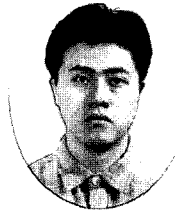


한국도로공사 시험도로의 콘크리트 포장에 대한 초기계측

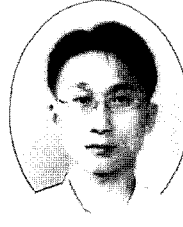
- Initial Measurements for Concrete Pavement
of the Korea Highway Corporation Test Road -



정진훈*
Jeong, Jin Hoon



권순민**
Kwon, Soon Min



이재훈**
Lee, Jae Hoon



배성호***
Bae, Sung Ho

1. 머리말

포장의 각종 거동, 공용성에 관련된 자료의 수집 및 제공을 통해 국내 도로포장 연구에 이바지하기 위해 한국도로공사에서는 지난 1997년부터 중부내륙 고속도로 상에 시험도로(그림 1)의 설계를 시작하여 2002년에 준공하였다. 시험도로는 일차적으로 포장기술의 자립화와 선진화를 위해 국책과제로서 수행되고 있는 “한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선 방안 연구¹⁾”와 연계되어 포장의 거동 및 공용성 모형의 개발과 검증에 필요한 자료를 제공하게 되고, 장기적으로는 각종 실용화 공법을 검증하는 연구시설로 활용되어 도로포장과 관련된 각종 기초연구부터 실용화에 이르기까지 폭넓은 분야에 이용이 가능하다.

시험도로의 포장에는 교통하중과 환경하중에 대한 포장의 거동을 파악하고 구조적으로 해석하기 위하여 콘크리트와 아스팔트 포장에 1,900여 개의 계측기가 매설되었다. 이중 콘크리트 포장에는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 각 단면마다 3조씩 슬래브의 중앙, 모서리, 줄눈, 그리고 노

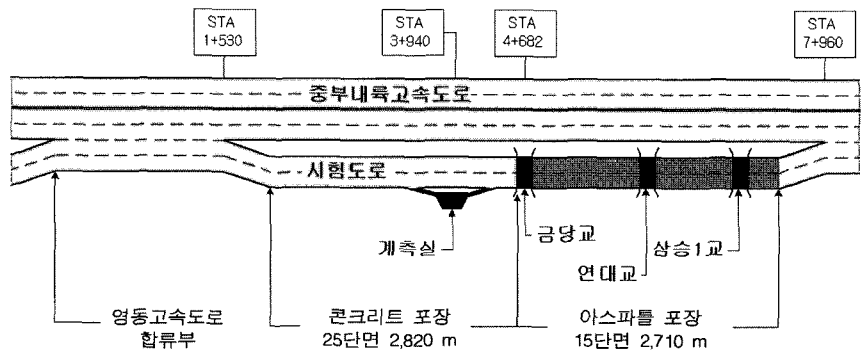


그림 1. 시험도로 개략도²⁾

면 가장자리의 4지점에 필요한 계측기를 매설하였다³⁾. 콘크리트 포장에 설치된 계측기들은 다음과 같다.

- 콘크리트 변형률계
- 아스팔트 변형률계
- 철근 변형률계
- 콘크리트 온도계
- 함수량계 및 포장하부용 온도계
- 토압계
- 균열 및 컬링(curling) 계측기

계측시스템은 계측방법에 따라 자동 및 수동계측시스템으로 구분된다. 자동계측시

스템의 경우는 전자동으로 계측이 이루어지므로 계측시 인력이 필요하지 않고 시스템에 이상이 발생하였을 때에만 시스템의 고장유무를 확인하여 수리 혹은 교체 등의 조치를 취하여야 한다. 수동계측시스템의 경우는 계측기 매설 위치에서 인력에 의한 계측이 이루어져야 하므로 많은 인력이 필요하며 연구에 사용되기 위해서는 분석 가능한 형태로 변환되어야 한다. 본고에서는 수동계측시스템의 이상유무 확인 및 계측 방법 결정에 중점을 두고 실시된 초기계측을 소개하고자 한다.

