

## 국도포장 유지보수 공법 및 시기에 따른 편익산정 방안

### Methodology for Benefit Evaluation according to Maintenance Method and Timing of National Highway Pavement Section

도 명 식 Do, Myungsik  
권 수 안 Kwon, Soo Ahn  
최 승 현 Choi, Seunghyun

정희원 · 한밭대학교 도시공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : msdo@hanbat.ac.kr)  
정희원 · 한국건설기술연구원 선임연구위원 (E-mail : sakwon@kict.re.kr)  
정희원 · 한밭대학교 대학원 석사과정 (E-mail : shcellfie@gmail.com)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study aims at proposing the methodology for benefit evaluations in pavement maintenance methods and timings using KoPMS(Korean Pavement Management System) software which was developed for efficient pavement management.

**METHODS :** This study classified pavement sections into 4 clusters considering AADT(Annual Average Daily Traffic) and ESAL(Equivalent Single-Axle Load) using cluster analysis and used the deterioration models in each cluster. Increased user costs due to pavement deterioration as time goes by and agent costs for maintenance were estimated. Based on deterioration model and KoPMS software, Methodology for benefit evaluation was proposed in pavement maintenance methods and with/without implementation using real pavement section data.

**RESULTS :** This study verified that considering agent costs only would be constrained to decide pavement maintenance methods and timings, and ascertained that decision making with agent and user costs would be effective. In addition, this study revealed that pavement maintenance methods and timings can be affected by AADT and ESAL and frequent pavement maintenances can be more efficient for benefits in pavement sections with more AADT and ESAL. Also this study found that user costs would be more affected to decision making than agent costs. Moreover, Delay of conducting pavement maintenance caused increased vehicle operating costs and environmental costs because of poor conditions of pavements.

**CONCLUSIONS :** This study proposed LCCA and benefit estimation methodology of pavement with considering agent and user costs. The results of this study can be used for baseline data of efficient pavement asset management.

#### Keywords

*pavement maintenance methods and timings, pavement management system, benefits, KoPMS*

Corresponding Author : Do, Myungsik, Professor  
Dept. of Urban Engineering, Hanbat National University,  
Dongseodae-Ro, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-719, Korea  
Tel: +82.42.821.1192 Fax: +82.42.821.1185  
E-mail : msdo@hanbat.ac.kr

International Journal of Highway Engineering  
<http://www.ijhe.or.kr/>  
ISSN 1738-7159 (Print)  
ISSN 2287-3678 (Online)

#### 1. 서론

1980년대 후반부터 일반국도의 포장을 합리적이고 체계적으로 관리하기 위해 포장관리시스템(PMS:

Pavement Management System)이 도입되어 현재에 이르고 있으며 최근에는 예방적 유지보수기법과 자산관리기법 등을 응용한 사례연구도 활발히 이루어지고 있

다(한국건설기술연구원, 2013; 국토교통부, 2013).

효율적인 포장관리를 위해서는 정확한 공용성(performance) 추정을 기반으로 적절한 시기에 적절한 공법으로 유지보수가 이루어져야 하며 이때 관리자 비용(agency cost) 뿐만 아니라 실제로 도로를 이용하는 이용자 비용(user cost)을 포함한 경제성 분석이 이루어져야 하며, 이는 세계적인 추세이다(Christopher and Greenwood, 2000; 한대석 외, 2007; NCHRP, 2004).

현재 우리나라의 포장관리를 위한 공용성 추정과 유지보수 시기 및 공법의 결정은 일반국도의 포장관리시스템이 도입될 당시부터 World Bank를 주축으로 개발된 HDM(Highway Development and Management)을 기반으로 하고 있으며, 2011년부터 당시 국토해양부의 지원 하에 한국건설기술연구원(KICT)과 한밭대학교에서 우리 실정에 맞는 포장관리 의사결정시스템을 개발(KoPMS: Korean Pavement Management System)하여 실제 활용을 앞두고 있다(한국건설기술연구원, 2013; 국토교통부, 2013).

따라서 본 연구에서는 새로 개발된 한국형 포장관리 시스템(KoPMS)의 활용성을 검증하고 향후 추가 연구가 필요한 기능 및 모듈을 파악하기 위한 연구의 일환으로 유지보수 공법과 시기에 따른 편익을 산정하는 방안을 제시하고자 한다. 다만, 분석 대상구간의 장래 교통량의 변화는 도로포장 공용성(수명)에 큰 영향을 미치며 경제성 분석뿐만 아니라 최적유지보수 시점 및 공법 결정에 매우 중요한 외부 인자이지만 본 연구의 목적에 초점을 맞추기 위해 교통량의 변동은 현재의 수준을 그대로 유지하는 것으로 가정하여 분석하였음을 밝힌다.

## 2. 생애주기비용분석과 공용성

### 2.1. 생애주기비용분석

생애주기비용(Life Cycle Cost; LCC)은 분석 대상 시설물의 계획단계에서부터 구조물의 폐기처분 시까지 소요되는 모든 비용, 즉 계획·설계비, 건설비, 유지관리비, 폐기물 처리비용을 모두 합한 것으로 구조물의 공용수명기간에 필요한 모든 비용을 말한다(이영욱 외, 2007).

도로포장의 경우 생애주기비용은 노선계획 단계에서부터 건설에 투입된 경비와 일정한 포장의 상태를 유지하기 위해 소요되는 유지관리비용 그리고 폐기물 처리비용 등을 모두 포함한 비용이며, 설계비와 폐기물 처리비용 그리고 포트홀 보수 등 매년 일정하게 투입되는 유

지비용(annual maintenance cost)은 타 대안과의 비교·검토에 영향을 미치지 않기 때문에 통상 생애주기비용분석에서 제외된다.

