

공사 진행단계별 기울기 추정을 통한 최종 공사비 및 공기 예측

Prediction of Final Construction Cost and Duration by Forecasting the Slopes of Cost and Time for Each Stage

진 의 재* 곽 수 남** 김 두 연*** 김 형 관**** 한 승 현*****
 Jin, Eui Jae Kwak, Soo Nam Kim, Du Yon Kim, Hyoungkwon Han, Seung Heon

요 약

비용과 공기는 수익과 직접적인 상관관계를 갖는 중요한 요소로 성공적인 프로젝트를 위해서는 이들에 대한 정확한 예측이 이루어져야 한다. 현재 최종 공사비와 공기 예측을 목적으로 EVMS(Earned Value Management System)가 범용적으로 활용되고 있지만, 기존에 제시된 공사비 및 공기 예측모델은 선형적인 예측방식을 사용하기 때문에 예측결과가 부정확하고 시공업체의 성향, 프로젝트의 특성, 진도율에 따른 변화 등을 고려하지 못하는 한계가 있었다. 본 연구에서는 건설산업의 다양한 특성이 반영될 수 있도록 PB-S curve와 다중회귀분석을 이용한 진행단계별 공사비 및 공기의 기울기 예측모델을 제안하고 이를 통해 최종 공사비 및 공기를 예측하고자 한다. 이를 위하여 국내 건설업체로부터 23건의 도로공사 EVMS 자료를 활용하여 공사 진행단계별 기울기 예측을 위한 회귀분석방정식을 도출하고, 활용성을 검증하였다.

키워드: 공사비, 공기, 기울기 예측모델 PB-S curve, 다중회귀분석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

공기, 비용, 품질은 건설공사 프로젝트의 성과를 측정하는 가장 중요한 세 가지 요소이다. 이중 비용과 공기는 시공자에게는 수익과 직접적인 상관관계를 갖는 요소이다. 따라서 건설공사를 성공적으로 수행하기 위해서는 일정과 비용에 대한 정확한 예측과 관리가 이루어져야 한다.

국내에서는 프로젝트의 종합적인 관리를 위하여 기성관리체계(Earned Value Management System, 이하 EVMS)가 활용되고 있다. EVMS는 관리자가 프로젝트의 방향성을 예측하고 관리방안을 세울 수 있도록 각종 비용 및 일정 정보를 바탕으로 최종 공사비 및 공기를 사용자에게 제공하는 틀이다. 그러나 현행 EVMS의 활용은 단지 투입원가를 집계하여 실행 대비 실적을 비교하는데 그치고 있는

데, 이는 기존의 선형적인 공사비 및 공기 예측방식을 사용하여 단순하게 결과를 예측하기 때문이다. 특히 프로젝트의 성과를 좌우하는 공사 진행 초기단계의 예측결과는 많은 오류를 포함하고 있다.

따라서 본 연구에서는 표 1과 같이 기존 예측방법이 고려하지 못한 네 가지 사항을 확인하고, 이러한 특성을 반영하여 공사 진도별 공사비 및 공기의 기울기 예측모델을 제안하고자 한다. 그리고 이 모델을 이용하여 최종 공사비와 공기를 예측할 수 있는 방안을 제안하였다.

표 1. 본 연구의 확인사항

구분	연구가설
1	기존의 예측모델에서 제시된 계획, 실적, 계획 대비 실적 외에도 프로젝트만의 특성, 동일 건설업체의 동종공사에 대한 과거실적, 각 진도율에서의 프로젝트 상황 등과 같은 다양한 요인이 최종 공사비 및 공기 결과예측에 영향을 미친다.
2	공기 및 공사비 예측 결과의 영향요인은 진척도에 따라 그 영향 정도가 다르며, 따라서 각 진도율마다 타요인들 보다 상대적 영향정도가 커 변동을 결정하게 되는 주요요인이 존재한다.
3	공사 초기에는 실적이 없으므로 계획과 관련된 요소가, 공사 중기에는 생산성이 안정되어 현재 상황과 관련된 요소가, 공사 말기에는 한정된 계약공기와 예정 총 금액에 맞추기 위해 계획과 관련된 요소가 공기와 비용의 변동에 지배적인 영향을 미친다.
4	공기와 비용은 각각 상이한 변동성향을 가지므로 공기와 비용의 예측에 영향을 미치는 주요 요소는 각기 다르다.

* 일반회원, 연세대학교 공과대학 토목공학과 공학석사, gon6017@yonsei.ac.kr

** 일반회원, 연세대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, wheelof80@hotmail.com

*** 일반회원, 연세대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, cagedbird@yonsei.ac.kr

**** 일반회원, 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 조교수 공학박사, hyoungkwon@yonsei.ac.kr

***** 종신회원, 연세대학교 공과대학 사회환경시스템공학부 부교수 공학박사, shh6018@yonsei.ac.kr

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 다양한 공사 진행단계에서 정확한 최종 공사비 및 공기를 예측할 수 있는 모델의 도출을 목적으로 한다. 이를 위하여 최종 공사비 및 공기에 미치는 다양한 공사특성 요인을 도출하고, 공사 진척도에 따른 기울기 예측을 통하여 최종 공사비와 공기를 산정할 수 있는 모델을 제안하였다.

최종 공사비 및 공기 예측 모델을 위하여 다음과 같은 과정이 수행되었다. 첫째, 연구 문헌 조사를 통해 기존 공사비 및 공기 예측모델의 분석하고 문제점을 도출하였다. 둘째, Progress-based S curves(이하 PB-S curves로 한다)와 다중회귀분석을 통해 공사비 및 공기의 기울기를 예측할 수 있는 모델을 제시하였다. 셋째, 국내 도로공사의 EVMS 자료를 이용하여 다중회귀분석식을 도출하였다.

