시험도로의 계측시스템 현황

The present condition of KHC Test Road data acquisition system

권순민* · 이재훈** · 김지원*** · 안성순****
Kwon, Soon Min · Lee, Jae Hoon · Kim, Ji Won, · Ahn, Seong Sun

1. 서론

2002년 12월에 준공한 한국도로공사 시험도로는 한국형 포장설계법 개발과 포장관련 기술력 증진을 위해 건설되었다. 국내에서 최초로 공용 고속도로에 건설된 포장관련 연구시설인 시험도로는 다양한 건설 목적에 맞추어 1900여개의 각종 계측기들이 시공 중에 설치되었다. 시험도로에는 포장층에 매서된 11종(콘크리트포장 11종, 아스팔트포장 6종)의 계측기들로부터 포장의 공용성에 영향을 미치는 교통하중과 환경하중에 따른 포장의 거동변화를 정량화하여 계측값으로 획득한다. 따라서, 시험도로에서는 방대한 양의 계측값이 쏟아지고 있으며, 이를 원하는 연구목적에 따라 효율적으로 활용하기 위해 계측시스템이 구축되어 있다. 여기에서는 다년간의 연구결과 시험도로에 구축된 계측시스템의 구성 및 운영과 계측데이터 획득 방법에 대하여 설명하고자 한다.

2. 계측시스템의 구성

시험도로의 계측시스템은 크게 자동계측시스템과 수동계측시스템, 상시계측시스템으로 나누어진다. 자동계측시스템은 일정한 시간 간격을 두고 꾸준한 데이터의 수집이 이루어지는 경우에 적용되었다. 자동계측시스템에서 수집되는 데이터는 주로 정적인 것으로 일정 간격을 두고 장기간에 걸쳐 꾸준히 데이터가 수집되어야 한다. 여기에는 환경하중과 관련된 포장체의 온도 및 노상하부의 함수량 데이터가 포함된다. 수동계측시스템은 주로 동적데이터를 획득하는 것으로 교통하중 및 환경하중에 의한 포장체의 거동 데이터를 수집하는 것이다. 이러한 수동계측데이터의 경우 특정 시점에서 특정하중에 대한 포장의 거동을 계측하는 것이기 때문에 데이터획득시스템차량을 이용한 수동계측시스템으로 구성하였다. 여기에는 포장층의 변형률, 수직압 데이터 등이 포함된다. 상시계측시스템은 시험도로의 포장에 가해지는 교통하중 및 기상데이터의 수집시스템으로 이루어져 있다.

2.1 자동계측시스템

온도와 함수량 데이터를 자동으로 수집하는 자동계측시스템은 그림 1에서 보는 것과 같이 자동계측함체를 이용해서 매설된 계측기와 계측서버에 연결된다. 단면별로 매설된 계측기 케이블들은 함체 내부에 고정된 단자대로 연결된다. 데이터로거의 채널 확장용 먹스(Multiflexer)가 단자대로부터 들어오는 계측 신호를 1차적으로 처리해 데이터로거로 연결된다. 데이터로거는 들어오는 계측 신호를 정해진 시간간격으로 확인하여 전기신호를 계측값(RS232신호)으로 변환해 주는 역할을 한다. 데이터로거는 충전건전지와 함께 설치되어, 전원이 단락되어도 약 10일간의 계측 및 결과 보존이 가능하다. 전원이 회복된 뒤 언제든지 연결하여 저장된 데이터를 받아서 다시 시험도로 D/B에 저장이 가능하다. 변환된 계측값은 광모뎀을 통하여 광신호로 변환되고, 시험도로 전용 광통신망에 연결되어 서버로 전달된다. 함체의 우측에 위치한 커넥터들은 자동계측함체 내부에 설치된 수동계측용 계측기들의 단자대와 연결된 커넥터들로서 데이터획득시스템차량에 탑재된 데이터로거에 연결된다.

