

통계적 기법을 활용한 ILM압출공법 교량 상부공사 개략공사비 산정모델 개발 연구

김상범* · 조지훈**

Kim, Sang-Bum* · Cho, Ji-Hoon**

Development of the Approximate Cost Estimating Model Using Statistical Inference for PSC Box Girder Bridge Constructed by the Incremental Launching Method

ABSTRACT

This research focuses on development of the conceptual cost estimation models for I.L.M box girder bridge. The current conceptual cost estimation for public construction projects is dependent on governmental average unit price references which has been regarded as inaccurate and unreliable by many experts. Therefore, there have been strong demands for developing a better way of conceptual cost estimating methods. This research has proposed three different conceptual cost estimating method for a P.S.C. girder bridge built with the I.L.M method. Model (I) attempts to seek the proper breakdown of standard works that are accountable for more than 95 percentage in total cost and calculates the amount of standard work's materials from the standard section and volume of I.L.M box girder bridge. Model (II) utilizes a correlation analysis (coefficient over 0.6 or more) between breakdown of standard works and input data that would be considered available information in preliminary design phase. Model(III) obtains conceptual estimating through multiple-regression analysis between the breakdown of standard works and all of input data related to them. In order to validate the clustering of coverage in the preliminary design phase, the variation of I.L.M cost coverage from multiple-regression analysis[model(III)] has been investigated which result in between -3.76% and 11.79%, comparing with AACE(Association for the Advancement of Cost Engineering) which informs its variation between -5% and +15% in the design phase. The model proposed from this research are envisioned to be improved to a great distinct if reliable cost date for P.S.C. girder bridges can be continually collected with reasonable accuracies.

Keywords : Cost Estimation Model, Incremental Launching Method(ILM), Breakdown of Standard Work, Correlation Analysis, Multiple-Regression Analysis

초 록

본 연구에서는 평균건설단가를 적용하여 개략 공사비를 산출하는 기존 방식에서 벗어나 대표공종을 이용한 입력변수 도출 모델을 구축하여 기본설계단계에서 고려되어지는 여러 입력변수들을 활용하여 P.S.C(Prestressed Concrete) Box Girder 교량에서 널리 활용되고 있는 I.L.M(Incremental Launching Method) 공법에 연구 모델을 적용하고자 한다. 2000년부터 설계된 공사비 데이터와 설계자료 등을 분석하여 상부공사 중 총 공사비대비 누적비율 95%이상을 차지하는 공종을 대표공종으로 도출하였다. 각 대표공종의 하위공종에 대한 내역 분기를 실시하여 각 항목들의 Database를 구축하였다. 본 연구에서는 다각적인 측면에서 개략공사비 산정 모델을 개발 및 제시하였으며, 사용자 입장에서 보다 쉽게 접근할 수 있도록 대표공종을 기초로 단위물량을 사용한 개략공사비 산정모델(I)과 상관성이 높은 입력변수를 선택한 개략공사비 산정모델(II)과 상관계수 0.6이상의 입력변수들을 모두 포함하는 다중회귀분석을 통한 개략공사비 산정모델(III)을 제시한다. 실제 총공사비와 본 연구에서 제시하는 개략공사비 산정모델들을 비교하고, 신뢰성을 검증함으로써 현재 국내에서 사용되는 산정방법에 비해 정밀도 측면에서 효율적인 공사비 관리방법을 제시한다.

검색어 : 개략공사비, 압출공법(ILM공법), 대표공종, 상관분석, 다중회귀분석

* 종신회원·교신저자·동국대학교 건설환경공학과 부교수, 공학박사 (Corresponding Author·Dongguk University, Civil and Environmental Engineering·kay95@dgu.edu)

** 정회원·동국대학교 건설환경공학과 박사과정 (79drive@hanmail.net)

Received December 18 2012, Revised December 24 2012, Accepted January 2 2013

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 및 세계 경제의 침체로 인해 국내건설시장도 예외일 순 없다. 이러한 시기에 정부에서는 경기 부양을 위해 공공부문의 발주를 늘릴 계획이지만 무조건 발주의 양만 늘려서는 효과적인 정책의 실현이 어렵다. 효율적 예산의 수립과 관리 및 집행으로 공공부문 발주로 인한 국내 경기 부양의 효과를 극대화 할 수 있는 방안 모색이 우선시되어야 하는 시점이다. 이러한 예산관리의 중요성은 모두가 인식하고 있지만 국내 건설 사업에서도 효율적인 원가관리 차원에서 사업초기단계의 예산절감 방안을 모색할 필요가 있다. 공공 부문의 발주에서는 아직도 예비타당성, 투자평가지침서 등 각 지침에서는 개략공사비 산출 모델로 오차가 큰 평균 공사비 모델을 적용하고 있는 실정이다. 건설사업 초기단계에서 평균단가를 적용하여 사업비를 책정하는 지금의 공사비 산정방식은 여러 건설공사의 특성을 반영하기에 미흡한 실정이다. 특히, 일품산업인 토목사업의 특성상 정확도 및 지속성 측면에서 적용되기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 실제 공사자료 수집을 통해 DB를 구축하고 내역분기를 통해 실제 적용되는 공종들 중 유의수준 5%이내의 대표공종과 하위 분류를 도출하고, 본 연구에서 제시된 표준 단면 및 체적을 도출하여 표준 체적당 대표공종의 단위 물량을 산출하는 모델(I)을 하였고, 이를 통해 공공공사의 효율적 예산 책정 및 공사 관리의 효과를 얻을 수 있다. 또한 대표공종을 바탕으로 설계단계에서 파악할 수 있는 다양한 입력변수들과 대표공종의 상관성을 분석하여 각각의 개별 공종들에 적합한 공종과 입력변수 간 상관성을 기반으로한 공사비 산정 모델(II)을 개발하였다. 대표 공종과 상관계수 0.6이상의 입력변수들을 모두 포함하는 다중회귀 분석기반의 산정모델(III)을 통해 사용자 중심의 모델 개발에 중점을 두었다. 이를 통해 평균단가를 활용한 현재의 개략공사비 산출 방법을 개선하고 새로운 모델(I,II,III)을 통한 개략공사비 산출의 신뢰성 및 정확성의 향상을 도모하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위와 방법은 아래 Figure1과 같다. 선행연구의 이론적 고찰을 통해 기존의 국·내외의 공사비 예측방법을 살펴봄으로써 한계점을 고찰하고, 2000년 이후 설계 완료된 특수 교량공사자료 중에서 유효한 값들을 재구성하여 분석을 실시한다. 연도별 총 공사비의 객관적 분석을 위해 건설공사비 지수개념을 도입하여 물가상승률 등을 고려한 객관적 상태에서 자료를 분석한다. P.S.C(Prestressed Concrete) Box Girder 교량들 중에서 가장 보편화된 교량인 I.L.M(Incremental Launching Method)공법 교량의 상부공사 총 공사비에서 공사비 비중 및 해당 공종에서의

