

전술 C4I체계 모델 구축에 관한 연구

김호진¹ · 이상국¹ · 권영식²

¹육군전술 C4I 개발단 / ²동국대학교 산업공학과

A Study of Building a Model for Tactical C4I System

Ho-Jin Kim¹ · Sang-Kook Lee¹ · Young-Sik Kwon²

Development of high technology especially in telecommunication and precise weapon systems will impact the future battle field environment. So it is not difficult to anticipate the environment of military command and control system will be changed rapidly. Considering these future battle field environment, military needs automated C4I (Command, Control, Communication, Computer and Intelligence) system, namely real time decision support system which is combined high technologies. Most of advanced countries have been studied and developed these kinds of systems and already applied these systems in real military operations. In order to take a military initiative in Korea peninsula it is essential to catch up with this trend and procure C4I system. The purpose of this research is to present the method and the direction of optimal C4I system development model. First we survey the related theory about C4I systems. Second we present the conceptual framework for C4I system concept development. Third we model the system using Timed Petri-Net and perform simulation. Finally we analyze the through-put time and suggest alternatives. If we model using the real organization structure, operational tasks and various situations then optimal C4I system would be developed.

1. 서론

오늘날 우리는 새로운 기술을 혁신적으로 적용하고 군사교리, 운영 및 조직 개념을 적절히 변화시킴으로써 군 작전의 성격과 행위를 근본적으로 갱신 가능한 군사혁신의 시대에 살고 있다.

21세기의 정보화 및 과학화 시대의 전장환경은 고도의 정보화 기술이 무기체계와 접목되어 매우 복잡한 양상을 나타낼 것이며, 이로 인해 지휘통제 환경도 변화될 것으로 예측된다. 이러한 미래의 전장환경과 지휘통제 환경에 적응하고, 상황의 급변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 신속하고 정확한 실시간 의사결정이 필요하며 인간과 과학기술의 연동에 의한 지휘통제가 불가피할 것이다. 따라서 장차전에서 전쟁의 승패를 가능하게 될 지휘통제 핵심수단인 C4I체계의 구축이 절실히 요구되고 있으며, 미국을 비롯한 영국, 프랑스, 이스라엘, 독일, 이탈리아 등 선진국들은 C4I체계의 중요성을 인식하여 현재 개발 및 배치를 하고 있다. 예를 들어 미국의 ATCCS(Army

Tactical Command Control System)는 미 육군용 전술 지휘통제시스템으로 기동통제(MCS), 정보 및 전자전(ASAS), 방공(FAAD C2I)체계 등으로 구성되어 기동통제체계를 중심으로 통합 기능 발휘가 가능토록 발전되고 있으며, 이스라엘은 TACDID (Tactical Divisional Information System)를, 독일은 HEROS를, 영국은 WAVELL을, 프랑스는 MARTHA를, 이탈리아는 SIACCON를 개발하여 운용중에 있다. 그러나 응용 소프트웨어와 관련된 부분은 각국이 보안을 유지하며 개발하고 있어 자체 기술보유가 아니고는 개발이 어려운 것으로 판단되고 있다(임용철 외, 1998).

이에 따라 우리 군에서도 정보전 및 과학전에 대응할 수 있는 독자적인 작전수행체계 확보를 위한 준비 및 연구가 있어야 하겠으며, 체계를 구축하기 전에 구축할 체계의 모델들에 대해서 연구가 필요할 것이다. 개발 초기 단계에서는 여러 개발 모델 중 어느 모델이 가장 우수하게 시스템 성능을 발휘할 것인지를 측정하여 최적의 아키텍처를 선정해야 하며, 그 결과로 최적화된 체계가 구축될 수 있는 과학적인 접근방법의 제시가 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해 본 연구에서는 첫

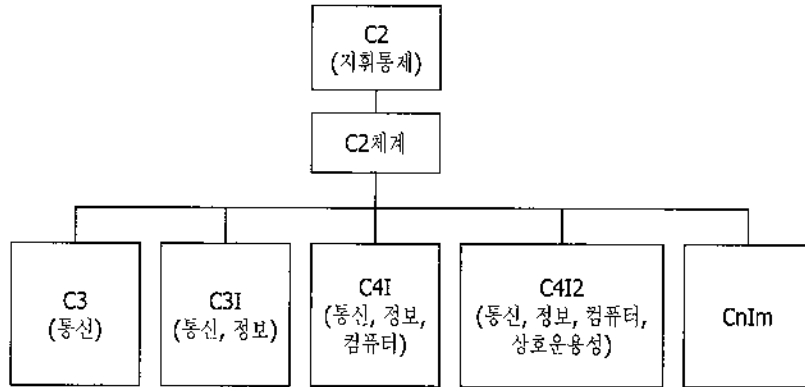


그림 1. C4I 관련용어

재, C4I체계 개념정립을 위한 분석틀(conceptual framework)을 제안하고 둘째, C4I체계 개념 분석틀을 기초로 하여 일반화된 C4I 모델 체계를 구성한 후, 그 처리 시간을 측정하여 지휘통제 시간을 짧게 할 수 있는 최적의 체계 구축 방안을 제시하는 데 목적을 두었다. 모델링을 위해서는 국방대학원 시스템 모델링 그룹에서 개발한 TPNSim++(Time Petri Nets Simulation) 소프트웨어를 사용하였음을 밝혀둔다. 이는 시스템을 그래픽 도구인 Time Petri Nets (이하 TPN)로 묘사한 후 그래픽 요소를 formal language로 대응시켜 프로그래밍화함으로써 Visual C++컴파일러로 컴파일이가 가능하게 되어 있다. 연구방법은 먼저 C4I체계에 대한 이론적 고찰을 실시하고, 이를 바탕으로 C4I개념 정립을 위한 분석틀을 제시하였다. 그리고 모델 설정 후 그 모델을 이용하여 시뮬레이션을 실시한 다음 이를 분석하여 결론을 맺도록 하였다.

2. C4I 체계의 이론적 고찰

2.1 C4I 체계의 정의 및 개념

C4I(COMMAND, CONTROL, COMMUNICATION, COMPUTER AND INTELLIGENCE)라는 영문 용어가 사용된 것은 최근의 일이지만, C4I기능은 원시 사회로부터 전쟁이 벌어지는 한 계속 존재하여 왔으며, 재래식 전쟁수단의 발전과 함께 지속적으로 유지되고 있다. 그러나 기술이 고도로 발전된 현재의 전장환경하에서는 재래식 전쟁수단만으로 그 본래의 목적을 효과적으로 달성하기에 한계가 있으므로, 첨단 정보·통신·전자기술을 응용한 자동화 체계의 구축이 모색되기에 이른 것이다. C4I체계에 대한 기본 개념을 정립하기 위해서는 C4I와 관련된 용어들을 명확히 이해할 필요가 있다. C4I와 관련된 용어들은 C2(COMMAND AND CONTROL), C3(COMMUNICATION 추가), C3I(INTELLIGENCE 추가), C4I(COMPUTER 추가), C4I2(INTERFACE 추가) 등으로 매우 다양하지만, 이들은 모두 C2(지휘통제)에서 파생된 것으로서, 체계구성요소 중 그 일부가 강조되어 부가된 표현들이므로 기본적으로는 같은

의미를 가지게 된다. <그림 1>은 이를 도식화하여 보여주고 있다.

그러나 C4I를 구성하는 각 요소들이 같은 수준에서 이해되는 것은 바람직하지 못하다. COMMUNICATION(통신)은 C2를 지원하는 가장 기본적인 수단으로서 C2의 하위개념으로 이해되어야 할 것이며, INTELLIGENCE(정보)는 C2를 구성하는 기본적인 요소로서 오히려 C2의 일부로 보는 것이 타당할 것이다. COMPUTER는 체계의 자동화를 전제로 하여 부가된 것으로서 C2의 고유기능 및 통신의 일부를 자동화하는 수단으로서의 최하위적 구성요소에 불과하다. 이들 각 구성요소 간의 관련성을 도식화하면 <그림 2>와 같다.

