

시험도로 포장계측을 위한 센서의 실내검증 및 현장적용성 연구

Laboratory Tests and Field Application of Pavement Sensors for Test Road

윤경구* · 김광우** · 이승원*** · 김성환**** · 엄주용***** · 이광호*****

1. 서론

한국도로공사 도로연구소에서는 국내의 교통환경조건이나 시공환경 등 우리나라 실정에 부합되는 도로포장 기술을 개발하기 위하여 중부내륙고속도로에 시험도로를 건설중에 있다. 이는 집약적이고 장기적인 도로시험 성과물로 효율적인 연구개발 결과를 도출하여 우리 고유의 도로설계법은 물론 국내교통특성 및 환경특성에 적합한 기술을 개발하고자 하는 것이다. 현재까지는 국내의 포장설계법이 미국을 비롯한 외국의 방법을 그대로 수용하여 적용하고 있어 우리나라의 기후조건이나 교통환경조건, 시공환경 등에 적합하지 않아 포장체의 설계나 수명, 유지관리에 있어 비합리적인 것이라 할 수 있다.

이러한 시험도로를 효율적으로 운영하기에 앞서 선행되어야 할 과제는 계측센서의 검증과 설치과정 또한 계측시스템 구성 및 설계가 필요하다. 국내에서는 주행하중하에서 도로포장체에 대한 계측경험이 부족하고 시험도로에 대한 계측이 최초로 진행될 예정이어서 시험도로에 매설될 계측센서를 대상으로 설치과정 및 계측경험이 절실히 요구된다. 또한, 이를 위하여 "시험도로에 대한 계측센서 조사 및 계측시스템 기본설계"가 기 수행되었으므로, 이를 바탕으로 시험도로포장 계측센서의 실내실험 및 현장적용을 통하여 국내의 환경 및 교통조건하에서의 주행하중에 대한 계측장비의 성능을 최대한으로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있는 것이다.

따라서, 본 연구에서는 시험도로에 매설될 포장계측센서 검증, 포장계측센서들의 설치과정 및 계측 방법 검증, 포장계측센서들의 설치 노하우 축적, 시험도로 건설시 계측센서설치 오류 최소화 및 효율

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사

** 정회원 · 강원대학교 농공학과 부교수 · 공학박사

*** 정회원 · 경북대학교 토목공학과 전임강사 · 공학박사

**** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 부장 · 공학박사

***** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 수석연구원 · 공학박사

***** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 연구위원 · 공학박사



적인 포장시공 및 계측시스템 구축을 위하여 본 연구를 수행하고자 하였다.

2. 실내실험

2.1 개요

시험도로의 포장계측은 자연환경이나 동적인 교통환경, 구조적환경등에 대한 정밀도, 정확도, 내구성이나 수명등을 현장적용에 앞서 실내시험을 통하여 검증하고 계측시스템과의 조화성을 검토하여야 한다.

기 연구에서 분석된 계측센서를 대상으로 변형률측정 센서에 대해서는 콘크리트 포장 변형률계, 아스팔트 포장 변형률계, 철근 변형률계에 대한 강성실험, 강제 보 실험, 콘크리트 보 실험, 게이지 동결-융해 저항성 실험을 계획하였으며 응력측정 센서에 대해서는 토압계 실험을 수행하고자 하였다. 또한, 기타 실험으로 콘크리트 포장용 게이지 보호 박스와 게이지 거치대를 제작하여 이에 대한 사용성 실험을 하고자 하였다.

2.2 실내실험

2.2.1 게이지 검증 및 강성실험

강성실험의 목적은 포장시공시 센서가 파손되지 않고, 설치 후 포장체와 함께 거동하므로 최소한의 강성을 유지하는가를 고찰하는데 있다. 아스팔트 포장에서 H-gages의 상대적 강성은 설치에 있어 정확성이 가장 중요시 되며, 실험에 의한 강성은 하중-변위 곡선의 기울기를 계산하여 실험으로부터 구한 강성이 설계기준값을 만족하는지 비교 고찰하여야 한다.

본 실험에서 게이지 검증(calibration)은 미국의 Virginia에서 Smart Road에 대한 실내실험 장치를 모사하여 Smart Road의 연구에 참여했던 Dr. Al-Qadi로부터 실험장치에 대한 상세도면 및 사진을 협조받아 고안하고자 한다.

