

트럭 축하중 분포에 대한 장기 특성 비교 연구

The comparative study of Truck weight distribution

엄병식* · 안지환** · 김연복***

Ohm Byung Sik · An, Ji Hwan · Kim Yeon Bok

1. 서론

교통하중은 포장 설계 및 해석에서 가장 민감한 입력 변수로서 포장 파손의 주요 원인이 된다. 따라서 정확한 포장 설계 및 해석을 위해서는 적절한 교통하중 정량화 및 정확한 교통량 예측이 선행되어야 한다.

현재까지의 AASHTO 설계법에서는 등가단축하중계수를 이용하여 교통하중을 정량화한다. 등가단축하중이란 다양한 축 배치와 종류에 따라 상이하게 재하되는 교통하중(mixed traffic load)을 설계에 사용하기 위하여 단위 교통하중(uniform traffic load)으로 바꾼 값을 말한다. 즉 ESAL이란, 기준 단위 하중(통상 8.2톤(18,000lbs) 단축을 기준으로 함)이 포장 구조에 미치는 영향을 상대적인 값으로 나타낸 무차원 개념 수로서 포장 설계나 유지 보수에 사용되고 있다.

하지만 등가단축하중계수의 개념은 AASHTO Road Test에서 만들어진 경험적인 방법이라는 한계를 갖고 있다. 즉, 국한된 재료와 환경조건에서 이루어진 시험의 결과를 다른 환경과 조건의 포장체에 적용하기 때문에 예상치 못한 결과를 유발할 수 있기 때문이다. 축 하중이 갖는 다양성을 간과하게 되며 동일한 축 하중이라도 환경 조건에 따라 포장에 미치는 영향이 다르다는 점을 무시하는 단점이 있음을 의미한다. 현재 국내 실무에서 사용되는 등가단축하중계수는 1987년 건설교통부에서 조사된 축하중 조사자료를 근거로 하고 있다.

이러한 등가단축하중계수의 한계점을 해결하기 위해 포장 분야 선진국에서는 역학적 개념을 도입한 많은 연구가 진행되어왔다. 최근, 역학적-경험적 설계법(Mechanistic-Empirical Design)에서는 축하중 분포를 기초로 한 누적 손상 개념을 이용하여 교통하중을 정량화하고 있다. 교통하중에 대한 정량화를 축하중 분포로 정의한다는 것은 등가단축하중계수를 이용하는 방법보다 하중에 대한 상세화를 의미한다. 즉, 국내에서 사용되고 있는 등가단축하중계수란 일정 시점의 축하중 분포를 차종별 대표치를 산정하여 그 후에도 계속적으로 그 값을 사용한다. 이에 따른 포장설계시 문제점은 같은 차종이 십만대가 지나간다고 할 경우, 적재량이 주로 5톤정도를 이룬 경우에서 산정된 등가단축하중계수를 시간이 지나 설계시 적재량이 7톤정도로 높아졌을 경우, 이용한다면 파손 정도가 더 높아지는 문제를 야기한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 축하중 분포 자체를 포장설계에 이용하는 것이 논리적으로 바람직하다. 만약, 축하중 분포자체가 등가단축하중계수 산정시 축하중 분포와 현재 축하중 분포가 다르지 않다면 이러한 문제점이 생기지 않는다. 이에 따라 본 연구에서는 어느 정도로 예전과 축하중 분포가 차종별로 얼마나 다르게 나타나는지를 파악하기 위하여 차종별로 축하중 변화를 비교하였다. 이를 위해서 1987년 축하중 자료를 지금 사용되고 있는 차종별 구분에 따라 재분류를 실시하였으며, 현재의 축하중 분포를 파악하기 위하여 2004년 여름, 전국 일반 국도상에 대표 샘플로 33개소 지점에 실제 축하중 조사를 실시하였다.

2. 차종분류 및 축하중 분포

2.1 차종분류

포장설계에서 가장 이상적인 교통하중의 반영은 모든 차량의 모델별로 실제 지나가는 하중을 그대로 모사

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 · E-mail : bseom@kict.re.kr
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 · E-mail : jenix@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구위원 · 공학박사 · E-mail : ybkim@kict.re.kr



하여 반영하는 것일 것이다. 그러나 현실적으로 그러한 방법은 너무나도 어렵다. 이에 따라 교통하중을 모사 시에는 같은 축 구성을 가진 차량을 하나의 대표 차종으로 그룹지는 과정이 필요하다. 이를 위해서 차종 분류가 필요하며, 본 연구에서는 차종분류를 교통량 통계 연보에서의 일반국도 분류체계인 11종 분류를 기준으로 하였다. <표 1>은 교통량 통계연보에서 이용되는 일반국도 차종분류 체계이다.

