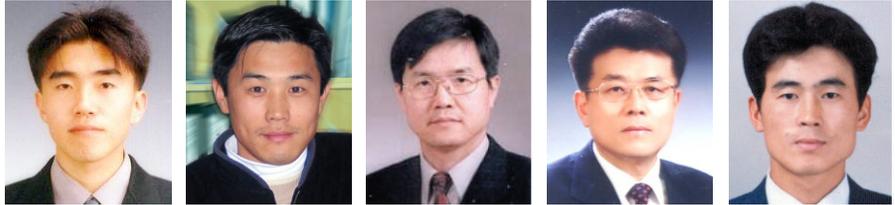


## KOR-LTPP 연구



전 성 일 | 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원  
 김 부 일 | 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원  
 이 성 준 | 정회원 · 국토해양부 간선도로과 과장  
 임 광 수 | 정회원 · 국토해양부 간선도로과 사무관  
 김 상 규 | 비회원 · 국토해양부 간선도로과 담당주무관

### 1. 서론

LTPP(Long Term Pavement Performance) 연구는 실제 운영 중인 도로포장에 대한 장기적인 공용성을 관측하여 여러 영향인자들과의 관련성을 밝히는 연구 프로젝트이다. 현재, 미국에서는 US-LTPP 연구를 1987년 이후로 20년이 넘게 진행해오고 있다. 특히 US-LTPP 연구를 통해 수집된 데이터는 인터넷 웹사이트 '<http://www.datapave.com>'을 통해 공개되고 있으며, 매년 'LTPP Data Analysis Contest'를 통해 LTPP 데이터의 활용을 꾀하고 있다. KOR-LTPP (Korea LTPP) 연구는 한국형 포장설계법 개발 연구의 일환으로 국내 실정에 맞게 시험구간을 구성하여 연구를 진행 중에 있으며, 현재는 운영초기단계에 있다.

KOR-LTPP 연구는 두 가지의 구간으로 분류되는데, 하나는 GPS(General Pavement Study)로 기존 도로포장의 재료적 특성, 포장상태 등을 평가하는

연구이다. 또 하나는 SPS(Specific Pavement Study)로 포장의 시공이력, 재료·구조적특성, 환경특성, 공용성 등의 인자를 관측하기 위해, 시공과정에서부터 연구가 진행되어 시공완료 후에도 주기적인 포장상태조사, 계측데이터 수집 등의 작업이 이루어지게 되는 연구이다.

GPS는 파손이 일부 진행된 구간에 대해 조사를 수행하기 때문에, 공용성모형을 검증하는데 시간적 소요가 적다는 장점이 있는 반면, 구간정보가 부족하고 초기 물성데이터와 포장상태 데이터가 없다는 단점이 있다. 이에 반해 SPS는 시공과정에서부터 참여하여 정확한 구간정보와 초기 재료물성·포장상태 데이터가 존재하여 공용년수가 늘어남에 따라 데이터의 변동추이를 명확히 볼 수 있다. 그러나 SPS는 구간건설부터 운영에까지 상당한 시간을 요하므로, 본 KOR-LTPP 연구에서는 GPS와 SPS를 병행하여 상호간에 단점을 보완하고 있다.

KOR-LTPP 연구는 3년간의 기본설계를 바탕으로

로 2005년부터 SPS구간을 건설하여 2008년 1월에 SPS 구간 10개를 모두 완성하였다. 또한 기존 공용 중인 도로의 공용성 관측을 목적으로 2006년에 GPS 구간 18개를 선정하여 운영 중에 있다.

## 2. GPS 연구

GPS 구간 선정은 아래의 등급기준에 따라 16개 구간을 선정하였고, 피로균열 발생구간에 대한 평가를 위해 2개 구간을 추가 선정하였다.

표 1. GPS 구간선정을 위한 등급기준

Level	Crack	Rutting	AC Thickness	Frost Index
Low	$0.1 \leq C(\%) < 1$	$0 \leq R(\text{mm}) < 5$	$12 \leq T(\text{cm}) < 25$	F < 300
Medium	$1 \leq C(\%) < 5$	$5 \leq R(\text{mm}) < 15$		
High	$C(\%) \geq 5$	$R(\text{mm}) \geq 15$	$T(\text{cm}) \geq 25$	$F \geq 300$

국도 PMS 약 2,000개 구간의 데이터를 분석하여, 표 2와 같이 구간을 선정하였다.

