

裝備交替모델에 대하여 (On Equipment Replacement Models)

朴 淳 達*
李 昶 勳*
朴 哲 昊*

Abstract

The purpose of this paper is to exhibit existing replacement models and to develop new replacement models for managing equipments in large organizations, private or public.

Some of the models in this paper are well known and in use, and some are not. All these models are classified, depending on main factors which play key roles on the models. One group is the models in which the economic factor plays a key role, and the other is those in which both the economic factor and the effectiveness factor play key roles.

1. 概 要

裝備의 交替모델은 여러 분야에 사용된다. 運輸會社에서는 보유하고 있는 각종 車輛은 각각 어떤 日程으로 交替하는 것이 가장 경제적인가라는 문제에 봉착한다. 각종 裝備로 장치되어 있는 製造工場에서는 어떤 交替政策으로 장비를 교체하여야 製品의 信賴性을 유지하고 또한 經濟性을 유지할 수 있는지 문제가 일어난다. 이와 같이 企業體, 公共機關 등 각 분야에 裝備 交替문제가 일어난다. 이 논문에서는 이러한 交替問題를 해결할 수 있는, 각종의 경우에 적용될 수 있는 計量的 交替모델을 수집·정리·발전시키는 데 목적이 있다.

여기서 다루는 裝備에는 반영구성을 지나는 施設 및 비행기 등의 高價의, 복잡한 시스템의 小量의 裝備는 제외된다. 이와 같은 장비는 그 交替를 결정할 때는 하나하나 자세한 分析을 거쳐 폐기를 결정하기 때문에 여기서 다루는 交替모델을 적용하지 않는게 보통이다.

여기서 다루는 裝備란 비교적 高價이어서 計量的으로 그 交替政策을 세워야 하나, 수량이 많거나 장기간 걸쳐 많은 量을 다루게 되어 하나하나 分析을 할 수 없는 上述한 각종 기관의 각 裝備를 말한다.

裝備의 交替는 여러 가지 형태로 일어날 수 있다. 꼭 같은 형태의 새로운 裝備로 交替할 수도 있고 성능이 좋은 새로운 장비로 交替할 수도 있다. 交替될 裝備를 팔아서 새로운 장비로 교체할 수도 있고 그렇지 않고 폐기해 버리고 새로운 장비로 교체할 수도 있다.

2. 裝備交替를 결정하는 要素

裝備交替決定에는 여러 가지 요소가 복합적으로 작용하게 된다. 즉 政策의 요소, 豫算의 制限, 裝備의 性能低下, 運營費의 증가, 部品 획득 곤란 등 支援上의 문제가 복합적으로 작용하여 裝備交替를 결정하게 된다. 그러나 대부분의 경우 어느 하나의 決定的인 요소에 의해 장비의 交替가 결정되게 한다.

첫째, 정책상의 要素에서는 他機關과의 경쟁상 우월한 裝備를, 또는 우월한 能力維持를 위하여 새로운 裝

*서울대학교 工科大学

備를 구입 또는 交替하기로 결정할 수 있다. 그리고 政策, 교육 훈련, 기존 장비와의 조화 등 政策上 필요하다고 생각되는 새로운 裝備를 구입 또는 交替하는 수도 있다. 이러한 경우는 다른 여러 요소에 우선하여 裝備의 구입, 생산, 또는 交替를 하게 된다.

둘째, 豫算上의 制限으로서 豫算은 언제나 요구되므로 적기 마련이다. 따라서 裝備交替에서도 항상 이러한 豫算上의 制限要素가 강하게 작용하게 된다. 따라서 이런 경우의 裝備交替는 장기계획에 의거 이루어져야 된다.

세째, 裝備의 機能低下, 즉 장비의 精密性 등 그 有効性低下를 들 수 있다. 裝備는 연륜이 더해감에 따라 그 性能이 저하되기 마련이다. 따라서 일정한 수준 이하가 되면 비록 그 장비가 운영되고 있기는 하나 交替하는 것보다 못한 경우가 발생하게 된다.

네째, 運營費의 증가로써, 예를 들어 자동차의 경우 해를 거듭할수록 維持補修費가 증가하게 된다. 따라서 일정한 연한을 넘길 경우 裝備를 새로운 것으로 交替하는 것이 經濟的 측면에서 볼 때 훨씬 이익이 될 수 있다.

