

# 전산지원 시스템엔지니어링 자동화 환경을 이용한 한국형 경항공모함 설계조합 및 최적대안 산출 기술 연구

박진원<sup>1\*</sup>, 이광기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>대우조선해양(주) 중앙연구원, <sup>2</sup>한얼솔루션(주) 통합설계실

## Technology to Optimal Designs and Design Synthesis for Korean Aircraft Carrier Light using Computer-Aided Systems Engineering Automation Environment

Jinwon Park<sup>1\*</sup>, Kwang-Ki Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Institute, Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co., Ltd.

<sup>2</sup>Integrated design division, Haneol Solution

**요약** 함정 개념설계는 크게 개념탐색과 개념개발로 구분된다. 개념탐색은 최초 운용요구조건으로부터 시작하여 함정의 개략적인 체원 및 성능을 예측하며, 이는 실제 다음 단계의 초기 기준선 역할을 한다. 이후 설계가 진행됨에 따라 체원과 성능이 구체화되는 점진적인 프로세스를 따른다. 본 연구에서는 성공적인 적용 사례를 보유한 현업의 시스템엔지니어링 프레임워크를 지원하기 위한 전산지원 자동화 설계도구(IDEAS)를 개발하고자 한다. 검증 케이스로 최근 국내/외적으로 많은 주목을 받고 있는 한국형 경항공모함의 개념탐색에 이를 적용하여 합리적인 비용과 시간 투입만으로도 신뢰할 수 있고 의미 있는 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. IDEAS의 정확성과 정교성은 미국과 영국의 항공모함 데이터와의 비교 그리고 자체 CVX 개념설계 결과와 비교해 볼 때 원래 목표로 하였던 초기단계 설계의 목적과 수준에서 만족스러운 능력을 보여주었다.

**Abstract** Naval ship concept design largely consists of concept exploration and concept development. The concept exploration starts with the operational requirements and produces a rough level of dimensions and performance prediction, which serve as an initial baseline for the next design stage. The subsequent design follows a gradual process in which dimensions and performance are further specified. This study develops the Integrated Design Environment by Automation for Ship (IDEAS) as a computer-aided systems engineering tool to support the systems engineering framework that has been established for application in naval ships. This framework was applied to an example case of the concept exploration of aircraft carrier experiment, which has recently received national and international attention. The results of this example study confirmed that reliable and meaningful results could be obtained using IDEAS at a reasonable cost and time. The accuracy and fidelity of IDEAS provide satisfaction in the purpose and level of the early-phase ship design. This observation is based on the good predictions of IDEAS compared with the data of US and British aircraft carriers and the results of an independent CVX concept design.

**Keywords** : CVX, Systems Engineering, Design Synthesis, Optimal Design, Pareto-optimal, IDEAS, OMOE

\*Corresponding Author : Jinwon Park(Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering)

email: jinwonpark@dsme.co.kr

Received February 8, 2022

Accepted May 6, 2022

Revised February 28, 2022

Published May 31, 2022

## 1. 서론

국내 함정설계는 초기에는 소형 고속함(정) 위주였으나 1970년대 울산함 건조를 시작으로 2000년대 들어 이지스 구축함과 3천 톤급 잠수함까지 독자적인 설계 및 건조역량을 상당한 수준까지 축적해 왔다. 반면, 무에서 유로 새로운 개념을 창조하는 초기단계 설계에서 요구되는 창의적 기술역량 축적과 기반 구축에 있어서는 상대적으로 관심과 투자가 부족했다. 특히 SE (SE: Systems Engineering, 이하 SE) 관점에서 볼 때 설계조합의 방법론과 이를 지원하기 위한 전산지원환경이 절대적으로 부족한 상황이다. 미국의 경우 1970년대 이후 ASSET (advanced ship system evaluation tool), 영국의 경우 1996년 이후 Paramarine, 이탈리아의 경우 2010년 이후 ASNET (application system for naval ship design evaluation and testing)과 같은 함정 설계조합

소프트웨어를 오랜 기간 상당한 예산 투자를 통해 연구 개발 해왔고 이를 현업에 적용하여 다양한 개념설계 데이터를 선제적으로 축적해가고 있다.

우리로 2010년 이후 나름의 SE 프로세스와 도구를 활용하고 있다고도 볼 수 있으나 이를 실질적으로 구현시키기 위한 마땅한 설계조합 도구가 없는 실정이다. 방법론적으로는 과거에 비해 많은 개선이 있었으나 실질적인 도구가 없는 상황이다 보니 요구조건 분석과 아키텍팅이 실제 설계조합과 분리되는 현상이 자주 발생한다. 치열한 고민의 노력에 상응하는 체계적 연구(설계) 성과를 얻기 어렵다는 의미이다. 본 연구는 이런 부족을 메우기 위해 함정 초기단계 SE 프로세스용 전산지원 SE(CASE: computer-aided systems engineering, 이하 CASE) 도구 개발이 시급하다는 오랜 문제 인식에서 시작되었다.

