

NCW 효과측정에 관한 문헌조사 연구

정치영*† · 이재영*

A Literature Review of the Effectiveness Measurement for NCW

Chi-Young Jung* · Jae-Yeong Lee*

■ Abstract ■

NCW(Network Centric Warfare) offers BSEs(Battelspace-Entities) the capabilities of sharing information through C4ISR(Command, Control, Communications, Computers and Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) network and it also improves their combat powers based on information superiority with awareness of common situation in battlefield and self-synchronization. Although the concept of NCW was developed at the end of 1990 and there have been various studies for NCW from the development of its concept, the effort for measuring the synergistic effect of NCW is insufficient at the present time. Therefore, in this paper we reviewed literatures concerning the effectiveness measurement of NCW. The category of our survey is network effect, metrics, simulation, battlefield information, social network analysis and mathematical model. The main purpose of this study is to suggest future researchers a research direction by analyzing the aspects and limitations of existing studies about the quantitative measurement of NCW

Keyword : Network Centric Warfare, Effectiveness Measurement, C4ISR

1. 서 론

NCW(Network Centric Warfare)라는 용어는 1998년 미 해군제독 Cebrowski가 기고한 “NCW, 그 기원

과 미래”라는 글에서 처음으로 소개되었다[28]. NCW는 컴퓨터의 자료처리 능력과 네트워크로 연결된 통신기술을 활용하여 정보의 공유를 보장함으로써 군사력의 효율성을 향상시킨다는 개념으로, 목적은

논문접수일 : 2011년 12월 14일 논문게재확정일 : 2012년 03월 12일

논문수정일(1차 : 2012년 03월 02일)

* 국방대학교 국방관리대학원 군사운영분석

† 교신저자

C4ISR(Command, Control, Communications, Computers and Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 네트워크를 통해 센서들의 단절없는 연결을 구현하여 전투공간내 모든 전투원(BSEs : Battlespace Entities)들에게 정보공유 능력을 제공하고, 전투공간에 대한 공통상황인식과 자기 동기화(self-synchronization) 능력을 제공함으로써 정보우위를 기반으로 하는 전투력의 상승효과를 유발하는 것이다[12, 13]. 이에 미국을 비롯한 군사선진국들은 미래전을 효과적으로 대비하기 위해 전장정보체계 구축을 통한 NCW 구현을 지향하고 있으며[5], 한국군 또한 군구조의 단순화, 기동화, 첨단정보화를 지향하는 국방개혁 2020의 한 축에 한국적 NCW 구현을 포함하여 추진 중에 있다[3].

NCW의 핵심은 그 정의에서도 알 수 있듯이 C4I 체계와 같은 전장정보체계에 의한 “네트워킹” 그리고 그에 따른 “전장정보의 공유”이다. 따라서 NCW 구현을 위해서는 먼저 전장정보 네트워킹의 틀인 C4I 체계 구축이 확실하게 이뤄져야 하며, 이와 동시에 C4I 체계의 정보 네트워킹에 따른 전투력의 시너지 효과를 정량적으로 측정할 수 있는 체계를 마련해야 한다. 효과평가와 관련된 연구를 병행해야 하는 이유는 4조 원 이상의 국방예산이 투입되는 육군전술 종합정보통신체계 즉, TICN(Tactical Information Communication Network)사업만 보더라도 C4I 체계가 직접적으로 적 플랫폼에 타격을 가하는 타격체계(shooter)가 아님에도 불구하고 그 전력화에 막대한 국방예산이 투입되고, 신규 무기체계 전력화 사업의 국방예산규모는 안보위협 우선순위 및 그에 상응하는 군사적 소요, 그리고 국가의 재정적 부담 능력이 균형을 이루는 접점에서 결정되기 때문이다. 따라서 효과적으로 NCW를 구현하기 위해서는 C4I 체계 구축에 의해 상승하는 전투력 효과측정과 관련된 연구가 필수적으로 요구된다[4]. 그러나 NCW의 개념이 발전된 이후부터 현재까지 NCW의 코어(core)인 C4I 체계의 하드웨어적인 전력화는 원활하게 진행되어왔다고 평가되고 있는 반면, C4I 체계로 구현되는 NCW의 전투력 상승효과측정과 관련된

이론 및 기법이 아직 잘 정립되어 있지 않아 효과측정과 관련된 이론 및 기법연구가 절실히 필요한 것으로 평가되고 있다[7, 21].

이와 같은 배경에 따라 본 연구에서는 NCW 효과 및 그에 따른 전투력 상승효과 측정과 직접적으로 관련된 기존연구를 네트워크 효과, NCW 효과측도, 시뮬레이션, 전장정보 효과, 사회연결망분석의 NCW 적용 그리고 NCW에 의해 상승하는 전투력 측정 수리모형과 같이 여섯 가지 카테고리로 범주화하여 심층깊이 고찰함으로써 기존 연구들의 특성과 제한사항을 분석하고, 분석결과를 활용하여 향후 NCW 효과와 관련된 연구에 대한 연구방향을 제시한다.

2. NCW의 네트워크 효과

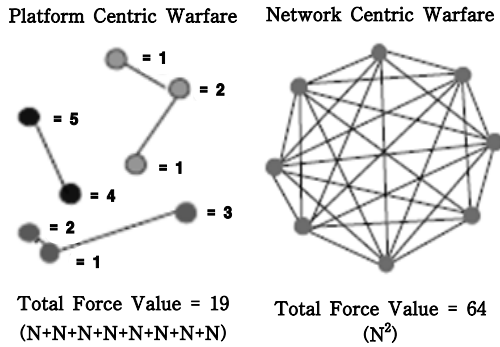
Marshall은 NCW의 효과측정을 위해서 멧칼프 법칙(Metcalf's law)을 사용하였다[25]. 비즈니스 분야에서의 네트워크 특징을 설명하는 주요개념인 멧칼프 법칙의 의미를 보면, 네트워크의 잠재적 가치 또는 효율성은 네트워크 내에 존재하는 노드 수의 승수에 비례하여 증가하는데, 식 (1)과 같이 네트워크 상 n 개 노드들이 다른 모든 노드와 연결된다는 가정을 적용하여 네트워크의 잠재적 가치를 노드 사이의 상호작용 함수로 나타낸다[10, 23, 25].

$$Network\ Power = n(n-1) = n^2 - n \quad (1)$$

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

Marshall은 [그림 1]과 같이 PCW에서의 전투력은 노드들이 가진 가치의 단순 합으로 나타나지만, NCW에서의 전투력은 네트워크에 포함된 노드 수의 제곱으로 나타난다고 설명하였다[25].

즉, PCW에서의 전투력은 각 노드(BSE)가 갖고 있는 전투력에 의해 결정되지만, NCW에서는 각 BSE의 가치를 고려하지 않고, 단순히 BSE의 수의 제곱에 의해 전투력이 결정된다. 또한 Marshall이 설명한 네트워크 효과는 단순히 네트워크로 인한



[그림 1] 멧칼프 법칙에 의한 전투력

잠재적 이득(potential gain)이 아니라 그 자체가 전력의 가치인 전투력(combat power)으로 해석된다.

2.1 기존연구

NCW의 네트워크 효과와 관련하여 멧칼프 법칙 개념을 적용 또는 고려한 기존 연구는 <표 1>과 같다.

