

碩 士 學 位 論 文

C2효과측정 모델을 이용한 지휘통제체계
강화와 부대 전투력과의 상관관계 연구

(A Study on the Interrelation of Enhancement of Command
and Control System and Force Power Using “C2 Theory
and Measures of Effectiveness”)

國 防 大 學 校

國防管理大學院 運營分析專攻

申

哲

C2효과측정 모델을 이용한 지휘통제체계
강화와 부대 전투력과의 상관관계 연구

(A Study on the Interrelation of Enhancement of Command
and Control System and Force Power Using “C2 Theory
and Measures of Effectiveness”)

指導 이 재 영 教授

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2003年 3月 14日

國 防 大 學 校

國防管理大學院 運營分析專攻

申

哲

申 哲 의 碩 士 學 位 論 文 을 認 准 함

指 導 教 授 이 재 영 (印)

審 査 委 員 이 상 헌 (印)

審 査 委 員 전 건 욱 (印)

2003年 3月 14日

國 防 大 學 校

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 부족한 제자임에도 불구하고 주야를 가리지 않고 깊은 열정으로 지도하시고 독려해 주신 이 재영 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 많은 학문과 인격지도에 정성을 다하여 가르쳐 주신 김 충영 교수님, 민 계료 교수님, 강 성진 교수님, 이 상헌 교수님, 전 건욱 교수님께 진심으로 감사드립니다. 학업 성취에 대한 열의 및 제자에 대한 스승님의 사랑에 깊은 감명을 느끼며 교수님들과 함께한 순간들은 영원히 소중한 추억으로 간직될 것 입니다.

지난 2년 동안 동고동락하며 뜻있고 보람있는 대학원 생활이 될 수 있도록 많은 도움과 인정을 베풀어주고, 어려운 난관에 직면했을때 힘이 되어 주신 육군 선배님, 공군 선배님, 해군 선배님께 진심으로 감사드립니다. 특히, 같은 연구실에서 학문에 매진하며 어려움 속에서도 용기를 잃지 않고 서로에게 힘이 되어주신 박 송기 소령님, 백 철승 소령님, 장 철희 대위님, 김 태연 대위님께 따스한 고마움을 느끼며, 다음에 영광된 위치에서 아름다운 만남이 이루어지길 기대합니다.

끝으로 이 작은 결실을 맺기까지 미흡한 자식을 위해 노심초사 염려하여 주시고 보살펴주신 아버님, 어머님 그리고 동생 민철에게 감사드리며, 보배보다 더 가치있고 아름다운 따님을 주신 장인, 장모님께 감사드립니다. 마지막으로 어려운 여건 속에서도 부족한 남편을 위해 항상 웃는 모습으로 내조를 아끼지 않은 사랑하는 나의 아내 윤경과 이 영광을 함께 나누고자 합니다.

요 약

정보전력체계를 구축함으로써 발생하는 전투효과에 결정적인 영향을 미치는 요인 들로는 지휘통제시간, 가용시간, 정보의 정확도, 무기체계의 성능, 탐지 센서의 성능 등의 전장을 구성하고 있는 요소들이다. 이러한 전장요소들은 정보전력체계 구축으로 인해 발생하는 전투효과를 계량화하는데 핵심변수로 작용하기 때문에, 이러한 핵심변 수들과 정보전력체계 구축으로 인한 전투효과와의 상관관계에 대한 이해는 매우 중요 한 연구 과제일 것이다.

본 연구는 정보전력체계 구축으로 인하여 발생하는 전투효과중 지휘통제체계에 초 점을 맞추어 지휘통제체계 강화와 부대 전투력과의 상관관계를 전장요소 중심으로 연 구하였다. 이를 위해 지휘통제체계의 효과성을 평가함에 있어 미국 해군대학원의 Daniel Schutzer가 제시한 C2효과측정 모델중 교전부대의 형태 및 특성을 고려하고 란체스터 제곱방정식을 적용한 모델을 이용하였으며, 지휘통제체계 강화로 향상되는 전장 요소중 정보의 정확도 및 교전부대에게 부여되는 가용시간을 전투력 상승의 핵 심변수로 선정하여 함수식을 유도하였다. 추가적으로 가상 시나리오를 사용하여 지휘 통제체계 강화에 따른 전투력 상승효과를 검증하였다.

연구결과 지휘통제체계 강화로 인한 전투효과에 있어서 핵심변수(t_u, σ^2)가 선형으로 증가하더라도 부대 전투효과는 비선형으로 증가함을 보임으로써 지휘통제체계 강 화와 부대 전투력은 비선형의 양의 상관관계를 가진다는 것을 보였으며, 정보전력 체계 구축으로 인하여 요구되어지는 지휘통제체계의 수준이 높을 수록 지휘통제체 계를 강화함으로써 발생하는 전투력 상승효과는 체증적으로 증가한다는 것을 보였 다. 또한 시나리오에서 생존확률만 고려할 경우, 할당비율만 고려할 경우, 둘 다 동시에 고려할 경우에 전투효과는 각각 124%, 71%, 224%증가 하였으며, 투입부

대 규모에 있어서 각각 79.5%, 86.5%, 69.5%만 투입해도 지휘통제체계 강화전과 동일한 전투효과를 발생함을 알 수 있었다.

본 연구는 정보전력체계 구축으로 인한 전투력 상승효과의 신뢰성을 제공하고, 정보화 사업 추진 또는 정보전력체계 도입시 대안 비교나 단위 사업별 정보화체계의 효과측정시 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 또한 일선의 야전지휘관이 부대를 지휘함에 있어서 개념적으로나마 지휘통제체계 강화의 중요성을 인식하는데 중요한 역할을 할 것이라고 기대된다.

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구 배경 및 목적	1
제 2 절 연구 범위 및 방법	2
제 2 장 지휘통제체계 평가모델	3
제 1 절 C2효과측정 모델의 구성	5
제 2 절 C2효과측정 모델에서의 효과요소	16
제 3 절 지휘통제 과정상의 시간변수	21
제 3 장 전투력평가 요소별 상관관계	23
제 1 절 생존확률승수와 가용시간 및 정보 변수의 상관관계	23
제 2 절 할당비율승수와 가용시간 변수의 상관관계	36
제 3 절 전투효과승수와 가용시간 및 정보 변수의 상관관계	42
제 4 장 지휘통제강화에 따른 전투력 상승효과 검증	53
제 1 절 전투력 상승 효과 검증을 위한 시나리오 설정	53
제 2 절 전투력 상승효과 검증	56
제 5 장 결 론	63
참 고 문 헌	65
부 록	66

표 목 차

〈표 2-1〉 적용방법에 따른 <i>MOE</i> 산출 방법	15
〈표 3-1〉 지휘통제체계 강화후 σ^2 과 t_{aa} 에 따른 α 값	33
〈표 3-2〉 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 와 σ^2 에 따른 K 의 값	49
〈표 4-1〉 생존확률만 고려시 투입 부대 규모	58
〈표 4-2〉 할당비율만 고려시 투입 부대 규모	59
〈표 4-3〉 생존확률 및 할당비율 동시 고려시 투입 부대 규모	61
〈표 4-4〉 지휘통제체계 강화후 CASE별 전투력 상승효과 비교	62

그 립 목 차

〈그림 2-1〉 지휘통제체계내의 시간 구성	17
〈그림 3-1〉 지휘통제체계 강화전 t_a 에 따른 생존확률 변화 곡선	26
〈그림 3-2〉 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 에 따른 α 변화 곡선	29
〈그림 3-3〉 지휘통제체계 강화후 σ^2 과 t_{aa} 에 따른 α 변화 곡선	33
〈그림 3-4〉 σ^2 이 고정된 상태에서 t_{aa} 에 따른 α 변화 곡선	34
〈그림 3-5〉 t_{aa} 이 고정된 상태에서 σ^2 에 따른 α 변화 곡선	35
〈그림 3-6〉 가용시간(t_a)에 따른 할당비율(a) 변화 곡선	38
〈그림 3-7〉 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 에 따른 δ 변화 곡선	41
〈그림 3-8〉 가용시간(t_{aa})에 따른 K의 변화 곡선	46
〈그림 3-9〉 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 와 σ^2 에 따른 K의 변화 곡선	50
〈그림 3-10〉 t_{aa} 가 고정된 상태에서 σ^2 의 변화에 따른 K의 변화 곡선 ..	51
〈그림 3-11〉 σ^2 가 고정된 상태에서 t_{aa} 의 변화에 따른 K의 변화 곡선	51

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경 및 목적

미래전력의 핵심은 산업화 시대의 무기체계에서 정보화 시대의 정보전력체계로 변하고 있다. 따라서 세계 모든 국가는 미래의 전장이 이러한 정보전력체계에 의한 정보우위의 전장이 될 것이라는 확신을 가지고 군의 정보화, 과학화에 경주하고 있다. 현재 우리나라도 각 군에서는 C4I체계 구축을 중심으로 정보전력체계 건설사업을 적극 추진하고 있으며, 그 일례로 공군의 MCRC, 해군의 KNTDS, 육군의 지상군 C4I체계 개발[4] 등을 들 수 있다. 또한 선진국에서는 정보전력체계 구축으로 인해 발생하는 전투효과의 객관적인 측정기준 제시를 위하여 정보화 시대에 맞는 새로운 효과측정 방법에 대한 연구가 한창 진행중에 있다.

정보전력체계를 구축함으로써 발생하는 전투효과에 결정적인 영향을 미치는 요인으로는 지휘통제시간, 가용시간, 정보의 정확도, 무기체계의 성능, 탐지센서의 성능 등의 전장을 구성하고 있는 요소들이다. 이러한 전장요소들은 정보전력체계 구축으로 인해 발생하는 전투효과를 계량화하는데 핵심변수로 작용하기 때문에, 이러한 핵심변수들과 정보전력체계 구축으로 인한 전투효과와의 상관관계에 대한 이해는 매우 중요한 연구 과제일 것이다. 그러나 정보전력체계 구축으로 인한 전투효과를 계량화하기에는 고려해야 할 전장요소가 너무 광범위하여 어려움이 존재하는 것은 사실이다. 그러므로 본 연구에서는 정보전력체계의 핵심 부분인 지휘통제체계(C2체계 : Command and Control)에 중점을 두었다.

본 연구의 목적은 정보전력체계 구축으로 인하여 발생하는 전투효과중 지휘통제체계에 초점을 맞추어 지휘통제체계 강화와 부대 전투력과의 상관관계를 전장요소 중심으로 연구하고, 추가적으로 가상 시나리오를 사용하여 지휘통제체계 강화에 따른 전투력 상승효과를 검증하고자 한다.

제 2 절 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 지휘통제체계의 효과성을 평가함에 있어서 미국 해군대학원의 Diniel Schutzer가 제시한 C2효과측정 모델(C2 Theory and Measures of Effectiveness)[9] 중 부대의 유형과 특성을 고려하고 란체스터 제곱법칙을 적용한 모델을 이용하여 상관관계를 분석하였다. C2효과측정 모델에서 정보의 정확도 및 가용시간은 전투력상승의 핵심변수로 작용하며, 이 두 변수의 변화가 C2효과측정 모델 내의 전투력 상승 효과요소인 생존확률, 할당비율 및 교환비율[9]에 작용하여 전투력 상승효과를 가져온다.

연구방법은, 첫째 지휘통제체계의 효과성을 평가하기 위해 이용한 Diniel Schutzer가 제시한 C2효과측정 모델에 대해서 고찰하고, 둘째 C2효과측정 모델내의 전장핵심 변수와 전투력 상승 효과요소간의 상관관계에 대해서 분석하고, 셋째 C2효과측정 모델을 이용하여 지휘통제체계 강화에 따른 전투력 상승효과를 검증하였다.

이를 위해 2장에서는 C2효과측정 모델에 대한 전반적인 내용을 소개하고, 3장에서는 먼저 C2효과측정 모델에서 전투력 상승효과의 양적증가를 초래하는데 결정적인 효과요소로 작용하는 생존확률승수와 할당비율승수를 정보의 정확도 변수 및 가용시간 변수의 함수로 표현하여 상관관계를 분석하고, 이를 C2효과측정 모델에 적용하여 전투효과(MOE)승수를 정보의 정확도 변수 및 가용시간 변수의 함수로 표현하여 지휘통제체계 강화와 부대 전투력과의 상관관계를 분석하였다. 4장에서는 가상 시나리오를 사용하여 지휘통제체계 강화로 인한 전투력 상승효과를, 첫째 전투효과(MOE)로 계량화하고, 둘째 지휘통제체계 강화후 강화전과 동일한 전투력을 발휘하기 위해 투입되어야 하는 부대 규모로 계량화하여 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 본 연구를 통한 기대효과와 향후 연구 방향에 대하여 기술하였다.

제 2 장 지휘통제체계 평가모델

본 연구에서는 지휘통제체계 강화와 부대 전투력 상승과의 상관관계를 연구하기 위하여 미국 해군대학원의 Schutzer교수가 해군함정간의 교전시 지휘통제체계의 획기적인 개선으로 나타나는 전투력 상승효과를 측정하였던 C2효과측정 모델[9]을 이용하였다. 이모델의 특징은 지휘통제체계(C2)의 개선으로 나타나는 3가지 효과요소[9] - 생존확률 증가, 할당된 자산비율 증가, 자산 개별효과 증가 - 를 설정하여 지휘통제 과정상의 시간변수들과 란체스터 전투모델을 이용한 교전 전·후의 부대의 전투효과(MOE)를 비교하여 부대 전투력 상승효과를 측정한 것이다. 이 모델에서는 교전 전·후의 전투력의 상대적인 비율 즉 최초 투입 전투력 대비 잔존 전투력과의 비를 전투효과 측정의 기준으로 삼았다.

C2효과측정 모델에서는 지휘통제절차에 있어서 정보의 정확도와, 지휘통제와 관련된 시간의 변수 중 지휘통제시간(실제 적용은 가용시간)에 중점을 두고 모델을 전개하고 있다. 투입할 수 있는 자산은 고정된 것으로 가정하고 위의 두변수에 의한 교전 전·후 자산의 전투력의 변화를 기준으로 전투효과를 측정한 것이다. 이를 위해 C2효과측정 모델에서는 두 요소가 전투력에 작용하는 영향력을 수치화 하기 위하여 할당비율, 생존확률 및 교환비율의 3가지 효과요소를 생성하였으며, 각각의 효과요소는 시간변수 중심의 함수로 유도하였다. 시간변수 중심의 함수로만 보면 정보의 정확도의 역할이 배제된 것처럼 보이나 실제 전투효과 산출시에는 시간변수 중심의 함수식에서 정보의 정확도 또한 중요 변수로 적용하였다.

다음의 예는 정보의 정확도와 시간 요소중 정보의 정확도가 전투력 상승에 미치는 영향력을 보여주고 있다. 단위함정이 외부로부터의 정보획득 없이 임무 수행시 이 함정은 자체 보유하고 있는 지휘통제체계에 의해서만 외부로부터의 위협을 감당해야 할 것이다. 이때 임무 성공 여부는 오로지 함정자체의 탐지능력, 보유 무기체계, 지휘

관의 지휘능력에 좌우될 것이다. 이 상황에서 단위 전투 부대가 잠재적인 적과 싸워서 이길 확률을 P 라고 할때 상·하·인접부대와 실시간 정보교환이 이루어진다면 이 P 는 증가하게 될 것이다. 왜냐하면 실시간 정보교환이 이루어지면 개별 전투부대는 잠재적인 위협에 대비하여 아군세력을 사전에 효과적으로 집중 및 회피할 수 있기 때문이다. 또한 적시적소에 적정수준의 부대를 투입하여 불필요한 전투력의 낭비를 최소화 할 수 있으며 상대적으로 전투력 운용의 효율성을 극대화 할 수 있다.

정리하면, 지휘통제체계 강화는 지휘관이 운용할 수 있는 자산의 생존확률을 향상시키고, 교전에 투입할 수 있는 자산의 할당비율 증가시켜 동일한 교전에서 보다 향상된 전투력을 가지고 임무 수행을 가능하게 한다. C2효과측정 모델은 이러한 생존확률과 할당비율 그리고 교환비율이 자산에 미치는 영향력을 지휘통제상의 시간변수, 정보의 정확도 변수, 기타 전장요소들을 적용하여 산출하고, 최종적으로 이를 C2효과측정 모델에 적용하여 전투효과(MOE)를 산출할 수 있는 전투력 상승효과를 계량화하기 위한 모델이라고 할 수 있다.

