

회귀분석을 이용한 고속도로 건설공사 예비비의 산정

Estimation of Contingency for Highway Construction Project Using Regression Analysis

윤유중* · 우성권**

Yoon, Yoo Jung · Woo, Sungkwon

Abstract

The purpose of contingency estimate is to manage the increase in construction cost and the extension of the term of works due to the inevitable occurrence of uncertain situations. The aim of contingency strategies have two intentions. One thing, can be called a passive strategy, gets ready for construction cost increase due to uncertainty factors, the other thing, can be called a active strategy, gets rid of the obstruction factors of work prior to construction performance. Therefore, from the view point of medium and long term, there is necessary to accumulate data in conjunction with design modification cases and carefully analyze uncertainty factors from construction types and characters. Therefore, this thesis will analyze design modification case at a special work such as highway and select factors that affect construction cost and present contingency estimate process using regression analysis.

Keywords : contingency, highway construction, risk analysis, regression analysis

요 지

예비비의 산정은 건설공사에서 필연적으로 발생할 수없이 없는 예측불가능한 상황으로 인한 공사비의 증가와 공기의 연장에 대처하기 위해서이다. 예비비의 본 취지는 불확실한 요소로 인한 예기치 못한 공사비 증가에 대비하기 위한 수동적인 면에서의 전략도 있지만, 불확실한 요소의 분석을 통해 사전에 공사저해 요소를 제거하고자 하는 능동적인 면에서의 전략도 가지고 있다. 따라서 중장기적인 관점에서 예비비제도가 우리나라에 올바르게 정착되기 위해서는 공사종류별, 특성별 불확실한 요소로 인한 설계변경 사례에 대한 자료의 축적 및 면밀한 분석으로 적정한 예비비를 반영할 수 있어야 할 것이다. 이에 본 연구에서는 고속도로 공사라는 특정 공사에서 설계변경사례를 분석하여 공사비에 영향을 미치는 요소를 판별하고 회귀분석을 이용하여 예비비율을 산정하는 절차를 제시하고자 한다.

핵심용어 : 예비비, 고속도로건설, 리스크 분석, 회귀분석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

인류의 탄생과 더불어 국가의 기간산업으로서 역할을 충실히 수행해 왔던 건설산업을 21세기의 화두로서 정의 내린다면 ‘첨단화’, ‘복잡화’, ‘다양화’, ‘대형화’일 것이다. 그러나 예측할 수 없는 자연환경과 알 수 없는 지층구조 등 불확실한 환경속에서 장기간에 걸쳐 건설되는 건설공사는 기획단계에서부터 구조물의 완료에 이르기까지 예상하지 못했던 많은 불확실한 문제점들과 리스크에 노출되게 되었고, 이러한 특성은 정확한 예산 및 공기의 측정을 어렵게 만들었다.

국내 및 해외에서 발주되는 대형 공공사업 및 민간부문의 건설공사에서는 이러한 문제점들로 인한 잦은 설계변경 등으로 예산의 증가 및 예정된 기한 내에 구조물을 완성하지 못하는 결과를 초래하고 있다. 결국 이러한 예산의 증가는

총사업비의 증가를 초래하고 있으며, 공기의 연장으로 인해 국가 정책의 마스터플랜(master plan)이 차질을 빚게 됨에 따라 국가의 경제적 손실과 국민 불편을 가중시키는 결과를 초래하고 있다.

따라서 보다 효율적인 건설공사의 수행을 위해서는 건설공사의 불확실한 요소 및 리스크에 대한 분석을 통해 예측 가능한 위험요소를 사전에 제거해가는 것이 무엇보다 중요하다 할 수 있다. 이러한 연구의 성과들을 살펴보면, Ashley와 Avote(1984)는 건설공사의 리스크를 분석하기 위해 영향도 기법을 처음으로 도입하였다. 또한, Ashley와 Bonner(1987)는 해외공사를 수행하기 위해 필요한 정치적 리스크를 분석하기 위해 영향도 기법을 이용하였다. Rasmussen(1994)은 리스크의 발생과 그 영향을 도식적으로 쉽게 나타낼 수 있는 영향도의 장점을 강조하고 그 사례를 제시하여 나타내었으며, Schuyler(1996)는 리스크를 분석하기 위해 의사결정

*인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : unionbear@naver.com)

**정회원 · 교신저자 · 인하대학교 토목공학과 조교수 (E-mail : skwoo@inha.ac.kr)

나무기법을 도입하였다(김창학 등, 1999).

국내에서의 연구성과를 살펴보면 김창학(1999) 등이 고속도로 공사 중 교량공사에 관한 사례조사를 통해 예비비 산정 모형 구축에 관한 연구를 진행하였고, 강인석(2000) 등이 건설공사기간에 영향을 미치는 강우 등 외부적 리스크 인자를 고려한 예비비 및 예비공기 산정에 관한 연구를 진행하였다. 박신과 안용선(2004)은 국내 건설공사의 리스크 분석을 통해 국내 공공 건설공사 예비비제도의 적용 개선방안에 관한 연구를 진행하였다.

그러나 이렇게도 국내에서는 리스크의 분석과 예비비 산정 모델에 대한 연구는 어느 정도 진행되고 있지만, 공사비 상승을 초래하는 구체적인 사례에 대한 분석을 통해 공사 특성별, 종류별 예비비율 산정에 대한 연구는 미미한 실정이다. 일부 실제 데이터에 의한 사례연구가 있지만 단지 가설로서 구축된 모델에 대한 검증 자료로서 이용할 뿐 실제로 발주자의 입장에서 효율적인 예비비의 책정을 통한 합리적인 공사의 운영을 위해서는 실용 가치가 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 작은 설계변경과 예산 증액에 신속히 대처하기 위해 선진 외국에서 운영하고 있는 예비비제도를 살펴보고 이 제도의 효율적인 정착을 위해, 실제 고속도로 공사의 공사비 상승을 초래하는 설계변경요소를 분석하고 예비비율 산정 절차 및 제시를 통해 향후 반복해서 발주되는 공사에서의 예비비율 산정을 위한 모델을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 착공이전의 불확실한 요소로 인해 사업비가 증가한다면 사업 타당성 재검토를 통해 충분히 총사업비의 조정이 가능하다고 판단하기 때문에 한번 착공되면 사업비의 조정이 불가능한 시공 단계를 대상으로 하는 것으로 하였다. 또한 우리나라에서는 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령」(이하 국가계약법 시행령)에서 일정기준 이상의 물가변동이 발생했을 때 설계 변경을 할 수 있는 법적 근거를 마련해 놓고 있다. 따라서 본 연구에서는 물가 상승으로 인한 공사비 증액은 논외로 한다.

