

현장실태를 고려한 국내 터널공사 공사비산정기준 개선

안방울¹, 이한수², 오재훈¹, 송태석^{1*}
¹한국건설기술연구원, ²(주)현인피씨엠

The Improvement of Tunnel Construction Cost Standards Considering the Site Conditions in Korea

Bang-Ryul Ahn¹, Han-Soo Lee², Jae-Hoon Oh¹, Tae-Seok Song^{1*}

¹Cost Engineering & Management Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
²Hyeonin PCM

요약 터널공사는 국내 공공건설공사의 중요한 부분을 차지하고 있으며, 다양한 장비와 기술의 개발로 터널공사 시공방법이 발전하였고 현장에 적용되고 있으나 공사비산정기준은 아직까지 현장실태를 제대로 반영하지 못하고 있다. 본 연구에서는 현장실태를 반영한 공사비산정기준 수립을 위하여 관련 문헌조사 및 현장조사를 통해 합리적인 터널공사비 산정기준을 제시하였다. 먼저 현재 건설공사 표준품셈에서 정하는 터널공사비 산정기준의 각 항목들을 분석하고 현장조사를 통한 실제 현장시공의 실태와 비교 분석하였다. 주요 조사내용으로는 암반정 및 내공측량, 천공속도, 버력처리 장비조합 등 사이클 시간과 관련된 작업 시간에 대한 조사와, 굴착 투입인원에 대한 현장별 적용실태를 확인하였다. 현장 조사결과를 바탕으로 터널굴착 1발파당 사이클 시간, 천공기계의 천공속도, 버력처리 장비조합, 터널굴착 투입 작업인원에 대한 개선안을 제시하였다. 사이클 시간의 경우 천공준비 시간에 암반정 및 내공측량 시간을 반영하였으며, 천공기계 속도는 컴퓨터 점보드릴의 천공속도를 반영하였다. 버력처리는 상차장비의 규격을 현장 시공실태에 맞추어 개정하였으며, 터널 굴착 투입 작업조를 현장실태에 맞추어 개선안을 제시하였다. 본 연구를 통하여 현장 시공실태를 반영한 공사비산정기준이 제시되었으며, 터널공사 적정공사비 확보에 일조할 것으로 기대된다.

Abstract Tunnel construction is an important part of Korean public construction projects. Although the development of various equipment and technologies has led to advances in tunnel construction methods that are implemented on sites, the cost standards related to such works do not yet reflect the realities of the construction sites. A literature review and site surveys were conducted to suggest reasonable cost standards for tunnel work that reflects the realities of the field. First, each item in the cost standards for tunnel work, as established in the Construction Standard Production Rates, were analyzed. The results were compared with the actual costs implemented on tunnel projects. The key items analyzed included those regarding the work cycle time, such as rock classification, profiling survey, drilling speed, and muck-disposal processing equipment combination, as well as the number of people put to tunneling work. Based on the site survey results, improved estimates regarding the cycle time per one tunnel drilling blast, drilling speed of the machine, muck disposal processing equipment combination, and the number of people put to tunneling work were suggested. This study suggests the cost standards that reflect the realities of tunneling sites. The results are expected to help ensure adequate costs for tunnel construction projects.

Keywords : Construction Standard Production Rates, Tunnel Construction, Cycle Time, Crew, Specification

본 논문은 국토교통부 기술기준과 공사비산정기준관리운영사업(과제번호: 20200093) 및 한국건설기술연구원의 주요사업(생활밀착형 인프라 개선 사업 원가산정 기준 마련 연구)의 지원으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

*Corresponding Author : Tae-Seok Song(KICT)

email: songtaeseok@kict.re.kr

Received April 29, 2020

Revised June 16, 2020

Accepted August 7, 2020

Published August 31, 2020

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 공공건설공사의 대표종 하나인 터널공사 공사비 산정은 굴착 사이클시간, 천공기계의 천공속도, 버력처리 장비의 조합, 굴착 작업인원의 조합 등에 의해 결정된다 [1]. 하지만 발주기관별로 상이하게 적용되는 타입별 굴착 사이클시간[2], 재래식 천공기계의 적용, 규모에 상관 없이 일률적으로 적용되는 버력처리 장비조합, 비현실화된 굴착 작업조 등으로 인해 적절한 터널공사비가 산정되지 못하는 실정이다. 적정공사비 미확보 혹은 부족으로 인한 문제점은 시공사의 몫으로 고스란히 떠안고 있으며, 이로 인해 터널공사의 품질확보 곤란, 근로자의 안전확보 미비 등 또 다른 문제를 야기하는 원인이 되기도 한다.

최근 터널공사는 건설기술의 발전, 투입인력의 변화, 장비의 현대화 등 급속도로 발전하고 있는 실정이며[3], 이러한 여건이 반영된 적절한 공사비산정기준을 마련하여 합리적인 대가를 바탕으로 공사를 수행하는 환경조성이 필요한 시점이다. 이에 본 연구에서는 국내 터널공사를 대상으로 기존 공사비산정기준에 대한 문제점을 파악하고 현장실태 조사를 통해 현실화된 공사비산정기준 개선안을 제시하고자 한다.