따라서 본 연구에서는 생애주기비용분석 기간 동안에 공공기관이 유지보수를 위해 투입된 비용을 관리자 비용(agency cost)으로 간주하고 이용자 비용(user cost)은 객관성을 확보하기 위해 정부에서 발간된 지침(국토해양부, 2011)의 평가항목 및 산정방안을 그대로 따르기로 한다.

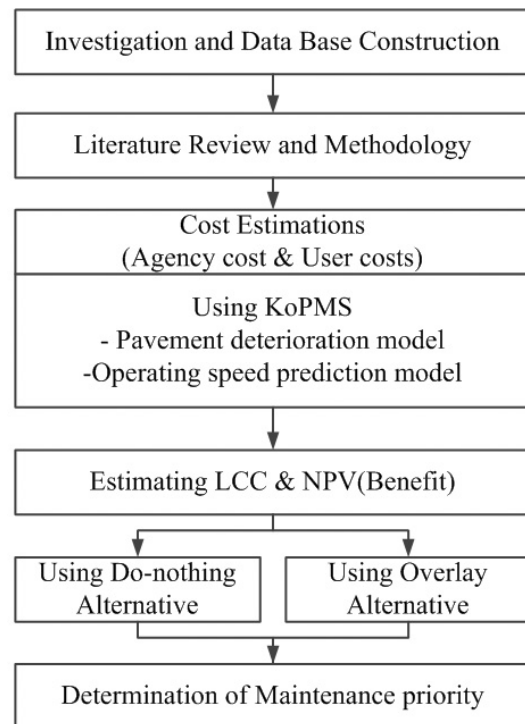


Fig. 1 Procedure for This Study

한편 유지보수 공법 및 시기에 따른 편익의 산정을 위해서는 기준대안(base alternative)의 선정이 필요하며 본 연구에서는 유지보수 시기에 도달한 포장구간에 대해, 1) 아무런 보수대응을 시행하지 않은 경우(do-nothing)와 2) 가장 저렴하면서 일반적인 보수공법으로 채택되는 오버레이(overlay)로 유지보수를 시행하는 경우로 구분하여 분석을 수행하였다.

국토교통부의 도로관련 투자사업의 수행에 앞서 비용과 편익의 산정치침(국토해양부, 2011)에 의하면, 이용자비용의 경우 통행시간의 절감, 차량운행비용의 절감, 대기오염 발생량 감소, 온실가스 발생량 감소, 차량소음 발생량 감소 및 교통사고비용 절감 등이 제시되어 있지만 이 가운데 교통사고의 경우 포장상태의 차이와 사고발생과의 연관성을 찾기가 불가능하여 제외하였다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 유지보수가 필요한 시점에 유지보수가 이루어지지 않는(do-nothing) 상태가 계속 진행되면 이용자 비용은 계속 증가하게 된다. 반면 유지보수가 필요한 시점( $X_{t1}$ ,  $X_{t2}$ ,  $X_{t3}$ )에 보수가 이루어지는 경우에는 포장의 표면상태가 초기상태(initial condition)로 호전되어 이용자 비용은 하한값(lower benefit cutoff value)에 도달했다가 다시 포장의 상태가 악화됨에 따라 증가하게 된다(NCHRP, 2004).

따라서 적절한 시점에 유지보수가 이루어지지 않았을 때의 이용자 비용과 어떠한 공법으로 유지보수가 이루어졌을 경우의 이용자 비용의 차이를 편익으로 간주하면 Eq. (1)과 같이 산정할 수 있다(Peshkin et al., 2004).

만약 유지보수 기준대안이 특정 유지보수 공법이 되는 경우에도 마찬가지로 기준대안과 비교하고자 하는 유지보수 공법의 각 시점에서의 이용자 비용의 차이를 합계하면 상대적인 편익을 산정할 수 있다.

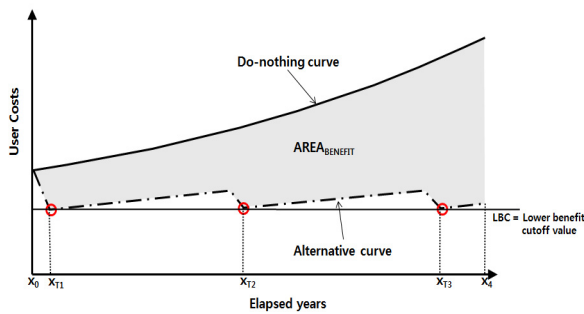


Fig. 2 User cost and Benefit

$$\begin{aligned}
 AREA_{BENEFIT} = & \int_{X_0}^{X_1} (EQ_{DN} - LBC) - \int_{X_{T3}}^{X_1} (EQ_{PT} - LBC) \\
 & - \int_{X_{T2}}^{X_{T3}} (EQ_{PT} - LBC) - \int_{X_{T1}}^{X_{T2}} (EQ_{PT} - LBC) \\
 & - \int_{X_0}^{X_{T1}} (EQ_{PT} - LBC) \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서,  $EQ_{DN}$  : 기본대안의 이용자 비용

$EQ_{PT}$  : 대안(유지보수 후)의 이용자 비용

$LBC$  : 유지보수 후의 최소 이용자 비용

$X_0$  : 분석기준년도

$X_4$  : 총 분석기간

$X_{Tn}$  : 유지보수시기 ( $n = 1, \dots, 3$ )

## 2.2. 포장의 특성에 따른 공용성

포장의 공용성에는 여러 가지 요인들이 영향을 미치지만 그 중에서도 교통특성과 외부환경요인에 크게 좌우된다. 특히 교통량의 절대적인 크기와 함께 포장표면에 가해지는 강도의 크기가 영향이 크기 때문에 본 연구에서도 기존 연구의 성과를 반영하여 연평균일교통량(AADT: Annual Average Daily Traffic)과 등가단축하중(ESAL: Equivalent Single-Axle Load)을 변수로 포장단면을 4그룹으로 구분하고 각 그룹별 공용성(포장파손예측) 모형을 추정하였다(국토해양부, 2013).

