

## 표준단면을 이용한 터널 공사비 예측모델 개발 (II)

### - 공사비 변동 모델 및 검증 -

#### A Standard Section-Based Approximate Cost Estimating Model on Tunnel (II)

#### - Cost Variance Index Table and Test -

조정연\* · 김상귀\*\* · 김경민\*\*\* · 김경주\*\*\*\*

Cho, Jeongyeon · Kim, Sang-Kwi · Kim, Kyoungmin · Kim, Kyong Ju

#### Abstract

The paper provides an approximate cost estimating model that can be used for tunnel. Based on the previous study analyzed critical factors that have impact on tunnel construction cost, this paper establishes a cost variance index table that reflects the cost impacts due to the change of the critical cost factors. An estimating procedure is described utilizing the index table. For the verification of the suggested model, the comparison of the estimated construction cost with real project cost is performed. The estimated results range from 95%~111% of the real project costs. As an approximate tunnel cost estimating model, the model can be utilized to quickly estimate tunnel construction costs based on the conceptual information at the planning stage and to efficiently make a decision on design alternatives.

**Keywords :** tunnel construction cost, approximate cost estimation, cost factor, cost variance index, standard section-based estimating

#### 요 지

본 연구는 터널공사비 영향요인 분석 결과를 이용하여 터널 공사비 예측에 활용될 수 있는 모델을 제시하였다. 이를 위해 공사비 영향요인의 변화에 따른 공사비 변동 지수표를 구축하고, 이를 바탕으로 사업 환경의 변화에 따른 공사비 추정을 위한 절차를 제시하였다. 또한 최근 수행된 실제 프로젝트를 대상으로 제시된 터널 공사비 추정모델의 적정성을 검증하는 작업을 수행하였다. 표준단면 및 공사비 변동비를 바탕으로 한 공사비 예측에 있어 실제 프로젝트를 통한 검증결과 실제 설계 예정가격과 비교하여 -5% ~ +11%의 범위에서 추정되었다. 제시된 모델은 기획단계에서 사업의 기본적인 조건을 바탕으로 사업비를 추정하고, 설계 및 시공단계에서 설계 대안에 대한 경제성 평가, 설계조건, 지반조건, 시공환경의 변화, 공법, 자재, 장비의 변경에 따른 공사비의 영향을 효율적으로 평가하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 :** 터널 공사비, 개산견적, 공사비 영향요인, 비용 변동 지수, 표준단면 기반 견적

#### 1. 서 론

본 연구는 터널 공사비에 영향을 미치는 요인에 대한 분석결과를 바탕으로 기획, 설계 및 시공단계에서 사업비 추정 및 설계 대안에 대한 공사비 변화의 정도를 평가할 수 있는 터널 공사비 예측모델 구축을 목표로 한다. 이를 위해 공사비 영향 요인의 변화에 따른 공사비 변동비에 대한 지수표(Cost Variance Index Table)를 구축하고, 이를 바탕으로 사업 환경의 변화에 따른 공사비 추정을 위한 절차를 제시하고자 한다. 또한 최근 수행된 실제 프로젝트를 대상으로 제시된 공사비 추정모델의 적정성을 검증하는 작업을 수행하

고자 한다. 제시된 모델을 통하여 사업 기획단계에서 사업의 기본적인 조건을 바탕으로 사업비를 추정하고, 설계 및 시공 단계를 진행하면서 설계 대안에 대한 신속하고 개략적인 경제성 평가, 설계조건, 지반조건, 시공환경의 변화, 공법, 자재, 장비의 변경에 따른 공사비 영향을 신속히 평가할 수 있도록 지원할 수 있는 정보체계를 구축하고자 한다.

본 연구의 범위는 철도(복선) 분야를 대상으로 하고, 국내 터널건설의 주류를 이루고 있는 굴착 공법인 NATM을 대상으로 하였다. 공중은 터널공사비의 가장 큰 비중을 차지하며, 다양한 대안이 적용될 수 있는 토공 및 지보공을 주요 연구 범위로 하였다.

\*정회원 · (주)도화종합기술공사 철도부 (E-mail : ayesok@hanmail.net)

\*\*정회원 · 교신저자 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kimsk@sambu.co.kr)

\*\*\*정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 연구원 · 공학박사 (E-mail : kmkim@wm.cau.ac.kr)

\*\*\*\*정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : kjkim@cau.ac.kr)

## 2. 문헌 고찰

공사비 영향요인에 대한 연구는 다양한 시설물 및 다양한 요인에 대하여 수행되어 왔으나(Kim *et al.*, 2005) 터널 시설물에 대한 공사비 영향요인에 대한 연구는 국내의 경우 설계단계별 도로공사 공사비 산출 모델개발(박종현 외, 2002) 연구에서 터널 공사비를 터널면적, 환기방식에 의해 추정된 모델을 찾을 수 있는 정도이다. 국외의 경우에도 의 고가도로 교체사업에서 Latin Hypercube Monte-Carlo 기법을 활용한 초기공사비 예측모델에 대한 연구(Chou *et al.*, 2005), 최저가, 최종공사비와 입찰가격을 바탕으로 한 고속도로 공사비 예측 모델(Trefor, 2003 및 Trefor *et al.*, 2005)에 대한 연구 등으로 대단히 제한된 것이 현실이다.

