

VE/LCC기법의 항만구조물 설계적용 사례분석연구 Practices in VE/LCC based Design of Harbor Structures

윤길림* · 강오람* · 김동현**

Gil Lim Yoon*, Oh Ram Kang*, and Dong Hyawn Kim**

요 지 : 선진국에서는 VE/LCC분석을 적극적으로 활용되고 있는 반면에 국내에서는 그렇지 못함으로써 자칫 잘못된 투자결정으로 인해 경제적 효용성을 상실하는 경우가 많이 있을 것으로 판단된다. 그러므로 먼저 VE/LCC에서 사용되고 있는 기법을 각각 정리해 보고 설계 보고서별 VE분석기법과 LCC분석기법을 분리하여 장점 및 단점을 분석하였다. 그리고 국내에서 LCC분석이 제대로 이루어지지 못하는 원인을 생각해보고 LCC 분석을 통한 Project의 경제적 효용성을 극대화 할 수 있도록 하기 위해서 선행되어야 할 사항들을 도출하고 국내 항만설계에 적용된 VE/LCC 기법의 적용사례를 분석하여 향후 VE/LCC 기법의 설계적용을 위한 보다 개선된 방안을 제시하고자 하였다.

핵심용어 : 생애주기비용, 가치공학, 항만구조물, 항만설계, 경제성분석

Abstract : Reports on VE/LCC based coastal structural design were analyzed to derive possible improvement. VE/LCC technique may be effectively applied to making decisions in coastal structural design. However, it has not been well utilized in recent projects for some problems. Therefore, recent project reports on VE/LCC have been analyzed and merits and demerits were classified. Then, the reason why VE/LCC cannot be effectively applied to real projects was driven. Finally, some pre-requisites to improve the technique were summarized.

Keywords : life cycle cost, value engineering, harbor structure, harbor design, economic analysis

1. 서 론

VE(value engineering)는 「최적의 LCC (Life cycle cost : 시설의 총 생애 주기 비용)로 필요한 기능을 확실 히 달성하기 위하여 제품, 서비스의 기능적 연구에 투입 하는 조직적인 노력을 체계화 한 것」이라고 정의한다. 설계 VE는 이러한 VE 제안을 설계에 반영하는 것이다. 여기에서 최적의 LCC는 최저의 자원의 소비에 의한다는 것으로 자원의 효과적인 이용이라는 점에서는 IE(Industrial engineering), QC(Quality control)와 그 목적을 같이 한다고 볼 수 있다. 설계 VE의 목적은 종래의 방식에 의한 설계안에 대하여 설계자가 아닌 독립된 제 3자가 독자적인 입장에서 분석·평가·제안을 추진하여 그 시설의 가치를 높이는 것이다. 이러한 목적을 위하여 VE 검토조직

은 시설의 건설에서 사용까지 최선의 방법을 추구하여, 설계에 있어서의 소정의 성능, 신뢰성, 품질 및 안전성을 만족시켜야 한다. 또한 최소의 LCC로 필요충분한 기능을 확보하기 위한 시스템, 기기, 시설, 보수형태 및 공급방식에 대한 종합적 기능분석·비교안 검토업무를 수행하는 것이 필요하다. 이러한 작업을 통하여 불필요한 비용을 절감하게 된다. 이와 관련한 토목구조물의 설계적용은 국내에서도 1980년대 중반부터 VE제도를 도입하려고 시도하였지만, 국내에서는 실제 적용효과가 큰 기획, 설계단계에서는 적용되지 못하고 시공단계에만 부분적으로 적용되어 왔으며, 최근에 이르러 500억 이상의 공사에는 의무적으로 VE/LCC를 검토하도록 하고 있다. 그러나 이 같은 노력에도 불구하고 아직도 해결해야 할 부분이 많은 것 또한 현실이다. 따라서 본 논문에서는 VE/LCC를 적용한 기준

*한국해양연구원 연안개발에너지연구부(Corresponding author : Gil Lim Yoon, Coastal and Research Dept., KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea. glyoon@kordi.re.kr)

**군산대학교 해양시스템공학과

사례 보고서를 토대로 VE/LCC를 각 보고서별로 비교분석하여 시설물의 기능을 향상시키고 공사비 절감을 유도할 수 있는 방법을 검토하여 VE/LCC분석에 반영하기 위한 기초자료를 정리하여 최적의 조건에서 VE/LCC를 수행하는데 도움이 되고자 한다.

2. VE/LCC에 관련된 이론적 고찰

2.1 설계 VE

2.1.1 VE의 요소

VE 활동에는 사용자에 대한 가치 측정을 위하여 몇 가지 요소가 사용된다. 즉 기능, 품질, 비용의 3요소이다. 이 세가지 요소는 아래와 같은 관계식으로 설명할 수 있다.

$$\text{Value(가치)} = \frac{\text{품질} + \text{기능}}{\text{비용}} \quad (1)$$

여기서,

기능: 설계나 시설물이 반드시 수행해야만 하는 특정 역할

품질: 사용자나 발주자가 요구하는 기대수준

비용: 시설물의 총 생애 주기비용(LCC)

식 (1)에서 보는 바와 같이 가치(Value)는 발주자나 사용자의 기대수준에 부합되는 신뢰성 있는 기능을 수행하기 위한 가장 효과적인 비용이라 정의할 수 있으며, 이러한 효과적 비용을 산정하기 위하여 불필요한 비용을 제거해 나가는 활동을 VE 활동이라 할 수 있다.

2.1.2 VE활동의 범위

현재 국내에서 시행되는 VE활동은 LCC분석과 혼동하여 사용되는 경우가 많이 목격된다. 이는 경제성분석이라는 측면을 LCC적 관점에서 접근하는 태도에서 기인하는 것으로 보인다. 그러나 VE활동은 그 범위가 매우 방대하고 Project의 어느 시점에 VE활동을 전개하느냐에 따라 서도 그 범위는 신축적으로 변할 수밖에 없다.

2.1.3 활동기법

2.1.3.1 매트릭스기법

매트릭스 평가법은 Caltrans (1999) 「Value analysis report guide」의 추천방법으로 사용자 입장에서 고려한 선정기법 각 대안에 대해서 대안이 실행되었을 때 영향을 받을 평가방향을 결정하고 영향도(중요치)에 대해 점수를 매기고, 각 평가항목에 대한 중요도를 모두 같은 것으로 볼 수 없기 때문에 평가항목에 대해서 가중치를 부여하는 가중비교 매트릭스법(Weighted comparison matrix)을 이용한다.

