VE/LCC 분석을 통한 공동구 수용시설물의 최적 대안 결정 기법

심영종[1*] · 진규남[2] · 오원준[3] · 조중연[4]

[1]정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원
[2]비회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 건설기술연구실 실장
[3]비회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 건설기술연구실 연구원
[4]정회원, 유니콘스(주) 대표이사

Optimal alternative decision technique of accommodation facility in multi-utility tunnel using VE/LCC analysis

Young-Jong Sim[1*] · Kyu-Nam Jin[2] · Won-Joon Oh[3] · Choong-Yeun Cho[4]

[1]Senior Researcher, Land and Housing Institute, Korea Land and Housing Corporation
[2]Chief Researcher, Land and Housing Institute, Korea Land and Housing Corporation
[3]Researcher, Land and Housing Institute, Korea Land and Housing Corporation
[4]CEO, UNICONS Corporation

***Corresponding Author :** Young-Jong Sim, yjsim@lh.or.kr

Abstract

The study on the existing multi-utility tunnel has examined the general aspects related to the installation of multi-utility tunnel rather than the optimal design and feasibility analysis of accommodation facility in multi-utility tunnel. In the basic planning stage related to the introduction of multi-utility tunnel, it is difficult to determine accommodation facility due to lack of relevant indicators and data. In this paper, *VE/LCC* analysis method is suggested for the optimal alternative decision of accommodation facilities in multi-utility tunnel. The analysis of the items of individual accommodation facility and the value index for *LCC* costs were applied to the kind alternatives, and the priorities of each kind were analyzed. In addition, the domestic multi-utility tunnel and analysis result are compared. The result of this study will be helpful to shorten the time and convenience of the user in the process of determining accommodation facility including the first designers when introducing multi-utility tunnel.

Keywords: Multi-utility tunnel, Optimal alternative, *VE/LCC*, PDCA, Accommodation facility

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
20(2)317-329(2018)
https://doi.org/10.9711/KTAJ.2018.20.2.317

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received January 12, 2018
Revised January 24, 2018
Accepted January 31, 2018

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright ⓒ2018, Korean Tunnelling and Underground Space Association

초 록

기존의 공동구에 관한 연구에서는 공동구 내부의 수용시설물들의 최적설계 및 타당성 분석 보다는 공동구 설치와 관련된 전반적인 사항에 대하여 검토 하였다. 공동구 도입과 관련된 기본계획 단계에서의 관련 지표 및 자료 등의 부족으로 수용시설물을 결정하기가 어려운 한계점을 해결하고자, 본 논문에서는 공동구 내 수용시설물의 최적 대안 결정을 위하여 *VE/LCC* 분석 방법을 제시하였다. 개별 수용시설물의 항목에 대한 분석 및 *LCC* 비용에 대한 가치지수를 종별 대안에 적용하여 검토 하였으며, 각 종별 우선순위를 분석하였다. 또한, 국내 공동구와 각 종별 시설물의 분석된 결과를 비교하였으며, 본 연구의 결과는 공동구의 도입 시에 최초 설계자를 포함한 사용자들이 수용시설물을 결정하는 과정에서 소요되는 시간을 단축하고 편의성을 높이는데 도움이 될 것으로 판단된다.

주요어: 공동구, 최적 대안, *VE/LCC*, PDCA, 수용시설물

1. 서 론

지속가능한 도시의 경쟁력 제고를 위해 공동구는 필수적인 사회기반시설 중 하나로 인정되어가고 있다(SMG, 2014). 인구의 도시집중화에 따른 교통문제를 해소하고 토지의 이용 효율을 높이기 위하여 지하공간의 활용은 필연적이라 할 수 있다. 특히, 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, 장기수용의 탄력적 대응 등 사회적, 경제적 손실을 절감하기 위하여 공동구의 필요성에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다(Kang and Choi, 2015).

Sim et al. (2017)의 연구에서는 공동구 계획과 설계를 보다 효율적으로 구현할 수 있도록 도심지 공동구 최적설계를 위한 평가 프로그램을 개발하였다. Lee et al. (2017)은 타당성 평가시스템을 세분화하여 도심지의 유형에 따른 공동구 설치 타당성 평가를 위한 정량적 평가시스템의 구현이 가능한 프로그램을 개발하였으며, Cho et al. (2018)은 정량적 경제성 평가를 위하여 항목별 중요도 분석을 통하여 공동구의 설치와 관련된 연구를 진행하였다.

기존의 연구에서는 공동구 내부의 수용시설물의 분석 보다는 공동구의 전반적인 사항에 대하여 언급하고 있다. 이에 본 논문에서는 공동구 기본계획(구상) 단계에서 *VE/LCC* 기법을 사용하여 내부 수용시설물을 결정하기 위한 방법론을 제시하였다.

