

콘크리트포장 변형률계 현장매설방법 개선연구 및 적용사례

Installation and Application of Strain Gages in Concrete Pavement

김도완* · 김지원** · 권순민*** · 윤경구****

Kim, Do Wan · Kim, Ji Won · Kwon, Soon Min · Yun, Kyong Ku

1. 연구의 배경 및 목적

국내에 건설된 한국도로공사의 시험도로는 실제 고속도로 이용 교통량 및 기후환경 조건 하에서 우리나라에서 생산되는 새로운 도로건설 재료를 고려하여 국내실정에 맞는 한국형 도로 포장설계법 개발 및 적용성 검토를 목적으로 건설되었다. 외국 시험도로의 성공적인 사례를 고찰해 보면 자국의 포장시공실정에 맞는 매설방법을 계획하고 실제 현장에서의 시험시공을 통한 검증으로 그 나라의 시공실정에 맞는 방법을 적용하였다는 것을 알 수 있다. 또한 계측기를 어떻게 매설하느냐에 따라서 계측기의 생존 뿐 아니라 구조적인 거동을 잘 파악할 수 있고 효과적인 연구를 수행하여 좋은 결과를 얻을 수 있다. 따라서, 본 논문은 한국도로공사 시험도로가 건설되기 전에 수행한 외국의 사례 분석 및 실제 현장 적용성 시험시공을 통해 개선된 콘크리트포장용 변형률계 매설 방법을 소개하고자 한다.

콘크리트 변형률계는 콘크리트 슬래브에 매설하여 교통하중 또는 환경하중에 따른 포장체 상부의 압축-인장거동을 측정하는 것을 목적으로 한다. 콘크리트포장의 포설특성 상 계측기는 굳지 않은 상태에서 매립을 하여야 하며, 하나의 장비(페이퍼)에 의해 다짐 및 면마무리까지 공정이 끝나게 됨으로 페이퍼 진행 이후에 계측기를 매설한다는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 모든 준비작업은 페이퍼 진행전에 완료를 하여야 하고 계측기의 매립은 페이퍼 진행과 동시에 이루어져야 하는 어려움이 있다. 이러한 특성을 바탕으로, 국내 콘크리트포장 시공방식에 적합한 계측기 매설방법을 보완 및 개선하기 위한 일련의 연구로 수행된 현장적용성 시험은 2001년부터 약 2년에 걸쳐 중앙고속도로 11공구, 17공구, 중부내륙 1공구 시험도로 본선 구간에서 수회에 걸쳐서 수행되었으며, 변형률계를 매설하기 위해 설치되는 거치대 및 보호박스에 대한 여러 가지 모델을 제시하고 실제 현장적용성을 분석하였다.

2. 계측기 매설방법의 고찰

시험도로에 사용되는 계측기는 같은 기종이라 할지라도 설치방법에 따라 그 내구성과 신뢰성을 달리 할 수 있다. 따라서 계측기 사용목적에 부합하고 신뢰성이 있는 결과를 얻고 내구성을 유지하기 위해서는 가장 효과적인 계측기 매설방법이 적용되어야 한다. 이를 위하여 미국 오하이오의 시험도로와 캘리포니아에서 수행한 변형률계 매설방안을 고찰하였다.

2.1 오하이오(Ohio)의 변형률계 매설방법

오하이오주 시험도로에서는 변형률계의 손상을 최소화하기 위해 계측기 매설시 포장체 내부에 스파이크형 보호상자(보조기층에 송곳형태의 핀을 박아 고정시키는 방법, 그림 1 참조)를 함께 매설하여 포설완료 후 제거하는 방식을 채택하였다. 오하이오 시험도로에서 수행한 슬래브 내부 변형률계 매설방법과 보호상자는 아래 그림1과 그림2를 통해서 간략하게 나타내었다. 오하이오 시험도로 계측기 매설방법의 특징은 계측기를 보조기층에 거치한 후 그 외부를 보호박스로 보호하고 주위에 페이퍼 진행 직전에 콘크리트로 마운드를 시

