

VE 기법을 이용한 토취장 선정에 관한 연구

A Study on the Selection of Borrow Pits by Using VE Techniques

김승기¹, 이병석², 양재혁³, 이종천⁴, 김찬기^{5*}

Seung-Ki Kim¹, Byung-Suk Lee², Jae-Hyounk Yang³, Jong-Cheon Lee⁴, Chan-kee Kim⁵

¹Non-Member, Assistant Manager, C.G Engineering & Consulting Co., Ltd., 306 Digital-ro, Guro-gu, Seoul, Republic of Korea

²Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju, Republic of Korea

³Non-Member, General Manager, Korea Development Corporation, 16, Heungan-daero 427beon-gil, Dongan-gu, Anyang, Republic of Korea

⁴Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongkang College, 50 Dongmoon-daero, Book-gu, Kwangju, Republic of Korea

⁵Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Daejin University, 1007 Hokook-ro, Pocheon, Republic of Korea

ABSTRACT

The purpose of this study is to review that the VE techniques can be used as a selection tool of borrow pit locations. The analysis of the soil investigation report is performed for the selection of proposed borrow pit site on a large-scale residential development area. Possible earthwork volume of mining is estimated and the weighting matrix evaluation is applied to the VE techniques. After determining the evaluation items for VE assessment, important degree was calculated. The Rating and evaluation of performance is carried out on a proposed borrow pit site. And, development priority has to be decided for a proposed borrow pit sites. As a result, the relative construction cost is closely related to the haulage distance. As the haulage distance increases, the relative construction cost will be increased. Therefore, it was confirmed quantitatively that haulage distance has a significant impact on the select of borrow pits. Also, it was found that the condition of borrow pits itself is important, but it cannot be ignored the impact of the life cycle cost for the selection of optimal borrow pit sites.

요 지

본 연구에서는 Value Engineering 기법을 토취장 선정의 도구로 활용할 수 있는지의 여부를 검토하였다. 이를 위해 대규모 택지개발지역의 토취장 후보지들에 대한 지반조사 결과를 분석한 후 토취장 후보지들의 가채량을 산정하였으며, 토취장 후보지들의 VE 평가에는 가중치 부여 매트릭스평가법을 적용하였다. VE 평가를 위해 평가항목을 결정한 후 중요도를 산정하고 평가척도를 설정하였으며, 토취장 후보지에 대한 성능등급 및 성능평가를 수행하여 토취장 후보지들의 개발 우선순위를 결정하였다. 결과적으로 토취장 후보지들에 대한 상대공사비는 운반거리와 밀접한 관련이 있으며, 운반거리가 멀어질수록 상대공사비는 점차 증가하므로 운반거리가 토취장 선정에 있어 상당한 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 또한 최적의 토취장 후보지를 선정하는데 있어 토취장 자체의 조건도 중요하지만, 생애주기비용의 영향을 무시할 수 없는 것으로 나타났다.

Keywords : VE technique, Borrow pit, Weighting matrix evaluation, Haulage distance, Life cycle cost

1. 서 론

토취장은 운반거리뿐만 아니라 사용허가, 품질조건, 지질물 존재 여부, 채취 가능토량, 소유주 동의 등 여러 가지

선정기준을 만족하여야 한다. 이들 선정기준들은 공사현장의 입지여건, 주변현황 등에 따라 중요도가 변화하게 되고 판단자의 주관적인 관점에 따라 좌우되므로 복수의 후보지 중 최종적으로 결정한 토취장이 어느 정도의 신뢰성을 갖고 결정되었는지는 판단하기 어렵다. 즉, 토취장은 토공작업에 큰 영향을 미침에도 불구하고 현재까지 토취장 선정기준을 정량적으로 평가한 후 최적의 토취장을 선

Received 21 Jan. 2016, Revised 24 Mar. 2016, Accepted 25 Mar. 2016

*Corresponding author

Tel: +82-31-539-2021; Fax: +82-31-539-2020

E-mail address: ckkim@daejin.ac.kr (C. K. Kim)

정할 수 있는 기법은 아직 제안되지 않고 있는 실정이다. 따라서 토취장 선정기준을 모두 고려할 수 있는 정량적인 토취장 선정기법이 요구되며, 최적의 생애주기비용(Life cycle cost)으로 최상의 가치를 얻기 위한 프로세스인 VE(value engineering) 기법은 이들 개개의 선정기준들에 대해 가중치를 부여하여 신뢰성 높은 최종 토취장 후보지의 선정을 가능하게 하는 도구로서 생각할 수 있다.

VE 평가기법에는 Caltrans(1999)가 제안한 행렬(matrix) 기법과 1970년대 초반 Saaty(1980)에 의해 개발된 AHP(analytic hierarchy process)기법 등이 있다. 매트릭스 평가법은 사용자 입장에서 고려한 각 대안에 대해 대안이 실행될 경우에 영향을 받을 평가 방향을 결정하고 영향도(중요치)에 대해 점수를 부여하는 기법이다. AHP기법은 계층분석적 의사결정 방법으로 쌍대비교 평가에 가중치와 대안 비교를 수행하여 평가의 신뢰성을 높인 방법이다. 매트릭스기법은 AHP기법의 간략적인 해법으로 볼 수 있다. VE는 그 실시시기가 빠를수록 가치향상의 기회가 커지므로 설계단계의 VE는 초기에 적용함으로써 더 큰 효과를 기대할 수 있다. 한편, 토취장 선정 등과 같은 기능분류, 기능정리 및 FAST 다이어그램 등의 기능평가에 관한 연구로는 Kelly and Male(2001), Warwick (1994), Arratia(1998) 등에 의해 수행된 바 있다.

본 연구에서는 원가절감, 공기단축, 그리고 품질향상 등의 도구로서 건설 분야에 적용되어 온 VE 기법이 최적의 토취장 선정에 적용할 수 있는지의 여부를 검토하여 새로운 개념의 토취장 선정기법을 제시하려고 한다. 즉, 그 동안 건설 분야의 기획, 설계 시공단계에서 최적의 대안을 선정하는데 적용된 VE 기법을 토취장을 선정하는데 적용하여 그 활용성 여부를 검토하였다.

최적의 토취장 선정을 위한 VE 기법의 적용 가능성 여부를 검토하기 위해 과거의 대규모 택지개발을 위해 선정된 다수의 토취장 후보지에 대한 지반조사 결과를 분석한 후 토취장 후보지들의 채취 가능토량인 가채량을 산정하였다. 다음으로 최적의 토취장 후보지 선정을 위한 VE 기법을 적용하였다. VE 기법을 적용하는데 있어 토취장 선정기준 중 VE 평가에 필요한 평가항목을 결정한 후 평가항목별 중요도를 산정하고 평가척도를 설정하였다. 평가항목별 중요도의 산정에서는 가중치 부여 매트릭스 평가법(Weighting matrix evaluation)을 적용하였다. 토취장 후보지별 등급 및 성능을 평가하였으며, 토취장 후보지별 생애주기비용에 따른 가치순위 및 토취장 개발의 우선순위를

결정하였다. 이를 통해 토취장 선정에 있어 VE 기법의 적용성을 검토하였다.

