

충격에너지 장치를 이용한 노상토의 다짐관리



박 태 순 | 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 부교수
 진 명 섭 | 정회원 · 한남대학교 토목환경공학과 교수
 김 찬 우 | 정회원 · 서울산업대학교 대학원

1. 머리말

도로의 기초가 되는 노상(subgrade)은 상부 포장체와 일체로 구성되어 포장체에 작용하는 교통하중에 대해 충분한 지지력은 물론, 강성을 지님으로서 수직 침하량을 줄일 수 있어야 한다. 노상의 지지력은 적절한 재료의 선택과 상대다짐도나 지지력계수에 의해 평가되는데 국내의 현장에서는 노상재료의 다짐도 측정을 위해 들밀도시험과 지지력 평가를 위해서 평판재하시험을 사용하고 있다.

현재 가장 보편적으로 사용되고 있는 평판재하시험은 반력의 확보를 위해 중차량의 반입이 반드시 필요하고, 시험소요시간이 길며 절차가 번거롭고 시험자의 숙련도에 의해 결과가 좌우되는 단점이 있다. 또한 일정 횟수 이상의 로울러 주행과 검사의 반복을 통해 다짐도를 확인하므로 많은 시간과 노력이 필요하며, 과다짐을 유발할 가능성이 있어 실제 시공현장에서 공사관리상 애로사항이 되기도 한다.

이에 따라 보다 신속하고 간편하게 다짐 정도를 평가할 수 있는 새로운 다짐관리 방법에 대한 필요성이

제기되면서, 최근에 해머나 추를 낙하시켜 하중, 변위, 또는 가속도 등을 측정하여 다짐도를 평가하고자 하는 기법 및 장비들이 개발되어 선보이고 있다. 따라서 본 기사에서는 충격 에너지를 이용한 대표적인 장비들과 이를 이용하여 지반의 다짐도와 지지력계수를 측정하는 방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 충격 에너지를 이용한 시험장비

2.1 개요

충격 에너지를 이용한 시험법은 자유낙하 시킨 낙하 추(falling weight)에 의해 발생하는 충격으로부터 하중과 처짐을 측정하여 지반의 지지력이나 다짐도를 평가하는 시험방법이다. 노상, 축제, 기초 등의 지지력이나 다짐도를 평가하기 위해 실시되는 전형적인 시험방법인 현장 CBR(California Bearing Ratio)시험과 평판재하시험은 많은 위치에서 시험이 필요하나, 현장에서의 시간적 한계로 인해 관측점의

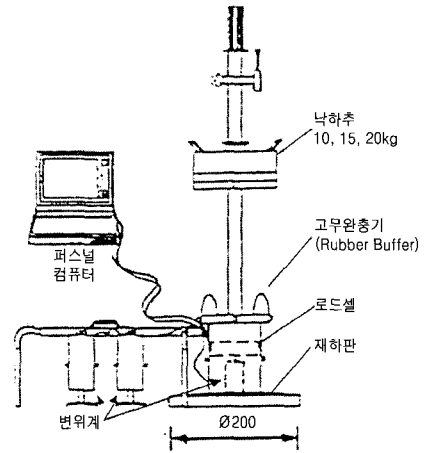
수가 제한적일 수밖에 없다. 그러나 본 방법의 경우 종래의 방법에 비하여 신속하고 간편하며, 장소의 제약을 받지 않는다는 장점이 있다. 즉, 시험을 위한 최소한의 공간만 있으면 시험이 가능하여 차량이 접근하기 곤란한 뒷채움 지역, 시추공과 같이 큰 재하 장치가 접근하기 힘든 지역에서도 시험이 가능하다. 따라서 충격 에너지를 이용한 시험법이 기존 다짐관리 기법의 대안이 되고있다.

2.2 시험장비의 종류

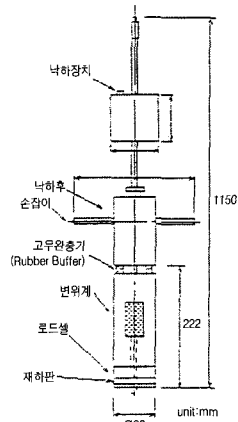
충격 에너지를 이용한 시험장비에는 덴마크의 Carl Bro Pavement Consultants사에서 제작한 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer), 일본에서 개발한 HFWD(Handy Falling Weight Deflectometer), 그리고 독일에서 개발된 동평판재하시험기(Dynamic Plate Load Test with Lightweight Drop-Weight Tester)가 있다.