연구의 방법 및 절차를 제시하면 다음과 같다. 첫째, 수집된 실적 자료를 통해 고속도로 공사의 주요 설계변경사례를 분석한다. 둘째, 설계변경사례의 분석을 통해 상대적으로 발생빈도가 높은 요인을 판별해 내고, 요인별 공사비 증감 현황을 분석해 공사 예비비의 산정을 위한 분석 대상을 선정한다. 셋째, 년도별 정산내역서를 분석하여 선정된 요인이 단위년도별, 공구별, 공종별로 공사비에 미치는 영향을 분석한다. 넷째, 분석된 데이터를 SPSS를 이용하여 다중회귀분석을 실시하고, 유용성있는 회귀식을 도출한다. 그리고 마지막으로 엑셀을 이용하여 독립변수별 5,000개의 발생 가능한 확률변수값을 회귀식에 적용하여 공사예비비율을 산정한다. 이러한 연구절차를 그림으로써 표현하면 다음의 그림 1과 같다.

2. 예비비제도의 이론적 고찰

2.1 예비비의 개념

예비비(contingency)는 사용하는 기관에 따라 다양하게 정

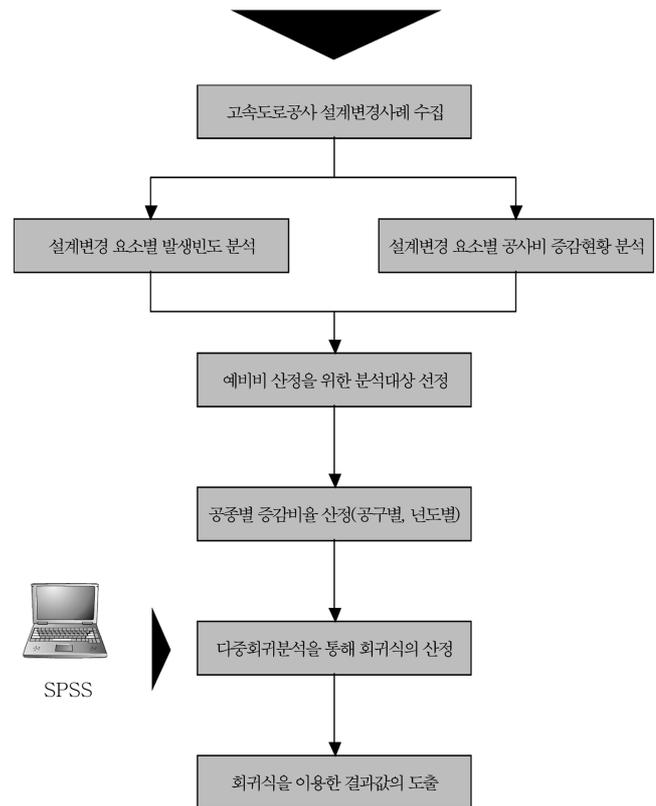


그림 1. 공사예비비 산정을 위한 절차

의되어지고 있는데, 일반적으로 사업계획 수립 당시 예측하지 못했거나 예측할 수 있었다 하더라도 그 정도를 비용으로 추정할 수 없는 리스크(risk)나 불확실(uncertainty)한 요인을 효율적으로 관리하기 위해서 예산과는 별도로 책정하는 여유재원을 의미한다. 2005년도에 예비비제도를 처음 도입한 우리나라에서는 '사업 소관부처에서 당초 사업구상 또는 설계단계에서 예상할 수 없거나, 구체화하기 어려운 상황에 대처할 수 있도록 일정한 용도내에서 기획예산처장과 사전에 협의하지 않고 자율적으로 사용할 수 있는 자원'이라고 정의내리고 있다(기획예산처, 2005).

이러한 예비비는 용도에 따라 크게 물가변동예비비(Price Contingency)와 물량변동예비비(Physical Contingency)로 구분할 수 있다. 물가변동예비비는 건설공사 계약이후(또는 입찰이후) 물가 변동으로 인한 공사비의 증액에 대처하기 위한 것으로, 물가 변동이란 자재비의 변동, 임금의 변동, 현지 통화가치의 변동, 현지 법규의 변경으로 인한 추가 부담 또는 부담의 감소 등을 의미한다(최민수, 2004). 물량변동예비비는 공사를 수행하는 과정에서 토질조건, 설계도서와 현장 여건과의 차이 등 사업초기 단계에서 예측하지 못했거나 정확한 금액으로 산출이 불가능했던 불확실한 요인 등의 설계 변경으로 인한 공사비의 증액에 대비하기 위한 예비비를 말한다.

2.2 예비비의 산정 방법

「총사업비 관리의 효율화를 위한 공사예비비제도 도입방안」(한국개발연구원, 2004)에 따르면 예비비의 산정방법은

표 1. 보스턴시 터널사업 리스크 분석 사례

리스크요인	영향비율	가중치	예비비 비율
1. 설계상의 요소	25%	0.05	1.25%
2. 지리적 여건	30%	0.12	3.6%
3. 현장의 공유	15%	0.06	0.9%
4. 공기제한요소	15%	0.12	1.8%
5. 사업기간	5%	0.04	0.2%
6. 물가변동	5%	0.06	0.3%
7. 도시환경	5%	0.06	0.3%
합계	100%		8.35%

다음과 같이 구분해 볼 수 있다. 첫째, 결정론적 접근방법(Deterministic Approach)으로서 유사한 사업의 경험과 연구에 의해 비용 초과분을 산정하는 것으로 총공사비에 일정요율의 예비비를 추가하여 사업의 불확실성에 대비하는 것이다. 총사업비에 대하여 일반적으로 10~15%의 예비비를 적용하고 있다. 둘째, 사업별로 리스크 요인을 분석하고 이에 따라 예비비를 산정하는 방법으로, 사업의 주요 리스크 요인들을 정의하고 예비비 비율을 항목별로 설정하여 각각의 항목별 소요예산과 곱한 금액을 합산하여 총예비비를 결정하는 방법이다. 표 1은 미국 연방교통국(Federal Transit Administration; FTA)의 보스턴시 터널사업의 예비비 적용 사례를 나타낸 것으로, 건설사업에 내재된 모든 리스크 요인을 사전에 분석, 예측하고 이를 토대로 예비비 비율을 책정하였다.

이 외에 위의 두 가지 방법을 병행하여 사용하는 경우가 있는데 영국 도로공사(Highway Agency)의 경우 리스크 분석을 통해 사전에 인지 가능한 리스크를 총사업비에서 줄이기 위한 분석도구로서 사용하며, 아시아개발은행(Asian Development Bank; ADB)은 통상적인 예비비 비율을 초과하는 공사에 대해 그 사유를 명시하기 위해 리스크 분석기법을 병행하기도 한다

2.3 국내·외 예비비 사용실태 및 제도 현황

우리나라에서의 예비비 반영사례는 국내건설공사와 해외건설공사로 나누어 볼 수 있다. 우선 국내건설공사의 경우 다른 선진외국이나 국내기업이 참여한 해외건설공사에서처럼 다양한 공사에서 활발하게 예비비가 운영되고 있지는 못하다. 국제부흥개발은행(International Bank for Reconstruction and Development; IBRD) 차관으로 시행된 도로공사에서 일률적으로 물량변동예비비와 물가변동예비비를 각각 5%씩 예산에 반영한 경우와 민간투자사업으로 진행된 인천공항진입도로 건설사업의 경우 물가변동예비비 비율로 8.3%, 물량변동예비비 비율로 2.8%를 적용한 사례가 있으며, 1987년부터 시작된 영광 3~4호기 원자력발전소 건설사업의 경우 주계약 체결시점에서는 4.1%의 예비비를 계상하였다가 모든 패키지의 계약이 완료된 시점에서 8.8%의 예비비를 책정하여 운용한 사례가 있다(한국개발연구원, 2004). 반면 국내 기업이 진출한 해외건설공사의 경우 국내의 경우보다는 도로, 교량, 항만 등 다양한 분야의 건설공사에서 최대 21.63%에서 최소 0.54%까지 다양하게 예

비비가 운영되고 있는 것으로 나타나고 있는데, 국제 입찰의 성격상 선진적인 계약제도의 관행에서 오는 결과로 판단된다.

