



Received: 2022/01/22
Revised: 2022/02/21
Accepted: 2022/03/24
Published: 2022/03/31

***Corresponding Author:**

Kyung-Suk Lee

Tel: +82-2-832-4958

E-mail: skl90974@naver.com

복합시스템 포트폴리오 분석

System of Systems Portfolio Analysis

이경석*

아주대 NCW학과 박사과정 수료

Kyung-Suk Lee*

Doctor candidate, Department of NCW, Ajou University

Abstract

복합시스템은 단일시스템으로는 달성할 수 없는 특정 운용능력을 창출하기 위해 이기종의 독립된 시스템을 협력할 수 있게 연결한 큰 시스템이다. 복합시스템은 점차 복잡 다양해지는 군 전장환경을 고려할 시 필요성과 운용에 대한 요구는 증대되고 있다. 본 논문에서는 기존 전력을 활용한 복합시스템의 포트폴리오를 구성하는 분석 방법을 제시한다. 특히 군사분야에 적용성을 높이기 위해 작전임무를 근간으로 요구사항 도출, 능력 및 구성시스템 식별 절차 등을 구체화하였다.

A System of systems(SoS) is defined as the result of a set or arrangement of independent systems that are integrated and combined. The result of this union provides unique capabilities to users. Today's, considering the increasingly complex operational environment, the need and demand for SoS is growing. This paper presents an analysis methodology that creates a portfolio of SoS using legacy systems. In particular, in order to improve its applicability to the military field, the procedures for deriving requirements, identifying capabilities and constituent system of SoS were specified based on operational missions.

Keywords

복합시스템(System of Systems),
복합시스템 공학(System of Systems Engineering),
능력(Capability),
포트폴리오 분석(Portfolio Analysis)

1. 서론

미국은 2000년 초 냉전 종식과 9.11 사태를 겪으면서 변화하는 전략적 상황에 대응하고자 새로운 전쟁수행방식인 네트워크 중심전(network centric warfare)을 도입하게 되며, 이에 따라 전력을 확보하는 국방획득환경도 위협기반에서 능력기반으로 전환하게 된다.

능력기반기획은 임의로 선정된 몇 개의 각본(scenario)을 기초로 전력증강 수요를 도출하던 과거의 방식에서 탈피하여 미래의 불확실성을 수용할 것을 강조하고 있다. 미래에 대두될 위협의 형태는 너무나 다양하고, 이들의 공격시점 및 장소 등을 예측하기가 불가능하기 때문에 어떠한 위협에도 대처 가능한 다양한 '능력들(capabilities)'을 구비하는데 중점을 두고 있다. 다양한 능력을 구비하고 있다가 특정한 상황이 발생하면 그 상황에 효과적으로 대응할 수 있는 능력들을 조합하여 융통성 있게 대응하는 개념이다([1], pp. 10-11).

이처럼 점차 복잡 다양해져가는 전장환경에 적응 및 대응하기 위해 고 객인 군은 정확한 사양을 충족시키는 개별 특정시스템을 요구하는 것이 아니라 미래 전쟁에 대비하기 위한 능력을 요구하게 되었다.

능력은 엔터프라이즈 환경하에서 운용개념을 통해 도출되며, 개별시스템의 차원보다는 다양한 체계들이 결합한 복합시스템의 차원에서 이루어진다([2], p. 115).

우리 군도 이러한 시대적 흐름을 반영하여 변화하는 작전환경에 적응 및 대응하기 위해 능력을 기반으로 한 전력 개발을 강조하고 있고([3], p. 43), 또한 현재 각 소요군별로 획득한 대부분의 무기체계는 다양한 작전임무(CAS, Kill chain, KAMD 등)¹⁾를 수행할 때 복합시스템의 일부로

¹⁾ CAS: close air supporting (근접항공지원작전), KAMD: Korea Air and Missile Defense(탄도탄방어작전)

운용되고 있다.

이처럼 복합시스템 관점으로 전력 개발의 필요성과 운용에 대한 요구는 증대되고 있다.

그렇지만 능력을 구현할 복합시스템 개발은 단일시스템 개발보다 훨씬 복잡하고 어렵다. 원인은 복합시스템을 구성하는 시스템(constituent system)들이 대부분 기존 시스템(legacy system)들로 이루어지기 때문이다. 이들 기존 시스템은 이미 자신만의 특정 목적을 성취하기 위해 관리 및 운용되고 있는 시스템으로 적용된 기술, 운용 및 관리 조직, 운용 환경 등이 상이해 통합하기 위해서는 다양한 문제점과 이슈사항을 극복해야 한다.

이에 따라 복합시스템 공학(SoSE: system of systems engineering)이란 새로운 분야가 태동하게 되었다. 기존의 시스템 공학(SE: system engineering)이 단일시스템을 다루는데 최적화된 도구라고 한다면, 복합시스템 공학은 단일시스템으로는 달성할 수 없는 특정 능력을 성취할 포트폴리오(portfolio)를 개발하기 위해 다수의 시스템을 동시에 다룬다.

오늘날 복합시스템 공학은 국방 이외 민간분야에서도 다양하게 적용하고 있다[13,27]. 특히, 국방분야는 복합시스템 공학을 전력개발과 운용에 효율적으로 적용하기 위한 복합시스템 공학 지침(systems engineering guide for system of systems)이 있고[4], 이를 기반으로 복합시스템 요구사항 분석 및 구성시스템 도출에 관한 연구가 있었다[5],[6]. 그렇지만 현실적으로 군사분야에 적용하기 위해서는 부여된 작전임무를 근간으로 복합시스템이 수행할 요구사항 도출, 요구사항을 구현할 능력 식별 및 능력을 발휘할 구성시스템 선정 등에 대한 항목에 대해 구체화가 필요하다.

따라서 우리 군이 변화하는 작전환경에 적응 및 대응하기 위해 기존의 전력을 효율적으로 활용하여 능력기반의 복합시스템을 구성하는 포트폴리오 분석 방법을 제안하고자 한다.

2. 관련연구

2.1 네트워크 중심전(NCW)

네트워크 중심전(NCW: network centric warfare)은 1998년 미 해군 제독인 세브로스키(Arthur K. Cebrowski)와 가르스트카(John J. Garstka)에 의해 처음 소개된 이후 미 국방성을 중심으로 발전되어 오다가, 2001년 럼스펠

드(Donald H. Rumsfeld) 국방장관에 의해 추진된 군사 변혁(RMA: revolution in military affairs)의 핵심 동력이 되면서 범세계적으로 확산되었다([7], pp. 5-6).

네트워크 중심전(NCW)은 1980년대부터 급격하게 발전하는 정보통신기술(IT: information technology)과 9·11 사태 이후 새롭게 싸우는 방식의 요구에 따라 본격적으로 등장한 전쟁수행 이론이다.

작동원리를 보면 네트워크화된 군사력은 정보 공유 수준이 개선되어, 정보의 질과 상황인식을 향상시켜, 자기 동기화가 가능하고 지휘속도가 증가하게 되어, 궁극적으로 임무수행 효과를 극적으로 상승시킨다는 것이다([8], p. 4).

미군은 새로운 전쟁이론인 NCW를 도입함으로써 전쟁 수행 형태도 단위 지역, 단위 무기체계 중심의 플랫폼 중심에서 모든 자원이 연결되어 유기적으로 전쟁 수행이 가능한 네트워크 중심 형태로 변화하게 되었다.

이러한 NCW의 이론과 원리를 전/평시 군사작전에 적용한 작전활동이 네트워크 중심작전(NCO: network centric operation)이다. 미군은 미래의 군사작전 수행시 매우 포괄적으로 적용되는 광범위한 개념이라고 정의했다.

이처럼 전쟁수행 형태의 패러다임 변화는 전력을 구축하는 획득환경에도 영향을 주었다. 네트워크 중심작전(NCO)을 구현하기 위해서는 무엇보다도 상호운용성 기반의 한 전력의 통합성이 요구되어 획득환경도 개별 무기체계 획득에 중점을 둔 상향식 소요창출체계에서 네트워크 중심(net-centric) 기반의 복합시스템(system of systems) 관점의 하향식 소요창출체계인 능력기반 기획체제로 전환하는 계기가 되었다([9], p. 6).

2.2 능력기반 기획

능력기반 기획은 미래에 대두될 위협의 형태가 너무나 다양하고, 이들의 공격시점 및 장소 등을 예측하기가 불가능하기 때문에 어떠한 위협에도 대처 가능한 다양한 ‘능력들(capabilities)’을 구비하는데 중점을 두고 있다. 다양한 능력을 구비하고 있다가 특정한 상황이 발생하면 그 상황에 효과적으로 대응할 수 있는 능력들을 조합하여 융통성 있게 대응하는 개념이다([1], pp. 10-11).

여기서 능력이란 “특정 방책을 수행할 수 있는 역량(ability)”으로 구체적으로 살펴보면 “부여된 과업(tasks)을 특정 조건(condition)하에서 가용한 수단(means)과 방법(ways)의 조합을 통해 달성 기준(standard)까지 도

달하게 하여 요망한 효과(desired effect)를 성취하는 역량(ability)”이다([10], p. GL3).

능력(capability)은 임무달성에 위한 요망한 효과를 창출하기 위해 가용한 수단과 방법의 조합으로 임무 달성과 관련된 과업을 수행함으로써 발생한다. 즉, 수단(means) 측면에서 보면 능력 발휘는 가용한 수단이 조합된 복합시스템(SoS) 차원에서 이루어진다.

미국은 2003년부터 개별시스템 관점에서 복합시스템 관점으로 전력을 개발하는 능력기반 체계로 합동능력 통합 및 개발체계(JCIDS: joint capabilities integration and development system)를 고안하여 적용하고 있다.

JCIDS는 Fig. 1과 같이 합참에서 상위의 안보 전략지침을 기반으로 현재 및 미래에 적용할 작전개념서(CONOP: concept of operation)를 작성하고, 이를 구현할 능력을 능력기반평가(CBA: capability based assessment)을 통해 개발하는 체계이다([11], p. A-2).

CBA는 JCIDS의 핵심체계로 평가영역설정(FAA), 능력소요평가(FNA), 해결유형추천(FSA) 단계로 진행된다.

평가영역설정(FAA) 단계는 작전개념을 구현하는데 요구되는 군사적 과업, 과업이 수행하는 조건 및 달성 수준인 표준을 식별한다. 능력소요평가(FNA) 단계는 식별된 과업을 현행 및 계획된 능력으로 달성할 수 있는지를 평가하여 부족능력을 식별한다. 해결유형추천(FSA) 단계는 부족한 능력에 대해 능력 격차를 해소시킬 수 있는 물자(materiel) 및 비물자적(non-materiel) 해결책을 강구한다. 여기서 부족 능력에 대한 해결책을 강구할 때 과거에 비해서 비물자적 해결책(non-materiel solution)을 적극적으로 검토한다. 즉, 교리, 조직, 훈련 등 전투발전요소로

능력 부족을 해소 또는 완화할 수 있는지를 적극적으로 검토함으로써 해결책의 범위를 확대시키고, 동시에 필요한 무기 및 장비만 획득하겠다는 것이다.

