## Schutzer의 C2 효과측정 모델을 이용한 지휘통제체계 강화와 전투효과의 함수적 상관관계

이재영<sup>†</sup>·신 철

국방대학교 운영분석(OR)학과

# The Functional Relationship of C2 System Enhancement and Combat Effectiveness Using Schutzer's C2 Theory and Measures of Effectiveness

Jae-Yeong Lee · Chul Shin

Department of Operations Research, Korea National Defense University, Seoul, 122-875

The enhancement of C2(Command and Control) system will increase effectiveness of individual force power in combat engagement. Especially, available time of a given engaging force and information accuracy are the most influencing factors to increment of combat effectiveness after enhancement of C2 system. In this paper, by using Schutzer's C2 Theory and Measures of Effectiveness, we developed several analytical functions representing the relationships between C2 system enhancement and two most critical variables, available time and information accuracy. As a result of functional analysis, we showed C2 system enhancement and combat effectiveness have positive and non-linear relationship. The higher level of C2 system be required, the better combat effectiveness of force power can be obtained. Additionally, we proposed a proposition that the combat effectiveness of C2 system is more sensitive to available time than to information accuracy, which might be very important issue for further research in this field.

Keywords: Schutzer's C2 Theory and Measures of Effectiveness, combat effectiveness

#### 1. 서 론

미래 전력의 핵심은 탱크, 야포, 군함, 항공기 등 산업화 시대의 무기체계에서 C4I(Command, Control, Communication, and Intelligence) 체계 등과 같은 정보화 시대의 정보전력체계로 변하고 있다. 이에 따라, 미국, 영국, 호주 등 주요 선진국에서는 미래의 전장이 이러한 정보전력체계에 의한 정보우위를 선점한 자가 승리하게 될 것이라는 확신을 가지고 군의 정보화, 과학화에 주력하고 있다. 현재 우리나라도 각 군에서는 C4I체계구축을 중심으로 정보전력체계 건설사업을 적극추진하고 있으며, 그 일례로 공군의 MCRC(Master Control and Reporting Center), 해군의 KNTDS(Korea Naval Tactical Data System), 육

군의 지상전술 C4I 체계 등을 들 수 있다(Army C4I System Development Unit, 2000). 특히 미국에서는 이러한 정보전력체계 구축으로 인해 발생하는 전투효과의 객관적 측정기준 제시를 위하여 정보전시대에 맞는 새로운 효과측정방법에 대한 연구가 한창 진행중에 있다(Richard et al., 2001; Perry et al., 2002). 한국에서는 이와 관련된 기초연구를 한국국방연구원 (Kim et al., 2000), 국방대학교 (Kang, 2001; Lee, 2001; Kim, 2002; Park, 2002), 21세기 군사연구소(Lee et al., 2001; Lee et al., 2003) 등에서 진행중에 있다.

정보전력체계는 크게 Sensor 체계, C2 체계, Shooter 체계로 구분할 수 있으며, 각 체계별로 전투효과를 향상시키는 전장 요소는 다음과 같다.

• Sensor 체계 : 탐지센서 성능

• C2 체계: 가용시간, 정보의 정확도

• Shooter 체계 : 무기체계 성능

이러한 전장요소들은 정보전력체계 구축으로 인해 발생하는 전투효과를 계량화하는 데 핵심변수로 작용하기 때문에, 이러한 핵심변수들과 정보전력체계 구축으로 인한 전투효과의 상관관계에 대한 이해는 매우 중요한 연구과제이다. 그러나본 연구에서는 정보전력체계의 핵심부분인 지휘통제체계(C2체계: Command and Control System)를 중심으로 분석하였다.

따라서, 본 논문의 목적은 C2 체계 강화와 전투효과와의 상 관관계를 미래 정보전하에서의 핵심 전장요소인 가용시간과 정보의 정확도를 중심으로 분석하는 데 있다. 추가적으로 가 상시나리오를 사용하여 C2 체계 강화에 따른 전투효과를 검 증하였다.

본 연구에서는 C2 체계와 전투효과에 관한 상관관계를 분석함에 있어서 Schutzer가 제시한 C2 효과측정(C2 Theory and Measures of Effectiveness) 모델(Schutzer, 1982)을 이용하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 Schutzer의 C2 효과측정 모델에 대해서 소개하고, 제3장에서는 C2 효과측정 모델을 이용하여 C2 체계 강화와 전투효과 상승과의 상관관계에 대해서 분석하였으며, 제4장에서는 결론을 기술하였다.

#### 2. Schutzer의 C2 효과측정 모델

C2 효과측정 모델은 미국 해군대학원(US Naval Postgraduate School)의 Daniel M. Schutzer 교수가 해군함정 간의 교전 시 지 휘통제체계의 개선으로 나타나는 전투력 상승효과를 측정하기 위하여 연구하였다. 1982년 Schutzer는 그의 논문에서 C2 체계 개선에 의한 전투효과가 다음의 3가지 요인에 의해 발생한다고 주장하였다. ① 적과 교전 시 아군의 생존확률 증가, ② 특정 교전지역에 대한 아군 자산(assets;무기를 의미)의 할당비율 증가, ③ 각 무기별 적 손실 대비 아군 손실 비율을 의미하는 교환비율 감소(아군의 입장에서는 교환비율이 적을수록 무기효과가 크게 됨). 또한 Schutzer는 그가 주장한 이론에 기초하여 란체스터 전투모델을 이용한 교전 전・후의 부대 MOE (Measure of Effectiveness)를 비교하여 부대의 전투력 상승효과를 측정하였다. 여기서, MOE는 교전 전・후 전투력의 상대적인 비율, 즉 최초 투입 전투력 대비 잔존 전투력의 비율을 의미한다.

C2 효과측정 모델에서는 지휘통제절차에 있어서 정보변수 (정보의 정확도)와 시간변수(지휘통제를 위한 가용시간)에 중점을 두고 모델을 전개하고 있으며, 투입할 수 있는 자산은 고정된 것으로 가정하고 위의 두 변수에 의한 교전 전·후 자산인 전투력의 변화를 기준으로 전투효과를 측정하였다.

