

# 차량의 동적 상호작용에 관한 이론연구 및 윤하중 실험

김 낙 석(경기대학교 토목환경공학부 교수)  
박 석 순(경기대학교 대학원 토목공학과 박사과정)

## An Analytical and Experimental Wheel Tracking Study on Dynamic Interaction of Vehicle

Kim, nak-suk · Pak, suk-soon

### ABSTRACT

In this paper, an analytical and experimental study was performed in order to determine the effects of interaction between vehicle and structure. Results presented in the paper show that analytical method including moving load effect can investigate the trend of structural response due to dynamic interaction between vehicle and structure. The wheel tracking machine fitted with 2-axle test vehicle can demonstrate more accurate dynamic interaction between vehicle and structure than the wheel tracking machine fitted without 2-axle test vehicle.

[Keywords : interaction, vehicle, moving load, wheel tracking machine]

## I. 서론

도로의 구성요소인 포장체의 대표적인 손상요인으로는 차량의 운행으로 인한 반복적인 하중의 재하와 환경적인 영향을 들 수 있다. 이중 환경적 요인은 국내외의 다양한 실험적 이론적인 연구를 통하여 상당부분 규명되고 있다. 그러나 차량의 주행으로 인한 동적인 하중에 의한 손상의 경우는 포장체의 위치에 따른 매우 다양한 지지조건 및 예측이 쉽지 않은 차량의 주행조건 등으로 인하여 이론적 실험적 규명에 어려움이 있다. 포장체의 지지조건을 단순화 하는 경우에도 차량의 주행시 발생하는 각종 현가장치와 차체 질량과 포장체 자체의 상호작용으로 인한 이동질량 효과 등으로 차량의 하중효과의 규명에 어려운 점이 있다. 일반적으로 차량의 주행으로 인한 효과는 차량의 위치 및 차량자체의 타이어 및 현가장치 등의 용수철 역할로 인한 진동과 차량주행속도 및 노면조도, 제동, 운전습관의 차이 등의 복잡한 조건이 변수로 작용한다. 이와 같은 복잡한 변수로 인하여 다양한 연구에도 불구하고 차량의 주행으로 인한 동적응답의 경우 정확한 파악이 어려운 실정이다.

이에 기존의 많은 연구에서 차량의 모델을 간략화한 해석기법과 현장계측 등의 방법으로 보다 현실적인 차량의 주행효과의 규명에 많은 노력을 기울여 왔다. 이처럼 차량하중의 동적인 거동은 정확한 예측에 어려움이 있어서, 차량주행의 효과를 규명하기 위한 해석 시 충격계수를 이용하여 동적인 효과에 상응하는 정적하중의 추가분을 고려하는 방법과 차량의 현가장치를 무시한 단순한 이동하중효과를 고려하는 방법을 사용하고 있는 실정이다. 하지만 전자의 경우 실제 차량의 주행 시 예상되는 차량 자체의 진동으로 인한 하중 및 상호작용의 효과를 규명하는데 한계가 있다. 이동하중효과를 고려하는 경우도 차량의 주행효과에 상당한 영향을 준다고 알려져 있는 현가장치 및 타이어의 효과를 고려하지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 도로상의 차량 주행효과를 파악하기 위하여 노반 및 노면 상태 등의 복잡한 고려요소가 포함되어 나타나는 도로형태가 아닌 차량의 주행효과가 좀 더 분명히 나타날 수 있는 단순교의 형식의 시편을 대상으로 하였다. 사용된 시편의 형식은 최근 들어 다양한 장점을 인정받고 있는 프리캐스트 형식의 패널을 이용하여 제작하였다. 본 논문에서는 차량의 주행효과를 규명하기 위하여 먼저 전술한 시편을 대상으로하여 이동하중방식을 이용한 범용 해석프로그램을 이용한 해석을 수행하였다. 이어서 실동차량과 동일한 주행효과의 발현이 가능한 실험 차량이 사용된 윤하중 실험기를 이용한 실물 윤하중 실험을 수행하였고, 각각의 결과를 상호 비교 분석 하였다. 이를 통하여 여러 가지 제한으로 인하여 구체적인 규명에 어려운 점이 있는 차량의 주행효과를 보다 현실적으로 규명할 수 있었다.

## II. 대상시편

차량의 주행효과 규명을 위한 해석 및 실험연구에 사용된 시편은 그림 1과 같다. 대상시편은 각각 1.2m×2m×0.18m 의 프리캐스트 바닥판 패널 3장을 Female to Female 형식으로 연결하여 설치되었다. 단순교의 형식에 필요한 거더 부는 0.2m×0.2m 사양의 H-beam이며 M16사양의 스테드 볼트를 이용하여 패널과 일체화 하였다. 시편의 규모는 상사에 의한 오차 등의 발생가능성을 배제하여 연구의 정밀성을 확보하고 대규모 실험 시 시편 자체의 중량과 실험기의 차량 중량으로 인해 우려되는 실험안전을 보장하기 위하여 실제 시공이 가능한 최소규모 및 안전이 보장되는 최대 규모를 면밀히 분석하여 전술한 제원으로 제작되었다.