2. 공동구 내부 수용시설물 결정기법의 필요성

공동구 설치를 위한 의사결정 과정은 타 건설 공사(시설물)와 유사하게 기본계획, 기본설계, 실시설계 단계 등을 거쳐 최종 설계를 포함하고 있다. 공동구 설계용량 최적화를 위한 의사결정 방법(Sim et al., 2017)에서는 Deming Cycle을 이용하여 1차 구상 단계 PDCA (Plan-Do-Check-Action)와 2차 최적화 단계 PDCA의 반복수행으로 공동구의 계획 및 설계를 도출하였다(Fig. 1).

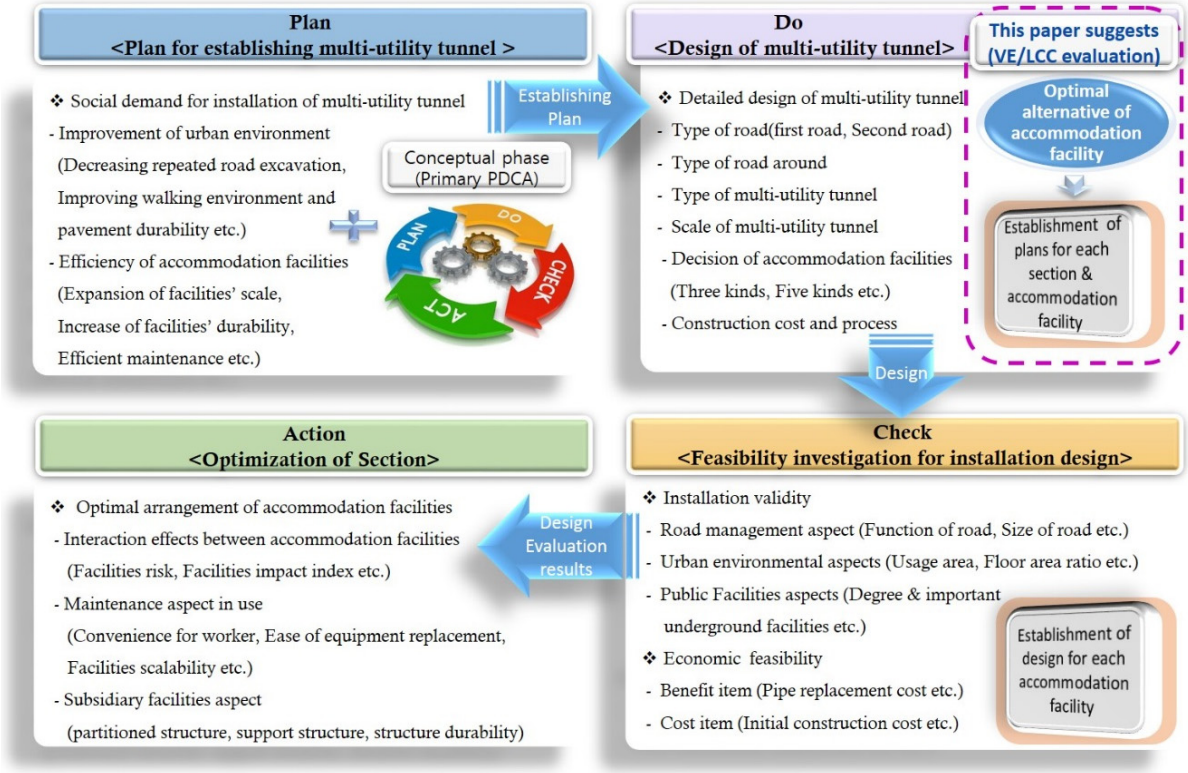


Fig. 1. Detailed contents of PDCA

구상 단계와 최적화 단계의 가장 큰 차이는 초기에 주어진 정보(양)의 차이에 있다. 기본계획의 절차인 구상 단계는 공동구의 설치 여부를 판단하는 중요한 시발점이 되는 단계이나 관련 자료(지표 및 항목)의 부족으로 수용시설물을 계획하지 못하여 공동구 규모, 형식, 공사비 등의 결정이 어렵다. 본 논문에서는 구상단계에서 수용시설물의 최적 대안을 결정하기 위하여 경제적 타당성평가 방법 중 하나인 *VE/LCC*를 선정하였다. 개별 시설물에 대하여 각 항목의 평가를 합산한 성능점수(Function)와 *LCC* 비용을 환산한 상대 *LCC*에 대하여 가치지수(*V*)를 평가하였다. 종별 대안에 대하여 점수 합산 후 최종대안을 제시하였으며, 분석된 결과값과 국내 공동구 수용시설물의 현황을 비교하였다.

