

PMS를 활용한 예방적 유지관리의 적용방안



김준범 | (주)로드코리아 기술개발실장

1. 머리말

도로연장의 지속적인 증가와 건설 후 상당한 공용기간이 경과한 노선이 늘어남으로 인해 도로시설물에 대한 유지관리의 중요성이 강조되고 있다. 특히, 도로포장은 사용자 입장에서는 승차감, 안전성, 쾌적성 등과 밀접하게 관련되어 있고, 관리자 입장에서는 보수예산의 상당 부분을 차지함으로 인해 효율적인 관리가 필수적으로 요구된다. 각 도로관리기관에서는 해당 도로의 기능, 특성 등을 고려하여 적절한 방법으로 관리하게 되는데, 최근 몇 년 동안 미국에서는 예방적 유지관리의 중요성을 인식하고 각 주의 DOT를 중심으로 이의 확대적용에 노력하고 있다.

본고에서는 향후 예방적 유지관리의 도입을 위해, 기본적인 개념과 효과 등에 대하여 알아보고 포장유지관리시스템을 활용한 예방적 유지관리의 적용에 대하여 기술하였다.

2. 예방적 유지관리의 정의 및 효용성

최근 FHWA의 보고에 의하면 미국내 주요도로의 포장을 현재 상태로 유지하는데 연간 500억불 정도가 소요된다고 한다. 반면에 연간 배정예산은 250억

불에 불과하며, 현재의 상태를 비교적 양호한 상태로 보수하기 위해서는 대략 2,000억불이 소요될 것으로 추정하고 있다. 이에 따라 포장관리를 위한 기존의 방식과 각 도로청이 채택하고 있는 유지관리 전략에 대해서 제고할 필요성이 발생하였으며, 예방적 유지관리는 이러한 필요성에 의하여 제시되었다.

예방적 유지관리란 사후 유지관리(전통적인 보수공법)와 대응되는 개념으로 포장의 손상이 경미한 단계에서 비교적 간단한 보수를 통해 손상의 진전을 방지하거나 지연시킴으로써 포장수명을 연장하는 유지관리 전략이다. 예방적 유지관리와 관련하여 각 기관에서는 다음과 같은 정의를 내리고 있다.

- 도로시스템 및 부속시설물을 보존하기 위하여 손상을 지연시키거나(구조적인 보강 없이) 기능성을 개선하기 위한 비용의 효과적이고 계획적인 전략 (AASHTO)
- 적절한 시기에 적절한 장소에 적절한 대응공법을 적용하는 것 (FHWA)
- 포장의 수명주기 비용의 최소화를 위한 조직적이고 체계적인 과정 (NCHRP)

그림 1은 예방적 유지관리의 적용효과를 개념적으로 나타낸 것이다. 그림 1에서 포장의 공용성능이 예방적 유지관리 기준에 도달하게 되면, 적정공법을 적용하여 공용성능의 회복이나 파손의 지연을 통해

포장수명의 연장효과를 얻을 수 있다. 또한 이러한 예방적 유지관리 공법의 주기적인 적용을 통해 전체 도로 네트워크상의 포장 공용수준을 증진시키는 것이 가능해진다.

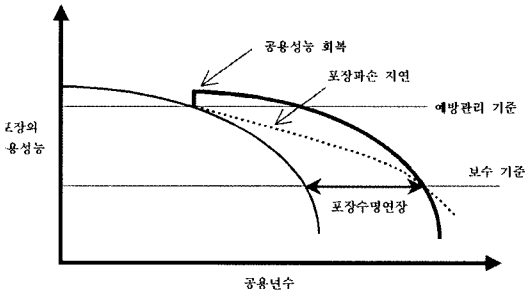


그림 1. 예방적 유지관리의 적용효과

미국의 캘리포니아 DOT는 1996년부터 도로네트워크의 포장공용성 목표를 선정하고 이 목표를 달성하기 위한 계획을 추진하였다. 선정된 목표는 1996년 당시 1차로 환산기준 14,100mile(도로연장 50,000mile의 29%)에 이르던 포장 보수연장을 2006·2007 회계연도까지 5,500mile로 낮추는 것이었다.

