

아스팔트 포장의 성능인자 허용한계에 관한 연구

Threshold values of Performance Indicators for Asphalt Pavement

안덕순* · 남정희** · 권수안***

An, Deok-Soon · Nam, Jeong-Hee · Kwon, Soo-Ahn

1. 서론

우리나라에서는 아스팔트 포장의 조기파손이 지속적으로 문제가 되어 왔다. 대부분의 연구자들은 포장시공 시 품질관리가 잘 이루어지지 않은 것이 원인이라고 지적하고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 2000년 초에 시공자에게 시공방법 및 품질관리에 대한 권한을 부여하는 방법을 검토하였다. 우리나라는 현재 대부분의 도로포장 프로젝트에 공법시방(method spec)을 이용하고 있다. 그러나 외국에서는 성능시방(warranty spec)을 이용하여 많은 효과를 가져오고 있는 것으로 나타났다. 따라서 국내에서도 성능보증제도 도입의 필요성을 인식하였다.

성능보증제도는 준공 성과물에 대해 일정기간동안 발주자가 원하는 성능을 유지하는 것이다. 성능보증제도는 포장의 공용성에 근거한 제도로서 공법시방에 비하면 혁신적인 제도라 할 수 있다. 유럽에서는 포장시공에 대한 성능보증의 오랜 역사를 가지고 있고, 널리 이용되어 왔다. 유럽의 성능보증 프로그램은 정부의 주도하에 개별적으로 개발하였으나 대부분의 국가들은 성능보증시스템이 품질을 향상시켰다고 믿는다. 미국에서는 1990년 초에 시공품질 향상, 포장공용성 향상, 생애주기비용 절감을 위해 도입하였다. 성능보증을 시행한 프로젝트와 그렇지 않은 프로젝트의 효과는 뚜렷한 차이가 나타나는 것으로 보고되고 있다. 이러한 이유로 성능보증 프로젝트는 지속적으로 증가하고 있다.

성능보증제도의 주요 구성요소는 성능보증기간, 성능인자, 성능인자 관리기준치, 성능인자 평가, 성능인자 유지보수, warranty bond라고 할 수 있다. 이 중 중요한 요소는 성능보증기간, 성능인자, 성능인자 관리기준치이다. 많은 나라들이 아스팔트 포장의 성능인자로는 소성변형, 평탄성, 균열을 사용하고 있으며, 성능인자 관리기준치는 다양하게 나타나고 있다. 본 연구에서는 문헌조사를 통하여 성능보증기간과 주요 성능인자를 결정하였다. 또한 PMS 자료와 공용중인 도로에서의 현장조사 자료를 이용하여 우리나라의 실정에 맞는 성능인자 관리기준치를 분석하였다.

2. 주요 성능인자

도로포장의 성능은 크게 구조적, 기능적, 안정적 성능으로 구분할 수 있다. 도로포장의 관리자는 구조적 성능이 중요하고, 사용자는 기능적, 안정적 성능이 중요하다. 타당한 두께 설계를 전제로 균열 발생을 제한하고, 소성변형 방지 등의 내구성 확보를 통한 구조적 적정성을 확보해야하며, 양호한 승차감을 통해 운전의 쾌적성을 확보해야 한다. 이를 통해 잦은 유지보수가 방지되고, 보다 높은 수준의 도로 서비스 제공을 통해 도로 이용자 및 관리자 모두가 만족을 얻게 되는 시스템이 구축되는 것이다. 따라서 도로포장 분야에서 합리적인 성능보증제도의 적용을 위해서는 도로 사용자와 관리자가 공감할 수 있는 공통의 성능인자를 결정하는 것이 중요하다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 전임연구원 · 공학석사(E-mail:dsan@kict.re.kr)

** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 · 공학박사(E-mail:archnam@kict.re.kr)

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 위원 · 공학박사(E-mail:sakwon@kict.re.kr)



표 1은 미국과 유럽에서 적용되고 있는 주요 성능인자를 보여주고 있다. 미국과 유럽에서는 소성변형, 피로균열, 종방향균열, 횡방향균열 등을 주요 인자로 사용하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 승차감에 대해서는 미국에서는 4개 주에서만 사용하고 있으며, 유럽에서는 4개국에서 사용하고 있었다.

