

대표물량 기반의 도로공사 설계단계의 개략공사비 예측모델

Quantity-based Early Cost Estimation Model for Road Construction Projects

김두연* · 김병일** · 여동훈*** · 한승헌****
Kim, Du Yon · Kim Byungil · Yeo, Donghoon · Han Seung Heon

Abstract

Cost estimation in the early phase enables government to plan public budgeting more efficiently by providing information about construction cost. However, cost estimation in the early phase is difficult to predict because only a little information can be utilized. The cost estimation method now being used by the government is calculated by length of the road multiplied by unit cost per length and shows high error rate because it cannot reflect the unique characteristics of each project. As the project is being proceeded, level of available information also changed. So, reflecting available information of a project is important. This paper divided early phase into two parts : planning phase and early design phase, and developed cost estimation model considering level of available information of each phase. Total 143 cases are utilized to find influencing variables and develop cost estimation model and model validation is done by adopting required accuracy level. This cost estimation model reflecting level of available information can be applied to public budgeting, feasibility test, and comparison between routes.

Keywords : road construction, cost estimation, representative quantity, multiple regression

요 지

건설 프로젝트에 있어 공사비 산정은 예산편성, 대안검토, 입찰, 공사수행 등의 각 단계에 따른 의사결정 과정의 주요한 근거가 된다. 이에 따라 사업 초기 단계에서 보다 정확한 사업비를 산정하기 위하여 다양한 방법들이 적용되어 왔으며, 여러 연구를 통해 각 단계의 특성에 적합한 예측 방법론이 필요하다는 문제인식이 이루어져 왔다. 도로공사의 경우, 특히 타당성 조사 및 설계 초기단계에서 기준의 부재 등으로 정확한 사업비 산정에 어려움이 있는 것으로 분석되었다. 본 연구는 이러한 노선결정 이전까지의 단계를 대상으로 설계 초기단계에 적합한 대표공종의 물량 예측에 기반한 공사비 산정체계를 제시하였다. 이를 위하여 87건의 실시 설계 데이터를 분석하여 대표공종을 도출하고, 전체를 토공, 배수공, 포장공, 기타공종으로 구분하여 각 공종별 특성에 기반한 예측모델을 제시하였다. 도출된 공사비 산정모델의 검증을 위하여 9건의 추가 데이터의 공사비 예측결과를 실시 설계 공사비와 비교하여 평균 8% 수준의 오차율을 얻었다. 현행 단위길이당 공사비 기준을 적용한 산정결과와 비교할 때, 본 연구모델의 활용을 통해 설계단계 개략공사비 산정업무의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있는 결과를 제시하였다고 할 수 있다.

핵심용어 : 도로공사, 공사비 예측, 대표물량, 다중회귀분석

1. 서 론

건설 프로젝트에 있어 공사비 산정은 예산편성, 대안검토, 입찰, 공사수행 등의 각 단계에 따른 의사결정 과정의 주요한 근거가 되기 때문에 중요한 문제로 인식되어 왔다 (Oberlender and Trost 2001). 공사비 산정과정은 건설 프로젝트의 진행단계와 산정 목적 등에 따라 그 상세수준과 정확도가 달라지게 되는데, 일반적으로 개략전적과 상세전적으로 구분된다. 이러한 공사비 산정방식과 관련하여, 여러 연구들에서 공사 초기단계에서 이루어지는 개략전적의 중요성

을 강조하고 있다. Seeley(1996)에 따르면, 공사초기 단계에서는 예산편성, 타당성평가, 대안비교 등과 같은 주요한 의사결정이 이루어지기 때문에, 이러한 단계에서의 공사비 산정 또는 예측이 중요한 부분을 차지한다고 하였다. 또한, 개략전적은 정보의 부재로 인한 부정확성에도 불구하고, 향후 이루어지는 공사비 산정과정의 기본이 되기 때문에 이러한 중요성은 더욱 강조된다고 할 수 있다(Bell and Kaminsky, 1987; Carr, 1989; Flyvbjerg et al., 2002; Trost and Oberlender, 2003).

이러한 이유로 건설사업의 초기단계에서 사업비를 예측하

*정회원 · 연세대학교 공과대학 토목공학과 박사후과정 (E-mail : cagedbird@yonsei.ac.kr)

**금호건설(주) 사원 (E-mail : ikim@yonsei.ac.kr)

***정회원 · 연세대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (E-mail : totwd@yonsei.ac.kr)

****정회원 · 교신저자 · 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 부교수 (E-mail : shh6018@yonsei.ac.kr)

기 위하여 다양한 연구들이 이루어져 왔다. Karshenas(1984)는 설계이전 단계에서 다층건축물의 사업비 예측을 위하여 높이, 층수, 전형면적 등과 같은 특성변수를 활용한 다중회귀모형을 제시하였으며, Bell 및 Kaminsky(1987)는 초기단계의 공사비 예측을 위하여 데이터 축적의 중요성을 강조하고 공사비에 주요하게 영향을 미치는 인자들을 제시하였다. Adeli 및 Wu(1998)와 Wilmot 및 Cheng(2003)은 공사특성을 독립변수로 수집된 데이터를 활용하여 초기단계 공사비 예측을 위한 인공신경망 모델을 개발하였다. 이상의 연구에서 주목할 점은 공사비에 크게 영향을 미치는 공사 특성변수를 도출하고, 이를 활용하여 공사비를 산정하는 모델을 제시하였다는 점이다. 이는 해당 프로젝트에 대한 정보가 제한적인 초기단계에서는 가용한 정보를 토대로 기존의 공사비 데이터에 기반한 공사비 산정 방식이 적합하다는 것을 의미한다. 이러한 면은 국내의 여러 연구(김광희와 강경인, 2004; 김수진과 김선국, 1999; 박종현과 이태식, 2002; 안성훈과 강경인, 2005)에서도 공사특성변수에 기반한 공사비 예측모형을 제시하고 있다는 점을 통해 확인할 수 있다.