2.2 수동계측시스템

수동계측시스템은 함체와 데이터획득시스템차량, 서버로 분류된다. 수동계측시스템의 함체는 그림 2와 같

*정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3367(E-mail:kdw0828@hotmail.com)
**정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3368(E-mail:ranian74@freeway.co.kr)
***정회원 · (주)토탈페이브시스템 대표이사 · 공학박사 · 02-3413-0290(E-mail:aircraft1@hitel.net)
****정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원장 · 공학석사 · 031-371-3200(E-mail:ssa@freeway.co.kr)

은 구조로 이루어져있다. 매설된 계측기 케이블은 단자대를 거쳐 52핀으로 구성된 커넥터로 연결된다. 데이터획득시스템 차량의 내부에 장착된 데이터획득시스템은 3개의 동적데이터로거와 1개의 정적데이터로거, 전원공급장치, 허브, 커넥터, 노트북으로 구성되어 있다. 동적데이터로거는 각각 16채널씩 총 48채널로 구성되어 있다. 커넥터를 통하여 수집된 계측신호는 데이터로거를 통해 계측데이터로 변환되며 이는 다시 허브를 통하여 노트북에 전송된다. 노트북에는 실시간으로 들어오는 계측데이터를 조작할 수 있는 현장계측관리 프로그램이 설치되어 있어 데이터를 조작 및 저장한다. 노트북에 저장된 데이터는 시험이 종료된 후에 계측실의 D/B 서버로 옮겨져 계측 D/B에 저장된다. 계측 D/B에 저장된 데이터는 계측관리 프로그램을 통하여 원하는 형태로 수집·가공할 수 있다.

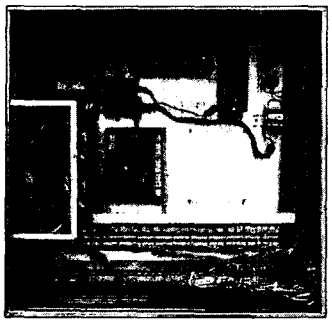

그림 9 자동함체 내부

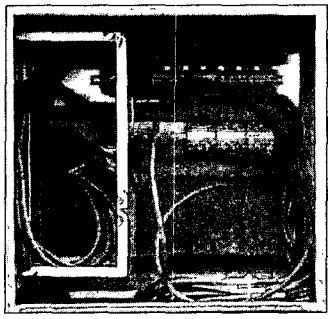

그림 10 수동함체 내부

그림 11 데이터획득시스템차량

3.2 상시계측시스템

상시계측시스템은 고속축중계와 기상관측시스템으로 구성되어 있다. 고속축중계는 시험도로를 통과한 정확한 누적통과교통량을 확인하기 위하여 설치되었으며 11종의 차종구분, 차축중량, 전체중량, 통과속도, 축간격, 차량간격 등의 정보를 측정할 수 있다. 현재 설치된 고속축중계의 허용 통과속도는 200km까지이고 약 7%이내의 정확도로 축중량 및 전체중량의 측정이 가능하다. 시험도로의 특성상 계측과정에서는 교통량의 역주행이 가능하므로, 역주행시에도 축중계의 계측에 오차가 발생하지 않도록 프로그램을 작성하였다. 고속축중계는 그림 4에 보이는 것처럼 차선별로 4.1m 이격되어 설치 된 두줄의 축중기(P11, P12, P21, P22)와 전방 루프(L11, L21) 및 중간 루프(L12, L22)로 구성된다. 또한 주행선과 추월선 사이의 고속축중계 및 루프는 약 40cm 가량 이격되어 설치되었다.

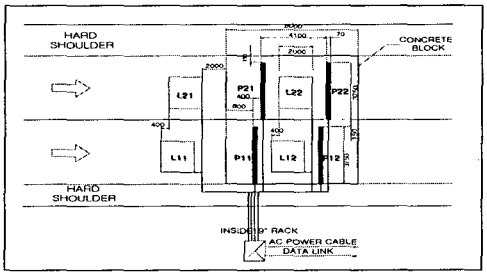

그림 12 고속축중계 배치도

그림 13 기상관측장비

시험도로에서 계측되는 대부분의 계측값들은 대기요소인 기온, 풍속 등의 영향을 받는다. 특히 여름철의 고온 및 겨울철의 저온은 포장체의 거동에 큰 영향을 주기 때문에 기상을 관측하여 상호연관성을 분석하고 계측값들에 대한 보정을 수행하는 것이 필요하다. 따라서 시험도로 계측실 옥상에 그림 5와 같이 자동기상관측기를 설치하여 포장체에 영향을 줄 수 있는 대표적인 기상인자 즉, 풍향/풍속, 온/습도, 강우량, 일사량을 측정하고 있다. 이와 함께 겨울철의 도로 결빙상태를 파악할 수 있는 노면관측센서를 설치하여 기상상태에

따른 결빙예측을 시도하고 있다.

