



# 아스팔트 콘크리트 포장 변형률계 매설 방법 개선에 관한 연구

## Improvement of Field Installation Method for Asphalt Concrete Pavement Strain Gauge

이 재 훈\* · 김 지 원\*\* · 김 도 형\*\*\* · 이 광 호\*\*\*\*

Lee, Jae Hoon · Kim, Ji Won · Kim, Do Hyung · Lee, Kwang Ho

### Abstract

The KHC Test Road project was initiated on 1997 to develop Korean Pavement Design Guide. It was constructed along the Joongbu Inland Expressway line between Yeosu and Gangok. It is two-lane wide expressway containing fifteen asphalt and twenty-five Portland cement concrete test pavement sections. Various sensors were installed in the Test Road to evaluate the behavior of test pavement sections under the influence of traffic load and environmental change. The most important issues in the sensor installation are the accurate location and long-term survivability. They are directly influenced by the sensor installation methodology. The methodology for asphalt strain gages is mainly discussed in this paper because it is the second important sensors in the KHC Test Road project.

In order to find the best methodology, we evaluated existing methodology from prior experience and several conducted test installations. We have tried mound, block out, and trench cuts since 2000. Among three methods, block out was the most effective one in terms of accurate location, long-term survivability, and material homogeneity. However, this method cannot be applied to the wearing coarse so that the mound method was used as an alternative. The block out method was applied to base and intermediate layers while the mound method was used to the wearing coarse. Three hundred seventy-four asphalt strain gauges were installed on asphalt pavement sections from September 3rd to November 18th in 2002. According to the sensor measurement evaluation, 6.3% of sensor demonstrated over ranged readings for mound method installation and 2.5% did for block out method installation. We lost only two sensors during the installation. It is 99.5% survival and it is excellent survival rate according to other experience.

*Keywords: KHC test road, strain gauge, installation, pavement response*

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원  
\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원  
\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원  
\*\*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구개발실장



## 요 지

국내의 포장 재료와 교통 및 기후조건이 반영되는 포장설계법 개발을 위한 연구가 진행중에 있으며, 이를 위해 실제 교통량 및 기후조건이 반영되고 이에 따른 포장의 거동을 모니터링 할 수 있는 대규모의 현장 시험시설로 시험도로를 건설하였다.

시험도로 아스팔트 포장구간은 15개의 다양한 두께 및 재료를 가진 단면들로 구성되어 있다. 이러한 단면들을 평가하기 위해 포장체 내에 다양한 계측기들이 매설되어 있다. 계측기 매설에 있어서 핵심 요소는 매설 위치의 정확성과 장기적인 생존율 및 내구성이다. 외국의 시험사례를 보면, 이런 정확성과 내구성은 매설 방법에 크게 영향을 받는다. 이에 본 연구에서는 2000년도부터 3년여 동안 일반적인 계측기 매설 방법인 마운드, 블록아웃, 트랜치컷에 대해 시험시공을 수행하였으며, 시험시공 결과를 분석하여 시험도로에 적용하였다.

위치의 정확성, 생존의 안전성, 시공성, 재료의 균질성 측면에서 시험시공 결과를 평가한 결과 블록아웃이 가장 효율적인 방법으로 나타났다. 그러나, 표층의 경우 블록아웃에 부적절한 층두께 등의 특성을 감안하여 마운드 방법을 사용하는 것으로 결정하였다. 아스팔트 기층과 중간층의 매설에는 블록아웃을, 표층의 매설에는 마운드를 사용하는 것으로 결정했다.

2003년 9월 3일부터 11월 18일까지 2달 여에 걸쳐 총 374개의 아스팔트 포장 변형률계를 시험도로에 매설하였다. 계측값 분석 결과, 마운드의 경우 6.3%, 블록아웃은 2.5%의 계측기가 매설 전후의 계측값 변화가 일반적인 계측기 사양 범위를 초과하는 것으로 나타났다. 생존율의 경우 매설후 손실된 계측기는 2개로 99.5%의 높은 생존율을 나타냈다.

**핵심용어 :** 시험도로, 변형률계, 매설방법, 포장거동

### 1. 연구배경

현재 우리나라에서는 미국과 일본에서 도입한 포장설계법을 사용하여 도로포장 설계에 임하고 있다. 그 결과 우리나라에서 생산되는 포장 재료와 교통 및 기후조건과 같은 한국적인 특성이 고려되지 않은 상태에서 포장 설계가 이루어지고 있다. 이러한, 우리만의 특성이 반영되는 포장설계법 개발을 위해서는 실제 교통량 및 기후조건이 반영되고 이에 따른 포장의 거동을 모니터링 할 수 있는 대규모의 시험시설이 반드시 필요하다. 시험도로는 이와 같은 필요성에 따라 1997년 건설계획이 수립되었고 2003년 현재 건설이 완료되어 있다.

시험도로는 왕복 4차로의 중부내륙고속도로 본선

에 부가적으로 총 연장 7.7km에 걸쳐 하행선에 편도 2차로로 건설되었다. 시험도로 구간 내에는 2830m 연장의 25개 콘크리트포장 단면과 2710m 연장의 15개 아스팔트 포장 단면이 시공되었다. 그림 1은 시험도로의 개략도이다.