한편, Soutos 및 Lowe(2005)는 사업 초기단계에서도 공사비 산정의 목적에 따라 주요 공정의 물량이나 비용을 별도로 산정할 필요성이 있음을 제시하였다. Ou-Yang 및 Lin(1997), 박종현과 이태식(2002) 등의 연구에서도 공사특성변수에 기반하여 보다 세부적인 공정별 비용 산출체계를 제시하고 있다. 이러한 점은 제한된 수준의 입력정보를 활용하여 가능한 한 다양한 정보를 끌어낼 수록 활용성이 증대되는 모델링의 효율성 측면에서 쉽게 이해할 수 있다. 본 연구에서는 이상과 같은 문제인식 및 문헌고찰을 토대로, 토목사업의 대표적인 일반국도 건설사업을 대상으로 하여, 공사특성정보의 활용 및 대표공정의 개략물량 산출을 통해 타당성 조사 및 설계 초기단계에 활용할 수 있는 개략공사비 산정 모델을 개발하는 데에 목적이 있다.

2. 공공도로사업 개략공사비 산정현황 고찰

현재 국내 국도사업의 경우는 개략공사비 산정을 위해 국토해양부(2007)의 “도로업무편람”과 한국개발연구원(2004)의 “도로 철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정 보완 연구”를 주로 활용하고 있다. 이러한 현행 기준은 차로수에 따라 km당 단가를 제시하고 있는 것으로 주로 기획 및 예비 타당성 조사 단계에서 예산편성을 위한 기준 자료가 되고 있다. 공공도로 사업의 추진절차를 살펴보면, 그림 1에서와 같이 4단계로 구분할 수 있는데, 기획 및 예비 타당성

조사 단계에서는 앞서 언급한 국토해양부 및 한국개발연구원 기준에 근거하여 km당 단가를 토대로 예산책정이나 예비적인 타당성 판단 과정이 이루어지고 있다.

이어서 타당성 조사 및 기본 실시 설계단계에서는 노선대안 비교/검토, 최적 대안선정, 상세설계 등의 과정이 이루어진다. 타당성조사 및 설계단계의 공사비 산정 업무는 엔지니어링 업체에 의해서 주로 수행되는데 최종노선 선정 이전까지는 타당성 조사, 기본설계 과정은 큰 차이 없이 진행된다. 이러한 설계단계를 보다 상세히 살펴보면 그림 2와 같다.

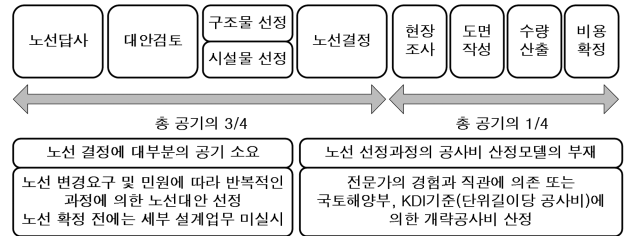


그림 2. 현행 설계단계 공사비 산정절차

타당성조사 및 설계단계에서는 그림 2에서와 같이, 일반적으로 최종 노선결정과정까지 전체 공기의 3/4이상이 소요되고 있는데, 이는 노선선정 과정에서 기술적이고 경제적인 문제는 물론 많은 복잡한 이해관계 및 민원을 조정해야 하는 난제가 얽혀 있기 때문이다.

그러나 현행 개략공사비 예측체계는 이 과정에서 뚜렷한 방식을 제시하지 못하고 있기 때문에 설계사 마다 다른 기준을 적용하고 있고 심지어 앞서 언급한 km당 단가를 적용하는 경우가 발생하기도 한다. 한편 최종노선 결정 이후 노선대를 따라 세부적인 현장조사가 완료되면, 도면작성을 통해 세부적인 수량산출 작업이 이루어지기 때문에, 이 단계에서는 품셈이나 실적공사비 체계를 활용하여 공사비를 산정하게 되고 따라서 개략공사비 산출모델의 활용성이 떨어지는 시기라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 설계단계 개략공사비 산출모델의 적용시점을 노선결정과정에서 각 노선대안의 검토에 활용할 수 있는 체계를 제시하는 데에 초점을 맞추었다.

3. 도로공사 설계단계 개략공사비 산출체계

3.1 개략공사비 산출모델 도출과정

앞서 논의한 바와 같이, 설계단계의 특성상 기획단계(기획~예비타당성조사)에 비해서 보다 상세한 정보의 도출이 필요하기 때문에, 단순히 단위 공사비에 의한 총공사비의 산출보다는 내역에서 비중이 높은 소수의 대표공종의 도출을 통한 대표물량 방식의 체계를 활용하는 것이 설계단계에 적합하다. 대표공종의 물량에 기반한 개략공사비 산출체계의 핵심은 설계 시에 주요한 내역 아이템들이 전체 직접비의 80% 이상을 차지한다는 점을 근간으로 하고 있다(박종현과 이태식, 2002; 이유섭, 2003).

