

포장 장기 공용성 관측(LTPP) 연구

Long Term Pavement Performance Studies

김부일* · 전성일** · 김연복***

1. 연구배경

일반적으로 국내에서는 도로관련 기술에 대하여 많은 부분이 외국의 기준을 그대로 도입·적용하고 있다. 최근에 자체적인 포장설계법 개발을 위해 한국형 포장 설계법 연구(Korea Pavement Research Program)가 한국건설기술연구원·한국도로공사·한국도로포장공학회에서 공동으로 진행 중에 있다. 이에 KPRP 연구 진행 중 제시되는 여러 제안 사항과 연구 결과들에 대한 검증 및 보정을 위해 현장 공용성 시험시설이 반드시 필요하다.

미국의 경우, LTPP와 관련된 연구가 10년이 넘게 진행되고 있으며, 여기서 관측된 데이터는 Datapave 프로그램으로 포장기술자들에게 모두 제공되고 있다. 또한 포장거동과 관련된 예측모델들을 개발하여 도로포장연구의 발전에 기여하였으며, AASHTO 2002 Guide 개발에 주요한 자료로 이용되고 있다. 지금까지 국내의 도로포장관련 많은 연구들은 각각의 전문분야에 따라 산발적으로 수행되어져, 체계적·종합적 분석을 어렵게 하였으며, 이에 현재 한국건설기술연구원에서 추진중인 LTPP 연구는 도로포장관련 모든 데이터를 수집할 수 있도록 계획하여, 포장영향인자들에 대한 종합적 분석을 가능하게 하며, 한국형포장설계법 개발에 많은 공헌을 할 것으로 판단된다.

2. LTPP와 시험도로

포장공용성 관측을 위한 시험시설에는 시험도로(Test Road), 시험주로(Test Track), 포장가속시험기(APT), 포장장기공용성(LTPP : Long Term Pavement Performance) 관측구간 등이 포함된다.

현재 국내에서는 시험도로가 한국도로공사에서 운영되고 있지만 이는 지역적 한계성으로 인해 전국적인 다양한 환경 조건과 교통조건에 대한 영향을 고려하지 못하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하면서 한국형 포장 설계법을 검증하기 위해서는 LTPP 구간이 필수적이다.

LTPP는 실제 운영 중인 도로포장에 대한 장기적인 공용성을 관측하여 포장층의 물성, 환경 인자, 교통하중 등과의 관련성을 밝히는 연구 프로젝트이다. 일반적으로 LTPP는 GPS/SPS/SMP 총 3가지로 분류할 수 있다. GPS(General Pavement Studies)는 공용중인 도로 포장의 형태에 대하여 장기적 공용성을 관측하는 것을 의미하며, SPS(Special Pavement Studies)는 특정한 여러 시험단면을 구성하여 이에 따른 장기적 공용성의 평가와 포장체 구조적 거동을 분석하는 연구이다. 그리고 SMP(Seasonal Monitoring Program)는 포장구조에서 온도/습수비/지하수위 등 환경적인 변화가 포장체에 미치는 영향을 분석하는 연구이다. 국내에서는 GPS가 한국건설기술연구원에서 일부 진행 중에 있다. 그러나 한국형 포장 설계법의 검증 등 다양한 기후특성과 교통 형태를 고려한 전국적인 규모의 종합적인 도로포장의 연구를 위해 SPS와 SMP 연구가 절실히 필요한 실정이다. 현재 한국건설기술연구원에서 추진 중에 있는 LTPP 연구는 이 세 가지의 개념을 모두 포함하는 총체적인 연구시험시설의 건설을 목표로 하고 있다. 도로공사에서 건설한 중부내륙시험도로도 LTPP-SPS에 포함된다. 하지만 이 시험시설은 한 지역에 국한되어 있기 때문에, 다양한 데이터의 분석을 위

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원 · 공학박사 031-910-0240 (E-mail : bikim@kict.re.kr)

** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 031-910-0542 (E-mail : jeonsi@kict.re.kr)

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구위원 · 공학박사 031-910-0310 (E-mail : ybkim@kict.re.kr)



해서 여러 구간이 필요하며, 또한 SMP 연구를 위해서는 다양한 기후특성과 교통하중 형태를 고려한 전국적인 규모에 여러 구간이 필요하다. <표 1>은 한국건설기술연구원에서 추진하는 LTPP 연구와 중부내륙시험도로와의 특성을 비교한 것이다.

