

군사과학정책연구

Military Science & Technology Annual Report

연구논문

- 에이전트 기반 M&S를 활용한 군수성과 분석방안 연구: 윤봉규
- 평화를 지키는 무기- 화약에서 레이저, 그리고 정책과제 연구: 이춘주
- 네트워크 신기술을 활용한 미래 국방 네트워크 인프라 발전 연구: 권태욱



국 방 대 학 교
국가안전보장문제연구소

ISSN 1976-5967

제13권

2020년 12월

군사과학기술정책연구

Military Science & Technology Annual Report

국방대학교 국가안전보장문제연구소

목 차

에이전트 기반 M&S를 활용한 군수성과 분석방안 연구	1
윤봉규	
평화를 지키는 무기	
- 화약에서 레이저, 그리고 정책과제 연구 -	63
이춘주	
네트워크 신기술을 활용한 미래 국방 네트워크 인프라 발전 연구	121
권태욱	

연구보고 2020

에이전트 기반 M&S를 활용한 군수성과 분석방안 연구

윤 봉 규

2020. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

목 차

1. 들어가며	7
1.1 연구배경 및 목표	7
1.2 선행연구 및 연구 범위	11
2. ABMS(Agent Based Modeling & Simulation)와 NetLogo	15
2.1 ABMS의 특징	15
2.2 NetLogo를 활용한 ABMS 모형 구축	17
3. NetLogo활용 군수모형 구축 시 고려사항	37
3.1 이벤트 순서 결정	37
3.2 R과 NetLogo 연동 방안	39
4. 군수성과 분석 기본 모형	45
4.1 모형 개요와 환경 만들기	45
4.2 시뮬레이션 이벤트 진행	49
4.3 모형의 실행과 검증	52
5. 나가며	55
참고문헌	56

그림목차

〈그림 2-1〉 NetLogo 내려받기 화면	18
〈그림 2-2〉 NetLogo 시작화면	18
〈그림 2-3〉 버튼 만들기: 버튼 선택	19
〈그림 2-4〉 버튼 만들기: 버튼 이름	20
〈그림 2-5〉 버튼 생성	21
〈그림 2-6〉 코드 입력	21
〈그림 2-7〉 “setup” 실행 후 화면	22
〈그림 2-8〉 에이전트 생성	23
〈그림 2-9〉 월드뷰의 구성	24
〈그림 2-10〉 에이전트 속성 확인	25
〈그림 2-11〉 에이전트의 움직임	27
〈그림 2-12〉 무한반복 절차 수행	31
〈그림 2-13〉 모니터링 창 만들기	32
〈그림 2-14〉 그래프 추가	33
〈그림 2-15〉 초기값 설정 Slider 추가	34
〈그림 2-16〉 질병감염 모형	34
〈그림 3-1〉 도착과 이탈시점(LAS-DA vs EAS)	37
〈그림 3-2〉 고객수 변화(LAS-DA vs EAS)	39
〈그림 3-3〉 R에서 NetLogo 시작하기	41
〈그림 4-1〉 G/G/1 NetLogo 모형	48
〈그림 4-2〉 시뮬레이션 이벤트 진행 순서	50

표 목 차

〈표 1-1〉 군수 성과분석 방법론	11
〈표 4-1〉 G/G/1 시뮬레이션 모형의 변수명	47

1. 들어가며

1.1 연구배경 및 목표

기후 변화, 전쟁, 금융 위기처럼 사전에 예측하기 어렵지만, 우리 삶에 큰 영향을 미치는 사건을 탈레브(Taleb, 2013)은 극단적인 사건(Extreme Event)이라고 명명했다. 극단적인 사건은 다른 사건들에 비해서 우리 삶에 미치는 영향이 크므로 어떤 결과가 나타날 수 있는지 분석하고 대응방안을 마련하는 것이 다른 사건들에 비해서 더욱 중요하다.

최근 우리 주변에 예측할 수 없는 극단적인 사건들이 과거에 비해 자주 일어나는 것처럼 보인다. 처음에는 그럭저럭 마무리될 것 같은 일들이 일파만파 퍼져나가 생각지도 못한 일이 되는 경우가 과거에 비해 빈번해진 것처럼 보이는 지금은 어느 때보다 극단적인 불확실성이 높은 시대가 되었다. 이런 맥락에서 민간 부문에서는 스트레스 테스트나 회복탄력성(Resilience) 확보가 경영관리나 전략 수립의 중요한 요소로 자리 잡아가고 있다.

군은 전통적으로 전쟁과 같은 불확실성에 대비하기 위해서 만들어진 국가조직이다. 군수는 군이 역할을 충실히 수행할 수 있도록 자원을 획득하고 이를 각 부분 조직의 요구에 맞게 배분하고 지원하는 일련의 활동이다. 따라서 군수 정책이나 전략을 세울 때 불확실성(Uncertainty)을 고려하는 것은 지극히 당연한 일이고, 최근의 극단적 불확실성의 출현 빈도를 고려할 때 이에 대비하는 것 또한 그 어느 때보다 필요하다. 이런 차원에서 군수 정책을 입안할 때 회복탄력성을 고려하는 것이 중요한 의미를 갖는다.

불확실성을 감안하여 현상을 분석할 수 있는 모형을 만들고 미래를 예측하는 방식은 대부분의 과학적인 분석 방법론이 채택하고 있는 방식이다. 그러나 극단적인 불확실성하에서 일어나는 결과를 예측하기 위한 모형을 구축할 때는 기존의 분석 방법론이 한계를 드러내는 경우가 많다. 예를 들어 군수 분야의 재고관리나 고장 함수 추정 등에 자주 사용하는 마코비안 모형(Markovian Model)은 지수 분포에 기초하고 있어서 꼬리가 두터운(Long Tail) 극단적 사건의 발생을 모형화하기 어렵다. 또, 꼬리가 두터운 롱테일 분포를 모델링할 수 있는 수학적으로 다루기 좋은 확률 분포를 찾았다고 하더라도, 게임(Game)과 같은 동적인 상황을 분석할 때는

분석해야 하는 경우의 수가 기하급수적으로 증가하여 실제 결과를 얻기 어려운 간단한 분석 모형으로 만족해야 하는 경우가 생기기도 한다.¹⁾

최근에 극단적인 불확실성과 동적인 상황을 분석하기 위한 방법론으로 에이전트 기반 M&S (Agent Based Modeling and Simulation; 이하 ABMS)가 활용되고 있다. ABMS는 주변과 상호작용하는 에이전트라는 독립적인 개체를 기본 단위로 현상을 분석하는 시뮬레이션 방법론이다. ABMS는 시뮬레이션 방법론이므로 시간에 따라서 진행되는 동적인 현상을 묘사하기에 적합하고, 극단적인 현상을 묘사할 수 있는 긴꼬리를 가진 확률분포(Long-tail Probability Distribution)를 모형에 반영하는 것이 수리적 분석 모형(Analytic Model)에 비해 상대적으로 쉽다. 따라서, ABMS는 극단적 불확실성과 동적인 행태를 보이는 현대 군수 분야의 성과 분석에 적절한 방법론이 될 수 있다. 이런 맥락에서 본 연구에서는 ABMS를 활용하여 군수 성과를 분석할 수 있는 방안을 살펴본다. 이 과정에서 정책 연구의 특성을 감안하여 현장의 실무자가 활용할 수 있도록 구체적인 모형을 구축하고 그 결과를 분석하는 과정을 제시한다.

한편, 기술의 발전으로 컴퓨팅 시간과 메모리 비용이 획기적으로 감소하고, 다룰 수 있는 자료의 규모도 비약적으로 증가했다. 후자는 이런 현상의 결과로 나타난 대규모 자료의 출현과 이를 분석하기 위한 활동을 ‘빅데이터’라는 용어로 특징짓기도 한다. 어떤 이름으로 부르든지 컴퓨팅 비용의 감소와 대규모 자료의 출현은 이를 분석하고 활용하는 분야의 연쇄적인 발전을 가져왔다.

이런 현상은 연구 분야 전반에 걸쳐서 알고리즘적인 분석 방법의 폭발적 증가와 데이터 분석 도구의 발전을 가져왔다. 4차 산업 혁명의 총아로 주목받고 있는 인공지능(AI) 또한 기존에 개발된 알고리즘들을 저비용으로 처리할 수 있는 컴퓨팅 능력의 발전에 힘입어 최근 비약적으로 발전했다. 군수 분야에서도 AI 방법론을 연구에 활용하는 빈도가 증가하고 있고, 주요 분석 방법론의 하나인 마코비안 분석모형에서도 행렬기하법(Matrix Geometric Method)으로 대표되는 알고리즘적인 접근법의 활용 빈도가 증가하고 있다.

데이터 분석 도구의 측면에서는 Matlab과 같은 고가의 공학 계산용 분석 도구

1) 게임이론의 복잡성은 게임 참여자가 추가될 때마다 게임의 상태가 기하급수적으로 늘어나는 사실에서 파악 가능하다. 각 참여자가 두 개의 전략만을 가지고 있는 경우에도 n 명의 참여자를 고려하면 2^n 개의 전략 조합이 존재한다. 이는 차원의 저주 (Curse of Dimensionality)로 이어지며, 참여자 수가 많은 상황을 분석하기 어렵게 만든다.

를 대체할 수 있는 Python, R과 같은 패키지가 오픈소스로 제공되고, 각종 라이브러리가 사용자들에 의해 자발적으로 개발/공유되어 누구나 쉽게 분석을 실행할 수 있는 환경이 조성되었다. 복잡한 이론적 배경을 가지고 있는 방법론이라고 하더라도 개념만 이해하고 있으면 상세한 내용을 자세히 알지 못하더라도 분석 패키지를 활용하여 필요한 분석을 할 수 있는 시대가 되었다. 비유적으로 표현하자면, 전자공학적인 지식이 없더라도 스마트폰 앱을 사용할 때 아무 문제가 없는 것처럼 데이터 분석도 이런 수준까지 발전하고 있다. 그 결과 현장 실무자들이 엑셀을 이용하는 것처럼 모형을 만들고 분석하는 것이 가능한 환경이 구축되고 있다.

모델링 분야의 최근 변화를 반영하여 본 연구는 현장 실무자들이 쉽게 이용할 수 있도록 군수분야 성과분석 방법론을 분석 도구와 연계해서 살펴보고자 한다. 또한, ABMS는 반복적인 계산이 필요한 계산과학적 특징을 처음부터 가지고 있는 시뮬레이션 방법론이므로 분석 패키지를 활용하는 것이 반드시 필요하다. 이런 점을 고려할 때, 에이전트 기반 군수성과 분석 방법론은 모형 구축과 분석을 위한 패키지와 연계해서 제시하는 것이 너무나 자연스럽다. 본 연구에서는 ABMS 시뮬레이션 모형 구축 패키지인 NetLogo와, 자료 분석 패키지 R과 NetLogo를 연계시켜 ABMS 분석 결과를 다양한 차원에서 분석할 수 있도록 도움을 주는 RNetLogo 패키지를 활용하여 현장에서 실무적으로 바로 적용할 수 있는 군수성과 분석 방법론을 제시하고자 한다.

본 연구의 목표는 극단적 불확실성과 동적인 환경을 반영할 수 있는 NetLogo 군수성과 분석 모형을 만드는 방법론을 살펴보고 기본 모형을 사례로 제시하는 것이라고 할 수 있다. 군수 분야 성과분석에 활용될 수 있는 ABMS 분석 방법론과 기본 모형을 제시함으로써 본 연구가 추구하는 목표는 세 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 앞서 설명한 바와 같이 현대 군수 환경이 처한 현실인 극단적 불확실성과 동적인 특징을 반영할 수 있는 모형 구축 방안을 제시한다. 기존의 군수분야 성과 분석 방법론은 정규분포, 기하분포, 지수분포와 같은 확률 분포를 활용하여 수리적으로 분석 가능한(Analytically Tractable) 수준의 불확실성을 모형에 반영해 왔다. 그 결과 분석 모형이 현실을 제대로 반영하지 못하는 경우가 많았다. 또한 진행 상태를 추적해야 하는 마코비안 모형의 방법론상의 한계로 인해서 다양한 상황이 존재하는 현실 문제의 동적인 특징을 분석하기에는 한계가 있었다. ABMS는 이산사건 시뮬레이션으로서의 특징을 활용하여 극단적인 불확실성을 다루고 복잡한

상태를 가지는 현실 문제를 모형화할 수 있으며, 이를 보여주는 것이 이 연구의 중요한 목표이자 가치이다.

둘째, 실무자가 성과분석을 수행할 수 있도록 구체적인 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해서 개념적인 방법론이 아니라 분석 도구와 연계된 방안을 제시한다. 분석 모형들은 실제 사용되지 않으면 가치가 없다. 이런 맥락에서 분석 모형은 사용자를 염두에 두면서 구축하는 것이 바람직하다. 군수성과 분석 모형의 사용자는 실무에서 군수성과 향상을 위해서 구체적인 계획을 수립하고 전략을 짜는 담당자들이다. 이들에게는 아카데미한 이론적 지식에 대한 편차가 존재한다. 그러나 최근에는 프로그래밍언어와 계산 패키지의 발전으로 이론에 대한 깊은 이해없이 개념적인 수준의 지식만으로도 패키지의 도움으로 분석 모형을 구축하고 결과를 얻는 것이 과거 어느 때보다 용이해졌다. 이런 점을 활용하여 본 연구에서는 실무자들이 직접 활용할 수 있는 수준의 방법론을 제시하고자 한다. 시뮬레이션 방법론 자체가 수리적/분석적 방법론에 비해서 높은 실무 활용 가능성을 내포하고 있지만, 본 연구에서는 분석 패키지 중심으로 방법론을 제시하여 실무 활용 가능성을 더욱 높이고자 한다.

셋째, ABMS의 개념과 방법론상의 특징을 살펴봄으로써 향후 군수성과 분석시 ABMS를 활용 가능한 분야를 발굴/식별하기 위한 기반 정보를 제공한다. ABMS는 복잡계라는 이론적 배경을 갖춘 훌륭한 연구 방법론으로서 공학적인 분야뿐 아니라 정치/경제/사회/문화 등 다양한 분야에 응용 사례를 제시하고 있는 범용 방법론이다. 다른 다양한 분야에 적용 가능성이 확인된 만큼 군수 분야에서도 응용 가능성이 높지만, 범용 방법론으로 인한 문제점과 장단점이 존재하므로 어떤 문제가 ABMS에 적합한지를 판단하는 것이 분석 결과의 성패를 좌우할 정도로 중요한 의사결정 사항이다. 이를 판단하기 위해서는 ABMS의 개념과 방법론상의 특징을 이해하는 것이 필요하다. 그리고 군수 분야 적용시 나타나는 문제점들과 이를 해결하기 위한 방안을 살펴보는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 ABMS의 개념과 특징을 간략히 살펴보고 재고나 군수 최적화에 자주 사용되는 G/G/1 대기행렬모형을 NetLogo 기본 모형으로 구축한다. 또한 그 과정에서 군수 성과분석 모형 구축시 나타날 수 있는 문제점과 장단점을 살펴보고자 한다.

1.2 선행연구 및 연구 범위

로지스틱스 (또는 공급망관리)는 고객의 요구를 만족시키기 위해 상품과 서비스 및 관련 정보를 발생시점부터 최종 소비 시까지 효율적이며 동시에 효과적인 방법으로 조달하는 것을 계획, 수행, 관리하는 과정이다 (Bramel&Simchi-Levy, 1997). 이 정의는 ‘군사적 목적 달성을 위해 필요한’이라는 수식어를 ‘상품과 서비스 및 관련 정보’ 앞에 넣으면 군수에도 동일하게 적용할 수 있다. 이런 맥락에서 군수성과에 대한 연구는 로지스틱스 성과 연구와 동일한 맥락에서 파악할 수 있다.

〈표 1-1〉 군수 성과분석 방법론

	분석적 접근법	시뮬레이션
수요/수명 예측	<ul style="list-style-type: none"> - 통계분석(시계열 분석) - 분포추정(Moment Matching, EM 알고리즘) - 분석적 방법도 계산적 접근법을 취하는 경향 	<ul style="list-style-type: none"> - MCMC (Monte Carlo Markov Chain)
재고관리	<ul style="list-style-type: none"> - 기계고장 모형 - 대기행렬이론 - 최적화 모형 (모수 산출후 최적화하는 2단계 접근법) 	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 다이내믹스 - 이산사건 시뮬레이션 - 패키지와 연계되어 다양한 접근법 존재 - Vensim, Arena 등 다양한 패키지 사용
행태적 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 게임이론 - 마코비안 모형 - 분석적 접근법의 난이도 높음 	<ul style="list-style-type: none"> - 설문과 실험을 통한 분석 - 군수 분야에서는 시스템 다이내믹스를 주로 활용

로지스틱스 성과와 관련된 연구는 생산계획과 관련된 수요 예측, 유통과 운송 (Distribution and Transportation), 재고 및 창고관리, 유지 보수를 포함하는 고객지원 활동 분야로 나누어 볼 수 있다. 최근에는 각 분야에서 고객이나 공급망의 참여자들의 행태적인(Behavioral) 특징에 초점을 맞춘 성과분석 연구가 활발하다. 이들 분야 중에 유통과 운송은 네트워크 이론과 최적화 모형을 사용한 분석이 주류를 이루고, 유지 보수 및 고객 지원 분야는 유지 보수를 위한 예비품이나 지

원을 위한 설비의 용량 결정, 설비 수요 예측 등의 문제가 주를 이루어 방법론상으로 재고 및 창고관리 분야 및 수요 예측 분야와 유사하다. 따라서 ABMS와 같은 시뮬레이션 방법론을 적용할 수 있는 불확실성이 존재하는 상황에 대한 군수성과 분석 연구는 응용 분야 측면에서 수요 예측, 재고관리, 행태적 분석으로 구분해 볼 수 있다. 이 분야들에 대한 성과분석은 방법론의 관점에서는 수리 모형 중심의 분석적 접근법(Analytic Approach)과 시뮬레이션 기법을 활용하는 접근법으로 수행되어 왔다. <표 1-1>은 불확실성을 고려한 군수성과분석 연구의 주요 방법론과 특징을 연구 분야와 접근법을 기준으로 정리한 표이다.

ABMS는 시뮬레이션 방법론의 특성상 재고관리와 행태적 분석 연구에 적합하며, 본 연구에서는 이 분야의 군수성과 분석에 활용될 수 있는 방법에 초점을 맞출 것이다. 재고관리 분야에서 기존 연구는 전투태세 유지를 위한 정비대충장비(Maintenance Float) 적정 수준을 기계고장 모형을 활용해서 다루는 연구가 주로 수행되었다. 기계 고장 모형은 Steckel&Aronson(1985)과 Haque&Armstrong(2007)에 자세히 소개되어 있으며, 윤혁·이상진(2009), 유일·윤봉규(2010)가 기계고장 모형을 활용하여 정비대충장비 수준을 결정하는 연구를 수행했다. 대기행렬이론은 정비 설비의 용량이나 서비스 수준을 결정하는 문제에 주로 활용되었으며 조승현·윤봉규(2018)가 해군 정비 시설의 용량 결정에 대기행렬이론을 활용했으며, 손영수 외(2014)는 전투기 필요 대수 결정에 이를 활용했다. 대기행렬이론을 재고관리에 적용한 주요 연구는 재고에 대한 소요/수요 발생 패턴과 서비스 시간과 정책에 따라 기존 연구를 분류한 Choi et al. (2019)에 잘 정리되어 있다. 그러나 지금까지의 연구들은 대부분 지수분포나 기하분포를 가정하여 수학적으로 분석 가능한 수준에서 수행한 연구들이 다수이다. 그 결과 현실의 문제를 다루기보다는 분석의 틀 내에서 현실을 끼워 맞추었다는 문제제기에서 자유롭지 못하다. 이상의 연구 모형을 극단적인 불확실성을 포함하는 다양한 확률적 특성을 가지는 현실 문제에 적용하는 것은 계산 복잡도가 기하급수적으로 증가하는 차원의 저주(Curse of Dimensionality)에 빠져 계산 결과를 얻기 어려울 가능성이 높다.

한편, 적정재고 수준을 결정하는 문제는 최적화 분야에서 많이 다루어졌다. 그러나, 본 연구는 ABMS로 응용가능한 불확실성을 고려한 군수성과 분석에 초점을 맞추므로 이에 대해서는 자세히 다루지 않는다. 다만, 최적화 분야에서 모형 구축을 위해 모형의 모수 산정과 최적화라는 이단계 접근법을 취하는 경우가 많은데, 다

양한 기본 모수 산정을 위해서 기계고장이나 대기행렬 모형의 결과를 활용하는 관련 연구가 활발하다는 점을 주목할 필요가 있다. 최적화 문제의 관점에서 살펴본 주요 연구 주제에 대한 분류는 Bramel&Simchi-Levy(1997)와 Veinott(2005)에 제시되어 있다.

행태적 분석에 대한 연구는 공급망에서 수요가 비정상적으로 증폭되는 채찍효과(Bullwhip Effect)를 중심으로 Schweitzer&Cachon(2000), Croson&Donohue(2002)를 필두로 공급망에서 참여자의 행동특성으로 인한 왜곡효과와 관련한 많은 연구가 있었다(상세 연구는 Croson&Donohue(2006), Gino&Fisano(2008)를 참고 바람). 국내에서는 문성암 외(2012, 2019)가 공급망 참여자의 기회주의적 행동특성이 군수분야에 미치는 영향을 분석했으며, 김주영·김경규(2009)는 정보공유에 미치는 영향을 분석하는 등 주로 기회주의적 성향의 영향에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 남윤진·윤봉규(2015)는 게임이론을 적용하여 기회주의적 성향이 자원공유에 미치는 영향을 분석했다. 행태적 특성에 대한 연구는 분석적인 접근법보다는 시뮬레이션과 설문조사를 활용하는 연구가 많으며 그 이유는 분석적 접근법의 경우 게임이론이라는 진입장벽이 존재하여 실무에서 활용이 쉽지 않고, 마코비안 모형의 경우 안정상태의 성과척도에 초점이 맞추어져 있어 동적 특성을 반영하기 어렵다는 특징 때문으로 보인다.

시뮬레이션 방법론을 활용한 연구는 재고관리 모형과 행태적 연구에 주로 활용되었는데, 방법론에 따라서 다양한 도구를 활용한 특징이 있으며, 이를 활용한 연구 분야는 Persson&Olhager(2002)와 Bank et al.(2002)에 잘 정리되어 있다. 특히 Thierry(2008)는 SCM의 정의부터 시뮬레이션 방법론의 적용 방법까지 이 분야에 시뮬레이션 방법론을 활용하기 위한 절차와 이슈를 상세히 정리했다. 군수 분야에서는 이영 외(2013, 2014)나 김상민·이문걸(2014)과 같이 시스템다이나믹스를 활용한 연구가 주를 이루고 있다. 그러나 시스템다이나믹스는 동질적 입력과 출력을 가지는 시스템의 모델링에 적합하며(Wilnesky&Rand, 2017), 이질적인 다양한 시스템 간의 상호작용을 묘사하는 경우 모형 구축이나 결과 도출이 어려운 한계를 가지고 있다.

ABMS를 활용한 연구는 정치, 경제, 사회, 문화 등의 영역에서 다양하게 진행되고 있다(Wilnesky&Rand, 2017). 국방분야에서 ABMS를 활용한 사례 및 적용방안에 대해서는 임대은 외(2016)의 연구가 있으나, 이는 적용 가능성을 살펴본

연구이며 구체적인 분석 모형을 제시한 연구는 아니다. 구체적인 분석 연구는 주로 탐색(Search) 분야에서 활용되어 왔다. 탐색분야에 ABMS를 적용한 연구는 Onggo&Karatas(2016)와 백민승·윤봉규(2020)에 분야별로 정리되어 있으며, 군수분야에서는 획득과 관련해서 Schewenna et al.(2015)이 획득과 관련된 다양한 이해관계자의 행동에 따른 문제점을 다룬 것 외에 ABMS를 활용한 연구가 활발하지 않았다. 그 이유는 ABMS를 활용한 응용 연구가 주로 거시적인 창발현상(Emergence)에 초점을 맞추어 출발했고, ABMS이 아닌 다른 시뮬레이션 방법론이 로지스틱스 성과분석 분야에 활용된 것이 오래되었고 또 주요 방법론으로 자리 잡아 새로운 도구 도입에 소극적이었던 측면이 작용한 것으로 보인다. 그러나 극단적인 불확실성과 주체들 간의 다양한 상호작용을 표현하기에는 전통적인 시뮬레이션 방법론이 한계가 있다는 공감대가 군수 분야에서도 확산되고 있으며, 이에 따라 ABMS를 활용한 응용 연구에 대한 관심도가 높아지고 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 군수분야 성과분석과 관련된 기존 연구들은 관련 주체들간의 상호작용으로 인한 롱테일 분포를 포함하는 다양한 확률적 현상이 나타나는 현실문제를 다루기 어렵고, 배경이론이 복잡해서 동적인 측면보다는 횡단면적인 정적인 분석에 초점을 맞추고 있어 활용도가 떨어질 가능성이 있다. 본 연구에서는 이런 기존 연구의 단점을 보완하기 위하여 ABMS를 활용한 군수성과 분석 방안을 제시한다. 특히 방법론상의 진입장벽을 낮추어 누구나 활용 가능한 방법론을 만들고자 하는 ABMS의 가치를 잘 구현한 NetLogo 패키지를 활용하여 군수성과 분석 모형을 구축하고 분석하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 2장에서 ABMS의 개념과 특징, 분석도구인 NetLogo 활용법을 살펴보고, 3장에서는 ABMS를 활용한 군수모형 구축시 해결해야 하는 난수 생성 및 이벤트 순서, 결과 분석 등의 이슈를 RNetLogo와 연계하여 설명한다. 4장에서는 수리부속 재고, 장비 가용도 분석, 정비 수준 분석 등의 다양한 군수 분석에 활용할 수 있는 G/G/1 대기행렬 모형을 NetLogo를 활용하여 구축한 사례를 제시하여 군수 성과 분석에 ABMS를 활용할 수 있는 기본 모형을 제시한다.

2. ABMS(Agent Based Modeling & Simulation)와 NetLogo

ABMS(에이전트기반 모델링/시뮬레이션)는 비교적 새로운 분석 방법론이며 주로 정치, 경제 등의 거시적 현상 분석에 활용되어 왔다. 그 결과 군수성과 분석에 적용한 연구는 많지 않다. 그럼에도 복잡한 현상을 있는 그대로 모형화하기 쉬운 방법론상의 장점으로 인해서 군수 성과 분석에 ABMS는 활용할만한 가치가 있다.

ABMS는 방법론상의 특징으로 인해서 다른 방법론에 비해서 좋은 결과를 얻을 수 있는 현상이나 분야가 존재한다. 이런 문제들을 식별하기 위해서는 ABMS의 개념과 방법론 상의 특징에 대해서 자세히 이해하는 것이 필요하다. 한편, 현대 군수의 특성상 극단적 불확실성과 행위자들의 행태적 특징으로 인한 동적인 변화를 예측할 수 있는 모형의 가치가 높아지고 있다. 기존의 방법론으로는 이러한 현상과 변화를 반영하는 것이 어려우므로, 새로운 방법론이 필요하다. 이런 차원에서 본 장에서는 ABMS의 개념과 ABMS 모형을 구축하기 위한 도구인 NetLogo에 대해서 살펴본다.

2.1 ABMS의 특징

ABMS는 에이전트를 기반으로 한 시뮬레이션 방법론이다. 에이전트는 겉모양이나 색깔과 같은 속성 (Property), 행동 규칙 (Action Rule), 행동에 참고하기 위한 상태 (State)를 가지는 개체 (Entity)이다. 사람, 양, 개미, 불씨, 자동차 등이 쉽게 떠올릴 수 있는 에이전트들이다. 에이전트들은 서로 상호작용을 하면서 자신의 상태를 변경하고, 이를 통해서 행동을 취한다. 독립적인 개체처럼 보이지 않는 신체의 장기, 원자, 세균 등도 속성, 행동 규칙, 상태를 적절히 정의한다면 에이전트가 될 수 있다. ABMS은 이런 에이전트들을 기본 요소로 이들의 상호작용으로 나타나는 결과를 통해 현실을 설명하는 기법이다 (Wilensky&Rand, 2017).

ABMS의 기본 개념은 Wilensky&Rand(2017)에 자세히 설명되어 있고, 시뮬레이션 방법론, 특히 ABMS의 장점은 김경수 외(2019)에 제시되어 있으므로 여기에서는 ABMS를 활용하여 군수성과 분석을 수행할 때 얻을 수 있는 장점만 간략히 살펴보자. ABMS는 다음과 같은 방법론 상의 장점이 있다.

① 이해하기 쉬운 방법론

ABMS는 사람들이 경험을 통해 익숙한 에이전트를 기반으로 모델링하는 기법이므로 모형을 구축하고 이해하기 쉬운 방법론을 제공한다. 모형을 구축할 때 기존의 시뮬레이션 방법론은 시뮬레이션 구성요소를 방법론에 따라서 정의하고, 구성요소 간의 인터페이스를 설계하고, 시뮬레이션 이벤트를 정의하고 이벤트 진행 순서를 정하는 등 복잡한 모형 설계 과정을 거쳐야 한다. 이 과정을 도와주기 위해서 페트리네트(Petri-net)와 같은 방법론이 활용될 정도로 엄격한 절차를 따라야 제대로 된 시뮬레이션 모형을 만드는 것이 가능하다. 그 이유는 방법론에 따라서 시뮬레이션 구성요소나 구성 방안이 다양하고, 시뮬레이션 모형이 우리가 경험하는 현실을 그대로 모형화하는 것이 아니라 방법론에 따른 구성 요소로 현실을 해석하여 모형화해야 하기 때문이다. 즉, 현실과 상이한 시뮬레이션 구성 요소를 가지고 있기 때문에 이 과정에서 발생하는 문제를 해결하기 위해 엄격한 설계 절차가 필요하고, 이 절차가 진입장벽이 될 수 있었다.

ABMS는 모형의 구성요소인 에이전트가 우리가 일상에서 경험하는 개체이고, 상호작용 또한 우리 경험과 일치하는 경우가 많아 이런 문제점을 피할 수 있다. 이는 군수성과 분석 모형에도 그대로 적용될 수 있으며, 모형 구축의 속도나 활용도를 높일 수 있다.

② 동적 특징을 모델링

국방분야는 위협이나 문제에 빠르게 반응하는 것을 목표로 하는 경우가 많아 군수성과도 문제 발생시 특정 시간 안에 일어나는 변화에 대처하는 능력과 관련된 성과를 다루는 경우가 많다. 또한 상황 변화에 대응하면서 변화가 일어나면, 이를 반영한 새로운 대책이 수립되고, 상황변화와 대책이 서로 상호작용하면서 동적으로 진화하는 현실에 대한 분석을 수행할 필요가 있는 경우가 빈번하다. 기존의 수리적인 방법론은 차원의 저주와 수리적 분석 가능성의 한계로 인해서 이런 동적 특징을 모형화하기 어렵다. 시뮬레이션 방법론은 이런 동적 특징을 모형화하기 용이하며, 특히 ABMS와 이 방법론을 구현한 패키지인 NetLogo는 시간의 흐름에 따라 진행되는 시뮬레이션 모형이므로 동적 특징을 모형에 더욱 용이하게 반영할 수 있다. 따라서 본 연구는 동적인 군수성과 분석에 적합한 차별화된 분석 방안을 제시할 수 있다.

③ 다양한 현실적인 상황을 분석 가능한 방안

기존의 군수성과 분석 방안은 롱테일 현상을 포함하는 극단적인 불확실성을 모형에 반영하기 어렵다. 그 이유는 지수분포의 특징인 무기억 속성을 벗어나는 확률적 특징을 모형에 반영하면 수리적인 방법으로 모형의 해를 구하는 것이 어렵기 때문이었다. ABMS는 이런 문제점을 해결할 수 있다. 특히 RNetLogo와 연계하면 R의 다양한 확률변수를 그대로 NetLogo 모형에서 읽고 이를 모형에 반영할 수 있다. 이런 점에서 NetLogo를 활용한 ABMS 모형은 어떠한 확률적 현상도 반영할 수 있는 모형을 작성할 수 있는 장점을 가지고 있다.

④ 패키지를 활용하여 실제 현장에 바로 적용할 수 있는 분석 방안

분석 방법론과 절차가 아무리 뛰어나도 현장에서 적용하기 위해서는 다양한 데이터를 처리하고 이를 모형화해서 분석 결과를 낼 수 있는 도구가 필요하다. 이런 이유가 엑셀이 다양한 분야에서 인기를 유지하고 있는 비결이다. 앞서 설명한 바와 같이 빅데이터 시대에 들어오면서 엑셀의 역할을 할 수 있는 패키지들이 계량 분석 분야에서 다양하게 제시되고 있다. R과 NetLogo는 자료 분석과 ABMS 모형 작성에 장점을 가지고 있는 패키지로 이를 활용하면 방법론에 대한 개념적 이해만으로 군수성과 분석 모형의 구축과 결과 해석이 가능하다. 따라서 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 분석 방안으로 활용할 수 있다.

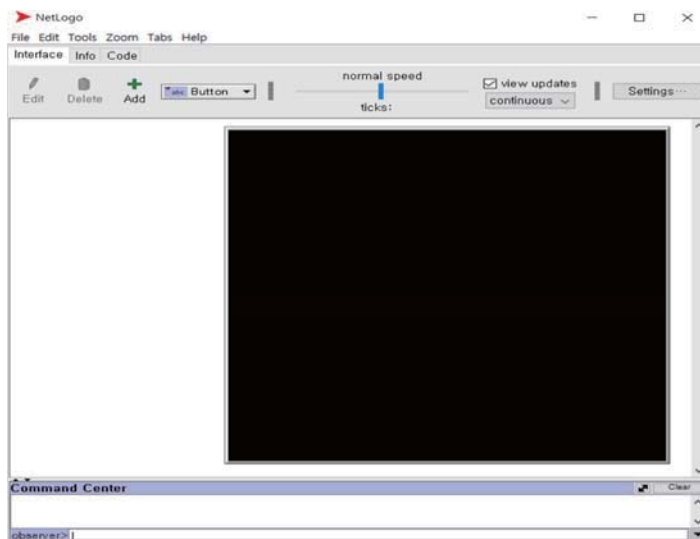
2.2 NetLogo를 활용한 ABMS 모형 구축 방법

ABMS는 시뮬레이션 방법론이므로 패키지를 활용하는 것은 불가피하다. ABMS를 위해 개발된 NetLogo 패키지는 ABMS의 개념과 방법론이 스며들어 있으므로, ABMS를 이해하기 위해 NetLogo를 활용하여 ABMS 모형을 하나 만들어 보는 것이 개념에 대한 자세한 설명 이상의 효과가 있다. 이런 맥락에서 본 절에서는 질병 확산을 묘사하는 ABMS 모형을 NetLogo를 활용하여 만들어 본다.

모형을 만들기 전에 NetLogo 패키지를 <그림 2-1>과 같이 “<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/download.shtml>”에서 내려 받아 설치해야 한다²⁾. 내려받은 파일을 설치하면 바탕화면에 “NetLogo 6.x.x”라는 아이콘이 생성되고 이를 실행하면 <그림 2-2>와 같은 화면이 나타난다.



〈그림 2-1〉 NetLogo 내려받기 화면



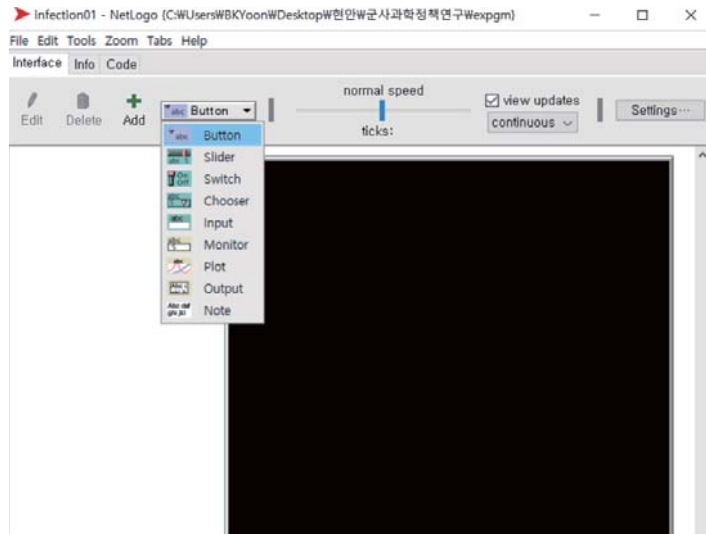
〈그림 2-2〉 NetLogo 시작화면

〈그림 2-2〉에는 “Interface”, “Info”, “Code”라는 세 종류의 탭(Tab)이 있다는 것을 확인할 수 있다. “Interface”는 〈그림 2-2〉의 화면이며 모델러(사용자)가 시뮬레이션을 실행하기 위한 다양한 동작 버튼을 배치할 수 있는 윈

2) 설치할 NetLogo 버전은 6.0.4를 선택하는 것이 나중에 RNetLogo와 호환성 측면에서 좋다.

쪽의 공백과, 검은색 상자 형태로 오른쪽에 배치되어 있는 월드뷰(World View)로 구성되어 있다. “Info”탭은 모형에 대한 설명을 작성하는 탭이고, “Code”탭은 “Interface”탭에서 ABMS 모형이 동작하도록 만드는 시뮬레이션 논리를 작성하는 곳이다. <그림 2-2>와 같은 화면이 나타났다면, 이제 NetLogo를 활용해서 ABMS 모형을 만들 준비가 된 것이다.

NetLogo를 활용해서 만들고자 하는 ABMS 모형은 질병확산 모형이다. 이 모형은 사람들의 감염률, 회복률에 따른 질병의 확산 정도를 살펴보기 위한 모형이다. 모형을 상세하게 살펴보면 다음과 같다. 일정 수의 모집단에서 일정 비율의 감염자가 존재하고, 매 시점마다 모집단의 구성원이 이동한다. 구성원의 이동 후에 같은 지역에 있는 구성원은 감염이 된다. 또, 감염자들은 일정 시간이 경과하면 회복이 된다. 이런 식으로 질병이 확산될 때, 감염자와 비감염자의 비율이 회복률, 감염률 등의 모수에 의해서 어떻게 달라지는지를 살펴보는 것이 이 모형 구축의 목표이다.



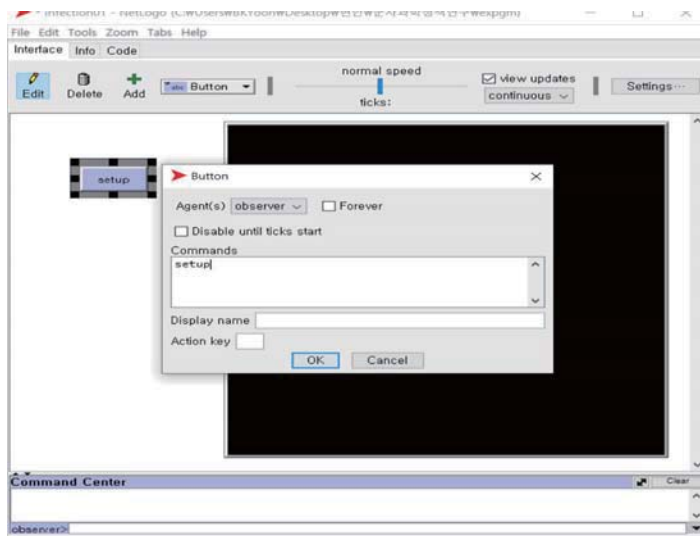
<그림 2-3> 버튼 만들기: 버튼 선택

① 초기 환경 만들기

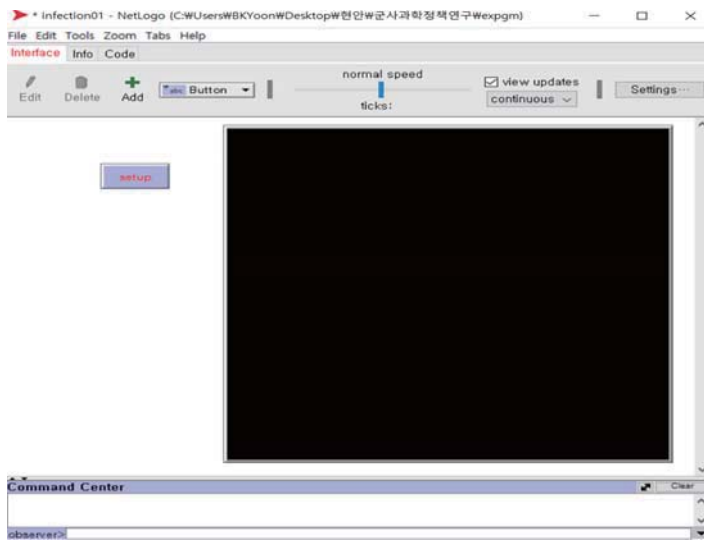
NetLogo 프로그램을 실행하면 <그림 2-2>와 같은 화면이 나타난다. 이 화면은 NetLogo 모형이라는 집을 짓기 위한 땅과 같다. 이제 집을 건축하기 위해서는 땅

을 평평하게 만들기도 하고, 배수로도 내고, 기초를 세워야 한다. ABMS 모형을 구축할 때도 이런 기초 작업이 필요하고 이를 초기 환경이라고 한다. 초기 환경은 화면 초기화와 시간설정으로 구성된다. 이를 위해서는 우선 왼쪽에 “setup”이라는 절차 (또는 명령어) 실행 버튼을 만들고, 이 버튼을 눌렀을 때 실행되는 코드를 “Code”탭에 작성하는 단계로 진행된다.

버튼을 만들기 위해서는 <그림 2-3>과 같이 화면 좌상단의 선택자를 클릭해서 “Button”을 선택하면 된다. 버튼을 선택후 마우스를 왼쪽 공백 위로 이동하여 왼 클릭하면 <그림 2-4>와 같이 버튼 생성과 함께 입력박스가 나타난다. 이 입력박스에 “setup”이라는 절차 또는 명령어(Commands) 이름을 입력하고 “OK”를 클릭하면 화면에 “setup”이라는 이름을 가진 버튼이 <그림 2-5>와 같이 생성된다. 처음 생성시 버튼의 이름이 빨간색으로 표시된다. 그 이유는 명령어의 꺾테기만 만들었지, 이 절차를 통해 뭘 수행할 것인지를 정의하지 않았기 때문이다.

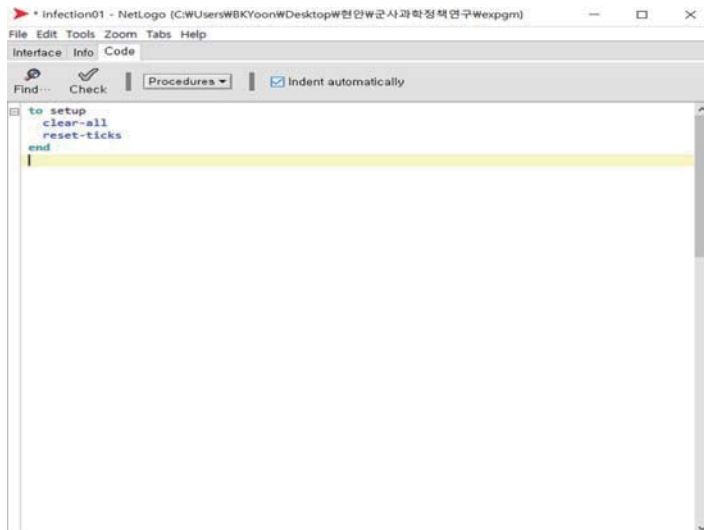


<그림 2-4> 버튼 만들기: 버튼 이름



〈그림 2-5〉 버튼 생성

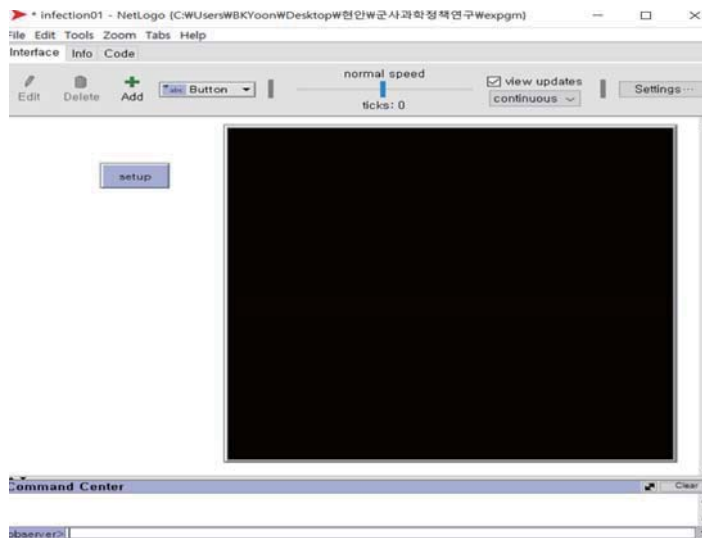
이제 마우스로 “Code” 탭을 선택하여 〈그림 2-6〉과 같이 다음 명령어를 입력하고, “check”를 클릭하면 “Interface” 탭의 빨간색도 없어지고 “setup” 버튼을 눌렀을 때 이 절차가 수행된다.



〈그림 2-6〉 코드 입력

to setup ;명령어 시작³⁾
 clear-all ;화면 초기화
 reset-ticks ;시물레이션 시간 초기화
 end ;명령어 끝

NetLogo의 코드는 “to ~ end”의 형식을 가진다. “to” 다음에 “setup”과 같은 명령어 (또는 절차) 이름을 쓰고 그 다음 줄에는 “setup”이라는 명령어 또는 절차 버튼이 실행할 구체적인 내용을 입력한다. 그리고 수행할 절차를 다 입력한 다음에는 “end”로 끝낸다. “to ~ end”는 하나의 절차를 정의하는 단위라고 생각하면 편리하다. “setup” 절차는 월드뷰 화면을 초기화하는 “clear-all”과 시간을 초기화하는 “reset-ticks”라는 명령어로 구성되어 있다.



〈그림 2-7〉 “setup” 실행 후 화면

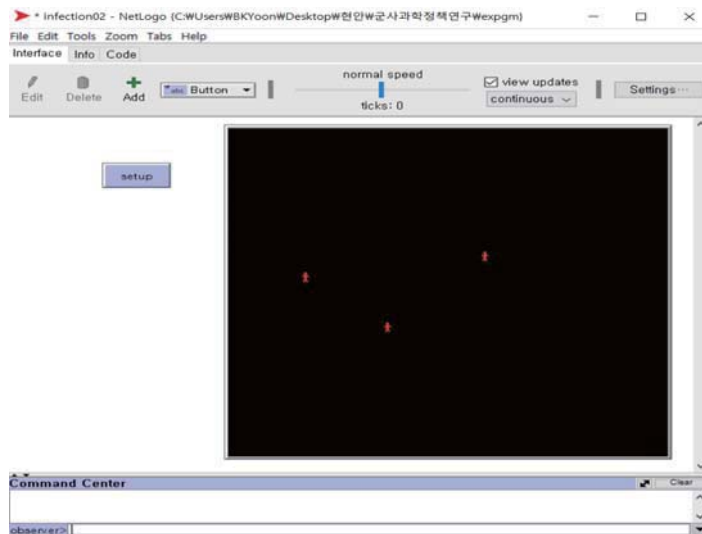
다시 “Interface” 탭으로 돌아오면 “setup” 버튼이 검은색으로 변해있음을 확인할 수 있다. 이 버튼을 누르면(실행하면) “clear-all”과 “reset-ticks”가 실행된다. 〈그림 2-7〉은 “setup” 실행 후 화면으로, 〈그림 2-5〉에서는 상단 중앙에 시간이 초기화 되지 않고 “ticks:”만 표시되어 있지만, 〈그림 2-7〉에는 “ticks: 0”으로 초기화

3) NetLogo 코드 작성시 “;” 다음에 오는 텍스트는 주석문(Comment)으로 실제 코드 실행시 수행되지 않는다. 따라서 “to setup”과 “to setup ;명령어 시작”은 컴퓨터 입장에서는 차이가 없는 코드이다.

된 것을 확인할 수 있다.⁴⁾

② 에이전트(Agent) 만들기

ABMS 모형은 에이전트를 기본 단위로 한다. 에이전트는 구별 가능한 개체(Entity)로서 상호작용(Interaction)을 통해 모형을 활용하여 알고자 했던 현상을 재현하거나 특징을 드러낸다. 에이전트는 상호작용을 통해 상태를 바꿀 수 있는 속성(Property)을 가지고 있다. NetLogo에서는 에이전트를 ‘터틀(turtle)’이라는 이름으로 부르며, 에이전트를 만드는 명령어는 “create-turtles”이다. 아래의 절차는 에이전트 3개를 랜덤한 위치에, 빨간색으로, 사람 형태로 만드는 명령어이다. 에이전트를 만들기 위해 새롭게 추가된 절차는 빨간색으로 표시했으며, “setup” 절차를 실행하면 <그림 2-8>과 같은 결과를 얻는다.



<그림 2-8> 에이전트 생성

to setup ;명령어 시작

clear-all ;화면 초기화

create-turtles 3 [; 3개의 에이전트를 만들

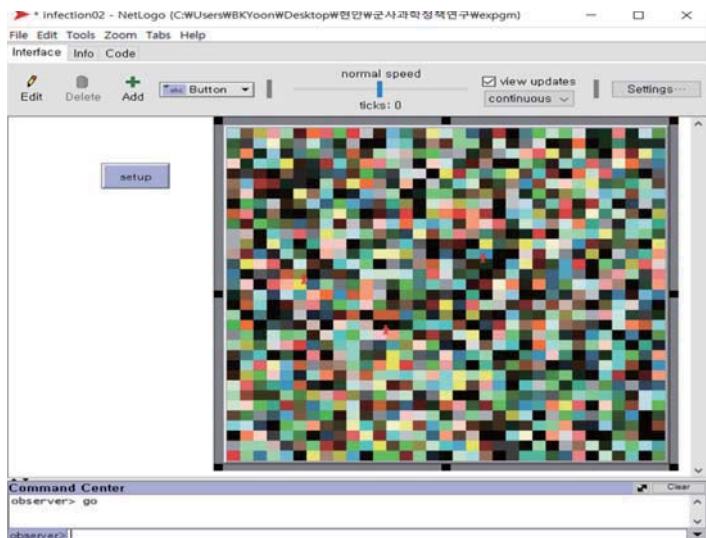
setxy random-*x*cor random-*y*cor ; 무작위 *x*좌표, 무작위 *y* 좌표

4) “setup”절차의 실행은 버튼을 마우스 왼쪽클릭하는 것 외에도 화면 하단의 “observer)”에 “setup”을 입력해도 실행된다 (따옴표 빼고 setup 만 입력해야 함).

```

set color red ; 색깔을 빨간색으로
set shape "person" ; 모양을 사람으로
]
reset-ticks ;시뮬레이션 시간 초기화
end ;명령어 끝
    
```

위 코드를 살펴보면 다음과 같다. 에이전트의 속성은 대괄호 ([]) 사이에 정의되어 있다. “setxy”는 월드뷰에서 에이전트의 위치를 지정하는 것으로 위치는 xy-좌표로 구성되어 있으며 초기 설정을 기준으로 중앙은 (0,0)으로 우상단은 (16,16) 좌하단은 (-16,-16)으로 정의되어 있다. 월드뷰 위에 마우스를 두고 오른쪽클릭하면 좌표체계와 크기 등을 조정할 수 있다. 월드뷰는 타일을 붙인 것과 같이 구성되어 있다. 타일 하나 하나를 패치(Patch)라고 부르며, <그림 2-9>와 같이 패치의 색을 달리하도록 만들면 월드뷰가 타일을 붙인 것처럼 구성되어 있음을 확인할 수 있다.



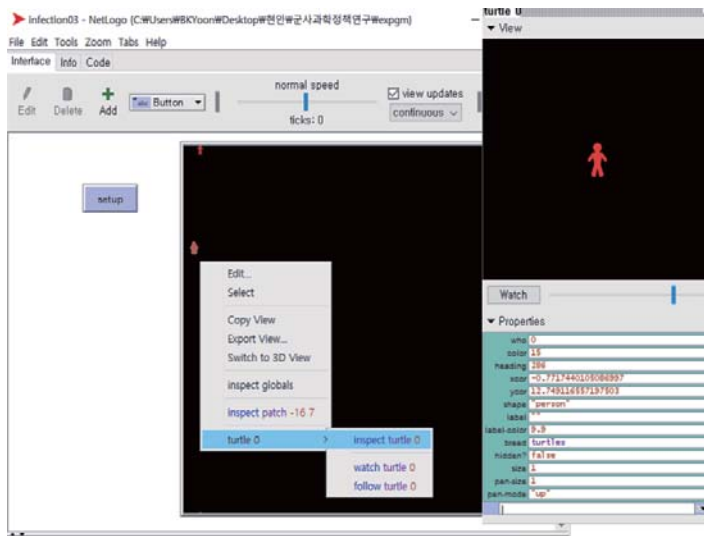
<그림 2-9> 월드뷰의 구성

패치 또한 에이전트이며 NetLogo에서는 움직이는 에이전트를 ‘에이전트5)’

5) 정확하게는 ‘터틀 에이전트’라고 불러야 하나 그냥 에이전트라고 할 때 특별한 언급이 없으면 움직이는 터틀 에이전트를 지칭한다.

