

CSP 적정소요 산출을 위한 모형개발에 관한 연구*

(A Study on the Development of Models for the Optimal Requirement Level of the CSP)

박상수, 이규현**

Abstract

This study is concerned with a few models for optimal requirement level of CSP by improving and adjusting the existing models to determine CSP items and quantity as follows. First, by building a model with a objective function of the operating level and constrains of budget, quantity and items of CSP are simultaneously determined. Second, we removed some steps to improve initial solution by using a constraint of usable budget level. Third, we demonstrated a model to be applied with real operating situation by combining two models of Lee(1994) and above. Lastly, by assuming a failure probability distribution is a binomial distribution, the better solution can be obtained.

Some facts with necessity of policy improvement were raised as follows:

- (1) necessity of improvement of the CSP acquisition system,
- (2) in case of the same kind, permission of diversion in order to execute budget effectively,
- (3) getting accurate failure rate.

* 본 연구는 육군사관학교 화랑대 연구소의 연구비 지원을 받아 수행하였음.

** 육군사관학교

1. 연구의 필요성 및 목적

CSP는 장비의 초기운영에 영향을 주는 중요한 부분이다. 적정 수준의 CSP를 확보하는 경우 장비 사용부대, 정비부대 및 보급부대가 최초 보급품 재고를 적정 수준으로 유지할 수 있으며 차후의 재보급활동으로 원활히 이어질 수 있다. 반면 적정수준 이상의 CSP를 확보하는 경우, 부품의 재고가 필요이상으로 많아지게 되어 물적 및 금전적 자원의 낭비를 초래하게 될 것이다. 따라서 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻기 위해서는 적정수준의 CSP를 판단하여 이를 구매하여야 한다.

이런 이유로 CSP의 소요는 고급의 통계기법과 컴퓨터를 이용하여 과학적으로 예측되고 제기되어야 한다. 실제로 국내·외의 여러 연구에서 적정 CSP소요를 판단할 수 있는 각종 모형이 제시되어 왔다. 그러나 우리 군의 현실적인 CSP소요 제기는 이들 모형에 의해 이루어지는 것이 아니라 보급업체의 제시자료에 주로 의존하여 관행적으로 이루어지고 있는 상태이다. 따라서 CSP의 소요산출이 부정확하여 매년 초과품 또는 재고고갈품이 발생하고 있어 장비의 활용도를 하락시킬 뿐 아니라 경제적 군 운영이란 측면에서도 문제점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 기존 CSP소요판단 모형의 몇 가지 단점들을 보완하고 보다 쉽게 정책적 판단에 이용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 고장을 자료의 획득 및 분석

CSP 적정 소요를 계산하는데 가장 필수적인 제원은 장비와 부품의 고장율이다. 기존 장비의 고장

율을 얻는 것은 어렵지 않은 일이나 신규장비의 경우 고장율 자료를 얻는 방법은 시험평가에 의한 방법이나 유사 장비의 사용실적에 의해 얻는 방법 등이 있다.([8], [9]) 이중 유사장비에 의해 고장율을 얻는 방법보다는 시험평가에 의해 고장율을 얻는 방법을 통해 보다 정확한 고장율 제원을 얻을 수 있겠으나 흔히 이용되지 않을 뿐 아니라 시험평가에 의해 얻어진 제원은 표준적인 상황에서 얻어지는 고장율이므로는 실제 작전환경에서 발생할 고장률과는 차이를 보일 것이다. 이에 비해 유사장비의 사용실적에 의해 구해진 고장율은 실제의 작전환경에서 발생할 고장률을 나타낸다고 볼 수 있다.

고장율을 구한 다음에는 이를 통계적 방법의 하나인 군집분석(Cluster analysis)을 이용하여 분류, 정책적 판단에 도움이 되도록 할 수 있다. 군집분석은 많은 자료들 상호간의 유사성을 분석하고 유사한 자료들끼리 분류하는 통계기법의 하나이다.

군집분석을 이용하기 위해서는 먼저 모든 부품의 고장율을 구하여야 한다. 군 내에 M종류의 장비와 K종류의 CSP 대상부품이 존재한다고 하자. 그러면 각각의 부품의 고장율 추정치를 λ_{ij} 라 할 때 <표 1>을 구성할 수 있다.

<표 1> 고장율 제원 기록표

장비 종류	1	2	...	i	...	M
1						
2						
⋮						
j				λ_{ij}		
⋮						
K						

군집분석이란 각각의 고장율 λ_{ij} 들간의 유사성을 비교하여 유사한 고장율들끼리 묶어 집단화시키는 방법이다. 따라서 클러스터분석을 통해 총 $M \times K$ 개의 고장율들이 몇 개의 집단으로 구분된다. 일단 고장율 λ_{ij} 가 특정한 집단에 속하는 것으로 판단되면 이후의 CSP소요 분석에서 고장율을 λ_{ij} 가 아닌 λ_{ij} 가 속한 집단의 대표값을 이용하게 된다. 이렇게 되면 모든 장비의 모든 품목에 대한 고장율이 대표적인 몇 개의 값으로 집약되므로 CSP소요 결정모형도 몇가지로 표준화되고 단순화되어 CSP소요 결정에 드는 시간이 줄어들 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 군집분석 방법 중 비계층적 방법을 이용하고자 하며 분류될 군집의 수를 사전에 제한하지 않는 비계층적 방법을 이용하고자 한다. 비계층적 군집분석방법은 연구자에 따라 여러 가지가 제시되고 있다.([13]) 이중 ISODATA법은 자료를 할당할 때마다 클러스터의 중심(重心, centroid)을 갱신하지 않고 최초 설정된 핵을 그대로 이용함에 따라 계산이 간편하고 쪼개기 과정에서 군집간의 표준편차를 계산하여 적절한 범위의 군집을 설정하므로 군집내의 동질성이 충분히 검증된다는 점에서 본 연구에서 이용하기에 적절한 방법으로 판단되어 이를 이용하고자 한다.

