함정 설계 및 생산에서의 GT 응용에 관한 연구 -플랫폼 패밀리 구성과 관련하여-

A Study on the Application of Group Technology for Naval Ship Design and Manufacturing : Relating to Platform Family Architecture

박광재*, 박진우**, 노현일***

- * 방위사업청 함정사업부 (gjpark7@hanmail.net)
- ** 서울대학교 산업공학과 (autofact@snu.ac.kr)
- *** 서울대학교 산업공학과 (nhi79@ultra.snu.ac.kr)

Abstract

본 논문은 함정과 같은 다품종 소량의 시장 환경에서 고객들의 요구사항을 충족시키고 대량생산의 효과를 얻을 수 있도록 그룹기법(Group Technology) 개념을 이용하여 함정에 대한 플랫폼 패밀리(Platform Family)를 구성하는 방법을 제시하고, 이것을 쉽게 사용할 수 있도록 매트릭스(Matrix) 형태로 제안하였다. 또한 이 논문에서 제안하고 있는 함정 플랫폼 패밀리에 대하여 현실 문제를 가정하여 비용분석을 수행하였고, 구체적인 비용 효과와 적용 가능한 범위를 제시하였다.

1. 서론

1.1 연구 목적 및 배경

21세기 우리해군은 다양하고 급변하고 있는 해양안 보 환경에 직면해 있다. 해양에서의 전통적인 임무 뿐 아니라 해양테러와 같은 비전통적인 위협에 대 해서도 대비가 필요하며, 주변국의 경쟁적인 해군력 증강 및 배타적 경제 수역(EEZ)의 설정에 따른 대 비와 더 나아가 국제평화유지 활동의 확대 요구 등 을 충족할 수 있는 해군력의 건설이 필요하다.

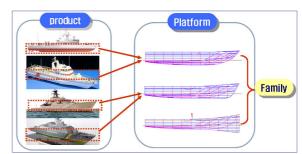
해양안보 환경의 변화와 더불어 조선 산업, 무기체계 및 정보기술의 급속한 발전은 다양한 종류의 임무를 수행하는 많은 종류의 함정을 필요로 하고 또한 생산해 낼 수 있는 다품종 소량의 시장 환경이 점차적으로 확대되고 있다.

그러나 우리나라의 국방비는 주변국 대비 약 25% 수준으로 해양안보 환경을 고려한 최적의 해 군력을 갖추기에는 턱없이 부족한 실정이며, 특히수상 함정의 가격은 척당 수천억씩 하는 고가의 제품으로, 필요한 시기에 획득하기 어려운 것이 현실이다. 또한 최근 유가의 급등으로 인해 배치된 함정의 운용을 제한해야 하는 상황에까지 이르고 있다.

이와 같은 해양안보 환경 및 해군력의 현실을 고려할 때 글로벌 기업들의 경영혁신, 산업공학의 시스템적인 사고방식 등 전체적인 관점에서의 변화 와 개선이 필요한 시점이다. 글로벌 기업들은 대량생산을 통해 규모의 경제를 실현하는 동시에 고객들의 다양한 요구사항을 충족시키기 위한 대량맞춤화(Mass Customization)를 경영혁신의 새로운 패러다임으로 채택하고 있으며이러한 대량맞춤화 실현을 위해 하나의 제품 플랫폼(Product Platform)에서 다양한 제품들을 이끌어낼 수 있는 제품개발 방법들을 사용하고 있다. 이방법들은 제품의 설계 및 생산 시간을 줄이고, 비용을 절감하는 하는 동시에 개별 고객의 다양한 요구와 기대를 충족시킬 수 있는 장점을 가지고 있는데 이 개념의 핵심은 제품 플랫폼으로 제품의 종류가 다양하고 수량이 적은 시장 환경에서 더욱 효과적이다.

제품 플랫폼 방법과 같이 다품종 소량의 시장 환경에서 효과적인 그룹기법(Group Technology)이라 는 개념이 있다. 이는 제품 또는 부품을 생산함에 있어 이들이 갖는 형상 및 기술적인 유사성에 따라 몇 개의 집단으로 나누어 설계 및 생산함으로써 표 준제품의 대량생산에서 기대되는 경제적 이점을 다 품종 소량 생산체제에서 실현하려는 관리방식의 하 나이다.

