

# 네트워크 효과를 고려한 C4I 체계 전투력 상승효과 평가

정환식\*<sup>†</sup> · 이재영\* · 김용흡\*\*

\*국방대학교 운영분석과

\*\*대한민국 육군

## An Assessment of Combat Effectiveness for C4I System Considering Network Effect

Whan-Sik Jung\*<sup>†</sup> · Jae-Yeong Lee\* · Yong-Heup Kim\*\*

\*Dept. of Operations Research in Korea National Defense University

\*\*Republic of Korea Army

In this paper, we proposed the modified method of Metcalfe's law that is "Modified law" in evaluating the network power for the measurement of combat effectiveness in C4I system. It is applied to JFOS-K (Joint Fire Operating System-Korea) C4I system that can connect KJCCS (Korea Joint Command and Control System) of Korea armed forces with JADOCs (Joint Automated Deep Operations Coordination System) of U.S. armed forces and achieve sensor to shooter system in real time in JCS (Joint Chiefs of Staff) level. The result of combat effectiveness using Modified law is compared to the one by C2 theory and found that both is similar. This study is meaningful because we improved the description level of reality in calculation of combat effectiveness in C4I system.

**Keywords** : C4I, Metcalfe's Law, Modified Law, Combat Effectiveness, C2 Theory

### 1. 서 론

21세기 사회는 전장 운영 개념이 살상·소모전 중심에서 정보·지식 기반전으로 변화함에 따라 C4I 체계와 같은 정보 전력의 중요성이 강조되고 있다.

정보기술의 발전에 따라 미래 전장환경은 정밀 화력 및 네트워크를 기반으로 하는 네트워크 중심 전투(NCW : Network Centric Warfare)로 개념이 바뀌고 있다. 과거의 플랫폼 중심 전투(PCW : Platform Centric Warfare)에서는 전선 이동을 주도하는 전차, 화포 등의 기동 전력이 주축이 되지만, NCW에서는 C4I 체계(Command and Control, Communication, Computer, Intelligence System),

정보자산, 정밀무기체계 등의 정보 전력이 주축이 된다 [3]. 이에 따라 우리 군도 이러한 정보화 시대의 정보전 수행을 위한 전투력을 확보하기 위하여 막대한 예산을 투자하여 각 군의 C4I 체계 개발 및 전력화를 완료 및 진행 중에 있다. 이처럼 많은 예산의 투입으로 인하여 하드웨어적인 C4I 체계 구축은 순조롭게 진행되고 있지만, C4I 체계의 효과를 측정하려는 시도는 매우 미흡하여 C4I 체계 구축 후 어느 정도의 전투력 효과가 발생하였는지에 대한 체계적이고 신뢰할 만한 판단이 미흡한 실정이다[14].

이에 본 연구에서는 기존의 뉴턴의 2법칙( $F = ma$ )을 NCW 개념에서 재해석한 전투력 평가함수( $F = (m\Delta v)/$

$\Delta t \Rightarrow (MoI)/T$ 를 적용하여 네트워크로 연결된 유기적인 조직의 특성을 고려하여 C4I 체계에 대해 전투효과를 평가하였다. 기존 연구와 차이점은 메트칼프 법칙을 현실적으로 수정 및 보완하여 네트워크 파워를 산출하였으며, 전투력 상승효과 결과를 Schutzer의 C2모델에 의한 결과와 비교하여 검증한 것이라고 할 수 있다.

제 2장에서는 C4I 체계 개념과 기존 연구에 대해 살펴보고, 제 3장에서는 C4I 체계 전투효과 평가 방법들에 대해 설명하였다. 제 4장에서는 JFOS-K 체계를 소개하고, 가상 시나리오를 설정하여 네트워크 파워 산출시 메트칼프 이론을 현실적으로 보완한 방법을 뉴턴의 2법칙을 NCW 개념에서 재해석한 전투력 평가함수에 적용하여 전투력 상승효과를 분석 평가하였다. 그리고 평가 결과를 Schutzer의 C2 이론 및 기존 연구결과와의 비교를 통해 검증하였다. 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

## 2. C4I 체계 개념 및 기존연구 고찰

### 2.1 C4I 체계 개념

C4I라는 영문 용어가 등장한 시기는 오래되지 않았지만, 그 기능은 원시 사회부터 지속적으로 존재해 왔다. 그러나 기술이 고도로 발전됨에 따라 과거의 재래식 전쟁수단만으로는 C4I 본래의 목적을 효과적으로 달성하기에는 한계가 있으므로, 첨단인 정보·통신·전자기술을 응용한 자동화 체계의 구축의 필요성이 등장하게 된 것이다. C4I 관련 용어는 C2(COMMAND AND CONTROL), C3(COMMUNICATION 추가), C3I(INTELLIGENCE 추가), C4I(COMPUTER 추가), C4I2(INTERFACE 추가) 등으로 매우 다양하지만, 이들은 모두 C2에서 파생된 것이다. C4I를 구성하는 요소간의 연계성을 살펴보면, COMMUNICATION(통신)은 C2를 지원하는 가장 기본적인 수단이며, INTELLIGENCE(정보)는 C2를 구성하는 요소로 보면 될 것이다. 그리고 COMPUTER는 C2의 고유기능 및 통신의 일부를 자동화하는 요소로써 가장 하위에 있는 구성요소라고 볼 수 있다. 따라서, C4I란 첨단 정보화 기능의 기반 하에서 지휘 통제를 지원하는 정보가 상호 결합되어 신뢰성과 적응성이 보장된 정보를 필요로 하는 누구에게나 적시에, 어디서나, 즉각적으로 이용할 수 있도록 정제된 정보를 상하 및 인접체대에 제공하는 통합정보관리체계이며, 이는 How to Fight 개념과 절차, 군사력 운용을 위한 규정과 절차, 지휘통제술 등 의사결정을 위한 인간의 행동양식과 과학적 수단이 접목된 현대전장의 군사력 운용 및 전쟁수행체계

의 통합체로서, 현대전에서 어떻게 지휘하여 싸울 것인가에 대한 총체적인 방법론이며 전쟁수행 절차이다. 그리고 C4I 체계는 여러 개의 단일체계가 복합적으로 상호 연동됨으로써 하나의 시스템을 이루어 전투력을 상승시키는 복합체계라고 할 수 있다[5].

