

수충부를 고려한 산지도로의 생애주기비용 분석 연구

Life Cycle Cost Analysis of Mountain Roads Considering Disasters by Debris Flow

김혜란* · 이민경** · 조윤호***

Kim, Hyeran · Lee, Min Kyoung · Cho, Yoon-Ho

1. 서 론

강원지역의 약 89%가 산지로 이루어져있으며 대부분의 도로는 산악지형을 통과하여 건설된다. 하지만 하천 및 산지의 특성을 고려한 도로 선형 설계는 미흡하며, 만곡 수충부의 경우 직선 하천구간에 비해 홍수 시 큰 영향을 받는다. 최근 이상기후로 인해 매년 집중호우가 발생하고 있으며 그 피해액은 수천억 원에 달한다. 산사태, 토사 및 부유물 등의 토석류, 급류로 인한 침식 등이 도로피해의 주요 원인으로 이를 대비하기 위해 예산 및 시설계획이 증가하고 있다. 2007년 7월 건설교통부는 수해 예방을 위한 「산악지 도로설계 매뉴얼」을 제정하여 도로 시설물의 피해를 최소화 할 수 있도록 산지도로 설계 기준을 강화하였다. 하지만 강원지역의 도로의 큰 특징인 하천과의 연계성을 고려하지 않고 각 설계 기준이 설계실무 엔지니어의 주관적인 판단에 따라 적용하도록 되어있다. 현재 수충부를 고려하여 설계한 산지도로의 효과를 분석하기 위한 경제성 분석 틀은 전무한 실정이다. 산지특성을 반영하여 강화된 설계 기준의 효과를 정량화하는데 한계가 있다. 수충부 시설의 효과를 반영하고 산악지형의 합리적인 도로 설계를 위해서는 산지도로의 경제성분석에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 산지도로의 수충부 특성을 반영한 도로 선형 설계의 효과를 평가하기 위하여 생애주기비용 분석을 이용하여 산지도로 경제성분석 모델을 제시하고자 하였다.

2. 산지도로 경제성분석 모델

산지도로의 경제성분석 모델을 정립하기 위해서는 도로의 공용기간 동안 발생하는 생애주기비용(Life Cycle Cost: LCC)의 개념 정립이 필요하다. 하천과의 연계성을 고려하여 수충부 시설을 모델에 반영하고 효용함수를 통하여 비용가치를 정량화 한다.

2.1 생애주기비용

생애주기(Life Cycle)는 도로가 건설됨과 동시에 공용되는 기간을 뜻하며 생애주기비용은 이 기간 동안 발생한 도로의 건설, 공용, 유지보수, 철거 등의 각 단계에서 발생하는 모든 비용을 합산한 금액이다. 생애주기비용분석(LCCA, Life Cycle Cost Analysis)은 그림 1에서 보는 바와 같이 사업의 생애주기 동안 발생한 동항목을 제외한 비용을 비교·분석하여 제일 경제적인 대안을 선택한다.

* 비회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · 02-816-0250(E-mail : hyerank@gmail.com)

** 비회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · 02-816-0250(E-mail : sadyymk@nate.com)

*** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 · 02-820-5336(E-mail : yhcho@cau.ac.kr)

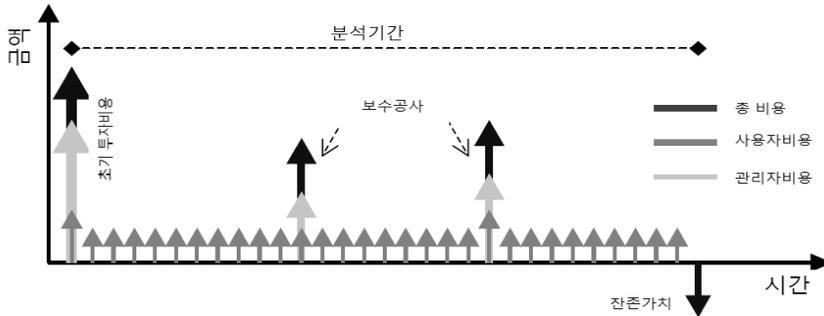


그림 1. 생애주기비용의 개념(Vitillo, 2003)

생애주기비용은 크게 초기투자비용, 유지관리비용, 해체·폐기비용으로 구성되며, 해체·폐기비용은 각 대안이 동일하다고 가정하여 계산하지 않는 경우도 있다.