2.1 ISODATA법

ISODATA법은 Stanford Research Institute에서 개발되었으며 이후 여러번 수정되어 이용되었다. ([15]) 다음은 ISODATA법을 간단히 설명한 것이다.

제 1 단계 : 통제모수(control parameter)의 선정
다음과 같은 통제모수를 결정한다.

k : 초기 클러스터의 수

$NPARTS$: 초기반복횟수

$NWRDSD$: 클러스터 수의 기준값

$NCLST$: 클러스터 통합횟수

Θ_N : 최소 클러스터 크기

Θ_E : 쪼개기/붙이기 모수

Θ_C : 최소 클러스터 거리

$ITERMAX$: 최대반복횟수

제 2 단계 : 핵(seed) 선정

핵을 선정하는 방법으로는 여러 가지 방법이 있는데([14], [16], [18], [20], [21]) 군집분석을 실시하고자 하는 자료의 성격에 따라 다른 방법들이 이용되고 있다. ISODATA법에서는 특정한 방법에 대해 논하고 있지 않고 적절한 방법에 의해 핵의 선정이 이루어지는 것으로 간주한다.

제 3 단계 : 초기 분할

제 2 단계에서 구한 핵(seed)을 이용하여 클러스터를 만든다. 즉 각각의 자료들을 가장 가까운 핵(seed)에 포함시켜 클러스터를 만든다. 다른 방법들이 자료가 하나씩 추가되거나 삭제되는대로 각 클러스터의 중심(重心)을 계산하여 핵(seed)을 갱신하는 것과는 달리 ISODATA법에서는 자료가 모두 할당될 때까지 핵(seed)은 갱신되지 않는다. 일단 자료가 모두 할당되면 k 개의 초기 클러스터의 중심(重心)을 계산하여 이를 새로운 핵(seed)으로 삼아 자료를 재할당한다. 이 과정을 수렴될 때까지 계속한다. 만일 수렴되지 않는다면 반복횟수가 $NPARTS$ 이 도달할 때까지 계속한다.

제 4 단계 : 이상값(outlier)의 식별

k 개의 클러스터중 크기가 Θ_N 보다 적은 것을 버린다. 이 자료는 이후의 분석에서 고려하지 않는다.

제 5 단계 : 붙이기(lumping)와 쪼개기(slitting)

다음의 규칙에 따라 붙이기와 쪼개기를 반복한다. 쪼개기란 한 개의 클러스터를 두 개로 분리하는 것이고 붙이기란 두 개의 클러스터를 한 개로 만드는 것이다.

붙이기는 클러스터 중심(重心)간의 거리(이를 클러스터간의 거리라 한다)가 θ_c 보다 적은 것들을 하나의 클러스터로 통합하는 것으로 새로운 클러스터의 중심(重心)을 이용하여 다른 클러스터들간의 거리를 계산하여 통합을 계속할 것인지를 결정한다. 만일 통합이 연속적으로 이루어지는 경우 한 번의 붙이기 과정에서 최대 $NCLST$ 번 통합한다.

한편 쪼개기는 큰 클러스터를 두 개의 작은 클러스터로 쪼개는 것으로 클러스터의 표준편차가 ($\theta_E \times$ 모든 자료를 이용해 구한 표준편차)보다 큰 클러스터를 클러스터에 속한 자료들의 평균을 구해 이보다 큰 자료와 작은 자료로 분리한다. 이때 만일 자료가 다변량인 경우 클러스터의 표준편차는 최대 분산을 갖는 변량의 표준편차로 정의한다. 분리된 자료들의 중심(重心)이 θ_c 보다 크면 분리를 허용하고 그렇지 않으면 분리시키지 않는다.

a. 만일 현재의 클러스터 수가 $NWRDSD$ 의 2배보다 많거나 같으면 붙이기를 한다.

b. 만일 현재의 클러스터 수가 $NWRDSD$ 의 1/2배보다 적거나 같으면 쪼개기를 한다.

c. 만일 현재의 클러스터 수가 $NWRDSD$ 의 1/2배보다 많고 $NWRDSD$ 의 2배보다 적으면 홀수번 쪼개기와 짝수번 붙이기를 시행한다.

제 6 단계 : 반복과정

새롭게 형성된 클러스터의 중심(重心)으로 새로운 핵(seed)을 계산하고 제 3 단계 과정을 반복한다.

제 7 단계 : 반복과정

제 4 단계로부터 제 6 단계를 수렴할때까지 반복한다. 만일 수렴하지 않을 경우 $ITERMAX$ 번 반복한다.

