

역학적-경험적 포장 설계법에서 교통하중 정량화를 위한 기본 계획 수립 연구

Establishment of Basic Plan for Traffic Load Characterization in Mechanical-Empirical Pavement Design

권수안* · 양홍석** · 김연복***

Kwon, Soo Ahn · Yang, Hong Suk · 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.

교통하중을 정량화 하는 방법에는 등가단축하중계수(ESALF ; Equivalent Axle Load Factor)를 이용하는 방법과 축 하중 분포(Axle Load Spectra)를 기초로 누적 손상(Cumulative Damage)을 이용하는 방법이 있다.

기존의 경험적 설계법에서는 등가단축하중계수를 이용하여 교통하중을 정량화하였다. 하지만 등가단축하중계수의 개념은 AASHTO Road Test에서 만들어진 경험적인 방법이라는 한계를 갖고 있다. 이것은 국한된 재료와 환경조건에서 이루어진 시험의 결과를 다른 환경과 조건의 포장체에 적용하기 때문에 예상치 못한 결과를 유발할 수 있으며 축 하중이 갖는 다양성을 간과하게 되고 동일한 축 하중이라도 환경 조건에 따라 포장에 미치는 영향이 다르다는 점을 무시하는 단점이 있음을 의미한다.

이러한 등가단축하중계수의 한계점을 해결하기 위해 포장 분야 선진국에서는 역학적 개념을 도입한 많은 연구가 진행되어왔다. 최근, 역학적-경험적 설계법(Mechanistic-Empirical Design)에서는 축 하중 분포를 기초로한 누적 손상 개념을 이용하여 교통하중을 정량화하고 있다.

현재 국내의 경우에는 경험적 설계법인 AASHTO 설계법에 기초하여 포장 설계를 실시하고 있으며 이에 따라 등가단축하중계수를 이용하여 교통하중을 정량화하고 있다. 따라서, 현재까지 교통하중에 대해서는 등가단축하중계수 산정을 위한 연구만 진행되었을 뿐 축하중 분포에 대한 연구는 전무한 실정이다.

하지만, 최근 연구중인 한국형 포장 설계법은 역학적-경험적 설계법을 기초로 개발될 예정이므로 본 연구에서는 역학적-경험적 포장 설계법에 적용할 수 있는 축 하중 분포를 이용한 새로운 개념의 교통하중 정량화 방안을 수립하고자 한다.

2. 축하중 분포를 이용하여 교통하중을 정량화하기 위한 고려요소

축하중 분포를 이용하여 교통하중을 정량화하기 위해서는 교통하중의 환경적 영향과 기하학적 요소를 고려해야 한다. 교통하중의 환경적 영향은 계절별 포장 손상도로서 동일 하중일지라도 온도/습도 변화에 따라 포장체에 미치는 영향은 다양하게 나타난다. 교통하중의 기하학적 요소는 차량의 축하중, 축형태, 타이어 간격, 타이어 압력, 축간 거리 등으로 이것은 포장의 거동 특성에 영향을 준다.

축하중 분포를 이용하여 교통하중을 정량화 하기 위해서는 아래와 같은 일반적인 교통량 자료와 교통량 보정 자료가 필요하다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 031-910-0174(E-mail:sakwon@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 연구위원



- 교통량 보정 자료
 - 월별 포장 손상도
 - 차종별 축하중 분포
 - 시간대별 트럭 교통량 비율
 - 교통성장율

- 일반적인 교통량 자료
 - 연평균 일일 교통량
 - 연평균 일일 트럭 교통량
 - 방향 분배 계수/차로 분배 계수
 - 차종별 1축, 2축, 3축 통과수
 - 교통하중의 기하학적 요소(축간 거리, 평균 축 간격, 타이어 압력 등)

3. 국내 축하중 조사 현황

3.1 국내 차종 분류 현황

도로 포장 설계를 위한 차종 분류는 축형태를 기준으로 <표 1>, <표 2>와 같이 고속국도 및 지방도는 8종, 일반국도는 11종으로 이원화되어 있다. 본 연구에서는 향후 각 차종분류별 축하중 분포를 제시할 것이며 이것을 비교/분석하여 새로운 차종 분류(안)을 제시할 계획이다.