이러한 대표공종의 물량예측을 통해서 해당 공사의 공사비를 예측하고 이를 보정해가는 방식은 해외사례 조사를 통해서도 확인할 수 있다. 예를 들면, 미국의 주요 주정부 교통부

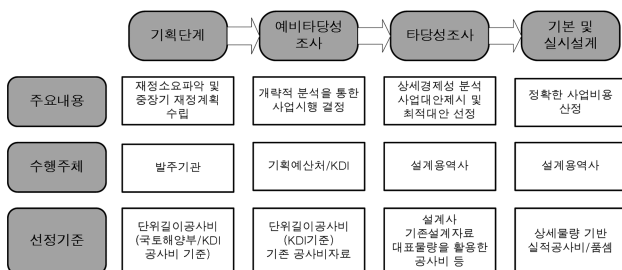


그림 1. 현행 공공도로 사업 공사비 산정 업무 흐름

(DOT)를 중심으로 사용하고 있는 모형을 분석한 결과, 공사 유형을 신설, 전면적인 확장공사, 확·포장 공사, 포장공사, 보수공사, 교차로 개선공사, 교통시설공사 등으로 구분하고, 각 공사유형은 다시 토공, 배수공, 암거공, 교량공, 포장공, 부대공, 조경공, 소음방지공, 친환경공으로 분류하고 있는데, 기본적으로 대표공종의 종류와 단가를 DOT에서 제시하고 수량은 모델링을 활용한 방식보다는 사용자가 직접 추정하여 입력하는 방식을 채택하고 있다.

본 연구에서도 대표공종 방식을 통한 개략공사비 산정모델을 방식을 활용하고자 한다. 그러나 사용자 물량입력 방식은 입력자의 경험 또는 고도의 전문성을 요하는 방식이므로 본 연구에서는 대표물량을 구하는 모델까지도 포함하여 제시하고자 한다. 이를 위해, 먼저 이미 설계 완료된 데이터를 수집하고 이에 대한 분석을 통해 설계내역에서 각 공종이 차지하는 비중을 분석하게 된다. 이를 통해서 내역서의 금액비중이나 중요도가 높은 대표공종을 선정하게 된다. 선정된 대표공종을 기준으로 각 대표공종별로 그 특성에 적합한 물량산출 체계를 개발하고, 해당 공종별 단가기준 적용하여 기본적인 공사비 산출체계를 마련한다. 여기에 대표공종 외의 기타 나머지 공종의 비율, 간접비 비율, 공사특성에 따른 보정계수 등을 개발하여 최종적으로 총공사비를 산출할 수 있는 체계를 마련하고자 한다.

3.2 자료수집 및 분석

설계단계 개략공사비 예측모형을 개발하기 위하여 2000년 이후에 설계가 완료된 자료에 대하여 각 지방 국토관리청을 통해 총 98건의 자료를 수집하였다. 자료를 구성하는 항목으로는 설계보고서, 설계내역서, 단가산출서, 수량산출서, 설계도면 등이 있는데 예측모형을 개발하는 데 활용할 수 없는 결측치가 존재하는 사례는 제외하고 보완 후 이용이 가능한 사례를 포함하여 총 89건의 사례를 예측모형을 개발하는 데 사용하였고 수집된 데이터의 10%인 9건의 사례를 임의 선택하여 검증용으로 활용하였다.

데이터 수집은 각 공사의 설계내역을 기본으로, 개략공사비 산정모델에서 입력변수(독립변수)로 활용할 공사 개요정보를 함께 정리하였다. 수집된 98건 데이터의 특성별 분포를 살펴보면, 신설공사가 전체의 32%, 확포장이 68%를 차지하는 것으로 나타났다. 차선 규모별로는 4차선이 78%로 가장 많은 비중을 차지하였고, 2차선 11%, 6차선 8%, 8차선 3%의 순으로 분포하였다. 지역별 분포에 있어서도 제주도를 제외한 5개 지방청에서 20% 내외로 고르게 분포하는 것으로 나타났다.

3.3 대표공종의 도출

개략공사비 산정모형을 개발하기에 앞서 물량을 산출할 대상 공종을 선정해야 하는데 설계초기 단계에 기용정보만으로 물량 산출이 가능한지 여부, 공종 내에서 차지하는 공사비 비중 등을 중요한 기준으로 삼았다. 또한 모든 공종의 물량을 산출하기보다는 가급적 적은 수의 공종으로 공사비를 예측하는 것이 중요한데, 이때 공종의 추출은 총 내역서 상의 상세 공종수의 약 10% 정도의 대표공종수로 80% 내외의 금액비중을 표현하도록 하는 것을 일차적인 목표로 설

정하였다.

내역서 분석결과 도로공사는 토공, 배수공, 포장공, 비탈면 안전공, 교통안전시설공 등의 주요공종으로 구성되어 있었다. 구간에 따라 교량이나 터널과 같은 구조물공이 추가되는데, 본 연구에서는 우선 토공구간의 개략공사비 예측모델의 개발을 연구범위로 설정하고, 구조물 구간이나 터널구간은 별도의 후속연구가 진행되고 있으므로 본 연구범위에서는 제외하고자 한다. 이 같은 과정을 통해서 도출된 도로공사 대표공종은 다음 표 1과 같다.