제 1 절 C2효과측정 모델의 구성

본 연구에 이용한 Schutzer의 C2효과측정 모델[9]의 이론적 배경 및 유도과정과 모델의 전반적인 구성 및 유형은 다음과 같다.

서로 대치중인 두개의 세력을 청군과 홍군이라고 하자. 청군은 총 N 개의, 홍군은 총 M 개의 자산이 있으며 이는 각각 식(2.2), (2.4)와 같이 표현된다. 각각의 자산에는 가치가 부여될 수 있을 것이다. 이들 가치는 각각의 자산에 부여된 정량화된 값으로 표현 된다. 청군과 홍군의 전투 이전의 총 자산가치는 각각 V , W 로 식 (2.1)과 (2.3)으로 표현될 수 있다.

$$V = \sum_{k=1}^T n_k v_k \quad (2.1)$$

$$N = \sum_{k=1}^T n_k \quad (2.2)$$

$$W = \sum_{k'=1}^S m_{k'} w_{k'} \quad (2.3)$$

$$M = \sum_{k'=1}^S m_{k'} \quad (2.4)$$

여기에서 v_k 는 청군 함정형 k 에 부여된 가치, $w_{k'}$ 는 홍군 함정형 k' 에 부여된 가치, n_k 는 청군 k 형 함정의 수, $m_{k'}$ 는 홍군 k' 형 함정의 수, T 는 청군 함정의 종류, S 는 홍군 함정의 종류이다. 특정 교전을 j 라고할 때 v_k 와 $w_{k'}$ 는 각각의 j 교전에 서의 청군 k 형 함정과 홍군 k' 형 함정의 가치의 합으로 식 (2.5) 와 (2.6)로 표현된다.

$$v_k = \sum_{j=1}^E v_{kj} \quad (2.5)$$

$$w_{k'} = \sum_{j=1}^E w_{k'j} \quad (2.6)$$

여기에서 E 는 총 교전 수, v_{kj} 는 청군 함정형 k의 교전 j에서 가치, $w_{k'j}$ 는 홍군 함정형 k'의 교전 j에서 가치이다.

두 세력이 교전 후에는 청 / 홍군 각각 일정 비율만큼 손실을 입게 된다. 임의의 시점 t 에서 세력들 각각의 총 가치는 각각 확률변수 $V(t)$, $W(t)$ 로 식(2.7), (2.8)과 같다.

$$V(t) = \sum_{K=1}^T n_k(t) v_k \quad (2.7)$$

$$W(t) = \sum_{K'=1}^S m_{k'}(t) w_{k'} \quad (2.8)$$

여기에서 $n_k(t)$, $m_{k'}(t)$ 는 확률변수로서 각각은 t시간 이후 잔존하는 k 및 k'형 함정의 수이며, $n_k(t) \leq n_k$, $m_{k'}(t) \leq m_{k'}$ 이다.

전투란 교전의 연속적인 과정이다. 따라서 교전 후에 잔존하는 총 자산의 가치는 전투중 계속적인 교전 국면에서 변수 $V(t)$, $W(t)$, $n_k(t)$, $m_{k'}(t)$ 를 반복계산 함으로써 산출할 수가 있다.

청군의 전투효과(MOE)는 전투이전의 총 가치 대비 전투 후의 평균 순 가치로 나타내거나, 우군손실, 우군 대 적군 손실비율, 우군 대 적군손실의 차이 등을 사용하여 표현할 수 있다. 본 연구에서는 전투효과(MOE)를 전투이전의 총가치 대비 전투 후의 평균 순 가치로 나타내었으며 식(2.9)와 같다.

$$\langle MOE \rangle = \frac{\langle V(t) \rangle}{V} \quad (2.9)$$

여기서, $\langle MOE \rangle$ 는 확률변수 MOE 의 통계적인 평균치

$\langle V(t) \rangle$ 는 확률변수 $V(t)$ 의 통계적인 평균치

청군함정의 가치는 교전에 참가한 홍군 함정의 수($m_{k'}$), 함정의 형태(k')에 종속적이며, 홍군도 동일한 조건일 것이다. 이러한 종속성은 식(2.10)과 식(2.11)의 함수로 표시된다.

$$v_{kj} = \sum_{k'=1}^S f(n_{kj}, -m_{k'j}) \quad (2.10)$$

$$w_{k'j} = \sum_{k=1}^T g(-n_{kj}, m_{k'j}) \quad (2.11)$$

특정 교전에 참가한 청군함정의 가치(v_{kj})는 일정값으로 정량화하여 사용하기에는 어려움이 있기 때문에 교전에 참가한 청군 함정의 수(n_{kj}), 그리고 홍군 함정의 수($m_{k'j}$)에 따라 결정된다고 판단하여 식(2.10)과 식(2.11)으로 표현하였으며, 여기서 교전에 참가한 청군의 가치에 있어서 청군 함정의 수는 양의 요인으로 작용하고, 홍군 함정의 수는 음의 요인으로 작용한다고 보았다.

여기에서 n_{kj} 는 청군의 k 형 함정이 교전 j 에 참가한 수, $m_{k'j}$ 는 홍군의 k' 형 함정이 교전 j 에 참가한 수이다. 함수 $f(n_{kj}, -m_{k'j})$, $g(-n_{kj}, m_{k'j})$ 는 n_{kj} , $m_{k'j}$ 의 함수이므로 이 함수를 Taylor 급수[10]로 나타내면 식(2.12)으로 표시된다.

$$\begin{aligned}
f(n_{kj}, m_{k'j}) &= B_j + P_{kj}n_{kj} + Q_{k'j}m_{k'j} \\
&\quad + D_{kj k'}n_{kj}m_{k'j} + A_{kj}n_{kj}^2 + C_{k'j}m_{k'j}^2 + \dots
\end{aligned} \tag{2.12}$$

앞의 식(2.5)와 식(2.10)을 식(2.7)에 대입, 평균 자산가치를 미분 방정식으로 나타내면 식(2.13)과 같이 표현된다.

$$dV(t) = \sum_{j=1}^E \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left(\frac{\partial f}{\partial n_{kj}} \frac{\partial n_{kj}}{\partial t} - \frac{\partial f}{\partial m_{k'j}} \frac{\partial m_{k'j}}{\partial t} \right) dT \tag{2.13}$$

식(2.13)을 보다 단순화 시키기 위해서 $\left(\frac{\partial f}{\partial n_{kj}}\right)$, $\left(\frac{\partial n_{kj}}{\partial t}\right)$, $\left(\frac{\partial f}{\partial m_{k'j}}\right)$ 및 $\left(\frac{\partial m_{k'j}}{\partial t}\right)$ 를 앞에서 전개한 식(2.12)에서 Taylor 급수의 앞 여섯 개의 항만을 가지고 계산하면,

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f}{\partial n_{kj}} &\cong P_{kj} + 2A_{kj}n_{kj} + D_{kj k'}m_{k'j} \\
\frac{\partial f}{\partial m_{k'j}} &\cong Q_{k'j} + 2C_{k'j}m_{k'j} + D_{k'jk}n_{kj}
\end{aligned}$$

이 되고, 이를 식(2.13)에 대입하면 근사적으로 식(2.14)으로 표시된다.

$$\begin{aligned}
dV(t) &= \sum_{j=1}^E \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S [(P_{kj} + 2A_{kj}n_{kj} + D_{kj k'}m_{k'j})dn_{kj} \\
&\quad - (Q_{k'j} + 2C_{k'j}m_{k'j} + D_{k'jk}n_{kj})dm_{k'j}]
\end{aligned} \tag{2.14}$$

식(2.14)를 다시 적분하면 최종적으로 평균의 가치 $V(t)$ 는 식(2.15)로 표시된다.

$$V(t) = \sum_{j=1}^E \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S (P_{kj}n_{kj} + A_{kj}n_{kj}^2 - Q_{k'j}m_{k'j} - C_{k'j}m_{k'j}^2) \quad (2.15)$$

C2효과측정 모델은 함정의 유형이 상이하지만 각각의 특성을 고려하지 않고 동일하다고 가정한 경우와 특성을 고려한 상이한 경우로 구분하여 $V(t)$ 및 전투효과(MOE)산출방법을 제시하고 있다. 우선 함정의 형태가 동일하다고 가정한 경우에 대해서 살펴보면 산출방법은 다음과 같이 유도된다.

만일, 함정의 형태가 모두 동일하다고 가정하면 $n_{kj} = n_j$ 이고 $m_{k'j} = m_j$ 이다. 여기에서, $n_j \leq N_j$, $m_j \leq M_j$ 이고, N_j, M_j 는 교전 j 에 할당될 수 있는 총 가용자산의 수, n_j, m_j 는 교전 j 에 할당된 자산의 수이다.

이 경우 위 식(2.13), (2.14) 및 (2.15)은 식(2.16), (2.17), (2.18)과 같이 간단해진다.

$$dV(t) = \sum_{j=1}^E \left(\frac{\partial f}{\partial n_j} \frac{\partial n_j}{\partial t} - \frac{\partial f}{\partial m_j} \frac{\partial m_j}{\partial t} \right) dt \quad (2.16)$$

$$dV(t) = \sum_{j=1}^E (P_j + 2A_j n_j + D_j m_j) dn_j - (Q_j + 2C_j m_j + D_j n_j) dm_j \quad (2.17)$$

$$V(t) = \sum_{j=1}^E (P_j n_j + A_j n_j^2 - Q_j m_j - C_j m_j^2) \quad (2.18)$$

식(2.17)에서 $dV(t)=0$ 으로 두면,

$$\frac{dn_j}{dt}(P_j + 2A_j n_j + D_j m_j) = \frac{dm_j}{dt}(Q_j + 2C_j m_j + D_j n_j) \quad (2.19)$$

이 되고, 이것은

$$\begin{aligned} \frac{dn_j}{dt} &= Q_j + 2C_j m_j + D_j n_j \\ \frac{dm_j}{dt} &= P_j + 2A_j n_j + D_j m_j \end{aligned} \quad (2.20)$$

이 되어 란체스터 방정식[10]의 일반적인 형태를 나타낸다.

우선, 란체스터 선형법칙을 따르면 $C_j = A_j = D_j = 0$ 이고

$$\begin{aligned} P_j &= \frac{1}{1 + X_0} \\ Q_j &= X_0 P_j \end{aligned} \quad (2.21)$$

여기서, $X_0 =$ 교환비율(청군손실/홍군손실)

이다.

식(2.21)에서 $P_j = \frac{1}{1 + X_0}$, $Q_j = X_0 P_j$ 표현한 것은 특정 교전에서 일정시간 후의 청군과 홍군의 교환비율을 이용한 각각의 잔존 전투력 비율을 나타낸다. 예를들면 교환비율이 1:3일 경우 위의 식(2.21)에 적용하면 $P_j = \frac{3}{4}$, $Q_j = \frac{1}{4}$ 이고, 이는 일

정시간이 지난 t 시점에서 청군은 최초 전투력의 3/4이 홍군은 최초 전투력의 1/4이 잔존함을 의미한다.

식(2.18)에 란체스터 선형법칙을 적용하면 식(2.22)로 표현된다. 그러나 식(2.22)에서는 식(2.21)을 적용하지 않았는데 이는 함정의 형태가 동일하다고 가정한 경우에는 전투종료시점을 중심으로한 란체스터 전투모델을 직접 적용하였다.

$$V(t) = \sum_{j=1}^E (n_j - X_0 m_j) \quad \text{또는,}$$

$$V_j(t) = N_j - X_0 M_j \quad (2.22)$$

여기에서, $N_j = \sum_{k=1}^T n_{kj}$

$$M_j = \sum_{k=1}^S m_{kj}$$

함정의 형태가 동일한 경우 란체스터 선형법칙을 적용하여 전투효과(MOE)를 산출하면 식(2.23)와 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N \rangle_j - E_0 \langle M \rangle_j}{N} \quad (2.23)$$

여기에서, E_0 : 교환비율(청군 손실/홍군 손실)

$$\langle N \rangle_j = \sum_{k=1}^T p_{kj} a_{kj} n_{kj}$$

$$\langle M \rangle_j = \sum_{k=1}^S q_{kj} b_{kj} m_{k'j}$$

p_{kj} : 청균 k 함정의 교전 j 에서 생존확률

$q_{k'j}$: 홍균 k' 함정의 교전 j 에서 생존확률

a_{kj} : 청균 k 함정의 교전 j 에서 할당비율

$b_{k'j}$: 홍균 k' 함정의 교전 j 에서 할당비율

다음으로, 란체스터의 제법칙을 따른다면 식(2.20)에서 $P_j = Q_j = D_j = 0$ 이고,

$$A_j = \frac{G_j(t)}{1 + X_0}$$

$$C_j = X_0 A_j \quad (2.24)$$

식(2.18)에 란체스터 제법칙을 적용하면 식(2.25)이 된다. 여기에서, $G_j(t)$ 는 시점 t 에서 임의의 함수이다. 그러나 식(2.25)에서는 선형법칙과 동일하게 란체스터 제법칙을 직접 적용하였다.

$$V_j(t) = N_j^2 - X_0 M_j^2 \quad (2.25)$$

여기에서,

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

$$M_j^2 = \sum_{k'=1}^S m_{k'j}^2$$

함정의 형태가 동일하다고 가정한 경우 란체스터 자승법칙을 적용하면 전투효과 (MOE)를 산출하는 식은 식(2.26)와 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - E_0 \langle M^2 \rangle_j}{N^2} \quad (2.26)$$

여기에서,

$$\langle N^2 \rangle_j = \left(\sum_{k=1}^T p_{kj} a_{kj} n_{kj} \right)^2$$

$$\langle M^2 \rangle_j = \left(\sum_{k'=1}^S q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j} \right)^2$$

지금까지는 함정 특성을 고려하지 않은 경우에 대하여 살펴보았고, 다음은 함정의 유형과 특성을 고려한 경우에 대해서 알아보자.

우선, 란체스터 선형법칙을 따른다면 $C_{jk'} = A_{jk} = D_{kjk'} = 0$ 이고

$$P_{jk} = \frac{1}{1 + X_{kk'}}$$

$$Q_{jk'} = X_{kk'} P_{jk} \quad (2.27)$$

여기서, $X_{kk'} = (\text{청군 자산 } k\text{형의 손실}) / (\text{홍군 자산 } k'\text{형의 손실})$

이때 j 교전에서의 청군의 가치는 식(2.28)과 같다.

$$V_j(t) = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left(\frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}}{1 + X_{kk'}} \right) \quad (2.28)$$

란체스터 선형법칙 적용시 자산의 특성을 고려한 전투효과(MOE)는 식(2.29)과 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N \rangle_j - \langle M \rangle_j}{N} \quad (2.29)$$

여기에서,

$$\langle N \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left(\frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}}{1 + X_{kk'}} \right)$$

$$\langle M \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left(\frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}}{1 + X_{kk'}} \right)$$

p_{kj} : 청군 k 함정의 교전 j 에서 생존확률
 $q_{k'j}$: 홍군 k' 함정의 교전 j 에서 생존확률
 a_{kj} : 청군 k 함정의 교전 j 에서 할당비율
 $b_{k'j}$: 홍군 k' 함정의 교전 j 에서 할당비율

다음으로, 란체스터 제곱법칙을 따르면 $P_{jk} = Q_{jk} = D_{kj} = 0$ 이고

$$A_{jk} = \frac{G_j(t)}{1 + X_{kk'}}$$

$$C_{jk} = X_{kk'} A_{jk} \quad (2.30)$$

이다. 여기에서 $G_j(t)$ 는 시점 t 에서 임의의 함수이며, 이때 j 교전에서의 청군의 가치는 식(2.31)로 표시된다.

$$V_j(t) = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \left(\frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}} \right) \quad (2.31)$$

란체스터 제곱법칙 적용시 자산특성을 고려한 전투효과(MOE)는 식(2.9)를 적용하면 식(2.32)로 표시된다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2} \quad (2.32)$$

여기에서

$$\langle N^2 \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}$$

$$\langle M^2 \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}$$

지금까지 C2효과측정 모델에서 전투효과(MOE) 측정방법에 대해 살펴 보았다. 이를 정리하면 적용방법에 따라 4가지 유형으로 표현할 수 있으며 <표2-1>과 같다.

