

# 근로시간 단축에 따른 터널 공사의 표준 공기 및 공사비 영향 분석

박태일<sup>1</sup> · 김경훈<sup>1</sup> · 신은영\*

<sup>1</sup>한국건설기술연구원

## The Impacts of Reduced Labor Hours on the Construction Period and Cost of Tunnel Project

Park, Taeil<sup>1</sup>, Kim, Kyunghoon<sup>1</sup>, Shin, Eun-Young\*

<sup>1</sup>Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**Abstract :** After the new standards for labor hours has been released, various problems come up in construction field, such as income reduction of employees, extension of construction period and increased construction cost. Although it is expected that the impact of the new standard on the construction industry is more worse than other industries from the view of productivity, not much works have been done to identify those impacts. Thus, this research proposes the standard construction processes, excavation cycle, and unit construction period for NATM tunnel project based on 'Construction Standard Production Rates.' The study also investigated the impact of reduced labor hours on the management of work crews, construction periods and costs of tunnel projects. The results showed that under the 52 labor hour standard, the construction periods for the excavation work and whole project was increased by 20% and 8.9%, respectively, but the construction costs for the excavation work and whole project was decreased by 1.4% and 0.6%, respectively.

**Keywords :** Construction Period, Reduced Labor Hour, Tunnel Project

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 주당 최장 법정 근로시간을 단축(기존 68시간에서 52시간)하는 내용의 '근로기준법 개정안'이 통과되었다. 이에 따라 특례 업종을 제외한 전 산업분야에서 주 52시간 근무제가 기업의 규모에 따라 순차적으로 시행되고 있다. 건설업계에도 주 52시간 근로제도가 적용됨에 따라 300인 이상의 대형 건설 업체에서 현재 진행 중인 프로젝트와 신규 프로젝트는 직접적인 영향을 받게 되었다. 대부분이 사무직으로 구성되어 있는 본사의 경우 개인별·조직별로 근무시간을 유연하게 적용하고 있지만, 많게는 24시간 동안 운영되는 공사 현장의 경우 근로시간 단축에 따른 대응이 어려

운 것이 사실이다. 근로제도의 변화에 큰 영향을 받는 건설 산업의 특성으로 인하여 주당 근로시간 단축에 따른 건설 생산성 저하, 근로자 소득감소, 공사기간 연장, 공사비 증가 등 다양한 문제가 발생하고 있으며, 이러한 문제를 실질적으로 해결하기 위하여 건설 현장의 작업시간 단축에 따른 적정 공사기간과 공사비 산정 등 후속 조치가 필요한 실정이다.

특히 다양한 공종으로 이루어진 건설 프로젝트의 경우 공종에 따라 주 52시간 근무제에 따른 영향의 정도가 크게 나타나는 경우가 발생하기도 한다. 발파 및 콘크리트 타설 등 연속작업이 요구되는 공정이 포함된 터널 시공의 경우 인력 운용 및 시·공간적 제약으로 인하여 시공 효율성이 떨어지고 공사기간이 연장될 가능성이 높다. 이에 본 연구에서는 NATM 공법의 도로 터널 공사를 대상으로 표준품셈을 활용하여 표준 공정과 사이클 타임을 재 정의하였다. 품셈에서 제시하지 않는 공종은 시공사례 및 전문가 의견 등을 기반으로 단위공기를 산출 하였다. 이를 통해 주 52시간 근무 적용을 통한 터널 내 실제 작업조의 변화와 이에 따른 굴착 공사기간 및 공사비의 변화 그리고 총 공사기간 및 총 공사비의 영향을 분석하였다.

\* Corresponding author: Shin, Eun-Young, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea  
E-mail: eysin@kict.re.kr  
Received October 18, 2018; revised -  
accepted November 4, 2018

이 논문은 2018년도 한국건설기술연구원 주요사업(공공 건설공사 표준 공사기간 산정기준 연구 II) 지원에 의하여 연구되었음

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 공공건설공사 중 공사프로세스의 특수성으로 인해 근로시간 단축의 영향이 가장 클 것으로 예상되는 터널 공사를 대상으로 연구를 수행하였고 실제적용 가능한 연구결과 도출과 연구결과의 객관성 및 신뢰성 확보를 위하여 다음과 같은 방법과 절차로 수행되었다.

- 1) 객관적 정량화를 위하여 현재 대부분의 터널에서 보편적으로 적용되는 NATM공법을 대상으로 지보 타입별 사이클 타임을 표준품셈 및 전문가 검토를 반영하여 산정하였다.
- 2) 52시간 근무제 적용과 터널 내 실제 작업조의 변화 및 그에 따른 공기 연장기간을 산정하였다.
- 3) 52시간 근무제 적용에 따른 터널의 직접인건비 및 총 공사비의 변화를 실례를 통해 예측하였다.
- 4) 산정된 표준 공기를 실제 사례에 적용 및 검토하여 신뢰성을 확보하였다.