능력기반평가를 통해 전투발전요소 보완 요구서와 초기능력서(ICD: initial capabilities document)가 작성되고 이를 기반으로 능력이 점증적으로 구체화 되면서 전력을 개발할 수 있는 능력발전서(CDD: capabilities development document) 및 능력생산서(CPD: capabilities production document)가 작성된다.

2.3 복합시스템

2.3.1 정의(definition)

복합시스템(system of system)은 매우 큰 단일시스템(a large complex system)과 근본적인 차이점이 있다.

단일시스템(system)은 시스템을 구성하는 구성품(subsystem)만으로는 제공할 수 없는 특정한 행위 또는 기능을 제공할 수 있도록 이들 구성품들의 결합체이다([12], p. 268). 여기서 시스템을 구성하는 구성품(subsystem)은 시스템으로 인해 태동된 것으로 독립적으로 운용 및 관리되지 않는다. 예를 들어 민간항공기는 매우 크고 복잡한 시스템이다. 25년 이상 탑승객에게 안전하고 안락한 서비스를 제공하기 위해 조종통제소, 엔진, 승객용 좌석 등과 같은 수많은 개별구성품(subsystem)을 결합하여 완성한다. 이들 개별구성품은 해당시스템에 복속되었을 때에 자신들이 제공하는 서비스가 의미를 갖게 된다([13], p. 321; [14], p. 112).

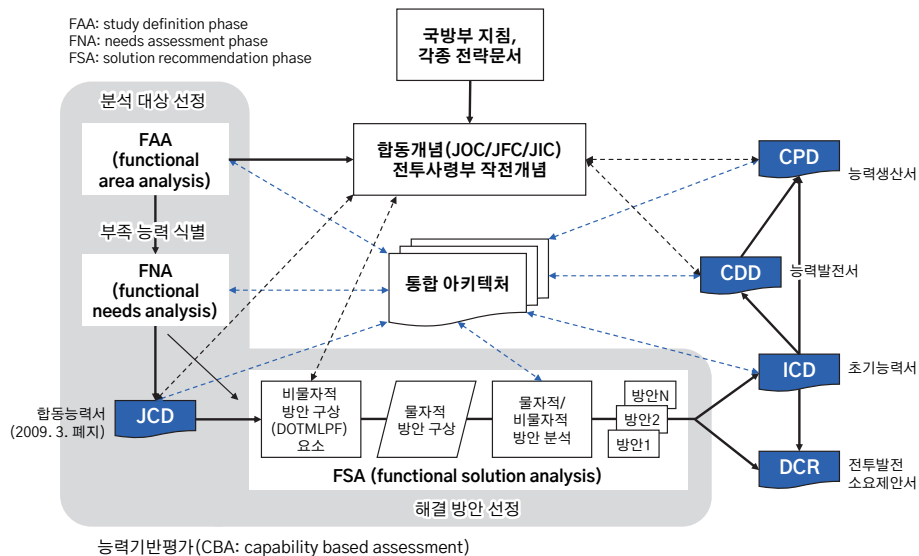


Fig. 1. JCIDS 절차

반면 복합시스템(system of system)은 임의의 한 개별 시스템만으로는 달성할 수 없는 특정한 요망 능력을 성취하기 위해 개별적으로 유용한 서비스를 제공하는 시스템들의 묶음 또는 배열로 형성된 큰 시스템(super-system)이다([4], p. 4).

복합시스템(system of system)의 정의를 보면 단일시스템(system) 정의와 크게 다르지 않은 것처럼 보이지만 근본적인 차이점이 있다. 복합시스템을 구성하는 시스템(constituent systems)은 복합시스템을 형성하기 위해 태동된 시스템이라기보다는 자신만의 특정한 목적을 성취하기 위해 이미 획득되어 운용되는 기존시스템(legacy system)들이 대부분이다. 따라서 복합시스템을 구성하는 시스템은 분리되어도 타 시스템의 도움 없이 자신만의 특정 서비스를 제공할 수 있게 독립적으로 운용 및 관리된다. 복합시스템은 이러한 시스템들을 네트워크로 연결시켜 상호 협력할 수 있도록 형성된 큰 시스템(super-system)으로 추구하는 목적에 따라 구성시스템의 묶음 또는 배열을 조정할 수 있어 현실에는 존재하지 않는 개념적인 시스템이다.

복합시스템의 대표적인 예로 항공교통관리체계(air traffic management system)를 들 수 있다. 항공교통관리체계는 항공기의 안전한 운행과 공역의 효율적 통제를 위해 항공기, 공중감시레이더, 관제소, 공항 등과 같은 다수의 시스템과 관련당국들이 상호 협력하여 업무를 수행한다. 구성되는 시스템은 자신만의 특정한 항공교통정보를 제공하기 위해 독립적으로 운용 및 관리되는 한편 복합시스템의 일부로서 기능을 수행한다.

여기서 구성시스템들은 Fig. 2와 같이 복합시스템이 추구하는 목적의 부합여부에 따라 합류하거나 또는 이탈할 수 있도록 느슨한 결합(loosely coupling)이 요구된다([15], p. 22).

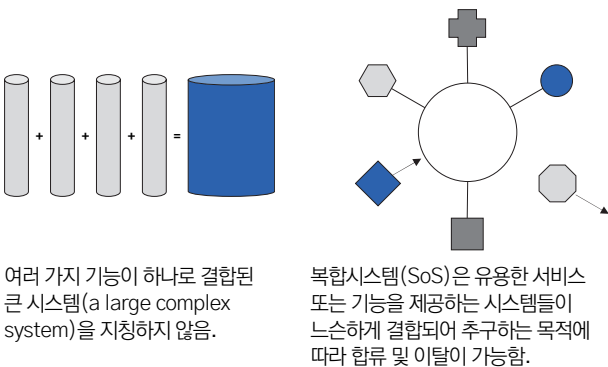


Fig. 2. 복합시스템이란?

2.3.2 특징(characteristics) 및 형태(types)

복합시스템을 개발할 때 고려해야 할 복합시스템만이 갖고 있는 독특한 특징과 형성할 형태에 대해 살펴본다.

(1) 특징(characteristics)

복합시스템은 단일시스템 대비 독특한 특징이 있는데 이중 가장 보편적으로 받아들이는 마이어(Maier) 정의와 이를 확장시켜 정의한 보드맨과 소서(Boardman and Sauser) 내용을 살펴본다([16], p. 40).

마이어(Maier)는 운용의 독립성(operational independence of system), 관리의 독립성(managerial independence of system), 진화적 개발(evolutionary development), 창발성 행위(emergent behavior), 지리적 분산(geographic distribution) 등 5가지 특징을 제시했다([12], pp. 271-272; [17], p. 34).

- 운용의 독립성: 복합시스템을 구성하는 요소는 자신만의 고유한 목적을 성취하기 위해 독립적으로 운용될 수 있도록 개발되었다. 따라서 복합시스템에서 이탈하더라도 그들 자신만의 고유목적을 성취하기 위해 독립적으로 운용된다. 이는 다른 특정 시스템과의 상호작용 또는 도움이 없어도 자신만의 특정한 유용한 서비스를 제공할 수 있다.
- 관리의 독립성: 복합시스템을 구성하는 요소는 자신만의 고유한 목적을 성취하기 위해 지속적으로 관리되고 유지된다. 각 구성요소는 소유자 및 운용자에 의해 시스템 생명주기에 자신만의 고유한 목적을 성취하기 위해 성능개선 추진 등 필요한 조치들이 독립적으로 이루어진다.
- 진화적 개발: 복합시스템을 구성하는 요소는 생명주기가 다른 이기종 시스템이고, 또한 변화하는 환경에 지속적으로 대응하고 적응해야 하기 때문에 한번에 최종적으로 원하는 복합시스템을 개발하기가 어렵다. 즉, 구성요소로 기존 시스템, 성능개량 및 신규로 개발하는 시스템, 진부화되어 퇴역하는 시스템 등이 혼합되어 있어 생명주기(개발시점, 운용시점, 퇴역시점 등)가 상이하고, 또한 변화하는 환경에 대응하고 적응하기 위해 구성요소들의 형성 및 배열도 조정해야 하기 때문에 한번에 원하는 복합시스템을 개발하기가 어려워 점진적으로 개발된다.
- 창발성 행위: 이 특징은 복합시스템을 구성하는 요

소들이 상호작용을 하면서 나타나는 예상하지 못한 결과이다. 여기서 중요한 것은 상호작용 결과가 목적 성취에 기여할 수 있는 바람직한 결과가 될 수 있도록 보장하는 것이다.

- 지리적 분산: 복합시스템을 구성하는 요소들은 한 장소에 모두 위치해 있지 않고 공간적으로 떨어져 있다.

다음으로 보드맨과 소서(Boardman and Sauser)는 자율성(autonomy), 소속감(belonging), 연결성(connectivity), 다양성(diversity), 창발성(emergence) 관점으로 제시했다([18], p. 121; [19], pp. 332-333; [20], pp. 2-3).

- 자율성: 복합시스템을 구성하는 시스템(constituent system)은 복합시스템의 목적을 달성하기 위해 스스로 결정하고, 운용할 수 있는 능력이 있다. 구성시스템은 복합시스템을 형성하기 전에 이미 자신만의 특정 목적을 성취하기 위해 독립적으로 운용 및 관리 권한을 행사한 기존 시스템이 대부분이다. 이는 복합시스템 목적을 성취하기 위해 수행할 일련의 행위 또는 조치(a set of action)를 어느 정도 타객체의 통제를 받지 않고(또는 제한된 통제하에서) 수행할 수 있다.
- 소속감: 소속감은 어떤 구성체의 일원(possession)이 되거나 또는 인정(acceptance)을 받았을 때 발생하는 감정이다. 어떤 구성체의 일원이 되기 위해서는 상호 호혜조건이 요구된다. 즉, 쌍방간에 이로우며 제공하고 받을 수 있어야 한다. 복합시스템 관점에서는 구성시스템이 복합시스템이 추구하는 목적 달성에 가치있는 기여(valued contribution)를 제공할 수 있어야 하고, 구성시스템 관점에서는 복합시스템에 소속됨으로써 자신의 능력을 확장하여 더 상위의 목적을 추구할 수 있어야 한다. 복합시스템 차원에서는 구성시스템이 목적을 성취하는데 충분한 능력을 제공할 수 있을 때, 구성시스템은 복합시스템이 추구하는 목적 달성에 자신의 능력을 확장시킬 수 있을 때 소속여부가 결정된다. 그렇지만 복합시스템이 추구하는 목적 달성에 기여할 수 있는 구성시스템은 무수히 많을 수 있기 때문에 소속여부를 결정할 때 효과(benefits) 등을 고려한다.
- 연결성: 개념적으로만 존재하는 복합시스템을 현실적으로 존재하게 하는 원천이다. 구성시스템은 역동

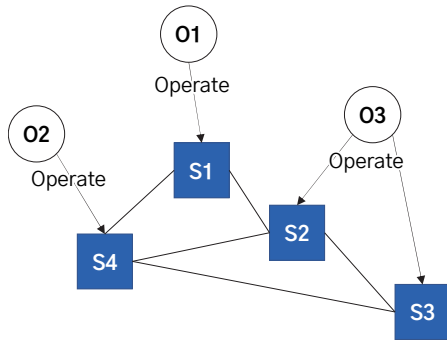
적인 환경(dynamic environment)에서도 복합시스템의 목적 달성을 위해 상호간 효과적으로 정보를 공유할 수 있게 해준다. 연결성으로 인해 복합시스템이 성취하는 목적에 따라 지리적으로 넓게 분산되어 있는 다양한 능력을 발휘하는 시스템들을 묶고 또는 배열할 수 있게 되며, 이는 구성시스템간 상호작용을 촉진시켜 구성시스템의 합보다 더 큰 능력을 발휘하게 한다. 만약 구성시스템이 연결성의 제한으로 상호작용에 어려움이 발생하면, 해당 시스템은 복합시스템내에서 유용성에 대해 심각한 제한을 받아 복합시스템 소속에서 이탈하거나 또는 타 시스템으로 대체된다.

