

수명의 불확실성을 반영한 추계학적
장비 대체시기 결정모형
(A Stochastic Optimization Model for Equipment
Replacement Considering Life Uncertainty)

박종인, 김승권*

Abstract

Equipment replacement policy may not be defined with certainty, because physical states of any technological system may not be determined with foresight. This paper presents Markov Decision Process(MDP) model for army equipment which is subject to the uncertainty of deterioration and ultimately to failure. The components of the MDP model is defined as follows: i) state is identified as the age of the equipment, ii) actions are classified as 'keep' and 'replace', iii) cost is defined as the expected cost per unit time associated with 'keep' and 'replace' actions, iv) transition probability is derived from Weibull distribution. Using the MDP model, we can determine the optimal replacement policy for an army equipment replacement problem.

* 고려대학교 산업시스템정보공학과

1. 서 론

최근 주한 미군의 재배치에 대한 논란으로 국방비 증액이 불가피한 현 시점에서 군의 경제적 운영이 절실히 요구되고 있다. 따라서 국방예산 중 많은 비중을 차지하고 있는 장비운영유지비의 절감을 위해 장비의 대체시기를 과학적으로 설정하고 이를 합리적으로 관리하여야 할 것이다. 즉 전체 운영유지비의 17.6%(2003년 기준)에 달하는 장비 유지비가 전력증가와 노후화된 장비보유로 인하여 증가하고 있어 경제적인 장비유지 및 군의 전력유지라는 측면에서 효율적인 장비관리가 중요시 되고 있다. 또한, 장비의 대체시기는 장비의 획득 및 교체에 있어서 합리적 관리기준으로 활용될 수 있을 뿐 아니라, 적정시기에 도태시킬 수 있는 기준을 제시함으로써 장비운용의 효율성 제고에 중요한 역할을 할 수 있다.

한편, 장비 대체 문제의 경우 장비의 수명에 대한 정확한 예측이 불가능하기 때문에 평균시스템 비용법이나 연등가 비용법과 같은 기존의 확정적 모형 대신 장비 수명의 불확실성을 고려한 추계확적 모형을 활용할 필요가 있다. 일반적인 장비 대체 문제의 경우 수명의 불확실성을 반영해서 대체시기를 결정한 연구들을 다수 찾아 볼 수 있다. Sasieni (1956)는 생산된 불량타이어 발생빈도를 생산설비 수명의 불확실성으로 하여, 비용요소와 결합하는 마코프 사슬(Markov Chains)모형을 통해 타이어 생산설비의 대체시기를 결정하였으며[9], Howard(1960)는 장비 상태를 사용분기수로 하고, 수명의 불확실성을 비용요소에 결합하는 마코프 의사 결정 모형(Markov Decision Process, MDP)을 통해 대체시기를 결정하였다[6]. Kolesar(1966)는

장비의 노화(deterioration)정도를 장비상태로 하여, 수명의 불확실성과 비용요소를 마코프 사슬모형에 적용하여 총운용비용이 최소가 되는 대체시기를 결정하였으며[7], Meyer(1971)는 대체되는 장비들 사이의 성능차이의 불확실성과 비용요소를 동적모형에 결합하여 대체시기를 결정하였다[8]. Chelsea와 Douglas(1989)는 장비의 성능상태와 수명의 불확실성, 비용요소를 MDP 모형에 적용하여 최적의 교체정책을 찾아주는 방법을 제시하였으며[10], Zilla등(1995)은 마코프 의사결정모형에서 장비의 상태를 장비작동으로 생산된 불량품 수의 분포로 불확실성을 구분하고 장비운용수익, 유지비, 생산제품의 품질상태를 비용요소로 결합하여 교체시점을 결정하였다[11].