*정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3367(E-mail:kdw0828@hotmail.com)

**정회원 · (주)토탈페이브시스템 대표이사 · 공학박사 · 02-3413-0290(E-mail:aircraft1@hitel.net)

***정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3367(E-mail:soonmini@freeway.co.kr)

****정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사



킨후 포설이 완료된 후에 보호박스를 제거한 것이다. 보호박스를 사용하는 이유는 슬래브 포장시에 페이버의 진동기로 인해 계측기가 손상을 발생할 수 있기 때문이다. 계측기의 안전을 최대한 확보하기 위하여 페이버가 계측기 위를 지나갈 땐 페이버의 진동기를 살짝 들어올려서 계측기가 파손될 수 있는 원인을 최대한으로 제거한 것이 가장 큰 특징이다.

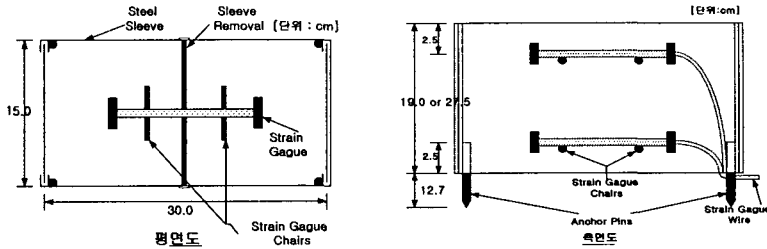


그림 1 계측기 보호용 박스 및 계측기 거치대 상세도

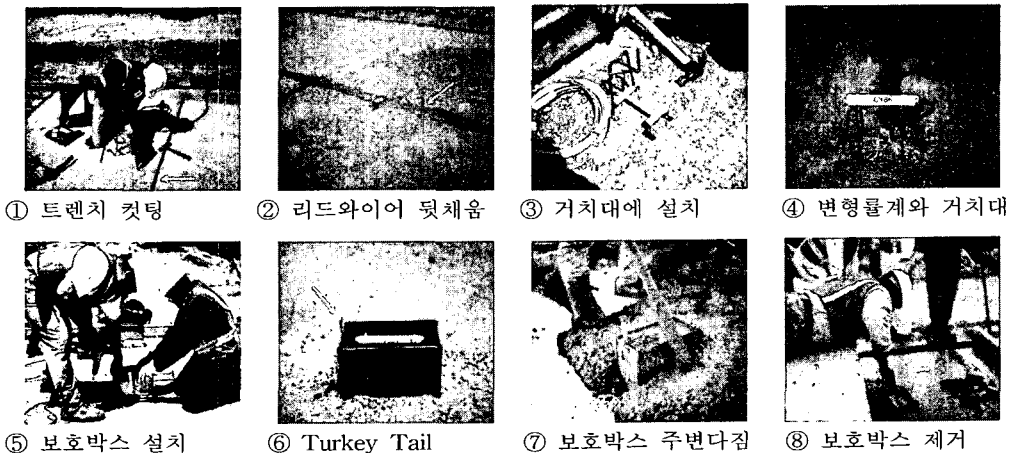


① 변형률계 배치 ② 박스 채움 ③ 콘크리트 포설 ④ 보호박스 제거

그림 2 오하이오 시험도로의 콘크리트포장용 변형률계 매설순서

2.2 캘리포니아(California)의 변형률계 매설방법

캘리포니아에서는 매설방법은 터키테일(Turkey Tail)이라는 계측기 매설위치 인식철사를 보호상자에 설치하였다. 콘크리트 포장 변형률계 매설과정은 아래의 그림 3에 간략하게 사진을 통해 설명하였다. 캘리포니아에서도 스파이크형으로 고정하는 보호상자를 사용하였다.



