

기존시가지의 공동구 건설을 위한 표준공기 산정에 대한 연구

이성원¹, 이필윤², 변요셉³, 조중연⁴, 이민재^{5*}

¹한국건설기술연구원, ²유니콘스(주), ³한국건설기술연구원, ⁴유니콘스(주), ⁵충남대학교 토목공학과

A study on the normal project duration development for the construction of multi-utility tunnel in the existing city

Seong-Won Lee¹, Pil-Yoon Lee², Yo-Seph Byun³, Choong-Yeun Cho⁴, Min-jae Lee^{5*}

¹Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

²R&D Division, Unicons Co. Ktd

³Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil engineering and building Technology

⁴R&D Division, Unicons Co. Ktd

⁵Department of Civil Engineering, Chungnam National University

요약 건설공사에서 공정관리는 기본적으로 가장 중요한 단계이며, 효율적인 공정관리를 위해서는 합리적 공정표 작성이 우선시 되어야 한다. 설계단계에서는 기상조건과 현장 특성을 고려한 다양한 조건과 공법의 비교 검토를 통해 최적의 공사 기간을 산정할 수 있으나, 기획단계에서 기본적인 자료(D/B) 분석만으로는 효율적 공법 선정과 적절한 공사 기간 산정이 어렵다. 따라서, 기획단계에서 기존시가지의 공동구 건설시 표준공기 분석을 위하여, 본 논문에서는 공동구 형식을 개착식 및 터널식으로 구분하고, 각 형식의 특성과 기존시가지의 조건을 고려한 공법을 선정 하도록 하였다. 합리적인 공기 계산을 위하여 외부 공사에 영향을 주는 기상조건을 고려하여 년 간 가동율을 산정 하였으며, 개착식은 RC 공법/터널식은 Shield TBM 공법에 대한 단위공정을 분석하였다. 각 단위공정을 종합하여 연장 1,200m, 환기구 200m 간격으로 가정한 공사의 표준공기를 산정한바, 개착식은 893일, 터널식은 616일이 소요되는 것으로 분석 되었다. 본 연구의 결과는 기획단계에서 보다 쉽게 공동구 형식 선정과 표준공기 산정에 도움이 될 것이며, 추후 설계단계에 연계하면 공정 및 공사비 산정이 용이할 것으로 판단된다.

Abstract In construction, schedule management is the basic but important step, for the effective schedule management, the preparation of the reasonable schedule table should be prioritized. In the design stage, the optimal construction period can be selected through comparison of various conditions and construction methods considering weather conditions and site characteristics. But, At the planning phase, it is difficult to select the effective method and calculate the proper construction period by the basic data(D/B) analysis. In this paper, the construction method considering characteristics of each type and conditions of existing city was selected. For the reasonable duration calculation, we analyzed the unit schedule for RC method for open type and Shield TBM method for tunnel type. The normal project duration of construction assuming of 1,200m of extension and every 200m of ventilation was prepared by integrating each unit schedule. It was analyzed that it took 893 days for the open type and 616 days for the tunnel type. The results of this study will help to make type selection and normal project duration more easily in the planning phase. If it is linked to the design stage, it will be easy to estimate the process and construction cost.

Keywords : Normal project duration, Schedule management, Multi-utility tunnel, Non-Working day, Unit schedule

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업의 '도심지 소단면(Φ 3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(18SCIP-B105148-04)' 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Min-Jae Lee(Chungnam Univ.)

Tel: +82-42-821-5677 email: lmjcm@cnu.ac.kr

Received October 11, 2018

Revised (1st November 19, 2018, 2nd November 21, 2018, 3rd November 26, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

공동구는 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률” 제2조 제9호에 의하면 전기·가스·수도 등의 공급설비, 통신시설, 하수도시설 등 지하매설물을 공동 수용함으로써 미관의 개선, 도로구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 위하여 지하에 설치하는 시설물을 말한다.

대도시의 구도심은 인구밀도와 상업서비스, 차량과 보행자 통행의 집중도가 높으므로 Life-Line을 공동수용함으로써 얻을 수 있는 공동구의 기대효과가 신도시에 비해서 높은 실정이나 공사 시 지하 및 지상 지장물로 인하여 개착식공법으로는 공사가 매우 어려운 실정이다. 외국의 경우 일본의 동경, 체코의 프라하시 등은 도심지 공동구를 보다 시공이 용이한 터널식공법을 채택하여 장기적으로 건설하고 있으나 국내 모든 공동구는 신도시 개발계획에 포함된 개착식 공동구로만 건설되고 있다[1, 2]. 또한, 안전하고 쾌적한 도로 공간의 확보 및 불필요한 예산 낭비 방지, 최근 빈발하는 지진이나 태풍 등 자연재난에 대비한 안전 확보, 생활공급시설의 안정적 공급, 유지관리 비용 절감, 장기수용수요의 탄력적 대응 등 사회적, 경제적 손실을 절감하기 위하여 공동구의 필요성에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다[3].

