

# 사례기반추론을 이용한 강박스거더교의 개략공사비 산정 및 검증

## Computation and Verification of Approximate Construction cost of Steel Box Girder Bridge by Using Case-Based Reasoning

정민선<sup>1)</sup> · 경갑수<sup>2)</sup> · 전은경<sup>3)</sup> · 권순철<sup>4)</sup>  
*Jung, Min Sun Kyung, Kab Soo Jeon, Eun Kyoung Kwon, Soon Cheol*

요약: 공공 건설공사에서 공사 단계별 합리적인 공사비를 산정하는 것은 국가 예산의 효율적 확보 및 집행 등에 있어 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 사업 초기단계의 가용정보가 제한된 조건에서 사례기반을 적용하여 강박스거더교의 개략공사비 추정 방안을 제시하였다. 또한 공사비 예측모델을 기존 설계사례에 대해 적용하여 본 논문에서 제시한 개략공사비 추정 모델의 정확성을 검증하였다. 연구 결과, 오차율은 비교적 안정적인 결과를 도출할 수 있었다. 따라서 국가 예산의 집행이나 수립에서 개략공사비 추정을 효율적으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

ABSTRACT: To effectively come up with and secure a national budget, it is very important to estimate the reasonable construction cost of each step in public construction projects. In this study, the approximate construction cost of a steel box girder bridge in the early stages of the project, on which available information is limited, was proposed using case-based reasoning. In addition, construction cost estimation models were used for existing sample design models, and the accuracy of the estimation model for the presented cost was verified. The analysis results showed that the error rate was comparatively stable. Therefore, it is expected that construction cost estimation will be effectively suggested in the country's budget preparation.

핵심용어: 강박스거더교, 공사비, 개략공사비, 사례기반추론, 가중치

KEYWORDS: steel box girder bridge, construction cost, approximate construction cost, case-based reasoning(CBR), weight of attributes

### 1. 서론

건설 프로젝트 초기단계에서 제한된 정보를 활용하여 초기 공사비를 예측하는 것은 건설 분야 국가예산의 효율적 확보 및 집행 등에 있어서 매우 중요한 요소이다. 그러나 사업 초기단계에서의 적절한 사업비용 및 개략공사비 추정은 해당 프로젝트에 대한 정보 부족 등으로 인해 정확도가 미흡하며, 또한 설계나 시공 등의 다른 단계와 비교할 때 상대적으로 적은 비용을 차지하는 등의 이유 등으로 인해 그 중요성이 간과되기 쉬운 경향이 있다.

그러나 이 초기단계는 초기 사업방향의 결정 및 VE 적용 등의 효과가 크기 때문에 프로젝트 성패에 미치는 영향이 매우 크므로 건설 프로젝트 초기단계에서의 효과적인 사업비 관리방식의 개발 및 적용 등은 매우 중요한 사안으로 평가되고 있다.

한편 초기단계가 아닌 설계단계에서의 대표공종에 의한 선행 연구로는 다음과 같은 것이 있다. 박종연(2002a, 2002b), 이유섭(2003)의 연구에서는 설계단계의 대표공종을 추출하고 여기에 단가를 적용하여 공사비를 산출하는 방법에 물가상승 및 공사시기 등의 변동요인을 반영하여 공사비산출을 보다 용이하고 정확하게 산정하였다. 박혜연 등(2007a, 2007b), 선창

1) 한국해양대학교 토목공학과 석사과정(hapo07@hanmail.net)

2) 교신저자. 한국해양대학교 토목공학과 교수, 공학박사

(Tel: 051-410-4464, Fax: 051-403-3762, E-mail: kyungks@hhu.ac.kr)

3) 한국해양대학교 토목공학과 석사(연구정시), 현) 의령군 농협 사원(sh8368@naver.com)

4) 삼부토건 기술연구소, 공학박사(almight75@naver.com)

본 논문에 대한 토의를 2012년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

원 등(2009)의 연구에서는 강교량 공사비항목의 분류 및 구성 항목과 공사비와의 관계를 조사 분석하여 공사비 추정에 대한 기본 자료를 제시하였다. 또한 전은경 등(2010), 전은경(2010)은 강박스교량을 대상으로 교량구조물의 상세단면이 제공되지 않은 단계에서 교량 제원 등의 개략적인 기본정보만을 사용하여 합리적 공사비 산정을 위한 예측모델의 제시 및 검증 을 실시하였다. 이들 연구에서의 세부 공종별 비용에 기초한 공사비 예측모델은 공사비에측에 중요한 부분으로 공사비 산정에서의 기본적인 방법으로 사용되나, 공사비 추정에 이용될 수 있는 가용정보가 제한적인 경우에는 사용성에 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 가용정보가 제한된 사업 초기단계 시점에서 강박스거더교의 개략공사비 추정을 지원하기 위하여 사례기반을 적용하여 사업 초기단계에서 사용 가능한 공사비 영향인자를 추출하고 이를 반영할 수 있는 공사비 예측모델을 제안하고자 한다. 또한 연구에서는 사례기반추론에 기초한 개략 공사비 추정 방안을 제시하며, 공사비 예측모델을 기존 설계사 례에 대해 적용하여 본 논문에서 제시한 개략공사비 추정 모델의 정확성을 검증하였다.

## 2. 사례기반추론에 기초한 공사비 산정모델

### 2.1 사례기반추론 정의

사례기반추론 기법은 Case-Based Reasoning(이하 CBR)이라고도 하는데, Kolodner, J.(1993)는 사례기반추론을 '새로운 요구에 부응하기 위해 과거 해를 적용시키고 새로운 상황을 설명하기 위해 과거 사례를 사용하고 새로운 해를 평가하기 위해 과거 사례를 사용하거나 새로운 문제에 대한 유용한 해를 도출하기 위해 과거 사례로부터 추론하는 것이다'라고 정의하고 있다.

이와 같이 사례기반추론의 기본적인 아이디어는 인간이 사고하는 과정에서 과거의 문제에 사용되었던 해결책을 새로운 문제 해결을 위해 사용하는 것이다. 즉, 사례기반추론은 전혀 새로운 해결안을 제시하는 혁신적인 기법이라기보다는 과거의 유사사례로부터 해결방안을 도출하는 추론기법이다.

### 2.2 CBR 프로세스 개요

CBR과정은 정형화 되어 있지는 않으나, 일반적으로 4'Re's 라고 하는 검색(Retrieve), 재사용(Reuse), 수정(Revise), 유지(Retain)로 구성되어 있다. 과거의 해에서 현재의 문제와 가장 유사한 해를 찾아내는 검색(Retrieve), 새로운 문제 해결을 위해 과거 사례를 이용하는 재사용(Reuse), 새로운 문제 해결을 위해 과거사례를 수정하는 수정(Revise), 새로 해결된

해를 사례로 저장하는 유지(Retain)의 4단계로 구성된다. 간단히 설명하면 CBR에서 추론이 수행될 때 새로운 문제는 사례베이스 사례에 대해 부합 여부가 실행되며, 하나 또는 그 이상의 유사사례가 조회된다. 그 다음 부합되는 사례에 제안된 해가 재이용되고, 부합되지 않을 경우에는 수정하여 사례베이스에 저장될 수 있는 새로운 사례로 생성된다.

### 2.3 CBR에서의 유사사례 조회 방법

사례기반추론에서 사례베이스에 저장된 사례와 새로운 사례의 유사성을 결정하는 일은 매우 중요하다. 일반적으로는 귀납적 추론법과 최근접 추론법이 보편적으로 사용되고 있다(Watson, 1997).

귀납적 추론방법은 개발자에 의해 정의된 지표에 따라 많은 단계를 거쳐 유사사례를 검색하는 방법이다. 문제가 잘 정의된 경우에 유용하게 활용될 수 있으며, 지표의 숫자만큼 검색을 실시하기 때문에 최근접 추출방법보다 상대적으로 빠른 검색을 실시할 수 있다.

