

複合 武器體系 費用·效果 分析 方法論 研究

(A Stochastic Simulation Model for Integrated Weapon System Design and Performance Evaluation)

黃興錫*

Abstract

A Stochastic simulation model for optimal design and evaluation of the integrated weapon systems under the consideration of the RAM(reliability, availability and maintainability) and life cycle cost(LCC) was developed.

This model is supposed to satisfy a need regarding the methodology of optimal design and performance evaluation for both developpers and users of weapon systems.

1. 概要

본 연구는 무기체계의 획득/운용 과정에서의 주요 의사결정시 무기체계의 사용자(user), 무기체계(H/W) 및 이의 운용기술(S/W)을 고려한 무기체계 시스템효과 및 비용 분석을 위하여, RAM 환경과 순기비용(life cycle cost)을 고려한 복합무기체계의 최적 체계구성(sub-

system 또는 component)과 이의 성능평가를 위한 분석 Model의 연구이다. 이를 위하여 무기체계(또는 sub-system)의 고장 및 정비 자료로부터 가용성(availability)의 산정과 무기체계의 순기비용(LCC)을 추정하는 Stochastic Simulation Model을 개발하고 무기체계의 System 구성 및 운용에 용할될 수 있는 체계 구성 활용지수(system design value index)

* 동의대학교

를 산정하여 활용하였다.

이를 위한 Computer Program을 개발하고 대공 Missile System에 시험 적용한 결과를 제시하였다.

본 연구는 복합 무기체계의 임무 수행능력, 비용 및 가용도 등을 함께 고려한 최적 체계의 구성과 운영을 위한 분석 방안으로 활용될 수 있을 것이다.

특히 고도 무기체계일 경우 그 체계 비용이 고가이면서 Sub-System 자체의 고장 및 정비 등으로 사용하지 못하게(down)되는 경우가 많으며, 이 경우 임무수행 능력이 크게 저하되며 이로 인한 위험은 증대되는 반면 비용(LCC)은 계속 발생된다. 따라서 이러한 복합 무기체계의 설계(구성)시 Sub-System들의 가용성(availability)을 높이도록 하는 것이 매우 중요시 되고 있다. 즉 고장과 정비 및 기타 서비스 환경하에서 시스템의 임무 수행 능력을 높이기 위하여 무기체의 가용성(availability) 및 시스템 전체의 비용(LCC)을 산정하여 시스템의 최적 설계 및 운영방안을 제시하는 연구이다.

이를 위하여 다음과 같은 방법으로 연구가 추진되었다:

1) 임무수행능력(Mission Performance Rate)의 추정을 위하여 초기 시스템구성과 이에 관련된 자료로부터 CAN-Q(1)를 이용하여 시스템 임무수행능력, 임무수행 시간자료(임무수행, 대기, 전환) 및 Bottleneck Sub-system을 계산하고,

2) Stochastic Simulation Model을 개발하

여 시스템(또는 sub-system)의 고장, 정비 및 비용관련 자료로부터 시스템의 가용도(availability), 비용(LCC) 및 이의 sub-system의 관련 사항을 계산하고,

3) 위에서 계산한 결과로부터 체계구성 활용지수(system design index) 즉, 무기체계의 평균 가용도(average availability), 가용 단위시간당 비용(cost rate value), 단위임무수행당 비용(life cycle cost per mission) 및 순기비용의 현가(present worth)등을 계산하여 변경설계 및 운영의 각종 의사결정을 지원한다.

4) 위의 결과로부터 체계 변경구성(sub-system의 증감, 예비품준비)을 하여 다시 분석하고 최적해를 얻을때 까지 반복수행한다. 여기서 예비품은 Standby-System으로써 다음과 같이 획득 및 보관, 설치 미사용 및 설치 동시사용 등 3가지형태로 구분하여 적용하였다.

본 연구에서는 무기체계의 연구개발자(연구소, 방산업체)와 사용자(각군) 간의 관계를 고려하고 연구 개발시 고려될 수 있는 비용·효과와 사용시의 임무수행도 및 가용도(2)를 연계하여 상호 보완될 수 있는 분석방법이라고 볼 수 있다.

2. 關聯 既存 MODEL의 調查研究

본 연구에서는 무기체계의 사용자 및 연구개발자 차원에서 상호 보완될 수있는 무기체계

효과에 관련된 분야에 중점을 두고 무기체계의 설계(연구 개발) 비용자료, 신뢰도, 정비도 등으로부터 가용도(availability)와 비용(LCC)을 산정(추정) (4) 하고 이를 사용자의 운영자료로부터 단위 임무 수행당 비용 및 가용도를 추정하여 무기체계의 실제 운영 의사결정에 활용하는데 중점을 두었다.

가. RAM관련 技術水準

선진국의 경우 MIL-STD 및 MIL-HDBK과 각군의 군 규정등에 각각 그 예측방법과 기법 절차등이 자세히 규정되어 있는데 그예로; MIL-STD-756, MIL-HDBK-217, SP 63-467 FARADA, SP 63-470 FARADA 및 GIDEP-SUMMARIES OF FAILURE RATE DATA 등을 들수 있다. 또한 현재 많이 활용되고 있는 방법은 크게 다음과 같이 구분할 수 있다: REL. BLOCK DIAGRAM, REL. GROWTH PREDICTION, SIMULATION, TEST AND USE DATA, ANALYSIS 및 CRITICAL ISSUE SUPPORT.

國內에서는 주요 무기체계 연구개발 및 생산시 System신뢰도의 예측방법은 대부분 외국 방법(5)들을 활용하고 있으며, 각 무기체계의 특성 및 구성요소(configuration)에 따라서 달리 응용되고 있다. 각 Component 및 Part의 Failure Rate의 추정은 특정한 Test Data에 근거하여 추정하거나 유사 System의 Data를 응용하고 있다(6). System Design 단계에서의 대안비교를 위하여 System 신뢰도 예측 및 Cost와 기타 Performance등 무기체계 효과와

연관된 주요 요소를 동시에 고려하여 비교하는 실용적인 적절한 방법(7)과 절차가 없으며 주요 System의 취약점을 도출하기 위하여 주요 Sub-system 및 Component의 신뢰성을 추정하고, System의 취약점을 찾아내는 적절한 실용 Model이 없는 실정이다.

기타 신뢰도와 관련(응용)되는 분야로서 효과계산, 군수지원 및 비용 기타 분야에 응용되는 Model등이 일부 활용되고 있으며, 이들 중 SYSTEM EFF. MODEL, AVAILABILITY MODEL, SESAME MODEL, OSAMM 등을 들 수 있다.

