

# 지휘 통제 구조의 효율성 및 견고성에 대한 시뮬레이션 분석

## Simulation Analysis of the Robustness and the Effectiveness of Command and Control Structures

문일철 캐슬린 메리 카를리

Il-Chul Moon Kathleen M. Carley

카네기멜론대학교 컴퓨터공학부 국제소프트웨어연구 전공, 피츠버그 15213

imoon@andrew.cmu.edu carley@cs.cmu.edu

**ABSTRACT** Multi-agent social simulation imitates the interactions of social entities in an organization and is widely used to investigate leadership changes, task capabilities and communication networks of an organization. Also, researchers utilize social simulations as test-beds for destabilizing covert networks, evaluating future command and control structures, estimating the impacts of C4ISR, etc. In this paper, we introduce 1) the usage of dynamic network analysis methods to examine a command and control structure, 2) a framework, Near-Term Analysis, to estimate the impact of isolations of key entities in the structure. Particularly, the paper goes through a research process which visualizes the C2 structures, identifies the key entities, and simulates the performances of the structures under What-If scenarios. We believe that the introduced methods are effective tools to test the future Korean C2 structures and analyze the leaderships of threat organizations.

**Keyword** : Multi Agent Simulation, Dynamic Network Analysis, Social Network Analysis, Command and Control Structure

### 1. 서론

군 내부의 지휘 통제 구조는 효율적인 임무 수행에 있어서 매우 중요하다. 잘못된 지휘 통제 구조(Command and Control Structure, C2 Structure)는 정보의 분석 및 행동 판단에 혼란을 야기시켜, 민간인 항공기를 적기로 오인해 사격하여 추락시키는 사례가 만들기도 하며, 혹은 적기를 아군기 혹은 민간기로 판단하는 실수를 저지르기도 한다 [1]. 또한 전시의 지휘 통제 구조는 지휘관이나 기타 참모들의 전사나 부상등도 고려하여 만들어져야 한다. 만약, 중요한 결정권자나 정보획득자가 지휘 구조에서 불가피하게 배제된다면, 그 부대 조직은 여전히 효율적으로 작동할 수 있는 지휘 통제 구조가 전시에 필요하다. 마지막으로, 치명적인 실수로 드러나는 않더라도, 부정확하고 비효율적인 지휘 통제 구조는 내부의 정보 흐름을 원활치 못하게 하며, 불필요한 인원이나 조직을 더욱 양산해내는 원인이 된다. 그러므로 군의 지휘 통제 구조는 기술적, 조직적, 정책적인 단계에서 정보에 대한 확인, 행동 결심에 대한 견제, 만약의 사태에 대비한 예비 능력들이 갖추어져야 한다.

지휘 통제 구조에 대한 보완과 연구는 크게 두가지 방법을 통해 이루어지고 있다. 우선 발전된 C4ISR 시스템을 각급 지휘부에 장비함으로써, 기술적인 보완을 이용해 지휘 통제 구조를 향상시키는 방안을 시도하고 있다 [2]. 하지만 단순히 컴퓨터, 통신 시스템이 발전했다고 인간행동이 중요한 부분을 차지하는 지휘 통제 구조

가 발전하는 것은 아니다. 다음으로 경영학적인 연구 방법이나 평가 방식을 이용하여 지휘 통제 구조를 개혁하려는 노력이 있을 수 있다 [3]. 그러나 정성적인 연구와 정책만으로는 개혁은 실질적인 지휘 구조의 발전을 완성시키지는 못한다. 그러므로 이런 연구와 보완은 기술적인 통신시스템의 발전과 조직 구조 자체에 대한 개혁을 유기적으로 연동시키며 함께 고려해야 한다.