최근접 추출방법은 현재의 문제와 가장 유사한 사례를 비교하고 검토하기 위해 새로운 사례와 기존사례의 거리를 분석하고 저장된 사례 중에서 일정한 유사성 척도에 의해 대상사례와 가장 높은 유사도 점수를 가지는 사례를 찾아내어 적용하는 방법을 말한다. 이 방법은 기존사례가 적은 경우에 효율적으로 적용될 수 있으므로 본 연구에서는 이 방법을 적용하고자 한다.

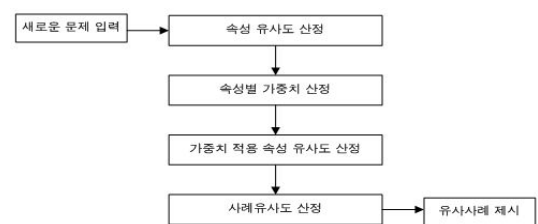


그림 1. 최근접 추출방법 프로세스

그림 1에 최근접 추출방법 프로세스를 나타내었다. 이 방법에서는 새로운 문제에 대해 먼저 사례베이스에 저장된 사례와의 비교를 위한 사례별 속성을 검색하고, 각 속성별 속성유사도를 산정한다. 각 속성별로 산정된 속성가중치를 속성유사도에 곱하여, 이후 각 속성별 가중치가 적용된 유사도 점수를 산정한다. 이와 같이 산정된 속성별 유사도 점수를 합산하여 사례유사도를 계산한다. 이러한 과정을 거쳐 사례 유사도 점수가 가장 높은 사례, 즉 대상 사례와 가장 유사한 사례가 제시되는 것이다.

또한 연구에서는 CBR을 이용하여 강박스거더교의 공사비 예측모델을 구축하기 위해 최소의 예측오차를 얻기 위한 사례의

유사도 산정 및 유사사례의 추출에 필요한 영향요인의 속성별 가중치를 산정하기 위한 방안으로 유전자 알고리즘(Genetic algorithm: GA)을 활용하였다. 이것은 CBR에 의해 추정공사비의 오차를 최소화하기 위해서 비선형 특성을 나타내는 목적함수 및 영향요소의 가중치를 결정하는 것이 중요하기 때문이다. 그리고 기존 선형 및 비선형 최적화 알고리즘을 사용하는 경우 최적해로서 Global maximum이 아닌 Local maximum을 제시할 수 있기 때문이다(Holland, 1975).

### 3. CBR을 이용한 개략공사비 추론방법

#### 3.1 사례 데이터베이스 구축 및 현황분석

강박스거더교 개략공사비 산정모델을 제안하기 위하여 본 연구에서는 선행연구(강신화, 2010)에서 수집한 151개 강박스거더교와 추가로 수집한 123개의 데이터를 포함한 274교량을 연구대상 자료로 활용하였다. 공사비 데이터 수집대상 교량은 유지보수 공사는 제외하고 일반국도의 신설 및 확포장으로 한정하였다. 151개 교량에 대해 수집된 수량산출서, 설계내역서, 단가산출서를 대상으로 내역분기를 상부공, 하부공, 토공, 부대공 등의 공종별로 분류하고 부위별 공사비를 집계하여 교량의 순공사비를 산출하였다. 그림 2에 대상교량의 공종별 공사비 구성비율을 나타내었다. 단경간 및 다경간에 관계없이 상부공이 60%이상을 차지하여 순공사비에서 가장 비중이 높은 공종인 것을 알 수 있었다.

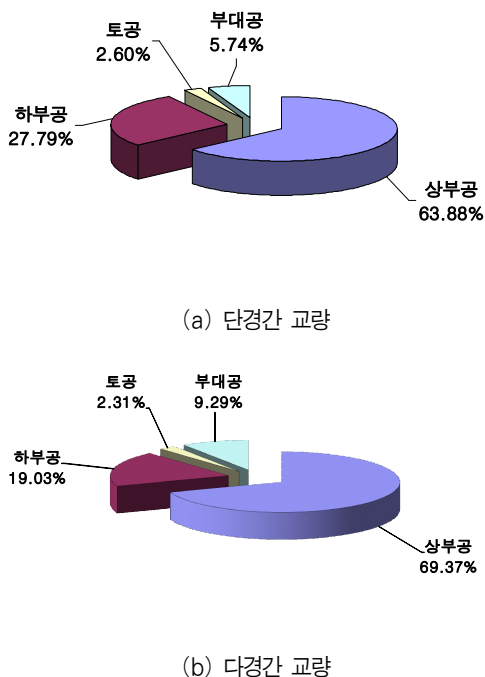


그림 2. 강박스거더교의 공사비 구성 분석

#### 3.2 공사비 영향요인

본 연구에서는 274개 강박스거더교의 기존 개략공사비 정보 자료를 바탕으로 각 세부정보 및 순공사비와의 상관관계를 검토한 후 영향요인을 설정하고자 한다.

##### 3.2.1 교량정보와 공사비와의 상관관계 분석

그림 3 및 그림 4에 교량연장 및 교량면적과 순공사비와의 관계를 나타내었다. 표 1에 교량 연장 및 교량 면적과 순공사비와의 관계식을 나타내었다. 교량연장과 교량면적이 증가할수록 순공사비가 증가하는 일반적인 경향을 나타내었다.

그림 5에 교량폭원과 순공사비와의 관계를 나타내었다. 그림 5 및 표 1에 교량 폭원과 순공사비와의 관계에서 교량폭원이 증가할수록 순공사비가 증가하는 경향을 나타내나, 교량폭원과 순공사비의 결정계수가 낮게 나타나고 있으며, 교량폭원은 20.9m의 폭원을 가진 교량이 많은 것으로 나타났다.

그림 6에 교량차로수와 순공사비와의 관계를 나타내었다. 그림 6 및 표 1에 교량 차로수와 순공사비와의 관계에서 교량차로수가 증가할수록 순공사비가 증가하는 경향을 나타내나, 교량차로수와 순공사비의 결정계수는 낮게 나타났으며, 교량차로수는 4차로의 교량이 많은 것을 알 수 있다.

그림 5 및 그림 6, 표 1에서 순공사비와 교량 폭원 및 교량차로수의 결정계수가 약간 낮게 나타나는 것은 변수 자체가 연속적이 아닌 이산적인 특성을 나타내는 인자이기 때문이다. 그러나 이들 인자가 교량 특성 및 순공사비에 영향을 미치는 중요인자이므로 영향요인에 포함시키는 것으로 하였다.

그림 7 및 8에 최대경간장 및 교량경간수와 순공사비와의 관계를 나타내었고 최대경간장 및 교량경간수가 증가할수록 순공사비도 증가하는 선형적인 그래프를 나타내는 것을 알 수 있다. 표 1에서 교량경간수와 순공사비는 비교적 높은 결정계수를 나타내는 것을 알 수 있었다.

