

# 육군 방공자동화체계 전투효과 분석에 관한 연구 (A Study on the Analysis of Combat Effectiveness of the Army C2A System)

최우찬, 이재영\*

## Abstract

This paper develops a methodology which can be used to quantify the combat effectiveness of the army C2A system by modifying C2 theory and using Air Defense Engagement Simulation. In this paper, by using Schutzer's C2 theory and Measures of Effectiveness, we modified the MOE formula he designed. Because the combat effectiveness by enhancement of C2(Command and Control) system will increase combat power of individual asset independently. In addition, we developed simulation analysis of air defense scenario by using Air Defense Engagement Simulation. The results show that modified the MOE formula is proper as compared with Air Defense Engagement Simulation method.

The combat effectiveness can be obtained as a result of improved probability of detection and information accuracy through real-time information sharing and coordination by C2A system.

(**Keywords** : C2A, C2 theory and Measures of Effectiveness, ADESIM )

---

\* 국방대학교 관리대학원

# 1. 서 론

21세기 정보기술의 급격한 발전으로 인하여 전 쟁양상이 화력과 기동 위주의 플랫폼 중심전에서 C4I체계와 정밀유도무기 위주의 네트워크 중심전으로 변화되고 있다. 적 위협 또한 고정익 항공기와 헬기에 의한 공중위협과 더불어 저비용 고효율의 무인 위협체계인 전술탄도미사일, 순항미사일, 대구경로켓포의 치명적인 위협이 증가될 것이다[2]. 이러한 적의 항공기 및 미사일 위협에 대처하기 위해 공군은 MCRC(Master Control and Reporting Center)체계보다 뛰어난 성능과 처리능력을 가진 제 2 MCRC체계를 구축하였고, 해군은 함정무기체계와 육상 전탐감시소 간에 실시간 전술자료 교환을 통해 해상전투 능력을 향상시킬 목적으로 자동화된 KNTDS(Korea Naval Tactical Data System)를 구축하여 항적정보를 제 2 MCRC와 연동 중에 있다.

육군도 기존의 재래식 대공포, 휴대용 SAM 위주의 전력에서 비호, 천마와 같이 탐지레이더가 장착된 신형 방공무기체계를 전력화함으로써 개별 독립작전 수행능력은 강화되었다. 하지만, 센서와 슈터간의 지역별로 통합된 방공작전을 수행하기 위한 지휘통제체계는 구축되지 않았다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 육군은 군단지역 내 모든 저고도 방공무기체계 센서와 슈터를 네트워크로 연결하는 방공자동화체계 사업을 계획하고 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 현재 육군의 저고도 방공작전 단계간 문제점을 진단해보고, 선진국의 사례를 통해 방공자동화체계 구축의 필요성을 제시하며, 방공자동화체계 구축 후 발생하는 전투효과 측정 및 투자비용대 효과분석을 통해 계량화된 평

가방법을 제시함으로써, 사업추진에 대한 타당성을 평가해 보고자 한다.

본 연구의 범위는 C2A체계 효과측정시 아군 방공무기와 적 고정익 항공기 교전상황으로 한정하였다. 즉, 아군 저고도 방공무기는 대공포와 유도무기를 1대씩 혼합편성하고, 적기는 MIG-21기 2대로 편성한 교전상황에 대해서 전투효과를 분석하였다.

방공자동화체계 전투효과를 측정하기 위해 다음의 2가지 방법을 적용하였다[7].

첫째, 랜체스터 방정식을 적용한 단순 동태적인 방법으로서, C2 효과측정 모델을 이용하여 방공자동화체계 구축시 발생하는 효과를 측정하였다.

둘째, 시뮬레이션을 기반으로 한 복합 동태적인 방법으로서, 방공교전 시뮬레이션(ADESIM)을 이용하여 모의결과를 분석하고 효과를 측정하였다.

위 2가지 방법으로 측정된 전투효과와 방공자동화체계 구축 시 소요되는 예상비용을 비교하는 방법으로 투자비용대 효과를 분석하였다.

지휘통제체계 강화에 따른 전투효과 측정과 관련된 연구로서 Schutzer는 “C2 Theory and Measure of Effectiveness”라는 논문에서 지휘통제 시간과 정보의 정확도에 의해 생존확률, 할당비율, 교환비율의 3가지 요인에 대한 변화를 계량화하여 최초전투력 대비 교전 후 잔존전투력의 비율을 전투효과로 측정하는 방법을 제시하였다[12].

본 연구와 기존연구의 차이점은 C2 이론과 시뮬레이션을 이용한 2가지 효과측정 방법을 병행함으로써, 측정결과에 대한 신뢰성을 보장하였다.

C2 이론을 적용함에 있어서 지휘통제시간 단축에 따른 3가지 요인을 모두 반영하되, 체계 구축 전·후의 정보의 정확도를 센서의 탐지확률과 탐지

거리를 함께 고려하여 전투효과 측정에 반영하였다. 또한 Schutzer가 제시한 MOE 산출식을 수정하여 본 연구에 적용하였으며, 시뮬레이션을 이용한 방법과 효과측정 결과를 비교한 후 수정된  $MOE_R$  산출식이 타당함을 입증하였다.

그리고, C2 이론이 방공무기체계가 갖는 특성과 제한사항을 반영하지 못한 점을 보완하기 위하여 방공교전 시뮬레이션(ADESIM)을 이용한 효과측정 방법을 병행함으로써 C2A체계 구축 전·후의 적기 격추율, 아군 방공무기의 명중률 및 사격발수를 비교함으로써 전투효과를 분석하였다.

## 2. 육군 방공자동화체계 필요성

### 2.1 현재 육군의 방공작전 단계

방공은 적 항공기나 미사일 등 각종 공중위협으로부터 육군의 부대 및 시설을 방호하여 생존성과 행동의 자유를 보장하기 위한 제반 활동을 말하며, 국지방공은 공중위협으로부터 특정한 지역이나 기동부대 또는 고정시설을 방어하기 위하여 주로 육군의 단거리 방공무기에 의해 수행된다.

육군의 방공작전 단계는 탐지 및 식별, 경보전파 및 사격통제, 추적 및 격파 단계로 구분되며, 세부 단계별로 살펴보면 다음과 같다[8].

#### 2.1.1 탐지 및 식별

가용한 모든 탐지수단을 활용하여 적 항공기를 조기에 탐지하여 피아를 식별함으로써 방공무기체계의 사격준비 시간을 확보할 수 있어야 한다. 육안 탐지 및 식별은 대공감시소 근무자에 수행되나 전술통신망에 의한 전파로 표적정보의 적시성이 결

여된다. 전자 탐지 및 식별은 저고도 탐지레이더와 비호·천마의 자체 탐지레이더에 의해서 수행되지만 2차원 레이더로서 고도 제원이 산출되지 않고, 표적정보와 제원을 상호 공유할 수 있는 체계가 제한된다.

#### 2.1.2 경보전파 및 사격통제

제대별 방공경보망 등 가용한 수단으로 적 항공기에 대한 정보를 위협 우선순위에 따라 사격단위별로 표적을 할당하고 사격을 통제한다. 현재 육군은 탐지 및 식별된 표적제원을 유·무선망으로 전파하고, 표적을 할당하는 수동화된 경보전파 및 사격통제 체계로 운용되어, 정보의 미공유로 경보전파 시간이 지연되고 실시간 사격통제가 곤란하다.

#### 2.1.3 추적 및 격파

식별된 적 공중위협에 대한 추적 및 격파는 아군의 방호목표를 공격하기 이전에 원거리에서 교전함으로써 적의 공격효과를 감소시키고, 적기를 격추하기 위하여 대공포와 유도무기를 혼합운용하고 있다. 방공무기체계의 추적 및 격파단계의 상황 파악은 무선망에 의해 보고가 이루어져야만 방공작전통제소에서 전장상황(교전결과 및 사격발수)을 파악할 수 있고, 무기체계간 연동되지 않아 동일표적에 대한 중복교전의 가능성이 존재한다는 문제점을 갖고 있다.