2. 초기계측 작업

계측기의 상태확인, 계측시스템의 점검,

* 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 책임연구원
** 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 연구원
*** 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 과제연구원

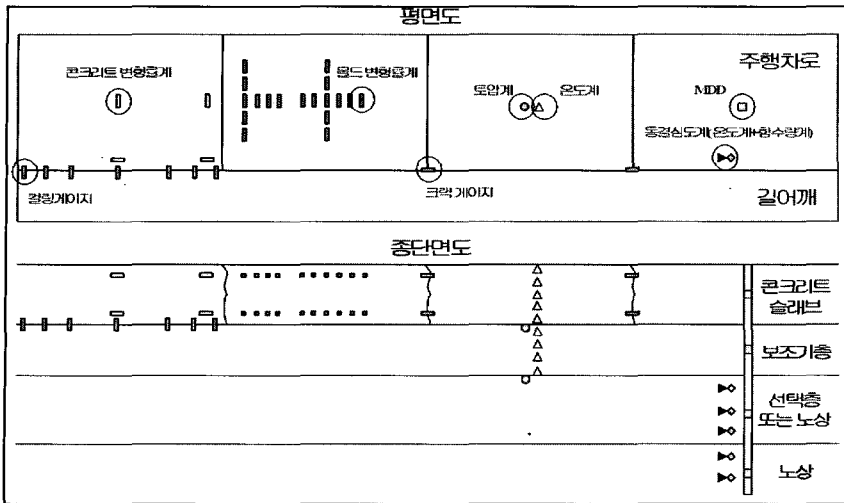


그림 2 콘크리트 포장 계측기 위치도

표 1. 콘크리트 포장에 매설된 계측기의 생존율

	전체(개)	생존(개)	생존률(%)
콘크리트 변형률계	636	610	95.9
아스팔트 변형률계	36	32	88.9
토팅계	34	32	94.1
줄눈변위계	120	118	98.3
컬링변위계	51	50	98.0
합계	877	842	96.0

실험방법의 구체화 등을 목적으로 한 초기 계측기 정기계측을 위한 예비계측의 형태로 2003년 10월부터 12월까지 실시되었으며 그 내용은 다음과 같다.

- 계측기 매설위치 및 생존률 조사
- 무재하(환경하중재하)실험
- 정적재하실험
- 동적재하실험
- FWD(falling weight deflectometer) 실험

2.1 계측기 매설위치 및 생존율 조사

시험도로 시공 당시 측량에 매설된 계측기의 위치는 측량 기준점의 이동, 시거오차, 그리고 시공오차 때문에 시공 후 계측기 위치 탐지 결과 20 ~ 50 mm 가량 차이가 나는 것으로 밝혀졌다. 따라서, 본격적인 초기계측을 실시하기 전에 철근탐지기(RC-RADAR)를 이용하여 정확한 계측기 매설위치를 찾아내어 노면에 영구적으로 표시하는 작업을 실시하였다.

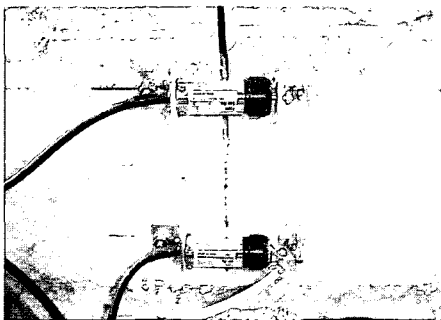


그림 3. 줄눈변위계

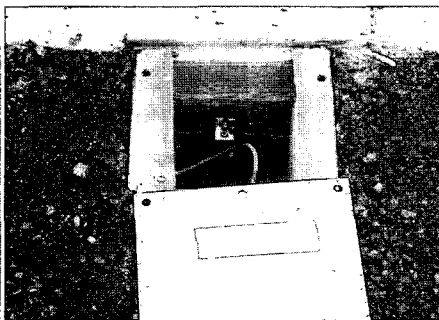


그림 4. 컬링변위계

계측기 매설시의 자료와 초기계측 자료를 이용하여 <표 1>과 같이 콘크리트 포장 내에 매설된 수동계측기의 생존율을 분석하였다. 전체 계측기 877개 중 842개가 생존하여 96.0%의 생존율을 나타냈다. 계측기 별로 생존율을 분석해보면, 콘크리트 변형률계는 636개 중에 610개로 95.9%, 아스팔트 변형률계는 36개 중 32개로 88.9%, 토팅계는 34개중 32개로 94.1%, 줄눈변위계는 120개 중 118개로 98.3%, 컬링변위계는 51개중 50개로 98.0%의 생존율을 나타내었다.

