

교통량 및 제설제 사용량에 따른 고속도로 포장의 공용수명 분석

A Study to Analyze Service Life of Expressway Pavement according to Traffic Volumes and De-icing Chemicals

김 찬 우	Kim, Chan-Woo	정회원 · 한국도로공사 도로처 팀장 (E-mail : cwsj2001@ex.co.kr)
안 수 한	An, Soo-Han	한국도로공사 도로처 차장 (E-mail : ashultra@ex.co.kr)
박 희 영	Park, Hee-Young	정회원 · (주)로드코리아 기술연구소 차장 (E-mail : heegooda@gmail.com)
이 정 훈	Lee, Jung-Hun	정회원 · (주)로드코리아 기술연구소 소장 · 교신저자 (E-mail : hun1347@gmail.com)
정 철 기	Jung, Chul-ki	(주)로드코리아 대표이사 (E-mail : ccg1231@gmail.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to analyze the service life of expressway pavement based on both traffic volumes and use of de-icing chemicals.

METHODS : A database was built using expressway rehabilitation history information from over the last decade. In order to estimate the service life of expressway pavement, various analysis methods were considered, and a decision was made to perform analysis using a method based on an accumulated rehabilitation ratio. The service life of expressway pavement was then analyzed by classifying the scale of traffic volume and extent of de-icing chemicals used.

RESULTS : The service life of PMA and SMA ranged from 7.8 to 10.6 years and from 9.9 to 12.0 years, respectively. The service life of JCP ranged from 16.0 to 22.2 years, and the service life of CRCP was 33.5 years on average. Results of assessing service life according to traffic volumes and de-icing chemicals showed that the lower the traffic volumes were, the greater the service life of PMA and JCP, and the less that de-icing chemicals were applied, the greater the service life of JCP.

CONCLUSIONS : The dependence of expressway pavement service life on traffic volumes and de-icing chemicals makes it possible to apply LCCA for regional maintenance plans and cost-effective selection of expressway pavement type.

Keywords

service life, expressway, traffic volume, de-icing chemical

Corresponding Author : Lee, Jung-Hun, Ph.D.
Head of Research Institute, Roadkorea Inc.
Rm 1602, KDB U-Tower, 120, Heungdeokjungang-ro,
Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-982, Korea
Tel : +82.31.627.5109 Fax : +82. 31.378.4854
E-mail : hun1347@gmail.com

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received Nov. 3, 2014 Revised Nov. 8, 2014 Accepted Jan. 20, 2015

1. 서론

국내 고속도로의 총연장은 2013년을 기준으로 17,665km(1차로 기준)에 달한다. 또한 전국 간선도로망 확충계획(남북방향 7개축, 동서방향 9개축)과 교통량 증

가로 인한 교통 지·정체 해소를 위한 고속도로 확장 계획 까지 고려하면 이는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 이를 종합적이고 체계적으로 관리하기 위하여 자산관리시스템(Asset Management System)의 일환으로 고

속도로 포장유지관리시스템(Highway Pavement Management System; 이하 HPMS)이 운영되고 있다.