또한 연구결과의 일관성을 위하여 프로젝트에 변동성이 심한 민원 및 공사 준비기간을 제외한 순공사기간만 표준공기 산정에 포함하여 연구를 수행하였고, 실제 52시간의 적용 영향을 받는 공중에 초점을 맞추어 연구 결과를 도출하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 표준공기 관련 연구

사회기반시설물의 적정공기 산정을 위해 국가차원에서 표준화하여 운용중인 기준은 없으며, 일부 공공기관(LH공사 등)에서 건축, 단지분야 위주로 공사기간 산정기준을 수립하여 자체활용중이나 이에 대한 적정성 검토를 위한 기준이 없는 상태이다. 유일한 정부기준은 1974년 건설부에서 건설공사공기 표준화방안 마련을 위한 기준제시 사례가 있으나 현재는 사용할 수 없는 유명무실한 상태이다(Lee et al., 2015).

표준공기 산정과 관련한 연구는 2000년대 이후 다양하게 진행되어왔으며 대부분의 연구가 실적 데이터를 가지고 통계 모델을 개발한 연구가 주를 이루고 있다(Yoon & Yu, 2017).

Lee et al. (2015)의 연구에서는 수자원시설의 주요사업인 댐과 수도사업의 표준공기산정을 위한 기초연구를 수행하였으며, 댐 건설공사의 적정공기 산정을 위하여 최근 15년 내에 준공되었거나 현재 공사가 진행 중인 17건의 댐 건설사업의 공정과 프로젝트 사이즈 간의 상관관계 및 회귀분석

을 통해 표준공기모델을 개발하였다. 그리고 수도시설의 경우 사업분야 별 총 74건의 실적자료를 바탕으로 공사기간과 관료연장, 공사기간과 공사비용과의 상관관계 및 회귀분석을 통해 표준공기모델을 도출하였다. 그러나 그동안 축적된 실적자료의 부족으로 높은 정밀도의 모델 도출은 다소 부족하였다.

Yoon and Yu (2017)의 연구에서는 리모델링공사 공기 관리의 필요성을 인지하고 신축공사 표준공기 산정기준을 토대로, 신축공기 적용이 불가능한 철거공사, 구조보강공사, 골조공사에 대한 공사기간 산정기준을 제시하였으며, 리모델링공사의 실제 사례의 부족으로 개략산정식을 이용하여 공기를 산정하였다. 그리고 공기산정방식은 사례연구, 전문가 면담을 통해 검증하여 최종 리모델링 표준공기 산정안을 도출하였다.

Bae (2017)의 연구에서는 가상의 호남~제주간 고속철도 해저터널을 대상으로 전체 공사의 Critical Path에 해당하는 구간에 초점을 맞춰 공정분류체계 정립 및 시설물별 공정계획 수립, 단위 공정별 공사기간 분석 등의 연구를 수행하였다. 해저터널 건설에 필요한 시설물 현황을 분석하여 표준 공정분류체계(WBS)를 정립하고, 단계별 상호 연관관계를 바탕으로 공종별 시공계획 및 공법을 선정하고 공종별 프로세스 분석을 통해 Network Diagram을 정립하여 공정계획을 수립할 수 있도록 하였다. 그리고 주요 시설물별 공법에 적합한 작업단위를 정의하고 수직구, 본선 및 서비스 터널, 횡갱 및 건널선 터널 등 해저터널 건설에 대한 공기산정 모델을 제시하였다. 여기서 단위 공기분석을 위한 기본자료는 건설공사 표준품셈의 작업량 산정식을 활용하였으며, 표준품셈에서 작업량 산정에 대한 기준이 없는 경우는 실투입 기준 실적자료를 반영하였다.

Kim et al. (2018)의 연구에서는 국내에서 가장 빈번하게 사용되고 있는 NATM 공법을 적용하여 도로터널 사업이 진행되고 있는 건설현장들을 대상으로 실제 공사기간을 분석하고 공사기간에 영향을 미치는 주요 영향요인을 도출하고 적정공기를 판단할 수 있는 객관적인 기준을 개발하고자 하였다. 이 연구에서는 국내·외 공사기간 산정방법에 관한 고찰을 하였으며 국내의 경우 발주기관 및 유지관리기관에 따라 기준이 상이하나 RMR (Rock Mass Rating)분류법에 따른 타입별 굴진장과 작업시간, 발파 패턴이 공사기간 산정의 절대적인 기준으로 고려되며, RMR 암판정 등급에 따라 터널공사의 대략적인 공기를 산출한 후, 건설공사 표준품셈의 터널장비의 생산성을 기준으로 추가 공기를 가산하고 사전조사를 통한 발파영향도 및 민원 등을 고려하여 최종공기를 산정한다고 언급하고 있다. 이 연구에서는 적정 공기 판단 기준은 하위공종 중 '굴착 및 발파'를 대상으로 천

공, 장약설치, 발파 및 굴착, 지보재 시공, 버력 처리, 슛크리트 시공, 터널 라이닝까지의 작업을 기준으로 자료를 수집하였으며 총발파 및 굴착공사 누적일수를 종속변수로 하는 회귀분석과 RMR 타입별 굴착길이/공사일과 변수들간의 상관관계분석을 실시하여 타입별 공공기관 설계적용기준과 비교하여 기준의 적정성을 검토하였다.