표 1. 주요 성능인자

항목	미국						유럽 ^{a)}				
	CO	FL	IN	MI	OH	WI	SP	GE	DE	SW	U.K.
피로균열	○	○		○		○	○	○	○	○	○
종방향균열	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
횡방향균열	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
라벨링	○				○	○	○	○	○	○	○
포트홀	○	○		○			○	○	○	○	○
소성변형	○	○	○	○	○	○			○	○	○
평탄성	○	○	○	○			○		○	○	○
미끄럼저항			○				○	○	○		○

a) SP : Spain, GE : Germany, DE : Denmark, SW : Sweden, U.K. : United Kingdom

본 연구에서는 도로포장의 외국의 문헌 및 국내 아스팔트 포장의 주요 결함현황 등을 고려하여 소성변형(Rut Depth), 평탄성(IRI), 균열율(Crack Ratio)을 주요 성능보증인자로 결정하였다. 개별 균열이 아닌 균열율을 선정한 이유는 국토 PMS에서 균열율의 개념을 활용하고 있는 실정을 반영하기 위함이다.

3. 성능인자 관리기준

시공자에게 설계 및 시공에 관한 권한이 부여되는 성능보증제도가 실용화되기 위해서는 발주자가 최종 성과물에 대해 합리적으로 평가할 수 있는 타당한 기준이 제시되어야 한다. 성능보증제도가 일정 기간동안 발주자가 원하는 성능을 시공사에서 보증해야 되기 때문에 성능보증기간별 합리적인 관리기준치 제시는 성능보증제도 실용화의 핵심사항이라 할 수 있다. 성능인자 관리기준치는 선행연구 및 전문가 의견수렴, 공용성 예측 모델 등을 통해서 제시될 수 있으나, 국내의 현실을 반영하는 것이 중요하다. 이를 위해 기 구축된 광범위한 PMS 자료를 분석하였으며, 분석방향의 타당성을 검증하기 위해 현재 공용중인 도로를 선정하여 추가로 조사하고 분석하였다.

성능보증 기간에 대해서는 기존 외국에서는 5년을 많이 사용하고 있었다. 본 연구에서는 성능보증 기간을 3년, 5년, 7년으로 제안하여 발주자가 선택할 수 있도록 하였다.

3.1 자료수집

현재 국내에서는 국토 PMS를 20년 이상 운영하고 있다. 국토 PMS 데이터베이스는 조사년도, 차로수, 포장구조, 포장시공이력, 유지보수이력, 성능인자, 교통량정보 등으로 구성되어 있다. 자동포장조사장비를 통해 구축된 2004년도 PMS 자료를 이용하여 주요 성능인자의 관리기준치를 얻기 위해 다음 조건에 맞는 조사구간을 선택하였다.

- ▶ 전형적인 AP 포장두께 구간 선택 : 아스팔트 층 = 20-30cm
- ▶ 공용기간 : 1-9년 사이
- ▶ Overlay 이상의 유지보수 구간 제외
- ▶ 차로수 : 편도2차로 구간만 선택
- ▶ 조사단위 구간 : 500m
- ▶ 대상 지역 : 대한민국 전역, 교량구간제외

PMS 자료의 사용가능성 판단, 데이터 샘플링의 타당성 검증, 신뢰성 있는 관리기준치 제시를 위해 2009년 공용중인 도로에서의 현장조사가 수행되었다. 조사대상 구간은 각 국토유지관리사무소의 유지보수 관리대장을 직접 확인하여 준공 후 유지보수가 수행되지 않은 구간을 선정하였다.

이를 통해 국토 PMS 자료에서는 총 379개의 샘플을 선정하였고, 공용중인 도로에서의 현장조사 샘플은 509개를 선정하였다.

