

작전 수행역량의 하락을 고려한 효과적인 작전 규칙 수립

임종욱¹, 오세영¹, 김수찬², 류준열^{2*}
¹서울대학교 산업공학과, ²육군사관학교 기계·시스템공학과

Establishing an Effective Operation Rule in Consideration of Operation Quality Degradation

Jong-Wook Lim¹, Se-young Oh¹, Soo-Chan Kim², Jun-Yeol Ryu^{2*}
¹Department of Industrial Engineering, Seoul National University
²Department of Mechanical and Systems Engineering, Korea Military Academy

요약 본 연구는 군사 작전 초기에 작전 수행 요소 내의 일부 요인을 고정하는 의사결정인 작전 규칙의 수립을 통해 작전 수행 시간이 줄어드는 효과를 모델링하는 것을 목표로 한다. 작전 규칙의 수립은 작전을 수행하는 조직 사이 의사결정의 반복을 제거함으로써 작전 종료 시점을 앞당기는 효과를 가지나 작전을 수행하는 부대 사이의 의사 교환을 통제함으로 인한 작전 수행역량의 하락 또한 발생시킨다. 본 연구에서는 이와 같은 작전 규칙과 관련한 상충관계를 고려하여 작전 수행 시간을 줄이는 목적을 달성하면서도 작전 수행역량의 과도한 저하를 야기하지 않는 효과적인 작전 규칙 수립에 대해 제안한다. 이를 위해 work transformation matrix (WTM) 방법론을 활용하여 군사 작전 중 의사결정 반복이 수렴하는 과정을 모델링하며, 정의한 모델과 Sherman-Morrison 공식을 사용해 작전 수행역량의 하락이 기존 작전 수행역량 대비 일정 임계치 이상 발생하지 않도록 하는 동시에 최적의 작전 수행 시간을 확보할 수 있는 작전 규칙을 수립하는 정수 최적화 모형을 개발하였다.

Abstract The aim of this paper is to reduce military operation time by showing effects of an operation rule, which is a strategic decision-making rule to fix certain operation elements in the early stage of the operation. The formation of an operation rule accelerates the point at which the operation ends by eliminating iterations of decision-making and quality degradation due to the hindrance of information flow between operation teams. In this context, effective operation rules that minimize the operation time while not causing critical degradation of operation quality need to be established. This study modeled the convergence process of military operations by using a work transformation matrix (WTM). An optimal operation rule was obtained to minimize operation time with guarantee of the threshold of operation quality through an integer optimization programming using the Sherman-Morrison formula.

Keywords : Operation Time, Operation Rule, Operation Elements, Quality Degradation, WTM, Operation Quality, Integer Optimization Programming

본 논문은 화랑대 연구소의 2021년도(21-군학-33) 연구활동비 지원을 받아 연구되었음.

*Corresponding Author : Jun-Yeol Ryu(Korea Military Academy)

email: barampool@gmail.com

Received September 1, 2022

Accepted October 7, 2022

Revised October 4, 2022

Published October 31, 2022

1. 서론

분, 초 단위로 상황이 변하는 군사작전 상황에서 신속한 지휘 결심은 전투의 승패를 결정짓는 중요한 요인이다. 지휘관 및 참모의 세부 구성과 작전 수행에 관련된 의사결정의 수립 과정 및 시행을 다룬 미군 교범인 FM 6-0에 따르면, 군사작전이 시작되면 지휘관 및 참모는 가용 부대, 자산, 작전환경 등을 고려하여 다양한 대안을 수립한다[1]. 예를 들면 적이 공격할 수 있는 대표적인 경로 A, B가 있다고 할 때, 지휘관 및 참모는 적이 접근하기 전에 전투력을 최대한 감소시키고, 공세이전의 여건을 조성할 수 있는 다양한 작전 대안을 수립한다. 작전 대안은 작전적 한계, 작전 요구사항, 자원의 할당, 예하 부대의 상태 및 기능의 변화에 기반하여 참모가 작성한 후 지휘관에게 건의하는 형태로 결정된다. 초기에 센서, 사람, 기계 등의 수단을 통해 수집된 데이터는 피아의 구체적 행동 정보가 반영되기 전이며, 다양한 데이터가 활용할 수 있는 형태로 취합되지 않은 불완전한 상태이다. 시간이 지남에 따라 적과 아군 상황에 대한 추가적인 데이터가 수집되고 참모조직에서 수집된 데이터를 분석하면서 상황 해결에 필요한 정보로 처리한다. 초기에 부정확했던 정보는 조직 간의 의사결정 과정을 거치며 더욱 정확해지고 군사적 가치를 갖는 지식으로 가공된다. 이를 FM 6-0에서는 모호성 감소라고 표현한다. 최종 정보에 대한 충분한 토의를 거쳐 가공된 지식은 지휘관 및 참모에게 정확한 상황 이해 및 판단에 기반하여 의사결정을 내릴 수 있게 하며 지휘관의 요구 효과 달성을 높은 확률로 보장할 수 있다. 본 연구에서는 지휘관의 요구 효과를 달성할 수 있는 정도를 작전 수행역량이라 하며 정량적으로 표현한다. 수집된 사실과 정보가 가공되며 모호성이 감소하는 절차를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다[1].

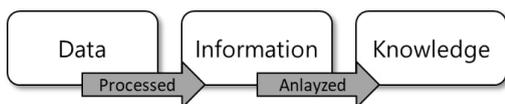


Fig. 1. Process of ambiguity-decreasing

그러나 전장 상황에서는 수많은 외생 변수가 존재하며, 항상 필요한 모든 정보를 획득하기 어렵다. 지형 및 기상의 영향, 적 방책의 변화, 교전으로 인한 병력, 화기 및 감시 정찰 장비의 손실에서 기인한 아군 가용자산의 변화 등으로 인해 정보의 불확실성을 갖게 된다. 특히 단

기 작전 상황에서는 전장의 적시성의 특성으로 인해 TCT(time critical target)와 같은 중요 표적 등이 식별되었을 경우 신속한 의사결정을 통해 목표물을 공격하는 등의 작전 대안을 세워야 한다. 작전 계획 및 준비, 실행과 평가를 다룬 미군 교범인 ADRP 5-0에 따르면, 충분한 시간을 확보하여 아군의 제한사항 및 작전 대안의 비교 등을 통해 충분한 의사결정 과정을 거치면 더욱 정확한 의사결정을 내릴 수 있다[2]. 그러나 충분한 시간을 확보하는 것은 매우 어려우며 시간이 지연되면 포착된 기회 자체를 활용할 수 없는 경우가 발생한다. 예를 들어 아군이 핵심표적을 식별하면 접촉이 단절되기 전, 표적에 피해를 줄 수 있는 타격 수단을 선택하여 공격해야 한다. 그러나 의사결정 시간이 지연되면, 해당 표적과의 접촉이 단절되어 공격할 기회를 놓칠 수 있다. 또 적에게 아군의 중요 장비가 탐지되어 공격받을 경우, 지휘관은 해당 장비를 어느 지점으로 이탈시키는 것이 최적의 방안인지를 신속하게 결정하여 피해를 최소화한다. 이는 시간이 지연될 경우 피해가 커지고 후속 작전에서 활용할 수 있는 중요 자산을 잃을 수 있기 때문이다.