LFWD는 간편식 충격하중에 의한 처짐을 측정하며, 최대 처짐과 최대하중 관계곡선에서 탄성계수를 추정하는 시험장비이다. LFWD는 콘크리트포장, 아스팔트포장, 쇄석기층, 노상 등의 광범위한 도로 및 지반에 대하여 탄성계수를 산출해 낼 수 있다. 또한, 다양한 소프트웨어가 제공되고 있어서 현장에서 노트북 컴퓨터를 LFWD와 연결하여 시간변화에 따른 처짐량과 탄성계수를 산정해 낼 수 있는 최신형 장비라 할 수 있다. HFWD는 LFWD와 마찬가지로 낙하 추를 낙하시켜 발생하는 충격하중과 변형을 측정하여, 그 하중과 변형과의 관계로부터 탄성계수를 추정하고 이 탄성계수를 변환하여 구한 지지력계수 값으로 다짐도를 평가한다. 동평판재하시험기는 CBR이나 평판재하시험을 대체할 목적으로 독일에서 개발된 시험장비이며, 직경 30cm의 재하판 위에 10kg의 낙하 추를 자유낙하시켜 지반의 최대 침하량을 측정함으로써 동적탄성계수 E_{vd} (MPa)를 측정하여 다짐도를 평가한다.

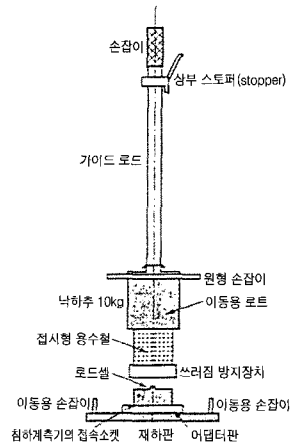
시험 장비중 LFWD는 가장 최신의 장비로서 신뢰



(a) LFWD(덴마크)



(b) HFWD(일본)



(c) 동평판재하시험기(독일)

그림 1. LFWD, HFWD 및 동평판재하시험기의 개략도

성 있는 시험결과와 다양한 해석 방법, 기초지반의 강성에 따른 재하판(10cm, 20cm, 30cm)을 조절하여 사용할 수 있어 향후 많은 사용이 예상된다.

2.3 장비의 제원 비교

충격 에너지를 이용한 시험장비인 LFWD와 일본에서 생산한 HFWD, 그리고 독일에서 개발된 동평판시험기의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 개념과 모양이 거의 비슷한 것을 알 수 있다. LFWD는 센서가 부착된 재하판, 하중낙하장비, 전자 칩하 측정장비 및 데이터 출력장비로 구분할 수 있다. 변위계(deflection sensor)는 재하판 위에 장착되어 있으며 추가적으로 변위계를 설치하여 사용하기도 한다. 이 장비는 10kg, 15kg, 20kg의 낙하 추를 가지고 있으며, 최대 낙하고는 90cm이다. 로드셀의 정밀도는 $1\% \pm 0.1kN$ 이며 변위계의 정밀도는 $\pm 2\%$ 이상이다. HFWD 및 동평판재하시험기의 제원은 LFWD 제원과 비교하여 표 1에 나타내었다.

표 1에서 LFWD와 HFWD의 경우 재하판의 직경과 낙하 추의 무게가 여러 종류로 분류되어 있는데 반하여, 독일에서 개발한 동평판재하시험기의 경우 재하판의 직경을 30cm, 낙하 추의 무게를 10kg으로

고정시켜 놓은 것을 알 수 있다. 그리고 HFWD의 경우 속도계를 사용하여 속도를 측정하고, 측정된 속도를 적분하여 최대 변위를 산정 한 후 이로부터 탄성계수를 산출해낸다. 이에 반해, LFWD와 동평판재하시험기의 경우 가속계를 사용하여 가속도를 측정하고, 측정된 가속도의 이중적분을 통하여 최대 변위를 산정 한 후 탄성계수를 산출한다.