System 신뢰도의 주요 요소인 H/W, S/W 및 Human Reliability등을 예측할 기법이 없으며, 특히 이들이 System Reliability에 어느정도 영향을 미치는지 예측할 실용적 방법이 부족한 실정이다. 국내 기술 수준을 요약하면 다음과 같다;

- . H/W 제작전 설계 단계에서 주요 신뢰성 달성 수준을 판단하고, 설계대안 비교 및 신뢰도 취약점을 도출할 수 있는 신뢰도 예측의 적절한 방법은 미비한 실정이며, 연구개발되어야 할 수준에 있다.
- . 무기체계의 신뢰도(reliability), 정비도(maintainability)등으로부터 무기체계 실제 운영시의 가용도(availability)를 분석하는 기법이 연구 발전되어야 할 것이다.

나. 費用分析 技術水準

무기체계 효과와 연관된 비용분석은 주로 연구개발 비용(원가), 생산(양산)비용추정 등으로부터 획득비용을 추정하고 무기체계의 전 순기를 통한 순기비용(life cycle cost)을 추정하여, 이를 가용도(availability) 및 무기체계 효과와 관련시켜 종합 효과분석에 활용되도록 연계되어야 한다(5).

특히 국외 도입 무기체계의 경우 설계 개발 시부터 비용 및 가용도를 위한 자료의 획득이 매우 어렵다. 최근 KIDA와 ADD에서 이에 관한 연구가 추진되었으며 이러한 연구도 무기체계 효과와 연계된 가용도 및 비용(LCC)의 종합연구에는 미치지 못하고 있으며 대부분 외국 Model들을 응용하는 실정이다.

순기비용(LCC) Model은 우선 그 활용이 용이해야 하고 이에 소요되는 자료가 방대하므로 많은 Cost Data Base가 지원되어야 한다(9). 그러므로 보다 사용이 용이하고, 시스템의 가용도 및 각종 의사결정에 쉽게 연결 활용될 수 있는 Model이 시급히 개발되어야 할 것이다.

위의 기존 자료 조사 연구결과를 종합하여 보면 다음과 같은 주요 문제점들이 보완되어야 할 것으로 판단된다:

- 1) 실제로 복합 무기체계의 경우 Sub-system 또는 주요 Component의 고장으로 시스템이 가동되지 못하고 주요 임무수행이 중단되면서도 관련 비용은 계속 발생하는 등 손실이 매우 크다. 특히 무기체계의 소요 수의 차질로 인한 배치 운영과정에서 문제

점이 있을 수 있다(8).

- 2) 복합 무기체계는 고가 장비이므로 이의 가동률(availability) 및 임무수행도(mission performance)를 무기체계의 전 사용기간에 걸쳐서 최적화 되도록 순기비용(LCC)을 함께 고려하여야 한다.

- 3) 복합 무기체계는 주로 다음 조건들에 의하여 그 성능(performance) 및 효과(effectiveness)가 현저하게 달라(개선)진다:

시스템의 RAM : 가용성(availability)
(9), (10)

시스템의 비용 : 순기비용(life cycle cost) (11)

시스템 운영기술 : 임무수행률(mission performance rate)

- 4) 위의 제조건을 함께 고려한 복합 무기체계의 설계 및 평가를 위한 분석 Model의 연구는 시스템의 성능 및 효과개선을 위하여 매우 중요시 된다.

3. 시스템 可用性 및 費用 算定

가. 復合 武器體系의 可用度 (availability) 算定

복합 무기체계의 RAM개념 정립과 가용도 산정을 위한 기본 수식을 위하여 다음과 같이 부호 및 용어를 정의하였다. 시스템 신뢰도는 다음과 같이 2가지 즉 1) 복합 무기체계가 주어진 조건하에서 요망 되는 기능을 발휘 할 수

있는 능력과 2) 고려된 운영 조건하에서 적절히 작동 될 확률로 정의 된다(3). 이러한 정의에 따라 신뢰도를 수식으로 표시하면 다음과 같다:

- 신뢰도

$$R(t) = P_r\{TTF>t\}$$

$$= 1 - F(t)$$

F(t) : Failure Distribution

TTF : Time To Failure

TTR : Time To Repair

MTTF : Mean Time To Failure

MTTR : Mean Time To repair

MTBF : Mean Time Between Failure

$$MTTF = E\{TTF\} = E\{x\}$$

$$= \int_0^{\infty} xf(x) dx$$

여기서 MTTF는 고장 수리를 하지 않는 시스템(non-repairable)에 활용되며

1) 순간 가용도(instantaneous availability)

이는 시스템의 특정 순간시점 t에서 가동상태에 있을 확률로서 다음과 같이 표시된다(14):

$$a(t) = E\{Z(t)\}$$

$$= 1 \cdot P_r\{Z(t)=1\} + 0 \cdot P_r\{Z(t)=0\}$$

$$= P_r\{Z(t)=1\}$$

$$Z(t) = \begin{cases} 1, & t \text{ 순간에 시스템이 가용} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우} \end{cases}$$

2) 평균 가용도(average availability)

이는 특정 기간내에 시스템이 가동 상태에 있을 비율로서 다음과 같이 A(t₁, t₂)로 표시된다(15):

$$A(t_1, t_2) = 1/(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt$$

t₂ - t₁ : 요망되는 기간, t₂ > t₁

고장수리를 하는 시스템(repairable system)에는 MTBF가 사용된다. 이 두가지 모두가 시스템 신뢰도의 척도로 사용된다.

정비도(maintainability)는 고려된 시스템이 고장 시점으로부터 정상가동으로 될 확률로 정의되며(12), 다음과 같은 수식으로 주어진다.

$$M(t) = P_r\{TTF>t\}$$

$$= \int_0^t g(s) ds$$

$$= G(s)$$

$$MTTR = \int_0^{\infty} yg(y) dy$$

G(s) : TTR의 CDF

MTTR : Mean Time to Repair

일반적으로 시스템가용도(availability)는 시스템이 요망되는 기능으로 사용되는 시간의 비율로 정의되며 다음과 같이 3가지 개념(13)으로 표시할 수 있다;

3) 균형 가용도(Equilibrium Availability)

이는 위에서 고려된 기간이 충분히 길 경우 가동 시간의 비율로서 표시된다. 본 연구에서는 이를 다음과 같이 A_e 로 표시하고 시스템 가용도로 사용하였다;

A_e : 고려된 기간이 충분히 클 경우,
시스템이 가용상태일 확률

$$A_e = \frac{\text{기간}(0, t) \text{ 동안의 총 가동시간(Total Uptime)}}{\text{총 가동시간} + \text{총 정지시간(Total Downtime)}}$$

$$= \frac{(0, t) \text{ 동안의 총 가동시간}}{\text{Cycle Time}}$$

$$A_e = \lim E \left[\frac{U_1 + U_2 + \dots + U_{N(t)}}{U_1 + U_2 + \dots + U_{N(t)} + V_1 + V_2 + \dots + V_{N(t)}} \right]$$

$$= \frac{EU}{EU + EU}$$

U_i : i번째의 시스템이 가동상태에 있을 시간길이를 나타내는 확률변수

V_i : i번째 기간에 시스템의 Down Time의 길이를 나타내는 확률변수

주어진 시스템의 가용도를 산정하기 위하여 먼저 시스템의 고장 발생과정(failure process) 신뢰도 Parameter, 정비과정(maintenance process) 및 시스템 정비도 Parameter를 결정하여야 하며 시스템의 구성(각 하부시스템 또는 주요 부품의 연결 및 각 기능의 구성)을 고려 하여야 한다.

