

교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술의 경제적 타당성 분석

이승수¹ · 김동규^{2*} · 서종원³

¹한양대학교 건설환경공학과, ²한국건설기술연구원 지반연구소, ³한양대학교 건설환경공학과

Economic Feasibility Analysis of a Tunnel Section Enlargement Method That Does Not Halt Traffic Flow

Seung Soo Lee¹, Dong-Gyou Kim^{2*}, and Jong Won Seo

¹Department of Civil and Environmental Engineering, HanYang University

²Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

³Department of Civil and Environmental Engineering, HanYang University

Received 17 August 2015; received in revised form 9 November 2015; accepted 11 November 2015

최근 국내에서 프로텍터를 사용하여 터널의 확대 공사기간 동안 기존 교통흐름을 유지할 수 있는 교통류 보존형 터널 확대 시공기술이 개발되었다. 이 공법은 교통의 흐름을 그대로 유지하여 교통정체에 따른 통행자의 시간적, 비용적 손실과 환경적 피해 등의 사회적 손실을 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 반면에 프로텍터의 설치 등으로 공사기간의 연장 및 직접공사비의 증가가 발생된다. 본 논문은 교통류 보존형 터널 확대 시공기술의 직접공사비와 간접적 사회적 비용을 모두 고려하여 경제적 타당성을 분석하기 위한 방법을 제시하는 것을 목표로 하였다. 사회적 비용을 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용으로 구분하여 간접비를 산정하는 방법을 제시하였다. 그리고 기존의 확대공법과 신공법간의 경제성을 비교하기 위하여 남산3호터널을 대상으로 제시된 방법을 적용하여 분석해 보았다.

주요어: 경제적 타당성 분석, 터널단면 확대 기술, 직접비, 간접비

A recently developed tunnel section enlargement method can maintain traffic flow during construction by using a protector. By keeping traffic flowing, it can minimize the lost time and costs associated with diversions and also the accompanying environmental pollution. On the other hand, installing the protector can lengthen the construction period and increase the direct cost. This paper presents a method for analyzing the economic feasibility of tunnel section enlargement methods considering the direct construction cost and the indirect social cost. The indirect costs are divided into categories of: vehicle driving cost, travel time delay cost, and environmental pollution cost. The economic efficiency of existing technology is compared with the new method in an case study of Namsan Tunnel 3.

Key words: economic feasibility analysis, tunnel section enlargement method, direct cost, indirect cost

*Corresponding author: dgkim2004@kict.re.kr

© 2015, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

연구의 배경 및 목적

기존도로의 노선 증가 및 터널 노후화에 대한 대처 방법으로 대부분 기존터널의 양쪽으로 신규터널을 건설하거나, 우회로를 건설하고 있다. 그러나 이러한 방법은 새로운 터널을 추가 시공해야 함에 따라 불필요한 용지 매입과 근접한 기존터널의 안전성확보 등으로 추가적인 경제적 부담이 발생된다. 또한 공용중인 도심지 터널을 확장하거나 보수하는 경우 현재의 기술로서는 차량의 진입을 전면 통제해야하는 부담을 함께 안고 있다. 이에 따라 터널에서의 교통정체해소, 도로구조의 노선변경, 물류차량의 대형화 및 터널노후화 등에 대응하기 위하여 교통류를 보존할 수 있는 터널의 단면 확대기술이 요구되어지고 있다(MOLIT, 2012).

최근 일본, 프랑스 등에서는 기존터널의 교통흐름을 유지한 채 주변지반을 확대 굴착하는 공법이 개발되었다. 우회로의 확보나 교통차단 없이 터널내 교통흐름을 유지한 채 터널단면을 확대하거나 노후 된 곳을 보강하고 있다(Seo et al., 2008). 국내에서는 교통흐름을 완전히 차단하고 수행되었던 사례로 남산2호터널 및 경기도 화악터널 등이 있으나, 교통흐름을 유지한 채 시공한 사례는 아직 없다. 따라서 국토교통부에서는 이와 같은 교통류 보존형 확대기술의 필요성을 인식하여 2010년부터 3차년간 건설기술혁신사업의 일환으로 “교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술 개발”을 추진하여 기술력을 확보하게 되었다.

이러한 교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술은 민원저감, 교통정체발생에 따른 사회적, 환경적 손실발생의 억제 등 수많은 간접적 이득을 도모할 수 있다. 그러나 기존터널내부에 차량보호용 강제프로텍터를 설치·해체·운영하는 과정에서 공기와 공사비용이 크게 증가한다는 약점을 가지고 있다. 따라서 터널 확대공사기간 동안 직접적으로 발생하는 총 공사비만을 가지고 경제성을 평가한다면 교통류 보존형 기술이 매우 불리할 수밖에 없을 것이다. 각 기술의 경제성 비교가 타당성 있게 이루어지기 위해서는 각 기술에 대한 직간접적인 기술가치가 적절한 기준을 통해 일정 척도로 환산되어 평가될 수 있어야 할 것이다. 두 기술의 가장 큰 차이점은 공사 중 교통흐름의 차단유무에 있으므로 교통통제와 차량우회로 인하여 발생하는 추가적인 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용 등의 간접비(사회적 손실비용)가 직접비(총 공사비)와 함께 평가에 반영되어야 할 것이다.

이와 관련된 연구로서 Krammes et al. (1993)은 QUEWZ (Queue and User Cost Evaluation of Work Nones)모형을 제시하여 연속류 구간에서 공사로 인하여 발생하는 지체비용을 산정하였다. 교통지체비용의 산정을 위해 교통량 대 용량비(V/C)를 산출하고, 이를 이용하여 공사전의 지정체와 공사중 차량의 지정체를 고려하여 반영하였다. Ehlen and Marshall (1996)은 사용자 비용을 차량운행비용, 시간지연비용, 사고비용뿐만 아니라 도로이용의 불편함 및 환경영향에 의한 추가비용을 반영하였다. Adeli (2003)는 작업구간의 길이와 평균시간 교통량을 이용한 작업구역 교통지체와 시간지연에 대한 손실비용에 대한 최적화 모델을 제시하였다. 국내에서는 한국교통연구원(Cho et al., 2007)의 “교통혼잡비용 추정방법 개선”이라는 보고서에서 교통혼잡비용을 차량운행비용과 시간가치비용으로 구분하고, 차량운행비용을 운전자의 인건비, 차량의 감가상각비, 보험료 및 각종 제세공과금 등의 고정비와 연료소모비, 차량의 유지정비비, 엔진오일비 및 타이어 마모비 등의 변동비로 구분하여 산정하도록 하였다. 그러나 변동비에서 연료소모비를 제외한 나머지 비용의 계산은 곤란하므로 제외하였다. 한국개발연구원에서 제시한 “도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구” 보고서(KDI, 2008)에서는 도로이용에 따른 사용자 편익을 교통사고 절감편익, 주차비용 절감편익, 차량운행비용 절감편익, 통행시간 절감편익, 환경비용 절감편익 등으로 세분화하여 제시하였다.