표 1. 대표공종 금액비중 및 공종수

공종	대표공종비중	기타공종비중	대표공종수	비고
토공	77.3%	22.7%	14개	
배수공	74.3%	25.7%	16개	
포장공	77.2%	22.8%	14개	아스팔트
			13개	콘크리트

표 1에서와 같이 내역서 공사비 누계 비중을 구하여 평균 값을 도출한 결과 토공은 평균 77.3%의 비중을 차지하는 총 14개의 대표공종이 선정되었다. 동일한 방법으로 배수공을 분석한 결과 16개의 대표공종이 도출되었고 평균 74.3%의 누계 비중이 나왔으며, L형, V형 측구공 등과 같이 주로 토공물량과 설계 시의 상관관계가 있는 16개 대표공종이 도출되었다. 포장공의 경우 아스팔트 포장공의 대표공종이 14개, 콘크리트 포장공의 대표공종이 13개가 도출되었고 평균 77.2%의 공사비 누계 비중이 도출되었다. 이상과 같이, 총 대표공종 수는 44개로 전체 내역서 평균 공종수 450개의 약 10%의 대표공종만으로 전체공사비의 약 80%의 공사비를 예측하고 기타 공종의 공사비는 일식개념인 효율로 예측하는 체계를 구성하였다.

3.4 대표공종별 물량 산출체계의 개발

설계자료 분석을 통해 도출한 대표공종을 기준으로 각 공종의 특성에 적합한 물량산출 체계를 구성하였는데, 전체적인 대표공종별 물량산출 체계는 그림 3과 같다.

먼저 도로연장을 주요변수로 이에 따라 선형적인 변동은 보일 것으로 예상되는 토공 및 측구공의 경우 공사특성변수를 활용하여 회귀모델을 통해 물량산출식을 개발하고자 하였다. 토공의 경우, 도로연장, 용지면적, 설계속도, 지역특성 등의 변수를 활용하여 흙쌓기 및 흙깎기의 기본 물량을 산출하고 이를 세부 물량으로 분기하는 체계를 구축하였다.

측구공의 경우, 성토면이나 절토면의 연장과의 상관관계가 높고, 공사특성에 따른 변동성을 가지고 있기 때문에, 이러한 변수를 활용한 회귀모델을 활용하였다. 포장 및 암거공의 경우 표준단면을 산정하게 되면, 연장에 비례하여 기하학적으로 해당물량을 산출할 수 있기 때문에, 표준단면을 구성하고 이에 따른 단위 물량을 구하여 이를 연장에 곱해주는 방식을 도출하였다.

대표공종에 포함되지 않은 비탈면안정공, 교통안전시설공, 부대공 등의 소수 기타공종의 경우 공사특성에 따른 직접비에 효율을 곱하여 산출하는 체계를 제시하였다. 종합적으로 도로공사 구간의 직접비 구성은 대표공종의 물량과 산출된

물량에 단가를 적용하여 산출되게 되며, 산출된 금액에 소수 기타공종의 효율과 공사비 보정계수를 적용하여 정확도를 향상시키는 방안을 적용하였다.

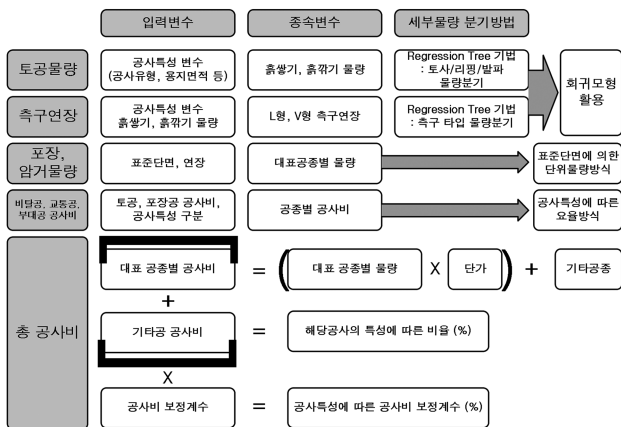


그림 3. 대표공종별 물량산출 체계

결과적으로 사용자는 그림 4에서와 같이, 공사개요 등 총 15개 입력항목과 포장공과 암거공의 표준단면을 선택하게 되면, 각 대표공종별로 물량이 회귀분석식 등의 산출모델에 의해 자동적으로 계산되고, 여기에 공종별 단가 및 기타공종의 효율적용 및 보정을 통해서 최종적으로 공사비를 산출하게 된다. 이와 같은 개략공사비 산출체계는 사용자의 입력정보를 최소화하여, 설계초기단계 노선선정 과정에서 충분히 활용 가능한 정보들을 통해 사용자가 쉽고 간편하게 보다 정확한 공사비를 산출할 수 있는 체계를 구축하는데 그 초점이 맞추어져 있다.