3. VE/LCC 평가 기법

*VE*는 Value Engineering의 약자로서 국내에서는 '가치공학' 으로 알려져 있으며, *VA* (Value Analysis; 가치분석)라고도 불린다. 최저의 생애주기비용(Life Cycle Cost, *LCC*)으로 필요한 기능을 확실히 달성하기 위하여 수행하며, 식 (1)은 *VE*를 정식화한 것이다.

$$\text{Value} = \frac{Function}{Cost} \tag{1}$$

여기서, Function: 각 항목에 대한 중요도 및 평가등급에 따른 점수의 합

Cost: *LCC* 비용으로 초기비용 + 유지관리비용 + 해체폐기비용

성능점수(Function, *F*)는 각 평가 항목에 대하여 계층의사분석(AHP) 기법에 의하여 점수가 부여되며, 가중치는 전문가 설문을 통하여 산정된다. 계측의사분석 기법은 일반적인 인간 행태나 분석적 사고를 반영한 계량적이고 논리적인 의사결정 기법의 하나로 적용이 쉬울 뿐만 아니라 이론적인 근거가 분명하기 때문에 공공과 민간부문의 집단의사결정 과정에서 널리 사용 된다. 이 방법은 의사결정 과정에서 지식, 경험, 직관을 기반으로 한 상대비교를 통해 전문적인 평가를 유도할 뿐만 아니라 측정이 불가능한 정성적 요소에 대해서도 상대적 평가가 가능하기 때문에 보다 현실적인 결과를 도출할 수 있다. 각 항목에 대한 가중치는 전문가에게 설문조사를 실시한 후, 계층의사분석을 통해 가중치를 산정하고 그 결과를 합산하여 기하 평균치를 대푯값으로 정한다. 각 항목에 대한 중요도 및 평가등급을 고려하여 성능점수(*F*)를 평가한다.

생애주기비용은 시설물의 기획단계에서부터 폐기/처분 시까지 모든 비용을 반영한 것으로 식 (2)는 *LCC* 비용을 정식화한 것이다.

$$\text{LCC} = \text{IC} + \text{PVMOR} + \text{PVD} = \sum_{j=1} C_j^{ic}(x) + \sum_{k=0} \frac{OMR_k}{(1+i)^k} + \sum_{k=0} \frac{D_k}{(1+i)^k} \tag{2}$$

여기서, IC (초기비용) = 건설비 + 계획비 + 설계비 + 감리비

PVOMR (유지관리비용) = 관리비 + 점검비 + 보수비

PVD (해체폐기비용) = 해체비 + 폐기비 − 잔존가치비

j: 구성항목

C_j^{ic}: 초기비용 항에 관련된 구성항목의 적용 비용

x: 구성항목에 관련된 제반변수

OMR_k: 매년 발생되는 항목별 유지관리 비용의 총합

D_k: K년도의 해체폐기 비용의 총합

i: 할인율

3개의 구성 항목을 합산 후 가장 적은 비용을 1 (상대 *LCC*)로 하여 각 수용시설물과의 차이를 비교하며, 성능점수(*F*)에 상대 *LCC* (*C*)를 나누어 각 수용시설물의 가치지수(*V* = *F*/*C*)를 구한다.

4. 수용시설물 결정 분석 방법

4.1 개요

공공부분 투자사업의 경제적 타당성 평가에 주로 사용되는 방법은 비용·편익분석, 비용·효과분석, 목표·성취분석, *VE/LCC* 등이 있다. 본 논문에서는 설계와 시공 사항의 적정성 검토를 위해 다양한 분야에서 법적 제도의 근거로 수행되고 있으며, 공동구 설치와 관련된 사항을 종합적으로 고려할 수 있는 가치-비용 분석의 개념인 *VE/LCC*를 선택하였다.

VE/LCC 평가 시 공동수용(전체)에 대한 평가가 아닌, 수용 가능한 시설물로 평가한 이유는 본 평가는 공동수용 항목을 결정하기 위한 최초 구상(의사결정) 단계이므로 개별 시설물별 평가를 통해 공동수용 시 장/단점을 분석하여 대상 지역에 최초 기본 계획 차원의 대안을 제시하기 위해서 이다. 공동 수용에 대한 평가는 해당 지역에 대한 설계 조건을 바탕으로 본 논문에서 제시된 기법을 통해 공동수용 항목을 대안별로 결정하고, 경제성 및 타당성 평가와 통합하여 진행한다. 구상단계에서는 수용 가능한 시설물을 평가하고, 최적화 단계에서는 공동 수용에 대해 평가하는 절차로 나누어 전체 의사결정 과정을 고려하였기에, 본 논문에서는 수용 가능한 시설물에 대한 평가만을 제시하였다. Table 1은 수용 가능한 시설물 평가와 공동수용 후 최적화 평가에 대한 정의, 특징, 분석 등을 나타내며, 본 논문에서는 수용 가능한 시설물 평가를 적용하였다.