또한, 게이지의 강성실험은 Instron에 게이지를 장착할 수 있도록 인장지그를 제작하여 일축인장실험을 통한 게이지의 강성을 측정하는 것이다. 작용하중과 게이지의 변위를 측정하여 기울기를 계산함으로써 실험으로부터 구한 강성이 설계기준치를 만족하는지 검증하고자 한다.

2.2.2 강제 보 실험

강제 보 실험은 H-빔의 중앙하단에 게이지를 부착하고 또한 LVDT를 설치하여 실험으로부터 구한 변형률 및 처짐을 보의 탄성이론으로부터 계산된 변형률과 처짐을 비교 검증하기 위한 실험으로 실험치와 이론치가 일치하는가, 즉 정확도를 알아보기 위한 실험이다. 실험은 길이 130cm, 지간 120cm, 폭 10cm, 높이 10cm의 H-빔 중앙하단에 게이지를 부착하고 LVDT를 설치하였다. 하중의 재하는 4점 재하로 가력하였으며 하중의 재하속도는 20kg/sec로 하였다. 여기서, 변형률과 처짐은 Data Logger를 사용하여 자동 기록되도록 하였으며 그림 1은 강제 보 실험장치를 도시한 것이다.

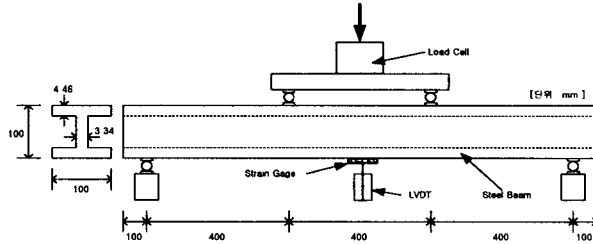


그림 1. 강재 보 실험

그림 2는 이론치와 실험치에 대한 하중-처짐 곡선을 나타내었고 2사이클과 3사이클에 대한 회귀분석 결과를 나타낸 것이다. 실험은 재하-제하를 3회 반복하여 수행하였으며, 하중-처짐 곡선에서 이론치와 실험치는 비교적 일치하는 것으로 나타났으며 2~3사이클 반복 하였을 때 더 근접하게 나타났다. 그림 3은 강재 보 중앙하단에 철근게이지를 부착하여 응력과 변형률의 관계를 도시한 것으로 강재 보의 탄성범위내에서 이론치와 실험치가 매우 근접하게 나타났다.

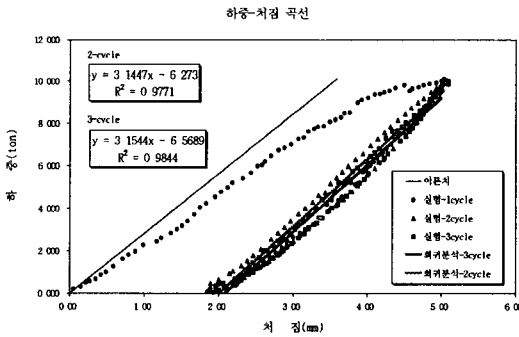


그림 2. 하중-처짐 곡선

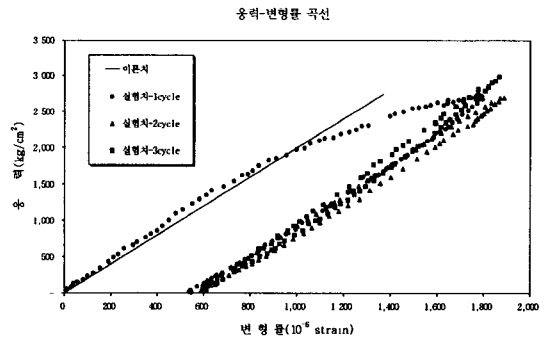


그림 3. 응력-변형률 곡선

2.2.3 콘크리트 보 실험

이 실험의 목적은 보의 탄성범위에서 정적 하중 아래 게이지의 정확도를 검증하고 실험으로부터 측정된 변형률 및 처짐을 탄성이론으로 계산된 결과와 비교 고찰하고 콘크리트 보의 내부에 매립된 게이지의 측정결과와 보의 외부에 부착한 게이지의 측정결과를 비교 분석하고자 하였다. 시험체는 길이 140cm, 지간 120cm, 폭 15cm, 높이 15cm의 강섬유보강 콘크리트 보 시험체를 제작하여 실험을 수행하고자 한다. 콘크리트의 취성적 성질