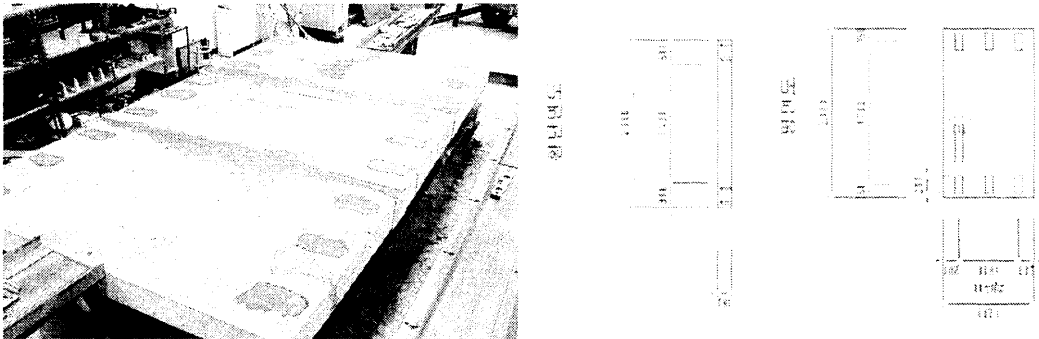


그림 1. 대상 시편 (a) 사진 (b) 도면

## III. 범용해석 프로그램을 이용한 대상시편 해석

### 1. 개요

본 절에서는 이동하중 이론을 이용하여 차량의 주행효과를 고려할 수 있는 범용 해석프로그램 Lusas 13.7을 이용하여 대상 시편의 해석을 수행하였다. 2절의 대상시편을 모델로 하여 다음절의 운하중 실험기의 제원과 동일한 제원의 하중을 재하 하였다. 구조해석은 각각 정적해석과 차량 주행 해석으로 구분하여 수행되었다. 각각의 결과는 다음절의 운하중 실험기를 이용한 차량주행 실험의 결과와 비교, 분석되었다.

## 2. 구조 해석 모델

해석 모델의 제원은  $2.00\text{m} \times 3.64\text{m} (1.2\text{m} @ 3 + 0.02\text{m} @ 2) \times 0.18\text{m}$  이고, 사용된 재료의 강도는 각각 패널부는  $280\text{kgf}/\text{cm}^2$ , 패널 연결부 및 패널과 거더의 연결부는  $400\text{kgf}/\text{cm}^2$  이다. 구조해석모델의 형상 및 양단의 지지조건이 그림 2(a)에 나타나 있다.

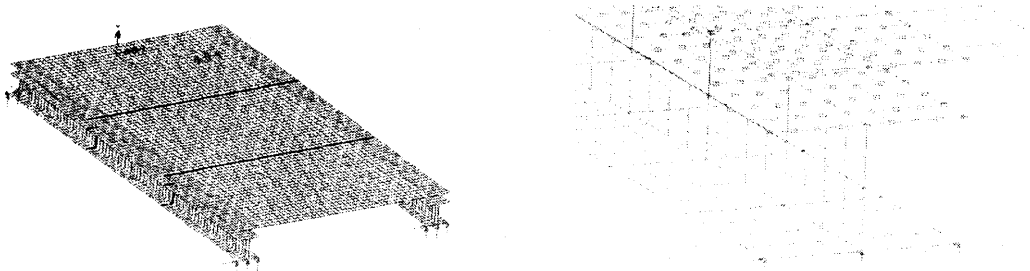


그림 2. 구조해석모델 (a) 해석 모델 (b) constraint equation

해석 모델의 패널과 거더는 각각 3차원 쉘 요소로 이상화 되었다. 패널과 거더의 합성을 모사하기 위하여 그림 2(b)와 같이 constraint equation 조건을 사용하였다. 차량의 주행 해석 시는 본 연구에서 사용된 Lusas 의 차량주행 모사틀인 IMD Plus가 사용되었다.

## 3. 구조해석시 사용된 하중 조건

구조 해석시 사용된 하중 및 해석 조건은 다음과 같다.

- ◆ Load Case 1 : 운하중 실험기에 사용된 차량하중
- ◆ Load Case 2 : 차량 하중을 단위 길이 별로 대상 시편의 길이 방향으로 이동 재하
- ◆ Load Case 3 : 차량주행해석을 위한 자유진동 해석
- ◆ Load Case 4 : 차량하중을 이동하중으로 이상화한 이동하중 해석

Load Case 1은 정적해석으로서 시편의 기본적인 거동특성을 규명하고, 실험의 결과와 비교하여 해석모델의 합리성을 검증하기 위한 기초 해석이다.