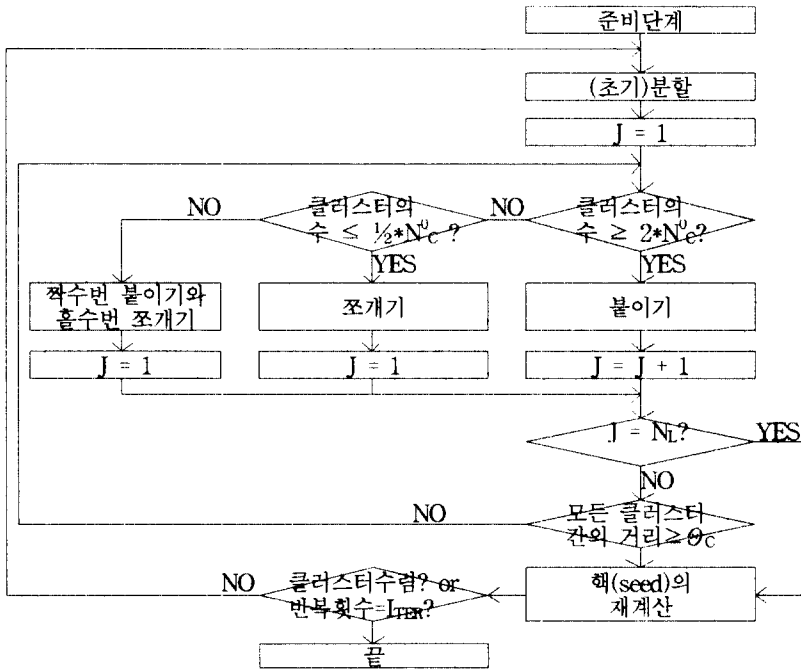
2.2 고장율 자료의 군집분석 모형

고장율 자료는 $\{\lambda_{ij}\}_{M \times K}$ 형의 행렬형 자료로 간주할 수 있고 스칼라형 자료로 간주할 수 있다. 본 연구에서는 고장율을 분석하여 동일한 고장율을 갖는 장비와 부품군을 식별하는 것이 목적이므로 행렬형자료가 아닌 스칼라형 자료로 이용하고자 한다.

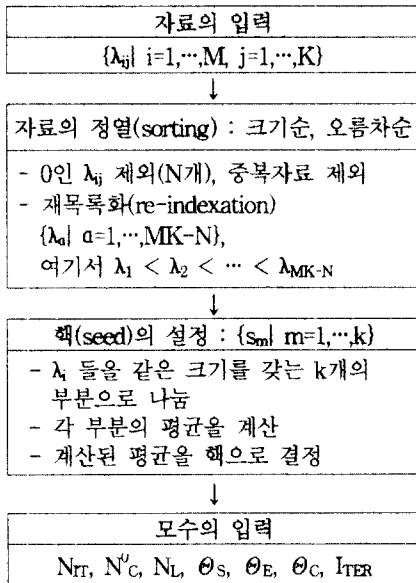
고장율 자료 $\{\lambda_{ij} | i=1, \dots, M, j=1, \dots, K\}$ 를 크기순으로 정렬시키면 최초 N 개는 0이 나올 것이고 나머지 $MK - N$ 개의 0이 아닌 자료를 얻을 수 있을 것이다. 이렇게 0이 아닌 고장율 자료 중 동일한 값을 갖는 것을 제외시키고 나서 다음의 절차로 군집분석을 실시한다.

2.2.1 핵(seed)의 선정 및 초기분할

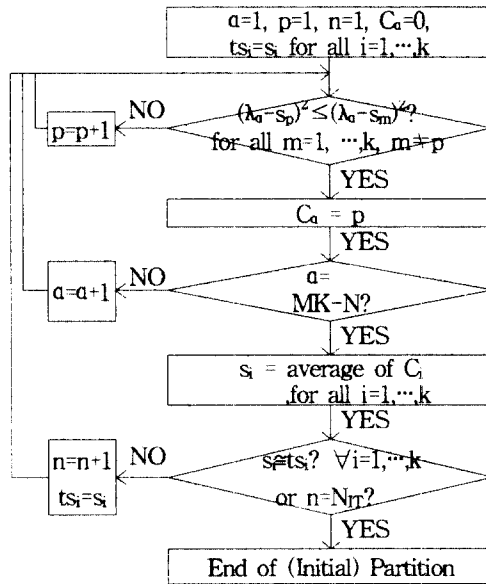
0이 아닌 고장율 $MK - N$ 개중 A 개가 중복되어 있다고 하자. 그러면 중복된 자료를 제외한 자료는 모두 $MK - N - A$ 개가 된다. 이를 같은 크기를 갖는 k 개의 부분으로 초기분할을 실시한 후 각 분할 내의 평균값을 최초의 핵으로 결정한다. 이는 실제의 고장율자료의 분포가 그리 넓은 범위가 되지 않을 것으로 판단되어 초기분할이 최종 결과에 큰 영향을 미치지 않으리라고 판단되므로 계산 과정의 간편성과 용이성을 얻기 위한 방법이다.