Schutzer가 제안한 3가지 요인은 C2 체계가 강화되면 개별 값이 증가 혹은 감소되어 다음과 같은 조건을 만족한다.

생존확률 : p
 p (C2 체계 강화 전) < αp (C2 체계 강화 후)</li>
 즉, α(생존확률 승수) > 1

• 할당비율 : a  $a \ (\text{C2 체계 강화 전}) < \delta \ a \ (\text{C2 체계 강화 후})$  즉,  $\delta$ (할당비율 승수) > 1

• 교환비율 :  $X_{kk'}$   $X_{kk'}$  (C2 체계 강화 전)  $> \gamma \ X_{kk'}$  (C2 체계 강화 후) 즉,  $\gamma$  (교환비율 감소율) < 1 여기서, k = 청군 자산(무기)의 형태 k' = 홍군 자산(무기)의 형태

위의 3가지 요인들은 C2 체계 강화 후의 MOE값 상승과 관련이 있다. 그러나 본 연구에서는 ③ 교환비율 감소에 의한 전투효과 요인은 ① 생존확률 증가요인과 직접적인 반비례 관계가 있기 때문에, 중복을 피하는 차원에서 생존확률 증가 시에도 교환비율 요인에는 변화가 없는 것으로 하였다. 즉,  $\gamma$ 값을 1로 가정하였다. Schutzer도 그의 논문에서  $\alpha p = C_3/\gamma X_{kk'}$  ( $C_3$  = 임의의 상수)의 관계가 있음을 보여주었다. 이는 아군 자산의 생존확률 증가는 적 자산의 손실증가로 나타나므로 교환비율이 감소하게 되는 현상을 의미한다.

#### 2.1 란체스터 제곱법칙

C2 효과측정 모델에서 MOE는 전투 이전 총 가치(V) 대비교전 이후 t시간 경과 후의 가치(V(t))로 나타내었으며 식 (1)과 같다.

$$\langle MOE \rangle = \frac{\langle V(t) \rangle}{V}$$
 (1)

여기서, <X>는 확률변수 X의 통계적인 평균치

식 (1)에서 V, V(t) 값의 산출은 란체스터 전투 모델(Taylor, 1976)을 이용하여 구할 수 있다. 란체스터 모델은 일반적으로 선형법칙과 제곱법칙으로 구분되는데, 선형법칙은 지향사격 (area fire)의 경우에 적용되고, 제곱법칙은 조준사격(aiming fire)의 경우에 적용된다. 미래 무기의 정밀성 증가추세를 고려, 본 논문에서는 조준사격을 묘사한 란체스터 제곱법칙을 적용하였다

Schutzer가 제시한 함정 상호 간 교전 시, 란체스터 제곱법칙을 이용한 부대의 전투력 산출식은 식 (2)와 같다.

$$< MOE >_j = \frac{< N^2 >_j - < M^2 >_j}{N^2}$$
 (2)

$$\begin{split} & \text{ od 7]} \\ & \text{ All }, < N^2 >_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} \\ & < M^2 >_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{kj} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}} \\ & N = \sum_{k=1}^T n_{kj}^2 \end{split}$$

 $X_{kk'}$  = 교환비율(청군 자산 k형의 손실/홍군 자산 k'형의 손실)

 $n_{kj}$  : 교전 j에서 청군 k형 무기 수  $m_{kj}$  : 교전 j에서 홍군 k'형 무기 수

 $p_{ki}$  : 청군 k형 무기의 교전 j에서 생존확률

 $q_{k'j}$  : 홍군 k'형 무기의 교전 j에서 생존확률  $a_{ki}$  : 청군 k형 무기의 교전 j에서 할당비율

 $b_{k'i}$  : 홍군  $\mathbf{k}$ '형 무기의 교전  $\mathbf{i}$ 에서 할당비율

#### 2.2 지휘통제 과정상의 시간변수

어떤 상황에 대처하는 전투 활동에서 중요한 인자는 상황에 대한 "최초대응"과 이 최초대응을 구현하는 시점이 될 것이다. 한 사건이 시각  $T_0$ 에 발생하여 상황이 전개되기 시작하여, 시각  $T_p$ (선제 공격을 받는 시간) 이전에 대응하여 상황우위를 선점하는 과정은 <Figure 1>(Schultzer, 1982)과 같다. 지휘관이 상황을 인지하고 대응책을 강구, 예하부대에 지시하여 최초대 응이 이루어지는 시각  $T_R$ 이  $T_p$ 보다 선행하면 이 지휘는 성공적인 것으로 간주된다. 만약  $T_R$ (선제공격을 가한 시각)이  $T_p$ 보다 늦게 된다면 이 대응은 적으로부터 선제공격을 받게 되어 실패가 된다. 지휘통제체계 내의 시간은 통상 8개의 시간 간격변수(small t)와 7개의 상황전환점(large T)을 갖는다 (<Figure 1> 참조).

#### 2.3 생존확률 산출식

C2 효과측정 모델에서 아군의 생존확률이란, 적 또는 표적에 대해서 성공적으로 공격/방어할 수 있도록 정확하게 적을 탐지하고 대응할 수 있는 확률값으로 정의되며, 이러한 생존확률은 지휘관의 관심지역 내에 위치하고 있는 적을 정확하게 분석할 수 있는 확률과 연관시켜 유도하였다. 즉, 지휘관의 관심지역 내의 적에 대한 정보의 정확성이 높을수록 아군의 생존확률은 증가한다는 개념이다.