의사결정권자인 지휘관은 배치된 부대로부터 취합된 정보와 가용 자산 등에 기반한 참모 조언을 전달 받고 최종 의사결정을 한다. 이와 같은 상황에서 의사결정 프로세스의 기능적 향상은 군사 분야에서 중요한 문제이며, 특히 의사결정 소요 시간 단축에 관한 사항은 전장에서 빠른 결심을 내려야 하는 지휘관 및 참모에게 중요한 문제이다.

FM 6-0의 기능 구조에 따르면 참모조직의 구성은 보통 인사, 정보, 작전, 군수로 구성되며 기능에 따라 작전 1, 작전 2 등과 같이 세부적으로 나뉜다. 각 조직은 전투 현장에 배치된 부대로부터 정보를 수집하며, 가용 자원 및 제약조건에 따라 의사결정을 내린다. 이때, 각 조직의 제약조건은 타 부서의 가용자산 및 의사결정에 의해 영향을 받는다. 예를 들어 정보기능에서 표적을 식별하면, 작전 기능에서 타격 우선순위를 결정한다. 이때, 사격하는 부대의 이동 완료 및 방열 여부, 군수 기능의 탄약 보급 가능 여부 등의 다양한 변수를 고려하여 각 기능의 상호작용에 기반한 최적의 의사결정이 이루어진다. 이처럼 최종 결정을 내리는 시점에서 변화된 정보와 각 조직의 의사결정 등에 따라 필연적으로 재작업이 발생하며, 이는 의사결정의 지연을 야기한다.

전투 상황에서 의사결정의 지연은 식별된 표적을 타격할 기회를 놓치게 하거나 적시에 병력의 투입 및 철수 등의 조치를 할 수 없게 하며, 이는 곧 전투력 손실로 이어

진다. 일반적인 상황에서는 충분한 재작업 과정을 거쳐 가장 적합한 의사결정을 할 수 있으나, 적시성이 강조되는 전장 상황에서는 다소 불충분한 재작업 과정을 거치더라도 적보다 먼저 의사결정을 내리는 것이 중요하다.

본 연구에서는 하루 단위로 이루어지는 단기간의 전투 상황에서 작전 초기에 작전 수행 요소의 일부를 고정하는 작전 규칙 수립 전략에 대해 연구하였다. 결정권자의 목표를 달성하기 위한 핵심 변수인 시간을 단축하는 것은 중요한 문제이다. 시간을 단축하는 과정에서 작전 수행역량의 저하 또한 동시에 고려돼야 하는 중요한 문제이다. 따라서 본 연구에서는 결정권자가 요구하는 작전 수행역량을 반영한 가운데 의사결정 시간을 단축하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 방법을 적용하면 작전 수행역량을 확보한 가운데 의사결정에 필요한 시간을 단축할 수 있다. 의사결정 시간과 산출물인 수행역량의 상충관계를 고려하여 적절한 의사결정을 내린다면, 해당 시점에서 적보다 우선하여 유리한 상황을 활용할 수 있다. 그뿐만 아니라 이후 의사결정에 필요한 시간을 확보하는 이점 등을 얻을 수 있어 향후 의사결정을 내리는 과정에서 통찰력을 제공할 것으로 기대한다.

본 논문은 총 6장으로 구성되어있다. 2장에서는 관련 연구 및 본 논문의 방향성에 대해 설명한다. 3장에서는 작전 의사결정 모델링에 대해 설명한다. 4장에서는 작전 의사결정 모델링을 기반으로 작전 규칙을 수립하기 위한 수리적 모형을 제안한다. 5장에서는 수치적 예시를 통해 일반적 방법으로 수행된 의사결정과 본 연구에서 제안하는 의사결정 방법의 차이를 확인한다. 6장에는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논한다.

2. 관련 연구

군사적 의사결정 과정은 단위 부대를 구성하고 있는 참모 및 배치부대의 관계에서 반복적으로 수행된다. Ulrich and Eppinger에 따르면 이러한 의사결정(작업)

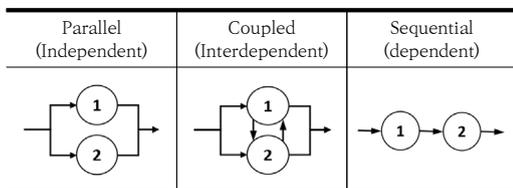


Fig. 2. Graphical representation of parallel, coupled, and sequential tasks

의 연관관계는 병렬적(parallel), 상호종속적(coupled), 순차적(sequential)으로 구분할 수 있으며 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다[3].

해당 연구에 따르면 세 가지 유형으로 구분된 연관관계 중 문제가 되는 것은 상호종속적 관계이다, 의사결정이 한 번의 프로세스로 끝나지 않기 어려우며 의사결정의 반복적인 교환이 필요함을 언급하였다. 예를 들어 작전 조직에서의 의사결정 결과에 의해 군수 조직이 영향을 받고, 역으로 군수 조직의 의사결정에 의해 작전 조직이 영향을 받는 상황을 가정할 때, 각 조직은 서로의 정보가 필요하며 새로운 정보를 입수하였을 시 기존의 의사결정 결과를 수정해야 하는 소요가 발생한다.

이러한 의사결정의 반복적 구조를 표현하는 방법의 하나로 설계 체계 매트릭스(Design Structure Matrix: DSM) 방법론이 널리 사용된다[4]. 의사결정 과정을 각 조직에서의 의사결정을 내리는 것으로 보면 Fig. 3과 같은 매트릭스로 표현할 수 있다[5]. 매트릭스의 '●'는 각 의사결정 값 간의 연관관계 및 의사결정 값 결심의 선후 관계를 나타낸다. Steward는 DSM의 대각원소를 제외한 상삼각행렬에 있는 '●'를 명확히 파악하고 그 값을 전략적으로 관리하는 것에 중점을 두었다.