Sim et al.(2017)[4]의 연구에서는 공동구 계획과 설계를 보다 효율적으로 구현할 수 있도록 도심지 공동구 최적 설계를 위한 평가 프로그램을 개발하였으며, Cho et al.(2018)[5]은 공동구의 정량적 평가를 위한 항목별 중요도 분석을 진행하였다. 또한, Chung et al.(2018)[6]은 공동구의 타당성 평가모델 연구를 진행하였다.

공동구의 계획 및 경제성 평가를 위해서는 공정(공사)기간의 분석이 이루어져야 하지만, 연구가 부족한 실정이다. 본 논문에서는 기획단계에서 기존시가지(구도심, 재생도시 등)의 공동구 건설에 필요한 표준공기 산정을 위하여 공동구의 형식을 개착식, 터널식으로 분류 적용하고, 기상조건에 영향을 받는 공정 및 작업환경을 고려하여 년 간 가동율을 산정하였다. 또한, 개착식 및 터널식 공동구의 공정계획 수립에 필요한 단위공정 분석을 통하여 형식별 표준공기 산정방법을 연구하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

건설공사에서의 공정관리는 기획단계, 설계단계, 발

주단계, 시공단계, 운영단계에 이르는 프로젝트 전 과정 동안 제한된 예산 및 자원을 가지고 프로젝트가 요구하는 품질의 목적물을 예정기간 내에 완성해야 하는 주요 관리항목이다[7]. Fig. 1은 공정관리 전체 범위 및 사용자에 따른 범위를 나타낸다.

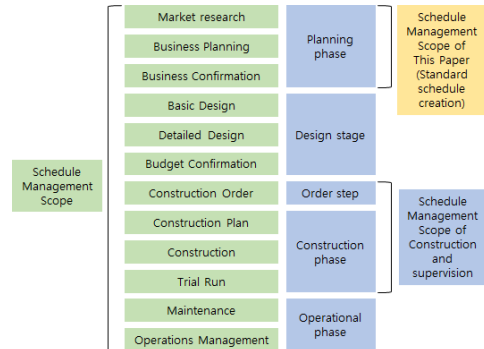


Fig. 1. Step Scope of Schedule Management

본 논문은 공동구 건설을 위한 공정관리 범위 중 기획 단계에서의 표준공기 산정방법과 관련된 사항이다. 설계 단계에서는 현장 상황을 고려한 다양한 조건과 공법의 비교 검토를 통해 최적의 대안 공법을 선택할 수 있으나, 기획단계에서는 적합한 공법 선정 및 공사 기간 산정이 어렵다.

본 논문에서는 기획단계에서 기존시가지의 현장 조건에 부합하는 공동구의 형식 선정과 표준공기 산정을 위하여 개착식 및 터널식에 적합한 대표공법을 선택하였으며, 공법 및 단위 공종별 공사기간에 따른 공정분석 후 전체 표준공기를 산정하여 제시하였다.

3. 국내/외 공동구 현황

3.1 국내 공동구 현황

국내 공동구는 1969년 여의도 개발 당시에 계획, 건설한 것을 효시로 하여 주로 신도시 건설지구의 개발과 병행하여 설치되었다. 국내에 설치(시공중 포함)된 공동구는 총 25개소이며, 총 연장은 140.5km 이다. 모두 개착식으로 설치[1, 8]되었으며, 현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Domestic multi-utility tunnel installation status(As of Dec. 2017)

