

사례를 통한 최적 라이프 사이클에 관한 연구

A Research the Optimal Plant Life Cycle using Case Study

심 중 칠*
Shim Jong Chil
김 창 은**
Kim Chang Eun
고 용 해***
Koh Yong Hae

Abstract

We call as plant life cycle the process starting from plant plan, design to disuse by way of construction, operation, but the plant facility inside it comes to changes of cope with various inner factor like blazing phenomenon and outer factor according to economic state.

On the presumption of these factors, the problem is brought about how plant should be managed, this study attempt to suggest the conservation management through economic evaluation in investment design and alternative, that is, methodology connecting that of economical efficiency evaluation based on LCC(Life Cycle Costing) thinking method and facility management with that of life prediction.

I. 서론

현대경영의 특색은 격심한 기업경쟁으로 플랜트합리화를 요청하게 되고, 또 노동기능의 미급(未及), 부족은 플랜트의 오토메이션화, 고도화를 촉진시키고 있다. 생산의 주체는 노동에서 플랜트로 옮겨가고 있고, 제품의 생산량, 품질, 코스트 등에 크게 영향을 미치는 요인으로 작용하고 있는 것이 바로 현대 경영에 있어서의 플랜트인 것으로서, 이 플랜트의 비중은 점점 증대되어 가고 있다. 더구나 오토메이션화, 고도화를 위해서 기업은 巨額의 플랜트에 투자를 할 수 밖에 없고, 巨額의 투자를 회수하기 위해서는, 우선 플랜트의 완전가동을 생각하지 않을 수 없게 되었다. 이에 기업의 수익계획에 차질을 가져오면, 그것은 기업의 존립에까지 직접적인 영향을 미치게 되고, 또 플랜트의 고도화와 더불어, 그의 성능유지활동을 위해서 고도의 보전기술과 많은 保全費를 소요하게 된다. 플랜트는 계획, 건설, 시운전 생산, 보수, 폐기로 이어지는 단계를 거쳐 그 수명을 다하는데, 그것을 인간에 비유하여 플랜트의 라이프 싸이클이라 한다. Fig 1은 플랜트 라이프 사이클의 형태이다. 일반적으로 플랜트의 사용기간은 제법 길고 그 기-

* 명지대학교 대학원 산업공학과 박사과정

** 명지대학교 산업공학과 교수

*** 명지전문대학교 공업경영과 교수

간에는 외적환경뿐만 아니라, 예를 들어 설비의 열화(劣化)등, 플랜트 자신의 내적조건도 변화한다. 그때마다의 변화에 대응하는, 소위 임기유변(즉석효과)적으로 플랜트를 관리하는 것이 아닌, 플랜트의 일생을 통해서 계획적으로 관리할 필요가 있음은 기업의 수익을 위해 당연함은 필연적이다.[2] 그러므로 플랜트의 일생에 걸친 총 코스트, 즉 라이프사이클 코스트를 최소로 적게하는 경제성의 문제와, 설비의 열화상태에 따른 보전방법의 최적인 것을 선택하는 설비관리의 문제로 적용되어 어느 한쪽이라도, 예측적인 요소를 가능한 유효하게 받아들이는 것에 의해 생산성이나, 안전성의 관리의 득을 향상시키는 공통의 목표가 된다. 미래의 일어날 일을 예측한다는 것은 모든 면에서 특별한 관심사항이지만, 그것과 동시에 예측을 확실히 적중 시키는것도 또한 불가능하다는것을 현실적인 문제에서는 항상 포함하고 있다. 따라서 과거에 축적한 정보나 지식을 근거로 하여 연역(演繹)적으로, 장래의 일어날 일을 예측하는 방법론이 채택되는 것이 통상적이다. 따라서 본 연구는 플랜트의 라이프사이클의 경제성 평가의 방법론을 수명예측 방법론과 접목시키는 방법으로서 플랜트의 보전관리 향상에 기여하고자 한다.