2.2 무재하(환경하중재하) 실험

온도와 습도 등에 기인하는 환경하중에 의한 콘크리트 포장 슬래브의 거동을 분석하기 위해 줄눈변위계와 컬링변위계가 설치되었다. 슬래브의 종방향 수축 및 팽창으로 인한 줄눈거동을 측정하기 위하여 줄눈의 상하부에 <그림 3>과 같이 줄눈변위계가 설치되었으며 슬래브의 컬링거동을 측정하기 위하여 <그림 4>와 같이 슬래브 당 5개 또는 7개의 컬링변위계가 슬래브와 린콘크리트 보조기층 사이에 설치되었다. 줄눈변위계는 3개 단면에 총 120개가 설치되었으며 컬링변위계는 3개 단면에 총 51개가 매설되었고 단면당 1주일씩 30분 또는 10분 간격으로 계측이 실시되었다.

2.3 정적재하실험

정적재하실험은 하중재하판을 적재한 15톤 덤프트럭을 이용하여 실시되었다. 실험에 필요한 축중을 만들기 위하여 가로 1,829 mm, 세로 914 mm, 두께 19 mm, 무게 249 kg의 철제 하중재하판을 필요한 개수만큼 빔크레인과 마그네틱 리프트에 의해 덤프트럭에 상하차하였다. <그림 5>에서 보듯이 3축으로 구성되어 있는 하중재하 트럭의 앞축은 단륜, 중간축과 뒷축은 복륜이고 앞축과 중간축, 중간축과 뒷축간의 거리는 각각 3.9m와 1.3m이다. 정적재하실험은 하중에 대한

포장의 거동 파악을 비롯하여 변형률계의 생존 확인 및 자료의 신뢰성 검증을 위하여 콘크리트포장 전단면에 매설된 모든 변형률계에 대하여 실시되었다.

2.4 동적재하실험

정적재하실험과 동일한 하중조건을 갖는 차량이 사용된 동적재하실험에서는 본 실험에 들어가기 전에 계측기의 반응, 주행속도, 윈더링(wandering)의 정도에 대해 다양한 예비실험 실시하였다. 콘크리트 포장의 경우 진행속도에 대한 계측값의 민감도는 그다지 크지 않은 것으로 나타났으며 대부분 200 mm 범위 내에서 다양한 값을 갖는 윈더링을 직접 측정하기 위하여 기준하중이 지나 위치의 포장면에 고무판을 설치하여 타이어 자국과 계측기 간의 이격거리를 측정하였다(그림 6). 동적재하 실험은 콘크리트포장 구간의 25개 단면 중에서 두께변수와 재료변수, 시공방법을 고려하여 총 8개 단면에서 50 km/h의 주행속도로 실시되었다.

2.5 FWD 실험

변형률계가 매설되어 있는 슬래브의 중앙, 줄눈 단부, 길어깨쪽 단부, 그리고 모서리의 4개 지점에서 실시된 FWD 실험(그림 7)을 통하여 동일 위치에서 깊이방향으로 각층에 매설되어 있는 변형률계의 자료가 수집되었다. 하중의 크기는 콘크리트 슬래브의 강성을 고려하여 3단계(18,000 lb)로 정하였고 FWD 실험은 정적재하실험과 마찬가지로 계측신호의 이상 유무를 파악할 수 있는 중요한 자료이기 때문에 모든 단면의 계측기에 대해 실험을 실시하였다.

