



**함정 개념설계 프로세스 최적화를 위한 시스템엔지니어링 기반의 설계구조행렬 방법론 적용**  
Application of Systems Engineering based Design Structure Matrix Methodology for Optimizing the  
Concept Design Process of Naval Ship

---

저자 (Authors)	박진원 Jinwon Park
출처 (Source)	<a href="#">대한조선학회 논문집 56(1)</a> , 2019.2, 1-10(10 pages) <a href="#">Journal of the Society of Naval Architects of Korea 56(1)</a> , 2019.2, 1-10(10 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">대한조선학회</a> The Society of Naval Architects of Korea
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07610878">http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07610878</a>
APA Style	박진원 (2019). 함정 개념설계 프로세스 최적화를 위한 시스템엔지니어링 기반의 설계구조행렬 방법론 적용. 대한조선학회 논문집, 56(1), 1-10
이용정보 (Accessed)	누리미디어 121.125.221.*** 2019/07/18 13:58 (KST)

---

#### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

#### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

# 함정 개념설계 프로세스 최적화를 위한 시스템엔지니어링 기반의 설계구조행렬 방법론 적용

박진원  
방위사업청 차세대잠수함사업단

## Application of Systems Engineering based Design Structure Matrix Methodology for Optimizing the Concept Design Process of Naval Ship

Jinwon Park  
Jangbogo-III Program Group of Defense Acquisition Program Administration

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Naval ship design and related other activities can be characterized by the complexity of the interactions among products, activities, and disciplines. Such complexities often result in inferior designs, cost overrun, and late-delivery. Hence there exist tremendous interests in both improving the design process itself and optimizing the interactions among design activities. This paper looks at the complexity of designing naval ships thereby leading to the innovation of current ship design practices using design structure matrix. It can be used to induce the optimal ordering of design activities as well as identify sources of complexities. The method presented here identifies coupled design activities useful for reducing the complexity of naval ship design as well as optimally reordering design activities. This paper recommends the use of design structure matrix method suitable for numerically optimizing the concept design process of naval ship, and reducing cost and time required in designing naval ships by modeling and analyzing the design activities and engineering tasks, defined in systems engineering planning documents.

**Keywords** : Systems Engineering(SE, 시스템엔지니어링), Design Structure Matrix(DSM, 설계구조행렬), Work Breakdown Structure(WBS, 업무분할구조), Statement of Work(SOW, 업무기술서)

## 1. 서론

함정설계는 조선공학 중심의 기본성능·구조·기계·전기/전자뿐만 아니라 상업용 선박과 달리 군사용 선박만이 가지는 무장·탐지·전투체계 등 여러 분야 간의 조합과 시스템 사이의 복잡한 상호작용을 다루는 다분야 종합공학이다. 함정설계시의 가장 큰 도전은 각 분야 최적 설계결과를 여러 조직과 기관 등 다양한 이해관계자 그리고 수많은 체계/부체계 내·외부 간의 복잡한 상호작용을 통해 주어진 기간과 예산 내에서 전투성능 충족이라는 궁극의 목표를 달성하기 위해 투입 자원을 최적 배분하는 등 관련된 노력을 통합하는 것이다.

과거 함정설계 전략은 적대국에 내 놓은 새로운 함포에는 더 강력한 함포, 새 유도탄에는 더 빠르고 정확한 유도탄, 고속선에는

더 빠른 고속선으로 대응하던 선형적 개념이었다고 할 수 있다. 조선공학의 전통적인 나선형 설계기법으로도 그 필요를 충분히 만족시킬 수 있었다. 반면 빠르게 발전하는 ICT기술로 인해 우리가 직면할 미래 전장의 주요 키워드는 네트워크중심전, 정밀 타격무기와 무인무기로 설명되어야 할 것이며, 이를 위해 무기 체계 획득프로세스 뿐만 아니라 함정설계 기술 내지 프로세스도 기술발전과 전장 환경 변화 추세에 부합하는 방향으로 한 발 빠른 변화를 대내·외적으로 요구받고 있다.

최근 함정은 과거에 비해 훨씬 대형화되고 복합화 되어가고 있다. 대공, 대잠, 대함, 대기뢰, 대지 등 복합 위협에 대처하기 위해 함정에 탑재되는 각종 무장, 센서 간에 내·외부 인터페이스 또한 복잡해지고 있다. 따라서 과거에 수행하던 것과 같이 분야 별 최적 설계결과의 단순 조합만으로는 모든 분야에 걸친 균형

잡힌 설계라는 목표를 달성하는 것은 불가능에 가깝다. 부분 최적화가 반드시 전체 최적화를 보장해 준다 할 수 없기 때문이다. 함정설계는 더 이상 단순한 나선형 설계방식에 의해 설명되어 질수 없으며, Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 마치 거미줄과 같은 복잡한 상관관계를 가진다는 특성을 인정하여야지만, 효율화를 목적으로 하는 단순화 처방에 대한 고민을 시작할 수 있다. 관련하여 Laverghetta and Brown (1999)과 같은 함정설계 전문가들은 1990년대 말 미 해군 함정의 설계활동 간의 상관관계를 체계동태학적(dynamics of system) 방법으로 분석하여 함정설계 프로세스 최적화 연구를 수행한 바 있다.

함정플랫폼 자체는 물론 탑재되는 장비 내부 또는 외부와의 인터페이스 차원의 복잡도가 증가함에 따라 Fig. 1의 복잡성 역시 증가 될 것이다. 기존의 방법으로 다룰 수 없을 만큼 증가되는 함정설계의 복잡성은 일정 지연과 성능 불만족 그리고 예산 초과 등의 난감한 문제의 원인이 되고 있다. Doerry (2009)에 따르면 함정설계 프로세스는 복잡성에 큰 영향을 받는다고 한다. 실제 복잡성이 큰 프로젝트의 경우, 다시 말해 설계요소나 활동 간에 상호의존성이 클 경우 부분에서의 미소한 변동에도 종합적인 관점에서는 막대한 노력을 요구하는 큰 변경을 초래할 수 있기 때문이다. 가까운 미래에 design spiral 그 이상의 새로운 함정설계 프로세스의 발명이 필요할지 모른다. 작전요구능력 (또는 조건)을 처음 조합하는 설계활동인 함정 개념설계 활동의 중요성은 합동 참모본부, 해군뿐만 아니라 방위사업청 차원에서 점차 강조되고 있다 (Park, 2016). 첫 단추를 꿰는 것과 다르지 않기 때문이다.