2. 기존 연구의 고찰

2.1 기존 최종공사비 예측방식

성공적인 프로젝트 수행을 위해서는 실적에 대한 기초자료를 활용하여 경영분석을 실시하고 그에 따른 대책을 수립하여야 한다. 즉, 실적자료를 토대로 현 상황을 분석하여 최종 공사비 및 공기를 예측하고 그에 따른 관리방안을 수립해야 한다. 이처럼 프로젝트 경영분석을 위한 예측기법으로 표 2와 같이 다양한 연구가 제시되었다. 하지만 기존 연구모델은 진행단계별 특성과 사업의 고유한 특성을 반영하지 못하고 단순한 입력값에 의해 선형적으로 결과값을 도출함으로써 예측값의 정확도에서 한계를 보인다.

표 2. 최종공사비(EAC) 예측을 위한 산정 방식

구분	기존의 산정방식
김선규외 (2002)	$EAC = ACWP + (BAC - BCWP) / Index$ ※ Index - 비용성가지수(CPI) = $BCWP / ACWP$ - 공정성가지수(SPI) = $BSWP / BCWS$ - 공정비용지수(SCI) = SPI / CPI - 합성지수(CI) = $w1 * CPI + w2 * SPI$ ($w1 + w2 = 1$)
Christensn (2002)	$EAC = ACWP + \text{Estimated Cost of Remaining Work}$ $EAC = ACWP + [(BAC - BCWP) / \text{Performance Factor(index)}]$
배동혁 외 (2000)	1) 공정을 25%미만 : $EAC = \text{최종예상위가}$ 2) 공정을 25%이상 : $EAC = ACWP + (BAC - BCWP) / CPI$
미국방성	$EAC = ACWP + \text{Budgeted Cost of Remaining Work} / CI$ $= ACWP + \text{Budgeted Cost of Remaining Work} / (0.8 * CPI + 0.2 * SPI)$ $= ACWP + \text{Budgeted Cost of Remaining Work} / (CPI * SPI)$

2.2 PB-S curves를 통한 공사비·공기 도식화 방안

일반적으로 건설공사는 공사비와 공기의 계획 대비 실적을 판단하고 향후 공사를 예측하기 위하여 공기-비용(Time-Cost) 그래프를 활용한다. 공기-비용 그래프는 원가분산(CV)과 공기분산(SV)의 크기를 통해서 프로젝트의

공기 지연과 공사비 변화를 판단할 수 있으며 계획 대비 공사비의 증감을 판단할 수 있다. 하지만 공기-비용 그래프는 x축과 y축에 공기와 공사비를 사용함으로써 하나의 변수가 변동하면 다른 변수가 상관관계에 따라 변동되기 때문에 공기와 공사비를 각각 예측하는 것이 불가능하다는 문제점이 있다.

Barraza 등(2000, 2004)은 공기-공사비 그래프의 단점을 보완하고 최종 공사비 및 공기 예측에 활용할 수 있도록 진도율이라는 또 다른 매개변수를 사용하는 PB-S curves를 제시하였다. PB-S curves는 공사비와 공기에 각기 다른 축을 활용함으로써 공사비, 공기, 진도율을 통합하여 비교할 수 있게 해주며 공기변수와 공사비변수에 대한 시뮬레이션과 최종값 예측을 용이하게 해준다. 따라서 본 연구에서는 공사비와 공기의 기울기 예측을 통한 최종 공사비와 공기 예측모델에 PB-S curves를 활용하였다.