<표 1> 멧칼프 법칙을 적용한 기존연구

구 분	기존연구
멧칼프 법칙	김영길 등[4] 권용수, 황인혁[9] Swarm[35] 이용복 등[10] 최창범, 김탁곤[23]
진보된 멧칼프 법칙	정환식 등[21] 정환식 등[22]

네트워크화된 무기체계가 전투에 기여하는 효과를 분석하기 위한 접근방법을 조사한 김영길 등[4]의 연구에서는 노드 수의 제곱이 전투력이라는 Marshall의 설명과는 다르게 전투력 증가효과를 ΔCP 라고 할 때, ΔCP 는 노드 수의 제곱인 n^2 을 변수로 하는 함수 f 에 비례하는 것으로 식 (2)와 같이 제시하였다.

$$\Delta CP \propto f(n^2) \quad (2)$$

권용수 등[9]의 연구에서는 네트워크의 잠재적 가치를 멧칼프 법칙을 활용해 그대로 소개하였으며, 이용복 등[10]의 연구에서는 네트워크 효과를 Marshall과 같이 전투력으로 간주하여 NCW에 의해 상승하는 전투력 효과를 측정하기 위한 MOE(Measure of Effectiveness)에 적용하였다. 반면, 전장에서의 네트워크 효과에 대한 연구는 아니지만 멧칼프 법칙이 인터넷 비즈니스 분야의 특징을 설명하는 중요한 키워드임을 고려하여 비즈니스 분야의 네트워크 효과를 수리적으로 모델링한 Swarm[35]의 연구에서는 네트워크 내에서 사용자들이 동일한 가치를 갖고 있다는 멧칼프 법칙의 가정에 무리가 있음을 지적하였다. 또한 최창범 등[23]의 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론과 시뮬레이션을 이용한 전장에서의 네트워크 연결성 실험환경 구축에 관한 연구에서는 n 개의 노드가 나머지 $n-1$ 개의 노드와 연결을 맺고 있어야 한다는 가정은 전장에서 실질적으로 적용하는 것이 불가능하다고 지적하였다. 이에 C4I 체계 네트워크 효과를 반영하여 상승하는 전투력을 측정환 정환식 등[21]의 연구에서는 멧칼프 법칙에서 각 노드의 가치를 고려하지 않는다는 점과 하나의 노드는 모든 노드와 상호작용을 한다는 가정사항의 비현실성을 고려하여 새로운 네트워크 효과 산출 방법으로 진보된(advanced) 멧칼프 법칙을 제시한 바 있다.

2.2 기존연구의 특징 및 제한사항

NCW와 효과와 관련하여 멧칼프 법칙을 적용한 해외연구는 Marshall의 저서 외에 찾아보기 어렵다. 이는 멧칼프 법칙에 따른 전투력 가치가 네트워크 효과로 인해 비선형으로 상승할 것이라는 의미는 어느 정도 수용될 수 있으나, 멧칼프 법칙의 두 가지 가정사항 즉, 전장에서의 모든 노드(BSE)들의 가치는 모두 1로 동일하고, 각 노드는 나머지 노드와 완벽하게 연결된다는 가정사항이 현실적으로 적용하기 어렵기 때문이라 판단되며, 또한 네트워크로 인한 잠재적 이득인 네트워크 효과와 전투력과의 개

념상 연결이 논리적이지 못해 설득력이 상당히 떨어지기 때문이라 판단된다.

전장에 참가하는 노드 즉, BSE는 항공기, 함정, 전차, 병력, 기타 부대 등이다. 따라서 노드의 종류, 성능 및 역할 등에 따라 각 노드의 가치가 다를 수밖에 없다. 뿐만 아니라 NCW가 구현되었다고 해서 지휘구조와 작전계통 등이 엄격한 전장에서 노드의 종류, 역할 및 작전절차와 상관없이 모든 노드들이 무조건 상호연결 되는 것은 아니다. 이는 Agent Based Model인 MANA 모델을 이용하여 데이터 파밍(Data Farming)으로 NCW에서의 정보우위(Information Superiority)에 의한 전투효과를 분석한 연구에서 네트워크 구조(topology)를 계층적 구조(hierarchical structure)로 하여 실험한 것을 보더라도 알 수 있다[34]. 또한 전투력(combat power)의 정의가 주어 진 시간 안에서 적의 전력을 파괴시키거나 분열시키는 직접적인 수단들이라는 그 개념[33]을 고려해 볼 때, 네트워크 효과는 전투력을 상승시킬 수 있는 잠재적 이득이 된다[4]. 그럼에도 불구하고 Marshall이 NCW에 멧칼프 법칙을 적용한 것처럼 네트워크 효과를 전투력 자체로 인식하는 것은 NCW의 효과를 측정하는데 있어 설득력을 갖지 못한다. 따라서 실질적인 네트워크 효과를 산출하기 위해서는 새로운 방법이 필요하며, 이는 각 노드의 가치, 역할, 연결구조 등을 종합적으로 고려할 수 있는 방법이어야 한다.

3. NCW의 효과척도

NCW의 코어인 C4I 체계는 제대별 지휘관·참모 및 전투원들과 각종 센서 그리고 타격체계들이 컴퓨터, 네트워크(LAN, WAN)를 기반으로 각종 소프트웨어들로 연결되어 운용되는 대규모·고난도의 복합체계(System of Systems)이다[22]. 힘(energy), 시간(time), 공간(space)의 3가지 요소에 의해 지배되는 전투라는 개념[23]이 복합체계인 C4I 체계와 결합되어 NCW 개념 하에서 측정되기 위해서는 그 복잡성(complexity)으로 인해 여러 가지 요소들을 복

합적으로 고려해야 한다. 그러나 NCW에서의 네트워킹과 정보의 가치를 측정하기 위한 고려요소를 식별하고 그에 대한 척도를 개발하는 것은 여전히 가장 힘들고 중요한 과제로 남아있다[38].

3.1 기존연구

NCW 효과척도와 관련한 기존 연구는 <표 2>와 같다.

<표 2> NCW 효과척도관련 기존연구

구 분	기존연구
전투력 측정시 고려요소 제시	김영길 등[4] 정종문, 고동철[19] 오원석 등[13]
효과척도 제시	Schutzer[43] Michael et al.[38]

먼저 NCW에서의 전투력을 측정하기 위해 고려해야 할 요소들을 제시한 연구의 내용을 살펴보면, 김영길 등[4]의 연구에서는 부대의 수, 작전템포, 지휘통제시간, 기동속도, 불확실성을 NCW의 전투력에 영향을 미치는 요소들이라고 제시하였으며, 네트워킹으로 인해 불확실성이 감소하고, 지휘통제시간이 단축되며, 작전템포가 증가한다고 설명하였다. 정종문 등[19]의 경우는 상황인식능력, 환경적응능력, 물자공급능력, 정보유통능력, 지휘통제능력 그리고 네트워크에 의해 공유된 상황정보 및 이를 바탕으로 달성된 정보우위에 의해 전투력 상승효과가 발생한다고 하였다. 오원석 등[13]은 Cebrowski의 NCW 가치사슬을 구성하는 네 가지 요인에 조직문화 및 교육훈련을 포함하여 연구모형을 설계하고 연구가설을 설정한 후 연구모형의 적합성 및 가설검증을 통해 조직문화, 상황인식 공유, 자기동기화, 교육훈련, 사용편의성 등이 NCW 수행을 위한 영향 요인이라고 제시하였다.

이와 달리 Schutzer[43]는 C4I 체계에 의한 지휘통제시간과 정보의 정확도를 고려한 생존확률, 할당비율, 교환비율을 계량화하고, 란체스터 전투모형을

이용하여 C4I 체계의 전투효과를 측정하기 위한 C2 이론을 개발하였다. 이 이론은 최초 전투력 대비 교전 전·후 잔존 전투력의 비율을 전투효과로 측정하며, 란체스터 제공법칙을 이용한 부대의 전투력 측정식을 식 (3)과 같이 제시하였다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2} \quad (3)$$

$$\langle N^2 \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k=1}^S \frac{p_k a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk}}$$

$$\langle M^2 \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k=1}^S \frac{X_{kk} q_{kj} b_{kj} m_{kj}^2}{1 + X_{kk}}$$

$$N = \sum_{k=1}^T n_{kj}^2$$

X_{kk} : 교환비율

(청군자산 k 형의 손실/홍군자산 k 형의 손실)

n_{kj} : 교전 j 에서 청군 k 형 무기 수

m_{kj} : 교전 j 에서 홍군 k 형 무기 수

p_{kj} : 청군 k 형 무기의 교전 j 에서의 생존확률

q_{kj} : 홍군 k 형 무기의 교전 j 에서의 생존확률

a_{kj} : 청군 k 형 무기의 교전 j 에서 할당비율

b_{kj} : 홍군 k 형 무기의 교전 j 에서 할당비율

C2 이론은 센서의 유효면적에 따른 불확실 지역에 대한 확률을 정의하고 그에 따른 정보의 정확성을 확률로 산출하여 NCW에서 정보자산의 성능 및 역할이 전투력과 어떻게 연결되는지를 수리모형으로 제시함으로써 적용 및 해석의 용이성을 제공하였으며, 이로 인해 C4I 체계에 의한 전투력 상승효과 측정과 관련된 다양한 연구에서 활용되고 있다[1, 11, 16, 18].