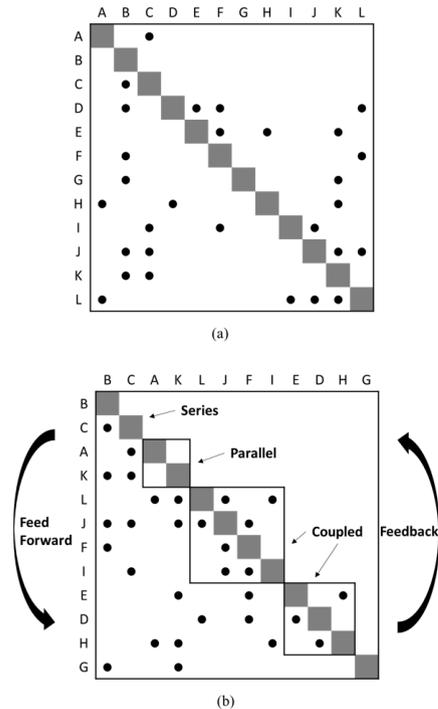


Fig. 3. DSM overview
(a) Spaghetti graph;
(b) Partitioned DSM

Steward의 연구에서는 이와 같은 상호종속적인 값을 효과적으로 관리하기 위해 테어링(Tearing)의 개념을 도입하였다[4]. 테어링은 의사결정 중 일부의 연관관계를 의사결정 내용의 고정을 통해 제거하거나 상호종속적인 작업 중 일부의 순서를 전략적으로 정해줌으로써 의사결정의 순환을 제거하는 작업을 의미한다. 이를 관리하기 위한 방안으로 우회 다이어그램(Shunt diagram)을 제안하였으며 의사결정의 순환 중 가장 긴 길이의 순환(principal circuit)을 효과적으로 끊는 것이 목적이다. Fig. 4를 예시로 볼 때, 다섯 개의 조직이 1-2-3-4-5의 긴 길이의 의사결정 순환 구조로 되어 있다. 이때 4-5 사이의 정보의 흐름을 끊는 것은(즉 조직 4로부터 조직 5로 전달되는 정보를 전략적으로 고정하는 것은) 1-2-3-4의 순환 구조를 유지하게 되므로 큰 효과를 거두지 못하나, 2-3 또는 3-4 사이의 흐름을 끊는 것은 큰 효과를 거둘 수 있음을 시각적으로 확인할 수 있다.

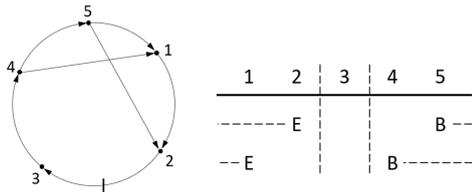


Fig. 4. Example of shunt diagram

의사결정의 순환 제거를 위해 구체적으로 어떠한 정보의 흐름을 통제하여야 하는지에 대한 방법론으로써 품질의 집(House of Quality; HOQ)을 통해 의사결정의 중요도를 파악하여 그 순서를 결정할 방법론[6], 메카트로닉스 제품의 설계 중 의사결정자가 해를 찾아가는 과정에 대해 테어링을 도입하였을 때의 효과를 분석한 연구[7], DSM 상에서 상호종속적인 의사결정 묶음을 찾아낸 후 그중 다른 의사결정들로부터 받는 정보가 적은 것을 찾아내서 다른 결정들보다 순서를 앞으로 배치하도록 한 연구[8] 등이 진행된 바 있다.

2000년 Baldwin and Clark의 연구에서는 제품 설계 과정 내에서 반복되는 의사결정 및 그에 따른 재작업을 줄이기 위한 한 가지 방안으로 설계 규칙(design rules)을 제안하였다[9]. 조직 내의 의사결정 전달과 조직 간의 의사결정 전달을 구분하여 모델링하였으며, 그중 특히 조직 간의 의사결정 전달을 여러 조직에 걸친 의사결정의 반복을 야기하는 원인으로 보았다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 해당 연구에서는 특정한 조직

의 의사결정 요소를 고정하고, 나머지 조직은 해당 조직의 의사결정에 종속된 의사결정을 따르는 설계규칙의 개념을 제안하였다. Fig. 5에서 표현된 바와 같이 상호종속적이던 메인보드 및 LCD 스크린 등 모듈들의 설계가 설계 규칙의 적용을 통해 독립적으로 진행될 수 있음을 보였다.

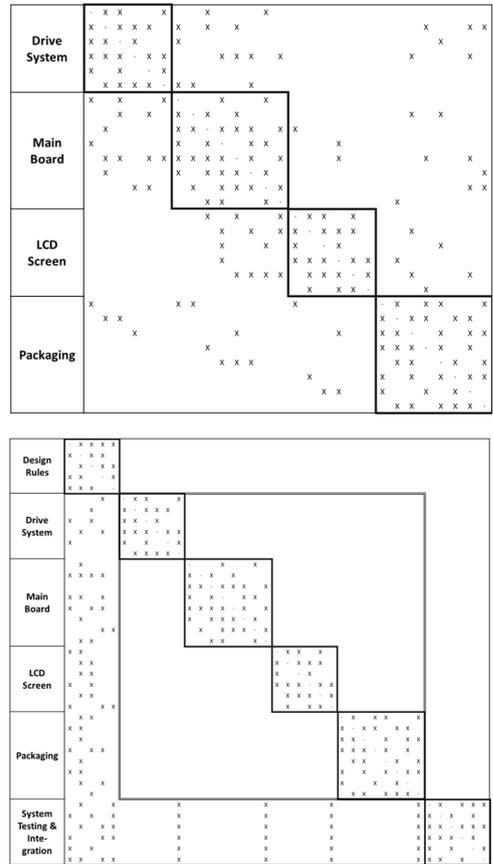


Fig. 5. Description of design rules (Baldwin and Clark, 2000)