HPMS는 고속도로 포장의 조사 및 분석을 통하여 포장의 상태를 평가하고 보수구간을 선정하는 네트워크 수준(Network Level)과 의사결정과정을 통하여 보수 범위(정도)와 공법을 결정하고 보수효과와 비용을 산출하여 최적의 대안을 제공하는 프로젝트 수준(Project Level)으로 구분된다. 일반적으로 프로젝트 수준에서의 의사결정과정에서는 비용에 따른 효과분석을 위해 생애주기비용분석(Life Cycle Cost Analysis; 이하 LCCA)을 실시하는데 이에 기초적으로 필요한 입력요소가 포장의 공용수명(Service Life)이다. LCCA에서는 포장의 공용수명의 미세한 차이로 인해 대안선정의 결과가 뒤바뀌는 경우도 있어 정확한 포장의 공용수명을 적용하는 것이 필수적이다. 그러나 포장의 공용수명은 교통인자(교통량, 중차량 비율, 통행속도 등), 환경인자(기온, 강우 및 강설량, 강우 및 강설일수, 동결지수, 제설제 사용량 등), 포장재료, 시공여건, 공용기간 등 다양한 영향인자에 따라 다르기 때문에 포장의 공용수명을 규정하기가 쉽지 않다. 현재 고속도로 기본 및 실시 설계 시 포장형식 선정을 위한 경제성 분석에서는 포장의 설계수명을 포장형식에 따라 획일적으로 가정하여 적용하고 있으며, 고속도로 포장의 유지관리 시 최적 대안 선정을 위한 LCCA에서는 HPMS를 통해 개발한 공용성 예측모형을 통한 포장형식별 공용수명을 적용하고 있어 보다 정확한 교통, 환경, 지역에 따른 포장의 공용수명 산출이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 포장의 공용수명 분석기법을 정립한 후 고속도로 포장의 시공 및 유지보수관련 자료와 HPMS 자료를 이용하여 고속도로 포장의 공용수명을 분석하고 교통 및 환경에 따른 변화를 분석하고자 한다.

2. 문헌고찰

본 연구를 수행하기 앞서 적정한 연구방향을 설정하기 위해 국내외 유관기관에서 정의하고 있는 포장의 공용수명과 공용수명 산출방법에 대하여 고찰하였다.

국도의 경우 아스팔트포장에 대하여 1986년부터 2010년까지 시행된 1,353개 구간의 유지보수이력을 이용하여 실측 유지보수 시점간의 차이를 “관측수명”으로, 분석과정에서 예측된 수명은 “기대수명”으로 정의하여 국도포장(신설/재포장)의 공용수명을 산출하였으며(한대석, 2012), 포장관리시스템(Pavement Management

System; 이하 PMS)을 이용하여 최근 10년간의 포장 데이터를 이용하여 교통하중의 크기에 따라 세 등급(Low : 0.20 MESAL 이하, Medium : 0.21~0.50 MESAL, High : 0.51 MESAL 이상)으로 구분하여 포장의 노화에 따른 평균수명을 산출하였다(도명식, 2010). 또한 2003년부터 2006년까지의 PMS 데이터를 이용하여 마르코프 위험률을 고려하여 포장의 수명을 산출하였으며(Kobayashi, 2010), 2007년부터 2010년까지의 PMS 데이터를 이용하여 베이지안 마르코프 위험률을 고려하여 포장의 수명을 산출하였다(한대석, 2012).

Table 1. Service Life of Asphalt Pavement in National Highway

Researcher		Service life(years)	
Han, Do(2012)		9.97	
Do(2012)	Traffic	Low	7.896
		Medium	7.181
		High	6.511
Han(2012)		6.49	
Kobayashi(2010)		9.21	

고속도로의 경우 기본 및 실시설계 시 포장형식 선정을 위한 경제성 분석에서는 포장의 설계수명을 아스팔트포장은 5~10년(일반아스팔트 5년, SMA 또는 개질아스팔트 10년)으로, 콘크리트포장(무근 콘크리트포장:JCP)은 20년으로 가정하고 있다. 또한 HPMS 데이터베이스를 이용한 포장형식에 따른 공용성 예측모형을 개발하여 중장기 포장관리를 위한 계획 수립에 적용하고 있다.

Table 2. Performance Prediction Model for Expressway Pavement

Pavement type	Performance prediction model
AC	$HPCI_n = HPCI - 0.095 \times n$
PCC	$HPCI_n = HPCI - 0.072 \times n$

미국의 경우 포장의 수명에 대한 정의는 대부분 비슷하나 주(State) 마다 약간의 차이를 보이는데 미네소타 교통국(MnDOT)은 아스팔트포장의 경우 시공 후 첫 번째 덧씌우기(Overlay)를 시행하기까지의 기간으로, 콘크리트포장의 경우 시공 후 첫 번째 줄눈보수(Joint Repair)를 시행하기까지의 기간으로 정의하고 있으며, 미주리 교통국(MoDOT)와 메릴랜드 교통국(MDSHA)에서는 시공 후 첫 번째 복구(Rehabilitation)를 시행하기까지의 기간으로 정의하고 있다.

