

# 생산시스템의 설계/제조에서의 생애비용(LCC)에 관한 연구

## A Life Cycle Cost Analysis in Design and Manufacturing of Production System

함효준\*

### Abstract

Life cycle cost has been one of the key criteria in design or purchasing of systems, particularly in the flying weapon system. Unexpected cost increase or system breakdown during the system life can be reduced by controlling maintenance cost. A system should be designed for maintainability in early stage of product life cycle. The design should be insensitive to its environmental, organizational, and human factors in the stage of customer's utilization. This paper presents LCC as a controllable variable and also suggests a new control model for LCC analysis. The estimation of maintenance cost based upon maintenance scenario, design of maintainability followed by minimizing maintainability loss function in the beginning stage of design, and increase of useful life of systems are among the factors to control LCC.

### 1. 서론

제조시스템이나 제품설계에 있어서 중요 의사결정기준이 되어 왔던 초기비용(또는 구입비용)이 시스템이나 제품의 전 생애기간 동안의 효율성 측정에 많은 결함이 있다는 것이 판명된 후 생애비용분석이 무기체계(Weapon system) 특히 항공기설계/생산의 의사결정에 많이 응용되어 왔다. 생애비용은 크게 나누어 초기비용, 운영비용, 보전비용, 및 폐기비용의 총계를 말한다[2,4,7,31]. 초기비용은 시스템이나 제품의 생산을 위한 개념정리에서부터 예비 타당성조사, 연구/개발, 엔지니어링, 제조, 수송, 설치 그리고 훈련 등의 비용을 포함하여 시스템이 가동할 때 까지 소요 되는 총 비용을 말 하며, 운영비용은 시스템 수명동안에 필요한 직/간접비용을 포함한 총 경비를 의미한다. 보전비용은 시스템의 수명동안의 직접비용 뿐만 아니라 보전문제 때문에 야기되는 생산량 감소 또는 품질의 저하 같은 간접비용도 포함된다. 폐기비용은 위의 세 비용에 비해 정의 내리기가 쉽지 않다. 예를 들면 원자력 발전소의 폐기비용을 어디까지 볼 것인가 하는 것이다. 발전이 중단된 후의 발전설비를 어떠한 투자없이 폐기상태로 놓아 두므로써 폐기비용을 0으로 볼 것인가 또는 방사능에 오염된 수천 수만 평에 해당하는 발전 부지의 기회비용을 폐기비용에 포함시킬 것인가 하는 것이다. 이 논문에서는 경제성공학[31]에서 일반적으로 정의된 개념을 사용한다.

생애비용분석은 최근 급격히 대두되고 있는 유연성 제조 시스템, Concurrent engineering, CIM등 전통적인 생산방식인 수평형 생산방식(Serial engineering process)으로는 해결할 수 없는 새로운 개념의 생산방식에 대한 비용분석과 설계 의사결정에 필수적인 요소로 등장하고 있다.

\* 아주대학교 산업공학과

이 논문에서는 비 통제요소로서의 생애비용분석과 이것의 통제 가능성을 제시한다. 특히 생애비용에서의 통제가능요소인 생산보전비용에 대해 다루고 생애비용의 결정요인과 이것의 설계의사결정에 끼치는 요소들을 제시한다.

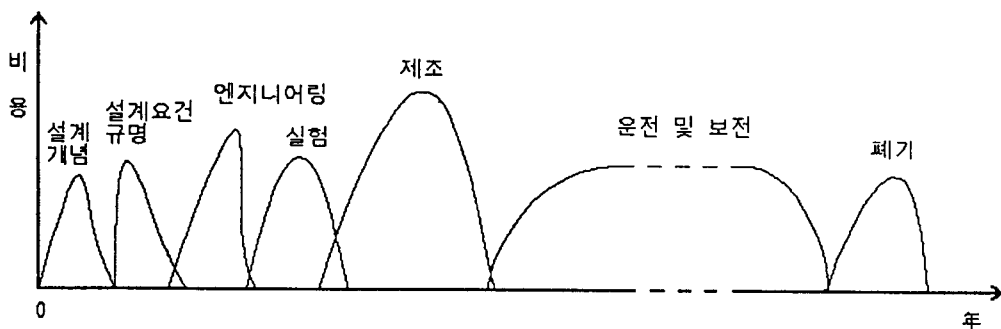
## 2. 생애비용분석의 접근 방법

생애비용분석은 시스템이나 설비의 총 수명동안의 비용에 대한 모든 자료 수집, 분석 및 예측을 통해 운전가능 기간 동안의 예측된 총 생산량(또는 생산액)과 이 비용과의 비(효율성)를 나타냄으로써 설계나 구매를 위한 의사결정의 기준이 된다.

$$\text{효 율} = \frac{\text{총생산액}}{\text{생애비용}}$$

다른 경제성공학분석과 마찬가지로 이 분석도 생산량에 대한 추정 보다 위 식의 분모인 비용추정에 더 많은 어려움이 있다. 따라서 생애기간 동안의 비용추정을 위해 이것을 상황에 따라 여러 가지로 분리한다. 연구/개발비나 설계비용이 상대적으로 높은 High Tech. 제품에서는 개발, 설계, 및 엔지니어링 비용을 초기비용에서 빼고 제조를 위한 투자비용과 구별하여 접근한다.

