

표준단면을 이용한 터널 공사비 예측모델 개발 (I)

- 공사비 영향요인 분석 -

Tunnel Cost Estimating Model Based on Standard Section and Cost Variance Index (I)

- Analysis Of Critical Cost Factors -

조정연* · 김경주** · 김경민*** · 김상귀****

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

Abstract

The objective of this paper is to provide an approximate cost estimating model for tunnel that can be utilized both in quick construction cost estimating for design alternatives, and in evaluating efficiently the cost effects according to the environmental changes during design and construction stage. To meet this requirement, this study analyzes critical cost factors influencing tunnel construction costs. The cost factors include 7 elements such as rock drilling method, advancing method, type of detonator, loader capacity, unit weight and soil volume change factor, length of tunnel. This paper investigates the cost variance according to the change of the cost factors. The result is expected to be used in formulating approximate tunnel cost estimating model.

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

요 지

본 연구는 터널공사를 대상으로 사업 초기단계에서 터널공사의 설계 대안에 대한 공사비를 신속히 추정하고, 사업이 진행되면서 상황변화에 따른 사업비 측면에서의 영향을 파악할 수 있도록 함으로써, 적절한 의사결정을 지원하기 위한 개략적 터널공사비 추정모델 제시를 목적으로 한다. 이를 위해 터널공사의 수행에 있어 공사비에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 공사비 영향요인별 공사비 변화의 정도를 분석하였다. 공사비 영향요인은 천공방식, 굴착방법, 기폭장치, 적재장비 용량, 버력의 단위중량 및 토량환산계수, 터널 연장을 포함하는 7개의 요인을 대상으로 하여 각 영향요인의 변화에 따른 공사비 변동 크기를 분석하였다. 분석결과는 기획단계에서 사업의 기본적인 조건을 바탕으로 사업비를 추정하고, 설계 및 시공단계에서 설계 대안에 대한 공사비의 영향을 효율적으로 평가하는데 필요한 공사비 추정모델의 구축을 위한 기초정보를 제공할 것으로 기대된다.

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

1. 서 론

건설 프로젝트의 성공적인 수행을 위해서는 사업비에 대한 신뢰성있는 계획과 이를 바탕으로 체계적인 사업비의 관리, 즉 사업비 변화에 대한 지속적인 모니터링 및 대응방안 수립을 필요로 한다. 사업 초기단계에서 설계 대안에 대한 공사비를 신속히 추정하고, 사업이 진행되면서 상황변화에 따른 사업비 측면에서의 영향을 효율적으로 파악할 수 있도록 함으로써, 적절한 의사결정을 지원하기 위한 개략적인 공사비 추정모델을 필요로 한다. 본 연구에서는 터널공사를 대상

으로 공사의 수행에 있어 공사비에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 공사비 영향요인별 공사비 변화의 정도를 분석함으로써 터널 개략공사비 추정모델 구축의 기초연구를 수행하고자 한다. 이를 통해 기획단계에서는 사업의 기본적인 조건을 바탕으로 사업비를 추정하고, 설계 및 시공단계를 진행하면서 설계대안에 대한 경제성 평가, 설계조건, 지반조건, 시공환경의 변화, 공법, 자재, 장비의 변경에 따른 공사비 영향평가를 지원하고자 한다.

국내에 산악지형이 많은 지리적 특성으로 인하여 터널의 건설과 이의 활용이 불가피하며, 특히 최근에는 도로 및 철

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

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

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

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

도의 신규건설과 기존 도로 및 철도의 개선공사가 활발하게 진행되면서 교통의 효율성 향상과 선형의 직선화, 터널굴착 기술의 향상 등으로 인한 장대터널의 건설이 증가되고 있다. 이에 따라 도로 및 철도의 건설사업에서 터널 공사비가 차지하는 비중도 꾸준히 증가하고 있으며, 도심지공사 또는 취약지반 등 특수한 조건하에서의 터널건설은 상당히 많은 공사비가 소요되기도 한다. 아울러 건설공사 VE검토 의무대상 사업범위를 당초 500억 이상에서 100억 이상 공사로 확대 적용하도록 하는 등 건설공사의 비용절감 노력에 대한 요구가 각각의 건설단계에서 제도화되고 있는 실정으로 설계 대안에 대한 신속한 경제성 평가의 지원을 필요로 한다.

2. 연구동향

건축분야에 있어서는 개산전적을 위하여 오피스 건물(김예상 외, 2000), 공동주택(강경인 외, 2005), 유통업체 점포(김찬중 외, 2003) 등 다양한 시설물에 대하여 체계적인 노력이 국내외에서 수행되어왔다. 반면 상대적으로 도로 및 철도 분야에서의 개산전적에 대한 연구결과는 제한된 것이 현실이다. 박종현 등은 기본단가법(박종현 외, 2002), 비유지수법(박종현 외, 2003), 변수전적법(박종현 외, 2002) 등을 이용하여 도로공사에 대한 개략전적모델을 제시하는 연구를 수행하였으나 구체적인 구조물에 대한 상세수준에서의 설계대안 평가를 지원할 수 있는 개략전적모델에 대한 연구는 부족하였던 것이 현실이다.

특히 지금까지 터널의 작업환경, 적용되는 다양한 공법에 따라 공사비에 어떠한 형태의 영향을 미치는지에 대한 연구는 미흡하였다. 이에 따라 설계실무에서 설계변경이 발생하거나 다양한 공법을 검토하는 경우 이와 관련된 자료의 부족으로 각 공법들이 공사비와 공기에 미치는 영향을 예측하는데 많은 인력과 시간의 투입을 필요로 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 터널 공사비의 구성을 분석하고 터널 공사비에 영향을 미치는 다양한 요인들을 정량적으로 분석하여 설계 및 시공시 공법선정과 설계대안평가에 있어 효율적인 의사결정을 지원할 수 있는 정보예측모델의 구축을 위한 기초 연구를 제공하고자 한다.