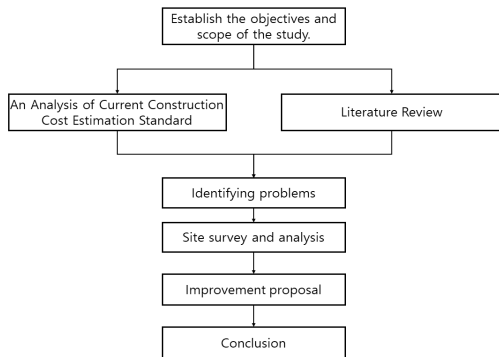


Fig. 1. Process of research

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 국내 시공되고 있는 공공건설공사의 터널공사를 대상으로 공사비산정기준의 적정성 및 개선방안을 제시하는 것으로 연구의 진행 방법은 다음과 같다.

- 기존 관련 문헌조사를 통해 터널공사비산정기준을 검토 및 문제점을 제기하였다.
- 선행연구 조사를 검토하여 유사 사례를 분석하였다.

- 현장조사를 통해 실측값 분석 및 개선방안을 제시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구 고찰

본 연구에서는 터널공사의 공사비 산정과 사이클타임에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 공사비 산정기준을 개정하기 위해 기존 연구들을 고찰하였다. 공사비 산정기준 개선에 관련된 연구는 공종별로 다양하게 진행되어 왔다.

Oh et al.(2019)[4]는 방수공사의 공사비산정기준 개정요인에 관한 연구를 통해 방수공사 공사비산정기준 현황을 분석하고 개정 기준을 제시하였으며, An et al.(2019)[5]는 건설공사 유지보수 공사비 산정기준 개발을 위한 국내외 사례조사를 통해 유지보수 공사비산정기준 마련을 위한 기초자료를 제시하였다.

Kim et al.(2018)[2]의 연구에서는 국내 터널 공사의 사이클 타임의 신뢰성 있는 예측모델을 구축하기 위하여 국내 3개 터널현장의 굴착시간을 세부공종별로 분석하고 건설공사 표준품셈에서 제시하는 사이클타임과 비교하였다. 실제 조사한 굴착 사이클 타임이 표준품셈에서 제시하는 사이클 타임과 차이가 있었으나, 3개 현장만을 대상으로 분석이 이루어져 특정한 상황에 대해서만 적용 가능하였다.

Park et al.(2019)[6]는 근로기준법 개정에 따라 주 52시간 근로제도가 터널공사의 표준 공기와, 공사비에 미치는 영향을 분석하였다. NATM 공법의 도로 터널을 대상으로 표준품셈을 참고하여 주 52시간 근로제도를 적용한 표준 공기와 사이클타임을 재 정의하였고 이에 따른 총 공사 기간 및 공사비의 영향을 분석하고 표준공사비산정방법을 제시하였다.

Kim et al.(2018)[7]은 터널공사의 공사기간에 미치는 주요 영향 요소를 도출하기 위하여, NATM 공법을 진행중인 34개 현장의 자료를 수집하고, RMR(Rock Mass Rating) 타입별로 현실적인 '굴착길이/공사일'을 제시하였다. 이를 통해 계획단계에서 적정 공사기간을 판단하기 위한 기준을 제시하였다.

Park et al.(2012)[8]은 시스템다이내믹스를 활용한 터널공사비 예측모델을 제시하였다. 기존 문헌조사를 통해 터널공사비에 미치는 영향요인을 파악하고, 영향요인 간 상관관계를 고려하여 터널공사비 인과지도를 작성하

고, 내역서를 활용하여 터널공사비 변화정도를 분석하였다. 이를 통해 다양한 영향요인을 고려한 터널공사비 예측에 대한 대안을 제시하였다.

Cho et al.(2008)[9,10]은 표준단면을 이용하여 터널 공사비 예측모델을 제시하였다. 천공방식, 굴착방법, 기폭장치, 적재장비 용량, 버력 단위중량, 터널연장거리 등 공사비 영향요인들에 따른 공사비의 변화정도를 분석하여 공사비 영향요인 변화에 따른 공사비 변동지수표를 구축하고, 환경 변화에 따른 공사비 추정을 위한 절차를 제시하여 터널 공사의 적절한 공법선택과 의사결정에 필요한 기초자료를 제공하고, 공사비의 영향에 대한 효율적인 평가가 가능하였다.

국내의 터널공사 관련 연구는 주로 공사기간 단축 및 품질향상을 위한 공법에 관련된 연구와 공사기간 예측을 위한 영향요인 연구가 주를 이루고 있으며, 터널공사 공사비 산정기준의 문제점과 터널공사 공사비 산정기준 개선에 대한 연구는 부족한 실정이다.

2.2 터널공사 공사비산정기준

국내 공공건설공사 예정가격은 '예정가격작성기준(기획재정부계약예규 제444호)'에 의거하여, 일반적으로 원가계산에 의한 가격, 표준시장단가, 거래실례가격, 견적 가격 등에 결정된다. 이중 원가계산에 의한 가격 산정을 위해 건설공사표준품셈이 활용되고 있으며, 국내 터널공사비는 주로 표준품셈에 의해 산정되고 있다. 표준품셈서 정하고 있는 터널공사비 산정기준을 살펴보면 다음과 같다.