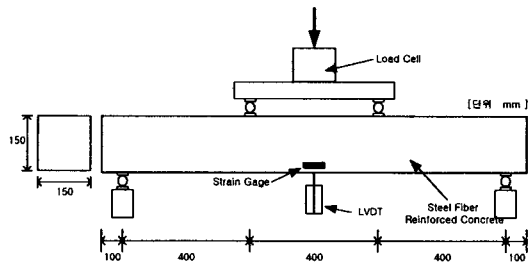


그림 4. 콘크리트 보 실험장치



을 개선하고 시험체의 인성을 부여하기 위하여 강섬유를 0.5% 혼입하여 실험하였다.

콘크리트에 매립될 게이지는 콘크리트 타설전 보의 중앙하단 거푸집에 설치하고 콘크리트를 타설하여 표준양생 기간이 지난후 실험을 수행하고자 한다. 또한, 보의 중앙점의 변위는 LVDT를 사용하여 측정하고자 한다. 실험방법은 강재 보 실험장치와 동일하게 수행되며 연속측정의 안정성을 확보하기 위해 재하-제하 사이클을 3회이상 반복하여 실험하고자 한다. 여기서, 하중의 재하는 10kg/sec 이내로 일정비율로 재하 하고자 하였다. 그림 4는 콘크리트 보 실험장치와 제원을 도시한 것이다.

2.2.4 아스팔트 포장 변형률 게이지 실험

아스팔트 포장 변형률 게이지 실험은 현장의 포장 다짐을 모사한 롤러 컴팩터를 이용하여 현장에서 기층 상단에 변형률게이지의 매설 후 표층을 다짐하는 것을 고려하여 2층 다짐으로 한 시험체를 제작한다. 실험의 측정장비는 차량 주행을 모사한 휠트래킹 시험 장비와 수직 반복하중을 가하는 Instron 시험기를 이용하였다. 변형률게이지를 휠트래킹 장비에 설치한 후 게이지를 데이터 로거에 연결하고 장비를 작동시켜 이에 따른 변형률을 측정하였다. 여기서 변형율을 다층 이론에 의한 계산 결과와 비교하여, 변형률계의 민감도 및 신뢰도를 검증하고자 하였다.

2.2.5 게이지 동결-융해 저항성 실험

이 실험의 목적은 습윤상태에 대한 장기 노출과 온도변화에 대한 스트레인 게이지의 손상이나 사용성등을 검증하고자 한 것이다. 변형률 게이지의 환경(물에 단/장기 노출)적 요인에 대한 영향을 연구하기 위해 게이지를 수조에 침수시키고 이후 개략 동결-융해 싸이클을 300회 반복한다.

동결-융해에 대한 저항 시험은 KS F 2456(ASTM C 666) B Type에 따라 공기중 급속동결 수중 급속융해의 방법으로 실시하며 동결시 -18℃, 융해시 4℃로 상승시키는 것을 1사이클 4시간으로 하여 반복 수행하였다. 각 게이지는 300사이클을 수행하여 동결-융해 영향을 받은 게이지를 실험하여 원래의 효과를 나타내는지 확인하고자 하였다.

2.2.6 토압계 실험

응력측정센서에 대한 실내실험은 토압계의 직선성과 실측데이터와 이론데이터의 비교 검증을 하기 위하여 수행하고자 한다. 이 실험을 수행하기 위해 먼저 길이 90cm, 폭 40cm, 높이 12cm의 철재 컨테이너를 주문제작하여 세립의 모래를 일정 습윤상태를 유지하도록 하여 밀면으로부터 약 5cm 정도를 채우고 다짐을 하였다. 이 모래 위에 토압계를 수평이 되도록 하여 올려 놓은 후 위에는 고무 패드를 토압계의 감응면적과 같은 크기로 올려놓는다. 이 위에는 철판을 올리고 마지막으로 Load cell을 장착하였다. 실험은 Load Indicator를 사용하였으며 Data Logger를 이용하여 측정 데이터를 저장하도록 하였다. 하중은 1초에 2~3kg/cm²이 가해지도록 재하속도를 조절하였으며 토압계 range의 150%까지 하중을 가압한 후 다시 같은 속도로서 감압하였다.

