

## 터널발파시 실제 작업시간과 품셈의 비교 분석

김양균<sup>1)\*</sup>, 김형목<sup>1)</sup>

### A Comparison of Operation Time between the Standard of Estimate and Actual Operations in Tunnel Blasting

Yang-Kyun Kim, Hyung-Mok Kim

**Abstract** Tunnel blasting that plays the most important role in the construction of a drill & blast tunnel, shows a big difference in operation time according to various factors such as rock mass quality, tunnel dimension, machine performance, and the skill level of tunnel crews. This paper analyzes the differences between the time calculated by the standard of estimate and actual operation time based upon field investigations on blasting operation time in three tunnels of Korea.

The result shows that actual blasting time is generally about 8%~16% less than the standard of estimate in cases that normal operations are performed. If the time delayed by unforeseen situations is included, however, it is presumed that the number of cases that actual operation time exceeds the standard of estimate are considerable. This study aims to help make a judgement over the appropriacy of the standard of estimate through continuous investigations on actual operation time, as well as improve the productivity of tunnel excavation.

**Key words** Tunnel blasting, Blasting operation time, Cycle time, Standard of estimate

**초 록** 발파터널의 건설과정에 있어서 가장 중요한 역할을 차지하는 발파작업은 암질상태, 터널의 규모, 사용장비의 성능, 작업자들의 숙련도 등 다양한 요인에 의해 작업시간에서 차이를 나타낸다. 본 논문에서는 국내 세 곳의 터널발파 현장에서의 발파작업시간 조사를 통해, 표준품셈에서 계산되는 터널발파 사이클 시간과 실제 시공시간과의 차이를 분석하였다.

그 결과, 정상적인 작업이 이루어진 경우 전체적으로 실제 발파작업시간은 품셈보다 약 8%~16% 적게 나타나고 있다. 그러나 예상치 못한 상황으로 인해 지연되는 시간까지 포함한다면 실제 작업시간이 품셈을 초과하는 경우가 상당할 것으로 추정되었다.

본 연구는 향후에도 지속적인 작업시간 조사와 품셈과의 비교 분석을 통해 품셈의 적절성을 판단함과 아울러, 발파 굴착의 생산성을 향상시키는데 도움을 주고자 한다.

**핵심어** 터널발파, 발파작업시간, 사이클 시간, 품셈

#### 1. 서 론

터널발파작업은 다른 모든 작업이 발파이후에 이루어진다는 점에서, 발파터널의 건설과정에 있어서 가

장 중요한 역할을 차지한다고 할 수 있다. 또한, 건설공사에 있어서 각각의 세부 작업들이 전체작업에서 차지하는 정량적인 중요도는 주로 공사비용과 공사기간 측면에서 분석될 수 있는데, 이와 관련해서 Kim과 Bruland (2015)는 노르웨이와 국내 터널에서의 천공, 장약 및 발파, 환기, 버력처리, 부석정리, 슛크리트타설, 그리고 록볼트 타설로 반복되는 터널굴착 사이클(cycle)에 대한 시공시간 비교 분석을 통해, 국내 2개

<sup>1)</sup> 세종대학교 에너지자원공학과  
\* 교신저자 : wangkoon@hanmail.net  
접수일 : 2015년 9월 4일  
심사 완료일 : 2015년 9월 10일  
게재 승인일 : 2015년 9월 16일

터널현장에서 마킹, 천공, 장약 및 발파, 환기로 이루어지는 터널발파작업이 전체 사이클 시간(cycle time)에서 평균 42.5%를 차지했다고 보고한 바 있다. 물론 이 비율은 암질상태, 터널의 규모, 사용 장비의 성능, 작업자들의 숙련도 등 다양한 요인에 의해 큰 폭으로 변화될 수 있다. 이효와 윤영재(1998) 역시 발파작업은 일률적으로 이루어지기보다는 현장변화요소에 많은 영향을 받게 된다고 주장한 바 있다.