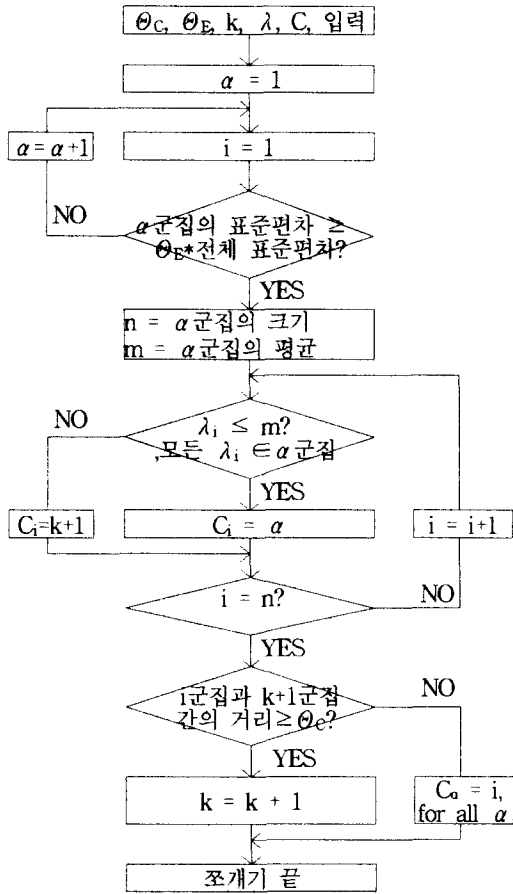
<그림 1> 전체 흐름도



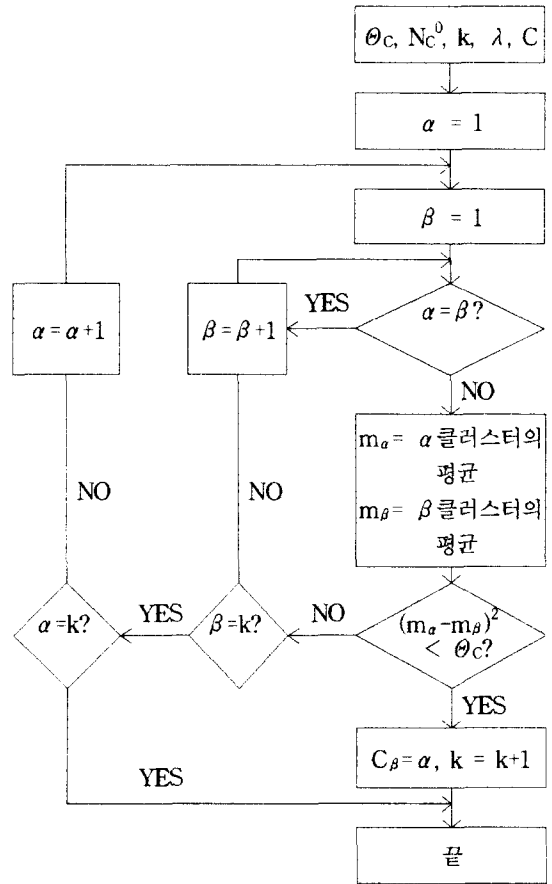
<그림 2> 준비단계



<그림 3> 초기분할



<그림 4> 또개기 흐름도



<그림 5> 붙이기 흐름도

2.2.2 군집분석 절차

고장율자료간의 유사도는 차(差)의 제곱 즉, 유클리드 제곱거리로 정의한다. 따라서 두 고장율 λ_{ij} 와 λ_{kl} 간의 유사도 s 는 $s = (\lambda_{ij} - \lambda_{kl})^2$ 과 같이 정의된다. 또 클러스터간의 유사도는 ISODATA방법에서와 같이 각 클러스터간의 중심(重心)간의 유클리드 제곱거리로 정의한다. 본 연구에서는 고장율자료를 스칼라형으로 다루고자 하므로 각 클러스터간의 중심(重心)은 클러스터내의 자료점들의 산술평균과 같다. 따라서 클러스터간의 유사도는 각 클러스터들의 평균의 차(差)의 제곱으로 정의된다.

군집분석을 위한 흐름도는 <그림 1> ~ <그림 5> 와 같다.

군집분석에 의해 구해진 k 개의 클러스터에 대해 각각의 평균 $\lambda_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, k\}$ 를 구한 후 이를 i 군집의 평균고장율이라 한다. 이후 각 장비의 부품들을 군집번호에 따라 분류한 후 CSP 소요 결정시에 각 군집의 평균고장율을 이용하여 결정한다. 이는 신규장비의 CSP 소요 결정시에도 적용될 수 있으므로 동종의 유사장비의 유사부품에 대한 군집분류번호를 결정해 평균고장율을 이용하여 CSP 소요를 결정한다. 전술한 바와 같이 이상의 군집분석을 이용하는 경우 일단 개별 장비/부품별로 구해진 고장율을 이용하는 것이 아니라 그 고장율이 속하는 집단의 대표값을 이용하게 되므로 고장율 제원의 수가 줄어들고 CSP소요 결정 모형의 초기 투입 변수를 단순화, 표준화할 수 있다는 장점이 있다.

3. 적정 CSP 소요 판단 모형

적정 CSP 소요 판단 모형으로 가장 최근에 개발된 것은 국방대학원의 연구([2])에서 제시된 모형(이하 K모형)과 이성백([11])의 모형(이하 L모형)이다. K모형의 경우 부품의 수요분포를 이항분포로 하여 다른 모형에 비해 정확성을 높였다는 장점이 있으며 L모형의 경우 모형의 목적함수로 장비별 목표운용가용도를 설정하여 실제 작전환경에 부합된다는 장점이 있다. 본 모형은 이 두 모형의 장점을 종합하여 보다 용이한 계산과정으로 보다 정확한 해를 구할 수 있도록 개발하였다.