Howard를 제외한 이상의 연구에서는 장비상태를 '성능요소'에 따라 분류하고 불확실성과 비용요소를 결합하여 교체시기를 결정하였다. 그런데 현실적으로 성능요소에 의거해서 장비상태를 정확히 분류하는 데는 많은 노력과 예산이 필요하다는 어려움이 있다. Howard는 대체대안을 중고장비로 하고, 장비상태를 정량화에 어려움이 따르는 '성능요소' 대신 '분기별 사용기간'으로 하였다. 상태변수를 분기별 사용기간'으로 정하고, 장비운용정책을 분기별 사용기간(k분기)에 따라 '유지'와 '0분기전의 장비로 대체', '1분기전의 장비로 대체'.....'k-1 분기전의 장비로 대체' 등으로 구분함으로써 총 $(k+1)^k$ 개의 장비운용 정책이 가능함을 밝혔다. 즉, 분기수가 40이 되면 총 정책은 41^{40} (k=40분기)개의 가능정책을 탐색해야 하는데 Howard는 정책 반복 알고리즘(policy iteration)을 이용하여 장비의 최적 대체시점 및 대안을 결정하였다.

이에, 본 연구에서는 수명의 불확실성을 군용장비 대체문제에 반영하기 위하여 Howard 대체시기 모형을 근간으로 하여 군용장비 대체문제에 적용이 가능하도록 모형을 수립하였다. 즉, 대체대안을 신행장비로 한정하고 장비상태를 '장비사용연수'(k년)로 함으로써 탐색 대상 가능 장비운용정책은 '유지'와 '교체'로 단순화시켜 총 2^k개의 가능한 정책에 대하여 분석을 하였다. 최적해를 결정하는 방법으로서 policy iteration 보다 단순한 value iteration 알고리즘을 적용하였고 Howard 모형에서 언급이 없는 전이 확률 계산 및 비용 산정을 위한 방안을 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 유지비와 투자비를 확정적으로 반영하여 대체시기를 결정한 기존의 모형과 마코프 대체시기 결정모형의 차이점을 비교하였으며, 3장에서는 장비의 최적 대체시기 결정을 위한 마코프 대체시기 결정모형을 제시하였다. 4장에서는 군용장비에 대한 사례연구를 통하여 수명의 불확실성을 고려한 K-131장비의 대체시기를 결정해 보았으며, 끝으로 5장에서는 본 연구의 성과와 향후 연구과제의 방향을 제시한다.

2. 군용장비의 대체문제

군용장비의 대체문제는 수명결정의 주요인에 따라 다음과 같이 네가지 방법에 의해서 결정된다[1].

첫째, 수명결정의 주요인이 '비용'인 경우는 '경제수명'의 개념을 활용하여 대체시기를 결정한다. 경제수명이란 장비의 기능에 대한 군의 요구를 가장 경제적으로 충족시킬 수 있는 지속기간을 뜻한다.

둘째, 수명결정의 주요인이 '성능'인 경우 장비

의 대체는 '유효수명'의 개념을 활용하여 대체시기가 결정된다. 유효수명이란 경제적인 고려 없이 장비의 기능이 군의 요구를 충족시킬 수 있는 지속기간을 말하며, 유효성을 결정하는 척도로는 신뢰도, 가용도, 임무효과도가 있다.

셋째, 수명결정의 주요인이 '비용'과 '성능' 두 가지인 장비의 대체는 경제수명과 유효수명을 동시에 고려하여 장비의 대체시기를 결정한다.

넷째, 전폭기나 상륙함 등은 수명결정의 주요인이 '전략'인 장비의 대체는 전략수명의 개념을 활용하여 대체시기가 결정된다.

위에서 알아 본 바와 같이 장비의 대체시기는 이를 산출해 내는 데 전제가 되는 제반 가정사항에 따라 달라질 수 있으므로, 어떤 장비의 대체시기를 산출해 내기 위해서는 모형을 가정함에 있어 그 장비의 사용여건과 운용방침 등에 의해 적합한 가정을 세워야 한다.

