

전력시설물에 대한 VE 와 LCC기법 도입에 관한 연구

Report on VE & LCC (Value Engineering, Life Cycle Cost) Technics Introduction about the Electric Power Equipment

김상직* · 장우진**

(Sang-Jik kim · wojin jang)

요약

최근 대형 전력시설물에 대한 VE 와 LCC 기법의 도입은 여러 가지 형태로 수행되고 있으며, 일반적으로 전력 시설물의 비용을 생각할 때 그 초기투자비만을 대상으로 평가하는 경향이 있으나, 시설물의 총 생애비용 (보전비, 수선비, 개선비, 운용비, 전력비등)을 동시에 고려하여야 한다.

본 연구에서는 간선설계에서 장거리 급전시 전압강화로 인한 동손비를 고려한 설계기법과 내구년함에 따른 총생애비용기법을 적용하여 타당성을 입증 하였다.

Abstract

Recently the introduction of VE & LCC techniques for large size electric power facilities be achieved in various kinds form, of and tends to evaluate to the beginning investment cost when think about cost of electric power facilities usually, but must consider all life cycle cost (maintenance cost, repair cost, improvement cost, operation cost , electric power cost etc.).

This treatise applies design techniques that consider copper loss related by voltage drop at power supply of long distance in trunk design and all life cycle cost techniques

1. 서론

건축물이 최근 대형 전력시설물에 대한 VE 와 LCC (Value Engineering & Life Cycle Cost) 기법의 도입은 여러 가지 형태로 수행되고 있으며 건설기술관리법 시행령 제38조(설계의 경제성 검토)에서 500억 이상의 건설공사에서 설계의 경제성등의 검토시기·횟수·대가기준·구체적인 검토 및 절차등에 관하여 명시하고 있으며, 소규모 건축물에서는 녹색에너지 운동연합에서 추진하는 녹색에너지 설계기준을 만들어 모든 건축물에 적용하도록 법규상으로 규정 하고 있다.

VE 와 LCC 기법은 미국에서 개발된 것으로 1940년 대에서 VE, 1960년 LCC 이라는 단어가 처음으로 사용되었으며, 1962년에 미국방성에서 10만달러 이상의 모든 공사의 계약에서 VE 계약조항이 첨가되었고, 1970년에 국방성에서 VE 가이드북이 발행되고 1973년에 미연방본부 조달청(GSA : General Services Administration)에서 VE가 도입되었다.

LCC는 총생애비용 이라는 의미로 기획설계비, 건설비, 운용관리비, 폐기처분비에 이르는 전력시설물의 생

산으로부터 폐기까지의 전 생애에 필요한 모든 비용을 가리킨다.

이 중 보전비, 수선비, 개선비나 운용비를 포함하는 운용관리비는 일반적으로 생각하고 있는 것 이상으로 비용이 크며, 건설비의 2~6배가 되는 예도 있다.

일반적으로 전력시설물의 비용을 생각할 때 그 초기 투자비만 대상으로 평가하는 경향이 있으나, 전력시설물의 총생애비용을 고려하면 보전비, 수선비, 개선비, 운용비, 전력비, 그리고 일반 관리비 등의 비용을 동시에 포함하여 생각해야만 전력시설물의 비용을 검토했다고 할 수 있다.

본 연구에서는 터널 조명설계에서 장거리 급전시 전압강화로 인한 케이블 규격 증대로 인한 공사비 최소화 설계기법 적용하여 타당성을 입증 하였다.

2. 본론

2.1. 대상 설정

LCC 및 VE 기법의 검토 대상은 강남지역 외각을 통과하는 도시고속도로 건설공사의 제5공구로

서 차량의 동·서간의 교통의 원활한 소통과 남북 간선 축과의 접근성 향상, 서울시 내·외부 연계로 환형 순환 체계를 형성, 수도권 주요 간선도로와의 연계체계를 확립하여, 교통량 증대 및 분산을 유도를 목적으로 하는 건설공사로 양방향 터널 연장 4,520[m]이며 건설규모는 그림 1과 같다.

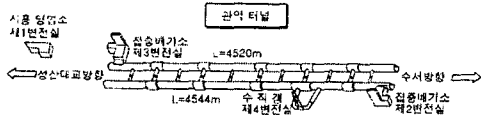


그림 1. 건설범위
Fig. 1. Construction scope

기본 설계시 터널전등 전력공급은 그림 1에 표기된 제2 및 제3변전실에서 공급하는 안으로 계획되었으며 설계개요는 표 1과 같다.

