

DEA기법과 LCC개념을 활용한 교량형식 선정 방법에 관한 연구

A Study on the Selection of a Bridge Structure Type Using DEA and LCC

한 삼 희¹⁾ 김 종 길^{2)*}
Sam-Heui Han Jong-Gil Kim

Abstract

In this study, DEA (Data Envelopment Analysis) was carried out on the four bridges, which have the same extension (L=1,615m), in order to select the most superior, economical method of construction using the LCC concept of each bridge structure in the case of the Ulsan-Pohang double track railway which is scheduled to be constructed. DEA models were analyzed with the CCR model, which was designed for the evaluation of relative efficiency of each model. The initial construction costs, maintenance costs, indirect costs (user costs + indirect loss of social costs), and life cycle costs were used as input variables, and average duration was applied as the output variable. LCC was applied to calculate the input variables, and to get the costs of LCC, 100 years of period and 4.83% of real discount rate were applied, and the costs are classified into initial construction, maintenance, user, and indirect loss of social cost. The analysis results showed that the Method 2 and 3 were evaluated as the most efficient, and the other alternatives were evaluated as the following order; Method 1, the default, and Method 4.

Keywords : LCC, DEA, Selection of Bridge Structure Type

1. 서 론

교량, 항만, 댐, 도로 등의 건설에 있어, 과거에는 수요와 비용을 정확하게 고려하지 않은 채 구조물을 건설하여 국가 차원에서 많은 손실을 기록했다. 건설 사업에 있어서 적자를 막기 위해서는 적절한 생애주기비용 분석을 통한 건설이 필요한데, 생애주기비용은 계획·시공·유지관리·폐기·철거에 이르는 동안 구조물에 투입되는 총 비용을 말한다. 현재 선진국들은 과거의 경험을 바탕으로 서서히 구조물의 생애주기 동안 특성을 중요하게 인식하고 설계 때부터 시공시 초기공사비 뿐만 아니라 구조물 유지관리의 특성 및 수명 전체에 소요되는 비용의 예측 즉 생애주기비용 (Life Cycle Cost) 측면을 중요시하여 고려하고 있다. 우리나라에서도 지난 1999년 「공공건설사업 효율화종합대책」을 통해 설계금액 기준 500억 원 이상 대형 SOC사업의 경우 타당성 조사 및 기본설계 단계에서부터 생애주기비용분석 (Life Cycle Cost

Analysis, LCCA)을 의무화하였고 2002년부터 이를 공공사업 전반에 확대 적용하기로 하였다. 이와 같이 LCC의 중요성 및 적용의 필요성에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다.

최근 연구를 살펴보면 LCC를 사용한 사례연구가 진행되고 있으나 대부분의 연구가 기존에 지어진 교량을 토대로 비용을 분석하고 앞으로 유지보수에 대한 LCC를 산정하는 연구이다. 하지만 현업에서의 활용에 있어 지난 자료를 토대로 분석을 하기 보다는 실제 지어질 교량을 토대로 LCC를 적용해보고, 이를 통한 교량을 선정하는 연구가 중요하다 할 수 있을 것이다. 이를 해결하기 위해서는 실제 데이터를 기반으로 한 분석 및 평가가 병행하여 이루어져야 할 것이다. 실제로 이를 해결하기 위한 연구로 AHP (AHP: Analytic Hierarchy Process) 기법, 요인 분석 법등 많은 연구가 수행되고 있다.

또한 LCC의 문제점 및 단점이 존재하는데, 먼저 특정 대상에 대한 LCC를 위해서는 대상물의 유사 실적에 대한 과

1) 정희원, 군산대학교 토목공학과 박사과정
2) 정희원, 호원대학교 토목환경공학과 겸임교수, 교신저자

* Corresponding author : kman1@kunsan.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

거자료의 이용이 필수적이거나 자료보존이 미흡하여 LCC 적용이 어렵다는 점이다. 또한 시공 후에도 비용항목에 대한 불확실성 및 위험요소가 많으며 특히 장기비용수선에 있어서는 수선 시기, 수선률, 수선주기 등의 수많은 불확정 요인(risk uncertainty)들의 영향을 받는다. 그러므로 확정방식에 의한 수선비에측은 그 현실성이 매우 취약하고 이에 근거한 LCC 역시 실질적이지 못하다. 그럼에도 불구하고 대부분 기존모델은 이런 불확정 요인에 대한 충분한 고려 없이 과거 자료를 확정적 방식으로 사용하고 있다. 확정적 방식에 의한 비용예측은 현실성이 매우 취약한 단점이 있어 이에 근거한 LCC도 실질적이지 못한 문제가 발생된다. 이러한 단점을 해결하기 위해 생애주기비용의 산정에 관한 기존 이론과의 융합연구가 수행되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 우리나라에서 건설예정인 교량을 대상으로 여러 교량 형식 중 어떠한 교량을 건설할 것인가에 관해 확정적인 방법을 적용한 생애주기비용(LCC)에 따른 경제성 분석 개념을 토대로 입력변수와 투입변수를 산정하여 자료포락분석(DEA: Data Envelopment Analysis)을 사용하여 연구하고자 한다. DEA 기법은 본래 기업의 효율성 평가 방법으로 주로 사용되어 왔으나 최근 들어 건물, 무형가치 등 다양한 측면에서 효율성 평가로 활용되고 있는 기법이다.

본 연구는 문헌조사를 통하여 LCC의 개념에 대해 고찰하고, 실제 건설 예정인 교량의 데이터를 통하여 LCC를 산정한다. 또한 산정 과정에서 LCC 개념을 토대로 DEA 기법을 사용하여 대안 간 효율성을 파악한다. 마지막으로 본 연구를 토대로 교량 건설에 있어 선택대안의 방법으로써의 DEA 적용가능성을 논하기로 한다. 따라서 본 연구는 LCC 개념과 DEA 기법을 통한 교량 건설 선택 방법을 구성하였다는데 그 의의를 가진다고 할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 LCC 개요 및 분석 방법

총 생애주기비용(Life Cycle Cost; 이하 LCC라 칭함)이라는 것은 계획·설계비, 건설비, 유지관리비, 해체·폐기 비용, 즉 시설물의 기획 단계에서부터 폐기 처분 시까지의 모든 비용을 합한 것으로 시설물의 생애에 필요한 모든 비용을 의미한다. LCC의 일반적인 비용항목에는 초기투자비, 운영비, 유지관리비, 폐기처분비, 투자에 대한 이자 등이 있다.

