

일반국도 현장조사 모니터링을 통한 장수명 아스팔트 덧씌우기 포장의 공용성 분석

Performance Evaluation of Long-Life Asphalt Concrete Overlays Based on Field Survey Monitoring in National Highways

백 중 은 Baek, Jongeun
임 재 규 Lim, Jae Kyu
권 수 안 Kwon, Soo Ahn
권 병 윤 Kwon, Byung Yoon

정회원 · 서울시 품질시험소 도로포장연구센터 · 공학박사 (E-mail : pocketdream@gmail.com)
한국건설기술연구원 도로연구소 전임연구원 (E-mail : jklim@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 선임연구위원 · 공학박사 · 교신저자
(E-mail : sakwon@kict.re.kr)
정회원 · 국토교통부 · 공학박사 (E-mail : kwonby@korea.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : Performance evaluation of four types of asphalt concrete overlays for deteriorated national highways.

METHODS : Pavement distress surveys for crack rate and rut depth have been conducted annually using an automated pavement survey vehicle since 2007. Linear and non-linear performance prediction models of the asphalt concrete overlays were developed for 43 sections. The service life of the asphalt overlays was defined as the number of years after which a crack rate of 30% or rut depth of 15mm is observed.

RESULTS : The service life of the asphalt overlays was estimated as 17.4 years on an average. In 90.7% of the sections, the service life of the overlays was 15 years or more which is 1.5 times the life of conventional asphalt concrete overlays used in national highways. The performance of the overlays was dependent on the type of asphalt mixture, traffic volume levels, and environmental conditions.

CONCLUSIONS : The usage of stone mastic asphalt (SMA) and polymer-modified asphalt (PMA) for the overlays provided good resistance to cracking and rutting development. It is recommended that appropriate asphalt concrete overlays must be applied depending on the type of existing pavement distress.

Keywords

Asphalt concrete pavement, long-life overlays, pavement management system, service life, field survey monitoring

Corresponding Author : Kwon, Soo Ahn, Senior Research Fellow
Highway Research Division, Korea Institute of Civil Engineering
and Building Technology
283, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-712, Korea
Tel : +82.31.910.0174 Fax : +82.31.910.0665
E-mail : sakwon@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Apr. 20, 2015 Revised Apr. 27, 2015 Accepted May. 27, 2015

1. 서론

1.1. 연구배경

1990년대 국내 아스팔트 포장에서는 소성변형이 급격하게 증가하여 이를 억제하기 위하여 내유동성 포장이 도입되기 시작하였다. 국내에 도입된 대표적인 내유

동성 포장으로는 골재의 입도를 개선한 SMA(Stone Mastic Asphalt)와 아스팔트 바인더의 성질을 개선한 개질 아스팔트(Polymer Modified Asphalt, PMA) 포장 등이 있다. 이러한 내유동성 포장의 도입으로 인해 국내 아스팔트 포장에서는 소성변형의 발생을 저감시켜

이용자 불편을 최소화하였다.

국내의 공용성 평가결과 SMA와 PMA 포장의 공용성이 일반 아스팔트 포장에 비해 우수한 것으로 나타났다(박성완 2002, 박희문 2004, Smith 2006). 국내의 경우, 이수형 등(2000)과 유인균과 이수형(2001)은 일반국도에서 실시한 5개 시험구간에 대하여 시공 후 2년 동안의 현장 공용성 평가 자료를 바탕으로 SBS(Styrene-Butadiene-Styrene) 개질 아스팔트 포장의 현장 공용성을 평가하였다. 그 결과 SBS 개질 아스팔트 포장의 초기 공용성이 일반 아스팔트 포장에 비해 우수한 것으로 나타났다. 조규태(2002)는 일반국도 5호선 신설구간 표층에 시공된 SBS 개질 아스팔트와 폴리머 개질 SMA(Polymer-modified SMA, PSMA)에 대한 실내 시험을 실시하였다. 시험 결과 개질 아스팔트의 균열저항성이 일반 아스팔트에 비해 다소 향상되었으며, 소성변형 저항성을 나타내는 동적안정도는 일반에 비해 약 3.8배로 크게 증가한 것으로 나타났다. 송서규 등(2005)은 포장가속시험을 통하여 고강성 바인더(PG 82-22)를 사용한 개질 아스팔트 기층을 사용한 경우 단면이 약 20% 얇았음에도 불구하고 소성변형량이 43% 감소하는 것으로 나타났고, 균열은 180,000회 재하될 때까지 전혀 발생하지 않아 균열저항성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이광호 등(2012)과 유헌준 등(2014)은 아스팔트와 콘크리트 포장의 장점을 접목하여 공용수명을 20년 이상 확보할 수 있는 장수명 포장에 필요한 재료 개발 및 구조해석 방법을 제시하였다.