① 트렌치 컷팅 ② 리드와이어 뒷채움 ③ 거치대에 설치 ④ 변형률계와 거치대
⑤ 보호박스 설치 ⑥ Turkey Tail ⑦ 보호박스 주변다짐 ⑧ 보호박스 제거

그림 3 캘리포니아 Palmdale 변형률계 매설순서

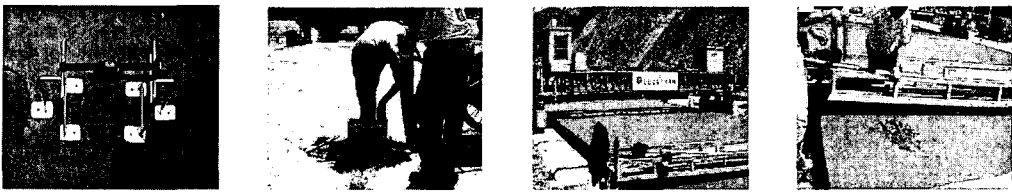


3. 국내 현장 적용성 검증을 위한 시험시공

현장적용 시험은 중앙고속도로 17공구, 중앙고속도로 11공구, 중부내륙고속도로 본선 구간이며 계측기 매설방법과 보호박스 및 거치대에 대한 현장적용성 검증을 수행하였다. 현장적용시험에서는 국내 콘크리트포장 시공특성을 고려한 계측기의 매설 방법으로 굳지 않은 콘크리트에서의 페이퍼 진동에 따른 계측기의 고정방법, 페이퍼 다짐기의 진동에 의한 계측기의 위치변동 억제방안, 시공성을 고려한 각 계측기의 적정 매설 깊이 선정 등에 주안점을 두고 진행되었다.

2.2 외국사례 고찰을 통한 변형틀계 매설방법 시험시공

외국 사례를 통해서 보다 개선된 보호박스과 거치대를 제작하여 현장적용시험을 수행하였다. 다음의 그림 4는 현장적용 과정을 간략히 나타낸 것이다.



① 거치대 설치 ② 보호박스 설치 ③ 콘크리트 포설 ④ 보호박스 제거

그림 4 콘크리트 변형틀계 현장적용시험 매설과정

1차 시험시공을 통해 외국 사례를 통한 거치대 및 보호박스가 기본적으로 국내에 적용하기에 크게 문제 되지는 않는 것으로 판단되었으나, 다음과 같은 몇 가지 사항은 보완될 필요가 있다고 판단되었다.

첫째, 계측기 매설 후 보호박스 제거가 어려웠다. 이는 국내의 콘크리트포장 페이퍼의 기능이 고성능화되면서 슬럼프가 낮아져(일반적인 현장 콘크리트의 슬럼프 2.5~4.0) 보호박스 각 면의 이음새에 콘리트 페이스트가 스며들었을 경우 마찰력이 심하여 잘 빠지지 않는 문제점이 발견되었다. 둘째, 보호박스 내부에 콘크리트를 미리 채워 다질 경우 다짐에 의해 보호박스가 틀어지는 현상을 보였으며, 페이퍼 다짐기의 진동이 보호박스의 주위를 지날 때 주변의 진동에 의해 보호박스가 떠오르는 현상이 발생하였다. 이러한 현상은 보호박스의 형태상 보조기층에 지지되는 부분이 모서리 네 귀퉁이의 고정핀(앵커)에서만 의존됨으로 진동을 견디기에는 구조적으로 다소 불안정한 것으로 판단되었다.

3. 문제점 개선을 위한 시험시공

3.1 보호박스개선

앞선 시험시공을 통해 발견된 문제점들을 다음과 같이 보완하였다. 먼저 보호박스를 제거할 때 마찰력을 감소시키기 위하여 이음새의 면적을 최소화하였으며(표 1의 수정형 평면도 참조), 보호박스에 굳지 않은 콘크리트로 다질 경우 반드시 박스외부에 마운드를 먼저 한 후 내부를 다짐으로 박스가 뒤틀리는 현상을 방지하였고, 박스가 밀리거나 진동에 의해 떠오르는 현상을 감소시키기 위하여 린콘크리트 보조기층에 고정하는 방법을 스파이크형과 별도로 컷팅형(고정핀 대신 보호박스의 진행방향에 수직인 두면을 린콘크리트 보조기층에 컷팅을 이용하여 고정시키는 방법, 표 1참조)도 추가 적용하여보았다. 다음의 표 1은 방법개선 전후에 적용된 보호박스의 종류별 형상과 특징을 정리한 것이다.