시험도로는 포장의 공용성 평가를 위하여 다양한 설계 두께 및 재료를 가진 단면들로 구성되어 있다. 이러한 단면들을 평가하기 위해서는 포장체 내에 적절한 계측기들을 매설하여 하중의 재하에 따른 변형을 측정하는 것이 필수적이다. 따라서, 아스팔트 포장 구간에는 변형률계, 토압계, 온도계 등 총 6종류 636개의 계측기들이 매설되었다.

계측기들을 매설함에 있어서 가장 중요한 요소는 적정 위치에 매설되었는가와 장기적인 거동 관찰을

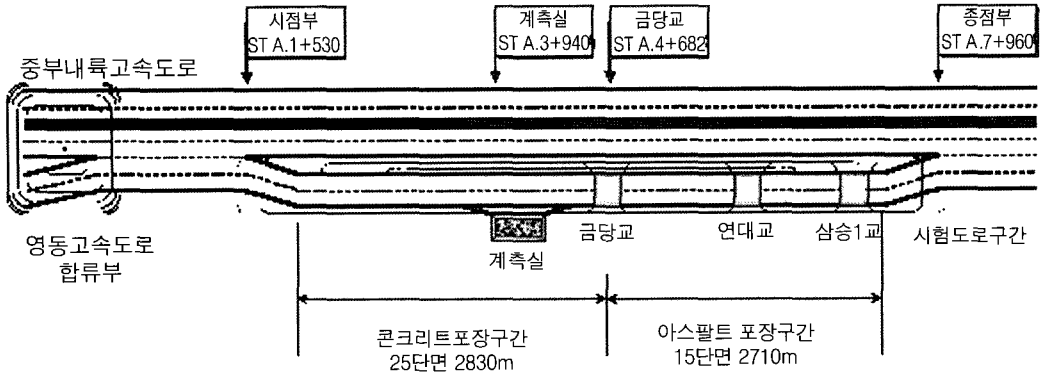


그림 1. 시험도로 개략도

위한 계측기의 생존을 및 내구성이다. 이런 정확성과 내구성은 매설 당시 적절한 매설 방법을 사용했는가에 크게 영향을 받는다. 이에 본 연구에서는 3년여 기간 동안 3차례의 시험시공을 통하여 아스팔트 포장 변형률계의 효과적인 매설 방법에 대해 연구하였다.

## 2. 아스팔트 콘크리트포장 변형률계 매설 방법

### 2.1 아스팔트 콘크리트포장 변형률계

실제 교통량 및 도로 시설을 이용한 시험은 1958년 미국의 AASHTO Road Test를 시작으로 미국과 영국 등 몇몇 국가에서 시행되었고, 그 연구결과와 각국의 포장 설계법의 기초자료로서 활용되었다. 이후 새로운 재료, 새로운 환경에 맞춘 포장 설계법의 개선을 위하여 90년대 들어 미국 버지니아주의 Smart Road(1998), 오하이오주의 Ohio SPS Test Road(1996), 미네소타주의 MnRoad(1990), 네바다주의 WesTrack 등이 건설되어 활발한 연구활동이 이루어지고 있다. 국내에서도 인천국제공항의 시험 포장을 위한 시험주차가 건설되어 1996년부터 13개월 동안 시험이 이루어졌다. 이러한 각종 시험도로 및 주로에서는 포장체 내의 구조적인 거동을 분석하

기 위하여 변형률계가 매설되었다.

포장에 사용되는 변형률계는 변형률을 측정하는 방법에 따라 진동현식, 전기저항식, 광섬유식 등이 있다. 진동현식은 변형에 따라 현의 진동수가 변화하는 원리를 이용하는 것으로 정밀도가 높고, 장기간 동안 안정된 계측이 가능하다는 장점이 있으나 동적 측정이 불가능하다. 전기저항식 변형률계의 경우에는 변형에 따라 저항값이 달라지는 원리를 이용하는 방식으로 설치가 용이하며 동적/정적 계측이 가능하다는 장점이 있으나, 비교적 수명이 짧으며, 계측기와 데이터 로거 간의 연결선 길이에 따라 잡음이 발생하는 단점이 있다. 광섬유 방식은 변형에 따라 빛의 파장이 변화하는 원리를 이용한 것으로 정밀도가 높고, 동적 측정이 가능하다는 장점이 있으나, 장비가 고가이며 사용사례가 적으며 장기적인 사용성이 검증되지 않았다는 단점이 있다.

이에 시험도로의 계측기 매설 작업에 앞서 계측기의 정확도, 민감도, 내구성, 반복사용성, 현장적용성 등을 종합적으로 고려할 수 있는 각종 실내의 시험 및 시험시공을 수행하였으며, 그 결과에 가격과 사용 실적 등을 추가로 고려하여 최종적으로 전기저항식의 A사 제품을 아스팔트 포장용 변형률계로 선정하였다. 표 1은 시험도로에 매설된 아스팔트 변형률계의 계측기 사양을 정리한 것이다.



