

# SBS 개질아스팔트포장의 현장 공용성 및 경제성 분석

## Field Performance and Economic Analysis of SBS Modified Asphalt Pavement

유인균\* · 이수형\*\*

Yoo, In Kyoon · Lee, Su Hyung

### 1. 서 론

본 연구의 목적은 국내에서 개발된 분자결합 SBS 개질아스팔트의 현장 공용성을 평가하고, 경제성을 분석하는 것이다. 도로포장의 공용성능을 개선할 수 있는 새로운 재료가 개발되어 실무에서 일반적으로 적용되기 위해서는 실내에서의 물리화학적 특성의 평가와 함께 현장에서의 적용성과 장기적인 공용성 평가를 통해 시방기준이 확립되어야 한다. 또한 새로 개발된 재료의 수명연장에 대한 경제적인 효과를 분석하고 이를 제시하여 새로운 재료의 개발과 적용을 활성화함으로써 도로포장에 발생하는 파손과 정체비용에 대한 문제를 효율적으로 해결해 나갈 필요가 있다. 본 연구에서는 국내에서 개발된 SBS 개질아스팔트 시공구간에 대한 추적조사를 통해 초기 공용성을 평가하고, 장기적인 공용성 평가방법과 포장과 관련된 모든 비용을 장기적으로 분석하는 수명주기비용분석기법(Life Cycle Cost Analysis;LCCA)을 통해 SBS 개질아스팔트의 비용효과를 분석하였다.

### 2. SBS 개질아스팔트

국내에서 개발된 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene Block Co-polymer) 개질아스팔트는 합성고무인 SBS 고분자 개질재와 일반 아스팔트를 소량의 첨가제와 혼합한 개질아스팔트로, 물리적으로는 SBS 고분자 사슬과 아스팔트 분자간의 망상조직(Network)을 형성하여 아스팔트 내부로 전달되는 응력을 흡수·완화 시켜주는 역할을 하며, 화학적으로는 아스팔트 분자사슬과 SBS 분자사슬 간에 비가역 공유결합(분자결합)을 형성시킴으로써, 아스팔트의 공용성능을 월등히 개선시킬 뿐 아니라, 장기간 보관이 가능하며, 저장 안정성이 큰 것으로 평가되고 있다.

SBS 개질아스팔트 혼합물의 실내 실험결과 그림 1에 보여주는 바와 같이 일반 아스팔트 혼합물에 비해 실내 공용성의 모든 측면에서 SBS 개질아스팔트 혼합물이 우수한 성능을 보여주고 있다. 그러나 실내 실험의 우수한 공용성능을 현실적인 비용효과로 평가하기 위해서는 새로운 재료에 대한 시험포

\* 정희원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 · 031-9100-167 (E-mail: ikyoo@kict.re.kr)

\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원 · 031-9100-144 (E-mail: shleel@kict.re.kr)



장과 추적조사를 통하여 현장 공용성을 평가할 필요가 있다.

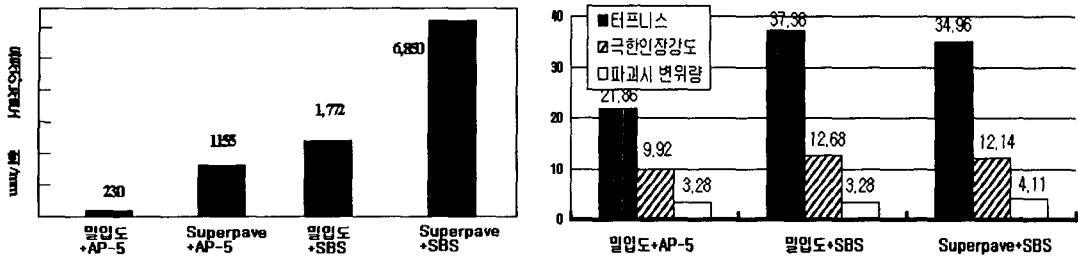


그림 1. SBS 개질아스팔트 혼합물의 실내시험 평가결과

### 3. 현장 공용성 조사 및 평가

SBS 개질아스팔트로 보수를 실시한 구간에 대하여 적용 이후 환경 및 교통하중에 의한 포장체의 구조적·기능적 성능을 평가하기 위하여 추적조사를 실시하였으며, 포장의 파손상태를 평가할 수 있는 포장평가지수를 이용하여 SBS 개질아스팔트의 공용성을 평가하고, 일반 아스팔트와 SBS 개질아스팔트의 장기 공용성을 비교·평가하였다.

