

## 한국의 시험도로를 이용한 도로포장 관련 연구

김 형 배\* · 권 수 안\*\* · 이 광 호\*\*\*

### 1. 머리말

현재 우리의 도로포장관련 기술은 여전히 설계 및 유지보수기준을 외국자료에 의존하고 있으며 도로건설 및 관리측면에서 경제성과 내구성이 기술과 비용적 측면에서 최적화되지 못해왔다. 국내 포장설계실무는 기존의 AASHTO 포장설계법(아스팔트포장: 72년 기준, 콘크리트포장 81년 기준)을 거의 가감 없이 사용하고 있는 실정으로서 소규모의 산발적 연구를 통해 국내실정에 맞게 적용하려는 노력을 미약하나마 진행하여 왔다. 그 결과 종합적인 포장설계의 합리화가 이루어지지 않았으며, 그나마 어렵게 얻은 연구결과들도 실용화 단계까지 이르지 못하고 실무진 들에 대한 교육과 홍보부족 문제와 겹쳐 결국 사장되었다. 요약하면 여전히 기존 AASHTO 포장설계법은 국내실정에 맞게 수정되지 못하고 있으며 경제적이고 합리적인 포장설계는 거의 이루어지지 못하는 상황이다.

국내에서 사용되고 있는 포장설계기술의 실무동향을 분석하여보면 국내에서 설계기술 향상을 위한 종합적인 연구와 대책수립이 공공기관에 의해 범국가적으로 실시되어 그 결과를 공유한 적

이 없으며, 일반 도로설계 및 시공 회사차원에서 단편적인 신공법을 검증 없이 도입하여 실무에서 적용하고 있는 상태이다. 검증 안 된 새로운 공법들은 너무 무분별하게 확산되어 현장 실무자로 하여금 혼선을 초래하게 만들어 의사결정을 어렵게 하고 있는 실정이고, 많은 시행착오에 따른 유지보수 예산의 낭비를 초래하고 있다.

이와 같은 관련 현황분석을 근거로 판단하여 보면 국내의 교통량, 기후와 환경 조건 하에서 신뢰성 있는\* 포장설계 및 시공개선에 관한 종합적 대책수립이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 다행히 건설교통부에서는 현재 총 9년간 180억원의 예산을 투입하여 한국도로공사와 한국건설기술연구원으로 하여금 '한국형 도로 포장 설계법 개발 및 포장성능개선에 관한 연구'를 수행하도록 하는 국책과제를 발의하여 1단계로 3년간 60억원의 연구용역을 양 기관과 우리 포장공학회가 공동수행 중에 있다.

본 연구과제의 성공적 수행을 위해서는 과제에서 얻어지는 단·장기 연구결과들의 현장검증 및 보완이 시험도로를 통하여 이루어져야만 한다. 그 이외에도 많은 포장연구결과들이 실용화되는 과정에서 시험도로에서 얻어지는 포장거동에 관한

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 (soonmini@freeway.co.kr)

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 (sakwon@kict.re.kr)

\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구개발실장

현장조사 자료들을 이용하여 최종적으로 검증을 하는 과정을 거쳐야 할 것으로 판단된다. 시험도로에서는 현장조건에서 포장거동에 관한 시험을 실시한다는 사실도 중요하지만 아울러 시험을 통해 얻은 계측 및 조사자료 들을 저장하여 상시적으로 포장관련 연구결과들의 실용화 검증 및 보완에 제공되도록 하는 체계를 구축하는 것도 중요하다.

현재 시험도로는 2002년 12월 준공을 맞아 본격적인 도로주행 계측과 계측자료 분석을 통해 단·장기 연구결과들을 구체화해야 하는 단계로 접어들었다. 실제교통 및 환경 아래에서 장기간 체계적으로 시험도로를 운영하여 얻어지는 포장의 거동 및 공용성에 관련한 계측조사 자료들은 지금까지 기술자들의 단편적인 경험과 구체적인 검증 없이 도입된 국외 설계 및 시공기준들을 종합적으로 검증하는데 사용되는 귀중한 자료가 될 것이다.