표 1. 일반국도 차종분류 체계¹⁾

차종 분류	차축 구성	정의
1종 (승용차/소형버스)	2축 4륜	2축 4륜 구조의 1단위(Single Unit) 차량
2종 (중형버스)	2축 4륜	25인승 이하의 2축 4륜 또는 2축 6륜 구조의 버스
	2축 6륜	
3종 (대형버스)	2축 6륜	25인승 이상의 2축 6륜 구조의 중형 버스
4종 (소형트럭 A)	2축 4륜	적재 중량이 2.5톤 이하인 화물 수송용 2축 4륜 또는 2축 6륜의 1단위 차량
	2축 6륜	
5종 (중형트럭 B)	2축 6륜	적재 중량이 3.5, 8.5톤인 화물 수송용 2축 6륜의 1단위 차량
6종 (중형트럭 C)	3축 10륜	적재 중량이 10.5, 15톤인 화물 수송용 3축 10륜의 1단위 차량
7종 (중형트럭 D)	3축 10륜	적재 중량이 9.512톤인 화물 수송용 3축 10륜의 1단위 차량
8종 (중형트럭 E)	4축 12륜	화물 수송용 트럭 형식의 4축 12륜의 1단위 차량
9종 (대형트럭 F)	4축 14륜	화물 수송용 트레일러 형식의 4축 14륜 2단위 차량
	4축 14륜	
10종 (대형트럭 G)	5축 18륜	화물 수송용 트레일러 형식의 5축 18륜 2단위 차량
	5축 18륜	
11종 (대형트럭 H)	6축 22륜	화물 수송용 트레일러 형식의 6축 22륜의 2단위 차량

본 연구에서는 <표 1>에서의 분류에 따라 축하중 분포를 산정하였다.

2.2 축하중 분포

축하중 분포이란 각 차종별 축 구성에 따라 각 축별 하중 크기에 따른 빈도를 정규화 시킨 것을 의미한다. 정규화 과정은 각각의 하중 그룹별 축하중 빈도를 전체 축하중 빈도로 나누어 비율화한 것을 의미한다. 최근 개발되는 역학적-경험적 포장설계법에서는 이러한 정규화된 차종별 축하중 분포를 그대로 설계에 반영하여 각각의 차종별 축하중이 포장파손에 각각 영향을 누적하여 파손량을 판단하도록 하고 있다. 실무에서 현재 사용되는 등가단축하중 계수를 산정하는 것은 이러한 차종에 대한 축하중 분포의 합을 하나의 대표 값으로 표현하는 것이며, 하나의 값으로 표현되기 때문에 차종별 축하중 변화에 대한 비교시 상세한 원인 파악이 어렵다.



3. 1987년 현장 축하중 자료 분석

1987년에 조사된 축하중 자료는 일반국도에서는 총 9개소의 조사자료를 이용하였다. 당시의 차종 분류는 <표 2>와 같이 본 연구에서 구분한 차종분류 체계와 다른 분류체계를 가지고 있다. 이로 인하여 이에 대한 직접적인 비교를 할 수가 없기 때문에 당시 축하중 조사 자료를 가지고 본 연구에 맞추어 재분류를 실시하였다.

표 2. 1987년 축하중 조사시와 교통량 통계 연보상 차종 분류의 차이점²⁾

구분	승용차	소형버스	중형버스	대형버스	소형트럭	중형트럭	대형트럭	대형트럭	대형트럭	트레일러 4A	트레일러 5A	트레일러 6A	플트레일러
1987년 당시 차종분류	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종			8종	9종	10종	11종
교통량 통계연보 차종분류 (본 연구)	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	-	

재분류가 가능할 수 있었던 이유는 1987년 당시 축하중 조사 양식에 노선명, 조사일, 조사지점, 축중기 종류, 방향 등의 일반 정보가 있었으며, 조사시간, 당시차종구분, 축별 하중, 화물종류, 적재량, 차량명 등의 개별 차종별 정보가 있었다. 여기서 축별 하중 및 차량명을 가지고 현재 차종 구분에 맞추어 재분류를 실시하였다. 분류 과정에서 특히 사항은 현재 8종으로 구분되는 4축 단일 차량에 대해서는 조사대수가 거의 없었던 것으로 나타났다.

