대표공종 기반의 PSC Box 교량 상부공사 개략공사비 산정모델에 관한 연구

김상범* · 조지훈**

Kim, Sang-Bum*, Cho, Ji-Hoon**

Development of the Approximate Cost Estimating Model for PSC Box Girder Bridge based on the Breakdown of Standard Work

ABSTRACT

Needs for developing a better way of cost estimating process for public construction projects have been widely recognized. Those needs are mainly from the early phases of the project through the construction life cycle due to the its importance to the control process. In contrast to the traditional estimating method based on unit-price references, this research utilized this following process. The first step is analyzing the real cost data from actual cost activities (2000~2010) about the statement of P.S.C(Prestressed Concrete) Box Girder Bridge. The collected data was broken into four categories based on technical construction methods such as I.L.M(Incremental Launching Method), M.S.S(Movable Scaffolding System), F.S.M(Full Staging Method), and F.C.M(Free Cantilever Method). The second, actual design documents including the actual cost estimating documents, drawings and specifications were carefully reviewed to cluster the cost itemized statement from four categories. It was also attempted to seek the proper breakdown of standard works that are responsible for more than 95 percentage in each categories in terms of its cost. The third, this research comes up the index for standard unit materials and unit price of standard work and develops the approximate estimating model applying for the specification(length and breadth of bridges) per square area that the user takes as well as suggests the practical application plan within the original time allotted.

Keywords : P.S.C Box Girder Bridge, Approximate Estimating, Breakdown of Standard Work

초 록

국내 도로 건설사업의 사업초기단계에서의 개략공사비 산정은 예비타당성조사, 도로업무편람, 투자평가지침에서 제시하는 도로의 평균단가 또는 표준단가를 기준으로 도출되는데 이는 공사비 산정 표준체계 부재 및 기초자료 갱신 평균단가를 적용하여 공사비를 산출하는 방식으로 본 연구의 대상인 특수 교량공사의 특성을 전부 반영하기에 미흡한 실정이다. 또한, 신속한 의사결정이나 대안선택이 결정되는 설계단계에서 소모적이고 획일적인 공사비 산정방식의 한계점을 개선하고 사업초기단계의 개략공사비산정 프로세스의 효율성 및 신뢰도를 높이기 위한 새로운 공사비 산정 모델을 개발이 요구된다. 이에 본 연구에서는 평균건설단가를 적용하여 개략 공사비를 산출하는 기존 방식에서 벗어나 대표공종 기반의 상세물량입력 모델을 구축하였다. 실적 공사비 데이터 및 공종별 원자료를 기반으로 토목공사 수량산출 지침서 기준 전체 공종내역 중 공사비 누적비율 대비 95%이상을 차지하는 대표적인 공종을 도출하였다. 상부면적당 대표공종기반 단위물량 및 차로수별 공사비단가를 제시하고, 이를 활용하여 교량형식별로 상부면적당 공사비단가를 도출 및 검증을 통해 사업초기단계에서 업무추진 의사결정의 신뢰적 지원 및 효율적인 공사비 산정방식을 도출 하였다.

검색어 : PSC 박스 거더교, 개략공사비, 대표공종

* 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 건설 사업은 원가관리 효율화 측면에서 사업초기단계의 중요성을 인식하고 있음에도 예비타당성조사, 투자평가지침서, 도로업무편람, 한국도로공사 자료 등 각 지침에서 최근 완료된 유사 실시설계의 평균 단가 실적 데이터를 적용하여 사업초기단계의 단위 연장 및 면적당 평균건설 공사비를 적용하고 있다. 또한 지침별, 발주처 및 주무관청별 개별적 기준 적용은 사업별 공사비 파악을 위한 최적의 계획을 수립하는 사업초기단계 개략 공사비 산정 시 지침단가의 획일화 및 공사비 데이터 갱신관리 기준 미비와 큰 오차율로 인해 신뢰도 저하의 문제가 발생한다. 뿐만 아니라 특수한 교량공사의 경우 형평성 및 사업의 특성을 제대로 반영하지 못하고, 신속한 의사결정이나 대안선택이 결정되는 건설 사업초기 단계에서 현행의 경우 수량산출 지침서를 전체적으로 살펴야하는 비효율적인 공사비 산정방식을 적용함으로써 사업추진 의사결정에 필요한 신속하고 신뢰성이 검증된 물량 추정모델 구축이 절실히 요구된다. 본 연구에서 제시하는 모델은 설계완료 이전 개략적 공사비 산정 업무의 표준체계를 구축하여 기존 공사비산출방법을 개선하고 공사비 적정성 및 신뢰도를 향상시킬 것으로 기대된다. 또한 대표공종을 기반으로 PSC 박스 거더교와 같은 특수교량을 대상으로 대표물량공종 기반의 물량입력 모델을 개발함으로써 설계반영을 위한 다양한 영향요인을 고려하여 개별 공공 건설공사의 특성에 적합하도록 모델을 개발하고 2000년 이후 공사비 실적 데이터(77개소) 및 설계자료 DB를 기반으로 연구를 진행하며, 설계가 완료된 실적 공사비 데이터에 현행 공사비 산정방식과 본 연구에서 제시하는 추정 물량과 단가를 비교 검증하고자한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