Number	Division		Length [km]	Year of installation	Scale		Vent	Accommodation facility
	Location				Room	Size		
1	Seoul	Mokdong	11.7	1987	one/two four	3.0*2.35/5.3*2.35, 13.0*2.35	52	WP,EPC,CL,HP
2		Yeouido	6.1	1978	two	5.3*(2.0~2.5)	40	WP,EPC,CL,HP
3		Gaepo	4.2	1987	two	(3.9~4.4)*2.3	22	WP,EPC,CL
4		Garak	7.4	1987	two/three	4.2*2.3/6.8*2.3	47	WP,EPC,CL
5		Sanggye	1.1	1989	one	2.65*2.3	5	WP,EPC,CL,etc.
6		Sangam	2.3	2004	two/three	3.5*2.8/10.9*3.5	14	WP,EPC,CL,HP
7		Eunpyeong	1.0	2012	two/three	8.7*2.95/9.35*2.95	6	WP,EPC,CL,HP, WTP
8		Magok	2.87	2017	two	6.8*3.3	-	WP,EPC,CL,HP, WRP,WTP
9	Busan(Haeundae)		5.6	1996	one~three	(2.0~2.5)*2.12	36	WP,EPC,CL
10	Incheon	Yeonsu	3.6	1992	three	7.57*2.75, 5.7*2.8	18	WP,EPC,CL
11		Songdo	11.11	2010	one two	(2.35~3.4)*(2.75~3.7) (4.45~7.5)*(2.7~4.0)	53	WP,EPC,CL,HP, WRP,WTP
12	Gwangu(Sangmu)		1.8	1998	two	2.3*2.2	-	WP,EPC,CL
13	Daejeon(Dunsan)		7.1	1994	one/two three	3.1*2.7/5.4*2.7 7.4*2.7	38	WP,EPC,CL
14	Gyeonggi-do	Bucheon	5.8	1993	one~three	(1.5~7.6)*(2.1~2.75)	-	WP,EPC,CL
15		Bundang	14.7	1994	one~three	(2.1~1.45)*(2.1~2.0) 5.74*(2.1~2.0)	75	WP,EPC,CL
16		Pyeongchon	4.4	1993	three	6.65*2.75	24	WP,EPC,CL
17		Ilsan	10.5	1994	one~three	(1.9~7.3)*(2.0~2.7)	-	WP,EPC,CL
18		Sanbon	3.0	1994	two	1.35*2.0	16	WP,CL
19		Suwon	0.65	1985	two	5.35*3.25	-	WP,CL
20	Ansan	3.0	2001	two	4.5*2.3	-	WP,EPC,CL	
21	Chungbuk(Ochang)		2.4	2001	three	8.6*2.1	-	WP,EPC,CL
22	Jeonnam(Yeosu)		0.6	1980	two	3.9*2.3	-	WP,CL
23	Gyeongbuk(Gumi)		1.5	1979	two	4.5*3.0	-	WP,EPC,CL
24	Gyeongsam(Changwon)		5.4	1983	three	4.9*2.7	39	WP,EPC,CL
Sum(completed construction)			117.83					
25	Sejong		22.67	Under construction	two	10.55*3.55	101	WP,EPC,CL,HP, WRP,WTP

* Electric power cable ; EPC, Communication Line ; CL, Water pipe ; WP, Cooling pipe ; CP, Heating pipe ; HP, Wastewater reclamation reusing system pipe ; WRP, Waste transport pipe ; WTP

3.2 일본의 공동구 현황

일본에서는 1920년 관동대지진 이후 도시복구사업의 일환으로 공동구 3개소를 시험적으로 설치하면서 공동구 건설이 시작되었다. 그러나 본격적으로 공동구 사업이 시작된 것은 1963년 「공동구 정비 등에 관한 특별조치법」이 제정된 이후부터라고 할 수 있다. 이를 통해 공동구가 도로 부속물로서 법적으로 인정받게 되었고, 건설비 및 유지관리비용에 대한 법적근거가 명확하게 규정됨으로써 비용분담에 대한 쟁점이 해결되어 공동구 건설이 본격적으로 시작되었으며, 국내 공동구가 개착식으로 한정되어 있지만, 일본의 공동구는 터널식의 공동구[1, 8]도 보편화 되어 있는 것을 알 수 있다.

Table 2. Japan multi-utility tunnel installation status

Division	Length(km)	Size	Type
Saitama(埼玉) new city	3.1	(2.4-8.9)* (2.35-5.2)	Open
Chiba(千葉) new town	4.7	-	Open
Tsukuba(筑波) science city	4.7	3.3*5.8~ 2.4*2.6	Open
MinatoMirai21	8.2	(2.9-10.6)* (3.2-6.0)	Open
Tokyo Rinkai Fukutoshin	17	-	Open Tunnel
Hibiya(日比谷)	1.5	D=7.3 H=23~35	Tunnel
Naniwada(浪速)	17.6	D=8, H=40	Tunnel

4. 표준공기를 위한 공동구 형식별 검토

4.1 일반사항

공동구는 수용할 공동시설의 수요가 비교적 많은 구역(중심업무지구 등)에 위치하며, 주간선도로 및 보조간선도로(대로 이상)에 설치한다. 공동구의 형식은 개착식(RC, PC 등)과 터널식(NATM, TBM 등)으로 분류[2]한다.

4.2 개착식 공동구

개착식 공동구는 분기구 부근에서 가장 깊은 토피고를 가지므로 약 5.5m ~ 2.5m를 확보해야 하며, 공동구의 기초 하면까지 심도가 15m를 초과하는 경우 터널식 적용을 고려해야 한다. 개착식 공동구에서 가장 일반적으로 적용하는 현장타설공법(RC공법)과 공장 혹은 주변 제작장에서 약 1.5~2.5m 규격으로 분할 제작된 프리캐스트 부재를 크레인과 접합용 강연선을 이용한 조립을 반복 시행하는 프리캐스트공법(PC공법, Precast-Concrete 공법)이 적용되고 있다.