앞서 ADRP 5-0에서 언급한 바와 같이 의사결정 과정에서 시간은 중요한 변수이다. 그러나 전장 상황 등에서는 시간의 제약이 존재하고, 소요 시간은 향후 작전에 영향을 미치는 주요 변수이므로 충분한 의사결정 시간이 확보되지 않은 상황에서도 결정을 내릴 수 있어야 한다. 2003년 Rasch et al.은 군의 전략적 의사결정 지원 시스템을 연구하였고, 이 과정에서 시간을 절약하여 효과적인 의사결정을 내릴 수 있도록 하였다[10]. 2016년 Kelein과 Hastings는 시간 제약이 존재하는 상황에서 의사결정 도구를 사용하여 최종 결정을 내리는 것을 군

교리적 관점에서 연구하였다[11]. 작전 수행시간과 역량 등에 관한 교리와 관련 연구를 살펴보면, 시간 제약이 존재하는 작전 상황에서 의사결정 시간을 단축하는 것에 대한 중요성을 강조하고 있다. 교리, 절차와 컴퓨터 시스템 등을 이용하여 의사결정과 연관된 하위 업무인 정보 분석의 시간 단축, 제도적 측면에서도 연구가 진행되고 있다. 그러나 본 연구에서 다루는 단기 작전 상황에서 의사결정 과정을 모델링하여 작전 수행시간을 다룬 연구는 부족한 상황이다.

이번 연구에서의 작전 규칙은 의사결정의 반복을 제어하기 위한 전략적인 방안이다. 이상적인 상황에서는 충분한 반복을 거쳐 최종 결정을 내릴 수 있다. 하지만 군 작전과 같은 상황에서는 시간을 많이 투입할수록 작전 수행역량을 향상할 수는 있지만, 동시에 짧은 시간에 판단을 내려야 결정적 순간에 적에게 큰 피해를 강요하거나 아군의 피해를 최소화할 수 있다.

따라서 가장 핵심적인 업무의 작전 수행역량을 충족함과 동시에 가장 단시간에 판단을 내릴 수 있는 의사결정 방법의 정립은 중요한 문제이다. 이번 연구에서는 위와 같은 상황에서 의사결정의 시간을 최소화하면서 동시에 핵심 업무의 질적 수준을 보장하는 방법론을 제안한다.

3. 작전 의사결정 모델링

3.1 작업 구조 모델링

본 연구에서는 조직 간 소통에 해당하는 의사결정 요소는 전달 정보라 칭한다. FM 6-0에 따르면, 전달 정보는 노드 간의 처리되지 않은 신호 통신으로 구성되거나 인원, 장비 등에서 식별된 데이터를 사용할 수 있는 형태로 가공한 것이며, 수집된 데이터는 처리 과정을 거쳐 정보가 되어야 의사결정에 필요한 가치를 갖게 된다.

Smith와 Eppinger는 관련한 상황에 대하여 작업 변환 매트릭스(WTM; Work Transformation Matrix)라는 방법론을 제안하였다[12,13]. 작업 변환 매트릭스는 설계 체계 매트릭스(DSM; Design Structure Matrix)로부터 확장된 방법론으로, 제품의 설계상에서 상호종속된 설계 작업 간 정보의 흐름으로 인해 발생하는 설계 반복을 분석한다. 특히 재작업이 반복적으로 수행되는 것에 착안하여 설계 작업의 결과물이 수렴할 때까지 반복되는 상황을 매트릭스를 활용하여 모델링하였다.

군에서의 의사결정도 유사한 맥락에서 진행된다. 조직 간 상호 종속관계에 따라 전달 정보를 주고받으며 여러 차례 재작업을 진행한 다음 최종 결정을 내린다. 의사결정의 반복을 진행하는 과정에서 도출된 결과물을 통해 지휘관이 요구하는 효과를 높은 확률로 보장받을 수 있다. 하위조직에서 어떤 결정을 내리기 위해서는 연관된 조직에서의 결과물이 필요하다. 앞서 언급한 바와 같이 초기에 조직 간주고 받는 전달 정보는 부정확하며, 이에 따라 필연적으로 재작업을 필요로 한다. 예를 들면 포병 사격을 하기 위해서는 가용한 탄이 있는지를 확인하여야 하고 동시에 아군의 위치정보, 공역통제 등의 정보가 필요하다. 이러한 과정은 여러 번 반복되며 안전 등의 최소 요구조건을 만족하거나 충분한 반복이 이루어진 다음 종료된다.

구체적으로 WTM은 각 조직 간 작업의 연관 정도가 0부터 1까지의 숫자로 정방형의 작업 변환 매트릭스로 나타난다. 이때 매트릭스 내 (i,j) 에 위치한 α 의 의미는 j 번째 조직이 수행하였던 작업의 α 만큼이 변환되어 i 번째 조직이 그만큼의 재작업을 수행해야 함을 뜻한다. 예시로써 A부터 E까지 5개의 조직 및 그들 사이의 정보의 흐름을 Fig. 6 상의 매트릭스 A로 나타내었다. 이때 B조직과 C조직 사이의 관계를 들여다보면 B조직이 자신의 작업을 마친 후에 해당 작업의 30%가 C조직의 재작업으로 변환되며, C조직이 수행한 작업의 20%가 B조직에게 변환되어 주어짐을 나타내고 있다.

이러한 조직 간의 상호작용에 대해 WTM 방법론은 시간의 흐름을 이산적으로 보아 매기 발생하는 조직의 작업량을 추적하도록 하였다. 각 조직이 0기에 수행하여야 하는 초기 작업량을 단위화하여 u_0 라는 단위벡터를 정의하였을 때 다음 기인 1기에 수행하여야 하는 각 조직의 재작업량은 작업 변환 매트릭스와 초기 작업량으로 구성된 벡터를 곱한 값과 같으며, 수식으로 표현하면 Eq. (1)과 같다.

$$u_1 = Au_0 \tag{1}$$

작업 변환 매트릭스를 활용하여 산정한 재작업의 예시는 아래 Fig. 6의 계산된 바와 같다.

반복되는 재작업에 의해 매기 발생하는 작업량을 모두 더하여 도출한 군 수행 작전 내 총작업량 U 는 Eq. (2)와 같다.

$$U = u_0 + Au_0 + A^2u_0 + \dots = (I + A + A^2 + \dots)u_0 \tag{2}$$

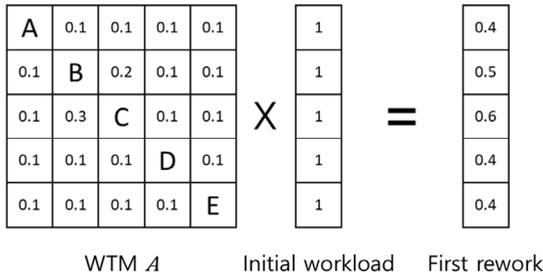


Fig. 6. An example of a rework case with WTM

이때 $I-A$ 가 역행렬이 존재하는 비특이행렬(non-singular matrix)이고 A 의 모든 특잇값이 1보다 작다는 가정하에, Eq. (3)과 같은 수식이 성립한다.

$$U = (I - A)^{-1}u_0 \quad (3)$$

도출되는 총작업량 U 는 작전 의사결정의 수립을 위해 조직별로 어느 정도의 작업량을 수행하여야 하는지를 의미하는 벡터값을 가진다. 그중 가장 큰 작업량을 갖는 조직이 작전 의사결정의 수립 시기를 결정짓는 지표가 될 수 있다.