3. 시험도로 데이터 획득

시험도로의 데이터 획득은 계측시스템에 따라 3가지 방법으로 획득된다. 자동계측시스템과 상시계측시스템에서는 광통신망을 통하여 일정시간간격으로 온도와 함수량 데이터, 축하중과 기상관측자료가 자동으로 서버로 전송된다. 수동계측시스템은 1년에 4회내지 5회에 걸쳐 이루어지는 정기계측을 통하여 데이터를 획득하게 된다.

3.1 자동계측데이터

자동계측데이터의 조회는 그림 6과 같이 자동계측관리프로그램을 통하여 이루어진다. 계측관리 프로그램의 좌측에 있는 단면 및 계측기 세트 선택 화면에서 계측기를 선택하면 가운데 화면에 계측기의 위치와 포장면에서의 깊이가 자동으로 나타난다. 계측기의 선택은 "모두선택" 버튼을 사용하여 세트의 모든 계측기를 다 선택할 수도 있고, 화면 중간의 깊이별 그림에서 나온 계측기 위치를 클릭하여 일부만 선택할 수도 있다.

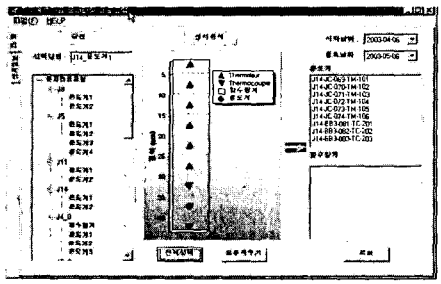

그림 14 자동계측 초기화면

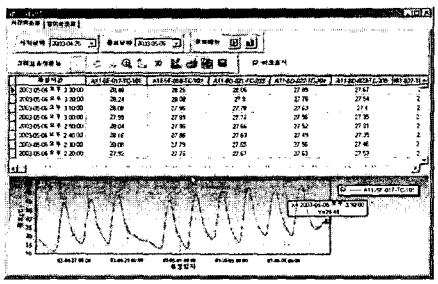

그림 15 시간에 따른 온도분포

온도계 및 함수량계 계측결과의 표현은 조회 목적에 따라서 다시 두 가지로 나눠진다. 시간에 대한 조회일 경우에는 그래프를 그려볼 때 x축을 시간, y축을 온도의 형태로 하여 원하는 기간의 데이터를 전부 그래프에 그려서 확인할 수 있다. 그림 7은 시간에 대한 온도분포를 나타낸 화면인데, 여기서는 화면 상부의 기간 설정 박스를 통하여 그래프에 표시되는 데이터의 양을 조절할 수 있다. 깊이별 조회도 가능한데, 이 경우에는 x축이 온도가 되고, y축이 깊이가 되어 포장층 내부의 온도분포를 나타낼 수 있다. 그림 8과 같이 복수의 시간대의 온도 분포가 동시에 표시가 가능하며, 이 경우에는 화면 좌측에 시간대 별로 나타난 온도 데이터 중에서 원하는 시간을 클릭하여 시간대별 포장층 내부의 온도 분포를 관찰할 수 있다. 함수량계의 함수량 분포도 동일한 방법으로 조회가 가능하다. 그림 9와 같이, 함수량계와 동일위치에 매설된 온도계의 온도를 동시에 관찰할 수 있다.