<표 2-1> 적용방법에 따른 MOE산출 방법

구 분	선 형 법 칩	자 승 법 칩
함정의 유형 미고려시	$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N \rangle_j - E_0 \langle M \rangle_j}{N}$	$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - E_0 \langle M^2 \rangle_j}{N^2}$
함정의 유형 고려시	$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N \rangle_j - \langle M \rangle_j}{N}$	$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2}$

제 2 절 C2효과측정 모델에서의 효과요소

1. 생존확률

생존확률[9]은 공격해오는 적 또는 목표에 대해서 충분한 시간을 가지고 성공적으로 방어 또는 공격할 수 있도록 정확하게 적을 탐지하고 대응할 수 있는 확률값과 직접적으로 관련된다. C2효과측정 모델[9]에서는 이러한 생존확률을 지휘관의 관심지역 내에 위치하고 있는 적을 정확하게 분석할 수 있는 확률과 연관시켜 유도하였다. 이는 지휘관이 관심을 가지고 있는 지역내에 위치한, 적에 대한 불확실성을 최소화 할수록 (정보의 정확성을 높을 수록) 아군의 생존확률은 증가한다는 개념이다.

C2효과측정 모델에서 생존확률 산출식은 다음과 같이 유도된다. 아군 지휘관이 관심을 가지고 있는 지역에 적군이 랜덤하게 분포되어 있다고 가정하자. 이때 적군의 밀도는 $\rho = \frac{N}{A}$ 이다. 여기서 N 은 부대수, A 은 관심지역의 넓이다. 보유하고 있는 센서의 유효면적에 대한 불확실한 지역이 ΔA (불확실성)[8]이면, N (적군에게 위협을 줄 수 있는 적의 수) $=\rho \Delta A$ 가 되고, 관심지역에 대한 정보의 정확성 산출식은 다음과 같이 식(2.36)로 표시된다. 이 식에서 알수 있듯이 ΔA (불확실성)가 증가할 수록 아군의 생존확률은 감소한다.

$$\text{(Probability of Correct Association)} \quad p = \frac{1}{1 + \rho \Delta A} \quad (2.36)$$

식(2.36)에서 관심지역에 대한 정보의 불확실성(ΔA)은 정보의 정확도에 영향을 줄 수 있는 전장 요소인 v_p (적군의 전진속도), σ^2 (정보의 부정확도), t_{cs} (지휘통제시간)와

아군의 생존에 영향을 줄 수 있는 ρ (적군의 밀도) 함수로 표현하였다. 즉 $\Delta A = C_1 v_p t_{cs}^2 \sigma^2$ 으로 표현하였으며, 이식을 (2.36)에 적용하면 식(2.37)로 표현된다.

$$p_c = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p t_{cs}^2 \sigma^2} \quad (2.37)$$

지휘통제체계가 강화되면 ΔA 의 값을 구성하고 있는 전장요소의 값들이 감소하여 관심지역의 적을 정확하게 분석할 확률은 증가하고 결국 생존확률의 증가를 가져온다.

지휘통제체계 강화후의 생존확률 산출식은 식(2.38)로 표시되며,

$$\alpha p_{kj} = \frac{1}{1 + C_1 [v_p \sigma^2 (T_R - t_m)^2]} \quad (2.38)$$

여기에서, C_1 = 임의의 상수

α = 생존확률승수

다음의 조건을 만족하게 된다.

$$p \text{ (C2체계 강화전 생존확률)} < \alpha p \text{ (C2체계 강화후 생존확률)} \quad (2.39)$$

여기서, $\alpha > 1$

2. 할당비율

할당비율[9]은 특정 교전에 투입되는 자산의 비율을 의미하며 지휘통제체계 강화전에는 투입자산의 비율로 지휘통제체계 강화후에는 투입부대의 효과로 나타난다. 지휘통제체계 강화전 최대 투입 비율은 1이다. 지휘통제체계가 강화되면 투입된 자산의 비율은 체계 강화전 투입 자산의 몇 배에 해당하는 부대를 투입했을 경우와 동일한 효과를 발휘할 수 있다. 이런 효과성을 수치로 계량화 한 것이 지휘통제체계 강화후의 할당비율의 개념이다. 즉 지휘통제체계가 강화되면 통제구역의 확장으로 선견 → 선결 → 선타, 유리한 지역 사전 선점, 적시적소에 전투력 투입, 기동 및 회피공간의 확장으로 투입부대의 효율성은 증가한다.

단위부대의 할당비율은 그 부대가 통제할수 있는 거리에 의해서 결정된다. 여기서 통제거리는 전장 또는 교전중에 있는 단위부대가 보유하고 Weapon의 최대사거리와, 가용시간에서 Weapon 최대사거리의 비과시간을 감한 시간을 플랫폼의 기동속도와 곱하여 얻어진 값과의 합으로 표현되며, 이를 식으로 표현하면 식(2.40)와 같다.

$$r_c = r_w + v_p(t_a - t_w) \quad (2.40)$$

여기서, r_c = 통제거리

r_w = Weapon의 최대사거리

v_p = 플랫폼의 속도

t_a = 가용시간

t_w = Weapon의 비과시간(최대사거리)

식<2.40>에서 Weapon의 최대사거리와 비파시간은 일정값을 유지하고 있으므로 교전부대에 부여되는 가용시간의 정도가 통제거리를 결정짓는 중요 요인으로 작용한다. 가용시간이 많이 부여될수록, 교전에 참가하는 단위부대가 기동할 수 있는 거리는 그것에 비례하여 증가하므로 통제거리는 더욱 확장된다.

C2효과측정 모델에서는 통제거리를 무기체계의 최대사거리로 나눈 값을 할당비율의 수정된 통제거리 기준으로 정하였다. 이를 표현하면 식(2.41)과 같으며 이는 할당비율을 거리 중심보다는 지역중심의 함수로 유도하기 위한 것이다.

$$\frac{r_c}{r_w} = 1 + \frac{v_p(t_a - t_w)}{r_w} \quad (2.41)$$

지휘관이 관심을 갖는 부분은 통제거리보다는 통제구역이다. 통제거리가 확장될 수록 단위부대가 통제할 수 있는 지역은 통제거리를 중심으로 다각형, 원 등의 특정형태의 지역을 이룰 것이다. C2효과측정 모델에서는 이런 점을 고려하여 할당비율을 거리보다는 지역중심으로 식(2.42)으로 표현하였다.

$$a = C_0 \left[1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_a}{t_w} - 1 \right) \right]^2 \quad (2.42)$$

여기서, C_0 = 임의의 상수,

$$\left(1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_a}{t_w} - 1 \right) \right) = \text{수정된 통제반경}$$

식(4.42)에서 가용시간을 제외하고 다른 변수들은 일정값을 갖는 상수로 취급되기 때문에 할당비율은 가용시간의 함수이며, 가용시간이 보다 많이 부여될수록 할당비율은 증가한다.

지휘통제체계가 강화되면 가용시간(t_a)이 증가하며, 통제할 수 있는 지역은 확대된다. 다음의 식(2.43)은 지휘통제체계 강화후의 할당비율을 나타내며,

$$\delta a = C_0 \left[1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_{aa}}{t_w} - 1 \right)^2 \right] \quad (2.43)$$

여기서, t_{aa} = 지휘통제체계 강화후 증가된 가용시간

δ = 세력집중인자 또는 할당비율승수

다음의 조건을 만족하게 된다.

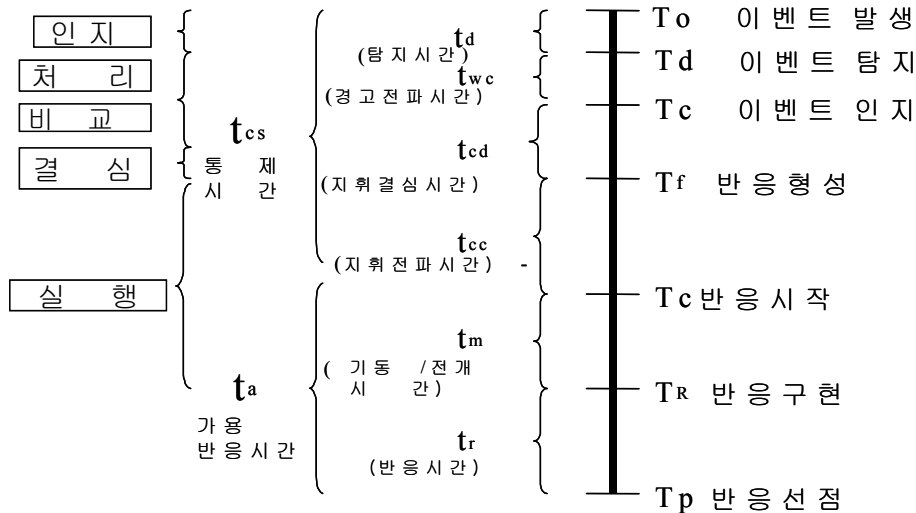
$$a \text{ (C2체계 강화전 할당확률)} < \delta a \text{ (C2체계 강화후 할당비율)} \quad (2.44)$$

여기서, $\delta > 1$

제 3 절 지휘통제 과정상의 시간변수

어떤 상황에 대처하는 군사력 활동에서 중요한 인자는 상황에 대한 “최초대응”과 이 최초 대응을 구현하는 시점이 될 것이다. 효과적인 지휘통제체계는 최초사건 발생 시 초기 상황에 대한 정보를 가장 빠른 시간내에 지휘관에게 제공하여 지휘관으로 하여금 제공된 정보를 기초로 최상의 방책을 구상하고 이를 예하 세력에게 하달하여, 예하 세력이 신속한 전개와 반응구현으로 반응선점을 가능하게 한다.

한 사건이 발생한(T_0) 후 상황이 전개되기 시작하여, 반응선점시간(T_p)(적군이 선제 공격을 받는 시간)이전에 대응하여 상황우위를 선점하는 과정[9]은 <그림 2-1>과 같다. 지휘관이 상황을 인지하고 대응책을 강구, 예하부대에 지시하여 최초대응이 이루어지는 시각 T_R (타격수단으로 선제공격을 가한 시간)이 T_p 보다 선행하면 이 지휘는 성공적 또는 최소한 적절한 것으로 간주된다. 만약 T_R 이 T_p 보다 늦게 된다면 이 대응은 적으로부터 선제공격을 받게 되어 실패가 된다.



<그림 2-1> 지휘통제체제내의 시간 구성

지휘통제체계 내에서 시간은 통상 8개의 시간 간격 변수와 7개의 상황전환점을 갖는다. 8개의 시간 간격 변수는 다음과 같다. 7개의 상황 전환점은 <그림 2-1>보면 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

t_{cs} : 최초 지시를 수명할 때까지 시간

t_a : 상부지시 수명 후 T_P 까지의 시간

t_d : 상황발생과 상황탐지 시간(센서)

t_{wc} : 상황 중요성인지 후 지휘관이 인지 시간

t_{cd} : 지휘관이 인지 후 반응 형성시까지 시간(명령 준비 시간)

t_{cc} : 투입부대에게 지시하는 시간

t_m : 반응을 위해 이동(준비)하는 시간

t_r : 투입부대 반응시간

이 시간개념에서 특이한 점은 지휘통제체계의 전투효과(MOE)에서 지휘관의 계획 능력이 상당히 큰 영향 변수라는 것이다. 이러한 지휘관의 능력은 개개인 마다 다르기 때문에 이 논문에서는 고려하지 않고 모든 지휘관의 능력은 동일하다고 보았다. 만약 지휘관이 “우발계획”을 사전에 세우고 있다면 t_{cd} , t_{cc} 는 현저하게 감소할 것이다. 또한 지휘관의 우발계획이 잘 작성되었다면 세력을 적절한 위치에 선점시킬 수 있어서 t_m 도 감소시킬 수 있을 것이다. 이런 측면에서 볼 때 지휘통제체계의 전투효과에 있어서 지휘통제체계 강화에 의한 지휘통제시간 단축과 함께 사전에 준비된 상황대처 능력(우발계획)도 중요한 영향변수로 작용한다. 즉 지휘통제체계 자체 개선으로 인하여 전투효과 상승을 가져올 수도 있지만 지휘관 개인의 지휘능력에 의해서도 전투효과를 상승시킬 수 있다.

제 3 장 전투력평가 요소별 상관관계

이 장은 본 연구의 핵심부분으로 전투효과 평가 요소를 전장 핵심변수의 함수로 유도하여 상관관계를 분석하였다.

전투효과 평가 요소에는 지휘통제체계 강화후 향상되는 생존확률의 증가분인 생존확률승수[9], 체계 강화후 향상되는 할당비율의 증가분인 할당비율승수[9], 체계 강화후 향상되는 전투효과의 증가분인 전투효과승수 3가지를 선정 했으며, 이를 전장요소 중 체계강화로 인한 전투효과를 계량화하는데 결정적으로 영향을 미치는 핵심변수의 함수로 유도하여 상관관계를 분석하였다.

본 연구에서는 전장요소중 지휘통제체계 강화후 전투효과에 결정적인 영향을 미치는 정보의 정확도(σ^2)와 예하부대에게 부여되는 가용시간(t_a)을 핵심변수로 선정하였다. 정보의 정확도는 가용 탐지장비에 의해 획득된 정보 뿐만아니라, 상·하 인접부대의 실시간 정보공유로 획득한 모든 정보를 포함하여 평가된 정보 정확도의 수치 값이다 .

가용시간은 사건발생 초기부터 교전행위 종료시까지 지휘통제시간을 제외한 나머지 시간으로 교전부대가 이동/전개하여 주어진 임무를 완수하는데 부여된 시간이다. 정보 전력체계 구축으로 인한 지휘통제체계의 강화는 경보접수 및 전파체계의 개선으로 인한 지휘통제시간 단축, 네트워크 구축으로 인한 실시간 정보공유 등으로 정보의 정확도(σ^2) 및 가용시간(t_a)을 증가시켜 전투효과의 향상을 가져온다.

제 1 절 생존확률승수와 가용시간 및 정보 변수의 상관관계

정보의 정확도 및 가용시간의 증가에 따른 생존성의 향상 정도를 가늠해 주는 생존확률 증가비율이 생존확률승수(α)이다. 이 절에서는 지휘통제체계 강화후 개선되는 정

보의 정확도(σ^2) 및 가용시간(t_a) 변수와 생존확률승수(α)와의 상관관계를 중점적으로 다루었으며 두 부분으로 구분하여 접근하였다. 첫 번째는 지휘통제체계 강화후에도 정보의 정확도(σ^2)는 향상되지 않는다는 가정하에 단지 가용시간 (t_a)변수만 고려했을 경우이고, 두 번째는 정보의 정확도(σ^2)변수와 가용시간(t_a)변수를 동시에 고려했을 경우이다. 이렇게 두 부분으로 구분한 이유는 주어진 임무를 수행하는 지휘관이 정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_a) 중에 한가지 요소만(t_a)을 고려하여 지휘 할 경우와 두가지 요소(t_a, σ^2) 모두를 고려하여 지휘 할 경우 각각의 경우에 따라 부대의 생존확률에 작용하는 영향력의 정도를 제시하기 위함이다. 이 절에서는, 정보의 정확도(σ^2)만을 고려한 경우에 대해서는 언급을 배제하였는데, 이는 지휘관이 주어진 임무를 수행함에 있어서 일정수준의 정보의 정확도를 확보하고 있다면 직접교전에 참가하는 예하부대에게 부여되는 가용시간(t_a)을 정보의 정확도(σ^2)보다 우위에 두고 작전을 지휘할 것이라는 판단하에 언급하지 않았다. 즉 지휘통제체계에서는 가용시간이 정보의 정확도 보다는 우선시 된다고 판단하였기 때문에 언급을 배제하였다.

