

한국도로공사 시험도로의 건설 현황

권순민* · 김지원* · 이재훈* · 김도완* · 정현구** · 윤경구***

1. 머리말

1.1 시험도로의 건설목적

시험도로는 현재 세계에서 미국에서만 세 차례에 걸쳐서 시도된 바 있는 국가적인 차원의 건설연구 프로젝트라 할 수 있다. 한국도로공사에서는 도로포장 관련 기술력을 진일보시키고자 1997년부터 시험도로의 건설을 계획하였고 설계 단계를 거쳐 1999년부터 시험도로의 건설에 착수하였다. 본 시험도로는 2002년 12월 말 준공 예정으로 있다. 시험도로 건설의 목적은 여러 가지가 있겠지만 가장 중요한 목적은 한국형 포장설계법 개발이라 할 수 있다. 현재까지 우리나라에서는 미국과 일본에서 포장설계법을 도입하여 나름대로 개선을 하여 포장을 설계해왔다. 그렇지만, 외국의 설계법을 기초로 만들어진 설계법을 사용하게 된 결과 우리나라에서 생산되는 포장 재료와 교통 및 기후조건과 같은 한국적인 특성이 고려되지 않은 포장 설계가 이루어졌다.

한국도로공사에서는 이와 같은 상황을 타개하고자 장기적으로 포장설계법을 자체 개발하겠다는 의지를 가지고 1997년 시험도로의 건설을 결정하였다. 그에 상응하여 2000년에 건설교통부에서는 시험도로를 활용하여 포장설계법 개발연구

를 지원하기로 결정하였다. 이를 위하여 건설교통부에서는 2000년에 포장설계법을 개발하기 위한 기본연구 용역을 발주하였고, 2001년에는 한국형 포장설계법 개발을 위한 본 연구과제를 발주하였다. 본 연구과제 발주 후 한국도로공사에서는 시험도로의 건설과정에서 포장설계법 개발이라는 목표를 충족할 수 있도록 연구과제와 관련된 시험시공 등을 병행하며 건설하도록 협조하여 완공을 눈앞에 두고 있다.

현재 한국도로공사 및 포장설계법 국책연구참여진이 바라는 시험도로의 목적을 세부적으로 살펴보면 다음과 같다. 아래의 목적들은 포장설계법 개발에 더하여 포장의 성능개선과 도로건설 예산의 절감이라는 성과를 같이 고려 할 수 있도록 설정되었다.

- ① 실제 교통량을 이용한 포장의 공용성 평가
- ② 동상방지층의 유효성 검토
- ③ 새로운 포장 및 유지보수 재료의 성능 비교 평가
- ④ 실내 시험과 현장 시험의 상관관계 정립
- ⑤ 포장 두께 설계 방법 정립을 위한 자료 축적
- ⑥ 유지보수 기준 정립을 위한 자료 축적
- ⑦ 기능성 포장의 성과 검토

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

** 정회원 · 한국도로공사 건설계획처

*** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 (kkyun@kangwon.ac.kr)

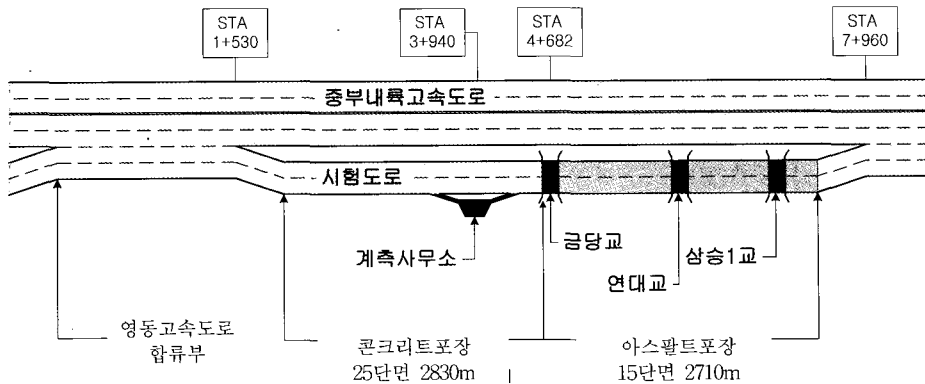


그림 1. 시험도로 개략도

위의 목적에 따라서 발생하는 성과는 다음과 같다

- ① 한국형 포장설계법 개발 및 포장성능 개선 방안 정립
- ② 최적의 포장 및 유지보수 재료 선정
- ③ 교통량 및 환경영향에 대한 최적의 포장 두께 설계
- ④ 효과적인 유지보수를 통한 포장 수명 연장 위와 같은 성과들이 도출된다면 궁극적으로 시험도로의 건설을 통하여 우리나라의 포장관련 기술력을 향상시키고 건설 및 유지보수 예산의 절감을 이루어 낼 수 있다.

1.2 규모 및 시설

시험도로가 위치하는 중부내륙고속도로 시험 구간은 도로선형이 다른 신설 구간에 비하여 종·횡단이 양호하므로 시험도로를 건설하기가 상대적으로 용이하다. 또한 포장단면 이외에도 시험 교량구조물(3개소), 시험 지중구조물(2개소) 등의 설치가 가능한 제반 지형을 적절히 구비하고 있는 구간이다. 포장의 수명에 중요한 영향을 미치는 기후적인 관점에서는 중부내륙에 위치하여 영동산간기후, 경기이북의 한냉기후, 경기 이남의 온대성기후 조건을 겸비하고 있어 기후에 따른 영향을 다양하게 조사할 수 있다.

교통량 측면에서는 서울과 부산을 최단거리로 이어주는 고속도로 노선 상에 위치하므로 많은 교통량의 통과가 기대되어 시험도로의 설치에 적합한 구간으로 판단할 수 있다. 시험도로는 왕복 4차선의 중부내륙고속도로 본선에 부가적으로 총 연장 7.7km에 걸쳐 편도 2차선으로 건설된다. 본 구간 내에 2830m 연장의 25개 콘크리트포장 단면과 2710m 연장의 15개 아스팔트포장 단면이 시공되고, 3개의 교량과 2개의 지반구조물을 건설한다. 따라서, 시험도로를 통해 포장, 구조, 지반, 교통, 재료, 환경 등 도로에 관련된 모든 연구가 종합적이고 집약적으로 추진된다. 시험도로의 규모 및 시설에 대해 정리하면 다음 표 1. 과 같다.

표 1. 시험도로 개요

위 치	중부내륙고속도로 제1공구 하행선
총 연장	7.7km
폭 원	11.7m (2차로)
공사기간	'97. 4 ~ '02. 12
주요 연구시설	시험포장단면 40개 (콘크리트 25개, 2830m; 아스팔트 15개, 2710m) 시험 교량 3개소 (금당교, 연대교, 삼승1교) 시험 지중구조물 2개소 (파형강관, 보강토 용벽) 계측사무소 (2층, 연면적 135평)
계측기 및 계측시스템 설치 규모	콘크리트 포장 11종 1261개, 아스팔트 포장 6종 636개 자동 계측시스템 15조, 이동 계측시스템 2조

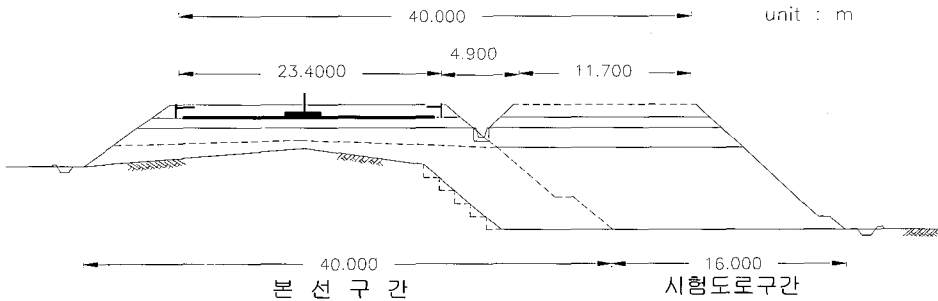


그림 2. 시험도로 포장 표준횡단면도

2. 시험도로 포장 단면 설계 및 시공

2.1 포장단면

시험도로에 적용되는 포장단면은 크게 콘크리트포장과 아스팔트포장으로 구분된다. 시험도로 콘크리트 포장은 총 25개 단면으로 이루어져 있다. 포장형식은 줄눈 및 연속철근콘크리트포장으로 이루어져 있고 줄눈콘크리트포장이 총 22개 단면, 연속철근콘크리트포장이 3개 단면이다. 줄눈콘크리트포장의 단면 설계에 반영된 변수는 슬래브 두께(25, 30, 35cm), 보조기층 두께 (12, 15, 18cm), 보조기층 재료(린콘크리트, 쇄석, 아스팔트안정처리)이다.