## 2. 시험도로의 활용

### 2.1 장·단기 활용계획

단기적으로는 표준시험트럭을 이용한 하중, 속도별 포장거동 계측 및 시간적, 계절적 요인에 따른 포장물성변화 계측, 노상의 동상민감도에 대한 계측 등 계측자료의 안정적 수집을 위한 연구 및 계측자료를 효율적으로 활용하기 위한 계측자료 DB의 보완 및 개선에 관한 연구에 연구역량이 집중될 것이다.

이후 중반기부터는 건설교통부에서 발주하여 수행하고 있는 「한국형 포장 설계법 개발 및 포장성능개선방안」 연구과제와 연계하여 계측자료를 활용한 구체적 연구성과 도출에 연구역량이 집중될 것이다 (그림 1 참조).

아울러 시험도로를 이용하여 포장조사장비들의 성능검증 및 검·교정 작업들도 병행될 예정이며

시험도로 내 설치될 기후환경 분석시스템 장비들을 이용하여 노면결빙예보시스템 개발에 관한 연구도 정책과제로 추진될 예정이다.

설계법 이기텍처 변경(경험적→역학-경험적)

수명주기비용산정기법 도입

신설포장중심설계→유지관리포장중심 설계

합리적 동상방지층 설계

포장재료 물성관련 설계입력변수 개선

국내의 교통량 산정 및 축하중 손상계수 개선

국내 포장설계기술 발전

그림 1. 시험도로를 활용한 포장설계법 연구개요

### 2.2 예상 연구결과물

시험도로의 연구결과들은 다음과 같은 결과물들을 도출할 것으로 예상된다.

- ① 시험도로 포장거동 및 공용성 계측자료의 DB구축 및 포장 data bank 구축
- ② 최적의 포장 설계 방법 정립 (한국형 도로 포장 설계법 개발 및 포장성능개선에 관한 연구와 연계 수행)
  - 차종별 축하중 환산계수 및 손상누적계수의 재정립
  - 설계교통량대비 최적 콘크리트포장 슬래브두께 선정을 통한 과다 두께설계 지양
  - 동상방지층 두께설계법 개선을 통한 포장하부구조의 합리적 시공유도
  - 역학적 포장설계개념의 도입
- ③ 포장의 성능 개선 및 공용성 증대
  - 타이바 및 가로줄눈을 생략한 콘크리트 포장의 실용화
  - Dowel Bar Inserter를 이용한 세로줄눈 시공

- 개선(안) 도출
- 포장과손상상태별 보수공법 종류 및 시기선정 기준 확립
- 연속철근 콘크리트 포장시공 개선
  - ④ 동상민감도에 따른 노상품질관리 개선(안) 도출
  - ⑤ 노면결빙예보시스템

### 3. 시험도로와 포장관련 연구

#### 3.1 기본 연구

시험도로를 이용한 기본 연구는 포장거동 및 공용성 계측자료의 DB구축과 포장 데이터 뱅크의 구축이다. 시험도로에서는 장기간에 걸쳐 교통하중에 따른 포장거동, 계절별 포장물성변화, 동상방지층 유무에 따른 노상의 동상민감도, 함수량의 변화 등에 대한 계측 등을 일관성 있게 수행하여 다양한 계측자료를 생산하게 될 것이다 (그림2 참조).

이 때 가장 중요한 사항은 장기간에 걸친 자료의 수집 및 획득절차가 일관된 기준아래에서 이루어져야 하며 계측인력의 습관 및 장비의 변화에 의한 오차가 최소화 될 수 있는 대책이 필요하다. 따라서 시험도로에서 획득한 자료를 이용한 연구수행에 앞서서 시험도로 계측 및 자료 수집절차 관련 매뉴얼을 작성하는 작업이 필요하며 또한 일차적으로 수집된 계측자료들에 대해 일련의 QC/QA 절차를 거쳐 신뢰성 높은 연구검증자료로 가공하는 과정을 정례화 하는 방안도 준비될 예정이다.