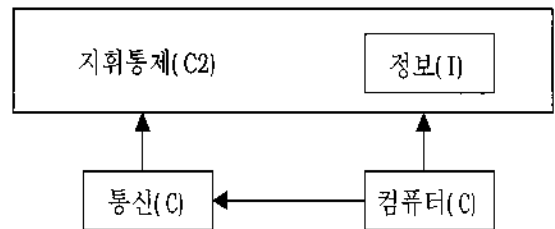


그림 2. C4I 구성요소 간의 연계성.

따라서 C4I란 첨단 정보화 기능의 기반하에 지휘 통제를 지원하는 정보가 상호 결합되어 신뢰성과 적응성이 보장된 정보를 필요로 하는 누구에게나 적시에, 어디서나, 즉각적으로 이용할 수 있도록 정제된 정보를 상하 및 인접제대에 제공하는 통합정보관리체계이며, 이는 How to Fight 개념과 절차, 군사력 운용을 위한 규정과 절차, 지휘 통제술 등 의사결정을 위한 인간의 행동양식(Software)과 과학적 수단(Hardware)이 접목된 현대전장의 군사력 운용 및 전쟁수행체계의 통합체로서, 현대전에서 어떻게 지휘하여 싸울 것인가에 대한 총체적인 방법론이며 전쟁수행절차이다. 또한 C4I체계는 단일체계가 아니라 여러 개의 단일체계가 복합적으로 상호 연동됨으로써 하나의 시스템을 이루어 전투력을 상승시키는 복합체계라고 할 수 있다.

2.2 지휘통제과정에서 시간의 역할

부대를 통제하는 능력은 지휘통제 축선의 시간상에서 정보를 효과적으로 사용하는 능력에 달려 있기 때문에 지휘통제와 관련된 체계를 개발하는 데 있어서 시간이라는 개념은 매우 중요한 요소이다. 한편 지휘 및 참모활동의 절차상에서 지휘관이나 참모의 정보분석이나 결심, 정보교환 등에 있어서는 그들의 행동양식이 시스템 전체의 반응시간에 엄청난 영향을 미친다. 이 행동양식이 바로 지휘통제 사이클상의 시간을 절약하는 시간관리를 말한다. 어떠한 상황이 발생하여 종료되는 시간까지의 지휘통제과정은 여러 단계의 지휘 채널을 거치며 시간을 소비하게 된다. 각 단계별 소비시간은 그 단계에서의 대응시간을 의미하는데, 이들 각 단계별 소비시간의 총합은 시스템 전체의 대응시간이 되며, 이 시간이 짧을수록 지휘통제의 성능이 좋은 것으로 인식하고 있다. 이러한 현상은 최저 단위 작전부대에 이르면 사격임무로 종결되는데, 그 이전까지는 여러 개의 관측과 의사결정기능이 계속 반복된다. <그림 3>에서 보는 바와 같이 상급부대에서 관측과 결심과정을 통하여 예하부대로 지휘통제정보가 하달되면, 이는 다시 예하부대의 관측단계로 상황정보로써 입력되고, 이는 좀더 상세한 내용의 의사결정과정을 거쳐 다시 예하부대로 하달된다. 최종적으로 말단 단위 기동부대나 화력운용부대에 구체적인 무력제압 명령이 도달되기까지는 여러 개의 관측과 의사결정단계가 연속적으로 혹은 동시에 이루어진다. 일개 지휘통제과정의 사이클은 관측, 결심, 실행으로 이루어진다고 가정했을 때 각각에 소요되는 시간을 T_o, T_d, T_e 라 하면, N-level의 지휘채널을 갖는 부대조직에서 총 반응시간 (T_r) 은 다음과 같이 나타난다.

이제 사건이 발생하여 상황이 시작된 시간을 T_s , 지휘관이 이를 감지하고 대응책을 강구하여 예하작전부대가 명령을 접수하여 임무를 완수하는 시간을 T_i 라 하고, 위협이 발생하여 중간차단을 받지 않을 경우, 아군에게 선제공격을 가해 오는 예상시간을 T_p 라 하자. 만일 T_i 이 T_p 보다 앞서면 대응책은 성공

아니면 적어도 적절했다고 할 수 있다. 그러나 T_i 이 T_p 보다 늦으면 이 대응책은 부적절하다고 할 수 있다. 즉, 어느 단계에서 너무 많이 시간을 소비하여 최저 작전부대가 활용할 수 있는 시간이 위협을 제압하기에 불충분하다면, 이 지휘통제체계는 가치가 없다. 따라서 예상되는 위협에 대한 T_p 가 계산되면, 지휘채널의 간소화 혹은 정보처리시간의 단축을 통하여 T_i 가 T_p 보다 앞서도록 해야 한다. 지휘채널의 간소화는 분권화 지휘통제 원칙, 혹은 지휘통제지원체계의 네트워크 구성시 임무 완수에 불필요한 노드의 결심단계를 생략하는 의사 네트워크(virtual network)를 구축하여 반응시간을 감소시킬 수가 있고, 정보처리시간의 단축은 고속 대용량의 컴퓨터 시스템과 효과적인 알고리즘, 양질의 디지털 데이터 통신체계 등을 이용한다면 가능할 것이다. 이상에서 알아본 바와 같이 지휘통제시간은 지휘통제지원체계의 능력에 대한 소요제기 기준이 될 것이다(신인섭, 1995).

3. C4I 개념 분석틀

앞에서 이미 밝힌 바와 같이 정보화/과학화 사회의 미래 전장 환경은 매우 복잡하며 지휘통제 환경에 커다란 변화가 이루어지고 있어 과거 인간의 지식과 능력만을 이용한 수동식 처리 방식으로는 전장에서의 승리를 예측하기가 더욱 어렵게 되어가고 있다. 이러한 미래의 전장환경과 지휘통제환경을 고려해 볼 때 상황의 급변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 인간과 과학기술에 의한 지휘통제가 불가피하며 전쟁의 승패를 가늠하는 지휘통제의 핵심수단인 C4I체계 구축은 필수적이라 하겠다.

그러나 사용자의 요구에 부합되는 C4I체계를 구축하기 위해서는 사용자와 개발자들이 상호 공통의 개념을 가지고 연구/발전을 진행할 수 있는 C4I의 개념적 분석틀이 필요할 것이다. 따라서 이 장에서는 C4I의 개념 정립을 위한 분석틀을 제공하려고 한다.

$$T_r = \sum_{i=1}^n [T_{o(i)} + T_{d(i)}] + T_{e(i)}$$

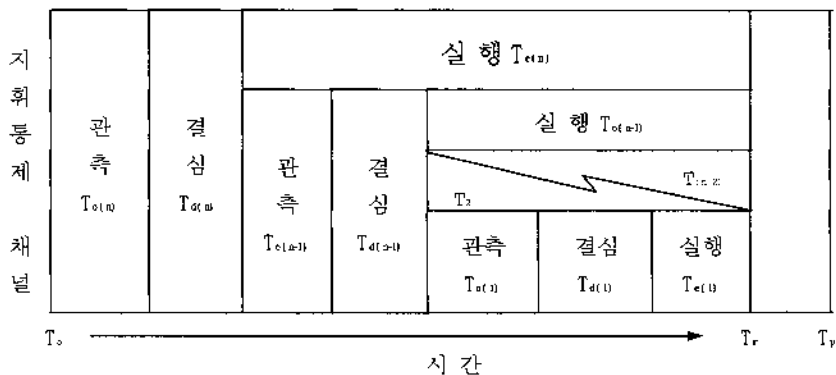


그림 3. 다계층 지휘통제과정에서 시간소비.

