

교량의 재가설 공사기간에 따른 사용자비용 평가

User Costs Evaluation due to the Bridge Reconstruction Period

김 상 호¹⁾ 박 세 준²⁾ 이 동 호³⁾ 안 진 희^{4)*}
Kim, Sang Hyo Park, Se Jun Lee, Dong Ho Ahn, Jin Hee

Abstract

As critical infrastructure, bridges play an indispensable role in facilitating the distribution of goods. When bridges reach their end of useful life or get damaged by natural disasters such as earthquakes or storms, they have to be removed and reconstructed. When bridges in service need to be reconstructed, user costs occur from vehicle detours and traffic congestions, and social costs occur from noise and dust during construction periods. However, these user and social costs are not considered during reconstruction and the evaluation methods of those costs are vague. Thus, there is lack of appropriate bridge types that consider these costs. Therefore, this paper identifies the social overhead costs that occur during bridge reconstruction, which is also called, users' socioeconomic values. Next, it proposes a method to evaluate user costs during bridge reconstruction, and appraises the method. User costs are evaluated based on traffic information, social and material volumes including the bridge's daily traffic volume, peak hours, detour distance and time. In addition, time delay costs due to traffic operational costs and bridge reconstruction are also taken into consideration.

Keywords : Bridge reconstruction, Construction period, User cost, Vehicle operation cost, Time delay cost

1. 서론

토목구조물 중 교량은 교통흐름에 중요한 역할을 하는 구조물로 공용수명이 다하거나 자연재해, 부식, 충돌 등으로 인한 손상이 발생할 가능성이 크다. 공용 중인 교량을 재가설 할 경우, 기존 교량을 이용하지 못하게 되어 발생하는 차량의 우회, 교통체증과 같은 차량이용자의 간접비용 증가와 함께 공사기간동안 발생하는 소음, 분진 등 환경적 간접비용이 발생하게 된다. 따라서 교량의 재가설시 직접공사비 이외에 부가되는 사회적 간접비용의 평가가 필요하며, 이는 일교통량, 침투시간, 우회거리, 우회시간과 같은 교통현황과 사회적 물동량이 고려되어야 할 것이다.

국내에 현재 건설된 누적 교량의 수와 교량의 증가율을 Fig. 1과 같이 나타내었다. 문헌 및 통계자료 등에 의하여 제시된 교량의 공용수명을 기준으로 30년 이상의 교량을 향후 교체나 보강이 필요한 대상으로 평가할 때, 10년 후 국내에는 약 5,000개의 노후된 교량이 누적되는 것으로

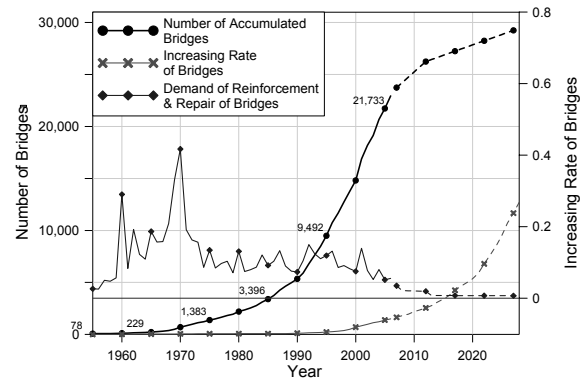


Fig. 1 The number of bridges in Korea(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2006, Ahn, 2009)

나타났다. 교량건설의 특성 상 단기간에 많은 수의 교량 건설이 힘들 뿐 아니라 투입되는 물리적 비용도 상당할 것이다. 또한 차량통제에 따른 교통지체로 발생하는 물류 손실과 향후 발생할 신설교량의 수 까지 고려한다면 국가 경제에 큰 영향을 줄 수 있다.

1) 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수, 공학박사
2) 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정
3) 정회원, 코오롱건설(주) 사원
4) 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 연구교수, 공학박사

* Corresponding author : palanorange@yonsei.ac.kr 02-2123-2804
• 본 논문에 대한 토의를 2011년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2011년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Adeli(2003)는 작업구간의 길이와 평균시간 교통량을 이용한 작업구간 시작시점의 함수로 구성된 작업구역 교통지체와 시간지연비용 최적화모델을 제시한 바 있다. 작업구역으로 인한 총 비용은 이용자 지체, 사고, 유지관리 비용을 최소화하도록 하고 있으며, 통제차로 수, 조도, 계절별 변동 여행자 수요는 무시하였다.

국내에서는 한국개발연구원(2004)에서, '도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완관한 연구'에서 교통시설의 타당성 조사에 필요한 편익산정을 위한 차량운행비용 절감 편익, 통행시간 절감 편익, 교통사고 절감 편익 등에 의한 경제성을 분석하였으며, 공사 중 교통 혼잡으로 인한 부의 편익에 대해서는 양의 편익을 산정하는 방법과 동일한 방법으로 수행해야한다고 제시하였다. 정해훈(2006)은 '돌발 상황으로 인한 차로감소구간의 용량감소에 관한 연구'에서 도로공사 및 교통사고, 낙하물, 고장차량에 의한 돌발 상황에 따른 서울시고속도로의 교통류 영향을 고려하여, 차로감소로 인한 도로용량감소를 돌발 유형별로 분석하였다. 한국교통연구원(2008)에서는 '2007년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석에 관한 연구'에서 지역 간 도로와 도시부도로 등의 지역적 특성을 고려하여 교통혼잡에 따른 차량운행비용과 시간가치비용 같은 사회적 손실비용의 규모 및 변화 추이에 대하여 파악하였다.

현재 국내에 건설된 상당수의 교량이 노후화, 파손 등으로 재가설이 필요하며 이는 20~30년 수명의 교량이 대다수를 차지하는 현재 국내 상황에 따라 향후 그 수가 급격히 증가할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 비용과 손실을 최소화하기 위하여 사회적 간접비용의 평가, 즉 교량의 급속교체를 통하여 절감할 수 있는 사용자비용을 평가할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 사용자비용 평가방법

교량 건설 시 평가되어야 하는 사용자비용은 도로의 차량운행비용, 시간지연비용, 안전 및 사고비용, 불편비용, 환경영향비용 등으로 구성되어 있지만(Berthelot, 1996) 이 중 안전 및 사고비용, 불편비용, 환경영향비용은 정량적으로 평가할 수 있는 지표가 모호하고, 그 대상 또한 광범위하고 비중이 적으므로 많은 연구에서 이를 고려하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 차량운행비용과 시간지연비용만으로 사용자비용을 산출하였다.