4. 현장 축하중 조사

4.1 축하중 조사방법

(1) 조사 지점 및 조사 기간

본 연구에서의 축하중 조사지점 선정은 전국의 대표 지점에 대한 샘플링을 하기 위하여 교통량 통계연보 자료를 이용하여 지역 특성 분류(시간대별 교통량, 주중/주말 교통량에 따른 도시, 지방부 특성), 교통량의 정도에 대한 분류(상, 중, 하), 단일차량과 복수 차량의 분류, 중차량의 정도에 따른 분류를 통계적으로 분석하여 <그림 1>와 같이 전국 총 33개의 실제 조사지점을 선정하였다.

축하중 조사는 일반적으로 시간적으로 균일 분포할 수 있도록 실시하는 방법과 일 교통량을 대표할 수 있는 시간대에 대상차량수를 선택하는 방법이 있다. 일정 시간대에 조사대상차량을 한꺼번에 선택하는 것은 교통지체를 유발시키고 이에 따라 야기되는 조사의 어려움이 많다. 또한 일교통량의 평균적인 축하중을 어느 정도 대표하는지의 문제가 있다. 외국의 경우 오전 7시 또는 8시에 조사를 시작하여 오후 7시까지 실시하고 있다. 오전의 이른 시간에 조사를 시작하는 경우 조사원의 현장관리 문제 및 지방 관리청의 협조의 어려움 등이 있어 8시에 조사를 시작하는 경우도 있다. 또한 야간의 화물교통량에 대한 축하중의 검토가 필요하므로 주간조사가 종료되는 시간을 기준으로 12시간동안 조사를 실시하였으며, 조사기간은 주중조사를 원칙으로 하며 조사지점당 24시간 조사를 목표로 하였다.

(2) 일반국도에서 축중기의 종류 및 조사

축중기는 도로 위를 주행하는 차량의 축하중을 측정하는 장비로서 고정식, 이동식, 휴대식의 3종류로 구분된다. 고정식은 일련의 장치를 한 장소에 완전한 구조물로 고정하여 상시조사가 가능하도록 설치한 것으로

주로 대부분의 고속도로 영업소(Toll Gate)와 일반국도 과적단속검문소에 설치되어 있다. 이 장비는 차량을 저속운행상태에서 측중 및 총중량을 계중하여 이득 값이 기준치 이상일 경우 경보신호와 동시에 측하중 자료 및 차량번호를 자동인쇄 및 화면에 표시하여 진입을 사전에 통제하여 고속도로 및 일반국도의 시설물을 보호하고 안전운행을 도모하기 위한 기계이다.

이동식 측중기는 한조의 측하중 계량장비를 필요한 곳에 조립 설치하여 측하중 조사가 되도록 한 것이며 대부분의 일반국도 과적차량 단속 사무소와 일부 고속도로 영업소에 설치되어 운영되고 있다. 휴대식 측중기는 인력으로 이동할 수 있도록 기계의 자중이 가볍고 계량이 간편하도록 제작된 것으로 한 축의 중량은 축의 양쪽에 있는 차륜하중을 재어 합산하여 산정한다. 본 조사시에는 고정식 측중기 및 휴대식 측중기를 이용하여 차량하중을 측정하였다.