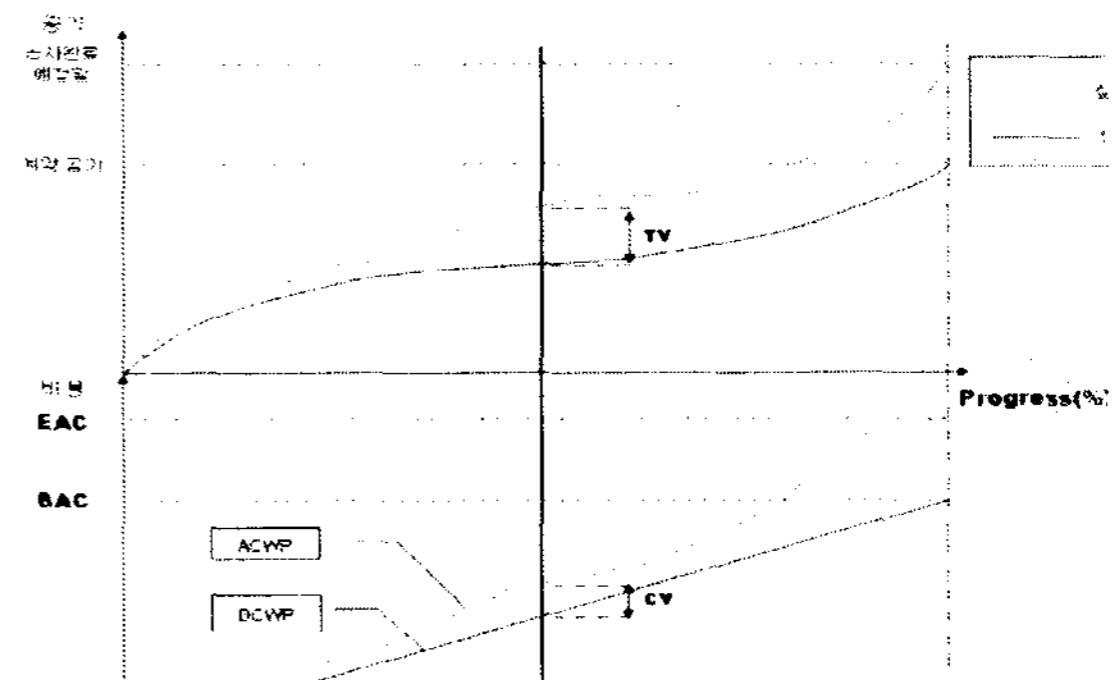


그림 1. Progress-Based S curve 그래프

3. 진도별 기울기 추정을 통한 공사비·공기 예측

3.1 회귀분석을 이용한 진도별 기울기 추정 방법

기존 예측모델은 공사 진도별 최종 공사비와 공기에 영향을 미치는 다양한 요인을 고려하지 않고 공사 진행시점의 상황만을 반영하여 최종 공사비와 공기를 예측하였다. 이러한 방식은 공사 진행시점의 상황이 프로젝트의 종료시점까지 반영된다고 가정함으로써 공사 진행단계별 발생 가능한 불확실성을 고려하는데 한계를 보인다. 본 연구에서는 이런 한계점을 극복하고자 진도율에 따라 그래프를 세분하고 분할된 곡선의 기울기를 예측하는 방법을 활용하였다. 곡선의 식을 직접 도출할 수 없기 때문에 곡선을 작은 단위로 분할하고 분할된 구간의 곡선을 직선으로 가정하였다. 분할구간이 많고 그 간격이 좁을수록 예측정확도는 높아지나, 분할구간 수와 그 간격은 관측자료의 양과 측정일수에 따라 결정하게 된다.

그래프 전체를 n%단위로 분할하고 현시점(x%)에 가장 가까운 과거 n% 지점의 정보를 이용하여 다음 n%의 기울기를 예측하고 이를 식 (1)에 대입함으로써 x+n%에서의 시간과 공사비를 추정하였다. 그리고 동일한 방법을 식 (2)에 의해 반복함으로써 최종 공사비와 공기를 예측할 수 있다. 그림 2는 기울기 추정을 통한 공사비·공기 예측모델을 도식화 한 것이다.

$$y_{x+n} = a \times n\% + ACWP_x \quad (1)$$

$$y_{x+2n} = b \times n\% + y_{x+n} \quad (2)$$

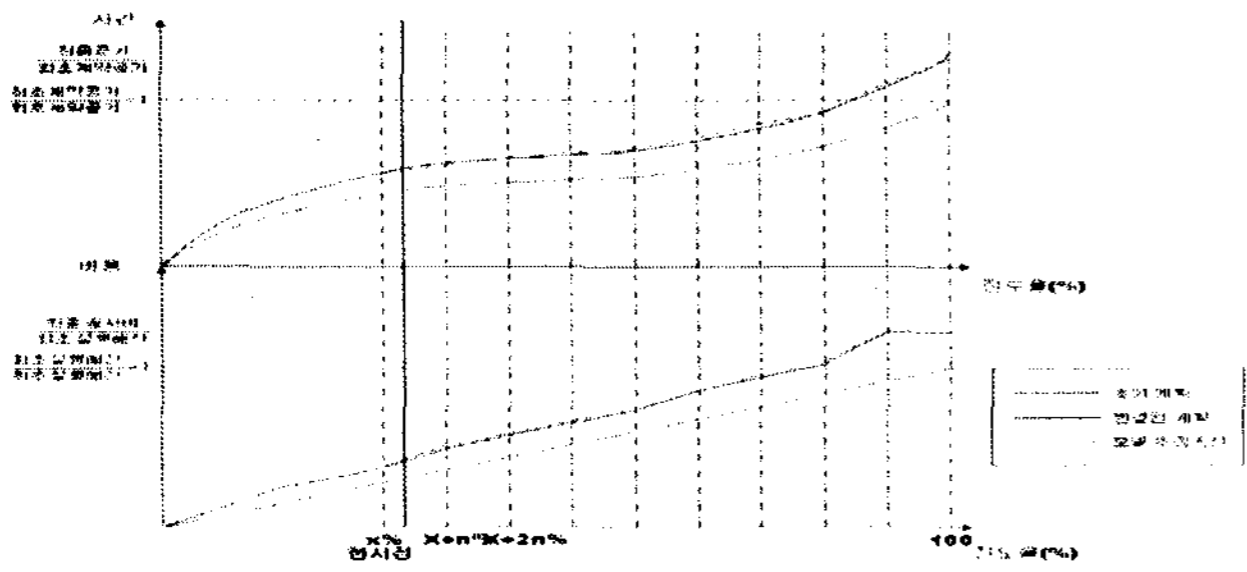


그림 2. 공사비·공기 예측방법 개요

그리고 본 연구에서는 n% 진도율 간격마다 공기 및 공사비의 진도별 기울기를 예측하기 위하여 다중회귀분석을 이용하였다. 다중회귀분석은 한 개의 종속변수와 여러 개의 독립변수 사이의 관계를 분석하는 통계적 분석방법이다 (이근희, 2001). 회귀분석을 사용하면 진행단계별 공사비와 공기의 변화에 영향을 미치는 요소를 고려할 수 있으며, 해당공사의 과거실적 뿐만 아니라 다른 프로젝트의 진도율별 변화향상을 반영할 수 있다. 종속변수 Y는 다음 n%구간의 공기 또는 공사비의 기울기가 되며, 독립변수 X_1 부터 X_k 는 종속변수에 영향을 미치는 요소들이다. 이때 a와 β_i 는 모집단의 절편항과 회귀계수로서 미지수이나 이는 표본을 이용한 회귀분석을 통하여 추정될 수 있다. 결과적으로 독립변수를 이용하여 종속변수의 계산이 가능한 회귀분석방정식으로 표현될 수 있다.

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad (1)$$

Y : 관측값에 대한 종속변수의 값, X_i : 관측값에 대한 i번째 독립변수의 값
a : 절편항, β_i : 회귀계수 (모수), ϵ : Y에 대한 오차항

3.2 회귀분석을 위한 자료 변환

일반적으로 건설기업의 EVMS는 기성관리에 필요한 총 예정공사비(BAC), 계획실행기성(BCWS), 실행기성실적(BCWP), 투입원가(ACWP) 항목에 대한 데이터를 월단위로 축적한다. EVMS 자료는 설계변경을 기준으로 공사비와 공기가 변하게 되며 그에 따라 표 3과 같이 세분화 된 14가지의 항목으로 변환될 수 있다.