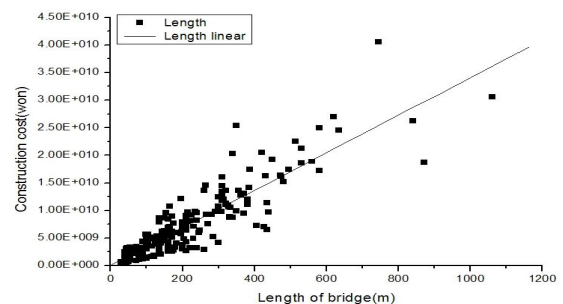


그림 3. 교량연장과 순공사비와의 관계

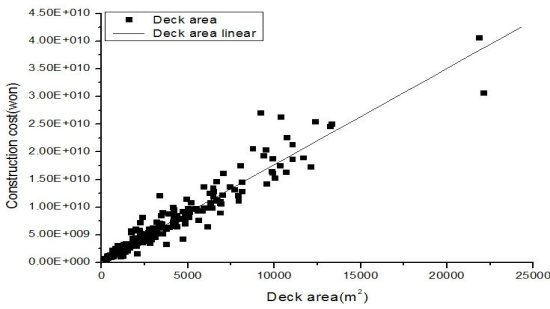


그림 4. 교량면적과 순공사비와의 관계

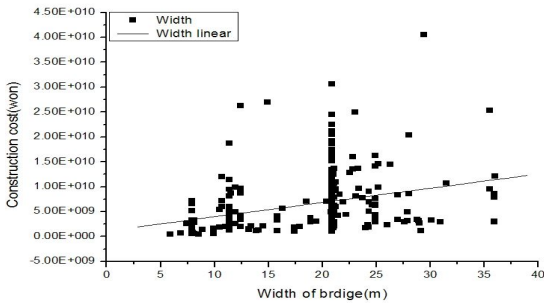


그림 5. 교량폭원과 순공사비와의 관계

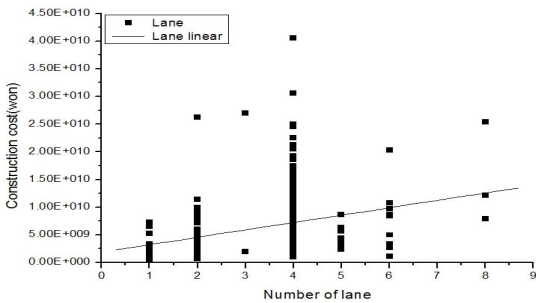


그림 6. 교량차로수와 순공사비와의 관계

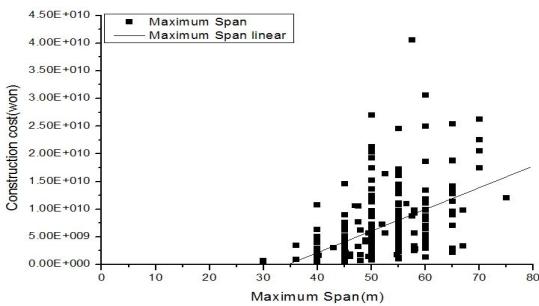


그림 7. 최대경간장과 순공사비와의 관계

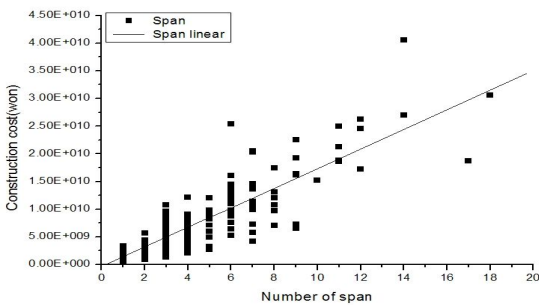


그림 8. 교량경간수와 순공사비와의 관계

표 1. 순공사비와의 관계

구분	선형회귀식	R2
연장	$Y = 6.7499E7X + 3.4020E7$	0.8980
면적	$Y = 1.7357E6X + 3.4390E8$	0.9625
폭원	$Y = 2.8633E8X + 1.1342E9$	0.3217
차로수	$Y = 1.3341E9X + 1.8976E9$	0.3177
최대경간장	$Y = 3.9180E8X - 1.3518E10$	0.4971
교량경간수	$Y = 1.7743E9X - 3.8808E8$	0.8768

또한, 설계 내역서에 제시되어 있는 공사비 영향인자를 토대로 사례기반추론기법에서 새롭게 추가되는 영향요인으로 분류한 교량에서의 신설 및 확포장으로 구분되는 가설형태(신설/확포장), 교량설치가 육상 및 하상으로 구분되는 가설위치(육상/하상), 교량의 기초형식에 대한 영향요인 분석을 그림 9 ~ 그림 14에 나타내었다.

그림 9 및 그림 10에 가설형태(신설/확포장)에 따른 연장 및 면적과 순공사비와의 관계를 나타내었고, 그림 11 및 그림 12에 가설위치(육상/하상)에 따른 연장 및 면적과 순공사비와의 관계를 나타내었다. 표 2 및 표 3은 가설형태에 따른 연장 및 면적과 순공사비에 대한 결정계수는 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

그림 13 및 그림 14에 기초형식에 따른 연장 및 면적과 순공사비와의 관계를 나타내었다. 표 4 및 표 5는 기초형식에 따른 연장 및 면적과 순공사비와의 관계식을 나타낸 것으로 기초형식에 따른 연장 및 면적과 순공사비에 대한 결정계수는 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.

지역(발주청)에 따른 연장, 면적과 순공사비와의 관계는 서울청, 부산청, 대전청, 원주청, 익산청 등의 지역적 변수가 필요하며, 또한 하부구조, 지리적인 영향이 크므로 이들에 영향분석은 본 연구에서는 실시하지 않았다.

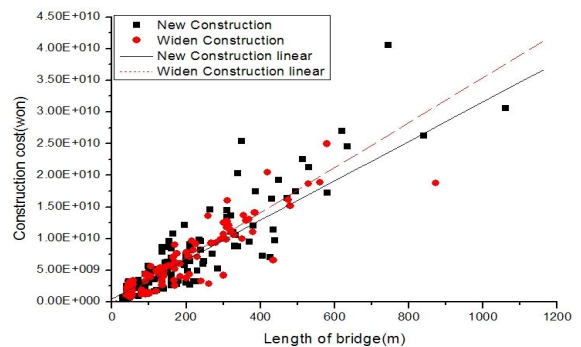


그림 9. 가설형태에 따른 연장과 순공사비와의 관계

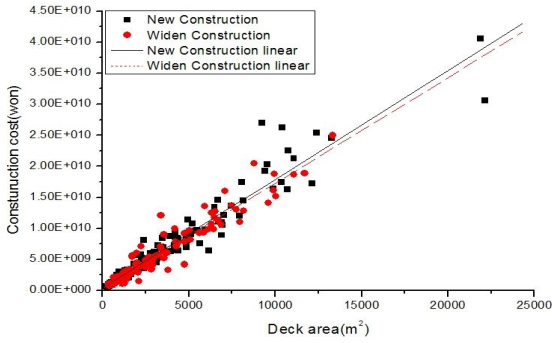


그림 10. 가설형태에 따른 면적과 순공사비와의 관계

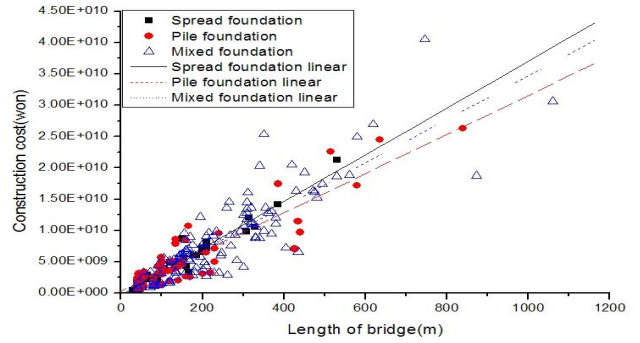


그림 13. 기초형식에 따른 연장과 순공사비와의 관계

표 2. 가설형태에 따른 순공사비와의 관계

구분	선형회귀식	R2	
연장	신설	$Y = 3.5562E7X - 1.1087E8$	0.9003
	확포장	$Y = 3.1165E7X + 4.3887E8$	0.8986
면적	신설	$Y = 1.7521E6X + 3.8665E8$	0.9643
	확포장	$Y = 1.6966E6X + 3.4336E8$	0.9590