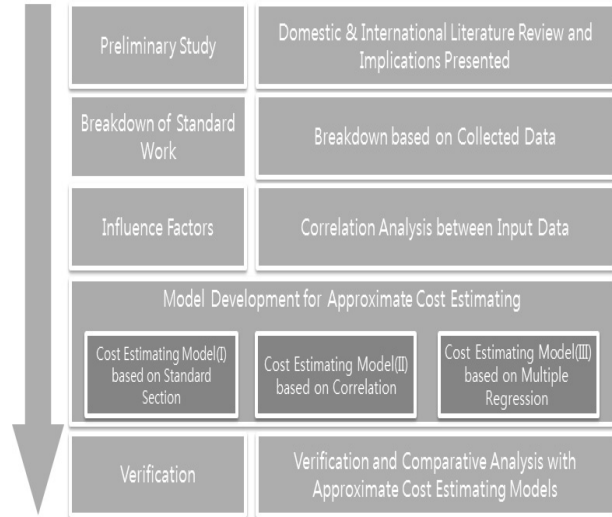


Fig. 1. Research Methodology

중요도가 높은 항목을 중심으로 설계 초기단계에서 가용한 정보 수준을 고려하여 대표공종 선정한다. 각각의 공사를 구성하는 대표공종과 그 하위공종을 추출하고 공사에서 영향요인으로 발생하는 7개의 입력변수들을 추출하여 표준 단면 설정을 통한 단위 물량 산출하여 보고 입력변수들의 상관관계를 분석하고 상관분석을 기반으로 0.6이상의 상관관계를 가지는 강력한 입력변수들을 각 공종별로 선별하고 이를 통해 각 공종별 개략적인 물량을 산출한다. 또한 추출된 입력변수간의 단순 또는 다중 회귀분석을 이용하여 각 공종별 입력변수를 활용한 물량산출 추정식을 도출하여 이를 통한 개략공사비를 산출하는 등 분석적이고 신뢰성 있는 예측이 가능한 통계적 기법을 활용하고자 한다.

2. 선행연구 조사

국내·외 개략 공사비 예측방법에 대한 연구문헌을 분석하면 다음 Table 1, 2와 같다. 국내·외에서 개략공사비 추정 기법에 관한 선행 연구 분석결과를 살펴보면 건설공사의 기본단위에 대한 비용자료 기반의 단위 단가법, 인공지능방법에 의한 인공 신경망, 유전자 알고리즘, 사례기반추론방법 그리고 통계적 기법을 활용한 회귀분석 등을 활용하여 건설사업의 개략 공사비 산정 예측모델을 제시하고 있다. 공사의 특성과 성격에 맞추어 한 가지 기법만을 적용하여 개략공사비 추정을 할 수도 있고, 공사의 특성에 따라 좀 더 나은 정확도를 위하여 여러 가지 기법들을 혼용하여 개략공사비 산정을 할 수도 있으며 또한, 같은 기법을 사용하더라도 공사비 추정과정에서의 주 응용도구가 각각 다를 수 있다. 상세 공사비 산정의 정밀도는 사용기관에 따라 다소 차이가 있지만, AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering)에서는

Table 1. Summary of Approximate Cost Estimating Methods

Author	Conceptual Cost Estimating Method	Main Application Tool
Jeon.Y.B. (2000)	Cost Capacity Method Cost Index Method	Regression Analysis
Kim.C.J. (2003)	Base Unit Price Method	Statistical Methods
Kim.S.K. (2000)	Base Unit Price Method	Regression Analyses Akaike Information Criterion
Kim.Y.S. (2000)	Variable Estimating Method	Approximate Method of Quantity Surveying
Jeong.Y.S. (2001)	Cost Capacity Method Cost Index Method	Regression Analyses R.D.B
Park.J.H. (2002)	Base Unit Price Method	Regression Analyses
Park.J.H. (2003)	Cost Index Method	R.D.B (Relational Database)
Park.J.H. (2002)	Variable Estimating Method	Statistical Methods
Kang.K.I. (2005)	Variable Estimating Method	Case Based Reasoning (CBR)

(Source: Kang, C.S, et al.(2008), "Approximate Estimating Model Using the Case Based Reasoning")

Table 2. Applications of Approximate Cost Estimating Methods

Author	Construction Cost Forecasting Method
Kamal et al. (1994)	Interview, Survey Sampling Survey
Oberlender & Trost (2001)	Element Analysis Regression Analysis
Karshenas & Tse (2002)	Case Based Reasoning
Trost & Oberlender (2003)	Element Analysis Regression Analysis
Attalla & Hegazy (2003)	Regression Model
Kim et al. (2005)	Artificial Neural Network
Lowe et al. (2006)	Regression Analysis
Dogan et al. (2006)	Artificial Neural Network

정밀견적의 정밀도를 +15%~5%로 명시하고 있으므로 상세 견적 이전 단계인 개략 견적의 경우 본 연구에서 제시하는 선행연구들의 오차 범위가 -8%~26.4%임을 감안하면 상위에서 언급된 공사비 예측기법들이 유효한 수준에 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 표준 단면을 통한 단위물량 기반의 모델, 선행연구에서 적용한 개략 견적기법과는 달리 주 응용도구로써 상관분석을 기반으로 하여 상관계수가 가장 큰 변수를 기준으로 하는 상관관계 모델과 변수간의 회귀분석을 통해 해당 공종의 추정식을 사용하는 단순/다중회귀 분석을 실시한다. 3가지 개략공사비 모델을 비교 분석하여 각각의 검증 및 장단점을 도출한다.