2. VE 평가기법

메트릭스 평가법은 각 대안에 대하여 대안이 실행되었을 때 영향을 미치는 평가항목을 결정한 후 영향도에 대해 점수를 부여한다. 점수의 범위는 가장 빈약한 것에서 가장 양호한 영향을 주는 대안에 5점을 부여하여 각 대안의 합계점수를 구해 점수가 가장 높은 대안을 최적으로 결정한다. 평가항목으로는 대안이 평가항목에 주는 영향도를 고려하여 결정한다(KICT, 2000). 매트릭스 평가법의 변형인 가중치 부여 매트릭스 평가법은 특정 공정의 여러 대안 중 최적안을 선정할 때 가장 널리 사용되고 있다. 매트릭스 평가법에서는 각 항목의 중요도가 모두 동일한 경우는 드물므로 각 평가항목에 가중치를 부여한다. 각 대안의 평가점수는 평가항목별 점수에 평가항목의 가중치를 곱한 점수를 합계하여 계산한다. 매트릭스 평가를 위한 세부적인 작성순서와 절차는 Fig. 1과 같으며, 다음과 같은 절차로 진행된다.

① 중요 평가기준 항목들을 평가항목 란에 나열한다.

② 평가항목들은 서로 쌍방으로 비교되고 가중치 측정 기준을 참조하여 "A-4"(A : 평가기준 항목, 4 : A 평가항목이 비교되는 다른 평가항목보다 최상위로 중요한 경우)와 같은 형식으로 그 비교 정도를 오른쪽 란에 기입한다. 만약에 두 평가항목의 중요도가 동일하게 평가되었을 때에는 A/B와 같은 방법으로 표기한다.

③ 평가항목에 대한 점수를 합산하여 평가 합계점수 란에 기입하며, 점수의 합산방법은 같은 평가항목을 가진 점수를 모은 다음, 전부 더하여 계산한다.

④ 평가항목에 대한 가중치를 구하기 위해서 합산된 점수는 10등급으로 나누어진다. 가장 높은 점수를 받은 항목을 10으로 두고 이를 기준으로 하여 남은 항목들은 비례적으로 환산한다.

⑤ 평가 행렬에서 대각선으로 표시된 란 중 왼쪽에는 각 평가항목에 대한 대안의 평가치를 5점 척도(예를 들어, 훌륭함 : 5, 아주 좋음 : 4, 좋음 : 3, 보통 : 2, 나쁨 : 1)를 사용하여 나타낸다.

⑥ 대각선으로 표시된 란 중 오른쪽 란에는 각 평가항목의 가중치와 대안의 평가치를 곱한 값을 기입하고 그 합계를 총점 란에 기입한다.

Matrix of evaluation items score

Measure standard of weight

- 4-Most important
- 3-Very important
- 2-Important
- 1-Slightly important

Matrix of counterplan evaluation

Evaluation standard of counterplan

- 5-Excellent
- 4-Very good
- 3-Good
- 2-Common
- 1-Poor

A. Aesthetic function	A/B	A-4	A-2	A-3	A-2	A-3	A-3													
B. Functionality	C-3	B-3	B/E	B/F	B-3	B-3	B-3													
C. Serviceability	C/D	C-3	C-2	C-3	C-3	C-3	C-3													
D.	E-2	D-3	D-4	D-4	D-4	D-4	D-4													
E.	E-3	G/E	G/E	G/E	G/E	G/E	G/E													
F.	F-3	F-3	F-3	F-3	F-3	F-3	F-3													
G.	G	F	E	D	C	B	A													
Combined score	1	3	6	7	12	8	15													
Importance(0-10)	1	2	4	5	8	5	10													
1. Original plan	5	4	3	1	3	4	3	104												
2. Counterplan A	4	4	5	3	1	3	2	86												
3. Counterplan B	2	5	3	5	3	5	3	128 (Final counterplan)												
4. Counterplan C	3	3	4	5	1	2	3	98												
5.																				
6.																				
7.																				

Fig. 1. Example of optimized solution selecting matrix evaluation table (Alphonse, 1999)

⑦ 각 대안의 총점을 구한 후 가장 높은 점수를 확보한 대안을 최종 대안으로 선정한다.

3. 토취장 후보지 품질시험결과 검토 및 가채량 산정

최적의 토취장 선정에 있어 VE 기법의 적용성을 검토하기 위해 과거의 대규모 택지개발 사례를 연구 대상으로 선택하였다. 연구 대상지역은 경기도 OO지역의 부지조성 공사이며, Fig. 2에서 보인 바와 같이, 흙쌓기용 토량의 공급이 계획된 토취장은 총 17개소로서 부지 동남측에 산발적으로 위치하고 있다.

토취장 후보지의 토공재료 적합 여부를 파악할 수 있는 토질시험 결과를 정리하여 Table 1에 나타내었다. 모든 시험시료는 비소성(Non-plastic)으로 토공재료의 품질기준인 소성지수 10 이하를 만족하며, 그 밖의 다른 품질기준인 최대입경 100mm 이하, #4(4.75mm체) 통과율 25~100%, #200(0.075mm체) 통과율 25% 이하도 만족한다. 수정 CBR은 11.2~12.3% 범위로서 시방규정 10 이상을 만족한다.

한편, 시추조사 및 물리탐사 결과를 토대로 총 17개소의 토취장 후보지들에 대한 지층분포 특성을 파악한 후 Kriging 보간법을 기초로 한 Surfer 8.0 프로그램을 이용하여 토취장 후보지 U-1~17에 대한 토사 및 리핑암의 두