3.2 축하중 조사 장비 현황

국내에서 축하중 조사는 과적 차량 단속을 목적으로 실시하고 있으며 측정 방법에 따라 고정식, 이동식, 휴대식으로 구분된다.

국내 축하중 조사 장비는 축중기와 WIM이 있다. 축중기는 고속도로 영업소(Tollgate)와 일반국도 검문소에 설치되어 과적 차량을 단속하는데 사용된다. 축중기 위로 임의의 축하중 이상의 차량이 통과할 경우 축수, 축하중 등과 같은 축하중 상세자료가 출력된다. WIM 장비는 현재 국내 37개가 일반국도 상에 설치되어 있으며 측정 속도에 따라 저속 WIM과 고속 WIM으로 구분된다. 조사 방법은 저속 WIM 단독 조사와 저·고속 WIM을 연계 조사로 구분된다. 저·고속 WIM 연계 방법은 검문소 전방 본선상에 설치된 고속 WIM에 의해 1차 축하중 조사를 실시하여 과적 혐의 차량이 선별되고 안내판을 통해 과적 혐의 차량을 저속 WIM이 설치된 지역으로 진입시켜 2차 축하중 조사를 실시하는 방법이다. WIM 장비를 통해 얻을수 있는 축하중과 관련 자료는 지점별 총중량분포, 지점별 축하중분포, 차종별 축하중 및 총중량 분포, 차종별 평균 총중량, 축배열 형태별 축하중 분포 등이 있다.

본 연구에서는 고속도로 및 일반국도를 구분하여 축하중 분포를 제시할 계획이므로 축하중 조사는 고속도로 및 일반국도에 양쪽 모두 설치되어 있는 축중기를 이용하여 실시하였다.