초기투자비용은 도로를 설계하고 건설하는데 발생하는 비용으로 기획설계비, 건설비, 감리비로 나뉜다. 기획설계비는 및 감리비는 경제성 분석 시 대안의 기본노선은 동일하기 때문에 그 차이를 크게 고려하지 않아 제외한다. 건설비는 시공단계에서 투입되는 비용으로 순공사비를 포함하여 기타비용을 포함한다. 감리비는 공사 시에 감리업체에 제공하는 비용으로 공사현장 관리 및 자문 비용 등이 포함되어 있다. 감리비는 일반적으로 건설비의 비율로 결정되는 값으로 건설비와 비율의 곱으로 계산된다.

유지관리비용은 도로의 주기적인 점검과 보수에 소요되는 비용과 그 밖의 시설물 관리에 필요한 비용이 포함된다. 유지관리비용은 크게 관리자비용과 사용자비용으로 구성된다. 관리자비용은 기관비용이라고도 하며 일반 도로 이용자가 아닌 도로 관리주체가 지출하는 비용으로 도로의 공용기간 중 과손이 발생하거나 사용연한이 되었을 때 기준 이상의 도로 품질을 유지하기 위하여 지출되는 비용이다. 사용자비용은 도로 이용자가 지출하는 비용으로 이용자 개개인이 지출하는 비용으로 도로의 공용상태에 따라 달라지며 관리자의 유지보수 비용이 적더라도 사용자 비용이 더 크게 나올 수 있기 때문에 그 중요성이 부각되고 있다. 사용자비용은 차량운행비용, 운행지연비용, 환경비용으로 구성된다.

2.2 효용함수

어떠한 사물마다 그 가치에 대해 느끼는 가치는 개인에 따라 다르다. 이를 효용이라고 하며 개인이 느끼는 가치와 실제 가치와의 관계를 표현한 것이 효용함수이다. 의사결정자의 모험성향은 의사결정자가 실패의 위험을 어느 정도 감수할 것인가의 태도에 따라 크게 위험기피형, 위험중립형, 위험추구형으로 구분된다. 효용함수는 기울기가 아닌 곡률에 의해 구분되는데 위험기피형은 위로 볼록한 함수, 위험중립형은 직선 형태의 함수, 위험추구형은 아래로 볼록한 함수의 형태를 갖는다.

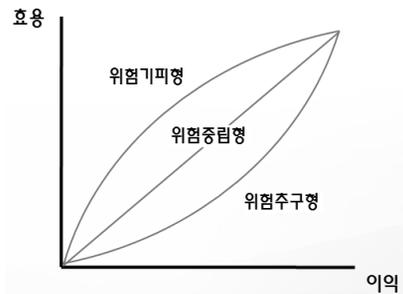


그림 2 효용함수와 모험성향의 관계(김성희,1999)

2.3 수충부 피해저감 시설

강원지역 산간 도로는 하천을 끼고 발달하여 집중호우 시 홍수 및 산사태로 인해 피해가 빈발하고 있다. 2002년, 2003년, 2006년 7~9월 사이의 강원지역 피해복구사례를 조사해본 결과, 피해유형으로 도로유실이 44%로 가장 많은 부분을 차지하고 있었고 법면피해, 배수로 및 수충부 순이었다. 피해의 원인으로는 토석류 및 부유목, 산사면 비탈면 붕괴, 침식작용, 통수능력 부족 등이 주원인으로 밝혀졌다.

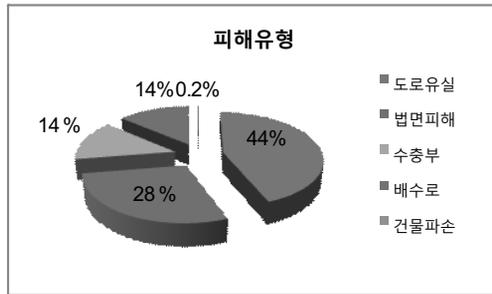


그림 3. 강원지역 피해유형

중호우로 발생하는 피해를 해결하기 위해서는 교량이나 터널과 같은 구조물로 대체를 하거나 사방댐과 같은 수충부 피해저감 시설을 설치할 수 있다. 대안가능 공법은 보강공법으로 활동하중경감공법, 활동억제공법이 있으며 보호공법으로 낙석제어공법, 표면보호공법, 수리제어공법 등이 있으며 세부사항은 표 1과 같다.