3. 이론적 고찰

3.1 자료 분석 실시

본 연구를 위해 2000년 이후 설계된 특수교량 43건의 공사 설계자료와 설계도서(보고서/내역서/도면/수량산출서 등)를 분

Table 3. Bridge Categorization by Types

Method of Construction	I.L.M
High Rank Work Classification	16 EA
Low Rank Work Classification	75 EA

석하였다. 일반적인 P.S.C Box 특수교량 공법인 I.L.M/M.S.S/F.C.M/F.S.M 중 I.L.M 공법교량에 한정된 연구를 진행하였으며, 통계적 기법을 활용하기 추가적 자료 수집이 필요한 M.S.S/F.C.M/F.S.M에 대해서는 추후 연구를 실시하고자 한다. I.L.M 교량의 상부공사 대표공종을 도출하기 위하여 수집 자료를 토목공사 수량 산출 지침서¹⁾의 분류체계에 맞게 내역 분기를 실시하였다. 분기 실시 한 결과 수많은 세부 내역이 발생하였고, 이는 개략공사비의 산출이라는 측면에서 보았을 때 매우 불편하며 개략공사비라는 의미를 가질 수 없는 상태이기 때문에 그룹핑을 실시하였다. 그룹핑 한 결과 Table 3과 같이 상위공종과 하위공종을 나눌 수 있다.

3.2 대표 공종과 하위 공종 도출

그룹핑한 공종을 기반으로 I.L.M 교량의 상부공사 대표공종을 도출하기 위하여 총공사비 대비 상위공종들과 각 상위공종을 구성 하는 하위공종별로 공사비를 분개하였다. 대표공종 산출 기준은 상부공사 총공사비 기준으로 1%이상을 차지하는 공종으로 하였고, 대표공종과 각 대표공종들의 하위 공종들 중에서도 누적비율 95% 이상의 공종들만 추출하여 중분류와 소분류체계를 작성하였다.

본 연구에서 제시하는 I.L.M 교량의 상부공사 대표공종과 하위 분류체계는 개략공사비 산정을 위한 기초자료뿐만 아니라 특수 교량공사에서 상세 내역을 파악하기 전 단계에서 필수적 공종 파악 시 활용될 것으로 기대된다.

1) 건설교통부(2007), "토목공사 수량산출 기준지침서"

Table 4. Cost Composition of I.L.M Bridges

Level 1	Level 2	Level 3	Ratio
Form	Plywood	1/3/4/6(Number)	1.3%
	Original Timbe Form	3(Number)	
	Original Steel Form	0~7m	
Reinforcing Bar Assembling	Simple	Mild Steel/High Strength Steel	14.4%
	Normal	Mild Steel/High Strength Steel	
	Complication	Mild Steel/High Strength Steel	
	Very Complex	Mild Steel/High Strength Steel	
Concrete Placement	Reinforced concrete	VIB(Inclusion)	1.5%
	Plain Concrete	VIB(Inclusion/ not Inclusion)	
	Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling	D=110mm	30.6%
		D=100mm	
		D=90mm	
		D=66mm	
	Anchorage Device Installation	Tension Anchorage Device (12.7/15.2mm)	
		Fixed Anchorage Device (12.7/15.2mm)	
	P.S.C Steel Installation	Straight Line (Rod)	
		Curve Line (Rod)	
P.S.C Steel Tension work	Single Tension (12.7/15.2mm)		
	Double Tension (12.7/15.2mm)		
Milk Grouting	12.7/15.2mm		
Material Cost	Reinforced Purchase	High Strength Steel (H13/H16~32)	14.4%
		Mild Steel (D13/D16~32)	
	Concrete Purchase	19-400-15	
		25-240-15	
P.S.C BOX			30.8%
Steam Curing			4.2%
Representative Construction Type Ratio(%)			97.70%
Representative Construction Type Ratio by Construction Fields(%)	Max.		98.96%
	Min.		95.80%

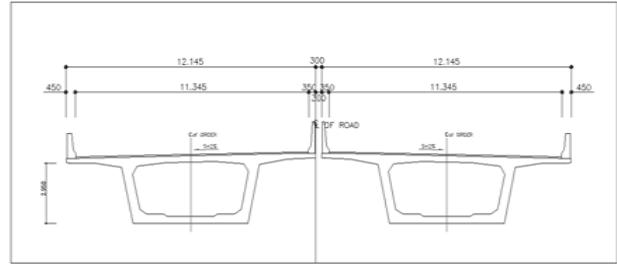


Fig. 2. Standard Drawing of Cross-section for I.L.M

3.2.1 대표공종 도출과 구성 비율 고찰

총공사비의 경우 2000년 이후에 설계 완료된 자료들로서 각 시기별 공사비를 일정기준시점의 공사비로 환산함으로써 공사의 시차에 따른 차이를 상쇄시켜 더욱 의미 있는 통계적 결과를 도출하였다. 이를 위해 건설공사비 지수를 도입하여 사용하였다(건설산업연구원, 2004).

ILM 교량의 상부공사 대표 공종은 Table 4와 같이 도출되었으며, 7가지의 대표공종으로 나타났다. I.L.M 교량의 대표공종들이 총 공사비 대비 차지하는 비율은 누적비율 97.70%이며, 다시말해서 이는 전체 공종들 중 도출된 대표공종 7가지가 대부분의 공종을 차지함을 알 수 있다. 대표공종들을 각 현장에 적용시켰을 경우 현장별 구성 비율은 95.80%~98.95%로 유의 수준 5%이내에 자료가 존재함을 알 수 있다.

3.3 표준단면 도출

표준단면 기반의 개략공사비 산출을 위해 I.L.M 교량의 대표 단면을 설정하였다. 대표단면은 가장 많이 사용된 교량 제원 형식을 채택하였으며 채택된 단면을 기반으로 가장 기본적인 3가지의 입력변수인 형고(3m), 교폭(24.3m), 경간장(50m)을 사용하여 표준 단면을 도출하였다.