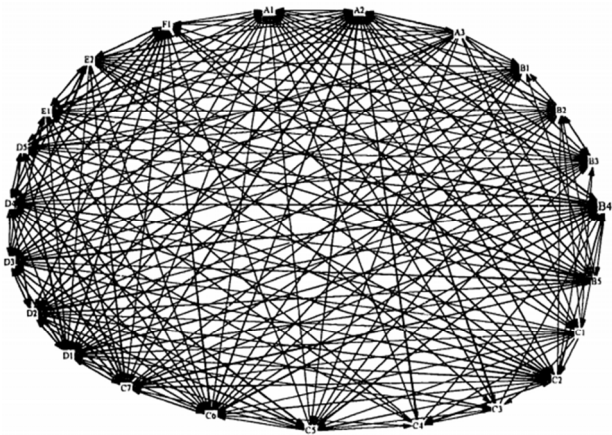


Fig. 1 Interaction view of naval ship design spiral (Laverghetta & Brown, 1999)

본 연구는 실제 함정획득 단계에서 수행되는 현행 개념설계 프로세스의 효율성 제고 차원에서의 최적 조정 가능성을 살펴보고자 한다. 이를 위해 공학, 인문학, 경영학 등 여러 분야에서 활용되어지고 있는 설계구조행렬 (design structure matrix) 이론을 이용하였다. DSM은 활동 또는 요소들 간의 상관관계를 체계적으로 분석하는 도구로서 복잡성을 줄이는 프로세스 최적화에 유용하다. DSM 이론은 함정설계 과정에서의 효율성 개선을 위해 여러 활동 또는 요소 간 공동작업 (integrated teaming)이나 설계활동 조정 (추가 또는 삭제)에 대한 아이디어를 제공해 줄 것이다.

소요와 획득에 관련된 의사결정에 필요한 목적문건 생산이 주 활동인 개념설계 특성을 고려하여 본 논문에서 언급되는 프로세스란 목적문건 작업순서를 말하는 것과 같다. 곧 본 논문에서 프로세스 최적화의 의미는 목적문건 작업 순서의 최적화를 말한다.

## 2. DSM 이론

DSM은 프로세스 요소간의 상호의존성과 정보흐름에 주목하여 고유의 복잡성을 최소화하여 프로세스를 최적화하는데 있어 유용한 분석과 관리도구이다. Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 단순한 정방행렬상의 상호 관계되는 요소간의 1대1 사상(mapping)은 복잡한 프로세스의 가시적인 이해와 표현에 유용하다. 또한 DSM은 프로세스 요소간의 상호작용 또는 상호의존성 등 인터페이스의 식별과 분석을 지원한다.

관리 도구로서 DSM은 요소간의 반복 작업을 필요로 하는 피드백을 표현함으로써 프로세스 최적화에 대한 정보를 제공한다. 이러한 이유로 DSM은 공학 분야뿐만 아니라 경영학, 산업공학, 농학, 인문학 등 다양한 학문분야에 활용되고 있다. 컴퓨터를 이용한 다분야최적설계 분야에서는 컴퓨터 해석 코드 실행 순서의 최적 배열을 위한 유용한 기술 중 하나이다. 항공기 다분야최적설계에 DSM을 적용, 프로세스를 재조정함으로써 CPU time과 소요비용 측면에서 약 1/6의 감소효과를 얻을 수 있음이 보고된바 있다 (Rogers, 1997). 실제 DSM은 1970년대에 처음으로 소개되었으나 90년대까지는 주목받지 못하다가 90년대에 와서 MIT Sloan school 등에 의해 부동산 시장 분석, 제조공정 최적화, 금융 분석 등에 적용되면서 대중적인 관심을 받기 시작했다. DSM은 Fig. 2와 같은 정방행렬로 행과 열에 동일한 순서의 요소들을 배치하여 상호관계를 가시적으로 표현한다. Fig. 2와 같이 요소 A ~ I들 간에 정보 또는 물질교환과 같은 상관관계가 있다면 DSM은 9 x 9 크기의 정방행렬의 형태를 가진다.

Fig. 3은 DSM 요소 (활동, 정보, 산출물, 인물 등)간의 다양한 상호작용 (연결, 전달방향)을 설명한다. 행렬 내 요소간의 관계는 있음/없음 (■ 또는 공백)으로 표현할 수 있다. 요소의 명칭은 행렬의 1번열과 1번행에 동일한 순서로 기록한다. DSM 대각요소를 기준으로 모든 열에 기록된 상호관계 표시는 기준 요소로부터 다른 요소에 전달되는 정보나 물질이 있음을 의미한다. 두 요소 A, B 간에는 피드백, 피드포워드 관계에 따라 Series, Parallel, Coupled 관계가 성립된다. 예를 들어 요소 A의 출력물이 요소 B에 피드포워드 되는 경우 Series 관계라 한다. 요소 A와 B간에 어떤 상호 교환도 없다면 Parallel 관계이다. 반면 Fig. 3 최우측 그림에서 볼 수 있는바와 같이 요소 A와 B가 서로의 출력물을 상호 참조한다면, 다시 말해 피드백이 존재한다면 이는 Coupled 관계라고 한다. 후행 요소 B의 결과물이 선행 요소 A로 피드백 되며, 선행 요소 A 결과물은 요소 B로 피드포워드 된다는 것을 말한다. 실제 소프트웨어나 제어시스템에 있어 피드백은 추가 작업 시간을 요구한다는 점에서 가능한 지양되어야 하는 요소이다.

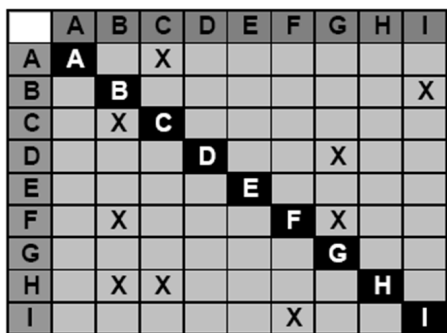


Fig. 2 Concept of design structure matrix

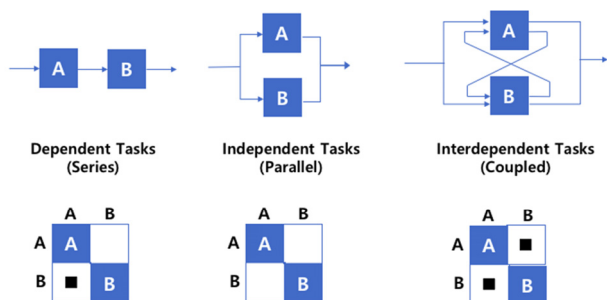


Fig. 3 Relationship and tasks between DSM elements

DSM 모델링은 전문가의 주관적 경험에 의존하는 방법과 함께 설계요소 또는 활동 간의 관계를 spaghetti graph나 functional flow block diagram, integration definition for function modeling 등의 기능분석 도구를 통해 수행된다 (Doerry, 2009). 프로세스 요소와 요소간의 상호관계 분석을 통해 모델링된 초기 DSM 대각상단에 피드백 요소가 존재할 경우 파티셔닝 (Partitioning)을 통해 피드백 요소를 최소화함으로써 자원과 노력의 투입을 줄일 수 있는 최적의 프로세스를 얻을 수 있다. 파티셔닝은 용어 사전적인 의미 (경계를 기준으로 나누거나 구분하는 행위)가 아니라 프로세스 요소간의 피드백이 최소화되도록 행렬연산에 의해

DSM의 열과 행을 재조정하는 과정을 말한다. 프로세스 수행 순서를 재조정해 나가면서 최소의 피드백이 발생하는 최적 프로세스 순서를 찾아내는 것이다 (Kim, 2009). DSM 분석결과는 개별 프로세스 요소들을 통합하거나 추가, 삭제함으로써 일정과 예산 등을 최적화하고자 할 때 효과적일 수 있다. 대부분의 대형·복합시스템 개발 프로젝트에 있어 각 부분별 최적 프로세스를 가질 수 있으나, 전체적으로는 최적으로 통합된 프로세스를 가지지 못하는 경우가 많다. 그 결과 분야별로 상호관계를 이해하는 것이 힘들어 통합시의 시너지 달성에 어려움이 따른다. 분야별 프로세스만을 최적화하여 얻을 수 있는 전체의 이익은 미미하나, 전체 프로세스를 우선 통합한 후 통합된 프로세스에 대한 최적화 적용은 더 큰 효과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다 (Browning, 2001).