3가지 변수 총 27개 팩토리알(factorial)중에서 쇄석 및 아스팔트안정처리 보조기층은 15cm 두께의 기본단면만 반영되고 린콘크리트 보조기층은 모든 경우가 반영되었다. 연속철근콘크리트포장의 변수는 철근비(0.6, 0.7, 0.8%)이다. 이외에도 기능성 포장단면으로서 강섬유보강콘크리트, 고급 린보조기층, 동상방지층 생략단면, 배수기층, 다웰바 생략 단면 등이 포함되었다.

아스팔트 포장은 총 15개 단면으로 이루어져 있다. 단면 설계변수는 기층 두께 (15, 25, 35cm), 기층 재료(아스팔트안정처리 25mm, 40mm, 쇄석), 보조기층두께 (30cm, 30cm+동상방지층,

40cm)로 구성되어 있다. 여러 가지 변수 총 27개 팩토리알중에서 도로공사의 기본설계인 아스팔트안정처리 기층 25mm는 모든 경우가 40mm와 쇄석은 기본단면(보조기층 30cm+동상방지층)에만 반영되어 총 15개의 단면이 선정되었다. 표층의 재료를 검토하기 위하여 기본단면에 한하여 표층을 일반밀입도, SMA, PMA(개질재 사용)의 3가지 재료를 반영하여 소 단면을 형성하였다. 그 결과 아스팔트포장은 총 33개의 포장단면으로 구성되었다.

포장단면의 배치는 시공성을 고려하여 배치하였는데, 평탄성을 위하여 표층의 레벨을 일치시켜야 하므로 동상방지층의 높이를 조정하여 배치하였다. 시공상의 편의를 위하여 동상방지층의 레벨을 올리거나 내리는 방향으로 단면 순서를 조정하였고, 동일 재료를 한 지역에 모으는 방향으로 배치하였다(그림 2. 3. 참조).

시험도로에는 이외에도 포장성능 개선을 고려한 다양한 시험시공이 이루어졌는데, 세부 내용은 3장에서 다루고자 한다.

2.2 포장시공

시험도로의 포장하부는 2000년 상반기부터 중부 내륙고속도로 여주-충주간 건설공사와 더불어 꾸준히 시공되어 왔으며, 본격적인 포장상부(기층 이상)의 시공은 2002년도 중반기에 들어 시작되었다.

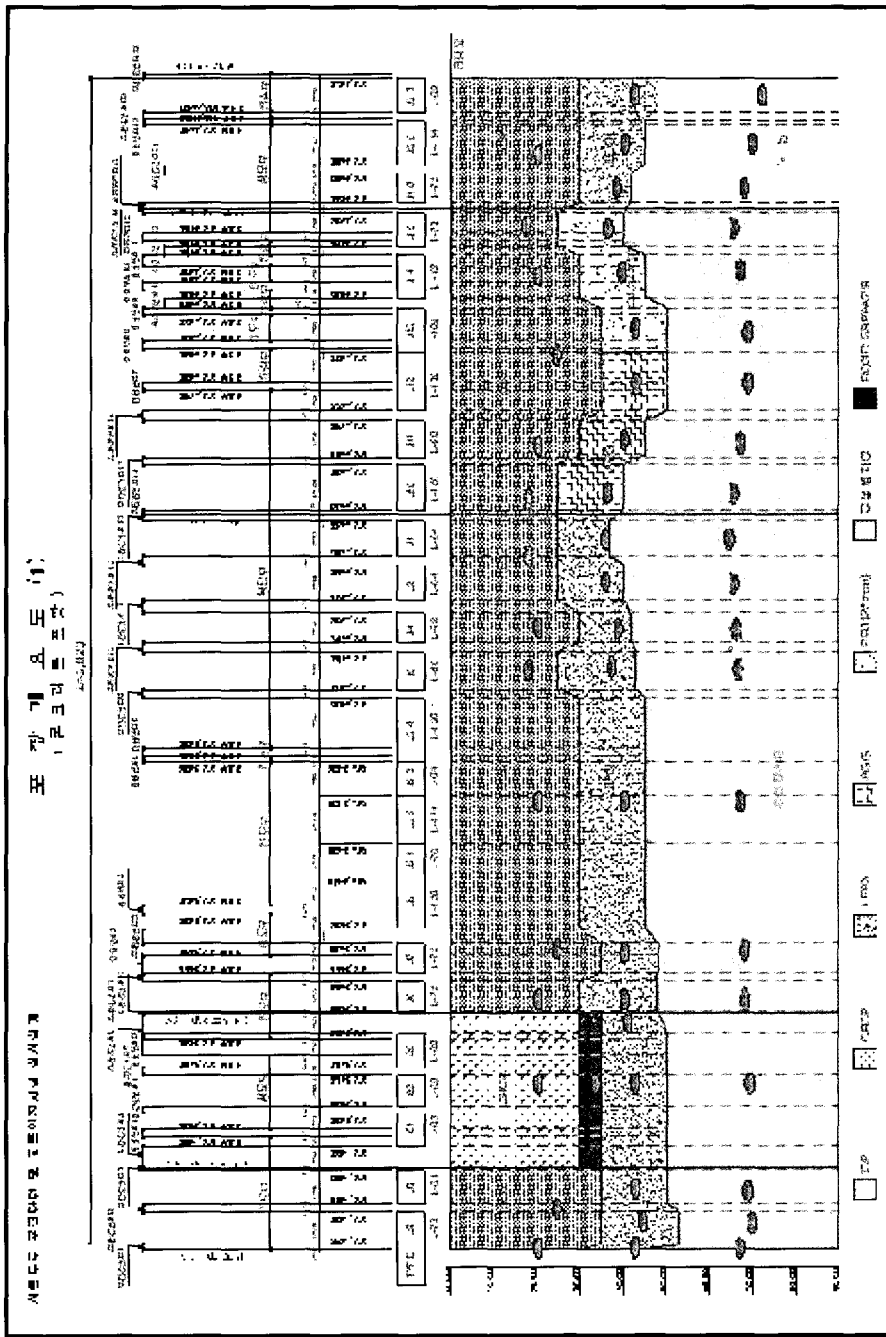


그림 2.