3. LFWD 시험

3.1 LFWD 시험장비 원리

LFWD 시험은 자유 낙하시킨 추로 인해 발생하는 충격으로 하중과 처짐을 측정하여 탄성계수를 산출하는 방법이다. 낙하 추를 고정 손잡이에 고정시킨 후, 자유낙하시켜 등분포에 가까운 하중을 고무 완충기에 가한다. 이때 가해진 충격력은 재하판을 통해 표면에 전달되고, 표면에서 일어난 변형은 재하판 중앙에 위치한 변위계를 통하여 컴퓨터로 전송된다. 컴퓨터로 전송된 데이터는 즉시 내장된 프로그램에 의해 분석되어 탄성계수 등의 산출결과를 화면상에 출력시켜준다. LFWD는 기본적으로 재하판 중앙에 위치한 변위계 외에 2개의 변위계를 추가로 연결하여

표 1. 충격 에너지를 이용한 시험장비의 제원 비교

장 비 명	LFWD	HFWD	동평판재하시험기
재하판의 직경(cm)	10, 20, 30	9, 20, 30	30
낙하 추의 무게(kg)	최대 20 까지	최대 15 까지	10
낙하고(mm)	50~900	50~380	50~900
최대 처짐량(mm)	2.5	2	5
변위계의 종류	가속도계	속도계	가속도계
측정항목	하중, 재하시간, 가속도, 변위(가속도의 적분)	하중, 변위(속도의 적분)	하중, 가속도, 변위(가속도의 적분)
평가치	탄성계수/최대처짐	탄성계수	탄성계수
시험결과 기록장치	퍼스널 컴퓨터	전용 출력장치	데이터 출력장치

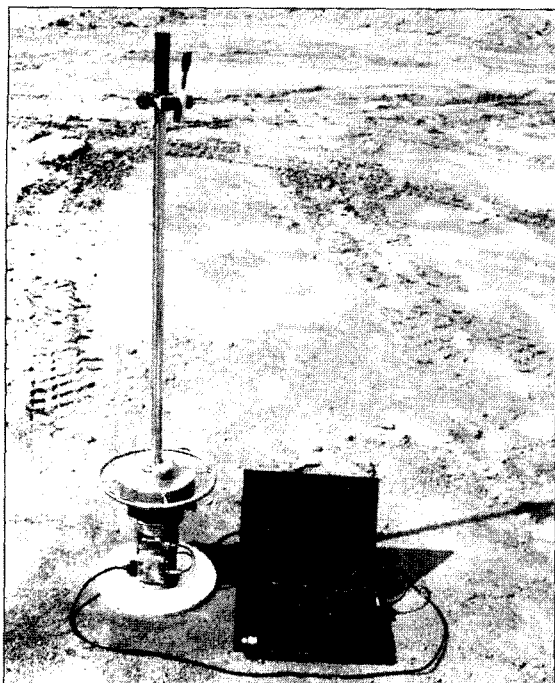


그림 2. LFWD 시험장비와 결과분석 장비

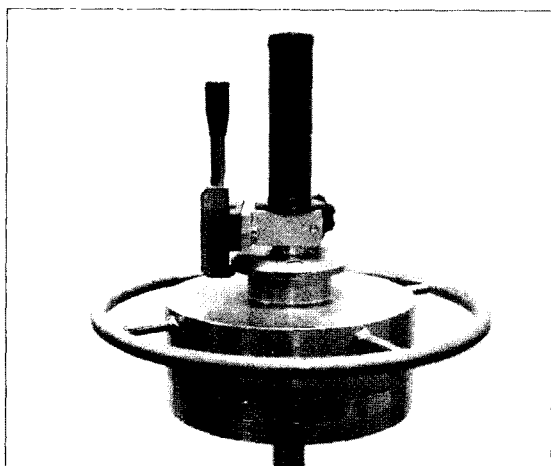


그림 3. 고정 손잡이와 낙하추

해석을 수행할 수 있도록 되어있다. 그림 2는 LFWD의 시험장비와 결과분석 장비를, 그림 3은 낙하 추를 고정 손잡이에 고정시킨 모습을 보여 주고 있다. 그림 4는 고무완충기(rubber buffer)와 재하 판의 모습이다.