특정문제에 대한 해결대안들을 비교 검토할 경우에, 다른

조건들이 동일하다면 최소 LCC를 갖는 대안을 선택하는 것이 일반적이다. LCC 이외에도 고려되는 다른 조건들에는 성능, 신뢰성, 사회 여건 등이 있다. 그러나 실제 문제에 있어 모든 조건들이 동일한 경우는 거의 없으므로 최종 의사결정에 있어 LCC의 중요성이 크다고 말할 수 있겠다.

최근 교량의 유지관리데이터의 축적, 교량의 성능예측, 비용함수 모델, 신뢰성 이론, 최적화 및 수치해석기법과 컴퓨터의 발전으로 인하여 다양한 생애주기비용(LCC)모델이 개발되어 왔으며, 이를 이용한 교량의 설계 및 유지관리와 관련한 의사결정문제에 적용하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다.

다양한 연구결과들을 분석해 본 결과 실무에서 쉽게 적용 가능한 2가지 기법으로 구분할 수 있으며, 각 분류별 특징 및 활용분야는 다음과 같다.

- ① 확정적 LCC 분석방법 (Deterministic Life Cycle Cost Analysis Approach, 이하 DLCCA)은 통계적 데이터나 전문가의 주관적 의견에 의한 확정적인 데이터를 활용하여 분석하는 확정적 분석방법으로, 현재 실무에서 대안선정을 위해 각 대안에 대한 생애주기비용모델로 사용되고 있고, 구조물의 형식, 사용재료의 선정, 유지관리전략이나 보수·보강공법의 선정에 활용되고 있다.
- ② 확률적 LCC 분석방법 (Probabilistic Life Cycle Cost Analysis Approach, 이하 PLCCA)은 통계적 데이터나 전문가의 주관적 의견을 확률적 데이터로 구축하여, 시뮬레이션 기법을 적용하여 분석하는 방법으로 확정적 방법보다 합리적이고 과학적인 방법이다. 또한, 이 방법은 현재 실무에서 부분적으로 사용되고 있으며, 활용 대상은 DLCCA와 동일하게 적용할 수 있다.

2.2 LCC 선행 연구

국내에서 LCC 건물 유지 관리 측면에서의 분석은 Lee et al. (1981)의 건물의 보수유지비 산정에 관한 연구로 시작되어 다양한 분야에서의 LCC분석이 연구되어 왔다. 국내 초기 건설 분야 LCC에 관한 연구는 공동주택이나 건축설비 등을 대상으로 삼은 것이 대부분이었으며, 공공시설물인 교량을 대상으로 한 연구는 거의 전무한 실정이었다. 그러나 최근 들어 교량과 같은 공공시설물의 효율적인 조달과 유지관리의 중요성이 널리 인식되면서 한국건설기술연구원의 교량관리체계 개선에 관한 연구(1995~1999)는 교량관리의 체계적 방법을 제시하면서 LCC 기법의 도입 및 적극적 활용에 대

한 필요성을 강력히 제시하였다. LCC에 관한 선행연구를 살펴보면, Kim (1999)은 강상형교의 최적 LCC 설계에 대한 연구에서 초기건설비용을 유지관리비용과 교량의 공용 간 활용력 및 진단능력에 의한 한계상태로 모형화한 파괴확률 및 기대과과 비용 등을 포함한 LCC모형을 제시하였다. Kwon et al. (2000)은 아스팔트 포장과 콘크리트 포장형식에 대한 LCC 분석 사례연구에서 사례대상 구간의 교통량 예측결과를 이용하여 사용자 비용을 고려하였으나, 해체·폐기비용 중 재활용에 따른 잔존가치를 고려하지 못했다는 단점을 안고 있다. Cha et al. (2001)은 강박스교와 PSC 박스교 상부구조에 대한 LCC 분석을 위해 유지관리 단계에서 보수율, 보수·교체주기에 대한 설문조사와 시설안전공단의 예산편성 관련 자료를 인용하여 유지관리비용을 산출하였다. Kwon et al. (2007)은 국내 교량 초기투자비 (시공비, 기획설계비), 유지관리비 (일반, 점검, 유지보수, 사용자비용), 해체·폐기비 예측 (해체비용, 폐기처분비용, 잔존가치)을 고려하여 RC Slab 교량을 사례로 들어 LCC를 예측하였다. Kim et al. (2007)는 경량전철 건설사업에 있어서 비용측면에서 많은 부분을 차지하고 있는 교량은 기존의 생애주기비용 산출방식보다 정밀한 비용 산출이 필요하기 때문에 LCC 분석 모델을 개발하고, 비용분류체계를 제시하였다. 제시된 비용분류체계를 바탕으로 경량전철 교량 상부구조 형식별 공사비와 보수·보강·교체 이력자료를 바탕으로 비용발생주기 및 비용단가 등을 수집·분석하였다. 또한, LCC분석을 위한 기본적인 가정사항을 설정한 후, 각 항목별 실적자료 정보를 활용하여 LCC 측면에서의 경제성 평가를 실시하였다. Shin et al. (2010)은 합리적인 교량 대안선정을 위해서 설계 시 경제성, 경관성, 안전성 및 기능성, 유지관리 용이성, 시공성 등 다양한 속성을 고려하여야 한다고 하였으며, 이 중 경제성은 초기비용뿐만 아니라 공용수명에 걸쳐 발생하는 유지관리비용, 보수 보강비용, 해체 폐기비용 등의 합인 총 생애주기비용에 대해 최소의 비용으로 최상의 가치를 창출하도록 하여야 한다고 하였다. 대상은 강상자형교, 소수주형교, PSC-I형 거더교를 대상구조물로 선정하여 LCC 최적설계를 위해 설계 변수, 제약조건, 목적함수를 구성하였고, 총 생애주기비용을 공용수명으로 나눈 연간생애주기비용을 사용하여 하여 합리적인 교량의 경제성 분석을 수행하였다. Cheon et al. (2005)은 유지관리 자료가 존재하는 강교, RC교, PSC교를 각각 10개소씩 30개소를 비교하여 초기공사비, 순현가 계산 설계 및 감리비, 순현가계산 유지관리비, 순현가 계산을 통해 유지관리비를 예측하였다. 하지만 그의 연구에서는 사용자비용 해