Table 3. Pavement Service Life in USA

DOT		AC	PCC
MDSHA		14.8	24.0
MDOT		11.5	33.7
MoDOT		20.4	31.4
WSDOT	Western	18.5	19.0
	Eastern	12.4	29.5

미국 콘크리트포장협회(American Concrete Pavement Association)에서는 포장의 공용수명을 시공 후 첫 번째 표면처리를 시행하기까지의 기간으로 정의하고 있으며 일반적으로 아스팔트포장의 경우 6년~20년, 콘크리트포장의 경우 13년~35년으로 제시하고 있다.

국내·외 유관기관의 포장수명에 대한 정의와 산출수명을 정리하면, 기관마다 포장의 공용수명에 대한 정의가 조금씩 상이하나 대체적으로 포장에 전면적인 보수공법(덧씌우기, 재포장 등)이 적용되지 않고 도로이용자에게 양질의 서비스를 제공할 수 있는 기간으로 귀결되는 것을 알 수 있다. 또한 기관마다 산출한 포장의 공용수명이 상이한 것을 알 수 있는데 이는 공용수명에 대한 정의와 산출기법이 다르고 분석구간마다 포장에 쓰이는 공법과 재료 그리고 구간(지역)별로 포장의 공용수명에 영향을 미치는 교통 및 환경 등이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

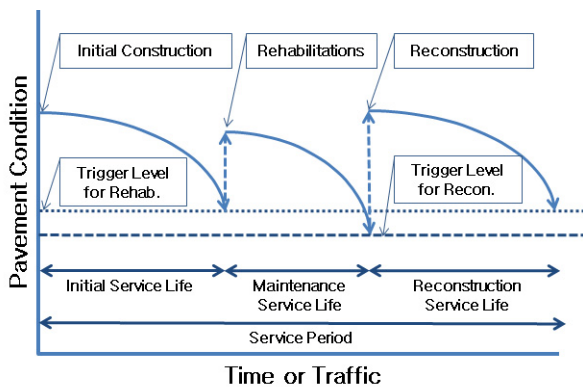


Fig. 1 General Concept of Pavement Life

3. 공용수명 분석기법 정립

3.1. 공용수명의 정의

국내에서는 포장의 유지관리를 공용초기에 균열처리공법(Sealing), 표면처리공법(Surfacing)과 같은 예방

적 유지관리공법을 적용하며, 이후 패칭(Patching), 단면보수, 다이아몬드그라인딩(Diamond Grinding)과 같은 수선유지공법을 적용한다. 또한 예방적 및 수선유지공법으로 더 이상 포장의 공용성능을 회복할 수 없을 때 전면적 개량공법을 시행한다. 일반적으로 전면적 개량공법이 적용되는 구간은 기존 포장의 수명이 다한 구간으로 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 포장의 공용수명을 초기 시공(Initial Construction) 후 첫 번째 전면적 개량공법이 시행되기까지의 기간으로 정의하고 포장의 공용수명을 산출하고자 하였다.

3.2. 공용수명 분석기법

포장의 공용수명은 분석구간에 대하여 누적보수율이 100%에 도달하였을 때 각 보수구간의 공용기간을 기초로 산정되는 것이 바람직하나 현재 고속도로의 노선 및 구간 중 상당수가 유지보수가 많이 시행되지 않은 신설 구간이기 때문에 평균 공용기간을 이용한 포장의 공용수명 산출방법을 적용하기가 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 덧씌우기 실적이 충분히 축적된 노선 및 구간에 대하여 덧씌우기 시행 전까지의 공용기간을 분석하고 산정된 평균 공용기간에 해당하는 누적보수율 산정을 통해 덧씌우기 실적이 충분하지 않은 구간의 공용수명을 예측하였다.