국내 건설공사와 마찬가지로 미국, 영국 등 해외에서 실시되는 건설공사 또한 불확실한 요인 및 리스크로 인해 많은 부분에서 공사비가 증가되는 경향을 보이고 있다. 미국 버지니아주 교통부(Virginia Department of Transportation)는 자체 시행한 사업 중에서 공사비 증액 및 공기지연이 일어난 사업에서의 공사비 증액의 주요 원인으로, 설계단계의 과실이나 오류가 시공단계에서 공사비 증액과 공기지연을 초래하는 주요한 사유가 될 수 있다고 지적하고 있다.(한국개발연구원, 2004) 특히 미국 버지니아주 의회의 JLARC(Joint Legislative Audit and Review Commission)가 제시하고 있는 도로 건설사업 예산 증액의 주요사유로, 첫째, 지자체의 요구로 인해 설계에 반영되지 않은 교량이나 인터체인지 시설의 신설, 지방도 보완, 둘째, 물가변동분의 반영, 셋째, 설계당시 예상하지 못한 상황변화, 넷째, 공사비 예측당시 고려하지 않은 추가항목, 다섯째, 설계단계에서 공사비의 과소 추정이 더 유리하다는 막연한 인식·관행, 마지막으로 개발사업에 따른 자산가치의 상승을 들고 있다. 이러한 이유로 미국에서도 예비비제도를 운영하고 있는데 표 2에서처럼 규모, 난이도 등 공사특성과 사업단계별로 예비비 비율을 차등화하여 적용하고 있는 것을 볼 수 있다.

영국의 도로공사(Highways agency)의 경우는 미국의 예비비제도와는 다른 특성을 가지고 있다. 사업의 특성별(규모, 난이도, 리스크 분석 실시여부)·단계별로 예비비 비율을 차등화하는데 있어서는 공통점이 있으나, 예비비를 성격에 따라 리스크 충당금(risk allowance)과 전략적 리스크 충당금(strategic risk), 낙관주의 보정액(optimism bias) 등으로 구분하는데 있어서는 미국의 예비비제도와는 차이점을 보인다.

이렇듯 국내·외 예비비 운영 사례를 살펴보면, 결국 예비비의 운영에 있어서 가장 중요한 것은 국가적인 차원에서의 예비비 제도의 마련과 집행이라고 할 수 있을 것이다. 이에 우리나라에서도 2005년도부터 발주되는 일정규모 이상의 공사에 공사예비비제도를 도입하기로 하였는데, 간략하게 소개하면 도로, 철도, 항만 등 대규모 SOC 공공건설공사에 공사비 변동 중 물량변동에 대해 공사예비비 제도를 도입하기로 하였으며, 공사예비비의 용도는 연약지반 보강 등 현장여건 변동, 법령개정 및 안전관련 소요 등이며 공사예비비의 규모는 공사 낙찰가의 8% 수준으로 결정하였다.

표 2. 미국 발주기관별 예비비 적용기준

발주기관	예비비 적용기준	특성
미국 연방교통국	사업계획단계:총사업비의 18~25% 설계단계:10~15%	지역적 특성 고려
미국 메릴랜드주 도로국	기본요율:20% 프로젝트 범위 미확정:+5%(25%) 복잡한 공사, IC가 많은:+5%(30%) 미관을 고려할:+5%(35%)	기본요율에 추가할증율 적용
캘리포니아 조달국	신설공사:5% 보수공사:7%	공사종류에 따라 차등화
조지아주 주택공사	주택 신축공사:2% 개·보수공사:5~7%	공사종류에 따라 차등화

3. 회귀분석을 이용한 공사예비비 산정

3.1 회귀분석의 이론

회귀분석은 값을 알 수 있는 하나 또는 그 이상의 변수(독립변수) 값을 사용하여 다른 변수(종속변수)의 값을 예측하거나 제어하고 싶을 때 사용하는 방법이다. 독립변수가 하나인 경우를 단순회귀분석(simple regression analysis)이라고 하고, 독립변수가 두 개 이상인 경우를 다중회귀분석(multiple regression analysis)이라고 하는데, 종속변수를 y , 독립변수를 x 라고 할 때, 다중회귀분석의 일반식은 아래와 같다.

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$$

여기서, a 를 절편 혹은 상수항이라 부르고, b_1, b_2, \dots, b_n 을 회귀계수라고 부른다.

다중회귀분석에서 가장 중요한 것은 어떤 변수를 종속변수에 영향을 미치는 변수로써 선택할 것인가의 문제이다. 일반적으로 독립변수와 종속변수의 상관관계(correlation)를 이용하여 독립변수를 선택하고, 산포도를 작성하여 독립변수와 종속변수간의 이상치의 유무를 시각적으로 분석하게 된다. 또한, 다중회귀분석에서는 종속변수에 영향을 미치는 각각의 독립변수들이 서로 독립적인 관계에 있다는 가정을 만족시키기 위하여 다중공선성(multicollinearity)을 검토하여야 한다. 일반적으로 정의되어 있는 기준은 없으나 두 독립변수간의 상관관계수가 0.8이상이면 서로 같은 영향을 종속변수에 주고 있는 것으로 판단한다.

이러한 다중공선성을 검토하여 최종적으로 선택된 독립변수들에 대하여 회귀분석을 수행하여 회귀식을 산출하고, 산출된 회귀식이 통계적으로 의미가 있는지의 여부를 판단하기 위해 F 값을 이용한 유의성 검토를 한다. 유의성 판단이 끝나면 기어율(결정계수)과 잔차검정을 실시하여 회귀식이 실제로 도움이 되는지 여부에 대한 유효성을 판단한다. 회귀식의 유효성을 평가하기 위한 또 하나의 지표로 사용되는 것이 잔차검정이다. 잔차란 실제의 값과 회귀식에 의한 예측치와의 차로서 이 잔차가 전체적으로 작은 회귀식일수록 유효한 회귀식이라고 볼 수 있다. 잔차검정을 위해서는 잔차의 정규성 검토, 등분산성 검토 등을 실시한다.

3.2 실적 데이터의 분석

3.2.1 고속도로공사의 설계변경요인 분석

본 연구에서 사용된 실적 데이터는 현재 진행중인 ○○고속도로 현장(9개 공구)과 △△고속도로 현장(6개 공구)을 대상으로 각각 3개년도(2002~2004), 2개년도(2003~2004)의 년도별 정산내역서를 분석대상으로 하였다.

