

## 도로터널 공동구의 기계화 시공에 관한 연구

문경식\* · 김성근\*\*

Moon, Kyoung-Sic\*, Kim, Sung-Keun\*\*

### A Study on the Mechanized Construction for Common Ducts in a Road Tunnel

#### ABSTRACT

In recent years, common ducts have been installed and operated in the sidewalls of tunnels to prepare for emergencies in tunnel construction and maintenance. The installation of common ducts is done mainly by humans. Problems with cost increases are inherent in tunnel construction by humans due to the safety risks and the economic inefficiency of humans performing construction activities. Among the problems that arise are poor illumination due to the use of temporarily installed electricity, the risk of accidents due to the confined workspaces, and workers avoiding work tasks because of the poor environment in tunnel. Ideas for solving these problems were developed using a value engineering (VE) process, and mechanized construction was identified as a promising solution. To verify the effectiveness of mechanized construction of a common duct in tunnels, experimental construction work was carried out, and mechanized construction was proven to directly improve the constructability and economic efficiency of common duct construction. In addition, reducing human involvement in common duct construction in tunnels is expected to improve safety, and because of the continuous concrete placement technique used, the finish and appearance of the ductwork are improved.

**Key words :** Mechanized construction, Common duct, Value engineering, Constructability

#### 초 록

최근 건설분야에 터널공사중 터널내 방재 및 유지관리를 위해 터널측벽부에 공동구를 설치하여 운영하고 있으며, 공동구의 설치는 주로 인력시공에 의하여 이루어지고 있다. 터널공사의 작업환경은 가설 전기의 사용에 따른 조도불량, 작업공간의 협소에 따른 안전사고 위험, 터널내 환경 불량에 따른 작업자의 작업기피 현상을 발생시키고 있다. 이러한 환경에서의 인력작업은 안전성 저해 및 경제성 악화에 따른 원가상승 등의 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 VE절차에 의하여 아이디어를 도출하였고, 기계화 시공이 문제점 해결을 위한 좋은 방안으로 제시되었다. 터널공동구의 기계화 시공의 효과를 검증하기 위하여 시험시공을 실시하였고, 시공성과 경제성 측면에서 직접적인 개선효과가 있는 것으로 검증되었다. 아울러 인력에 의한 시공을 감소시킴으로써 안전성의 증가가 기대되며, 연속적인 콘크리트 타설로 인하여 마감성 및 미관이 개선되는 것으로 나타났다.

**검색어 :** 기계화 시공, 터널 공동구, 가차공학, 시공성

\* 일성건설(주) 공사팀장, 공학석사 (Ilsung Construction Co. · survey1@lycos.co.kr)

\*\* 정희원 · 교신저자 · 서울과학기술대학교 건설공학부 부교수, 공학박사

(Corresponding Author · Seoul National University of Science & Technology · cem@seoultech.ac.kr)

Received September 22, 2014/ revised October 9, 2014/ accepted October 13, 2014

# 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

도로터널의 경우 터널 내 양쪽 측면부에 방재시설 설치, 배수처리, 유지관리 및 점검자의 통행을 위한 공동구를 설치하게 된다. 일반적으로 공동구 시공은 평균 4회 정도의 분리시공이 발생되며, 분리시공은 주로 인력시공에 의하여 공사가 진행되고 있다. 특히 장대터널(1,000m 이상의 경우에는 공동구의 인력시공은 어려운 공사의 범주에 포함된다.

터널의 작업환경은 작업공간의 협소함, 누수에 의한 작업환경 불량, 임시전기 시설의 사용으로 인한 조도불량, 환기불량 등과 같은 문제 등이 발생하고 있다. 특히 곡선터널의 경우에는 인력작업 시 터널막장내 조도불량에 따른 측량의 어려움이 발생되고, 콘크리트 타설장비 운영의 부적절함에 따른 품질저하 발생 및 분리타설에 따른 단계별 시공오차가 누적된다. 이러한 요인으로 인하여 선형불량 및 단차가 발생하여 공사의 품질을 저하시키는 것으로 조사되었다. 또한 작업자들은 항상 안전사고에 노출되어 있으며, 인력작업시 콘크리트 슬럼프의 변이에 따라서 작업능률이 많은 변화가 생기고 있고, 거푸집 작업시 터널의 여굴에 의하여 일반 거푸집 제작시보다 많은 공기가 소요되는 문제가 발생하고 있다.