이렇게 자료수집 및 가공에 대한 절차와 방안이 수립되어 시험도로에서 본격적인 포장공용성 및 구조적 거동 관련 계측자료가 생산이 시작되면서 다양한 연구목적에 따라 관련 계측자료들을 가공하게 될 것이다. 시간이 지남에 따라 현장계측자료와 가공된 데이터 분석자료 들은 점점 그

양이 방대해지게 될 것이고 이들을 효율적으로 관리하고 필요한 시기와 연구목적에 따라 손쉽게 찾아내어 적절히 활용될 수 있도록 하는 포장계측자료 DB구축 및 지속적인 업그레йд 작업이 수행될 예정이다.

시험도로의 연구결과들이 적절히 활용되고 다양한 포장연구들이 지속적으로 활용되기 위해서는 얼마나 손쉽게 포장공학 연구관련 기관 및 실무기관에서 시험도로 포장공용 및 계측자료들에 접근할 수 있느냐 하는 것이 관건이라고 판단된다. 이를 위하여 시험도로를 통해 얻어진 계측데이터, 도면정보, 사용된 재료 등에 대한 정보를 망라한 시험도로 포장 데이터 뱅크를 구축하고 정기적으로 일정 기간동안의 포장계측자료를 사용자가 쓰기 편한 상태로 편집된 후 인터넷을 통하여 다운로드 받을 수 있는 체계도 아울러 함께 구축할 예정이다. 이 밖에도 연구목적상 방대한 양의 자료가 필요하다든지 또는 많은 이용자들이 한꺼번에 접속하는 바람에 자료를 다운로드 받는데 걸리는 시간이 지나치게 길어진다면 하는 문제가 발생할 수 있으므로 시험도로 계측자료 DB에 저장되어 있는 자료들을 정리하여 사용자가 편하게 사용할 수 있는 데이터 검색엔진이 장착된 CD-ROM을 제작·배포하고자 하는 사업을 한국도로공사 차원에서 추진할 예정이다.

#### 3.2 도로포장 설계법 개발

널리 알려져 있듯이 시험도로에서 나오는 다양한 포장계측, 재료물성, 공용성 추적자료 들은 「한국형 도로 포장 설계법 개발 및 포장성능개선」에 관한 연구와 연계하여 다양한 연구를 추진할 예정이다.

그림 3에서 보듯이 시험도로의 현장공용자료들은 포장구조해석모형의 적정성 검증 및 수정정보와 자료로 활용되는 것을 비롯하여 포장재료 들의 설계물성 정량화 기준의 검증, 포장의 각종 파손

