

# 전장 정보체계의 전투력 상승효과 측정을 위한 새로운 MOE 제안

이용복 · 정환식<sup>\*</sup> · 김용흡 · 이재영

국방대학교 운영분석과

## A Proposal of New MOE to Assess the Combat Power Synergistic Effect of Warfare Information System

Yong Bok Lee · Whan Sik Jung · Yong Heup Kim · Jae Yeong Lee

Department of Operations Research, Korea National Defense University

Warfare information system is a core factor of future combat operation under NCW(Network centric Warfare) environment. In this paper, we proposed a new MOE(Measure of Effectiveness) that can assess the combat power synergistic effect of warfare information system in the theater-level joint fire operation. This new MOE uses the rule of Newton's second law( $F = (m\Delta v)/\Delta t \Rightarrow (MvI)/T$ ). Four factors considered in combat power evaluation are network power(M), movement velocity(v), information superiority(I), command and control time(T). We applied this new MOE to the JFOS-K(Joint Fire Operating System-Korea) to assess its combat power effect and compared with other's effects obtained from different MOE.

**Keyword:** warfare information system, metcalfe's Law, C2 time, MOE, NCW

### 1. 서론

정보기술의 발전에 따라 미래 전장환경은 개별 전투체계를 기반으로 하는 플랫폼 중심 전투(PCW : Platform Centric Warfare)에서 정밀 화력 및 네트워크를 기반으로 지휘속도의 증가, 높은 작전템포, 자기 동기화 달성을 위해 센서, 의사결정자, 슈터 등의 제 전력요소를 네트워크화 함으로써 증가된 전투력을 생성해내는 정보우위의 작전개념인 네트워크 중심 전투(NCW : Network Centric Warfare)로 개념이 바뀌고 있다. PCW에서는 전선 이동을 주도하는 전차, 화포 등의 기동 전력이 주축이 되지만, NCW에서는 임무달성을 위해 가용한 자원을 최적의 장소와 시간에 배열하여 전투력 상승효과를 발휘할 수 있도록 지휘 · 통제 · 통신 · 컴퓨터 및 정보의 각 요소를 유기적으로 연

결하여 실시간에 정보수집 및 분석-지휘결심-계획지시-작전수행이 가능하게 하는 통합된 지휘통제체계인 C4I 체계(Command and Control, Communication, Computer, Intelligence System), 정보자산, 정밀무기체계 등의 정보 전력이 주축이 된다(Kim, 2000).

전장 환경의 변화는 전력평가 측면에서도 소모전에 기초한 기존 평가 개념을 탈피하여 NCW 상황에 적절한 새로운 평가체계 구축에 대한 필요성이 대두되고 있다(Lee, 2001). PCW 중심의 전력평가 방법은 플랫폼을 대상으로 화력, 생존성, 기동력 등에 대해 기동과 소모 알고리즘을 바탕으로 전력 지수 및 위게임 등의 평가방법들을 적용하였다. 그러나 단위 플랫폼의 물리적 특성을 평가하고, 개별 플랫폼들의 평가결과를 합하여 전체를 평가하는 기존의 평가방법은 네트워크로 연결된 유기

<sup>\*</sup>연락처 : 정환식 박사과정, 122-875 서울시 은평구 수색동 205번지 국방대학교 관리대학원 운영분석과, Fax : 02-309-6233,

E-mail : jung896@naver.com

투고일(2009년 03월 17일), 심사일(1차 : 2009년 05월 11일, 2차 : 2009년 07월 16일), 게재확정일(2009년 07월 23일).

적인 조직의 특성을 반영하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 NCW의 핵심전력중의 하나인 전장 정보체계의 전투력 상승효과를 평가하기 위하여 NCW 환경에 적합한 새로운 효과척도(MOE : Measure of Effectiveness)를 제안하였다. 이를 위해 고전역학 이론 중 뉴턴의 2법칙( $F = ma$ )을 NCW 개념에서 재해석한 뒤 네트워크 파워, 속도, 정보 우위, 지휘통제 시간의 측면에서 전장 정보체계 구축 전·후에 대한 전투력 비율을 MOE로 설정하여 전투력 상승효과를 평가하였다.

제 2장에서는 전장정보체계에 대한 기존의 전력평가 방법 및 새로운 MOE 도입의 필요성을 제시하고, 제 3장에서는 MOE 모델링에 사용된 이론들의 개념을 설명하였다. 제 4장에서는 제안한 MOE를 구축 예정인 JFOS-K(Joint Fire Operating System-Korea)에 적용한 후 기존의 연구결과와 비교하였다. 마지막으로 제 5장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시하였다.

## 2. 새로운 전력평가 방법의 도입 필요성

### 2.1 기존의 정보체계 효과평가 방법

첫째, Schutzer의 C2 이론은 란체스터 전투 모델을 이용하여 C4I 체계의 전투효과를 측정하기 위해 개발되었다(Schutzer, 1982). 이 이론은 지휘통제 시간과 정보의 정확도에 의해 생존 확률, 할당비율, 교환비율의 3가지 요인에 대한 변수를 계량화하여 최초 전투력 대비 교전 후 잔존 전투력의 비율을 전투효과로 측정하는 방법을 제시하였다. 세 가지 효과요소는 지휘통제상의 시간 변수들과 란체스터 전투 모델을 이용하여 해군 함정간의 교전 전·후의 전투력 상승효과를 측정할 결과 정보의 정확도와 지휘통제 시간의 단축을 가장 큰 효과 요소로 분석하였다.

