

의사결정수 기법을 이용한 교량확폭에 관한 의사결정모델 개발

Decision Making Model for Widening Bridges Using Decision Tree Technique

조 효 남* 박 진 형** 선 종 완*** 윤 만 근****
Cho, Hyo Nam Park, Jin-Hyung Sun, Jong-Wan Youn, Man-Keun

Abstract

Recently, the constructions of widening bridges or new bridges are often undergoing as a part of road widening because traffic volumes are rapidly increasing caused by fast-growing population and urbanization. But in general, there is no rational decision process and specification to justify the validity of the bridge widening. Moreover, there are also numerous events including various uncertainties involved in widening bridges. In this paper, therefore, a decision making model is proposed for widening bridges using decision tree based on quantitative LCC analysis considering a variety of uncertainties for the rational and practical approach to a quantitative decision making for alternatives.

요 지

도로교량의 경우 급속한 도시화로 인해 증가한 교통량을 처리하기 위해 교량확폭과 신설교량의 추가 건설 등의 방법이 사용되고 있다. 하지만 현재 국내에서는 확폭 또는 신설 교량의 추가건설의 타당성을 판단하기 위한 합리적인 절차나 기준이 마련되어 있지 않다. 또한 교량 확폭 공사 시에는 일반적인 교량신설 공사에 비해 불확실성을 내포한 사건들이 추가적으로 존재한다. 이에 본 논문에서는 의사결정수 방법을 이용해 교량 확장에 따라 발생 가능한 사건의 기대 위험비용을 체계적으로 고려할 수 있는 개선된 형태의 생애주기비용 분석 모델을 제안하였다.

Keywords : Decision making model, Decision tree, Widening bridge

핵심 용어 : 의사결정모델, 의사결정수, 교량 확폭

* 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수

** 대우건설 사원

*** 한양대학교 토목공학과 박사과정

**** 한양대학교 토목공학과 박사과정, 삼성건설 토목사업본부장

E-mail : ryfid@hanyang.ac.kr 011-9473-4784

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 8월 31일까지 학회로 보내 주시면 2008년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

지난 수십 년간 고도의 경제 성장과 더불어 급격히 증가하는 도로교통량을 수용하기 위해 새로운 도로의 신설, 기존 도로의 확장 및 확폭이 활발하게 진행되고 있다. 그러나 대부분의 경우에 도로 및 교량의 확장 및 확폭에 대한 의사결정 기준이 설계 및 시공 등 초기비용이나, 정치·사회적인 요인 등에 국한되었으며, (10),(11) 실제 교량 계획과 설계에 있어서도 노선선정 후 실제 현장에 건설될 교량의 건설방식 등에 대한 판단이 단순히 기존의 방식을 따르거나 전문가의 주관적인 의견에 맹목적으로 의존하는 등의 정성적인 방법에 의해서만 이루어져 왔다. 따라서 도로교통량을 수용하기 위한 여러 방법들 중 최적의 방법을 선택하기 위한 의사결정의 문제에서 확장 및 확폭, 신설 여부 및 교량의 건설방식 등의 분야에서 객관적인 평가를 내릴 수 있는 의사결정모델의 개발이 시급하다고 할 수 있다. 또한 일반적인 교량신설과 달리, 교량확폭을 위한 의사결정의 문제에 있어서 공법 등에 따라 시공 및 유지보수 시 다양한 확률적 불확실성이 존재한다. 이에 본 논문에서는 의사결정수(decision tree) 기법을 이용한 확률적 Life-Cycle Cost(LCC) 분석을 통해서 경제성을 평가하고 대안을 추출하여 교량 확장에 대한 최종대안을 선택하는 의사결정모델을 제시하고자 한다.

2. 교량확폭

2.1 일반사항

교량의 개통 후 오랜 시간이 경과하여 당초 예상을 크게 상회하는 차량의 증가와 대형화에 의해 구간 및 시간대에 따른 교통정체가 발생하고 있다. 이러한 교통정체를 해소하고 도로 본래의 기능을 회복하여 주변 환경 개선을 도모하기 위해 도로의 확폭공사를 실시한다. 교량을 확폭하는 경우에는 신설부와 기설부를 일체화하는 구조형태로 확폭공사를 계획할 수 있다. 확폭공사의 시공에 있어서 장시간 동안 교통의 완전통제는 제반여건상 불가능하므로 기존 차선의 교통 허용하에서 공사를 실시할 필요가 있다. 위와 같은 조건에