3. 연구범위

본 연구는 수송효율이 뛰어나 앞으로 신설 및 선형 개량 사업이 지속적으로 수행 되고, 수송 분담률이 지속적으로 높아질 것으로 기대되는 철도(복선) 분야를 대상으로 한다. 건설공법은 현재뿐만 아니라 향후에도 터널건설의 주류공법으로 기대되는 NATM터널을 대상으로 하였다. NATM 터널공법은 크게 토공, 지보공, 구조물공, 부대공의 네개의 공종으로 이루어진다. 이중 공기 및 공사비에서 차지하는 비중이 가장 크며 다양한 공법이 적용될 수 있는 토공 및 지보공을 주요 연구범위로 하였다. 특히 굴착공법, 굴착방법, 천공방식, 버력 상차장비인 로더의 장비비용량, 버력의 단위중량과 토량환산계수, 소모자재 중 발파방식을 결정하는 뇌관의 종류와 함께 터널 연장을 포함하여 총 7개 요인을 분석한다.

4. 모델터널 설정

각 공사비 영향요인별 공사비 비교의 기준으로 모델터널을 설정하였다. 모델터널의 표준단면과 표준지보패턴, 그리고 세부 적용공법은 표 1과 같이 가장 일반적인 형태를 기준으로 하였다. 터널연장은 문헌조사와 장대터널 증가 추세를 감안하여 연장 L=1,000m로 하고, 양방향 굴착을 기본으로 하였다. 그림 1은 지보패턴별 표준단면의 예를 보여주며, 표 2는 지보패턴별 기본특성을 보여준다.

표 1. 모델터널 내용 및 기준공법

NATM터널 연장		L = 1,000m	
굴착단면적		A = 85.263 ~ 90.489m ²	
굴진방향 수		양방향 굴진	
굴착공법		지보패턴 TYPE-1,2,3 : 전단면 굴착공법 지보패턴 TYPE-4,5 : 상·하반 분할 굴착공법	
굴착방법		발파굴착	
발파방식		전기식 발파	
천공장비		점보드릴	
버력처리 장비조합		로더(2.87m ³) + 덤프트럭(15TON)	
암종 적용 기준			
구분	암종	단위중량(γ)	토량환산계수(L)
TYPE - 1, 2	경암	2.5 ton/m ³	1.850
TYPE - 3, 4	연암	2.3 ton/m ³	1.500
TYPE - 5	풍화암	2.0 ton/m ³	1.325
비고		건설교통부	표준품셈

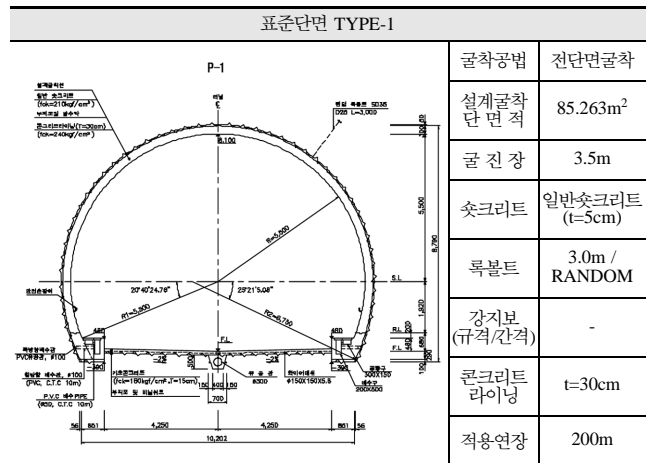


그림 1. 표준단면 예

5. 공사비 산출 기준

각 지보패턴별 표준단면에 대한 M당 단위수량을 산출하고 적용연장을 곱하여 총괄수량을 집계하였다. 수량산출 및 단가산정의 주요 기준은 실적단가(2006년 상반기)를 기본으로 하고 실적단가가 없는 항목은 원가계산에 의한 단가산출방식을 적용하였다. 근거자료는 건설표준품셈(한국건설기술연구원 2007), 철도공사 수량 및 단가산출 기준(한국철도시설공단 2005), 국도건설공사 설계실무 요령(건설교통부, 2005)을 이용하였다. 그 외 모호한 내용에 대해서는 실제 과업에 적용된 실시설계 자료를 이용하였다. 단가를 구성하는 재료

표 2. 모델터널의 표준 지보패턴

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	
굴착공법	전단면굴착	전단면굴착	전단면굴착	상·하반 분할굴착	상·하반 분할굴착	
설계굴착 단면적	85.263m ²	85.263m ²	85.997m ²	상반:55.051m ² 하반:31.937m ²	상반:57.685m ² 하반:32.804m ²	
굴진장	3.5m	2.5m	2.0m	1.5m	1.2m	
지보	숏크리트	일반숏크리트 (t=5cm)	강섬유보강 숏크리트 (t=5cm)	강섬유보강 숏크리트 (t=8cm)	강섬유보강 숏크리트 (t=12cm)	강섬유보강 숏크리트 (t=16cm)
	록볼트 (길이/갯수)	3.0m / RANDOM	3.0m / 6.5	4.0m / 12.5	4.0m / 15.5	4.0m / 19.5
	강지보 (규격/간격)	-	-	-	격자지보- 50×20×30/1.5	격자지보- 70×20×30/1.2
콘크리트라이닝두께	t=30cm	t=30cm	t=30cm	t=30cm	t=40cm (철근보강)	
적용 연장	200m	200m	200m	200m	200m	

비, 노무비, 기계경비의 적용 기준 및 단가산출 기준은 재료비의 경우 2007년 1월을 기준으로 하여 3종류의 시중 물가 정보지 단가를 조사하여 그중 최저 단가를 적용하였으며, 노무비의 경우 대한건설협회에서 공포하는 2007년 상반기 시중노임 단가를, 기계경비는 2007년 표준품셈 및 조달청 공포단가를 적용하였다.