일반국도 아스팔트 포장의 보수주기(또는 공용수명)는 2000년대 초반 7~8년에 불과하였으나 이후 꾸준히 증가하여 2010년 평균 12.7년으로 나타났다. 하지만 유지보수예산의 부족으로 노후포장 연장의 증가 및 기후변화 등으로 인하여 포장파손이 증가하여 2013년 공용수명이 10.0년으로 다소 감소되었다(국토교통부 2013). 따라서 아스팔트 포장의 공용수명 향상을 위해서는 우수한 내구성을 가지는 포장, 즉 장수명 포장의 적용을 확대하는 것이 필요하다. 하지만 SMA과 PMA와 같은 장수명 포장에 대한 연구는 주로 실내시험, 포장가속시험 또는 초기 현장공용성을 바탕으로 실시하였다. 따라서 보다 신뢰성 평가를 위해서는 현장공용성 데이터를 근거로 한 공용수명을 평가하는 것이 필요하다.

1.2. 연구 목적

본 논문에서는 일반국도에 적용된 장수명 아스팔트

덧씌우기 포장의 현장공용성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 일반국도 포장관리시스템(Pavement Management System, PMS) 전국 모니터링 구간에서 획득한 포장상태를 기반으로 장수명 아스팔트 포장의 공용성 예측 모델을 만들었다. 장수명 포장의 균열률과 소성변형량 기준 공용수명을 추정하여 장수명 포장의 공용성을 공법별로 평가하였다.

2. 장수명 포장의 공용성 평가 방법

2.1. 조사 대상 구간

일반국도 PMS에서는 일반국도의 포장상태를 지속적으로 파악하기 위하여 약 2,300개 구간을 대상으로 연도별 포장상태를 조사하고 있다. 이러한 모니터링 구간에서 장수명 포장이 적용된 구간 중 43개 구간을 공용성 분석을 위한 조사 대상으로 선정하였다. 선정기준은 덧씌우기로 적용되고, 적용된 공법이 제시되고, 통계분석을 위하여 공법별 대상 구간을 5개 이상으로 하였다. Table 1은 선정된 장수명 포장의 종류 및 구간 개수를 나타낸다.

Table 1. Long-life Asphalt Concrete Types and the Number of Sections

Asphalt concrete type	ID	No. of section
SMA	A	7
	B	10
PMA	C	18
	E	8
Total		43

1. 조사 대상 구간에 적용된 장수명 포장의 종류는 총 4가지로 입도를 개선하여 골재 맞물림을 크게 한 SMA 포장(공법 A)과 다양한 종류의 개질재를 이용하여 아스팔트의 고온 또는 저온의 성질을 개선한 개질 아스팔트 포장(공법 B, C, D)이다. SMA 포장에는 SMA 입도에 개질 아스팔트를 사용하는 PSMA 포장 2개 구간도 포함하였다. 개질 아스팔트 포장에는 일반국도에 많이 적용되고 있는 공법을 선정하였다. 포장 시공 시 다양한 이유로 인하여 절삭을 실시하므로 공용성 평가에는 절삭여부를 고려하지 않았다.

조사구간에 적용된 장수명 포장은 대부분 2000년대 중후반에 적용되어 2013년 말 기준 공용기간은 평균

8.1년(표준편차 1.4년)이고, 균열률은 평균 6.9%, 소성 변형량은 평균 7.8mm로 양호한 상태이다. 선정된 구간의 장수명 포장은 기존 포장의 보수를 위한 덧씌우기로 적용되었다. 이 중 31개 지점에서는 첫 번째 덧씌우기로, 12개 지점에서는 두 번째 이상의 덧씌우기로 사용되었다.

2.2. 포장상태 측정

조사 대상 구간에 대하여 2007년부터 매년 자동포장 상태 조사장비를 이용하여 균열률과 소성변형량을 측정하였다(국토교통부 2013). 균열률은 노면을 촬영한 영상으로부터 중·횡방향 균열의 길이와 피로균열의 면적을 추출하여 전체 면적 대비 백분율로 나타낸다. 소성변형은 다수의 레이저변위센서를 이용하여 노면과의 거리를 측정하여 횡방향 프로파일을 구성한 후 직선자 방식을 이용하여 소성변형량을 계산한다. 균열률과 소성 변형량은 10m 단위로 측정하고, 500m 단위로 평균값을 계산한다.

2.3. 장수명 포장의 공용성 모델 개발

장수명 포장의 포장상태는 일반국도 전국모니터링 구간에서 2007년 이후 측정된 연도별 균열률과 소성변형량을 이용하여 평가하였다. 대표적인 균열률과 소성변형량의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 균열률은 공용 초기 점진적으로 증가하다가 공용기간이 증가함에 따라 급격히 증가한다. 반면에 소성변형량은 공용 초기에는 급격히 증가하다가 이후 점진적으로 증가한다.