실험은 토압계의 종류에 따라 재하-제하를 각 2회 수행하여 평균치를 결과에 반영하였다. 따라서, 이론적 응력과 실제 측정응력의 비교 고찰 및 직선성을 검증하고자 하였다.



그림 5는 토압계의 실내실험 장치를 도시한 것이며, 그림 6은 실험장치를 나타낸 사진이다.

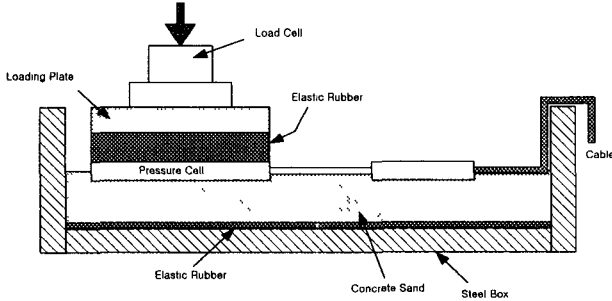


그림 5. 토압계 실험장치

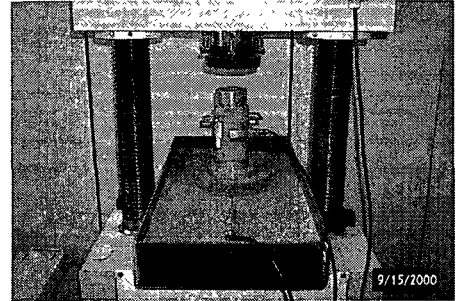


그림 6. 토압계 실내실험

또한, 그림 7과 그림 8은 A사와 B사의 토압계에 대한 실내실험을 실시하여 측정된 결과를 보인 것이다. A사의 경우 토압계의 range는 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 이므로 가압하중 작용시 약 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도까지는 양호한 직선성을 유지하였으며 이론치와 측정치가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. 이후 약 2000kgf 이상의 하중이 작용시부터는 비직선성의 경향을 나타내었고 하중이 감압되면서 부터는 실측치가 이론치보다 크게 나타났다. 또한, B사의 결과는 측정치가 이론치보다 작게 나왔다. 이는 직경 10cm의 토압계 내경 9.2cm에서만 측정치를 감지하도록 설계되어 토압계 외경에서는 하중을 지지하는 결과가 된 것으로 판단되었으며 시험도로에 적용할 토압계의 감응내경은 최대골재치수의 5배 이상 되어야 할 것으로 판단된다.

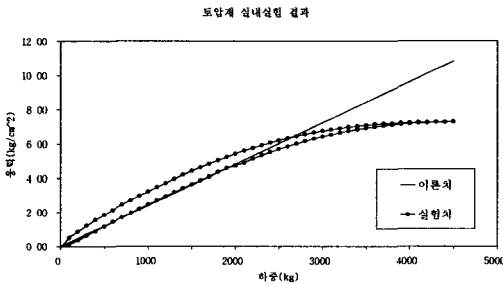


그림 7. A사의 토압계 실내실험 결과

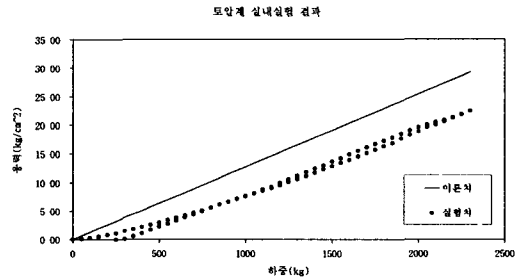


그림 8. B사의 토압계 실내실험 결과

3. 현장적용 실험

3.1 계측센서 설치단면 및 매설위치

본 연구의 대상인 아스팔트 및 콘크리트 포장구조체의 거동을 측정할 수 있는 계측센서의 현장 적용성을 평가하기 위하여 시공중인 중앙고속도로 원주-홍천 고속도로건설 제 17공구(한국도로공사 중앙 1건설사업소, 시공사 동아건설, 강원도 원주시 호저면 옥산리 584-2)를 선정하였다. 또한, 국내의 계측 관련 업체와 계측기기 취급 또는 보유업체를 선정하여 본 현장적용 실험대상구간을 업체별로 나누어



실험을 수행하여 국내업체의 계측센서 및 계측시스템 등 보유기술과 수준을 검증할 수 있는 계기를 마련하고자 하였다.