연도별 정산내역서를 분석해보면 고속도로공사의 설계변경 사례를 크게 물가변동, 감사 및 기준 변경, 설계시 조사 불능 요인, 민원사항, 기타 변경 등으로 분류해 놓은 것을 볼 수 있는데, 첫째, 물가변동에 의한 설계변경은 자재비, 노무비 등의 상승으로 인한 내역서상의 단가를 조정하는 것으로서, 국가계약법 및 공사계약 일반조건에 그 기준이 명시되어 있다. 둘째, 감사 및 기준변경으로 인한 설계변경은 시방서 및 공사지침의 변경으로 인한 것으로 공사의 효율성 향상

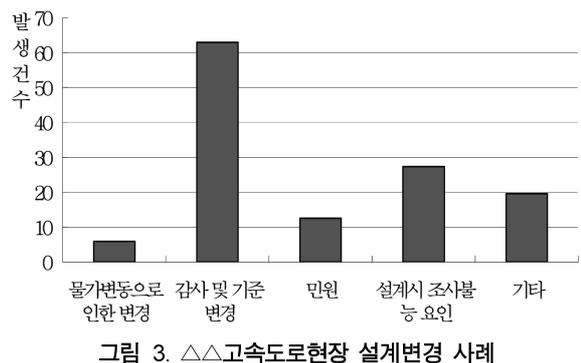
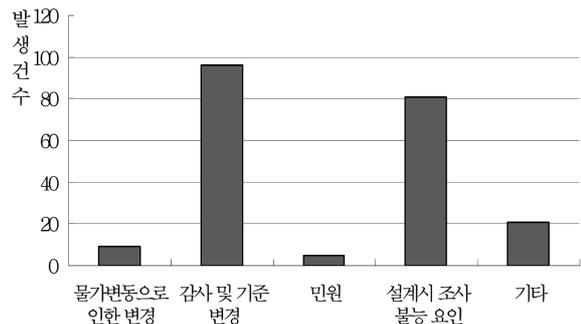
및 경제성 등에 관련된 요인으로 볼 수 있다. 셋째, 설계시 조사 불능 요인으로 인한 설계변경은 설계 당시 예측하지 못했던 지반조건의 상이, 지반조건 변경에 의한 터널형식의 변경, 교각기초공법의 변경 등에 관련된 사항으로 분석되었다. 넷째, 노선이 지나는 주변 주민들에 의한 소음 및 환경에 대한 요구 등 민원으로 인한 설계변경이 있었으며, 마지막으로 공사의외적인 부분에서의 공사의운영에 필요한 차량 및 무전기 등의 설계당시 누락으로 인한 반영 등이었다. 이러한 설계변경요인들의 단위년도별 평균 발생건수를 설계변경 사례별로 비교해보기 위하여 막대그래프를 사용하여 표현해 보았다.

그림 2와 그림 3에서 보면 한해 평균 204건, 123건(공구당 약 20건)의 설계변경이 발생하는 가운데 공통적으로 감사 및 기준 변경으로 인한 설계변경 사례가 각각 97건, 63건으로 가장 크게 나타나고 있으며, 설계시 조사불능 요인으로 인한 설계변경이 각각 81건, 28건으로 그 다음을 차지하고 있음을 알 수 있다. 특히 이번 조사에서는 일반적인 예상과는 달리 민원사항으로 인한 설계변경 사례가 5건, 13건으로 상대적으로 낮은 빈도를 보이고 있는 것으로 나타나고 있는데, 이는 고속도로의 특성이 산간지방을 주요 노선으로 하고 있다는 점도 있지만 그 동안의 수많은 고속도로 건설공사의 경험속에서 공사 초기 단계에서부터 민원사항에 적극적으로 대처했기 때문인 것으로 판단된다.

3.2.2 예비비의 영향요인 선정

분석된 고속도로공사의 여러 설계변경요인 중 예비비의 산정을 위해 필요한 영향 요인을 결정하기 위하여 각각의 설계변경요인이 전체 설계변경빈도에서 차지하는 비중을 분석해 보면 그림 4 및 그림 5와 같다.

감사 및 기준변경으로 인한 설계변경이 두 현장 모두 49%의 비율을 나타내고 있으며, 설계시 조사불능 요인으로



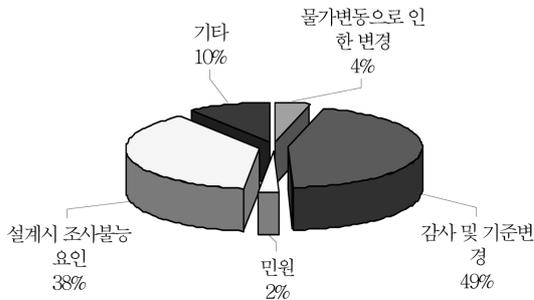


그림 4. ○○고속도로현장 설계변경 비도

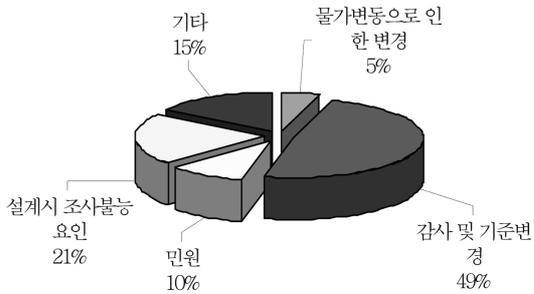


그림 5. △△고속도로현장 설계변경 비도

인한 것이 각각 38%, 21%의 비율을 보이고 있다. 결국 고속도로 공사의 설계변경 사례의 약 70%이상은 감사 및 기준변경으로 인한 것과 설계시 조사불능 요인으로 인한 것으로 발생하고 있다고 볼 수 있다.

그런데 고속도로 공사에서 가장 주요한 설계변경 요인 중의 하나인 감사 및 기준 변경으로 인한 설계변경은 대부분 시방서 및 공사지침 변경으로 인한 것으로, 구조물의 기능 제고 및 과도하게 설계된 설계도서에 대한 낭비요인을 제거하고 효율성을 기하기 위한 것이다. 실제로 표 3을 보면, 감사 및 기준변경으로 인한 설계변경은 두 현장에서 모두 공사비가 감소하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 공사 예비비의 목적에는 부합되지 않는 것이며, VE를 통해 사전에 충분히 방지 가능한 요소들로서 고려되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 공사 예비비 산정을 위해 고려해야 할 요소로서 설계시 조사불능으로 인한 요소와 민원으로 인한 요소를 분석대상으로 선정하였다.