2.2.1 터널굴착 1발파당 사이클시간

일반적으로 기계는 일련의 동작을 되풀이 하는 작업을 하게 되고 이때 1회 사이클동작으로 이루어지는 표준적인 작업시간을 사이클시간이라 한다. 이와 유사하게 터널 공사의 경우, '착암→버력처리→숏크리트→록볼트'의 작업사이클을 가지며, 터널의 구분(A군, B군, C군)에 따라 제시된 시간을 기준으로 공사비를 산정하게 되어있다. 그러나 천공준비시간에는 여굴/미굴 예측을 위한 내공측량, 암판정을 위한 페이스맵핑이 매 막장마다 진행되고 있음에도 불구하고 이를 위한 시간이 제외되어 있음을 알 수 있다.

Table 1. Tunnel classification by type[1]

Type	Definition
Group A	- Small-scale tunnels in which small-sized breakers can be used when excavating mechanically.
	- Small-scale tunnels in which small-sized breakers can be used for drilling while performing drilling and blasting.
Group B	- Single-line tunnels in which large-sized breakers can be used when excavating mechanically.
	- Single-line tunnels in which jumbo drills can be used for drilling while performing drilling and blasting, though operations of dump trucks and loaders are difficult and crossing of equipment is impossible.
Group C	- Double-track tunnels or tunnels with two or more lanes in which large-sized breakers can be used when excavating mechanically.
	- Double-track tunnels or tunnels with two or more lanes in which jumbo drills can be used for drilling while performing drilling and blasting, and operations of dump trucks and loaders are easy and also crossing of equipment is possible.

Table 2. Cycle time per blast in tunnel excavation[1]

Job type	Drilling and blasting			Remarks (Lower half)	
	Group A	Group B	Group C		
Drilling	Preparation of drilling	10 ~ 15	15 ~ 20	(15 ~ 20)	65%
	Surveying and marking	5 ~ 10	10 ~ 15	15 ~ 20	65%
	Drilling	T1	T1	T1	Quantity of work
	Charging and blasting	30~40	40~50	50~60	65%
	Ventilation	15~20	20~25	25~30	100%
Disposal of muck	Preparation of muck disposal	10	10	10	100%
	Disposal of muck	T2	T2	T2	Quantity of work
	Shunting of carts	3 ~ 5	3 ~ 5	-	100%
	Scaling and cleaning up	20~30	30~40	40~50	65%
Shotcrete	Preparation of placing	10	10	(10)	100%
	Cleaning of floor and surface	T3	T3	T3	Quantity of work
	Installation of support	25~30	30~35	40~45	65%
	Installation of wire mesh	T4	T4	T4	Quantity of work
	Spray works	T5	T5	T5	Quantity of work
	Removal of remnants	20	20	20	65%
	Checking of equipment	10	10	10	100%
Rock bolt	Preparation of installation	10	10	(10)	100%
	Drilling time (min/hole)	T6	T6	T6	Quantity of work
	Cleaning in the hole (min/hole)	1	1	1	Quantity of work
	Filling (min/hole)	2	2	2	Quantity of work
	Fixing (min/hole)	2	2	2	Quantity of work
	Transferring and others	15	15	15	100%

*T1: Drilling time according to Quantity of work

T2: Time for Muck disposal according to Quantity of work

T3: Cleaning time of floor and surface according to Quantity of work

T4: Installation time of wire mesh according to Quantity of work

T5: Time for Spray works according to Quantity of work

T6: Drilling time for Rock bolt according to Quantity of work

2.2.2 천공기계의 천공속도

천공기계의 속도는 기계 종류(소형브레이커, 점보드릴)에 따라 암종 및 굴진장으로 제시되고 있다. 다만 점보드릴의 경우, 수년전부터 건설현장에 컴퓨터(자동) 점보드릴의 보급률이 높게 나타나고 있으나 아직까지 재래식(수동) 점보드릴 기준으로 천공속도가 제시되어 있으며, 암종류(풍화암~경암) 관계없이 굴진장에 따라 제시가 가능함에도 불구하고 암종류를 병행 표기함으로 인해 설계자의 혼선을 유도하기도 한다.

Table 3. Drilling speed of drilling machine[1]

Item		Small-sized breaker	Jumbo drill	Remarks
Rock type	Weathered rock	27 cm/min		Apply to Group A tunnels
	Soft rock	20 cm/min		
	Moderate rock	16 cm/min		
	Hard rock	12 cm/min		
Length of drilling	1.2m or less (weathered rock)		75~85 cm/min	Apply to Groups B & C tunnels
	1.2- 2.0 m (soft rock)		85~90 cm/min	
	2.0 - 3.0 m (moderate rock)		90~95 cm/min	
	3.0 m or longer (hard rock)		95~100 cm/min	

2.2.3 터널굴착 버력처리 장비조합

장비의 조합은 천공단면 크기 및 조건에 따라 적절하게 조합하여 적용하게 되어 있으나, 일반적으로 천공장비(소형브레이커, 점보드릴)+버력상차장비(로더)+운반장비(로더 또는 덤프트럭)로 구성되어 있다. 버력상차장비인 로더의 규격을 덤프트럭과 로더의 작업이 원활하고 장비의 교행이 가능한 복선급 터널인 C군과 단선급 터널인 B군을 동일하게 3.5m³을 적용하는 것은 비용산정에 있어 과잉계상의 우려가 있으므로, 터널 규모에 따라 다양한 규격의 제시가 필요한 것으로 판단된다.