계측센서의 설치단면과 매설위치는 적정단면과 매설위치를 고려하고 경제성을 바탕으로 하여 아스팔트 및 콘크리트 포장구간의 경우 모두 1개소의 위치를 설정하였다. 아스팔트 포장구간과 콘크리트 포장구간에 대한 계측센서의 설치단면과 매설위치는 그림 9에 나타내었다.

3.2 현장적용실험(토압계)

현장적용 실험은 노상 위에 매설될 토압계를 맨먼저 매설하여 평판재하실험을 통하여 각 참여업체별 결과를 비교하였다. 토압계의 현장적용실험은 연구참여 업체별 일정구간을 나누어 매설하였다. 토압계가 매설될 위치를 측량하여 표시하고 토압계를 매설한 후 약 25cm 정도 롤러로 다짐하여 덤프트럭을 재하하여 평판재하 시험을 수행하였다. 그림 10~그림 13은 토압계의 현장적용실험 결과를 나타낸 것이다. 작은 하중이 재하된 범위내에서는 이론치와 측정치가 비교적 양호하게 나타났으며, 하중이 증가할수록 측정치가 이론치보다 대체로 크게 나타났다.

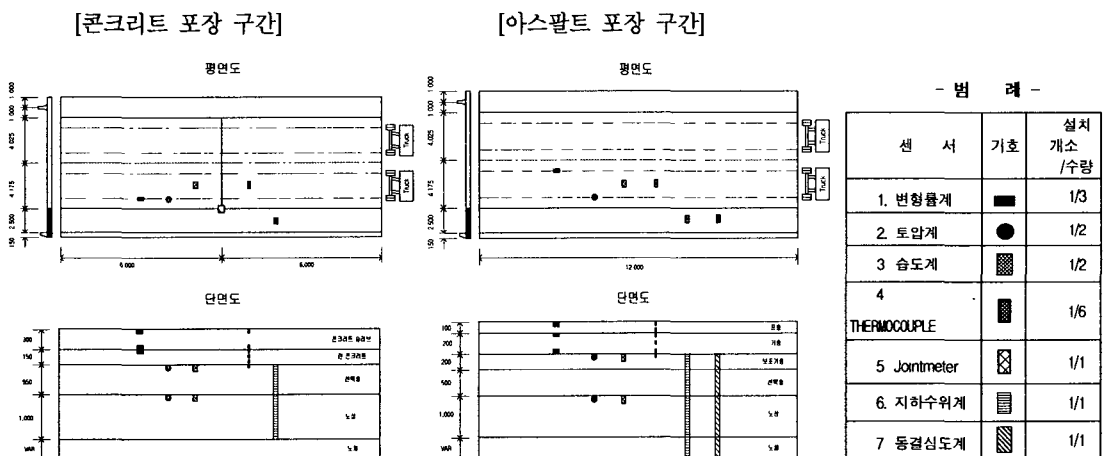


그림 9 포장 구간별 계측센서 매설 위치 및 설치단면도

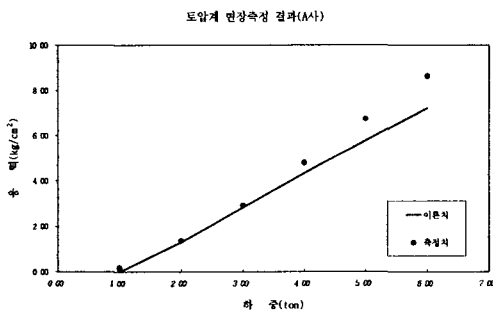


그림 10 토압계 현장실험 결과(A사)

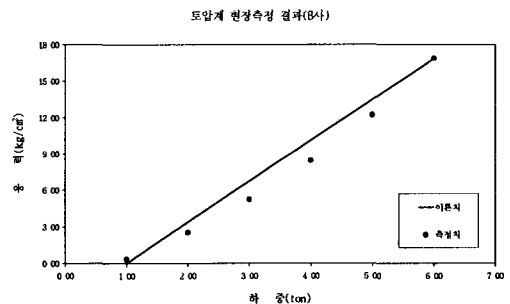


그림 11 토압계 현장실험 결과(B사)