GPS 구간에서는 아스콘 층에 코어를 채취하여 공극률, 입도, AP함량, 동탄성계수를 분석하였으며, 균열형태, 깊이를 관측하기 위하여 구간별로 균열부위에서 코어채취하여 분석하였다. 또한 주기적으로 연간 2회씩 FWD 조사, 포장상태조사를 수행하고 있다.

## 3. SPS 연구

### 3.1 SPS 선정 구간

SPS 구간은 전국에 건설되고 있는 도로현장의 설계교통량과 동결지수, 그리고 지역적 안배를 고려하여 표 3과 같이 10개구간을 선정하였다.

표 2. GPS 선정 구간 및 정보

기 호	국도 번호	거리표명 (시점)	거리표명 (종점)	차로수	최초포장 년도	표층 (cm)	기층 (cm)	보조기층 (cm)	동상방지층 (cm)
G 1111	02	마산50	마산49	4	04	6	15	34	
G 1112	07	간성24	간성23	4	99	5	10	20	40
G 1121	13	영암15	영암14	4	00	10	20	40	
G 1122	42	문막12	문막11	4	99	10	20	20	40
G 1211	02	성전9	성전8	4	98	5	15	40	
G 1212	03	충주11	충주10	4	97	10	10	30	30
G 1221	23	부안28	부안27	2	96	10	20	35	
G 1222	37	양평19	양평18	4	98	10	15	25	40
G 2111	02	강진10	강진9	4	98	5	15	40	
G 2112	44	홍천9	홍천	4	00	10	10	45	15
G 2121	24	해보17	해보16	4	99	10	20	40	
G 2122	01	논산29	논산28	4	01	11	14	40	
G 2211	03	진주21	진주20	2	92	5	15	25	
G 2212	36	수산25	수산24	2	98	7	15	20	35
G 2221	14	신현7	신현6	4	98	10	20	30	
G 2222	37	문산7	문산6	4	00	10	20	25	45
G 333		지방도 333호선 (여주지역) _ D/B에 기록되어 있는 포장단면 14.2 / 23.3(포장층/보조기층)							
G 329		지방도 329호선 (일죽지역) _ D/B에 기록되어 있는 포장단면 12.5 / 20.0(포장층/보조기층)							

표 3. SPS 선정 구간 및 정보

기 호	국도번호	구간명칭	차로수	최초포장 년도	표층 (cm)	중간층 (cm)	기층 (cm)	보조기층 (cm)	동상방지층 (cm)
S01	46호선	신북-양구간	2	05년12월	5		20	30	45
S02	44호선	두촌-어른간	4	06년11월	5	6	14	30	45
S03	21호선	병천-용두간	4	08년1월	5	6	19	20	40
S04	32호선	합덕-신례원간	4	08년1월	5	6	19	20	30
S05	23호선	개정-성산간	4	05년12월	5	6	15	34	
S06	18호선	문내-황산간	4	08년1월	5		20	35	
S07	17호선	중흥-왕지간	4	08년1월	5	6	19	36	
S08	14호선	퇴래-농소간	4	08년1월	10		20	30	
S09	77/82호선	우정-장안간	4	08년1월	5	6	20	20	39
S10	1호선	원평-금구간	4	08년1월	10		20	30	

3.2 포장단면설계 및 계층설계

SPS 구간은 구간타입에 따라 Case I 2개구간과 Case II 8개구간으로 구분된다. Case I의 경우 포장체의 구조적 거동을 관측하기 위해 포장단면을 5가지로 나누어 시공하였으며, Case II의 경우는 기존 설계단면으로 시공하였다. Case I은 우정-장안, 원평-금구 두 개 구간이다.

그림 1과 그림 2는 Case I의 포장단면을 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 것과 같이, Case I 단면은

동상방지층을 생략한 단면, 기층두께를 감소시킨 단면, 표층을 개질아스팔트, 재활용 재료, 섬유보강재를 적용한 단면 등으로 구성되어 있다.

그림 3은 SPS 구간의 계층설계단면, 그림 4는 계층센서 형상을 보여주고 있다. Case I의 경우, 구조적 특성을 평가할 수 있는 변형률계, 토압계가 단면별로 매설되었고, 환경적 특성을 평가할 수 있는 온도계, 함수량계, 지하수위계도 매설되었다. Case II의 경우에는 환경적 특성을 평가할 수 있는 계층센서만 매설되었다.