Table 1. Comparison of two evaluation types

Division	Evaluation of acceptable facilities	Optimal evaluation after joint accommodation
Definition	Evaluation of individual facility	Evaluation of the accommodation facility to be installed
Characteristic	• Applicable for initial decision making • Apply a variety of alternatives	• Applies only to plans and selected alternatives • Can be analyzed in conjunction with various indicators
Analysis	• Analysis of individual facility • Final results for each alternatives	• Analysis of joint accommodation • Analysis in connection with feasibility and economic efficiency
Result	Various evaluation of one area	Evaluation of regional and analytical branches
Select	This paper	PDCA Performance

4.2 수용시설물 결정분석 절차

앞서 언급한 기법에 대한 수용시설물 평가 분석 절차는 5단계로 나눌 수 있다(Fig. 2). 1단계 에서는 공동수용 가능한 시설물 대안 형성 전 분석 대상 각 수용시설물의 특징 등을 통해 공동구에 수용 가능한 시설물을 선택하는 단계이다. 2단계는 선택된 수용시설물에 대하여 조합 가능한 종별 대안을 형성하는 단계이며, 3단계는 개별 시설물에 성능점수를 개별시설물별로 합산 후 상대 *LCC*로 나누어 각 수용시설물에 대한 가치치수를 평가하는 단계이다. 4단계에서는 개별 시설물의 평가 점수를 종별 대안에 대하여 적용하여 순위를 산정 하는 단계이며, 마지막 단계에서는 종별로 산정된 대안에 대하여 최적 대안을 제시한다.

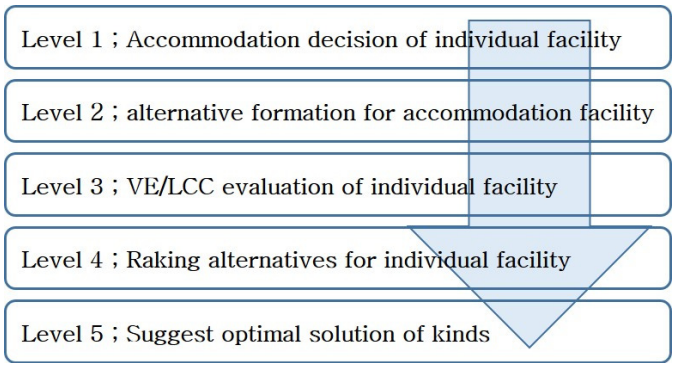


Fig. 2. Optimal alternative analysis procedure for facility

4.3 공동수용 시설물의 결정 및 구성 가능 대안 형성

공동구가 설치되는 경우에는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 제35조의3 (공동구에 수용하여야 하는 시설)에 따라 제1호(전선로), 제2호(통신선로), 제3호(수도관), 제4호(열수송관), 제5호(중수도관), 제6호(쓰레기 수송관)의 시설을 공동구에 수용하여야 하며, 제7호(가스관) 및 제8호(하수도관)의 시설은 법 제44조의2 제4항에 따른 공동구협의회(이하 "공동구협의회"라 한다)의 심의를 거쳐 수용할 수 있다.

8개의 수용시설물 중 제7호 및 제8호는 공동구 협의회를 거쳐 수용할 수 있는데 하수도관의 경우 개착식 공동구에서는 도로면의 구배를 기본으로 해서 분기구 부근에서 가장 깊은 토피고를 갖고 일반부에서는 경제성 등을 확보하기 위해 최소 토피를 확보해야 한다. 이러한 특징 때문에 약 2.5~5.5 m 가량의 토피를 갖는 형태로 설치가 되는 것이 일반적이므로 일정한 구배를 유지해야 하는 하수관거는 수용이 어렵다. 또한, 터널식 공동구에서 하수도를 수용할 경우 대형 중계펌프장과 병행하여 공동구를 건설해야 하므로 자연 유하식이 기본인 하수도 체계에 부합하지 않은 특징이 있는 것으로 나타났다.