본 연구에서는 현행 우리 함정 개념설계 프로세스의 최적화 방안을 모색하기 위해 2012년 실제로 수행했던 0000함 개념설계 산출물 목록을 DSM 요소로 모델링하였다. DSM 요소 간 선행행관계를 정의한 후 파티셔닝을 통해 최적화된 개념설계 프로세스, 다시 말해 문건간의 피드백 반영 요구가 최소화되는 최적의 설계프로세스를 도출한다. 본 연구의 목적은 DSM 도구를 이용하여 최적 개념설계 프로세스의 재정립 가능성을 살펴보는 것이므로 분석도구로 이용한 DSM에 대한 수학적 이론을 깊게 다루지는 않는다. 본 연구를 위해 별도의 DSM SW를 개발하지는 않았으며, MIT Sloan school의 Eppinger 교수 그룹에서 개발한 DSM program version 1.0을 이용하였다 (Wek, 2012). 이외에도 Lattics, Plexus, DeMAID 등의 상업용 DSM 분석 프로그램을 이용할 수도 있다.

### 3. 최적 개념설계 프로세스 DSM 분석

#### 3.1 미 해군의 DSM 연구 사례

함정획득 사업에 있어 궁극적 목표는 성능요구조건을 충족하는

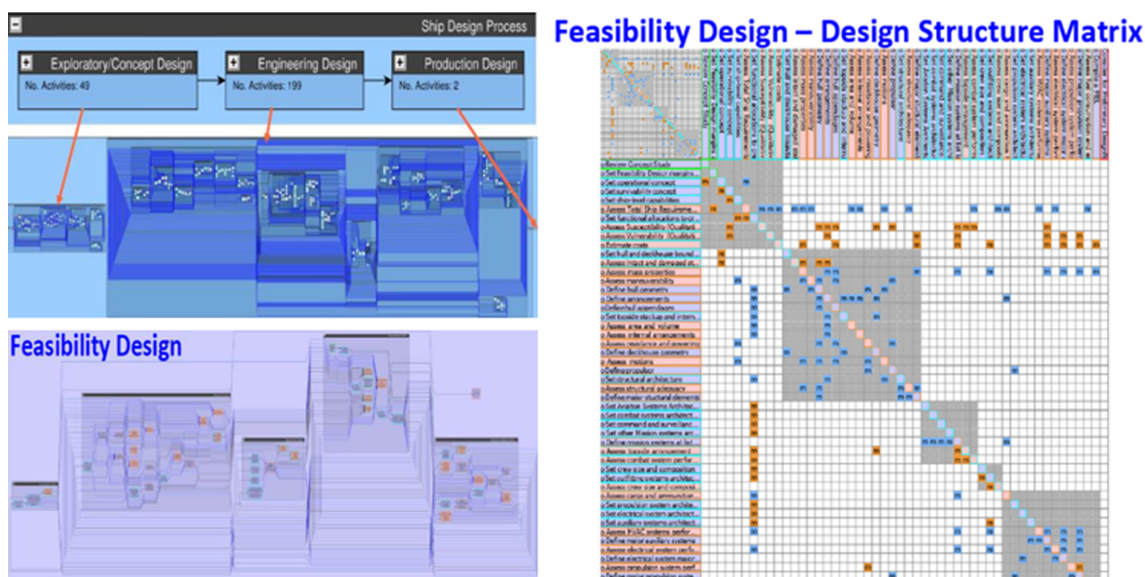


Fig. 4 Capturing the ship design process by the Plexus (Allen & Merlino, 2010)

합성을 확보하는 것이나 2차적인 목표는 비용절감과 일정단축이다. 이를 위해 경우에 따라서는 새로운 설계나 건조 방법론을 개발하거나 기존의 것(activities, products, tasks 등)을 추가, 삭제 또는 병합하는 방법을 선택해야 할 것이다. 어제의 익숙한 방법으로 오늘의 복잡한 문제를 풀 수 없을 것이기 때문이다.

2006년 방위사업청 개칭 이후 합성을 포함한 무기체계 획득 프로세스에 시스템엔지니어링 (systems engineering)은 필수적인 기술 및 사업관리 도구로 간주되고 있다 (DAPA, 2013). 과거와 같이 누군가의 경험과 한정된 지식에 의존하는 주관적인 의사결정은 효율성 관점뿐만 아니라 투명성, 정확성 관점에서도 한계가 있다는 것이 중론이다. 미 해군은 1990년대 이후 체계동태학 도구를 이용하여 합성설계의 효과성과 효율성을 확보하기 위한 활기찬 연구를 수행하였다 (personal talk with naval surface warfare center researchers). 특히 2010년 이후 미 해군수상전연구센터 (NSWC)를 중심으로 한 연구그룹의 성과가 두드러진다, Allen and Jeff Merlino (2010)는 2008년 상용 DSM S/W인 Plexus를 이용하여 합성 설계 전 단계의 프로세스 최적화 연구를 수행한바 있다. 뒤에서 다루겠지만 본 연구는 산출물 (products, 주로 보고서와 도면) 중심으로 DSM 요소를 모델링한데 반해, 이들은 공학활동 중심으로 DSM 요소를 모델링하여 프로세스 최적화 연구를 수행하였다. 양 국가 합성설계의 제도, 조직, 기술 등 다양한 환경 차이에에서 기인한바 크다. 미국은 소

요에서부터 획득 그리고 운용까지를 모두 해군이 담당함으로써 내부적 제도와 방법 개선의 노력이 상대적으로 쉬운데 반해 우리는 소요는 합참, 획득은 방사청 그리고 운용은 해군이 담당하는 3원화 구조, 즉 각 기관별 이해관계가 달라 전 수명주기 관점에서의 제도개선과 혁신을 위한 상호호혜적 발전적 토의가 어렵기 때문이다.