### 2.2 기존연구 고찰

첫째, Schutzer의 C2 이론은 란체스터 전투 모델을 이용하여 C4I 체계의 전투효과를 측정하기 위해 개발된 것으로 지휘통제 시간과 정보의 정확도에 의해 생존확률, 할당비율, 교환비율의 3가지 요인에 대한 변수를 계량화하여 최초 전투력 대비 교전 후 잔존 전투력의 비율을 전투효과로 측정하는 방법을 제시하였다[20].

C2 이론은 다수의 국내 연구자들에 의해 적용되었다. 구체적으로는 한국군의 지상전술 C4I 체계의 군단 통합화력 운용 간 전투력 상승효과를 측정하기 위하여 전력지수 개념을 추가한 연구[7], 지휘통제체계 강화와 부대전투력간의 상관관계를 C2 이론과 란체스터 제공방정식을 이용하여 전장요소 중심으로 평가한 연구[10], PAM(Performance Assessment Methodology) 모델을 활용해 C2 이론에 적용한 시간변수를 산출하여 C4I 체계의 전투효과를 평가한 연구[13] 등이 있다.

둘째, AHP(Analytic Hierarchical Process) 및 ANP(Analytic Network Process) 기법과 같은 방법을 적용한 연구는 다음과 같다. 육군 지상전술 C4I 체계의 전투 효과기여 요소를 센서 체계, C4I 체계, 타격 체계로 구분한 후, 운용요원들의 설문에 의한 AHP 기법 적용을 통해 전투효과를 분석한 방법이 있다[1]. 그리고 해군 전술지휘통제 체계인 KNTDS(Korea Naval Tactical Data System)의 경우는 AHP 기법을 이용하여 산출한 지휘통제 체계의 단축시간을 지휘통제 체계 전력평가 모델에 적용하여 네트워크화를 통한 실시간 정보교환의 효과를 평가한 방법 등이 있다[8]. ANP 기법은 육·해·공군의 C4I 체계에 대한 전투력 상승효과 요인을 C2 Cycle time, 정보의 유통속도, 정보의 질로 선정하여 전투력 상승효과를 평가하기 위해 적용되었다[4].

셋째, 시뮬레이션을 기반으로 한 C4I 효과분석 모델은 미국과 독일 등에서 활발하게 연구되고 있다. 미 육군 훈련소는 지휘통제 체계에 대한 효과를 측정할 수 있도록 개발한 ACCE(Army Command and Control Assessment) 모델을 이용했으며, RAND 연구소는 C4I 자산의 성능척도 값의 변화에 따른 전투효과를 측정하기 위하여 SEAS(System Effectiveness Analysis Simulation) 모델을 개발했다. 또한, 독일은 C4I 체계에 대하여 디지털 전장, 정보의 최적화, 정보 작전의 기술적 측면에서 효과 분석과

훈련에 사용하기 위하여 FIT(Führung und Informations-Technologie) 모델을 활용하였다[11].

넷째, 기존의 연구와 달리 C4I 체계와 연결된 운용전력간의 상호작용을 추가적으로 고려한 경우로써, 고전 역학을 이용한 전투력 평가함수를 적용한 것이다[9]. 이는 전투력을 구성하는 각 요소간의 상호작용에 의한 상승효과를 고려하지 못한 기존 연구들의 한계를 보완한 것이라고 할 수 있다.

### 3. C4I 체계 전투효과 평가 방법

#### 3.1 C2 이론

미국 해대원의 Schutzer 교수는 지휘통제 체계(C2)의 개선으로 나타나는 3가지 효과요소(생존확률 증가, 할당된 자산비를 증가, 자산 개별효과 증가)를 설정하여 지휘통제 과정상의 시간변수들과 Lanchester 전투모델 이용 고전 전·후 부대의 전투효과(MOE)를 비교하여 부대 전투력 상승효과를 측정하는 수리모형을 란체스터 선형법칙과 제곱법칙을 이용하여 <표 1>과 같이 제시하였다.

<표 1> C2 적용 모델 유형

구 분	란체스터 선형법칙	란체스터 지승법칙
부대특성 미고려	$\frac{\langle N \rangle_j - E_0 \langle M \rangle_j}{N}$ <유형 1>	$\frac{\langle N^2 \rangle_j - E_0 \langle M^2 \rangle_j}{N^2}$ <유형 2>
부대특성 고려	$\frac{\langle N \rangle_j - \langle M \rangle_j}{N}$ <유형 3>	$\frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2}$ <유형 4>

#### 3.2 고전 역학이론 적용 방법 I

전투이론에 대해 고전 역학이론의 적용사례를 살펴보면 먼저, 정보전에 대한 개념연구에서 뉴턴의 제 2법칙을 이용하여 군사력에 대한 개념적 모델링을 식 (1)과 같이 나타내었다[16].

$$F = ma = mvC \tag{1}$$

$F =$  군사력,  $m =$  타격력,  $v =$  기동력,  $C =$  정보전력

군사력은 타격력과 기동력과 정보전력의 곱으로 표현되는데 이는 미래전에 있어 군사력을 극대화하기 위해서는 타격력과 기동력을 일정 수준이상 갖춘 상태에서 정보전력이 중요한 비중을 차지한다는 개념이다. 이는 아군의 작전 반응시간을 단축하고, 정보의 정확도를 향

상시켜 전투의 승패를 결정짓게 될 것이다. 식 (1)은 전체 군사력에서 정보전력이 차지하는 비중에 대한 개념에는 공감하나 정보전력의 효과측정을 위한 구체적 방법 제시가 미흡했다는데 한계가 있다.