Ling et al.[39]은 유용성과 포괄성을 갖춘 NCW 척도들은 네트워크의 연결정도(degree of networking), 네트워크 위상(network topology), 데이터 전송방식(communication mode), 공유된 정보인식의 수준(level of shared awareness) 그리고 네트워크

에 의해 제공되는 정보로부터 결정되는 의사결정의 질(quality of decision making)을 포함해야 한다고 제안하였으며, 네트워크화된 전력들의 효과를 John Boyd가 제시한 OODA(Observe-Orient-Decide-Act) Cycle[26]에 적용하기 위해 네트워크 연결성(connectivity), 네트워크 풍부성(richness)이란 척도를 제안하였다. Ling et al.의 연구에서 제안한 NCW 관련 척도인 네트워크 연결정도 및 네트워크 풍부성은 기타 연구에서 제안한 NCW의 고려요소들에 비해 NCW의 하드웨어적인 특성을 종합적으로 반영한다.

3.1.1 Network Connectivity

Ling et al.은 네트워크 연결성에 대한 척도를 개발하기 위해 N_T 개의 노드와 $N_T(N_T-1)/2$ 개의 링크(link)가 있는 네트워크를 활용하였다. 이때 링크는 두 노드사이의 직접적인 통신을, 루트(route)는 두 노드를 연결하는 가능한 모든 경로들을 의미한다. 루트는 하나 또는 그이상의 링크를 갖게 되고, 그래프 이론에서의 루트의 길이 개념을 적용하였다. Ling et al.이 시간 t 를 고려하여 제안한 네트워크 연결성의 형태는 식 (4)와 같다.

$$C_M(t) = \sum_{\mu=1}^{N_T} K_{\mu}(t) \sum_{\nu=1}^{N_{\mu}} \sum_{\gamma=1}^{N_{\mu\nu}} L_{\gamma}^{\mu\nu}(d, t) \quad (4)$$

N_{μ} : 노드 μ 에 연결된 모든 노드의 수

(완벽한 네트워크일 때: $N_{\mu} = N_T - 1$)

$N_{\mu\nu}$: 노드 μ 와 ν 를 연결할 수 있는

모든 route 수 [완벽한 네트워크일 때:

$N_{\mu\nu} = \{1 + (N_T - 2) + (N_T - 2)(N_T - 3) \dots 2 \times 1\}$]

$K_{\mu}(t)$: 노드 μ 의 가치

$L_{\gamma}^{\mu\nu}(d, t)$: 노드 μ 와 ν 를 연결하는 경로 γ 의 정보흐름파라미터

$0 \leq \{K, L\} \leq 1$

이때 루트의 길이 d 와 시간 t 의 함수 $L_{\gamma}^{\mu\nu}(d, t)$ 는 가치를 나타내는 성분 $L_{\gamma}^{\mu\nu}(t)$ 와 정보흐름계수 부

분인 $F_\gamma^{\mu\nu}(t)$ 로 구분하면, 식 (4)는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_M(t) = \sum_{\mu=1}^{N_T} K_\mu(t) \sum_{\nu=1}^{N_\mu} L^{\mu\nu}(t) \sum_{\gamma=1}^{N_{\mu\nu}} \frac{F_\gamma^{\mu\nu}(t)}{(d_\gamma)^\xi} \quad (5)$$

$F_\gamma^{\mu\nu}(t)$ 는 ξ 제곱으로 상승하는 d 에 의해 측정되며, 0과 1사이의 값은 갖는다. 이때 γ 가 최대 흐름을 갖는다면 1, 반대로 흐름이 없으면 0이 된다. 만약 정보가 노드 μ 에서 노드 ν 로 한 방향으로만 흐른다면, $0 \leq F_\gamma^{\mu\nu}(t) \leq 1$ 이고, $F_\gamma^{\nu\mu}(t) = 0$ 이 된다. 여기서 시간에 무관하고 정보흐름 방향과 노드 간 연결여부만을 고려하는 즉, $K_\mu(t) = K_\mu \forall \mu$, $F_\gamma^{\mu\nu}(t) = F_\gamma^{\mu\nu} = 0 \text{ or } 1 \forall \{\gamma, \mu, \nu\}$ 이고, d 의 비례지수 ξ 를 1, 모든 노드의 가치를 1, 링크들의 연결형태가 동일한 즉, $K = K_\mu = 1$, $F = F_\gamma^{\mu\nu} = 1, \forall \{\gamma, \mu, \nu\}$ 인 것으로 가정하면, 이는 완전 그래프(complete graph)로, 이때의 연결성은 식 (6)과 같다.

$$C_M^R = N_T(N_T - 1) \times \left[1 + \frac{(N_T - 2)}{2} + \frac{(N_T - 2)(N_T - 3)}{3} + \dots + \frac{(N_T - 2)(N_T - 3) \dots 2 \cdot 1}{N_T - 1} \right] \quad (6)$$

식 (6)의 첫 번째 항인 $N_T(N_T - 1)$ 는 멱칼프 법칙에 의한 네트워크 효과이다. 즉, 멱칼프 법칙에 의한 네트워크 효과는 정보의 흐름에 관한 특성을 무시하고 단순히 모든 노드의 가치가 1인 완벽한 네트워크의 연결정도를 나타내는 것임을 다시 한번 확인할 수 있다. Ling et al.은 식 (6)과 같은 연결성을 갖는 네트워크를 참조네트워크(reference network)로 정의하고, 이 참조네트워크와 식 (5)를 이용하여 표준화된 연결성 척도를 네트워크 도달성(network reach) I_R 이라 정의하였으며, 이는 식 (7)과 같다.

$$I_R = \frac{1}{C_M^R} \sum_{\mu=1}^{N_T} K_\mu \sum_{\nu=1}^{N_\mu} L^{\mu\nu} \sum_{\gamma=1}^{N_{\mu\nu}} \frac{F_\gamma^{\mu\nu}}{d_\gamma} \quad (7)$$

3.1.2 Network Richness

Ling et al.은 Shannon의 정보 엔트로피를 이용하여 네트워크 풍부성(network richness)을 정의하였다. 정보 엔트로피란 Shannon이 통신문제를 다루기 위해 처음 개발한 개념으로, 전달되는 정보의 양을 의미하며[36, 37], Ling et al.이 제시한 네트워크 풍부성은 정보 엔트로피가 네트워크를 통해 생성되는 평균 비율로 식 (8)과 같다.

$$R_Q = \frac{1}{N_T} \sum_{\mu=1}^{N_T} \lambda_\mu Q(\lambda_\mu) \quad (8)$$

식 (8)에서 $Q(\lambda_\mu)$ 는 식 (9)와 같은 지식함수이다 [39].

$$Q(\lambda_\mu) = \ln \left(\frac{\lambda_\mu}{\lambda_\mu^{\min}} \right) \quad (9)$$

λ_μ^{\min} : 노드 μ 에서 정보가 지식으로

처리되어야 할 최소비율(1/time)

λ_μ : 시간 t 에서 노드 μ 가 정보를

처리하는 비율

이와 같이 Ling et al.은 네트워크 내의 노드들이 어떠한 형태로 연결되어 어떠한 방향으로 상호간에 정보가 흐르는지 또 그로 인해 얼마나 많은 지식이 생성되는지를 단순한 수리모형으로 제시하고 이를 의사결정 주기인 OODA Cycle에 적용함으로써 네트워크화된 BSE들이 OODA Cycle을 얼마나 압도할 수 있는지를 측정하는데 적용하였다.