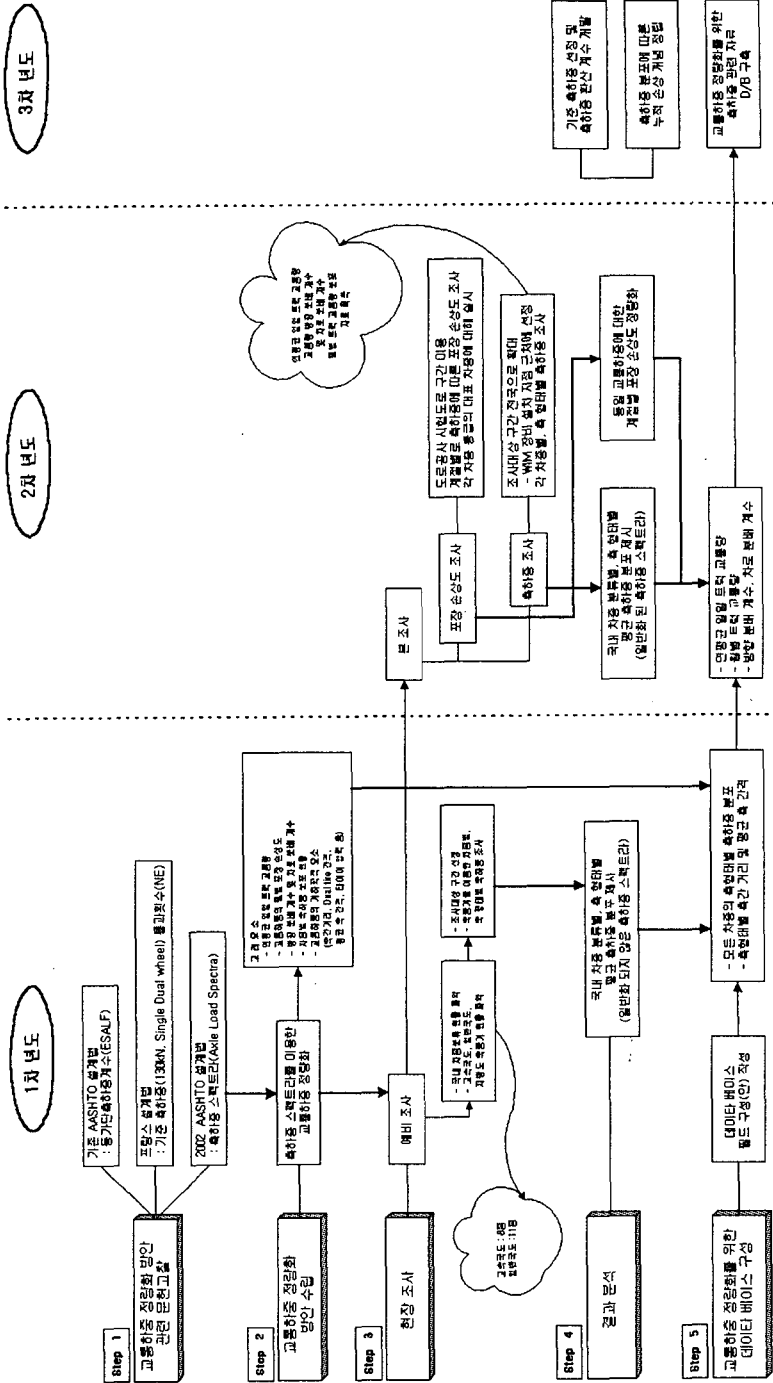


그림 1-1 교량하중 측정방법을 위한 연구 절차별 세부 연구 계획



- 교통하중 정량화 연구 현황 조사
 교통하중 정량화와 관련된 국·내외 연구 현황 조사를 통하여 현재까지 교통하중에 대한 연구 현황을 파악하고 역학적-경험적 설계법에 적용할 수 있는 축하중 분포를 이용한 교통하중 정량화 방법 및 국내 축하중 조사 현황을 제시한다.
- 교통하중 정량화 연구 계획 수립
 축하중 분포를 이용하여 교통하중을 정량화하기 위한 고려요소를 결정하고 이에 따라 연차별 세부 연구 목표 및 계획을 수립한다.
- 고속도로 축하중 조사 및 결과 분석
 축하중 조사 방법을 결정하고 현장조사를 실시하여 축 형태별 축하중 분포를 제시한다.
- 교통하중 정량화 데이터 베이스 구축
 교통하중 정량화와 관련된 모든 자료에 대해 데이터 베이스를 구축하여 기록/유지하기 위해 데이터 베이스 테이블 필드를 선정한다.

3. 고속도로 축하중 분포 현황

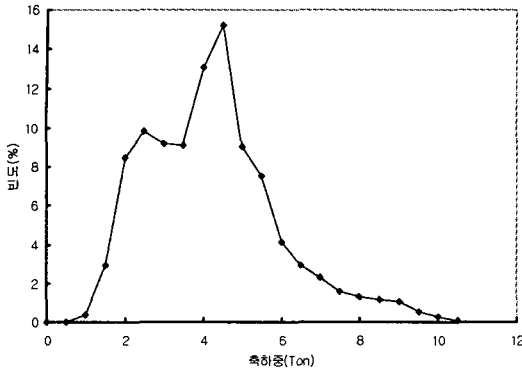
본 연구에서는 고속도로 영업소에 설치된 축중기를 이용하여 축하중 조사를 실시하였다. 고속도로 영업소에 설치된 축중기는 과적 차량 단속을 목적으로 사용되기 때문에 고속도로 축하중 한계가 11ton임을 감안하여 축하중 8ton 이상의 차량에 대해서만 축하중을 기록한다. 그러나, 본 연구에서는 포장 설계에 영향을 미치지 않는 승용차를 제외한 모든 차량의 축하중 조사를 실시해야 하기 때문에 축하중 기록 한계를 2ton으로 조정하여 그 이상의 차량에 대해 축하중을 기록하였다. 고정식 축중기의 축하중 기록 예는 <그림 2>와 같다.

01134	입구(1)	축수 : 2	속도(km/h) : 31.8	총중량(t) : 14.0	2002. 07. 31 . 7:20
		축중량(t) : 4.6 9.4			
01135	입구(2)	축수 : 5	속도(km/h) : 4.8	총중량(t) : 40.6	2002. 07. 31 7:20
		축중량(t) : 5.6 9.4 7.9 9.0 8.7			

