

공사구간의 지체비용 산정과 유지보수기준 선정 방안

Delay cost estimation and maintenance standard determination for work zone

도명식* · 이용준**

Do, Myung Sik · Lee, Yong Jun

1. 서론

도로구간의 공사로 인한 이용자 비용은 건설, 유지보수 혹은 복구를 시행함으로써 발생하는 차량운행비용, 지체비용, 사고비용의 증가분을 말한다. 여기서 공사구간이란 “도로건설이나 유지보수를 시행하는 구간으로써 이용가능한 차로 수나 교통류의 운영적 특성에 영향을 받는 구간”으로 정의할 수 있다. 일반적으로 도로포장의 설계나 유지보수전략 수립 시에는 LCCA(Life Cycle Cost Analysis)를 수행하여 결과를 도출하게 되는데, 관리자의 입장에서 항목을 구성하는 경우가 많다. 그러나 최근에는 차량운행비용(Vehicle Operating Cost)과 통행시간 비용 등을 고려한 사회-환경비용 등을 고려하는 경우가 많아졌다.

따라서 본 연구에서는 도로공사로 인한 지체비용 산정을 위해, 대상지역을 선정하여, FHWA에서 개발한 RealCost Ver.2.2를 활용하여, 지체비용을 선정하였으며, 유지보수기준의 선정을 위해서 HDM (Highway Development and Management)에서 구한 총 비용을 최소화 하는 대안을 기준으로 한 유지보수 대안간 비교를 통해 장기적으로 필요한 유지보수 예산의 수준을 파악하는 등 그 활용가능성을 살펴보기로 한다. 사례 분석을 위해 수원 지방국도관리사무소 관할의 신설 구간의 2009년 유지보수 이력 자료를 이용하였다.

2. 필요한 자료와 분석절차

공사구간에 대한 특성을 살펴보기 위해 먼저, 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 필요하며, 다음 단계절차를 통해 비용을 계산하고 대안별 차이점 등을 분석하게 된다.

1) 분석기간과 교통수요 특성정의, 2) 공사구간의 시간대별 교통수요 계산, 3) 도로용량 정의, 4) 도로이용자비용의 항목정의, 5) 각 항목에 영향을 받는 교통류의 정량화, 6) 속도감소분의 계산, 7) 적용할 VOC 비율 선택, 8) 적용할 지체비용비율 선택, 9) 차종 구분, 10) 차종별 도로이용자비용 항목 계산, 11) 도로이용자비용의 합계 순이다.

3. 공사구간에 의한 지체의 산정

공사로 인해 도로 네트워크에 미치는 영향은 주로 이용하는 교통량과 용량과의 차이에 의한 지체를 산정하는 것을 기본개념을 둔다. 본 방법론은 일반 운영시와 공사시의 용량변화 및 시간대에 따른 교통수요의 변화의 결정이 핵심이다. 당연히 용량산정에 필요한 도로의 기하구조부터 제한 및 구간운영속도, 교통량 및 통행특성(시간대별 분포비율)이 필요하며, 공사구간과 관련된 프로젝트 정보들이 요구된다.

공사구간 이용자 비용은 공사지역의 물리적 특성, 유지보수대안의 특성, 교통류 특성 등에 의해 결정되며, LCCA를 위해서는 다음 사항들이 필요하게 된다.

* 정희원 · 국립한밭대학교 토목환경도시공학부 교수(E-mail:msdo@hanbat.ac.kr)

** 정희원 · 국립한밭대학교 도시공학과 학사(E-mail:subak1020@hanmail.net) - 발표자

표 1. 공사구간관련 프로젝트 정보현황

항 목	기 준	참 조
적용년도	각 유지보수 시행년도	HDM-4 출력물 참조
지속기간	1km/1일/차로	
시행기간	1일 8-9시간	
구간길이	1km(단위km기준)	HDM-대상구간기준
제한속도	보통 80km, 공사시 60km	도로설계편람(2000)

교통특성은 프로젝트 전체기간의 평균 AADT, 24시간 시간대별 AADT분포, 차종구분이 주요자료라 할 수 있다. 공사구간 운영기간 동안의 예측된 시간대별 교통량 분포는 공사로 인한 통행량이 제약과 비제약 시의 용량을 비교해 보기 위해서 필수적이다. 공사구간 관련비용은 공사로 인해 발생하는 가감속, 용량비의 변화, 대기행렬 발생 등을 근거로 하여 추가적인 비용을 산정하게 된다.