표 1. 기본설계
Table 1. Basic design

구분	5 공구		
수전 용량 및 시설 현황	시점부 수전	상 시	9,450 [kVA]
		예 비	9,450 [kVA]
	PANEL 류	특고압반	30[면]
		고압반	20[면]
		저압반	42[면]
	TR반	12 [대]	
	변전실	4개소	
	조명전원공급원	제2 및 제3변전실	
발전기	시 점	1563[kVA]/1250[kW]	
	중 점	1250[kVA]/1000[kW]	
터널 조명	Tray & Duct : 86,000 [m] 터널조명기구 : 3,000 [등] CABLE & WIRE : 약 1,207,837[m]		

2.2. LCC 기법의 정의

각 설계 대안에 대하여 그 소유에 관해 발생하는 중요한 재비용을 건물의 경제수명 범위에 걸쳐 등가 환산한 값으로 각 안의 경제성을 평가하는 수법이다.

초기투자액(Initial Cost)이란 사업에 수반되는 제비용(설계비, 토지대 등)과 건설비용 포함한 설비의 초기개발에 사용되는 비용이다

자본조달비용(Financing Cost)이란 설비의 자본비용에 관련되는 부채 등이다.

조업비용(Operation Cost)이란 시설운영시에 소요되는 비용, 예를들면 연료비, 임금 등의 비용이다.

보전비용(Maintenance Cost)이란 정기적인 점검, 개조,년간의 Maintenance 계약 또는 이러한 작업에 종사하는 사람의 임금 등의 비용이다.

개조비용과 경신비용(Alteration and Replacement Cost)에 관해서는 상세한 검토가 필요하다. 개조비용이란 공간의 기능을 변경할 때 소요되는 비용이다. 예를 들면 어떤 전력 시설물에 향후 몇 년 후에 용량 증설이 명백할 경우의 기능변경에 소요되는 비용을 개조비용으로 취급한다.

소요비용이란 전력시설물의 기능을 초기 수준으로 복원하기 위해 장래에 발생하는 비용이다. 예를 들어 어떤 소유자가 건물 사용기간을 40년으로 정했는데 이 설계에 이용년수(대체주기)가 15년인 변압기가 사용되었다. 따라서 15년후에는 새로운 변압기로 대체 할 필요가 있다. 이와 같은 비용이 경신비용으로 정의된다. 그림 2에서 제6블럭은 세금, 현금과 감가상각비 등을 포함한 비용이다. 이들 비용은 세법이 개정될 때마다 재검토할 필요가 있다. 예를 들면 최근에 에너지 절감에 대한 감세대책은 대부분의 소유자가 그들의 건물에 에너지 절약형 설비를 도입하는 요인이다. 감가상각은 투자액의 할부, 감세 등의 목적으로 사용되고 있다. [2][3]

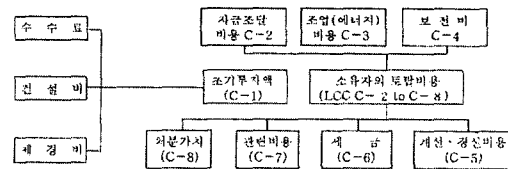


그림 2. 총생애 비용의 요소
Fig. 2. Life Cycle Cost factor

관련비용(Associated Cost)이란 건물의 의사결정에 따라 새롭게 발생하는 여러 가지 비용이다. 예를 들면 기능비용(Function use Cost), 기회손실비용(Denial of Use Cost), 방범(Security)과 보험등 이다.

먼저 기능비용은 제비용 중에서도 가장 중요하다. 이 비용은 건물 또는 전기기기를 사용해 기능을 수행 할 때 필요한 인원과 자재비용을 포함한 것이다

기회손실 비용은 의사결정 결과로서 입주 또는 생산에 지연에 의한 불필요한 비용 또는 손실된 수입이다.

잔존가치(Salvage Value)란 각 설비의 사용기간이 종료된 시점의 가치(잉여가치가 있을 때는 플러스, 파괴가 필요 할 때는 마이너스)이다.