표 1. 피해절감 공법 및 종류

	공 법 분 류	종 류
보 강 공 법	1) 활동하중경감공법	절취
	2) 활동억제공법	록앵커
		어스앵커
		록볼트
		쏘일네일링
보 호 공 법	1) 낙석제어공법	낙석방지망
		낙석방지 울타리
		버트리스, 계단식/의지식옹벽
		개비운
	2) 표면보호공법	숏크리트
		격자블록
		돌붙힘공(45도 이하)
		돌쌓기공(45도 이상)
	3) 수리제어공법	수평배수공
		L형측구
대 체	1) 사방공법	사방댐
		야계사방

2.4 산지도로 경제성분석 모델

수충부를 고려한 산지도로 경제성 모델은 기존의 경제성 모델에 수충부 시설이 추가된 것으로 생애주기비용에 영향을 준다. 초기건설 및 유지보수 시에 수충부 시설의 시공 및 파손부분 보수에 따른 관리자비용이 추가되며 공사로 인한 사용자의 차량운행비용, 운행지연비용, 환경비용이 발생한다. 산악지형의 특성을 고려하여 집중호우 시 피해를 최소화 할 수 있도록 대안에 따라 일반토공 구간을 교량 및 터널 등의 구조물로 대체할 수 있다. 일반토공 구간은 포장에 대한 생애주기비용을 계산한다. 수충부를 고려한 산지도로 경제성 모델의 비용계산 로직을 그림 4에 나타내었다.



그림 4. 산지도로 경제성 모델의 비용계산 로직

산지도로 경제성 모델의 로직을 통해 계산된 생애주기비용을 비교하기 위하여 효용함수를 이용하여 생애주기지수로 표현한다. 대부분의 사람들은 위험기피형의 성향을 갖으며, 토목공사의 경우 공사비가 적은 대안에 대한 선호도가 상대적으로 높기 때문에 위험기피형의 성향을 선택한다. 따라서 생애주기비용이 상대적으로 적은 대안이 다른 대안보다 가치가 높게 나타난다. 그림 5를 보면 생애주기비용이 a 일 때, 위험기피형 성향을 띤 생애주기지수 A 는 위험중립형 성향의 생애주기지수 A' 보다 가치가 높게 느껴진다.

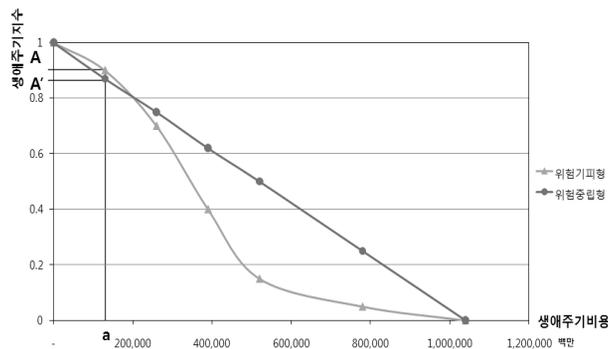


그림 5. 효용함수를 적용한 생애주기지수

3. 수충부 경제성분석 모델 적용

정립된 수충부 경제성분석 모델을 검증하기 위하여 3개의 대안을 임의로 선정하여 생애주기비용을 분석해 보았

다. 표 2와 같이 3개의 대안을 선정하였고 각 적용공법에 대한 비용 대비 효과를 분석할 수 있도록 하였다.

표 2. 대안 및 적용 공법

대안	적용 공법
대안1	교량대체
대안2	터널대체 + 수충부 피해저감시설
대안3	수충부 피해위험

생애주기비용의 분석기간은 총 35년으로 각 대안의 미래교통량은 동일하다고 가정하였다. 집중호우로 인한 피해 발생 시, 수충부 공사는 도로가 유실되어 수충부 구간이 차단되었다고 가정하여 전면통제 하에 차량이 우회하도록 하였다. 구조물의 보수 시에는 전면통제, 구조물의 포장 및 일반 토공구간의 포장 보수 시에는 1차로 통제 하에 공사를 진행하도록 가정하였다.

