

## 도로포장의 생애주기비용 분석을 위한 장기 교통수요 추정

도명식\* · 김윤식\*\* · 이상혁\*\*\* · 한대석\*\*\*\*

Do, Myungsik\*, Kim, Yoonsik\*\*, Lee, Sang Hyuk\*\*\*, Han, Daeseok\*\*\*\*

### Traffic Demand Forecasting Method for LCCA of Pavement Section

#### ABSTRACT

Traffic demand forecasting for pavement management in the present can be estimated using the past trends or subjective judgement of experts instead of objective methods. Also future road plans and local development plans of a target region, for example new road constructions and detour plans cannot be considered for the estimate of future traffic demands. This study, which is the fundamental research for developing objective and accurate decision-making support system of maintenance management for the national highway, proposed the methodology to predict future traffic demands according to 4-step traffic forecasting method using EMME in order to examine significance of future traffic demands affecting pavement deterioration trends and compare existing traffic demand forecasting methods. For the case study, this study conducted the comparison of traffic demand forecasting methods targeting Daejeon Regional Construction and Management Administration. Therefore, this study figured out that the differences of traffic demands and the level of agent costs as well as user costs between existing traffic demand forecasting methods and proposed traffic demand forecasting method with considering future road plans and local development plan.

**Key words** : Life-cycle cost analysis, Pavement management system, Traffic demand forecasting, EMME

#### 초록

기존의 포장관리를 위한 장래 교통수요의 추정에는 객관적인 방법에 의한 장래 교통수요의 추정이라기보다는 과거 추세(trends)나 분석가의 주관적인 판단에 의해 이루어졌다고 할 수 있으며, 새로운 도로의 신설 및 우회도로의 계획 등 대상 지역의 장래 도로 및 지역개발 계획을 전혀 고려하지 못한 교통수요의 추정이 이루어졌다고 할 수 있다. 본 연구에서는 보다 객관적이며 정도 높은 국도의 유지관리를 위한 의사결정지원시스템(decision-making support system)의 구축을 위한 기초연구로써 장래 포장의 공용성에 큰 영향을 미치는 장기 교통수요 예측의 중요성을 살펴보고 기존 교통수요 추정 방식과의 비교를 위한 기준(baseline) 수요를 산정하기 위해 EMME(Equilibre multimodal, Multimodal Equilibrium)를 이용하여 4단계 교통수요 추정 방법에 따라 장래 교통수요를 예측하는 방안을 제시하였다. 사례연구를 위해 본 연구에서는 대전지방국토관리청 관할의 일부 지역을 대상으로 교통수요 추정방법별 비교를 수행하였으며, 기존의 수요추정 방법과 본 연구에서 제시한 장래 지역개발계획과 도로의 신설 및 확장계획 등을 고려한 교통수요 추정방법과는 교통량의 수요뿐만 아니라 관리자비용 및 이용자비용의 수준에도 큰 차이가 있음을 확인하였다.

**검색어** : 생애주기비용분석, 포장관리시스템, 교통수요추정, EMME

\* 정회원 · 한밭대학교 도시공학과 교수, 공학박사 (msdo@hanbat.ac.kr)

\*\* 한밭대학교 도시공학과 석사과정 (free\_lance@hanmail.net)

\*\*\* 정회원 · 교신저자 · 한밭대학교 도시공학과 연구원, 공학박사 (Corresponding Author · Hanbat National University · sanghyuklee8612@gmail.com)

\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원, 공학박사 (hds2892@gmail.com)

Received April 11, 2013/ revised June 18, 2013/ accepted June 18, 2013

## 1. 서론

1980년대 후반부터 우리나라는 공용중인 일반국도의 포장을 합리적이고 체계적으로 관리하기 위해 포장관리시스템(PMS: Pavement Management System)을 도입하여 운영하고 있다(한국건설기술연구원, 2009).

효율적인 포장관리시스템을 위해서는 장래 교통수요 추정을 근간으로 한 정확한 공용성(performance) 추정이 이루어져야 하며 추정된 공용성에 기반하여 최적 유지보수 전략을 수립할 수 있다.

현재 우리나라는 도로건설의 타당성을 검증하기 위해 교통수요 예측에 대한 연구는 많이 있었지만 도로 유지보수 정책 결정을 위한 교통수요 예측은 거의 이루어지지 않고 있는 실정이며, 교통수요예측을 하더라도 임의로 과거의 추세를 이용하거나 현재와 동일한 수준을 가정하는 경우가 대부분이다. 그러나 장래 교통량의 변화는 도로포장 수명에 큰 영향을 미치며 경제성 분석을 포함한 최적유지보수 시점 및 공법 등 전략 수립에 있어서 매우 중요한 외부 인자이다.

한국개발연구원(KDI)에서 수행하는 주요 사회간접자본(SOC) 특히, 고속도로나 국도, 철도, 항만 및 공항의 건설을 위한 사전 예비타당성 분석에서 장래 교통수요 추정을 위해 EMME가 활용되고 있으며, 수요예측에 필요한 기초자료는 KTDB O/D 및 네트워크 속성자료를 사용하고 있다.

그러나 포장관리시스템(PMS)의 경우 지금까지는 프로젝트 수준(project level)이나 네트워크 수준(network level)분석에서 장래의 교통수요를 추정한 장래 교통량(traffic volume)과 하중(traffic loading) 자료를 이용한 생애주기비용분석의 사례는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 보다 객관적이며 정도 높은 국도의 유지관리를 위한 의사결정지원시스템(decision-making support system)의 구축을 위한 기초연구로써 장래 포장의 공용성에 큰 영향을 미치는 장기 교통수요를 예측하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 범용적으로 활용되고 있는 EMME3를 활용한 생애주기비용 분석 방법과 기존의 장기 교통수요 예측을 활용하지 않은 경우와 비교를 통해 그 필요성을 검토하기로 한다.

사례연구로써 대전지방국도관리청 관할 국도를 대상으로 네트워크를 구성하였으며, 기존 방법과의 차이를 검증하기 위해 영동군을 대상지역으로 영향권을 선정하여 장래 도로 및 지역 개발계획을 반영한 교통수요의 변동 특성과 관리자 비용 및 이용자 비용 등에 미치는 영향 등을 살펴보기로 한다.