장수명 포장의 공용기간에 따른 균열률과 소성변형량의 변화를 모사하기 위하여 선형과 비선형함수 중 하나인 멱(power)함수를 고려하였다. 멱함수는 거듭제곱의 값에 따라 급격한 증가(거듭제곱이 1보다 큰 경우), 완만한 증가(거듭제곱이 1에 가까운 경우), 천천히 증가(거듭제곱이 1보다 작은 경우)하는 것을 나타낼 수 있으므로 균열률과 소성변형량의 거동을 모두 반영할 수 있다. 이러한 비선형 모델을 적용하기 위해서는 충분한 수의 자료가 있어야 하지만 본 연구 대상인 장수명 포장의 경우 공용기간이 길지 않아 비선형 함수를 사용할 경우 공용수명을 과소 또는 과대평가할 수 있다. 반면에 선형 함수의 경우 포장의 초·중기 상태를 나타내기에 적합하지만 후기의 급속한 파손을 모사할 수 없으므로 공용수명을 과대평가할 수 있는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 공용기간 10년 이후 급격한 균열률을 예측하기 위하여 Eq. (1)과 같은 멱함수를 사용하고, 공용 중기

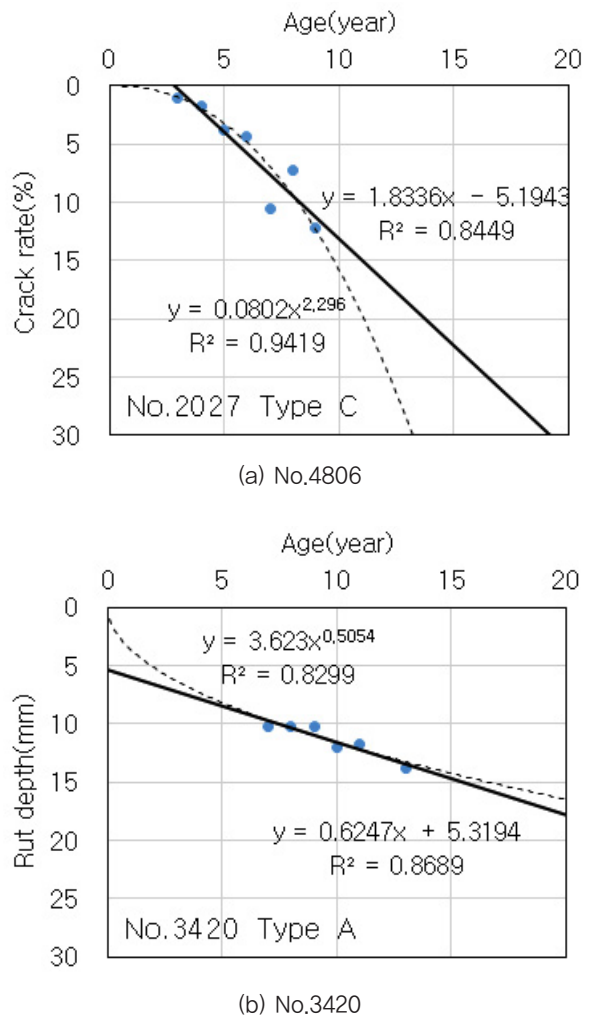


Fig. 1 Comparison of Linear and Non-Linear Regression Models

이후 점진적으로 증가하는 소성변형량을 예측하기 위하여 Eq. (2)와 같은 선형함수를 사용하였다. Table 2는 각 지점에서 결정된 선형 및 비선형 모델의 회귀분석 계수를 나타낸다. 균열률과 소성변형량에 대한 회귀분석식의 결정계수(Coefficient of determination, R^2)가 각각 0.82와 0.74로 실제 현장 데이터를 이용한 것을 감안하면 상당히 높은 편이라고 할 수 있다.

$$Crack\ rate\ (CR) = aY + b \quad (1)$$

$$Rut\ depth\ (RD) = cY^d \quad (2)$$

여기서 CR 은 균열률(%), RD 는 소성변형량(mm), Y 는 공용기간, a, b, c, d 는 회귀분석계수이다.

3. 장수명 포장의 공용성 평가

3.1. 포장손상 기준 공용성 평가

장수명 포장의 공용성은 일정 공용기간에 발생하는 균열률과 소성변형량을 기준으로 평가하였다. 일반 포장의 경우 공용수명이 평균 10년이므로, 이때 장수명 포장의 공용성을 평가하였다. 장수명 포장의 공용성 모델에서 공용기간 10년까지는 대체적으로 포장손상이 점진적으로 진행되었다. Fig. 2는 장수명 포장 공법별 공용기간 10년에서 발생한 균열률과 소성변형량을 나타낸다. 장수명 포장의 균열률은 평균 13.9%(표준편차 17.4%)이고, 소성변형량은 평균 8.6mm(표준편차 2.2mm)로 예측되었다. 균열률의 경우 변동계수(Coefficient of Variation, COV)가 125.3%로 매우 높게 나타났다. 따라서 장수명 포장이 적용된 지점이나 공법에 따라 균열률 발생정도가 매우 다르다고 할 수 있다. 예를 들어 공법 A의 경우 균열률이 5.2%로 평균의 1/3 수준으로 나타났다. 반면 공법 C의 균열률은 평균보다 약 40% 크게 나타났다. 따라서 장수명 포장의 균열저항성은 공법별로 차이가 크게 나타난다고 볼 수 있다. 소성변형량의 경우 변동계수가 25.8%로 크지 않게 나타났다. 또한 소성변형량이 최소 8.0mm에서 최대 10.5mm로 공법별로 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