3.3 다중회귀분석을 이용한 회귀식의 산정

3.3.1 입력데이터의 생성

회귀분석을 이용한 공사예비비의 산정을 위해서는 SPSS 프로그램에 입력할 데이터를 생성하여야 한다. 단위년도 당 공구별 공사예비비를 산정하기 위하여 분석대상 현장의 연도별 정산내역을 분석하여 공종별 증감비율과 직접공사비의 증감비율을 계산하였다. 보다 이해를 쉽게하기 위하여 표 4에서 공구별, 공종별 변수를 정의하고 계산식으로 나타내어

표 3. 요인별 공사비 증감 현황(단위년도 당)
(단위 : 백만원)

설계변경요소 현장명	물가 변동	감사 및 기준변경	민원	설계시 조사불능	기타
○○고속도로 현장	28,810	-2,995	172	1,686	-40
△△고속도로 현장	29,527	-3,588	854	2,738	-40

표 4. 공구별, 공종별 공사비 증감 예시

공종	1공구	2공구	...	공구	계
토공	A_1	A_2	...	A_n	A_T
배수공	B_1	B_2	...	B_n	B_T
구조물공	C_1	C_2	...	C_n	C_T
포장공	D_1	D_2	...	D_n	D_T
부대공	E_1	E_2	...	E_n	E_T
터널공	F_1	F_2	...	F_n	F_T
직공비 계	S_1	S_2	...	S_n	S_T

보았다.

다중회귀분석의 일반항이 3.1절에서 살펴본 것과 같을 때, 각 공종들의 합 및 직접공사비의 합은 다음과 같이 계산되어 질 수 있고,

$$A_T = \sum_{i=1}^n A_i = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

∴ ∴

$$F_T = \sum_{i=1}^n F_i = F_1 + F_2 + \dots + F_n$$

$$S_i = A_i + B_i + \dots + E_i + F_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^n S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_n$$

독립변수 x_1 의 입력값은 각각, $A_1/A_T, A_2/A_T, \dots, A_n/A_T$ 이 되고, 독립변수 x_2 의 입력값은 각각 $B_1/B_T, B_2/B_T, \dots, B_n/B_T$ 이 된다. 같은 방법으로 종속변수 y 의 입력값은 $S_1/S_T, S_2/S_T, \dots, S_n/S_T$ 으로 산출할 수 있다. 이러한 방법에 의해 산정된 독립변수 및 종속변수는 표 5와 같다.

또한 공종별 공사비 비중에 의한 가중치를 산정하기 위해 한 현장의 공구별 내역을 분석하여 전체 직접공사비에서 각 공종이 차지하는 공사금액 비중을 분석하고(표 6), 터널 유·무에 따라 공종별 평균값을 산출한 다음(표 7), 각 공종의 비중평균을 전체 비중평균으로 나눔으로써 가중치를 계산하였다.

3.3.2 독립변수의 선택

회귀식의 산정을 위해 각 독립변수들과 종속변수 간의 상관관계를 이용하여 필요한 독립변수를 선택한다. 일반적으로 독립변수와 종속변수의 상관계수가 어느 수준 이상이어야 한다는 뚜렷한 기준은 없지만, 본 논문에서는 유의수준 0.05에서 상관계수 값이 0.4 이상일 때를 종속변수에 영향을 주는

표 5. 공종별 증감율에 따른 변수의 정의

구분	변수명	
독립변수	토공 공사비 증감비율	x_1
	배수공 공사비 증감비율	x_2
	구조물공 공사비 증감비율	x_3
	포장공 공사비 증감비율	x_4
	부대공 공사비 증감비율	x_5
	터널공 공사비 증감비율	x_6
종속변수	직접공사비 증감비율	y

표 6. 공사비 비중에 따른 가중치의 계산

	토공	배수공	구조물공	포장공	부대공	터널공	계
1공구	0.23	0.05	0.42	0.13	0.17		1.00
2공구	0.24	0.06	0.43	0.12	0.15		1.00
3공구	0.29	0.06	0.20	0.21	0.09	0.15	1.00
4공구	0.04	0.02	0.69	0.07	0.10	0.08	1.00
5공구	0.02		0.55	0.04	0.08	0.31	1.00
6공구	0.15	0.01	0.32	0.08	0.11	0.33	1.00
7공구	0.19	0.02	0.52	0.07	0.20		1.00
8공구	0.24	0.07	0.32	0.22	0.08	0.07	1.00
9공구	0.10	0.06	0.52	0.12	0.11	0.09	1.00

변수로써 선정하였다.

표 8에서 종속변수와 독립변수 상관관계의 분석결과 포장공과 구조물공, 터널공이 양의 상관관계, 토공이 약한 양의

상관관계를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 유의확률도 모두 유의수준 이내로 통계적으로도 유의한 것으로 분석되었다. 따라서 종속변수에 영향을 주는 독립변수로써 토공, 구조물공, 포장공, 터널공을 선택하였다.

선택된 4개의 독립변수에 대해 다중공선성을 분석하여 보면 포장공과 구조물공의 상관계수가 0.826로 높게 나타나고 있는 것을 볼 수 있는 데, 이론적으로 다중공선성을 제거할 수 있는 방법은 보다 많은 데이터를 입력하여 두 변수간의 상관관계를 약화시키는 방법과 상관관계에 있는 독립변수 중 하나를 제거하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 보다 많은 데이터를 확보하는 데에는 현실적인 어려움이 있으므로, 종속변수와 독립변수의 상관관계와 두 공종의 공사비 비중을 고려하여 다중공선성 문제를 해결하였다. 이로써 최종적으로 회귀식의 산출을 위해 선정된 독립변수는 다음의 표 9와 같다.

또한 독립변수와 종속변수의 선형적인 관계와 이상 유무

표 7. 공사비 비중에 따른 가중치의 계산

		토공	배수공	구조물공	포장공	부대공	터널공	평균
터널이 없는 경우	평균*	0.22	0.04	0.46	0.11	0.17		0.200
	가중치**	1.10	0.20	2.30	0.55	0.85		
터널이 있는 경우	평균*	0.14	0.04	0.43	0.12	0.10	0.17	0.167
	가중치**	0.84	0.24	2.58	0.72	0.60	1.02	

*터널이 없는 경우-3공구, 터널이 있는 경우-6공구

**가중치는 각 공종의 평균을 전체 평균(0.200, 0.167)으로 나눈 값.

표 8. 변수들간의 상관관계의 분석

		토공 증감비율	배수공 증감비율	구조물공 증감비율	포장공 증감비율	부대공 증감비율	터널공 증감비율	직접 공사비 증감비율
토공 증감비율	Pearson 상관계수	1	.068	.228	.311	-.128	.256	.532(**)
	유의확률 (양쪽)		.724	.181	.057	.452	.249	.001
	N	38	29	36	38	37	22	38
배수공 증감비율	Pearson 상관계수	.068	1	-.398(*)	-.168	-.197	-.614(*)	-.137
	유의확률 (양쪽)	.724		.036	.374	.297	.015	.470
	N	29	30	28	30	30	15	30
구조물공 증감비율	Pearson 상관계수	.228	-.398(*)	1	.826(**)	.120	.168	.715(**)
	유의확률 (양쪽)	.181	.036		.000	.486	.465	.000
	N	36	28	37	37	36	21	37
포장공 증감비율	Pearson 상관계수	.311	-.168	.826(**)	1	.009	.132	.744(**)
	유의확률 (양쪽)	.057	.374	.000		.959	.557	.000
	N	38	30	37	39	38	22	39
부대공 증감비율	Pearson 상관계수	-.128	-.197	.120	.009	1	.339	.135
	유의확률 (양쪽)	.452	.297	.486	.959		.123	.420
	N	37	30	36	38	38	22	38
터널공 증감비율	Pearson 상관계수	.256	-.614(*)	.168	.132	.339	1	.687(**)
	유의확률 (양쪽)	.249	.015	.465	.557	.123		.000
	N	22	15	21	22	22	22	22
직접 공사비 증감비율	Pearson 상관계수	.532(**)	-.137	.715(**)	.744(**)	.135	.687(**)	1
	유의확률 (양쪽)	.001	.470	.000	.000	.420	.000	
	N	38	30	37	39	38	22	39