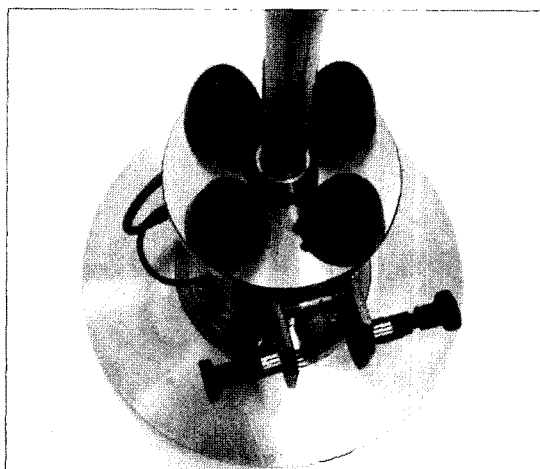


그림 4. 고무 완충기와 재하판

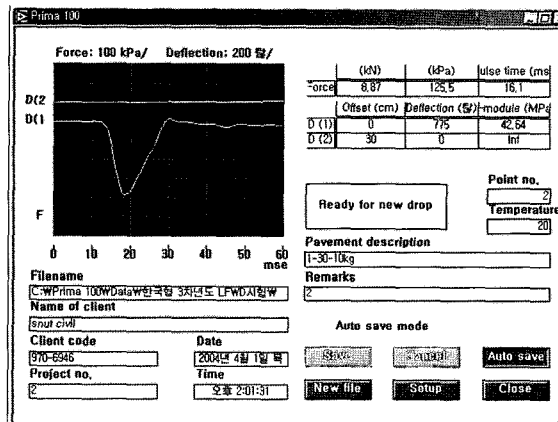


그림 5. LFWD 시험결과의 출력화면

그림 5는 LFWD 시험 결과의 출력화면이다. 그림의 왼쪽 상단은 재하시간에 따른 하중과 처짐과의 관계를 나타내고 있으며, 그림의 오른쪽 상단은 시험결과를 분석한 것으로서 하중, 응력, 재하시간, 변위계의 떨어진 거리, 최대 처짐량, 탄성계수 등의 산출 결과를 보여주고 있다.

LFWD의 재하판은 직경의 크기가 10cm, 20cm, 30cm의 3가지가 있으며, 재하판의 선택은 시험하는 층을 구성하는 재료의 종류에 따라 결정된다. 표 2는 층의 종류에 따른 재하판이 적용되는 직경을 나타내고 있으며, 표 3은 층의 종류에 따른 탄성계수의 기대치 범위를 보여주고 있다.

표 2. 층의 종류에 따른 재하판의 직경

재하판의 직경 (cm)	층 종류
∅ 30	노상, 노반, 매립층, 보조기층, 자갈 기초층
∅ 20	자갈 기초층, 연약도로 구조물
∅ 10	강성도로구조물

표 3. 층의 종류에 따른 탄성계수의 기대치 범위

층 종류	기대치 범위(MPa)
노상	5 ~ 60
보조기층	25 ~ 75
사력층	40 ~ 125
쇄석기층	60 ~ 150
아스팔트 표층	100 ~ 300

3.2 LFWD의 시험방법

먼저 측정하고자 하는 위치를 현장에서 정한다. 일단 측정할 위치가 결정되면 다음과 같은 순서로 측정을 실시한다.