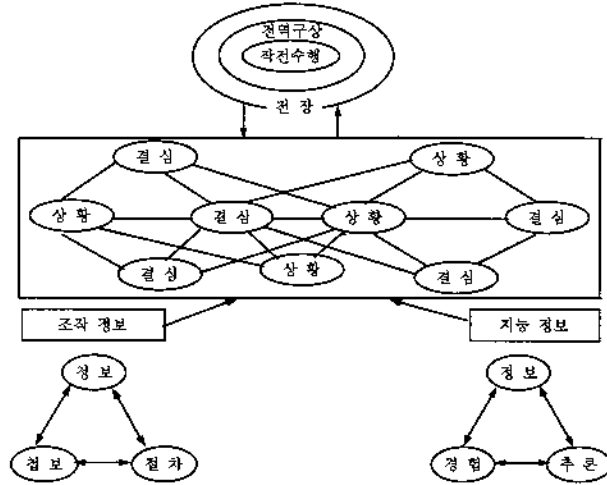


그림 4. 전장정보의 생성.

3.1 전장에서 정보생성과 결심구조

3.1.1. 전장정보의 생성과정

지휘관이 다양한 전장환경에 따라 전역을 구상하고 작전임무를 수행하는 데 무엇보다도 중요한 것은 시간적, 공간적으로 산재되어 있는 첩보 및 정보를 일련의 처리과정을 통해 최적의 전투력을 적재적소에 운용하기 위한 정제된 정보로 전환하여 의사결정의 지원요소로 사용할 수 있도록 하는 것으로서, 정보는 <그림 4>와 같이 조작정보와 지능정보로 구분할 수가 있다. 조작정보란 산재되어 있는 첩보 및 정보를 각종 센서 및 감시장비를 통해 수집하고 수집된 자료를 자동화된 컴퓨터 시스템을 이용하여 분석, 처리함으로써 생성된 정보이고, 지능

정보란 지휘관 또는 해당 참모가 자신들의 지식과 경험을 통한 추론과정을 거쳐 생성된 정보를 말한다.

지휘관 및 참모는 지휘관 및 참모활동시 이 두 가지 정보를 혼합/융합함으로써 시시각각 변화하는 전장상황에 적합한 핵심정보를 유도하여 최적의 의사결정을 할 수 있다.

3.1.2. 전장정보의 생성과 결심구조

전장정보의 생성과정과 결심구조를 세부적으로 분석해 보면 <그림 5>와 같이 정보생성단계, 정보활용단계, 의사결정단계의 3단계로 구분할 수가 있다. 정보생성단계는 컴퓨터의 자동화된 시스템을 이용하여 첩보 및 정보를 수집, 여과, 추출, 분석, 처리, 전파하는 단계로서 hardware architecture, functional

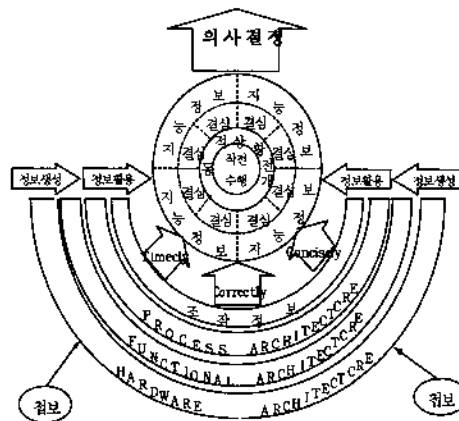


그림 5. 전장정보의 생성과 결심구조.

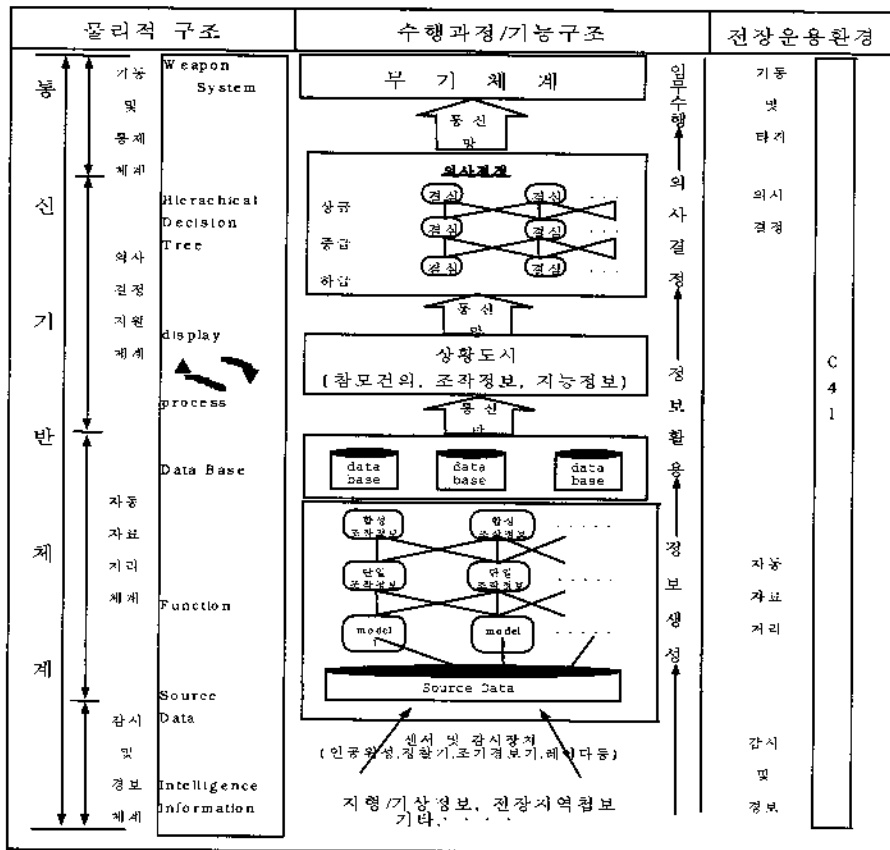


그림 6. C4I 체계 개념 분석틀.

architecture, process architecture로 구조화된다. hardware architecture는 의사결정체계의 물리적 구조로써 공통 소프트웨어 등이 실제로 수행되는 처리기, 저장장치, 전시장비, 주변장치 및 운영체제 등을 포함하며, functional architecture / process architecture는 저장장치(storage device)에 저장되어 있는 대용량의 첩보 및 정보를 전문가 시스템 및 각종 함수와 절차를 통해 전장 정보를 조작 및 정제해 내는 기능/프로세스 구조로써 데이터 베이스 관리(입력, 수정, 검색, 전송, 저장, Update 등), 자동전문 작성 및 처리, 공통자료관리, 그래픽, 유틸리티 소프트웨어 등을 포함한다. 정보활용단계는 hardware architecture를 통한 소프트웨어 architecture의 과정을 거쳐 생성된 조작정보를 지능정보와 함께 전장상황에 즉각 응용할 수 있는 정제된 최종정보로 산출하여 지휘결심이 필요한 상황시마다 적시에(on time), 정확하게(correctly), 간결하게(concise) 제공함으로써 지휘 및 참모 활동 간에 의사결정을 지원하는 단계를 말한다. 의사결정 단계는 생성된 조작정보와 지능정보를 효율적으로 조화시킴으로써 전장 상황에 적합한 의사결정을 하여 전장임무를 수행하는 단계이다.

3.2 C4I체계의 개념분석틀

위에서 서술한 내용을 종합하여 볼 때 C4I체계의 구조는 <그림 6>과 같이 수행과정/기능구조(process & functional view), 물리적 구조(physical view), 전장운용환경으로 구조화시킬 수 있다.