**상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의합니다.

* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

표 9. 회귀식의 산출을 위한 입력 변수

구분		변수명
독립변수	토공 공사비 증감비율	x_1
	구조물공 공사비 증감비율	x_2
	터널공 공사비 증감비율	x_3
종속변수	직접공사비 증감비율	y

를 확인하기 위해 각각의 산포도를 작성하여 보면 그림 6과 같다.

토공과 구조물공의 경우 일정한 값에서 집중되는 경향을 보이고 있지만, 대체적으로 세 독립변수가 종속변수와 양의 상관관계를 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 회귀분석을 위해 선택된 입력변수의 값은 표 10과 같다.

3.3.3 회귀식의 산정

독립변수의 선택 및 이상유무의 판단 등을 거치고 난 후 표 10의 입력데이터 값들을, 회귀분석을 수행하기 위해 프로그램에 입력하면 회귀식을 산출할 수 있는 표 11과 같은 계수 요약표를 얻을 수 있다.

표에서 회귀식의 상수값은 0.028로 분석되었으며, 각 독립변수의 회귀계수는 $b_1=0.230$, $b_3=0.247$, $b_6=0.093$ 이다. 또한 각각의 유의확률도 0.05을 만족하므로 산출된 회귀식은 다음과 같다.

$$y = 0.028 + 0.230x_1 + 0.247x_3 + 0.093x_6$$

3.3.4 회귀식의 유의성 판단

회귀식이 통계적으로 의미가 있는지를 판단하기 위해서는 유의확률이 유의수준보다 작아야 하며, 산출된 F값이 F-분포

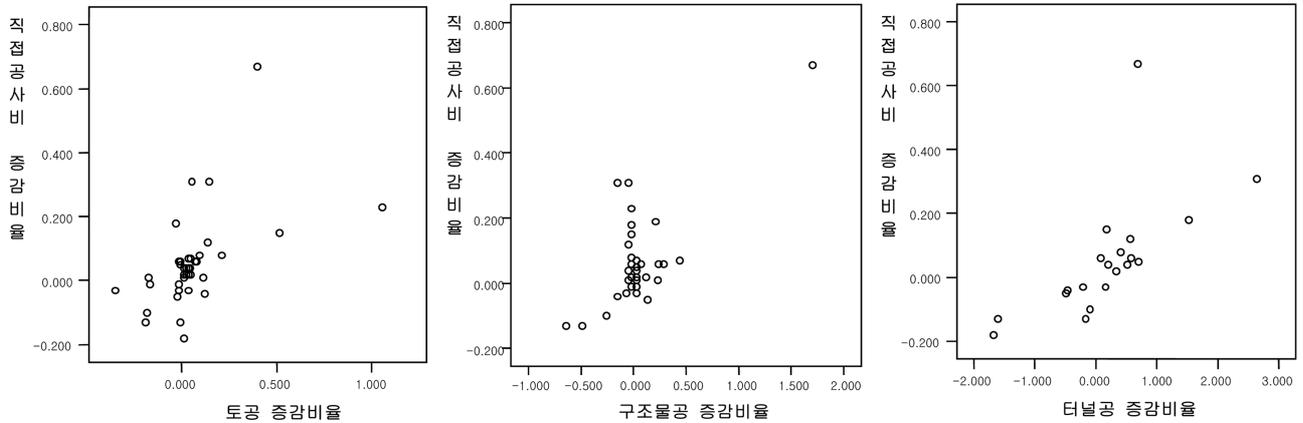


그림 6. 선정 독립변수들의 산포도

표 10. 회귀분석을 위한 입력데이터

번호	토공	구조물공	터널공	직공비계	번호	토공	구조물공	터널공	직공비계
1	-0.176	0.23		0.010	21	0.009	-0.026	0.327	0.020
2	0.011	0.023		0.010	22	-0.185	-0.258	-0.102	-0.10
3	0.076	-0.026	0.572	0.060	23	0.051	-0.052	2.632	0.310
4	-0.026	0.129	-0.500	-0.050	24	0.009		-1.683	-0.180
5	0.110	-0.052		0.010	25	0.011			0.040
6	-0.353	0.026	0.153	-0.030	26	0.118	-0.155	-0.470	-0.040
7	0.209	-0.023		0.080	27	0.034	-0.052	0.194	0.040
8	-0.168	0.026		-0.010	28	-0.011	0.069		0.060
9	-0.017	-0.026		-0.010	29	0.033	0.437		0.070
10		0.207		0.190	30	-0.009	0.026	0.694	0.050
11	0.044	0.115		0.020	31	-0.017	0.284	0.072	0.060
12	0.042	0.026	0.510	0.040	32	-0.017	0.026	-0.215	-0.030
13	-0.009	-0.645	-0.174	-0.130	33	0.135	-0.052	0.561	0.120
14	0.143	-0.155	2.632	0.310	34	0.022	0.023		0.040
15	0.093	-0.026	0.398	0.080	35	1.056	-0.023		0.230
16	0.022	0.023		0.020	36	0.034	-0.026	0.327	0.020
17	0.513	-0.026	0.174	0.150	37	0.395	1.703	0.684	0.670
18	0.068	0.233		0.060	38	-0.034	-0.026	1.520	0.180
19	0.044	0.023		0.070	39	-0.194	-0.491	-1.612	-0.130
20	0.033	-0.069		-0.030					

표 11. 다중회귀모형의 계수 요약

모형		비표준화 계수		표준화 계수	유의확률	B에 대한 95% 신뢰구간	
		B	표준오차	베타		하한값	상한값
1	(상수)	.028	.013		.044	.001	.055
	토공 증감비율	.230	.077	.231	.008	.068	.392
	구조물공 증감비율	.247	.031	.592	.000	.181	.313
	터널공 증감비율	.093	.013	.488	.000	.065	.120

표 12. 유의성 판단을 위한 분산분석표 요약

모형		제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
1	선형회귀분석	.609	3	.203	69.327	.000(a)
	잔차	.050	17	.003		
	합계	.658	20			

a예측값:(상수), 터널공증감비율, 구조물공증감비율, 토공증감비율

표 13. 유효성 판단을 위한 모형의 요약

모형	R	R 제곱	수정된 R 제곱	추정값의 표준오차
1	.961(a)	.924	.911	.054093

a예측값:(상수), 터널공증감비율, 구조물공증감비율, 토공증감비율

표를 이용하여 얻어진 F값보다 큰지 여부를 검토한다.