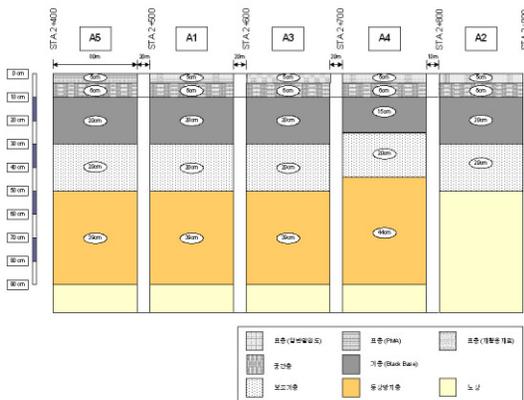


그림 1. 우정-장안간 포장단면

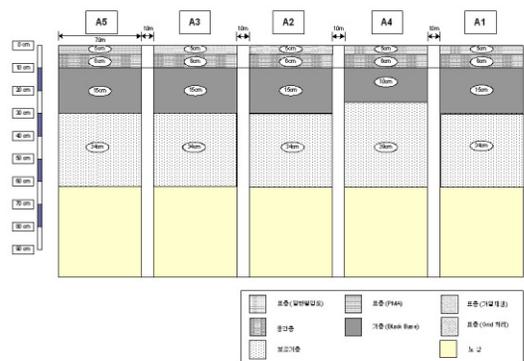


그림 2. 원평-금구간 포장단면

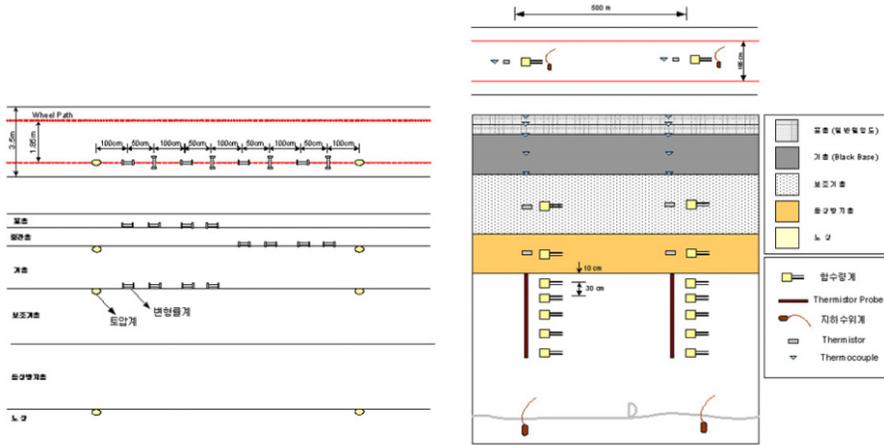


그림 3. SPS 구간 계측설계단면

변형률계 (KM-100HB)		토압계 (KDA-PA)	
온도계 (Thermocouple)		함수량계 (CS616)	
온도계 (Thermistor Probe)		지하수위계 (KW-20C)	

그림 4. 계측센서 형상

### 3.3 계측시스템

도로포장구조체의 환경적 특성을 평가할 수 있는 계측센서의 데이터는 자동계측시스템을 도입하여 매 시간 데이터를 저장하고 있다. 그림 5는 자동계측시스템 구성도를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 것과 같이 포장 각 층에 설치된 계측센서의 케이블은 CR-10X(또는 CR-1000) 데이터로거와 Mux 채널확장기에 연결되며, 데이터로거는 LoggerNet 프로그램에 의해 조정되어 매 시간마다 데이터를 저장하게 명령되어 있다. LoggerNet 프로그램은 데이터로거의

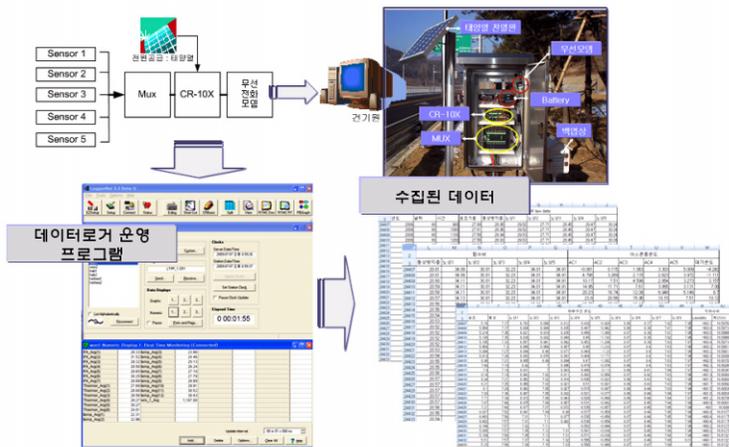


그림 5. 자동계측시스템

조정 및 데이터 수집을 위해 사용이 되며, 이와 같은 작업은 무선모뎀을 통해 사무실에서 이루어질 수 있도록 하였다. 데이터로거와 무선모뎀의 전원은 태양열 전열판을 이용하여 공급되고 있다.