개략공사비 산정모델을 개발하기 위한 연구방법은 첫째, 기존의 공사비 산출방식 및 선행연구에서 제시한 건설 사업초기단계 개략 견적방법들에 대한 고찰을 통해 기존의 국·내외 공사비 예측방법을 살펴봄으로써 한계점을 도출한다. 둘째, 수집된 정보를 DB화하고 이 중에서 유효한 값들을 재구성하여 현황 및 공사비 구성 비율 등에 대한 분석을 실시한다. 셋째, 총공사비에서 공사비 비중 및 해당 공종에서의 중요도가 높은 항목을 중심으로 설계 초기단계에서 가용한 정보 수준을 고려하여 각각의 공사를 구성하는 대표공종과 그 하위공종을 추출한다. 넷째, 하위공종별로 상부면적당 단위 물량과 왕복2, 4차로의 차로수별 공사비단가를 도출하고 이를 기반으로 상부면적당 공사비단가를 도출하여 최종적으로 개략공사비 산정모델을 제시하며, 이를 적용하여 본 연구에서 제시하는 추정 공사비와 현행 공사비 산정방식에서의 결과를 비교·검증한다.

Fig. 1. Research Methodology

본 연구의 범위는 크게 건설생애주기과 도로공사의 대공종을 기준으로 정의하였다. 첫째, 본 연구에서는 건설생애주기에 따라 가용한 정보의 범위와 깊이가 상이한 점에 착안하여 개략공사비 산정에 많은 노력과 시간이 요구되는 설계단계, 그 중에서도 기본설계단계를 대상으로 모델을 개발하였다. 둘째, 2000년 이후 설계 완료된 특수 교량공사자료 중 대표적 특수 교량인 I.L.M (Incremental Launching Method), M.S.S(Movable Scaffolding System), F.C.M(Free Cantilever Method), 그리고 F.S.M(Full Staging Method)으로 연구 범위를 한정하여 국내 도로 건설공사의 대공종별 토공, 배수공, 교량공, 터널공, 부대공, 포장공, 교통안전 시설공 중 교량공을 대상으로 하였다.

1.3 이론적 고찰

기존의 공사비 산출방식을 살펴보면 현재 국내 발주기관들이 도로건설사업의 예산을 책정하고, 이를 입찰 등의 단계에서 활용하는 공사비 산정방식은 교량의 형식, 연장, 차로 수, 교량 폭원 등의 특성을 반영하여 한국도로공사의 고속도로건설 평균단가를 제시하는 「도로·철도 부문사업의 예비당성조사」(KDI, 2008), 교량의 면적당 단가를 적용하여 최근 3년 내 완료된 유사 실시설계의 평균 단가를 적용하는 「공공 교통시설 개발 사업에 관한 투자평가 지침서」(건설교통부, 2007), 교량의 폭원과 연장을 고려하여 평균 단가를 산정한 「도로업무편람」(국토해양부, 2008) 등이 있다. 국외 발주기관의 경우 캘리포니아 교통국(Caltrans)에서는 사용자가 구조물의 개략공사비 추정 시 활용할 수 있도록 교량 형식별

적정기간 길이범위 및 그에 따른 비용범위를 면적당 단가로 제시하여 교량에 대한 실적 데이터를 제공하고 있다(김경주, 2007). 이들 산정모델들은 단위 연장/면적당 단가를 산출하여 공사비를 산정할 수 있도록 실적 데이터를 구축하고 있으나 지침단가의 획일화, 공사비 데이터 갱신관리 기준 미비로 인하여 오차율이 크고 신뢰도가 높지 않아 여러 한계점이 나타난다.

국내·외 개략공사비 추정 기법에 관한 선행 연구를 살펴보면 사업초기에 적용가능한 개략견적방법은 비용지수법(Cost Index Method), 비용용량법(Cost Capacity Method), 계수견적법(Factor Estimating Method), 변수견적법(Parameter Estimating Method), 기본단가법(Base Price Method) 등이 있으나 이 또한 P.S.C Box교량과 같은 특수교량의 특성과 성격 및 설계단계의 사용자 및 기관의 공사비 산정목적에 따라 적절한 정밀도를 예측하지 못한다. 뿐만 아니라 신속한 의사결정이나 대안선택이 결정되는 설계단계에서 기존의 수량산출 지침서를 전체적으로 살펴야하는 소모적이고 획일적인 공사비 산정방식의 한계점이 발생하는데 기존의 방식으로 는 사업초기단계의 개략공사비산정에 적합하지 못하다. 이에 본 연구에서 교량건설사업의 초기 설계단계에서 예산 책정을 위해 정확한 공사비를 신속하고 효율적으로 예측할 수 있도록 사용자 입장에서의 개략공사비 산정 모델을 제시하고자 한다.