이와 같이 총 4개의 보호박스 모델에 대하여 각각 현장 적용성 평가를 실시하였으며, 이중 가장 성공적인 사례에 대하여 다음절에 상세히 기술하였다.

3.2 개선된 방법을 이용한 현장 적용성 시험시공

개선된 보호박스는 궁극적으로 시험도로 건설에 사용될 것이므로 이에 대한 현장검증은 실제 시험도로에



사용되는 포장배합과 사용되는 페이버 등이 동일한 시험도로 건설공구내의 본선구간에서 시행하였다. 시험시공에서는 실제 콘크리트포장용 변형틀계 대신에 동일한 크기의 철근을 이용하였으며, 각각의 경우에 대한 실제 매설상태 확인은 포설 직후 철근이 보일 때까지 포장면을 되파기하는 방법으로 육안으로 직접 확인하였다.

표 1 보호박스의 형상 및 특성

모델명	특징	형상	
		평면도	측면도
Spike 분리형 모델	<ul style="list-style-type: none"> ○ 린콘크리트에 고정을 시키기 위해, 앵커 장착 ○ 보호박스의 각각의 면이 접하는 곳에는 7자형 이음새를 설계하여 박스의 견고함을 추구 ○ 보호박스에 콘크리트 다짐시 박스의 벌어짐을 방지하기 위해 박스 상면에 볼트와 너트를 이용하여 양쪽면을 고정 ○ 콘크리트 포설 후 박스의 정확한 위치를 파악하기 위해 박스 옆면에 Turkey Tail을 장착 		
Cutting 분리형 모델(I)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Spike 분리형 모델과는 달리 박스를 고정하기 위해 린콘크리트에 커팅기를 이용하여 약 7cm 이상 깊이로 홈을 낸 후, 박스하부가 그 홈에 정확히 물리게 고안 ○ 제원과 특징은 Spike 분리형 모델과 동일 		
Cutting 분리형 모델(II)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위의 두 가지 모델과는 달리 이음새의 면적을 최소화 하여, 손쉽게 박스가 제거될 수 있도록 고안 ○ 콘크리트 매립시 박스의 벌어짐을 방지하기 위한 고정 너트, 볼트를 2조 적용 		
Cutting 일체형 모델	<ul style="list-style-type: none"> ○ 보호박스의 네면을 분리하지 않고 한번에 제거할 수 있도록 고안 		

(1) Spike형 보호박스 및 거치대 설치

스파이크형은 보호박스에 장착된 네개의 앵커가 린콘크리트 보조기층에 들어갈 수 있도록 드릴 등을 이용하여 린콘크리트 보조기층에 홈을 파서 고정시켰다. 거치대는 못을 이용하여 고정시키고, 보호박스 한면에 Turkey Tail을 설치하여 계측기 위치를 파악하였으며 이를 이용하여 보호박스 위치 확인후 박스를 제거하였다. 다음의 그림 5는 Spike 형 보호박스 및 거치대 설치과정을 간략히 설명한 것이다.