Load Case 2의 하중조건은 실무에서 쉽게 사용되는 해석방법으로서 차량하중을 일정한 거리로 이동재하 하는 상태에서의 해석이다. 이 경우는 차량의 이동시 발생하는 동적인 거동을 고려하지 않는 경우로서 이 거동이 고려되는 Load Case 4의 이동하중 해석의 결과와 비교하여 차량의 동적효과의 고려 여부에 따른 결과의 차이점을 분석하기 위한 하중 조건이다.

Load Case 3과 Load Case 4는 각각 동적해석으로서 Load Case 3은 차량의 주행효과를 이동하중의 이론을 이용한 해석을 위한 기초 작업인 동시에 각 경우의 질량기여도를 이용하여 동적해석 모델의 합리성을 규명할 수 있다. Load Case 4는 차량과 대상물의 상호작용 효과 중 차량의 현가장치 및 타이어의 영향이 제외된 동적거동해석이다. 이 경우는 Load Case 2의 경우보다 차량주행을 정교하게 모사할 수 있다고 알려져 있으며 이 해석결과는 차량과 대상물의 상호작용효과가 고려된 운하중 실험과 비교하여 각각의 차이를 분석하기 위한 해석조건이다.

각각의 해석 결과는 정적 해석의 경우 대상 시편의 각 패널중앙부분의 처짐량 결과를 이용하였고, 동적해석의 경우는 시편 전체의 중앙점 처짐량을 이용하여 비교하였다.

#### 4. 정적 구조 해석 방법 및 결과

- Load Case 1 : 운하중 실험기에 사용된 차량하중재하

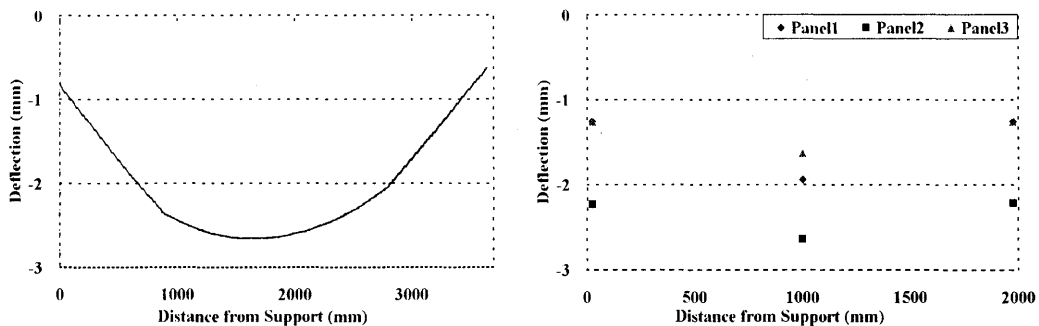


그림 3. 슬래브 교축 방향 중앙의 수직처짐 그림 4. 패널당 슬래브중앙 및 거더하단 수직처짐

그림 3에 Load Case 1의 해석결과가 나타나 있다. 본 시편은 단순교 형식으로서 패널 3개가 연결된 형식으로서 그림 3의 결과를 통하여 각 패널 및 거더간의 합성으로 인한 단순교의 일반적인 처짐 거동을 보임을 알 수 있다.

그림 4는 각 패널당 슬래브의 중앙 수직 처짐과 패널 하단의 거더 하부 플랜지의 교축 직각 방향으로의 수직 처짐이다. 그림 4와 운하중 재하 실험의 결과와 비교 해보면 실험 결과 패널 2의 중앙 수직 처짐은 2.77mm 이며 해석 결과의 수직 처짐은 2.65mm 이다. 두 결과는 약 4% 내외의 오차를 보이니 처짐의 양이 상당히 작기 때문에 실험에서의 계측기 오차나 실험 오차를 고려해보면 해석 모델이 실험 모델을 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다. 거더 하단의 경우 실험결과는 2.63mm 이고 해석 결과는 2.37mm 로 패널 중앙에 비해 조금 큰 약 9%의 오차를 보인다.

- Load Case 2

차량하중을 초기에는 단계별 100mm 로 이동재하 하며 차량이 1000mm에 진입 후엔 단계별 500mm 로 이동재하 하여 차량이 패널 1을 통하여 시편진입 시부터 패널 3를 지나 시편을 통과하는 순간까지 일정한 길이를 따라 재하 되었다. 그림 5의 X축은 계산이 진행되는 거리를 나타내며, 계산 시작부터 2000mm 구간까지는 차량하중의 앞 차축이 재하 되며 2000mm부터 4000mm 구간은 앞 뒤 차축이 재하 된다. 4000mm 이후에서는 앞차축이 시편을 통과하며 뒤 차축만이 시편 상에 재하 된다.