2. 교량 형식별 대표공종 추출

2.1 자료수집현황

특수교량 77건의 2000년 이후 설계된 공사의 설계자료와 설계도서(보고서/내역서/도면/수량산출서 등)를 분석하였다. 교량 형식별 대표공종을 도출하기 위하여 수집된 자료를 토목공사와 관련한 수량산출 지침서¹⁾의 분류체계를 기준으로 내역분기를 실시하였으며, 이 때 내역분기는 상부공사에 한정하여 실시하였다. 2000년 이후 설계된 특수교량 77건의 설계자료와 설계도서(보고서/내역서/도면/수량산출서 등)를 수집 및 분석하였다. 교량 형식별로 대표공종을 도출하기 위하여 수량산출 지침서의 분류체계를 기준으로 내역분기를 실시하였으며, 전체 공사비에서 각 공종별 공사비의 비율과 누적비율을 통해 교량 형식별로 대/중/소 분류체계로 대표공종을 도출한다. 본 연구를 위해 수집된 자료 현황을 살펴보면 다음 Table 1, 2와 같다.

Table 2에서 확인되는 바와 같이 교량 형식별로 상부공이 총공사비에서 차지하는 비율은 평균 62.5%(56.1%~65.7%)로 매우 큰 것을 알 수 있다. 또한, 상부공의 경우 공사비의 영향요인이 제한적임을 감안하여 본 연구에서는 상부공에 그 범위를 한정하여 공사비 추정 모델을 개발하고자 한다.

1) 건설교통부(2007), “토목공사 수량산출 기준지침서”

Table 1. Classification by Bridge Types

Model	Express Highway	Route	Total
I.L.M	34(91.9%)	3(8.1%)	37(48.0%)
M.S.S	10(76.9%)	3(23.1%)	13(16.9%)
F.C.M	10(76.9%)	3(23.1%)	13(16.9%)
F.S.M	14(100.0%)	0(0.0%)	14(18.2%)
Total	68case(88.3%)	9case(11.7%)	77case

Table 2. Cost Compositions by Bridge Types

Classification		I.L.M	M.S.S	F.C.M	F.S.M
Upper Work		56.1%	65.7%	65.2%	63.3%
Under Work	Pier	23.5%	19.4%	15.2%	18.1%
	Abut	3.3%	1.8%	2.5%	2.8%
	Foundation	6.9%	4.5%	5.1%	6.9%
Secondary Work		3.9%	1.9%	2.6%	1.0%
Earth Work		6.3%	6.7%	9.4%	7.9%
Total		100%	100%	100%	100%

Fig. 2. Progress Measurement for Specified Activity

2.2 대표공종과 하위공종 도출

교량형식별 공종을 기반으로 대표공종을 도출하기 위하여 총공사비 대비 상위공종들과 각 상위공종을 구성하는 하위공종별로 공사비를 분개하였다. 최소한의 대표공종과 이를 구성하는 하위공종만으로 정확한 개략공사비를 산정하기 위해 총공사비 대비 누적비율 95% 이상을 차지하고 있는 대표공종을 추출하였다(Figure 2, 3참조). 대표공종을 구성하고 있는 하위공종들의 전체 공종 대비 차지하는 공종수 비율을 살펴 본 결과, 10.41%~17.42%로 약 15%내외이며 공종수만을 비교했을 때 그 비중이 적으나 공사비에서 차지하는 비율은 매우 높음을 알 수 있었다(Table 4 참조).

Table 3. Critical Cost Elements by Bridge Types

Work Classification	Level 1	Level 2	Level 3
Common (1)	Form	Plywood	1st/3rd/4th/6th
Common (2)	Reinforcing Bar Assembling	Complication	Mild Steel/High Strength Steel
Common (3)	Concrete Placement	Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)
Common (4)	P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling	D=110mm
			D=100mm
			D=90mm
			D=66mm
		Anchorage Device Installation	12*12.7mm
			19*15.2mm
		P.S.C Steel Installation	Straight Line
			Curve Line
		P.S.C Steel Tension work	12*12.7mm
			19*15.2mm
Common (5)	Material Cost	Reinforced Purchase	High Strength Steel (H16~32mm)
		Concrete Purchase	Remicon (19-400-15)
Common (6)	P.S.C Box		
Special (7-1)	Steam Curing		I.L.M
Special (7-2)	Waterproofing	Liquid Waterproofing	M.S.S/ F.C.M
Special (7-3)	Supporting Post	Steel Tube	F.S.M

이는 최소한의 공종의 물량과 공사비를 파악함으로써 상부공 공사비를 예측할 수 있다는 것을 나타내며, 이에 대한 근거로서 도출된 대표공종의 공사비가 실제 상부공 총공사비 내에서 차지하는 누적 비율은 97.81%~99.15%라는 점을 알 수 있고 상세한 내용은 Table 4에서 별도로 제시하였다.