본 연구에서 고려하는 K-131 장비는 장비의 사용연수에 따라 노후화가 가속화되고 유지운영비가 증가하므로, 수명결정기준의 주요인이 '비용'인 경우로 장비의 경제수명에 의거해서 대체시기가 결정되어야 한다.

장비의 경제적 수명을 결정할 수 있는 대표적인 모형으로는 평균시스템 비용법과 연등가 비용법을 들 수 있다. 평균시스템 비용법은 평균투자비와 평균유지비의 합계로 이루어지는 평균시스템비용이 최소가 되는 경제수명을 찾는 방법으로 계산이 단순하고 장비사용기간이 짧은 장비에 주로 사용된다. 연등가 비용법은 동일 장비를 일정기간마다 교체하면서 계속 사용할 경우 예상되는 총비용의 현재가치를 연차별로 등가 환산한 연등가비용이 최

소가 되는 경제수명을 찾는 방법이다.

<표1> 경제성에 의한 수명 결정방법

구분 \ 모형	평균시스템 비용법	연동가 비용법
	수명 결정	-연간평균시스템비용 최소화
비용 요소	-연간평균유지비 -연간평균투자비	-자본회수비 -등가연간유지비
특징	-계산 편리 -사용기간이 짧은 장비에 적용	-돈의 시간적 가치고려 -일반적 방법
단점	-사용기간에 따라 비용요소의 확정적 반영 -장비 교체의 불확실성 미반영	

하지만 이들 모형은 장비사용기간에 따라 수명의 불확실성은 반영하지 못하고 확정적 비용요소에 의해서만 대체시기가 결정되었다. 따라서 본 연구에서는 장비 수명의 불확실성을 기대유지비와 기대 교체비로 반영시켜 총기대운용비용을 최소화하는 마코프 대체시기 결정모형을 수립해 보았다.

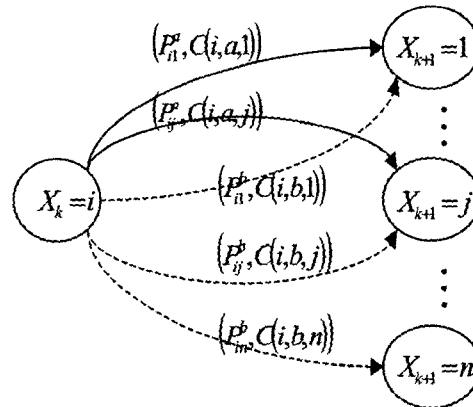
3. 수리적 모형수립

3.1 MDP 모형의 개요

MDP 모형은 불확실성이 존재하는 환경 하에서 이산적인 의사결정 시점들에 대하여 순차적인 의사

결정을 내리는데 이용되는 추계학적 기법 (Stochastic Process)의 한 분야이다. 이 모형은 Markov Chain 모델을 기반으로 시스템의 상태 (state)와 시스템 상태의 전이확률(transition probability), 각 상태에서 의사결정자가 내릴 수 있는 결정들의 집합인 정책(action), 그리고 정책에 의한 시스템 상태변화를 평가하기 위한 비용함수식으로 구성되어 있다.

<그림1>은 MDP 모형의 state 변환을 간략하게 보여주고 있다. 시스템이 state i에 있을 때 action a를 선택하면 전이확률 P_{ij}^a 의 확률로 state j로 상태가 전이된다. 또한 시스템이 state i에 있을 때 action a에 의하여 다른 상태로 전이가 이루어지면 $C(i, a, j)$ 의 비용이 발생하게 된다.



<그림1> MDP 모형에서의 state 전이

이상의 비용식과 전이 확률을 이용하여 각 단계 별 기대 비용을 산정하여, 각 의사결정 시점에서 시스템 상태에 따라 기대비용을 최소화하는 action 을 결정하게 된다. 즉, 확정적 대체시기 결정하는 기존방법과는 달리 MDP 모형에서는 불확실성을

비용요소에 반영할 수 있다는 점에서 차이가 있으며, 확률값을 반영한 기대비용을 사용하여 대체시기를 결정한다.