Blanchard[2]는 생애비용을 연구/개발, 투자, 운영/보전, 그리고 폐기로 분류하고 이것을 다시 12개 대 분류, 37개의 중 분류 그리고 수백 개의 소 분류를 통해 설비 생애동안의 원가구조 분석을 제시하고 있다. 운영비와 보전비는 같은 비용 집단으로 볼 수도 있고 따로 독립적으로 다룰 수도 있는데 전자의 경우는 이 두 비용이 같은 기간 동안 발생하고 두 비용발생이 상호 의존되어 있기 때문이다. 그러나 다음에서 다루겠지만 설비의 복잡화와 mechatronics, 무결점 등 고객의 고품질 추구 등 생산보전의 중요성이 계속 증가 함에 따라 보전비를 운영비와 별도로 취급하여 분석하지 않으면 안된다. 따라서 이 논문에서는 LCC의 한 통제요소로서의 생산보전비용의 중요성을 제시하려 하기 때문에 생산보전 비용을 독립하여 다룬다. <그림 1>은 생애비용의 일반적인 특성으로 시간에 따른 각 단계와 이들 비용의 크기를 나타내고 있다.



<그림 1> 설비수명 동안의 각 단계와 비용의 예

이 분야에서의 대부분의 초기 연구는 무기체제에 관련된 연구로써 대표적인 논문은 영국의 Chisholm [4]의 군대용 항공기 구입에 있어서의 생애비용분석이다. 이 연구 보고서에서는 변화된 경제여건에서의 LCC의 중요성을 강조하고 투자비용의 절약 폭과 비용분배의 가능성을 제시하고 있다.

LCC분석이 주로 무기체제의 구입이나 제작을 위한 의사결정의 결정적 도구로 쓰여 온 것은 주로 높은 연료비와 비행시간에 따른 운영비 그리고 보전활동의 상대적 비용 상승 때문이다. 독일의 Grieser[12]는 항공무기시스템의 생애비용을 크게 개발비, 구입비, 운전/보전비 등 세 가지로 구분하여 이것을 추정하였는데 개발, 구매, 운전/보전의 비가 1:3:5에서 1:4:10의 폭으로 변화 한다는 것을 발견한

다. 이것은 시스템의 구매비용의 변동 폭 보다 운영/보전비용의 변동 폭이 상대적으로 크다는 것을 보여주고 있다. Lamar[17]는 비슷한 시스템에서의 연구/개발/실험/엔지니어링(RDT&E), 구매(Acquisition), 그리고 운전/보전(Operation/Maintenance)비용들의 비교를 시계열로 표시하고 있다

예를 들면 이들 세 비용의 비가 1962년에 1:11.5:12.5, 1965년에 1:12.3:20 그리고 1970년에는 1:13.5:35.5로 운영/보전비가 개발비 특히 구매비 보다 8년동안 2.84배 증가되는 현상을 보고하고 있다. 뿐만 아니라 RDT & E는 1962-1975년 사이 \$4.67억에 불과 했으나 구입비용은 \$57.8, 운전/보전비용은 1962년에 \$6.27억에서 1975년에는 \$20.66억으로 격증한다. 이 기간동안의 총 운전/보전비용은 \$50억 이상이나 된다. 이것은 운전/보전비용의 상대적 상승원인분석과 이 비용들의 통제/관리의 중요성을 제시하고 있다.

이와 같은 상황에서 생애비용분석은 무기체제에 관련된 구매비용과 운전/보전비 사이의 설계상의 조정이나 설계의 적정성(Design optimization)추구를 위한 의사결정에 유용하게 이용되었으나 민수분야에 관련된 이에 관한 연구는 많이 보이지 않는다. Flanagan[8]은 건축물의 내장에 사용되는 여러 가지 타일의 LCC를 분석하여 건축 설계시의 의사결정을 수행했고, Abdel-Malek[1]가 구체적인 예를 들고 있지 않지만 FMC의 설계선택에 있어 기술의 진부성과 유연성과 함께 이것을 의사결정의 주요 기준으로 제시하고 있다. Grady[11]는 제품요소와 공정요소의 통일성을 추구하기 위해서 필요한 시스템의 통합을 위한 하나의 요소로써 물류보조요건(Logistic support requirement), 실험/평가를 위한 기획요건(Test & Evaluation planning requirement), 그리고 품질요건 등과 함께 생애비용의 중요성을 부각 시키고 있다. 한편 최근에는 Riggs와 Jones[20]가 새로운 요소인 학습(Learning), 원가요인, 원가요소, 그리고 생산량 등을 감안한 여러 변수간의 상호관계를 연결, 분석하는 Flowgraph을 이용하는 방법을 제시하여 비용추정을 기도하고 있다.