로 고정되어 있는 에이전트를 ‘패치’라고 부른다. 그러나 움직이는 에이전트나 패치 모두 넓은 의미의 에이전트이고 패치 또한 속성을 가지고 있으며, 상호 작용을 통해 모형의 결과를 만들어 낸다.

좌표를 제외한 나머지 에이전트의 속성을 부여하기 위해서 “set”이라는 명령어를 사용하며, 색깔은 “set color”, 모양은 “set shape”과 같은 명령어로 정한다. 이를 지정하지 않으면 초기값이나 무작위로 값이 자동 설정된다.



〈그림 2-10〉 에이전트 속성 확인

③ 에이전트 속성 추가 및 변경

에이전트는 속성(Property)를 가지고 있는 독립된 개체이다. 에이전트를 생성하면 에이전트는 자동으로 위치나 색깔과 같은 속성을 가지게 되며, 이를 “set” 명령어로 지정할 수 있다. 이와 같은 속성을 보는 방법은 월드뷰에 있는 에이전트 위에 마우스 커서를 두고 오른쪽클릭하면 〈그림 2-10〉과 같은 선택 박스가 나타나며, 이 중에 “inspect turtle 0”를 선택하면 오른쪽에 있는 turtle 0에 관한 속성창이 나타난다. 속성 “who”는 0부터 시작하는 일련번호를 “color”는 색상, “heading”은 방향, “size”는 크기, “pen-mode”는 움직이는 궤적을 표시할지 여부 등을 나타낸다. 이 창에 직접 값을 입력해도 속성을 변경할 수 있으며, “set” 명령어를 사용해도 속성을 변경할 수 있다.

기본 속성 외의 속성을 추가하기 위해서 “Code” 탭 맨 위에 “turtles-own [infected?]”를 입력하고 “setup”을 실행하면 모든 에이전트에 “infected?”라는 속성이 추가된다. 이 절차를 추가하고 “setup”을 실행한 후 turtle 0을 “inspect”하면 속성창 맨 마지막에 “infected?”라는 속성이 추가된 것을 확인할 수 있을 것이다. “infected?” 속성은 변수값이 0이면 감염전이고 1이면 감염된 상태를 의미한다고 정의하자.

④ 에이전트 상호작용 1: 움직임과 감염자/비감염자 구분

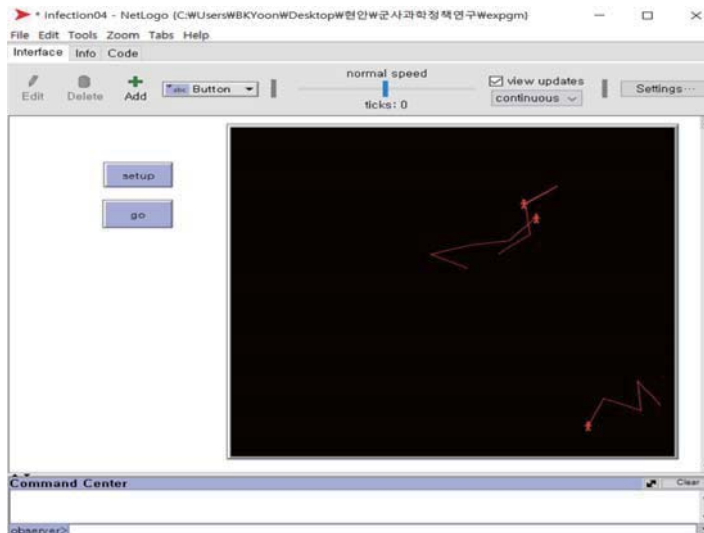
에이전트는 상호간에 또는 환경과의 상호작용을 통해 속성을 변화시킨다. 이 과정에서 나타나는 결과를 통해 ABMS 모형은 분석하고자 하는 현상을 모사(Simulate)한다. 에이전트가 상호작용하기 위해서는 행동(Action)이 필요하며, 에이전트의 행동을 지시하는 명령어는 터틀 에이전트의 행동은 “ask turtles” 명령어를, 패치 에이전트는 “ask patches” 명령어를 사용하고 구체적인 명령은 대괄호 사이에 넣는다.

“go”라는 절차를 만들고, 그 절차 안에 터틀이 랜덤하게 방향을 정해서 3만큼 움직이도록 만들려면 다음 절차를 추가하면 된다. 이 절차를 실행하면 <그림 2-11>과 같이 “go” 버튼을 누를 때마다 에이전트가 움직인다.

```
to go
  ask turtles [ ; 에이전트의 행동 지정
    set heading random 360 ; 방향을 0-360 사이에서 랜덤하게 잡기
    pendown ; 궤적을 표시할 수 있도록 속성 변경
    forward 3 ; 지정된 방향으로 거리 3만큼 이동
  ]
end
```

<그림 2-11>에서 위쪽 중앙의 “ticks:0”은 변하지 않고 있다. “go” 절차를 실행할 때마다 시뮬레이션 시계를 진행시키고 싶으면 “go” 절차에 “tick”이라는 명령어를 추가하면 된다. “tick” 추가 후에는 “go” 버튼을 누를 때마다 시간이 하나씩 증가한다. “random 360”은 0에서 359까지의 숫자 중 하나를 동일한 확률(1/360)로 생성한다. 움직이는 거리를 랜덤하게 정하고 싶으면 “forward 3” 대신에 “forward

random 5”를 입력하면 에이전트가 0~4사이의 거리를 랜덤하게 이동한다.



〈그림 2-11〉 에이전트의 움직임

```
to go
  ask turtles [ ; 에이전트의 행동 지정
    set heading random 360 ; 방향을 0-360 사이에서 랜덤하게 잡기
    pendown ; 궤적을 표시할 수 있도록 속성 변경
    forward random 5 ; 지정된 방향으로 랜덤하게 이동
  ]
  tick ; 시간진행
end
```

움직이는 절차를 “go” 절차에서 다 정의하지 않고 따로 “move”라는 절차를 만들고 “go” 절차에는 “move” 절차만 포함시키는 방법으로 설계할 수도 있다. 다음 절차를 “Code” 탭에 입력해도 〈그림 2-11〉과 같은 결과를 얻을 수 있다.

```
to go
  move ; 터틀 움직임
  tick ; 시간진행
end
```

```

to move
  ask turtles [ ; 에이전트의 행동 지정
    set heading random 360 ; 방향을 0-360 사이에서 랜덤하게 잡기
    pendown ; 궤적을 표시할 수 있도록 속성 변경
    forward random 5 ; 지정된 방향으로 랜덤하게 이동
  ]
end

```

앞의 <그림 2-9>에서 패치의 색깔을 각각 다른 색으로 칠하는 것도 에이전트의 행동의 결과이며 다음 명령어를 통해서 가능하다.

```

ask patches [
  set pcolor random 100 ; 패치 에이전트의 색은 color 대신 patch color를 줄여 pcolor로 지정
]

```

이제 에이전트를 100개 만들고, 그 중 절반은 감염된 에이전트로, 나머지 절반은 감염되지 않은 에이전트로 만들어 보자. 그리고 감염된 에이전트는 색깔을 빨간색으로 비감염 에이전트는 흰색으로 표시해 보자.

```

turtles-own [infected?]

to setup ;명령어 시작
  clear-all ;화면 초기화
  create-turtles 100 [ ; 100개의 에이전트를 만들
    setxy random-xcor random-ycor ; 무작위 x좌표, 무작위 y 좌표
    set infected? random 2 ; infected? 값은 0, 1중 랜덤하게 설정
    set shape "person" ; 모양을 사람으로
  ]
  ask turtles [
    ifelse infected? = 1 [set color red][set color white]
  ]
  reset-ticks ;시뮬레이션 시간 초기화
end ;명령어 끝

```

```

to go
  move ; 터틀 움직임
  tick ;시간진행
end

to move
  ask turtles [ ; 에이전트의 행동 지정
    set heading random 360 ;방향을 0-360 사이에서 랜덤하게 잡기
;   pendown ;궤적을 표시할 수 있도록 속성 변경
    forward random 5 ;지정된 방향으로 랜덤하게 이동
  ]
end

```

“setup” 절차에 “infected?”라는 변수를 추가해서 절반은 1, 절반은 0이 되도록 설정했다. 또, “ifelse” 명령어를 통해 “infected?” 값이 1이면 에이전트의 색깔을 빨간색으로 그렇지 않으면 흰색으로 설정하도록 코드를 추가했다. 한편 이동 궤적을 계속 추적하는 것은 월드뷰를 복잡하게 만들게 되므로 주석문(Comment)으로 처리해서 실행되지 않도록 했다.

⑤ 에이전트 상호작용 2: 감염과 회복

에이전트의 속성을 바꾸고, 움직이는 방법을 활용하여 감염된 에이전트와 같은 장소에 있는 에이전트는 감염이 되고, 감염된 에이전트는 일정 확률로 치유가 되는 것을 모형에 반영해 보자. 감염은 “infect” 절차로, 치유는 “recover” 절차에 작성하면 다음과 같다. “infect” 절차에 “ask turtles with [color = red]”는 감염되어 색깔이 빨간색인 에이전트만 대괄호 안에 정의된 절차를 수행하라는 명령어이다. “ask turtles-here”는 현재 같은 장소(패치)에 있는 에이전트만 대괄호 안의 명령을 수행하라는 명령어이다. 결과적으로 현재 같은 장소에 있는 에이전트의 색을 빨간색으로 바꾸고 감염상태로 바꾸라는 절차가 “infect”에 정의되어 있다.

```

to go
  move ; 터틀 움직임

```

```

infect: 주변 감염
recover: 회복
tick :시간진행
end

to infect
ask turtles with [color = red] [ ;감염된 빨간색 에이전트는 다음 절차 수행
ask turtles-here [ ;감염된 에이전트와 같은 위치에 있는 에이전트는 모두
set color red ; 색을 빨간색으로
set infected? 1 ; 감염 여부를 감염으로 변경
]
]
end

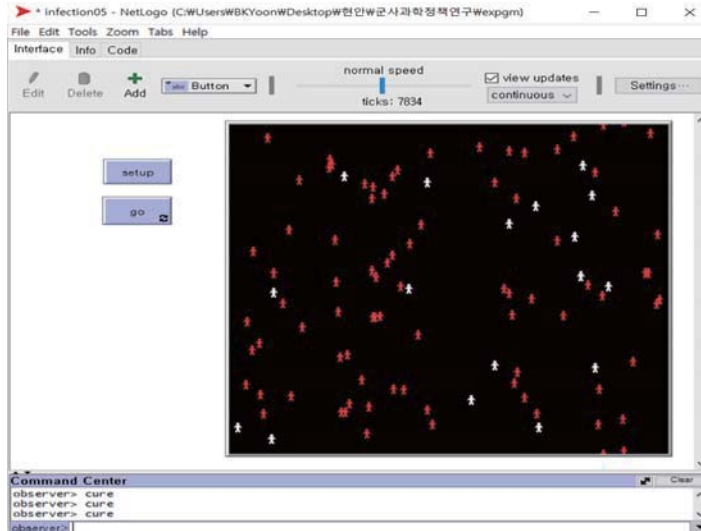
to recover
ask turtles with [color = red] [ ;감염된 빨간색 에이전트는 다음 절차 수행
if random-float 1 < 0.01 [ ; 1%의 확률로
set color white ; 색깔을 흰색으로 바꾸고
set infected? 0 ; 감염여부를 비감염으로 변경
]
]
end

```

“recover” 절차는 감염된 에이전트중 0과 1사이의 난수를 생성해서 그 값이 0.01보다 작으면 감염상태에서 회복(색깔을 흰색으로 감염여부도 비감염으로 변경)하라는 명령어가 정의되어 있다. “random-float”은 0과 1사이의 실수를 난수로 생성하는 명령어로 정수만을 결과값으로 생성하는 “random” 명령어와 구별된다.

“go” 절차에 “infect”, “recover”를 포함시킨 후 버튼을 누르면 움직이고(move), 감염되고(infect), 회복하는(recover) 절차가 수행되면서 시뮬레이션 모형이 진행된다. 한편, “go” 버튼 위에 마우스를 두고 오른쪽클릭을 하면 나타나는 선택상자에서 “edit”을 선택하면 버튼의 옵션박스가 나타나고, “Forever”를 선택하고 박스를 닫은 후 “go” 절차를 실행하면 “go” 절차가 무한히 반복된다. “Forever”를 선택하면 <그림 2-12>와 같이 버튼 오른쪽 하단에 반복

을 표시하는 순환하는 화살표 모양이 나타난다. 모든 버튼은 “Forever” 옵션을 선택할 수 있으며, 이 옵션은 해당 절차를 무한히 반복하는 옵션이다.



〈그림 2-12〉 무한반복 절차 수행

⑥ 모니터링과 플롯팅

지금까지 구축한 모형을 실행하면 감염자의 비감염자의 수가 시뮬레이션이 진행함에 따라 변화하는 것을 관찰할 수 있다. 월드뷰에서 대충의 감염자 비율을 확인할 수 있지만 그 수를 매 시간 정확하게 확인하기 위해서는 매 틱(tick)마다 빨간색 에이전트의 수를 세어서 그 결과를 표시할 필요가 있다. 또, 감염자의 변화를 동적으로 살펴보기 위해서는 그래프로 감염자 수의 변화를 표시하는 것도 도움이 될 것이다. 우선 감염자의 수를 매 시간 세기 위한 방법을 살펴보자.

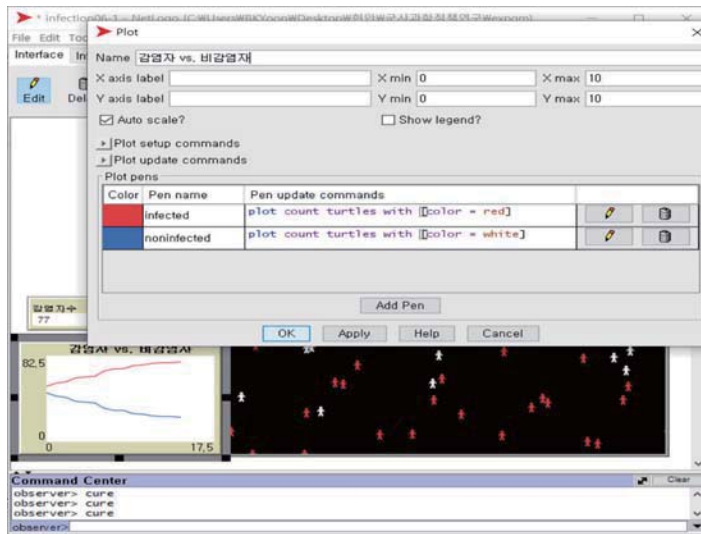
버튼을 만들 때 사용했던 NetLogo 화면의 좌상단의 선택자에서 “Button” 대신 “Monitor”를 선택해서 버튼을 만들 때와 같이 “Interface”화면의 왼쪽 공백에 마우스를 클릭하면 〈그림 2-13〉과 같은 모니터링 창을 구성하기 위한 박스가 나타난다. “Reporter” 박스에는 표시할 정보를 입력한다. “count turtles with [color = red]”를 입력하면 색깔이 빨간색인 에이전트의 수를 세어 모니터링 창에 표시한다. “Display Name”에는 모니터링 창의 이름을 입력한다. 이런 방식으로 〈그림 2-13〉과 같은 ‘감염자수’라는 이름을 가진 모니

터링 창을 만들 수 있다. 비감염자수를 표시하는 모니터링 창도 유사하게 만들 수 있다. 다만, “Reporter” 박스에 “count turtles with [color = red]” 대신에 “count turtles with [color = white]”를 입력하면 된다. <그림 2-13>에서 시뮬레이션을 7834번 진행한 후 감염자수는 83명임을 알 수 있다.



<그림 2-13> 모니터링 창 만들기

감염자와 비감염자의 변화를 나타내는 그래프를 추가하기 위해서는 모니터링 창을 만들 때와 같이 버튼을 만드는 선택자에서 “Plot”을 선택한 후 “Interface” 창 왼쪽의 적당한 공백을 클릭하면 <그림 2-14>와 같은 그래프를 그리기 위한 정보 입력창이 나타난다. “Name”에는 그래프의 이름을 입력하고 “Plot pens”에서 “Color”, “Pen name”, “Pen update commands”를 정의하면 된다. “Pen update commands”는 그래프를 그리기 위해 어떤 정보를 사용할 것인가를 정의하는 것으로 “plot count turtles with [color = red]”는 빨간색을 가진 에이전트의 수를 세어 그래프에 표시하라는 명령이다. “add pen” 버튼을 누르면 표시할 수 있는 정보를 추가할 수 있으며, <그림 2-14>에서는 파란색으로 비감염자의 수를 그리도록 추가했다. 그래프를 추가하고 모형을 실행하면 매시간(tick) 감염자의 수의 변화를 시각적으로 확인할 수 있다.

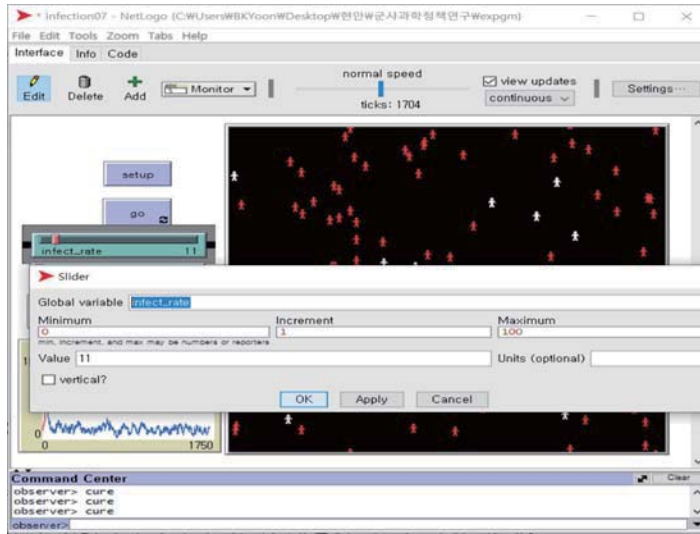


〈그림 2-14〉 그래프 추가

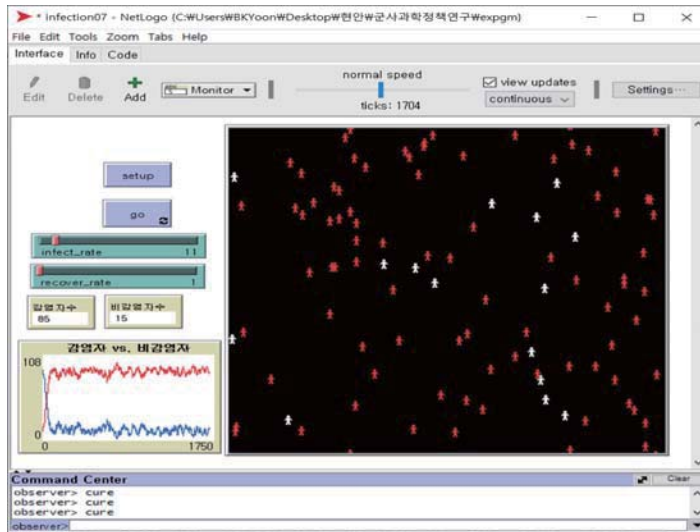
⑦ 초기 감염율과 회복률 초기값 설정

지금까지는 초기 감염율을 50%로 설정하고 회복률은 1%로 정의했다. 회복률 1%라고 함은 매 시점마다 회복 확률이 1/100이므로 평균 100일 정도 감염상태에 머무르게 됨을 의미한다. 즉, 감염기간이 평균 100일이라는 설정과 동일하다. 이제 이를 조절자(Slider)를 이용해서 변화시키는 방법을 알아보자.

초기값을 변화시키기 위해서는 버튼을 만들 때 사용했던 선택자에서 “Slider”를 선택해서 “Interface”탭에 클릭하면 〈그림 2-15〉와 같은 조절자(Slider)가 생기고 이를 설정하기 위한 박스가 나타난다. “Global variable”에 코드에서 사용할 변수명 “infect_rate”을 입력하고 최대(Max), 최소(Min), 초기값(Value)을 입력하면 감염률의 초기값을 설정할 수 있다. 회복율을 “recover_rate”이라는 변수명으로 설정하면 〈그림 2-16〉과 같은 완성된 질병감염 모형을 구성할 수 있다. “infect_rate”과 “recover_rate”을 초기값 대신 활용하기 위해서는 코드를 다음과 같이 구성해야 한다. 빨간색으로 표시된 부분이 “infect_rate”과 “recover_rate”을 반영하기 위해 변경된 코드이며, 0~99사이의 난수를 생성해서 두 비율보다 작으면 감염이나 회복이 되도록 설정함으로써 해당 비율에 따라서 모형이 진행되도록 구성했다.



〈그림 2-15〉 초기값 설정 Slider 추가



〈그림 2-16〉 질병감염 모형

```
turtles-own [infected?]
to setup ;명령어 시작
  clear-all ;화면 초기화
  create-turtles 100 [ ; 100개의 에이전트를 만들
```

```

setxy random-xcor random-ycor ; 무작위 x좌표, 무작위 y 좌표
if random 100 < infect_rate [set infected? 1] ; 난수가 infect_rate 보다 작으면 감염
set shape "person" ; 모양을 사람으로
]
ask turtles [
  ifelse infected? = 1 [set color red][set color white]
]
reset-ticks ;시뮬레이션 시간 초기화
end ;명령어 끝

to go
  move ; 터틀 움직임
  infect; 주변 감염
  recover; 회복
  tick ;시간진행
end

to move
  ask turtles [ ; 에이전트의 행동 지정
    set heading random 360 ;방향을 0-360 사이에서 랜덤하게 잡기
;   pendown ;궤적을 표시할 수 있도록 속성 변경
    forward random 5 ;지정된 방향으로 랜덤하게 이동
  ]
end

to infect
  ask turtles with [color = red] [ ;감염된 빨간색 에이전트는 다음 절차 수행
    ask turtles-here [ ;감염된 에이전트와 같은 위치에 있는 에이전트는 모두
      set color red ; 색을 빨간색으로
      set infected? 1 ; 감염 여부를 감염으로 변경
    ]
  ]
end

to recover

```

```

ask turtles with [color = red] [ ;감염된 빨간색 에이전트는 다음 절차 수행
  if random 100 < recover_rate [ ; 난수가 recover_rate 보다 작으면 회복
    set color white ; 색깔을 흰색으로 바꾸고
    set infected? 0 ; 감염상태도 비감염으로 변경
  ]
]
end

```

“infect_rate”과 “recover_rate”를 변경시키면서 모형을 실행하면 모형의 결과가 “infect_rate”의 변화에는 거의 영향을 받지 않고, “recover_rate”에는 민감하게 변화하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 감염률이 일정 범위내에서 안정적이 됨을 확인할 수 있다.

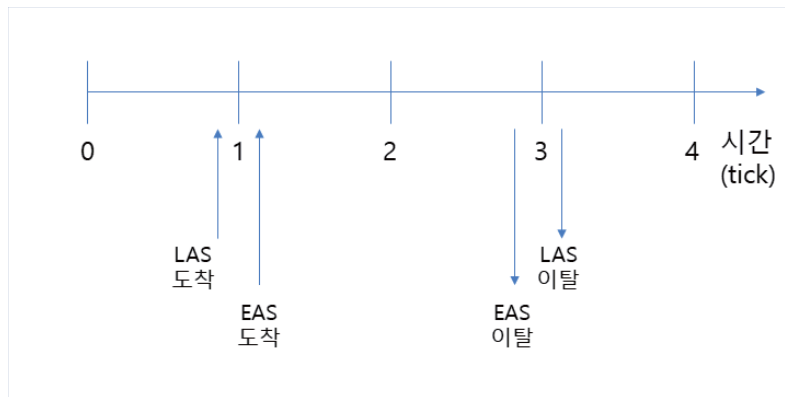
지금까지 접촉에 의해 감염이 일어나는 경우 초기 감염률과 회복률에 따른 감염자 수의 동적 변화를 살펴볼 수 있는 모형을 NetLogo로 만들어 보았다. 모형 구축과정에서 앞으로 재고모형 성과평가에 활용할 NetLogo 활용법을 살펴보고, ABMS 모형의 구성요소와 특징에 대해서도 살펴보았다. 한편, 이 모형은 질병감염을 주제로 만든 모형이지만, 아이디어의 전파나 게릴라전의 지휘통제 전파 현황 분석에도 활용할 수 있다. 또한, 바이러스를 보급품으로 생각한다면 군수 물자의 이동을 모사하기 위해서도 사용할 수 있다. 이런 식으로 하나의 모형을 다양한 상황에 적용하는 것도 ABMS 방법론의 중요한 특징 중 하나이다.

3. NetLogo활용 군수모형 구축 시 고려사항

군수 성과분석 모형을 NetLogo를 활용하여 ABMS로 구현하기 위해서는 이벤트 순서 결정, 난수 생성, 자료 분석과 같은 문제들을 해결해야 한다. 본 절에서는 이러한 문제점들의 내용과 해결방안을 살펴본다. 또한 효과적인 이슈 해결을 위한 방법으로 통계 분석용 패키지인 R을 NetLogo와 연동하여 활용하는 방법을 살펴본다.

3.1 이벤트 순서 결정

NetLogo는 시간("tick")이 하나씩 증가하는 이산사건 시뮬레이션이다. 이산사건 시뮬레이션은 이벤트 발생 순서에 따라서 시뮬레이션의 진행이 달라질 수 있다. 2장에서 살펴본 질병확산 모형에서도 주변감염("infect"), 회복("recover"), 시간진행("tick")의 순서가 변경되면 특정 시점의 감염자 수가 달라질 것이다. 연속시간 시뮬레이션 모형은 이벤트 발생 순서에 상대적으로 둔감하지만 이산시간모형은 이벤트 발생 순서에 민감하다. 본 연구에서 제시하는 군수 분석 기본 모형인 G/G/1 대기행렬 모형도 이산시간 시뮬레이션으로 분석하는 경우 이벤트 발생 순서 문제에서 자유롭지 못하다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 이산시간 대기행렬 모형에서 제시한 해결책인 LAS-DA (Late Arrival System-Delayed Access) 방법을 사용한다.



〈그림 3-1〉 도착과 이탈시점(LAS-DA vs EAS)

대기행렬이론에서 이산시간 대기행렬 모형의 이벤트 순서 문제를 해결하기 위해 서 제시한 방법은 LAS-DA와 EAS(Early Arrival System)이다. 두 시스템은 고객 도착(요구사항 발생)과 서비스 종료(요구사항 해결)와 관련해서 순서를 가정하는 방법이 다르다. <그림 3-1>은 두 시스템의 고객 도착과 서비스 종료와 관련된 가정 사항을 나타내고 있다. LAS-DA는 고객도착(요구사항 발생)은 시간이 변화(“tick” 변화)하기 직전에 발생하고, 서비스 종료는 시간이 변화한 직후에 발생한다고 가정한다. EAS의 고객 도착은 시간이 변화한 직후에, 서비스 종료는 시간 변화 직전에 발생한다고 가정한다. 예를 들어 시점 1에 고객이 도착한다면 이 고객은 LAS-DA에서는 “tick” 진행 직전에, EAS는 직후에 발생한다. 기술적으로 LAS-DA에서는 “tick”이 1로 변하기 전에 고객이 도착하므로 아직 “tick”이 0인 상태에서 고객이 도착하는 것이고, EAS에서는 “tick”이 1인 상태에서 고객이 도착한다.

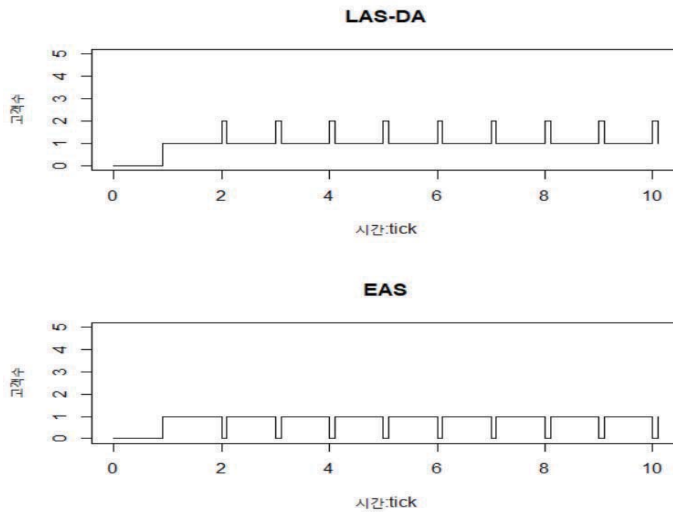
시점1에 도착한 고객을 응대하기 위한 시간이 2인 경우 각 시스템은 언제 서비스를 시작하고 종료하는지와 관련해서 다음과 같은 규칙을 따른다. LAS-DA, EAS 모두 다른 고객이 없다면 서비스 시작은 “tick”이 1로 바뀌고 동시에 시작한다. 그런데, LAS-DA에서는 기술적으로는 시간이 바뀌기 전인 0에 도착했으므로 “tick” 1에 서비스를 시작하는 것은 한 시간이 지난 것처럼 보인다. 따라서 지연 서비스(Delayed Access)라는 말을 붙인다. EAS는 도착과 동시에 서비스를 시작하므로 서비스 시작과 관련해서는 문제가 없다. 서비스 종료와 관련해서 LAS-DA나 EAS 모두 서비스를 시점 1에 시작하므로 서비스 시간이 2라면 시점 3에 끝나야 한다. 그런데 EAS는 서비스 종료시점이 시점 3 직전에 끝나고, LAS-DA는 시점 3 직후에 끝난다고 가정한다. 그 결과 EAS는 기술적으로 “tick” 1에 서비스를 시작해서 “tick” 2에 서비스를 끝내는 것처럼 보인다. LAS-DA는 이런 해석상의 문제가 발생하지 않는다.⁶⁾

매 시점 고객이 도착하고 (도착간격 1), 서비스 시간 또한 1인 경우에 해당 시스템에 존재하는 고객의 수는 1명으로 일정하게 유지된다. 고객 도착 간격도 1이고, 서비스 시간도 1이므로 고객수는 서비스 받고 있는 1명으로 일정하게 유지되고 도착한 고객은 대기시간 없이 즉시 서비스 받을 수 있다. 그러나 도착시점과 서비스 종료시점에 대한 가정에 따라서 고객수에 관한 그래프는 <그림 3-2>와 같이 차이가 난다.

6) 두 시스템에 대한 상세한 논의는 김진욱·윤봉규(2007)에 제시되어 있다.

LAS-DA와 EAS는 가정에 따라 “tick”이 바뀌는 시점에서 순간적으로 고객수의 차이가 발생한다. 그러나 이런 차이는 기술적인 차이일 뿐 실제 시스템 고객수는 “tick” 변화 시점이 아니라 중간 부분에서 계산하므로 두 시스템의 고객수는 동일하다. 다만, 모형 검증(Verification)이나 타당성 검토(Validity Check)를 위해 수리모형(Analytic Model)과 비교할 때에는 두 가정 중 하나를 선택해서 일관성 있게 비교해야 한다.

지금까지 살펴본 바와 같이 LAS-DA에서는 이벤트 순서가 고객도착-시간변화(“tick”)-서비스 종료가 되며 EAS에서는 시간변화(“tick”)-고객도착-서비스 종료가 된다. 본 연구에서는 앞서 밝힌 바와 같이 LAS-DA를 가정해서 모형을 구성한다.



〈그림 3-2〉 고객수 변화(LAS-DA vs EAS)

3.2 R과 NetLogo 연동 방안

NetLogo는 사용법이 간단하고 ABMS 기본 방법론에 충실한 도구이기는 하지만 시뮬레이션에 초점을 맞춘 패키지이므로 자료를 분석하고 시사점을 찾기에는 불편하다. 또, 설득과 공감을 중시하는 ABMS 방법론에 초점을 맞추어 설계되어 시각적 사용자 인터페이스가 강조되어 있다. 따라서, 속도 측면이나 결과의 심층 분석에는 단점이 있다. 다양한 조건에 대한 실험을 지원하기 위해 Behavior Space

모듈이 NetLogo에 포함되어 있기는 하지만 NetLogo 기본 도구와는 달리 상대적으로 활용하기 어려운 사용자 환경을 가지고 있다. 따라서 데이터 분석에 적합한 환경을 제공하는 R을 활용하는 것이 심층 분석에 도움이 된다.

데이터 분석에 R을 활용하는 것은 분석의 속도 측면에서도 도움이 되며, 이 특징은 대규모 현실 문제를 다룰 수 있는 분석 방안을 제시하고자 하는 본 연구에서는 중요한 문제이다. 따라서 본 절에서는 NetLogo는 모형 수립과 결과 산출을 위한 일종의 시뮬레이션 엔진으로 사용하고, R은 결과를 분석하고 정리하기 위해 사용하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 NetLogo와 R을 연동할 수 있는 RNetLogo 라이브러리를 기초로 하여 NetLogo와 R을 연동해서 사용하는 방법을 소개한다.

① RNetLogo 설치

R을 NetLogo와 연동하기 위해서는 우선 R에 “RNetLogo” 패키지를 설치하고 라이브러리로 불러와야 한다. 이를 위해서는 다음 명령어를 R에서 실행해야 한다.⁷⁾

```
>install.packages("RNetLogo") #패키지 설치8)
>library(RNetLogo) #라이브러리 불러오기
```

② R에서 NetLogo 시작/모형 불러오기

R에서 NetLogo 모형을 시작하기 위해서는 NetLogo를 시뮬레이션 엔진으로 사용하기 위해서 NetLogo Java 실행파일인 “netlogo-6.0.4.jar”가 필요하다. 보통 이 파일은 NetLogo가 설치된 폴더의 “app” 하위 폴더에 있다. 우선 NetLogo 프로그램을 불러오기 위해서는 다음과 같은 명령어를 R에서 실행해야 한다. “netlogo-6.0.6.jar”가 있는 폴더 경로를 입력할 때, “\” 대신 “/”가 사용되는 것을 유의해야 한다. 이 명령어를 수행하면 R에서 NetLogo 엔진을 불러온다.⁹⁾

7) RNetLogo는 rJava를 통해 NetLogo와 연동되므로, rJava도 같이 설치해야 한다. rJava는 R이 NetLogo와 연동될 때 필요한 패키지이다. RNetLogo 라이브러리를 불러오면 rJava도 같이 불러오지만 오류가 나는 경우가 있는데, 이는 64bit R에서 32bit Java를 돌려서 나타나는 오류이므로 “<https://www.java.com/en/download/manual.jsp>”에서 64bit용 java를 다운받아 설치해 주면 오류가 해결된다.

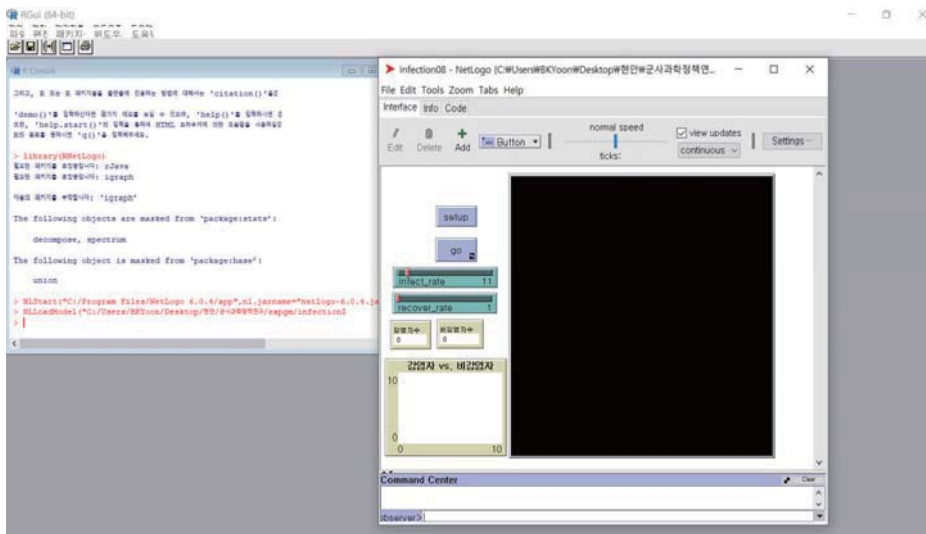
8) “)” 다음에 오는 명령어는 R 명령어이며, “#”은 R의 주석문 선언 문자임.

9) RNetLogo는 NetLogo 6.0.4 까지 연동이 되고 그 이상의 버전이 연동되도록 RNetLogo가 업데이트 되지 않았다. 그러나 NetLogo 6.0.4도 최신 버전이므로 RNetLogo 사용은 큰 문제가 없다. 다만, NetLogo를 설치할 때, 6.0.4 버전을 선택해서 설치해야 하는 번거로움이 있다.

```
>NLStart("C:/Program Files/NetLogo 6.0.4/app",nl.jarname="netlogo-6.0.4.jar") #시작
```

R에서 NetLogo를 불러오는 방식은 GUI가 있는 형태로 불러오는 방식과 GUI 없이 계산 엔진만 불러와서 사용하는 방식이 있다. 이를 Headless 방식이라고 하며, 에이전트의 수가 많아 계산 시간이 많이 걸리는 경우에는 Headless 모드가 유리하다. 이 방식으로 NetLogo를 불러오는 명령어는 다음과 같이 “gui = FALSE”를 옵션으로 넣으면 된다. Headless 모형인 경우에는 NetLogo GUI가 나타나지 않지만 R을 통해 NetLogo 명령어를 수행하고 결과를 얻는 것은 GUI 모드와 동일하다.

```
>NLStart("C:/Program Files/NetLogo 6.0.4/app",nl.jarname="netlogo-6.0.4.jar",gui=FALSE)
#headless 시작
```



〈그림 3-3〉 R에서 NetLogo 시작하기

NetLogo 모형을 불러오는 명령어는 “NLLoadModel”이며, “expgm” 폴더에 “infection08.nlogo”로 저장되어 있는 모형은 다음과 같이 불러올 수 있다. 이렇게 모형을 불러오면 〈그림 3-3〉과 같이 NetLogo GUI가 실행되고 모형을 불러오게 된다.

>NLoadModel("C:/expgm/infection08.nlogo")

③ 명령어 실행

NetLogo의 “go”절차나 “setup” 과 같은 명령어를 R에서 실행하기 위해서는 “NLCommand”, “NLDoCommand”, “NLDoCommandWhile” 명령어를 사용한다. “setup” 절차를 수행하기 위해서는 다음과 같은 명령을 R에서 실행하면 된다.

>NLCommand("setup") #setup 실행

“NLDoCommand”와 “NLDoCommandWhile”은 반복 명령을 수행하기 위한 것으로 “go” 절차를 10번 반복하고 싶으면 다음 둘 중 하나를 R에서 실행하면 된다.

>NLDoCommand(10, “go”) #go 10번 실행

>NLDoCommandWhile(“ticks < 10”, “go”) #ticks가 10미만일 동안 go 실행

R에서 명령을 수행한 후 NetLogo GUI를 보면 “ticks”가 10으로 바뀐 것을 확인 할 수 있다.

④ 정보 주고 받기

R과 NetLogo의 변수나 정보를 주고 받는 방법은 “NLReport”와 “NLDFtoList”가 있다. “NLReport”는 NetLogo 모형의 값을 R로 불러들이는 명령어이고 “NLDoReport”, “NLDoReportWhile”을 통해 반복적인 수행도 가능하다. 다음 명령어는 질병감염 모형에서 감염자 수를 R에 “a”라는 이름으로 저장하는 명령어이다. “NLDoReport”, “NLDoReportWhile”의 명령어 입력 구조는 “NLDoCommand”와 “NLDoCommandWhile”과 유사하다.

>a = NLReport(“count turtles with [color = red]”)

“NLDFtoList”는 R의 데이터프레임의 형태로 저장되어 있는 변수를 NetLogo 모형으로 보내는 명령어이다. NetLogo로 보낼 때, 데이터프레임의 열 하나하나가 독립적인 리스트로 NetLogo에 보내진다. 다음 명령어를 R에서 실행하면 R의

“test”라는 이름의 변수에 name과 age로 구성된 데이터프레임이 저장된다.

```
>test = data.frame(name=c("kim","yoon","jung"), age=10:12)
```

이 변수를 NetLogo 모형으로 보내기 위해서는 다음을 실행하면 된다.

```
>NLDftoList(test)
```

처음 이 명령을 수행하면 오류가 나는 경우가 많다. 그 이유는 NetLogo 모형에서 “name”, “age”라는 변수가 모형에서 사용된다고 정의하지 않았기 때문이다. “name”, “age”를 NetLogo 코드창에 “globals [name age]”라고 입력한 후 다시 “setup”을 수행하고 R에서 위 명령을 수행하면 R 데이터가 NetLogo로 보내진 것을 확인할 수 있다.¹⁰⁾

⑤ 에이전트 정보 주고받기

ABM 모형 분석 과정에서 에이전트나 패치의 속성(Property)이 중요한 역할을 한다. 따라서 에이전트(패치)의 속성을 R, NetLogo 사이에서 주고 받는 것은 분석을 위한 출발점이다. 또한, NetLogo에서 에이전트를 소팅(Sorting)한 후에 “foreach”와 같은 명령어를 활용해야 하는 번거로움을 피할 수 있는 좋은 방법을 제공하기도 한다.

먼저 에이전트 정보를 주고 받는 명령어는 “NLGetAgentSet”, “NLSetAgentSet”이다. 질병감염 모형에서 감염자인 빨간색으로 표시된 에이전트의 색을 파란색으로 바꾸고 x좌표(xcor)는 모두 0으로 만드는 과정은 먼저 빨간색 에이전트의 속성을 R로 불러와서 이 속성중 “xcor”와 “color”를 바꾼 후 다시 NetLogo에 반영해 주면 된다. 다음은 빨간색 에이전트를 R로 불러와서 input이라는 R 변수에 저장하는 명령어이다.

```
>input = NLGetAgentSet(c("xcor","color"), "turtles with [color = red]")
```

10) NetLogo “obeserver”창에 “name”, “age”를 입력하면 리스트로 자료가 저장되어 있음을 확인할 수 있다.

파란색은 번호가 105이므로 “>input\$color = 105”와 “>input\$xcor = 0”을 R에서 실행한 후 다음 명령어를 실행하면 NetLogo 모형에서 감염자의 색깔이 파란색으로 바뀌고 x좌표도 0으로 변한다.

```
>NLSetAgentSet("turtles with [color = red]", input)
```

패치도 일종의 에이전트이므로 유사한 방식으로 y좌표가 0인 패치의 색깔을 빨간색(15)으로 바꾸는 과정은 다음과 같다.

```
>input = NLGetAgentSet(c("pcolor"), "patches with [pycor = 0]") #y좌표가 0인 패치의 pcolor를 input에 저장
>input$pcolor = 15 #input의 pcolor 열의 숫자를 빨간색(15)으로 바꿈
>NLSetAgentSet("patches with [pycor = 0]",input) #NetLogo에 반영
```

동일한 작업을 “NLGetPatches”와 “NLSetPatchSet”을 통해서 다음과 같이 수행할 수도 있다.

```
>input <- NLGetPatches(c("pxcor", "pycor", "pcolor"), "patches with [pycor = 0]")
>input$pcolor = 15
>NLSetPatchSet("pcolor",input)
```

“NLSetPatchSet”과 “NLSetAgentSet” 명령어의 차이점은 “NLSetPatchSet”은 바꾸고자 하는 속성(“pcolor”)을 인수로 가지고, “NLSetAgentSet”은 바꾸는 에이전트 집합을 인수를 가진다는 점이다. 두 명령어는 기본적으로 같은 명령어이고 둘 중 어느 명령어를 사용할 것인지는 상황과 선호에 따라서 취사선택하면 된다. 한편 “NLSetPatches”는 월드뷰에 나타나는 모든 패치에 대해, 속성을 데이터프레임이 아니라 행렬의 형태로 정한다는 점이 “NLSetPatchSet”과 차이가 난다. “NLSetPatches”는 한 번에 속성 하나씩만 변경할 수 있으며, “NLSetPatchSet”은 입력자료에 “pxcor”, “pycor”가 반드시 포함되어야 한다.

4. 군수성과 분석 기본 모형

군수성과 분석은 군수품이나 설비에 대한 수요가 발생하면 이에 대응하여 자원과 노력을 들여서 요구사항을 해결하고, 그 과정에서 사용된 자원은 향후 사용을 위해서 보충하는 과정인 군수 프로세스 전반에 걸친 상황을 평가하고 문제점을 해결할 수 있는 방안을 찾는 과정이다. 군수 프로세스는 수요에 대응하여 서비스를 제공하는 과정으로 개념화할 수 있으며, 이는 대기행렬모형(Queueing Model)과 일치한다. 따라서, 군수성과 분석에 대기행렬 모형은 분석을 위한 기본모형으로 활용될 수 있으며, 이런 맥락에서 군수성과 분석의 출발점이라고 할 수 있다. 재고 분석시 자주 활용되는 기계고장모형이 대기행렬모형 중 하나이고, 행태적 분석의 주요 연구 주제인 게임 상황 분석은 자원공유를 전제로 하므로 넓은 범위의 경쟁하는 대기행렬로 볼 수 있다는 점은 대기행렬 이론의 군수성과 분석에서의 역할과 위치를 잘 드러낸다.

대기행렬모형은 고객이 도착간격/서비스시간/서버수에 따라서 $M/M/c$, $M/G/c$, $G/M/c$, $G/G/c$ 모형으로 구분가능하며 M 은 Markovian¹¹⁾ 특징을 가지는 확률현상을 G 는 일반적인 확률현상을 의미한다. c 는 서버의 수를 의미한다. $G/G/c$ 모형은 분석적으로는 c 가 1인 $G/G/1$ 모형에 대해서도 정확한 해를 구하기 어려워 다양한 근사법이 대안으로 제시되고 있다(이호우, 2006). 또한, 고객도착과 서비스가 독립이 아닌 경우에는 그 해를 분석적으로 구하는 것이 불가능하다. 본 절에서는 분석적 모형의 한계를 극복할 수 있는 $G/G/1$ 대기행렬의 시뮬레이션 모형을 NetLogo를 활용하여 제시한다. 이를 통해 ABMS를 다양한 군수성과 분석에 활용할 수 있는 기본 모형을 제공한다.

4.1 모형 개요와 환경 만들기

$G/G/1$ 모형은 하나의 서버가 도착하는 서비스 요청(고객)에 대응하는 상황을 묘사하는 모형이다. 서비스 요청(고객)이 랜덤(Random)하게 발생하고 해당 고객

11) Markovian 특징을 가지는 분포는 연속확률변수에서는 지수분포, 이산확률변수에서는 기하분포 두 가지 뿐이다. 기하분포를 고객도착과 서비스를 가지는 대기행렬 모형은 $M/M/...$ 대신에 $Geo/Geo/...$ 라고 기하분포를 특정하여 표시하기도 한다.

의 서비스를 처리하는 시간도 랜덤하게 결정된다. 요청된 서비스는 서버에 의해 일정한 규칙에 따라서 처리되며, 여기에서는 요청 순서에 따라서 처리되는 선입선출(FIFO, First In First Out)을 가정한다. 서버가 다른 고객의 서비스를 처리중일 때는 나중에 도착한 고객은 대기장소(Waiting Space)에서 차례를 기다린다. 이 모형을 통해 분석하고자 하는 것은 시간에 따른 고객수(요청 서비스)의 변화와 각 고객이 대기한 시간이다. 고객수와 대기시간은 모든 대기행렬 모형의 기본 성능척도(Performance Measure)이다.

G/G/1 모형은 고객과 서버로 구성된다. G/G/1 모형의 환경을 만들기 위해 NetLogo에서 에이전트의 종류를 지정하는 “breed” 명령어를 활용하여 서버와 고객 “breed”(종족)를 지정한다. “breed” 지정에는 처음에는 복수명칭, 두 번째는 단수명칭을 구분하여 차례로 지정해야 한다.¹²⁾ 한편 대기장소의 배너(Sign)를 만들기 위해서 이 또한 “breed”로 지정한다. “breed”를 지정하는 이유는 에이전트를 구분해서 호출하거나 다루어야 하는 경우에 대비하기 위함이다. 특정 조건을 만족하는 에이전트를 호출하기 위해 매번 조건을 포함한 명령을 사용하는 것보다는 초기에 종족(Breed)을 달리해서 종족이름으로 명령을 내리는 것이 효율적이기 때문이다. 고객종족은 잔여서비스시간(“r_time”), 도착시점(“arr”), 서비스 시작까지 대기한 시간(“w_time”)을 속성(Property)로 가지며, 이들 속성은 “customers-own” 명령어로 지정한다.

모형을 구축하기 위해서는 다양한 변수가 필요하며, <표 4-1>은 NetLogo 모형과 RNetLogo 활용할 때 R에서 사용되는 변수명을 정리한 것이다. “a_epoch”는 NetLogo 모형에서 활용되는 도착시점이며 리스트(list)의 형태로 저장되고 인출된다. 3장에서 설명한 바와 같이 NetLogo는 자료 처리와 난수 생성이 R에 비해 어려워므로 R에서 도착시점이나 서비스시간에 대한 난수를 생성해서 RNetLogo를 통해 NetLogo 모형에 반영한다. 이를 위한 R 명령어는 다음과 같다.

```
>inter_arrival <- rgeom(n_rn,1/3) + 1
>NLDfToList(data.frame(a_epoch = cumsum(inter_arrival)))
```

12) NetLogo 모형의 모든 코드가 Appendix에 제시되어 있고 각 명령어에 설명주석을 달아두었으므로 본문에서는 꼭 필요한 경우를 제외하고는 명령어를 따로 기술하지는 않는다.

〈표 4-1〉 G/G/1 시뮬레이션 모형의 변수명

도구	변수명
Net Logo	<ul style="list-style-type: none"> • a_epoch: 도착시점 (arrival epoch) • d_epoch: 이탈시점 (departure epoch) • s_time: 서비스 시간 (service time) • N_q: 대기중인 고객수 (Number of customers in q) • N_s: 서비스중인 고객수 (Number of customers in server) • N: 총고객수(=N_q + N_s) • s_path: 시간에 따른 고객수 변화(sample path of the number of customers) • s_path_who: 대기시간 기록을 위한 이탈 고객번호(sample path for the order of service completions(die)) • s_path_w_time: 도착후 서비스 시작까지 대기한 시간 (이탈순으로 기록됨; sample path of waiting time in the order of service completions)
R (R Net Logo)	<ul style="list-style-type: none"> • la: 도착확률(λ) • mu: 서비스종료 확률(μ) • n_rn: 한번에 생성하는 난수 수 • inter_arrival: 도착간격 • service: 서비스시간 • r_a_epoch: NetLogo 모형에서 사용하지 않은 남은(remaining) 도착간격 • r_service: NetLogo 모형에서 사용하지 않은 남은(remaining) 서비스시간 • n_inter_arrival: 추가할 새(new) 도착간격 • n_service: 추가할 새(new) 서비스 시간 생성

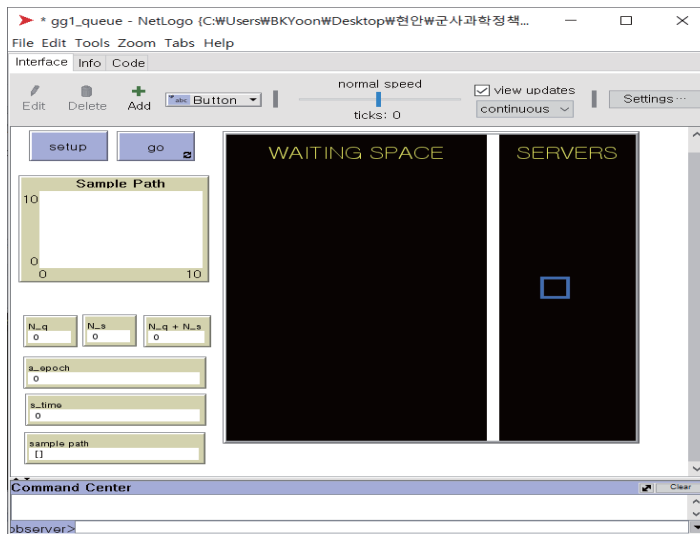
“rgeom”은 기하분포(Geometric Distribution)를 따르는 난수를 생성하는 R 명령어이고 “r~”을 통해 다양한 분포를 따르는 확률변수를 생성할 수 있다.¹³⁾ “rgeom”은 성공시까지 실패횟수를 생성하므로 성공횟수 생성을 위해서는 1을 더해야 한다. “n_rn”은 생성할 난수의 갯수이며 1000명분 고객의 도착간격을 생성하고 싶으면 “>n_rn <- 1000”을 사전에 실행하면 된다. 생성된 난수의 개수가 많아지면 차지하는 메모리가 커지므로 이를 고려하여 적당한 숫자(10000개 미만)를 생성하는 것이 바람직하다. “cumsum”은 도착간격을 누적하여 도착시점으로 변환하며, “NLDfTToList”는 R 데이터를 NetLogo로 보낸다. 서비스 시간도 마찬가지로 다음과 같이 생성되어 NetLogo로 보내진다.

13) 균등분포(Uniform Distribution)는 “runi”, 이항분포는 “rbinom”, 포아송분포는 “rpoisson” 등 다양한 분포에 대해서 난수 생성이 가능하다.

```
>service <- rgeom(n_rn,mu) + 1
>NLDfToList(data.frame(s_time = service))
```

NetLogo에서 시뮬레이션을 위한 환경을 설정하기 위한 “setup”절차는 화면 초기화(“clear-all”), 변수초기화(“set~”), 서버와 고객공간 분리(“ask patches~”), 공간의 배너만들기(“crt-sign”), 서버만들기(“crt-servers~”)로 구성된다. 공간의 배너를 만드는 “crt-sign”은 코드내에서 정의된 절차로 코드의 끝부분 공간배너만들기 부분에(“to crt-sign ~ end”)에 그 내용이 정의되어 있다. “setup”절차를 포함한 G/G/1 시뮬레이션 모형의 NetLogo 화면은 <그림 4-1>과 같다.