대안별 각 평가항목의 가중치를 결정하기 위해서 Caltrans (1999)가 추천하는 평가기준매트릭스를 사용하고 있으며, 이에 Analysis matrix 방법은 몇가지 큰제약을 가지고 있다. 첫째로 가중치에 대하여서는 쌍대비교를 통하여 상대적인 가중치를 객관적으로 도출하고 있지만, 실제적으로 점수 도출에 있어서는 일반적인 전문가의 점수 부여 방법을 택하고 있다. 비록, 가중치에서는 객관성을 상당히 확보하였지만 평가에 있어서 이러한 장점이 사라지게 된다. Analysis matrix 평가 방법은 Fig. 1과 같이 평가항목들을 서로 비교할수 있도록 평가항목을 대칭형태로 구성하여 각 평가요소의 가중치를 결정한다. 예를 들어 Fig. 1에서와 같이 가중치 A.공사비, B.운영비를 비교하여 어떤 공법에 대하여 A.공사비를 더욱 가중치를 두고 평가하여야 한다면 'a'라고 표현하여, 이와 같이 평가된 가중치를 더하고 이에 전체합계 100분율의 확정치를 결정한다.

둘째, 기존 방법은 평가 자체가 건전하게 진행되었는지, 평가 결과가 신뢰할만한지 검증할수 있는 도구를 가지고 있지 않다. 평가자가 불성실하거나, 평가의 구조 자체가 잘못 설정되었을 경우 평가 결과는 심하게 왜곡된다. 이러한 왜곡은 기존 방법론에 있어서는 단지 전문가의 세심한 주의 이외에는 확인할 수 있는 방법이 존재하지 않는다.

세 번째로 Analysis matrix의 쌍대 비교 방법은 Scale factor가 한정적이고 명확하지 않기 때문에 평가가 민감하

평가항목	B	C	D	E	Total	가중치	확정치
A. 공사비	a	c	d	a	2.0	22.2	⇒ 22
B. 운영비		c	b	e	1.0	11.1	⇒ 11
C. 시공성			d	c	3.0	33.3	⇒ 33
D. 기능/편의성(최적선형)				d	2.0	22.2	⇒ 22
E. 민원발생최소화					1.0	11.2	⇒ 12
					9.0	100	⇒ 100

• 상대적 중요 평가항목 = 중요 평가항목에 1점 부여

Fig. 1. An Example of analysis matrix(Caltrans, 1999).

Table 1. Method based on evaluation(Caltrans, 2000)

평가등급		
Rank	평가내용	정성적 평가
10	기술적으로 가능함 / 대단히 큰 편익 예상됨 / 중요비용과 중요기능 개선	탁월함
9	기술적으로 가능함 / 프로젝트 개선 예상됨 / 약간의 비용과 다른 기능적인 개선	매우우수함
8	기술적으로 가능함 / 작은 비용과 다른 기능적인 개선	우수함
7	약간의 프로젝트 편익 예상됨 / 설계기준에 제한할 필요 있음	대안으로 가능하나 성능면에서 보통
6	대안 접근 / 가능한 설계 제안	대안으로 가능하나 특별한 이점 없음
5	비용 축소 / 기능적인 요구에서 약간의 손실	약간의 문제가 있음
4	편익추구에 의심스러움	불리함
3	추구하기에는 미지수가 너무 많음	아주 불리함
2	중요한 단점	중요한 문제가 있음.
1	요구사항과 맞지 않음	치명적인 문제가 있음.

지 못하고 제한적이다. 그리하여 평가항목의 가중치의 중요도를 부여하기 위해서 각 대안별로 등급(Rank)을 부여해 가중비교 매트릭스법을 이용하여 가중평가치를 산정한다. Table 1은 계량화에 의한 방법으로 가중비교 매트릭스법을 준용하여 각각의 평가항목에 대해서 세부평가항목을 도출하여 매트릭스방법과 동일하게 수행하여 각안별 세부항목에 대해 점수를 도출한 후 백분율로 환산하여 1~10 등급으로 구분 적용하고 있다.

2.1.3.2 AHP기법(Analytic hierarchy process)

AHP기법은 1970년대 초반 T. Saaty에 의하여 개발된 계층분석적 의사결정방법으로 기존의 정성적 평가 방법으로써 특히 쌍대비교를 통한 평가 방법들의 아이디어를 발전시켜서 가설 구조를 구성하고 스케일의 정의 및 구조를 다듬어서 쌍대비교를 좀 더 정교하게 개발시켰다. 더 나아가 이러한 쌍대비교 평가가 가중치뿐만 아니라, 대안 비교에 까지 수행하도록 하여서 평가의 엄밀성을 높였다. 그리고 설문 및 의사결정 과정에 있어서 의사결정자의 문제 해법 과정을 모사하였기 때문에 평가 설문에 임하는 사람이 쉽고 합리적으로 평가를 수행하도록 지원하고 있다. 또한 Consistency index test를 개발하여 대안 평가에 있어서 가설의 위계가 잘못 구성되거나 설문자가 불성실할 경우 평가 결과를 기각하고 다시 수정할 수 있다고 하

였다. AHP의 장점과 기존 방법론의 문제점을 Table 2에 정리해 보았다.

AHP에서 가장 특징적인 것은 Linear algebra를 적용하는 것이다. AHP는 쌍대비교를 전 항목에 걸쳐 시행하여 이전의 다른 쌍대비교 평가처럼 우삼각, 또는 하삼각 행렬이 아닌 하나의 완전한 행렬을 구성한다. 이렇게 구성된 행렬에 대해 고유값을 도출해서 설문자가 일관성을 가지고 설문에 임하였는지 검정할 수 있다. 그러나, 설문자가 일관성을 가지고 설문에 임하였다고 하더라도 설문의 위계가 잘못 구성되었다면 결과는 일관성을 잃을 수 있다. 특히 각 요소가 독립적이어야 하며, 또한 같은 가지 내부에 있는 요소들은 범주 구분의 수준이 일치하여야 하는데, 이러한 위계 설정이 잘못될 경우에도 일관성을 잃을 수 있는 단점이 있다. 그리하여 단점을 보완하기 위하여 AHP기법은 일관성(consistency) 검정을 거친다. 일관성(consistency) 검증이란 평가자가 내린 판단의 논리적인 모순을 측정하는 것이다. 평가자 판단에 대한 전이적 모순을 측정하여 제거하거나 재검토하고자 하는 것이 AHP에서의 일관성 개념이다. 이러한 일관성(consistency)의 정도는 식(2), 식(3)과 같이 일관성 지수(consistency Index : CI)와 일관성비율(consistency Ratio : CR)을 통하여 구할 수 있다.