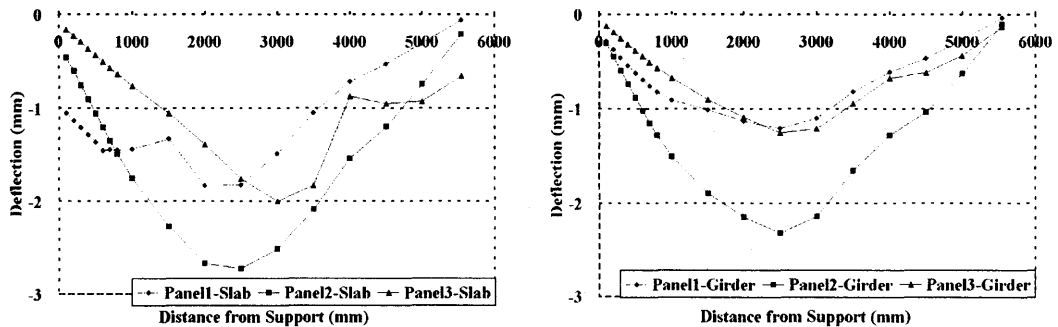


그림 5. 하중 이동에 의한 중앙 수직 처짐 (a) 패널 (b) 거더

그림 5(a)의 각 패널은 차량하중의 진행에 따라 패널 1, 패널 2, 패널 3의 순서대로 최대 처짐이 발생한다. 최대처짐은 중앙부 패널인 패널 2에서 발생하며 2.72 mm 의 크기이다. 거더부의 최대 처짐결과는 2.32mm 로 나타났다.

5. 동적 구조 해석 결과

동적 구조 해석은 구조물의 고유치 해석 (Load Case 3)을 수행하고 이를 바탕으로 이동하중(Load Case 4)에 의한 동적 거동 특성을 파악한다. 범용 해석 프로그램 LUSAS 13.7의 IMD-PLUS 의 이동 하중 해석 툴을 이용하였다.

- Load Case 3

시편의 고유치 해석 결과를 통해 이동 하중 해석을 위한 질량 기여도의 합을 보고자 한 것으로 X 축 방향으로 99.86 %, Y 축 방향으로 99.89 %, Z 축 방향으로 99.88 %의 질량 기여도를 보인다. 최하 99.88 %의 이상의 질량 기여도를 확보 하였으므로 구조 해석 모델의 거동이 잘 모사 된다고 볼 수 있다.

표 1. Eigenvalue

MODE	EIGENVALUE	FREQUENCY
1	4.60E-03	1.08E-02
2	7.46E-02	4.35E-02
3	0.14165	5.99E-02
4	0.284748	8.49E-02
5	0.2864	8.52E-02

표 2. Sum of Mass Participation

MODE	SUM MASS X	SUM MASS Y	SUM MASS Z
1	0.987976	1.49E-27	5.23E-28
2	0.987976	0.773074	0.125652
3	0.988037	0.773074	0.125652
299	0.998691	0.998974	0.998834
300	0.998696	0.998974	0.998834

- Load Case 4

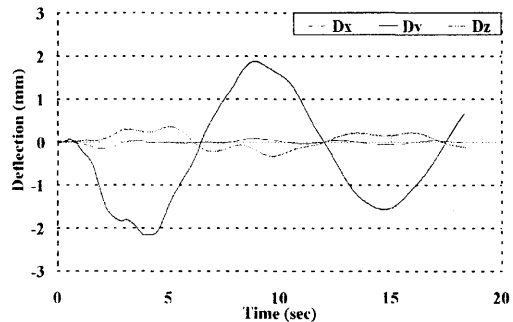
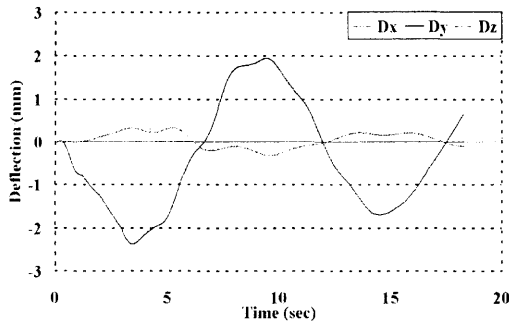


그림 6. 패널2 중앙의 시간-변위 (a) 슬래브 (b) 거더

이동 하중을 이용한 동적 해석에 의한 결과는 그림 6과 같다. 패널의 경우 2.38mm의 최대 처짐이 나타나며 거더 부의 경우 2.17mm의 최대 처짐을 보인다. 그림 6(a)와 그림 6(b) 모두 정적해석에서는 나타나지 않던 최대 처짐량에 근접하는 상방향의 솟음이 나타남을 알 수 있다. 차량의 진행에 따라 전륜이 시편을 통과하면서 발생하는 현상으로서 이동하중 해석방법을 이용하여도 차량과 대상 시편간의 상호작용효과가 나타남을 알 수 있다.