6. 모델터널 공사비 구성

모델터널의 공사비 분석을 위하여 산출된 수량과 단가를 통하여 터널 1,000m에 대한 전체 공사비와 지보패턴별 M당 공사비를 공종별로 산출하였으며, 공종별 및 지보패턴별 공사비 구성비율은 아래 표 3와 같다. 단, M당 공사비 중 부대공은 전체 부대공 공사비를 전체연장 1,000m로 나누어 평균값으로 적용하였다. 공종별 공사비 구성은 토공 40%,

표 3. 모델터널 M당 공사비

구분		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균 공사비	구성비 (%)	
M당 공사비 (원/m)	토공	굴착	2,215,047	2,420,957	2,584,553	3,205,909	3,464,652	2,778,224	33%
		버력처리	694,605	694,605	576,320	583,182	337,951	577,333	7%
		소계	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,789,091	3,802,603	3,355,556	40%
	지보공	숏크리트	474,781	698,869	856,108	1,071,592	1,320,676	884,405	11%
		록볼트	3,749	64,768	178,737	299,383	476,360	204,599	2%
		강지보	-	-	-	436,696	537,676	194,874	2%
		소계	478,530	763,637	1,034,845	1,807,671	2,334,712	1,283,879	15%
	구조물공	라이닝콘크리트	1,357,060	1,357,060	1,353,472	1,351,559	3,139,410	1,711,712	20%
		방배수	1,113,256	1,113,256	1,113,256	1,112,761	1,117,167	1,113,939	13%
		소계	2,470,316	2,470,316	2,466,728	2,464,320	4,256,577	2,825,651	34%
	부대공	임시전기기계설비	597,382					597,382	7%
		계측	238,493					238,493	3%
		기타	77,091					77,091	1%
		소계	912,966					912,966	11%
	공사비계(M당)		6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	
구성비(%)		16%	17%	18%	21%	27%	20%		
굴진장		3.5m	2.5m	2.0m	1.5m	1.2m	2.14m		
굴진당 운행 주기 (min/굴진)		1,757	1,374	1,104	상반:781 하반:440 계:1,221	상반:653 하반:358 계:1,011	1,293		
m당 운행 주기		502	550	552	814	842	652	min/m	
		77%	84%	85%	125%	129%	100%		
굴진속도(cm/hr)		12.0	10.9	10.9	7.4	7.1	9.6		
		125%	114%	114%	77%	74%	100%		

구조물공 34%, 지보공 15%, 부대공 11% 순이며 토공의 세부공종 중 굴착공종이 공사비의 33%임을 알 수 있다.

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

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균
변동비	1.000	1.073	1.119	1.325	1.670	1.237

7. 터널 공사비 영향요인 분석

7.1 천공방법이 공사비에 미치는 영향

천공작업은 발파 작업 공종 중 가장 많은 작업 시간을 차지하는 공종으로 굴착단계에 미치는 영향도 크다. 발파굴착을 위한 천공은 점보드릴에 의한 기계화시공이 일반적이거나 소규모터널이나 현장여건 또는 장비수급 상 착암기에 의한 인력천공이 적용되기도 한다. 건설표준품셈에 의하면 표 5에서 보는 바와 같이 점보드릴은 착암기에 비하여 천공속도는 빠르나 장비가격 및 시간당 사용료는 4배 가까이 됨을 알 수 있다. 따라서 본 절에서는 점보드릴에 의한 기계화천공과 착암기에 의한 인력천공이 터널 공사비에 미치는 영향을 분석하였다.

표 5. 착암기와 점보드릴 비교

구분	착암기 (2.7m ³ /min)	점보드릴 (3분)	착암기 대비 점보드릴 비율	비고	
암종	풍화암	27cm/min	75~85cm/min	296%	표준 품셈
	연암	20cm/min	85~90cm/min	450%	
	보통암	16cm/min	90~95cm/min	578%	
	경암	12cm/min	95~100cm/min	813%	
장비가격	대 당	2,259,858₩ (2,431\$)	883,964,000₩	391%	
장비손료	시간당	564₩/hr	221,292₩/hr	392%	

점보드릴에 의한 기계화천공방식과 착암기에 의한 인력천공방식의 공사비를 비교 분석하기 위하여 암종별 지보패턴은 경암인 경우 Type-1, 보통암인 경우 Type-2 및 Type-3, 연암인 경우 Type-4, 풍화암인 경우 Type-5를 적용하였다. 천공속도는 표준품셈의 내용을 적용하였으며 착암기 적용 대수는 1대에서 10대까지 적용하여 공사비를 산출하여 보고 가장 저렴한 대수인 착암기 4대와 공기 압축기를 적용하였다. 작업조는 서울지하철9호선 수량 및 단가산출 기준을 근거하여 적용하였다. 천공방식에 따른 M당 토공사비 및 터널

표 6. 천공방법별 M당 토공 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
(1) 기계화천공 (점보드릴)	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,523,724	3,409,690	3,223,900	100
(2) 인력천공 (착암기)	3,944,915	3,946,194	4,172,714	4,942,202	4,628,479	4,326,901	129
비율:(2)/(1)%	136%	127%	132%	130%	122%	129%	

표 7. 천공방법별 M당 터널 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
(1) 기계화천공 (점보드릴)	6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	100
(2) 인력천공 (착암기)	7,809,947	8,134,009	8,719,222	10,289,185	12,296,163	9,449,705	113
비율:(2)/(1)%	115%	112%	115%	115%	109%	113%	

공사비의 변동폭은 표 6, 표 7과 같다.

표 6, 표 7에서 분석한 바와 같이 기계화천공을 인력천공으로 대체하는 경우 토공만 보았을 때 129%의 공사비 증가 영향이 있고 터널 전체적 공사비는 113% 증가하는 것으로 나타났다.

7.2 굴착방법이 공사비에 미치는 영향

터널의 굴착방법에는 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착 등이 있으며 현장여건과 지반조건을 고려하여 적합한 굴착방법을 선정하여야 한다. NATM터널의 대표적 암반 굴착방법인 발파 굴착방법은 굴진속도와 경제성이 매우 뛰어나기 때문에 널리 이용되고 있는 방법이다. 그러나 진동과 소음 등이 크게 수반되기 때문에 도심지 공사나 근접하여 보안물이 있을 경우 또는 지반조건이 취약한 경우 적용에 제약을 받아 기계굴착방법을 혼용하여 적용되어지고 있다. 기계굴착방법은 경제성과 시공성 및 공기 면에서 발파 굴착방법에 비하여 매우 불리한 것으로 알려져 있다.