수동계측시스템은 Case I 구간에 설치된 변형률계와 토압계의 동적측정을 위해 설치되었다. 수동계

측시스템은 현장에 합체와 단자대만을 구성하게 되고 동적측정장비에 수동으로 연결하는 방식이다. 동적측정장비는 안정적인 데이터수집이 가능하고 호환성이 우수한 DEWETRON 제품을 선정·운영하고 있다. 그림 6은 수동계측시스템 운영 전경 및 측정데이터를 보여주고 있다.



그림 6. 수동계측시스템

### 3.4 구간 운영

SPS구간은 자동계측시스템을 통해 함수비, 온도, 지하수위 데이터를 매시간별로 저장하고 있으며, 연간 2회씩 정기계측을 통해 변형률계와 토압계의 동적거동을 측정한다. 또한 계절적 변동에 따른 포장구조체의 변동성을 분석하기 위해 연간 5회~6회 정도 FWD 시험을 수행하며, 포장상태조사는 연간 2회를 수행하고 있다.

## 4. 현재까지의 연구성과 및 향후연구 계획

### 4.1 함수량계 보정방정식 제안(2005년)

함수량계는 다짐밀도, 흙의 특성에 따라 그 값이 차이를 나타내고 있기 때문에 사용시 반드시 보정실

험을 거쳐야 한다. 미국의 LTPP에서도 보정실험 절차를 반드시 거치도록 권고하고 있다. 본 LTPP 연구에서는 SPS 구간의 시료를 채취하여 실내에서 보정실험을 수행하였으며, 그림 7과 그림 8에서 같이 보정방정식을 제안, 적용하고 있다.

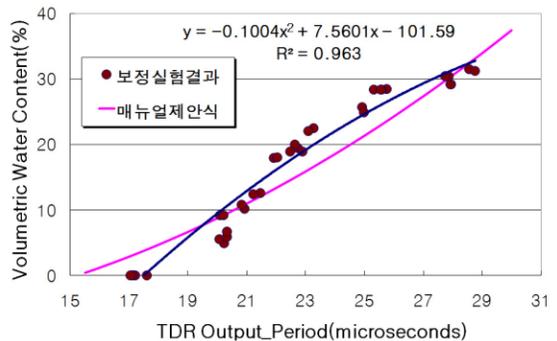


그림 7. 함수량계 Calibration Equation (노상재료)

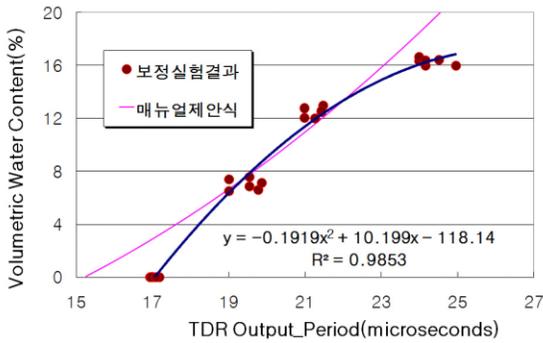


그림 8. 함수량계 Calibration Equation (입상재료)

#### 4.2 DCP-M<sub>FWD</sub>의 상관관계식 제안(2006년)

SPS 구간에서는 포장하부구조의 지지력 분석을 위해 시공단계별로 4가지 종류의 현장지지력실험을 수행하였다. 이 실험결과를 이용하여 그림 9와 같이 DCP-M<sub>FWD</sub>의 상관관계식을 제안하였다.

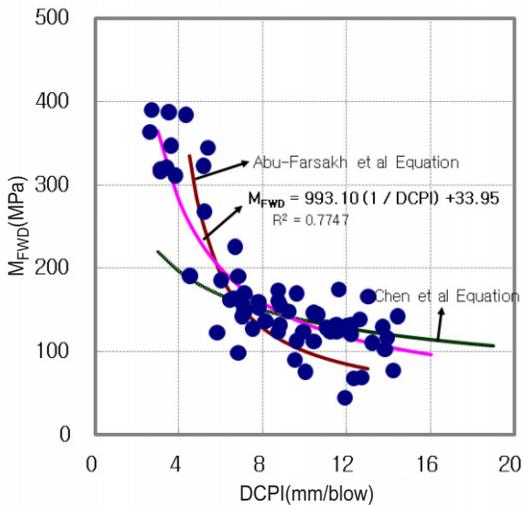


그림 9. DCP-M<sub>FWD</sub>의 상관관계 분석

#### 4.3 섬유보강 아스팔트 포장의 구조적 성능평가 (2008년)

섬유보강재를 적용할 경우 아스콘층 상부에서 발생하는 응력을 일정부분 저감시켜 소성변형에 대한 저항성을 증진시킬 수 있는 것으로 보고하였다.