C2 이론은 다수의 연구자들에 의해 국내 환경에 맞게 접목되었다. 구체적으로는 한국군의 지상전술 C4I 체계의 군단 통합화력 운용간 전투력 상승효과를 측정하기 위하여 전력지수 개념을 추가한 연구(Park and Lee, 2003), 지휘통제체계 강화와 부대 전투력간의 상관관계를 C2 이론과 란체스터 제공방정식을 이용하여 전장요소 중심으로 평가한 연구(Lee and Shin, 2004), PAM(Performance Assessment Methodology) 모델을 활용해 C2 모델에 적용한 시간변수를 산출하여 C4I 체계의 전투효과를 평가한 연구(Jang, 2003) 등이 있다.

둘째, 설문을 이용한 실증적 연구는 다음과 같다. AHP(Analytic Hierarchical Process) 기법을 활용한 방법은 C4I 체계의 전투효과가 요소들 센서 체계, C4I 체계, 타격 체계로 분류하고, 육군 지상전술 C4I 체계를 실제 활용하고 있는 인원을 대상으로 설문을 통해 전투효과를 분석한 방법(Kang, 2001)과 AHP 기법을 이용하여 산출한 지휘통제체계의 단축시간을 해군 전술 지휘통제 체계인 KNTDS(Korea Naval Tactical Data System)를 대상으로 지휘통제체계 전력평가 모델에 적용하여 네트워크화

를 통한 실시간 정보교환의 효과를 평가한 방법(Lee and Lee, 2001) 등이 있다.

또한, 육·해·공군의 C4I 체계에 대한 전투력 상승효과 요인을 “C2 Cycle time, 정보의 유통속도, 정보의 질”로 선정하고 ANP(Analytic Network Process) 방법을 적용하여 전투력 상승효과를 평가한 방법(Kim, 2003) 등이 있다.

셋째, 시뮬레이션을 기반으로한 주요 C4I 효과분석 모델은 미국과 독일에서 많은 연구가 이루어졌다. 美 육군훈련소는 지휘통제체계에 대한 효과도를 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(Lee, 2001).

그러나 기존의 연구들은 전장 정보체계의 효과측정에 있어서 지휘통제 시간이 기준이 되고 중요한 비중을 차지하였으며, 전투력을 구성하는 각 요소간의 상호작용에 의한 상승효과를 종합적으로 고려하지 못했다는 한계가 있다. 즉, 전장 정보체계의 구축을 통해 획득할 수 있는 정보의 공유, 지휘속도의 증가, 동시성 확보 등의 전투력 상승 요인에 대한 종합적인 측정이 미흡했다.

### 2.2 새로운 MOE 설계의 필요성

MOE를 사용하는 목적은 작전 개념의 발전, 무기체계 획득 등의 의사결정에 객관적인 타당성을 제공하는데 있기 때문에 MOE는 분석 대상의 특성이 정확하게 반영되고, 적용과 결과 분석의 용이성이 수반되어야 한다.

지금까지의 MOE는 기동과 손실율을 통한 전선의 이동을 측정하는 개념으로 주로 거리의 측정 단위를 사용하였다. 그러나 정보화 시대에는 기동속도가 증대되고, 사거리 및 정밀성이 향상됨에 따라 MOE의 개념도 전선의 이동에서 부대가 통제할 수 있는 전장의 공간으로 확장되어야 한다. 예를 들면, 정보의 역할이 증대됨에 따라 우리 군의 합동비전 2010에 나타난 MOE 개념과 효과측정단위(Metrics)가 <표 1>과 같이 변화하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 1. 작전운용 개념 변화에 따른 효과측정 단위 변천

MOEs	Metric	
	PCW	NCW
전 개	이동부대수/Hr	기동로 차단을 시도하는 적에 대한 지식
작전반경	Km	기동로상의 적의 저항에 대한 지식
전장통제	-	부대통제 반경 크기 및 상대적 지식
전선이동	Km	전투능력에 대한 지식

<표 1>의 개념전환에서 보듯이 정보 전력체계의 전투효과는 기존의 효과측정단위에 정보우위에 의한 효과를 추가한 새로운 MOE를 통해서 표현되어야 한다는 것을 알 수 있다(Maxwell, 1999).

이러한 측면에서 볼 때, 본 연구의 측정대상인 JFOS-K는 NCW 기반의 전구급 합동화력 운용체계로서 이를 평가하기 위한 MOE는 개별 무기체계의 평가보다는 전체적인 전투력의 효율성 측정에 주안을 두어야 하며, 전투 요소간의 상호작용에 따른 효과가 포함되어야 한다.

### 3. 새로운 MOE 설계를 위한 이론적 배경

#### 3.1 정보체계의 전투력 상승효과

미국방성의 정의에 의하면 정보체계란 규정된 절차에 따라 정보를 수집, 처리, 전파하는 조직적인 체계이다(Department of The Army, 1992). PCW에서 정보체계는 계층구조적 정보흐름, 음성 통신, 제한적 상호 운용성, 연통형 전장관리 등의 특성을 갖는다(Kim, 2002). 반면에 NCW에서 정보체계는 네트워크로 연결되어 플랫폼간 전장상황의 실시간 공유로 시간적 동기화를 달성함으로써 다음과 같은 전투력 상승효과를 달성할 수 있다(Lee, 2001).

- 첫째 : 확실한 정보를 공유함으로써 의사결정의 정확성과 반응시간을 단축할 수 있다.
- 둘째 : 적시적인 화력지원을 통하여 피·아간 전투력 소모율의 격차를 발생시킨다.
- 셋째 : 기동 공간의 효율적인 활용과 목표의 정확도를 증대시킬 수 있다.
- 넷째 : 정보의 우위를 통한 생존율을 증대시킬 수 있다.