국내 NATM터널의 기계굴착용 증장비는 브레이커, 터널용 브레이커(ITC) 및 로드헤더가 있으나, 적용되는 대표적인 기계굴착방법은 브레이커를 이용한 굴착방법으로 건설표준품셈 터널편에는 브레이커를 이용한 터널 굴착 방법의 공사비 산출 기준을 명시하고 있다. 따라서 발파 굴착방법을 브레이커에 의한 기계굴착방법으로 변경하는 경우 터널공사비에 미치는 영향을 분석하였다(표 8).

표 8. 브레이커에 의한 공사비 산출 조건

구분	작업능력(m ³ /hr)
장비조합	유압식 백호우(0.7m ³) + 브레이커

굴착방식에 따른 M당 토공사비 및 터널공사비의 변동폭은 표 9, 표 10과 같다.

발파 및 굴착 방법을 브레이커에 의한 기계굴착으로 대체한 경우 토공종만 보았을 때 166%의 공사비 증가 영향이 있고 터널의 전체적 공사비는 127% 증가하는 것으로 나타났다.

7.3 발파(기폭)방식이 공사비에 미치는 영향

터널 발파에 사용되는 뇌관의 종류에는 크게 전기식뇌관(electric detonator)과 비전기식뇌관(NON-electric detonator)이 있다. 전기뇌관과 비전기뇌관의 제품 특성에 따른 비교는

표 9. 굴착방법별 M당 토공 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
(1) 발파굴착 (모델터널)	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,523,724	3,409,690	3,223,900	100
(2) 기계굴착 (브레이커)	6,868,328	6,928,182	5,558,212	4,632,751	3,893,817	5,576,258	166
비율:(2)/(1)%	236%	222%	176%	122%	102%	166%	

표 10. 굴착방법별 M당 터널 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
(1) 발파굴착 (모델터널)	6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	100
(2) 기계굴착 (브레이커)	10,730,140	11,075,101	9,972,751	9,817,708	11,398,072	10,598,754	127
비율:(2)/(1)%	158%	152%	132%	109%	101%	127%	

표 11. 전기뇌관과 비전기뇌관 특성 비교

구분	전기식 뇌관	비전기식 뇌관
기폭원리	뇌관단차로 기폭	뇌관단차+표면뇌관단차로 기폭
단 차	42단차(실제는 20공 이내)	무한 단차
안 정 성	· 물리적 외력에 민감 · 전기 및 전파에 불안정	· 전기나 물리적 외력에 안정
결선확인	확인가능	육안확인만 가능
진동 · 소음	· 진동 및 소음이 큼 · 42단차로 진동제어 가능한곳에 적용	· 지발당 장약량 감소가능 · 진동 및 소음이 적음
작 업 성	· 전기적인 위험으로 수중발파 곤란 · 터널발파시 누설전류에 주의 · 취급이 복잡함	· 사용이 안전하고 다양 · 시공시간 절감 · 터널발파, 대발파에 적합
종 류	· H 사 : HiDETO · K 사 : NPED	· H 사 : HINEL · K 사 : NONEL
점화방식	전기식	타격식
비 고	· 전기식뇌관의 경우 다단발파기를 사용할 때 단차수 증대 가능 · 현재 세계적인 추세는 누설전류와 낙뢰에 안전하고 무한단차 확보에 유리하며, 발파에 따른 소음, 진동 등의 환경공해를 줄일 수 있는 비전기식 뇌관의 이용이 증대하고 있는 추세이다.	

(철도설계편람(토목편), 2004)

표 11과 같다.

최근 들어 터널 설계에서 발파작업의 안전성 확보 및 발파진동제어를 위하여 전기식뇌관에 비하여 전기적 안전성이 우수하고 소음 및 진동 등의 환경공해에 유리한 비전기식뇌관의 적용이 선호되고 있다. 그러나 <표 12>와 같이 비용면에서 불리한 것으로 알려져 있고 터널공사비에 어느 정도의 영향을 미치는 지에 대한 자료가 없어 발파방식 선정에 있어 의사결정에 애로사항이 있다. 본 절에서는 전기식 발파방식을 적용한 경우와 비전기식 발파방식을 적용한 경우의 공사비를 각각 산출하여 두 방식 간에 공사비 차이와 터널공사비에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같다.

표 12. 전기식발파와 비전기식발파 소모자재 단가

소모 자재	전기식 발파	비전기식 발파	비 고
뇌 관	1,570 (원)	2,460 (원)	각선길이 각각 3.5m, 4.8m
번치코넥터	-	3,120 (원)	뇌관15개당1개
스타터	-	16,230 (원)	L = 100m

(종합물가정보 180page, 2007)

전기식발파방식이 적용된 모델터널의 공사비와 새로 산출된 비전기식발파방식이 적용된 경우의 M당 토공공사비 및 터널공사비는 표 13, 표 14와 같다. 비전기식발파방식 적용 시 전기식발파방식에 비하여 토공 공사비가 1.2% 증가하고 전체 터널공사비는 0.5% 증가하는 것으로 나타났다.

7.4 버력 상차용 로더용량이 공사비에 미치는 영향

버력처리공중은 터널 공중들 중 가장 많은 비중을 차지하며 공사비와 공기에 지대한 영향을 미친다(김경민 외, 2007). 국내 NATM터널의 버력처리 주력 장비는 휠로더와 덤프트럭의 조합이 가장 널리 이용되고 있다. 최근 치열해지고 있는 건설 원가절감 노력에 부합하여 턴키공사와 민지사업 뿐만 아니라 일반 실시설계에서도 건설 공사비를 최소화하기 위한 일환으로 버력처리 장비의 대형화를 통하여 공기와 공사비를 줄이기 위한 노력이 시도되고 있다. 발주처마다 설계기준으로 채택하고 있던 로더의 장비용량을 대용량으로 바꾸는 추세이고 시공 현장에서도 대용량의 장비를 투입하여 공기단축과 공사비 절감을 도모하려는 시도가 꾸준히 진행되고 있다. 최근 설계되어 현재 시공이 진행 중에 있는

표 13. 발파방식별 M당 토공 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
(1)전기식발파(모델터널)	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,523,724	3,409,690	3,223,900	100.0
(2)비전기식발파	2,925,767	3,138,242	3,192,348	3,843,901	3,873,756	3,394,803	101.2
비율:(2)/(1)%	100.6%	100.7%	101.0%	101.4%	101.9%	101.2%	

표 14. 발파방식별 M당 터널 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
(1)전기식발파(모델터널)	6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	100.0
(2)비전기식발파	6,787,579	7,285,161	7,606,887	9,028,858	11,378,011	8,417,299	100.5
비율:(2)/(1)%	100.2%	100.3%	100.4%	100.6%	100.6%	100.5%	

서울지하철9호선은 로더 1.72m³을 설계기준으로 적용하고 있으나 한국도로공사와 한국철도시설공단은 1.72m³에서 2.87m³로 설계기준을 변경하여 적용하고 있으며 경부고속철도 건설공사에는 로더 3.5m³을 설계기준으로 적용하였다.