## IV. 운하중 실험

### 1. 개요

차량의 주행에 따른 상호작용 효과를 파악하기 위하여 실물차량과 동일한 타이어를 사용하는 실험차량을 적용한 운하중 실험기를 이용하여 정적실험 및 주행실험을 수행하였다. 실험에 사용된 차량은 기존의 운하중 실험기에 사용되는 1축 형태가 아닌 실물차량과 동일한 4륜의 형태이며, 차량의 총 중량은 4.5tonf 였다.

## 2. 실험장치

### 1) 율하중 실험기

실제 주행차량과 같은 이동질량하중의 경우, 하중의 이동시 하중자체의 하중중심축을 기준으로 발생하는 상하, 좌우방향 흔들림 등이 발생한다. 이때 발생하는 흔들림 등은 고무재질의 타이어를 통하여 대상구조물에 추가적으로 전달된다. 이와 같은 원인으로 인하여 이동질량의 재하시는 대상물의 반응뿐 아니라 하중과 대상물의 상호작용에 의한 추가적인 반응이 나타난다.

이러한 추가적인 반응이 더해진 전제반응은 이동하중재하시의 반응을 초과하는 경우가 나타나게 되며 이러한 반응은 도로 혹은 교량 등의 대상구조물과 차량의 커플링 효과로 인하여 정확한 규명에 어려움이 있다.

본 논문에서는 실제 주행차량의 주행 시 발생하는 상호작용 효과를 나타낼 수 있는 율하중 실험기를 개발하여 사용하였다. 그림 7은 실험에 사용된 율하중 실험기가 나타나 있다. 본 실험기는 구동부와 차량 부, 시편거치부로 구분되며 차량부분은 독립적으로 구성된 4륜 형태의 차량으로서 실험 조건에 따라 간단하게 차량을 교환할 수 있도록 구성되어 있다. 실험차량은 실험차량상부에 각 220kgf 규격의 동일한 강재 블럭을 적절한 위치에 적재하여 사용하였다.

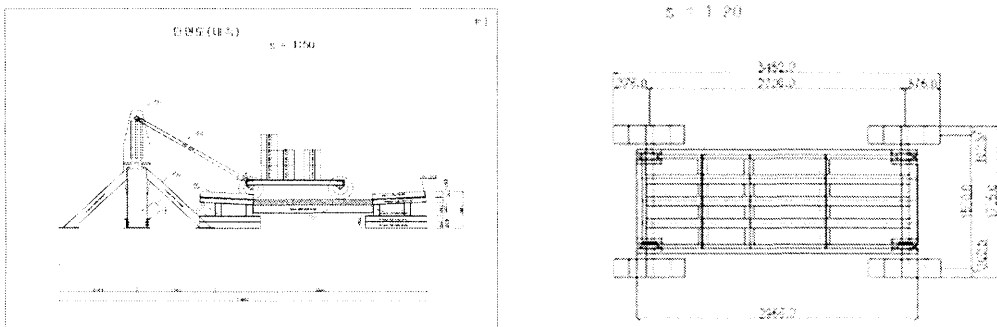


그림 7. 개량형 율하중 실험기 (a) 단면도 (b) 차량 모델

### 2) 축중검증 실험장치

축중 검증 실험은 그림 7의 율하중 실험기의 차량 축중을 파악하기 위해서 독립된 로드셀 6기를 이용하였다. 사용된 로드셀의 사진이 그림 8에 나타나 있다. 축중은 타이어를 통하여 전달되며 타이어의 접지압이 타이어의 단면에 따라 일정하지 않을 경우를 고려하여 축중의 정밀도를 꺾하고자 1기의 로드셀이 아닌 소형 로드셀 6기를 이용하여 실험을 수행하였다.



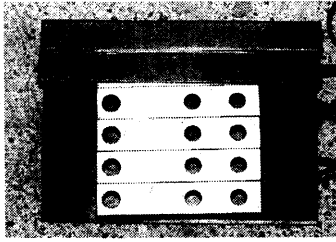


그림 8. 축중 측정용 로드셀



그림 9. Data Shuttle Express



그림 10. 제어용 software 및 PC

### 3) 계측장치

정적 실험 및 운하중 실험의 계측은 100mm 사양의 Spring Type LVDT를 사용하였다. 계측 데이터 수집 및 분석 장치로는 signal amplifier 기능과 데이터 수집기능을 겸하는 IO Systems 사의 Data Shuttle Express를 PC 와 연결하여 사용하였다. Data Shuttle Express 의 제어에는 Strawberry Tree 사의 Workbench for Windows 프로그램이 사용되었다.

다수의 채널을 이용하기 때문에 전용 Terminal Block과 Signal Cable을 이용하여 실험의 편의성과 정밀도를 도모하였다. 차량의 가력에 소요되는 대형 모터의 전원이 있으므로 측정 장치의 안정된 미소전류 및 미소저항의 측정에 유발될 수 있는 Noise를 제거하기 위하여 Circuit 상에서 접지점을 통일하였고, 전원에 기인한 잔류 잡음의 저감을 위하여 Data Shuttle Express 및 PC 의 전원에 독립적인 Noise Filter를 적용하였다.