MDP 모형을 정의하는데 필요한 수식들은 다음과 같다.

$$P_{ij}^a = P[s(n+1) = j | s(n) = i, a(n) = a] \quad (1)$$

for $a \in A, i, j \in S, n = 1, 2, \dots$

$$C(i, a) = \sum_j P_{ij}^a \cdot C(i, a, j), \quad (2)$$

$i, j \in S, a \in A$

$$f_{n+1}(i) = \min_a [C(i, a) + \beta \sum_j P_{ij}^a f_n(j)] \quad (3)$$

for $a \in A, s \in S, S = 0, 1, 2, \dots$
 $f_0(i) = 0$

현재 시스템 상태가 다음시점에서 상태가 변할 전이 확률은 식 (1)과 같이 시스템의 현재의 상태에만 의존하는 마코프 특성을 가지며, 식 (2)는 현재 시스템 상태 i 에서 정책 a 를 선택할 경우 발생하는 기대비용을 나타낸다. 식 (3)은 회귀함수(recursive function)로서 순차적인 의사결정에 대하여 평가를 하고 최적의 정책을 결정해 주는 함수이다.

MDP는 의사결정 시점(horizon)이 유한한 경우와 무한한 경우로 나누어지게 되는데, 본 연구에서는 장비가 서비스를 제공하는 것이 무한하지는 않지만, 서비스의 종료 시점을 알 수 없기 때문에 Infinite MDP를 적용하였다.

3.2 군용장비 대체시기 결정을 위한 MDP 모형

3.2.1 MDP 대체시기 결정모형의 구성요소

일반적으로 장비의 노후화에 따른 장비 상태변

화는 마코프 특성을 만족시키기 때문에 MDP모형의 적용이 가능하다[10]. 군용장비 대체시기 결정을 위한 MDP 모형 구현을 위해 장비의 상태, 상태 전이확률, 장비운용정책, 비용요소를 다음과 같이 정의했다.

- State : 군용장비의 상태(s)는 장비의 사용연수로 하며, 사용연수는 s=0년에서 최대 사용연수까지이다.

- Action : 장비의 상태에 따라 의사결정자가 선택할 수 있는 장비 운용방법으로 유지(keep)와 교체(replace) 두 가지를 적용하였다. 장비운용정책을 유지로 하게 되면 기대유지운영비가 발생되고, 교체로 하면 기대교체비가 발생하게 된다.

- Transition Probability(상태전이확률) : 상태전이확률은 각 시점에서 의사결정에 따라 장비의 상태가 어떻게 변하는가를 나타내는 확률이다.

현재 장비상태가 s년인 장비는 유지정책에 따라 s+1년으로 전이되는 경우와 예상치 못한 고장으로 인해 교체되어 0년으로 전이되는 경우가 있다. 유지정책의 전이확률은 장비전체의 노후화에 따른 수명분포와 관련이 있다. 본 연구에서는 장비의 수명이 와이블 분포를 따르는 것으로 가정하고 장비종합이력부와 검사작업지시서상의 고장자료를 활용하여 수명분포를 추정하였다. 수명분포 중 와이블 분포는 적당한 모수값에 의해 여러 가지 다양한 모양의 분포를 나타낼 수 있어 신축성이 높은 분포로 알려져 있으며, 노후화가 일어나는 장비의 수명분포로 널리 사용되고 있다. 와이블 수명분포에서 장비 사용시간 s 동안 고장이 나질 않을 신뢰도 함수는 식(4)로 나타나며 장비 사용시간 s 동안 고장이

날 확률은 $1 - b_s$ 로 구해진다[3].

$$b_s = \exp(-\lambda s^\alpha) \quad (4)$$

<표2>는 유지정책에 따른 전이확률 행렬이다.

