

1. 서론

1.1 함정의 개념설계

함정의 개념설계는 무기체계 획득절차상 방위사업관리 규정상 선행연구단계에 포함이 되어 수행하는 것으로 육·공군 무기체계에는 없는 개념의 설계이다. 개념설계는 2019년도에 방위사업관리규정이 개정됨에 따라 해군이 위탁수행 하게 되었다. 이는 함정의 성능이 첨단화되고 그에 따른 요구성능이 발전하는 과정에서 함정의 운용개념을 바탕으로 소요군이 원하는 작전요구성능(ROC)을 도출해야 한다는 이해관계기관들의 공감대가 형성된 결과이다.

함정의 ROC는 육·공군 무기체계와 달리 기본설계부터 시작되는 사업화 단계 이전에 결정되기 때문에 최적화된 ROC를 도출하는 것이 매우 중요하다.

대형수송함-II의 개념설계는 방위사업관리규정 개정 이후 최초로 해군에서 위탁 수행하는 것으로 수직이착륙기 운용을 위한 플랫폼의 최적의 ROC를 도출하는 것을 목표로 설계가 진행 중에 있다.

본고에서는 이러한 무기체계 획득환경 변화에 따라 미래함정에 대한 개념설계 방향을 제시하고자 한다.

특기간뿐만 아니라 운용 및 폐기에 이르기까지 수명주기 기간을 통틀어 운용하게 될 함정의 성능을 고려해야 한다. 함정이라는 제한된 규모의 플랫폼 영역에서 작전운용개념을 통해 요구되는 성능을 구현하는 과정은 매우 복잡적이고 이해관계자의 요구 사항이 적합하게 적용이 되어야만 소요군이 원하는 함정을 적기에 획득할 수 있다.

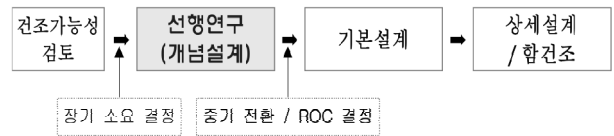


그림 1 함정의 획득 절차

美 Zumwalt급 구축함인 DDG-1000의 경우에도 실험적인 신기술을 적용하여 최초 32척을 계획하였으나, 연구개발에 따른 급격한 비용증가로 최초계획을 포기하고 결국 3척으로 획득 수량을 변경 하였다. 소요군이 원하는 요구성능을 적용함에 있어 기술성숙도가 달성되지 못하여 획득기간 내에 구현이 불가능하거나 탑재체계의 개발과정에서 위험요소가 따르게 되어 사업비용 증가나 획득시기 지연이 불가피하기 때문에 개념설계 단계에서는 향후 획득에 미치는 영향요소까지 검토를 포함해서 수행하여야 한다.

2. 함정의 개념설계

2.1 함정 개념설계의 이해

함정의 개념설계는 그림 1에서 보는 바와 같이 함정획득절차에 따라 소요기획단계인 건조가능성검토 이후 장기소요가 결정되면 선행연구단계에서 수행하는 설계이며, 중기전환을 통해 ROC가 결정된 이후 기본설계, 상세설계 및 함건조 단계를 거쳐 함정 인수단계를 거치게 된다. 통상 개념설계는 1년, 함정의 규모에 따라 기본설계는 2~3년, 상세설계 및 함건조 단계는 함정의 규모에 따라 5~7년 정도 소요가 된다.

사업간 소요검증 및 사업타당성 조사 등 행정기간을 합치면 장기소요가 결정된 이후 함정 인수까지 짧게는 10년에서 13년 정도 소요가 된다. 개념설계를 수행함에 있어 함정의 획

2.2 개념설계 수행 방법

2.2.1 나선형 설계(Spiral Design)

함정의 설계절차는 일반적으로 알려진 나선형 설계로서 조선공학 절차에 따라 임무분석, 일반배치, 중량추정, 선형, 추진, 유체역학적인 특성, 복원성, 구조설계 및 비용추정에 이르기까지 순차적인 형태로 진행된다. 무기체계가 대형화되고, 체계가 복잡할수록 획득기간과 비용측면에서 이러한 설계 방식은 제한사항이 있다.