3. 초기계측 결과

앞서 언급하였듯이 줄눈변위계와 컬링변위계에 대한 측정은 환경하중을 이용하여 실시되었고 변형률계와 토압계에 대한

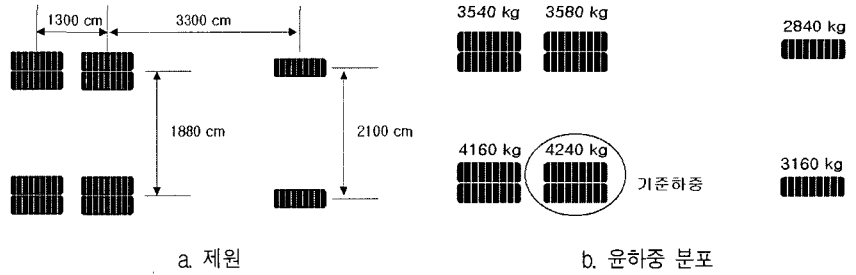


그림 5. 하중재하 트럭의 제원 및 운하중 분포

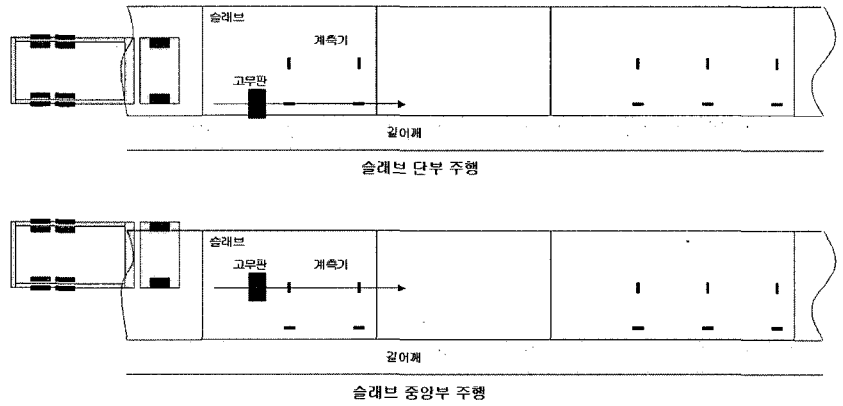
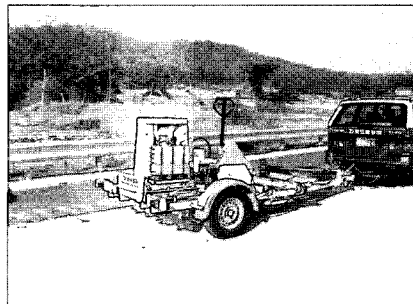
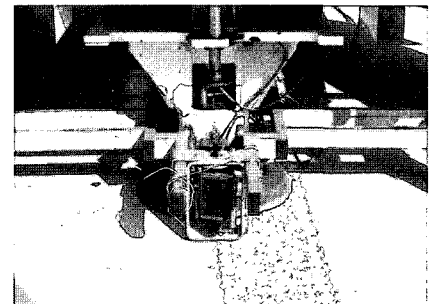


그림 6. 동적재하실험 주행 경로



a. FWD 설치



b. 충격하중재하

그림 7. FWD를 이용한 충격하중재하

측정은 정적, 동적, 그리고 충격하중을 이용하여 실시되었다.

3.1 무재하(환경하중재하)실험

콘크리트 포장의 온도변화에 대한 거동을 파악하기 위하여 줄눈에 설치된 줄눈변위계와 길어깨쪽 단부에 설치된 컬링변위계에 의하여 7일 이상 연속적으로 실시된 계측의 결과는(그림 8)과 같다. 길어깨쪽과 측대쪽 슬래브 측면의 줄눈 상하부에 설치된 줄눈변위계에 의해 측정된 줄눈의 최대 벌어짐과 닫힘 시간이 슬래브의 깊이 별 온도변화와 관계가 있음을 알 수 있다.

줄눈 하부의 최대 벌어짐과 닫힘 시간이 상부에 비하여 2 내지 2.5 시간 늦게 발생하는데 이는 대기온도의 변화가 포장체 하부로 전달되는데 소요되는 시간 때문으로 판단된다.

길어깨쪽 단부에의 슬래브 하부와 린콘크리트 보조기층 상부에 5개 또는 7개의 컬링변위계를 설치하여 린콘크리트 보조기층에 대한 슬래브의 상대수직변위를 측정하였다. (그림 9)에서 보듯이 줄눈부(1, 7번 컬링변위계)에서 슬래브 중앙부(4번 컬링변위계)보다 큰 수직변위량을 보이는 데 이로 미루어 설치된 컬링변위계가 슬래브의 컬링거동을 제대로 반영하고 있음을

알 수 있다.