3.2 기존연구의 특징 및 제한사항

복합체계인 C4I 체계에 의해 구현되는 NCW의 특성을 이해하고 그 효과와 관련된 필수 고려요소를 도출하는 것은 NCW에 의한 전투력 상승효과 측정을 위해 반드시 선행되어야 하는 중요한 절차이다. 이러한 의미에서 김영길 등[4], 정종문 등[19] 그리고 오원석 등[13]의 연구는 상당한 의미를 갖는다. 그러나 식별된 요소들을 정량적으로 측정할 수 있

는 척도를 개발하지 못했다는 한계가 있다. Schuzter [43]는 정보의 정확성에 따른 생존확률을 정의함으로써 센서에 의한 전투효과를 전투력 측정과 연계시켰으나, 그 수리모형에 정보공유 네트워크의 구조, 그로 인한 BSE들의 상호작용, 지휘속도 등 기타 연구자들이 제시한 여러 가지 고려요소들을 종합적으로 반영하지 못했다는 한계점이 있다. 이에 반해 Ling et al.[39]은 네트워크의 구조, 정보흐름의 형태, 공유된 정보인식의 수준 등을 정량화 할 수 있는 척도들을 제시하였다. 이 같은 Ling et al.의 연구는 매우 중요한 의미를 갖는다. 이는 네트워크화된 전장의 효과를 분석하기 위해서는 멧칼프 법칙과 같이 단순히 노드의 수만을 고려하는 것이 아니라 네트워크의 실질적인 내부구조 즉, 노드의 수를 포함하여 노드의 가치, 노드사이의 연결구조, 정보흐름의 방향, 지식의 생성정도 등을 종합적으로 파악 및 고려해야 한다는 것이다. 그러나 Ling et al.은 정량화한 척도들을 NCW의 효과에 연결시켜 그 효과를 OODA Cycle 압도정도로 표현하였는데, 전투에 직접 발휘되는 최종적인 능력인 전투력을 단순히 관측, 판단, 결심, 행동이 얼마나 더 빠른가인 OODA Cycle의 압도정도로 표현하는 것은 상당한 무리가 있다. 따라서 C4I 체계로 구현되는 NCW의 시너지 전투효과를 계량적으로 측정하기 위해서는 Ling et al.이 제안한 정량화한 척도들을 발전시키되 척도와 전투력을 논리적으로 연결시키는 추가적인 연구가 필요하다.

4. NCW 시뮬레이션

시뮬레이션을 기반으로 한 C4I 체계 효과분석은 주로 미국과 독일에서 활성화 되어있다. 미국의 효과분석모델로는 JWARS(Joint Warfare System), SEAS(System Effectiveness Analysis System), VIC (Vector In Command), OneSAF(One Semi-Automated Force) 등이 있으며, 독일은 FIT(Führung and Informations-Technologie), DNS(Die Neue Framework Simulation)을 개발하여 운영하고 있다[6].

시뮬레이션을 이용한 효과분석은 훈련 및 작전분석, 계량화된 무기효과평가 또는 과학적 소요제기 등을 위해 요구되는 연구방법이다. 그러나 시뮬레이션 모델을 활용한 모의분석결과는 사용한 모델의 모의논리 등과 같은 모델고유의 특성, 분석을 위한 가정설정, 그리고 시나리오에 따라 변동의 폭이 너무 크기 때문에 해석상에 어려움이 있을 뿐만 아니라 효과분석방법론의 일반화에 있어서 제한사항이 있다. 또한 현재 개발되어 운용중인 모델들은 C4I 체계 효과측정에 있어서 지휘통제시간이 큰 비중을 차지하고 있으며, 기타 연구들에서 NCW의 효과평가를 위해 고려되어야 한다고 제시한 고려요소들을 복합적으로 충분히 반영하는 것에는 제한이 있을 수밖에 없다.

5. NCW의 전장정보효과

정보기술이 군사부문에 반영된 산물인 NCW 환경에서는 정보의 역할이 가장 중요하다. 따라서 획득한 전장정보를 전투결과와 연결시키는 것은 NCW 효과측정을 위해 반드시 풀어야 할 과제이다. 그러나 전장정보와 전투결과를 쉽게 정의된 정량적 관계로 연결하는 것은 현재에도 여전히 어려운 문제이다[45].

5.1 기존연구

전장정보를 전투력과 연결시킨 기존의 연구는 <표 3>과 같다.

<표 3> 전장정보와 전투력 연계관련 기존연구

구 분	기존연구
란체스터모형 활용	Connolly[29] Strukel[44]
지식척도 개발	Perry et al.[45] Darilek et al.[42]

Connolly[29]는 최적의 적 표적 탐색전략을 수립하기 위해 표적들에 대한 Shannon의 정보를 이용하여 단순한 표적탐색 모델들을 제안하였고, Strukel

[44]는 센서들로부터 얻은 정보들이 적 표적의 위치에 대한 확률분포상의 불확실성인 엔트로피를 어떻게 줄이는가를 볼 수 있는 정찰모델을 제시하였다. 위 두 연구는 란체스터 모형을 사용하였는데 정보만이 표적에 위치에 대한 정확성을 향상시키는 것으로 가정하고, 이때 이러한 정보를 전투행위와 관련된 의사결정 프로세스에 대한 입력자료가 아닌 표적위치 정확도 파라미터로 고려하였다. Perry et al.[45]과 Darilek et al.[42]은 전투정보와 전투결과를 연관시킬 수 있는 방법을 통계적인 상관관계와 Shannon의 정보이론을 이용하여 전장에서 센서들이 획득한 정보들이 어떻게 불확실성으로 연결되며, 이러한 불확실성에 따라 전장지식이 어떻게 표현되는지를 수리모형으로 제시하였다.

전장지식과 관련하여 한국군의 합동비전 2010을 보면, NCW에서의 MOE 및 효과측정 단위는 <표 4>와 같이 특정 단위에서 지식으로 변화한다[10].

<표 4> 작전운동개념 변화에 따른 효과측정단위

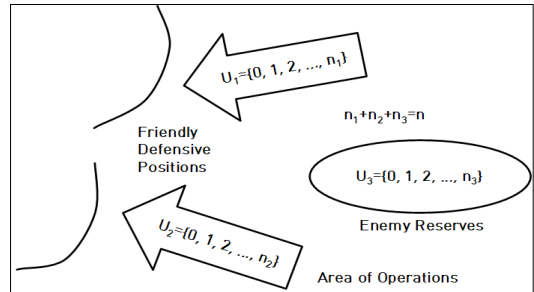
MOEs	효과측정 단위	
	PCW	NCW
전개	이동부대수/Hr	기동로 차단을 시도하는 적에 대한 지식
작전반경	km	기동로상의 적의 저항에 대한 지식
전장통제	-	부대통제 변경 및 상대적 지식
전선이동	km	전투능력에 대한 지식

따라서 NCW에서의 전장정보에 의한 전장지식의 중요성은 점점 증가한다고 할 수 있다. 전장에서 획득한 정보가 어떻게 지식으로 표현될 수 있는지를 제안한 연구는 Perry et al.의 연구를 기반으로 한 Darilek et al.의 전장지식(combat knowledge)이다.

5.1.1 전장지식(Combat Knowledge)

Darilek et al.은 [그림 2]와 같이 작전지역내 우군지역을 향해 배치되어있는 적 부대들의 집합 $U = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ 에서 적 부대의 수 n 은 이미 알고 있고, 모르는 것은 단지 적 부대들의 세부적인

전술적 배치라고 가정하고, 전술적인 상황평가는 적의 세부적인 전술적 배치를 추정하는 과정으로 인식하였으며, 이러한 추정의 효과를 적에 대한 지식의 상태와 관련된 불확실성의 정도로 표현하였다[42].