다섯째, 陣腐化의 문제로서 특히 컴퓨터 등 전자 장비에 많이 일어나는 문제로 裝備 그 자체는 아직 性能이 저하되지 않아 사용될 수 있으나, 기술적으로 좋고 값싼 장비가 나타날 때는 交替시켜 주는 것이 좋다.

여섯째, 運營支援上의 문제로서, 기술상 문제 때문에 유지 관리가 어려울 때, 部品の 획득이 어려울 때 등의 경우에 裝備交替의 상황이 일어나게 된다.

이러한 여섯 가지의 要素에 의하여 裝備의 交替가 일어나게 되며, 따라서 장비의 交替를 결정할 때는 이러한 여섯 가지 요소를 감안하게 된다. 그러나 前述한 바와 같이 대부분의 경우에는 이러한 여섯 가지 중 어느 한 가지에 의해 裝備交替가 결정된다. 물론 이 여섯 가지 요소들은 計量化할 수 있는 要素와 없는 要素가 있다.

3. 壽命의 定義

전술한 바와 같이 裝備의 交替를 결정하는 要素는 여러 가지 있으나, 政策上의 交替와 運營維持上의 문제에 의한 交替는 計量的 모델에 의하여 이루어지는 것이 아니므로 여기서 제외된다. 그래서 이 논문에서는 주로 經濟性, 有効性에 의하여 裝備의 壽命이 결정되어 交替되는 모델을 다루게 된다.

그런데 裝備에 따라 자동차와 같이 有効性보다는 經濟性이 결정적인 작용을 하는 경우가 있고 반대로 정

밀 가공기와 같이 經濟性보다는 有効性이 더욱 결정적 역할을 하는 경우가 있다. 또한 각종 高價의 정밀 산업 기계와 같이 陣腐化, 有効性, 經濟性을 동시에 고려해야 할 경우도 있다.

이때 經濟性만을 고려하여 裝備의 壽命을 결정할 경우를 經濟壽命이라 부르며, 有効性만을 고려할 경우와 有効性, 經濟性을 동시에 고려할 경우를 有効壽命이라고 부른다.

보편적으로 經濟壽命은 그림 1과 같이 육조 형태의 曲線을 그리게 된다. 즉 초기에는 투자비와 운영비가 합쳐 높지만 시간이 지남에 따라 투자비는 점점 年平均으로 나누어짐에 따라 낮아지고 運營費는 또한 서서히 상승하여 어느 일정 기간 費用曲線이 떨어지다가 다시 상승하게 된다. 이 때 최하점이 裝備의 交替時期가 된다.

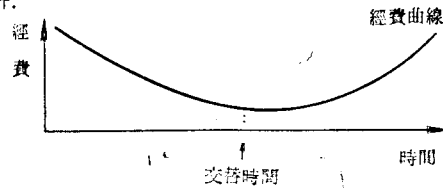


그림 1. 經濟壽命

有効性曲線은 그림 2와 같이 S 曲線을 그리게 되며, 일정수준 이하로 有効性이 떨어지면 壽命에 이르게 된다. 그리고 有効성과 經濟性을 동시에 고려할 때 각 모델에 따라 有効性曲線과 壽命 결정방법이 달라진다.

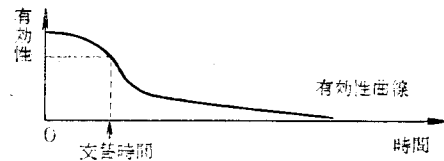


그림 2. 有効壽命

4. 有効性 부대모델

시스템은 고유의 기능을 수행하기 마련이며 이를 보통 任務(Mission)이라고 한다. 그리고 이 임무를 완수할 수 있는 능력을 나타내는 測度로써 有効性을 많이 사용한다.

有効性을 나타낼 수 있는 방법을 여러 가지 있으나 有効性에는 信賴性, 可用性, 能力이 가장 큰 비중을 차지한다. 주로 이 세 가지 측도로써 표현되는 것이 보통이다.

信賴性은 「裝備가 일정 기간 동안 故障나지 않고 만족스럽게 작동할 수 있는 確率」로 定義한다. 이 信賴

성에 영향을 미치는 요인으로서는 原料와 部品の 品質, 裝備의 論理的設計, 裝備의 生産過程과 品質管理, 裝備 使用者의 技術 등 裝備를 개발하는 단계에서 사용단계에 이르기까지 광범위한 과정이 포함된다. 裝備의 信賴性分析을 행하는 데 논리적인 接近方法은 우선 裝備를 單位部品(component)으로 나누어 이들이 기능적으로 어떤 관계를 갖고 있는지 고찰하는 것이다. 다음에 이 單位部品들은 블록도표(block-diagram)의 형태로 연결시켜 裝備를 나타내 준다. 이 도표로부터 裝備의 作動方法, 作業狀態 등을 알 수 있는데 이것을 가지고 信賴性 모델을 세울 수 있다.