표 2. 공사구간관련 교통특성

자 료	기 준	참 조
AADT	2009년 기준	KICT, TMS DB 참조
차종구분	3종 기준	FHWA 13종 기준 재분류
시간대별 교통량분포	24시간 기준자료	KICT, TMS DB 참조

4. 분석 개념

이용자비용 분석절차를 설명하기 이전에 공사구간 운영분석의 개념적 분석에 대해 알아두면 유용하다. 여기에서는 발생하는 도로이용자 비용을 7가지로 구분할 수 있는데, 이중 3가지는 자유속도를 나타내는 유형에서 나타나는 요소이며, 4가지는 대기행렬상태에서의 요소이다. 교통류는 자유교통류(Free-flow)와 강제교통류(Forced-flow)로 구분된다. 여기서 강제교통류는 서비스 수준 “F”를 의미한다.

자유교통류에서의 공사구간에는 좀 더 낮은 통행속도를 통해 통행조건을 제한하게 된다. 이때에는 보통 3가지 속도변화과정과 그와 관련된 결과를 고려하게 되는데, ‘속도변화지체, 속도변화로 인한 차량운행비용, 속도감소 지체분’으로 나뉜다.

속도변화지체는 공사구간을 기준으로 상류부로 진행시 수반되는 감속과 통과 후에 행해지는 가속으로 인해 발생하는 추가적인 시간을 의미하며, 속도변화로 인한 차량운행비용은공사구간을 기준으로 상류부로 진행시 수반되는 감속과 통과 후에 행해지는 가속으로 인해 발생하는 추가적인 차량운행비용을 의미한다. 속도감소 지체분이란 공사 지역 이전에서 제시된(보다 낮은)제한속도에 도달하기 위해 발생하는 추가적인 시간을 말한다. 만약 교통수요가 공사지역의 용량에 미달되는 경우 상기 세 가지 항목에만 적용을 받기 때문에 분석은 비교적 간단하다.

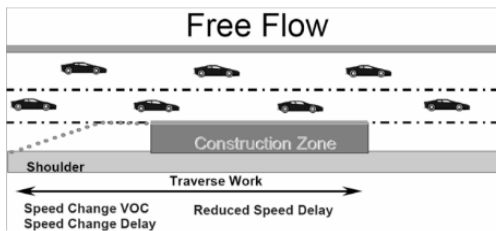


그림 1. 자유교통류에서의 비용구성요소

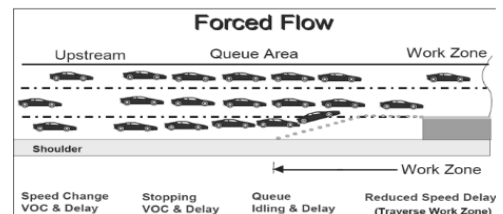


그림 2. 강제류 하에서의 비용구성요소

강제교통류(서비스수준 F)에서는 공사구간이 교통수요가 용량을 초과하여 대기행렬이 발생하는 경우이다.

일단 대기행렬이 발생하면 접근하는 모든 차량은 속도를 늦추거나 정지해야 되는데 이로 인해 발생하는 관련비용은 다음 4가지로 설명할 수 있다(그림 2 참조).

정지지체는 접근속도에서 정지하기까지 필요한 추가적인시간+다시 접근속도로 가속하기까지의 시간으로 정의되며, 정지지체로 인한 차량운행비용은 접근속도에서 정지하기까지 필요한 추가적인 시간 + 다시 접근속도로 가속하는데 수반되는 비용으로 정의 된다. 대기행렬지체는 강제교통류하에서 대기행렬을 통과하는데 필요한 추가적인 시간으로 정의된다. 지체로 인한 차량운행비용(VOC)은 대기행렬 내에서의 정지와 출발 반복과 관련된 추가적인 차량운행비용으로 정의된다. 대기행렬이 존재하는 경우, 정지지체와 차량운행비용은 자속속도에서의 속도변화지체와 차량운행비용을 대체하게 된다.