- ① LFWD를 측정하고자 하는 층 표면에 위치시킨다. 이때 LFWD 조작자는 시험 전에 층 표면에 측정할 위치를 표시하고 정확한 위치를 포착하여 시험을 실시하여야 한다.
- ② 정확한 위치가 포착되면 LFWD 작동 프로그램을 열고 시험자의 이름, 시험장소, 날짜, 층의 종류, 시험 방법, 기후 조건 등 간단한 메모를 기록한다.
- ③ 실제 측정 전에 낙하 추를 약 3회 정도 낙하시켜 재하판에 예비하중을 가한다. 예비하중을 가하는 목적은 고무완충기(재하판에 하중을 가하는 고무)가 원활하게 작동하도록 준비 운동을 시키는 과정이며, 재하판의 안정화를 위하여 실시한다.
- ④ 준비가 완료되면 하중을 작용시킨다.
- ⑤ 시험이 완료되면 파일이름을 정하여 저장하고,

시험결과를 분석하여 탄성계수와 지지력계수 등을 산출하여 다짐도를 평가한다.

3.3 LFWD 시험에 의한 다짐관리

「한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구」에 관련하여 서울산업대학교에서는 LFWD 시험에 의해 산출되는 탄성계수와 지지력 계수를 이용하여 포장 하부구조의 다짐관리 기법 개발 및 현장 검증 등을 통한 다짐관리 기준 제시를 위하여 연구수행 중에 있다.

4. HFWD 시험

4.1 HFWD 시험장비 원리

HFWD는 일본에서 최근 개발된 현장시험장비로 낙하 추를 임의의 높이에서 자유 낙하시켰을 때 발생하는 충격하중과 변형을 측정하여, 그 하중과 변형과의 관계로부터 탄성계수를 추정하고, 다시 탄성계수를 변환하여 평판재하시험과 동일한 지지력계수 k 값을 산정하여 다짐도를 평가한다. 충격하중의 최대치는 식 (1)에 의해서 산출되며, 낙하질량은 정해져 있으므로, 충격하중의 크기는 버퍼(고무완충기)정수의 영향에 의하여 결정된다. 버퍼의 강성이 충격하중에 영향을 미치는 요인에 대해서는 시험과 해석에 의해 검토되고 있으며, 버퍼의 강성이 커질수록, 충격하중은 커지고 재하시간이 짧아지는 경향이 있다.

$$F_{max} = \sqrt{2MgHR} \quad (1)$$

여기에서, F_{max} : 충격하중의 최대치(N)

M : 낙하 추의 질량(kg)

g : 중력 가속도(m/s²)

H : 낙하고(m)

R : 버퍼정수(N/m)

4.2 HFWD의 시험방법

한 측정점에서 낙하 추의 낙하횟수는 5회 이상으로 한다. 이것은 첫 번째 낙하에 의한 측정치는 재하판과 지반면과의 접합이 불안정하여 측정치가 균일하지 않기 때문이다. 최초의 낙하를 예비낙하로 하고 두 번째 이상의 하중과 침하량을 측정데이터로서 기록한다. 강우 시 혹은 강우직후의 측정은 지반의 강성을 올바르게 평가할 수 없으며, 시험기에 대해서도 바람직하지 않기 때문에 피하는 것이 좋다. HFWD의 시험은 다음과 같은 순서로 실시한다.

- ① 측정위치의 지반면을 평탄하게 고른다.
- ② 측정위치에 HFWD를 설치한다.
- ③ 낙하 추를 소정의 높이로부터 자유낙하시켜, 이 때 발생하는 최대하중과 변위량을 기록한다. 하중의 단위는 (kN)으로 하고, 침하량의 단위는 (mm)로 한다.
- ④ 측정위치에서의 낙하 추 낙하높이는 3단계이상을 설정한다. 낙하높이에 따라 변위량이 변하게 낙하 추를 재하하여, 재하판 직경이 30cm일 경우 변위량이 1.25mm가 되는 하중강도를 구한다.(재하판의 직경이 20cm일 경우 0.833mm, 재하판의 직경이 9cm일 경우 0.375mm)
- ⑤ 낙하높이는 낮은 높이에서부터 시험을 실시한다.
- ⑥ 같은 낙하높이에 대하여 5회 이상 낙하 추를 낙하시킨다. 지반이나 포장 등 대상물을 평가할 수 있지만, 대상물의 강도가 높으면 변위량이 작아지기 때문에 재하판을 변경하여 측정하는 것이 바람직하다.
- ⑦ 측정결과를 이용하여 탄성계수와 지지력 계수를 산정하여 다짐도를 평가한다.