- 다양성: 복합시스템을 구성하는 시스템은 서로 다른 성격을 지닌 이기종 시스템(different constituent system)이다. 이러한 이기종 시스템들이 발휘하는 기능과 장점을 활용하여 개별시스템보다 월등한 다양한 능력을 제공한다.
- 창발성: 구성시스템의 조합을 통해 창출되는 시너지(synergism) 효과로 사전에 미처 예상하지 못했던 새로운 어떤 행위 또는 능력의 출현을 말한다. 이는 예견하기가 어렵고 운용중에 나타난다. 여기에는 복합시스템의 목적 달성에 기여하는 이로운 행위(desirable behaviors)가 있는 반면 방해하는 해로운 행위(undesirable behaviors)도 있다. 해로운 행위는 가능한 초기에 식별하여 제거하거나 또는 완화해야 한다.

(2) 형태(types)

복합시스템 형태는 성취하고자 하는 운용목적의 얼마나 명확하게 설정하는가와 운용목적 달성을 위해 복합시스템 차원에서 구성시스템에 대해 어느 정도로 통제 권한을 행사하는지에 따라 가상(virtual) 복합시스템, 협력적(collaborative) 복합시스템, 인정된(acknowledged) 복합시스템, 지시된(directed) 복합시스템으로 분류한다([4], pp. 4-5; [21], pp. 1-7 - 1-9).

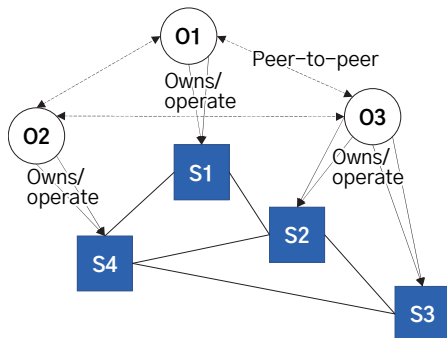
- 가상 복합시스템: 이 형태는 복합시스템 차원에서 공통으로 추구하는 명확한 운용목적이 없고, 구성시스템을 관리 및 통제하는 조직이 없다. 또한 복합시스템을 구성하는 모든 시스템을 알 수도 없고, 상대적으로 보이지 않은 메커니즘에 의해 창발성 행위를 발휘하면서 유지된다.



구성시스템의 소유자(O1, O2, O3)는 유용한 정보를 자신이 운영하는 체계를 통해 찾는다. 복합시스템 차원에서 추구하는 공통의 목적이 없고, 구성시스템을 중앙집권식으로 통제하지 않는다. 구성시스템간의 상호작용은 공통의 프로토콜(protocols) 또는 표준(standards)에 따라 이루어진다.

Fig. 3. 가상 복합시스템에서 복합시스템과 구성시스템 관계

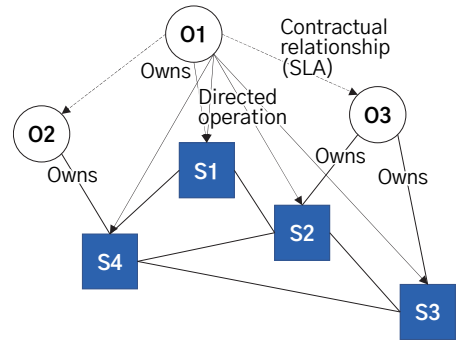
- 협력적 복합시스템: 구성시스템은 상호 동등한 위치에서 합의한 공통의 목적을 성취하기 위해 자신만의 방식을 적용하여 자발적으로 협력한다. 그렇지만 복합시스템 차원에서 구성시스템을 관리 및 통제하는 조직은 없다.



구성시스템의 소유자(O1, O2, O3)는 상호간 합의를 통해 설정한 공통의 목적을 위해 협력을 실시한다. 그렇지만 복합시스템 차원에서 관리하는 주체는 없다.

Fig. 4. 협력적 복합시스템에서 복합시스템과 구성시스템 관계

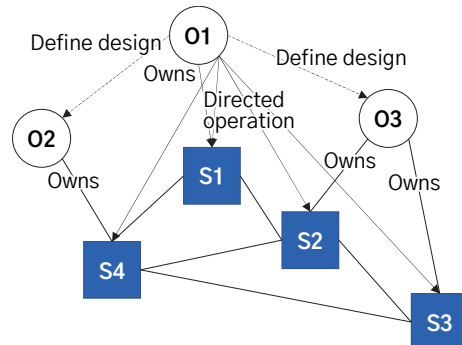
- 인정된 복합시스템: 인정된 복합시스템은 지시된 복합시스템과 협력적 복합시스템 사이의 중간 형태의 복합시스템이다. 해당 복합시스템은 복합시스템 차원에서 성취할 목표, 전반적으로 관리할 관리자와 자원이 있고, 동시에 구성시스템도 자체적으로 관리할 수 있는 독립된 권한 및 자원이 있다. 이런 형태의 복합시스템이 국방분야에서 가장 보편적으로 적용되고, 새로운 능력이 요구될 때 기존 시스템(legacy systems)을 활용하여 구성한다. 복합시스템 관리자는 구성시스템을 직접적으로 통제하기보다는 추구하는 목적을 달성할 수 있게 영향력을 주로 행사한다.



O1은 복합시스템 차원에서 구성시스템을 구성하고 운용 권한을 행사하지만, 그 기반에는 구성시스템 소유자(O2, O3)와 상호 협력적 관계(예를 들어 합의서 작성: service level agreement)를 설정한다. O1은 O2 및 O3가 소유한 구성시스템(S2, S3, S4)에 대해 직접적인 통제보다는 영향력을 주로 행사한다.

Fig. 5. 인정된 복합시스템에서 복합시스템과 구성시스템 관계

- 지시된 복합시스템: 구체적인 특정 목적을 성취하기 위해 구축된 복합시스템이다. 이런 형태의 복합시스템은 설정한 목적을 달성하기 위해 복합시스템 차원에서 구성시스템을 중앙집권식으로 관리하고 통제한다. 따라서 구성시스템은 독립적으로 운용할 수 있으나, 복합시스템이 설정한 목적 달성을 위해 평시부터 중앙집권식으로 예하 부속체계처럼 통제되면서 운용된다.



O1은 구성할 시스템(O2의 시스템 S4, O3의 시스템 S2와 S3)에 대해 개발사양 설정 및 운용 권한을 행사한다. O1은 구성시스템에 대해 상당히 높은 수준의 중앙집권적인 권한을 행사하면서 운용한다.

Fig. 6. 지시된 복합시스템에서 복합시스템과 구성시스템 관계

2.4 복합시스템공학(SoSE : system of systems engineering)

복합시스템 개발은 복합시스템만이 갖는 독특한 특징과 형태별 적용되는 관리 권한의 상이로 단일시스템 개발보다는 훨씬 복잡하고 어렵다. 기존 방식으로는 이러한 복잡도를 다루기가 제한되고, 또한 적용하는데 한계가 있어 복합시스템 공학이 부상하였다([22], p. 112).

복합시스템 공학은 단순히 특정기능의 향상에만 역점을 두지 않고 엔터프라이즈의 전반적인 능력 향상 또는 특정 상황에 적응 및 대응할 수 있는 포트폴리오 개발에 중점을 둔다. 여기서 복합시스템 개발 간 고려할 사항, 이를 반영한 복합시스템 공학 모델 및 선행연구 내용을 살펴본다.

2.4.1 복합시스템 개발환경

복합시스템의 개발환경은 단일시스템 개발과는 상당한 차이점이 있다. Table 1은 단일시스템과 인정된(acknowledged) 복합시스템의 개발환경을 비교한 내용이다 ([4], p. 11; [23], pp. 222-224).

먼저 관리(management) 및 감독(oversight) 측면에서 보면 복합시스템은 단일시스템 개발 대비 이해당사자(stakeholder)의 참여 정도 및 사업을 이끌어 가는 사업구조(governance)가 상이하다.

단일시스템 개발시에는 관련된 이해당사자를 명확하게 식별 가능하고, 참여도 적극적이므로 이해당사자의 관점을 이해하고 수용하는데 용이하다. 사업관리 조직은 사

업의 총괄관리자(PM: project manager)을 중심으로 일관성 있게 개발을 진행할 수 있도록 구조적인 계층구조를 갖추고 있다.

반면에 복합시스템은 복합시스템 차원뿐만 아니라 다수의 구성시스템도 동시에 관리하기 때문에 관련된 이해당사자가 많다. 따라서 모든 이해당사자들을 식별하기도 어렵고, 또한 식별을 하였더라도 자신들이 설정한 운용 우선순위에만 관심을 갖고 복합시스템 개발에 소극적으로 관여하고, 심지어는 반대 관점을 제시할 수 있다. 이는 이해당사자의 다양한 관점을 수용하고 관리하기가 매우 어려운 환경이다.

사업관리 조직은 복합시스템과 구성시스템이 별도로 구성하여 필요한 자원 확보, 업무활동(업무규칙 및 환경 등 고려) 등을 수행하고, 복합시스템 차원에서 모든 구성시스템 활동을 세부적으로 파악하고 통제하기도 어렵다. 따라서 이러한 사업 구조하에서는 복합시스템 차원의 감독과 구성시스템의 자율성이 어느 정도 균형을 유지하면서 노력을 통합할 수 있는 협의체 및 제도(governance) 등이 필요하다.

Table 1. 단일시스템과 복합시스템 개발환경 비교

Aspect of environment	System	Acknowledged system of systems
		Management & oversight
Stakeholder involvement	Clearer set of stakeholder	Stakeholder at both system level and SoS levels(including the system owners), with competing interests and priorities: in some cases, the system stakeholder has no vested interest in the SoS: all stakeholder may not be recognized.
Governance	Aligned PM and funding	Added levels of complexity due to management and funding for both the SoS and individual systems: SoS does not have authority over all the systems.
		Operational environment
Operational focus	Designed and developed to meet operational objectives	Called upon to meet a set of operational objectives using systems whose objectives may or may not align with the SoS objectives.
		Implementation
Acquisition	Aligned to ACAT Milestones, documented requirement, SE with system engineering plan (SEP)	Added complexity due to multiple system lifecycles across acquisition programs, involving legacy systems, systems under development, new developments and technology insertion: Typically have stated capability objectives upfront which may need to be translated into formal requirement.
Test & evaluation	Test & evaluation of the system is generally possible	Testing is more challenging due to the difficulty of synchronizing across multiple system' life cycles: given the complexity of all the moving parts and potential for unintended consequences.
		Engineering & design considerations
Boundaries and interface	Focuses on boundaries and interfaces for the single system.	Focus on identifying the systems that contribute to the SoS objectives and enabling the flow of data, control and functionality across the SoS while balancing needs of the systems.
Performance and behavior	Performance of the system to meet specified objectives.	Performance across the SoS that satisfies SoS user capability needs while balancing needs of the systems.