Table 4에서는 이러한 공종을 특수공종으로 분류하여 제시하였다. 본 연구에서 제시하는 교량 형식별 대표공종과 하위 분류체계는 개략공사비 산정을 위한 기초자료뿐만 아니라 특수 교량공사에서 상세 내역을 파악하기 전 단계에서 필수공종 파악 시 활용 가능할 것으로 기대된다.

Table 4. Cost Composition of Bridge Superstructure

Classification			I.L.M	M.S.S	F.C.M	F.S.M
W o r k	C o s t R a t i o	P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	30.60%	22.66%	45.90%	31.60%
		P.S.C Box	30.80%	49.07%	34.30%	27.30%
		Material Cost	14.40%	13.11%	9.00%	8.30%
		Reinforcing Bar Assembling	14.90%	11.60%	5.90%	15.70%
		Concrete Placement	1.50%	1.65%	1.10%	2.80%
		Form	1.30%	0.44%	1.70%	8.90%
		Steam Curing	4.20%	-	-	-
		Waterproofing	-	0.63%	1.00%	-
		Supporting Post	-	-	-	3.70%
		Average Ratio by Type(%)			97.81%	99.15%
Representative Construction Type Ratio by Construction Fields(%)		Max	98.96%	99.73%	99.15%	98.43%
		Min	95.80%	98.03%	98.68%	98.20%

2.3 대표공종 도출과 구성 비율 고찰

교량형식별 대표 공종은 Figure 2와 같이 도출되었으며 Table 4와 같이 6가지의 공통된 대표공종과 형식별 특수 대표공종은 증기양생, 교면방수, 동바리 등으로 나타났다. 6가지 공통 대표공종 이외의 특수 대표공종의 경우 각 교량형식의 시공방법의 특수성에서 기인함을 알 수 있다. 각 대표공종들이 교량공사에서 차지하는 비율은 아래 Table 4와 같다.

대표공종들을 I.L.M(37건), M.S.S(13건), F.C.M(13건), F.S.M(14건)의 각 현장에 적용시켰을 경우 교량 형식별 대표공종들이 총공사비 대비 차지하는 비율은 평균적으로 97.81%~99.15%이며 각 현장별로 대표공종이 차지하는 최소비율도 95.80%로 편차 5% 이내이다.

3. 교량 형식별 단위물량 및 공사비 단가 산출

개략공사비를 산정하기 위해 필수요소는 단가와 물량이며 최소한의 교량제원만을 활용하여 총공사비를 알 수 있도록 교량 형식별로 대표공종 내에서 공사비 비중이 큰 하위공종을 기준으로 상부면적당 단위물량과 차로수별 공사비단가를 제시하고자 한다.

3.1 교량 형식별 단위물량

설계 초기단계에서 개략공사비를 산정하기 위해 발주기관과

Table 5. Unit Quantity per Superstructure (I.L.M)

Work Classification	Low Rank Work Classification	Unit	Unit Volume
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)	ton/m ²	0.176
	Remicon (19-400-15)	m ³ /m ²	0.790
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling (D90mm)	m/m ²	0.812
	Sheath Tube Assembling (D66mm)	m/m ²	2.143
	Anchorage Device Installation (12*12.7mm)	EA/m ²	0.098
	P.S.C Steel Installation (Straight)	ton/m ²	0.024
	P.S.C Steel Installation (Curve)	ton/m ²	0.012
	Steel Tension work (12*12.7mm)	EA/m ²	0.071
	Milk Grouting (12*12.7mm)	m/m ²	3.425
Form	Plywood 1st	m ² /m ²	0.030
	Plywood 3rd	m ² /m ²	0.239
	Plywood 6th	m ² /m ²	0.019
Reinforcing Bar Assembling	Complication	ton/m ²	0.171
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	m ³ /m ²	0.802
P.S.C Box(1set)		-	-
Steam Curing(1set)		-	-

같은 사용자 입장에서 알 수 있는 최소한의 정보는 총연장, 폭원, 형고, 차로수와 같은 가장 기초적인 교량제원뿐이며 기존의 공사비 산정방식들 또한 이를 고려하여 공사비를 산정할 수 있도록 총연장 (단위 연장)이나 상부면적(단위 면적)당 단가들을 제시하고 있다. 만약 사용자 입장에서 공사비뿐만 아니라 물량까지 알고자 한다면 기존의 방식은 이를 수용하지 못하는 한계를 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 상부면적당 공사비 단가를 제시하기 이전에 앞서 도출된 대표공종과 그 하위공종들을 기준으로 각각의 상부면적당 단위물량을 제시하고자 한다(Table 5, 6, 7, 8참조).