3.2.1. 수행과정/기능구조

C4I체계를 수행과정/기능구조 측면에서 분석해 보면 정보생성, 정보활용, 의사결정 및 임무수행의 4개 주요 processing activity로 구분할 수 있다. 정보생성단계는 전장환경에 시간적, 공간적으로 산재되어 있는 지형/기상정보를 비롯한 전장지역 첩보/정보들이 각종 센서/감시장치(storage device ; hardware)에 수집/저장되고, 저장된 대용량의 자료들은 자동자료처리체계의 process & functional architecture (저장되어 있는 대용량의 정보를 전문가 시스템을 이용해 사전에 구성해 놓은 각 기능별 모델로 분석 및 추론하여 단일조작정보를 생성하고 단일조작정보를 종합하여 합성조작정보를 생성)에 의해 종합적으로 분석되어 data base를 구축함으로써 지휘관의 의사결정을 위한 정제된 정보를 제공하는 단계이다. 정보활용단계는 컴퓨터의 자동화 시스템에 의해 실시간에 계속적으로 갱신되어 모니터 또는 상황판에 전시된 조작정보와 지휘관이 참모 권의사항과 자신의 경험을 통한 추론능력에 의해 생성한 지능정보를 종합하

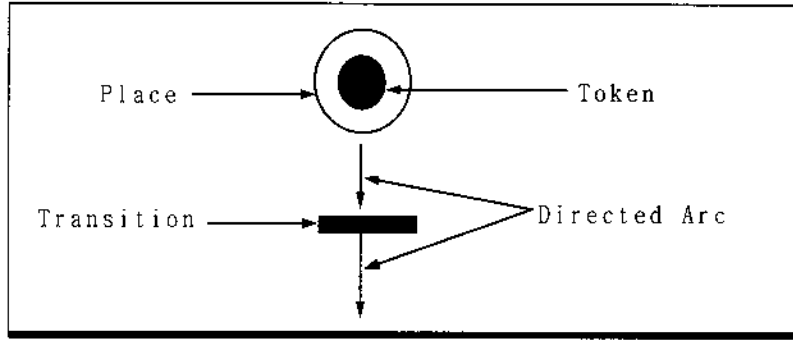


그림 7. Petri-net 구성요소.

여 최종적인 의사결정을 지원하는 단계이다.

의사결정단계는 조작정보와 지능정보의 융합에 의해 생성된 핵심정보를 이용해 최종적인 의사결정을 하는 단계로서 이때 각 제대 지휘관은 해당 제대에 꼭 필요한 핵심정보만을 활용함으로써 불필요한 과정수행으로 인한 시간의 낭비, 지연 및 결심의 중복을 피해 계층적 결심구조에 의한 신속하고 간결한 의사결정을 유도한다.

임무수행단계는 의사결정 결과에 따라 각종 무기체계에 의한 임무를 수행하는 단계로서 컴퓨터의 하드웨어/소프트웨어 그리고 LAN/WAN 및 유무선 통신망을 이용하여 상호 인터페이스를 유지하면서 적시 적절한 임무수행을 하여 전장상황을 승리로 이끌어내는 역할을 하게 되며 이 결과는 새로운 정보가 되어 정보생성단계로 순환된다.

3.2.2. 물리적 구조

물리적 구조는 하드웨어 및 소프트웨어와 그들 간의 물리적 관련성을 표현한 것으로서 감시 및 경보체계, 자동자료처리체계, 의사결정지원체계, 기동 및 통제체계, 통신기반체계의 5가지로 구분할 수 있다. 감시 및 경보체계는 전장상황에 산재되어 있는 첩보/정보들을 자동화된 시스템을 통해 수집하여 자동자료처리체계로 전파하는 단계이며, 자동자료처리체계는 감시 및 경보체계로부터 전파된 자료를 분석, 처리하여 조작정보를 생성하고, 데이터 베이스를 구축하는 단계이다. 의사결정지원단계는 C4I체계의 핵심으로서 데이터베이스에 구축된 자료를 상황도시하여 지휘관이 최종적인 의사결정을 할 수 있도록 하는 단계이며, 기동 및 통제체계는 전장의 기동 및 타격요소를 통합하여 지휘결심 사항을 이행하는 단계로서, 기동/타격결과를 포함한 변화된 전장상황은 감시 및 경보체계로 순환된다. 통신기반체계는 전산망과 통합연결된 LAN/WAN 통신망을 포함하는 제반 통신체계를 기반으로 하여 각 제대별, 기능별 요소 간에 신속한 상황전파 및 지휘통제를 가능하게 하는 단계이다.

4. 전술 C4I체계의 TPN 모델링

이 장에서는 앞에서 서술한 C2의 기본 개념과 C4I체계의 개념 분석틀에 따라 전술 C4I체계를 구성한 후 TPN으로 모델링하고자 한다. 즉, C4I 체계의 궁극적인 목적이 수집된 첩보를 컴퓨터의 연산/처리능력에 인공지능 개념(혹은 지능정보)을 추가하여 처리한 후 신속하고 정확한 의사결정을 하는 데 있는 만큼, 최초 sensor 혹은 기타 수집기관으로부터 수집된 source data를 분석, 처리하여 임무수행까지의 과정에 따른 과정 처리 시간을 최소화하는 데 연구의 초점을 맞추어 모델링한 후 TPNSim++ 소프트웨어에 의한 시뮬레이션을 실시하여 그 성능을 분석하였다.

4.1 TPNSim++ 환경

고전적인 Petri-net는 <그림 7>에서 보는 바와 같이 4가지 구성요소인 place, transitions, tokens, directed arcs로 이루어져 있다(최상영, 1994).

place는 시스템에서 transition이 일어나기 위한 조건을 나타내며, 원으로 표시한다. transition은 어떤 동작 혹은 사건이 일어나는 것을 나타내고, 막대로 나타낸다. Token은 시스템의 상태와 상태전이를 나타내며, 작은 점으로 표현된다. 고전적인 petri net에 시간요소를 포함한 것을 Timed Petri Net(TPN)이라고 하는데, 이는 국방군수/정비 시스템과 C4I시스템에 적합하다. TPNSim++는 국방대학원에서 개발한 시뮬레이션 소프트웨어이다. TPNSim++를 사용하여 시뮬레이션을 하고자 할 때는 TPNSim Nets라고 불리는 그래픽 도구를 사용하여 가시적으로 모델링한다. 그러면 TPNSim++ 문장으로 자동전환되고 C++로 컴파일한 다음 실행파일을 얻는다. TPNSim Nets는 동적 시스템 시뮬레이션 도구와 환경을 제공하기 위하여 정의한 Nets로서 Timed Petri Nets에 기반을 두고 있으며 그 형식론(formalism)은 다음과 같이 정의된다.

$$M = \langle C, \mu, \pi, \rho \rangle$$

여기서,

$$C = \langle P, T, I, O \rangle \text{이고}$$

$$P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\} \text{는 place의 유한집합, } n \geq 0$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\} \text{는 transition의 유한집합, } m \geq 0$$

$I: T \rightarrow P$ 입력함수, transition으로부터 place들의 bag으로의 사상
 $O: T \rightarrow P$ 출력함수, transition으로부터 place들의 bag으로의 사상
 그리고

$\mu: P \rightarrow N$, P로부터 양의 정수 N으로 사상하는 함수

$\pi: T \rightarrow (E, D) \text{card}(T)$, T로부터 $(E, E^c) \text{card}(T)$ 의 공간으로 사상하는 함수

$\rho: T \rightarrow E$, T로부터 E공간으로 사상하는 함수, $E = \{E_i; e_i \text{는 transition } I \text{의 실행예정시간}\}$ 이다.