部品の 고장은 보통

$$R_i(t) = \int_0^t f_i(x) dx$$

i : 部品

$f_i(t)$: 部品 i 의 고장분포

로써 표시되며 장비의 신뢰성이 部品の 신뢰성으로써 그 시스템의 구조에 따라 산출된다.

可用性은 어떤 시점 t 에서 만족스럽게 임무수행을 할 수 있는나를 나타내는 것이며 보통 확률로 표시한다.

이 가용성을 나타내는 데는 수리시간의 분포가 필요하다. 이 가용성은 필요에 따라 여러 가지로 나타낼 수 있으나 고장이 나더라도 빨리 수리할 수 있으면 可用性이 높아지기 때문에 이 可用性은 수리시간 分布를 토대로 나타낼 수 있다.

그리고 裝備의 궁극적 목표는 본래의 목적한 바의 기능을 성공적으로 수행하는 것이므로 이 고유기능 수행능력이 중요하다. 이것을 임무수행 능력이라고 부를 수 있을 것이다.

결국 有効性이란 어떤 상황에서 주어진 임무를 완수할 수 있는 能力을 뜻하는만큼

- (1) 任務遂行의 필요성이 발생했을 때 즉각적인 作動可能狀態이어야 하며,
- (2) 任務遂行 도중 故障이 없어야 하며,
- (3) 주어진 狀況 아래서 任務를 성공적으로 수행하여야 한다.

이 조건들은 다시 말해 차례로 可用性, 信賴性, 任務遂行能力인 것이다. 이 세 가지 주요 任務有効性 測定要素들은 確率로 표시하여 有効性을 산출·결정한다. 그래서 다음과 같이 표시된다.

$$M_E = A \cdot R \cdot P$$

여기서 A : 可用性(availability)

R : 信賴性(reliability)

P : 任務遂行能力(performance)

이 식의 의미는 作動狀態가 時間에 따라 변할 때 任務遂行의 필요성이 대두되는 시간 t 에서 시스템을 구성하고 있는 裝備가 어느 정도 有効性을 가지는가를 추적·분석하는 데 있는 것이다.

5. 裝備의 經濟性 부대 모델

合理的이고 効率的인 配分 및 가치의 極大化를 이룩하기 위해서는 裝備體系의 經濟的 運營이 절실히 필요하다. 裝備體系의 經濟적 運營을 위한 기초 작업으로서 個別裝備體系의 獲得에서부터 운영, 폐기에 이르기까지 발생하는 모든 경비를 科學的 體系的으로 산출할 수 있어야 한다. 이와 같이 裝備의 獲得, 運營, 維持, 整備, 廢棄에 소요되는 모든 費用을 산출하는 모델을 經濟性 모델이라 한다.

裝備의 獲得에는 두 가지 경우가 있다. 첫째 경우에는 자체 내에서 직접 研究, 開發, 投資, 生産하는 경우이고, 둘째 경우는 외부에서 만들어진 裝備를 구입하는 경우이다. 따라서 獲得費用의 산출방법에 차이가 있다. 특히 외부에서 구입하는 裝備는 費用要素中에서 研究開發費用은 일반적으로 포함되지 않으며, 投資費 가운데 裝備購入費에는 장비의 購入單價와 運搬費가 포함된다.

裝備의 壽命週期 동안 발생하는 모든 經費를 研究開發費, 投資費, 運營維持費의 세 費用要素로 분류하며, 각 費用要素를 다시 요소별로 세분하여 總費用產出의 基本模型을 만든다. 裝備의 壽命週期 동안 발생하는 비용을 研究開發費, 投資費, 運營維持費의 세 가지 費用要素로 구분하여 그래프로 나타내 보면 그림 3과 같다.