2.3. LCC의 산정방법

LCC분석이란 기본적으로 많은 대안이 시간의 경과에 따라 어떠한 경제적 영향을 미치는가를 조사하고 그것을 평가하는 것이다. 일반적으로 의사결정을 할 때에는 현재비용과 장래비용 양자를 취급 할 필요가 있다. LCC의 산정식에는 여러가지가 있으나 대별하면 현가법과 연가법으로 구분 할 수 있다. [2][3][4]

① 현가법(Present Value Method)

현가법에서는 현재와 미래의 모든 비용을 현재가치(현가)로 환산하며 특히 초기비용은 모두 현가로 표시된다. 이를 위한 다음 식 1, 2는 반복비용(매년 똑같이 발생하는 비용)과 비 반복비용(몇 년인가 후에 단지 1번밖에 발생치 않는 비용)을 변화하기 위한 것이다. [2][3][7]

반복비용 산정방법의 식은

$$P = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = A \times (\text{연금현가계수}) \quad (1)$$

여기서 P : 현재가치의 합계(현가)

A : n 년간에 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불(수령)액

i : 연이율(기대하는 최소한의 이익율)

n : 년수

비 반복비용 산정방법의 식은

$$P = F \frac{1}{(1+i)^n} = F \times (\text{현가계수}) \quad (2)$$

여기서 F : n 년후의 기말지불(수령)액

② 연가법(Annual Value Method)

이 방법은 초기비용과 비반복비용을 매년의 비용으로 변화하는 방법이다. 초기비용의 변환공식으로는 다음식 3이 사용된다

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n} \right] = P \times (\text{자본회수계수}) \quad (3)$$

여기서 A : 연가

P : 초기투자액

2.4. 기법의 접근 방법

장대터널에서의 조명전원을 장거리로 급전시 전압강하로 케이블 규격 증대로 인한 제비용 등을 고려하여 전원공급원의 거리를 검토하는 것이므로 표 2와 표 3을 만족하는 조건으로 검토한다. 먼저 그림 1에서와 같이 각 시설물이 확정 배치되어 있으므로 건설 규모를 변경하지 않는 범위에서 그림 3을 대체안으로 검토한다. 전체 터널 조명의 부하는 약 640[kVA]로 식 4를 응용하여 전력 손실률을 약식으로 계산한다.[1]

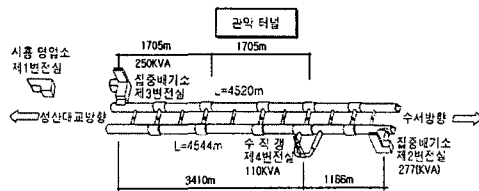


그림 3. 대체안의 전력공급 범위
Fig. 3. Supply of electric power extent of alternative plan

$$\Delta V = Kw(R \cos \theta + X \sin \theta) \times L \times I \quad [V] \quad (4)$$

여기서 Kw : 계수(3상3선=3, 3상4선=1, 단상2선=2)

R : 전선 1km당 저항 (Ω/km)

X : 전선 1km당 리액턴스

θ : 역률각

I : 전류[A]

L : 선로의 길이[km]

기본설계안의 경우 2개의 부하군으로 터널 전등의 전력을 공급하는 것이므로 전력손실 식 " $P = I^2 \times L \times R$ "을 이용하여 계산하면 기본설계안의 전력 손실률은

$$P = 482^2 \times 2.88 \times R = 540 \text{ [kW]}$$

부하군이 2개소이므로 $P = 1,080 \text{ [kW]}$ 가 된다. 대체안 그림 3에서와 같이 3개의 부하군으로 터널 전등의 전력을 공급하는 것이므로 각 변전실당 소요되는 전력 손실률은

$$P = (378^2 \times 1.705 \times R) + (420^2 \times 1.166 \times R) +$$

$$(167^2 \times 1.705 \times R) = 495.5 \text{ [kW]} \text{ 임을 알 수 있다.}$$

다.

따라서 약식계산에 의한 전력 손실률은 대체안 495[kW]보다 기본설계안이 약 2.1배가 많은 1,080[kW]로서 구체적으로 접근하여 대체안 및 기본설계안의 제비용을 산출하되 시스템이 변경되지 않는 조명기구 등은 검토에서 제외하고 변경이 예상되는 항목들은 표 4와 같다.