1. 생존확률승수(α)와 가용시간(t_a)변수와의 상관관계

생존확률은 2장에서 설명한 바와 같이 식(3.1)로 표현된다.

$$p = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p \sigma^2 T_{cs}^2} = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p \sigma^2 (T_R - t_m)^2} \quad (3.1)$$

여기서, C_1 = 임의의 상수

ρ = 관심지역 내의 적의 밀집도 ($1km^2$ 내의 적의 수)

σ^2 = 초기정보의 정확도 (실제 적용값은 정보의 부정확도)

v_p = 적군의 기동속도

T_R = 반응구현 시간(타격수단으로 선제공격을 가한 시간)

t_m = 교전부대 기동/전개 시간

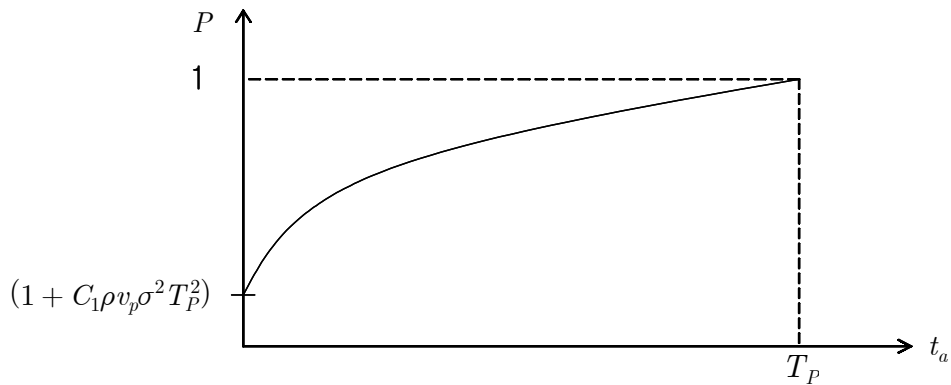
위의 식(3.1)은 지휘통제시간(t_{cs})의 함수이므로 가용시간(t_a)의 함수로 표현하면 식 (3.2)와 같다. 여기서 $(T_R - t_m)^2$ 이 $(T_P - t_a)^2$ 로 대치된 과정은 2장 3절의 <그림 2-1>의 내용을 참조하면 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

$$p = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p \sigma^2 (T_P - t_a)^2} \quad (3.2)$$

여기서, T_P = 반응선점 시간

t_a = 교전부대에 할당된 가용시간

정보의 정확도(σ^2)를 고려하지 않을 경우 정보의 정확도(σ^2)는 상수로 취급되므로 지휘통제체계 강화전 생존확률은 가용시간(t_a)의 함수로 <그림 3-1>과 같은 그래프의 형태를 보인다. 여기서 “지휘통제체계 강화 전”은 지휘통제체계를 강화하기 위하여 새로운 탐지센서 체계의 도입, 단일 플랫폼간의 네트워크 구축을 통한 실시간 정보의 공유, 지휘 및 전파체계의 개선 등이 가능한 상태를 의미한다.



<그림 3-1> 지휘통제체계 강화전 t_a 에 따른 생존확률 변화곡선

<그림3-1>에서 지휘통제체계 강화전 생존확률(p)은 가용시간(t_a)의 값에 비례하여 양의 곡선을 그리며 생존확률의 단위시간당 변화량은 가용시간이 증가할 수록 체감적으로 증가한다. 이는 지휘통제시간이 과다하게 소요되는 체계일수록 지휘통제체계의 강화로 인한 생존확률의 향상 정도가 보다 높다는 것을 추측 가능하게 한다. 왜냐하면 현 지휘통제체계 수준이 높을 수록 보다 많은 가용시간이 부여되나, 그 이후 지휘통제체계 강화로 인한 생존확률의 증가량은 지휘통제체계 수준이 낮은 경우일 수록 크기 때문이다.

지휘통제체계가 강화되면 물리적이거나 또는 인위적인 요소에 의해서 지휘통제체계 강화전 생존확률(p)과 지휘통제체계 강화후의 생존확률(αp)과의 관계는 $p < \alpha p$ (여기서 $\alpha > 1$)의 조건을 만족하게 된다. 앞의 조건식에서 지휘통제체계 강화후 생존확률의 증가분을 나타내는 생존확률승수(α)를 지휘통제체계 강화후 부여될 수 있는 가용시간(t_{aa})함수로 표현하기 위하여 다음과 같이 유도하였다.

$$p = \frac{1}{1 + C_1 \rho v_p \sigma^2 (T_P - t_{ab})^2} \quad (3.3)$$

여기서, $p =$ 지휘통제체계 강화전 생존확률

$t_{ab} =$ 지휘통제체계 강화전 가용시간

$\rho v_p \sigma^2 (T_P - t_{ab})^2$ 을 M_1 으로 놓으면 다음과 같다.

$$p = \frac{1}{1 + C_1 M_1} \quad (3.4)$$

$$C_1 = \frac{1 - p}{p M_1} \quad (3.5)$$

지휘통제체계가 강화된 후의 $\rho v_p \sigma^2 (T_P - t_{aa})^2$ 를 M_2 로 놓으면 다음과 같다.

$$\alpha p = \frac{1}{1 + C_1 M_2} \quad (3.6)$$

$$\alpha p = \frac{1}{1 + \frac{1 - p}{p M_1} M_2} \quad (3.7)$$

여기에서, $\alpha p =$ 지휘통제체계 강화후 생존확률

M_1 과 M_2 를 원식으로 치환하면 다음과 같다.

$$\alpha p = \frac{1}{1 + \frac{(1-p)(T_P - t_{aa})^2}{p(T_P - t_{ab})^2}} \quad (3.8)$$

$$\alpha p = \frac{p(T_P - t_{ab})^2}{p(T_P - t_{ab})^2 + (1-p)(T_P - t_{aa})^2} \quad (3.9)$$

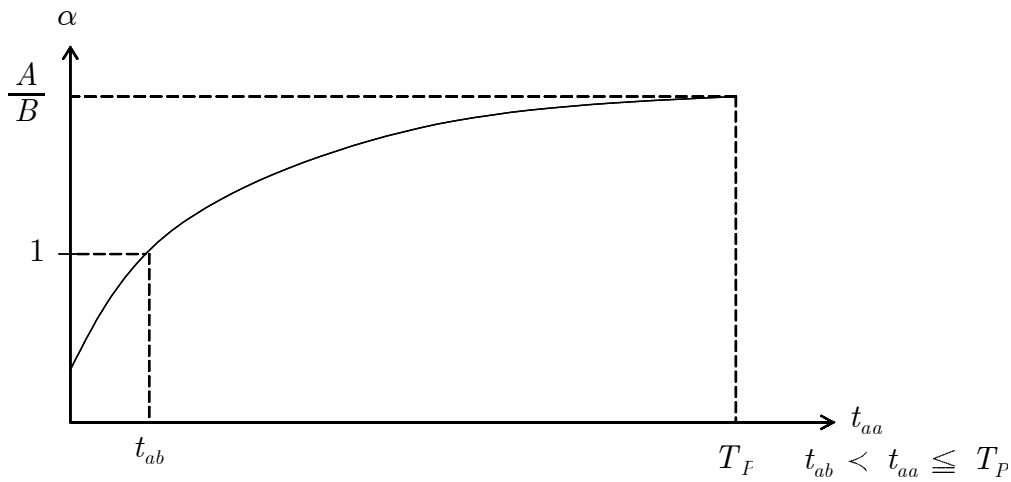
$$\alpha = \frac{(T_P - t_{ab})^2}{p(T_P - t_{ab})^2 + (1-p)(T_P - t_{aa})^2} \quad (3.10)$$

여기서, t_{aa} = 지휘통제체계 강화후 가용시간

여기서 $(T_P - t_{ab})^2$, $p(T_P - t_{ab})^2$, $(1-p)$ 는 상수이므로 각각 A, B, C 로 놓으면 다음의 식(3.11)과 같다.

$$\alpha = \frac{A}{B + C(T_P - t_{aa})^2} \quad (3.11)$$

위의 유도과정의 결과에 의해서 생존확률승수(α)는 가용시간(t_{aa})의 함수로 식(3.11)과 같이 표현된다. 식(3.11)에서 $t_{aa} = t_{ab}$ 이면 $\alpha = 1$ 을 만족하고 또한 지휘통제체계 강화후 $t_{aa} > t_{ab}$ 조건을 만족하므로 $\alpha > 1$ 이 성립된다. 식(3.11)을 그래프로 표현하면 <그림 3-2>와 같다.



<그림 3-2> 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 에 따른 α 변화 곡선

<그림 3-2>에서 나타나듯이 지휘통제체계의 강화로 증가될 수 있는 생존확률승수(α)의 범위는 식(3.12)와 같으며,

$$1 < \alpha \leq \frac{A}{B}, \quad \text{단 } \alpha p \leq 1 \quad (3.12)$$

지휘통제체계가 강화된 후 생존확률의 범위는 (체계강화전 생존확률 $< \alpha p \leq 1$)이 된다. 정보의 정확도(σ^2)가 불변한다는 가정하에서 지휘통제체계의 강화 후 생존확률승수(α)는 강화후 부여될 수 있는 가용시간(t_{aa})과 양의 상관관계를 가지며 생존확률의 단위시간당 변화량은 <그림 3-2>와 같이 가용시간이 증가에 따라 체감적으로 증가한다. 이는 지휘통제체계 강화로 인한 생존확률승수(α)가 일정수준(변곡점)까지 체증적으로 증가하지만 일정수준 이후에는 체감적으로 증가하기 때문에 지휘통제체계 강화

전에 지휘통제시간이 과다하게 소요되는 체계일수록 체계 강화로 인한 향상정도가 높음을 보여준다.

2. 생존확률승수(α)와 가용시간(t_a) 및 정보(σ^2) 변수의 상관관계

다음은 정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_a) 변수를 동시에 고려한 경우를 살펴 보자. 여기서 주의하여야 할 점은 생존확률승수(α)의 유도과정에서 지휘통제체계 강화전·후의 정보의 정확도(σ^2)가 다르다는 것이다. 식(3.7)에서 식(3.8)로 M_1, M_2 가 치환되는 과정에서 정보의 정확도(σ^2)를 고려하면 식(3.13)과 같다.

$$\alpha p = \frac{1}{1 + \frac{(1-p)\sigma^2(T_P - t_{aa})^2}{p\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2}} \quad (3.13)$$

$$\alpha p = \frac{p\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2}{p\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2 + (1-p)\sigma^2(T_P - t_{aa})^2} \quad (3.14)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2}{p\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2 + (1-p)\sigma^2(T_P - t_{aa})^2} \quad (3.15)$$

여기서, σ_a^2 = 지휘통제체계 강화전 정보의 정확도

σ^2 = 지휘통제체계 강화후 정보의 정확도

여기서 $\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2$, $p\sigma_a^2(T_P - t_{ab})^2$, $(1-p)$ 는 상수이므로 각각 D, E, F 로 놓으면,

$$\alpha = \frac{D}{E + F\sigma^2(T_P - t_{aa})^2} \quad (3.16)$$

위의 유도과정의 결과에 의해서 정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_a)을 고려한 경우의 생존확률승수(α)는 식(3.16)과 같다. 식(3.16)은 변수가 세 개 이므로 3차원 형태의 그래프로 표현하여 상관관계를 분석하였다. 이를 위하여 임의의 교전상황에서 생존확률승수(α) 값을 산출하는데 필요한 변수 값들을 설정하여 적용한 후, 그 결과값을 가지고 세 변수간의 상관관계를 표현하였다.

예를들어 주어진 교전상황에서 지휘통제체계 강화전 생존확률에 관련되는 전장요소 값들이 다음과 같다고 가정하자.

- 가. 아군의 초기 생존확률 = 0.5
- 나. 적군의 밀도 = 0.5
- 다. 정보의 정확도(σ_a^2) = 0.5 (실제 적용값은 정보의 부정확도)
- 라. 지휘통제 시간($T_P - t_{ab}$) = 9분(0.15hour) ; 가용시간(t_a) 11분(0.187hour)
- 마. 반응선점 시간(T_P) = 20분(0.3334hour)

지휘통제체계 강화전에는 피·아간의 생존확률이 동일하다고 간주하여 0.5를 부여하였고, 정보의 정확도(σ^2)는 피·아가 지휘통제체계 강화전에 일정 수준의 정보획득능력을 유지하고 있다는 것을 나타내기 위해서 정보의 불확실성의 최고 수준인 1과 최하

수준인 0의 중간값 0.5를 부여하였다.

먼저 위의 값을 이용하여 D, E, F 값을 구하면 다음과 같다.

$$D = 0.5 (0.3334 - 0.15)^2 = 0.0168$$

$$E = 0.5 \times 0.5 (0.3334 - 0.15)^2 = 0.0084$$

$$F = 1 - 0.5 = 0.5$$

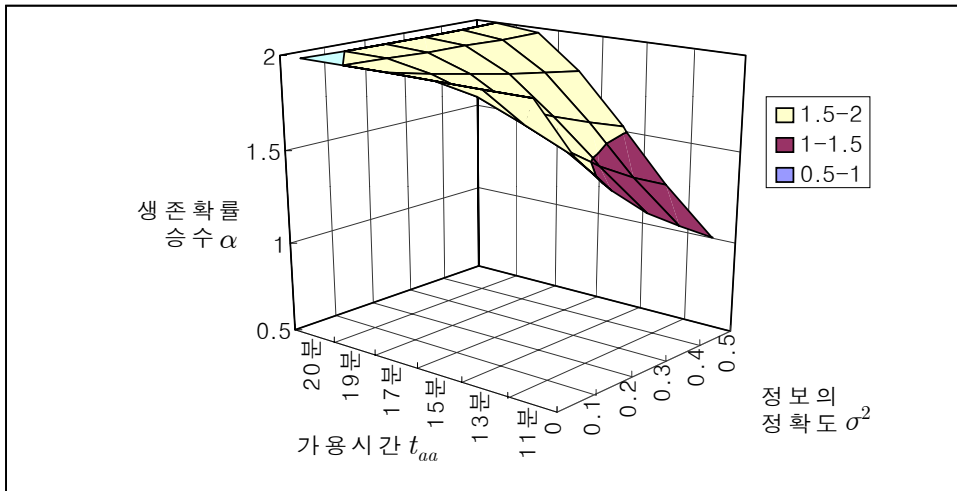
D, E, F 를 식(3.16)에 대입하면 생존확률승수의 산출식은 식(3.17)과 같다.

$$\alpha = \frac{0.0168}{0.0084 + 0.5\sigma^2(0.3334 - t_{aa})^2} \quad (3.17)$$

위의 식(3.17)을 이용하여 정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_{aa})의 변화에 따른 생존확률승수 (α)값을 산출하면 <표 3-1>[부록1]과 같고 이를 그래프로 표현하면 <그림 3-3>과 같다. 여기서는 지휘통제체계가 강화되면 정보의 정확도(σ^2) 및 가용시간(t_{aa})은 증가하는 것으로 가정하였기 때문에 감소하는 부분에 대해서는 고려하지 않았다.