3.4 입력변수간 상관관계 분석

도출된 대표공종과 각 하위 공종들을 활용하여 설계단계에서 파악되는 교량기본과정의 독립변수(대표공종의 하위공종)와 종속 변수(입력변수)와의 상관관계를 분석(Correlation Analysis)한다. 하위공종들에 적합한 입력변수를 후보 독립변수로 채택하여 설계 단계에서 개략공사비 산정 모델을 구축하고자 한다. 본 절에서는 설계단계에서 활용할 수 있는 가용정보를 입력변수로 적용한다. 사업초기단계에서 확정되는 가용정보로는 총연장, 차로수, 실수, 폭원, 상부높이, 상부면적(폭원*연장), 경간장, 경간수, 형고비(상부높이/경간장)를 고려할 수 있다. 상부높이와, 경간장의 경우 중앙부와 지점부를 구분하여 정보를 획득할 수 있으나 본 연구 범위가 개략공사비 산정 모델 구축임을 감안하여 입력변수 DB 구축

Table 5. Interpretation of R value (Source: Jang, S. K.(2006), Basic Static Data Analysis)

Coefficient of Correlation range (-1 ≤ r ≤ 1)	Coefficient of Correlation Interpretation
0.00 ~ 0.20	Almost No Correlation.
0.20 ~ 0.40	Low Correlation
0.40 ~ 0.60	Correlation
0.60 ~ 0.80	High Correlation
0.80 ~ 1.00	Very High Correlation

시 중앙부와 지점부의 평균값을 적용하였다.

연구대상의 입력변수들 중 상관계수 0.6이상의 변수를 독립변수로 선택하고, 총 공사비와 입력변수간 선형회귀모형을 구축한 결과, 모형의 결정계수값이 대체적으로 0.7 이상을 보임으로써 모형이 상당한 설명력을 나타내고 있음을 알 수 있다. 상관관계 분석에는 다음과 같은 식(1)이 적용되어진다.

(1) Correlation Analysis Model

(Source: Jung, Y. H.(2004), Static Data Analysis)

$$r = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{s \cdot s'}$$

\bar{x}, \bar{y} : Mean value of X and Y
 s, s' : Standard Deviation of X and Y

이러한 식을 통해 나온 값은 일련의 숫자로써 표현되지만 그 값이 가지는 의미를 객관적으로 설명해 주지는 못한다. 상관관계 분석에 대해서는 다음과 같은 설명에 따라 해석 가능하며 이러한 기준도 일반적인 것이며, 절대적 기준이라고 할 수 없으나 연구자나 연구 분야에 따라 상관관계의 해석이 다소 다르게 적용되기도 한다. 본 연구에서의 언어적 해석은 Table 5와 같다.

3.5 총 공사비와 입력 변수간의 추정식 및 산점도

종속변수인 총 공사비와 독립변수는 상관관계 0.6이상의 입력변수간의 개략적 산점도와 추정식을 도출하였다. 총 공사비의 경우 2000년 이후에 설계 완료된 자료들으로써 각 시기별 공사비를 일정기 준시점의 공사비로 환산함으로써 공사 관리의 목적상 물가변동에 따른 공사비 변동추이를 확인하기 위하여, 공사비를 구성하는 주요 요소이며 공사비에 직접적인 영향을 주는 재료비와 노무비, 경비의 가격 변화와 연동하여 산출하는 공사비 지수를 개념을 도입하여 같은 기준시점의 공사비로 환산하여 도입하였다(건설산업연구원, 2004).

연구대상의 입력변수들 중 상관계수 0.6이상의 변수를 독립변수로 선택하고(Table 6참조), 총 공사비와 입력변수간 선형회귀모형

Table 6. Equations between Total Cost & Input Variables

Input Variable	Correlation Coefficient	Equation	Correlation of Determination
Length	0.89	Y = 6E-08x + 16.432	0.79
Span	0.85	Y = 1E-09x + 1.4816	0.72
Lane	0.68	Y = 1E-10x + 3.074	0.47

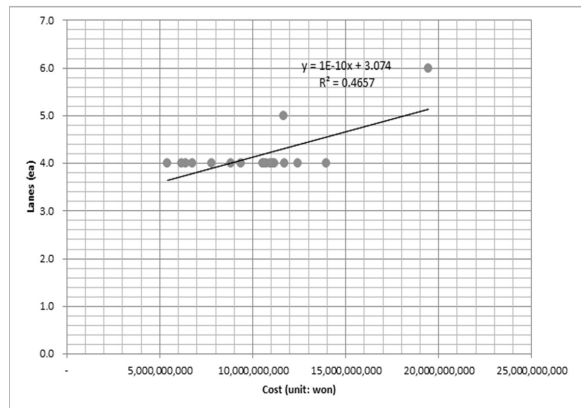
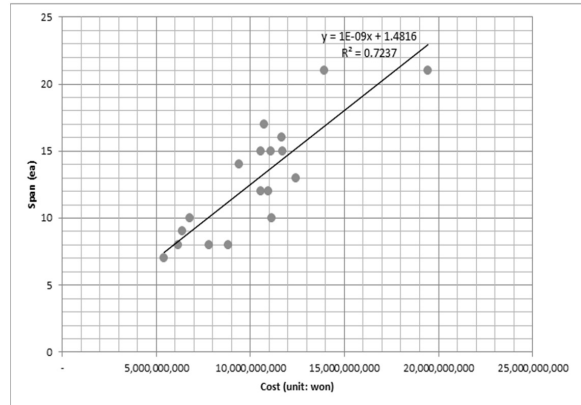
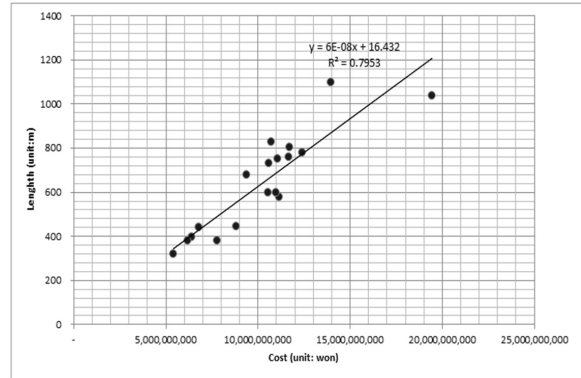


Fig. 3. Correlation between Total Cost & Input Variables

을 구축한 결과, 입력변수(차로수)의 모형 결정계수(R2)는 다른 입력 변수에 비해 상대적으로 적게 나타나고 있으나, 모형의 결정계수값이 대체적으로 0.7 이상을 보임으로써 모형이 상당한 설명력

을 나타내고 있음을 알 수 있다.