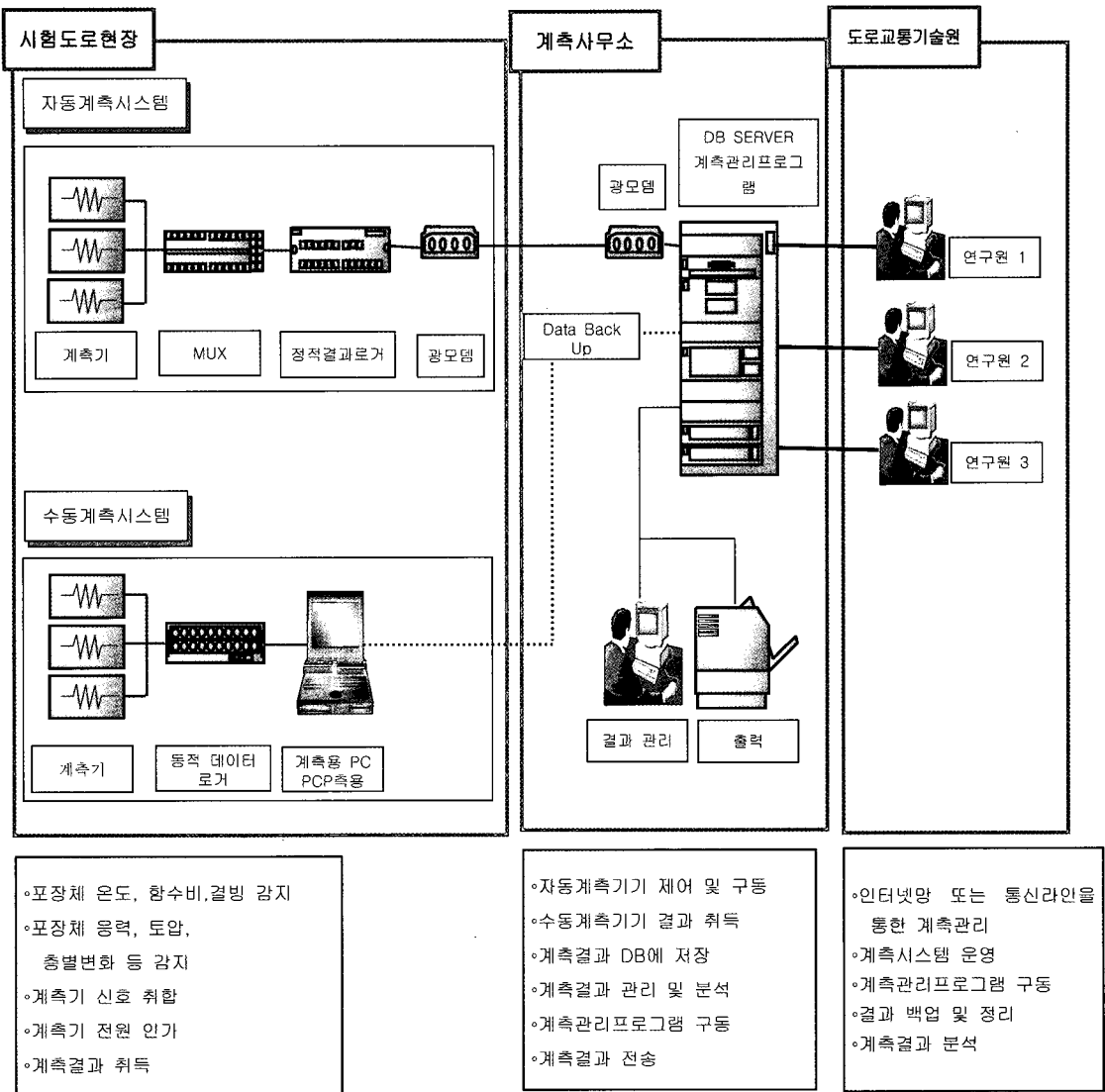


그림 2. 계측자료 수집 및 분석저장관리 시스템 구성도

예측모형 및 평가지수 예측모형의 검증 및 현장 실용화를 위한 귀중한 자료로 활용될 예정이다. 수집이 예상되는 장·단기 계측자료들을 중심으로 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

### 3.2.1 아스팔트 포장의 계측자료 활용

#### (1) 초기계측

① 계측 값 종류 : 아스팔트 표층 및 기층의 변형률 및 온도변화, 보조기층 및 노상의 수직 응력 분포보조기층 및 노상의 수직 응력, 노상의 동결깊이 및 함수비 변화, 차중 및 축 종류별 교통하중자료

② 활용방안 : 포장설계법 과제를 통하여 개발되는

포장구조해석 모형의 유효성 검증, SMA 및 개질아스팔트 혼합물의 동탄성계수의 상대비교평가를 통한 설계입력변수 초기치 범위의 결정, 계절별 또는 월별 온도변화에 따른 표층 및 기층 강도변화 모형 개발, 노상토의 동결깊이 분석 및 한국형 포장설계법에서 동상방지층 설계원칙의 결정, 누적손상 개념에 의한 축별, 차종별 교통량특성 파악