표 1. LTPP와 중부내륙시험도로의 특성 비교

LTPP	한국도로공사 중부내륙시험도로
<ul style="list-style-type: none"> · 전국적인 규모 -지역별 포장재료의 물성특성 분석 -다양한 교통조건 반영 -지역별 동결심도 측정 -동상방지층 두께 설계에 있어 합리적/경제적 설계유도 -공용성/환경데이터의 다양한 통계적 분석이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 한 지역에 국한 -공용성/환경데이터의 신뢰성 있는 통계적 분석을 위해, LTPP와의 연계를 통한 분석 요망
<ul style="list-style-type: none"> · 구간수가 많기 때문에, 구간마다 동일하게 적용되는 시험단면의 수가 적음 -LTPP 구간의 합리적인 운영을 위해 단면을 최소화 -단면의 수가 적기 때문에, 시험도로와의 연계를 통한 분석 요망 	<ul style="list-style-type: none"> · 시험포장단면 총 40개 -아스콘 15개, 콘크리트 25개 -동일한 조건에 많은 수의 시험단면적용 -포장단면에 따른 특성을 종합적 분석

3. LTPP 설계내용

3.1 단면설계

LTPP 포장단면은 기본적으로 각 구간에서 설계된 단면을 기본으로 하며, 일부 구간에는 <그림 1>과 같은 단면을 구성하여 다양한 재료 및 구조적인 변화를 고려할 수 있도록 계획하였다.

- A1 : 기본단면(각 구간에서 설계된 단면)
- A2 : 동상방지층을 생략한 단면
- A3 : 표층/기층을 재활용재료로 시공하는 단면
- A4 : 기층의 두께를 변화시키는 단면
- A5 : 표층을 개질재로 시공하는 단면

A1	A2	A3	A4	A5
일반밀입도	일반밀입도	재활용재료	일반밀입도	개질재
BB	BB	재활용재료	BB	BB
보조기층	보조기층	보조기층	보조기층	보조기층
동상방지층	·	동상방지층	동상방지층	동상방지층
노상	노상	노상	노상	노상

그림 1. LTPP 아스팔트포장단면

3.2 계측설계

LTPP 계측단면의 구성은 두 가지의 형태로 분류된다. <표 2>는 Case별 계측단면 특성을 나타내고 있으며, <그림 2>와 <그림 3>은 Case별 계측단면, <그림 4>는 계측형단면도를 나타내고 있다. 우선 표와 그림에서 나타난 것과 같이, Case I 은 2개 구간에 적용이 되며, 포장단면을 변화시키고, 포장체의 구조적 거동과 환경인자를 모두 측정할 수 있는 계측센서들이 매설된다. 변형률계는 아스콘층의 인장변형률을 측정하기 위해 아스콘층 하단부에 매설이 되고, 토압계는 보조기층·노상층에서 발생하는 압축응력을 측정하기 위해 각 층 상단에 매설되며, 각각의 단면에는 두 세트가 매설된다. 또한 변형률계와 토압계는 wheelpath에 매설되며, 특히 변형률계는 종방향과 횡방향을 모두 고려하여 매설된다. Case II의 경우, 7개 구간에 적용이 되며, 포장단면의 변화없이 포장체의 환경인자를 측정할 수 있는 계측센서들이 차선중앙부에 두 세트 매설되는데, 하나는 성토부 다른 하나는 절토부에 매설된다. 일반적으로 도로포장에서 지하수위가 노상에서 일정 깊이 이상(대략 노상상부에서 5-6m 이상) 멀리 떨어져 있는 경우, 노상함수비에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고되고 있어, 이런 경우 지하수위계의 사용은 불필요할 것으로 판단된다.

