

생애주기비용의 간접비용 산출을 위한 Regression Model의 개발

Development of Regression Model to evaluate the indirect costs of Life-Cycle Costs

조효남* · 이종순** · 김충완*** · 박경훈***

Cho, Hyo-Nam · Lee, Jong-Soon · Kim, Choong-Wan · Park, Kyung-Hoon

ABSTRACT

Though the concept of Life-Cycle Cost (LCC) itself is not new, its effectiveness for planning, design, rehabilitation and maintenance/management of civil infrastructures is becoming increasingly recognized. For the decision problems as in the case of the LCC of plant facilities, equipments, bridge decks, pavements, etc., the Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) is relatively simple, and thus its practical implementation is rather straightforward. However, when it comes to major infrastructures such as bridge, tunnels, underground facilities, etc., the LCCA problem becomes extremely complex because lack of cost data associated with various direct and indirect losses, and the absence of uncertainty data available for the assessment as well. As a result, the LCC studies have been largely limited only to those relatively simple LCCA problems of planning or conceptual design for making decisions. Accordingly, in the recent years, the researchers have pursued extensive studies on the LCC effectiveness mostly related to LCC models and frameworks for civil infrastructures. Moreover, recently the demand on the practical application of LCC effective decisions in design and maintenance is rapidly growing unprecedentedly in civil engineering practice.

Indirection cost is very important on LCC formulation. But that is very difficult and complicate the estimation every LCC. The objective of this paper is to suggest efficient regression model for the estimation of indirect cost approach to the practical application of LCC for the design and rehabilitation of civil infrastructures considering traffic, traffic network, detour condition, and workzone condition. In this paper, it performed the sensitivity analysis and corelation analysis of parameter for development of regression model of indirection cost.