국내의 경우 터널 공사비 개선전적모델과 관련하여 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제 4판) (KDI, 2004)에서 터널구간의 표준공사비를 한국도로공사에서 매년 관리하고 있는 내부자료를 이용하여 제시하고 있다(표 1). 고속도로의 터널 공사비는 편도로 m당 2차로 10,182천원, 3차로 17,715천원을 기준으로 제시하고 있으며, 국도는 굴착량 및 폭원이 축소되므로 고속도로의 기준의 90%를 적용하도록 제시하고 있다.

표 1. 고속도로 터널구간 표준 공사비

(단위 : 천원)

공법	차로수	표준공사비	비고
NATM	2차로	10,182/m당	
	3차로	17,715/m당	

주: 1) 공법 터널연장 및 부속시설물의 필요여부에 따라 표준공사비를 기준으로 가감하여 적용하며 편도 4차로 이상의 터널의 경우에는 별도로 산정하여 적용함  
2) 장대터널 및 일반화 되지 않은 공법 적용시 별도로 산정하여 적용함  
3) 상가값은 고속도로를 기준으로 한 금액으로 국도적용시 굴착량 및 폭원이 다소 축소되므로 고속도로 기준에 90% 적용함  
(자료출처 : 한국도로공사 내부자료, 2003 고속도로 건설 평균단가)

도로업무 편람(건설교통부, 2007) 역시 고속도로 터널의 차로별 연장당 공사비 기준단가를 제시하고 있다(표 2).

표 2. 교량 및 터널 평균단가

(단위 : 천원, 제압비 포함, 괄호안 06년 단가)

구 분	평균단가	
터널 (NATM)	2차로(11.6m)	13,940 / m당
	3차로(15.1m)	18,686 / m당

현재 국내의 경우 장비수급, 공사비, 시공성 측면에서 대부분의 터널이 NATM공법으로 건설되고 있어 본 지침에서는 NATM공법에 의한 건설단가를 제시하고 있는 것으로 평가된다. 기획/타당성 조사 단계에서는 각 지침에서 제공하는 표준공사비 단가를 적용하여 공사비 추정에 활용되고 있으나, 설계 단계에서는 주요 공종별 개략 수량을 산출하여 공사비를 산정하고 있는 것이 현실이다. 그러나 공종별 개략 수량 산출방법은 많은 시간과 자원이 투입되며, 공사에 대한

을 평가하기 위한 공사비 예측기술로써의 신속한 의사결정과 공사비 분석에 한계가 있다.

## 3. 터널 공사비 영향요인별 변동비 분석

터널 공사의 수량 및 공사비의 산출은 터널의 표준단면을 활용하여 각 지보패턴별 표준단면에 대한 M당 단위수량을 산출하고 적용연장을 곱하여 총괄수량을 집계하였다. 수량 및 단가산출에 사용된 기준은 표 3과 같다. 터널 공사비 영향요인 분석에 대한 연구결과를 바탕으로 공사비 예측을 지원하기 위한 영향요인별 공사비 변동비를 분석하였다.

표 3. 모델터널의 단가산출 기준

구 분	재료비	노무비	중기사용료
시간적 기준	2007년 1월	2007년 상반기	2007년 1월
적용 기준	3가지 시중 물가정보 조사 자체단가 중 최저 단가	대한건설협회 공시 시중 노임단가	건설표준품셈 및 조달청 공시 단가
수량 및 단가산출 기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건설표준품셈(한국건설기술연구원, 2007)</li> <li>· 철도공사 수량 및 단가산출기준(한국철도시설공단, 2005)</li> <li>· 국도건설공사 설계실무 요령(건설교통부, 2005)</li> </ul>		

### 3.1 천공방법에 따른 변동비

천공방법에 따른 영향요인 분석결과를 바탕으로 천공방식 변경시 개략적인 공사비 예측을 손쉽게 하기 위하여 모델터널 즉, 기계화 천공 Type-1을 기준으로 했을 때 Type별, 천공방식별 M당 터널공사비 변동비는 표 4와 같다.