그림 2에서 보는 바와 같이 핏 퀴엘리자베스급 항공모함의 경우 항공기를 150대 탑재하고 일일 출격회수를 150회를 충족하는 최초 설계 안(Alpha Design)을 도출하였으나, 고비용으로 실용적인 설계 요구가 되어 항공기 탑재수량 및 출격회

수를 줄임에 따라 함크기를 축소한 Bravo Design을 채택하였다. 이는 복원성과 손상통제 능력의 불만족으로, 갑판면적을 확장하여 Charlie Design을 적용하였으나 통합전기추진체계 적용에 따른 발전용량 불만족으로 디젤원동기를 2대에서 4대로 증가하여 최종적으로 Delta Design을 채택하게 되었다.

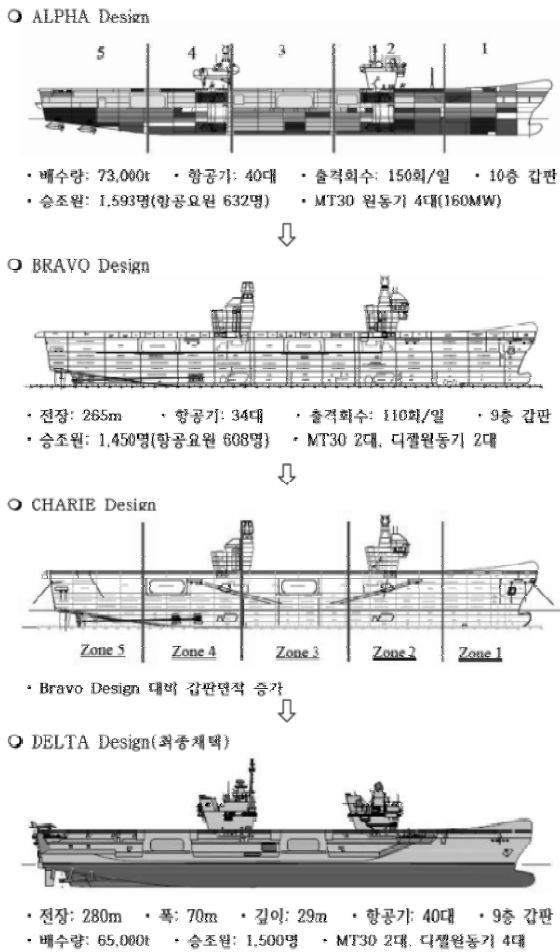


그림 2 英 퀸엘리자베스 항공모함의 설계 변천

이러한 설계과정은 중량의 증가가 소요마력의 증가로 이어지고 추진체계 구성을 변화시켜 다음 단계의 설계에 영향을 미치는 요소로 작용한다. 결국 Spiral Design은 요구조건을 구현함에 있어 타협점(Trade Off)을 찾아가는 것으로 설계 변수가 많을수록 그에 비례하는 설계결과가 도출되어야 하므로 결국 설계기간과 비용 상승을 수반하게 된다. 이는 설계에 있어서 핵심 성능인자가 되는 함재기의 수량 및 출격회수 생성을 변화가 함공모함 플랫폼의 규모가 종속적으로 결정되는 요소를 알 수 있다.

2.2.2 집합 기반 설계(Set Based Design)

앞서 설명했듯이 무기체계가 복잡해지고 고도화됨에 따라 나선형 설계와 같이 Trade Off 과정을 통해 함을 설계하는 것은 시간과 비용 상승을 수반하므로 함정 플랫폼과 체계간 동시공학적인 설계를 필요로 한다. 미 상륙강습함의 경우 고속 상륙정이 진회수가 가능한 Well Deck를 보유한 Wasp급의 LHD에서 항공능력을 강화하기 위해 Well Deck를 제거하여 America급의 LHA의 설계를 진행하였다.