#### 3.2 네트워크 파워

1980년 인터넷 프로토콜의 개발자인 메트칼프(Bob Metcalfe)는 네트워크 가치의 기하급수적인 증대를 주장하였다. 메트칼프의 법칙에 따르면 네트워크에서 노드 수가 증가할 때, 네트

워크의 효과는 노드 수의 승수에 비례하여 증가한다. 네트워크 효과는 노드사이의 상호작용의 함수로 나타낼 수 있는데, 네트워크상의 n개의 노드에 대해 n-1개의 상호작용(connections)이 존재한다. 따라서 n개의 노드로 구성된 네트워크에서 상호작용에 의해 창출되는 네트워크 파워는 식 (1)과 같으며, 노드 수 n이 큰 경우는  $n^2$ 에 비례한다고 하였다. 참고로 본 논문에서 네트워크 파워의 의미는 전투력으로 이해하면 되겠다.

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

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

네트워크 파워는 전투공간 엔티티(BSE : Battlespace Entity)들의 효과적인 연결을 통해 시너지 효과를 달성하도록 조화시켜 줌으로써 발생한다. BSE들 사이의 네트워크 구축은 물자와 사람 대신 정보가 이동하도록 함으로써 시간과 자원의 절약을 얻고, 이 결과로 투자수준에 비해 높은 전투력을 발휘할 수 있다. 따라서 PCW 기반의 전투력은 <그림 1>에서처럼 BSE의 추가가 산술적인 합의 효과인 선형성을 갖지만, NCW 기반에서의 전투력은 비선형적으로 증가한다. 이러한 네트워크의 효과를 군사 분야에 활용한 개념이 미 해군제독 Arthur K. Cebroski와 John J. Garstka에 의해 1998년 처음 제기된 NCW이고, NCW 환경에서 네트워크의 효과를 측정하는데 메트칼프 법칙의 응용이 가능하다는 연구결과가 있다(Marshall, 1999). 네트워크의 파워의 실질적인 효과는 최근 이라크전과 걸프전에서 네트워크화된 센서-지휘통제체계-슈터가 물리적인 기동력과 파괴력의 효과를 배가시킴으로서 미군이 압도적인 승리를 거둔 사례에서 찾아볼 수 있다.

#### 3.3 엔트로피 개념에 의한 정보의 우위

엔트로피 개념은 1945년 Shannon이 정보의 전달량을 계산하기 위해 개발한 수학적 모델로서, 군사 분야에서는 ‘유용한 정보(지식)’의 부재로 인해 지휘통제 프로세스 안에서 발생할 수 있는 무질서 또는 불확실성의 범주를 나타낸다(Bjorklund, 1995).

지식이란 엔트로피를 감소시키는 것으로서, 유용한 정보의 양은 전장관리에 있어서 제거된 불확실성의 양과 같다(Guiasu,

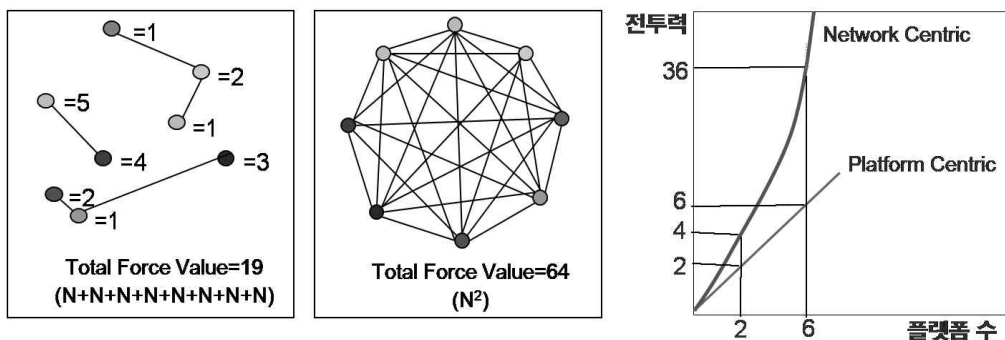


Figure 1. 네트워크 파워 : PCW vs. NCW

1997). 불확실성(H)은 표적획득 자산이 탐지 가능한 범위 내에 표적이 있는 경우 Shannon의 엔트로피 개념을 이용하여 식 (2)와 같이 표현할 수 있다(Richard, 2001).

$$H = - \sum_{i=1}^w p_i \ln(p_i) \tag{2}$$

$w$  : 표적 수,  $p_i$  : 각 표적의 발견 확률

이때, H가 최대가 되기 위해서는  $p$ 값이 모든  $w$ 에 대하여 같을 때가 되므로 엔트로피가 높다는 것은 불확실성이 높아짐을 의미한다. 이는 군사 분야에서 “지식의 부재로 인한 지휘통제상의 혼란”이 최대인 상태를 의미한다. 한편, 불확실성의 상대적 개념인 확실성은  $\ln(w+1)-H$ 로 표현할 수 있으며, 지식 (I)은 식 (3)과 같이 정규화된 확실성의 형태로 표현 할 수 있다(Richard, 2001).

$$I = [\ln(w+1) - H] / [w(w+1)] \tag{3}$$

엔트로피에 의한 전투효과 측정은 주로 양적인 변수를 고려하는 소모전의 논리에 비해 지식을 정량화함으로써 물리적, 이성적, 심리적 요소를 균형적으로 고려한 관점을 만들어 낼 수 있는 장점이 있다(Kim, 2002).

### 3.4 지휘통제 시간

네트워크 효과는 지휘통제 시간을 단축할 수 있다. 지휘통제시간의 단축은 적의 지휘통제 시간을 압도함으로써 전투를 신속하게 종결짓는 것이 가능하게 한다. 즉, 의사결정의 시간 단축으로 지휘 속도를 증가시킴으로써 전력상의 양적·지리적 열세를 극복할 수 있다.