가스관을 제외한 시설물의 경우 화재, 누수 등으로 공동구 내의 수용시설물에 부분적인 피해 가능성은 있으나, 심각한 피해를 발생 시킨 사례는 없다. 가스관의 경우 국외에서와 같이 공동구로 수용이 가능한 모든 시설을 수용하는 것이 공동구의 설치목적에 부합하나 공동구의 주요 점용예정자(타 시설기관) 및 공동구 유지관리 기관, 영세한 가스시설 사업자 모두의 반대가 심하여 공동구로 수용되지 못하고 있다. 또한, 가스관의 가장 큰 문제점은 가스누설에 의한 폭발이 일어날 경우 공동구 내 다른 수용시설물에 심각한 피해를 줄 수 있으며, 구조물의 안정성에도 영향을 미친다.

설치 예정 지역의 특징과 환경 등을 고려하여 수용시설물 중 공동수용 가능한 시설물 결정 후 각 종별(3종/4종 등)로 구성 가능한 대안을 형성한다. 3종 시설물의 경우 8개의 수용시설물에서는 56개, 7개의 수용시설물에서는 35개, 6개의 수용시설물에서는 20개의 대안을 형성할 수 있다.

4.4 VE/LCC 평가 방법

성능점수 분석을 위하여 공동구 수용시설물에 대한 평가항목을 총 5개(경제성, 효율성, 필수수용시설, 상호영향, 시공성)로 분류하였다(Table 2).

경제성은 공동구 내 수용시설물 점용 면적에 대한 항목이다. 전선로 및 통신선로는 측벽에 트레이가 설치(면적 최소화)되어 있어 공동구 내에서 면적을 최소화 할 수 있으며, 전선로는 개착식의 경우 대부분 단독구로 설치 되어있었다. 국내 시공된 공동구의 경우 수도관 및 냉/난방관의 크기는 다양한 것으로 나타났으며, 중수도는 직경 500 mm 이하, 쓰레기수송관은 직경 500 mm 이상이었다. 효율성은 수용시설물의 미래 확장 가능성에 관련된 항목이다. 공동구는 작업 공간에 제약적이 있어서 수용시설물 교체와 관련된 효율성을 고려하여야 하며, 도시의 발전 등으로 공동구 내 수용시설물의 수요 증가로 인한 추가 설치 가능성도 고려하여야 한다.

필수수용시설은 사회적 요구 사항을 반영한 중요도에 대한 항목이다. 전선로, 통신선로, 수도관은 사회기반 시설로서 기존 시가지 필수 수용시설(SMG, 2014) 이며, 냉/난방관은 최근 공동구 설치 시 포함되고 있다. 또한, 중수도 및 쓰레기수송관은 공동구 시공시 지역 및 협의회와의 협의로 수용 여부를 판단한다. 상호영향은 공동수용 시 수용시설물이 상호간에 미치는 영향과 관련된 항목이다. 전선로는 통신케이블에 유도 전압 발생으로 인해 통신장애 우려가 있으므로 최소 이격거리를 확보해야 하며, 전선로 케이블의 온도상승을 고려하여 환기시설을 고려해야 한다. 통신선로는 케이블이 습기에 민감한 반응을 나타내므로 상수도관, 고온수관 등의 용수관과 동시 수용되는 경우 통신장애 우려가 있으므로 이격거리를 고려하여 설치하여야 한다. 수도관은 누수 시 난방관의 온도를 저하시켜 난방공급에 지장을 초래 할 수 있으므로, 누수사고를 대비한 상수도관 자동개폐용 차단밸브를 설치 등을 고려하여야 한다.

시공성은 유지관리 등을 포함한 항목이다. 시공성은 관리자 및 작업자의 편의성을 고려한 항목으로 보수, 보강 등과 같이 빈번하게 발생하는 작업과 교체와 같이 주기적으로 발생하는 작업에 대한 소요시간 및 작업난이도와 관련된 평가항목 이다.

Table 2. Item and contents of performance score (F)

Item	Contents	Importance	Evaluation rating
Economic feasibility	Occupation area of accommodation facility in multi-utility tunnel	1~5	1~10
Efficiency	Possibility of future expansion of accommodation facility		
Essential accommodation facility	Importance reflecting social requirements		
Mutual influence	Influence on each accommodation facility on other facility		
Construction	Time and work difficulty of maintenance		

4.5 대안별 순위 산정 및 최종 대안 제시

각 평가 항목에 대하여 중요도 및 평가등급에 따라 가중치를 고려한 점수를 산정한 후 수용시설별 점수를 합산한다. *LCC*에서 각 수용시설별 비용을 산정 후 수용시설물 중 최저 비용을 기준(1)으로 각 수용시설물에 대하여 상대 *LCC*로 수정 후 *V*값을 산정한다(*LCC*에 의한 *V*값과 상대 *LCC*에 의한 *V*값은 동일하나 수용시설물의 *LCC*를 쉽게 구분하기 위하여 수정한다). 각 수용시설물의 *V*값을 종별 대안에 대하여 평가 후 순위에 따른 대안을 선정한다.