한편 정부 등 공공기관에서 시행하는 건설공사의 적절한 예정가격을 산정하기 위한 일반적인 기준으로 사용되는 표준품셈(국토교통부, 2014)은 해당 건설공사중 대표적이고 보편적이며 일반화된 공종, 공법을 기준으로 하고 있으며 현장여건, 기후의 특성 및 조건에 따라 조정하여 적용해야 한다. 터널 예정공기 역시 품셈에서 제시된 1발파당 사이클 시간을 기준으로 산정되고 있다.

이러한 배경에서 표준품셈에서 제시하고 있는 터널 발파 사이클 시간이 실제 시공시간과 어느 정도 유사

성이 있는지, 또 차이가 심하다면 그 원인이 무엇인지를 파악하는 것은, 터널설계시 적절한 공기 및 공사비 산정을 위해 중요한 요소라고 사료된다.

따라서 본 논문은 터널발파 실제 작업시간과 품셈과의 비교를 통해 품셈의 적절성을 판단하고, 더 나아가 원인 분석을 통해 발파 굴착의 생산성을 향상시키는데 도움을 주고자 한다.

## 2. 표준품셈에서의 발파시간

표준품셈(국토교통부, 2014)에서는 터널굴착시 1발파당 사이클 시간을 착암, 버력처리, 슛크리트, 록볼트 항목으로 구분하고 있다. 이중 발파작업에 해당하는 항목이 착암이며, 착암과정은 다시 천공준비, 측량 및 마킹, 천공, 장약 및 발파, 그리고 환기로 세분화 된다(표 1).

각 세부 항목별 작업시간은 천공시간(T1)만을 제외하고 터널의 규모에 따른 A, B, C군(표 2)에 따라 달

표 1. 터널굴착 1발파당 사이클 시간중 착암시간

작업종별		발파굴착			비고(하반)
		A군	B군	C군	
표준품셈기준 (분, 국토해양부(2014))	천공준비	10~15	15~20	(15~20)	100%
	측량 및 마킹	5~10	10~15	15~20	65%
	천공	T1	T1	T1	공사물량
	장약 및 발파	30~40	40~50	50~60	65%
	환기	15~20	20~25	25~30	100%
↓					
본 연구에서 조사된 현장에 대한 적용기준 (분)	천공준비	12.5	17.5	0	100%
	측량 및 마킹	7.5	12.5	17.5	65%
	천공	T1	T1	T1	공사물량
	장약 및 발파	35	45	55	65%
	환기	17.5	22.5	27.5	100%

표 2. 터널규모에 따른 구분(국토해양부, 2014)

A군	· 기계굴착시 소형브레이커 사용이 가능한 소규모 터널 · 발파굴착시 착암기로 천공할 수 있는 소규모 터널
B군	· 기계굴착시 대형브레이커 사용이 가능한 단선급 터널 · 발파굴착시 점보드릴로 천공은 가능하나 덤프트럭과 덤프트럭과 로더의 작업이 원활하지 못하고 장비의 교행이 불가능한 규모의 단선급 터널
C군	· 기계굴착시 대형브레이커 사용이 가능한 복선급 터널 또는 2차로 이상의 터널 · 발파굴착시 점보드릴로 천공이 가능하며, 차량 교행은 물론 덤프트럭과 로더의 작업이 원활하고 장비의 교행이 가능한 복선급 터널 또는 2차로 이상의 터널
비고	A, B, C는 일반적인 기준이므로 굴착단면 크기 및 현장조건에 따라 장비종류 및 장비규격을 별도로 조합하여 사용할 수 있다.

표 3. 천공기계의 천공속도(국토해양부, 2014)

구분		작업기	점보드릴	비고
암종	풍화암 연암 보통암 경암	27cm/min 20cm/min 16cm/min 12cm/min		A군 터널에 적용
굴진장	1.2m이하(풍화암) 1.2~2.0m(연암) 2.0~3.0m(보통암) 3.0m이상(경암)		75~85cm/min 85~90cm/min 90~95cm/min 95~100cm/min	B, C군 터널에 적용
↓				
본 연구에 적용된 천공속도	1.2m이하(풍화암) 1.2~2.0m(연암) 2.0~3.0m(보통암) 3.0m이상(경암)		80.0 cm/min 87.5 cm/min 92.5 cm/min 97.5 cm/min	B, C군 터널에 적용

리 설정된다. 단, 암질종류 및 단면적에 따라 사이클 시간을 차등적용하거나 최소 및 최대치를 구분하여 적용할 수 있다. 표 1에서 C군에 대한 천공준비시간은 차량교통이 가능하여 동시작업이 가능하므로 사이클 시간에서는 제외된다.