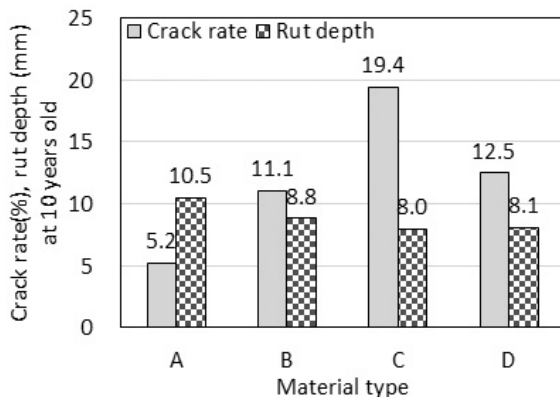


Fig. 2 Predicted Crack Rate and Rut Depth at 10 Years Old of the Overlay

3.2. 공용수명 기준 공용성 평가

공용기간이 경과함에 따라서 포장상태가 불량해져서 일정 기준에 도달하면 보수를 실시하게 된다. 일반적으로 일반국도 PMS에서 아스팔트 포장의 균열률이 30% 또는 소성변형량이 15mm인 경우에 장수명 포장을 적용한다. 따라서 이러한 보수기준(균열률 30%, 소성변형량 15mm)을 적용하여 장수명 포장의 공용수명을 추정하였

다. 장수명 포장의 공용수명은 평균 17.4년(표준편차 6.1년)으로 나타나 일반 포장에 비해 약 70% 정도 공용수명이 향상되었다. 장수명 포장의 공용수명이 정규분포를 따른다고 가정하면 공용수명이 10년 이상일 확률은 88.7%로 나타난다. 실제 장수명 포장의 공용수명 분포를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 공용수명이 15년 이상으로 일반 포장에 비해 50% 이상 큰 지점이 27개로 62.7%를 차지하였다. 반면 공용수명이 10년 미만인 곳은 4개(9.3%)에 불과한 것으로 나타났다. 따라서 장수명 포장의 공용성이 일반 포장에 비해 매우 우수한 것으로 판단된다.

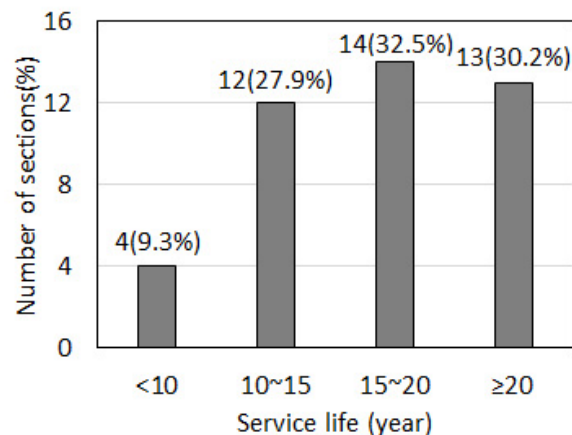


Fig. 3 Distribution of the Service Life of the Overlay

장수명 포장의 공법별 공용수명을 Fig. 4에 나타내었다. 공법별 공용수명은 최소 16.2년(공법 C)에서 최대 19.0년(공법 D)로 공법별 평균 공용수명의 차이가 3.8년으로 크지 않게 나타났다. 공용수명이 15년 이상인 확률을 살펴보면 공법 D는 75.0%로 공법 C의 55.6%보다 19.4%p 크게 나타났다.

공법별 평균 공용수명과 공용수명이 15년 이상일 확률 기준으로 장수명 포장의 공용성을 평가하면 다음과 같다. 공법 D(공용수명 19.0년, 확률 75.0%)가 가장 우수한 공용성을 나타낸다. 반면 공법 C(공용수명 16.2년, 확률 55.6%)의 공용성이 다른 공법에 비해 상대적으로 떨어진다. 공법 B의 경우 공용수명 18.5년으로 공법 A(17.5년)에 비해 크지만 15년 이상일 확률이 60.0%로 공법 A의 71.4% 보다 작게 나타났다. 이는 공법 B의 경우 공용수명이 20년 이상인 경우가 50.0%로 평균 공용수명이 크지만 15년 미만인 경우도 40%로 크게 나타났기 때문이다. 따라서 공법 B는 적용된 지점의 교통량, 환경, 재료품질 및 시공성 등이 공용수명에 큰 영향에 미치는 것으로 판단된다.