목표 달성을 위한 구체적인 방법은 매년 일정예산을 강제적으로 예방적 유지관리에 투입시키는 것이었으며, 그림 2는 이와 같은 프로그램을 적용했을 경우의 효과를 시뮬레이션한 결과이다.

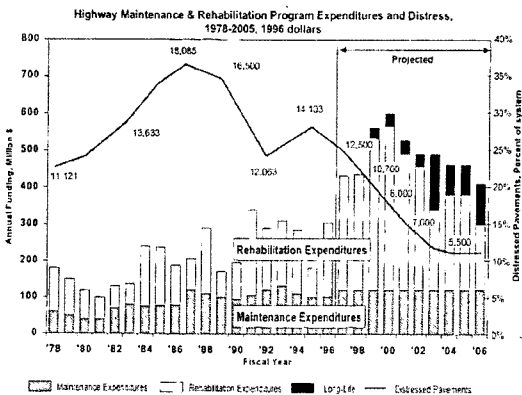


그림 2. 예방적 유지관리 시행결과 분석(Caltran)

그림 2에서 나타나듯 1996년부터 일정하게 투입된 예방적 유지관리 프로젝트로 인해 2006년 이후 보수해야할 연장은 5,500mile로 안정화되고 있다.

뉴욕 DOT는 도로관리 프로그램과 관련된 장기 재무계획을 수립하였으며, 이 장기 재무계획에 예방적 유지관리 프로그램을 포함하였다. 1991년부터 예방적 유지관리 프로그램에 일정 예산을 편성하여 운용하고 있으며, 표 1과 그림 3은 이와 같은 프로그램을 운용한 결과이다. 네트워크 레벨에서의 전반적인 포장상태는 점차적으로 향상되고 있으며, 불량상태의 포장비율은 감소하고 우수/양호(excellent/good)한 포장상태 비율은 증가하고 있다.

표 1. 연도별 포장상태 변화추이(뉴욕 DOT)

연도	포장상태지수	% Poor	% Fair	% Good	%Excellent
1993	6.78	14.1	33.4	41.0	11.5
1994	6.74	13.8	32.8	44.9	8.5
1995	6.84	11.9	30.8	45.4	11.8
1996	6.76	11.8	31.1	47.8	9.2
1997	6.84	10.9	30.0	48.9	10.2
1998	6.99	9.3	27.5	48.0	14.8

Trend in Pavement Condition

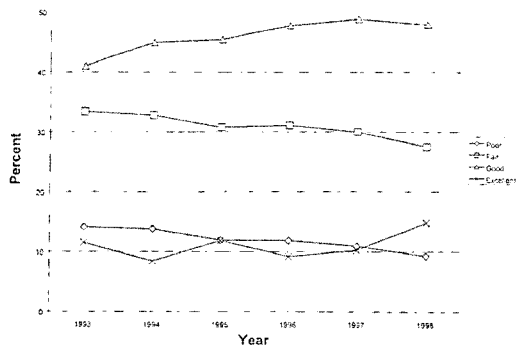


그림 3. 연도별 포장상태 변화추이 (뉴욕 DOT)

캐나다 온타리오 교통국에서는 약 20여 년간 축적된 PMS 자료와 전문가의 판단을 토대로 3가지 시나리오(① do nothing, ② rehabilitation only,

③ integrated preventive strategies and rehabilitation)에 대해서 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과가 그림 4와 그림 5에 나타나 있다. 그림에서 보듯이 예방적 유지관리와 기존의 보수방법을 적절히 조합한 시나리오의 경우 포장상태(PCI)가 거의 일정한 수준에서 유지되었으며, 보수가 필요한 구간의 연장의 경우 점진적으로 감소하고 있다.