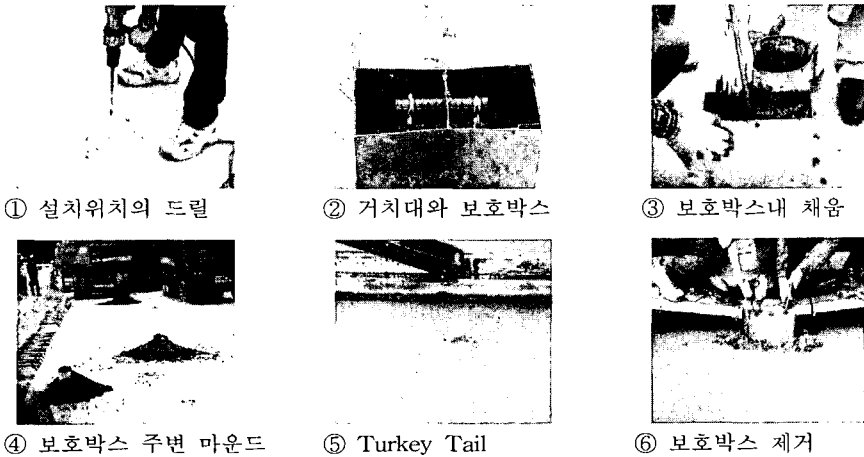


그림 5 Spike형 보호박스 및 거치대 설치순서

(2) Cutting형 보호박스 및 거치대 설치

컷팅형은 줄눈절단장비를 이용하여 린콘크리트 보조기층에 홈을 내어 보호박스의 옆면 판이 들어갈 수 있게 하였다. 거치대는 못을 이용하여 고정시키고 계측기를 거치대에 설치하였으며, 이후 과정은 스파이크형 보호박스 과정과 동일하게 진행되었다. 다음의 그림 6은 컷팅형 보호박스의 설치순서를 간략하게 사진으로 설명하였다.

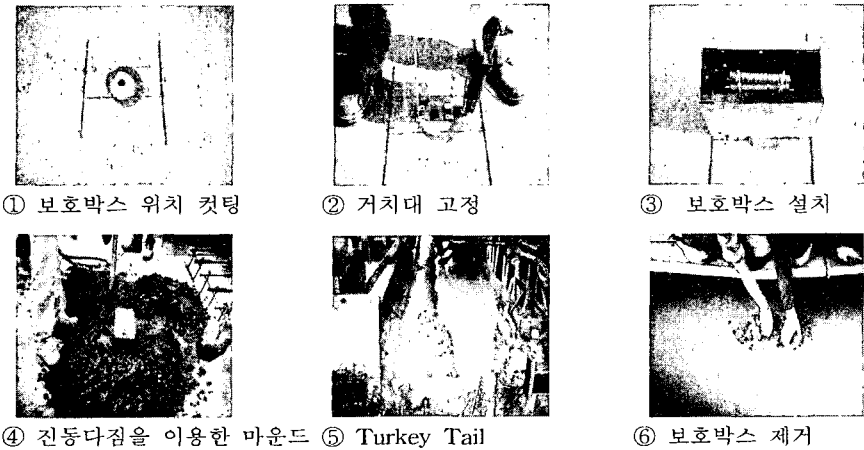


그림 6 Cutting형 보호박스 및 거치대 설치순서

3.3 매설방법에 대한 최종 검토(거치대 고정방법 개선)

최종 시험시공에서는 다음과 같은 몇 가지 개선되어야 할 사항이 발견되었다. 그 중 가장 큰 문제점은 콘크리트 변형률계를 고정시키기 위해 사용되는 거치대의 개선이었다. 외국사례에서나 현재까지 시험시공된 방법들은 모두 계측기를 매설하고자 하는 위치에 맞춰 거치대에 미리 거치시킨 후 거치대를 못을 이용하여 보조기층에 고정시키는 방법을 택하였다. 그러나 이러한 방법은 설치하고자 하는 위치의 린콘크리트 보조기층의 골재에 고정위치가 걸칠 경우 못을 박는 동안 그 주변이 파손되는 경우가 빈번히 발생하였고, 주변의 파손없이 고정이 잘 되었다 하더라도 이는 향후 콘크리트 슬래브의 거동을 보조기층에 고정된 못이 국부적으로 구속시킬 우려가 여전히 존재하게 된다. 특히, 시험도로에 매설되는 변형률계들은 각 층별로 독립적인 거동을 분석하기 위함이므로 이러한 오차는 그 영향이 적다하더라도 향후 분석시 원인을 알 수 없는 오류를