(2) 장기계측

① 계측값 종류: 아스팔트 표층 및 기층의 변형률 및 온도변화, 포장층 별 상대처짐량 자료, 노상의 동결깊이 및 함수비 변화 : 노상강도의 계절적 변화, FWD 처짐량 자료, 차종 및 축하중별 교통량 자료

② 활용방안 : 실제포장공용자료를 이용한 포장파손유형(피로균열, 소성변형)별 파손예측모형의 검증 및 현장적용을 위한 수정 및 보완, 노상의 계절별 강도변화를 고려한 유효노상강도의 결정기법 개발, FWD 처짐량, 교통량 및 포장파손

자료를 이용한 포장평가지수 예측모형의 개발 및 PMS 실무적용 추진, 축별·차종별 교통하중 성장패턴의 결정, 포장수명주기비용 분석절차의 실용화를 위한 포장공용자료 확보, 역학적 설계법을 위한 포장구조해석모형의 개발 및 검증

3.2.2 콘크리트 포장의 계측자료 활용

(1) 초기계측

① 계측값 종류 : 콘크리트 표층 및 기층의 변형률 및 온도변화, 콘크리트 슬래브의 온도변화에 따른 컬링양, 초기 콘크리트 포장의 온도수축 및 팽창거동, 줄눈부 균열거동

② 활용방안 : 시멘트품질, 시공온도, 줄눈 컷팅시간 및 간격등에 따른 콘크리트 포장의 초기 거동 연구, 콘크리트 포장의 구조해석 모형의 유효성 검증, 일교차 및 연교차에 따른 컬링양과 콘크리트의 휨응력 변위 측정, 줄눈부 균열의 온도 변화에 따른 수축팽창 거동자료 축적.