표 2. 전선길이에 따른 전압강하 허용 한도
Table 2. Voltage drop allowable limit according to the length of electric wire

구 분	전선의 최대 길이	전압강하	
		간선	분기선
변전설비가 있는 경우	60[m]이하	3[%]	2[%]
	120[m]이하	5[%]	
	200[m]이하	6[%]	
	200[m]초과	7[%]	

표 3. 허용전압 변동폭
Table 3. Allowable voltage range of fluctuation

표준전압[V]	유지하여야 하는 전압[V]
220[V]	220[V] ± 60[V]이내
380[V]	380[V] ± 38[V]이내
22,900[V]	22,900[V] ± 2,000[V]이내

표 4. 변경 예상 시스템
Table 4. Alteration anticipation system

항 목	비 고
조명 케이블의 규격	전압강하에 의한 변경
조명용 배관규격(Tray)	전압강하에 의한 변경
22.9kV 연락 배전선로	연장 급전용
연락 배전용 배관(Tray)	연장 급전용 배관
변전실 추가적인 면적	약 20평 소요
수배전반 및 저압반	특고압반7면,저압반4면
변압기반	2면 추가 소요 예상

2.5. LCC 계산

기본설계안과 대체안에 대하여 구체적으로 접근 하기 위하여 식 3을 적용하여 계산된 전선 규격별 수량 및 금액은 기본설계안의 경우 표 5에서 와 같이 초기투자 비용은 5,117,722,000[원]으로서 자체비는 표 6을 참조하여 산출하였다. 대체안의 경우 초기투자비용은 규격만 변경되는 부분의 경우의 비용은 1,492,042,953[원]이 된다.

표 5. 기본설계안 대한 소요비용
Table 5. Required cost for basic design plan

항목	규격	단위 [m]	수량	금 액 산 출		
				자재비	설치비	합계
F-CV	8	mm ²	5,280	520	1,119	8,653,920
F-CV	14	mm ²	14,332	788	1,598	34,196,152
F-CV	22	mm ²	18,583	1,131	2,078	59,633,489
F-CV	38	mm ²	23,666	1,748	2,877	109,455,250
F-CV	60	mm ²	37,423	2,720	3,916	248,340,355
F-CV	100	mm ²	45,145	4,344	5,675	452,305,751
F-CV	150	mm ²	234,735	6,396	7,757	3321,262,685
Tray	W200	m	5,402	19,710	11,418	168,153,456
Tray	W300	m	2,701	26,660	14,453	111046,213
Tray	W400	m	3,601	31,790	17,994	179,272,184
Tray	W500	m	4,510	41,810	22,547	290,250,070
Tray	W600	m	1,800	48,780	26,305	135,153,000
합계						5,117,722,525

표 6. 트레이용 난연 전력케이블 가격표
Table 6. Price table of flame retardance power cable for tray

단면적 [mm ²]	연수/소선경 [mm ²]	단위 [m]	600V F-CV 가격[원]		
			1C	2C	3C
8	7/1.2	m	520	1,197	1,559
14	7/1.6	m	788	1,752	2,393
22	7/2.0	m	1,131	2,473	3,420
38	7/2.6	m	1,748	4,063	5,437
60	19/2.0	m	2,720	6,100	8,544
100	19/2.6	m	4,344	9,606	13,594
150	37/2.3	m	6,396	13,673	19,463

표 7. 대체안의 대한 소요비용
Table 7. Required cost of alternative plan

항목	규격	단위 [m]	수량	금 액 산 출		
				자재비	설치비	합계
F-CV	8	mm ²	1,3131	520	1,119	21,521,709
F-CV	14	mm ²	31,388	788	1,598	74,891,768
F-CV	22	mm ²	25,545	1,131	2,078	81,973,905
F-CV	38	mm ²	38,668	1,748	2,877	178,839,500
F-CV	60	mm ²	43,393	2,720	3,916	287,955,948
F-CV	100	mm ²	27,558	43,44	5,675	276,103,602
Tray	W200	m	16,982	19,710	11,418	528,615,696
Tray	W300	m	1,025	26,660	14,453	42,140,825
합계						1,492,042,953

표 8. 대체안 시스템 변경분에 대한 소요비용
Table 8. Required cost about system alteration quantity of alternative plan