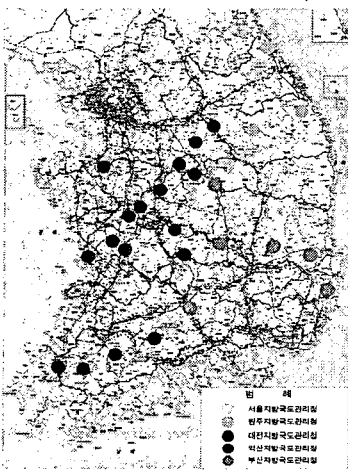


그림 1. 측하중 조사 지점

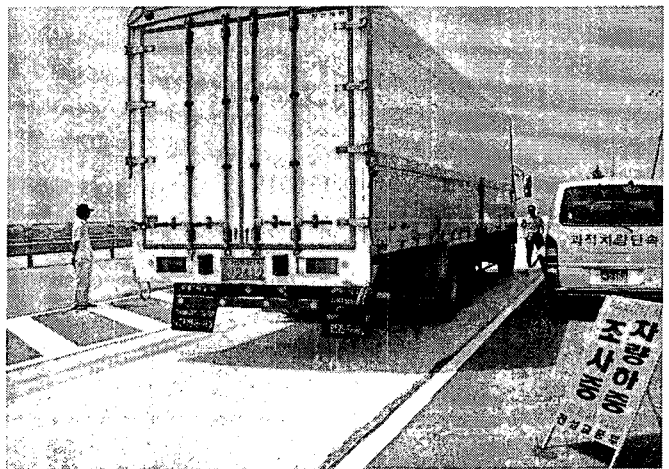


그림 2. 현장 측하중 조사

(3) 조사지점 표본크기 분석

조사지점에서의 최소 샘플 수는 1989년도 “도로포장 설계 지침서 작성 및 자동차 측하중 조사 연구” 결과를 예비조사로 설정하고 이 조사에서 나온 통행차량의 측중분포에 대한 변동계수(Coefficient of Variation)를 토대로 하여 적정 조사지점수와 차종별 표본크기를 결정하였다.

적정 조사지점수에 적용된 관계식은 다음과 같다.

$$n_1 \geq \frac{Z^2 (CV)^2}{E^2}$$

여기서, n_1 : 최소 조사지점수

Z : 소요 신뢰도 수준에 대한 표준편차 계수

CV : 예비조사로서 얻어지는 전국 도로체계상의 차량의 측중분포에 대한 변동계수

E : 소요정도, $E=0.1$ 적용

소요 차종별 표본크기를 결정하기 위한 관계식은 다음과 같다.



$$n_s \geq \frac{Z^2 (CV)^2}{E^2}$$

여기서, ns : 차종별 표본크기
 Z : 소요 신뢰도 수준에 대한 표준편차 계수
 CV : 예비조사로서 얻어지는 차종별 축중분포의 변동계수
 E : 소요정도(E=0.15 적용)

<표 3>에 조사지역 및 차종별 조사대수를 결정하기 위한 상대변동계수 및 조사대수와 신뢰도별 조사대수를 나타내었다.

본 연구에서는 신뢰도 90%를 목표로 하여 지점별 최소조사대수를 127대로 하였다.

표 3. 차종별 상대변동계수(1987년 조사자료) 및 차종별 최소표본크기⁹⁾

구 분	도로등급		일반국도			
	차종분류	조사대수	상대변동계수	신뢰도(%) (E=0.15)		
				95	90	85
	1종 (승용차/소형버스)	458	0.262	11.72	8.26	6.33
	2종 (중형버스)	212	0.202	6.97	4.91	3.76
	3종 (대형버스)	219	0.227	8.80	6.20	4.75
	4종 (소형트럭 A)	297	0.378	24.40	17.18	13.17
	5종 (중형트럭 B)	678	0.442	33.36	23.50	18.00
	6종 (중형트럭 C)	1,344	0.450	34.57	24.35	18.66
	7종 (중형트럭 D)	775	0.276	13.01	9.16	7.02
	8종 (중형트럭 E)	38	0.367	23.00	16.20	12.41
	9종 (대형트럭 F)	349	0.255	11.10	7.82	5.99
	10종 (대형트럭 G)	9	0.110	2.07	1.46	1.12
	11종 (대형트럭 H)	131	0.256	11.19	7.88	6.04
	합계	4,450	0.349	180.19	126.91	97.25

전국 총 33개의 조사지점에서 얻어진 축하중 조사 자료를 차종별로 살펴보면 <표 4.>와 같다.