Table 4. Combination of drilling and muck handling equipment when excavating a tunnel[1]

Item	Group A	Group B	Group C	Remarks
Blast drilling and Rockbolt drilling equipment	Small-sized breaker (2.7m ³ /min 2~4 units)	Jumbo drill (2-boom)	Jumbo drill (3-boom)	- Equipment shall be combine properly according to the size of hole and drilling conditions
Muck loading equipment	Loader 1.72m ³	Loader 3.5m ³	Loader 3.5m ³	
Muck transport equipment	Loader 1.72m ³	Dump truck 15ton	Dump truck 15ton	

2.2.4 터널굴착 작업인원

터널굴착시 작업인원은 작업반장, 착암공, 건설기계운전원, 화약취급공, 보통인부 등 해당군별 9~13명으로 구성되어 있다. 대한건설협회에서 발표하는 시중노임의 직종해설에서 보통인부는 기능을 요하지 않는 경작업인 일반작업에 종사하면서 단순육체노동을 하는 사람으로 정의하고 있어, 고도의 기술의 요하는 터널내 작업에서는 보통인부 외 숙련된 기술자의 투입에 따른 비용산정 기준이 필요한 시점이다.

Table 5. Crew per blast in tunnel excavation[1]

Job type		Drilling and blasting			Mechanical excavation		
		Group A	Group B	Group C	Group A	Group B	Group C
Work leader	person	1	1	1	1	1	1
Driller	person	2~4	-	-	2~4	-	-
Jumbo drill operator	person	-	1	1	-	-	-
Aerial work platform operator	person	-	1	1	-	1	1
Loader operator	person	1	1	1	1	1	1
Excavator operator	person	-	1	1	-	1	1
Shotcrete machine operator	person	1	1	1	1	1	1
Machine operator	person	1	-	-	1	-	-
Ordinary worker	person	2~4	4~6	6~8	3~5	4~6	6~8
Explosive treatment expert	person	1	1	1	-	-	-
Subtotal	person	9~13	11~13	13~15	9~13	9~11	11~13

2.3 터널공사 공사비산정기준의 문제점

발주기관에서는 안전정 기준강화, 내공측량 전문성 확보, 터널내 시공환경 개선 등 터널공사의 안전 및 품질 확보를 위한 세부 기준을 구체화하여 시행하고 있는 반면, 각 현장의 시공사에서는 시공효율 향상과 원가절감을 위해 대형장비 도입, 자동화 천공, 인력 투입의 최적화 등 시공환경 변화를 도모하고 있다. 그러나 현행 표준품셈은 상기의 기준변화와 시공환경 변화에 적절한 대응이 부족한 상황이며 터널굴착 사이클에 따라 다음과 같은 문제점이 발생되고 있다.

Table 6. Changes in Tunnel construction standards and Cost estimation standards

Category	Changes in construction standard and environment	Cost Estimation Standard and problems.
Preparation	- Strengthening the standards for rock determination and tunnel measurements	- Cycle Time not reflected
Drilling	- Generalizing the application of computer jumbo drills	- Applying Hand-operated Jumbo drill (Hitting Pressure (15kW))
Disposal of muck	- Using larger loader size for Group C Tunnel (5m ² grade or higher)	- Using 3.5m ² grade Loader (Group C Tunnel)
Resource input	- Specializing the input personnel for tunnel construction and increasing labor costs - Generalize the use of aerial work platform for tunnel construction	- All personnel except for the Explosive treatment expert(one person) are composed of ordinary workers. - Lack of cost standard for aerial work platform for tunnel construction

3. 현장조사

현장조사는 실제 현장시공의 실태 확인을 원칙으로 하되 직접조사와 간접조사를 병행하여 실시하였다. 직접조사는 터널 현장별 단계별 사이클에 대한 시공실태를 확인하는 방법이며, 간접조사는 터널 전반의 투입자원(인력, 장비 등) 확인과 조사결과의 검증에 위해 현장별 일정기간(15~30일 내외)의 사이클 일지 및 인력/장비 출력표를 분석하는 방법이다. 조사대상 현장은 조사기간 내 시공중인 2차선 도로 및 복선철도 터널 23개 터널을 대상으로 하였으며, 단면적 60m²미만의 단선철도 및 사갱 터널 3개소와 3차로 이상의 도로터널(단면적 100m²초과)을 2개소를 포함하여 터널 규모에 따른 시공실태를 비교 조사하였다.