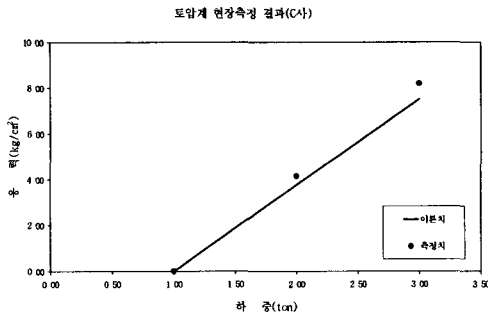


그림 12 토압계 현장실험 결과(C사)

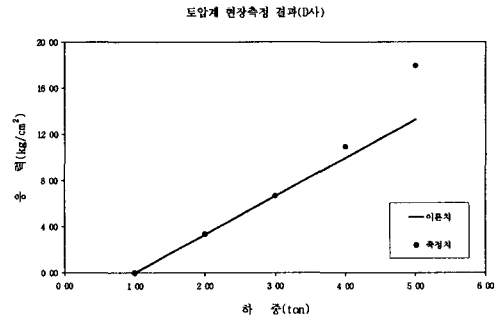


그림 13 토압계 현장실험 결과(D사)

4. 결 론

본 연구에서는 시험도로 포장계측센서의 실내검증 및 현장적용성 검증과 국내 및 미국에서 최근 건설되어 계측되고 있는 시험도로 사례를 분석하고 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 미국의 시험도로의 고찰결과 "오하이오 시험도로"의 모델이 국내 시험도로 시공 목적에 가장 부합한다고 판단되며, 포장계측시스템은 계측의 효율성, 지속성, 용이성 및 경제성을 고려할 때 오하이오 시험도로의 수시계측과 "Smart Road"의 자동계측시스템을 조합하는 것이 타당할 것으로 판단된다.
- 2) 계측센서는 자연환경이나 동적인 교통환경, 구조적환경등에 대한 정밀도, 정확도, 내구성이나 수명등에 대하여 연구목적에 부합되는 센서를 사용하여야 한다.
- 3) 토압계의 실내실험 결과 가압면은 골재최대치수에 최소 5배 이상되어야 한다.
- 4) 현장적용실험은 현재 아스팔트 포장구간과 콘크리트 포장구간으로 나누어 계측센서 매설 및 측정이 진행 중에 있다.

참고문헌

1. 신공항건설공단(1998), 인천국제공항 포장시험시공용역 종합보고서.
2. 윤경구, 최준성, 김도형(1999), "시험도로의 건설과 한국 도로포장 설계법 개발" 도로포장공학회 지 1(1), 10월, pp45-55,
3. 한국도로공사(1998), 시험도로의 건설과 운영에 관한 연구(I), 도로연 98-67-23.
4. 한국도로공사(1999), 시험도로의 건설과 운영에 관한연구(II), 도로연 99-47-14.
5. Baker, Harris B., Buth, Michael R., Densen, David A. V.(1994), "Minnesota Road Research Project Road Response Instrumentation Installation and Testing Procedures", Minnesota Department of Transportation Office of Materials Research and Engineering Physical Research Section, Final Report 1992-1994, Report No. MN/PR-94/01, March.
6. Deusen, David A. V., Newcomb, David E., Labuz, Joseph F.(1992), "A Review of



Instrumentation Technology for the Minnesota Road Research Project", University of Minnesota Dept. of Civil and Mineral Engineering, Final Report 1989-1992, Report No. FHWA/MN/RC-92/10, April

7. Sargand, Shad M.(1994), "Development of an Instrumentation Plan for the Ohio SPS Test Pavement (DEL-23-17.48)", Final Report for Ohio DOT, and FHWA, Ohio University Center for Geotechnical and Environment Research Civil Engineering Department, October 1994.
8. Imad L. et. al.(2000), "Flexible Pavement Instrumentation at the Virginia Smart Road", Transportation Research Board 79th Annual Meeting January 9-13, 2000 Washington, D. C.