<그림 4-1>을 살펴보면 다음과 같다. “SERVERS” 배너 영역에 네모상자가 서버이고, “WAITING SPACE”는 고객들이 서비스 받을 때까지 기다리는 공간이다. “SERVERS” 영역과 “WAITING SPACE” 영역은 x축 좌표 5를 기준으로 좌우로 나뉜다. 도착한 고객은 “WAITING SPACE”에서 기다리고 있다가 자기 서비스 차례가 되면 서버로 이동하여 서비스 받고 시스템을 이탈한다.



<그림 4-1> G/G/1 NetLogo 모형

4.2 시뮬레이션 이벤트 진행

G/G/1 FIFO 대기행렬은 하나의 서버가 도착 순서에 따라서 고객을 서비스하는 현상을 묘사하는 모형이다. 이를 시뮬레이션 모형으로 묘사하기 위해서는 고객 도착과 서비스가 끝난 고객의 이탈 이벤트가 필요하다. 또한, 모든 시뮬레이션 모형에서 공통적으로 필요한 시간 진행 이벤트가 필요하다.

고객 도착은 “a_epoch”에 저장된 시간에 맞추어 고객 에이전트(“customer”)를 발생시키는 방식으로 진행되고, 서비스는 “s_time”에 따라서 진행된다. NetLogo에서 시간변화(진행)는 한 단위씩 “tick”에 의해 진행되므로 따로 생각할 필요가 없이 이 명령어를 사용하면 된다. 문제는 대기현상이다. 모든 고객이 도착하면 바로 서비스를 받는 것이 아니라 서버가 다른 고객을 서비스하는 경우에는 대기장소에서 기다려야 한다.

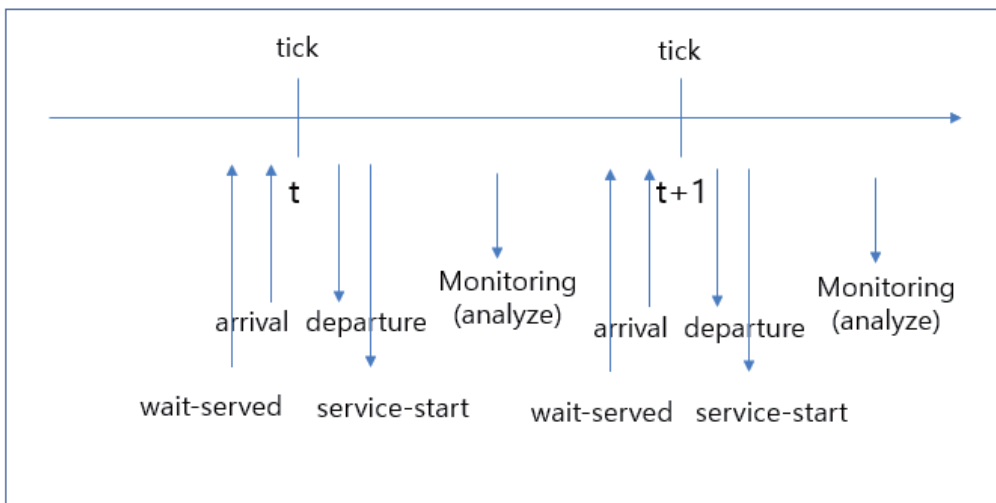
대기현상을 처리하기 위해서는 시간이 진행될 때마다 진행 중인 서비스가 끝났는지를 파악하고 진행 중인 서비스가 없으면 다음 고객을 서버로 이동시켜 서비스를 진행해야 한다. 진행 중인 서비스 종료 여부와 서비스 받을 고객을 결정하기 위해서는 서비스 잔여시간(“r_time”)과 도착이후 대기장소에서 기다린 시간(“w_time”) 정보가 필요하다. 두 정보는 고객 에이전트와 연관되어 있으므로 “customers” 에이전트의 속성으로 “customers-own[r_time arr w_time]”과 같이 코드에 선언한다. “arr”은 도착시점을 의미하며 모형의 검증(Verification)할 때 필요하므로 에이전트 속성으로 지정했다.

서비스 잔여시간(“r_time”)과 도착 이후 대기장소에서 기다린 시간(“w_time”) 정보를 활용하여 매시점마다 잔여시간을 확인해서 잔여시간이 0이면 해당 고객은 이탈시킨다. 그리고 기다린 시간(“w_time”)이 가장 긴 고객을 서버로 이동시켜 서비스를 진행하면 FIFO로 서비스를 제공하는 G/G/1 모형을 묘사할 수 있다. 한편 후입선출(LIFO)로 서비스를 제공하는 정책을 반영하려면 “w_time”이 가장 짧은 고객을 서버로 이동시키면 된다. “r_time”은 시간진행(“tick”)이 될 때마다 하나씩 감소시켜야 하고 “w_time”은 하나씩 증가시킨다. 한편, 대기현상을 반영하기 위해서 대기시간과 잔여 서비스 시간을 갱신하는 절차(이벤트)와 새로운 고객을 서버로 이동시켜 서비스를 시작하는 절차가 필요하다.

절차와 관련된 이상의 설명을 종합하면 G/G/1 모형을 시뮬레이션 하기 위해서

필요한 절차는 도착("arrival"), 이탈("departure"), 시간진행("tick"), 대기/잔여서비스시간 갱신("wait-served"), 서비스 시작("service-start") 이다. 도착("arrival")은 "a_epoch"에 지정한 시점이 되었을 때 고객을 생성하는 절차이고, 이탈("departure")은 서비스 잔여시간("r_time")이 0이 된 고객을 시스템에서 제거하는 절차이다. 대기/잔여서비스시간 갱신("wait-served")은 고객의 속성으로 정의된 대기시간("w_time")과 잔여서비스시간("r_time")을 증가/감소시키는 절차이다. 서비스 시작("service-start")은 서버가 비어있고, 대기고객이 존재할 때 서비스정책에 따라서 고객을 서버로 이동시키는 절차이다.

3장에서 살펴보았듯이 이산시간 시물레이션 모형은 이벤트의 진행 순서가 중요하다. 도착("arrival"), 이탈("departure"), 시간진행("tick"), 대기/잔여서비스시간 갱신("wait-served"), 서비스 시작("service-start") 절차 또한 진행 순서에 따라서 시물레이션 결과가 차이가 날 수 있으므로 현실을 반영할 수 있는 방식으로 절차를 정해주는 것이 필요하다.



〈그림 4-2〉 시물레이션 이벤트 진행 순서

3.1 절에서 살펴본 바와 본 연구는 고객 도착과 이탈과 관련해서 LAS-DA(Late Arrival System-Delayed Access)를 가정한다. 따라서 고객 도착은 시간진행 직전 시점이고, 이탈은 직후 시점에 일어난다고 가정한다. 서비스 시작은 이전 고객

이탈 이후에나 가능하므로 이탈 직후에 서비스가 시작하는 것으로 가정한다. 대기/잔여 서비스시간 갱신은 해당 슬롯(slot)이 진행된 이후 이루어져야 하므로 시간 진행 직전에 수행한다. LAS-DA 가정에서 고객의 도착이 시간진행 직전에 이루어지지만 이 고객은 다음 슬롯에서 서비스를 시작할 수 있으므로(Delayed Access), 이 고객들의 대기/잔여 서비스시간을 갱신하면 안된다. 이를 반영하여 고객 도착 직전에 대기/잔여 서비스시간 갱신 이벤트를 수행한다. 전체 고객수나 대기 시간은 슬롯 중간에 모니터링하는 것이 바람직하므로 다양한 성능척도의 측정 절차인 “analyze” 절차는 슬롯 중앙에 수행한다. 이를 종합하면 <그림 4-2>와 같으며, NetLogo 코드의 “go” 절차는 이 순서에 따라서 이벤트가 진행되도록 작성되었다.¹⁴⁾

각 절차의 상세 실행 내용은 다음과 같다. “wait-served”는 x좌표가 5보다 작은 대기공간에 위치한 고객에 대해서 대기시간을 1씩 증가시키고, 서버위에 위치한 고객의 잔여시간을 감소시킨다. “arrival”은 LAS-DA에서 도착이 시간진행 직전에 일어나므로 “a_epoch” 리스트 맨 앞에 있는(“item 0”) 값이 나타내는 다음 도착시점이 현재 시간보다 하나 크면 고객을 생성한다. 이때 사용한 고객도착 시점과 서비스시간은 리스트에서 삭제하여 다음 고객의 도착시점과 서비스시간이 항상 “a_epoch”와 “s_time” 리스트의 맨 앞에 위치하도록 만든다. “departure”는 서버위에 있는 고객의 잔여서비스시간이 0이면 이 고객을 이탈/삭제(“die”)시키는 절차이다. 이탈시키면서 나중의 분석을 위해 고객의 번호 “who”와 도착 이후 서비스 시작까지 대기공간에서 보낸시간 (“w_time”)은 “s_path_who”와 “s_path_w_time”에 따로 리스트의 형태로 저장해 둔다. “service-start”는 서버에 고객이 없고, 대기장소에서 기다리는 고객이 있는 경우 서비스 정책에 따라 대기시간이 가장 긴 고객을 서버로 이동시켜 서비스를 시작하는 절차이다. “analyze”는 모형 결과 분석을 위해 대기고객수(“N_q”), 서비스 중인 고객수(“N_s”), 시스템내의 총 고객수(“N”)를 조사하고 “N”을 “s_path”에 리스트의 형태로 차례로 저장하는 명령으로 구성되어 있다.

14) Sample Path를 그리는 “update-plot”절차는 편의상 go 절차의 맨 처음에 배치했다. 이렇게 배치하지 않으면 NetLogo Plot의 특성상 고객수가 한 슬롯 차이가 난다. “update-plot”을 go 절차에 마지막에 넣고 모형을 실행하면 어떤 차이가 있는지 확인할 수 있다.

4.3 모형의 실행과 검증

앞 절에서 구축한 NetLogo 모형은 아래와 같이 “a_epoch”과 “s_time”만 생성되어 있으면, go 절차를 반복적으로 수행하면서 시뮬레이션을 진행한다.

```
>NLStart("C:/Program Files/NetLogo 6.0.4/app",nl.jarname="netlogo-6.0.4.jar") #NetLogo 시작
>NLLoadModel("C:/Users/BKYoon/Desktop/현안/군사과학정책연구/expgm/gg1_queue.nlogo")
#모형불러오기
>NLCommand("setup")
>la <- 1/3 #도착확률
>mu <- 1/2 #서비스 종료 확률
>n_rn <- 5000 #한번에 생성하는 난수 수
>inter_arrival <- rgeom(n_rn,la) + 1 #도착간격 난수 생성
>NLDFtToList(data.frame(a_epoch = cumsum(inter_arrival))) #생성된 도착간격 NetLogo
a_epoch로 보내기
>service <- rgeom(n_rn,mu) + 1 #서비스 시간 난수 생성
>NLDFtToList(data.frame(s_time = service)) #생성된 서비스 시간 NetLogo s_time으로 보내기
```

위 예시에서는 기하분포를 따르는 난수를 생성했지만 “a_epoch”에 “s_time”에 입력된 난수가 어떤 분포에 의해서 생성되느냐에 따라서 다양한 고객도착과 서비스시간을 가지는 현상을 묘사할 수 있으므로 G/G/1 모형이다.

NetLogo는 GUI 중심의 시뮬레이션 언어이므로 연산의 관점에서는 최적화되어 있다고 말하기 어렵다. 따라서 NetLogo를 통해 시뮬레이션을 수행할 때 한 번에 너무 많은 난수를 원소로 가지는 “a_epoch”와 “s_time”을 사용할 경우 메모리 부담이나 연산 속도 저하가 일어날 수 있으므로 이를 우회하기 위해서 각 변수의 원소의 개수가 10000개 이하가 되도록 시뮬레이션을 진행하고자 한다. 그리고 그 결과를 중간 중간 R에서 저장하는 방식으로 시뮬레이션 속도를 향상시키고자 아래와 같은 방식으로 모형을 R과 연동하여 실행하는 것이 효율적이다.

```
>NLCommand("set s_path []", "set s_path_who []", "set s_path_w_time []") #변수 초기화
>NLDoCommand(10000, "go") #go 10000번 실행
```

```

>if(NLReport("length(a_epoch)") < 5000) { #a_epch의 남은 원소가 5000개 이하이면 새로운 난수 생성
  r_a_epoch <- NLReport("a_epoch") #도착간격 나머지 불러오기
  r_service <- NLReport("s_time") #서비스시간 나머지 불러오기
  n_inter_arrival <- rgeom(10000,la) + 1 #추가할 새 도착간격 생성
  n_service <- rgeom(10000,mu) + 1 # 추가할 새 서비스 시간 생성
  r_a_epoch <- c(r_a_epoch,tail(r_a_epoch,1) + cumsum(n_inter_arrival)) #도착시간 추가
  r_service <- c(r_service,n_service) #서비스시간 추가
  NLDFToList(data.frame(a_epoch = r_a_epoch))
  NLDFToList(data.frame(s_time = r_service))
  inter_arrival <- c(inter_arrival,n_inter_arrival) #inter_arrival 업데이트
  service <- c(service,n_service) #service 업데이트
}
>sample_path <- c(sample_path,NLReport("s_path")) #R 변수 sample_path에 NetLogo
s_path 가져오기
>waiting_time <- rbind(waiting_time, cbind(NLReport("s_path_who"),NLReport("s_path_w_time")))
#R 변수에 waiting_time 저장

```

위 명령을 반복적으로 수행하면 모형을 원하는 만큼 실행할 수 있다. 시뮬레이션 수행후 “sample_path”에는 슬롯별 고객수가 저장되고, “waiting_time”에는 고객의 번호(“who”)와 도착부터 서비스 시작까지 대기한 시간이 저장되어 있다. “inter_arrival”에는 고객의 도착간격이 “service”에는 고객의 서비스시간이 저장되어 있다. 이를 통해서 고객수의 분포, 대기시간의 분포를 도출할 수 있다. 고객수와 대기시간의 분포는 R의 “table” 명령어를 통해 계산할 수 있다.

지금까지 구축한 모형의 검증을 위해서 두 가지 방법을 사용할 수 있다. 첫 번째 방법은 다양한 도착과 서비스시간을 생성하여 그 결과에서 평균고객수와 평균 체류시간(=평균대기시간 + 평균 서비스시간)을 구한 후 리틀의 법칙(Little’s Law)이 성립하는지 확인하는 방법이다.¹⁵⁾ 시뮬레이션이므로 정확하게 일치하지는 않지만 통계적으로 유의한 수준에서 리틀의 법칙이 성립하면 모형이 검증된 것으로 판정한다. 두 번째 방법은 수리적 분석이 가능한 (Geo/Geo/1) 모형의 결과와 비교하는 방법이다. 도착확률 λ , 서비스 종료확률 μ 인 경우 시스템 내의 고객수가 n 명

15) 리틀의 법칙에 따르면 평균 고객수가 평균체류시간에 고객도착확률의 역수를 곱한 것과 일치한다.

일 확률 아래 식 (4-1)과 같다.

$$P_n = \left(\frac{\lambda(1-\mu)}{\mu(1-\lambda)} \right)^{n-1} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu(1-\lambda)} \right) \cdot P_0, \quad P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu} . \quad (4-1)$$

식 (4-1)을 통해 구한 결과와 시뮬레이션 결과가 일치하면 모형이 제대로 구축 되었다고 할 수 있다. 시뮬레이션을 충분히 실행하면 거의 일치하는 결과를 얻을 수도 있으나 복잡한 시뮬레이션은 충분히 실행하기 위해 오랜 시간이 걸릴 수 있으므로 통계적으로 일치 여부를 판단하는 것으로 충분하다. 본 연구에서 제시된 모형은 두 검증 방법 모두를 만족시킨다.

5. 나가며

지금까지 ABMS 시뮬레이션 모형 구축 패키지인 NetLogo와, 자료 분석 패키지 R과 NetLogo를 연계시킬 수 있는 RNetLogo 패키지를 활용하여 현장에서 실무적으로 활용할 수 있는 군수성과 분석 방안에 대해서 살펴보았다.

본 연구의 목표는 극단적 불확실성과 동적인 환경을 반영할 수 있는 NetLogo 군수성과 분석 모형을 만드는 방법론을 살펴보고 기본 모형을 사례로 제시하는 것이었다. 이를 위해 NetLogo 패키지 활용 방안을 소개하고, RNetLogo를 활용하여 R과 NetLogo를 연계시키는 방법을 제시했다. 또한, NetLogo와 R을 활용하여 군수 분야 성과분석에 활용될 수 있는 G/G/1 대기행렬 모형을 구축했다.

G/G/1 모형을 군수 성과분석 기본 모형으로 제시했지만, 이 모형은 서버 에이전트를 추가하기만 하면 여러 개의 서버가 있는 G/G/c 모형으로 확장할 수 있다. 또한 어떠한 분포도 적용 가능하므로 룬테일 분포를 따르는 극단적 불확실성을 가진 현상도 분석 가능하다. 서비스 정책 측면에서는 본 연구는 FIFO를 가정한 모형을 사례로 제시했지만, LIFO, RSS(Random Selection of Service) 등의 서비스 정책 뿐 아니라, 서버에 수리 부속 재고 보유와 같은 특정 조건을 만족해야만 서비스 제공이 가능한 다양한 상황과 정책을 반영하는 모형으로 확장 가능하다.

최근 컴퓨팅 기술과 분석기법의 발달과 더불어 빅데이터 분석이라는 슬로건 아래 계량적인 분석 방법의 혁명적 변화가 진행되고 있다. 확률적 모형 분석(Stochastic Model) 분야도 이런 변화에 영향을 받아 행렬기하법(Matrix Geometric Algorithm)과 같은 수치해석적 접근법이 주요 분석 방법으로 부상하기는 했지만, 극단적 불확실성이나 동적 특징을 모형에 반영하기에는 한계가 있다. 행렬기하법은 전통적인 수리모형에 비해 매력적인 방법이지만 모형화에 성공한다고 하더라도 여전히 메모리 부족이나 컴퓨팅 속도의 문제에 직면하는 경우가 많다. 무엇보다 큰 문제는 확률 모형을 분석적으로 풀기 위한 모형화 작업 자체가 일정 수준 이상의 배경 지식을 요구해 실무에서 활용하기에 어려운 점이 많다는 것이다. ABMS는 이런 문제를 해결할 수 있는 유용한 도구이다. 이런 맥락에서 본 연구에서 제시된 ABMS를 활용한 군수성과 분석 방법론은 다양한 응용이 가능할 것으로 믿으며 “진입장벽도 없지만 천장도 없다! (No Theshold, No Ceiling!)”는 ABMS 연구자들이 즐겨 쓰는 경구가 이 연구를 통해 군수 성과 분석에도 적용되기를 기대한다.

참고문헌

- 김경수, 이병구, 이수진, 이춘주, 윤봉규 (2019), “과학기술이 주도하는 미래전략”, 국방과학기술과 무기체계, 국가안전보장문제연구소.
- 김상민, 이문걸. (2014). “시뮬레이션 기법을 적용한 군용 항공기 소요 산정 모형. 한국시뮬레이션학회논문지.” 23(4): 151-161.
- 김주영, 김경규. (2009). “지식공유의도, 신뢰, 기회주의적 행동의 위험이 공급망 참여기업 사이의 지식교환에 미치는 영향에 관한 연구.” 대한경영학회지 22(1): 71-97.
- 김진욱, 윤봉규 (2007). “변형된 $Geox/G/\infty$ 모형의 일시해(transient solution)를 이용한 적정 관제사 인원에 관한 연구.” 국방대학교 교수논총 15(3): 221-248.
- 문성암, 이준영, 박세훈. (2019). “수요 예측 과정에서 발생하는 수요 변동에 의한 정보 지연 효과에 관한 연구.” 로지스틱스연구 27(2): 47-61.
- 문성암, 석순복, 박재향, 김이석 (2012). “의사결정자의 평균고정 휴리스틱이 공급사슬에 미치는 영향에 관한 연구.” 로지스틱스연구 20(1): 72-88.
- 손영수, 김성우, 윤봉규(2014), “항공기 운용 특성을 고려한 적정 운용 대수 산정 기준 연구”, 한국군사과학 기술학회지, 17(1), 51-57.
- 유일, 윤봉규(2011). “다단계 정비 시스템의 장비예비품 재고수준 결정모형.” 로지스틱스 연구 19(1): 5-21.
- 임대은, 최준재, 손영우, 김영훈 (2015). “ABM의 국가 안보 분야 응용 사례 및 적용 방안 연구.” 국방대학교 국가안전보장문제 연구소 안보연구시리즈 4(2).
- 윤혁, 이상진(2009). “Phase-type 수리시간을 갖는 무기체계의 적정 예비품수 결정.” 경영과학 26(3): 145-156.
- 이영, 문성암, 석순복. (2013). “복원적 공급사슬 디자인.” 한국 SCM 학회지 13(1): 87-102.
- 이영, 정기홍, 문성암, 민순홍, 강동주. (2014). 공급사슬 네트워크의 위상구조적 특성에 관한 연구. 한국 SCM 학회지, 14(1), 19-26.
- 이호우(2006), 대기행렬이론 제3판, 서울:시그마프레스.
- 조승현, 윤봉규 (2019). “우선순위 대기행렬 모형을 활용한 대형함정 정비용 건설거 운용수준 분석.” 경영과학 36(1): 37-49.

- Banks, J, S. Buckley, S. Jain, P. Lendermann and M. Manivannan (2002). "Panel session: opportunities for simulation in supply chain management." Proceedings of the Winter Simulation Conference 2002: 1652-1658.
- Bramel, J. and D Simchi-Levi (1997). The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management. Springer.
- Choi, KH, BK Yoon, and SY Moon. (2019). "Queueing Inventory Systems with Phase-type Service Distributions: A Literature Review." Industrial Engineering & Management Systems 18(3): 330-339.
- Croson, R and Karen Donohue. (2002). "Experimental economics and supply chain management." Interfaces 32: 74-82.
- Croson, R. and K. Donohue (2006). "Behavioral causes of the bullwhip and the observed value of inventory information." Management Science 52(3): 323-336.
- Hague, L. and M. Armstrong(2007). "A survey of the Machine Interference Problem." European Journal of Operational Research Vol. 179 (2): 469-482.
- Vienott, Arthu F. (2005). Lectures in Supply-Chain Optimization. Stanford Univ.
- Gino, Francesca and Gary Pisano (2008). Toward a Theory of Behavioral Operations. Manufacturing & Service Operations Management 10(4): 676-691.
- Onggo, B. S., Karatas, M.(2016), "Test-driven simulation modelling : A case study using agent-based maritime search-operation simulation." European Journal of Operational Research 254(2): pp.517-531.
- Persson, F. and J. Olhager (2002). "Performance simulation of supply chain designs." International Journal of Production Economics 77(3): 231-245.
- Thierry, Caroline, Gérard Bel, and André Thomas(2008). "Supply chain management simulation: an overview." in Simulation For Supply Chain Management, ISTE and John Wiley & Sons: 1-36.

- Schweitzer, M E and Cachon G P(2000). "Decision Bias in the Newsvendor Problem with a Known Demand Distribution: Experimental Evidence." *Management Science* 46(3): 404-420.
- Schwenna, Karl, John Colombia, Teresa Wub, Kyle Oyamaa, and Alan Johnsona (2015), "Toward Agent-Based Modeling of the U.S. Department of Defense Acquisition System." *Procedia Computer Science* 44: 383-392.
- Stecke, K. and J. Aronson(1985). "Review of operator/machine interference models." *International Journal of Production Research*. Vol. 23 (1): 129-151.
- Taleb, Nasim Nicolas/안세민 역(2013). *안티프레질(Antifragile)*. 와이즈베리.
- Wilensky, U. and William Rand/윤봉규, 이원재 역 (2017). *ABM 개론 Netlogo 를 활용한 자연, 사회, 공학 복잡계 모델링 (AN INTRODUCTION TO AGENT-BASEDMODELING: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo)*. 국가안전보장문제연구소.

Appendix. G/G/1 NetLogo 모형 코드

```

breed[servers server] ;서버
breed[customers customer] ;고객
breed[signs sign] ;sign

globals[a_epoch d_epoch s_time N_q N_s N s_path s_path_who s_path_w_time]
;arrival epoch, departure epoch, service time,
;Number of C in q, N in server, N in system,
;sample path of C, sample path for the order of service completions(die),
;sample path of waiting time
customers-own[r_time arr_w_time] ;고객속성: remaining service time, arrival time, waiting time
to setup
  clear-all ;화면 초기화
  set s_path [] ;변수초기화
  set s_path_who []
  set s_path_w_time []
  set N 0
  ask patches with [pxcor = 5] [ ;server와 customer 공간 분리
    set pcolor white
  ]

  crt-sign ;공간 배너 만들기

  create-servers 1 [ ; 서버 생성
    set shape "square 2"
    set size 3
    set color blue
    setxy 10 0
  ]

  reset-ticks ;시물레이션 시간 초기화
end ;

to go
  update-plot
  wait-served

```

```

arrival
tick
departure
service-start
analyze
end

to wait-served
  ask customers with [xcor < 5] [set w_time w_time + 1] ;대기 고객의 대기 시간 증가
  ask customers-on servers [set r_time r_time - 1] ;서버위의 고객의 잔여시간 감소
end

to arrival
  if (item 0 a_epoch - 1)= ticks [ ;Late Arrival은 슬랏 직전에 일어남
    create-customers 1 [
      setxy (random 19 - 16) (random 29 - 14) ;waiting space의 적절한 장소 도착
      set arr ticks
      set r_time item 0 s_time ;서비스 잔여 시간 설정
      set w_time 0 ; 대기시간 0 설정
      set shape "person" ;모양은 사람
    ]
    set a_epoch but-first a_epoch ;사용한 도착시간 삭제
    set s_time but-first s_time ; 사용한 서비스 시간 삭제
  ]
end

to departure
  ask servers [ ;서버에게
    ask customers-here with [r_time = 0] [ ;서버위의 고객이 잔여시간이 0이면
      set s_path_who lput who s_path_who ;자신의 who를 기록하고 s_path_who에 기록하고
      set s_path_w_time lput w_time s_path_w_time ;자신의 w_time을 s_path_w_time에 기록하고
      die ; 사라짐
    ]
  ]
end

to service-start

```

```

ask servers [ ;서버에게
  if (not any? customers-here) and (any? customers) [ ;서버에 고객이 없고, 대기장소에는 고객이 있을 때
    ask customers with-max [w_time] [move-to one-of servers] ;고객을 서버의 위치로 이동시킴
  ]
]
end

```

```

to analyze
  set N_s count customers-on servers ;서버에 있는 고객수, number of customers in server
  set N_q count customers - N_s ; 대기중인 고객수, number of customers in q
  set N N_q + N_s ; 시스템에 존재하는 모든 고객수, number of customers in the system
  set s_path lput N s_path ; 고객수 샘플패스 업데이트, sample path update
end

```

```

to update-plot ;샘플패스 그래프 그리기
  set-current-plot-pen "life"
  plot N
end

```

```

to crt-sign ;공간 배너 만들기
  create-signs 1 [ ;server sign
    set size 0 ; 에이전트 크기는 0
    set label "SERVERS"; 배너이름
    setxy 15 14; 위치
    set label-color yellow ;배너색은 노란색으로
  ]

```

```

  create-signs 1 [ ;customer sign
    set size 0
    set label "WAITING SPACE" ;배너이름
    setxy 1 14
    set label-color yellow
  ]
end

```


평화를 지키는 무기

- 화약에서 레이저, 그리고 정책과제 연구 -

이 춘 주

2020. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

목 차

1. 서론	69
2. 연구방법론	71
2.1 세계 기술 프론티어 (World Technology Frontier: WTF) 분석	71
2.2 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: DEA)	74
2.3 확률변경분석(Stochastic Frontier Analysis: SFA)	76
2.4 국가혁신체제론	77
3. 본론	78
3.1 전쟁과 평화	78
3.2 전쟁과 무기	82
3.3 국방과학기술 메가트랜드	96
3.4 국방과학기술 정책과제	107
4. 결론	116
참고문헌	118

그림목차

〈그림 3-1〉 1500년~2015년간 강대국간의 전쟁기간(년도%)	79
〈그림 3-2〉 1400년 이후 인구 백만명당 전쟁 사망률	80
〈그림 3-3〉 창던지기 도구 atlatl, 페루, 기원후 0-300, 롬바드 박물관	84
〈그림 3-4〉 그리스의 화염	86
〈그림 3-5〉 15세기 영국과 프랑스간의 크레이 전투	87
〈그림 3-6〉 화약의 제조법 문헌	87
〈그림 3-7〉 미래 유망기술	102
〈그림 3-8〉 산업혁명과 전쟁	103
〈그림 3-9〉 미래의 전장과 미래전 양상	104
〈그림 3-10〉 WFT를 적용한 세계 기술 프론티어	107
〈그림 3-11〉 기술 프론티어	108
〈그림 3-12〉 시대별 프론티어를 이용한 세계 기술 프론티어의 효율성변화	109
〈그림 3-13〉 글로벌 프론티어를 이용한 세계 기술 프론티어의 효율성변화	109
〈그림 3-14〉 주요국 국방과학기술 전략	110
〈그림 3-15〉 중국과 미국의 연구개발 투자규모, 2000~2017(2010 달러 기준)	111
〈그림 3-16〉 시대별 글로벌 연구개발 투자규모	111

표 목 차

〈표 3-1〉 1946년 이후 전투 사망자	81
〈표 3-2〉 근력시대 전쟁과 무기발달	85
〈표 3-3〉 화약시대 전쟁과 무기	88
〈표 3-4〉 기술시대 전쟁과 무기	90
〈표 3-5〉 하이테크 시대의 전쟁과 무기	91
〈표 3-6〉 사이버무기가 사용된 사례(1988~2015년)	94
〈표 3-7〉 미래사회 메가트랜드	99
〈표 3-8〉 기술확산점 정의	100
〈표 3-9〉 국방비 지출 예상	101
〈표 3-10〉 신무기기술과 응용	106

1. 서론

기술혁신이 가져 올 4차 산업혁명시대는 초연결·초지능의 키워드로 요약된다. 인공지능, 사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 모바일 등 4차 산업혁명을 주도할 기술은 민간사회 뿐만 아니라 군사 분야에서도 전쟁수행 방식의 구조적인 변화를 가져올 것이다.

최근 COVID-19가 국가안보와 사회경제에 미치는 막대한 영향에서 보듯이 군사적 또는 비군사적 위협의 경계가 모호한 초연결 사회에서 네트워크화 된 국가 인프라와 기능¹⁾을 자연적 또는 인공적 위협으로부터 방호하는 것은 새로운 과제가 되었다. 본 연구는 역사적으로 전쟁 수행방식을 변화시킨 무기기술의 발달을 살펴보고 미래 사회의 메가트렌드를 형성하는 기술의 확산점과 세계 기술 프론티어의 변화에 대응하기 위한 정책과제를 모색하였다.

일반적으로 무기는 폭력적 투쟁으로서의 전쟁에서 이기기 위해 사용되는 기술을 말하는데 기술 그 자체는 전쟁뿐만 아니라 다른 사회적 활동과 목적으로도 개발되고 응용되는 것이다. 즉, 기술(technology)이란 어떤 사물을 만들고 일을 하는데 사용되는 기술적 수단의 총칭기술(skill, technique)이면서 기술을 연구하는 학문을 뜻한다(이춘주 외, 2017). 따라서 전쟁에서 이기는 기술로서의 무기 뿐만 아니라 전쟁을 억제하고 평화를 지키는 기술로서의 무기에 대한 이해가 필요하다.

관련 문헌에서는 시대별 전쟁양상을 바꾸어 놓은 무기체계에 대하여 잘 정리하고 있다. 김철환(2015)은 전장기능별 무기체계를 감시 정찰, 지상기동무기체계, 화력무기체계, 함정무기체계, 항공무기체계, 방호무기체계 및 대량살상무기체계, 지휘통제 통신 무기체계, 미래전과 무기체계, 무기체계 획득관리로 구분하여 설명하였고 전쟁에 활용된 무기체계에 대한 특성을 기술하였다. 최석철(2005)은 무기체계 현황을 능력위주로 설명하고 있다. 정명복(2011)은 전장을 지배한 무기와 역사를 바꾼 전투에 대하여 기술하였다. 김철환·육춘택(1997)은 전쟁과 무기발달을 개관하고 원시시대부터 오늘날에 이르기까지 전쟁과 무기발달의 관계와 기술과 전략 전술간 상호관계를 규명하고 21세기에 전개될 미래전쟁의 양상

1) 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)는 국가재난이 닥쳤을 때 국가를 이끌고 유지하기 위해 대통령과 국가 지도부가 집중해야 하는 연방 정부의 여덟 가지 필수기능(NEFs: National Essential Functions)과 책임을 정하고 있다.

과 첨단기술을 예측 전망하였다. 김해연(2012)은 김철환·육춘택(1997)의 연구를 확장하여 전쟁사를 통해 하이테크시대 무기체계 구축방안을 논의하였다. 전쟁과 무기에 관한 많은 연구들로부터 우수한 무기체계가 군사적으로 활용되지 않은 사례를 찾아 볼 수 있는가 하면 무기가 전장에 사용되어 역사를 바꾼 결정적인 역할을 한 경우도 있었다(계동혁, 2009). 과학기술의 군사적 응용이라 할 수 있는 무기가 그 시기에 발현될 수 있었던 이유와 논리를 찾을 수 있다면 국방과학기술혁신을 위한 정책적 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서는 문헌연구를 통해 역사속에서 전쟁의 양상을 변화시킨 기술발전의 본질과 국방과학기술의 메가트랜드와 확산점에 관한 논의를 살펴보았다. 다가올 초연결 사회에서 네트워크화 된 국가의 기능을 위협으로부터 방호하기 위한 유망기술을 모색하였다. 이어지는 2장에서는 연구방법론을 소개하고, 3장에서는 시대별 전쟁의 승패에 영향을 미치고 나아가서 사회를 변혁시킨 주요 무기기술과 미래 국방과학기술의 메가트랜드를 소개한 후, PWT9.1 데이터를 이용하여 세계 기술 변경(WTF: World Technology Frontier)의 변화를 분석하여 국방과학기술의 정책과제를 논하였다.

2. 연구방법론

아래는 본 연구에서 활용된 연구방법론을 간략히 설명하고 있다. ‘세계기술변경’, ‘자료포락분석’, ‘확률변경분석’ 방법론은 미래 전쟁양상을 변화시키고 사회경제의 구조적인 변혁을 가져올 유망기술을 식별하고 분석하는데 유용하며 과학기술정책이론은 초연결·초지능화 된 국가의 기능을 방호하기 위한 정책과제를 도출하는데 필요한 이론을 제공해 준다.

2.1 세계 기술 변경 (World Technology Frontier: WTF) 분석

가. WTF의 개념

WTF는 Caselli & Coleman II(2006)가 총생산 함수의 국가 간 차이를 연구하면서 도입한 개념이다. 이들은 생산함수의 변경에 있는 국가와 그렇지 못한 국가들이 국가 생산을 위해 사용하는 인적자본과 물적자본의 선택과 총요소생산성의 변화를 분석하였다. 이들은 한 국가의 기술을 비숙련 된 노동, 숙련 된 노동, 그리고 자본이라는 삼중구조의 효율성으로 정의하였다.

Caselli & Coleman II(2006)는 숙련되지 않은 노동의 효율성과 숙련 된 노동 및 자본의 효율성 사이에 음의 국가 간 상관관계를 발견하고 이 발견을 세계 기술 변경(World Technology Frontier)의 존재에 대한 증거로 해석하였다. 이 생산변경에서 비숙련 노동의 효율성 증가는 숙련 노동과 자본의 효율성 감소의 대가로 얻어진다고 분석하였다. 각 국가의 기업들은 세계 기술 변경에서 최적의 기술을 선택하는데 분석 모델에 의하면 최적의 기술 선택은 국가가 가진 숙련 및 비숙련 노동력에 따라 달라진다. 기술 흡수에 대한 장애물로 인하여 국가 별로 택할 수 있는 기술이 특정지어지고 국가 별 기술 경계를 허용하게 되는 것이다. 이는 가난한 나라들이 불균형적으로 세계 기술 변경 안에 있는 경향이 있음을 의미한다. 이들 연구는 세계 기술 변경을 결정하는 본질은 인적자본(숙련 노동, 비숙련 노동)에 있다는 것을 간접적으로 시사하고 있다.

나. WTF와 프론티어 기술

프론티어 기술은 기본적으로 연구개발 단계를 통과하여 기술발전(technology advancement)을 이루었지만 아직 시장에서 대량으로 판매되거나 주류 소비자에 의해 채택되지 않은 기술이다. WTF에 있는 국가들은 프론티어 기술을 통해 지속적인 성장을 유지하려 하고 WTF의 내부에 있는 비효율적인 국가들은 과학기술자(숙련 노동자) 육성을 통한 프론티어 기술을 확보하여 국가발전을 도모하고자 할 것이다.

WTF의 프론티어에 있는 국가들로부터 선진 과학기술 지식을 흡수하여 과학기술자를 육성하는 과학기술 전략으로 프론티어 기술을 확보한다면 WTF 내부에 있는 국가가 프론티어 국가로 성장할 수 있는 기회가 되는 것이다.

후발국가에게 과학기술 프론티어 국가로 성장할 수 있는 기회가 되는 프론티어 기술은 시대에 따라 변화하며 국방, 경제, 안보, 환경 등 제 분야에서 프론티어 기술을 이야기할 수 있을 것이다. 민간 기업분야에서 현재 시점에서의 예로는 로봇 공학 및 인공지능, 자율주행 차량, 기계 학습, 블록체인 기술, 드론, 재생 에너지 및 증강 현실을 들 수 있다(Kambria, 2019).

로봇 공학 및 AI 산업은 빠른 속도로 가속화되고 있다. 사람들이 로봇 공학에 대한 관점을 미래에 등장할 사물이라는 것으로부터 현재 실제 로 가능하다는 것으로 전환하기 시작한 다양한 프로젝트가 이미 등장했다. 예를 들어 사우디아라비아에서 시민권을 부여받은 휴머노이드 로봇이나 아이들이 직접 참석할 수 없을 때 교실에 있을 수 있게 해주는 OhmniLabs원격 로봇을 생각해볼 수 있다. 확실히 로봇 공학과 AI는 다가오는 4 차 산업 혁명에서 큰 역할을 할 것이다. 추정에 따르면 우리 작업의 50 % 이상이 자동화에 의해 대체 될 것이며 이것이 발생하는 시간 프레임이 서서히 증가하고 있다.

자율주행 기술은 현재 인간이 자동차 운전을 통해 공간을 이동하는 비효율적인 방법을 대체할 것이다. 운전자는 주변 환경과 잠재적으로 위험한 상황을 지속적으로 인식해야 하는데 매년 평균 125 만 명이 자동차 여행에서 사망한다. 미래의 어느 시점에서 자율 주행 차량은 기존의 자동차를 대체하고 훨씬 더 안전하게 여행할 수 있게 될 것이다. 자동차 산업은 여러 도시의 도로에서 자율 주행 차량을 테스트하고 있다. 2018년8월에 도요타는 Uber의 자율 주행 자동차 개발 부서에 5

억 달러를 투자할 것이라고 발표했다. Uber에 의하면 도요타의 차선유지와 같은 자동화 기술인 Guardian기술과 결합하여 2021년부터 Uber의 차량 호출 네트워크에 배치 될 Toyota의 Sienna 미니 밴에 구축 될 것이라고 한다. BMW는 완전 자율주행 자동차를 개발 중이다. 이들은 프론티어 기술에 적응하는 크고 전통적인 기업의 예이다.

AI의 하위요소인 기계학습은 경험을 통해 자동으로 향상되는 컴퓨터 알고리즘에 관한 연구 영역이다. 기계 학습 알고리즘은 명시적으로 프로그래밍하지 않고도 예측 또는 결정을 내리기 위해 "학습 데이터"라고 하는 샘플 데이터를 기반으로 모델을 구축한다. 새로운 분야인 기계학습은 데이터 집합에서 학습하고 예측할 수 있는 알고리즘의 연구 및 구성을 탐색하는 데 사용된다. 한국의 카카오택시와 미국의 Uber와 Lyft는 이미 특정 고객과 관련된 데이터를 이용하여 고객이 탑승할 때 특정 요금을 지불하도록 지정하는 가격책정 알고리즘을 사용하고 있다.

드론에 대해 들었을 때 오락 용 상업용 드론에 대해서만 생각할 수 있다. 하지만 세계에서 가장 큰 상업용 드론 회사 인 중국의 DJI는 엄청난 사업을 하고 있다. 현재 가치는 150 억 달러이다. 2016 년에 설립 된 회사에게는 나쁘지 않다. 흥미롭게도 드론 개발은 도움이 필요한 사람들을 도울 수 있는 능력이 있다. 드론은 사람들이 의료 서비스를 수행 할 수 있도록 지시 할 수 있으며, 르완다의 (원격) 병원 근처에서 혈액과 백신을 전달하라는 명령을 받고, 드론은 특정 재난 장소로 응급 처치 패키지, 의약품, 음식 및 물을 전달할 수 있다(Kambria, 2019).

기존의 중앙집중식 데이터 유지 시스템과는 달리 독립적인 컴퓨터에 기록하는 분산 원장 기술(distributed ledger technology)의 하나인 블록체인은 데이터를 블록으로 구성하고 추가 전용 모드로 함께 연결된다. 2008년 Satoshi Nakamoto가 Bitcoin이라는 P2P 전자 현금 시스템을 세계에 도입 한 이후 꾸준한 성장을 보였다. 공급망 간소화, 분산 애플리케이션 구축, 디지털 ID 관리, 에너지 시장에서 P2P 거래와 같은 수많은 분산사용과 함께 중앙 집중식으로 사용할 수도 있다. Samsung, American Express, Oracle, AIA, Alibaba, Metlife, Facebook, Prudential, IBM, Ford, Goldman Sachs, ING, Amazon, Siemens, Morgan Stanley, Intel, Pfizer 등 대기업들도 블록체인 기술을 적용하기 위해

투자하고 있다(Castillo, 2018).

프론티어 기술은 기술혁신의 최전선에 있어서 새로운 시장을 창출하거나 기존 시장의 점유율을 높이고 가격경쟁력이 있어서 시장에서 대규모로 구현할 수 있는 획기적인 솔루션을 제공하고 전 세계적으로 주류가 채택할 수 있는 기회를 가진다. 프론티어 기술은 인간이 궁극적으로 원하는 기대수명을 늘리고 삶의 질을 높이는 데 기여할 수 있으며 현장의 문제에 대한 획기적인 솔루션을 제공할 수 있다. 노인에 대한 반려 로봇, 개인 사용자 데이터를 기반으로 관심이 있을 수 있는 사진을 자동으로 표시하는 기능, 스마트 와치에 부착된 포도당 모니터 또는 온라인 주문을 전달하는 드론 등은 이러한 기술들이 우리 삶에 긍정적인 방식으로 영향을 미치는 몇 가지 예에 해당한다.

다른 한편으로 프론티어 기술은 규제 기관과 정책 입안자가 특정 산업에 대한 특정 표준을 조정하고 설정하는 능력을 능가할 수 있다. 어떤 경우에는 규제로 인해 혁신적인 기술의 발전 속도가 느려질 수 있다. 또한 자율 무기체계와 같이 윤리 도덕적인 문제와 관련되어 국제규범이 필요한 경우도 있다. 프론티어 기술을 확보하여 국력을 과시하고자 하는 경우에는 국제적 마찰과 힘의 새로운 균형을 찾기 위한 분쟁으로 이어질 수 있다. 프론티어 기술이 정책적으로 중요한 의미가 여기에 있다.

2.2 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: DEA)

가. DEA 모형

DEA는 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 Koopman(1951)의 효율성 개념, Debreu(1951)의 거리함수 개념, 그리고 Farrell(1957)의 효율성 측정 개념을 발전시켜서 개발한 모형이다. DEA는 효율성을 측정할 때 최상의 생산변경에 대하여 상대적으로 결정하고, 자료생성과정에서 모수추정이 아닌 관측자료에 의하여 추정하고, 평가자료로서 가중치를 요구하지 않으며 확률모형을 가정하지 않는 특징이 있다.

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)는 분석대상의 생산활동에 대하여 경제적 활동, 볼록성, 자유가치분성, 규모의 경제, 파레토 효율성 달성여부와 분절선형 방식의 변경 추정을 가정으로 하여 선형계획법으로 풀이가 가능한 기본모형을 제

시하였다.²⁾ 아래식은 투입 x , 산출 y , 효율성값 θ , 가중치 z 에 대하여 얼마나 적은 양의 투입으로 동일한 수준의 생산이 가능하냐에 따라 상대적인 효율성을 분석하는 투입기준 CCR모형이다.

$$\begin{aligned} \theta^* &= \text{Min } \theta_k \\ \text{s.t.} \\ y_{mk} &\leq \sum_{j=1}^J z_j y_{mj} \quad (m=1, \dots, M) \\ \theta_k x_{nk} &\geq \sum_{j=1}^J z_j x_{nj} \quad (n=1, \dots, N) \\ z_j &\geq 0 \quad (j=1, \dots, J) \end{aligned}$$

이후 기본가정을 완화하거나 확장하여 다양한 문제를 다룰 수 있는 모형들이 개발되어 공공부문의 효율성 측정, 성과분석, 벤치마킹 대상선정, 기술예측, 생산성 변화, 과제선정, 기술변화와 효율성변화 측정 등에 응용되고 있다.

본 연구에서는 국가를 생산단위로 하여 생산기술의 상대적인 위상을 확인할 수 있는 세계기술변경을 식별하고 국가별 특성을 분석하는데 활용되었다.

나. DEA를 이용한 기술예측

DEA를 이용한 기술예측 모형인 TFDEA(Technology Forecasting using DEA)는 Anderson 외(2001)가 처음으로 소개하였다. TFDEA는 기술(제품)의 출시 시기가 알려져 있을 때 시간의 흐름에 따른 시대기술(SOA: State of Art)을 DEA로 식별하고 SOA의 변화율을 계산하여 원하는 시점에 도래할 미래기술을 예측하는 기법이다. 현재 TFDEA를 이용한 기술예측을 다양한 산업분야에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 응용분야에 대한 자세한 내용은 정병기, 김현철, 이춘주(2016)을 참조 바란다. 본 연구에서는 세계 기술 변경에 대하여 상대적인 국가의 위상 변화를 분석하는데 적용하였다.

다. 생산성 변화 분석

DEA 프론티어를 이용한 맘퀴스트 인덱스는 생산성 변화를 측정하는데 효율성과

2) DEA 기본모형과 다양한 변형모형은 Cooper, Seiford & Zhu(2004) 등을 참조

기술성의 변화로 구성된다.

$$M_I^G = (ECH_I \cdot TCH_I^G) = \left(\frac{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^t(x^t, y^t)} \right) \cdot \left[\left(\frac{E_I^t(x^t, y^t)}{E_I^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \cdot \left(\frac{E_I^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{E_I^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \right]^{1/2}$$

위 식에서 M은 생산성 지수, G는 기하평균, I는 효율성 측정 기준으로 투입기준, E는 DEA 효율성 지수, t는 시기, ECH는 효율성 변화, TCH는 기술성 변화, x는 투입, y는 산출을 나타내며 $E_I^t(x^t, y^t)$ 는 투입기준 t기의 프론티어에 대하여 t기의 투입과 산출 자료를 이용하여 측정한 효율성 값을 나타낸다.

본 연구에서는 세계 기술 변경이 효율성과 기술성 측면에서 어떤 양상으로 변화하는지 분석하는데 활용되었다.

2.3 확률변경분석(Stochastic Frontier Analysis: SFA)

가. 통계적 프론티어 분석

효율성은 주어진 생산요소로부터 최대의 산출을 얻기 위한 능력을 나타내는 기술적 효율성과 생산요소의 가격이 알려졌을 때 최적 비율로 생산요소를 사용하는 능력에 해당하는 배분적 효율성으로 구분된다. 확률변경분석법은 기술적 효율성을 측정하는데 필요한 변경함수를 측정하는 방법으로서 계량경제학적 방법론을 사용한다.

Kumbhakar, Subal C. and Lovell, C. A. Knox (2000)에서 정리한 확률변경분석 SFA의 기본모형은 콥-더글라스 생산함수를 가정하여 아래와 제시되었다.

$$\ln y_i = \beta_0 + \sum_{n=1}^N \beta_n \ln x_{ni} + v_i - u_i, \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}$$

여기서 $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$, $u_i \sim |N(0, \sigma_u^2)|$, $u_i \geq 0$, $\forall i \in \{1, \dots, I\}$ 이다.

나. 기술효율성

변경함수에 의해 정의된, 잠재된 생산량에 대한 기업의 관찰된 생산량의 비율을 나타내는 기술적 효율성은 SFA모형에서 $-u_i$ 를 구하는 문제이다. 자세한 소개는

Aigner, Lovell and Schmidt(1977), Kumbhakar, Subal C. and Lovell C. A. Knox. (2000)를 참조바란다.

본 연구에서는 DEA에 의한 분석을 보완하는데 활용되었다.

2.4 국가혁신체제론

가. 국가혁신체제론의 개념

국가혁신체제론은 1980년대 후반에 등장한 이론으로 Freeman 이후 국가차원에서 기술혁신이 일어나도록 하기 위해 정부의 역할이란 측면에서 기술혁신의 성과가 국가마다 차이를 보이는 근본적 원인을 파악하기 위한 연구들이 그동안 많이 이뤄졌다(홍형득, 2007). 영국의 SPRU(Science Policy Research Unit)의 연구자들을 중심으로 발전한 기술혁신 연구와 Nelson & Winter(1982)로부터 시작된 진화론적 경제학을 이론적 자산으로 한 제도주의 경제학, 그리고 자원기반 전략경영론(Barney, 1991; Teece et al. 1997) 등과 혁신이론과 함께 발전해 왔다(홍형득, 2007; 2016). 국가혁신체제론은 현재 OECD, EU 등에서 국가 과학기술정책을 비교하고, 국가적 차원에서 혁신 성과에 미친 영향을 분석하기 위한 모형으로 주로 활용되고 있어, 기술혁신과 과학기술정책을 분석하는 지배적인 패러다임이 되고 있다(송위진, 2008).

나. 국가혁신체제의 구성요소

혁신의 주체, 제도, 네트워크를 국가혁신체제의 구성요소로 한다. 혁신주체는 분명한 목적을 가진 공식적인 조직 및 행위자를 의미한다. 국가혁신체제에서 중요한 주체는 기업, 대학, 연구소, 벤처 캐피탈, 혁신정책의 집행 주체인 공공기관 등이 있다. 제도는 일반적으로 혁신 주체들 간의 관계를 규정하는 경기규칙이다. 국가혁신주체간의 지역적으로 또는 글로벌 차원의 네트워크가 구성되어 지식의 창출, 확산 및 활용에 기여한다. 본 연구에서는 DEA, SFA, WTF 등 분석결과로부터 정책과제를 도출하기 위한 이론적 프레임으로 활용하였다.

3. 본론

무기는 전쟁을 위해 개발되기도 하고 평화를 지키기 위한 수단이기도 하다. 아래에서는 문헌상에 나타난 역사속 전쟁과 무기발달에 대한 이해를 통해 미래 4차 산업혁명을 이끌 유망기술에 대하여 국가안보 관점에서의 시사점과 정책방향을 모색하였다.

3.1 전쟁과 평화

전쟁은 사전적인 의미에서 둘 이상의 서로 대립하는 국가 또는 이에 준하는 집단 간에 군사력을 비롯한 각종 수단을 사용해서 상대의 의지를 강제하려고 하는 행위 또는 그 상태를 말한다. 평화는 인간집단(종족·씨족·국가·국가군) 상호간에 무력충돌이 일어나지 않은 상태로 정의하고 있다(두산백과사전). 이러한 정의에 따르면 전쟁과 평화는 공존할 수 없는 상호 배타적인 개념이다. 하지만 6.25 전쟁 이후 휴전기간이 전시나 평시냐의 확실상 대립이 있듯이 전쟁을 준비하는 기간이 평화라고 할 수 없는 것처럼 배타적이고 완전하게 전쟁과 평화를 구분 짓는 것은 어렵다.