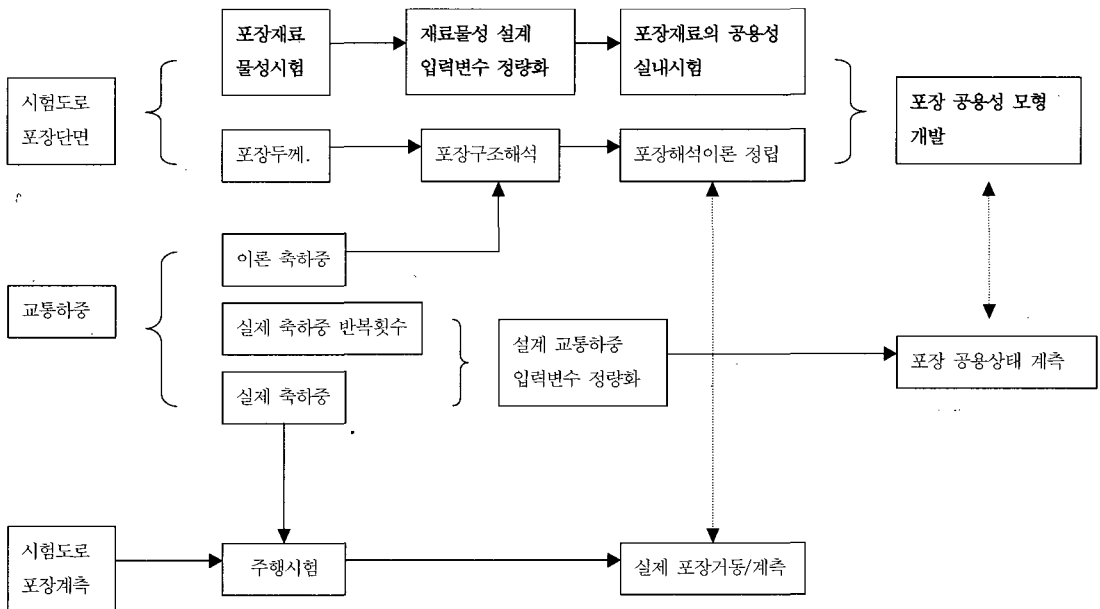


그림 3. 시험도로를 활용한 포장설계법 연구 개요도

(2) 장기계측

① 계측값 종류 : 콘크리트 표층 및 기층의 변형을 및 온도변화, 노상지지력, 연속철근콘크리트 포장의 종방향 철근의 거동 콘크리트 슬래브의 온도변화에 따른 컬링양, 기층재료별 슬래브의 컬링양 및 연중 수축·팽창거동 패턴, 포장층별 상대 처짐량 측정

② 활용방안 : 노상의 계절별 강도변화를 고려한 유효노상지지반력의 결정기법 개발, 연속철근콘크리트 포장의 철근비 설계기준 수립, 콘크리트 파손예측 모형의 검증, 기층재료의 장기공용성에 대한 상대비교평가를 통한 기층설계 기준의 정립, FWD 처짐량, 교통량 및 포장파손자료를 이용한 포장장기공용예측모형의 개발 및 PMS 실무적용 추진, 역학적 설계법 개발을 위한 포장구조 해석 모형의 개발 및 검증.

3.3 포장성능 및 시공기준에 관한 연구

포장의 수명을 연장하고 건설비용을 절감하기 위해서는 포장설계법에서 다루는 연구내용 이외에도 다양한 연구가 필요하며 시험도로에서는 이를 위하여 몇 가지 포장성능개선을 위한 시험시공들이 이미 완료되어 있는 상태다. 시험도로 내 시험시공된 포장들의 장기추적조사를 통하여 다음과 같은 연구과제들을 실용화시켜 갈 예정이다.

- 포장포설장비의 성능개선 및 시공품질향상을 고려하여 2차선 동시 포설시 타이바 및 가로 줄눈을 생략한 콘크리트 포장의 실용화
- 기존의 체어를 이용한 다웰바 시공시 문제가 되었던 작업성 불량문제를 극복하기 위한 대안으로 Dowel Bar Inserter를 이용한 세로줄눈 시공 개선(안) 도출
- 노상의 동상면감도를 고려한 동상방지층 설치기준 개선
- 소성변형에 보다 효율적으로 대처하기 위하

여 내유동성 25mm 조립도 아스팔트를 활용한 중간층의 실용화

- 콘크리트 포장 시공을 전후한 초기 품질관리자가 포장의 장기공용성에 지대한 영향을 끼치므로 이에 대한 적절한 대비를 위하여 콘크리트 포장 시공 중 품질관리기준 개선
- 소음저감, 노면배수, 시공성을 개선을 위한 다양한 타이닝 공법의 실용화

3.4 다양한 유지보수공법 및 재료의 적용결과 활용

시험도로에서는 포장설계법 및 성능개선연구와 같은 신규포장의 건설과 관련된 연구과제 이외에도 도로포장의 유지보수 공법 및 포장평가기준에 대한 연구도 수행할 예정이다. 시험도로의 단면특성상 공용기간이 상당히 짧을 것으로 판단되는 단면에는 대단위 유지보수 공법을 적용하여 공용특성을 분석할 예정이며 공용기간이 상대적으로 길 것으로 판단되는 포장구간에는 이른바 「Preventive Maintenance」 개념을 도입하여 포장에 대한 일상관리, 경량보수, 대단위보수공법 등을 종합적으로 검증해 나갈 생각이다. 이를 위해 필요한 연구과제 내용을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