P.S.C Box공종의 경우, 4가지 교량 형식에 모두 포함되는 공통 상위 대표공종에 해당하지만 자료 수집과정에서 얻은 설계내역서, 수량산출서 등을 정리한 결과, 본 연구에서 분석대상으로 설정한 4가지 교량 형식별로 P.S.C Box공을 구성하는 대표 하위공종들이 모두 상이하며, 공사비 산출근거 상에서 단위가 개월, 회, 식 등의 단위로 제시되어 상부면적당 단위물량을 제시하여도 이를 활용하여 다시 전체물량을 산출하는 과정에서 오차가 발생할 가능성이

Table 6. Unit Quantity per Superstructure (M.S.S)

Work Classification	Low Rank Work Classification	Unit	Unit Volume
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)	ton/m ²	0.164
	Remicon (19-400-15)	m ³ /m ²	0.771
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling (D110mm)	m/m ²	0.894
	Anchorage Device Installation (19*15.2mm)	EA/m ²	0.038
	P.S.C Steel Installation (Curve Line)	ton/m ²	0.022
	Steel Tension work (19*15.2mm)	EA/m ²	0.151
	Milk Grouting (19*15.2mm)	m/m ²	1.020
Form	Plywood 3rd	m ² /m ²	0.145
Reinforcing Bar Assembling	Complication	ton/m ²	0.180
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	m ³ /m ²	0.612
P.S.C Box(1set)		-	-
Waterproof	Liquid Waterproofing	m ² /m ²	0.919

Table 7. Unit Quantity per Superstructure (F.C.M)

Work Classification	Low Rank Work Classification	Unit	Unit Volume
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)	ton/m ²	0.143
	Remicon (19-400-15)	m ³ /m ²	1.013
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling (D110mm)	m/m ²	1.331
	Sheath Tube Assembling (D100mm)	m/m ²	0.970
	Anchorage Device Installation (19*15.2mm)	EA/m ²	0.954
	P.S.C Steel Installation (Straight Line)	ton/m ²	0.037
	Steel Tension work (19*15.2mm)	EA/m ²	0.511
	Milk Grouting (19*15.2mm)	m/m ²	1.397
Form	Plywood 1st	m ² /m ²	0.299
	Plywood 3rd	m ² /m ²	1.538
Rein-Bar Assembling	Complication	ton/m ²	0.166
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	m ³ /m ²	0.691
P.S.C Box (1set)		-	-
Waterproof	Liquid Waterproofing	m ² /m ²	0.876

Table 8. Unit Quantity per Superstructure (F.S.M)

Work Classification	Low Rank Work Classification	Unit	Unit Volume
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)	ton/m ²	0.107
	Remicon (19-400-15)	m ³ /m ²	0.724
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling (D110mm)	m/m ²	0.718
	Anchorage Device Installation (19*15.2mm)	EA/m ²	0.468
	P.S.C Steel Installation (Straight Line)	ton/m ²	0.007
	P.S.C Steel Installation (Curve Line)	ton/m ²	0.020
	Steel Tension work (19*15.2mm)	EA/m ²	0.103
	Milk Grouting (19*15.2mm)	m/m ²	2.816
Form	Plywood 3rd	m ² /m ²	2.174
Rein-Bar Assembling	Complication	ton/m ²	0.127
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	m ³ /m ²	0.717
P.S.C Box(1set)		-	-
Supporting Post	Steel Tube	work/m ³ · m ²	0.543

높다고 판단하여 산정모델에서 상부면적당 공사비단가를 제시하고자 한다.

증기양생의 경우에도 P.S.C Box공과 마찬가지로 타 공종들과 달리 상부면적당 단위물량 대신에 산정모델에서상부면적당 공사비단가를 제시한 이유는 크게 2가지이다. 첫째, 증기양생에 소요되는 총공사비를 산정하기 위한 산출근거가 Segment당 단가를 조합하여 구성하도록 되어 있어 증기양생 시설의 규모나 설계자 혹은 시공자의 판단에 따라 Segment의 연장이 다를 수 있기 때문에 총 물량에는 크게 변화가 없지만 이를 공사비단가를 적용하여 공사비를 추정한 결과, 전체 공사비에서 차지하는 비중이 적다고 하더라도 단일공종으로써 산정된 개략공사비에 큰 편차가 발생할 가능성이 있다.

둘째, 단가산출근거 상의 가장 큰 비중을 차지하는 공사비단가는 경유와 같은 증기시설 가동을 위한 연료비의 단가가 대부분을 차지하고 있기 때문에 콘크리트, 철근 등과 같은 주요 자재물량들과의 상관관계보다는 총연장, 폭원과 같은 교량제원과의 영향정도가 더 크다고 판단하였기 때문이다(Table 10 참조).