다음은 뉴턴의 고전 역학의 개념을 전투이론의 용어 및 개념에 연계시켜 <표 2>와 같이 정리하였다[6].

<표 2> 고전 역학과 전투이론의 용어 및 개념의 연계성

고전 역학(Classical Mechanics)		전투이론(Combat Theory)	
개 념	용 어	용 어	개 념
시 간	시 간	시 간	시 간
거리, 위치, 공간	거 리	전투 진도	전투의 진척정도, 추상적 공간
물질의 기본량	질 량	전투 질량	물리적 전투력
위치의 시간적 변화율	속 도	전투 속도	전투 템포
속도의 시간적 변화율	가속도	전투가속도	전투속도의 시간적 변화율

이상의 고전 역학과 전투이론의 용어 및 개념의 연계성을 기초로 전투력 평가함수를 식 (2)와 같이 제안하였다[9]. 이는 힘에 대한 표현을 나타내는 뉴턴의 제 2법칙(시간과 속도로 표현)에 정보의 정확도를 곱해주어 확장시킨 것이다.

$$F = (m\Delta v) / \Delta t \Rightarrow (Mv) / T \tag{2}$$

$m$ : 질량  $\Rightarrow$  네트워크 파워( $M$ )

$v$ : 속도

$t$ : 시간  $\Rightarrow$  지휘통제 시간( $T$ )

$I$ : 정보의 우위

고전 역학에서 힘( $F$ )은 질량의 시간적 변화율을 의미하므로 전투이론 측면에서 힘을 전투력이라 하면, 각 변수의 의미는 다음과 같다.

첫째, 뉴턴의 제 2법칙에서 질량은 크기와 모양을 고려하지 않은 물체의 본질적인 특성을 나타낸다. 따라서 각 플랫폼들이 네트워크로 연결된 공격주체의 근본적인 특성은 전투질량인 네트워크 파워( $M$ )를 의미한다. 이를 도출하기 위하여 메트칼프 이론을 적용하였으며, 이는 상호관계가 존재하는 네트워크상에서 노드 수가 증가할 때, 네트워크의 잠재적 가치 또는 효율성은 노드 수의 승수에 비례하여 증가한다는 이론으로 수식은 식 (3)과 같다.

$$Network\ Power = n(n-1) = n^2 - n, \tag{3}$$

if  $n$  is large,  $Network\ Power \propto n^2$

둘째, 전투이론 관점에서 속도는 부대의 기동속도 또는 화력자산의 투사속도로 표현할 수 있으며, 네트워크 구축 전·후의 충격 속도( $V$ )는 동일하다.

셋째, 지휘통제시간( $T$ )은 Schutzer의 C2 이론에서 제시된 C2 시간(Command and Control time)을 적용하였으며, 식 (4)와 같이 탐지, 경고전파, 지휘결심, 지휘전파에 소요되는 시간을 의미한다.

$$t_{cs} = t_d + t_{wc} + t_{cd} + t_{cc} \quad (4)$$

$t_d$  : 탐지 시간,  $t_{wc}$  : 경고 전파 시간  
 $t_{cd}$  : 지휘결심 시간,  $t_{cc}$  : 지휘전파 시간

이때, 전투력 평가함수( $F$ )는 공격주체의 공격력이 상대에게 직접적으로 전달되기까지의 소요되는 시간에 반비례한다.

넷째, 정보의 우위( $I$ )는 전장상황에 대한 가시화의 우열로서, 이를 1945년 Shannon이 정보의 전달량을 계산하기 위해 개발한 수학적 모델인 엔트로피 개념에 의해 설명하면, 군사 분야에서는 ‘유용한 정보(지식)’의 부재로 인해 지휘통제 프로세스 안에서 발생할 수 있는 무질서 또는 불확실성의 범주를 나타낸다[17]. 지식이란 엔트로피를 감소시키는 것으로서, 유용한 정보의 양은 전장관리에 있어서 제거된 불확실성의 양과 같다[19].

불확실성( $H$ )은 표적획득 자산이 탐지 가능한 범위 내에 표적이 있는 경우 Shannon의 엔트로피 개념을 이용하여 식 (5)와 같이 표현할 수 있다[18].

$$H = - \sum_{i=1}^w p_i \ln(p_i) \quad (5)$$

$w$  : 표적수,  $p_i$  : 각 표적의 발견 확률

엔트로피가 높다는 것은 불확실성이 높아짐을 의미하는데 이는 군사 분야에서 “지식의 부재로 인한 지휘통제상의 혼란”이 최대인 상태를 의미한다. 불확실성의 상대적 개념인 확실성은  $\ln(w+1)-H$ 로 표현할 수 있으며, 지식 (1)은 식 (6)과 같이 정규화된 확실성의 형태로 표현할 수 있다[18].

$$I = [\ln(w+1) - H] / [w(w+1)] \quad (6)$$

전투력 평가함수를 C4I 체계에 대한 전투력 상승효과를 측정할 수 있는 MOE(Measure of Effectiveness)라고 볼 수 있는데 이는 작전 개념의 발전, 무기체계 획득 등의 의사결정에 객관적인 타당성을 제공하는데 사용된다.