2.1 차량운행비용

국내 연구에서는 일반적으로 사용자비용을 차량운행비용과 시간지연비용으로 구분하며, 차량운행비용은 다시 고정비와 변동비로 구분된다. 고정비에는 운전자의 인건비, 차량의 감가상각비, 보험료, 각종 제세공과금 등이 있고, 변동비에는 유류비와 차량의 유지정비비, 엔진오일비, 타이어 마모비 등이 있으나 실제로 감가상각비와 유류비를 제외한 나머지 항목들은 계산하기가 곤란하고 크기가 미미하므로 사용자비용의 추정에 있어 이들 항목은 제외된다.

차량 운행비용을 평가하기 위해서는 차종별·속도별 유류소비량과 감가상각비 비율을 알아야하는데 현재 국가도로사업의 예비타당성조사의 표준지침으로 사용되고 있는 한국개발연구원의 유류소비 산정모형을 이용하였다. 여기에 2008년 평균 유류가격을 곱하여 유류비를 산정하고, 평균차량판매가격과 폐차 시까지의 평균주행거리를 이용하여 산출한 감가상각비 원단위를 곱하여 감가상각비를 산정하고 그 합으로 차량운행비용을 평가하였다. 총 차량운행비용은 유류단가에 따라 결정된 유류비와 감가상각비에 우회거리, 통행량 및 공사기간을 고려하여 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$VOC = \sum_{i=1}^6 \{ (A_{fuel} \times C_f) + C_d \} \times L \times V_t \times d \quad (1)$$

여기서, A_{fuel} 은 유류소비량(l/km)으로 국토연구원(1999)의 '도로사업 투자분석 기법정립 연구'에 따라 결정된 연료비와 속도의 관계식이며, C_f 는 유류단가(원/ l)로 본 연구에서는 한국석유공사에서 제시하고 있는 2008년 평균유류비용을 기준으로 차량운행비용을 계산하였다. C_d 는 감가상각비용(원/ km)으로 이 또한 국토연구원(1999)의 '도로사업 투자분석 기법정립 연구'에서 제시하고 있는 감가상각비율을 기준으로 결정되며, L 은 통행거리로(km) 교량의 재가설시 발생하는 우회통행거리나 우회하지 않을 때의 대상교량의 연장을 말하는 것이다. V_t 는 통행량(대/일)으로, 본 연구에서는 수도권 교량의 연평균 일 교통량을 적용하였으며, d 는 교량의 재가설 공사기간(일)이다. 여기서 차종별 유류소비량과 감가상각비용이 다르므로 차종을 승용차, 소형버스, 대형버스, 소형화물차, 중형화물차, 대형화물차로 구분하여 각각 $i=1$ 은 승용차, 2는 소형버스, 3은 대형버스, 4는 소형화물차,

Table 1 Average auto occupancy and business travel rates by car types

		Passenger car	Small bus	Coach	Small cargo truck	Medium cargo truck	Large cargo truck
Occupancy (People)		1.25	1.52	12.87	1.38	1.21	1.11
Travel purpose	Business (%)	19.5	19.5	16.4	All trucks are business purpose.		
	Non-Business (%)	80.5	80.5	83.6			
Auto occupancy	Business (%)	0.24	0.3	2.11 (Driver 1/ Passenger 1.11)	1.38	1.21	1.11
	Non-Business (%)	1.01	1.22	10.76 (Passenger)	-	-	-

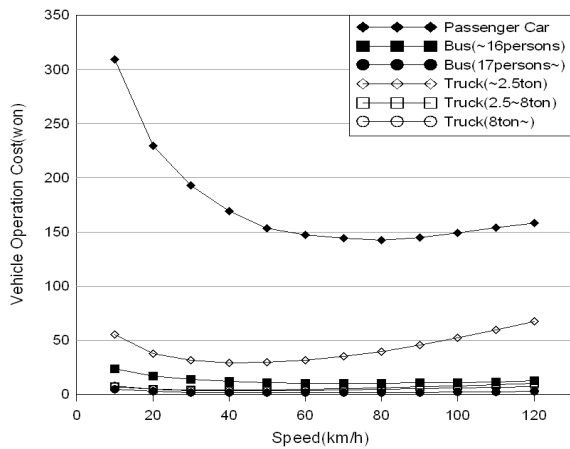


Fig. 2 Vehicle operation cost for according to car types and velocity

5는 중형화물차, 6은 대형화물차로 표현하여 나타내었다.

식 (1)의 총 차량운행비용에서 유류소비량(A_{fuel})는 국토연구원(1999a)에서 제시하고 있는 차종별 연료비와 속도의 관계식으로 현장시험을 통하여 고속도로에서 실측된 차종별 유류소비량과 속도와의 관계식으로 식 (2)와 같다.

$$\left. \begin{aligned}
 FL_c &= 0.02882 + 0.910/V + 0.000003828 \times V^2 \\
 FL_{sb} &= 0.03336 + 1.153/V + 0.000004312 \times V^2 \\
 FL_{lb} &= 0.02476 + 3.492/V + 0.00001277 \times V^2 \\
 FL_{st} &= 0.01695 + 1.292/V + 0.00001647 \times V^2 \\
 FL_{mt} &= 0.01695 + 1.292/V + 0.00001647 \times V^2 \\
 FL_{lt} &= 0.06639 + 4.158/V + 0.00002525 \times V^2
 \end{aligned} \right\} (2)$$

여기서, FL_c 는 승용차, FL_{sb} 는 소형버스, FL_{lb} 는 대형

버스, FL_{st} 는 소형화물차, FL_{mt} 는 중형화물차, FL_{lt} 는 대형화물차의 유류소비량(ℓ/km)이며, V 는 주행속도(km/시간)이다. 소형버스는 16인승 이하, 대형버스는 17인승 이상, 소형화물차는 적재적량 2.5톤 미만, 중형화물차는 2.5~8톤, 대형화물차는 8톤 이상으로 정의하였다. Fig. 2는 차종별·속도별 차량운행비용을 나타낸 것으로 여타 차종에 비해 승용차의 비중이 높음을 확인할 수 있다.

2.2 시간지연비용

시간지연비용은 교통흐름의 장애로 인하여 발생된 손실시간분의 비용(혹은 가치)으로써 이를 화폐단위화한 것이다. 즉, 차량의 운행속도가 정상속도를 유지하였다면 원하는 시간에 목적지에 도달하여 개개인의 경제활동 등의 기회를 가질 수 있으나, 혼잡에 의해 지체된 시간만큼 이러한 기회를 상실하므로 이에 대한 가치비용을 추정한 것이다. 그러나 시간가치는 개개인에 따라 큰 차이를 나타내게 되는데, 이를 모든 경우에 적용할 수 없으므로 개개인이 이용한 교통수단이나 업무 또는 비업무와 같은 통행목적에 대해 평균의 개념을 사용하여 시간가치비용을 추정한다.