본 연구에서는 터널공동구 시공시 열악한 작업환경 내에서의 인력작업을 줄이고 품질 및 공기를 확보하기 위한 기계화 시공의 타당성을 검증해 보고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

기계화 시공대상은 터널내 공동구 설치를 위한 콘크리트공을 대상으로 하며, 작업가능한 기계화 시공범위를 결정하고 시공범위에 따른 시공성 분석 및 경제적 분석을 실시하고자 한다.

연구의 방법은 다음과 같다.

- (1) 현장조사 및 시공경험자와의 인터뷰를 통해 터널 공동구 벽체시공의 프로세스 및 작업상 문제점을 분석한다.
- (2) 터널 공동구와 유사한 기계시공 사례를 조사하여 사전 문제점을 도출하고 개선방안을 마련한다.
- (3) 터널 공동구 콘크리트 타설 작업에 대한 시공 VE를 실시하여 인력타설 방법과 자동화 장비를 이용한 타설의 가치를 비교한다.
- (4) 대상 현장을 설정하고 시험시공을 통하여 기계화 시공에 따른 공기단축 및 공사비 절감의 가능여부를 분석한다.
- (5) 시험시공을 통하여 기계화 시공시 주의점을 파악한다.

## 2. 관련 기술동향

현재 국내의 터널은 장대화 및 지하화가 추세이며, 터널 관련 시공기술은 굴착단계에 집중되어 있는 것이 현실이다. 굴착공정이 터널의 주요공정이기 때문에 안정화를 도모하면서 효과적으로 굴

착할 수 있는 기술개발은 앞으로도 계속 증가할 것으로 판단된다.

터널의 굴착공법은 재래식 굴착공법인 발파공법(Drill & Blasting)과 기계화 시공법(Tunnel Boring Machine: TBM)으로 일반화 되어졌다. 재래식 굴착공법인 발파공법 중 대표적인 공법이 NATM(New Austrian Tunneling Method)이며, NATM 공법에 의한 굴착시 기계화 시공은 천공, 장약장전 및 발파, 버력처리, 보강 슛크리트 타설, 락볼트 설치, 콘크리트 라이닝 타설 등으로 이루어진다. TBM에 의한 굴착시에는 TBM 헤드커터에 의한 굴착, 버력처리, 콘크리트 라이닝 시공 등이 자동화된 형태로 운영되고 있다.

터널 기계화 시공과 관련된 대표적인 기술사례를 살펴보면 각종 천공을 위한 점보드릴(Karliński et al., 2008), 습식 슛크리트 타설을 위한 슛크리트 로봇(Chenga et al., 2001), 화약장전을 위한 차징카, 원지반 굴착, 배토 및 세그먼트 타설을 위한 TBM(Chae, 2000; Ji et al., 2011), 터널 안전화를 위한 세그먼트 조립용 기계(Tanaka, 1995) 등 다양한 터널관련 장비가 사용되고 있다. 그리고 콘크리트 자동화 타설장비로는 국내현장에서는 GOMACO사의 GOMACO 4400 모델과 WIRTGEN Group (2013)사의 SP-500 모델이 주로 사용되고 있는 것으로 조사되었다.

최근에는 터널공사에 다양한 종류의 건설기계가 투입되어 시공이 진행되고 있다. 하지만 여전히 상당 부분의 공정은 인력에 의하여 수행되고 있는 것으로 나타났다.

## 3. 터널공동구 인력타설 분석

### 3.1 터널 공동구 인력타설 프로세스

터널공동구 인력타설은 공동구 1차 부위에 거푸집 조립을 실시한 이후에 콘크리트 타설을 실시한다. 공동구 2차 및 3차 부위에



Fig. 1. Concrete Placement for Common Ducts by Human

대하여 순차적으로 1차와 동일한 과정의 작업을 반복하며, C.T.C (Center to Center) 27m 마다 신축이음의 설치로 격간 시공이 이루어진다(Fig. 1).