### 3.3 고전 역학이론 적용 방법 II

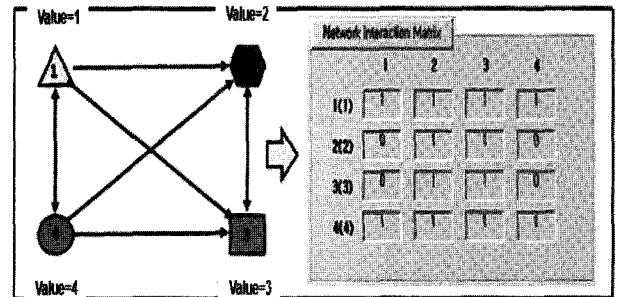
제 3.2절의 전투력 평가함수 개념을 적용하였으며, 차

별화되는 것은 네트워크 파워 산출시 적용된 매트칼프 법칙을 현실적인 요소를 반영하여 적용한 것이다. 매트칼프 법칙은 네트워크로 연결된 노드의 가치만을 고려하여 네트워크 파워를 산출하였는데, 이에 추가하여 아크(네트워크 상 연결선)의 가치를 고려하였으며, 이는 식 (7)과 같이 표현될 수 있다. 이는 모든 노드의 가치가 동일하고, 노드 간 공유하는 정보의 양이 같다고 가정한 매트칼프 법칙을 보완한 것(이하 “수정 매트칼프 법칙”)이라고 할 수 있다.

$$M = \sum_{i=1}^n v_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_i \delta_{ij} (i \neq j) \quad (7)$$

$v_i$  :  $i$ 번째 노드의 가치  
 $\delta_{ij}$  : 아크(연결선)가중치 ( $0 \leq \delta_{ij} \leq 1$ )

<그림 1>에서 1번 노드는 모든 노드에게 정보를 제공하는 반면에, 2번 노드는 3번 노드에게만 정보를 제공하는 것을 볼 수 있다. 즉, 각 노드의 가치가 상이하고, 노드 간에 정보를 공유하지 않는 경우도 볼 수 있다.



<그림 1> 수정 네트워크 법칙에 의한 네트워크 파워 평가

<그림 1>에서 모든 노드의 가치가 “1”로 동일하다고 가정했을 경우, 매트칼프 법칙과 수정 매트칼프 법칙에 의한 네트워크 파워를 계산하면, 각각 16(= 4<sup>2</sup>)과 12(= 4+(3+1+1+3))로 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 반대로 모든 노드의 가치가 다를 때에는 매트칼프 법칙의 경우 네트워크 파워를 계산할 수 없지만, 수정 매트칼프 법칙을 적용하면 식 (7)에 의해 30(=(1+2+3+4)+(3+2+3+12))의 값을 얻을 수 있다. 네트워크 상에서 노드 간 상호작용을 고려하여 각 노드의 가치를 산출하는 과정을 행렬로 나타내면 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

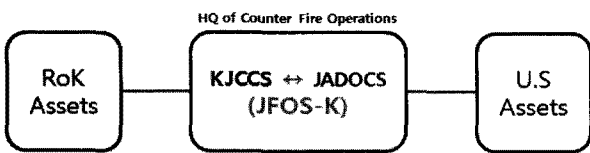
$$(v'_1, v'_2, v'_3, v'_4) = (v_1, v_2, v_3, v_4) * \begin{pmatrix} 1001 \\ 1111 \\ 1111 \\ 1001 \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$= (v_1+v_2+v_3+v_4, v_2+v_3, v_2+v_3, v_1+v_2+v_3+v_4)$$

### 4. C4I 체계 전투력 상승효과 평가

#### 4.1 JFOS-K 개요

JFOS-K는 <그림 2>와 같이 대화력전 수행 간 한·미 간에 이원화 운용하고 있는 한국군 합동지휘통제 체계 (KJCCS : Korean Joint Command and Control System)와 미군의 합동 자동화중심작전 협조체계(JADOCs : Joint Automated Deep Operations Coordination System)를 연동함으로써 합참 중심으로 실시간 탐지-결심-타격체계를 구현하기 위한 전구합동화력 운용체계이다.



<그림 2> 대화력전간 JFOS-K 운용개념

JFOS-K 체계는 전구차원의 중심작전 및 대화력전시 독자적인 임무수행과 실시간 탐지-결심-타격 체계 구현을 위해 필요하다.

#### 4.2 전투력 상승효과 측정 방법

본 연구에서는 JFOS-K에 대하여 다음과 같은 요소들 제 3.2절의 전투력 평가함수에 적용하였으며, 네트워크 파워는 제 3.3절에서 언급했던 수정 메트칼프 법칙을 적용하여 산출하였다.

- 첫째, JFOS-K 체계로 연결된 공격주체(표적획득자산, 지휘통제체계, 화력지원 자산)의 힘
- 둘째, 지시된 표적에 대한 화력지원 수단의 투사능력 (속도)
- 셋째, 전투상황에 대한 전장 가시화 수준
- 넷째, 표적획득으로부터 지휘결심을 통한 화력지원까지의 지휘통제 시간

JFOS-K 구축 전·후의 전투력 상승효과를 나타내는 전투효과 승수(K)는 식 (9)와 같다.

$$K = \frac{F_{(a)}}{F_{(b)}} \tag{9}$$

$F_{(a)}$  = JFOS-K체계 구축 후

$F_{(b)}$  = JFOS-K체계 구축 전

#### 4.3 시나리오

##### 4.3.1 가정사항

일반적인 가정사항은 다음과 같다.

첫째, 지휘관 능력 및 체계 운용요원의 기술적 조작 능력은 동일하다.

둘째, 적군의 지휘통제 체계 강화로 인한 전투효과는 없다.

셋째, 정보전달간 기계적 손실은 없다.

넷째, 탐지 및 타격자산은 JFOS-K 체계 구축 전·후 동일하다.

##### 4.3.2 상황설정

본 연구에서는 적 240mm 방사포와 170mm 자주포의 갱도포병 운용지역을 고려하여 군단급 대화력전을 기준으로 상황을 설정하였다. 탐지자산의 경우 전구 정보자산 (위성, JSTARS, 금강, U-2 등)에 획득된 표적정보는 고려하지 않았으며, 탐지자산은 상호간 정보를 공유하고 타격자산의 임무 및 능력을 고려하여 정보를 제공한다. 타격자산은 상호간 정보를 공유하고, 탐지자산에게는 정보를 제공하지 않는다.