Fig. 3에는 4개의 그룹으로 구분한 개념도를 나타내고 있으며, Table 1에는 각 군집별 해당 구간 수와 군집 분석을 통해 결정된 그룹간의 임계값 그리고 각 군집별 포장상태의 연간 악화량을 균열, 러팅, IRI로 구분하여 나타내고 있으며, AADT와 ESAL이 상대적으로 커질수록 연간 포장상태의 악화량이 커짐을 알 수 있어 포장표면에 부하되는 교통량과 하중의 강도에 따라 포장의 공용성이 차이가 있음을 알 수 있다(권수안 외, 2002; 국토교통부, 2013).

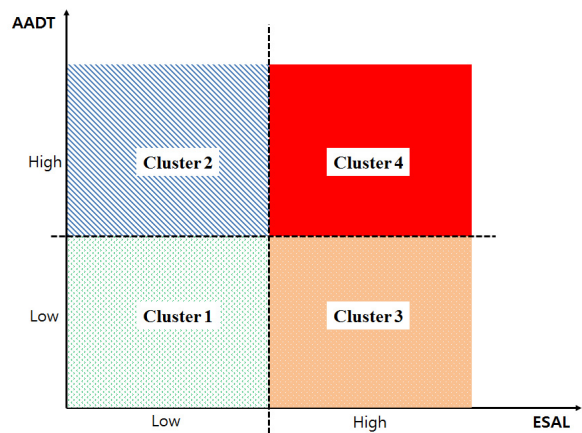


Fig. 3 Sectional Cluster by AADT and ESAL

Table 1. Result of Cluster Analysis

Type	No. of Section	ESAL (vol/day/lane)	AADT (vol/day/lane)	Annual amount of damage		
				Crack (%)	Rutting (mm)	IRI (m/km)
Cluster 1	1,550	410 below	4,950 below	1.739	1.286	0.236
Cluster 2	62	410 below	4,950 over	1.767	1.286	0.256
Cluster 3	233	410 over	4,950 below	2.342	1.463	0.295
Cluster 4	263	410 over	4,950 over	2.596	1.606	0.354

### 3. 유지보수 시기 및 공법에 따른 편익산정

#### 3.1. 유지보수 시기 및 공법결정

효율적인 도로의 관리는 유지보수를 위한 직접비용(관리자 비용)뿐만 아니라 도로를 이용하는 이용자들이 지불해야 하는 비용(통행시간, 유류비용, 환경비용 등)도 절감할 수 있기 때문에 선진국을 중심으로 도로관리를 위한 의사결정을 위해 관리자 비용과 이용자 비용을 모두 고려하여 최적의 시점에 적정 공법을 선정하고자 노력하고 있다(Peshkin et al., 2004; NCHRP, 2004).

다만, 각 국가나 지역별로 재정적인 여건 및 기상환경 등이 서로 상이하여 유지보수를 위한 표면상태의 기준은 실정에 맞게 규정하고 있으며, 우리나라의 경우 Fig. 4에서 보는 바와 같이 포장 표면상태를 조사한 자료를 기반으로 러팅, 균열 그리고 ESAL을 이용하여 유지보수 공법을 결정하고 있다(국토교통부, 2013).

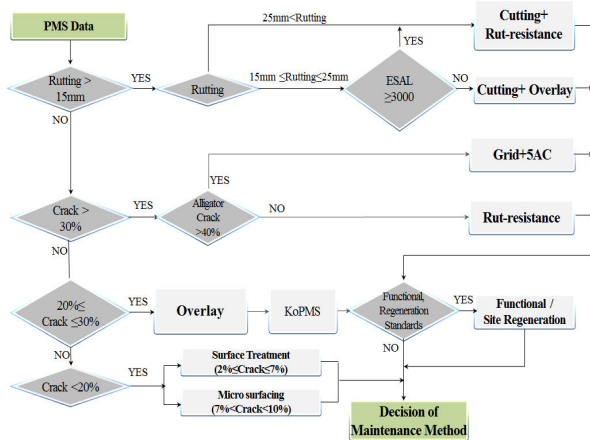


Fig. 4 Flowchart for Maintenance Method Determining

나아가 각 공법별 공사단가는 Table 2에서와 같이 2차로(약 7m)를 1km 유지보수하는데 필요한 경비를 기본단위로 제시하고 있으며, 유지보수 연장이 정해지면 기본단가를 이용하여 실제 관리자 비용을 산정하게 된다. 본 연구에서는 관리자 비용은 유지보수에 직접적으로 투입된 비용으로 한정한다.

### 3.2. 편익산정

유지보수의 시행으로 인한 편익의 산정방안을 제시하기 위해 본 연구에서는 현재 국토해양부의 교통시설 투자평가지침(2011)에 명기된 항목만을 대상으로 하였다. 이는 평가과정, 방법 및 결과의 객관성을 확보하기 위함이며, 앞 절에서 언급한 바와 같이 교통사고로 인한 비용 절감은 제외하였다.

한편 편익산정을 위한 기준대안(base alternative)으로 유지보수 시기에 도달한 포장구간에 대해, 1) 아무런 보수 대응을 시행하지 않은 경우(do-nothing)와 2) 가장 저렴하면서 일반적인 보수공법으로 채택되는 오버레이(overlay)로 유지보수를 시행하는 경우로 구분하여 분석을 수행하였다.