국내 모든 신도시 공동구는 규격에 대한 제약이 적은 편이었으므로 2실 혹은 3실 단면의 적용에 큰 무리가 없었으나, 기존도시의 공동구는 도심지의 각종 지장물과 교통체증 등 불리한 공사여건으로 가급적 1실 단면의 적용이 합리적일 것으로 판단된다.

4.3 터널식 공동구

터널식 공동구의 심도는 터널 단면 전체가 암반층에 위치하는 경우에도 가급적 터널 상부에 토피고 15m 이상을 충분히 확보하고 파쇄대, 충적층 등의 불량지반 및 토사구간을 피하여 심도를 계획해야 한다.

터널식 공동구 건설공법은 Shield TBM, NATM으로 구분할 수 있다.

NATM 공법은 기존시기에서 발파에 의한 소음·진동에 대한 민원이 발생 할 수 있으므로, 기획단계에서는 노선이 도심지로 통과하며 주변 환경에 미치는 환경 특히 소음, 진동 등의 문제가 간과되어서는 안되므로 주변 영향이 거의 없는 Shield TBM을 우선 적용하는 것이 적절하다고 판단된다.

또한, 터널식 공동구는 폭을 넓게 설정할 경우 터널 내공높이가 높아져 단면의 효율성이 떨어지므로, 유지관리 점검 측면에서 다소 불리하더라도 단층 단면(1실)을

적용하는 것이 경제적 이다.

5. 공정 계산을 위한 년 간 가동율 산정

본 논문에서의 표준공기는 추후 수요가 많을 것으로 예상되는 서울 지역을 대상으로 한다. 또한, 표준공기 산정을 위해서는 작업불능일수를 산정하여야 하는데 지역마다 강우/강설/기온 등의 기상조건이 모두 상이 하여 우리나라의 대표 도시인 서울 지역을 대상으로 가정 하였다.

5.1 작업불능일수 산정

작업불능일수 산정은 공동구(개착식, 터널식) 작업 기상조건에 영향을 받는 작업을 분류하고 단위공종별 실 작업일수를 계산하여야 한다. 작업불능일 검토를 위하여 적용기준(공휴일 및 기상조건 등)을 산정(Table 3) 하였으며, 해당지역(서울 기상관측소)의 최근 10년간(2008년 ~2017년)의 적용기준에 부합하는 일수는 Table 4와 같다. 다중 칼렌다(Table 5)를 이용하여 적용계획을 기준으로 단계별로 년 간 작업일을 계산 하였다(단, 착공/준공 관련 기간은 0일).

Table 3. Application Standard of Non-Working day

Division	Holiday	Rainfall	Snowfall	Wind	Temperatures
Standard	Legal Holiday	10mm or more (24 hours)	Daytime 10mm or more (one day)	Up to 13m/s or more (one day)	Daily average less than 0°C

Table 4. Non-Working day Calculation

Division	Ja	Fe	Ma	Ap	Ma	Ju	Jl	Ag	Se	Oc	No	De	Sum	
Sum	①	30	22	8	6	10	9	12	12	11	9	7	24	160
Rainfall	②	-	1	1	2	3	4	8	6	3	2	1	1	32
Snowfall	③	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Temperatures	④	23	13	2	-	-	-	-	-	-	-	2	18	58
Wind	⑤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Holiday	⑥	7	8	5	4	7	5	4	6	8	7	4	5	70

Table 5. Multiple calendars Application

Division	Application plan	Closed days calculation(year)			Yearly working day
		Application standard	days	Working day calculation method	
Cal.0	Preparation for start, etc.	-	365	-	365
Cal.1	License, material production, etc.	⑥	70	365-⑥	295
Cal.2	Internal work	④+⑥	58	365-(④+⑥)	237
Cal.3	Exterior work	②+③+④+⑤+⑥	32	365-(②+③+④+⑤+⑥)	205

5.2 년 간 가동을 산정

적용기준 및 다중 칼렌다를 고려하여 산정된 년 간 작업 불가능일수는 160일 이며, 작업 가능일수는 205일 이다. 가동율은 $205 / 365 = 56.16\%$, 년 간 가동율에 대한 보정계수는 $1 + (1 - 0.5616) = 1.438$ 이다. 공동구 공사 시 외부 작업과 관련된 단위공종의 작업일수에 1.438을 곱하여 실제 작업에 소요되는 일수로 변경한다(터널식공법의 경우 본 굴진은 기상조건에 영향을 받지 않으므로 제외함).

6. 개착식공법 단위공정 분석

개착식 공동구는 기존시가지를 고려하여 1련을 기준으로 하였으며, Table 1에서 3종 or 4종 시설물이 설치 가능 하도록 크기는 $4m \times 2.5m$, 심도는 8m를 기준으로 하였다. 실 작업일수 산정은 표준품셈 기준을 적용하였다.