### 3.2 인력시공의 문제점 분석

현장방문을 통하여 터널공동구 작업을 조사한 결과에 따르면 다음과 같은 문제점이 발생하고 있는 것으로 나타났다.

#### 3.2.1 안전성 측면

공동구 인력타설 시점에서 터널내 환기조건은 발파 작업시 강제 환기를 위하여 운영되던 제트팬이 철거됨으로 인하여 작업차량에서 배출되는 매연이 효과적으로 배출되지 않아서 작업자들의 건강에 악영향이 미치는 것으로 나타났다.

터널내 조도는 안전규정상 30~70 lux을 만족하면 되지만, 안전하고 효과적으로 작업을 하기 위한 조도로는 밝기가 부족하여 실제 작업시에는 작업을 위한 별도의 조명시설을 설치하여 운영하고 있다. 또한 터널내의 지하수 유출로 인하여 작업장은 항상 습기에 노출되어 있고 이로 인하여 작업자들은 전기에 의한 감전사고의 위험에 노출되어 있다.

또한 편도 2차로의 터널의 경우에는 공동구 작업을 위한 건설자재의 야적으로 인하여 작업공간이 협소하고, 터널내 다른 작업을 위한 차량운행시 운행공간이 협소하여 공동구 작업자들은 항상 교통사고의 위험에 노출되어 있는 상태이다. 특히 작업장의 조도가 불량한 경우에는 더욱 위험도가 높아지는 것으로 조사되었다.

#### 3.2.2 품질 측면

터널내 공동구 인력타설은 1~4차 분리시공의 단계를 거치게 되며, 단계별로 27m마다 신축이음에 의한 격간시공 프로세스로 진행된다. 이러한 분리시공의 상황에서 터널내 조도불량의 영향으로 인하여 측량 오차의 발생빈도가 높아지며 단계별 단차가 발생할 수 있는 것으로 조사되었다. 실제 현장 검측결과에 따르면 신축이음 위치의 시공오차가 종종 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 열악한 작업환경에서 콘크리트 타설시 작업자들이 다짐작업을 소홀히 하고 일찍 작업을 종료하려는 경향이 있어서 재료분리가 자주 발생하는 것으로 나타났다.

#### 3.2.3 생산성 측면

현장 작업분석 결과, 터널내 공동구 작업은 작업장의 악조건(예: 작업장내 조도불량, 환기불량, 작업공간 협소, 타작업 차량에 의한 안전사고 위험 노출)은 작업생산성을 높이기 위해 매우 제한적이다. 또한 최근 국내현장에서는 외국근로자에 의한 작업이 많아지고 있으며, 외국인 근로자의 경험부족과 의사소통의 어려움으로 인하여 생산성 저하가 추가적으로 발생하고 있는 것으로 조사되었다.

## 4. 터널공동구 시공방법 개선방안 도출

### 4.1 대상 프로젝트 선정 및 시공 프로세스

대상 노선은 고속국도 제45호선 여주-양평간 건설공사이며, 터널 공동구의 연장은 1,347m(일방향)이며, 공동구의 총연장은 2,694m(양방향)에 이르게 된다. 원안설계에서 공동구의 콘크리트 타설은 인력타설로 설계되어 있었으며, 공동구 시공시에 1~4차에 걸쳐 단계별 시공을 하도록 계획되어 있었다. 공동구의 콘크리트 인력타설 구간에 대한 단계별 시공순서는 Fig. 2와 같다.