현대 경영학의 구루인 피터드러커의 ‘측정할 수 없으면 관리할 수 없고, 관리할 수 없으면 개선할 수도 없다’라는 격언처럼 DSM의 복잡성을 정량적으로 측정하기 위해서는 어떤 지표가 필요하다. Doerry (2009)는 합성설계 프로세스의 복잡성을 측정하기 위해 식(1)의 복잡성 지표 (complexity metric)를 적용하였다.

$$complexity\ metric = \sum_{i=1}^n C_i^2 \tag{1}$$

식(1)에서  $n$ 은 클러스터 (cluster, 묶음)의 수이며,  $C_i$ 는 클러스터  $i$ 의 크기 (소형 정방행렬의 대각 크기)이다. 매트릭스 상에 클러스터가 많고, 그 크기가 크다는 것은 곧 프로세스의 복잡성이 상대적으로 크다는 것을 말한다. 실제 현장에서의 기술업무 수행 시 전·후로 고려해야 하는 요소가 많다는 것이다. 어떤 설계업무와 다른 연관 분야 간의 상호의존성이 높아 최적의 활동 시작 시점을 결정하는데 있어 주의를 기울여야 한다는 의미이기도 하다. 충분한 설계 정보가 없는 상황에서 편의나 관행에 따라

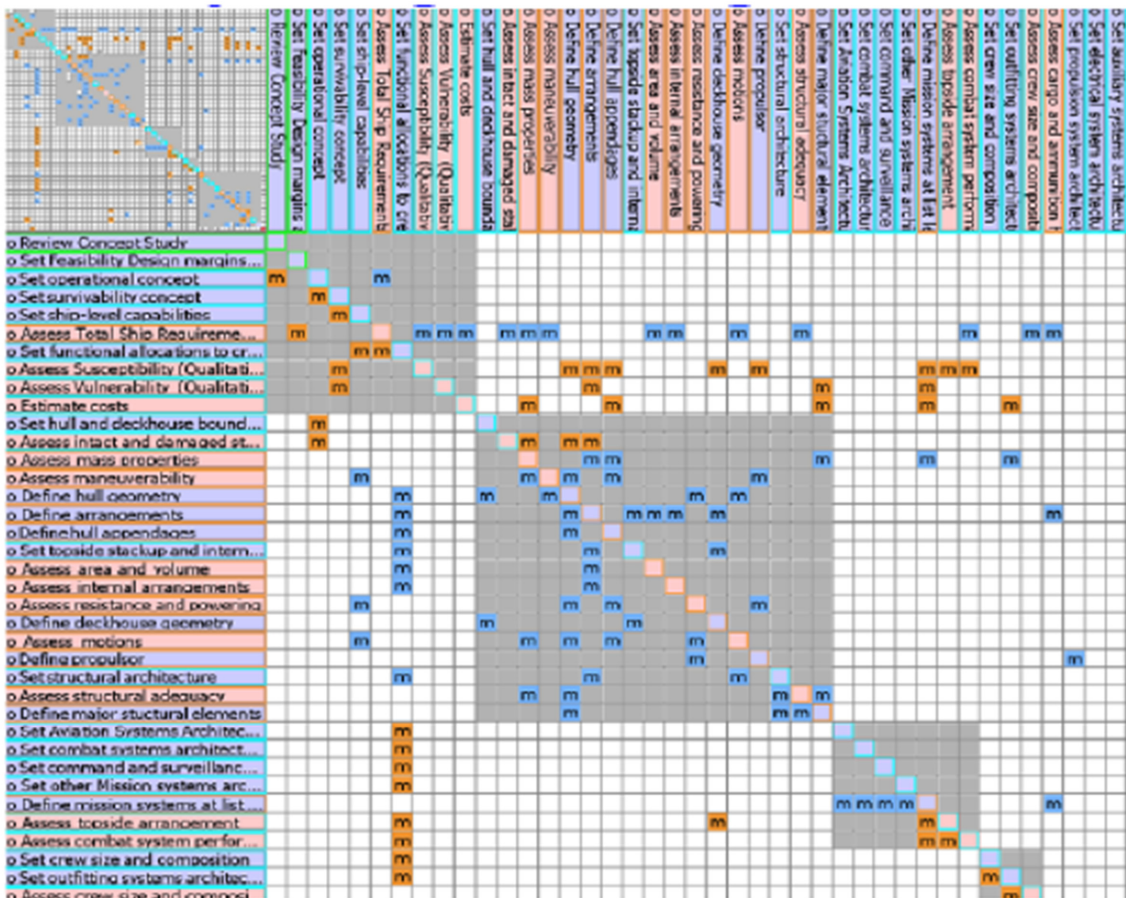


Fig. 5 DSM analysis (before partitioning) of US naval ship feasibility study process (Allen & Merlino, 2010)

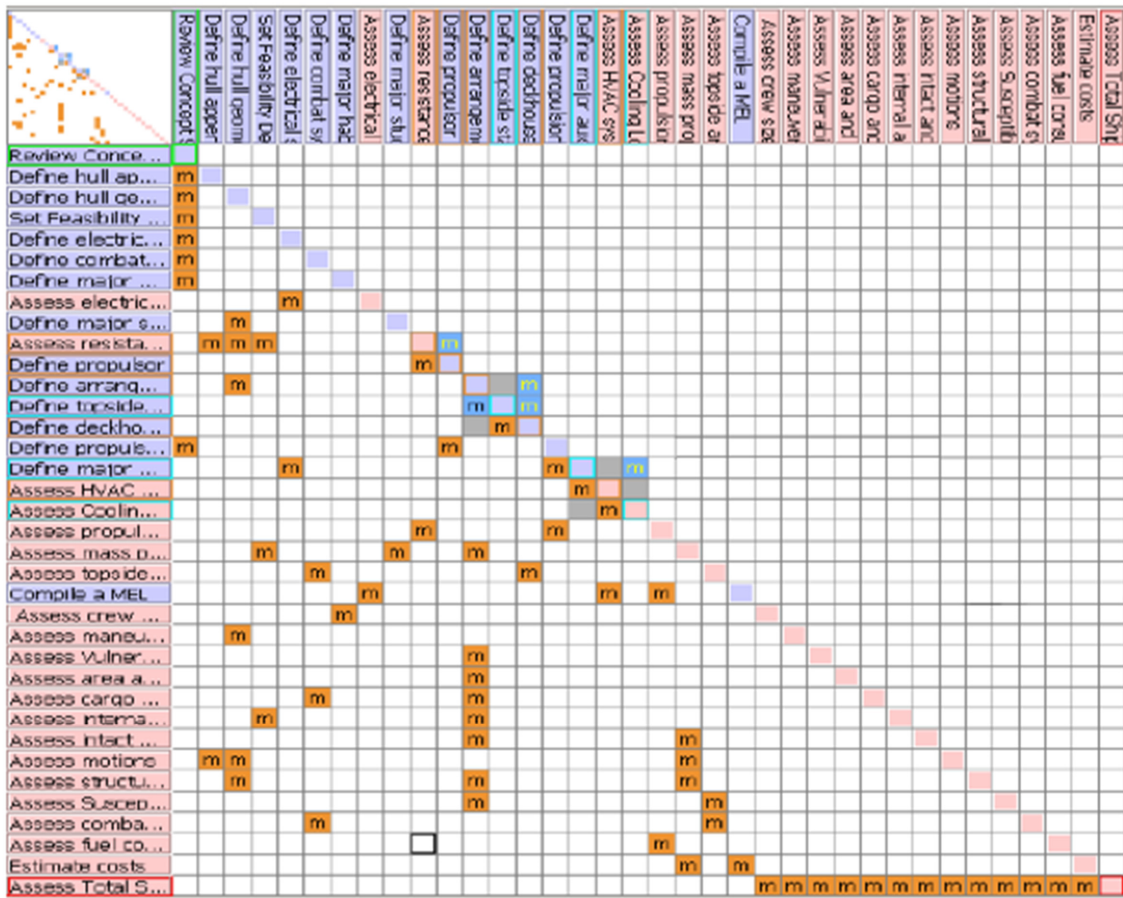


Fig. 6 DSM analysis (after partitioning) of US naval ship feasibility study process (Allen & Merlino, 2010)