## 2.2 선진국의 방공자동화체계

FAAD C2I체계<sup>1)</sup>는 미 육군 단거리 방공부대의 지휘소, 센서, 무기체계들을 연결하는 네트워크로서, 사단의 전방지역으로 침투하는 항공기, 헬기 및 무인항공기를 자동으로 탐지, 식별, 추적하며, 표적

1) 전방지역 방공 지휘통제체계(Forward Area Air Defense Command, Control & Intelligence)

데이터를 FAAD 대대와 예하 사격단위에 제공하는 자동화된 지휘통제체계이다. 또한, 미 육군 전술 지휘통제체계<sup>2)</sup>를 구성하는 5대 전장기능 중의 한 요소로서, 미 육군이 사단 지역의 저고도 공중위협에 대처할 목적으로 '93년에 개발 및 전력화하였다[5].

### 2.2.1 장비 구성

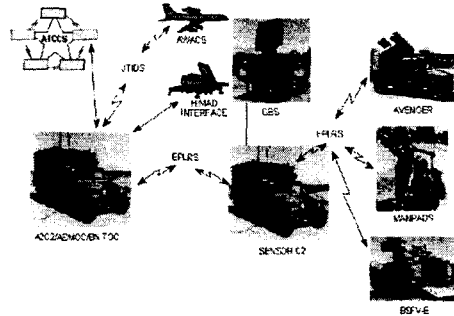
FAAD C2I체계는 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 통신장비로 구성된다. 컴퓨터 하드웨어는 중앙처리장치와 디스플레이 장치를 포함하고 있으며, 디스플레이 장치는 지휘관이 공중 상황, 적 위협판단, 아군 방공무기에 대한 정보를 확인할 수 있도록 지원하며, 비밀로 분류된 정보까지 처리할 수 있다. 소프트웨어는 표적추적과 전투관리를 위한 처리기능을 제공하며, 실제 작전임무와 유사한 모의상황을 훈련할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 통신장비는 SINCGARS<sup>3)</sup>, EPLRS<sup>4)</sup>, JTIDS<sup>5)</sup>로 구성된다.

FAAD C2I체계의 탐지수단은 Sentinel 이라고 부르는 지상레이더(Ground Based Sensor)이며, FAAD 대대의 방공무기에게 공중감시, 표적획득, 표적정보를 제공하며, 3차원레이더로서 피아식별장치를 갖추고 있다.

### 2.2.2 체계 구조 및 기능

FAAD C2I체계는 공중 전투관리 통제본부<sup>6)</sup>, 공

역관리 연락체계<sup>7)</sup>, 센서 지휘통제 체계, 포대 지휘소체계, 소대/반 지휘소체계, 사격 단위체계 등의 하위체계로 구성된다.



<그림 1> FAAD C2I 체계

공중 전투관리 통제본부는 FAAD 대대 전술운용의 중추신경으로서 사단 차원의 방공 작전을 감시 통제하고, 대대 지휘관과 참모의 실시간 지휘통제를 보장한다.

공역관리 연락체계는 사단 공역통제 요소에 대한 공역 상황표시, 대공 전투규정 작성, 우군 상호 지원 조정, 지원 방공부대와의 공역관리 정보교환 등의 기능을 수행한다.

센서 지휘통제체계는 사단 편제의 항공기 탐재 센서, 지상센서 및 여타 지휘통제체계의 항적정보를 수집, 융합, 평가해서 생산한 정보를 분배한다.

## 2.3 C2A체계 구축 필요성

현재 육군의 수동화된 방공작전체계로는 고속 침투하는 적기에 대한 실시간 지휘통제가 제한되므로, 방공자동화체계의 연구개발은 꼭 필요한 사업으로 판단된다. C2A체계 구축 필요성을 좀 더 자세히 살펴보면 아래와 같다.

- 2) ATCCS : Army Tactical Command Control System
- 3) 단일채널 공지통화체계(Single Channel Ground and Airborne Radio System)
- 4) 강화된 위치보고체계(Enhanced Position Location Reporting System)
- 5) 합동전술정보 분배체계(Joint Tactical Information Distribution System)
- 6) ABMOC : Air Battle Management Operations Center

- 7) AMELNO : Airspace Management Element Liaison

첫째, 방공지휘관이 작전지역내 공중상황을 종합 판단하여 조치할 수 있는 전장을 가시화하기 위한 지휘통제 수단이 없다. 즉, 고속항공기 표적을 조기에 탐지 및 전파함으로써 충분한 작전 반응시간을 확보하고 통합된 방공망을 구축할 수 있는 지휘통제체계가 필요하다.

둘째, 적의 기습적인 공중공격에 대한 신속한 대응체계 구축이 필요하다. 표적 탐지 및 식별, 경보전파 및 사격통제, 추적 및 격파의 방공작전 단계 간 실시간 지휘통제가 가능한 자동화체계를 구축함으로써, 적 공중위협에 대해 신속한 대응이 가능하고 아군의 생존성을 보장할 수 있다.

셋째, 중앙방공통제소(MCRC)에서 AM망으로 전파되는 조기경보는 평시 2분(전시 1분) 간격으로 수신시간이 지연되며, 다수 항적 전파에 제한을 받는다. 수집된 표적정보의 위협평가 및 표적할당의 수동처리로 인하여 지휘통제시간이 증가하고 표적정보의 정확성과 적시성이 결여된다. 이러한 방공작전체계의 제한성을 극복하기 위해 필요하다.

넷째, 적의 동일표적에 대한 아군 방공무기체계의 중복사격을 방지하기 위한 수단으로써 필요하며, 방공무기의 사격효과를 증대시키고 불필요하게 소모되는 탄을 감소시킬 수 있다.

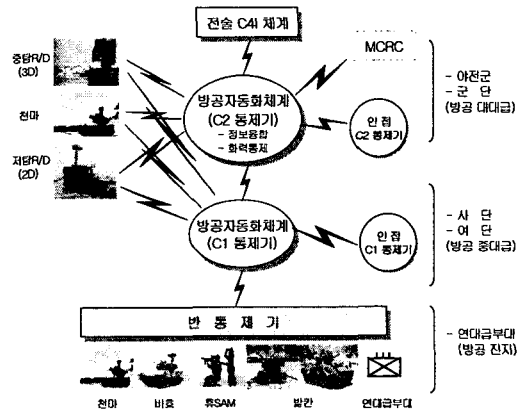
다섯째, 중·고고도 방공무기와 저고도 방공무기의 협조된 작전으로 통합전투력 발휘가 가능하도록 공군 MCRC와 연동이 가능한 체계가 필요하다.

## 2.4 C2A체계 개념 및 구성8)

방공자동화체계(C2A: Air Defense Command Control and Alerting)란 저고도에서 탐지센서와 슈

8) C2A체계 사업관련 ADD 비용분석서(평문) 내용을 참고로 작성하였음.

터를 네트워크로 연결하여 표적 탐지 및 식별, 표적정보의 융합·생성, 경보전파 및 사격통제, 추적 및 격파 등 일련의 방공작전 수행절차가 실시간에 이루어지는 자동화된 지휘통제 및 경보체계이다.



<그림 2> C2A체계 구성

공군 MCRC로부터 수신한 조기경보를 바탕으로 군단지역 내 중·저고도 탐지레이더와 천마, 비호의 탐지레이더에서 탐지한 적 공중위협에 대한 표적정보를 종합, 분석하여 방공부대 및 기동부대로 실시간에 데이터정보로 전파하고, 위협우선 순위에 따라 최적의 대응수단을 결정하여 방공무기에 표적을 할당하는 방공작전을 통합된 자동화체계로 운영한다는 것이다.

지역 내 탐지센서와 방공무기체계를 차기 통신망(TICN)을 통해 네트워크로 연결 및 통합하여 실시간에 자동화된 방공작전을 수행하기 위하여 방공대대 및 중대, 사격반에 C2 및 C1 통제기, 반통제기를 배치하여 운용할 계획이다.

C2A체계는 C2 및 C1 통제기, 반통제기로 구성되며, C2 통제기는 C2A체계의 핵심으로서 MCRC로부터 받은 조기경보와 방공대대내 자체 탐지수단으로부터 획득한 표적정보를 융합 분석하여 C1 및

반통제기, 저고도 방공무기에 표적정보를 데이터로 전파하고, 최적의 대응수단에 표적을 할당하고 사격을 통제하는 기능을 수행하며, 이것은 중형 표준 차량(헬터)에 탑재되어 운용될 예정이다.