#### 3.1 추적조사

추적조사는 포장 노면 상태 조사 장비(ARAN)를 이용하여 노면의 균열상태, 종단 평탄성 및 바퀴자국에 의한 소성변형 등을 조사하였으며, 비파괴 포장 두께 측정 장비(GPR)를 이용하여 구간별 포장두께 조사를 실시하였다.

#### 3.2 공용성 평가

추적조사 결과 대부분의 구간에서 매우 양호한 초기 공용성능을 나타내는 것으로 확인되었다. 그림 2, 그림 3은 SBS 개질아스팔트 적용구간의 추적조사 결과를 나타내는 것으로, 특히, 소성변형 저항성은 소성변형이 공용초기에 발생하는 점과 적용 구간이 중차량 통행이 매우 많은 구간임을 감안한다면 기존 아스팔트에 비해 매우 탁월한 것으로 판단된다. 일부 구간에서 부분적으로 파손이 발생하였으나 코아 채취 등을 통해 원인을 분석한 결과 표층 아래 부분에서의 결함이 표층결함에 영향을 미친 것으로 확인되었다.

도로포장의 공용성(Performance)은 포장 기능 또는 서비스수준의 시간적 변화를 말한다. 즉, 포장의 공용성이 좋다고 하는 것은 높은 서비스수준을 오래 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 도로포장의 서비스수준이라고 하는 것은 노면의 평탄성, 소성변형, 균열 및 미끄러움저항 등의 수준으로 표현된다. 따라서 도로포장의 공용성을 평가하기 위해서는 이들 포장 결함의 시간적 변화를 파악해야하며, 새로운 재료의 공용성을 평가하기 위해서는 이들 포장 결함의 시간적 변화를 수치로 표현하여 기존



공법의 공용성과 비교할 필요가 있다. 포장의 서비스수준을 개별적으로 표현할 수도 있지만 대부분의 포장에 하나 이상의 결함이 발견되므로 이를 효과적으로 표현하기 위해서는 포장의 다양한 파손상태를 종합적으로 평가할 수 있는 체계가 필요하다. 포장의 파손에 대한 객관적인 평가체계를 이용하면, 새로운 재료나 공법 그리고 새로운 개념의 설계방법이 기존의 방법과 어느 정도의 수명 연장 효과를 갖고 있는지 평가할 수 있다. 본 연구에서는 국도 포장조사에서 측정되는 자료를 직접 이용하여, 포장의 파손상태를 평가할 수 있는 포장평가지수-UPCI(Universal Pavement Condition Index)를 이용하였으며 균열과 소성변형만을 고려하였다.3)