3.1 모형의 설계

장비의 부품 i 의 고장율이 λ_i 와 같이 결정되었다고 하자. 부품 i 가 주어진 고장율 λ_i 하에서 k_i 개가 고장날 확률을 $\Pr(k_i | \lambda_i)$ 와 같이 나타내고 부품 i 의 재고보유량을 s_i , 장비의 목표운용가용도를 A_g , 단위기간당 평균 장비배치대수를 M , CSP운용기간을 T , 부품 i 의 장비 대당 구성수를 Q_i 라 한다. 장비의 목표운용가용도를 초과하는 장비 수를 y (허용 고장 장비 대수)라 하면 y 는,

$$y = (1 - A_g) \cdot M \cdot T$$

만일 동류전용이 허용되고 다른 부품의 고장이 없는 상태에서 부품 i 의 고장부품수 k_i 가 재고보유량과 허용고장장비내의 부품 i 의 개수의 합보다 작거나 같다면 장비의 목표운용가용도는 충족된다. 즉, 목표운용가용도를 충족시킬 조건은

$$k_i \leq s_i + (1 - A_g) \cdot M \cdot T \cdot Q_i = s_i + y \cdot Q_i$$

따라서 다른 부품의 고장이 없는 경우 부품 i 의 고장에도 불구하고 장비의 목표운용가용도가 충족될 확률을 P_i 라 하면, 이는 고장부품수 k_i 가 $s_i + yQ_i$ 보다 작거나 같을 확률과 같으므로

$$P_i = \sum_{k_i=0}^{s_i+yQ_i} \Pr(k_i|\lambda_i)$$

한편 장비에 N 개의 부품이 있고 각 부품의 고장이 상호 독립적이라 하자. 부품들의 고장에도 불구하고 장비의 목표운용가용도가 충족될 확률을 $\Pr(S, y)$ 와 같이 표기하면 $\Pr(S, y)$ 은

$$\Pr(S, y) = \prod_{i=1}^N P_i = \prod_{i=1}^N \sum_{k_i=0}^{s_i+yQ_i} \Pr(k_i|\lambda_i)$$

여기서 $S = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_N)$: 각 부품의 재고 보유량벡터.

이상의 논의는 동류전용(cannibalization)이 허용된다는 가정하에 이루어지고 있다. 동류전용이 허용되지 않는 경우 한 부품의 고장으로 인해 사용불가능한 장비가 발생하더라도 다른 부품을 전용할 수 없으므로 한 부품의 고장이 발생하더라도 다른 부품들의 총 구성수가 달라지게 된다. 따라서 동류전용이 허용되지 않는 경우를 모형화하기 위해서는 부품 i 의 고장으로 인해 운용불가능해지는 장비대수를 포함시켜야 한다. 이 경우 모형의 설정 및 해의 결정에 필요한 시간이 많이 걸릴 뿐 아니라 필요한 CSP 수량역시 동류전용 허용시보다 매우 커지게 된다. 개념적으로 '최소비용의 원칙'을 따른다면 동류전용을 허용하는 것이 합리적이라 할 수 있다.([11])

한편 현재 우리나라의 CSP 소요정책은 일정한

비용한도를 정한 후 이 한도를 초과하지 않는 범위 내에서 CSP 소요를 제기하도록 되어있다. 따라서 우리나라에서의 CSP소요판단문제는 주어진 비용하에서 장비의 목표운용가용도를 극대화하는 재고보유량 벡터 S 의 결정문제가 된다. 이를 수학적으로 표현하면 목적함수는 장비의 운용가용도가 되고 제약 조건은 비용제약으로 나타나는 극대화문제이다.

< CSP 적정 소요 결정 모형 >

$$\max_{s_i} \Pr(S, y) = \prod_{i=1}^N \sum_{k_i=0}^{s_i+yQ_i} \Pr(k_i|\lambda_i)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^N c_i s_i \leq A$$

여기서 λ_i : 부품 i 의 고장율.

$\Pr(S, y)$: S 의 CSP구매시 목표운용 가용 장비대수 y 가 충족될 확률.

$\Pr(k_i|\lambda_i)$: 고장율 λ_i 하에서 k_i 개가 고장날 확률.

s_i : 부품 i 의 적정 CSP수량, 0보다 크거나 같은 정수.

A : 장비별 CSP 구매가능총액.

$y = (1 - A_g)MT$: CSP운용기간동안의 허용 고장 장비 대수.

A_g : 장비의 목표운용가용도.

M : 단위기간당 평균 장비배치대수 혹은 시간가중 평균장비 운영대수(time weighted average month program).

T : CSP 운용기간.

Q_i : 부품 i 의 장비대당 구성수.

한편 위 문제의 목적함수는 곱(multiplication)의 형태로 되어 있어 계산시 많은 시간이 소요될 수 있다. 따라서 목적함수에 자연대수(natural logarithm)을 취하면 목적함수를 보다 계산이 용이한 합(summation)의 형태로 바꿀 수 있다. 이 변환이 목표함수의 단조변환(monotonous transformation)이므

로 해는 원 문제의 해와 달라지지 않는다. 따라서 변형된 극대화문제는

$$\max_{s_i} \log \Pr(S, y) = \sum_{i=1}^N \log \left\{ \sum_{k_i=0}^{s_i+yQ_i} \Pr(k_i|\lambda_i) \right\}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^N c_i s_i \leq A$$

이 모형의 해 $S^* = (s_1^*, s_2^*, \dots, s_N^*)$ 에서 s_i^* 가 0 이 아닌 값을 갖는 품목이 CSP 품목이 된다.