1. 서론

교량이나 도로, 항만 등 대규모 사회간접자본 시설의 건설은 국가경제에 상당한 파급효과를 주게 되는 대

* 정회원 · 한양대학교 토목환경공학과 교수

** 한양대학교 토목환경공학과 박사과정

*** 한양대학교 토목환경공학과 석사과정

**** 한국건설기술연구원 토목구조부 선임연구원

규모 사업이 많이 있는데, 국가 예산의 효율적인 집행을 위하여 공공건설사업의 효율화 종합대책의 일환으로 최근 500억원 이상 대규모 정부발주공사에 대해서 건설관리법 시행령(제38조13항, 2000. 7)에 따라 설계 VE(Value Engineering; VE)의 수행을 의무화하였다. 이러한 설계 VE를 위해서 생애주기비용(Life Cycle Cost; LCC)분석을 검토하도록 규정하고 있어 기본적인 제도적 근거는 마련된 상태이나 LCC분석에 관한 국내 실무자의 인식 부족과 LCC분석을 위한 국내 기반의 구축은 미미한 실정이며, LCC분석을 위한 체계적인 정립이 부족한 실정이다. 생애주기비용(LCC)은 시설물의 수명주기 동안에 발생하는 모든 비용의 합으로서 신설 시설물의 설계단계 뿐만 아니라 향후 유지관리를 위한 행위로 인하여 시설물이 제 기능을 발휘하지 못함으로써 발생하는 있는 비용(도로이용자비용, 사회-경제손실비용)을 포함하고 있다. LCC구성항목은 크게 관리주체비용인 초기비용, 유지관리비용, 해체·폐기비용과 간접비용인 도로이용자비용과 사회-경제손실비용으로 구성(Ehlen and Marshall, 1996)되어 있으며, 초기비용은 계획비용, 설계비용, 건설비용, 감리비용, 완공 후 초기점검비용, 신기술도입비용 등이 고려되어야 하며, 유지관리비용은 관리비용, 점검 및 진단비용, 유지보수비용이 고려되어야 한다. 또한, 해체·폐기비용은 철거비용과 재활용비용을 고려한다. 도로이용자비용은 교량의 기능적 또는 구조적 결함에 의해 추가로 발생하는 시간지연비용, 차량운행비용, 교통사고비용, 환경비용, 불편함의 비용으로 구성(Berthlot 등, 1996)되나, 환경비용과 불편함 비용은 정성적인 판단에 의하여 산정되므로 정량화하기가 쉽지 않다. 사회-경제손실비용은 성수대교 붕괴나 당산철교 재시공 등에서 알 수 있듯이 교량붕괴, 대규모 공사 등으로 인해 유발되는 경제적 파급효과를 의미하며, 지역의 지가하락, 실업을 저하 및 임금하락, 생산성 유발효과의 저하 등으로 인한 간접적인 경제적 손실을 의미한다. 이러한 간접비용 중 도로이용자비용은 LCC분석시 매우 중요한 항목이며 실제 미국의 Oakland Bay 교량은 1994년 Northridge 지진에 의해 교량 상판일부가 낙교함으로서 구조물 보수비용이나 인명손실비용보다 훨씬 더 막대한 이용자 비용을 지불한 바 있다. 따라서 교량의 직접 공사비보다 도로이용자비용과 같은 간접비도 무시할 수 없을 만큼 매우 중요한 변수가 된다. Ang/Lee/Piers(1997)는 빌딩구조물의 최적 설계기준 개발을 위한 LCC 모델 중 이를 2차 round 손실로 정의하였다. Ang 등(1997)의 일본 지역의 경제에 대한 2차 round 손실은 1차 round 손실(기능손실)과 거의 비슷한 수준에서 평가된 바 있다. 또한 Seskin(1990)은 이러한 사회-경제손실비용은 도로이용자비용의 50~150%정도로 산정되어짐을 제시한 바 있으며, Cho(2003)는 교량 구조물의 간접비용을 산정하기 위하여 특정위치에 대한 합리적인 분석 모델을 제시한 바 있다. 그러나 간접비용을 산정하기 위하여 매년 교통통계 프로그램을 통한 교통 분석을 수행하며, 지역산업연관모형을 적용하기에는 상당히 어려울 뿐만 아니라 이와 관련한 자료도 부족한 현실이므로 간접비용을 효율적이며 편리하게 산정할 수 있도록 하는 회귀 모델(Regression Model)의 개발이 필요하며, 모델개발을 위하여 간접비용에 영향을 미치는 인자들에 대한 민감도 분석 및 상관관계를 분석하는데 중점을 두고 있다.

2. 생애주기비용의 간접비용

2.1 도로이용자비용

도로이용자비용은 교량의 시공, 보수·보강, 재시공 등의 복구를 위하여 교량의 일시적인 교통통제 및 우회시 도로의 이용자에게 부담되는 비용이다. 일반적으로 도로이용자비용은 차량운행비용(Vehicle Operating Costs), 시간지연비용(Time Delay Costs), 사고비용(Accident Costs), 불편함의 비용(Comfort and Convenience Costs), 환경영향비용(Environmental Costs) 등의 5개 주요항목으로 구성된다(Berthlot et. al., 1996). 그 항목 중 시간지연비용과 차량운행비용은 일반적으로 도로이용자비용의 중요비용 항목으로서 고려되어 왔다(De Brito and Branco, 1998; Cho et. al., 2001; 조효남, 2003). 기존연구(조효남, 2003)에서 제안된 시간지연비용과 차량운행비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
C_U &= C_{TDC} + C_{VOC} \\
C_{TDC} &= \left[\begin{aligned} &\left(\sum_{j=1}^I n_{P_w} \cdot T_{0j} \cdot u_{1w} \right) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^I r_i \right) \cdot \Delta t_{d0} + \\ &\sum_{i=1}^I r_i \left(\sum_{j=1}^I n_{P_w} \cdot T_{0j} \cdot u_{1w} + \sum_{j=1}^I n_{P_v} \cdot T_{ij} \cdot u_{1v} \right) \cdot \Delta t_{di} \end{aligned} \right] \\
C_{VOC} &= \left[\begin{aligned} &\left(\sum_{j=1}^I T_{0j} \cdot u_{2j} \right) \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^I r_i \right) \cdot \Delta t_{d0} + \\ &\sum_{i=1}^I \left\{ r_i \cdot \sum_{j=1}^I T_{0j} \cdot u_{2j} + \sum_{j=1}^I T_{ij} \cdot u_{2j} \right\} \cdot \Delta t_{di} + \\ &\sum_{i=1}^I r_i \cdot \left\{ \sum_{j=1}^I T_{0j} \cdot (u_{3v} l_{d_i} - u_{4v} l_{d_i}) + \sum_{j=1}^I T_{ij} \cdot u_{2j} \right\} \cdot \Delta t_{di} \end{aligned} \right] \quad (1) \\
\Delta t_{d_i} &= \frac{L_{d_i}}{v_{d_w}} - \frac{l_{d_i}}{v_{d_w}}, \Delta t_{d_0} = \frac{l_0}{v_{0_w}} - \frac{l_0}{v_{0_w}}
\end{aligned}$$