<표 3-1> 지휘통제체계 강화후 σ^2 과 t_{aa} 에 따른 α 값

$\sigma^2 \backslash t_{aa}$	11분 (0.187시)	13분 (0.217)	15분 (0.250)	17분 (0.283)	19분 (0.317)	20분 (0.334)
0.5	1	1.225	1.510	1.788	1.975	2
0.4	1.110	1.328	1.587	1.827	1.980	2
0.3	1.250	1.450	1.674	1.867	1.985	2
0.2	1.428	1.596	1.770	1.909	1.990	2
0.1	1.666	1.775	1.878	1.953	1.995	2
0	2	2	2	2	2	2



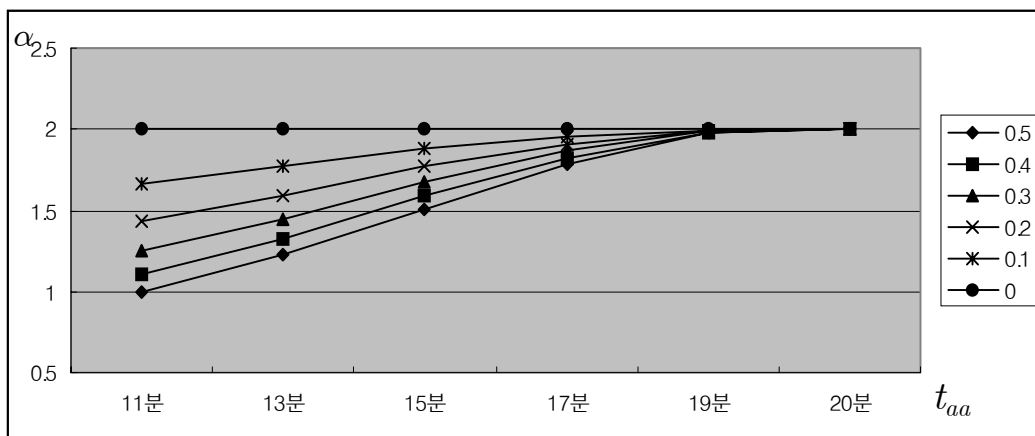
<그림 3-3> 지휘통제체계 강화후 σ^2 과 t_{aa} 에 따른 α 의 변화 곡선

생존확률승수(α)와 정보의 정확도(σ^2) 및 가용시간(t_{aa})과의 상관관계는 <그림 3-3>과 같이 3차원상에서 곡면을 그린다. 위의 결과도 1절 1항에서 언급한 것과 같이 지

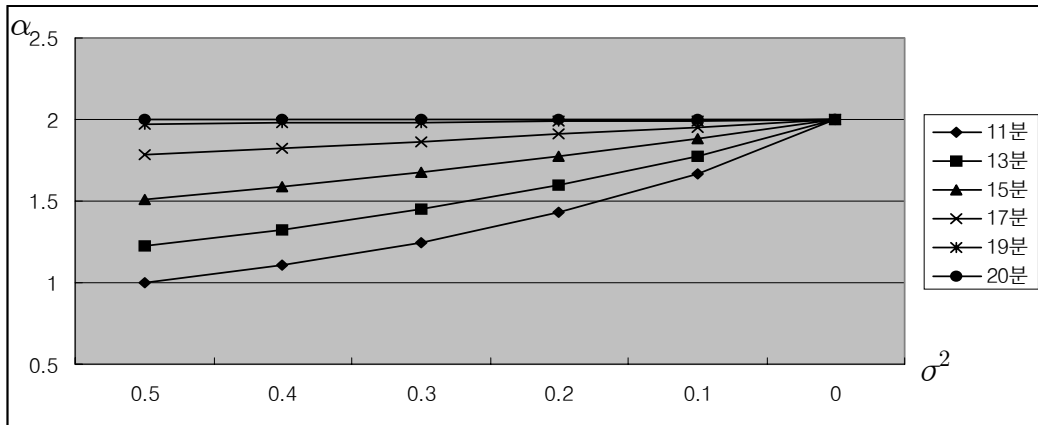
휘통제체계 강화로 인한 생존확률승수(α)가 일정수준(변곡점)까지는 체증적으로 증가하지만 일정수준 이후에는 체감적으로 증가하기 때문에 현 지휘통제체계 수준이 낮을 수록 체계 개선으로 인한 생존확률의 향상정도가 높고, 또한 생존확률을 향상시키기 위해 투입된 자원의 효율성은 점점 증가하다가 높은 수준의 지휘통제체계 수준으로 갈수록 점점 감소함을 알수있다.

<그림 3-3>은 특정 교전 상황하에서 주어진 변수값들을 적용하여 얻어진 결과이지만, 변수 값이 다른 교전상황에도 마찬가지로 <그림 3-3>과 유사한 형태의 3차원상의 곡면의 형태를 보일 것이다.

단위부대가 주어진 교전에서 일정 수준의 생존확률을 유지하기 위하여 정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_a) 두요소를 상호 유기적으로 결합하여 지휘통제체계를 강화할 수도 있지만 <표 3-1>에서 알 수 있듯이 두 요소중 하나의 요소만 고려하여 지휘통제체계를 강화할 수도 있다. 이러한 관계를 보다 자세히 나타내기 위해서 각각의 요소 별로 상대요소의 변화에 따른 변화량을 표현하면 <그림 3-4>, <그림 3-5>와 같다.



<그림 3-4> σ^2 이 고정된 상태에의 t_{aa} 에 따른 α 의 변화 곡선



<그림 3-5> t_{aa} 가 고정된 상태에의 σ^2 에 따른 α 의 변화 곡선

<그림 3-4>, <그림 3-5>에서 정보의 정확도(σ^2)를 고정시킨 상태에서, 가용시간(t_{aa})의 변화에 따른 생존확률승수(α)의 변화량은 가용시간(t_{aa})이 증가할수록 단위시간당 변화량이 점점 감소하는 반면에, 가용시간(t_{aa})을 고정시킨 상태에서 정보의 정확도(σ^2)의 변화에 따른 생존확률승수(α)의 변화량은 정보의 정확도(σ^2)가 증가할수록 단위정보당 변화량은 점점 증가한다. 가용시간과 정보의 정확도는 생존확률승수의 증가 변화량에 있어서 서로 상반되는 특징을 보인다.

위의 결과로부터 지휘통제체계 강화로 인한 생존확률 증가량의 요구 수준이 낮은 경우에는 가용시간 증가에 중점을 두는 것이 효과적이다. 이 경우에는 가용시간의 단위 시간당 생존확률 증가량이 정보 정확도의 그것 보다 크기 때문에 지휘관이 요구하는 생존확률을 보다 쉽게 달성할 수 있다. 요구 수준이 높은 경우에는 정보의 정확도 및 가용시간 두 변수를 동시에 고려하되 두 변수중 한 변수만이 요구되는 생존확률을 충족하면 되므로 다른 측면, 예를들면 두 변수에 소요되는 투자비용, 현 체계 수준, 전장의 특수성 등을 고려하여 지휘통제체계를 강화하는 것이 효과적일 것이다.

제 2 절 할당비율승수와 가용시간 변수의 상관관계

C2효과측정 모델[9]에서 적용되는 할당비율(a)[9]은 전장 또는 교전지역에서 단위 부대의 통제거리와 관련된다. 여기서 통제거리란, 단위부대가 현위치에서 최초 적을 탐지한 시간부터 반응선점까지의 시간동안 지휘통제 절차를 거쳐 교전부대가 기동(전개)하여 자체보유하고 있는 무기체계로 아군에게 위협을 주는 적군을 무력화 또는 파괴 시킬수 있는 영역의 최장거리를 의미한다.

통제거리가 증가할수록 아군이 방어할수 있는 통제구역은 넓어 개념으로 통제거리의 제곱에 비례하여 증가하기 때문에 동일한 전투력을 가지고 보다 광범위한 지역에 전투력을 집중할 수 있다. 통제구역의 증가는 기동공간의 확장, 아군에 유리한 지역의 선점, 적절한 시기에 전투력 투입, 선탐지 선타격 등을 가능케하여 다수의 부대를 투입 했을 때와 동일한 효과를 발휘할 수 있다. 이는 기존에는 수십대의 자산을 할당해야만 방어할 수 있는 지역을 단지 수대의 자산만 할당하더라도 방어가 가능하여 개별 자산의 전투력을 최대화할 수 있음을 의미한다.

할당비율에 결정적인 영향을 미치는 요소는 가용시간(t_a)으로 할당비율은 가용시간의 함수이다. 여기서 가용시간은 앞 절에서 설명했듯이 사건발생 초기부터 교전행위 종료시까지 지휘통제시간을 제외한 나머지 시간으로 교전부대가 기동/전개하여 주어진 임무를 완수하는데 부여된 시간이다. 다른 기타의 요소들 또한 변수로서 할당비율에 영향을 줄 수 있지만 이런 요소들은 특정 전술 상황에서 단위부대의 통제거리 판단 시 보유하고 있는 탐지, 무기, 무장체계 등의 성능의 최대치 또는 전술상황에서 발휘할 수 있는 성능을 기준으로 적용하기 때문에 상수로 취급된다. 교전부대에 부여되는 가용시간중 Weapon의 비파시간을 제외한 나머지는 부대 기동(전개)에 할당된다. 부대의 기동거리가 부대의 통제거리를 결정하는 요인이기 때문에 기동거리에 직접적

으로 연관이 되는 가용시간(t_a)은 할당비율의 핵심변수라고 할 수 있다.

지휘통제체계의 강화는 지휘통제시간의 단축과 이로인한 가용시간의 증가로 할당비율의 증가를 가져올 것이다. 여기서는 할당비율의 증가정도를 할당비율승수(δ)로 표현하였다. 이 절에서는 지휘통제체계 강화후 할당비율승수(δ)변수와 가용시간(t_a)변수와 의 상관관계를 중점적으로 다루었으며 이는 C2효과측정 모델에서 지휘통제체계 강화로 인한 개별자산의 효율성의 상승 정도를 계량화하는데 이용된다.

C2효과측정 모델에서는 정보의 정확도(σ^2)가 할당비율(a)에 미치는 영향에 대해서는 언급을 하지 않았다. 책임지역에 대한 정보의 불확실성이 적을 수록 지휘관은 적정 규모의 자산을 할당할 수 있을 것이다. 교전대상이 아군보다 우세할 경우에는 증원 할 것이고 소규모의 적으로 판단되면 무의미한 전투력의 손실을 최소화 할 수 있을 것이다. 이는 적정규모의 부대를 투입하는 효율적인 부대운용에 중점을 둔 것이므로 생략한 것으로 보인다.

1. 할당비율승수(δ)와 가용시간 (t_a) 과의 상관관계

할당비율은 2장에서 설명한 바와 같이 식(3.18)으로 표현된다.

$$a = C_0 \left(1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_a}{t_w} - 1 \right) \right)^2 \quad (3.18)$$

여기서, C_0 = 임의의 상수

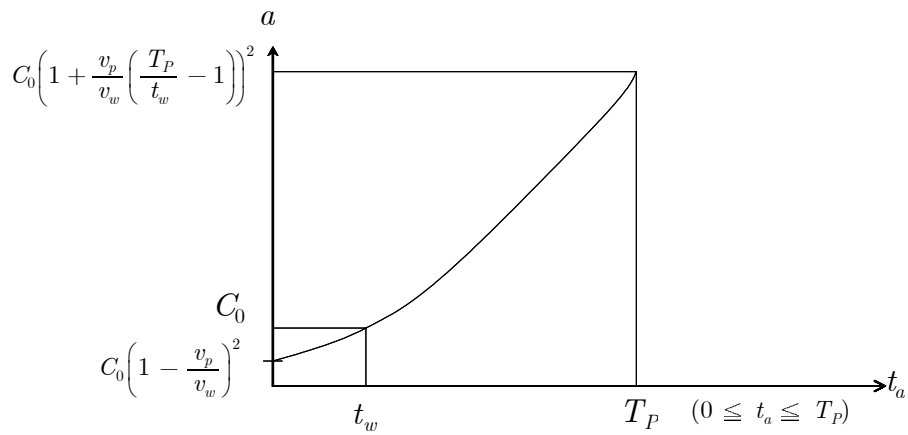
v_w = Weapon의 탄속,

v_p = 아군 단위부대의 기동속도

t_a = 가용시간

t_w = Weapon 비과시간(최대사거리)

가용시간(t_a)의 변화에 따른 지휘통제체계 강화전 할당비율(a)의 변화를 그래프로 표현하면 <그림 3-6>과 같다.



<그림 3-6> 가용시간(t_a)에 따른 할당비율(a)의 변화 곡선

지휘관이 교전에 할당할수 있는 자산의 최대 비율은 1이므로 지휘통제체계 강화전 할당비율(a)의 범위는 다음 ($0 < a \leq 1$)의 조건을 만족해야 한다. 식(3.18)은 가용시간(t_a)의 2차함수이며 1차 미분값이 0인 지점인 $t_a = t_w \left(1 - \frac{v_w}{v_p}\right)$ 에서 최소값 0을 갖는 2차원 그래프의 형태를 보인다. <그림 3-6>에서 가용시간(t_a)이 반응선점 (T_p)시간에 근접할수록 할당비율(a)의 변화량은 가용시간 적용 값의 자승으로 증가한다. 이는 가용시간이 많이 부여 될 수록 통제구역이 증가하므로 동일한 전투력을 투입

하여 보다 광범위한 지역을 방어할 수 있으며 전투력에 대한 효율성은 체증적으로 증가한다.

지휘통제체계가 강화되면, 생존확률과 동일하게 물리적이거나 인위적인 요소에 의해서 지휘통제체계 강화전의 할당비율(a)과 지휘통제체계 강화후의 할당비율(δa)과의 관계는 $a < \delta a$ (여기서 $\delta > 1$)의 조건을 만족하게 된다. 위의 조건식에서 지휘통제체계 강화후 할당비율의 증가분을 나타내는 할당비율승수(δ)를 전장요소중 핵심변수인 가용시간(t_a) 변수의 함수로 표현하기 위하여 다음과 같이 유도하였다. 여기서는 할당비율승수(δ)의 변화량을 산출하는 식을 유도하기 위해서 지휘통제체계 강화후의 할당비율(δa)을 지휘통제체계 강화전 할당비율(a)로 나누어 주었다.

$$\delta a = C_0 \left(1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_{aa}}{t_w} - 1 \right) \right)^2 \quad (3.19)$$

$$\delta = \frac{C_0 \left(1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_{aa}}{t_w} - 1 \right) \right)^2}{C_0 \left(1 + \frac{v_p}{v_w} \left(\frac{t_{ab}}{t_w} - 1 \right) \right)^2} \quad (3.20)$$

$$\delta = \frac{\left(1 + \frac{v_p t_{aa}}{v_w t_w} - \frac{v_p}{v_w} \right)^2}{\left(1 + \frac{v_p t_{ab}}{v_w t_w} - \frac{v_p}{v_w} \right)^2} \quad (3.21)$$

$$\delta = \left(\frac{v_w t_w + v_p t_{aa} - v_p t_w}{v_w t_w + v_p t_{ab} - v_p t_w} \right)^2 \quad (3.22)$$

$$\delta = \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{v_w t_w + v_p t_{ab} - v_p t_w} \right)^2 \quad (3.23)$$

여기서, t_{aa} = 지휘통제체계 강화후의 가용시간

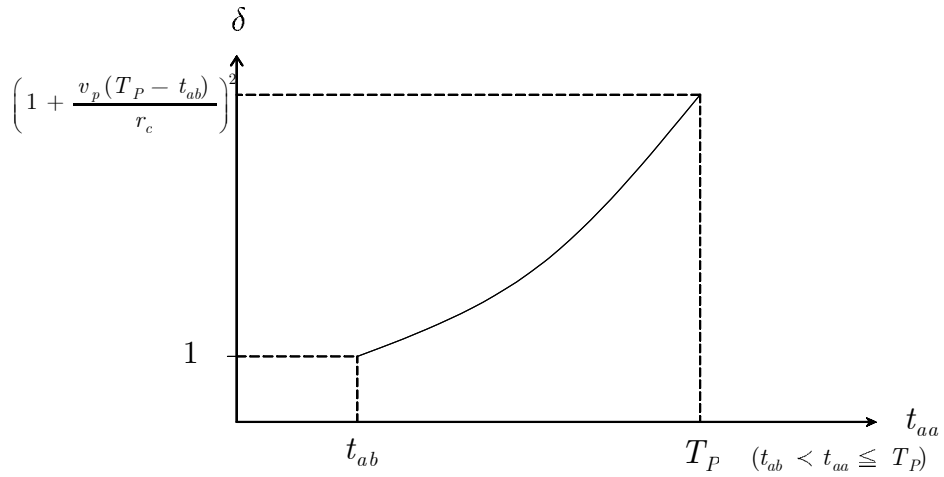
t_{ab} = 지휘통제체계 강화전의 가용시간

여기서 $v_w t_w + v_p t_{ab} - v_p t_w = r_c$ (통제 거리) 이므로

$$\delta = \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c} \right)^2 \quad (3.24)$$

위의 결과에 의해서 할당비율승수(δ)는 지휘통제체계 강화후 증가된 통제거리를 강화전의 통제거리로 나눈 값의 제곱인 가용시간(t_{aa})의 2차함수로 식(3.24)와 같이 표현된다.

식(3.24)에서 $t_{aa} = t_{ab}$ 이면 $\delta = 1$ 의 값을 가지며, C2체계 강화후 $t_{aa} > t_{ab}$ 이므로 $\delta > 1$ 을 만족하게 된다. 식(3.24)를 그래프로 표현하면 가용시간(t_{aa})의 2차함수로 <그림 3-7>과 같다.



<그림 3-7> 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 에 따른 δ 의 변화 곡선

생존확률승수의 최대값은 $\left(1 + \frac{v_p(T_P - t_{ab})}{r_c}\right)^2$ 이며 반응선점(T_P)시간이 결정되면 단위 부대가 통제할 수 있는 최대거리와 최대 할당비율이 결정된다. 그리고 할당비율승수(δ)는 2차함수의 곡선이므로 가용시간이 임계점에 근접할수록 단위 시간당 변화량의 폭은 가용시간의 자승에 비례하여 체증적으로 증가한다. 그러므로 지휘통제체계 강화로 인한 가용시간(t_a)의 증가시, 지휘통제시간은 지휘관의 능력에 따라 다르지만 여기서는 지휘관의 능력은 동일하다고 가정하기 때문에 가용시간을 임계점에 최대한 근접시키는 방향으로 지휘통제체계를 구축하는 것이 개별 자산의 전투효과를 극대화 할 수 있다.