상관관계 분석에 대해서는 다음과 같은 설명에 따라 해석 가능하며 이러한 기준도 일반적인 것이며, 절대적 기준이라고 할 수 없으며 연구자나 연구 분야에 따라 다소 다르게 적용되기도 한다.

4. 개략공사비 모델 (I), (II), (III) 구축

위에서 언급한 내용들을 기반으로 표준 단면을 활용한 개략공사비 모델(I), 상관계수를 활용한 개략공사비 모델(II)을 구축하며, 다중회귀분석을 활용한 개략공사비 모델(III)을 구축하였다.

4.1 표준단면 기반 개략공사비 모델 (I)

ILM 교량 중 가장 많이 사용되는 제원을 표준단면으로 설정하였고 그 결과 형고 3m, 교폭 24.3m, 경간장 50m의 수치를 표준단면의 제원으로 설정하게 되었다. 본 절에서 제시하는 표준단면은 수집한 자료에 기반하므로 ILM 설계 시 일반적으로 활용되는 표

Table 7. Unit Quantities for Standard Volume (m³)

Representative Construction Type	Low Rank Work Classification	Unit	Unit Quantity
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)	ton/m ³	1.065
	19-400-15	m ³ /m ³	3.774
Form	Plywood 1 (Number)	m ² /m ³	0.139
	Plywood 3 (Number)	m ² /m ³	0.705
	Plywood 6 (Number)	m ² /m ³	0.009
Reinforcing Bar Assembling	Complication	ton/m ³	1.024
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	m ³ /m ³	3.475
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assemble (D90mm)	m/m ³	3.884
	Sheath Tube Assemble (D66mm)	m/m ³	9.196
	Anchorage Device Installation (12.7mm)	EA/m ³	0.035
	P.S.C Steel Installation (straight)	ton/m ³	0.111
	P.S.C Steel Installation (Curve)	ton/m ³	0.060
	Steel Tension work (12.7mm)	EA/m ³	0.031
	Milk Grouting (12.7mm)	m/m ³	1.656
	P.S.C Box (1set)	won/m ³	800,050
	Steam Curing (1set)	won/m ³	120,544

준단면이라고 단정 지을 수는 없다. 본 연구에서 제시하는 개략적인 ILM의 표준 단면 및 체적(표준단면*경간장)을 도출함으로써 표준 체적을 기반으로 표준 체적당 대표공종들의 대표공종과 하위공종의 단위당 물량을 표준화시켰다. 본 절에서 제시하는 표준체적 이외의 추정물량 산식[(교량폭원/24.3)*(형고/3.0)*(경간장/50)]을 통해 보정계수를 산출하여 대표공종의 단위물량에 계수를 곱하면 추정코자 하는 체적의 대표공종 기반의 물량을 손쉽게 도출할 수 있다. Table 7은 위의 과정을 통한 단위물량 결과이다.

4.2 상관계수 기반 개략공사비 모델(II)

본 절에서는 대표공종의 하위공종과 높은 상관성을 가지는 각각의 입력변수를 선택하는 과정을 진행하고자 한다. 하위공종에 그에 적합한 입력변수를 도출하기 위해 독립변수 간 Pearson 상관계수와 대표공종 7가지의 하위 대표공종 20공종에 대해 Pearson 상관계수를 도출하였다.

사용자 입장에서 보다 쉽게 접근할 수 있도록 대표공종과 가장 적합하며, 상관성이 높은 입력변수를 선택하여 공사비 산정모델을 구축하였다. 각 하위공종과 적합한 입력변수를 선택하여 변수들을 기반으로 물량 산출식을 도출한다. 이는 여러 입력 변수들 중 상관계수 0.6이상으로 상관관계 언어적 해석상 상관성이 높은 변수들을 추출하고 해당 입력변수들을 기반으로 설정하였다. 이중 P.S.C Box 공종과 증기양생 공종은 구체적인 물량이 없기 때문에 물량의 해당 단가를 산출(모델 I,III 동일)하였다. 본 연구에서는 이러한 모델을 개략공사비 산정모델(II)라고 정의하였다.

4.3 다중 회귀분석 기반 개략공사비 모델 (III)

다중회귀분석 기준의 개략 공사비 산정모델 개발을 위해 우선적으로 각 공종과 강력한 상관관계를 가지는 여러 가지 입력변수들을 선정하고 이를 활용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석(Multiple-Regression)은 독립변수의 수가 여러 개인 회귀분석을 말하는 것으로 종속변수와 다른 여러 변수들과의 관계를

Table 8. Pearson Coefficient among independent variables

	No. Lane	Length	Width	Height	Span	Height Ratio	No. Span
No. Lane	1						
Length	0.46	1					
Width	0.77	0.40	1				
Height	-0.16	0.20	0.78	1			
Span	-0.14	0.00	-0.06	0.64	1		
Height Ratio	-0.07	0.28	0.16	0.60	-0.23	1	
No. Span	0.52	0.98	0.43	0.64	-0.19	0.26	1