### 3. C2 이론을 이용한 효과분석

#### 3.1 C2 이론과 효과측정

C2 이론은 1982년 미국 해군대학원의 Schutzer 교수가 해군 함정간의 교전 시 지휘통제체계(C2)의 개선으로 나타나는 전투력 상승효과를 측정하기 위해 연구하였다.

C2 이론의 특징은 지휘통제체계의 개선으로 나타나는 3가지 요인 즉, 아군 생존확률 증가, 자산의 할당비율 증가, 교환비율 감소에 의해 전투효과가 증대된다고 주장하였다. 또한, C2 이론을 근거로 란체스터 방정식을 이용한 교전 전·후의 MOE, 즉 최초 투입전력 대비 잔존전투력의 비율을 비교하여 전투효과를 측정하였다[10].

#### 3.1.1 란체스터방정식을 이용한 C2 효과측정모델

적과 교전시 특정교전 j에서 투입된 자산의 교환비율을 고려하여 란체스터 제곱법칙을 적용한 경우 MOE 산출식은 식(1)과 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{여기에서, } \langle N^2 \rangle_j &= \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} \\ \langle M^2 \rangle_j &= \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{kj} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}} \\ N^2 &= \left( \sum_{k=1}^T n_{kj} \right)^2 \end{aligned}$$

$X_{kk'}$  = 청군 자산 k 손실/홍군 자산 k' 손실

$n_{kj}$  = 교전 j에서 청군 k형 자산의 수

$m_{k'j}$  = 교전 j에서 홍군 k'형 자산의 수

$p_{kj}$  = 교전 j에서 청군 k형 자산의 생존확률

$q_{k'j}$  = 교전 j에서 홍군 k'형 자산의 생존확률

$a_{kj}$  = 교전 j에서 청군 k형 자산의 할당비율

$b_{k'j}$  = 교전 j에서 홍군 k'형 자산의 할당비율

#### 3.1.2 C2 효과에서 적시성의 영향

전투에서는 교전상황에 대한 “최초대응”과 최초 대응을 구현하는 시점(적시성)이 중요하다. 효과적인 지휘통제체계는 지휘관에게 신속 정확한 정보를 제공하여 “최초사건”을 인식하게 하고, 요구되는 초기 대응책을 수립하여, 예하부대가 선제공격을 받기 전에 반응하도록 지휘관 의도를 적시에 전파해야 한다.

지휘관이 최초상황을 인지하고 대응책을 강구, 예하부대에 지시하여 최초대응이 이루어지는 시각( $T_R$ )이 선제공격을 받는 시간( $T_P$ )보다 선행된다면 성공적 또는 적절한 반응으로 간주된다. 그러나,  $T_R$ 이  $T_P$ 보다 늦게 된다면 이 대응은 적으로부터 선제공격을 받게 되어 실패가 된다.

#### 3.1.3 MOE의 3가지 요인

C2 효과측정 모델에서는 지휘통제 절차간 시간 변수(지휘통제시간)와 정보변수(초기정보의 정확성)에 의해 발생하는 교전 전·후 부대 자산의 변화를 다음 3가지 요인을 기준으로 효과를 측정하였다.

##### 가. 생존확률

생존확률은 적 또는 표적에 대해서 충분한 시간을 가지고 성공적으로 방어 또는 공격할 수 있도록

정확하게 적을 탐지하고 대응할 수 있는 확률과 직접적인 관련이 있다. 즉, 지휘관의 관심지역 내에 있는 적에 대한 불확실성을 최소화함으로써 생존확률은 증가하게 된다.

아군 지휘관이 관심을 가지고 있는 지역에 적군이 랜덤하게 분포되어 있다고 가정하자. 이때 적의 밀도는  $\rho = N/A$  이다. 여기서  $N$  = 아군에게 위협을 줄 수 있는 적의 수,  $A$  = 관심지역의 넓이다.

관심지역에 대한 불확실한 지역을  $\Delta A(N = \rho \Delta A)$ 라고 하면, 이때 적 목표물에 대한 정확한 연관분석이 이루어질 확률( $P_c$ )은 다음과 같다.

$$P_c = \frac{1}{1 + \rho \Delta A} \quad (2)$$

위 식(2)에서 관심지역에서 불확실성( $\Delta A$ )은 적군의 기동속도( $v_p$ ), 정보의 정확도( $\sigma^2$ ), 아군 지휘통제시간( $t_{cs}$ )의 함수로서 다음 식(3)과 같다.

$$\Delta A = C_1 v_p t_{cs}^2 \sigma^2 \quad (3)$$

여기에서,  $C_1$  = 임의의 상수

따라서, Schutzer는 아군 지휘통제시간( $t_{cs}$ ) 내에 적에 대한 정확한 분석 및 탐지가 이루어질 확률을 생존확률로 보고 식(4)으로 표현하였다.

$$P_c = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p t_{cs}^2 \sigma^2} \quad (4)$$

식(4)에서 적군의 기동속도( $v_p$ ), 초기 정보의 정확도( $\sigma^2$ : 실제 적용값은 정보의 부정확도), 아군의 지휘통제시간( $t_{cs}$ )이 증가할수록 생존확률은 감소한다는 것을 알 수 있다.

지휘통제체계 강화 후의 생존확률  $\alpha P_{kj}$ 는 식

(5)과 같다.

$$\alpha P_{kj} = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p (T_R - t_m)^2 \sigma^2} \quad (5)$$

여기에서,  $C_1$  = 임의의 상수

$\rho$  = 적 밀도(N/A)

$T_R$  = 반응구현 시간

$t_m$  = 아군부대의 배치/기동 시간

$\alpha$  = 생존확률 승수 > 1

C2 이론에서 초기 정보의 정확도( $\sigma^2$ )가 생존확률에 중요한 영향을 끼치는 변수임에도 불구하고 이를 측정하기 위한 방법은 제시하지 않았다. 따라서, 초기 정보의 정확도를 측정하기 위해서 메트칼프 법칙과 센서의 탐지확률 증가를 이용하여 본 연구에 적용하였다.

메트칼프의 법칙이란 네트워크의 파워는 네트워크에 연결된 노드간의 상호작용에 의한 함수이며 연결된 노드수의 단순한 합이 아닌 제곱에 비례하여 증가한다는 것을 의미한다[3]. 탐지레이더가 네트워크로 연결된 방공자동화체계가 구축되면, 표적 정보를 융합생성하기 때문에 연결된 레이더 수의 제곱에 비례하여 정보의 정확도는 증가된다고 판단하였다[1].

센서(탐지수단)의 네트워크 구축으로 인하여 표적탐지확률 증가효과를 표적까지 거리와 탐지레이더의 표적탐지확률을 이용하여 수식으로 표현하면 식(6)과 같다[12].

$$P^{Net} = 1 - \{1 - P_1(r_1)\} \{1 - P_2(r_2)\} \{1 - P_3(r_3)\} \quad (6)$$

여기에서,  $P_i$  = i번 레이더장비의 표적탐지확률

$r_i$  = i번 레이더장비로부터 표적까지 거리

또한, 네트워크 미구축시 표적탐지확률은 식(7)과 같다.

$$P^{No} = \max \{P_i(r_i)\} \quad (7)$$

단, 표적이 다수레이더의 증첩된 탐지범위 내에 있을 경우

따라서, 메트칼프 법칙과 센서의 탐지확률 증가를 이용하여 정보의 정확도(실제 적용값은 부정확도)를 측정하기 위해 적용한 식(8)은 아래와 같다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{P(n^2)} \quad (8)$$

여기에서,  $F$  = 센서의 표적 탐지확률  
 $n$  = 무기체계의 연결된 센서의 수

#### 나. 할당비율

할당비율은 작전수행을 위해 특정국면에서 투입된 아군 단위부대가 통제할 수 있는 지역의 증가비율을 의미한다. 지휘통제체계 강화 후에는 지휘통제시간 단축에 따른 예하자산의 가용시간이 증가됨으로써, 동일한 자산으로 작전을 통제할 수 있는 지역이 확장되어 할당비율은 증가하게 된다.