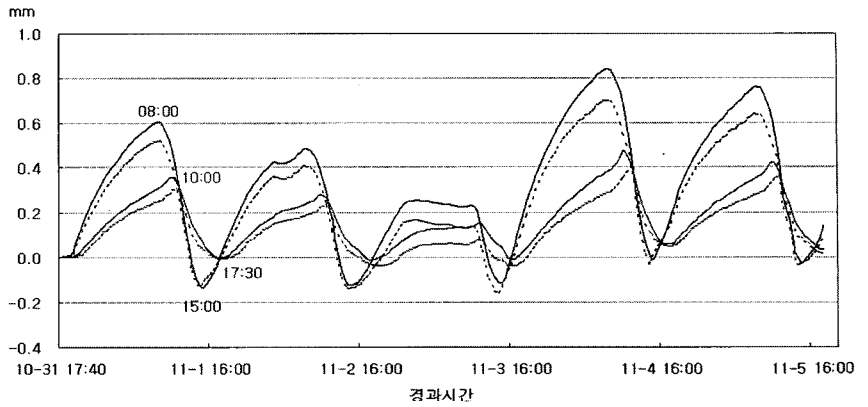
3.2 정적재하실험

〈그림 9(a)〉는 약 10초간 재하된 정적 하중에 의하여 발생하는 콘크리트 슬래브의 상부, 중간, 하부, 린콘크리트 보조기층의 상부, 하부에 매설된 콘크리트 변형률을 각각 보여주는데, 콘크리트 슬래브와 린콘크리트의 상부에서는 압축, 하부에서는 인장 변형률이 발생함을 알 수 있다. 〈그림 9(b)〉는 쇠석기층의 상단과 동상방지층 상단에 매설된 토압계에 대한 계측결과로 정적하중 재하로 인하여 토압계에 작용하는 하중의 분포상태를 분명히 보여주고 있다.

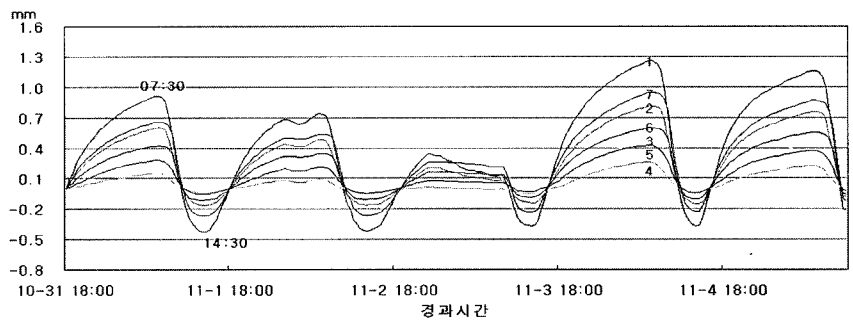
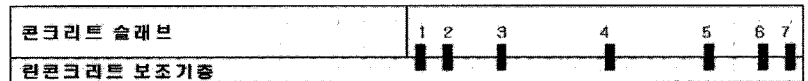
3.3 동적재하실험

〈그림 10〉은 동일한 크기의 동적하중 재하에 의하여 슬래브 중앙에서 발생하는 최대 압축-인장변형률 결과이다. 그림에서 보듯이 두께가 큰 슬래브일수록 낮은 변형률을 나타내었고 실험의 신뢰성을 알기 위해 동일한 두께의 슬래브에 대하여 동일한 크기의 동적하중을 재하한 실험에서 0.90 ~ 1.64 micro strain의 낮은 표준편차를 얻을 수 있었다.

시속 50 km/h로 주행하는 4.2 톤의 복륵에 대한 변형률계의 반응을 100 Hz로 획득한 결과, 콘크리트 슬래브 및 린콘크리트 보조기층에 매설된 변형률계가 깊이 별로 변하는 압축 및 인장응력을 매우 잘 보여주고 있음을 〈그림 11(a)〉에서 알 수 있다. 반면, 토압계의 반응은 예상되는 깊이별 하중분포와는 다른 양상을 띄어 〈그림 11(b)〉에서 보듯이 동상방지층 보다 상부인 린콘크리트 보조기층에서 더 작은 값을 나타내는데 린콘크리트의 구속에 의하여 린콘크리트 보조기층에 매설된 토압계가 제 기능을 발휘하지 못했을 가능성이 있다. 그러나, 현 단계에서는 자료의 부족으로 정확한 결론을 내리기는 어려우며, 2004년부터 실시되는 정기계측을 통해 상세한 분석이 이루어질 것이다.