제 3 절 전투효과승수와 가용시간 및 정보 변수의 상관관계

앞의 1, 2절에서 C2효과측정 모델[9]의 효과요소중 생존확률과 할당비율이 지휘통제체계 강화로 인하여 변화하는 양적 증가에 대해 알아보았다. C2효과측정 모델에서 생존확률과 할당비율은 가용시간(t_a)과 정보의 정확도(σ^2)라는 내부 변수에 의해서 값이 변화되며 이 값의 변화는 최종적으로 전투효과(MOE) 값을 측정하는데 중요한 요소로서 작용한다.

이 절에서는 2절에서 연구한 생존확률승수(α) 및 할당비율승수(δ)와 가용시간(t_a) 및 정보의 정확도(σ^2)와의 함수식을 적용하여 지휘통제체계 강화후 전투효과승수를 가용시간 및 정보의 정확도의 함수식으로 유도하여 상관관계를 알아보려고 한다. 여기서 전투효과승수는 지휘통제체계 강화로 인한 전투효과의 상승분을 의미하며 전투력 상승의 기준 척도로 활용할 것이다. 1, 2절에서 연구결과 생존확률승수(α)와 할당비율승수(δ)는 가용시간 및 정보의 정확도와 양의 상관관계를 보임으로 전투효과승수도 동일한 상관관계를 보일 것으로 예상된다.

이 절에서는 정보의 정확도 변수 및 가용시간 변수와 전투효과승수와 상관관계를 알아봄에 있어 두 요소를 개별적으로 고려했을 경우와 동시에 고려했을 경우로 구분하였다. 적용되는 C2효과측정 모델은 쌍방교전시 단위부대의 형태와 특성을 고려하고, 랜체스터 제공방정식을 적용한 4번째 모델을 사용하였다. (<표 2-1> 참조)

1. 전투효과승수(K)와 가용시간 (t_a)과의 상관관계

지휘통제체계 강화후 가용시간(t_a) 변수를 제외하고 다른 기타의 변수들은 불변한다고 가정한다면 지휘통제체계 강화후 전투효과(MOE')도 가용시간의 함수로 표현될 것이다.

지휘통제체계가 강화되면 가용시간이 증가하여 생존확률(p) 및 할당비율(a)은 각각 αp 와 δa 로 증가한다. 이를 고려하여 지휘통제체계 강화후의 전투효과(MOE')를 할당비율승수(δ)와 생존확률승수(α)를 적용하여 표현하면 식(3.25)와 같다. 여기서 전투효과(MOE) 산출방법은 2장 1절에 설명한 4번째 유형을 적용하였다.(<표 2-1>참조)

$$MOE' = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{\alpha p_{kj} \delta a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{kj} b_{kj} m_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}}{N^2} \quad (3.25)$$

여기서 , $\alpha > 1$ and $\delta > 1$

식(3.25)에서 지휘통제체계 강화후 전투효과(MOE')의 값은 강화전의 전투효과(MOE)와 비교해보면 다른 변수들은 동일하고 할당비율승수(δ)와 생존확률승수(α)가 추가되었음을 알 수 있다. 결국 MOE' 는 두 승수에 의해서 산출값이 결정되므로, 두 승수의 핵심변수인 가용시간(t_{aa})의 함수식으로 표현될 수 있다. 식(3.25)를 가용시간의 함수식으로 단순화 시키기 위해서 α, δ 를 시그마 앞으로 빼내면 식(3.26)와 같다.

$$MOE' = \frac{\alpha \delta \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{kj} b_{kj} m_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}}{N^2} \quad (3.26)$$

그러나 식(3.26)는 한가지 가정사항이 존재한다. 할당비율승수(δ)의 경우에는 플랫폼의 성능(플랫폼의 속도, Weapon의 속도 및 사거리)이 할당비율승수에 직접적으로 영향력을 미치기 때문에 이들을 모두 고려했을 경우에는 지휘통제체계 강화후 전투효과(MOE')를 산출하는 식에 플랫폼의 타입에 따른 개별 할당비율을 모두 적용시켜야 되므로 식이 복잡해져 일반화 시키는데 어려움이 발생한다. 그러므로 청군의 경우에는 플랫폼의 형태가 동일하다는 가정하에 할당비율승수(δ)를 시그마 앞으로 빼내었다.

지휘통제체계 강화후 전투효과와 증가정도를 나타내는 전투효과(MOE)승수를 K 라고 하자. K 는 지휘통제체계 강화후 전투력의 상승정도를 가늠할 수 있는 척도이다. 이 절에서는 전투효과승수(K)를 가용시간의 함수식으로 유도하여 지휘통제체계 강화와 전투효과와의 상관관계를 중점적으로 분석하였다. 전투효과승수(K)의 산출식을 유도하면 다음과 같다.

$$K = \frac{MOE'}{MOE} \quad (3.27)$$

$$K = \frac{\alpha\delta \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}} \quad (3.28)$$

여기서, $MOE' =$ 지휘통제체계 강화후 전투효과

$MOE =$ 지휘통제체계 강화전 전투효과

위식에 1, 2절에서 구한 α, δ 식을 적용하고 그 이외에 상수로 표현되는 부분을 단순화하면,

$$K = L \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c} \right)^2 \left(\frac{A}{B + C(T_P - t_{aa})^2} \right) - R \quad (3.29)$$

$$\text{여기서, } L = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}$$

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

$$A = (T_P - t_{ab})^2$$

$$B = P(T_P - t_{ab})^2$$

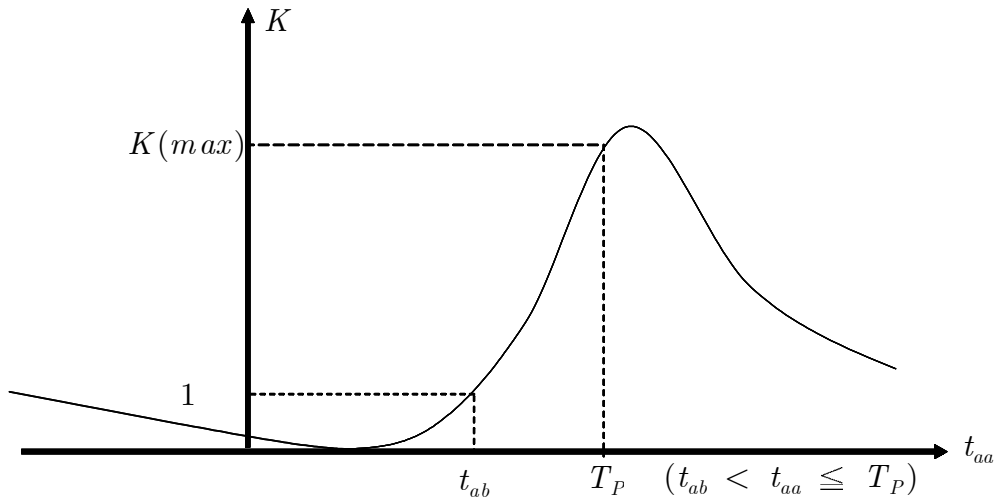
$$C = (1 - P)$$

$$L, R, A, B, C = \text{상수}$$

위의 식은 다소 복잡해 보이지만 상수 부분과 변수 부분을 구분하여 단순화 시키면

$$y = \frac{a(x-b)^2}{c + (d-x)^2} + e \text{ 식으로 일반화 시킬수 있다. 이 식의 일반적인 그래프 형태를}$$

이용하여 식(3.29)을 표현하면 <그림 3-8>과 같다.



<그림 3-8> 가용시간(t_{aa})에 따른 K 의 변화 곡선

<그림 3-8>은 가용시간이 선형으로 증가함에 따라 전투효과승수(K)의 변화량은 비선형으로 증가함을 보인다. 또한 지휘통제체계 강화후 가용시간의 증가에 따른 전투효과승수(K)의 변화량은 가용시간의 임계점에 도달할 수록 체증적으로 증가한다. 이는 지휘통제체계 강화로 인해 지휘통제시간이 단축될수록, 전투효과는 체증적으로 증가한다는 것을 보여준다. 한 부대가 지휘통제체계 강화후 가용시간이 t_a 와 $t_{a'}$ 인 체계를 구축한다고 하자. 이 때 $t_{a'}$ 가 t_a 의 2배라고 해서 전투효과가 2배로 선형으로 증가하는 것이 아니라 다차함수로 2배이상의 값을 갖는 비선형으로 증가한다.

2. 전투효과승수(K)와 가용시간(t_a) 및 정보의 정확도(σ^2)의 상관관계

정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_a)을 동시에 고려할 경우 전투효과승수(K)는 가용시간(t_{aa}) 변수 뿐만 아니라 정보의 정확도(σ^2) 변수에 의해서도 값이 변화한다. 지휘통

제체계 강화로 인하여 정보의 정확도가 향상되면 정보(σ^2) 변수의 영향을 받는 생존 확률이 증가하며 이는 결국 전투효과(MOE)의 상승을 가져온다. 정보의 정확도를 고려했을 경우 생존확률승수(α)는 3장 1절의 식(3.11)과 같으며, 이를 이용하여 정보의 정확도가 고려되었을 경우의 전투효과승수(K)의 산출식을 표현하면 식(3.30)와 같다.

$$K = L \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c} \right)^2 \left(\frac{A\sigma_a^2}{B\sigma_a^2 + C\sigma^2(T_P - t_{aa})^2} \right) - R \quad (3.30)$$

여기서, σ_a^2 = 지휘통제체계 강화전 정보의 정확도

σ^2 = 지휘통제체계 강화후 정보의 정확도

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

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

$$A = (T_P - t_{ab})^2$$

$$B = p(T_P - t_{ab})^2$$

$$C = (1 - p)$$

$$L, R, A, B, C = \text{상수}$$

식(3.30)는 변수가 세 개(K, t_{aa}, σ^2)이므로 3차원 그래프로 표현하여 상관관계를 분석하였다. 이를 위해서 임의의 교전상황을 설정한후, 설정된 교전상황의 데이터 값을 적용하여 지휘통제체계 강화에 따른 전투효과승수(K) 값의 변화량과 두 핵심변수와의 상관관계를 표현하였다

주어진 교전상황에서 청군과 홍군에 관련된 데이터 값은 다음과 같이 가정하였다.

- 가. 청군의 공격속도 : 15 km/h
- 나. 청군/홍군의 생존확률 = 0.5
- 다. 청군/홍군의 할당비율 = 1
- 라. 청군의 지휘통제체계 강화전 정보의 정확도 = 0.5(실제 값 정보의 불확실성)
- 마. 청군의 지휘통제체계 강화전 지휘통제 시간 = 9분(0.15hour)
- 바. 청군의 반응선점시간 : 20분(0.3334hour)
- 사. 청군 Weapon의 최대 사거리(모두 동일하다고 가정) : 2km
- 아. 상호교환 비율

청 \ 홍	C전차대대(1)	D전차 대대(1)	E기보 대대(2)
A전차 대대(1)	1.1	0.7	0.5
B전차 대대(2)	1.3	0.9	0.7

- 자. 청군 Weapon의 속도(모두 동일하다고 가정) : 400m/s

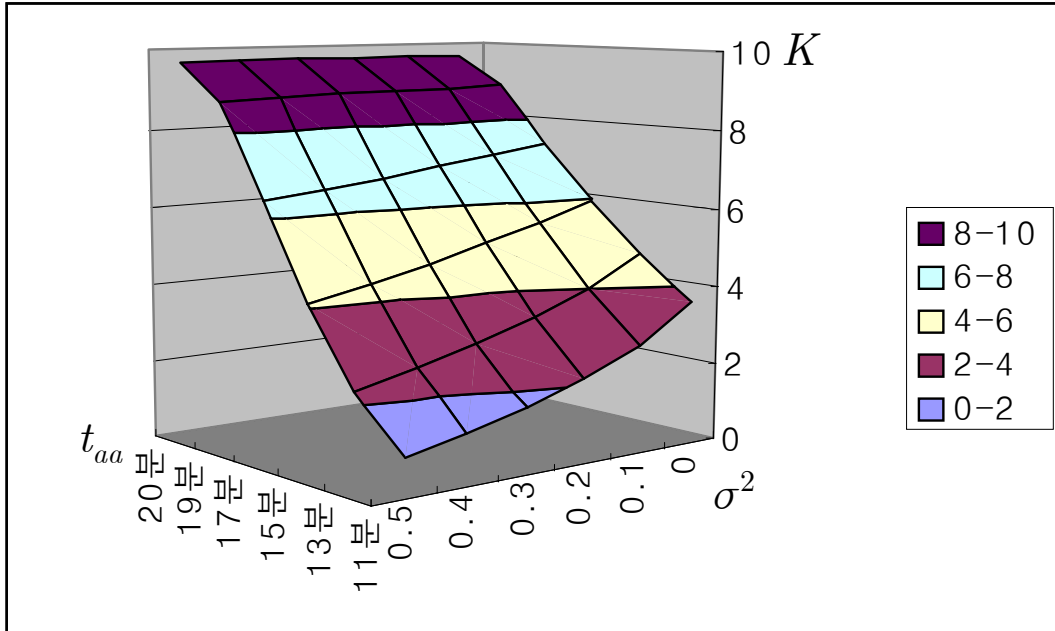
위의 값들을 이용하여 전투효과승수(K) 산출식을 표현하면 식(3.31)과 같다.

$$K = L(1 + 3.125(t_{aa} - 0.187))^2 \left(\frac{0.0107}{0.00535 + 0.25\sigma^2(0.33334 - t_{aa})^2} \right) - R \quad (3.31)$$

식(3.31)을 이용하여 지휘통제체계 강화후 정보의 정확도와 가용시간의 변화에 따른 전투효과승수(K) 값을 산출하면 <표 3-2>[부록2]와 같고, 이를 3차원 그래프로 표현하면 <그림 3-9>와 같다. 여기서 지휘통제체계가 강화되면 정보의 정확도 및 가용시간은 증가하므로 감소하는 부분에 대해서는 고려하지 않았다.