## 2.2 근로시간 관련 연구

고용노동부 임금구조 기본통계자료를 기반으로 Kim and Lee (2018)가 분석한 연구에 따르면 종합건설업, 전문건설업, 엔지니어링업에 종사하는 건설기술인 77만명의 평균 근로시간은 주 41시간으로 나타났으며, 주 52시간을 초과하는 근로자가 3.4만명 가량으로 분석되었다. 따라서 최소 52시간 초과 근로자는 근로시간 단축에 따른 영향을 받게 될 것으로 나타나며 통계적 자료에 포함되지 않은 미신고 인원이나 비상용근로자를 포함하면 그 규모는 더 커질 것으로 보인다. 근로시간 단축에 대한 논의는 과거 주5일제(법정근로시간 주 5일 40시간+평일 초과근로시간 12시간+휴일근로 16시간=68시간) 도입 시점에 파급효과에 대해 연구가 다소 진행된 적이 있었고, 현재는 휴일근로시간을 포함한 52시간 단축(법정근로시간 40시간+휴일근로를 포함한 연장근로 12시간)에 따른 영향력에 대한 논의 및 연구가 진행되고 있다. 과거 Kwon and Lee (2002)의 연구에 따르면 주 5일 근로제의 적용이 곤란하다고 응답한 업체들의 29%는 발주자가 근로시간 단축으로 인한 인건비의 상승과 공사 기간의 연장을 제대로 인정하지 않을 것이기 때문이라는 응답이 많게 나왔으며 이와 같이 근로시간 단축은 공기, 공사비, 생산성 등에 영향을 미치며, 적정 공기 및 공사비 산정이 필요하다.

Kim et al. (2003)의 연구에서는 건설공사의 공사원가 중 근로시간 단축과 직접적인 연관성이 있는 건설현장근로자의 노무비 측면의 변화를 예측하고, 그 결과를 바탕으로 공사비용 및 공사기간에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 분석을 수행하였다. 이를 위해 현장의 근로패턴 측면에서 분석하고, 현장 관련자들의 인식 조사를 통해 근로시간 단축에 따른 근로패턴 변화 예측과 실제 파급효과를 분석하였다. 조사방식은 건축현장 10개를 대상으로 설문조사와 면담조사를 수행하여 실제 근로일수와 휴일수, 일일근로시간, 동절기 및 강우기와 평상시의 노무자 근로패턴 차이, 탄력적 근로시간제 적용의 현실성, 법정근로시간 단축으로 인한 현장 변화 등을 조사하였다. 그리고 향후 예측 년단위 근로패턴은 시나리오 2가지로 구분하여 조건을 각각 부여하였으며, 분석 결과 연간 약 3.6%의 공기를 추가로 더 확보해야 하며, 이때 노무비의 상승은 약 3.7% 상승할 것으로 분석하였다. 이뿐만 아니라 설문 및 면담조사 결과, 근로시간 단

축은 공사비와 공기의 영향 외에 열악한 근무환경으로 인한 상대적인 피해의식 때문에 기능공의 이직 현상 및 인력수급의 어려움의 문제로 나타날 수 있는 것으로 분석되었다.

Lee (2005)의 연구에서는 근로시간 단축에 따른 전문건설업 활동에 미치는 파급효과를 분석하였다. 전문업종별 부문별 파급영향을 살펴보면 계속 작업이 필요한 토공사, 골조공사, 포장공사, 강구조물공사 등에서 많이 나타날 것으로 예상하였으며, 조정시설물설치공사사업이나 대체인력이 많은 조정식재공사업을 제외하고는 모두 인력 조달이 어려워질 것으로 예상하고 있으며, 작업의 연속성 하락으로 인한 생산성 저하도 발생될 것으로 분석하였다. 그리고 공사기간은 10~20%, 노무비 증가도 10~20% 증가할 것으로 예상하였다. 이 연구에서는 설문조사를 바탕으로 공기지연, 관리비, 노무비, 기계경비에 대한 상승률을 결정하였으며 품셈의 보완 및 근로자의 임금보전 방안을 고려해야 한다고 언급하였다.

## 3. 터널 공사 표준 공기 산정 방안

### 3.1 터널 공사 공기산정 개요

터널의 시공방법은 철도, 도로 등 사용용도 보다는 굴착 방법이나 터널의 규모에 따라 공사기간이 달라지기 때문에 본 연구에서는 대부분의 2차선 도로 터널에서 보편적으로 적용되는 NATM 공법을 대상으로 한 표준공기를 제시하였다. 또한 터널 공사의 순 공사기간에 대한 기본 시공절차는 다음과 같은 기준 <Table 1>을 고려하여 설정하였다.