## 2. 생애주기비용분석과 장기 교통수요예측

### 2.1 생애주기비용분석

생애주기비용(Life Cycle Cost; LCC)은 분석 대상 시설물의 계획 단계에서부터 구조물의 폐기처분 시까지 소요되는 모든 비용, 즉 계획/설계비, 건설비, 유지관리비, 폐기물 처리비용을 모두 합한 것으로 구조물의 공용수명기간에 필요한 모든 비용을 말한다(Cho et al., 2001).

도로포장의 경우 노선계획 단계에서부터 건설에 필요한 경비, 생애주기 기간 동안에 일정한 포장의 표면상태를 유지하기 위해 소요되는 유지관리비용과 재포장이나 도로의 폐쇄 등으로 인한 비용 및 폐기물 처리비용 등이 생애주기비용이라 할 수 있으나 설계비와 폐기물 처리비용은 타 대안과의 비교 검토에 영향을 미치지 않은 공통비용이기 때문에 생애주기비용분석에서 제외되는 경우가 대부분이다.

사회기반시설의 생애주기비용분석 및 자산관리를 위한 연구는 선진국을 중심으로 법제화 및 분석결과의 객관성 확보와 활용의 편의성을 증대하기 위한 S/W 개발을 중심으로 이루어지고 있다.

국내의 경우 성수대교와 삼풍백화점의 붕괴 이후 시트법이 제정되었으며 사회기반시설물에 대한 유지관리와 안전에 대한 관심이 고조되었다. 현재 국도 및 고속도로의 포장관리와 교량 및 터널관리 분야를 비롯하여 철도와 수자원 관련 시설물을 대상으로 한 생애주기비용 분석 및 VE(Value Engineering)를 활용한 시스템의 개선 및 개발에 응용하고 있는 실정이다(Cho et al., 2001; Han et al., 2007).

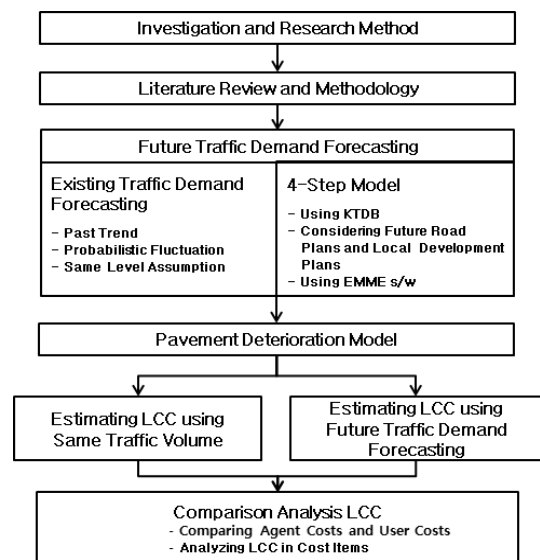


Fig. 1. Procedure for This Study

미국은 1991년에 제정된 육상교통효율화법(ISTEA: Intermodal Surface Transportation Efficiency Act)을 통해 주 전체와 대도시의 계획과정에서 교량, 터널 및 도로포장 건설을 위한 설계 및 엔지니어링 과정에 생애주기비용분석을 권고한 바 있으며, 1995년에는 National Highway System Designation Act에 의해 25백만 불 이상의 건설사업에 대해서는 LCC 분석을 의무화시킨 바 있다.

한편 법제화 노력 이외에도 도로사업으로 인한 정책의 영향을 분석하기 위해 개발된 미국 FHWA의 RealCost와 도로사업을 위한 투자분석을 위한 AssetManager, BCA와 세계은행(World Bank)에서 만든 HDM(Highway Development and Management)-4, 교량관리를 위한 Pontis, BLCCA 등 S/W 개발을 통해 실용화를 위한 시도도 꾸준히 이루어지고 있다.

LCC 분석의 특징은 사회기반시설의 도입(건설) 타당성을 분석함에 있어 대안이 결정된 후 수명기간 동안 발생하는 총 비용을 고려하여 의사결정을 위한 기초자료로 활용한다는 것이며 관리자 비용(agency cost)과 이용자 비용(user cost)으로 구분하여 분석하며 각 국가별 혹은 대상 시설물 별로 비용 산정을 위한 방법론 및 항목을 정한다.

대표적인 생애주기비용분석 툴(S/W)로 세계은행에서 개발한 HDM-4가 있는데 생애주기비용분석을 위한 필요 데이터 항목과

분석을 위한 절차는 Fig. 2와 같다.

HDM-4내에서의 이용자비용은 차량운행비용, 통행시간비용, 사고비용, 환경비용 등으로 구성되는데, 여기서의 주요항목은 차량 운행비용과 통행시간비용이며, 미시적인 분석이 가능한 S/W로써 많은 자료들을 요구하고 있으며, HDM-4에서의 주요자료는 도로 포장파손모형(deterioration model)의 보정을 위한 시계열 공용성 데이터와 교통량, 경제성평가에 주요지표인 각종 단위비용이라 할 수 있다.

한편 Fig. 2의 생애주기비용을 산정하기 위한 절차에서도 알 수 있는 바와 같이 주요 변수인 교통량(traffic volume)과 하중(traffic loading) 자료는 외생변수로 주어지게 되어있어 분석가의 주관에 따라 결과가 달라질 수 있는 문제점을 내포하고 있다(Bennett and Greenwood, 2000).

그리고 RealCost의 경우에도 필요한 자료와 분석절차에서 공사 구간에 대한 특성을 살펴보기 위해 도로의 상태, 기하구조, 자유속도에서의 용량, 구배, 폭 등의 데이터와 시간대별, 방향별 교통량 자료, 차종별 구성비와 교통수요의 추정량, 비용과 관련된 원단위, 이자율 등의 사회경제적인 지표 등이 필요한데 장래 교통수요의 추정에 대해서는 특별한 가이드라인이 존재하지 않으며 분석가가 임의로 입력하도록 되어 있다(Han et al., 2007).