표 1. 시험도로 매설용 아스팔트 변형률계 계측기 사양

측정 방식	입출력저항	측정범위	비직진성 및 분해능	허용인가전압	사용온도
E·R	350Ω	±5000με	1%RO	10V	-20~+180℃

## 2.2 기존 아스팔트 콘크리트포장의 변형률계 매설 방법

일반적으로 사용되는 아스팔트 포장의 계측기 매설 방법은 크게 3가지로 나누어진다. 첫 번째는 마운드를 이용한 계측기 매설 방법으로 계측기를 매설할 포장층의 시공 전에 적정 위치에 계측기를 설치하고 그 위를 아스팔트 혼합물로 미리 덮어 계측기를 보호하는 방법이다. 두 번째는 트렌치컷을 이용하는 방법으로 매설할 포장층의 시공이 끝난 후에 브레이커를 이용하여 매설지점을 파내고 계측기를 매설하고 다시 덮어주는 방법이다. 세 번째는 블록아웃을 이용하는 방법으로 시공중에 계측기 매설 위치에 합판이나 알루미늄 판 등을 이용해 공간을 확보하고 이를 제거하여 생기는 공간에 계측기를 매설하는 방법이다.

미국 버지니아 주의 Smart Road에서는 아스팔트 변형률계의 매설 방법으로 트렌치컷을 사용하였다. Smart Road에서의 매설 방법에서 특이한 점은 계측기 배선을 보호하기 위하여 토목섬유를 사용하였다는 점이다. 계측기 배선을 위해 파낸 홈에 프라이머를 바르고 토목섬유를 설치한 후 배선을 깔고 다시 토목섬유를 이용해 덮는 방법을 사용했다. 오하이오 주의 Ohio SPS Test Road와 미네소타주의 MnRoad에서는 마운드를 이용해 아스팔트 변형률계를 매설하였다. Ohio SPS Test Road에서는 일반적인 마운드 방법을 그대로 사용하였으나 MnRoad에서는 계측기 매설 지점에 프라이머를 도포하여 계측기의 부착성능을 증대 시켰으며, 계측기 배선의 안전을 위하여 배선이 지난간 지점의 기존 층에 홈을 파내는 트렌치컷 방법을 혼용하여 사용하였다.

## 3. 아스팔트 콘크리트포장 변형률계 매설 방법 시험시공

### 3.1 매설방법 선정기준

계측기의 매설에 있어서 반드시 고려해야할 요소로 계측기 위치의 정확성, 매설 후 계측기의 생존율, 시공성 등이 있다. 계측 위치의 정확성과 관련된 항목으로 설계한 위치에 중·횡방향 및 깊이 방향으로 원하고자 하는 곳에 매설이 가능한가와 계측기 매설 전·후에 위치변화가 일어나지 않는가에 대해 고려해야 한다. 계측기의 생존율은 계측기와 배선에 대해서 생각할 수 있다. 아스팔트 포장의 경우 포설 후 각종 물러를 이용해 다짐작업이 이루어지고 이때 계측기의 적정 범위를 넘어서는 압력이 골재들을 통해 가해질 경우 직접적인 계측기의 손상으로 이어질 수 있으므로 이에 대한 적절한 고려가 필요하다. 계측기 배선 또한 포설시 150℃이상 올라가는 아스팔트 혼합물의 고온에 견딜 수 있어야하며, 다짐 작업시의 손상에 대한 충분한 방비가 가능한지 고려해야 한다. 이와 더불어, 배선의 연장시 단락 및 누수에 대한 방비가 필요하다. 시공성의 측면에서는 포장 시공과정과 상충되지 않으면서도 안전하고 쉽게 작업할 수 있는가에 대한 고려가 필요하다. 이외에도 매설과정에서 포장층의 재료가 균질하게 유지될 수 있도록 실제 포장의 시공에 사용되는 재료가 사용될 수 있는 방법에 대한 고려가 필요하다.

### 3.2 마운드를 이용한 매설방법 시험시공

마운드를 이용한 매설 방법은 2000년 11월 중앙



고속도로 17공구에서 시험시공이 이루어졌다. 이 방법은 계측기가 설치될 포장층의 시공이 이루어지기 전에 계측기를 포장층에 위치시키고 그 위를 아스팔트 혼합물들을 이용하여 작은 둔덕을 쌓은 후 아스팔트 피니셔가 통과하는 방법이다. 시험시공에서 이루어진 매설 방법은 다음과 같다.

- ① 계측기 매설위치에 PK못이나 철근을 절단하여 경계표시를 유색 페인트를 이용해서 표시한다.
- ② 계측기 매설표면이 수평이 되도록 지반을 고르게 정지시킨 후 필요에 따라 고운 모래를 얇게 도포하고 다짐을 한다.
- ③ 배선을 매설할 트렌치를 굴착하고 보호관에 배선을 넣는다.
- ④ 계측기 설치위치에 적정 면적으로 가열 아스팔트 프라이머를 2~3mm두께로 도포 한다.
- ⑤ 도포한 프라이머 위에 설치할 계측기를 올려놓고 수평을 맞춘다.
- ⑥ 3~4분 정도 아스팔트 프라이머가 경화될 때까지 양손으로 계측기를 고정시킨다.
- ⑦ No.4체를 통과하는 모래를 준비하여 현장에서 고운 아스팔트 콘크리트 혼합물을 준비한다.
- ⑧ 설치한 계측기 위와 배선 위에 고운 혼합물을 포설하여 보호층을 만들고 steel plate를 재하하고 발로 밟아 다짐을 한다.
- ⑨ 포설장비가 아스팔트 콘크리트를 포설하기 전에 포장재료를 운반하여 충분히 넓고 두터운 둔덕을 쌓는다.