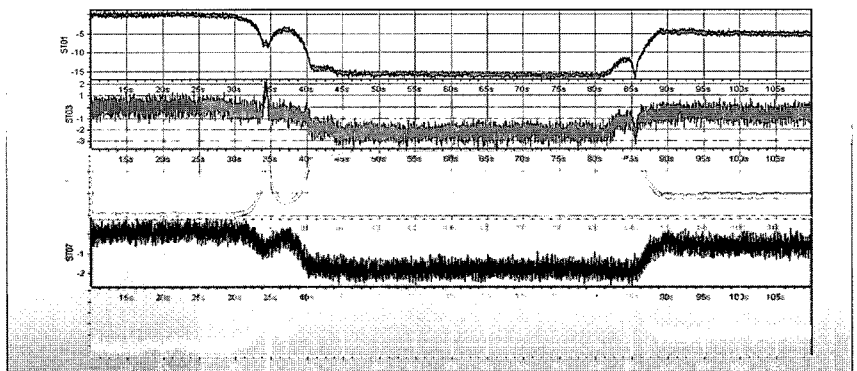


a. 줄변위계

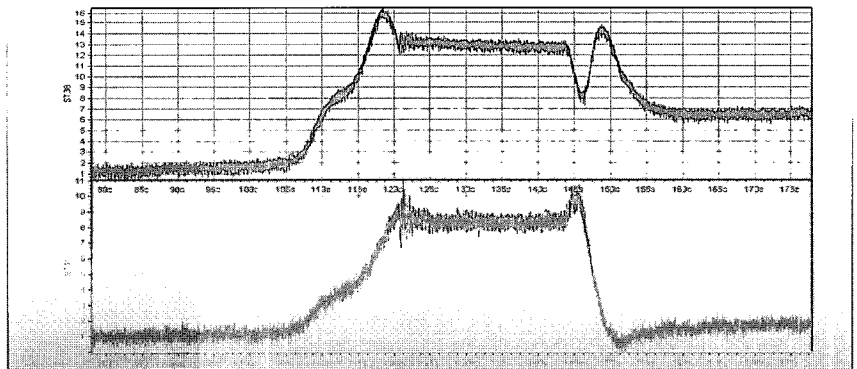


b. 킬링변위계

그림 8. 무재하(환경하중재하)실험 결과



a. 콘크리트 변형률계



b. 토압계

그림 9. 정적재하실험 결과

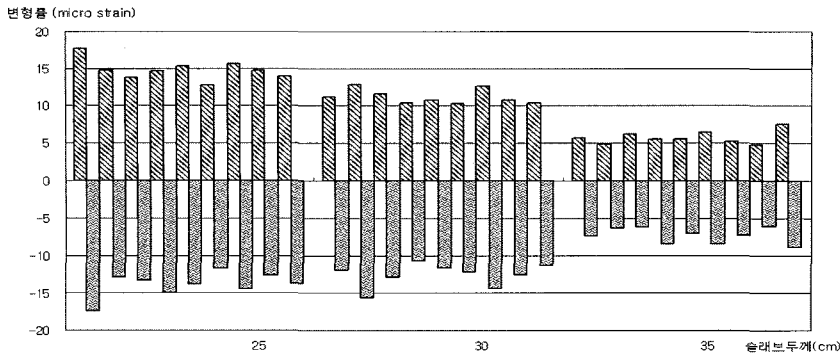
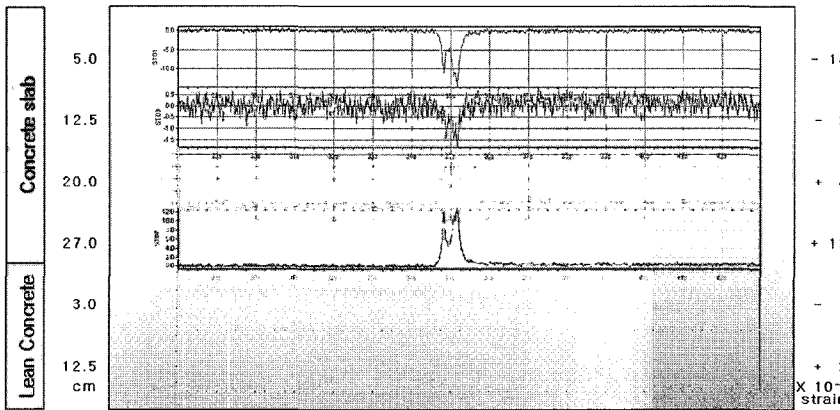
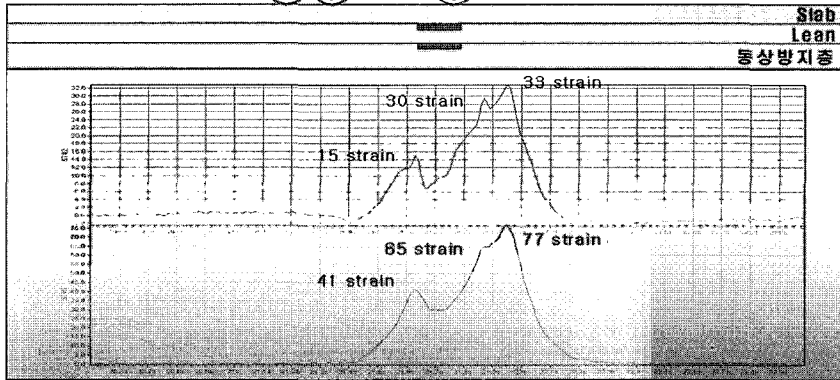