4.2 전술 C4I 체계 구성

전술 C4I 체계란 각 제대의 지휘관 및 참모에게 원하는 시기에(실시간) 원하는 장소에서(지휘소, 전장) 필요한 정보를(정보 융합, DB를 통해서) 적절히 표현함으로써(문서, 상황도시, 브리핑체계) 의사결정을 지원하고, 지휘통제를 용이하게 지원하는 정보체계이다. 따라서 각 제대조직 구성상의 부대 및 부서는 각각 하나의 독립적인 C4I 체계를 갖게 되며, 이 체계들은 상호 인터페이스를 유지하여 전술 C4I 체계를 구성하게 된다. 즉, 전술 C4I 체계는 A C4I 체계, B C4I 체계, C C4I 체계 N C4I 체계로 구성될 수 있고 각 체계들은 여러개의 sub 체계로 구성되는 복합 체계이다.

어떠한 상황이 발생하면 지휘관들은 그때마다 적절한 의사 결정을 하게 되는데, 그 과정은 크게 3단계로 구분할 수 있을 것이다. 먼저, 정보에 관한 의사결정이다. 정보에 관한 의사결정이란 수행해야 할 임무의 영역 내에서 상황이 어떻게 돌아

가고 있는가를 파악하는 것으로, 이는 자신이나 예하부대가 어떠한 조치를 취할 것인가, 즉 작전에 관한 의사결정을 내리기 이전에 필수적으로 선행되어야 하는 상황 판단에 관한 의사결정이다. 첩보가 감시체계로부터 획득되었다면 그 초기 데이터의 불확실성, 즉 중복성·신뢰성 등을 평가하는 상호관계 분석과정을 거쳐 기존의 데이터와 함께 융합하여 정보상황을 판단하게 된다. 정보상황 판단은 상관계수로부터 추론을 이끌어내는 과정으로 이 추론은 적의 능력평가, 적의 의도, 그리고 적의 강점과 약점 등에 관하여 추측을 하는 단계이다.

다음은 편성에 관한 의사결정으로 지휘관의 작전개념이 어떻게 실행될 것인가를 보장하기 위한 결정의 한 종류이다. 이 의사결정은 해당 지휘관 자신이나 상급부대 지휘관에 의해 이루어진다. 편성에 관한 의사결정과 관련하여 중요한 활동들은 부대를 어떻게 분할하고, 또한 어떻게 집단을 형성할 것인가 하는 것이다. 작전에 관한 의사결정은 최선의 방법을 설정하는 것으로, 지휘관의 대응개념을 설정하고, 피아 간의 방책이 상호 부딪칠 때 발생할 수 있는 결과의 예측과 각 대안 간의 장·단점을 비교하며, 전투력의 전개나 화력분배의 통제 등에 관련된 것이다. 위에서 설명한 사항을 종합해 보면 <그림 8>과 같이 구성할 수 있을 것이다.

이러한 활동들은 인간의 지식과 경험에 의해 처리되어야 할 부분과 기계의존적 처리가 가능한 부분들로 구성되어 있다. 업무 처리절차가 정형화되어 있는 업무들, 즉 전장환경에서 탐지 및 수집 가능한 모든 데이터를 센서 혹은 기타 수단에 의해 수집하여 컴퓨터 자동자료 처리기능으로 기능별 분류, 분

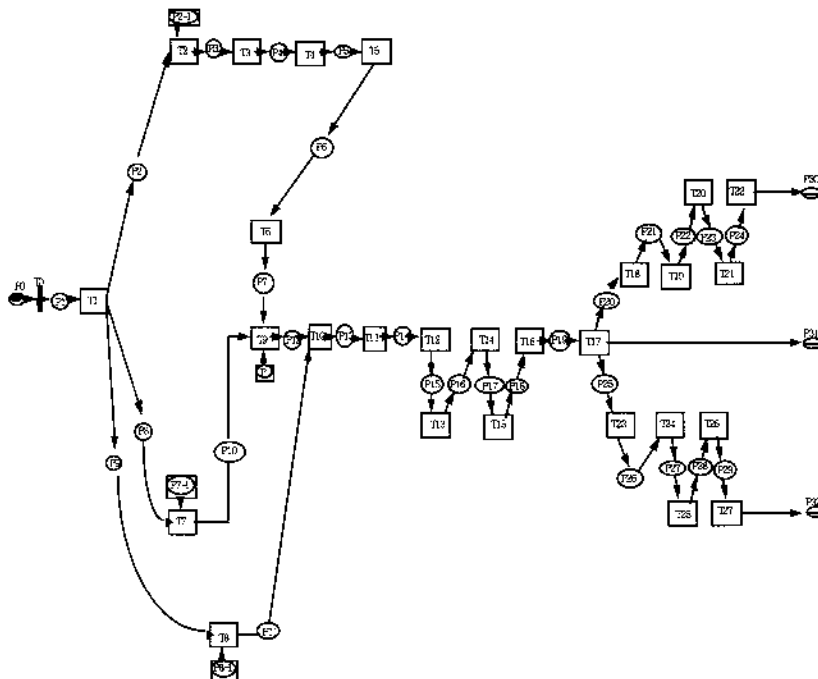


그림 8. TPNSim++ Net Modeling.

표 1. 그루핑에 의한 대안별 처리시간

대안	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
정보수집활동의 처리시간	1	2	3	1	1	2	2	2	3	3	3
의사결정활동 처리시간	1	2	3	3	5	1	3	5	1	3	5
기타 활동 처리시간	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1

석, 처리할 수 있는 업무들은 기계 의존적이라 할 수 있으나, 비정형화되어 있는 업무들은 지휘관 및 참모의 축적된 지식과 경험요소(지식정보)가 입력되어야 처리가 가능한 활동들이라 하겠다. 그러나 의사결정이론에서 본다면 현실적으로 모든 종류의 조건을 다 정의하고 정량화할 수는 없으며, 컴퓨터가 이를 고려해서 의사결정을 내리지는 못한다. 이러한 인간적인 사고 패턴을 컴퓨터로 해결하려는 노력이 바로 학습 알고리즘(heuristic learning algorithm)이지만 아직까지 이러한 능력을 갖는 컴퓨터를 이용해서 전장 상황을 처리하기를 기대할 만한 수준은 아니다. 이와 같이 전술 C4I체계는 기계적인 요소와 인간적인 요소가 융합되어 처리될 수밖에 없는 특징을 가지고 있다.

4.3 전술 C4I체계의 TPN 모델링

4.3.1. 문제 정의 / 가정

전술 C4I체계의 성능은 신속하고, 정확하게 외부의 첩보/정보를 수집하고, 이를 분석, 처리하여 의사결정을 하며, 결정된 사항을 즉각 수행할 수 있는가에 의해 판단할 수 있다. 그런데 체계의 과정처리시간을 줄여 지휘통제의 속도를 증가시키는 등 체계의 성능을 향상시키기 위해서는 체계의 구성을 효율적으로 설계하여 정보의 흐름을 원활히 하고, 체계를 구성하는 각 활동들의 처리시간을 최소화 해야 하는 문제가 있다. 따라서 체계에 대한 성능분석을 위해서는 체계의 구성에 대한 몇 가지 비교 모델이 필요할 것이며, 또한 각 모델마다 활동 처리시간을 변경해 가면서 그 결과를 비교 분석할 필요가 있다. 그러나 본 연구에서는 앞에서 이미 제시한 기본 모델만을 이용하여 각 활동을 그루핑하여 대분류를 한 후 이 그룹별로 처리시간을 변경해 가면서 시뮬레이션을 실시하고, 또한 각 활동들의 처리시간을 변경해 가면서 시뮬레이션을 실시하여 그 결과를 분석 검토하였다.