생애비용의 연구에 대한 지금까지의 접근방법은 크게 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- (1) 생애비용분석 방법과 설계사양 및 설계요건과의 관계 분석
- (2) 전체 시스템 설계(Total System Design)에서의 생애비용의 영향 분석
- (3) 하부 시스템 또는 부품 설계나 구입 의사결정에서의 생애비용 예측

이상에서 보는 바와 같이 지금까지의 대부분의 생애비용분석은 주로 비용분석과 추정 그리고 각 비용요소 특히 구매비용과 운영비와의 설계상의 절충(trade-off)을 결정하는데 그 연구 초점을 두고 왔다. 그러나 생애비용의 통제 가능성을 전체적으로 제시한 논문은 보이지 않고 있다.

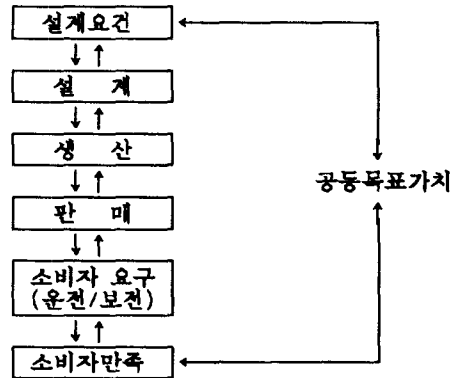
### 3. 설계요소로서의 생산보전비용

생애비용이 설계나 구매 의사결정에서 중요한 기준이 된 것은 전 항에서 분석한바와 같이 설비생애중의 후반기에 속하는 생산보전비용의 상승이다. 이것은 두 가지 원인에 의해서 발생되는데 그 첫째 이유는 높은 생산 보전비용이 설계요소의 하나로써 설계자의 설계선택에 의한 경우이다.

소비자의 무형의 욕구는 R/D, 제품계획, 공정계획, 엔지니어링, 제조, 판매 등의 변환공정을 통해 설계자의 계량화된 설계요소들의 규명과 배열(Configuration) 그리고 기술특징으로 구체화 되며, 소비자는 이를 자본 투자인 구매를 통해 사용(운전), 보전, 폐기되는 과정을 거친다.

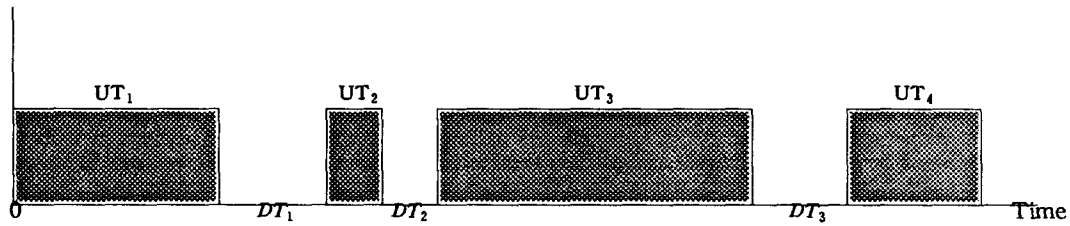
시스템이나 제품의 일생은 이렇게 설계자에서 구매자(소비자)로 이전되는 과정을 거치나 추구하는 가치는 동일하다. <그림 2>는 이것을 보여 주는데 설계요건에 의해 설계, 생산, 판매된 제품은 소비자 만족으로 이어지며 설계요건이 추구하는 목표가치는 소비자와 일치한다.

설계자는 이 특정 목표를 달성하기 위하여 설계기준(Design criteria)[6]을 갖게 되며 이것은 기술적 요인과 사회적 요인에 의해서 결정된다. 예를 들면 초기투자비용(소비자의 입장에서는 구입비용)과 생산보전비용의 상호관계를 어떻게 설정 할 것인가 하는 trade-off는 기술적, 사회적 요인에 의해 제한을 받지만 설계자가 임의로 결정할 수 있는 통제가능요소이다. 구입비용(생산제작비용)을 낮추고 대신 운영비나 보전비를 높이지 않을 수 없는 경우나 기술적요인으로 보전비를 증가시키지 않을 수 없는 경우가 이것이다. 이와 같은 경우는 일상보전(BM), 예방보전(PM), 개선보전(CM), 보전예방(PM)등의 보전 수행에 있어서의 용이성, 경제성, 안정성 및 정확성의 정도를 나타내는 보전도(Maintainability)[7,22]는 설계의 본질적요소(Inherent factor)이다. 예를 들면 다음과 같이 나타내는 유용도(Availability), MTBM(Mean



<그림 2> 설계자와 소비자가 공동으로 추구하는 가치

time between maintenance), 평균사후보전시간(Mean breakdown maintenance time), 평균예방보전시간(Mean preventive maintenance time)등은 대표적인 설계요소들이며 이와 같은 요소들을 설계 함으로써 보전비용이 계획되고 전체 생애비용이 예측된다.



<그림 3> 설비 가동시간과 고장시간

$$\text{유용도} = \frac{\sum UT_i}{\sum (UT_i + DT_i)}$$

에서  $UT_i$  = 평균 가동시간

$DT_i$  = 평균 고장시간

$$MTBM = \frac{1}{1/MTBM_b + 1/MTBM_p}$$

에서  $MTBM_b$  = 평균 사후보전(B.M)시간

$MTBM_p$  = 평균 예방보전(P.M)시간

$$\bar{M}_{bt} = \frac{\sum (\lambda_i) (M_{bt})}{\sum \lambda_i}$$

에서  $\lambda_i$  = i번째 부품의 고장율(가동시간당 고장회수)

$M_{bt}$  = i번째의 보전활동을 위해 투입된 시간

$$\bar{M}_{pt} = \frac{\sum (f_{pi}) (M_{pi})}{\sum f_{pi}}$$

에서  $f_{pi}$  = i번째 부품에 대한 예방보전 회수

그리고 이들 설계 요소들을 초기비용과의 trade-off로 통제 불가능 요인으로 볼 때 생산보전비는 상승한다.