이처럼 WTM을 적용하여 전체 의사결정 시간을 예측하는 경우 초기 전달 정보 등의 정확성이 제한되는 상황에서도 전체 의사결정에 드는 시간뿐만 아니라 고정된 작전 규칙이 전체 시간에 미치는 영향을 추정하기 용이하다. 이는 기존 군 의사결정 과정에서 구성원의 지식, 경험, 훈련과 같은 정성적인 관점에서 접근하여 시간을 단축하는 주관적 상황을 정량적으로 표현할 수 있을 뿐만 아니라 작전 규칙 수립을 통해 정성적인 방법보다 단축된 시간과 일정 수준 이상의 작전 수행역량을 보장할 수 있다.

3.2 작전 수행역량

초기 단계에서 작전 수행역량을 예측하는 것은 어렵다. 2008년 Reich and Paz의 연구에 따르면, 시스템에 대해 투입된 자원의 양에 따라 산출물의 수준이 향상됨을 보였으며[14], Leu et al.의 2021년 연구에서는 산출물의 질적 수준은 프로세스의 반복 횟수 증가에 따라 향상됨을 주장하였다[15]. 유사한 맥락에서, 의사결정의 반복으로 인해 지식이 축적되고 그 결과로 학습 효과(learning effect)가 발생하여 더 나은 산출물을 얻기 위해 필요한 자원의 양이 감소하는 것을 반영한 2001년 Cho and Eppinger의 연구, 2002년 Browning and Eppinger와 2019년 Ma et al.의 연구 등도 제안된 바

있다[16-18].

이와 같은 선행 연구는 군 조직에서 업무를 수행하는데 핵심 자원인 시간의 투입이 증가함에 따라 산출물로서 표현되는 작전 수행역량이 향상되는 것에 대한 이론적 배경이 된다. FM 6-0에서 명시하는 바와 같이 군에서의 의사결정은 궁극적으로 지휘관의 요구사항을 가장 잘 반영할 수 있는 작전 대안을 찾는 것이다. 이 관점에서 작전 수행역량을 다시 정의하면, 지휘관의 요구사항을 실현할 수 있는 정도를 의미한다.

본 연구에서는 앞서 언급한 특성을 고려하여 효과적인 모델링을 위해 다음과 같이 가정하였다. 첫째, 작전 수행역량은 산출물의 선형 합으로 표현할 수 있다는 것이다. 군 조직에서 하위조직은 독립적인 기능을 수행할 수 있으며, 최종 의사결정이 내려지면 더 이상 재작업을 하지 않는 상황을 반영하였다. 워게임 모델 등에서 일반적으로 부대의 전투지수를 표현할 때, 장비의 수, 가용자산의 수량 등을 토대로 선형적으로 전투력을 도출하는 것을 반영하였다. 둘째, 작전 수행역량은 수행 과정에서 투입된 시간의 합으로서 선형함수로 표현할 수 있다는 것이다. 이 가정에서는 현실에서 의사결정을 내림에 있어 수집된 자료를 분석하고 교육훈련과 구성원의 토의를 거쳐 초기 신호 및 정보가 가공되어 더욱 가치 있는 정보가 되는 현상을 반영하였다.

4. 작전 수행규칙 수립을 위한 수리적 모형

본 장에서는 3장에서 정립한 WTM 기반의 작전 의사결정 모형 및 작전 수행역량에 대한 내용을 기반으로 하여 작전 수행규칙 수립을 위한 수리적 모형을 제안한다. 작전 수행규칙을 수립할 때의 목표는 작전을 둘러싼 군 조직들 사이의 의사결정 수립을 최대한 빠르게 하도록 하는 것이며, 동시에 작전 수행규칙으로 인해 발생하는 작전 수행역량의 손실이 일정 수준 이상 발생하지 않도록 하는 제약을 고려한다.

이때 수리적 모형을 위해 두 가지 사항을 가정한다. 첫째, 앞서 정의하였던 바와 같이 WTM을 통해 도출한 총작업량 벡터 U 의 요소 중 가장 큰 값을 작전 의사결정 수립의 시기를 결정 짓는 요인으로 본다. 이는 본래 WTM를 제안한 논문에서 의사결정 반복의 수립 시기를 판단하는 지표로 사용된 바 있다. 둘째, 전체 작전 수행역량은 각 조직이 수행한 총작업량의 선형 결합으로 결정지어지며 각 조직이 작전 수행역량에 기여하는 정도가

상이라고 가정한다. 이러한 내용을 반영하여 작전 수행역량 계수 벡터 q 를 정의하여 총작업량과 내적인 값을 통해 작전 수행역량에 대해 수치화하도록 한다.

추가로 의사결정 상의 제약으로써 작전 규칙에 대하여 WTM을 구성하는 요소 중 하나의 요소, 즉 정보의 흐름 중 하나의 흐름만을 끊도록 제한한다. 이는 WTM 상에서 하나의 원소가 사라지게 되는 것을 의미하며, A_0 로 표현된 초기 작전 작업 구조 중 하나의 요소가 변동을 겪게 됨을 의미한다. 이러한 변동을 나타내는 매트릭스들로 구성된 집합 E 는 Eq. (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$E = \{-a_{ij}e_i e_j^T \mid a_{ij} > 0\} \quad (4)$$

여기서 a_{ij} 는 A_0 의 i 행 j 열 성분을 의미하며 e_i 는 i 번째 성분이 1인 단위벡터를 의미한다. 변동 $\epsilon \in E$ 후의 작전 작업 구조는 $A = A_0 + \epsilon$ 와 같이 표현할 수 있다.