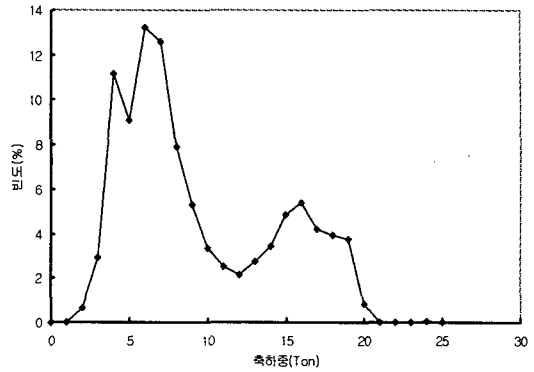
<그림 2> 고정식 축중기 조사 기록기(예)

축하중 조사는 고속도로 12시간 교통량 조사 시간과 동일하게 07시에서 19시까지 북수원 영업소 및 부곡 영업소에서 실시하였다.

본 조사 대상 구간에서 조사된 축형태별 축하중 분포는 <그림 3>, <그림 4>와 같다. 그림에서 보듯이 1축의 경우는 정규분포와 유사한 형상을 보이며 2축의 경우는 두곳이 볼록한 쌍봉분포를 나타낸다. 이것은 2축을 보유한 차량은 주로 중차량인 6중 이상의 화물차로서 화물차 운행 특성상 공차와 만차로 운행되기 때문으로 판단된다.

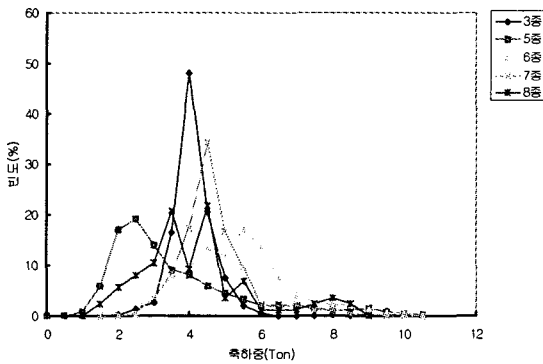


<그림 3> 고속도로 축하중 분포(1축)

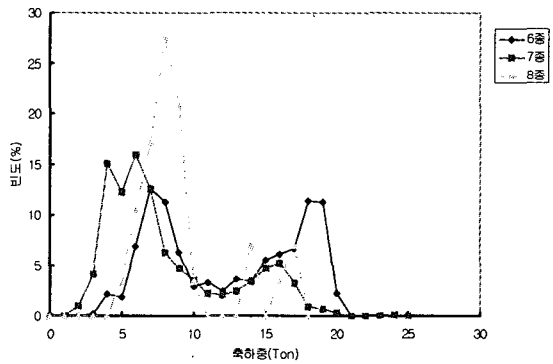


<그림 4> 고속도로 축하중 분포(2축)

차종별 1축과 2축의 축하중 분포는 <그림 5>, <그림 6>과 같다. 그림에서 보듯이 1, 2축 모두 상위 차종과 하위 차종의 축하중이 큰 차이를 나타내지 않았다. 즉, 차종분류와 축하중 크기는 관계가 없는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 차종별 축하중 분포 비교(1축)



<그림 6> 차종별 축하중 분포 비교(2축)

4. 교통하중 자료 데이터 베이스(D/B) 구축

교통하중 정량화와 관련된 모든 자료는 데이터 베이스를 구축하여 기록/유지할 계획이다. 교통하중 정량화 데이터 베이스는 <표 3>과 같이 구간정보 테이블, 교통량 자료 테이블, 축하중의 기하학적 요소 테이블로 구성된다. 구간정보 테이블에는 교통하중 조사를 실시할 구간의 상세정보가 기록되며 교통하중 자료 테이블에서는 현장에서 조사된 교통하중의 원시자료(Raw Data)와 원시자료를 가공한 자료가 기록된다. 이들 두가지 테이블은 동일하게 필드 1번을 조사지점으로 선정하여 상호 연계성을 유지하였다. 또한, 교통하중의 기하학적 요소 테이블은 실제 차량에 대한 표본 조사 및 통계분석을 통하여 기본값(Default Value)으로 설정하여 포장설계에 반영할 예정이며 차종분류 필드를 통하여 교통량 자료 테이블과 연계되도록 구축될 예정이다.