[그림 2] 작전지역에서의 적 부대 배치에서

전장정보를 수집하는 과정에 대한 효과는 U 에 대한 확률분포로 모델링된다. 적 지휘관이 n 개의 부대 중 v 개의 부대를 작전지역에 투입시키는 확률을 $P(U=u)$ 라고 하고, $P(V_i=v)$ 를 우군의 i 번째 센서가 적 부대 수 v 를 예측할 수 있는 확률이라 하면, $P_i(U|V_i=v)$ 는 우군의 i 번째 센서가 v 개의 적 부대들을 탐지할 수 있는 확률분포이다. Shannon의 정보이론을 이용하면 확률분포 $P_i(U|V_i=v)$ 의 정보의 평균량은 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H[P_i(U|V_i=v)] = H(U|V_i=v) \tag{10}$$

$$= - \sum_{u=0}^n P_i(U=u|V_i=v) \ln[P_i(U=u|V_i=v)]$$

식 (10)과 같은 엔트로피 함수는 확률분포 $P_i(U|V_i=v)$ 의 불확실성이 최대일 때 최대가 된다. 군사 작전상 이러한 상황은 아군 지휘관이 활용할 센서 자산을 갖고 있지 않고 전장상황에 대한 사전지식에 없을 때 발생한다. 이런 경우, 관심지역에 배치되는 적 부대의 수는 동일한 확률인 $P_0(U=u) = 1/(n+1)$ 이 되고, 이때의 엔트로피는 $H(U) = \ln(n+1)$ 이 되며, 최대 확실성은 $\ln(n+1) - H(U|V_i=v)$ 이다. 이 때 $K_i(U|V_i=v)$ 를 우군 i 번째 센서

가 v 개의 적 부대들을 탐지하여 얻을 수 있는 지식이라고 하고, 최대 확실성 $\ln(n+1) - H(U|V_i=v)$ 을 불확실성이 최대인 상황에서의 엔트로피로 나누워 표준화 한 식 (11)을 지식으로 정의하였다.

$$K_i(U|V_i=v) = \frac{\ln(n+1) - H(U|V_i=v)}{\ln(n+1)} \quad (11)$$

군사분야에서 엔트로피란 유용한 정보의 부재로 인해 지휘통제 프로세스에 발생할 수 있는 무질서 또는 불확실성의 범주이며[38], 지식이란 이러한 엔트로피를 감소시키는 것으로[27], 식 (11)은 특정한 센서에 의해 감소되는 불확실성을 측정함으로써 지식을 계량화할 수 있는 매우 중요한 척도로 사용될 수 있다.

5.2 기존연구의 특징 및 제한사항

런체스터 모형과 Shannon의 정보 엔트로피를 이용하여 적 표적 정보를 정량화한 Connolly[29]와 Strukel[44]의 연구는 네트워크에 의한 정보의 공유로 상승하는 NCW의 효과를 정량화하는데 있어 활용 가능성을 보여준다. 그러나 위 연구들은 신뢰할 만한 정보가 지휘관으로 하여금 보다 더 효과적인 지역에 사격을 할 수 있다는 논의에 그치고, 전투결과에 어떻게 직접적으로 영향을 미치는가에 대해 고찰하지 않았다는 한계를 지닌다. Darilek et al.의 연구는 센서가 획득한 전장정보를 전장에서 직접적으로 활용할 수 있는 지식으로 표현할 수 있는 방법을 제시하였다는 데 매우 중요한 의미를 갖는다. 그러나 이는 특정한 노드에 국한하여 센서정보를 지식으로 인식하는 과정을 수학적으로 표현한 것으로 노드사이의 정보 및 지식의 흐름에 대한 고찰이 필요하다. 따라서 Darilek et al.이 제시한 지식으로 가공된 전장정보가 특정한 연결구조를 갖는 네트워크 내에서 유통될 때의 가치에 대한 연구가 추가적으로 필요하며, 또한 기타 연구의 제한사항과 마찬가지로 전장지식을 전투력과 연결하는 노력이 필요하다.

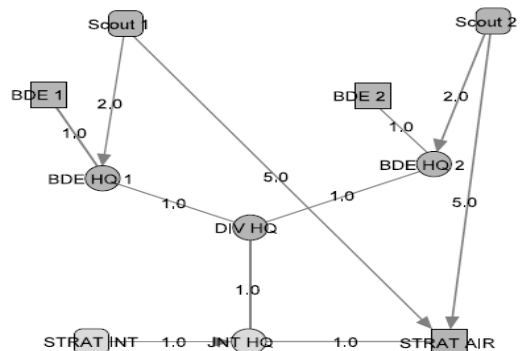
6. SNA의 NCW 적용

사회연결망 분석(SNA; Social Network Analysis)은 특정한 관계의 패턴을 가지는 인간이나 집단의 집합을 의미하는 사회 연결망(social network)[26]의 구조 또는 형태의 특징을 도출하여 체계의 특성을 설명하거나 체계를 구성하는 단위의 행위를 설명할 수 있는 방법으로, 그래프 이론을 기반으로 네트워크내 행위자(node)들의 관계를 수치화, 통계화 및 그래프화하여 네트워크에 계량적이고 과학적인 해석을 가능하게 하는 분석기법이다[17].

노드와 링크의 관계를 설명하는 SNA의 특징과 BSE들의 네트워크를 통한 전장정보의 공유라는 NCW의 개념을 고려해 보면, BSE(노드)들간의 정보 공유로 구현되는 NCW에 SNA 기법을 적용하는 것은 다양한 분석을 가능하게 한다.

6.1 기존연구

SNA를 적용한 기존의 연구는 Dekker[31, 32]의 연구이다. Dekker는 SNA를 C4ISR 구조의 특정부분으로 확장시켜 군 조직구성을 비교·평가할 수 있는 FINC 방법론(Force, Intelligence, Networking and C2 Methodology)을 제시하였는데, [그림 3]은 FINC 방법론을 적용하기 위한 단순한 군사작전 구조의 예로, 동군 직사각형은 정보자산, 직사각형은



[그림 3] SNA의 C4ISR 분석적용을 위한 군 구조 예시

타격자산, 원모양은 지휘통제조직을 의미하며, 정보흐름의 방향(uni-directional or both-directional)에 따라 화살표의 모양을 표시하였다[31].

[그림 3]은 두 개의 정보자산(Scout1, 2)이 운영되고 있는 가운데, 두 개의 여단급 부대(BDE HQ1 and BDE1, BDE HQ2 and BDE2))가 사단급 부대(DIV HQ)의 통제를 받으며, 사단급 부대는 전술적 항공자산(STRAT AIR)과 전술적 정보자산(STRAT INT)을 통제하는 JNT HQ와 합동작전을 수행하고 있는 상황을 예로 든 것이다. Dekker는 이러한 군사작전과 관련된 각 BSE들의 연결구조를 반영하는 정보흐름계수(information flow coefficient)와 협조계수(coordination coefficient)를 이용한 네트워크 구조 내의 지연분석(delay analysis), 구조 내에서 핵심역할을 하는 노드를 분석할 수 있는 중심성 분석(centrality analysis) 등을 수행하였다.

6.1.1 지연분석(Delay Analysis)

[그림 3]에서 각 노드를 연결하는 링크위의 숫자는 정보흐름의 지연을 수치로 나타낸 것이며, 원으로 표시된 C2 노드에서는 받은 정보를 처리하여 다시 보내는 과정에서 값 1의 지연이 발생하는 것으로 가정한다. 이와 같은 가정을 적용하면 각 정보자산으로부터 각 타격자산까지의 정보흐름 지연은 식 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{delay}(\text{Scout1} \rightarrow \text{BDE1}) &: 2+1+1=4 \\ \text{delay}(\text{Scout2} \rightarrow \text{BDE2}) &: 2+1+1=4 \\ \text{delay}(\text{STRAT INT} \rightarrow \text{BDE1}) &= 7 \\ \text{delay}(\text{STRAT INT} \rightarrow \text{BDE2}) &= 7 \\ \text{delay}(\text{Scout1} \rightarrow \text{STRAT AIR}) &= 5 \\ \text{delay}(\text{Scout2} \rightarrow \text{STRAT AIR}) &= 5 \\ \text{delay}(\text{STRAT INT} \rightarrow \text{STRAT AIR}) &= 3 \end{aligned}$$

정보흐름 계수(intelligence flow coefficient)는 위와 같이 계산된 값들의 평균으로 5의 값을 갖고, 이 정보흐름계수가 작으면 작을수록 더 효과적인 네트워크로 평가된다. 협조 계수(coordination coefficient)

는 [그림 3]에서 타격자산들을 연결하는 경로의 지연 값을 활용하여 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{delay}(\text{BDE1} \rightarrow \text{BDE2}) \text{ vice versa} &= 7 \\ \text{delay}(\text{BDE1} \rightarrow \text{STRAT AIR}) \text{ vice versa} &= 7 \\ \text{delay}(\text{BDE2} \rightarrow \text{STRAT AIR}) \text{ vice versa} &= 7 \end{aligned}$$

정보흐름 계수와 마찬가지로 평균 값인 7이 [그림 3]의 협조 계수가 되며, 이 협조계수 역시 작으면 작을수록 더 효과적인 네트워크로 평가된다.