여기서, i = 교통 네트워크에 속해 있는 우회도로에 대한 인덱스; j = 차량의 종류에 대한 인덱스(업무 혹은 비업무 자가용, 택시, 버스, 소형트럭, 대형트럭 등); n_{P_w} = 재차인원; T_{ij} = 일일평균교통량(Average Daily Traffic, ADT); u_{1j} = 도로이용자의 평균시간가치; u_{2j} = 각 차종에 따른 운전자 평균급여; u_{3j} = 각 우회도로의 단위 길이당 평균 유류비용; u_{4j} = 주도로의 단위 길이당 평균 유류비용; r_i = 주도로의 i 번째 우회도로의 우회율; Δt_{d0} = 주도로의 추가적인 시간지연; l_0, l_{d_i} = 주도로 및 우회도로의 길이; v_{0_w}, v_{0_w} = 정상상태 및 복구공사 상태에서의 주도로의 교통속도; v_{d_w}, v_{d_w} = 정상상태 및 복구공사 상태에서 우회도로의 교통속도

2.2 사회-경제손실비용

사회-경제손실비용은 교량이 복구공사로 인해 제 기능을 발휘하지 못하는 경우 발생하는 경제적인 파급 효과의 결과이다. 기존연구(조효남, 2003)에서 제안된 바와 같이 교량의 복구공사 기간동안의 지역의 산업 생산력을 저하시킴으로서 발생하는 직접적 사회-경제손실인 1차손실 C_{E1}^{loss} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
C_{E1}^{loss} &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^K \epsilon_{ij} Y_{ij}^{loss} \\
&= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^K \epsilon_{ij} \left\{ \left(\frac{\sum_{k=1}^K T_{ik} \cdot n_{P_k} \cdot \Delta t_{d_i}}{\sum_{k=1}^K T_{ik} \cdot n_{P_k}} \right) \cdot \left(\frac{1}{t_{IO}} \right) \cdot \nu_{ij} \right\} \cdot Y_{ij}^P \quad (2)
\end{aligned}$$

여기서, i = 교통 네트워크의 경로에 대한 인덱스; j = 차량의 종류에 대한 인덱스; ϵ = 산업의 중요도 계수; Y^P = 일반적인 상태에서의 경제적인 산출(output); t_{IO} = 산업연관표에 고려된 시간간격; ν = 산업별 종상하는 근로자의 비율; T = ADT; n_{P_k} = 재차인원; Δt = 복구공사로 인한 시간지연

1차손실의 결과로서, 한 산업에서 경제적인 산출능력의 손실은 그 산업으로부터 투입을 받는 다른 산업의 생산성을 저하시키는 경향이 있다. 따라서 이러한 항목은 다음과 같은 2차손실 C_{E2}^{loss} 가 유발되는데, 이는 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
C_{E2}^{loss} &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^K \{ \epsilon_{ij} (Y_{ij}^* - Y_{ij}^d) \} \cdot Y_{ij}^P \\
&Y^P = (I - A^*)^{-1} d^* \quad (3)
\end{aligned}$$