체, 폐기비용을 고려하지 못한 것이 단점으로 존재한다. Kang et al. (2005)는 PSC-I형교의 LCC 분석 및 예측 방법을 제시하고 LCC 추정모형을 개발하였으며 구성항목별 비용 산정방식을 결정했다. PSC-I형교의 LCC 비용항목 자료조사 자료로 초기투자비에는 기획·설계비, 시공비, 감리비를 들었으며, 유지관리비로 일반관리비, 점검 및 진단비용, 보수, 교체, 보강비용, 교량의 사용자비용을 들었다. 해체·폐기처분비는 해체비, 폐기처분비, 잔존가치를 사용하였으며, 이를 토대로 PSC-I형교의 LCC예측 및 민감도분석, 초기투자비 예측, 유지관리비 예측, 해체·폐기처분비 예측을 통해 사례교량의 총 LCC를 예측 하였다. Ahn (2007)의 연구에서는 강상자형교, 소수주형교, PSC-I형 거더교에 대한 가치공학 (Value Engineering : VE) 검토를 수행하여 최적대안을 선정하였다. 생애주기비용 (Life Cycle Cost : LCC)을 고려한 최적설계와 계층적 의사결정기법 (Analytic Hierarchy Process : AHP)을 이용한 VE 검토 부분으로 나누어 수행되었으며, 연구결과 생애주기비용을 고려한 교량상부구조의 최적설계 시 사용자 비용이 매우 중요한 요소임을 확인하였다. 강상자형교, 소수주형교, PSC-I형 거더교 등에 대한 사례연구 결과 본 연구의 설계조건에서는 여러 대안 중에서 소수주형판형교가 최적의 대안인 것으로 나타났다고 하였다. Kim et al. (2001)도 교량 건설 계획과정에서 대안으로 제시된 교량 상부구조 형식 가운데 최적 대안을 선정하기 위해 AHP 기법 및 LCC 개념을 이용하여 사례연구를 수행하였으며, 연구 결과 소수주형판형교가 최적의 대안으로 나타났다고 하였다. Ahn (2002)은 사례대상 교량의 LCC 구성항목별 비용분석을 통해 초기투자비 자료 분석으로 기획·설계비, 시공비, 감리·감독비 자료 분석을 실행하였으며 유지관리비 자료 분석으로 일반관리비, 점검 및 진단비, 보수 교체 보강비 자료 분석을 실행하였다. 마지막으로 사용자비용 자료 분석을 위해 해체·폐기비, 해체비, 폐기처분비, 잔존가치 분석을 수행하여 사례교량의 LCC를 예측·분석 했다. Ahn et al. (2002)은 사례연구를 통해서 강박스교와 PSC박스교의 생애주기비용 (LCC)을 분석하여 경제성을 평가하였다. 유지관리비를 산출하기 위해 보수 및 교체주기에 대한 설문조사를 실시하였으며, 교량 형식별 LCC 분석 및 비교에는 현재가치 법을 이용하였다. LCC 사례 연구 결과, PSC박스교가 강박스교 보다 경제적인 것으로 분석 되었다. Kim et al. (2007)은 그동안 비교적 연구가 활발히 진행되어 왔던 도로교량의 LCC분석 모델을 기초로 하여 철도 교량의 설계단계 LCC분석을 위한 비용모델의 구체적인 정식화를 제안하고, 총 생애주기 동안

발생 가능한 유지관리 항목 중 발생률이 높은 항목들을 기존 교량 이력 데이터와 정밀안전진단보고서 분석을 통해 규명하였다. 또한, 경제적인 유지관리를 위한 최적 점검주기 결정과 관련한 방법을 제시하였다. 선행연구를 살펴보면 LCC 분석의 사례에 대한 연구가 대다수를 차지하고 있었으며, LCC 분석에 추가적인 모형을 고려한 연구는 미비한 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 LCC 분석에 DEA라는 새로운 개념을 도입하여 기법의 적용 가능성에 대해 연구하기로 한다. 이를 위해 선행연구 고찰을 토대로 본 연구의 LCC 분석에 적용할 항목들을 추출하였으며, 대부분의 연구에서 사용되고 있는 초기건설비용, 유지보수비용, 사용자비용 항목을 추출하여 사용하기로 한다.

2.3 DEA 개념 및 분석방법

Farrell의 연구에서 시작한 효율성측정 방법은 이후 (Charnes et al., 1978)의 연구에 의해 다량의 투입과 다량의 산출에 관한 비율모형으로 확장되었다. DEA라 명명된 이 비율 모형은 단순한 효율성의 비율형태 (단일투입에 대한 단일산출의 비율)를 보다 현실화시킨 다량의 투입물에 대한 다량의 산출물의 비율로 확장하는 비선형계획모형이다. Fare et al. (1978)은 기술적 가정을 완화시키고 효율적 생산단위와 비효율적 생산단위를 구별 할 수 있는 측정방법을 제시하였다. Farrell의 상대적 효율성분석을 비롯하여 의사결정단위 (decision making unit : DMU) 또는 개별기업의 효율성을 평가하기 위한 새로운 연구들이 시도되었다. 이 중 Charnes et al. (1978)는 상대적 영업효율성을 측정할 수 있는 비선형계획법을 제시하였다. 그 후 Banker et al. (1984)는 효율성 프론티어를 추정하고 이를 평가하기 위한 이론을 전개하였다. 또한 Banker et al. (1986)는 이러한 분석을 확대하여 생산 또는 변환과정에 이용되는 투입요소를 DMU가 통제할 수 있는 요소와 통제할 수 없는 요소로 구분하여 분석하였다 (Kim, 2010). 일반적으로 DEA는 각 DMU에 대해 다른 DMU를 준거기업군 (reference set)으로 사용하기 때문에 비효율적인 DMU를 효율적인 것으로 개선시키는데 필요한 양적 수치로서 제공해 준다. 준거기업군이란 하나의 DMU가 효율성이 100%인 DMU를 벤치마킹하기 위해서 취해야할 input의 감소정도 또는 output의 증가정도를 의미한다. 본 연구에서는 LCC의 구성항목을 사용하여 투입변수와 산출변수로 분류하고, 각 교량을 DMU로 사용하여 DEA 분석을 실시한다.