Well Deck 제거에 따른 항공기 격납, 정비 및 항공무장공간 활용 등 21개의 설계인자(Design Variable)로 설정하여, 최적의 설계조합을 도출해내기 위한 개념설계를 수행하였다. 표1에서 보는 바와 같이 주요 설계인자는 격납고 길이 및 정비비를 위한 높이, 항공기 정비 및 부품 보관을 위한 용적 등으로 제한된 함정의 규모에 함성능을 극대화하기 위한 변수의 옵션이 도출된다. 설계대안은 이러한 옵션들의 조합으로 이루어진다. 이러한 조합들의 수치화 된 효과도를 도출하기 위해서는 각 설계인자에 대해 가중치를 선정하고, 정량적으로 산출할 수 없는 경우 전문가를 활용하여 가중치를 구현하는 계층화분석법(Analytic Hierarchy Process : 이하 AHP) 기법을 적용하여 종합효과도(Overall Measures of Effectiveness : 이하 OMOE)를 구할 수 있다. LHA의 경우 美 해상체계사령부(NAVSEA), 사업전문가(PEO), 운용부대 등 전문가 12명으로 구성된 인원으로 AHP를 수행하였다. 이를 바탕으로 초기요구조건을 설정함에 있어서 광범위한 설계범위에서 의사결정 단계를 통해 설계를 수렴해가는 방식으로 개략적인 제원을 추정하게 된다.

표 1 미 상륙강습함(LHA-6) 주요 설계인자

설계 변수	옵션	설계 변수	옵션		
1	격납고 길이/높이	높은 정비공간의 위치 및 길이	10	Damage Tolerance 2 : DAPS	보조 방호 체계 수준
2	항공기 정비 및 부품 보관	ACE(Aircraft Combat Element) 확대	11	Damage Tolerance 3 : UNDEX	내충격 감소를 위한 선체재질 변경
3	보트 보관 및 운용	함내 vs 함외	12	적외선 신호	신호수준
4	폭탄 준비공간	비행갑판 vs Main Deck	13	음향 신호	신호수준
5	화물저장공간	상륙작전 지원 화물 공간 증대	14	이무공간	현행유지 vs 감소
6	격납고 면적	차량 격납고 면적 증대	15	합동 작전 공간	합동기동부대 /해병기동여단 작전 수행공간 증대
7	훈련 및 집합 공간	공간 면적 산출	16	기관구역	추진체계구성
8	조리실	통합 vs 분리	17	RCS 신호	함내 vs 함외 Boat 보관
9	Damage Tolerance 1 : Plating	수중폭발 손상 감소를 위한 선체강화			

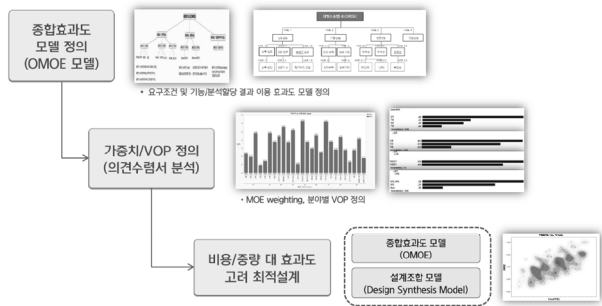


그림 3 종합효과도(OMO) 도출 절차

그림 3은 대형수송함-II에 적용된 종합효과도 도출 절차로 Set Based Design을 적용한 사례이다. 신속한 의사결정을 지원하기 위한 종합효과도 모델을 정의하고 각 설계인자별 가중치를 설정하여 조선소에서 보유한 설계모듈을 활용하여 설계 결과를 범위 형태로 도출하였다. 각 설계인자별 조합에 따른 설계결과로서 설계초기 단계의 개략적인 주요제원을 산출하고 그에 따른 효과도는 시각적으로 표현이 가능하다.

3. 미래함정 개념설계 발전방향

3.1 소요군 중심의 개념설계

기본설계 이후 함정 획득단계에서는 방사청이 사업관리를 수행함에 따라 소요군은 조선소에서 수행하는 설계전반에 대해 깊이 관여를 할 수 없기 때문에 군의 요구사항을 반영할 수 있는 기회는 선택적인 설계 산출물에 대한 검토나 공식적인 기술검토 회의를 제외하고는 극히 제한적이라고 볼 수 있다. 군의 요구사항이 설계변경을 초래하거나 구현이 불가능하여 비용과 위험에 미치는 영향이 클 경우 사업을 추진하는 입장에서는 받아들이기 힘들 수 있다.

이와 반대로 사업화되기 이전인 개념설계 단계에서는 소요군이 설계권(Design Authority)을 가지고 있기 때문에 소요군이 원하는 요구조건을 충분히 반영할 수 있는 기회이기도 하다. 설계초기단계에서는 위험요소를 충분히 식별하고 복수의 설계 대안을 통해 방사청, 국과연, 조선소 등 이해관계기관이 모두 타협 가능한 설계결과를 도출할 수 있기 때문이다.