#### 4. 보전도 설계의 적정화

설계자에 의한 설계가 제작과정을 거쳐 소비자에게 넘겨진 후 이 시스템이나 설비는 외부의 여러 조건이나 또는 운전자(소비자)의 사용 상태에 따라 설계자의 설계의도대로 운전되지 못하는 경우가 많다. 이것이 보전비용상승의 또 다른 원인이다.

설계자에 의해서 결정된 보전도는 시스템이나 설비의 환경 요인, 조직요인, 인적요인 등에 의해 크게 결정되는 것으로 사용기간 동안 설계자의 목표가치와 크게 낮아 질 수도 있고 반대로 기술적, 경영적 개선활동을 통해 높아 질 수도 있다. 가장 이상적인 설계는 이와 같은 통제불능의 요인들에 의해 크게 민감하지 않는 시스템을 설계하는 것이다.

이와 같은 설계를 위하여 일반적인 적정화 모형을 Dehnad[5]와 Kapur[14]의 모형을 이용하여 수립하여 보자. 우선 Taguchi의 비통제적이고 바람직하지 못한 요소인 잡음요소를 이용한 일반적인 손실함수를 구하자.

어떤 품질특성값  $y$ 를 갖고 고장율, 열화, 손실, 마모 등에 대한 측정단위를  $L_1(y)$ 라 하고  $L_1(y)$ 가 미분가능함수라면 Taylor's series expansion을 이용하여 다음과 같은 식이 주어지며 목표가치  $y_0$ 는 총품질손실이  $y_0$ 에서 최소화 하여야하며  $L_1'(y_0) = 0$  가 되어야한다.

$$L_1(y) = L_1(y_0) + L_1'(y_0)(y-y_0) + L_1''(y_0)\frac{(y-y_0)^2}{2!} + \dots$$

$L_1(y_0)$ 는 목표치  $y_0$ 의 선택에 결정되며 품질손실(보전도손실)을 최소화하기 위해서는  $y_0$ 의 값을 발견하는 것이 중요하다.  $y_0$  값의 차이에 의한 손실만 평가할 수 있다면 다음과 같이 근사화하여 정의 내릴 수 있다.

$$L(y) = L_1(y) - L_1(y_0)$$

$$L(y) = k(y - y_0)^2 \text{ 에서 } k = \frac{L_1''(y_0)}{2}$$

여러 잡음요소들은  $Y$ 를 확률변수로 만들고  $f(y)$ 를 확률변수  $Y$ 의 확률밀도함수라 하면 다음과 같이 주워지는 식의 기대손실을 최소화 할 수 있다.

$$L = E[ L(Y) ] = \int_{all y} L(y) f(y) dy$$

다른 설계과정에서와 마찬가지로 보전도 설계에서도 목표치나 이상적인 가치로 부터 보전도 특성의 차이가 최소화 되도록 시스템을 설계하는 것이다. 이것은 추구하는 목표치와의 차이 때문에 발생하는 보전도의 상실을 최소화 할 수 있다. 정태적인 상황하에서는 추구하는 보전도는 고정적이다. 설비보전도는 신뢰도와 함께 설계자가 결정할 수 있는 시스템이나 제품의 고유의 특징이다[2]. 그러나 보전활동을 수행하는데 있어서의 신속도, 편이도, 경제성은 동태적인 상황하에서는 고정적일 수가 없다. 실제 보전활동은 다음과 같은 요소 등에 의하여 크게 영향을 받는다.

- (1) 운전요원(생산공)이나 보전요원의 기능정도
- (2) 설비가 장착된 기업의 생산조직
- (3) 엔지니어링의 능력과 설비부품의 대체성
- (4) 최고 경영층의 생산보전에 관한 경영관과 관심

그리고 이와 같은 요소에 따라 추구하는 목표 즉 보전도는 달라 질 수 있다. 이와 같은 변수 들은 설계자에 의하여 통제될 수 있는 요소가 아니나 설계시에 충분히 반영되어야 할 요인들이다. 그래서 이와

같은 요인들을 신호요소라 부르자. 한편 보전활동에서 돌발고장이나 예기치 못한 마모, 속도저하, 보전에 의한 품질저하 같은 예기치 못하고 바람직 못한 요인들을 잡음요소라 부르자. 어떤 시스템을 설계하기 위해서는 수 많은 설계인자(Design parameters)가 있다. 이 요소들은 실제로 설계자에 의해서 통제되는 요소들이며 이것은 통제요소(Control factors)와 계층요소(Leveling factors)로 나눈다. 통제요소들은 통제인자(Controllable parameters)의 벡터 합이다. 각 통제요소들은 여러 계층 중 하나를 택할 수 있으며 이들은 설계 Space에 의해 제한 받는다. 통제요소들은 불연속 값을 가지지만 신호인자와 성능변수와의 기대함수관계를 연속적으로 조정하기 위하여 어떤 설계조정요소들을 필요 할 수도 있다.