<표2> 유지정책의 전이확률

$$P_{s,j}^{keep} = \begin{matrix} & j=0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \dots \\ s=0 & \left[\begin{array}{cccccccc} 1-b_1 & b_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1-b_2 & 0 & b_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1-b_3 & 0 & 0 & b_3 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1-b_4 & 0 & 0 & 0 & b_4 & 0 & 0 \\ 4 & 1-b_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_5 & 0 \\ 5 & 1-b_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_6 \\ 6 & 1-b_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_7 \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{matrix}$$

교체정책에 따른 현재 장비사용연수 s년인 장비의 상태는 0년으로 전이되는 경우 밖에 없으므로 전이확률은 <표3>과 같다.

<표3> 교체정책의 전이확률

$$P_{s,j}^{replace} = \begin{matrix} & j=0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & \dots \\ s=0 & \left[\begin{array}{cccccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \end{matrix}$$

■ Cost : 넷째로 장비운용에 관련된 비용요소는 유류비, 인건비, 수리부속비로 구성되는 유지운영비와 장비조달가격과 잔존가치로 구성되는 교체

비로 구분할 수 있다.

3.2.2 MDP 대체시기 모형

위에서 제시한 4가지 MDP요소를 기반으로 다음과 같이 대체시기 결정모형을 수립하였다.

$$f_n(s) = \min_a \left\{ \sum_{j \in S} p_{s,j}^a [C(s, a, j) + \beta f_{n-1}(j)] \right\} \quad (5)$$

for $a \in A, s \in S, S = 0, 1, 2, \dots, N$
 $f_0(s) = 0$

$$C(s, keep, j) = \begin{cases} C_s & \text{with } p_{s,s+1}^{keep} = b_s \\ I - L_s + C_0 & \text{with } p_{s,0}^{keep} = 1 - b_s \end{cases} \quad (6)$$

$$C(s, replace, j) = I - L_s + C_0 \quad (7)$$

$$A = \{keep, replace\} \quad (8)$$

$$p_{s,j}^{replace} = \begin{cases} 1 & j=0 \\ 0 & j \neq 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{1+f}{1+i} \quad (10)$$

모형수립을 위해 사용된 기호는 다음과 같다.

i = 시장이율

f = 인플레이션을

I = 장비조달가격

L_s = 사용연수 s 일 때 잔존가치

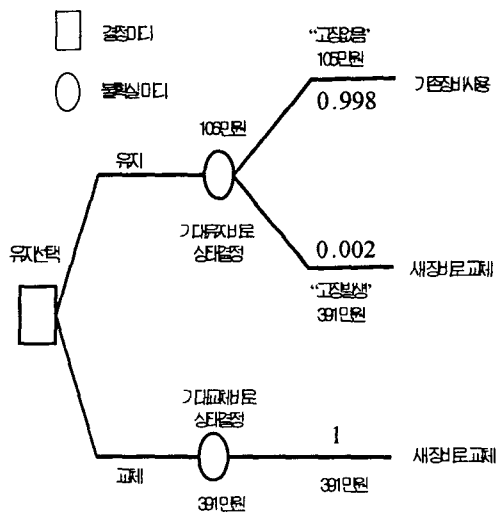
C_s = 사용연수 s 일 때 유지운영비

C_0 = 사용연수 0 일 때 유지운영비

식(5)은 장비의 사용연수에 따른 기대유지운영비와 기대교체비용을 비교하여 분석기간 동안 총운용비용을 최소화시켜주는 방향으로 장비의 운용방법을 제시해주는 함수식이다. 전이확률 $p_{s,j}^a$ 는 장비

운용방법인 '유지' 및 '교체'에 따라 표2, 3에 의해 결정되고, 유지운영비와 교체비용은 식(6)(7)에 의해서 결정된다. 식(10)은 인플레이션과 이자율을 감안한 단위기간에 대한 할인계수를 나타낸다.