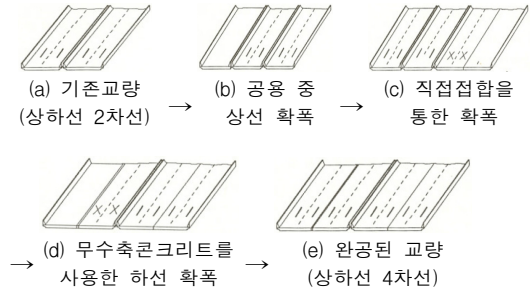


Fig. 1 전형적인 확폭 시공순서

서 공사가 이루어져야 하기 때문에, 일반적인 교량신설 공사 시에 고려되는 사항 외에 추가적으로 불확실성을 내포한 사건들을 보다 신중하게 고려해야만 한다. Fig. 1은 공용 중 교량의 전형적인 확폭공사 시공순서를 나타내고 있다.

교량이 확폭될 때 발생 가능한 위험사건으로는 신·구 교량간 콘크리트 재령차에 의한 건조수축 및 크리프 발생, 처짐 및 연결부 균열발생, 공용 중 시공에 따른 차량에 의한 진동, 시공 중 철근노출, 그리고 차선폭 감소와 선형변경 등으로 인한 차량지체 및 교통사고증가 등을 들 수 있다.

2.2 의사결정(Decision Analysis)

기술적인 결정을 내리는 일은 공학적인 계획과 설계에서 꼭 필요한 부분 중의 하나이고, 엔지니어의 주된 책임이 바로 이러한 결정을 내리는 것이다. 대부분의 의사결정은 불확실성을 내포하고 있는 정보를 바탕으로 이루어지므로 위험성(risk)은 필연적이다. 하지만, 이러한 위험성은 불확실성의 모델링작업과 확률적인 평가 및 비용분석을 통하여 체계적으로 고려될 수 있다. 이러한 해당 문제와 관련된 모든 면을 고려하는 시스템 체계를 통해서 합리적인 의사결정이 이루어져야 하며, 이러한 방안 중의 대표적인 방법으로 의사결정수 기법을 들 수 있다.

2.2.1 의사결정수(Decision Tree)

앞서 설명한 의사결정 문제의 다양한 요소는 주로 적합한 대안의 리스트, 각 대안과 관련된 발생 가능한 결과와 이에 상응하는 확률, 금전적인 결과와 평가 등

의 의사결정 흐름으로 이루어진 의사결정수로 통합하여 나타낼 수 있다. 다시 말해, 의사결정수는 분석적인 평가에 적합한 시스템적인 레이아웃(layout)을 통하여 최적의 대안을 선정하기 위한 의사결정에 필요한 요소들을 통합한 형태인 것이다. 공학적인 분석과 설계의 확률적인 모델은 발생 가능한 결과와 관련된 상관성을 평가하는데 사용되고, 발생결과에 따른 영향은 이용모델을 각 대안의 상대적인 가치로 비교 및 평가하는 것이다.⁽¹⁶⁾

Fig. 2는 세 가지의 대안을 가지는 의사결정수의 일반적인 예시이다. 이러한 의사결정수는 각 대안에 대한 발생결과, 발생확률, 그리고 기대비용 등으로 구성되어 있다.

2.2.2 생애주기비용(LCC)의 정식화

생애주기비용은 크게 초기비용, 유지관리비용, 해체·재가설비용으로 구성되나, 본 논문에서는 의사결정수 기법을 적용하여 계산된 기대복구(보수)비용, 간접비용 등을 포함하였다. 즉, 일반적인 LCC 분석의 경우 각 대안별로 같은 형식의 교량일지라도 공법 등에 따라 발생하는 차이점을 고려하지 못하는 문제점을 앞서 설명한 의사결정수 기법을 적용한 추가적인 고려를 통하여 보완하였다는 것을 뜻한다. 예를 들어, 동일한 접합시공일지라도 직접접합시공과 중간콘크리트를 이용한 접합시공은 접합시공을 위한 공사기간과 균열 및 처짐 등의 유지보수항목의 발생빈도 등이 다르