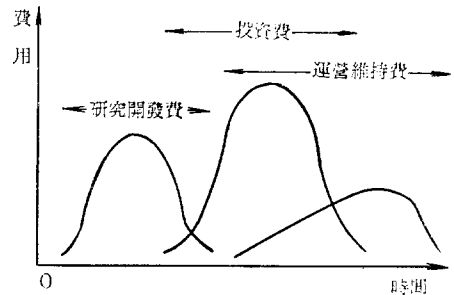


그림 3. 壽命週期費用

일반적으로 裝備의 代替 또는 廢棄時에 발생하는 殘存價格(salvage value)과 처분 비용은 고려하지 않지만, 裝備의 壽命前에 代替하거나 뜻하지 않은 故障으로 廢棄處分하여야 할 경우 등에는 精確한 分析을 위해서 殘存價格과 處分費用을 고려하여야 한다.

總費用에는 다음과 같은 비용이 포함되어야 한다.

(1) 研究開發費

- 基礎應用研究費
- 開發研究費
- 實用實驗費
- 開發管理費

(2) 投資費

- 裝備購入費
- 初期在庫費用—修理部屬費
- 施設費—施設費用
 - 土地獲得費用
- 初期訓練費用
- 創設費用—輸送費
 - 創設物資費用
 - 其他創設費用

(3) 運營維持費

- 人力運營費—給與
 - 給食
 - 被服
- 裝備 및 物資運用費—修理部屬費
 - 油類費
 - 其他物資費
 - 附帶組織交替費用
- 施設維持費—施設補修費
 - 施設運營費
 - 施設交替費
- 支援部署運營費—部署運營費
 - 教育訓練費
 - 勤務 및 支援費用

裝備의 費用評價에 대두하는 主要費用의 종류는 앞에서 설명한 바 있는데, 그러한 費用을 豫測하는 技法으로서 CER(cost estimating relationship)이 이용되고 있다. CER이란 費用을 결정해 주는 媒介變數(cost driving variable), 예를 들어 무게, 속도, 거리, 주파수 등에 대한 과거의 資料를 回歸分析의 技法을 이용하여 費用을 豫測하는 統計的 接近方法이다. 특히 CER은 새로운 裝備를 개발하는 初期段階에 가장 적합한 기법으로 알려져 있다.

예를 들어 5톤 덤프트럭의 運營維持費의 CER식은

주행 마일당 엔진 交替費用 : $C_1(x)$

$$C_1(x) = 0.031x^{0.4887}$$

주행 마일당 瞬間維持費用 : $C_2(x)$

$$C_2(x) = 0.17 - 0.32 \ln x + 0.0037 \ln^2 x$$

주행 마일당 總運營維持費 : $C(x)$

$$C(x) = 0.17 + 0.032 \ln x + 0.0037 \ln^2 x + 0.31x^{0.4887} \\ = C_1(x) + C_2(x)$$

누적 주행 마일당 總運營維持費 : $O \& M(x)$

$$O \& M(x) = 73.79 + 207.69x + 20.685x^{1.4887} \\ - 39.25x + 3.70x \ln^2 x$$

로 나타난다.

9. 裝備交替時期決定 모델

이미 언급된 裝備壽命의 정의에 따라 交替時期決定 모델은 다음 세 종류로 분류된다.

費用만 고려하여 交替時期를 결정하는 데 적용할 수 있는 經濟壽命決定 모델이 첫번째 분류에 속하고 有効性만 고려하든지 또는 有効性和 費用을 함께 고려하여 交替時期를 결정하는 데 적용할 수 있는 有効壽命決定 모델이 두 번째 분류에 속한다. 이상 두 가지 분류 외에 分解修理(overhaul) 回數와 經濟壽命을 동시에 결정해 주는 모델을 끝에 참고로 포함시켰다. 각 분류에 속하는 모델에 일련 번호를 붙여 다음에 열거하였다.

가. 經濟壽命(economic life)決定 모델

이 모델의 특색은 費用만 고려하여 交替時期를 결정하는 것으로서 가장 일반적으로 사용될 수 있는 모델이다.

모델 1: 같은 裝備와 交替하는 경우

年間等價法(equivalent annual method)을 이용하여 交替時期를 결정한다[16].

$$EAC_n = \left\{ I - \frac{T_n}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{O_j + M_j}{(1+i)^j} \right\} \\ \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (6-1)$$

단, I : 裝備購入價格

i : 利率

T_n : 裝備를 n 년 동안 사용한 후의 殘存價格

O_j : j 년의 運營費用

M_j : j 년의 維持費用

따라서 代替決定時期는

$$EAC_{n+1} > EAC_n < EAC_{n-1} \quad (6-2)$$

을 만족하는 n 이 된다.