3.2 고장확률분포함수

부품 i 가 주어진 고장율 λ_i 하에서 k_i 개가 고장날 확률 $\Pr(k_i|\lambda_i)$ 는 적정 CSP 선정모형에서 매우 중요한 요소로 확률밀도함수를 어떻게 선정하는가에 따라 모형의 해가 매우 달라질 수 있다. 따라서 고장확률분포함수의 형태에 대한 가정은 고장율의 획득만큼이나 CSP 선정모형에서 중요한 역할을 하는 것이라 할 수 있다. 고장확률분포함수는 이항분포나 포아송분포가 이용된다. K모형의 경우 고장확률분포함수는 이항분포를 이용하였다. 즉, 고장율 λ_i 하에서 총 부품수 MTQ_i 중 k_i 개가 고장날 확률 $\Pr(k_i|\lambda_i)$ 는

$$\Pr(k_i|\lambda_i) = {}_{MTQ_i}C_{k_i} \lambda_i^{k_i} (1-\lambda_i)^{MTQ_i-k_i}$$

한편 L모형의 경우 고장확률분포함수로 포아송분포를 이용하였다. 즉, 고장율 λ_i 하에서 총 부품수 MTQ_i 중 k_i 개가 고장날 확률 $\Pr(k_i|\lambda_i)$ 는

$$\Pr(k_i|\lambda_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{k_i}}{k_i!}$$

계산상의 용이성면에서 포아송분포가 쉽고 간편하며 MTQ_i 가 크고 k_i 의 값이 작은 경우 두 분포를 이용해 얻은 해는 거의 일치하나 MTQ_i 의 값이 작거나 k_i 의 값이 커질수록 포아송분포와 이항분포간에 차이가 커지게 된다. 따라서 K모형에서는 포아송분포와 이항분포간의 차이를 지적하며 이항분포를 이용할 것을 권하고 있으며 이항분포를 계산이 간편하도록 변형하여 이용하고 있다.([2]) K모형의 연구결과를 이용하여 $\Pr(k_i|\lambda_i)$ 을 구하면

$$\Pr(k_i \geq 1 | \lambda_i) = {}_{MTQ_i}C_{k_i} \lambda_i^{k_i} (1-\lambda_i)^{MTQ_i-k_i}$$

$$= \frac{(MTQ_i - k_i + 1)}{k_i} \times \frac{\lambda_i}{(1-\lambda_i)} \Pr(k_i - 1 | \lambda_i)$$

$$\Pr(k_i = 0 | \lambda_i) = (1-\lambda_i)^{MTQ_i}$$

본 연구에서는 고장확률분포함수로 K모형에서와 같이 이항분포를 이용하기로 한다. 변형된 공식을 이용하는 경우 계산에 소요되는 시간이 짧아지므로 이항분포를 이용할 경우 발생하는 계산상의 난점을 해결할 수 있다. 따라서 최적 CSP 결정모형을 정리하면

<최적 CSP 결정모형>

$$\max_{s_i} \log \Pr(S, y) = \sum_{i=1}^N \log \left\{ \Pr(0|\lambda_i) + \sum_{k_i=1}^{s_i+yQ_i} \frac{(MTQ_i - k_i + 1)\lambda_i}{k_i(1-\lambda_i)} \Pr(k_i - 1 | \lambda_i) \right\}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^N c_i s_i \leq A$$

여기서 $\Pr(0|\lambda_i) = \Pr(k_i=0|\lambda_i) = (1-\lambda_i)^{MTQ_i}$.

하는 해를 찾아나가는 과정이다. 먼저 탐색조건은 다음과 같다.

3.3 최적해의 결정

최적해 결정 과정은 L모형의 결정과정과 동일하다. 다만 L모형에서는 고장확률분포함수가 제약조건으로 이용된 것에 비해 본 모형에서는 비용함수가 제약조건으로 이용된다.

탐색조건

$$\max_i \left\{ \frac{\log \Pr(S^i(r), y)}{c_i} - \frac{\log \Pr(S(r), y)}{c_i} \right\}$$

여기서

$$\log \Pr(S(r), y)$$

$$= \sum_{i=1}^N \log \left\{ \Pr(0|\lambda_i) + \right.$$

$$\left. \sum_{k_i=1}^{s_i^r+Q_i} \frac{(MTQ_i - k_i + 1)\lambda_i}{k_i(1-\lambda_i)} \Pr(k_i-1|\lambda_i) \right\}$$

$S(r) = (s_1^r, s_2^r, \dots, s_i^r, \dots, s_N^r)$ 은 r 번째 반복과정의 초기치로 $r-1$ 번째 반복 과정에서 얻어진 해.

$$S^i(r) = (s_1^r, s_2^r, \dots, s_i^r + 1, \dots, s_N^r).$$

3.3.1 초기치의 결정

초기치를 최적치에 최대한 근접시킬수록 탐색과정의 효율성이 증대되게 된다. L모형에서는 초기치 선정조건으로 자신의 CSP결정모형의 제약조건을 충족하기 위한 필요조건을 이용할 것을 권하고 있다. 즉 개별 부품들에 대해 $\Pr(k_i|\lambda_i) \geq \alpha$ 인 최초의 k_i 들을 이용하는 것이다.

이 조건은 $r-1$ 번째 반복과정에서 얻어진 해를 개선하고자 할 경우 어떤 부품을 구매하는 것이 좋을지 결정하는 조건으로 부품을 하나 더 구매할 때 부품가격 1원당 목적함수 개선에 기여하는 비중이 가장 큰 부품이 어떤 것인지를 찾는 과정이다. 이 탐색과정에서 i^* 번째 부품이 선정되었다면 이 해가 최적해 선정조건을 충족하는지 알아본다.