6.1.2 중심성 분석(Centrality Analysis)

중심성분석은 SNA에서 전체 네트워크에서 핵심적인 역할을 하는 노드를 분석하기 위해 사용되는 방법으로, 중심노드는 네트워크를 구성하는 다른 모든 노드들과 가장 가까운 거리에 있는 하나의 노드로 식 (12)와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{Degree of Centrality of node } i & \quad (12) \\ &= [\text{Average}(j \neq i) \{1/\text{delay}(i, j)\} \\ &+ \text{Average}(j \neq i) \{1/\text{delay}(j, i)\}]/2 \end{aligned}$$

식 (12)를 적용하여 [그림 3]의 중심성을 분석하면, DIV HQ가 네트워크 내에서 가장 핵심적인 역할을 하며, 다음으로 JNT HQ가 중요한 역할을 하는 것으로 나타난다.

6.2 기존연구의 특징 및 시사점

SNA를 군 네트워크에 적용하여 C4ISR 구조를 분석하고자 하는 연구는 NCW 효과추정에 대한 다양한 방법론의 적용가능성 및 활용용이성 측면에서 상당한 의미를 갖는다. Dekker가 C4ISR 구조분석에 적용한 SNA의 의미와 유용성을 살펴보면, SNA는 네트워크의 구조 및 특성 파악 용이성으로 인해 적용분야를 점차적으로 넓혀가고 있으며, 새로운 분야에 대한 적용 특히, 산업공학분야에 대한 적용의 필요성이 대두되고 있는 네트워크 분석기법

이다[2]. SNA에서는 네트워크의 특성을 분석함에 있어 Ling et al.의 연구에서 제시한 네트워크의 실질적인 내부구조인 노드의 수, 노드의 가치, 노드사이의 연결구조 및 정보흐름의 방향과 노드 간 링크의 가치를 종합적으로 고려한 분석지표를 제공한다는 것이다. 따라서 NCW 효과측정 시 반드시 고려해야 할 요소들을 SNA의 분석틀(frame)을 활용하여 정량화하고 이를 전투력과 연계하여 NCW 구현으로 인한 전투력 상승효과를 측정할 수 있는 모델을 개발하면 그 해석 및 적용의 용이성을 보다 더 증대시킬 수 있다.

7. NCW의 전투력 측정 수리모형

한국 육군에서는 자체 판단으로 지상 전술 C4I 체계 구축 시 통합 전투력 운용(선견, 선결, 선타)에 의해 10.4배의 전투력 상승효과가 발생할 것으로 판단하고 있으며[7], 미 RAND 국방연구소 NDRI에서는 디지털 통신 네트워크 및 전투지휘체계가 구축된 미 STRIKER 여단의 훈련결과 자료를 분석하여 C4I 체계 구축에 따라 10배 이상의 전투력 상승효과가 나타나는 것으로 판단한 바 있다[19, 30]. 이와 같은 분석의 중요성 및 의미는 NCW 구현에 따른 효과측정은 네트워크 효과 산출, 효과척도의 개발, 전장정보효과 측정을 위한 수리적 모델링 또는 SNA와 같은 새로운 기법의 적용 등과 같은 연구기법도 중요하지만, NCW 구현의 효과측정과 관련된 연구는 궁극적으로 NCW 구현으로 인해 전투력이 얼마나 상승할 것인가(synergistic effect)를 정량적으로 판단하는 것에 연구의 목적 및 결과가 귀결되어야 한다는 것이다.

7.1 기존연구

NCW로 인한 전투력 상승효과 측정과 관련된 기존의 연구는 <표 5>와 같다.

한희 등[24]은 미래 정보전의 전투력을 충격량을 나타내는 고전역학인 뉴턴의 제 2법칙을 이용해서

<표 5> NCW 전투력 상승효과 측정관련 기존연구

구 분	기존연구
수리모형 제시	한희 등[24] 이용복 등[10]
제시된 수리모형 활용	정환식 등[21] 정환식 등[22]

식 (13)과 같이 제시하였다.

$$F = ma = \frac{m \times v \times I}{T} = mvC \quad (13)$$

F : 전투력/ m : 타격력/ v : 기동력

I : 판단정확성/ T : 작전반응시간/ C : 정보전력

식 (13)은 전투력이 무기체계의 화력 및 기동력뿐만 아니라 정보전력에 의해 변화한다는 개념적인 모델링 결과이다. 이용복 등[10]은 고전역학과 전투이론의 용어 및 개념의 연계성[15] 그리고 C4I 체계에 의해 구축되는 네트워크의 노드 간 상호작용인 멱칼프 법칙에 의한 네트워크 효과를 고려하여 전투력과 전투력을 구성하는 변수들 간의 관계를 식 (14)와 같이 제시하였다.

$$F = ma = m(\Delta v / \Delta t) = (MvI) / T = \frac{(n^2 - n)vI}{T} \quad (14)$$

F : 전투력

m : 전투질량 ↔ M : 네트워크 파워

v : shooter의 표적투사 속도

t : 시간 ↔ T : 지휘통제시간

I : 정보의 우위

식 (14)에서는 물질의 본질적인 특성을 나타내는 질량(m)을 멱칼프 법칙을 적용한 네트워크 효과(M)로 대체하였으며, 속도(v)를 탄약, 미사일 등과 같은 공격수단의 표적에 대한 투사속도로, T 를 지휘통제시간으로, I 를 표적에 대한 정보의 우위로 하여 네트워크 효과를 고려한 전투력 상승효과를

측정한다. 이는 고전역학인 뉴턴의 제 2법칙을 적용하여, 네트워크 효과, 속도, 정보우위, 지휘통제시간을 변수로 하는 매우 단순하고 분석이 용이한 전투력 상승효과 MOE를 제시하였다는 데 큰 의미가 있다. 정환식 등[21, 22]은 식 (14)의 함수를 활용하되, 멱칼프 법칙이 노드의 가치를 고려하지 않는다는 문제점을 고려하여 진보된(advanced) 멱칼프 법칙을 제안하였다.

7.2 기존연구의 특징 및 제한사항

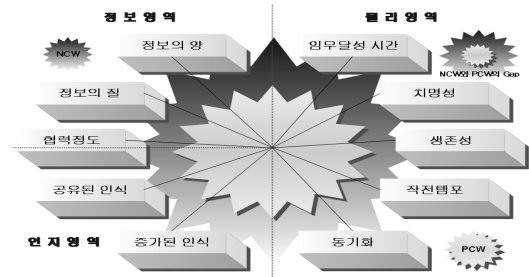
한희 등이 제시한 모델은 전투력(combat power)이 적의 전력을 직접적으로 파괴시키거나 분열시키는 최종적인 능력이라는 그 개념적 정의를 고려해 볼 때, 고전역학에서의 물리적 충격량인 F 를 전투력이라 두고, 이 전투력을 각 플랫폼 고유의 전투력(타격력, 기동력)과 정보판단의 정확성 및 작전반응시간으로 상호관계를 표현하였다는 그 개념적 측면 상당한 설명력을 갖는다. 그러나 이 개념적 모델링에서는 정보판단의 정확성이라고 정의한 I 값을 정량적으로 설명하지 못한다는 한계가 있다. 이에 이용복 등의 연구에서는 I 를 정보의 우위로 하고, 전투력을 멱칼프 법칙에 의한 네트워크 효과로 대체하여 한희 등의 개념적 모델의 한계점을 보완하였으나, 네트워크 효과는 전투공간 내 BSE들을 얼마나 강하게 연결시킬 수 있는지에 대한 잠재적인 이득일 뿐[4], 그 값 자체가 전투력은 아니므로 네트워크 효과를 전투질량으로 대체하였다는 점이 논리적이 못하다. 또한 식 (14)에서 정보우위인 I 를 측정함에 있어 Perry et al.과 Darilek et al.의 지식척도인 식 (11)을 오역함으로써 전투력 상승정도인 MOE를 계산함에 있어서 오류를 남겼다. 정환식 등[21, 22]의 연구 또한 네트워크 효과가 전투력이라는 전제조건을 따르고 이용복 등[10]의 연구에서 적용한 정보우위를 활용함으로써 왜곡된 전투력 상승효과를 측정하였다. 따라서 NCW 구현에 따라 상승하는 전투력을 정량적으로 측정하기 위해서는 그 개념 및 정의에서 상당한 설득력을 갖춘 한희 외의 모델을 활용

하되, 정보판단의 정확성 또는 정보우위를 의미하는 I 를 포함하여 NCW의 시너지효과를 측정하기 위해 고려해야 하는 요소들을 적절히 정량화 하고, 또한 이와 같은 요소들과 전투력 간의 관계를 논리적으로 모델링해야 한다.