#### 3.2.1. Do-nothing 대안과 비교

먼저 기준대안을 무보수(do-nothing)로 선정하고 시간의 경과에 따른 포장상태의 변화(악화)에 따라 이용자 비용의 추이를 산정하고 이를 토대로 무보수(do-nothing)와 보수공법별(alt\_i) 이용자 비용의 차이를 편익으로 산정하였다.

이용자 비용 가운데 통행시간비용(TT: travel time)의 절감으로 인한 편익의 산정은 Eq. (2)와 같다. 즉 각 대안별(do-nothing 포함) 통행시간에 따른 이용자비용의 차이(UCTT\_i)는 무보수일 경우의 이용자 비용에서 각 대안별 이용자 비용의 차이인 유지보수를 적정한 시기에 수행함으로써 얻을 수 있는 이용자 비용의 감소를 편익으로 산정하게 된다.

$$UCTT_i = TT_{do-nothing} - TT_{alt_i} \quad (2)$$

여기서,

$$TT_i = \left\{ \sum_l \sum_{k=1}^3 (T_{kl} \times P_k \times Q_{kl}) \right\} \times 365$$

Table 2. Maintenance Methods and Costs

Type	Alternatives	Intervention Criteria			Method	Unit cost (1,000won/7000m <sup>2</sup> )
		Rutting(mm)	Crack(%)	ESAL(vol/day)		
None	Base Alternative	-	-	-	Do-Nothing	0
Maintenance Priority	Alternative 1	15 below	20~30	-	Overlay	86,646
	Alternative 2	15 below	30 over	-	Rut-resistance	148,770
	Alternative 3	15 ~ 25	-	-	Cutting+ Overlay	119,503
	Alternative 4	25 over	-	-	Cutting+ Rut-resistance	182,797
15 over		-	3,000 over			

$TT_i$  : 링크  $l$  의 차종별 통행시간

$P_k$  : 차종별 시간가치

$Q_{kl}$  : 링크  $l$  의 차종별 통행량

$k$  : 차종 (1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

$D_{kl}$  : 링크  $l$  의 차종별 대·km

$VT_k$  : 해당속도에 따른 차종별 차량운행비용

$k$  : 차종(1:승용차, 2:버스, 3:화물차)

적정한 시점에 유지보수를 시행함으로써 절감할 수 있는 차량운행비용의 절감에 따른 편익도 마찬가지로 방법으로 Eq. (3)에 의해 산정할 수 있다.

$$UCVOC = VOC_{do-nothing} - VOC_{alt_i} \quad (3)$$

여기서,

$$VOC = \sum_l \sum_{k=1}^3 (D_{kl} \times VT_k \times 365)$$

그 외에도 환경오염 비용 및 온실가스비용 절감에 의한 편익과 소음비용 절감에 의한 편익 등의 산정은 동일한 방법을 이용하므로 생략하기로 한다.

분석 및 방법론의 정합성에 대한 검증을 위한 대상구간의 선정은 군집분석을 이용하여 AADT와 ESAL을 기반으로 4군집에 해당하는 구간을 하나씩 선정하였으며 각 대상구간 별 연장, 차로 수, 현재의 포장상태, AADT 및 ESAL 등 특성을 요약하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다.

Table 4에는 각 군집(Cluster)별로 선정된 대상구간

Table 3. Road Characteristics for Analysis

Sections	Length (km)	No. of Lanes	Crack (%)	Rutting (mm)	IRI (m/km)	AADT (vol/day)	ESAL (vol/day)	Cluster
RS_1	2.1	4	28.67	12.44	2.44	9,495	1,598	Cluster 1
RS_2	2.8	4	26.56	12.43	3.96	22,703	1,315	Cluster 2
RS_3	1.7	4	28.99	11.46	2.91	15,725	1,690	Cluster 3
RS_4	2.53	4	29.19	12.42	6.21	48,075	2,218	Cluster 4

Table 4. Economic Analysis Summary

(Unit : One Million won)

Type	Applicable Years	Frequency of Application	Agency Cost	User Costs	Total NPV	Annual average NPV	
RS_1 (C1)	Do-Nothing	-	-	148726.4	-	-	
	Overlay	2012/2025/2038	3	545.9	144950.4	1013.6	33.8
	Rut-resistance	2013/2032	2	624.8	145316.7	774.9	25.8
	Cutting+Overlay	2014/2027/2040	3	752.9	145005.2	907.5	30.3
	Cutting+Rut-resistance	2022	1	383.9	145803.7	727.8	24.3
RS_2 (C2)	Do-Nothing	-	-	370812.1	-	-	
	Overlay	2012/2025/2038	3	727.8	327748.4	16296.7	543.2
	Rut-resistance	2014/2032	2	833.1	331190.6	14377.5	479.3
	Cutting+Overlay	2014/2027/2040	3	1003.8	328900.1	15333.9	511.1
	Cutting+Rut-resistance	2022	1	511.8	338981.4	10404.8	346.8
RS_3 (C3)	Do-Nothing	-	-	152195.6	-	-	
	Overlay	2012/2022/2032/2042	4	589.2	137117.3	5253.8	175.1
	Rut-resistance	2013/2027/2041	3	758.7	138391.6	4614.2	153.8
	Cutting+Overlay	2015/2027/2039	3	609.5	137707.7	4822.8	160.8
	Cutting+Rut-resistance	2022/2041	2	621.5	140849.5	3463.6	115.5
RS_4 (C4)	Do-Nothing	-	-	788153.3	-	-	
	Overlay	2012/2021/2030/2039	4	876.9	604306.9	70386.4	2346.2
	Rut-resistance	2013/2026/2039	3	1129.2	614490.2	65052.3	2168.4
	Cutting+Overlay	2014/2025/2036	3	907.0	611848.3	65048.7	2168.3
	Cutting+Rut-resistance	2020/2037	2	925.0	636548.3	50067.9	1668.9

을 30년 분석기간을 통해 무보수(do-nothing)와 4가지 유지보수 공법(오버레이, 내유동, 절삭 오버레이, 절삭 내유동)을 적용한 결과를 요약한 것으로 유지보수 횟수, 관리자 비용, 이용자 비용 및 편익을 순 현재가치(NPV: Net Present Value)로 산정한 것을 확인할 수 있다.