표 12는 회귀식의 유의성을 판단하기 위해 SPSS를 통해 분석된 분산분석표를 요약한 것이다. 표에서 보면 F값은 69.327로 매우 큰 값을 나타내고 있으며, 유의확률 역시 유의수준 0.05보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 이 회귀식은 통계적으로 의미가 있다고 판단할 수 있다.

3.3.5 회귀식의 유효성 판단

회귀식의 유효성 지표로서 기여율 또는 결정계수라 불리는 R²값을 이용한다. 또한 회귀분석에서는 사용되는 독립변수의 수가 많을수록 독립변수의 유용성과는 관계없이 높은 값을 나타낸다는 문제점을 보완하기 위해서 무의미한 독립변수를 사용했을 때 그 수치가 내려가도록 수정된 R²값을 사용한다.

표 13에서 보면 기여율이 0.924를 나타내는데, 목적변수 y가 가지고 있는 정보 중 92.4%는 독립변수 x의 변동으로 설명할 수 있다는 것을 의미한다. 또한 수정된 R²값 역시 0.911로 회귀식이 매우 유효하다고 할 수 있다.

3.3.6 잔차의 검정

잔차의 정규성을 검토하기 위하여 그림 7에서 잔차의 정규분포 히스토그램을 분석하여 보면, 표준화 잔차의 절대값이 3이하로 잔차의 이상치는 없는 것으로 분석되었다. 또한 표준화 잔차값이 -1~0사이에서 높은 빈도로 발생하고 있는 것으로 보아 잔차의 중앙값이 0에 근접하여 있는 것을 알 수 있다.

보다 정확히 잔차의 정규분포 가정을 검증하기 위하여 그림 8과 같이 기대누적확률과 관측누적확률 사이의 산포도를 그려보면, 두 확률값이 대체적으로 직선상에 근접하여 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 본 회귀분석에 의한 잔차값은 대체로 정규성을 만족한다고 볼 수 있다.

다음으로 잔차의 등분산성을 검토하기 위하여 그림 9에서

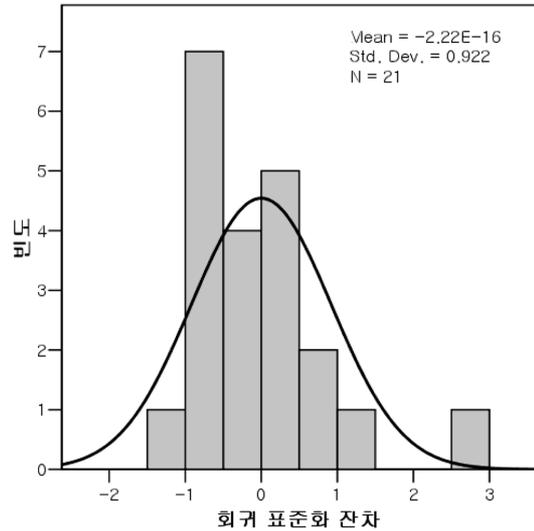


그림 7. 잔차의 정규분포 히스토그램

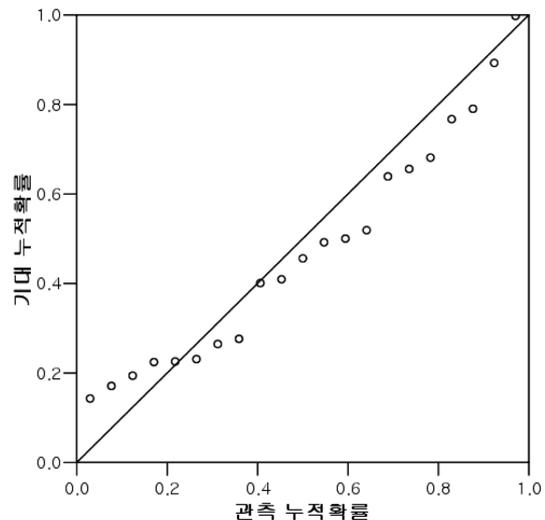


그림 8. 관측치와 기대치 누적확률의 산포도

처럼 예측값과 잔차의 산포도를 그려 분석하였다. 등분산성을 만족하기 위해서는 예측값의 증감에 관계없이 잔차값은 특정한 형태없이 산포도를 그렸을 때 '0'을 중심으로 두 값의 관계가 불규칙하게 나타나야 한다. 분석결과 그림 9에서처럼 표준화 잔차의 값이 '0'을 중심으로 불규칙하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 회귀분석에 의한 잔차값은 등분산성을 만족한다고 볼 수 있다.

3.4 공사예비비 값의 산정

고속도로공사의 직접공사비에 대한 예비비비율을 산정하기 위해, 회귀분석에 사용되었던 독립변수들의 값을 정규분포라

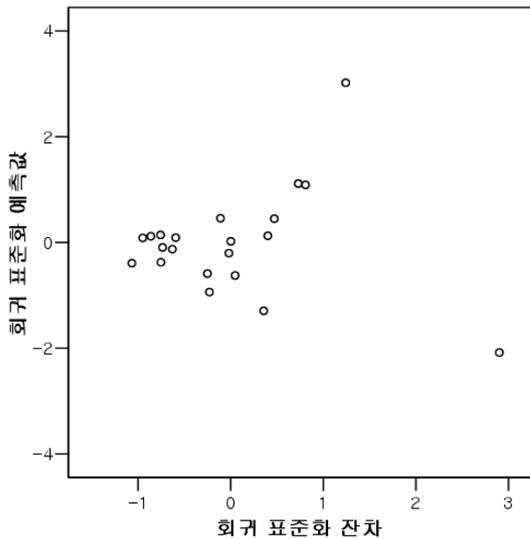


그림 9. 표준화 예측값과 잔차의 산포도

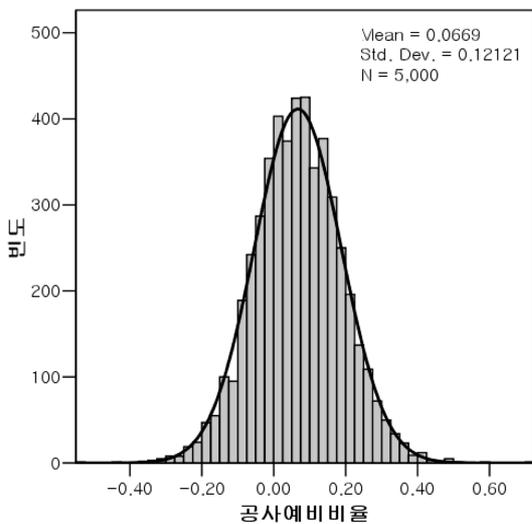


그림 10. 공사예비비의 정규분포곡선

가정하고 Excel 프로그램 상에서 각각의 평균과 표준편차를 입력하여 각각 5,000개의 확률변수 값을 발생시켰다.