본 연구에서의 지휘통제시간은 Schutzer의 C2 이론에서 제시된 C2 시간(Command and Control time)을 적용하였다. C2 이론에서 지휘통제 시간( $t_{cs}$ )은 식 (4)와 같이 탐지, 경고전파, 지휘결심, 지휘전파에 소요되는 시간이다<그림 2>.



Figure 2. 지휘통제시간의 시간전개

$$t_{cs} = t_d + t_{wc} + t_{cd} + t_{cc} \tag{4}$$

$t_d$  : 탐지 시간  
 $t_{wc}$  : 경고전파 시간  
 $t_{cd}$  : 지휘결심 시간  
 $t_{cc}$  : 지휘전파 시간

탐지시간( $t_d$ )은 표적획득 자산이 표적을 탐지하는데 소요되는 시간이다.

경고전파시간( $t_{wc}$ )과 지휘전파시간( $t_{cc}$ )은 표적획득 자산이 탐지한 정보를 보고하고, 지휘결심 사항을 화력자산에 전파하는데 소요되는 정보전송 시간( $t_{trans}$ )으로 식 (5)와 같다.

$$t_{trans} = \sum_{i=1}^n t_{delay,i} = C_2 \tag{5}$$

$t_{delay,i}$  :  $i$ 번째 노드에서의 지연시간  
 $C_2$  : 전체 노드의 총 지연시간

지휘결심 시간( $t_{cd}$ )은 지휘참모 활동 후에 전파하기 전까지 소요되는 시간으로서 접수된 정보가 정확할수록 신속히 결심할 수 있으며, 지휘관의 성향, 식견, 경험 등이 작용하므로 식 (6)과 같다.

$$t_{cd} = C_3 / I_A \tag{6}$$

$C_3$  : 임의의 상수  
 $I_A$  : 정보의 정확도 ( $0 \leq I_A \leq 1$ )

## 4. MOE 설계 및 사례분석

MOE 설계를 위한 전장 정보체계는 대화력전 수행간 韓·美의 표적획득 및 화력 자산을 네트워크로 연결시키는 JFOS-K 체계를 대상으로 하였다.

### 4.1 JFOS-K 개요

JFOS-K는 대화력전 수행간 韓·美간에 이원화 운용하고 있는 한국군 합동지휘통제체계(KJCCS ; Korean Joint Command and Control System)와 미군의 합동 자동화중심작전 협조체계(JAD OCS ; Joint Automated Deep Operations Coordination System)를 연동함으로써 합참 중심으로 실시간 탐지-결심-타격체계를 구현하기 위한 전구합동화력 운용체계이다<그림 3>.

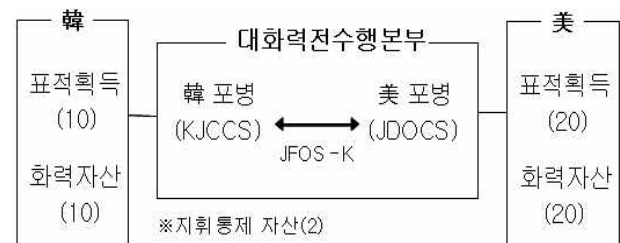


Figure 3. 대화력전간 JFOS-K 운용개념

JFOS-K 구축시에는 합동 데이터링크를 통해 자동으로 표적정보의 송수신이 가능해짐에 따라서 韓·美 간의 표적처리 지

연 및 착오 개연성을 감소시키고, 다수표적에 대하여 요망하는 정확한 시간과 장소에서 타격하는 “실시간” 탐지-결심-타격이 가능할 것이다.

4.2 전투효과 측정 함수 설정

본 연구에서는 JFOS-K에 대하여 다음과 같은 요소를 기반으로 전투력 상승효과를 측정하였다.

- 첫째 : JFOS-K 체계로 연결된 공격주체(표적획득자산, 지휘 통제체계, 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

위의 4가지 요소를 바탕으로 JFOS-K의 전투력 상승효과를 측정하기 위하여 충격량을 의미하는 뉴턴의 제 2법칙을 이용하였다. 뉴턴의 제 2법칙은 전투효과 평가에 적용한 구체적인 연구사례는 없지만, 활용 가능성은 일부 연구에서 제시되고 있다(Han, 1999). 그 중 뉴턴이 완성한 고전역학의 개념들을 전투이론에 적용하는 문제에 대한 연구에서는 이러한 개념들 간의 상호연계성을 <표 2>와 같이 정리하였다(Moon, 2005).

시간은 고전역학과 전투이론에서 동일하게 사용되는 개념이다. 기동에 소요되는 시간, 공격개시시간, 전투의 지속시간 등은 물리적 시간을 그대로 사용한다.

질량은 ‘물리적 전투력’에 해당하며, ‘전투질량’이라는 용어를 사용할 수 있다.

속도는 ‘전투가 진행되는 속도’라는 의미로 ‘전투속도’는 전투진도를 시간으로 나눈 개념이다. 또한, 가속도는 속도의 시간적 변화율로서 임의 지점에서 순간 속도  $v$ 는 위치의 미분으로, 순간 가속도  $a$ 는 속도의 미분으로 표현된다. 따라서 운동경로 상의 두 지점 사이의 평균 속도  $v_{av}$ 는 위치 변화량( $r_2 - r_1$ )을 시간의 변화량( $t_2 - t_1$ )으로 나눈 값이며, 가속도는 속도의 변화량( $v_2 - v_1$ )을 시간의 변화량으로 나눈 값으로 정의된다(식 (7)).

$$\text{순간속도 } v = \frac{dr}{dt}, \text{ 평균속도 } v_{av} = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

$$\text{순간가속도 } a = \frac{dv}{dt}, \text{ 평균가속도 } a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

고전역학에서 힘은 질량과 가속도의 곱이라는 것에 주목하여 힘은 질량에 대한 속도의 시간적 변화율로 정의할 수 있다. 이는 군사적인 관점에서 전투를 지배하는 핵심 요소인 전투력(힘), 지휘통제시간(시간), 전투속도의 상호연관성으로 정의할 수 있다.