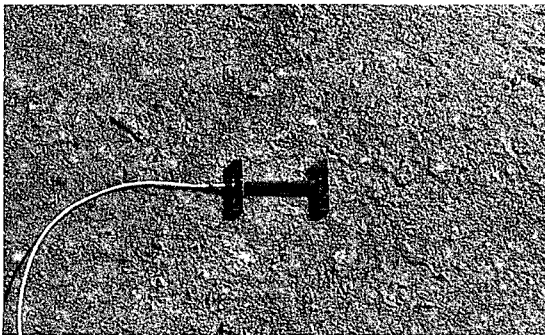


그림 2. AP변형률 계측기 거치

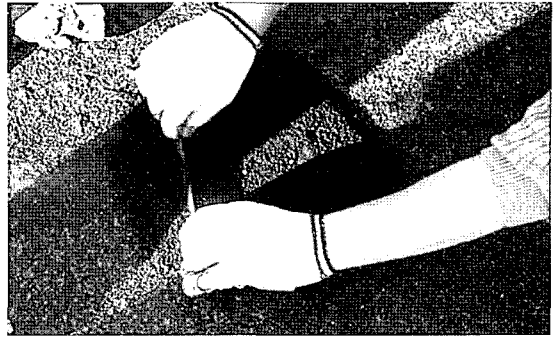


그림 3. 계측기 설치 후 AP혼합물 포설

### 3.3 블록아웃을 이용한 매설방법 시험시공

블록아웃을 이용한 매설 방법은 마운드를 이용한 시험시공과 함께 중앙고속도로 17공구에서 시험시공 되었다. 이 방법은 계측기와 배선이 놓일 위치에 합판과 PVC관을 미리 설치하고 피니셔와 롤러의 공정이 모두 끝난 후에 이들을 제거하여 계측기를 설치하는 방법이다. 시험시공된 매설 방법은 다음과 같다.

- ① 계측기 면적보다 충분한 넓이의 두께 40mm의 합판과 30mm의 PVC관을 준비하여 유체를 칠한다.
- ② 포설장비가 지날 때 준비한 합판과 PVC관을 계측기 설치위치와 배선 매설위치에 올려놓는다.
- ③ 포설장비가 지나가고 롤러가 충분히 다짐이 되었을 때 합판과 PVC관을 제거한다.
- ④ 모래와 아스팔트 프라이머를 혼합하여 만든 샌드아스팔트를 계측기 매설위치에 얇게 도포하고 매설위치가 수평이 되도록 샌드아스팔트를 다짐한다.
- ⑤ 배선을 보호관에 넣어 준비한 후 계측기를 올려놓고 수평을 맞춘다.
- ⑥ 샌드아스팔트를 계측기 위에 포설하여 보호층을 만들고 포장과 동일한 재료를 운반하여 계측기가 매설된 곳과 배선이 매설된 위치에 되메우고 다짐을 한다.
- ⑦ 탠덤롤러로 계측기 매설위치를 마무리 다짐한다.

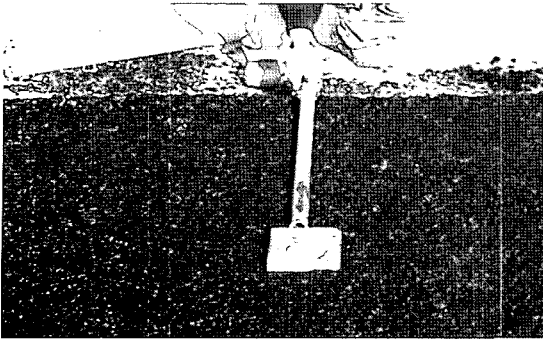
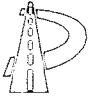


그림 4. AP기층상단 매설위치 블록아웃

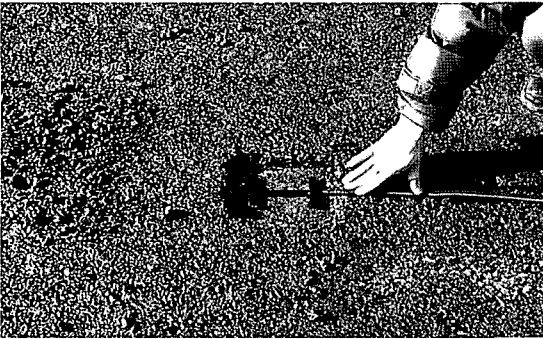


그림 5. AP기층상단 블록아웃 위치에 계측기 설치

### 3.4 블록아웃과 트랜치컷을 혼용한 매설방법 시험시공

블록아웃과 트랜치컷을 혼용한 계측기 매설 방법의 시험시공은 중부내륙고속도로 1공구에서 2001년 12월에 수행하였다. 이 방법은 계측기를 매설할 곳은 블록아웃 방법을 사용하여 공간을 확보하고, 계측기에서 나오는 배선이 놓일 공간은 트랜치컷으로 처리해주는 방법이다. 블록아웃에는 45×30×7cm 크기의 알루미늄판을 사용하였다. 매설방법을 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- ① 매설 위치를 선정하고 유색페인트를 이용해 표시한다.
- ② #10체로 친 골재로 고운 아스팔트 혼합물을 만들어 준비한다.
- ③ 계측기와 배선의 연결부분은 납으로 납땜을 하고

SB 방수테이프로 방수 처리한다. 그리고 그곳에 전열테이프로 마무리한다.