이와 같은 기존의 연구를 참조하여 교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술의 경제성을 비교·분석한다면, 터널의 확대공사기간 동안 발생하는 직접비와 함께 간접적 비용으로 발생하는 불편함, 사회적, 환경적 피해를 모두 고려한 가치를 평가에 반영할 수 있어 보다 타당성 있는 분석을 수행할 수 있을 것이다.

연구의 범위 및 방법

본 연구는 터널단면 확대 시공기술을 대상으로 기존 기술과 교통류 보존형 기술의 경제성을 신뢰적으로 평가하기 위한 방법을 제시하고, 제시된 방법론을 남산3호터널에 적용하여 경제성을 비교·분석해 보는 것을 목표로 한다. 즉, 신기술이 교통흐름을 차단하지 않는데서 발생하는 사회적 이득을 간접비로 가치화 하고, 직접비와 함께 계상한 총 경제성을 도출하여 기존기술과의 편익을 계산해 볼 것이다. Fig. 1은 본 연구의 수행 범위 및 방법에 대한 내용이다.

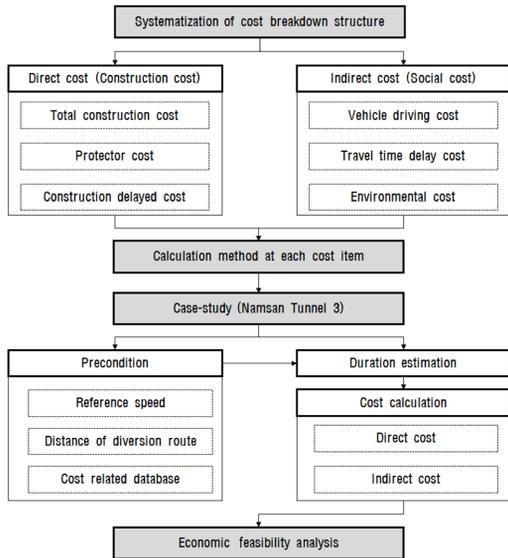


Fig. 1. Research scope and process.

교통류 보존형 기술의 경제성을 평가하기 위하여 비용항목을 직접비와 간접비로 구분하여 체계화 하였다. 직접비는 프로텍터의 설치 및 운영비용과 소요공기의 증가로 인한 비용이 고려되도록 하였다. 간접비는 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용을 반영하였다. 차량운행비용은 터널의 교통흐름 차단으로 우회로 설정을 통해 소모되는 운행비용을 의미한다. 시간지연비용은 교통 혼잡으로 인하여 발생하는 손실시간을 화폐 가치화한 것으로서 지체된 시간만큼 운전자가 가질 수 있는 시간에 대한 기회비용을 의미한다. 환경오염비용은 각 기술의 적용에 따른 대기오염에 대한 유발상황을 가정하여 비용에 대한 편익을 분석하였다. 국내외 선행연구 내용을 참조하여 한국교통연구원의 교통혼잡비용 산출 방법과 한국개발연구원의 환경오염 비용편익 분석법을 활용하였다. 각 기술의 경제성을 평가해 보기 위하여 남산3호터널을 대상으로 사례연구를 수행하여 각 기술의 직접비와 간접비 산출하여 비교해 보았다.

교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술

교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술은 프로텍터를 활용하여 교통흐름을 유지하면서 터널단면을 확대하는 기술이다. 국내에서는 국토교통부에서 2010년부터 3차 년간 건설기술혁신사업의 일환으로 “교통류 보존형 터널단면 확대 시공기술 개발”을 추진하였다(MOLIT,

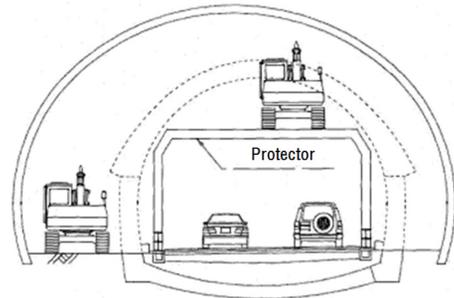


Fig. 2. Conceptual diagram of the protector (MOLIT, 2012).

2012). 터널확대는 확대방향에 따라 하부부분, 상부부분, 편측 및 양측확대로 분류할 수 있으며, 확대 시공순서는 일반적으로 프로텍터 설치-사전보강-굴착공-지보재설치-인버트 시공 및 포장으로 정의될 수 있다. 먼저, 프로텍터를 설치하는 위치에 기초공을 설치하고 프로텍터를 설치한다 (Fig. 2). 프로텍터는 갱외에서 조립이 이루어지며, 설치하는 야간에 교통통제를 실시하고 이루어진다. 이때 프로텍터의 치수는 기존터널의 제원에 따라 다르지만, 보통 폭 4~6m, 길이 6m 전·후의 강제프로텍터가 이용된다. 프로텍터 설치 후, 기존터널 주변의 확폭되는 부분을 포아폴링 등으로 사전보강하고 굴착하며, 굴착은 기계 및 발파 굴착 등이 활용된다. 굴착후 지보는 신설 터널의 경우와 마찬가지로 슛크리트와 록볼트가 주체가 된다. 굴착이 완료되면 라이닝을 설치하고 프로텍터를 철거하게 된다.

이러한 신기술은 이탈리아, 일본 등 터널 선진국에서도 극히 일부 시행된 것으로 교통흐름을 보존하기 위한 프로텍터 설치가 가장 핵심 기술이라 할 수 있다. 프로텍터의 설치로 인하여 공사가 어려워지고 공기가 연장되어 직접비가 증가하기 때문에 시공사례는 현재까지 극소수에 불과하다. 그러나 갈수록 도심지의 대도시화 및 교통정체가 심화되고 있는 상황에서 사회적인 간접적 이득을 고려한 시공사례가 증가하고 있다. 따라서 타당성 있는 경제성 분석을 위해서는 프로텍터의 설치 및 운영에 따른 직접비의 차이와 함께 교통흐름의 보존에 따라 간접적으로 획득할 수 있는 기회비용을 모두 고려하여야 할 것이다.

경제성 분석을 위한 직·간접 비용항목 분류

본 연구의 터널 확대기술에 대한 경제성 분석은 총

Table 1. Cost breakdown structure for economic feasibility analysis.

	Direct cost	Indirect cost
Existing method	Direct construction cost	• Vehicle driving cost for diversion route
		• Travel time delay cost considering value of travel time by vehicle class
		• Environment cost for increasing distance by using diversion route
New method	-Direct construction cost (considering construction delayed cost) -Material & operation cost for protector	• Basic vehicle driving cost in tunnel
		• Vehicle driving cost for temporary vehicle control
		• Travel time delay cost for temporary vehicle control
		• Environment cost for temporary vehicle control

공사비용 대비 편익이 아닌 공사기간동안 발생하는 비용과 편익에 대한 분석이다. 따라서 경제성 분석을 위한 직·간접비용은 공사기간동안 소요되는 총 공사비와 교통통제여부 및 우회로 설정에 따라 소요되는 사회적 손실비용으로 구성하였으며, 이를 체계화를 위하여 다음과 같은 몇 가지 조건을 고려하였다.