NCW는 정보전력의 차별화를 통해서 군사력 발휘의 우위를 추구한다. 정보전력은 아군의 판단 정확성을 향상시키고, 작전반응시간을 최소화하는 한편, 적의 작전반응 시간의 증가와 정확성 감소를 강요함으로써 전투의 승패를 결정지을 수 있기 때문에, 미래에는 정보전력을 증가시키는 방향으로 군사력 건설이 이루어 질 것이다. 정보전력이 전투력에 미치는 영향은 전투의 핵심 요소에 정보의 우위를 곱하여 식 (8)과 같이 모델링할 수 있다. 이를 본 연구에서는 “네트워크 기반 하 전투력 평가 함수”라고 하였다.

$$F = (m \Delta v) / \Delta t \Rightarrow (MvI) / T \quad (8)$$

- $m$  : 질량  $\Rightarrow$  네트워크 파워 ( $M$ )
- $v$  : 속도
- $t$  : 시간  $\Rightarrow$  지휘 통제 시간 ( $T$ )
- $I$  : 정보의 우위

고전역학에서 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 법칙을 적용하였다.

둘째 : 전투이론 관점에서 속도는 부대의 기동속도 또는 화력자산의 투사속도로 표현할 수 있다. 따라서 화력자산을 운용함에 있어서 속도(v)는 공격주체(탄약, 미사일 등)가 표적에 충격을 가하는 투사 속도를 의미한다.

셋째 : 대화력전간 시간(T)은 표적의 탐지로부터 화력지원

Table 2. 고전역학과 전투이론의 용어 및 개념의 연계성

고전역학(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

수단에 명령을 하달하기까지의 지휘통제 시간(C2)을 의미한다.

넷째 : 정보의 우위 (I)는 전장상황에 대한 가시화의 우열로서, 제 3.3절에서 설명한 정규화된 확실성의 형태인 지식과 동일한 의미를 갖는다.

결론적으로 “네트워크 기반하 전투력 평가함수” 개념을 설명하면 네트워크 파워(M)가 지휘통제시간(T)동안 일정한 속도(v)로 표적에 대한 확실성(I)을 가지고 적 표적을 공격하는 전투력에 대한 평가를 의미한다고 할 수 있다.

### 4.3 네트워크 파워(M)

k개로 분리된 하위 네트워크 조직으로 구성된 n개의 노드에 대한 M은 식 (1)을 이용하여 식 (9)와 같이 확장할 수 있다. 예를 들어, 각각 5개의 노드를 갖는 2개의 하위조직으로 구성된 전체 네트워크의 파워는  $40 = (5^2 - 5) + (5^2 - 5)$  이 된다.

$$M = \sum_{i=1}^k [(n_i^s)^2 - n_i^s] \quad (9)$$

$n_i^s$  : i번째 하위 네트워크의 노드 수

따라서 JFOS-K 구축 전에 韓·美간 각각 분리된 네트워크 파워( $M_{(b)}$ )의 합에 대한 구축 후 통합된 네트워크의 파워( $M_{(a)}$ )의 비율은 식 (10)과 같다.

$$\frac{M_{(a)}}{M_{(b)}} = [n^2 - n] / \left[ \sum_{i=1}^2 [(n_i^s)^2 - n_i^s] \right] \quad (10)$$

b : JFOS-K 체계 구축 전

a : JFOS-K 체계 구축 후, 이하 동일

### 4.4 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 (11)과 같다.

$$v_{(a)}/v_{(b)} = 1 \quad (11)$$

### 4.5 정보의 우위(I)

대화력전간 공유되어야 할 핵심 표적의 수를 w라 하면, JFOS-K 구축 전(표적에 대한 사전 정보가 없는 상태)에 정확한 위치를 실시간에 획득할 확률( $P_{(b)}$ )과 구축 후(표적의 위치에 대한 확실성이 보장된 상태)의 확률( $P_{(a)}$ )은 식 (12)와 같다(Richard, 2001).

$$P_{(b)} = 1/(w+1), \quad P_{(a)} = 1 \quad (12)$$

정보의 우위는 엔트로피의 증감정도로 표현할 수 있다. 따라서 JFOS-K 구축 전에 韓·美 양측이 전달하는 표적의 수를 각각 u, v( $w = u+v$ )라 하면, 사전 정보가 없는 상태( $I_{(b)}$ )와 구축 후 사전 정보가 있는 상태( $I_{(a)}$ )에 대한 정보의 우위에 대한 비율은 식 (13)과 같다.

$$I_{(a)}/I_{(b)} = I_w/(I_u + I_v) \quad (13)$$

$$I_w = [\ln(w+1) - H_{w,after}]/[w(w+1)],$$

$$I_u = [\ln(w+1) - H_{u,before}]/[w(w+1)],$$

$$I_v = [\ln(w+1) - H_{v,before}]/[w(w+1)]$$

$I_w$  : JFOS-K 구축후 지식

$I_u$  : JFOS-K 구축전 한측의 지식

$I_v$  : JFOS-K 구축전 미측의 지식

$H_{w,after}$  : JFOS-K 구축후 불확실성

$H_{u,before}$  : JFOS-K 구축전 한측의 불확실성

$H_{v,before}$  : JFOS-K 구축전 미측의 불확실성

이때, JFOS-K 구축후에는 실시간 연동을 통해 표적 정보를 공유하므로  $H_{w,after}$ 는 0이다.