### 4.2 평가항목 설정

인력시공의 대체방안을 마련하기 위하여 발주자의 요구사항을 파악하여 다음 Table 1과 같이 평가항목을 설정하였다. 평가항목의

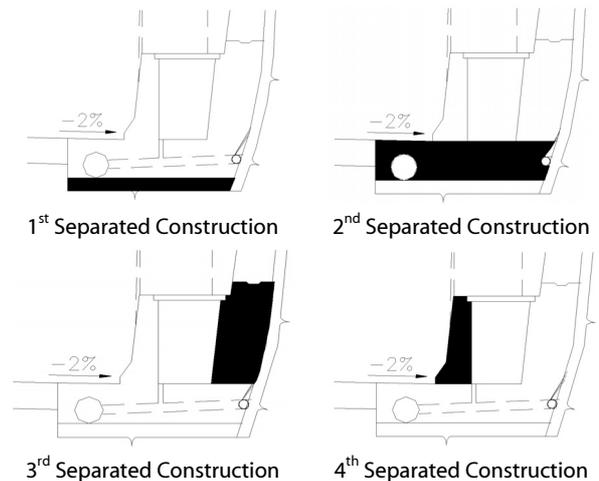


Fig. 2. Original Design Plan for Concrete Placement

Table 1. Evaluation Items

Items	Definition
A. Constructability	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ease of operating various types of construction equipment</li> <li>Ease of reducing construction duration</li> </ul>
B. Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ensuring worker safety through mechanized placement of common duct</li> </ul>
C. Economic efficiency	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimum cost of achieving identical functions</li> <li>Existence of construction method that achieves budget reduction</li> </ul>
D. Quality	<ul style="list-style-type: none"> <li>Achieving high durability cement concrete</li> <li>Achieving good finishability of concrete</li> </ul>
E. Environmental effect	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduction of dust and noise during construction</li> <li>Minimization of environmental damage due to generation of wastes</li> </ul>

Table 2. Weight Value of Evaluation Items

Items	A	B	C	D	E	Sum	Weight
A	-	1	1	2	2	8	28.6
B	1	-	1	1	1	6	21.4
C	1	1	-	2	2	8	28.6
D	0	1	0	-	2	5	17.8
E	0	1	0	0	-	1	3.6

Note - Low:1, Midium:2, High:3

내용이 상호 중첩되면 특정 항목의 가중치가 높게 산정이 되므로 항목은 상호간 독립적이어야 한다. 평가항목간 가중치 결정은 3점 척도(Low:1, Midium:2, High:3)의 매트릭스 기법을 적용하였으며, 10명의 전문가들을 대상으로 하는 설문조사를 통하여 가중치를 산정하였다(Table 2)

### 4.3 기능분석

터널 공동구 시공시 필요한 핵심적인 기능을 명확히 정의하기 위하여 다음 Table 3과 같이 기능을 정의하고 분류하였다. 그리고

Table 3. Function Analysis

Items	Function Definition		Functional Classification		
	Noun	Verb	Principal function	Basic function	2 <sup>nd</sup> function
Constructability	Construction	is smoothly done	◎		
	Construction stages	are reduced		○	
Safety	Worker safety	is ensured		○	
	Human involvement	is reduced			○
Economic efficiency	Unnecessary materials	are reduced			○
	Labor costs	is reduced		○	
	Daily construction amount	is increased			○
Quality	Durability	is ensured		○	
	Excellent engineers	are retained			○
	Placement of concrete	is tightly controlled			○
	Alignment	is enhanced			○
Environmental effects	Generation of wastes	is reduced			○
	Appearance	is enhanced		○	