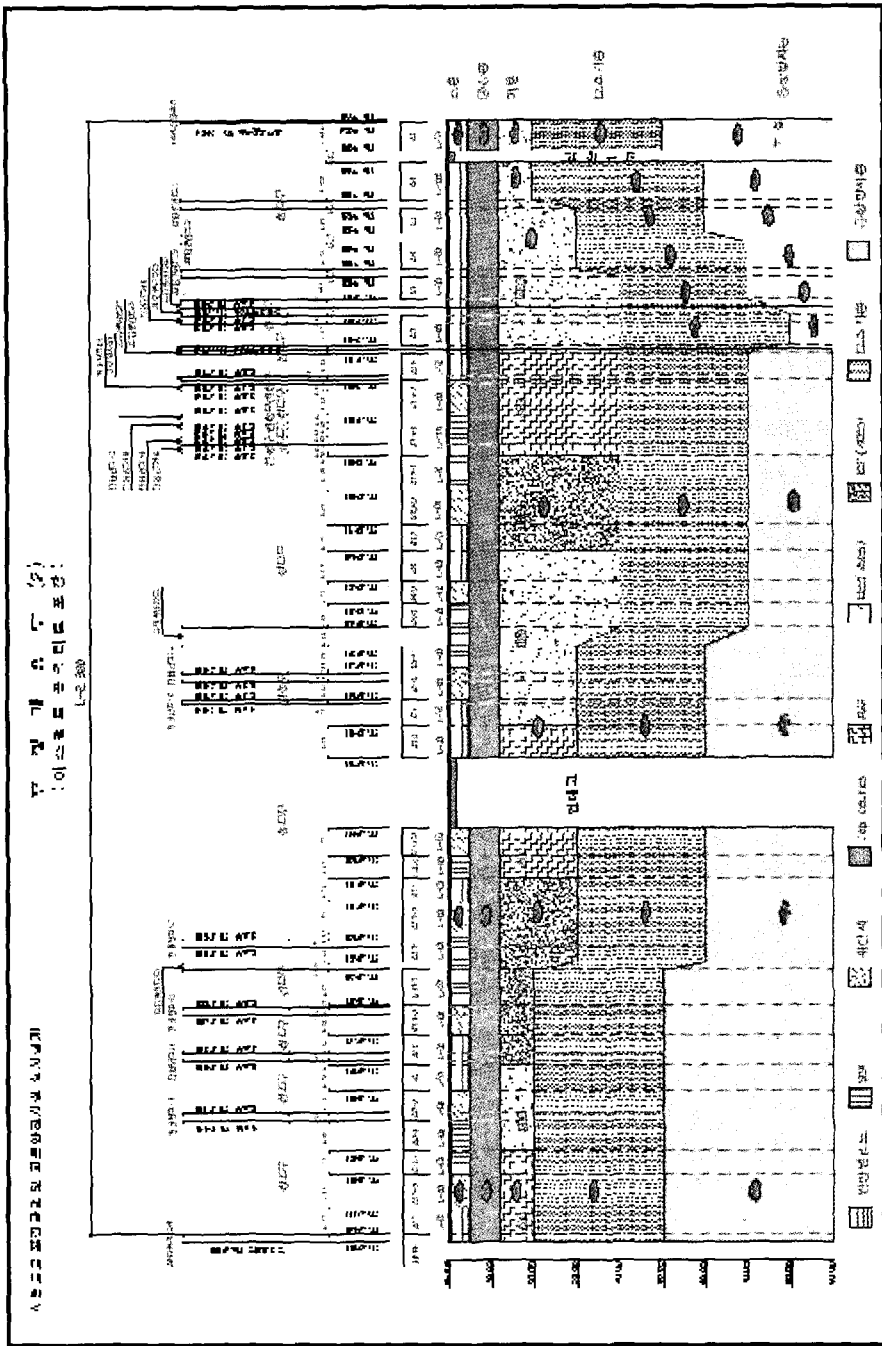


그림 3.

포장상부의 시공은 포장체 내부에 계측기 매설이 동시에 이루어짐으로 시공 전 계측기 설치 준비 작업, 시공 중 계측기 설치에 따른 포장장비의 작업공간 협소, 계측기와 장비와의 충돌위험, 설치 후 계측기 케이블 처리 등 일반적인 포장시공에 비하여 다소 공기가 연장되는 경향이 있었다. 특히, 콘크리트포장의 경우 포장 슬래브에 매립되는 변형률계의 포설과정에서 계측기의 위치변동을 막기 위한 보호박스의 제거가 패이버의 진행을 약간 더디게 하였으며, 아스팔트포장의 경우 피니셔 진행 직후 및 2차 다짐 직후에 각각 계측기 매립이 이루어짐으로 3차 다짐이 다소 늦어지는 경향이 있었다. 그러나, 이러한 과정이 전반적인 포장 공정을 그르칠 만한 정도는 아니었다. 다음의 그림 4부터 그림 7.은 포장시공과정 모습을 보여주고 있다. 다음의 표 2.과 표 3.는 콘크리트포장과 아스팔트포장의 단면별 각층의 시공일자를 나타내고 있다.

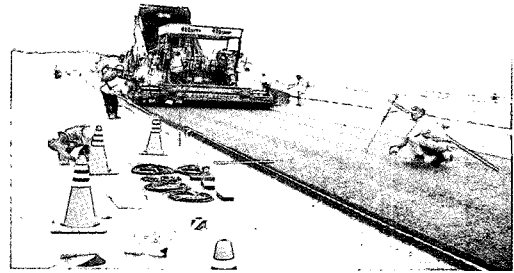


그림 6. 아스팔트포장 포설

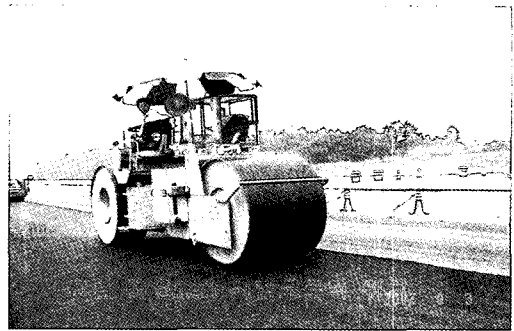


그림 7. 아스팔트포장 다짐



그림 4. 린콘크리트 포설

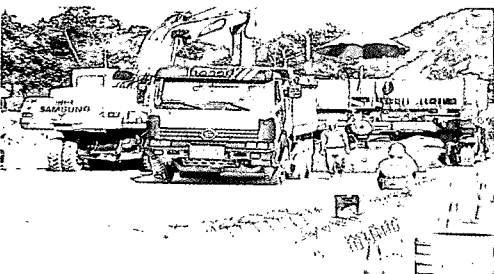


그림 5. 콘크리트 슬래브 포설

3. 성능개선 관련 시험시공

3.1 콘크리트 초기거동 분석 시험시공

콘크리트포장의 장기수명은 그 포장의 초기재령의 상태에 크게 좌우된다. 즉 초기균열이 많거나 균열틈이 많이 벌어진 경우 그 포장의 장기공용성은 그렇지 않은 포장에 비해 크게 떨어질 수밖에 없다. 또 이러한 초기 거동은 시공시기, 재료조건, 설계조건, 시공 직후의 온·습도 조건 등에 의해 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다. 선진국의 경우 신설 포장의 시공시 시공현장조건에 따라 시공방법을 달리하여 최상의 품질을 발휘하도록 하고 있는 실정이다. 우리나라의 경우, 시공현장의 특성(기후, 온도 등)을 고려하지 않고 일률적인 시공이 이루어지고 있으나, 선진국에서는 시공당시의 기후를 고려하여 시공을 하고 있다.