### 4.6 지휘통제 시간(T)

제 3.4절에서 전술한 각각의 시간에 대한 JFOS-K 구축 전·후의 변화를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 탐지시간( $t_d$ )은 표적에 대한 개별 표적획득자산의 탐지시간으로서 엄밀한 의미에서 C2 시간의 범주에서 제외될 수 있기 때문에 비교대상에서 제외하였다.

둘째, 정보전송 시간은 PCW와 NCW 기반에 따라 달라진다. PCW는 CIC(Combat Information Center)를 통해서 정보를 공유하므로 각각의 플랫폼은 실시간 정보 공유가 이루어지지 않지만, NCW은 모든 플랫폼이 실시간 정보를 직접 공유한다(Kim, 2006). 따라서 JFOS-K 구축전에는 CIC를 통하여 노드 간에 정보가 전송되므로 각 연결 노드사이에서 지연시간이 발생하지만, 구축후에는 전송 용량 등의 기계적 제한이 없다면 정보전송 시간( $t_{trans}$ ) = 0이므로 식 (14)와 같다.

$$t_{trans(b)} = \sum_{i=1}^n t_{delay,i} = C_2, \quad t_{trans(a)} = 0 \quad (14)$$

$C_2$  : 전체 노드의 총 지연시간

셋째, 지휘결심 시간( $t_{cd}$ )은 정보의 정확도에 영향을 받는다. 그러나 정보 정확도는 표적획득 과정에서 발생하는 불확실성의 정도로서 일단 전파된 표적 정보는 JFOS-K 구축 전·후가

동일한 비율의 정보 정확도( $I_A=1$ )를 가지므로 식 (15)와 같다.

$$t_{cd(b)} = t_{cd(a)} \quad (15)$$

이상의 내용을 종합하면, JFOS-K 구축 전·후에 대한  $t_{cs}$ 의 비율은 식 (16)과 같다.

$$T_{(a)}/T_{(b)} = [T_{trans(a)} + T_{cd(a)}] / [T_{trans(b)} + T_{cd(b)}] \quad (16)$$

이때, 힘(F)은 공격주체의 공격력이 상대에게 직접적으로 전달되기까지의 소요되는 시간에 반비례하기 때문에, 지휘통제 시간의 비율은 역수( $T_{(b)}/T_{(a)}$ )에 비례한다.

#### 4.7 입력변수 설정

##### (1) 운용노드 수 설정

대화력전간 JFOS-K에 연결되어있는 표적획득 및 화력 자산의 수는 <표 3>과 같다.

따라서 네트워크 파워 산출시 직접적인 입력변수인 운용노드 수는 JFOS-K에 연결되어 있는 대화력전 운용 자산들의 수로 묘사될 수 있다.

Table 3. 대화력전 수행간 운용 노드 수

구 분	계	표적획득 자산	화력 자산
계	60	30	30
韓	20	10	10
美	40	20	20

##### (2) 지휘통제 시간 설정

<표 4>는 대화력전 수행체계상 JFOS-K 체계 구축 전·후에 대하여 지휘통제 주기의 감소효과를 반영한 시간이다. 이때, 체계 구축후에는 실시간 정보공유가 이루어지므로  $t_{trans} = 0$ 이다. 왜냐하면 식 (4)로 설명되는 전체 지휘통제시간 중에서 JFOS-K 체계 구축시 경고전파( $t_{wc}$ ) 및 지휘전파( $t_{cc}$ )시간이 거의 0에 가까워지기 때문이다.

Table 4. 체계 구축 전·후 지휘통제 시간

구 분	계	$t_{trans}$		$t_{cd}$
		$t_{wc}$	$t_{cc}$	
구축 전(T(b))	359"	30"	31"	298"
구축 후(T(a))	298"	0	0	298"

##### (3) 기타요소 설정

기타 입력변수 설정시 고려한 가정사항은 다음과 같다.

1) 적군의 지휘통제체계 강화로 인한 전투효과는 없다.

2) 교전간 인적요소에 의한 영향은 없다.

3) 표적의 수(w)는 임의시간에 군 작전지역 정면에서 핵심 표적의 수로서  $u = 5, v = 5$ 이다.

4) 화력자산은 항상 가용하고 즉시 반응할 수 있다.

5) 정보전달간 기계적 손실은 없다.

#### 4.8 결과 분석

이상의 내용을 기반으로 “네트워크 기반하 전투력 평가함수”를 JFOS-K에 적용하여 MOE를 평가한 결과는 식 (17)과 같다.

$$\begin{aligned}
 MOE &= \frac{F_{(a)}}{F_{(b)}} = \frac{M_{(a)}}{M_{(b)}} \times \frac{v_{(a)}}{v_{(b)}} \times \frac{T_{(b)}}{T_{(a)}} \times \frac{I_{(a)}}{I_{(b)}} \quad (17) \\
 &= \left[ \frac{n^2 - n}{\sum_{i=1}^2 [(n_i^s)^2 - n_i^s]} \right] \times 1 \times \left[ \frac{T_{(b)}}{T_{(a)}} \right] \\
 &\times \left[ \frac{\ln(w+1)}{2\ln(w+1) - (H_{u,before} + H_{v,before})} \right] \\
 &= \left[ \frac{3540}{1940} \right] \left[ \frac{359}{298} \right] \left[ \frac{2.3979}{1.8095} \right] \approx 2.91
 \end{aligned}$$

JFOS-K 구축에 의한 실시간 정보공유의 효과와 지휘통제 시간의 단축, 그리고 네트워크 승수효과에 의해 전투효과가 약 2.91배가 증가했음을 알 수 있다. 이에 대한 타당성을 검증하기 위해 기존의 유사 연구결과와 비교를 실시하였다. 참고로 기존의 연구들에서는 전투효과에 영향을 미치는 입력변수로 지휘통제시간 단축 및 정보의 정확도 증가를 고려하였으나, 본 연구에서는 이들 2개의 변수 외에 네트워크 파워 변수를 추가로 고려하였음을 밝혀둔다.