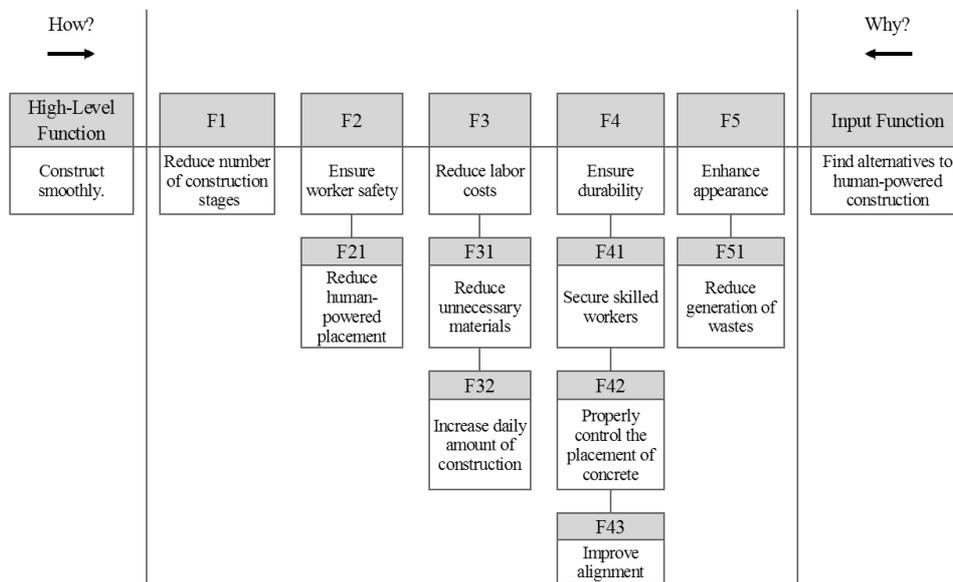


Fig. 3. Fast Diagram for Function Relationship

Fig. 3과 같이 요구되는 기능을 정확히 확인하고 기능레벨을 결정하였고 제약조건을 파악하기 위하여 FAST (Function Analysis System Technique) Diagram을 구성하였다.

#### 4.4 아이디어 발상 및 평가

브레인스토밍기법에 의한 아이디어 발상으로 “공동구 콘크리트 타설의 시공방법을 개선한다”로 하였으며, 평가항목으로는 경제성, 기술성, 실현 가능성을 선정하였다. 브레인스토밍을 통하여 도출된 아이디어는 아무런 비판 없이 정리된 것이기 때문에 양이나 질적인 면에서 체계적이고 구체적인 대안으로 발전시키고 상세평가하기 위해서는 몇 가지의 안으로 집약시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 각 아이디어에서 유사한 것이나 관련이 있는 것을 몇 가지 그룹으로 묶어 구체화된 안으로 만들었으며, 공동구 콘크리트 타설의 시공방법의 변경만으로 시공단계를 축소한다(F1), 작업자 안전을 확보한다(F2), 인건비를 줄인다(F3), 내구성을 확보한다(F4), 미관을 좋게 한다(F5) 등의 대상기능을 기준으로 경제성, 기술성, 실현가능성의 평가항목에 대하여 모두 만족할 수 있는 안으로 공동구 기계화 시공이 제안되었다. 터널공동구 시공시 인력시공과 기계시공의 장단점을 비교하면 다음 Table 4와 같다.

### 5. 터널공동구 기계화 시공방안

#### 5.1 기계화 시험시공 개요

시험시공 위치로는 고속국도 제45호선 여주~양평간 건설공사 강상 1터널의 공동구 부위에서 실시하였으며, 시험시공시 사용된 기계화 시공장비로는 GOMACO 4400 모델을 사용하였다.

우선적으로 터널 공동구의 기계화 시험시공 대상은 공동구의 각 부위(Fig. 4) 중에서 1차 및 2차 분리시공 부위는 단순한 슬래브 형태이고 높이도 낮고 4차 분리시공 부위는 차량방호벽 형태로 시공사례가 많아서 시공 및 품질관리에 문제가 없을 것으로 판단하였다. 설계사항을 만족시키기 가장 어려운 3차 분리시공 부위를 시험시공 대상으로 결정하고 연장 60m에 대하여 시공을 실시하고 분석을 진행하였다.

기계화 시공을 위하여 형상에 맞는 Mold를 제작하였으며, 공동구의 평면 및 레벨측량 실시에 따른 유도선 설치, 기계화 시공장비에 의한 콘크리트 타설, 콘크리트의 양생 및 신수축 줄눈 설치, 유도선의 해체 및 장비철수 단계로 진행되었다.

Table 4. Comparison between Human-Powered Construction and Mechanized Construction

Category	Human-powered construction	Mechanized construction
Advantages	- Advantageous when constructing over short lengths	- Excellent constructability - Safety and good quality control - Low construction cost - Possible to shorten construction period
Disadvantages	- Poor constructability - Difficult safety management - Difficult to retain excellent engineers - Poor alignment and appearance - High construction cost	- Disadvantageous when constructing over short lengths - Necessary to fabricate mold forming

Section detailed drawing	Description
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1st &amp; 2nd separated construction: Height 0.613m</li> <li>· 3rd separated construction: Height 1.15m</li> <li>· 4th separated construction: Height 1.0m</li> </ul>