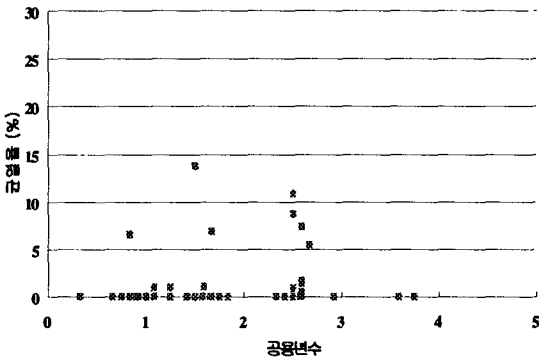


그림 2. 균열 분포 현황

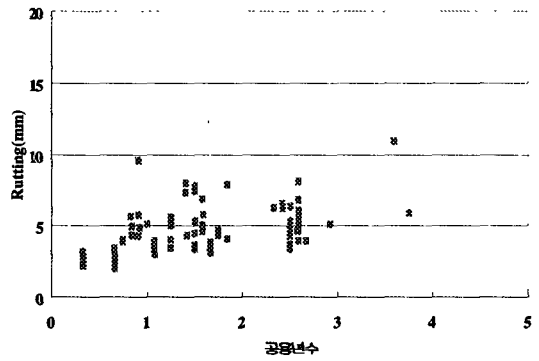


그림 3. Rutting 분포 현황

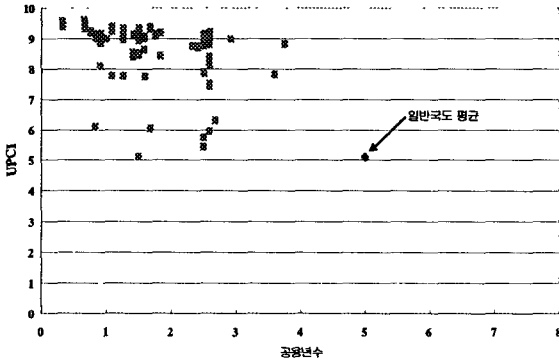


그림 4. SBS 개질아스팔트의 UPCI 지수 분포 현황

으며, 분석에 필요한 할인율은 7%로 하였다. 비용항목으로는 공사비용, 차선 도색비용, 표지병 교체 비용, 공사로 인한 정체비용 등을 고려하였다.

#### 4.1 손익분기(Break-even) 분석

SBS 개질아스팔트를 사용하면 동일한 공법의 일반아스팔트로 공사했을 때보다 초기 공사비가 증가

#### 4. 경제성 분석

도로포장의 경제성은 초기비용과 유지·보수와 관련된 비용을 전체 수명에 대하여 종합적으로 판단해야 한다. 도로포장의 경제성분석에서 비용과 편익은 순현재가법(NPV : Net Present Value)이나 손익분기(Break-even)분석 방법이 자주 이용된다. 본 연구에서는 시공이력을 알고 있는 국도 시험포장 5개 구간에 대하여 경제성을 분석하였다. 대한 경제성분석 방법으로 순현재가법과 손익분기법을 이용하였



표 1. 손익분기기간의 산정

구 간	기존포장 공용년수	SBS 개질아스팔트 총비용	일반아스팔트 총비용	비용 증가 비율 (%)	손익분기기간 (년)
N81026	5	1,431	1,312	9.07	5.64
N81005	6	392	333	17.70	7.59
N81004	3	247	226	9.28	3.34
N81003	4	722	634	13.88	4.73
N81006	4	1,267	1,143	10.84	4.57