본 연구는 제품 플랫폼과 그룹기법 등의 기법들을 활용하여 함정의 획득 계획 수립, 설계 및 건조과정에서 비용과 시간을 절감할 수 있도록 함정의선체 형상에 대한 제품 플랫폼 패밀리(Product Platform Family)를 구성하는 방법을 제시하고, 이를실무에서 쉽게 활용할 수 있도록 매트릭스(Matrix)형태로 제안하고자 한다.



[그림 1-1] 함정 선체에 대한 플랫폼 패밀리 개념도

1.2 논문의 구성

본 논문은 제품 플랫폼 패밀리(Product Platform Family)의 구성 방법을 연구하는 부분과 그 효과성을 검증하기 위한 비용분석 연구로 구성되었다.

첫 번째 부분은 현재 다른 종류의 제품으로 생산하고 있는 함정들 중에서 선체부분은 동일하게 생산할 수 있는 함정 그룹으로 분류하는 방법에 대한 연구이다. 여기에서는 세계 각국의 종류별 함정들을 조사하였고, 함정의 선체형상을 분류할 수 있는 5가지의 형상 유사성계수(Similarity Coefficient)를 도출하였다. 그리고 조사된 함정들을 5가지의 유사성 계수를 사용하여 동일 그룹으로 분류하였고, 분류 결과를 기준으로 함정의 선체형상에 대한제품 플랫폼 매트릭스(Platform Family Matrix)를 제안하였다.

두 번째는 연구는 함정에 대한 제품 플랫폼이 비용측면에서 효과가 있는지 검증하는 부분이다. 함정의 수명주기 비용 중 제품 플랫폼과 관련이 있 는 설계비, 건조비 및 연료비에 대하여 비용분석을 실시하여 비용적인 측면에서 유리한 설계 범위를 제시하였다.

2. 배경 연구

2.1 제품 플랫폼(Product Platforms)

대량맞춤화를 실현하기 위해 많은 기업들이 제품 패밀리(Product Family)를 활용하는데, 성공적인제품 패밀리의 핵심은 제품 플랫폼이다. 이 방법은최초 프로젝트 이후에 추가 제품 개발과정에서는 개발기간을 획기적으로 단축할 수 있으며, 플랫폼을 활용한 추가 제품개발은 신규 제품개발 보다 성공 확률이 높은 것으로 조사되었다.

제품 플랫폼을 설계하는 방법은 (1)Top-down, (2) Bottom up, (3) Module-based, (4) Scale-based 와 같이 대략 4가지로 구분할 수 있다.

Top-down(Proactive Platform) 방식은 비즈니스 중심의 접근법으로, 기업들은 어떤 제품 플랫폼 또는 제품 모방을 기초로 하여 전략적으로 제품의 패밀리를 관리하고 발전시킨다. 대표적인 제품은 소니의 workman이다.

Bottom up(Reactive Platform) 방식은 보다 기술 중심의 접근법으로 규모의 경제를 개선하기 위하여 개별 제품들의 그룹에 표준 부품 사용하기 위하여 이미 설계되어 생산중인 제품을 재설계 또는 보강하는 방식이다. 대표적인 경우는 Black & Decker 공구 회사이다.

Module-Based 플랫폼 설계 방법은 기능적으로 공통된 부분을 최적화하여 모듈 단위로 설계하는 방법이다. 이 방법은 다양한 관점에서 많은 연구들이 수행되었는데, Moore 등은 제품 플랫폼을 결정하기 위해 Conjoint Analysis 방법을 사용하였고, Siddique와 Rosen은 부품 조립과정에서의 공통점 (commonality) 관찰을 통해 여러 제품 세트로 부터 플랫폼 설계방법을 기술하였다. Gonzalez-Zugasti 등은 비용 최소화에 기초한 플랫폼 최적화 방법을 소개하였고, 플랫폼의 가치 평가방법을 발전시켰다. 몇몇 연구자들은 매트릭스(Matrix) 기반의 플랫폼 설계를 발전시켰다. Fujita 등은 제품 패밀리에 대해 QFD를 사용하는 방법을 소개하였고, Martin과 Ishii는 플랫폼을 개발하는데 있어서 QFD 기반의 방법론을 발전시켰다. Dahmus 등도 매트릭스 방법을 사

용하였는데, 이 연구는 공통 기능을 기반으로 플랫폼 모듈을 정의하는 것이 핵심 내용이다. Sudjianto와 Otto는 기술적인 속성 보다는 제품의 형상과 색상 계획(Scheme)을 기초로 다중 브랜드의 제품 플랫폼을 설계하는 방법을 소개하였다. 이 방법들은 플랫폼에 대한 공통 모듈의 선택에 중점을 두고 있지만, 모듈들이 사전에 정의되었음을 가정해야 한다.