Table 2. Problems in conventional method and solutions by AHP(조 등, 2003)

기존 방법론의 문제점	AHP 해결책
정확도 문제 절대적인 평가 점수 체계는 평가에 있어서 개관성을 유지하는 데 한계	쌍대비교 평가 및 linear algebra를 통해 평가 도출
신뢰도 문제 기존 평가체계는 평가 결과에 대한 신뢰성을 단지 전문가의 의견에만 의존	Consistency index를 통한 신뢰도 검정
민감도 문제 기존 평가 체계는 Scale factor 및 평가 방법에 따라 왜곡 가능성 존재	비교적도 재정립 및 쌍대비교, linear algebra의 적용
독립성 문제 평가에 있어서 각 요소에 대한 이해가 평가자마다 다를수 있다.	Hierarchy structure

Table 3. Random index(saatty 1990)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
난수지수	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

일관성 지수(CI) = $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ (2)

일관성 비율 (CR) = $(CI / RI) \times 100\%$ (3)

여기서,

λ_{max} : 행렬에서 구한 가장 큰 고유치

RI: 난수 지수

n: 1~10까지의 난수지수 값

일관성 비율의 수식에 있는 RI는 난수지수(Random index)를 의미하며, 이는 1에서 9까지의 수치를 임의로 설정하여 역수행렬을 작성하고 이 행렬의 평균 일관성지수를 산출한 값으로 일관성의 허용한도를 나타낸다. n이 1에서 10까지 변화할 때의 난수지수는 다음의 Table 3과 같다. Saaty는 C.R(CI/RI)의 값이 10% 이내인 경우에만 서수적 순위에 무리가 없는 신뢰할 수 있는 결과라고 하였다.

Saaty는 7단계로 AHP 적용 단계를 구분하였다. 하지만 이러한 적용 단계를 실제 작업 플로우로 분해해서 이해하는 것이 실무적인 단계에서는 더 용이하다. 이렇게 분해한 AHP의 진행 구조는 Fig. 2와 같다.

2.1.4 내구연한

Table 4는 국내외별, 현재까지 알려진 자료를 통한 내구연한을 정리해 보았으며, 내구연한은 구조물의 주요 구성시스템이나 요소가 손상되거나 파손되어 더 이상 그 기

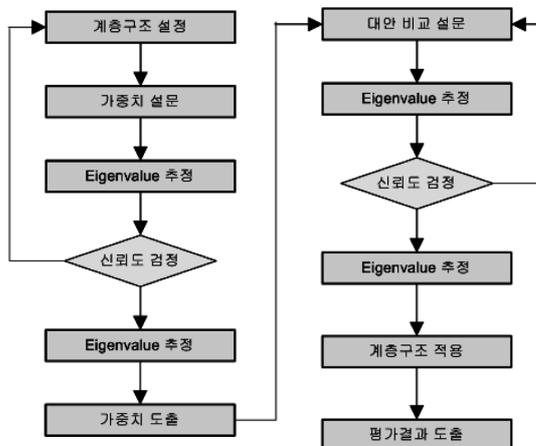


Fig. 2. Process of AHP(조동, 2003).

Table 4. Lifetimes by each national code

구분	구조물	내구연한
국내 (1997.9, 5413)	방파제	50
	콘크리트	40
	강재	25
국외 (Part 1. Clause 16)	안벽	60
	Open Jetty	45
	Superstructure Works	30
	방파제 및 호안	60
	방조제(Flood Protection)	100

능을 발휘하지 못하게 되는데까지 걸리는 시간을 의미한다. 토목구조물의 내구연한은 구조물의 수명으로 정해지며, 구조물의 수명에는 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명 등이 있다. 일반적인 의미에서의 구조물의 수명은 물리적 수명을 말하며, LCC 분석에 적용하는 내구연한은 구조물의 물리적 수명, 기능적 수명 및 경제적 수명중 가장 짧은 수명의 의미한다. 항만시설물의 내구연한은 항만시설물이 갖는 고유한 특성으로 인하여 정확한 내구연한을 산정하는 것이 매우 어려우며 다만, 일반적으로 중요하다고 판단되는 항만시설물의 경우 내구연한을 일반적으로 50년으로 적용하고, 그 외의 시설물에서는 30년으로 적용하고 있다. 항만 시설물의 내용년수와 관련된 자료로는 국내의 경우 「항만편람」(‘97), 영국의 표준규격(BS 6349) 등이 있는 것으로 파악된다.

2.2 LCC (Life Cycle Cost) analysis

총 생애주기 비용분석은 초기 공사비의 과·소에만 치중하던 관행에서 벗어나 구조물이나 시설물이 성능을 다할 때까지 소요되는 유지관리비 및 에너지 비용 등의 총 비용을 분석하는 것이다. 이러한 분석을 각 대안별로 비교분석하기 위해서는 일정한 기준을 정하여 등가환산하는 방법이 필요하다. 총 생애주기 비용을 일반적인 수식으로 표현하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$LCC = I + NPV \sum (OM \& R + Ect - Res)$ (4)

여기서,

I: 초기공사비 혹은 투자비

NPV: 순현재가(Net present value)

OM & R: 운영, 유지, 수리(교체)비용

Ect: 사업의 특성에 따라 소요되는 비용(예, 금융비용)
 Res: 시설물의 잔존가치

식 (4)에서 제시된 비용은 시설물이 수명을 다할 때까지 발생하는 시점과 형태가 모두 다를 수가 있다. 이러한 변수들을 등가환산 즉, 미래의 화폐가치를 현가화하여 평가하게 된다. 미래의 화폐가치를 현가화하는 식을 나타내면 식 (5)와 같다.

$$PV = \sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1+d)^t} \quad (5)$$

여기서,

- PV = 현재가치
- Ct = 검토기간 내에 발생하는 모든 비용
- d = 할인율
- n = 검토기간
- t = t=0에서 n까지 합산한 기간