3.2 차로수별 공사비단가

발주자와 같은 사용자 입장에서는 각 공종별로 필요한 물량보다

Fig. 3. Cost Estimating Process for Bridge Superstructure

Table 9. Cost Estimation per Unit Superstructure Volume (m³, Four-lanes)

Work Classification	Low Rank Work Classification	Unit	Cost
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)	won/ton	429,754
	Remicon (19-400-15)	won/m ³	58,414
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling (D110mm)	won/m	32,041
	Sheath Tube Assembling (D90mm)	won/m	22,883
	Sheath Tube Assembling (D66mm)	won/m	14,522
	Anchorage Device Installation (12*12.7mm)	won/EA	299,074
	Anchorage Device Installation (19*15.2mm)	won/EA	699,261
	P.S.C Steel Installation (Straight Line)	won/ton	1,993,646
	P.S.C Steel Installation (Curve Line)	won/ton	2,351,130
	Milk Grouting (12*12.7mm)	won/EA	162,471
	Milk Grouting (19*15.2mm)	won/EA	427,859
	Milk Grouting (12*12.7mm)	won/m	8,819
	Milk Grouting (19*15.2mm)	won/m	13,493
Form	Plywood 1st	won/m ²	52,078
	Plywood 3rd	won/m ²	23,466
	Plywood 6th	won/m ²	16,728
Reinforcing Bar Assembling	Complication	won/ton	379,871
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)	won/m ³	14,458
Waterproofing	Liquid Waterproofing	won/m ²	17,260

Table 10. Cost Estimation per Unit Superstructure Volume by Bridge Types

Work Classification	Low Rank Work Classification		Cost Unit (1,000won/m ²)			
			I.L.M	M.S.S	F.C.M	F.S.M
Material Cost	High Strength Steel (H16~32mm)		75.537	70.167	60.999	43.702
	Remicon (19-400-15)		43.707	47.707	70.813	58.697
P.S.C Steel Material Installation & Tension Work	Sheath Tube Assembling	D110mm	-	29.278	49.227	31.405
		D100mm	-	-	24.908	-
		D90mm	18.137	-	-	-
		D66mm	31.622	-	-	-
	Anchorage Device Installation	12*12.7mm	26.704	-	-	-
		19*15.2mm	-	25.895	565.350	310.055
	P.S.C Steel Installation	Straight Line	46.284	-	85.443	13.113
		Curve Line	27.996	56.310	-	60.103
	P.S.C Steel Tension work	12*12.7mm	10.831	-	-	-
		19*15.2mm	-	30.041	180.234	44.088
	Milk Grouting	12*12.7mm	31.167	-	-	-
		19*15.2mm	-	13.741	17.941	40.354
Form	Plywood 1st		1.544	-	13.770	
	Plywood 3rd		5.942	3.292	36.677	62.475
	Plywood 6th		0.338	-	-	-
Reinforcing Bar Assembling	Complication		67.049	69.085	77.298	48.585
Concrete Placement	Using Pumpcar (0~15m)		11.754	8.292	9.880	11.373
P.S.C Box (1set)			210.640	357.711	608.715	201.524
Steam Curing (1set)			29.784	-	-	-
Waterproofing	Liquid Waterproofing		-	13.380	16.456	-
Supporting Post	Steel Tube		-	-	-	11.311
Total			633.093	721.617	1781.084	936.785

는 기획단계에서 교량공사에 필요한 예산책정 등의 이유로 공종의 상세 물량 추정보다는 신속하면서도 정확한 추정 공사비 단가 데이터를 요구한다. 따라서 앞절에서 제시한 단위물량과 함께 개략 공사비를 산정하기 위해서는 공종별 공사비단가가 필요하며, 현행 공사비 추정방식의 경우 공종별 상세 추정물량에 대한 도출 없이 단위 연장 및 면적당 단가만을 제시하고 있는데 본 연구에서는 공사비 추정을 위해 단위물량과 공사비단가를 동시에 체계화 시켜 기존 방식에 비해 보다 신뢰적이고 효율적인 방식을 제시한다.

수집한 원 공사비 데이터는 매월 또는 연도 별로 상이하며 동일한 시점에도 사공현장마다 차이가 있지만 한국건설기술연구원에서 제시하는 공사비지수²⁾ 개념을 도입하여 일정기준시점(2006년 01

월 기준)을 기준으로 공사비로 환산하여 적용하였다. 또한 수집데이터의 교량 폭원의 경우 왕복4차로와 왕복2차로가 대부분을 차지하여 차로수별 공사비단가를 따로 제시한다.

왕복4차로에 해당하는 교량은 I.L.M가 총 37건 중 31건, M.S.S가 총 13건 중 10건이며 폭원은 최소 20.9m(2건), 최대 25.2m로 대부분이 24.3m로 구성되어 있다.

왕복2차로에 해당하는 교량은 FCM은 총 13건 전체가 해당되며 FSM이 총 14건 중 13건이었다. 폭원은 최소 9.0m, 최대 17.4m(1건)으로 교량별로 편차가 크지만 대부분 10m정도로 구성되어 있다.