또한, 표준품셈에서는 각 세부 작업시간이 일정한 범위(5~10분)로 설정되어 있으므로, 실제 시공시간과의 비교를 위해 표 1의 하단에 나타난 바와 같이, 그 중간값을 취하여 합산하였다.

천공시간은 점보드릴을 사용하는 경우 점보드릴의 작업능력이 아닌 굴진장에 따라 천공기계의 천공속도 범위가 지정이 되어 있다(표 3). 여기에서 천공속도는 점보드릴의 공 위치 선정, 공 자리잡기, 공 청소 등이 포함되며, 점보드릴의 드리프트는 15kw타격압력을 기준한 것이다. 결국 막장 한 단면에 대한 전체 천공 시간(T1)은 천공장×천공수/천공기계의 천공속도(표 3)/점보드릴 붐수로 계산된다.

### 3. 발파시간 현장 조사

도로터널 2곳, 지하철터널 1곳에 대해 터널발파 사이클 시간을 조사하였으며, 조사현장 현황 및 작업조건은 표 4에 나타난 바와 같다. 조사된 터널발파의 수는 터널 A, B 그리고 C에 대해 각각 10, 5, 4회이다.

각 터널의 암반등급은 터널 A는 RMR기준 3등급인 반면 나머지 두 터널은 4등급으로 다소 불량한 상태이므로, 터널 A는 전단면, 터널 B와 C는 반단면으로

표 4. 조사현장 현황 및 작업조건

터널명	터널 A	터널 B	터널 C	
용도	도로	도로	지하철	
전체 공사기간	2011~2015	2010~2014	2009~2014	
터널 연장(m)	1,950	1,670	987	
암종	화강암	화강암/세일	편마암	
조사된 터널발파 수	10	5	4	
암반 등급 (RMR)	40~60	20~40	20~40	
터널 단면적(m <sup>2</sup> )	93.8	78.6 (상반 : 52.6)	54.0 (상반 : 28.2)	
터널의 구분 <sup>1)</sup>	C	C	B	
천공	점보드릴 종류	일반	컴퓨터자동	일반
	점보드릴 붐수	3	3	2
	천공경 (mm)	45	45	45
	천공장(m)	3.2	1.6	1.3
	굴진장(m)	3.0	1.5	1.2
	천공수	143	107(상반)	78(상반)
폭약	종류	에멀전	에멀전	에멀전
	장약량(kg)	299.5	70.5(상반)	35.9(상반)
환기덕트 직경(mm)	1700	1600	600	

<sup>1)</sup>표준품셈(국토해양부, 2014)에서 제시된 터널의 구분(표 2 참조)

발파를 실시하였다. 따라서 터널 B와 C에 대한 작업 시간은 상부 반단면에 대해서만 조사되었다.

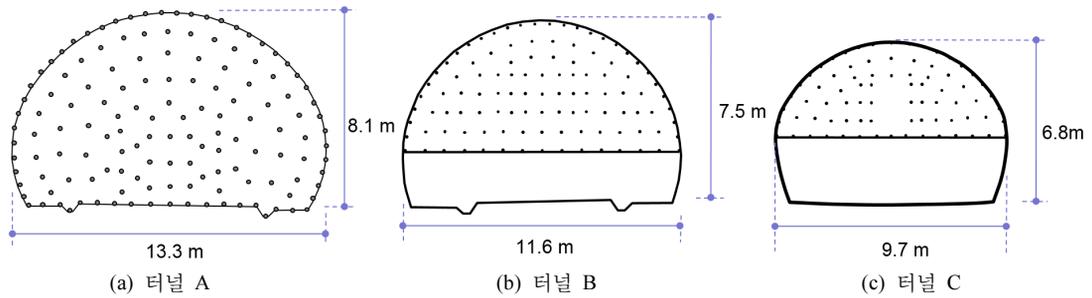


그림 1. 터널 단면 및 천공패턴.