두 번째는 운용 초점(operational focus)에서 차이가 있다.

단일시스템은 잘 정의된 임무환경을 기반으로 도출한 명확한 운용목표 및 요구사항을 충족하는데 중점을 두고, 이러한 사항은 통상 시스템이 개발 완료 전까지는 가능한 변경하지 않고 유지하려고 한다.

반면 복합시스템은 단일시스템으로 제공할 수 없는 새로운 능력을 창출하기 위해 다수 시스템이 참여하기 때문에 구성시스템의 영향을 받는다. 따라서 운용목표는 구성시스템의 운용목표를 고려하여 균형있게 설정해야 한다.

세 번째는 획득(acquisition) 환경과 검증(test & evaluation)분야이다.

단일시스템은 구조화된 사업 프로세스와 잘 수립된 공학계획서(system engineering plan)를 기반으로 개발되고, 시험 및 평가도 시스템 전체를 일괄 개발하여 설정된 목표 및 요구사항 달성여부를 검증할 수 있다.

반면 복합시스템은 생명주기가 상이한 구성시스템을 조화롭게 통합할 사업 프로세스가 구조적으로 미흡하고, 시험 및 평가도 전체를 일괄적으로 개발하기도 어려워 진화단계를 고려하여 점진적으로 수행한다.

마지막으로 구축(engineering) 및 설계(design)시 고려사항이다.

단일시스템은 사업의 범위, 구성품간의 인터페이스, 갖추어야 할 성능 등 기술적인 요인에 중점을 두는 반면 복합시스템은 목표 달성에 기여하는 구성시스템을 식별하여, 이를 조화로운 형성하는데 기술 요인 이외 비기술적 요인도 중요하다. 특히, 복합시스템의 개발 상황(환경 변화, 구

성시스템 변경 가능성 등)을 고려하면 단일시스템 개발보다 위험 및 형상관리 등이 중요하고 많은 노력이 요구된다.

2.4.2 복합시스템 공학(SoSE) 및 선행연구

복합시스템 개발은 단일시스템 대비 복잡하고, 개발간에 조율하고 해결해야 할 다양한 사항이 발생한다. Fig. 7은 이러한 개발환경을 고려하면서 복합시스템을 개발하는 “트라페즈모델(trapeze model)”이다([4], pp. 29-30). 이 모델은 복합시스템 공학을 수행하는데 필요한 7개의 핵심 활동(core element)과 이들 간의 관계를 보여주고 있다. 핵심 활동은 ① 능력관점으로 기술되어 있는 목표로부터 상위수준의 복합시스템 요구사항 도출(translating SoS capability objectives into high-level SoS requirement over time), ② 복합시스템 요구사항을 달성하기 위한 구성시스템 식별 및 그들 간의 관계 이해(understanding the constituent systems and their relationships over time), ③ 복합시스템 성능이 능력 목표를 어느 정도까지 충족시키고 있는지 평가(assessing extent to which SoS performance meets capability objectives over time), ④ 복합시스템의 진화적 관리, 포트폴리오 대안 평가 및 관리, 외부환경 변화 등을 관리할 수 있는 복합시스템 아키텍처 개발 및 관리(developing, evolving and maintaining an architecture for the SoS), ⑤ 복합시스템 기능 및 성능에 영향을 줄수 있는 잠재적 요인(외부환경 변화, 구성시스템 내부의 변경 등) 식별 및 평가(monitors and assessing potential impacts of changes on

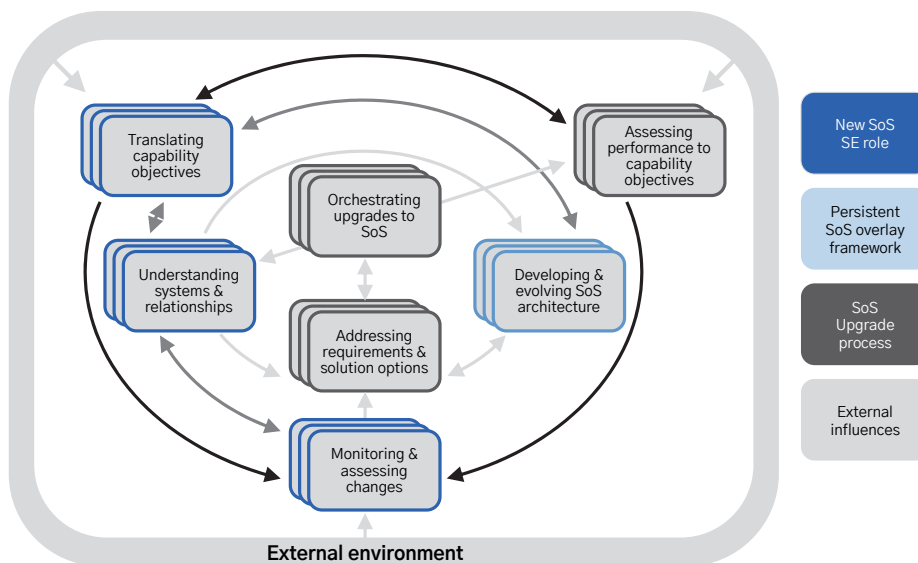


Fig. 7. 트라페즈 모델(trapeze model)

SoS performance), ⑥ 복합시스템 요구사항 분석 및 이에 대한 해결 대안 검토(addressing SoS requirement and solution options), ⑦ 선정된 대안을 구현할 수 있는 복합시스템 개발(orchestrating upgrades to SoS)이다.

이들 간의 관계를 보면 복합시스템의 능력 목표를 달성할 포트폴리오 대안을 도출하기 위해 7개의 핵심활동이 원형으로 상호 연결되어 있다. 이는 임의 특정 활동이 변경 또는 조정이 발생하면 전반적으로 모든 활동이 이에 대한 영향도를 반복적으로 분석한다.

그렇지만 트라페즈 모델(trapeze model)은 개념적이어서 프로세스로 적용하기에는 제한이 있어 복합시스템 개발자(practitioner)가 “복합시스템 브이 모델(iterated vee model)”을 Fig. 8과 같이 개발하였다([4], pp. 31-32). 이 모델은 전형적인 시스템 공학의 “브이 모델(vee model)”과 유사하고, 트라페즈모델의 ③, ⑥, ⑦ 핵심 활동을 구체화하였다.

이 모델은 복합시스템 공학이 구성시스템을 개발하는 시스템 공학보다 먼저 수행되어야 함을 강조하고 있다. 즉, 복합시스템 요구사항을 해결할 솔루션을 도출된 후 이와 관련된 구성시스템 개발이 이루어지는 절차이다.

현재 이를 기반으로 복합시스템 요구사항 및 구성시스템을 도출하는 방법론 연구가 있었다.

Jae-Hong Ahn은 복합시스템 구성시스템과 그들의 부족한 능력 식별을 자동화시키기 위해, 기존에 정의된 능력으로부터 능력평가 모델을 유추하고, 연합아키텍처 기반의 자동화 프레임워크를 5단계로 제안했다. 단계는 1단계

복합시스템 요구사항 구체화(Specify SoS requirements), 2단계 구성시스템 선정(Extract CS candidates), 3단계 복합시스템 시나리오 구성(Compose SoS scenario), 4단계 복합시스템 시나리오 평가(Assess SoS scenario), 5단계 평가결과 활용(Use assessment results)이다[5].

B. Mokhtarpour는 복합시스템이 추구하는 목표능력을 달성하기 위해 구성시스템 선정 및 복합시스템 대안을 도출할 때 적용할 평가척도(decision factors)를 포함한 개념적인 방법론을 6단계로 제안하였다. 단계는 1단계 복합시스템 임무 기술(describing SoS mission), 2단계 후보 시스템 식별(identifying candidate systems), 3단계 타당한 후보시스템 선정(selecting feasible candidate systems), 4단계 복합시스템 대안 식별(determining SoS alternatives), 5단계 복합시스템 대안 평가(Evaluating SoS alternatives in terms of decision factors), 6단계 복합시스템 대안 선정(Selecting the preferred SoS depending on the situation)이다[6].

2.5 소결론

복합시스템은 개별시스템으로는 달성할 수 없는 특정 운용능력을 창출하기 위해 이기종 시스템을 협력할 수 있게 연결한 큰 시스템이다. 복합시스템은 점차 복잡 다양해지는 군의 작전환경에 융통성 있게 대응할 수 있는 방안으로 필요성 및 운용에 대한 요구는 증대되고 있다.

그렇지만 복합시스템 개발은 복합시스템이 갖는 독특

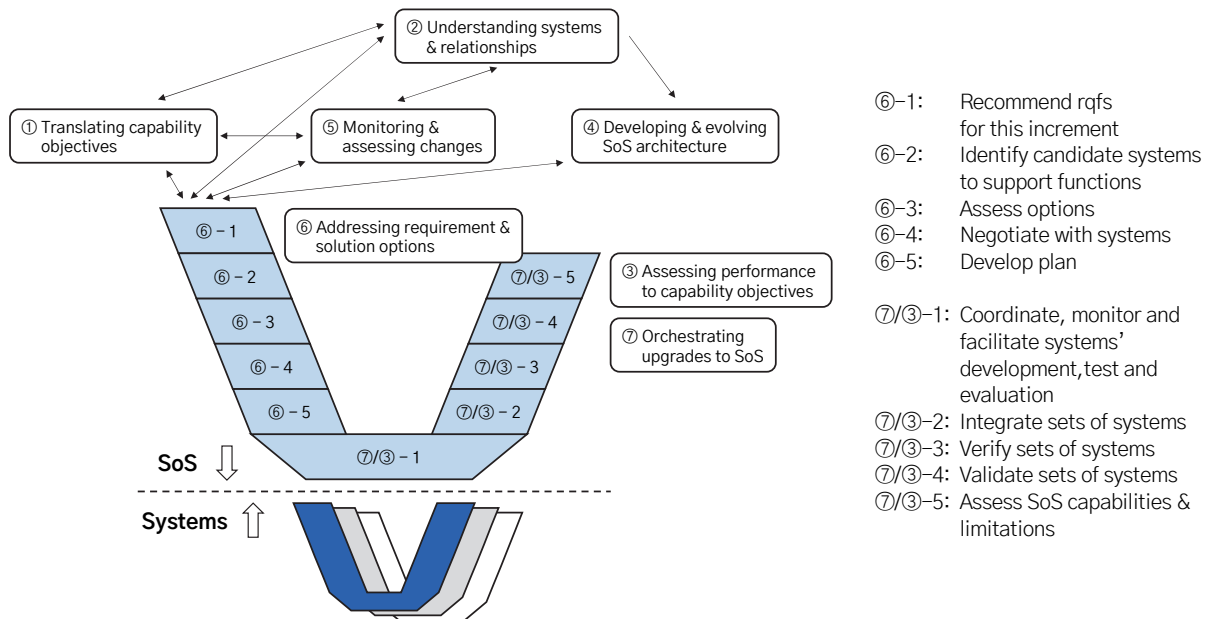


Fig. 7. 복합시스템 브이 모델(iterated vee model)

한 특징과 다양한 형태로 인해 단일시스템 개발보다 개발 환경이 훨씬 복잡하고, 어렵다.