어떤 플랫폼에서 공통성의 정도를 결정하는 방법은 다양하다. Fellini 등은 공통성과 성능을 최적화하면서 플랫폼에 대한 공통부분을 선택할 수 있는 방법을 소개하였고, 이 연구에 앞서 어떤 패밀리에 속한 두 개의 제품이 공유하고 있는 많은 설계 변수를 결정할 수 있도록 파레토(Pareto) 최적화방법을 소개하였다. 다른 한편, Nelson 등은 제품패밀리에 속한 제품들 사이에 공통성의 정도를 결정할 수 있도록 파레토 프론트(Front)를 사용하였다.

Scale-based 플랫폼 설계는 하나의 제품에서 용량이나 크기를 변화시키면서 고객들의 요구사항을 충족할 수 있는 제품을 만드는 방법이다. Simpson 등은 PPCEM(Product Platform Concept Exploration Method)을 소개하였다. 이 연구는 공통성을 최대화하고 성능 손실을 최소화하는 플랫폼 설계하기 위해 DSP(Decision Support Problem)를 사용하였다.

제품 플랫폼 설계에 대한 많은 연구가 공통성 (Commonality)과 차별성(Distinctiveness)사이의 균형에 대해 중점적으로 이루어지고 있다.

2.2 그룹기법(Group Technology)

그룹기법(Group Technology)의 개념은 다품종 소량의 제품들을 생산할 때 대량생산과 같은 생산성과원가를 절감할 수 있는 생산관리 방식의 필요에 따라 고안된 개념이다. 이 방법은 유사한 부품을 식별하고 그룹화 하여 설계 및 생산에서 유사성의 이점을 얻고자 하는 제조에서의 철학이다. 유사한 부품은 부품 패밀리로 재분류되는데, 각각의 부품 패밀리는 유사한 설계특성 또는 제조 특성을 가지고있다. 이는 제품 또는 부품을 생산함에 있어 이들이 갖는 기술적인 유사성에 따라 몇 개의 집단으로나누어 생산함으로써 표준제품의 대량생산에서 기대되는 경제적 이점을 다품종 소량 생산체제에서실현하려는 관리방식의 하나이다.

그룹기법에는 2가지의 기본적인 방법론이 있다. 첫 번째 방법은 부품의 설계 특성을 기초로 하여 부품 패밀리로 부품들을 그룹화 하는데 사용되는 분류법이다. 이 방법은 시각적인 방법과 코딩 방법 이 있다. 시각적인 방법은 기하학적 형상의 유사성 에 따라서 부품을 그룹화 하는 방법으로 부품의 수 량이 적을 때 적용하는 것이 적합하지만, 분류하는 사람의 선호도에 따라 결과가 달라진다. 코딩 방법 은 부품 또는 제품의 기하학적 형상, 복잡도, 가공 정밀도 등의 특성에 따라 해당 부분에 숫자 또는 알파벳 코드를 부여하여 분류하는 방법으로 코드의 형태는 Monocode, Polycode, Hybrid가 있다. 대표적 인 Coding system은 독일의 H. Opitz에 의해 개발되 었다. 그리고 이 코딩 체계는 단조, 주조 등의 제조 방법별로 또는 기계 가공 방법 등에 따라 다양하게 발전되어 왔다.