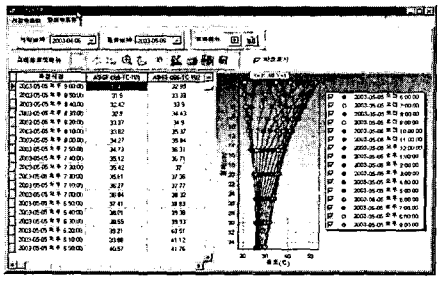

그림 8 깊이에 따른 온도분포

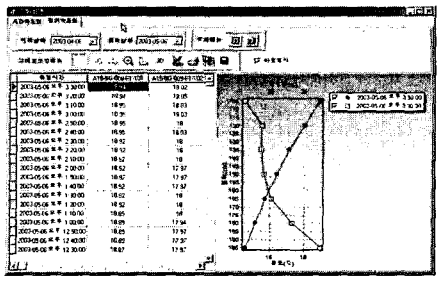

그림 9 깊이에 따른 함수량과 온도분포

3.2 수동계측데이터

향후 정기계측에 대한 선행 시험과 시험에 사용될 계측장비(데이터획득시스템 차량, FWD 등)에 대한 점검, 정기계측시 예상될 시험상의 오류 파악 등을 위해 2003년 4월 예비계측을 수행하였다. 예비계측에서는 콘크리트포장 구간에서는 교통하중으로 버스와 FWD가 사용되었으며, 아스팔트포장 구간에서는 승용차가 사용되었다. 아스팔트포장 구간에서 상대적으로 하중이 적은 승용차를 이용한 이유는 아스팔트의 온도가 일반적인 봄철의 온도보다 높아서 다량의 크립(creep)이 발생하기 때문이다.

3.2.1 콘크리트포장 구간

그림 10은 예비계측에서 나온 하중형태별 콘크리트 변형률 데이터의 형태이다. 그림 10의 a와 b는 각각 교통하중의 저속과 고속주행시에 나타나는 변형률 데이터로서 형태상으로 뚜렷한 차이를 보이고 있으며, 발생하는 변형률값 또한 약간의 차이를 갖는다. FWD 충격하중에 대해서는 그림 10의 c와 같은 형태의 변형률 데이터가 발생하였다. 충격하중의 특성상 나타나는 잔여하중의 모습까지 정확하게 나타난다.

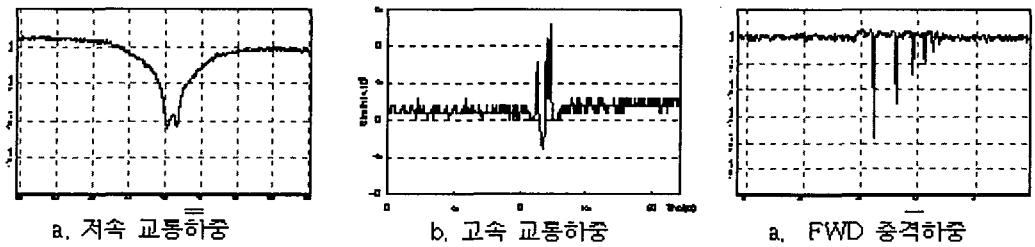

그림 18 하중형태별 콘크리트 변형률 데이터

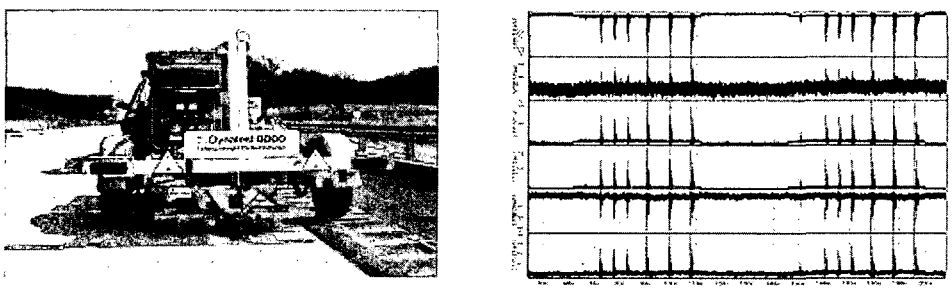

그림 11 FWD 충격하중에 따른 콘크리트포장의 깊이별 변형률값(슬래브 중앙)