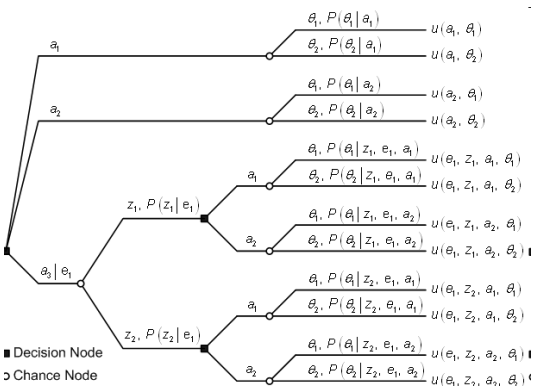


Fig. 2 의사결정수(Decision Tree)

게 나타난다. 따라서 동일한 교량 형식일지라도, 시공 방법 등에 따라 각 대안별 기대복구(보수)비용과 간접비용 등에서 차이가 발생된다. 여기서, 기대복구(보수)비용은 교량확폭 시공 시 필연적으로 발생하는 접합면에서의 건조수축과 크리프 변형, 차량에 의한 진동, 교량처짐, 그리고 철근노출 등에 따라 발생할 것으로 예상되는 항목들에 대해 불확실성을 고려하여 발생하는 결과의 발생확률과 그에 따른 손실비용을 고려하여 산정할 수 있다. 또한, 간접비용은 교통차단이나 통제가 일반적인 교량의 유지관리는 비교적 단시간에 이루어지는 것에 비하여 교량확장 공사 시에는 장시간에 걸쳐 연속적으로 이루어지기 때문에 이에 대한 안전관리비, 차량우회처리비, 우회도로건설비, 교통지체 시간비용, 교통사고 위험성 증대 등의 고려하여 산정되어야 한다.^{(13),(14)}

각 대안별로 이와 같은 불확실성을 고려한 LCC 분석을 통하여 최적의 경제성을 가지는 대안을 선정한다. 이러한 불확실성을 고려한 LCC 분석결과는 각 대안별 기본적인 경제성 분석뿐만 아니라 의사결정수를 이용한 기대위험비용까지 포함한 것이라 할 수 있다. 또한, 이러한 LCC 분석을 한 결과가 발주자나 엔지니어가 판단하기에 확연한 차이를 보이지 않고 유사한 결과를 가지게 된다면, 전문가의 의견 등을 포함한 AHP기법 등을 적용하여 최종적인 의사결정을 내릴 수 있다.

2.2.3 교량 확폭을 위한 의사결정모델

앞서 설명한 바와 같이, 일반적인 LCC 분석에서는 불확실성을 내포한 사건들의 복잡성과 자료수집의 어려움 등의 이유로 다양한 경우의 불확실성을 고려하지

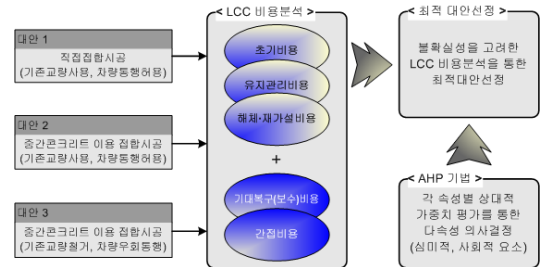


Fig. 3 LCCA를 통한 최적대안 선정을 위한 의사결정모델

못하기 때문에 본 논문에서는 다음과 같은 의사결정분석을 위한 방법론을 제시하고자 한다.

(1) 각 대안별 불확실성을 내포한 사건 정의

모든 대안들은 교량의 성능과 도로이용자에게 영향을 미치는 공통되거나 고유의 사건들을 내포하고 있다. 또한, 모든 사건들은 각 대안에 따라 구조물에 영향을 미치는 정도가 각각 다르다. 예를 들어, 외부모멘트에 저항하는 단면적이 줄어들게 되는 균열은 교량 형식과 하중조합 등에 따라 그 발생정도가 다르다. 이와 같은 사건들은 불확실성을 내포한 변수들로 구성되어 있기 때문에, 논문이나 연구보고서 등을 참고하거나 전문가들의 설문조사 등을 통해서 합리적이고 타당하게 가정되어야 한다.

(2) 발생확률과 기대손실비용의 계산

각 사건의 발생확률은 한계상태방정식 등을 통하여 계산될 수 있다. 기존의 혹은 가정된 자료를 바탕으로 한 불확실성을 내포한 변수의 평균과 표준편차를 한계상태방정식에 대입하여 MCS기법 등을 이용한 시뮬레이션을 통해 파괴확률을 구한다.^{(7),(12),(17)} 이를 통해 대안별 각 사건의 고려 전·후의 파괴확률을 구하여 그 차이를 이용하여 발생확률을 산정한다. 이러한 각 사건들의 결과를 이용하여 이전에는 고려되지 않았던 추가적인 결함이나 금전적 손실 등이 계산될 수 있다.