Table 4에서 알 수 있는 바와 같이, 현재 유지보수를 위한 관리자 비용만을 포장관리시스템의 의사결정 기준으로 활용한다면 모든 군집에서 유지보수 횟수가 적은 절삭+내유동 포장이 최적 대안이 될 것이다.

절삭+내유동 포장의 경우 유지보수 기준이 소성변형 25mm 이상 이거나 소성변형 15mm 이상 이면서 동시에 ESAL이 3000 이상인 구간에 대해 유지보수를 시행하는 공법으로 상대적으로 유지보수 비용이 고가이다. 그러나 유지보수 기준이 상대적으로 높아(포장의 파손이 많이 진행된 경우) 분석기간 30년 동안 유지보수 횟수는 군집 1과 2는 1회 시행하지만, 군집 3과 4는 2회 시행하는 것으로 분석되었다.

따라서 현재와 같이 관리자 비용만을 고려하여 공법과 시기를 결정하면 상대적으로 고가이지만 포장의 상태가 나빠질 때까지 기다렸다가 유지보수를 시행하는 대안이 최적대안이 될 수 있겠지만, 도로를 이용하는 이

용자를 고려하여 이용자 비용을 포함하여 고려하는 경우에는 유지보수 횟수가 많은 대안이 최적대안이 될 가능성이 높게 됨을 알 수 있다.

여기서 군집별로 최적 유지보수 공법 및 시기에 대해 구체적으로 살펴보기로 한다. 먼저 교통량(AADT)과 하중강도(ESAL)가 모두 적은 군집 1(C1)의 경우 Fig. 5와 Fig. 6에서와 같이 절삭+내유동 포장으로 유지보수하는 대안은 1회인데 비해 일반 오버레이와 절삭+일반오버레이는 3회 유지보수를 시행하는 것으로 나타났다. 이용자 비용의 경우에는 상대적으로 유지보수를 많이 하는 대안이 유지보수를 시행하지 않는 대안(do-nothing)과의 이용자 비용의 차이(편익)를 크게 함으로써 순 현재가치가 커지게 됨을 확인할 수 있다.

반면 교통량과 하중강도가 모두 큰 군집 4(C4)의 경우에는 Fig. 7과 Fig. 8에서 알 수 있는 바와 같이 유지보수를 시행하지 않는 경우의 이용자 비용의 증가가 확연하게 큼을 알 수 있으며, 이로 인해 유지보수를 자주 시행하는 대안의 경우가 편익이 상대적으로 크게 나타났다. 나아가 이용자가 상대적으로 많아 관리자 비용의 비중보다는 이용자 비용의 영향이 상대적으로 크게 작용함을 확인할 수 있다.

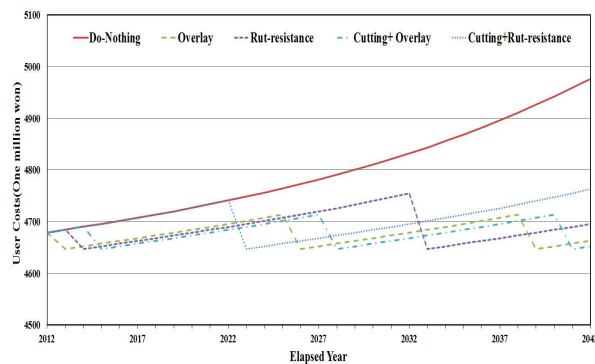


Fig. 5 Maintenance Methods and User Costs (RS 1)

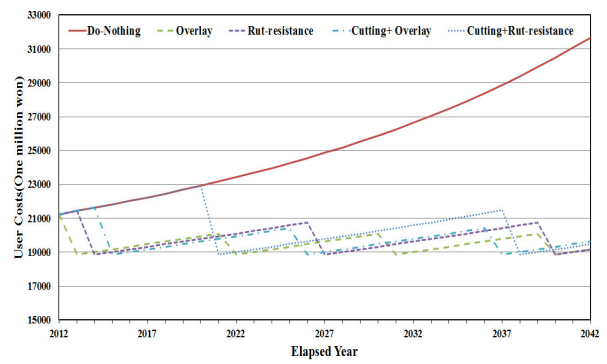


Fig. 7 Maintenance Methods and User Costs (RS 4)

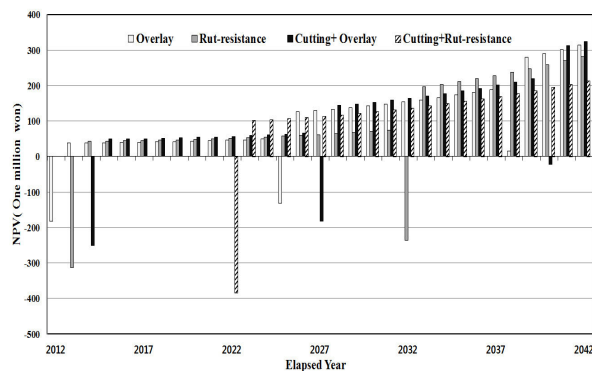


Fig. 6 Maintenance Methods and NPV (RS 1)