이와 같이, 지휘 통제 구조에 대한 연구는 자연스럽게 복잡학문으로서의 성격을 강하게 띠지만, 한국의 지휘 통제 구조에 대한 연구는 기술적인 면 혹은 경영학적인 면의 한쪽에 중심을 두는것이 대체적인 경향이다. 그러므로 우리는 이 논문을 통하여, 첫째로 어떻게 경영학적인 구조를 수학적 방법을 이용하여 정량적으로 분석할 수 있는지 알아보고, 둘째로 분석된 지휘 통제 구조를 바탕으로 어떻게 시뮬레이션을 이용하여 그 효율성을 분석할 수 있는지 알아본다. 마지막으로 분석된 결과를 정성적으로 해석한다. 이런 연구 과정을 통해, 이 논문은 어떻게 수학적, 컴퓨터공학적, 경영학적인 각종 학문이 지휘 통제 구조 연구에 함께 이용될 수 있는지 소개한다.

지금까지 많은 연구자들이 지휘 통제 구조에 대해 경영학적인 방법으로 심도깊은 논의를 해왔다. 예를들어, 배달형 [3]은 그 논문에서 군 조직 구조의 연구를 어떻게 체계화 할 것이며, 연구의 주된 관점은 무엇이어야 하는지 논의하였다. 이어서 장명순 [4]의 연구에서는 이런 논의를 발전시켜, 지상군 소부대의 구조에 대한 연구를 실시하였다. 또한, Karcher [5]의 연구 역시 미국에서의 보병부대 구조를 한국과 비슷한 방식의 정성적인

연구를 통해서 파악하고 있다. Hillman [6]의 연구는 정서적으로 지휘 통제 구조를 연구하면서, 그 구조에 필요한 군사 기술이나 체계를 어떻게 유기적으로 통합하는지 논의하고 있다. Dickens [7]의 연구는 합동 작전에서의 지휘 통제 구조에 대해 효율성 측면에서 논의하고 있다. 이런 논의들은 정성적인 측면에서 매우 발전한 논의들이며, 많은 변수를 전문가적인 입장에서 다루었지만, 통계적인 접근이 많이 사용되지 않는 면도 함께 지니고 있다.

이런 기존 방식의 연구에 비하여, 최근에 개발되기 시작한 다개체 시물레이션 (MAS, Multi-Agent Simulation) 을 이용한 연구도 있다. 이런 연구들은 한국의 지휘소 훈련과 비슷한 인간 참여자가 존재하는 실험에서 기본 자료를 수집한 다음, 수집된 자료를 이용하여 시물레이션을 설정하고 제시된 구조의 효율성을 측정한다. 예를 들어, Graham [10]이 실시한 행동제대실험 (Unit of Action Experiment)은 행동제대의 지휘 체계를 모사한 지휘소 훈련을 실시 한후, 그 훈련 와중에 수집된 연락 관계망을 비공식 지휘 통제 구조로 생각하여 연구를 진행하였다. 그는 이후 다개체 시물레이션, Construct,를 이용하여, 외부기억장치 (External Memory Tool)와 같은 기술적 장비가 여러 형식의 지휘 통제 구조들에 어떤 다양한 영향을 미치는지 연구하였다. 역시, 널리 알려진 ScudHunt [11]와 같은 위게임도 NCW 를 가미한 지휘 통제 구조가 어떻게 구성되어야 하는지 시험한다는 면에서, 시물레이션적인 지휘 통제 구조 연구의 일부라고 볼 수 있다. 이 논문에서는 위에서 소개된 연구 방법 중, 시물레이션적 연구 방법을 이용한 지휘 통제 구조의 연구를 소개한다. 소개된 방법을 전투지휘그룹 (BCG, 구 Unit of Action, Battle Command Group)의 지휘 통제 구조를 이용해서 실험해 본고, 제시된 구조의 문제점을 시물레이션으로 파악해 본다.