함종별 요구조건 분석, 아키텍팅 결과물을 토대로 S/W 아키텍처를 개발하였으며, 다양한 최적화 이론을 적용함으로써 주어진 요구조건에 따른 단순 설계조합뿐만 아니라 특정 설계범위와 제약조건을 토대로 한 다목적 최적화와 최적 대안 의사결정까지 지원할 수 있도록 하였다. 무엇보다 현업의 요구와 필요를 충족시켜 실제 설계활동에서 유용한 도구로 자리매김하는 것에 중점을 두었다. 함정설계 통합 및 자동화 환경(IDEAS: Integrated Design Environment by Automation for Ship, 이하 IDEAS)으로 이름 붙여진 본 CASE 도구는 단순 연산이나 조합을 위한 Tool이나 S/W가 아닌 사용자 경험과 노하우를 최대한 반영한 유연한 인터페이스를 제공함으로써 최적 대안의 과학적 의사결정까지 지원할 수 있도록 구성되었다. CASE 도구를 연구 개발하는 과제인 만큼 개발 프로세스 또한 아래 Fig. 2와 같이 SE 프로세스를 적용하였다. 본 연구에서는 개발된 IDEAS의 정확성을

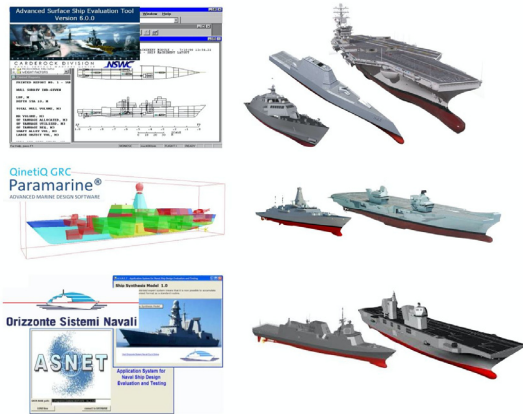


Fig. 1. ASSET (USA) / Paramarine (UK) / ASNET (ITS)

구분	M	M+1	M+2	M+3	M+4	M+5	M+6	M+7	M+8	
W000 Project Management	W020		W010 SR	W020	W010 SFR	W010 PDR	W030		W020	W030
W100 Database development	W110 DB survey		W120 DB field define		W130 DB Schema design		W140 Interface design			
W200 SSM development	W210 Data survey		W220 Design variable		W230 Meta-modeling		W240 ship synthesis model development			
W300 GUI development	W310 Graphic User Interface (GUI) development				W320 GUI implementation					
W400 System Integration	W410 UX survey		W420 operating env. survey		W430 S/W integration and field test					
W500 Manual	W510 functional analysis				W520 V&V			W520 manual development		

Fig. 2. IDEAS development WBS and schedule-plan

검증하기 위해 한국형 경항공모함(CVX: aircraft carrier experiment, 이하 CVX)을 예로 들었다.

## 2. SE기반 초기단계 함정설계 프로세스

함정 획득 소요(필요성)를 결정하는 초기단계 설계는 공학적 관점에서 개념생성(concept generation), 개념탐색(concept exploration)과 개념개발(concept development)의 3단계로 구분된다. 첫 번째 단계인 개념생성은 대상 함정에 적용되는 위협·작전운영환경·임무·운용요구조건 분석 그리고 유사 실적함에 대한 탐색적 데이터 분석 등을 통해 개략적인 설계가능영역을 도출하는 건조가능성검토(feasibility study or concept study)의 일반적인 방법론과 유사하다. 다음의 개념탐색과 개념개발은 개념설계(concept design)의 핵심단계이다. 개념탐색 단계에서는 조선공학적 파라메트릭 모델링을 통해 대상 함정의 개략적인 제원과 성능을 추정하게 되며, 사실상, 이 추정 결과가 다음 설계를 위한 성능베이스라인(performance baseline)으로 고려된다. 성능베이스라인은 개념개발 단계에서의 공학적 구체화를 통해 기능베이스라인(functional baseline)으로 진화하게 된다. 기본설계에서는 기능베이스라인을 토대로 좀 더 정교한 공학 분석과 실험 등을 통해 이를 검증하고 필요시 보정하여 할당베이스라인(allocated baseline)으로 진화시키게 된다[1].

Fig. 3은 현재 함정 초기단계 설계에서 일반적으로 적용되고 있는 SE 기반 함정설계 방법과 절차를 설명한다. 각 조선소 고유의 노하우 및 프로세스, 인적 역량, 함종이나 규모 등에 따라 일부 차이가 있을 수 있으나 크게 이를 따른다고 해도 과언이 아니다. 위협과 작전운영환경 분석에서부터 시작하여 운용요구조건 분석, 기능과

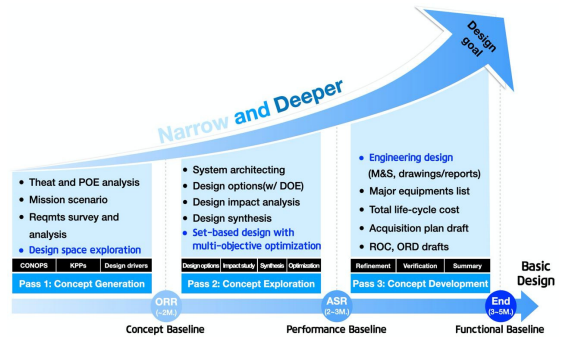


Fig. 3. Early-phase naval ship design process

물리 아키텍팅을 통한 설계인자와 옵션 설정 그리고 Pugh matrix 또는 집합기반설계를 적용하는 설계조함과 다목적 최적화 등의 시스템분석과 SE의 핵심 활동을 포함한다[2].