- 유지보수단면들의 상대평가를 통한 유효 유지보수공법 및 재료 선정
- 포장노면상태 및 공용주기를 고려한 보수공법 종류 선정기준 확립
- 포장설계법과 PMS에서 동일한 포장평가 지수를 적용하여 유지보수공법별 생애주기비용 선정절차를 표준화하는 연구
- 신설 및 유지보수포장의 장기공용자료를 활용한 포장생애주기비용 분석기법 정립
- 차종별 축하중에 의한 손상누적개념에 의한 과적차량에 의한 포장파손 정도의 정량화

#### 4. 맺음말

시험도로는 국내 포장관련 연구용으로서 최초로 수행하는 국가적인 사업으로서, 포장에 관련된 상당수의 국내외 연구진들 참여가 있을 예정이며 이 외에도 토목 각 분야의 수많은 연구자들이 연구 및 결과분석에 참여할 것으로 전망된다.

1996년 한국도로공사에서 시험도로의 건설을 계획하기 시작하면서 국내 포장공학계는 큰 전환점을 맞이하였다. 그동안 큰 주목을 받지 못하였던 포장관련 연구에 대하여 정부, 학계, 업계 모두가 보다 큰 관심을 보이기 시작하였으며, 포장설계, 재료, 건설과 관련하여 단편적인 개량연구에 주력하던 포장공학자들은 국내 포장공학의 보다 체계적인 연구를 수행할 수 있는 기반인 한국도로포장공학회를 결성하였다. 이러한 제반준비를 거쳐 한국도로공사 시험도로는 2002년 12월말 준공을 눈앞에 두고 있으며, 건설교통부에서는 「한국형 포장설계법 개발 및 포장성능개선 연구」를 10년간 180억원 이상의 예산을 투입하여 현재 수행 중에 있다. 시험도로의 준공을 계기로 「한국형 포장설계법 개발 및 포장성능개선 연구」는 보다 활발하게 연구가 진행되어 머지않은 시간 내에 가시적인 연구결과물들이 도출되기 시작할 것으로 기대된다. 또한, 그동안 포장수명을 연장시키기 위해서, 포장시공성을 증진시키기 위해서, 포장건설 및 유지관리비용을 절감하기 위해서 수행되었지만 현장검증이 미약하였던 많은 연구결과들이 본 시험도로에서 생산되는 계측자료들에 의해 보다 현실적으로 검증되고 실용화될 것으로 기대된다.

현재 한국도로공사에서는 사유가 발생하지 않는 한 20년 이상 시험도로를 운영하면서 다양한 계측자료의 수집 및 분석을 수행한다는 전제 아래 보다 구체적인 장기운영계획을 수립 중에 있다. 현재까지 수립되어 있는 시험도로를 이용한 연구

계획이 시험도로의 활용에 대한 계획의 전부는 아니며 앞으로도 새로운 포장관련 연구계획을 수립할 예정이다. 예를 들어, 시험도로를 운영하면서 최초에 시공했던 포장단면들 중 구조용량이 적은 일부는 단기간 공용 후 연구목적에 따른 유지보수 또는 재시공이 시행 될 예정인데 이러한 단면의 변경이 이루어지는 과정에서 새로운 포장연구결과들의 검증을 위한 다양한 시험시공이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 한국도로공사 도로연구소 (1999), 계측기 조사 및 계측시스템 기본설계.
2. 한국도로공사 도로연구소 (2002), 중간보고서 시험도로의 건설과 운영에 관한 연구(IV)
3. 한국도로공사 도로연구소 (2001), 시험도로 계측기 및 시스템 통합운영 방안 실시설계 최종보고서
4. 신공항건설공단 (1998), "인천국제공항 포장시험시공용역 종합보고서"
5. AASHTO (1993), "Guide For Design of Pavement Structures 1993 "
6. Chatti, K., Yun, K.K., Kim, H.B., Utamsingh, U.,(1995), "PACCAR FULL-SCALE PAVEMENT TESTS", Final Report to The University of California -Berkely the California Department of Transportation, Printing in Michigan State University
7. Huang, Y. H. (1993), " Pavement Analysis and Design" , by Prentice - Hall, Inc. pp456