(3) 각 대안별 평가 및 비교

이러한 발생확률과 기대손실비용은 의사결정수를 통하여 전체 기대손실비용으로 합산되며, 이를 기존 생애주기비용에 포함하여 전체 생애주기비용을 산정하고 각 대안별 전체 생애주기비용의 비교를 통하여 최적대안을 선정한다.

3. 적용 사례

3.1 기존교량

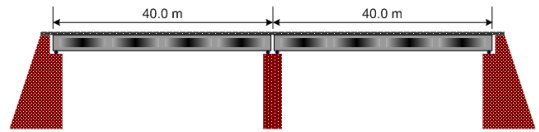
본 논문에서 제안된 의사결정수를 적용한 교량확포에 관한 의사결정모델의 적용성 검토를 위하여 Table 1과 Fig. 4와 같은 폭 19.305m, 총연장 80.0m의 2경간 4차선 PSC Beam교를 적용하여 보았다. 일평균

Table 1 기존교량의 제원

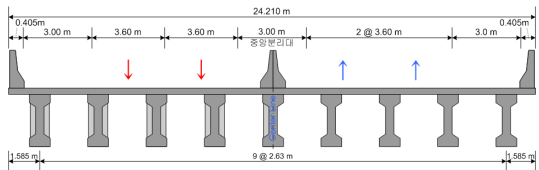
형식	연장	폭원	차선수	공용수명	할인율
PSC빔교	2@40m	19.305m	4차선	75년	4.0%

Table 2 기존교량의 교통량 분포

(단위: 대/일)			
총합	승용차	버스	트럭
146,590	111,601	12,071	22,918



(a) 기존교량의 종단면도



(b) 기존교량의 횡단면도

Fig. 4 예제교량의 기본제원

교통량(ADT)은 Table 2와 같이 146,590대/일의 교통량을 가지는 교량으로, 이미 적정교통량 수준을 넘어서는 교통량으로 인한 교통정체와 꾸준히 증가될 것으로 예상되는 미래교통량에 대비하기 위해 교량확장이 필요한 구간이다. LCC 분석을 위한 기본정보로서, 공용수명은 75년, 할인율은 4.0%를 사용하였다.

3.2 교량확포에 관한 기존 LCC 분석

3.2.1 LCC 분석을 위한 대안비교

위에서 고려된 기존교량의 확장을 위하여 Fig. 5와 같이 직접접합에 의한 확포시공(대안 1), 상선 중간콘크리트를 이용한 접합시공 및 하선 추가교량 신설(대안 2), 그리고 PSC Box교 신설(대안 3)을 비교해 보았다. 대안 1은 공용 중 상하선 길어깨 부분을 직접 접합하여 시공하는 방안으로 신·구 교량 간의 콘크리트 재령 차에 의한 건조수축과 크리프, 차량에 의한 진동 등의 영향을 가장 많이 받는 방법이다. 대안 2는 상선 길어깨 부분을 중간콘크리트를 이용한 접합시공

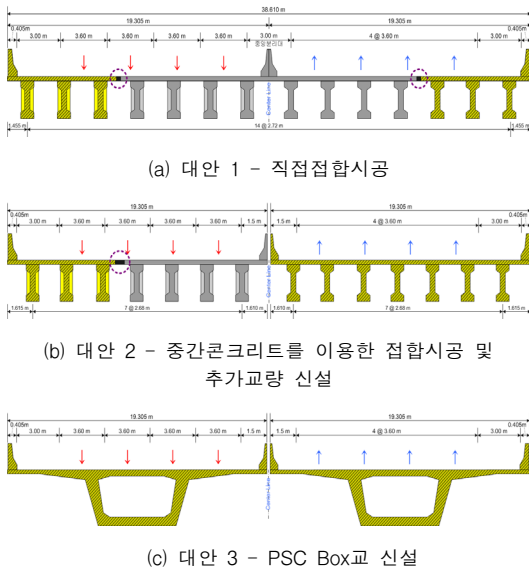


Fig. 5 대안별 횡단면도

을 하고 하선은 철거 후 동일한 PSC Beam교를 신설하는 방안으로, 대안 1과 동일한 영향을 받지만 접합시점의 차이로 그 발생빈도는 낮다. 마지막으로, 대안 3은 기존 교량을 철거하고 PSC Box교를 신설하는 방안으로, 대안 1, 2에서 발생하는 건조수축과 크리프, 차량에 의한 진동의 영향이 최소화되는 장점이 있지만 초기공사비가 높다는 단점이 있다.