그림 11은 30cm의 콘크리트 슬래브 두께를 가진 포장층에 2500lb로 슬래브 중앙에서 FWD 하중을 가했을 때, 하중재하지점의 깊이별 변형률계에서 나오는 변형률값을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 위에서부터 4개의 변형률값은 콘크리트 슬래브에 매설된, 아래 두 개의 변형률값은 린콘크리트 보조기층에서 나온 데이터이다. 변형률값의 파형을 보면 깊이별 계측값들이 완벽하게 대응을 이루는 것을 볼 수 있다. 슬래브와 보조기층 상부에서는 압축변형률(-)이 발생하며, 하부에서는 인장변형률(+)이 발생하는 것을 볼 수 있다. 위에서 두 번째의 계측 데이터는 슬래브 두께의 중간 지점에 매설된 계측기에서 나온 값이다. 이 데이터를 보면 적게나마 인장변형률(+)이 발생하는 것을 확인할 수 있어 콘크리트 슬래브의 중립축이 두께 중간에서 약간 상부에 존재한다는 것을 알 수 있다.

3.2.2 아스팔트포장 구간

그림 12는 승용차를 이용하여 아스팔트포장 구간의 표층 및 중간층에 매설된 변형률계 재하하중 시험 모습 및 그 결과 값을 보여준다. 승용차를 주행속도 5km/h이하로 천천히 이동시키면서 표층 및 중간층에 매립된 아스팔트 변형률계의 변형값을 측정하였다. 포장체의 크립에 대한 영향으로 인해 최대변형이 실제 계측기가 매설된 위치보다 차량진행방향으로 조금 지난 위치에서 나타남을 알 수 있었으며 이를 명확히 확인하기 위하여 차량을 왕복시켜 측정하였다. 계측기가 차량진행방향에 대해 길이방향으로 매설된 경우는 플랜지(flange)의 영향에 의해 실제 거동단의 중앙부에서 약 2cm 정도 플랜지 쪽으로 치우쳐져서 최대 계측값이 나타났다. 이러한 특성은 아스팔트포장이 연성인 반면 플랜지는 강성이어서 피복두께가 얇은 표층에서는 특히 민감하게 나타났으며 매설 깊이가 깊어질수록 영향이 적어질 것으로 추정된다.

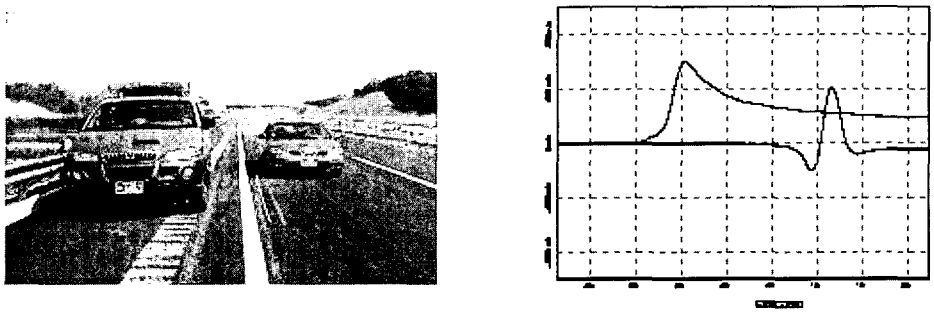

그림 12 아스팔트포장 구간의 하중재하 및 변형률 데이터 형태

3.3 상시계측데이터

그림 13은 고속축중계 운영 프로그램의 메인 화면이다. 고속축중계에서는 각 차로로 통행하는 차량의 속도, 총중량을 그래프로 표시하여 관리자가 주행하는 차량의 정보를 한눈에 파악할 수 있도록 한다. 또한 그래프 하단의 표에 각 차로로 주행한 차량의 속도, 차종, 축수, 총중량, 축별 중량, 축타입 등 각종 개별차량데이터를 표시함으로써 주행하는 차량에 대한 상세한 정보를 제공한다. 그림 14는 기상관측장비 운영프로그램의 메인화면으로 기상관측장비를 구성하는 온도, 습도, 강수량, 일사량 등 모든 기상자료를 한눈에 파악할 수 있다. 고속축중계 및 기상관측장비의 모든 데이터는 로우데이터 형식은 물론이고 엑셀 형식의 데이터로 저장 및 가공이 가능하다.