Table 7. Construction site for field survey

Type	Sectional area less than 60m ²	Sectional area 60~100m ² (Two-lane road, double-lane railway)	Cross sectional area over 100m ² (Three-lane road)
Road	1	11	2
Railroad	2	7	-

3.1 현장조사 방법

암판정/내공측량, 천공속도, 버력처리 장비조합 등

사이클 시간에 작업이 발생되어 작업생산성 변화가 예상되는 항목들은 조사일자의 타입별 작업의 투입시간을 직접 조사하는 방식으로 수행하였으며, 장기간 현장 사이클 일지를 분석하여 조사결과를 검증하였다. 굴착인원 등 자원투입의 요소에 해당하는 항목은 현장별 적용 실태를 확인하는 방식으로 조사하였으며, 적정 기준 제시가 가능하도록 투입직종 등의 속성분석을 수행하였다.

Table 8. Survey method for item

Item	Details of survey	Firsthand survey	Status check	Survey Method
Tunnel excavation cycle	- Rock determination, Tunnel measurements	○	-	- Measurement of actual worktime - Verification of required time by each type using cycle diary
	- Drill speed of Jumbo drill	○	-	
	- Combination of equipment for Muck disposal	○	-	- Measurement of actual worktime - Review of bucket coefficient(k) and operation efficiency(E) in Construction standard production rates(8-2-5 Loader)
Resource input	- Tunnel work crew and job type	-	○	- Status check of input manpower - Review of appropriateness of job type through work analysis

3.2 현장조사 결과

암판정은 전문인력에 의한 막장면 관찰 작업으로 매막장마다 수행되고 있다. 실질적인 작업은 버력처리 이후 숏크리트 작업 전에 발생되고 있으나, 막장면이 불안정한 경우 숏크리트 타설 후 수행되기도 한다. 현행 표준품셈에서는 해당 작업을 위한 사이클시간을 별도 제시하지 않고 있으며, 일부 발주기관에서는 자체기준을 통해 암판정에 대한 사이클 시간(25min)을 별도 적용하고 있는 실정이다.[11]

암판정/내공측량에 대한 사이클 시간은 전체 10개 현장에 대해 직접조사를 수행하였으며, 4개 현장에 대해서는 사이클일지를 간접적으로 분석하였다. 조사범위는 부석정리 후 측량기기 셋팅-막장면 관찰-성과정리의 단계를 포함하여 조사하였으며, 소요시간은 현장별로 20~35분이 소요되는 것으로 나타났다.



Fig. 2. Rock determination / Tunnel measurement

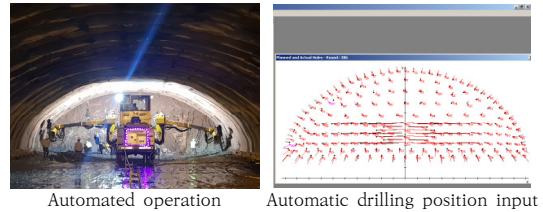


Fig. 3. Computer jumbo drill excavation

Table 9. Rock determination/Tunnel measurement time by advanced length

Type	Advanced Length	Excavation type	Number of Surveys	Time required (min)
Road	over 1.5m	Full Section	3	29.3
	1~1.5m	Half Section	2	25.0
Rail road	over 1.5m	Full Section	2	30.0
	1~1.5m	Half Section	2	29.5
Average				28.6

천공기계의 속도 측정은 순수 천공작업 외 개소별로 발생하는 천공구멍 이동, 공 자리잡기, 공내청소, 비트교체 등의 작업이 포함되어 있어 단순 타격압 증가에 따른 1개소의 속도 증가보다 막장별 천공개수에 보다 큰 영향을 받는 것으로 판단되고 있다. 또한, 암질별과 굴진장에 따른 천공능력은 터널 굴착에서 암질에 따라 굴진장이 변화하도록 설계되므로 천공장비의 타격능력 개선으로 암질별 순수 천공시간은 크게 차이가 없는 것으로 조사되었다.

현장조사는 수동으로 천공위치를 찾아가는 수동식 점보드릴과 컴퓨터에 천공위치를 입력하여 자동으로 해당 위치를 찾아 천공하는 컴퓨터 점보드릴을 적용하는 현장을 병행 조사하였다. 수동식 점보드릴은 소규모(단면적 60㎡미만의 사갱, 단선철도 등)터널에서 2-boom 점보드릴 사용 시 일부 적용되고 있었으며, 단면적 60㎡이상인 대부분의 도로/철도 터널에서는 3-boom규모의 컴퓨터 점보드릴에 의한 천공이 보편화 된 것으로 나타났다.