3.2.2 기존 LCC 분석을 통한 결과분석

LCC 분석을 위해 사용된 단위초기공사비, 유지관리주기 및 비용, 단위해체·폐기비용은 건설교통부와 한국도로공사 연구보고서^{(2),(5)} 등을 참조하였다. 이에 대한 기본적인 LCC 분석 결과는 다음 Fig. 7과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이, 유지관리비용은 높지만 초기공사비가 저렴한 대안 1이 대안 2, 3에 비해 전체 생애주기비용이 낮으며 대안별로 각각 57.2억원, 62.4억원, 86.3억원으로 산출되어, 대안 1이 57.2억원으로 생애주기비용이 가장 저렴한 최적대안으로 선정되었다. 분석결과에서 볼 수 있듯이, 이러한 교량의 기본적인 LCC 분석 결과는 초기공사비의 비중이 절대적이기 때문에 유지관리주기 및 비용과 상이하게 발생하는 간접비용의 차이가 결과에 큰 영향을 미치지 못

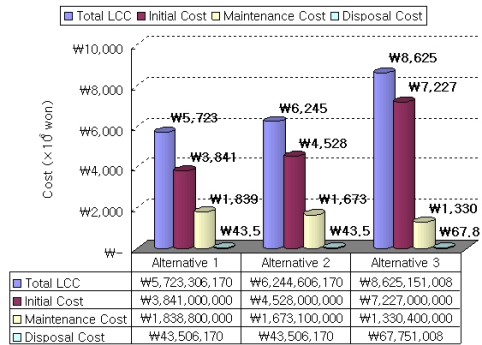


Fig. 6 각 비용항목별 LCC 분석결과

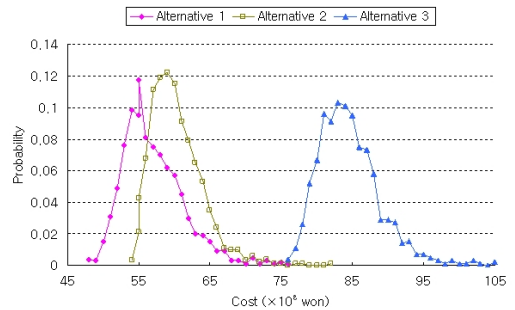


Fig. 7 생애주기비용의 확률적 분포

함을 알 수 있다.

이를 확률적 LCC 분석을 통해 각 생애주기비용별 발생확률을 살펴보면 Fig. 7과 같다. 대안 1이 대안 3보다 경제적인 확률은 100%이고 대안 2보다 경제적인 확률은 80.97%임을 알 수 있다. 하지만 그림에서 볼 수 있듯이, 대안 1과 대안 2는 생애주기비용의 발생확률이 겹치는 부분이 많기 때문에 생애주기비용의 역전이 발생할 가능성이 존재한다. 그러므로 이에 대한 추가적이고 상세한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 교량확폭에 관한 의사결정수 고려

3.3.1 추가적인 발생사건을 고려한 의사결정수 구성

교량확폭을 위한 대안별 특징에서 살펴봤듯이, 모든 형식의 교량은 신규교량 건설공사 시 교량 구성요소들의 손상 및 결함이 유발되는 사건을 내포하고 있어 이에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 그러나 앞선 LCC

Table 3 추가적인 발생사건 및 대안별 가중치^{(4),(6),(15)}

발생사건	가중치		
	대안1	대안2	대안3
신·구교량간 재령차에 의한 건조수축 및 Creep의 영향	대	중	소
시공 중 차량 진동에 의한 처짐 및 균열	대	소	-
종방향 접합부의 균열	중	대	-
신설교량의 처짐, 신구교량상판의 높이차	중	소	-
시공 중 철근노출	중	소	-
차선폭 감소(우회)로 인한 차량지체 및 사고발생 증가	중	소	대

Table 4 대안별 결함에 따른 한계상태방정식

결함종류	한계상태방정식	비 고
균열, 강도저하	$g(\lambda) = 52.59 \left(0.270\lambda_{d,11} - \frac{0.01248}{\lambda_{f,s}} \right) - 9.846$	대안 1
	$g(\lambda) = 52.59 \left(0.270\lambda_{d,11} - \frac{0.01248}{\lambda_{f,s}} \right) - 9.770$	대안 2, 3
처짐	$g(\lambda) = 11.111 - \frac{6.205}{\lambda_{d,11}}$	