앞으로도 버력처리 효율성 향상을 위한 장비의 대형화 추세는 지속될 것으로 예상된다. 설계단계에서도 대용량 로더의 적용을 위하여 상·하반 분할 경계선을 최대한 낮추어 로더의 작업공간을 확보하려는 시도들이 진행되고 있고 이때 로더의 장비용량이 공사비와 공기에 미치는 영향은 중요한 관심 사항이고 의사결정의 중요한 자료가 된다. 따라서 국내 각 발파기관에서 설계기준으로 채택되고 있는 로더 장비용량 즉, 로더 1.72m³, 2.87m³, 3.50m³을 버력 상차장비로 적용하였을 경우에 터널공사비에 미치는 영향을 분석하였다.

로더의 장비용량에 따라 시간당 작업능력이 결정되고 시간당 작업능력에 따라 운행 주기의 증감과 버력처리 단가의

변동이 일어난다. 그리고 운행 주기는 굴착단가에 직접적이고 중요한 영향을 미치게 되어 로더의 장비용량이 터널공사비에 반영 된다. 로더 장비용량별 공사비 산출을 위하여 로더 2.87m³이 적용된 모델터널에 로더 1.72m³과 로더 3.50m³을 각각 적용하여 운행 주기를 산출하고 각 장비용량별 공사비를 산출하였다. 표 15는 로더 장비용량별 작업능력과 시간당 손료를 나타내고 있다.

표 16은 로더 장비용량별 버력 상차 소요시간이며 표 17은 운행 주기 산출표이다.

평균 버력상차 시간은 모델터널에 적용된 로더 2.87m³을 기준으로 하여 로더 1.72m³과 로더 3.50m³은 각각 167%, 82%로 나타났고 M당 운행 주기는 각각 127%, 93%로 나타나 로더 1.72m³의 작업능력이 매우 낮다. 굴진속도 또한 각각 77%, 110%로 로더 1.72m³의 경우가 상대적으로 많은 영향을 받음을 알 수 있다. 위와 같이 산정된 로더 장비용량별 작업능력과 운행 주기를 가지고 산출된 공사비를 굴착

표 15. 로더의 장비용량별 작업능력과 장비가격

로더 규격	상차 능력(Q:m³/hr)			장비 가격(₩)	시간당 손료(₩/hr)	비고
	경암	연암	풍화암			
로더 1.72m³	9.91	12.29	24.52	110,246,000	56,025	토랑환산계수 L값 • 경암 : 1.850 • 연암 : 1.500 • 풍화암 : 1.325
로더 2.87m³(모델터널)	16.53	20.51	40.92	151,640,000	74,293	
로더 3.50m³	20.16	25.02	49.90	168,640,000	83,082	
작업능력 산식	Q = q×k×f×E, (q=로더 규격, k=0.55, E=0.25, f=1/L)					

(건설품셈 2007년 기준)

표 16. 로더의 장비용량별 버력상차 소요시간

단위(min)

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4		TYPE-5		평균	비율(%)
				연암		풍화암			
				상반	하반	상반	하반		
로우터용량	1.72m³	1,347	875	424	239	178	99	1,010	167
				663		277			
	2.87m³(모델터널)	807	524	254	143	107	59	605	100
				397		166			
	3.50m³	662	430	208	117	87	48	496	82
				325		135			

※백분율은 로더 2.87m³(모델터널) 기준

표 17. 로더 장비용량별 운행 주기 산출표

구분		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4		TYPE-5		평균	비율 (%)
		전단면	전단면	전단면	상반	하반	상반	하반		
운행 주기 (min/달진)	1.72m ³	2,513	1,914	1,455	951	536	724	398	1,698	131
					1,487		1,122			
	2.87m ³ (모델터널)	1,757	1,374	1,104	781	440	653	358	1,293	100
					1,221		1,011			
	3.50m ³	1,554	1,229	1,010	735	414	633	347	1,184	92
					1,149		980			
m당 운행 주기 (min/M)	1.72m ³	718	766	728	991		935		827	127
	2.87m ³ (모델터널)	502	550	552	814		843		652	100
	3.50m ³	444	492	505	766		817		605	93
굴진 속도 (cm/hr)	1.72m ³	8.4	7.8	8.2	6.1		6.4		7.4	77
	2.87m ³ (모델터널)	12.0	10.9	10.8	7.4		7.1		9.6	100
	3.50m ³	13.5	12.2	11.9	7.8		7.3		10.6	110

※백분율은 로더 2.87m³(모델터널) 기준

표 18. 로더 용량별 M당 토공 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율 (%)
1.72m ³	3,754,682	3,948,826	3,851,595	4,420,326	4,133,058	4,021,697	120
2.87m ³ (모델터널)	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,789,091	3,802,603	3,355,556	100
3.50m ³	2,679,666	2,873,895	2,977,297	3,612,957	3,761,355	3,181,034	95

※백분율은 로더 2.87m³(모델터널) 기준

표 19. 로더 용량별 M당 터널 공사비 변동

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율 (%)
1.72m ³	7,616,494	8,095,745	8,266,134	9,605,283	11,637,313	9,044,194	108
2.87m ³ (모델터널)	6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	100
3.50m ³	6,541,478	7,020,814	7,391,836	8,797,914	11,265,610	8,203,530	98

※백분율은 로더 2.87m³(모델터널) 기준

과 버력처리공중으로 구성된 토공중의 M당 공사비와 전체 터널의 M당 공사비를 정리한 것이 표 18, 표 19이다.