표 4. 차종별 축하중 조사 차량 대수

교통량 통계연보 차종구분	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	합계
조사대수	2	7	24	1096	707	324	477	1013	10	583	55	4,298

5. 축하중 변화 비교

1987년 축하중 자료와 2004년 조사된 축하중 자료에 대해서 축하중 분포를 비교시 포장 설계에 중요시되는 트럭 교통하중에 대해서 한정지어서 비교하였다. 또한, 1987년 자료를 현 차종 분류 체계로 재분류하는 과정에서 현 분류체계 8종 차량인 4축 단일 차량은 없었기 때문에 8종에 대해서는 비교를 하지 못하였으며, 9종 및 11종에 대해서는 1987년 및 2004년 조사대수가 거의 없었기 때문에 축하중 분포 비교가 되지 않았다. 이에 따라서 4종, 5종, 6종, 7종, 10종 트럭에 대해서 비교하였다. 각 차종별로 비교 결과는 주로 1톤 트럭 차량인



4종과 트레일러 차량인 10종에 대해서는 축하중 분포 형태가 <그림 3>, <그림 4>와 같이 축별로 형태로 비슷하게 나타났다. 이렇게 나타나는 원인으로서는 트럭 차종 역할이 예전이나 지금이나 변화가 없기 때문인 것으로 판단된다.