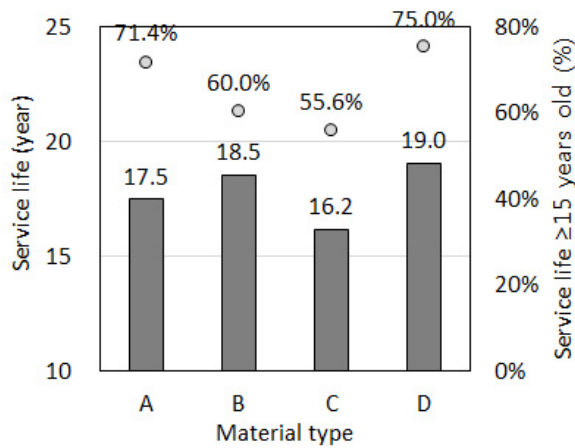


Fig. 4 Service Life and Probability of the Long-Life Asphalt Overlays

3.3. 기준별 공용수명 분석

Fig. 5는 장수명 포장의 균열률 및 소성변형량 기준 공용수명을 공법별로 나타낸다. 균열률 기준 공용수명은 공법 C의 경우 17.8년으로 가장 작고, 나머지 공법은 20.3년에서 21.3년 사이로 유사하게 나타났다. 소성변형량 기준 공용수명은 최소 20.0년에서 최대 23.1년으로 유사하게 나타났다. 공법 C의 경우 균열률 기준 공용수명은 17.8년으로 가장 작게 나타났으나, 소성변형량 기준 공용수명은 23.1년으로 가장 크게 나타났다. 따라서 공법 C는 소성변형 보다는 균열에 의한 파손이 더

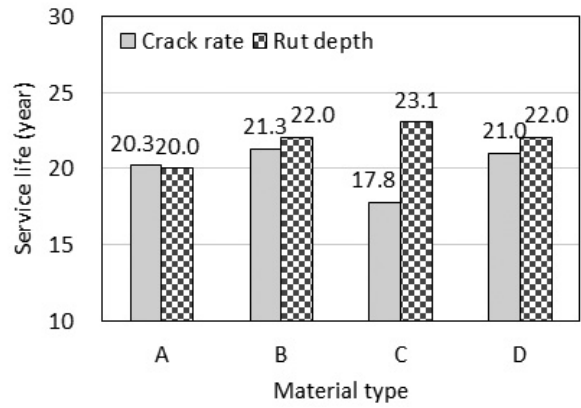


Fig. 5 Comparison of Service Life of the Overlay Based on Crack Rate and Rut Depth Criteria

빠르게 발생하여 최종 공용수명이 가장 작게 나타난 것으로 볼 수 있다. 반면에 나머지 공법은 균열률과 소성변형량 기준 공용수명의 차이가 1.0년 이내로 작게 나타났다.

균열률과 소성변형량 기준 공용수명을 바탕으로 장수명 포장의 공용성을 3단계로 평가하였다. 공용수명이 10년 미만인 경우 장수명 포장으로서의 공용성이 불량, 공용수명이 10년 이상 20년 미만인 경우 양호, 20년 이상인 경우 우수한 것으로 가정하였다. 이를 바탕으로 균열률과 소성변형량에 대하여 장수명 포장의 공용성을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Regression Model Coefficients for the Crack Rate and Rut Depth

No.	Type	Crack rate (Non-linear)			Rut depth (Linear)			Distress at 10 years old		Service life (year)	
		a	b	R ²	c	d	R ²	CR(%)	RD(mm)	CR 30%	RD 15mm
1	A	0.029	2.317	0.77	0.960	0.874	0.52	5.9	10.5	20.2	14.7
2	A	0.861	1.076	0.95	0.324	4.653	0.52	10.3	7.9	27.1	30.0
3	A	0.002	3.322	0.74	0.498	3.942	0.64	4.2	8.9	18.1	22.2
4	A	0.019	2.386	0.89	0.406	3.760	0.56	4.7	7.8	21.7	27.7
5	A	0.001	3.757	0.96	0.579	2.236	0.58	4.0	8.0	17.1	22.0
6	A	0.000	4.681	0.55	0.625	5.319	0.87	3.4	11.6	16.0	15.5
7	A	0.012	2.551	0.61	1.888	-0.150	0.87	4.1	18.7	21.8	8.0
8	B	0.047	1.795	0.70	0.370	5.293	0.99	2.9	9.0	30.0	26.2
9	B	0.131	1.579	0.87	0.540	2.382	0.59	5.0	7.8	30.0	23.4
10	B	0.220	1.187	0.86	0.403	5.755	0.69	3.4	9.8	30.0	22.9
11	B	0.402	1.611	0.99	1.075	2.295	0.90	16.4	13.0	14.5	11.8
12	B	0.090	1.711	0.73	0.623	1.290	0.51	4.6	7.5	29.8	22.0
13	B	0.326	1.557	0.75	0.542	2.625	0.76	11.8	8.0	18.2	22.8
14	B	0.001	4.231	0.88	0.514	2.263	0.72	23.9	7.4	10.6	24.8
15	B	0.000	9.217	0.90	0.703	0.105	0.50	16.5	7.1	10.7	21.2
16	B	0.199	1.543	0.81	0.417	3.233	0.63	6.9	7.4	25.9	28.2