업무에 임의 수행할 경우 프로젝트 후반부에 이르러서는 연관 분야의 미미한 설계 변경에도 재작업 또는 수정 소요가 막대할 수 있다는 점 뿐만 아니라 도면/보고서의 형상관리 시 무결성 관점에서 결함을 초래할 수도 있다 (Doery, 2009). Fig. 5의 DSM 가운데 부근의 음영 셀 박스가 클러스터이다. 클러스터는 연계된 산출물이나 활동 또는 기능을 통합하거나 병행 수행 한다면 투입인력과 비용 감소가 가능하다는 것을 유추할 수 있도록 한다. 재조정된, 다시 말해 소요시간이나 노력 증가를 초래하는 피드백을 최소화한 DSM은 사업관리 계획 검토에도 이용할 수 있다. 식(1)에 따라 Fig. 5 DSM 복잡성을 계산해보면 그 값은 447이다 (cluster size : 10, 17, 7, 3).

Fig. 6은 Fig. 5에 대해 파티셔닝 적용 후의 결과로 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 클러스터가 크게 감소되었음을 알 수 있다. 식(1)에 따라 복잡성을 계산해보면 그 값은 290이다 (size: 2, 3, 3). 초기 DSM 모델에 파티셔닝을 적용함으로써 설계프로세스의 복잡도가 약 1/15로 줄어 든다는 것을 말한다. 특히 두 그림을 상호 비교해 보면 대각상단의 DSM 요소, 즉 피드백 수가 파티셔닝 이후 크게 감소한 것을 알 수 있다. Fig. 7의 DSM과 비교했을 때 파티셔닝 후 DSM은 클러스터 부분을 제외한 대다수의 Series화된 요소들을 순차적으로 수행함으로써 프로세스가 더 단순화 되었다고 볼 수 있다. Fig. 6에 보이는 3개의 클러스터는 아래 Table 1과 같다.

DSM 분석을 통해 최소화된 크기의 클러스터는 유사하거나 연관된 설계활동 시 투입 인력과 노력을 절감하는데 중요한 아이디어를 제공할 수 있다. Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 저항 추정과 추진기 정의를 순차적으로 하는 것이 아니라 병행함으로써, 또는 두 개의 보고서를 하나의 보고서로 통합하여 추진기 형태 변경이나 마력추정 방법의 변경 등에 따른 설계 진행 간의 재작업 소요를 최소화 할 수 있음을 물론 오류를 최소화 할 수 있다는 점에서 설계 프로세스 모델링을 위한 유용한 정보를 제공해 준다.

Table 1 Clustered design activities of US naval ship feasibility study process

cluster No. (cluster size)	activities
1 (2)	Assess resistance
	Define propulsor
2 (3)	Define general arrangement
	Define topside
	Define deck house
3 (3)	Define major space
	Assess heating, ventilation, and air conditioning
	Assess cooling

### 3.2 함정설계 최적화를 위한 DSM 연구 결과

우리 함정사업의 경우 2006년 방위사업청 개청 이후 기존의 것과는 다른 방위산업 선진국의 획득제도 도입 그리고 그것의 한국화를 위한 수많은 정책 연구와 더불어 현장에서의 시행착오 등 수많은 환경 변화를 경험하고 있다. 특히, 과학적 사업관리 기법인 시스템엔지니어링 (SE)과 목표비용관리 (cost as independent variable) 그리고 사업성과관리 (earned value management) 등의 관리 도구 또는 기법을 의무적으로 적용하도록 방위사업관리규정에 명시하여 그 적용 범위가 점증되고 있다 (DAPA, 2013). 그러나, 방위사업 수행만을 위한 별도의 독립기관 설립과 수많은 새 제도 도입에도 불구하고 실질적인 정착에 어려움이 따르는데는 분명 여러 이유가 있을 것이다. 그 중 본 연구의 동기는 바로 무기체계 획득 제도 변화에 비해 함정설계 프로세스 또는 방법론의 변화가 거의 없어 실제 제도와 기술이 결합되지 못하고 있다는 문제의식으로부터 출발하였다. 우리

함정설계 프로세스의 최적화를 연구하는 과정에서의 어려움은 미 해군의 연구와 같이 수십 명의 전문가 워크숍을 통한 획득단계별 설계활동을 전면 재 정의하는 수준의 제로베이스적 접근이 현실적으로 어렵다는 것이다. 조선포사마다, 함정 규모마다, 함정 종류마다 설계방법과 이해관계자가 다르기 때문이다. 더불어 우리 설계프로세스는 미 해군과 같이 실제 공학 활동이 아니라 보고서 또는 도면과 같은 산출물 중심으로 논의되기 때문에, 산출물마다의 작성 목적과 산출물 간의 전·후 관계가 상대적으로 더 복잡하므로 미 해군의 것과 동일한 연구 방법론을 적용하는 것은 현실적으로 어렵다고 본다. 본 연구에서는 실제 0000함 개념설계 산출물 50종 목록을 DSM 모델링하는데 이용하였다. DSM 모델링시 요소간의 초기 선후관계 정의를 위해 아래의 두 방법을 적용하였다.

첫 번째 방법으로 ‘경험 기반의 DSM 모델링’을 위해 함정 개념설계 수행 경험이 있는 전문가 3명의 워크숍 결과를 이용하였다. 실제 개념설계를 여러 차례 직접 수행해 본 중급 기술자들이

