전진단 및 통과허용하중 산정기법개선(2차)”에 대한 연구비 지원에 의해 수행되었기에 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 중차량 통과방안에 관한 조사 연구, 연구보고서, 1996.10.
2. Ontario Ministry of Transportation, Vehicle Dimensions and Weight Limit in Ontario, 1995.3.
3. Federal Highway Administration, Comprehensive Truck Size and Weight Study, Volume II,III, 1997.
4. TRB, Truck Weight Limits ; Issue and Options, Special Report 225, 1990.
5. 건설부, 운행제한차량 단속요령, 1993.
6. 건설교통부, 97도로교통량 통계연보, 1998.
7. 김상효, 박홍석, “도로교 차량하중 및 통행특성에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제12권 제4호, 1992, pp. 107-116.
8. 김상효, 이창용, “최대차량하중효과 분석을 이용한 도로교 설계차량하중의 평가”, 대한토목학회 논문집, 제17권 제1호, 1997.1, pp. 67-78
9. 한국건설기술연구원, 도로교설계하중의 확률론적 분석, 최종보고서, 1991.12.