적정 보전도 설계를 위하여 Kapur의 모형[14]을 이용하여 보기로 한다

보전도 특성  $y$ 는 잡음요소  $e$ , 신호요소  $M$ , 그리고 통제요소  $Z$ 의 함수이고  $e$ 는 확률변수이다. 모든  $M$ 에 대하여 목표보전도  $y_0$ 가 있으며 이것을  $y_0(M)$ 이라 하자. 만일 이 목표치와 차이가 발생한다면 주어진  $M$ 과  $Z$ 에 대하여 다음과 같은 보전도 손실을 표시 할 수 있다.

$$L(e \setminus M, Z) = k(M) [ f(e \setminus M, Z) - y_0(M) ]^2$$

주어진  $M$  및  $Z$ 에 대해 예상보전도손실 값은

$$L(M, Z) = E[ L(e \setminus M, Z) ] \\ = \int_{all\ e} k(M) [ f(e \setminus M, Z) - y_0(M) ]^2 dP_1(e)$$

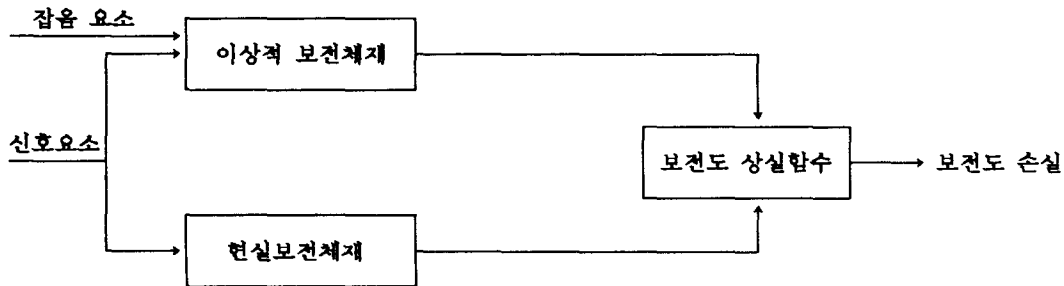
여기서  $P(\cdot)$ 는 잡음요소  $e$ 에 대한 누적분포함수이다. 따라서 총 보전도에상 손실은  $M$ 의 모든 값에 대하여 위식을 적분함으로써 얻을 수 있다.  $P(\cdot)$ 을  $M$ 에 대한 확률분포함수이라 하면 총 보전도에상손실은

$$L(Z) = E[ L( M, Z) ] \\ = \int_{all\ M} \int_{all\ e} k(M) [ f(e \setminus M, Z) - y_0(M) ]^2 dP_1(e) dP_2(M)$$

여기서 적정화 문제는 통제요소들의 백터량인 결정Space  $Z$ 에 대해  $L(Z)$ 를 최소화 하는 것이다.

Minimize  $L(Z)$  subject to  $Z$

실제로  $L(Z)$ 를 단순히 대체하기는 쉽지 않으나 Taguchi가 신호 대 잡음이라 부르는 방법으로 이 문제를 간접적으로 풀고 있다.



<그림 4> 생산보전도 손실함수

### 5. 설비수명(n)과 생애비용

일정기간의 설비수명 동안 비용절감 또는 생산량 증대를 통한 효율성 증대는 Terotechnology, 전사적 생산보전체제(TPM), 그리고 통합 물류관리(Integral logistic support)등으로 추진된다. TPM의 과제인 고장시간이나 준비시간의 절감, 설비속도저하 방지, 불량품이나 재처리 감축은 좋은 예이다[28][32].

그러나 생애비용이 시스템이나 제품의 생애기간 동안에 투입되는 총 비용이라 할 때 실제 산출물이 생산되는 기간(수명 또는 운전기간)이 어떻게 결정 되는가 하는 것은 이 분석에서 대단히 중요한 문제이다. 일반적으로 수명은 설계요소 중의 하나로 설계자에 의해서 결정되는 사용예측기간을 의미한다. 이 수명을 설계수명(Design life)이라고 하는데 적절한 생산보전을 요구한다. 그러나 이미 전항에서 언급한 데로 잡음요소들에 의해 설계자가 추구하는 목표수명이 실 수명과 항상 일치 할 수는 없다. 수명은 사용자 또는 설비의 분석목적에 따라 설계자의 의도와는 다른 형태로 나타나기 때문이다. 수명은 일반적으로 다음과 같이 구분한다[8,31].