Fig. 4. Mechanized Construction Plan

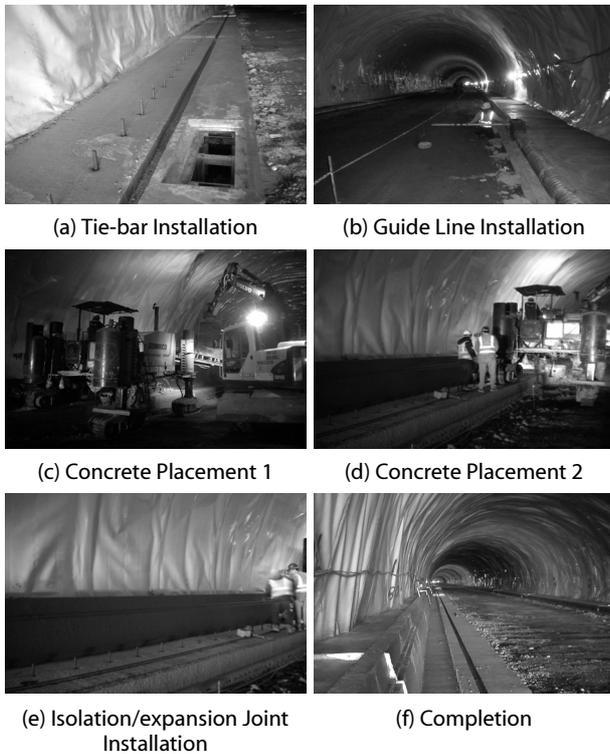


Fig. 5. Experimental Construction Process for 3rd Separated Construction

## 5.2 기계화 시험시공 실시

Fig. 5는 시험시공의 전경을 나타낸 것이다. 공동구 3차 벽체의 고정을 위한 Tie-Bar의 설치를 완료한 이후에 기계화 시공을 위한 평면 및 레벨 측량을 실시하고 그 결과에 따라서 유도선을 설치하였다. 다음으로 기계를 이용하여 시험시공 부위에 콘크리트를 타설한다. 콘크리트 타설 중에는 27m 마다 신축이음을 설치하고 콘크리트 타설이 완료된 이후에 9m마다 수축줄눈을 설치하였다. 기계타설 완료 후에는 기계시공을 위해 설치한 유도선의 해체 및 장비의 철수가 이루어졌으며, 기계타설의 정밀도를 위한 측량을 실시하였다.

공동구 3차 부위에 대한 기계시공 중 및 시공 종료 후의 결과를 분석하였다. 전반적으로 시공된 콘크리트의 품질은 양호한 것으로 나타났으며 기계타설 장비의 운영은 적절한 것으로 판단된다. 단면형상은 높이에 비해 폭이 다소 좁아 형상 유지가 어려울 것으로 예상되었으나 시험시공 결과는 매우 양호한 것으로 나타났다. 기계타설 완료 후 측량을 실시한 결과 평면선형에서 1~2cm의 오차가 발생하였으나 레벨에서는 오차가 발생하지 않았다. 또한 균열은 발생하지 않았으며, 터널의 조도 유지를 위한 가설전기의 공급선은 설치위치에 따라서 Mold에서 일부 간섭이 발생하였다. 그리고 터널 굴진시 미굴부의 정리 미흡으로 인하여 선시공된 방수시트의 손상이 일부 발생하였다.

Table 5에서는 시험시공 결과와 파악된 문제점을 언급하였으며, 아울러 문제점의 발생사유와 개선방안을 제시하고 있다.