(Table Continued)

No.	Type	Crack rate (Non-linear)			Rut depth (Linear)			Distress at 10 years old		Service life (year)	
		a	b	R2	c	d	R2	CR(%)	RD(mm)	CR 30%	RD 15mm
17	B	0.716	1.433	0.97	0.539	5.942	0.80	19.4	11.3	13.5	16.8
18	C	0.496	1.500	0.67	0.222	9.051	0.97	15.7	11.3	15.4	26.8
19	C	0.018	3.736	0.73	0.676	0.686	0.66	98.1	7.4	7.3	21.2
20	C	0.000	4.496	0.64	0.747	0.791	0.88	6.3	8.3	14.2	19.0
21	C	0.414	1.508	0.93	0.342	6.268	0.77	13.3	9.7	17.1	25.5
22	C	0.055	2.718	0.89	0.668	1.224	0.41	28.9	7.9	10.1	20.6
23	C	0.000	5.429	0.61	0.626	1.963	0.56	53.6	8.2	9.0	20.8
24	C	0.178	0.879	0.90	0.843	-0.986	0.72	1.3	7.4	30.0	19.0
25	C	0.413	1.053	0.93	0.713	0.837	0.63	4.7	8.0	30.0	19.9
26	C	0.080	2.296	0.94	0.505	2.038	0.93	15.9	7.1	13.2	25.7
27	C	0.025	1.869	0.92	0.639	0.321	0.74	1.8	6.7	30.0	23.0
28	C	0.021	2.559	0.65	0.746	1.117	0.81	7.7	8.6	17.0	18.6
29	C	1.646	0.836	0.93	0.371	4.366	0.93	11.3	8.1	30.0	28.6
30	C	2.202	0.671	0.86	0.349	2.629	0.76	10.3	6.1	30.0	30.0
31	C	1.194	1.399	0.86	0.668	2.918	0.63	29.9	9.6	10.0	18.1
32	C	0.000	4.655	0.85	0.363	3.732	0.67	4.5	7.4	15.0	30.0
33	C	0.468	1.686	0.92	0.320	2.747	0.78	22.7	5.9	11.8	30.0
34	C	0.020	2.705	0.91	0.826	-2.122	0.87	10.2	6.1	14.9	20.7
35	C	0.121	2.025	0.87	0.727	2.392	0.90	12.8	9.7	15.2	17.3
36	D	0.022	2.964	0.89	0.676	2.518	0.86	19.8	9.3	11.5	18.5
37	D	0.230	1.444	0.80	0.612	1.070	0.72	6.4	7.2	29.2	22.8
38	D	0.232	0.526	0.51	0.523	2.192	0.94	0.8	7.4	30.0	24.5
39	D	0.014	2.636	0.86	0.535	2.828	0.96	5.8	8.2	18.6	22.8
40	D	0.000	6.981	0.75	1.091	-0.995	0.79	47.9	9.9	9.4	14.7
41	D	1.856	0.495	0.93	0.366	5.199	0.72	5.8	8.9	30.0	26.8
42	D	0.305	1.521	0.87	0.822	-1.078	0.87	10.1	7.1	20.4	19.6
43	D	0.001	3.500	0.82	0.506	1.414	0.62	3.2	6.5	19.0	26.9
평균		-	-	0.82	-	-	0.74	13.9	8.6	19.6	22.1

균열률 기준 공용수명이 20년 이상인 경우는 공법 A가 57.1%로 가장 높고, 공법 B와 공법 D가 50.0%로 나타났다. 반면에 균열률 기준 공용수명이 10년 미만인 경우는 공법 C가 11.1%, 공법 D가 12.5%로 가장 높게 나타났다. 따라서 균열률 기준 공용성은 공법 A가 가장 높고 공법 C가 가장 낮은 것으로 나타났다.

소성변형률 기준 공용성의 경우 공법 B의 80%가 우수한 것으로 나타나 다른 공법에 비해 가장 높은 것으로 나타났다. 반면 공법 A는 우수한 경우가 57.1%로 가장 낮고, 불량한 경우는 14.3%로 가장 크게 나타나 소성변형률 기준 공용성이 가장 낮은 것으로 판단된다.