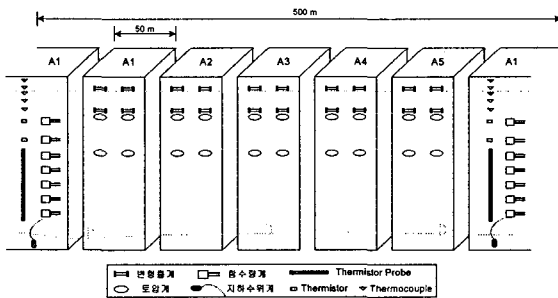


그림 2. LTPP 계측 중단면도(Case I)

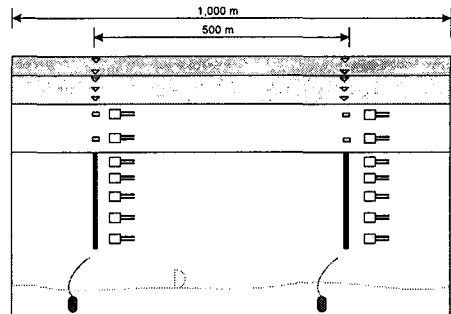


그림 3. LTPP 계측 중단면도(Case II)

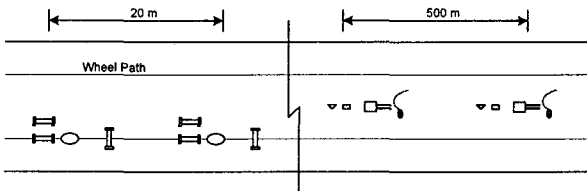


그림 4. LTPP 계측 횡단면도

표 2. Case별 계측단면 특성

	Case I	Case II
구간수	2개 구간	7개 구간
포장단면	재료/두께 변화 5단면 이상 구성	단면변화 없음
사용되는 계측센서	변형률계, 토압계 합수량계, 온도계 지하수위계	합수량계, 온도계 지하수위계

3.3 계측시스템

구조적 거동을 측정하기 위한 계측센서는 수동계측을 원칙으로 하며, 포장체의 환경인자를 측정하기 위한 계측센서는 사무실에서 실시간데이터를 확인할 수 있게 자동계측시스템을 구축할 예정이다. 자동계측시스템은 전화선통신을 이용한 계측방식을 사용할 예정인데, 이는 광통신과 무선통신방식에 비해 시스템구축비용이 저렴하고 설비공정이 단순하다는 장점이 있다. 물론 본 방식은 데이터의 전송량이 큰 경우(동적데이터를 주기적으로 받을 경우)에는 적합하지 않으나, 정적데이터를 주기적으로 받는 경우에는 정밀한 계측이 가능한 것으로 보고되고 있다. 특히 LTPP 구간은 전국적으로 넓게 분포하고 있어, 이와 같은 시스템으로 구성할 경우 경제적 효율성이 우수할 것으로 판단된다.

<그림 5>는 자동계측시스템 모형을 나타내고 있으며, <그림 6>은 본 연구에서 수행한 예비시험시공 현장의 계측수집장치 형상이다. 본 그림에서 나타낸 것과 같이 현장에 설치될 자동계측장비는 CR-10X 데이터로거, 전원공급장치, Mux(채널확장기), 전화모뎀과 추가적으로 외부에 노출되어 있는 태양전열판으로 구성될 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 자동계측시스템의 현장적용성을 평가하기 위해, 본 시스템을 현장 1개소에 설치하여 운영중에 있다. 현재까지 본 계측시스템은 데이터의 수집에 있어 어떠한 문제점도 발견이 되지 않았으며, 경제성·효율성뿐만 아니라 <그림 7>에서 나타낸 것과 같이 노이즈(noise)의 발생이 전혀 없는 것으로 보아 정확성 측면도 상당히 우수함을 알 수 있었다.