로더 2.87m³이 적용된 모델터널을 기준으로 1.72m³과 3.50m³의 토공공사비는 각각 120%로 증가 및 95%로 감소됨을 알 수 있고 전체 터널공사비는 108%로 증가 및 98%로 감소됨을 알 수 있다.

7.5 단위중량과 체적환산계수의 영향

버력처리 단가는 상차비와 갱내운반비로 구성된다. 상차비는 로더의 작업능력에 지배를 받고 운반비는 운반거리가 일정할 때 덤프트럭의 적재용량에 지배를 받는다. 로더의 작업능력과 덤프트럭의 적재용량은 아래 산식에 의하여 산출된다.

- 로더의 작업능력 $Q = q \times k \times f \times E$
(q :로더 규격, $k=0.55$, $E=0.25$, $f=1/L$, L :토량환산계수)

- 덤프트럭의 적재용량 $qt = T \div \gamma \times L$
(T :덤프트럭적재규격, γ :버력의 단위중량, L :토량환산계수)

산식에서 보듯이 로더의 작업능력 Q 은 장비용량 q 값 외에 토량환산계수 L 값의 지배를 받는다. 또한, 덤프트럭의 적재용량은 단위중량 γ 와 토량환산계수 L 값의 지배를 동시에 받는다. 따라서 암버력의 단위중량과 토량환산계수는 버력처리의 단가를 지배하면서 작업 시간에도 영향을 미친다. 따라서 버력의 단위중량 γ 과 토량환산계수 L 는 공사비에 영향을 미치는 중요한 요소라 할 수 있다. 본 연구에서는 암버력의 단위중량과 토량환산계수의 변화가 공사비에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위하여 단위중량과 토량환산계수의 각 평균치, 최대치, 최소치를 조합하여 적용하였을 경우의 공사비를 산출하고 비교 분석하였다. 아래 표 20, 표 21은 암중별 덤프트럭의 적재용량과 단위중량과 토량환산계수의 조합 사례를 보여준다.

표 20. 덤프 15ton의 적재용량

구분	경암	연암	풍화암	비고
적재 용량(qt:m ³ /대)	11.10	9.78	9.94	
단위중량(γt:ton/m ³)	2.5	2.3	2.0	
토량환산계수(L)	1.85	1.5	1.325	
적재용량 산식	qt = T ÷ γt × L			T = 15ton

표 21. 단위중량과 체적환산계수 조합

구분	암종	CASE-1		CASE-2		CASE-3	
		γt	L	γt	L	γt	L
TYPE-1,2	경암	2.5	1.850	2.6	2.000	2.4	1.700
TYPE-3,4	연암	2.3	1.500	2.4	1.700	2.2	1.350
TYPE-5	풍화암	2.0	1.325	2.2	1.350	1.9	1.300
비고	평균치	평균치	최대치	최대치	최소치	최소치	
	γt : 단위중량(ton/m ³), L : 체적환산계수						

위의 조합별 조건을 모델터널에 대입하여 산출되어진 M당 토공 공사비 및 M당 터널 공사비와 그 변동 폭을 나타낸 것이 표 22 및 표 23 이다. 토공 공사비 변동 폭은 평균치를 적용한 CASE-1을 기준으로 -3.1% ~ +3.5%의 변동 폭이 보이고 있고, 전체 터널공사비에서는 -1.2% ~ +1.4%의 변동 폭을 보이는 것으로 나타났다.

7.6 터널 연장이 공사비에 미치는 영향

동일한 조건에서 터널연장이 증가하면 터널내 각종 재료의 운반거리가 증가하고 작업조건이 열악해지므로 공사비의 증가를 초래한다. 건설품셈 및 각 발주기관들의 공사비 산출 기준에 500m이상의 터널 공사비 산출시 장대터널 할증을 노무비에 적용하여 터널연장에 따른 작업조건 변화에 대한 공사비 보정을 적용하고 있다.

또한 설계 및 시공경험의 축적과 터널기술의 발달로 최근 장대터널이 많이 건설되고 있고 향후에도 지속적인 출현이 예상된다. 따라서 터널연장이 공사비에 미치는 영향을 분석하여 선형 결정과 터널연장 결정의 참고자료를 제공하고자 한다.

분석을 위하여 굴진방향 수는 양방향 굴진을 기본으로 하였으며, 터널연장은 400m부터 400m씩 증가시켜 적용하여 터널내 평균 버력운반거리가 100m씩 증가가 되게 하고 평균 버력운반거리는 최대 1,000m, 터널연장은 최대 4,000m

표 22. 단위중량과 체적환산계수 조합에 따른 M당 토공 공사비 변동

조합 조건	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	평균	비율
CASE-1	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,789,091	3,802,603	3,355,556	100.0%
CASE-2	3,030,463	3,236,117	3,335,039	3,945,367	3,820,992	3,473,596	103.5%
CASE-3	2,773,838	2,979,577	3,041,573	3,681,192	3,780,636	3,251,363	96.9%

표 23. 단위중량과 체적환산계수 조합에 따른 M당 터널 공사비 변동

조합 조건	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	평균	비율
CASE-1	6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	100.0%
CASE-2	6,892,275	7,383,036	7,749,578	9,130,324	11,325,247	8,496,092	101.4%
CASE-3	6,635,650	7,126,496	7,456,112	8,866,149	11,284,891	8,273,860	98.8%

까지 분석하였다. 환기, 급·배수 등 부대공은 변동이 없이 모델터널의 M당 부대공 공사비를 적용하였다. 표 24는 건설 품셈에 제시된 장대터널 할증이고 표 25는 터널 연장별 터널내 운반거리와 장대터널 할증률을 정리한 것이다.