5. 적용 예

5.1 개별시설물 의사 결정 및 대안 형성

본 연구의 공동구 수용시설물 최적 대안결정 기법을 서울시의 ○○대교남단~○○역교차로(1.9 km)에 대하여 적용하였으며, 지역에 대하여 가용 가능한 지표를 포함하여 분석하였다.

제1~6호의 수용시설물은 국내/외의 공동구에 포함된 사례가 많으나, 가스관과 하수도관의 경우 국외에서는 시공사례가 있으나, 기존 점용예정자(전력, 통신, 상수도 사업자 등)의 반대 및 각 시설물의 특징으로 지금까지 국내 공동구에 반영된 사례가 없었다. 본 논문에서는 가스관 및 하수도관의 특징 및 사례를 고려하여 수용시설물 분석 대상에서 제외하였으며, 분석을 위하여 기존 공동구에서 사용되는 명칭을 고려하여 열수송관은 냉/난방관으로 수정하여 분석하였다.

분석 대상인 6개의 수용시설물에 대하여 대안을 도출하였으며, 3종 시설물로 설치 가능한 수용시설물 현황은 Table 3과 같으며 총 20개의 대안을 분석 대상으로 하였다.

Table 3. Status of accommodation facility for three kinds of multi-utility tunnel

Division	Accommodation facility	Division	Accommodation facility
3-1	EPC, CL, WP	3-11	CL, WP, CHP
3-2	EPC, CL, CHP	3-12	CL, WP, WRP
3-3	EPC, CL, WRP	3-13	CL, WP, WTP
3-4	EPC, CL, WTP	3-14	CL, CHP, WRP
3-5	EPC, WP, CHP	3-15	CL, CHP, WTP
3-6	EPC, WP, WRP	3-16	CL, WRP, WTP
3-7	EPC, WP, WTP	3-17	WP, CHP, WRP
3-8	EPC, CHP, WRP	3-18	WP, CHP, WTP
3-9	EPC, CHP, WTP	3-19	WP, WRP, WTP
3-10	EPC, WRP, WTP	3-20	CHP, WRP, WTP

EPC: Electric power cable, CL: Communication Line, WP: Water pipe, CHP: Cooling/Heating pipe, WRP: Wastewater reclamation reusing system pipe, WTP: Waste transport pipe.

4종 및 5종 시설물의 설치 가능한 수용시설물 현황은 Tables 4, 5와 같으며, 각 15개와 6개의 시설물이 조합 가능한 것으로 나타났다. 본 연구에서는 6개의 시설물은 분석 대상으로 하고 있으며, 6종 수용시설물은 전선로, 통신선로, 수도관, 냉/난방관, 중수도관, 쓰레기수송관으로 구성되어 한 개의 대안만 가능하여 분석에서 제외하였다.

Table 4. Status of accommodation facility for four kinds of multi-utility tunnel

Division	Accommodation facility	Division	Accommodation facility
4-1	EPC, CL, WP, CHP	4-9	EPC, WP, WRP, WTP
4-2	EPC, CL, WP, WRP	4-10	EPC, CHP, WRP, WTP
4-3	EPC, CL, WP, WTP	4-11	CL, WP, CHP, WRP
4-4	EPC, CL, CHP, WRP	4-12	CL, WP, CHP, WTP
4-5	EPC, CL, CHP, WTP	4-13	CL, WP, WRP, WTP
4-6	EPC, CL, WRP, WTP	4-14	CL, CHP, WRP, WTP
4-7	EPC, WP, CHP, WRP	4-15	WP, CHP, WRP, WTP
4-8	EPC, WP, CHP, WTP		

Table 5. Status of accommodation facility for five kinds of multi-utility tunnel

Division	Accommodation facility	Division	Accommodation facility
5-1	EPC, CL, WP, CHP, WRP	5-4	EPC, CL, WP, WRP, WTP
5-2	EPC, CL, WP, CHP, WTP	5-5	EPC, WP, CHP, WRP, WTP
5-3	EPC, CL, CHP, WRP, WTP	5-6	CL, WP, CHP, WRP, WRP