차기잠수함구조함 개념설계시 심해구조잠수정(DSRV)의 진회수 방식 선정 과정에 있어 Center Well 방식과 함미에서 진회수를 하는 A-Frame 방식(그림 4 참조)으로 두가지 대안에 대한 검토가 있었다. 소요군은 높은 해상상태에서도 함내에서 안정적으로 DSRV를 진·회수 할 수 있는 Center well 방식을

선호하였지만, 함내 진회수 방식은 전세계적으로 일본만 보유하고 있어 기술적 구현에 있어서 도전적인 상황에 직면해있었다.

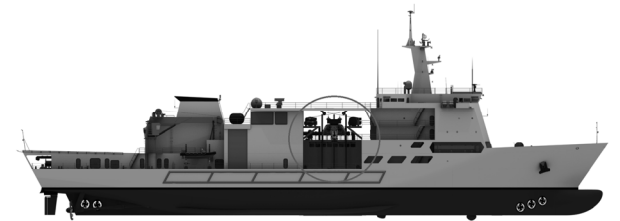


그림 4 함미 진회수 방식(위), 함내 진회수 방식 (아래)

임무는 동일하지만 작전운용성능이 달라진다. 한정된 기간 내에서 형태가 다른 두 가지 설계를 동시에 진행하는 것은 비용과 기간 상승을 동반한다. 따라서 소요군은 기술적인 위험 부담을 갖더라도 함내 진회수 방식을 선택하였다. 만일 개념설계 기간 중 이러한 대안에 선택 과정이 없었다면, 함정 건조 단계에서 소요군의 의견을 반영함에 애로사항이 존재하였을 것이다. 이러한 의사결정은 소요군을 대신하여 누구도 해줄 수가 없는 것이다. 개념설계 단계는 이러한 의사결정 과정에서 사업의 규모에 따라 소요군에서 결정해야 할 역할이 더욱 중요해진다.

서론에서 언급했듯이 대형수송함-II는 소요군 중심으로 개념설계를 수행하고 조선소가 설계를 지원하기 위한 용역의 형태로 진행이 되는 첫 사례이다. 대형수송함-II 개념설계의 경우 수직이착륙기를 탑재하는 함정 플랫폼 설계를 고려하여 개념설계 기술지원을 위한 제안요청서에 국외유사함정 설계/건조 경험 보유 업체 협력 방안 및 함정 특성을 고려한 전력화 지원요소 (전투발전요소, 종합군수지원요소) 식별 및 분석을 포함한 개발 계획 등을 포함시켰다.

3.2 개념설계간 협업 관계 구축

2013년도 한국형차기구축함(KDDX) 개념설계 수행 당시 사업관리는 방사청이, 개념설계 종합관리는 군에서 수행하였고,

개념설계 수행은 조선소에서, 국과연에서 연구개발탑재 무기 체계에 대해 검토 수행하는 것으로 업무분장 하였다. 이에 따라 설계관리에 있어서 각 기관별 전문가로 구성된 개념설계 전담인력을 분야별(운용개념 분야, 플랫폼 분야, 탑재장비 분야, 특수성능 분야 등)로 구성하여 개념설계를 진행하였다. 이것이 개념설계 수행간 협업 관계를 구축하는 시초가 되어 이후 잠수함구조함(ASR-II)의 개념설계도 유사한 형태로 전담인력을 구성하여 설계를 관리하였다. 이후, 지금까지의 개념설계는 사업규모를 감안하면 전담팀을 구성할 만큼의 규모를 가진 함정이 없었지만, 대형수송함-II 개념설계가 착수되면서 전담팀을 구성하게 되었다. 무엇보다 수직이착륙기 운용을 위한 플랫폼 설계를 수행하여야 하기 때문에 공군 등 각 분야의 전문가 역량을 갖춘 전담팀을 이용한 설계는 집단지성을 활용하는 측면에서 효과적이다.