발생할 가능성이 있다. 따라서 거치대에 의한 슬래브의 거동 구속을 배제하기 위하여 다음과 같이 거치대를 개선하여 적용하기로 하였다. 다음의 표 2는 기존 거치대와 개선된 거치대의 형상과 특징을 비교하여 나타낸 것이다. 그 외에도 기존의 보호박스에서 위치인식을 위해 부착하였던 터키테일(Turkey Tail)을 제거하고, 박스제거를 용이하게 하기 위한 손잡이를 보호박스 각 면에 설치하고 재료를 가는 강철 케이블로 하여 손잡이 역할과 동시에 인식표식으로도 이용할 수 있도록 하였다.

표 2 거치대의 형상 및 특징

모델명	특징	형상	
		평면도	측면도
고정식 거치대	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콘크리트 슬래브 내부 설계된 위치에 정확하게 매설가능 ○ 린콘크리트 보조기층에 못을 이용하여 고정 ○ 포설후 거치대 고정으로 인하여 슬래브 내에서 작용하는 변형률계가 린콘크리트 보조기층에 의해 구속될 우려가 있음 		
비고정식 거치대	<ul style="list-style-type: none"> ○ 변형률계가 린에 구속되는 것 방지 ○ 순수하게 콘크리트 슬래브의 거동 파악에 유리 ○ 콘크리트 슬래브 내부 설계된 위치에 정확하게 매설가능 		

4. 한국도로공사 시험도로 콘크리트 변형률계 매설

한국도로공사 시험도로 콘크리트 포장 변형률계 매설은 앞서 설명한 여러 선행 시험시공을 통해 검증된 매설방법을 이용하여 국내의 도로포장시스템에 가장 적합하고 효율적인 방법으로 진행되었다. 변형률계의 설치치는 2002년 8월에서 10월에 걸쳐 중부내륙고속도로 여주-충주구간 중 약 3km 콘크리트포장구간 25개 단면에 600여 개 이상 매설되었다.

4.1 보호상자 및 거치대

2년여에 걸쳐 선행된 시험시공을 통하여 개선된 사항은 다음과 같다.

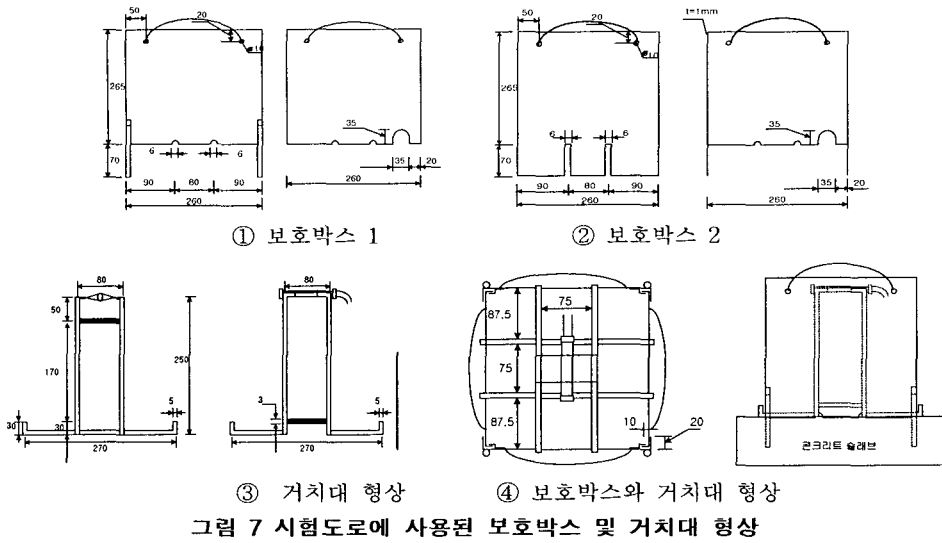
- 거치대를 비고정식으로 개선하여 계측기의 매설후 슬래브의 거동이 하부층(린콘크리트 보조기층)과 완전히 분리되어 구속력을 받지 않으므로 계측기가 적용되지 않는 일반 구간과 동일한 거동을 할 수 있다.
- 보호박스의 형태를 스파이크형과 커팅형을 병행하여 페이퍼의 진행과정에서 밀립현상과 진동에 의한 떠오름 현상이 우려되는 곳에서는 커팅형을 사용하였고, 보조기층이 쇄석 등으로 이루어진 곳에서는 스파이크형을 사용하여 작업성의 효율을 높였다.
- 국내의 기계포설에 적용되는 배합특성을 고려하여 보호박스의 제거를 용이하게 하기 위하여 분리형으로 적용하였으며, 특히 이음새의 면적을 최소화하고 위치표식을 겸하는 손잡이를 적용함으로써 작업성의 효율을 높였다.