본 파일럿 분석을 위해 포장형식별로 덧씌우기 비율이 거의 100%에 도달한 호남고속도로 지선의 콘크리트포장(논산JCT~회덕JCT)과 제2경인고속도로의 아스팔트포장(시점~서창JCT간)의 덧씌우기 구간에 대하여 덧씌우기 구간별 평균 공용기간을 분석하고 이에 해당하는 누적보수율을 선정하였다.

Table 4. Overlay Length for Pilot Analysis

Expressway (Pavement)	Length (km)	Overlay (km)
Honam Expressway Branch Line (PCC)	89.34	84.69
Second Gyeongin Expressway (AC)	34.61	29.68

파일럿 분석결과, 호남고속도로 지선 콘크리트포장의 준공 후 첫 번째 덧씌우기가 시행되기까지의 평균 기간은 18.7년으로 나타났으며, 준공 후 누적보수율이 25%에 도달하는데 걸리는 기간은 16.8년, 50%에 도달하는

데 걸리는 기간은 17.8년, 75%에 도달하는데 걸리는 기간은 19.9년으로 나타났다. 또한 제2경인고속도로 아스팔트포장의 준공 후 첫 번째 덧씌우기가 시행되기까지의 평균 기간은 11.4년으로 나타났으며, 준공 후 누적보수율이 25%에 도달하는데 걸리는 기간은 8.4년, 50%에 도달하는데 걸리는 기간은 10.7년, 75%에 도달하는데 걸리는 기간은 13.7년으로 나타났다. 본 분석에서 평균 공용기간이 누적보수율 50%를 상회하는 것으로 나타났는데 본 연구에서는 보수적으로 누적보수율 50%를 평균 공용수명으로 설정하였다.

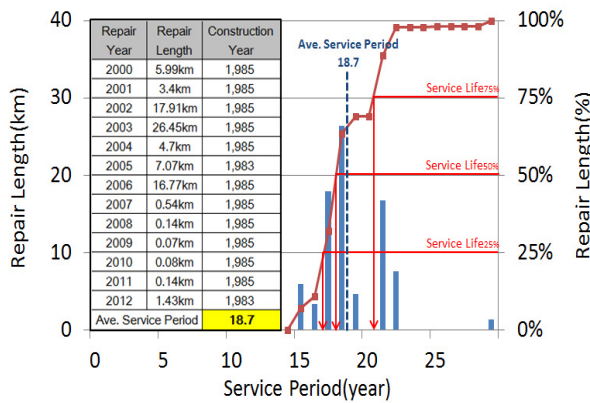


Fig. 2 Service Life in Honam Expressway Branch Line using Rehabilitation History

Table 5. Service Life and Period by Pilot Analysis

Expressway (Pavement)	Accumulated repair ratio method(①)		Average service period method (year, ②)	Proportion (% , ①/②)
	Ratio	Service life		
Honam Expressway Branch Line (PCC)	25%	16.8	18.7	90.0
	50%	17.8		94.9
	75%	19.9		106.4
Second Gyeongin Expressway (AC)	25%	8.4	11.4	74.0
	50%	10.7		93.7
	75%	13.7		120.7

또한 공용년도에 따른 누적보수율을 분석한 결과, Fig. 3과 같이 누적보수율이 50%에 도달하였을 때 덧씌우기 실적이 크게 증가하는 것으로 보아 일반적으로 포장에서 누적보수율이 50%에 도달할 때 포장의 공용 성능이 크게 상실되는 것으로 판단되어 앞서 50% 누적보수율을 평균 공용수명으로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.