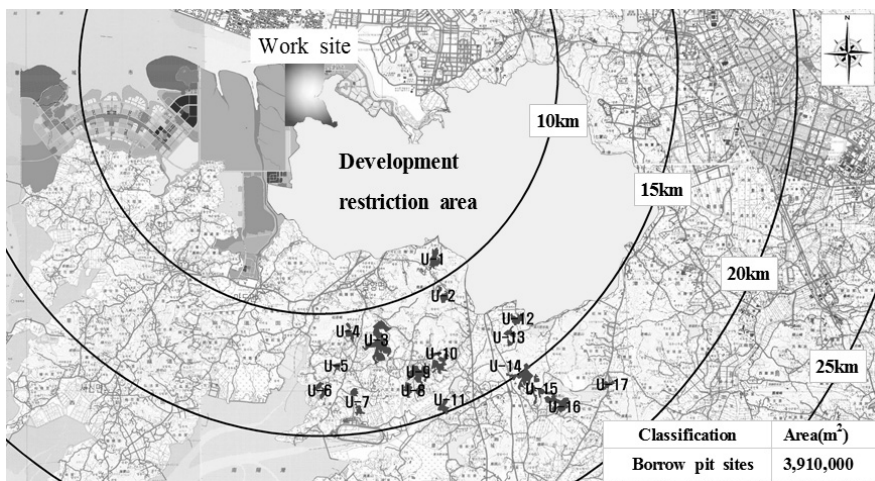


Fig. 2. Proposed borrow pit sites of study area

Table 1. Physical properties of soil sample

Classification	Depth (m)	Stratum	W/C (%)	PI (%)	USCS	Maximum Grain Size	Percent finer(%)				Mddified CBR (%)
							#200	#40	#10	#4	
U-1	3.0	Residual soil	7.1	NP	GM	9.7mm	13.3	19.0	28.0	33.0	11.7
U-2	5.0	Residual soil	10.3	NP	SM	5.3mm	13.3	25.5	53.0	63.0	11.2
U-3	3.0	Residual soil	10.9	NP	SM	7.4mm	18.6	45.4	90.0	97.0	12.3
U-4	2.0	Residual soil	19.3	NP	SM	9.4mm	23.6	56.5	92.0	96.0	11.2
U-5	10.0	Residual soil	20.9	NP	SM	9.9mm	24.8	68.7	93.0	97.0	11.4
U-6	7.0	Residual soil	26.1	NP	SM	7.5mm	18.8	41.3	87.0	91.0	12.1
U-7	6.0	Residual soil	15.2	NP	SM	9.4mm	23.6	64.0	98.0	99.0	11.7
U-8	4.0	Residual soil	9.2	NP	SM	5.5mm	13.8	43.6	89.0	92.0	11.3
U-9	8.0	Residual soil	19.9	NP	SM	5.6mm	14.1	33.8	64.0	70.0	12.1
U-10	4.0	Residual soil	8.5	NP	SM	7.0mm	17.5	49.8	90.0	93.0	12.0
U-11	2.0	Residual soil	14.0	NP	SM	6.5mm	16.3	36.6	75.0	79.0	11.4
U-12	2.0	Residual soil	16.2	NP	SM	6.6mm	16.5	39.4	84.0	89.0	11.6
U-13	2.0	Residual soil	9.5	NP	SM	7.0mm	12.3	26.8	72.0	79.0	11.3
U-14	2.0	Residual soil	8.8	NP	SM	5.1mm	12.8	27.1	67.0	74.0	12.2
U-15	2.0	Residual soil	15.7	NP	SM	6.2mm	15.5	35.9	83.0	88.0	11.8
U-16	2.0	Residual soil	12.3	NP	SM	6.4mm	15.8	42.1	81.0	89.0	11.4
U-17	2.0	Residual soil	11.7	NP	SM	5.7mm	14.9	38.4	84.0	90.0	11.7

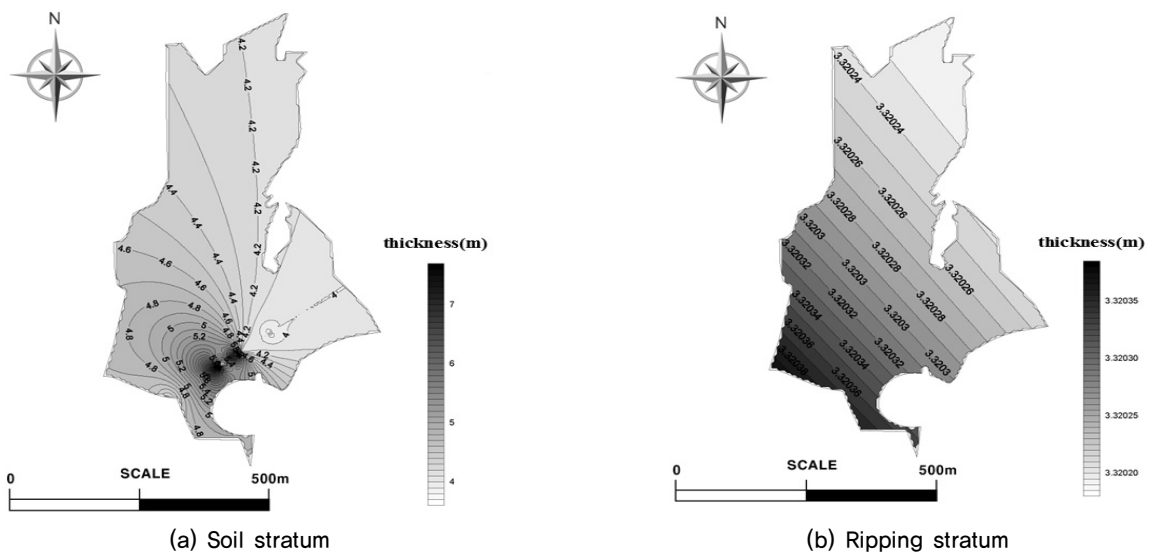


Fig. 3. Thickness of soil and ripping stratum (U-1)

계를 결정하였다. 이중 토취장 후보지 U-1에 대한 프로그램 해석결과는 Fig. 3과 같다.

Table 2는 토취장 후보지별 자연상태 가채량과 지층별 토량변화율(토사 : L=1.3, C=0.9, 리핑암 : L=1.325, C=1.075)을 고려한 다짐상태 가채량을 나타낸 것이다. 통상적으로 토취장은 가채량이 클수록 토취장으로서의 입지조건이 양호하다. 토취장 후보지 U-1~17의 자연상태 가채량은 724,379~7,238,821m³이고 토량변화율을 고려한 다

짐상태 가채량은 931,906~8,875,792m³의 범위로서 후보지에 따라 최대 10배 정도까지 차이가 났다.

4. 토취장 후보지 VE 평가

4.1 VE 평가항목 결정

토취장의 선정기준은 현장여건, 주변현황 등에 따라 달

Table 2. Calculation results of contingent recovery

Classification	Thickness (m)		Area (m ²)	Contingent recovery of nature (m ³)			Contingent recovery of compaction (m ³)
	Soil	Ripping		Soil	Ripping	Total	
U-1	4.3	3.2	283,246	1,052,257	783,075	1,835,332	2,346,534
U-2	5.7	1.9	138,137	787,381	262,460	1,049,841	1,295,078
U-3	11.3	3.2	499,229	5,641,288	1,597,533	7,238,821	8,875,792
U-4	5.4	2.2	138,276	737,532	300,476	1,038,008	1,290,903
U-5	5.8	4.9	67,699	392,654	331,725	724,379	931,906
U-6	5.3	5.1	132,530	702,409	675,903	1,378,312	1,784,558
U-7	14.0	5.0	173,837	2,433,718	869,185	3,302,903	4,085,495
U-8	9.8	5.0	125,753	1,232,379	628,765	1,861,144	2,337,481
U-9	11.8	3.0	466,807	5,508,323	1,400,421	6,908,744	8,439,462
U-10	9.5	5.5	312,967	2,973,187	1,721,319	4,694,505	5,930,431
U-11	4.7	8.0	142,495	669,727	1,139,960	1,809,687	2,407,311
U-12	5.2	4.6	162,452	829,618	733,893	1,563,512	2,015,993
U-13	4.5	4.3	192,623	667,143	637,492	1,304,635	1,688,585
U-14	2.8	3.3	434,426	1,216,393	1,433,606	2,649,999	3,465,172
U-15	2.9	3.1	185,724	538,600	575,744	1,114,344	1,480,237
U-16	1.8	2.1	387,786	698,015	814,351	1,512,365	1,976,618
U-17	4.2	3.3	93,494	357,013	280,510	637,523	817,256

Table 3. Evaluation criteria

Classification	Evaluation items	Detail evaluation standard
A	Limiting condition	• Enforcement ordinance of forest land management, Development restriction area
B	Haulage distance	• Borrow pits selected first within 15km
C	Contingent recovery	• Potential supply requirements of soil and ripping
D	Quality standard	• Compatibility of various design criteria
E	Haul road	• Number of lane, Pavement condition, Ease of transport
F	Confirmation	• Affirmation of exporting abandoned soil, Collection agreement of soil and ripping
G	Civil complaint	• Damage of by noise, dust, blasting vibration, scattering
H	Accessorial charge	• establishment or pavement of haul road, etc.