표 4. 모델터널 Type-1을 기준으로 한 M당 터널 공사비 변동비

구 분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율 (%)
(1) 기계화천공 (모델터널)	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	100
(2) 인력천공 (착암기)	1.153	1.201	1.288	1.519	1.816	1.396	113

### 3.2 굴착방법에 따른 변동비

굴착방법의 변경에 따른 공사비 영향요인 분석결과를 바탕으로 개략적인 공사비 예측을 지원하기 위하여 모델터널 즉, 발파 굴착방법 Type-1을 기준으로 했을 때 Type별, 굴착방법별 M당 터널공사비 변동비는 표 5와 같다.

표 5. 발파굴착방법 Type-1을 기준으로 한 M당 터널 공사비 변동비

구 분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율 (%)
(1) 발파굴착 (모델터널)	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	100
(2) 기계굴착 (브레이커)	1.585	1.636	1.473	1.450	1.683	1.565	127

### 3.3 발파(기폭)방식에 따른 변동비

발파(기폭)방식의 변경에 따른 공사비 영향요인 분석결과를 바탕으로 개략적인 공사비 예측을 손쉽게 하기 위하여

전기식발파방식 Type-1을 기준으로 했을 때 Type별, 발파방식별 M당 터널공사비 변동비는 표 6과 같다.

표 6. 전기식발파방식 Type-1을 기준으로 한 M당 터널 공사비 변동비

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율 (%)
(1)전기식발파(모델터널)	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	100.0
(2)비전기식발파	1.002	1.076	1.123	1.333	1.680	1.243	100.5

### 3.4 버력 상차용 장비용량에 따른 변동비

굴착방법의 변경에 따른 공사비 영향요인 분석결과를 바탕으로 로더의 장비용량 변화에 따른 개략적인 공사비의 예측을 위하여 로더 2.87가 적용된 모델터널 Type-1을 기준으로 한 지보패턴별 및 로더 용량별 공사비 변동비는 표 7과 같다.

표 7. 로더 용량별 M당 터널 공사비 변동비

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율 (%)
1.72m <sup>3</sup>	1.125	1.196	1.221	1.418	1.719	1.336	108
2.87m <sup>3</sup> (모델터널)	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	100
3.50m <sup>3</sup>	0.966	1.037	1.092	1.299	1.664	1.211	98

### 3.5 단위중량과 체적환산계수에 따른 변동비

로더의 작업능력을 결정하는 토량환산계수(L값)와 덤프트럭의 적재용량을 결정하는 단위중량( $\gamma_t$ )의 변화가 공사비에 미치는 영향을 평가하기 위한 단위중량과 토량환산계수의 각 평균치, 최대치, 최소치 조합에 따른 터널 공사비 변동비는 다음 표 8과 같다.

### 3.6 터널 연장에 따른 변동비

터널연장의 변화에 따른 공사비 영향요인 분석결과를 이용하여 터널연장의 변동에 따른 개략적 공사비의 증가를 손쉽게 예측하기 위하여 터널연장이 1,000m인 모델터널의 지보

표 8. 조합조건 CASE-1을 기준으로 한 M당 터널 공사비 변동비

조합 조건	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	평균	변동비
CASE-1	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	1.000
CASE-2	1.018	1.090	1.144	1.348	1.672	1.255	1.014
CASE-3	0.980	1.052	1.101	1.309	1.667	1.222	0.988

패턴 Type-1을 기준으로 한 지보패턴별, 터널연장별 공사비 변동비를 정리한 것이 표 9와 그림 1이다. 그림 1에서 알 수 있는 것처럼 터널연장 1,000m를 기점으로 그래프의 기울기가 급해지는데 이는 터널연장이 1,000m를 초과하면서부터 양방향굴진을 기준으로 하므로 일방향 터널연장이 500m를 초과하여 장대터널할증이 적용되어 공사비 증가율이 높아지기 때문이다.

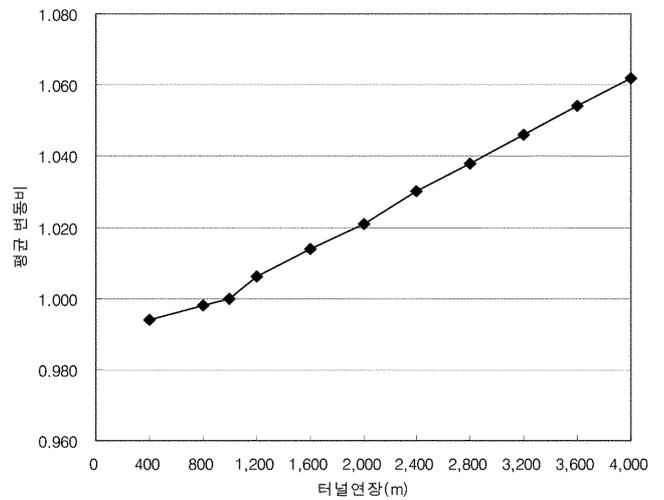


그림 1. 터널연장에 따른 M당 터널공사비 평균변동비

### 3.7 터널 공사비 변동지수표

신규, 설계변경에 따른 공사비 영향요인의 변화가 전체 공사비에 미치는 영향을 신속히 예측하기 위한 도구로 표준단면을 이용한 터널 공사비 변동비를 표로 정리하였으며 표 10과 같다.