나. 시스템 구성

본 연구에서 고려된 복합 무기체계의 시스템 구성은 주요 Sub-system 및 Component를 직렬 및 병렬 시스템으로 구성하였으며 특히 시스템 구성의 대안을 위하여 예비 시스템(standby system)을 다음 그림과 같이 고려

하였다.

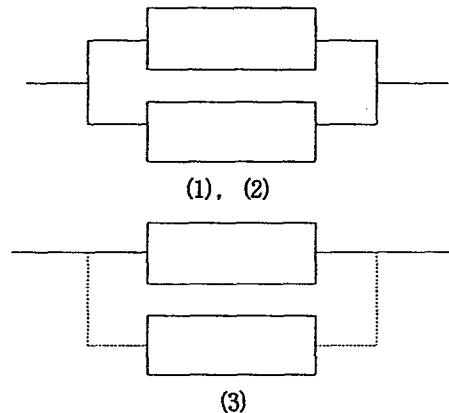


그림 1. 예비 시스템(Standby)

이는 한 하부시스템(또는 component)에 예비시스템을 두어 본 시스템의 고장시 대체 운용하도록 하는 시스템으로 다음과 같이 3가지

Type, (1)설치·사용 예비시스템, (2)설치·
 미사용 예비 시스템 및 (3)미설치 보관 예비
 시스템으로 구분 된다.

1) 순기비용 산정 수식
 시스템의 비용 산정을 위하여 다음과 같이
 순기비용(life cycle cost)개념을 고려 하였으
 며 비용 요소 및 이의 계산식은 다음과 같다:

다. 시스템 循期費用 算定

$$\begin{aligned} \text{TCOST} &= \text{고정비} + \text{변동비} \\ &= \text{고정비} + \text{수정 정비비} + \text{총 예방 정비비} + \text{간접비} \\ &= CA + \sum_{j=1}^n C_j(t) + B_j * CP_j(t) + \text{LCOS} \end{aligned}$$

$$CA = C_F + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{M_j} CAP_j * \text{Exp}(-rI_{ji})$$

$$\text{LCOS} = \sum_{j=1}^n \alpha_1 * C_j(t) + \alpha_2 * B_j * CP_j(t)$$

위 식을 정리하면,

$$\begin{aligned} \text{TCOST} &= C_F + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{M_j} CAP_j * [\text{Exp}(-rI_{ji})] + \sum_{j=1}^n \alpha_1 * \sum_{k=1}^{N_j(t)} a_j * \\ &V_{jk} \text{Exp}(-rT_k) + \sum_{j=1}^n \alpha_2 * B_j \sum_{i=1}^{K_j(t)} a_j * Y_{ji} \text{Exp}(-rT_i) \end{aligned}$$

여기서

- C_F : 초기 시스템 투자비
- $C_j(t)$: 총 정비비
- M_j : Component j의 숫자
- $N_j(t)$: 기간 (0, t) 동안 Component j의 총 수정회수
- B_j : 1 or 0 (예방정비시 1)
- $CP_j(t)$: 총 예방 정비비
- LCOS : 총 물품지원비
- CAP_j : j 부분품의 획득비용
- α_1, α_2 : 수정 정비비용 비율, 예방 정비비용 비율
- r : 이자율
- I_{ji} : 현 시점과 j Component의 i부품의 단위 획득사이의 시간간격
- Y_{ji} : i번째 예방정비를 위한 j Component의 Down시간(확률변수)

2) 순기비용 및 가용성 분석의 관계
 무기체계 설계(구성)시부터 설계시스템의 효
 율을 높이기 위하여 요망되는 가용도(available-

bility)의 충족과 최저비용 설계를 위하여 순기
 비용 및 가용도는 밀접한 관계를 갖는다.

즉 무기체계의 정지시간, 정비 및 교체가 운용간의 시스템 비용발생의 주요 요소들이며 이러한 요소들을 설계시부터 고려하여야 한다.

효과적인 복합 무기체계 설계(구성)는 시스템의 순기비용과 가용성을 동시에 고려하여야

한다. 이와 같이 순기비용과 가용성을 동시에 고려한 복합 무기체계의 최적설계 대안분석을 위하여 다음과 같은 설계지수(Design Value Index; DVI)를 산정 활용 하였다.

$$\begin{aligned}
 DVI_1 &= \frac{\text{순기비용의 현가}}{\text{순기 임무수행량}} \\
 &= \frac{TCOST}{A_e \cdot t \cdot R} \quad (W/Mission) \\
 DVI_1 &= \frac{\text{순기비용의 현가}}{\text{총 운영 가용시간}} \quad (W/Unit \text{ Time}) \\
 &= \frac{COS_1(t)}{a_1(t) \cdot t}
 \end{aligned}$$

위에서 DVI_1 을 이용시는 설계 대안 비교시 주로 단일 형태의 임무수행시 유용하며 다음과 같다.

$$L^* = \text{Min} \{ DVI_{1\ell}, \ell = 1, 2, \dots, L \}$$

여기서, DVI_2 을 이용시는 주로 다양한 임무수행시에 유용하며 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$i^* = \text{Max} \left\{ \frac{1}{DVI_{2\ell}}, \ell = 1, 2, \dots, L \right\}$$

4. 시스템 設計 및 評價를 위한 確率的 시뮬레이션 Model

가. 概要

복합 무기체계의 최적설계(구성)를 위하여 Sub-System 및 Component들의 가용성을 높이는 것이 중요하다. 시스템의 임무수행도를 높이기 위하여 다음과 같이 시스템의 가용도 및 순기비용을 산정하여 동시에 고려하였다.

<그림 2>에서와 같이 System의 구성으로 부

터 시스템 가용도(availability) 및 비용(LCC) 추정을 하고 다음과 같은 설계활용지수(design value index) 즉, ① System의 평균 가용성(average availability), ② 가용단위시간당 비용(cost rate value), ③ 단위 임무수행당 비용(life cycle cost per unit)을 추정하여 System의 개량설계에 활용하였다.

위의 초기 시뮬레이션 결과로부터 Sub-system의 증감, Component의 증감 및 예비품(standby modes별)의 활용 등으로 System을 재설계하여 위의 과정을 재평가 하며, 만족한 결과를 얻을 때 까지(stopping rule 적용) 되풀이 하여 최적시스템을 구한다.