이러한 개선방안을 적용하여 최종적으로 사용된 보호박스 및 거치대의 형상은 다음의 그림 7과 같다.

4.2 시험도로 콘크리트포장 변형률계 설치

실제 시험도로 시공 중 계측기 매설은 다음과 같은 공정으로 진행되었다.

- ① 설치 전에 계측기의 이상유무를 점검하고, 계측기의 설치위치를 결정한 후 위치를 표시한다.
- ② 거치대를 이용하여 정해진 위치에 깊이별로 배치한다.



- ③ 나일론 타이를 사용하여 계측기를 거치대에 묶는다. 이때 계측기 단부에 나일론 타이가 묶이지 않도록 주의한다.
- ④ 거치대 주위에 보호박스를 설치한 후, 박스 안을 굳지 않은 콘크리트로 채우고 보호박스 주변을 콘크리트로 충분히 쌓은 후 진동다짐기로 다진다.
- ⑤ 페이퍼가 지나간 후 보호박스를 제거한다
- ⑥ 일부 계측기 주변의 호트러진 면은 타이닝 설치 및 양생제 살포 이전에 마무리한다.

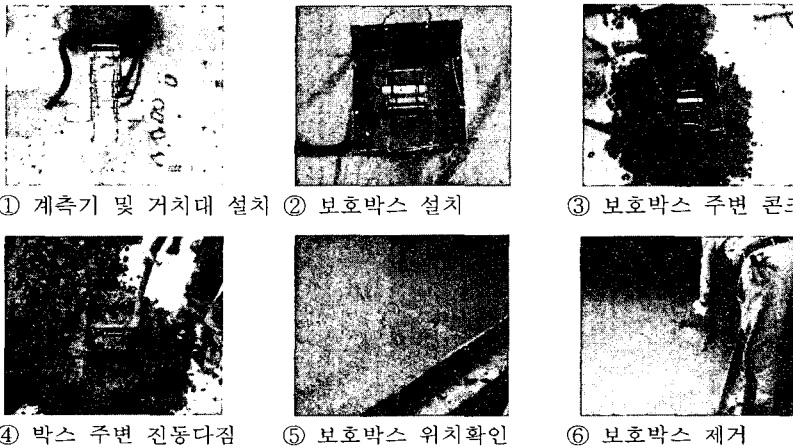


그림 8 시험도로 콘크리트포장 변형률계 매설 공정

5. 결론

본 연구는 아시아의 최초로 건설된 한국도로공사 시험도로 콘크리트 포장 변형률계 매설방법의 현장검증을 위해 외국 시험도로 사례를 고찰하고 국내에서 실제 적용 전 현장적용성 선행 시험시공을 수행하여 가장 합리적이고 계측기 생존율을 극대화 할 수 매설방안을 검증하여 실제 시험도로에 적용하였다. 다음의 표 3은 본 연구과정에서 나타난 콘크리트포장 변형률계의 거치대 및 보호박스의 장단점과 특성을 분석한 결과이