##### 4.3.3 전투자산

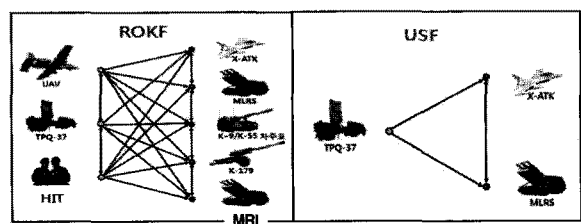
적군 및 아군의 전투자산은 다음과 같이 설정하였다.

- (1) 적군 : 항공기 2개 편대, 240RL 2개 대대, 170SP 3개 대대, 152SP 4개 대대
- (2) 아군
  - (가) 한측
    - 항공기 1개 편대, MLRS 1개 대대, K-9/K-55 1개 대대, KH-179 1개 대대, 다련장 (탐지자산 : UAV, TPQ-37, 적종팀)
  - (나) 미측
    - 항공기 1개 편대, MLRS 1개 대대 (탐지자산 : TPQ-37)

#### 4.4 전투력 상승효과 평가

##### 4.4.1 네트워크 파워(M)

네트워크 파워는 노드와 아크의 가치를 고려한 수정 메트칼프 법칙을 적용하여 산출하였으며, <그림 3>은 네트워크상 한·미측의 탐지자산과 타격자산의 연결 관계를 보여주고 있다.



<그림 3> 한측 및 미측의 네트워크 구성

각 자산의 가치는 대화력전에 대한 자산별 기여도를 기반으로 상대적인 무기체계 효과지수를 반영하였으며 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 자산별 무기체계 효과지수

구분	UAV	TPQ-37	적종팀	X-ATK	MLRS	K-9/K-55	K-179	다련장
작전 기여도	26.4	10.5	5.2	11.2	7.2	4.5	2.3	3.8

출처: 대화력전 수행체계 작전 기여도 분석결과(합참) 수정 적용.

탐지자산에서 타격자산으로 연결된 아크의 가치는 타격자산의 능력에 따라 정보의 활용이 제한되기 때문에 타격자산별 사격 가능한 표적에 대한 비율을 고려하여 <표 4>와 같이 나타내었다.

<표 4> 표적에 대한 타격자산 능력 비율(%)

구분	공군	MLRS	자주포	다련장	KH-179
표적정보 활용	100	100	88	80	66

Systems	Quantity	Node	Sensor								Total
			Shooter								
			UAV	TPQ-37	HUMINT	X-ATK	MLRS	K-9K-55	MRL	KH-179	
WEI	26.4	10.5	5.2	11.2	7.2	4.5	3.8	2.3	71.1		
Sensor	UAV	1	n1	26.4	0	0	0	0	0	0	26.4
Sensor	TPQ-37	1	n2	10.5	1	0	1	0	0	0	66.6
Sensor	HUMINT	1	n3	5.2	1	1	0	0	0	0	33.0
Shooter	X-ATK	1	n4	11.2	0	0	0	0	0	0	44.8
Shooter	MLRS	1개 대대	n5	7.2	0	0	0	0	0	0	28.8
Shooter	K-9K-55	1개 대대	n6	4.5	0	0	0	0	0	0	18.0
Shooter	MRL	1개 대대	n7	3.8	0	0	0	0	0	0	15.2
Shooter	KH-179	1개 대대	n8	2.3	0	0	0	0	0	0	9.2
Total	8										167.4

<그림 4> 한측 네트워크 파워

JFOS-K 구축 전 네트워크 파워는 한측과 미측이 이원화되어 있기 때문에 각각의 네트워크 파워를 산출한 후 합하였다. <그림 4>, <그림 5>는 노드(자산) 및 아크의 가치를 고려하여 네트워크 파워를 산출한 결과를 보여준다. <그림 4>에서 적색으로 표시된 UAV의 아크의 가치를 살펴보면 탐지자산 간에 정보를 서로 공유하므로 1의 값을 갖고, 탐지정보를 타격자산에 제공할 수 있지만 능력이 서로 상이하므로 아크의 가치가 차별화된 것을 볼 수 있다. 따라서, UAV의 네트워크 파워는 자신의 가치와( $\sum_{i=1}^n v_i = 26.4$ )와 아크의 가치( $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_i \delta_{ij} (i \neq j)$ ) = 167.4)를 합한 것이며, 이와 동일한 방법으로 다른 자산들에 대해 적용 후 합하게 되면 JFOS-K 구축 전 네

트워크 파워( $M_b = 454.0+68.3 = 522.3$ )를 구할 수 있다.

Systems	Systems			Shooter			Total
	Quantity	Node	WEI	TPQ-37	X-ATK	MLRS	
				1	1	1개 대대	
				n1	n2	n3	3
				10.5	11.2	7.2	28.9
Sensor	TPQ-37	1	n1	10.5	0	0	21.0
Shooter	X-ATK	1	n2	11.2	0	0	11.2
Shooter	MLRS	1개 대대	n3	7.2	0	0	7.2
Total		3					

<그림 5> 미측 네트워크 파워

JFOS-K 구축 후 네트워크 구성은 <그림 6>과 같이 탐지체계 4개와 타격 체계 7로 구성되며 상호간에 연결되어 가치를 서로 공유할 수 있다. JFOS-K 체계 구축 후 네트워크 파워( $M_a$ )는 875.7의 값을 갖는다.