- 시스템(혹은 sub-system)의 RAM

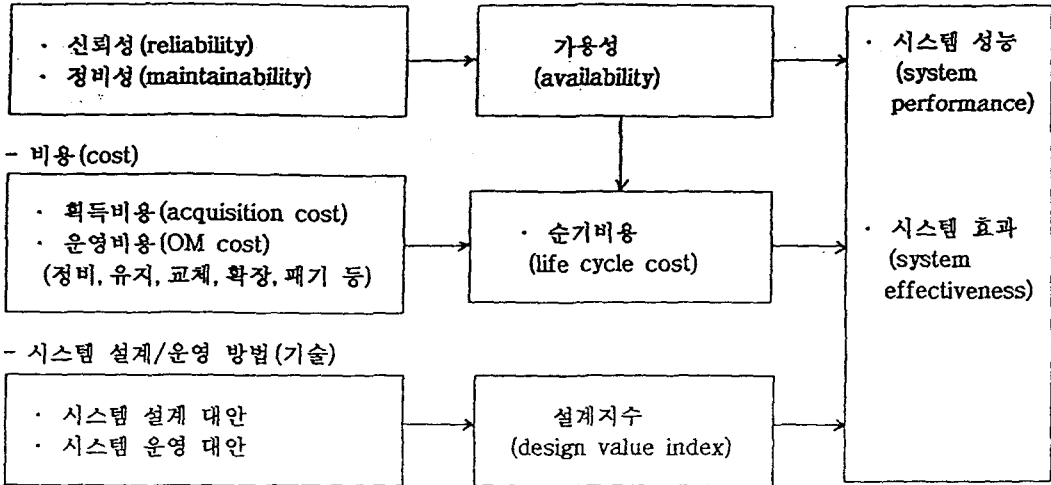


그림 2. Simulation Model 개요

나. 시뮬레이션 Model

복합 무기체계의 최적설계 및 평가를 위하여 다음과 같이 2단계의 시뮬레이션 Model을 고려하였으며, 이를 위하여 첫단계 Simulation으로 RAM 자료를 고려하지 않고($A_a=0$) CAN-Q(1)를 이용하여 초기 시스템 설계자료만을 고려한다.

다음 단계로 RAM 자료를 고려한 Simulation을 수행 하며, 이의 Simulation 과정을 <그림 3>과 같이 표시하였다.

1) Simulation A (CAN-Q 이용)

초기 시스템설계 및 평가를 위하여 RAM 자료를 고려하지 않고($A_a=1$ 로 가정), CAN-Q를 이용하여 시스템의 임무 수행율과 각 Sub-system 및 시스템에서의 임무수행 시간 자료를 산출한다.

여기서 사용한 CAN-Q(Computer Analysis

of Network of Queues)는 각 Work station에서 Service를 받기 위하여 대기행렬을 형성하는 시스템에서의 수행능력의 평가와 Bottleneck Sub-system을 계산하는 등 대형 시스템에서의 업무 흐름을 분석하는 수리 Model이다.

여기서 시스템의 임무수행율(mission performance rate)과 다음과 같은 시간 Data들을 산출 한다:

- 평균 System내의 지체시간(average time in system)
- 실제 처리시간(process time)
- 전환시간(transfer time)
- 애로지점(bottleneck)

위의 첫 단계의 산출 결과에 따라 시스템은 재설계(re-design)되며 개선된 안으로 분석이 계속 된다.

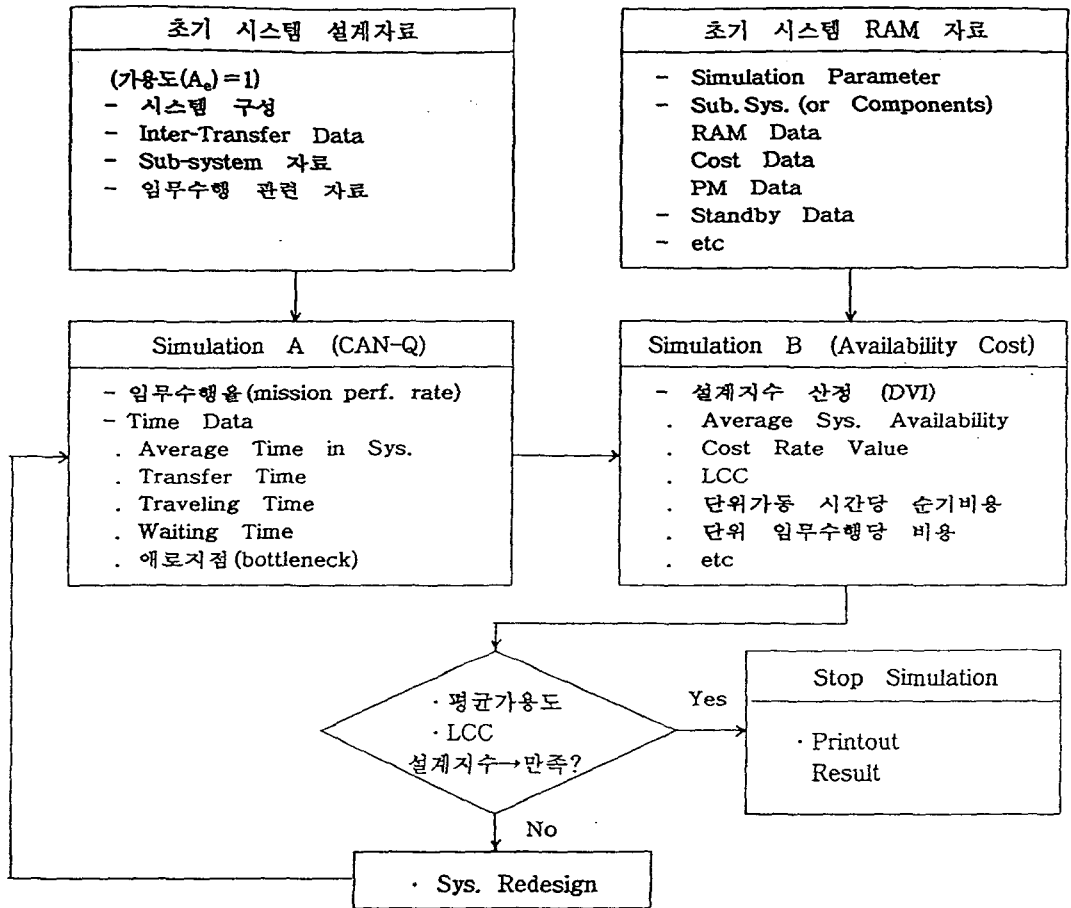


그림 3. Simulation 구성

2) Simulation B : RAM 및 비용을 고려한 Stochastic Simulation Model

위에서와 같이 시스템의 대안을 재구성하고 이의 RAM 자료를 고려하여 고장, 정비 및 가동 등 운용과정의 모든 상황을 고려하고 각 시스템 대안의 비용(LCC) 및 시스템 가용도를 계산하여 대안 비교를 위한 설계 및 평가활용지수(DVI)를 산출한다.