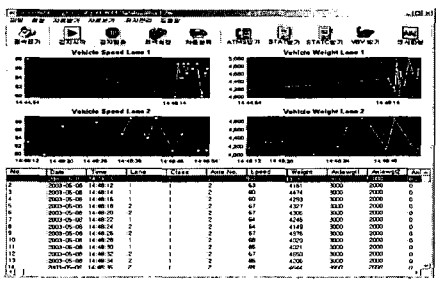

그림 13 고속축중계 운영프로그램

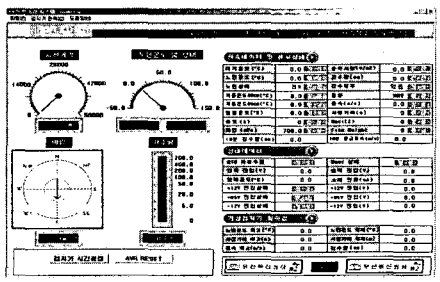

그림 14 기상관측장비 운영프로그램

4. 결론 및 향후 연구계획

한국도로공사 시험도로는 국내 최초로 시행되는 포장분야의 대단위 연구프로젝트이다. 2000년 착공하여 2002년 12월 준공이 완료된 시험도로는 국내 환경조건 및 교통하중에 적합한 한국형 포장설계법 개발을 목적으로 건설되었다. 2002년까지 시험도로의 건설 및 계측기 매설에 관한 연구가 시행되어 준공되었다. 2003

년도에는 계측시스템의 보완 및 검증작업, 구축된 계측시스템의 하드웨어적 부분에 대한 효율적인 운영 시스템의 구축 및 예비계측이 진행되었다. 지금까지의 연구과정을 통하여 나타난 결과는 다음과 같다.

(1) 자동 및 수동계측시스템으로 이루어진 계측시스템의 운영 및 관리 시스템이 완성되었다. 이에 따라, 자동계측시스템에서는 계측데이터가 시험도로의 서버로 전송되어 D/B로 구축되고 있다. 수동계측시스템은 현재 하드웨어적인 시스템 운영시험이 완료된 상태이며 정기계측 시험방법의 정립과 함께 효율적인 계측방법에 관한 연구가 진행중이다.
(2) 고속축중계와 기상관측장비로 이루어진 상시계측시스템은 구축이 완료되었다. 기상자료를 및 고속축중계를 통하여 시험도로에 실질적인 교통하중을 정량화하는 차종분류, 축하중분류, 차량통과속도 등에 대한 데이터가 D/B로 구축되고 있다.

현재 시험도로에서는 예비계측 결과를 토대로 수동계측 부분에 대한 초기계측이 이루어지고 있다. 정기계측의 선행 작업으로 각 계측기들의 계측값 초기화작업 및 정기계측과정의 사전 시험방법 검증을 위하여 진행중이다. 또한, 계측기들의 데이터 획득 외에 포장 공용성 데이터 수집을 위한 육안조사 및 미끄럼 마찰저항 조사 등 다양한 시험들이 진행중이다.

시험도로 수동계측부분의 정기계측은 시험도로 개통이후 연중 3월, 5월, 7월, 9월, 11월중 기상 및 교통상황을 고려하여 연 4회 교통류를 본선으로 우회한 후 매회 2주간씩 수행할 예정이다. 정기계측은 주로 포장체 내부에 매립된 변형률계, 토압계, 균열 및 컬링게이지, MDD 등 교통하중에 관련된 계측 위주로 진행된다. 정기계측의 수행결과는 도로포장의 단기거동 분석에 사용될 것이다.

5. 참고문헌

1. 한국도로공사 도로교통기술원 (2002), "시험도로의 건설과 운영에 관한 연구", 최종보고서
2. 한국도로공사 도로연구소 (2001), "시험도로 계측기 및 시스템 통합운영 방안 실시 설계" 최종보고서
3. 한국도로공사 도로연구소 (2000), "주행차량에 따른 포장체 특성분석을 위한 깊이별 처짐장비선정 및 평가방법연구" 최종보고서
4. 한국도로공사 도로연구소 (1999), "계측기 조사 및 계측시스템 기본설계"
5. AASHTO (1993), "Guide For Design of Pavement Structures 1993"