생존확률 산출식(Schultzer, 1982)은 다음과 같이 유도된다. 아군 지휘관이 관심을 갖고 있는 지역에 적군이 랜덤하게 분포되어 있다고 가정하자. 이때 적군의 밀도는  $\rho=N/A$  이다. 여기서 N은 적군의 부대수, A는 아군 관심지역의 넓이다. 아군 보유 정보탐지 센서 유효면적에 의한 불확실 지역이  $\Delta A$  (불확실성)이면, N(아군에게 위협을 줄 수 있는 적의 수)=  $\rho$   $\Delta A$ 가 된다. 또한 관심지역에서 정보의 불확실성( $\Delta A$ )은 정보의 정확성에 영향을 줄 수 있는 전장요인들인  $v_p$ (적군의 기동속도),  $\sigma^2$ (적에 대한 정보의 부정확도),  $t_{cs}$ (아군의 지휘통제시간)의 함수, 즉  $\Delta A = v_p t_{cs}^2 \sigma^2$ 으로 표현할 수 있으므로 관심지역에 대한 정보의 정확성에 근거한 생존확률 산출식을 식(3)과 같이 표시하였다.

$$p_c = \frac{1}{1 + C_1 \rho \, v_p t_{cs}^2 \sigma^2} \tag{3}$$

여기서, G=임의의 상수

식 (3)에서 적군의 기동속도 $(v_p)$  및 정보의 정확도 $(\sigma^2)$ (실제 적용값은 정보의 부정확도), 아군의 지휘통제시간 $(t_{cs})$ 이 증가할수록 관심지역의 적에 대한 정보의 정확성은 감소하므로 생존확률도 감소하다.

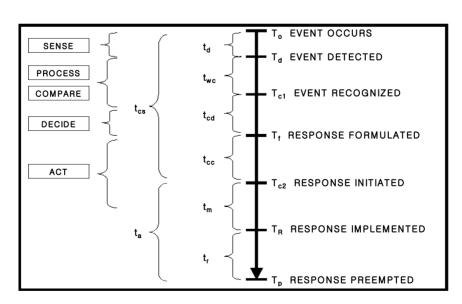


Figure 1. Command and Control Time Line.

#### 2.4 할당비율 산출식

할당비율은 단위부대가 보유하고 있는 자산 중 특정 교전지역에 투입되는 자산의 비율이며, C2 체계 강화 전에는 교전에투입된 자산의 비율로(최대값 1), C2 체계 강화 후에는 투입자산의 효과로(C2 체계 강화 전 투입부대 기준으로 최소값 1이상) 나타난다. 즉, C2 체계가 강화되면 투입자산은 체계강화로인한 통제구역의 확장으로 先見 → 先決 → 先打, 유리한 지역사전 선점, 적시적소에 전투력 투입, 기동 및 회피공간의 확장등으로 인하여 체계강화 전에 투입했던 자산보다 증가된 부대를 투입했을 경우와 동일한 효과를 발휘할 수 있다.

할당비율 산출식(Schultzer, 1982)은 다음과 같이 유도된다. 단위부대의 할당비율은 그 부대가 통제할 수 있는 거리에 의 해서 결정된다.

$$r_c = r_w + v_p(t_a - t_w) \tag{4}$$

여기서  $r_c$  = 통제거리

 $r_w$  = Weapon의 최대사거리

 $v_n$  = Platform(단위무기체계)의 속도

t<sub>a</sub> = 가용시간

 $t_w$  = Weapon의 비과시간

(최대사거리를 탄두가 비행하는 시간)

C2 효과측정 모델에서는 통제거리를 Weapon의 최대사거리로 나눈 값을 할당비율의 수정된 통제거리 기준으로 정하고, 지역개념으로 할당비율 산출식을 식(5)와 같이 유도하였다.

$$\frac{r_c}{r_w} = 1 + \frac{v_p(t_a - t_w)}{r_w} \tag{5}$$

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

통제거리가 확장될수록 단위부대가 통제할 수 있는 지역은 통제거리를 중심으로 다각형, 원 등의 특정형태의 지역을 이 룰 것이다. C2 효과측정 모델에서는 이런 점을 고려하여 할당 비율을 거리보다는 지역중심으로 식(6)과 같이 표현하였다.

$$a = C_0 \left[ 1 + \frac{v_p}{v_w} \left( \frac{t_a}{t_w} - 1 \right) \right]^2 \tag{6}$$

여기서,  $C_0$  = 임의의 상수

 $v_w$  = Weapon의 속도

 $= r_w / t_w$ 

가용시간( $t_a$ )만 제외하고 다른 변수들은 일정값을 갖는 상수로 취급되기 때문에 할당비율은 가용시간의 함수가 되며,

따라서 가용시간이 증가할수록 할당비율은 증가한다.

#### 3. 전투효과 요소별 상관관계

지휘통제(C2)체계 강화 후 전투효과에 결정적인 영향을 미치는 두 요소는 정보의 정확도( $\sigma^2$ )와 예하부대 지휘관에게 부여되는 가용시간( $t_a$ )이다. 정보의 정확도는 가용 탐지장비에 의해 획득된 정보뿐만 아니라, 상·하 인접부대의 실시간 정보공유로 획득한 모든 정보를 포함하여 평가된 정보 정확도의수치 값이다. 가용시간은 사건발생 초기부터 교전행위 종료시까지 지휘통제시간을 제외한 나머지 시간으로 교전부대가이동/전개하여 주어진 임무를 완수하는 데 부여된 시간이다. C2 체계의 강화는 센서체계의 성능 향상으로 인한 초기 정보정확도의 증가, 경보접수 및 전파체계의 개선으로 인한 지휘통제시간 단축, 네트워크 구축으로 인한 실시간 정보공유 등으로 정보의 정확도 및 가용시간을 증가시켜 전투효과의 향상을 가져온다

란체스터 제곱법칙 적용 시 C2 체계 강화 전의 교전 j에서의 전투효과는 식 (7)로 표현되며(2.1절 식 (2) 참조),

$$MOE = \frac{\sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^{2}}{1 + X_{kk'}} - \sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \frac{X_{kk'} q_{kj'} b_{kj'} m_{k'j}^{2}}{1 + X_{kk'}}}{N^{2}}$$
(7)

C2 체계가 강화되면 생존확률 및 할당비율이 증가하여 위의 전투효과는 식(8)로 표현된다.

$$MOE' = \frac{\sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \frac{\alpha p_{kj} \delta a_{kj} n_{kj}^{2}}{1 + X_{kk'}} - \sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^{2}}{1 + X_{kk'}}}{N^{2}}$$
(8)

여기서,  $\alpha > 1$  and  $\delta > 1$ 

C2 체계 강화 후의 전투효과에서  $\alpha$  ,  $\delta$ 를 제외한 모든 변수는 상수이므로, MOE'를 핵심변수인 $(t_a$  ,  $\sigma^2)$ 의 함수로 표현할 수 있다.