식 (6-2)가 나타내는 바를 상세히 설명하면 기간 n 에 대한 年間等價(EAC_n)가 殘存價格의 감소($T_n(1+i) - T_{n+1}$)와 運營 및 維持費($O_{n+1} + M_{n+1}$)의 합보다 적으면 대체한다. 또한 기간 $(n-1)$ 에 대한 年間等價(EAC_{n-1})가 殘存價格의 감소($T_{n-1}(1+i) - T_n$)와 運營 및 維持費($O_n + M_n$)의 합보다 크면 代替하지 않는다.

이 모델 1이 經濟壽命決定의 대표적 모델이 된다. 다음의 모델 2, 3, 4는 모델 1을 특수한 경우에 적용할 수 있도록 변형시킨 것이다.

모델 2: 같은 裝備와 交替하는 경우

運營 및 維持費用이 사용 기간에 따라 一定增加 또는 減少하는 경우와 幕乘增加 또는 減少하는 두 가지 경우로 나누어 보면 다음과 같다[16].

모델 2-1

(가정) (1) 利率은 고려하지 않는다.

(2) 平均投資費用은 쌍곡선 I/n 으로 減少하고 運營 및 維持費用은 시간에 대해 一次直線 관계에 있다.

$$ATC = I/n + \frac{n-1}{2}(O+M) + C_o + C_m \quad (6-3)$$

단, ATC : 각 單位時間의 平均總費用

I : 裝備購入價格

n : 使用年限

O : 각 單位期間의 運營費用 上乘額

C_o : 첫 해의 運營費用

C_m : 첫 해의 維持費用

ATC 를 최소로 하는 n 을 구하기 위해 n 에 대해 미분을 하여 n^* 를 구하면

$$n^* = \left(\frac{2I}{O+M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6-4)$$

이 된다.

또한 이 때 平均總費用을 구해 보면

$$ATC^* = \{2I + (O+M)\}^{\frac{1}{2}} - \frac{O+M}{2} + C_o + C_m \quad (6-5)$$

이 된다.

모델 2-2

(가정) (1) 利率은 고려하지 않는다.

(2) 平均運營 및 維持費用은 첫 해의 費用에 n^K 을 곱한 것으로 나타내진다.

(3) K 는 각 문제에 대해 가장 적합하도록 정해지는 값이다.

$$ATC = I/n + (C_o + C_m) \cdot n^K \quad (6-6)$$

식 (6-6)에서 最適期間 n 을 구하기 위해 n 에 대해 미분하면

$$n^* = \left\{ \frac{I}{K(C_o + C_m)} \right\}^{\frac{1}{K+1}} \quad (6-7)$$

이 된다.

그리고 K 값에 따른 平均運營維持費의 효과를 그래

프로 나타낸 것이 그림 4이다.

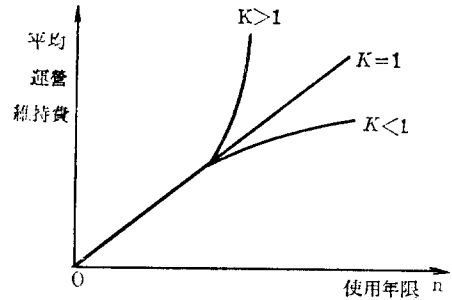


그림 4. K 값에 따른 효과

모델 3: 같은 裝備와 交替하는 경우

이 때 기본 식은 식 (6-8)과 같다[8]. 이 식도 모델 1의 식 (6-1)과 같이 가장 일반적인 식이다.

$$P = T_n e^{-in} - I + \int_0^n \{R(t) - E(t)\} e^{-it} dt \quad (6-8)$$

단, P : 이익의 現存價格

T_n : 시간 n 후의 殘存價格

i : 利率

n : 使用期間

I : 投資費用

$R(t)$: 年間收入

$E(t)$: 年間維持費

식 (6-8)에서 P 를 最大化하기 위하여 n 에 대해 미분하면

$$T_n' - iT_n + R(n) - E(n) = 0$$

이 된다. 따라서

$$R(n) = E(n) + iT_n - T_n' \quad (6-9)$$

를 만족시키는 n^* 가 經濟的 壽命이 된다.

단일 經濟壽命後 代替할 때 挑戰裝備로 동일한 새 裝備로 代替하면 이 새 裝備의 이익의 現存가는 舊裝備의 이익의 e^{-in} 배일 것이다.

식 (6-8)에서 收入函數 $R(t)$ 를 0으로 놓으면 식 (6-9)는

$$E(n) + iT_n = T_n'$$

가 된다.