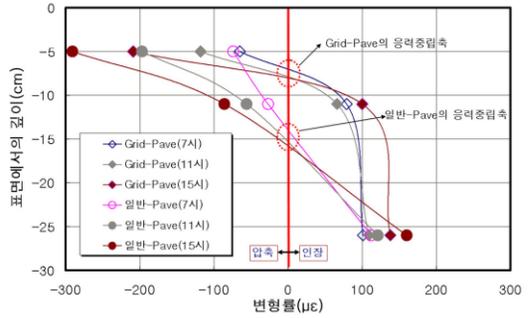
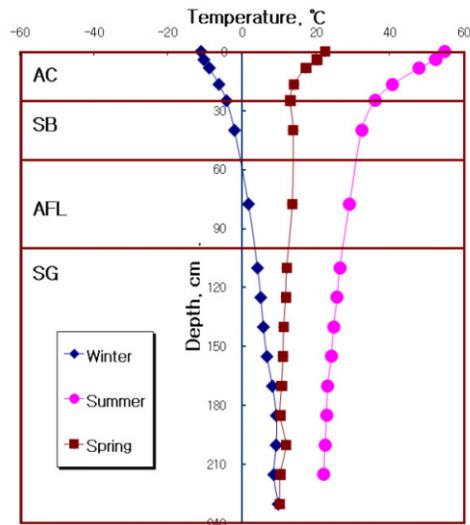
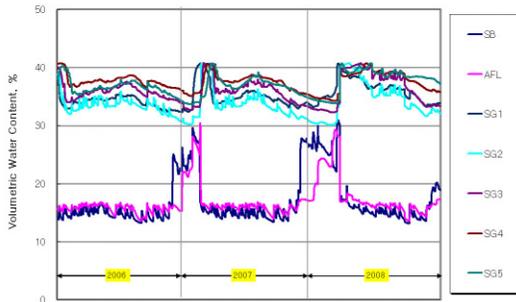


그림 10. Grid포장 변형률 분포

#### 4.4 향후 연구 계획

본 LTPP 연구는 도로포장구조체의 모든 영향인자들을 관측하여 공용성과의 관련성을 분석하는 총체적인 현장시험 연구이다. 이와 같은 시험시설을 이용하여 앞으로 다음과 같은 연구내용을 진행하고자 한다.





① 계절적 변동성에 따른 포장체 물성변화 연구

② 동결지수, 융해지수, 동결깊이 분석

: 깊이별 매설되어 있는 온도계와 함수량계는 포장 각 층의 물성을 추정하는데 가장 중요한 영향인자이다. FWD 역산작업을 통해 포장 각 층별 탄성계수를 추정하여 계절별 변화추이를 분석하고, 온도·함수비와의 관련성을 밝히고자 한다. 또한 온도와 함수비 데이터는 동결지

수, 융해지수, 동결깊이를 분석하는데 유용한 데이터로 전국에 분포되어 있는 SPS 구간별로 이 지수들을 산정하고자 한다.

③ 포장단면 변화에 따른 구조적 특성 변화 분석

④ 포장체의 구조적·환경적 특성 변화가 포장 공용성에 미치는 영향 분석

: 변형률과 응력데이터 비교를 통해 단면별 구조적 특성을 분석하고자 한다. 아스콘이 감온성 재료임을 감안하여 여러 온도분포에서 평가가 이루어져야 한다. 또한 주기적인 포장상태조사 데이터를 통해 구조적·환경적 특성변화가 포장공용성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

이와 같은 연구내용들은 짧게는 2~3년, 길게는 7~10년 정도의 데이터를 바탕으로 종합적 분석이 이루어져야 하며, 이에 본 연구진은 데이터 수집 및 관리업무를 체계적으로 계속 해나갈 계획이다.

회원의 신상변동사항(이사, 전근, 승진 등)이 있으면  
학회 사무국으로 연락주시기 바랍니다.  
현재 반송되는 우편물이 너무 많습니다.

- 전 화 : (02)3272-1992
- 전 송 : (02)3272-1994
- E-mail : ksre1999@hanmail.net