## 2. 사용된 데이터와 분석 방법

이번 연구에서는 미국의 차기 지휘 구조의 일부인 전투지휘그룹을 시험 자료로 사용한다. 전투지휘그룹의 지휘 구조는 2005 년 Ft. Leavenworth 에서 실시된 행동제대실험의 실험 참여자 간의 의사소통망 일부분이며, 이 의사소통망은 지휘소 모의 연습과 유사한, 지휘 구조 실험의 각 단계와 일정시간 마다, 컴퓨터 설문지에 자신과 협력한 지휘망의 인원을 신고함으로써 얻어졌다. 이 자료는 일반적인 트리구조의 지휘 체계가 아닌, 지휘 행위 내부에 관계되는 인원들의 상호 의사 소통을 그래프 형식 (그림 1)으로 표현했으며, 이 점이 기존 지휘 통제 구조에 이용되었던 자료들과 차별된다. 이런 비공식 지휘 체계 구조는 일반적인 공식 지휘 체계 구조에서 나타나지 않는 참여 인원의 이해충돌, 원할치 않은 정보 공유, 최고지휘관 이외의 리더쉽 존재등을 더욱 많이 암시하고 있다.

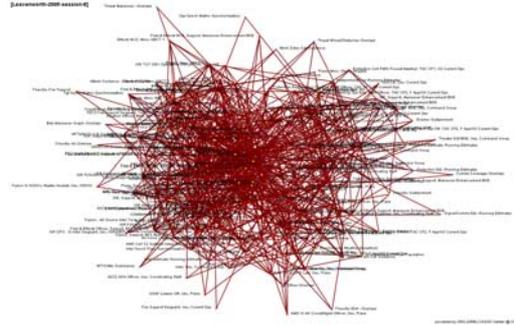


그림 1.수집된 전투지휘그룹의 의사 소통 구조 (156 명)

표 1. 중심성 정도 측정을 위해 사용된 지수(index) [12]

이름	계산 방법
잠재적 영향력 (betweenness centrality)	그래프상 모든 두 노드 사이의 최단 경로를 찾은 후, 대상 노드가 몇번이나 최단경로에 참여하는지 계산
차기 지도자 (cognitive demand)	해당 노드가 주어진 일을 하기 위해 필요로 하는 자원의 다양성 정도
연결 정도 (total degree centrality)	해당 노드가 연결된 연결선의 개수

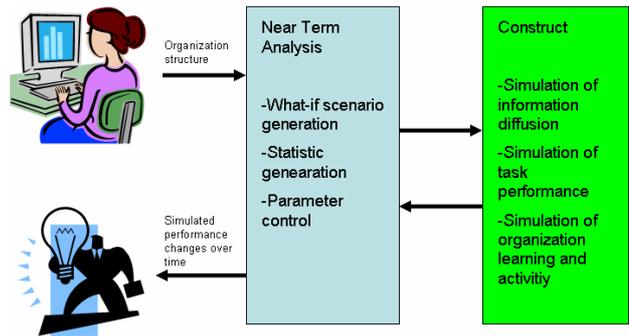


그림 2. 시물레이션 분석 프레임워크, Near Term Analysis 의 개요도

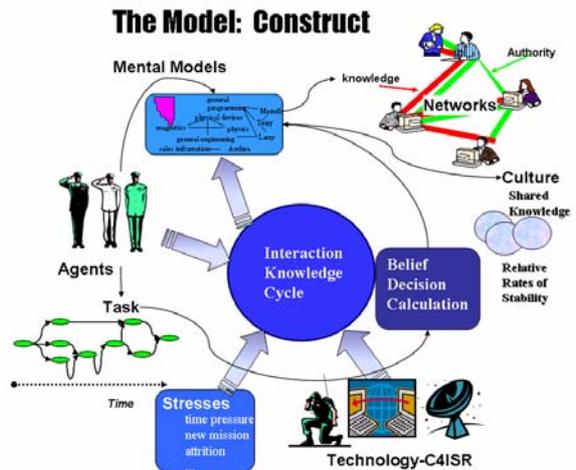


그림 3. 다개체 시물레이션, Construct 의 개요도

이 논문에서는 위 연관관계망을 비공식 지휘 통제 구조로 생각하고 연구를 진행한다. 또한, 이 논문은 다음

의 몇가지 수학적 방법을 통해 그 구조에 대한 분석을 수행한다. 첫째로, 기존의 사회 관계 망분석(Social Network Analysis)에서 사용되는 중심성 정도 (표 1)를 이용해 망의 주요 인물을 찾아본다.