결국 총 생애주기 비용분석은 식 (4)의 비용을 식 (5)를 이용하여 현가화한다. 이에 타당한 몇 가지 대안 중 최저의 총 생애주기 비용을 갖는 안을 선정하는 작업이라 할 수 있다. 식 (4)에서 나타나는 바와 같이 초기 공사비를 제외하고 나머지 비용은 유사구조물에서 발생하는 비용 등을 참조하거나 전문가의 도움을 받아 비용을 예측할 수 밖에 없게 된다. 또한 그 동안 동일 환경에서 사용한 예가 없는 신기술이나 신공법은 어떠한 형식을 통해서도 Database를 사용할 수 없게 된다. 이러한 문제점으로 인하여 현재 많은 분야의 LCC분석이 요식행위로 끝나는 경우가 많이 목격되고 있다. 따라서 향후 발생할 수 있는 비용을 어떤 방법을 통해서든 계량화하는 것이 필요하다. 운영 및 유지관리비는 사용자의 시설물 운영계획에 따라 많은 부분이 예측가능하다. 그러나 수리나 교체 혹은 보수 비용 등은 현재의 시점에서 예측하기 어려운 면이 있으며, 노출되는 환경에 따라 그 변화가 심할 수 있

다. 이러한 문제점을 많은 부분 해결해 주는 LCC관련식이 ISO-2394에 정의되어 있다.

2.3 LCA분석(Life Cycle Assessment)

LCA분석은 제품 또는 시스템의 전과정에 걸쳐 필연적으로 발생하는 환경부하를 규명하고, 환경부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법이다. 이 기법의 대상으로는 단순한 제품에서 복잡한 시스템에 이르기까지 목적에 따라 자유롭게 설정할 수가 있으며, 환경에 대한 영향으로는 국지적인 환경오염물의 배출뿐만 아니라 자원, 에너지의 소비 또는 인간의 건강, 생태학적 영향까지 포함된다. 이 기법의 목적은 인간활동의 다양한 국면에서 환경부하를 저감하는 방향으로 의사결정을 하기 위한 판단재료를 제공하는 데 있으며, 이러한 측면에서의 평가방법이 지역 환경문제와 동시에 지구환경문제를 억제하는 데 있어 유효하다. Fig. 3은 LCA의 과정을 도식화 한 것이다.

2.4 국내 VE/LCC 설계사례

다음은 국내의 VE/LCC 보고서 자료로써 국내 설계사례 분석을 통하여 어떠한 개념의 해석방법이 적용되어 있는지를 VE와 LCC로 분리하여 비교 분석하였다.

2.4.1 VE검토

2.4.1.1 사례 A

사례A의 경우 2004년 대림산업에서 작성된 “평택(아산)항 남측호안 철거공사의 VE/LCC 보고서”로써 인입공급 시설 통합 평가, 대체진입도로 통합, 남측호안철거에 따른 공법별 평가, 호안구조물 보강, 선박 충돌방지공에 대하여 VE/LCC 분석 및 공법으로 야기될 환경부하를 계산하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 LCA분석도 겸하고 있다. 사례 A는 Table 5에서와 같이 학계전문가와 기술자의 종합적인 평가 AHP 기법을 이용한 종합 가중치 평

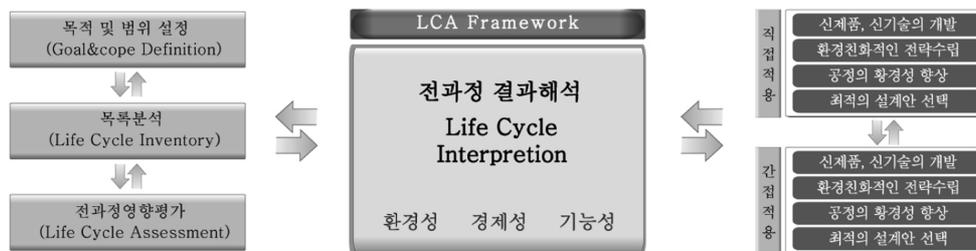


Fig. 3. Process for LCA Analysis(허탁, 1996).

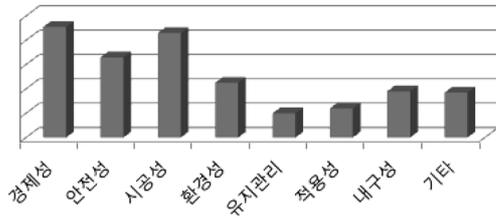


Fig. 4. Averaged weight of case A.

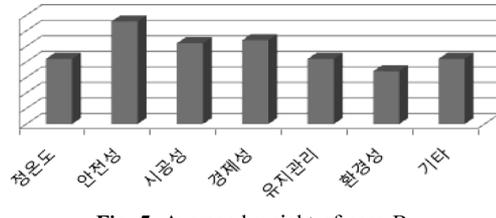


Fig. 5. Averaged weight of case B.

가를 실시하였으며, 이를 토대로 한 종합가중치 평가로 평가항목으로서 Fig. 4에서와 같이 평균 순위는 경제성, 시공성, 안전성, 환경성 등의 순으로 나타났다. 이런 가중치 평가는 각 공법에 따라 학계전문가 및 기술자의 관점에 따라 변화하는 가중치이다. 또한 Table 6은 급수시설의 기본노선 선정안의 한 예시로서 종합가중치 평가를 실시하여 각 공법별 점수를 책정하여 가중점수를 계산하였으며, 그 가중점수를 합산한 값이 설계기능점수(F)로 반영되고 있다. 이 설계기능점수는(F)는 LCC와 합산하여 최적의 공법을 선정하는데 이용되어진다.

2.4.1.2 사례 B

사례 B는 2004년 현대건설에서 작성된 VE/LCC 보고서로서 “울산신항 남방파제(1공구)축조공사 보고서”이다. 해당 보고서에서는 울산남방파제의 상부구조형식, 범람갑 방파제의 상부구조 형식결정, 기초처리공법 결정하고 있으며, 운반시 고려하여야 하는 재료원 위치, 작업장 위치결정을 생애주기 비용분석을 통한 초기비용 결정 및 유지관리비 분석을 자세히 소개하고 있다. 또한 위험도분석을

통한, 파괴확률을 고려하여 LCC분석도 고려되어지고 있다. 사례 B는 지역여건 및 입찰안내서를 고려한 평가항목을 쌍대비교를 통한 AHP 기법을 이용하여 종합가중치 평가를 실시하고 있으며 발주자, 실사용자, 설계자의 판단이 평가의 척도가 되는 바 발주자의 요구는 입찰안내서상에 나와있는 것으로 판단하여 입찰안내서상의 요구를 반영되고 있다. Fig. 5와 같이 가중치는 평균 1순위로 안전성의 평가가 가장 많이 적용되었으며 경제성, 기타등으로 나타났으며, 타보고서와 달리 방파제의 항내파고의 저감에 유리한가?, 계류선의 동요에 유리한가?, 항내의 반사파의 영향을 고려하였는가? 등의 정온도의 가중치가 평가되었다. 이에 따른 가중치를 평가하여 각 공법별 등급을 책정하고, 이를 백분율로 하여 설계기능점수(F)를 책정하고 있다. Table 7은 대안 1,2,3에 대하여 방파제 상부구조형식의 예비분석의 설계기능점수(F) 결과의 한 예시이다. 이 또한 설계기능점수는(F)는 LCC와 합산하여 최적의 공법을 선정하는데 이용되어진다.