본 장에서는 C2 체계 강화 후 개선되는 전투효과를 정보의 정확도( $\sigma^2$ ) 및 가용시간( $t_a$ )의 함수로 표현하여 C2 체계 강화 와 전투효과와의 상관관계를 중점적으로 분석하였다.

#### 3.1 생존확률숭수( $\alpha$ )의 함수식

 $\alpha$ 는 C2 체계 강화 후 증가되는 생존확률의 증가율을 의미한다. C2 제체계에서 가용시간과 정보의 정확도가 핵심변수로 작용하므로 가용시간만을 고려한 경우와 가용시간과 정보의 정확도를 동시에 고려한 경우로 구분하여  $\alpha$ 의 함수식을 유도하였다.

C2 체계가 강화되면 초기생존확률(P)과 C2 체계 강화 후의 생존확률 $(\alpha P)$ 과의 관계는  $P < \alpha P$ (여기서  $\alpha > 1)의 조건$ 을 만족하게 된다. 위의 조건식에서 C2 체계 강화 후 생존확률 의 증가분을 나타내는 생존확률승수(α)를 C2 체계 강화 후의 가용시간 $(t_{aa})$ 의 함수로 표현하기 위하여 다음과 같이 유도하 였다.

$$P = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_{\nu} \sigma^2 (T_P - t_{ab})^2} \tag{9}$$

여기서,  $t_{ab} = C2$  체계 강화 전의 가용시간

 $\rho v_n \sigma^2 (T_P - t_{ab})^2$ 을  $M_1$ 으로 놓으면

$$P = \frac{1}{1 + C_1 M_1}$$
 
$$C_1 = \frac{1 - P}{P M_1}$$

C2 체계 강화 후의  $\rho v_n \sigma^2 (T_P - t_{aa})^2$ 를  $M_2$ 로 놓으면

$$\begin{split} \alpha P &= \frac{1}{1+C_1M_2} \\ &= \frac{1}{1+\frac{1-P}{PM_1}M_2} \end{split}$$

 $M_1$ 과  $M_2$ 를 원식으로 치환하면

$$\alpha P = \frac{1}{1 + \frac{(1 - P)(T_P - t_{aa})^2}{P(T_P - t_{ab})^2}}$$
(10)

여기서,  $t_{aa}$  = C2 체계 강화 후의 가용시간

$$\alpha P = \frac{P(T_P - t_{ab})^2}{P(T_P - t_{ab})^2 + (1 - P)(T_P - t_{aa})^2}$$
(11)

$$\alpha = \frac{(T_P - t_{ab})^2}{P(T_P - t_{ab})^2 + (1 - P)(T_P - t_{aa})^2}$$
(12)

위 식에서,  $(T_P - t_{ab})^2$ ,  $P(T_P - t_{ab})^2$ , (1 - P)는 상수이므로 각각A, B, C 로 놓으면

$$\alpha = \frac{A}{B + C(T_P - t_{aa})^2} \tag{13}$$

따라서  $\alpha$ 는  $t_{aa}$ 의 함수인 식 (13)과 같이 된다.

또한 가용시간에 추가하여 정보의 정확도를 포함하여 두 변 수를 동시에 고려할 경우의 함수식 유도과정은 가용시간만 고 려한 경우와 동일하며, 식 (13)에 정보의 정확도 변수 $(\sigma_m^2, \sigma^2)$ 가 추가되어 식 (14)와 같이 표현된다.

$$\alpha = \frac{A\sigma_a^2}{B\sigma_a^2 + C\sigma^2 (T_P - t_{aa})^2} \tag{14}$$

여기서,  $\sigma_a^2$  = C2 체계 강화 전 정보의 정확도  $\sigma^2$  = C2 체계 강화 후 정보의 정확도  $(\sigma_a^2, \sigma^2)$ 의 실제 적용값은 정보의 부정확도 값임)

#### 3.2 할당비율승수( $\delta$ )의 함수식

 $\delta$ 는 C2 체계 강화 후 증가되는 할당비율의 증가율을 의미한 다.  $\delta$ 는 4(6)에 나타난 바와 같이 가용시간만 핵심변수로 작 용하다

C2 체계가 강화되면, 초기할당비율(a)과 C2 체계 강화 후의 할당비율과의 관계는  $a < \delta a$  (여기서  $\delta > 1$ )가 되며, C2 체 계 강화 후 가용시간( $t_{aa}$ )의 변화에 따른 할당비율승수( $\delta$ )의 변화량을 산출하는 식은 아래와 같이 유도된다. 즉, C2 체계 강화 후의 할당비율 $(\delta a)$ 을 강화전 할당비율(a)로 나누어 주었 다(식(6)참조).

$$\begin{split} \delta a/a &= \delta = \frac{C_0 \bigg(1 + \frac{v_p}{v_w} \bigg(\frac{t_{aa}}{t_w} - 1\bigg)\bigg)^2}{C_0 \bigg(1 + \frac{v_p}{v_w} \bigg(\frac{t_{ab}}{t_w} - 1\bigg)\bigg)^2} \\ &= \bigg(\frac{v_w t_w + v_p t_{aa} - v_p t_w}{v_w t_w + v_p t_{ab} - v_p t_w}\bigg)^2 \end{split}$$

여기서,  $v_w t_w + v_p t_{ab} - v_p t_w = r_c$ (통제거리),  $v_w \times t_w =$  $r_m$ (Weapon의 최대사거리) 식을 이용하여 다음과 같은 식 (15) 를 구할 수 있다.

$$\delta = \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c}\right)^2 \tag{15}$$

따라서,  $\delta$ 는  $t_{aa}$ 의 2차 함수로 표현된다.

#### 3.3 전투효과숭수(K)와 가용시간 $(t_a)$ 변수와의 상관관계

K값은 C2 체계 강화 후 전투효과의 증가율이며, C 2체계의 핵심변수인 가용시간과 정보의 정확도의 함수식으로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 가용시간만을 고려했을 경우와, 가용 시간과 정보의 정확도를 동시에 고려했을 경우로 구분하여 K값에 관한 식을 유도하였다. 본 절에서는 가용시간 변수만을 고려한 경우이다.