표 3. 변환된 자료의 항목과 의미

구분	의미	데이터
총 예정공사비 (BAC)	최초 총 예정공사비	Primary Budget PB
	당시 변경된 총 예정공사비	Changed Budget CB
계획실행기성 (BCWS)	최초 계획실행기성	Planned EV PE
	당시 변경된 계획실행기성	Changed Plan EV CPE
실행기성실적 (BCWP)	수행된 기성	Earned Value EV
투입원가 (ACWP)	실제 투입된 원가	Actual Cost AC
계약공기 (DAC)	최초 계약공기	Primary Duration PD
	당시 변경 계약공기	Changed Duration CD
계획일자 (PDWP)	최초 계획일자	Planned Time PT
	당시 변경된 계획일자	Changed Plan Time CPT*
경과일자 (ETWP)	실제 경과일자	Actual Time AT
진행률	공사진행시점에서 설계변경이 반영된 실제 진도율(EV/CB)	P1
	공사진행시점에서 최초 계획 진도율(PE/PB)	P2
	공사진행시점에서 설계변경이 반영된 계획 진도율(CPE/CB)	P3

3.3 공기 기울기 예측식을 위한 독립변수 도출

본 연구에서는 '다음n% AT(Actual Time) 기울기'라는 공기의 기울기인 종속변수를 구하기 위하여 다중회귀분석식에 포함될 수 있는 독립변수를 제안하였다. 공기의 기울기는 해당 건설공사의 생산성과 상관관계가 높기 때문에 생산성과 관련된 요소들을 독립변수로 포함시켰다. 국내 EVMS자료를 활용하여 프로젝트만의 특성요소를 나타내는 변수와 프로젝트의 공사가 진행되는 상황을 나타내는 변수를 도출하였다. 표 4는 공기의 기울기 예측에 사용된 독립변수와 산정방법을 정리한 것이다. 독립변수는 공사의 진척도를 반영한 시점 변수($v_2 \sim v_{11}$, $v_{14} \sim v_{15}$)와 공사의 전반적인 특성을 반영한 특성변수($v_{12} \sim v_{13}$)로 총 14개로 구성되었다.

표 4. 공기의 기울기 예측식을 위해 제시된 독립변수

구분	변수	의미	산정방법
독립변수	v_1	현재 x%일 때 후 n%까지의 AT 기울기	-
	v_2	현재 x%일 때 전 n%부터의 AT 기울기	$v_2 = \frac{AT_{x\%} - AT_{x-n\%}}{n\%}$
	v_3	최초 예상 x%일 때 후 n%에서의 예상 기울기	$v_3 = \frac{PT_{x+n\%} - PT_{x\%}}{n\%}$
	v_4	계약공기가 변경된 예상 x%일 때 후 n%에서의 예상 기울기	$v_4 = \frac{CPT_{x+n\%} - CPT_{x\%}}{n\%}$
	v_5	현재 x%일 때의 잔여공사를 계약공기에 맞출 경우의 예상 기울기	$v_5 = \frac{CD - AT_{x\%}}{100 - x\%}$
	v_6	현재 x%일 때의 본 공사의 진도율 대비 실적공기 기울기	$v_6 = \frac{AT_{x\%} - AT_{y\%}}{x\%}$
	v_7	현재 x%일 때의 원가수행지수 : CPI	$v_7 = \frac{EV = BCWP}{AC = ACWP}$
	v_8	현재 x%일 때의 공기수행지수 : SPI	$v_8 = \frac{EV = BCWP}{CPE = BCWS}$
	v_9	현재 x%일 때의 일정수행지수 : TPI	$v_9 = \frac{CPT}{AT}$
	v_{10}	변경예산의 정도	$v_{10} = \frac{CB - PB}{PB}$
	v_{11}	변경공기의 정도	$v_{11} = \frac{CD - PD}{PD}$
v_{12}	공사 규모	소·중·대규모의 명목변수	
v_{13}	참여형태	단독·주간·비주간의 명목변수	
v_{14}	시작월	봄·여름·가을·겨울의 명목변수	
v_{15}	종료월	봄·여름·가을·겨울의 명목변수	

본 연구의 14가지의 독립변수는 특성별로 크게 시점에 따른 특성과 공사전반의 특성으로 분류할 수 있다. 시점에 따른 특성에 해당하는 독립변수를 통하여 예측결과에 영향을 미치는 다양한 요인과 그 영향의 정도를 확인할 수 있다. 반면, 공사전반의 특성을 나타내는 독립변수는 시점이 아닌 프로젝트만의 요소가 종속변수에 영향을 준다는 것을 확인하고자 포함시켰다. 또 진행단계별 특성에 해당하는 독립변수들은 시점에 따라 실적과 관련된 이전시점(preceding

$$* EV_i = 0 \quad CPE_i = 0 \text{ 일 때 : } CPT_i = AT_i \quad (3)$$

$$EV_i = 0 \quad CPE_i \neq 0 \text{ 일 때 : } CPT_i = AT_i \quad (4)$$

(AT_i 는 $CPE_i = 0$ 중 가장 큰 AT_i)

$$EV_i \neq 0 \text{ 일 때 : 단, } CPE_{n-1} < EV < CPE_n \text{ 일 때} \quad (5)$$

$$CPT_i = AT_{n-1} + \frac{EV_i - CPE_{n-1}}{CPE_n - CPE_{n-1}} \times (AT_n - AT_{n-1})$$

point), 계획을 의미하는 향후시점(succeeding point), 공사 진행시점에서의 특성을 보여주는 현재시점(up to this point)으로 분류된다. 이러한 분류방법으로 14가지의 독립 변수를 구분하면 그림 3과 같다.