총 시간지연비용은 도로 사용자들의 업무/비업무 평균 시간가치에 재차인원을 곱하여 산정한 우회시간, 통행량 및 공사기간을 고려하여 식 (3)과 같이 나타낼 수 있고, 화물차의 경우 비업무통행이 없는 대신 화물시간가치를 고려하여 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{TDC1} = \sum_{i=1}^6 \left\{ \left(\frac{C_{mw}}{T_{mw}} \times P_{rb} \right) + \left(\frac{C_{mw}}{T_{mw}} \times R_b \times P_{ru} \right) \right\} \times T_p \times V_t \times d \quad (3)$$

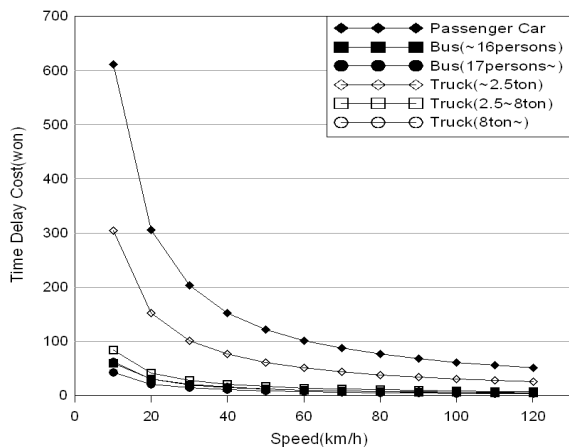


Fig. 3 Time delay cost according to car types and velocity

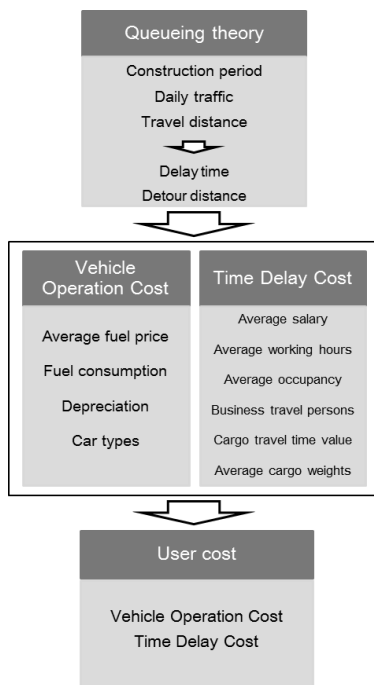


Fig. 4 User cost evaluation method

TDC2 =

$$\sum_{i=1}^6 \left\{ \left(\frac{C_{mw}}{T_{mw}} \times P_{rb} \right) + (v_c \times t) \right\} \times T_p \times V_t \times d \quad (4)$$

여기서, C_{mw} 는 월 평균임금(원/월), T_{mw} 는 월 평균 근로시간(시간/월), P_{rb} 은 업무통행 재차인원(명), P_{ru} 은 비업무통행 재차인원(명), R_b 는 업무통행시간가치 대비비율(%), T_p 는 통행시간(hr)이다. 업무통행 재차인원은 재차인원 중 업무상의 목적을 갖고 이동하는 사람의 수로, 본 연구에서는 국토연구원(1999)에서 제시하는 평

균 재차인원과 업무통행인원을 이용하였다(Table 1). v_c 는 화물통행시간가치, t 는 평균적재톤수(ton)로 트럭은 비업무통행이 없는 것으로 간주하고 화물통행시간가치를 고려한다. Fig. 3은 차종별·속도별 시간지연비용을 나타낸 것으로 저속일수록 시간지연비용이 더 많이 소요됨을 알 수 있다.

2.3 대기행렬이론을 이용한 사용자비용의 간략평가법

본 연구에서 제안하는 사용자비용의 간략평가법의 개요를 다음 Fig. 4에 나타내었다. 먼저 대상교량 별로 일일 통행량과 우회거리를 결정하고, 교량의 공사로 인하여 지체되는 지체 거리와 차량의 대기 시간을 대기행렬이론을 통하여 산정한다. 이를 위의 절에서 언급한 차량운행비용과 시간지연비용의 식에 대입하고, 각각의 변수들을 결정하여 비용을 계산한 후 두 비용을 합하여 사용자비용을 평가한다.

대기행렬이론을 이용하면 교량의 공사로 인하여 지체되는 지체거리와 지체시간을 산정할 수 있다. 단, 차로 수의 감소와 같은 교통용량의 변동이 있을 경우에만 산정가능하다. 또한 가설교량을 1차로씩 양쪽으로 가설하는 것과 한쪽으로 2차로를 가설하는 것에 의한 차이는 없으므로 가정하고 교통정체는 출·퇴근시간(첨두시간)에 차량이 집중될 때 주로 발생한다고 가정하였다.

일반적으로 통행배정은 첨두와 비첨두로 구분하여 1시간 교통량을 기준으로 분석하는 것을 원칙으로 하였으며, 첨두 지속시간은 10시간으로, 첨두 1시간 교통량 비중은 7%이고, 비첨두 지속시간은 9시간으로, 비첨두 1시간 교통량 비중은 2.5%로 하였다. 심야시간대 5시간은 자유교통류 상태로서 공사로 인한 영향을 받지 않는 것으로 간주한다. 편도 2차로로 구성된 지방도 및 국지도의 1차로 당 최대용량은 1,000대/시간이고, 편도 1차로로 구성된 지방도 및 국지도의 1차로 당 최대용량은 750대/시간이다(한국개발연구원(2004)). 해당도로에서 용량을 초과하는 교통량이 유입될 경우 정체가 발생하기 시작하여 유입량이 용량보다 적어지게 되면 정체가 풀리기 시작하고 서서히 감소한다.

Fig. 5는 대기행렬 이론을 나타낸 것이다. 여기서 A(t)는 누적도착(Arrival) 교통량을 나타내고, D(t)는 누적통과(Departure) 교통량을 나타내며, 동일시점에 누적도착 교통량(A(t))이 누적통과교통량(D(t))보다 큰 값을 가질

경우는 대기행렬(정체)이 발생하고, 두 값이 동일하거나 $A(t)$ 가 $D(t)$ 보다 작은 경우에는 정체가 발생하지 않는다.