## 3. 실험방법

### 1) 축중 검증실험 및 정적실험

운하중 실험 전에 실험차량의 전,후륜의 하중을 파악하기 위한 축중 측정실험과 정적재하실험을 통하여 재하 하중과 시편의 제작 정확도를 규명하였다. 축중은 각 타이어 하면에서 측정하며 실험의 안정성과 정밀한 계측값을 위하여 수평 유지용 보조 플레이트와 함께 설치된 상태로 측정되었다.

정적실험은 실험차량의 중심이 시편의 중심선과 일치하도록 조절한 후 재하 하여 실험을 수행하였다. 실험 대상

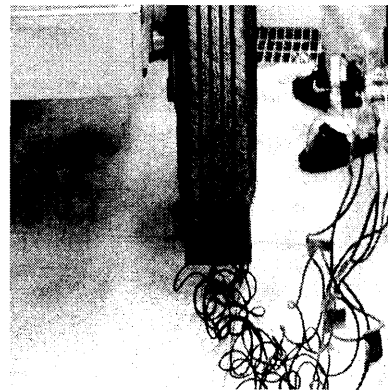


그림 11. 축중측정 (축중계)

시편은 일반 보 실험과 달리 슬래브(평판)형태이므로 양단 지지조건에 따라 최대치를 발생시키는 위치를 명확히 찾아내기 힘들고 이론과 실험의 차이로 인하여 측정을 위한 배치 형태를 결정하는데 있어서 여러 가지 방법을 도출하여 검토한 결과 차량의 중심선과 시편의 중심선이 일치하는 경우 차량의 바퀴 배치로 인하여 단일 집중 하중에서 쉽게 알 수 있는 최대모멘트 발생 지점과는 일치하지 않으나, 실험차량 및 구동부분의 자중으로 인하여 자연스럽게 정지가 되는 위치가 차량의 중심선과 시편의 중심선이 일치하는 부분이었으므로 실험의 편의성과 함께 매회 측정시 정밀도를 도모하기 위하여 이와 같은 위치를 결정하였다. 정적실험은 대상 시편의 처짐은 3절의 구조 해석시 사용한 지점과 동일하게 각 패널의 중심부에서 측정되었다. 대상 시편의 최대 처짐부에서는 패널 양측의 거더 중앙부에 대한 처짐량을 동시에 측정하였다.

## 2) 운하중 실험

그림 7의 운하중 실험기를 이용하여 차량을 대상 시편 상에서 반복적으로 주행하였다. 차량과 대상 시편의 상호작용 효과로 인한 추가 효과는 차량의 주행상태가 안정된 이후의 효과와 차량의 주행 개시 및 주행 후 정지 상태로 변화하는 경우의 효과가 차이를 보일 가능성이 있다. 또한 범용 해석 프로그램을 이용한 3절의 해석 조건도 차량이 안정적으로 주행함을 가정하였기 때문에 해석결과와 실험결과의 비교 분석을 위하여 적당한 횟수를 주행한 후 반응이 안정화 되어 일정한 반응을 보이는 경우에 계측을 수행하였다. 계측은 정적재하 실험과 동일한 위치에서 수행하였다.

# V. 운하중 실험 결과

## 1. 축중 검증실험

본 실험에서는 축중을 파악하기 위해서 로드셀 6개를 이용하여 병렬로 연결, 타이어의 접지 상태에서 접지면에 대한 접지압의 분포를 파악한 후 접지압의 합력이 파악하고자 하는 총 축중으로 판단하고자 하였다. 축중은 실험차량의 동일한 하중 상태에서 재하되는 위치의 타이어에 대한 종방향 6열 배치로, 타이어의 외측에서 내측으로 폭 15cm의 접지압 분포를 나타내게 되며, 이를 각각 전, 후륜을 측정하였다. 또한 각각의 측정은 3회씩 수행되었다. 로드셀 6개를 이용한 축중 검증실험의 결과는 다음 표 3과 같다. 각 로드셀의 번호는 타이어 외측에서부터 내측의 방향으로 부여되었다. 차량의 재하시 사용한 강재 블록의 위치 및 각 블록의 중량의 정밀도를 규명하기 위하여 각 축중의 검증대상 4.00tonf을 기준으로 전,후륜 공히 50% 분배되

는 위치에 적재 후 실험을 수행하였다. 표 3에서 실험결과 전, 후륜 편측하중의 합계는 2069.5kgf 이며, 이는 검증 하중인 4.00tonf 의 52%에 해당하는 값이다. 이로서 적재 위치 및 이에 따른 재하 하중의 정확도를 검증할 수 있었다.