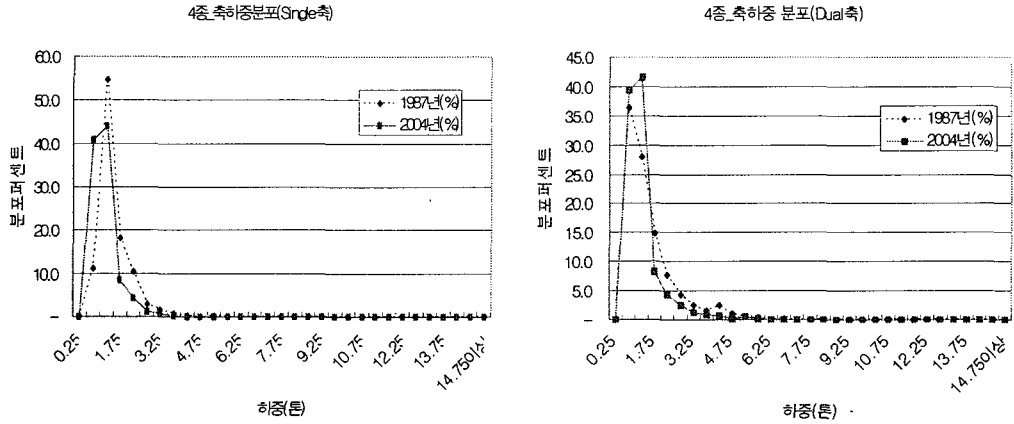


그림 3. 4중 차량의 축하중 변화 비교

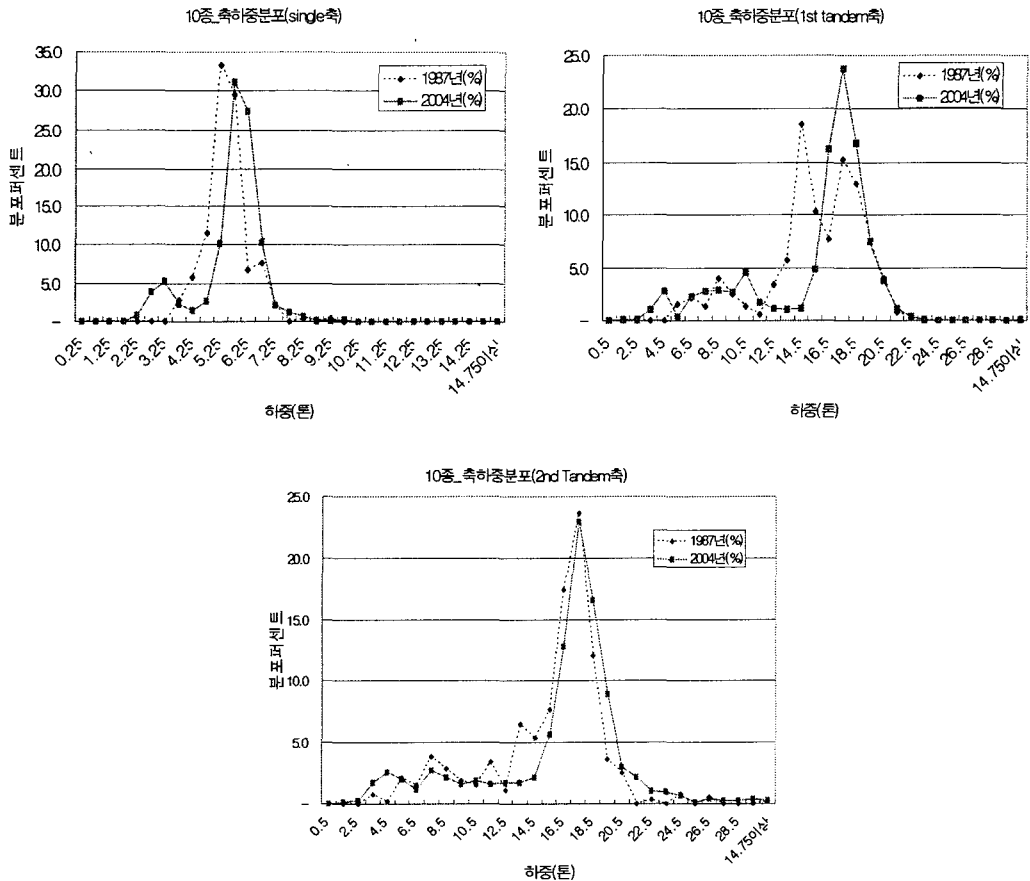


그림 4. 10중 차량의 축하중 변화 비교



나머지 차종인 5종, 6종, 7종 차종의 경우, <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>에서와 같이 1987년 축하중 분포와 2004년 축하중 분포 형태가 다르게 나타났다. 이렇게 하중 분포가 변화하는 원인으로 각 차종별로 화물 적재량 및 화물종류가 예전에 비하여 역할이 바뀌었기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 변화의 원인으로 예전에 존재하지 않았던 4축 단일차량인 8종이 생기면서 그 특성이 변화한 것으로 추정된다. 좀 더 정확한 분석을 위해서는 시간 변화에 따른 각 차종별 공차율의 변화, 차종내에서의 특정모델 감소, 증가 등에 대한 분석이 필요하며, 이를 위해서는 트럭의 물류 자료 및 자동차 등록대수의 변화에 대한 수집해야 가능한 것으로 판단된다.