6.1 가시설(엄지말뚝)

엄지말뚝의 길이는 10m(202본)이며, 터파기 깊이는 8m, 폭은 6m를 기준으로 가정하였다. 작업방법은 천공 후 말뚝근입, 일 작업량은 13분/일로 분석하여 적용하였다. 이에 따른 실 작업일수는 $202 \div 13 = 15.5 \approx 16$ (일) 이며, 소요작업일수(년 가동율 적용)는 $16 \times 1.438 = 23.01 \approx 23$ (일) 로 산정하여 적용하였다.

6.2 가시설(토류판, 버팀보 등)

작업방법은 띠장 및 버팀보 설치와 연계한 토공(안전

을 고려하여 계단식 중앙선형 굴착방식)으로, 터파기 깊이는 8m이며, 1일 작업연장은 12m/일 이다.

토류판 작업가능량은 34.5m³/일(작업조 1조기준), 1일 작업예정량은 $12 \times 8 = 96m^3$, 필요 작업조는 $96 \div 34.5 = 2.78 \approx 3$ 조를 기준으로 했고, 버팀보(3단 설치)는 18(본)/일(연장 12m 3단 적용 시 18본)를 적용하였다.

실 작업일수는 $200 \div 12 = 16.7 \approx 17$ (일)로 계산되었고, 소요작업일수(년 가동율에 따른 보정계수 적용)는 $17 \times 1.438 = 24.45 \approx 25$ (일)로 산정 되었다.

6.3 RC Box 단위공정(20m 기준)

현장에서 철근조립과 거푸집 설치 후 콘크리트를 타설하여 양생과정을 거쳐 구조물을 축조하는 공법으로서 국내 대다수 개착식 공동구에 적용하고 있다. 시공순서(Fig. 2)에 따른 단위공정(20m/1 span) 기간(Table 6)은 Lean conc 2일, Foundation 6일, Wall/Slab 17일로 20m의 단위공정을 기준으로 실 작업일수에 25일이 소요된다. 또한, 소요작업일수는 25(일) \times 1.438 = 36(일)로 산정되었다.

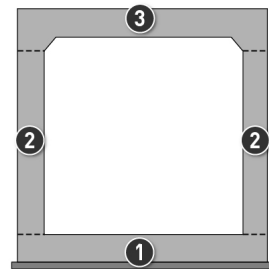


Fig. 2. Structure construction flowchart

Table 6. Unit schedule flow chart of RC Box

Division	Unit schedule																
① Lean conc	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">Floor cleaning & Lean concrete</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">curing</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1day</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1day</td> <td></td> </tr> </table>	○	Floor cleaning & Lean concrete	○	curing	○		1day		1day							
○	Floor cleaning & Lean concrete	○	curing	○													
	1day		1day														
② Foun dation	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">Rebar assembly & Form</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">Concrete</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">curing</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">installation</td> <td style="text-align: center;">4days</td> <td style="text-align: center;">1day</td> <td style="text-align: center;">1day</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	○	Rebar assembly & Form	○	Concrete	○	curing	○		installation	4days	1day	1day				
○	Rebar assembly & Form	○	Concrete	○	curing	○											
	installation	4days	1day	1day													
③ Wall /Slab	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">Rebar assembly</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">5days</td> <td style="text-align: center;">Concrete</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">curing</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">4days</td> <td style="text-align: center;">Installing Euro form</td> <td style="text-align: center;">1day</td> <td style="text-align: center;">7days</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	○	Rebar assembly	○	5days	Concrete	○	curing	○		4days	Installing Euro form	1day	7days			
○	Rebar assembly	○	5days	Concrete	○	curing	○										
	4days	Installing Euro form	1day	7days													

6.4 PC BOX 단위공정(20m 기준)

프리캐스트공법을 기존시가지 대상으로 적용하는 경우 크레인 작업공간, PC부재 야적장의 확보가 어렵고 흠막이 복공이 설치된 상태에서는 가시설 부재와 간섭 등으로 시공하기 어렵기 때문에 기존시가지 계획에서는 현장타설공법을 기본으로 하고, 긴급한 공사나 개착공사 시 교통체증이 예상되는 교차로 횡단 등 현장상황과 조건에 따라 적용한다. PC Box의 1본(경간)의 길이는 2m이며 1일 20m(10본)의 작업이 가능하다.

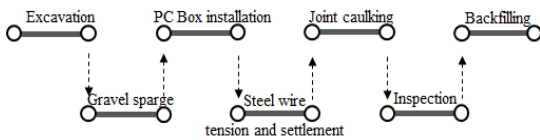


Fig. 3. Unit schedule flow chart of PC Box

6.5 환기구 단위공정

환기구는 높이 7m(지상노출 1m 깊이 6m), 규격은 3.5m × 3.5m를 가정하여 적용하였으며, 7m의 환기구를 3회 타설(2.5m/2.5m/2m) 기준으로 하였다. 1회 타설시 6일이 소요되므로 실 작업일수는 18일이 소요되며, 소요 작업일수는 18(일) × 1.438 = 26(일)로 산정되었다.