8. 결론

NCW의 핵심은 C4I 체계에 의한 노드(BSE)들간의 “네트워킹”이다. 이로 인한 효과는 “실시간 전장 정보의 공유-공통의 상황인식-임무수행 효과의 극대화”화이며, 그 이점은 정보영역에서 정보의 양, 협력정도 및 공유된 인식의 증가이고, 인지영역에서 공유하는 전장인식의 증가 그리고 물리영역에서는 임무달성시간 단축, 동기화 및 작전템포 증가, 치명성 및 생존성 증대이다[41].

따라서 NCW 구현으로 인해 얻을 수 있는 전투력 상승효과는 [그림 4]의 각 영역 내의 요소들이 얼마만큼 상승할 것인가를 정량적으로 표현함으로써 측정할 수 있는 것이다.



[그림 4] NCW의 가치 및 이점

C4I 체계가 복합체계라는 점을 감안하면, NCW의 효과를 측정하기 위해서는 여러 가지 요소들을 복합적으로 고려해야 하며, 그 효과는 결국 NCW가 구현되면 전투력이 얼마나 상승하는가로 나타나야 한다. 이에 NCW의 효과와 관련된 기존의 연구들을 NCW의 하드웨어적 특징을 가장 잘 반영하는 Ling et al.의 연구에서 제시한 “네트워크 연결정도”, “네트워크의 위상”, “데이터 전송방식”, “정보인식의

수준”, “의사결정 수준”에 대한 고려여부와 NCW의 효과를 전투력과 함수적으로 연결시켰는지의 여부를 기준으로 요약하면 <표 6>과 같다.

8.1 NCW의 시너지효과 측정방안

NCW 개념이 생긴 이후 수십 년 동안 NCW의 효과를 측정하기 위해 다양한 초점과 방법을 적용한 적지 않은 연구가 수행되어 왔음에도 불구하고 현재에도 NCW 구현에 의한 전투력 상승효과와 관련된 연구가 부족하다고 평가받고 있다. 기존 연구에 대한 심층 깊은 고찰결과를 근거로 판단한 그 이유는 NCW의 효과를 측정하기 위해서는 여러 가지 많은 요소들이 복합적으로 고려되어야 한다는 공통적인 주장에는 공감대가 형성되어 있고, 다수의 연구자들이 주장하는 여러 가지 고려요소들에 어느 정도의 공통점은 있지만, 기존 연구들이 네트워크

효과 산출이나 효과측정을 위한 척도개발 또는 전장정보효과 등과 같이 부분적인 요소에 국한하여 그 초점이 맞춰져 있고, 또한 연구결과를 전투력과 함수관계로 연결하는 데 있어 그 노력이 미흡하였거나 논리가 설득력을 갖지 못했다는 것이다. 이에 본 연구에서는 기존연구들의 특징과 그 한계점을 고려하여 NCW 구현으로 인해 상승하는 전투력 효과를 정량적으로 측정하기 위한 향후 연구방향을 다음과 같이 제시한다.

첫째, NCW의 시너지효과를 측정하기 위해 반드시 고려해야 할 요소를 식별한다. 이러한 요소들은 [그림 4]의 NCW의 영역별 가치 및 이점을 정량화할 수 있어야 하므로, 본 연구에서 <표 7>과 같은 요소를 제안하였다. <표 7>은 NCW의 하드웨어적 특징을 가장 잘 반영한 Ling et al.의 연구와 [그림 4]의 NCW의 영역별 가치 및 이점 그리고 복합체계인 C4I 체계의 기술적 특성 및 C4I 체계 평가요소

<표 6> NCW 효과측정 관련 기존연구 요약

구 분	NCW 효과와 관련된 고려요소 고려여부					전투력과 함수관계 도출	비고
	네트워크 연결정도	네트워크 위상	데이터 전송방법	정보인식 수준	의사결정 질정수준		
Marshall[25]	○	-	-	-	-	○	멧칼프 법칙 적용
김영길 등[4]	네트워크화된 무기체계의 효과분석 방법 조사					-	
권용수, 황인혁[9]	○	-	-	-	-	-	
이용복 등[10]	○	-	-	○	-	○	멧칼프 법칙 수정
정환식 등[21, 22]	○	△	-	○	-	○	
최창범, 최탁곤[23]	○	-	-	-	-	-	멧칼프 법칙 비현실성
Peter[35]	비즈니스 분야 네트워크 효과에 대한 고찰					-	
오원석 등[13]	○	-	-	○	-	-	NCW 고려요소 제안
정종문, 고동철[19]	○	-	-	-	-	-	
Michael et al.[38]	○	○	○	○	○	-	NCW 효과적도 제시
Richard et al.[42]	-	-	-	○	○	-	전장지식 척도 개발
Perry and Moffar[45]	-	-	-	○	○	-	
한희 등[24]	미래 정보전 개념 연구					○	정보전 전투력 수리모형
Connolly[29]	-	-	-	○	-	-	란체스터 방정식 활용
Strukel[44]	-	-	-	○	-	-	
Schutzer[43]	-	-	-	○	-	○	C2 이론 개발
Dekker[31]	○	○	○	○	-	-	SNA의 NCW 적용

〈표 7〉 NCW의 전투력 상승효과측정시 고려요소

구 분	기호	의미	영역	Match with	
				Ling et al.	C4I 체계 평가요소
노드 수	N	• 분석대상 네트워크 내에 존재하는 모든 노드의 수 - 종류 : 항공기, 전차, 전투원, 지휘통제시설 등	정보 및 인지 영역	네트워크 위상 (network topology)	정보유통 속도 (Speed of Information Flow)
네트워크 구조	S	• 노드들의 배치형태(네트워크망의 기하학적 형상) - 기본적으로 방사형, 고리형, 선형의 3가지 - 기본형을 응용한 그물형, 혼합형 등			
네트워크 연결정도	D	• 네트워크 내 노드들이 상호 얼마나 강하게 연결 되어 있는가의 정도(intensity)	영역	-	정보의 질 (Information Quality)
데이터 전송방식	M	• 컴퓨터 간의 데이터 송신과 수신에 관한 방식 - 단방향, 반양방향, 양방향 방식			
데이터 처리능력	K	• 각 노드에 장착된 데이터 처리단말기의 성능에 의해 결정되는 실시간 정보처리 능력	물리 영역	-	-
전장정보	I	• 센서의 능력에 따라 결정되는 전장정보의 양			
전장정보 공유수준	L	• 센서정보가 C4I 체계로 인해 전파되어 모든 BSE들이 정보를 공유하는 정도	물리 영역	-	-
노드가치	W	• 각 노드(BSE)의 고유 전투력 가치			
작전반응 시간	T	• 탐지, 전파, 지휘결심, 지휘전파에 소요되는 시간	물리 영역	OODA Cycle	지휘통제 반응시간 (C2 Cycle Time)

를 모두 고려하여 식별한 것이다.

둘째, <표 7>과 같이 식별한 각 고려요소들을 네트워크의 구조분석에 용이한 분석기법인 SNA의 분석틀을 이용하여 정량화한다.