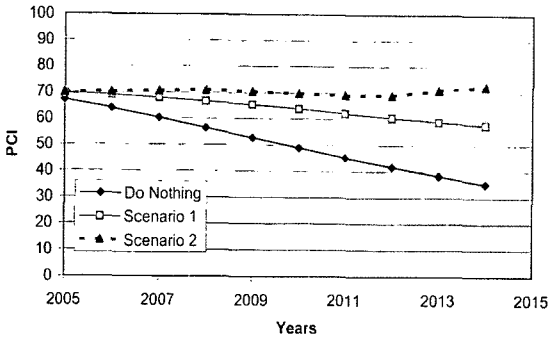


그림 4. 연도별 포장상태 변화추이 예측(온타리오 MoT)

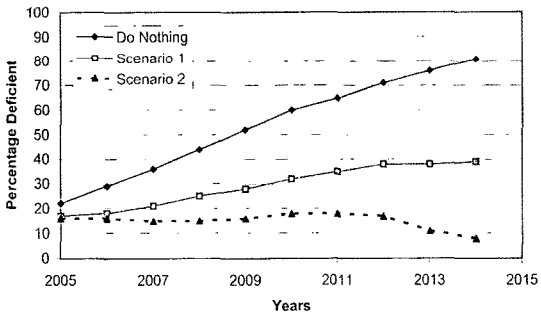


그림 5. 연도별 손상구간비율 변화추이(온타리오 MoT)

3. 예방적 유지관리 공법의 선정

예방적 유지관리의 성공적인 수행을 위해서는 적절한 시기에 적절한 공법을 선택하여 적용하는 것이 무엇보다 중요하다. 공법 적용시의 주요한 고려사항으로는 다음과 같은 점들을 들 수 있다.

• 공법적용의 명확한 목적

공법의 적용목적이 명확해야 한다. 즉 어느 정도

손상이 발생된 상태에서 더 이상의 손상 진전을 방지하기 위함인지, 손상의 사전적 방지를 위함인지 등에 관한 판단이 이루어져야 한다.

• 적용성 (교통, 환경, 포장상태)

적절한 공법의 선정은 현재의 포장상태와 교통조건, 환경조건 등을 종합적으로 검토하여 이루어져야 한다.

• 시공성

각 지역별 특성 때문에 특정 공법이나 재료를 적용하기 힘들거나, 적용하더라도 시공비가 많이 소모되는 경우 등에 대한 검토가 이루어져야 한다.

• 기대수명과 비용

비용대비 기대수명 및 공용성이 만족할만한지에 대한 검토가 이루어져야 한다. 이는 다양한 적용 가능공법들에 대한 상대적인 비교를 통해 최적의 대안을 선정함을 의미하며, 이를 위해서는 과거의 보수실적이나 전문가의 판단 등을 토대로 공법별 기대수명 및 공용특성에 대한 자료가 축적되어야만 한다.

표 2. 포장형식별 적용공법의 예

적용 목적	포장형식		공용성지표
	아스팔트포장	콘크리트포장	
평탄성 개선	· 슬러리셀 · 박층 표면처리 · 칩셀	· 다이아몬드 · 그라인딩	· IRI · Pri
소음저감	· 슬러리셀	· 다이아몬드그라인딩	· dB
마찰력 증진	· 칩셀 · 슬러리셀 · 박층 표면처리	· 다이아몬드 · 그라인딩 · 다이아몬드그루빙	· Skid Number · Mean texture depth · IFI
포장수명 연장	· 균열셀링 · 포그셀 · 칩셀 · 슬러리셀 · 박층 표면처리	· 줄눈재 재설치 · 균열 셀링	· 표면손상정도 · 소성변형량
우수침투 방지	· 균열셀링 · 칩셀 · 슬러리셀 · 박층 표면처리	· 줄눈재 재설치 · 균열 셀링	· 표면손상정도 · 소성변형량

• 사용자의 만족

도로를 이용하는 사용자들의 안전성 및 쾌적성에 대한 요구는 날로 증대하고 있으며, 이러한 요구 사항으로는 소음저감, 승차감개선, 안전성증대, 도로보수에 따른 지체 최소화 등을 들 수 있으며, 공법 선정시에 이러한 요소들을 감안하는 것이 필요하다.