- (1) 내용연수  
회계 또는 세금계산의 목적을 위하여 추정한 예상수명을 말하며 이 수명동안에 자산은 새로운 비용이 발생하여 잔존가치에 이르기까지 감가현상이 일어난다.
- (2) 실질유효수명  
자산을 구입하여 폐기할 때까지 자산을 실질적으로 목적에 부합하도록 이용할 수 있는 전 기간을 말한다.
- (3) 기대수명  
여러 요인에 의해서 결정되는 예상수명으로 열, 습도, 습기, 공해 및 박테리아를 비롯한 미생물 요소 등의 환경요인과 인간활동, 예를 들면 부하, 피로, 충격, 마모 등의 비 환경요인에 의해서 결정된다.
- (4) 만족수명  
설계수명에 관계없이 사용자나 이해 관계가 있는 당사자에 의해 받아 드릴 수 있는 수명으로 예를 들면 건물을 담보로 하여 용자할 때 금융기관이 받아드릴 수 있는 수명
- (5) 최소수명  
설비의 수명에측이 자료부족으로 인하여 불가능 할 때 특정 전문기관이 적어도 어느 일정기간동안 가동되어야 된다는 규정을 할 수 있다. 이것을 최소수명이라 하는데 실질수명은 이 보다 더 오랜 것이 보통이다.
- (6) 예상기대수명  
경제성공학분석에서 사용되는 용어으로써 최소수명과 설계수명간의 균형을 이루면서 전문적인 판단에 의해서 예측되는 수명이다.

이상에서 본 바와 같이 에어컨이나 수직제어기기 또는 항공기 같은 공학적인 산물에는 그 종류를 막론하고 각각 여러 종류의 수명이 있다. 이것은 이미 전항에서 언급한데로 잡음요소에 의해서 설계자가 추구하는 목표가치(수명)가 사용자에게 넘겨진 후 사용하는 과정에서 변질된다는 것이다. 특히 생산보전의 여하에 따라 이 수명이 크게 변화 한다는 데에 주목하지 않을 수 없다. 수명의 감소 또는 증가에 의한 현금흐름의 변화는 다음과 같다.

이율  $i$ , 초기비용  $P$ , 자존가치  $S$ 인 시스템의 수명이  $n$  일 때의 자본회수비용(Capital recovery)은 다음과 같다[32]

$$CR(i) = (P-S)(A/P)_{i,n} + S \cdot i$$

또는

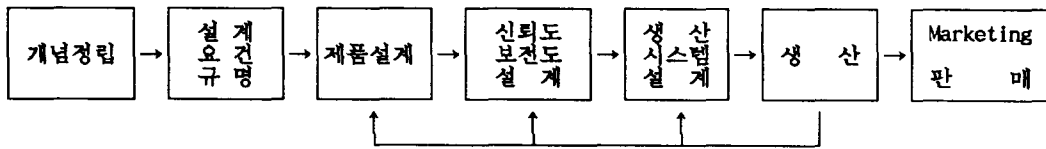
$$CR(i) = (P-S) \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \right] + S \cdot i$$

에서 만일  $n$ 이 감소되면  $CR(i)$ 는 증가되고,  $n$ 이 증가되면 반대로  $CR(i)$ 는 감소된다는 것을 알 수 있다. 이것은 시스템의 수명이 설계수명보다 짧아진다면 매년 회수해야될 자본회수비는 증가하여 이것은 결국 생애비용의 증가를 초래하게 된다. 이것은 효율적인 보전활동 주로 개선보전(Corrective maintenance)을 통한 설비 유효수명 증대가 실제적으로 연차등가액으로 표시된 생애비용을 어떻게 감소 시킬 수 있는가를 보여 주는 것으로 생산보전이 생애비용을 통제할 수 있는 변수라는 것을 보여 준다.

### 6. 생애비용 추정과 통제를 위한 새 모형

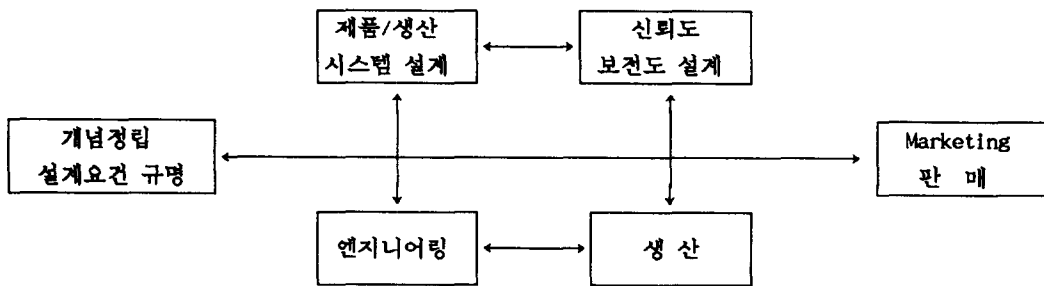
전통적인 생산방식의 설계개념을 가지고는 생애비용의 예측과 통제는 거의 불가능 하다. 특히 생산보전도를 비통제요인으로 볼 때는 이 비용의 통제는 극히 어렵다. 생애비용 중 생산보전비용이 가장 민감하고 증감폭이 가장 크기 때문이다.

전통적인 공학과정은 <그림 5>와 같이 제품설계를 위한 개념정립, 설계요건 정립, 설계실시, 신뢰도 및 보전도 설계, 각 중 엔지니어링, 생산, 마케팅, 판매 등의 활동이 일련의 수평조직으로 이루어 지며 피드 백은 이루어지나 초기의 설계개념이 하부 활동에서는 변질되는 수가 많다. 특히 설계와 생산간의 기능차이와 정보교환의 두절은 제조시스템의 큰 문제로 대두되어 왔고 이들의 문제해결을 위한 방법은 다양하게 추구되어 왔다.