대체할 경우는

$$E(n) + iT_n = T_n' + \frac{i}{1-e^{-in}} \left\{ I - T_n e^{-in} + \int_0^n E(t) e^{-it} dt \right\} \quad (6-10)$$

가 된다.

殘存價格이 없고 年間運營維持費가 裝備의 壽命에 대해 一次函數인 경우라면

$$T_n = 0$$

$$E(t) = E + Gt$$

단, G : 年間運營維持費의 增加額

$$E + Gn = \frac{i}{1 - e^{-in}} \left(I + E \int_0^n e^{-it} dt + G \int_0^n t e^{-it} dt \right)$$

$$\frac{Gn(1 - e^{-in})}{i} = I + \frac{G}{i^2} \{1 - (in + 1)e^{-in}\}$$

따라서,

$$ni + e^{-in} = (I/G)i^2 + 1 \quad (6-11)$$

을 만족시키는 n 이 代替時期 n^* 값이 된다.

모델 4: 같은 裝備와 交替하는 경우

動的計劃技法(D.P.)을 이용하여 費用을 最小로 하는 代替時期 n^* 를 決定하는 것이다[20].

$$g(n) = \min_{k=n+1, \dots, N} \{C_{nk} + g(k)\} \quad (6-12)$$

단, $C_{ij} = I + E_{ij} - T_j$

(i 년에 사서 j 년까지 運營維持)

이 方法 역시 가장 일반적으로 사용할 수 있는 모델이다.

다음의 모델 5, 6, 7은 新裝備를 고려하여 現장비의 代替時期를 결정하는 데 적용할 수 있는 모델이다.

모델 5: 다른 裝備와 代替하는 경우

既存裝備에 대한 EAC 와 新裝備에 대한 EAC' 를 비교하여 代替時期를 결정하는 것이다[19].

既存裝備에 대한 기호

n : 壽命

T_n : 殘存價格

E : 年間維持費用

I : 購入費用

新裝備에 대한 기호

n' : 壽命

$T_{n'}$: 殘存價格

E' : 年間維持費用

I' : 購入費用

T_0 : 결정을 내려야 할 시기 n_0 에서의 既存裝備의 殘存價格

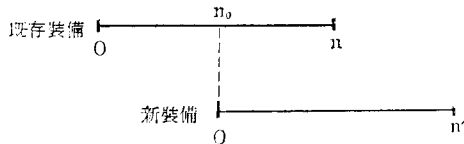


그림 5. 裝備代替決定時期

[예제] $n - n_0$ 동안 既存裝備를 계속 사용할 것인가, 아니면 新裝備를 n_0 에 구입하여 代替할 것인가?

이 예제에 대한 답으로 두 가지 代案이 있는데, 하나는 既存裝備를 $n - n_0$ 동안 계속 사용하는 案과 新裝備를 I' 로 구입하여 n' 기간 동안 사용하는 代案이 있다.

既存裝備를 $n - n_0$ 동안 계속 사용하는 경우의 年間等價費用은

$$EAC = (T_0 + T_n) \left\{ \frac{i(1+i)^{n-n_0}}{(1+i)^{n-n_0} - 1} \right\} + T_n i + E \quad (6-13)$$

이고, 既存裝備를 처분하고 新裝備를 구입하여 n' 동안 사용하는 경우의 年間等價費用은

$$EAC' = (I' - T_{n'}) \left\{ \frac{i(1+i)^{n'}}{(1+i)^{n'} - 1} \right\} + T_{n'} i + E' \quad (6-14)$$

이 된다. 따라서 아래와 같은 결론이 나온다.

(1) $EAC' > EAC$ 라면 既存裝備를 그대로 보유함으로써 $n - n_0$ 동안 매년 $EAC' - EAC$ 만큼의 비용이 절약된다. $n' - (n - n_0)$ 동안에는 지금부터 $n - n_0$ 후에 既存裝備를 어떤 裝備로 代替해 주느냐에 따라 비용의 절약이 결정된다.

(2) $EAC' < EAC$ 라면 代替가 바람직하다.