- ④ 아스팔트 피니셔가 지나가고 나면 매설지역에 알루미늄판을 삽입한다.
- ⑤ 롤러에 의한 다짐이 끝나면 알루미늄판을 제거하고 그곳을 다시 고운 아스팔트 혼합물로 약간 채워 평평하게 한 다음 그 위에 계측기를 올려놓고 수평을 맞춘다. 계측기 배선이 매립될 곳을 트랜치하여 배선을 처리한다.
- ⑥ 고운 아스팔트 혼합물을 계측기 위를 2센티정도 덮어준 후, 일반 아스팔트 포장혼합물을 이용해 되메우고 다진다.

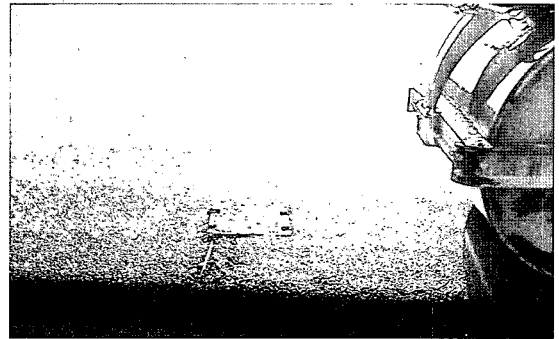


그림 6. 알루미늄판의 롤러 다짐



그림 7. 알루미늄판을 이용한 블록아웃 제거

### 3.5 시험시공 결과분석

시험시공을 통하여 수행한 3가지 계측기 매설 방



법을 위치의 정확성, 생존의 안전성, 시공성, 재료의 균질성의 측면에서 평가한 결과는 표 2와 같다.

전반적인 평가 결과에서는 블록아웃이 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나, 아스팔트 표층의 계측기 매설에서는 표층의 두께가 5cm로 블록의 두께와 거의 동일하며, 표층의 평탄성을 고려할 때 블록아웃보다는 마운드를 사용하는 것이 타당한 방법으로 나타났다. 따라서, 아스팔트 기층과 중간층의 매설에는 블록아웃을, 표층의 매설에는 마운드를 사용하는 것으로 결정했다.

## 4. 현장시공 및 결과분석

### 4.1 현장시공

시험도로의 아스팔트 포장층은 총 15개 단면으로 이루어져 있으며, 일부 단면의 경우 표층 재료의 성분

에 따라 3가지로 구분된다. 각 단면의 설계변수는 기층 두께(15, 25, 35cm), 기층 재료(아스팔트안정처리 25mm(BB3), 40mm(BB1), 쇄석), 보조기층두께(30cm, 40cm, 동상방지층 생략)로 구성되어 있다. 여러 가지 변수 총 27개 팩토리얼(Factorial)중에서 도로공사의 기본설계인 아스팔트안정처리기층 25mm는 모든 경우에, 40mm와 쇄석은 기본단면(보조기층 30cm+동상방지층)에만 반영되어 총 15개의 단면이 선정되었다.

아스팔트 변형률계의 매설은 시공 순서에 맞추어 아스팔트 안정처리기층에서부터 이루어졌으며, 2003년 9월 3일부터 11월 18일까지 2달여에 걸쳐 이루어졌다. 표 3은 시험도로 아스팔트 포장구간의 포장 시공 및 아스팔트 변형률계 매설 시공일자를 정리한 것이다.

시험시공 결과를 토대로 아스팔트 기층, 중간층은 블록아웃을 이용한 매설방법을 사용하기로 하였으며, 세부공정은 표 4와 같다.

표 2. 매설방법 시험시공 평가 결과

평가항목	마운드	트렌치컷	블록아웃
위치의 정확성	계측기 매설후 시공시 진진하는 피니셔로부터 압력을 받을 수 있고, 다짐기로부터 받는 압력으로 위치변동의 가능성이 높음	포장층의 시공후 계측기를 매설함으로써 정확한 위치에 매설이 가능함	시공중에 매설하나 피니셔와 다짐공정이 끝난 다음에 매설함으로써 비교적 정확한 위치에 매설이 가능함
생존의 안전성	피니셔와 다짐기의 압력을 모두 받게 됨으로 계측기 및 배선의 손상 가능성이 매우 큼	시공이 끝난 후 계측기 매설이 이루어짐으로 손상 가능성이 매우 적음	피니셔와 1,2차 다짐기의 작업이 완료된 후에 매설함으로써 손상 가능성이 비교적 적음
시공성	포장 시공전에 계측기 매설 공정이 완료되고 매설 방법이 단순하여 시공성이 높음	포장층의 시공과 상충되지는 않으나, 브레이커 및 기타 도구들을 이용한 터파기 작업과 되메우기 작업 등으로 시공성이 다소 떨어짐	계측기의 매설 작업이 포장층의 다짐공정과 상충되고 배선 처리를 위한 터파기 작업과 되메우기 작업 등으로 시공성이 다소 떨어짐
재료의 균질성	포장 시공 재료와 동일 재료로 매설이 가능하므로 균질성이 좋음	포장층의 재료와 다른 재료가 사용됨으로 균질성이 떨어짐	포장 시공 재료와 동일 재료로 매설이 가능하므로 균질성이 좋음