Table 5. Total weight evaluation of case A based on AHP

주기능	부기능	집단별가중치		종합가중치	순위
		학계전문가	기술자		
경제성	경제성	0.240	0.240	0.240	2
	시공성	0.195	0.199	0.197	4
기술성	안전성	0.233	0.269	0.251	1
	시설운영	0.123	0.082	0.102	5
환경성	환경성	0.210	0.210	0.210	3

Table 6. Score for design function of case A

주기능	부기능	가중치	원안(항로 횡단 해저배관)		대안(가호안 우회)	
			점수	가중 점수	점수	가중 점수
경제성	경제성	0.24	93.67	22.50	77.33	18.58
	시공성	0.20	79.33	15.61	94.67	18.63
기술성	안전성	0.25	85.33	21.40	97.33	24.41
	시설운영	0.10	86.33	8.83	97.33	9.96
환경성	환경성	0.21	91.00	19.10	84.67	17.77
설계기능점수 (F)			87.45		89.35	

Table 7. Score for design function of case B

평가항목	가중치 (%)	성능점수					
		대안1 (사석경사제)		대안2 (케이슨식혼성제)		대안3 (소파블록피복혼성제)	
		등급	점수	등급	점수	등급	점수
정온도	19	8.8	167	2.8	53	9.2	175
안전성	19	7.6	145	5.6	107	9.6	183
경제성	12	8.0	96	8.8	106	6.4	77
유지관리	12	7.6	91	7.6	91	7.6	91
시공성	16	7.2	115	7.6	122	7.6	122
환경성	10	6.4	64	6.8	68	7.2	72
친수성	12	7.2	87	7.2	87	8.0	96
합계	100	765		633		816	
성능점수	-	76.5		63.3		81.6	

Table 8. Total weight evaluation of case C based on AHP

평가항목	A	B	C	D	E	F	가중치	확정치
A. 계획성	1.00	1.12	1.20	1.25	1.32	1.42	⇨ 0.201	⇨ 20
B. 시공성		1.00	1.07	1.08	1.18	1.27	⇨ 0.178	⇨ 18
C. 안전성			1.00	1.04	1.08	1.18	⇨ 0.167	⇨ 17
D. 경제성				1.00	1.06	1.14	⇨ 0.161	⇨ 16
E. 유지관리성					1.00	1.08	⇨ 0.152	⇨ 15
F. 환경성						1.00	⇨ 0.141	⇨ 14

2.4.1.3 사례 C

사례 C의 경우 2005년 삼성물산에서 작성된 “부산신항 남권배후지 준설토투기장(2공구)축조공사 보고서”로써 외곽호안분야의 구조형식, 단면형식, 피복제, 기초 굴착 등을 평가하고 있으며, 배수호안 분야에서는 상부형식, 하부형식 등을 평가하고 있다. 또한 토질 및 기초분야로써 기초처리공법을 결정하고 마지막으로 부대시설에서는 오탐방지막의 원안과 대안을 비교 분석하고 있다. 사례 C는 Table 8에서와 같이 계층화 분석기법 AHP기법에 의하여 가중치를 산정하였다. 설문조사를 실시하여 가중치(평가항목)를 선정하여 가중치(평가항목)를 바탕으로 각 계층내의 의사 결정 요소들의 계층별로 쌍대비교 행렬을 구하며 설문조사를 통한 기하평균에 대한 가중치의 결과를

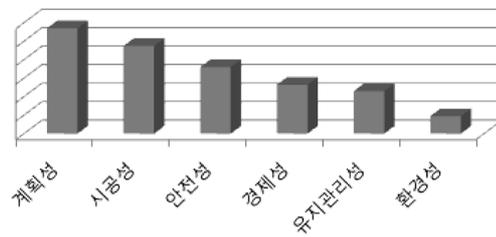


Fig. 6. Averaged weight of case C.

산출하였다. 또한 일관성 검증을 통하여 일관성 비율 10% 이내로, 무리가 없는 신뢰할수 있는 결과를 도출하였다. 평가항목으로는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 평균 순위는 경제성, 시공성, 안정성, 환경성등에 순으로 나타났다. Table 9는 산출된 가중치로 각 공법별 점수를 측정하여 가

Table 9. Score for design function of case C

평가항목	가중치 (①)	원안		대안1	
		등급(②)	점수(①×②)	등급(②)	점수(①×②)
계획성	2.01	10	20.1	9	18.1
시공성	1.78	10	17.8	10	17.8
안전성	1.67	10	16.7	7	11.7
경제성	1.61	10	16.1	8	12.9
유지관리성	1.52	9	13.7	7	10.6
환경성	1.41	9	12.7	8	11.3
설계기능점수(F)		97.1		82.4	

Table 10. Total weight evaluation of case D based on AHP

평가항목	B	C	D	E	F	빈도수	비율	Quality Model
A. 시공성	A	A	A/D	A	A/F	5	22	
B. 안전성		B	B/D	B	B/F	4	18	
C. 유지관리			D	C/E	F	1	7	
D. 경제성				D/E	D/F	5	22	
E. 환경성					F	2	9	
F. 주변여건						5	22	

중점수를 계산하였으며, 그 가중점수를 합산한 값이 설계기능점수(F)로 반영되고 있다. 이 설계기능점수(F)는 LCC와 합산하여 최적의 공법을 선정하는데 이용되어진다.