먼저 대분류의 대안 설정을 위해서 전술 C4I체계 구성을 크게 세가지로 구분하였다. 즉, 전술 C4I체계의 각 transition을 센서/감시장비에 의한 첩보/정보의 수집활동(이후 정보수집 활동), 지능정보의 융합에 의한 의사결정활동(이후 의사결정 활동), 데이터베이스, 상황 도시, 지휘통제활동(이후 기타 활동)으로 분류하여 처리하였다. 따라서 첩보 및 상황처리, 표적접수는 정보수집활동으로, 도표 작성 및 사격 명령하달은 기타 활동으로, 나머지 transition은 의사결정활동으로 분류하였다.

이는 전술 C4I체계의 구성요소를 외부적 요소에 의해 영향을 받는 활동(정보수집 활동)과 내부적 요소에 의해 영향을 받는 활동으로 구분하고 내부적 요소에 의해 영향을 받는 활동을 다시 인간적 요소(의사결정활동)와 기계적 요소에 의해 영향을 받는 활동(기타 활동)으로 구분한 것이다. 이를 구체적으로 나타내면 <표 1>과 같다.

대안 1,2,3은 각 활동의 처리시간을 동일하게 1,2,3으로 증가시켰을 때의 결과를 비교하기 위한 대안이며, 대안 1,4,5는 정보수집 활동과 기타 활동의 처리시간을 고정(1)시키고 의사결정활동의 처리시간을 1,3,5로 증가시켰을 때의 결과를 비교하기 위한 대안이다. 대안 6,7,8은 정보수집활동과 기타 활동의 처리시간을 고정(2,1)시키고 의사결정활동의 처리시간을 1,3,5로 증가시켰을 때의 결과를 비교하기 위한 대안이며, 대안 9,10,11은 정보수집활동과 기타 활동의 처리시간을 고정(3,1)시키고 의사결정활동의 처리시간을 1,3,5로 증가시켰을 때의 결과를 비교하기 위한 대안인데, 이는 앞에서 구분한 세가지 활동의 처리시간이 각각 시스템의 임무수행속도에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 분석하기 위한 것이다.

두번째는 각 활동들의 처리시간을 변화시켰을 때 전체 처리시간에 미치는 영향을 비교해 보기 위한 대안으로 다음과 같이 변화시켜 보겠다.

각 transition들의 분포는 일양분포를 따랐으며 최고,최저데이터는 실증적인 값을 적용하였다.

표 2. transition별 대안 처리시간

대안	21	22
각 활동들의 처리시간	3	5

4.3.2. TPNSim++ Net Modeling

TPN의 특성과 규칙에 의하면 시스템의 진행과정은 transition, place, token으로 묘사되며, 이때 transition은 각 노드별 임무수행을, 즉 전술 C4I체계를 구성하는 모든 활동들은 transition으로, 각 활동간의 중간단계는 place로, 그리고 시스템의 진행에 따른 정보의 흐름은 token으로 표현할 수 있다. 또한 시스템이 작동하기 위해서는 시스템의 임무수행을 나타내는 모든 transition이 deadlock의 발생함이 없어야 하는데 deadlock이 발생할 때에는 정보처리 순차상 전시활동 처리에 가장 가까운 곳에

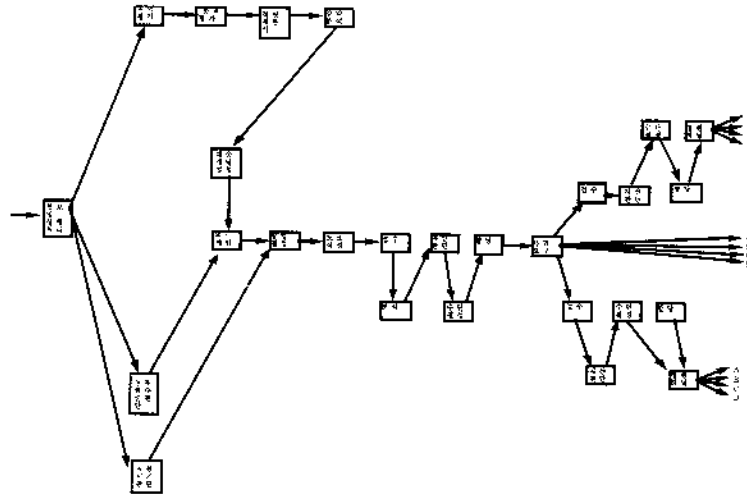


그림 9. 활동지향적 절차분석.

우선순위를 부여한다. 이는 현실적으로 가용한 정보 중에서 가장 빠르게 정보를 전신하도록 한다는 의미가 된다.

<그림 9> TPN Sim++ Net Modeling과 같이 전술C4I체계는 T0로부터 T27까지 28개의 Transition과 P0로부터 P32까지 33개의 place 그리고 P0로 초기화한 token으로 모델링이 가능하다. 즉, P0 내의 토큰으로 첩보를 획득하여 T0에 입력하면, T0를 항상 enable 상태로 만들어 firing시킴으로써 1개의 토큰이 P1으로 이동하며, T1 transition은 firing 결과 3개의 토큰을 출력하게 된다. 그 토큰들은 각각 지역평가를 할 수 있는 토큰, 전투력 수준 판단을 할 수 있는 토큰, 지원 시기를 판단하는 토큰으로 사용하게 된다.

또한 P2의 토큰에 의해 T2는 enable/firing되며 그 결과 1개의 토큰을 P3로 이동시키면서, P3의 토큰에 의해 T3를 enable/firing시킨다. T3는 1개의 토큰을 P4로 이동시키고, P4의 토큰에 의해 T4를 enable/firing시킨다. T4는 1개의 토큰을 P5로 이동시키고, P4의 토큰에 의해 T5를 enable/firing시킨다. T5 transition은 firing 결과 1개의 토큰을 P6로 이동시키고, P6의 토큰에 의해 T6를 enable/firing시킨다. 마찬가지로 T7 T16의 transition도 같은 논리로 표현이 가능할 것이다. T16은 1개의 토큰을 P19로 이동시키고, P19의 토큰에 의해 T17을 enable/firing시킨다. T17은 firing 결과 3개의 토큰을 출력하게 되는데 각각 P20, P31, P25로 보내지며, P20, P25는 1개의 토큰을 이동시키면서 다음 transition을 enable/firing시키고, P31은 더 이상 이동하지 않고 결과 분석을 위한 축척 place로 존재한다.

이와 같이 외부에서 입력되는 정보메시지나 신호는 일련의 과정을 거치면서 외부로 빠져나감 없이 순환 및 전파되거나 각각의 임무수행 결과로 전환되어 외부로 보내게 된다. P2-1, P7-1, P8-1은 여러 가지 활동을 한 개의 기호로 표시한 매크로 place로, 이 place는 별도의 시뮬레이션이 필요한 부분이다. 그러나 본 연구에서는 그 결과에 해당하는 분포의 값을 해당 transition 분포에 적용했기 때문에 생략하였다.

5. 시뮬레이션 실행 및 결과 분석

시뮬레이션 실행은 <그림 9> 전술 C4I체계 모델링 자료를 기초로 하여 TPNSim++에서 제공되는 Formal Language로 대응시켜 code화하였으며, 이 TPNSim++ 프로그램의 Main함수는 지면 관계상 생략하였다. 시뮬레이션 실행은 전술 C4I체계의 운용시간을 96으로 설정하여 실시하였다.

한편, 전술 C4I체계의 운용효과(measure of effectiveness)를 최소 수집기관으로부터 유입된 첩보/정보자원이 처리되고 정보화되어 최종 타격부대까지 전달되는 시간으로 설정하였다. (이를 이후 through-put time이라 한다). 그루핑에 의한 대안별 시뮬레이션의 세부 결과는 지면관계상 생략했으며, average through-put time의 결과만 <표 3>에 제시하였다.