특정시점의 대기행렬(정체차량대수)은 동일시점의 $A(t)$ 와 $D(t)$ 사이의 수직거리와 같고($Q(t)=A(t)-D(t)$), $A(t)$ 가 첨두시간에 증가하다가 비첨두 혹은 심야시간으로 접어들면서 감소하는 점에서 최대대기행렬(Q_{max})이 발생한다. 정체가 시작되는 첨두시간의 시작점에서 정체가 사라지는 지점까지의 시간을 정체시간으로 정의하고, 첨두시간의 시작점에서 정체가 사라지는 지점까지의 수직 거리는 정체구간 통과차량대수이다. 또한 일정 시간동안 정체된 구간을 통과하는 차량의 누적정체차량·시간(Total Delay, 단위는 vehicle-hours)은 Fig. 5의 빗금 친 부분으로 $A(t)$ 와 $D(t)$ 가 이루는 삼각형의 면적으로 식 (5)와 같다.

$$Q_{vt} = 0.5 \times t_c \times Q_{max} \quad (5)$$

여기서 Q_{vt} 는 누적정체차량·시간, t_c 는 정체가 시작된 시각부터 정체가 해소된 시각까지의 정체시간, Q_{max} 는 최대대기행렬(정체차량대수)이다. 누적정체차량·시간이 구해지면 누적정체차량들의 평균정체시간(t_{ac})은 식 (6)으로 구해진다.

$$t_{ac} = \frac{Q_{vt}}{V_p} \quad (6)$$

t_{ac} 는 누적정체차량의 평균정체시간, V_p 는 정체되는 시간동안 통과차량대수이다. 정체구간의 거리는 정체차량들이 평균정체시간 t_{ac} 동안 일정한 지체속도 v_c 로 주행한다고 가정하면 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$L_c = t_{ac} \times v_c \quad (7)$$

만약, 지체구간을 정상통행속도 v_n 으로 주행한다면 소요되는 시간 t_n 은 식 (8)로 구해진다.

$$t_n = \frac{L_c}{v_n} \quad (8)$$

따라서 지체속도 v_c 로 L_c 거리를 t_{ac} 시간동안 주행하

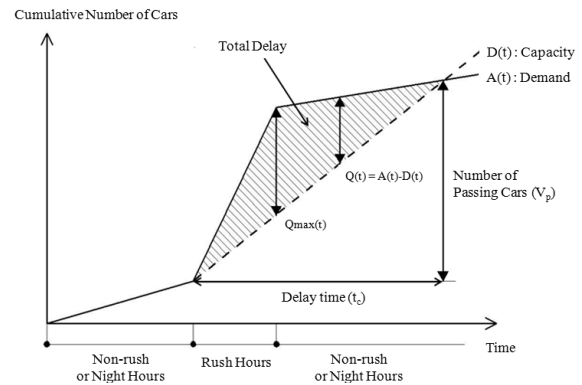


Fig. 5 Queueing theory

는데 소요되는 사용자비용에서 정상속도 v_n 로 L_c 거리를 t_n 시간동안 주행하는데 소요되는 사용자비용을 감해주면 교통정체로 인하여 부과되는 사용자비용이 산출된다.

3. 대상교량의 선정과 간략평가법을 이용한 사용자 비용 평가

본 연구에서 급속교체에 따른 사용자비용을 평가하기 위한 대상교량은 급속교체를 통한 시공으로 교통통체 또는 차단에 따른 영향을 평가해야 하므로 비교적 교통량이 많은 수도권에 위치한 교량을 대상으로 하였다. 이때 수도권 교량의 평균 연장 및 연평균 일 통행량을 기준으로 하였다.

3.1 대상교량 및 사용변수

국토해양부의 '2008 도로교량 및 터널현황'에 따르면 2007년 말 기준 국내교량 15,241개중 수도권에 위치한 1,616개(고속국도 1,622개 제외) 교량의 평균연장은 약 150m(154.42m)이며, 이중에서 교통량이 측정되고 있는 교량은 938개로 이의 연평균 일 교통량은 약 30,000대/일(31,204대/일)로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 평균연장 150m, 일 교통량이 30,000대인 왕복 4차로 교량을 대상으로 사용자비용이 평가되었다. 그리고 평균공사 기간은 24개월로 가정하였으며, 이를 기준으로 공사기간 단축에 따른 사용자비용을 평가하였다.

평가에는 가교설치를 위한 공간이 여의치 않아 축소된 차로를 갖는 가설교량을 건설하는 경우와 인근지역의 도로를 이용하도록 우회시키는 경우, 두 가지로 사례를 분석하였다. 또 통행량에 따른 사용자비용 평가를 위하여

Table 2 Distribution of vehicles
(Korea Transportation Safety Authority, 2008)

Types	Passenger car	Small bus	Coach	Small cargo truck	Medium cargo truck	Large cargo truck
Rate(%)	75.19	6.02	0.77	14.64	2.38	1.00

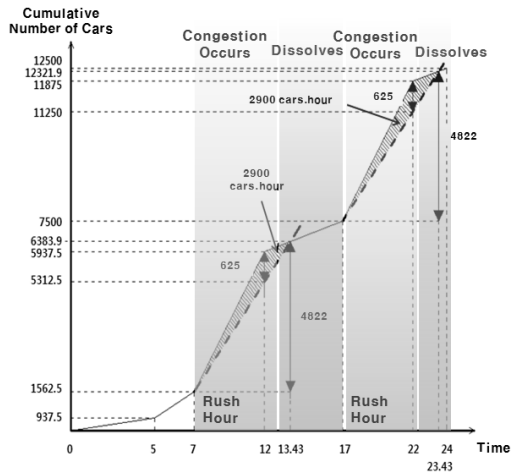


Fig. 6 Relations between time and the number of cumulative cars when a temporary bridge is built (AADT 25,000)

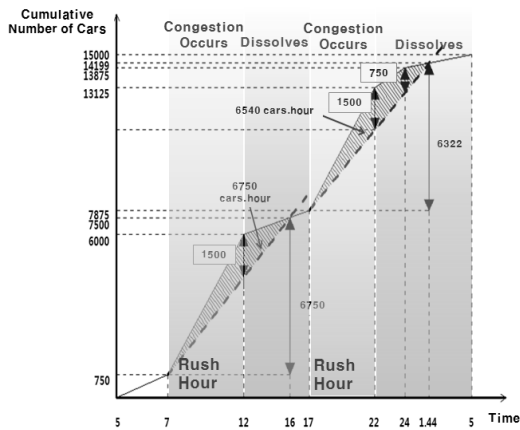


Fig. 7 Relations between time and the number of cumulative cars when a temporary bridge is built (AADT 30,000)

통행량을 30,000대와 35,000대 그리고 40,000대로 변화시켜 평가하였고, 우회거리와 우회도로의 수도 변수에 포함시켜 평가를 수행하였다. 또한 사용자비용 계산을 위한 차량의 분포는 Table 2와 같다.