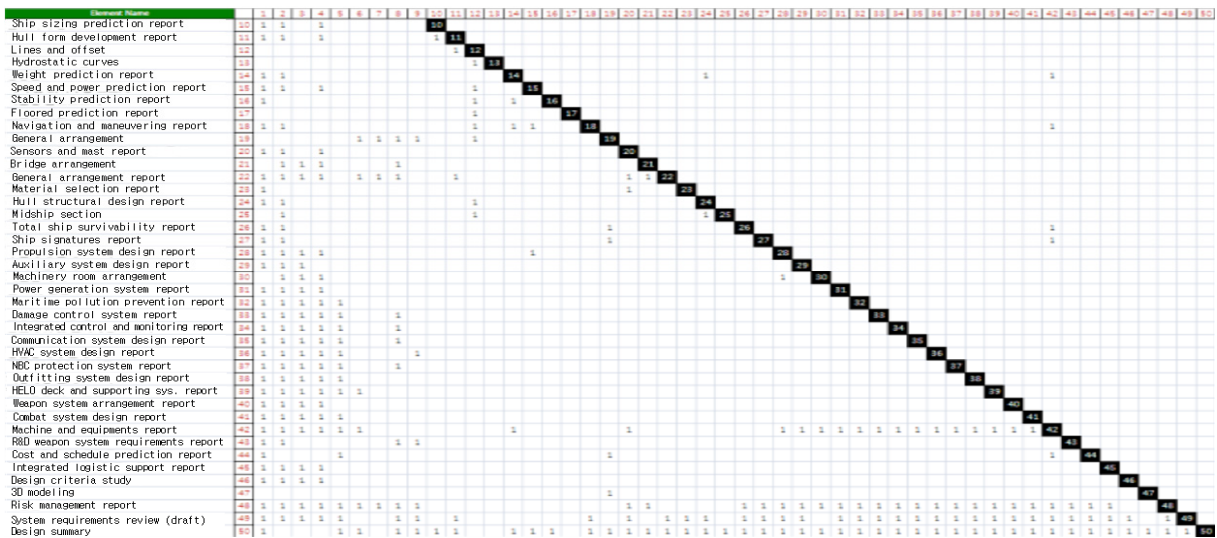


Fig. 7 Initial DSM elements allocation based on heuristic knowledge

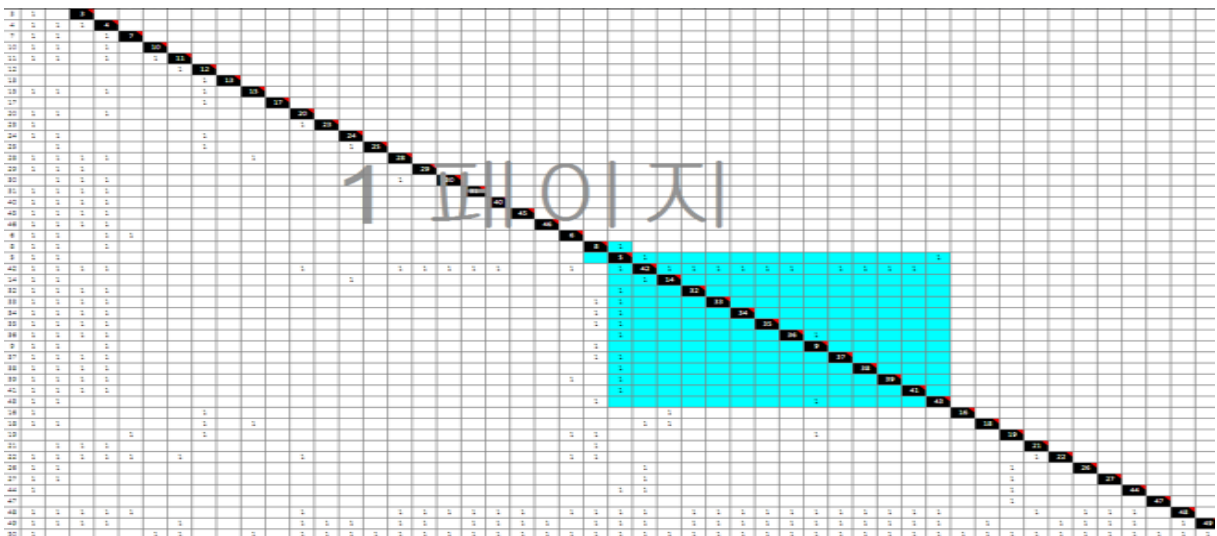


Fig. 8 After DSM partitioning based on heuristic knowledge

level 1	level 2	level 3	level 4	level 5	deliverable	part	worker
000 system integration	---						
	010 combat general	---					
		017 anti-surface					
		018 anti-sub					
	020 strategic	---					
		021 strike					
	030 tactical	---					
		031 special warfare					
	040 ship system	---					
		041 project management	---				
			041 process control	---			
				04111 SE process	SEMP	SE1	JW, Park
				04112 design process	monthly report	SE1	Moogi, Lee
				04113 risk plan	risk management plan	SE1	Moogi, Lee
				04114 risk estimation	risk management report	SE2	Gibng Hng

<b>WBS</b>	04113	<b>part</b>	SE1
<b>title</b>	risk plan		
<b>worker</b>	Moogi, Lee	<b>reviewer</b>	TK, Kim
<b>start date</b>	18 August, 2018	<b>end date</b>	18 August, 2020
<b>deliverable</b>	risk management plan		
<b>requirements</b>	(5.1.1) Contractee shall plan the risk management plan. (6.1.2) Risk management plan shall be included in integrated plan (8.4.1) Project manager shall assign proper amount of resources for risk management plan throughout the project.		
<b>work statement</b>	This work is to identify, estimate and manage of risks probably produced in the project. Risk shall be considered in terms of performance, cost, and schedule.		
<b>related WBS</b>	04111 SE process, 04114 risk estimation		
<b>preceding</b>	SEMP		
<b>following</b>	risk management report		
<b>references</b>	000 risk management plan DAPA guidebook, risk management		

Fig. 9 Example of WBS and SOW

모여 자신이 가진 경험과 지식을 토대로 목적문건 작업의 최적 순서를 브레인스토밍 하였다. 그러나 워크숍 참여자의 경력기간과 관심분야가 서로 다르고 각 목적문건의 목적과 내용에 대한 개별자의 주관적인 이해가 다를 수밖에 없기에 반복 토의를 통한 절충과 조정을 통해 피드백 요소를 최소화하려 하였음에도 Fig. 7의 대각 상단에서 보이는 것과 같은 피드백 요소의 잔류가 불가피하였다. Fig. 7의 피드백 요소들에 대해 전문가들의 여러 차례 반복된 합의 노력에도 불구하고 더 이상의 조정이 어려울 때 DSM 파티셔닝을 적용하게 된다. Fig. 7의 초기 DSM 모델에 파티셔닝을 적용한 결과 아래 Fig. 8과 같이 초기에 흩어진 피드백 요소들이 재조정되어 2/3 지점에 복잡도 200의 클러스터 두 개 (size: 2, 14)가 발생하였다.

두 번째 방법은 'SE 기반의 DSM 모델링'이다. 경험에 의존하는 첫 번째 방법과 달리 요소간의 선·후관계는 명문화된 업무 분할구조 (work breakdown structure)와 업무기술서 (statement of work)를 참고하였다. 본 연구에서는 실제 0000함 사업의 체계공학관리계획서 (systems engineering management plan) 부록에 포함된 WBS와 SOW를 이용하였다. 다음 장 Fig. 9에서 볼 수 있는 바와 같이 WBS 04113에 따른 산출물은 '위험관리계획서'이며 관련 선행문건은 '체계공학관리계획서', 후행문건은 '위

험관리보고서'임을 알 수 있다. 사업초기 관리계획 문서인 SEMP 부록의 WBS와 SOW를 이용하는 방법은 경험자의 어림짐작에 의존하는 첫 번째 방법에 비해 더 객관적이며, 사업관리와 연계된 프로세스 재정립이 가능하다. 분석결과와 필요에 따라서는 산출물이나 활동을 추가하거나 줄이거나 또는 병합하는 작업을 통해 설계는 물론 사업관리의 효율성도 얻을 수 있을 것이다. 이 방법을 적용할 경우 단순히 경험 있는 여러 명이 어림짐작으로 토의와 절충을 통해 어떤 수준에서 얻은 합의된 의견을 토대로 DSM 모델링을 하는 것보다 사업계획 단계에서 발주자, 계약자 그리고 이해관계자 사이에 공식적으로 합의된 WBS와 SOW를 직접 적용한다는 점에서 더 객관적이며, 분석결과를 통해 얻은 통찰력은 이해관계자 모두에게 사업관리와 기술관리가 별개의 것이 아니라는 점을 공감하는 기회를 제공해 준다. 다음 장 Fig. 10은 두 번째 방법에 따른 초기 DSM 모델링 결과이며, Fig. 11은 이것의 파티셔닝 후 결과에 해당한다.