Military	Systems	Quantity	Node	RoKF							USF			Total			
				Sensor				Shooter			Sensor				Shooter		
				UAV	TPQ-37	HUMINT	X-ATK	MLRS	K-9K-55	MRL	KH-179	TPQ-37	X-ATK		MLRS		
WEI	26.4	10.5	5.2	11.2	7.2	4.5	3.8	2.3	19.5	11.2	7.2	100					
Sensor	UAV	1	n1	26.4	0	0	0	0	0	0	0	0	264.576				
Sensor	TPQ-37	1	n2	10.5	1	0	1	0	0	0	0	0	98.07				
Sensor	HUMINT	1	n3	5.2	1	1	0	0	0	0	0	0	48.568				
Shooter	X-ATK	1	n4	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0	87.2				
Shooter	MLRS	1개 대대	n5	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	43.2				
Shooter	K-9K-55	1개 대대	n6	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	27				
Shooter	MRL	1개 대대	n7	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	22.8				
Shooter	KH-179	1개 대대	n8	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	13.8				
Sensor	TPQ-37	1	n9	10.5	1	1	1	0	0	0	0	0	98.07				
Shooter	X-ATK	1	n10	11.2	0	0	0	0	0	0	0	0	87.2				
Shooter	MLRS	1개 대대	n11	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	43.2				
Total		11															

<그림 6> JFOS-K 구축 후 네트워크 파워

따라서 JFOS-K 체계 구축 전·후 네트워크 파워 비율 ( $= \frac{M_a}{M_b}$ )은  $\frac{M_a}{M_b (= M_{ROK} + M_{US})} = \frac{875.7}{522.3} = 1.68$ 이다. 이는 한·미간에 이원화되어 운용하는 각각의 네트워크를 JFOS-K 체계를 통해 통합 운용함으로써 1.68배의 네트워크 파워가 상승했다는 것을 보여준다.

4.4.2 속도(v)

대화력전간 화력지원 수단(정밀유도 미사일, 장사정 포병 등)의 속도는 비과속도(표적타격 지시 후 타격수단으로부터 표적까지의 포탄, 미사일 등의 비행속도)로 나타낼 수 있다. 따라서 네트워크 구축 전·후의 비과속도는 동일( $V_a = V_b$ )하기 때문에 식 (10)과 같다.

$$V_{(a)}/V_{(b)} = 1 \tag{10}$$

4.4.3 정보의 정확도(I)

본 연구에서는 표적정보에 대한 구체적인 분석이 제

한되기 때문에 엔트로피 모델을 적용하지 않았으며, 정보의 정확도를 탐지자산에 의해 수집된 정보의 정확도라고 정의하였다. 따라서 탐지자산의 수집률과 표적획득 및 처리 정확도를 고려하면 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$I = (aE(U_i) + bE(T_i) + cE(P_i)) \times E_a \quad (11)$$

- a, b, c : 탐지자산 표적정보 수집률
- $U_i$  : 표적  $i$ 에 대한 UAV의 표적획득 정확도 ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
- $T_i$  : 표적  $i$ 에 대한 TPQ-37의 표적획득 정확도 ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
- $P_i$  : 표적  $i$ 에 대한 적지중심작전팀의 표적획득 정확도( $i = 1, 2, \dots, n$ )
- $E_a$  : 표적처리의 정확도

JFOS-K 구축 전의 정보의 정확도( $I_b$ )는 표적처리의 불확실성을 반영하면 다음과 같다.

$$I_b = [\text{표적정보의 수집률} \times \text{표적획득의 정확도}] \times (\text{표적처리의 정확도}) = 0.782$$

JFOS-K 구축 후의 정보의 정확도( $I_a$ )는 수작업에 의한 입력오류 및 누락으로 인한 정보의 불확실성이 없어진다고 가정하고 표적처리의 정확도가 100%라고 할 때 다음과 같이 증가한다.

$$I_a = [\text{표적정보의 수집률} \times \text{표적획득의 정확도}] \times (\text{표적처리의 정확도}) = 0.9095$$

JFOS-K 체계 구축 전·후 정보의 정확도 비율( $\frac{I_a}{I_b}$ )은 표적처리의 불확실성이 제거되어  $\frac{0.9095}{0.782} \approx 1.163$ 배 향상되었다.

#### 4.4.4 지휘통제시간(T)

<표 5>는 대화력전 수행체계상 JFOS-K 체계 구축 전

<표 5> 체계 구축 전·후 지휘통제 시간[9]

구분	계	$t_{trans}$		$t_{cd}$
		$t_{wc}$	$t_{cc}$	
구축 전(Tb)	359"	30"	31"	298"
구축 후(Ta)	298"	0	0	298"

· 후에 대하여 지휘통제 주기의 감소효과를 반영한 시간이다. 체계 구축 후에는 실시간 정보공유가 이루어지므로 정보전송시간( $t_{trans}$ )은 0이라고 할 수 있다. 이는 식 (7)로 설명되는 전체 지휘통제시간 중에서 JFOS-K 체계 구축 시 경고전파( $t_{wc}$ ) 및 지휘전파( $t_{cc}$ )시간이 거의 0에 가까워지기 때문이다.

JFOS-K 체계 구축 전·후 지휘통제 시간의 비율( $\frac{T_b}{T_a}$ )은 경고전파 및 지휘전파 시간의 감소로  $\frac{359}{298} \approx 1.205$ 배 단축되었다.

### 4.5 결과 분석 및 검증

#### 4.5.1 결과 분석

이상의 내용을 기반으로 JFOS-K 체계 구축에 따른 전투력 상승효과를 평가한 결과는 식 (12)와 같다.

$$K = \frac{F_{(a)}}{F_{(b)}} = \frac{M_{(a)}}{M_{(b)}} \times \frac{V_{(a)}}{V_{(b)}} \times \frac{I_{(a)}}{I_{(b)}} \times \frac{T_{(b)}}{T_{(a)}} \approx 2.35 \quad (12)$$

JFOS-K 구축을 통해 한·미간에 이원화되어 있는 네트워크를 통합함으로써 네트워크 파워 상승, 실시간 정보공유를 통한 정보의 정확도 향상, 지휘통제시간의 단축으로 약 2.35배의 전투력 상승효과가 있음을 제시하고 있다.