표 4. 기초형식에 따른 연장과 순공사비와의 관계

지역	선형회귀식	R2
혼합기초	$Y = 3.7389E7X - 3.3787E8$	0.9678
말뚝기초	$Y = 3.1239E7X + 3.3119E8$	0.9180
직접기초	$Y = 3.4754E7X - 5.6386E7$	0.8609

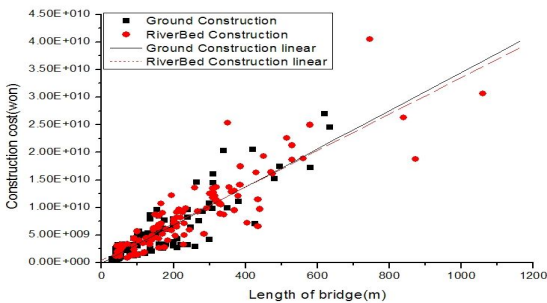


그림 11. 가설위치에 따른 연장과 순공사비와의 관계

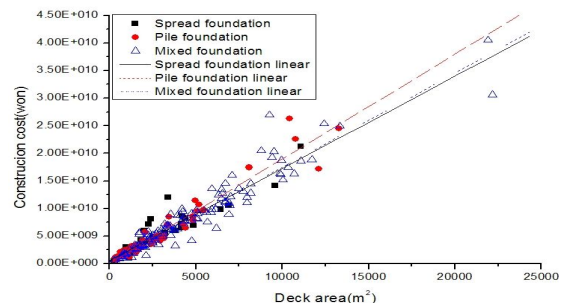


그림 14. 기초형식에 따른 면적과 순공사비와의 관계

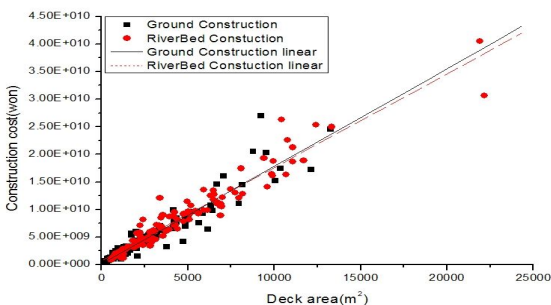


그림 12. 가설위치에 따른 면적과 순공사비와의 관계

표 5. 기초형식에 따른 면적과 순공사비와의 관계

지역	선형회귀식	R2
혼합기초	$Y = 1.6708E6 + 5.6934E8$	0.9421
말뚝기초	$Y = 1.8965E6 + 4.8803E7$	0.9702
직접기초	$Y = 1.7080E6 + 3.8925E8$	0.9569

표 3. 가설위치에 따른 순공사비와의 관계

구분	선형회귀식	R2	
연장	육상	$Y = 3.4622E7X - 1.2188E8$	0.8886
	하상	$Y = 3.3176E7X + 4.1808E8$	0.8805
면적	육상	$Y = 1.7910E6X + 1.4554E8$	0.9480
	하상	$Y = 1.6949E6X + 6.8544E8$	0.9639

이상과 같이 순공사비와 영향인자로 고려한 영향요인사이에는 상당히 높은 결정계수를 갖고 있으며, 151개 교량에 대해 분석한 기존연구보다 결정계수가 약간 높거나 유사한 것을 알 수 있었으므로 영향요인으로 충분한 의미를 갖을 수 있는 것으로 분석되었다. 이것에 기초하여 본 연구에서는 이 절에서 검토한 영향요인 모두를 CBR에서의 영향요인으로 반영하는 것으로 한다.

### 3.3 CBR에 의한 개략공사비 영향요인 선정

그림 3 ~ 그림 14에서 검토한 교량의 영향요인과 순 공사비와의 상관관계를 분석한 결과로부터 강박스거더교의 공사비 산정을 위한 사례기반추론에 적용된 영향요인은 다음과 같다.

#### 3.3.1 CBR I 모델

이 모델은 최소한의 정보를 사용하여 개략공사비를 산정하기 위한 모델로 도로사업 계획수립단계에서의 사업비 추정을 위한 용도로 사용하고자 하며, 국토해양부나 발주처 등이 주요 사용자가 될 수 있다. CBR I 모델에서는 교량의 특성을 알 수 있는 최소한의 영향요인으로 연장(숫자), 폭원(숫자), 상부면적(숫자), 차로수(숫자)를 고려하였다. 영향요인에서 ( )안의 표시는 사례기반추론의 유사도 점수 부여 방법에서의 영향인자의 표시방법을 나타낸다(표 8 참조).

#### 3.3.2 CBR II 모델

신뢰도 높은 개략공사비 산정을 위한 모델로 예비타당성 조사단계 및 설계 초기단계에서 예산확보 및 도로 구조물의 개략 공사비 산정을 위한 용도로 사용하고자 하며, 설계사나 시공사 등이 주요 사용자가 될 것으로 판단된다. CBR II 모델에서는 교량의 공사비 산정의 주요 영향인자로 CBR I 모델의 영향요인에 가설위치(문자열), 지역(문자열), 최대경간장(숫자), 경간수(숫자), 가설형태(문자열), 기초형식(숫자)이 추가되었다.

### 3.4 사례기반추론 및 유전자 알고리즘에 기초한 공사비 산정모델

#### 3.4.1 데이터 베이스 수집

사례기반 추론의 유용성과 제안 모델의 적합성을 검토하기 위해 건설비용 데이터를 분석하였다. 도로구조물에 대한 공사비 기초자료의 분석을 위하여 앞에서 설명한 바와 같이 2000년 이후로 설계완료 된 일반국도의 신설 및 확·포장공사를 대상으로 서울청, 부산청, 익산청, 원주청, 대전청 5개의 발주기관을 대상으로 총 211개의 사업을 대상으로 PSC BEAM, PSC BOX, Steel Box Girder, RC 라멘, IPC Girder, RC 슬래브 교량과 NATM 터널에 대한 자료를 수집하였고 본 연구에서는 이 중 STEEL BOX GIRDER교를 대상으로 총 83개의 사업을 대상으로 274개 교량에 대한 자료를 수집하였다. 수집된 교량들의 경간수, 연장, 폭원, 발주청, 차로수 등의 정보들을 이용하여 각 영향요인에 대한 데이터 구축 하였다.

#### 3.4.2 학습사례

학습사례란 개략공사비 산정모델 구성과정에서 나타난 각 입력변수별 가중치를 산정하기 위해 대표성을 가진 교량을 선정하고, 이들을 신규사례로 가정하여 이들 사례를 기준으로 개략 공사비를 산정하였을 때, 최소의 오차를 나타내는 가중치를 조사하는 것이다. 그림 15에 앞에서 기술한 유전자 알고리즘(Genetic algorithm: GA)을 이용하여 추정공사비의 편차를 최소화 하는 공사비 영향요인에 대한 사례속성 가중치(이하 가중치로 표현) 산정을 포함한 학습사례 과정을 나타내었다.

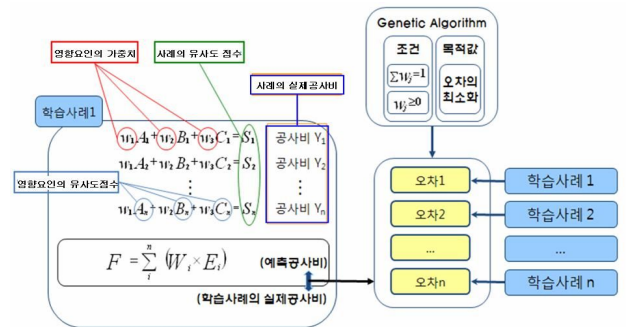


그림 15. 유전자 알고리즘(Genetic algorithm: GA)을 이용한 학습사례

먼저, 본 논문에서는 학습사례(15개 교량)에 대해서 사례 베이스에 저장되어 있는 각 사례의 유사도 점수( $S_1, S_2, S_3, \dots, S_j$ )를 산정한다. 이때 사례의 유사도 점수( $S_1, S_2, S_3, \dots, S_j$ )는 각 공사비 영향요인에 대한 유사도 점수( $A_1, B_1, C_1, \dots, A_n, B_n, C_n$ )에 학습사례(15개 교량)에 대한 추정공사비의 편차를 최소화 하는 변수인 가중치( $w_1, w_2, w_3, \dots, w_j$ )를 곱하여 계산된다.