Fig. 3 Accumulated Repair Ratio (Honam Expressway Branch Line)

따라서 본 연구에서는 준공 후 누적보수율이 50%에 도달할 때까지의 기간이 그 구간의 공용수명을 대표한다고 보고 누적보수율을 이용하여 포장의 공용수명을 산출하고자 하였다.

4. 자료수집 및 정리

4.1. 자료수집

본 연구에서는 국내 고속도로 전 노선 17,665km(1차로 기준)을 대상으로 포장 시공관련 자료(신설, 확장 및 선형개량, 재포장에 대한 이력)와 2000년부터 시행된 전면적인 유지보수관련 자료(단면보수, 덧씌우기에 대한 이력)를 수집하였다. 또한 현재 운영 중인 HPMS 포장상태평가(HPCI, IRI, RD, SD) 및 포장형식 자료를 이용하여 일부 부족한 자료를 보완하였다.

4.2. D/B 구축

자료조사를 통해 확보된 자료는 각기 다른 관리자에 의해 다양한 방식으로 정리되었기 때문에 이를 통합하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 HPMS의 전방영상



Fig. 4 Verification of D/B by HPMS and Field Inspections

자료와 교량현황자료 등을 이용하여 고속도로 전 노선의 교량위치와 연장 등을 10m 단위로 표시한 절대이정을 설정하고 절대이정을 기준으로 모든 자료(준공, 유지보수, 포장상태자료 등)를 재정리하여 D/B를 구축하였다. 또한 HPMS 조사자료(전방영상, 노면영상, 포장종류 및 상태평가)와 현장조사를 통한 D/B의 검증 및 보완을 실시하여 D/B의 정확성을 높이고자 하였다.

4.3. 영향인자의 구분

포장의 공용수명에 영향을 미치는 요인은 교통인자(교통량, 중차량 비율, 통행속도 등), 환경인자(기온, 강우 및 강설량, 강우 및 강설일수, 동결지수, 제설제 사용량 등), 포장물성(강도, 강성 등), 공용기간, 지역특성, 시공능력(포설장비, 시공시기 등) 등 매우 다양하다. 이러한 영향인자는 포장의 형식 및 재료 등에 따라 포장에 영향을 주는 정도가 상이한데 본 연구에서는 포장의 공용성능에 영향을 주는 대표적인 영향인자인 교통량과 제설제 사용량을 고려하여 포장의 공용수명을 분석하고자 하였다.

포장에서는 하중의 횡수보다 축하중의 크기가 포장에 더 큰 영향을 미치기 때문에 연평균일교통량(Annual Average Daily Traffic; AADT)이 아닌 차로별 등가단축하중(Equivalent Single Axle Load; 이하 ESAL)을 산출하여 분류했으며, 제설제 사용량은 고속도로에 사용된 최근 5년간 제설제 사용량(ton/lane/km)을 이용하여 다음과 같이 분류하였다.

Table 6. Grade by ESAL and De-icing Chemicals

Grade	ESAL (ESAL/lane)	De-icing chemicals (ton/lane/km)
Low	$E \leq 2,000$	$D/C \leq 5$
Medium	$2,000 < E < 4,000$	$5 < D/C < 8$
High	$4,000 \leq E$	$8 \leq D/C$