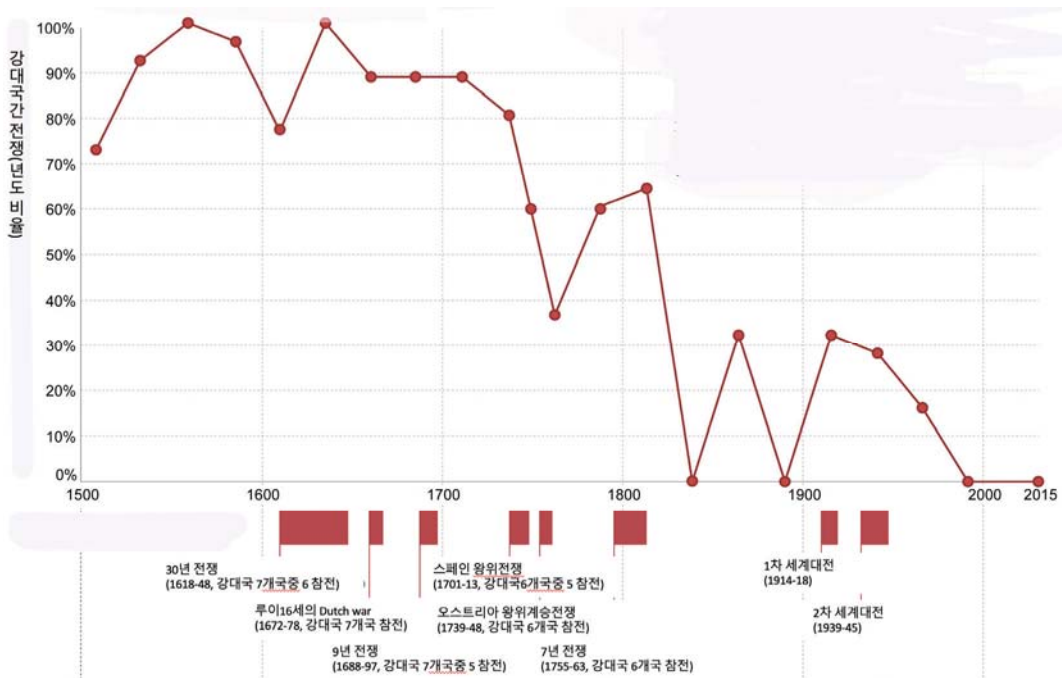
1968년 풀리처상 수상자인 듀란트에 의하면 3,421년간의 인류 역사상 전쟁이 없었던 기간은 단지 268년에 불과하다(Will and Ariel Durant, 1935~1975). 그렇다면 전쟁은 인류의 역사와 늘 함께 해온 것이다.

하버드 대학 교수인 Steven Pinker는 “폭력은 오랜 세월을 걸쳐 감소하고 있으며 지금은 우리 인류 역사상 가장 평화로운 시대에 살고 있습니다.”라고 하였다(Steven Pinker, 2011).

〈그림 3-1〉에서 강대국간 치른 전쟁의 기간을 비율로 보면 1500년 이후 줄어들 것으로 나타난다. 1946년 이후 전쟁 사망자수도 절대규모에서 줄어들었고 베트남전 이후에는 강대국 간의 전쟁은 없다. 〈그림 3-2〉에서 인구 백만명당 전쟁 사망률을 보면 1400년 이후 꾸준히 유지되는 추세를 보이다가 제2차 세계대전 이후에는 사망률이 감소하는 추세이고 군인 사망률 또한 감소 추세라는 것을 확인할 수 있다. 〈표 3-1〉에서 1946년 이후 전투 사망자는 중동지역을 제외하고는 줄어들었다.

그렇다면 우리는 지금 평화의 시대에 살고 있는가? 2019년에 수백명 이상의 사

상자를 내고 있는 아프가니스탄, 소말리아, 이라크 등 분쟁국가를 비롯해서 비록 물리적인 충돌은 없지만 북한의 핵무기 위협 하에 있는 한반도의 안보상황을 두고 평화롭다고 하기는 어려울 것이다. 그렇다면 우리가 보유하고 있는 무기는 어떤 목적으로 개발되었는가? 연구개발하고 있는 무기 기술은 무엇을 대비하기 위함인가? 전쟁을 위한 무기와 평화를 위한 무기는 구분될 수 없는 동전의 양면과도 같은 것은 아닐까? 본 연구에서 이에 대한 답을 주지는 못하지만 전쟁과 무기발달에 관한 이해를 돕는데 첫 번째 의의가 있다고 보았다.



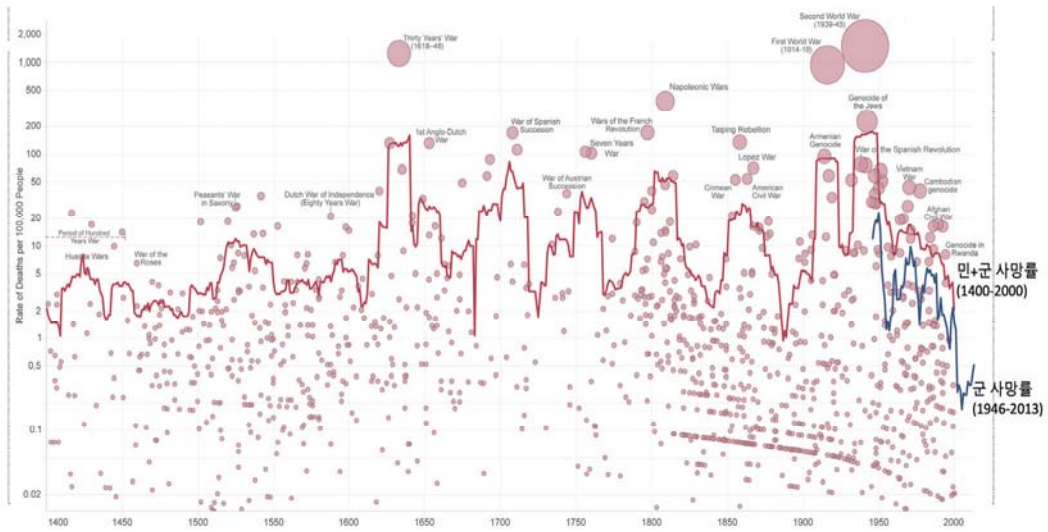
〈그림 3-1〉 1500년~2015년간 강대국간의 전쟁기간(년%)

* x축은 년도, y축은 강대국간 전쟁을 치른 기간을 전체기간의 비율로 표시

** 분석대상 강대국: 프랑스와 영국(전 기간), 중국(1949~), 미국(1898~), 독일/프로시아(1740~), 러시아/소련(1721~), 일본(1905~1945), 이태리(1861~1943), 네델란드, 스웨덴(17세기~18세기 초반), 합스부르크 제국(~1918), 스페인(~1808), 오토만 제국(~1699)

출처: Max Roser (2016) - "War and Peace". Published online at OurWorldInData.org.

Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/war-and-peace' [Online Resource]



〈그림 3-2〉 1400년 이후 인구 백만명당 전쟁 사망률

* x축은 년도, y축은 인구 백만명당 전쟁 사망률을 나타냄

** 그림에서 원은 분쟁, 그 사이즈는 절대 사상자수, 위치는 년도별 사망률을 나타낸다. 청색 표시는 1945~2013년간의 군인 사망률이고 적색은 군인과 민간인 전체 사망률이다.

출처: Max Roser (2016) - "War and Peace". Published online at OurWorldInData.org.

Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/war-and-peace' [Online Resource]

〈표 3-1〉 1946년 이후 전투 사망자

국가(지역)	전투 사망자			
	시작시점 (1946)	종료시점 (2016)	절대규모 변화	상대적 변화
Africa (inc. North Africa)	0.00	9,342.00	+9,342.00	
Americas	1,000.00	147.00	-853.00	-85%
Asia and Oceania	243,024.00	19,875.00	-223,149.00	-92%
Europe	51,380.001946	465.00	-50,915.00	-99%
Middle East	137.00	57,603.00	+57,466.00	+41,946%

출처: Max Roser (2016) - "War and Peace". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/war-and-peace' [Online Resource]

학자들의 논의에서 전쟁은 군사력을 이용해 다양한 정치 목적을 달성하려고 하는 행위, 또는 군사력을 이용한 결과 생기는 국가간의 대립 상태로 본다. 여기서 군사력을 구성하는 요소로서 무기가 있다. 일반적으로 국가 또는 그에 준하는 집단이 방위나 이익의 확보를 목적으로 무력을 행사하여, 전투를 일으키는 일이다. 전쟁은 태고부터 계속되는 인류사이며, 가장 원시적인 한편 폭력적인 분쟁 해결 수단이라고 할 수 있다(위키백과 사전).

아래는 전쟁 전략가와 학자들의 주요한 주장들이다.

손자는 전쟁은 “국가의 대사로서 생과 사가 결정되는 현장이며, 국가 존망의 기로이다”라고 하였다. 클라우제비츠는 전쟁이란 “적으로 하여금 나의 의지에 굴복하게 할 것을 목적으로 하는 폭력행위이고 다른 수단을 가지고 하는 정치의 연속이다”라고 하였다.

전쟁을 긍정적인 사건으로 특징지은 최초의 철학자로 알려진 고대 그리스의 헤라클레이토스는 “전쟁은 모든 사람에게 공통적이며 분쟁은 정의이며 모든 것이 반드시 분쟁을 통해 발생한다는 것을 알아야 한다. 전쟁은 모든 사람의 아버지이자 모든 사

람의 왕이다. 일부는 신으로, 다른 일부는 남성으로, 일부는 노예로, 다른 일부는 자유로 만든다. 신과 인간은 전투에서 죽임을 당하는 사람들을 존경한다.”라고 하였다(위키피디아; DK B53, from Hippolytus, Refutation of All Heresies 9.9.4).

투키디데스는 “전쟁은 힘을 얻기 위한 군비 경쟁이며, 인간이 권력을 추구하는 이유는 두려움과 이익과 명예에 있다.”라고 하였다.

전쟁사학자인 마이클 하워드³⁾는 "무기와 평화"에서 그는 현대 "평화 운동"의 가장 널리 퍼진 두 가지 가정- 군비 경쟁은 전쟁의 원인, 무기의 기술 현대화가 불안정 요인-을 공격하면서 수많은 무기가 그 자체로 평화에 위협이 되는 것이 아니라 안정성은 힘 간의 관계에서 비롯되며 전쟁의 원인은 더 근본적인 힘을 위한 경쟁이라고 하였다(David Curtis Skaggs, Michael Howard, 1983).

David Keen은 전쟁과 평화의 차이점을 상반대는 개념에서 찾는 것이 일반적이지만 더욱 관심이 있는 것은 지속가능한 것에 대한 것이며 전쟁에서 평화로 전환되거나 평화에서 전쟁으로 전환되는 것을 이해하려면 전쟁과 평화의 공통점을 찾는 것이 필요하다고 하면서 액체가 기체가 되고, 뿌리가 줄기가 되는 것에서부터 뿌리가 줄기를 닮기 시작하지 않았다면 어떻게 하나가 다른 것으로 바뀔 수 있을 까라는 질문과 같이 자연과학에서 이러한 관심에 대한 이해를 위한 단서를 찾을 수 있다는 것을 강조하였다.

3.2 전쟁과 무기³⁾

과학기술은 군사적 능력을 향상시키고 전쟁의 승패를 좌우하는 무기체계에 응용되어 왔다. 전쟁은 시대적 분류, 에너지변화에 따른 분류, 무기발달에 따른 분류, 무기발달 및 시대적 변화에 따른 분류로 구분할 수 있다.

시대적 분류는 고대전쟁, 중세전쟁, 근대전쟁, 현대전쟁으로, 에너지변화에 따른 분류는 동물에너지시대 전쟁, 화학에너지시대 전쟁, 이화학에너지시대 전쟁으로, 무기발달에 따른 분류는 무기 제 1기, 무기 제 2기, 무기 제 3기, 무기 제 4기로 구분하고 무기발달 및 시대적 변화에 따른 분류는 근력시대, 화약시대, 기술시대, 하이테크시대로 구분할 수 있다. 또한 전쟁형태의 변화로 1세대 전쟁은 인력전, 2

3) 본 절은 김철환, 육춘택(1997), 김해연(2012)의 주요내용을 소개하고 재정리하였다.

세대 전쟁은 화력전, 3세대 전쟁은 기동전, 4세대 전쟁은 게릴라전, 그리고 5세대 전쟁은 고도의 정치심리전으로 구분할 수 있다(이수진 외, 2017).

아래는 관련문헌으로부터 전쟁과 무기의 발달에 관한 논의를 정리한 것이다. 무기는 적을 살상, 파괴 또는 무력화하거나 이를 지원하기 위해 생산되어, 전투원에 의해 운용되는 일체의 유형물, 즉 하드웨어적인 요소이다(김해연, 2012). 무기체계는 무기와 이에 관련된 인적요소와 물적요소의 종합체계로 전쟁 수행과정에서 무기의 사용목적을 달성하는데 이용되는 기재, 자재, 시설, 보급 그리고 훈련 등으로 성립되는 전체 체계이다(김철환, 육춘택, 1997; 이태규, 2012).

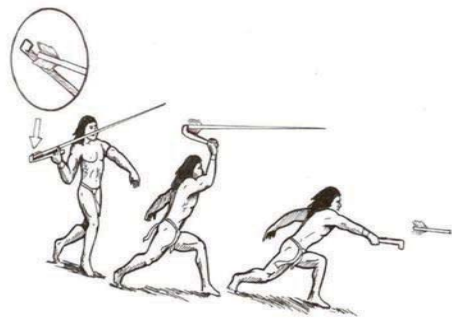
가. 근력시대의 전쟁과 무기

근력시대는 인류 최초 ~ 13세기를 말하며 인체 에너지, 가축에너지를 주요 에너지로 하여 개인의 완력에 의해 조작되는 무기인 칼, 창, 투석기, 궁을 주요 무기로 원시투쟁, 고대전쟁, 중세전쟁에서 사용하였다. 인류최초 ~ B.C. 3000년간의 원시전쟁은 인류가 출현한 300만년전, 극히 낮은 수준의 기술과 사고능력을 보유한 유인원·원시인이 투쟁하던 시기이다. 구석기시대에는 사냥 및 유목생활에 필요한 돌 조각, 돌찌르개 등을 제작하였고 동물의 가죽으로 옷을 제작하였다. 신석기시대에는 농경·가축사육·고기잡이를 시작하면서 마제석기, 돌칼 등을 제작하여 사용하였다. 청동기시대에는 문명이 발전하고, 구리·청동을 사용하여 곤봉, 투석, 방어용 무기 등을 제작하여 사용하였다.

근력시대 고대 전쟁(B.C. 3000년 ~ A.D. 2세기말)에서는 금속의 사용으로 칼날 등 철제무기를 개발하고, 바퀴의 발명으로 전차 및 투창이 발달하였다. 이와 함께 팔랑스 → 레지온 → 응용된 방진으로 전술방진 전술이 발전하였다. 중세전쟁(A.D. 3세기초 ~ 13세기말, 약 1600년) 시기에는 강력한 왕권중심에서 귀족 중심의 봉건사회로 변화하여 화살의 발달과 함께 성곽중심의 전투가 주요해진다. 기병의 등장으로 방진 전술의 한계가 도래하는데 "말"과 "등자"의 등장은 보병이 쇠퇴하는 계기가 된다. 7세기 아랍인과 8세기 바이킹족의 팽창으로 해상전이 발전하였다. 이를 종합해 보면 생계유지 도구가 싸우는 수단으로 변모하여 무기화하였다. 철기문명의 등장으로 전쟁의 영역과 방법이 변모하고 기본적인 무기의 기능은 베고, 찌르고, 쏘고, 던지고, 달리는 것이고 선박이나 항해술 등이 동수단이 미비하였다.

〈그림 3-3〉에서 창은 약 50만 년 전에 발명된 것으로 알려져 있는데 이는 역사상 가장 오래된 것으로 알려진 도구중에 하나이다. 창을 빠르고 정확하게 던질 수 있는 고대 원시무기로 추정되는 창던지기 도구인 ‘atlatl’은 나무나 뼈로 깎아 만들어졌다. 뒷부분에 고리 모양이 있어서 창을 걸어 던질 수 있게 만들어졌다. 사람이 손으로 창을 던지는 것보다 창던지기 도구를 사용할 때 더욱 멀리 정확하고 치명적으로 창을 던질 수 있었다. 기록에 의하면 가장 오래된 atlatls는 프랑스에서 발견된 17,500년 이전에 만들어진 것이다.

기원전 700년부터 3,500년까지 청동기 시대에 중동에서 청동이나 구리 합금으로 만들어진 창, 단검, 칼, 도끼는 중국, 인도, 동남아시아, 그리고 유럽의 전장으로 확산되어 큰 영향을 미쳤다. 소켓형 도끼는 Hyksos 인들이 기원전 1,700년경에 이집트를 차지하게 되는 도구로 사용되었으며 이집트에 청동 마차와 갑옷을 전하게 되었다. Hyksos 부족은 이후 기원전 1,521년경 청동 기술을 익힌 이집트 남부의 이집트인에게 축출되게 된다(Mancini, 2017). 기원전 1,100년경에는 완전한 청동기시대 검과 기원전 700년경에는 대형 청동 화살촉을 사용한 것으로 추정된다.



〈그림 3-3〉 창던지기 도구 atlatl, 페루, 기원후 0-300, 롬바드 박물관

출처: Livro de minha autoria: CAVALCANTE, Messias S. Comidas dos nativos do Novo Mundo. Barueri, São Paulo. Sá. 2014, 403 p.

〈표 3-2〉 근력시대 전쟁과 무기발달

구분	전쟁 무기 상호 영향 요소			무 기
	정치 사회	기술	전략 전술	
근력 시대	인구 증가 문명의 변화 사회의 변화 봉건 제도화 식민지 확보 종교 회복 기병의 등장	연마 기술 → 정련기 → 연금술 → 판금술 불의 발견 등자 발명 용광로 개발 성형 기술	집단 난투극 → 급습, 매복 → 장창 전술 → 투창 전술 → 기병 전술 지휘관 지략 전장의 확장 : 해상전	공격 무기 : 곤봉, 투석 → 창, 칼, 활, 석궁, 전차, 말 방어 무기 : 갑옷, 방패 해상 무기 : 갤리선

출처: 김철환, 육춘택(1997)

나. 화약시대의 전쟁과 무기

화약시대는 13세기초에 중국이 흑색화약 제조법을 개발한 이후 14세기 ~ 19세기 초를 일컬으며 소총, 화포의 등장으로 군대의 구성, 전략, 전술 등의 혁신이 일어났다. 1339~1453년간 영국과 프랑스간의 백년전쟁에서 화포와 장궁이 출현하고 화약무기의 획기적인 발달이 있었으며 포위전술과 축성술이 발달하였다. 1618~1648년간 로마제국과 독일·스웨덴·프랑스간의 30년전쟁에서 총포의 정확성, 안정성, 발사율의 증대로 총포의 혁신이 있었으며, 포신의 단축, 포가의 경량화로 화력과 기동력이 증대하는 화포의 혁신이 있었다.

1642년 8월에 의회파와 왕당파간의 영국내란에서 소총수의 비율을 높인 보병, 단총과 사브르로 무장한 경기병, 경포를 정비한 포병을 특징으로 하는 보병, 기병, 포병이 결합하는 3병 전술이 발달하였다. 의회파는 사거리 360m인 머스킷총을 주 무기로 하고, 360m 미만인 화승총으로 무장한 왕당파간에 전쟁승패는 사거리 우위가 좌우하였다. 1701~1713년간 프랑스와 영국, 네델란드, 오스트리아간에 벌어진 에스파니아 왕위계승 전쟁에서 머스킷 소총에 총검을 부착하여 창병의 역할이 축소되고 기동성이 증대되었다. 요새 축성기술과 포위공격 전술의 발달은 19세기 까지 널리 쓰였다. 1757~1764년간 프러시아와 오스트리아, 러시아, 프랑스, 작센간에 벌어진 7년 전쟁에서는 군마로 야포를 견인하는 견인포의 등장으로 기동성이 증대되었고 활강식 소총의 사용으로 정확도와 사거리가 증대되었다. 1796~1815년간

프랑스와 오스트리아, 러시아, 프리시아, 스페인, 영국간에 벌어진 나폴레옹 전쟁에서 나폴레옹의 기동력, 병단의 분할 운용, 요점공격시 병력의 집중, 화포의 집중운용 등 천재적인 전략과 전술로 전쟁양상을 일신하였으며 화포의 규격을 통일화하여 신속하게 대량의 화포 생산이 가능하였다.

1592~1598년간 조선과 일본간의 임진왜란에서 조총, 거북선 등은 적에게 혼란과 공포를 강요하여 무기체계의 기습효과를 보였으며 충무공의 뛰어난 지휘능력과 전략전술을 보였다. 이시기는 지상전과 해상전으로 전장이 확대되고 기본무기가 칼, 창, 활에서 소총, 화포로 변화하고 소총, 화포의 성능개량, 부품 표준화 등으로 살상력, 정확도, 발사율이 증대되었으며 무기의 기술을 달성한 나라가 승전국이 되었다.



〈그림 3-4〉 그리스의 화염

출처: wikimedia commons//public domain

〈그림 3-4〉에서 보이는 나프타와 생석회로 만들어진 것으로 추정되는 그리스의 화염은 672년경 비잔틴 제국에 의해 사용된 고대 무기이다. 바다위에서도 타오르는 특성으로 인해 비잔틴 제국은 많은 승리를 얻을 수 있었는데 콘스탄티노플을 구하고 아랍의 포위로부터 방어함으로써 제국의 생존을 보장받았다.

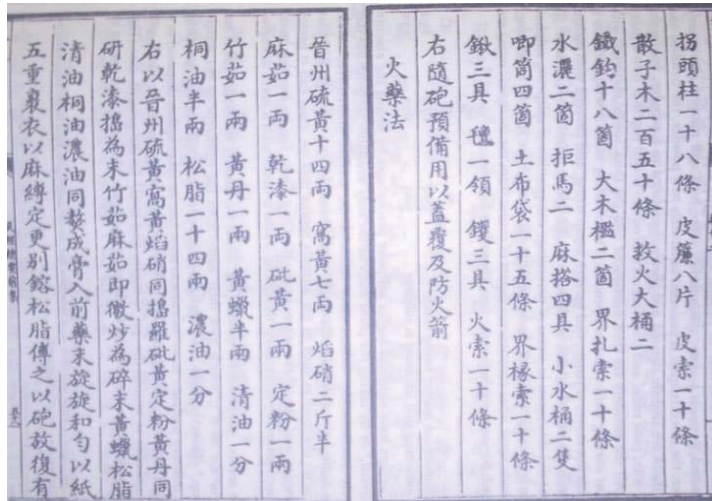
〈그림 3-5〉에서 롱보우(longbow)는 1,346년 8월 26일에 필립6세 오아이 이끄는 프랑스 군과 에드워드 3세 왕이 이끄는 영국군 사이에 벌어진 크레이 전투의 양상을 바꾼 무기로서 알려져 있다.



〈그림 3-5〉 15세기 영국과 프랑스간의 크레이 전투

출처: <https://en.wikipedia.org/wiki/Longbow>
https://en.wikipedia.org/wiki/Battle_of_Crayke(검색일:2020.10.3.)

〈그림 3-6〉은 중국에서 발명된 화약의 제조법을 담은 문헌이다. 9세기경 중국에서 발명된 화약은 불로장생의 약으로 개발하려다가 개발된 것으로서 중국에서는 화약을 약재로 사용하는 사람을 여전히 볼 수 있다. 1232년경에 중국에서는 몽골과의 전쟁에서 화약을 무기로 응용하게 된다.



〈그림 3-6〉 화약의 제조법 문헌

출처: [gunpowder formula//wikimedia commons//public domain](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gunpowder_formula)

〈표 3-3〉 화약시대 전쟁과 무기

구분	전쟁 무기 상호 영향 요소			무기
	정치, 사회	기술	전략 전술	
화약 시대	해양세력의 팽창 신/구교 대립 나폴레옹의 천재성 일본통일/야심	화약의 발명 강철주조술 조선기술 총포제작기술: 청동포→활강포→ 후장식선조포 부품표준화 대량생산	보병의 재등장 3병전술 → □횡대전술 → □종대전술 → □내선작전 해상전술: 선형기동전술, 유인전술 섬멸전략	장궁, 전장포 소총, 화승총 □→ 수발총 □→ 머스킷 포: 야포→견인포 군함 : 갤리아스, 갤리언

출처: 김철환, 육춘택(1997)

15-16세기에 등장한 대포(cannonfire)는 성곽을 효과적으로 공격하는 무기로 사용되었다. 성곽중심의 군주제가 유럽에서 국가연합을 이루어 위협을 방어하는 정치체제가 탄생하게 된다.

다. 기술시대의 전쟁과 무기

19세기 중반 산업혁명 시대로 부터 20세기 중반에 이르는 시기를 기술시대라 일컫는다. 이시기는 표준화 화기의 대량생산이 실현되었으며 연발 자동소총, 대포(후장, 강선 도입), 강철전함, 총검을 주요무기로 하였다. 이 당시 주요전쟁은 남북전쟁, 러일 전쟁, 세계 대전, 한국전쟁, 월남 전쟁, 중동 전쟁이 포함된다. 주요 전쟁술로는 선형 전술, 내외선 작전, 돌파 전술, 중심 방어전술, 전격 기동전, 수세 방어전략, 대공 방어전략, 비정규전, 배합 전술, 섬멸전, 대량 파괴전, 장기 지구전이 있다.

산업혁명 중 남북전쟁, 보오전쟁, 보불전쟁, 보아전쟁, 러일전쟁이 있었다. 남북전쟁(1861 ~ 1865)에서는 라이플 소총, 기관총 등을 사용한 선형전술이 주요했다. 보□오 전쟁(1866년)에서는 후장총을 사용하는 외선작전이 그 특징이다. 보□불 전쟁(1870 ~ 1871)에서는 선조포(후장포)와 철도를 사용하는 외선작전이 승패를 갈랐다. 보□아 전쟁(1899 ~ 1901)은 기관총 사용으로 게릴라 전술이 러□일 전쟁(1904 ~ 1905)은 기관총, 함포, 수뢰를 사용하는 T자 굿기 전술이 특징이다.

제 1차 세계대전(1914 ~ 1918) 이전의 전쟁은 포병으로 제한된 진지를 사전 공격하는 진지방어 형태의 전술을 구사하였는데 후티어(독)의 돌파전술은 다량의 가스와 탄막사격 후 공격을 개시하며 기도비익에 의한 보·포 협동 돌파하였으며 꾸로(프)의 중심 방어전술로 후티어의 돌파전술을 무력화하였다. 제 2차 세계대전(1939 ~ 1945)에서는 기갑부대의 독립적 편성 및 중심 타격, 기동화 된 제병과의 협동작전인 구데리안(독)의 전격 기동전이 나타났다.

한국 전쟁(1950 ~ 1953)은 핵 시대에 발생한 고도의 재래전(강대국 간의 경쟁이 배경)으로서 북한의 속전속결 전략은 하루 10 Km씩 진격하여 50일 이내 종전한다는 것으로 기갑 및 포병을 중시하였다. 한국의 수세적인 방어전략에서 대전차 공격무기(3.5" 로켓포)가 등장하고 공군력의 중요성 및 헬기의 잠재력이 입증되었다. 월남전(1965 ~ 1975)은 정규전과 비정규전의 배합 전략의 대표적 전쟁이고 미국은 초기 대량파괴 전략을 수립하고 CBU(보울 폭탄)를 사용하였고 게릴라의 등장으로 유연반응 전략으로 수정하여 적외선 야시장비, M16 자동 소총, 신형 대인 지뢰, 슈퍼 네이팜탄 등 대게릴라 전용 무기를 개발하였다.

중동 전쟁은 6일 전쟁(1967)에서 이스라엘의 선제기습공격 전략과 자국에 맞는 무기 개량으로 승전하고, 이집트는 수적 우위에도 불구하고 환경에 부적합한 무기 체계로 제 성능을 발휘하지 못하는 것을 보았다. 10월 전쟁(1973)에서 전차 대 대전차 미사일, 항공기 대 대공 미사일 등 현대 무기의 대결, 아랍이 소련제 미사일로 개전 1일차에 이스라엘 항공기 90대를 격추하는 대공 방어전략, 이집트가 소련제 새거 미사일로 무장하여 대전차 유도미사일 사용하였다. 미니볼(Minie balls)은 크림전쟁(1853-1856)에서 영국이 사용한 탄환으로서 사수가 쉽게 장전할 수 있는 형상을 갖추었다. 이후 미국의 시민전쟁에서 한층 발전한다. AK-47소총은 그 이전에 개발되어 사용된 Richard Gatling and Hiram Maxim을 포함하여 반자동과 자동소총에 대한 길을 열었다. Kalsdhnikov는 그 중에서도 대표적인 모델이며 구소련이 대량생산하여 연방국가와 전세계적으로 전파하였으며 파생된 무기가 생산된다.

1945년 8월에 미국이 일본의 히로시마와 나가사키에 투하하여 20만 명의 인명을 살상한 핵폭탄은 역사를 뒤바꾼 기술로서 정점에 달했다. 이후 미국과 구소련은 수십 년 동안 핵경쟁에 치달리게 되며 현재는 북한을 포함한 9개국이 핵무기를 보유한 것으로 알려져 있다.

〈표 3-4〉 기술시대 전쟁과 무기

구분	전쟁 무기 상호 영향 요소			무 기
	정치 사회	기술	전략 전술	
기술시대 (남북전쟁 ~중동전 쟁까지)	산업혁명 영향 식민지 쟁탈전 제국주의 전쟁 해양세력 팽창 동서의 대립: 6.25,베트남전 카리스마 요소 민족전쟁: 이스라엘, 아랍 무기의 대결장	뇌관 발명 증기기관 발명 → 가솔린 기관 탄도 기술: 사격통제 기술 진공관 → 트랜지스터 유체 역학 재료 역학 양자 역학 핵분열, 융합 유도 제어 기술	선형 전술 외선 작전 내선 작전 돌파 전술: → 중심방어 전술→전격 기동전 수세 방어전략 대공 방어전략 비정규전 배합 전술 섬멸전, 대량 파괴전 → 장기 지구전	기본 화기: 라이플 → 후장총 → M1 → 기관총 화포 : 선조포 → 대구공 장사정포화 전차, 박격포 통신 : 전신기→ 무선 통신기 항공기 : 경항공기→ 전투기→ 폭격기 군함 : 목선→철선→잠 수함, 항공모함 유도무기 : 로켓→미사일 원자 폭탄

출처: 김철환, 육춘택(1997)

1916년 9월15일 세계 1차대전에서 영국과 독일군이 북프랑스 지역에서 대치하였고 이때 영국이 처음 선보인 전차는 28톤에 달했고 8명이 탑승하여 경기관총과 중화기로 무장하였다. 이때는 전차가 크게 인상을 주지 못했는데 목표물에 도달하기 전에 철조망이나 장애물을 극복하면서 49대중 22대가 파손되었기 때문이다. 하지만 1941년 세계2차대전 브로디 전투에서 800대의 연합군 탱크와 3,500대의 러시아 모델이 주요 역할을 하였다.

라. 하이테크 시대의 전쟁과 무기발달

1980년대 정보, 전자, 재료, 광, 생물공학 등의 분야에서 커다란 기술변혁이 시작되었다. 주요 군사 기술분야 중 신소재, 전자광학 기술분야의 획기적 발전이 있었으며 신소재로 파인세라믹스, 복합재료, 고분자 재료, 신금속, 스텔스 소재 등

이 개발되고, 전자광학기술로 신기능 소자, 초정밀 집적회로, 광섬유, 레이저 기술이 개발되었으며, 월남전 이후 새로이 대두된 공지전투(ALB: Air Land Battle)개념 등장 및 C3I 교리의 발전 통합과 입체작전 수행이 가능해졌다. 정밀유도무기(PGM: Precision Guided Munition), 전자전장비 및 첨단 감시장비의 개발/생산 증가, 재래식 무기가 빠른 속도로 도태되기 시작했으며 정밀/첨단 장비가 전쟁의 수단으로 등장하였다.

1982년 영국과 아르헨티나간의 포클랜드 전쟁에서 정밀유도무기(PGM), 핵잠수함, 항공모함이 사용되었고 신형 무기체계 사용으로 실제 전투시간이 대폭감소 되었으나 최대의 효과를 발휘하였다. 1982년 이스라엘과 시리아간의 레바논 전쟁에서 C3I체계를 활용한 전자전쟁에서 시리아의 방공체계 무력화후 대량타격을 수행하였다. 1986년 미국과 리비아간의 리비아 전쟁에서 최신 전자장비 및 정밀 유도무기를 이용한 전자전(ECM, ECCM) 및 최시 야시장비를 이용한 야간작전을 수행하였다. 미국과 이라크간의 걸프 전쟁은 신무기의 각축장, 신무기의 시험무대로 미/영 등 다국적군의 최첨단 전투기, 미사일, 전차, 헬기 등을 실전배치하고 스텔스기, 토마호크, 페트리어트, 정찰위성, 조기경보기 등을 활용하여 하이테크 전쟁을 주도하였다.

〈표 3-5〉 하이테크 시대의 전쟁과 무기

구분	전쟁 무기 상호 영향 요소			무기
	정치, 사회	기술	전략, 전술	
하이테크 시대	제한전쟁 종교적 갈등 신무기시험장 입체/총력전 최저 살상 경제전쟁 유엔역할 증대 핵무기 감축 무기수출통제	신소재기술 : 스텔스기술 전자광학기술 컴퓨터기술 전자기술 : 레이저 정보체계기술	항공전격기동전 → 공지전투 전자전	지상무기: 메카바, 아파치헬기, 스커드/패트리어트, 야시장비 해상무기: 항공모함, 핵잠수함, 유도미사일, 탑재전함 항공무기: F-111, 1117, H-25 C3I 무기체계: 무인기, E2C, 조기경보기, 전자전기, 컴퓨터, 정찰위성

출처: 김철환, 육춘택(1997)

마. 사이버전 시대의 전쟁과 무기

사이버전이란 정보 관련 원칙에 따라 군사 작전을 수행하고 수행 할 준비를 하는 것을 의미한다. 그것은 정보통신 시스템을 파괴하거나 방해하는 것을 의미하고 대상범위가 적이 누구이고 어디에 있으며 언제 무엇을 할 수 있는지와 먼저 대응해야 할 위협은 어떤 것인지를 알 수 있는 군사 문화까지 포함하도록 광범위하게 정의된다. 또한 자신에 대해서는 적이 알지 못하도록 하면서 적에 대해서는 모든 것을 알고자 하는 것을 의미한다. 만약 물리적인 무력에서 열세하다면 정보와 지식을 통해 균형을 이루고자 하는 것이다.

세르비아-나토 분쟁(1999)에서 나토가 세르비아의 표적에 대한 폭격을 시작했을 때 예상치 못한 사이버 공격이 시작되었는데 DDoS, 이메일 폭탄, 웹 해킹 및 컴퓨터 침입, 그리고 컴퓨터 바이러스와 웹 공격으로 나토와 동맹국의 군사통신체계가 마비가 되었다. 2007년도에 에스토니아는 광범위한 사이버 공격으로 국가 전체가 얼마나 취약한지를 경험하였다. 그리고 2008년도에는 조지아와 러시아의 분쟁에서 사이버 안보 이슈가 관심을 주목시켰다.

김인수(2015)는 북한의 사이버전의 목표를 다음 네 가지로 정리하고 있다. 첫째, 군사적으로 재래식 군비경쟁의 열세를 극복하기 위해 군사작전을 방해하여 국가기능을 마비시키는 것이다. 둘째, 정치적으로 3대 혁명역량 강화를 위해 남한의 사회혼란을 조성하는 것이다. 셋째, 경제적으로 정보기술산업의 중심으로 도약하는 전략으로써 외화벌이를 목표로 한다. 넷째, 사회적으로 체제선전을 수행한다. 제5세대 전쟁의 주요요소로서 선전선동을 꼽는다면 북한이 조작된 정보의 전파를 통해 사회 혼란을 조장하고 전쟁의 목적인 인식의 조작을 달성하고자 할 것이다(이수진, 박민형, 2018). 미국 육군성(2020)에 따르면 북한은 전자전을 수행하는 조직으로 121국에 6,000명이 넘는 인원을 운용하고 있으며 벨라루스, 중국, 인도, 말레이시아, 그리고 러시아 등지에서 활동하고 있다. 북한의 컴퓨터 해커들은 보안 시스템을 무력화하고 남한의 전쟁계획을 입수해왔으며 121국으로 알려진 조직에서 라자루스 그룹(Lazarus group)과 예하에 블루노로프(Bluenoroff)와 안다리엘(Andariel)을 운용하고 있다(미국 재무성 언론보도, 2019.9.13.). 라자루스(lazarus group)그룹은 그 전체 규모가 잘 알려져 있지 않지만 상대국의 네트워크 취약성을 무기로 하여 사회적 혼란을 야기 시키는 임무를 수행하는 것으로 알려져 있다. 이 조직은 2017년 12월 미국, 호주, 캐나다, 뉴질랜드 및 영국이 공개적으

로 북한에 기인 한 파괴적인 WannaCry 2.0 랜섬웨어 공격에 연루된 것으로 지목되었다. 이들은 사이버 스파이 활동, 데이터 절도, 금전적 강도, 파괴적인 악성 코드 작업과 같은 전술을 사용하여 정부, 군사, 금융, 제조, 출판, 미디어, 엔터테인먼트 및 국제 운송 회사와 같은 기관과 중요 인프라를 공격 대상으로 한다.

플루노로프(bluenoroff)는 북한 정부가 글로벌 제재 강화에 대응하여 불법적으로 수익을 올리기 위해 설립되었는데 1,700명 정도로 구성되어 정보 시스템을 장악하여 금전적인 이득을 취하고자 활동하고 있다. 이 조직은 북한 정권을 대신하여 외국 금융 기관에 대해 사이버 지원 강도의 형태로 악의적인 사이버 활동을 수행하여 개발중인 핵무기 및 탄도 미사일 프로그램에 대한 수익을 창출하고자 한다. 2014년도에 들어서면서 북한의 사이버 활동이 군사 정보 획득, 네트워크 불안정화 또는 군사적 위협에 더해서 재정적 이익에 초점을 맞추기 시작하였다는 것이 처음 식별되었다.

안다리엘 그룹(andardiel group)은 외국 기업, 정부 기관, 금융 서비스 인프라, 민간 기업 및 기업은 물론 방위 산업에 대한 악의적인 사이버 작업을 수행하는 데 중점을 둔다. 2015 년경 안다리 엘이 처음 식별되었으며 안다리엘이 지속적으로 사이버 범죄를 집행하여 수익을 창출하고 정보를 수집하고 혼란을 일으키기 위해 대한민국 정부와 인프라를 표적으로 삼고 있다는 것으로 보고되었다. 이를 위해 컴퓨터 네트워크의 취약성을 분석하고 잠재적인 공격 목표를 수집하기 위한 목적으로 1,600명 정도로 편성되어 있다. ATM을 해킹하여 현금을 인출하거나 나중에 암시장에서 판매하기 위해 고객 정보를 훔쳐 은행 카드 정보를 훔치려는 활동이 관찰되었으며 안다리엘은 또한 현금을 훔치기 위해 온라인 포커 및 도박 사이트를 해킹하는 고유 한 악성코드를 개발하고 생성하는 일도 담당하는 것으로 알려져 있다.

2019년 9월 13일에 미국 재무부의 해외자산통제실(OFAC)는 라자루스, 블루노로프, 그리고 안다리알을 제재한다고 발표하였는데 북한정부가 지원하여 핵심인프라에 대한 악의적인 사이버 활동을 하였다는 이유였다.

〈표 3-6〉 사이버무기가 사용된 사례(1988~2015년)

년도	사건명	효과	도구	공격자 의도
1998	Morris Worm	미국 학생의 장난으로 신행 인터넷의 10%실패	Worm	worm이 발견되지 않고 디지털 시스템에 확산되고 궁극적으로 장비 기능 상실
2007	Estonia	에스토니아 정부 및 은행 웹사이트와 시스템 불능	botnet를 통한 DDoS	핵심체계 정상 작동 방해, 전자정부망과 인터넷 뱅킹 서비스 방해
2008	Georgia	물리적 공격을 위한 정부 웹사이트 DDoS 공격	botnet를 통한 DDoS	조지아 정부망과 통신채널 파괴
2008	Conficker	글로벌 효과로서 프랑스 해군 컴퓨터 네트워크가 지상 항공기 감염; 영국 국방부 시스템이 군함에 영향 미침; 독일 군대; 영국 맨체스터 시의회의 컴퓨터 시스템	worm	전투기통제체계 등 핵심 군사 및 경찰 네트워크 시스템 파괴
2010	Stuxnet	이란 핵원심분리기 손상	worm	핵농축원심분리기 손상과 핵무기 생산능력 감소
2011	Anonymo us	익명의 해커 집단이 scientology 교회 해킹	DDoS 소프트웨어	Scientologist 웹사이트 접속과 사용에 대한 Hacktivist파괴
2012 이후	Syrian Conflict	시리아 전자전부대가 국제 미디어 아웃렛 4곳을 목표로 BunderFucker 사용	특수 설계 소프트웨어와 DDoS	친아사드 내러티브를 홍보하고 반아사드 웹 사이트 및 뉴스 매체를 방해하는 애국적인 해커 혐의
2012	Shamoon	Stuxnet에 대한이란의 보복	Timber worm, Sharmoon	데이터를 오염시킨 장치에서 삭제하거나 덮어쓰는 Aramco네트워크를 통해 worm을 확산
2015	China	중국이 자국내에서 사용이 금지된 s/w를 제안하거나 방화벽을 우회하도록 하는 미국내 웹사이트를 Great Cannon을 사용	DDoS 소프트웨어	외부 행위자가 시민들에게 영향을 미치는 능력 제거

출처: Dewar, Robert S. (2017), 김철환, 육춘택(1997)

이와 같이 사이버전 시대의 무기체계는 사이버 공간에서 선전선동 등을 통해 사회를 혼란시키고 분열을 조장하여 정치적 의지를 약화시키고 의도된 방향으로 전환할 수 있는 비물리적 수단을 말한다고 할 수 있다.

Stefano Mele(2013)은 법리와 전략적 차원에서 사이버 무기체계(cyber weapon system)를 “장비 또는 사람에게 간접적으로 물리적인 손상을 입히거나 직접적으로 민감한 공격 목표물의 정보체계를 방해 또는 손상을 입힐 목적으로 국가 및 비국가적 행위자 간의 충돌에 사용되는 장비, 장치 또는 컴퓨터 지침”으로 정의하였다. Dewar, Robert S.(2017) 는 사이버 무기체계를 사이버 공격작전에 요구되는 효과에 기여하기 위해 사람을 상해하거나 목표물을 파괴 손상시킬 수 있는데 설계, 사용, 의도적으로 사용되는 전쟁의 사이버 수단이라 정의하였다.

William H. Boothby(2013)은 사이버 무기체계를 “충돌하고 있는 상대자에게 영향을 미치는 명령을 생성할 수 있는 컴퓨터, 컴퓨터 데이터 및 관련 메커니즘”으로 정의하면서 “이러한 컴퓨터, 데이터 또는 메커니즘은 실제로 이러한 목적으로 사용, 설계 또는 사용되도록 의도 된 경우에만 실제로 사이버 무기가 된다”라고 하였다.

한편 2014년 6월, NDU (National Defense University) 대량 살상 무기 연구 센터는 사이버 무기를 대량살상무기체계(WMD)로 공식적으로 분류하고 인식 할 수 있는 잠재력을 조사했는데 의사결정자들의 의사결정의 유연성을 제한할 위험이 있고 사이버의 사용을 제한하거나 특정 사이버 위협을 제거하거나 통제하기 위한 조항으로 이어질 가능성이 있다고 보고 그 당시에는 사이버를 WMD로 분류하는 것의 이점을 찾지 못하였다. 2015년 국방성의 무력 분쟁법(Law of Armed Conflict) 매뉴얼의 변경은 공격적이고 파괴적인 사이버 무기를 WMD로 분류하는 것을 지원할 수 있는 법적 기반을 제공하게 된다. 사이버 작전이 대량살상을 초래 할 수 있는 경우로서 핵발전소 공격, 인구 밀집지역의 댐 파괴, 항공기 피격 초래를 사례로 들 수 있는데 러시아의 우크라이나 전력망 사이버 공격, 북한의 미국 엔터테인먼트 조직 공격 손상, IS 조직의 사이버 도메인상 활동은 미래 사이버 위협에 대한 기술적인 가능성을 말해준다(Benjamin B. Hatch, 2018).

〈표 3-6〉은 1988년부터 2015년간에 사이버무기가 사용된 사건을 나타낸다. 이들 사건에서 사용된 사이버무기는 웜(worms), 무기화된 소프트웨어, 그리고 봇넷(botnets)이다.

3.3 국방과학기술 메가트랜드

가. 국방과학기술의 개념

우리나라가 국방과학기술혁신 촉진법에서 정의하고 있는 ‘국방과학기술’의 개념을 이해하기 위해 먼저 관련문헌으로부터 과학과 기술에 대한 정의를 살펴보았다.

‘과학’이란 자연을 실험과 관찰 등 과학적 방법을 통해 객관적인 원리와 법칙 등을 이해하고 찾기 위한 축적된 지식과 이론 체계를 의미한다(이춘주 외, 2017; 송성수, 2014; 홍형득, 2016). 18세기 이후에 널리 사용되게 된 과학은 ‘안다’라는 뜻의 라틴어인 ‘스키엔티아(scientia)’에서 파생된 용어로 학문 전체를 뜻하는 철학에서 분리·독립되어 사용되었다(송성수, 2014). 관심 분야의 지식을 발전시키기 위해 과학적 연구를 수행하는 과학자라는 용어 또한 1833년에 휴얼(William Whewell)이 주창한 이후에 일반화 되어 사용된 것으로 전해진다. 현대에는 많은 과학자들이 과학 분야에서 학위를 소지하고 학계, 산업, 정부 및 비영리 환경과 같은 경제의 다양한 부문에서 경력을 쌓고 있는데 과학 활동이 사회에 공헌하기 때 문이라 할 수 있다.

과학은 지식으로서의 과학(science as knowledge), 방법으로서의 과학(science as method), 그리고 실천으로서의 과학(science as practice)로 주요하게 논의 된다(송성수, 2014). 지식으로서의 과학이란 상대성이론이나 진화론과 같이 여러 가지 현상을 설명하는 지식의 체계로서 이해하며 그 현상의 성격에 따라 자연과학과 사회과학으로 분류한다. 방법으로서의 과학이란 실험이나 관찰과 같이 자연세계에 대한 단순한 설명이 아니라 체계적인 설명을 위해 독특한 방법이 필요하며 이러한 방법을 가지고 있으면 과학이고 그렇지 않으면 과학이 아니라는 것이다. 실천으로서의 과학이란 과학이 실제로 행해지는 모든 행위가 과학이라는 것이다. 송성수(2014)는 실제로 과학은 이러한 세 가지 요소와 모두 관련이 된다고 설명한다.

기술은 과학적 지식이나 원리를 활용해 인간의 물질적·정신적 수요를 충족시키기 위한 활용 지식의 의미로 사용된다. ‘기술’의 어원은 그리스어인 ‘테크네(techne)’이며 테크네는 인간정신의 외적인 것을 생산하기 위한 실천을 뜻한다(김경식, 2017). 기술은 자동차, 전화기, 비행기 등과 같이 ‘인공물로서의 기술(technology as artifact)’, 인공물을 만들고 사용하는데 요구되는 특정한 논리와 지식에서 찾아 볼 수 있듯이 ‘지식으로서의 기술(technology as knowledge)’, 그

리고 기술을 만든 사람들의 활동과 활용하는 사람들의 활동을 포함하는 ‘활동으로서의 기술(technology as activity)’이라는 세 가지 측면을 가지고 있다(송성수, 2014).

오늘날 과학과 기술은 일반적으로 ‘과학기술(S&T)’로 일컫는데 새로운 과학지식이 기술 개발의 원천이 되고 기술은 또한 과학을 가능하게 하는 상호 보완적이기 때문이며 양자를 구분하기가 어려운 정도로 밀접하게 관련되어 있다. 과학이 먼저이고 기술이 나중이라는 고정관념도 깨지고 있다. 과거 산업혁명을 선도했던 방적기가 실용화되는 데는 200년이 걸렸고, 항공기나 전화가 상품화되는 데는 30년이 소요되었으며 컴퓨터는 20년, 트랜지스터는 10년 만에 실용화 되었다. 최근의 첨단 기술의 경우에는 과학적 발명으로부터 기술 체계로 전환되는데 불과 몇 년, 심지어는 몇 달밖에 걸리지 않는 경우도 많다. 유전공학과 정밀화학 등 첨단과학 분야에서는 추가적인 생산 공정 없이 과학적 지식 자체가 바로 상품화 되는 경우도 나타나고 있어 과학과 기술이 ‘일체화’되고 있음을 보여준다(이춘주 외, 2017; 송성수, 2014; 홍형득, 2016).

방위사업청은 ‘국방과학기술’을 군사적 목적으로 활용하기 위한 「방위사업법」제3조제2호에 따른 군수품⁴⁾의 개발·제조·가동·개량·개조·시험·측정 등에 필요한 과학기술로 정의하고 있다(국방과학기술혁신 촉진법, 법률 제17163호, 2020. 3. 31., 제정)⁵⁾. 즉, 군사적 응용에 초점을 두고 정한 범위에서의 과학기술을 말한다고 할 수 있다. 미국은 장기적으로 국가안보에 필요한 지식의 증가와 확대 및 응용에 관한 과학기술 기반의 예산화와 단기적으로 기술성숙도를 고려한 구성품 개발과 체계 개발 및 운영체계 개발을 위한 획득기반의 예산화 관점에서 국방과학기술의 범주를 정하고 있다.

방위사업법 설치법에 따른 방위사업청의 업무가 소요결정이 된 무기체계에 관한 사업을 관장하는 것이라는 점을 고려하면 장기적으로 국가안보에 필요한 과학적

4) "군수품"이라 함은 국방부 및 그 직할부대·직할기관과 육·해·공군(이하 "각군"이라 한다)이 사용·관리하기 위하여 획득하는 물품으로서 무기체계 및 전력지원체계로 구분된다(방위사업법 제3조).

5) 미국은 국방과학기술을 RDT & E 프로세스의 초기 단계로서 기초연구, 응용연구, 첨단기술개발을 위한 자금 지원을 포함하는 국방부 RDT & E 예산의 하위 집합으로 정의한다. 여기서 기초연구는 장기적으로 국가안보에 필요한 기초지식을 증가하는데 초점을 맞춘 과학적 연구와 실험이고, 응용연구는 제안된 해법을 초기 가능성과 실제 적용성을 결정하기 위해 일반적인 군사적 필요성을 충족하고 지식의 확장과 응용에 초점을 맞춘 연구이며, 첨단기술개발은 구성품, 하부체계, 체계 모델의 기술적 가능성, 운용성, 생산가능성을 평가하는 개념과 기술시범을 말한다.

지식을 증가시키고 확장과 응용을 위한 연구가 상대적으로 소홀하게 다루어질 수 있는 측면이 있을 수 있겠다. 국방과학연구소가 무기체계에 적용할 핵심기술에 대한 중장기적인 개발연구를 담당하고 있지만 군사적 응용이라는 협소한 범위에서 국방과학기술의 혁신과 국가경쟁력을 강화하여 궁극적으로는 국가 경제 발전에 이바지 하도록 하기 위한 요구에서 국방과학기술혁신 촉진법이 2020년에 제정되었고 2021년에 시행예정이다. 국방과학기술혁신 촉진법은 국방과학기술의 범주를 방위사업법에서 정한 군수품에 필요한 과학기술로 하고 있어서 국방과학기술혁신법의 궁극적인 목적인 국가 경제 발전에 이바지하기 위해서 군수품의 수요자인 군조직과 군의 소요기획에 대한 이해가 필요할 것이다.

나. 과학기술과 미래사회 전망

(1) 미래사회 메가트렌드

우리는 1년 전만해도 코로나-19라는 바이러스가 글로벌 위기로 작용할 것이라고는 알지 못했다. 세계 미래의 불확실성은 항상 존재해 왔으며 기후변화와 안보 환경의 변화에 더해서 국가발전 전략을 수립하는데 불확실성을 더해주고 있다. 미래 국방과학기술의 정책과제를 도출하기 위해 미래사회에 영향을 미치는 요인들을 문헌연구로부터 살펴보고 과학기술의 혁신적 변화가 어떠한 시사점을 주는지 살펴보았다.

2000년대 들어서 미래사회의 메가트렌드에 관한 관심이 많아졌다. 이들의 공통적인 관심은 지속가능한 성장을 위해 미래를 어떻게 대비할 것인가에 두고 있다. 미래사회의 불확실성을 연구하는 미래연구 분야의 문헌 중에서 KISTEP(2018)은 전문가 설문문을 통해 <표 3-7>에서 보는 바와 같이 휴먼에 관한 미래, 디지털 기술의 가속화에 따른 네트워크화, 환경기후변화에 따른 지구의 문제, 사회복잡성 증가, 환경에 기반한 녹색성장 등 경제시스템의 재편 등 5가지의 메가트렌드를 제시하고 있다.

〈표 3-7〉 미래사회 메가트랜드

메가트랜드	트랜드
휴먼임파워먼트	기대수명 증가, 자아중심사회, 출산율 저하, 여성임파워먼트, 인간능력 확대, 초고속 이동, 인공지능과 자동화, 새로운 소재, 우주시대
네트워크의 지배	디지털 네트워크 사회, 초연결 기술, 네트워크 중심의 권력이동, 전자민주주의 가속화
지구의 분노	식량위기 악화, 에너지 수급 불균형, 물 스트레스 심화, 자연재난 증가, 생태계 파괴 심화
사회복잡성 진화	국제적 갈등 심화, 문화적 다양성 확대, 경제·사회적 불평등 심화, 융합을 통한 창조, 기술발전 부작용 증가, 사회적 재난 증가, 건강 위해요인 증가, 통일 이슈 증가, 국제권력 유동성 심화, 안보 위험요소 진화
경제시스템 재편	글로벌 인구 이동, 도시화 확대, 세계 인구 증가, 글로벌 경제 연결성 강화, 신흥국·개도국 부상, 중국 영향력 확대, 신경제 시스템 확산, 일자리 구조적 변화, 선진국 저생산 위험 지속, 그리노믹스 활성화, 제조업 패러다임 변화, 시장 패턴 변화

출처: KISTEP(2018)

(2) 기술 확산점

KISTEP(2018)은 미래사회의 메가트랜드에 대한 핵심동인이 되는 기술을 식별하고 과학기술이 미래경제사회의 구조적 변혁을 가져오는 기술확산점(tipping point)의 예상시기와 정의를 〈표 3-8〉과 같이 제시하였다. 2020년대에 유망기술로 멀티콥터 드론, 가상증강현실, 만물인터넷, 3D프린팅, 초고용량 배터리, 자율주행 자동차, 인공지능기, 롤러블 디스플레이를 꼽았다.