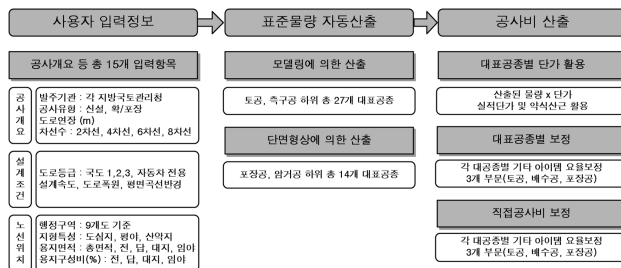


그림 4. 설계단계 개략공사비 산정모델 활용절차

4. 공종별 물량산출 모델

4.1 토공 물량산출 모델

토공의 경우 수집된 설계 데이터를 기반으로 실제 설계물량에 가장 근접한 물량 산출체계의 개발을 목표로 연구를 진행하였다. 설계과정 상에서 토공의 세부공종 중 흙쌓기와 흙깔기 물량이 기반이 되어 나머지 흙운반이나 사토, 유용토 등의 물량은 쌓기와 깔기의 물량 차에 의해 산출된다는 논리를 근거로 쌓기 및 깔기 물량을 위한 산출식을 우선적으로 개발하였다.

한편, 토공물량은 논리적으로 도로연장, 노선이통과하는 지형의 면적과의 상관관계가 높고, 설계등급과 같은 도로특성에 따라 비례할 것으로 판단되어 회귀모델이 이 같은 물량

산출에 적합할 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 다중회귀 분석을 활용하여 공사특성 변수와 토공물량(흙쌓기, 흙깔기) 간의 인과관계를 도출하고자 하였다.

SPSS 통계 패키지를 활용한 분석결과, 흙쌓기 물량 산출 회귀식의 경우 추정된 회귀방정식의 설명력을 말하는 결정계수 R²값이 0.72로 나타났다. 이는 흙쌓기 물량에 대해 표 2의 독립변수가 72%의 영향을 미치고 있다는 것을 의미한다. 일반적인 경우 결정계수 R²값은 0.4이상만 되면 통계적으로 유의 하다고 볼 수 있으나 현실적인 분석에선 대략 0.5~0.6 정도를 유의한 것으로 판단하기 때문에(Lee, 2003) 본 연구에서 도출된 회귀모델이 통계적으로 양호한 유의성을 갖는다.

표 2. 흙쌓기 물량산출 모델 회귀계수

독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차			
(상수)	-6458.61	162.94		-0.06	0.00
용지면적(m ²)	1.57	0.31	0.54	5.03	0.00
도로폭(m)	5.68	1.19	0.68	4.79	0.00
용지(m ²)-답	1.38	0.45	0.25	3.04	0.00
총 연장(m)	85.49	32.13	-0.41	-2.66	0.01
대지면적(m ²)	-3.06	1.45	-0.17	-2.12	0.04

표 2에서 각 변수에 해당하는 비표준화 계수(B) 값은 회귀방정식에서의 계수가 되는 것으로 각 변수의 흙쌓기 물량에 대한 영향정도의 크기라고 할 수 있으며, 각 변수의 영향정도는 모두 95% 신뢰구간에서 유의한 것으로 분석되었다. 흙쌓기 물량은 결과적으로 총연장, 도로폭, 용지 총면적, 구성하는 용지 특성 중 논(畠)의 면적 등의 영향이 큰 것으로 나타났다.

표 3. 흙깔기 물량산출 모델 회귀계수

독립변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차			
(상수)	-490378.47	210.83		-2.31	0.02
용지(m ²)-임야	3.83	0.47	0.63	8.10	0.00
더미-도시부	1586694.99	261676.74	0.53	6.06	0.00
설계등급	138031.11	57136.94	0.19	2.42	0.02
차선수	204689.64	98795.82	0.16	2.07	0.04

한편, 흙깔기 물량 산출모델의 경우, 결정계수 R²값이 0.63으로 유의한 결과를 도출하였으며, Durbin-Watson 통계량의 경우도 2.00으로 나타나 독립변수간의 상호작용을 의미하는 자기상관의 가능성이 매우 적음을 알 수 있다. 흙깔기 물량은 임야면적, 설계등급, 차선에 영향을 많이 받는 것으로 분석되었으며, 지역특성 더미 변수 중 도시부가 진입함으로써 준거집단인 농촌지역에 비해 도시부에서 흙깔기 물량의 차별성이 있음을 보여주고 있다.

4.2 측구공 물량산출 모델

측구공의 경우 도로연장과의 상관성이 높을 것이라는 기본 가정 외에, 측구공의 특성상 절토면이나 성토면의 연장에 따

라 측구연장이 비례하게 되기 때문에 토공물량과의 상관성이 높을 것으로 가정하였다. 이에 따라, 토공과 마찬가지로 공사특성 변수를 독립변수로 활용한 회귀분석을 활용하되, 토공과의 상관관계가 높다는 점에 착안하여 추가적으로 토공물량(흙쌓기 및 흙깎기)을 독립변수로 활용하였다.

다중회귀모델을 활용한 분석결과 L형 측구 물량 산출모델은 결정계수 R²값이 0.69로 유의한 결과를 도출하였으며, Durbin-Watson 통계량의 경우도 2.13으로 나타나 자기상관의 위험이 적은 것으로 나타났다. L형 측구 물량은 본 연구에서 가정한 바와 같이 흙쌓기 물량과의 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, 이외에 평면곡선반경이나 행정구역 더미 변수 중 강원도 지역과의 상관성이 높은 것으로 분석되었다.