모델 6. 不適合에 의한 代替

既存裝備가 주어진 任務를 완수하기에 不適合하다고 판단될 경우에 사용되는 모델로서, 고려될 수 있는 代案은 (1) 既存裝備를 그대로 사용하며 既存裝備를 보충하기 위하여 既存裝備와 같은 能力의 장비 또는 필요한 部品을 구입하여 既存裝備의 能力을 높여 주는 案과, (2) 既存裝備를 처분하고 요구되는 能力을 지닌 새로운 裝備를 구입하는 案이 있다. 결정은 두 案에 대한 年間等價費用을 비교하여 내릴 수 있다[19].

既存裝備에 대한 기호

n : 壽命

E : 年間維持費用

T_n : 殘存價格

I : 購入費用

新裝備에 대한 기호

n' : 壽命

E' : 年間維持費用

$T_{n'}$: 殘存價格

I' : 購入費用

既存裝備에 추가되는 部品에 대한 기호

n'' : 壽命

E'' : 年間維持費用

$T_{n''}$: 殘存價格

I'' : 購入費用

既存裝備에 필요한 部品을 구입하여 사용할 경우의 年間等價費用은

$$EAC = (I - T_n) \left\{ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\} + T_n i + E$$

$$+ (I'' - T_n'') \left\{ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\} + T_n'' i + E''$$

(6-15)

이고, 新裝備를 구입하여 사용할 경우의 年間等價費用은

$$EAC' = (I' - T_n') \left\{ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\} + T_n' i + E'$$

(6-16)

이다.

(1) $EAC' > EAC$ 이면 既存裝備에 필요한 部品을 구입하여 사용한다.

(2) $EAC' < EAC$ 이면 新裝備를 구입하여 사용한다.

모델 7 : 障腐化(obsolescence)를 고려하는 경우

既存裝備를 사용하는 데 능력의 부족함은 없으나 기술이 발전함에 따라 新裝備를 사용할 때 運營費나 維持費를 줄일 수 있을 경우 技術進步率(즉, 新裝備에 비교한 追加費用의 舊裝備費用에 대한 率)을 고려하여 代替時期를 결정하는 것이다[16].

이 때 平均總費用은

$$ATC_n = \frac{I + \sum_{x=1}^n (C_0 + C_m)x^k + \sum_{x=1}^n C_0 \left\{ 1 - \left(\frac{1}{1+r} \right)^{x-1} \right\}}{n}$$

(6-17)

단, I : 投資費用

n : 使用年限

C_0 : 첫 해의 運營費

C_m : 첫 해의 維持費

r : 技術進步率

따라서 最適代替時期 n^* 는 다음 관계를 만족시켜야 한다.

$$ATC_{n^*-1} > ATC_{n^*} < ATC_{n^*+1}$$

나. 有効壽命(effective life)決定 모델

이 모델의 特色은 裝備의 有効性만을 고려하든지 有効性和 費用을 함께 고려하여 代替時期를 결정하는 것이다.

모델 8 : 有効性만을 고려하는 경우——같은 裝備

有効性이 일정 수준 이하로 될 때, 또는 급속히 低下될 때 代替하는 것이다.

그림 6에서 보는 바와 같이 n^* 에 代替한다.

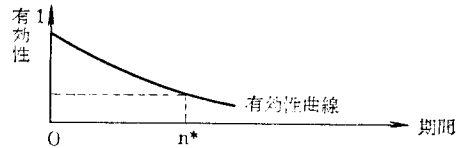


그림 6. 有効壽命

모델 9 : 有効性和 費用을 함께 고려하는 경우——같은 裝備

目的函數 : EAC 의 最小化

制約條件 : 有効性函數 $ME(t) \geq A \cdot R \cdot P = ME_0$

그림 7에서 보는 바와 같이 最小有効性이 ME_0 라면 有効性曲線이 ME_0 보다 위인 영역에서 費用을 最小化하는 代替時期 n^* 를 구하는 것이다.

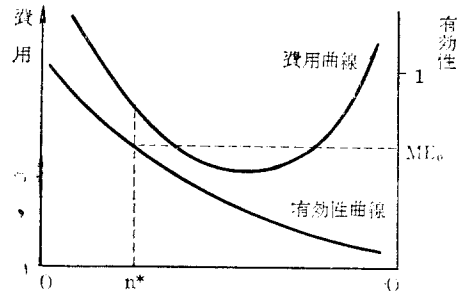


그림 7. 費用과 有効性에 따른 有効壽命

모델 10 : 有効性和 費用을 함께 고려하는 경우——같은 裝備

費用과 有効性的의 비율을 비교하여 代替時期를 결정하는 것이다.

$$\text{비율} = \frac{\text{平均年間費用}}{\text{平均年間有効性}} \quad (6-18)$$

여기서 비율을 最小로 하는 n^* 를 구하는 것이다.