<표 3-2> 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 와 σ^2 따른 K 값

$t_{aa} \backslash \sigma^2$	11분 (0.187시)	13분 (0.217시)	15분 (0.250시)	17분 (0.283시)	19분 (0.317시)	20분 (0.334시)
0.5	1	2.245	4.108	6.405	8.770	9.684
0.4	1.296	2.573	4.406	6.580	8.796	9.684
0.3	1.666	2.961	4.735	6.762	8.822	9.684
0.2	2.142	3.428	5.103	6.952	8.848	9.684
0.1	2.777	4.000	5.515	7.151	8.874	9.684
0	3.666	4.710	5.981	7.360	8.900	9.684

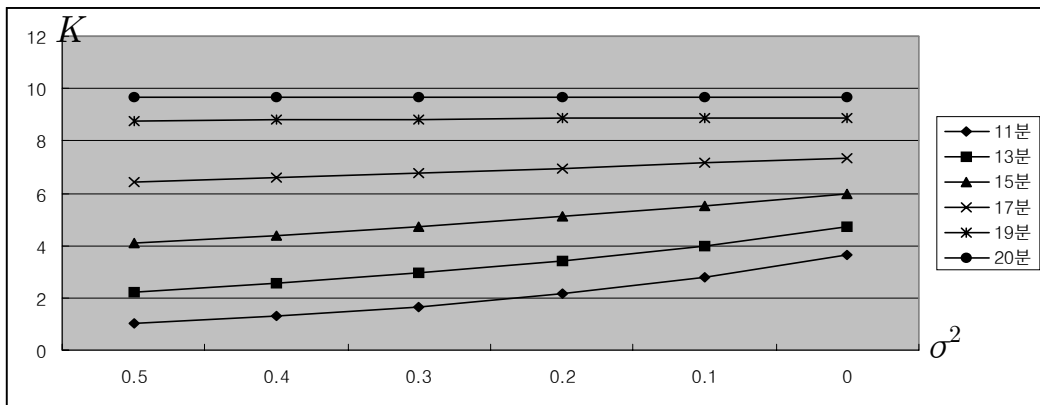


<그림 3-9> 지휘통제체계 강화후 t_{aa} 와 σ^2 따른 K 의 변화 곡선

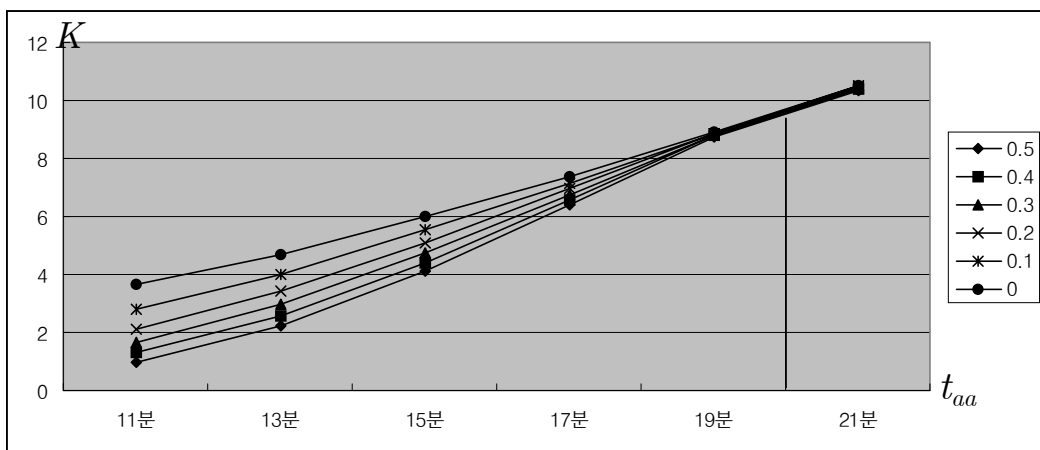
<표 3-2>와 <그림 3-9>에서 나타나듯이 정보의 정확도(σ^2)와 가용시간(t_{aa})을 동시에 고려했을 경우도 가용시간과 정보의 정확도가 선형으로 증가 됨에 따라 전투효과승수(K)는 비선형으로 증가함을 보여준다. 또한 현 수준의 지휘통제체계를 향상시키는 노력의 정도가 높을수록 다시말하면 요구되어지는 지휘통제체계 수준이 높을 수록 이로 인한 전투효과는 체증적으로 증가한다는 것을 보여준다. 그러므로 지휘통제체계 강화화 부대 전투력은 비선형의 양의 상관관계를 가진다. 예를들면 현 체계(지휘통제체계 강화전)에서 정보의 정확도를 0.1향상시키고 가용시간을 2분 증가시켰을 경우와 정보의 정확도를 0.2향상시키고 가용시간을 4분 증가시켰을 경우 두 핵심변수의 양적 증가의 차이는 2배이나 전투효과 상승비율은 각각 1.57:3.735로 2배 이상이 차이가 발생한다.(<표 3-2> 참조)

지휘통제체계에 있어서 정보의 정확도와 가용시간이 중요한 핵심요소라는 것은 지

금까지의 연구를 통해 알 수있을 것이다. 그러나 지휘통제체계 강화로 인한 전투력 상승에 작용하는 영향력은 두 요소중 한 요소가 다른 한 요소 보다 더 민감할 것이다. 정보의 정확도와 가용시간의 변화에 따른 전투효과승수(K)의 민감도를 보다 자세히 알아보기 위하여 두 변수중 한변수를 고정시킨 상태에서 다른 변수의 변화에 따른 전투효과승수(K)의 변화량을 그래프로 표현하면 <그림 3-10> 및 <그림 3-11>과 같다.



<그림 3-10> t_{aa} 가 고정된 상태에서의 σ^2 의 변화에 따른 K 의 변화 곡선



<그림 3-11> σ^2 가 고정된 상태에서의 t_{aa} 의 변화에 따른 K 의 변화 곡선

위의 두 그림에서 나타나듯이 정보의 정확도 변화에 의한 전투효과승수(K)의 변화의 기울기보다 가용시간 변수에 의한 기울기의 경사도가 더 급함을 볼 수 있다. 이는 지휘통제체계가 정보의 정확도보다는 가용시간에 더 민감함을 나타낸다. 또한 두 변수의 증가로 인한 전투효과승수(K)의 증가량도 가용시간 변수에 의한 증가량이 더 크다. 그러므로 지휘통제체계에서는 지휘통제시간을 줄이고 예하부대에게 부여되는 가용시간을 증가시키는 것, 즉 가용시간 변수가 전투효과 상승의 핵심요소라고 할 수 있겠다. 그러나 정보전력체계 구축의 기본인 정보를 지휘통제체계 뿐만아니라 센서 및 슈터체계를 포함한 정보전력체계의 광범위한 범위까지 확장하여 접근하면 시간요소 보다는 정보요소가 우위에 놓이는 전혀 다른 양상을 보일 수도 있을 것이다. 결론적으로, 정보전력체계의 일부분을 차지하고 있는 지휘통제체계에서는 가용시간 변수가 전투효과 상승의 핵심변수이다.

제 4 장 지휘통제강화에 따른 전투력 상승 효과 검증

제 1 절 전투력 상승 효과 검증을 위한 시나리오 설정

홍군의 지속적인 과상공격에도 불구하고 효과적인 방어임무를 완수한 청군 **부대는 차후 작전을 위해 △△지역에서 전투력 복원중에 있으며, 상급부대는 △△지역의 전략적 중요성을 고려하여 홍군의 공격에 대비 **부대에 00기갑여단을 급히 배속시켰다. 반면에 홍군은 지속적인 과상공격의 실패로 상급부대에 추가 전투력을 요청하여 □□기계화 여단을 배속받아 차후 공격을 위한 준비중에 있다는 정보가 획득되었다.

청군의 00기갑여단은 전차 3개대대로 편성되어 있으며 적군의 □□기계화여단은 전차 3개대대, 기계화 보병 1개대대로 편성되어 있다.

청군의 지휘관은 전략적 요충지인 △△지역을 고수하기 위하여 홍군의 움직임에 주시하고 있으며 홍군의 움직임이 포착되는 동시에 □□지역 일대에 00기갑여단을 투입하여 이를 저지하려고 계획하고 있다. 그러나 교전이 예상되는 □□지역 일대는 도로망이 잘 발달되어있기 때문에 홍군의 주공격 방향을 예측하기가 어렵고 일단 □□지역이 돌파되면 적의 추가 전투력이 투입될 수 있는 돌파구가 형성되어 청군은 △△지역의 방어진지를 포기하고 진지를 이탈해야하는 상황에 놓이게된다. 청군은 □□지역에 돌파구를 형성하기 위하여 투입된 홍군의 □□기계화 여단의 공격을 저지하기 위해서는 □□기계화 여단의 공격 움직임이 포착된후 15분 이내에 □□지역 일대를 선점하고 교전후 5분 이내에 적을 무력화 시켜야 성공적으로 작전을 종료 할 수 있으며, △△지역의 청군 **부대가 생존성을 보장받을 수 있다.

홍군에 관한 정보를 입수 할 수 있는 가용수단으로는 **부대 지휘관이 직접운용하

는 적군 일대에 투입된 수색 1 개소대와 상급부대의 정보자산이 있다.

위의 시나리오를 C2효과측정 모델[9]에 적용시키기 위해서 아래와 같은 가정사항을 고려하였다.

1. 지휘관의 능력은 동일하다.
2. 체계를 운용하는 요원의 기술적 조작능력은 동일하다.
3. 지휘관의 지휘결심 절차는 일정하다.
4. 참모조직 구조에 변화는 없다.
5. 전장환경의 변화는 없다.
6. 전투수행중 무기체계의 고장은 없다.
7. 적군의 지휘통제체계의 강화는 없다.
8. 청군,홍군은 교전시 전 자산을 투사한다.
9. 지휘통제체계 강화전의 피아 생존확률은 동일하다.

교전에 참가한 청군의 무기체계의 성능과 체원은 다음과 같다. 여기서 속도는 단위 부대가 보유하고 있는 무기체계가 발휘할 수 있는 성능상의 최대 속도가 아니라 전술적인 상황을 고려했을시 기동속도이다. 또한 Weapon의 최대사거리와 탄속은 전차 유형에 따라 큰차이가 발생하지 않는다고 보고 동일한 것으로 가정하였다.

청군	속도	무기체계최대 사거리	탄속	비 고
A대대	20km/h	2km	400m/s	
B대대				
C대대				

그리고 교전에 참가한 청군과 홍군의 교환비율은 다음과 같다.

구분	D전차 대대(1)	E전차 대대(2)	G 기보 대대(1)
A전차 대대(2)	0.98	0.78	0.54
B전차 대대(1)	1.21	1.05	0.85

지휘통제체계 강화전과 강화후의 지휘통제시간(t_{cs})은 다음과 같으며 이는 실제 교전 결과 얻어낸 수치가 아닌 임의 값이다. 여기서 정보의 정확도는 부대별 네트워크 구축으로 인한 정보 공유 및 신속한 정보전파로 인해 발생하는 정보 정확도의 증가분이다.

구분		t_{cs} (지휘통제시간)				t_a (가용시간)		σ^2 (정보의 정확도)
		t_d (탐지)	t_{wc} (경고전파)	t_{cd} (지휘결심)	t_{cc} (지휘전파)	t_m (전개)	t_r (반응구현)	
소 요 시 간	지휘통제체계 강화 전	30''	2'	3'	2'	7'30''	5'	0.5
	지휘통제체계 강화 후	30''	1'	3'	1'	9'30''	5'	0.6 (실제 적용값 1-0.6=0.4)

제 2 절 전투력 상승 효과 검증

여기서는 3장 3절에서 유도한 전투력 상승효과를 계량화하는 전투효과승수(K) 산출식과 위 시나리오 상에서 제시한 변수값들을 이용하여 생존확률만 고려한 경우, 할당비율만 고려한 경우, 생존확률과 할당비율을 동시에 고려한 경우, 각각의 경우에 따라 전투효과승수로 전투력 상승효과를 계량화 하였다. 그리고 지휘통제 체계 강화전·후의 전투효과를 비교하여 강화전과 동일수준의 전투효과를 발휘하기 위하여 강화후에 투입되어야 하는 부대 규모를 제시함으로써 투입부대 규모로 전투력 상승 효과를 계량화하여 제시하였다.

1. 생존확률만을 고려한 경우의 전투력 상승효과

1절의 시나리오 상에서 제시한 변수값들을 이용하여 지휘통제체계 강화전 전투효과(MOE)를 산출하면 아래와 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2} = 0.269$$

$$\langle N^2 \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}, = 4.173$$

$$\langle M^2 \rangle_j = \sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}} = 2.827$$

생존확률만을 고려한 경우 지휘통제체계 강화후의 전투력 상승효과 산출식은 3장 3절에서 유도한 전투효과승수(K) 산출식에서 할당비율승수(δ)를 제외한 식으로

식(4.1)과 같다.

$$(\text{전투효과승수}) K = L \left(\frac{A\sigma_a^2}{B\sigma_a^2 + C\sigma^2 (T_P - t_{aa})^2} \right) - R \quad (4.1)$$

$$\text{여기서, } L = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}} = 3.10$$

$$R = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}} = 2.10$$

$$A = (T_P - t_{ab})^2 = 0.0156$$

$$B = P(T_P - t_{ab})^2 = 0.0078$$

$$C = (1 - P) = 0.5$$

식(4.1)을 이용하여 전투효과승수(K)를 구하면 2.24이고[부록 3], 이를 다시 전투효과(MOE)로 환산하면 0.602이다. 위의 결과 지휘통제체계 강화후의 전투효과는 약 124% 증가함을 알 수 있다.

다음은 위의 전투력 상승효과 측정기준과 다르게 투입부대 규모에 중점을 두어 전투력 상승 효과를 계량화 하였다. 지휘통제체계 강화후에 지휘통제체계 강화전과 동일한

전투효과(MOE)를 갖기 위해서 투입해야되는 부대의 규모를 계산하면 <표 4-1>과 같다.

<표 4-1> 생존확률만 고려시 부대 투입규모

구분	A전차 대대(2)	B전차 대대(1)	비 고
지휘통제체계 강화 전	100%	100%	기준 MOE는 지휘통제 체계 강화전 MOE
지휘통제체계 강화 후	79%	79%	

<표4-1>에서 알 수 있듯이 지휘통제체계가 강화된 후에는 부대의 규모가 79% 투입되어도 강화전과 동일한 전투효과를 발생시킨다.

2. 할당비율만을 고려한 경우의 전투력 상승효과

지휘통제체계 강화전의 전투효과(MOE)는 앞에서 구한 것처럼 다음과 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2} = 0.269$$

할당비율만을 고려한 경우 지휘통제체계 강화후의 전투력 상승효과 산출식은 3장 3절에서 유도한 전투효과승수(K) 산출식에서 생존확률승수(α)를 제외한 식으로 식(4.2)과 같다.

$$(전투효과 승수) K = L \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c} \right)^2 - R \quad (4.2)$$

여기서,

$$L = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}} = 3.10$$

$$R = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}} = 2.10$$

식(4.2)을 이용하여 전투효과승수(K)를 구하면 1.71이고[부록 4], 이를 다시 전투효과(MOE)로 환산하면 0.46이다. 위의 결과 지휘통제체계 강화후의 전투효과는 약 71%가 증가함을 볼 수있다.

다음은 위의 전투력 상승효과 측정기준과 다르게 투입부대 규모에 중점을 두어 전투력 상승 효과를 계량화 하였다. 지휘통제체계 강화후에 지휘통제체계 강화전과 동일한 전투효과(MOE)를 갖기 위해서 투입해야되는 부대의 규모를 계산하면 <표 4-2>과 같다.

<표 4-2> 할당비율만 고려시 부대 투입규모

구분	A전차 대대(2)	B전차 대대(1)	비 고
지휘통제체계 강화 전	100%	100%	기준 MOE는 지휘통제 체계 강화전 MOE
지휘통제체계 강화 후	86.5%	86.5%	

<표4-2>에서 알 수 있듯이 지휘통제체계가 강화된 후에는 부대의 규모가 86.5% 투입되어도 강화전과 동일한 전투효과를 발생시킨다.

3. 생존확률과 할당비율을 동시에 고려한 경우 전투력 상승효과

지휘통제체계 강화전의 MOE 값은 앞에서 구한 것처럼 다음과 같다.

$$\langle MOE \rangle_j = \frac{\langle N^2 \rangle_j - \langle M^2 \rangle_j}{N^2} = 0.269$$

여기서의 전투효과(MOE)는 지휘통제체계 강화후 할당비율과 생존확률을 동시에 고려하였다. 할당비율과 생존확률을 고려한 경우 지휘통제체계 강화후의 전투력 상승효과 산출식은 식(4.3)과 같다.

$$(MOE \text{ 승수}) K = L \left(1 + \frac{v_p(t_{aa} - t_{ab})}{r_c} \right)^2 \left(\frac{A\sigma_a^2}{B\sigma_a^2 + C\sigma^2(T_P - t_{aa})^2} \right) - R \quad (4.3)$$

여기서,

$$L = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{kj} b_{kj} m_{kj}^2}{1 + X_{kk'}}} = 3.10$$

$$R = \frac{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}}{\sum_{k=1}^T \sum_{k'=1}^S \frac{p_{kj} a_{kj} n_{kj}^2}{1 + X_{kk'}} - \frac{X_{kk'} q_{k'j} b_{k'j} m_{k'j}^2}{1 + X_{kk'}}} = 2.10$$

$$A = (T_P - t_{ab})^2 = 0.0156$$

$$B = P(T_P - t_{ab})^2 = 0.0078$$

$$C = (1 - P) = 0.5$$

식(4.3)을 이용하여 전투효과승수(K)를 구하면 3.24이고[부록 5], 이를 다시 전투효과(MOE)로 환산하면 0.872이다. 위의 결과 지휘통제체계 강화후의 전투효과는 약 224% 증가함을 알 수 있다.

다음은 위의 전투력 상승효과 측정기준과 다르게 투입부대 규모에 중점을 두어 전투력 상승 효과를 계량화 하였다. 지휘통제체계 강화후에 지휘통제체계 강화전과 동일한 전투효과(MOE)를 갖기 위해서 투입해야되는 부대의 규모를 계산하면 <표 4-3>과 같다.