표 9. 터널 연장 1,000m를 기준으로 한 M당 터널 공사비 변동비

터널연장 (m)	평균운반 거리(m)	장대터널 할증(%)	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	평균 변동비
(1) 400	100	0	0.992	1.065	1.112	1.318	1.663	1.230	0.994
(2) 800	200	0	0.997	1.070	1.116	1.323	1.668	1.235	0.998
(3) 1,000	250	0	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	1.000
(4) 1,200	300	1.7	1.007	1.079	1.125	1.333	1.677	1.244	1.006
(5) 1,600	400	3.8	1.017	1.090	1.135	1.344	1.688	1.255	1.014
(6) 2,000	500	5.0	1.025	1.098	1.143	1.352	1.696	1.263	1.021
(7) 2,400	600	7.5	1.036	1.109	1.154	1.364	1.708	1.274	1.030
(8) 2,800	700	9.3	1.045	1.119	1.163	1.374	1.718	1.284	1.038
(9) 3,200	800	11.3	1.055	1.129	1.173	1.385	1.728	1.294	1.046
(10) 3,600	900	13.3	1.064	1.139	1.183	1.396	1.739	1.304	1.054
(11) 4,000	1,000	15.0	1.074	1.148	1.192	1.406	1.748	1.313	1.062

표 10. 터널공사비 변동요인에 따른 공사비 변동지수표

영향 요인	모델터널 적용사항	변동내용	지보패턴별 변동비							비고
			TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	평균값 변동비	
	모델터널		1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237	1.000	
천공방식	기계화천공 (점보드릴)	인력천공 (착암기)	1.153	1.201	1.288	1.519	1.816	1.396	1.128	
굴착방법	발파굴착	기계굴착 (브레이커)	1.585	1.636	1.473	1.450	1.683	1.565	1.265	
발파방식	전기식발파	비전기식발파	1.002	1.076	1.123	1.333	1.680	1.243	1.005	
굴착 공법	Type-1,2,3: 전단면굴착 Type-4,5: 상·하반분할 굴착	전단면 굴착	1.000	1.073	1.119	1.284	1.609	1.217	0.983	
		상·하반 분할굴착	1.020	1.102	1.168	1.325	1.670	1.257	1.016	
로더 용량	로더 2.87	로더1.72	1.125	1.196	1.221	1.418	1.719	1.336	1.080	
		로더3.50	0.966	1.037	1.092	1.299	1.664	1.211	0.979	
단위중량 $\gamma$ 와 체적환산 계수L값 조합	$\gamma_L + L$ : 평균+평균	최대+최대	1.018	1.090	1.144	1.348	1.672	1.255	1.014	$\gamma_L$ : 1.9~2.6, L: 1.3~2.0
		최소+최소	0.980	1.052	1.101	1.309	1.667	1.222	0.988	
		최대+최소	0.981	1.054	1.102	1.311	1.678	1.225	0.990	
		최소+최대	1.017	1.089	1.143	1.347	1.671	1.253	1.013	
터널 연장	1,000m	400m	0.992	1.065	1.112	1.318	1.663	1.230	0.994	양방향 굴진
		800m	0.997	1.070	1.116	1.323	1.668	1.235	0.998	
		1,200m	1.007	1.079	1.125	1.333	1.677	1.244	1.006	
		1,600m	1.017	1.090	1.135	1.344	1.688	1.255	1.014	
		2,000m	1.025	1.098	1.143	1.352	1.696	1.263	1.021	
		2,400m	1.036	1.109	1.154	1.364	1.708	1.274	1.030	
		2,800m	1.045	1.119	1.163	1.374	1.718	1.284	1.038	
		3,200m	1.055	1.129	1.173	1.385	1.728	1.294	1.046	
		3,600m	1.064	1.139	1.183	1.396	1.739	1.304	1.054	
4,000m	1.074	1.148	1.192	1.406	1.748	1.313	1.062			