## 3. 한국형 경항공모함(CVX) 개념탐색

CVX는 현재까지 국내에서는 설계, 건조 그리고 운영 경험이 없는 고정익/회전의 항공기의 동시 운영을 고려한 대형 해상 군사기지, 즉 움직이는 비행기이자 지휘함의 임무를 수행할 것이다. 해군뿐만 아니라 공군, 조선소뿐만 아니라 전투기 제작업체 등 다양한 이해관계자가 참여하는 복합시스템이기 때문에 참여자 또는 시스템 상호 간 합의된 설계와 운영기준(방침)이 없을 경우 개발 진행 과정에서의 혼선 발생이 불가피하게 된다. 이에 어떤 무기체계보다 과학적 시스템 개발론인 SE 적용이 필요한 대표적인 복합시스템이라고 할 수 있다. 아래에서는 CVX 개념탐색에 적용된 SE프로세스와 IDEAS의 구성과 활용 결과를 설명한다.

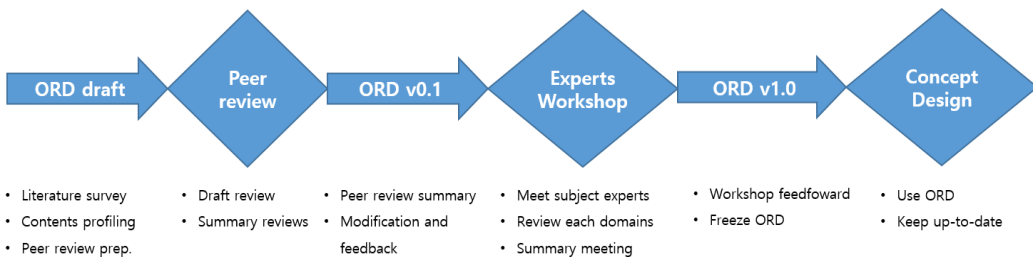


Fig. 4. ORD development process

### 3.1 운용개념 및 설계참조임무 개발

최근 무기체계 운용개념 개발은 운용요구서(ORD: operation requirements document, 이하 ORD)로부터 시작된다. ORD는 2010년대 중반 무렵부터 국내 방위사업에 도입되었으나 함정사업에는 2020년 이후 본격적으로 기존 ROC/TLR (required operational capability/top level requirement, 이하 ROC/TLR)을 대체하는 소요문서로 자리 잡기 시작하였다[3]. 그러나 함정사업에 있어 ORD는 아직 성공적으로 적용되었다고 보고된 사례가 없으며, 기존 ROC/TLR과 중복되거나 상충하는 문제점이 여전히 남아있다. 특히 이전에 한번도 경험해보지 못한 새로운 함정을 개발할 경우 내용 작성의 어려움뿐만 아니라 질 또한 장담하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 국내·외 항공모함 관련 연구논문 및 보고서 등 약 70여 종에 대한 문헌 연구로부터 시작하여 내·외부 전문가 워크숍 등을 통해 자체 ORD 초안을 도출하고 세부 기술검토와 병행하여 그 내용을 최신화함으로써 실제 개념설계에 활용 가능한 수준과 내용으로 완성도를 높일 수 있었다.

또한, 본 연구에서는 국내 함정설계 최초로 설계참조임무(DRM: design reference mission, 이하 DRM)를 개념설계에 도입하였다. ORD는 운영자 관점에서의 요구조건을 담고 있기 때문에 운영 경험은 물론 용어나 약어조차 낯선 설계자에게 그 구체적인 내용이나 상세한 의미 전달이 어렵다는 지적이 있었다. 이러한 문제를 해소하기 위해 미 해군 함정설계관리자 및 시스템통합관리자 업무 매뉴얼에서는 함정설계 사업시 DRM을 추가 작성하여 ORD의 부족한 부분을 보완하게끔 요구하고 있다[4]. 본 연구에서 개발된 DRM은 총 3가지의 작전상황(OpSit: optional situation, 이하 OpSit)을 가정하였으며 각 작전상황별로 위협, 가정사항, 임무성공조건, 임

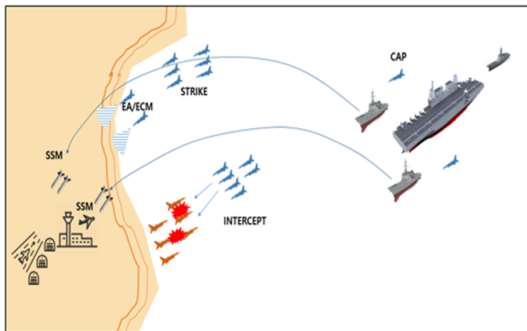


Fig. 5. OpSit 1: Strike mission

무 정의, 임무 절차를 기술하고 있다.

실제 DRM은 기존 ORD만으로는 부족했던 대상 함정의 전술적 운용개념을 개발자에게 친절히 설명하는 데 유용하였으며, 실제 개념설계에서의 항공기 탄약 적재정수 산출, 항공기 운영시나리오 등을 수립하는 데도 유용한 기준문서로 활용되었다.