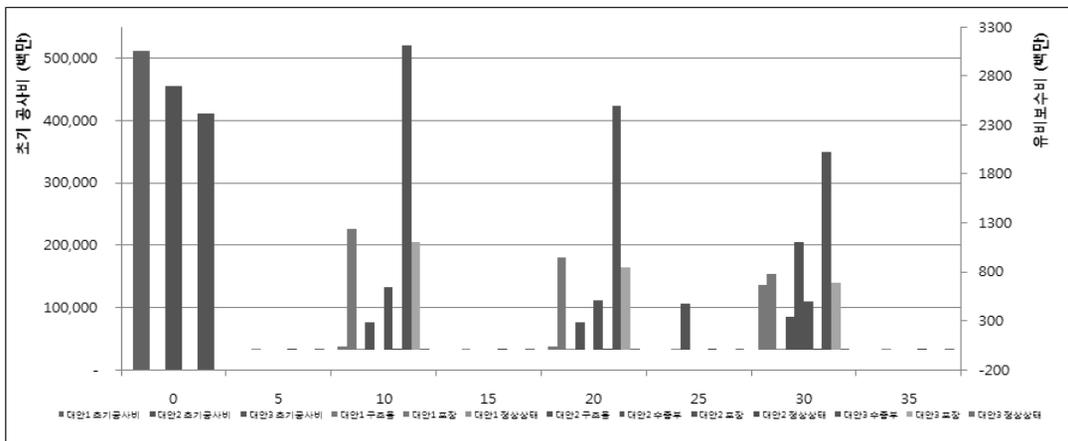


그림 6. 비용분석 결과

초기투자비용 및 유지보수비용의 분석 결과는 그림 6과 같다. 초기투자비용은 대안1, 대안2, 대안3 순으로 교량에서 가장 높았지만 유지보수비는 수충부 피해 위험이 있는 대안3에서 가장 높게 나타났다. 이는 재해위험에 따라 수충부의 피해가 빈번하게 발생했기 때문이다. 수충부 피해가 발생할 때 마다 도로차단으로 인하여 차량이 우회하기 때문에 운영지연비용 등이 포함된 사용자비용 항목에서 대안 3의 비용이 기타 대안들보다 높게 나타났다.

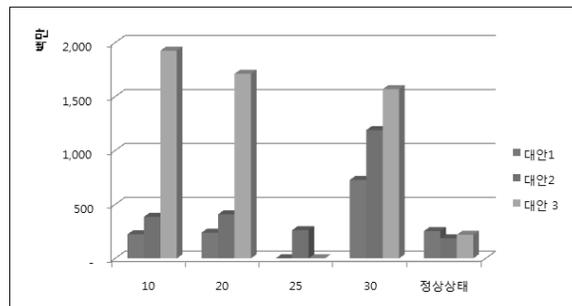


그림 7. 사용자비용 분석 결과

상대적으로 초기투자비용이 유지보수비용 및 사용자비용보다 크게 나타났기 때문에 생애주기비용에서는 대안3, 대안2, 대안1 순으로 작게 나타났다. 계산된 생애주기비용을 바탕으로 생애주기지수를 산출하였다. 생애주기비용이 적은 대안이 생애주기지수가 높게 나왔으며 총 생애주기비용의 크기 대비 비용의 차가 크지 않은 경우 지수도 크게 차이하지 않았다.

표 3. 생애주기비용 및 생애주기지수

(단위: 백만 원)

	대안 1	대안 2	대안 3
생애주기비용	519,844	463,409	432,287
생애주기지수	2.37	2.37	2.38

4. 결 론

기존의 도로 설계는 산지 및 하천이 발달한 강원지역의 지형적 특성을 고려하지 못하여 피해가 반복적으로 발생하였다. 피해저감 시설을 도입하더라도 그 효과를 검증할 수 있는 분석 틀이 전무하였기 때문에 의사결정에 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 산지도로에 적용 가능한 피해저감시설을 조사하고 설치 효과를 분석 가능한 산지도로 경제성분석 모델을 제시하였다.

수충부를 고려한 산지도로 경제성 분석 모델 검증을 통하여 유지보수비용 및 사용자비용을 계산하고 수충부 피해저감 시설 및 구조물 대체시설의 효과를 확인하였다. 산지도로 설계 대안선정 시 초기투자비용만이 아닌 건설 후 발생 비용을 고려하여 의사결정이 가능하다. 향후 보다 정확한 생애주기비용의 계산과 분석을 위하여 수충부 피해저감시설 및 비용의 추가적인 데이터 수집·분석과 생애주기지수 산출을 위한 수학적 모델의 지속적인 보완이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 ‘산지하천도로 방제를 위한 도로선형 설계 기술 개발연구’의 일환으로 이루어진 것으로 연구를 수행할 수 있게 도와주신 본 연구단의 참여연구원분들에게 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] 건설교통부 (2007). 수해 예방을 위한 산악지도로설계매뉴얼
- [2] 김성희 (1999). 의사결정분석 및 응용. 영지문화사
- [3] 김수로, 김태혁 (2008). “사면안정기술의 최근 동향”, 광해방지기술 Vol. 2, No. 1, pp 41-55.
- [4] Vitillo, Nicholas (2003). “Guidelines for life cycle cost analysis.”, Final Report FHWA-NJ-2003-012, New Jersey Department of Transportation Division of Research and Technology.