〈표 3-8〉 기술혁신점 정의

기술	기술혁신점 정의	예상시기
멀티콥터 드론	드론의 운용중 발생하는 사고율을 200만 비행시간당 2회 이하로 하는 안전운용 기술이 완성되는 시점	2024
실감형 가상증강현실	게임 등 상호작용형 엔터테인먼트 시장에서 실감형 가상증강 현실용 콘텐츠의 점유율이 11%가 되는 시점	2024
만물인터넷	만물인터넷 서비스의 가정 보급률이 11%가 되는 시점	2023
3D프린팅	3D프린팅의 일반 가정 보급률이 3%가 되는 시점	2024
초고용량 배터리	1회 충전으로 800km를 주행할 수 있는 전기자동차의 상용모델이 국내에 출시되는 시점	2024
자율주행 자동차	자동차 신차 판매의 12%가 되는 시점	2028
인공장기	인공신장 이식률이 16%가 되는 시점	2029
롤러블 디스플레이	상용 모바일 제품에 최초로 적용되는 시점	2023

출처: KISTEP(2018)

다. 국방과학기술 메가트렌드

국방분야에서 과학기술의 메가트렌드는 국가안보전략과 과학기술 차원의 국방산업전략으로 이해할 수 있다. 각국의 안보전략서와 국방과학기술진흥정책서에 기반하여 분석할 수도 있으나 국가경제에 기여한다는 궁극적인 목적을 고려하여 일반 연구자료에 기반하여 살펴보았다.

Atos(2018)는 2020년 이후 국방산업의 트렌드를 국방비 지출액의 증가와 함께 미래 환경변화에 대응하기 위한 도전과제를 제시하고 있다.

〈표 3-9〉는 규모면에서 세계에서 최고수준으로 국방비를 지출하고 있는 미국의 국방비 지출을 예상한 것으로 국방비의 지출수준은 과거대비 최고점에 도달할 것이고 전자장비, 정보통신, C4ISR, 스마트무기, 국방로봇에 대한 투자가 주요한 비중을 차지할 것으로 보았다.

〈표 3-9〉 국방비 지출 예상

구분	내용
국방비 지출 수준	냉전이후 최고 수준
국방비 증가율	2026년경 37% 증가
전자장비 투자 규모	2022년도에 전세계적으로 300억 달러
미국 국방성 예산 할당	2018년도 기준 9.8% 증가
정보통신 투자 규모	2020년도 기준 1,080억 달러 추정
C4ISR 투자 규모	2022년도 기준 1,119억 달러 예상
나토 국방예산 투자 규모	GDP대비 최소 2%
스마트무기 개발 투자	2021년도 160억 달러 예상
군사용 로봇 투자 규모	2022년도 310억 달러 예상

출처: Atos(2018)

이와 함께 미래 국방환경에 대응하기 위해서는 병력의 효율화, 군사작전의 최적화, 새로운 임무환경에 대한 적응성, 사이버전에 대한 준비를 꼽았다.

첫째, 병력 효율화이다. 병력 효율화란 디지털 시대의 전장환경과 병력의 역할은 크게 변화될 것이므로 위협세력은 모바일 기기로 서로 연결되어 노출되지 않고 사이버전을 수행하고 은닉하여 테러를 감행할 것이기 때문에 병력들은 어떠한 전술적 상황에서도 적응할 수 있도록 실시간 정보를 공유하고 협력할 수 있어야 한다는 것이다. 디지털 정보와 로봇을 활용하여 병력들은 전술적 상황에 효과적으로 대응하고 손실을 최소화 하는 방향으로 추진할 것으로 전망된다.

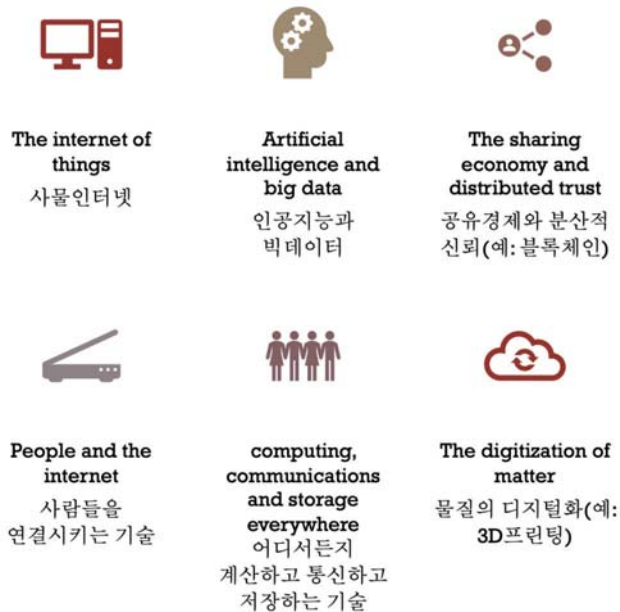
둘째, 군사작전의 최적화를 지향한다. 군사작전의 최적화란 우월한 무기체계와 함께 정보, 지휘, 전략, 전술과 군수의 우위를 확보하는 것이 성공적인 군사작전을 위해 필요하다는 것이다. 디지털 시대에 지속적으로 통신, 신호, 인간 및 영상정보를 지속적으로 확보 분석하여 적의 활동에 대한 사전징후를 포착하는 것이 중요하며, 이를 위해 지속적으로 전장을 가시화하고 협조된 군수와 후방지원간의 협조가 이루어지는 방향으로의 추진이 예상된다.

셋째, 전혀 새로운 임무환경에 대한 적응성 강화이다. 사이버·물리적 공간이 통

합되는 전장환경에서 사이버 공간에서의 활동은 평화와 전쟁의 경계가 모호한 가운데 복합적이고 네트워크화 된 국가기능을 위협하는 세력에 대응하는 전혀 새로운 형태의 임무환경에서 최하위 전술상황에서부터 국가 최고수준의 의사결정까지 연결되는 유연한 적응성을 가져야 한다는 것이다.

마지막으로, 사이버전에 대한 대비이다. 디지털화는 병력 효율화와 군사작전의 최적화에 기여하면서 사이버공간을 만들어내고 아직 경험해 보지 못한 사이버무기 체계에 대한 기회를 제공한다. 중국이 사이버전사령부를 전략부대로 창설하고 북한은 대규모 사이버전 수행인력을 육성하고 있듯이 세계 각국은 사이버공간에서의 군사적 대비를 하고 있다. 따라서 사이버 안보는 평시 사이버 범죄에 따른 손실뿐만 아니라 미래 전장에서는 군사전략을 수행하는 측면에서 그 중요성이 크다.

KISTEP(2018)의 기술확산점 논의와 국방산업의 트렌드 등 대응방향의 논의로부터 국방과학기술의 중요성을 확인할 수 있다. <그림 3-7>은 문헌상에서 주요하게 다루어지고 있는 유망 과학기술을 나타낸다. 과학기술은 본질적으로 민군 겸용성으로서 그 응용분야가 어디냐에 따라서 나누어질 뿐이므로 유망 국방과학기술에 대한 논의의 시작점이 될 수 있다.

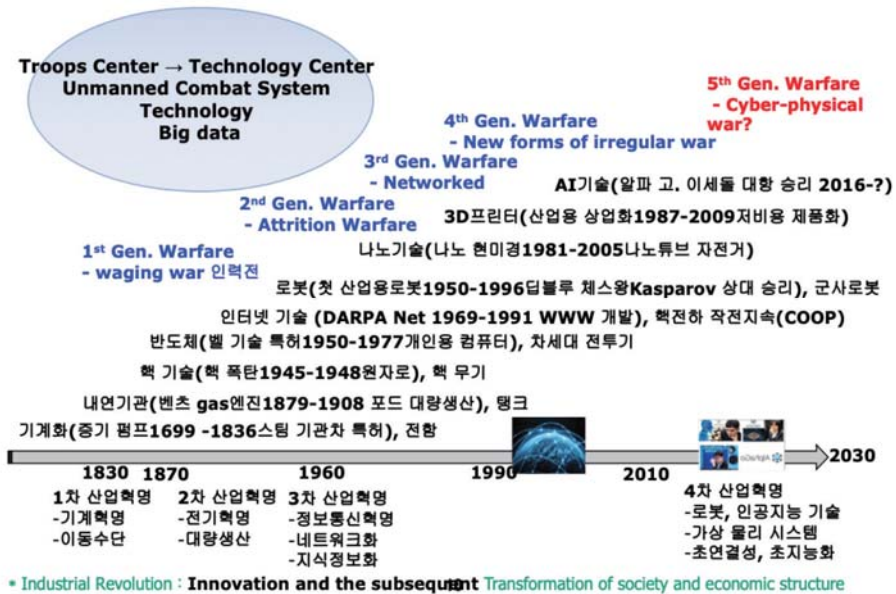


<그림 3-7> 미래 유망기술

라. 미래전과 무기발달

2장에서 살펴본 전쟁과 무기의 발달로부터 과거 과학기술의 혁신은 전쟁의 승패를 좌우하였을 뿐만 아니라 정치사회의 구조적인 변혁을 가져왔다. <그림 3-8>은 산업혁명과 전쟁의 세대를 구분하고 시대에 등장한 대표적 기술을 나타낸다.

과거 과학적 발견이 군사적 또는 산업에 응용되기까지는 수십년이 걸렸지만 최근에 들어서면서 그 간격이 짧아지고 있다. 4차 산업혁명의 유망기술로 기대되는 사물인터넷, 인공지능과 빅데이터, 공유경제와 분산적 신뢰, 사람들을 연결시키는 기술, 고급계산기술, 물질의 디지털화 등은 이미 자동차, 로봇, 모바일 기기 등에 적용되어 일상에 등장하고 있다.



<그림 3-8> 산업혁명과 전쟁

출처: 이춘주 외(2017)

그러면, 이러한 기술이 국방에 적용되는 미래의 전장은 어떠한 모습일까? 국방 기술품질원(2019)는 미래의 전장에 대하여 고전적인 전투뿐만 아니라 테러, 심리전 등 다양한 비정규전이 될 것이며 전시와 평시의 구분 없이 비군사적, 준군사적 수단을 이용한 분쟁이 많아지고 도시인구의 집중으로 대도시 집중전으로 변화될 것이라 전망한다. 미래전의 양상 또한 전략개념과 작전술이 과학기술수준과 발전

속도를 따라가지 못하게 됨에 따라 첨단 기술이 중요한 변수로 작용하고 과학기술을 접목한 유무인 복합체가 고효율의 게임체인저가 될 것이라 보았다.



〈그림 3-9〉 미래의 전장과 미래전 양상

출처: 국방기술품질원(2019)

국방기술품질원이 실시한 키워드 네트워크 분석에 의하면 미래전은 고도의 정보전, 전자전, 우주전, 로봇전의 양상으로 고가의 장비와 자동화시스템에 의한 대량 물자소모가 예상되는 단기 소모전으로 전망되고 미래전 양상을 변화시킬 수 있는 기술로서는 무인자율센서, 초연결 지능형 정보융합, 인간과 무인체계 협업, 능동대응 사이버 방호, 스마트 정밀타격, 일무 지속형 개인전투, 미래형 추진 플랫폼이 제시되었다.

무기체계 발전추세를 살펴보면 1970년대는 명중률 향상 기술, 1980년대는 표적의 탐지 기술, 1990년대는 생존성 향상 기술, 2000년대는 정보화 무인화 기술, 2010년대는 레이저와 고출력 에너지 기술을 중심으로 발전하였으며 지상무기는 대구경화, 장사거리, 명중률 향상, 자동화; 해상무기는 고속화, 스텔스화, 대형화, 은밀화, 항주거리 증가; 항공우주무기는 무인화, 스텔스화, 고출력 에너지 무기; 유도무기는 정확도와 타격능력증가, 표적탐지와 추적능력 향상; 통신전자는 고정밀, 고밀도 고속화 신뢰성 증가; 전자전은 레이저와 전자빔 실용화 고에너지 고주파송수신 기술발전의 추세이다.

과학기술 발전속도는 지수 함수적으로 혁명적 발전 추세를 보이고 있으며 지난 100년간의 발전이 인류발생 이후 1900년까지의 발전보다 앞서고 향후 50년 간의 발전이 인류발생 이후 2000년까지의 발전보다 앞설 것으로 추정된다. 최근 매 18~24개월마다 기술의 혁신적인 발전이 관찰되고 지식 반감기가 3~4년으로 단축되며 정보통신/항공우주/생명공학/나노기술에서 인간의 영역을 사이버, 우주, 미시

세계로 계속 확장하고 있다. 정보기술(IT)은 디지털과 인터넷혁명으로 제3물결시대를 창출하고 컴퓨터의 계산능력은 2년마다 2배씩 증가하여 25년후 100억배 향상시키면서 비용은 이에 반비례하여 감소하고 있다. 광통신으로 25년후 1조 비트의 데이터 전송이 가능하고 그 비용은 매5년마다 1/10씩 감소할 것으로 예상된다. 즉, 기술이 국가, 기업, 개인의 핵심역량인 동시에 전쟁승패를 결정하는 전력의 핵심요소로 등장하고 있다. 과거 전쟁사를 보면 기술의 발전은 싸우는 수단의 혁명적 변화를 야기할 것이다. 하드웨어, Hard Kill체제는 소프트웨어 소프트 킬 체계로, 아날로그 체계는 디지털 체계로, 플랫폼(Platforms)위주에서 정밀유도무기(PGMs)중심으로 유인반 자동체계는 무인자동화체계로, 개별독립적 체계는 시스템 복합체계로, 대량살상대량파괴체계는 정밀살상정밀파괴체계로, 근거리 전술적차원에서 원거리 전략적 차원으로, 핵무기에 의한 전쟁억제는 비핵무기에 의한 전쟁억제로 변화를 가져왔으며 미래에는 이러한 물리적 체계가 사이버공간에서의 비물리적 체계와 통합되는 물리사이버체계로 발전될 것이라 예상된다.

실시간으로 보고 의사결정하고 방어하고 타격하는 사이클을 완성하는 방향으로 무기체계가 발전할 것이다. 신무기 기술의 응용은 우주무기, 전투기, 핵무기, 사이버무기, 기타 분야에서 아래 표와 같이 확대될 것이다(국방기술품질원, 2019).

〈표 3-10〉 신무기기술과 응용

분야	기술	응용
우주무기	GPS 인공위성	자동차의 자동항법장치 심해촬영기술
전투기	HUD, ㉠제트엔진, ㉡인공위성	차의 속도표시, 범죄정보 제공, 방재 구난용 화상 제공
핵무기	핵분열, 핵융합	차세대 에너지, 범죄수사 분석
사이버	상대방에게 일련의 효과를 생성하는 컴퓨터 장비, 메커니즘	사이버무기, Malware, Duqu, Flame, Great Cannon, Mirai, Stuxnet, Wiper
고급컴퓨팅	에너지 효율성, 사이버 보안, 소프트웨어 복잡성 극복 기술	WMD효과분석, 고성능 컴퓨팅
빅데이터	운영 빅데이터 기술, 분석 빅데이터 기술	인공지능, 전투체계/의사결정지원, 미래 전망, 상황 인식, 개인화 서비스
인공지능	자연 언어 생성, 음성인식, 가상 에이전트	치명적자율무기(LAWs)
자율화	자율화 기술	자율주행로봇/차량
소형화	MEMS, MST 기술	마이크로 기계, 반도체, 양자효과장치, 분자생물컴퓨팅, 방이오센서
로봇	인간처럼 일하는 기계	산업용, 군사용, 의료용 로봇
적층가공	액체나 파우더 형태의 재료를 적층방식으로 입체물을 제조하는 기술	RAMBO, 군수품 프린팅, 3D프린터
지향성레이저	집중된 전자기 에너지 빔, 또는 원자 또는 아 원자 입자를 생성하는 기술	레이저 통신, 레이저 무기, 입자빔무기, 마이크로파무기, 산업생산, 의료
극초음속	극초음속 기술	hypersonic glide vehicles (HGVs)

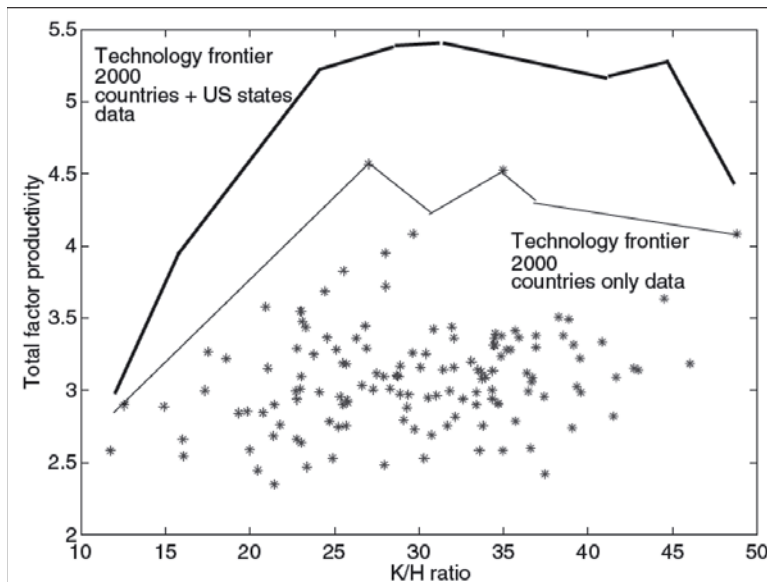
미래 전장에 등장할 신기술 무기체계로는 이미 투자가 이루어져서 기술개발에 진척을 보이고 있는 분야인 레이저 기술, 원자력 기술, 컴퓨터 기술, 로봇 체계 기술, 신재료 기술이 적용된 에너지 무기, 정밀 유도무기, 전장감시 및 C3I체계, 실시간

자동화 통신장비, 전자전 장비, 로봇 무기, 무인항공기, 3차원 기능의 함정과 잠수함에 추가해서 4차 산업혁명기술이라 일컬어지는 사이버, 고급컴퓨팅, 빅데이터, 인공지능, 자율화, 소형화, 적층가공 분야에서 치명적자율무기, 자율 로봇, 그리고 사이버무기체계가 등장하게 될 것이다. 로봇 차량, 피아 구분이 가능한 자동화 무기, 수천 킬로미터에서도 타격이 가능한 고에너지 레이저, 우주 기반 무기, 마하 5를 넘어서는 초음속 전투기, 능동거부 시스템, 핵추진 미사일, 전자 폭탄 등이다.

3.4 국방과학기술 정책과제

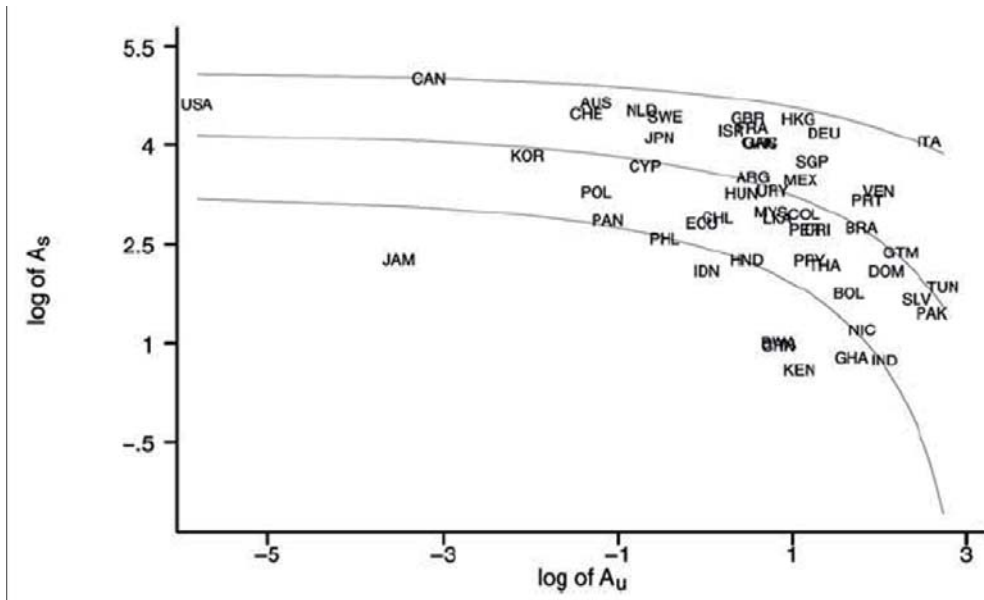
가. 세계 기술 변경(world technology frontier)

Caselli and Coleman II(2006)는 penn world data를 이용하여 세계 각국의 생산성 자료에 기반하여 <그림 3-10> 세계 프론티어 기술을 계산하고 기술 프론티어를 그림으로 나타내었다. 그림에서 x축은 자본/인적자본을 표시하고 y축은 총요소생산성 값을 표시하였다. 2000년 기준으로 미국이 기술의 프론티어에 위치한 가운데 미국의 각 주를 분석 단위로 하였을 때도 확고하게 프론티어에 위치해 있다.



<그림 3-10> WFT를 적용한 세계 기술 프론티어

출처: Caselli and Coleman II(2006)



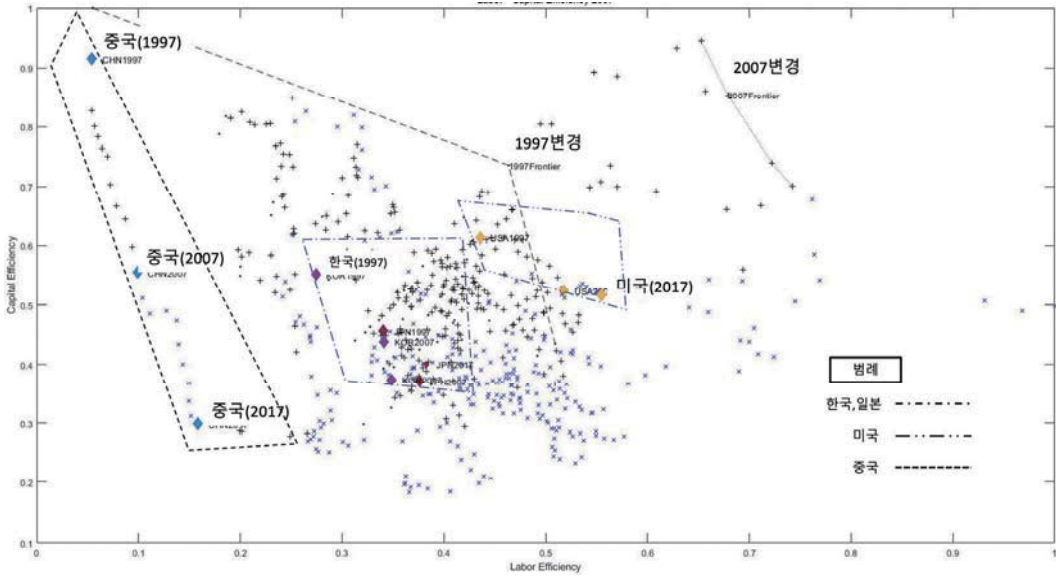
〈그림 3-11〉 기술 프론티어

출처: Caselli and Coleman II(2006)

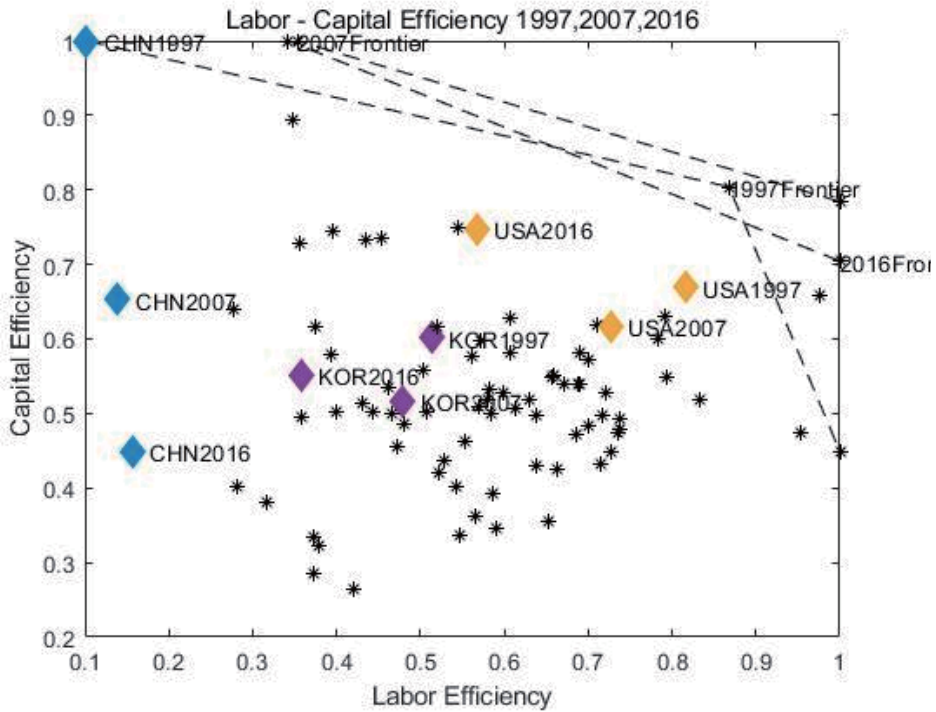
〈그림 3-11〉은 비숙련 노동자(x축)과 숙련 노동자(y축)를 구분하여 생산성 기여 정도를 분석한 것으로 미국(USA)의 경우에는 숙련자의 생산성이 절대적으로 높았고 대한민국(KOR)은 상대적으로 비숙련 노동자의 기여도가 높은 것으로 나타났다.

Caselli and Coleman II(2006)의 연구결과는 미국이 절대적인 세계 경제의 대국일 경우에 상대적으로 다른 국가의 위상을 분석하는데 가능한 모델이다. 하지만, 최근 중국의 부상과 대한민국의 선도형 과학기술 전략에 대한 전략적 시사점을 얻기 위해서는 추가적으로 기술프론티어의 변화에 대한 요인을 확인할 필요가 있다.

〈그림 3-12, 3-13〉은 Caselli and Coleman II(2006)이 사용한 데이터를 2017년까지 확장하여 1997, 2007, 2016년에 대한 프론티어 분석결과를 나타낸 것이다. x축은 노동효율성, y축은 자본효율성을 나타낸다. 〈그림 3-12〉는 1997, 2007, 2016년도를 각각 생산변경으로 하였을 때의 효율성 변화를 도식한 것이고 〈그림 3-13〉은 년도 관계없이 모든 데이터를 풀링하여 효율성을 구한 후 1997, 2007, 2016년 생산변경을 그려서 변화를 관찰한 것이다.



<그림 3-12> 시대별 프론티어를 이용한 세계기술변경의 효율성변화



<그림 3-13> 글로벌 프론티어를 이용한 세계 기술 프론티어의 효율성변화

〈그림 3-12〉에서 중국(CHN)은 1997년에서 2007년으로 가면서 노동효율성은 꾸준히 증가하였으며 자본효율성은 급격히 감소하였다. 이는 중국이 과감한 자본투자가 이루어지는 가운데 인적자본을 축적하고 있다는 것을 간접적으로 시사한다. 〈그림 3-13〉에서 미국(USA)의 경우에는 노동효율성이 소폭 감소하는 가운데 자본효율성은 수준을 유지하고 있다. 한국(KOR)은 전반적으로 효율성이 소폭 감소하는 추세를 보이고 있다. 여기서 주의할 것은 효율성의 감소가 프론티어에 대한 도전적인 투자전략에 의한 것인지는 본 결과가 보여주지 않고 있으므로 기술전략을 수립하기 위한 참고가 되기 위해서는 향후 기술변화에 대한 추가 연구가 필요한 부분이다. 다만, 중국의 경우에 과거에서 도약적인 변화가 있다는 것을 알 수 있다.

나. 주요국 국방과학기술전략



〈그림 3-14〉 주요국 국방과학기술 전략

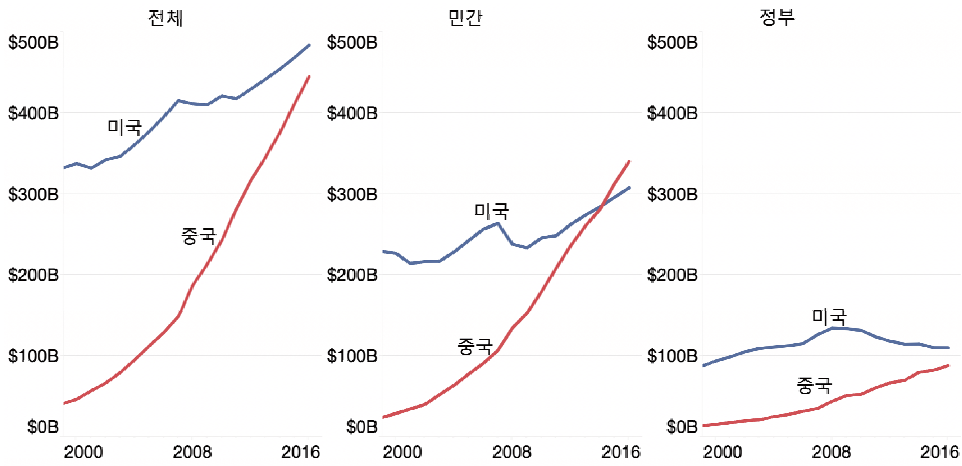
출처: 국방기술품질원(2019)

미국은 중국의 A2/AD에 대응하고 러시아 등에 대한 우위를 유지하기 위해 2018년도 국방전략서에 제3차 상쇄 전략을 반영하였다. 추진 중점으로 자율도달리닝, 인간-기계협업 의사결정, 인간 지원활동 향상, 유무인 협력 작전 향상, 전자전/사이버 환경 하 작전수행 등 국방 중점 기술 분야를 반영하였다.

중국은 중앙 군사위원회에 미국의 DARPA와 유사하게 국방혁신을 주도하는 '과학기술 위원회'를 창설하여 인공지능, 무인자동차, 로봇공학, 증강·혼합현실, 블록

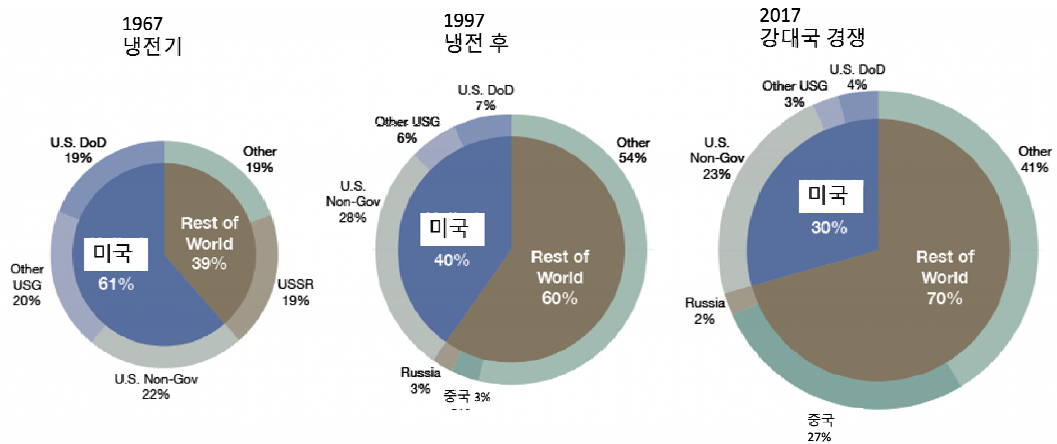
방과과학기술 혁신을 위한 노력을 강력하게 추진하고 있다.

〈그림 3-15〉는 중국과 미국의 연구개발 투자규모를 나타낸 것으로 전체 규모에서 중국이 미국을 추월하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 〈그림 3-16〉 시대별 글로벌 연구개발 투자규모에서도 1967년 기준으로 미국이 전세계의 61%비중을 차지했는데 2017년에는 중국 27%, 미국 30%수준으로 변화하였다. 정부연구개발투자에서 중국의 추월이 머지않은 가운데 중국의 부상이 미국 국방과학기술전략의 도전으로 작용할 것임은 분명해 보인다.



〈그림 3-15〉 중국과 미국의 연구개발 투자규모, 2000~2017(2010 달러 기준)

출처: govini



〈그림 3-16〉 시대별 글로벌 연구개발 투자규모

일본은 집단적 자위권보장 관련 법안이 통과된 이후에 무인체계, 스마트 네트워크, 고출력 에너지, 기존 장비 성능 개량에 대한 국방분야 투자를 확대하고 있다. 영국, 독일, 프랑스도 4차 산업혁명 유망기술에 대한 국방 분야의 전략적인 투자를 추진하고 있는 것을 분석된다. 분명한 것은 각국이 4차 산업혁명의 유망기술에 대한 국가차원의 전략적 접근이 추진되고 있다는 것이다.

다. 미래 안보환경에 대비한 국방과학기술정책

(1) 국방과학기술정책의 개념화

정책은 정부가 사회적 상황이나 조건들을 유지 혹은 변경하거나 사용하는 개입의 수단이며 사회적 문제를 개선하고자 추진하는 과제이다. 정책은 사회환경 속에서 개인, 집단, 정부의 공통적인 문제 해결을 위한 결정적 행동경로이며, 이러한 정책환경 하에서 정책은 목표의 실현을 통해 사회문제를 해결하기 위해 이뤄진다. 이론적으로는 정책을 사회가 가지고 있는 공공문제를 해결하고 정책 목표를 달성하기 위해 정부가 직간접적으로 관여하는 행동의 결정으로 정의한다. 일반적으로 정책은 목적지향성, 행동지향성, 변화지향성, 그리고 미래지향성 등의 성격을 가지며 추가적으로 공익지향성, 그리고 정치 관련성 등의 성격을 가진다. 그러므로 정책은 현실과 미래를 개혁하는 중요한 동인으로 작용하며, 시대 상황과 함께 넓은 대상과 지역에 영향을 미치게 된다(한석태, 2017; 김정수, 2016; 정정길, 2014).

정책은 정부의 기능 영역에 따라 경제정책, 사회정책, 문화정책, 과학기술정책 등으로 구분할 수 있는데 과학기술정책은 국가 과학기술 발전 및 육성을 위한 국가 전략과 계획 수립, 자원의 동원 및 활용 등을 포괄하는 정부의 결정이라고 할 수 있다. 과학기술정책은 과학과 기술을 통한 혁신 과정에 정부가 개입하거나 혹은 회피하고자 하는 일정한 조건을 갖춘 총체적 활동이라 할 수 있다. 따라서 국방과학기술정책이란 국방의 목표를 달성하기 위하여 과학과 기술을 통한 군사혁신의 과정에 국가(국방부)가 주도하는 활동을 말한다.

(2) 국방과학기술정책의 과제

국가가 개입하여 국방과학기술정책을 이끌어야 한다는 논리로는 국방과학기술이 비배제성(non-excludability)과 비경합성(non-rivalry)을 특성으로 하는 공공재라

는 것과 국가안보에 관한 과학기술은 안보전략 차원에서 국가가 추진해야 한다는 것이다. 첫 번째 경제학적 논리는 대가를 지불하지 않아도 다른 이가 만들어 놓은 재화에 대하여 소비에서 배제하지 못하는 비배제성과 다른 소비자가 사용해도 재화의 양이 줄지 않는 특성인 비경합성으로 인해 시장의 실패로 인해 필요한 양보다 적게 생산되기 때문에 국가의 개입이 필요하다는 것이다. 두 번째 국제정치학적으로는 국가안보전략으로서 국가가 개입할 필요성이 있다는 것을 의미한다.

현재 우리나라의 국방과학기술정책은 국방부를 중심으로 하는 국방기획관리제도, 합참의 소요결정체계, 그리고 방위사업청의 획득체계에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 국가안보와 4차 산업혁명에 범정부 차원의 대응이 필요한 반면에 국방과학기술정책의 범주는 국방부 및 관련기관으로 협소하게 추진되어 왔다. 한편 최근에 입법화된 국방과학기술혁신 촉진법과 국가과학기술자문회의 산하 국방전문위원회 역할이 새롭게 주목되고 있는데 그 이유는 기존 체계가 변화하는 과학기술환경에 한계점을 드러내었기 때문일 것이다.

현 체제의 한계점은 국방과학기술의 지배구조, 법과 제도 체계, 그리고 사업화 프로그램으로 구분하여 살펴볼 수 있다.

국방과학기술에 대한 지배구조는 정책을 관장하는 국가안보실, 국방부, 방위사업청, 출연기관(기품원, 국과연), 각군의 역할로부터 찾아볼 수 있다.

법과 제도는 2021년에 시행예정인 국방과학기술혁신촉진법의 취지와 내용으로부터 기술혁신 정책의 골자를 확인할 수 있다. 2021년4월1일부 시행 예정인 ‘국방과학기술혁신 촉진법’은 4차 산업혁명 등으로 기술발전 속도의 가속화됨에 따라 국방과학기술 분야에서도 혁신 및 발전이 요구되고 있으나, 현행 「방위사업법」에 따른 연구개발은 무기체계 획득을 위한 수단에 초점이 맞추어져 있어 국방과학기술의 진흥과 발전을 위한 연구개발 체계를 추진할 수 있는 기반 조성을 목적으로 하고 있어서 도전적이고 혁신적인 국방연구개발사업이 추진될 수 있는 기반을 조성하려는 목적으로 제정되었다.

기술사업화 프로그램은 1999년부터 2014년까지 추진하였던 민군겸용기술개발사업, 이후 민군기술협력사업의 주요 성과와 과제를 살펴봄으로써 과제를 도출할 수 있다.

이러한 최근의 국방과학기술정책의 법과 제도의 변화, 거버넌스의 체계화, 혁신 선도형 사업 추진, 그리고 인프라 구축 노력은 고무적이라 하겠다.

본 연구에서는 과거 전쟁과 무기발달, 기술혁신이 이끄는 산업혁명, 그리고 미래 국가전략을 고려하여 평화를 지키기 위한 과학기술과 무기체계를 위하여 국방과학기술정책 차원의 과제를 다음과 같이 제시한다.

첫째, 국방과학기술혁신을 위한 포괄적 국방과학기술 거버넌스 강화이다. 그동안 군사적 차원에 비중을 두었던 국방과학기술관리에 대하여 국방과학기술혁신 촉진법이 시행되는 2021년을 계기로 국가경제에도 실질적으로 이바지할 수 있도록 국방과학기술의 기획평가와 수행주체를 범정부차원으로 전환할 필요가 있다. 국방기획관리제도에서 예산화 과정을 국가시스템과 연동하고 소요결정 되기 이전단계에서의 기초과학기술 연구에 대한 추동력을 강화하는 방향으로의 개선이 필요하다.

둘째, 안보동맹 차원에서 전략적인 국제방산협력의 추진이다.

1960년대 소총 한 자루 만들지 못하던 우리나라가 이제는 전투기, 함정, 잠수함, 미사일, 레이더 등 재래식 무기체계 개발능력을 갖추게 되었다. 하지만 방산업체 매출액의 대부분이 정부예산에 의한 국내조달로부터 발생하고 방산수출을 통한 규모의 경제를 달성하지 못하는 현실을 짚어볼 필요가 있다. 무기체계 등 방산물자는 전쟁에 대비하고 평화를 지키기 위한 것이기 때문에 적대세력에게 넘어가지 않도록 하는 것은 당연하다. 따라서 미국을 비롯한 중국 등 군사강대국들은 국가안보전략에 따라 우방국들과의 방산수출과 협력을 강력하게 통제하고 있다. 거꾸로 보면 국제방산협력의 확대강화가 곧 안보동맹의 지평을 넓히는 것이 될 것이다. 전통적 수요에 대해서는 우방국들이 가진 방산기반과 비교우위가 있거나 가격 및 기술 경쟁력이 있는 부분에 대해서는 대체재 개발을 적극 추진하고 새로운 전장환경에 대해서는 공동 대응할 수 있도록 방산기반을 육성할 필요가 있다. 우선은 수출과 규모의 경제가 달성 가능한 전력지원체계 연구개발을 전략적으로 추진하여 방위산업의 생태계가 살아나도록 하고 민군겸용 무기체계와 동맹 차원의 국제방산협력을 안보협력구상으로 추진하는 것이다.

셋째, 사이버공간에 대한 국제규범을 주도한다.

4차 산업혁명과 관련된 유망기술이 주도하게 될 사이버공간은 피아구분이 어렵

고 누구나 쉽게 접근할 수 있는 초연결성과 초지능화를 특징으로 한다. 사이버무기체계는 대량살상무기와 국가핵심인프라의 운용시스템을 공격할 수 있고 4차 산업혁명의 기술이 발전할수록 이것이 현실화 될 가능성도 크다고 할 수 있다. 6.25 이후 한반도의 안보는 한미동맹에 의해 미국의 확장억제 전략으로 저강도 분쟁 수준에서 통제되어 왔다고 할 수 있다. 그런데 최근 북한이 사이버 공간에서의 비대칭 위협을 증가하고 있어서 사이버공간에서의 한미동맹의 전략적인 억제태세를 점검할 필요가 있다.

사이버무기체계가 대량살상무기체계로서의 위협을 증가시킬 수 있는데도 불구하고 아직 국제사회에서 이에 대한 개념화와 대응논의가 성숙하지 못하고 있다. 과거 군사적 필요에 의해 기술혁신이 유발된 사례를 볼 수 있듯이 세계 각국이 직면하게 될 가공할 새로운 위협은 사이버 공간에서의 위협이 될 수 있고 이에 대한 주도적인 대응으로 국제규범을 이끌 수 있다고 본다.

특히, 정보통신기술로 정부행정망과 정보인프라가 네트워크화 된 우리나라의 경우에 쉽게 표적이 될 수 있을 것이므로 국가방위 차원에서 사이버공간을 정의하고 사이버공간에서의 군사활동에 대한 법과 제도에 대한 논의를 주도할 필요가 있다. 이를 통해 전통적인 한미동맹의 틀을 발전적으로 새롭게 구축할 수 있을 것으로 본다.

4. 결론

18세기 영국에서 증기기관이 발명되고 인간과 동물의 노동력을 기계가 대체하게 되는 제1차 산업혁명, 철과 전기 에너지를 이용한 대량생산으로 생산성 향상을 가져온 19~20세기 초반 미국과 독일을 중심으로 한 제2차 산업혁명, 그리고 1970년대 전기·전자·정보기술을 이용한 컴퓨터와 인터넷의 발달은 지식정보 혁명의 제3차 산업혁명 시대를 열었다.

미래를 연구하는 학자들은 기술변화가 사회의 구조적인 변혁을 가져온 산업혁명은 아직 끝나지 않았으며 사물인터넷, 인공지능과 빅데이터, 공유경제와 분산적 신뢰, 고급 컴퓨팅, 인터넷의 진화, 물질의 디지털화(적층가공) 등 유망기술이 초연결성과 초지능화로 특징지어지는 제4차 산업혁명을 이끌 것으로 내다보고 있다.

한편 인류역사 3,421년간 전쟁이 없었던 기간이 단지 268년에 불과했다는 듀란트의 연구가 말해주듯이 전쟁은 인류의 역사와 늘 함께 해왔다.

전쟁의 세대 또한 산업혁명과 함께 진화해왔다고 할 수 있다.

제1세대 전쟁은 신성로마제국의 종교 정책을 지지하고 반대하는 국가간에 벌어진 최초의 국제전쟁이라 불리는 30년 전쟁(1618~48년)과 에스파냐와 네델란드 공화국간의 80년 전쟁을 끝낸 베스트팔렌 조약이후 활강총을 주요무기로 근접보병전을 특징으로 하는 인력전쟁을 일컫는다.

제2세대 전쟁은 나폴레옹 전쟁(1803~1815) 이후 제1차 세계대전에 이르기까지 기관총과 포병화력을 주요무기로 화력전에 의한 소모전쟁을 말한다.

제3세대 전쟁은 제1차 세계대전 이후 제2차 세계대전을 거쳐서 21세기에 이르기까지 전차와 항공기, 미사일, 함정, 잠수함과 전파전자통신기술을 이용한 기동전과 네트워크전이 특징이다.

제4세대 전쟁은 핵무기 개발에 따른 냉전하에서 비국가집단과 국가간에 재래식 무기와 생화학 대량살상무기를 이용한 비대칭전의 양상을 보이고 있다. 이수진·박민형(2017)은 제5세대 전쟁을 인터넷, 미디어, 네트워크를 무기로 하는 비국가집단과 개인 및 소규모 그룹이 국가와 사회를 공격하는 전혀 새로운 형태의 전쟁양상을 경고하고 있다.

과거 기술의 진보가 사회경제적으로는 산업혁명을 이끌었고 군사적으로는 전쟁의 승패를 좌우한 무기체계로 활용되는 양면성이 있었듯이 4차 산업혁명을 이끌

유망기술로 거론되는 인공지능과 차세대 네트워크 기술 등은 사이버공간과 물리적 공간을 통합하고 초연결 사회를 이끌 뿐만 아니라 우려하는 제5세대 전쟁의 도구로 이용될 가능성이 있다. 피아 구분이 어려운 사이버공간에서 고도의 정치심리전으로 여론을 형성하고 국가의 핵심인프라에 대한 사이버 공격을 통해 물리적 파괴와 연결시킴으로써 사회의 혼란과 분열을 조장할 수 있다는 것이다. 또한 미래 전쟁양상을 예측해 본다면 앞서 기술한 전쟁세대들의 특징이 복합적으로 혼재되고 적층되어 나타날 것이다.

결론으로 미래 국방과학기술의 트렌드를 고려하여 평화를 지키고 국가산업발전에 기여하기 위한 정책과제를 세 가지로 제시하였다.

- 첫째, 국방과학기술혁신을 위한 포괄적 국방과학기술 거버넌스 강화이다.
- 둘째, 안보동맹 차원에서 전략적인 국제방산협력의 추진이다.
- 셋째, 사이버공간에 대한 국제규범을 주도한다.

참고문헌

- 김경식, 곽상원. (2017). 데이비드 크로넨버그의 영화에 수용된 테크놀로지와 신체의 관계. 한국엔터테인먼트산업학회논문지, 11(7), 67-77.
- 김인수.(2015). 북한 사이버전 수행능력의 평가와 전망. 통일정책연구, 24(1), 117-148.
- 김정수.(2016). 정책학 입문. 문우사.
- 김철환, 이채연, 하철수.(2015). 전장기능별 무기체계. 한국군사문제연구원.
- 김철환, 육춘택.(1997). 전쟁 그리고 무기의 발달. 양서각.
- 김해연. (2012). 하이테크시대 전쟁사를 통해 본 미래전 무기체계 구축방안 연구. 군사연구, (133), 197-241.
- 송위진, 김병윤. (2004). 한국 공공부문 과학기술활동의 특성과 변화. 기술혁신학회지, 7(3), 581-606.
- 이수진, 박민형.(2017). 제5세대전쟁 개념과 한국 안보에 대한 적용방향. 국방대 국가안전보장문제연구소.
- 이춘주 외.(2017). 과학기술과 국가안보. 국방대학교.
- 이태규.(2012). 군사용어사전. 일월서각.
- 장원준, 김미정, 민현기, 이춘주.(2016). 국방 연구개발 체제의 환경 변화와 발전과제. KIET 연구보고서.
- 정병기, 김현철, 이춘주. (2016). TFDEA를 이용한 무인항공기 기술예측에 관한 연구. 기술혁신학회지, 19(4), 799-821.
- 정정길.(2014). 정책학 원론. 대명문화사.
- 최석철.(2005). 무기체계@미래현대전. 21세기 군사문제연구소.
- 한석태.(2017). 정책학 개론. 대영문화사.
- 홍형득. (2007). 거버넌스 관점에서 우리나라 국가혁신체제(NIS)의 변화와 특징 분석. 한국행정논집, 19(3), 555-579.
- 계동혁.(2010). 역사를 바꾼 신무기. 플래닛미디어.
- Atos.(2018). Defense Look Out 2020+.
- A. Charnes, W.W. Coopers, A.Y. Lewin, E. Rhodes.(1978). "Measuring the efficiency of decision making units", European Journal of Operations Research Vol.2, No.6, pp.429-444.

- Andersen, P. and Petersen, N. C. (1993). "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis", *Management science*, 39: 1261-1264.
- Anderson, T. R., Daim, T. U. and Kim, J. (2008). "Technology Forecasting for Wireless Communication", *Technovation*, 28(9): 602-614.
- Anderson, T. R. and Hollingsworth, K. (2001). "Assessing the Rate of Change in the Enterprise Database System Market Over Time Using DEA, In: Kocaoglu, D. F. and Anderson, T. R. (eds.)", *Technology Management in the Knowledge Era*. PICMET, Portland, 384-390.
- Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984). "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management science*, 30(9): 1078-1092.
- C. Lee, K. Lee. (2011). Malmquist Productivity Analysis using DEA Frontier in Stata, 14-15 July, 2011 Stata Conference Chicago.
- David Curtis Skaggs.(1983). Michael Howard: Military Historian and Strategic Analysis, US Army War College, Carlisle Barracks, PA 17813.
- Department of the Army. (2020). North Korean Tactics, ATP 7-100.2.
- Dewar, Robert S. (2017). Cyber weapons: Capability, Intent and Context in Cyber defense, *Cyber defense Trend Analysis*, Center for Security Studies (CSS), ETH Zürich.
- Francesco Caselli and Wilbur John Coleman II. (2006). The World Technology Frontier, *The American Economic Review*.
- Govini.(2020). America's Eroding Technological Advantage: National Defense Strategy RDT&E Priorities In An Era of Greate-Power Competition With China.
- Hatch, Benjamin B.(2018). "Defining a Class of Cyber Weapons as WMD: An Examination of the Merits." *Journal of Strategic Security*, 11(2), 43-61.
- Jakob B. Madsen. (2014). Human capital and the world technology frontier, *the review of economics and statistics*, 96(4), 676-692.
- John Arquilla, David Ronfeldt. (1993). *Cyberwar is Coming!*, RAND Corporation.

- Kambria. (2019). The Next Frontier: Why Frontier Technologies are Important. <https://kambria.io/blog/the-next-frontier-why-frontier-technologies-are-important/>
- Kumbhakar, Subal C. and Lovell C. A. Knox. (2000). Stochastic Frontier Analysis, Cambridge University Press, Cambridge.
- Mark Mancini. (2017). 10 Advances in Weaponry that Changed History. <https://www.mentalfloss.com/article/92084/10-advances-weaponry-changed-history>
- Michael del Castillo. (2018). Big Blockchain: the 50 Largest Public Companies Exploring Blockchain, Forbes.
- Steven Pinker. (2011). A History of Violence: Edge Master Class 2011.
- Will and Ariel Durant. (1935~1975). The story of civilization, Simon & Schuster publisher.
- William H. Boothby. (2013). Method and Means of Cyber Warfare, International Law Studies, US Naval War College.
- William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Joe Zhu. (2014). Handbook on Data Envelopment Analysis, Kluwer Academic Publishers.

연구보고 2020

네트워크 신기술을 활용한 미래 국방 네트워크 인프라 발전 연구

권태욱

2020. 12.



국방대학교 국가안전보장문제연구소

목 차

요 약 문	127
1. 연구개요	128
1.1 연구 배경 및 범위	128
2. 네트워크 신기술 분석	129
2.1 CCN 네트워크 신기술	129
2.2 SDN 네트워크 신기술	138
2.3 NFV 네트워크 신기술	147
3. 네트워크 신기술 국방 적용방안	152
3.1 CCN 신기술 국방 적용방안	153
3.2 SDN 신기술 국방 적용방안	160
3.3 NFV 신기술 국방 적용방안	169
4. 기대효과 및 결론	179
4.1 국방적용 기대효과	179
4.2 결 론	189

그림목차

〈그림 2-1〉 CCN 네트워크 데이터 흐름	129
〈그림 2-2〉 CCN 프로토콜 구조	130
〈그림 2-3〉 CCN 포워딩 엔진	131
〈그림 2-4〉 CCN 포워딩 동작 절차	132
〈그림 2-5〉 CCN 패킷 형태	134
〈그림 2-6〉 SDN 아키텍처	140
〈그림 2-7〉 OpenFlow 역할	143
〈그림 2-8〉 Flow Table 구조	145
〈그림 2-9〉 SDN 네트워크 장비 구성	146
〈그림 2-10〉 NFV 개념	148
〈그림 2-11〉 NFV Framework	149
〈그림 2-12〉 NFV와 SDN 관계	150
〈그림 3-1〉 과학화경제시스템 구성	154
〈그림 3-2〉 과학화경제시스템 네트워크 구성도	156
〈그림 3-3〉 CCN 기반 네트워크 구성도 (안)	156
〈그림 3-4〉 평균 응답시간	158
〈그림 3-5〉 네트워크 Traffic	159
〈그림 3-6〉 계층적 네트워크 구조	162
〈그림 3-7〉 실험 SDN 네트워크 구성	166
〈그림 3-8〉 기존 네트워크 Latency 측정값	167
〈그림 3-9〉 SDN 네트워크 Latency 측정값	167
〈그림 3-10〉 기존 네트워크 대역폭 측정값	168
〈그림 3-11〉 SDN 네트워크 대역폭 측정값	168
〈그림 3-12〉 NFV 네트워크 통합 아키텍처	178

표 목 차

〈표 2-1〉 CCN 캐시 교체정책	135
〈표 3-1〉 국방정보시스템 운영 현황	152
〈표 3-2〉 실험환경 구성	157
〈표 3-3〉 네트워크 구축 장비 현황	164
〈표 3-4〉 QoS 우선순위	171
〈표 3-5〉 DPI 패킷 재구성 절차	172
〈표 3-6〉 네트워크 장비별 기능 목록	174
〈표 3-7〉 통합대상 기능 분석결과	176
〈표 3-8〉 각 장비별 중복 기능	178

요약문

급변하는 IT 기술과 같이 네트워크 분야의 기술 또한 신기술 들이 등장하여 적용되고 있다. 이들 기술 중 네트워크 분야에서 가장 대표적인 기술은 CCN, SDN, 그리고 NFV 기술이다. 따라서 본 연구는 이 3가지 네트워크 신기술의 군 적용을 통하여 미래 국방 네트워크의 발전 방안을 연구하고자 한다.