그 후 프로그램에 입력하여 종속변수 y 값을 계산하였고, 평균값을 산정한 결과 0.0669%라는 값을 얻을 수 있었다(그림 10).

이 값은 직접공사비에 대한 예비비율을 의미하는데 간접비는 직접비에 따라 일정하게 산정되므로, 산출된 예비비율은 단위년도 및 단위공구 당 총공사비에 대한 예비비율로 볼 수 있다. 따라서 산출된 예비비율을 이용하여 전체 고속도로 공사에 적용해 보기 위하여 2000년 이후 발주되어 현재 진행 중인 10개 고속도로 공사의 총공사비, 전체 공구수, 사업기간을 분석해 본 결과 총공사비 8,500억원, 전체 공구수 8개, 사업기간 7년으로 조사되었다. 이 같은 조사결과를 이용하여 총공사비 대비 전체 공사기간 공사예비비율을 계산하여 보면, $0.0669\% \times 8 \times 7 \approx 3.75\%$, 전체공사기간 예비비는 $8,500\text{억원} \times 3.75\% = 318.8\text{억원}$ 으로 산정할 수 있다.

이 값은 낙찰가의 8%를 공사예비비로 제시한 「2005년도 총사업비 관리지침」 과는 다소 차이를 보이는데, 이것은 총사업비 관리지침에서 제시한 예비비율은 그동안 국내에서 시

행되었던 차관사업 및 해외진출 공사의 예비비율 적용 경험과 외국의 예비비율 적용 기준 등을 참고로 하여 산정되었기 때문이다.

4. 결 론

지금까지 본 연구에서는 우리나라 건설공사의 가장 핵심적인 사업의 하나인 고속도로 공사의 연도별 내역서 분석을 통해 설계불능 및 민원으로 인한 공사예비비의 산정 절차 및 예비비율을 제시하였다. 고속도로 공사의 공사비 증감에 영향을 미치는 요소는 크게 3가지 정도로 나누어 볼 수 있었다. 첫째는 물가변동으로 인한 공사비 증감으로 전체 총공사비에 미치는 영향이 가장 컸다. 둘째는 감사 및 기준변경으로 인한 설계변경으로 물량변동 예비비 중에는 가장 큰 비중을 차지했는데, 일반적인 생각과는 달리 대체적으로 공사비가 감소되는 것으로 나타났다. 세 번째로 설계시 조사불능 및 민원으로 인한 공사비 증감이다.

본 연구에서는 3가지 주요 설계변경 요인 중 설계시 조사불능 및 민원으로 인한 공사비 증감 사례를 대상으로 공사예비비율을 산정하기 위해 정산내역서를 분석하여 공종별 공사비 증감비율을 계산하였고, 분석방법으로써 다중회귀분석을 이용하였다. 고속도로 공사의 토공, 배수공, 구조물공, 포장공, 부대공, 터널공 등 6개 공종 중 회귀분석을 통해 직접공사비에 가장 직접적인 영향을 주는 공종으로써 토공, 구조물공, 터널공 등을 선정하였다. 회귀분석 도구로써 SPSS를 사용하였으며, 분석결과 설계시 조사불능 및 민원으로 인한 예비비율으로써 0.0669%의 값을 산출해 낼 수 있었다. 또한 평균 예비비율에 비해 표준편차가 0.121%로써 상대적으로 높게 나타나는데 이것은 공사의 특성이 연도별, 공구별로 매우 변동성이 높게 나타나기 때문으로, 전체 공구를 대상으로 전체 사업기간에 대한 예비비율을 산정할 때에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 또한 본 회귀모형에서 제시된 회귀식은 회귀분석을 통해 통계적 유의성 및 실무에 대한 유효성이 있는 것으로 판단되었기 때문에 그 자체로 적정성을 지니고 있다고 할 수 있다.

그러나 본 연구는 현실적인 어려움으로 인해 완료된 전체 프로젝트를 대상으로 산정된 예비비율에 대한 실제 검증을 할 수 없었다는 점과 예비비율의 산정에 있어 도심지 통과 구간을 포함한 보다 많은 현장의 실데이터를 이용하지 못하고, 회귀분석에 사용된 독립변수들의 평균값과 표준편차를 이용하여 임의로 5,000개의 확률변수 값을 발생시켜 예비비율을 산정할 수뿐이 없는 한계를 지니고 있다. 그러나 이러한 한계에도 불구하고 본 논문은 첫째, 개별 건설공사의 설계변경 사례를 분석하고 공사비 상승에 가장 영향을 미치는 요소를 판별해내는 절차를 제시하고, 둘째, 공사 예비비 산정을 위한 회귀모형 및 절차를 제시함으로써 다른 분야에서 리스크 분석을 통한 예비비 산정 연구의 기초 방법론을 제공했다는 점, 마지막으로 공사예비비율을 단위공구 및 단위년도를 기준으로 산정하였기 때문에 공사기간 및 공구수에 따라 효율적으로 실무에 적용할 수 있다는 것에 그 의의가 있다 하겠다.

참고문헌

- 강인석, 강정호, 이우식, 곽중민, 김창학(2000) 공사일정상의 외부적 리스크를 고려한 예비비 및 예비공기 산정. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제20권 제5-D호, pp. 549~558.
- 김창학, 이배호, 강인석(1999) 건설공사의 리스크분석을 통한 예비비산정모형 구축에 관한 연구. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제19권 제1-5호, pp. 813~823.
- 기획예산처(2005) 2005년도 총사업비 관리 지침.
- 노형진(2005) SPSS 12.0에 의한 조사방법 및 통계분석. 형설출판사.
- 박신, 안용선(2004) 국내 공공건설공사 예비비제도 적용 개선방안. **대한건축학회 논문집**, 대한건축학회, 제20권 제4호, pp. 101~108.
- 법제처(2005. 9. 8일부개정 대통령령 19035호) 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령.
- 이상호(2001) 공사예비비제도의 도입 필요성과 방안. 한국건설산업연구원.
- 이영환, 성유경(2005) 해외 건설시장의 2004년 동향. **건설동향브리핑**, 제97호, 한국건설산업연구원.

- 최민수(2004) 건설공사비 에스칼레이션제도의 합리화 방안. 한국건설산업연구원.
- 한국개발연구원(2004) 총사업비 관리의 효율화를 위한 공사예비비제도 도입방안.
- Ashley, D.B. and Avotes, I. (1984) Influenced diagramming for analysis of project risks. *Project Management Journal*, Vol. XV, No. 1, pp. 56~62.
- Ashley, D.B. and Bonner, J.J. (1987) Political risks in international construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, Vol. 113, No. 3, pp. 447~467.
- Asian Development Bank (2002) Guidelines for the Financial Governance and Management of Investment Projects Financed by the Asian Development Bank.
- Ramussen, B.E. and Skogen, S. (1994) Project modelling and stochastic simulation-managing project risks. *12th International World Congress on Project Management. Proceedings*, Vol. 2, pp. 377~388.
- Schuyler, J.R. (1996) Decision Analysis in Projects. PMI.

(접수일: 2005.12.29/심사일: 2006.5.11/심사완료일: 2006.5.11)