식 (7), (8)을 사용하여 C2 체계 강화 후 K값을 산출하는 식 은 다음과 같다.

$$K = \frac{MOE'}{MOE}$$

$$= \frac{\alpha \delta \sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^{2}}{1 + X_{kk'}} - \sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^{2}}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^{T} \sum_{k'=1}^{S} \left(\frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^{2}}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^{2}}{1 + X_{kk'}}\right)}$$
(16)

여기서, *MOE'* = C2 체계 강화 후 전투효과 *MOE* = C2 체계 강화 전 전투효과

위 식에 3.1절과 3.2절에서 산출한  $\alpha$ ,  $\delta$ 식을 적용하고, 그이외에 상수로 표현되는 부분을 단순화시키면

$$K = L \left( 1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c} \right)^2$$

$$\left( \frac{A}{B + C(T_P - t_{aa})^2} \right) - R$$
 (17)

여기서.

$$L = \frac{\sum\limits_{k=1}^{T}\sum\limits_{k'=1}^{S}\frac{p_{kj}a_{kj}n_{kj}^{2}}{1+X_{kk'}}}{\sum\limits_{k=1}^{T}\sum\limits_{k'=1}^{S}\left(\frac{p_{kj}a_{kj}n_{kj}^{2}}{1+X_{kk'}} - \frac{X_{kk'}q_{k'j}b_{k'j}m_{k'j}^{2}}{1+X_{kk'}}\right)}$$

$$R = \frac{\sum\limits_{k=1}^{T}\sum\limits_{k'=1}^{S}\frac{X_{kk'}q_{k'j}b_{k'j}m_{k'j}^{2}}{1+X_{kk'}}}{\sum\limits_{k=1}^{T}\sum\limits_{k'=1}^{S}\left(\frac{p_{kj}a_{kj}n_{kj}^{2}}{1+X_{kk'}} - \frac{X_{kk'}q_{k'j}b_{k'j}m_{k'j}^{2}}{1+X_{kk'}}\right)}$$

L, R, A, B, C = 상수

위의 식에서 상수로 표현될 수 있는 변수를 상수로 취급하여 단순화시키면

$$y = \frac{a(x-b)^2}{c + (d-x)^2} + e$$

식으로 일반화시킬 수 있다. 이 식의 일반적인 그래프 형태를 이용하여 식 (17)을 표현하면 <Figure 2>와 같다.

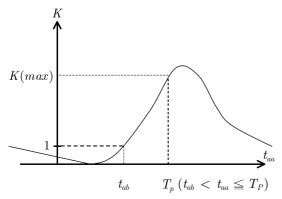


Figure 2. Changing Line of K Versus  $t_{aa}$ .

<Figure 2>는 가용시간이 선형(Linear)으로 증가함에 따라 전투효과승수(K)의 변화량은 비선형(Non-linear)으로 증가함을 보인다. 또한 C2 체계 강화 후 가용시간의 증가에 따른 전투효과승수(K)의 변화량은 가용시간의 최대 한계값인  $T_P$ 에 도달할수록 K의 증가비율이 커진다. 이는 C2 체계 강화 후 부여되는 가용시간이 증가할수록 발휘되는 전투효과 증가비율이 점차 커진다는 것을 보여준다.

### 3.4 전투효과승수(K)와 정보변수 $(\sigma^2)$ 및 가용시간 $(t_a)$ 변수와의 상관관계

다음은 정보의 정확도 변수와 가용시간 변수를 동시에 고려한 경우이다. 정보의 정확도를 고려할 경우 전투효과승수(K)는 가용시간( $t_{aa}$ )뿐만 아니라 정보의 정확도( $\sigma^2$ )에 의해서도 (17) 값이 변화한다. 정보의 정확도가 고려되었을 경우의 전투효과 승수(K)의 산출식을 표현하면 식 (18)과 같다.

$$K = L \left( 1 + \frac{v_p \left( t_{aa} - t_{ab} \right)}{r_c} \right)^2$$

$$\left( \frac{A\sigma_a^2}{B\sigma_a^2 + C\sigma^2 \left( T_P - t_{aa} \right)^2} \right) - R \tag{18}$$

식 (18)은 변수가 세 개인 3차원 함수로 <Figure 2>와 같은 형태로 표현하기에 제한되기 때문에 하나의 교전상황을 설정한 후, 설정된 교전상황의 데이터 값들을 적용하여 C2 체계 강화에 따른 전투효과승수(K) 값의 변화량과 두 변수 간의 상관관계를 표현하였다. 본 연구에서는 교전상황에 관련된 변수들의 값을 정보의 정확도 면에서는 청군과 홍군 양자가 유사하게 일정수준의 정보획득능력에 있다고 판단하여 기준값을 0.5로 설정하였으며, 가용시간  $t_a$ (아래 "바"항-"마"항, 20-9=11분)와 지휘통제시간  $t_{cs}$ (아래 "마"항, 9분)를 비슷한 수준으로 설정하였다.

주어진 교전상황에서 청군과 홍군에 관련된 입력 데이터 값 은 다음과 같다.

- 가. 청군의 공격속도: 15 km
- 나. 청군/홍군의 초기 생존확률 = 0.5
- 다. 청군/홍군의 초기 할당비율=1
- 라. C2 체계 강화 전 정보의 정확도( $\sigma_a^2$ ) = 0.5 (실제 적용값은 정보의 부정확도 값임)
- 마. C2 체계 강화 전 지휘통제시간( $t_{cs}$ ) = 9분
- 바. 반응선점시간( $T_P$ ) = 20분 (0.33333시간)
- 사. Weapon의 최대사거리: 2km
- 아. Weapon의 속도: 400m/sec
- 자. 상호교환 비율

황청	C 전차 대대(1)	D 전차 대대(1)	E 기보 대대(2)
A전차 대대(1)	1.1	0.7	0.5
B전차 대대(2)	1.3	0.9	0.7

위의 입력 값들을 이용한 K값의 산출식은 식 (19)와 같다.