터널의 단면적은 그림 1과 표 4에 나타난 바와 같으며, 터널 A와 B는 차량교행이 가능할 정도의 단면적이어서 표준폼셈에서 지정하는 터널의 구분(표 2)에 따라 C군으로 분류되지만, 터널 C는 단면이 작아 차량교행이 불가하므로 B군으로 분류하였다.

한편 터널 A와 C에서는 재래식 일반점보드릴이 사용되어 마킹작업이 필요하지만, 터널 B는 컴퓨터 자동점보드릴이 사용되어 마킹작업이 없이 바로 천공준비작업이 시작된다.

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 작업시간의 정의

현장조사시 발파작업시간은 폼셈에 구분된 착암관련 세부 작업, 즉, 측량 및 마킹, 천공, 장약 및 발파, 환기에 대해 본 작업을 위한 작업준비시간(장비 및 인력의 막장면 도착 후 본 작업직전까지의 준비시간)과 본 작업시간(본 작업 시작후 종료시까지 시간)으로 구분하였다. 그러나 본 논문에서 제시된 작업시간은 폼셈과의 작업시간 비교를 위해 작업준비시간과 본 작업시간이 합산된 전체시간이다. 이것은 실제 터널설계시 폼셈을 이용하여 공사시간을 추정할 때 각 세부작업의 합계로만 나타내기 때문이다.

한편, 각 세부 작업 종료후 작업인력 및 장비의 사정으로 다음 세부 작업 준비가 지연되는 경우의 시간은, 폼셈에서도 고려되지 않았기에 작업시간에 포함되지 않았다. 다만 본 작업 중 장비의 일시적인 이상 또는 현장상황으로 인해 잠깐씩 지연되는 시간은, 일일이 구분하기가 난해하여 본 작업시간에 포함하였다.

또한, 터널 A와 B는 전술한 바와 같이, 터널의 구분

(표 2 참조)중 터널 C군에 포함되므로, 표 1에 제시된 착암의 세부 항목중 천공준비시간은 포함되지 않는다. 그러나 터널 C는 터널 B군에 속하므로 천공준비시간 17.5분이 측량 및 마킹시간에 추가로 포함되어 계산되었다.

### 4.2 발파당 작업시간

터널 A, B, C에 대해 조사된 발파 차수별 실제 시공시간 및 폼셈으로 계산된 작업시간은 그림 2 및 표 5에 나타난 바와 같다. 터널 A의 발파시공시간은 평균 3시간 47분으로 폼셈으로 계산된 시간은 4시간 29분보다 약 16%가 적었다. 이것은 터널 A의 작업이 전체적으로 매우 순조롭게 진행되었고 각 세부 작업 중에도 작업 지연요소도 거의 없었다는 것을 의미한다. 이것은 그림 2의 각 발파 차수별 작업시간이 매우 일정하다는 것을 통해서도 확인할 수 있다. 터널 B도 폼셈보다 발파시공 합계시간이 평균 약 8% 적게 나타나고 있다. 다만 3번째 터널발파의 경우 컴퓨터점보드릴의 이상으로 초기 고정점 설정시 약 10분정도 시간이 지연되었고 천공작업시에도 약 1시간정도 정상적인 천공이 이루어지지 못하였다. 그러나 터널 C의 발파시공 합계시간이 평균 4시간 52분으로 2시간 35분인 폼셈에 비해 약 88% 더 소요되고 있으며 발파 차수간 작업시간도 매우 불규칙적이다. 이것은 이 현장의 협력업체의 사정으로 업체를 재선정하는 과도기에 있었기에 작업 인력수급에 문제가 있었기 때문이다.