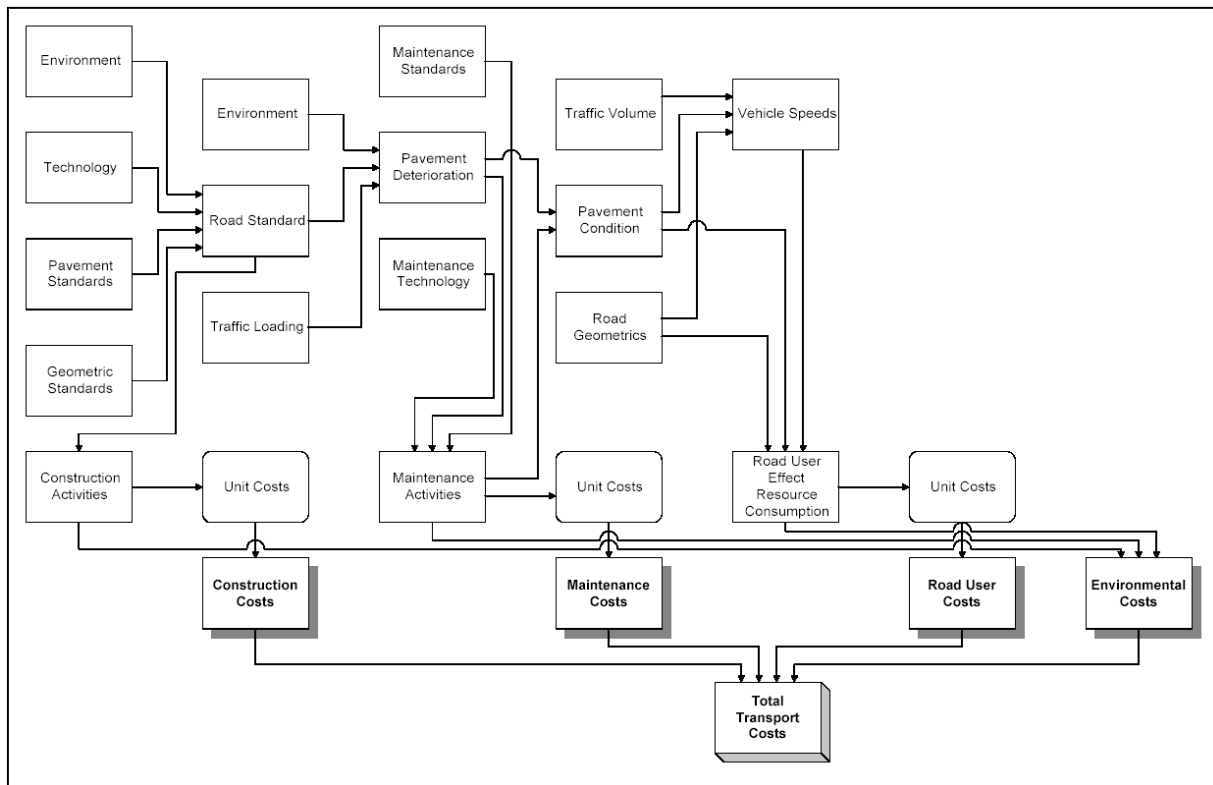


Fig. 2. Procedure of Life Cycle Cost Analysis (HDM-4)

## 2.2 장기 교통수요 예측

교통수요예측은 현재의 통행패턴과 사회·경제지표 및 교통시설 등과의 관계를 이용하여 추정할 수 있는데, 이는 현재의 통행패턴을 기초로 이를 적절히 유추할 수 있는 모형을 개발하는데서 출발하여 장래 통행활동을 공간상에 투영하는 일련의 과정으로 구성된다.

현재 대부분의 도로포장 분야에서 생애주기비용분석을 위한 장기 교통수요의 추정을 위해 차중의 구성 및 비율, 차량 및 교통량 특성 증가율 패턴과 비율 특성 등을 기반으로 1) 일상적인 교통수요(normal traffic), 2) 전환 교통수요(diverted traffic), 3) 발생 교통수요(generated traffic)로 구분하여 추정하고 있으나 분석 대상지역의 장래 개발계획이나 도로의 신설 및 우회도로 계획 등을 고려하지 않고 단순하게 증감 비율(%)이나 증감량을 삽입하는 방안을 채택하고 있다.

먼저 일상적인 교통수요의 경우에는 해당 도로의 차중별 비율을 고려하여 연평균일교통량(AADT)을 기준으로 분석 최초년도(start year) 1) 매년 증가 예상비율(annual percentage increase in AADT)  $p$ 를 가정하여 장래 일상 교통수요를 추정하거나, 2) 연 증가량(annual incremental increase in AADT) VPD(Vehicles Per Day)를 가정하여 장래 일상교통수요를 추정하는 방법을 채택하고 있으며 수식으로 표현하면 Eq. (1)과 같다. 한편 전환 교통수요의 경우 장래의 변화량을 추정하는 방법은 거의 연구된 사례가 없으며 포장관리 분야에서 간과되고 있는 실정이다.

$$AADT_t = AADT_{startyear} \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^{(t-1)} \quad (1)$$

$$AADT_t = AADT_{startyear} [1 + VPD(t - startyear)]$$

한편, 발생 교통(generation) 수요의 예측을 위해서는 전년도(t-1)를 기준으로 연 증가량( $\Delta AADT$ )에 1) 연 증가가 비율을 추가적으로 더하는 방법(additional annual percentage increase in AADT)과 2) 현재시점에서 일상 교통수요에 증가 비율을 더하는 방법(percentage of increase in normal traffic in the current year)을 일반적으로 사용하는데 수식으로 표현하면 각각 Eq. (2), Eq. (3)과 같다.

$$AADT_{gen(t)} = AADT_{gen(t-1)} + \Delta AADT_{gen(t)} \quad (2)$$

where,

$$\Delta AADT_{gen(t)} = AADT_{total(t)} - AADT_{gen(t-1)} - AADT_{norm(t)} - AADT_{norm(t-1)}$$

$$AADT_{total(t)} = AADT_{total(t-1)} \left( 1 + \frac{(p+q1)}{100} \right)$$

$$AADT_{norm(t)} = AADT_{norm(t-1)} \left( 1 + \frac{p}{100} \right)$$

$$\Delta AADT_{gen(t)} = \frac{q2}{100} \Delta AADT_{norm(t)} \quad (3)$$

$$\Delta AADT_{norm(t)} = AADT_{norm(t)} - AADT_{norm(t-1)}$$

여기서,  $p$ 는 일상 교통수요에서 AADT의 연 증가비율(%)을 나타내며,  $q1$ 은 AADT의 추가적 연 증가비율(%)을 나타내고 있다. 한편  $q2$ 는 일상 교통량의 증가비율이 발생 교통수요에 미치는 비율을 나타낸다(Odoki and Kerali, 2000).

따라서 기존의 포장관리를 위한 장래 교통수요의 추정에는 객관적인 방법에 의한 장래 교통수요의 추정이라기보다는 과거 추세(trends)나 분석가의 주관적인 판단에 의해 이루어졌다고 할 수 있으며, 새로운 도로의 신설 및 우회도로의 계획 등 대상 지역의 장래 도로 및 지역개발 계획을 전혀 고려하지 못한 교통수요의 추정이 이루어졌다고 할 수 있다.