Table 9. Pearson between dependent & independent variables

	No. Lane	Length	Width	Height	Span	Height Ratio	No. Span
High Strength Steel (H13mm)	0.139	0.110	0.149	0.232	0.612	-0.294	0.054
High Strength Steel (H16~32mm)	0.569	0.715	0.497	-0.083	0.038	-0.133	0.734
19-400-15	0.803	0.780	0.703	0.106	0.149	-0.018	0.784
25-240-15	-0.264	-0.327	0.142	0.999	0.948	0.984	-0.406
Sheath (D90mm)	0.607	0.968	0.391	0.293	0.177	0.348	0.939
Sheath (D66mm)	0.282	0.842	0.387	0.282	0.077	0.313	0.796
Anchor Device Installation (12.7mm)	0.831	0.682	0.675	0.127	0.163	-0.007	0.662
P.S.C Steel Installation (straight)	0.834	0.903	0.696	0.141	0.198	-0.021	0.874
P.S.C Steel Installation (Curve)	0.237	0.822	0.194	0.249	-0.164	0.520	0.786
Steel Tension (12.7mm)	0.818	0.682	0.660	0.128	0.171	-0.013	0.659
Milk Grouting (12.7mm)	0.808	0.477	0.679	-0.248	-0.053	-0.268	0.532
Plywood 1st	-	0.815	0.466	0.577	0.649	0.346	0.602
Plywood 3rd	0.628	0.130	-0.080	-0.639	-0.396	-0.254	0.211
Plywood 6th	-0.141	0.374	-0.238	0.568	-0.702	0.911	0.367
Assemble (General)	-	0.194	-0.202	0.057	0.604	-0.357	0.103
Assemble (Complicated)	0.571	0.620	0.512	-0.086	-0.140	0.030	0.641
Plain Concrete	-	0.178	0.717	0.618	-0.391	0.651	0.165
Concre Placementr	0.682	0.945	0.586	0.189	-0.035	0.295	0.940
P.S.C Box	0.481	0.637	0.425	0.345	0.225	0.212	0.572
Steam Curing (1set)	0.347	0.743	0.200	0.285	0.264	0.114	0.671

하나의 간단한 모형으로 나타내기 위한 것이다. 다중회귀분석을 실시하기 위해 종속변수로는 각 대표공조의 하위공종을 독립변수로는 상관계수 0.6이상의 모든 입력변수들을 선택하였다. 회귀분석을 이용한 개략 공사비 추정식을 구하기 위해 통계패키지 프로그램으로 가장 대중적이며 널리 활용되고 있는 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences) Ver. 12.0을 이용하였다. 0.6이상의 상관성을 가지는 입력변수들 중 독립변수간의 심한 다중공선성(Multi-Collinearity)은 3개 이상의 독립변수들 간의 강한 선형관계를 의미하며 회귀분석 결과를 왜곡시켜 특정 독립변수의 종속변수에 대한 독자적인 효과를 측정하는 것이 불가능하게 한다(김두섭, 2008). 다중공선성 문제는 회귀모형 설정에 기인하는 것이 아니라 주로 자료의 결함에서 야기되고 일반적으로 독립변수간의 상관관계가 독립변수와 종속변수간의 상관관계보다 높을 경우 다중공선성을 고려해야하며, 본 연구에서는 다중회귀분석을 실시하기 전 다중공선성 진단기준에 의거하여 회귀모형에 일반화시키기 어려운 독립변수간 상관관계가 종속 독립변수관계보다 높은 입력독립변수로 채택하였다. 독립변수 선택방법은 최적 변수를 범위에서 제하였다. 다중공선성의 의심이 없는 상관계수 0.6이상인 입력변수들을 다중회귀분석의 모형을 이룰 수 있는 변수들만을 선택하는 방법들 중 후진제거²⁾방법을 실시하였다. 각 공종별로 산정된 추정식에

해당 교량의 입력변수들을 입력하여 계산함으로써 해당 공종의 개략적인 물량을 산출하였고 해당 교량의 단가를 곱하여 최종적인 개략공사비를 산출하였다. 통계적 기법을 활용한 개략공사비 산정 모델(III)은 Table 10과 같다.

5. 개략공사비 예측모델 검증

본 연구에서 모델(I), (II), (III)를 모두 제시하는 이유는 검증을 통해서 3가지 모델이 모두 신뢰도 측면에서 적합할 경우 개략공사비를 산정하는 기본설계단계에서 기존 공사비 산정모델에 비해 편차가 만족스러울 경우 보다 사용하기 편리하거나 혹은 보다 신뢰적인 결과를 얻고자하는 등 목적이 다른 사용자들에게 적합한 모델들을 제공하고자 함이다.

대표공종 기반의 예측모델을 기반으로 예비타당성조사, 투자평가지침서 그리고 본 연구에서 제시하는 모델(I), (II), (III)를 비교하였다. 검증대상은 2000년 이후 설계 완료된 I.L.M 특수 교량 연구과정에서 적용된 18개의 적용대상에 포함시키지 않았던 5개 I.L.M

2) 여러 개의 독립변수들 가운데, 최적모형을 이룰 수 있는 변수들만을 선택하는 방법들 중 n개의 독립변수를 포함하는 하나의 회귀방정식에 F-통계량을 가장 작게 만드는 변수를 하나씩 찾아 제거해 나가는 방법

Table 10. Multiple Regression Equation of Approximate Cost Estimation Model (III)