표 3. 축중 검증실험 결과

(단위 : kgf)

구분	1	2	3	4	5	6	합계
전륜	175.15	168.58	166.63	189.95	165.17	170.63	1037.1
후륜	178.06	168.97	162.86	172.68	180.73	169.07	1032.4

## 2. 정적하중 재하실험

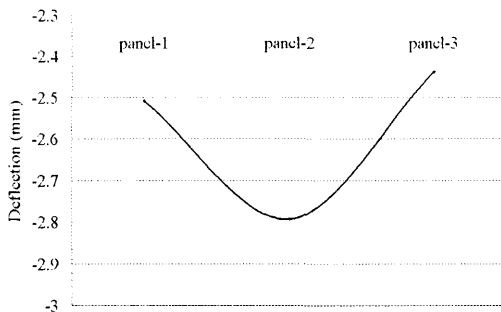


그림 12. 교축방향 실험시편 각 패널 중앙부 처짐

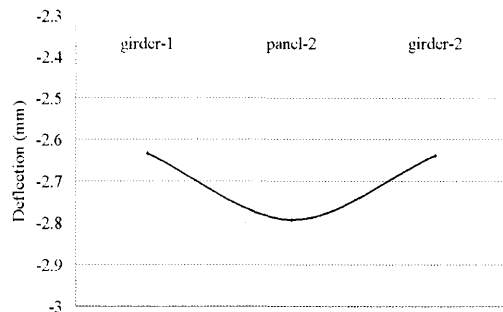


그림 13. 교축 직각방향 실험시편의 패널2 처짐

정적하중 재하실험의 결과가 그림 12와 그림 13에 나타나 있다. 그림은 시편의 길이방향(즉, 패널1, 패널2, 패널3의 중앙부 처짐) 및 너비 방향(즉, 패널2의 좌측 거더 하부, 패널2 중앙부, 우측 거더 하부의 처짐)에서의 실험결과이다. 여기서 중앙부 시편(패널2)의 처짐은 일반적으로 시간중앙의 최대 처짐을 나타내며 정적실험의 특성상 하중이 정지한 상태에서 순수 재하실험의 형태를 띠어 처짐의 변동이 거의 없이 일정한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 처짐을 분석하면 중앙부(패널2)와 내측부(패널1), 외측부(패널3)의 처짐이 각각 차이를 두고 발생되며 그중 시간 중앙부를 기준으로 내측이 외측에 비하여 약간의 차이를 두고 정중앙에 처짐이 발생됨을 알 수 있었다.

### 3. 윤택중 재하실험

그림 14와 그림 15는 4.3.2절의 실험방법을 따라 일정횟수 주행 후 반응이 안정된 상태의 각 패널 중심점의 처짐량을 나타낸다. 정적하중 재하시와 달리 각 패널 중심의 최대 처짐은 차량의 주행에 따라 일정한 시간 간격을 두고 발생하게 된다. 또한 panel 1 과 panel 3로 나타난 지점부 패널에 주행조건에 따라 panel 2로 나타난 중앙점의 처짐보다 더 큰 처짐이 관찰되기도 한다. 실동 차량과 마찬가지로 본 실험에 사용된 차량을 이용한 윤택중 실험기는 이동하는 하중으로 인하여 일시적인 무재하 상태를 반복하면서 최대반응과 최소반응의 차이가 시간에 따라 재하시와 무재하시 상이한 결과를 보이게 된다.

그림 15는 중앙부 패널 2에서 패널 1로 차량이 진행한 후 방향이 바뀌는 순간의 각 패널 중심점의 처짐량이다. 본 실험장치와 같이 2륜차량을 이용하는 경우는 그림에서와 같이 연속되는 반응을 보이게 된다. 그림 후반부의 두개의 피크는 차량 주행시 발생하는 차량과 대상물의 상호작용 효과에 의한 커플링 현상을 보여준다. 이 경우는 실험장치의 특성상 각 주행마다 발생하는 방향 전환시의 결과로서 실동 하중 재하시 차량의 출발 혹은 정지등으로 인해 빈번한 발생이 예상되는 현상이다. 따라서 본 실험에 사용된 윤택중 실험장치는 실제 주행차량과 대상 구조물의 상호 작용효과를 모사가 가능함을 판단할 수 있다.