$$K = L (1 + 3.125 (t_{aa} - 0.183))^{2}$$

$$\left(\frac{0.01130}{0.00565 + 0.5\sigma^{2} (0.33333 - t_{aa})^{2}}\right) - R \qquad (19)$$

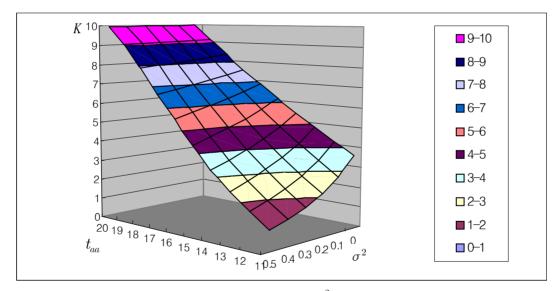
식 (19)를 이용하여 C2 체계 강화 후 정보의 정확도와 가용시간의 변화에 따른 K값을 계산하면 <Table 1>과 같고 이를 3차원 그래프로 표현하면 <Figure 3>과 같다. 여기서는 C2 체계가 강화되면 정보의 정확도 및 가용시간은 증가하므로 감소하는 부분에 대해서는 고려하지 않았다.

정보의 정확도에 의한 K값은 <Table 1>에 나타난 바와 같 면 <Figure 4> 및 <Figure 5>와 같다.

이, 첫 번째 행의 0.5값에서 시작해서 여섯 번째 행의 0값으로 변화하면서 증가한다. 여기서  $\sigma^2$ 의 실제 입력값은 정보의 부정확도 값을 사용하였기 때문에  $\sigma^2$  값은 점차 감소하게 나타 났음을 알 수가 있다.

<Table 1>과 <Figure 3>에서 나타나듯이 정보의 정확도와 가용시간을 동시에 고려했을 경우도 가용시간과 정보의 정확도가 선형으로 증가됨에 따라서 전투효과승수(K)는 비선형으로 증가함을 볼 수 있다. 또한 현재의 C2 체계의 수준을 저급, 중급, 고급의 3단계로 분류했을 때, 저급에서 중급으로 높였을 경우보다 중급에서 고급으로 높였을 경우가 K의 증가 비율이 커졌음을 알 수 있다.

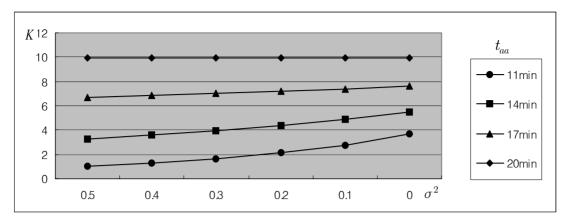
또한 C2 체계 강화로 인한 전투력 상승에 작용하는 영향력은 둘 중 한 요소가 다른 한 요소보다 더 민감할 수가 있을 것이다. 정보의 정확도와 가용시간에 따른 전투효과승수(K) 변화량의 차이를 알아보기 위하여 두 변수 중 한 변수를 고정시킨 상태에서 다른 변수의 변화에 따른 K값의 변화량을 그려보면 <Figure 4> 및 <Figure 5>와 같다.



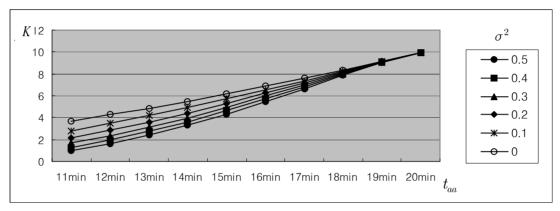
**Figure 3.** Surface of K Values for given  $t_{aa}$  and  $\sigma^2$  after C2 System Enhancement.

**Table 1.** Values of K for given  $t_{aa}$  and  $\sigma^2$  after C2 System Enhancement

$\sigma^2$ $t_{aa}$	11min (0.183hr)	12min (0.200hr)	13min (0.217hr)	14min (0.233hr)	15min (0.250hr)	16min (0.267hr)	17min (0.283hr)	18min (0.300hr)	19min (0.317hr)	20min (0.333hr)
0.5	1.000	1.649	2.428	3.288	4.334	5.496	6.658	7.896	9.045	9.957
0.4	1.296	1.970	2.760	3.613	4.630	5.738	6.829	7.986	9.070	9.957
0.3	1.667	2.358	3.150	3.984	4.956	5.996	7.008	8.078	9.095	9.958
0.2	2.143	2.840	3.615	4.411	5.319	6.273	7.194	8.172	9.120	9.958
0.1	2.778	3.452	4.180	4.909	5.723	6.570	7.388	8.268	9.146	9.958
0	3.666	4.258	4.880	5.494	6.177	6.891	7.592	8.366	9.171	9.958



**Figure 4.** K Versus  $\sigma^2$  for given  $t_{aa}$  is fixed.



**Figure 5.** K Versus  $t_{aa}$  for given  $\sigma^2$  is fixed.

여기서, 두 변수의 변역(Domain)은 존재 가능한 전체 범위로 하였다. 즉, 정보 정확도의 경우, 최소값은 0.5(50%의 정확도; C2 체계 강화 전 상태)로 하고 최대값은 0(100%의 정확도)으로 설정하였으며, C2 체계 강화 후 가용시간인  $t_{aa}$  값의 경우가능한 최소값인  $11분(T_P-t_{cs})$ 에서 최대값인  $20분(T_P)$ 으로 설정하였다.

여기서 두 변수의 변역을 존재 가능한 전체범위로 사용한이유는, 정보의 정확도와 가용시간의 단위가 서로 상이하기때문에 두 변수의 전체 변화범위 내에서 K값의 변화율을 상호비교 분석하기 위해서이다.

<Table 1>을 사용하여 두 변수와 K값의 변화량을 계량적으로 설명하면 다음과 같다. <Table 1>에서 K의 최소값은 1.0이며, 여기서 K값이 2배(2.0)로 증가되는 조건을 식 (19)를 사용하여구하면 ①  $\sigma^2$ =0.5 &  $t_{aa}$ =12.48분, ②  $\sigma^2$ =0.2272 &  $t_{aa}$ =11분의 두 가지 경우이다. ①의 경우  $t_{aa}$  값만이 16.4% 증가(11→12.48)하였고, ②의 경우  $\sigma^2$  값만이 54.5%(0.5→0.2272) 증가하였다. 즉, 동일한 전투효과승수 값(K=2)을 얻기 위하여 정보의 정확도는 전체 가능범위의 54.5%를 증가시켜야 하지만 가용시간은 전체 가능범위의 16.4%만 증가시키면 되는 것이다.