표 4. L형측구 물량산출 모델 회귀계수

독립변수	비표준화 계수		표준화 계수		t	유의확률
	B	표준오차	베타	B	표준오차	
(상수)	-1283.64	238.14			-0.60	0.05
흙쌓기(m ³)	0.01	0.00	0.46		4.79	0.00
더미-원주청	7122.65	193.20	0.38		3.97	0.00
평면곡선반경(m)	17.76	5.55	0.31		3.20	0.00

한편, V형 측구에 대한 분석결과, 결정계수 R²값이 0.77로 유의한 결과가 도출되었다. V형 측구 물량의 경우 토공물량과의 상관성은 없는 것으로 분석되었으며, 용지면적, 논면적, 평면곡선반경, 발 면적 등의 영향이 큰 것으로 나타났다. 또한 제주도 지역의 특성이 V형 측구 연장을 증가시키는 것으로 분석되었다.

표 5. V형측구 물량산출 모델 회귀계수

독립변수	비표준화 계수		표준화 계수		t	유의확률
	B	표준오차	베타	B	표준오차	
(상수)	2050.54	972.22			2.11	0.04
도로 총 면적	0.03	0.00	0.41		6.26	0.00
용지(m ²)-답	0.03	0.00	0.61		9.09	0.00
평면곡선반경(m)	-12.57	2.51	-0.31		-5.01	0.00
용지(m ²)-전	0.01	0.00	0.26		4.22	0.00
더미-제주청	6695.13	2026.16	0.20		3.30	0.00

토공 및 측구공 분석 결과를 종합해 회귀식으로 표현한 결과는 표 6과 같다.

4.3 포장공 물량산출 모델

포장공은 토공사가 끝난 후 시공이 이루어지기 때문에 토공 물량에 큰 영향을 미치는 지형적인 조건을 비롯하여 공

사개요 등과 같은 요인에 별다른 영향을 받지 않는다. 포장공은 연장에 비례하여 물량과 그에 따른 공사비가 선형적으로 증가하는 공종이기 때문에 단위길이 당 물량을 산출하는 작업이 가능한 공종이다. 따라서 포장공의 물량을 예측하는 방법론은 표준도와 실시설계내역 자료를 분석하여 국도의 대표단면을 도출하고 단위물량을 산출한 후 연장을 곱하여 전체 물량을 예측하는 모형을 선택하였다.

포장공 물량예측을 위하여 국도의 표준횡단면을 도출하기 앞서 기 수행된 빈도분석의 결과, 수집된 전체 사례에서 4차선이 78%의 수를 차지하고 있고 여타 차선이 나머지를 차지하고 있으므로 국도의 설계기준적 특성을 고려하였을 때 4차선을 준거 단면으로 설정하는 것이 적절하다고 판단하였다.

표 7. 아스팔트 포장물량 예측모형 (4차로 기준)

포설수량	아스콘	표층	m ²	폭×1.0×연장=a
		중간층	m ²	폭×1.0×연장=b
	기층	m ²	폭×1.0×연장=c	
골재	보조기층	m ²	폭×1.0×연장×보조기층두께/100=d	
	동상방지층	m ²	폭×1.0×연장×동상방지층두께/100=e	
아스팔트	택코팅	m ²	폭×1.0×연장×(2회)=f	
	프라임코팅	m ²	폭×1.0×연장=g	
자재수량	아스콘	표층	ton	ax2.34 × 표층두께/100×1.02=h
		중간층	ton	bx 2.34 × 중간두께/100×1.02=i
		기층	ton	cx2.32 × 기층두께/100×1.02=j
골재	보조기층	m ³	dx1.175/0.95×1.04=k	
	동상방지층	m ³	ex1.175/0.95×1.04=l	
아스팔트	택코팅	D/M	f×0.3/200×1.03=m	
	프라임코팅	D/M	g×0.8/200×w 1.03=n	

국도의 경우 일반적으로 전구간에 콘크리트 포장이 사용되는 경우는 없으나 부분적으로 콘크리트 포장이 사용되기 때문에 콘크리트 포장의 표준단면도 설정을 하고 단위물량을 제시하여 본 예측모형을 사용하는 사용자의 선택의 폭을 확장할 필요가 있다. 본 예측모형의 사용성을 극대화하기 위하여 최소수준의 입력변수만을 사용하였는데, 예를 들어 중앙분리대의 유무나 차로 및 길어깨 폭 등 도로의 세부적인 횡단구성은 설계초기 단계의 개략적인 물량을 예측하는 시점에서 사용자가 구체적으로 확정할 수 없는 부분이 있고, 또한 도로의 구간별로 상세 제원을 달리하기 때문에 차선 수(도로폭), 도로연장, 포장두께만을 입력변수로 두어 모델을 구성하였다. 4차로구간의 표준횡단면도와 수집된 실시설계내역 자료를 분석하여 최종적으로 포장물량 예측모형을 구성하는 대표공종별 수식은 표 7과 같다.