3.2 사용자비용 평가 결과

3.2.1 가설교량을 설치하여 통행시킬 경우의 사용자비용 Fig. 6, 7은 해당 교량을 통제하고 왕복 2차로 가설교

Table 3 User costs according to estimated construction period when a temporary bridge is built (AADT 25,000 cars)

Estimated period	24 months	12 months	6 months	3 months
VOC (KRW)	12,674,870,000	6,016,170,000	3,008,080,000	1,504,000,000
TDC (KRW)	56,793,410,000	27,719,190,000	13,859,590,000	6,929,800,000
User cost	69,468,290,000	33,735,370,000	16,867,680,000	8,433,840,000
Saving rates	-	-51.44%	-75.72%	-87.86%

Table 4 User costs according to estimated construction period when a temporary bridge is built (AADT 30,000 cars)

Estimated period	24 months	12 months	6 months	3 months
VOC (KRW)	41,920,130,000	19,897,530,000	9,948,770,000	4,974,380,000
TDC (KRW)	187,799,200,000	91,059,260,000	45,529,630,000	22,764,810,000
User cost	229,719,330,000	110,956,800,000	55,478,400,000	27,739,200,000
Saving rates	-	-51.70%	-75.85%	-87.92%

량을 가설하였을 경우 정체되는 차량수와 정체시간을 산정하기 위하여 대기행렬이론을 이용한 그래프이다. 일일 통행량 25,000대의 경우 심야시간의 시작인 0시를 기준으로 차량유입량을 실선으로 나타냈고, 편도 1차로로 구성된 지방도 및 국지도의 1차로당 최대용량인 750대/시간을 점선으로 나타내었다(한국개발연구원, 2004). 일일 통행량 30,000대의 경우, Fig. 6과 동일하게 심야시간의 시작인 0시를 시작시각으로 나타내려고 하였으나 오후 첨두시간에 발생하는 정체가 소멸되는 시점을 표현하기 위하여 부득이 5시를 시작·종료시각으로 정하여 차량유입량을 그래프로 나타냈고, 편도 1차로 도로 최대용량인 750대/시간을 점선으로 나타내었다. 해당도로에서 용량을 초과하는 교통량이 유입될 경우 정체가 발생하기 시작하며, 유입량이 용량보다 적어지게 되면 정체가 풀리기 시작하고 서서히 감소한다. 가설교량은 왕복 2차로이므로 위의 결과에 2배를 하여 사용자비용을 산출하였다.

위의 Table 3, 4에 예상공기별 사용자비용을 나타내었다. 계획된 공사기간대로 24개월 동안 공사를 진행할 경우에는 사용자비용이 694억 6,829만원이 발생하며, 12개월로 공사기간을 단축할 경우 51.44%를 절감하여 337억 3,537만원이 부과된다. 6개월로 단축하게 될 경우 75.2%를 절감하게 되어 168억 6,768만원의 사용자비용이 발생하고, 3개월로 단축 시 87.86%가 절감되어 84억 3,384만원이 부과된다.

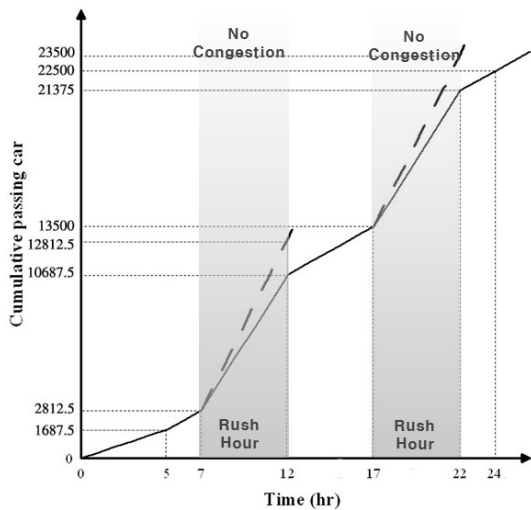


Fig. 8 Relations between time and cumulative passing cars when traffic goes to nearby two bridges(AADT 30,000 cars/day)

3.2.2 우회도로를 이용하여 통행시킬 경우의 사용자비용(대상교량 전면통제 시)

대상교량의 재시공으로 전면통제가 불가피할 경우에는 부득이하게 우회교량을 이용하도록 유도하고 공사를 진행해야 한다. 우회교량은 대상교량과 동일한 제원에 동일한 차로 수, 동일한 통행량을 가지는 것으로 가정한다. 대상교량의 주변에 우회하여 통행할 수 있는 교량들이 여러 개 존재하겠지만 본 연구에서는 대상교량의 좌우로 우회교량이 있는 경우, 가장 가까운 거리에 있는 두 개의 교량으로만 대상교량의 통행량이 50%씩 동일하게 분산된다고 가정하고, 대상교량과 두 교량과의 거리는 동일한 것으로 가정하였다. 또한 우회교량이 하나 뿐인 경우, 해당 우회교량으로 대상교량의 통행량이 그대로 유입된다고 가정하였다.

3.2.2.1 대상교량의 통행량이 일일 30,000대 일 경우

Fig. 8은 대상교량의 전면통제로 통행량을 인접한 2개의 교량으로 우회시켰을 경우에 정체되는 차량수와 정체시간을 산정하기 위하여 대기행렬이론을 이용한 그래프이다. 심야시간의 시작인 0시를 기준으로 차량유입량을 그래프로 나타냈고, 편도 2차로 도로 최대용량인 2,000대/시간(편도 2차로 도로 1차로 당 최대용량 1,000대/시간)을 점선으로 나타내었다. 대상교량을 전면통제할 경우, 대상교량의 좌우로 동일한 거리에 위치한 것으로 가정된 두 곳의 우회교량이 대상교량의 통행량을 50%씩 분담하는 것으로 한다. 기존 4차로 우회교량의 통행량에 50% 할증된 통행량을 가진 교량을 통행함으로써 소모되

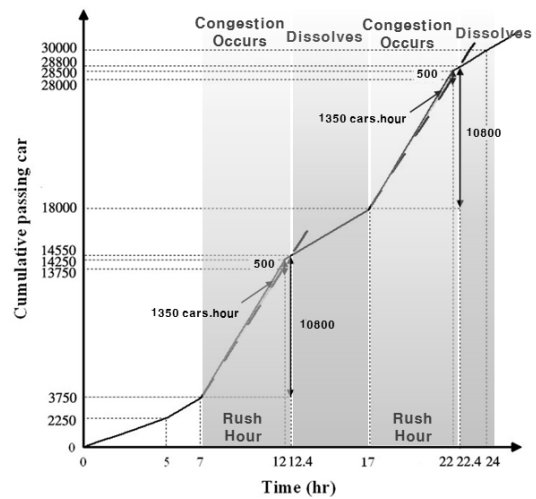


Fig. 9 Relations between time and cumulative passing cars when traffic goes to nearby one bridge(AADT 30,000 cars/day)

는 비용은 앞에서 축소된 가설교량을 통행하는 것과 동일하게 대기행렬이론으로 계산한다. 편도 2차로를 가진 지방도 및 국도의 1차로 당 최대용량이 1,000대/시간이므로 편도 2차로의 최대용량은 2,000대/시간이 된다. 그러므로 이를 초과하는 통행량이 유입 시에 정체가 발생하지만 침두시간의 통행량이 1,575대/시간이므로 정체가 발생하지 않는다. 이 경우에는 대상교량을 통행하던 차량들이 우회교량을 이용하게 되면서 추가로 운행하게 되는 운행거리만 고려하여 사용자비용을 산정한다. 우회거리는 3, 5km 두 가지 경우를 고려하고, 정체는 발생하지 않는 것으로 가정하였기 때문에 속도는 정상통행속도인 50km/시간으로 가정하여 사용자비용을 산정하였다.