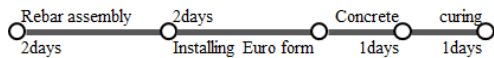


Fig. 4. Unit schedule flow chart of Vent

7. 터널식 단위공정 분석

터널식 공동구의 깊이는 토지의 한계심도(40m), 보상비율(40m 이상 ; 0.2% 이하), 지하철 등의 심도를 고려하여 60m, 크기는 개착식과 동일하게 3중 or 4중 시설물이 가능한 D=3.54m를 적용하였다.

7.1 (장비)가동율 및 굴진율

가동율 및 굴진율 산정을 위하여 일본의 소단면 Shield TBM의 현황은 Table 7[9]와 같다.

Table 7. Japan small Shield TBM application status

Division	SAITAMA Prefecture	FUKUOKA Prefecture
Construction period	1998.05~2000.12	1999.07~2002.03
Shield outer diameter	Φ = 3,240mm	Φ = 3,590mm
Length	1,304m	1,934m
Segment	3,100mm(outer diameter) × 1,000mm(width)	3,450mm(outer diameter) × 1,200mm(width)
Excavation speed	20m ~ 24m/day	20m ~ 25.2m/day

일본의 실적을 국내에 그대로 적용하기는 무리가 있다. SAITAMA의 토질은 홍적 사층 및 실트 층이며, FUKUOKA의 토질은 홍적 사층, 사력층, 점성토층 및 화산회질 사층으로 구성되어 있어 굴진실적이 20m/일 이상으로 높게 나타났다. 그러나 국내에서 계획하는 소단면 Shield TBM 터널은 대부분 깊은 심도의 암 굴착으로 예정되어 있기 때문에 일본의 굴진실적을 그대로 국내에 적용하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

국내 Shield TBM 공사 중 “○○~○○ 간 복선전철 제3공구 노반신설공사(D=8.6m)”[10]에서는 1링(폭 1.5m)을 굴착하는데 약 100분(480분 적용시 7.2m)이 소요된 것으로 조사되나, 소구경임을 고려하여, 1일 8시간(480분) 7.5m를 굴착을 적용하였다.

7.2 터널식 단위공정

TBM 장비의 설계 및 발주, 제작에는 10개월(작업구는 제작기간 동안에 설치)이 소요되며, TBM의 운반 및 설치에는 2개월, 시운전에는 2주의 소요 공기가 필요하다. 환기구 굴착공법은 별도의 가시설 없이 안정액으로 굴착벽을 유지하면서 깊은 심도까지 굴착이 가능한 지중연속벽(Slurry wall)을 기준으로 하였다.

세부 실 작업일수는 부지정지 및 기계설비(플랜트) 설치 시간은 7(일), 작업 중 장비 이동설치 시간은 0.5(일)/(회), 장비 1조당 1일 평균 작업량은 25.2m(폼벽 : 벽체 두께 100 cm 기준)이다. 벽체 내부 굴착은 연암 기준 40m/작업조 1조/일을 기준으로 적용하였으며, 발전구(작업조 3조투입 시)는 11,100 ÷ 120 ≃ 93(일)[년 가동율 적용], 환기구는 1,184 ÷ 40 ≃ 30(일)[년 가동율 적용], 철근망 작업은 굴착작업에 병행하여 실시(Table 8)하는 것으로 계획하였다.

Table 8. Unit schedule flow chart of slurry wall

Division	Unit schedule
Departure device	
Ventilation	

지중연속벽 시공시 발전구의 규격은 5m × 30m로 설정하였으며, 단위공정 소요기간은 231(일)로 산정되었고, 환기구의 규격은 4m × 4m, 단위공정은 98일로 산정되었다.

8. 기존시가지의 공동구 표준공기

표준공기의 공동구 연장(기본 단위 구간)은 일본에서 공동구 설계(Table 2)시 기본 단위인 1,200~1,350m를 참고하여 1,200m를 기준으로 r가정하였으며, 환기구의 간격은 환기설비 설계기준(250m 이내)와 국내 공동구(Table 1)의 환기구 간격을 고려하여 200m로 하였다.

8.1 개착식 표준공기 산정(연장 1,200m로 가정)

연장길이를 1,200m로 가정할 때 RC Box를 기본으로 하며, PC Box는 교차로 및 긴급작업 구간 등의 경우에 적용하므로 표준공기에서는 제외하였다. 환기구 간격을 기준으로 200m(1span) 시공시 360일이 소요되므로, 개착식 공동구의 총 작업일수 893일 소요된다. 구조물의 공사일수를 고려하여 작업조 3조가 투입되는 것으로 하였으며, 환기구는 10span이 종료되는 시점 or 종료 전에 맞추어 완료되도록 계획하여 표준공기에 반영(Fig. 5)하였다.