항목	규격	단위 [m]	수량	금 액 산 출		
				자재비	설치비	합계
22.9KV FR-CNC O-W	60	mm ²	13,728	12,643	99,19	309,731,136
특고압반	VCB	면	7	20,000,000	800,000	145,600,000
변압기반	물드	면	2	26,000,000	1,500,000	55,000,000
저압반	ACB	면	1	25,000,000	300,000	25,300,000
저압반	MCB	면	3	12,000,000	300,000	36,900,000
건축비		평	20	3000,000	1,000,000	80,000,000
Tray	W300	m	4576	26,660	14,453	188,133,088
합계						840,664,224

대체안의 시스템 변경분에 대한 비용은 840,664,224 [원]이다. 따라서 총 소요비용은 2,785,015,000[원]으로서 기본설계안 대비 약 54[%]임을 알 수 있다. 이에 대하여 전력시설물 대체주기 및 유지보수비용을 고려하여 비용을 산출한다. 전력 시설물의 대체주기는 표 10을 참조하여 선정하며 현가법 식 1, 2를 이용하여 계산하면 다음과 같다. [2][3][5][7]

년금리 4[%]로 터널의 경우 내구년수가 50년 이상이므로 기본안과 대체안을 비교 검토하며, 기본안과 대체안의 초기투자비, 보수비용, 내구년수는 표 9와 같다.

표 9. 기본안과 대체안의 총생애비용 기초
Table 9. All life cycle cost foundation of basic and alternative plan

항 목	기본안[원]	대 체 안[원]		
	배관배선	배관배선	수배전반	건축비
초 기 투자액	5,117,722,525	1,989,907,177	262,800,000	80,000,000
보수비용 (년)	10,353,444	5,416,934	1,265,000	300,000
내구년수	30	30	15	25

주 : 보수비용은 자재비의 0.5[%]로 선정함

표 10. 전력설비 대체 기준

Table 10. Electric power equipment alternation standard

자산단위 물품	대체주기[년]	
	공해지역	기타지역
변압기	15	15
차단기	15	15
단로기	15	15
계기용변성기	15	15
피뢰기	10	10
방전기	15	15
접지장치	15	15
콘덴서	15	15
충전장치	10	10
축전지	5	5
구조물	16	25
제어반	15	15
원방제어 감시장치	10	10
모선	15	15
케이블	30	30

가. 기본안의 비용 산출

① 반복비용

$$P_{AC} = 10,353,444 \times \frac{(1+0.04)^{50} - 1}{0.04(1+0.04)^{50}}$$

$$= 222,386,005[\text{원}]$$

② 비반복비용(교체비용)

$$P_{AC} = 5,117,722,525 \times \frac{1}{(1+0.04)^{30}}$$

$$= 1,577,888,181[\text{원}]$$

③ 현가의 합계

$$TP_{AC} = 5,117,722,525 + 222,386,005$$

$$+ 1,577,888,181 = 6,917,996,000[\text{원}]$$

나. 대체안의 비용 산출

① 반복비용

$$P_{AC} = \left[5,416,934 \times \frac{(1+0.04)^{50} - 1}{0.04(1+0.04)^{50}} \right] +$$

$$\left[1,265,000 \times \frac{(1+0.04)^{50} - 1}{0.04(1+0.04)^{50}} \right] +$$

$$\left[300,000 \times \frac{(1+0.04)^{50} - 1}{0.04(1+0.04)^{50}} \right]$$

$$= 149,967,915[\text{원}]$$

② 비반복비용(교체비용)

$$P_{AC} = \left[1,989,907,177 \times \frac{1}{(1+0.04)^{30}} \right] +$$

$$\left[262,800,000 \times \frac{1}{(1+0.04)^{15}} \right] +$$

$$\left[80,000,000 \times \frac{1}{(1+0.04)^{25}} \right]$$

$$= 789,459,598[\text{원}]$$

③ 현가의 합계

$$TP_{AC} = 2,332,707,177 + 149,967,915$$

$$+ 789,459,598 = 2,482,675,092[\text{원}]$$

따라서 건설물의 총생애주기 50년을 기준으로 검토한 결과 대체안이 기본안보다 약 44억이 절감되어 실시설계시에 대체안으로 적용 되었으며, 실시설계 개요는 표 11과 같다.