전장 정보체계의 전투효과 평가관련 기존 연구결과들은 다음과 같다(Lee, 2008, Han, 2004).

첫째: AHP를 이용한 지상전술 C4I의 전투력 상승효과는 1.65배가 증가하였고(A), 해군 전술지휘통제 체계(KNTDS)의 경우는 1.61배가 증가하였다(B).

둘째: ANP를 이용한 육·해·공군의 C4I 체계의 전투력 상승효과는 각각 1.5배, 1.63배, 1.60배(평균 1.58배)가 증가하였다(C).

셋째: ARENA를 이용한 한국군의 지상전술 C4I 체계의 군단 통합화력 운용간 전투력 상승효과는 3.56배가 증가하였고(D), PAM 모델을 활용한 육·해·공군의 C4I 체계의 전투효과는 각각 1.55배, 1.7배, 1.68배(평균 1.64배)가 증가한 것으로 나타났다(E).

넷째: 공군 전술데이터링크 체계의 효과를 분석한 결과는 2.02배의 전투력이 증가하였다(F).

다섯째: 미 공군 경우 전술데이터링크 체계 구축후에는 승수효과가 2.60배 증가하였다(G).

Table 5. 전장정보체계의 전투력 상승효과 평가결과 비교

구 분	기 존 연 구								제 안 방 법	차 이
	평 균	미 균	한 국 군							
			A	B	C	D	E	F		
효과(배)	2.09	2.60	1.65	1.61	1.58	3.56	1.64	2.02	2.91	+0.82

이를 종합하면 <표 5>와 같다.

제안 방법은 전투력이 2.91배가 증가함으로서 기존 방법의 평균 대비 약 0.82배가 상향 평가되었으나, 이는 사용된 전장 시나리오와 변수 특성의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다. 그리고 본 연구의 결과가 다소 높게 나타나는 것은 기존방법에서는 고려되지 않았던 표적획득 자산과 화력 자산간의 네트워크 파워를 반영한 결과로 판단된다.

또한, 기존의 방법들도 접근법에 따라서 상이한 평가결과가 도출된 것을 볼 때, 제안 방법은 고전역학의 개념을 적용하여 공격주체의 고유한 특성(전투 질량)으로써 네트워크 파워의 반영, 정보의 우위, 네트워크 구축에 의한 지휘통제 시간의 단축효과를 계량화하였다는 점에서 기존 방법들과는 다른 새로운 접근을 시도한 것에 보다 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

4.9 운용 노드 수에 대한 민감도 분석

네트워크 파워의 운용노드 수에 따른 변화를 살펴보기 위해

Table 6. 운용노드 수 변화에 따른 MOE 변화

한측 자산	미측 자산	계	네트워크 파워(M)		MOE
			JFOS-K 구축 전	JFOS-K 구축 후	
10	30	40	960	1560	2.59
15	35	50	1400	2450	2.79
20	40	60	1940	3540	2.91
25	45	70	2580	4830	2.99
30	50	80	3320	6320	3.04
35	55	90	4160	8010	3.07
40	60	100	5100	9900	3.10
45	65	110	6140	11990	3.12
50	70	120	7280	14280	3.13

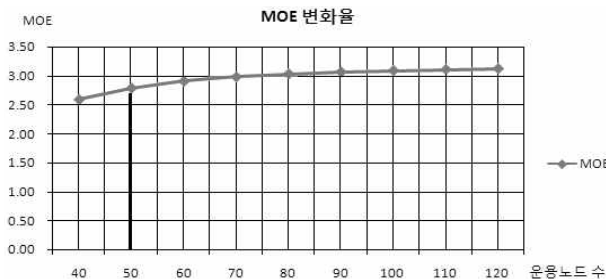


Figure 4. 운용노드 수 변화에 따른 MOE 변화율

민감도 분석을 실시하였다. 이를 위해 네트워크 파워 산출시 직접적인 입력변수인 한·미측간 운용노드 수를 10단위로 증감시키면서 MOE 변화를 분석한 결과 <표 6>, <그림 4>와 같다.

운용노드 수를 40에서 현 체계의 2배 규모인 120까지 적용한 결과, MOE 값은 2.6~3.1의 변화를 나타내었다. 이는 4.7.1절에서 입력된 60개 운용노드 적용시 MOE 값과 비교시 약 0.2~0.3 이내의 작은 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

따라서 노드 수에 의한 전투력 상승효과 영향은 크지 않다는 것을 알 수 있으며, 이는 한·미 양측체력이 동반상승함에 따라 일정수준의 효과를 지속하는 예측 가능한 양상을 보여주고 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서 제안한 전장 정보체계에 대한 전투효과 측정 방법은 NCW 개념에서 고전역학의 핵심인 뉴턴의 제 2법칙을 재해석하는 접근법을 제안함으로써 다음과 같은 의의를 갖는다.

- 첫째: 전장 정보체계의 MOE를 설계함에 있어서 정태적인 방법을 사용함으로써 신속하고 효과적으로 활용할 수 있는 평가방법을 제시하였다.
- 둘째: 정보체계 구축에 따른 네트워크 파워를 도출해내기 위해 메트칼프의 법칙을 활용함으로써 그동안 이론적으로만 적용 가능성이 제시되어왔던 개념을 실증적으로 적용할 수 있는 방법을 제시하였다.
- 셋째: 정보의 우위를 불확실성을 적용한 전장 가시화 수준으로 정의함으로써, 대화력전을 수행하는데 중요한 요소인 표적 탐지능력과 전장 정보체계 구축효과와의 관계를 도출하였다.