여기서, $Y^* = Y^P - Y^{loss}$ 로 산정되는 산출값의 변화; $Y^d = 1$ 차손실로 인한 새로운 산출수준; $D^* = (I - A^*)Y^*$ 로 산정되는 새로운 투입수준; $A^* = (Y^*/Y^P)A$ 로 산정되는 복구 기간동안 투입계수 매트릭스; $A=I-O$ 모델의 투입계수 매트릭스

2.3 Regression Model의 주요 변수

상기에서 언급한 바와 같이 도로이용자비용을 산정하는 데 있어서 대상 교량의 유지관리 작업으로 인한 시간 지연 및 통행량의 변화를 매번 교통해석 프로그램의 분석을 통하여 분석하기에는 상당히 번거롭고, 사회-경제손실비용을 산정하기에는 특정지역의 교통해석과 더불어 산업연관표와 직종 분포 등의 자료를 적용하기에는 현실적으로 상당히 어려운 실정이다. 따라서, 도로이용자비용에 주로 영향을 미치는 인자를 고려한 회귀모델을 개발하여 주요 인자들만 입력하면 도로이용자비용을 쉽게 구할 수 있다. 회귀 모델을 개발하는데 있어 고려한 주요 인자는 교통네트워크의 교통량, 우회도로 수, 각 우회도로의 차선수 (혹은 도로의 교통용량) 및 길이, 우회도로간 거리, workzone 조건 등을 고려하였다. 도로이용자비용을 산정하는 흐름은 위 식에서도 언급하였지만, 간단하게 흐름도를 표현하면 그림 1과 같다. 본 연구에서는 교통해석프로그램인 EMME/2 v5.1(Intro Consultants Inc., Montreal, Canada)을 이용하였다. 그림 2와 같이 모델링한 EMME/2를 이용하여 교통해석을 수행하기 위해서는 교통 네트워크에서 교통이 발생하는 O-D(Origin-Destination)에서의 교통량과 주도로 및 우회도로의 위치, 차선수 등의 입력이 필요하다. 또한 해석에서 중요한 것은 도로 특성에 적합한 교통용량과 통행시간을 특징지어 줄 수 있는 시간지연함수(volume delay function)와 흐름상태 동안의 우회율을 위한 이론적인 모델이 정의되어야 한다. 시간지연함수는 경기개발연구원(1999)에서 국내도로 특성에 따라 개발된 모델을 교통해석 조건에 따라 사용하였다. 한편, 우회율은 All-or-Nothing법, 반복과 정법(iterative assignment), 분할배분법(incremental assignment), 다중경로배분법(multi pass assignment), 확률적 통행배분법(probability assignment)의 다양한 모델들이 적용될 수 있으나, 이 방법들의 공통적인 특징은 최소통행에 교통량이 배분된다는 기초적인 개념에 입각하고 있으므로, 본 연구에서는 이론이 단순하여 적용이 용이하고, 총교통흐름의 관점에서 최적의 통행배분 상태에 대한 검토가 가능한 All-or-Nothing 방법을 사용하였다.