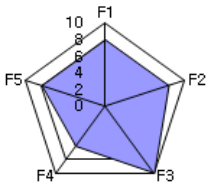
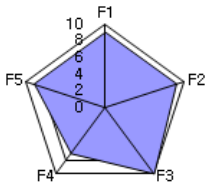
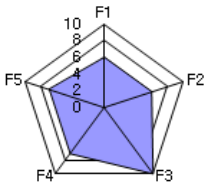
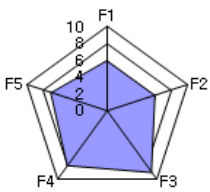
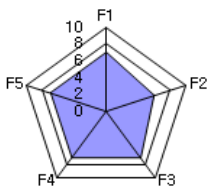
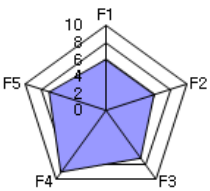
5.2 개별시설물 VE/LCC 평가

경제성, 효율성, 중요도, 상호영향, 유지관리, 시공성의 항목에 대하여 객관성 있는 점수 산정을 위하여 평가지표별 중요도에 대해 전문가 6인에게 설문조사(공동구 관리 3인, 한국시설안전공단 2인, 외부 전문가 1인)를 실시한 후, 계층의사분석을 통해 가중치를 산정하고 그 결과를 합산하여 기하 평균치를 대푯값으로 정하였다.

*LCC*에 대한 초기비용은 MLIT (2008)를 참고하여 결정하였으며, 분석기간은 SMG (2014)에서 적용한 75년을 적용하였다. 할인율은 MLIT (2006)에서 적용한 할인율 3.2%를 적용하였으며, 수용시설물은 1 km에 대하여 초기공사비, 유지관리비, 해체폐기비용을 산정 후 가장 비용이 적은 통신선로를 1 (기준)로 하여 타 수용시설물에 대한 상대 *LCC*를 비교 하였으며, 해체폐기비용은 미래에 발생되는 비용으로 할인율 적용 시 분석에 미치는 영향이 미비하여 제외 하였다.

통신선로의 성능점수가 90.5점으로 가장 높게 나타났으며, 쓰레기수송관의 성능점수는 51.1점으로 분석되었다. 쓰레기수송관의 경우 성능점수가 낮고 상대 *LCC*가 높게 평가되어 가치지수에서 가장 낮은 점수로 평가되었으며, Table 6은 수용시설물에 대한 *VE/LCC* 결과이다.

Table 6. Result of VE/LCC analysis of each accommodation facility

Evaluation items		EPC	CL	WP
Performance score (F)	Economic feasibility (F1)	17.6	19.8	13.2
	Efficiency (F2)	17.6	19.8	13.2
	Essential accommodation facility (F3)	29.0	29.0	29.0
	Mutual influence (F4)	7.2	8.4	8.4
	Construction (F5)	12.0	13.5	10.5
	Total	**83.4**	**90.5**	**74.3**
Performance evaluation diagram				
LCC (one hundred million won)		30.6	9.6	38.4
Relative LCC (C)		**3.2**	**1.0**	**4.0**
Value index (V = F/C)		**26.1**	**90.5**	**18.5**
Evaluation items		CHP	WRP	WTP
Performance score (F)	Economic feasibility (F1)	13.2	13.9	7.9
	Efficiency (F2)	13.2	11.9	7.9
	Essential accommodation facility (F3)	26.1	20.3	20.3
	Mutual influence (F4)	9.6	5.9	7.6
	Construction (F5)	10.5	9.5	7.4
	Total	**72.6**	**61.4**	**51.1**
Performance evaluation diagram				
LCC (one hundred million won)		55.5	30.8	47.0
Relative LCC (C)		**5.8**	**3.2**	**4.9**
Value index (V = F/C)		**12.5**	**19.1**	**10.4**

가치지수($V = F/C$)는 3종 시설물에서는 41.5~135.7점으로, 4종 시설물은 60.6~154.3점으로 나타났다. 5종 시설물은 86.7~166.8점으로 분석되었으며, Table 7은 종별 가치지수의 분석 결과를 나타낸 결과이다.

Table 7. Results of value index and rank estimation for different kinds

(a) Three kinds

Division	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9	3-10
Value index	135.1	129.1	135.7	127.0	57.2	63.8	55.1	57.8	49.1	55.7
Rank	2	3	1	5	13	11	15	12	17	14
Division	3-11	3-12	3-13	3-14	3-15	3-16	3-17	3-18	3-19	3-20
Value index	121.6	128.2	119.4	122.2	113.4	120.1	50.2	41.5	48.1	42.1
Rank	7	4	9	6	10	8	16	20	18	19