장비 사용연수에 따른 최적 운용방침은 기대치(Expected Value)에 의해서 정해진다. 본 연구에서 처럼 장비운용정책을 사용연수에 따라 반복적으로 결정해야 하는 경우, 기대치는 장기적으로 얻을 수 있는 평균비용을 의미하기 때문에 기대치에 의한 정책결정이 가능하다[2]. <그림4>는 분석기간이 1년이고 사용연수가 0년인 장비의 경우 장비대체의 사결정 나무 형태를 보여주고 있다.



<그림4> 장비대체 의사결정 나무

장비 운용상 기대비용은 분석기간과 장비운용방침인 유지 및 교체에 따라 식(5)에 의해서 결정되며 각 정책(action)에 대하여 기대되는 평균비용을 계산하여 가장 작은 평균비용을 갖는 정책을 선택하면 된다.

유지정책에 따른 기대유지비용은 고장없이 기존

장비를 사용하는 경우의 기대치인 0.998×105 만원과 고장발생으로 새 장비로 교체하는 경우의 기대치 0.002×391 만원의 합으로 계산되며, 교체정책에 따른 기대 교체비용은 1×391 만원으로 계산된다. 장비 운용방법의 결정은 유지정책에 따른 기대치와 교체정책에 따른 기대치를 비교하여 적은 비용의 정책을 따르면 된다.

4. 실험 사례

4.1 장비선정

본 연구의 장비 대체시기 결정모형을 적용하기 위해 대상 장비를 90년 후반에 보급된 K-131 장비로 선정하였다. K-131 장비는 실제 운전하는 데 필요한 주 요인인 톤당 마력과 토르가 우수하여 주행 성능이 탁월하고, 콤팩트 사이즈 대비 이상적인 실내 공간을 확보하여 기존의 K-111 장비보다 활용도가 높아진 장비이다.

4.2 비용요소

운영유지비에는 정비인건비, 수리부속비, 유류비를 포함하였다. 정비인건비에는 장비를 보유 및 운영하고 있는 부대와 이를 지원하는 부대 인원에 대한 급여, 급식 및 피복비가 포함되며, 유류비 및 수리부속비는 장비종합이력부상의 연료소모 금액란의 유류사용량과 수리부속부품을 근거로 산출하였다.

장비 운영유지비는 부품고장의 단조 불감소 특성 때문에 사용기간에 따라서 증가하게 되고 장비와 수집되는 자료의 특성에 따라 식(11)~식(14)와 같이 다양한 회귀분석식이 적용될 수 있다[5].

$$C(s) = b_0 + b_1s \quad (11)$$

$$C(s) = b_0 + b_1s + b_2s^2 \quad (12)$$

$$C(s) = b_0 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3 \quad (13)$$

$$C(s) = b_0 + b_1e^s \quad (14)$$

K-131 장비의 동종 모델인 K-111 장비의 유지운영비가 식(13)과 같이 추정되므로[1], 이 식을 바탕으로 OO개의 부대에서 OO대의 차량을 대상으로 전산화 처리된 월장비은행증과 장비종합이력부, 검사작업지시서의 자료를 수집 분석하여 총 유지운영비를 회귀분석 하였다. 추정된 운영유지비의 함수식은 다음과 같다.

$$C = 169.36S^3 + 21886.21S^2 + 1034852.48 \quad (15)$$

교체비용을 산정하기 위해서 1년 단위 장비의 잔존가치를 구하여야 하며, K-131장비 경우는 사용연수 후반부보다 전반부 동안에 더 높은 비율로 자산의 가치가 감소하기 때문에 식(16)과 같은 정률법에 의해 잔존가치는 결정된다. K-131장비 감가율은 일반 자동차의 감가율 $\theta = 15\%$ 를 적용하였으며, 초기 조달단가가 $I = 1,904$ 만원을 적용하였다.

$$C(s, \text{replace}, j) = I - I\theta(1 - \theta)^{s-1} + C_0 \quad (16)$$

계산된 유지운영비와 교체비용은 다음 <표4>와 같다.