이를 위하여 다음 가정사항들이 주어진다:

- 최초 시스템은 가동 혹은 Down의 2가지

상태,

- 각 Component의 고장은 서로 독립적으로 발생하고 정비된다.
- 고장 및 정비시간의 분포는 추정 가능하다.
- 고장수리 이후 신부품과 같은 기능 유지.
- 예비 Component는 3가지 Type 중 한가지를 유지.
- 각 작업 Station에서 대기이론에 따른 서비스

- 각 정비, 고장과정도 대기이론을 따름,
여기서 시스템의 고장 정비 상황을 위하여
시스템(또는 sub-system, component)별 고
장발생 및 정비, 교체가 이루어진다고 보고,
Sub-system(또는 component)의 예비 준비품
은 3가지 형태로 주어지며, 각 시간간격별 시
스템(또는 Component별) 고장 또는 정비상태
인가를 추적하고, 고장, 정비 등 상황변화는

주어진 확률분포로부터 결정한다.

본 Simulation을 위한 입력자료로써 다음 내
용들이 포함된다:

- 시스템과 시뮬레이션 Parameter.
- Component Parameter.
- 비용자료.
- 임무수행규모 자료.

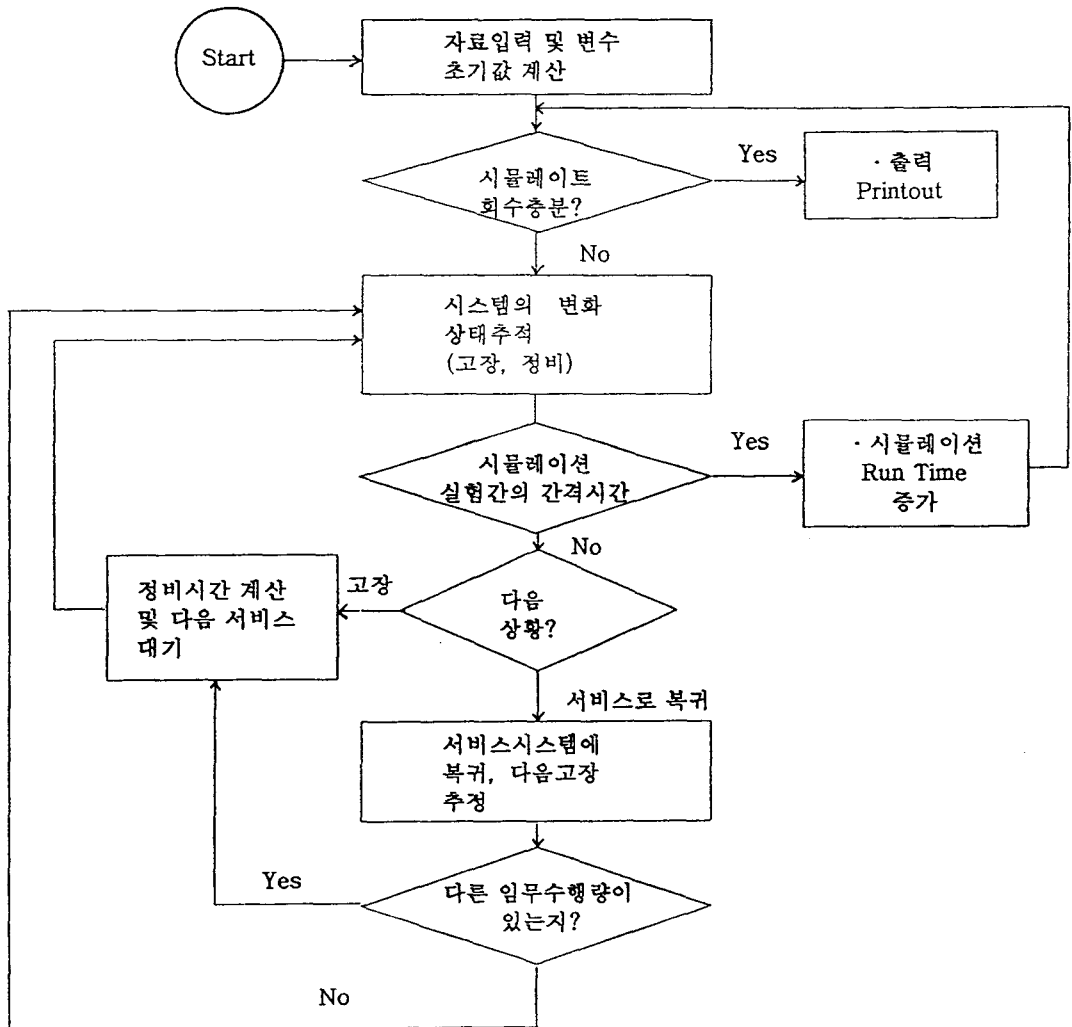


그림 4. Simulation 흐름도

본 내용은 다음항의 예제를 통하여 입출력 내용을 예시하였으며, 본 Simulation의 흐름도를 <그림 4>와 같이 표시하였다.

본 Model의 시험적용을 위하여 서로 다른 2 가지 임무를 수행하는 다음과 같은 대공 복합 무기체계의 최적설계(구성) 및 평가문제에 적용하였다.

4. Model의 試險 適用

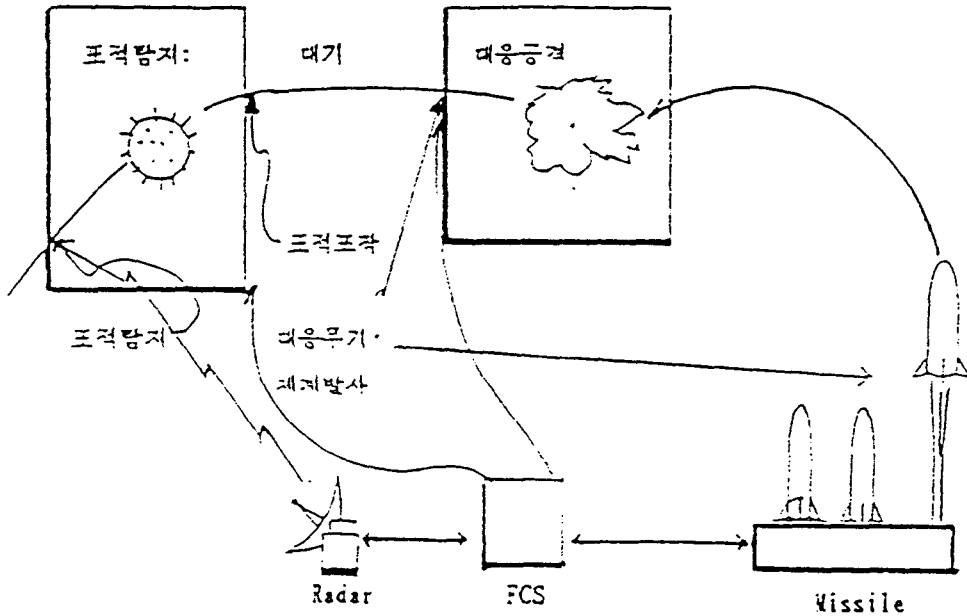


그림 5. 대공 Missile System 구성도

<그림 5>는 방공 Missile체계(적침투 비행체 탐색-요격 Missile System)의 복합무기체계이다. 이의 구성(sub-system)은 Radar, FCS(사격 통제 시스템) 및 대공 Missile로 구성되었다.