- 직접비(총공사비)의 산정: 기존기술과 신기술의 경우, 기본적으로 터널확대 시공을 위한 개략공사비를 산출하고, 프로텍터를 제작하고 설치하는데 들어가는 비용뿐만 아니라 공사기간의 차이에 의해 발생하는 공사비를 모두 고려하여 산정한다.
- 간접비(사회적 손실비용)산정: 사회적 비용은 각 기술의 공사기간을 고려하여 교통차단에 의해 우회로로 통행하는 경우와 신기술이 적용되어 간헐적인 터널통행차단이 발생하는 경우를 고려하여 산정한다. 간접비는 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용으로 구분하였다. 기존기술의 경우, 우회로 산정 이후 기존흐름과의 차이를 고려하여 차량운행비용과 시간지연비용을 산정하고, 우회로 증가된 거리만큼의 대기환경오염비용을 고려하도록 하였다. 신기술은 공사기간 중 터널내 교통흐름이 유지되는 경우와 공사과정에서 부분적으로 통제가 수행되는 경우를 고려하여 산정한다.

이를 바탕으로 본 연구에서의 경제성 분석을 위한 직·간접 비용항목을 분류한 내용은 Table 1과 같다.

터널 확대기술의 직·간접비용 산출방법

터널단면 확대 시공기술의 경제성을 평가하기 위해서는 직·간접비 예측에 필요한 몇 가지 영향요소에 대한 가정이 필요하다. 직접비 및 간접비의 예측을 위해서는

공사기간이 고려되어야 한다. 그리고 산정과정에 필요한 객관적 산출근거를 마련해야 한다. 각 현장의 특성에 따라 공기 및 공사비에 대한 산출근거가 유동적으로 변할 수 있지만, 본 연구에서는 기존의 사례와 전문가의 의견을 고려하여 산정조건을 제시해 보았다. 그리고 기존기술과 신기술의 직접비와 간접비에 대한 산정방법을 정의하였다.

공사기간 산정방법

공사기간의 산정은 발파방식의 확대기술을 기준으로 하였다. 굴착사이클은 기존기술이 하루에 2번 발파를 수행하고 1번 발파에 1m 씩 진행되는 것으로 가정하였다. 반면, 프로텍터를 사용하는 신기술은 굴착 전·후로 프로텍터를 움직이는 시간을 포함하여야 하며, 공사장의 폭과 범위가 좁아지기 때문에 하루에 1번 발파하는 것으로 전제하였다. 그리고 발파 전·후로 하루 1시간씩 발파에 의한 차량보호 및 터널환기를 위하여 차량을 통제하고, 이는 차량통행이 가장 적은 해뜨기 전 1시간을 기준(04:00~05:00)으로 이루어진다고 가정하였다. 즉, 신기술은 발파당 1m 진행으로 1일 1사이클 굴착이 진행되며, 굴착공사기간 동안 매일 하루 1시간씩 차량통제가 이루어지고, 이 시간에 프로텍터의 이동도 수행된다. 본 논문에서 터널 확대공사의 1 굴착사이클은 굴착, 버력처리, 강지보공, 슛크리트공 및 락볼트공의 수행프로세스를 의미한다.

그리고 굴착시간의 선정과 함께 프로텍터의 설치 및 해체에 따른 공사일수도 고려되어야 한다. 프로텍터의 제작은 미리 이루어진다고 가정하여 공사기간에 포함하지 않지만, 프로텍터를 이동하여 터널에 설치하는데 최소 2주(15일)의 시간이 필요하며, 공사이후 해체시에도 동일한 시간이 필요한 것으로 가정하였다. 그리고 프로텍터 설치 및 해체과정에서 프로텍터 구성요소들의 이

동 및 원활한 작업을 위해 야간 8시간동안 차량을 통제하고 이루어진다고 가정하였다. 따라서 이에 따른 차량 통제 시간은 총 30일간 야간 8시간(23:00~07:00)씩 이루어진다.

콘크리트 라이닝, 방수공, 포장공 등의 공중에 대한 공사시간을 산정하기 위하여 구체화된 터널의 총 연장 및 총 작업량을 단위 시간당 작업량으로 나누었다. 단위 시간당 작업량은 기존터널의 확대공사 작업사례를 참고하였다. 각 공중별 단위 시간당 작업량은 콘크리트 라이닝(10 m/4day), 방수공(10 m/day), 포장하부(500 m³/day), 포장상부(5,000 m³/day)로 적용하였으며, 기타 부대공은 전문가의 의견을 참고하여 개략적인 총 소요공기(기타 부대공 30일; 남산 3호 터널 2>3차로 확대 기준)를 반영하였다.

직접비 산정방법

터널단면 확대기술도 구간별 시공조건에 따른 패턴설계가 수행됨으로써 굴착과정 중 변동사항이 많이 발생되기 때문에 공사비의 정확한 금액을 예측하기가 매우 어렵다. 따라서 다음과 같은 몇 가지 사항에 대한 전제 사항을 결정하였다. 또한 각 기술별 특징을 고려한 공사시간을 구체화하여 공사시간의 차이를 직접비와 간접비의 산정에 반영하였다.

- 설계패턴은 표준타입인 3타입(철근라이닝+보조공법 미적용)으로 통일하여 구간(1회 굴진사이클)별 개략 공사비를 산정할 수 있도록 하였다.
- 제·경비에 해당하는 간접공사비용은 직접공사비용의 40%로 가정하여 직접공사비의 1.4 배를 총 공사비로 적용한다. 또한, 프로텍터 제작의 노무비를 포함한 기타경비도 프로텍터 제작비의 40%로 가정하였다.
- 각 기술의 적용에 따른 공사시간의 차이를 반영하기 위하여 재료비는 동일하나 노무비 및 기계경비의 경우 연장된 만큼 추가로 지불해야 하는 금액으로 처리하였다. “공사비-재료비=노무비+기계경비”로 계산하였다. 이때 재료비 산정에 필요한 강지보재, 슛크리트, 락볼트 등에 대한 비용은 한국물가정보를 참고하여 산출하고, 이를 총 굴착기간 동안 발생하는 공사비에서 제하여 계산하였다.

간접비(사회적 비용) 산정방법

본 연구에서의 간접비 구성항목은 우회로 인해 발생

하는 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용으로 구분하였으며, 차량운행비용 및 시간지연비용 산출은 한국교통연구원의 교통혼잡비용 산출방법(Cho et al., 2007)을 참조하였다. 환경오염비용은 교통혼잡비용 산출방법에서 다루고 있지 않기 때문에 한국개발연구원의 환경오염 비용편익에 대한 식(KDI, 2008)을 적용하여 분석하였다.

차량운행비용 및 시간지연비용 계산방법

한국교통연구원에서 제시하고 있는 교통혼잡비용모델은 크게 차량운행비용과 시간지연비용으로 구성된다(Cho et al., 2007). 교통혼잡이 발생하는 시간은 순간마다 다르게 나타나지만, 시간별 정량화하여 시간단위로 계산하는 것이 바람직하다. 따라서 조사된 교통량을 1일 시간대별 분포에 따라 혼잡비용을 계산한 뒤 이를 다시 하루단위 또는 1년 단위의 혼잡비용으로 계산해야 한다.