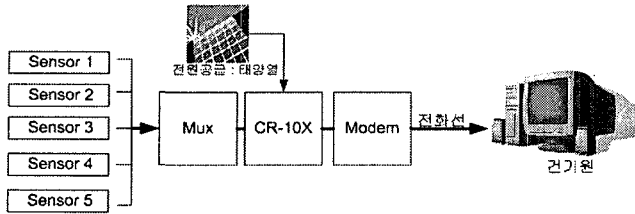


그림 5. 전화선통신을 이용한 계측시스템 모형도



그림 6. 계측수집장치 형상

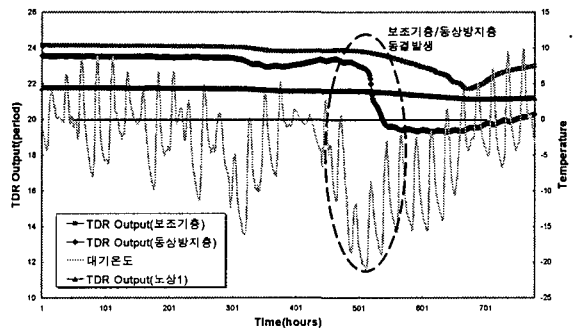
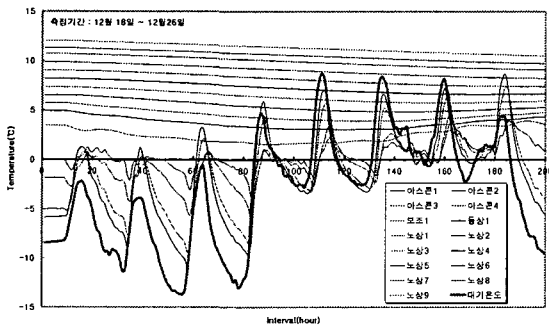


그림 7. 예비시험시공현장에서 수집한 계측데이터

4. LTPP 관측항목

LTPP 연구는 각각의 시험구간에 대한 모든 시공정보를 기록할 것이며, 또한 각종 실내시험과 현장실험을 수행할 것이다. <표 3>과 <표 4>는 LTPP에서 수행될 실험항목을 나타내고 있으며, 본 항목들은 KPRP 연구진들의 의견을 반영하여 구성한 것이다.

표 3. LTPP 실내실험 항목

구분	배합설계시험	실내시험 (샘플시료)	실내시험 (코어시료)
노상토 및 일상보조기층 재료	-	<ul style="list-style-type: none"> · 기초물성시험 · 진주/비틀진단시험 · 삼축압축시험 · 자유단공진주시험 	
아스콘 재료	최적의 배합설계결정 (배치플랜트에서 배합 설계의 조정을 건기원 이 직접 담당해야 함)	<ul style="list-style-type: none"> · 바인더시험(침입도, BBR, DSR) · 간접인장시험(강도, MR, 크리프) · 동탄성계수시험 · 수분민감성시험 · Wheel Tracking 시험 · 마찰안정도 시험 	<ul style="list-style-type: none"> · 포장층 두께 및 상태조사 · 아스팔트함량, 입도, 공극, 밀도 · 좌동