며, 실제 시험도로 적용을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

표 3 현장적용성 시험결과 고찰

목록 종류	거치대 및 보호박스 타입	장점	단점	특징
거치대	고정식 거치대	○ 설치 및 제작 간편	○ 린층 손상 ○ 고정하기 어려움	○ 일반적인 방법
	비고정식 거치대	○ 설치 비교적 간편 ○ 보조기층 손상 없음 ○ 구조거동에 구속 없음		○ 콘크리트 슬래브의 구조적 거동과약에 유리
보호박 스	Spike 분리형 모델	○ 비교적 현장에서 작업하기 쉬움	○ 보호박스 제거가 어려움 ○ 고정앵커가 흔들림	○ 미국오하이오에 서 시공한 모델
	Cutting 분리형 모델(I)	○ 박스 옆면 밀림 방지 ○ 계측기 보호 측면 만족	○ 박스제거 어려움 ○ 컷팅공정 필요	
	Cutting 분리형 모델(II)	○ 박스 제거시 문제점 보완	○ 컷팅공정 필요	○ 가장 효과적임
	Cutting 일체형 모델	○ 한번에 제거가 가능	○ 박스가 벌어짐 ○ 박스제거 어려움	
	Cutting 분리형 및 Spike 분리형 수정 모델	○ 박스 제거가 쉬움 ○ 박스 밀림이나 옆면 터짐이 없고 견고함 ○ 상황에 따라 두 모델을 혼용할 수 있음		○ 가장 효과적이며 경제적인 방법

- (가) 컷팅 분리형과 스파이크 분리형을 혼용하여 적용함으로써 적용되는 단면의 보조기층 타입에 따라 적절히 대응할 수 있었으며, 비고정식 거치대를 사용함으로써 기존의 방식에서 나타났던 린콘크리트 보조기층의 파손현상이나 설치이후에 콘크리트 슬래브가 국부적으로 린콘크리트 보조기층에 구속되는 현장을 원천적으로 배제시킬 수 있었다. 이는 콘크리트 슬래브의 거동을 파악함에 있어 계측기 매설에 의한 오류를 최소화한 방법이다.
- (나) 실제 시험도로에서 콘크리트 변형률계 매설후 변형률계의 생존율은 98%에 달하는 아주 우수한 생존율을 보여주었다. 이 생존율이 시공 직후의 조사 결과라 하더라도 외국의 사례에 비교해 볼 때 상당히 우수한 시공사례로 사료된다.
- (다) 기존의 방식을 고찰하여 수회에 걸친 국내 적용성 시험과 실제 시험도로 적용을 통해 콘크리트포장용 변형률계의 현장적용성이 매우 우수함을 직접 확인하였고, 본 연구결과를 통해 국내 콘크리트포장 시공 시스템 내에서 페이버 진행과정 중 변형률계를 적절히 매설할 수 있는 방법을 정립하였다. 이로서, 향후 포장체의 실제 거동분석을 위한 각종 계측기 매설시 매설중의 오차를 최소화함으로써 분석중의 오류를 최소화하여 우수한 결과를 도출할 수 있는 토대를 마련하였다.

6. 참고문헌

1. 2001. 8 “시험도로 포장계측 센서의 실내검증 및 현장적용성 검증에 관한 연구” 최종보고서 한국도로공사 도로연구소
2. 2002. 12 “시험도로의 건설과 운영에 관한 연구(V)” 연구보고서 한국도로공사 도로교통기술원
3. 2000. 4 Jeffery R. Roesler, Clark W. Scheffy, Abdikarim. Ali, David Bush, “Construction, Instrumentation, and Testing of Fast-Setting Hydraulic Cement Concrete in Palmdale, California”. Pavement Research Center Institute of Transportation Studies University of California Berkeley
4. 1999. 5. Shad M. Sargand, “Coordinaton of Load Response Instrumentation of SHRP Pavements - Ohio University” Final Report, Ohio Department of Transportation & Federal Highway Administration