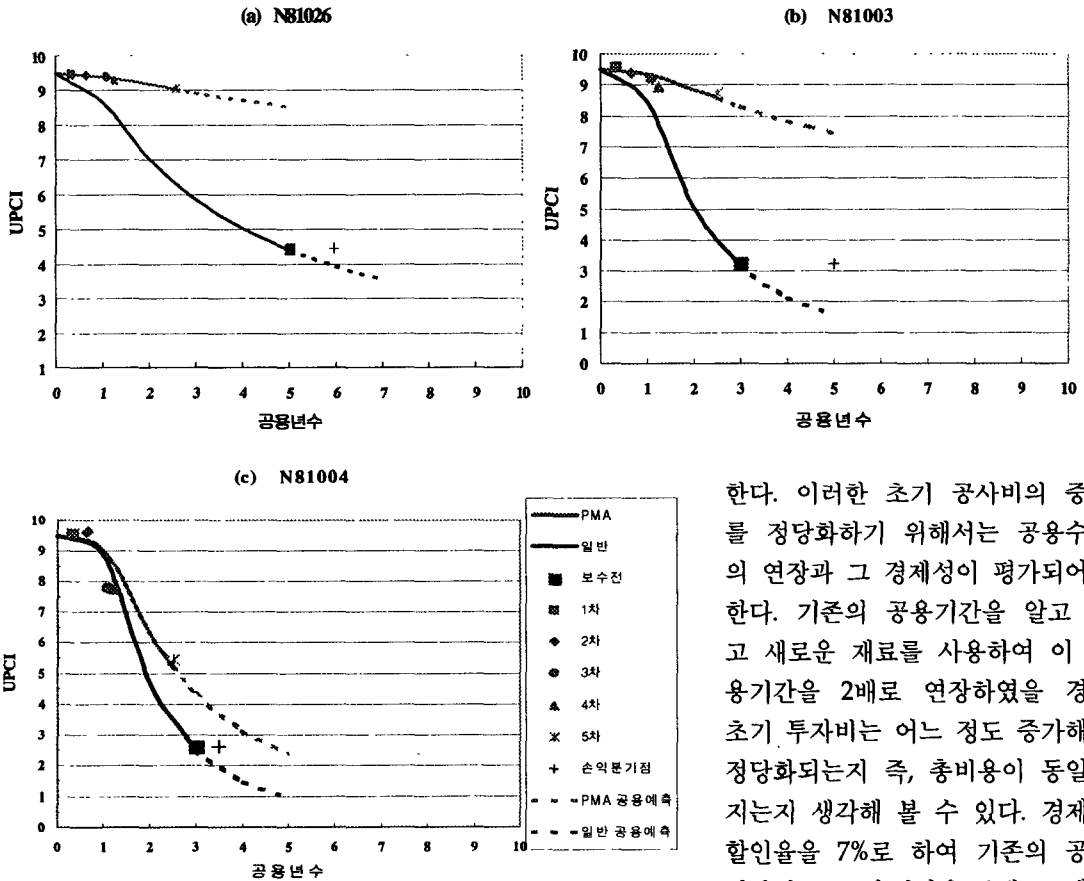


그림 5. 포장평가지수(UPCI)를 이용한 공용성 평가

있는 비용을 계산하면 공용기간이 5년인 경우 초기 투자비율은 1.713이 된다. 71.3%의 초기 비용증가로 5년의 공용기간이 연장되므로 1년에 14.62%의 비용이 증가되며, 초기 비용 증가 비율이 9.1%인 N81026 구간의 경우, 기존 포장의 공용기간보다 0.64년의 연장이 요구되므로 과거와 동일한 파손 상태에 도달할 때까지 5.64년의 공용기간을 유지하면 손익분기점을 넘을 수 있다.

본 연구에서는 공용성을 보수하기 전의 상태와 SBS 개질아스팔트 적용 후 공용성 추이를 포장평가

한다. 이러한 초기 공사비의 증가를 정당화하기 위해서는 공용수명의 연장과 그 경제성이 평가되어야 한다. 기존의 공용기간을 알고 있고 새로운 재료를 사용하여 이 공용기간을 2배로 연장하였을 경우 초기 투자비는 어느 정도 증가해도 정당화되는지 즉, 총비용이 동일해지는지 생각해 볼 수 있다. 경제적 할인율을 7%로 하여 기존의 공용기간별로 공용기간을 2배로 했을 경우, 초기 투자를 정당화 할 수



지수 UPCI를 이용하여 분석하였다. SBS 개질아스팔트의 초기 공용성은 대부분의 경우 초기치를 유지하고 있으며 아직 뚜렷한 저하경향을 보이고 있지 않다. 아직 장기 공용성을 추정하기에는 이르지만 초기 공용자료의 경향을 이용하여 장래 공용성을 추정하면 그림 5에 나타난 바와 같이 손익분기 공용기간을 충분히 초과할 것으로 판단된다. 그러나 N81004구간과 같이 배관 매설 공사 등으로 표층 아래의 층이 부실한 경우 표층을 보강한다 하더라도 공용성을 크게 개선시키지 못함을 확인하였다.

### 4.2 수명주기비용분석(Life-Cycle Cost Analysis ; LCCA)

수명주기비용분석(Life-Cycle Cost Analysis ; LCCA)은 합리적인 경제분석 원리에 입각하여 경쟁하는 대안 사이의 장기적인 경제적 효율성을 평가하기 위한 해석기법을 말한다. 도로에서의 LCCA에는 초기 공사비와 함께 대안투자의 전체 수명에 걸쳐 발생하는 할인된 장래 기관의 비용, 이용자 비용 및 기타 모든 관련 비용을 포함한다. 즉, 장기적으로 시설물에 대한 최적의 투자방안을 확인하고자 하는 것이다.