결국 현장의 실제 작업시간은 사용 장비, 작업인력의 숙련도 및 가용상황, 다양한 막장 상황에 의해 많은 영향을 받게 되나, 폼셈에서의 작업시간은 터널규모,

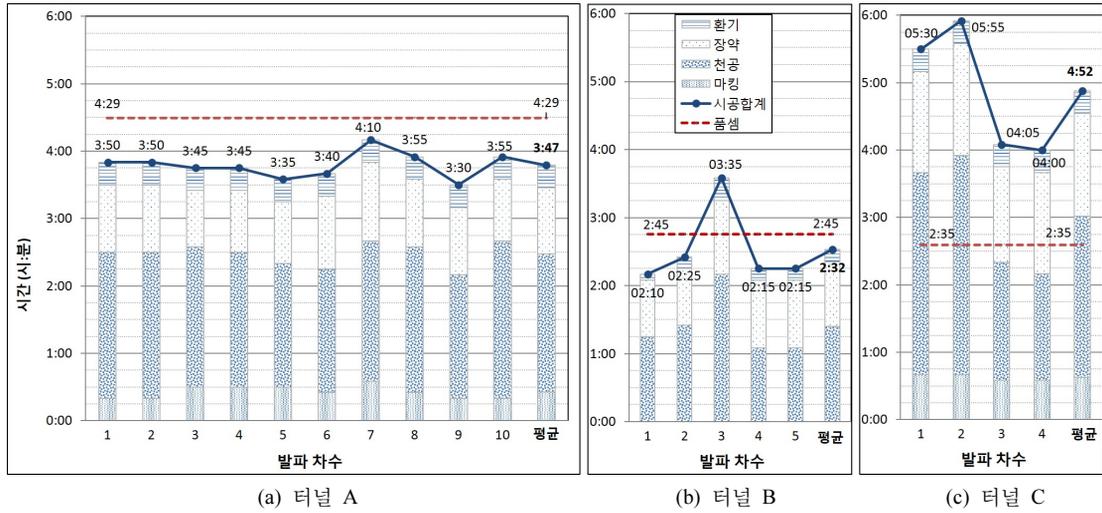


그림 2. 실제 시공 시간과 품셈에 의한 작업시간 비교.

표 5. 실제 시공시간과 품셈에 의한 작업시간 비교

(단위: 분)

세부작업	터널			비고	
	터널 A	터널 B	터널 C		
품셈	천공준비	0	0	17.5	천공시간=천공장×천공수/천공기계의 천공속도(표 3)/점보드릴 붐수
	측량 및 마킹	17.5	17.5	12.5	
	천공	169.6	65.2	57.9	
	장약 및 발파	55	55	45	
	환기	27.5	27.5	22.5	
① 계 (시간:분)	269 (4:29)	165 (2:45)	155 (2:35)		
시공합계	② 평균 (시간:분)	227 (3:47)	152 (2:32)	292 (4:52)	측량 및 마킹+천공+장약 및 발파+환기
품셈대비 차이	분	-42	-13	137	
	%	-15.6	-7.9	88.4	$(②-①)/① \times 100$

천공장, 천공수, 점보드릴 붐수에 따라서만 영향을 받는다. 그러나 대체로 암질이 불량하면 천공장도 줄어들게 되고 그에 따라 표 3에 제시된 천공기계의 천공 속도에도 영향을 주게 된다는 점에서 품셈에서도 간접적으로 암질의 영향을 고려하고 있다고 할 수 있다.

#### 4.3 세부 작업별 작업시간

그림 3은 발파 세부 작업별 품셈과의 작업시간 비교를 나타낸다. 터널 A의 경우 측량 및 마킹, 천공, 장약 및 발파, 환기 각각에 소요된 평균 작업시간은 26, 123, 59, 20분이며, 품셈과의 차이는 각각 46%,

-11%, 7%, -27%이다. 백분율로는 측량 및 마킹에서 가장 큰 차이를 보이고 있지만, 실제 작업시간과 품셈의 차이를 결정하는 세부 작업은 천공으로 품셈보다 작업시간이 47분이나 적었다. 이는 점보드릴 기사의 숙련도가 우수했고, 천공중 작업을 방해할만한 큰 요인이 없었기 때문이다.