표 3. 그루핑에 의한 대안별 평균 through-put time

대안	O-place	place(30)	place(31)	place(32)	평균
	1		1.5	1.5	1.5
2		3.1	3.1	3.1	3.1
3		5.0	4.9	5.0	4.96
4		4.8	4.7	4.8	4.76
5		8.5	8.2	8.5	8.4
6		1.7	1.7	1.7	1.7
7		4.9	4.8	4.9	4.86
8		8.5	8.2	8.5	8.4
9		2.5	2.5	2.5	2.5
10		4.9	4.9	4.9	4.9
11		8.9	8.7	8.9	8.83

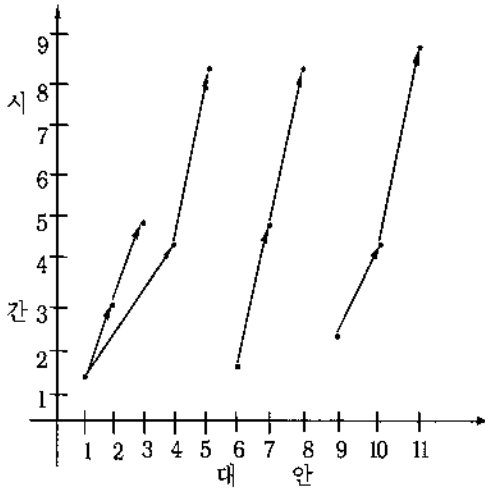


그림 10. 그루핑에 의한 대안별 평균 through-put time.

또한, 이 도표를 그래프로 나타내면 <그림 10>과 같다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 모든 활동들의 처리시간을 동일하게 한 상태에서 일정 비율로 증가하며(대안 1,2,3) through-put time 역시 일정 비율로 증가하고 있음을 알 수 있다. 한편, 대안 1,4,5(정보수집활동과 기타 활동의 처리시간을 1로 고정시키고 의사결정활동의 처리시간을 1,3,5로 증가시켰을 때), 대안 6,7,8(정보수집활동과 기타 활동의 처리시간을 각각 2,1로 고정시키고 의사결정활동의 처리시간을 1,3,5로 증가시켰을 때), 대안 9,10,11(정보수집활동과 기타 활동의 처리시간을 각각 3,1로 고정시키고 의사결정활동의 처리시간을 1,3,5로 증가시켰을 때)은 거의 동일하게 증가하는데, 이는 의사결정활동시간의 변화가 시스템의 효과, 즉 through-put time이 무척 민감하게 나타나며, 정보수집활동(대안1,6,9)과 기타 활동처리시간은 크게 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다. 따라서 정보수집활동이나, 기타 활동을 위해 자원을 투자하는 것보다는 의사결정을 신속하게 처리하기 위한 분야로 자원을 집중하는 것이 체계의 성능을 향상시키는 방안이라 할 수 있다.

의사결정활동 중 어느 transition에서 가장 지체되는가를 분석해 보기 위해 대안1에 대한 place별 평균 토큰수를 분석하고, 각 transition별 처리시간을 <표 2>와 같이 변화시켰을 때의 추이를 분석하였다. 먼저 대안1에 대한 세부 결과는 지면 관계상 생략했으며, 토큰을 가장 많이 정체시킨 place만 <표 4>에 제시하였다.

average token number of place는 place에 들어와 있는 평균 토큰의 수를 의미하는데, place에 들어와 있는 평균 토큰의 수가 많

다는 것은 해당 place에 토큰이 많이 정체되어 있다는 것이다.

<표 4>에서 보는 바와 같이 0,1번 place는 최초 토큰을 발생시키고, 발생된 토큰이 1번 place에 정체되기 때문에 의미 부여를 할 수 없다고 판단되나, 10번 place에는 토큰이 평균 96개 존재한다. 이는 위-게임 transition의 처리시간이 늦기 때문에 토큰이 대기하는 경우이거나, 혹은 전투력 수준 판단에서 토큰이 늦게 오는 경우들 중의 하나이다. 이는 현실적으로 볼 때 전투력 수준 판단은 단일 정보처리의 흐름으로 상대적으로 처리시간은 빠르나, 위-게임에서 이 토큰을 처리하는 시간이 상대적으로 늦어 토큰이 정체된다고 볼 수 있다. 결국 이것은 정보쪽에서 들어오는 토큰이 늦는다는 것을 의미하기 때문에 정보상황분야의 처리시간을 빠르게 한다면 시스템 전체의 처리속도는 빠르게 진행시킬 수 있다는 뜻일 것이다. 이와 같은 요령으로 분석해 보면 첩보 및 상황처리, 적의 능력 평가, 위-게임, 운영방법 결정 등이 처리속도를 지체시키는 transition이라고 판단해 볼 수 있을 것이다. 또한, 각 transition들의 처리시간을 변화시켰을 때 전체 처리시간에 미치는 영향을 비교해 보기 위해 <표 2>와 같이 각각 처리해 보았다. 그 결과는 <표 5>와 같으며, 이를 그래프로 나타내면 <그림 11>, <그림 12>와 같다.

이 결과에서도 역시 4번, 9번, 11번의 transition이 가장 민감하게 나타났는데, 이는 앞에서 처리한 결과와 비슷함을 알 수 있을 것이다. 이러한 transition의 처리시간을 줄이기 위한 노력이 선행된다면 C4I체계 성능은 향상될 것으로 판단되며, 그 노력은 아마 조직의 개선, 알고리즘의 개발, 업무의 재설계, 향상된 자원의 운영 등이 될 것이다.

이를 종합분석해 보면 전술 C4I체계는 정보, 작전분야에 해당하는 각 transition의 처리시간 향상 여부에 따라 체계의 성능이 좌우될 것으로 판단된다. 따라서 체계 개발시 설정되는 MMI(Man Machine Interface) 중 가능한 많은 범위가 기계의존적으로 처리될 수 있다면 시스템 전체의 효율성은 크다고 할 수 있다.

본 장에서 분석된 결과는 연구 목적상 일반적인 모델을 사용하여 시뮬레이션을 하였으므로 현실적으로는 분석결과가 다소 차이가 있을 수 있다. 만약, 실질적인 조직구조, 편성, 운영업무 그리고 각종 상황을 고려하여 좀더 구체적인 모델을 사용한다면 시간적인 측면에서 C4I체계는 최적화된 형태로 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결론

표 4. 대안1의 place별 평균 토큰수

place번호	0	1	3	9	10	11
평균 토큰수	104	685	85	3	96	93

표 5. transition별 평균 through-put time

O-place transition		O-place			O-place transition		O-place		
		대안	P30	P31			P32	대안	P30
T1	21	2.6	2.6	2.6	T15	21	1.5	1.5	1.5
	22	4.2	4.2	4.2		22	1.5	1.5	1.5
T2	21	2.6	2.6	2.6	T16	21	1.5	1.5	1.5
	22	4.2	4.2	4.2		22	1.5	1.5	1.5
T3	21	4.3	4.3	4.3	T17	21	1.5	1.5	1.5
	22	7.3	7.3	7.3		22	1.5	1.5	1.5
T4	21	4.4	4.4	4.4	T18	21	1.5	1.5	1.5
	22	7.5	7.5	7.5		22	1.5	1.5	1.5
T5	21	2.5	2.4	2.5	T19	21	1.5	1.5	1.5
	22	4.3	4.2	4.3		22	1.5	1.5	1.5
T6	21	4.3	4.2	4.3	T20	21	1.5	1.5	1.5
	22	7.3	7.3	7.3		22	1.5	1.5	1.5
T7	21	1.5	1.5	1.5	T21	21	1.5	1.5	1.5
	22	2.1	2.1	2.1		22	1.5	1.5	1.5
T8	21	2.5	2.5	2.5	T22	21	1.5	1.5	1.5
	22	4.2	4.2	4.2		22	1.5	1.5	1.5
T9	21	4.4	4.3	4.4	T23	21	1.5	1.5	1.5
	22	7.7	7.5	7.7		22	1.5	1.5	1.5
T10	21	4.3	4.3	4.3	T24	21	1.5	1.5	1.5
	22	7.3	7.3	7.3		22	1.5	1.5	1.5
T11	21	4.4	4.4	4.4	T25	21	1.5	1.5	1.5
	22	7.5	7.5	7.5		22	1.5	1.5	1.5
T12	21	1.5	1.5	1.5	T26	21	1.5	1.5	1.5
	22	1.5	1.4	1.5		22	1.5	1.5	1.5
T13	21	1.5	1.5	1.5	T27	21	1.5	1.5	1.5
	22	1.5	1.5	1.5		22	1.5	1.5	1.5
T14	21	1.5	1.5	1.5					
	22	1.5	1.5	1.5					