Table 1. Construction processes of tunnel project

| Construction process         | Detailed classification   | Methodologies  |
|------------------------------|---|--|
|                              | Pit mouth Construction  | Use of construction cases and expert opinions  |
| Excavation and reinforcement | Rock Drill  | Estimation of tunnel excavation cycle time based on Design Quantity and construction standard production rates |
|                              | Muck Handling   |  |
|                              | Shotcrete   |  |
|                              | Rock bolt   |  |
|                              | Supplementary construction method (steel-pipe reinforce and Water Barrier grouting) | Use of construction cases and expert opinions  |
|                              | Waterproof  | Use of construction cases and expert opinions  |
|                              | Drainage  | Use of construction cases and expert opinions  |
|                              | Lining concrete   | Use of construction cases and expert opinions  |
|                              | Creating a tunnel door  | Use of construction cases and expert opinions  |

### 3.2 터널 굴착 사이클 타임 산정

터널 공사 발파 당 사이클 타임은 암반 종류에 따라 <Table 2>와 같이 패턴(Type 1~6)과 굴진 길이를 정하고 있으며 1~3 패턴은 전단면 굴착으로 4~6패턴은 지보가 필요하여 상·하반 분할 굴착으로 구분된다. 적용암반에서 알 수 있듯이 암질이 단단할수록 굴진장이 길어지며, 굴진장이 길어질수록 발파되는 버력의 양이 많아 사이클 타임이 길어지게 된다.

Table 2. Designed one time length of drilling (MOLIT, 2016)

| Type | Excavation method    | One time length of drilling (Upper half/Lower half) | Application bedrock              | RMR      |
|------|----------------------|---|----------------------------------|----------|
| 1    | Full face excavation | 3.5m  | I (Hard rock)                    | 100~81   |
| 2    | Full face excavation | 3.5m  | II (Moderate rock)               | 80~61    |
| 3    | Full face excavation | 2.0m  | III (Soft rock)                  | 60~41    |
| 4    | Half face excavation | Upper half 1.5m/<br>Lower half 3.0m                 | IV (Weathered rock)              | 40~21    |
| 5    | Half face excavation | 1.2m  | V (Weathered sand, crushed rock) | under 20 |
| 6    | Half face excavation | 1.0m  | Tunnel door                      | -        |

본 연구에서는 2차선 도로 터널의 설계 물량과 표준품셈을 기준으로 계산된 터널 굴착 사이클 타임을 산정하였다. 이를 위해 표준품셈의 1발파 당 사이클 타임 산정기준을 활용하였고 표준품셈에 제시되지 않았지만 한국도로공사 등의 발주기관에서 적용하고 있는 암판정 시간 25분을 지보패턴별로 일괄 적용하여 산정하였다. 산정된 지보패턴별 표준 사이클 타임은 아래와 같다<Table 3>.

또한 일관성 있는 연구 결과 도출을 위해 근로시간 단축으로 인한 직접적인 굴착 사이클 타임의 변화는 없을 것으로 가정하고 연구를 수행하였다. 물론 터널 현장에 투입되

Table 3. Drilling cycle time for each support type

| Support type                  | Method     | Excavation cross-section (m <sup>2</sup> ) | Design Length of drilling (m) | Cycle time(min) |          |               |           |           |       |
|-------------------------------|------------|--|-------------------------------|-----------------|----------|---------------|-----------|-----------|-------|
|                               |            |  |                               | Rock inspection | Drilling | Muck Handling | Shotcrete | Rock bolt | Total |
| P-1 (Hard rock)               | Full face  | 66.2                                       | 3.5                           | 25.0            | 270.6    | 255.1         | 181.7     | 49.2      | 781.6 |
| P-2 (Moderate rock)           | Full face  | 66.2                                       | 3.5                           | 25.0            | 270.6    | 255.1         | 181.7     | 82.5      | 814.9 |
| P-3 (Soft rock)               | Full face  | 66.8                                       | 2.0                           | 25.0            | 215.1    | 157.6         | 142.1     | 112.4     | 652.2 |
| P-4 (Weathered rock)          | Upper part | 50.4                                       | 1.5                           | 25.0            | 177.8    | 104.6         | 154.5     | 87.3      | 549.3 |
|                               | Lower part | 17.3                                       | 3.0                           | 25.0            | 134.7    | 74.2          | 94.9      | 77.4      | 406.1 |
| P-5 (Weathered, crushed rock) | Upper part | 51.1                                       | 1.2                           | 25.0            | 172.2    | 93.0          | 153.6     | 88.7      | 532.5 |
|                               | Lower part | 17.4                                       | 1.2                           | 25.0            | 111.0    | 52.5          | 77.6      | 58.5      | 324.5 |
| P-6 (Pit mouth)               | Upper part | 51.1                                       | 1.0                           | 25.0            | 166.5    | 86.6          | 141.8     | 25.0      | 445.0 |
|                               | Lower part | 17.4                                       | 1.0                           | 25.0            | 108.0    | 50.3          | 74.7      | 78.6      | 336.6 |

는 작업조의 운용에 따라 생산성 저하, 유휴시간의 발생 등과 같은 문제가 야기될 여지가 있지만 해당 시간은 객관적 정량화가 힘들어 터널공사의 표준 사이클 타임에 포함시키기 힘들다. 반면에 근로시간 단축은 실제 현장의 터널 내 운영 시간에 영향을 미치지 때문에 동일 작업조의 2교대 작업 투입 시 주 52시간 준수를 위해서는 기존 20시간에서 16시간으로 제약이 불가피하다. 이에 본 연구에서는 20시간과 16 시간 기준의 1일 굴진 회수 및 굴진 길이를 비교하고, 16 시간 기준의 표준공기를 도출하고자 하였다. <Table 3>의 사이클 타임을 활용하여 1일 굴진회수를 산정하였고 1일 굴진회수에 타입 별 설계 굴진장을 곱하여 1일 굴진 길이를 산정하였다. 산정된 일 20시간과 16시간 기준의 1일 굴진 회수 및 굴진 길이는 <Table 4>와 같다.