2.3.1 CCR 모형

Charnes이 제시한 모형은 DEA의 기본모형으로 모든 의사결정 단위들의 개별적인 투입물 가중치 합계에 대한 산출물 가중치 합계의 비율이 1을 초과해서는 안되며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 크다는 제약조건하에 의해 상대적 효율성 평가를 위해 개발된 선형계획 모형이 CCR모형이다. 본 모형은 DMU의 투입물 가중치 합계에 대한 산출물 가중치합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형계획모형으로 규모에 대한 수익불변 (CRS: constant returns to scale)이라는 가정 하에 규모의 효율성과 기술적 효율성을 구분하지 못하는 단점이 있다. 따라서 CCR 모형은 규모수익성 (return to scale: RTS)이 일정하다고 가정하고 투입중심 CCR 모형은 다음과 같은 선형계획모형으로 다음 식 (1)로 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min \theta \quad & \text{제약식 } \theta x_0 - X\lambda \geq 0 \\ & y_0 - Y\lambda \leq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, DMU0 : 의사결정 단위
 θ : DMU0의 투입물 승수
 x_0, y_0 : DMU0의 투입물과 산출물 벡터
 X, Y : 전체 DMU들의 투입물과 산출물 행렬
 λ : 가중치 벡터

위 모형에서 투입물 승수 θ 는 1 이하의 값을 가지며, 이를 DMU0의 CCR 효율성이라 한다. 만약 CCR 효율성 값이 1이면 DMU0가 효율적이고, 그 값이 1보다 작으면 DMU0가 비효율적이라 한다. 어떤 DMU가 비효율적인 경우보다 효율적인 가상의 DMU가 존재하고, 이것은 $\lambda_j > 0$ 인 DMU들 (참조집합이 1선형결합 (linear combination)으로 구성 된다.

이상으로 DEA의 개념 및 모형에 대해 살펴보았다. 현재 국내에서 DEA를 활용하여 교각을 평가한 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 교량형식 선정에 LCC 모형과 DEA를 결합한 모형을 제시하고자 한다. 본 연구에서 논하고자 하는 교량선정 방법에서는 규모의 경제를 고려하지 않으므로, DEA 모형 중 CCR 모형을 사용하기로 한다.

3. DEA 모형에 적용하기 위한 LCC 분석

3.1 생애주기 비용의 분류

DEA 모형 적용에 있어서 투입변수와 산출변수 선정이 중

요하다. 왜냐하면 어떠한 투입변수와 산출변수를 사용하였느냐에 따라서 효율성 평가가 상이하게 나올 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 토목공사에 사용되고 있는 LCC 분석에 의해 도출된 데이터를 토대로 투입변수와 산출변수를 선정하기로 한다. 본 연구에서는 투입변수로 초기건설비용, 유지관리비용, 간접비용 (사용자비용 + 사회간접 손실비용), 생애주기비용을 사용하였으며, 산출변수로는 평균 내구 연한을 사용하였다.

변수를 도출하기 위해 설계되는 LCC 비용측정은 National Institute of Standards and Technology (NIST, 1996) 모델을 사용하였다. 즉, 생애주기비용을 비용부담 주체별, 발생 시기별, 공종별로 분류하여 분석을 수행하였으며 항목별로 구체적인 내용은 Table 1과 같이 정리하였다.

3.2 각 비교안별 적용 교량

DEA를 활용한 효율성 측정에 있어 DMU의 선정은 울산 ~ 포항에 건설 예정인 5개의 교량을 대안으로 선정하였다. 본 교량은 연장 1,615m의 교량이다. 설계 대안별 개요는 Table 2와 같다. 기본 설계 조정안은 S.T- BOX + PSC-BEAM + PSC-BOX 3가지 교량을 혼합한 안{S.T-BOX (2×50m) + PSC-BEAM (35×25m) + PSC-BOX (16×40m) = 1,615m} 이다.

3.3 생애주기비용 산출 방법 및 데이터

3.3.1 투입변수

첫 번째 투입변수인 초기건설비용은 설계비용, 건설비용, 감리비용 등을 고려하였으며 Table 2에 나타난 바와 같이 다양한 세부 비용항목을 고려할 수 있지만 LCC분석에서 각 대안 간에 동일하게 적용되는 비용요소들은 최종적인 대안 선정에 영향을 미치지 않기 때문에 세부적인 비용항목보다는 총합의 개념으로 고려하였다. 두 번째 투입변수인 유지관리비용에서는 점검 및 진단비용, 유지보수비용을 고려하였다. 점검비용은 「시설물의 안전관리에 관한 특별법 (시특법)」 6조 점검비용 및 시행령 제 8조 (건설교통부/시설안전기술공단, 2006)에 따라 시행되고 있는 점검행위에 소요되는 비용인 정기점검, 정밀점검 및 정밀안전진단비용을 고려하였다. 유지보수비용은 구조물의 기대수명동안 예상되는 가능한 모든 보수비용, 보강비용, 교체비용을 고려하였으며 이러한 유지보수비용은 구조물에 고려되는 구성요소의 특성, 그에 따른 손상요인이나 손상유형과 관련된 보수·보강공법, 그에 따르는 제반 비용, 공사구간의 유형, 공사소요일수 등이 체계적으로 고려하였다.