표 2는 현재 미국에서 적용되고 있는 포장형식별 주요 예방관리공법이다.

4. 포장유지관리시스템과 예방적 유지관리

포장네트워크를 관리하는 것은 점점 복잡한 의사결정이 되어가고 있으며, 포장상태와 관련된 조사 분석 및 모니터링의 중요성이 커지고 있다. 이에 따라 포장유지관리시스템(PMS, Pavement Management System)과 같은 자산관리 시스템들이 도로관리기관에 유용하게 사용되고 있다.

포장유지관리시스템의 운용은 예방적 유지관리를 도입하고 적용하는데 있어 중요한 매개역할을 할 수 있다. 이는 PMS의 운용이나 예방적 유지관리의 도입 목적이 도로포장의 효율적인 관리라는 점에서 일치하기 때문이다. PMS의 운용을 위해서는 지속적으로 포장상태를 모니터링 하여야 하므로 이러한 조사결과를 이용하여 예방적 유지관리의 효과를 측정하고 평가하는 것이 가능해진다.

미국의 몇 개주에서는 예방적유지관리의 도입당시 그 효과의 가시화를 위하여 PMS를 활용하였다. 즉 앞서의 그림 4, 5와 같이 사후유지관리 방법과의 상대적인 비교를 통해 예방적관리의 효용성을 명확하게 표현하기 수단 등으로 활용하였다. 예방적 유지관리의 초기 도입단계에서 이와 같은 효과의 가시화는 매우 의미있는 작업이 될 수 있다. 그러나 이와 같은 단순한 적용 이외에도 PMS 의사결정과정에 예방적관리를 구체적으로 접목시킴으로써 더 큰 효

과를 얻을 수 있다.

Zimmerman 등(2003)은 이와 같은 예방적유지관리와 PMS의 접목과 관련하여 다음과 같은 3가지 접근 방안을 제시하였다.

- 가장 손쉬운 접근방안은 보수공법이 적용되는 구간이 아닌 구간은 모두 예방적관리의 대상구간으로 고려하는 것이다. 이러한 방법은 기존 PMS 의사결정과정에 별도의 수정작업이 필요 없기 때문에 적용하기 용이하나 예방적관리의 효과분석이 제한적일 수 있다.
- 두 번째 방안은 다양한 예방관리공법을 대표하는 1가지 공법을 대표공법으로 선정하여 PMS의사결정논리 속에 포함시키는 것이다. 네트워크레벨에서는 덧씌우기나 절삭 덧씌우기 등의 보수공법과 더불어 예방관리공법을 적용해야할 구간을 선정해 놓고 프로젝트레벨에서 좀 더 구체적인 개별공법을 선정하는 방안이다.
- 가장 복잡한 접근방안은 구체적이고 개별적인 예방관리공법 전부에 대하여 각각의 공용성모형이나 적용기준, 시공비용, 적용효과등과 관련된 내용을 모두 PMS 데이터베이스와 의사결정체계 내에 포함시키는 것이다. 이러한 방안은 대단히 복잡하고 수고스러운 작업이기는 하나 예방적유지관리의 효과를 가장 극대화시킬 수 있다.

위의 방안들을 적용하기 위해서는 기존의 PMS 운용과정에서 다음과 같은 부분들에 대한 추가적인 확인작업이 필요하다.