그러나 본 모형에서는 제약조건이 비용함수로 주어지므로 L모형에서와는 다른 초기치 결정모형이 필요하다. 만일 장비가 신장비로 운영체원이 전혀 없는 경우 본 모형에서는 초기치로 $S=0=(0,0,\dots,0)$ 을 사용할 것을 권한다. 이 경우 탐색과정의 효율성이 다소 상실될 수 있으나 해의 결정과정에서 실제로 어떤 부품의 경우 0의 값을 가질 수 있으므로 적절한 선정이라 할 수 있다. 만일 장비의 운영체원을 구할 수 있는 경우 실제로 소요된 CSP에서 적당수를 감하여 초기체원으로 이용하는 것이 좋다.

최적해 선정조건

$$\begin{aligned} c^* \cdot S^i(r) &= \\ c_1 s_1^r + c_2 s_2^r + \dots + c_i (s_i^r + 1) + \dots + c_N s_N^r &\leq A \end{aligned}$$

3.3.2 최적해의 탐색

초기 CSP 소요량이 결정되면 이를 이용하여 목적함수값을 개선하는 해를 탐색해 나간다. 최적해의 탐색과정은 탐색조건과 최적해 선정조건을 만족

이는 탐색조건을 충족하는 해가 주어진 구입비용으로 구입가능한 해인지 판단하는 것으로 비용제약식을 충족하는지를 결정하는 것이다. 만일 $S^i(r)$ 가 최적해 선정조건을 충족한다면 이를 r 번째 반복과정의 해로 간주하고 $r+1$ 번째의 반복작업을 위한

정의 해로 간주하고 $r+1$ 번째의 반복작업을 위한 초기치로 이용한다. 즉, $r+1$ 번째 반복과정에서는 $S(r+1) = S^r(r)$ 을 대입하고 다시 탐색조건을 충족하는 부품을 선정한다. 이 경우 탐색조건은 다음과 같다.

r 번째 해가 최적해 선정조건을 충족하는 경우의 탐색조건

$$\max_i \left\{ \frac{\log \Pr(S^i(r+1), y)}{c_i} - \frac{\log \Pr(S(r+1), y)}{c_i} \right\}$$

여기서

$$S(r+1) = (s_1^{r+1}, s_2^{r+1}, \dots, s_i^{r+1}, \dots, s_N^{r+1});$$

$r+1$ 번째 반복의 초기치.

$$S^i(r+1) = (s_1^{r+1}, s_2^{r+1}, \dots, s_i^{r+1} + 1, \dots, s_N^{r+1})$$

만일 $S^r(r)$ 가 최적해 선정조건을 충족시키지 못한다면 i^* 번째 부품을 제외한 다른 부품들중 단위 구입비용당 목적함수 개선 기여도가 가장 높은 부품을 찾는다. 따라서 탐색조건은 다음과 같이 변형된다.

r 번째 해가 최적해 선정조건을 충족하지 않는 경우의 탐색조건

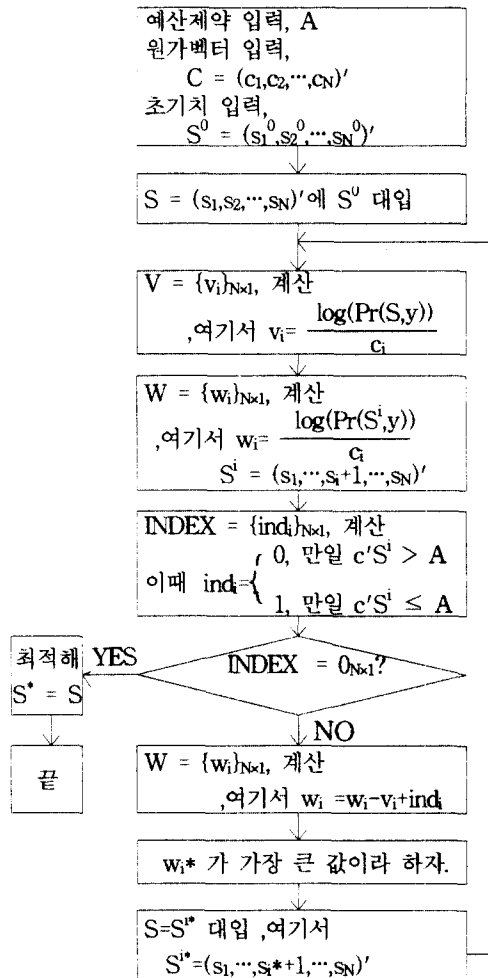
$$\max_{i \neq i^*} \left\{ \frac{\log \Pr(S^i(r), y)}{c_i} - \frac{\log \Pr(S(r), y)}{c_i} \right\}$$

여기서 $S(r) = (s_1^r, s_2^r, \dots, s_i^r, \dots, s_N^r)$: r 번째 반복에서 얻어진 해

$$S^i(r) = (s_1^r, s_2^r, \dots, s_i^r + 1, \dots, s_N^r)$$

이렇게 탐색조건과 최적해 선정조건을 반복적으로 충족시켜가면서 최적해를 구한다. 최종적인 해는

탐색조건을 충족한 모든 i 에 대해 최적해 선정조건이 충족되지 않을 때 구해진다. 즉, n 번째 반복에서 구해지는 해가 최적해라면 $n+1$ 번째 탐색과정의 초기치(= n 번째 탐색과정의 최적해) $S(n+1)$ 에 대해서는 탐색조건과 최적해 선정조건이 충족되지만 모든 i 에 대해 $S^i(r+1)$ 은 최적해 선정조건이 충족되지 않는다. 이를 바탕으로 <그림 6>과 같은 최적해 탐색 흐름도를 만들 수 있다.