사용자가 포장형식을 결정하고 차선의 수 또는 도로의 폭

표 6. 토공 및 측구공 회귀식

구분	회귀식
흙쌓기	-6458.61 + 1.57 × 용지면적 + 5.68 × 도로폭 + 1.38 × 용지(답) + 85.49 × 총 연장 - 3.06 × 대지면적
흙깎기	-490378.47 + 3.83 × 용지(임야) + 1586694.99 × 더미(도시부) + 138031.11 × 설계등급 + 204689.64 × 차선수
L형 측구공	-1283.64 + 0.01 × 흙쌓기 + 7122.64 × 더미(원주청) + 17.76 × 평면곡선반경
V형 측구공	2050.54 + 0.03 × 도로 총 면적 + 0.03 × 용지(답) - 12.57 × 평면곡선반경 + 0.01 × 용지(전) + 6695.13 × 더미(제주청)

과 포장두께를 입력하게 되면 우선적으로 단위물량이 산출되고 그 값에 연장을 곱하여 대표공종별 총물량을 산출하게 된다. 그리고 구해진 포설수량을 바탕으로 자재수량을 구하여 포장공에 소요되는 모든 물량을 구하게 된다. 이 수식에 적용된 기준은 다음과 같다.

- ① 택코팅 포설수량은 중간층 도입 시 2회
- ② 아스콘 표층 자재수량은
표층밀도 2.34ton/m³, 할증수량 2% 포함
- ③ 아스콘 중간층 자재수량은
중간층밀도 2.34ton/m³, 할증수량 2% 포함
- ④ 아스콘 기층 자재수량은
기층밀도 2.32ton/m³, 할증수량 2% 포함
- ⑤ 골재 보조기층 자재수량은
f=C/L(1.175/0.95), 할증수량 4% 적용
골재 동상방지층 자재수량은
f=C/L(1.175/0.95), 할증수량 4% 적용
- ⑥ 택코팅 자재수량은 단위수량 0.3L/m²,
1D/M=200L, 할증수량 3% 적용
- ⑦ 프라임코팅 자재수량은 단위수량 0.3L/m²,
1D/M=200L, 할증수량 3% 적용

4.4 기타 공종의 효율 도출

대표공종으로 선정된 토공, 배수공, 포장공 이외 비탈면안정공, 교통안전시설공, 부대공 등의 기타 물량은 이를 직접 산출하지 않고, 효율산출을 통해 해당 공사비를 예측하였다. 또한 각 공사특성 변수와의 상관분석을 통해 유의성이 크고 논리적으로 타당한 관계를 선택하여, 공사특성에 따른 효율을 적용하여 기타공종 비용 산출의 정확도를 높이고자 하였다. 각 기타공종의 공사특성별 효율은 수집된 공사데이터의 평균 t검정 및 분산분석을 통해 통계적 차이를 검증하고 유의한 결과를 채택하는 과정을 통해 구했는데, 그 결과는 다음 표 8과 같다.

표 8. 기타공종 공사비 효율

구분	구분	신설	확포장
	비탈면안정공	흙쌓기 100만m ³ 이상	28.47%
흙쌓기 100만m ³ 이하		39.11%	25.06%
교통안전시설공	신설	23.80%	
	확포장	46.41%	
부대공	신설	9.34%	
	확포장	8.42%	

먼저 비탈면안정공 공사비는 흙쌓기 물량에 직접 영향을 받는다는 데 착안하여 분석을 수행하였다. 그 결과 표 7에서와 같이, 비탈면안정공의 공사비는 위의 기준에 따라 흙쌓기가 100만m³ 이상이고 신설공사인 경우 토공 공사비에 28.47%를 곱하여 산출한다. 교통안전시설공은 포장면 위에 설치된다는 점에 착안하여 표 7의 효율에 포장공 공사비를 곱하여 산출한다.

부대공은 공종의 특성 상 부대적인 성격을 띠고 있어 특정 공종에 연동하여 공사비 증감이 이루어진다고 보기 어렵고 해당 공사의 특수성에 기인하여 공사비가 증가할 수 있

으나 개략공사비를 예측하는 시점에서 그러한 접근을 시도하는 데는 한계가 있기 때문에 부대공을 제외한 나머지 직접비 총액에 부대공 공사비가 비례한다는 가정 하에 수집된 공사비 데이터 분석을 수행하였다. 그 결과는 표 7에 제시되어 있는데, 신설공사인 경우는 9.34%, 확장공사인 경우는 8.42%의 효율을 부대공을 제외한 직접공사비총액에 곱하여 산출하는 방식을 취하게 된다.

5. 개략공사비 산정모델의 검증

이상과 같이 개발된 도로공사 개략공사비 산정모델의 검증을 위하여, 수집된 데이터 중 모델 구축에 사용된 87건을 제외한 9건의 데이터를 모델의 검증에 활용하였다. 앞서 논의한 바와 같이, 노선선정 이전까지의 설계단계에서는 공사비 산정을 위한 적절한 기준이 부재하고, 전문가의 판단이나 국토해양부 또는 한국개발연구원의 단위길이당 단가 기준을 활용하고 있는 상황이기 때문에 상대적인 비교를 위하여 현행 기준을 동일한 데이터에 적용하여 오차율을 비교하였다. 9개 데이터에 대한 적용결과, 오차율 평균은 다음 표 9와 같다.