8.2 터널식 표준공기 산정(연장 1,200m로 가정)

연장길이를 1,200m로 가정하여 표준공기를 산정 한바, 발전구는 TBM 장비 설계 및 발주/제작이 10개월(300일)이 소요되는 것을 고려하여, TBM 장비 설계 및

발주/제작에 연계하여 운반 전까지 완료(Table 5, Cal.3 적용시 실작업일수 208일, 소요작업일수 300일)되는 것으로 계획하였다. 환기구는 인·허가 완료 후 착공하여 본선 굴착시 환기구의 해당 구간에 도달 전 완료될 수 있도록 계획하였다. 또한, 환기구를 1개소씩 단계별로 시공할 경우 개소 당 98일(Table 5, Cal.3 적용시 실작업일수 68일, 소요작업일수 98일) × 6개소 = 588일이 소요되어 Critical Path가 변경되는 경우가 발생되므로 1/2 환기구를 동시에 병행 시공하는 것으로 계획하였다. 따라서, 터널식 공동구의 총 작업일수는 616일(Fig. 6) 소요되는 것으로 분석 되었다.

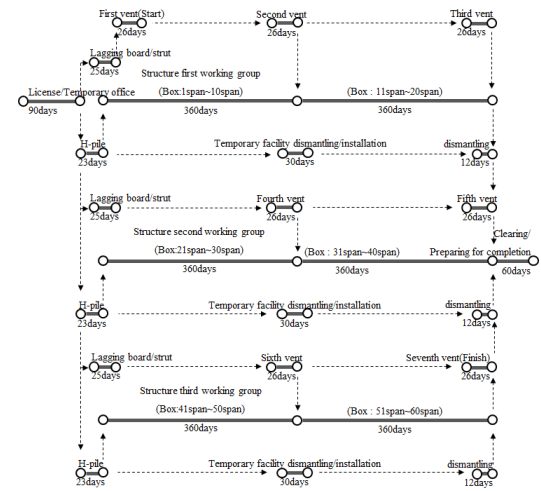


Fig. 5. Open multi-utility tunnel normal project duration (L = 1,200m, three working group)

9. 결론

기존시가지의 공동구 표준공기 산정을 위하여 국내/외 공동구 현황을 분석하였다. 그동안 국내의 모든 공동구는 개착식으로 건설되었으나, 기존 도심에 설치되는 공동구의 경우 각종 지장물과 교통민원 발생 등으로 개착식 공사가 어려운 실정이며, 일본의 경우에는 교통정체 등 민원우려가 적은 터널식 공동구가 보편화 되어있는 추세이다. 따라서, 향후 공동구 건설계획은 현장여건과 기상조건 등을 면밀히 분석하여 가장 경제적이고 효율적인 공법을 선정해야 한다.

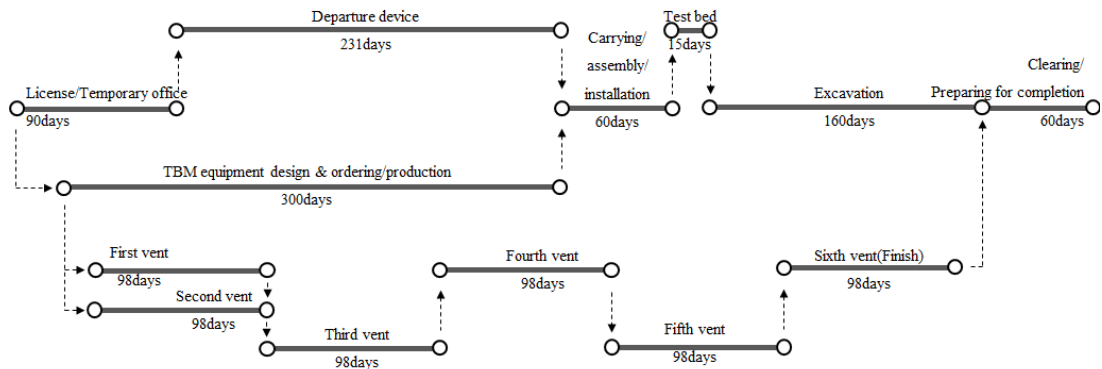


Fig. 6. Tunnel multi-utility tunnel normal project duration(L = 1,200m)

동일 위치에 동일한 연장길이(1,200m)에 대한 개착식과 터널식을 비교한바, 공정단계 및 현장 여건 등을 고려하여 개착식 현장타설(RC)공법적용시 893일, 터널식 Shield TBM 적용시 616일로 산정되어 터널식 Shield TBM공법이 개착식 현장타설(RC)공법에 비하여 277일의 공기단축이 가능한 것으로 분석되었다. 따라서, 추후 기존도심에 대한 공동구 건설은 기존의 채래식 공법인 개착식 공법보다는 공사 중 민원우려가 적고 공기단축이 가능한 Shield TBM공법을 기존 공법으로 채택하는 것이 바람직하다고 하겠다.