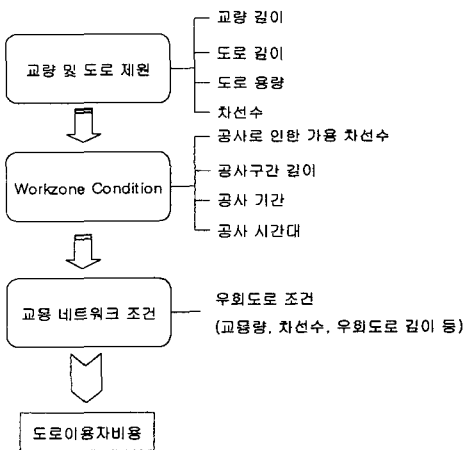


그림 1. 도로이용자비용 산정 변수 및 흐름도

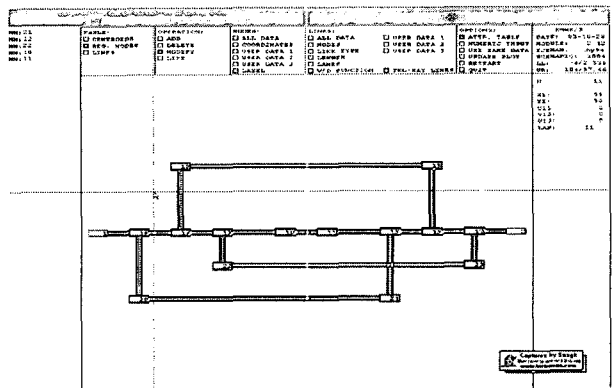


그림 2. 교통해석 프로그램 EMME/2의 모델링

사회-경제손실비용은 식 (2)~(3)을 이용하여 합리적으로 평가할 수 있지만, 실제로 이를 산정하기 위해서는 특정지역에 대한 교통해석 뿐만 아니라 산업연관표(혹은 투입-산출 테이블), 직종분포 등의 자료와 방대한 매트릭스 연산이 필요하기 때문에 이러한 모델들을 매번 비용해석시마다 적용하는 것은 대단히 어렵고 실용적이지 못하다. 특히 국내의 경우는 서울을 제외한 지역별 산업연관표는 작성되어 있지 않은 실정이므로 서울 이외의 지역의 경우에 대한 사회-경제손실비용의 평가하기 위한 위 식의 적용이 난해하다. 따라서, 근사적인 방법으로 Seskin(1990)이 제시한 사회-경제손실비용은 적용 지역의 규모에 따라 도로이용자비용의 50%~150%에 해당한다고 적용할 수 있다.

3. 적용 예 및 결과 고찰

본 연구에서 분석을 위해 기본적으로 사용된 입력변수 및 사용데이터는 <표 1>과 같다. 교량은 도로의 일부분으로 고려하여 EMME/2에서 dummy link를 이용하여 표현하였다. 이와 같은 입력변수를 적용하여 분석중인 전국 교통망 유형의 특징을 잘 나타내는 대표적인 5가지 가상네트워크 유형은 그림 3과 같다.

이와 같은 5가지 가상네트워크의 교통흐름 해석시에 교통흐름 변화의 민감도 분석에서 교통망에 영향을 미치는 각 입력데이터에 대해 적용한 변수는 교통량, 폐쇄시 가교여부, 주도로 차선수, 공사구간 차선수, 공사로 영향을 받는 길이(Boundary), 우회도로의 차선수, 우회도로의 길이, 공사일수 등을 고려하였다. 각 변수에 대하여 교통량의 경우 500~20000대/일 (원제무, 도시교통론, 박영사, 1999), 주도로의 차선수는 2~4차선, 우회도로 차선수는 1~6차선, 공사로 영향을 받는 길이는 3~5km(건설교통부, 도로 공사장 교통관리지침, 1996), 공사구간의 조건은 1~2차선 차단 및 전차선 차단, 우회도로의 길이는 본 교통해석 프로그램 대상 주도로의 100%~1000%까지를 고려하였다. 교통망에 영향을 미치는 각 입력데이터에 대해 적용한 변수들을 EMME/2에 적용하여 교통량을 네트워크에 배정을 하게 되면, 그림 4와 같이 링크의 통행시간과 통행속도, 배분된 교통량의 결과를 얻을 수 있다.