<표 4-3> 생존확률 및 할당비율 동시 고려시 부대 투입규모

구분	A전차 대대(2)	B전차 대대(1)	비 고
지휘통제체계 강화 전	100%	100%	기준 MOE 는 지휘통제 체계 강화전 MOE
지휘통제체계 강화 후	69.5%	69.5%	

<표4-3>에서 알 수 있듯이 지휘통제체계가 강화된 후에는 부대의 규모가 69.5% 투입되어도 강화전과 동일한 전투효과를 발생시킨다.

지휘통제체계 강화후의 전투력 상승효과를 위에서 살펴본 CASE별로 정리하면 <표 4-4>과 같다.

<표 4-4> 지휘통제체계 강화후 CASE별 전투력 상승효과 비교

구분	MOE상승 효과	투입부대 규모	비교
생존확률만 고려시	124%	79%	전투력 상승효과 86.5% < 79% < 69.5%
할당비율만 고려시	71%	86.5%	
생존확률과 할당비율 동시 고려시	224%	69.5%	

지휘통제체계 강화에 소요되는 비용과 강화후 감소된 투입부대 만큼의 부대규모를 비용으로 환산하여 비교하는 것도 비용대 효과분석의 한 방법이 될 수 있을 것이다.

제 5 장 결 론

본 연구에서는 지휘통제체계 강화와 부대 전투력간의 상관관계에 대하여 미국 해군대학원의 D. Schutzer가 제시한 「C2 Theory and Measures of Effectiveness」를 적용하여 분석하였으며, 추가적으로 지휘통제체계 강화로 인한 전투력의 상승효과를 전투효과 및 투입부대 규모로 제시함으로써 계량화하였다.

연구결과, 첫째 지휘통제체계 강화와 부대 전투력과의 상관관계에 있어서, 부대 전투효과를 지휘통제체계 강화로 인하여 증가되는 전장요소중 핵심변수인 가용시간(t_a) 변수와 정보의 정확도(σ^2) 변수의 함수식으로 표현하여 분석한 결과, 두 변수(t_a, σ^2)가 선형으로 증가하더라도 부대 전투력은 비선형으로 증가함을 보임으로써 지휘통제체계 강화와 부대 전투력은 비선형의 양의 상관관계를 가진다는 것을 보였다. 또한 정보전력체계 구축으로 인하여 요구되어지는 지휘통제체계의 수준이 높으면 높을 수록 기존체계를 강화함으로써 발생하는 전투력 상승 효과는 체증적으로 증가한다는 것을 보였다.

둘째 가상 시나리오를 설정 「C2 Theory and Measures of Effectiveness」와 본 연구에서 유도한 전투효과승수(K)를 적용하여 지휘통제체계 강화로 인한 부대 전투력 향상 정도를 계량화시킨 결과 효과요소중 생존확률만을 고려했을 경우 124%, 할당비율만을 고려했을 경우 71%, 두 효과요소를 동시에 고려했을 경우 224%의 전투력 상승효과를 보였으며, 교전에 투입되는 부대 규모측면에서 보았을 때 위의 경우 각각 79.5%, 86.5%, 69.5%만 투입해도 지휘통제체계 강화전과 동일한 전투효과를 얻을 수 있었다. 후자처럼 다른 각도에서 전투력 상승효과를 계량화하는 방법도 효과분석에 유용한 방법으로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 정보전력체계 구축으로 인한 전투력 상승효과의 신뢰성을 제공하고,

정보전력체계 도입 또는 정보화 사업 추진시 대안 비교나 단위 사업별 정보화 체계의 효과 측정시 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 또한 일선의 야전지휘관이 부대를 지휘하는데 있어서 개념적으로나마 지휘통제체계 강화의 중요성을 인식하는데 중요한 역할을 할 것이라고 기대된다.

본 연구에서 적용한 「C2 Theory and Measures of Effectiveness」은 전투력 상승효과를 측정함에 있어서, 핵심변수가 전장요소중 가용시간(t_a) 과 정보의 정확도(σ^2) 한정되어 있고 또한 정보전력체계의 기본인 정보의 비중이 낮기 때문에 미래의 전장상황에 맞는 정보전력체계를 평가하는데는 불충분하다. 그러므로 향후에는 전장에 관련되는 제반 전장요소들을 고려하고, 지휘통제체계 뿐만아니라 슈터 체계와 센서체계를 포함한 전투효과측정 모델 개발에 대한 연구가 요구된다.

參 考 文 獻

- [1] 강승철, “ AHP 기법을 이용한 지상전술 C4I체계의 전투효과 분석에 관한 연구”, 국방대학교 석사논문, 2001.
- [2] 김영길, 임길섭, 전병욱, 「네트워크와 무기체계의 전투기여 효과분석을 위한 기반 연구」, KIDA 연구 보고서, 2000. 9.
- [3] 김충영외 3명, 「군사운영분석의 이론과 실제」, 국방대학교, 1996.
- [4] 육군전술 C4I체계 개발단, 「지상전술 C4I체계운용개념 기술서」, 2000.9.
- [5] 이수열, “KNTDS의 전투력 상승효과 평가에 관한 연구”, 국방대학교 석사논문, 2001.
- [6] 이재영외 4명, 「정보전력체계의 전투효과 평가방법 기본개념 연구」, 21세기 군사연구소, 2001.12.
- [7] Darilekk, R., B. Nichiporuk, J. Bracken, J. Gordon, and W. Perry, 「Measure of Effectiveness for the Imformation - Age Army」, RAND, 2001.
- [8] Lawson, J. S., 「Selected Analytical Concepts in Command and Control ; The State Variable of a Command Control System」, GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS, 1982.
- [9] Schutzer, D. M., 「Selected Analytical Concepts in Command and Control ; C2 Theory and Measure of Effectiveness」, GORDON AND BREACH SCIENCE PUBLISHERS, 1982.
- [10] Taylor, J. G., 「Optimal Commitment of Force in Some Lanchester Combat Model」, NPS 55-77-2, 1976.

부 록

[부록1] 지휘통제체계 강화후 생존확률승수(α) 산출 프로그램

```
// 지휘통제체계 강화후 생존확률승수( $\alpha$ ) 산출 프로그램 //
```

```
#include "stdafx.h"
#include "iostream.h"
#include "string.h"
#include "stdlib.h"
#include "iomanip.h"

void main()
{
    double P = 0.5;          // 초기 생존확률 //
    double infb = 0.5;      // 초기 정보의 정확도 //
    double Tp = 0.33334 ;   // 청군의 반응 선점 시간//
    double tab = 0.187 ;   // 가용시간 //
    double alpa ;

    double taa[6] = { 0.187, 0.217, 0.250, 0.283, 0.317, 0.33334 } ;
    double inf[6] = { 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0 } ;

    for (int i =0 ;i<6 ; i++)
        { for (int j=0; j<6 ; j++)
            { alpa = infb*(Tp - tab)*(Tp - tab)/(P*infb*(Tp - tab)*(Tp -tab) +
                (1-P)*inf[i]*(Tp - taa[j])*(Tp - taa[j]));
```

```

        cout << setw(8) << alpa;
    };
    cout<<"\n";
};
}

```

[부록2] 지휘통제체계 강화후 가용시간 및 정보의 정확도에 따른 MOE 산출 프로그램 //

```

/* 지휘통제체계 강화후 가용시간과 정보의 정확도에 따른 MOE승수 값
   산출 프로그램 */

```

```

#include "stdafx.h"
#include "iostream.h"
#include "string.h"
#include "stdlib.h"
#include "iomanip.h"

void main()
{
    double P = 0.5;          // 초기 생존확률 //
    double infb = 0.5;      // 초기 정보의 정확도 //
    double Tp = 0.33334 ;   // 청군의 반응 선점 시간//
    double tab = 0.187 ;   // 가용시간 //
    double tw = 0.001388;  // 무기체계의 비과시간//
    double MOE ;

```

```

int Vw = 1440 ;      // 무기체계의 탄속 //
int Vp = 15;        //청군의 전진 속도 //

double getblue();
double getred();

double L = getblue()/(getblue() - getred()) ;
double R = getred()/(getblue() - getred()) ;
double taa[6] = { 0.187, 0.217, 0.250, 0.283, 0.317, 0.33334 } ;
double inf[6] = { 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0 } ;

for (int i =0 ;i<6 ; i++)
{
for (int j=0; j<6 ; j++)
{
MOE = (1+Vp*(taa[j] - tab)/(Vw*tw + Vp*tab - Vp*tw))*
(1+Vp*(taa[j]-tab)/(Vw*tw + Vp*tab - Vp*tw))*(inf*(Tp
- tab)*(Tp - tab)/(P*inf*(Tp - tab)*(Tp -tab) +
(1-P)*inf[i]*(Tp - taa[j])*(Tp - taa[j])))*L - R;
cout << setw(8) << MOE ;
};
cout<<"Wn";
};
}

double getblue()
{
double pk[2]={0.5,0.5};

```

```

double ak[2]={1,1};
double n[2] = {1,2};

double xkk[2][3] = {{1.1,0.7,0.5},{1.3,0.9,0.7}};
double sum1 = 0;

for (int i=0 ;i<2; i++)
    {
        for(int k=0; k<3 ; k++)
            sum1+=(pk[i]*ak[i]*n[i]*n[i])/(1+ xkk[i][k]);
        return sum1 ;
    }

double getred()
{
    double qk[3]={0.5,0.5, 0.5};
    double bk[3]={1,1,1};
    double m[3] = {1,1,2};
    double xkk[3][2] = {{1.1,1.3},{0.7,0.9},{0.5,0.7}};
    double sum2 = 0;

    for (int i=0 ;i<3; i++)
        {
            for(int k=0; k<2; k++)
                sum2+=(xkk[i][k]*qk[i]*bk[i]*m[i]*m[i])/(1+ xkk[i][k]);
        }
    return sum2 ;
}

```

[부록3] 생존확률만 고려시 MOE 산출 프로그램

```
// 생존확률만 고려시 MOE 산출 프로그램//

#include "stdafx.h"
#include "iostream.h"
#include "string.h"
#include "stdlib.h"
#include "iomanip.h"

void main()
{
    double P = 0.5;           // 생존확률//
    double infb = 0.5;       // 초기 정보의 정확도 //
    double Tp = 0.33334 ;    // 반응선점 시간 //
    double tab = 0.208 ;     // 가용시간 //
    double MOE ;

    double getblue();
    double getred();
    cout<< getblue() << "Wn" << getred()<< "Wn";
    double L = getblue()/(getblue() - getred()) ;
    double R = getred()/(getblue() - getred()) ;
    double taa = 0.2416 ;    // 지휘통제체계 강화후 가용시간//
    double infa = 0.4 ;     // 지휘통제체계 강화후 정보의 정확도//

    MOE = (infb*(Tp - tab)*(Tp - tab))/(P*infb*(Tp - tab)*(Tp - tab) +
```

```

        (1-P)*infa*(Tp - taa) * (Tp - taa))*L - R;
    cout << " MOE 값은 = " << MOE << "\n";
}
double getblue()
{
    double pk[2]={0.5,0.5};
    double ak[2]={1,1};
    double n[2] = {2,1};
    double xkk[2][3] = {{0.98,0.78,0.54},{1.21,1.05,0.85}};
    double sum1 = 0;

    for (int i=0 ;i<2; i++)
    {
        for(int k=0; k<3 ; k++)
            sum1+=(pk[i]*ak[i]*n[i]*n[i])/(1+xkk[i][k]);
        return sum1 ;
    }

double getred()
{
    double qk[3]={0.5,0.5,0.5};
    double bk[4]={1,1,1};
    double m[3] = {1,2,1};
    double xkk[3][2] = {{0.98,1.21},{0.78,1.05},{0.54,0.85}};
    double sum2 = 0;

    for (int i=0 ;i<3; i++)
    {

```

```

    for(int k=0; k<2; k++)
        sum2+=(xkk[i][k]*qk[i]*bk[i]*m[i]*m[i]/(1+xkk[i][k]));
    return sum2 ;
}

```

[부록4] 할당확률만 고려시 MOE 산출 프로그램

```

// 할당비율만 고려시 MOE 산출 프로그램 //

#include "stdafx.h"
#include "iostream.h"
#include "string.h"
#include "stdlib.h"
#include "iomanip.h"

void main()
{
    double Tp = 0.33334 ; // 반응선점 시간 //
    double tab = 0.208 ; // 가용시간 //
    double tw = 0.001388; // 무기체계의 비과시간//
    double MOE ;

    int Vw = 1440 ; //무기체계의 탄속 //
    int Vp = 20; //청군의 전진 속도 //

    double getblue();
    double getred();
}

```

```

cout<< getblue() <<"Wn" << getred()<< "Wn";
double L = getblue()/(getblue() - getred()) ;
double R = getred()/(getblue() - getred()) ;
double taa = 0.2416 ; // 지휘통제체계 강화후 가용시간//

MOE = (1+ Vp*(taa - tab)/(Vw*tw + Vp*tab - Vp*tw))*(1+ Vp*(taa-tab)/
      (Vw*tw + Vp*tab - Vp*tw))*L - R ;
cout << "MOE값 = " << MOE << "Wn";
}

double getblue()
{
double pk[2]={0.5,0.5};
double ak[2]={1,1};
double n[2] = {2,1};
double xkk[2][4] = {{0.98,0.78,0.54},{1.21,1.05,0.85}};
double sum1 = 0;

for (int i=0 ;i<2; i++)
{
for(int k=0; k<3 ; k++)
sum1+=(pk[i]*ak[i]*n[i]*n[i])/(1+ xkk[i][k]);
return sum1 ;
}

double getred()
{
double qk[3]={0.5,0.5,0.5};

```

```

double bk[4]={1,1,1};
double m[3] = {1,2,1};
double xkk[3][2] = {{0.98,1.21},{0.78,1.05},{0.54,0.85}};
double sum2 = 0;

for (int i=0 ;i<3; i++)
{
    for(int k=0; k<2; k++)
        sum2+=(xkk[i][k]*qk[i]*bk[i]*m[i]*m[i]/(1+ xkk[i][k]));
    return sum2 ;
}

```

[부록5] 생존확률 및 할당비율 고려시 MOE 산출 프로그램

//생존확률 및 할당비율 고려시 MOE 산출 프로그램//

```

#include "stdafx.h"
#include "iostream.h"
#include "string.h"
#include "stdlib.h"
#include "ioomanip.h"

void main()
{
    double P = 0.5;          // 생존확률//
    double infb = 0.5;      // 초기 정보의 정확도 //
    double Tp = 0.33334 ;  // 반응선점 시간 //
    double tab = 0.208 ;   // 가용시간 //
    double tw = 0.001388;  // 무기체계의 비과시간//

```

```

double MOE ;

int Vw = 1440 ;      //무기체계의 탄속 //
int Vp = 20;        //청군의 전진 속도 //

double getblue();
double getred();
cout<< getblue() <<"\n" << getred()<< "\n";
double L = getblue()/(getblue() - getred()) ;
double R = getred()/(getblue() - getred()) ;
double taa = 0.2416 ; // 지휘통제체계 강화후 가용시간//
double infa = 0.4 ;   // 지휘통제체계 강화후 정보의 정확도//

MOE = (1+ Vp*(taa - tab)/(Vw*tw + Vp*tab - Vp*tw))*(1+ Vp*(taa-tab)/
      (Vw*tw + Vp*tab - Vp*tw))*(infb*(Tp - tab)*(Tp - tab)/
      (P*infb*(Tp - tab)*(Tp -tab) + (1-P)*infa*(Tp - taa) *(Tp - taa)))
      *L - R;
cout << " MOE값 = " << MOE << "\n";

}

double getblue()
{
    double pk[2]={0.5,0.5};
    double ak[2]={1,1};
    double n[2] = {2,1};
    double xkk[2][4] = {{0.98,0.78,0.54},{1.21,1.05,0.85}};
    double sum1 = 0;

```

```

for (int i=0 ;i<2; i++)
{
    for(int k=0; k<3 ; k++)
        sum1+=(pk[i]*ak[i]*n[i]*n[i])/(1+ xkk[i][k]);
    return sum1 ;
}

double getred()
{
    double qk[3]={0.5,0.5,0.5};
    double bk[4]={1,1,1};
    double m[3] = {1,2,1};
    double xkk[3][2] = {{0.98,1.21},{0.78,1.05},{0.54,0.85}};
    double sum2 = 0;

    for (int i=0 ;i<3; i++)
    {
        for(int k=0; k<2; k++)
            sum2+=(xkk[i][k]*qk[i]*bk[i]*m[i]*m[i])/(1+ xkk[i][k]);
        return sum2 ;
    }
}

```