### 3.2 요구조건 분석

일반적으로 요구조건 분석은 소요문서인 ORD를 문장 단위로 분해, 맥락적으로 분석하는 것으로부터 시작된다. 문서 성격상 시스템 개발자(설계자)가 이해해야 하는 기술적 요구조건뿐만 아니라 용어 정의, 사업적 요구조건, 단순 근거 설명 등의 다양한 비기술적 문구가 혼재되어 있다. 문장을 하나하나 분해, 정렬하고 그 문장 성격에 따라 분류하는 것에서부터 시작한다. 각 요구조건별로 요구자와 책임자를 명시하고, 검증방법과 시기 등을 구체화한다. 개념설계 종료 시 요구조건은 구현방안까지 구체화한 기술적 요구사항, 즉 체계요구조건(안)으로 구체화하는 검토를 수행한다.

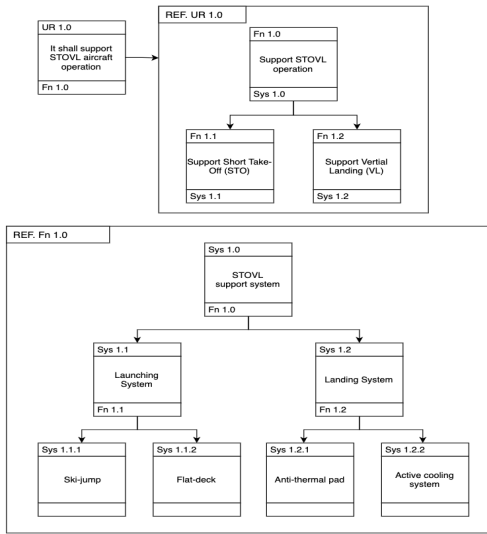
### 3.3 시스템 아키텍팅

요구조건 분석 결과를 토대로 기능아키텍처를 정의하고 이를 구현 또는 지원하기 위한 물리아키텍처를 구성하는 작업을 수행한다. 시스템 아키텍팅을 위한 다양한 도구 중 본 연구에서는 기능흐름블럭선도 (FFBD: functional flow block diagram, 이하 FFBD)를 이용하여 요구조건 별 기능분석/할당 그리고 대안 분석 등의 설계과정을 수행하였다.

UR #	Type	KPP	Requirements	Owner	Holder	Verification Method	Verification Moment
1	Technical	O	It shall support STOVL aircraft operation	AF	DSME	I/D/T	C.D/ B.D/ DT&OT
2	Technical	-	It shall be compatible with typical RAS/FAS spec.	Navy	DSME	I/D/T	C.D/ B.D/ DT&OT
3	Business	O	It shall assure the interface compatibility with 000	DAPA	Airforce	I/T	B.D/ DT&OT

Fig. 6. Example of requirement verification and tracking matrix

요구조건 분석 시 핵심성능변수로 정의된 항목의 경우 분야별 최신기술 조사를 통해 운용자를 만족시킬 수 있으며 동시에 기술적으로도 구현 가능한 대안을 도출하게 된다. 이때 요구조건과 기능 그리고 설계 대안은 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 상호추적할 수 있도록 설계 전반에서 일관적인 번호체계를 적용한다.



Fn #	Function	Sys #	Physical system	UR #
1.1	Support short take off (STO)	1.1.1	Ski-jump launcher	1
		1.1.2	Flat-deck launcher	
1.2	Support vertical landing (VL)	1.2.1	Anti-thermal pad	1
		1.2.2	Active cooling system	
~	~	~	~	~

Fig. 7. Example of system architecture

마지막으로 Fig. 8과 같이 아키텍팅 결과를 토대로 요구조건-시스템 기능-물리적 요소(성능/장비) 간 사상(mapping)을 통해 빠지거나 중복된 것이 없는지를 확인하게 된다. 이는 요구조건과의 완결성과 시스템설계의 강건성을 동시에 살펴보는 과정이라 할 수 있다. 누락된 경우 추가 검토하고 중복될 경우 기술적 검토를 전제로 한 의사결정 과정을 통해 수정 또는 삭제한다.

UR #	Requirements	Fn #	Function
1	It shall support STOVL aircraft operation	1.1	Support short take off (STO)
		1.2	Support vertical landing
2	It shall be compatible with typical RAS/FAS spec.	2.1	Support RAS/FAS operation
~	~	~	~
Fn #	Functions	Sys #	Systems
1.1	Support short take off (STO)	1.1.1	Ski-jump
		1.1.2	None
1.2	Support vertical landing (VL)	1.2.1	Anti-thermal pad
		1.2.2	Active cooling system
2.1	Operate RAS/FAS station	2.1.1	RAS/FAS station
		2.1.2	FAS station only
~	~	~	~

Fig. 8. Example of mapping matrix

### 3.4 설계조합

앞선 요구조건 분석과 아키텍팅을 통해 도출한 도메인별 설계대안은 아직 완전한 형태의 대안이 아니다. 각 요구조건이나 기능을 구현하기 위한 개략적인 성능이나 제원에 미치는 영향 검토가 포함되지 않았기 때문이다. 이를 위해서는 기본조선학, 구조, 추진, 전기, 무장, 의장 등 합성공학 각 도메인별 설계대안(또는 옵션) 적용 시 플랫폼에 미치는 설계영향(design impact) 검토결과를 아래 Fig. 9와 같이 종합하여야 한다.