Table 10. Frequency of use depending on the type of Jumbo drill

Type	Cross sectional area		
	60㎡ or less	60~100㎡	over 100㎡
Computer Jumbo Drill	1	18	2
Hand-operated Jumbo Drill	2	-	-

조사결과 1개소 공별 천공시간은 측정결과 공당 1.2m이하 굴진길이 막장에서는 현재 기준대비 5%의 천공속도가 향상되었으며, 2m~3.5m의 굴진길이 막장에서는 53%까지 천공속도가 향상된 것으로 나타났다. 막장 전체의 천공시간이 반영되고 있는 실질적인 사이클 시간을 반영하는 막장별 전체 천공시간을 측정된 결과, 현행 기준대비 98%~79%까지 천공시간이 감소한 것으로 나타났다. 이는 기존 품셈의 천공시간이 수동식 점보드릴에 의한 산출기준인 것에 비해, 이번에 측정된 천공시간은 자동화 장비인 컴퓨터 점보드릴의 결과 반영에 기인한 것으로 판단된다.

Table 11. Total drilling time by blind end

Category	Rock type	Existing value(min)	Measured value(min)	Ratio (%)
1.2 m or less	Weathered rock	133.0	130.0	98%
1.2~2.0m	Soft rock	130.0	110.0	85%
2.0 m or longer	Moderate /Hard rock	177.0	140.0	79%

버력처리의 장비조합은 터널규모(B,C군)에 관계없이 로터 규격 3.5㎡급을 적용하게 되어있다. 하지만 조사 결과 터널 단면적이 60㎡이하인 사갱, 단선철도, 1차선도로에 해당되는 B군 터널에서는 3.5㎡급의 로터가 적용되고 있으나, 조사대상 현장 중 복선철도, 2차선도로인 70㎡급 이상의 C군터널에서는 5.0㎡급의 로터가 적용되고 있는 것으로 나타났다. 터널의 버력처리는 전체 굴착사이클에서 사이클시간 비중(타입별 10~30%)이 가장 높은 작업으로, 현장별로 작업효율을 높이기 위해 대형장비의 적용을 우선하여 검토하고 있는 실정이다. 덤프트럭의 차량교행이 가능한 C군 터널에서는 5㎡급의 로터가 막장면 주변에서 버킷회전이 가능하므로 조사대상 현장 전체에서 버력처리 장비로 선정 및 적용되고 있었다. 반면, 차

량 교행이 불가능한 B군 터널에서는 3.5㎡급 이하의 로터 장비가 적용되고 있었으며, 버킷회전시 막장면 및 덤프트럭과의 간섭이 발생하여 작업효율이 낮아지는 현상이 발생되고 있었다.

굴착작업의 작업인력은 굴착장비의 운전사를 제외하고 사이클 단계별로 2~7명의 작업인력이 투입되고 있으며, 각각의 역할에 따라 전문작업인력과 보조인력을 혼용하여 운영되고 있다. 작업사이클별 현장 작업인력을 작업지휘, 전문인력, 보조인력으로 구분하여 조사하였으며, 조사결과는 다음과 같다. 여기에서 작업지휘는 작업반장 또는 화약취급공과 같이 작업을 총괄하는 인력, 전문인력은 작업지휘자 통제하에 장비 탑승 또는 경장비 등을 활용하여 특수한 환경에서 작업을 수행하는 인력, 보조인력은 특별한 기능을 요하지 않으며 현장 내 작업을 보조하는 인력으로 분류하였다.

Table 12. Tunnel Excavation work crew composition

Category	Measurement / marking	Drilling	Charging	Disposal of Muck	Shotcrete	Rock bolt
Job order	1	1	1	1	1	1
Professional personnel	-	1	4	1	1	2
Assistant	2	1	2	1	1	1
Sum	3	3	7	3	3	4



Fig. 4. Work by personnel specializing in tunnel excavation

조사결과 터널 전체 사이클의 전체 작업인력은 C군 터널 기준으로 현재기준인 9명 수준으로 조사되었으나, 작업반장과 화약취급공을 제외한 작업조당 3~4인의 전문인력(특별인부)이 기존의 보통인부를 대체하고 있는 것으로 나타났다.

Table 13. Input manpower and roles for tunnel excavation work

Category	Major works	Input Manpower per work group
Work leader	Overall management of the entire work group	1 Person
Explosive treatment expert	Drilling / Charging work management	1 Person
Special worker	Perform functional tasks ex) Rockbolt installation, Marking the drilling position, Charging etc	4 Person
Ordinary worker	Simple task assistance (Tamping, signal, charging assistant etc)	2~4 Person

4. 터널 공사비산정기준 개선 방안

현장조사 결과를 기반으로 시공실태를 반영할 수 있도록 터널공사비 산정기준 개선 작업을 수행하였으며, 그 결과는 표준품셈 터널공사부문의 개정으로 제시하였다. 개선안은 현장조사 결과를 직접 활용하는 것을 원칙으로 하나, 항목별 표준품셈 적용 단위 및 급간을 고려하여 도출함으로서 설계단계의 공사비 산정 용이성 및 접근성을 높일 수 있도록 하였으며, 조사결과가 현재의 표준품셈 ±5%이내인 경우 현행 기준을 유지하였다.