<표4> K-131 유지운영비와 교체비용

연수(s) \ 구분	유지운영비 (만원)	교체비용 (만원)
1	105	391
2	112	634
3	123	840
4	139	1016
5	160	1165
6	185	1291
7	216	1399
8	252	1491
9	293	1569
10	339	1635
11	390	1691
12	447	1739
13	510	1779
14	578	1814
15	653	1843

4.3 전이확률

장비 유지정책의 전이확률은 장비의 수명분포인 와이블 분포를 통해 결정되었다. 와이블 분포의 두 모수 λ (축척모수), α (형상모수)의 추정치를 구하기 위해 김태현 등(1998)이 최소수리정책하의 자동차 고장을 추정을 한 방법을 이용하여 두 모수의 추정치를 구하였다.[4] 여기서 최소수리란 고장수리 후에도 고장율이 변하지 않으며, 고장수리에 소요되는 시간은 무시할 만하다는 것이다.

유지정책을 통해서 s년 장비가 s+1년으로 전이되는 확률은 추정된 두 모수 $\lambda = 0.0021$, $\alpha = 2.74$ 를 식(4)에 적용하여 계산하였으며, 사용연수에 따라

다음과 같이 <표5>로 나타난다.

<표5> K-131 유지정책 전이확률

구분 연수(s)	고장발생 (s → 0 년)	고장없음 (s → s+1 년)
1	0.0021	0.9979
2	0.0139	0.9861
3	0.0417	0.9583
4	0.0894	0.9105
5	0.1586	0.8414
6	0.2477	0.7523
7	0.3522	0.6477
8	0.4653	0.5346
9	0.5788	0.4212
10	0.6846	0.3154
11	0.7765	0.2235
12	0.8507	0.1493
13	0.9065	0.0936
14	0.9450	0.0549
15	0.9699	0.0300

교체정책의 전이확률은 장비사용연수에 따라 0년으로 전이되는 경우밖에 없으므로 표3과 같이 나타난다.

4.4 모형수행 결과

이자율5%, 인플레이션을 2% ($\beta=0.9714$)를 입력자료와 함께 적용한 프로그램 수행결과는 <표6>과 같다. K-131 장비의 사용연수에 따른 누적유지 기대비용 및 누적교체 기대비용 중 비용이 적은 정책

을 최적정책으로 선택하면 된다. 따라서 K-131 장비는 9년 말까지 유지 운영하다가 9년 말에 대체하는 것이 기대비용을 최소화하는 것으로 나타났다.

<표6> K-131 장비 운용정책

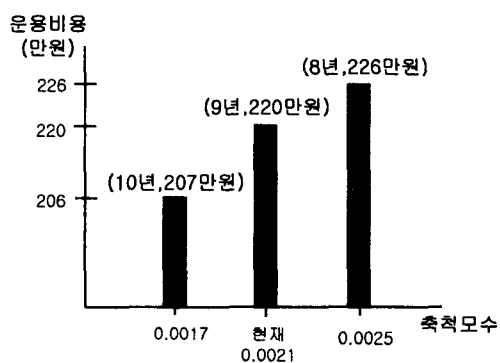
구분 연수(s)	누적유지 기대비용 (만원)	누적교체 기대비용 (만원)	운용정책 결정
1	6,072*	6,153	keep
2	6,283*	6,396	keep
3	6,490*	6,602	keep
4	6,686*	6,778	keep
5	6,863*	6,927	keep
6	7,017*	7,054	keep
7	7,145*	7,162	keep
8	7,249*	7,253	keep
9	7,333	7,331*	replace
10	7,401	7,197*	replace
11	7,457	7,453*	replace
12	7,503	7,501*	replace
13	7,543	7,542*	replace
14	7,577	7,576*	replace
15	7,606	7,606*	replace

*최적누적 기대비용

동일한 입력자료가 적용되는 연등가 비용법에서는 대체시기가 9년으로 나왔으며, MDP 모형에서 불확실성을 제거하고 확정적 비용요소를 바탕으로 모형을 수행하면 비용요소가 현가로 계산되어 대체시기는 연등가 비용법과 동일한 9년으로 분석되었다. 이는 제시한 MDP 모형이 수명의 불확실성 변화 정도에 따라 대체시기가 달라질 수 있는 융통성이 있는 모형임을 보여준다.