셋째, NCW 구현에 따라 상승하는 전투력을 측정하기 위해 한희 등이 제시한 정보전에서의 전투력 개념 모델인 식 (13)을 활용하여 <표 7>의 모든 요소들과 전투력간의 역학적인 관계를 수학적으로 모델링한다. 따라서 <표 7> 요소를 반영한 전투력 표현은 식 (15)와 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{Combat Power} &= f\{N, S, D, M, K, I, L, W, T\} \\
 &= \frac{m \times v \times I}{T}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

넷째, NCW 구현의 효과측정과 관련된 연구는 궁극적으로 NCW 구현으로 인해 전투력이 얼마나

상승할 것인가를 정량적으로 측정하는 것이므로, 상승하는 전투력은 식 (16)과 같이 NCW 구현 전·후의 전투력의 비(ratio) 즉, 승수형태로 측정한다.

$$K_{CP} = \frac{\text{Combat Power}_{NCW}}{\text{Combat Power}_{PCW}} \tag{16}$$

$\text{Combat Power}_{NCW}$: NCW 구현 후의 전투력

$\text{Combat Power}_{PCW}$: NCW 구현 전의 전투력

이와 같이 제안한 방법을 적용하여 간단명료한 NCW와 전투력과의 상관관계함수를 개발하면 추후 효과적인 NCW 구현에 크게 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 강신성, 이재영, “포병 표적탐지 레이더 운용의 계량적 효과분석”, 『한국시물레이션학회논문지』,

- 제19권, 제2호(2010), pp.63-72.
- [2] 김상국, “사회 연결망 분석(SNA)와 산업공학”, 『IE-매거진』, 제18권, 제1호(2011), pp.24-32.
- [3] 김성태, “NCW 구현을 위한 국방정보 수명주기 관리방안”, 『주간국방논단』, 제1188호(2008), pp.1-10.
- [4] 김영길, 임길섭, 전병욱, 『네트워크화 무기체계의 전투기여 효과분석을 위한 기반연구』, 한국국방연구원, 2000.
- [5] 김호진, 이상국, 권영식, “전술 C4I 체계 모델 구축에 관한 연구”, 『IE-Interfaces』, 제12권, 제2호(1999), pp.193-204.
- [6] 고 원, “C4ISR 체계의 전투기여효과 모의분석”, 『국방정책연구』, (2005), pp.95-120.
- [7] 박영진, “군 C4I 체계 전력지수는 얼마?”, 『군사세계』, (2006), pp.48-54.
- [8] 김권희, “C4I 체계 구축 현황 및 향후 과제”, 『합동참모본부 합동포럼 2』, 제28호(2006), pp.60-63.
- [9] 권용수, 황인혁, “전장 네트워크를 통한 전투력 상승효과”, 『한국군사과학기술학회지』, 제4권, 제2호(2011), pp.233-242.
- [10] 이용복, 정환식, 김용흡, 이재영, “전장 정보체계의 전투력 상승효과 측정을 위한 새로운 MOE 제안”, 『IE-Interfaces』, 제22권, 제3호(2009), pp.205-213.
- [11] 이재영, 신 철, “Schutzer의 C2 효과측정 모델을 이용한 지휘통제체계 강화와 전투효과와의 함수적 상관관계”, 『대한산업공학회지』, 제30권, 제1호(2004), pp.65-75.
- [12] 이태공, 『NCW 이론과 응용』, 홍릉과학출판사, 2008.
- [13] 오원석, 채명신, 엄대성, “사용자 관점에서 본 효과적인 NCW 수행을 위한 영향요인”, 『한국 인터넷 정보학회』, 제11권, 제2호(2010), pp.109-126.
- [14] 원은상, 『전력평가의 이론과 실제』, 한국국방연구원, 1998.
- [15] 문장렬, “전투이론에 대한 고전역학 개념의 적용과 그 한계”, 『원광군사논단』, (2006), pp.175-203.
- [16] 박송기, 이재영, “지상전술 C4I 체계의 통합화력 운용간 전투력 상승효과 평가에 관한 연구”, 『한국국방경영분석학회지』, 제29권, 제1호(2003), pp.8-27.
- [17] 장선희, 장석현, “사회연결망 영향력 시각화를 위한 프레임워크”, 『멀티미디어학회논문지』, 제12권, 제1호(2009), pp.139-146.
- [18] 정영호, 신기태, 박진우, “DEVS을 이용한 갠도 포병 타격에 관한 연구”, 『한국시뮬레이션학회 논문지』, 제17권, 제3호(2008), pp.45-51.
- [19] 정종문, 고동철, “NCW 체계하의 전투능력 평가 방안 연구”, 『한국통신학회지』, 제26권, 제3호(2009), pp.3-8.
- [20] 정치영, 이재영, “시뮬레이션을 이용한 전투효과 기반 공격헬기 소요 분석방안”, 『한국군사과학기술학회지』, 제13권, 제6호(2010), pp.1099-1105.
- [21] 정환식, 박건우, 이재영, 이상훈, “NCW 환경에서 C4I 체계 전투력 상승효과 평가 알고리즘”, 『지능정보연구』, 제16권, 제2호(2010a), pp.55-72.
- [22] 정환식, 이재영, 김용흡, “네트워크 효과를 고려한 C4I 체계 전투력 상승효과 평가”, 『산업경영시스템학회지』 제33권, 제2호(2010b), pp.23-32.
- [23] 최창범, 김탁근, “NC2W : NCW 환경에서의 네트워크 연결성 측정을 위한 시뮬레이터 연구”, 『한국군사과학기술학회 종합학술대회』, (2009), pp.378-381.
- [24] 한희, 어하준, 장수덕, “정보전 개념연구”, 한국국방연구원, 1999.
- [25] Marshall, A.W., Measuring the Effects of Network Centric Warfare, Vol.1, Booz · Allen and Hamilton Inc, 1999.
- [26] Barnes, J., Class and committees in a Norwegian island parish, Human Relations, (1954), pp.39-58.
- [27] Bjorklund, Raymond C., The Dollars and Sense of Command and Control, National Defense

- University Press, Washington D.C., 1995.
- [28] Cebrowski, VADM Arthur K, USN, Garstka, John J., "Network Centric Warfare : It's Origin and Future," Proceeding of the Naval Institute, 1998.
- [29] Connolly, B., Information Mechanics, Ellis Horwood, Chichester, UK, 1988.
- [30] Gonzales, D., M. Johnson, J. McEver, D. Lee-do, G. Kingston, and M. Tseng, Case Study : The Striker Brigade Combat Team, RAND Corporation. 2005.
- [31] Dekker, A.H., *Applying Social Network Analysis Concepts to Military C4ISR Architectures*, The official journal of the International Network for Social Network Analysis, 2002.
- [32] Dekker, A.H., C4ISR Architecture, Social Network Analysis and the FINC Methodology : An Experiment in Military Organisational Structure. Inter report, available as HTML at <http://www.acm.org/~dekker/FINCX/>.
- [33] DoD, Dictionary of Military and Associated Terms, 2001.
- [34] Horne, G.E. and H. Friman, *Using agent models and data farming to explore Network Centric Operations*, Proc. of the 2005 Winter Simulation Conference, (2005), pp.1904-1100.
- [35] Swarm, P.G.M., "The functional form of network effects," *Information Economics and Policy*, Vol.4, No.3(2002), pp.417-429.
- [36] Guiasu, S., Information Theory with Applications, McGraw-Hill, 1997.
- [37] Haken, H., Information and Self-Organization, New York : Springer, 2000.
- [38] Michael, F.L., T. Moon, Ed Kruzins, "Proposed Network Centric Warfare Metrics : From Connectivity to the OODA Cycle," *Journal for the Military Operations Research Society*, Vol.10, No.1(2005), pp.5-14.
- [39] Moffat, J. and D.J. Howard, Complexity Theory and Network Centric Warfare, CCRP Publications, 2003.
- [40] Moon, T., E. Kruzins, and G. Calber, Analyzing the OODA Cycle, Phalanx 35, 2002.
- [41] Office of Force Transformation, The Implementation of Network-Centric Warfare, 2005.
- [42] Richard, D., P. Walter, J. Bracken, J. Gordon, and B. Nichiporuk, Measures of Effectiveness for the Information-Age Army, RAND, 2001.
- [43] Schutzer, D.M., Selected Analytical Concepts in Command and Control, C2 Theory and Measures of Effectiveness, Gordon and Breach Science Publisher, 1982.
- [44] Strukel, S., Quantifying the Value of Reconnaissance, Operations Research Center Technical Report FY93/93-7, U.S. Military Academy, West Point, New York, 1993.
- [45] Perry, W.L. and J. Moffat, "Measuring the effects of knowledge in military campaigns," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.48, No.10(1997), pp.965-972.