표 2. 콘크리트포장 단면별 각종 포설일자

단면번호	표층		보조기층		비 고	
	종 류	포설일자	종 류	포설일자		
J9	JCP	2002/10/11	린콘크리트	2002/07/16		
J8	JCP	2002/10/10	린콘크리트	2002/07/16		
C1	CRCP	2002/10/21	린콘크리트	2002/07/17	표층아래	
C2	CRCP	2002/10/21	린콘크리트	2002/07/17	Bond Breaker	
C3	CRCP	2002/10/16	린콘크리트	2002/07/17	설치	
J6	JCP	2002/09/09	린콘크리트	2002/07/18		
J7	JCP	2002/09/09	린콘크리트	2002/07/18		
J5	JCP	2002/09/09	린콘크리트	2002/07/18		
J5-1	JCP	2002/09/11	린콘크리트	2002/07/24		
J5-2	JCP	2002/09/11	린콘크리트	2002/07/24		일부구간
J5-3	JCP	2002/09/11	린콘크리트	2002/07/24	고급린콘크리트	다웰바
J5-4	JCP	2002/09/12	린콘크리트	2002/08/06	강섬유보강 콘크리트슬래브	제거
J3	JCP	2002/09/12	린콘크리트	2002/08/06	종방향 타이닝	
J4	JCP	2002/09/13	린콘크리트	2002/08/06	(18mm)	
J2	JCP	2002/09/13	린콘크리트	2002/08/06	종방향 타이닝	
J1	JCP	2002/09/13	린콘크리트	2002/08/06	(26mm)	
J10	JCP	2002/10/08	쇄석기층	2002/08/15		
J11	JCP	2002/10/08	쇄석기층	2002/08/15	인조잔디 깔기	
J12	JCP	2002/10/08	쇄석기층	2002/08/15		
J15	JCP	2002/10/07	BB3	2002/07/30	입의간격	
J14	JCP	2002/10/07	BB3	2002/07/30	횡방향	
J13	JCP	2002/10/07	BB3	2002/07/30	타이닝	
J4-0	JCP	2002/10/04	린콘크리트	2002/07/04	다웰바	
J5-0	JCP	2002/10/04	린콘크리트	2002/07/04	자동삼입	
J6-0	JCP	2002/10/04	린콘크리트	2002/07/04		

표 3. 아스팔트포장 단면별 각층 포설일자

단면번호	표 층		중간층		기 층		비 고
	종 류	포설일자	종류	포설일자	종 류	포설일자	
A13	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/09	쇄석기층	2002/10/04	
A13-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/09	쇄석기층	2002/10/04	
A13-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/09	쇄석기층	2002/10/04	
A2-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/09	BB3	2002/09/03	
A2-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/09	BB3	2002/09/03	
A2	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/09	BB3	2002/09/03	
A10	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/09	BB1	2002/09/03	
A10-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/09	BB1	2002/09/03	
A10-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/09	BB1	2002/09/03	
A11-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/09	BB1	2002/09/02	
A11-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/09	BB1	2002/09/02	
A11	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/11	BB1	2002/09/02	
A14-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/11	쇄석기층	2002/09/25	
A14-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/11	쇄석기층	2002/09/25	
A14	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/11	쇄석기층	2002/09/25	
A5	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/11	BB3	2002/09/10	
A5-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/11	BB3	2002/09/10	
A5-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/11	BB3	2002/09/10	
A8-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/11	BB3	2002/09/10	
A8-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/11	BB3	2002/09/10	
A8	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/11	BB3	2002/09/10	
A12	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/11	BB1	2002/09/09	
A12-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/11	BB1	2002/09/09	
A12-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/22	BB1	2002/09/09	
A15-1	SMA	2002/11/13	BB5	2002/10/22	쇄석기층	2002/10/17	
A15-2	PMA	2002/11/15	BB5	2002/10/22	쇄석기층	2002/10/17	
A15	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/22	쇄석기층	2002/10/17	
A9	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/22	BB3	2002/10/01	
A7	밀입도	2002/11/18	BB5	2002/10/15	BB3	2002/10/01	
A6	밀입도	2002/11/17	BB5	2002/10/15	BB3	2002/10/02	
A4	밀입도	2002/11/17	BB5	2002/10/16	BB3	2002/10/02	
A3	밀입도	2002/11/17	BB5	2002/10/16	BB3	2002/10/02	
A1	밀입도	2002/11/17	BB5	2002/11/16	BB3	2002/11/16	

이 처럼 외부환경에 민감한 콘크리트의 초기 특성을 시공 전에 예측을 하여 콘크리트포장의 공용성을 향상시킬 수 있다.

본 시험시공은 콘크리트포장의 초기거동을 조절하는 방안을 찾아내기 위해 해외(미국)에서 개발된 HIPERPAV (High Performance PAVing software)의 각 입력요소 및 내장된 모형들의 국내 적용성을 분석하고 필요한 보완을 통해 국내에서 사용하는데 무리가 없도록 하는 것을 기본으로 한다.

① 시험위치 : Sta. 1+400 ~ 1+700

② 시험목적 : 실제 현장 시험시공을 통하여 콘크리트포장의 초기거동을 조절할 수 있는 방법을 찾아내어 가능한 한 초기 균열을 줄여 포장의 장기공용성을 향상시킬 수 있는 방안을 도모 한다.

③ 시험일자 : 2002년 7월 18일

④ 시험항목

- 대기온도 및 습도 측정
- 린콘크리트 온도 측정
- 대기온도변화 및 콘크리트포장의 수화반응에 따른 포장 슬래브 온도 변화 측정
- 콘크리트 초기강도 추정을 위한 초음파 측정
- 콘크리트 슬래브 현장 건조수축시험
- 현장 공시체를 통한 각종 강도시험(압축강도, 휨강도, 간접인장강도, 탄성계수 등)

⑤ 시험시공 결과의 적용

- 현장을 통해 콘크리트의 기본물성시험을 수행하여 국내 재료의 특성을 고려한 기본물성값들을 정리한다.
- 현장 시험시공을 통해 수집된 여러 가지 측정값들을 통하여 해외에서 사용되고 있는 콘크리트 초기거동 예측프로그램 HIPERPAV에 대한 국내 적용성을 검토한다.
- HIPERPAV의 국내 적용 가능성을 검토하

여, 궁극적으로는 시공관리요소를 조절함으로써 콘크리트초기품질을 보다 과학적이고 체계적으로 관리할 수 있는 기틀을 마련한다.

3.2 종방향 줄눈제거

현재 종방향 줄눈으로 인한 포장의 파손 현상이 일부 고속도로 현장에서 나타나고 있는바 종방향 줄눈의 유효성을 재검토하여 필요 없다면 종방향 줄눈을 콘크리트 포장에서 제거하고 필요하다면 줄눈으로 인한 파손을 줄일 수 있는 방안을 제시할 필요가 있다.

① 시험위치 : Sta. 1+600 ~ 1+700

② 시험목적 : 종방향 줄눈의 역학을 파악하고, 그 효용성을 검토함

③ 시험일자 : 2002년 7월 18일

④ 시험항목 : 2차로 콘크리트포장 슬래브의 종방향 줄눈을 설치하지 않음

⑤ 시험시공 결과의 적용

- 장기조사 후 종방향 균열, 노면 접착부 벌어짐, 과도한 컬링에 의한 피로 파괴 등 특이사항이 발생하지 않을 경우 포장공정 단순화 가능
- 종방향 줄눈 제거시 종방향 줄눈 파손의 근원을 원천적으로 제거

3.3 표면처리공법

콘크리트 포장의 표층 노면처리는 일괄적으로 균등한 간격의 횡방향 타이닝이다. 그러나, 미국의 몇몇 주도로국, ACPA(American Concrete Pavement Association), 유럽의 연구 결과를 보면 균등한 횡방향 타이닝은 마찰 저항성이나, 소음 측면에서 종방향 타이닝이나 잔디 메 끌기 등에 비해 효율성이 떨어지는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 신설 콘크리트 포장의 다양한 표층 노면처리 방법을 연구·수행하여 평탄성, 마

찰 저항성, 내구성, 소음정도, 경제성 등을 고려한 최적의 표층 노면 처리 공법을 제시하고자 시험시공을 수행하였다.