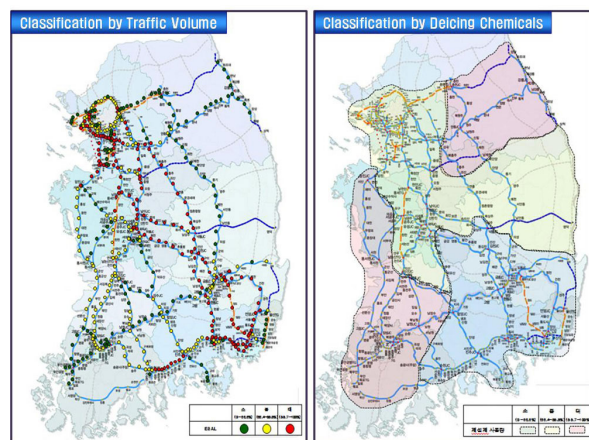


Fig. 5 Mapping by ESAL and De-icing Chemicals

5. 공용수명 분석

5.1. 전체

영향인자에 상관없이 전체 고속도로 포장의 형식 및 재료별 공용수명을 확인하기 위하여 아스팔트포장의 경우 폴리머개질아스팔트(Polymer Modified Asphalt; 이하 PMA)와 SMA(Stone Mastic Asphalt)로, 콘크리트포장의 경우 무근콘크리트포장(Jointed Concrete Pavement; 이하 JCP)와 연속철근콘크리트포장(Continuously Reinforced Concrete Pavement; 이하 CRCP)로 구분하였다. 본 분석에서는 일반적인 토공부에서의 포장의 공용수명을 분석하기 위하여 알칼리실리카반응(Alkali Silika Reaction; ASR)구간 및 연약지반(Soft Ground)구간과 같은 특이구간은 별도로 분류하여 분석하였다.

포장의 형식 및 재료별 평균 공용수명과 영향인자에 따른 공용수명 범위를 분석한 결과, 아스팔트포장의 경우 PMA의 평균 공용수명은 8.7년이며 공용수명의 범위는 7.8년에서 10.6년으로 나타났으며, SMA의 평균 공용수명은 10.5년이며 공용수명의 범위는 9.9년에서 12.0년으로 나타났다. 또한 콘크리트포장의 경우 JCP의 평균 공용수명은 19.9년이며 공용수명의 범위는 16.0년에서 22.2년으로 나타났으며, CRCP의 평균 공용수명은 33.5년으로 나타났다.

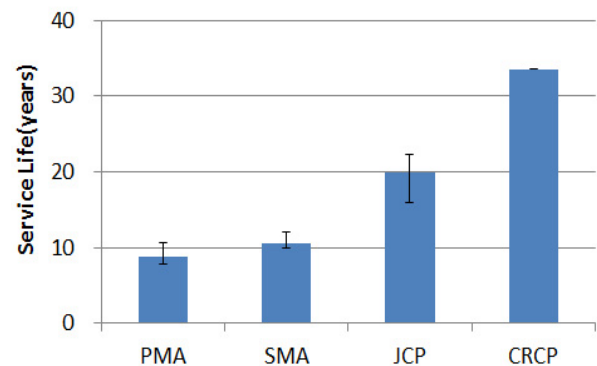


Fig. 6 Service Life of Expressway Pavements

한편, 연약지반구간에 적용된 PMA의 평균 공용수명은 4.8년으로 나타났으며, ASR가 발생한 JCP의 평균 공용수명은 10.1년으로 나타났다.

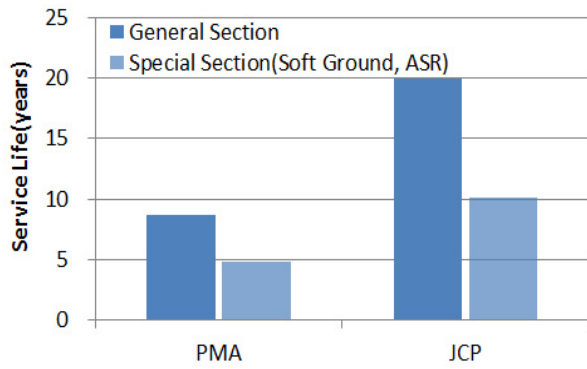


Fig. 7 Comparison of Service Life by General Section and Special Section

5.2. 교통인자 등급별 공용수명

본 연구에서 유지보수실적이 충분히 축적된 SMA와 CRCP 대상구간은 교통량 상위 33%인 ESAL 4,000대 이상에 해당되기 때문에 교통인자 등급별 비교분석이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 교통인자 등급별 비교분석이 가능한 아스팔트포장에서는 PMA와 콘크리트 포장에서는 JCP를 대상으로 교통인자 등급에 따른 포장의 공용수명을 분석하였다.