표 11. 실시설계 개요

Table 11. Detail design outline

구분	5 공구			
	수전용량 및 시설현황	시점부 수전	상 시	9,450 [kVA]
예 비			9,450 [kVA]	
PANEL 류		특고압반	37[면]	
		고압반	20[면]	
		저압반	46[면]	
TR반		19 [대]		
전등전력공급원		제2.3.4변전실		
발전기	시 점	1563[kVA]/1250[kW]		
	중 점	1250[kVA]/1000[kW]		
터널 조명	Tray & Duct	: 57,906 [m]		
	터널조명기구	: 3,000 [등]		
	CABLE & WIRE	: 약 907,837[m]		

2.6. VE 기법 적용

VE에서 생각하는 가치란 결국 시설물을 이용하는 사용자가 판단하는 것이며 발주자가 공사비를 지불하는 것은 시설물에 부과된 효용, 역할의 가치를 인정하여 그것을 구입하는 셈이다. 즉, 발주한 시설물이 발주자가 요구하는 기능을 충분히 만족시키지 못한다면 그 만큼 가치가 없다는 것이며 이러한 가치를 식 5로 기능과 원가의 비로 나타낸다. [2][3]

$$V(\text{Value Index}) = \frac{F(\text{Function})}{C(\text{Cost})} \quad (5)$$

여기서 F : 발주자가 요구하는 시설물의 성능

C : 시설물을 만들기 위해 소요되는 재료비, 노무비는 물론 이고 자금 조달비, 운용관리비를 종합한 총생애비용(Life Cycle Cost)

VE에서는 원가와 기능의 상관 관계를 적절히 조절하는 기술이 요구되며 기능을 떨어뜨리지 않고 최저의 원가로 표 12에서 ① 기능을 일정하게 하고 원가를 낮춘다. ② 기능을 높이고 원가는 현재대로 한다. ③ 기능을 높이고 원가를 낮춘다. ④ 원가는 높아지지만 그 이상으로 기능을 높인다. 따라서 대체안은 표 12의 ①에 해당되며, 기본설계안은 표 12의 ⑦에 해당되며 일반적으로 ⑤~⑦의 기술은 수준 미달의 발상이므로 VE에서는 다루지 않는다.

표 12. VE 평가방법
Table 12. VE estimation method

구분 수식	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
$V = \frac{F}{C}$	→	↗	↗	↗	↘	↘	→
	↘	→	↘	↗	↘	↗	↗

3. 결론

본 연구는 장터널 조명전원의 공급지점에 따라 전압 강하로 인한 동손비로 인하여 총생애비용이 2배까지 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 특히 전력시설물 설계자가 설계단계에서부터 동손비를 고려하여 변전실의 위치를 선정하여야 하며, 본 연구의 주요성과는 아래와 같이 요약 될 수 있다.

i) 2[km]이상의 장 터널의 경우 조명전원 공급원을 1개소이상 설치하여야 경제성이 있다는 것을 입증하였다.

ii) 전력 시설물에서의 총 생애주기를 고려한 설계기법을 제시하였다.

최근 자본시장의 개방으로 경전철, 철도, 도로 및 터널 등 건설을 국내자본과 국외자본으로 합자하여 민자 사업으로 수행하는 경우가 많으며 정부 협상시 운영비에 대한 국내의 구체적인 자료가 미비하여 협상이 지연되는 경우가 많이 발생되고 있다. 특히 전력비의 경우 운영기간 동안(약30년)에 약 400~1,000억 정도가 된다. 따라서 이에 대하여 시스템(조명, 회생전력, 전동차 급전전압(AC, DC) 등) 선정에 따른 전력비 절감방안이 연구되어야 할 것으로 사료되며, 또한 국내 전력 시설물의 대체주기 및 유지관리비용에 관한 데이터화가 시급하며, 최고 품질의 시설물을 건설하기 위해서는 사업에 참여하는 모든 담당자가 유연한 사고로 하나의 팀이 되어 서로 협력 한다면 최적해를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 윤민욱 편저, "건축전기설비의 시공견적·실무",
- [2] 임병훈 편저, "건설업의 VE 기법 이론과 실제", 건설문화사, 1977,1.
- [3] 김경인 감수, "건설 VE 미국 VE 제도 및 사례", 기문당, 2001,3.
- [4] 한국 전력공사, "배전규정", 한국 전력공사, 2002,
- [5] 철도청, "유지관리지침", 철도청, 2003,
- [6] 한국 도로공사, "유지관리지침", 한국 도로공사, 2003,
- [7] Department of Defence, "Value Engineering handbook", 2000,