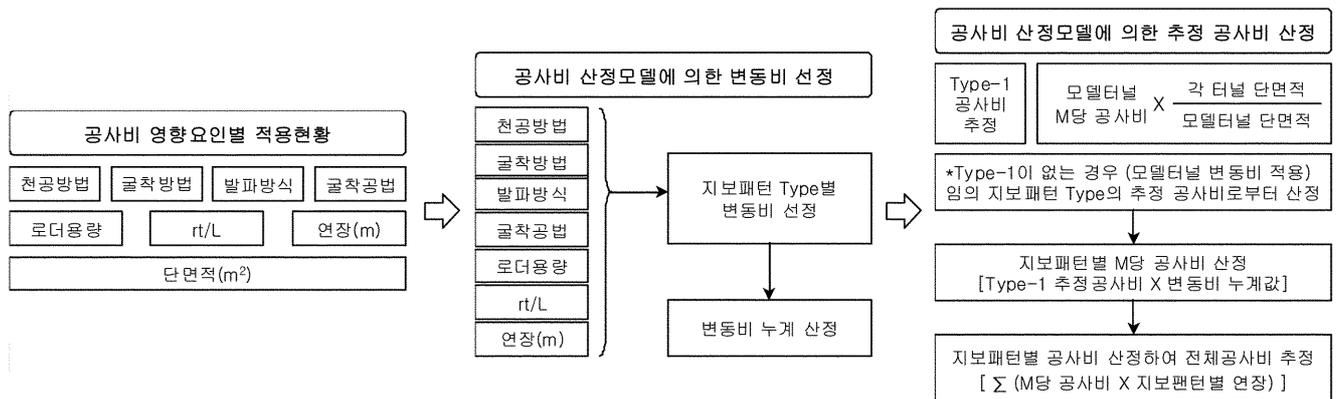


그림 2. 터널 공사비 산정 절차

#### 4. 모델 검증

##### 4.1 검증 절차

도출된 공사비 산정 모델의 정확도 및 실효성에 대한 검증 수행하였다. 최근 실시설계가 완료된 4개의 NATM터널을 대상으로 공사비 산정 모델에 의하여 산정된 추정공사비와 실제 실시설계의 공사비 차이를 비교하여 정확도를 알아보았다. 검증방법은 다음과 같은 단계로 수행하였다.

첫째, 과업별 실시설계 공사비 중에서 NATM터널 공사비

를 추출하고 이 공사비에서 본 연구대상에서 제외된 터널 보강 공사비를 뺀 금액에 필요한 경우 에스컬레이션을 적용하여 산정된 공사비를 실시설계 NATM터널 공사비로 한다.

둘째, 각 NATM터널의 공사비 영향요인 7가지에 대한 적용 현황을 정리한 후 공사비 산정 모델을 이용하여 영향요인별 변동비를 지보패턴별로 확정하고 변동비 누계 값을 구한다. 특수 지보패턴인 Type-6의 변동비는 Type-5 변동비의 110%를 적용하기로 한다.

셋째, 각 터널별로 공사비 추정의 기준이 되는 지보패턴

Type-1의 M당 공사비를 산정한다. 본 연구에서는 모델터널의 M당 공사비에 각 터널과 모델터널의 단면적 비율을 곱하여 공사비를 산정하는 방법을 적용하였다. 지보패턴 Type-1이 없는 경우 임의의 한 개의 지보패턴에 대한 공사비를 같은 방식으로 구한 후 해당 지보패턴의 모델터널 변동비로 나누어 Type-1의 M당 공사비를 구할 수 있다.

넷째, 산정된 지보패턴 Type-1의 M당 공사비에 각 지보패턴별 변동비 누계 값을 곱하여 M당 추정 공사비를 산출

한다. 산출된 추정 M당 공사비에 각 지보패턴별 적용 연장을 곱하여 전체 추정공사비를 산정한 후 실시설계 NATM터널 공사비와 비교하여 정확도를 비교하여 공사비 산정 모델을 검증하였다. 그림 2는 본 연구에서 제시한 공사비 예측 모델을 이용하여 터널 공사비 산정하는 절차를 나타내고 있으며, 표 11~표 14는 터널 공사비 변동모델을 활용한 공사비 산정 및 검증 사례를 보여준다.