Table 4. One day length of drilling for 20 and 16 hour cases

| Type | Based on 20 hours/day    |       |                      |       | Based on 16 hours/day    |       |                      |       |
|------|--------------------------|-------|----------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------|-------|
|      | Number of blind end /day |       | Drilling Length /day |       | Number of blind end /day |       | Drilling Length /day |       |
|      | Full face (Upper)        | Lower | Full face (Upper)    | Lower | Full face (Upper)        | Lower | Full face (Upper)    | Lower |
| P-1  | 1.54                     | -     | 5.37                 | -     | 1.23                     | -     | 4.30                 | -     |
| P-2  | 1.47                     | -     | 5.15                 | -     | 1.18                     | -     | 4.12                 | -     |
| P-3  | 1.84                     | -     | 3.68                 | -     | 1.47                     | -     | 2.94                 | -     |
| P-4  | 2.18                     | 2.95  | 3.28                 | 8.86  | 1.75                     | 2.36  | 2.62                 | 7.09  |
| P-5  | 2.25                     | 3.70  | 2.70                 | 4.44  | 1.80                     | 2.96  | 2.16                 | 3.55  |
| P-6  | 2.70                     | 3.57  | 2.70                 | 3.57  | 2.16                     | 2.85  | 2.16                 | 2.85  |

위의 표에서 알 수 있듯이 전체적인 지보패턴에서 1일 굴진 길이가 20% 줄어들게 되며 이는 결국 공사기간과 간접비 및 공통경비의 증가로 이어지게 된다.

### 3.3 굴착 외 공종 단위 공기 산출

표준품셈에서 제시하고 있지 않은 굴착 외 공종은 현장 시공사례 및 전문가 의견 등 경험적 근거를 바탕으로 단위 공기를 산출하였다. 특히 현장 특성에 따라 적용기준이 달라지

는 강관보강 그라우팅 및 차수 그라우팅 등 추가 보조 공법은 적용기준을 정립하여 공기 산정 시에 반영토록 제시하였다. 통상적으로 강관보강 그라우팅은 설계조건 및 현장 특성에 따라 지보재가 적용되는 4~6패턴에 부분적으로 적용하고 있으나, 표준공기 산정 시에는 5패턴 적용을 기준으로 설정하였고 차수 그라우팅은 용수발생 시 적용되는 것이 일반적이거나(5~6타입의 터널 시점부 또는 하저구간), 표준공기 산정 시에는 6패턴에 적용하게 하였다. 이는 6타입의 경우 강관보강과 차수그라우팅이 동시에 적용되어 예정 공기가 지나치게 증가되는 것을 방지하기 위함이다. 이와 같이 도출된 굴착 외 공종의 단위 공기는 아래와 같다<Table 5>.

Table 5. Unit construction period for each processes

| Classification                     |  | Applied unit construction period      | Estimation method                          |
|------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| Reinforced pit mouth               |  | 25day/each                            | Real construction cases and expert opinion |
| Auxiliary methods                  | Steel-pipe reinforce grouting(5, 6types) | 3day/each blind end (6m longitudinal) |  |
|                                    | Water Barrier grouting(6type)            | 5day/each blind end (6m longitudinal) |  |
| Waterproof                         |  | 1day/50m                              |  |
| Drainage(include Cleaning of rock) |  | 3day/30m                              |  |
| Lining concrete                    |  | 2day/10m                              |  |
| Creating a tunnel door             |  | 25day/each                            |  |

#### 4. 터널 표준 공기 산정 방법 실제 사례 적용 및 비교

본 연구에서는 전 장에서 도출된 굴착공기 산정 방법과 굴착 외 공종단위 공기를 실제 터널 프로젝트에 적용하여 신뢰성을 검증하였다. 아래에 제시된 터널은 최근 수도권

Table 6. Application of proposed method to real world project

| Classification (activity name) | Unit | Quantity | #of Working team (Crews) | Length of drilling/day |          | Construction Period (Days) |          |
|--------------------------------|------|----------|--------------------------|------------------------|----------|----------------------------|----------|
|                                |      |          |                          | Actual                 | Proposed | Actual                     | Proposed |
| Excavation and reinforcement   | m    | 6,766    | 6                        | -                      | -        | 1,640                      | 1,209    |
| P-2                            | m    | 140      | 6                        | 3.84m/d                | 4.12m/d  | 6                          | 6        |
| P-3                            | m    | 1,208    | 6                        | 2.75m/d                | 2.94m/d  | 72                         | 68       |
| P-4(upper)                     | m    | 1,900    | 6                        | 2.61m/d                | 2.62m/d  | 122                        | 121      |
| P-4(lower)                     | m    | 1,900    | 6                        | 5.14m/d                | 7.09m/d  | 63                         | 45       |
| P-5(upper)                     | m    | 1,936    | 6                        | 2.09m/d                | 2.16m/d  | 162                        | 149      |
| P-5(lower)                     | m    | 1,936    | 6                        | 4.16m/d                | 3.55m/d  | 77                         | 91       |
| P-6(upper)                     | m    | 1,582    | 6                        | 2.22m/d                | 2.16m/d  | 120                        | 122      |
| P-6(lower)                     | m    | 1,582    | 6                        | 3.52m/d                | 2.85m/d  | 76                         | 93       |
| Steel-pipe reinforce grouting  | ea   | -        | 6                        | 3day/ea                | 3day/ea  | 452                        | 294      |
| Water Barrier grouting         | ea   | -        | 6                        | 5day/ea                | 5day/ea  | 490                        | 220      |
| Follow-up construction         | -    | -        | -                        | -                      | -        | 162                        | 194      |
| lining concrete                | m    | 6,766    | 7                        | 2day/12m               | 2day/10m | 162                        | 194      |