- 포장상태조사와 평가
포장상태 조사시 예방관리공법의 적용을 판단하기 위한 기본자료(포장공용성지표)들이 제공될 수 있는지 확인하여야 한다. 예방관리공법을 적용하는 시기는 매우 중요한데 이 시기를 놓치면 그 효과를 제대로 얻을 수 없기 때문이며, 따라서 기존의 조사주기보다는 좀 더 빈번한 포장상태모니터링이 이루어질 필요성이 있다.
- 공법별 포장공용성 예측모형
포장공용성 예측모형은 미래의 포장상태를 예측

하기 위하여 적용하게 된다. 이러한 예측결과를 토대로 유지보수공법에 대한 적정 시나리오를 구성하게 된다.

• 보수공법결정기준

예측된 포장상태에 대하여 대응공법을 선정할 수 있는 기준정립이 필요하다. 일반적으로 많은 도로관리기관에서는 그림 6과 같은 의사결정트리를 사용하고 있다. PMS에 이러한 사항들이 포함되어야 한다.

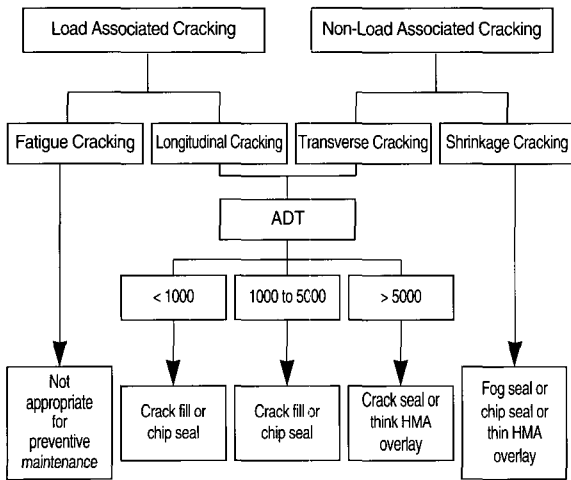


그림 6. 대응공법선정을 위한 의사결정트리의 예

• 공법적용을 통한 공용성증진 정도

PMS에서는 일반적으로 보수공법을 적용하게 되면 포장의 공용능성이 초기상태로 복귀되는 것으로 간주된다. 그러나 예방관리공법의 경우 이러한 가정을 적용하기에는 문제가 있으며, 따라서 공용능성의 일부 회복정도나 포장손상 지연정도에 대한 정량화 작업이 필요하다.

5. 예방적 유지관리 도입의 장애와 해결방안

1. 예방적 유지관리의 장애요인

- 이용자의 문제 제기

예방적 유지관리는 가시적인 손상이 발생되기 전이나 초기 단계에서 시행됨으로 인해, 이용자의 입장에서는 손상이 심각한 구간은 방치한 채 상대적으로 상태가 양호한 구간을 조치하는 것으로 보일 수 있으며, 이에 따라 부적절한 예산사용으로 오인될 수 있다.

• 관리자의 인식부족

앞서 언급한 문제는 비단 이용자뿐 아니라 관리자에게서도 발생할 수 있으며, 이러한 문제는 예방관리와 관련된 예산편성 등에서 우선순위가 밀리는 결과로 나타날 수 있다.

• 가시적 성과에 집착한 장기적 전략의 혼선

예방적관리는 장기적이고 지속적인 추진을 통해 그 결과가 나타나는 특성으로 인해, 단기적인 성과에 집착한 업무추진과 외압의 작용으로 인하여 추진이 지연되거나 최악의 경우 추진 자체가 보류될 가능성도 있다.

• 기술적인 한계

예방적 관리는 기존의 보수방법과는 다른 기술적 노하우와 공용성자료의 확보를 기본 전제로 하는 관계로, 도입 및 적용에 많은 투자를 필요로 한다. 그러나 이러한 여건을 충분히 고려하지 않고 도입할 경우 잦은 시행착오와 예방적관리의 실용성에 대한 내부적인 회의감만 높일 우려가 있다.