<표 3> 교통하중 정량화 데이터 베이스 테이블(계속)

구간정보 테이블					
번호	필드 내용	필드 명	형태	규격	비고
1	조사지점	Section_ID	텍스트	10	
2	도로등급	Section_Grade	텍스트	10	
3	포장형태	Pvt_Type	텍스트	10	
4	포장두께	Pvt_Depth	숫자	실수	
5	시공연도	Costruction_Year	숫자	정수	
6	보수연도	Rehabilitation_Year	숫자	정수	
7	보수공법	Rehabilitation_Strategy	텍스트	10	
8	차로수	Lane_No	숫자	정수	
9	차로폭	Lane_Width	숫자	실수	
교통량 자료 테이블					
번호	필드 내용	필드 명	형태	규격	비고
1	조사지점	Section_ID	텍스트	10	
2	연평균 일일 교통량	AADT	숫자	정수	
3	월별 일일교통량	Month_AADT	숫자	정수	
4	연평균 일일 트럭 교통량	AADTT	숫자	정수	
5	월별 일일 트럭 교통량	Month_AADTT	숫자	정수	
6	축하중	Axle_Load	숫자	실수	
7	총중량	Total_Load	숫자	실수	
8	차중분류	Traffic_Class	텍스트	2	
교통하중 기하학적 요소 테이블					
1	차중분류	Traffic_Class	텍스트	2	
2	축 형태	Axle_Type	텍스트	8	
3	축간 거리	Axle_Spacing	숫자	실수	
4	타이어 거리	Tire_Spacing	숫자	실수	
5	타이어 압력	Tire_Pressure	숫자	실수	
6	타이어 접지 면적	Tire_Size	%	cm ²	



5. 결 론

본 연구의 범위 내에서 현재까지 진행된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 교통하중 정량화 방법에는 경험적 설계법에 사용되는 등가단축하중계수(ESALF ; Equivalent Single Axle Load Factor)를 이용하는 방법과 역학적-경험적 설계법에 사용되는 축 하중 스펙트라(Axle Load Spectra)를 기초로 누적 손상(Cumulative Damage)을 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 역학적-경험적 설계법에 적용할 수 있는 축 하중 분포를 이용한 교통하중 정량화 방안을 수립하였다.
- 국내에서 축하중 측정은 측정 장비에 따라 축중기를 이용하는 방법과 WIM 장비를 이용하는 방법으로 구분된다. 본 연구에서는 고속도로와 일반국도 양쪽에 설치된 고정식 축중기를 이용하여 축하중 조사를 실시하였으며 향후, 국내 WIM 장비의 정확성 검증을 통해 축중기와 WIM 장비를 이용한 축하중 조사를 실시할 계획이다.
- 고속도로 축형태별 축하중 분포는 1축의 경우 정규분포와 유사한 형상을 보이며 2축의 경우 두곳이 블록한 쌍봉분포를 나타낸다. 이것은 2축을 보유한 차량은 주로 중차량인 6종 이상의 화물차로서 화물차 특성상 공차와 만차로 운행되기 때문으로 판단된다.
- 차종별 1축과 2축의 축하중 분포는 1, 2축 모두 상위 차종과 하위 차종의 축하중이 큰 차이를 나타내지 않았다. 즉, 차종분류와 축하중 크기는 관계가 없는 것으로 나타났다.
- 교통하중 정량화 데이터 베이스는 구간정보 테이블, 교통량 자료 테이블, 축하중의 기하학적 요소 테이블로 구성된다. 구간정보 테이블에는 교통하중 조사를 실시할 구간의 상세정보가 기록되며 교통하중 자료 테이블에서는 현장에서 조사된 교통하중의 원시자료(Raw Data)와 원시자료를 가공한 자료가 기록된다. 교통하중의 기하학적 요소 테이블은 실제 차량에 대한 표본 조사 및 통계분석을 통하여 기본값(Default Value)으로 설정하여 포장설계에 반영할 예정이다.

참고 문헌

1. 건설부(1988), "도로포장 설계 지침서 작성 및 자동차 축하중 조사 연구".
2. AASHTO, "AASHTO Design Procedures for New Pavements".
3. Hajek, J., "Estimating Cumulative Traffic Loads", Final Report for Phase 1., FHWA-RD-00-054
4. Jong R. Kim(1998), "Axle Load Distribution Characterization for Mechanistic Pavement Design," TRB, Transportation Research Record 1629.