즉, 유지정책 전이확률에 영향을 미치는 축척모수 λ 의 변화에 따른 대체시기변화와 연간평균 기대비용 절감 효과를 파악해 보면 결과는 다음과 같

다. 모형에 적용된 신뢰도 축척모수($\lambda=0.0021$)가 적극적인 예방정비를 통하여 신뢰도가 향상되어 $\lambda=0.0017$ 로 조정되면 대체시기는 9년에서 10년으로 증가하며, 총 누적 기대 비용을 장비 보유기간으로 나눈 연간평균 기대비용도 220만원에서 207만원으로 줄어 든다. 또한 예방정비가 제대로 이루어지지 않아 신뢰도가 떨어지면 ($\lambda=0.0025$) 대체시기는 8년으로 줄어들게 되고 연간평균 기대비용도 226만원으로 증가한다.



<그림3>신뢰도합수 민감도 분석

5. 결론 및 향후 연구과제

기존 연등가 비용법이나 평균시스템 비용법에서는 장비의 사용연수에 따라 장비 수명의 불확실성은 간과되고 확정된 비용요소의 관점에서만 장비의 대체시기가 결정되었다. MDP 장비 대체시기 결정 모형은 장비운용상 수명의 불확실성을 비용요소에 반영하기 위해 장비의 상태를 사용연수로 하고, 장비운용정책과 비용요소를 수명의 불확실성과 결합하여 운용상 총기대비용을 최소화 시키면서 대체시기를 결정한다. 본 연구에서 제시한 모형은 확정적 비용요소를 모형에 반영할 수 있을 뿐 아니라 전이

확률에 의해 확률적 비용요소까지 모형에 반영할 수 있어 확정적인 기존 모형보다 포괄적인 대체시기 결정모형이 될 수 있을 것으로 기대된다.

또한 군에서 공식적으로 사용되고 있는 수명주기비용산출 모형인 Price(Parametric Review of Information Costing and Evaluation) 모형을 통해 산출된 비용요소를 MDP 대체시기 모형에 활용할 수 있게 된다면, 새로 도입되는 장비의 대체시기를 예상하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 권혁진, 장길상, “군용장비의 경제수명에 관한 연구”, 국방논집 25호, pp.293-319, 1994.
- [2] 김성희, 정병오, 김재경, “의사결정 분석 및 응용”, 영지문화사, 1999.
- [3] 박경수, “신뢰도 및 보전공학”, 영지문화사, 1999.
- [4] 김태현, 김승권, “다수의 도전장비 존재시 설비의 경제적 수명과 최적 대체결정을 위한 동적계획 모형”, 대한산업공학회 Vol.25, pp.466-475, 1999
- [5] 오점록 “군용장비의 경제적 수명에 관한 연구”, 동국대 석사논문, 1984.
- [6] Howard, R. A. “Dynamic programming and Markov Processes”, MIT press, pp. 54-59, 1960.
- [7] Kolesar, P. “Minimum Cost Replacement under Markovian Deterioration”, Management Science Vol.12, pp. 694-706, 1966.
- [8] Meyer, R. A. “Equipment Replacement

under Uncertainty", Management Science, Vol.17, pp. 750-758, 1971.

- [9] Sasieni, M. W. "A Markov Chain Process in Industrial Replacement", Operational Research Quarterly, Vol.7, pp.148-155, 1956.
- [10] White, C. C. and White, D. J, "Markov Decision Process", European Journal of Operational Research, Vol.39, pp.1-16, 1989.
- [11] Zilla, S. S., Israel, D., Sigal, B, "An Efficient Heuristic for a Partially Observable MDP of Machine Replacement", Computer & Operations Research Vol.24, pp. 117-126, 1997.