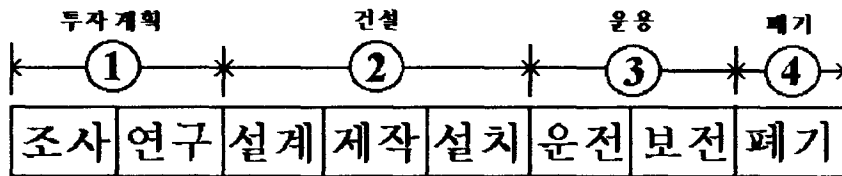


Fig 1 플랜트의 라이프 사이클

II. 플랜트의 라이프 사이클

2-1 플랜트의 라이프 사이클

플랜트는 설계단계에서 그 기능이나 성능의 기본적인 조건이 결정된다고 생각되나, 예를 들어 최적의 프로세스의 조건은 설계단계에서 검사하는 것이 종종 행하는 것이 현실적인 사실이다. 그러나, 그러한 경우에 운용시간에 일어난 문제에 대하여 고려하는 점이 가능한가가 문제된다. 기본적으로 라이프사이클을 시작한다는 것은 플랜트의 성능이든, 경제성을 평가하는 경우이든간에, 경제적인 변화를 고려해 놓는 것을 의미하고 있다. 플랜트는 재료의 열화와 같은 물리적으로 經時的인 변화를 하고 있을 뿐만 아니라, 경제적인 가치도 항상 일정하지 않다. 이러한 요소들을 플랜트의 평가에 어느 정도로 포함시켜야 하는가의 문제는 그 필요성이 지적되고 있으면서도, 현실적으로 조건이 복잡하게 구성되어, 많은 곤란을 수반하는 것도 사실이다. 플랜트 시스템의 기본요소인 설비의 라이프 스타일을 통해서 경제적 가치의 변화로서 먼저 생각되는 것이 감가 상각이다. 세법상에 얼마만큼의 감가 상각을 예상하는 것은 설비의 종류에 대해서 정해지는 것이지만, 그 이외의 실제 설비의 가치 변화가 문제된다. 설비투자는 전형적인 선행투자이기 때문에, 설비의 잠재적인 가치는 금리에 의해서도 좌우된다. 또한 설비의 부가가치 생산성은 그 당시의 가치와 코스트에 의해서 결정하기 때문에, 일반적으로 그 당시의 景氣, 物價 등 여러 가지 변동 요인이 관계가 된다. 최근과 같이 爲替相場이나 금리·원유가격 등이 크게 변동하는 상황에서는, 예측적인 판단으로 세워지는, 투자계획을 세운다는 것은 매우 어려운 일이다. 그러나 장치 산업에서 설비의 수명은 특별히 길기 때문에 어느 정도의 상식적인 가정을 기초하여, 설비 투자 계획을 결정하지 않으면 안되는 것도 또한 현실이다. 이러한 점을 전제로 가능한 일반적으로 투자계획의 형태에 대하여 설비 투자의 라이프 스타일을 평가하는 방법을 제안하는 것이 LCC(Life Cycle Costing)이다. 설비의 물리적인 상황의 변화, 예를 들면 노화의 진행상태 등에 관해서는 경제 가치와는 전혀 다르고, 원칙적으로도 객관적인 점에서 정량적으로 평가할 뿐이다.[3] 이것이 수명 예측의 목적이다. 수명 예측에는 몇개의 방법론이 제시되고 있지만, 물론 그것에도 전부의 수명예측이 가능한 것은 아니다. 그러나 라이프 사이클을 통해서 설비 관리의 중요성이 인식되게 된다면 수명예측에 의해 충실하게 될 것이 기대된다. 인간에게도 나이가 들어가는 것과 관련하여, 젊을 때에는 문제가 되지 않던, 소위 노화 현상이 점차로 더하여지게 되듯이, 설비에서도 인간과 같이 설비의 供用年數가 지남에 따라 열화현상의 문제점이

대두되는 것을 피할 수는 없다. 따라서 설비 관리의 방법론도 그 설비 상태에 대응하는 정책이 선택되어야 하는 것이며, 라이프 사이클을 통해서 변화할 뿐인 것이다.