분석에서는 이렇게 추가적으로 발생하는 사건에 대한 자료수집의 어려움 등으로 고려하지 않거나 무시하는 경우가 있었다. 그러나 이는 신설교량의 경우, 동일한 기간 동안에 기존교통량이 없는 상태에서 공사가 진행되기 때문에 이러한 가정이 가능한 것이다. 하지만, 공용중인 교량을 대상으로 하는 교량확폭 공사의 경우는 다르다. 이는 시공방법에 따른 공사기간의 차이로 시공 중 발생하는 간접비용과 동일형식에 대한 상이한 시공방법에 의한 유지보수주기 및 발생빈도 등의 차이가 발생되기 때문이다. 따라서 이러한 교량확폭 공사의 특징들을 고려하여 추가적인 발생사건에 대하여 의사결정수를 이용하여 구성한 결과는 Table 3과 같다.

여기서, 발생확률과 발생손실비용은 각각 한계상태방정식과 기본 LCC 분석에서 사용되는 단위비용 등을 참고하여 구할 수 있다. 교량 구조물에 영향을 미치는 결함인 균열과 강도저하, 그리고 처짐 등은 구조물의 내하율 식을 이용하여 다음 Table 4와 같이 각 대안별 한계상태방정식으로 도출하여, 이를 한국도로공사와 한양대학교 연구보고서 등을 참고^{(4),(6),(15)}하여 Table 5와 같은 평균과 표준편차를 적용하여 MCS기법을 통한 시뮬레이션을 통하여 사건 전·후의 파괴확률값의 차이를 이용한 추가적인 발생확률을 산출하였다.

Table 5 한계상태방정식 변수의 평균과 표준편차

발생정도	가중치	균열		강도저하	
		평균	표준편차	평균	표준편차
대(L)	1	0.60 μ	0.20		
중(M)	2/3	0.80 μ	0.10	0.73 μ	0.0075
소(S)	1/3	0.94 μ	0.03	0.91 μ	0.02

Table 6 LCCA 결과의 비교

대안	의사결정수	고려 전		고려 후	
		LCC	비율	LCC	비율
대안 1		57.2	1.00	65.9	1.00
대안 2		62.4	1.09	65.6	0.995
대안 3		86.3	1.51	88.3	1.34

3.3.2 의사결정수를 고려한 LCCA 결과

위와 같은 한계상태방정식과 변수들을 적용하여 앞에서 구한 의사결정수의 발생확률과 발생비용을 대입하여 계산된 의사결정수를 고려한 결과가 다음의 Fig. 8과 같다. 3.2절에서 구한 기본 LCCA와 Fig. 9와 같은 추가적인 발생사건을 고려한 의사결정수를 포함한 LCCA의 결과를 살펴보면 아래 Fig. 9와 같다. 그림에서 볼 수 있듯이, 각 대안별 총생애주기비용이 각각 65.9억원, 65.6억원, 88.3억원으로 산출되어 대안 2가 대안 1과 비교하여 약 0.3억원 차이로 총생애주기비용이 저렴하여 최적대안으로 선정되었다. 의사결정수를 고려여부에 따른 결과를 비교해 보면 Table 6과 같이 의사결정수를 고려하기 전 분석결과에서 대안 1:대안 2:대안 3의 생애주기비용의 비율이 1.00:1.09:1.51로 대안 1이 가장 저렴하였지만, 의사결정수를 고려한 분석결과에서는 1.00:0.995:1.34의 비율로 대안 2가 대안 1에 비해 약 0.5% 저렴한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 기존 LCC 분석과 큰 차이는 없지만, 보다 합리적인 분석으로 의사결정이 뒤바뀐 결과를 가져온 것으로 그 이유는 의사결정수 기법에서 추가적으로 발생하는 기대유지발생비용과 기대간접비용이 대안 1이 각각 5.76억원과 2.88억원이고 대안 2는 각각 1.87억원과 1.27억원으로 대안 1이 대안 2에 비해서 상대적으로 많아서 그 차이가 상쇄된 결과로 판단된다.