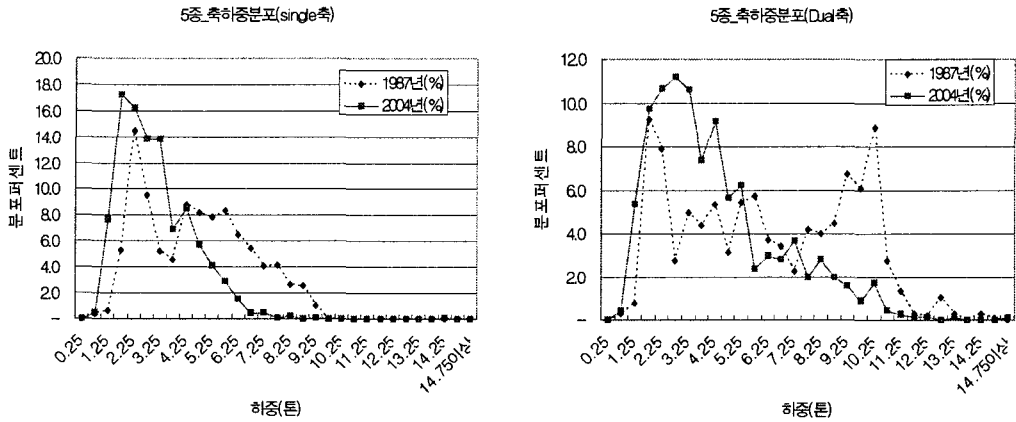


그림 5. 5종 차량의 축하중 변화 비교

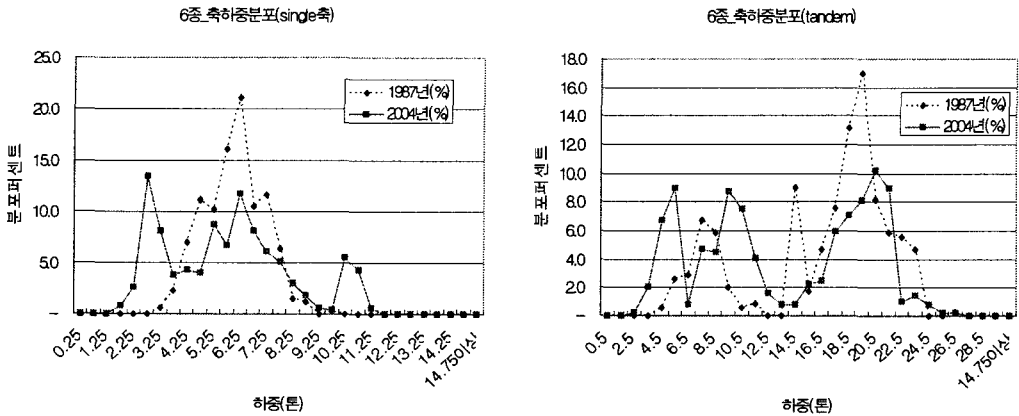


그림 6. 6종 차량의 축하중 변화 비교

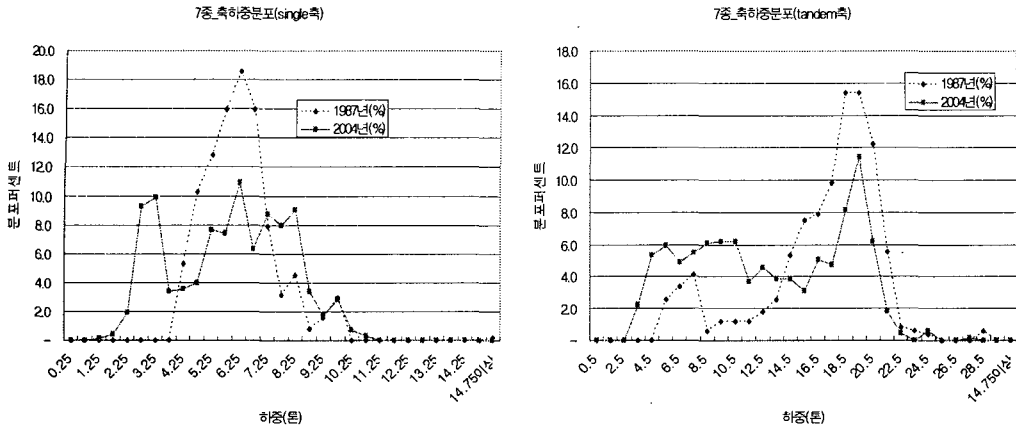


그림 7. 7중 차량의 축하중 변화 비교

6. 결과 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 등가단축하중계수 산정시 쓰였던 1987년 하중조사 자료와 2004년 여름 실시한 하중조사 자료를 이용하여 축하중 분포에 대한 변화를 파악하였다. 분석시에는 현재 교통량 통계 연보에서 쓰이고 있는 11종을 기준으로 하였으며, 2004년 하중조사시에는 11종 기준에 따라 자료를 수집하였다. 예전 자료인 1987년 축하중 조사 자료는 현재 차종 분류체계와 다르기 때문에, 현재 차종 분류체계로 재분류를 실시하였다. 재분류 과정에서 4축 단일 차량인 8종은 없었으며, 트레일러 차량인 9종, 11종에 대해서는 2004년도 조사대수와 마찬가지로 빈도가 적게 나타나, 비교시에는 4종, 5종, 6종, 7종, 10종에 대해서 분석하였다.

분석 결과, 주로 1톤 트럭 차량인 4종과 트레일러 차량인 10종에 대해서는 축하중 분포 형태가 일봉 형태로 비슷하게 나타났으며, 단일 차량인 카고 트럭 및 덤프 트럭으로 5종, 6종, 7종 차량은 축하중 분포 형태가 전혀 다르게 나타났다. 변화된 축하중 분포의 원인으로는 1987년 당시 현 분류 체계인 4축 단일차량인 8종이 없었기 때문에 이 차종이 나타남으로써 그 특성이 영향을 미친 것으로 추측된다.

향후 연구에서는 1987년 당시의 화물 공차율, 차종내 세부 차량의 특성을 파악하여 현재시점의 화물 특성과 어떠한 변화가 있었는지를 파악하여, 이에 대한 분석을 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 수탁과제인 "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구"의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2004), "2003 도로교통량 통계연보"
2. 한국건설기술연구원(1998), "고속도로 트럭 하중 분포 및 포장 설계를 위한 차량 등가하중계수의 산정"
3. 건설부(1988), "도로포장 설계 지침서 작성 및 자동차 축하중 조사 연구"