이런 이유로 복합시스템 개발은 처음부터 가장 최적화된 대안을 도출하기 보다는 작전상황에 융통성 있게 대응할 선호 대안을 식별한 후 이를 운용하면서 점진적으로 진화시키는데 주안점을 두고 있다.

이러한 개발 환경을 고려한 복합시스템 공학(SoSE) 모델로 트라페즈 모델(trapeze model)과 이를 개선한 복합시스템 브이 모델(iterated vee model)이 개발되었다. 이를 기반으로 복합시스템을 효율적으로 개발하기 위한 복합시스템 요구사항 및 구성시스템 식별에 관한 방법론 연구가 이루어졌지만 현실적으로 군사분야에 적용하기 위해서는 군사상황을 고려하여 각 프로세스 항목을 도출할 수 있게 구체화가 필요하다. 즉, 상위의 작전명령으로부터 수행해야 할 작전임무 식별 및 복합시스템이 수행할 요구사항 도출, 요구사항을 구현할 능력 식별, 능력 평가를 통한 선호하는 구성시스템 선정 및 상호운용성 평가 등에 대해 구조적 분석이 요구된다.

따라서 기존 연구 및 지침서에서 주는 시사점을 고려하여 다양한 군사 상황에 보편적으로 적용할 수 있는 인정된(acknowledged) 복합시스템의 포트폴리오를 분석하는 방법에 대해 제시하고자 한다.

다만, 본 연구에서는 요구사항 및 임무 달성여부를 확인하기 위해서 반복적이고 지속적인 검증(시뮬레이션 및 실험 등) 노력이 요구되는 시험평가 분야와 복합시스템과 개별시스템간 또는 개별시스템간에 상호 협력을 이끌어내는 협의 및 제도(governance) 수립과 같은 사업관리 분야 등은 추후 연구로 남겨두고, 인정된(acknowledged) 복합시스템의 요구사항 및 구성시스템을 분석하는데 중점을 둔다.

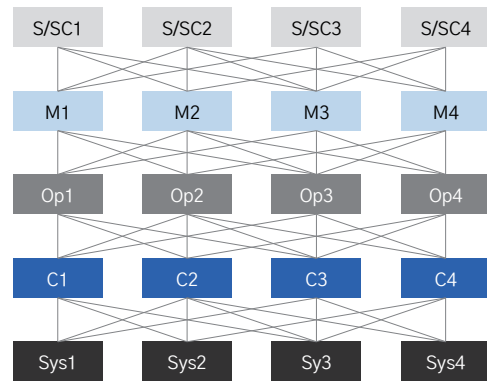
3. 복합시스템 포트폴리오 분석

3.1 능력 식별 및 적용 도구

3.1.1 능력 식별

능력이란 가용한 수단(means)과 방법(ways)을 가지고 임무 달성에 요구되는 과업(task)을 수행함으로써 발생한다. 과업은 정책 및 전략지침 또는 상부의 작전명령서에서 제시한 임무(mission)를 완수하기 위해 수행되는 일련의 행동 조치이다. 군사분야에서 수행할 과업은 임

무를 성취하기 위해 적용되는 작전개념으로부터 도출된다. 능력은 이러한 과업을 수행할 수 있도록 지원하는 조치로, 능력을 발휘하기 위해서는 무기체계와 같은 물자(materials)적 수단(means)과 군사교리 등과 같은 비물자적 방법(ways)이 요구된다. Fig. 9은 능력을 식별하는 구조이다([2], p. 122; [3], p. 46).



S/SC: strategic/scenario, M: mission, Op: operation, C: capability, Sys: system

Fig. 9. 능력식별 구조

3.1.2 능력 식별 및 평가시 적용 도구

능력 식별 및 평가시 능력을 체계적으로 분류하고 평가할 수 있도록 구축된 공통언어(common language)인 합동능력영역(JCA: joint capability area)과 합동과업목록(JTL: joint task list) 및 아키텍처(architecture)를 활용한다.

(1) 합동능력영역(JCA) 및 합동과제목록(JTL)

- 합동능력영역(JCA): 국가방위 차원에서 필요한 모든 능력(capability)을 중복 및 누락 없이 항목별로 그룹화·계층화한 분류체계로 능력을 평가하는데 기본 틀을 제공하고, 모든 조직이 일관성 있게 능력을 파악하고 관리할 수 있게 해준다.
- 합동과제목록(JTL): 국가 및 군사전략목표를 구현함에 있어 필요한 행동중심의 제반과제를 중복 및 누락 없이 기능별·계서적²⁾으로 과제화한 목록서이다. 과제(task)는 조직이나 개인이 달성해야 할 임무 및 기능으로 여기엔 과제를 명확하게 인식할 수 있는 설명과 과제를 평가할 수 있는 지표가 포함되어 있다.

2) 계서(繼序): 뒤를 이음 또는 순서를 이음

합동능력영역(JCA)과 합동과제목록(JTL)는 Fig. 10과 같이 상호 매핑된다([24], p. 12).

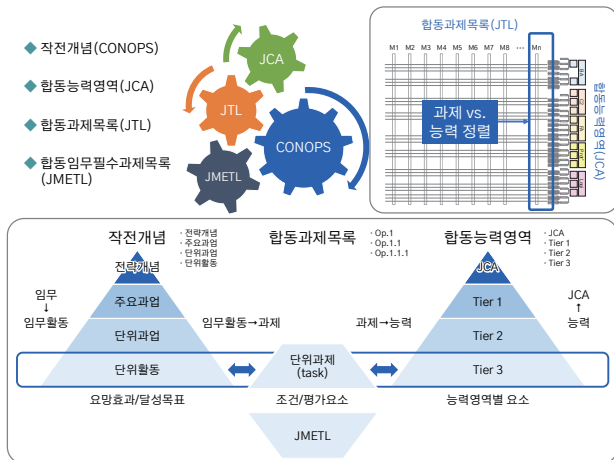


Fig. 10. 합동능력영역과 합동과제목록 간의 정렬관계

(2) 아키텍처(architecture)

아키텍처란 “특정체계의 환경 안에서 해당체계의 구성 요소 및 구성요소 간의 관계와 체계의 설계 및 진화원칙 등을 구체화한 개념 또는 특징”으로([25] 첨부자료, pp. 2-4) 청사진 및 설계도면이다. 아키텍처의 활용은 능력 식별 및 평가 이외에도 다양한 이해당사자의 관점 조율 및 의사소통, 상호운용성 관리, 구성시스템 개발에 대한 지침 제공 등 전반적인 의사결정과 솔루션을 관리하는데 적용된다.

3.2 분석 절차

복합시스템은 상부의 정책 및 전략지침 또는 작전명령 등을 근간으로 도출한 엔터프라이즈의 목표와 임무를 성취하는 해결 방안이다.

복합시스템의 개발 구조는 Fig. 11과 같이 먼저 복합시스템 차원에서 포트폴리오를 도출하고 구현하는 상단 부분과 포트폴리오에 소속되는 시스템들을 확보하는 하단 부분으로 구분한다.

개발 절차는 상단의 복합시스템 차원에서 ① 먼저 엔터프라이즈가 추구하는 임무를 식별하고, ② 이를 성취하기 위해 수행해야 할 요구사항을 도출한다. ③ 다음으로 요구사항을 구현할 능력을 식별하고, ④ 능력을 발휘할 물자적 수단(means)와 비물자적 방법(ways)을 식별한 후 포트폴리오를 구성할 시스템을 선정한다.

⑤ 이후 구성시스템 개발은 하단의 시스템 엔지니어링 차원에서 이루어진다. 이 단계는 구성시스템이 복합시스

템 차원에서 발휘할 능력을 제공할 수 있게 성능과 상호운용성 등을 확보하는 과정이다. ⑥ 구성시스템과 포트폴리오 사업관리는 조화로운 포트폴리오를 형성하기 위해 복합시스템 차원에서 구성시스템이 잘 기여할 수 있도록 영향을 행사하는 전반적인 사업관리이다. ⑦ 구성시스템 검증 및 통합시험과 ⑧ 포트폴리오 검증은 궁극적으로 엔터프라이즈의 임무 달성 여부를 확인하는 과정으로 이 단계에서는 지속적이고 반복적인 검증(simulation, M&S, 운용시험 등) 노력이 수행된다. 이 중 본 연구에서는 ①, ②, ③, ④ 프로세스 분석에 중점을 둔다.

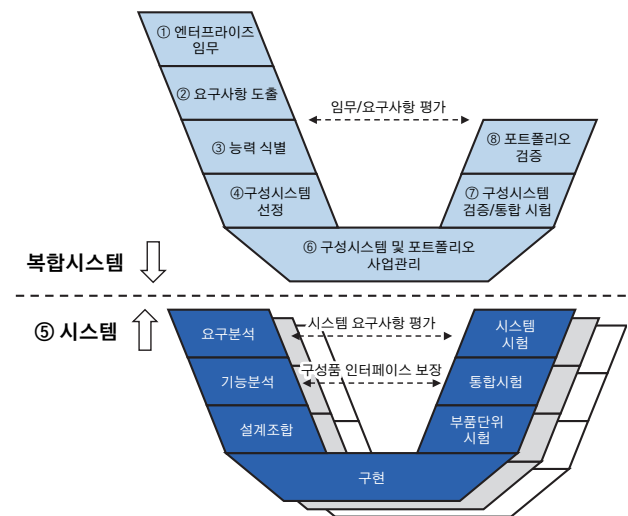


Fig. 11. 복합시스템 공학 구조 및 프로세스

3.2.1 엔터프라이즈 임무 식별

엔터프라이즈의 임무를 식별하기 위해서는 먼저 상위의 정책 및 전략지침 또는 작전명령서 등을 전반적으로 이해하고 추구하는 목표를 식별해야 한다. 상위의 지침과 명령서에는 궁극적으로 추구할 공통의 목표(the collective goal) 이외도 엔터프라이즈가 작전을 수행할 환경조건, 작전수행 개념, 임무 달성 수준을 판단할 수 있는 암묵적 평가지표 등이 기술되어 있다.

목표가 식별되면 이를 성취하기 위해 군사적으로 수행할 상위의 작전적 임무로 Fig. 12와 같이 구체적으로 분할한다([3], pp. 46-472; [13], p. 325).

분석 절차는 ① 상위의 지침 및 명령서로부터 공통의 목표를 식별하고, ② 이를 성취하기 위해 군사적으로 수행할 상위의 작전적 임무로 분할한다.

예를 들어 구조작전³⁾을 가정한 시나리오를 설정하여 분석하면 “시나리오: 조업하기 위해 출항하는 어선이 부

주의로 상선과 충돌한 후 항로상에 침몰”했을 때 상부의 최우선 관심사항은 “탐색 선원의 인명 손실 및 해양오염을 최소화하고, 함정들이 원활하게 항로를 이용할 수 있도록 해상교통로 조기 정상화”에 중점을 둘 수 있다. 이 경우 구조작전을 집행할 부대는 이러한 내용을 포괄적으로 기술한 작전명령서와 구조작전에 관한 전장 운용개념을 전반적으로 이해한 후 구체적인 목표 및 수행할 상위의 작전 임무를 식별한다.