라질 수 있으므로 토취장 선정과 관련된 평가항목과 평가 내용의 범위를 정확히 결정하기는 어렵다. 그러나 연구 대상지역의 토취장 선정에 있어 국지적인 특수조건은 없다고 할 수 있으므로 일반적인 토취장 선정기준을 VE 평가의 평가항목으로 결정하였다. 토취장을 선정하기 위한 우선적인 평가항목은 크게 채석제한조건, 운반거리, 가채량, 품질기준, 운반로, 확약사항, 민원, 부대비용으로 구분할 수 있으며, 이들 평가항목과 세부적인 평가내용을 Table 3에 정리하였다. 본 연구에서는 이들 8가지 평가항목을 토취장 선정에 VE 기법을 적용하는데 있어 평가항목으로 결정하였다.

평가항목에 대한 세부적인 평가기준은 다음과 같다. 즉, ① 채석제한조건으로서 토취장 허가를 취득하는데 있어

토취장 대상지역이 산지관리법 등 관련법의 규정에 위배되는지의 여부를 확인하여야 한다. ② 공사현장은 토취장으로부터 15km 이내에 위치하여야 경제성이 있으며, 운반거리가 멀어질수록 토취장 개발효과는 적어진다. ③ 토취장에서 채취 가능한 토사 및 리핑암의 토량은 공사현장에서 소요되는 양만큼 충분하여야 한다. ④ 토취장에서 채취하는 토공재료는 토공의 품질기준을 만족하여야 한다. ⑤ 토취장 내 운반로는 토공재료를 상차, 운반하는데 있어 애로사항이 없어야 한다. ⑥ 확약사항으로 토지소유주의 동의는 필수적이다. ⑦ 토공재료 채취 동안 주변의 민원은 최소화되어야 한다. ⑧ 토취장 개발에 따른 부대비용이 최대한 적게 투입되어야 한다.

4.2 평가항목별 중요도 산정

전술한 평가항목들은 공사현장의 입지여건, 주변현황, 주관적 판단 등에 따라 중요도가 변화하게 되므로 복수의 후보지 중 최종적으로 결정한 토취장이 어느 정도의 신뢰성을 갖고 결정되었는지는 판단하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전문가 8명을 대상으로 집단설문을 실시한 후 다수의 평가항목을 단순하고 균형 잡히게 비교할 수 있는 쌍대비교에 의해 가중치를 산정하였다.

토취장을 평가하는 8가지 평가항목에 대한 쌍대비교를 수행하여 가중치 및 확정가중치를 결정하는 방법은 다음과 같다. 즉, 채석제한조건 A에 대해서는 A를 B~H까지 1 : 1로 비교한 후 평가항목 B~H보다 A가 보다 중요하다면 “A”, 중요도가 동등하다면 “A/B~H”, A보다 B~H가 보다 중요하다면 “B~H”를 기입한다. 평가항목 A에 대한 합계는 “A”가 나온 횟수만큼 1점, 동등이면 0.5점으로 처리하여 7.5점으로 결정된다. 가중치는 전체 합계가 36점이므로 $(7.5/36.0) \times 100 = 20.8$ 점이며, 확정가중치는 반올림하

여 21점으로 계산된다. 평가항목별 중요도는 채석제한조건이 21점으로 가장 크게 평가되었으며, 다음으로 품질기준 19점, 운반거리 15점, 확약사항 및 민원 13점, 가채량 8점, 운반로 7점, 부대비용 4점의 순서이다. Table 4는 매트릭스기법을 사용한 평가항목별 가중치 산정결과이다.

4.3 평가척도 설정

VE 기법을 적용한 토취장 선정 결과의 신뢰성 향상을 위해서는 모든 평가항목을 정량적으로 평가하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 모든 평가항목을 정량적으로 평가하는 것은 사실상 불가능하므로 토취장 선정에 대한 8가지 평가항목 중 수치적으로 구분이 가능한 운반거리와 가채량에 대해 정량적으로 등급을 부여하였다. Table 5는 정량적인 평가항목인 운반거리와 가채량에 대한 평가척도를 나타낸 것으로서 객관적이고 구체적인 등급평가가 가능하도록 등급속성을 설정하였다. 등급 "0"은 토취장 개발의 목적과 필요를 충족시킬 수 있는 상대적으로 가장 낮은 허

Table 4. Results of importance estimation on evaluation items

Evaluation items	A	B	C	D	E	F	G	H	Total	Weight	Definite weight
A	Limiting condition	A	A	A	A	A	A/G	A	7.5	20.8	21
B	Haulage distance		B	D	B	B/F	B	B	5.5	15.3	15
C	Contingent recovery			D	C/E	C/F	C/G	C/H	3.0	8.3	8
D	Quality standard				D	D	D	D	7.0	19.4	19
E	Haul road					F	G	E	2.5	6.9	7
F	Confirmation						F/G	F	4.5	12.5	13
G	Civil complaint							G	4.5	12.5	13
H	Accessorial charge								1.5	4.2	4
Total									36.0	100.0	100

Table 5. Quantitative evaluation indicator

Evaluation items	Rating	Rating properties	Evaluation items	Rating	Rating properties
Haulage distance (km)	10	Below 15	Contingent recovery (m ³)	10	More than 5,500,000
	9	15~16		9	5,000,000~5,500,000
	8	16~17		8	4,500,000~5,000,000
	7	17~18		7	4,000,000~4,500,000
	6	18~19		6	3,500,000~4,000,000
	5	19~20		5	3,000,000~3,500,000
	4	20~21		4	2,500,000~3,000,000
	3	21~22		3	2,000,000~2,500,000
	2	22~23		2	1,500,000~2,000,000
	1	23~24		1	1,000,000~1,500,000
0	24~25	0	Below 1,000,000		