- ① 시험위치 : Sta. 3+060 ~ 4+344
- ② 시험목적 : 신설 콘크리트포장의 표층 노면처리 방법을 연구·수행하여 평탄성, 마찰 저항성, 내구성, 소음정도, 경제성 등을 고려한 최적의 표층 노면 처리 공법을 제시한다.
- ③ 시험일자 : 2002년 9월 12일 ~ 13일, 10월 7일 ~ 8일
- ④ 시험항목
 - 종방향 타이닝
 - 장비 후미에 갈고리를 장착하고 횡방향 타이닝과 유사하나 도로 중심선과 평행하게 시공
 - 18mm 및 26mm 2종의 일정한 폭과 3mm ~ 6mm 깊이로 시공
 - 임의 간격 횡방향 타이닝
 - 장비 후미에 갈고리 장착
 - 일정간격을 두지 않고 10mm ~ 40mm 혹은 그 이상의 간격으로 다양하게 시공
 - 3mm ~ 6mm 깊이로 시공
 - 인공 잔디 떼 모양 끌기
 - 타이닝 장비 대신 인공 잔디 장비를 이용하여 쓸어내는 형태
 - 횡방향으로 1.5mm ~ 3mm 깊이로 시공
- ⑤ 시험시공 결과의 적용
 - 각 표면마무리 공법에 대한 평탄성, 마찰저항성, 내구성, 소음측정, 경제성 등을 분석한다.
 - 기존 횡방향 타이닝과의 비교검토를 통해 단기 및 장기 공용성과 배수특성을 분석한다.

3.4 다웰바 제거

현재 국내에서 건설되고 있는 무근 콘크리트 포장에는 모든 줄눈에 일률적으로 다웰바를 설치하도록 되어 있다. 현재 콘크리트포장 슬래브 아래에 린콘크리트 보조기층이 설치되는 상황에서 다웰바의 역할과 효율성에 대한 검토를 위해, 다양한 검증 방법으로 접근하여야 하나, 본 시험도로에서 일부 단편적인 접근방법을 시도해 보기로 하였다. 그에 따라 일부 구간에 다웰바를 설치하지 않는 것으로 하였다.

- ① 시험위치 : Sta. 2+754 ~ 2+ 814(11개), 2+862 ~ 2+880(4개), 2+982 ~ 3+042(11개)
- ② 시험목적 : 기존에 적용되고 있는 무근 콘크리트포장에서 다웰바의 역할에 대한 검증 시험시공
- ③ 시험일자 : 2002년 9월 11일 ~ 12일
- ④ 시험항목 : 다웰바 삼입 공정 제외
- ⑤ 시험시공 결과의 적용
 - 장기적인 육안조사를 통한 다웰바 삼입 유무에 따른 줄눈부 파손 추적조사
 - FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용한 줄눈부의 계절별 하중전달률 측정
 - 장기적인 조사를 통하여 다웰바 역할 규명 및 개선사항 제시

3.5 다웰바 자동삼입

현재 국내에서 건설되고 있는 무근 콘크리트 포장에는 모든 줄눈에 일률적으로 다웰바를 설치하도록 되어 있으며, 그 공정이 인력으로 이루어지고 있는 상황이다. 외국에서 다웰바 자동삼입을 시행하고 있는 경우도 있으며, 과거 국내에서도 다웰바 자동삼입에 대한 경험이 있었으며

로, 본 시험도로에서 다웰바 자동삽입에 대한 검토를 수행하였다.

- ① 시험위치 : Sta. 4+220 ~ 4+344
- ② 시험목적 : 현재 인력으로 시공되고 있는 다웰바 거치를 콘크리트포장 페이퍼에 장착된 다웰바 자동삽입기를 이용하여 인력을 줄이고 페이퍼 전면의 장비(백호 및 덤프트럭)에 대한 작업공간을 효율적으로 확보해 줌으로써, 그에 따른 작업성 향상을 통해 공기를 단축할 수 있는 방안을 검토한다.
- ③ 시험일자 : 2002년 10월 4일
- ④ 시험항목 : DBI(Dowel Bar Inserter, 다웰바 자동삽입기) 장착 시공
- ⑤ 시험시공 결과의 적용
 - 다웰바 인력거치 및 자동삽입 구간에 대한 줄눈부의 공용성 비교검토
 - 철근탐지기를 이용한 다웰바 삽입 상태 확인
 - 다웰바 자동삽입에 따른 인력감소 및 공기단축의 경제성 분석

4. 시험도로 운영

4.1 운영 계획

향후 시험도로의 운영은 크게 세 가지 목적으로 나누어 진행된다. 첫째, 건설교통부 국책과제 『한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구』와 연계하여 국책과제 1단계, 2단계 연구 성과로 개발될 포장설계법을 검증한다. 둘째, 시험도로의 중·장기 운영을 통하여 각종 포장 신공법 및 유지보수 공법들에 대해 검증한다. 셋째, 교통개방후 장기적인 포장 공용성 관측을 통하여 건설/유지관리비용 최적화를 위한 수명주

기비용(LCC, Life Cycle Cost) 평가시스템을 구축한다. 이상의 내용을 연도별로 정리하면 다음 4.와 같다.

표 4. 시험도로의 장기 운영 계획

연도	운영 계획
2003년 ~ 2004년	<ul style="list-style-type: none"> - 국책연구과제 『한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구』와 연계 운영 - 국책과제 1단계 연구 성과로 개발될 잠정 포장설계법의 검증 - 포장거동 예측자료의 DB구축 및 예측자료 공개시스템 구축
2005년 ~ 2010년	<ul style="list-style-type: none"> - 국책과제 2단계 연구 성과로 개발될 한국형 포장설계법의 검증 - 시험도로에 적용된 포장단면의 성능을 비교, 포장 성능 개선 방안 도출 - 포장 신공법 및 유지보수 공법들을 시험시공을 통하여 검증 - 시험도로 운영 성과를 포장기술자들에게 개방하여 기술발전 유도
2010년 이후	<ul style="list-style-type: none"> - 포장 신공법 및 유지보수 공법들을 시험시공을 통하여 검증 - 포장의 장기 거동 특성 분석을 통하여 포장 설계 합리화 방안 확립 - 국책과제를 통하여 개발된 포장설계법의 보완 - 건설/유지관리비용 최적화를 위한 수명주기비용 평가시스템 구축

4.2 운영 방법

시험도로의 운영 방법은 크게 연구관리 및 일반관리로 구분된다. 연구관리는 한국도로공사 도로교통기술원의 주관하에 이루어지며, 시험도로 관련 연구 기획 및 예산 관리, 제척기 및 제척 시스템 관리가 이에 포함된다. 시험도로의 일반관리는 중부내륙고속도로의 개통에 따라 신설되는 충주지사에서 주관하며, 시험도로 일반 유지보수 및 제척사무소 건물 관리, 시험도로 정기계측을 위한 교통 전환(제척사무소 통제시설 활용) 등이 이에 포함된다.

5. 계측기

시험도로 포장에는 “한국형 포장설계법 개발”과 관련하여 포장체의 교통하중에 대한 반응과 환경에 따른 장기거동을 파악하고 구조해석을 통한 분석을 위하여 변형률계, 토압계, 온도계 등을 콘크리트포장에 11종 1261개, 아스팔트포장에 6종 636개를 매설하였다. 콘크리트포장에서는 각 단면에 대하여 콘크리트 슬래브의 중앙부, 모서리부, 줄눈 및 노면쪽의 가장자리부 등 기본적으로 4지점에 계측기를 매설하는 방법으로 단면당 3조를 매설하였으며, 아스팔트포장에서는 교통진행 방향으로 단면당 4개 이상을 매설하였다. 이는 매설중의 파손과 공용중의 손실을 고려하여 계측기 망실에 따른 계측불능 상황을 최소화하기 위한 방안이다.