2-2 LCC

LCC는 '시스템이나 제품의 정해진 라이프 사이클 중의 총 Cost이며 연구 개발비, 생산설비의 건설비, 조업지원비, 回收償却費를 합한 것이다'고 정의 한다.[7] 또는 '대형 시스템의 예정된 유효기간 중의 직접, 간접, 재발, 비재발 및 다른 관련된 Cost이고, 그것은 설계, 개발, 생산, 조업, 보존 지원의 과정에서 발생하는 예측비용을 합한 총 Cost이다'고 정의 한다.[8] 예를 들면 설비의 구입 비용이 저렴하다라는 것으로 그 수명이 단축되기도 하고, 빈번한 보수 비용을 요하는 설비에서는 그 설비의 건설로부터 폐기에 이르기까지의 라이프 사이클에서의 총 Cost는 반드시 적게 된다고 할 수는 없다. LCC를 생각하기 위해서는 자금의 시간적 가치가 한 요소이며, 각 대안에 따르는 수입과 지출에 따른 어떠한 등가(Equivalence) 관계에 놓아야 한다. 따라서 가치 평가의 시간에 대한 의존성을 정의할 필요가 있다. 이자는 자본의 생산력에 의해서 존재할 수 있고, 소비를 연기하게 하는 요인으로서 꼭 존재해야 한다. "자금의 시간적 가치"라는 개념은 이러한 이자와 시간과의 관계에서 유래하며, 물가 상승도 시간이 지남에 따라 돈의 가치를 감소시키지만 물가 상승이 없는 상황에서도 자금의 시간적 가치는 적용이 되어 한다. 따라서 투자가 경제적인 관점에서 분석하기 위해서는 현재에 필요한 투자액과 더 큰 이익을 올릴 수 있는 가능성을 견주어 자금의 시간적 가치를 고려할 수 있는 방법이 필요하다. 경제성 분석에 있어서 각각 다른 시점에서 발생하는 금액들을 평가할 때 자금의 시간적 가치를 고려해 주는, 두 금액간의 등가를 결정하는 요소는 각각의 금액, 각기 금액이 거래되는 시간, 이자율의 3요소이며, 이자공식과 계수들은 각각의 금액을 평가하는 기본적인 이자계수이다. 이러한 계산을 이용하는 것에 의해 정시적변화를 포함한 경제 가치의 평가를 행하는 것이 가능하다.

2-3 설비의 대체

대량생산은 인간의 욕구를 충족시키는 경제적인 수단이 되었다. 그러나 대량생산에는 방대한 규모의 자본재의 사용이 요구되며 대부분의 자본재는 마모, 부적합, 진부화 등의 사유 때문에 시간이 흐름에 따라 대체되어야 한다. 이러한 자산들을 끊임없이 개량해 나가지 못하면 작업능률에 심각한 손실을 가져오게 되므로, 철저한 대체분석 계획은 기업의 재정적 성패를 좌우한다. 경제성 분석방법들은 대체 대안에 관한 현금흐름을 비교하는 데에도 적절히 활용된다. 그러나 매몰비용(Sunk cost), 경제적 수명(Economic life), 미사용가치(Unused value)등과 같은 대체분석과 관련된 특정한 개념에 관해서는 특별한 주의를 하여야 한다. 대체분석과 관련된 제반원칙을 설명하기 위해 편의상 흔히 사용되는 용어를 소개하면

현유설비(Defender)는 대체되어야 할 현재의 낡은 설비

도전설비(Challenger)는 현유설비를 대체할 설비

현유설비와 도전설비의 경제적 특성은 일반적으로 매우 다르기 때문에 이 두가지 선택안을 비교할 경우에는 특별한 주의를 요한다. 한 가지 분명한 점은 현유설비와 도전설비에서 현금흐름의 기간이나 규모에는 상당한 차이가 있다. 새로운 설비는 높은 자본비용과 낮은 운영비를 필요로 하는 것이 그 특징이며, 대체되어야 할 낡은 설비에 대해서는 이와는 정반대로 적용된다. 따라서 구설비의 자본비용은 낮고 감소되어가며 운영비는 대개 높고 계속 증가하는 것이 예상되기 때문이다. 설비를 대체하는 두 가지 근본적인 이유는 물리적 손상과 진부화 크게 두가지로 볼 수 있다. 물리적 손상은 설비자체의 물리적 상태의 변화만을 의미하며 진부화란 설비 외적인 환경의 변화에 따른 영향을 의미한다. 물리적 손상과 진부화는 개별적으로 일어나기도 하며 동시에 일어나기도 한다. 물리적 손상은 그 설비가 제공하는 서비스의 가치를 저하시키고 운영비나 보수비의 증가를 가져오거나 또는 이들 비용을 모두 증가시키는 결과를 가져온다. 예를 들어, 불도저가 물리적 손상을 입게 되면 흙을 퍼 올리는 용량을 감소시키고 결과적으로는 그 설비가 제공하는 서비스의 가치를 하락시키며, 연료소모량이 증가하여 운영비의 상승을 초래하고 보수비를 증가시킨다. 진부화는 생산수단의 지속적인 개량의 결과로 일어난다. 경우에 따라서 설