터널 B의 경우 컴퓨터 자동점보드릴을 사용했기에 측량 및 마킹 작업시간이 생략되어 있다. 그러나 평균 천공시간은 품셈보다 19분 정도를 초과했고, 최고값과 최저값이 큰 차이를 보이는데, 이것은 전술한 바와 같이, 3번째 터널발파에서 작업도중 장비의 일시적인

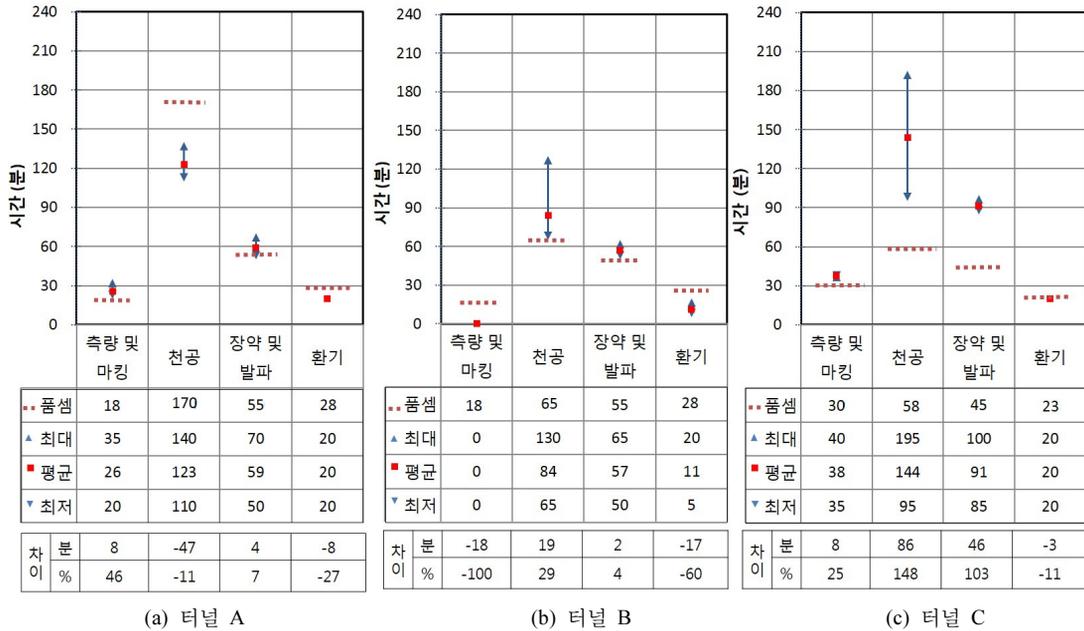


그림 3. 세부 작업별 작업시간 비교.

이상으로 인한 지연시간이 포함되었기 때문이다. 그러나 환기시간은 품셈보다 17분이나 적은 것으로 나타나, 환기후 버력처리시 작업환경이 대체로 양호하지 않았을 수 있다고 추정할 수 있다.

터널 C 역시 전체 발파작업 시간은, 품셈과의 차이가 86분이나 되는 천공작업에 의해 좌우되었다고 볼 수 있으며, 그 주된 원인은 전술한 바와 같은 현장상황(협력업체의 사정으로 미숙련 작업자가 투입) 때문이다. 또한, 이 현장에서는 다른 현장과는 달리 장약 및 발파작업시간 역시 품셈보다 46분이나 초과되었는데, 이 역시 같은 원인으로 해석된다.

전체적으로, 조사가 이루어진 세 현장 모두 환기시간은 품셈에서 계산된 시간보다 적게 나타나고 있고, 장약 및 발파작업 역시 작업이 정상적으로 이루어진 터널 A와 터널 B의 결과를 볼 때, 품셈과 거의 유사한 수준을 보여주고 있다. 그러나 측량 및 마킹작업시간은 작업이 이루어진 터널 A와 터널 C에 있어서 품셈과의 차이(%) 측면에서 비교적 큰 수준으로 품셈을 초과하고 있어서 품셈에서 이러한 현실적 상황을 고려하는 것이 필요하다. 천공작업의 경우 작업자의 숙련도와 작업환경에 따라 매우 큰 차이를 나타내고 있어서 보다 신뢰성 있는 판단을 위해서는 더 많은 현장

에서의 관찰과 측정이 필요하다고 사료된다.