이는 K값이 다른 값의 변화구간에서도 유사한 결과를 얻을 수 있다. 단, 여기서 사용된 단위가 상이한 두 변수의 변역 내 비 율에 의한 비교방법은 입력 시나리오에 의존하는 한계점이 있 음을 밝혀둔다.

또한 <Figure 4>는 가용시간( $t_{aa}$ )이 여유가 있는 경우에는 정보의 정확도( $\sigma^2$ )에 따른 K값의 변화가 상대적으로 적다는 것을 보여준다.

#### 3.5 가용시간( $t_a$ ) 변화에 의한 민감도 분석

가용시간 및 정보의 정확도, 두 변수 가운데 C2 체계의 현수준에 직접적으로 영향을 받는 것은 가용시간 변수이다. 즉, 현재의 C2 체계 수준이 낮으면 지휘통제시간( $t_{cs}$ )이 증가하므로 C2 체계 강화 후 가용시간( $t_{aa}$ )의 변역(Domain)이 확장되며, 현재의 C2 체계 수준이 높으면 지휘통제시간( $t_{cs}$ )이 감소하므로 C2 체계 강화 후 가용시간( $t_{aa}$ )의 변역은 상대적으로 축소된다.

따라서 현재의 C2 체계 수준 차이를 고려하였을 경우에, 가용시간( $t_{aa}$ ) 변화에 의한 K 값의 변화비율을 살펴보면 < Table

2, 3> 및 <Figure 6, 7>과 같다. <Table 2>와 <Figure 6>은 C2 체계 강화 전 지휘통제시간( $t_{cs}$ )이 12분인 경우(즉,  $t_{aa}$ 의 변역 이 8~20분)이고, <Table 3>과 <Figure 7>은 C2 체계 강화 전 지 휘통제시간( $t_{cs}$ )이 6분인 경우(즉,  $t_{aa}$ 의 변역이  $14\sim20$ 분)이다. 여기서  $\sigma^2$ 값은 최대 가능범위인 1.0(0%의 정보의 정확도)에 서 0(100%의 정보의 정확도)으로 확대하여 변화시킨 후 비교 하였다.

<Figure 6> 및 <Figure 7>을 <Figure 3>과 비교해 보면 가용 시간 $(t_{aa})$ 의 변화에 따른 K값의 변화비율 특성에 큰 차이가 없 다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서 3.4절에서 제시된 가용시간

및 정보의 정확도 변수에 대한 분석결과 내용이 C2 체계 강화 이전 수준의 차이에 큰 영향을 받지 않는다는 사실을 말해 주 고 있다. 이는  $\sigma^2$ 의 범위가 1.0에서 0.5인 구간에서도 유사한 결과를 보여주었다.

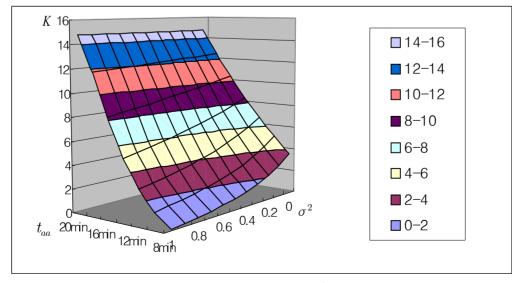
따라서, 본 연구에서 제시된 실험결과를 통하여 C2 체계 강 화에 의한 전투효과 상승비율은 정보의 정확도보다 가용시간 에 더 민감하다는 가설을 제안한다.

참고로, 위에 언급된 가설이 유효한 것으로 검증될 경우, 이 를 군에서는 다음과 같이 활용할 수 있을 것이다. 만일 군에서 C2 체계 강화를 위하여 일정 예산투자 시, 가용시간( $t_{aa}$ ) 및 정보

<b>Table 2.</b> Values of K for given $t_{aa}$ and $\sigma^2$ where $\sigma^2$ where $\sigma^2$ is a sum of the sum of	ien $t_{ce}$ is 12minutes	5
---	---------------------------	---

$\sigma^2$ $t_{aa}$	8min (0.133hr)	10min (0.167hr)	12min (0.200hr)	14min (0.233hr)	16min (0.267hr)	18min (0.300hr)	20min (0.333hr)
1	0.111	1.189	2.776	5.080	8.264	11.779	14.761
0.9	0.238	1.365	2.995	5.312	8.445	11.849	14.761
0.8	0.385	1.563	3.236	5.562	8.633	11.919	14.761
0.7	0.556	1.790	3.504	5.830	8.827	11.991	14.761
0.6	0.757	2.051	3.803	6.118	9.029	12.063	14.761
0.5	1.000	2.354	4.138	6.429	9.239	12.135	14.761
0.4	1.296	2.711	4.518	6.767	9.458	12.209	14.761
0.3	1.667	3.138	4.950	7.133	9.685	12.283	14.761
0.2	2.143	3.657	5.447	7.533	9.922	12.358	14.761
0.1	2.778	4.301	6.025	7.971	10.169	12.434	14.761
0	3.666	5.123	6.705	8.453	10.427	12.511	14.761

<sup>\*</sup> Note  $t_{aa}$ =9.54 min. (increased 12.8% from 8min.) in order to make K be 2.0 from 1.0 when  $\sigma^2$  is 0.5