Table 14. Improvement proposal for cost estimate standard of tunnel construction

Survey Item	Improvement item	Estimation standard for improvement proposal
Tunnel excavation cycle	- Rock determination, Tunnel measurement	- Apply average value - Applying a rounding up value in 5min units
	- Jumbo drill drilling speed	- Reflection on the reduction rate of total drilling time by each advanced length
	- Combination of equipment for Muck disposal	- Diversification of Muck disposal equipment(Loader) specifications
Resource input	- Tunnel excavation work crew	- Proper Job composition by work analysis - Proposal of necessary manpower by job type

4.1 터널굴착 1발파당 사이클시간

터널굴착 1발파당 사이클시간(착암→버럭처리→숏크리트→록볼트) 중 개선안에서는 착암내 천공준비시간에

암판정 및 내공측량 조사값 30분을 반영하였다. 암판정 및 내공측량은 실제 현장 시공에서 버럭처리 이후 수행 되는 것이 일반적이나, 막장면 관찰이 터널굴착의 최초 준비단계임을 고려하여, 천공준비 시간에 적용하였다. 또한 하반작업의 경우 막장면 관찰시간이 단축되고 별도의 암판정이 불필요한 경우가 대부분이어서 상반 적용시간의 65%를 적용토록 제시하였으며, 이는 현행 기준과 동일한 비율이다.

Table 15. Improvement proposal for drilling preparation time by type of work

Work type		Blast excavation(min)			Remarks (Lower half)
		Group A	Group B	Group C	
Drilling	Preparation for drilling (Rock determination / Tunnel measurement)	30	30	30	65%

4.2 천공기계의 천공속도

천공기계의 천공속도는 암질에 따른 천공길이가 설계 단계에서 확정되고 있으며, 굴진장에 따라 개소별 천공이 진행되고 있어, 굴진길이에 따른 천공시간만 제시하였다. 또한 보편적으로 적용되고 있는 컴퓨터 점보드릴의 천공속도를 포함하여 추가 반영하였다. 조사결과 현행대비 평균 7%의 천공속도가 증가되도록 제시하였으며, 특히 지반조건이 불량(설계타입 IV~VI)한 굴진장 1.2m이하는 현재 기준을 유지하였다. 굴진장 3m초과의 지반조건이 우수(설계타입 I~II)한 조건에서는 현행 대비 16%의 천공속도가 증가함을 제시하였다. 본 결과는 B,C군 터널에 제한한 것이며, A군 터널의 경우 기존의 소형브레이크 굴착시간을 유지하였다.

Table 16. Improvement proposal for Jumbo drill drilling speed by each advanced length

Category		Jumbo drill drilling speed	Remarks
Length of Drilling	1.2 m or less	75~85 cm/min	Applied to B and C group tunnels
	1.2~2.0m	85~95 cm/min	
	2.0~3.0m	95~105 cm/min	
	3.0 m or longer	105~120 cm/min	

4.3 터널굴착 버럭처리 장비조합

터널 버럭처리 장비조합은 터널 시공실태를 반영하여 C군 터널에서 적용되었던 로더 3.5.㎥급 규격을 5.0㎥

급 기본으로 적용하도록 변경하였다. 이는 덤프트럭의 차량교통이 가능한 C군 터널의 경우, 5.0㎥급 로더라 하더라도 막장면 주변에서 버럭회전이 충분히 가능한 부분을 최대한 감안하여 반영하였다.

Table 17. Improvement proposal for specification of Muck disposal equipment

Category	Group A	Group B	Group C
Equipment for muck disposal	Loader 1.72㎥	Loader 3.5㎥	Loader 5.0㎥

4.4 터널굴착 1발파당 작업인원

터널내 굴착 작업조의 조합은 전문 작업인력이 투입되는 시공실태를 고려하여 다음과 같이 조사결과를 반영하였다. 보통인부로만 구성되어있던 투입인력은 특별인부와 보통인부 조합으로 변경하였으며, 특별인부는 싸이클 단계별 현장 투입실태를 고려하여 B군터널 3인, C군터널 4인으로 구성하여 추가하였다. 건설기계 운전원 및 전체 작업인력의 합은 현행 기준을 유지하였다.

Table 18. Improvement of the number of work crew on tunnel excavation

Type of Work		Blast excavation			Machine excavation		
		Group A	Group B	Group C	Group A	Group B	Group C
Work leader	Person	1	1	1	1	1	1
Ordinary worker	Person	2~4	1~3	2~4	3~5	4~6	6~8
Special worker	Person		3	4			
Explosive treatment expert	Person	1	1	1	-	-	-
Sub total	Person	9~13	11~13	13~15	9~13	9~11	11~13

5. 결론

국내 공공건설공사에서 중요한 부분을 차지하고 있는 터널공사의 적정공사비 확보는 양질의 공사를 위해 반드시 필요한 사항이며, 이를 위한 공사비산정기준은 객관화되고 투명해야 한다. 이에 본 연구에서는 먼저 선행연구 조사와 기존 터널공사비 산정기준을 분석하여 문제점을 도출하였다. 현재 터널공사의 공사비 산정기준은 터널 공사 기준 변화와 시공기술 발전에 적정한 대응이 부족하여 적정한 공사비가 산정되고 있지 못하며 이로 인해 품

질, 안전에 문제를 야기하는 원인이 되고 있다. 이러한 현행 터널공사비 산정기준의 문제점을 개선하기 위하여 관련 문헌조사 및 현장조사를 통하여 합리적인 공사비 산정기준을 개선코자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 착암→버력처리→숏크리트→록볼트로 구성되어 있던 터널굴착 1발파당 싸이클시간에서 암판정 및 내공 측량 시간을 추가 반영하였다.