여기서 수행하는 임무(mission)를 다음과 같이 두가지로 가정하였다. 즉, 그 하나는(임무A) 적침투 비행체를 탐색(radar)하여 사격통제장치(FCS)의 Missile배정에 따라 Missile이

발사되어 적침투 물체를 차단하는 임무이고, 다른 하나의 임무는(임무B) Radar로 탐색하여 사격 통제장치의 판단을 거쳐 Missile에 지령하지 않고 대공포(or 총) 체계에 사격지시를 하는 임무이다. 여기서 이러한 방공 무기체계의 최적 구성과 그 성능평가를 위하여 위의 Model을 적용하려고 한다.

이러한 무기체계를 System Network로 표시하면 <그림 6>과 같다.

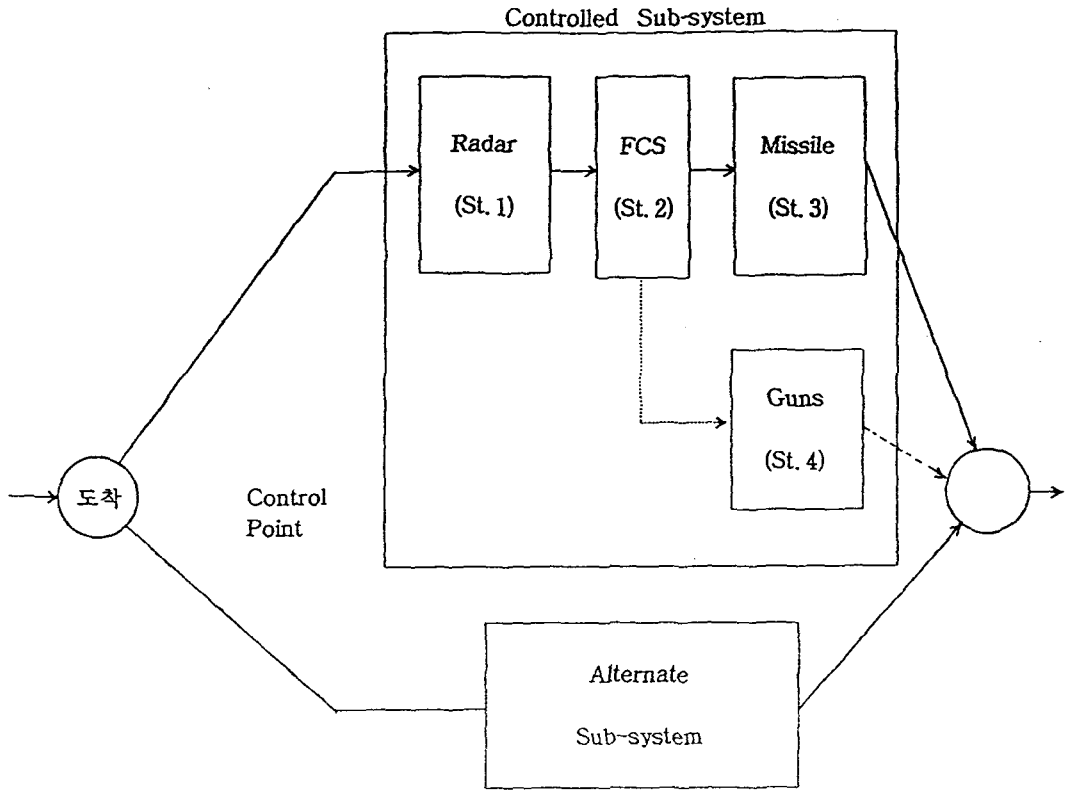


그림 6. 대공 무기체계 System Network(1개 예비 System 경우)

위의 복합 무기체계의 초기구성과 임무별 관련 자료를 결과 제시를 위하여 각각 다음과 같이 가정하였다.

표 1. System 구성

Station	Sub-system	Server의 수
1	Radar	1
2	FCS	1
3	Missile	2

표 2. 각 구성 Sub-system에서의 임무별 시간 Data

임 무	St.	처 리 시 간	빈 도	비 고
임무 A	1	N(30, 3)	1	처리시간 : 정규분포, N(μ , σ)
	2	N(20, 5)	1	
	3	N(50, 10)	1	
임무 B	1	N(30, 3)	1	
	2	N(20, 5)	1	

적 표적의 도착은 지수분포, Exp(30)로 가정하고 위와 같은 초기 체계구성 결과를 분석하기 위하여 4항의 2단계 시뮬레이션 Model을 적용하여 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

결과 1: CAN-Q를 이용한 초기 시스템의 Simulation : A

이 경우는 RAM 및 비용(LCC)을 고려하지 않았으며 따라서 무기체계의 평균가용도 $A_e=1$ 로 가정하였다.

본 예제의 Simulation 결과는 다음표와 같다.

표 3. CAN-Q Sample Output

1 INPUT DATA SUMMARY

STATION	NUMBER OF SERVERS	VISIT FREQUENCY	AVERAGE PROCESSING TIME	RELATIVE WORKLOAD	WORKLOAD PER SERVER
1 RADAR	1	.37037	30.00000	11.11111	11.11111
2 FCS	1	.37037	20.00000	7.40741	7.40741
3 MISSL	1	.25926	50.00000	12.96296	12.96296
4 TRANS	4	.37037	10.00000	10.00000	2.50000

NUMBER OF MISS. IN SYSTEM - 3

!SYSTEM PERFORMANCE MEASURES

MISS.PERF. RATE - 1.126 MISS. PER HOUR

MISS.PERF. RATES BY MISSION TYPE

	NUMBER	VALUE
MISSA	.788	.788
MISSB	.338	.338

TOTAL VALUE - 1.126

AVERAGE TIME IN SYSTEM - 159.87 SECONDS

PROCESSING	85.00
TRANSFERRING	27.00
WAITING	47.87

FUNCTIONS OF N. NUMBER OF MISS. IN SYSTEM

N	MISS.PERF. RATE	AVERAGE TIME IN SYSTEM
1	.536	112.000
2	.392	134.545
3	1.126	159.870
4	1.282	187.258
5	1.388	216.138
6	1.463	246.090
7	1.517	276.840
8	1.557	308.206
.	.	.
INF	1.714	INF

THE BOTTLENECK STATION IS 3

!STATION PERFORMANCE MEASURES

STATION NUMBER	STATION NAME	SERVER UTILIZATION	AVE. NO. OF BUSY SERVERS
1	RADAR	.563	.563
2	FCS	.375	.375
3	MISSL	.657	.657

초기 기본 시스템으로부터 애로지점을 증가시키면서 임무수행률(mission performance rate)의 민감도 분석을 하였으며 그 결과를 다음 표와 같이 정리하였다.