Table 6. Qualitative evaluation indicator

Rating	Contents of evaluation	Note
10	• Counterplan (U-2~17) is absolutely advantage.	
9	• Counterplan (U-2~17) is excellent compared to original plan (U-1).	
8	• Counterplan (U-2~17) is very good compared to original plan (U-1).	
7	• Counterplan (U-2~17) is good compared to original plan (U-1).	
6	• Counterplan (U-2~17) is slightly better than original plan (U-1).	
5	• Original plan (U-1) is equivalent to the counterplan (U-2~17).	
4	• Original plan (U-1) is slightly better than counterplan (U-2~17).	
3	• Original plan (U-1) is good compared to counterplan (U-2~17).	
2	• Original plan (U-1) is very good compared to counterplan (U-2~17).	
1	• Original plan (U-1) is excellent compared to counterplan (U-2~17).	
0	• Original plan (U-1) is absolutely advantage.	Original plan : U-1

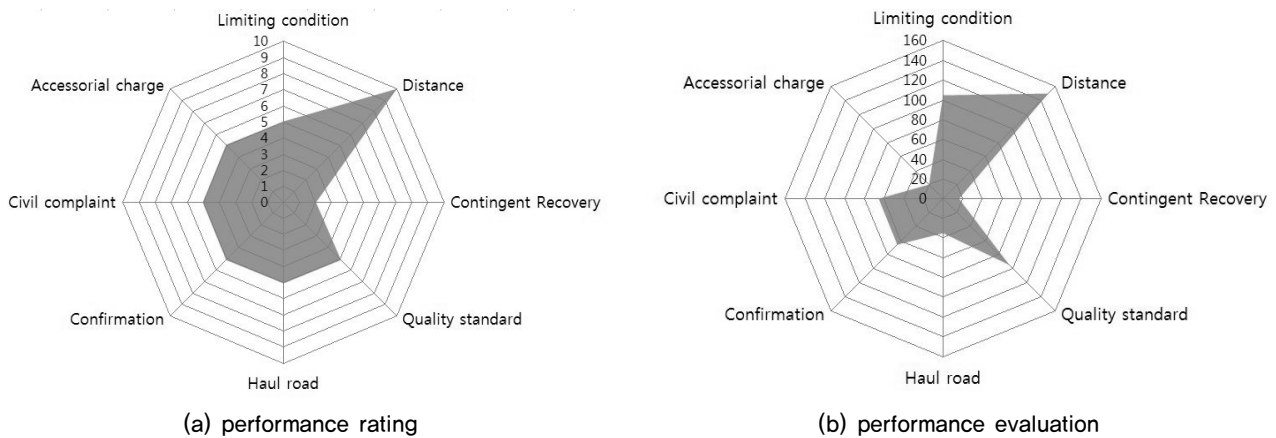


Fig. 4. Results of performance rating and evaluation (U-1)

용수준을 나타내며, 등급 "10"은 상대적으로 가장 높은 허용수준을 나타낸다.

즉, 정량적 평가척도 중 운반거리는 토취장으로부터 공사현장까지 15km 이내일 경우 10 등급이며, 운반거리가 1km씩 증가할 때마다 순차적으로 그 아래인 "9~0" 등급을 부여하였다. 운반거리가 25km 이상일 경우 토취장 개발에 대한 경제성이 없으므로 25km를 등급속성의 하한으로 결정하였다. 또 다른 정량적 평가척도인 가채량의 경우 5,500,000m³ 이상일 때 "10"등급으로 하고 순차적으로 500,000m³씩 적어질 때마다 아래의 등급을 부여하였다.

한편, 나머지 6가지 평가항목, 즉 채석제한조건, 품질기준, 운반로, 확약사항, 민원, 부대비용의 경우, 주관적인 평가가 좌우되므로 정성적으로 평가척도를 마련하였으며, 이를 Table 6에 나타내었다. 정성적인 평가척도는 본질적으로 주관적인 속성을 지니고 있거나, 짧은 시간 내에 정량화하는 것이 곤란한 경우에 유용하게 활용되는 평가방법이다.

정성적 평가척도는 토취장 후보지 U-1을 원안, U-2~17을 대안으로 하여 정성적 평가항목 6가지 별로 원안과 대안을 비교하여 등급을 결정하였다. 즉, 원안에 비해 대안이 절대적으로 유리할 경우에는 "10" 등급, 원안과 대안이 동등할 경우에는 "5" 등급, 대안에 비해 원안이 절대적으로 유리할 경우에는 "0" 등급이다. 한편 이들 등급 사이의 "1~4" 등급과 "6~9" 등급은 원안과 대안의 상대적 우위를 고려하여 결정하였다.

4.4 토취장 후보지별 성능등급 및 성능평가

토취장 선정에 적용되는 8가지 평가항목에 대한 확정가중치 및 평가척도를 고려하여 토취장 후보지별 성능을 평가하였다. Fig. 4는 토취장 후보지 U-1에 대한 성능등급 및 성능평가 결과를 보인 것이며, Table 7 및 Table 8은 토취장 후보지별로 성능등급 및 성능평가점수를 정리한 것이다. 운반거리와 가채량에 대한 토취장 후보지별 성능

Table 7. Performance rating of proposed borrow pit sites

Classification	Evaluation items	Definite weight	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10	U-11	U-12	U-13	U-14	U-15	U-16	U-17
A	Limiting condition	21	5	5	3	6	6	5	7	6	3	1	6	1	7	3	5	7	3
B	Haulage distance	15	10	10	10	10	9	8	8	9	8	9	7	6	6	4	4	2	0
C	Contingent recovery	8	2	1	10	1	0	1	5	2	10	8	2	2	1	4	1	2	0
D	Quality standard	19	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
E	Haul road	7	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5
F	Confirmation	13	5	5	4	4	6	5	8	7	8	8	5	10	9	7	5	8	8
G	Civil complaint	13	5	4	4	4	6	6	7	4	4	4	5	6	9	4	6	5	4
H	Accessorial charge	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	4	3	5	5	5	5

Table 8. Performance evaluation of proposed borrow pit sites

Classification	Evaluation items	Definite weight	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10	U-11	U-12	U-13	U-14	U-15	U-16	U-17
A	Limiting condition	21	105	105	63	126	126	105	147	126	63	21	126	21	147	63	105	147	63
B	Haulage distance	15	150	150	150	150	135	120	120	135	120	135	105	90	90	60	60	30	0
C	Contingent recovery	8	16	8	80	8	0	8	40	16	80	64	16	16	8	32	8	16	0
D	Quality standard	19	95	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114
E	Haul road	7	35	35	35	35	35	35	35	28	35	35	35	35	28	35	35	35	35
F	Confirmation	13	65	65	52	52	78	65	104	91	104	104	65	130	117	91	65	104	104
G	Civil complaint	13	65	52	52	52	78	78	91	52	52	52	65	78	117	52	78	65	52
H	Accessorial charge	4	20	20	20	16	20	20	20	16	20	20	20	16	12	20	20	20	20
Total		100	551	549	566	553	586	545	671	578	588	545	546	500	633	467	485	531	388

등급은 Table 5에 나타난 정량적 평가척도에 의해 결정되었으며, 나머지 6가지 평가항목인 채석제한조건, 품질기준, 운반로, 확약사항, 민원, 부대비용에 대한 성능등급은 Table 6의 정성적 평가척도를 기준으로 평가되었다. 원안으로 설정된 토취장 후보지 U-1의 정성적인 성능등급은 대안인 토취장 후보지 U-2~17과 동등하다고 가정하여 5점을 부여하였으며, U-2~17의 평가항목별 정성적인 성능등급의 경우 U-1과의 1 : 1 비교를 통해 결정되었다.