목표는 작전명령서를 기반으로 “인명 손실 및 해양오염 피해를 최소화하기 위해 선원의 신속한 구조와 오염 유발물질 제거 및 확산을 방지하고, 항로의 조기 정상화를 위해 침몰선박을 인양하여 이동 조치한다”로 식별하고 이를 달성하기 위한 구체적인 상위의 작전적 임무는 A. 현장 탐색 및 인명 구조 작전, B. 해양오염 방지 작전, C. 침몰선박 인양 및 이송 작전, D. 추가피해 예방, 신속한 인명구조 및 인양작전을 위한 현장 보존 및 경계 작전 등으로 도출할 수 있다.

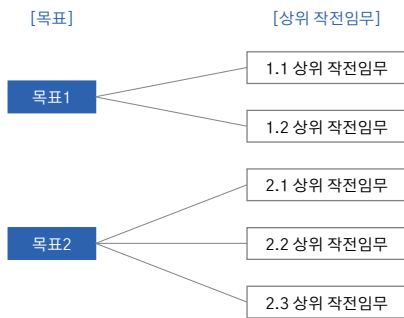


Fig. 12. 목표와 작전임무 구조

3.2.2 요구사항 도출

요구사항은 군사적인 측면에서 보면 상위의 작전 임무를 달성하기 위해 조치하고 수행하는 일련의 행위인 작전적 과업(task)과 활동(activity)이다. 이는 상위의 작전 임무를 분석하여 도출되며 이를 위해 작전개념을 구상해야 한다. 작전개념은 임무 및 전투를 수행하는 단계 및 절차로 시스템들이 어떻게 적용되는지를 파악할 수 있게 해준다.

이러한 작전개념은 해당 작전임무와 관련된 군사교리, 작전계획(OPLAN) 등을 분석하여 개발되고, 궁극적으로 작전개념을 기반으로 하여 구체적인 군사적 조치인 과업

(task)과 활동(activity)을 Fig. 13과 같이 도출한다.([3], pp. 48-49).

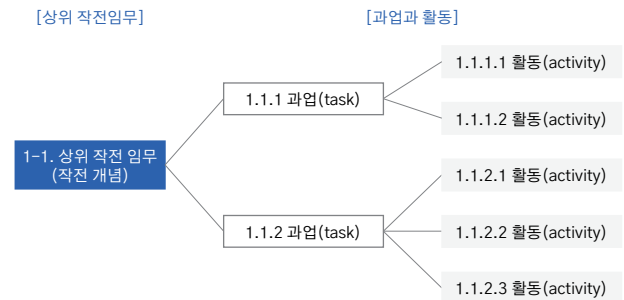


Fig. 13. 작전임무와 과업/활동 구조

분석 절차는 ① 해당 작전임무와 관련된 군사교리, 작전계획(OPLAN) 등을 참고하여 임무수행에 적용되는 작전개념을 도출하고 ② 이를 과업(task)과 활동(activity)으로 분할한다.

예를 들어 상위의 작전임무 중에서 ‘C. 침몰선박 인양 및 이송 작전’ 수행에 요구되는 군사적 조치사항을 식별하기 위해 먼저 구조작전과 관련된 군사교리 등을 참조하여 작전개념(operational concept)을 구상한 후 Fig. 14과 같이 과업(task)과 활동(activity)⁴⁾으로 분할한다([26], pp. 82-85, 93-142).

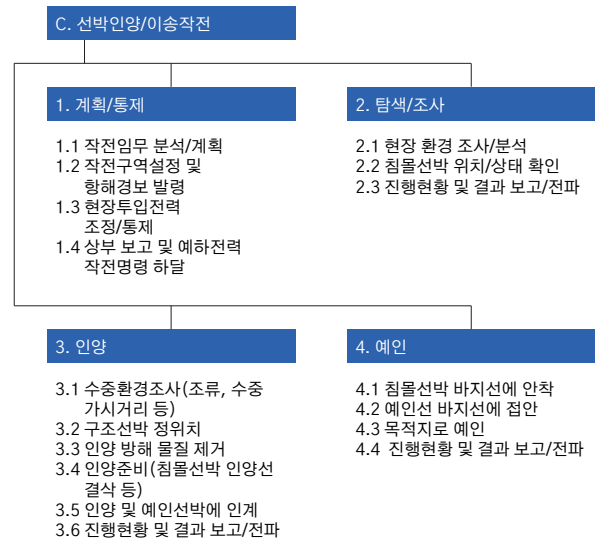


Fig. 14. 과업(task)과 활동(activity) 식별 예시

4) 구조작전의 개념, 과업 및 활동은 미국의 구조전력 확보와 관련된 논문(Christopher D. Addington, 2008)을 참조하여 분석 목적에 맞게 기술하였다. 이러한 과업 및 활동(OV-5:운용활동모델)은 아키텍처를 적용하여 작전개념(OV-1:운용개념)으로부터 도출할 수 있다.

3) 구조작전의 목적은 ① 함정의 안전 항해를 위해 항로에 있는 위험 또는 장애물 제거, ② 해역에서 손상된 함정을 수리 및 안전해역 또는 지역으로 예인, ③ 수중에 있는 중요 장비(예를 들어 항공기 블랙박스 등) 회수 등이 있다.

3.2.3 능력 식별

능력은 임무 성취에 요구되는 군사적인 조치를 지원하고, 시스템 관점에서 보면 체계에 할당되는 기능이다. 따라서 부여된 작전적 임무를 수행하기 위해 요구되는 능력은 군사적으로 조치할 구체적인 행위인 과업(task)과 활동(activity)을 지원하는 기능의 식별이다.

여기서 능력을 식별하는 도구로 합동능력영역(JCA)을 적용하고, 경우에 따라서는 용이하게 활용할 수 있게 보완하여 적용한다([3], p. 49).

분석 절차는 ① 해당 과업(task)과 활동(activity)을 수행하는데 요구되는 기능을 Fig. 15과 같이 식별한 후 이들 중에서 같거나 유사한 기능은 재차 분류한 다음([27],

pp. 14-15) ② 합동능력영역(JCA)에서 연관된 기능을 찾아 Fig. 16과 같이 상호 매핑관계를 설정하여 도출한다.

예를 들어 ‘C. 침몰선박 인양 및 이송 작전’의 과업(task) 및 활동(activity) 중에서 ‘3. 인양’ 과업(task)에 요구되는 기능은 Table 2와 같이 도출할 수 있다.

이렇게 도출한 기능은 Table 3과 같이 합동능력영역(JCA)의 능력분류체계에서 연관된 기능과 상호 매핑하여 능력을 식별한다. 만약 능력분류체계에서 충분히 지원되지 않은 분야는 보완하여 구성한다.

3.2.4 구성시스템 선정

구성시스템 선정은 복합시스템의 포트폴리오에 소속

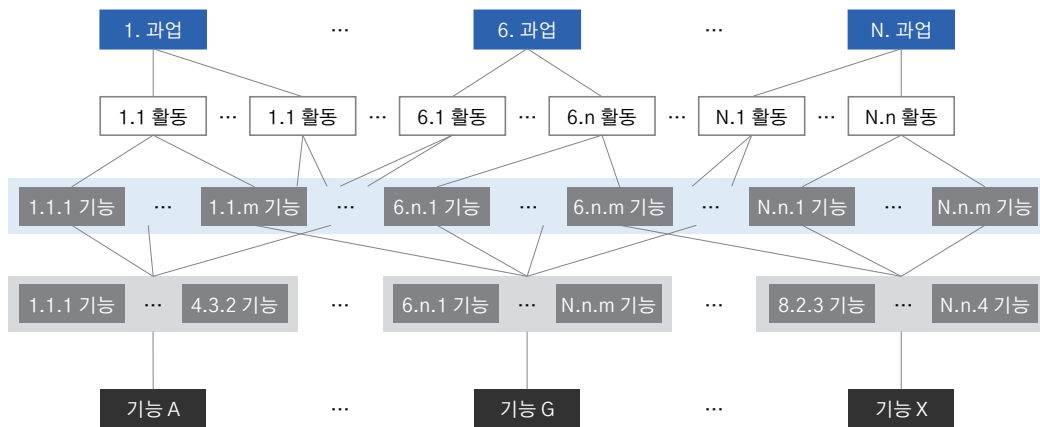


Fig. 15. 기능 식별 절차

[능력분류체계구성]				[능력분류체계와 연관된 기능과 매핑]			
Capability area				Capability area			
Tier 1	Tier 2	Tier 3	...	Tier 1	Tier 2	Tier 3	구조작전
Battlespace awareness	Planning	...	...	Battlespace awareness	Planning	...	Cap1
	Observation	...	...		Observation	...	
	
C2	Situational awareness	...	...	C2	Situational awareness	...	Cap2
	
Force application	Op movement	...	...	Force application	Op movement	...	Cap3
	
Protection	Protect personnel	...	...	Protection	Protect personnel	...	
	
NCOE	Info transport	...	...	NCOE	Info transport	...	Cap4
	

Fig. 16. 능력 식별 절차

Table 2. 기능 식별 예시

과업 및 활동	세부 활동	기능					
		A	B	C	D	E	F
3.1 수중환경 조사	3.1.1 수중환경 측정 수단 강화		✓				
	3.1.2 수중환경 측정	✓			✓		
	3.1.3 측정정보 저장 및 전송						✓
	3.1.4 수중환경 측정 수단 회수	✓					
3.2 구조선박 정위치	3.2.1 수중목표물 위치 식별	✓			✓		
	3.2.2 인양 위치로 이동				✓		
	3.2.3 인양 위치 조정/유지				✓		
3.3 인양 방해 물질 제거	3.3.1 방해물질 제거 수단 강화		✓				
	3.3.2 방해물질 식별	✓			✓		
	3.3.3 방해물질 제거				✓		
	3.3.4 방해물질 제거 수단 회수		✓				
3.4 인양준비	3.4.1 수중 작업요원/장비 강화		✓				
	3.4.2 인양장비 설치					✓	
	3.4.3 수중 작업요원/장비 회수		✓				
3.5 인양·인계	3.5.1 수중목표물 인양		✓		✓		
	3.5.2 이송선박에 탑재						✓
3.6 진행현황 결과보고/전파	3.6.1 현장상황 종합						✓
	3.6.2 현장상황 보고/전파						✓

A: 수중탐지/환경측정, B: 강하/인양, C: 항해, D: 잠수, E: 예인, F: 지휘통제/통신

될 물자적 수단을 결정하는 과정으로 ① 먼저 식별된 능력을 발휘할 수 있는 후보시스템을 식별하고, ② 이중 최선의 구성시스템을 평가를 통해 결정한다.

(1) 후보 시스템 식별

능력은 비물자적 방법(DOT_PF: 교리, 조직, 교육훈련, 인적자원, 시설)과 물자적 수단(M: 전력)을 적용하여 발휘한다. 여기서 능력 구현은 비물자적 방법을 먼저 고려하고, 만약 비물자적인 방법으로 충분하지 못했을 때 물자적 수단을 적용한다.