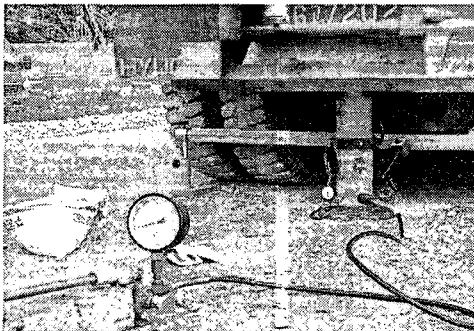


표 4. LTPP 현장실험/조사항목

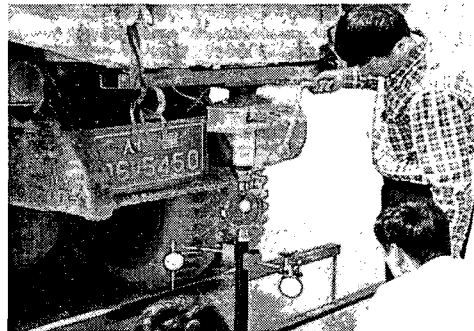
구 분	현장실험(시공단계)	공용성조사(시공완료후)
포장하부구조	<ul style="list-style-type: none"> · 평판재하시험 · 현장CBR시험 · DCP시험/FWD시험 	<ul style="list-style-type: none"> · 들밀도시험 · 크로스홀시험 · 표면파시험
기층 및 표층	<ul style="list-style-type: none"> · 아스콘 포설시 아스콘 온도측정 · 시료채취(실내실험용) · 층별 FWD시험 · 아스콘밀도측정(다짐별) 	<ul style="list-style-type: none"> · FWD(지지력산정) · 노면상태조사(노면결합, 포장상태 지수 산정)

5. 현장실험 및 결과

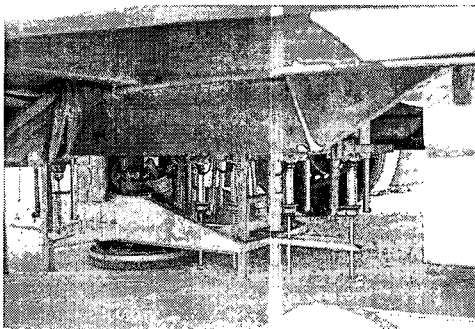
선정된 LTPP 구간 중 올해 노상층에서 보조기층까지 포설되는 일부 구간들이 있어, 현재 각 층별 실내 실험과 현장실험이 진행되고 있다. <그림 8>은 일부 항목에 대한 LTPP 현장실험 전경을 나타내고 있으며, <표 5>는 현장실험결과를 나타내고 있다.



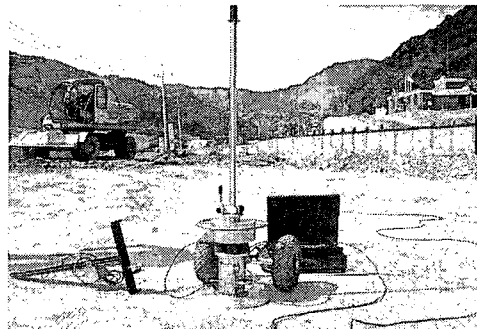
(a) 평판재하시험



(b) CBR 실험



(c) FWD



(d) LFWD

그림 8. 포장하부구조 현장실험

표 5. 포장하부구조 현장실험 결과

포장층	현장실험	시점부에서 떨어진 거리(m)						
		0	25	50	75	100	125	140
노상	PBT-K ₃₀ (kg/cm ³)	28.9		27.8		14.6		
	CBR(%)	14.2		18.6		39.8		
	DCP 지수	5.3		7.5		11.9		
	탄성계수(MPa)	72.1	101.5	76.1	63.2	45.4	57.7	23.3
	SASW	분석 진행 중						
	다짐도(%)	95.5		100		100		
	함수비(%)	8		11.4		10.3		
동상 방지층	PBT-K ₃₀ (kg/cm ³)	25.1		22.1		15.9		
	CBR(%)	27.3		22.1		10		
	DCP 지수	14.4		13		9.6		
	탄성계수(MPa)	137	153	148	149	151	156	
	SASW	분석 진행 중						
	다짐도(%)	굵은 골재가 많아 돌밀도시험의 오차가 많이 발생하였음						
	함수비(%)	7.1		7.2		4.3		

또한 현장에서의 정밀한 계측을 위해 함수량계의 실내보정실험을 일부 진행하였으며, <그림 9>는 실험 전경과 결과를 소개하고 있다. 본 함수량계의 보정실험은 LTPP 9개 구간에서의 샘플링한 재료에 대하여 확대적용할 예정이며, 재료별 보편적인 보정방정식을 제안할 예정이다.