토취장 후보지에 대한 평가항목별 성능평가점수는 성능등급에 확정가중치를 곱하여 결정하였으며, 종합적인 성능평가점수는 평가항목별 점수를 합산하여 산정하였다. Table 7에 나타난 바와 같이, 토취장 후보지별 성능등급 중 채석제한조건(1~7등급), 운반거리(0~10등급), 가채량(0~10등급), 확약사항(4~10등급), 민원(4~9등급)은 등급 차이가 큰 것으로 나타났다. 반면에 품질기준(5~6등급), 운반로(4~5등급), 부대비용(3~5등급)의 경우 후보지별 등급 차이가 크지 않았다.

토취장 후보지들에 대한 성능평가점수를 산정한 결과, 388~671의 범위로서 U-7이 671점으로 가장 크게 평가되

었고 U-17의 경우 388점으로 가장 작게 평가되었다. 토취장 후보지 U-7은 다른 후보지들에 비해 후보지별 등급 차이가 큰 평가항목인 채석제한조건(7등급), 운반거리(8등급), 확약사항(8등급), 민원(7등급)에서 높게 평가되어 성능평가점수가 비교적 크게 산정되었다. 토취장 후보지 U-17의 경우 채석제한조건 3등급, 운반거리 0등급, 가채량 0등급, 민원 4등급으로 다른 후보지들에 비해 성능등급이 낮아 상대적으로 성능평가점수가 작게 결정되었다.

4.5 토취장 후보지별 생애주기비용

토취장 후보지 17개소에 대한 생애주기비용(LCC; Life cycle cost)은 토취장 개발, 토석채취 및 운반, 토취장 유지관리, 토취장 복원에 소요되는 비용이며, 이에 필요한 공종은 표토제거, 벌개제근공, 토석깎기, 도자운반, 사토, 덤프운반, 토취장 내 시설물 유지관리, 교통정리, 깎기면 고르기, 부대공 등으로 구성된다. 토취장 후보지들에 대한 생애주기비용 산정결과를 Table 9에 정리하였다. 생애주기비용의 내역은 노무비, 재료비, 경비로 구분되며, Table 9에 나타

Table 9. Life cycle cost of proposed borrow pit sites

Classification	Distance (m)	Contingent recovery of compaction(m ³)	Sum(Won)				LCC (Won/m ³)
			Labor cost	Material cost	Public expenditures	Total	
U-1	13.44	2,346,534	4,701,360,118	4,435,571,301	4,319,904,189	13,456,835,608	6,874
U-2	14.42	1,295,078	2,768,686,218	2,927,308,332	2,503,765,927	8,199,760,477	7,328
U-3	14.84	8,875,792	18,396,615,190	20,042,105,171	16,639,493,996	55,078,214,357	7,355
U-4	13.00	1,290,903	2,512,577,796	2,598,072,690	2,281,539,280	7,392,189,766	6,682
U-5	15.38	931,906	2,035,654,032	1,872,136,137	1,878,322,714	5,786,112,883	7,631
U-6	16.44	1,784,558	4,152,039,182	3,718,248,236	3,838,775,035	11,709,062,453	8,106
U-7	16.28	4,085,495	9,089,585,317	9,629,687,821	8,254,990,779	26,974,263,917	7,957
U-8	15.34	2,337,481	4,984,193,403	5,005,570,548	4,557,420,514	14,547,184,465	7,561
U-9	16.41	8,439,462	19,189,210,555	21,129,709,059	17,312,906,982	57,631,826,595	8,069
U-10	15.18	5,930,431	12,509,445,621	12,314,866,556	11,470,317,138	36,294,629,315	7,482
U-11	17.28	2,407,311	5,769,468,429	4,635,685,100	5,398,035,092	15,803,188,621	8,402
U-12	18.26	2,015,993	5,195,144,322	4,701,809,087	4,789,304,380	14,686,257,789	8,937
U-13	18.44	1,688,585	4,430,773,848	3,949,009,380	4,088,507,296	12,468,290,523	9,043
U-14	20.39	3,465,172	10,354,697,185	8,816,295,898	9,567,612,401	28,738,605,484	10,023
U-15	20.52	1,480,237	4,370,689,886	3,786,182,592	4,030,369,152	12,187,241,630	10,095
U-16	22.30	1,976,618	6,842,004,768	5,783,895,809	6,298,118,788	18,924,019,365	11,091
U-17	24.74	817,256	2,865,489,349	2,613,795,817	2,627,738,915	8,107,024,081	11,922

넌 바와 같이, 토취장 후보지별 생애주기비용에서 노무비, 재료비, 경비는 거의 유사한 비율을 나타내고 있다. 토취장 후보지별 생애주기비용은 U-5가 가장 적은 5,786,112,883 원이고 U-14가 가장 많은 28,738,605,484원으로 산정되었다. 단위체적당 생애주기비용은 산정된 생애주기비용을 다짐상태 채굴량으로 나눈 값이다. 토취장 후보지별 단위체적당 생애주기비용은 U-4가 가장 적은 6,682원/m³이고 U-17이 가장 많은 11,922원/m³으로 산정되었다.

4.6 토취장개발 우선순위 결정

토취장 후보지의 원안인 U-1의 단위체적당 생애주기비

용(LCC; Life cycle cost)으로 나머지 토취장 후보지 U-2~17의 단위체적당 생애주기비용을 나누어 토취장 후보지별 상대공사비(RCC; Relative construction cost)를 결정하였으며, 이를 Table 10에 나타내었다.

Fig. 5는 토취장 후보지들에 대한 상대공사비와 운반거리의 관계를 보인 것이다. 그림에서 보인 바와 같이, 토취장 후보지별 상대공사비는 토취장 후보지로부터 사업부지까지의 운반거리와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉, 운반거리가 멀어질수록 상대공사비는 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 운반거리가 공사비에 상당한 영향을 미치며, 운반거리가 짧을수록 토취장으로서의 입지조건이 보다 양호하다는 것을 알 수 있다.