유지관리비용은 LCC분석에 있어서 매우 중요한 비용항목이므로 본 연구에서는 유지관리비용의 모든 세부항목들을 고려대상으로 하였다. 기비용은 구조물이 기대수명을 다하는 경우 발생하는 비용으로 철거비용과 재활용비용을 의미한다. 하지만 본 연구에서는 교량의 100년간 해체·폐기단계는 발생하지 않는 것으로 고려하였다. 구성요소별 분류는 교량유

Table 1 Total life cycle during each step of the LCC entry

Configuration items		Details
Managing principal costs	Initial Construction Costs	<ul style="list-style-type: none"> • Plan costs (feasibility study costs, the basic plan costs, etc.) • Design costs (basic design cost, implementation cost, etc.) • Construction costs (construction, infrastructure construction, construction safety inspection costs, design changes cost, defect repair costs, etc.) • Supervision costs (cost of construction supervision, design supervision costs, etc.) • After completion of the initial inspection costs • Introduction of new technology costs (chamber model tests and other laboratory test costs, test construction cost, consultants and specialists required in the evaluation process cost, employment costs, inspection, maintenance, and matters of government authorization for additional education costs, etc.)
	Maintenance Costs	<ul style="list-style-type: none"> • Inspection and diagnostic costs (periodic inspection, etc.) • Maintenance costs
	Disposal Costs	<ul style="list-style-type: none"> • Demolition costs • Recycling costs
Indirect costs	User Costs	<ul style="list-style-type: none"> • Time delay costs • Vehicle costs
	Socio-Economic Losses	<ul style="list-style-type: none"> • Land falling • Unemployment rate degradation and falling wages • Such as loss of productivity induced effects

Table 2 Compare bridge

Comparison	Comparison of Plan 1	Comparison of Plan 2
Composition	S.T-BOX (28@50m)+S.T-BOX (3@45m)+S.T-BOX (2@40m)=1,615m	PRECOM (35@40m)+PRECOM (6@30m)+PRECOM (1@35m)=1,615m
Form		
Comparison	Comparison of Plan 3	Comparison of Plan 4
Composition	PSC-BOX (35@40m)+PSC-BOX (6@30m)+PSC-BOX (1@35m)=1,615m	PREFLEX (40@35m)+PREFLEX (2@20m)
Form		

지관리시스템 (건설교통부/시설안전기술공단, 2000)의 활용성을 고려하여 결정하였으며 구조요소로는 바닥판, 주형 등을 고려하였으며, 비구조요소로는 교좌, 신축이음, 난간 등을 고려하였다.

① 초기건설비용

초기건설비용은 계획 및 설계비용 및 시공비용을 고려하여 정식화하였으며 다음 식 (2)와 같이 유도될 수 있다, 이는 철도투자편람 산출기준에 의하여 산출 하였다.

$$IC = C_{ID} + C_{IC} \quad (2)$$

여기서, C_{ID} = 계획 및 설계비용,
 C_{IC} = 시공비용

② 유지관리비용

유지관리비용은 관리비용, 점검 및 진단비용, 교량이 손상되어 보수·보강 및 교체에 소요되는 유지보수비용, 사용자 비용, 사회-경제적 손실 비용의 합으로 다음 식 (3)과 같이

정식화 한다.

$$C_D = C_R + C_I + C_U + C_E \quad (3)$$

여기서, C_R = 관리 비용, C_I = 보수 비용
 C_U = 보강 비용, C_E = 교체 비용

점검 및 진단비용은 『시설물의 안전관리에 관한 특별법 (시특법)』 6조 점검비용 및 시행령 제 8조 (건설교통부/시설안전기술공단, 2006)에 따라 정기점검, 정밀점검 및 정밀안전진단비용으로 구성된다. 「시특법」에 의하면 정기점검은 반기별 1회 이상 수행하며, 정밀점검은 2년에 1회 이상, 정밀안전진단은 10년이 지난 1종 시설물에 대하여 5년에 1회 이상 정기적으로 실시하므로 미래에 시특법이 바뀌지 않는다는 전제하에서는 이러한 점검 및 진단비용의 추정이 상대적으로 용이하다. 점검 및 진단비용의 산정은 한국시설안전기술공단의 대가 산정기준 (건설교통부/한국시설안전기술공단, 2003)에 따라 산정하였다.

유지보수비용은 다양한 손상유형에 다양한 유지보수공법

Table 3 Data for calculation of maintenance costs

Component	Species	Cycle (Year)					Rate of return (%)	Reinforcement rate (%)	Turnover (%)	Maintenance costs	Reinforcement costs
		Maintenance	Refurbishment	Reinforcement	Re-reinforcement	Shift					
Template	PSC BEAM	10	8	19	11	-	18.4	21.6	-	124	346
	PSC BOX	10	8	20	12	-	18.4	21.6	-	124	346
	S.T BOX	10	7	20	12	-	19.1	19.8	-	152	321
	PREFLEX	9	8	20	13	-	18.4	21.6	-	124	346
	PRECOM	9	8	20	13	-	12.88	15.12	-	124	346
Decks	PSC BEAM	18	15	25	23	-	21.0	22.3	-	150	249
	PSC BOX	17	14	23	20	-	21.0	22.3	-	150	249
	S.T BOX	18	13	22	21	-	21.0	22.3	-	150	249
	PREFLEX	15	12	23	20	-	21.0	22.3	-	150	249
	PRECOM	15	12	23	20	-	21.0	22.3	-	150	249
Steel bridge painting	Inside	10	7	-	-	15	19.1	-	100	49	152
	Outside	10	7	-	-	13	19.1	-	100	49	152
Infrastructure	Pier	12	8	23	20	-	28.6	20.6	-	180	180
	Pier foot	17	8	23	20	-	24.4	20.6	-	175	175
Bridge abutments	Elastomeric bearings	6	6	-	-	21	18.3	-	100	TON Unit price reference	
	Pot Bearing	7	7	-	-	23	18.3	-	100	TON Unit price reference	
Expansion joints	New Monocell	5	5	-	-	10	20.2	-	100	New Monocell Joint Unit price reference	

Table 4 Port bearing replacement unit price (Unit: KRW million)

species	Standards (ton)	50	100	200	500	1000	2000	3000
Fixed end	Price	1.6	1.7	2.2	3.6	6.9	13.5	20.7
Unidirectional		2.2	2.5	3.1	5.1	9.7	18.3	31.2
Bidirectional		1.7	1.8	2.2	3.5	6.7	13.4	20.3

Table 5 New Monocell Joint unit price (Unit: KRW million)

Standards	NEW MONOCELL JOINT (Daytime)				NEW MONOCELL JOINT (Nighttime)			
	NO.30	NO.50	NO.60	NO.80	NO.30	NO.50	NO.60	NO.80
Price	0.9	1.0	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.5

이 적용되므로, 제반 상황에 대한 예측은 설계단계 LCC분석에서 거의 불가능하므로 유지보수비용은 교량의 사용 환경에 따라 상이한 양상을 가지게 되므로 이 문제를 해결하기 위해 구조적 성능에 기반을 두고 추정하였으며 PRECOM의 경우 Full stress 개념으로 기존의 PF보다 균열 발생확률이 70% 적은 것으로 예측하였다. 교량의 보수비용은 기존 과거 실적 통계치를 가지고 시공비용의 일정비율로 적용하여 추정가능 하다 (De Brito et al., 1998). Table 3, 4, 5, 6은 유지비용 산출을 위한 적용데이터 값이다.