발주청에서 실제 수행된 2차로 병설 터널로 연장이 3.4km에 이르며 1일 작업시간 16시간과 월 25일 작업일수로 공정 계획표가 작성되어 건설되었다. 실제 현장에서 수집된 터널의 타입 별 1일 굴착 길이 및 공종별 공사기간의 데이터와 본 연구에서 제시하는 타입 별 1일 굴착 길이와 이에 따른 공종별 공사기간의 비교 검토 결과는 <Table 6>과 같다.

결과에서 알 수 있듯이, 사이클 타임을 활용한 굴착공사의 표준공기는 실제와 상당히 유사하나 현장의 실제 조건에 따라 달라지는 보강부분에서 공기가 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 비록 보조공법에 대한 단위공기가 실제 시공 사례를 통해 결정되었지만 여전히 다양한 현장 조건을 반영하기에는 미흡하며, 향후 추가 연구를 통해 보완할 필요가 있다고 판단된다.

#### 5. 근로시간 단축에 따른 공기 및 직접 노무비의 변화

##### 5.1 작업시간 조정에 따른 터널 굴착 공기 비교

본 장에서는 근로시간 단축에 따른 공기의 증감을 검토하였다. 주 20시간과 16시간의 현장 공기 비교를 위하여 일반적인 산악지 터널 지보패턴의 2차로 도로 터널 공사를 대상으로 공사 기간의 변화를 산정하였다. 근로시간 단축이 실제 현장에 미치는 영향은 <Table 7>과 같이 터널 공사의 여러 공정 중 갯문보강, 보조공법, 후속공정(방수, 배수공동구, 라이닝 콘크리트, 갯문조성) 등을 제외한 굴착에 한정되어 있는 것으로 판단된다. 굴착공사는 1일 굴진 길이의 20% 감소에 따라 20%의 공기연장이 필요하며, 다른 공정의 공사기간이 20시간과 16시간 기준 적용 시, 동일하다고 가정할 때 실질적으로 전체 프로젝트 공기는 8.9% 정도의 연장이 필요하다는 사실을 알 수 있다.

Table 7. Comparison of construction period after labor hour reduction

| Support type            | Unit | Quantity | Applied unit construction period |         | 20hours-based construction period (day) | 16hours-based construction period (day) |
|-------------------------|------|----------|----------------------------------|---------|---|---|
|                         |      |          |                                  |         |   |   |
| Total                   | m    | 1000     | -                                | -       | 738                                     | 804                                     |
| Reinforced pit mouth    | ea   | 2        | 25d/ea                           | 25d/ea  | 50                                      | 50                                      |
| Subtotal for excavation |      |          |                                  |         | 262                                     | 328                                     |
| P-1                     | m    | 200      | 5.37m/d                          | 4.30m/d | 37                                      | 47                                      |
| P-2                     | m    | 300      | 5.15m/d                          | 4.12m/d | 58                                      | 73                                      |
| P-3                     | m    | 380      | 3.68m/d                          | 2.94m/d | 103                                     | 129                                     |
| P-4 (Upper)             | m    | 50       | 3.28m/d                          | 2.62m/d | 15                                      | 19                                      |
| P-4 (Lower)             | m    | 50       | 8.86m/d                          | 7.09m/d | 6                                       | 7                                       |
| P-5 (Upper)             | m    | 50       | 2.70m/d                          | 2.16m/d | 19                                      | 23                                      |
| P-5 (Lower)             | m    | 50       | 4.44m/d                          | 3.55m/d | 11                                      | 14                                      |
| P-6 (Upper)             | m    | 20       | 2.70m/d                          | 2.16m/d | 7                                       | 9                                       |
| P-6 (Lower)             | m    | 20       | 3.57m/d                          | 2.85m/d | 6                                       | 7                                       |
| Steel pipe grouting     | each | 12       | 3d/ea                            | 3d/ea   | 36                                      | 36                                      |
| Water Barrier grouting  | each | 4        | 5d/ea                            | 5d/ea   | 20                                      | 20                                      |
| Waterproof              | m    | 1000     | 1d/50m                           | 1d/50m  | 20                                      | 20                                      |
| Drainage                | m    | 1000     | 3d/30m                           | 3d/30m  | 100                                     | 100                                     |
| Lining concrete         | m    | 1000     | 2d/10m                           | 2d/10m  | 200                                     | 200                                     |
| Tunnel door             | ea   | 2        | 25d/ea                           | 25d/ea  | 50                                      | 50                                      |

5.2 작업조의 작업시간 조정에 따른 할증계수의 변화

현행 내역체계에서는 기본 작업(8시간)이후에는 노임부분에 시간외(8시간 초과)할증을 부여하고 있으며 22~06시까지 야간할증을 적용하고 있다. 또한 연장근로와 야간근로에 대한 할증은 근로기준법 제 56조에 의거하여 통상임금의 100분의 50 이상을 가산하여 지급하도록 하고 있다.