<그림 5> 수평형 공학과정

Matchushita회사의 RIAL(Redesign and improvement through analysis of line-system)[15,23]은 실행 프로그램이며 보다 체계적인 이론은 Concurrent engineering[21]이다. 이것은 전통적인 수평적 생산방식보다 더 복잡한 방식으로 설계와 생산과의 여러 겹을 극소화하기 위한 방법으로 제품설계와 제조설계의 동시성을 추구한다.

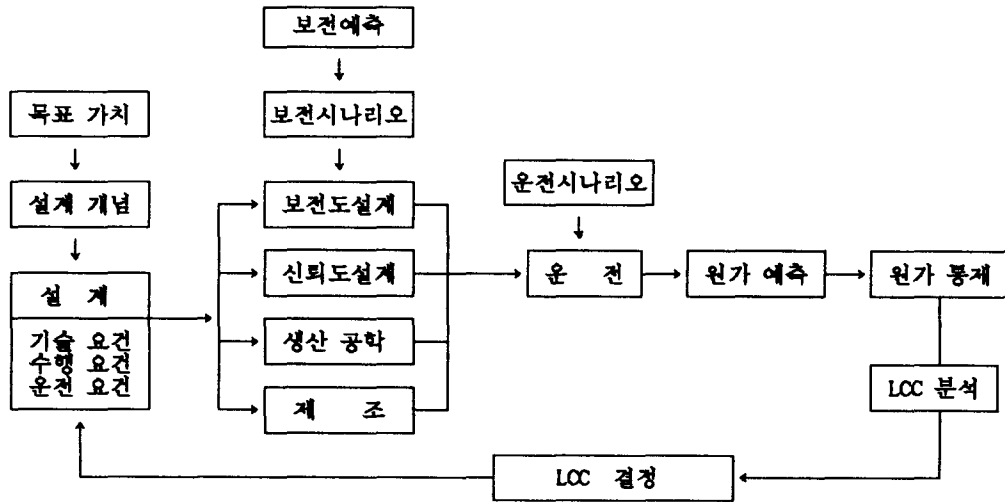


<그림 6> Concurrent engineering

설계시초에 엔지니어링 특히 생산시에 제기되는 여러 문제와 생산 라인의 여러 설비의 특성까지도 감안하고 설계요건도 다시 규명하여 설계가 결정될 때에는 이미 제조, 실험, A.S., 품질의 성격도 결정될 수 있다.

<그림 7>은 이와 같은 개념하에서의 생애비용의 예측에 대한 새로운 모형이다. 특히 설계초창기에 생애비용과 이것에 대한 통제가능성 예측 결여는 설비생애 후반기에서의 급격한 비용상승을 초래한다. 생산보전의 예측과 시나리오 작성은 특히 중요한 요점으로 등장한다.





<그림 7> 생애비용의 통제모형

## 7. 결론

설계시 초기비용과 보전비용의 Trade-off에 의한 보전비용의 상승 외에도 사용자에게 의한 여러 요인들에 의하여 보전비용은 상승하며 이것은 생애비용의 비통제요소로 작용한다. 설계자의 보전비용에 대한 시나리오 및 예측, 외부의 잡음요소에 영향받지 않는 생산보전도 상실을 극소화 할 수 있는 보전도 설계는 설계초기에 결정되어야 하며 이것은 생애비용의 절감과 통제에 결정적인 요소로 등장한다. 그리고 이것을 위해서는 통제요소들의 확보가 필수적이다.

사회의 욕구변화, 환경보전 필요성 증대, 에너지자원의 유한성 등은 공정 시스템, 기술 및 통제시스템의 복잡화를 요구하게 되고 이것은 제조시스템이나 생산설비로 하여금 자동화, 정보화, 통합화, 표준화와 개성화, 사용성 확대와 함께 시스템의 높은 제조비용을 가져오지 않을 수 밖에 없다. 이와 같은 제조시스템이나 설비의 특성변화는 생산보전의 특징을 다음과 같이 변하게 하며 생애비용분석에 있어서의 보전역할의 중요성을 증대 시킨다.

- (1) 보전활동에서의 micro-electronic 응용
- (2) 보전진단, 집행, 자재관리 등에 관한 on-line화
- (3) 보전활동에서의 전문가 시스템의 필요성과 응용
- (4) 생산기능과 보전기능의 일체화
- (5) 보전정보와 설계, 생산, 기술, 품질관리 등의 정보와의 통합
- (6) 부품의 표준화와 동시에 다양화
- (7) 집단 보전 센터의 설립과 이용 확대
- (8) 보전기능공들의 mechatronics지식 확대
- (9) 사용자의 보전활동 특히 개선보전(Corrective maintenance)의 중요성 확대

시스템의 설계나 또는 구입시의 의사결정에서 생애비용의 중요성은 더욱 확대되며 이 비용의 통제를 위해서는 획기적인 생산보전 기술과 관리의 필요성이 대두된다.