2.4.1.4 사례 D

사례 D의 경우 2004년 삼성물산에서 작성된 VE/LCC 보고서로써 “부산신항 남컨테이너부두(2-2단계, 하부)축조 공사 보고서”로써 안벽 기초 및 연약지반에서의 기초형식 결정, 연약지반처리공법 선정, 지반개량구간 결정 등을 파괴확률을 고려하여 위험비용을 산출, 분석하고 있다. 해당 보고서에는 타 보고서와 달리 VE 평가시 Matrix기법을 통한 가중치를 산정하고 있다. 사례 D는 Matrix기법에 의하여 가중치를 산정하였으며 설문조사를 실시하여 평가항목을 선정하여 Table 10에 나타난 것과 같이 기하평균에 대한 결과치를 산정하였다. VE의 경우 발주자, 실사용자, 설계자의 판단이 평가의 척도가 되느냐 발주자의 요구는 입찰 안내서를 근거로 하여 평가 항목을 결정하고 있다. 평가항목으로는 Fig. 7과 같이 평균 순위는 경제성, 시공성, 환경성, 기타 순으로 나타났으며, 입찰 안내서상에 요구되는 평가항목을 결정하여 각 공법별 점수 책정에서는 Caltrans평가를 이용하여 적용등급을 제시하였으며, Table 11에서 보는바와 같이 설계기능점수의 합계로 공법을 선정하여 추후 LCC평가가 더해져 최적의 공법을 선정하고 있다.

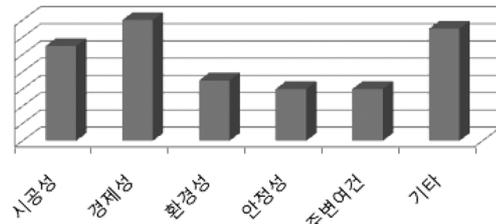


Fig. 7. Averaged weight of case D.

2.4.2 LCC 검토

2.4.2.1 사례 A

사례A의 경우 2004년 대림산업에서 작성된 “평택(아산)항 남측호안 철거공사의 VE/LCC 보고서”로써 인입공급시설 통합 평가, 대체진입도로 통합, 남측호안철거에 따른 공법별 평가, 호안구조물 보강, 선박 충돌방지공에 대하여 VE/LCC 분석 및 공법으로 야기될 환경부하를 계산하고 환경에 미치는 영향을 평가하는 LCA분석도 겸하고 있다. 일반적으로 LCC산정에서는 가장 관건이 되는 유지관리 비용 및 확실하게 드러낼 수 있는 비용의 선정이 중요시 되고 있다. 사례 A안의 경우 Fig. 8과 같이 각 공법별 초기공사비용, 유지관리비, 해체폐기비용 및 각 공법의 사용자 비용이 산출되어 비교하고 있다. 또한 특이점으로 LCA의 분석으로 환경부하 발생량을 제시하고 있으며, 할인율에 따른 민감도 분석을 하고 있다. 하지만 할인율 적용 및 내구연한의 기초자료가 보고되고 있지 않아서 어

Table 11. Score for design function of case D

구 분	가중치	1안 굴착 치환 공법		2안 S.C.P 공법		3안 G.C.P 공법		4안 D.C.M 공법		5안 Vibro S.C. 공법		6안 G.C.C 공법	
		등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수	등급	점수
A. 시공성	22	10	220	10	220	9	198	9	198	8	176	8	196
B. 안전성	18	10	180	9	162	8	144	10	180	8	144	8	144
C. 유지 관리성	7	10	70	9	63	9	63	9	63	9	63	9	63
D. 경제성	22	9	198	10	220	7	154	7	154	8	196	8	196
E. 환경성	9	8	72	10	90	10	90	7	63	10	90	10	90
F. 주변여건	22	10	220	8	176	9	198	8	176	10	220	10	220
설계기능점수 합계(F)		960		931		847		834		889		909	

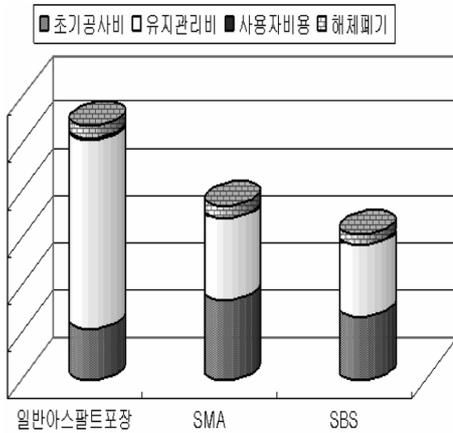


Fig. 8. Cost for case A.

떠한 값을 적용했는지는 알 수 없다.

2.4.2.2 사례 B

사례 B는 2004년 현대건설에서 작성된 “울산신항 남방파제(1공구)축조공사 보고서”이다. 해당 보고서에서는 울산남방파제의 상부구조형식, 범월갑 방파제의 상부구조 형식결정, 기초처리공법 결정하고 있으며 운반시 고려하여야 하는 재료원 위치, 작업장 위치결정을 생애주기 비용 분석을 통한 초기비용 결정 및 유지관리비 분석을 자세히 언급하고 있다. 사례 B의 경우 LCC분석에서 초기투자비용의 산정시 공사비, 설계비, 감리비, 공사안전점검비 등 확실한 차이를 드러낼 수 있는 비용요소만을 분석요소로 선정하였으며, 또한 유지관리비용으로는 점검비용, 유지보수비를 유지관리비용으로 산출하였다. 초기투자비용 중의 공사안전점검비의 경우 효율을 0.175%로 평균적으로 적용하였으며 내구연한의 경우 국내의 항만편람에서 발췌한 50년 빈도로 책정하였다. 실질할인율의 경우 국제자유화 이후(1993~2003년)의 은행금리와 인플레이션을 고려하여 산정한 3.67%를 적용하였다. 또한 위험도분석을 고려한 LCC 분석을 하여 검토구조물에 대하여 파괴확률을 산정하여 유지보수비에 파괴확률을 고려한 LCC를 검토하여 보다 신뢰성을 높은 LCC 발생금액을 책정하였다. Fig. 9는 사례B의 초기건설비용, 유지관리비용, LCC분석을 한 예시이다.

2.4.2.3 사례 C

사례 C의 경우 2005년 삼성물산에서 작성된 “부산신항 남”권 “배후지 준설토투기장(2공구)축조공사 보고서”로써 외곽호안분야의 구조형식, 단면형식, 피복재, 기초 굴착 등을 평가하고 있다. 배수호안 분야에서는 상부형식,

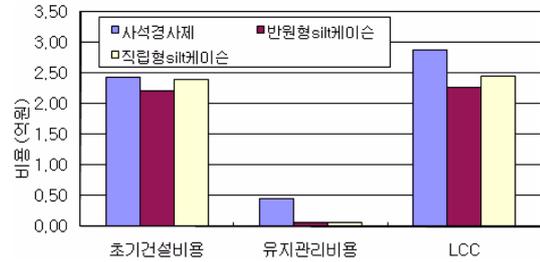


Fig. 9. Cost for case B.