해당능력을 발휘하는 물자적 수단은 ① 전력기획서(JSOP 등), 국방중기계획, 합동무기체계목록서 등을 참

5) 최종 구성시스템은 원칙으로 검증단계를 거친후 결정되기 때문에 이 단계에서 선정한 구성시스템은 잠재적 구성시스템일 수 있다. 다만, 본 연구에서는 복잡성을 피하기 위해 '잠재적'이란 용어는 제외하고 사용하였다.

Table 3. 능력 식별 예시

	Capability area			인양/이송작전 요구능력
	Tier 1	Tier 2	Tier 3	
전장인식	수중물체탐지		저수심(00 m 이하)	Cap1
			중수심(00 - 000 m)	-
			심해(000 m 이상)	-
	수중환경측정		저수심(00 m 이하)	Cap2
			중수심(00 - 000 m)	-
			심해(000 m 이상)	-
...	-	
지휘통제	작전상황인식	작전상황도 전시		Cap3
	-
강하/인양	경화물		경화물(000톤 이하)	Cap4
			중량물(000톤 이상)	Cap5
	잠수		저수심(00 m 이하)	Cap6
			중수심(00 - 000 m)	-
	전력운용		심해(000 m 이상)	-
			소형선박(000톤 이하)	-
예인		중형선박(000 - 0,000톤)	Cap7	
		대형선박(0,000톤 이상)	-	
기동		인양 위치 유지/조정	Cap8	
	-
통신	정보교환		수상통신	Cap9
			수중통신	Cap10
	-
	-

고하여 식별한다. ② 이렇게 식별된 전력 중에서 현재 수행하는 작전임무, 작전준비상태(정비상태 등) 등의 가용성(availability)을 판단한 후 Table 4와 같이 합동능력영역(JCA)에 할당한다.

예를 들어 “세부 시나리오: 침몰선박의 중량이 000톤이고, 침몰 위치 수심이 00 m”이라면 이러한 작전 환경하에서 ‘C. 침몰선박 인양 및 이송작전’ 중 ‘3. 인양’ 과업(task)을 수행하고 지원할 수 있는 관련 시스템 및 부대를 전력기획서, 현재 수행하는 작전임무 및 정비상태 등을 고려하여 식별한 후 합동능력영역(JCA)에 할당한다.

(2) 후보 시스템 평가 및 구성시스템 선정

이 단계에서는 능력별로 식별한 후보 시스템 중에서 복합시스템에 소속될 적합한 후보군을 식별한 후 이중 최선의 시스템을 결정한다. 이를 위해 가용한 시스템들이 어느

Table 4. 후보시스템 및 부대 식별 예시

Capability area			인양/이송작전 요구능력	물자 수단
Tier 1	Tier 2	Tier 3		
전장 인식	수중 물체 탐지	저수심(00 m 이하)	Cap1	system1, platform1, SSU1
		중수심(00 - 000 m)	-	-
		심해(000 m 이상)	-	-
	수중 환경 측정	저수심(00 m 이하)	Cap2	system1, platform1, SSU1
		중수심(00 - 000 m)	-	-
		심해(000 m 이상)	-	-
...	...	-	-	
지휘 통제	상황 인식	작전상황도 전시	Cap3	system4, system5
	-	-
전력 운용	강하/ 인양	경화물(000톤 이하)	Cap4	platform2, platform3
		중량물(000톤 이상)	Cap5	platform2, platform3
	잠수	저수심(00 m 이하)	Cap6	system1, SSU1, SSU2, SSU3
		중수심(00 - 000 m)	-	-
		심해(000 m 이상)	-	-
	예인	소형선박(000톤 이하)	-	-
		중형선박(000 - 0,000톤)	Cap7	platform4, platform5
	기동	대형선박(0,000톤 이상)	-	-
		인양 위치 유지/조정	Cap8	system6, system7
		...	-	-
...	...	-	-	
통신	정보 교환	수상통신	Cap9	system8, system9, system10
		수중통신	Cap10	system11, system12
	-	-

정도 능력을 발휘해야 하는지를 평가할 수 있는 지표 설정이 필요하다.

분석 절차는 ① 후보시스템을 평가할 수 있는 평가지표를 설정하고, ② 평가를 통해 구성시스템을 결정한다.

• 평가지표 설정

평가지표는 어떤 것의 존재나 조건, 상태를 나타낼 수 있고, 어떤 일의 성과 또는 효율성을 확인할 수 있는 특별한 정보를 보유해야 한다([28], p. 5-18). 능력 평가지표는

작전임무에서 추구하는 요망 효과를 창출하기 위해 지원하는 군사적 과업과 활동의 수준을 측정할 수 있게 관련 조건과 달성기준을 설정한다. 조건은 과업과 활동을 수행하는데 영향을 미치는 통제할 수 없는 작전환경(환경조건, 적 상황 등) 등을 적용하고, 달성기준은 전투력을 평가할 수 있게 가능한 정량적으로 설정하며 통상 작전효과(명중률, 치명률 등) 또는 성능(탐지범위, 비행시간 등) 등을 적용한다. 이러한 평가지표는 합동과제목록(JTL), 과거의 경험, 훈련결과, 군사문헌, 전문가 의견 등을 참고하여 Table 5와 같이 개발한다. 평가는 후보시스템이 요구수준(기준치) 이상 충족시 '1', 미충족시에는 해당과업 및 활동을 성공적으로 수행할 수 없기 때문에 '0'을 준다.

Table 5. 전투력 평가 기준

00 작전	조건	속성	척도	
			기준치	목표치
Cap I	해양환경 (해수온도, 조류, 시계 등)	수중 탐지범위	수심 00 m 이상	-
Cap II	해양 환경 (파고, 시정 등)	인양력	00 톤 이상	00 톤 이상

다음으로 요구수준이 충족한 후보시스템을 대상으로 위험도(risk)를 평가한다. 이는 변화하는 불확실한 작전환경(dynamic and uncertain operational environment)에 좀 더 융통성 있게 적응 및 대응할 수 있는 구성시스템을 선정하기 위함이다. 평가는 후보시스템의 전투력 수준을 상호 비교하여 능력이 지원하는 과업과 활동을 수행하면서 예기치 못한 상황에 대해 얼마나 잘 극복할 수 있는지를 판단하여 반영한다.

Table 6. 위험도 평가 기준

구분	기준
불확실성 상황 대처 및 극복 가능성	높음 ←————→ 낮음 1 ————— 0

최종 평가는 식 (1)과 같이 전투력 평가에 위험도 평가를 곱한 값으로 계산한다.

$$\text{최종 평가} = \text{전투력 평가결과} \times \text{위험도 평가결과} \quad (1)$$

예를 들어 설정된 시나리오를 고려했을 때 ‘인양능력’은 침몰선박과 같은 중량물 인양 능력과 인양에 필요한 장비 및 작업요원을 수중에 이송 및 인양할 수 있는 경화물 인양 능력이 동시에 요구된다. 이중 중량물 인양 능력 ‘Cap5’의 평가지표는 궁극적으로 ‘해상교통로의 조기 정상화’를 창출하기 위해 항해에 장애가 되는 침몰선박(○○○톤)을 인양할 수 있는지를 측정할 수 있게 합동과제 목록(JTL), 과거 작전 경험 등을 참고하여 개발한다.

평가지표는 인양활동에 영향을 주는 작전환경과 침몰선박의 톤수 등을 고려하여 Table 7과 같이 설정할 수 있다. 여기서 조건은 파고와 시정을 적용하고, 달성기준은 인양여부를 판단할 수 있는 속성으로 인양력을 설정한다. 인양력의 측정수준은 선박이 침몰시 해저 지질(뽕, 모래 등) 및 해수의 유입으로 선박의 원래 톤수보다 무거워질 수 있어 과거 작전 경험 및 훈련 결과, 인양력 계산식 등을 참고하여 설정한다.

Table 7. 전투력 평가 기준 설정 예시

인양/이송작전	조건	속성	척도	
			기준치	목표치
Cap 5	해상상태: 파고 0 m 이하, 시정 0 mile 이상	인양력	○○○톤 이상	○○○톤 이상

• 후보시스템 평가 및 우선순위 결정

설정된 평가기준을 적용하여 후보시스템들의 능력을 측정하고, 측정결과 부족분야가 식별되면 이를 해결 또는 완화할 수 있는 방안을 강구한다.

능력 평가는 각 후보시스템별로 보유한 작전운용성능(ROC), 가용 분석자료, 군사지식 및 경험 등을 활용하여 ① 전투력을 평가하고, ② 이중 전투력이 요구수준(기준치) 이상으로 충족한 후보시스템을 대상으로 위험도를 판단한 후 ③ 우선순위를 결정한다.

예를 들어 ‘중량물 인양 능력(Cap5)’을 발휘하는 후보시스템으로 Platform2와 Platform3가 식별되었고, 인양력의 기준치가 160톤으로 설정되었다면 Platform2, Platform3의 작전운용성능(ROC), 인양력 분석 자료를 등을 참고하여 평가한다.

이 경우 Platform2는 180톤, Platform3는 300톤까지 인양가능하다면 두 체계 모두 기준치 이상으로 충족하기 때문에 전투력은 ‘1’로 평가한다.

만약 식별된 platform 모두 능력이 부족하면 민간에서

운용하는 인양 플랫폼을 대안으로 고려할 수 있고, 이는 차후에 인양능력을 증강시키는 소요로 연결될 수 있다.

다음으로 위험도 평가는 기준치 이상으로 능력을 발휘하는 플랫폼 중에서 예기치 못한 불확실한 상황에 얼마나 잘 극복할 수 있는지를 판단한다. 여기서 Platform2의 180톤 인양력은 Platform3 대비 수행해야 할 작전활동의 특성을 고려할 시 충분하지 않다고 판단할 수 있다. 즉, 해저 지질(뽕, 모래 등)이 예상보다 더 심각하게 유입되어 180톤에 근접할 수 있어 20톤의 여유는 충분하지 않을 수 있기 때문이다. 따라서 위험도는 Platform2의 경우 ‘0.85’로 평가한다. 우선순위는 전투력 및 위험도 평가결과를 종합하여 Platform3를 최우선 구성시스템으로 결정한다.

Table 8. 평가 및 우선순위 결정 예시

인양/이송작전	후보시스템	평가			우선순위
		전투력 (a)	위험도 (b)	종합 (a × b)	
Cap 5	Platform2	1	0.85	0.85	2
	Platform3	1	1	1	1

(3) 선정된 구성시스템 상호운용성 평가

상호운용성(interoperability)은 서로 다른 군, 부대 또는 체계 간 특정서비스, 정보 또는 데이터를 막힘없이 공유, 교환 및 운용할 수 있는 능력이다([29], p. 79). 평가는 선정된 구성시스템이 해당 과업 및 활동을 수행할 때 소비해야 할 정보는 받고, 생산한 정보는 제공할 수 있는지를 확인한다.

분석 절차는 Table 9과 같이 ① 먼저 과업 및 활동이 일어나는 작전노드(operational node)⁶와 정보 교환 내역을 확인한다. ② 다음으로 해당 작전노드에서 보유하고 있는 인터페이스 수단(네트워크 체계, 유·무선 전술통신체계 등)을 식별한 후 정보교환 내역을 지원할 수 있는지를 확인한다.