4.3 HFWD에 의한 다짐관리

일본에서는 HFWD를 이용한 다짐관리를 실시하기 위하여, 지속적으로 연구 중에 있다. HFWD 시험결과에 의해 탄성계수 및 지지력계수 k 값을 산정

하여 다짐도를 평가한다. HFWD에 의한 평가법에서 k 값의 산정은 재하판의 직경이 9cm일 때, 변위량은 평판 재하 시험의 k_{30} (재하판 직경 30cm)의 계산에 이용하는 변위량 1.25mm의 값에 재하판의 직경 비율을 곱한 0.375mm이다. 또한 k 값은 재하판 직경에 반비례하므로, 그 영향에 대해서도 고려하여 식 (2)에 의해 HFWD에서의 k 값(이하 k_{HFWD} 값)을 산출한다.

$$k_{HFWD} = \left[\frac{P_{0.375}}{\delta_{0.375}} \right] \cdot \left[\frac{D_9}{D_{30}} \right] \quad (2)$$

여기서, k_{HFWD} : HFWD에 의한 k 값

$P_{0.375}$: 변위량 0.375mm일 때의 재하응력

$\delta_{0.375}$: 변위량 0.375mm

D_9, D_{30} : HFWD 평판재하시험의 재하판 직경

k_{30} 값과 k_{HFWD} 값의 관계는 지반의 종류에 따라 다르며, 강성이 낮은 점성토 지반에서는 1:1 관계에 있고, 사질토 지반에서는 1:1.5의 관계, 그리고 입상노반재 처럼 강성이 높은 지반에서는 1:2의 관계가 있다고 보고되고있다^{(8),(9)}.

5. 동평판재하시험

5.1 동평판재하시험기의 원리

독일에서 표준시험법으로 채용되고 있는 동평판재하시험기는 도로공사 중 노상, 입상기층의 재하시험을 통하여 동적탄성계수(E_{vd} , MPa)를 구함으로써 신속한 조사를 수행할 수 있다. 재하시험으로 구한 탄성계수를 이용하여 골재, 재활용재료, 뒷채움재료, 생석회 다짐재료로 이루어진 노상, 입상기층의 지지력 계수로 환산할 수도 있다. 그림 6은 동평판재하시험기의 전체 모습을 보여준다.

이 시험법은 최대 입경 63mm이내의 조립토 지반에 적합하고 동적탄성계수가 150~800 kg/cm²인

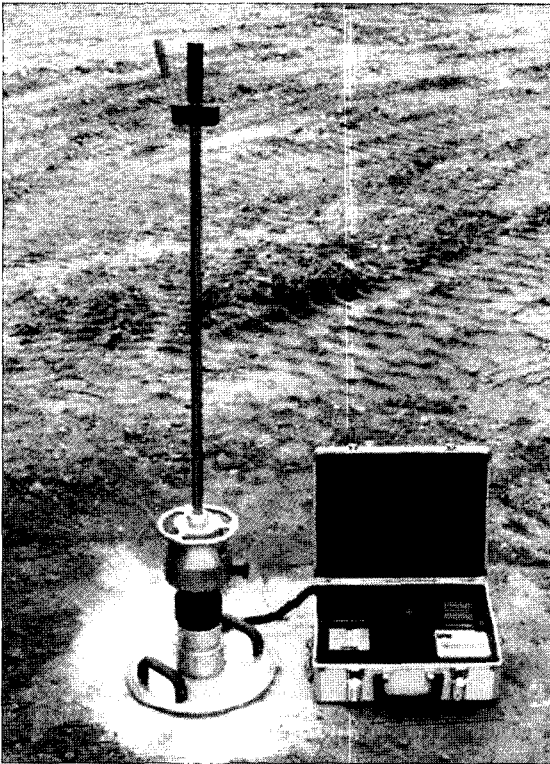


그림 6. 동평판재하시험기의 전경

도로, 철도 및 기초의 다짐관리용으로 사용되고 있다. 낙하 추의 하중은 시험되는 충격하중의 범위에서 감쇠 시스템을 통하여 작용되며, 탄성계수는 처짐 측정과 기록된 하중에 의해서 산출된다. 동적탄성계수는 지반의 지지력과도 관련이 있으며, 시험깊이는 재하판 직경의 약 1.5배정도인 40~50cm 정도이다. 재하판은 전체적으로 지지되어야 하며, 기울어져 있어서는 안 된다. 시험현장 표면의 기울기는 5%까지 허용되며, 3회 측정으로부터 구한 침하량을 평균하여 아래의 식 (3)과 같이 동적탄성계수 (E_{vd})를 구한다.