시험도로 계측기 매설중 계측기의 직접적인 파손은 3개이며, 콘크리트 변형률계의 경우 보호박스 파손으로 인한 포설중 계측기 회수가 8개 및 미소한 위치변동 6개이다. 현재 MDD 설치 10개가 남아있는 상황에서, 외국 시험도로 사례에서 계측기의 망실율이 10% 내외인 경우에 비하면 본 시험도로의 계측기 설치는 시공중 망실율이 약 1%로 매우 성공적이라 할 수 있다.

다음의 그림 8과 그림 9는 각 포장별 계측기 설치 개요도이다.

5.1 계측기 종류별 특징

본 시험도로에서는 콘크리트 및 아스팔트 포장체와 포장하부의 응력, 변형률, 토압, 함수량, 온도분포 등의 측정을 통한 포장체의 거동 확인 및 구조해석 모형 검증을 위해 각종 계측기를 설치하였다. 각 계측기들은 포장구조체 상하부 등 내부에 설치되는데 매설된 포장체의 거동을

가장 잘 정량화 할 수 있어야 한다. 이러한 정량화를 위해서는 정적 및 동적 측정이 가능해야 하며, 계측기의 손상 없이 오랜기간 동안 원격 측정이 가능해야 한다. 따라서, 본 시험도로에서는 교통하중에 대한 계측에서는 동적 측정이 가능한 전기저항식(E·R type) 계측기를 사용하였다.

(1) 콘크리트 변형률계

콘크리트 변형률계는 콘크리트 타설전 포장체 내부에 설치하여 시공 완료 후 포장체의 응력 및 변형률을 측정함으로써 포장체의 안정성 검토와 구조해석 기본 자료 획득을 위해 사용된다. 본 시험도로에 매설된 KM100B는 전기저항식으로 콘크리트의 변형률을 측정할 수 있는 계측기이다. 본 계측기는 선펡창계수가 콘크리트에 근사한 자기온도 보상형으로 탄성계수가 낮고 콘크리트 경화과정에서도 측정이 가능하다. 본 계측기는 국내의 여러 콘크리트 교량에 적용된 사례가 있고 인천 신공항 시험주로 시공시에 사용한 사례가 있다. KM100B는 콘크리트포장 구간의 린콘크리트층과 슬래브에 총 636개가 설치되었다.

(2) 아스팔트 변형률계

아스팔트 변형률계는 아스팔트 포장체 내부에 매립하여 시공 완료 후 차량하중에 따른 포장체의 응력분포 파악, 안정성 검토 및 구조해석 기본 자료 획득을 위해 사용된다. 아스팔트포장 계측기로는 KM100B의 강철용 및 콘크리트용을 보다 발전시킨 형태인 전기저항식 KM100HAS를 사용하였다. 이 계측기는 허용온도 범위가 최고 +180℃에 이르므로 온도가 +150℃를 상회하는 아스팔트 포설 중에 매설이 가능하다. 또한 아스팔트 변형측정에 적합하도록 센서 양단에 플랜지가 붙어 있어 적정위치에서의 매설변형측정이 가능하도록 되어있다. 본 계측기도 인천 신공항 시험주로 시공시 사용한 사례가 있다. 총 384개의 KM100HAS가 매설되었다.

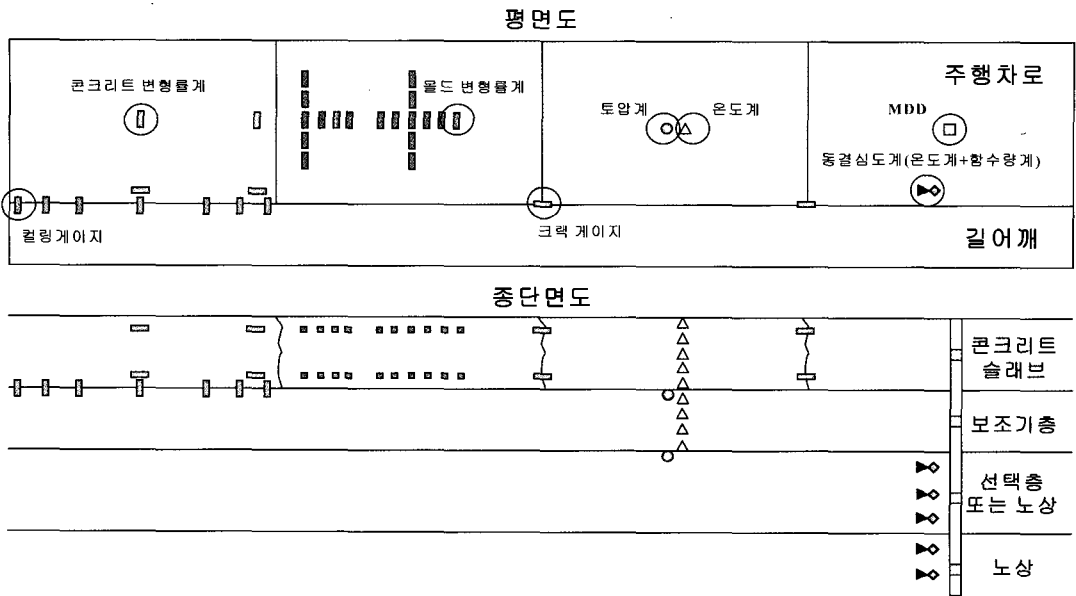


그림 8. 콘크리트포장 계측기 설치 개요도

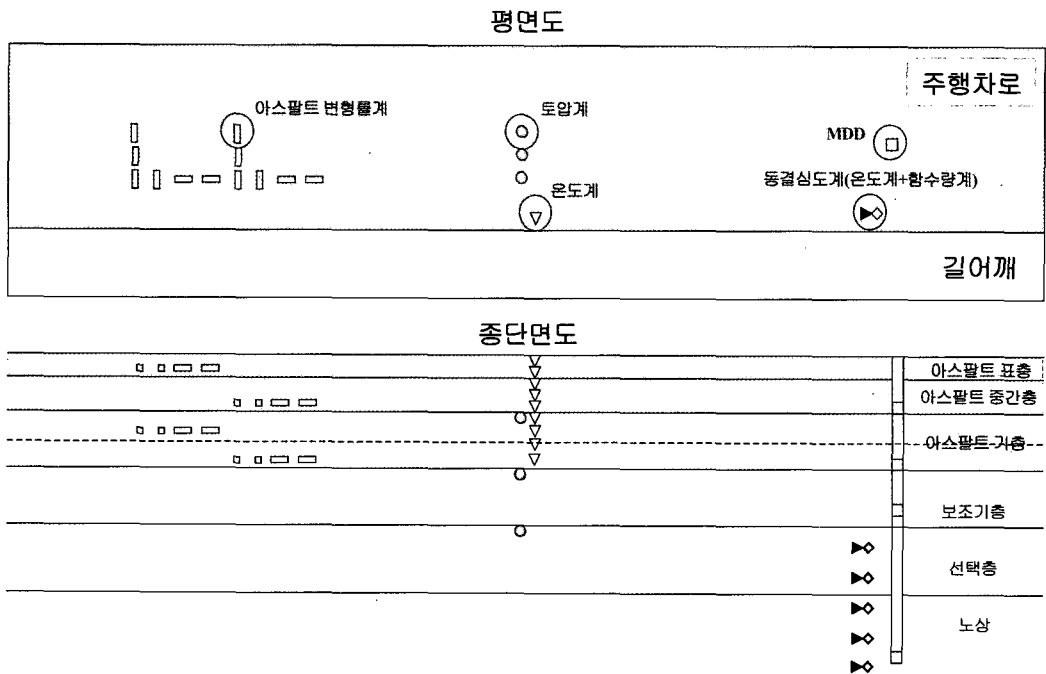


그림 9. 아스팔트포장 계측기 설치 개요도

(3) 몰드 변형률계

몰드 변형률계는 콘크리트 포장체 내부에 설치하여 시공완료 후 교통하중에 의한 포장체의 응력분포를 관찰하여 구조해석 프로그램을 검증하기 위해 사용된다. KM100B는 고가이므로 충분한 수량의 확보가 불가능하여 내구성이 좀 떨어지고 구조가 단순한 PML-60을 콘크리트 슬래브에 총 132개를 설치하였다. PML-60은 시공직후 콘크리트 슬래브의 거동을 평가하기 위해 설치하였으므로 내구성에 따른 문제는 없을 것으로 판단된다.