두 번째, 사례 베이스로부터 학습사례(15개 교량)와 유사도 점수가 높은 상위  $n$ 개의 사례교량들의 설계시점이 각각 다르기 때문에 추정하고자 하는 사례의 공사비추정시점과 동일한 시점에서의 공사비 산정이 필요하다. 여기서는 교량의 연장 및 폭원과 공사비 지수를 고려하여 각 사례의 공사비를 조정한다.

세 번째, 가장 유사도가 높은  $n$ 개의 사례에 대한 보정된 공사비를 유사도 점수를 이용하여 가중 평균한 값을 각 학습사례(15개 교량)의 추정 공사비로 한다.

네 번째, 추정 공사비와 각 학습사례(15개 교량)의 실제공사비와 비교를 통하여 공사비 추정편차를 구한다.

마지막으로 각 학습사례(15개 교량)에 대해 이 과정을 반복하여 각 신규사례의 공사비를 예측하고 추정편차를 구하는 학습과정을 수행하여 모든 신규학습사례에 대한 추정공사비에 대해 편차 평균값을 최소화되도록 설정하는 가중치를 파악하여 이를 각 입력변수의 가중치로 선정한다. 가중치 산정에서 적용한 GA에 대한 내용은 3.4.6에서 상세하게 설명한다.

### 3.4.3 사례 속성

사례기반의 각 사례는 결과 값의 특성을 설명하는 몇 개의 속성으로 표현되며, 유사 사례의 추출을 위해서는 속성 유사도와 가중치의 정의가 필요하다. 특히, 사례기반추론 모델의 성능은 가중치가 예측 결과에 많은 영향을 미치므로, 신뢰성 있는 사례기반추론 모델 구축을 위해서는 정확한 사례속성 가중치의 예측이 요구된다.

### 3.4.4 유사도 산정

표 6과 같이 신규사례와 기존사례(사례DB)와의 유사도 검색 시에 유사도 점수가 높은 상위사례를 추출하기 위하여 편차 (%) 및 순위로 유사도 산정기준을 설정한다.

개략공사비 산정모델인 CBR I과 CBR II에서의 편차는 영향요인의 가중치를 분석한 결과 각 가중치의 값과 오차율 및 표준편차 등을 고려하여 가장 안정적인 가중치 결과를 나타내는 편차범위 10%로 결정하였다(전은경, 2010b).

기존사례(사례DB)로부터 유사사례를 선정하기 위한 순위기준은 1순위 ~ 5순위이며, 각 모델에 대해 차등 범위로 설정하였다. 표 7과 같이 유사도 10%상태에서의 유사도 점수 부여 사례를 나타낸 결과, 1순위인 높은 순위의 값을 설정하면 적은 수의 유사사례가 추출되어지며, 5순위 이상에 대해서는 다소 많은 수의 유사사례가 추출되어지며 오차율이 높게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 가장 적절한 양의 유사사례추출과 신뢰도를 부여하기 위해 본 연구에서는 3순위로 결정하였다. 그러므로 본 연구에서 유사도 선정기준은 개략공사비 산정모델인 CBR I, CBR II 두 모델에 상관없이 편차 10%, 3순위로 설정하였다.

표 8에 개략공사비 산정모델(CBR I 및 CBR II)에 사용되는 영향인자의 문자열과 수치에 대한 유사도 점수 부여방법을 나타내었다. 문자열 유사도 선정기준은 사전 분석에 기초하여 영향이 가장 적게 미치는 방법을 적용하였다. 즉, 점수가 일치하면 100점을 부여하고, 불일치하면 0점을 부여하는 것으로 하였다.

표 6. 강박성거더교 공사비모델의 유사도 산정기준

구분	편차 (%)	순위
유사도 산정 기준	5	1
	10	2
	15	3
	20	4
	20 이상	5
CBR I	10	3
CBR II	10	3

표 7. 가중치 10%에서의 유사도 점수 부여 방법 사례

순위	가중치				오차평균
	연장	폭원	상부면적	차로수	
1순위	0.1071	0.750 2	0.1465	0.3223	17 %
3순위	0.1175	0.260 2	0.2181	0.4041	4 %
5순위	0.5000	0.307 1	0.1929	0.0000	6 %

표 8. 유사도 점수 부여 방법

자료 Type	적합도 점수 부여방법
문자열	대조되는 두 사례의 특성이 완전히 동일한 경우에만 점수 부여
문자	한 단어에서 가능한 모든 연속적인 3자를 대상으로 비교하여 일치하는 비율에 따라 점수 부여
단어	대조되는 두 사례의 특성이 공통으로 갖는 단어의 수와 제시된 새로운 사례의 단어의 수의 비율에 의해 점수 부여
수치	두 수간의 거리에 의해 그 유사성이 결정되어 점수 부여 $\left  \frac{V_{\text{기존사례}} - V_{\text{대상사례}}}{V_{\text{대상사례}}} \right  \times 100 \leq \text{범위}$

학습사례에서는 각 영향요인 별 유사도 점수에 각 영향요인의 가중치를 부여하고 가중치가 부여된 각 영향요인의 유사도 점수를 식 (1)과 같이 합하여 산출하였다.

$$S_i = \sum_j^n (I_j \times w_j) \tag{1}$$

$S_i$  : 사례*i*의 유사도 점수

$I_j$  : 영향요인 *j*의 유사도 점수

$w_j$  : 영향요인 *j*의 가중치

### 3.4.5 공사비 보정

사례기반추론에 의한 공사비 산정은 먼저 유사도 선정기준에 따라 상위 유사사례를 추출하고, 추출된 사례의 공사비를 신규 사례에 적합하도록 공사비 지수를 적용하여 공사비를 보정하도록 한다. 공사비 보정은 연장 및 폭에 비례하는 특성을 사용하는데, 추출된 유사사례의 공사비를 식 (2)에 의해 보정한다.

$$E_i = \sum_i^n (R_i \times C_i) \tag{2}$$

$E_i$  : 유사사례*i*로부터 신규사례에 대한 보정공사비

$C_i$  : 유사도 점수 상위 유사사례*i*의 공사비

$R_i$  : 신규사례의 유사사례*i*에 대한 연장 및 폭 비율

### 3.4.6 신규 공사비 예측

대상 교량에 대한 신규 공사비 추정은 추출된 상위 유사사례의 보정 공사비에 식 (3)의 유사도 점수의 가중치를 고려하여 산정한다.

$$W_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3)$$

$W_i$  : 추출된 유사사례  $i$ 의 유사도 가중치

$n$  : 추출된 유사사례의 수

신규 공사비 추정에 있어서 가중 평균값을 적용한 추정공사비의 합은 식 (4)에 의해 계산된다.

$$F = \sum_i^n (W_i \times E_i) \quad (4)$$

$F$  : 신규사례에 대한 추정 공사비

### 3.4.7 사례 속성 가중치 산정

기존 연구사례 및 본 연구에서 학습사례를 통해 새로운 프로젝트에서 추정하고자 하는 공사비의 오차를 최소화하고자 하는 목적함수와 이에 영향을 미치는 공사비 영향요인의 가중치는 선형관계를 갖지 않는 비선형 관계이기 때문에 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해 공사비 영향요인별 가중치의 산정에 유전자 알고리즘(Genetic algorithm: GA)이 적용되었고, 이를 구현하기 위해 Microsoft Office Excel을 기반으로 운용되는 프로그램인 Premium Solver를 활용하였다. 유전자 알고리즘은 생물의 진화를 모방한 진화연산법의 대표적인 최적화 방법으로서 생명체에 적용되는 돌연변이, 교배 등의 기법을 활용하여 최적화 문제의 해답을 얻는 방식이다. 이 방법에서는 모집단이 너무 적으면, 유전자 알고리즘에서 충분한 교차점을 가질 수 없고, 모집단이 많으면 계산에 많은 시간을 필요로 하며 많은 돌연변이가 발생하게 된다. 본 연구에서도 데이터가 증가하여 돌연변이가 발생할 것으로 예측되어 이를 해결하기 위해 돌연변이와 교차속도를 0.075 및 0.5로, 돌연변이 비율을 0.25로 사용하였으며, 이 때 가장 적절한 값이 나오는 것을 알 수 있었다.