2. 장애요인 극복방안

• 예방적 유지관리의 필요성 및 장점 부각

포장 관리자나 사용자들이 예방적관리의 장점 및 필요성에 대한 공감을 이루어야 한다. 이를 위해 외국의 적용사례에 대한 분석과 관련 전문가 및 실무자들 간의 지속적인 연구 검토가 필요하다.

• 예방적 유지관리 예산의 편성

현재 포장관리 예산중 일정 부분은 예방적관리를 위해 별도로 편성하는 것도 초기 도입을 위한 토대를 제공할 수 있다.

• 명확한 목표 설정을 통한 추진계획 수립

예방적 유지관리 목표가 명확히 설정되어야 한다. 이러한 목표는 간단하면서도 효율적으로 표현되어야 하며, 설정된 목표를 토대로 구체적이고 장기적인 계획이 수립되어야 한다. 표 3은 이러한 목표 설정의 예를 나타낸 것이다.

표 3. 예방적 유지관리 목표 설정의 예

도로관리기관	유지 관리 목표
Caltran	10년후 포장보수요구율을 현재 29%에서 11%로 감소
Michigan DOT	2007년 까지 전체 고속도로의 95%, 기타도로의 85%를 good/fair 상태로 유지

- 예방적 관리 적용을 위한 기술개발
다양한 예방적 유지관리공법을 개발하고 각 공법이 어느 시기에 적용되어야 가장 최대의 효과를 거둘 수 있는지에 대한 기준설정 등이 이루어져야 한다. 또한 포장조사시 명확한 상대평가를 위하여 신뢰성 있는 평가방법 및 다양한 조사방법 개발을 위한 노력을 기울여야 한다.

6. 맺음말

도로포장의 관리자나 기술자들은 매우 다양한 의사결정 상황에 직면하게 된다. 이는 주로 어느 장소에, 어느 시기에, 어떠한 처리방안을 적용할 것인가와 관련되어 있다. 이러한 의사결정과정은 그 중요성이 점차적으로 증대하고 있는데, 왜냐하면 각 도로관리기관이 이용 가능한 예산은 제한적인 반면 상대적으로 보수필요성은 증가하고 있기 때문이다. 한정된 자원을 이용하여 최대한의 효과를 거두기 위해서는 기존과는 다른 전략과 접근방법을 취할 필요성

이 있으며, 예방적 유지관리는 이러한 측면에서 우리에게 적절한 해결책을 제시해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

예방적 관리의 효과를 실제로 평가하기 위해서는 상당한 기간이 필요하며, 이에 대한 충분한 검증은 우선적으로 고려할 경우 자칫 적정 적용시기를 놓치는 우를 범할 수도 있다. 따라서 초기 도입시에는 어느 정도의 강제성을 부여하는 것이 필요하리라 판단된다. 예를 들어 아스팔트포장의 경우 시공이음부 및 균열부에 대한 씰링, 콘크리트포장의 경우 줄눈재 교체 등을 주기적으로 시행하는 계획을 수립하는 것을 생각해 볼 수 있다.

이와 같이 적정한 공법을 주기적으로 적용하는 방안(time-based)과 포장상태 조사 및 평가결과를 이용하여 적용시기 및 공법을 선정하는 방안(performance-based)을 적절히 병행하여 적용하는 것이 필요하며, 장기적으로는 지속적인 기술개발을 통해 공용성에 근거한 평가 방안을 확대해 나아가야 할 것이다.

참고문헌

1. Zimmerman, K.A., and D.G. Peshkin. Integrating Preventive Maintenance and Pavement Management Practices. 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium, 2003.
2. NHI, Pavement Preventive Maintenance Reference Manual, Course No. 13154, 1999.
3. Wael Bekheet, Khaled Helali and Tom Kazmierowski, Integration of Preventive Maintenance in the Pavement Preservation Program, TRB Roadway Pavement Preservation 2005.