3.2 소성변형

소성변형이 발생하는 원인으로는 반복된 차량 및 환경 하중에 의한 아스팔트층 자체의 변형과 하부구조의 침하로 인한 상부 아스팔트의 변형으로 구분할 수 있다. 하부구조의 이상이 없을 경우 일반적인 소성변형의 형태는 공용과 동시에 소성 변형치가 초기에 많이 증가된 후 재령이 증가함에 따라 서서히 증가되는 지수함수의 형태이다. 그림 1의 (a)는 PMS 및 공용중인 도로구간(SP)의 소성변형에 대한 재령별 평균값의 회귀식을 보여주고 있다. 조사대상 선택조건은 유사하나, 실제 조사대상과 조사시기가 다름에도 불구하고 전체적인 소성변형 회귀식은 거의 일치함을 보여주고 있다. 성능보증제도의 관리기준치 제시를 위해 전국적 조사를 통해 제시된 소성변형 평균값은 9년에 약 9.5mm정도 발생하는 것으로 분석되었으며, 재령에 무관하게 표준편차 값이 2-3mm로 상당히 크게 나타났다.

3.3 평탄성

평탄성의 경우 소성변형, 균열, 단차 등의 노면변형이 진행됨에 따라 완공 직후 초기값은 1-2m/km로 재령의 증가에 따라 점진적으로 증가하게 된다. 그림 1의 (b)는 PMS 및 SP 구간의 IRI에 대한 재령별 평균값의 회귀식을 보여주고 있다. IRI의 경우 재령이 경과함에 따라 직선 기울기 형태의 증가 경향을 보이고 있으며, PMS 구간과 SP 구간의 기울기 경향은 유사하나, 절대값의 경우 약 0.5m/km의 차이가 발생되고 있다. 이 같은 이유는 조사방식과 장비의 차이로 추정된다. IRI의 평균값은 재령 1년에 약 1.8m/km, 재령 5년에 약 2.3m/km, 재령 9년에 약 2.8m/km가 발생하는 것으로 분석되었으며, 재령에 무관하게 표준편차 평균값은 0.73m/km로 상당히 크게 나타났다.

3.4 균열율

아스팔트 포장의 재령이 증가됨에 따라 차량 및 환경하중의 영향으로 피로균열, 종방향균열, 횡방향균열, 블록균열 등 다양한 형태의 균열이 발생되며 이는 포장체의 구조적 성능이 저하되고 있다는 지표로 사용될 수 있다. 균열율 자료는 SP 구간에서 수집된 자료만을 이용하여 분석하였다. 그림 1의 (c)는 재령별 균열율에 대한 평균값의 회귀분석 결과를 보여주고 있다. 재령이 증가함에 따라 균열율도 직선기울기형태로 증가되고 있으나 소성변형 및 IRI 자료와는 달리 분석데이터의 분산이 심해 회귀식의 신뢰도가 상대적으로 떨어진다.

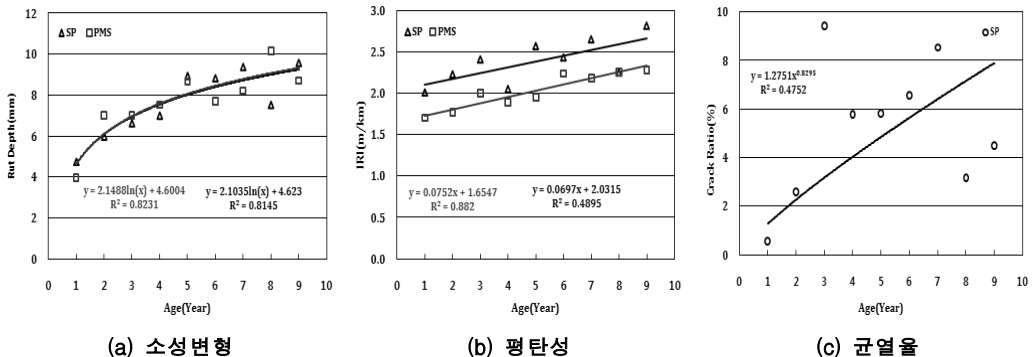


그림 1. 주요 성능인자 분석결과

3.5 허용한계 결정

성능보증제도에서 성능기간별 타당한 관리기준치 제시는 상당히 민감한 부분이다. 성능보증기간별 관리기준치의 의미는 발주자가 최소한으로 요구하는 성능조건이므로, 만약 계약자가 이 성능을 만족시키지 못할 경우 유지보수를 수행해야 하기 때문이다. 성능인자 관리기준치는 선행연구 및 전문가 의견수렴, 공용성 예측 모델 등을 통해서도 제시될 수 있으나, 국내의 포장상태 및 수준을 반영하여 결정하는 것이 가장 합리적일 것이다.