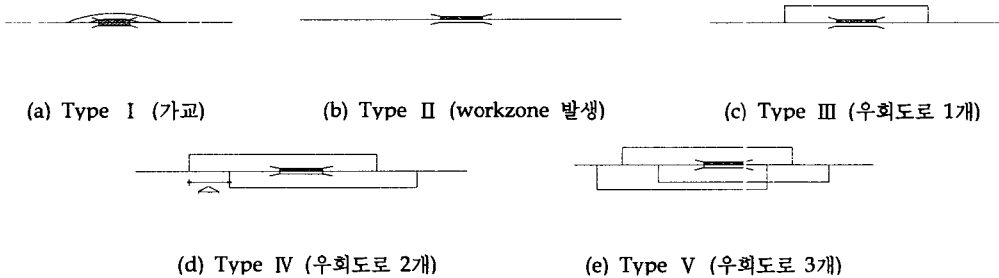


그림 3. 교통망 네트워크 타입 유형

A U T O T I M E S A N D V O L U M E S

Selected links: all

from node	to node	length (km)	modes	link type	no.of lanes	v/d fct	time (min)	speed (km/hr)	v o l u m e s		
									auto	addl.	total
1	10	1.80	c	1	3.0	4	5.44	19.85	43000		43000
2	17	1.80	c	1	3.0	4	5.44	19.85	43000		43000
10	1	1.80	c	1	3.0	4	5.44	19.85	43000		43000
10	11	0.49	c	1	3.0	4	.75	32.00	35605		35605
10	20	0.00	c	1	2.0	4	.00		7395		7395
11	10	0.40	c	1	3.0	4	.75	32.00	35605		35605
11	12	0.30	c	1	3.0	4	.31	58.57	22668		22668
11	24	0.00	c	1	2.0	4	.00		12938		12938
12	11	0.30	c	1	3.0	4	.31	58.57	22668		22668
12	13	0.70	c	1	3.0	4	.72	58.57	22668		22668
12	22	0.00	c	1	2.0	4	.00		0		0
13	12	0.70	c	1	3.0	4	.72	58.57	22668		22668
13	14	0.20	c	1	1.0	4	2.88	4.17	22668		22668
14	13	0.20	c	1	1.0	4	2.88	4.17	22668		22668
14	15	0.70	c	1	3.0	4	.72	58.57	22668		22668
15	14	0.70	c	1	3.0	4	.72	58.57	22668		22668
15	16	0.30	c	1	3.0	4	.41	43.65	30062		30062
15	21	0.00	c	1	2.0	4	.00		7395		7395
16	15	0.30	c	1	3.0	4	.41	43.65	30062		30062
16	17	0.40	c	1	3.0	4	.55	43.65	30062		30062
16	23	0.00	c	1	2.0	4	.00		0		0
17	12	1.80	c	1	3.0	4	5.44	19.85	43000		43000
17	16	0.40	c	1	3.0	4	.55	43.65	30062		30062
17	25	0.00	c	1	2.0	4	.00		12938		12938
20	10	0.00	c	1	2.0	4	.00		7395		7395
20	21	6.00	c	1	2.0	4	5.20	69.23	7395		7395
21	15	0.00	c	1	2.0	4	.00		7395		7395
21	20	6.00	c	1	2.0	4	5.20	69.23	7395		7395
22	12	0.00	c	1	2.0	4	.00		0		0
22	22	6.00	c	1	2.0	4	5.14	70.00	0		0
23	16	2.00	c	1	2.0	4	.00		0		0
23	22	6.00	c	1	2.0	4	5.14	70.00	0		0

-->

그림 4. Type IV 교통분석에 따른 통과시간(분), 통행속도(km/h) 및 배분교통량(대/일)

이렇게 각 유형별로 교량의 신설 및 유지보수 시행시와 미시행시의 경우를 시뮬레이션하여 산출된 결과를 이용해 도로이용자비용을 산정하였고, 그 산정방법은 다음과 같다.