이러한 가정을 바탕으로 도출하고자 하는 문제 상황을 모델링한 것은 Eq. (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \min & \|U\|_\infty \\ \text{s.t.} & q^T U \geq (1-\lambda)q^T U_0 \\ & U = (I-A)^{-1}u_0 \\ & U_0 = (I-A_0)^{-1}u_0 \\ & A = A_0 + \epsilon \\ & \epsilon \in E \end{aligned} \quad (5)$$

$\|U_0\|_\infty$ 는 무한대노름(infinity norm)을 의미하며, λ 는 작전 수행역량 손실의 임계값을 나타낸다. U_0 는 초기 작전 작업 구조로부터 도출된 총작업량 벡터를 의미하며, U 는 변동을 겪은 작전 작업 구조로부터 도출된 총작업량 벡터를 의미한다. Eq. (5)의 목적함수를 선형화(linearize)한 다른 형태로 표현한 식은 Eq. (6)과 같다.

$$\begin{aligned} \min & z \\ \text{s.t.} & U \leq z\vec{1} \\ & q^T U \geq (1-\lambda)q^T U_0 \\ & U = (I-A)^{-1}u_0 \\ & U_0 = (I-A_0)^{-1}u_0 \\ & A = A_0 + \epsilon \\ & \epsilon \in E \end{aligned} \quad (6)$$

이때 z 는 총작업량 벡터 U 의 성분 중 최댓값을 의미하는 결정변수이며, $\vec{1}$ 은 모든 성분이 1인 벡터를 의미한다. 이 수식에서 U, U_0, A 를 소거하면 Eq. (7)과 같은 수식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \min & z \\ \text{s.t.} & (I-A_0-\epsilon)^{-1}u_0 \leq z\vec{1} \\ & q^T(I-A_0-\epsilon)^{-1}u_0 \geq (1-\lambda)q^T(I-A_0)^{-1}u_0 \\ & \epsilon \in E \end{aligned} \quad (7)$$

한편 임의의 변동 매트릭스 $\epsilon = -a_{ij}e_i e_j^T$ 이 랭크가 1임을 이용하여 $(I-A_0-\epsilon)^{-1}$ 에 대하여 Sherman-Morrison 공식을 적용할 수 있고, 적용한 결과는 Eq. (8)과 같다.

$$\begin{aligned} & (I-A_0-\epsilon)^{-1} \\ &= (I-A_0+a_{ij}e_i e_j^T)^{-1} \\ &= (I-A_0)^{-1} - \frac{a_{ij}(I-A_0)^{-1}e_i e_j^T(I-A_0)^{-1}}{1+a_{ij}e_j^T(I-A_0)^{-1}e_i} \\ &= B - \frac{a_{ij}B \cdot_i B_j \cdot}{1+a_{ij}b_{ji}} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $B = (I-A_0)^{-1}$ 이며 $B \cdot_i, B_j \cdot$ 는 각각 B 의 i 번째 열과 j 번째 행을 의미한다. b_{ji} 는 B 의 j 행 i 열 성분이다. WTM A_0 의 i 행 j 열 성분을 제거하는 변동 $\epsilon = -a_{ij}e_i e_j^T$ 을 선택하면 1, 아니면 0의 값을 갖는 이진 결정변수 x_{ij} 를 도입하면 최적화 모형은 Eq. (9)과 같이 변형된다.

$$\begin{aligned} \min & z \\ \text{s.t.} & \left(B - \frac{\sum_{i,j} a_{ij} B \cdot_i B_j \cdot x_{ij}}{1 + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} x_{ij}} \right) u_0 \leq z\vec{1} \\ & q^T \left(B - \frac{\sum_{i,j} a_{ij} B \cdot_i B_j \cdot x_{ij}}{1 + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} x_{ij}} \right) u_0 \geq (1-\lambda)q^T B u_0 \\ & \sum_{i,j} x_{ij} \leq 1 \\ & x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \end{aligned} \quad (9)$$

첫 번째와 두 번째 제약식의 결정변수들이 포함된 분수항은 양변에 $1 + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} x_{ij}$ 를 곱하여 분모를 소거할 수 있다. 이때, 첫 번째 제약식의 우변에 결정변수들의 이중선형항(bilinear term) $x_{ij}z$ 가 발생하는데, x_{ij} 가 이진결정변수임을 이용하여 새로운 결정변수 y_{ij} 를 도입하여 선형화할 수 있다. 이 과정을 거쳐 얻어진 혼합정수 최적화 모형은 Eq. (10)과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \min z \\
 & s.t. \left(\left(1 + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} x_{ij} \right) B + \sum_{i,j} a_{ij} B_{\cdot i} B_j \cdot x_{ij} \right) u_0 \\
 & \qquad \qquad \qquad \leq \left(z + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} y_{ij} \right) \vec{1} \\
 & q^T \left(\left(1 + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} x_{ij} \right) B + \sum_{i,j} a_{ij} B_{\cdot i} B_j \cdot x_{ij} \right) u_0 \\
 & \qquad \qquad \qquad \geq (1-\lambda) \left(1 + \sum_{i,j} a_{ij} b_{ji} x_{ij} \right) q^T B u_0 \quad (10) \\
 & y_{ij} \geq z - M(1-x_{ij}) \quad \forall i, j \\
 & y_{ij} \leq Mx_{ij} \quad \forall i, j \\
 & y_{ij} \leq z \quad \forall i, j \\
 & \sum_{i,j} x_{ij} \leq 1 \\
 & x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j
 \end{aligned}$$

M은 논리제약을 표현하기 위한 big-M 방식에서 사용된 큰 수이다. 앞서 제안된 최적화 모형에 존재하였던 비선형성이 해소되어 효율적 해법이 존재하는 혼합 정수 최적화 모형으로 재구성되었음을 확인할 수 있다.