## 3. 장래 교통수요와 포장의 공용성

### 3.1 교통망 자료 구축

현재 우리나라 국가교통DB센터의 자료 목록은 여객 OD, 화물 OD, 교통유발원단위, 교통량, 교통분석용 네트워크, 교통네트워크 GIS DB로 구성되어 있다. 여객 OD는 목적OD, 수단OD로 구성되어 있고, 화물OD는 화물자동차 물동량, 화물자동차 통행량, 철도항공 물동량으로 구성되어 있다. 교통유발단위는 광역권별, 광역시별, 도별로 나누어 구성되어 있으며, 교통분석용 네트워크 역시 광역권별로 구성되어 있다.

본 연구에서는 기존 교통수요 추정 방식과의 비교를 위한 기준(baseline) 수요를 산정하기 위해 EMME를 이용하여 4단계 교통수요 추정 방법(4-step traffic demand forecasting model)에 따라 장래 교통수요를 예측 하였다(Fig. 3 참조). 또한, 공신력 있는 수요예측을 위해 2010년 국가교통DB의 전국 네트워크 자료와 O/D 자료를 사용하였으며, 분석에 필요한 파라미터와 분석 방법에 대해서는 기본적으로 한국개발연구원의 『도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』에 의거하여 분석을 수행하였다.

교통량 현황 정산은 2011년(기준년도) TMS(Traffic Monitoring System) 교통량 데이터를 이용하여 분석대상구간의 코든라인(cordon line)을 중심으로 우선적으로 정산을 수행하였으며, 직접 영향권으로 범위를 좁혀가면서 정산하였다.

또한, 분석대상지역의 장기개발계획 등에서 제시한 장래지표를 이용하여 장래 교통량을 산정하였으며, 본 연구 대상지에 직접적으로 영향을 미치는 주변 지역 개발계획 및 교통시설 계획, 교통특성을 검토하여 구간에 적용하였다.

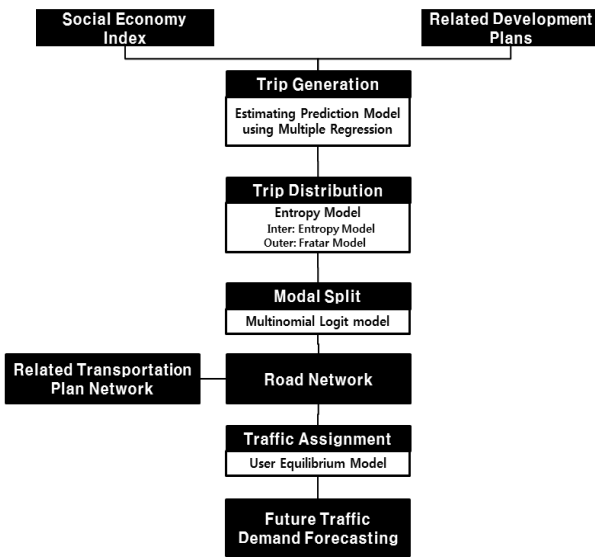


Fig. 3. Procedure for Traffic Demand Forecasting by EMME



Fig. 4. Targeted Road Network

Fig. 4는 대상지역인 대전지방국토관리청 관할지역의 도로망을 EMME로 나타낸 것으로 중간선도로, 보조간선도로, 집산도로를 위주로 구축하였으며, 도로망 네트워크를 기반으로 교통수요 예측을 수행하였다.

대상지역 내 도로구간의 차로 수 및 거리는 실제 값을 입력하였으며 BPR모형의 적용에 필요한 자유속도와 차로당 용량은 국토해양부 지침에 따라 설정하였다. Table 1은 EMME를 이용하여 예측한 대상구간의 장래 교통량을 보여주고 있다.

### 3.2 장래 교통수요 추정

여기서 대상구간의 범위를 충북 영동군 지역으로 한정하여 장래 인구 전망, 주변 지역의 도로 개발 및 산업단지 개발계획 등을 반영하여 장래 교통수요를 추정된 결과와 현재의 교통수요의 패턴이 유지된다는 기존의 방법을 비교해 보기로 한다.

먼저, 장래 교통수요의 증감에 큰 영향을 미치는 인구 전망의 경우, 현재 50,918명이며 연평균 1.2% 감소 추세를 보이고 있으며, 자연증가분의 추정은 코호트 집단생잔모형(Cohort-survival model)에 의한 조성법을 사용하였으며, 2015년에 49,234명, 2020년에는 47,909명, 2025년에는 46,302명, 2030년과 2035년에는 각각 44,502명과 42,684명으로 추정되어 감소 추세를 반영하였다.

한편 대상 지역의 장래 개발계획(육군종합행정학교, 지방산업단지, 국약단지 조성 등)을 포함한 사회적 인구추정의 결과 2015년에 52,500명, 2020년에는 54,500명, 2025년에는 55,000명, 2030년과 2035년에는 각각 55,500명과 56,000명으로 추정되었다. 그의 자동차 등록대수의 전망과 학생수, 산업체별 종사자수 전망을 통해 장래 교통수요에 영향을 미치는 인자들의 추정을 통해 최종 장래 목적통행량과 수단통행량을 예측하게 된다.

승용차 사람통행을 승용차 차량통행으로 환산하기 위한 승용차 재차인원은 「2005년 국가교통수요 조사 및 DB구축사업 중 “전국 지역 간 여객 기중점통행량(O/D) 조사”결과와 「2009년 국가교통

Table 1. Future Traffic Forecasting by Traffic Modes

Year	Passenger Car	Bus	Rail	Taxi	Others	Walk	Sum
2011	56,328	6,190	1,926	6,069	15,118	31,953	117,584
2013	57,492	6,340	1,982	6,274	15,407	32,759	120,254
2015	58,656	6,490	2,038	6,480	15,695	33,566	122,925
2020	60,473	6,726	2,065	6,819	16,190	34,993	127,267
2025	60,538	6,778	2,037	6,966	16,225	35,368	127,912
2030	61,653	6,966	2,033	7,227	16,503	36,285	130,666
2035	63,593	7,251	2,015	7,481	16,945	37,421	134,705
Increasing Rate	0.46%	0.61%	0.07%	0.80%	0.43%	0.61%	0.52%

수요 조사 및 DB구축사업 중 “전국 지역 간 여객 기종점통행량 (O/D) 보완조사” 결과를 통하여 산출하였다.