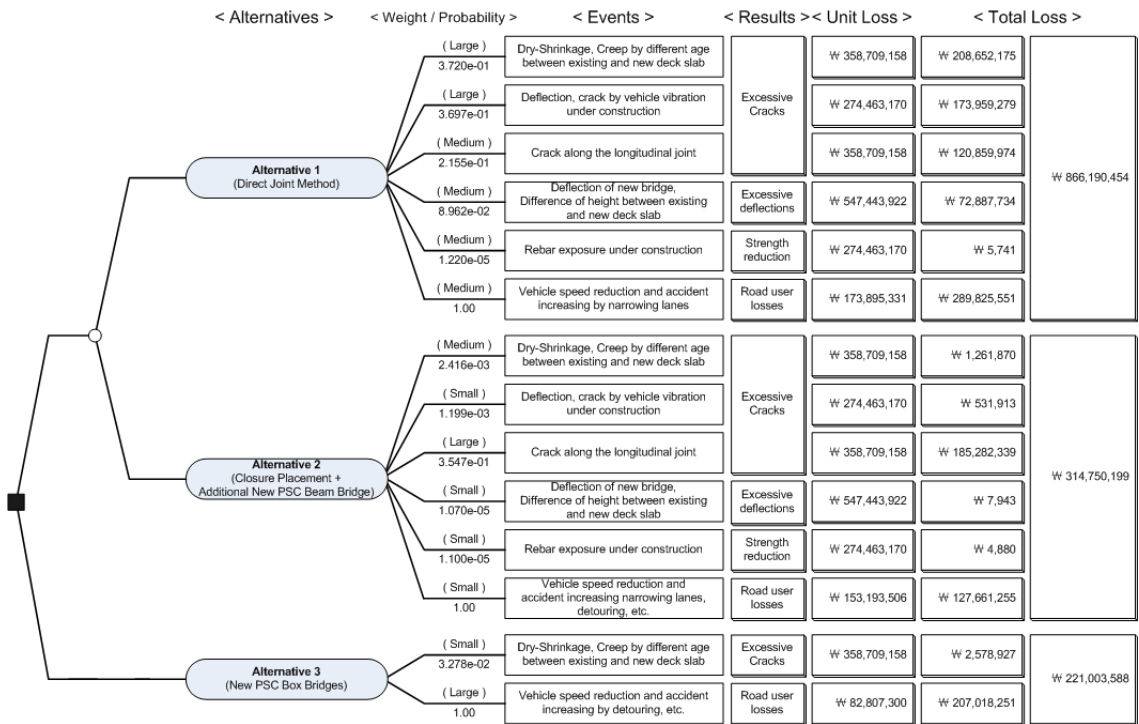


Fig. 8 교량확폭에 관한 의사결정수를 이용한 분석결과^{(8),(9)}

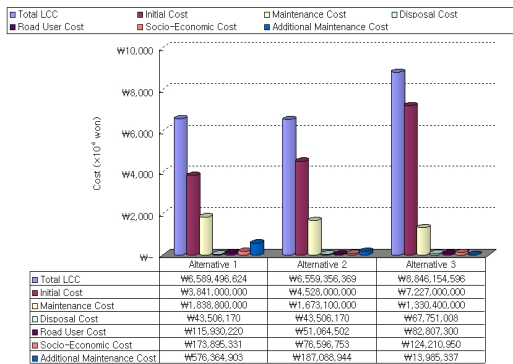


Fig. 9 의사결정수를 포함한 LCCA

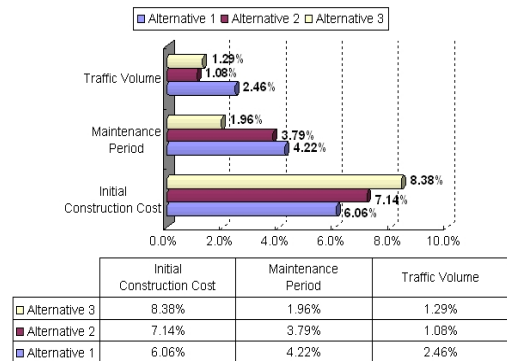


Fig. 10 민감도 분석결과

3.4 민감도 분석

LCCA 결과에 영향을 미치는 단위초기공사비, 유지보수주기, 그리고 교통량 등의 주요 변수들의 값의 범위를 $\pm 10\%$ 씩 변경해가면서 LCC 분석을 수행하여 생애주기비용에 가장 큰 영향을 미치는 변수를 도출해내

는 민감도분석을 실시하였다. 분석결과 단위초기공사비가 6.06~8.38%의 수준으로 가장 주요한 변수로 나타났다. 또한, 확폭공사를 수행한 대안 1과 2의 경우에 유지보수주기도 3.79~4.22% 수준으로 신설공사를 수행한 대안 3의 1.96%에 비하여 약 2배 이상의 영향을 미치는 변수로 나타났다. 마지막으로, 접합

면이 상하선 양쪽에 있는 직접접합시공을 통한 대안 1 이 대안 2와 3에 비해 2.46%와 1.08~1.29%로 2 배 이상의 차이를 보임을 알 수 있다.