공사구간 지체비용 산정의 주요변수인 시간가치는 국가별 자료간의 차이가 있으며, 환율 등의 영향으로 상대적으로 비교가 어려운 경우도 있으나 일반적으로 승용차<1단위트럭<조합형트럭 순으로 나타났으나, 우리나라의 경우 승용차>1단위트럭>조합형트럭으로 조사되었다(표 3참조).

표 3. 시간가치의 비교

출처	단위	승용차	트럭	조합형 트럭
US. DOT-OST	\$/Person-Hr	10.80	16.50	16.50
MicroBENCOST	\$/Veh-Hr	11.37	17.44	24.98
NCHRP	\$/Veh-Hr	11.78	19.64	19.64
HERS	\$/Veh-Hr	14.30	25.99	31.30
KOTI	\$	16.02	15.46	15.46
건설교통부	\$	13.01	9.97-9.80	9.66

자료 : James et al.(1998)

공사로 인한 영향을 분석하기 위해 공사 시간대는 오전 9시에서 오후 18시로 총 9시간을 기준으로 잡았으며, 공사시간 중에 대기행렬이 발생하지 않았다. 이는 속도변화로 인해 발생하는 감속비용만이 발생한다는 의미이다. 공사구간으로 인하여 지체비용은 차로축소로 인한 지체비용이 \$9,637로 전체 비용의 약 절반을 차지하였으며, 속도변화로 인한 VOC 및 정체비용이 각각 \$5,826, \$4,660로 나타났다(표 4참조). 한편, 대기행렬로 인한 지체비용은, 대기행렬이 발생하지 않았으므로 지체비용이 발생하지 않았다.

표 4. 공사구간 지체비용(첫해년도 기준)

Cost Component	Cost	Percent
WZ Speed Change VOC	\$5,826	29%
WZ Speed Change Delay	\$4,660	23%
WZ Reduced Speed Delay	\$9,637	48%
Queue Stopping Delay	\$0	0%
Queue Stopping VOC	\$0	0%
Queue Added Travel Time	\$0	0%
Queue Idle Time	\$0	0%
Total Cost	\$20,123	100%

대상구간의 최적 유지보수 시기는 HDM을 이용하여 분석한 결과 11년이 총 비용이 최소가 되는 것으로 나타났으므로 11년을 기준 대안으로 선정하고 기준 대안보다 조금 자주 유지보수를 하는 경우(7년 마다)와 조금 덜 빈번하게 하는 경우(15년 마다)로 구분하여 관리자 비용과 이용자 비용을 산정해 보았다.

표 5에는 RealCost를 이용하여 확정론적 분석방법과 확률론적 분석방법을 통해 구한 비용이며, 분석 방법에 따른 각 대안별 비용 간에는 큰 차이가 존재하지 않았으며, 관리자 비용은 최적 대안을 넘겨 유지보수를 할 경우 증가하는 추세를 보였으며, 이용자 비용의 경우에는 최적 대안보다 빈번한 유지보수는 공사로 인한 지체비용의 증가로 인해 오히려 총 비용의 증가로 이어짐을 확인하였다.



Total Cost	7년		11년		15년	
	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)
Undiscounted Sum	\$995.43	\$118.91	\$907.27	\$75.40	\$952.93	\$55.10
Present Value	\$575.49	\$68.07	\$566.34	\$46.62	\$641.14	\$36.74

	7년		11년		15년	
	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)	Agency Cost (\$1000)	User Cost (\$1000)
Mean	\$577.92	\$68.36	\$568.71	\$46.82	\$643.55	\$36.88
S.D.	\$40.51	\$4.88	\$31.31	\$2.64	\$31.09	\$1.83

참고 문헌

1. FHWA (2004) Life Cycle Cost Analysis 'RealCost' User Manual, Real Cost V. 2.1, Federal Highway Administration, www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgnt/lcca.htm.
2. James W. III and Smith, M. R. (1998) Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design, FHWA-SA-98-097, Federal Highway Administration, Washington, DC.