다음으로 주어진 지휘 통제 구조망을 바탕으로 Construct 를 바탕으로한 Near-Term Analysis (그림 2) [13] 를 수행한다. Near-Term Analysis 는 만약 어떤 인물, 자원, 전문지식이 구조에서 제외되었을 경우를 가정하고, 그 배제가 미치는 파장을 Construct 이라는 다개체 시물레이션을 이용하여 분석하는 분석 프로그램이다. 즉, Near-Term Analysis 는 위에 제시된 구조정보와 중심성분석을 통해 파악된 중요인물을 입력정보로 하며, 그 결과는 중요인물이 암살, 전사, 투옥등을 통해 구조에 더 이상 존재할 수 없을 때의 시물레이션 내에서 일의 정확도 (Task Accuracy)와 지식의 전달도 (Knowledge Diffusion)을 측정한다.

### 3. 결과 분석

이상의 자료와 방법을 이용하여, 이 논문은 이번 절에서 소개되는 결과를 얻어내었다. 위 망자료를 이용하여, 우선 소개된 지휘 통제 구조의 중요인물들을 여러가지 다른 관점에서 찾아본다. 그 이후, 중요인물중의 일부가 지휘 구조에서 제외되는 상황을 가정하고, 시물레이션을 진행하여 그 제외에 따른 여파를 측정해 본다.

표 2. 전투지휘그룹 조직 구조를 이용한 세가지 중심성 정도 측정후, 파악된 구조 내의 중요 인물

순위	잠재적 영향력	차기 지도자	연결 정도
1	Plans, Support, Maneuver	FEC1 Effects Coordinator,	ACOFs G2, Uex, ISR/G2
2	Plans, Support, AVN BDE H	Operations Officer, Uex,	CHIEF OF STAFF, Uex, Main
3	CHIEF OF STAFF, Uex, Main	Fusion - All Source Intel	ACOFs G3, TAC CP1, Comman
4	Commander, Uey, Command G	ISR Assistant G2, TAC CP1	FEC1 Effects Coordinator,
5	FEC1 Effects Coordinator,	Plans, Support, FIRES BDE	Commanding General, Uex,

우선, 주어진 연락 관계망을 이용하여, 각 인물에 대한 3 가지 중심성 지수를 계산하였으며, 그 결과는 표 2 에 정리했다. 지휘 장군 (Commanding General, Uex)가 형식적 구조상의 최고지휘자인 반면, 비형식적 그리고 실질적 협력관계 구조상에는 그리 큰 비중을 차지하고 있지 못하다는 것을 알 수 있다. 반면에, 계획, 지원, 이동 등 (Plans, Support, Maneuver 관련)을 담당하는 장교들은 잠재적으로 구조 내 다른 인물들에게 더 큰 영향력을 지닌다는 사실을 알 수 있다. 이는 정보 처리를 담당하는 장교들 (예를 들어, ACOFS G2, Uex, ISR/G2) 역시 다른 인물들 보다 더 많이 알려지며 협력하게 되는 사람

이라는 점도 알 수 있다.

다음으로 시물레이션을 이용한 전투지휘그룹의 효율성과 지속성을 알아본다. 우선 다음의 4 가지 시물레이션 사례를 만들어 내었으며, 그 사례들은 다음과 같다.

- 어떤 인원도 배제되지 않는 경우
- 최고 지휘관 (Commanding General, Uex, Command group)이 배제되는 경우, 형식상의 최고 지휘자 배제
- 계획 및 이동 지원 여단 담당 장교 (Plans, Support, Maneuver Enhancement BDE)가 배제되는 경우, 잠재적 영향력 1 위 배제
- 정보 분석 참모 (ACOFs G2, Uex, ISR/G2)가 배제되는 경우, 연결정도 1 위 배제

위에 소개된 바와 같이, 이 지휘 통제 구조에 속한 인물들의 의사소통을 다개체 시물레이션인 Construct 를 이용해서 묘사하면서, 각 시간별 구조의 효율성을 측정한다. 이번 실험을 위해서는, 100 시물레이션 시간단위를 3 번 반복하여 시물레이션 실험하기로 한다. 각 인물에 대한 배제 시간은 10 시물레이션 시간으로 한다. 시물레이션 후의 결과는 그림 3 으로 나타났다.