이를 위하여 제2장에서는 3가지 신기술의 개념과 구조, 특징 등에 대하여 분석하고, 3장에서는 이들 네트워크 신기술의 군 적용방안 연구를 위하여, 각 기술별 적용대상 체계를 선정하고 신기술의 군 적용방안을 설계 및 구축하고, 실험을 통하여 신기술 적용 시의 효과를 분석하였다. 마지막으로 4장에서는 네트워크 3대 신기술을 적용 시 예상되는 기대효과에 대하여 정리하였다.

네트워크 신기술을 적용 시 대표적인 기대효과를 요약하면 CCN 기술은 전송 효율, 보안성, 유연성 등의 향상을 기대할 수 있고, SDN 기술은 네트워크 장비 효율적 관리와 제어 자동화, 동적 QoS 보장 및 처리성능 향상, 정책/상황 변화에 신속 대응, 보안성 향상, 소요예산 절감 등의 효과를 기대할 수 있다. 끝으로, NFV 기술은 하드웨어 유연성, 확장성/탄력성 향상, 신속한 개발과 벤더에 대한 의존성 절감, 그리고 운영 효율성과 신속성 향상 등을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 연구개요

1.1 연구 배경 및 범위

현재 전장의 운영환경인 네트워크 중심전(Network Centric Warfare, NCW)에서 국방 네트워크의 중요성은 매우 중요하다. 현재 네트워크 분야에서 다양한 신기술들이 연구 및 등장하고 있으며, 그중에서 가장 대표적인 네트워크 신기술은 콘텐츠 중심 네트워크 (Contents Centric Networks, CCN), 소프트웨어 정의 네트워크 (Software Defined Networks, SDN), 그리고 네트워크 기능 가상화 (Network Function Virtualization, NFV) 이다.

따라서 향후 CCN, SDN, NFV 등 네트워크 신기술의 국방 네트워크 분야 활용과 적용의 필요성은 증가할 것이다. 따라서 네트워크 신기술의 국방 활용과 적용을 위해 네트워크 신기술인 CCN, SDN, NFV 등의 명확한 개념과 특성 등의 전문적인 연구와 분석이 필요하며, 네트워크 신기술의 국방적용을 위한 고려사항과 장단점 그리고 기대효과 등에 대한 전문적이고 학문적인 연구분석이 필요하다.

본 연구의 목적은 1) 네트워크 신기술 CCN, SDN, NFV에 대한 학문적인 분석 및 연구를 수행하고, 2) 이러한 네트워크 신기술의 국방 활용과 적용을 위한 타당성에 대한 학문적 실험과 분석을 제공하는 데 있다.

이를 위하여, 본 연구는 크게 두 분야로 실시한다. 첫째 네트워크 신기술 분석 분야로 이 분야에서는 3대 네트워크 신기술인 CCN, SDN, NFV에 대한 학문적인 개념과 등장 배경 및 목적, 주요 기능(기술) 등을 연구하고, 둘째 세 가지 네트워크 신기술의 국방적용 방안을 분석하기 위하여 적용대상 체계 판단, 실험 및 분석, 기대효과 등의 연구를 통한 네트워크 신기술 국방적용의 타당성 등에 대한 연구를 실시한다.

2. 네트워크 신기술 분석

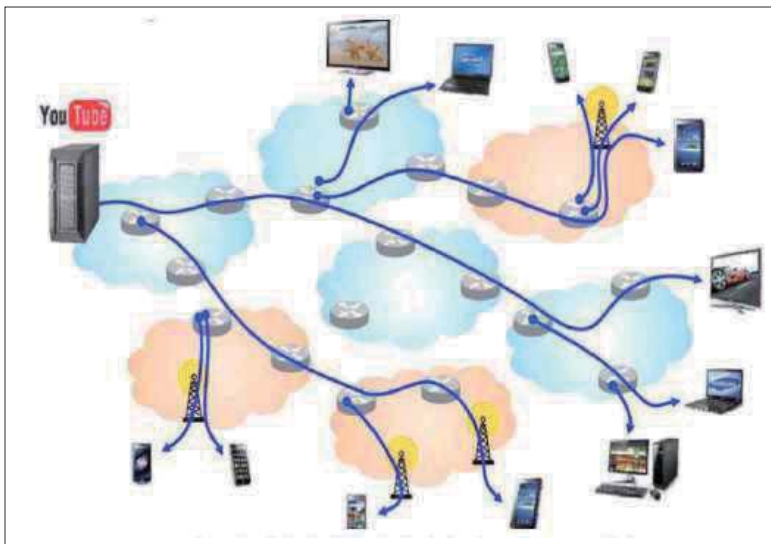
2.1 CCN 네트워크 신기술

2.1.1 CCN 개요

요즘 SNS 등 social media의 등장으로 누구나 콘텐츠 생성자가 될 수 있는 웹 2.0시대가 도래하면서 네트워크상 콘텐츠 통신량은 급증하게 되었고 기존의 호스트기반 네트워크 구조는 이에 대응하는 데 어려움을 겪게 되자 이러한 문제들을 해결하기 위한 새로운 네트워크 아키텍처에 관한 연구가 활발히 진행되었다.

그리하여 등장한 콘텐츠 중심 네트워크(Content Centric Networks, CCN)는 기존 인터넷의 IP 주소처럼 “어디에 (Where)” 있는지를 찾는 대신 콘텐츠 이름에 주소 역할을 부여하여 “어떤 (What)” 데이터를 찾는 새로운 인터넷 아키텍처이다.

CCN은 ICN(Information Centric Networking)의 대표적인 연구 프로젝트 중 하나로 2007년 PARC(Palo Alto Research Center)에서 진행한 연구 프로젝트로 시작되었으며, 첫 번째 소프트웨어 릴리스는 2009년에 출시되었고, 2011, 2012, 2013, 그리고 2015년에 CCNx 커뮤니티 연례회의가 개최되며 지속적 연구되었다.

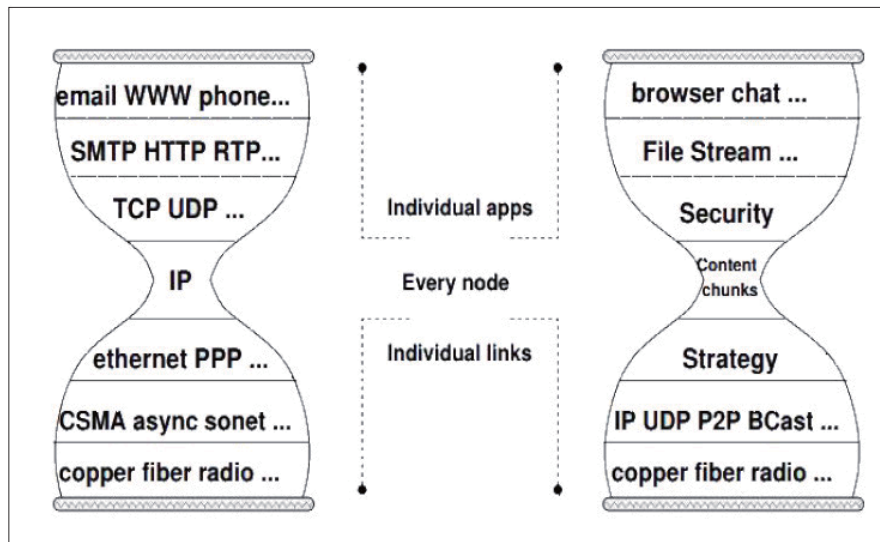


〈그림 2-1〉 CCN 네트워크 데이터 흐름

CCN¹⁾의 가장 큰 특징 중 하나는 각 라우터가 캐시 저장공간을 가지고 있어 <그림 2-1>과 같이 in-network cache가 가능하다는 점이다. 이로 인해 다른 클라이언트가 중복된 콘텐츠를 요청하는 경우 중간 라우터에 콘텐츠가 저장되어 있다면 서버까지 가지 않고도 원하는 콘텐츠를 얻을 수 있기에 일부 서버에서 발생할 수 있는 병목현상을 방지할 수 있으며, 응답시간이 감소한다. 이와 더불어 불필요한 중복된 데이터 이동의 감소로 혼잡 발생 및 패킷 손실 가능성 또한 감소하여 전체 네트워크의 효율 및 성능이 향상될 것으로 기대된다.

이처럼 CCN은 병목현상 방지 등 네트워크 효율 향상에 유리할 뿐 아니라 콘텐츠 사용 후 공급자와의 연결을 유지할 필요가 없으므로 휴대전화 등 이동 단말의 이동성 지원에도 편리하다. 더불어 콘텐츠가 서버에만 있는 것이 아니기에 DDoS 공격 방어에도 유용하며, 콘텐츠 자체에 인증기능이 포함되어 있기에 다양한 신뢰 모델에 기반한 보안 기능 제공이 가능하다.

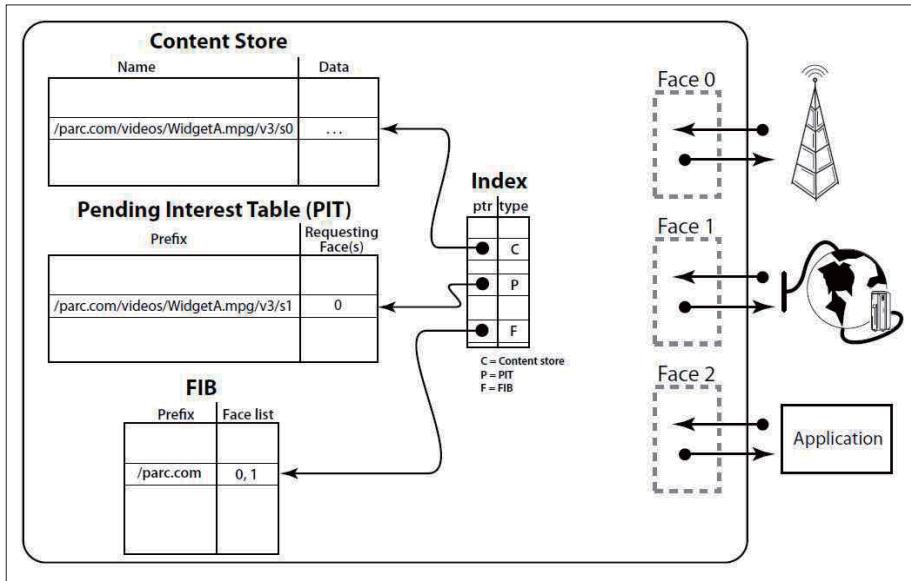
2.1.2 CCN 아키텍처



<그림 2-2> CCN 프로토콜 구조

1) 장명욱, 이병준, "Content-Centric Networking - The vision and an Early Experience," 삼성종합기술원, 2011.

CCN 프로토콜 구조²⁾는 현재의 TCP/IP 구조와 비교했을 때 <그림 2-2>와 같다. 가장 큰 차이점은 IP주소 대신 콘텐츠 이름으로 식별하는 Content chunk 계층과 변화하는 조건에서 다중 연결을 동적으로 구성하기 위한 Strategy(전략) 계층, 그리고 네트워크상 보안을 추구하는 것이 아닌 콘텐츠 자체에서 보안을 추구하여 기존 호스트기반 보안 취약점을 상당 부분 방지할 수 있는 Security(보안) 계층이 존재하는 것이다.



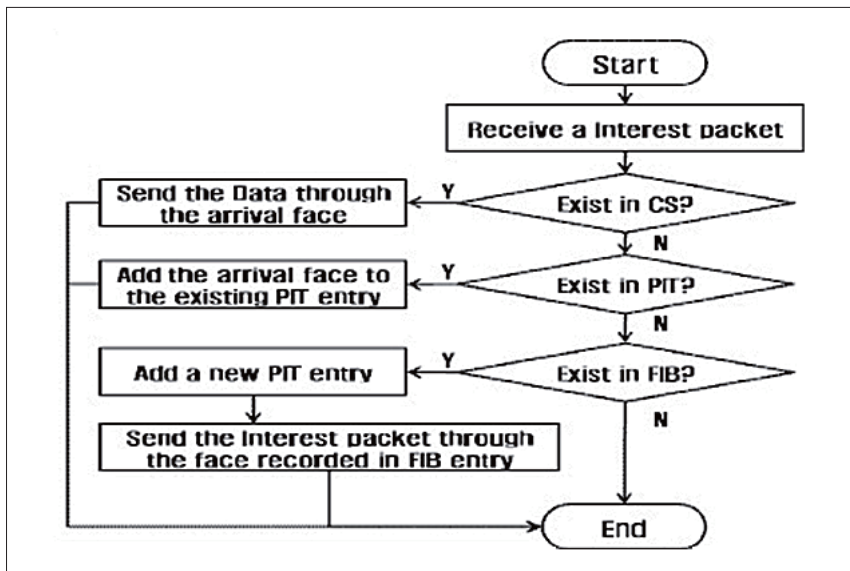
<그림 2-3> CCN 포워딩 엔진

CCN의 세부 동작을 책임지는 CCN 노드의 포워딩 엔진은 <그림 2-3>과 같이 CS(Content Store), PIT(Pending Interest Table), FIB (Forwarding Information Base)로 구성된다. CS는 캐시 저장공간으로 수신된 콘텐츠들을 저장하며 효율적인 운영을 위해 캐시 교체정책을 적용하는데 LRU와 LFU가 대표적이다. PIT는 Interest 패킷 수신 시 요청이 들어온 Face를 기록하여 차후 Data 패킷 수신 시 요청이 들어온 방향으로 콘텐츠를 전송하기 위해 존재한다. FIB은 해당 콘텐츠의 정보제공자가 위치하는 Face를 기록하여 기존 IP 노드의 라우팅 테이블과 유사한 기능을 수행한다.

2) V. Jacobson, et al, "Networking Named Content," Proceed. of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies, ACM, 2009.

2.1.3 CCN 동작 메커니즘

CCN 노드의 포워딩 엔진³⁾은 Interest 패킷이 수신되면 동작하기 시작하는데 그 과정은 <그림 2-4>와 같다. Interest 패킷이 수신되면 가장 먼저 CS에 해당하는 콘텐츠가 있는지 확인을 하는데, 이때 CS에 해당 콘텐츠가 있다면 해당하는 Data 패킷을 Interest 패킷이 수신된 Face로 전송한다. 그러나 CS에 해당하는 콘텐츠가 없다면 다른 정보제공자에게 요청해야 하는데, 그전에 PIT에 해당하는 콘텐츠에 대한 요청 기록이 있는지 확인을 해야 한다.



<그림 2-4> CCN 포워딩 동작 절차

PIT에 요청 기록이 있다면 다른 Face로부터 이미 콘텐츠가 요청되어 정보제공자 방향으로 Interest 패킷을 보낸 상태이므로 방금 수신된 Face를 PIT entry에 추가하고 따로 요청하지 않는다. 그러나 PIT에 해당하는 콘텐츠에 대한 요청 기록이 없다면 처음 요청되는 콘텐츠이므로 정보제공자의 위치를 알기 위해 FIB을 확인한다. 그러나 FIB에 요청 콘텐츠의 Prefix가 없다면 이는 서비스가 불가능한 콘텐츠이므로 Interest 패킷을 폐기하고 동작을 종료한다. 반면, FIB에 요청 콘텐츠의 Prefix가 있다면 PIT에 방금 수신된 Face를 추가하고 FIB에 기록된 Face로

3) Md. Faizul Bari, et al, "A survey of naming and routing in information-centric networks," IEEE Communications Magazine, vol. 50, 2012.

Interest 패킷을 전송하여 해당 콘텐츠를 요청한다.

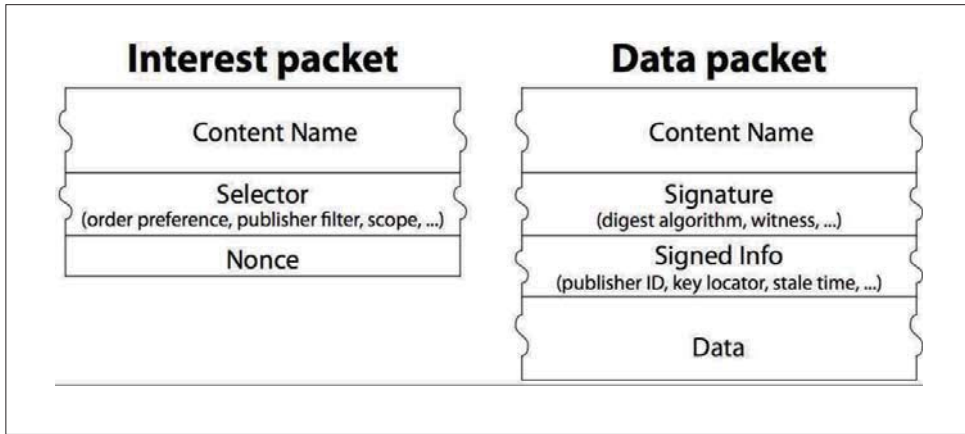
Interest 패킷 처리 후 이에 대한 응답으로 Data 패킷이 수신되는데 이때 동작 메커니즘은 다음과 같다. 우선 Interest 패킷 수신 시와 같이 CS에 동일 콘텐츠가 있는지 확인을 하는데, 동일 콘텐츠가 존재한다면 요청한 콘텐츠가 아니므로 Data 패킷을 폐기하고, 동일 콘텐츠가 존재하지 않는다면 PIT를 확인하여 요청이 들어 왔던 Face에게 Data 패킷을 전송하고 PIT entry의 해당 목록을 삭제하며 CS에 해당 데이터를 저장한다. 반면 PIT에 해당 콘텐츠에 대한 목록이 없다면 요청하지 않은 콘텐츠이므로 Data 패킷을 폐기한다.

2.1.4 CCN 메시지 패킷

CCN에서 통신을 위해 Interest 패킷과 Data 패킷이라는 두 가지 메시지 패킷⁴⁾을 이용한다. Interest 패킷은 정보요청자가 원하는 콘텐츠를 요청하기 위해 보내는 메시지이고, Data 패킷은 정보요청자가 요청한 Interest 패킷에 대한 응답으로 정보제공자가 해당 콘텐츠 청크(Chunk)를 포함하여 Interest 패킷의 역 경로로 전송하는 패킷이다. 여기서 정보제공자는 정보 생성자일 수도 있지만, 중간에 콘텐츠를 보유하고 있던 라우터일 수도 있다. 두 패킷의 세부 구조는 <그림 2-5>와 같다.

우선 Interest 패킷은 콘텐츠 이름(Content Name)과 선택자(Selector), 무작위의 임시 변수(Nonce)로 구성되어 있다. 콘텐츠 이름은 주소와 같은 역할을 하는 콘텐츠 이름이고, 선택자는 콘텐츠 이름에 없는 항목을 자세히 기술하는 항목으로 interest 패킷이 data 패킷의 여러 CS에 일치하는 경우에 선호되는 CS에 대한 정보를 제공하거나 보안 등의 관리 목적으로 정보를 제공한다. 임의 임시 변수는 interest 패킷이 서로 다른 경로로 전송될 경우 발생할 수 있는 루프를 방지하기 위해 랜덤하게 생성된 byte string이다.

4) V. Jacobson, et al, "Networking Named Content," Proceed. of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies, ACM, 2009.



〈그림 2-5〉 CCN 패킷 형태

Data 패킷은 콘텐츠 이름(Content Name), 서명(Signature), 사인정보(Signed Info), 데이터(Data)로 구성되어 있다. 콘텐츠 이름은 interest 패킷과 같으며, 서명을 통해 인증된 데이터임을 나타낸다. 사인정보는 데이터 존재 여부/암호화 여부 등의 데이터 타입, 데이터 버전에 따라 부여되는 데이터 유효기간, 공개키의 다 이제스트와 암호화키의 위치, 타임스탬프 그리고 데이터가 여러 개의 세그먼트(Segment)로 구성될 경우 최종 블록의 식별자 정보 등 콘텐츠의 보안에 있어 핵심적인 정보들로 구성되어 있다. 마지막 데이터는 요청된 interest 패킷에 대응하는 데이터이다.

2.1.5 CCN 캐시 교체정책

캐시 교체정책은 이전부터 활발하게 연구되어왔던 분야이다. CCN이 등장하고 CCN의 성능향상을 위해 캐시 교체정책이 핵심 분야 중 하나로 부상하였고, 기존 연구되었던 웹 캐시 교체정책을 CCN 환경에 맞도록 변경시키는 것(Legacy Policies)으로 연구가 시작되었고, 아울러 CCN의 특성에 맞는 새롭고 독창적인 캐시 교체정책 (New Policies)에 대한 연구도 활발히 진행되었다.

CCN의 기본 캐시 교체정책은 LRU(Least Recently Used)와 LFU(Less Frequently Used) 정책이고 이를 중심으로 일반적인 환경에서 효율성이 입증된 캐시 교체정책인 FIFO, LNC-R-W3, LFU-aging 등을 CCN 환경에 접목하기 위해 연구되었다.

〈표 2-1〉 CCN 캐시 교체정책

구 분	캐시 교체정책
기존 교체정책	LRU, LFU, FIFO, LNC-R-W3, LFU-aging
신 교체정책	LB, Partitioning, TTL-Based, RUF, SLT-Based, RT-Based, PR-Based

◎ LB(Least Benefit) 정책

LB 정책은 정보제공자로부터의 거리가 멀수록 캐시 적중되었을 때 이득이 클 것이라는 전제하에 이득이 가장 적은 콘텐츠를 우선 제거하는 정책이다. 이를 위해 패킷에 Hop count 필드를 추가하여 라우터를 경유 할 때마다 홉 수를 최신화하여 캐시 교체 시점에 이동된 홉 수와 참조횟수를 고려해 가장 이득이 적은 콘텐츠를 제거한다. 그러나 이 정책은 네트워크의 지연은 고려하지 않고 단순하게 이동된 홉 수만을 고려했다는 한계점이 있다.

◎ Partitioning 정책

Partitioning 정책은 애플리케이션에 따라 캐시 저장공간을 분할 하여 특정 애플리케이션을 통해 요청된 콘텐츠는 지정된 공간만을 활용하도록 하여 캐시의 효율을 높이하고자 하였다. 그러나 이 정책은 사용되지 않는 공간이 발생하여 여유 공간이 있음에도 저장된 콘텐츠를 삭제해야 하는 경우가 발생할 수 있고, 사용자별 요청 성향이 상이하여 효율적인 분할 비율 선정에도 제한사항이 있다.

◎ TTL(Time-to-Live)-based 정책

TTL-based 정책은 콘텐츠의 생존시한(TTL) 개념을 도입하여 일정 시간 동안 추가 참조가 없는 콘텐츠들을 제거하는 방법이다. 이를 위해 모든 콘텐츠에 타이머를 동작시키고 타이머가 만료된 콘텐츠들을 제거한다. 이 방법은 매우 흥미로운 방법이지만 캐시 내 모든 콘텐츠에 지속적 감소하는 타이머를 작동시키는 것에 대한 계산적 부하는 CCN 노드에 다소 부담이 될 수 있다.

◎ RUF(Recent Usage Frequency) 정책

RUF 정책은 콘텐츠를 유형, 이름, 생성자, 생성시간 등의 다양한 판단기준에 따

라 몇 가지 범주로 구분하여 각각 유형별 특정 시간 동안 수신받은 interest 패킷 수를 측정하여 카테고리별 인기도를 측정하여 우선순위가 떨어지는 카테고리의 콘텐츠를 방출하는 정책이다. 이때 인기도의 변화에 동적으로 적응할 수 있도록 최근 요청에 가중치를 부여하는 지수 가중 이동평균법(Exponential Weighted Moving Average, EWMA)을 적용하여 카테고리별 통합된 가치를 판단한다. 그러나 이 정책은 어떤 기준으로 카테고리를 분류하는 것이 캐시 효율 향상에 더 많은 영향을 미치는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

◎ SLT(Shelf-Life Time)-based 정책

SLT-기반 정책은 최근에 생성된 콘텐츠일수록 더 인기가 있을 확률이 높다는 가정하에 “콘텐츠가 생성된 시점”에서부터 “사용자들의 충분한 관심을 받지 못해 캐시 할 가치를 잃는 특정 시점”까지를 “보관수명”으로 정의하고 이를 기본 정책인 LRU와 LFU 정책에 적용하여 SLT-LRU와 SLT-LFU 정책을 제안하였다.

SLT-LRU 정책은 “최근에 요청되지 않는 상대적으로 오래된 콘텐츠”를 교체하기 위해 캐시 실패하여 최초 저장 시 LRU 정책과 달리 콘텐츠 생성시간을 고려하여 생성시간과 가장 근접한 콘텐츠의 하위에 저장하고, 캐시 적중 시에는 LRU 정책과 같게 최상위로 위치시키는 방법을 통해 추가 참조되지 않는 콘텐츠를 조기에 제거하여 LRU 정책의 단점을 보완하였다.

SLT-LFU 정책은 생성된 시간에 비해 충분한 요청을 받지 못하고 있는 콘텐츠를 판단하여 교체하기 위해 보정된 참조횟수를 계산하여 정렬한다. 보정된 참조횟수는 콘텐츠의 요청횟수에 비례하고 현 시간에 콘텐츠 생성시간을 뺀 콘텐츠의 수명에 지수 승으로 반비례한다. 이를 통해 LFU 정책의 단점인 캐시 오염 현상을 제거하고자 하였다. SLT-기반 정책은 생성시간이라는 다소 색다른 고려요소를 통해 흥미로운 캐시 교체정책을 제안하였지만 최근 생성된 콘텐츠가 더 인기가 있을 확률이 높다는 가정이 맞지 않는 상황에서는 오히려 효율이 감소하는 문제점이 발생할 수 있다.

◎ RT(Reference Tendency)-based 정책

RT-기반 정책은 각 콘텐츠의 참조되는 경향을 합리적인 수식을 통해 값으로 환산하여 “참조 경향”이라는 개념을 기본 정책인 LRU와 LFU 정책에 적용하여 사용

자 요청의 변화에 적응적인 TB-LRU와 TB-LFU 정책을 제안하였다.

TB(Tendency based)-LRU 정책은 콘텐츠의 참조 경향을 평가할 수 있는 값인 경향값을 지수 가중 이동평균을 이용하여 정의하고, 경향값이 이미 선정한 임계값(Threshold Value) 보다 작을 경우 참조 경향이 좋지 못한 콘텐츠로 판단하고 보정값을 적용한다. 기본적으로 LRU 정책과 유사하게 동작하나 콘텐츠별 여건에 따라 차등된 보정값을 적용하고, 경향값(Tendency Value, TdV)에 따라 추가 참조의 가능성을 보이는 콘텐츠에 대해 보정값을 적용하지 않는 방법을 통해 좀 더 발전시켰다고 볼 수 있다. 그러나 LRU 정책과 같게 삭제 연산에서 불필요하게 많은 연산이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

TB-LFU 정책은 TB-LRU 정책을 좀 더 보완한 것으로 TB-LRU 정책과 같은 보정절차를 적용하나 캐시의 오염 현상을 제거하기 위한 CR(Cache Refreshment) 과정이 추가되었다. CR 과정이란 MC(Miss Count)가 상수 TCR(Trigger of CR)에 이를 때 발생하는 것으로 CR 과정의 한 주기 동안 캐시 Hit 발생이 많으면 주기 시간이 길어지도록 하여 캐시 내부의 효율에 따라 주기 시간을 동적으로 조정하기 위한 과정이다.

◎ PR(Producer Rank)-based 정책

PR-기반 정책은 콘텐츠를 생성하는 노드의 인기도가 높을수록 해당 노드에서 생성되는 콘텐츠의 향후 참조할 가능성이 좀 더 높다는 가정하에 “생성자 인지도(Producer Rank)”라는 개념을 정의하고 이를 기본 정책인 LRU와 LFU 정책에 적용하여 LRU-PR과 LFU-PR 정책을 제안하였다. LRU-PR 정책은 SLT-LRU 정책과 유사하게 동작하는데 SLT-LRU가 캐시 실패하여 최초 저장 시 생성시간을 고려했다면, LRU-PR 정책은 생성자 인지도를 고려하여 저장 위치를 선정한다. 이를 통해 추가 참조가 발생하지 않는 생성자 인지도가 낮은 콘텐츠를 조기에 식별하여 제거함으로써 LRU의 단점을 보완할 수 있다. LFU-PR 정책은 참조횟수(Freq)와 생성자 인지도(PR)를 동시에 고려한 캐시 가치(TV)를 기준으로 정렬하여 참조횟수가 적더라도 생성자 인지도가 높은 경우 더 오래 캐시에 머무를 수 있도록 하였다. PR-기반 정책은 생성자 인지도라는 색다른 고려요소를 정의하여 새로운 관점에서 접근했다는 점이 매우 흥미롭지만, 생성자 인지도와 콘텐츠의 인기도가 비례한다는 최초 가정이 맞지 않는 경우 오히려 효율이 감소하는 문제점이 있을 수 있다.

2.2 SDN 네트워크 신기술

2.2.1 SDN 개요

인터넷이 초기 도입되던 시기에는 인터넷 자체가 매우 불안정하였기 때문에 인터넷 확장에 대한 고민보다 여러 요인으로 발생 되는 불안정한 통신 오류를 해결하는 것이 급선무였다. 새로운 패킷이 장비로 들어오면 이 장비 내에서 해당 패킷의 목적지가 어디인지를 결정하고 경로의 정확성 유무 판단, 문제 발생 시 해당 지점을 파악하고 분석하는 등 일련의 행위를 위해 데이터 전송, 운영체제 기능, 네트워크 지능화 기능 등이 개별적인 네트워크 장비 내에 모두 통합되어 있었다. 이런 네트워크 구조에서는 해당 네트워크를 통과하는 패킷이 장비를 거쳐 갈 때마다 각 장비에서 패킷 처리절차를 수행해야 하는데 한 번만 처리하면 되는 같은 기능이 장비별로 연속적으로 중복수행 하게 된다.

네트워크 시장은 특정 기술력이 있는 회사가 Black Box라 불리는 완제품 형태의 네트워크 장비를 납품하는데, 최초 장비 출고 시 다양한 서비스를 구현하는 수많은 기능을 탑재하여 출고하기 때문에 초기 도입 단가가 매우 높을 뿐만 아니라 운용을 위해 드는 비용 또한 많아지고, 초기 도입 시에 정한 기능들 외에 추가로 기능을 더하거나 변경하는 것이 매우 제한적인 특징을 갖는다. 장비 공급업체마다 장비를 운영하는 방식이나 사용자 인터페이스가 다르기에 네트워크 관리자는 새로운 프로토콜을 지속 학습해야 한다.

인터넷 초창기에는 이러한 방식들이 크게 문제가 되지 않았다. 그러나 현대 사회는 모바일 기기가 급증하고, 클라우드 기반의 가상화 서비스가 등장하는 등 기업, 가정, 학교 등 다양한 곳에서 새로운 시도가 지속 증가하고 있다. 클라우드, 가상화, 빅데이터, 이동성, 소셜 네트워크 등 현대 네트워크 및 IT 기술 동향의 요구 조건을 만족시키기 위해 유무선 데이터 통신량은 급격히 증가하고 있다.

2017년 CISCO에서 발표한 2016-2021 시스코 비주얼 네트워킹 인덱스(VNI-Cisco Visual Networking Index)⁵⁾에 따르면 전 세계 인터넷 사용자 수는 2016년 33억 명에서 2021년 46억 명으로 전체 인구의 약 58%를 차지할 것이며, 개인 기기와 M2M(Machine to Machine) 간 연결 건수 또한 2016년 171억 건에

5) CISCO, "The Zettabyte Era: Trends and Analysis", White Papers, June, 2017.

서 2021년에는 271억으로 증가할 것으로 예상했다. 전 세계 IP 통신량은 2016년 1.2 제타 바이트(Zeta Byte, ZB)에서 2021년 3.3ZB로 약 3배 성장을 예상된다.

이처럼 빠르게 변화하는 네트워크 환경에서 폭발적으로 증가하는 통신량 흐름에 대응하고 네트워크를 이용하는 다양한 서비스를 처리하기 위해 네트워크를 설정하고 관리하는 장비들이 계속해서 늘어나고 복잡하게 되어 획기적인 네트워크 관리 기술이 지속 요구되었다. 소프트웨어 정의 네트워크(Network Defined Networks, SDN)⁶⁾에 관련된 기술과 표준을 개발하고 공유하기 위해 설립된 비영리 기관인 개방형 네트워킹 재단(Open Networking Foundation, ONF)⁷⁾에서는 기존 네트워크 구조의 4가지 주요 한계점을 다음과 같이 지적하고 있다.

- 정적이며 복잡한 구조 : 다양한 QoS 요구사항에 대처, 대용량 또는 변동이 심한 통신량 수용, 여러 보안 요구사항을 만족하기에는 네트워크 기술이 복잡해지고 관리가 어려워짐.
- 일관성 없는 정책 : 네트워크 전반에 보안 정책을 적용하려면 관리자는 수천 대의 장비와 메커니즘에 대한 설정 사항을 직접 수정해야 하며, 이러한 작업 시 최소 몇 시간에서 며칠이 걸리기도 함.
- 확장 불가 : 네트워크에 대한 요구사항은 규모와 다양성 측면에서 급격히 증가하고 있으나, 네트워크의 복잡도나 정적인 속성으로 인해 어려움.
- 벤더 종속성 : 비즈니스 및 사용자의 통신량 요구가 변할 때마다 새로운 기능이나 서비스가 배치되어야 하나, 네트워크 기능에 대한 오픈 인터페이스 부족으로 벤더의 느린 제품 개발 주기에 따라갈 수밖에 없음.

이를 극복하기 위해 현재 다양한 시도 중 가장 적극적으로 논의되는 것이 네트워크 장비의 구조를 바꾸어 신속하고 유연한 네트워크 환경을 제공하고자 하는 SDN이다. ONF⁷⁾에서는 SDN에 대해 “네트워크에서 여러 전송 장비들을 통제하는 Control Plane과 Forwarding Plane의 물리적인 분리”라고 정의하고 있다. 즉 SDN은 네트워크 제어기능과 전송기능을 분리하고, 제어기능은 컨트롤러에 집중하는 구조이다. 결과적으로 네트워크 운영자와 관리자는 분산되어있는 다양한 네트워

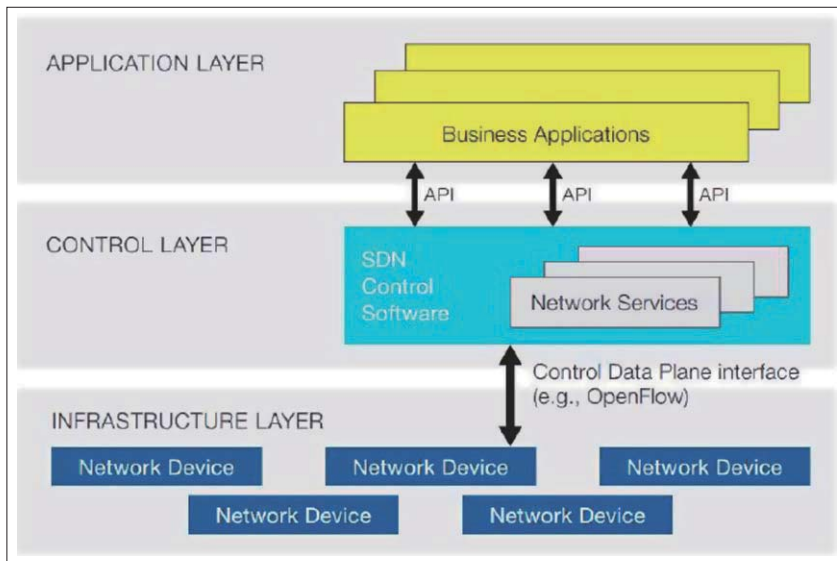
6) FUNATION, Open Networking. Software-Defined Networking(SDN) Definition: <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-definition>, 2017.

7) FUNATION, Open Networking. Software-Defined Networking(SDN) Definition: <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-definition>, 2017.

크 장비를 프로그래밍 방식으로 단순화하여 관리할 수 있으며, 기존 네트워크에서는 구성하기 어려운 복잡한 경로 구성이 가능하여 변화하는 통신량 패턴에 효과적인 대처가 가능하다.

2.2.2 SDN 아키텍처

SDN은 사용자가 필요에 따라 자신의 환경에 맞는 소프트웨어를 개발 또는 도입할 수 있는 개방형 구조로 바뀌게 되어 최적화된 네트워크를 구현하는 것이 가능해진다. 기능 구현을 위해 SDN의 네트워크 구조⁸⁾는 <그림 2-6>과 같이 Infrastructure, Control, Application 3개의 계층으로 분리되고, 각 계층은 API(Application Programming Interface)를 통해 통신한다.



<그림 2-6> SDN 아키텍처

- 기반 계층(Infrastructure) : 실질적인 데이터 전송을 담당하며 전송을 위한 최소한의 기능만을 탑재
- 제어 계층(Control) : 토폴로지 및 경로 관리, 링크 및 흐름 제어 등을 수행하며, 3개의 계층 중 중간에 위치하여 상위/하위 API 제공

8) 서영석, 이미주, “오픈소스를 활용한 OpenFlow 이해하기, SDN 입문”, 영진닷컴, 2015.

- 응용 계층(Application) : 서비스 제공 및 SDN 운영, 모니터링 등 SDN 기능을 구현하기 위한 관리적 부분 담당

Application 계층과 Control 계층간 인터페이스는 Northbound API, Control 계층과 Infrastructure 계층간 인터페이스는 South bound API라고 하며, South bound API의 대표적인 것이 국제 표준 프로토콜인 OpenFlow 프로토콜이다. 네트워크 통신에서 필요한 기본적인 두 가지 요소는 통신량 경로와 상대적 우선순위를 결정하는 제어 기능(소프트웨어 영역)과 이러한 제어기능의 정책에 따라 패킷을 전달하는 데이터 전송 기능(하드웨어 영역)이며, 네트워크 장비의 구조는 크게 3가지 구성요소로 구분할 수 있다.

- Data Plane : 데이터 전송(하드웨어 영역)
- Control Plane : 운영체제 기능(소프트웨어 영역)
- Application Plane : 네트워크 지능화 기능(소프트웨어 영역)

◎ Data Plane (데이터 평면)

Control Plane에서 지정한 기준에 따라 네트워크 포워딩 장비가 데이터를 전송하고 처리하는 영역으로 흔히 Infrastructure 계층이라고 한다. 이러한 포워딩 장비들은 별도의 소프트웨어를 탑재함으로써 자율적인 의사 결정에 참여하지 않고, 단순히 포워딩 기능만 수행하는 것이 가장 큰 특징이다. Data Plane에 위치한 네트워크 장비들은 다른 네트워크 장비나 단말기로부터 들어온 데이터 플로우를 받아 SDN 애플리케이션에서 정의한 규칙에 의거 결정된 포워딩 경로에 따라 패킷을 포워딩하는 포워딩 기능과 리소스 제어 인터페이스를 통해 SDN 컨트롤러 계층과 상호 작용하면서 프로그래밍 기능을 제공하는 제어지원 기능을 수행한다.

네트워크 장비에서 사용하는 포워딩 규칙은 포워딩 테이블에 저장되며, 특정한 종류의 패킷에 대한 전달경로를 정의한다. 네트워크 장비는 단순히 패킷을 포워딩할 뿐만 아니라 포워딩 전에 헤더를 변경할 수도 있고, 패킷을 버릴 수도 있다. 패킷이 입력되면 입력 큐에 저장하여 네트워크 장비에서 처리할 때까지 대기하다가 포워딩 처리가 끝나면 패킷을 출력 큐에 올려 전송한다. 네트워크 장비는 SDN 컨트롤러와 제어 관련 통신을 수행하기 위한 포트와 데이터 패킷에 대한 입출력에 이용되는 두 개 이상의 I/O 포트를 사용한다.

◎ Control Plane (제어 평면)

Control Plane은 애플리케이션 계층에서 요청한 사항을 특정한 형태의 명령이나 지시사항으로 변환하여 Data Plane의 스위치에게 전달하거나, Data Plane의 토폴로지 및 네트워크 활동에 대한 정보를 애플리케이션에게 전달하는 중간 역할을 한다. 컨트롤러라 불리는 서버로 해당 작업을 수행하며, 한 개 또는 여러 개의 컨트롤러가 서로 협업하도록 구현할 수 있다. Kreutz의 논문⁹⁾에서는 SDN 컨트롤러가 제공해야 할 필수기능을 다음과 같이 제시하였다.

- 최단 경로 포워딩 : 스위치로부터 수집한 라우팅 정보를 사용하여 최적의 경로로 설정.
- 알람 관리자 : 알람 메시지나 보안 경고, 상태 변화 등과 같은 이벤트를 처리하고 애플리케이션 계층에 전달.
- 보안 메커니즘 : 애플리케이션과 서비스를 격리하고 보안 기능 제공.
- 토폴로지 관리자 : 스위치가 연결된 토폴로지 정보 구성 및 관리.
- 통계 관리자 : 스위치를 거쳐 가는 통신량에 대한 자료수집.
- 장치 관리자 : 스위치 설정 파라미터와 속성 지정,

플로우 테이블 관리 컨트롤러는 일종의 네트워크 운영체제 개념으로, 컨트롤러에서 제공하는 기능을 이용하면 개발자들은 다양한 종류의 네트워크 장비에 대한 세부 사항을 모르더라도 네트워크 정책을 정의하거나 관리할 수 있다.

◎ Application Plane (응용 평면)

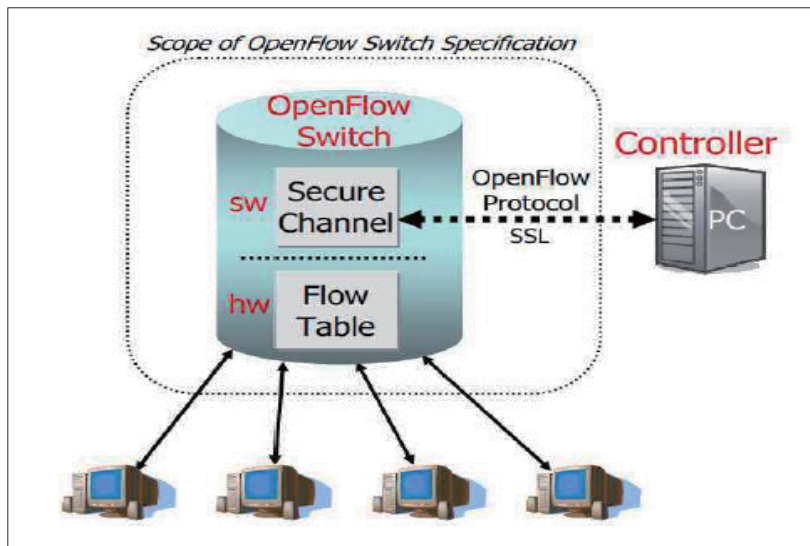
Application Plane을 구성하는 애플리케이션들은 네트워크 리소스와 동작에 대해 정의, 모니터링, 제어 등의 동작을 수행한다. 애플리케이션은 Application 계층과 Control 계층 간 인터페이스인 Northbound API를 사용하여 스위치에 대한 세부 사항을 모르더라도 Control Plane에서 제공하는 네트워크 자원에 대한 추상화된 뷰를 통해 Control Plane의 기능이나 서비스를 사용할 수 있다.

9) Kreutz, Diego, et al. "Software-defined networking: A comprehensive survey.", Proceedings of the IEEE 103.1, 2015.

2.2.3. OpenFlow

OpenFlow¹⁰⁾는 SDN 아키텍처의 Control Plane과 Data Plane 사이에 정의된 최초의 표준 통신 인터페이스로 ONF(Open Networking Foundation)에서 주도하여 기술을 발전시키고 있다. OpenFlow는 각 패킷이 가지고 있는 이더넷/IP 주소, TCP/UDP 포트 번호와 같은 특징을 flow로 취급하여 스위칭을 실행하여 유연하게 경로를 설정하기 위한 표준화 규격¹¹⁾으로 <그림 2-7>와 같이 컨트롤러와 스위치로 구성되며, OpenFlow 프로토콜로 연결된다.

컨트롤러는 전체 네트워크 정보를 통제하고 관리하며, 관리자가 사전에 설정한 정책이나 미리 만들어진 알고리즘에 의한 패킷 처리 정책을 포함하는 Flow Table을 스위치에 전송한다. 컨트롤러의 주요 기능은 패킷 전송 시 여러 매개 변수를 기반으로 경로를 결정하는 것으로, 매개 변수에는 최단 경로(Shortest Path First, SPF), 회선 속도, 부하 분산, 경로 가중치 등이 있다. 컨트롤러는 오픈플로우 프로토콜을 통해 플로우 테이블에 플로우 엔트리를 추가하거나, 수정하거나, 삭제할 수 있다.



<그림 2-7> OpenFlow 역할

10) McKeown, Nick, et al. "OpenFlow: enabling innovation in campus networks.", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.38.2, 2008.

11) Open Networking Foundation, "Software-Defined Networking: The New Norm for Networks", ONF White Paper, 2002.

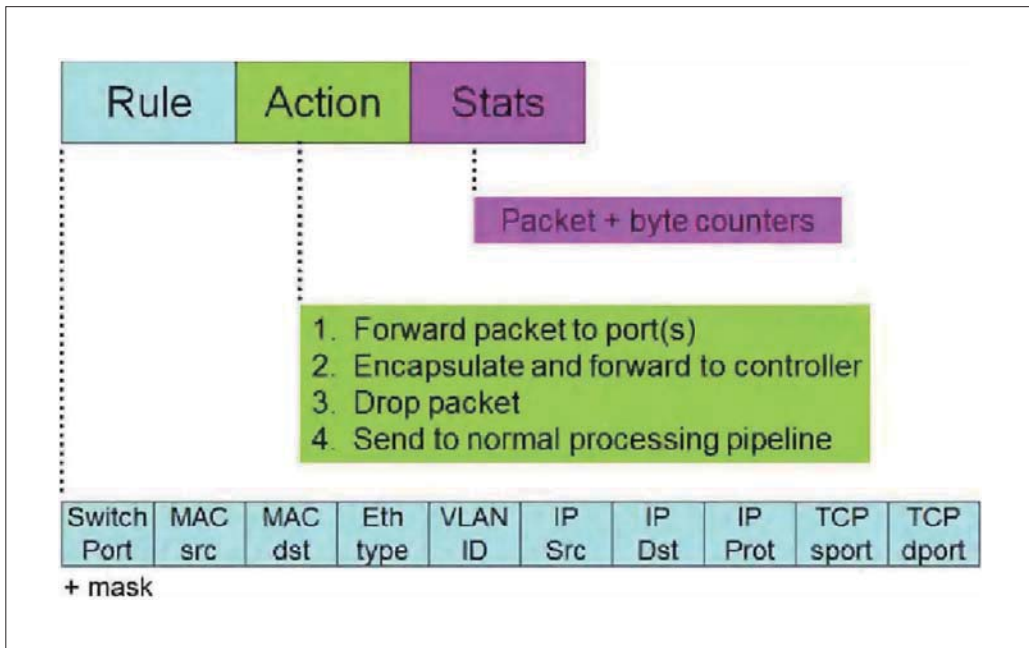
스위치는 플로우 테이블과 보안 채널(Secure Channel), OpenFlow 프로토콜로 구성된다. 스위치와 원거리에 위치한 컨트롤러 간에는 스위치 제어정보에 관한 중요한 내용이 교환되므로 보안상 안전한 통신채널을 제공하기 위해 TLS(Transport Layer Security) 위에서 암호화되어 동작한다.

OpenFlow 프로토콜은 컨트롤러와 개별 스위치 사이에서 메시지를 주고 받을 때 사용되며, 네트워크 장비 내 패킷 전달기능에 접속하여 직접 조작하는 것을 가능하게 하는 역할을 한다. 네트워크 제어기능과 전송기능을 분리하여 논리적으로 중앙 집중화된 소프트웨어(컨트롤러)로 이동시키는 역할을 하는 프로토콜이기 때문에 네트워크 장비와 SDN 컨트롤러 사이에 존재하며 두 가지 영역 모두에서 실행된다.

대부분의 라우터와 스위치는 통계정보 수집, 방화벽, NAT(Network Address Translation, 네트워크 주소 변환), QoS 제공 등을 위해 플로우 테이블을 가지고 있으며, 공통적인 특성들을 가지고 있다. OpenFlow는 네트워크 장비의 종류나 공급업체와 관계없이 이기종의 스위치와 라우터의 플로우 테이블을 손쉽게 프로그래밍할 수 있다.

OpenFlow 스위치는 처음 패킷이 들어오면 패킷을 어떻게 처리할지 컨트롤러에 질의하고 컨트롤러는 적절한 플로우 테이블 설정(forward, drop, queue, modify-field)을 스위치에 전달하며 스위치는 설정된 플로우 테이블 규칙에 따라 패킷을 목적지 포트로 전달한다. 플로우 테이블이 설정되고 나면 나중에 같은 패킷이 들어오는 경우 다시 컨트롤러에 물어보지 않고 이전에 설정된 플로우 테이블을 참고하여 패킷을 처리한다. 수신된 패킷은 다음과 같은 3가지 동작 중 하나로 처리된다.

- 플로우 테이블에 등록되지 않은 패킷 수신시 보안 채널을 통해 외부에 위치한 컨트롤러로 전달되며, 플로우 테이블에 등록 여부가 결정된다.
- 플로우 테이블에 정의된 목적지 포트로 전달된다.
- 수신된 패킷을 폐기한다. 예를 들어 외부로부터의 DoS 공격이나 폭증하는 통신량을 완화 시키기 위해 수신된 패킷을 폐기할 수 있다.

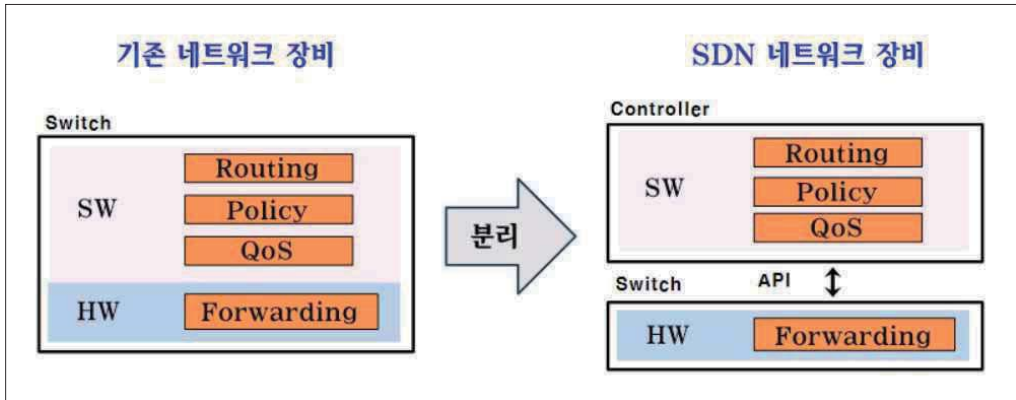


〈그림 2-8〉 Flow Table 구조

오픈플로우 스위치의 플로우 테이블¹²⁾은 〈그림 2-8〉과 같이 Rule, Action, Stats 3가지 주요 정보로 구성되며, 이 정보들이 모여 하나의 플로우 엔트리가 만들어지고 여러 플로우 엔트리가 모여 스위치의 플로우 테이블을 구성한다. Rule은 플로우를 정의하는 패킷 헤더 정보를 의미하며, Action은 패킷을 어떻게 처리할지 여부를 표시하는 동작 정보를, Statistics는 각 플로우 별 통계정보를 포함한다.

기존 네트워크 구조에서는 라우팅 프로토콜에 의해 패킷 경로가 결정되지만 OpenFlow에서는 하나의 컨트롤러에 의해 여러 개의 OpenFlow 스위치를 중앙 집중적으로 제어할 수 있기에 사용자가 원하는 경로로 패킷을 전달한다. SDN 기술의 핵심은 기존 네트워크 장비에 통합되어 있는 다양한 기능들을 모듈화하여 운영하는 것으로 이러한 영역간 분리는 기존 네트워크 장비에서 사용되는 ACL(Access Control List, 접근제어목록)이나 라우팅 프로토콜보다 더욱 정밀한 통신량 관리가 가능한 특징이 있다.

12) McKeown, Nick, et al. "OpenFlow: enabling innovation in campus networks.", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.38.2, 2008.