차량운행비용은 운행여부와 상관없이 고정적으로 지출되는 고정비와 운행의 여건에 따라 달라지는 변동비로 구성되지만 본 연구에서는 고정비와 함께 변동비의 연료소모비만을 다룬다. 또한, 시간지연비용은 차량의 운행속도가 느려지거나 우회로 인하여 지체된 시간만큼 운전자가 손해 볼 수 있는 시간을 가치화 한 것이다. Table 2는 한국교통연구원의 교통혼잡비용모델에 대한 내용으로서 각각 차량운행비용과 시간지연비용을 계산할 수 있는 식이다.

계산에 필요한 독립변수는 대상터널의 시간대별, 차종별 교통량정보, 연료비 및 우회도로의 평균주행속도 및 거리에 대한 데이터가 필요하다. 일반적으로 터널의 교통량 정보는 시간대별 운행대수로 기록되고 있기 때문에 차종별 교통량은 서울시의 통계연보 자료(Seoul Statistics, 2015)를 참고하여 2008년 등록된 차량의 비율(승용차 82%, 버스 5.7%, 화물차 12.3%)을 따라 산정하기로 하였다. 그리고 연료비를 산정하기 위한 휘발유와 경유의 단가는 2014년도 평균 주유소 판매가격(KNOC, 2015)을 적용하였으며(휘발유 1,827.3원/l, 경유 1,636.7원/l), 최근 서울시내버스는 천연가스를 연료로 하지만 편의상 모두 경유를 사용하는 것으로 가정하였다.

시간지연에 따른 교통혼잡비용 모델은 우회로 인해 변경된 통행시간을 기준으로 각 차종별 평균통행시간 가치비용의 편익을 분석하였으며, 서울시의 차종별 시간당 평균통행시간 가치를 참조(Seoul Development Institute, 2006)하였다(Table 3).

Table 2. Traffic congestion model (Cho et al., 2007).

		Model	
		$\sum_i \sum_j \sum_k \text{Traffic volume}_{i,j,k} \times [\text{Fuel expenses}_j \times \text{Distance}_j \times (\text{Fuel consumption}_{\text{driving speed}} - \text{Fuel consumption}_{\text{reference speed}}) + \text{Vehicle operation cost per hour}_i \times (\text{Driving time (altered)}_j - \text{Driving time (original)}_j)]$	
		i=vehicle class, j=route, k=time, V=speed(km/hr), time=hour	
Traffic congestion cost by driving vehicle	Fuel consumption model	Passenger car=0.02882+0.910/V+0.000003828×V ²	
		Mini bus=0.03336+1.153/V+0.000004312×V ²	
		Large bus=0.02476+3.492/V+0.00001277×V ²	
		Small truck=0.01695+1.292/V+0.00001647×V ²	
		Large truck=0.06639+4.158/V+0.00002525×V ²	
Traffic congestion cost by travel time delay	Vehicle operation cost per hour	Car	17,061 won/1*hr
		Bus	17,329 won/1*hr
		Truck	13,902 won/1*hr
		Labor cost + Depreciation Cost + Insurance cost + Tax & the public utilities charge	
		$\sum_i \sum_j \sum_k \text{Traffic volume}_{i,j,k} \times \text{Fuel expenses}_j \times \text{Distance}_j \times \text{Average value cost per hour (at each vehicle class)}_i \times (\text{Driving time (altered)}_j - \text{Driving time (original)}_j)]$	

Table 3. Average cost per hour (Seoul Development Institute, 2006).

	Car		Bus		Truck	
	Work	Non work	Work	Non work	Work	Non work
Auto occupancy (man)	0.22	1.09	1.46	11.49	1.00	0.00
Time value (won)	18,626	6,091	10,228 (1 man) 18,626 (0.466 man)	3,036	16,571	-
Time value (won/car*hr)	4,177	6,668	18,797	34,884	16,571	
Average time value (won/car)	10,844		53,681		16,571	

환경오염비용 계산방법

환경오염비용은 한국개발연구원에서 제시한 환경오염비용에 대한 산정방법을 적용하였으며, 소음 및 기타 환경오염에 대한 비용은 제외하고, 차량통행에 의해 발생하는 대기오염비용만을 적용하였다. 대기오염비용은 주행속도와 교통량을 이용하여 주행속도에 따른 대기오염 단위비용을 적용하여 산정한다. 교통의 흐름이 우회로나 터널 중 어느 쪽을 이용하든 통행량은 같지만, 차량의 통행속도, 거리에 따라 대기오염비용이 달라지므로 이를 고려하여 산정할 필요가 있다. 다음 식 (1)은 한국개발연구원에서 제시하고 있는 대기오염에 대한 환경오염비용 계산식이며, Table 4는 차종별·속도별 대기오염비용에 대한 내용이다 (KDI, 2008). 아래의 식과 표를 참조하여 우회로 및 터널의 차도에 부하된 차종별 교통량과 길이를 곱한 결과를 각 상황별 평균속도에 기초한 차종별 대기오염 단위비용과 곱한 값이 대기오염비용이 된다.

VOPC (The Valuation of Pollution Costs) =

$$\sum_i \sum_{k=1}^3 (D_{ik} \times VT_k \times 365) \tag{1}$$

D_{ik} = The Number of car/km (at each vehicle class and route)

VT_k = air pollution cost per km (at each vehicle class)

k = vehicle class (1: car, 2: bus, 3: truck)

남산3호터널 대상 사례연구

직·간접비용 구성항목과 비용산정에 대한 연구내용을 바탕으로 각 기술의 경제성을 비교·평가해보기 위하여 남산3호터널을 대상으로 사례연구를 수행하였다. 남산3호터널은 2차로 터널로서, 총연장은 약 1.28 km이며, 평균 통행량은 4,5000대/일의 터널이다. 사례연구는 현재 2차로인 남산3호터널을 3차로로 확대하는 경우로

Table 4. Air pollution cost per vehicle class and speed in 2007 (KDI, 2008).

Class	Speed (km/hr)	CO	NOx	HC	PM	CO ₂	Total (won/km)
Car	40	6.65	3.52	0.77	0.00	7.39	18.32
	50	5.11	2.94	0.55	0.00	6.52	15.11
	60	4.13	2.53	0.41	0.00	5.88	12.96
	70	3.44	2.24	0.32	0.00	5.39	11.39
	80	2.94	2.01	0.27	0.00	5.00	10.21
Bus	30	33.10	153.33	7.75	24.78	30.20	249.15
	40	28.58	136.50	6.38	21.68	27.23	220.38
	50	25.51	124.74	5.49	19.55	25.12	200.41
Truck	40	22.63	186.85	9.59	39.23	77.63	335.93
	50	19.18	171.72	8.77	35.72	71.17	306.57
	60	16.76	160.28	7.91	33.09	66.28	284.32
	70	14.95	151.20	7.25	31.01	62.42	266.84

Table 5. Generation of diversion route distance for the Namsan tunnel 3.

Road class	Additional diversion route length	
	Regular city	Urban road
	National highway	3.22 km
	Local road	6.77 km
	Average	3.75 km
Province	Country road	3.87 km
	National highway	6.03 km
	Local road	9.45 km
	Average	6.45 km

	Diversion route for the Namsan tunnel 3
	The standard for diversion route length estimation (MOLIT, 2006)

적용하였다.