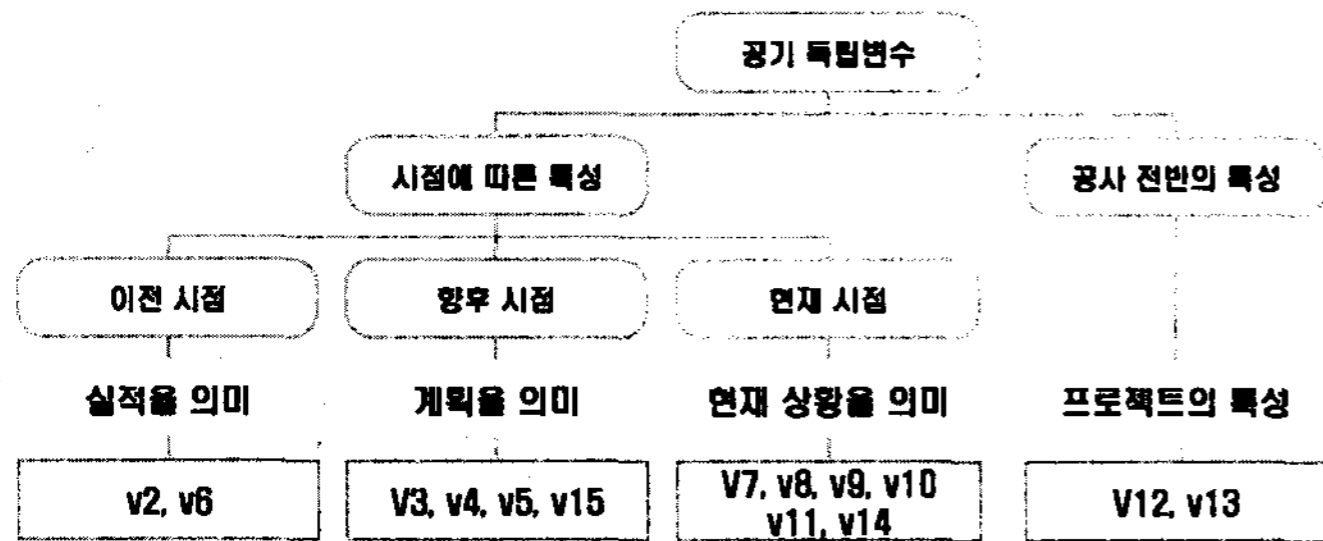


그림 3. 공기 독립변수의 분류

한편 명목변수(v12~v15)의 활용을 위해 더미변수가 함께 사용되었다. 더미변수는 회귀분석에서 독립변수가 명목척도나 서열척도를 갖는 경우 회귀분석에 대입하기 위하여 활용된다.

표 5. 시작월·종료월의 매개변수 및 더미변수

변환변수		변수명	겨울	봄	여름	가을
시작월	변수	v14	12, 1, 2월	3, 4, 5월	6, 7, 8월	9, 10, 11월
	매개변수	v14.1	4	1	2	3
	더미변수	S1	1	0	0	0
		S2	0	1	0	0
		S3	0	0	1	0
종료월	변수	v15	12, 1, 2월	3, 4, 5월	6, 7, 8월	9, 10, 11월
	매개변수	v15.1	4	1	2	3
	더미변수	E1	1	0	0	0
		E2	0	1	0	0
		E3	0	0	1	0

표 6. 공사규모의 매개변수 및 더미변수

변환변수		변수명	소규모	중규모	대규모
공사규모	매개변수	v12	1	2	3
	더미변수	B1	1	0	0
		B2	0	0	1

표 7. 참여형태의 매개변수 및 더미변수

변환변수		변수명	단독	주관	비주관
참여형태	매개변수	v13	1	2	3
	더미변수	P1	1	0	0
		P2	0	1	0

3.4 공사비 기율기 예측식을 위한 독립변수 도출

‘다음n% AC (Actual Cost) 기율기’라는 공사비의 기율기인 종속변수를 도출하고자 독립변수를 제시하였다. 공사비의 기율기는 공기의 기율기와 같이 건설공사의 생산성과 상관관계가 높기 때문에 공기와 기율기와 유사한 독립변수를 보였다. 표 8은 공사비의 기율기 예측에 사용된 독립변수와 산정방법을 정리한 것이다. 독립변수는 공사의 진척도를 반영한 시점 변수(v2~v11, v17~v18)와 공사의 전반적인 특성을 반영한 특성변수(v15~v16), 기존 예측식에 의한 기율기(v19~v21)로 총 20개로 구성되었다. 그리고 명목변수(v15~v18)를 활용하기 위하여 10개의 더미변수를 추가하였다.