모델 11 : 有効性和 費用을 함께 고려하는 경우——다른 裝備

식 (6-18)에서 비율을 最小로 하는 n^* 를 구하는 것이다. 단, 既存裝備의 有効性은 固有有効性에서 老廢率을 뺀 것이다.

다. 其他 경우

모델 12 : 分解修理回數와 經濟壽命을 동시에 決定하는 경우 [14]

기호 :

n : 交替時期

I : 投資費

$E(t)$: 運營維持費

H : 分解修理에 드는 固定費

N : 分解修理回數

$$nE(t) - \frac{b \cdot N n^2}{2(N+1)} - I - \int_0^n E(t) dt - NH = 0 \quad (6-19)$$

$$N = n(b/2H)^{\frac{1}{2}} - 1 \quad (6-20)$$

식 (6-19)과 (6-20)을 만족시키는 n^* 와 N^* 를 결정한다.

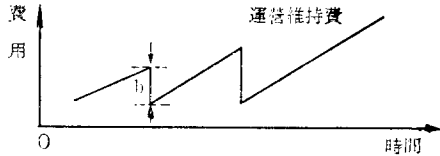


그림 8. 分解修理에 따른 運營維持費

參 考 文 獻

[1] Ran, A., et al, 'Age Replacement with Discounting for a Continuous maintenance Cost Model.' Technometrics, vol. 18, #4, 1976.

[2] Bell, Raymond, et al, 'Vehicle Average Useful Life Study for Truck, Cargo: 2 $\frac{1}{2}$ ton, 6×6, M35A2', AD 770433, 1973.

[3] Bell, Raymond, et al, 'Vehicle Average Useful Life Study for Truck, 5 ton, 6×6, M39A2 Series.' AD A014165, 1975.

[4] Blanchard, B.S., 'Logistics Engineering and Management.' Prentice-Hall, 1974.

[5] Christianson, C.J., et al, 'Operation, Maintenance, and Cost Experience of $\frac{1}{4}$ ton Truck Fleet(U),' AD 326033, 1961.

[6] Christianson, C.J., et al, 'Economics of Maintenance and Replacement of 5 ton, 6×6, Medium Wrecker Truck M62(U).' AD 335797 L, 1962.

[7] Coleman, J.J. & I.J. Abrams, 'Mathematical Model for Operational Readiness,' Operations Research, vol. 10, pp. 126-138.

[8] Eastman, S.E. & W.K. Scheiver, 'The Development and Application of a Procedure

for Estimating the Economic Life of Weapon Systems,' AD 71111, 1970.

[9] Eisen, 'Optimal Machine Replacement Policies,' Management Science, Vol. 9, pp. 268-276.

[10] Fox, 'Age Replacement with Discounting Minimax(L),' Operations Research vol. 14, pp. 533-536.

[11] Jorgenson, McCall, Radner, 'Optimal Replacement Policy,' North-Holland, 1967.

[12] Jorgen, D.W., & J.J. McCall, 'Optimal Scheduling of Replacement and Inspection,' Operations Research, Vol. 11, pp. 732-746.

[13] Kalman, 'Optimal Ship Replacement Model,' Operations Research, Vol. 20, pp. 327-334.

[14] Roll, Y. and A. Sachish, 'Combined Overhaul and Replacement Policies for Deteriorating Equipment,' Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol. 21, No. 2, 1978.

[15] Ross, F.W., 'A Cost-Effectiveness Model, Choice Through Preferences,' AD A006205, 1975.

[16] Shamblin, J.E. and G.T. Stevens, Jr, 'Operations Research.' McGraw-Hill, 1974.

[17] Smith, V.L. 'Economic Equipment Polices: An Evaluation,' Management Science, Vol. 3, 1957.

[18] Stament, A.D. and C.R. Wubourn, 'Cost Estimating Relationships: A manual for the Army Material Command; AD 742801, 1972.

[19] Thussen, H.G., et al, 'Engineering Economy.' Prentice-Hall, 1971.

[20] Wagner, H.M., 'Principles of Management Science,' Prentice-Hall, 1975.

[21] Department of the Army, 'Standards for Presentation and Documentation of Life Cycle Cost Estimates for Army Material System,' 1976.

[22] 李昶熏, '시스템 有効性의 尺度', 韓國軍事運營分析研究會誌, Vol. 3, No. 2, 1977.