할당비율 산출식은 다음과 같이 유도된다.

$$r_c = r_w + v_p(t_a - t_w) \quad (9)$$

여기에서,  $r_c$  = 통제거리

$r_w$  = 무기체계의 최대 사거리

$v_p$  = 플랫폼의 속도

$t_a$  = 가용시간

$t_w$  = 무기체계의 최대 비과시간

C2 효과측정 모델에서는 통제거리를 무기체계의 최대사거리로 나눈 값을 할당비율의 수정된 통제거리 기준으로 정하고, 식(10)을 유도하였다.

$$\frac{r_c}{r_w} = 1 + \frac{v_p(t_a - t_w)}{r_w} = 1 + \frac{v_p}{v_w} \left( \frac{t_a}{t_w} - 1 \right) \quad (10)$$

여기에서,  $\frac{r_c}{r_w}$  = 수정된 통제거리 기준

플랫폼의 속도( $v_p$ )와 무기체계 최대사거리( $r_w$ )는 상수이므로 수정된 통제거리 기준은 가용시간

( $t_a$ )의 함수가 되며, 가용시간이 증가되면 통제거리도 확장된다. 할당비율은 통제거리보다는 통제지역 중심으로 식(11)으로 표현하였다.

$$a = C_0 \left[ 1 + \frac{v_p}{v_w} \left( \frac{t_a}{t_w} - 1 \right) \right]^2 \quad (11)$$

여기에서,  $a$  = 할당비율

$C_0$  = 임의의 상수

$v_w$  = 무기체계의 속도( $r_w/t_w$ )

지휘통제체계 강화 후에는 가용시간이 증가되고 통제지역도 확장되며, 이때 할당비율 산출식(12)은 다음과 같이 표현된다.

$$\delta a = C_0 \left[ 1 + \frac{v_p}{v_w} \left( \frac{t_{aa}}{t_w} - 1 \right) \right]^2 \quad (12)$$

여기에서,  $t_{aa}$  = C2체계 강화 후 증가된 가용시간

$\delta$ (할당비율 승수) > 1

#### 다. 교환비율

교환비율은 각 자산별 적 손실 대비 아군의 손실비율을 의미하며, 생존확률과 직접 관련이 있다. 지휘통제시간 감소에 의해 생존확률이 증가되고, 이것은 적이 아군에게 위협을 주기 전에 먼저 대응하게 하고, 그 결과로 교환비율은 감소하게 된다.

지휘통제체계 강화 후 교환비율 식(13)은 다음과 같다.

$$\gamma X_{kk'} = C_3 \left[ 1 + C_1 \rho \sigma^2 [v_p (T_R - t_m)]^2 \right] \quad (13)$$

여기에서,  $C_3$  = 임의의 상수

$X_{kk'}$  = 교환비율

$\gamma$ (교환비율 감소율) < 1

지휘통제체계 강화 후 교환비율과 생존확률 관계를 살펴보면 다음과 같다.

$$\gamma X_{kk'} = \frac{C_3}{\alpha p_{kj}} \quad (C_3 = \text{임의의 상수})$$



즉, 교환비율은 생존확률과 반비례관계가 있기 때문에 아군 자산의 생존확률증가는 교환비율 감소로 이어지고, 적 자산의 손실은 증가된다.

#### 라. 지휘통제체계 강화 전·후 전투효과

지휘통제체계 강화 후 전투효과에 결정적인 영향을 미치는 두 요소는 정보의 정확도( $\sigma^2$ )와 예하 부대에게 주어지는 가용시간( $t_0$ )이다. 지휘통제체계 강화는 네트워크 구축으로 인한 실시간 정보공유와 센서체계의 탐지능력 향상으로 초기 정보의 정확도가 증가하게 되고, 지휘통제시간 단축으로 예하부대 가용시간을 증가시켜 전투효과를 향상시킨다.

지휘통제체계 강화 전의 전투효과는 다음과 같은 식(14)으로 표현되며,

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left( \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_k b_{k'} m_{k'}^2}{1 + X_{kk'}} \right)}{N^2} \quad (14)$$

지휘통제체계 강화 후에는 아군의 생존확률 및 할당비를 증가, 교환비율 감소로 인하여 다음과 같은 식(15)으로 표현된다.

$$\langle MOE^i \rangle_j = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left( \frac{\alpha p_k \delta a_k n_{kj}^2}{1 + \gamma X_{kk'}} - \frac{\gamma X_{kk'} q_k b_{k'} m_{k'}^2}{1 + \gamma X_{kk'}} \right)}{N^2} \quad (15)$$

여기에서,  $\alpha > 1$ ,  $\delta > 1$  and  $\gamma < 1$

지휘통제체계 강화 후 전투효과의 증가분인 전투효과 승수( $K$ )를 산출하는 식을 다음과 같이 표현하였다.

$$K = \frac{MOE^i}{MOE} \quad (16)$$

본 연구에서는 자산별 교환비율을 고려하고 란체스터 제법칙을 적용한 MOE 산출식(14, 15)을 수정하여 적용하였으며, 그 이유는 다음과 같다.

Schutzer는 자산의 수에 제법칙을 적용한  $n_{kj}^2$

이 생존확률과 할당비율에 의해 자산가치가 변화된다고 보고, 식(14)에서  $p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2$  으로 표현하였다.

그러나, 생존확률 식(4)과 할당비율 식(11)에서 보는 것처럼, 지휘통제체계 강화에 의한 효과는 시간에 의해 영향을 받는 요소이므로 자산별로 각각 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서, 지휘통제체계 강화로 인한 효과는 전투에 참가한 자산 하나하나가( $n_{kj}$ ) 생존확률과 할당비율의 영향을 받기 때문에,  $p_{kj} a_{kj} n_{kj}$  라는 변화된 자산(가치)에 제법칙을 적용하는 것( $[p_{kj} a_{kj} n_{kj}]^2$ )이 타당하다. 란체스터 제법칙  $\rho(B_0^2 - B^2) = \beta(R_0^2 - R^2)$  에서 교전 j시점에서 청군의 잔존전투력 규모는  $B_j^2 = B_0^2 - (\beta/\rho)R_0^2$  이다. 여기에서 청군의 잔존전투력은 제법칙을 적용하였기 때문에, 청군의 잔존자산의 수를 구하기 위해서는 제법칙을 해주어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 최초자산 수 대비 잔존자산의 수를  $MOE_R$ 로 정의하고 다음과 같이 수정된 MOE 산출식(17, 18)으로 효과를 측정하였으며, 4장에서 방공교전 시뮬레이션(ADESIM)을 이용한 효과분석 결과와 비교해 봄으로써 본 연구에 적용된 수정된 MOE 산출식이 타당함을 입증할 것이다.

$$MOE_R = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left( \frac{(p_k a_k n_{kj})^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} (q_k b_{k'} m_{k'})^2}{1 + X_{kk'}} \right)}}{N} \quad (17)$$

$$MOE_R^i = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left( \frac{(\alpha p_k \delta a_k n_{kj})^2}{1 + \gamma X_{kk'}} - \frac{\gamma X_{kk'} (q_k b_{k'} m_{k'})^2}{1 + \gamma X_{kk'}} \right)}}{N} \quad (18)$$

### 3.2 C2 이론 적용 시나리오 설정

구축이전은 현재 방공작전 간의 지휘통제시간과

정보의 정확도를 C2 효과측정 모델에 적용하였고, 체계구축 이후에는 정보의 정확도 증가와 지휘통제 시간 단축에 따른 MOE의 3가지 요인(생존확률 증가, 할당비율 증가, 교환비율 감소)을 모두 고려하여 전투효과를 측정하고 분석하였다.