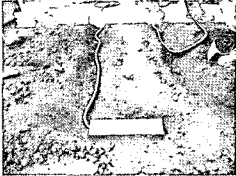
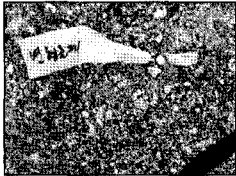

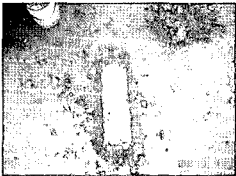
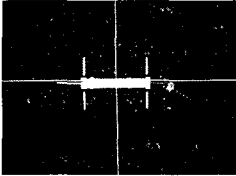
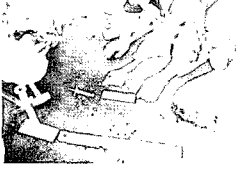




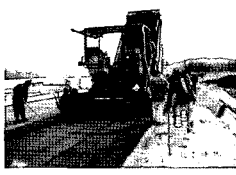
표 3. 시험도로 아스팔트 변형률계 매설 일자 및 층별 수량

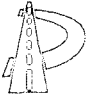
단 면 번호	표 층			중 간 층			기 층		
	종류	포설일자	변형률계	종류	포설일자	변형률계	종류	포설일자	변형률계
A13	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/09	5	쇄석기층	2002/10/04	
A13-2	PMA	2002/11/15		BB5	2002/10/09	4	쇄석기층	2002/10/04	
A13-1	SMA	2002/11/13		BB5	2002/10/09	4	쇄석기층	2002/10/04	
A2-1	SMA	2002/11/13		BB5	2002/10/09	4	BB3	2002/09/03	4
A2-2	PMA	2002/11/15		BB5	2002/10/09	4	BB3	2002/09/03	4
A2	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/09	5	BB3	2002/09/03	5
A10	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/09	5	BB1	2002/09/03	5
A10-2	PMA	2002/11/15		BB5	2002/10/09	4	BB1	2002/09/03	4
A10-1	SMA	2002/11/13		BB5	2002/10/09	4	BB1	2002/09/03	4
A11-1	SMA	2002/11/13	5	BB5	2002/10/09	5	BB1	2002/09/02	5
A11-2	PMA	2002/11/15	5	BB5	2002/10/09	5	BB1	2002/09/02	5
A11	밀입도	2002/11/18	6	BB5	2002/10/11	6	BB1	2002/09/02	12
A14-1	SMA	2002/11/13	5	BB5	2002/10/11	5	쇄석기층	2002/09/25	
A14-2	PMA	2002/11/15	5	BB5	2002/10/11	5	쇄석기층	2002/09/25	
A14	밀입도	2002/11/18	6	BB5	2002/10/11	6	쇄석기층	2002/09/25	
A5	밀입도	2002/11/18	6	BB5	2002/10/11	6	BB3	2002/09/10	12
A5-2	PMA	2002/11/15	5	BB5	2002/10/11	5	BB3	2002/09/10	5
A5-1	SMA	2002/11/13	5	BB5	2002/10/11	5	BB3	2002/09/10	5
A8-1	SMA	2002/11/13		BB5	2002/10/11	4	BB3	2002/09/10	8
A8-2	PMA	2002/11/15		BB5	2002/10/11	4	BB3	2002/09/10	8
A8	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/11	5	BB3	2002/09/10	10
A12	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/11	5	BB1	2002/09/09	10
A12-2	PMA	2002/11/15		BB5	2002/10/11	4	BB1	2002/09/09	8
A12-1	SMA	2002/11/13		BB5	2002/10/22	4	BB1	2002/09/09	8
A15-1	SMA	2002/11/13		BB5	2002/10/22	4	쇄석기층	2002/10/17	
A15-2	PMA	2002/11/15		BB5	2002/10/22	4	쇄석기층	2002/10/17	
A15	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/22	4	쇄석기층	2002/10/17	
A9	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/22	5	BB3	2002/10/01	10
A7	밀입도	2002/11/18		BB5	2002/10/15	5	BB3	2002/10/01	10
A6	밀입도	2002/11/17		BB5	2002/10/15	5	BB3	2002/10/02	5
A4	밀입도	2002/11/17		BB5	2002/10/16	6	BB3	2002/10/02	12
A3	밀입도	2002/11/17		BB5	2002/10/16	5	BB3	2002/10/02	5
A1	밀입도	2002/11/17		BB5	2002/11/16	5	BB3	2002/11/16	5