Table 5. Results of the Experimental Construction

Category	Results	Reasons	Improvement methods
Section	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Good maintenance of sectional shapes in general</li> <li>· Partial occurrence of deflection of section of over-break part</li> <li>· Partial occurrence of section shortage zone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Wide sectional width of common duct</li> <li>· Excessive slump</li> <li>· Unhandled under-break part when excavating tunnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Proper slump management</li> <li>· Handle over-break part before placing</li> <li>· Examine and confirming under-break part through convergence measurement</li> </ul>
Plane Condition	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Good plane finish condition</li> </ul>	-	-
Waterproof Sheet Condition	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Damage to waterproof sheet in partial section</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mold interference due to section shortage of common duct caused by untreated under-break part when excavating the tunnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Examine and confirm under-break part by conducting convergence measurement before placing</li> </ul>
Alignment of Common Duct	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Error of 1-2 cm in alignment as a result of measurement</li> <li>· No errors occurred in leveling</li> </ul>	-	-
Occurrence of Cracks	<ul style="list-style-type: none"> <li>· No cracks occurred</li> </ul>	-	-
Constructability	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Possible to construct at 37.5 m/hr</li> <li>· Possible to construct 300 m (= 37.5 m × 8 hr) per day</li> </ul>	-	-
Interference of Temporary Electricity	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Interference occurred in partial section</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· The wires of temporarily installed electricity in the tunnel are located under the placement height of the common duct</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Leave space below the placement height of the common duct after measuring the level of temporarily installed electricity and prior to placement</li> </ul>

Table 6. Constructability of Human-Powered Construction

Process	Operation	Duration
Common duct: 3rd separated construction	Formwork for side walls	2days * 25Spans = 50days
	Concrete placing (Human) & Curing	1day * 25Spans = 25days
	Formwork removal	1day * 25Spans = 25days
Total		100 days

Table 7. Constructability of Mechanized Construction

Process	Operation	Duration
Common duct: 3rd separated construction	Guide line installation	1,347m÷(300m/day)= 5days
	Concrete placing (Machine)	1,347m÷(300m/day)= 5days
	Saw cutting, Guide line removal	1,347m÷(300m/day)= 5days
Total		15 days

### 5.3 시공성 분석

인력시공을 위한 총 작업구간은 1,347m(편도)로 거푸집 자재 유용을 고려하면 자재당 54m 시공이 가능함으로 인력시공 구간은 1,347m/54m = 25Span로 산정할 수 있으며, 인력시공 공종별 작업능률은 벽체 거푸집 조립:(2일/Span), 벽체 콘크리트 타설 및 양생:(1일/Span), 벽체 거푸집 해체:(1일/Span)로 나타났다. 이를 정리하면 Table 6과 같다.

기계화 시공을 위한 총 작업구간은 1,347m(편도)로 기계시공 장비의 운영속도를 고려하면 1일 300m 시공이 가능하다. 기계시공에 따른 소요공기 산정시에는 유도선 설치 및 줄눈 커팅 그리고, 유도선 해체에 대한 작업내용의 소요일수를 감안하였다. 기계시공 공종별 작업능률은 유도선 설치:(300m/일), 벽체 기계타설:(300m/일), 줄눈 커팅 및 유도선 해체:(300m/일)이 된다. 이를 정리하면 Table 7과 같다.

Table 8. Cost Comparison Analysis

Category	Human-powered construction (won/m)	Mechanized construction (won/m)
Cost estimation	Form installation: 17,565won/m <sup>2</sup> Concrete placing: 37,890won/m <sup>3</sup> Ready-mixed concrete: 63,210won/m <sup>3</sup>	Concrete placing (Machine): 48,071won/m <sup>3</sup> Total: 48,071 won/m
	From installation: 17,565*1.228=21,570won/m Concrete placing(Human): 37,890*0.582=22,052won/m (Construction) 63,210*0.582=36,788 won/m (Material) Total: 80,410 won/m	
Note	· The cost estimating method using historical cost data is applied. · Formwork (Regural finishing) = 1.228m <sup>2</sup> /m · Concrete (24-24-15) = 0.582m <sup>3</sup> /m	

공동구 3차 부위의 시공은 1,347m(편도)기준으로 인력시공에 비하여 기계식 시공이 85일 단축되는 것으로 분석되었다.

### 5.4 경제성 분석

경제성 분석은 「국가를 당사자로하는 계약에 관한 법률시행령 제9조 제 1항 및 「예정가격 작성기준(회계예규 2200.04-160-8)」 제38조 제4항, 「실적공사비 및 표준품셈 관리규정(국토해양부 훈령 제360호)」 제9조 제3항에 의하여 실적공사비 적용대상 공종 및 단가에 관한 기준에 근거하여 인력시공과 기계화 시공에 의한 공사비를 비교하였다(Table 8). 공사비 비교결과에 따르면 여주~양평 제2-2공구의 강상1터널 연장 2,694m를 적용시 절감 공사비 87백만원, 건설중인 고속도로 연장 294.88Km 적용시 절감 공사비는 9,623 백만원으로 산출되었다.