Fig. 9는 대상교량의 전면통제로 대상교량의 통행량을 인접한 1개의 교량으로 우회시켰을 경우에 정체되는 차량수와 정체시간을 대기행렬이론을 이용하여 구한 그래프이다. 오전 침두시간의 시작점인 7시에 정체가 시작되어 12시를 기점으로 정체량이 감소하기 시작하여 12시 24분에 정체가 모두 해소된다. 오후에는 17시에 정체가 시작되어 22시를 정점으로 정체가 해소되기 시작하여 22시 24분에 정체가 해소된다. 이 때 정체되는 누적정체차량·시간은 오전과 오후 각각 1,350대·시간으로 총 2,700대·시간이 된다. 또한 정체시간동안 증가한 차량수는 오전과 오후에 각각 10,800대가 되는데 누적정체차량·시간을 증가한 정체차량의 수로 나눠주게 되면 평균 지체시간이 산출된다. 따라서 지체시간은 오전과 오후 각각 7.5분이 된다. 지체속도 10km/시간으로 7.5분간 지체하면서 주행하게 되는 거리는 1.25km로 이를 정상속도

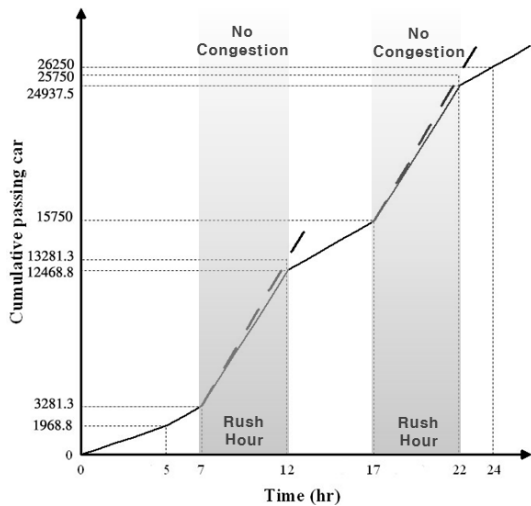


Fig. 10 Relations between time and cumulative passing cars when traffic goes to nearby two bridges(AADT 35,000 cars/day)

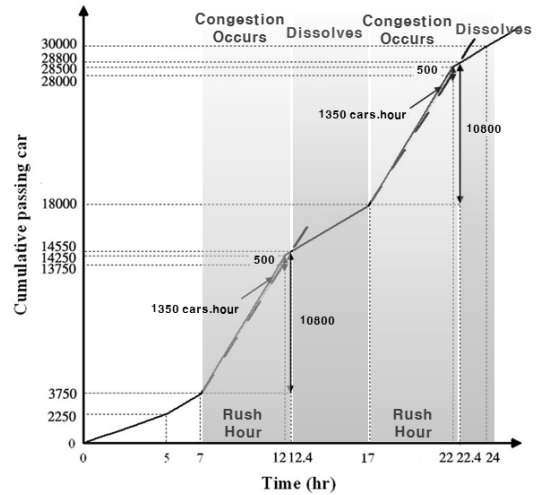


Fig. 12 Relations between time and cumulative passing cars when traffic goes to nearby two bridges (AADT 40,000 cars/day)

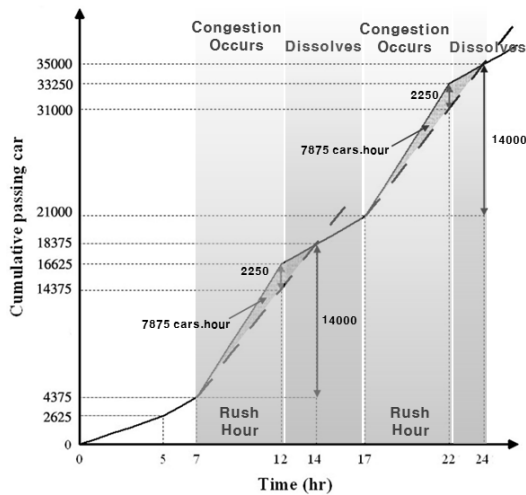


Fig. 11 Relations between time and cumulative passing cars when traffic goes to nearby one bridge (AADT 35,000 cars/day)

인 50km/시간으로 주행하면 1.5분이 소요된다. 오전과 오후 각각 10,800대가 10km/시간의 속도로 1.25km를 7.5분간 주행하는데 소요되는 사용자비용에서 50km/시간의 속도로 1.25km를 1.5분간 주행하는데 소요되는 사용자비용을 감해주면 지체로 인하여 발생하는 사용자비용이 산정된다.

3.2.2.2 대상교량의 통행량이 일일 35,000대 일 경우

Fig. 10은 대상교량의 전면통제로 통행량을 인접한 2개의 교량으로 우회시켰을 경우에 정체되는 차량수와 정체시간을 산정하기 위하여 대기행렬이론을 이용한 그래프이다. 심야시간의 시작인 0시를 기준으로 차량유입량을

그래프로 나타냈고, 편도 2차로의 최대용량인 2,000대/시간을 초과하는 통행량이 유입 시에 정체가 발생하지만 첨두시간의 통행량이 1,837대/시간이므로 정체가 발생하지 않는다. 이 경우에는 대상교량을 통행하던 차량들이 우회교량을 이용하게 되면서 추가로 운행하게 되는 운행거리만 고려하여 사용자비용을 산정한다.