**Figure 6.** Surface of K Values for given  $t_{aa}$  and  $\sigma^2$  when  $t_{cs}$  is 12 minutes.

$\sigma^2$ $t_{aa}$	14min (0.233hr)	15min (0.250hr)	16min (0.267hr)	17min (0.283hr)	18min (0.300hr)	19min (0.317hr)	20min (0.333hr)
1	0.111	0.790	1.739	2.930	4.468	6.011	6.990
0.9	0.238	0.941	1.906	3.088	4.580	6.049	6.990
0.8	0.385	1.112	2.089	3.258	4.696	6.087	6.990
0.7	0.556	1.307	2.292	3.441	4.816	6.125	6.990
0.6	0.757	1.531	2.519	3.637	4.941	6.163	6.990
0.5	1.000	1.792	2.773	3.849	5.071	6.203	6.990
0.4	1.296	2.099	3.060	4.079	5.206	6.242	6.990
0.3	1.667	2.467	3.386	4.329	5.346	6.282	6.990
0.2	2.143	2.913	3.761	4.601	5.493	6.322	6.990
0.1	2.778	3.467	4.196	4.900	5.646	6.363	6.990
0	3.666	4.175	4.706	5.228	5.805	6.404	6.990

**Table 3.** Values of K for given  $t_{aa}$  and  $\sigma^2$  when  $t_{cs}$  is 6 minutes

<sup>\*</sup> Note  $t_{aa}$ =15.24min. (increased 20.7% from 14min.) in order to make K be 2.0 from 1.0 when  $\sigma^2$  is 0.5

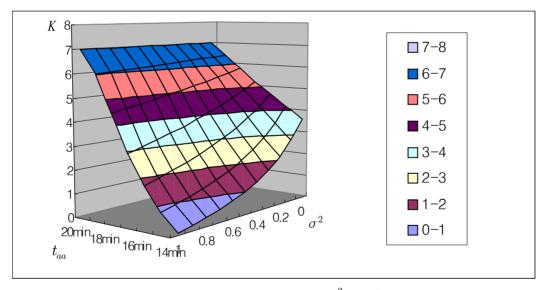


Figure 7. Surface of K Values for given  $t_{aa}$  and  $\sigma^2$  when  $t_{cs}$  is 6minutes.

의 정확도 $(\sigma^2)$  증가비율(전체 가능범위 내에서의 증가비율을 의미)이 동일하다면 가용시간을 증가시킬 수 있는 방안에 우선순위를 두고 투자하는 것이 비용 대비 효과 측면에서 효율적인 방안이 될 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 지휘통제(C2)체계 강화와 전투효과 간의 상

관관계에 대해 1982년 미국의 Daniel M. Schutzer가 제시한 「C2 Theory and Measures of Effectiveness」모델을 적용하여 상호간의 함수관계식을 새롭게 분석 유도해 내었다.

즉, C2 체계 강화와 전투효과 간의 상관관계에 있어서, 전투효과 향상 정도를 지휘통제체계 강화로 인하여 증가되는 가용시간( $t_a$ ) 변수와 정보의 정확도( $\sigma^2$ ) 변수의 함수식으로 표현하였다.

이들 함수식을 분석한 결과, 두 변수( $t_a$ ,  $\sigma^2$ )가 선형으로 증가하더라도 전투효과는 비선형으로 증가함을 보임으로써

지휘통제체계 강화와 전투효과는 비선형의 양의 상관관계를 가진다는 것을 보였다. 또한 정보전력체계 구축으로 인하여 요구되어지는 C2 체계의 수준이 높으면 높을수록 C2 체계를 강화함으로써 발생하는 전투효과 상승비율이 C2 체계 수준이 낮을 경우보다 상대적으로 크다는 것을 보였다.

향후 연구과제로는, C2 효과측정 모델에서 가용시간 변수가 정보의 정확도 변수보다 상대적으로 중요하다는 가설을 수학적으로 증명하거나, 대규모 전장 시나리오 상황에 기초한 위게임 시뮬레이션을 통해서 실증적으로 보여줄 수 있다면 유용한 연구가 될 것이다. 또한 3.4절에서 언급된 두 변수의 변역내 비율에 의한 전투효과 비교의 한계점을 해소하기 위하여입력 시나리오에 의존하지 않는 절대적 의미의 기준을 개발하는 것도 향후 과제이다.

추가적으로 지휘통제(C2)체계만으로는 미래전장의 정보전력체계 전체의 전투효과를 평가하기에는 한계가 있으므로 센서(Sensor)체계와 슈터(Shooter)체계를 동시에 고려한 전투효과측정 모델 개발에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

#### 참고문헌

- Kang, S. C. (2001), A Study on the Analysis of Combat Effectiveness of the Ground Tactical C41 Systems Using AHP, M.S. Thesis, Korea National Defense University.
- Kim, T. Y. (2002), A Study A on the Assessment of Force Improvement Effectiveness of MCRC System, M.S. Thesis, Korea

- National Defense University.
- Kim, Y. K., Lim, K. S. and Jun, B. U. (2000), A Basic Research for Effectiveness Analysis and Combat Contribution of Network Weapon System, Korea Institute For Defense Analysis.
- Lee, J. Y., Moon, J. R., Yoon, B. H., Lee, S. Y. and Kang, S. C. (2001), A Study on Basic Concept of Assessment Method for Combat Power of Information Force System, 21th Century Military Research Institute.
- Lee, J. Y., Kim, C. H., Kim, J. J. and Chang, S. J. (2003), A Study of Evaluation Method for C4I System's Combat Effectiveness, 21th Century Military Research Institute.
- Lee, S. Y. (2001), A Study on the Assessment of Force Improvement Effectiveness of KNTDS, M.S. Thesis, Korea National Defense University.
- Army C4I System Development Unit. (2000), A Operation Concept Description Note for Ground Tactical C4I System.
- Park, S. K. (2002), A Study on the Assessment of Power Improvement Effectiveness of Corps Level C4I System Applied to Integrated Fire Operation, M.S. Thesis, Korea National Defense University.
- Perry, W., Button, R. W., Bracken, J., Sullivan, T. and Mitchell, J. (2002), Measures of Effectiveness for the Imformation - Age Navy, RAND.
- Richard, D., Perry, W., Bracken, J., Gordon, J. and Nichiporuk, B. (2001), Measures of Effectiveness for the Imformation - Age Army, RAND.
- Schutzer, D. M. (1982), Selected Analytical Concepts in Command and Control; C2 Theory and Measure of Effectiveness, Gordon and Breach Science Publishers, 119-144.
- Taylor, James G. (1976), Optimal Commitment of Force in Some Lanchester Combat Model, NPS 55-77-2.