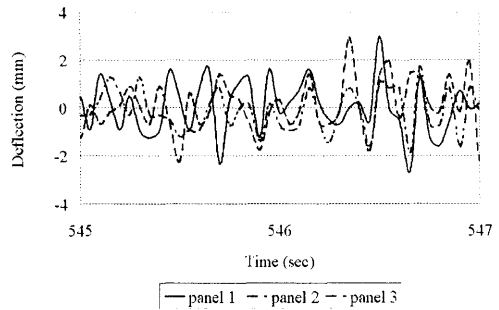
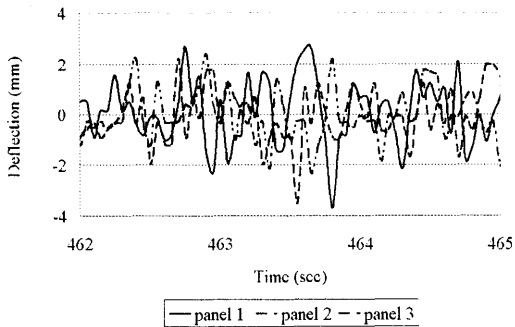


그림 14. 윤택중에 의한 각 패널 중앙부의 처짐

그림 15. 윤택중에 의한 각 패널 중앙부의 처짐

그림 15에서와 같이 커플링의 발생순간 전후의 반응은 패널 2의 처짐량을 기준으로 1/5 초 사이에 -0.529 mm 에서부터 3.029 mm 까지 약 570%의 증가를 보이는 경우가 발생하게 된다. 이와 같은 반응은 실제 차량 주행시 예측이 가능한 반응으로서 좀 더 현실조건에 근접한 반응을 재현함을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 현실적인 여러 가지 제약으로 인하여 명확한 규명이 어려운 차량의 주행으로 인한 차량과 대상구조물의 상호작용에 의한 효과를 단위길이별 이동재하 방법과 이동하중이론이 도입된 범용해석 프로그램의 해석결과와 실제차량과 근접한 형태의 차량을 이용한 운하중 실험을 통하여 비교 분석하였다.

단위길이별 이동재하 방법의 경우는 차량의 주행으로 인한 효과의 파악에는 적합치 않으며, 단순히 정적 하중의 재하 점 변경으로 인한 효과만을 보였다.

이동하중 이론이 도입된 범용 해석의 경우 기존의 정적 해석방법으로는 규명하기 어려운 차량의 진행에 따라 연속적으로 발생하는 반대방향의 반응을 규명할 수 있었다. 이러한 해석 방법은 실제 발생하는 상호작용효과를 정밀하게 규명할 수 없으나, 기존의 방식으로 고려되기 어려운 상반되는 반응의 경향을 규명할 수 있다. 그러나 이와 같은 반응은 차량 자체의 여러 방향의 진동을 고려하지 못하므로, 실주행시에 차량과의 상호작용으로 인해 발생하는 반응의 급격한 증가는 파악이 불가능 하다.

실동 차량과 흡사한 실험차량을 이용한 운하중 실험의 경우 범용해석 프로그램과 동일한 경향뿐만 아니라 특정한 경우 발생하는 상호작용에 의한 반응의 증가가 나타나며, 좀 더 정밀한 차량 주행 시 차량과 대상물의 상호작용 효과를 재현할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. 곽효경, 서영재, 정찬목, 박영하(2004), "강합성 상자형 교량의 바닥판 타설 에 따른 거동 연구(I) - 해석모델 및 현장실험 -", 『한국강구조학회논문집』, 제4집.
2. (주)대우건설, 서울대학교(2000), "한국도로공사, 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화", 건설교통부 '96연구개발사업 최종보고서: 2000-2.
3. 심창수, 이필구, 장성욱, 장승필(1999), "프리캐스트 바닥판을 갖는 강-콘크리트 합성 보의 정적 및 피로거동", 『대한 토목학회 논문집』, 제5집, pp.851-862.
4. 윤석구, 심창수, 정철헌, 장승필(1998), "프리캐스트 교량 바닥판에 대한 종방향 프리스트레싱력의 산정방법", 『대한 토목학회논문집』, 제18권 제16호, pp.799-810.
5. 최규용, 심창수, 장승필, 김영진(1999), "프리캐스트 합성형 교량바닥판의 장기거동", 대한토목학회 학술발표회, pp.121-124.
6. 한국건설기술연구원(KIST) (2002), "장수명 합리화 바닥판 개발Ⅱ(1차년도)", 건기연 연구보고서: 2002-050
7. (주)대우건설, 세종대학교, 한국도로공사(2005), "승용차 전용 조립식 고가도로 건설기술개발", 건설교통부 건설기술 연구개발 보고서: 2005. 12
8. Baidar bakht, and Clifford Lam(2000), "Behavior of Transverse Confining Systems for Steel-Free Deck Slabs", Journal of Bridge Engineering, ASCE, Vol.5, No.2, pp.139-147.
9. Kim, Y. and Park, J. (2002) Shear Strength of Grout Type Transverse joint, KCI Concrete Journal, Vol.14, No.1, pp.8-14.
10. Matsui, S. (1997) Technology Development for Bridge Deck, -Innovations on Durability and Construction-, Journal of Bridge and Foundation Engineering, Vol.31, No.8, pp.84-94.

논문접수일 : 2006년 11월 3일  
심사의뢰일 : 2006년 11월 8일  
심사완료일 : 2006년 12월 9일