Table 10. Relative construction cost of proposed borrow pit sites

Classification	Distance (m)	LCC (₩/m ³)	RCC	Classification	Distance (m)	LCC (₩/m ³)	RCC
NU-1	13.4	6,874	1.00	NU-10	15.2	7,482	1.09
NU-2	14.4	7,328	1.07	NU-11	17.3	8,402	1.22
NU-3	14.8	7,355	1.07	NU-12	18.3	8,937	1.30
NU-4	13.0	6,682	0.97	NU-13	18.4	9,043	1.32
NU-5	15.4	7,631	1.11	NU-14	20.4	10,023	1.46
NU-6	16.4	8,106	1.18	NU-15	20.5	10,095	1.47
NU-7	16.3	7,957	1.16	NU-16	22.3	11,091	1.61
NU-8	15.3	7,561	1.10	NU-17	24.7	11,922	1.73
NU-9	16.4	8,069	1.17	Average	17.2	8,503	1.24

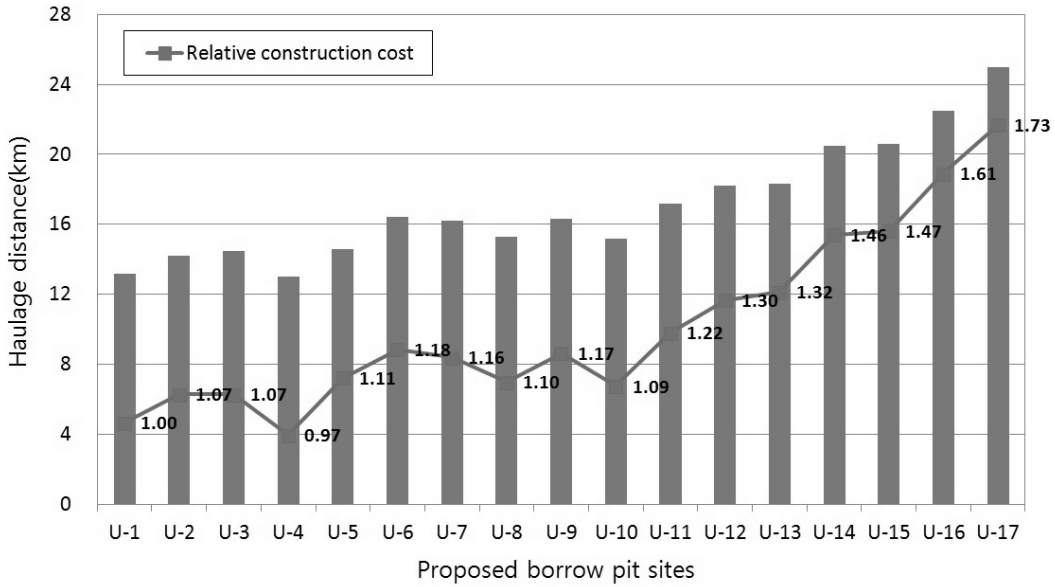


Fig. 5. Relationship of relative construction cost and haulage distance

Table 11. Results of value evaluation of proposed borrow pit sites

Classification	Evaluation items	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10	U-11	U-12	U-13	U-14	U-15	U-16	U-17
A	Limiting condition	105,0	98,5	58,9	129,6	113,5	89,0	127,0	114,6	53,7	19,3	103,1	16,2	111,7	43,2	71,5	91,1	36,3
B	Haulage distance	150,0	140,7	140,2	154,3	121,6	101,8	103,7	122,7	102,2	124,0	85,9	69,2	68,4	41,1	40,9	18,6	0,0
C	Contingent recovery	16,0	7,5	74,8	8,2	0,0	6,8	34,6	14,5	68,2	58,8	13,1	12,3	6,1	21,9	5,4	9,9	0,0
D	Quality standard	95,0	106,9	106,5	117,3	102,7	96,7	98,5	103,6	97,1	104,7	93,3	87,7	86,7	78,2	77,6	70,7	65,7
E	Haul road	35,0	32,8	32,7	36,0	31,5	29,7	30,2	25,5	29,8	32,2	28,6	26,9	21,3	24,0	23,8	21,7	20,2
F	Confirmation	65,0	61,0	48,6	53,5	70,3	55,1	89,8	82,7	88,6	95,5	53,2	100,0	88,9	62,4	44,3	64,5	60,0
G	Civil complaint	65,0	48,8	48,6	53,5	70,3	66,1	78,6	47,3	44,3	47,8	53,2	60,0	88,9	35,7	53,1	40,3	30,0
H	Accessorial charge	20,0	18,8	18,7	16,5	18,0	17,0	17,3	14,5	17,0	18,4	16,4	12,3	9,1	13,7	13,6	12,4	11,5
Score of value evaluation		551,0	515,0	529,0	568,9	527,9	462,2	579,7	525,5	500,9	500,7	446,7	384,6	481,2	320,3	330,3	329,1	223,7

토취장 후보지들에 대한 가치평가점수는 Table 8의 8가지 평가항목에 대한 성능평가점수에 Table 10의 토취장 후보지별 상대공사비를 나누어 결정하였다. Table 11은 가치평가점수의 산정결과를 정리한 것이다. Table 11에서 보인 바와 같이, 토취장 후보지별 가치평가점수는 223.7~579.7의 범위이며, 토취장 후보지 U-7이 가장 크고 U-17이 가장 작게 나타났다. 따라서 연구대상지역의 토취장 후보지들에 대한 개발 우선순위는 가치평가 결과에 의해 U-7 > U-4 > U-1 > U-3 > U-5 > U-8 > U-2 > U-9 > U-10 > U-13 > U-6 > U-11 > U-12 > U-15 > U-16 > U-14 > U-17라고 할 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7은 토취장 후보지별 성능평가 및 가치평가 결과의 변화 양상을 보인 것이다. 이들 그림에서 보인 바와 같이, 상대공사비를 반영한 토취장 후보지별 성능평가점수와 가치평가점수의 양상은 거의 유사한 것으로 나

타났다. 그러나 토취장 후보지별 성능평가순위와 가치평가 순위는 다소 다른 양상을 보이고 있다.

즉, 경제성이 반영되지 않는 성능평가 결과는 토취장 부지의 자체조건으로 결정되는 측면이 강한 반면, 상대공사비를 고려하는 가치평가의 순위는 성능평가 순위와 다소 달라진다. 따라서 최적의 토취장 후보지를 선정하는데 있어 토취장 자체의 조건도 중요하지만, 생애주기비용의 영향을 무시할 수 없다. 생애주기비용에는 운반거리가 가장 큰 영향을 미친다는 점을 감안한다면, Table 11의 운반거리에 대한 평가등급 설정시 등급 간 등급속성에 대한 조정이 필요하다고 생각할 수도 있다. 즉, 토취장 선정에 있어 운반거리의 중요성을 감안하여 Table 11의 등급 간의 등급속성을 1km씩 등 간격으로 하지 않고 서로 다른 간격으로 조정할 수도 있지만, 이러한 간격조정은 정량적 평가척도인 운반거리를 평가하는데 있어 객관성을 상실할 수 있