<그림 6> 최적해 탐색 흐름도

4. 요약 및 결론

이상에서 본 연구는 기존의 CSP 품목 및 수량결정 모형의 미비점을 보완한 CSP 적정 소요 판단 모형을 제시하였다. 본 연구의 특징적인 점은 다음과 같다.

첫째, 고장을 자료를 분석하여 군집화할 수 있도록 함으로써 CSP소요 결정에 필요한 고장율 자료의 수를 감소시켜 의사결정 과정의 효율성을 증진시키고자 하였다.

둘째, CSP수량 결정 모형의 해를 구하는 과정에서 0이 아닌 해를 갖는 품목을 CSP 품목으로 선정하게 되므로 CSP수량과 품목을 동시에 결정할 수 있도록 하였다.

셋째, 기존모형이 일단 해를 구한 후 예산제약에 따라 해를 개선하는 작업을 하는데 비해 예산제약을 모형의 제약식으로 이용하여 모형의 해가 곧 실제 CSP소요제기량이 될 수 있도록 하였다. 따라서 일단 결정된 해를 개선하는 과정을 없앴다.

넷째, 장비별 목표운용가용도를 목적함수로 하여 실제 작전환경에 부합하는 모형을 제시하였다.([11])

다섯째, 고장확률분포를 이항분포로 가정하여 보다 정확한 해를 구할 수 있도록 하였다.([2])

본 모형은 기존의 CSP관련 모형을 종합하고 미비점을 보완하여 보다 현실적이고 개념적으로 우수한 모형을 개발하는데 주력하였다. 그러나 본 연구에서 장비의 고장시 정비계단 및 수리기간 동안의 장비 사용불가능상황을 고려하지 않았다는 미비점이 있다. 따라서 본 모형 내에 이를 고려하여 본 모형을 확장할 수 있을 것이다. 이는 차후의 연구과제로 남겨두기로 한다.

참고 문헌

- [1] 국과연, 시스템 신뢰도 공학,NWDC-814-82015, 1982, 12.
- [2] 국방대학원, CSP적정 소요 산출 방법,국방대학원 정책연구보고서, 1990
- [3] 국방부, 국방군수용어편람, 1989.
- [4] 국방연, 종합군수지원(군수지원분석중심), 1989.
- [5] 김관영, 이승수역, 다변량 통계해석법, 자유아카데미, 1992.
- [6] 김기영, 전명식, SAS 군집분석, 고려대학교 통계연구소 통계분석강의총서 9, 자유아카데미, 1994.
- [7] 박경수, 신뢰성공학 및 정비이론, 회중당, 1987.
- [8] 박민석, 종합군수지원의 CSP 소요판단에 관한 연구, 국방대학원 석사학위논문, 1987.
- [9] 박찬익, 무기체계의 CSP 소요판단 모델 개발에 관한 연구, 국방대학원 석사학위 논문, 1990.
- [10] 육군본부, 육군규정 441-1, 13장, 동시조별 수리부속 운영, 1988.
- [11] 이성백, 무기체계 동시조달 수리부속 (CSP) 소요 적정 구매기준 연구,한국국방연구원,1994
- [12] 최기현, 응용확률론 입문, 자유아카데미, 1991.
- [13] Anderberg, M. R. Cluster Analysis for Applications, Academic Press, NY., 1973.
- [14] Astrahan, M.M.Speech Analysis by Clustering, or the Hyperphoneme Method, Stanford Artificial Intelligence Proj. Mem. AIM-124,AD 709067, Stanford Univ. Stanford, CA., 1970.
- [15] Ball, G. H. and Hall, D. J. ISODATA, A Novel Method of Data Analysis and Pattern

- Classification, AD 699616. Stanford Res. Inst., Menlo Park, CA., 1965.
- [16] PROMENADE-An On-Line Pattern Recognition System, Rep. No. RADC-TR-67-310, AD 822174, Stanford Res. Inst., Menlo Park, CA., 1967.
- [17] Doyle, L. B. Breaking the Cost Barrier in Automatic Classification, Prof. Pap. SP-2516, AD 636837, Systems Develop. Corp., Santa Monica, CA., 1966.
- [18] Forgy, E. W. Cluster Analysis of Multivariate Data : Efficiency Versus Interpretability of Classification. Biometric Soc. Meetings, Riverside, California(Abstract in Biometrics 21 No. 3, 768), 1965.
- [19] Lance, G. N. and William, W. T. " General Theory of Classifactory Sorting Strategies II. Clustering Systems." Comput. Jour. 10. No. 3, 271-276. 1967.
- [20] McQueen, J. B. "Some Method for Classification and Analysis of Multivariate Observations." Proc. Symp. Math. Statist. and Probability, 5th, Berkeley, 1, 281-297, AD 669871, Univ. of California Press, Berkeley, 1967.
- [21] McRae, D. J. "MIKCA: A FORTRAN IV Iterative K-Means Cluster Analysis Program." Behavioral Science, 16. No 4. 423-424. 1971.
- [22] Wishart, D. "An Algorithm for Hierarchical Classifications." Biometrics 22, No.1, 165-170. 1969(a).
- [23] FORTRAN II Programs for 8 Methods of Cluster Analysis(CLUSTAN I). Comput. Contrib. 38. State Geol. Survey, Univ. of Kansas, Lawrence, 1969(b).
- [24] Wolfe, J. H. "Pattern Clustering by Multivariate Mixture Analysis. " Multivariate Behavioral Res. 5. No. 3, 329-350. 1970.