이러한 결과를 종합하여 균열과 소성변형에 대한 공용성을 공법에 따라 상대적으로 평가하면 다음과 같다.

- 공법 A는 균열에 대한 공용성이 우수한 반면, 소성

변형에 대한 공용성은 낮다.

- 공법 B와 D는 균열과 소성변형에 대한 공용성이 모두 우수하다
- 공법 C는 소성변형에 대한 공용성이 우수하나 균열에 대한 공용성은 낮다

Table 3. Performance Classification by Crack and Rutting Based Service Life

Type	Crack criteria			Rut depth criteria		
	Poor	Good	Excellent	Poor	Good	Excellent
A	0.0	42.9	57.1	14.3	28.6	57.1
B	0.0	50.0	50.0	0.0	20.0	80.0
C	11.1	61.1	27.8	0.0	33.3	66.7
D	12.5	37.5	50.0	0.0	37.5	62.5

3.4. 교통량 및 환경인자 영향 분석

교통량 및 기온과 강수량과 같은 환경인자가 장수명 포장의 공용수명에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 인자별 상관계수(Coefficient of correlation)를 Table 4에 나타내었다. 여기서 상관계수가 -0.3에서 +0.3 사이이면 두 변수 사이의 선형관계가 약하거나 거의 없고, -0.7 이하 또는 +0.7 이상이면 뚜렷한 선형관계가 있는 것을 나타낸다.

장수명 포장 전체를 고려한 경우 교통량, 기온, 강수량에 대한 상관계수가 모두 -0.3에서 +0.3 사이로 나타나 교통량과 기온에 대한 상관성이 거의 없는 것으로 판단된다.

공법별 상관계수를 살펴보면 교통량 또는 환경인자에 영향을 받는 경우가 나타났다. 공법 A의 경우 일평균교통량(Annual Average Daily Traffic, AADT)과 축환산교통량(Equivalent Single Axal Load, ESAL)에 대한 상관계수가 각각 -0.66과 -0.68로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 이는 교통량이 증가할수록 공법 A의 공용수명이 감소하는 경향을 나타낸다.

공법 B의 경우 연평균온도, 연최고온도, 연최저온도에 대한 상관계수가 각각 +0.66, +0.57, +0.40으로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 이는 온도가 내려가면 공법 B의 공용수명이 감소하는 것을 의미한다. 또한 일최대강수량에 대한 상관계수가 -0.52로 일강수량이 많을수록 공용수명이 감소하는 것으로 판단된다.

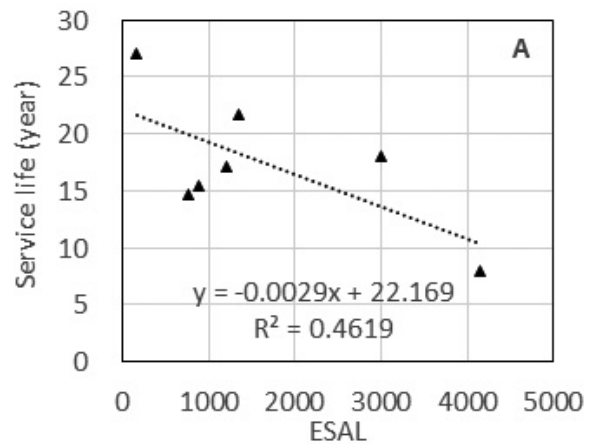
공법 C의 경우 ESAL에 대한 상관계수가 +0.57로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 공법 D의 경우 AADT에 대한 상관계수가 -0.52로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 공법 C는 ESAL이 증가할수록, 공법 D는 AADT가 감소할수록 공용수명이 증가하는 것을 의미한다.

Table 4. Coefficient of Correlation between the Service Life and Traffic and Environmental Factors

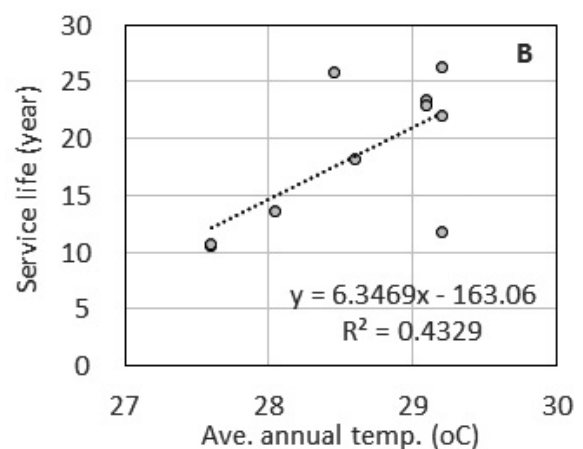
Type		Total	A	B	C	D
Traffic	AADT	-0.20	-0.66	-0.06	+0.02	-0.52
	ESAL	+0.12	-0.68	-0.01	+0.57	-0.23
Annual air temp.	Ave.	-0.09	-0.27	+0.66	-0.27	-0.21
	Max.	-0.05	-0.06	+0.57	-0.27	-0.34
	Min.	+0.03	-0.20	+0.40	-0.16	-0.06
Precipitation	Max. daily	-0.29	-0.06	-0.52	-0.29	-0.17
	Annual	-0.26	-0.13	+0.00	-0.41	+0.27