도로부문의 통행배정에 이용되는 배정모형은 이용자 균형모형 (user equilibrium)으로 개별 통행자들이 각자의 통행비용을 최소로 하는 경로를 선택한다는 가정 하에 Network 전체에서 발생하는 통행패턴의 변화를 분석하는 방법이다.

기준연도(2011년) 현황 정산을 위한 교통량은 2011년 영동군 주요 가로 구간 및 시외유출입지점에 대한 조사데이터를 활용하였으며, 기준연도 O/D와 Network 자료를 이용해 Multi-Modal Multi-class 통행배정을 하고, 이로부터 구해진 링크교통량과 실제 교통량의 차이가 오차범위 30% 이내가 되도록, 특히 사업대상 도로 및 인접주요도로의 경우 오차범위 15%이내가 되도록 링크비용함수를 구축하였다.

한편, 네트워크 측면과 통행행태 측면에 대한 정산(calibration)과 검증(validation)을 통해 모형을 이용하여 표현된 상황을 현실의 교통패턴과 유사하게 표현하는 것을 목표로 한다. 정산과 검증은 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판)」에 의거 도로등급별 주요 도로 구간의 관측교통량  $f_i^{obs}$  과 배정교통량  $f_i^{est}$  의 차이를 사업 대상구간과 인접도로의 경우 15%, 기타 주요도로는 30%로 설정하여 정산을 수행하였으며 오차율의 산정 식은 Eq. (4)와 같다.

$$\epsilon(\%) = 100 \times \frac{f_i^{est} - f_i^{obs}}{f_i^{obs}} \quad (4)$$

여기서,

$f_i^{est}$  = 통행배정 분석 결과에 의한 링크의 추정 교통량

$f_i^{obs}$  = 링크의 관측 교통량

영동군을 대상으로 한 2011년의 교통량 현황 정산 결과는 Table 2와 같으며, 통상 예측교통량과 관측교통량의 차이가 30% 이내이던 유효하다고 판단하며 본 연구에서는 전체 오차율이 10.68%로 비교적 양호하게 분석되었다.

한편, Table 3에는 대상지역 인근의 신설 도로 및 대상 지역의 장래 지역개발 계획을 고려하여 추정된 장래 교통수요의 결과를 5년 간격으로 요약한 것이다.

특히 Table 2와 Table 3에서는 장래 교통수요의 방법에 따른 생애주기비용(이용자비용 포함)의 차이를 살펴보기 위해 영동읍 외곽의 세 구간(Fig. 5 참조)을 선정해 EMME를 활용한 교통량의 추정 결과와 위치를 표시하였다.

### 3.3 포장의 공용성추정

도로포장의 장기 공용성에는 다양한 요인들이 영향을 미치는 것으로 기존연구의 성과를 통해 확인할 수 있으며 특히 포장상부에

Table 2. Estimate Result of Traffic Volume in Yongdong-Gun(Base Year 2011)

Road Classification		Assign Traffic Volume	Observed Traffic Volume	Error Rate
Express Highway	00118	29,478	32,346	-8.87
	00119	29,476	33,361	-11.65
	00121	36,628	35,426	3.39
	00123	36,433	44,501	-18.13
	03511	15,480	17,964	-13.83
	03512	15,382	21,960	-29.95
National Highway	0313-1	5,790	6,250	-7.36
	<b>0408-1</b>	<b>7,544</b>	<b>7,685</b>	<b>-1.83</b>
	<b>0409-1</b>	<b>4,616</b>	<b>4,530</b>	<b>1.90</b>
	1914-2	2,598	2,848	-8.76
	1914-3	4,374	5,118	-14.54
	<b>1915-00</b>	<b>9190</b>	<b>8,283</b>	<b>10.95</b>
	1916-5	2,911	3,248	-10.38
Local Road	0901-04	1,258	1,464	-14.04
	0901-10	1,033	1,157	-10.74
Governmental Local Road	49-15	4,666	5,456	-14.48
Sum		206,857	231,597	-10.68

Table 3. Estimate Result of Traffic Volume in Yongdong-Gun (2016, 2021, 2026, 2031)

Road Classification		2016(Vehicle/Day)	2021(Vehicle/Day)	2026(Vehicle/Day)	2031(Vehicle/Day)
Express Highway	00118	29,962	34,099	37,421	3,208
	00119	29,958	34,093	37,415	3,203
	00121	36,965	39,319	42,999	8,322
	00123	36,803	39,192	42,868	8,224
	03511	12,821	14,015	14,586	91,632
	03512	12,876	14,128	14,747	91,644
National Highway	0313-1	4,262	4,251	4,207	4,264
	<b>0408-1</b>	<b>6,669</b>	<b>10,327</b>	<b>10,448</b>	<b>10,144</b>
	<b>0409-1</b>	<b>4,079</b>	<b>11,184</b>	<b>11,125</b>	<b>9,836</b>
	1914-2	2,156	2,007	1,934	1,866
	1914-3	3,904	4,429	4,478	4,026
	<b>1915-00</b>	<b>8,873</b>	<b>7,893</b>	<b>8,313</b>	<b>9,438</b>
	1916-5	2,862	3,192	3,191	3,495
Local Road	0901-04	1,123	1,052	1,061	1,063
	0901-10	1,014	1,008	959	1,010
Governmental Local Road	49-15	3,890	4,744	4,577	4,385
Sum		198,217	224,933	240,329	255,760

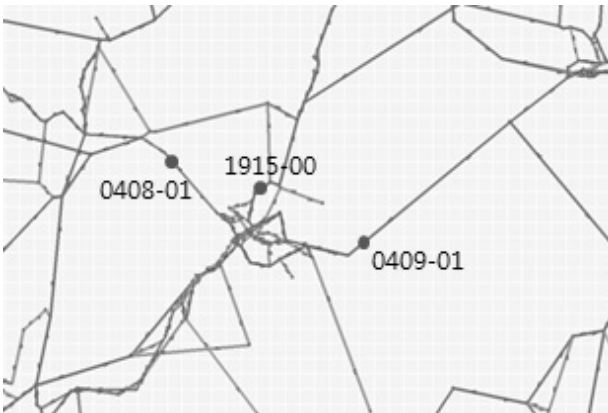


Fig. 5. Result of Future Traffic Assignment(2031)

가해지는 교통 하중 특성(예를 들어, ESAL: Equivalent Single-Axle Loads)과 교통량의 절대량(예를 들어, AADT: Annual Average Daily Traffic 크기)이 가장 유의한 변수이다(Kwon et al., 2002; Do, 2011).