5. 사례 연구

본 장에서는 8개의 조직이 관여하는 가상의 의사결정을 대상으로 본 연구에서 제안된 모델링 방법의 적용 예를 소개한다. 조직 간의 의사결정 과정을 분석한 결과 다음 Fig. 7과 같은 WTM A_0 가 주어졌다고 가정하였다 [19]. 여기서 A~H는 서론에서 서술한 내용과 같이 인사, 정보, 작전과 같은 참모조직을 의미한다.

| | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A | | | | 0.3 | | 0.3 | |
| 1.0 | B | 0.4 | | 0.2 | | | |
| | 0.5 | C | | | | | |
| | 0.5 | | D | | | | 0.1 |
| 0.2 | | | | E | | | |
| | | | 0.2 | | F | | |
| | | | | 0.4 | | G | |
| | | | | 0.3 | 0.4 | | H |

Fig. 7. The decision making structure of 8 organizations

이 사례에서 모든 조직의 초기 작업량과 작전 수행역량 계수는 동일한 것으로 보아 u_0 및 q 가 모두 $\vec{1}$ 벡터 형태를 갖는다고 가정한다. 주어진 A_0 , u_0 , q 를 토대로 초기 총작업량 벡터 U_0 를 계산하면 Eq. (11)과 같다.

$$U_0 = [1.877 \quad 4.441 \quad 3.220 \quad 3.423 \quad 1.375 \quad 1.684 \quad 1.550 \quad 2.032] \quad (11)$$

이를 토대로 전체 작전 수행역량 $q^T U_0$ 를 계산하면 Eq. (12)와 같다.

$$q^T U_0 = 19.606 \quad (12)$$

작전 의사결정 수립의 시기를 결정 짓는 지표인 $\|U_0\|_\infty$ 는 4.441임을 확인할 수 있다.

이에 대해 작전 수행역량 손실의 임계값 λ 를 정의하면 4장에서 제안된 모형을 통해 최적의 작전 수행규칙을 수립할 수 있다. 임계값 λ 를 조정하며 모형의 해를 찾았을 때 작전 의사결정 수립 시기와 전체 작전 수행역량의 변화를 정리한 결과는 아래의 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of optimal values according to λ

| λ | Optimal | $\ U\ _\infty$ | $q^T U$ |
|-----------|--------------|----------------|---------|
| 0.0 | (1, 1, -0.0) | 4.441 | 19.606 |
| 0.1 | (1, 5, -0.3) | 3.891 | 17.867 |
| 0.2 | (2, 3, -0.4) | 3.153 | 16.901 |
| 0.3 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 0.4 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 0.5 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 0.6 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 0.7 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 0.8 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 0.9 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |
| 1.0 | (2, 1, -1.0) | 2.250 | 14.677 |

Table 1에서 최적해 (i, j, a) 는 WTM에서 i 행 j 열에 a 만큼의 변화를 주는 변동이 최적임을 의미한다. 위 결과에서 $\|U_0\|_\infty$ 는 소요 시간을 의미하며, $q^T U$ 는 작전 수행역량을 의미한다. 기존 의사결정 절차에 따라 임무를 수행하면 4.441의 시간이 소요되고 작전 수행역량은 19.606의 값을 얻는다. 작전 수행역량 손실의 임계값을 0에서부터 1의 값으로 변화시키면 작전 수행역량은 점차 감소하나 작전 수행시간은 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

본 사례의 결과를 기존 Gebala and Eppinger[20] 와 Yassine et al.[21]의 연구에서 제안한 방법론을 적용한 결과와 비교하면 다음과 같다. Gebala and Eppinger의 경우 의사결정 요소를 제거할 때 다른 조직의 의사결정들로부터 가장 영향을 적게 받는 조직의 의사결정 요소를 중요 테어링 요인으로 보았다. 이 기준을 적용하면 가장 적은 숫자의 조직으로부터 영향을 받는 E, F조직의 의사결정 요소에 해당하는 (5,1)와 (6,4)를 작전 규칙 대상으로 고려한다. Yassine et al.의 경우 [20]의 기준에 더하여 다른 조직에게 영향을 덜 미치는 의사결정 요소를 고려하도록 하였으며, 이 기준에 따르면 (6,4)를 작전 규칙의 대상으로 삼게 된다. 이에 더해 일반적으로 고려할 수 있는 휴리스틱으로 작전의 수립을 가장 늦추는 조직 B에게 가장 큰 영향을 주는 요인을 제거하는 방법을 사용하면 (2,1)을 작전 규칙 대상으로 설정할 수 있다.

언급한 기준을 토대로 작전 수행시간이 줄어드는 정도와 작전 수행역량이 감소하는 정도를 정리한 결과는 Table 2와 같다. (5, 1, -0.2)와 (6, 4, -0.2)의 경우 작전 수행역량이 줄어드는 정도는 각각 7.6%와 3.5로 미미하나 작전 수행시간 또한 6.5%와 0%의 감소에 그치는 등 큰 효과를 갖지 못하는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. Comparison of results following policies from previous studies

| Policy | $\ U\ _{\infty}$ | acc_rate | $q^T U$ | deg_rate |
|--------------|------------------|----------|---------|----------|
| (5, 1, -0.2) | 4.15 | 0.065 | 18.118 | 0.076 |
| (6, 4, -0.2) | 4.441 | 0 | 18.922 | 0.035 |
| (2, 1, -1.0) | 2.250 | 0.493 | 14.677 | 0.251 |

더하여 (2, 1, -1.0)의 경우 49.3%의 시간이 감소하나 25.1%의 역량이 줄어들어 작전 수행역량 손실에 대한 임계치가 낮은 경우 적용하기 어려운 작전 규칙이 된다.

이렇듯 기존의 방법론을 사용하면 일률적인 테어링 기준에 따라 작전 규칙을 결정하여 결괏값을 도출하지만, 본 연구에서 제안하는 방법론을 사용하면 결정권자의 의도에 따라 작전 수행역량 손실의 임계값에 따라 상황에 맞는 유연한 대응이 가능하다는 장점을 갖는다. 더하여 결정권자의 의도에 적합한 시행 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 최종 결정을 도출하는 소요 시간을 단축할 수 있어 성공적인 임무 수행에 기여할 것으로 기대한다.

6. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 전투 과정에서의 작전 규칙 수립을 통해 작전 수행역량의 감소를 줄이는 동시에 의사결정 시간을 단축할 수 있는 모델을 연구하였다. 특정 작전 수행역량의 제약하에 WTM과 WTM의 고유구조를 이용하여 최적화 문제를 구성하였고 이를 Sherman-Morrison 공식을 사용하여 계산 복잡성을 이차함수 형태로 감소시켜 해를 탐색하였다. 이번 논문의 모델에서는 상황의 정량화를 위해 현상을 단순화하여 가정하였으나 의사결정권자에게 의사결정 프로세스를 이해하게 함과 동시에 작전 수행역량의 감소를 고려하면서 전체 시간을 단축할 수 있는 시각을 제공한다는 점에서 그 의미가 있다.