비개선이 너무 빨리 이루어지기 때문에 사용상 지장이 없는 설비도 개량된 설비로 대체하는 것이 경제적인 경우도 있다. 다른 경우에는 해당 설비가 요구되는 생산활동의 축소로 인해 기존설비를 보다 작은 설비로 대체하는 것이 유리할 때도 있다. 어느 경우나 이러한 대체는 모두가 진부화에 의한 것이며 보다 효율적인 새로운 설비의 도입을 위해서는 현유설비의 잔존하는 효용을 처분할 필요가 있다. 따라서, 진부화란 설비의외적인 변화에 따르며 설비대체의 원인이 된다. 경제적인 사업의 성공은 이익에 따라 좌우되기 때문에 설비를 대체하는 문제는 미래의 운영상의 경제성에 그 기초를 두어야 한다. 이러한 목표는 확고하지만 설비대체의 분석과정에서는 흔히 경제성 이외의 다른 동기가 작용하는 수가 있다. 물리적으로는 만족스럽지만 경제적으로는 열등한 설비의 대체를 꺼리는 이유는 기존 설비를 그대로 사용한다는 결정보다도 이를 대체하자는 결정의 비중이 훨씬 크기 때문이다. 설비를 대체한다는 결정을 하게 되면 그 결과는 새로운 설비의 수명이 다할 때까지 영향을 미치지 않지만 기존설비를 그대로 사용한다는 것은 대체안의 결정을 당분간 보류한 것뿐이지 상황이 확실해지면 언제라도 이러한 결정은 재검토 할 수 있으며, 기존설비를 그대로 사용하는 결과로 발생하는 손실에 대해서는 큰 비난을 받지 않지만 새 설비로 대체한다는 결정의 결과로 나타나는 손실에 대해서는 같은 정도의 손실에 대해서도 비난을 면치 못하는 것이 현실이다. 기능적으로는 효율적인 생산설비를 폐기하는 이유는 대체의 결과로 노력과 에너지, 자원, 그리고 시간이 절약된다는데 있다. 기존설비의 미사용 잔존효용은 설비대체로 기대되는 절약을 위해 회생되는 것이다. 기존설비에 대해서나 대체후보가 되는 설비에 대해서나 그 현금흐름의 처리방법은 같아야 한다. 이 두 가지 경우 설비의 현재와 미래에 관련된 비용만을 고려해야 하며 과거의 비용은 무시해야 한다. 대체분석에서 사용하는 현유설비의 가치는 처음 이설비를 구매했을 때의 원가가 아니라 그 설비의 현시점에서의 가치가 된다. 따라서 미래와 무관한 현유설비의 매몰비용은 현유설비에 관한 어떤 결정과도 관계없다. 이와 같은 방법으로 현유설비의 초기의 현금흐름을 기술하는 것은 기회상실의 기본 개념에 입각하게 된다. 생산설비에 자금을 투자할 때의 기회상실 비용은 각 대안에 수반하는 이자비용으로 표현된다. 기존설비를 그대로 사용한다는 명확한 결정을 할 때에는 설비대체로부터 보상을 받을 수 있는 기회는 상실되는 것이다. 이러한 경제적 기회상실은 이 결과의 원인이 되는 대안과 연관시키지 않으면 안된다.

III. 경제성 분석[4,5]

(1) 자본화 등가액

자본화등가 CE(i)는 현가비교기준의 특수한 경우로 주어진 이율에 대해서 현금흐름이 영구적으로 반복될 때, 수입과 지출의 차이를 현시점에서의 단일 등가 금액으로 나타내어 비교의 기준으로 삼는 것을 말한다. 가장 보편적인 방법은 연간 등가지불액, A로 등가변환시키고 연간등가지불액을 현가로 할인시키는 것이다.

$$CE(i) = A(P/A, i, \infty) = A \left[\frac{(1+i)^{\infty} - 1}{i(1+i)^{\infty}} \right] = \frac{A}{i} \quad \dots \quad (1)$$

(2) 자본회수등가

자본회수등가 CR(i)는 어떤 투자이건 초기투자액과 결국은 잔존가치로서 표시되는 자본비용과 등가인 투자수명 기간에 걸친 동등한 연간 등가흐름으로서, 투자기간 동안 자산에 묶여 있는 미회수 잔액의 회수를 가져올 수 있을 정도의 충분한 수익이 있어야 하는 투자효과에 대한 분석이다.

- P = 자산의 초기비용
- F = 추정된 잔존가치
- n = 추정된 자산의 수명 연수
- CR(i) = 자본회수등가

자산의 연간 등가비용, AE(i)는 AE(i)초기에서 AE(i)잔존가치를 뺀 것으로 표시된다.

$$CR(i) = P(A/P, i, n) - F(A/F, i, n) \quad \dots \quad (2)$$

$$CR(i) = (P-F)(A/P, i, n) + F_i \quad \dots \quad (3)$$

(3) 사업수지

대안의 비교를 위한 일반적인 기준들 각각은 현금흐름에 관한 특정한 경제적 사실들을 단일한 지표로

표 2 현설비와 대체 설비의 연간운영비 비교

단위 : 백만원

구분 \ 항목	현 혼합장치	대체 혼합장치	현 - 대체
1. 연 료 비	1,000	700	300
초 산	200	140	60
에틸알콜	300	210	90
기타	500	350	150
2. 운용보수유지비	400	100	300
3. 인건비	300	200	100
연간 운영비	1,700	1,000	700