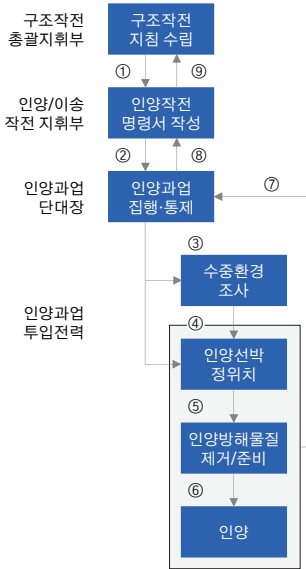
예를 들어 ‘3. 인양’ 작업(task)의 경우 먼저 해당 활동이 일어나는 작전노드와 정보교환 내역을 식별한다. 이를 위해 Fig. 17과 같이 ‘C. 침몰선박 인양 및 이송 작전’의 전반적인 작전개념과 지휘구조(a chain of command) 하에서 활동(activity)이 수행되는 과정, 활동이 일어나는 작전노드 및 활동 수행 간 교환되는 정보 내역을 식별한다.⁷ 이

⁶ 작전노드(operational node)는 해당 과업 및 활동이 일어나는 장소 또는 시설로 통상은 플랫폼 또는 육상부대 등을 지칭한다.

Table 9. 상호운용성 평가

구분	작전노드	정보교환내역					인터페이스 수단	평가
		수신	대상	내용	속성	송신		
OO 활동	Platform A	수신	OO 활동	Platform B	OO 정보	메시지 (KMTF)	SATCOM, Data Link, V/UHF 등	충족 or 미충족
		송신	OO 활동	Platform C	OO 정보	음성 (LOS)		

[1. 지휘구조 및 인양과업 수행절차]



[2. 정보교환내용 및 작전노드]

구분	작전노드	육상사령부 (총괄지휘소)	Platform A (해상지휘소)	Platform B (단대지휘소)	Platform C	Platform D
작전노드	활동	구조작전 지침 수립	인양작전 명령서 작성	인양과업 진행·통제	수중환경 조사	인양선박 정위치, 인양장애 제거/준비, 인양
육상사령부 (총괄지휘소)	구조작전 지침 수립		① 구조작전 지침 하달			
Platform A (해상지휘소)	인양작전 명령서 작성	⑨ 인양작전 진행현황/결과보고		② 인양작전 명령 하달		
Platform B (단대지휘소)	인양과업 진행·통제		⑧ 인양과업 진행현황/결과보고		③ 인양과업 개시명령	③ 인양과업 개시명령
Platform C	수중환경 조사					④ 수중환경정보/작업가능시간대
Platform D	인양선박 정위치, 인양장애 제거/준비, 인양			⑦ 인양과업 진행현황/결과보고		

[3. 상호운용성 평가]

활동	작전노드	정보교환내역					인터페이스 수단	평가
		수신	대상	내용	속성	송신		
수중 환경 조사	Platform C	수신	인양과업 집행·통제	Platform B	③ 인양과업 개시 명령	메시지 (KMTF)	SATCOM, Data link-A/B, V/UHF (0대)	충분
		송신	인양선박 정위치	Platform D	④ 수중환경정보/작업가능시간대	음성 (무선전송/LOS)		

Fig. 17. 상호운용성 평가 예시

후 활동이 이루어지는 작전노드에서 식별된 정보교환 내역을 지원할 수 있는지를 확인하여 평가한다.

만약 능력부족으로 민간의 인양플랫폼을 채택할 경우, 상호운용성 확보를 위해 연락반 배치 및 인터페이스 수단 (무선 전송망, 민간위성통신망 등) 설치 등이 요구된다.

7) 이러한 식별과정은 아키텍처를 적용하여 체계적으로 도출할 수 있다. 작전개념과 지휘구조 및 참여전력을 기술한 OV-1 (운영개념도), OV-4 (조직관계도)를 기반으로 운용활동모델 (OV-5), 운용정보교환목록 (OV-3), 운용활동관련체계 (SV-5)를 도출한다.

3.2.5 구성시스템과 포트폴리오 사업관리, 구성시스템 검증 및 통합시험, 포트폴리오 검증

구성시스템과 포트폴리오 사업관리는 조화로운 포트폴리오를 형성하기 위해 복합시스템 차원에서 구성시스템이 잘 기여할 수 있도록 전반적으로 영향을 행사하고 노력을 통합하는 단계이다. 이 단계에서 복합시스템은 구성시스템에 대한 개발 지침 제공 및 위임 분야 설정, 구성시스템 변경사항 영향도 분석 및 통제, 상호 이해상충 조율

등이 다루어진다.

다음으로 구성시스템 검증 및 통합 시험과 포트폴리오 검증은 요구사항의 충족 여부와 궁극적으로 엔터프라이즈의 임무 달성 여부를 확인하는 과정이다. 이 단계에서는 반복적이고 지속적인 검증(시뮬레이션, M&S, 운용시험 등) 노력이 요구되고, 임무 달성 여부에 따라 구성시스템의 성능 조정, 변경 또는 추가 등이 발생한다. 또한 이러한 검증 과정은 목표능력을 성취하는데 방해가 되는 해로운 창발성 행위를 조기에 식별하고, 제거 및 완화시킬 수 있는 기회를 제공한다.

결론

복합시스템은 점차 복잡 다양해지는 작전환경을 고려할 시 필요성과 운용에 대한 요구는 지속적으로 증대될 것이다.

본 논문에서는 변화하는 작전환경에 융통성 있게 대응하는 방안으로 기존 시스템(legacy system)을 활용한 인정된(acknowledged) 복합시스템을 구성하는 포트폴리오 분석 방법을 제시했다. 특히, 군사분야에 대한 적용성을 높이기 위해 이전 연구에서는 제시하지 않았던 부여된 작전임무를 근간으로 복합시스템이 수행할 요구사항 도출, 요구사항을 구현할 능력 식별, 능력을 발휘할 후보시스템 식별 및 선호 시스템 선정, 상호운용성 평가 등에 관한 절차를 구체적으로 제시했다.

제안한 분석 방법이 전력을 효율적으로 운용하고 분석하는데 기반이 되길 기대한다.

향후 전투력을 평가하는 방법, 포트폴리오를 검증(시뮬레이션, 실험 등)하는 시험평가 분야 및 개발 간 노력을 통합하기 위한 정책 및 제도(governance) 수립 분야는 추가적인 연구가 필요한 분야이다.

참고문헌

- [1] 박휘락(2007), “능력기반 국방기획과 한국군의 수용방향,” 「국가전략」 제13권 제2호, pp. 5-28.
- [2] 최상영(2007), “복합시스템 엔지니어링에 대한 고찰,” 「군사과학연구지」 제1권 제1호, pp. 115-126.
- [3] 이경석(2021), “능력기반 전력소요 분석,” 「한국해군과학기술협회」, Journal of the KNST 4(1), pp. 42-54.
- [4] Office of the Deputy Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, Systems and Software Engineering (2008), “Systems Engineering Guide for System of Systems Version 1.0,” Washington, DC:

ODUSD(A&T)SSE

- [5] Jae-Hong Ahn (2013), “An architecture-based approach to identify constituent systems and capability gaps of system-of-systems,” Korea University, Doctor of philosophy in science.
- [6] B.Mokhtorpour, Jernell Stracener (2017), “A conceptual methodology for selecting the preferred system of systems,” IEEE System Journal, pp. 1-7.
- [7] 이태공 (2007), 「NCW 이론과 응용」, 홍릉과학출판사, 서울
- [8] US. Department of Defense (2003), “Network Centric Warfare : Creating a Decisive Warfighting Advantage,” Director, Force Transformation, Office of the Secretary of Defense, Washington, DC.
- [9] 박상건 (2012), “NCO를 위한 효율적 능력기반전력 개발 및 운용 방법론에 관한 연구,” 아주대학교, 박사학위논문.
- [10] CJCSI 3500.02B (2014), “Universal Joint Task List Program,” Joint Chiefs of Staff.
- [11] CJCSI 3170.01F (2007), “Joint Capabilities Integration and Development System,” Joint Chiefs of Staff.
- [12] Mark W. Maier (1998), “Architecting principles for System of Systems,” The Information Architects Cooperative(TIAC), System Engineering, Vol. 1, No. 4, pp. 267-284.
- [13] Marion L. Butterfield, Jay S. Pearlman, Stephen C. Vickroy (2008), “A System of Systems Engineering GEOSS: Architectural Approach,” IEEE System Journal, Vol. 2, No. 3, September, pp. 321-332.
- [14] Cornelius Ncube, Soo Ling Lim (2018), “On System of Systems Engineering: A Requirement Engineering Perspective and Research Agenda,” 2018 IEEE 26th International Requirement Engineering Conference, August 20-24, pp. 112-123.
- [15] US Air Force, Scientific Advisory Board(2005), “Report on System-of-Systems Engineering for Air Force Capability Development.”
- [16] Stephen E. Gillespie (2016), “System of systems architecture feasibility assessment model,” Monterey, California: Naval Postgraduate School.
- [17] Craig Meyers, James. D. Smith, Peter Capell, Patrick D. H. Place (2006), “Requirement management in a system of systems context : A workshop,” Carnegie Mellon, Software Engineering Institute.
- [18] John Boardman and Brian Sauser (2006), “System of systems-the meaning of,” Proceedings of the IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering, Los Angeles, CA, pp. 118-123.
- [19] Brian Sauser (2009), “Analysing a system of system characteristic to define system of systems engineering practices,” International Journal of System of Systems Engineering, Vol. 1, No. 3, pp. 329-346.
- [20] W. Clifton Baldwin, Brian Sauser (2009), “Modeling the Characteristic of System of systems,” IEEE/SMC International Conference on System of Systems Engineering June 1-4,” Albuquerque, NM, pp. 118-123.

- [21] Judith S. Dahmann (2013), "System of systems characterization and Types," NATO S&T organization
- [22] Cornelius Ncube, Soo Ling Lim (2018), "On System of Systems Engineering: A Requirement Engineering Perspective and Research Agenda," 2018 IEEE 26th International Requirement Engineering Conference, August 20-24, pp. 112-123.
- [23] Mo Jamshidi (2009), "System of Systems Engineering : Innovations for the 21st century," John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [24] 합동참모본부 전력발전부 (2018), "합동과제목록(JTL)," 서울:합동참모본부.
- [25] 국방부 (2019), "국방 아키텍처 프레임워크(MNDAF) Ver1.5 <제1권> 정의 및 지침," 서울: 국방부.
- [26] Christopher D. Addington (2008), "Model-based methodology for system of systems architecture development with application to the recapitalization of the future towing and salvage platform," Naval Postgraduate School, Thesis.
- [27] Marion L. Butterfield, Alaka D. Shivananda, Dennis C. Schwarz (2009), "The Boeing System of Systems Engineering (SoSE) Process and Its Use in Developing Legacy-Based Net-Centric System of Systems," National Defense Industrial Association(NDIA) 12th Annual System Engineering Conference, October 26-29, Conference Session: Net-Centric Operations.
- [28] 합동참모본부 전력발전부 (2018), "합동교범 5-0 : 합동기획," 서울: 합동참모본부.
- [29] 국방부 (2020), "국방상호운용성 관리 지시," 서울: 국방부.