표 9에 앞에서 기술한 방법에 기초하여 산정된 강박스거더교 공사비 모델의 입력 변수별가중치를 나타내었다. 표 9에서 CBR I 및 CBR II의 모델에서 동일 영향요인에 대한 가중치가 서로 다른 이유는 영향요인의 수가 증가함에 따라 학습사례와 사례데이터베이스에 미치는 영향의 정도가 서로 다르게 적용되기 때문이다.

표 9. 강박스거더교 공사비 모델 가중치

구분	CBR I	CBR II
연장	0.1175	0.1693
폭원	0.2603	0.0625
상부면적	0.2181	0.0001
차로수	0.4041	0.0037
가설위치(육상/하상)		0.1323
지역		0.2343
최대경간장		0.0004
경간수		0.1969
가설형태(신설/확포장)		0.1308
기초형식		0.0697

앞의 3.2.1에서 기술한 영향요인의 상관관계와 관계있는 결정계수와 표 9의 CBR I 및 CBR II에서의 각 영향요인에 대한 가중치가 서로 비례하지 않는 것은 가중치 결정에서 사용된 학습사례와 DB와의 유사도 평가에서의 부합여부에 따른 유사도 점수 및 각 영향요인의 비선형성 등에 영향에 따른 것이다. 이런 영향에 따른 가중치 변화의 특성에 대해서는 기존 연구에서도 유사한 경향을 나타내고 있다(Kyoung-Ju Kim. (2010)).

### 3.4.8 사례기반에 기초한 개략공사비 추정방법

그림 16에 본 연구에서 제시한 사례기반 추론을 사용하여 검증교량에 대한 추정공사비를 추정하는 과정을 표 10의 NO. 1 교량에 대해 CBR II모델 적용결과 사례를 나타내었다.

표 10에서 A행은 DB에 입력된 대상교량에 대해 표 8에 기초하여 영향인자의 각 항목에 대한 유사도 점수를 나타낸 값 가운데 가장 높은 값을 가진 사례를 나타낸 것이다. 이러한 영향요인의 유사도 점수를 이용하여 각 사례의 유사도 점수를 산출하였다.

표 10의 B행은 공사비 영향요인에 대한 가중치를 나타낸 것이다. 앞서 기술한 사례속성 가중치 산정방법에 기초하여 ①은 CBR I 모델, ②는 CBR II 모델에 대해 각 영향요인별 가중치를 나타내었다.

C행 항목가운데 ① 열은 유사도 점수로 NO. 1의 대상교량에 대해 DB에 입력되어 있는 모든 교량을 대상으로 식 (1)에 의해 산출된 유사도 점수를 나타낸 것이다. ② 열은 순위로 유사도 점수의 순위를 의미며, 본 연구에서는 표 6에 나타난 것과 같이 3순위 이상을 대상으로 한다. ③ 열의 실제 공사비는 DB에 입력된 각 대상교량의 내역에 기초한 실제 공사비를 나타낸다. 다만, 본 연구의 경우에는 앞에서 기술한 것과 같이 유사도 산정기준에서 우선순위 3순위까지를 적용하므로 DB의 각 교량에서 3순위를 초과한 교량에 대한 공사비는 표시되지



않는다. ④ 열 가중치의 첫 번째 열은 3순위 이상의 순위를 갖는 교량에서 얻어진 유사도 점수를 나타낸 것이며, 가중치의 두 번째 열은 식 (3)에 의해 산출된 값이며 이와 같이 계산하는 것에 의해 3순위 이상의 교량에 대한 유사도 점수에 대한 가중치를 알 수 있다. ⑤ 열의 보정금액은 유사점수 3순위 이상의 교량에 대해 식(2)에 의해 산정된 공사비이다. ⑥ 열의

가중치 금액은 식 (4)에 의해 산출된 값이며, ⑦ 열의 예측금액은 가중치 금액의 총합으로부터 산출된 공사비이다. ⑧ 열은 실제 공사비를 나타낸 것이다.

나머지 NO. 2 ~ NO. 10의 검증작업교량에 대해서도 그림 17과 같은 방법을 적용하여 개략공사비를 산출하였다.

표 10. 강박스거더교의 추정 공사비 검증 작업교량

NO.	교량정보									
	연장 (m)	폭원 (m)	상부면적 (m <sup>2</sup> )	차로수	가설 위치	지역	최대경간장 (m)	경간수	가설형태	기초형식
01	160	20.9	3,348	4	하상	서울	60	3	확포장	혼합형식
02	48	20.9	996	4	육상	대전	48	1	확포장	직접형식
03	48	20.9	1,003	4	하상	익산	48	1	신설	말뚝형식
04	400	20.9	8,362	4	하상	원주	60	7	확포장	혼합형식
05	495	20.9	10,346	4	하상	익산	95	9	신설	혼합형식
06	130	20.9	2,717	4	육상	부산	50	3	신설	말뚝형식
07	235	21.1	4,951	4	하상	익산	55	5	신설	말뚝형식
08	45	20.9	944	4	육상	익산	45	8	확포장	말뚝형식
09	150	21.1	3,161	4	육상	서울	60	3	신설	혼합형식
10	365	12.4	4,526	2	하상	원주	55	7	신설	혼합형식

**영향요인 별 가중치**

구분	연장	폭원	상부면적	차로수	가설위치	지역	최대경간장	경간수	가설형태	기초형식
① CBR I	0.11749	0.26024	0.21813	0.40414						
② CBR II	0.19690	0.00036	0.16928	0.06254	0.00004	0.23427	0.13229	0.00367	0.13088	0.06976