### 5.5 기계화 시공시 주의사항

기계화 시공시 에러의 발생은 공정 및 원가에 많은 영향을 미치게 되며, 이때 발생된 부산물은 폐기물로 처리되어 환경에도 악영향을 미치게 된다. 기계화 시공으로 터널공동구의 콘크리트 작업을 수행하는 경우에는 다음과 같은 사항을 주의해야 한다.

- (1) 과도하게 건조된 콘크리트: 크랙 발생 가능성
- (2) 과도하게 유동화된 콘크리트: 벽체의 배부름 발생
- (3) 유도선 설치 불량: 수직 또는 수평단차 발생
- (4) 지반고 불량 및 몰드 중량부족: 콘크리트 유출 발생 및 벽체의 두께 부족
- (5) 호퍼내 콘크리트 부족: 불규칙한 표면 생성
- (6) 다짐불량: 단면 부족
- (7) 기계운행 중 휴지기 발생: 표면 혹 발생
- (8) 다짐봉 위치 및 주파수 불량: 표면 불량 발생

## 6. 결론

최근 친환경 건설이 강조됨에 따라서 고속도로 노선에서 터널의 비율은 점점 증가되고 있다. 특히 장대터널이 점점 증가함에 따라서 인력에 의존하는 시공방법은 생산성 저하 및 경제적 측면에서 원가상승 요인을 내포하고 있다. 기존에 인력시공에 의한 터널 공동구 시공은 현장의 열악한 환경에 의한 문제점과 안전사고 가능성 및 공사품질의 확보에 관한 문제점을 안고 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 VE절차를 통하여 기계화 시공방법을 개선책으로 제시하였다.

제시된 기계화 시공의 효과를 검증하기 위하여 시험시공을 실시하였다. 시험시공 결과에 따르면 터널 공동구 연장 1,347m를 인력 시공에서 기계시공으로 변경하면 인력시공 100일, 기계화 시공 15일로 기계화 시공시 공기단축이 85일 가능한 효과가 나타났으며, 경제성 검토에 따르면 고속도로 1m당 기계식 시공시 32,339원의 절감이 가능하여 공비절감의 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 인력시공에 의한 안전사고 빈도가 기계화 시공으로 변경됨에 따라 낮아지는 것으로 나타났으며, 기계화 시공결과 타설 후 품질상태가 양호하였으며 연속시공으로 인하여 미관개선 효과가 뚜렷한 것으로 나타났다.

가치평가지 가치향상도가 136.8%로 현재 건설중이거나 계획 단계에 있는 고속도로 노선에 대해서는 설계시 공동구의 시공을 인력시공에서 기계화 시공으로 변경하여 적용함이 타당하리라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 학술연구비 지원(2014년)으로 수행되었습니다.

## References

- Chae, J. D. (2000). "Report for construction method using TBM." *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol. 48, No. 3, pp. 75-84 (in Korean).
- Chenga, M. Y., Liangb, Y., Weyb, C. M. and Chena, J. C. (2001). "Technological enhancement and creation of a computer-aided construction system for the shotcreting robot." *Automation in Construction*, Vol. 10, No. 4, pp. 517-526.
- Ji, W. R. and Park, J. S. (2011). "Prospect and present status of mechanized tunnelling technology in Korea." *Magazine of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 13, No. 4, pp. 64-76 (in Korean).
- Karliński, J., Rusiński, E. and Lewandowski, T. (2008). "New generation automated drilling machine for tunnelling and underground mining work." *Automation in Construction*, Vol. 17, No. 3, pp. 224-231.
- Tanaka, Y. (1995). "Automatic segment assembly robot for shield tunneling machine." *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 325-337.
- Wirtgen Group. (2013). *Concrete slipform paving manual*, Available at: [www.wirtgen.de/en/technologies/slipform./manual](http://www.wirtgen.de/en/technologies/slipform./manual)