## 參 考 文 獻

- [1] Abel-Malek, L. & Wolf, C., "Measuring the Impact of Life Cycle Costs, Technology Obsolescence, and Flexibility in the Selection of FMS Design", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 1, 1994.
- [2] Blanchard, B., *Logistics Engineering and Management*, 4th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992.
- [3] Bland, R. and Knezevic, J., "A Practical Application of a New Method for Condition-based Maintenance", *Maintenance Management International*, 31-35, 1987.
- [4] Chisholm, R., "Life Cycle Cost Analysis in Military Aircraft Procurement", AGARD Conference Proceedings No. 289, Papers presented at the Flight Mechanics Panel Symposium on Design to Cost and Life Cycle Cost, held in Amsterdam, Netherlands, 19-20 May 1980.
- [5] Dehnad, K.(ed.) "Quality Control, Robust Design and Taguchi Method", Wadsworth & Brooks/Cole, Pacific Grove, Cal. 1989.
- [6] Dumas, L., *The Conservation Response*, Lexington Book, 1978.
- [7] Fabrycky, W. and Blanchard, B., *Life-Cycle Cost and Economic Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1991.
- [8] Flanagan, R., Norman, G., Meadows, G. & Robinson, G., *Life Cycle Costing, Theory and Practice*, BSP Professional Books, Oxford, 1989.
- [9] Gaynor, G., *Exploiting Product Cycle Time in Technology Management*, McGraw-Hill Inc., New York, 1993.
- [10] Gits, C., "On the Maintenance Concept for a Technical System: I. Design Considerations", *Maintenance Management International*, 131-146, 1986.
- [11] Grady, J., *Systems Integration*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1994.
- [12] Grieser, H., "Impact on System Design of Cost Analysis of Specifications and Requirements", AGARD Conference Proceedings No. 289, Papers presented at the Flight Mechanics Panel Symposium on Design to Cost and Life Cycle Cost, held in Amsterdam, Netherland, 19-22 May 1980.
- [13] Hutton, R. & Wilkie, W., "Life Cycle Costing: Consumer Information for Energy Decision", *Marketing Science Institute Working Paper*, Report No. 80-116, Cambridge, Massachusetts, Dec. 1980.
- [14] Kapur, K., "Robust Design, Manufacturing and Concurrent Engineering", *Journal of Design and Manufacturing*, 31-39, 1994.
- [15] Kazunori Ueda, RIAL System of Matchushida Electric Co. 한국능률협회 번역판, 서영주 외 3인, 1991.
- [16] Kennedy Jr., W., "Issues in the Maintenance of Flexible Manufacturing Systems", *Maintenance Management International*, 7(1987), 43-52.
- [17] Lamar, W., "A Review and Assessment of System Cost Reduction Activities, Advisory Group for Aerospace Research & Development", AGARD Conference Proceedings No. 289, Design to Cost and Life Cycle Cost, Papers Presented at the Flight Mechanics Panel Symposium on Design to Cost and Life Cycle Cost held in Amsterdam, Netherland, 19-22, 1980.
- [18] Meredith, J., "Managing Factory Automation Projects", *Journal of Manufacturing System*, Vol. 6, No. 2, 1987.
- [19] Rao, B. & Varaprased N., "A Theoretical Model for Increasing the Availability of Complex Systems", *Maintenance Management International*, 77-81, 1985.
- [20] Riggs, J. & Jones, D., "Flowgraph Representation of Life Cycle Cost Methodology - A New Perspective for Project Managers", *IEEE Transactions of Engineering Management*, Vol. 37,

No. 2, 1990.

- [21] Rosenblatt, A., "Concurrent Engineering", IEEE Spectrum, Vol. 27-28, 27-37, 1991.
- [22] Salvendy, G., Handbook of Industrial Engineering, 1982, John Wiley & Sons, Inc.
- [23] Samsung Production System , 미공개 연구보고서, 삼성전자 (주), 1987.
- [24] Son, Y., "Simulation-Based Manufacturing Accounting for Modern Management", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 12, No. 5, 1993.
- [25] Spur, G., Specht, D. & Goebler, T., "Building an Expert System for Maintenance," Diagnostic and Preventive Maintenance Strategies in Manufacturing Systems", V.R. Milacic, J.F. McWaters(editors), IFIP, 1988.
- [26] Stanivukovic, "The Future of the Maintenance, Diagnostic and Preventive Maintenance Strategies in Manufacturing Systems", V.R. Milacic, J.F. McWaters(edited), IFIP, 1988.
- [27] Taguchi, G., Introduction to Quality Engineering, Asian Productivity Organization, 1986.
- [28] Takahashi, Y. and Osada T., TPM: Total Productive Maintenance, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1990.
- [29] Unger H. von & Schoenert D., "Cost Systems for Maintenance Control, Minimizing the Cost of Maintenance", Proceedings of the Conference organized by The Metal Society, held at the Cafe Royal, London, on 15-16 May 1980.
- [30] Young, A., "The Use of Expert System, Robotics and Factories of the Future", ed. by R. Radharmanan, Proceedings of the Second International Conference on Robotics, San Diego, July 28-31, 1987.
- [31] 咸濟駿, 經濟性工學, 博英社(개정판), 1995.