· 시간지연비용 산정방법

총통행시간(각 유형별 산출된 통행시간 × 각 유형별 배분된 PCU 교통량) × 승용차 운전자 시간가치(교통량의 25%는 업무통행, 75%는 비업무통행으로 적용)

· 차량운행비용 산정방법

각 유형별 산출된 통행속도 × 승용차 · 속도별 운행비 원단위 × 각 유형별 배분된 PCU교통량

· 교통사고비용 산정방법

각 유형별 배분된 구간별 PCU 교통량(억대 · km) × 도로유형별의 교통사고 사상자수(일반국도 적용) × 도로교통사고의 유형별 비용

· 환경비용 산정방법

각 유형별 배분된 PCU 교통량 × 1대당 도로종류별 · 차종별 대기오염 비용(일반국도, 승용차 적용) × 주행거리 (도로연장거리, km)

각 유형별 도로이용자비용에 가장 중요한 영향을 주는 인자도출을 위해 가상 네트워크에 민감한 여러 변수를 적용하여 각 유형별 교량의 신설 및 유지보수 시행시와 미시행시의 경우의 통행배정에 따른 비용산출을 하고 있으며, 이러한 비용산출 후 이를 통해 교통량, 주도로차로수, 우회도로 차로수, 우회도로의 수, 우회도로의 길이, 공사구간의 조건 등의 변수를 독립변수로 산출비용을 종속변수로 한 파라미터를 도출하였다.

4. 결론

본 연구는 생애주기비용에 가장 큰 영향을 미치는 간접비용을 효율적이며, 편리하게 산정할 수 있는 Regression Model을 개발하는데, 간접비용에 큰 영향을 미치는 인자에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- 1) 각 type별 가상 N/W에 민감한 여러 variable을 적용하여 regression model 개발을 위한 각 input data에 따른 parameter를 도출하고 있다.
- 2) 도로이용자 비용의 영향을 주는 중요변수 중 비용증가에 교통량 및 공사구간의 조건의 변수가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 3) 간접적인 손실인 사회-경제손실비용(socio-economic losses)은 지역간의 의존도에 관련된 문제로서 지역별 범주에 따른 직접적 효과는 예비타당성 평가에서는 경제성 분석의 성격으로 도로이용자비용으로 추정하고 있으며, 간접적 효과는 정책성 분석의 성격으로 보통 예비타당성평가지침에 따라 MRIO 모형을 사용하여 지역경제 파급효과 분석으로 추정하고 있다.

참고문헌

- 1) 강경우, 국우자, 도로투자에 대한 지역의 직·간접적 경제적 효과, 국토계획 제 36권 제 5호, 2001
- 2) 강광하, 산업연관분석론, 연암사, 2000
- 3) 건설교통부/시설안전기술공단 (2001), LCC개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구, 시설안전기술공단 연구보고서 TS-2001-R3-001
- 4) 경기개발연구원, 경기도 물류비용 분석 및 물류체계 개선 연구, 1999
- 5) 김홍배, 도시 및 지역경제 분석론, 기문당 2001
- 6) 대한교통협회, 지역간 여객 및 화물 O/D 구축, 2000
- 7) 안승범, 김의준, 지역간 화물수송수요 예측모형 정립, 교통개발연구원, 2001
- 8) Berthelot, C. F., Sparks, G. G., Blomme, T., Kanjner, L., and Nickeson, M. (1996),
- 9) Mechanistic-probabilistic vehicle operating cost model, Journal of Transportation Engineering, ASCE, 122(5), 337-341.
- 10) Boisvert, R. N. (1992), Indirect losses from a catastrophic earthquake and the local, regional, and national interest, pp.209-265 in: indirect Economic Consequences of a Catastrophic Earthquake, Development Technologies, Inc. Washington, D. C.
- 11) Cho, H. N. (2002a), Life Cycle Cost Effectiveness for Design and Rehabilitation of Civil Infrastructures, Proc. of SEWC02
- 12) De Brito, J. and Branco, F. A. (1995), Bridge management policy using cost analysis, Proceedings of Institution of Civil Engineering: Structures and Buildings, 104, 431-439.
- 13) De Brito, J. and Branco, F. A. (1998), Road bridges functional failure costs and benefits, Canadian Journal of Civil Engineering, 25, 261-270.
- 14) Ehlen, M. A. (1999), "BridgeLCC 1.0 Users Manual - Life-Cycle Costing Software for Preliminary Bridge Design", NISTIR 6298, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.
- 15) EMME/2 User's Manual, Software Release 9.0, INRO, 1999 .