표 9. 평균 오차율 비교결과

구분	평균	표준편차	최대값	최소값
KDI	-27.0%	38.8%	49.9%	-74.8%
도로업무편람	37.7%	63.0%	181.5%	-38.6%
제안 모델	-8.0%	11.2%	14.6%	-17.8%

본 연구에서 제안한 개략공사비 산출모델은 9개 검증 데이터의 최종 실시설계 내역서상에 산정된 최종공사비와 비교했을 때 평균 8.03%의 공사비 오차를 나타내었다. 현행 공사비 산정기준과 비교하면 평균 20% 이상의 정확도 향상 효과를 보였으며, 예측의 일관성 면에서도 11.2%의 표준편차를 보여 신뢰할 수 있는 결과를 나타내고 있다. 또한, 그림 5에서와 같이, 예측 오차율을 각 케이스별로 살펴보면, 현행 기준을 적용할 경우, 공사 건에 따라서 오차가 최대 181.5%까지 확대되는 경우가 발생하게 되어 적용상에 문제가 있음을 확인할 수 있다. 한편, 본 연구모델의 예측 정확도는 AACE(Association for the Advancement of Engineering)에서 권장하고 있는 설계단계 비용예측의 정확도 범위인 -20%~+20% 범위 내에 위치하고 있어 신뢰성 있는 결과를 보여주고 있다고 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 도로 공사가 갖고 있는 다양한 특성을 반영하여, 타당성 조사나 초기 설계단계에서 획득 가능한 정보 안에서 주요 입력 변수를 결정하며, 실무에 활용할 수 있는 수준의 정확성을 보유한 개략공사비 산정모형을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해, 문헌고찰 및 현행 기준 분석을 통해, 설계초기 단계에 적합한 대표공종 기반의 개략공사비 산출체계를 제시하였다.

현재 노선선정 단계에서 체계화된 공사비 산정기준이 없고

전문가 판단에 의존하거나 현행 공사비 산정기준을 준용하고 있다는 점을 고려할 때 본 연구모델의 활용을 통해 설계 단계 개략공사비 산정업무의 정확성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있는 결과를 제시하였다고 할 수 있다. 본 연구개발 성과를 활용하면 설계초기 단계에 노선별 경제성 검토가 보다 정확해 지고, 발주처 입장에서는 사업자가 견적한 금액의 적정성 여부를 판단할 수 있는 근거자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 추가적인 데이터 수집을 통해 모델 개선 및 수정이 이루어진다면 좀 더 향상된 공사비 예측 결과를 시연할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 신설 및 확포장을 구분하여 회귀식을 제시하고, 사업 유형별 보정계수 개발 및 예측모델의 보완을 통해 보다 활용성 높고 정확한 예측모델의 개발을 위한 연구가 이루어져야 하며, 본 연구에서 제외하고 있는 구조물 구간의 공사비 산정모델을 향후 연구에서 추가함으로써 전체 도로사업의 공사비 예측을 포괄할 수 있는 산정체계를 마련하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술기반구축사업의 연구비지원(과제번호 : 06 기반구축 A03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

김광희, 강경인(2004) 사례기반추론 기법을 이용한 공동주택 초기 공사비 예측에 관한 연구. **대한건축학회논문집(구조계)**, 대한건축학회, 제20권 제5호, pp. 83-92.

김수진, 김선국(1999) 공동주택에서 주요물량을 이용한 공사비 예측 모델 개발. **대한건축학회 춘계학술발표대회논문집(구조계)**, 대한건축학회, pp. 531-536.

박종현, 이태식(2002) 설계단계별 도로공사 공사비 산출 모델 개발. **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제22권 제1D호, pp. 103-112.

안성훈, 강경인(2005) 전문가지식을 활용한 공동주택 초기단계 공사비 예측에 관한 연구. **대한건축학회논문집(구조계)**, 대한건축학회, 제21권 제6호, pp. 81-88.

이유섭(2003) 코스트 중요항목 분석을 통한 공사비 예측모델 연구. **한국건설관리학회논문집**, 한국건설관리학회, 제4권 제4호, pp. 212-219.

Adeli, H. and Wu, M. (1998) Regularization neural network for construction cost estimation. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 124, No. 1, pp. 18-24.

Bell, L.C. and Kaminsky, A. (1987) Data base for preliminary cost estimating. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 113, No. 4, pp. 341-347.

Carr, R.I. (1989) Cost-estimating principles. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 115, No. 4, pp. 545-551.

Flyvbjerg, B., Holm, M. S., and Buhl, S. (2002) Underestimating costs in public works projects: Error or lie? *Journal of the American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, pp. 279-295.

Karshenas, S. (1984) Predesign cost estimating method for multi-story buildings. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 110, No. 1, pp. 79-86.

Lee, K.H. (2003) *Social Science Research Methodology* 1st. Ed., Bupmunsa, Korea.

Oberlender, G.D. and Trost, S.M. (2001) Predicting accuracy of early cost estimates based on estimate quality. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 127, No. 3, pp. 173-182.

Ou-Yang, C. and Lin, T.S. (1997) Developing an integrated framework for feature-based early manufacturing cost estimation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 13, No. 9, pp. 618-629.

Seeley, I.H. (1996) *Building Economics*, 4th Ed., Macmilan, London, U.K.

Soutos, M. and Lowe, D.J. (2005) Procost-towards a powerful early stage cost estimating tool. *Computing in Civil Engineering*, ASCE, Cancun, Mexico, pp. 142-142.

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*, Vol. 129, No. 2, pp. 198-204.

Wilmot, C.G. and Cheng, G. (2003) Estimating future highway construction costs. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 129, No. 3, pp. 272-279.

(접수일: 2009.2.2/심사일: 2009.3.4/심사완료일: 2009.3.10)