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

- 첫째: 본 연구에서는 네트워크의 연결정도가 가장 이상적인 상태를 가정했지만, 현실적인 적용을 위해서는 네트워크의 연결정도 및 노드의 가치 교환 수준 정도를 구체화할 필요가 있다.
- 둘째: 본 연구에서 적용한 JFOS-K이외의 체계에 대해서도 시나리오를 구성하여 다양하게 적용 후 What if 분석 등이 추가로 연구된다면 메트칼프 이론 적용 모델의 신뢰성을 높일 수 있을 것이다.
- 셋째: 제안 방법을 시뮬레이션 모델의 개발로 발전시킨다



면, 정보체계 구축 사업 추진 시 매우 효과적이고 타당성 있는 분석도구로써 활용이 가능할 것이다.

**참고문헌**

Bjorklund, Raymond C. (1995), *The Dollars and Sense of Command and Control*, National Defense University Press, Washington D. C.  
 Darilek, Richard *et al.* (2001), *Measures of Effectiveness for the Information-Age Army*, RAND, 14.  
 Department of the Army (1992), *Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms*.  
 Guiasu, Siliu (1997), *Information Theory with Applications*, McGraw-Hill.  
 Han, H. *et al.* (1999), *A Study of the Concept of Information Warfare*, Korea Institute for Defense Analyses, Seoul in Korea, 41.  
 Han, T. I. (2004), A Study on the analysis of the Effectiveness of TADIL, M. S. Thesis, *Korea National Defense University*, 54.  
 Jang, S. J. (2003), A Study on the Measurement of Effectiveness for C4I System based on PAM Model, M. S. Thesis, *Korea National Defense University*, 65.  
 Kang, S. C. (2001), A Study on the Analysis of Combat Effectiveness of the Ground Tactical C4I System Using AHP, M. S. Thesis, *Korea National Defense University*, 37.  
 Kim, S. H. (2006), A Study on the Measurement of Force Improvement Effectiveness of the C4I System, M. S. Thesis, *Korea National Defense University*, 54.  
 Kim, J. J. (2003), A Study on the Evaluation Method of C4I System Effectiveness Using ANP Method, M. S. Thesis, *Korea National Defense University*, 71.  
 Kim, Y. K. (2000), *A Basic Study on the Analysis of Combat Contribution Effectiveness*

*of Networking Weapon System*, Korea Institute for Defense Analyses, Seoul in Korea, 46-47.  
 Kim, Y. K. (2002), Measuring the Effectiveness of Networking Military Forces : Theoretical Background and Metrics, *The Quarterly Journal of Defense Policy Studies*, 55(Spring), 43-45.  
 Lee, J. Y. *et al.* (2001), *A Basic Concept Study on the Assessment Method of Information Combat Power Systems Analysis of Combat Contribution Effectiveness of Networking Weapon System*, Korea Research Institute for Military Affairs, Seoul in Korea, 51-52.  
 Lee, J. Y. and Shin, C. (2004), The functional relationship of C2 system enhancement and combat effectiveness using schutzer's C2 theory and measures of effectiveness, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 30(1), 65-75.  
 Lee, J. Y. *et al.* (2008), *A Study on Efficient Acquisition Plan of Command and Control System*, Korea Research Institute for Military Affairs, Seoul in Korea.  
 Lee, S. Y. and Lee, J. Y. (2001), A Study on The Assessment of force improvement effectiveness of KNTDS, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 27(2), 75.  
 Marshall, A. W. (1999), *Measuring the Effects of Network Centric Warfare*, Booz · Allen and Hamilton Inc, 1.  
 Maxwell, Dan (1999), Revolutions in military affairs, New Measures of Effectiveness and Good old fundamental objectives, *PHALANX*, 9-30.  
 Moon, J. L.(2005), The Application of Classical Mechanical Concepts to the Combat Theory and its Limitations, *Won Kwang Military Review*.  
 Park, S. K. and Lee, J. Y. (2003), A Study on The Assessment of Power Improvement Effectiveness of Corps Level C4I System Applied to Integrated Fire Operation, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 29(1), 26.  
 Schutzer, D. M. (1982), *Selected Analytical Concepts in Command and Control, C2 Theory and Measures of Effectiveness*, Gordon and Breach Science Publisher.



**이용복**

육군사관학교 이학사  
 한양대학교 산업공학 석사  
 현재 국방대학교 OR 박사과정  
 관심분야: 무기체계 비용추정, Modeling and Simulation, OR/SA의 군사적용



**정환식**

해군사관학교 졸업(문학사)  
 고려대학교 졸업(산업공학 석사)  
 현재: 국방대학교 운영분석전공 박사과정  
 관심분야: C4I 체계효과 평가, 전투실험(Battle-lab), VV&A, M&S, Military O.R



**김용호**

육군사관학교 이학사  
 국방대학교 OR 석사  
 현재 육군 소령 근무  
 관심분야: C4I체계 효과평가, OR/SA의 군사적용, 조직진단 및 성과평가



**이재영**

육군사관학교(이학사)  
 미국 해군대학원(OR 석사)  
 미국 North Carolina 주립대학(OR & 통계학 박사)  
 현재: 국방대학교 운영분석학과 교수  
 관심분야: 비용대 효과분석, C4I 체계효과 평가, 국방지식경영, 의사결정모델 개발, 최적화모델 개발, 시뮬레이션, 전투실험(Battle-lab), M&S, MIS, ERP, CRM, SCM, VV&A