표 8. 공사비의 기율기 예측식을 위해 제시된 독립변수

구분	변수	의미	산정방법
종속변수	v1	현재 x%일 때 후 n%에서의 AC 기율기	-
	v2	현재 x%일 때 선 n%에서의 AC 기율기	$v_2 = \frac{AC_{x+n\%} - AC_{x\%}}{PB \cdot n\%}$
	v3	최초 예상 x%일 때 후 n%에서의 예상 기율기	$v_3 = \frac{PE_{x+n\%} - PE_{x\%}}{PB \cdot n\%}$
	v4	계약금액이 변경된 예상 x%일 때 후 n%에서의 예상 기율기	$v_4 = \frac{CPE_{x+n\%} - CPE_{x\%}}{PB \cdot n\%}$
	v5	현재 x%일 때 총 예정공사비 중 잔여공사비에 남은 공사비를 맞추고자 할 때 달성해야하는 예상 기율기	$v_5 = \frac{CB - AC_{x\%}}{PB \cdot (100 - x\%)}$
	v6	현재 x%일 때 총 예정공사비 중 잔여물량에 남은 공사비를 맞추고자 할 때 달성해야하는 예상 기율기	$v_6 = \frac{CB - EV_{x\%}}{PB \cdot (100 - x\%)} = \frac{CB}{PB \cdot 100\%}$
	v7	현재 x%일 때의 선 n%에서 BCWS 기율기	$v_7 = \frac{CPE_{x\%} - CPE_{x-n\%}}{PB \cdot n\%}$
	v8	현재 x%일 때의 예측된 n% 후 날짜의 BCWS 기율기	$v_8 = \frac{CPE_{x+n\%} - CPE_{x\%}}{PB \cdot n\%}$
	v9	현재 x%일 때 0%부터의 Actual Cost 기율기	$v_9 = \frac{AC_{x\%}}{PB \cdot x\%}$
	v10	현재 x%일 때의 원가수행지수 : CPI	$v_{10} = \frac{EV = BCWP}{AC = ACWP}$
독립변수	v11	현재 x%일 때의 공기수행지수 : SPI	$v_{11} = \frac{EV = BCWP}{CPE = BCWS}$
	v12	현재 x%일 때의 일정수행지수 : TPI	$v_{12} = \frac{CPT}{AT}$
	v13	변경예산의 정도	$v_{13} = \frac{CB - PB}{PB}$
	v14	변경공기의 정도	$v_{14} = \frac{CD - PD}{PD}$
	v15	공사 규모	소·중·대규모의 명목변수
	v16	참여형태	단독·주관·비주관의 명목변수
	v17	시작월	봄·여름·가을·겨울의 명목변수
	v18	종료월	봄·여름·가을·겨울의 명목변수
	v19	기존 연구의 EAC 예측식의 기율기 1	$v_{19} = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{CPI}$
	v20	기존 연구의 EAC 예측식의 기율기 2	$v_{20} = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{0.8CPI + 0.2SPI}$
	v21	기존 연구의 EAC 예측식의 기율기 3	$v_{21} = ACWP + \frac{BAC - BCWP}{SPI \cdot CPI}$

공사비 기율기의 예측식 독립변수도 그림4와 같이 대부분의 독립변수들의 형태가 유사하다. 따라서 공사비의 기율기를 예측하기 위한 독립변수도 공기의 기율기 예측식의 독립변수를 분류했던 항목과 유사하게 구분될 수 있다. 차이점이 있다면 공사비의 독립변수는 ‘기존 예측식(표2의 예측방법 참조)’이라는 항목의 독립변수를 추가로 구성하였다는 것이다. ‘기존 예측식’은 최종공사비를 구하는 기존 예측식의 방법론을 무시하지 않고, 기존 예측식의 기율기를 독립변수로 만들어 본 연구방법론에 포함시켰다.

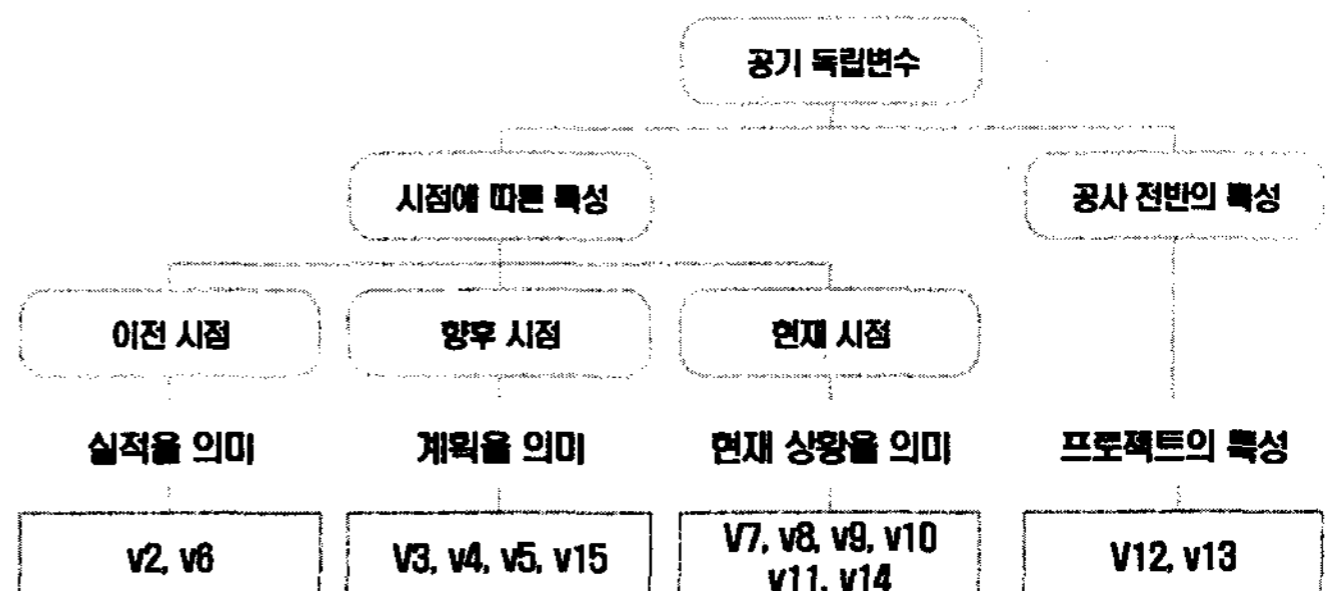


그림 4. 비용 독립변수의 분류

4. 진도율 추정방식의 사례적용

4.1 사례분석을 위한 자료 수집

예측모델을 도출하기 위하여 국내의 동일 건설업체로부터 최근 6년간 도로공사 EVMS 자료를 23건 수집하였다. 이들은 3년 이상 30억 이상의 공사로 회귀분석에 사용한 공사의 규모와 기간은 각각 그림 5와 같다.