(b) Four kinds

Division	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8
Value index	147.7	154.3	145.6	148.3	139.6	146.2	76.3	67.6
Rank	3	1	5	2	7	4	11	14
Division	4-9	4-10	4-11	4-12	4-13	4-14	4-15	
Value index	74.2	68.2	140.7	132.0	138.6	132.6	60.6	
Rank	12	13	6	10	8	9	15	

(c) Five kinds

Division	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6
Value index	166.8	158.1	158.7	164.7	86.7	151.1
Rank	1	4	3	2	6	5

5.3 개별시설물 의사 결정 및 대안 형성

각 종별 수용시설물의 가치점수 상위 현황은 Table 8과 같다. 3종 시설물에서는 3-3 대안이 가장 높은 순위였으며, 4종 시설물은 4-2 대안 점수가 가장 높았다. 5종 시설물의 경우 5-1 대안이 가장 높은 순위로 평가되었다.

Table 8. Accommodation facility top of different kinds

Division		Raking	Accommodation facility
Three kinds accommodation facility	3-3	1st	EPC, CL, WRP
	3-1	2nd	EPC, CL, WP
	3-2	3rd	EPC, CL, CHP
Four kinds accommodation facility	4-2	1st	EPC, CL, WP, WRP
	4-4	2nd	EPC, CL, CHP, WRP
	4-1	3rd	EPC, CL, WP, CHP
Five kinds accommodation facility	5-1	1st	EPC, CL, WP, CHP, WRP
	5-4	2nd	EPC, CL, WP, WRP, WTP
	5-3	3rd	EPC, CL, CHP, WRP, WTP

또한, 공동구의 수용시설물은 3종/4종/6종이 대부분을 차지하고 있다(세종, 마곡; 25.5 km (시공 중), 은평 외 22개소; 115 km). 국내 공동구의 3종과 4종의 대표 수용시설물은 Table 9와 같으며, 본 논문에서 분석된 각 종별 3개의 상위 수용시설물 결과는 국내 시공된 공동구의 대표 수용시설물과 유사한 것으로 나타났다.

Table 9. Comparison of domestic multi-utility tunnel and analysis result

Division	Domestic multi-utility tunnel representative accommodation facility	Analysis results (Raking)
Three kinds accommodation facility	EPC, CL, WP	3-1 (Second)
Four kinds accommodation facility	EPC, CL, WP, CHP	4-1 (Third)

6. 결 론

본 논문에서는 공동구 도입 시 구상 단계에서의 공동구 내 개별시설물의 최적 결정 기법을 제시하였다. 8개의 수용시설물 중 가스관 및 하수관을 제외하고 6개의 개별시설물에 대한 분석을 수행하였다. 개별시설물을 3종/4종/5종을 분류하여 대안을 형성하였으며, *VE/LCC*분석을 위하여 성능점수(*F*)의 평가항목은 5개로(경제성, 효율성, 필수수용시설, 상호영향, 시공성) 분류 하였다. 개별 시설물의 *LCC*를 상대 *LCC*로 환산 후 가치지수(*V*)의 결과를 각 대안에 대하여 분석을 시도하였으며, 종별로 최적 대안을 제시하였다. 향후 분석 지역에 기 설치된 수용시설물에 대한 반영과 지역의 특성 등을 고려한 추가적인 연구가 진행 될 예정이며, 성능점수(*F*)의 항목에 대하여 추가로 분석한다면 공동구 도입 시 수용시설물의 대안 형성에 효율적으로 활용 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업의 '도심지 소단면(Φ3.5 m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(17SCIP-B105148-03)' 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. Kang, Y.K., Choi, I.C. (2015), "Economic feasibility of common utility tunnel based on cost-benefit analysis", Journal of Korean Society of Safety, Vol. 30, No. 5, pp. 29-36.
2. Lee, S.W., Sim, Y.J., Na, G.T. (2017), "A fundamental study on the development of feasibility assessment system for utility tunnel by urban patterns", Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 19, No. 1, pp. 11-27.
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2006), "A study on activation plan of the multi-utility tunnel (Phase 1)", pp. 210-235.

4. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2008), “Activation of multi-utility tunnel (Phase 2)”, pp. 353-362.
5. Seoul Metropolitan Government (2014), “A report of the feasibility and basic planning establishment for urban utility tunnel in Seoul”, pp. 188-192.
6. Sim, Y.J., Jin, K.N., Oh, W.J., Cho, C.Y. (2017), “Development of evaluation model for optimum design of multi-utility tunnel in urban area”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 19, No. 3, pp. 437-447.
7. Cho, C.Y., Sim, Y.J., Kim, H.K., Lee, P.Y., Lee, M.J. (2018), “Analysis of importance by category for quantitative economic evaluation of multi-utility tunnel”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 20, No. 1, pp. 119-130.