Fig. 11은 대상교량의 전면통제로 대상교량의 통행량을 인접한 1개의 교량으로 우회시켰을 경우에 정체되는 차량수와 정체시간을 대기행렬이론을 이용하여 구한 그래프이다. 오전 첨두시간의 시작점인 7시에 정체가 시작되어 12시를 기점으로 정체량이 감소하기 시작하여 12시 24분에 정체가 모두 해소된다. 오후에는 17시에 정체가 시작되어 22시를 정점으로 정체가 해소되기 시작하고 22시 24분에 정체가 해소된다. 이 때 정체되는 누적정체차량·시간은 오전과 오후 각각 7,875대·시간으로 총 15,750대·시간이 된다. 또한 정체시간동안 증가한 차량수는 오전과 오후에 각각 14,000대가 되는데 누적정체차량·시간을 증가한 정체차량의 수로 나눠주게 되면 평균 지체시간이 산출된다. 따라서 지체시간은 오전과 오후 각각 33.75분이 된다. 지체속도 10km/시간으로 33.75분간 지체하면서 주행하게 되는 거리는 5.63km로 이를 정상속도인 50km/시간으로 주행하면 6.75분이 소요된다. 오전과 오후 각각 14,000대가 10km/시간의 속도로 5.63km를 33.75분간 주행하는데 소요되는 사용자비용에서 50km/시간의 속도로 5.63km를 6.75분간 주행하는데 소요되는 사용자비용을 감해주면 지체로 인하여 발생하는 사용자비용이 산정된다.

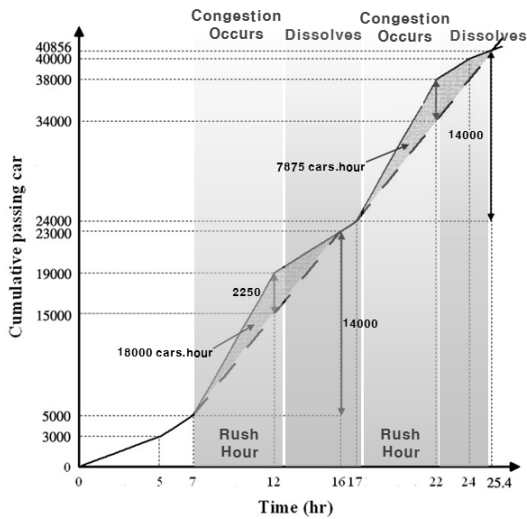


Fig. 13 Relations between time and cumulative passing cars when traffic goes to nearby one bridge (AADT 40,000 cars/day)

3.2.2.3 대상교량의 통행량이 일일 40,000대 일 경우

Fig. 12는 대상교량의 전면통제로 통행량을 인접한 2개의 교량으로 우회시켰을 경우에 정체되는 차량수와 정체시간을 산정하기 위하여 대기행렬이론을 이용한 그래프이다. 우회교량에 통행량을 분산시키면 우회교량은 기존 통행량 40,000대/일에 대상교량 통행량의 50%인 20,000대/일을 합해서 60,000대/일의 통행량을 가지게 되므로 편도 2차로에는 30,000대/일의 차량이 통행하게 된다. 이 경우, 대기행렬이론을 이용한 그래프는 일일통행량 30,000대가 1곳의 교량으로 우회 시의 경우와 같게 되므로 식 1,2와 식 5~8에서 계산되는 사용자비용은 같다. 여기에 대상교량을 통행하던 40,000대/일이 각각 3, 5km를 우회하여 추가거리를 운행함으로써 발생하는 사용자비용을 합산하면 일일통행량 40,000대의 경우 각 경우별 사용자비용을 구할 수 있다.

Fig. 13은 대상교량의 전면통제로 대상교량의 통행량을 인접한 1개의 교량으로 우회시켰을 경우에 정체되는 차량수와 정체시간을 대기행렬이론을 이용하여 구한 그래프이다. 오전 첨두시간의 시작점인 7시에 정체가 시작되어 12시를 기점으로 정체량이 감소하기 시작하여 16시에 정체가 모두 해소된다. 오후에는 17시에 정체가 시작되어 22시를 정점으로 정체가 해소되기 시작하여 1시 24분에 정체가 해소된다. 이 때 정체되는 누적정체차량·시간은 오전에 18,000대·시간, 오후에 각각 17,204대·시간으로 총 35,204대·시간이 된다. 또한 이 시간동안 증가한 차량 수는 오전에 18,000대, 오후에 16,856대가 되

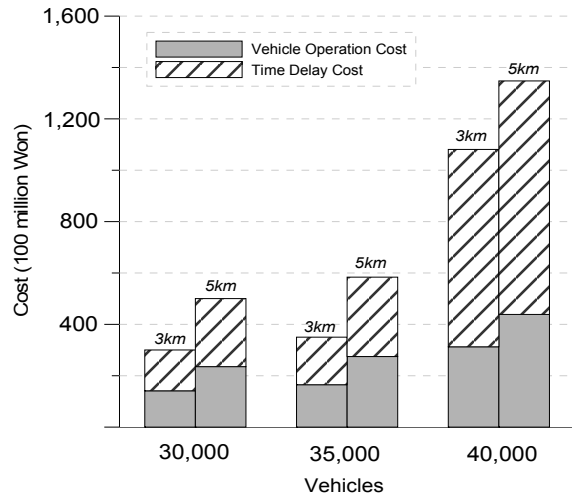


Fig. 14 User cost according to AADT and detour length when traffic goes to nearby two bridges

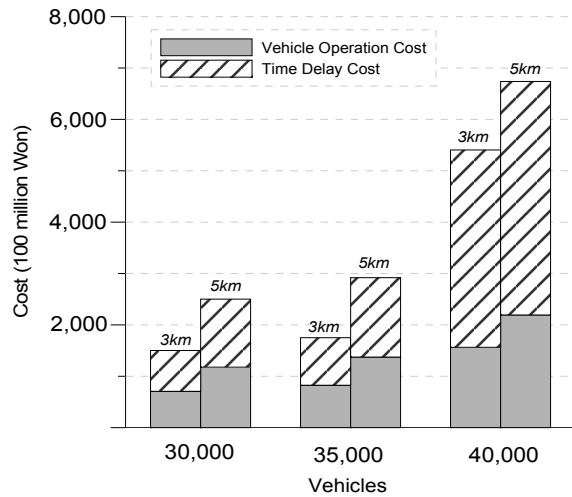


Fig. 15 User cost according to AADT and detour length when traffic goes to nearby one bridge

는데 누적정체차량·시간을 증가한 정체차량의 수로 나눠 주게 되면 평균지체시간이 산출된다. 따라서 지체시간은 오전 60분, 오후 61분이 된다. 지체속도 10km/시간으로 각각 60분, 61분간 정체하게 될 경우에 주행하게 되는 거리는 각각 10km, 10.16km로 이를 정상속도인 50km/시간으로 주행하면 각각 12분, 12.19분이 소요된다. 오전, 오후 각각 18,000대, 16,856대가 10km/시간의 속도로 10km를 12분간, 10.35km를 12.19분간 각각 주행하는데 소요되는 사용자비용에서 50km/시간의 속도로 10km, 10.16km를 12분, 12.91분간 주행하는데 소요되는 사용자비용을 감해주면 지체로 인하여 발생하는 사용자비용이 산정된다.