Factors (ILM)		R2	Modified R2	Variables	Estimated regression equation
1	High Strength Steel (H13mm)	.475	.427	Span	$Y=14.550 \cdot X5 - 551.059$
2	High Strength Steel (H16~32mm)	.539	.510	Length/No. Span	$Y=240.554 \cdot X7 - 434.893$
3	19-400-15	.939	.920	No. Lane/Span/Width/No. Span	$Y=4686.219 \cdot X1 + 306.017 \cdot X3 + 376.958 \cdot X5 + 648.191 \cdot X7 - 42363.6$
4	25-240-15	.999	.998	Span/Height/Heithgt Ratio	$Y=8132.155 \cdot X4 - 22102.4$
5	Sheath(D90mm)	.989	.986	No. Lane/Length/No. Span	$Y=20.503 \cdot X1 + 3225.108 \cdot X2 - 13659.7$
6	Sheath (D66mm)	.708	.688	Length/No. Span	$Y=47.012 \cdot X2 - 907.518 \cdot X7 + 13845.667$
7	Anchor Device Installation (12.7mm)	.807	.782	No. Lane/Length/Width/No. Span	$Y=109.642 \cdot X1 + 0.145 \cdot X2 - 428.608$
8	P.S.C Steel Installation (straight)	.964	.958	No. Lane/Length/Width/No. Span	$Y=0.558 \cdot X2 + 158.255 \cdot X1 - 633.016$
9	P.S.C Steel Installation (Curve)	.682	.640	Length/No. Span	$Y=0.881 \cdot X2 - 14.184 \cdot X7 - 173.958$
10	Steel Tension (12.7mm)	.790	.762	No. Lane/Length/Width/No. Span	$Y=96.105 \cdot X1 + 0.133 \cdot X2 - 381.111$
11	Milk Grouting (12.7mm)	.658	.612	No. Lane/Width	$Y=7484.562 \cdot X1 - 230.245 \cdot X3 - 21567.4$
12	Plywood 1st	.970	.961	Length/Span/No. Span	$Y=0.671 \cdot X2 + 19.281 \cdot X5 - 971.024$
13	Plywood 3rd	.548	.475	No. Lane/Height	$Y=1003.809 \cdot X1 - 2466.330 \cdot X4 + 7067.737$
14	Plywood 6th	.853	.804	Span/Height Ration	$Y=44776.316 \cdot X6 - 2641.447$
15	Assemble (General)	.504	.254	Span	$Y=57.246 \cdot X5 - 2575.599$
16	Assemble (Complicated)	.439	.364	Length/No. Span	$Y=221.332 \cdot X7 - 393.210$
17	Plain Concrete	.648	.437	Width/Height Ration/Height	$Y=51.938 \cdot X3 + 157.219 \cdot X4 + 4178.243 \cdot X6 - 1773.111$
18	Concre Placementr	.974	.970	No. Lane/Length/No. Span	$Y=19.165 \cdot X2 + 3341.115 \cdot X1 - 13460.5$
19	P.S.C Box	.406	.639	Length	$Y=2154957 \cdot X2 + 1.62E+09$
20	Steam Curing (1set)	.615	.563	Length/No. Lane	$Y=743074.6 \cdot X2 - 2.4E+07 \cdot X1 + 2.5E+08$

No. Lanes: X1	Length: X2	Width: X3	Height: X4	Span: X5	Height Ration: X6	No. Lanes: X7
---------------	------------	-----------	------------	----------	-------------------	---------------

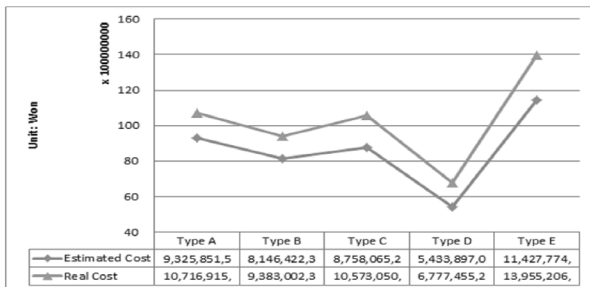


Fig. 4. Validations of Approximate Cost Estimating Model (I)

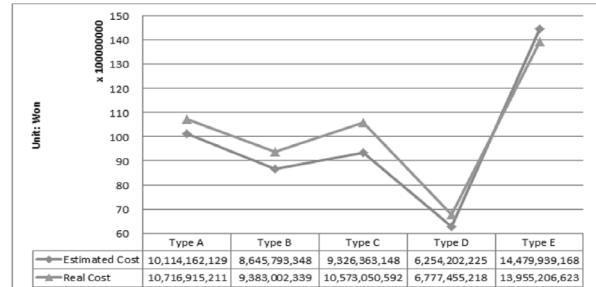


Fig. 6. Validations of Approximate Cost Estimating Model (III)

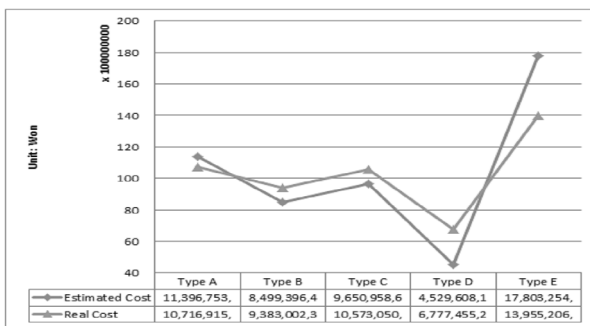


Fig. 5. Validations of Approximate Cost Estimating Model (II)

교량 공사현장을 대상으로 검증을 실시하였다.

검증의 결과를 살펴보면 2000년 이후 실제로 수행된 공사비와 본 연구에서 제시한 개략공사비 모델(I), (II), (III)은 개산견적 산출과정에서 적합함을 알 수 있다. 공사 종료 후의 실제 정산된 실제 공사비 기준으로 개략공사비 모델(I)과 개략공사비 모델(II), 개략공사비 모델 (III)의 편차를 살펴보면 표준단면 기반의 공사비 모델(I)의 편차가 -12.98%~19.82%로 나타났고, 개략공사비 모델 (II) 편차가 27.57%~33.17%이며, 마지막으로 개략공사비 모델

Table 11. Comparison of Actual Cost vs. Modeling Values

Bridge Type	Model(I)	Model(II)	Model(III)
Type A	-12.98%	6.34%	-5.62%
Type B	-13.18%	-9.42%	-7.86%
Type C	-17.17%	-8.72%	-11.79%
Type D	-19.82%	-33.17%	-7.72%
Type E	-18.11%	27.57%	3.76%

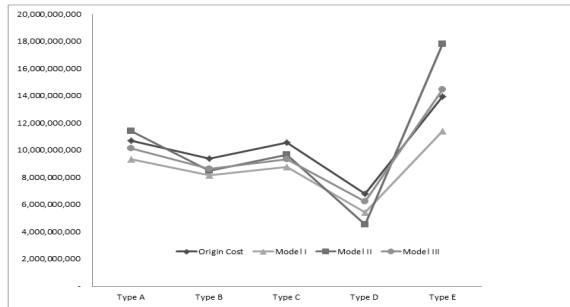


Fig. 7. Comparison of Actual Cost vs. Modeling Values

(III)의 편차가 3.76%~11.79%를 나타내고 있다.

이를 감안할 때 다중회귀분석을 실시한 개략공사비 모델 (III)가 실공사비 대비 편차가 타 공사비 모델에 비해 비교적 정교함을 알 수 있다. 검증에 사용된 5개 교량의 편차와 원 공사비 대비 개략공사비 모델(I,II,III)의 통합적 검증은 위와 같다.