(4) 철근 변형률계

철근 변형률계는 연속철근콘크리트포장의 철근에 설치하여 시공 완료 후 콘크리트의 건조수축 및 열팽창에 의하여 철근에 발생하는 응력 및 변형률을 측정하기 위하여 설치됐다. 본 계측기 역시 포장체의 안정성 검토 및 구조해석 기본 자료 획득을 위해 사용된다. 시험도로에 사용된 계측기의 종류는 콘크리트포장에 사용된 계측기와 동일한 KM100B로서 철근에 지그를 용접하여 설치하였고 콘크리트와 직접적인 접촉이 없도록 계측기와 지그 외부에 보호박스를 설치하고 내부를 실리콘으로 충전하였다. 연속철근콘크리트포장 구간에 총 48개가 설치되었다.

(5) 토압계

토압계는 포장층 내부에서 차량하중이 분산되면서 발생하는 연직하중을 확인하여 하중과 지지력의 상관관계 검증을 위해 설치하였다. 콘크리트포장 구간에서는 차단층 상단과 린층 상단에, 아스팔트 포장 구간에서는 차단층, 보조기층, 섶석기층 상단에 설치되었다. 시험도로 아스팔트 포장 구간에 66개를 그리고 콘크리트포장 구간에는 34개를 매설하였다. 본 시험도로에서는 전기저항식인 KDA-200KPA를 채택하였다.

(6) MDD(Multi-Depth Deflectometer)

MDD는 주행차량의 하중에 의한 포장체의 층별 처짐 측정 및 층별 탄성계수 추정을 통하여 구조해석 모형을 검증하기 위한 계측기로서 콘크리트 구간에 4개, 아스팔트 구간에 6개를 설치하였다. MDD는 포장구조체 각 층 내부의 깊이별 처짐량을 측정하도록 고안되어진 LVDT의 일종이다. 주행장비의 동하중이 MDD 상단에 가해졌을 때, 각 층의 내부 혹은 경계면에 위치하고 있는 각각의 모듈과 MDD 최하단에 설치된 앵커와의 상대적인 변위량을 측정하여 깊이별 처짐량을 구할 수 있게 고안된 것이다. MDD로부터 측정된 각층의 처짐값들을 역산 해석프로그램을 이용하여 포장구조체 내부의 물성을 산출하는데 사용할 수도 있다. MDD는 다른 계측기들과 달리 시공후에 코어를 뚫어서 매설하도록되어 있으므로 추가적인 설치 또는 설치후 유지보수가 가능하다는 장점이 있다.

(7) 크랙게이지(Crack Gauge)

크랙게이지는 콘크리트포장 시공후에 주행차량의 하중 및 온도변화에 따른 줄눈부의 상대변위를 측정하여 줄눈 거동을 확인하는 자료로 활용하기 위하여 설치되었다. 또한, 온도변화에 따른 줄눈 거동 측정을 통하며 슬래브의 열팽창양을 확인하여 최적의 줄눈 폭을 설정하는 자료로 활용할 수 있다. 매설된 계측기의 종류는 KG-5A이며 콘크리트포장 단면 3개소에 10개 줄눈에 각각 4개씩을 매설하여 총 120개를 설치한다. 설치위치는 줄눈 거동을 측정하기 위해서 변형이 집중되는 슬래브 줄눈부의 양측면 상부와 하부에 각각 한 개씩 부착하였다.

(8) 컬링게이지(Curling Gauge)

컬링게이지는 콘크리트 슬래브의 컬링 거동을 측정하여 콘크리트 포장의 응력 분포를 관찰하

는 보조자료로 활용하고 주행차량의 하중 및 온·습도에 따른 컬링 변화를 파악하기 위해서

설치한다. 총 3개의 포장단면에 설치되는데, 2개소는 KG-5A를 3개의 슬래브에 슬래브당 5지점씩에 설치하였고, 한 개소는 슬래브당 7지점씩 설치하여 총 51개를 매설하였다. 설치위치는 콘크리트 측면의 슬래브와 린콘크리트층의 경계부분에 세로방향의 상대변위를 측정할 수 있도록 설치하였다.

(9) 온도계

온도계는 포장체 및 포장하부 구조의 온도분포를 파악하고 온도에 의한 포장체 거동 변화 및 각 계측데이터의 온도 보정자료로 활용하기 위하여 매설되었다. 시험도로에 사용된 온도계는 Thermocouple과 Thermistor 두 종류이다. 포장구조체 내부 혹은 각 층별 온도 변화를 측정하

는 온도계는 주로 포장구조체 표층내부에 설치되며 경우에 따라 보조기층, 기층, 노상 등에 설치하였다. 콘크리트 구간에는 Thermistor를 주로 설치하였고, 아스팔트 구간에는 내열성이 강한 Thermocouple을 사용하였다. 콘크리트포장 구간에 총 170개 아스팔트포장 구간에 총 151개가 매설된다.

(10) 함수량계

함수량계는 포장체 하부의 함수비를 측정하기 위해 노상에 온도계와 병행하여 설치하였으며, 지반의 깊이별 동결 및 융해 상태를 파악하기 위해 사용된다. 함수량계는 Gypsum방식과 TDR 방식이 있으나 본 시험도로에서는 TDR 방식의 CS-616을 사용하였다. 콘크리트포장 구간에 총 30개 아스팔트포장 구간에 총 39개가 매설된다.

다음의 표 5는 각 계측기의 사양을 나타내고,

표 5. 계측기 종류별 사양표

	계측기 종류	모델명	측정 방식	입출력 저항	측정범위	비직진성 및 분해능	허용인가전압	정밀도	온도범위
콘크리트 구간	콘크리트 변형률계	KM100B	E·R	350Ω	±5000με	1%RO	10V	-	-20~+80℃
	린변형률계	KM100B	E·R	350Ω	±5000με	1%RO	10V	-	-20~+80℃
	철근변형률계	KM100B	E·R	350Ω	±5000με	1%RO	10V	-	-20~+80℃
	토압계	KDE-200KPA	E·R	350Ω	200KPa (2kgf/cm ²)	2%RO	10V	-	-20~+80℃
	크랙게이지	KG-5A	E·R	350Ω	±5mm	1%RO	5V	800×10 ⁻⁶ /mm	-20~+60℃
	컬링게이지	KG-5A	E·R	350Ω	±5mm	1%RO	5V	800×10 ⁻⁶ /mm	-20~+60℃
	물드변형률계	PML-60-5L	E·R	120Ω	±20000με	-	10V	-	-20~+60℃
아스팔트 구간	아스팔트 변형률계	KM100HAS	E·R	350Ω	±5000με	1%RO	10V	-	-20~+180℃
	토압계	KDE-200KPA	E·R	350Ω	200KPa (2kgf/cm ²)	2%RO	10V	-	-
노상	함수량계	TDR616	E·R	-	-	0.1%VWC	4~18V	±2.5% VWC	-
-	온도계 (Thermistor)	Thermistor	E·R	10kΩ	-30~+120℃	기준온도 :25℃	-	±0.1℃	-30~+120℃
	온도계 (Thermocouple)	Thermocouple	T-type	-	-100~+200℃	-	-	±0.1℃	-100~+200℃