효율성은 두가지 지표, 의사 결정의 정확성 (Task Accuracy)와 정보의 전달성 (Knowledge Diffusion), 으로 측정되었다. 실험에 따르면, 의사결정의 정확성은 지원 여단 담당 장교 (잠재적 영향력 1 위)가 배제될 경우 가장 큰 타격을 받는 것으로 드러났다. 이는 그 장교가 의사 결정에 있어서 판단을 가장 정확하게 하고 있으며, 그 이유는 자신의 의사 결정 구조상의 위치가 판단에 필요한 정보를 가장 잘 얻을 수 있는 곳에 있기 때문일 것이라고 추측된다. 반대로, 최고 지휘관 (형식적 최고 지휘관)이 배제되는 경우는 타격보다는 정확성이 향상될 수도 있다는 결과가 나타났다. 이것은 현실의 지휘 통제 구조가 형식상의 최고지휘관이 정확한 판단을 내릴수 있는 자료를 충분히 전달받지 못하는 데서 기인한다.

위의 결과는 정보의 전달성 측면에서 더욱 심화분석될 수 있다. 정보 전달성에 있어서 최고 지휘관의 부재는 제일 큰 타격을 입히는 것으로 드러났다. 이는 최고 지휘관이 각 인원들을 연결해주는 위치에 있다고 볼 수 있다. 하지만, 각 인원들을 연결해 주는 최고지휘관이라도 만약 충분한 잠재적 영향력이 없이, 단순 연결만을 할 경우는 위의 정확성 결과가 말해주는, 부정확한 결론을 내리는 지휘관이 될 수도 있다. 또한 정확한 판단을 내릴수 없는 인물이 인원들을 연결해주는 위치에 있다면, 당연히 이 인물이 배제되는 상황이 구조의 결정 정확성의 향상으로 나타날 수 있다.

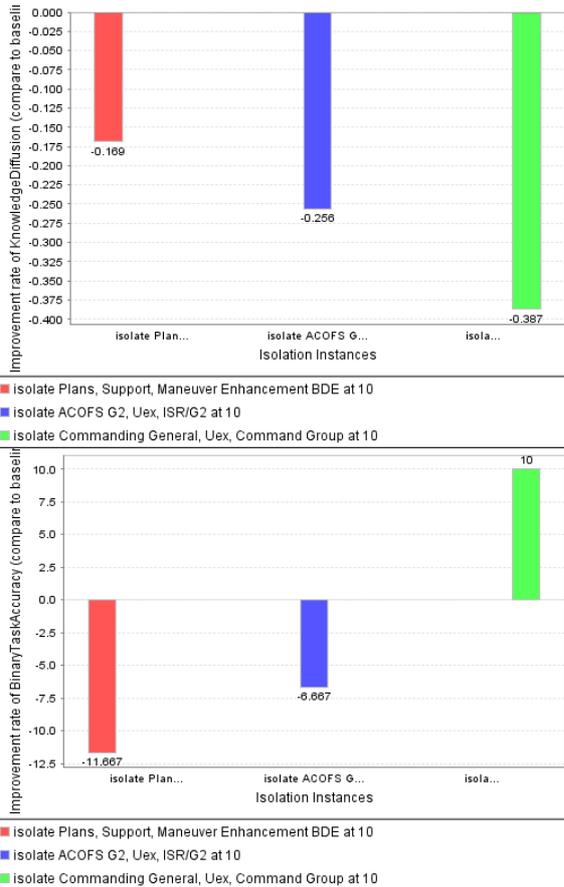


그림 3. 시뮬레이션 시간대에 따른 전투지휘그룹의 효율성 변화, 시뮬레이션 후 정보 전달성 비교 (위), 시뮬레이션 후 의사결정 정확도 비교 (아래)