Double shift (20hours)

1) First one (working hours)

|                                      |       |         |            |       |
|--------------------------------------|-------|---------|------------|-------|
| 07:00                                | 12:00 | 13:00   | 16:00      | 18:00 |
| Daytime                              | Break | Daytime | Overtime   |       |
| 8 hours@ 1(P) - exclude 1hour(break) |       |         | 2시간 1.5(P) |       |
| 11 hours (10 working hours)          |       |         |            |       |

2) Second one (working hours)

|                             |            |                                      |       |       |       |
|-----------------------------|------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| 18:00                       | 20:00      | 22:00                                | 23:00 | 24:00 | 05:00 |
| Overtime                    | Daytime    | Night                                | Break | Night |       |
| 2hr @ 1.5(P)                | 2hr @ 1(P) | 6hr @ 1.5(P) - exclude 1hour (break) |       |       |       |
| 11 hours (10 working hours) |            |                                      |       |       |       |

- Wages:  $(8/8 \times 1.0 + 2/8 \times 1.5) + (2/8 \times 1.5 + 2/8 \times 1.0 + 6/8 \times 1.5) = 3.125$
- Amount of work :  $(8/8 \times 1.0 + 2/8 \times 1.0) + (2/8 \times 1.0 + 2/8 \times 1.0 + 6/8 \times 0.8) = 2.35$
- Factor for extra charge :  $Wages/AOW = 3.125/2.35 - 1 = 0.3297 \approx 0.329(P)$

Fig. 1. Double shift based on 20 hours operation

Double shift (16hours)

1) First one (working hours)

|                                      |       |         |       |
|--------------------------------------|-------|---------|-------|
| 07:00                                | 12:00 | 13:00   | 16:00 |
| Daytime                              | Break | Daytime |       |
| 8 hours@ 1(P) - exclude 1hour(break) |       |         |       |
| 9 hours (8 working hours)            |       |         |       |

2) Second one (working hours)

|                           |       |              |              |       |
|---------------------------|-------|--------------|--------------|-------|
| 16:00                     | 20:00 | 21:00        | 22:00        | 01:00 |
| Daytime                   | Break | Daytime      | Night        |       |
| 4hr @ 1.0(P)              | -     | 1hr @ 1.0(P) | 3hr @ 1.5(P) |       |
| 9 hours (8 working hours) |       |              |              |       |

- Wages:  $(8/8 \times 1.0) + (5/8 \times 1.0 + 3/8 \times 1.5) = 2.1875$
- Amount of work :  $(8/8 \times 1.0) + (5/8 \times 1.0 + 3/8 \times 0.8) = 1.925$
- Factor for extra charge :  $Wages/AOW = 2.1875/1.925 - 1 = 0.1363 \approx 0.136(P)$

Fig. 2. Double shift based on 16 hours operation

하지만 실제 작업시간이 20시간에서 16시간으로 조정될 경우, <Fig. 1, 2>와 같이 시간외 근무 및 야간 공사시간의 감소로 작업량이 감소하고 할증계수가 낮아져 직접 노무비가 낮아지는 현상이 발생할 수 있다.

1일 20시간과 16시간 작업조의 비교는 노임과 작업량 산정 시, 시간외 할증(1.5P), 야간할증(1.5P), 그리고 야간 작업능률 저하 20%를 반영하였다.

5.3 근로시간 단축 적용 시 총 공사비 영향 검토

본 장에서는 근로시간 단축에 따른 굴착공사기간의 변화와 이에 따른 공사비 영향을 검토 하였다. 앞서 언급하였듯이 굴착 공기는 현행 대비 증가하고 굴착공사의 직접노무비 및 직접비 변화는 <Table 8>과 같이 산정되었다.

Table 8. The impacts of reduced labor hours on the construction period and cost

| Classification  | one day 20 hours (current) | one day 16 hours (52hours application) | Note   |
|---|----------------------------|--|--|
| Manpower  | 14mans                     | 14mans                                 | 2crews = 14mans  |
| Change ratio of direct labor cost   | 1.000                      | 0.855 (= 1.136/1.329)                  | 20hours: 32.9%, 16hours: 13.6%   |
| Change ratio for direct cost of excavation work (a)                                 | 1.00                       | 0.954                                  | Reference to the public agency's statement (4.6% ↓)                          |
| Indirect cost rate  | 20%                        | 20%                                    | Assumed  |
| Construction period for excavation  | 1.00                       | 1.20                                   | Excavation work period : 20%, ↑  |
| Increased rate for indirect cost of excavation work                                 | 1.00                       | 1.20                                   | Increase in indirect costs by 20% due to increased construction period       |
| Change ratio of indirect cost rate for excavation work (b, contrast to direct cost) | 20%                        | 24.0% (= 0.2+0.2*0.20)                 | Increase in construction cost by 4.0% due to increase in construction period |
| Cost change in excavation work (c=a+a*b) (relative comparison)                      | 1.2 (1.00)                 | 1.183 (0.986)                          | Excavation cost about 1.4% ↓, total construction cost about 0.6% ↓           |