또한, 국과연과의 협업 관계의 중요성이 대두되고 있다. 현재 국과연도 소요군을 지원할 수 있는 제도와 조직이 마련되어 해군과 협업 관계가 더욱 용이하게 되었다. 특히 연구개발 무기체계의 경우에는 더욱 그러하다. 해양기술연구원에서는 소요기획단계에서 수행한 개념형성연구 결과를 반영할 수 있고 플랫폼과 연계한 핵심기술과제를 수행할 수가 있기 때문에 개념설계에 적극적으로 참여가 가능하다.

3.3 함 수명주기를 고려한 중량 및 복원력 여유 확보

중량여유(Weight Service Life Allowance)와 복원력 여유(Stability Service Life Allowance)는 함정의 수명주기 성능 개량을 추진하기 위해 필요한 요소이며 미국은 중량여유를 정책(Margin Policy)을 통해 관리하고 있다. 美 DDG의 경우 대한민국 함정의 Batch 개념과 같은 Flight 개념을 적용하고 있다. 설계과정에서 수면하 선형의 경우 Flight 개념이 적용되더라도 변화가 없다. 즉, 초기에 함 선형개발시 충분한 여유를 확보하였기 때문에 불필요한 선형개발에 시간과 비용을 투자할 필요가 없이 전투체계, 추진체계 등의 설계를 원활하게 수행할 수가 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 美 DDG의 운용 여유중량(SLA)은 만재중량의 10%를 복원력(KG) 여유는 1 ft 이상을 확보하고 있고, 최근 美 함정의 선체수명은 40년 이상을 목표로 설계하는 추세에 있고, 선체보다는 탑재체계의 기술발전속도가 빠르기 때문에 성능개량 도래 시기가 빨라질 수 있다. 따라서 개념설계시 성능개량에 있어서 중요한 요소인 중량여유가 고려되지 못하면 복원력 상실 등 제한톤수를 초과하여 함정이 퇴역될 때 까지 성능개량을 하지 못한 채 운용할 수밖에 없다.

구분	Flight-I/II	Flight-IIA	Flight-III
외형			
크기	153.8 × 20.3	155.3 × 20.3	155.3 × 20.3
배수량	8,364 / 8,814	9,425	9,800
최대속력/항속거리	32 kts / 4,400 NM	31 kts / 4,300 NM	31 kts / 4,300 NM
변경사항	-	격납고 추가, 선형개선, VLS 수량 증가(90 → 96 cell)	AMDR 추가, 선형개선
복원력 (SLA/KG)	10% 이상 / 1 ft 이상	10% / 0.45 ft * 최대속력 감소로 SLA 증가확보	약 7.5% / 약 0.32ft

그림 5 美 DDG의 중량 및 복원력 여유

4. 결론

함정의 개념설계를 수행하기 위한 설계방법과 절차를 고찰하고 미래함정의 개념설계를 효율적으로 수행하기 위한 여러 가지 요소들에 대해 설명하였다.

타군 무기체계 획득절차와 달리 해군은 기술군으로서 제대로 된 요구조건을 도출하여 원하는 함정을 획득할 수 있어야 한다. 개정된 방위사업관리규정은 설계 초기단계인 개념설계를 소요군 중심으로 수행할 수 있도록 추진 동력 부여한 것이다. 이를 위해 방사청, 국과연, 전문가관 등 관련기관과의 원활한 협업과 함정의 수명주기를 고려한 개념설계 수행이 필요하다.

참고 문헌

- Alan Brown et al. [Optimization and Overall Measure of Effectiveness(OMOE) for the Preliminary Design of LHA(R)]
- Bradley Martin and Michael E. McMahon [Future Aircraft Carrier Options, RAND Corporation] (2017)
- J.D. Raber and D.A. Perlin [Future USN Aircraft Carrier Analysis of Alternatives, Naval Engineers Journal] (2000)
- [방위사업관리규정, 방위사업청] (2019)
- 이동훈 외 [임무분석 기반 함정 개념형성 연구 방안, 대한조선학회지] (2019)
- 최원준 [국외 함형발전 동향 분석 및 우리군 발전방안, '19-1 차 함형발전회의(해군 기획관리참모부 주관)] (2019)



최 원 준

- 1974년생
- 2009년 英.사우스햄튼대 조선공학과 박사
- 현 재 : 해군 함정기술처 설계과장
- 관심분야 : 함정 개념설계, 손상통제
- 연락처 : ***-****-****
- E-mail : wonjun.choi@navy.mil.kr