간접비 산정에 영향을 주는 우회로의 연장은 남산3호 터널의 시·종점을 연결하는 인근의 동일 수준의 고속화 도로를 따라 지정하였으며, 거리를 측정한 결과 5.27 km가 산정되었다. 이는 MOLIT (2006)에서 제시하고 있는 추가 우회거리 산정기준을 참조하여 일반도시부의 평균 3.75 km를 기존거리 1.5 km(터널 길이가 아닌, 시·종점을 연결하는 거리)와 합산하여 도출된 5.25 km와 거의 일치한다. 따라서 우회거리는 5.25 km로 가정하였다(Table 5).

직접비(총 공사비) 산출

건설공사의 총 직접비는 자재비, 노무비 등 직접적으로 투입되는 직접공사비와 공동 가설비 및 제경비 등의 간접공사비로 구성된다. 각 기술별 직접비를 산출하기

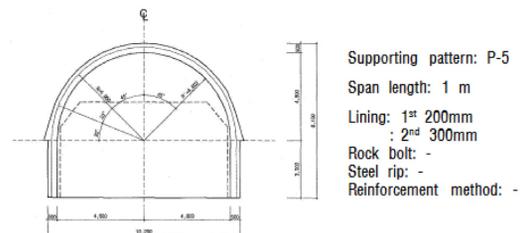


Fig. 3. Cross-section of the Namsan tunnel 3.

위한 구체적인 방법은 4.1절과 4.2절에서 제시한 산정방안을 참조하기 바란다. 기존기술과 신기술에 대한 직접비를 산정하기 위하여 가장 먼저 터널 1 m 굴진장당 소요되는 개략공사비를 산정하였다. 공종별 수량은 전문가의 자문을 통해 실제 설계도면을 검토하여 산출하였다(Fig. 3).

Table 6. Preliminary cost estimation per 1 m span length.

No.	Work	Unit cost (won/m)	
01	Excavation	1,260,458	- Tunnel section enlargement for two -> three lane - Blasting method - P-3 type design - Including material cost
02	Muck-hauling operations	161,425	
03	Steel supports	661,162	
04	Shotcrete	1,022,906	
05	Rock bolt	1,003,997	
06	Lining concrete	3,176,121	
07	Waterproofing	711,883	
08	Drainage	805,730	
09	Existing wall removal	195,739	
10	Subsidiary	1,349,913	
Total unit cost (won/m)		10,349,334	

Table 7. Construction period calculation.

Work	Unit	Existing method			New method		
		Quantity	Unit time	Duration	Quantity	Unit time	Duration
Tunnel length (m)		1,280			1,280		
Advance per 1 cycle		1 m			1 m		
The number of cycle per day		2 m/day			1 m/day		
Protector installation		-			15		
Protector dismantlement		-			15		
1 Cycle (excavation+muck-hauling+steel supports+rock bolt+shotcrete)	m	1,280	2 m/day	640	1,280	1 m/day	1,280
Lining concrete	m	1,280	10 m/4day	512	1,280	10 m/4day	512
Existing wall removal		-	-	30	-	-	-
Waterproofing	m	1,280	10 m/day	128	1,280	10 m/day	128
Drainage		Drainage work perform simultaneously with waterproofing work					
Paving (lower part)	m ³	32,000	500 m ³ /day	64	32,000	500 m ³ /day	64
Paving (upper part)	m ³	32,000	5000 m ³ /day	6	32,000	5000 m ³ /day	6
Subsidiary	m	-	-	30	-	-	30
Total (day)		1,410			2,050		

다음 Table 6은 남산3호터널의 2차로에서 3차로로 확대 시공하는 경우의 터널 1m 굴진장당 소요되는 개략 공사비를 산정한 산출 근거이다. 각 공종별 수량에 기존 사례의 일위대가를 적용하여 금액을 산정하였다. 분량상 세부 비목에 대한 산출내역은 내용은 생략하고 주요 공종별로 합산한 금액으로 제시한다. 산정결과 1m 굴진장당 총 10,349,334원의 직접공사비가 소요되는 것으로 나타났다. 이는 재료비, 노무비 및 기계경비가 포함된 단위 공사비이다.

산출된 개략공사비에 총 터널연장을 곱하여 기존기술

의 직접공사비를 쉽게 산정할 수 있으나, 신기술의 경우에는 공사기간 증가에 따른 추가비용과 프로텍터에 대한 비용이 가산되어야 한다. 따라서 공사기간 증가에 따른 추가비용을 산정하고, 향후 간접비의 산정에 활용하기 위하여 각 기술의 공사기간을 산정하였다(Table 7). 콘크리트 라이닝은 1번에 10m씩 작업하나 4일 정도 양생 후 후속작업을 진행하여 10m/4일로 단위 시간당 작업량을 적용하였다. 그리고 배수공은 방수공과 함께 병행되는 것으로 하여 별도의 공사기간을 산정하지 않았다. 신기술의 경우 1일 1사이클의 프로세스를 고려하였

Table 8. Calculated additional expense according to increased construction time.

Work	Direct cost (won/1,280 m)	Total quantity	Material unit cost (won)	Material cost (won)	Labor + equipment cost (won)
Existing wall removal	250,546,176	-	-	-	250,546,176
Excavation	1,613,386,010	-	-	-	1,613,386,010
Muck-hauling operations	206,623,878	-	-	-	206,623,878
Steel supports	846,286,933	1,067 set	470,000	501,333,333	344,953,600
Shotcrete	1,309,319,910	6,705 (20 kg)	135,000	905,212,800	404,107,110
Rock bolt	1,285,115,775	20,267 ea	29,500	597,866,667	687,249,108
Total	5,260,732,505			2,004,412,800	3,506,865,881
Additional expense			3,506,865,881		

고, 프로텍터 설치·해체기간 30일을 추가하였다. 총 공사기간은 기존기술은 1,410일, 신기술은 2,050일이 소요 되는 것으로 분석되었다. 공사기간은 직접비뿐만 아니라 간접비(사회적 비용)의 산정에도 영향을 미친다.

신기술은 기존기술보다 굴착사이클에 해당하는 공종의 수행기간이 2배 증가한 만큼 노무비 및 기계경비는 똑같이 2배로 투입되나, 재료비는 동일하다. 이는 본 연구에서 노무비 및 기계경비를 공사일수에 비례하여 산정되는 고정비로 가정하였기 때문이다. 따라서 1m 굴진장당 개략공사비에서 총 터널 연장을 곱한뒤 총 재료비를 빼서 노무비 및 기계경비에 해당하는 비용을 구하였다. 그리고 공사기간이 2배 증가한 만큼 노무비 및 기계경비를 두 배 하여 가산해 주었다. Table 8은 신기술의 공사기간 증가에 따른 추가 공사비용을 산정한 내용이다.