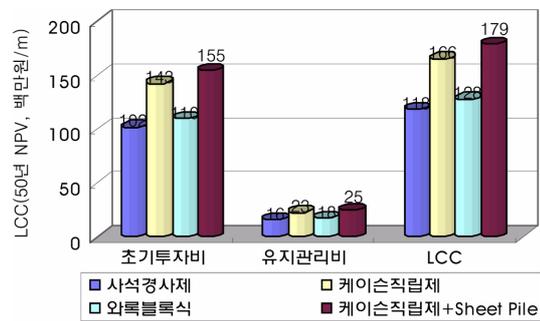


Fig. 10. Cost for case C.

하부형식 등을 평가하고 있다. 또한 토질 및 기초분야로써 기초처리공법을 결정하고 마지막으로 부대시설에서는 오탱방지막의 원안과 대안을 비교 분석하고 있다. 해당 보고서에서는 대안별 VE평가 및 초기투자비, 유지관리비를 분석하여 LCC분석을 하고 있다. 사례 C에서는 할인율 적용시 1999년~2004년 통계자료로부터 구한 평균 실질할인율 3.7%적용하였으며, 항만시설 내구수명을 고려하여 50년을 분석기간으로 적용하고 있다. LCC산출시 초기투자비, 유지관리비를 산출하였으며, 이런 비용에 관한 세부관리비용의 정확한 근거자료를 제시하지 않고 있다. Fig 10은 사례C의 초기건설비용, 유지관리비용, LCC분석을 한 예시이다.

2.4.2.4 사례 D

사례 D의 경우 2004년 삼성물산에서 작성된 “부산신항 남컨테이너부두(2-2단계, 하부)축조공사 보고서”로써 안벽 기초 및 연약지반에서의 기초형식결정, 연약지반처리공법 선정, 지반개량구간 결정 등을 파괴확률을 고려하여 위험비용을 산출하여 분석하고 있다. 해당 보고서에는 타 보고서와 달리 VE 평가시 Matrix기법을 통한 가중치를 산정하고 있다. Fig. 11은 사례D에서 SCP공법에 대하여 위험비용 평가를 한 예시이다. 사례 D의 경우 연약지반 개량공법으로 SCP공법이 사용되고 있으며, 이에 초기

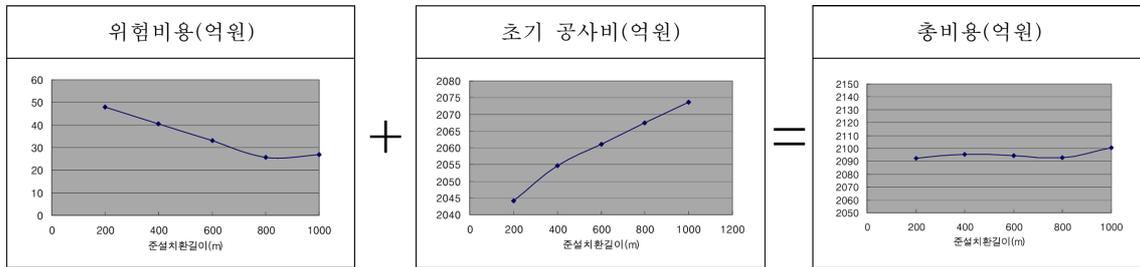


Fig. 11. Cost for case C.

공사비의 산출은 SCP공법의 전체 길이와 수직 길이로부터 산출하여 책정하였으며, 구조물에 대하여 파괴 확률에 따른 위험비용을 고려하여 KSF ISO2394 기준에 적합한 경제성 평가가 되도록 분석하고 있다. 위험 비용 평가를 통하여 $G = \sum(C_f \times P_f)$ 에서 C_f : 총비용, C_f : 피해비용, P_f : 파괴확률, $C_f \times P_f$: 위험비용, C_i : 초기공사비를 적용하여 공법의 연간 파괴확률을 적용하여 LCC평가를 하였다. 여기서 $C_f \times P_f$ 의 합은 보험의 효율과도 같은 백락의 비용이라 할수 있다. 또한 할인율의 경우 정확한 근거자료는 제시하고 있지 않으며 7.5%의 효율을 적용하고 있다. 분석 기간으로는 30년 빈도로 적용되고 있다. 이 또한 정확한 근거는 제시되고 있지 않다.

Fig. 12에서는 사례별 LCC 평가시 할인율의 적용값이다. 사례 A의 경우는 근거자료가 부족하여 확인할수 없었으며 사례 B, C, D의 경우 각기 다른 할인율을 적용하고 있었다. 이같은 상황은 LCC 분석시 기초자료인 가치변동율을 장기간에 걸쳐서 예측할 수 있는 금융관련 자료의 데이터베이스를 이용하게 되지만, 정확한 금융 데이터베이스가 구축되어 있지 않아 각 보고서별로 다른 점이 있다. 수시로 변화하는 물가상승율에 대하여 장기적으로 예측할수 있는 데이터베이스가 구축 되어야 한다.

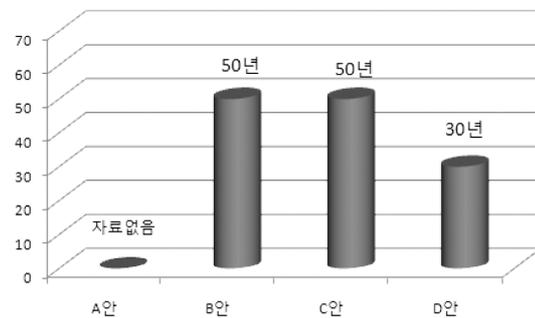


Fig. 13. Lifetime for each case.

Fig. 13은 각 보고서별 내구연한에 적용된 결과치이다. 사례A의 경우 내구연한에 대한 언급이 없어서 내구연한을 파악할 수 없었으며, 사례 B, C, D의 경우 각각 50년, 50년, 30년을 적용하고 있다. 각 사례별로 차이점이 있는 것은 항만시설물이 갖는 고유한 특성으로 인하여 정확한 내구연한에 어려움이 있으며, 공법의 다양성 및 신기술/신공법의 내구연한의 설정의 차이 때문인 것으로 판단된다. 이 때문에 내구연한의 체계화된 데이터베이스 구축이 필요할 것으로 판단된다.