〈그림 2-9〉 SDN 네트워크 장비 구성

네트워크 장비¹³⁾는 〈그림 2-9〉와 같이 본래 기능인 전송기능에 최적화시키고, 기타 연산이나 제어기능 구현과 관련한 소프트웨어 기능은 별도로 분리하여 중앙 집중식으로 관리함으로써 네트워크 자원을 서비스 특성과 상황에 맞추어 동적으로 제어할 수 있다. SDN 아키텍처를 보면 네트워크의 핵심 기능인 네트워크 제어기능은 소프트웨어 기반의 SDN 컨트롤러에 집중되어 있다. 따라서 네트워크 관리자는 장비 공급업체에 종속되지 않고 네트워크에 대한 통제가 가능하며, 수많은 프로토콜 표준을 처리하지 않아도 되는 장점을 가진다. 다양한 네트워크 장비에 수동적으로 코드를 입력하여 설정하던 기존 방식 대비 SDN에서는 프로그래밍 방식으로 단순하게 네트워크 설정이 가능하며, 관리의 중앙화가 용이해진다. 시시각각 변화하는 전체 네트워크 상황을 파악하여 사용자 요구에 맞추어 프로그래밍할 수 있고, 유휴 네트워크 자원을 효율적으로 사용하여 네트워크 사용률을 높일 수 있다. 따라서 맞춤형 컨트롤러의 소프트웨어를 통해 네트워크를 제어할 수 있도록 스위치의 개념이 변화하였으며, 데이터 전송 기능만을 갖춘 저렴한 범용 라우터와 스위치 장비를 사용할 수 있게 되었다.

SDN에서 구현할 수 있는 애플리케이션의 종류는 매우 다양하며, 데이터센터 네트워킹, 모바일 및 무선, 정보 중심 네트워킹, 통신량 엔지니어링, 모니터링, 보안 등의 기준으로 애플리케이션을 분류할 수 있다. SDN의 주요한 목표 중 하나는 하드웨어 중심의 Black Box 시장을 소프트웨어 기반의 유연하고 지능적인 White

13) 미래지향 SDN 환경에서 국내네트워킹 산업경쟁력 확보를 위한 동향보고서(정보통신산업진흥원), 2012.

Box 시장으로 전환하여 기존 네트워크가 제공하지 못한 운영의 효율성과 확장성, 가용성을 제공하는 데 있다. 변화하는 네트워크 자원 요구사항에 신속히 대응하기 위해 장비를 추가하는 것이 아니라 기존 자원을 재활용하는 것이 가능하다. 기존 네트워크 기술은 각 라우터의 하드웨어 제어가 개별적으로 이루어져 도입된 장비의 벤더에 맞춰진 폐쇄적인 구조로 운영이 되었으나, SDN의 경우 제어기능을 분리하여 소프트웨어로 관리함으로써 효율적이고 합리적으로 네트워크 운영이 가능하다.

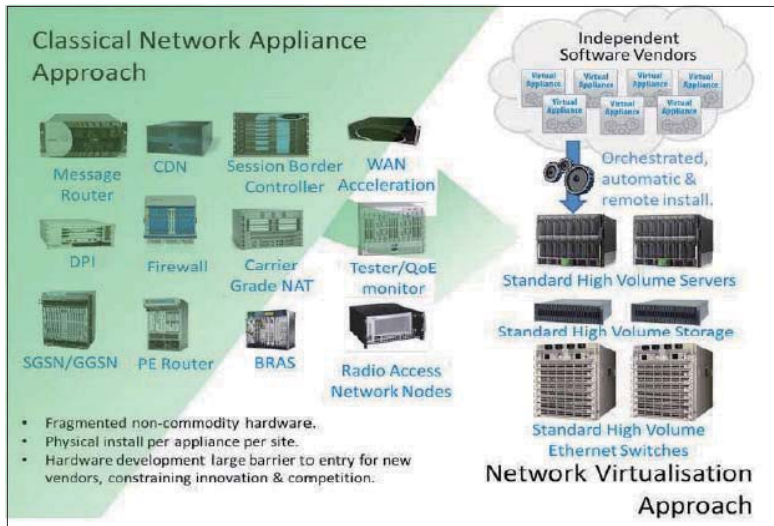
2.3 NFV 네트워크 신기술

2.3.1 NFV 개요

네트워크 기능 가상화(Network Function Virtualization, NFV)¹⁴⁾는 “IT 가상화 기술을 사용하여 전체 클래스의 네트워크 노드 기능을 연결 또는 구조화하여 통신 서비스를 생성할 수 있는 블록으로 가상화하는 네트워크 아키텍처 개념”이다.

기존의 네트워크는 다양한 장비들로 구성되어 있으며 많은 공간을 차지하기 때문에, 새로운 네트워크를 구성하거나 확장하여야 할 경우 많은 비용과 노력의 문제가 발생한다. 이러한 문제는 지속적인 기술의 발전과 함께 어우러지는 급속한 변화와 함께 장비의 교체나 업데이트 등이 큰 문제로 다가오고 있는 것이 사실이다. 이러한 CAPEX (Capital expenditures)와 OPEX(Operating Expenditure)가 과도하게 소모되는 것을 막고 빠르게 변화하는 네트워크 환경에 발맞추어 신속하게 대처하기 위한 기술이 바로 네트워크 기능 가상화라고 하는 NFV이다.

14) 위키피디아, 『Network Function Virtualization』, https://en.wikipedia.org/wiki/Network_function_virtualization



〈그림 2-10〉 NFV 개념

벤더사에서는 제품 개발시에는 전통적으로 안정성, 프로토콜 준수 및 품질에 대한 엄격한 표준을 따랐으며 이러한 신뢰성을 나타내는 장비를 지정하기 위해 캐리어 등급이라는 용어를 사용하였다. 이러한 제품 개발 과정은 과거에는 잘 작동하였으나 필연적으로 제품 주기가 길고 개발 속도가 느리며 독점 및 특정 하드웨어에 의존하는 등의 문제점이 존재하여 대규모로 운영되며 빠르게 변화하는 현재의 네트워크에서 서비스 제공업체들이 이러한 현상을 탈피하기 위한 방법을 모색하기 시작하였다.

2012년 10월 독일의 다름슈타트에서 열린 European Telecommunications Standards Institute(ETSI)의 회의에서 SDN 및 OpenFlow와 함께 NFV에 대한 White Paper가 발표되면서 이후 100여 개가 넘는 NFV 관련 출판물들이 발표되고 있다.

2.3.2 NFV 아키텍처

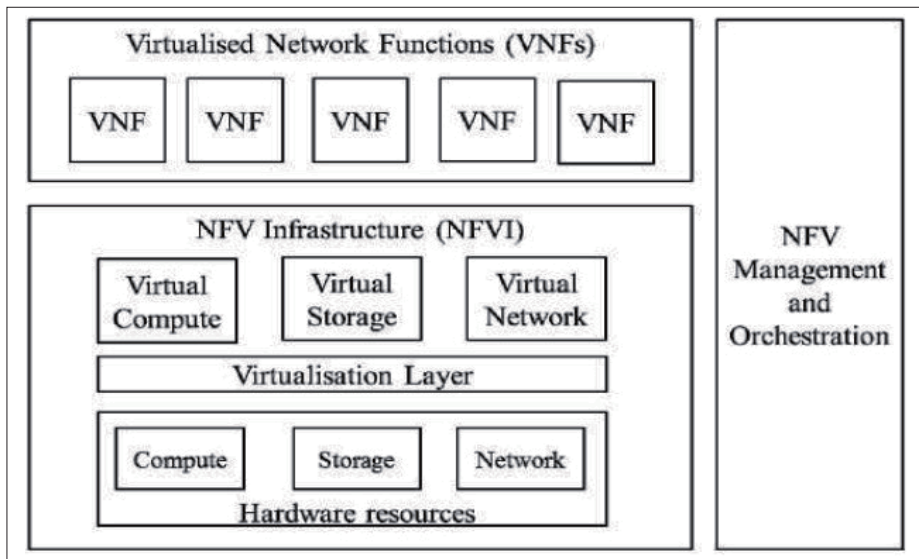
NFV¹⁵⁾는 〈그림 2-10〉와 같이 고성능을 가진 서버, 스토리지, 스위치 등을 지닌 하나의 장비 하에 가상화 기능을 통해 가상의 장비를 생성하여 여러 가지 네트워크 장비의 기능을 하나의 장비로 서비스할 수 있는 기술로써 NFV의 구조¹⁶⁾는

15) ETSI, 『Network Functions Virtualization - Introductory White Paper』, Oct. 2012.

16) ETSI, 『ETSI GS NFV 002 V1.2.1』, Dec. 2014.

〈그림 2-11〉와 같이 NFV Infrastructure (NFVI), Virtualized Network Functions(VNFs), NFV MANO (Management and Orchestration)의 세가지 구조로 나눌 수 있다.

NFVI는 Computing, Storage, Network 기능을 지원하는 물리적 자원, 가상화를 지원하기 위한 가상화 자원으로 구성이 되어있다. VNFs는 가상화된 네트워크 기능들의 집합으로 우리가 실제로 가상화 기능을 이용하여 각종 장비들을 소프트웨어 형식으로 사용할 수 있는 부분이 바로 이 VNFs 이다. NFV MANO는 물리 및 가상화 자원 관리, VNF 관리기능 등을 제공하는 상호운용성을 위하여 최근에 가장 활발한 연구가 이루어지는 부분이라고 할 수 있다. 가상화로 이루어진 VNF들이 벤더들의 종속성을 피하기 위해 오픈소스로 구성되고 있긴 하지만 아직까지도 거대 벤더들은 자신들만의 특수성을 유지하는 등의 발전 방법을 모색하고 있다.

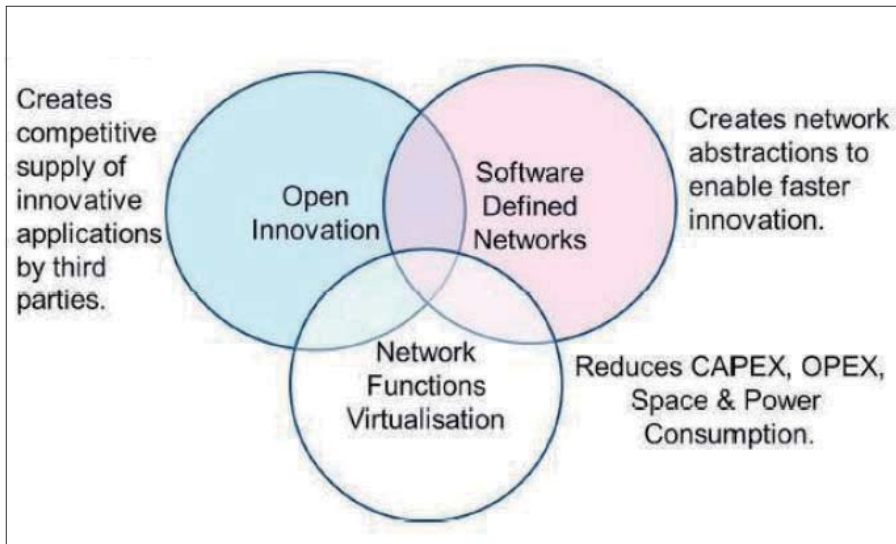


〈그림 2-11〉 NFV Framework

MANO는 이러한 여러 유형에 상관없이 VNF의 기능들의 통합적으로 조정하는 기능을 수행하기 때문에 굉장히 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 이러한 NFV를 구현하는 데는 여러 가지 과제가 있다. 서로 다른 하드웨어 업체들 사이에 그리고 서로 다른 하이퍼바이저 간에 이동이 가능해야 하고 가상화된 네트워크 어플라이언스가 고성능이어야 한다. 그리고 하드웨어와 소프트웨어 장애 발생 시 장애 극

복 및 회복 기능이 있어야 한다.

NFV와 SDN과의 관계¹⁷⁾는 <그림 2-12>에 잘 나타나 있다. NFV는 SDN과 상호보완적인 관계이지만 반드시 의존하지도 않으며 반드시 필요로 하지도 않는다. 그러나 이 두 개념이 서로 합쳐지면 더 큰 효용성을 가지게 된다. NFV는 SDN 소프트웨어가 탑재되어 구동될 수 있는 인프라 제공이 가능하므로 SDN을 지원할 수 있으며 상용 서버와 상용 스위치를 사용하겠다는 목표에 비추어 SDN과 NFV는 일치한다. NFV는 현재 많은 데이터센터에서 사용되고 있는 장비에서 SDN을 사용하지 않는 방식으로 구현할 수 있지만, SDN이 제안한 Data Plane과 Control Plane의 분리 방식을 적용하면 NFV에 대한 성능을 향상시키고, 설치된 장비들과의 호환성도 단순화할 뿐만 아니라 동시에 운용 및 유지보수 절차를 쉽게 할 수 있다. 그리고 NFV는 ONF와도 밀접하게 연계하여 발전해 나갈 것이다.



<그림 2-12> NFV와 SDN 관계

여러 네트워크 기능을 가상화하면 많은 제약 사항들을 대부분 해결할 뿐만 아니라 추가적으로 많은 혜택을 가져온다. NFV는 네트워크를 설계하고 구축, 관리, 운영하는 방식을 완전히 바꿀 수 있는 프레임워크를 제공하며, 또한 이 모든 것을 개선하고 효율화할 수 있는 많은 계층을 제공한다. NFV의 특성과 효과¹⁸⁾을 요약

17) ETSI, 『Network Functions Virtualization - Introductory White Paper』, Oct. 2012.

하면 아래와 같다.

- 하드웨어의 유연성
- 확장성과 탄력성
- 신속한 개발과 벤더에 대한 비의존성
- 운영 효율성과 신속성

18) 최성남 옮김, 『네트워크 가상화의 모든 것』, Rajendra Chayapathi, Paresh Shah, Syed Hassan, Network Functions Virtualization(NFV) with a Touch of Sdn, Addison-Wesley Professional, 2016.

3. 네트워크 신기술 국방 적용방안

국방정보시스템은 국방정보화업무훈령에 의하면 “국방정보의 수집·가공·저장·검색·송신·수신 및 그 활용과 관련되는 기기 등 응용소프트웨어와 기반운영환경의 조직화된 체계”를 의미한다. 국방정보시스템의 각종 응용소프트웨어는 국방정보를 수집, 가공, 저장, 검색, 송·수신하여 활용하는 체계로 크게 전장관리정보체계(지휘 통제, 전투지휘, 군사정보체계), 자원관리정보체계(기획·재정, 인사·동원, 군수·시설, 전자행정, 상호운용성), 국방 M&S 체계(연습·훈련용, 분석용, 획득용)로 분류되며, <표 3-1>의 국방정보통신망을 비롯한 기반 운영환경 위에서 운영된다.

<표 3-1> 국방정보시스템 운영 현황

구 분	중분류	해당 시스템
국방정보통신망	고정통신망	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 국방광대역통합망(M-BCN) ◆ 전군화상회의망(VTC) ◆ 전화교환망 / 마이크로웨이브망 ◆ 인트라넷망(국방망) / 인터넷망 ◆ 기무망 / 정보망 ◆ 특수부대통신망 / 재해통신망
	기동통신망	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 전략기동통신노드 ◆ 전술통신체계(SPIDER) ◆ 전술정보통신체계(TICN) ◆ 공중중계 UAV ◆ 전투무선망
	위성통신망	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 군위성통신체계(ANASIS) ◆ 해상작전위성통신체계(MOSCOS)
	전술데이터링크체계	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 합동전술데이터링크체계(JTDLs) ◆ 지상전술데이터링크(KVMF)
컴퓨터체계	서버장비(서버), 개인장비(PC), 저장/입력/출력 장비 등	
사이버방호체계	공동/기반 보호체계, 네트워크 보호체계 등	
상호운용성체계	공동운용 환경체계, 데이터공유 환경체계 등	

3.1 CCN 신기술 국방 적용방안

3.1.1. CCN 적용 대상체계 판단

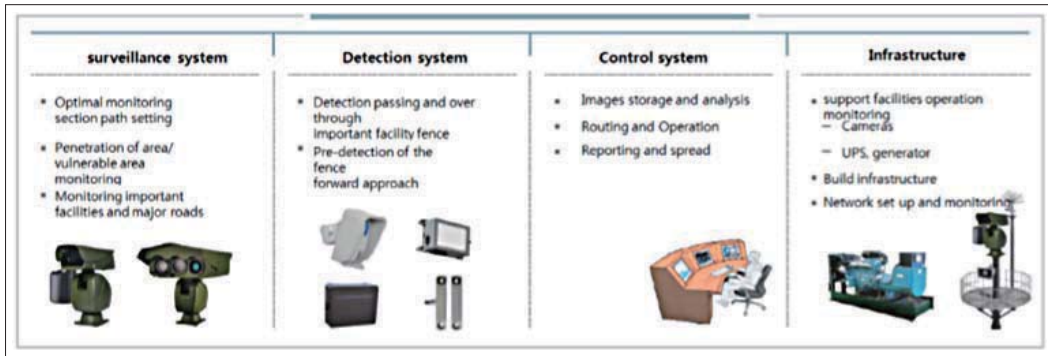
현재 군에서 운용중인 많은 정보체계는 IP 기반 메커니즘으로 상위제대 위치한 Sever에서 콘텐츠를 생성하여 하위제대의 Client에게 콘텐츠를 전달(Push)하는 방식이다. 이러한 정보체계는 Sever의 전파를 통해 Client가 데이터를 수신하는 체계로, 주요 활용 체계는 온-나라 시스템, 이메일 시스템 등이 있다.

하지만 일부 체계의 경우 이벤트(사건)가 발생시 콘텐츠를 생산하고 제공하여, 생성 서버에 모든 사용자의 요구가 집중하는 요청 기반(Pull-based) 방식으로 서버 자체나 서버에 가까운 네트워크 링크에 병목현상이 발생하며 현재 활용중인 대표적인 체계로는 과학화경계시스템과 해안정보공유체계(ATSC)가 있다.

해당 체계의 콘텐츠 생성은 감시시스템의 주요 장비인 열영상감시장비(Thermal Observation Device, TOD)를 통해서 생성되는데 TOD는 빛이 없는 야간에도 멀리 떨어진 지역의 물체 형태를 식별할 수 있고 레이더 사각 지역도 감시할 수 있는 장비다. TOD는 우리 군의 야간감시 능력을 확충하기 위해 1990년대 중반부터 야전에 배치되기 시작해, 1998년 11월 서해항 침투 간첩선을 포착하고 같은 해 12월 전남 여수 침투 반잠수정 포착 등의 성과를 올렸다.

과학화경계시스템¹⁹⁾은 아래 <그림 3-1>과 같이 구성되어 있으며 감시구간에 대한 영상을 전송하는 감시시스템, 울타리 접근 및 통과를 감지하는 감지시스템, 감시 및 감지 정보를 기반으로 통제 및 관리기능을 제공하는 통제시스템, 시스템의 전원, 네트워크, 울타리 구조물 등의 기반시설로 이루어진다. 과학화경계시스템은 통제시스템의 내부 제어 통제 모듈을 통해 경계/감시의 전반적인 프로세스를 운용하며, 제어 및 통제 모듈 내부의 사용자 통합지원 모듈을 통해 상위의 사용자 인터페이스 모듈을 지원한다. 운용자는 사용자 인터페이스 모듈을 이용하여 시스템을 운용하게 된다.

19) S.J. Moon "Construction of scientific boundary system using multiful complex sensors," In proc. Hanwha, 2018



〈그림 3-1〉 과학화경계시스템 구성

감시시스템은 중/근거리 감시카메라 및 TOD를 이용하여 경계 책임 구역, 취약 구역을 24시간 감시하고 상황발생시 해당 구역의 영상 이벤트를 실시간으로 통제 시스템에 전송하여 운용자가 신속하게 상황에 대응할 수 있도록 도와준다. 현재 운용되는 부분의 감시시스템은 영상변화 인식 기술로써 이동물체에 대한 자동 탐지 기능을 카메라 또는 DVR 장비의 소프트웨어로 개발하여 운용하고 있다. 감시시스템은 책임 경계구역으로 침입을 시도하는 비인가자를 조기 발견, 경보를 할 수 있는 장비로 국방군사시설기준 시설 보안설비 설계 기준에서 울타리 침입 감시시스템은 외각 울타리(블록 담장, 펜스 등)로 침입을 시도하는 비인가자를 조기 발견, 경보할 수 있는 장치로 정의하고, 이를 바탕으로 과학화경계시스템의 감시시스템의 역할에 대해 정의하였다.

통제시스템은 상황실에 설치하여 감시 및 감지시스템의 연동 및 장비들을 조정, 통제하고, 획득된 데이터를 전송, 처리, 저장, 관리하는 핵심적인 역할을 수행한다. 상황 발생 시 실시간으로 해당 지역의 상황을 도시하여 경보를 전파하고 작전병력을 통제하여 상황을 효과적으로 조치할 수 있도록 한다. 이를 위해서는 감시시스템과 감지시스템의 정보 통합을 위한 연동이 중요하다. 감시시스템의 정보는 영상 분석 서버로 정보가 전송되 환경 요인에 따른 영상을 개선하고 지능형 영상분석 정보를 통제시스템의 메인서버로 전송된다. 감지시스템의 경우 통제시스템의 메인 서버에 감지 정보를 전송하게 된다. 통제시스템의 핵심 장비인 서버는 메인서버와 백업서버로 이중화하여, 실시간 정보 동기화를 통한 시스템의 안정성을 보장한다.

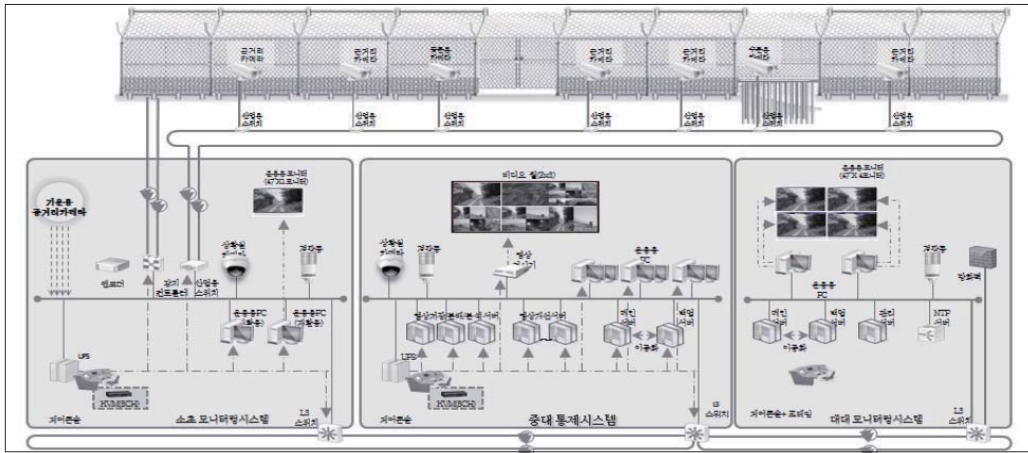
기반시설은 과학화 경계시스템의 안정적인 운용을 위한 전력의 가용성을 위해 UPS, 발전기, ATS로 구성하여 무중단 운용이 가능하도록 설계된다. 전원 단절 시

발전기 기동전까지 UPS에서 전원공급을 하여 백업시간을 확보하고 ATS에서 전원 절체 및 발전기가 자동 작동 후 발전기를 통한 전원공급이 가능하도록 하였다. 장애 복구 후 발전기 장치는 ATS를 통해 다시 한전 전원으로 공급될 수 있도록 설계된다. 기반체계는 국방광대역통합망을 기반으로 광케이블 및 전원선이 포설되어 있으며 각 체계는 단독 네트워크를 구성해 연동되며 실시간으로 자료수집 및 분석이 이루어진다.

과학화경계시스템 및 해안정보공유체계 특성상 집중감시지역과 취약지역 위주로 감시 임무를 수행하는데 군의 특수성을 고려할 때 긴급한 콘텐츠가 생성되면 특정 시간에 다수의 콘텐츠 요청자가 해당 콘텐츠를 저장하고 있는 대대 서버에 집중되는 병목현상이 발생한다. 하지만 현재 인터넷 구조에서는 이러한 문제를 해결하는 방식에는 많은 제한이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 해결책으로 CCN 기술을 해당 체계에 적용시 현행작전간 중단없는 전장가시화를 통해 군 작전에 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. CCN은 Pull-based 개념을 적용한 시스템으로 사용자가 Sever에 도달하기 전 중간 CCN Router의 메모리 캐싱 데이터를 이용하면 원하는 데이터를 수신 받을 수 있어 서버의 부하를 격감시키고 대역폭에 대한 의존도를 낮춰 특정 콘텐츠에 대한 즉시성과 집중성을 요구받는 Pull-base 환경에서 매우 적합한 네트워크 아키텍처라고 할 수 있다.

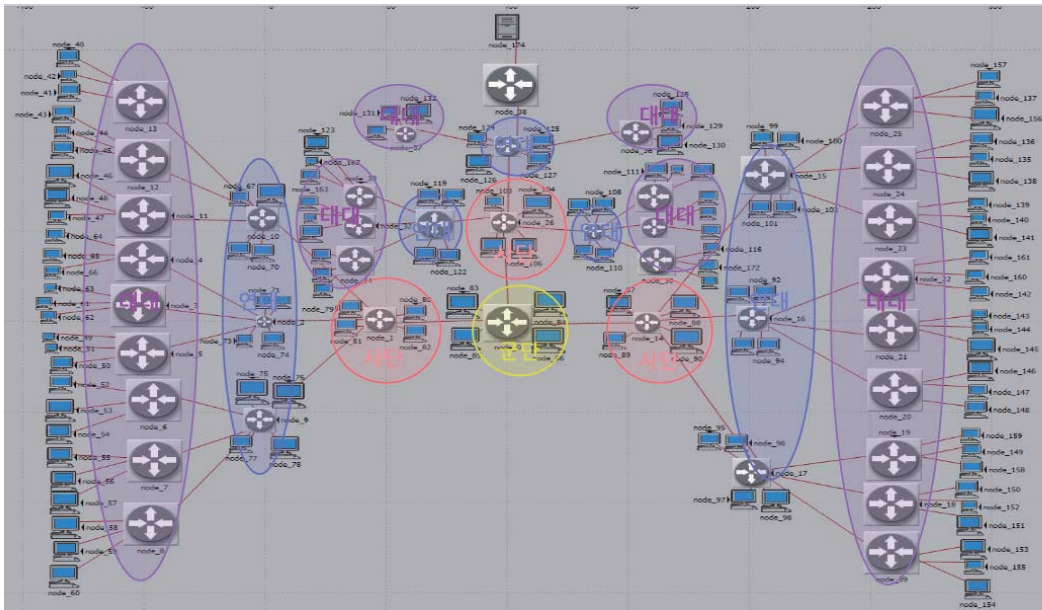
3.1.2. CCN 기반 시스템 설계

CCN은 기존 네트워크의 병목현상을 해결하기 위해 네트워크의 중간 노드가 메모리를 효율적으로 저장하여 대량의 콘텐츠를 다수의 사용자에게 분배하고 소비하는데 주요한 역할을 수행한다. 이러한 CCN 기술을 현재의 과학화경계시스템에 구성하는 방법을 제안한다. 현재 과학화경계시스템의 구성은 아래 <그림 3-2>와 같이 구성되어 있으며, 각 소초에서 운영중인 감시장비인 TOD를 통해 생성된 콘텐츠는 소초 모니터링 시스템과 중대 통제시스템을 거쳐서 메인 서버가 위치한 대대 모니터링 시스템으로 전송된다. 전송된 데이터는 인근에 존재하는 CCN 라우터로부터 콘텐츠 데이터를 받을 수 있으므로 빠르게 콘텐츠를 수신할 수 있다.



〈그림 3-2〉 과학화경계시스템 네트워크 구성도

CCN 기반으로 과학화경계시스템 네트워크 구성도는 〈그림 3-3〉과 같다. 현재 운용중인 네트워크 체계 장비를 그대로 반영하였으며 CCN 기능이 탑재된 라우터를 적용해 군단 이하 제대를 토폴로지로 구성하였다. 편의상 대대는 접속하는 Client 수를 3명으로 표현했으며 이상의 제대는 인사, 정보, 작전, 군수의 기능별 참모부를 묘사하는 4명으로 표현했다.



〈그림 3-3〉 CCN 기반 네트워크 구성도 (안)

3.1.3. 실험 및 분석

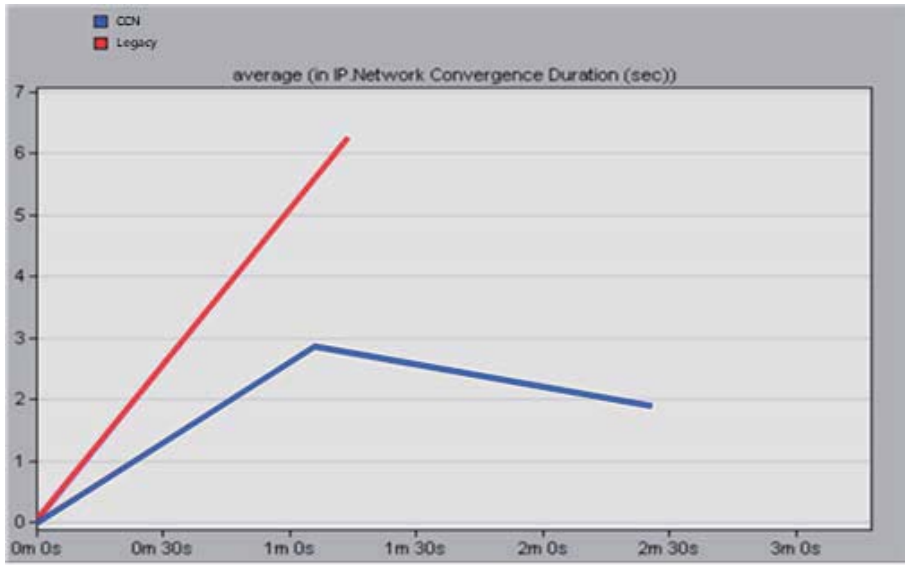
실험은 국방망 기존 네트워크와 CCN을 적용한 네트워크 2가지 모델을 구현하였다. 기존 네트워크는 국방망의 기본적인 형태는 유지하면서 간략화하여 군단급 이하 부대의 네트워크를 구성하였다. 실험 데이터 분석은 임의로 패킷을 발생시켜 측정하는 능동 측정 방식으로 하였으며, 출발지에서 도착지까지 패킷이 전송되는 동안 지연시간, 대역폭 등의 성능을 OPNET을 이용하여 측정하였다. 기존 네트워크와 기본 토폴로지, 라우터 및 호스트 개수, 전송속도는 모두 동일하게 구성하였다. 실험을 위한 변수는 <표 3-2>와 같이 구성하였다.

<표 3-2> 실험환경 구성

Scenario type	IP, CCN
Ethernet link data rate (Mbps)	10
Number of Routers	40
Number of Client	133
Data size (Mbytes)	14
Packet size (byte)	1,000
Length of Simulation Run (sec)	180sec

◎ 응답시간 측정

실험 결과 평균 응답시간은 <그림 3-4>와 같이 측정되었다.



〈그림 3-4〉 평균 응답시간

실험결과에서 X축은 시간을 의미하며, Y축은 평균 응답시간을 도출한 그래프이다. OPNET 시뮬레이터를 이용하여 Traffic Flow를 3분간 발생시킨 뒤 발생한 평균 응답시간은 기존체계에서는 요구사항 증가에 따른 네트워크 트래픽 증가로 응답시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 하지만 CCN 체계에서는 초기 일정 시간 경과 후 요청에 따른 응답이 근접해 노드를 통해 이루어지면서 응답시간이 안정적으로 변하는 것을 알 수 있다.

시작점에서 데이터가 증가하는 1m0s 까지는 데이터가 전송되기 시작해 응답시간이 지속적으로 증가해 Legacy 체계의 경우 6sec이고 CCN의 경우 3sec로 Legacy의 50% 까지 응답시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 실험이 끝나는 3m0s에는 CCN의 경우 33%로 응답시간이 단축되는 것을 알수 있는데 Legacy의 경우 정보요청자의 지속적인 Interest 요청에 따른 응답시간이 지속 증가하는 것을 알수 있지만 CCN의 경우 시간이 증가함에 따라 CCN 라우터의 역할로 응답시간이 감소하며 안정적인 네트워크 상태가 유지되는 것을 알 수 있다.

◎ 네트워크 Traffic 측정

OPNET 시뮬레이터를 통한 네트워크 처리량은 <그림 3-5>와 같다. 기존 체계에서 주기적인 데이터 생성으로 부하량이 증가하는 것을 알 수 있다. 새로운 요구사항에 대한 응답으로 두 체계 모두 트래픽은 증가하지만 반복적인 리퀘스트가 발생하는 경우 기존 체계는 계속해서 요청이 늘어나지만 CCN 체계에서는 CCN Router의 In-network Caching에 따라 트래픽이 늘지 않고 안정적으로 유지된다. 실험결과에서 X축은 시간을 의미하며, Y축은 처리량을 도출한 그래프이다. 시작점에서 데이터가 증가하는 1m0s 까지는 Legacy 체계와 CCN 모두 처리량이 일정하게 증가하며 0.00001로 동일 하지만 이후 Traffic flow가 종료되는 3m0s에서 Legacy 체계의 경우 0.00011로 증가하였으며 CCN의 경우 잠시 증가하였다가 0.00001로 안정적으로 유지되는 것을 알 수 있다.

이는 반복 요청에 따른 CCN Router의 In-network Caching에 의해서 나타나는 결과로 CCN의 경우 약 9% 정도의 네트워크 처리량을 차지하는 것을 그림을 통해서 알 수 있다. 이 결과는 Legacy 체계의 경우 중복된 데이터 패킷 요청의 경우 네트워크 사용량이 지속 증가하지만, CCN의 경우 사용량의 감소에 영향을 미치는 것을 보여준다.



<그림 3-5> 네트워크 Traffic

3.2 SDN 신기술 국방 적용방안

3.2.1 SDN 적용 대상 판단

국방정보통신망²⁰⁾은 군사적인 목적으로 사용되는 정보통신망으로 미래전에서 요구되는 정보의 공유 및 종단간 정보의 실시간 유통을 보장하는 전군적 수준의 통합된 개념의 통신망이다. 국방정보화 기반조성 및 국방정보자원관리에 관한 법률에 나온 정의에 의하면 「전기통신기본법」제2조 제2호에 따른 “전기 통신설비를 이용하거나 전기통신설비와 컴퓨터 및 컴퓨터의 이용기술을 활용하여 국방정보를 수집·가공·저장·검색·송신 또는 수신하는 정보통신체계”이며, 국방망(내부망)과 전장망, 인터넷망(외부망)이 물리적으로 분리되어 있다. 또한 분류 개념에 따라 주둔지, 기지 중심의 고정 전략통신망과 전술작전을 위한 이동 및 야전에서 운용하는 이동 전술통신망으로 구분할 수 있다. 국방정보시스템의 기반 운영환경은 주장비, 통신망, 단말기, 주변장치, 시설, 사이버방호체계, 상호운용성 관리에 필요한 시스템, 그 밖의 시스템 소프트웨어를 말한다.

다양한 군 네트워크 중 국방망은 가장 많은 사용자가 사용하는 시스템이다. 그러나 국방망은 계층적인 네트워크 구조로 되어있어 각종 응용/정보체계 증가로 인한 통신량 규모 확대, 네트워크의 복잡도 증가로 네트워크를 관리하는데 점차 어려움이 발생하고 있다. SDN을 도입하면 기존 네트워크 구조로 인해 발생하는 다양한 문제점을 해결하여 통신량과 네트워크 규모가 증가되는 복잡한 상황에도 유연하게 대처하여 QoS를 보장할 수 있게 될 것이며, 국방망은 타 네트워크에 비해 이러한 효과가 극대화될 수 있을 것으로 판단하여 SDN 적용을 위한 대상으로 좀 더 소규모 및 단위부대로 운영되는 해군의 국방망을 선택하였다.

3.2.2 해군 국방망 구성

국방망²¹⁾은 기술, 보안성, 관리 등을 위해 인터넷과 물리적으로 분리된 개별 독자망으로 독립적인 네트워크이다. 이를 통해 전·평시 행정 및 군수 등의 업무를 효율적으로 처리하기 위한 자원관리체계와 전자결재체계, 정보자료 공유 및 유통 등 다양한 서비스가 운용되며, 전송로 이중화를 통해 중단 없는 서비스 지원을 보

20) 김영호 등 3명, “국방정보통신망 종합발전계획(v1.1) 연구보고서”, 한국국방연구원, 2001.

21) 전병욱, “국방정보통신망 개선 및 보호를 위한 계층적 접근방법”, 국방정책연구, 특집논문, 2003.

장한다. 국방망에서는 주로 평문 위주의 정보가 소통되나, 인사/동원/탄약 등과 관련된 일부 정보체계를 통해 비밀등급 II/III급의 정보도 소통된다는 특징이 있다. 또한 보안성 강화를 위해 국방망에서는 침입탐지/차단체계, 방화벽 등 다양한 정보보호체계와 장비를 운용 중이다.

국방망은 크게 군내 행정을 위한 국방전산망과 전군 화상회의망(VTC)으로 구분할 수 있다. 국방전산망²²⁾은 TCP/IP에 의한 표준 통신체계를 채택함으로써 이기종 간 상호통신도 가능하도록 구현되었으며 군별·기관별 구분 없이 전군을 지원하는 통합 네트워크로써 동작하는 응용체계로는 온나라시스템, 전자메일, 인사·군수·시설정보체계 등이 있다. 내부 정보의 유출 및 침해 방지, 군사 정보의 특수성으로 인해 인터넷이나 다른 국가 기간망 등과 같은 외부망과는 물리적으로 분리하여 운영하고 있다.

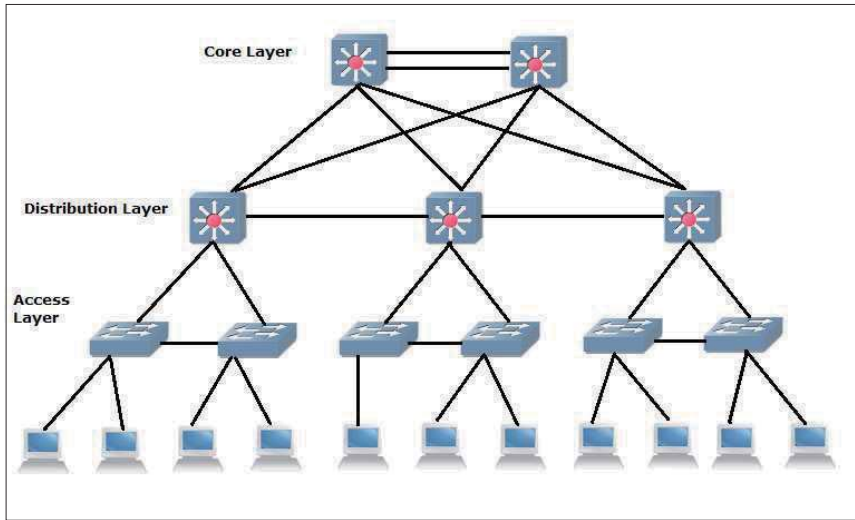
국방망은 국방 광대역통합망(Military-Broadband Convergence Network, M-BcN) 위에서 동작하고, 최대 10Gbps의 전송 용량으로 초고속·대용량 데이터 처리를 통해 화상, 음성, 정보의 실시간 소통이 가능하다. M-BcN에 연결된 국방전산망의 네트워크²³⁾는 코어 라우터(Core Router, CR) 7개소 14개(주/보조), 에지 라우터(Edge Router, ER) 20개소 40개, 접속 라우터(Access Router, AR) 1501개로 구성되어 있으며, 코어와 에지 라우터를 합쳐서 백본망이라고 한다. 코어는 라우팅 프로토콜로 RIP(Routing Information Protocol)를 사용하고 예하부대는 환경에 따라 Static과 OSPF(Open Shortest Path First, 최단경로 우선 프로토콜)를 주로 사용한다.

국방망 네트워크의 특징²⁴⁾은 <그림 3-6>와 같이 계층적인 네트워크 구조로 구성이 되며, Core, Distribution, Access의 3개의 계층으로 이루어져 있다. 이러한 설계방식은 네트워크의 기능에 따라 분리하고, 확장성과 설계가 용이하도록 모듈형식으로 이루어져 관리자가 각 계층 장비의 규정된 역할과 기능을 통해 망내 장비의 추가, 제거 및 교환이 용이하다는 장점이 있다.

22) 전자정부통합망과 국방전산망 실시간 연계·통합운영 방안 연구, 컨설팅하우스(주), 국방정책연구과제, 2007.

23) 신규용 등 4명, “국방 IPv4 관리 체계 현황 분석 및 발전 방향”, Korean Journal of Military Art and Science, Vol.74, 2018.

24) <http://www.smartpctricks.com/2014/11/what-is-stp-cisco-spanning-tree>



〈그림 3-6〉 계층적 네트워크 구조

SDN 적용을 분석하기 위해 국방망을 운용 중인 부대 중 사단급 규모의 해군 00부대 네트워크를 선정하였으며, 해당 부대는 예·배속 부대의 지휘통신분야를 관리지원 및 조정·통제하고, 작전 지휘통신망과 정보통신망의 운용계획을 수립하고 관리하는 등의 임무를 수행한다. 해당 부대 국방망은 M-BcN의 접속 라우터(AR)로부터 분기되어 백본 스위치를 중심으로 구성되며, M-BcN과 연결된다.

Core 계층은 계층적 네트워크의 백본으로, Distribution 계층 장비들을 서로 연결한다. 백본 스위치는 네트워크의 중심으로 방화벽과 워크그룹 스위치, 각종 서버가 접속하는 핵심영역이다. 많은 통신량을 처리해야 하므로 고성능, 고가용성, 고확장성이 확보되는 기가급 스위치로, L3 스위치가 백본 스위치 역할을 한다. 대량의 패킷을 종합하여 고속으로 처리할 수 있도록 주로 고성능 라우터 장비들이 위치하며, 이중화와 고가용성을 보장해야 한다. 국방망 네트워크에는 해당 계층에 Layer 3의 백본 스위치가 위치하며, 대규모 캠퍼스와 메트로 네트워크에 적합한 모델인 Alcatel社의 OmniSwitch 0000가 설치되어 있다.

Distribution 계층은 3계층 구조의 중심에 위치하고 라우터 장비와 스위치 장비의 적절한 조합으로 기능을 수행한다. 라우터는 브로드캐스트 도메인을 나누고 연결성의 역할을 수행하며, 스위치는 적정 네트워크를 세분화하고 통합하며 고성능 스위칭을 수행한다. 국방망 네트워크에서는 기준에 따라 부대를 적절한 규모로 세

분화하고, 높은 가용성과 신뢰성을 갖는 라우터와 워크그룹 스위치 등을 이용하여 최종 목적지에 라우팅하기 위해 Access 계층의 데이터를 종합하여 Core 계층으로 전송한다. 국방망에서는 Layer 2의 워크그룹 스위치가 Distribution 계층에 위치한다. 예하 부대의 규모와 지리적 위치를 고려하여 00개로 나누어져 구축되어 있고, 광케이블로 백본 스위치에 연결되어 있다.

Access 계층은 네트워크에 장치를 연결하여 통신이 가능하도록 최종노드에 PC, 프린터, VoIP 등의 단말장비가 워크그룹 스위치에 연결되어 있다. 해당부대 국방망 네트워크는 사내 전산망과 유사하게 하나의 AS (Autonomous System, 자율시스템)로 동작하며, Dijkstra Algorithm을 사용하여 전체 토폴로지 내에서 동적으로 라우팅 경로를 할당하는 OSPF 라우팅 프로토콜을 사용한다. 국방망 체계에 구축된 L2/L3 계층 장비는 <표 3-3>과 같다.

〈표 3-3〉 네트워크 구축 장비 현황

구분	모델명(제조사)	수량	기능 요약
백본 스위치 (L2)	OmniSwitch 9702 (Alcatel-Lucent)	##	<ul style="list-style-type: none"> 처리성능 <ul style="list-style-type: none"> - 스위치 용량 : 양방향 1.92Tbps 제공 - 포워딩 속도 : 1.428Mbps 제공 인터페이스(확장성) <ul style="list-style-type: none"> - 10/100/1000Base-T 240 포트 지원 IPV4/IPv6 동시 트래픽 유선 속도 처리 메트로 네트워크에 적합하도록 VPLS를 이용한 IP/MPLS 구현 링 토폴로지 Loop 방지, 네트워크 가상화 기능 제공 등
웍 그룹 스위치 (L3)	OmniSwitch 6250 (Alcatel-Lucent)	##	<ul style="list-style-type: none"> 처리성능 <ul style="list-style-type: none"> - 스위치 용량 : 양방향 24.8Gbps 제공 - 포워딩 속도 : 13Mbps 제공 10/100Base-TX 24 포트 지원
	OmniSwitch 6350 (Alcatel-Lucent)	##	<ul style="list-style-type: none"> 처리성능 <ul style="list-style-type: none"> - 스위치 용량 : 양방향 56Gbps 제공 - 포워딩 속도 : 83.33Mbps 제공 10/100/1000Base-T 24 포트 지원
	OmniSwitch 6400 (Alcatel-Lucent)	##	<ul style="list-style-type: none"> 처리성능 <ul style="list-style-type: none"> - 스위치 용량 : 양방향 96Gbps 제공 - 포워딩 속도 : 35.7Mbps 제공 10/100/1000Base-T 24 포트 지원
	OmniSwitch 6450 (Alcatel-Lucent)	##	<ul style="list-style-type: none"> 처리성능 <ul style="list-style-type: none"> - 스위치 용량 : 양방향 128Gbps 제공 - 포워딩 속도 : 95.3Mbps 제공 10/100/1000Base-T 24 포트 지원

3.2.3 실험 및 분석

본 연구에서는 국방망에 SDN 적용시 이점과 제한점 등을 분석하기 위해 첫 번째 단계로 SDN과 국방망의 개념과 구조를 분석하였다. 두 번째로 국방망 기존 네트워크와 SDN 네트워크 환경을 SDN 에뮬레이터인 Mininet²⁵⁾으로 구현하고 성능을 측정하였다. 세 번째 단계로 측정 결과를 바탕으로 네트워크 성능 비교, 운영

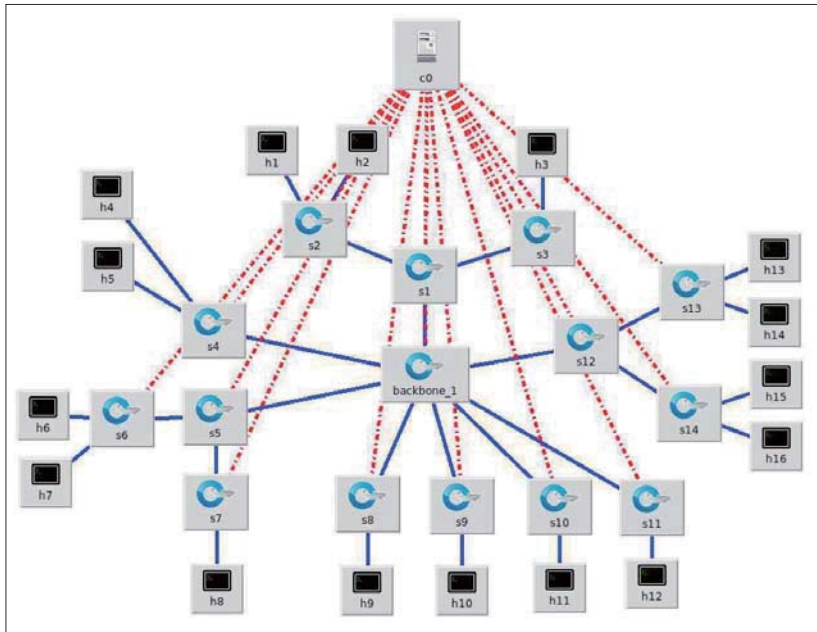
25) TEAM, Mininet. Mininet: An instant virtual network on your laptop, Google Scholar, 2012.

/관리, 보안성, 소요예산 측면에서 장단점을 분석하였다. 두 번째 단계를 위해 실제 국방망을 운영 중인 부대 환경을 기본적인 계층 구조는 유지하면서 보안상 일부는 간략화하여 Mininet 에뮬레이터로 구현하였다.

SDN 구현을 위해 Core, Distribution 계층에 위치한 백본 스위치(L2 스위치), 워크그룹 스위치(L3 스위치) 장비를 SDN 기능이 탑재된 Open vSwitch²⁶⁾ 장비로 변경하였다. Open vSwitch는 Apache 2.0 License 기반의 오픈소스 가상 스위치이며 멀티레이어 네트워크 스위치 기능을 하는 SW로, NetFlow/sFlow/802.1ag/IPv6 Support 등의 스위치 기능을 지원한다. 기존 환경과 SDN 환경에서 Data Plane을 수행할 네트워크 장비는 백본 1대, L3 스위치 14대로 같으며, SDN 환경에서는 중앙 제어를 위한 컨트롤러가 추가되어 전체 스위치 간 상호 연결된다. 기존 및 SDN 스위치 장비 사양은 Mininet 에뮬레이터의 기본 설정값을 이용하여 진행하였으며 경로 설정, 토폴로지 관리 등을 수행하는 컨트롤러는 모든 스위치와 연결하여 중앙에 설치하여 구성하였다. 해당 실험환경 내에서 지정 호스트간 일정 시간 동안 패킷을 전송하고 Latency, Bandwidth 측면의 네트워크 성능을 측정하였다. 마지막으로 이전 단계에서 측정된 네트워크 성능과 운영 및 관리, 보안성, 소요예산 측면 총 4가지 관점에서 기존체계와 SDN이 적용된 환경을 비교한다.

국방망 기존 네트워크와 기본 토폴로지, 스위치 및 호스트 개수, 전송속도는 모두 동일하게 구성하였다. 기존 네트워크와의 차이점은 Data Plane과 Control Plane 영역을 분리하여 중앙 컨트롤러에서 경로 설정에 필요한 각종 연산 수행, 플로우 절차 설정 등의 SW 부분을 통제하고, 네트워크 장비는 컨트롤러에서 정한 절차에 따라 단순 패킷 전송만을 수행하는 것이다. 이를 위해 L2/L3 기반의 모든 스위치를 SDN 스위치로 변경하고 네트워크 장비의 중앙 제어를 위한 컨트롤러를 추가하여 <그림 3-7>과 같이 구성하였다.

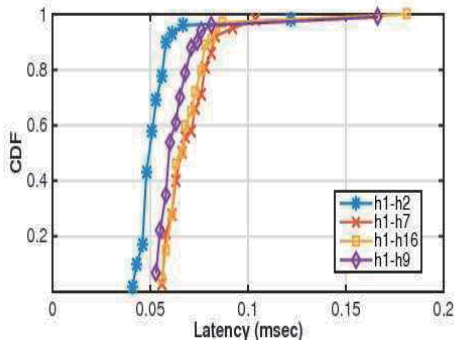
26) Pfaff, Ben, et al. "The Design and Implementation of Open vSwitch." NSDI. Vol.15, 2015.



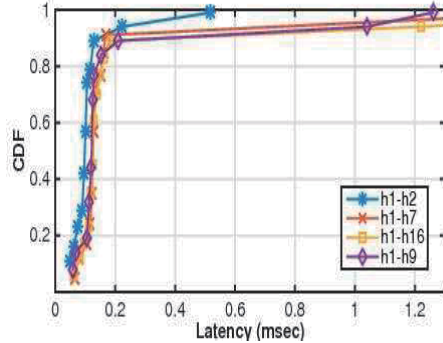
〈그림 3-7〉 실험 SDN 네트워크 구성

◎ 지연시간(Latency) 분석

네트워크에서 지연시간은 Latency, Delay라고도 하며 데이터 패킷을 한 지점에서 다른 지점으로 전송하는데 소요되는 시간을 의미하고, msec 단위를 사용한다. 네트워크의 지연을 발생시키는 요소에는 전송지연(Transmission), 전파지연(Propagation), 노드처리 지연(Nodal Processing), 큐 지연(Queuing) 등이 있다. 패킷이 네트워크에서 전송될 때 통상 출발지점과 도착지점 간 전송 거리가 먼 경우 전파지연이 커지며, 전송 경로 간 많은 스위치와 라우터를 경유하는 경우 노드처리 지연과 전송지연이 커진다. 네트워크상 부하가 많은 경우에는 스위치나 라우터에 처리되지 못한 패킷이 큐에 머무르게 되며 큐 지연을 발생시킨다. 실험에서 Latency는 호스트 간 패킷 전송시간 및 네트워크 상태 확인에 사용되는 Ping을 측정하여 분석하였다. 시나리오에 따라 기존 환경과 SDN 환경에서 동일한 전송횟수(100회)로 패킷을 전송한 후 지연시간을 측정하였으며, 측정값은 MATLAB의 CDF로 분석하였다.