① 유사도 점수    ② 순위    ③ 실제금액    ④ 가중치    ⑤ 보정금액    ⑥ 가중치금액    ⑦ 예측금액    ⑧ 실제공사비

**NO.1 사례**

경간수	최대경간장	연장	폭원	상부면적	지역	가설위치	차로수	가설형태	기초형식	유사도점수	순위	실제금액	가중치	보정금액	가중치금액	예측금액	실제공사비
0	100	0	100	0	0	100	100	0	100	19,74687059	183	-	-	-	-	4,505,691,265	4,800,474,352
100	0	0	100	0	0	100	100	100	100	59,60634483	11	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	0	100	100	0	0	19,8880056	174	-	-	-	-	-	-
100	100	100	100	100	0	100	100	0	0	56,50826258	20	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	239	-	-	-	-	-	-
0	0	100	100	100	0	100	100	0	100	43,75714948	36	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	0	100	100	0	100	37,50166767	72	-	-	-	-	-	-
100	0	100	0	0	0	100	0	0	0	49,84853617	29	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	100	100	100	100	100	63,37874302	6	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	100	100	100	100	100	63,37874302	6	-	-	-	-	-	-
0	0	0	100	0	100	100	100	100	100	63,34275399	8	-	-	-	-	-	-
100	0	0	100	0	100	0	100	100	100	69,8042098	3	3,680,165,050	70	0.31774	4,529,433,907.14986	1,439,162,343.3	-
0	0	0	100	0	100	100	100	100	0	56,36626009	22	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	0	100	100	0	100	100	56,75807743	18	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	100	0	0	100	0	36,51524352	79	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	30,40352104	99	-	-	-	-	-	-
100	100	0	0	0	100	0	0	0	0	43,15463414	46	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	0	0	0	0	100	100	20,1016993	166	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	-	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	-	-	-	-	-	-	-
100	100	100	100	100	0	100	0	100	100	76,20571728	1	4,176,982,537	76	0.34687	4,149,681,997.62271	1,439,420,858.0	-
0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	20,43196586	152	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	0	100	100	0	100	26,8644995	110	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	26,31756737	132	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	26,31756737	132	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	0	100	100	0	0	0	36,69336715	75	-	-	-	-	-	-
100	100	100	100	100	0	0	0	100	100	73,68243263	2	4,863,325,743	74	0.33539	4,863,325,742.66674	1,631,108,063.4	-
0	0	0	100	0	100	100	100	0	0	43,27804371	45	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	100	100	100	0	100	50,29152664	24	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	23,42702714	141	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	0	100	100	0	100	100	56,75807743	18	-	-	-	-	-	-
100	100	0	0	0	100	0	0	0	0	43,15463414	46	-	-	-	-	-	-
0	100	0	100	0	100	0	0	0	0	30,08568175	105	-	-	-	-	-	-
0	0	0	100	0	100	0	100	100	100	37,02518662	74	-	-	-	-	-	-
100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	43,11764512	48	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	0	100	0	0	0	0	23,46401616	138	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	100	100	0	0	0	0	23,46508797	137	-	-	-	-	-	-
0	100	0	0	0	100	0	0	0	0	23,46401616	138	-	-	-	-	-	-
100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	43,11764512	48	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	36,65637813	76	-	-	-	-	-	-
0	0	0	100	0	100	0	100	0	0	30,04869272	106	-	-	-	-	-	-
0	0	0	100	0	100	0	100	0	0	30,04869272	106	-	-	-	-	-	-
0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	23,42702714	141	-	-	-	-	-	-

**각 영향요인의 유사도 점수 Ii**      **사례의 유사도 점수 Si**

그림 16. 기존사례(사례 DB) 유사도 점수 결과사례

## 4. CBR에 기초한 개략공사비 모델 검증

### 4.1 공사비 산정 대상 교량

본 연구에서 제시한 사례기반추론을 활용한 기본정보에 의한 적정공사비 예측모델을 적용하여, 선행 연구(선창원 등, 2009)의 대표공중에 의한 모델, 한국개발연구원과 국토해양부에서 제시한 단위면적 및 단위 길이당의 단가를 이용한 방법의 예측 값과 비교하여 적정성을 검증하였다.

표 10에 274개의 대상교량 가운데 검증사례 교량 5~20건의 선정기준에 부합되도록 검증교량 10개에 대한 기본정보를 나타내었다.

### 4.2 개략공사비 산정모델(CBR I 및 CBR II) 검증

선행연구에 기초한 교량의 대표공중에 의해 검증교량에 대해 산정된 공사비 및 표 11과 표 12의 기존 공사비 산정기준인 예비타당성조사 표준지침과 투자평가지침, 도로업무편람에 의해

산출된 공사비도 나타내었다. 또한 표 13과 그림 17에 앞서 기술한 그림 16에 기초하여 본 연구에서 제시한 개략공사비 산정 모델(CBR I 및 CBR II)의 영향요인 및 가중치를 사용하여 모델 검증 교량 10개에 대한 개략공사비 추정 결과를 나타내었다.

표 11. 예비타당성조사 표준지침의 표준 공사비(단가/m, 단가/m<sup>2</sup>)  
(단위 : 천원)

구분	왕복2차로		왕복4차로		왕복6차로		왕복8차로	
강박스거더교	20,421	1,723	41,271	1,681	54,456	1,729	61,196	1,533

자료 : 예비타당성조사 표준지침(2004) 중 한국도로공사 내부자료, 2003년 고속도로 건설 평균단가

표 12. 투자평가지침서 및 도로업무편람 공사비 기준단가

교량유형	구분		기준단가
	투자평가지침	국도	
강박스거더교	도로업무편람	교량	54,000 (천원/m)
		4차로(28.4m)	2,461(천원/m <sup>2</sup> )

자료 : 도로업무편람(2007) 국토해양부, 교량 및 터널 평균단가

표 13. 강박스거더교의 개략공사비 산정모델(CBR I 및 CBR II) 검증결과

NO.	원공사비 (억원)	대표공중 산정모델 예측값 (오차율)	CBR I 산정모델 예측값 (오차율)	CBR II 산정모델 예측값 (오차율)	예비타당성		투자평가지침	도로업무편람
					단위면적(m <sup>2</sup> )	단위길이(m)	단위길이(m)	단위면적(m <sup>2</sup> )
					예측값 (억원)	예측값 (오차율)	예측값 (억원)	예측값 (억원)
01	4.80	4.86 (1.19)	5.23 (8.93)	4.51 (-6.06)	4.58 (-4.61)	5.38 (12.05)	7.39 (53.85)	7.16 (49.13)
02	1.47	1.43 (-2.14)	1.57 (6.89)	1.41 (-3.58)	1.84 (25.60)	2.16 (47.54)	2.97 (102.57)	2.88 (96.36)
03	1.61	1.59 (-0.87)	1.57 (-2.37)	1.51 (-5.62)	1.54 (-4.18)	1.81 (12.56)	2.48 (54.54)	2.40 (49.80)
04	14.62	14.49 (-0.90)	14.86 (1.60)	14.21 (-2.79)	12.82 (-12.35)	15.06 (2.97)	20.67 (41.37)	20.04 (37.04)
05	14.94	14.16 (-5.22)	16.39 (9.70)	13.75 (-7.97)	15.86 (6.15)	18.63 (24.70)	25.58 (71.21)	24.80 (65.96)
06	4.47	4.27 (-4.57)	4.57 (2.29)	3.84 (-16.07)	4.18 (-6.47)	4.91 (9.87)	6.74 (50.85)	6.54 (46.23)
07	7.32	7.53 (2.96)	7.74 (5.74)	7.34 (0.28)	7.67 (4.91)	8.93 (22.07)	12.26 (67.60)	11.88 (62.46)
08	1.85	1.90 (2.43)	2.02 (8.93)	1.85 (0.00)	1.54 (-16.74)	1.81 (-2.19)	2.49 (34.29)	2.41 (30.18)
09	5.60	5.18 (-7.68)	5.61 (0.15)	5.61 (0.00)	5.90 (5.20)	6.86 (22.41)	9.42 (68.06)	9.13 (62.91)
10	10.69	10.14 (-5.12)	10.27 (-3.95)	9.57 (-10.46)	4.96 (-53.64)	9.81 (-8.21)	13.47 (26.02)	13.06 (22.16)
평균 (절대값)		1.99	3.79	5.25	5.61	14.38	57.04	52.22
표준편차 (절대값)		3.40	4.68	2.02	19.54	15.08	20.70	20.07