Table 6 Elastomeric bearings replace the unit price (Unit: KRW million)

species	Standards (ton)	45	55	65	70	75	100	135	175	190	200
		225	280	300	350	430	500	600	700	800	1,000
Fixed end	Price	2.0	2.1	2.3	2.3	2.4	2.5	2.9	3.4	3.4	3.6
		3.9	4.4	4.8	5.1	6.2	6.9	7.6	8.5	10.2	12.5
Unidirectional	Price	2.0	2.2	2.3	2.3	2.5	2.6	2.9	3.4	3.4	3.7
		3.9	4.5	4.9	5.1	6.2	6.9	7.6	8.6	10.2	12.5
Bidirectional	Price	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.3	2.6	3.0	3.1	3.3
		3.6	4.1	4.4	4.7	5.8	6.4	7.1	8.6	9.7	11.9

③ 해체 · 폐기비용

해체 · 폐기비용은 교량의 공용수명이 다하는 경우에 발생하는 철거비용과 재활용비용으로 다음 식 (4)와 같이 정식화할 수 있다.

$$PVD = C_{DSP} + C_{REC} \quad (4)$$

여기서, C_{DSP} = 철거비용 ; C_{REC} = 재활용비용

해체 · 폐기비용은 교량의 수량산출을 통하여 추정할 수 있으며, 향후 기대수명이 다하는 시기에 발생하므로 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산하는 경우 그 비용은 상대적

으로 미미할 것으로 예상되며, 공용기간동안 교량의 해체/폐기단계는 발생하지 않는 것으로 고려하였다.

세 번째 투입변수인 간접비용의 항목은 사용자비용과 사회간접 손실비용으로 구분할 수 있다. 특히 사용자 비용은 교량의 LCC분석 시 매우 중요한 항목이다. 실제 사례로서 미국의 Oakland Bay 교량은 1994년 Northridge 지진에 의해 교량 상판일부가 낙교 함으로써 구조물 보수비용이나 인명 손실비용보다 훨씬 더 막대한 사용자비용을 지불한 바 있다.

본 연구에서 설계단계 LCC분석은 유지관리 단계까지 고려되는 것으로 하였으므로 해체·폐기비용과 관련된 간접비용은 고려하지 않았다. 사용자비용은 시간지연비용 (승객 및 화물의 시간손실에 대한 비용 등: Time Delay Cost)을 고려하여 다음 식 (5)와 같이 정식화한다.

$$C_u = C_{voc} \quad (5)$$

여기서, C_{voc} = 시간지연비용

현재 및 향후 연구 구간의 철도차량의 종류, 각 차량별 이용자의 수 교량의 길이 및 유지보수 작업의 조건 등을 고려하여 간접비용을 산정하였다.

1) 시간지연비용

시간지연비용은 유지관리 전·후의 차종별 총 교통량 (대입)과 차종별 시간가치와 평균재차인원의 곱으로 정식화한다. 1인당 시간가치는 전 산업 월평균급여와 차종에 따른 운임비율을 통하여 산정하였다.

2) 간접적 지역경제손실비용

본 연구에서는 Seskin (1990)의 제안을 분석지역의 인구밀도에 따라 3가지 지역으로 나누어 계산할 수 있도록 하였다 (Table 7).

LCC 분석을 위한 화폐는 시간에 따라 다양한 변화를 나타내기 때문에 대안의 LCC분석을 위해서는 이러한 비용들을 일정한 기준년도로 변환시키는 것이 필요하다. 본 연구에

Table 7 Seskin (1990)'s cost of indirect economic losses

Division	Wen	Medium-sized cities	Etc.
Regional economic loss cost / user cost	150%	100%	50%

서는 국내의 공공시설물에 관한 사회적 할인율 등이 정립되지 않은 상태로 기존의 연구에서 각기 다른 할인율을 적용하고 있으므로 현재 시점으로 등가 환산하기 위한 할인율은 금리자유화가 시작된 이후의 과거 10년 간 (1996~2005)의 인플레이션율의 변화와 시중은행 일반대출 금리를 조사하여 실질할인율을 결정한다. 국내의 경우 일반 교량의 LCC분석 시 실질할인율이 4.83% 정도의 수준에서 할인율의 검토가 가능하며 본 연구의 기준치로 사용하였다. 하지만 변동계수는 0.163으로 매우 큰 불확실성을 지니며 할인율은 신뢰도 높은 LCC를 얻기 위해서 매우 중요한 경제변수이기 때문에 LCC분석시 그 불확실성을 고려하여 투입변수를 적용하였다.

3.3.2 산출변수

본 연구의 산출 변수인 교량수명은 공용수명을 사용하기로 한다. 공용수명이란 시설물의 주요 구성시스템이나 요소가 손상되거나 파손되는데 까지 걸리는 시간 즉 한 시설물의 더 이상 그 기능을 다하지 못하는 데 걸리는 시간을 의미한다 (Kirby et al., 1975)

비용항목의 설계수명은 해당 요소에 대해 유지관리, 보수·보강 라이프사이클 (Life Cycle), 유지관리비용 및 보수·보강비용이 각각 합리적으로 반영되어야 하는데, 이는 장기간에 걸친 유지관리 데이터의 축적이 필요하나 현 단계에서는 이러한 장기간의 데이터에 대한 축적이 거의 되어 있지 않기 때문에 최대한 합리적인 데이터의 확보를 위하여 국내외 문헌의 참고자료를 활용하였다.