표 4. 아스팔트 변형틀계 매설 방법

	블록아웃		마운트	
	시공사진	매설공정	시공사진	매설공정
준비작업	 	<p>① 측량을 통하여 계측기를 매설 위치를 선정하고 꽃못을 이용하여 표기</p> <p>② 아스팔트 피니셔의 진행 후 블록 및 배선 매설 위치를 굴착</p> <p>③ 보호박스과 플렉시블관으로 보호한 계측기를 굴착위치에 매설 후 아스팔트로 되메움</p>	 	<p>① 측량을 통하여 계측기를 매설 위치를 선정하고 꽃못을 이용하여 표기</p> <p>② 배선 처리를 위해 계측기 매설 위치부터 길어깨까지 중간층을 절삭하여 플렉시블관을 생성</p> <p>③ 플렉시블관을 절삭 위치에 매설 후 시멘트 모르타르를 이용하여 되메우기</p>
매설작업	   	<p>① 1, 2차 다짐이 끝난 후 보호박스 블록아웃</p> <p>② 매설 위치의 정확성을 위해 십자 형태로 실을 띄우고 꽃못을 제거</p> <p>③ 굵은 골재를 제거한 고온 아스팔트 혼합물을 블록아웃한 위치에 넣고 적정 높이까지 다지고 수평자를 이용해 평탄성 및 수평 확인</p> <p>④ 계측기의 매설 방향을 확인하여 위치를 잡은 후 고온 아스팔트 재료로 계측기를 덮고 고무망치로 다짐</p> <p>⑤ 고온 아스팔트 재료로 2~3cm를 덮고 다짐을 한 다음 일반 아스팔트 재료를 덮고 다짐을 하여 마무리</p>	   	<p>① 플렉시블관에 계측기 배선 관입</p> <p>② 매설 위치에 십자 형태로 실을 띄우고 꽃못을 제거</p> <p>③ 굵은 골재를 제거한 고온 아스팔트 재료를 얇게 깔아 계측기와 중간층 사이의 공극을 제거</p> <p>④ 고온 아스팔트 재료를 이용하여 계측기 위를 덮어서 개별 마운드를 만들고 고무망치로 다짐</p> <p>⑤ 일반 아스팔트 재료를 이용하여 개별 마운드를 모두 덮어주는 큰 마운드를 만들어주고 다짐</p>
매설 후 작업	텐덤롤러를 이용한 3차 다짐		피니셔 진행 후 1,2,3차 다짐	



## 4.2 계측값 및 생존율 분석

매설 방법의 효율성을 분석하기 위하여 계측기 매설 전·후의 초기값 및 생존율에 대한 분석을 실시하였다. 초기값의 측정은 2002년 7월과 2003년 1월에 두 번에 걸쳐 수행하였다. 2002년 7월에 측정한 초기값은 계측기 매설전 계측기 검수시에 측정한 값으로 하층의 영향을 받지 않은 상태에서 측정한 값이다. 2003년 1월에 측정한 값은 계측기 매설 후, 함체와의 연결을 위한 배선 확장작업을 마치고 측정한 값이다.

그림 8은 표층에 시공한 마운드 방법으로 매설한 아스팔트 변형률계의 설치전, 설치후 변형률계 값을 그래프로 나타낸 것이다. 설치전 검수시의 변형률계 초기값을 보면 제품의 사양에서 제시하는  $\pm 5000\mu s$  이하로 모든 계측기들의 값이 만족하는 것을 볼 수

있다. 설치후의 계측값을 이를 벗어나는 계측기의 값이 6.3%로 3개의 계측기가 이러한 현상을 보이는 것으로 나타났다. 이를 좀 더 자세히 분석하여 검수시 초기값을 기준값으로 변화량을 나타낸 것이 그림 9이다. 두 가지 경우 모두  $\pm 5000\mu s$  이상의 변화를 나타낸 계측기는 모두 3개로 그 값은  $5000\mu s$ 에서  $6000\mu s$  사이로 계측기의 이상이 발생한 것으로 보기에 어려운 값이다.

그림 10과 그림 11은 아스팔트 중간층과 기층에 블록아웃을 이용해 매설한 계측기들을 동일한 방법으로 분석한 결과이다. 그림 10에서 보는 바와 같이 이 경우에도 설치전 검수시의 변형률계 초기값을 보면 제품의 사양에서 제시하는  $\pm 5000\mu s$  이하로 모든 계측기들의 값이 만족하는 것을 볼 수 있다. 설치후의 계측값을 보면 3.1%의 계측기가 제품의 사양에서 제시한 범위를 벗어나는 것으로 나타났다. 변형률

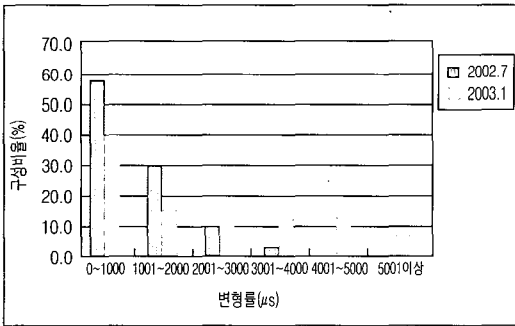


그림 8. 초기값 분석(마운드)

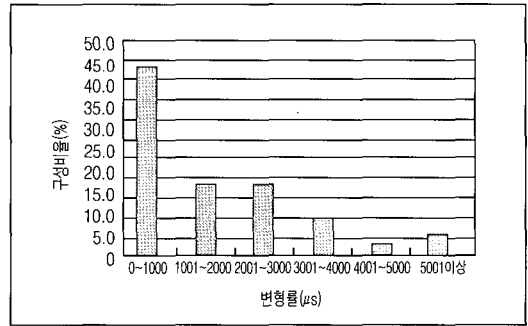


그림 9. 변형률 변화량 분석(마운드)

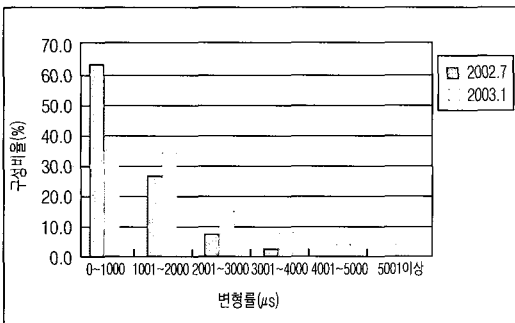


그림 10. 초기값 분석(블록아웃)