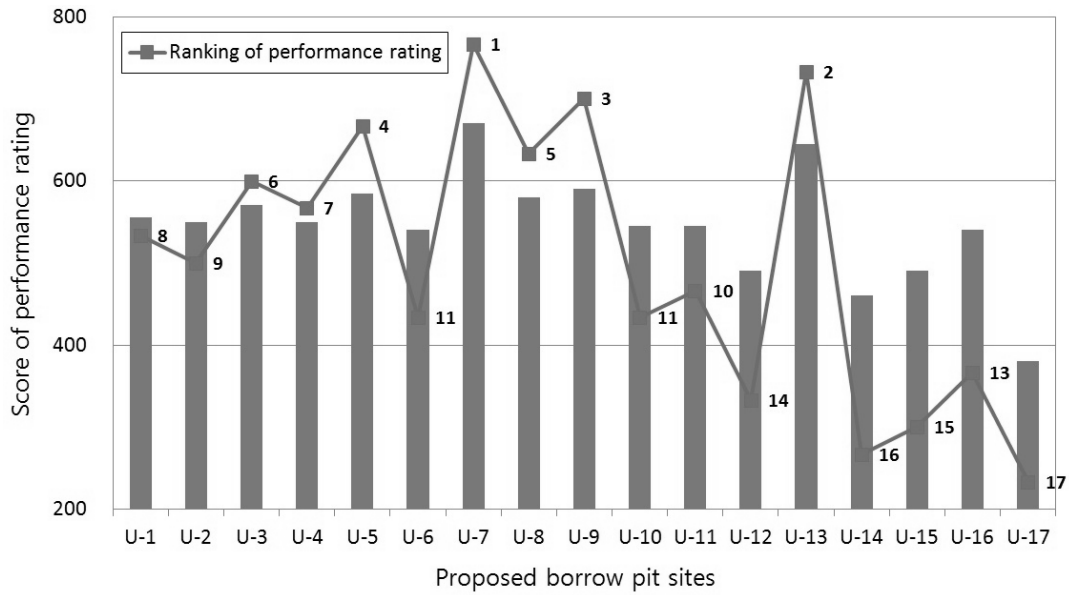


Fig. 6. Results of performance rating

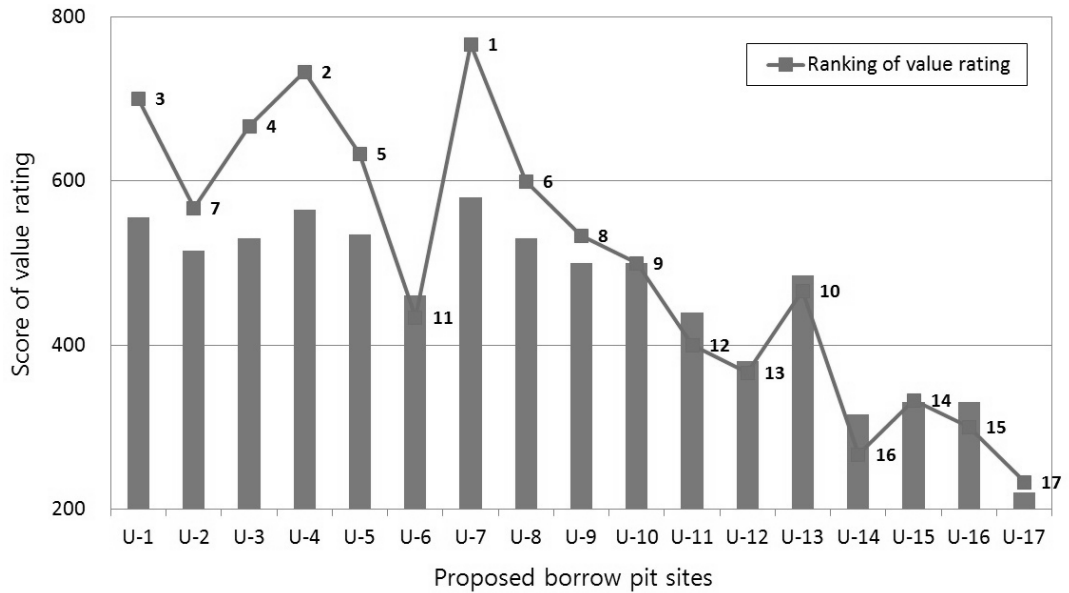


Fig. 7. Results of value rating

으므로 등 간격을 유지하였다.

5. 결론

본 연구에서는 건설 분야에 적용되어 온 VE 기법이 최적의 토취장 선정에 적용될 수 있는지의 여부를 검토하기 위해 VE 기법을 이용하여 과거의 대규모 택지개발지구의 토취장 우선개발 순위를 결정해 보았다. 이를 통해 토취장 선정에 VE 기법을 적용할 경우, 선정결과의 신뢰성을 보다 정량적으로 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다. 연구

를 통한 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 토취장 선정시 고려되는 채석제한조건, 운반거리, 가채량, 품질기준, 운반로, 확약사항, 민원, 부대비용을 VE 평가항목으로 결정하였으며, 각 평가항목의 중요도는 채석제한조건 21점, 품질기준 19점, 운반거리 15점, 확약사항 13점, 민원 13점, 가채량 8점, 운반로 7점, 부대비용 4점으로 평가되었다.
- (2) 토취장 후보지별 8가지 평가항목의 성능등급 중 채석제한조건(1~7등급), 운반거리(0~10등급), 가채량(0

~10등급), 활약사항(4~10등급), 민원(4~9등급)은 등급 차이가 큰 반면, 품질기준(5~6등급), 운반로(4~5등급), 부대비용(3~5등급)의 경우 등급 차이가 작게 평가되었다.

- (3) 후보지별 성능등급의 차이가 큰 채석제한조건, 운반거리, 활약사항, 민원에서 높은 등급을 부여받은 토취장 후보지일수록 성능평가점수는 크게 평가되었으며, 후보지별 성능등급 차이가 적은 품질기준, 운반로, 부대비용이 성능평가점수에 미치는 영향은 미미하였다.
- (4) 토취장 후보지별 상대공사비는 토취장 후보지로부터 사업부지까지의 운반거리와 밀접한 관련이 있고 운반거리가 멀어질수록 상대공사비는 점차 증가하는 경향을 보이고 있다.
- (5) 상대공사비를 반영한 토취장 후보지별 가치평가점수는 성능평가점수의 양상과 거의 유사하지만, 토취장 후보지별 가치평가순위는 성능평가순위와 다소 다른 양상을 나타내었다. 따라서 최적의 토취장 후보지를 선정하는데 있어 토취장 자체의 조건도 중요하지만, 생애주기비용의 영향을 무시할 수 없다는 것을 알 수 있었다.

References

1. Alphonse, J. D. (1999), *Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance & Operations*, Kingston ; R.S. Means Company, pp.231-244.
2. Arratia, B. A. (1998), *A FAST-Driven Approach to New Production Planning*, SAVE International Annual Conference Proceedings, pp.247-264.
3. Caltrans (1999), *Value Analysis Report Guide*, USA, pp.146-188.
4. Kelly, J. and Male, S. (2001), *A Quick Approach to Task FAST Diagrams*, SAVE International Annual Conference Proceedings, pp.261-270.
5. KICT (2000), *A study on substantial operational techniques of construction VE*, pp.86-90.
6. Saaty, T. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, New York ; McGraw-Hill, pp.78-92.
7. Warwick, T. (1994), *Function Analysis for Team Problem Solving*, SAVE International Annual Conference Proceedings, pp.127-132.