### 3.2.1 가정사항

- 가. 적의 지휘통제체계 강화는 없다.
- 나. 아군 탐지레이더 및 타격수단은 C2A체계 구축 전·후가 동일하다.
- 다. 아군 레이더에 의해 탐지되는 정보의 정확도 ( $\sigma^2$ )는 일정하지만, 체계구축 후에는 탐지센서의 네트워크 연결로 정보공유가 가능하고 정보의 정확도는 증가한다.
- 라. 아군 관심지역은 반경  $20km^2$ 이며, 아군과 교전하는 적은 MIG-21기 1개 편대(2대) 규모이다.
- 마. 적기 기동속도는  $810km/h(450KTS)$ , 아군 기동속도는  $30km/h$ 이다.
- 바. C2A체계 구축 전의 피아 최초 생존확률은 0.5로서 동일하다.
- 사. 체계구축 전 아군 자산의 할당비율은 1이고, 적 자산의 할당비율은 0.5이다.

### 3.2.2 상황별 전투편성

전투편성시 방공작전 운용개념상 교전효과를 극대화하기 위해 대공포와 유도무기를 혼합편성하고, 부대편제보다는 개별 무기단위로 운용되는 점을 고려하였다. 아래와 같이 설정된 4개의 상황에 대해 전투효과를 분석하였다.

<표 1> 상황별 전투편성

구 분	청군 전력	홍군 전력
상황 1	비호 1문, 천마 1기	MIG-21 2대
상황 2	발칸 1문, 천마 1기	
상황 3	비호 1문, 휴대용 SAM 1기	
상황 4	발칸 1문, 휴대용 SAM 1기	

### 3.2.3 C2A체계 구축 전 교환비율

본 연구에 사용된 체계구축 전의 교환비율은 '00년도 국방연구원에서 육군 저고도 방공무기체계에 대한 소요분석을 위해 연구한 “저고도 방공무기체계 모의결과”에서 적기(MIG-21)와 아군 저고도 방공무기 1:1 교전결과를 기초로 작성하였다.(교전반경 1.8 - 9 km)

<표 2> 체계구축 전 1:1 교환비율

청 군 \ 홍 군	MIG-21기
천 마	0.109
휴대용 SAM	0.701
비 호	0.617
발 칸(자주)	4.71

### 3.2.4 지휘통제체계 소요시간

방공자동화체계 구축 전 시간은 현재 육군 방공의 수동화 방공운용체계 중에서 유·무선망에 의한 방법으로 방공작전간 소요되는 시간을, 구축 후의 시간은 수방사 AOC(Air-defense Operation Center)에서 진지별로 구축된 통신망을 통해 집권화작전시 소요되는 시간을 야전부대를 직접 방문하여 표적탐지 ~ 아군 방공무기 선제공격이 이루어지는 시간을 측정하였으며, 방공작전 실무자의 의견을 반영하여 결과를 산출하였다. 측정결과 지휘통제시간 ( $t_{cs}$ )은 구축 전 42초, 구축 후 10초로 단축되었다.

### 3.2.5 초기정보의 정확도

현재 아군은 비호, 천마, 저고도 탐지레이더를 보유하고 있으며, 다수레이더의 중첩된 탐지범위 내에 표적이 위치할 때 탐지확률은 다음과 같다.

A지역(비호레이더 탐지거리)에 대한 네트워크 구축 후의 탐지확률과 초기정보의 정확도를 식(6, 8)에 의해 구하면, 아래와 같다.

$$P^{Net} = 1 - (1 - 0.9)(1 - 0.8)(1 - 0.5) = 0.99$$

$$\text{구축 전 } \sigma^2 = \frac{1}{P(n^2)} = \frac{1}{0.9 \times 1} = 1.01$$

$$\text{구축 후 } \sigma^2 = \frac{1}{0.99 \times 3^2} = 0.11$$

적 항공기와 아군 저고도 방공무기체계와 교전은 천마 유효사거리 9km를 고려해 보면 A지역에서 교전할 것으로 판단되므로, 4가지 상황별로 A지역에 대한 초기 정보의 정확도를 측정하였다. 매트 칼프 법칙과 센서의 탐지확률 증가를 이용하여 초기 정보의 정확도(실제 적용값은 부정확도)를 구하면 아래 표와 같다.

<표 3> 초기 정보의 정확도( $\sigma^2$ )

구 분	상황 1	상황 2	상황 3	상황 4
구축 전( $\sigma_b^2$ )	1.11	1.25	1.11	2.00
구축 후( $\sigma_a^2$ )	0.11	0.11	0.11	0.11

### 3.3 전투효과 분석

C2 효과측정 모델을 적용하기 위해 먼저 체계 구축 전후의 생존확률, 할당비율, 교환비율의 변화를 살펴보고, 전투효과를 측정하고 분석하였다.

### 3.3.1 체계구축 전·후 생존확률( $p_{kj}$ )

생존확률 식(5)과 지휘통제체계 소요시간을 기준으로 생존확률의 변화를 알아보면 다음과 같다.

C2A체계 구축 이후 정보의 정확도 변화 없이 지휘통제시간 단축에 따른 생존확률은 아래 표와 같이 최초 50%에서 94.5%로 증가하였다.

<표 4> 체계구축 전후 생존확률 변화( $t_{cs}$ 변경)

구 분	상황 1	상황 2	상황 3	상황 4
구축 전 지휘통제시간( $t_{cs}$ )	42초			
구축 후 지휘통제시간( $t_{cs}$ )	10초			
구축 전후 정보정확도( $\sigma^2$ )	1			
구축 전 생존확률( $p_{kj}$ )	0.5			
구축 후 생존확률( $\alpha p_{kj}$ )	0.945			

다음은 정보의 정확도와 지휘통제시간이 모두 변화할 때 증가된 생존확률은 <표 5>에서 보는 바와 같이 상황별로 99%이상으로 증가하였다. 앞에서 지휘통제시간만 단축되었을 때 경우와 비교해 보면, 체계 강화 후의 생존확률이 94.5%에서 99%이상으로 아군자산의 생존성이 더욱 증가되는 것을 알 수 있다.

<표 5> 체계구축 전후 생존확률( $t_{cs}$ ,  $\sigma^2$ 변경)

구 분	상황 1	상황 2	상황 3	상황 4
구축 전 $t_{cs}$	42초			
구축 후 $t_{cs}$	10초			
구축 전 $\sigma_a^2$	1.11	1.25	1.11	2.00
구축 후 $\sigma_{aa}^2$	0.11	0.11	0.11	0.11
구축 전 $p_{kj}$	0.5			
구축 후 $\alpha p_{kj}$	0.994	0.995	0.994	0.997

### 3.3.2 체계구축 전·후 할당비율( $a_{kj}$ )

지휘통제체계 개선으로 단축된 지휘통제시간은 예하부대 가용시간의 증가로 각 자산이 통제할 수 있는 지역이 확장됨으로써 체계구축 전보다 할당비율이 증가된다. 최초 할당비율을 1로 가정하고, 방공무기별로 C2A체계 구축 후의 개선된 할당비율을 구하면 아래 표와 같다.

<표 6> 체계구축 전후 할당비율

구 분	비호	천마	휴SAM	발칸
최초 할당비율( $a$ )	1			
플랫폼 기동속도(m/s)	8.33			
무기체계 속도(m/s)	566	884	500	600
유효사거리 비파시간	5.3초	10초	11초	3초
유효사거리(최대)	3km	9km	5.5km	1.8km
최초 가용시간	13초			
변경된 가용시간	45초			
$C_0$	0.962	0.994	0.999	0.989
$\delta a$ (개선 할당비율)	1.182	1.061	1.012	1.036

위 표에서 보는 바와 같이 최초 할당비율 1에서 C2A체계 구축 후 가용시간이 13초에서 45초로 증가되면, 개선된 할당비율은 비호 1.182, 천마 1.061, 휴대용 SAM 1.012, 발칸 1.036으로 증가한다. 이것은 동일한 자산으로 통제할 수 있는 지역이 확대되는 것으로 해석할 수 있다. 비호가 천마보다 할당비율이 높은 것은 무기체계 속도가 늦고, 유효사거리 비파시간이 짧기 때문이다. 할당비율 산출식에서 가용시간이 동일하게 증가할 때, 할당비율은 무기체계 속도( $v_w$ )와 유효사거리 비파시간( $t_w$ )의 제곱에 반비례하기 때문이다.