현대전은 첨단 과학기술의 발달로 인한 전장환경의 변화에 따라 지휘통제영역이 광역화되고 대량의 정보가 빠르게 전파, 처리 및 소멸되므로 그에 따른 신속하고 정확한 의사결정이 요구되고 있다. 그러나 대부분의 과정이 수동으로 처리되고 있는 현실 환경을 고려해 볼 때 장차 전투에서의 승리를 보장하기 위해서는 반드시 인간과 과학기술과의 연동에 의한 지휘통제가 불가피하며, 효율적인 C41체계 구축이 절실히 요구되고 있다. 또한 현대전에서 정보는 절대적인 전투자산으로 부상했다. 그 동안 유형적인 장비가 대표적인 전투자산이었고 무기체계들을 효과적으로 개발 및 획득하고 그 운용개념을 발전시키기 위해서 노력을 해왔다면, 이제는 정보도 엄연한 전투자산인 이상 이 정보를 효과적으로 개발하고, 운용하기 위한 노력도 게을리해서는 안 될 것이다. 그리고 그 노력의 방향은 본문에서 소개한 바와 같이 정보통신 기술을 이용한 자동화 체계의 개발로 갈 것이다. 이러한 관점에서 무엇보다도 중요한 것은 미래 전쟁개념과 방식에 대한 이해, 그리고 정보

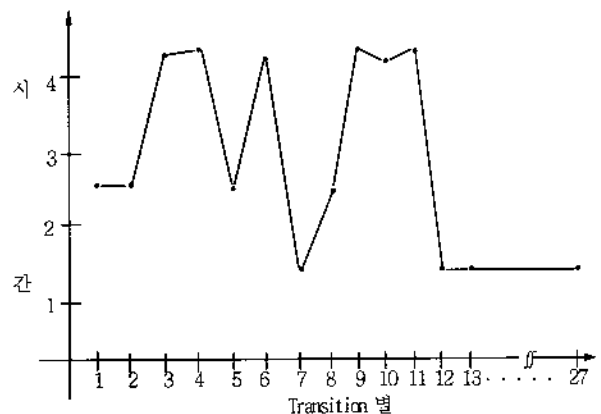


그림 11. 대안 21(3을 증가시)의 평균 through-put time.

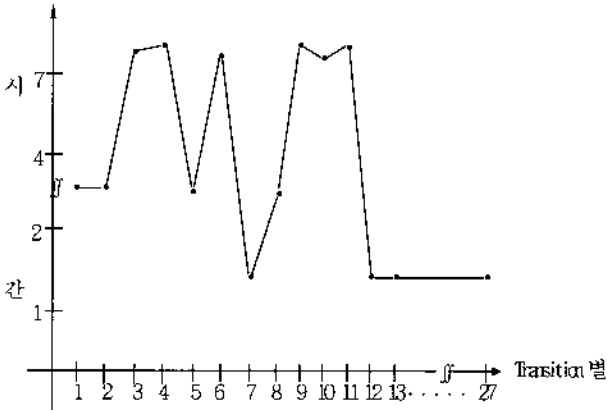


그림 12. 대안22(5를 증가시)의 평균 through-put time.

와 시간에 대한 가치를 얼마나 현실적으로 인식하느냐에 달려 있을 것이다. 그러므로 본 논문에서는 C4I체계의 개념 정립과 차후 C4I체계 개발시 공통된 개념구도를 가지고 문제 접근과 분석을 할 수 있도록 C4I체계에 대한 분석틀을 도출하였으며, 이를 기초로 임의의 C4I체계를 구성하여 TPN(Timed Petri-net)으로 시뮬레이션을 해본 결과 정보수집활동과 기타 활동 분야 보다는 의사결정활동 분야에 자원을 집중하는 것이 체계의 성능을 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었으며, 특히 위-개입, 적의 능력평가, 운영방법 결정 등이 처리시간을 지체시키는 transition으로 분석되어 앞으로 면밀한 검토가 요구되는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 C4I체계 개발의 경우에는 효율성, 효과성 측면에서 서로 다른 특성을 갖는 매우 다양한 여러 개의 대안이 존재할 수 있을 것이다. 따라서 최적의 체계를 도출하기 위해서는 먼저 비교되는 모델을 몇 가지 만들어, 각 모델마다 성능을 측정하여 그 결과를 비교 분석해야 하나, 본 논문에서는

다수의 제한 사항으로 일반화된 모델을 사용하여 각 process별로 처리 시간을 변경해 가는 대안을 설정하고, 이 대안으로 시뮬레이션을 실시하는 방법을 적용하게 되었다.

이와 같이 개발대상 체계가 매우 복잡하고, 대규모적인 경우에는 체계를 구축하기 전에 그 체계의 목표를 달성할 수 있는 최선의 대안을 찾는 접근방법을 적용한다면 좀더 효율성이 뛰어난 체계를 구축할 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서 제시된 접근방법은 향후 C4I체계 분석 및 개발시 유용하게 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

미 함참(1992, 6), C4I FOR THE WARRIOR.
 신인섭(1995), 지휘통제 통신 개설, 심학당.
 임용철외(1998), C4I 체계 연구, 국방 정보체계 연구소.
 최상영(1994), 객체지향 시뮬레이션에 관한 연구, 국방대학원.
 Eberchtin(1983), The Technology of Command, National Academy Press.
 George, D. H. and Jay, K. B. (1984), A concept for navy command and control in the Year 2000, Johns Hopkins APL Technical Digest, 5(1).
 George, E. O. (1983), Combat Operations C3I: Fundamentals and Interactions, Air University, Report AU-ARI-82-5.
 Lawon, J. S., The Role Of Time In A Command And Control System .
 Lawson, J. S. (1982), The state variables of a command control system, selected analytical concepts in command control, Military Operations Research, A Series of Monographs and Texts 2.
 MaRMI-Magic And Robust Methodology Integrated-D.
 Naval War College (1988), Course on Command and Control.
 Thomas, J. R. II (1989), The command and control doctrines of the national command authorities and the army's "airland battle": perspective on compatibility in time od military conflict.



김호진
 1982년 성균관대학교 경영학과(학사)
 1985년 Florida Institute of Technology(FIT) 석사
 1998년 동국대학교 산업공학과 박사과정 수료
 현재: 육군 전술 C4I 개발단
 관심 분야: C4I, 시뮬레이션, 정보통신

권영식

서울대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학 석·박사
 현재: 동국대학교 산업공학과 교수
 관심 분야: 인공지능 시스템, 데이터마이닝, 전자상거래



이상국
 1988년 영남대학교 전자공학과(학사)
 1998년 한남대학교 경영정보학과(석사)
 현재: 육군 전술 C4I 개발단
 관심 분야: 시스템 최적화, 정보관리 시스템, 윈도 프로그래밍