4. 개략공사비 산정모델 구축 및 검증

기존의 공사비 산정방식은 예비타당성조사(2004), 도로업무편람(2008), 투자평가지침(2007) 등을 활용하여 산출하는데 이들 산정모델들은 총연장, 상부면적(총연장×폭원) 등 최소한 교량제원

2) 각 시기별 공사비를 일정기준시점의 공사비로 환산함으로써 공사물량을 확인할 뿐만 아니라, 공사 관리의 목적상 물가변동에 따른 공사비 변동추이를 확인하기 위하여, 공사비를 구성하는 주요 요소이며 공사비에 직접적인 영향을 주는 재료비와 노무비, 경비의 가격 변화와 연동하여 산출하는 지수

만으로 사용자가 원하는 총공사비를 산정할 수 있도록 교량형식별로 상부면적당 공사비단가를 제시하고 있다.

예비타당성조사(2004)의 경우, 왕복4차로를 기준으로 하며 교량 형식, 신설 및 확장여부, 차로수, 연장, 폭원 등을 교량공사비 영향요인으로 들 수 있다. 도로업무편람(2008)의 경우, 폭원 24.8m를 기준으로 하며 교량형식, 폭원, 연장을 영향요인으로 고려하며, 투자평가지침(2007)의 경우, 고속도로와 국도를 기준으로 한다고 하나 상부면적당 공사비는 동일하게 적용하며 교량형식과 연장을 영향요인으로 설정하고 있다.

검증은 교량 형식별로 2~5개 대상교량의 실제 상부공 공사비 대비 각각의 현행 공사비 산정방식들과 본 연구에서 제시하는 추정 공사비와의 편차를 비교하는 방식으로 실시하였다. 기존의 공사비 산정방식에서 제시하는 상부면적당 공사비단가는 상부공, 하부공(기초공, 교각공, 교대공), 토공, 부대공을 모두 포함한 총공사비이기 때문에 검증대상 교량 각각의 상부공 비율들을 도출하여 적용하였다(Table 11 참조). I.L.M과 M.S.S의 경우, 왕복4차로 교량을 대상으로 하였으며 F.C.M과 F.S.M의 경우, 왕복2차로 교량만을 검증대상교량으로 선정하였다. 교량 형식별로 실시한 검증결과는

Table 11. Unit Cost by Existing Estimating References

Classification	Cost Unit (1,000won/m ²)			
	Cost(Upper Work Ratio)			
	I.L.M (56.0%)	M.S.S (65.7%)	F.C.M (65.2%)	F.S.M (63.2%)
Pre-Feasibility Study (2008)	1,574	1,968	3,105	1,807
Applying Cost	881.44	1292.97	2024.46	1142.02
Guide for road construction (2011)	1,773	2,978	2,250	3,304
Applying Cost	992.88	1956.55	1467.00	2088.13
Guideline for investment evaluation (2007)	1,555	2,609	1,971	2,893
Applying Cost	870.80	1714.11	1285.09	1828.38

Fig. 4. Validation of Cost Estimation Model (I.L.M)

아래의 Figure 4, 5, 6, 7 및 Table 12, 13, 14, 15와 같다.

I.L.M의 경우, 총 5개 교량에 대한 검증을 실시하였으며, 평균 편차가 예비타당성조사 46.63%, 도로업무편람 52.39%, 투자평가 지침 36.45%인 것에 비해 평균 -15.43%의 편차를 보이고 있다.

M.S.S의 경우, 총 3개 교량에 대한 검증을 실시하였으며, 평균 편차가 예비타당성조사 118.29%, 도로업무편람 211.67%, 투자평가 지침 192.76%인 것에 비해 평균 -8.85%의 편차를 보이고 있다.

F.C.M의 경우, 총 2개 교량에 대한 검증을 실시하였으며, 평균 편차가 예비타당성조사 -49.75%, 도로업무편람 -65.64%, 투자평가 지침 -64.70%인 것에 비해 보다 정확한 평균 2.98%의 편차를 보이고 있다.

F.S.M의 경우, 총 2개 교량에 대한 검증을 실시하였으며, 예비타당성조사 -19.16%, 도로업무편람 39.46%, 투자평가지침 15.90%이며 본 연구의 산정모델은 평균 19.08%의 편차를 보이고 있다. 투자평가지침의 경우, 본 연구의 산정모델보다 더 정밀하게 공사비를 추정하였지만 이 결과는 일부 검증대상교량에만 해당되므로 본 연구에서 제시하는 개략 공사비산정모델이 부적합하다는 단편적인 결론을 내리기에는 무리가 있다고 판단된다.