표 24. 장대터널 할증률

갱구에서부터 뚫기점까지의 거리	할증률 (%)
갱구에서 500m까지	-
500m ~ 1,000m	10
1,000m ~ 1,500m	20
1,500m ~ 2,000m	30
2,000m ~ 2,500m	40
2,500m ~ 3,000m	50
3,000m ~ 3,500m	60
3,500m ~ 4,000m	70
4,000m ~ 4,500m	80
4,500m ~ 5,000m	90
5,000m ~ 이상	100

표 25. 터널연장별 터널내 운반거리와 장대터널 할증률

터널연장(M)	터널내 운반거리(M)	장대터널 할증률 (%)
400	100	-
800	200	-
1,000	250	-
1,200	300	1.7
1,600	400	3.8
2,000	500	5.0
2,400	600	7.5
2,800	700	9.3
3,200	800	11.3
3,600	900	13.3
4,000	1,000	15.0

터널 연장별로 산출된 공사비 및 공사비구성은 표 26과 같다.

터널연장 1,000m이하 구간은 100m당 터널공사비 증감율이 약 0.1%/(100m) 감소하고, 터널연장이 1,000m를 초과하는 구간에서는 약 0.2%/(100m) 증가로 나타났다. 이는 터널연장이 1,000m를 초과하면서부터 양방향굴진을 기준으로 하

표 26. 터널연장별 공사비 변동

(1) 터널 연장	400m	갱내평균운반거리		100m	장대터널할증(%)		0
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	2,861,462	3,067,372	3,116,513	3,744,205	3,762,717	3,310,454	98.7%
지보공	475,562	760,669	1,031,195	1,803,129	2,329,100	1,279,931	99.7%
구조물공	2,470,316	2,470,316	2,466,728	2,464,320	4,256,577	2,825,651	100.0%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	6,720,306	7,211,323	7,527,402	8,924,620	11,261,360	8,329,002	99.4%
(2) 터널 연장	800m	갱내평균운반거리		200m	장대터널할증(%)		0
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	2,893,469	3,099,379	3,145,996	3,774,039	3,789,276	3,340,432	99.5%
지보공	477,561	762,669	1,033,654	1,806,188	2,332,880	1,282,590	99.9%
구조물공	2,470,316	2,470,316	2,466,728	2,464,320	4,256,577	2,825,651	100.0%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	6,754,312	7,245,330	7,559,344	8,957,513	11,291,699	8,361,640	99.8%
(3) 터널 연장	1,000m	갱내평균운반거리		250m	장대터널할증(%)		0
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	2,909,652	3,115,562	3,160,873	3,789,091	3,802,603	3,355,556	100.0%
지보공	478,530	763,637	1,034,845	1,807,671	2,334,712	1,283,879	100.0%
구조물공	2,470,316	2,470,316	2,466,728	2,464,320	4,256,577	2,825,651	100.0%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	6,771,464	7,262,481	7,575,412	8,974,048	11,306,858	8,378,053	100.0%
(4) 터널 연장	1,200m	갱내평균운반거리		300m	장대터널할증(%)		1.7
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	2,942,622	3,150,067	3,194,060	3,826,912	3,839,499	3,390,632	101.0%
지보공	479,554	764,661	1,036,105	1,809,238	2,336,649	1,285,241	100.1%
구조물공	2,480,970	2,480,970	2,477,382	2,474,973	4,267,290	2,836,317	100.4%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	6,816,112	7,308,664	7,620,513	9,024,089	11,356,404	8,425,156	100.6%
(5) 터널 연장	1,600m	갱내평균운반거리		400m	장대터널할증(%)		3.8
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	2,995,523	3,205,015	3,246,336	3,885,503	3,895,063	3,445,488	102.7%
지보공	481,516	766,624	1,038,518	1,812,241	2,340,359	1,287,852	100.3%
구조물공	2,494,131	2,494,131	2,490,543	2,488,133	4,280,518	2,849,491	100.8%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	6,884,136	7,378,736	7,688,363	9,098,843	11,428,906	8,495,797	101.4%
(6) 터널 연장	2,000m	갱내평균운반거리		500m	장대터널할증(%)		5.0
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	3,039,467	3,249,811	3,288,634	3,931,601	3,938,426	3,489,588	104.0%
지보공	483,447	768,555	1,040,893	1,815,196	2,344,011	1,290,420	100.5%
구조물공	2,501,677	2,501,677	2,498,089	2,495,678	4,288,105	2,857,045	101.1%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	6,937,557	7,433,009	7,740,582	9,155,441	11,483,508	8,550,019	102.1%
(7) 터널 연장	2,400m	갱내평균운반거리		600m	장대터널할증(%)		7.5
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)
토 공	3,096,380	3,309,367	3,345,121	3,995,390	3,999,251	3,549,102	105.8%
지보공	485,323	770,430	1,043,199	1,818,066	2,347,558	1,292,915	100.7%
구조물공	2,517,327	2,517,327	2,513,739	2,511,327	4,303,835	2,872,711	101.7%
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%
계	7,011,996	7,510,090	7,815,025	9,237,749	11,563,610	8,627,694	103.0%

표 26. 터널연장별 공사비 변동(계속)

(8) 터널 연장	2,800m	갱내평균운반거리			700m	장대터널할증(%)		9.3
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)	
토 공	3,146,192	3,360,287	3,393,956	4,049,609	4,051,053	3,600,219	107.3%	
지보공	487,307	772,414	1,045,639	1,821,102	2,351,310	1,295,554	100.9%	
구조물공	2,528,577	2,528,577	2,524,989	2,522,577	4,315,145	2,883,973	102.1%	
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%	
계	7,075,042	7,574,244	7,877,550	9,306,254	11,630,474	8,692,713	103.8%	
(9) 터널 연장	3,200m	갱내평균운반거리			800m	장대터널할증(%)		11.3
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)	
토 공	3,198,423	3,414,479	3,445,293	4,106,704	4,105,186	3,654,017	108.9%	
지보공	489,193	774,280	1,047,934	1,823,958	2,354,839	1,298,041	101.1%	
구조물공	2,541,089	2,541,089	2,537,501	2,535,087	4,327,724	2,896,498	102.5%	
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%	
계	7,141,671	7,642,814	7,943,694	9,378,715	11,700,715	8,761,522	104.6%	
(10) 터널 연장	3,600m	갱내평균운반거리			900m	장대터널할증(%)		13.3
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)	
토 공	3,250,038	3,468,055	3,496,446	4,163,694	4,159,400	3,707,527	110.5%	
지보공	491,160	776,267	1,050,378	1,826,998	2,358,596	1,300,680	101.3%	
구조물공	2,553,628	2,553,628	2,550,040	2,547,626	4,343,327	2,909,650	103.0%	
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%	
계	7,207,792	7,710,916	8,009,830	9,451,284	11,774,289	8,830,822	105.4%	
(11) 터널 연장	4,000m	갱내평균운반거리			1,000m	장대터널할증(%)		15.0
M당 공사비	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	평균	비율(%)	
토 공	3,298,829	3,518,296	3,544,251	4,216,680	4,209,269	3,757,465	112.0%	
지보공	493,279	778,387	1,052,984	1,830,241	2,362,604	1,303,499	101.5%	
구조물공	2,564,298	2,564,298	2,560,710	2,558,295	4,351,054	2,919,731	103.3%	
부대공	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	912,966	100.0%	
계	7,269,372	7,773,947	8,070,911	9,518,182	11,835,893	8,893,661	106.2%	