PMA에 대한 교통인자 등급별 공용수명을 분석한 결과, 차로별 ESAL이 2,000대 이하일 때 평균 공용수명이 9.7년이며 공용수명의 범위는 8.4년에서 10.6년으로 나타났으며, ESAL이 2,000대 초과 4,000대 미만일 때 평균 공용수명이 9.5년이며 공용수명의 범위는 6.9년에서 10.5년으로 나타났다. 또한 ESAL이 4,000대 이상일 때는 평균 공용수명이 8.2년이며 공용수명의 범위는 7.8년에서 8.2년으로 나타났다.

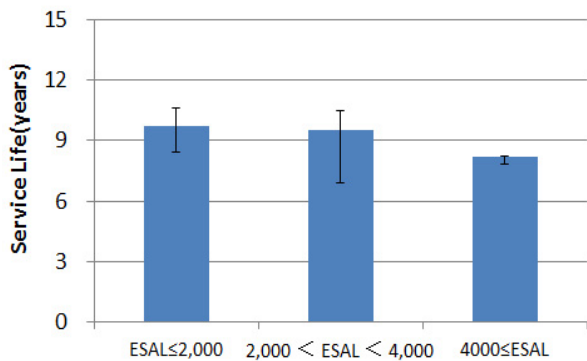


Fig. 8 Service Life of PMA Focused on Traffic Volume

JCP에 대한 교통인자 등급별 공용수명을 분석한 결과, 차로별 ESAL이 2,000대 이하일 때 평균 공용수명이 20.1년이며 공용수명의 범위는 19.9년에서 21.6년으

로 나타났으며, ESAL이 2,000대 초과 4,000대 미만일 때 평균 공용수명이 18.4년이며 공용수명의 범위는 17.1년에서 22.2년으로 나타났다. 또한, ESAL이 4,000대 이상일 때는 평균 공용수명이 16.6년이며 공용수명의 범위는 16.0년에서 18.0년으로 나타났다. 따라서 교통량이 증가할수록 포장형식에 관계없이 포장의 공용수명이 감소하여 교통량과 포장의 공용수명의 상관관계를 확인할 수 있었다.

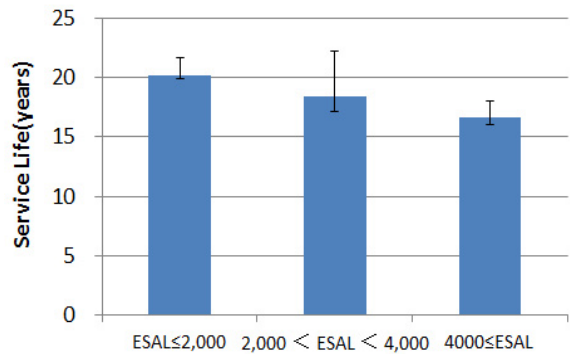


Fig. 9 Service Life of JCP Focused on Traffic Volume

5.3. 환경인자 등급별 공용수명

본 연구에서 유지보수실적이 충분히 축적된 CRCP가 적용된 구간은 제설제 사용량 상위 33%인 8ton/lane/km 이상에 해당되기 때문에 환경인자 등급별 비교분석이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 환경인자 등급별 비교분석이 가능한 아스팔트포장에서는 PMA와 SMA를, 콘크리트포장에서는 JCP를 대상으로 환경인자 등급에 따른 포장의 공용수명을 분석하였다.