두 DSM 모델링 방법 모두 초기 유사한 형태를 띠고 있으나 파티셔닝 결과 SE 기반의 방법이 훨씬 작은 크기의 클러스터를 얻을 수 있다. 식(1)에 따라 계산된 Fig. 11의 complexity metric은 170이다 (size: 3, 2, 2). 파티셔닝을 통해 얻어낸 클러스터는 3개로 Table 2와 같다.



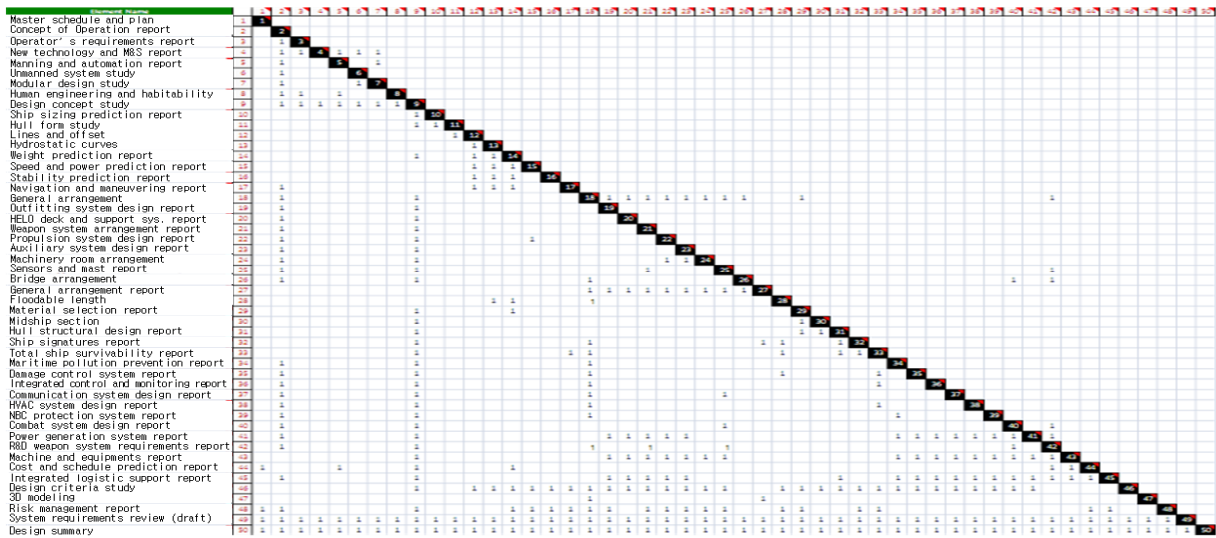


Fig. 10 Initial DSM elements allocation based on SE

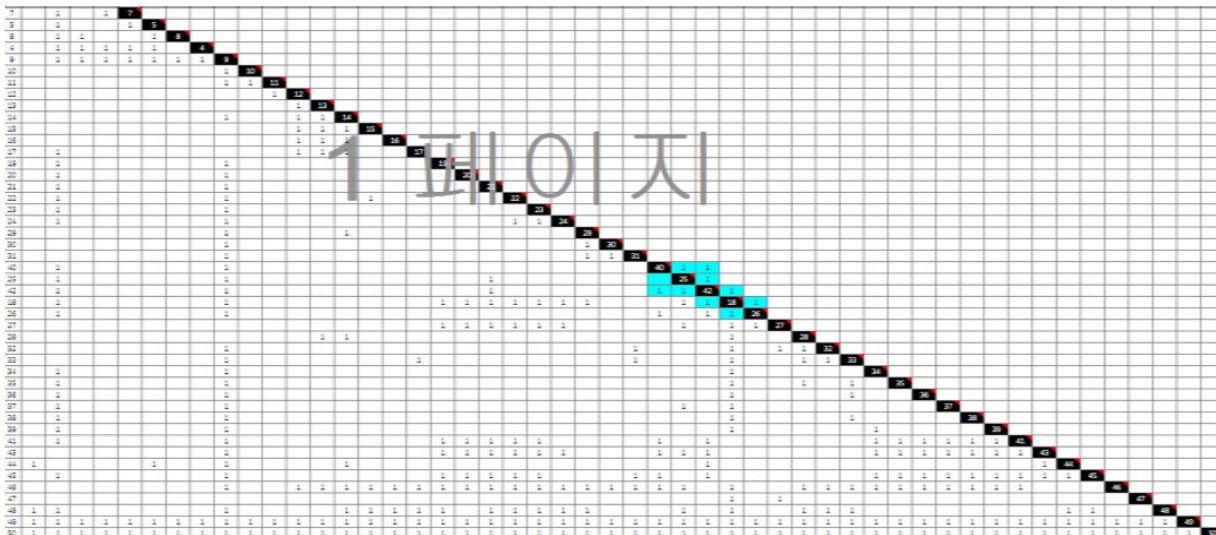


Fig. 11 After DSM Partitioning based on SE

Table 2 Clustered design products based on systems engineering

cluster No. (cluster size)	products
1 (3)	Combat system design report
	Sensor arrangement and mast design report
2 (2)	Weapon system R&D requirement requirements
3 (2)	General arrangement
	Bridge arrangement

DSM 파티셔닝에 따라 업무수행 순서도 최적으로 재배열된다. 초기 DSM 모델링 시 각 산출물은 1~50번의 임의의 순서로 할당되었으나, 파티셔닝을 통해 비용과 노력을 최소화하는 방

향, 즉 복잡성이 최소화되는 형태로 재조정되었다. 3개의 클러스터 영역에 해당하는 5건의 설계보고서는 아래의 순서로 재조정 되었다.

- task 40: 전투체계 설계보고서
- task 25: 센서배치 및 통합마스트 설계보고서
- task 42: 연구개발 무기체계 요구조건 분석보고서
- task 18: 일반배치도
- task 26: 함교배치도

첫 번째 클러스터는 전투체계/센서/통합마스트 설계와 관련된 보고서 (task 40, 25, 42)로 3개를 어떤 시점 동시에 한 팀 또는 한 명이 담당할 경우 더 높은 효율성을 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 두 번째 클러스터는 연구개발 무기체계의 요구조건 분석보고서 (task 42)와 일반배치도 (task 18) 작성 간에 연관관계가 있다는 것을, 세 번째는 일반배치도 (task 18)와 함교배치도(task26)가 연관되어 동시 작업 시 효율성과 더불어 정확성을 동시에 확보할 수 있을 것이다.