4. 결 론

이상의 결과에서 보듯이, 의사결정수를 고려함에 따라 대안 1과 대안 2의 총생애주기비용이 각각 57.23억원과 62.44억원(1.00:1.09)에서 65.89억원과 65.59억원(1.00:0.995)으로 계산되어 교량확폭을 위한 의사결정에 의한 최적대안이 기존의 대안 1에서 대안 2로 변경되는 것을 확인할 수가 있었다. 이는 기존 LCCA에서 상대적인 비용분석의 특성상 공통되는 부분으로 판단하여 무시되거나, 자료습득의 어려움 등으로 고려하지 못했던 발생사건들을 각 대안별 특성을 반영하여, 기존 문헌들과 연구보고서의 분석결과 등을 통하여 정의하고 한계상태방정식과 의사결정수를 이용하여 정량화하여 포함한 결과라고 할 수 있다.

예제교량을 통해서 살펴 본 의사결정수를 고려한 교량확폭에 관한 의사결정모델에 대한 분석결과는 다음과 같다.

- 1) 교량확폭 공사는 기존 교량의 교통량이 포화된 경우에 시행되는 것이므로, 도로이용자비용과 사회-경제적비용 등의 간접비용의 비중이 더욱 높아지게 된다.
- 2) 민감도 분석결과에서 알 수 있듯이, 확폭교량의 경우가 신설교량에 비해 의사결정수에 의한 영향을 더 많이 받고 그에 따라 추가되는 비용도 더욱 커지게 된다.
- 3) 따라서 기존 LCC 분석으로는 각 대안별 특성 등이 반영되지 않으므로, 의사결정수와 같은 보다 합리적인 방법을 통한 보다 더 정확한 분석이 요구된다.

마지막으로 위험도 분석이 요구되는 일반적인 생애주기비용 분석 문제에도 일반적인 LCC분석 보다 이러한 의사결정수를 이용한 의사결정모델을 적용시킨다면, 정량적이고 보다 정확한 분석을 통해 최적의사결정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 도로교설계기준, 건설교통부, 2005.
2. 도로업무편람, 건설교통부, 2007.
3. 도로설계요령, 한국도로공사, 2002.
4. 한국도로공사, "교량확폭시공을 위한 설계 및 시공기법 연구", 1993.
5. 한국도로공사, "고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC)분석 연구", 2002.
6. 한양대학교, "확폭교량의 상관강도시험 및 피로시험, 한국도로공사", 1993.
7. 시설안전기술공단, "도로교의 공용수명 연장방안 연구", 건설교통부, 2000.
8. 교통개발연구원, "도로점용공사로 인한 교통지체 완화대책 연구", 건설교통부, 1998.
9. 조한선, 심재익, "2004년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이분석", 한국교통연구원, 2006.
10. 류부열, "경부고속도로 확장", 대한토목학회, 제48권 제7호, 2000, pp. 25-30.
11. 류부열, "고속도로 확장을 대비한 설계방안", 대한토목학회, 제53권 제11호, 2005, pp. 163-172.
12. 양승이, 김한중, "유지관리비용이 된 교량의 내하력평가 및 잔존수명 예측", 산업안전학회지, 제18권 제1호, 2003, pp. 108-115.
13. John L. Carrato et al., "Guide for Widening Highway Bridges", ACI Structural Journal, 1992, pp. 451-466.
14. Life-Cycle Cost Analysis Primer, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Asset Management, Aug. 2002.
15. SCDOT Bridge Design Manual, South Carolina Department of Transportation, Apr. 2006.
16. Ang, A. H-S, and Tang, W. H., "Probability Concepts in Engineering Planning and Design", - Vol. II, Decision, Risk, and Reliability, John Wiley & Sons, 1984.
17. Akgul, F., "Lifetime System Reliability Prediction for Multiple Structure Types in a Bridge Network", Ph. D. Dissertation, Univ. of Colorado, CO, 2002.

(접수일자 : 2008년 1월 10일)
(심사완료일자 : 2008년 6월 19일)