	Design driver (variable)	Option (Sys#)	VOP	Weight (ton)	Volume (m3)	KG (m)	Cost (₩)	RCS (m2)	Fn #	UR #
1	Take-off system	Ski-jump (1.1.1)	1.00	200	50	7.5	200m	150	1.1	1
		None (1.1.2)	0.65	-	-	-	-	-		
2	Landing support	Anti-thermal pad (1.2.1)	0.70	60	6	0.03	100m	-	1.2	1
		Cooling system (1.2.2)	1.00	100	10	1.00	250m	12		
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

Fig. 9. Example of design impact analysis

다만, 현재와 같이 각 도메인별 계산결과를 단순히 종합하는 방식은 각 조선소의 환경이나 참여자의 역량, 그리고 축적된 데이터의 양과 질에 크게 의존한다. 조선소별 경험과 고유의 관습 그리고 인적 역량에 따라 설계방식이 달라 설계자나 시점과 관계없이 일관적인 결과를 얻는 것이 사실상 어렵다. 이러한 현업에서의 한계를 해소하기 위한 CASE 도구로써 IDEAS 개발에 이르게 된 것이다. IDEAS를 설계조합에 적용함으로써 사람이나 시점과 관계없이 일관성 있는 결과를 도출함으로써 신뢰성을 확보하고, 다양한 요구조건에 따른 방대한 설계데이터를 체계적으로 추적 관리할 수 있는 기반 환경을 제공할 수 있게 되었다.

IDEAS는 Fig. 10과 같이 설계조합모듈(SSM: ship synthesis model, 이하 SSM), 최적화모듈, 인터페이스 모듈 및 데이터베이스모듈로 구분하여 개발되었다. Fig. 11과 같이 SSM은 공학계산 소프트웨어인 Mathcad로 개발되었으며 파이썬 최적화라이브러리(pymoo)와의 상호연동을 통해 각 모듈이 연속적으로 통신함으로써 기능상의 오류가 없도록 설계 및 구현되었다. Fig. 13은 임의의 요구조건 세트를 적용하여 얻은 실제 IDEAS의 조합결과이다. 좌측에는 주요제원과 성능, 가운데는 개략적인 함 외형 프로파일 그 아래 부분에는 항공기 운용 및 추진체계에 대한 정보, 오른쪽은 SWBS(SWBS: ship work breakdown structure, 이하 SWBS) 중량 및 비



용 추정 결과를 포함한다. 일반적인 영업용 Pocket plan의 정보를 모두 담고 있으며, 별도의 pptx 추출 기능 보유로 추가 작업 없이도 선주(운용자)의 요구에 즉각 반응이 가능한 장점이 있다.

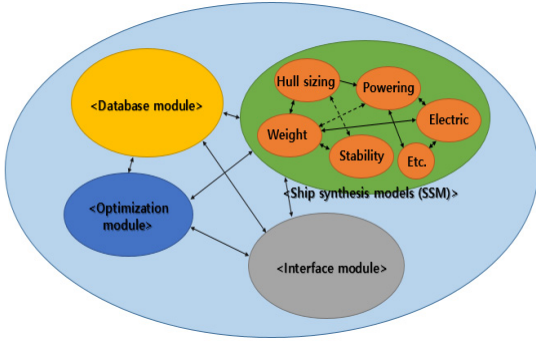


Fig. 10. IDEAS overview

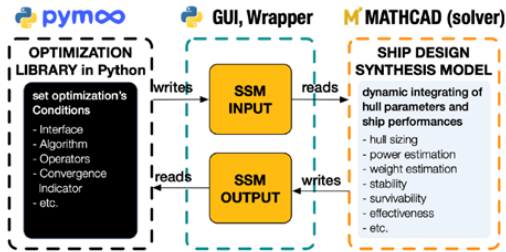


Fig. 11. IDEAS development environment

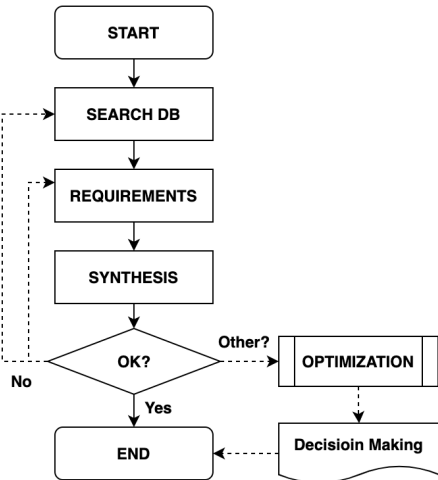


Fig. 12. IDEAS workflow

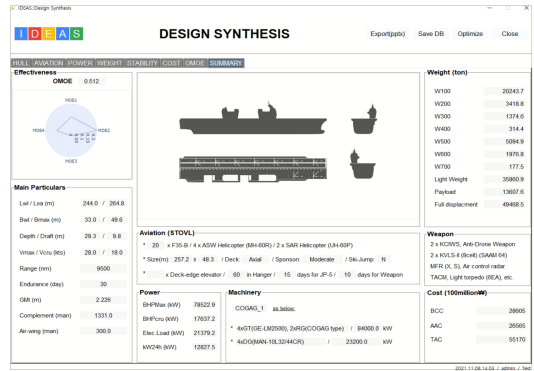


Fig. 13. IDEAS Design Synthesis Result (Pocket plan)