#### 4. 결론

지휘 통제 체제 연구에서 지금까지 널리 사용된 경영학 혹은 행정학의 정성적 연구 방법은 기존의 정비된 조직 이론을 사용하여 심도 깊은 논의가 가능하다. 그러나 현재 군에서 행하는 지휘소 훈련, 기타 명령 체계의 시험/훈련등은 계산적 조직이론, 컴퓨터 시뮬레이션 등을 이용하여 정량적인 결과물들을 산출해 낼수 있다. 그러므로 현재의 각종 훈련들이나 C4ISR 시스템들에 기록 저장 및 분석 기능을 추가하여, 이 정량적 분석 자료물들을 만드는 것이 중요하다. 분석 결과는 차기 지휘 체계의 구성이나 시스템의 설계의 기본 자료가 될 뿐 아니라, 전시의 상황을 가정한 메뉴얼의 작성에도 유리한 측면이 있다. 또한, 위에서 소개되었듯이 이 분석방법은 아군만이 아닌 적군 분석에도 사용될 수 있으므로, 정보 분석 분야에도 사용될 수 있다.

#### Acknowledgement

This work was supported in part by the Office of Naval Research (N00014-06-1-0104 and N00014-02-1-0973), the Army Research Lab for C3I modeling, and the AirForce Office of Sponsored Research (MURI: Cultural Modeling of the Adversary) for research in the area of

dynamic network analysis. Additional support was provided by CASOS - the center for Computational Analysis of Social and Organizational Systems at Carnegie Mellon University. The views and conclusions contained in this document are those of the author and should not be interpreted as representing the official policies, either expressed or implied, of the Office of Naval Research, the Army Research Lab or the U.S. government.

#### 참고문헌

- [1] L. Zhiang and K. M. Carley, Designing Stress Resistant Organizations, Series: Information and Organization Design Series, Vol. 3 (2003).
- [2] 고원, C4ISR 체계의 전투기여효과 모의분석, 국방정책연구 여름호, (2005)
- [3] 배달형, 군 조직 구조 연구의 관점과 연구 틀, 국방정책연구 가을호, (2000)
- [4] 장명순, 지상군 소부대 구조에 관한 연구, 국방정책연구 가을호, (2003)
- [5] T. M. Karcher, Enhancing Combat Effectiveness: The evolution of the United States Army Infantry Rifle Squad Since the End of World War II, Mater degree thesis, US Army Command and General Staff College (2002)
- [6] J. L. Hillman, S.D. Jones, R.A. Nichols and I.J. Wang, Communications Network Architectures for the Army Future Combat System and Objective Force, Proceedings of MilCom 2002, Vol 2, pp 1417-1421 (2002)
- [7] J. Dickens, Putting the Organizational Capabilities for Joint Task Force Command and Control, USAWC Strategy Research Project, US Army War College (2005)
- [8] A. Dekker, Applying Social Network Analysis Concepts to Military C4ISR Architectures, Connections 24(3), pp 93-103 (2002)
- [9] K. M. Carley and D. Krackhardt, A Typology for C2 Measures, Proceedings of the 1999 International Symposium on Command and Control Research and Technology, Newport, RI (1999)
- [10] J. Graham, Dynamic Network Analysis of the Network-Centric Organization: Toward an Understanding of Cognition & Performance, Doctoral degree dissertation, CASOS lab, Carnegie Mellon University (2005)
- [11] A. Dekker, Revisiting "SCUDHunt" and the Human Dimension of NCW: Some Thoughts, Human Factor Issues in NCW TTCP Symposium, Sydney (2006)
- [12] J. Reminga and K. M. Carley, ORA:Organization Risk Analyzer, Tech Report, Carnegie Mellon (2004)
- [13] I. C. Moon and K. M. Carley, Estimating the Near Term Changes of an Organization with Simulations, AAI Fall Symposium, Arlington (2006)