본 연구에서는 일반 아스팔트와 SBS 개질아스팔트의 분석기간 20년 동안 발생하는 총비용을 산정하여 분석하였다. 분석에 필요한 할인율은 7%로 하였으며, 비용항목으로는 공사비용, 차선 도색비용, 표지병 교체 비용, 공사로 인한 정체비용 등을 고려하였다. 총비용 분석은 UPCI지수가 5 이하가 될 때의 공용기간을 보수 주기로 분석기간 동안 발생하는 총비용을 산정하였다.

표 2. 일반아스팔트와 SBS 개질아스팔트의 LCC 분석 결과

(단위 : 백만원)

구분	LCC	공사비	표지병교체비용	차선도색비용	정체비용	합산유지관리비	
N81003	일반아스팔트	3,619.81	2,519.45	712.14	140.27	48.55	199.39
	SBS 개질아스팔트	1,221.00	785.31	186.78	36.79	12.73	199.39
N81004	일반아스팔트	1,510.42	977.90	401.52	64.76	19.43	46.82
	SBS 개질아스팔트	1,237.32	829.01	298.83	48.20	14.46	46.82
N81026	일반아스팔트	4,231.22	2,658.56	1,089.37	178.04	33.19	272.05
	SBS 개질아스팔트	1,703.05	1,000.00	361.00	59.00	11.00	272.05

### 4.3 위험도 분석

위험도 분석은 투자대안의 경제성 척도들에 대한 확률분포를 구하는 과정으로 정의될 수 있다. 본 과업에서의 경제성 척도는 현재 가치이며, 이에 대한 확률분포를 구하면 의사결정에 대한 위험도를 분석할 수 있다. 이를 위해서는 각종 비용, 즉 확률변수에 대한 확률분포를 설정해야 한다. 이러한 확률분포들을 수리적으로 통합하거나 또는 모의실험(시

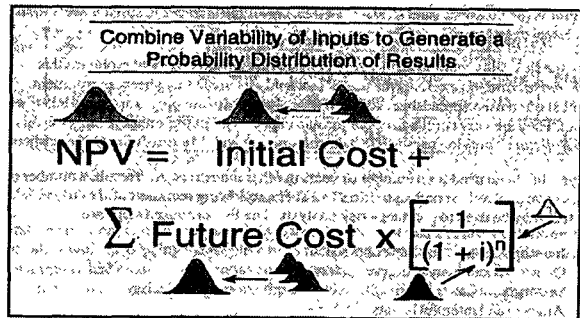


그림 6 확률과 Simulation을 통한 순현재가치(NPV)의 계산



표 3. 확률변수에 대한 확률분포

비용 항목	불확실성
초기 비용	± 10%
유지보수 비용	± 20%
사용자 비용	± 40%

수 있다. 그림을 보는 방법은 비교대안에 대한 곡선에서 총비용과 확률을 알 수 있는 한 점을 지정하면 그 비용 이하로 비용이 저하될 확률을 구할 수 있다.

그림 7에서 보는 바와 같이 입력변수의 변동에도 불구하고 일반아스팔트와 SBS 개질아스팔트의

LCC가 변동될 가능성이 없는 강건한 것으로 평가되었다.