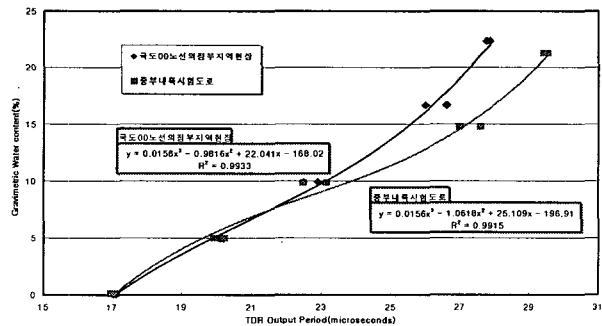
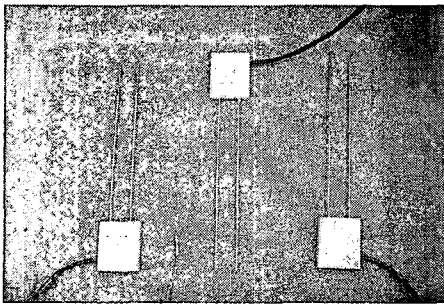


그림 9. 함수량계 보정실험 전경 및 결과

6. LTPP 향후 연구계획

LTPP 구간 선정은 2005년~2006년도 개통을 목표로 하는 국도포장(아스팔트포장)시공구간을 대상으로 포장체의 주요인자인 기후특성과 교통량에 따라 분류하여 총 9개 구간을 선정하였다. 현장여건 및 지역적 안배를 고려하여 청별로 서울청 1구간, 원주청·대전청·익산청·부산청 각각 2개구간씩 선정되었다.

LTPP 연구는 올해 말까지 구간건설계획을 완성하여 1단계 계획단계를 마무리하고, 2005년에 구간을 건설할 계획이다. 최근에 LTPP 구간에 대한 현장조사를 실시하였고, 제안된 기준에 준하여 시험단면구간의 위치를 선정하였으며, 이후 시공업체·계측업체와의 협의를 통해 계측센서선정·계측센서매설방법·시공일정 등을 결정할 계획이다. 이제까지 선정된 LTPP 구간은 SPS와 SMP를 목적으로 하였다. 따라서 2005년부터 GPS 구간을 추가 선정할 계획이며, 콘크리트포장구간, 특수포장 등을 위한 구간을 추가로 선정하여 기존의 LTPP 연구를 지속적으로 보완해 나갈 예정이다.



· LTPP 연구는 시공기록, 층별 재료물성데이터, 교통량데이터, 공용성데이터, 계측데이터 등등, 시험단면에 대한 모든 정보를 기록하게 되며, 특히 한국형포장설계법에서 제안하는 입력변수에 대해서는 관측항목에 모두 포함시킬 예정이어서, KPRP 연구진들의 적극적 참여가 필수적이다.

본 연구는 도로포장현장을 대상으로 건설단계에서부터 공용후 10년이상 장기간 수행되는 대형 프로젝트로 포장기술자들의 많은 관심과 참여가 요망된다.

감사의 글

본 연구는 건교부 수탁과제인 “한국형포장설계법 개발과 포장성능개선 연구”의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 건설교통부(2001), “한국형 포장 설계법 개발 및 포장 성능 개선 방안 수립을 위한 기본계획” 최종보고서
2. Federal Highway Administration(1994), “LTPP Seasonal Monitoring Program: Instrumentation Installation and Data Collection Guidelines” FHWA-RD-94-110
3. Strategic Highway Research Program(1995), “SHRP-LTPP Specific Pavement Studies : Five-Year Report” SHRP-P-395