6. 결론 및 시사점 도출

본 연구는 도로의 평균 단가를 기준으로 개략공사비를 산정하는 국내 도로사업의 산정방식에서 나타나는 한계점들을 보완하기 위해 대표 공종 기반의 개략공사비 산정방식을 도입하였으며 주 응용도구로서 통계적 기법을 활용한 다중회귀분석을 실시하였다. 이는 평균건설단가를 적용하여 개략적 공사비를 산출하는 기존 방법을 벗어나 대표물량기반의 다양한 입력변수 활용하여 통계적 기법기반의 새로운 방식을 제시함으로써 선행 연구들에서 제시하는 방법들 또한 오차 범위 측면에서 바라볼 때 그 활용가치가 높다. 통계적 기법기반의 개략공사비 모델(II), (III)는 사용자 이용 측면에서 실용성이 높을 것으로 판단된다. 각 모델의 장단점으로는 개략공사비 모델(I)은 기존에 사용되어 익숙한 방식의 개략공사비 산출 방법이지만 정확도 측면에서 가장 불안정하다. 개략공사비 모델(II)는 사용자 이용 측면에서 몇 가지 입력변수만을 알면 사용이 가능하므로 상관성이 높은 입력변수 대부분을 고려하는 개략공사비 모델(III)보다 용이하게 접근될 것으로 판단된다. 하지만 공사비의 정확도에서는 개략공사비 모델(III)보다 떨어진다는 점을 알

수 있다. 개략공사비 모델(III)은 개략공사비 모델(II)에 비해 사용자 이용측면에서 편리하지 못한 시스템으로 활용도가 낮을 것으로 판단된다. 하지만, 보다 신뢰성 있는 결과 도출을 위해서는 다중회귀 분석 기반의 개략공사비 모델(III)을 사용하여야 한다. 3가지 개략 공사비 산출 모델은 상세건적 이전의 개략 건적에서 보다 실질적인 공사비 예측을 가능하게 하며, 기존 개략공사비 산정 방법에 비해 형평성 있고, 지속적인 공사비 DB축적을 통해서 공사비 대안비교 등 주요 용도에서 폭넓게 활용될 것으로 기대된다. 향후 데이터가 축적된다면 연구에서 제외된 P.S.C Box Girder 교량의 다른 공법들에 대해서도 연구가 필요하다고 판단된다. 본 연구를 통해 국가 차원의 통합적 데이터 관리시스템의 도입 필요성에 대해서도 제기하고자 한다. 이를 통해 일반화된 기준과 지속적인 DB구축은 향후 더욱 신뢰적이고 정밀한 공사비 산정모델에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

감사의글

본 연구는 국토해양부 건설기술기반구축사업의 연구비지원(과제번호:06기반구축A03)에 의해 수행되었습니다.

References

Bruce L. Bowerman et al.(2004), “Business Statistics”.

MOCT. (2007a). “Guideline for investment evaluation,” Ministry of Construction and Transportation (MOCT), Seoul (in Korean).

MOCT. (2007b). “Guide for road construction,” Ministry of Construction and Transportation (MOCT), Seoul (in Korean).

KDI. (2004). “Guideline for preliminary feasibility study; Road and Railway-Ver. 4,” Korea Development Institute, Seoul (in Korean).

Park, J. H. and Lee, T. S. (2003). “Methodology for a cost estimating on the project of a composite facility.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 23, No. 1-D, pp. 69-78.

Lee, Y. S. (2003). “Development of construction cost model through the analysis of critical work items.” *Journal of Construction Management*, KICEM, Vol. 4, No. 4, pp. 212-219.

Trost, S. M. and Oberlender, G. D. (2003). “Predicting accuracy of early cost estimates using factor analysis and multivariate regression,” *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 129, No. 2, pp. 198-204.

Kyong Ju Kim, Kyoungmin Kim, and Chan Sung Kang(2009) “Approximate Cost Estimating Model for PSC Beam Bridge Based on Quantity of Standard Work,” *Journal of Civil Engineering*, Korean Society of Civil Engineers, 13(6), 2009. 11. pp. 377-388 (in Korean).

Kyong Ju Kim, Kyoungmin Kim(2010), “Preliminary Cost Estimation Model Using Case-Based Reasoning and Genetic Algorithms,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of

- Civil Engineers, 24(6), 2010. 11. pp. 499-505.
- Kang, C.S, Lim W.S., Kim K.M and Kim K.J.(2007), "Approximate Estimating Model for PSC BEAM Bridge Using Influence Factors," KICEM (2007-11).
- Kang, C.S, Lee G.H, Kim K.M and Kim K.J.(2008), "Approximate Estimating Model Using the Case Based Reasoning," KICEM (2008-11).
- Park, J. H. and Lee, T. S. (2002). "Development of the cost analysis format for road construction project." *Journal of Civil Engineering*, KSCE, Vol. 22, No. 2-D, pp. 259-269.
- Hong T.H.(2008), "Cost prediction model of Public Multi-housing Projects in Schematic Design Phase," KICEM, Vol. 9, No. 3 pp. 65-74.
- Park M.S.(2008), "Method of Quantity Data Analysis for Building Construction Cost Estimation : Focusing on Finish Work of Public Apartment Project," KICEM, Vol. 9, No. 6, pp. 235-243.
- MOCT.(2007), "Civil Quantity Works calculated based on guidelines," Ministry of Construction and Transportation (MOCT), Seoul (in Korean).
- Kim K. J.(2007), "Quantity - Theory and Practice," Gumi Books (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Marine Affairs(2004), "Volume reduction through the advancement of PSC box girder bridge design".
- Cho, J. H.(2008), "Development of an Activity-Based Conceptual Cost Estimating Model for P.S.C Box Girder Bridge," KICEM (2008-11).
- Park S. H.(2008), "Object & Parameter based Schematic Estimation Model for Predicting Cost of Building Interior Finishings," KICEM, Vol. 9, No. 6, pp. 175-184.
- Jung, Y. H.(2004), "Static Data Analysis".
- Jang, S. K.(2006), "Basic Static Data Analysis".
- Kim D. S.(2008), "Regression analysis Fundamentals and Applications" pp. 209-228.
- KICT(2011), "Development of Cost Estimating Model; Bridge and Tunnel," Research Report.