표 4. 무기체계 임무수행율 (Missile Performance Rate) 민감도 분석 결과

구 분	초기 Sys.	1차 개선	2차 개선	3차 개선	4차 개선
· 체계구성	Radar 1 FCS 1 Missile 1	1 1 2	2 1 2	2 2 2	2 2 3
· 임무수행율 (Miss. Per. Rate)	1.126	1.289	1.465	1.564	1.587
· 평균시간	159.87	139.64	122.86	115.10	113.40
- Process	85.00	85.00	85.00		85.00
- Transfer	27.00	27.00	27.00	85.00	27.00
- Waiting	47.87	27.64	10.86	27.00	1.40
· Bottleneck	St. 3	St. 1	St. 2	St. 3 3.10	St. 1

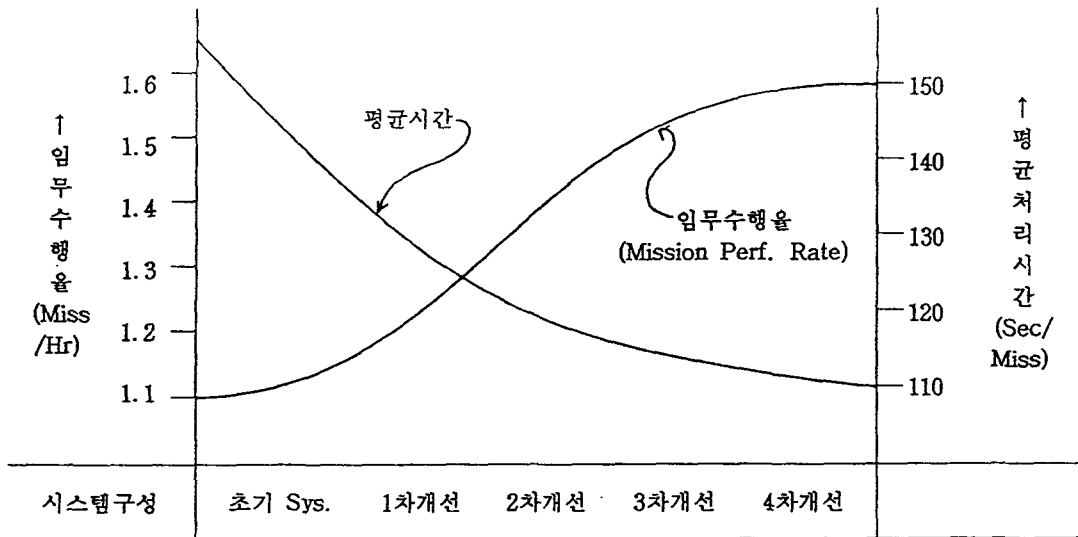


그림 7. 시스템 구성에 따른 성능 비교

결과 2: RAM 및 LCC를 고려한 Stochastic Simulation : B

위에서 CAN-Q에 의해서 A=1 가정하에 초기 System에서 Bottleneck이 St. 2FCS의 능력이었다.

〈표 4〉에서 보면 초기 System은 임무수행율 1.126 Miss/Hr. 평균 1Mission당 처리시간 159.87 Sec/Miss이었으나 4차 개선을 통해서 Radar 2 FCS 2 및 Missile 3으로 체계를 개선하여 구성할 경우 임무수행율이 1.587, 평균 1Mission당 소요시간이 113.40 sec으로 개선됨을 볼 수 있다.

그러나 복합 무기체계의 경우 고장 및 정비관련 RAM 및 비용(LCC)환경을 고려할 경우 위의 결과는 상당히 달라짐을 예상할 수 있다.

이러한 RAM 및 비용(LCC)을 고려한 Simulation을 위하여 다음과 같은 입력자료를 사용하였다.

표 5. Sample Input Data

 AVAILABILITY-BASED LCC PROGRAM(3 COMPONENTS: EX 3.)

SIMULATION INPUT PARAMETERS

```

TOTAL TIME TO RUN SIMULATION----- 1000HRS
TIME BETWEEN SIMULATION EXPERIMENT----- 100HRS
NUMBER OF SUBSYSTEMS IN THE DESIGN CONFIGURATION----- 3
NUMBER OF REPAIRMEN AVAILABLE----- 4
SYSTEM FIXED COST(ESTIMATED)----- 20000.0000
SYSTEM PRODUCTION RATE(AT 100% AVAILABILITY)----- 1.0000 UNIT PER HOUR
MEAN WAGE RATE FOR REPAIRMEN----- 10.000000($ PER HOUR)
* OF MATERIAL COST DUE TO PREVENTIVE MAINTENANCE----- 50.000000*
* OF MATERIAL COST DUE TO CORRECTIVE MAINTENANCE----- 10.000000*
COMPONENT COST DATA:
PRIMARY:
  
```

```

(COMPONENT)RADA ---CAPITAL ACQUISITION COST---* 5000.0000
(COMPONENT)FCS ---CAPITAL ACQUISITION COST---* 1500.0000
(COMPONENT)MISL ---CAPITAL ACQUISITION COST---* 2000.0000
BACKUPS:
  
```

```

(COMPONENT)RADA ---CAPITAL ACQUISITION COST---* 5000.0000
(COMPONENT)MISL ---CAPITAL ACQUISITION COST---* 2000.0000
  
```

 COMPONENT FAILURE & REPAIR INPUT DATA

COMPONENT	CODE FOR DISTRIBUTION TIME TO FAILURE	MEAN TIME TO FAILURE	STANDARD DEVIATION	CODE FOR DISTRIBUTION TIME TO REPAIR	MEAN TIME TO REPAIR (REPLACEMENT)	STANDARD DEVIATION	CODE FOR PREVENTIVE MAINTENANCE	TIME BETWEEN PM
RADA	2	20.00	1.00	3	20.00	2.00	2	50.00
FCS	3	10.00	1.10	3	20.00	.25	2	50.00
MISL	2	40.00	1.00	3	20.00	.25	2	100.00
RADA	3	30.00	1.00	2	20.00	2.00	2	50.00
MISL	2	30.00	4.00	2	20.00	2.00	2	50.00

그리고 최초 시스템의 가용도 분석을 위한 Sample Output는 다음표와 같다.