### 3.5 최적화 및 의사결정지원

함정 초기단계 설계는 개략적인 성능/기능요구사항으로부터 시작된다. 실질적 사업단계인 기본설계와 같이 확정된 요구조건(requirements)을 사양(specifications)으로 구체화하는 공학 설계라기보다는 모든 가능성을 열어두고, 상당한 가정을 전제로 하여 실현 가능한 무한 가능성의 공간을 탐색하게 된다. 더불어 비용 최소화, 경하중량 최소화, 최대속력 최대화 등 설계의 목적(또는 지향) 또한 다양한 관점을 가지게 된다. 대부분 하나 이상의 목적함수를 다루게 되며, 목적함수 간 상충하는 문제를 내포하고 있다. 예를 들어 최대속력 망대(large the better), 경하중량 망소(the smaller the better)의 경우를 살펴보자. 조선공학적으로 고출력 엔진을 탑재하고 선형을 최적화함으로써 최대속력 증대는 어렵지 않게 달성할 수 있지만, 추진엔진의 크기나 중량이 함께 커져 궁극적으로는 배수량이 증가되기 때문에 두 가지의 목적함수가 상충하는 모순 상황을 피할 수 없다. 이런 경우 두 목적함수 간의 상충분석(trade-off study)이 필수적이다. 관련된 일련의 분석과 해석 그리고 의사결정과정을 다목적 최적화(multi-objective optimization)라고 한다. 더불어 다양한 성능/기능 요구조건 모두를 목적함수로 취급할 경우 의사결정이 어려워지므로 전체 성능이나 기능을 대표하는 하나의 장점지수(measure of merit)로서 종합효과지수(OMOE: overall measure of effectiveness, 이하 OMOE)를 도입하게 한다. OMOE는 함정설계의 기능적/성능적 설계요인과 요인별 옵션을 계층화한 구조모델로써 다속성효용함수법(multi-attribute utility theory)으로 모형화된다[5]. 설계요인은 효과지수(MOE: measure of effectiveness, 이하 MOE) 수준, 설계 옵션은 성능지수(MOP: measure of performance,

이하 MOP) 수준에서 모델링된다. 각 효과지수와 성능지수 수준에서의 상대적 가중치 산정이 필요하며 그 계산은 이해관계자 설문조사 결과와 계층적분석법(AHP: analytical hierarchy process, 이하 AHP)을 이용하게 된다. 아래 Fig. 14는 CVX의 OMOE 모델이다.

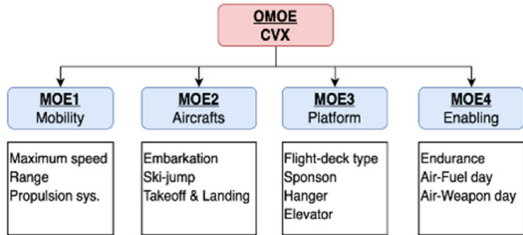


Fig. 14. OMOEE hierarchy

각 설계 옵션은 기능과 성능 옵션으로 나누어지는데 성능 옵션의 경우 상대적인 양적 비교가 쉬운 것에 반해, 기능 옵션의 경우 질적 비교가 불가피하게 된다. 이에 설계 옵션의 상대적 우위 평가는 그 형태에 따라 기능일 경우 AHP, 성능일 경우 퍼지집합함수를 이용하여 각각 모형화할 수 있다.

Table 1. Fuzzy set function

Usual	U-shape	V-shape
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{q} & 0 \leq d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$
Ski-jump	Hanger	Aircraft
Level	V-shape indiff.	Gaussian
$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1/2q & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$
Maintenance	Max. speed	Endurance

IDEAS를 통해 조합된 수많은 설계대안(design alternatives)은 각각 고유의 OMOE를 가지며 이 값은 각 설계대안의 정량적 비교 평가 수단으로 다른 또 하나의 목적함수(비용이나 중량 등)와의 상세분석을 위해 사용된다. 아래 Fig. 15는 8~20대 수준의 고정익 항공기를 탑재하는 항공모함 설계에 있어 다목적 최적화 과정을 보여주는 예이다. IDEAS에서는 다목적 최적화를 위해 함정설계와 같이 다수의 혼합형(이산형, 연속형) 설계 변수가 포함되어있으며, 비선형성이 강한 복잡한 문제 취급에 적합하다고 알려진 비지배정렬기반 유전알고리즘(NSGA-II: non-dominated sorting based genetic algorithm-II, 이하 NSGA-II)을 적용하였다[6]. 아래 Fig. 16은 인구수(population) 200개, 세대수(generation)를 100회로 하여 해석한 결과로서 약 20,000개의 조합된 해(synthesized solutions)이다. 그 중 길이-폭 비, 폭-깊이 비 등과 같이 선형 특성과 관련된 다양한 제약조건(constraints)과 갑판형태, 항공기승강기 수 등의 선호사항(preferences)을 충족하는 총 7,894개의 설계대안(feasible design)을 얻을 수 있었다. 파레토 최적화 검토 과정을 통해 다른 어떤 해에 의해서도 지배되지 않아 비지배해(non-dominated design)라고 불리는 경쟁력 있는 설계 후보군을 식별하고 비지배해 중에서도 예산과 획득 기간 등과 같은 사업적 제약조건 내에서 수용 가능한 수준의 복수 최적 대안(2~3개)을 따로 추출하여 의사결정자에서 보고함으로써 과학적 의사결정을 지원할 수 있게 된다. 본 논문에서는 Fig. 16과 같이 파레토 프론트(Pareto's front) 상에 있는 40여 개의 비지배해 중 탑재 항공기 수량에 따라 4개의 설계 후보군을 예로 도출하였다.