Table 8에서 기존 벽체제거, 굴착 및 버려처리공은 재료비가 투입되지 않고 노무비와 기계경비만 소요되므로 산정된 직접공사비가 노무비 및 기계경비의 합이 된다. 강지보공, 슛크리트공, 락볼트공은 재료비가 소요되므로 이를 직접공사비에서 차감하여 노무비 및 기계경비를 산정하였다. 산정결과 기존기술은 굴진사이클에 해당하는 공종의 직접공사비(5,260,732,505원)에서 재료비는 2,004,412,800원, 노무비 및 기계경비는 3,506,865,881원으로 분석되었다. 신기술은 기존기술보다 해당 공종의 공사기간이 두배가 소요되므로 노무비 및 기계경비는 기존기술의 노무비 및 기계경비가 한번더 더해져야 한다. 따라서 신기술의 직접공사비 산정에서 공사기간의 연장에 따라 가산해주어야 하는 비용은 3,506,865,881원으로 분석되었다.

마지막으로 신기술에 사용되는 강제 프로텍터에 대한

제작비용이 반영되어야 한다. 프로텍터의 제작비용은 재료비와 기타경비(노무비 포함)로 구분하였다. 먼저 프로텍터의 재료비를 산정하기 위해서 프로텍터의 적정규격을 결정해야 한다. 일반적으로 프로텍터의 길이는 기존 터널 폭의 2배 길이와 확대터널 폭을 2배한 길이를 더 하여 산정한다(MOLIT, 2012). 본 연구에서는 기존터널 폭 10m, 확대터널 폭 13m를 적용하여 46m로 결정하였으며, 폭 7m, 길이 46m 높이 4.5m의 프로텍터를 대상으로 Table 9와 같이 제작비용을 산정하였다. 각 부재의 단가는 KPI (2014)를 참고하여 산출한 결과이다.

Table 6, 7, 8, 9의 분석결과를 활용하여 기존기술과 신기술에 대한 총 직접공사비를 산출하였다 (Table 10). 기존기술은 Table 6의 1m 굴진장당 개략공사비를 터널의 총연장을 곱하여 직접공사비를 산정하고, 여기에 간접공사비를 직접공사비의 40%로 계산하여 총 공사비를 산정하였다. 신기술의 경우 기존기술의 총 공사비에 Table 9의 프로텍터 제작비용과 Table 8의 굴착공기의 증가로 인해 추가 발생하는 비용을 더해서 구할 수 있다.

산정 결과 기존기술은 약 185억원, 신기술은 약 247억원의 총 공사비가 산출되어 신기술이 약 62억원의 공사비가 더 소요되는 것으로 분석되었다. 이는 프로텍터에 대한 비용이 약 9억원이 추가되고, 공기가 연장됨에 따라 추가되는 노무/기계경비가 약 35억원, 직접공사비의 40%로 산정한 간접공사비가 약 18억원의 차이가 발생되었기 때문이다. 두 기술의 직접공사비가 차이가 발생하는 이유는 공기산정기준을 1일 굴진사이클 횟수를 기존기술: 2회, 신기술 1회로 정의하고 1회 굴진장을 1m로 가정한 점이 가장 크다. 따라서 신기술이 보다 직접공사비 측면에서 유리해지기 위해서는 발파와 함께 프

Table 9. Protector (7 m × 46 m × 4.5 m) production cost.

Material	Specification	Unit quantity	Unit cost	Total quantity		Material cost (won)
Vertical member 1	350*350*12/19	7.3 m	970,000	460ea*4.5 m	2,070m	275,054,795
Vertical member 2	350*350*12/19	7.3 m	970,000			
Horizontal member	350*350*12/19	7.3 m	970,000	230ea*3 m	690m	91,684,932
Connection member	350*350*12/19	7.3 m	970,000	690ea*0.5 m	35m	4,584,247
Lateral plate 1 (left)	3,048×6,096 mm t=25 mm	5 m ²	1,124,200	46 m*4.5 m	207 m ²	46,541,880
Lateral plate 1 (right)	3,048×6,096 mm t=25 mm	5 m ²	1,124,200	46 m*4.5 m	207 m ²	46,541,880
Lateral plate 2	3,048×6,096 mm t=25 mm	5 m ²	1,124,200	2ea*46 m*4.5 m	414 m ²	93,083,760
Upper plate	3,048×6,096 mm t=25 mm	5 m ²	1,124,200	7 m*46 m	322 m ²	72,398,480
Front/rear plate	3,048×6,096 mm t=25 mm	5 m ²	1,124,200	2ea*350 mm*7 m	4.9 m ²	1,101,716
H-beam finishing plane	3,048×6,096 mm t=19 mm	6.7 m ²	1,110,000	4ea*350 mm*4.5 m	6.3 m ²	1,043,731
Total Cost (won)						632,035,420

Table 10. Calculated direct cost of each technology.

	Existing technology		New technology	
	Unit cost (won)	Total cost (won)	Unit cost (won)	Total cost (won)
Tunnel length	1,280 m		1,280 m	
Advance per 1 cycle	2 m / day		1 m / day	
Construction period	1,410 day		2,050 day	
Protector cost	-	-	-	884,849,588
Existing wall removal	195,739	250,546,176	391,478	501,092,352
Excavation	1,260,458	1,613,386,010	2,520,916	3,226,772,019
Muck-hauling operations	161,425	206,623,878	322,850	413,247,755
Steel supports	661,162	846,286,933	930,657	1,191,240,533
Shotcrete	1,022,906	1,309,319,910	1,338,615	1,713,427,020
Rock bolt	1,003,997	1,285,115,775	1,540,910	1,972,364,883
Lining concrete	3,176,121	4,065,434,982	3,176,121	4,065,434,982
Waterproofing	711,883	911,209,636	711,883	911,209,636
Drainage	805,730	1,031,334,865	805,730	1,031,334,865
Subsidiary	1,349,913	1,727,888,725	1,349,913	1,727,888,725
Direct construction cost	10,349,334	13,247,146,888	10,349,334	17,638,862,357
Indirect construction cost		5,298,858,755		7,055,544,943
Total direct cost		18,546,005,644		24,694,407,300

로텍터의 재배치 시간을 단축하고, 프로텍터의 설치로 공사장의 폭과 범위가 좁아짐에 따라 공사가 더디지는 점을 개선하여 1일 굴진사이클 횟수를 늘려야 할 것이다.

간접비(사회적 손실비용) 산출

본 연구에서 간접비는 기존기술과 신기술이 적용되었을 때, 우회로의 사용 등 교통흐름조건의 변화에 따라 사회전체가 추가적으로 부담해야 하는 비용을 의미한다.

Table 11. Calculated indirect cost for existing technology.