플로리다주의 경우 PMS 데이터를 분석하여 성능인자별 측정 샘플의 약 95%가 만족하는 범위를 관리기준치로 결정하고 있다. 예를 들어, 소성변형의 경우 전체 조사 대상의 95%의 범위는 소성변형이 0.3in이내에 들어오기 때문에 성능보증을 위한 관리기준치를 0.3in로 결정하였다. 위스콘신 교통국에서는 PMS 자료를 분석하여 그 결과의 90%가 만족하는 값으로 성능인자 관리기준치를 결정하는 방법을 이용하였다. 즉, 재령 5년의 포장 PMS 자료를 분석하였더니 전체의 90%는 사용성에 문제가 없었으나, 약 10%의 범위는 재포장이 필요할 정도로 문제가 있었기 때문이다. 그림 2는 이와 같은 성능인자 관리기준 결정에 대한 개념을 보여주고 있다.

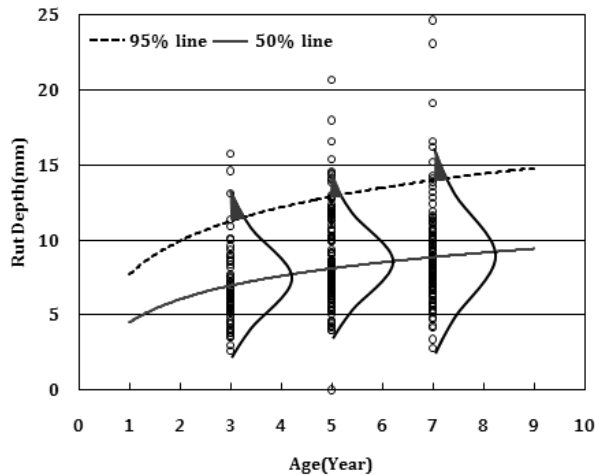


그림 2. 성능인자 관리기준 설정 개념도(95%)

국내의 경우도 그림 3과 같이 PMS와 SP구간을 대상으로 소성변형과 평탄성에 대한 관리수준 50% 및 95% 범위를 검토해 보았다. 관리수준 50%, 95%의 의미는 그림 2에서와 같이 재령별 조사된 성능인자의 최하위 50%, 5%에 해당되는 결함의 발생을 기준으로 성능인자 관리기준을 설정한다는 의미이다. 50%의 관리수준은 실 계약자가 부담을 느낄 수 있을 정도의 높은 관리수준으로 판단되어 성능보증제도의 단계적 실용화를 위하여 95% 범위의 관리기준치(안)를 제시하였다.