위의 상관성 분석을 통하여 공법 A, B, D는 교통량의 영향을, 공법 B는 환경인자에 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 반면에 공법 B는 환경 또는 지역특성에 영향을 받는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 상관계수가 높은 공법 A의 공용수명과 ESAL, 공법 B의 공용수명과 일최대강수량과의 관계를 나타낸다. 공법 A의 경우 ESAL이 증가할수록 공용수명이 감소하고, 공법 B의 경우 연평균온도가 올라갈수록 공용수명이 증가하는 경향을 가진다. 하지만 각각의 경우에서의 결정계수(R^2)가 0.5 미만으로 교통량 또는 온도만의 영향으로 공용수명을 단순하게 평가하기에는 신뢰성이 떨어진다고 할 수 있다. 따라서 향후 연구를 통하여 포장두께, 하부상태 등의 구조적 상태, 유지보수 이력 및 품질관리와 같은 영향도 고려해야 한다고 판단된다.



(a) Type A



(b) Type B

Fig. 6 Effect of ESAL and Average Annual Temperature on the Service Life of the Overlay

4. 결론

본 연구에서는 일반국도에 적용한 장수명 아스팔트 덧씌우기 포장에 대한 공용성을 일반국도 PMS에서 매년 실시하는 현장 추적조사 결과를 이용하여 평가하였다. 다양한 장수명 아스팔트 포장 중 SMA와 PMA 등 4가지 공법에 대하여 균열과 소성변형에 대한 공용수명을 평가하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 장수명 아스팔트 포장의 공용수명은 일반 아스팔트 포장에 비해 공용수명이 50% 이상 향상된 것으로 나타났다.
2. SMA 계열의 장수명 포장의 균열저항성이 우수하고, PMA 계열의 장수명 포장은 소성변형저항성이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구에서 대상으로 한 장수명 포장의 잔존수명이 대부분 10여년 이상이므로 보다 신뢰성 있는 공용수명 평가를 위해서는 추후 추적조사가 필요하다고 판단된다. 또한 지역의 특성, 즉 기온, 강수량, 토질, 교통량이 장수명 포장의 공용성에 미치는 영향을 평가하여, 최적의 장수명 포장을 적용할 수 있는 기준을 설정하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 “장수명 포장의 활성화 방안 연구” 및 “일반국도 포장관리시스템 운영” 연구의 연구과제비로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

BIBLIOGRAPHY

Cho, K.T. (2002) Evaluation of Performance and Construction the New National Test Road Sites of Modified Asphalt, Proceedings of Korea Society of Road Engineers, Vol. 4, No. 3, pp.43-49.

Lee, K.H. et al. (2012) The development of the composite pavement structure for heavy duty traffic and thin overlay system using polymer concrete, Final Report, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

Lee, S.H, Yoo, P.J., Yoo, I.K. and Cha, S.M. (2000) Field Performance and Cost Effectiveness of Polymer Modified Asphalt, Proceedings of Korea Society of Civil Engineers, Vol. 4, pp.281-284.

MOLIT (2013) 2013 National highway pavement management system, Final report, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Park, S.Y. (2002) Technical Information: Application State of SMA in Georgia, USA, Road, Korean Society of Road Engineers, Vol. 4, No. 3, pp.67-69.

Park, H.M. (2004) Concept and Literature Review on Long-Life Asphalt Pavements in Foreign Countries, Technical News, Construction Supervision.

Song, S.G., Lee, J.H., Lee, H.J. and Hwang, E.Y. (2005) Performance Evaluation of Perpetual Asphalt Pavements Using an Accelerated Pavement Tester, International Journal of Highway Engineering, Vol. 7, No. 3, pp.1-10.

Smith, K. L., Titus-Glover, L., Rao, S., Von Quintus, H. L., and Stanley, M. (2006) Life-cycle Cost Analysis of SMA Pavements and SMA Application Guideline, Wisconsin Highway Research Program, Madison, WI, USA.

Yoo, I.K. and Lee, S.H. (2001) Field Performance and Economic Analysis of SBS Modified Asphalt Pavement, Proceedings of Korea Society of Road Engineers, Vol. 3, No. 1, pp.93-99.

Yoo, P.J. and Kim, K.H. (2014) Thermo-plastic Fiber's Reinforcing Effect on Hot-Mix Asphalt Concrete Mixture, Construction and Building Materials, Vol. 59, pp.136-143.