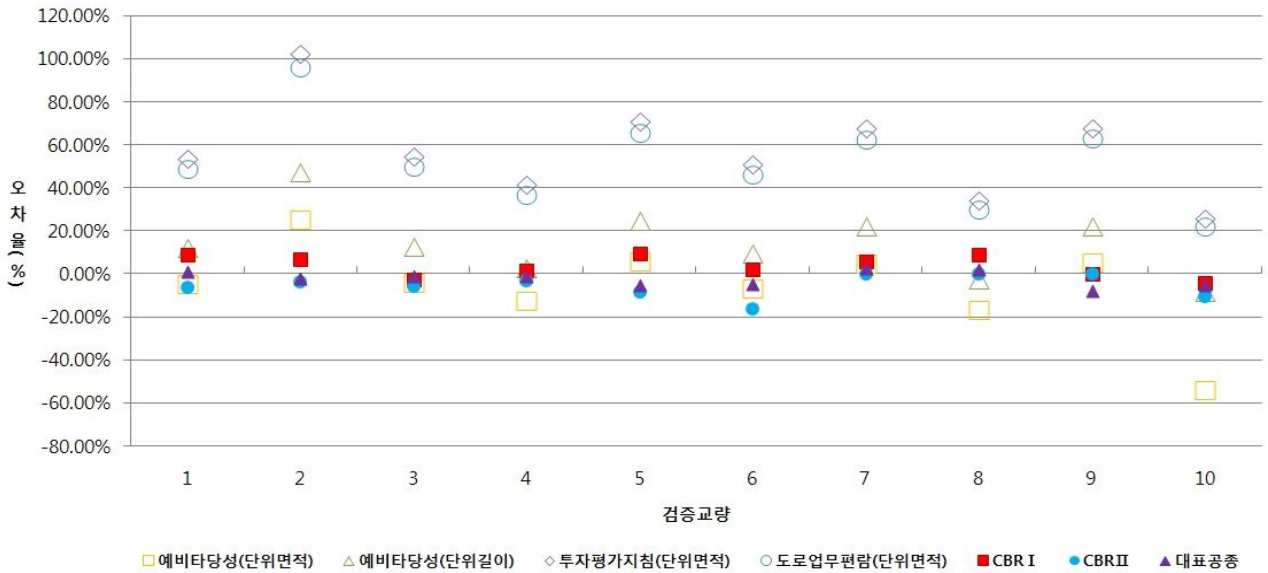


그림 17. 개략공사비 산정모델(CBR I, II 모델)의 추정 개략공사비 비교

본 연구에서 제시한 개략공사비 산정모델인 CBR I 모델의 오차율은 -3.95% ~ 9.70%의 분포를, CBR II 모델의 오차율은 -16.03% ~ 0.28%로 비교적 안정적인 결과를 제시하였다. 그러나 단위 면적당 금액을 사용하는 예비타당성 모델에서의 오차는 -53.64% ~ 25.60%, 단위 길이당 금액을 사용하는 예비타당성 모델에서의 오차는 -8.21% ~ 47.54% 값을, 투자평가지침 모델은 26.02% ~ 102.57%, 도로업무편람 모델에서의 오차는 22.16% ~ 96.36%를 나타내었다.

선행연구에서 제시한 대표공종을 이용한 모델의 오차율은 -7.68% ~ 2.96%를 나타내어 가장 오차가 적은 값을 나타내었다. 이것은 대표공종에 의한 공사비 산출은 설계단계에서 얻을 수 있는 가용 정보인 수량산출을 통해 단가를 산정하여 얻어지기 때문이다. 그러나 본 연구에서 제시한 모델보다 많은 시간과 노력 등이 소요된다는 단점이 있다.

이상의 결론으로부터 본 연구에서 제시한 개략공사비 산정모델(CBR모델)은 해외의 선진적인 공사비 예측모델의 목표에 부합될 수 있도록 AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering)의 기획단계 공사비 예측모델의 오차목표인 하한값 -15~-30%, 상한값 +20%~+50%와 비교할 경우 충분한 타당성을 가지는 것을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 제시한 CBR모델은 검증교량에 대한 원공사비에 대한 추정 값과 오차율이 비슷하게 나타나며, 원공사비에 대한 오차도 상당히 감소시킬 수 있기 때문에 향후 강박스커더교에 대한 개략공사비 추정에 효율적으로 사용될 수 있을 것이며, 이를 통하여 국가예산의 효율적 책정에 상당한 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 강박스커더교를 대상으로 교량 구조물의 상세 단면이 완성되지 않은 개략 정보만을 가지고 CBR기법을 이용하여 개략공사비 산정모델을 제시하고 검증하여 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

- (1) 사례기반추론 기법을 적용한 개략공사비 산정 모델(CBR 모델)을 해외의 선진적인 공사비 예측모델의 목표에 부합될 수 있도록 AACE의 기획단계 공사비 예측모델의 목표인 하한값 -15~-30%, 상한값 +20%~+50%와 비교하였다. 본 연구에서 제시한 모델은 AACE의 목표치 내의 결과를 수렴하는 것을 알 수 있었지만, 예비타당성 조사지침/투자평가지침/도로업무편람을 사용하여 추정공사비를 산정한 모델은 모두 AACE의 목표치에 미달하는 것을 알 수 있다.
- (2) 본 연구에서 제시한 CBR모델은 검증교량에 대한 원공사비에 대한 추정 값과 오차율이 비슷하게 나타나며, 원공사비에 대한 오차도 상당히 감소시킬 수 있기 때문에 향후 강박스커더교에 대한 개략공사비 추정에 효율적으로 사용될 수 있을 것이다.
- (3) 교량의 특성을 반영하여 공사비 예측의 정확도를 향상시켜 사업추진에서의 의사결정을 지원하고 향후 공사비에 대한 정보를 제공함으로써 효율적인 예산수립에 일익을 담당할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술기반구축사업의 연구비지원(과제번호 : 06 기반구축 A03)에 의해 수행된 것으로 이에 대해 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

강신화(2010) 강교량 개략공사비 추정에 관한 연구, 한국해양대학교 박사학위논문.

박종현, 이태식(2002a) 설계단계별 도로공사 공사비산출모델 개발, 대한토목학회, 제22권, 제 1-D호, pp.103-112.

박종현, 이태식(2002b) 도로공사용 공사비지수의 개발, 대한토목학회, 제22권, 제 4-D호, pp.707-719.

박혜연, 경갑수, 선창원, 강신화, 권순철(2007a) 강교량 공사비 통계 자료에 기초한 영향변수 분석, 2007년도 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.930-935.

박혜연, 경갑수, 권순철, 강신화(2007b) 강교량 공사비 예정가격 및 실행가격에 관한 분석 연구, 2007년도 학술대회 논문집, 대한토목학회, pp.310-311.

선창원, 경갑수, 강신화, 권순철(2009) 강박스거더교 공사비 특성 분석, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제21권, 제1호, pp.1-14.

이유섭(2003) 코스트 중요항목 분석을 통한 공사비 예측모델 연구. 한국건설관리 학회논문집, 한국건설관리학회, 제4권, 제 4호, pp.212-219.

전은경, 경갑수, 박진은, 강신화(2010) 사업 수행 단계별 강박스 거더교 공사비 산정모델 제시 및 검증, 한국강구조학회 논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제1호, pp.55-65.

전은경(2010) 강박스교량 건설비 추정 영향요인 분석 및 LCC 활용성 연구, 한국해양대학교 석사학위논문.

Holland, J.H. (1975) *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press.

Kolodner, J. (1993) *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann Publisher, Knc.

Kim, K.J. and Kim, K.M. (2010) Preliminary cost Estimation Model Using Case-Based Reasoning and Genetic Algorithms, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 24, No. 6, pp.499-505.

Watson, I. (1997) *Applying Case-Based Reasoning: Techniques for Enterprise System*, morgan Kaufmann Publishers, inc, San Francisco, California.

(접수일자 : 2011. 3. 8 / 심사일 2011. 3. 15 / 심사완료일 2011. 10. 5)