표 11. 공사비 검증사례-1

(1)	공사비 영향요인별 적용현황									
구분	선로 중심간격 4.1m구간					선로 중심간격 4.2m구간				
영향요인	Type-3	Type-4	Type-5	Type-5-1	Type-5-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-5-1	Type-5-1
천공방법	점보드릴					점보드릴				
굴착방법	발파굴착					발파굴착				
발파방식	전기식					전기식				
굴착공법	전단면	상·하반 분할				전단면	상·하반 분할			
로더용량	2.87m <sup>2</sup>					2.87m <sup>2</sup>				
$\gamma_t / L$	2.3 / 1.40		1.9 / 1.30			2.3 / 1.40		1.9 / 1.30		
연장(m)	60	190	79	36	120	40	50	2	18	18
연장 합계	595m									
단면적(m <sup>2</sup> )	84.919					85.897				
(2)	공사비 산정 모델에 의한 변동비 선정									
구분	선로 중심간격 4.1m구간					선로 중심간격 4.2m구간				
영향요인	Type-3	Type-4	Type-5	Type-5-1	Type-5-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-5-1	Type-5-1
천공방법	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670
굴착방법	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670
발파방식	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670
굴착공법	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670
로더용량	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670
$\gamma_t / L$	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670	1.119	1.325	1.670	1.670	1.670
연장	1.114	1.320	1.665	1.665	1.665	1.114	1.320	1.665	1.665	1.665
변동비 누계	<b>1.114</b>	<b>1.320</b>	<b>1.665</b>	<b>1.665</b>	<b>1.665</b>	<b>1.114</b>	<b>1.320</b>	<b>1.665</b>	<b>1.665</b>	<b>1.665</b>
(3)	공사비 산정 모델에 의한 추정 공사비 산정									
Type-3공사비 추정(₩)	7,575,412×84.919m <sup>2</sup> ÷85.997m <sup>2</sup> = 7,480,452 (원)					7,575,412×85.897m <sup>2</sup> ÷85.997m <sup>2</sup> = 7,566,603 (원)				
Type-1공사비 추정	7,480,452 ÷ 1.119 = 6,684,944					7,566,603 ÷ 1.119 = 6,761,933				
M당공사비 산정(천원)	7,447	8,824	11,130	11,130	11,130	7,533	8,926	11,259	11,259	11,259
전체공사비(천원)	446,820	1,676,560	879,270	400,680	1,335,600	301,320	446,300	22,518	202,662	202,662
합 계	5,711,730									
실시설계 NATM터널 공사비(천원)						5,600,958				
정확도 산정						5,711,730 ÷ 5,600,958 ≒ 102%				

표 12. 공사비 검증사례-2

(1)	공사비 영향요인별 적용현황						
영향요인	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6	
천공방법	점보드릴						
굴착방법	발파굴착						
발파방식	전기식				비전기식		
굴착공법	전단면			상·하반분할			
로더 용량	3.50m <sup>2</sup>						
$\gamma_t / L$	2.6 / 1.85		2.3 / 1.40		1.9 / 1.30		
연장(m)	133	10	100	204	168	40	
연장합계	655m						
단면적(m <sup>2</sup> )	86.277						

표 12. 공사비 검증사례-2(계속)

(2)	공사비 산정 모델에 의한 변동비 선정					
영향요인	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	Type-6
천공방법	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837
굴착방법	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837
발파방식	1.000	1.073	1.119	1.325	1.680	1.848
굴착공법	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837
로우더 용량	0.966	1.037	1.092	1.299	1.664	1.830
$\gamma_t / L$	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837
연장	0.995	1.068	1.115	1.321	1.666	1.833
변동비 누계	<b>0.961</b>	<b>1.032</b>	<b>1.088</b>	<b>1.295</b>	<b>1.670</b>	<b>1.837</b>
(3)	공사비 산정 모델에 의한 추정 공사비 산정					
Type-1공사비 추정(₩)	$6,771,464 \times 86.277\text{m}^2 \div 85.263\text{m}^2 = 6,851,994$ (원)					
M당공사비 산정 (천원)	6,585	7,071	7,455	8,873	11,443	12,587
전체공사비(천원)	875,805	70,713	745,497	1,810,160	1,922,395	503,485
합 계	5,928,011					
실시설계 NATM터널 공사비(천원)			5,341,495			
정확도 산정			$5,928,011 \div 5,341,495 \approx 111\%$			

표 13. 공사비 검증사례-3

(1)	공사비 영향요인별 적용현황						
영향요인	Type-2	Type-2-4	Type-3	Type-3-4	Type-4	Type-5	Type-6
천공방법	점보드릴	-	점보드릴	-	점보드릴		
굴착방법	발파굴착	기계굴착	발파굴착	기계굴착	발파굴착		
발파방식	전기식	-	전기식	-	전기식	비전기식	
굴착공법	전단면				상·하반분할		
로우더용량	3.50m <sup>2</sup>						
$\gamma_t / L$	2.6 / 1.85		2.3 / 1.40			1.9 / 1.30	
연장(m)	590	40	700	100	265	140	83
연장합계	1,918m						
단면적(m <sup>2</sup> )	86.277						
(2)	공사비 산정 모델에 의한 변동비 선정						
영향요인	Type-2	Type-2-4	Type-3	Type-3-4	Type-4	Type-5	Type-6
천공방법	1.073		1.119		1.325	1.670	1.837
굴착방법	1.073	1.636	1.119	1.473	1.325	1.670	1.837
발파방식	1.073		1.119		1.325	1.680	1.848
굴착공법	1.073	1.073	1.119	1.119	1.325	1.670	1.837
로우더 용량	1.037	1.037	1.092	1.092	1.299	1.664	1.830
$\gamma_t / L$	1.073	1.073	1.119	1.119	1.325	1.670	1.837
연장	1.096	1.096	1.141	1.141	1.350	1.694	1.863
변동비 누계	<b>1.060</b>	<b>1.623</b>	<b>1.114</b>	<b>1.468</b>	<b>1.324</b>	<b>1.698</b>	<b>1.868</b>
(3)	공사비 산정 모델에 의한 추정 공사비 산정						
Type-2공사비추정(₩)	$7,262,481 \times 86.277\text{m}^2 \div 85.263\text{m}^2 = 7,348,851$ (원)						
Type-1공사비추정(₩)	$7,348,851 \div 1.073 = 6,848,883$ (원)						
M당공사비 산정(천원)	7,260	11,116	7,630	10,054	9,068	11,629	12,792
전체공사비(천원)	4,283,400	444,640	5,341,000	1,005,400	2,403,020	1,628,060	1,061,736
합 계	16,167,256						
실시설계 NATM터널 공사비(천원)			15,358,287				
정확도 산정			$16,167,256 \div 15,358,287 \approx 105\%$				