그림 10. 슬래브 두께별 최대 압축-인장 변형률



a. 콘크리트 변형률계



b. 토압계

그림 11. 동적재하실험 결과

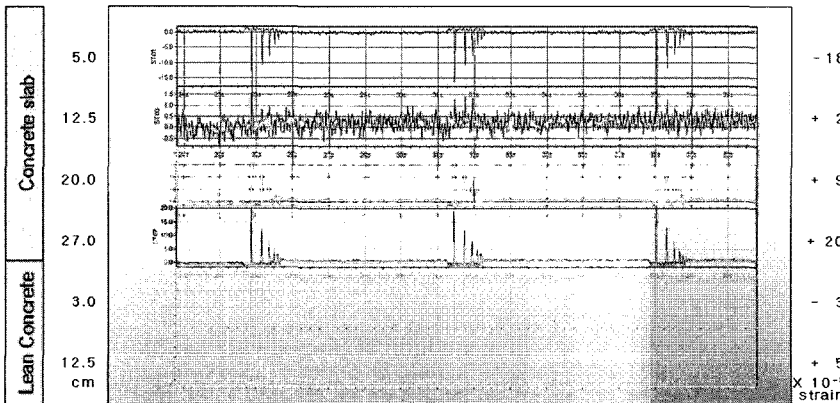


그림 12 변형률계에 대한 FWD 실험 결과

3.4 FWD 실험

〈그림 12〉에서 보듯이 변형률계는 FWD 충격하중에 대해 동적재하실험과 유사한 반응을 나타내었다. FWD 충격하중에 대한 변형률계의 반응값은 500 Hz의 주파수로 획득되었는데 이는 50 km/h의 동적하중에 의해 변형률계가 대응하는 시간이 0.3초 정도인데 비하여 FWD의 충격하중의 반응시간은 0.04초로 매우 짧기 때문에 최대 또는 최소 변형률을 정확히 획득하기 위하여 높은 주파수를 사용한 것이다.

4. 맺음말

한국도로공사 시험도로에 대한 초기계측을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 우선, 시험도로 구간 내 25개의 콘크리트 포장 단면에 설치된 877개의 계측기에 대해 96%의 높은 생존율이 조사되었다. 그리고, 변형률계, 토압계, 줄변위계, 킨링변위계 등 모든 계측기에 대하여 1회 이상의 재하실험이 실시되어 거의 모든 계측기들로부터 합리적인 경향의 자료를 획득할 수 있었다. 건설교통부 국책과제 “한국형 포장설계법 개발 및 포장 성능 개선방안 연구”와 연계하여 시험도로 초기계측 자료에 대한 검토가 진행 중이며, 2004년도 첫 정기계측 이후로 측정되는 자료를 활용하여 포장거동 및 공용성 모형 개발과 검증에 관한 연구가 다방면으로 진행될 수 있을 것이다. □

참고문헌

1. 건설교통부, “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”, 2003. 10.
2. 이재훈, 김지원, 김도형, 이광호, “아스팔트 콘크리트 포장 변형률계 매설 방법 개선에 관한 연구”, 한국도로포장공학회 논문집, 제5권 제3호, 2003. 9, pp.31~42.
3. 김도완, 김지원, 권순민, 윤경구, “콘크리트 포장 변형률계 현장매설방법 개선연구 및 적용사례”, 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, 2003. 10, pp.173~180.