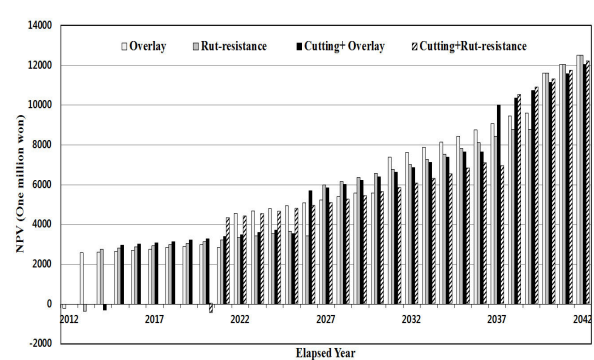


Fig. 8 Maintenance Methods and NPV (RS 4)

### 3.2.2. 일반 오버레이 대안과 비교

앞 절에서 관리자 비용과 이용자 비용을 동시에 고려하는 경우 이용자가 많은 도로(군집 2와 4)의 유지보수를 시행하지 않는 대안에 비해 적절한 시기에 유지보수를 시행함으로써 큰 편익을 얻을 수 있음을 확인하였다. 나아가 같은 군집일지라도 유지보수의 횟수가 많은 공법인 경우에 이용자가 상대적으로 더 많은 편익을 얻을 수 있음도 확인하였다.

여기서는 유지보수 공법간의 상대적인 편익을 비교해 보기로 한다. 또한 유지보수 시기와 공법별 기준이 이용자 비용과 편익에 어떠한 영향을 미치는 가를 살펴보기로 한다.

먼저, 기준대안을 일반 오버레이로 선정하고 타 대안별 이용자 비용과 편익을 비교하면, Fig. 9에서와 같이 기준대안인 오버레이의 유지보수 기준보다 상대적으로 높은 유지보수 기준을 가진 나머지 3 공법의 이용자가 비용이 커짐을 알 수 있다. 이는 기준대안보다 상대적으로 도로의 포장상태가 열악한 환경에서 주행을 함으로써 통행시간과 유류소모비 등 차량운행비용과 환경비용 등을 더 많이 지불해야 하기 때문이며, 유지보수 기준이 높을수록 즉, 포장상태가 더 많이 악화되었을 때 유지보수를 시행할수록 편익은 기준대안보다 상대적으로 적어

짐을 확인할 수 있다(Fig. 10 참조).

본 절에서는 하중강도(ESAL)는 낮지만 교통량(AADT)이 큰 포장구간(C2)과 교통량은 적지만 하중강도가 큰 포장구간(C3)을 대상으로 이용자 비용과 편익의 관계를 분석해 보기로 한다.

각 공법별 이용자 비용의 추이를 살펴보면 Fig. 9와 Fig. 11에서와 같이 유지보수 기준이 높을수록 유지보수 비용은 크게 나타났지만, 하중강도가 큰 도로(C3)의 경우 포장의 파손속도가 상대적으로 빨라 동일한 분석 기간 동안 유지보수 횟수가 증가하게 되어 관리자 비용이 커지게 됨을 알 수 있다.

그러나 이용자가 상대적으로 많은 도로(C2)가 이용자 비용의 비중이 커짐에 따라 총 편익뿐만 아니라 기준대안과의 상대적인 편익도 크게 나타났다(Fig. 10과 12 참조).

따라서 유지보수 공법에 따른 공사비용의 차이에 근거한 유지보수 횟수 및 시기의 결정보다는 도로 네트워크를 이용하는 이용자들이 지불하게 되는 비용을 고려한 의사결정이 바람직함을 알 수 있다. 다만, 현실적으로 고가의 유지보수 공법으로 유지보수를 시행한 후 공용수명이 상대적으로 길게 나타났다는 객관적인 자료의 부족으로 인해 다양한 분석에는 한계가 있었지만 기존 관리자 비용 중심의 포장관리 의사결정에 문제가 있음

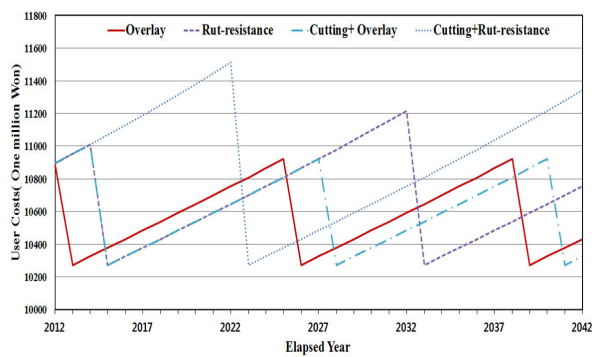


Fig. 9 Maintenance Methods and User Costs (RS 2)

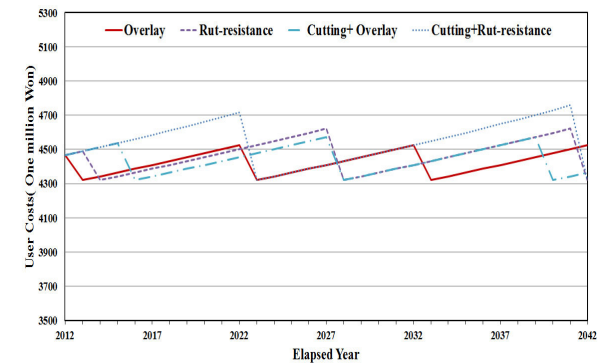


Fig. 11 Maintenance Methods and User Costs (RS 3)