	Existing technology			
	Car	Bus	Truck	
Tunnel length (km)	1.28			
Diversion route length (km)	5.25			
Percentage at each vehicle type in Seoul	82%	5.7%	12.3%	
Fuel expenses (won/liter)	1,827.3	1,636.7	1,636.7	
Reference speed (km/hr)	60			
Driving speed (km/hr)	43			
Vehicle operation cost per hour (won)	17,061	17,329	13,902	
Average time value (won/car)	10,844	53,681	16,571	
Traffic volume per day (ea)	44,996			
Fuel consumption of reference speed (l/km)	0.0577674	0.128932	0.22659	
Fuel consumption of driving speed (l/km)	0.0570607	0.1295810	0.2097749	
Driving time (original)	0.0291 hr			
Driving time (altered)	0.1221 hr			
Air pollution cost (won/ea*km)	34.38	296.34	449.63	
Traffic congestion cost (per day)	By driving vehicle	58,449,009	4,141,619	6,754,388
	By travel time delay	37,219,352	12,807,398	8,531,380
VOPC (pollution cost) (per day)	5,074,037	3,040,178	9,953,923	
Construction period (day)	1,410			
Total indirect cost (won)	42,046,780,566	28,184,764,692	35,587,964,603	
	205,819,509,861			

기존공법을 사용하는 경우에는 총 공사 기간에 걸쳐 교통이 전면적으로 완전 차단되는 경우이므로, 모든 차량이 우회한다고 가정하고 대상터널 분석에서 제시한 우회거리를 적용하여 간접비를 산출한다. 즉, 총 공사기간 동안 모든 차량이 우회하므로 교통흐름은 공사기간 전체 동안 동일하다고 보고 1일 차량지체비용, 1일 시간가치비용, 1일 환경피해비용을 총 공사기간으로 곱하여 산출한다.

반면, 프로텍터를 사용하는 신기술의 교통흐름은, 크게 3가지로 나누어진다. 첫 번째는 프로텍터를 설치·해체하는 총 30일에 해당하는 기간 동안, 공사구간은 야간 8시간동안 차량을 통제한다. 두 번째는 매일 1시간씩 심야시간에 차량을 통제하는 경우이다. 굴착 및 방수·배수공에 해당하는 공사기간동안 프로텍터 이동시간 및 발파에 따른 차량보호, 환기를 위하여 하루 1시간, 교통량이 가장 적은 해뜨기 전 시간에 차량을 통제하게 된다. 마지막은 공사기간 전체에 걸쳐 교통통제가 이루어지지 않는 기간을 고려하는 경우이다. 이는 총 공사기간동안 교통흐름은 계속 진행되지만, 교통흐름이 있

는 경우에도 사용자 비용, 즉 간접비는 발생하게 되므로 이때의 간접비도 산출해야한다. 따라서 프로텍터를 사용하는 경우 간접비는 야간 8시간 통제하는 경우의 8시간 동안의 차량지체비용, 시간가치비용, 환경피해비용을 산출하고 이를 각각 30일에 해당하는 기간으로 계산한 값과, 심야 1시간 통제 하는 경우의 간접비용을 총 통제 일수를 곱하여 계산한 값, 그리고 통제하지 않는 경우의 1일 간접비용을 총 공사기간으로 계산한 값의 총합을 말한다.

각 기술별 간접비를 산정하기 위해서는 교통흐름에 따른 각 적용기간, 평균통행속도 및 교통량이 결정되어야 한다. 따라서 서울시에서 제공한 남산 3호 터널 및 주변의 교통량 정보를 바탕으로 각 기술별 분석에 필요한 교통량을 적용하였다. 그리고 승용차, 버스, 화물차로 구분하여 간접비를 구체화 하였으며, 서울시에 등록된 차종별 비율을 적용하여 각 통행 대수를 산정하였다. 간접비 산정에 필요한 기준속도는 우회로 및 터널내 모두 60 km/hr로 가정하였으며, 평균속도는 시간대별 교통량 데이터를 참조하여 심야시간(23:00-07:00)내의 터널 내

Table 12. Calculated indirect cost for new technology.

	New technology			
	Car	Bus	Truck	
Tunnel length (km)	1.28			
Diversion route length (km)	5.25			
Percentage at each vehicle type in Seoul	82%	5.7%	12.3%	
Fuel expenses (won/liter)	1,827.3	1,636.7	1,636.7	
Reference speed (km/hr)	60			
Vehicle operation cost per hour	17,061 won	17,329 won	13,902 won	
Average time value (won/car)	10,844	53,681	16,571	
Fuel consumption of reference speed	0.0577674 (l/km)	0.128932 (l/km)	0.22659 (l/km)	
Driving time (original)	0.0291 hr			
1. 30 days (8 hrs/1 day) during protector installation/dismantlement				
Traffic volume at night (23:00-07:00)	7,166 (ea)			
Driving speed (km/hr)	53.9			
Fuel consumption of driving speed (l/km)	0.056824261	0.126646174	0.21688941	
Driving time (altered)	0.0974 hr			
Traffic congestion cost (per day)	By driving vehicle	7,416,791	521,245	872,333
	By travel time delay	4,728,805	1,627,210	1,083,932
VOPC (pollution cost) (per day)	808,084	484,175	1,585,248	
Construction period (day)	30			
Indirect cost (won)	388,610,402	78,978,860	106,245,368	
	573,834,630			
2. 1,280 days (1 hrs/1 day) during cycle work construction				
Traffic volume at night (04:00-05:00)	412 (ea)			
Driving speed (km/hr)	53.9			
Fuel consumption of driving speed	0.056824261 (l/km)	0.126646174 (l/km)	0.21688941 (l/km)	
Driving time (altered)	0.0974 hr			
Traffic congestion cost (per day)	By driving vehicle	422,227	29,625	48,696
	By travel time delay	269,838	92,853	61,852
VOPC (pollution cost) (per day)	46,111	27,628	201,006	
Construction period (day)	1,280			
Indirect cost (won)	944,865,148	192,136,027	257,287,216	
	1,394,288,391			
3. 2,050 days except case 1&2				
Traffic volume per day (ea)	44,996			
Driving speed (km/hr)	43			
Fuel consumption of driving speed	0.057060763 (l/km)	0.129581032 (l/km)	0.209774924 (l/km)	
Driving time (altered)	0.0298 hr			
Traffic congestion cost (per day)	By driving vehicle	23,662,761	1,323,012	2,290,329
	By travel time delay	11,910,193	4,098,367	2,730,042
VOPC (pollution cost) (per day)	258,587	154,936	507,279	
Construction period (day)	2,050			
Indirect cost (won)	73,454,658,828	11,431,445,978	11,331,681,587	
	96,217,786,393			
Total indirect cost (won)	98,185,909,414			

및 우회도로의 평균속도는 53.9 km/hr, 그 이외 시간은 모두 43 km/hr를 적용하였다(Seoul Expressway Traffic Control Center, 2013).

4.3절에서 정의한 간접비 산정방안 및 데이터를 바탕으로 먼저 기존기술에 대한 간접비를 분석해 보았다(Table 11).

기존기술의 1,410일 공사기간동안 발생하는 간접비용은 약 2050억으로 계산되었다. 터널내 교통통제로 우회로의 사용으로 인해 발생하는 시간은 평균 5.5분이 소요되었다. 교통혼잡비용은 차량운행비용이 약 980억원, 시간지연비용이 826억원이 발생하였다. 그리고 환경오염비용은 255억원이 발생하였다. 차종별 발생하는 간접비는 대략 승용차 140억, 버스 280억, 화물차 355억이었다. 승용차가 전체 차량의 82%를 차지함에도 가장 적은 비용이 발생하는 것은 대부분 영업용인 버스 및 화물차에 비하여 시간당 차량운행비용과 운행에 따른 평균 시간가치가 낮기 때문으로 분석된다.