Table 3 Performance comparison of two DSM modeling methods

	method 1 (Heuristic-based)	method 2 (SE-based)
complexity	200	17

두 DSM 모델링 방법을 적용하여 그 복잡도를 비교할 때 SE 기반의 방법 적용 시 경험에 기반 한 것에 비해 약 1/12 수준으로 낮은 복잡성을 가진 프로세스를 얻을 수 있었다. 다시 말해 동일 프로젝트 수행시 Fig. 9의 프로세스보다는 Fig. 11의 프로세스를 적용하는 것이 더 효율적으로 업무를 수행할 수 있을 것이라는 것을 예상할 수 있으며, 목적문건 간에 상호의존성을 최소화함으로써 피드백에 따른 재작업과 그에 따른 추가 시간, 인력투입과 비용 소요 등을 줄일 수 있다는 장점이 있다. SE 기반의 DSM 모델링 방법은 특정인의 지식과 직관에 의존하는 첫 번째 방법에 비해 획득자와 개발자간에 동의한 사업계획 문서인 SEMP를 기준으로 DSM 모델링을 하므로 공학활동과 연계된 사업관리에 있어 최적화된 계획을 수립할 수 있게 한다. 두 경우 초기 DSM 형태를 비교해보았을 때 Fig. 7의 경우 해당 요소와 순서적으로 상당히 떨어진 요소와 피드백 관계가 형성된 반면 Fig. 10의 경우 형성된 피드백 요소가 인접하여 연속적으로 나타난다. 이는 DSM 모델링 초기값 자체의 분산이 방법1보다는 방법2가 적으므로 파티셔닝 이후의 클러스터가 작아 복잡도가 감소할 수 있다는 것을 추측해 한다. 경험에 기반한 DSM 모델링의 경우 SEMP와 같이 이해관계자간 합의된 문서 기준 없이 어렵짐작에 의존함으로써 참여자의 인지적 편향에 따른 오류를 피할 수 없다는 근본적 한계가 있다. 해당 사업에 따라, 참여자에 따라 그 경험의 수준과 직관의 정도가 다르기에 사업진행 간에 잦은 공정 변경을 피할 수 없을 것이다. 또한 초기 DSM의 차원이 크면 클수록 그 오류도 더 커질 수 있어 유일의 최적 프로세스 결과를 얻는 것이 어려우므로 복잡한 함정설계 프로세스 계획에 있어 경험에 기반한 접근법은 그 실제적 적용에 있어 분명 한계가 있음을 짐작 할 수 있다 (Sanaei et. al., 2016).

DSM은 본 연구의 동기와 같이 설계프로세스 최적화는 물론 각 설계 프로세스별 모델링과 분석을 통해 투입자원의 최적 배분과 안정된 일정 수립 그리고 사업성과관리의 기준선 (baseline) 최적화를 위한 계획 도구로도 활용할 수 있다. 향후 금번 연구처럼 산출물 기준이 아니라 미 해군과 같이 활동기반의 설계프로세스 분석과 최적화 연구 그리고 개념설계 이후의 획득단계 설계프로세스에도 DSM 연구를 확대 수행할 필요가 있다.

## 4. 결론

앞으로 함정플랫폼은 물론 탑재되는 장비/체계간의 인터페이스 측면의 복잡성 증가는 피할 수 없는 기술 환경의 변화이다. 동반한 프로세스상의 복잡성 증가는 과정에 있어서의 비효율성은 물론 결과에 있어서의 부정확성 또는 불완전성 증가의 원인

이 될 것이다. 방위사업에 있어 이는 예산 초과, 일정 지연 그리고 성능 불만족이라는 3대 약재에 표면상으로 드러나지 않는 잠재적 원인이기도 하다. 본 연구는 함정사업 전반의 현안문제 해결 위해 기존과 같이 관계 법령, 규정 제정 등의 메아리 없는 행정적 제안보다 DSM 적용이라는 기술적, 분석적 접근을 시도한 것에 의미가 있다. 현재 수행하고 있는 복잡한 개념설계 프로세스 내의 상호작용을 최소화하는 최적화 연구를 통해 문제 해결 가능성을 찾아보자는 것이 연구의 주목적이었으며 향후에는 탐색개발, 체계개발 등 함정 사업 전반에 관심을 확대하는 것을 고려한다. 본 연구에서는 전통적인 공학 이외에도 시장 분석, 부동산 분석, 제조공정 최적화 등 다양한 분야에서 활용되고 있는 DSM 모델링 기법을 적용하였다.

현행 개념설계 산출물을 기준으로 SE 기반의 DSM 모델링 후 파티셔닝을 적용한 결과 복잡성과 비효율성을 초래할 수 있는 현행 설계 프로세스상의 피드백 요소를 상당 수준으로 제거할 수 있었다. 과거와 같이 조선소 또는 방사청 사업관리자의 주관적인 경험과 지식에만 의존하던 설계프로세스 계획보다는 최근 함정획득의 통합/동시공학적 설계와 사업 특성을 고려한 SE 관점에서의 체계적인 설계프로세스 계획을 위해 SE의 핵심 계획 도구인 WBS와 SOW를 이용하여 DSM 모델링을 하는 것이 프로세스 최적화에 있어 더 효과적임을 정량적으로 확인하였다. 이 방법은 개인의 주관에 기인한 불확실성을 제거하는데 기여할 수 있을 것으로 보이며, 향후 함정설계 전 수명주기 단계뿐만 아니라 상업용 해양시추선 등 잠수함만큼의 시스템 복잡성을 가졌다고 평가되는 대형 해양시스템 설계 프로세스 최적화에도 적용할 수 있을 것이라고 기대된다.

## Reference

- Allen, G. & Merlino, J., 2010. Capturing the ship design process. In: *NSRP SNAME Joint Panel Meeting*. West Bethesda, MD, USA, September 29, 2010.
- Browning, T.R., 2001. Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions. *IEEE Transactions on Engineering*, 48(3), pp.292-306.
- Defense Acquisition Program Administration (DAPA), 2013. *Systems engineering based ship research and development work manual (11-169000-001378-01)*, Seoul, South Korea: DAPA.
- Doerny, N., 2009. Using the design structure matrix to plan complex design projects. In: *ASNE Intelligent Ships Symposium 2009*. Philadelphia, PA, USA, May 20-21, 2009, pp.1-15.
- Kim, C.M., 2009. *Improvements of the DSM method for PBS construction and schedule optimization*. Ph.D. Suwon, South Korea: Ajou university.
- Laverghetta, T. & Brown, A.J., 1999. Dynamics of naval ship Design: a systems approach. *Naval Engineers Journal*, 111(3), pp.307-324.

- Park, J.W., 2016. Recent early-phase naval ship systems engineering for Republic of Korea navy surface combatant design. *Naval Engineers Journal*, 128(3), pp.103-115.
- Rogers, J., 1997. Reducing design cycle time and cost through process. In: *International conference of engineering design 97*. Tampere, Finland, August 19-21, 1997, 6p.
- Sanaei, R. Otto, K.N. Otto, K.H. & Wood, K.L., 2016. Incorporating constraints in system modularization by interactive clustering of design structure of design structure matrices. In: *ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Information in Engineering Conference IDETC 2016*. Charlotte, North Carolina, USA, August 21-24, 2016, pp.1-13.

Wek, O.d., 2012. *ESD.36J System & Project Management-design structure matrix*. Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA.



박진원