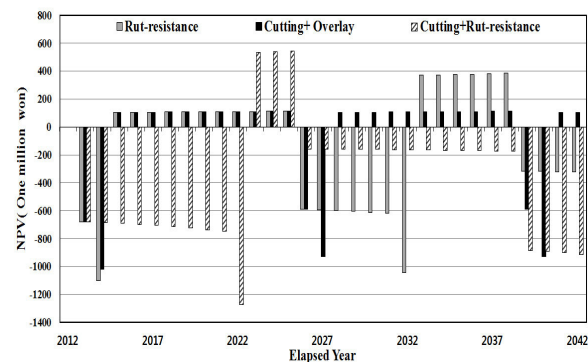


Fig. 10 Maintenance Methods and NPV (RS 2)

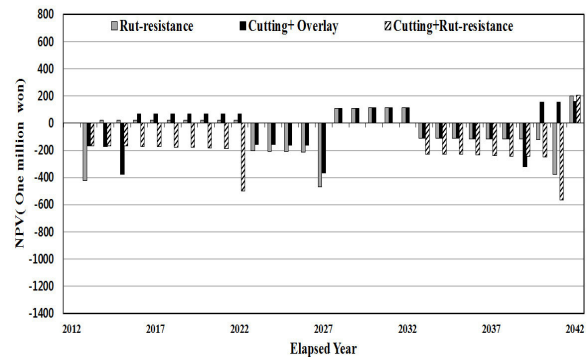


Fig. 12 Maintenance Methods and NPV (RS 3)

을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다는 점은 의미가 있다고 판단된다.

#### 4. 유지보수 우선순위 결정

본 절에서는 대상구간 가운데 유지보수가 가장 먼저 필요한 구간이 어딘지를 결정하기 위한 우선순위 결정 방안을 제시하기로 한다. 유지보수 우선순위를 결정할 때 가장 중요한 것은 평가기준(measure)이며 본 연구에서는 최고의 포장표면 상태에서의 이용자 비용과 유지보수가 필요한 해당 연도의 이용자 비용과의 차이를 비교하여 유지보수가 지연됨으로써 증가하게 되는 부담액이 가장 큰 구간의 순서를 기반으로 우선순위를 정하기로 한다. Eq. (4)를 이용해 편익을 산정하며 유지보수 직후의 이용자 비용은 해당구간에 따라 상이하하다.

$$B_t = UC_t - UC_{\min} \quad (4)$$

여기서,  $UC_t$  :  $t$  년도의 이용자 비용

$UC_{\min}$  : 유지보수 직후의 (최소)이용자 비용

Table 5에는 분석 대상구간별 당해 연도의 유지보수 공법과 1년 유지보수가 지연되었을 때의 유지보수 공법과 함께 각 공법별 유지보수 비용(관리자 비용)과 이용자 비용을 나타내고 있다. 여기서 유지보수의 우선순위 결정을 위해서는 생애주기비용분석에서의 관리자 비용과 달리 일년 간격으로 유지보수가 지연됨에 따른 부담액을 산정해야하기 때문에 공용수명 기간 동안에 발생하는 관리자 비용인 연등가비용(EUAC: Equivalent Uniform Annual Cost)으로 환산하여 산정하게 됨에 주의해야 한다.

$$C = EUAC = p \times \frac{i \times (1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (5)$$

여기서,  $p$  : 해당년도 관리자 비용

$i$  : 할인율(%)

$t$  : 비용발생 총 기간(공용 연수)

Table 5에서 알 수 있는 바와 같이 군집 2(C2) 구간의 경우 만 제외하고 당해 연도의 유지보수 공법과 1년이 경과한 시점에서의 유지보수 공법이 변경됨을 알 수 있다. 즉, 당해 연도에 유지보수가 이루어지지 않고 지연될 경우 추가적인 유지보수 비용이 소요되게 된다.

순 현재가치를 기준으로 한 유지보수의 우선순위도 교통량과 하중강도가 큰 군집 4(C4)의 경우가 높게 나타나 1년 유지보수가 지연됨에 따른 손실이 가장 크다는 것을 확인할 수 있으며, 마찬가지로 이유로 군집 1(C1)의 경우가 우선순위가 가장 낮은 것을 알 수 있다.

지금까지 포장구간의 교통특성(AADT와 ESAL)의 차이를 고려한 유지보수의 시기와 공법의 변화가 관리자 비용과 이용자 비용에 미치는 영향과 편익을 산정하는 방안을 살펴보았다. 유지보수를 위한 의사결정을 함에 있어 이용자 비용도 함께 고려한다면 대상 포장구간의 교통특성이 유지보수 시기와 공법 그리고 비용과 편익의 산정에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

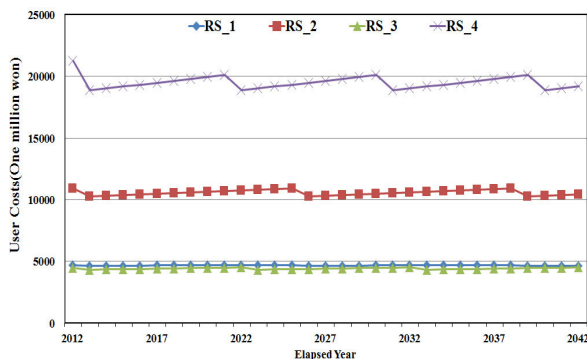


Fig. 13 Road Clusters and User Costs

Fig. 13에서 보는 바와 같이 이용자와 증차량이 많은

Table 5. Determination of Maintenance Priority

Sections	Priority	NPV	Method		Agency Cost (One Million won)		User Costs (One Million won)	
			Present Year	1 Years Later	Present Year	Present Year (EUAC)	Present Year	After maintenance
RS_4	1	2348.2	Overlay	Rut-resistance	219.2	31.5	21247.6	18867.9
RS_2	2	595.6	Overlay	Overlay	242.6	26.6	10895.7	10273.5
RS_3	3	123.7	Overlay	Rut-resistance	147.3	21.2	4465.8	4320.9
RS_1	4	6.6	Overlay	Rut-resistance	182.0	25.7	4678.9	4646.6