### 3.3.3 체계구축 전·후 교환비율( $X_{kk}$ )

C2A체계 구축 후의 교환비율은 <표 2> 체계구축 전 교환비율과 식(13)을 이용하여 교환비율을 산출하였다. 먼저, 체계구축 전후 정보의 정확도가 동일할 때 교환비율을 산출하면 아래와 같다.

<표 7> 체계구축 전후 교환비율( $\sigma^2 = 1$ )

구 분	비호	천 마	휴SAM	발칸
구축 후 $\alpha p_{kj}$	0.945			
$C_3$	0.309	0.055	0.351	2.355
구축 전 $X_{kk'}$	0.617	0.109	0.701	4.71
구축 후 $\gamma X_{kk'}$	0.326	0.058	0.371	2.492

체계구축 전후 정보의 정확도가 향상되어 생존확률이 증가될 때, 교환비율은 아래 표와 같다.

<표 8> 체계구축 전후 교환비율( $\sigma^2$ 변경)

구 분	상황 1		상황 2		상황 3		상황 4	
	비호	천마	발칸	천마	비호	휴 SAM	발칸	휴 SAM
구축 후 $\alpha p_{kj}$	0.994		0.995		0.994		0.997	
$C_3$	0.309	0.055	2.355	0.055	0.309	0.351	2.355	0.351
구축 전 $X_{kk'}$	0.617	0.109	4.71	0.109	0.617	0.701	4.71	0.701
구축 후 $\gamma X_{kk'}$	0.326	0.055	2.367	0.055	0.310	0.353	2.363	0.352

<표 7>에서 보다 <표 8>의 교환비율이 더 감소하는 이유는 정보 정확도 향상으로 체계구축 후의 생존확률이 더 증가하였기 때문이다. C2A체계 구축 이후 감소된 교환비율은 적과 교전에서 아군의 손실률이 작아짐으로써 잔존전투력이 더 많아진다는 것을 의미한다.

### 3.3.4 체계구축 전·후 전투효과 측정(MOE)

지휘통제시간만 단축된 경우와 지휘통제시간과

정보 정확도가 모두 변화한 경우의 2가지로 구분하여 전투효과를 측정하였다.

### 가. 지휘통제시간만 단축된 경우

정보 정확도는 변화하지 않고, 지휘통제시간 단축에 따른 가용시간이 증가되었을 때 생존확률 증가, 할당비율 증가, 교환비율의 감소 효과를 모두 고려한 경우로서, 상황별 MOE 입력값을 수정된 MOE 산출식에 적용하여 결과를 산출하였다.

구분	최초 자산 수	구축 전 잔존자산 수	구축 후 잔존자산 수	전투 효과 승수(K)	
상황 1	비호 천마	2	0.510	1.347	2.64
	발칸 천마				
상황 2	비호 천마	2	0.196	1.010	5.18
	발칸 천마				
상황 3	비호 휴SAM	2	0.321	1.216	3.79
	휴SAM				
상황 4	비호 휴SAM	2	0	0.834	·
	휴SAM				

<표 9> MOE ( $t_{cs}$ 만 고려한 경우)

특히, 잔존하는 자산 수는 적기와 교환비율이 낮은 상황1에서 1.347대로 가장 많았으며, 전투효과 승수는 상황2가 5.18로 가장 높게 나타났다. 또한, 교환비율이 높은 발칸과 휴대용 SAM에서 방공자동화체계 구축으로 인한 전투효과가 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.

결과적으로 지휘통제시간이 42초에서 10초로 32초 단축되고, 자산별 가용시간은 13초에서 45초로 증가되면, C2A체계 구축 후의 전투효과는 상황별로 2.6배에서 5.2배의 전투효과가 증가되며, 교전 후 잔존자산 수가 증가하여 생존성이 향상되었다.

### 나. 지휘통제시간과 정보 정확도 모두 변화된 경우

지휘통제시간 단축에 따른 가용시간 증가와 정

보의 정확도가 향상되었을 때 MOE 3가지 효과를 모두 고려한 경우로서, 수정된 MOE 산출식에 적용하여 계산한 결과는 아래 표와 같다.

<표 10> MOE ( $t_{cs}$ 와  $\sigma^2$ 를 모두 고려한 경우)

구분	최초 자산 수	구축 전 잔존자산 수	구축 후 잔존자산 수	전투 효과 승수(K)	
상황 1	비호 천마	2	0.510	1.427	2.80
	발칸 천마				
상황 2	비호 휴SAM	2	0.196	1.088	5.55
	휴SAM				
상황 3	비호 휴SAM	2	0.321	1.294	4.03
	휴SAM				
상황 4	비호 휴SAM	2	0	0.910	·
	휴SAM				

지휘통제시간이 42초에서 10초로 32초 단축되고, 자산별 가용시간은 13초에서 45초로 증가되고, 정보의 정확도(표적 탐지확률 99%)가 증가되면, 이때 상황별로 교전 후 잔존자산의 수가 증가함에 따라 2.8배에서 5.6배까지 효과가 개선되었다.

특히, 지휘통제시간만 단축된 경우와 비교해 보면 전투효과 승수가 2.6~5.2에서 2.8~5.6으로 효과가 증가되었고, 잔존자산의 수는 상황별로 6~7% 증가되었다. 이는 정보 정확도 증가에 따른 효과로서 지휘통제시간 단축과 함께 정보의 정확도가 증가될수록 전투효과는 더 향상됨을 알 수 있다.

## 3.4 투자비용대 효과분석

C2A체계 구축 전후의 아군 잔존자산의 수와 C2A체계 예상 양산단가를 이용하여 투자비용대 효과를 평가해 보면 다음과 같다.

체계구축 후의 잔존자산 수와 구축 전의 잔존자산 수의 차이가 C2A체계 구축으로 발생하는 전투효과이다. 여기에 전투에 참가한 아군자산의 평균비

용)을 곱해줌으로써 전투효과를 비용으로 산출하였으며, 이 효과비용을 방공중대 C1통제기<sup>10)</sup> 1식의 투자비용과 비교함으로써 비용대 효과를 분석하였다.

예를 들어, 상황 1에서  $92.9\text{억원} \times (1.427 - 0.51) = 61.28\text{억원}$ 만큼 효과비용을 기대할 수 있으며, 투자비용대 효과는  $85.2/19.5 = 4.37$ 이다. 상황별로 투자비용대 효과를 계량화하면 아래 표와 같다.

<표 11> 투자비용대 효과

구분	자산 평균 비용 (1)	구축 전 잔존 자산 수(2)	구축 후 잔존 자산 수(3)	효과 비용 (1×(3 -2)) (4)	구축 시 투자 비용 (5)	투자 비용 대 효과 (4/5)
		상황 1	비호 천마 92.9 억원	0.510	1.427	85.2 억원
상황 2	발칸 천마 68.7 억원	0.196	1.088	61.3 억원	19.5 억원	3.14
상황 3	비호 휴SAM 27.8 억원	0.321	1.294	27 억원	19.5 억원	1.38
상황 4	발칸 휴SAM 3.6억 원	0	0.910	3.3 억원	19.5 억원	0.17

※비용근거: 군수사 인터넷 홈페이지/연구계획서

투자비용대 효과 측면에서 상황 1의 경우가 4.37로서 가장 큰 효과가 있는데, 이는 성능이 우수한 고가장비일수록 C2A체계 구축으로 인한 생존성이 향상되기 때문이다. 위 투자비용대 효과는 자산의 일부인 대공포1문과 유도무기 1기에 대한 효과비용을 비교한 것이므로 전체 C2A체계 투자비용대 효과는 더 높을 것으로 판단된다.

## 4. ADESIM을 이용한 효과분석

9) 교전에 참가한 개별 자산의 비용의 합을 자산수로 나누어서 평균비용을 구함.

10) C1통제기는 방공중대 예하 사격반을 00개 통제 가능하고, 레이더 0개와 연동능력을 구비.

## 4.1 방공교전모델 소개

방공교전모델(ADESIM)<sup>11)</sup>은 육군방공학교에서 '03년 12월에 도입하여 운용중인 방공작전 분석용 모델로서, 적기와 아군 방공무기체계간 모의교전 결과분석, 방공무기 운용대안 분석, 주요시설 방호를 위한 적정방공무기 소요 산출에 활용하고 있다.