3. 결 론

국내 VE/LCC분야에서 사례 A, B, C, D의 설계보고서를 비교 검토 후 최적의 기법과 보고서별 장점을 정리해 보고 앞으로 VE/LCC 기법을 설계에 적용시 필요한 사항을 타진해 보고 장차 LCC 분석을 통한 Project의 경제적 효율성을 극대화 할수 있도록 하기 위해서 선행되어야 할 사항들을 정리하였다.

사례 A의 경우, 학계전문가와 기술자의 종합적인 평가 AHP 기법을 이용한 종합 가중치 평가, 할인율에 따른 민감도 분석은 적절하다고 평가 되었다. LCC, LCA분석은

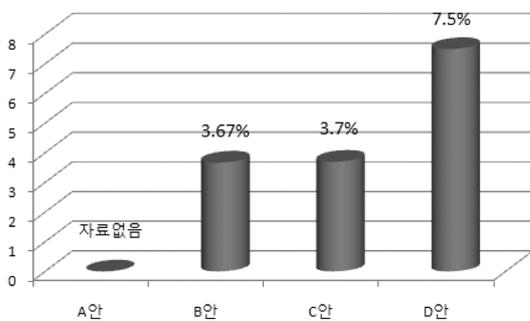


Fig. 12. Discount rates for each Case.

할인율적용, 유지관리비, 폐기처리비용등에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

사례 B의 경우, 할인율 적용시 1999년~2004년 통계자료로부터 구한 평균 실질할인율 3.7%적용하여 적절히 적용하였으며, 지역여건 및 입찰안내서를 고려한 평가항목을 쌍대비교 AHP기법으로 산출하여 계층분석을 통한 가중치 결정하였고 종합적인 평가를 볼때 VE분석은 평가항목, 가중치 산정에 있어 세부적인 사항을 제시하는등 타 보고서에 비해 우수하다고 판단되나 LCC 분석시 유지관리비등 보완이 필요할 것으로 판단된다.

사례 C의 경우, AHP에 의하여 가중치를 산정하였으며 설문조사를 실시하여 평가항목을 선정하며 설문조사를 통한 기하평균에 대한 결과치를 산정하여 보다 신뢰성 있는 가중치 결정하였으며 VE의 평가의 경우 발주자, 실사용자, 설계자의 판단이 평가의 척도가 되는 바 발주자의 요구는 입찰 안내서상의 근거로 하여 평가 척도를 결정하여 보다 타당한 분석이라고 평가된다. 또한 LCC평가의 경우 총공사비, 설계비, 감리비, 공사안전점검비 등에는 민감도분석을 통하여 민감도가 큰 항목 적용하였으며, 항만개발과 예비타당성지침에서 발췌한 내구연한 50년 빈도 적용으로 전체적으로 우수하였으나, 유지관리비 항목에서 보완이 필요할 것으로 판단된다.

사례 D안의 경우, LCC분석에서 m당 공사비의 산출로만 결정한 item이 있으며, 이에 대한 유지관리 측면이 고려되어 있지 않아서 정확한 VE/LCC 평가로는 부족함이 있다. 그러나 위험비용 분석으로 연간과피(위험) 확률을 적용, 피해비용을 산출하여 LCC평가에 대한 신뢰도는 보다 향상된 것으로 판단된다. LCC 분석시 내구연한을 30년 빈도로 적용하였으나 30년에 대한 정확한 기준이 명시되어 있지 않아서 보다 정확한 근거자료가 필요할 것이다.

이렇게 기존사례를 분석 한 결과, 각각의 차이가 크게 발생하였다. 예를 들어 LCC분석에 있어서는 총공사비, 유지관리비 산출등의 같은 구조물임에도 불구하고 각기 다른 결과를 내고 있다. 이런 결과는 잘못된 투자결정으로 이어질수 있으며, 이런 오류를 최소화 하기 위해서는 장기적으로 구조물의 정확한 분석 및 자료확보가 필요할 것이다. 그리하여 경제성을 확보하고 여러가지 대안에 대한 체계적인 LCC분석을 할수 있다. 결론적으로 가장 선행되어야 할것이 LCC분석의 기초자료인 가치변동율을 장기간에 걸쳐서 예측할 수 있는 금융관련 자료가 필요하며, 수시로 변화하는 물가상승율에 대하여 장기적으로 예측할 수 있는 데이터베이스가 구축 되어야 한다. 특히, 일반 물가

상승율과 분석의 대상이 되는 특정 물가의 가격변동율을 예측할 수 있어야 한다. 할인율이 결정되면 공법별 분석기간의 예측과 과거 발생하였던 유지관리비의 타당성 분석을 통하여 정확한 유지관리비의 산출이 필요할 것이다. 또한 LCC분석시 사회성 비용, 소음비용, 민원발생 비용 등 추가 비용에 대한 산출도 크게 작용할 것으로 보이며 이런 방대한 데이터베이스의 체계적인 구축이 필요할 것으로 판단 된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 국책과제인 항만구조물 신뢰성 설계법 개발(과제번호: PM48400)의 재정적 지원에 의거 연구가 가능했음을 알리며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 대림산업 (2005). “평택(안산)항 남측호안 철거공사 VE/LCC 보고서”.
- 삼성물산 (2005). “부산신항 남” 컨 “배후지 준설토투기장 (2공구)축조공사 VE/LCC 보고서”.
- 이승복 (2000). “LCC 분석에 의한 시설물 관리의 최적화 방안”, 월간 발행문화 2000 vol.2.
- 조근태 등(2003). “앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정”, 동현출판사.
- 현대건설 (2004). “울산신항 남방과제(1공구)축조공사 VE/LCC 보고서”.
- 현대건설 (2004). “부산신항 남컨테이너부두(2-2단계, 하부) 축조공사 VE/LCC 보고서”.
- 허탁 (1996). “LCA 개념 및 국내외 현황”, 건국대학교 산업기술연구소.
- 해양수산부 (1997). “항만편람”.
- BS 6349 (1994). British standard Maritime structure, part 1 clause 16.
- Caltrans (1999). Value Analysis Report Guide, USA.
- Caltrans (2000). Value Analysis Report Guide USA.
- T.L saatty (1990). “How to make a decision: The Analytic Hierarchy Proces”, *European Journal of Operational Research*, Vol.48.
- Ehlen & Marshall (1996). “LCC 분석모델개발 및 FRP텍의 신공법에 대한 경제성 검토”, *NIST(National Institute of Science and Technology) 방법론*.

Received May 13, 2008

Accepted August 16, 2008