〈그림 3-8〉 기존 네트워크 Latency 측정값



〈그림 3-9〉 SDN 네트워크 Latency 측정값

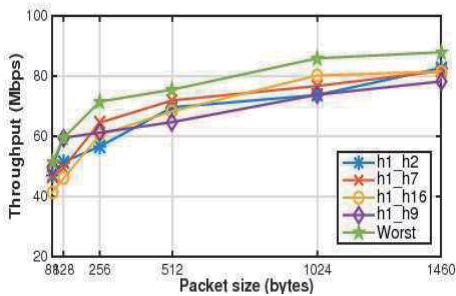
실험결과 기존 네트워크 환경에서 Latency를 측정한 결과는 〈그림 3-8〉과 같이 y축 값 1에 수렴하면 모든 패킷이 수신되었고, 분석결과 약 0.18sec 내에 모두 수신되었다. 약 0.1sec 내에 들어올 확률은 약 90%이다. SDN 네트워크 환경에서 측정된 Latency는 〈그림 3-9〉와 같이 약 90%는 0.2sec 내에 들어오지만, 그 이후 측정되는 패킷들은 최초 ARP와 컨트롤러 경유로 인해 지연된 것으로 보이며 컨트롤러의 갱신/만료시간 등은 관리자가 정책에 따라 조정이 가능하여 감소시킬 수 있을 것으로 분석하였다. 따라서 Latency 측면에서 기존 네트워크나 SDN 네트워크 환경이나 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

◎ 대역폭(Bandwidth) 분석

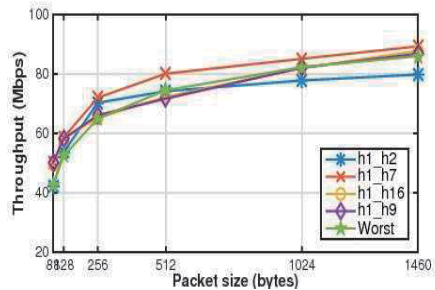
대역폭은 TCP와 UDP 최대 성능을 측정하기 위한 도구인 Iperf²⁷⁾를 이용하여 측정하였고, 이 도구는 C로 작성된 오픈소스 소프트웨어로 윈도우, 리눅스, MacOS 등 다양한 OS를 지원한다. Iperf는 단대단의 TCP와 UDP 성능 측정을 위해 서버-클라이언트 구조로 이루어져 있다. 국방망의 기존 네트워크와 SDN 네트워크 환경 내에서 호스트 간 패킷 사이즈에 따른 전송 대역폭을 측정하였다. 패킷 전송시 사이즈는 88byte로 측정할 수 있는 가장 작은 메시지 크기)부터 128, 256, 512, 1024, 1460byte로 측정할 수 있는 가장 큰 메시지 크기로 각각 나누어 측정하였다. 실험에서 Host 1은 서버 모드, Host 2, 7, 9, 16은 클라이언트 모드로 설정하여 성능을 측정하였다.

27) Tirumala, Ajay. "Iperf: The TCP/UDP bandwidth measurement tool." <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>, 1999.

대역폭은 일반적으로 정해진 시간 동안 네트워크 통신을 통해 데이터를 전송할 수 있는 능력을 말하는 것이며, 대역폭이 높을수록 사용자가 더 많은 데이터를 송·수신할 수 있고 사용자에게 빠른 서비스 제공이 가능하다. 처리량(Throughput)은 데이터의 처리율로 실제로 느끼는 대역폭의 양을 의미하며, 특정 경로를 통해 특정 데이터를 전송하는 동안 측정된 실제 대역폭을 나타낸다. 결과 값은 일정 시간 동안 측정된 평균값을 제시하며, 대역폭을 측정하여 실제 데이터가 처리되는 처리량을 산출하였다.



〈그림 3-10〉 기존 네트워크 대역폭 측정값



〈그림 3-11〉 SDN 네트워크 대역폭 측정값

대역폭 실험결과²⁸⁾ 기존 네트워크에서 사용하는 ARP의 Request/ Reply 브로드캐스트 메시지는 송·수신 과정에서 네트워크 대역폭의 약 15-20%를 차지한다. 네트워크 내 노드 수가 증가할수록 브로드캐스트가 차지하는 비중은 늘어나며, 이로 인해 네트워크 기능은 저하된다. 본 논문에서 실시한 실험에서는 SDN 컨트롤러에 ARP 브로드캐스트 메시지 처리를 위한 기능이 탑재되어 있지 않아 기존 네트워크 환경과 유사하게 대역폭이 사용됨을 확인할 수 있었다. 그러나 한정적으로 주어진 대역폭의 가용성을 높이기 위해 SDN 컨트롤러를 활용하는 다양한 연구²⁹⁾가 활발히 진행중에 있다. 향후 이러한 기술을 SDN 컨트롤러에 적용하면 현재 네트워크 대역폭에서 약 15-20%를 차지하는 ARP 브로드캐스트 메시지를 제거함으로써 해당 대역폭만큼 추가로 확보하여 네트워크 효율성이 높아질 것이다.

28) Ammu, A. M., et al. "An SDN Approach to ARP Broadcast Reduction in an Unstructured Campus Network.", International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol.114, 2017.

29) Hyunjeong Cho, Saehoon Kang, and Younghee Lee. "Centralized ARP proxy server over SDN controller to cut down ARP broadcast in large-scale data center networks." Information Networking (ICOIN), International Conference on IEEE, 2015.

3.3 NFV 신기술 국방 적용방안

3.3.1 NFV 적용 대상 판단

본 연구에서 제안하는 통합 네트워크 체계에 포함되어야 하는 기능들을 분석하기 위해 기존의 Legacy 네트워크 체계를 분석하고자 한다. 이때 대상 장비는 최대한 군 내부에서 사용하는 장비와 유사한 장비를 조사하고자 하나, 보안상의 이유로 군 내부에서 실제 사용하는 장비를 조사하는 것이 아닌 민간 분야에서도 다양하게 사용하고 있는 상용 제품을 대상으로 한다. 최대한 유명 벤더의 제품을 토대로 연구를 진행하고자 하나 해당 벤더의 Data Sheet가 굉장히 원론적인 내용만을 포함하고 있는 경우가 많이 있어서 상용 제품으로 판매되고 있는 제품이라면 네트워크 체계를 구축하고 운용하는데 문제가 없을 것으로 판단하여 각종 네트워크 장비 판매 업체를 통한 자료 확보 및 구글링 등을 통해 Data Sheet 상 네트워크 장비의 세부기능 사항이 충분히 기록되어있는 장비를 대상으로 하며, 해당 장비들을 L3, Management, High Availability의 총 3개 그룹으로 나누어 기능을 분석한다.

NFV 적용 가능 네트워크 구성요소 중에서 각종 서버에 대한 원활한 통제 및 성능보장을 주목적으로 하는 DIDC의 특성을 고려하여 TCP/IP 계층에 속하는 IP 및 Port 정보 등을 통해 스위칭 및 로드 분산을 지원하는 L4 스위치, 각 노드간의 통신량을 모니터링하는 장비인 TAP, 데이터 서비스에 대한 성능보장을 위한 QoS, 패킷에 대한 심층 분석을 통하여 통신량을 관리하는 DPI, 총 4개의 장비를 대상으로 한다.

◎ L4 스위치

L4 스위치는 OSI 7계층 중 4계층인 전송계층 상의 포트번호를 통해 스위칭을 가능하게 해주는 장비로 TCP와 UDP 패킷의 정보를 분석하여 이를 각각의 서비스별로 처리할 수 있다. L4 스위치는 당연히 L3 스위치의 모든 기능을 포함하고 있으며 여기에 추가하여 가장 특징되는 기능이 있는데 이것이 바로 부하 분산 또는 Load Balancing이라고 칭하는 기능이다. 이는 “둘 혹은 셋 이상의 중앙처리장치 혹은 저장장치와 같은 컴퓨터 자원에게 작업을 나누는 것으로 이를 통해 가용성 및 응답시간을 최적화”시킬 수 있으며 보통 내부 네트워크를 이용한 병렬처리

에 사용된다. L4 스위치에서 제공하는 서비스는 장비마다 조금씩은 다르지만 보통 비슷한 서비스를 제공하며 내용은 아래와 같다.

- 다양한 부하분산(Load Balancing)
- 고가용성(High Availability)
- IPv6 지원
- 메모리 캐싱
- 통신량 폭주 제어
- 멀티 프로토콜 IP 라우팅 지원
- 어플리케이션 가속, 캐싱, 압축 지원
- SSL 오프로드

◎ TAP

TAP(Terminal Access Point)³⁰⁾ 장비는 관리자가 네트워크를 분석하는 데 도움이 되는 로컬 네트워크의 이벤트를 모니터링하는 시스템으로, 네트워크를 통해 흐르는 데이터에 액세스하는 방법을 제공하는 전용 하드웨어 장치이다. 모든 통신량을 방해받지 않고 실시간으로 통과시키며 동시에 동일한 데이터를 복사하여 이를 관리자가 확인할 수 있게 한다. 이러한 TAP을 설치하게 되면 추가 대기 시간이나 타이밍의 변경 없이, 네트워크 자체에 간섭하지 않고 네트워크 모니터링을 할 수 있으며 올바른 프레임이나 패킷 외의 네트워크 오류를 확인할 수 있다는 장점이 있다.

스위치에서 제공되는 미러링의 경우도 이와 유사한 기능을 제공하지만 미러링을 사용할 경우는 장비에 대한 사용도를 늘리기 때문에 각종 부하가 발생할 수 있으며 또한 TAP과는 다르게 각종 오류가 발생한 프레임 등이 필터링 될 수 있는 문제점이 있다. 이러한 네트워크 TAP에서 제공하는 서비스는 장비마다 조금씩은 다르지만 보통 비슷한 서비스를 제공하며 내용은 아래와 같다.

- 전원 공급 차단 시 Bypass 기능 제공
- 전이중 링크 지원
- 모든 네트워크 통신량에 대한 접근
- 관리도구를 통한 모니터링 지원

30) https://en.wikipedia.org/wiki/Network_tap

◎ QoS

1994년 국제전기통신연합(ITU : International Telecommunication Union)에 의해 전화통신 서비스 분야에서 최초로 정의된 QoS³¹⁾는 “다른 응용 프로그램, 사용자, 데이터 흐름 등에 우선순위를 정하여 데이터 전송에 특정 수준의 성능을 보장하기 위한 능력”으로 이러한 QoS를 제공하기 위한 우선순위는 아래의 <표 3-4>와 같다. QoS 장비에서 제공하는 서비스는 장비마다 조금씩은 다르지만 보통 비슷한 서비스를 제공하며 내용은 아래와 같다.

- 양방향 통신량 제어
- 우선순위별 대역폭 관리를 통한 서비스 속도 보장
- 어플리케이션에 대한 분류, 모니터링, 제어
- 불필요한 통신량 제어 및 차단
- 다양한 정책의 스케줄링

<표 3-4> QoS 우선순위

우선순위	통신량 종류
0(가장 낮음)	최적 조건
1	배경
2	표준(예비)
3	최적의 로드(사업결정)
4	제어 받는 로드(스트리밍 멀티미디어)
5	소리 및 영상(인터랙티브 미디어 및 소리)
6	3계층 네트워크 제어 보존 통신량
7(가장 높음)	2계층 네트워크 제어 보존 통신량

◎ DPI

각종 휴대용 기기를 통한 SNS, 동영상 시청, 애플리케이션 활용 등을 통한 네트워크 통신량의 증가에 따라서 이러한 통신량을 효율적으로 관리하기 위한 방법중 하나가 DPI(Deep packet inspection)³²⁾이다. DPI는 패킷의 헤더뿐만 아니라 내용을 포함하고 있는 페이로드까지 검사를 하여 비정상적인 프로토콜, 바이러스, 패

31) https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_of_service

32) https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_packet_inspection

킷 등의 경로 설정이 올바른지 조사하거나 분석 및 활용을 위해 패킷을 수집하는 기술을 말하며, 네트워크상의 패킷이 호스트에 도달하기 전에 호스트가 이해하는 수준과 동일하게 분석 및 확인하여 패킷을 제어하는 것이 궁극적인 목표인데 이는 아래 <표 3-5>와 같은 과정을 통해 분석결과³³⁾를 제공한다. 이러한 네트워크 DPI 에서 제공하는 서비스는 장비마다 조금씩은 다르지만 보통 비슷한 서비스를 제공 하며 내용은 아래와 같다.

- 애플리케이션 서비스에 따른 유동적 서비스 제공
- 네트워크에 대한 실시한 모니터링
- 패킷 분석을 통한 네트워크 성능 영향 요소 확인
- QoS를 위한 대역폭 보장

<표 3-5> DPI 패킷 재구성 절차

순 서	세부기능
1	오류 패킷 탐지에 의한 제거
2	Out of Windows 등 비정상 패킷 제거를 통한 Defragmentation
3	HTTP 통신량의 Streaming
4	웹 서버에서 인식하는 웹 메소드와 uri 콘텐츠 생성

3.3.2 네트워크 장비 기능 분석

장비들의 Datasheet에 의거 네트워크 장비들의 기능을 총 5가지로 나누어서 분석한 종합 목록은 <표 3-6>과 같으며 각 분야별로 다양한 기능들을 포함하고 있는 것을 알 수 있다. 특히 L4 스위치의 경우 스위칭을 위하여 2계층의 기능들을 다수 포함하고 있었으며 라우팅을 위한 각종 라우팅 프로토콜과 3계층의 기능, QoS, Load Balancing, 네트워크 관리를 위한 각종 Management 기능, 네트워크 보안을 위한 각종 Security 기능 등 네트워크에서 실제 사용할 수 있는 거의 모든 기능을 하나의 장비에서 전부 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

QoS 장비가 QoS를 위하여 조금은 세분화 된 QoS에 대한 기능을 보유하고 있었으나 L4 스위치에 몇 가지 기능만을 추가한다면 QoS 장비에 있는 거의 모든 기능을 구현할 수 있을 것으로 보였으며 Tap장비의 경우도 기본적인 기능이 통신

33) 한국방송통신전파진흥원, 『대용량 IP 통신량 관리를 위한 DPI 기술 동향』, Jun. 2014.

량에 대한 모니터링과 그에 대해서 사용자에게 보여줄 수 있는 Management 관련된 부분이기 때문에 실제 L4 스위치가 보유한 기능과 거의 모두 일치한다고 볼 수 있다.

DPI의 경우는 주로 애플리케이션과 관련된 패킷을 분해하고 분석하여 재조립하는 과정을 거치다 보니 L5 이상의 계층과 관련된 프로토콜이 일부 추가가 되어, 프로토콜 부분이 조금 차이가 있었으나 나머지는 대동소이하다고 볼 수 있다.

L4 스위치의 경우는 마치 네트워크 보안장비인 UTM(Unified Threat Management) 장비와 같이 네트워크를 위한 통합 솔루션을 제공하고 있는 것으로 보이며 그만큼 많은 데이터를 처리하기 때문에 편리성 측면에서는 굉장히 유용하지만 성능에 대한 부하 부분이나, 더욱더 전문적이고 세부적인 분석 및 관리의 측면에서는 약점이 있을 것으로 판단된다.

통합 네트워크 체계를 운영하는 상황에 대하여 아래와 같이 3가지 경우를 가정하여 이를 고려한 분석을 한다.

- CASE 1 : 모든 네트워크 체계 운용
- CASE 2 : L4, TAP 운용
- CASE 3 : QoS, DPI 운용

CASE 1의 분석을 통해 식별된 중복 기능들은 통합이 가능한 기능으로 선정하였으며, 나머지 CASE를 통하여 추가로 통합함으로써 네트워크 체계의 성능개선 및 효율성을 향상시키는 방안을 고려하려고 한다. 비교 분석 결과에 대한 용어 정의는 아래와 같다.

- 중복 : 기능이 동일한 경우를 의미하며, 이러한 경우에 통합 가능한 기능.
- 유사 : 기능이 전부 중복되지는 않았으나 다수 장비가 포함하고 있으며 그 기능이 유사한 기능.
- 고유 : 통합이 불가능 또는 불필요한 기능으로 각 장비별 고유 기능

〈표 3-6〉 네트워크 장비별 기능 목록

분 류		L4	TAP	QoS	DPI
L3	IP	○	○	○	○
	IGMP	○	-	○	-
	PIM	○	-	○	-
	MLD	○	-	-	-
	ICMP	○	○	○	○
	ECMP	○	-	○	-
	Static, RIP, OSPH, BGP	○	-	○	-
	IS-IS	○	-	○	-
	DHCP	○	○	○	○
	ARP	○	○	○	○
	DNS	○	-	○	○
	MPLS	○	-	○	○
	VPLS	○	-	-	-
	DVMPR	○	-	-	-
	NAT	○	-	○	-
Management	Telnet	○	○	○	-
	TCP, UDP	○	○	○	○
	REST, API	○	-	-	-
	SNMP	○	○	○	○
	Syslog	○	-	○	○
	Monitoring	○	○	○	○
	sFlow	○	-	-	-
	FTP	○	○	○	○
	NTP	○	-	○	-
	NQA	○	-	-	-
	LLDP	○	-	-	-
	EMS	-	-	○	-
	OAA	○	-	-	-
BFD	○	-	-	-	

분 류		L4	TAP	QoS	DPI
High Availability	VRRP	○	-	○	○
	RRPP	○	-	-	-
	DLDP	○	-	-	-
	IRF	○	-	-	-
	Load Balancing	○	○	-	○
	PFC	○	-	-	-
	EVB	○	-	-	-
	ETS	○	-	-	-
	RTSP	-	-	-	○
	NNTP	-	-	-	○
	HTTP	○	-	-	○
	SIP	○	-	-	○
	RTP	-	-	-	○
	H.323	-	-	-	○
	MGCP	-	-	-	○
	SMTP	-	-	-	○
	POP3	-	-	-	○
	IMAP4	-	-	-	○
	Filtering	○	-	○	○
	Packet Classification	○	-	○	○
	Packet (re)marking	○	-	○	○
	Subdivided Bandwidth	○	-	○	○
	Provision Equitably	-	-	○	-
	Control Traffic	○	-	○	○
	Limit total Bandwidth	○	-	○	○
	Min/Max rate setting by traffic class	○	-	○	-
	Per-Application specific control	○	-	○	○
	Reserve Bandwidth	-	-	○	-
Quarantine Bandwidth Abusers	-	-	○	○	
Block URL Category	-	-	○	○	

3.3.3 NFV를 통한 네트워크 재구성

3가지 분류(case)를 통해 분석한 기능별 통합 대상 결과에 대한 정리된 내용은 아래 <표 3-7>이다.

<표 3-7> 통합대상 기능 분석결과

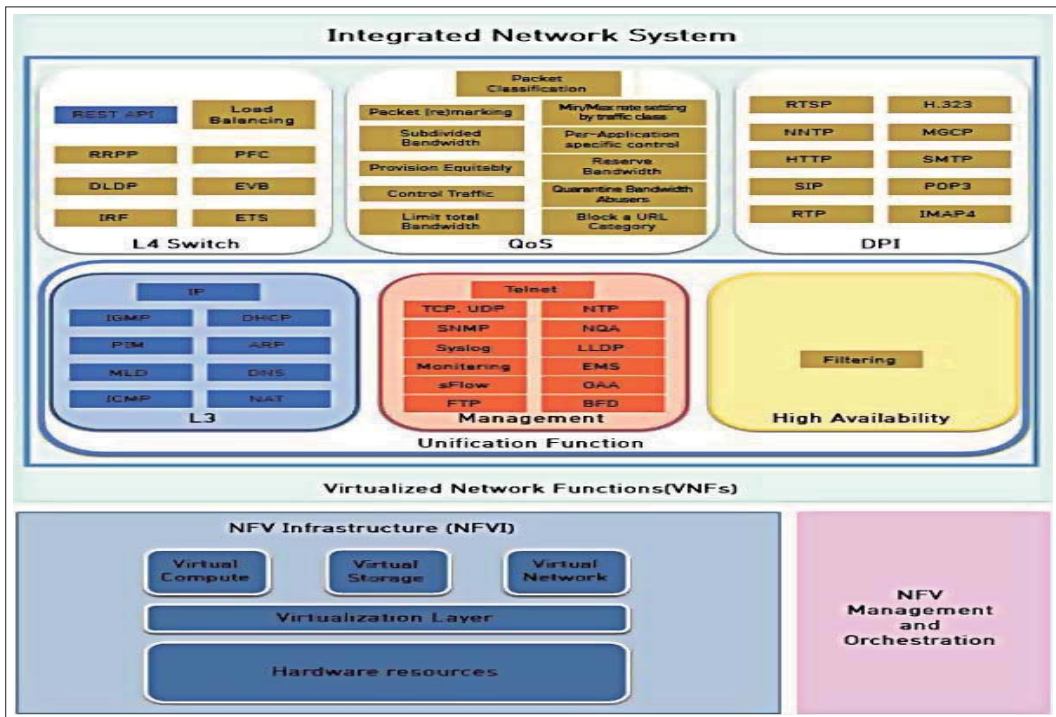
분 류		L4	TAP	QoS	DPI	Case 1	Case 2	Case 3	분 석
L3	IP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	IGMP	○	-	○	-	유사	고유	고유	통합
	PIM	○	-	○	-	고유	고유	고유	통합
	MLD	○	-	-	-	고유	고유	-	통합
	ICMP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	ECMP	○	-	○	-	유사	고유	고유	-
	Static, RIP, OSPF, BGP	○	-	○	-	유사	고유	고유	-
	IS-IS	○	-	○	-	유사	고유	고유	-
	DHCP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	ARP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	DNS	○	-	○	○	유사	고유	중복	통합
	MPLS	○	-	○	○	유사	고유	중복	-
	VPLS	○	-	-	-	고유	고유	-	-
	DVMRP	○	-	-	-	고유	고유	-	-
NAT	○	-	○	-	유사	고유	고유	통합	
Management	Telnet	○	○	○	-	유사	중복	고유	통합
	TCP, UDP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	REST, API	○	-	-	-	고유	고유	-	-
	SNMP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	Syslog	○	-	○	○	유사	고유	중복	통합
	Monitoring	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	sFlow	○	-	-	-	고유	고유	-	통합
	FTP	○	○	○	○	중복	중복	중복	통합
	NTP	○	-	○	-	유사	고유	고유	통합
	NQA	○	-	-	-	고유	고유	-	통합
	LLDP	○	-	-	-	고유	고유	-	통합
	EMS	-	-	○	-	고유	-	고유	통합
	OAA	○	-	-	-	고유	고유	-	통합
	bfd	○	-	-	-	고유	고유	-	통합

분 류		L4	TAP	QoS	DPI	Case1	Case2	Case3	분 석
High Availability	VRRP	○	-	○	○	유사	고유	중복	-
	RRPP	○	-	-	-	고유	고유	-	-
	DLDP	○	-	-	-	고유	고유	-	-
	IRF	○	-	-	-	고유	고유	-	-
	Load Balancing	○	○	-	○	유사	중복	고유	L4
	PFC	○	-	-	-	고유	고유	-	QoS
	EVB	○	-	-	-	고유	고유	-	-
	ETS	○	-	-	-	고유	고유	-	QoS
	RTSP	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	NNTP	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	HTTP	○	-	-	○	유사	고유	고유	DPI
	SIP	○	-	-	○	유사	고유	고유	DPI
	RTP	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	H.323	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	MGCP	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	SMTP	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	POP3	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	IMAP4	-	-	-	○	고유	-	고유	-
	Filtering	○	-	○	○	유사	고유	중복	통합
	Packet Classification	○	-	○	○	유사	고유	중복	QoS
	Packet (re)marking	○	-	○	○	유사	고유	중복	QoS
	Subdivided Bandwidth	○	-	○	○	유사	고유	중복	QoS
	Provision Equitably	-	-	○	-	고유	-	고유	-
	Control Traffic	○	-	○	○	유사	고유	중복	QoS
	Limit total Bandwidth	○	-	○	○	유사	고유	중복	QoS
	Min/Max rate setting by traffic class	○	-	○	-	유사	고유	고유	QoS
	Per-Application specific control	○	-	○	○	유사	고유	중복	QoS
	Reserve Bandwidth	-	-	○	-	고유	-	고유	-
	Quarantine Bandwidth Abusers	-	-	○	○	유사	-	중복	QoS
	Block URL Category	-	-	○	○	유사	-	중복	QoS

분석결과를 토대로 통합 기능으로 처리하는 것이 더 낫다고 판단된 항목을 기준으로 각각 장비별 중복 비율은 <표 3-8>과 같다. 이처럼 체계별로 평균 69.5%의 기능에 대한 통합이 가능한 중복요소를 보유하고 있다는 점을 미루어 보아 이 장비들을 기존과 같은 각각의 VNF로 올리는 것이 아닌 통합된 VNF를 통해 수행할 경우 그만큼의 중복수행이 감소하여, 좀 더 효율적인 네트워크 체계의 운영이 가능하다고 할 수 있다. 또한, 다른 장비에서 포함하고 있던 QoS, DPI에 대한 기능을 해당 VNF에 통합하면서 추가적인 효율성을 증대할 수 있을 것이다. 분석결과를 바탕으로 SDN 기반 NFV를 활용한 軍 데이터센터 네트워크 체계를 <그림 3-12>와 같이 제안한다.

<표 3-8> 각 장비별 중복 기능

분 류	L4 스위치	TAP	QoS	DPI	평 균
중복항목	31	10	17	20	20
비율(%)	67.3%	100%	50%	60.6%	69.5%



<그림 3-12> NFV 네트워크 통합 아키텍처

4. 기대효과 및 결론

4.1 국방적용 기대효과

4.1.1 CCN 적용 기대효과

1970년대에 고안되고 만들어진 인터넷 프로토콜(IP)의 기능적 목표는 하나는 자원으로 구성되고 다른 하나는 그러한 자원에 대한 접근을 원하는 두 기체가 서로 대화를 할 수 있도록 하는 것이었다. 운영 원칙은 Host에 주소를 할당하여 이러한 Host가 서로 위치를 찾고 연결할 수 있도록 하는 것이었다. 초기부터 소셜네트워크 서비스(SNS)의 보급에서 비디오, 사진, 문서 등 디지털 콘텐츠를 보고 공유하는 것에 이르기까지 인터넷 사용 방식에 근본적인 변화가 있었다. 인터넷은 기본적인 연결성을 제공하는 대신 콘텐츠 제공업체에서 시청자에게까지 방대한 분량의 비디오와 웹 페이지 콘텐츠를 제공하는 유통 네트워크가 되었다. 오늘날의 인터넷 사용자들은 그 콘텐츠가 어디에 위치하는지에 상관하지 않고 콘텐츠에 더 빠르고, 더 효율적이며, 더 안전한 접근을 요구하고 있다.

네트워크는 기존의 TCP/IP 통신 모델이 맞지 않는 많은 환경에서도 사용된다. 사물 인터넷(IoT)과 센서 네트워크는 소스 대상 통신 모델이 항상 최선의 해결책을 제공하지 않는 환경이다. CCN은 고속 데이터센터에서 자원 제약을 받는 센서까지 많은 환경에서 작동하도록 설계될 수 있다. CCN이 기대하는 목적과 효과는 아래와 같다.

◎ 전송 효율 향상³⁴⁾

통상 컴퓨터 통신에서 하나의 요청은 최대 하나의 데이터 패킷에서 검색된다. 이 기본 규칙은 데이터 흐름의 균형이 네트워크에서 유지되도록 보장하고 속도가 매우 다른 네트워크를 통해 다양한 기체 간에 효율적인 통신을 허용한다. 그러나 TCP에서와 마찬가지로 데이터와 요청을 중복시킬 수 있다. 데이터가 도착하기 전에 여러 중복된 요구가 동시에 발행할 수 있다. CCN 패킷은 독립적으로 명명되기 때문에, 통신망이 TCP 통신의 ACK 손실 때문에 정지하지 않는다.

34) Van Jacobson et al, "Networking Named Content", Communication of the ACM, Jan. 2012.

큰 네트워크에서, TCP 통신의 호스트-호스트 특성은 각 통신이 흐름 제어가 작용하더라도, 송신자와 수신자 사이에 많은 지점이 있어 혼잡 현상이 발생할 수 있다. 이런 혼잡의 영향은 지연과 패킷 손실이다. CCN에서는 대조적으로 모든 통신이 국부적이므로, 발신자와 수신자 사이에 균형에 관여하지 않는 지점이 없다. CCN 흐름 제어는 각 홉에서 유지되기 때문에, 경로 중간에 추가적인 정체 제어 기법이 필요하지 않다.

CCN은 호스트 기기의 위치를 나타내는 인터넷 주소가 아닌, 콘텐츠 이름 자체를 네트워킹을 위한 주소로 사용하여, 사용자가 원하는 콘텐츠를 가장 가까운 곳에서 가져올 수 있게 한다. 네트워크 단에서 콘텐츠 캐싱을 제공하여 효율적인 전송이 가능하게 한다.

◎ 보안성 향상³⁵⁾

CCN은 콘텐츠 자체에 인증기능을 포함하여, 다양한 신뢰 모델(Trust Model)에 기반한 보안 기능의 제공을 네트워크 단에서 가능하게 한다. CCN은 콘텐츠 기반 보안의 개념에 기초하여 구축된다. 보호와 신뢰는 그것이 이동하는 연결의 속성이기 보다는 콘텐츠 자체와 함께 이동한다. CCN에서는 모든 콘텐츠가 디지털 서명으로 인증되며, 개인 콘텐츠는 보호된다. 현재 IP 네트워크는 호스트에 기반한 콘텐츠를 신뢰한다. 따라서 클라이언트는 신뢰할 수 있도록 원래 소스에서 직접 콘텐츠를 검색해야 한다. 호스트가 아닌 콘텐츠에 보안을 적용하면 우리가 네트워크 매개체를 배치해야 하는 신뢰가 줄어들어 네트워크 전체가 참여한다.

CCN은 자체 인증의 문제가 없는 명칭과 콘텐츠의 관계를 인증하는 방식을 제안하였다. 데이터 소비자는 임의의 콘텐츠에 대해 데이터를 수신하고, 콘텐츠를 확인하는 고유한 식별자에 대한 정보 또는 생성자의 식별자를 미리 알지 않고도, 콘텐츠와 명칭 관계의 매핑을 인증한다. 이러한 방식은 무 결성, 출처, 적절성 세 가지 요구사항을 만족한다.

CCN 라우팅의 두 가지 특징이 네트워크 공격으로부터 네트워크를 보호한다. 첫째, 소비자의 interest packet에 대한 응답으로 data packet으로 전송되므로 DDoS 공격을 쉽게 허용하지 않는다. 대응되는 interest packet이 없는 data

35) Bilal, Muhammad; et al. "Secure Distribution of Protected Content in Information-Centric Networking". IEEE Systems Journal. 2019.

packet은 삭제되고, interest packet을 이용하여 flooding attack을 시도하는 경우, 광범위한 영역에서 많은 수의 interest packet을 전송하면 다수의 interest packet이 라우터에서 하나로 결합되어, 하나의 데이터만 응답되어 DDoS 공격이 쉽지 않다. CCN은 모든 콘텐츠와 라우팅과 정책 정보를 포함하는 모든 콘텐츠를 인증하고, 데이터가 변조되지 않게 보호한다. CCN 메시지는 콘텐츠에 대해서만 기술하므로, 특정 호스트를 목표로 악의의 메시지를 보내는 것이 어렵다.

두 번째로, 라우터는 정책 기반 라우팅(policy-based routing)으로 interest packet의 포워딩 도메인 영역을 조절할 수 있어 네트워크 공격이 어렵다. 즉, interest packet을 특정 도메인에만 발송하여 특정 도메인 내에서만 data packet이 응답하여 외부 도메인에서 악의의 메시지를 보내는 것을 차단할 수 있다. 라우팅 및 정책 정보를 포함한 모든 콘텐츠를 인증하면 데이터가 스푸핑되거나 변조되는 것을 방지할 수 있다. CCN에서 메시지는 호스트가 아닌 콘텐츠 중심으로 전달하기 때문에 악성 패킷을 잘못된 목적지로 보내는 것을 매우 어렵게 만든다.

CCN은 특정 서명 알고리즘을 사용해서 서명을 생성해야 한다는 제한이 없다. 서명을 생성하는 방법은 각각의 블록에 표준 공개키 알고리즘을 사용하여 디지털 서명을 하는 방법과 여러 개의 블록에 대해 서명을 하는 두 가지 방법 모두 이용할 수 있다. 콘텐츠의 생성자가 서명의 길이, 시간 지연, 서명 계산 비용 등을 고려하여 알고리즘을 선택한다. 서명은 다이제스트 알고리즘, 증인(witness), 서명비트로 구성될 수 있다. 증인은 여러 개의 블록에 대해 서명하여 시그니처를 생성한 경우, 시그니처를 확인할 때 필요한 정보이다. CCN 기술은 특정 콘텐츠 암호화 알고리즘을 사용해야 한다는 제한이 없으므로, 콘텐츠 소비자와 생성자가 합의한 임의의 알고리즘을 사용할 수 있다.

◎ 유연성 향상

CCN은 통신할 때 이름을 사용한다. 이름은 위치 독립적일 수 있고 IP주소보다 훨씬 더 적응력이 좋다. 네트워크 요소는 명명된 요청과 데이터에 기초하여 더 진보된 선택을 할 수 있다. 현재의 네트워크 기기는 일반적으로 여러 개의 네트워크 인터페이스를 가지고 있으며 점점 더 이동성이 있다.

현재 IP 기반 네트워크는 스페닝 트리에서 포워딩으로 제한되기 때문에, 둘 이

상의 인터페이스를 이용하거나, 급속한 이동 등에 의해 발생하는 변화에 적응하기 어렵다. 그러나 CCN 패킷은 순환할 수 없으므로 CCN은 다중 인터페이스를 최대한 활용할 수 있다. CCN은 노드가 아닌 데이터를 중심으로 이야기하므로 3계층 ID(IP 주소)를 얻거나 2계층 ID(Link/MAC 주소)에 바인딩할 필요가 없다. 연결성이 빠르게 변할 때도 CCN은 물리적으로 불가능해진 즉시 데이터를 교환할 수 있다.

현재의 네트워크 기기는 일반적으로 여러 개의 네트워크 인터페이스를 가지고 있으며 점점 더 이동성이 증가하고 있다. 현재의 IP 네트워크 체계는 스페닝 트리에서 포워딩으로 제한되기 때문에, IP는 둘 이상의 인터페이스를 이용하거나, 급속한 이동에 의해 발생하는 변화에 적응하기 어렵다. CCN 패킷은 루프가 발생하지 않으므로 CCN은 다중 인터페이스를 최대한 활용할 수 있다. CCN은 노드가 아닌 데이터에 대해 이야기하므로 3계층 ID(예: IP 주소)를 획득하거나 2계층 ID(예: MAC 주소)에 바인딩할 필요가 없다. 접속이 급속도로 변화하고 있는 상황에서도 CCN은 물리적으로 가능한 한 빨리 패킷을 교환한다. CCN Interests와 Data가 쌍으로 구성되어 있기에, 일부 접두사와 일치하는 "최상의" Forwarding Interest를 적응적으로 선택하기 위해 각 노드가 세부적인 다양한(fine grained, per-prefix, per-face) 성능 정보를 획득한다.

4.1.2 SDN 적용 기대효과

SDN은 네트워크에서 여러 전송 장비들을 통제하는 Control Plane과 Forwarding Plane의 물리적인 분리를 기본 개념으로 하고 있다. 즉 SDN은 네트워크 제어기능과 전송기능을 분리하고, 제어기능을 컨트롤러에 집중하는 구조이다. 결과적으로 네트워크 운영자와 관리자는 분산되어있는 다양한 네트워크 장비를 프로그래밍 방식으로 단순화하여 관리할 수 있으며, 기존 네트워크에서는 구성하기 어려운 복잡한 경로 구성이 가능하여 변화하는 통신량 패턴에 효과적 대처가 가능하다. 이러한 SDN의 기대효과와 장점을 정리하면 아래와 같다.

◎ 네트워크 장비 효율적 관리 및 제어 자동화

기존 네트워크 환경에서는 네트워크 관리자가 모든 스위치마다 개별 설정을 해야 하며, 다양한 벤더의 장비를 사용하는 경우 제조사마다 다른 명령어 체계를 학

습해야 한다. 또한 장비마다 동작 방식이 다르기 때문에 서로 다른 벤더의 장비를 연동하기 위해서는 호환성 체크 및 모니터링, 전문 기술자를 고용하여 비용이 증가되는 등의 문제가 있다.

그러나 SDN과 오픈플로우를 사용하는 네트워크 장비는 업체나 기종에 상관없이 제어가 가능하며, 장비 설정값을 수동으로 입력하던 방식에서 프로그래밍 방식으로 자동화한다. SDN 기반의 동적이고 자동화된 관리도구를 통해 전체 네트워크 설정, 배치 및 업그레이드 등의 작업을 단순화하여 전체 네트워크에 대한 관리와 업데이트가 신속하고 효율적으로 가능하다.

OpenFlow 기반의 SDN은 네트워크 장비의 벤더나 기종에 상관없이 네트워크 제어가 가능하고, 전체 네트워크를 대상으로 관리가 신속하고 효율적으로 이루어질 수 있다. 네트워크 자동화 관리 도구를 이용하여 운영자 오류로 발생할 수 있는 네트워크 불안정성 등의 문제를 감소시킬 수 있으며, 사용자 요구사항에 대해 물리적인 장비의 변형이나 추가 없이 맞춤형으로 소프트웨어적으로 수정, 보완이 가능하여 실시간적인 서비스가 가능하다.

◎ 동적 QoS 보장 및 네트워크 처리성능(Throughput) 향상

전장 상황에 따라 각 체계의 중요도를 반영하여 가변적으로 네트워크를 운용해야 할 경우도 발생할 수 있다. SDN을 활용하면 작전 중요도에 따라 응용체계별로 동적인 QoS를 설정하고 보장할 수 있다. SDN의 기능을 활용하여 가용한 QoS 범위를 설정할 수 있고, 네트워크 관리자가 필요시는 수동으로 설정하여 QoS를 보장할 수도 있다.

통신량 엔지니어링³⁶⁾은 성능을 최적화하기 위해 데이터 흐름을 동적으로 분석, 제어 및 예측하는 기법이다. QoS 요구사항을 만족하도록 정책 전달, 경로 설정 등의 작업을 수행하는데 이러한 작업은 기본 네트워크와 비교하여 SDN 기반 네트워크에서 훨씬 간결하다. 통신량 엔지니어링 기능을 수행하기 위한 다양한 SDN 애플리케이션이 개발되었으며 관련 작업이 활발하게 진행 중이다. 부하 분산, 동적인 QoS 라우팅 및 스케줄링/최적화와 같은 SDN 애플리케이션을 활용하여 각 체계 중요도 및 작전상황을 고려한 네트워크 운용이 가능할 것이다.

또한, 네트워크 장애 발생 시 우회경로 자동탐색이 가능하다. 특정 경로에 과부

36) “Foundations of Modern Networking. William Stallings”, 에이콘출판.

하가 발생하는 경우 기존 네트워크 환경에서는 이를 인지하고 처리하는 방법이 제한된다. 그러나 SDN은 컨트롤러에서 전체 네트워크 환경에 대한 Global View를 지속 유지하고 있기에 장애가 발생하거나 QoS가 미보장되는 상황 발생 시 또는 특정 경로에서 과부하 발생 시 이러한 정보를 애플리케이션과 공유할 수 있다. 이후 네트워크 상황을 반영하여 자동으로 우회경로를 생성, 사전 설정된 우회경로로 변경하거나, 또는 운용자가 직접 우회경로를 수동으로 생성하는 등의 방식으로 이러한 상황에 대처할 수 있다. 또한, 응용체계나 네트워크 통신량을 고려하여 네트워크 처리량을 증가시킬 수 있다. 특정 응용체계의 정상적인 데이터 통신량이 증가하는 경우 가용 네트워크 자원을 동적으로 할당하여 체계 운용성을 향상시킬 수 있을 것이다.

◎ 정책 및 상황 변화에 신속 대응

SDN은 정책이나 상황 변화, 사용자 요구사항 발생 시 네트워크 프로그래밍을 통해 실시간으로 적극 대응이 가능하다. 기존 네트워크 방식에서는 의사 결정 과정에서 발생하는 요구사항, 체계 수정 등에 대한 사항을 네트워크에 적용하기 위해서는 네트워크 장비 콘솔을 이용, 수동으로 명령어를 입력해야 하므로 많은 인력과 시간이 필요로 한다. 그러나 SDN 환경에서는 제어코드를 생성하여 중앙 컨트롤러에 입력함으로써 소수의 인력이 단시간에 해당 요구사항을 처리할 수 있어 의사 결정 및 실시간 정책 변화에 대한 업데이트가 가능하다. 한 단계 더 발전하여 SDN 컨트롤러에 AI 기술을 접목하면 데이터를 분석하고 정책을 결정하는 과정에서 최선의 정책을 제안하거나 스스로 결정하는 방식으로 개선할 수도 있을 것이다.

또한, HW 장비의 추가 대신 SW 애플리케이션 개발을 통해 이를 대체할 수 있다. SDN에서 구현 가능한 애플리케이션의 종류는 매우 다양하며 가능한 분야는 데이터센터 네트워킹, 모바일 및 무선, 통신량 엔지니어링, 모니터링, 보안 등이 있다. 이는 HW 장비의 도입에 걸리는 예산과 시간을 애플리케이션 개발로 대체할 수 있어 매우 유용한 측면이 있다.

◎ 보안성 향상

SDN은 보안성 분야에서 DDoS(Distributed Denial of Service attack, 분산

서비스 거부 공격)와 같이 실시간으로 대응이 필요한 상황에도 유용하게 쓰일 수 있다. 2013년 6월 25일, 청와대를 포함한 다수의 공공기관을 대상으로 DDoS 공격과 같은 사이버 테러가 발생하였으며 정부통합전산센터에서는 SDN과 같은 개념을 이용하여 중앙 컨트롤러에서 DDoS 공격을 방어하기 위한 정책을 입력하여 일괄적으로 대응하였다. R Braga의 논문³⁷⁾에서는 SDN 스위치가 가진 정보를 바탕으로 DDoS 공격을 탐지하는 방법을 제시하여 SDN이 DDoS 완화에 유용함을 증명하였다.

사이버전³⁸⁾은 네트워크 공간을 이용하기 때문에 전·후방 구분이 모호하고 시·공간의 제한이 없고 비용이 저렴한 특징 등이 있으며, 단순히 네트워크에서의 피해를 넘어 물리적 영역의 피해까지 포함하는 추세이다. 이러한 사이버전의 본질은 컴퓨터 및 네트워크로 구축된 사이버 공간을 전장으로 하여 상대국의 군사지휘체계를 비롯한 국가 주요기능을 파괴하고 무력화하는 것이다. 미군은 사이버전을 컴퓨터 네트워크상의 공격과 방어, 정보보증 등의 형태로 구분하였으며, 군 네트워크 환경은 “파괴, 감퇴, 거부, 방해로부터 정보화 네트워크, 컴퓨터를 방어하고 보호하는 방어적 수단”인 컴퓨터 네트워크 방어개념에서 보안성을 유지하고 향상시킬 필요가 있다.

군 네트워크 환경은 악의적인 공격이나 의도하지 않은 피해로부터 데이터, 네트워크 자산(장비 등) 등을 반드시 보호해야 한다. 이를 위해 군에서는 암호 장비, 방화벽, 침입탐지/차단시스템, NAT(Network Address Translation) 및 보안솔루션 등 다양한 체계·장비를 도입하여 보안을 유지하고 있다. SDN을 도입하는 경우 보안 관련 체계·장비를 SW 애플리케이션으로 개발하여 기존 시스템 대체, 혹은 추가 탑재로 보안성을 보다 향상시킬 수 있다. 신규 정보보호 시스템 도입이 필요한 경우 애플리케이션으로 별도의 SW/HW를 구매를 대체할 수 있을 것이다. 또한, 취약점에 대응하는 새로운 패치 생성 시 기존 환경에서는 관리자들이 네트워크 장비의 관리 콘솔에 수동으로 입력 작업을 하여 많은 시간과 인력이 필요하나, SDN 환경에서는 중앙 컨트롤러에 일괄적으로 명령어를 입력하여 해당 컨트롤러와 연결된 장비에 전파함으로써 대응시간과 인력 절감에 도움이 된다.

37) Braga, Rodrigo, Edjard Mota, and Alexandre Passito. "Lightweight DDoS flooding attack detection using NOX/OpenFlow." Local Computer Networks(LCN), 2010 IEEE 35th Conference on. IEEE, 2010.

38) 엄정호, 최성수, 정태명, “사이버전 개론”, 홍릉과학출판사, 2012.

Sandra Scott-Hayward의 논문³⁹⁾에서는 약 27편의 SDN 보안과 관련된 논문 분석을 통해 네트워크에 SDN 적용시 중앙 컨트롤러를 이용한 보안 모니터링, 분석 및 대응이 가능하여 보안이 강화됨을 확인하였다. 기존의 통신량 분석, 이상 감지 기법(Anomaly Detection Methods) 등의 방식으로 생성된 보안 관련 데이터는 주기적으로 Global View를 가진 중앙 컨트롤러에 전송되며, 컨트롤러와 연동된 애플리케이션은 데이터를 받아 분석 후 이에 근거하여 보안 정책을 업데이트한다. 업데이트된 보안 정책은 플로우 룰의 형태로 전체 네트워크에 일괄 전파, 적용됨으로써 보안 관련 제어를 신속히 수행하여 네트워크 보안위협을 효과적으로 억제하고 이는 결국 네트워크 보안 강화로 이어진다는 것이다.

◎ 소요예산 절감

SDN이 등장하게 된 배경 중 하나는 네트워크 장비에 수많은 기능이 탑재되어 장비 가격이 상승하고, 호환성 제한으로 일부 독점하는 상황이 발생하여 소수의 벤더가 기형적으로 네트워크 산업을 장악하여 이를 해결하기 위한 것이었다. SDN은 제어부와 전송부를 분리하는 개념으로 장비 사양별 기능을 최적화할 수 있어 불필요한 기능을 제외한 네트워크 장비 본연의 기능을 충실히 수행하고 사용자가 요구하는 기능만 탑재한 장비를 도입하여 구축 비용을 절감할 수 있다.

국내에서는 인천 U-City, 정부통합전산센터, 국토연구원 등에서 차례로 SDN과 네트워크 가상화(NFV)를 도입하여 소프트웨어정의 데이터센터(Software Defined Data Center, SDDC)를 구축하였다. 인천 U-City는 스마트 시티 구현을 위해 스위치, 서버, 스토리지 등 모든 네트워크 자원을 가상화하였으며, 청라/송도/영종에 위치한 3개의 데이터센터를 통합하며 SDN을 적용하였다. 기존에 보유하고 있는 서버를 스토리지 서버로 재활용하는 등, 모든 영역에 SDN을 적용하여 약 100억 원에 가까운 예산을 절감하였다.

39) Scott-Hayward, Sandra, Gemma O'Callaghan, and Sakir Sezer. "SDN security: A survey.", Future Networks and Services, (SDN4FNS), 2013.

4.1.3 NFV 적용 기대효과

여러 네트워크 기능을 가상화하면 많은 제약 사항들을 대부분 해결할 뿐만 아니라 추가로 많은 혜택을 가져온다. NFV는 네트워크를 설계하고 구축, 관리, 운영하는 방식을 완전히 바꿀 수 있는 기틀을 제공하며, 또한 이 모든 것을 개선하고 효율화할 수 있는 많은 계층을 제공한다. 다음은 NFV에 따른 특성 및 효과⁴⁰⁾이다.

◎ 하드웨어 유연성 향상

NFV는 상용 하드웨어를 사용하므로 네트워크 사업자는 하드웨어를 선택하고 구축하는데 큰 어려움을 겪지 않을 수 있으며 자신의 필요와 요구사항에 가장 잘 맞는 방법에 따라 자신이 운영할 하드웨어 제조사를 선택하면 된다. 자신들의 네트워크 아키텍처와 계획에 최적인 하드웨어 용량을 선택할 수 있는 유연성을 갖게 된 것이다. 사용 중인 게이트웨이가 서비스를 수용하기에 용량이 부족하여 증설이 필요하다고 한다면 현재는 이것을 해결하기 위해 전체적인 장비 증설 또는 새로운 장비의 교체를 필요로 하지만 NFV에서는 VNF를 실행하는 VM에 추가 할당을 해주기만 하면 된다.

◎ 확장성과 탄력성 제고

최근 신규 서비스나 고대역폭의 응용 프로그램과 급속하게 증가하는 소비자의 요구사항을 만족하려면 네트워크 사업자, 특히 클라우드 사업자는 전력을 다해야 한다. 전통적인 네트워크 장비 용량으로는 시간이 필요하고 계획도 세워야 하고 자금도 필요하기 때문에 서비스 사업자들은 항상 이러한 요구사항을 충족하지 못했다. 그러나 NFV를 이용하면 VNF에서 사용하는 자원을 늘리거나 줄이는 방법으로 용량을 변경할 수 있다. 예를 들어 어떤 VNF에서 CPU나 저장공간 또는 대역폭이 추가로 필요하면 이를 VNF에 할당할 수 있다.

전통적인 네트워크 장치에서는 전체 장비를 교체하거나 요건을 충족하도록 하드웨어 업그레이드를 해야 한다. VNF는 특정 물리적 하드웨어 제약을 받지 않으므로 이러한 탄력성을 제공할 수 있다. 따라서 용량 요건이 변경되는 것을 대처하기 위해 과도하게 네트워크 용량을 미리 구성해둘 필요가 없다. NFV의 탄력성을 구

40) 최성남 옮김, 『네트워크 가상화의 모든 것』, Rajendra Chayapathi, Paresh Shah, Syed Hassan, Network Functions Virtualization(NFV) with a Touch of Sdn, Addison -Wesley Professional, 2016.

현하는 다른 방법으로 VNF 워크로드 오프로딩이 있다. 동일한 네트워크 기능의 신규 인스턴스를 생성해 처리할 부하를 현재의 VNF와 분담하는 것이다. 이것 또한 전통적인 네트워크 장비로는 불가능한 것이다.

◎ 신속한 개발과 벤더에 대한 의존성 감소

고비용 구조인 현재 장비 제조업체의 배포와 달리 NFV에서는 여러 장비 제조업체의 솔루션을 손쉽게 배포할 수 있는 수단을 제공한다. NFV 덕분에 네트워크 사업자는 특정 벤더의 종속으로부터 자유로울 수 있으며 사업자는 장비 제조업체와 기능을 원하는 대로 선택하고 조합할 수 있다. 기능별 가용 여부, 소프트웨어 라이선스 비용, 배포 후 지원 모델, 로드맵 등을 고려해 선택할 수 있다. 신규 솔루션과 기능을 서비스 환경에 신속하게 도입할 수 있다. 현재 사용 중인 장비 제조업체에서 개발하고 그 기능들을 지원하도록 기다릴 필요가 없다. 이렇게 신속하게 배포할 수 있는 것은 NFV에서 오픈소스 도구와 소프트웨어를 밀접하게 지원하므로 가능한 것이다.

◎ 운영 효율성과 신속성 향상

여러 VNF를 공통의 하드웨어에서 구동하게 되면 인벤토리 관리, 도입 프로세스 등과 같은 업무를 중앙집중식으로 구현할 수 있다. 다양한 네트워크 서비스를 여러 종류의 하드웨어 장비로 구현해 분리된 방식으로 배포하는 경우와 비교하면 운영 오버헤드가 줄어든다. 네트워크 유지보수 관련 작업도 NFV로 서비스 중단 시간을 짧게 할 수 있어 많은 혜택을 볼 수 있다. NFV 환경에서는 신규로 VNF를 생성해 임시로 작업량을 그 VNF로 옮겨 두는 방식으로 현재의 VNF를 비워 유지보수 작업 준비를 할 수 있다. 이러한 방식으로 서비스 무중단 업데이트 및 자동 복구 네트워크를 구현할 수 있고 네트워크 중단에 따른 운영 매출 손실을 최소화할 수 있다.

4.2 결 론

우리는 하루하루가 다르게 IT 신기술들이 등장하는 급변하는 시대에 살고 있고, 네트워크 분야의 기술 또한 신기술 들이 등장하여 적용되고 있다. 본 연구는 네트워크 분야에서 가장 대표적인 기술은 CCN, SDN, 그리고 NFV 3가지 네트워크 신기술의 군 적용을 통하여 미래 국방 네트워크의 발전 방안을 연구하였다.

연구결과 군 네트워크 분야에 현재 대두되어 있는 신기술 들을 적용할 수 있는 대상체계 들이 있으며, 이들 체계에 네트워크 신기술을 적용할 시 다양한 효과를 얻을 수 있음을 실험을 통하여 확인 하였다. 이런 실험적인 데이터에 추가하여 네트워크 신기술을 우리 군 네트워크 체계에 적용하면 효율성과 유연성 증대, 보안성 향상 등 매우 많은 기대효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구결과를 바탕으로 군 미래 네트워크 기반 구축 및 개선시 네트워크 신기술들이 적극 적용 및 활용될 수 있도록 군 담당 부서에 연구결과를 제공하고 적극적인 기술 지원을 해야 할 것으로 판단된다.

유의사항

1. 본 연구보고서 내용은 연구진의 개인적인 견해로서 국방대학교 국가안전보장문제연구소의 공식입장과 다를 수 있습니다.
2. 본 연구보고서는 정책입안시 참고자료로만 활용하고 타 기관에 불필요한 자료유출을 삼가 주시기 바랍니다.

군사과학정책연구

제13권

2020년 12월 29일 인쇄

2020년 12월 31일 발행

저 자 : 윤봉규 등 3명

발행처 : 국방대학교 국가안전보장문제연구소

TEL. (041) 831-6414

FAX. (041) 831-0000

인쇄 : 청맥기획 (042) 487-2589

ISSN 1976-5967

ISSN 1976-5967

Volume 13

2020, 12



Military Science & Technology Annual Report



Research Institute for National Security Affairs
Korea National Defense University