#### 4.5.2 전투력 상승효과 결과 검증

##### (1) C2 이론 적용을 통한 검증

전장상황은 동일하게 설정하였으며, JFOS-K 구축 이전 피·아 생존확률은 동일하다고 간주하고 최초 생존확률은 0.5로 설정하였다. 그리고 체계 구축 전·후 할당비율 및 교환비율 변화는 고려하지 않았다. C2모델에 입력되는 자료인 상호 교환비율과 전력지수는 기존논문과 전문가의 의견을 종합하여 <표 6>, <표 7>과 같이 설정하였다[7].

<표 6> 상호 교환비율

구분	적군				
	항공기(2)	240RL(2)	170SP(3)	152SP(4)	
한·미	항공기(2)	0.456	0.062	0.038	0.021
	MLRS(2)	1.251	0.331	0.213	0.132
	K-9(1)	1.489	0.873	0.791	0.364
	다련장(1)	1.329	0.342	0.283	0.165
	KH-179(1)	1.697	1.215	0.937	0.753

<표 7> 전력지수

구분	전력지수	소계	
아군	항공기(2)	600	1200
	MLRS(2)	300	600
	K-9(1)	180	180
	다련장(1)	250	250
	KH-179(1)	160	160
적군	항공기(2)	400	800
	240RL(2)	200	400
	170SP(3)	160	480
	152SP(4)	120	480

정보의 정확도와 지휘통제 시간은 전투력 평가함수에 적용된 것을 동일하게 사용하였다. JFOS-K 체계 구축 후 지휘통제시간 단축 및 정보의 정확도 상승으로 인한 생존확률의 변화는 <표 8>과 같다. 생존확률 산출시 적 전진속도는 궤도표적으로 가정하고 1Km/hr로 적용하였다.

<표 8> C4I 체계 구축 전·후 생존확률 변화

구분	체계 구축 전	체계 구축 후
정보의 부정확도( $\beta$ )	0.218	0.0905
지휘통제시간( $T_{cw}$ )	0.0997	0.0828
$C_1$	461.48	
최초 생존확률( $P$ )	0.5	
개선 생존확률( $\alpha P$ )	0.778	

단위부대의 특성에 따른 전력지수와 교환비율, 생존확률을 C2 이론에 입력하여 구축 전 전투력 상승효과 <MOE<sub>b</sub>>을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \langle MOE_b \rangle_j &= \frac{\langle N_b^2 \rangle_j - \langle M_b^2 \rangle_j}{N_j^2} \\ &= \frac{6,881.386 - 4,678.327}{4,190} \approx 0.526 \end{aligned}$$

JFOS-K 체계 구축 후 정보의 정확도 증가 및 지휘통제시간 단축에 따른 생존확률의 개선을 고려한 경우의 전투력 상승효과 <MOE<sub>a</sub>>는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \langle MOE_a \rangle_j &= \frac{\langle N_a^2 \rangle_j - \langle M_a^2 \rangle_j}{N_j^2} \\ &= \frac{10,475.337 - 4,678.327}{4,190} \approx 1.383 \end{aligned}$$

JFOS-K 체계 구축 후 전투력 효과 상승

( $K = \frac{\langle MOE_a \rangle_j}{\langle MOE_b \rangle_j}$ )는 약 2.6배의 값이 산출되었다. 이는 제 4.5.1절의 전투력 평가함수 적용시의 결과인 2.35배와 유사한 결과를 보여준다. 그러나 C2 이론의 입력자료인 교환비율과 전력지수의 변화에 따라 결과는 차이를 나타낼 수 있을 것이다.

(2) 기존 연구결과와 비교 분석

본 연구의 결과를 기존의 유사 연구결과와 비교를 실시하였다. 참고로 기존의 연구들에서는 일반적으로 전투효과에 영향을 미치는 입력변수로 지휘통제시간 단축 및 정보의 정확도 증가를 고려하였으며, 본 연구에서는 이들 2개의 변수 외에 네트워크 파워를 추가적으로 고려하였다.

전장 정보체계의 전투효과 평가 관련 기존 연구결과들을 종합하면 <표 9>와 같다[9, 11, 15].

<표 9> C4I 체계의 전투력 상승효과 평가결과 비교

기존 연구	연구결과
AHP 기법에 의한 지상전술 C4I 체계	1.65배 증가
AHP 기법에 의한 해군 전술지휘통제 체계	1.61배 증가
ANP를 이용한 육·해·공군의 C4I 체계	평균 1.58배 증가
C2 이론에 의한 지상전술 C4I 체계	3.56배 증가
PAM 모델 및 C2 이론에 의한 육·해·공군 C4I 체계	평균 1.64배 증가
공군 전술데이터링크 체계	2.02배 증가
네트워크 파워를 고려한 JFOS-K 체계	2.91배 증가
미 공군 전술데이터링크 체계	2.60배 증가

본 연구의 결과는 JFOS-K 체계 구축 후 전투력이 2.35배 증가함으로써 기존 방법의 평균(2.2배) 대비 약 0.15배 상향 평가되었으며, 이는 사용된 전장 시나리오와 변수 특성의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다.

4.6 운용 노드수에 대한 민감도 분석

네트워크 파워의 운용 노드 수에 따른 변화를 살펴보기 위해 민감도 분석을 실시하였다. 이를 위해 네트워크 파워 산출시 입력변수인 한·미측 자산을 각각 2/1 단위로 현 자산의 2배(= 22개)까지 증가시키면서 MOE 변화를 분석한 결과 <표 10>과 같다. 자산의 증가는 가치가 서로 상이하기 때문에 탐지자산부터 타격자산 순(UAV, TPQ-37, ..., KH-179)으로 증가시켰다.