교량형식별로 검증을 실시한 결과, 기존의 공사비 산정 방식들에 비해 본 연구에서 제시하는 산정모델이 공사비 예측에서 보다 정확한 예측결과를 나타내고 있다. 전체 공종의 적용이 아닌 대표공종을 기반으로 공사비를 산정하여 기존 방식에 비해 신속함에서 우수하고 총공사비뿐만 아니라 공사비의 대부분을 차지하는 공종

Table 12. Cost Estimation Model vs. Existing References (I.L.M)

Model	(Cost Unit : 100 Million won)				
	Real Cost	Pre-F.S.	Guide for Road Cons.	Guide for investment	Estimation Model
ILM-1	159	194	206	184	115
ILM-2	146	206	218	196	128
ILM-3	128	160	170	152	105
ILM-4	143	210	224	200	112
ILM-5	188	324	345	309	169

Fig. 5. Validation of Cost Estimation Model (M.S.S)

Table 13. Cost Estimation Model vs. Existing References (M.S.S)

(Cost Unit : 100 Million won)

Model	Real Cost	Pre-F.S.	Guide for Road Cons.	Guide for investment	Estimation Model
MSS-1	144	294	419	436	160
MSS-2	162	380	542	485	158
MSS-3	124	269	384	343	105

Fig. 6. Validation of Cost Estimation Model (F.C.M)

Table 14. Cost Estimation Model vs. Existing References (F.C.M)

(Cost Unit : 100 Million won)

Model	Real Cost	Pre-F.S.	Guide for Road Cons.	Guide for investment	Estimation Model
FCM-1	78	43	29	27	88
FCM-2	68	31	21	25	64

Fig. 7. Validation of Cost Estimation Model (F.S.M)

Table 15. Cost Estimation Model vs. Existing References (F.S.M)

(Cost Unit : 100 Million won)

Model	Real Cost	Pre-F.S.	Guide for Road Cons.	Guide for investment	Estimation Model
FSM-1	18	18	32	20	21
FSM-2	38	18	31	38	37

들의 물량과 공사비도 산출이 가능하므로 사용자 입장에서 보다 신뢰성 있는 근거자료로서 다각적으로 활용 가능할 것이다.

5. 결론 및 시사점 도출

현행 개략공사비 산정 기준은 최근 2년간의 유사 실적 설계데이터를 통해 단순산술평균을 한 단위 연장/면적당 단가의 사용으로 공사비를 제시하는 선형적 모형이기 때문에, 설계 완료된 실제 설계 공사비와 비교 시 정밀도 높은 공사비 예측을 지원하지 못하고 또한, 현행 설계단계의 공종별 개략 수량 산출방법은 많은 시간과 자원이 투입되는 한계점이 나타난다. 이러한 한계점에 대한 보완과 보다 효율적인 개략공사비 산정모델 개발을 위해 본 연구에서는 도로구조물 중 P.S.C Box 교량을 대상으로 기본설계단계의 새로운 개략공사비 산정 모델 개발을 수행하였다. 이를 위해 최근 10년간 완료된 교량공사의 실적 데이터를 수집하고 DB구축을 실시하였으며, 공사비 내역서의 물량을 내역분기하고 P.S.C Box 교량공사의 특성에 맞게 대표공종을 도출하였다.

본 연구에서 제시한 대표공종 기반의 개략 공사비 산정방식은 신속한 의사결정이나 대안선택이 결정되는 설계단계에서 기존의 수량산출 지침서를 전체적으로 살펴야하는 소모적이고 확실적인 공사비 산정방식의 한계점을 보완하여 효율적인 공사비 산정을 가능케 함과 동시에 검증률 통해서 모든 공종의 물량을 추정하는 기존방식과 달리 상부공사비의 대부분을 차지하는 대표공종 및 하위공종들의 물량 추정이 가능함을 파악하였다. 개략공사비 산정 모델은 교량의 특성을 반영하여 공사비 예측의 정확도를 향상시킴으로써 사업초기단계의 신속한 의사결정의 척도로 공사비 기초정보 제공 및 효율적 예산수립이 가능할 것으로 기대된다.

설계관련 데이터만을 적용하여 대표공종을 추출한 본 연구의 방법론은 지침단가의 확립화, 공사비 데이터 갱신/관리 기준 미비로 인해 신뢰도가 저하되었던 기존의 공사비 산정 방식을 보완하고 있으나 수집·적용 및 검증DB 구축 측면에서 공사비 적정성 및 신뢰도 향상을 절대적으로 충족시키지 못한다. 이에 지속적인 실적 교량공사 DB구축을 통해 추가적인 교량 형식별 데이터를 적용하여 보다 신뢰적인 검증 척도를 마련하고 특수 교량 전체에 적용 가능한 종합적 시스템을 구축하는 것이 필요하다. 또한, 대표공종의 단위물량에 공사비단가를 적용하여 공사비를 산출하는데 있어 물량산출 방법론에 대한 연구와 적정공사비 산출을 위해 건설공사비의 가격변동을 제대로 반영할 수 있는 공종의 단가에 관한 추가적 연구가 필요하다. 이는 향후 보완적 연구로 사업비 관리 기술의 선진화를 통한 건설 경쟁력 강화와 건설 산업의 수익성을 제고할 것이다.

감사의글

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

References

- 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 (in Korean).
- 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.
- 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 (in Korean).
- 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.
- 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) pp. 201-206.
- KICT(2011), "Development of Cost Estimating Model; Bridge and Tunnel", Research Report.