다음 Table 8에서 알 수 있듯이 통상 교량의 공용수명을 50~200년으로 교량의 형식과 문헌에 따라 매우 큰 편차가 있다. 따라서, 본 연구에서는 대부분의 비교대안이 일반교량 이므로 AASHTO LRFD Spec.에 따른 75년이 적합하다고 판단되나 LCC평가지 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산할 경우 75년 이후의 발생비용의 현 가치는 매우 적을 것이며, 계획단계에서 교량의 수명을 판단함에 있어서 선진국

Table 8 Bridge structures of public life

Category	Age	Source
General Bridges	75	AASHTO LRFD Spec.
RC Bridges	70	Piringer (1993)
	50	Nishikawa (1997)
PC Bridges	70	Piringer (1993)
Steel Bridges	80	Piringer (1993)
High-performance steel bridge	more than 200years	Nishikawa (1997)
Steel composite girder bridges	70	Piringer (1993)

Table 9 The Durability of the reconstructed bridge superstructure type-specific average

Superstructure Type	R.C Slab	PSC I Bridges	Steel-I Bridges	Rahmen Bridges
Durability (Year)	22.2	24.20	30.0	21.9

Table 10 Bridge life cycle cost calculated value

(Unit: KRW million)

Division	Basic of Plan	Comparison of Plan 1	Comparison of Plan 2	Comparison of Plan 3	Comparison of Plan 4	
Initial construction costs	541.0	767.0	480.0	569.0	607.0	
Maintenance costs	111.1	207.3	99.1	83.1	113.4	
Indirect costs	User costs	35.1	22.5	28.6	28.6	31.3
	Social indirect loss costs	35.1	22.5	28.6	28.6	31.3
LCC Costs	722.3	1,019.3	636.3	709.30	7830	

Table 11 Bridge DEA analysis values

Division	Basic of Plan	Comparison of Plan 1	Comparison of Plan 2	Comparison of Plan 3	Comparison of Plan 4
Efficiency Score	89%	100%	100%	100%	89.7%
Reference frequencies	-	2	3	3	-

의 경우 강교의 경우 수명이 100년 이상이 될 것이라 판단하고 있기 때문에 (Choi, 2001), 100년을 공용수명으로 사용하였다. DEA 모형을 적용하기 위한 개축 교량의 상부구조 형식별 평균 내구연한은 다음 Table 9와 같다.

3.4 교량별 LCC 산정 및 DEA 분석

3.4.1 투입변수 산정

본 연구에서는 교량형식별 기본설계안과 비교1-4안을 설정하고, 이들 교량을 대상으로 3장에서의 산식을 토대로 투입변수를 산정하였다. 다음 Table 10은 각 교량별 투입변수 값을 나타낸다.

본 연구에서는 투입변수로 초기건설비용, 유지관리비용, 간접비용 (사용자비용 + 사회간접 손실비용), 생애주기비용을 사용하였으며, 산출변수로는 평균 내구연한을 사용하였다.

3.4.2 DEA 분석 결과

DEA 분석을 위해 Frontier 4.0 프로그램을 사용하였으며, CCR 모형을 사용하여 분석한 결과는 다음과 같다 (Table 11).

DEA 분석에서는 Reference frequencies가 존재하는데 이는 참조 빈도로 효율성이 100%가 되게 하기 위하여 효율성이 100%가 나온 DMU를 참조해야 하는가에 대한 것이다. 효율성이 같은 100%가 존재한다면 이 Reference frequencies가 많은 DMU가 더욱 좋은 대안이 될 것이다. 본 DEA 분석 결과에서는 비교 2안과 비교 3안이 가장 효율적인 것으로 분

석되었으며, 나머지는 비교 1안, 기본안, 비교 4안 순서로 나타났다.

4. 결론 및 제언

본 연구에서는 울산~포항 간 복선전철 건설예정인 교량을 사례로 교량형식별 LCC 개념을 적용하여 경제성이 가장 우수한 공법을 적용하기 위하여 같은 연장 (L=1,615m)을 갖는 유사한 4개 교량에 대한 DEA 분석을 실시하였다. 또한 기존연구에서처럼 생애주기비용 분석이 아닌 효율성 평가 방법인 DEA 기법을 사용하였으며, 본 기법의 활용 가능성을 제시하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

DEA 모형에서는 CCR 모형을 사용하여 분석하였다. 투입 변수로 초기건설비용, 유지관리비용, 간접비용 (사용자비용 + 사회간접 손실비용), 생애주기비용을 사용하였으며, 산출 변수로는 평균 내구연한을 사용하였다. 투입 변수 산정을 위해 생애주기비용 분석을 사용하였는데 생애주기 비용 산정에는 분석기간 100년, 실질할인율 4.83%를 적용 하였으며, 비용의 분류는 초기건설비용, 유지관리비용, 사용자비용, 사회간접손실비용으로 분류 하였다. 분석결과, 비교 2안과 비교 3안이 가장 효율적인 것으로 분석되었으며, 나머지는 비교1안, 기본안, 비교4안 순서로 나타났다.

본 연구에서는 LCC 개념과 DEA 기법을 통한 교량 건설 선택 방법을 구성하였는데 그 의의를 둘 수 있다. DEA 모형의 투입변수 산정을 위해 LCC 적용 과정을 단계별로 제시

하였으며, LCC 계산 및 구성의 기초적인 정보를 추가로 제시하였다. 그 결과, 기존 연구에서는 고려되지 못했던 효율성 평가 기법인 DEA 기법을 사용하여 교량 건설 선택 방법에 있어 새로운 이론적 모형을 제안하였다 (LCC-DEA 분석). 본 연구에서는 구간의 특성상 해체·폐기 비용 및 잔존가치가 고려되지 않았으며, DEA 모형에 있어서도 산출변수가 한가지 밖에 고려되지 않은 점이 본 연구의 한계점으로 존재한다. 향후 연구에서는 DEA 변수를 좀 더 다양하게 선정하고 이에 대한 연구와 민감도에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