따라서 본 연구에서도 공용성 추정을 위한 모형은 ESAL과 AADT를 기준으로 군집분석을 이용하여 그룹 간 공용성 추정모형을 구한 기존 연구의 성과를 활용하기로 한다(KICT, 2012). 이 연구에서는 매년 동일한 도로구간을 대상으로 포장의 상태를 점검하여 기록한 모니터링(monitoring)데이터(2007~2011년)를 4군

집으로 분류하여 군집별 최적 분포를 선정하고 이를 기반으로 공용성모형을 구축하였다. 즉, 교통특성에 따라 군집을 분류하여 연간 파손량의 기울기를 결정한다.

한편 본 연구의 목적이 공용성 추정모형의 개발이 아닌 장래 교통수요의 예측이 생애주기비용에 미치는 영향을 분석하기 위함이기 때문에 공용성 추정 모형에 대한 자세한 내용은 기존 연구 성과를 참조하기 바란다(KICT, 2012).

#### 4. 생애주기비용분석 결과

##### 4.1 생애주기비용분석 특성

본 연구에서 생애주기비용 분석은 관리자 비용(도로포장공사 비용)과 이용자 비용으로 구분하여 분석하였으며, 관리자 비용은 악화된 공용성 지수에 따라 포장공법이 달라지므로 공용성 지수의 악화추세모형을 이용하여 시간경과에 따른 관리자 비용을 산정했다.

그리고 이용자 비용의 경우 현장조사에서 얻은 데이터를 이용하여 중단평탄성(IRI; International Roughness Index)악화에 따른 속도변화추이 모형을 이용하였으며, 국토해양부 투자평가시설지침서에서 제시하고 있는 산정식을 사용하여 비용을 산정하였다.

생애주기비용분석을 위한 항목은 국토해양부 “교통시설 투자평가지침 (4차 개정판)” (국토해양부, 2011)에서 제시하고 있는 “유지관리비, 차량운행비(유류소모량, 타이어 마모량, 엔진오일소모량,

Table 4. Definition of Economic Analysis Items

Items		Contents	Note	Inclusion Yes or No
AC	CC	Construction Costs, Land Acquisition Costs, Additional Costs		No
	MC	·Operating Cost: 15% of Highway's	According to KICT Unit Costs	No
		·Maintenance/Management Costs: 5cm Overlay in Every 10 Years	According to KICT Unit Costs	Yes
RV	Residual Cost of Land Acquisition	Negative Value	No	
UC	VOC	Gas Consumption, Tire Wear, Engine Oil, Vehicle Depreciation, Vehicle Repair Costs	Vehicle Travel Speed based Model	Yes
	TTC	Link Travel Time using VDF (Volume-Delay Function)	Reverse Calculation from Vehicle Operating Speed	Yes
	TAC	Risk Exposure Method	Travel Distance-Accident Rate based Model	No
	EC	CO, NOx, HC, PM, CO2	Vehicle Travel Speed based Model	Yes
	NC	-	Vehicle Travel Speed based Model	Yes

Note. AC: Agent Costs UC: User Costs CC: Construction Costs  
 MC: Maintenance Costs RV: Residual Value VOC: Vehicle Operating Costs TTC: Travel Time Costs  
 TAC: Traffic Accident Costs EC: Environmental Costs NC: Noise Costs

차량감가상각비, 차량유지보수비), 통행시간비용, 교통사고 감소편익, 환경오염비용”으로 한정한다(Table 4 참조). 여기서 도로유지관리비용은 크게 1)운영비, 2)수선유지비, 3)도로개량건설비로 나누어지며, 이중 수선유지비는 고정비와 변동비로 구성된다.

장래 교통량은 포장관리시스템(PMS)의 생애주기비용분석에서 이용자 비용에 직접적으로 영향을 주는 인자이며, 교통량의 변화는 도로포장 수명에 변화를 줄 수 있는 중요한 인자로서, 그 추정이 현실적으로 신뢰성이 있도록 추정되어야 할 것이다.

교통수요 변화를 고려한 생애주기비용분석에서 핵심적인 사항은 장래개발계획 및 사회·경제적 요인으로 인해 변동하는 해당구간의 정확한 교통량과 IRI에 따른 통행특성변화(속도)가 편익산정에 주요변수가 된다.

생애주기 분석은 국토해양부 지침에 따라 분석기간을 30년으로 설정하였다. 단, 교통수요는 EMME의 분석한계 상 5년 단위로 분석하고 중간년도는 보간법을 활용하였다. 관리자비용은 악화된 공용성 지수에 따라 유지보수 시기가 예상될 경우 한국건설기술연구원(KICT)에서 제시하는 공법별 단가를 적용하여 산정하였다.

Fig. 5의 세 구간 가운데 1915-00 구간의 포장의 경우 분석기간 동안 공용성을 추정된 결과 2회에 걸쳐 표층 5cm를 덧씌우기 하는 경우 변동비(포장보수 비용)는 2차로의 경우 일반 덧씌우기(절삭+일반OL, 7,000m<sup>2</sup>)1km당 유지보수비용은 약 119,503천원이 되며, 총 연장이 1.2km(2차로)이므로 유지보수 1회당 143,403천원이 소요된다(2012년 기준).

한편 차량운행비용은 유류비, 엔진오일비, 타이어마모비, 차량유지관리비, 감가상각비로 구분되며, 통행속도의 함수로 산출한다.

비용추정의 편의를 위해 차종별-속도별 차량운행비용 함수를 도출하여 비용예측에 활용하도록 하며, 예측식은 국토해양부 지침에 따라 3차 회귀식으로 구성하였다.

통행시간 비용은 해당 구간의 차종별 교통량, 그리고 차종별 통행시간 가치의 곱으로 정의한다. 통행시간 가치는 각 차종별 평균 시간가치를 적용 하며, 지역별로 시간가치 원단위를 다르게 적용하여 분석의 신뢰성을 높였다. 여기에서, 지역권은 해당 사업지와 가장 가까운 “대전권” 원단위를 적용하였다.