이상과 같이 세 개 터널현장에서의 실제 발파작업 시간은 정상적인 작업이 이루어지는 경우 대체로 표준품셈보다 적은 것으로 조사되었다. 그러나 주의할 것은 전술한 바와 같이 각 세부 작업간 예상치 못한 상황으로 인해 지연되거나 중단된 시간들은 조사된 작업시간에서 제외되어 있다는 점이다. 예를 들어 막장 부석정리가 제대로 이루어지지 않아 천공후 장약 전 추가 부석정리를 하는 경우, 천공 종료후 폭약 수급이 제때에 이루어지지 않아 장약 및 발파까지 상당 시간 대기하는 경우, 또는 야간 발파작업 금지때문에 장약시간이 충분치 않아 어쩔수 없이 발파를 다음날 아침으로 연기하는 경우 등이다. 또한, 현장에서 작업 시간 조사시 장비 고장이나 작업중 여러 가지 원인으로 작업이 오랫동안 지연되는 경우는 본 연구에서의 조사 데이터에 포함되지 않았다. 따라서 이렇게 예상치 못하게 발생하는 크고 작은 상황까지 전체 발파작업시간에 포함을 한다면, 실제 발파작업시간이 품셈에 의한 작업시간을 초과하는 경우가 상당할 것이라고 추정되며, 향후 이에 대한 별도의 연구도 필요하다고 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 국내 세 곳의 터널 현장에서, 측량 및 마킹, 천공, 장약 및 발파, 환기 등 발파관련 세부 작업에 대한 시공시간을 조사하여 품셈에서 계산된 작업시간과 비교하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 조사대상 터널 전체적으로, 정상적인 작업이 이루어진 경우 실제 발파작업시간은 품셈보다 약 8%~16% 적게 나타나고 있다. 세부 작업별로는 측량 및 마킹작업시간은 25%~46% 정도로 품셈을 크게 초과하고 있다. 천공작업은 작업이 정상적으로 이루어진 경우 작업자의 숙련도와 작업환경에 따라 품셈보다 평균 -11%~29%까지 매우 큰 차이를 나타내고 있어서, 보다 신뢰성 있는 판단을 위해서는 더 많은 현장에서의 관찰과 측정이 필요하다. 장약 및 발파작업은 작업이 정상적으로 이루어진 경우 품셈보다 4%~7% 많게 소요되는 것으로 나타났고, 환기시간은 품셈에서 계산된 시간보다 11%~60% 적게 나타나고 있다.
- 2) 본 연구에서 조사된 작업시간에는 세부 작업간 예상치 못한 상황으로 인해 오래 지연되거나 중단된 시간들이 제외되어 있기 때문에, 이러한 시간까지 포함된다면 실제 작업시간은 품셈을 초과하는 경우가 상당할 것으로 추정된다. 따라서 보다 신뢰성

있는 결과 도출을 위해서는 다양한 터널현장에서 더 많은 작업시간에 대한 조사 및 분석이 필요하다고 사료된다.

- 3) 마지막으로 본 연구는 향후에도 지속적인 작업시간 조사와 품셈과의 비교 분석을 통해 품셈의 적절성을 판단함과 아울러, 터널현장 작업자들의 세부적인 행동과 장비 작업들을 최적화하여 궁극적으로 발파 굴착의 생산성을 향상시키는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 논문은 해외자원개발협회에서 주관하는 자원개발특성화대학사업의 지원으로 작성되었으며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 국토교통부, 2014, 건설공사 표준품셈, pp. 448-451.
2. 이효, 윤영재, 1998, 건설현장에서 적용되고 있는 암발파 방법 및 일위대가에 대한 고찰, 터널과 지하공간, Vol. 8, pp. 171-177.
3. Kim, Y., Bruland, A., 2015, Comparison of tunnel excavation cycle time for Norwegian and Korean tunnels, ITA WTC 2015, May 22-28, Dubrovnik, Croatia, 9-16.



**김양균**

세종대학교 에너지자원공학과  
전임연구교수

Tel: 02-3408-3671  
E-mail: wangkoon@hanmail.net



**김형목**

세종대학교 에너지자원공학과  
부교수

Tel: 02-3408-4387  
E-mail: hmkim@sejong.ac.kr