JCP에 대한 환경인자 등급별 공용수명을 분석한 결과, 제설제 사용량이 5ton/lane/km 이하일 때 평균 공용수명이 22.2년으로 나타났으며, 제설제 사용량이 5ton/lane/km 초과 8ton/lane/km 미만일 때 평균 공용

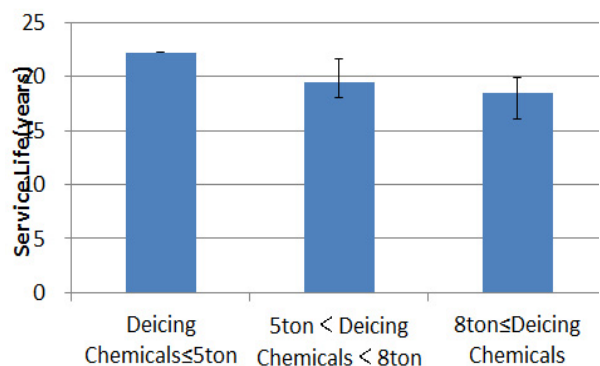


Fig. 10 Service Life of JCP Focused on De-icing Chemicals

수명이 19.4년이며 공용수명의 범위는 18.0년에서 21.6년으로 나타났다. 또한 제설제 사용량이 8ton/lane/km 이상일 때 평균 공용수명이 18.5년이며 공용수명의 범위는 16.0년에서 19.9년으로 나타나 제설제 사용량이 증가할수록 JCP의 공용수명이 감소하는 것을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 국내외 유관기관에서 정의하고 있는 포장의 공용수명과 산출방법을 통하여 포장의 공용수명 분석기법을 정립한 후 고속도로 포장의 시공 및 유지보수관련 자료와 HPMS를 이용하여 고속도로 포장의 공용수명을 분석하고 교통 및 환경인자에 대한 영향을 분석하였다.

포장형식 및 재료에 대한 공용수명 분석결과, 아스팔트포장의 경우 PMA는 8.7년, SMA는 10.5년으로 나타났으며, 콘크리트포장의 경우 JCP는 19.9년, CRCP는 33.5년으로 나타났다. 또한 연약지반구간에 적용된 PMA의 평균 공용수명은 일반구간 대비 55.2% 수준인 4.8년으로 분석되었으며, ASR가 발생한 JCP의 평균 공용수명은 일반구간 대비 50.8% 수준인 10.1년으로 분석되어 특이구간의 공용수명이 상대적으로 낮은 것을 확인하였다.

교통인자 등급별 분석에서는 콘크리트포장과 아스팔트포장에서 ESAL이 증가할수록 포장의 공용수명이 감소하는 것을 확인하였으며, 환경인자 등급별 분석에서

는 콘크리트포장에서 제설제 사용량이 증가할수록 포장의 공용수명이 감소하는 것을 확인하였다.

본 연구에서 분석한 포장의 공용수명을 바탕으로 환경 및 교통량을 고려한 고속도로 포장형식 선정에 위한 객관적인 경제성 분석이나 비용효과적인 유지보수대안 선정을 위한 LCCA, 중장기 사업계획 수립 등에 효과적으로 적용될 것으로 기대된다.

향후 평균 공용기간을 통한 분석방법 및 공용성 예측 모형을 통한 포장의 공용수명을 산출하여 본 연구결과와의 비교를 통하여 검토 및 보완의 과정이 필요할 것으로 판단된다.

BIBLIOGRAPHY

- Do, Myung-Sik(2010), Estimation of Mean Life and Reliability of Highway Pavement based on Reliability Theory, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.30, No.5D, pp. 497-504
- Han, Dae-Seok, Do, Myung-Sik(2012), Estimation of Life Expectancy and Budget Demands based on Maintenance Strategy, Journal of the Korea Institute of Construction Engineering and Management, Vol.32, No.4D, pp. 345-356
- Joseph N. Meade, David W. Janisch(2003), Pavement Type Determination Task Force Report, MnDOT
- Kiyoshi Kobayashi, Do, Myung-Sik, Han, Dae-Seok(2010), Estimation of Markovian transition probabilities for pavement deterioration forecasting, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.14, No.3D, pp. 343-351
- Lee, Yong-Jun, Lee, Min-Jae(2013), Estimation of the Region Road Pavement Life using Reliability Analysis, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, pp. 361-362