본 연구에서 도출된 기획단계에서의 공동구 의 표준 공기는 공동구 시공을 위한 형식(개착식, 터널식)선정과 사업의 타당성 및 경제성 평가에 도움이 될 것이며, 추후 설계단계에서 기획단계와의 연계성과 효율성을 높여줄 것으로 판단된다.

References

- [1] S. W. Lee, Y. J. Sim, G. T. Na, "A fundamental study on the development of feasibility assessment system for utility tunnel by urban patterns", J. of Korean Tunn. Undergr. Sp. Assoc., Vol. 19, No. 1, pp. 11-27, January, 2017
DOI: <https://doi.org/10.9711/ktaj.2017.19.1.011>
- [2] Seoul Metropolitan Government, "A report of the feasibility and basic planning establishment for urban utility tunnel in Seoul", pp. 13-37, 2014
- [3] Y. K. Kang, I. C. Choi, "Economic Feasibility of Common Utility Tunnel based on Cost-Benefit Analysis", Journal of Korean Society of Safety. Vol. 30, No. 5, pp. 29-36, October, 2015
DOI: <https://doi.org/10.14346/jksos.2015.30.5.29>
- [4] Y. J. Sim, K. N. Jin, W. J. Oh, C. Y. Cho, "Optimal alternative decision technique of accommodation facility in multi-utility tunnel using VE/LCC analysis", J. of Korean Tunn. Undergr. Sp. Assoc., Vol. 20, No. 2, pp. 317-329, March, 2018
DOI: <https://doi.org/10.9711/ktaj.2018.20.2.317>
- [5] C. Y. Cho, Y. J. Sim, H. K. Kim, P. Y. Lee, M. J. Lee, "Analysis of importance by category for quantitative economic evaluation of multi-utility tunnel", J. of Korean Tunn. Undergr. Sp. Assoc., Vol. 20, No. 1, pp. 119-130, January, 2018
DOI: <https://doi.org/10.9711/ktaj.2018.20.1.119>
- [6] J. S. Chung, G. T. Na, "A study on the feasibility assessment model of urban utility tunnel by analytic hierarchy process", J. of Korean Tunn. Undergr. Sp. Assoc., Vol. 20, No. 1, pp. 131-144, January, 2018
DOI: <https://doi.org/10.9711/ktaj.2018.20.1.131>
- [7] Hanmiglobal. Construction Management A to Z. p.273-276, Bo Moon Dang, 2011.
- [8] Ministry of Land, infrastructure and Transport, "Activation of multi-utility tunnel (Phase 2)", pp. 15-51, 2008
- [9] S. K. Cha, "Dignified and Boggong Simultaneous construction tunnel shield method", Korea institute of science and technology information
- [10] K. C. Kim, "Bundang Han River Tunnel Shield TBM Design and Construction Case", Korea rail engineering association, No. 109, pp. 104-116, 2009

이 성 원(Seong-Won Lee)

[정회원]



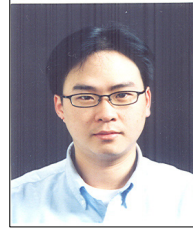
- 1993년 8월 : 인하대학교 대학원 자원공학과 (자원공학석사)
- 2006년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (지반공학박사)
- 1993년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 선임연구위원

<관심분야>

물리탐사, BIM, 딥러닝

조 중 연(Choong-Yuen Cho)

[정회원]



- 2006년 8월 : 한양대학교 건설환경시스템공학과 (학사)
- 2008년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 2014년 3월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (박사수료)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 유니콘스(주) 대표이사

<관심분야>

시설물 자산관리, Life Cycle Cost, Value Engineering

이 필 윤(Pil-Yoon Lee)

[정회원]



- 2018년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정 재학
- 2016년 3월 ~ 현재 : 유니콘스(주) 전무로 재직

<관심분야>

토목공학, 토목시공 및 공정관리

이 민 재(Min-Jae Lee)

[정회원]



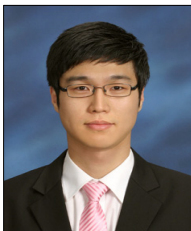
- 2000년 12월 : 위스콘신대학교 (건설관리학석사)
- 2002년 12월 : 위스콘신대학교 (건설관리학박사)
- 2003년 3월 ~ 2003년 12월 : 위스콘신대학교 강사 및 연구원
- 2004년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

건설관리, SOC 자산관리

변 요 셉(Yo-Seph Byun)

[정회원]



- 2009년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (지반공학 석사)
- 2014년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (지반공학 박사)
- 2014년 2월 ~ 2016년 6월 : 한국시설안전공단 시설안전연구소 위촉 선임연구위원
- 2016년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구위원

<관심분야>

터널, 시설물안전 및 건설안전