신기술에 대한 간접비는 교통흐름이 크게 3가지로 구분되므로 이를 기준하여 분석하였다. 프로텍터 설치 및 해체기간의 총 30일간 야간에 8시간 통제하는 경우와 1회 굴진 사이클의 수행마다 야간 04:00~05:00의 1시간 동안 통제하는 경우, 그리고 나머지 차량통제가 없는 경우로 나누었다. 따라서 각 교통흐름에 따른 교통량과 차량속도 등을 적용하여 간접비를 산정하였으며, Table 12와 같다.

신기술의 간접비용을 계산한 결과 2,050일의 공사기간동안 약 980억원으로 분석되었다. 기존기술의 약 2050억원에 비해 대략 1,100억원의 비용이 적게 발생하였다. 이는 신기술이 터널내 교통흐름을 보존하고 우회로의 사용을 최소화함으로써 기존기술이 우회로의 통과 소요시간이 0.1221시간이 걸리는데 반해 0.0298시간으로 약 4배의 시간이 절약되기 때문이다. 따라서 운행거리와 주행시간에 영향을 받는 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용으로 구성되는 간접비에서 큰 차이가 발생하는 것을 확인 하였다. 특히 본 연구의 간접비 분석에 활용된 주행시간은 기존의 연평균 데이터를 활용하였는데 실제로는 기존기술과 같이 교통흐름을 차단할 경우 모든 차량이 우회로로 집중되어 보다 시간이 불리하게 작용되어 간접비의 차이가 크게 나타날 것으로 예상된다.

산정된 간접비를 5.1절에서 분석한 직접비와 합산한 결과를 살펴보면, 기존기술은 총 224,365,515,505원, 신기술은 총 122,880,316,714원이 소요되어 신기술이 약

1,000억원 가량 경제성측면에서 유리하다. 이는 기존기술이 직접적인 공사비 측면에서는 유리하나 간접비 즉, 사회적비용으로의 손실이 매우 크다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 사회적비용을 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용으로 구성하였는데, 이는 간접적으로 손실되는 비용으로서 시민들이 우회로를 사용하게 됨으로서 발생하는 비용이며, 분명 사회적, 나아가 국가적으로 손실이 발생이 되는 부분이다. 따라서 터널의 단면 확대기술과 같이 사회·국가적으로 손실이 발생될 수 있는 건설기술의 설계시 간접비를 고려하거나 사회경제적 측면을 고려한 복합적 가치평가가 이루어질 필요가 있다.

결론

교통류 보존형 터널확대 시공기술의 직접비와 간접비를 모두 고려하여 경제적 타당성을 분석하기 위한 방법을 제시하였다. 그리고 남산3호터널을 대상으로 기존기술과 프로텍터를 활용하여 교통의 흐름을 보존하여 시공하는 기술을 대상으로 결과를 분석해 보았다. 직접비는 기존의 교통흐름을 차단한 채 시공하는 기존기술의 경우 1m 굴진장당 소요되는 개략공사비를 산출하여 결정하였다. 신기술의 경우 공기의 지연으로 인하여 발생하는 노무비 및 기계경비를 반영하고, 프로텍터의 설치로 증가되는 비용을 가산하였다. 간접비는 크게 차량을 승용차, 버스, 트럭으로 구분하고, 우회로의 사용을 통해 추가적으로 발생하는 차량운행비용, 시간지연비용 및 환경오염비용을 제시된 방법에 따라 산정하였다.

직접비 측면에서는 기존기술이 신기술에 비해서 공기가 단축되어 노무비 및 기계경비가 절감되고, 프로텍터의 설치 및 운용이 필요 없기 때문에 매우 유리하였다. 그러나 간접비 즉, 사회적으로 손실이 발생하는 비용적 측면을 살펴보면 기존기술은 공사기간이 거의 두배가 단축됨에도 불구하고 우회로의 설정으로 매우 경제성에서 불리한 것으로 나타났으며, 직접비와 간접비를 모두 합산하여 분석한 결과에서도 신기술이 보다 유리한 것으로 분석되었다.

사회적 손실비용은 시공사나 발주자에게 체감이 되지 않기 때문에 대부분 설계과정에서 간과되는 부분이 많다. 그러나 근래와 같이 대규모 도시가 발달하고 인구가 밀집된 환경에서 발생하는 간접비는 지역사회, 나아가 국가적으로 막대한 경제적 손실을 유발하므로 보다 관심을 가지고 평가에 반영할 필요가 있다. 본 논문은 차

량운행비용, 시간지연비용, 환경적 비용을 간접비로 고려하였으나 앞으로 공사종류 및 환경별로 평가항목을 체계적으로 구성하는 연구가 수행될 필요가 있다. 또한 보다 신뢰적으로 간접비를 산정할 수 있는 빅데이터 및 방법론이 끊임없이 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다.

References

- Adeli, H., 2003, An intelligent decision support system for work zone traffic management and planning, Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.1143&rep=rep1&type=pdf>.
- Cho, H. S., Park, I. K., Lee, D. M., and Park, J. S., 2007, Improvement of the estimation method for traffic congestion costs, The Korea Transport Institute, ISBN 978-89-5503-259-8.
- Ehlen, M. A. and Marshall, H. E., 1996, The economic of new technology materials: A case study of FRP bridge decking, Building and Fire Research Labatory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
- Korea Development Institute (KDI), 2008, The research of evaluating and revising standard guideline for preliminary feasibility study of road and railway business sector (V), 2008 Research Report for Preliminary Feasibility Study.
- Korea National Oil Corporation (KNOC), 2015, Retrieved from <http://www.opinet.co.kr/user/dopospdrg/dopOsP-drgSelect.do>.
- Corp, 2014, Prices information, Retrieved from http://www.kpi.or.kr/www/price/category.asp?CATE_CD=1010.
- Krammes, R. A., Ullman, G. L., Memmott, J. L., and Dudek, C. L., 1993, User's manual for QUEWZ-92, Texas department of transportation, FHWA/TX-92, 1108(7).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2006, The development of LCC estimation model and system for underground road structures (tunnel and underground motorway), MOLIT R&D Report, GOVP1200715359.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2012, The development of tunnel section enlargement technology keeping traffic flow (MOLIT R&D Report, III), MOLIT R&D Report.
- Seoul Development Institute, 2006, Seoul Traffic Index in 2005, Seoul Magazine.
- Seoul Expressway Traffic Control Center, 2013, Traffic statistics by region, Retrieved from <http://www.smartway.seoul.kr/>.
- Seoul Statistics, 2015, Vehicle registration status 2008, Retrieved from http://stat.seoul.go.kr/jsp3/stat.db.jsp?cot=017&sr_l_dtl=10383.

이승수

한양대학교 건설환경공학과
04763, 서울특별시 성동구 왕십리로 222
Tel: 02-2220-4481
E-mail: rokhonor99@hanmail.net

김동규

한국건설기술연구원
10223, 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
Tel: 031-910-0238
E-mail: dgkim2004@kict.re.kr

서종원

한양대학교 건설환경공학과
04763, 서울특별시 성동구 왕십리로 222
Tel: 02-2220-1482
E-mail: jseo@hanyang.ac.kr