표 6. 콘크리트 계측기 수량표

단면	변형 률계 (Con.)	변형 률계 (Steel)	변형 률계 (AP)	변형 률계 (몰드)	토압계	MDD	클립 게이지	칼링 게이지	온도계	동결심도		비고
										온도계	함수량계	
J9	24											
J9~J8							40					전이구간
J8	72				6	1		15	20			
C1	8	16	4									
C2	8	16	4		4							
C3	8	16	4									
J6	24											
J7	24											
J5	72				6	2			36			
J5-1							40					
J5-2				132				21				
J5-3	48											
J5-4	48											
J3	24											
J4	24											
J2	60				6	1		15				
J2~J1							40					전이구간
J1	24											
J10	24											
J11	24				6				12			
J12	24											
J15	24											
J14	24		24						18			
J13	24											
J4												
J13												
J4-0									18	10	10	
J5-0	24				6				18	10	10	
J6-0									18	10	10	
계	636	48	36	132	34	4	120	51	140	30	30	1,261

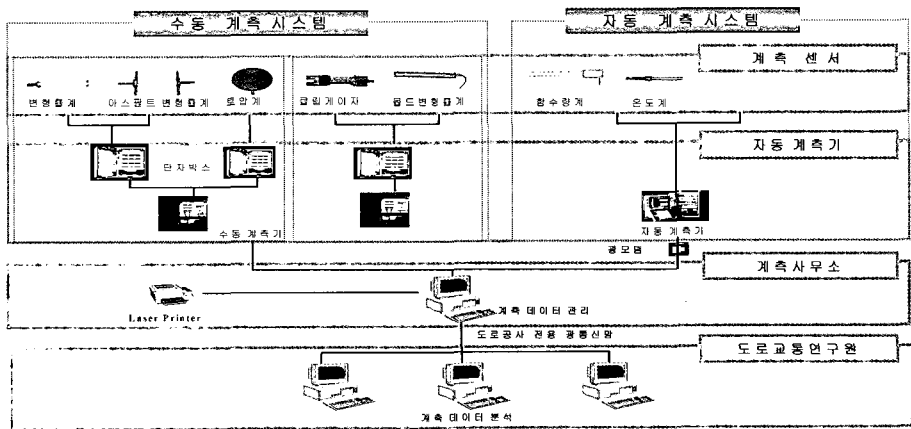


그림 10. 계측시스템 개념도

표 7. 아스팔트포장 계측기 수량표

단면	변형률계 (AP)	토압계	MDD	온도계	동결심도		비고
					온도계	함수량계	
A13	5	9					
A13-2	4						
A13-1	4						
A2-1	8						
A2-2	8						
A2	10	3		16	7	7	
A10	10	3					
A10-2	8						
A10-1	8						
A11-1	15						
A11-2	15						
A11	24	6	1	20			
A14-1	10	3					
A14-2	10	3					
A14	12	9	1				
A5	24	6	1	18			
A5-2	15						
A5-1	15						
A8-1	12						
A8-2	12						
A8	15	3		20			
A12	15	3					
A12-2	12						
A12-1	12						
A15-1	4						
A15-2	4						
A15	5	6		10	7	7	
A9	15			20	7	7	
A7	15	6	1				
A6	10						
A4	18		1				
A3	10			8	9	9	
A1	10	6	1		9	9	
계	374	66	6	112	39	39	636

표 6과 표 7은 콘크리트포장과 아스팔트포장의 각 단면에 매설된 계측기별 수량을 나타내고 있다.

6. 계측시스템

시험도로의 계측은 크게 초기계측, 자동계측, 수동계측으로 구분되어진다. 초기계측은 시험도로 완공이후 약 3개월 간 교통개방 이전에 모든 매립형 계측기에 대하여 초기값을 측정하는 것이다. 초기값을 저장하므로써 공용이후에 발생하는 누적된 변형률 또는 변위량의 측정을 통하여

포장체의 손상을 추정할 수 있다. 온도계, 함수량계 등 환경영향에 따른 포장체의 변화 및 기 후조건을 측정하는 계측은 자동계측으로 수행한다. 또한, 누적되는 교통량 자료를 축적하는 측 하중 조사 장비 또한 상시 계측으로 측정한다. 자동 및 상시 계측의 결과는 자동으로 시험도로 D/B에 축적될 예정이다. 그 외에 교통 하중에 따른 포장체의 반응을 측정하기 위한 변형률계, 토압계, 다층변위계 등에서 발생하는 자료는 정기적으로 시험도로의 교통을 차단하고 수동계측으로 측정결과를 도출한다.

다음의 표 8은 각각의 계측방법에 따른 운영 특성을 나타낸 것이며, 그림 10은 전반적인 계측 시스템의 개념을 보여주고 있다.

표 8. 계측방법별 운영특성

계측 방법	초기계측	자동계측(상시 계측)	수동계측(정기 계측)
운영 특성	<ul style="list-style-type: none"> - 시험도로 공사 완료 후 초기 계측을 통하여 공용 전 포장 상태 확인 - 시험도로에 매설된 모든 계측기들의 계측 값 유효성 분석 - 통합 계측 시스템(자동, 수동 계측 시스템)의 시범 운영 	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 영향에 따른 변화 및 기후 변화는 자동 계측으로 자료 수집 - 축하중 조사 장비(WIM)로 전체 운영 기간의 누적 교통량 자료 수집 	<ul style="list-style-type: none"> - 평상시 교통량은 시험도로주행, 정기 계측 시는 본선 주행 - 매년 3, 5, 7, 9, 11월 중 교통 및 기상 상황을 고려하여 4회 교통차단 후 시험도로 정기 계측 수행 - 매회당 계측 소요기간 2

7. 맺음말

한국도로공사에서 국내 최초로 공용 고속도로에 건설되는 본 시험도로는 1997년 설계에서부터 2002년 12월 완공까지 6년에 걸쳐 설계, 검토, 시공을 마치고 완공에 이르게 되었다. 본 시험도

로는 “한국형 포장설계법 개발”이라는 대의명제를 가지고 건설된 바, 시험도로의 완공은 본격적인 포장설계법개발 연구의 시작이 되었다.

시험도로에 매설된 1900개에 달하는 각종 계측기는 향후 10여 년에 걸친 자동계측 및 매년 4~5회의 정기적인 수동계측을 통하여 D/B화되고, 축적된 자료들은 한국형 포장설계법 개발을 위한 연구뿐만 아니라 국내 도로포장관련 연구자들에게 공개되어 다양한 분야에 이용될 수 있을 것이다. 시험도로의 건설로 인한 국내의 도로 건설 및 도로포장 연구분야에 미치게 될 효과는 다음과 같이 기대된다.

- ① 한국형 포장설계법 개발을 통한 선진국 수준의 도로기술력 확보
- ② 합리적인 포장설계 및 다양한 포장성능 개선 연구를 통한 도로건설 및 포장유지관리 예산 절감
- ③ 현장 검증이 완료된 포장기술 보급을 통한 우리나라의 도로기술력 강화

이러한 기대효과를 최대한 창출하기 위해서는 시험도로에 대한 도로포장관련 기술자 및 연구자들의 적극적인 참여와 관심이 반드시 필요하다. 또한 본 시험도로에서 발생하는 다양한 결과물들이 우리 도로포장 연구자들에게 유용한 자료로 활용되기를 기대한다.