References

1. AASHTO, Manual for condition evaluation of bridges, 1994.
2. Ahn, J. W., Cha, K. S., Kim, Y. S., A Case Study on the Life Cycle Cost Analysis of Steel Box Girder and Prestressed Concrete Box Girder Bridge, Journal of the Korea Institute of Construction Engineering and Management, Vol. 2, No. 2, 2001, pp.59-67 (in Korean).
3. Ahn, J. W., The Economic Analysis of Bridges Based on Life Cycle Costing Technique, Ph. D. Dissertation, Graduate School Choong Ang University, 2002 (in Korean).
4. Ahn, Y. J., A Study on the Economic Evaluation for Bridge Superstructures Using VE / LCC, Ph. D. Dissertation, Graduate School A-Ju University, 2007 (in Korean).
5. Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., Management Science, Vol. 30, No. 9, 1984, pp.1078-1092.
6. Banker, R. D., Morey, R. C., Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. Oper Res, Vol. 34, No. 4, 1986, pp.513-521.
7. Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., European Journal of Operational Research, Vol. 2, 1978, pp.429-444.
8. Cheon, Y. H., Lee, Y. D., Park, H., Kim, S. M., Study on the Bridge Maintenance and Operation Level Using Life-Cycle Cost Analysis, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 25, No. 1, 2005, pp.101-107 (in Korean).
9. Choi, K. D., Developing Bridge Maintenance Policy Using Life Cycle Costing Analysis, Ph. D. Dissertation, Graduate School Choong Ang University, 2001 (in Korean).
10. Choi, Y. M., Kim, D. S., Cho, S. K., Kwon, C., Life Cycle Cost Analysis of SCP Composite Girder Bridge for Railroad, Journal of the Korean Society For Railway, 1738-6225, Vol. 9, No. 2, 2006, pp.244-249 (in Korean).
11. De, Brito. J., Branco, F., Concrete Bridge Management: From Design to Maintenance, Periodical on Structure Design and Construction, American Society of Civil Engineers, Vol. 3, No. 2, 1998, pp.68-75.
12. Fare, R., Lovell, C. A. K., Journal of Economic Theory, Vol. 19, 1978, pp.150-162.
13. Farrell, M. J., "The Measurement of Productivity Efficiency", Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 12, 1957, pp.260-261.
14. Kang, C. H., Choi, T. H., Kim, Y. S., A Case Study on the Economic Analysis of Type PSCI Bridge Using LCC Technique, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 25, No. 1, 2005, pp.91-99 (in Korean).
15. Kim, E. Y., Cho, J. Y., Lee, J. W., A Study on the Life Cycle Cost Analysis of Railroad Bridges, Journal of the Korean Society For Railway, Vol. 16, 2007, pp.30-41 (in Korean).
16. Kim, G. S., Optimum Life Cycle Cost Design of Steel Box Girder Bridges, Thesis, Graduate School Han Yang University, 1999 (in Korean).
17. Kim, K. T., Lee, D. H., LRT bridge LCC analysis practices, Vol. 280, 2007, pp.23-32 (in Korean).
18. Kim, M. S., A Study on the Efficiency Assessment of Service Company' branches by DEA Method, Thesis, Graduate School Seoul National University of Technology, 2010 (in Korean).
19. Kim, S. S., Kim, Y. S., Ahn, J. W., A Case Study on the Selection of a Bridge Superstructure Type Using AHP Technique and LCC Concept, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 21, No. 5, 2001, pp.673-681 (in Korean).
20. Kirby, J. G., Grgas, J. M., Estimating the life expectancy of facilities. Technical. Report P-36 USA Construction Engineering Research Laboratory, 1975.
21. Korea Institute of Construction Technology, Development of Life Cycle Cost Analysis Method and System for the Life-Cycle Cost Optimum Design and the Life-Time Management of Steel Bridges (Annual Report of Hydrologic Data, 2002), 2003.
22. Kwon, S. H., Kim, S. B., Park, Y. J., A Case Study on the Reduction Costs Prediction of a Reinforced Concrete Bridge using LCC Method, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 11, No. 5, 2007, pp.160-170 (in Korean).
23. Lee, P. S., Seo, K. S., A Study for the Estimation of the Maintenance-Repair Cost of the Buildings, Journal of the architectural institute of Korea, Vol. 98, No. 1, 1981, pp.63-68 (in Korean).
24. Ministry of Construction and Transportation, Check the safety of the facility and precision safety diagnosis guidelines, 2006, p.148.
25. Ministry of Construction and Transportation, Safety inspection and precise safety diagnosis based cost (cost estimating), 2003.
26. Nishikawa, K., A Concept of Minimized Maintenance Bridges, Foundation and Bridge, 1997, pp.64-72.
27. Piringer, S., Whole-Life Costing of Steel Bridges, Bridge Management 2, Thomas Telford, London, U. K., 1993, pp.584-593.
28. Seskin, S. N., Comprehensive framework for highway economic impact assessment methods and result, Transportation Research Record 1274, Transportation Research Board, Washington, D. C., 1990, pp.24-34.
29. Shin, Y. S., Park, J. H., Ahn, S. C., Economics analysis for life cycle cost design of bridges, Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, 2010 Annual Conference (in Korean).

요 지

본 연구에서는 울산~포항 간 복선전철 건설예정인 교량을 사례로 교량형식별 LCC 개념을 적용 경제성이 가장 우수한 공법을 적용하기 위하여 같은 연장(L=1,615m)을 갖는 유사한 4개 교량에 대한 DEA (Data Envelopment Analysis) 분석을 실시하였다. DEA 모형은 상대적 효율성 평가를 위해 개발된 CCR 모형을 사용하였으며, 투입변수로 초기건설비용, 유지관리비용, 간접비용(사용자비용 + 사회간접손실비용), 생애주기비용을 사용, 산출변수로 평균 내구연한을 사용하였다. 투입 변수 산정을 위해 생애주기비용 분석을 사용하였는데 생애주기 비용 산정은 분석기간 100년, 실질할인율 4.83%를 적용 하였으며, 비용의 분류는 초기건설비용, 유지관리비용, 사용자비용, 사회간접손실비용으로 분류 하였다. 분석결과, 비교 2안과 비교 3안이 가장 효율적인 것으로 분석되었으며, 나머지 대안의 효율성은 비교 1안, 기본안, 비교 4안 순서로 나타났다.

핵심 용어 : 생애주기분석, 자료포락분석, 교량형식 선정