그 결과 굴착공사에 대한 공사기간이 20% 증가함에도 불구하고 굴착공사비는 약 1.4% 감소하였고, 총공사비 중 굴착공사비의 비중은 약 40%이므로 총공사비의 약 0.6%가 감소한 것으로 예측되었다. 이는 수행 중인 프로젝트와 신규 프로젝트 모두에 해당하는 사항으로 물량기반의 예정가격 산정체계에서는 할증률 감소에 따른 직접노무비 감소는 불가피할 것으로 사료된다. 이에 따라 건설근로자의 소득감소 및 노동의지 상실 등 다양한 문제를 야기할 것으로 판단되므로 이를 보완하는 제도적 장치 마련이 시급히 요구된다.

## 6. 결론

본 연구는 근로시간 단축에 따른 터널 공사기간 및 공사비 영향을 분석하기 위하여 터널 공사의 표준 공종과 지보타입별 굴착 사이클 타임을 제시하고, 이를 통한 표준공기 산정 방법을 제시하였다. 또한 굴착 외 공종의 단위 공기는 수행 중인 현장 시공 사례와 전문가 의견을 반영하여 제시하였다. 이를 통해 수행 중인 프로젝트의 공기산정에 적용해본 결과 굴착공기는 유사하게 산정되었으나, 현장조건에 따라 다르게 적용되는 보강 공법의 적용 기준 및 공기 산정에 대한 결과는 실제 현장과 다소 차이가 있어, 후속 연구를 통하여 다양한 현장 조건에 대한 반영이 필요 할 것으로 사료된다.

터널공사에서는 근로시간이 감소함에 따라 공사기간이 연장되며 적절한 공기연장은 현장 안전 확보, 근로자의 휴식보장과 같은 순기능을 발휘할 수 있다. 그럼에도 불구하고 근로자의 실질 임금 감소, 공기연장에 따른 간접비 및 일반 관리비 증가와 같은 역효과를 초래할 수 있으므로 이에 대한 다양한 연구를 통한 개선이 필요할 것으로 판단된다.

## References

Lee, B.S., Kim, K.N., and Lee, M.J. (2015). "A Study on Normal Project Duration for Water Resource Project." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 16(1), pp. 35-43.

Yoon, J.S., and Yu, I.H. (2017). "A Study on Estimating Normal Project Duration of Apartment Remodeling Project." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(2), pp. 12-20.

Bae, K.W. (2017). "A Study on Standard Construction Process Management System for Prediction of Proper Construction Period of Subsea Tunnel." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(4), pp. 36-47.

Kim, H.N., Kim, D.Y., Kim, D.Y., Jeong, S.C., and Huh, Y.K. (2018). "Optimum Construction Duration for Road Tunnel Excavation Works." *JAIKSC*, 34(4), pp. 59-64.

Kim, K.H., and Lee, Y.L. (2018). "Trends and Prospects of Construction Engineers." *Construction & Human Research Institute of Korea*, pp. 1-13.

Kwon, O.H., and Lee, J.S. (2002). "Introduction of 5 working days in construction industry." *Construction Journal*, pp. 19-20.

Kim, H.R., Yu, I.H., Kim, K.R., and Shin, D.W. (2003). "An Influence Analysis of the Reduction of Working Time in Construction Sites." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 19(4), pp. 161-168.

Lee, J.S. (2005). "The Analysis for Effects of the 40 Hours Workweek System on the Specialty Construction Industry." *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 21(3), pp. 145-152.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016). 'Guideline for designing national highway.'

**요약** : 주당 최장 법정 근로시간을 단축하는 내용의 '근로기준법 개정안'이 통과됨에 따라 근로시간 단축에 따른 근로자 소득감소, 공사기간 연장, 공사비 증가 등 다양한 문제가 발생하고 있다. 특히 다른 산업과 비교할 때, 생산성을 중시하는 건설 프로젝트의 경우 공종에 따라 주 52시간 근무제에 따른 영향의 정도가 더 클 것으로 예상되나 이에 대한 연구는 미흡한편이다. 이에 본 연구에서는 NATM 터널 공사를 대상으로 표준품셈 기반의 표준공정과 굴착 사이클 타임 그리고 공종별 단위 공기를 제시하고, 이를 통해 주 52시간 근무 적용에 따른 실제 작업조의 변화와 이에 따른 표준 공기 및 공사비의 영향을 분석하였다. 분석결과 굴착 공기와 총 공기는 각각 20%, 8.9% 증가하였으나, 굴착공사비와 총 공사비는 오히려 각각 1.2%, 0.5% 감소하는 것으로 확인되었다.

**키워드** : 공사기간, 근로시간단축, 터널공사