$$E_{vd} = \frac{22.5}{\text{평균침하량}} \quad (3)$$

독일의 구조설계에서는 평판재하시험을 2회 실시하여 노상 지지력을 평가하고, 여기서 구한 정적탄성계수를 설계에 반영하고 있는데, 식 (4)를 이용하면 동평판재하시험에서 구한 동적탄성계수 (E_{vd})를 정적

탄성계수 (E_{v2}) 값으로 환산할 수 있다.

$$E_{v2} = 600 \times \ln \left[\frac{300}{300 - E_{vd}} \right] \quad (4)$$

식 (3)과 (4)를 이용하여 구한 동적탄성계수 (E_{vd})와 정적탄성계수 (E_{v2})의 관계를 표 4에 나타내었으며, 이는 토공을 위한 기술장비 요구사항인 독일시방서 ZTVE-StB 94에 기재되어 있다. 특히 $E_{v2}/E_{vd} \geq 2.5$ 이거나, 동적탄성계수가 적정 수치에 도달하지 않았을 경우에는 재다짐이 필요하다. 또한 독일기준 (ZTVA-StB 97)에 따르면 점착성 토질에 대해서는 추가적으로 함수비의 검토가 필요하다고 보고하고 있다.

표 4. 정적탄성계수와 동적탄성계수의 관계

정적 탄성 계수 ($E_{v2} = MPa$)	동적 탄성 계수 ($E_{vd} = MPa$)
180	80
150	70
120	55
100	45
80	40
60	30
45	25
20	15

5.2 동평판재하시험의 시험방법

먼저 측정하고자 하는 위치를 현장에서 정한다. 특히 다른 다짐관리 시험과 연계하여 시험을 실시할 경우, 측정값이 다른 시험에 의해 영향을 받을 수 있으므로 최소 30cm 이상 떨어져서 시험을 실시한다. 측정할 위치가 결정되면 다음과 같은 순서로 시험을 수행한다.

- ① 재하판을 시험위치에 수평으로 설치한다.
- ② 낙하 추를 가이드 로드 상부에 있는 고정 손잡이에 건다.

- ③ 재하판의 안정화를 위해 본 실험 전에 낙하 추를 3회 낙하시킨다.
 - 가이드 로드를 수직으로 세운다.
 - 낙하 추를 낙하시킨다.
 - 리바운드 되는 낙하 추를 잡아서 고정 손잡이에 건다.
- ④ 시험장비와 출력장치를 연결한다.
- ⑤ 연결 후 낙하 추를 3회 낙하시키고 결과치를 기록한다.
- ⑥ 3회 측정에 대한 평균 침하량과 동적탄성계수를 산출한다.
- ⑦ 산출된 동적탄성계수를 바탕으로 노상의 다짐도를 판정한다.

5.3 동평판재하시험에 의한 다짐관리

표 5는 독일 시방서에서 명시한 지반 조건에 따른 다짐도와 탄성계수와의 관계를 나타내고있다. 시험

현장의 지반 재료종류 및 상태를 파악한 후, 동평판재하시험을 실시하여 동적탄성계수를 산정하고, 이에 따른 다짐도를 판정할 수 있다.

6. 맺음말

본 고에서는 노상도의 효율적인 다짐관리를 위하여 사용되는 충격 에너지 시험 장치인 LFWD, HFWD, 그리고 동평판재하시험기를 이용하여 지반의 탄성계수와 지지력 계수를 산정하는 방법과 다짐도를 평가하는 원리에 대하여 소개하였다.