3.2.2.4 사용자비용 산정 결과

인접한 2개의 교량과 1개의 교량으로 우회 시 통행량, 우회거리에 따른 소요비용을 다음 Fig. 14와 같이 나타내었다. 기존에 우회교량을 통행하던 차량들은 대상교량에서 유입된 교통량으로 인하여 발생하는 정체를 겪게 되어 추가적인 통행시간을 소모하게 되고, 기존에 대상교량을 통행하던 차량들은 추가 통행시간을 소모함과 동시에 우회교량까지의 거리를 추가로 운행하게 된다. 우회거리는 3km, 5km 두 가지 경우로 사용자비용을 평가하였다.

일일통행량 3만대와 3만5천대의 경우, 2개의 교량으로 우회 할 시에는 정체가 발생하지 않고 우회에 의한 비용만 발생하기 때문에 사용자비용이 상대적으로 적게 발생한다. 1개의 교량으로 우회할 시에는 2개의 교량으로 우회할 때 보다 약 5배 정도 사용자비용이 더 발생하는 것으로 나타났다. 일일통행량 4만대인 경우에는 극심한 정체가 발생하여 3만대와 3만5천대의 경우보다 약 3~4배의 비용이 드는 것으로 나타났다. 위 결과는 모두 공사기간 24개월을 기준으로 산출한 것이며, 공기가 12개월로 단축될 경우 평균적으로 약 52%, 6개월로 단축될 경우 약 76%, 3개월로 단축될 경우 약 88%의 사용자비용 절감효과를 얻을 수 있다.

4. 결론

본 연구는 교량의 급속교체 공사 시 평가되는 사회적 간접비용, 즉 사용자의 사회적, 경제적 가치를 교량 재가설 시 필요한 직접공사비와 비교하여 평가한 것으로 교량의 급속교체로 얻을 수 있는 차량운행비용과 시간지연비용을 사용자비용으로 평가하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 통행량 및 차량의 지체시간을 고려한 사용자비용 간략평가식을 제안하였으며, 이를 이용하여 차량운행비용과 시간지연비용에 따른 사용자비용을 기존 교량의 폐쇄기간 중 우회도로를 이용하여 통행하는 경우와 가설교량을 이용하는 경우에 대하여 평가하였다.

사용자 비용 산정 결과, 정상 공기 및 단축 공기 별 사용자비용이 우회교량 2개인 경우가 1개인 경우의 약 20% 수준으로 나타났다. 따라서 교량 재가설 또는 급속교체 공법 선정 시, 우회교량의 수에 따른 직접공사비와 이때의 사용자비용을 고려하여 합리적인 공법을 선택하여야 할 것이다. 교통량이 많고 상대적으로 우회거리가 멀거나 교통정체를 유발할 수 있는 곳에 교량의 재가설이

필요한 경우, 우회교량의 수와 교량의 직접공사비의 절감보다는 급속교체를 통해 사용자비용을 절감하는 것이 사회적 물류비용을 절감하는 합리적인 방법으로 제시될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 교통안전공단, "2007년도 자동차 주행거리 실태조사", 교통안전연구원, 2008.
2. 국토연구원, "도로사업 투자분석 기법정립 연구", 국토연구원, 1999.
3. 국토해양부, "강교량의 최적설계와 경제적 유지관리를 위한 Life cycle cost 분석기법 및 시스템 개발, 건설기술기반구축사업 제3차년도 최종보고서, 한국건설교통기술평가원, 2006.
4. 국토해양부, "도로현황 조사", 건설교통부, 2007.
5. 국토해양부 도로환경과, "2008년도 도로교량 및 터널 현황조사", 국토해양부, 2008.
6. 안진희, 정치영, 최규태, 김상효, "커버 플레이트를 이용한 다단계 온도 프리스트레칭으로 보강된 합성보의 하중-저항성능 분석", 구조물진단학회지, 한국구조물진단유지관리공학회, 제 13권 제4호, 2009, pp. 159-169.
7. 정해훈, "돌발상황으로 인한 차로감소구간의 용량감소에 관한 연구 : 서울도시고속도로 북부간선도로, 내부순환로 중심으로", 서울시립대 대학원, 도시과학과, 공학석사 학위논문, 2006.
8. 조한선, 이동민, "2007년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석", 한국교통연구원 수시연구, 2008-07, 2008.
9. 한국개발연구원, "도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준 지침 수정·보완 연구[제4판], 2004년도 예비타당성조사 연구보고서, 2004.
10. 한국도로공사 도로교통기술원, "교량의 LCC분석을 위한 사용자비용 산정 연구", 한국도로공사, 2005.
11. 한국교통연구원, "2007년 전국 교통혼잡비용 추정과 추이 분석", 한국교통연구원, 2008.
12. AASHTO, "Transportation and the Economic-national and State Perspectives", Washington, 1998.
13. Adeli, H., Jiang, X., "Freeway Work Zone Traffic Delay and Cost Optimization Model", Journal of transportation engineering, ASCE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, Vol.129, No.3, 2003, pp.230-241.
14. Berthelot, C. F., Gordon A. Sparks, Terry Bolmme, Lyle Kajner, and Mark Nickeson, "Mechanistic-probabilistic Vehicle Operating Cost Model", Journal of Transportation Engineering, Vol.122, No.5, 1996, pp.337-341.
15. Ehlen, M. A. and Marshall, H. E., "The Economic of New Technology Materials: A Case Study of FRP Bridge Decking", Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, Maryland, 1996.

(접수일자 : 2010년 6월 9일)

(수정일자 : 2010년 9월 7일)

(심사완료일자 : 2010년 10월 1일)

요 지

교량구조물은 사회물류흐름에 필요한 중요한 역할을 하는 사회간접시설물로 공용수명이 다하거나 지진, 폭풍 등의 자연재해에 따라 구조물의 손상이 발생할 경우 기존 교량을 철거하고 재가설 하여야 한다. 공용중인 교량을 재가설할 경우, 차량의 우회, 교통체증에 따른 사용자비용과 공사기간동안의 소음, 분진 등에 따른 사회비용이 발생하게 된다. 하지만 교량의 재가설에 따른 사용자비용과 사회비용은 교량건설시 고려되지 않고, 이를 평가하는 방법 또한 모호하므로 이를 적용한 교량형식이 선정되지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 교량의 재가설시 발생하는 사회적 간접비용, 즉 사용자의 사회적, 경제적 가치를 파악하여 교량 재가설에 따른 사용자비용의 평가방법을 제안하고 이를 평가하였다. 사용자비용의 평가 시 교량의 일교통량, 침투시간, 우회거리, 우회시간 등을 포함한 교통정보와 사회적 물동량이 고려되었으며, 차량운행비용과 교량 재가설에 따른 시간지연비용 또한 고려되었다.

핵심 용어 : 교량 재가설, 공사기간, 사용자비용, 차량운행비용, 시간지연비용