대기오염원은 차량배기가스에 포함되어 1)일산화탄소(CO), 2)탄화수소(HC), 3)질소산화물(NO<sub>x</sub>), 4)미세먼지(PM), 5)이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 한정하였다. 이중 이산화탄소는 온실가스로 구분하여 사회비용을 별도로 산출한다. 이산화탄소를 제외한 4가지 대기오염물질은 국토해양부 지침서에서 제시하고 있는 배출계수에서 예측함수식을 3차식의 형태로 도출하여 분석에 활용하며 이산화탄소의 경우 한국교통연구원(2010)에서 수행한 “철도투자평가편람 전면개정 연구”에서 제시한 배출계수를 활용하였다.

소음비용은 유지보수 전과 후의 발생소음의 차이로 산출하며, 소음변화량과 단위 소음 당 원단위의 정보가 필수적이다. 소음은 직접 조사가 어려운 관계로 소음 예측식을 통해 추정하며, 일반국도의 소음 예측식은 도로 단으로부터 10m 이내 지역의 소음과 10m이외 지역의 소음도로 구분하여 적용한다.

국립환경연구원에서는 도로 단에서 10m 이상 지역의 소음 예측식을 제공하고 있으며, 이 예측식의 결정변수는 교통량, 평균속도, 이격거리 관련 계수, 상수항 등이다.

Figs. 6~8에는 중점 점검대상 구간인 세 구간의 장래 교통수요



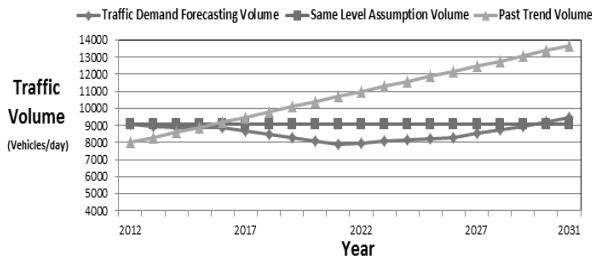


Fig. 6. Comparison of Volumes (1915-00)

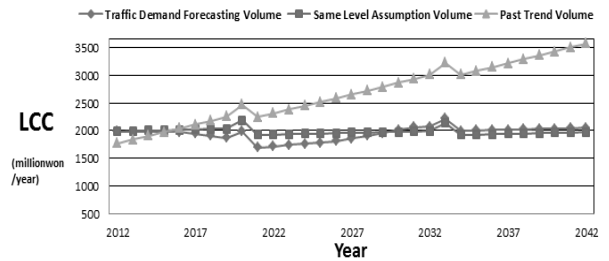


Fig. 9. Comparison of Life Cycle Costs(1915-00)

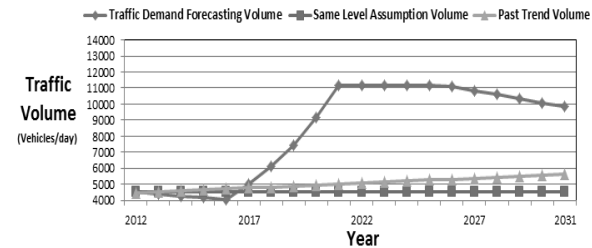


Fig. 7. Comparison of Volumes (0409-01)

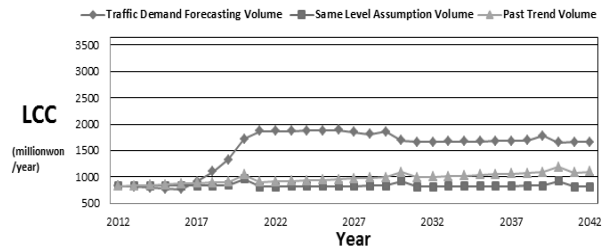


Fig. 10. Comparison of Life Cycle Costs(0409-01)

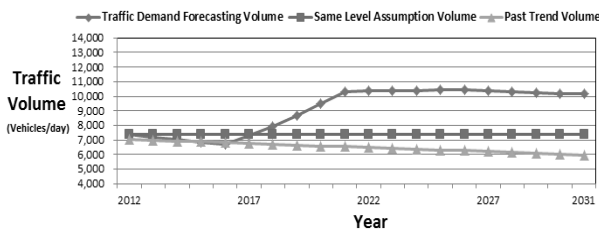


Fig. 8. Comparison of Volumes (0408-01)

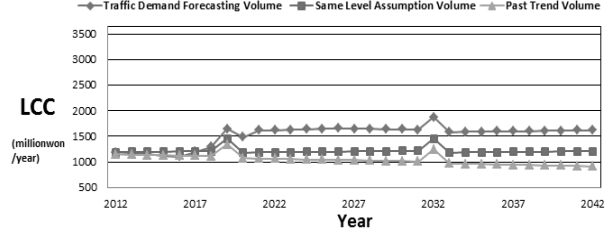


Fig. 11. Comparison of Life Cycle Costs(0408-01)

추이를 기존 2가지 방법(과거 추세 이용 및 현재와 동일한 수준의 교통량으로 가정)과 대상 지역의 장래 개발계획 등을 고려한 교통수요 추정방법과의 차이를 나타내고 있다.

여기서 알 수 있는 바와 같이 기존의 관성적인 수요예측 방법과 비교해 보면 본 연구에서 제시한 방법에서는 1915-00 구간의 확장이 완공되는 2015년의 변동과 0409-01 구간의 2021년 확포장이 완공되는 시점의 교통량의 전환수요 등이 반영된 교통수요 추정방법과는 상당한 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 즉, 포장관리시스템의 의사결정 즉, 유지보수 시기 및 공법의 결정과 이용자비용 등 생애주기비용분석을 통한 경제성 및 효율성을 고려한 도로의 유지관리를 위해서는 장래 교통수요 추정에 기존의 ad-hoc적인 방법은 현실과 많은 괴리가 있음을 알 수 있다.

한편 Figs. 9~11에는 서로 상이한 3가지 교통수요 추정방법에 기반해 장기(30년간)에 걸쳐 발생하는 관리자 비용과 이용자비용을 합한 생애주기비용의 추이를 나타낸 것이다. Fig. 9에서도 알 수 있는 바와 같이 기존의 교통수요 추정방법에 근거해서 작성한

생애주기비용과 주변의 장래개발계획을 고려한 방법과는 매우 큰 차이가 있음을 확인할 수 있다.

Table 5에는 장래 개발계획 등을 고려한 교통수요 추정의 결과를 기반(baseline)으로 기존 교통수요 추정방법으로 산출된 수요와의 차이(difference)를 백분율로 나타낸 것으로 대상 구간에 따라서 수요 추정방법별로 과대 및 과소 추정의 폭이 크며 일정한 패턴을 발견하기 어렵다는 것을 확인하였다.