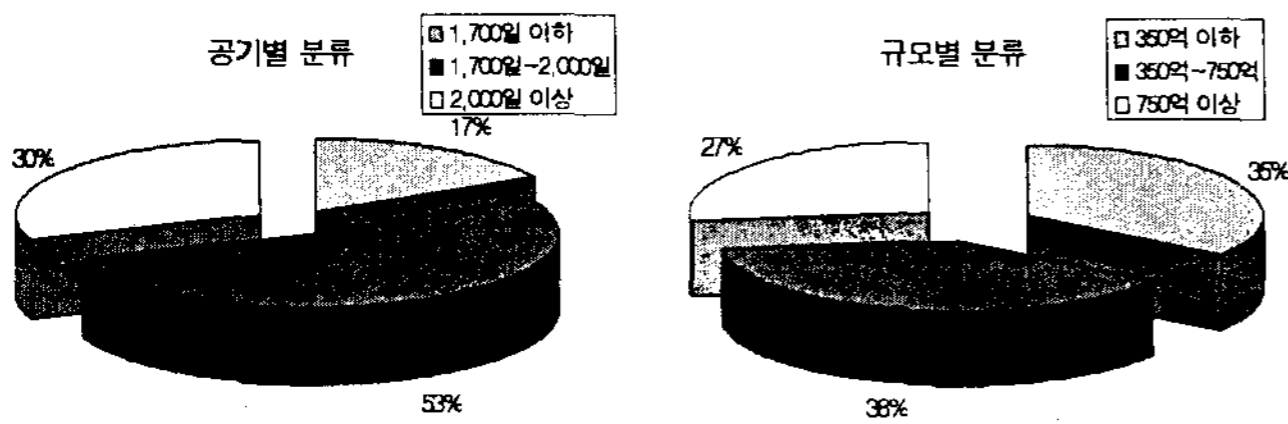


그림 5. 사례분석 대상공사의 분류

본 연구에서는 분할구간을 10%로 설정하여 회귀분석을 실시하였다. 사례대상 프로젝트의 수는 23건이지만, EVMS에 자료를 축적한지 6년밖에 되지 않아 공사기간 전체에 대한 기성관리자료가 축적된 프로젝트는 거의 없었다. 따라서 실질적으로 회귀분석을 실시한 각 10% 구간의 프로젝트 자료의 수는 표 9와 같이 나타났다.

표 9. 회귀분석에 사용한 예측구간별 프로젝트 수

예측 구간	10~20%	20~30%	30~40%	40~50%	50~60%	60~70%	70~80%	80~90%	90~100%
프로젝트 수	20	21	17	17	15	14	11	8	5

4.2 공기 기울기의 회귀분석 결과

SPSS 통계 패키지를 사용하여 실제 진도율 P2를 기준으로 10%간격마다 다음 10%의 공기 기울기를 예측하는 총 9가지의 회귀방정식을 표 10과 같이 도출하였다. 회귀방정식의 설명력을 나타내는 R^2 값은 일반적으로 0.5이상일 경우 유의하다고 본다. 사례분석을 통해 얻은 9개의 회귀방정식은 30~40%구간을 제외하고 0.5이상의 R^2 를 보여 통계적으로 유의함을 나타냈다. 30~40%에서는 공기의 변화가 다양하게 나타났기 때문에 R^2 가 낮았던 것으로 판단된다. 독립변수 중 유의수준이 0.15이하인 변수를 이용하여 회귀방정식을 작성하였다.

분석결과를 통하여 공사진척도에 따라 공기에 영향을 미치는 다양한 요인이 존재한다는 사실을 확인할 수 있다. 총 14의 독립변수 중에서 2개를 제외한 12개의 독립변수가 한 개 이상의 회귀모형에 진입하였다. 독립변수의 특성별 분류를 살펴보면, 향후시점에 해당하는 독립변수들이 초기와 말기에 다른 독립변수에 비하여 많이 진입하였다. 반면, 이전시점에서의 실적을 의미하는 독립변수와 현재시점에서의 공사진행상황을 의미하는 독립변수는 공사 중기에 많이 진입하였다. v4인 변경된 기울기가 가장 많은 회귀방정식에 포함되어 가장 민감한 인자로 나타났으며 다음으로 민감한 인자는 명목변수인 종료월이었다. 이는 현시점에서 다음구

간의 공기를 예측할 때 계획대로 추진하고자 하는 공기목표치와 공사가 종료되는 계절적 요인의 영향이 크게 작용한다는 점을 의미한다.

표 10. 공기 기울기 예측을 위해 도출된 회귀방정식

분할 구간	회귀방정식	R^2	F	유의 확률
10~20%	$v1 = 0.92 + 1.11 \times v4 - 0.932 \times v7 - 0.24 \times E2$	0.864	21.129	0.000
20~30%	$v1 = -1.043 + 0.782 \times v2 - 0.368 \times v7 + 1.646 \times v9 - 0.335 \times B1 + 0.349 \times S3 - 0.190 \times E1$	0.910	18.437	0.000
30~40%	$v1 = -0.596 + 0.773 \times v4 + 0.653 \times v7$	0.350	3.762	0.049
40~50%	$v1 = -2.474 + 0.267 \times v2 + 0.669 \times v4 + 2.403 \times v9 - 0.921 \times v10 + 0.399 \times E2$	0.986	143.968	0.000
50~60%	$v1 = 0.352 + 0.177 \times v2 + 0.194 \times v6 - 0.167 \times E3$	0.888	26.526	0.000
60~70%	$v1 = -3.253 + 0.795 \times v4 + 3.517 \times v8 - 0.172 \times S3 - 0.211 \times E1$	0.968	69.017	0.000
70~80%	$v1 = 0.444 + 0.633 \times v4$	0.652	15.012	0.005
80~90%	$v1 = 0.471 - 0.188 \times v3 + 0.879 \times v4 + 0.162 \times v6 + 0.331 \times P1 - 0.200 \times P2$	0.999	702.910	0.001
90~100%	$v1 = -1.918 - 0.036 \times v3 + 1.93 \times v4 + 2.641 \times v10 - 0.585 \times B1$	1.000	-	-

4.3 공사비 기울기의 회귀분석 결과

진도율 P2를 기준으로 10%간격마다 공사비 기울기를 예측하는 총 9가지의 회귀방정식을 표 11과 같이 도출하였다. 9개의 회귀방정식 중 50~60%구간을 제외하고는 R^2 가 0.5 이상을 보여 대부분 통계적으로 유의함을 나타내었다.