표 14. 공사비 검증사례-4

공사비 영향요인별 적용현황														
(1)	선로 중심간격 4.1m구간							선로 중심간격 4.3m구간						
구분	Type -1	Type -2	Type -3	Type -4	Type -5	Type -5-1	Type -6-1	Type -1	Type -2	Type -3	Type -4	Type -5	Type -6	Type -6-1
영향 요인														
천공방법	점보드릴							점보드릴						
굴착방법	발파굴착							기계굴착						
발파방식	전기식							전기식						
굴착공법	전단면				상 · 하반분할			전단면				상 · 하반분할		
로우더용량	3.50							3.50						
$\gamma / L$	2.3 / 1.40				1.9 / 1.30			2.3 / 1.40				1.9 / 1.30		
연장(m)	80	25	180	173	229	53	53	40	20	223	397	280	15	20
연장합계	1,788m													
단면적(m <sup>2</sup> )	80.957							86.277						
공사비 산정 모델에 의한 변동비 선정														
(2)	선로 중심간격 4.1m구간							선로 중심간격 4.3m구간						
구분	Type -1	Type -2	Type -3	Type -4	Type -5	Type -5-1	Type -6-1	Type -1	Type -2	Type -3	Type -4	Type -5	Type -6	Type -6-1
영향 요인														
천공방법	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670			1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837	
굴착방법	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.683	1.851	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837	1.851
발파방식	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670			1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837	
굴착공법	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.670	1.837	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837	1.837
로우더용량	0.966	1.037	1.092	1.299	1.664	1.664	1.830	0.966	1.037	1.092	1.299	1.664	1.830	1.830
$\gamma / L$	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.670	1.837	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.837	1.837
연장	1.021	1.094	1.139	1.348	1.692	1.692	1.861	1.021	1.094	1.139	1.348	1.692	1.861	1.861
변동비누계	<b>0.987</b>	<b>1.058</b>	<b>1.112</b>	<b>1.322</b>	<b>1.686</b>	<b>1.699</b>	<b>1.869</b>	<b>0.987</b>	<b>1.058</b>	<b>1.112</b>	<b>1.322</b>	<b>1.686</b>	<b>1.855</b>	<b>1.869</b>
공사비 산정 모델에 의한 추정 공사비 산정														
(3)	Type-1공사비 추정 (₩)							Type-1공사비 추정 (₩)						
	6,771,464 × 80.957m <sup>2</sup> ÷ 85.263m <sup>2</sup> = 6,429,488 (원)							6,771,464 × 86.277m <sup>2</sup> ÷ 85.263m <sup>2</sup> = 6,851,994 (원)						
M당공사비 산정(천원)	6,346	6,802	7,150	8,500	10,840	10,924	12,017	6,763	7,249	7,619	9,058	11,552	12,710	12,806
전체공사비 (천원)	507,680	170,050	1,287,000	1,470,500	2,482,360	578,972	636,901	270,520	144,980	1,699,037	3,596,026	3,234,560	190,650	256,120
합계	16,525,356													
	실시설계 NATM터널 공사비(천원)							17,458,917						
	정확도 산정							16,525,356 ÷ 17,458,917 = 95%						

4.2 검증결과 분석

검증에 적용된 4개의 실시설계 과업의 내용과 검증결과에 대한 정확도는 표 15와 같다. 본 연구에서 제시한 공사비 산정모델에 대한 검증을 수행한 결과, 공사비 산정 모델의 정확도는 95%~111%의 범위를 보여 개략공사비 추정에 있어 대체로 신뢰할만한 수준을 보여주었다. 제시된 공사비 산

정 모델은 부대공의 영향을 반영하지 않은 것으로 부대공의 영향까지 고려한 공사비 산정 모델을 개발하는 경우 정확도를 더 높일 수 있을 것으로 기대된다.