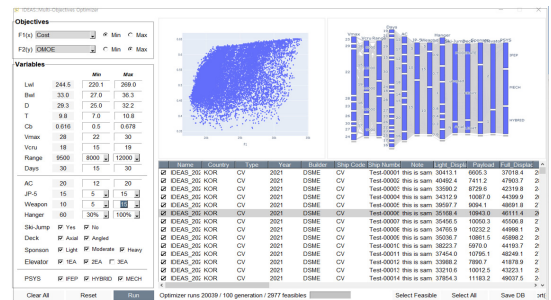


Fig. 15. IDEAS multi-objective optimization

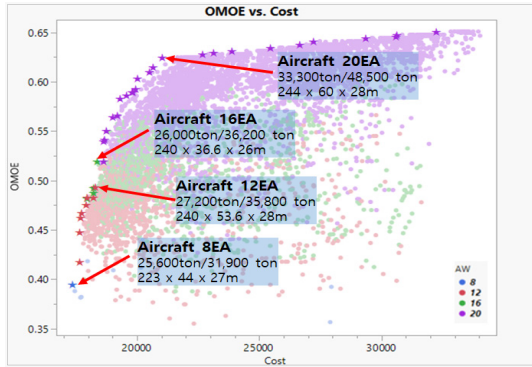


Fig. 16. Best design candidates selection for CVX

#### 4. 검증 및 평가

IDEAS는 기존 설계데이터나 경험을 파라메트릭 모델링하여 개발된 설계조합모델(ship synthesis model)을 중심으로 한다. 현 버전 v1.0의 대상 함종은 경항공모함(CVX)으로 호위함이나 구축함과 같이 국내·외적으로 다량 건조되어 설계데이터의 확보가 상대적으로 쉬운 함종에 비해 모델링에 필요한 최소한의 데이터조차 확보가 어렵고 국가별, 탑재 항공기별 설계 관습이나 특이사항이 달라 이를 정규화하기 어려운 점이 있다. 이에 상당한 기간의 벤치마크 테스트, 현업 전문가 토의 등을 통해 수용 가능한 수준의 정확도와 정교성을 확보할 수 있도록 설계조합모델을 미세조정 및 교정하는 노력을 기울였다. 초기 개발된 시험평가용 알파버전을 대상으로 수개월 동안의 필드테스트를 거쳐 공학적 조합결과와 실무적 설계 결과 간의 차이가 최소화되도록 코드와 알고리즘을 최신화하였다.

본 논문에서는 IDEAS의 성능검증 평가를 위해 대한민국의 해군에서 고려 중인 경하톤수 3~4만 급 항공모함 규모를 참고하였다. 해외 유사 실적함 중 3만 톤급인 미해군의 USS America급 상륙감함(LHA(R))과 4만 톤급인 영 해군의 퀴엘리자베스급 항공모함(HMS QEC)을 테스트 케이스로 정해 IDEAS 결과와 비교해보았다 (Table 2-3).

두 케이스 모두 실제 알려진 함정 데이터와 IDEAS 결과 간 값 차이가 크지 않다. 길이(L), 폭(B), 깊이(D)와 흘수(T)는 기준함과 비교했을 때 함정 기본성능에 영향을 미칠 만큼의 유의미한 차이가 없었으며, 특히 ROC 항목인 경하중량과 만재배수량의 상대적인 차이가 3% 이내의 수준으로 상당히 신뢰할 만한 수준으로 평가된다.

Table 2. USS LHA(R) versus IDEAS result

Variable	LHA(R)	IDEAS	Diff.
Length overall(Loa) (m)	280.7	282.5	+1.8
Length waterline(Lwl) (m)	260.6	260.6	Match
Breadth waterline(Bwl) (m)	35.4	35.4	run
Depth (D) (m)	27.7	27.1	-0.6
Draft (T) (m)	8.1	7.9	-0.2
Light weight (ton)	35,307	35,051	+256 (0.7%)
Payload (ton)	15,403	16,053	+650 (4%)
Full displacement (ton)	50,710	51,104	+394 (0.8%)

Table 3. HMS QEC versus IDEAS result

Variable	QEC	IDEAS	Diff.
Length overall(Loa) (m)	283.0	285.1	+2.1
Length waterline(Lwl) (m)	263.0	263.0	Match
Breadth waterline(Bwl) (m)	39.0	39.0	run
Depth (D) (m)	39.7	35.5	-4.3
Draft (T) (m)	11.0	11.5	+0.5
Light weight (ton)	49,249	50,553	+1,304 (2.6%)
Payload (ton)	15,757	15,901	+144 (0.9%)
Full displacement (ton)	65,000	66,454	+1,454 (2.2%)

IDEAS는 설계인력 8명, 2개월 이상을 투입하던 기존 방식의 개념탐색을 1~2명의 IDEAS 취급자만으로 대체하여 1주일 이내 동등 이상의 결과를 산출함으로써 상당한 기간단축과 인건비 기준 매년 1.4억 원 이상의 비용 절감 효과를 기대할 수 있을 것이다. 또한 짧은 시간, 소수의 인력만으로도 선주의 잦은 질의나 변경에 신속하게 대처할 수 있기 때문에 수주 경쟁력을 높이는 데도 기여할 수 있다.