진도율별로 진입한 독립변수를 살펴보면, 초기와 말기에 비해 중기에 다양한 독립변수가 관여하였다. 특히 공사 중기에는 현재시점과 관련된 CPI, SPI와 같은 전통적인 독립변수들이 많은 영향을 미쳤다. 독립변수 중 종료월과 관련된 항목이 6개의 회귀방정식에 포함되어 가장 민감하게 작용하였으며 다음으로는 공사규모와 관련된 항목이 4개의 회귀방정식에 포함되었다.

표 11. 공사비 기울기 예측을 위해 도출된 10%구간별 회귀방정식

분할 구간	회귀방정식	R^2	F	유의 확률
10~20%	$v1 = 2.589 - 1.657 \times v5 - 0.162 \times B1 - 0.207 \times B2 - 0.074 \times E2$	0.897	19.661	0.000
20~30%	$v1 = 1.675 - 1.0 \times v10 + 0.321 \times v11 + 0.321 \times v11 + 0.102 \times E3$	0.807	19.509	0.000
30~40%	$v1 = -0.888 + 0.972 \times v4 + 0.144 \times v7 + 0.464 \times v11 + 1.331 \times v13 + 0.117 \times B1 - 0.173 \times E2$	0.867	10.896	0.001
40~50%	$v1 = 0.65 + 0.565 \times v4 + 0.338 \times v8 - 0.642 \times v10 - 0.345 \times v14 + 0.191 \times S1$	0.944	37.425	0.000
50~60%	$v1 = 1.382 - 0.403 \times v10 + 0.186 \times E1$	0.394	3.571	0.064
60~70%	$v1 = 0.003 - 0.227 \times v7 + 0.278 \times v8 + -0.311 \times v14 + 0.067 \times B1 + 1.095 \times v21$	0.976	64.159	0.000
70~80%	$v1 = 1.017 - 0.073 \times v5 + 0.072 \times v14 - 0.219 \times P1 + 0.464 \times E2$	0.987	93.518	0.000
80~90%	$v1 = 1.380 - 1.157 \times v4 + 0.491 \times v8 - 7.863 \times v9 - 0.812 \times S2 + 0.070 \times E3 + 8.355 \times v20 - 0.356 \times v22$	1.000	-	-
90~100%	$v1 = -1.663 + 0.376 \times v2 + 2.732 \times v12 - 3.114 \times v13 - 0.018 \times B2$	1.000	-	-

회귀분석의 결과를 바탕으로 도출한 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 기존의 예측방식에서 고려한 요소 외에도 다양한 요소가 공기 및 공사비의 변동에 영향을 미친다. 둘째, 진척도에 따라 영향요소들 간에 공기와 공사비에 미치는 영향정도가 다르게 나타난다. 셋째, 공사 초기와 말기에는 계획과 관련된 요소가, 공사 중기에는 현재상황과 관련된 요소가 공기와 공사비의 변동에 결정적인 영향을 미친다. 넷째, 공기와 비용은 상이한 변동성향으로 인해 예측에 영향을 미치는 주요 요소는 각기 다르다. 마지막으로 해당 프로젝트의 특성과 현재 진도율의 상황이 모두 공사비와 공기에 중요한 영향을 미친다.

5. 결 론

본 연구에서는 최종 공사비와 최종 공기의 예측을 위하여 공사 진도별 기울기 추정을 활용한 모델을 제시하고 23건의 건설공사를 통하여 회귀방정식을 도출하였다. 본 논문의 성과는 1) 공사비 및 공기에 영향을 주는 다양한 인자 도출; 2) 본 연구에서 확인하고자 했던 네 가지 특성의 확인; 3) 실제 기성관리 자료를 통하여 보다 타당성 있는 예측방식의 도출이다.

하지만 EVMS의 자료수의 한계로 인하여 구간별로 회귀

분석방정식의 정확도가 다소 저하된 경우도 있었으며 사례 대상 또한 도로공사로 한정되었다. 따라서 많은 자료의 적용을 통한 모델의 정확도 향상과 다양한 공종에 적용 가능한 모델 구축을 위한 후속연구가 수행되어야 하며, 도출된 예측모델의 검증과정이 수반되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

1. 김선규, 김재준, "EVMS 최종공사비 예측 모델 최적성과 지수에 대한 고찰", 한국건설관리학회, 제1권 제3호, 2000, pp. 101-107
2. 배동혁, 조창연, "삼성건설 EVMS 사례", 한국건설관리학회, 2000
3. 이근희, "사회과학 연구방법론, 법문사", 초판 3쇄, 2003
4. 최종성, "SPSS Ver 10을 이용한 현대통계분석", 북두출판사, 2001
5. Barraza, G. A., Back, W. E., Mata, F. "Probabilistic Monitoring of Project Performance Using SS-Curves", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 126, No. 2, 2000, pp. 142-148
6. Barraza, G. A., Back, W. E., Mata, F. "Probabilistic Forecasting of Project Performance Using Stochastic S Curves", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130, No. 1, 2004, pp. 25-32

Abstract

Cost and duration is important factors which directly affect profit therefore must be forecasted correctly to accomplish success of projects. So construction company uses EVMS(Earned Value Management System) to forecast final cost and duration. But previous forecasting model has low accuracy because of its linear forecasting method and can't reflect characteristic of company and project and changes as each progress. This paper presents cost and duration forecasting model using the slope prediction of cost and duration as each progress to reflect the various characteristics of construction industry. EVMS data of 23 road construction projects was used to make up regression analysis equation of slope forecasting model.

Keywords : Cost, Duration, Slope prediction model, PB-S curve, Multi-Regression Analysis