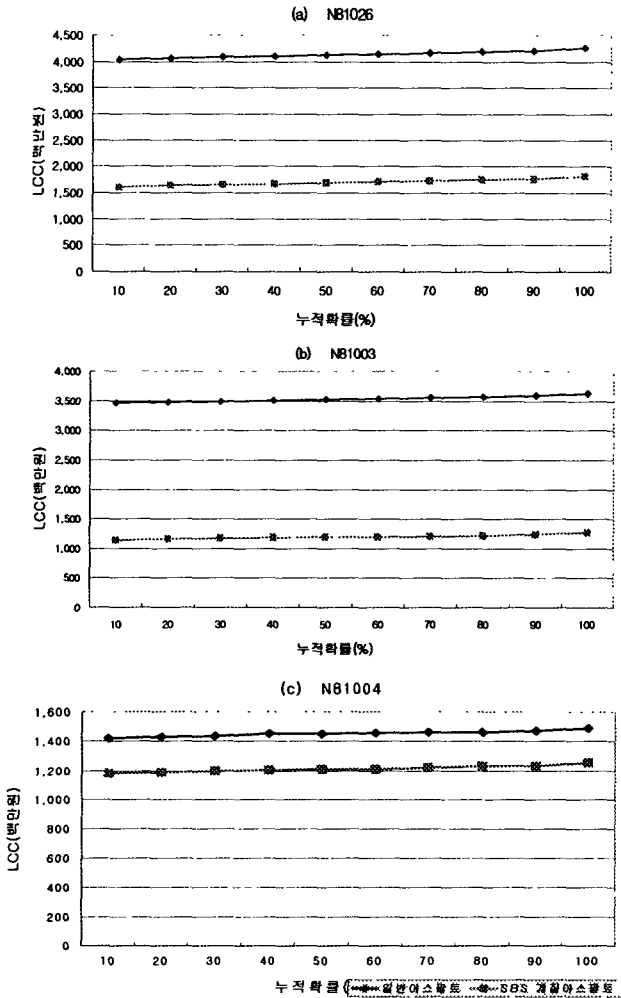


그림 7. 위험도 분석 결과

물레이션)을 통하여 경제성 척도의 확률분포를 구한다. 본 연구에서는 다음과 같이 비용과 불확실성 그리고 정규분포를 설정하고 변동범위를  $4\sigma$  ( $\sigma$ : 표준편차)로 설정하여 Monte Calo Simulation을 이용하여 대안별 현재가치의 변동성을 분석하였다.

분석결과는 그림 7과 같이 누적확률곡선으로 나타낼

## 7. 결론

SBS 개질아스팔트포장 구간의 현장 공용성 조사하고 경제성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- SBS 개질아스팔트는 소성변형과 균열에 대해서 매우 양호한 공용성을 나타내고 있으며, 특히 소성변형은 공용 초기에 발생하는 집에서 소성변형에 대한 저항성이 우수한 것으로 판단된다.

- 분석된 국도 시험포장 5개 구간에 대한 장기 공용성을 추정하기에는 아직 이르지만, 초기 공용자료를 바탕으로 장래 공용성을 추정하면 손익분기 공용기간을 충분히 초과할 것으로 판단된다.

- 분석된 5개 구간에 LCC 분석결과, SBS 개질아스팔트가 일반아스팔트보다 경제적인 것으로 나타났다.

- 입력변수의 변동성을 Monte Carlo Simulation을 이용하여 LCC의 변동성을 분석한 결과, 결과의 강건성, 즉 여건의 변화에도 결과가 변동될 수 있는 가능성은 없는 것으로 나타났다.



- 보수구간의 경우, 기존포장의 결합상태이나 교통량에 따라 개질아스팔트의 효과를 얻기 어려운 구간도 있다. 특히 교차로, 오르막차로 등에서는 기존포장의 평가에 따라 보수방법이 결정되어야 한다.

### 참고문헌

1. 건설교통부 (2001), "2000 도로포장관리시스템",
2. 건설교통부 (1991), "도로포장설계 시공지침", pp. 16, pp. 758-766.
3. 유인균, 김낙석, "포장평가지수의 개발과 적용" 대한토목학회, 학술발표회 논문집 (2000)4. 한국건설 기술연구원 (2000), "슈퍼팔트(SBS PMA)의 현장공용성 및 효과분석 연구"
5. 한국물가정보 (2001), "종합 물가정보 2월호"
6. 日本土木學會(1992), "鋪裝機能の評價法", 사단법인 토목학회, pp. 88-118.
7. M.J.L. 다운즈(셀), 개질아스팔트를 이용한 아스팔트포장의 경제효과, (日) 도로건설, 1989. 2
8. Dr. Charles Lozar, Mr.Thomas Napier and Mr. Rechard Lampo, Risk Analysis Methodology for Life Cycle Benefit Analysis of Innovative Construction Technologies,