독일에서는 동평판재하시험기를 이용하여 도로 노상의 다짐관리를 실시하고 있으며, 가까운 일본에서도 HFWD를 사용한 노상의 다짐관리 실시 단계에 있다. 우리나라에서도 공학적 이론에 근거하여 보다 합리적이며 효율적으로 포장하부 구조의 다짐도를 평가하기 위한 새로운 다짐관리 기법이 요구되고 있

표 5. 다짐도(Proctor, D_{pr})와 정적·동적탄성계수의 관계

	다짐도 D_{pr}	정적탄성계수	동적탄성계수
DIN 18 196 규정	%	E_{v2} (MPa)	E_{vd} (MPa)
GW, GI	≥ 103	≥ 120	≥ 60
	≥ 100	≥ 100	≥ 50
	≥ 98	≥ 80	≥ 40
	≥ 97	≥ 70	≥ 35
GE, SE, SW, SI	≥ 100	≥ 80	≥ 40
	≥ 98	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 60	≥ 32
혼합지반과 미세입자 지반	≥ 100	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 45	≥ 25
	≥ 95	≥ 30	≥ 20

1) GW, GI, GE : 자갈
SW, SI, SE : 모래
2) GW, GI, GE : $\leq 0.06\text{mm}$ 5% 이하, $\leq 2\text{mm}$ 40% 이상
W : 느슨 I : 중간 E : 조밀
3) SW, SI, SE : $\leq 0.06\text{mm}$ 5% 이하, $\leq 2\text{mm}$ 40% 이하

주1) DIN 18 196 규정 : 독일 공업규격 동평판재하 시험

으며, 이에 국·내외에서 관심이 고조되고 있는 LFWD를 활용한 노상의 다짐관리에 대하여 연구 수행중이다. 이러한 장비가 향후 우리 나라에서 포장하부 구조의 다짐도를 평가하기 위한 다짐관리 기법으로 활용되기 위해서는 적절한 평가방법의 수립, 지속적인 현장적용과 검증을 통하여 다짐관리의 기준이 제시되어야 한다. 다짐관리를 위한 새로운 대안으로써 LFWD가 유용하게 활용될 수 있도록 「한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구」에서 연구 수행중이다. 1차 연구결과는 2004년 12월 경에 발표될 예정이다.

참고문헌

1. 건설교통부, (2000), “도로설계편람(Ⅱ)”, 한국건설기술연구원, pp.405-1~405-11
2. 임해식, 박용부, 김정수, (2003), “지내력 기초에서의 크기효과(Scale Effect) 적용방안에 관한 연구”, 대한주택공사 주택도시연구원, pp.1~97
3. 박태순, 최준성, 박재균, (2001), “회복탄성계수 측정을 위한 Portable FWD의 활용”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.1~4

4. 한국건설기술연구원, 경희대학교, (2003), “포장하부구조 다짐관리 기준정립”, 건설교통부, pp.E1-1~E1-98
5. Carl Bro Pavement Consultants, (2001), “User’s Manual PRIMA 100”, Carl Bro Intelligent Solutions, pp.1~16
6. Masaki Kamiura, Etsuo Sekine, Nagato Abe, Teruhiko Maruyama, (2000), “Stiffness evaluation of the subgrade and granular aggregates using the Portable FWD”, Unbound Aggregates in Road Construction, Dawson, pp.217~223
7. Road Construction & Maintenance and Transport, (1997), “General Administrative Order for “Road Construction Technology” No. 6”, ZTVA-StB 97
8. 阿部長門, 上浦正樹, 關根悦夫, (2003), “小型 FWDによる支持力評?とその適用事例(1)”, 舗装 38-1, pp.13~17
9. 日本舗装工學會(2000), “路上·路盤の支持力評價方法”, 日本舗装工學會誌 35-12, pp.15~18

회비 납입 안내

회원 여러분께서 납부하시는 회비는 학회 운영의 소중한 재원으로 쓰이고 있습니다. 회원 제위께서는 체납된 회비를 납부하시어 원활한 학회운영에 협조하여 주시기 바랍니다.

- 회비납부는 한미은행 : 102-53510-243
- 찬조금은 한미은행 : 102-53512-294
(예금주(사)/한국도로학회)
- 지로번호 : 6970529

<학회사무국>