모델 특성으로는 한반도 전 지역 대상 방공무기 교전 시나리오 구현이 가능하고, 적 항공기 공격 시나리오 입력 시에 저고도 침투비행 묘사가 가능하다. 모델에 적용된 모의논리는 창조 21과 비전 21에 적용된 모의논리가 동일하게 적용되었다.

모델의 주요 기능은 적 항공기 기동간 속도 변경이 가능하며, 적기와 아군 방공무기체계간 1:1교전 논리가 적용되어 반복 및 동시교전이 모의된다.

모델의 제한사항은 헬기, AN-2기 등과 같은 지원기, 지대지 미사일 및 항공기 회피기동에 대한 모의가 불가능하다.

방공작전간 표적탐지는 지형 및 기상조건, 레이더의 탐지거리와 성능의 영향을 많이 받고, 무기체계는 사격할 수 있는 탄약이 한정되어 있다. 이러한 방공무기체계가 갖는 특성과 제한사항을 반영하기 위해 방공교전모델을 이용하였다. 특히, 방공교전모델에서 C2A체계 구축 전의 모의는 탐지수단과 타격체계를 1:1로 연결하여 표적정보를 획득하고, 구축 후의 모의에서는 지역 내에 위치한 탐지수단과 타격체계를 모두 연동함으로써 표적 탐지능력 향상을 반영하여 결과를 산출하였다.

## 4.2 모델 적용을 위한 시나리오 설정

C2 이론에서 설정된 교전상황을 동일하게 적용

11) Air Defense Engagement Simulation

하였으며, C2A체계 전투효과를 측정하기 위해 가정사항을 다음과 같이 설정하였다.

1. 적은 편대비행으로 300m 이하의 저고도로 침투 비행을 실시한 후에, 목표전방 3-5km 지점에서 고도 상승(1.3 - 2km) 후 450KTS의 속도로 타격할 것이다.
2. 아군 방공부대 진지는 적 예상접근로를 판단하여 전술적 운용개념에 맞도록 수도권 임의의 지역에 배치하였으며, 전투준비가 완료된 상태이다.
3. 아군 방공무기별로 자체 보유탐지수단으로부터 표적을 획득하고, 발칸과 휴대용 SAM은 저고도탐지레이더로부터 표적정보를 획득한다.
4. 적기 침투 중에 아군 항공기, 중·고고도 유도탄과의 교전은 없다.
5. 작전간 기상 및 장비 불가동으로 인한 제한조건은 없으며, 방공무기의 탄약의 휴대량은 다음과 같다.(천마 8발, 비호 및 발칸 각각 500발, 휴대용 SAM 5발)

### 4.3 전투효과 분석

모델에서 설정된 시나리오를 실행시키면 1회의 교전결과에 대한 자료만이 생성된다. 따라서, 동일한 시나리오로 30회 반복하여 구한 적기 격추대수의 평균값 사용에 대한 타당성을 검증하기 위해 모평균에 대한 신뢰구간을 99% 신뢰수준으로 추정하였다. 통계 소프트웨어 Minitab을 이용하여 구한 값이 99% 신뢰구간 범위 내에 있으므로 30회 평균값을 기준으로 분석하였다.

C2이론에서는 아군의 최초 자산 수 대비 교전 후 잔존자산 수의 비율을 MOE로 설정하였으나, 방공교전모델에서 적용한 전투효과는 C2A체계 구축 전 적기 격추대수 대비 구축 후의 적기 격추대수의 비율을 <MOE>로 설정하여 분석하였으며, 이를 수

식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\langle MOE \rangle = \frac{\text{구축후 적기 격추대수}}{\text{구축전 적기 격추대수}}$$

위 식을 기준으로 C2A체계 구축 전·후 모의결과를 상황별로 전투효과를 분석하였다.

#### 4.3.1 상황 1(천마+비호)

적기 격추대수가 C2A체계 구축 전 1.3대(격추율 65%)에서 구축 후 2대(격추율 100%)로 증가하였다. 이것을 전투효과로 보면  $MOE=2/1.3 = 1.54$  로서, 적기 격추능력이 54% 증가되는 전투효과가 있다. 평균 격추율과 명중률이 향상되었으며, 또한 정보의 정확성 증가로 명중률 향상과 불필요하게 소모되는 탄을 줄이는 효과까지 기대할 수 있다.

<표 12> C2A체계구축 전후 모의결과(상황1)

구 분		평균 사격 발수	평균 격추 대수	평균 격추율 (%)	평균 명중률 (%)	비 고
구축 전	비호 1문	46	0.1	5	0.22	2대중 1.3대 격추 (65%)
	천마 1기	7.5	1.2	60	16.00	
구축 후	비호 1문	8	0.2	10	2.50	2대중 2대 격추 (100%)
	천마 1기	7.1	1.8	90	25.35	

#### 4.3.2 상황 2(천마+발칸)

천마의 적기 격추대수가 C2A체계 구축 전 1.1대(격추율 55%)에서 구축 후 1.6대(격추율 80%)로 증가하였다. 이것을 전투효과로 보면  $MOE = 1.6/1.1 = 1.46$  로서, 적기 격추능력이 46% 증가되는 전투효과가 있다. 특이사항으로 발칸의 경우 자체 레이더가 없고, 유효사거리가 짧기 때문에 적기를 격추할 수 없는 것으로 판단된다.

<표 12> C2A체계구축 전후 모의결과(상황1)

구 분		평균 사격 발수	평균 격추 대수	평균 격추율 (%)	평균 명중률 (%)	비 고
구축 전	발칸 1문	210	0	0	0	2대중 1.1대 격추 (55%)
	천마 1기	7.8	1.1	55	14.10	
구축 후	발칸 1문	100	0	0	0	2대중 1.6대 격추 (80%)
	천마 1기	8	1.6	80	20.00	

### 4.3.3 상황 3(휴대용 SAM+비호)

적기 격추대수가 C2A체계 구축 전 0.9대(격추율 45%)에서 구축 후 1.2대(격추율 60%)로 증가하였다. 이것을 전투효과로 보면  $MOE=1.2/0.9 = 1.33$ 로서, 적기 격추능력이 33% 증가되는 전투효과가 있다. 특히, 휴대용 SAM의 평균 격추율이 비호보다 낮은 이유는 초탄발사 후 재장전까지 2분의 시간이 소요되기 때문이다.

<표 14> C2A체계구축 전후 모의결과(상황3)

구 분		평균 사격 발수	평균 격추 대수	평균 격추율 (%)	평균 명중률 (%)	비 고
구축 전	비호 1문	352	0.8	40	0.23	2대중 0.9대 격추 (45%)
	휴SAM 1기	1.8	0.1	5	5.56	
구축 후	비호 1문	336	1.1	55	0.33	2대중 1.2대 격추 (60%)
	휴SAM 1기	1.6	0.1	5	6.25	

### 4.3.4 상황 4(휴대용 SAM+발칸)

전체 적기 격추대수가 C2A체계 구축 전 0.1대(격추율 5%)에서 구축 후 0.4대(격추율 20%)로 증가하였다. 이것을 전투효과로 보면  $MOE=0.4/0.1 = 4$ 로서, 적기 격추능력이 4배 증가되는 전투효과가 있다. 특히, 휴대용 SAM이 발칸보다 유효사거리가

길기 때문에 C2A체계 구축 후 효과가 증가되었다.

<표 15> C2A체계구축 전후 모의결과(상황4)

구 분		평균 사격 발수	평균 격추 대수	평균 격추율 (%)	평균 명중률 (%)	비 고
구축 전	발칸 1문	500	0	0	0	2대중 0.1대 격추 (5%)
	휴SAM 1기	2	0.1	5	5	
구축 후	발칸 1문	216	0	0	0	2대중 0.4대 격추 (20%)
	휴SAM 1기	2	0.4	20	20	

## 4.4 투자비용대 효과분석

C2A체계 구축 시 투자비용대 효과분석은 모의 결과 발생하는 전투효과를 비용으로 환산하고, 이를 투자비용(C1통제기 1식 예상단가)과 비교 분석하였다. 즉, C2A체계 효과를 비용으로 산출한 방법은 방공자동화체계 구축 전·후 시뮬레이션 결과에 의한 적기 격추대수의 증가분에 적기의 추정가격을 곱한 만큼의 효과비용이 발생한다고 판단하였다.