둘째, 재래식 점보드릴 천공장비의 속도로 제시되어 있던 천공시간에 현재 보편적으로 적용되고 있는 컴퓨터 점보드릴의 천공시간을 포함하였으며, 암질의 구분업이 굴진장소로만 적용 가능하도록 제시하였다.

셋째, 복선철도, 2차선급 도로 터널의 경우, 버력처리 상차장비인 로더의 규격을 3.5m³급에서 5.0m³급으로 확대 적용할 수 있도록 하였다.

넷째, 착암공, 화약취급공, 기계운전원 등 전문인력 외 보통인부로부터 구성되어 있던 작업인원에 특별인부+보통인부 조합으로 개선 제시하여 전문성 및 현실화를 반영하였다.

본 연구에서는 국내 터널공사의 비용 산정기준 개선책을 제시함으로써 적정공사비 확보에 일조할 것으로 기대되며, 이와 유사한 공종에서도 현장실태가 반영된 개선안의 제시가 적극적으로 검토되어야 할 것으로 판단된다. 또한 추후 연구에서는 이로 인한 공사비 영향 분석 등의 비용검토 수행이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), KICT (Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology), Standard of construction estimate for civil, building and machine facility, pp.407-414, 2019
- [2] Kim, Y. K., Kim, H. M., Lee, S. S., "An analysis of excavation cycle time for Korean tunnels and the comparison with the Standard of Construction Estimate", Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol 21 Issue 1, pp.137-153, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.9711/KTAJ.2019.21.1.137>
- [3] Cho, G. C., "Tunnel Excavation Methods Suitable for Reduction of Construction Period", Journal Of The Korean Society Of Civil Engineers Vol. 60 Issue 11, pp.30-39 2012
- [4] Oh, J. H., Ahn, B. R., "An Analysis on the Revision Factors of Construction Cost Calculation Criteria through Field Survey of Waterproof Work", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 10 pp. 468-477, 2019.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.10.468>
- [5] Ahn, B. R., Park, T.I., "Case Study on the Construction Standard Production Rate for Operation and Maintenance Technology", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 19(1), pp. 250-251, 2019
- [6] Park T.I., Kim K.T., Shin E.Y. "The Impacts of Reduced Labor Hours on the Construction Period and Cost of Tunnel Project", Korean Journal of Construction Engineering and Management, Vol 20 Issue 2, pp.37-43, 2019
DOI : <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2019.20.2.037>
- [7] Kim, H.N., Kim, D.Y., Kim, D-Y., Jeong, S-C, Huh, Y-K "Optimum Construction Duration for Road Tunnel Excavation Works", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction Vol.34 No.4, pp.59-64, 2018
DOI : https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2018.34.4.59
- [8] Park, Y-W., Park, H-S., "Development of Tunnel Construction Cost Model Using System Dynamics", The Journal of the Korea Contents Association, Vol 12, Issue 4, pp.468-475, 2012
DOI : <https://doi.org/10.5392/JKCA.2012.12.04.468>
- [9] Cho, J., Kim, K.J., Kim, K., Kim, S.K., "Tunnel Cost Estimating Model Based on Standard Section and Cost Variance Index (I) - Analysis Of Critical Cost Factors -" Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol 28 Issue 5D, pp.665-675, 2008
- [10] Cho, J., Kim, S.K., Kim, K., Kim, K.J., "A Standard Section-Based Approximate Cost Estimating Model on Tunnel (II) - Cost Variance Index Table and Test - " Journal of The Korean Society of Civil Engineers, Vol 28 Issue 5D, pp.677-684, 2008
- [11] Korea Expressway Corporation, "Expressway Design Practical Data Collection", pp.399~408, 2015

안 방 율(Bang-Yul Ahn)

[정회원]



- 1998년 8월 : 경원대학교 일반대학원 건축구조 및 시공(공학석사)
- 2012년 2월 : 경원대학교 일반대학원 건축구조 및 시공(공학박사)
- 1997년 11월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

건설사업관리, 공사비, 건축시공, 생산성

이 한 수(Han-Soo Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 인하대학교 공과대학원 토목공학과(공학석사)
- 2011년 5월 ~ 현재 : 주식회사 현인퍼씨엠 표준건설원가연구소 소장

<관심분야>

건설사업관리, 공사비, 공정관리, 생산성

오 재 훈(Jae-Hoon Oh)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국국제대학교 공과대학원 소방방재공학과(공학석사)
- 2017년 2월 : 부산대학교 공과대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2017년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

건축시공, 건설관리, 공사비, 소방방재

송 태 석(Tae-Seok Song)

[정회원]



- 2018년 6월 : 연세대학교 공과대학원 건축공학과(공학석사)
- 2019년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원

<관심분야>

건축시공, 건설사업관리, 공사비, 건설IT