본 연구에서는 작전 수행역량의 중요 투입요인을 시간으로 설정하고 가용시간이 많을수록 작전 수행역량이 증가한다고 가정하였다. 그러나 작전 수행역량은 작전과 관련한 다양한 변수에 의해 영향을 받으며, 변수들 사이 교호작용 또한 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 향후 연구에서는 작전 수행역량의 다양한 변수와 이들의 상호작용을 고려하는 것이 필요하다.

또한 가용시간의 증가에 따라 작전 수행역량이 증가하는 추세에 대해서는 기존 Leu et al.의 연구에서 가정하 바와 같이 선형으로 가정하였다[15]. 그러나 투입된 자원의 양이 특정 수준을 넘어가면 투입의 효과가 체감한다는 점을 고려할 때, 투입과 산출 관계의 비선형성을 향후 모델에 반영할 필요가 있다. 이에 더하여 본 연구에서 다룬 내용에 적합한 시뮬레이션을 활용하거나 실제 의사결정 사례에 적용하여 이번 모델의 결과와 비교하면 더욱 실질적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 의사결정 과정의 재작업에 영향을 미치는 요인을 의사결정 규칙뿐만 아니라 하위조직의 구조적 분할 및 병합, 신규 정보수집 수단의 활용 등으로 확대하고자 한다.

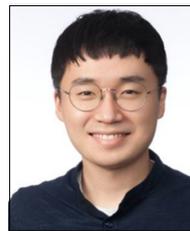
References

- [1] Army, U. S. FM 6-0 "Commander and Staff Organization and Operations", p.394, Army, U.S., 2014.
- [2] Army, U. S. ADRP 5-0 "The Operations Process", p.88, Army, U.S., 2012.
- [3] Ulrich, Karl, and Steven Eppinger. (2011) Product Design and Development (Y.S. Hong et al., Translator, Trans). p.483, Korea: McGraw Hill Education.

- (Original work published in 2011), 2017, pp.448-451.
- [4] Steward, Donald V. "The design structure system: A method for managing the design of complex systems." *IEEE transactions on Engineering Management*, 3. pp.71-74, 1981.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.1981.6448589>
- [5] Yassine, Ali, and Dan Braha. "Complex concurrent engineering and the design structure matrix method." *Concurrent Engineering*, 11.3, pp.165-176, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1177/106329303034503>
- [6] Tseng, C. C., C. C. Torng, and S. C. Lin. "Prioritization of product design tasks using QFD, TRIZ and DSM." *2010 IEEE 17th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp.871-875, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIEEM.2010.5646486>
- [7] Qamar, Ahsan, et al. "Dependency modeling and model management in mechatronic design." *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 12.4, pp.041009-1-10, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4007986>
- [8] Ding, Jianfeng, et al. "Optimization analysis of project design process based on interval number DSM." *2014 11th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*. IEEE, pp.1-6, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2014.6943395>
- [9] Baldwin, Carliss Young, Kim B. Clark, and Kim B. Clark. "Design rules: The power of modularity", Vol. 1. MIT press, p.483, 2000.
- [10] Rasch, R., Kott, A., & Forbus, K. D. Incorporating AI into military decision making: an experiment. *IEEE Intelligent Systems*, 18(4), pp.18-26, 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MIS.2003.1217624>
- [11] Klein, C. G., & Hastings, C. A. Decision-Support Planning and Tools: Planning to Support Decision-Making. *Armor: Mounted Maneuver Journal*, pp.32-38, 2016.
- [12] Smith, Robert P., and Steven D. Eppinger. "A predictive model of sequential iteration in engineering design." *Management Science*, 43.8, pp.1104-1120, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.8.1104>
- [13] Smith, Robert P., and Steven D. Eppinger. "Identifying controlling features of engineering design iteration." *Management science*, 43.3, pp.276-293, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.3.276>
- [14] Reich, Yoram, and Amir Paz. "Managing product quality, risk, and resources through resource quality function deployment." *Journal of Engineering Design*, 19.3, pp.249-467, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1080/09544820701327947>
- [15] Leu, Sou-Sen, Theresia Daisy Nattali Suparman, and Cathy Chang-Wei Hung. "An Exploratory Study on Optimal Iterative Design Schedules with the Consideration of Design Quality and Resource Constraints." *Sustainability*, 13.8, 4584, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su13084584>
- [16] Browning, Tyson R., and Steven D. Eppinger. "Modeling impacts of process architecture on cost and schedule risk in product development." *IEEE transactions on engineering management*, 49.4, pp.428-442, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2002.806709>
- [17] Ma, Guofeng, et al. "A critical design structure method for project schedule development under rework risks." *Sustainability*, 11.24, 7229, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3390/su11247229>
- [18] Cho, Soo-Haeng, and Steven D. Eppinger. "A simulation-based process model for managing complex design projects." *IEEE Transactions on engineering management*, 52.3, pp.316-328, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEM.2005.850722>
- [19] Soltanmohammad, B., and S. M. Malaek. "A new method for design cycle period management in aircraft design process.", *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, Vol. 80 No. 5, pp.497-509, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.1108/00022660810899865>
- [20] Gebala, David A., and Steven D. Eppinger. "Methods for analyzing design procedures." *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Vol. 7477. American Society of Mechanical Engineers, 1991.
DOI: <https://doi.org/10.1115/DETC1991-0052>
- [21] Yassine, Ali, Donald Falkenburg, and Kenneth Chelst. "Engineering design management: an information structure approach." *International Journal of production research*, 37.13, pp.2957-2975, 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653479>

임 종 욱(Jong-Wook Lim)

[정회원]



- 2018년 2월 : KAIST 산업공학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 산업공학과 박사과정

<관심분야>

제품개발 프로세스 관리, 전기전자 아키텍처

오 세 영(Se-young Oh)

[정회원]



- 2018년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (학사)
- 2020년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 서울대학교 산업공학과 박사과정

<관심분야>

산업공학, 최적화, 정수계획법

김 수 찬(Soo-Chan Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 육군사관학교 무기시스템공학과 (공학사, 군사학사)
- 2018년 2월 : KAIST 산업및시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 1월 ~ 2019년 2월 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 강사
- 2019년 3월 ~ 현재 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 조교수

<관심분야>

무기체계, 국방M&S, 최적화, 스케줄링

류 준 열(Jun-Yeol Ryu)

[정회원]



- 2014년 2월 : 육군사관학교 무기시스템공학과 (공학사, 군사학사)
- 2020년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 2021년 2월 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 강사
- 2021년 3월 ~ 현재 : 육군사관학교 기계·시스템공학과 조교수

<관심분야>

Robotic Combat Vehicle, AI, M&S