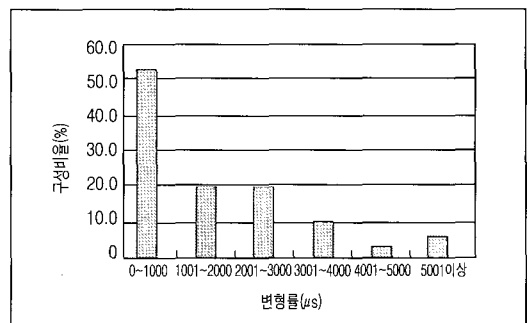


그림 11. 변형률 변화량 분석(블록아웃)

15

변화량에 대해 분석하면 제품의 사양 범위를 벗어난 값을 보이는 계측기는 전체 매설된 계측기의 2.5%로 나타났다. 이 중에서 7개의 계측값은 6000 $\mu$ s대 미만의 변화값을 보이며, 1개의 계측기는 17227 $\mu$ s의 값을 나타내어 계측기에 이상이 생긴 것으로 판단된다.

계측 초기값 분석결과를 보면 전체적으로 3%(11개)의 계측기가 제품 사양을 벗어나는 보이는 것으로 나타났다. 이 중 1개는 확실하게 계측기에 이상이 발생한 것으로 추정되며, 나머지 10개의 계측기는 추가적인 하중재하 시험을 통하여 계측기의 이상 여부를 판단해야 할 것으로 나타났다. 매설 방법에 따라 이를 구분하여 보면 시험시공에서 나온 결과와 같이 마운드를 이용한 계측기의 매설 방법(6.3%)이 블록아웃을 이용한 방법(2.5%)보다 계측기의 이상발생율이 더 높은 것으로 나타났다.

매설 후 5개월 정도가 지난 2003년 3월의 시점에서 단순 생존율을 보면 단선으로 인한 계측기 유실이 1개, 계측데이터 이상으로 인한 유실 추정이 1개인 것으로 나타났다. 이것은 전체 매설된 아스팔트 변형률계의 수가 374개인 점을 감안할 때, 0.5%에도 못 미치는 수준이다. 따라서, 본 시험도로 시공에서 사용한 아스팔트 변형률계 매설 방법의 단기적인 계측기 생존율은 매우 우수한 것으로 추정할 수 있다.

## 5. 결 론

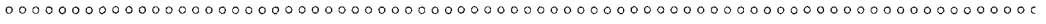
본 연구에서는 아스팔트 변형률계의 효과적인 매설 방법을 위하여 3번의 시험시공을 수행하였다. 시험시공은 일반적인 계측기 매설 방법으로 사용되는 마운드, 블록아웃, 트렌치컷에 대하여 이루어졌다. 각각의 방법에 대한 평가결과 아스팔트 표층의 경우는 마운드가, 아스팔트 중간층 및 기층의 경우는 블록아웃을 사용하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

시험시공 결과를 토대로 한국도로공사 시험도로 아스팔트 포장 구간에서 계측기 매설을 수행하였으

며, 계측값 및 생존율에 대한 분석을 수행하였다. 계측값 분석 결과, 마운드의 경우 6.3%, 블록아웃은 2.5%의 계측기가 매설 전후의 계측값 변화가 일반적인 계측기 사양 범위를 초과하는 것으로 나타났다. 이 중 1개의 계측기는 변화값이 10000 $\mu$ s 이상으로 확실한 계측기 이상으로 판단되며, 나머지는 하중재하 시험을 통한 계측 유효성 분석이 필요한 것으로 나타났다. 생존율의 경우 매설후 손실된 계측기는 2개로 99.5%의 높은 생존율을 나타내어 본 연구에서 제시하는 계측기 매설 방법이 효과적인 것으로 판단된다. 그러나, 지금까지의 효율성 분석은 단기적인 것으로 향후, 시험도로 정기계측을 통한 보다 정확한 계측값의 유효성 분석 및 장기적인 생존율 분석이 필요한 것으로 판단된다.

### ■ 참고문헌

1. 한국도로공사 도로연구소 "시험도로의 건설과 운영에 관한 연구(V)", 2002
2. 한국도로공사 도로연구소 "시험도로의 건설과 운영에 관한 연구(IV)", 2001
3. Harris B. Baker, Michael R. Buth, David A. Van Deusen, "Minnesota Road Research Project : Load Response Instrumentation Installation and Testing Procedures", Minnesota Department of Transportation, 1997
4. Imad L. Al-Qadi, Walid M. Nassar, Loulizi, Gerardo W. Flintsch, and Thomas E. Freeman, "Flexible Pavement Instrumentation at the Virginia Smart Road" presented in TRB 79th Annual Meeting, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000
5. Shad M. Sargand, "Coordination of Load Response Instrumentation of SHRP Pavements-OHIO University"Final Report,



Ohio Department of Transportation, and  
Federal Highway Administration, 1999  
6. Shad M. Sargand, *“Development of an  
Instrumentation Plan for the Ohio SPS Test*

*Pavement”* Final Report, Ohio Department  
of Transportation, and Federal Highway  
Administration, 1994

〈접수 2003. 8. 26〉