<표 16> C2A체계 구축 후 투자비용대 효과

구 분		적기 추정 가격 (1)	격추대수 증가 (2)	효과 비용 (1×2) (3)	투자 비용 (4)	비용 대 효과 (3/4)
상황 1	비호	95 억원	0.7	66.5	19.5	3.41
	천마		(1.3→2)	억원	억원	
상황 2	발칸		0.5	47.5	19.5	2.44
	천마		(1.1→1.6)	억원	억원	
상황 3	비호	95 억원	0.3	28.5	19.5	1.46
	휴SAM		(0.9→1.2)	억원	억원	
상황 4	발칸		0.3	28.5	19.5	1.46
	휴SAM		(0.1→0.4)	억원	억원	

※ 적기 가격은 아군 유사체계 비용으로 추정

위 표에서 보는 바와 같이, 비호와 천마로 혼합 편성한 상황 1의 경우가 3.41로서 가장 큰 효과가 발생하는 것으로 분석되었는데, 이것은 장비성능이 우수할수록 지휘통제체계 강화 후에 더 큰 효과가



발생하는 것으로 판단된다.

결과적으로, 센서의 네트워크 운용에 따른 탐지 능력 및 정확도 향상으로 방공무기별 사격발수가 감소하면서도 적기 격추능력은 오히려 향상되고, 중복교전으로 인하여 불필요하게 소모되는 탄의 손실을 방지하는 효과까지 기대할 수가 있다.

#### 4.5 C2 모델과 ADESIM 효과 비교

C2 효과측정모델과 방공교전모델에 적용하여 측정된 전투효과를 비교해 보면 <표 17>과 같다.

첫째, 자체 기동성과 탐지능력을 갖춘 성능이 우수한 방공무기일수록 생존성이 증대되고, 적기격추능력이 향상되어 효과가 높은 것으로 분석되었다.

둘째, 자체 레이더가 없고 사거리가 짧은 발칸과 초탄발사 후 재장전시간이 소요되는 휴대용 SAM이 전투효과가 낮은 것으로 분석되었다.

셋째, 투자비용대 효과 측면에서 2가지 측정방법 모두 성능이 우수한 장비일수록 효과가 더 큰 것으로 분석되었다.(상황 1 > ... > 상황 4)

결과적으로, C2 모델과 방공교전모델에 의한 효과측정 결과가 동일하므로 C2 이론에서 본 논문에 적용한 수정된  $MOE_R$  산출식(17, 18)이 타당하다는 것을 입증하였다.

<표 17> 전투효과 비교

구분	C2 효과측정 모델				방공교전모델			
	구축 전존자산 수	구축 후존자산 수	전투효과승수	투자비용대 효과	구축 전격추대수	구축 후격추대수	전투효과승수	투자비용대 효과
1 비호 천마	0.51	1.427	2.80	4.37	1.3	2	1.54	3.41
2 발칸 천마	0.196	1.088	5.55	3.14	1.1	1.6	1.46	2.44
3 비호 #SAM	0.321	1.294	4.03	1.38	0.9	1.2	1.33	1.46
4 발칸 #SAM	0	0.91	·	0.17	0.1	0.4	4	1.46

## 5. 결 론

본 연구에서는 육군 방공자동화체계 구축시 센서와 타격체계, C2A체계를 네트워크로 연동함으로써 발생하는 전투효과를 C2 이론을 이용한 방법과 방공교전 시뮬레이션을 이용한 방법으로 각각 전투효과를 분석해 보았다. C2 이론에서는 체계구축 전후 아군 잔존자산의 수를, 방공교전모델에서는 적기 격추대수를 기준으로 전투효과를 측정하였다.

첫째, C2 이론을 이용한 효과분석에서는 실시간 표적탐지 및 정보공유로 인한 지휘통제시간 단축과 타격수단의 가용시간 증대, 표적의 중첩탐지와 정보유합으로 인한 정보의 정확도 향상의 결과로 나타나는 교전 후 아군 잔존자산의 수를 비교분석하였다. C2A체계 구축 후 적 항공기와 교전에서 표적 탐지확률이 99% 이상이고, 지휘통제시간이 32초 단축되었을 경우 잔존자산의 수가 상황별로 2.8 ~ 5.6배까지 효과가 증대되었으며, 투자비용대 효과에서는 0.17 ~ 4.37로서 투자비용보다 효과가 더 큰 것으로 분석되었다. 특히, 천마와 비호같이 고성능장비일수록 네트워크 구축에 따른 정확한 정보공유와 실시간 지휘통제가 이루어짐으로써 생존성이 향상되고, 전투효과가 증대되었다.

둘째, 방공교전 시뮬레이션을 이용한 효과분석에서는 지형조건과 무기체계의 제한사항을 묘사한 적기와 모의교전에서, C2A체계 구축 후 발생하는 타격수단의 전투효과를 분석하였다. 상황별로 적기 격추능력이 구축 전보다 33%에서 53%까지 향상되었으며, 명중률 향상으로 인한 탄의 절감효과까지 확인할 수 있었다. 이것은 실제 전장에서 무인항공기에 의한 위장침투 시에 실시간 표적할당과

사격통제가 이루어지지 않는다면, 중복사격으로 인해 발생하는 탄의 손실 및 부족으로 아군 생존위협이 증가되므로 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 투자비용대 효과에서는 1.46 ~ 3.41로서 C2 이론을 이용한 방법에서와 같이 투자비용보다 효과가 더 큰 것으로 분석되었다.

무기체계 효과를 분석함에 있어서, 본 연구에서 제시한 것처럼 단순 동태적인 방법과 복합 동태적인 방법을 상호보완적으로 활용한다면 효과분석에 대한 신뢰성이 더욱 증가될 것으로 판단된다.

본 논문에서 C2 이론을 이용한 효과측정 방법에서는 정보의 정확도를 측정하기 위한 방안을 제시하였지만, 센서체계의 성능을 고려한 정보의 정확도를 측정할 수 있는 방법에 대해 세밀한 연구가 필요하다. 또한, 시뮬레이션을 이용한 효과분석에서는 신뢰성이 높은 표준화된 자료가 구축되고, 무기체계의 제한사항뿐만 아니라 인적요소까지 고려된 모델을 이용하여 군단급 저고도 방공무기 전체 자산에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

[1] 고순주, “해군 구역 대공방어체계 개념연구”, 해군사관학교 해양연구소, 1998, pp.454-456.  
 [2] 공군방공포병학교, 「미 육군방공 및 미사일 방어작전」, 미FM 44-100, 2000, pp.68-76.  
 [3] 김영길외 2명, “네트워크와 무기체계의 전투기여 효과분석을 위한 기반연구”, 한국국방연구원, 2000, pp.97-98.  
 [4] 김태연, “MCRC체계의 전투력 상승효과 평가에 관한 연구”, 국방대학교, 2001.  
 [5] 김호진, 이영재, 「실시간 지휘통제를 위한 디지털

시스템 구현」, 생능출판사, 2001, pp.111  
 [6] 박송기, “지상전술 C4I체계의 군단 통합화력 운용간 전투력 상승효과 평가에 관한 연구”, 국방대학교, 2002.  
 [7] 원은상, “전력평가의 이론과 실제”, 한국국방연구원, 1999, pp.106-133.  
 [8] 육군교육사령부, 「방공조기경보와 타격체계 통합 운용」, 교육회장 03-3-5, 2003, pp.1-2.  
 [9] 이수열, “KNIDS의 전투력 상승효과 평가 연구”, 국방대학교, 2001.  
 [10] 이재영외 4명, “정보전력체계의 전투효과 평가방법 기본개념 연구”, 21세기 군사연구소, 2001, pp. 68-76.  
 [11] 황영구, “전방지역 저고도 방공 C2A체계 구성에 관한 연구”, 국방대학교, 1991.  
 [12] Daniel, M. Schutzer, “C2 Theory and Measure of Effectiveness”, Gordon and Brech Science Publisher, New York, 1982, pp.119-144.