<표 10> 운용 노드 수 변화에 따른 MOE 변화

한축 자산	미축 자산	계	네트워크 파워(M)		MOE
			JFOS-K 구축 전	JFOS-K 구축 후	
8	3	11	522.3	875.7	2.35
10	4	14	825	1366	2.32
12	5	17	941	1576	2.35
14	6	20	1015	1709	2.36
16	6	22	1045	1751	2.35

운용노드 수를 11에서 현 체계의 2배 규모인 22까지 증가시킨 결과, MOE 값은 2.32~2.36의 값을 나타내었다. 이는 노드 수에 의한 전투력 상승효과는 어느 일정 수준에 도달하면 크지 않다는 것을 나타내며, 노드 수의 지속적인 증가가 반드시 전투력 상승효과를 동반하지는 않는다는 것을 보여준다.

### 5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서 제안한 C4I 체계에 대한 전투효과 측정 방법은 NCW 개념에서 고전 역학의 핵심인 뉴턴의 제 2법칙을 재해석한 전투력 평가함수에서 기존의 네트워크 파워를 산출하는데 적용한 메트칼프 법칙을 현실적으로 보완하여 적용했다는 데 의미가 있다고 할 수 있겠다. 메트칼프 법칙은 모든 노드의 가치가 동일하고 네트워크로 연결되어 있을 때만 적용이 가능하나, 수정 메트칼프 법칙은 각 노드의 가치가 상이하고 네트워크로 연결된 노드 간에 상호작용이 다른 경우에도 네트워크 파워를 산출할 수 있기 때문에 현실적이고 합리적인 방법이라고 판단된다. 다시 말해서, 네트워크 상 노드의 가치 및 교환 수준을 구체화한 것이다.

다음으로는 C4I 체계의 MOE를 설계함에 있어서 정태적인 방법을 사용함으로써 신속하고 효과적으로 활용할 수 있는 평가방법을 제시하였다.

마지막으로, 본 연구의 결과는 네트워크 파워(M), 정보의 정확도(I), 지휘통제시간(T) 등의 입력변수에 따라 다르지만, C2 이론 적용 및 기존 연구의 결과와 유사한 값을 나타냈다. 이는 본 연구에서 제안한 방법이 실제 적용할 수 있다는 가능성을 보여준다.

그러나 본 연구의 현실적인 적용을 위해서는 다음과 같은 요소들이 보완되어야 할 필요가 있다.

첫째, 본 연구에서 적용한 JFOS-K이외의 체계에 대해서도 시나리오를 구성하여 다양하게 적용 후 What if 분석 등이 추가로 연구된다면 본 연구에서 제안한 모델의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.

둘째, 본 연구는 네트워크 중심작전 영역에서 물리 및 정보 영역만을 고려하였는데, 지휘관의 지휘특성, 사용자의 지식수준, C4I 체계 운용숙달 정도 등과 같은 인지 및 사회영역을 고려할 필요가 있으며 이에 대한 연구는 향후 연구과제로 남겨둔다.

### 참고문헌

- [1] 강승철; “AHP 기법을 이용한 지상전술 C4I 체계의 전투효과 분석에 관한 연구”, 석사학위논문, 국방대학교, 2001.
- [2] 김수한; “C4ISR 체계의 전력 증강 효과 측정에 관한 연구”, 석사학위논문, 국방대학교, 2006.
- [3] 김영길, 임길섭; “네트워크화 무기 체계의 전투기여 효과 분석을 위한 기반연구”, 한국국방연구원, 2000.
- [4] 김진준; “ANP 기법을 이용한 C4I 체계의 효과 평가 방법에 관한 연구”, 석사학위논문, 국방대학교, 2003.
- [5] 김호진, 이상국, 권영식; “전술 C4I 체계 모델 구축에 관한 연구”, IE Interfaces, 12(2) : 193-204, 1999.
- [6] 문장렬; “전투이론에 대한 고전역학 개념의 적용과 그 한계”, 원광군사논단, 2005.
- [7] 박송기, 이재영; “지상전술 C4I 체계의 통합화력운용간 전투력 상승효과 평가에 관한 연구”, 한국국방경영분석학회, 29(1) : 8-27, 2003.
- [8] 이수열, 이재영; “KNTDS의 전투력 상승효과 평가에 관한 연구”, 한국국방경영분석학회, 27(2) : 56-75, 2001.
- [9] 이용복, 정환식, 김용흡, 이재영; “전장 정보체계의 전투력 상승효과 측정을 위한 새로운 MOE 제안”, IE Interfaces, 12(3) : 205-213, 2009.
- [10] 이재영, 신철; “Schutzer의 C2 효과측정 모델을 이용한 지휘통제체계 강화와 전투효과와의 함수적 상관관계”, 대한산업공학회지, 30(1) : 65-75, 2004.
- [11] 이재영 등; “정보화 전력 체계의 전투효과 평가방법 기본개념 연구”, 21세기군사연구소, 2008.
- [12] 이재영 등; “효율적인 지휘통제체계 구축 방안에 관한 연구”, 21세기군사연구소, 2008.
- [13] 장수진; “PAM 모델을 이용한 전술 C4I 체계 효과도 산출에 관한 연구”, 석사학위논문, 국방대학교, 2003.
- [14] 정환식, 이재영; “전구합동화력 C4I 체계 구축에 따른 전투력 상승효과 평가”, 국방과학기술, 1(2) : 42, 2008.
- [15] 한태일; “전술데이터링크 체계 효과 분석 연구”, 석사학위논문, 국방대학교, 2004.
- [16] 한 희, 어하준, 장수덕; “정보전 개념 연구”, 한국국

- 방연구원, 1999.
- [17] Bjorklund, Raymond C.; The Dollars and Sense of Command and Control, National Defense University Press, Washington D. C., 1995.
- [18] Darilek, Richard E. et al.; Measures of Effectiveness for the Information-Age Army, RAND, 2001.
- [19] Guiasu, Siliu; Information Theory with Applications, McGraw-Hill, 1997.
- [20] Schutzer, D. M.; Selected Analytical Concepts in Command and Control; C2 Theory and Measures of Effectiveness, Gordon and Breach Science Publisher, 1982.