표 6. 최초 시스템의 Sample Output

SYSTEM AVERAGE AVAILABILITY-- .2164659
 COST RATE VALUE----- 276.6956000 \$ PER HR
 LIFE CYCLE COST PER UNIT--\$ 197.6397 PER UNIT
 PRESENT WORTH LIFE CYCLE COST-- 61153.8200

SYSTEM COST BREAKDOWN TABLE

 TOTAL CAPITAL COST.-----\$ 28500.000
 OPERATING COST:
 TOTAL CORRECTIVE MAINTENANCE COST--\$ 3476.454
 TOTAL PREVENTIVE MAINTENANCE COST--\$ 219.816
 TOTAL MATERIAL COST-----\$ 457.554

COMPONENT AVAILABILITY INFORMATION

 COMPONENT AVAILABILITY
 RADA .726
 FCS .530
 MISL .882

COMPONENT MAINTENANCE COST TABLE

COMPONENT	TOTAL UNSCHEDULED MAINTENANCE COST	TOTAL SCHEDULED MAINTENANCE COST	TOTAL MAINTENANCE COST
RADA	1108.820	82.788	1191.508
FCS	1859.435	137.028	1996.463
MISL	508.199	.000	508.199

위의 결과1 : 예서의 Simulation 결과에 따라 Bottleneck인 St.3 Missile을 예비확보(standby system) 하여 설치(미사용)mode로 개선시스템을 구성할 경우 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

표 7. 개선 시스템(Standby)의 Sample Output

SYSTEM AVERAGE AVAILABILITY-- .4232654
 COST RATE VALUE----- 166.3200000 \$ PER HR
 LIFE CYCLE COST PER UNIT--\$ 119.1572 PER UNIT
 PRESENT WORTH LIFE CYCLE COST-- 72261.6900

SYSTEM COST BREAKDOWN TABLE

 TOTAL CAPITAL COST.-----\$ 35500.000
 OPERATING COST:
 TOTAL CORRECTIVE MAINTENANCE COST--\$ 1019.287
 TOTAL PREVENTIVE MAINTENANCE COST--\$ 93.646
 TOTAL MATERIAL COST-----\$ 148.752

COMPONENT AVAILABILITY INFORMATION

 COMPONENT AVAILABILITY
 RADA .883
 FCS .844
 MISL .941
 RADA .789
 MISL 1.000

위의 Simulation 결과로부터 최적 무기체계 시스템 설계의 의사결정을 위하여 설계평가지수 (design value index)를 구하여 초기 설계 시스템과 개선설계 시스템을 비교하면 <표 8>과 같다.

표 8. 초기 및 개선 시스템의 DVI 비교

구 분	초기설계	개선설계	비 고
시스템 평균 가용도 (A)	0.216	0.423	시뮬레이션 B결과
LCC의 PW	61,153.82	72,261.69	"
Cost Rate (단위가동시간당 LCC)	276.695	166.820	"
단위 임무수행당 LCC	197.639	119.157	"
임무수행율	1.126	1.289	시뮬레이션 A결과

6. 結 論

본 연구에서는 그 동안의 복합 무기체계의 최적설계 및 평가를 위하여 고장및 정비성을 고려한 가용도와 비용의 고려시 복잡한 문제점을 간편하게 확률적 시뮬레이션 Model로 접근하였으며 기존 가용도(availability)의 개념보다 무기체계의 구성 및 운영시의 주요 의사결정지원의 효율성과 순기비용(LCC)을 같이 고려한 융통성 있는 가용성(flexible availability)을 고려하였다.

무기체계 연구개발자 및 운영자의 시스템 및 가용도와 비용에 대한 인식을 고취하고 체계적

의사결정지원이 가능하도록 설계 의사결정지수 (DVI)를 도입하였다.

본 Model은 다른 유사 Sub-system에도 가용할 것이며, 특히 연구개발과 사용자간의 주요 의사결정분야에 널리 활용될 수 있을 것이다.

특히 본 연구에서는 무기체계의 상태를 가동 및 중단등 두가지 상태만 고려되었으나 이를 다상태(multi-state)로 확대 연구 가능할 것이며 Simulation Program도 대화형식으로 개선될 경우 더욱 편리하게 활용될 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

1. Solberg, J.J., "CAN-Q Users Guide, the Optimal Planning of Computerized Manufacturing Systems", 1980, NSF/RA 800226.
2. Koppe, R.H., Keller, R.W., and Howe, K.R., "A Power Plant Availavility Improvement Methodology Based on the New NERC Generating Availavility Data System (GADS)", *IEEE Transaction on PAS*, Vol. PAS-10, No. 8, 1982, pp. 2537-2542.
3. Barlow, R.E. and Prochan, F., "Optimum Preventive Maintenance Policies", *Operations Research*, Vol. 8, No. 1, 1960. pp. 90-100.
4. Rehg, V., "A Computer Simulation of the Life Cycle", Proceedings, *1973 Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 564-576.
5. Lumber, B.K., ETAL, "Optimal Redundancy and Availability Allocation in Multistage Systems", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-20, No. 3, 1973, pp. 343-352.
6. Sherif, Y.S., and Smith M.L., "Optimal Maintenance Models for Systems Subject to Failure Rate-A Review", *NRLQ*, Vol. 28, No. 1, 1981, pp. 47-74.
7. Berry, S.L., and McNichols, R.J., "Cost and Allocation of the Parameters of Filure Rate and Repair Time Subject to An Availability Reuquirement", *Research Rep.*, Texas A/M Logistic Management Institute, 1974.
8. Locks, M. O., "Maintainability and Life-Cycle Costing", Poroceedings, *1978 Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 251-253.
9. Tayor I. and Kavanagh K.R., "Current Trend in Life Cycle Cost Analysis", *Department of National Defence Operational Research and Analysis Establishment*, Jul. 1982
10. John D.S. Gibson, "Life Cycle Cost Management Guide for Program Managers", ASD/ACL. WPAFB, Mar. 1977.
11. Mitchell L. Mayer rt. al., *Army Life Cycle Cost Model for Missile Systems*, Office of the Comptroller of the Army, Sep. 1976.
12. Gnedenco, B. V. etal, *Mathematcal Methods of Reliability Theory*, Accademic Press, 1969.
13. Lie C.H., etal, "Availability of Maintained Systems, A State of the Art Survey", *AIEE Trans.*, Vol. 9, 1961, 3, 1977, pp. 247-259.
14. Coleman, J.I. and Abrahms, I. J., "Mathematical Model for Operational Readiness

. *Operations Research*, Vol. 10, No. 1, 1962, pp. 126-145.

15. Barlow, R. E. and Porchman, F., " Availability Theory for Multicomponent Systems
* Florida State University, *Statistics Report*, No. M230, 1972.