구간의 경우 이용자 비용 절대값의 크기 및 악화추세(기울기)가 상대적으로 커지게 되고 이에 따라 적절한 시기에 유지보수가 이루어지지 않으면 공사지연으로 인한 손실(음의 편익)도 커지게 됨을 알 수 있다.

따라서 이용자 및 중차량이 상대적으로 적은 구간의 경우에는 유지보수 기준에 도달했을 경우에 유지보수를 시행하지 않아도 이용자 비용의 급격한 증가로 인한 편익의 감소는 크지 않지만 이용자 및 중차량이 많은 구간의 경우에는 적절한 시점과 공법에 유지보수가 이루어지지 않으면 관리자 비용뿐만 아니라 이용자 비용의 급격한 증가를 초래할 수 있음을 확인할 수 있다.

일반적으로 유지보수 우선순위를 결정하기 위해서는 편익과 비용의 절대값의 차이인 순 현재가치 이외에 비용편익비(B/C)를 사용하는 경우도 있다. 본 연구에서는 비용편익비의 경우도 순 현재가치와 동일한 순서의 결과가 나왔기 때문에 따로 나타내지 않았지만 서로 상이한 순서의 결과가 도출되는 경우가 매우 많으며, 이 경우에는 의사결정기관의 권한에 의해 정해지는 경우가 대부분이다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 효율적인 국도의 포장관리를 위해 개발된 KoPMS(Korean Pavement Management System) S/W를 이용하여 포장구간의 교통특성을 고려한 공용성 모델에 기초하여 최적 유지보수 시기와 공법을 결정하는 방안을 제시하였다.

이때 유지보수의 시행 유무에 따른 편익을 산정하기 위해 관리자 비용과 이용자 비용의 산출과 유지보수 공법별 편익을 산정하는 방안을 실제 포장구간의 자료를 이용하여 제시하였다.

본 연구를 통해 기존 유지보수 시기와 공법의 결정에 있어 관리자 비용만을 고려한 의사결정에 한계가 있음을 확인하였으며, 이용자 비용을 함께 고려한 의사결정의 경우 적절한 시점에 유지보수를 시행하는 경우가 상대적으로 편익을 높일 수 있음을 4개의 군집으로 구분하여 분석한 결과 확인할 수 있었다.

나아가 교통량과 하중강도에 따라 유지보수 시기와 공법이 달라지며 교통량과 하중강도가 모두 큰 군집의 경우에는 유지보수를 자주 시행하는 것이 편익이 커지며, 이용자 비용의 영향이 관리자 비용보다 상대적으로 크게 작용함을 알 수 있었다.

또한 유지보수의 기준이 높을수록 즉, 포장 상태가 나빠질 때까지 유지보수를 미루었다가 유지보수를 시행하는 경우에는 도로의 상태가 열악한 환경에서 운전자들이 주행하게 됨으로써 통행시간과 유류소모비 등 차량운행 비용과 환경비용 등을 더 많이 지불해야 하기 때문에 편익은 떨어지는 것으로 나타나 고가의 유지보수비용으로 장수명을 담보할 수 없는 경우에는 예방적 유지보수(preventive maintenance)가 유리함을 간접적으로 확인할 수 있었다.

향후 연구로서는 도로 유지보수 공사 중 영향(work zone effects)에 대한 고려와 교통수요의 변동을 포함한 시뮬레이션이 필요하며, 나아가 군집별 공용수명의 차이뿐만 아니라 공법별 공용수명의 차이에 대한 데이터의 확보방안과 이를 통한 분석이 추가로 필요할 것이다.

## References

- Christopher, R.B., and Greenwood, I.D., (2000) "Modelling Road User and Environmental Effects in HDM-4", HTC Infrastructure Management Ltd.
- Han, D., Do, M., Kim, S. and Kim, J. (2007) "Life Cycle Cost Analysis of Pavement Maintenance Standard considering User and Socio-environmental Cost" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.27, No.6D, pp.727-740.
- Korea Institute of Construction Technology (2013), "A Study on Development of Decision-making System", Final Report No. 2012-067.
- Kwon, S., Jung, K. and Seo, Y. (2002) "A Study on Decision Criteria of Traffic Volumes for Choosing of Modified Asphalt Pavement in Korea National Highway" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.14, No.3, pp.25-33.
- Lee, Y., Do, M. and Lee, J. (2007) Development of pavement management system for highway maintenance, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Vol.9, No.4, pp.159-169.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2011) "Guide of Investment Evaluation of Transportation Facilities - 4th Revision-", MLTM..
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2013), *Annual Research report of the national highway pavement management system 2012*.
- National Cooperative Highway Research Program, (2004) Public benefits of highway system preservation and maintenance: A synthesis of highway practice, *TRB*.
- Peshkin, D.G., Hoerner, T.E. and Zimmerman, K.A.. (2004) Optimal timing of pavement preventive maintenance treatment applications, NCHRP Report 523, *TRB*.
- (접수일 : 2013. 9. 4 / 심사일 : 2013. 9. 10 / 심사완료일 : 2013. 10. 1)