Table 6에서는 Table 5에서 추정된 장래 교통수요를 기반으로 10년 간격으로 산정한 연간 생애주기비용을 추정방법별로 요약한 것으로 기준(EMME를 이용한 방법)과 상당한 괴리가 있음을 알 수 있다. 여기서 생애주기비용에는 유지보수를 위한 관리자비용과 이용자비용을 함께 고려한 합계 금액임을 밝히며, 정부에서 지침으로 정한 항목과 산정 방법에 따라 산정하였다.

한편 EMME를 기반으로 각 방법별로 예측력을 비교하기 위해 평균제곱오차(Mean Squared Prediction Error, MSPE) 척도를 사용하였다.

Table 5. Estimated Traffic Demand and Difference Based on EMME (Vehicles/Day)

Demand Forecas Methods	2012			2022			2032			2042			MSPE(%)		
	1915	0409	0408	1915	0409	0408	1915	0409	0408	1915	0409	0408	1915	0409	0408
EMME	9,052	4,503	7,361	7,975	11,173	10,352	9,439	9,837	10,144	9,439	9,837	10,144	-	-	-
Same Travel Demand	9,052	4,503	7,361	9,052	4,503	7,361	9,052	4,503	7,361	9,052	4,503	7,361	0.54	23.61	5.85
Difference (%)	0.0	0.0	0.0	13.5	-59.7	-28.9	-4.1	-54.2	-27.4	-4.1	-54.2	-27.4			
Past Trend	7,998	4,490	7,036	10,984	5,083	6,478	13,970	5,676	5,920	16,956	6,269	5,362	25.51	15.19	13.44
Difference (%)	-11.6	-0.3	-4.4	37.7	-54.5	-37.4	48.0	-42.3	-41.6	79.6	-36.3	-47.1			

Table 6. Life-Cycle Cost in Each Link Based on EMME (Million Won/Year)

Demand Forecas Methods	2012			2022			2032			2042			MSPE(%)		
	1915	0409	0408	1915	0409	0408	1915	0409	0408	1915	0409	0408	1915	0409	0408
EMME	1,986	829	1,191	1,715	1,870	1,622	2,070	1,665	1,872	2,049	1,664	1,620	-	-	-
Same Travel Demand	1,986	829	1,191	1,928	822	1,188	1,992	822	1,457	1,972	822	1,209	0.46	20.66	4.63
Difference (%)	0.0	0.0	0.0	12.4	-56.0	-26.8	-3.8	-50.6	-22.2	-3.8	-50.6	-25.4			
Past Trend	1,772	827	1,144	2,311	913	1,059	3,007	1,006	1,241	3,578	1,099	912	22.35	13.35	10.67
Difference (%)	-10.8	-0.2	-3.9	34.8	-51.2	-34.7	45.3	-39.6	-33.7	74.6	-34.0	-43.7			

$$MSPE = \frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^{n_p} (D(EMME_i) - \hat{D}(E_i))^2 \quad (5)$$

여기서,  $n_p$ 는 수요예측 기간(=30)을 나타내며  $D(EMME_i)$ 는 EMME를 이용하여 예측된 수요이며  $\hat{D}(E_i)$ 는 EMME 이외의 과거 방법(동일한 교통량 가정 및 과거추세)을 이용하여 교통수요를 예측한 값을 나타낸다.

### 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 효율적인 국도의 도로관리를 위하여 공용성모형을 추정하고, EMME3를 이용하여 장래 개발계획이 고려된 장래 교통수요변화에 따른 경제성 평가를 통해 기존의 생애주기비용 산정방식과 비교해 보았다.

현재 우리나라는 도로건설 외에 도로유지보수를 위한 교통수요 예측연구는 거의 없으며, 교통수요예측을 하더라도 분석가의 임의 대로 과거의 추세를 이용하여 교통량증가율을 적용하고 있는 실정이다. 이와 같은 과거추세를 통해 장래의 30년~40년의 교통량을

공용성 모형에 적용하는 방식은 비현실적인 방법이라 할 수 있으며, 본 연구의 사례분석을 통해 생애주기비용 산정의 신뢰성 확보를 통해 최적 유지보수의 시기 및 공법 선정과 이용자비용을 고려한 경제적인 의사결정을 위해서는 정도 높은 교통수요에 대한 추정이 필요함을 확인하였다.

특히 본 연구에서 대전지방국토관리청 관할의 일부 지역을 대상으로 기존의 수요추정 방법과 본 연구에서 제시한 장래 지역개발계획과 도로의 신설 및 확장계획 등을 고려한 교통수요 추정방법과는 교통량의 수요뿐만 아니라 관리자비용 및 이용자비용의 수준에도 큰 괴리가 있음을 확인하였다.

따라서 장기적인 포장관리를 위해서는 대상구간의 장래 수요예측을 위해 지역의 개발계획과 도로 계획 등을 고려한 교통수요의 추정이 필요하며, 정도 높은 장래 교통수요를 생애주기비용 산정에 도입함으로써, 신뢰성 향상 및 보다 더 현실적인 최적유지 보수 전략수립 방안이 가능 할 것이라 기대된다.

향후 연구로서는 도로의 신설 및 유지보수 공사중 영향(work zone effects)에 대한 고려 등 교통수요의 변동 및 전환으로 인한 변수를 고려한 생애주기비용 분석에 대한 연구가 추가로 필요하다고 판단된다.

## References

- Christopher, R. B. and Greenwood, I. D. (2000). "Modelling road user and environmental effects in hdm-4." HTC Infrastructure Management Ltd.
- Cho, H., Choi, H., Jung, P. and Lim, J. (2001). "A study on life cycle cost analysis of latex modified concrete pavement for bridges" *Journal of the Korea Institute of Structural Maintenance Inspection*, Vol. 5, No. 4, pp. 185-195 (in Korean).
- Do, M. (2011). "A comparative analysis on mean life reliability with functionally classified pavement sections." *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 15, No. 2, pp. 261-270 (in Korean).
- 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 (in Korean).
- Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991 (1991). *Public law 102-204*, December 18.
- Korea Institute of Construction Technology (2013). *A study on development of decision-making system*, Final Report No. 2012-067 (in Korean).
- Korea Institute of Construction Technology (2009). *Pavement management system*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (in Korean).
- 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 (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (2011). "Guide of investment evaluation of transportation facilities -4th revision-." Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (in Korean).
- The National Highway System Designation Act of 1995 (1995). *Public law 104-59*, December 28 (in Korean).