본 공사비 산정 모델을 활용하여 1개의 지보패턴에 대한 공사비 정보만으로 전체 NATM터널에 대한 신속한 개략공사비의 추정이 가능하고 각 공사비 영향요인의 변동시 간편

표 15. 검증대상 터널개요 및 검증결과

순번	실시설계 과업 내용				검증결과 (정확도)
	과업명	실시설계 기준일	터널 연장	E/S율	
과업1	동해남부선(부산~울산간) 복선전철 00공구	2005년 9월	595m	139.0÷132.94.6%	102%
과업2	동해선(포항~삼척간) 철도건설 00공구	2007년 1월	655m	-	111%
과업3	동해선(포항~삼척간) 철도건설 00공구	2007년 1월	1,918m	-	105%
과업4	동해선(포항~삼척간) 철도건설 00공구	2007년 1월	1,788m	-	95%

하게 공사비 변화를 예측할 수 있어 선형 및 터널 계획, 공법선정 및 설계변경 등에 대한 의사결정의 기초자료로 손쉬운 활용을 기대할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 터널공사의 수행에 있어 공사비에 영향을 미치는 요인에 대한 분석결과를 바탕으로 하고, 공사비 영향 요인별 공사비 변화의 정도를 지수화 하였으며, 이를 통해 터널공사의 설계 대안에 대한 경제성 평가 및 공사비 영향 평가에 활용할 수 있는 터널 공사비 예측절차를 제시하였다. 또한 최근 시행된 실제 프로젝트를 대상으로 하여 제시된 모델의 적정성에 대한 검증작업을 수행하였다. 검증 결과 예측모델은 실제 설계 예정가격과 비교하여 -5% ~ +11%의 범위에서 예측할 수 있음을 검증할 수 있었으며, 개략적인 공사비 추정모델로서의 적용성을 파악할 수 있었다.

기준에 지역별, 공종별 공사비 영향요인을 고려한 지수는 많이 활용되고 있으나 사업수행 단계에서 설계 및 공사 대안에 대한 경제적 측면에서의 평가에 대한 의사결정을 신속히 지원할 수 있는 지수표 작성에 대한 연구는 부족하였던 것이 현실이다. 본 연구는 터널공사를 대상으로 주요 공사비 영향요인을 분석하고, 표준 설계단면에 대한 공사비 영향 지수표를 구축하고, 이를 바탕으로 다양한 설계 및 공법대안에 대한 지수표의 적용사례 및 그 적정성을 검증하는 연구를 수행함으로써 향후 이에 대한 다양한 데이터의 축적을 위한 기반을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제시된 터널 공사비 예측모델은 터널의 토공을 주요 연구범위로 하고 있어 구조물공, 부대공 등에 대한 지속적인 추가연구를 필요로 한다. 또한, 장대터널이 증가하는 추세에 맞추어 장대터널에 맞는 환기설비, 방재시설, 갱구부 등에 대한 대안평가를 지원하기 위한 보완연구를 통하여 예측 결과의 정확도를 개선할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 연구는 공사비 산정기준으로 표준품셈 데이터를 활용함으로써 설계예정가격 측면에서의 공사비 영향을 평가

한 것으로 향후 실제 작업 생산성 데이터를 활용함으로써 실제 공사비 측면에서의 영향에 대한 연구와 병행되어야 할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 건설교통부 건설교통R&D정책인프라사업의 연구비지원(과제번호 : 06 기반구축 A03)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 건설교통부(2005) 국도건설공사 설계실무 요령.
  - 건설교통부(2007) 도로업무편람.
  - 한국철도시설공단(2004) 철도설계편람(토목편), (사)대한토목학회.
  - 한국철도시설공단(2005) 철도공사 수량 및 단가산출 기준, 한국철도시설공단.
  - 한국건설기술연구원(2006) 2006년 상반기 건설공사 실적공사비 적용 공종 및 단가, 한국건설기술연구원.
  - 한국건설기술연구원(2007) 건설표준품셈, 한국건설기술연구원.
  - 한국개발연구원(2004) 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제 4판), 한국개발연구원(KDI).
  - Chou, Jui-Sheng., Wang, Linlin., Chong, Wai Kiong., and O'Connor, and James T. (2005) *Preliminary Cost Estimates Using Probabilistic Simulation for Highway Bridge Replacement Projects.*
  - Kim, G. H., Seo, D. S., and Kang, K. I. (2005) Hybrid models of neural networks and genetic algorithms for predicting preliminary cost estimates, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 208, No. 19
  - Trefor P. Williams (2003) Predicting final cost for competitively bid construction projects using regression models, *International Journal of Project Management*, Vol. 21, pp. 593-599
  - Trefor P. Williams, Sudha Lakshminarayanan, and Harold Sackrowitz (2005) Analyzing bidding statistics to predict completed project cost, *Computing in Civil Engineering*, Vol. 179, No. 157
- (접수일: 2008.3.10/심사일: 2008.3.31/심사완료일: 2008.8.11)