표 3 현 설비와 대체 설비의 총 연간 비용 비교

단위 : 백만원

구분 \ 항목	현 설비	대체 설비	현 - 대체
1. 자 본 비	0	300	-300
제조 설비	0	195	-195
시스템 설치	0	105	-105
2. 연 료 비	1,000	700	300
3. 운용보수유지비	400	100	300
4. 인 건 비	300	200	100
연간 운영비	1,700	1,300	400

위 표의 결과 대체 설비를 설치시 연간운영비가 4억이 절감되는 평가가 되어, 이 대체 사업은 충분한 경제성이 있는 것으로 결정되었다.

이에 따른 LCC에 따른 경제적 수명예측을 한 결과 다음 표 4와 같다.

표 4 경제적 수명의 계산

단위 : 백만원

연말	n 년 차에 폐기할 때 잔존가치	n 년 차 운영비	n 년 차에 폐기할 때 총 연등가비용	n 년 간 연등가 운영비	n 년 차에 폐기할 때의 설비의 총연등가비
1	1,500	1,000	780	1,000	1,780
2	1,000	1,060	747	1,028	1,775
3	500	1,120	716	1,055	1,771
4	0	1,180	686	1,080	1,766*
5	0	1,240	686	1,104	1,790
6	0	1,300	686	1,127	1,813

설비의 경제적 수명은 설비의 총연등가비용을 최소화하거나 설비의 총연등가이익을 최대화하는 기반으로 나타낸다. 표 4의 결과 이 설비의 경제적 수명은 4년이 되며, 표 3의 결과 이 설비는 매년 4억원 절감 할 수 있으며, 위의 자료를 토대로 자본회수기간과 내부수익률(IRR : Internal rate of return)을 계산한 결과 각 2.1년과 51.5%로서, 대체 사업의 경제성과 타당성, LLC에 의한 경제적 수명등이 효율적인 것으로 나타났다.

V. 결론

이제까지는 고장에 연결된 사후보전, 즉 파손되면서 고치는 방식까지 고장이 일어나기 전에 손을 써 예방보전에 이행하는 것만이 최선의 방법으로 인식하고, 전체의 고장모드를 감시하는 것만을 하는 것이 실상이다. 동시에 설비의 수명예측에 있어서는 열화모드를 세세하고 빠진것이 없게 망라해 파악하는 것이 중요하지만 특별히 설비가 대형화되고 복잡화하여 인간의 경험이나 단순 데이터만으로 관리하는 것에는 한계가 있다.

본 연구는 LCC를 통한 최적의 분석 기법은, 특히 대형화하고 장기간 사용하여야 할 플랜트 및 설비에 있어서는, 기존의 운용단계에 있어서 국한되는 통계적, 확률적 분석을 통한 신뢰성 기법보다는, 투자계획단계, 건설단계, 운용단계, 사후보전, 폐기단계등의 LCC특성에 따른 가장 적절한 경제성 분석법을 통하여 단편적인 사고방식이 아닌 system 체계로써 보다 종합적으로 파악 관리되어야 함을 알 수 있다. 추후의 연구과제는 이러한 최적의 분석기법을 결정할 수 있도록 최종결정자의 의사결정에 최선의 자료를 제공하는 것이다.

參 考 文 獻

1. 朴景洙 : 設備管理, 영지문화사, 1994
2. Balow, R.E. and Proschan, F., Mathematical Theory of Reliability, New York, Wiley, 1965
3. ——— and Hunter, L.C., "Optimum Preventive Maintenance Policies", Operations Research, Vol.8, No. 1, pp 90-100, 1960
4. G.A. Fleischer, Engineering Economy, PWS Engineering, Boston, U.S.A., pp 29-30, 1984
5. G.J. Thuesen and W.J. Fabrycky, "Engineering Economy", Prentice-Hall Inc. pp 189-199, 1993
6. Takayuki ANDO and Shigeru MORISAKI, Research Reports, Research Institute of Industrial Safety, RIIS-SRR-88, pp 11, 1989
7. 日本プラントエンジニア協會LCC委員會編 : 라이프.사이클.코스테인, 日本プラントエンジニア協會, 1981
8. 千注 鎮雄ほか : 經濟性工學の基礎, 日本能率協會, 1982