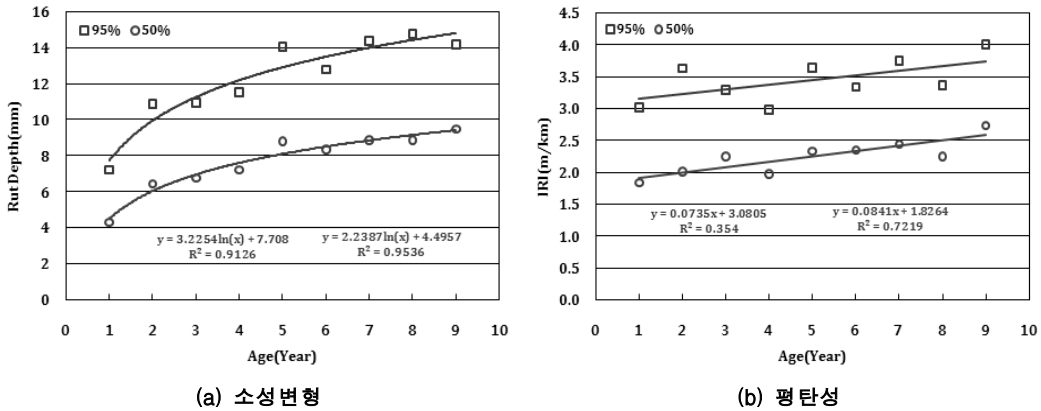


그림 3. 주요 성능인자 관리기준 분석

표 2는 주요 성능인자인 소성변형, 평탄성, 균열율에 대한 재령별 관리수준 50%와 95%에 해당되는 관리기준치를 보여주고 있다. 단, 균열율의 경우는 본 조사결과 자료의 균열율과 기존 PMS 유지관리기준의 균열율의 차이가 크게 발생되어 전문가 의견을 거쳐 현행 PMS 유지관리기준을 바탕으로 결정하였다.

표 2. 성능인자 관리기준치

항목	재령(년)	50%			95%		
		3	5	7	3	5	7
소성변형(mm)		7	9	10	12	14	15
IRI(m/km)		2.1	2.3	2.5	3.3	3.6	3.8
균열율(%)		20	20	25	20	20	25

3. 4. 요약 및 향후 연구과제

‘시공절차 및 점검사항’을 상세히 기술한 사양시방체제에서 ‘준공성과물에 대해 일정기간동안 발주자가 원하는 성능을 시공사에서 보증해야 되는 제도’인 성능보증제도의 국내 도입을 위해 필수적인 요소인 성능인자 설정, 성능인자 관리기준치 제시, 성능보증기간에 대한 연구를 수행하였다. 주요 성능인자로는 기존 문헌 및 국내 PMS 현황을 바탕으로 소성변형, 평탄성, 균열율을 선정하였다. 국토 PMS 자료 및 현재 공용중인 도로의 현장조사 자료를 이용하여 성능인자를 분석하였다. 아스팔트 포장의 성능보증 기간은 조기 파손 방지목적을 위해서는 3-5년, 국내에 처음 도입되는 점을 고려해서 장기의 경우도 7년 범위로 제안한다. 성능보증제도를 위한 성능인자 관리기준치는 문헌조사 및 국내 현실을 반영하여 조사결과의 재령별 관리수준의 95%에 해당하는 값으로 결정하였다. 이는 하위 5% 수준은 방지하자는 의미로, 소성변형은 5년에 14mm, IRI는 3.6m/km, 균열율은 20%로 최종 결정되었다. 본 연구에서는 아스팔트 포장에 대한 성능인자 관리기준을 연구하였다. 향후 고속도로의 주요 포장 형식인 콘크리트 포장에 대한 연구도 추가로 수행할 필요가 있다.



감사의 글

이 논문은 건설교통R&D정책·인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화 과제('06~'11) 연구결과의 일부입니다.

참고 문헌

1. Anderson, S., B. Blaschke, D. Trejo, and C. Erbatur. Development of Warranty-Based Specifications for Construction. Report number FHWA/TX-06/0-4498-3, FHWA, US Department of Transportation, 2005.
2. Anderson, S.D., and Russell, J.S. NCHRP Report 451: Guidelines for Warranty, Multi-Parameter, and Best Value Contracting. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2001.
3. D'Angelo, J., G. Whited, K. Molenaar, S. Bower, J. Russell, G. Huber, R. Smutzer, D. Jones, J. Steele, R. King, M. Symons, T. Ramirez, J. Wood, and J. Rice. Asphalt Pavement Warranties Technology and Practice in Europe. Report number FHWA-PL-04-002, FHWA, US Department of Transportation, 2003.
4. Gallivan, V.L., Huber, G.R., and W. L. Flora. Benefits of Warranties to Indiana. Transportation Research Record No. 1891, 2004, pp. 221-228.
5. Hancher, D. NCHRP Synthesis of Highway Practice No. 195, Use of Warranties in Road Construction, National Cooperative Highway Research Program(NCHRP), National Academic Press, Washington, D.C., 1994.