IDEAS는 항공모함뿐만 아니라 구축함, 호위함, 연안 경비함 및 잠수함(정)의 설계조합에도 활용되는 통합설계 및 자동화 프레임워크로 구성되었다. 무엇보다 설계업무에서의 활용성을 최상의 목표로 삼아 현업과 연구조직 간의 협업을 기본으로 한다. 지속적으로 시장 수요가 많은 함종을 추가하여 방대한 설계데이터의 선제적 축적과 이를 기반으로 한 최적설계 대안을 기준과 같이 많은 시간, 다수의 인력을 투입하지 않더라도 신속하게 얻을 수 있는 수단이 될 것이다. 본 연구는 지속적으로 대상 선종(향후 민수용 선박도 포함 예정)을 확대함으로써 항



후 오랫동안 각 선종별 모델기반의 설계가 계속되고 또한 귀중한 데이터를 강건한 데이터베이스 구조 기반 하에 체계적으로 축적함으로써 명실 공히 대한민국 함정설계의 전문가시스템으로서 역할을 할 것으로 기대된다.

## 5. 결론

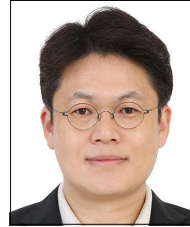
본 연구는 함정 개념탐색 시 함종(또는 선종)별 설계 조합모델을 토대로 다목적 최적화 설계 지원이 가능한 CASE 도구인 IDEAS 개발에 주목하였다. SE 프로세스를 기반으로 함정설계 조직과의 협업을 통해 IDEAS 개발의 주된 목표 중 하나인 개발과 활용의 분리 현상을 줄이고자 하였다. 설계 업무에서의 요구사항을 수집하고 분석하였으며, SE 검토 절차를 통해 사용자 요구조건 충족 여부를 추적, 관리하여 원래 목표했던 성능과 기능을 확보하기 위해 노력하였다. IDEAS의 정확성과 정교성은 미국과 영국의 항공모함 데이터와의 비교 그리고 자체 CVX 개념설계 결과(의도적 생략)와 비교해 볼 때 원래 목표로 하였던 초기단계 설계의 목적과 수준에서 만족스러운 능력을 보여주었다.

## References

- [1] Benjamin Blanchard and Wolter Fabrycky, Systems Engineering and Analysis: 5th Edition, p.800, Pearson, 2010, pp.26-32
- [2] Jinwon Park, et. al., "Recent Early-Phase Naval Ship Systems Engineering for Republic of Korea Navy Surface Combatant Design", Naval Engineers Journal, Vol.128, No.3, pp.103-115, 2016
- [3] DAPA, In R&D of weapon systems, it is mandatory to prepare and implement the operational requirements document in advance [Internet], Yonhap News Agency, c2013 [cited 2013 May 08], Available From: <https://www.yna.co.kr/view/RPR20130508009800353>
- [4] NAVSEA, Ship Design Manager (SDM) and Systems Integration Manager (SIM) Manual, Work Manual, NAVSEA, USA, 2012
- [5] Alexander Kossiakoff, William N. Sweet, and Samuel J. Seymour, Systems Engineering Principles and Practice: 2nd Edition, p.560, JohnWiley & sons, 2011, p139
- [6] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6 No. 2, pp. 182-197, 2002  
DOI: <https://doi.org/10.1109/4235.996017>

박진원(Jinwon Park)

[정회원]



- 2003년 2월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학석사)
- 2008년 9월 : 미국 Virginia Tech 항공해양공학과 (공학박사)
- 2009년 12월 ~ 2011년 12월 : 국방과학연구소 파견 연구원
- 2016년 6월 ~ 2018년 11월 : 방위사업청 차세대잠수함사업단
- 2019년 9월 ~ 2020년 5월 : 한얼솔루션 통합설계실 수석연구원
- 2020년 6월 ~ 현재 : 대우조선해양 특수성능연구소 책임연구원

<관심분야>

시스템공학 분석(SE Analysis), Data Science, Creative Design, Set-Based Design, Design Optimization

이광기(Kwang-Ki Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한양대학교 한양대 학원 기계설계학과 (기계설계석사)
- 1988년 2월 ~ 1990년 2월 : LG 전자 바이오연구소 연구원
- 1990년 3월 ~ 1997년 5월 : 만도 기계 중앙연구소 연구원
- 2017년 5월 ~ 현재 : 한얼솔루션 통합설계실장

<관심분야>

빅데이터분석, 머신러닝, 설계최적화