므로 일방향 터널연장이 500m를 초과하여 장대터널할증이 적용되어 공사비 증가율이 높아지기 때문이다.

8. 결 론

본 연구에서는 터널공사의 수행에 있어 공사비의 기본구성과 공사비에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 공사비에 영향을 줄 수 있는 요인 7가지에 대하여 그것들의 변화에 따라 공사비에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 통하여 지속적인 증가와 장대화 추세를 보이고 있는 터널의 건설공사에 있어 설계와 시공시 공법 선정과 설계변경 등에서의 의사결정에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다. 일반적 형태의 철도 분야 NATM터널을 모델로 수행한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 점보드릴에 의한 기계화 천공방법을 착암기를 이용한 인력 천공방법으로 변경한 경우 토공 공사비는 22~36%, 평균 29% 증가하고 전체 NATM터널 공사비는 9~15%, 평균 13% 증가하는 것으로 나타났다.
2. 발파에 의한 굴착방법을 브레이커에 의한 기계굴착방법으로 변경한 경우 토공 공사비는 2~136%, 평균 66%의 증가폭을 보였고, 전체 NATM터널 공사비는 1~58%, 평균

27%의 증가폭을 보여 변동폭이 매우 크게 나타났다. Type-1에 가까울수록 증가폭이 크고 Type-5로 갈수록 증가폭이 감소하는 경향을 보였다.

3. 전기식 발파방식을 비전기식 발파방식으로 변경한 경우 토공 공사비는 0.6~1.9%, 평균 1.2%, 전체 NATM터널 공사비는 0.2~0.6%, 평균 0.5%의 증가폭을 보였고 발파공수가 상대적으로 많은 Type-5에 가까울수록 증가폭이 컸다.
4. 전단면 굴착공법을 상·하반분할 굴착공법으로 변경한 경우 굴착공법에 의한 공사비 차이는 전단면 굴착공법을 기준으로 토공 공사비는 5~12%, 평균 8%의 증가 영향을 보였고 전체 NATM터널에서는 2~4%, 평균 3%의 공사비 증가 영향이 있는 것으로 나타났다.
5. 버력 상차장비인 로우더의 용량을 2.87m³에서 소용량인 1.72m³로 장비를 변경하였을 때, 토공 공사비는 9~29%, 평균 20%의 증가영향이 있고, 전체 NATM터널 공사비는 3~12%, 평균 8%의 증가영향이 발생하였다. 굴진속도는 10~30%, 평균 23%의 감소영향이 나타났다. 반대로 대용량인 3.50m³를 적용한 경우, 토공 공사비는 1~8%, 평균 5%의 감소영향이, 전체 NATM터널에서는 0.4~3%, 평균 2%의 공사비 감소영향이 있는 것으로 나타났으며 굴진속도는 3~13%, 평균 10%의 증가영향이 발생하였다.

6. 다양한 범위의 값을 가지는 버력의 단위중량(γ_t)과 체적환산계수(L)의 조합의 선택에 따라 토공 공사비는 최대 6.6%의 공사비차이를, 전체 NATM터널 공사비에서는 최대 2.6%의 차이를 보였다.
7. 터널연장 증감에 따라 운반거리의 증감과 장대터널할증의 변화에 의한 터널공사비 변동은 터널연장 1,000m를 기준으로 증감율의 변곡점이 발생하고, 이는 일방향 터널연장이 500m를 초과하면서 장대터널할증이 적용되기 때문이다. 터널연장 1,000m 이하 구간은 100m당 터널공사비 증감율이 약 0.1%/(100m), 터널연장이 1,000m를 초과하는 구간에서는 약 0.2%/(100m)로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 중앙대학교 우수연구자연구비 지원에 의한 것이며, 건설교통부 건설교통R&D정책인프라사업의 연구비지원(과제번호 : 06 기반구축 A03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부(2005) 국도건설공사 설계실무 요령.

- 강경인, 안성훈(2005) 공동주택의 지하주차장 공사비 예측 모델에 관한 연구, **대한건축학회 논문집(구조계)**, 대한건축학회, 제21권 5호, pp. 135-142.
- 김경민, 서형범, 황호정, 김경주(2007) 터널 버력처리공정의 시물레이션 적용성에 관한 연구, **한국건설관리학회논문집**, 한국건설관리학회, 제8권 제1호, pp. 141-149.
- 김예상, 윤창식(2000) 원가요소의 특성을 고려한 오피스 건물 개산견적 모델 개발에 관한 연구, **대한건축학회 논문집(구조계)**, 대한건축학회, 제16권 12호, pp. 163-174.
- 김찬중, 김영덕(2003) 사업초기단계에서의 개산견적산정 적용사례, **한국건설관리학회 논문집**, 한국건설관리학회, 제4권 3호, pp. 34-37.
- 박종현, 이태식(2002) 설계단계별 도로공사 공사비 산출 모델 개발, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제22권 제1-D호, pp. 103-112.
- 박종현, 이태식(2003) 복합시설물로 구성된 단일공사의 공사비 추정 방법 개발, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제23권 제1-D호, pp. 69-78.
- (사)한국물가정보(2007) **종합물가정보**.
- 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.

(접수일: 2008.3.10/심사일: 2008.5.15/심사완료일: 2008.5.15)