두 번째는 클러스터 분석(Cluster Analysis)법으로 객체의 특성을 기초로 하여 동종의 클러스터들로 객체를 그룹화 하는데 사용된다. 클러스터 분석 방 법은 제조 부품의 종류 및 수량 등에 따라 기계들 의 셋업시간, 공구교체 등의 작업 소요를 최소화하기 위해 그룹화 하는 것으로 클러스터 분석을 통해 물리적으로 기계들과 작업장을 재배치하거나 제조부품의 빈번하게 변경되는 상황에서는 가상적인 재배치를 통해 다양한 효과를 얻을 수 있다. 기계와부품을 클러스터링 하는 형식화(formulation) 방법은 Matrix, Mathematical Programming, Graph 형식화 방법이 있다. 이와 같이 Matrix formulation의 문제의해를 얻기 위해 아래와 같은 다양한 방법론들이 연구 되어왔다.

- Similarity Coefficient Methods
- Sorting-based Algorithms
- Cluster Identification Algorithm
- Bond Energy Algorithm
- Cost-based Method
- Extended Cluster Identification Algorithm

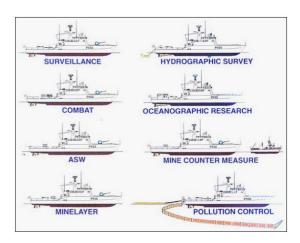
2.3 Modular Ship Design

세계의 선진해군은 급격히 증가하는 해군력 예산을 줄이고, 급변하는 해양안보 환경에 능동적으로 대처하기 위해 단일 플랫폼을 기반으로 한 임무 중심의 모듈 함정 설계(Modular Ship Design)방법 등을 사용하고 있다. 이 방법들은 대형함정 위주의 전통적인 해군력 개념과 상반되므로 미국에서는 그 필요성과 효용성에 대해 많은 논란이 야기되고 있다.

일반적으로 다양한 임무를 수행할 수 있도록 건 조된 항공모함, 순양함 등 대형함정들은 함정이 복 잡해지고 생산 비용이 증가하게 되었다. 그리고 대 규모 전투보다 평화유지 활동 등의 임무로 변화되 면서 이러한 대형함정들을 운용하는 것은 여러 측 면에서 비효율적으로 변화되고 있다. 그러나 소형 함정들은 다양한 임무 수행에 제한 점이 많다. 이 독일은 많은 나라에 함정을 수출하였는데, 그 이유 는 몇 종류의 표준함정에 고객이 원하는 다양한 무 기체계를 탑재할 수 있도록 설계되었기 때문이다. 결국 함정에서의 대량맞춤화를 실현한 경우라 할 수 있다. 아래[그림 2-2]은 덴마크에서 개발한 함정 의 제품 플랫폼이다. 이 함정들은 선체 형상은 동 일하지만 12가지 종류의 서로 다른 기능을 가지고 임무를 수행하는 함정이다. 이러한 상황을 해결하 기 위해 고안된 개념이 임무 중심의 모듈 방식이 다. 이 개념은 함정에 탑재되는 각종 장비 및 무기 체계를 임무 중심으로 구분하여 모듈로 구성하고, 함정에 필요한 모듈만 탑재하는 방식으로 운용한 다.



[그림 2-2] 독일의 모듈 함정 설계



[그림 2-3] 덴마크 소형함정의 제품 플랫폼

따라서 모든 무기체계와 장비를 탑재한 대형함 정 보다 배수량을 줄일 수 있고, 변화하는 위협에 효과적으로 대처할 수 있는 장점이 있다.

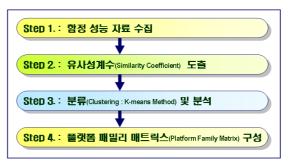
3. 함정 선체에 대한 플랫폼 패밀리 연구

3.1 절차 및 범위

함정은 다양한 무기체계 및 물자를 탑재하고 해상을 이동하며 전력을 투사하거나 군수지원의 임무를수행하는 종합 무기체계이다. 따라서 함정의 선체자체는 무기체계 및 물자를 탑재하고 해상을 이동시키는 가장 필수적인 수단 이다. 가령 두 척의 함정을 기하학적으로 동일한 선체형상으로 설계 및생산한다는 것은 함정 내부에 탑재된 추진시스템, 발전 시스템, 보조기기 시스템 및 선체구조를 동일하게 생산할 수 있음을 의미한다.

함정의 선체형상을 결정하는 주요 요소는 제원, 선체형상 계수, 수선면 형상계수 및 기타요소 등이 있다. 이러한 요소들을 결정하기 위해 유체 동역학 적 측면, 유사 함정들의 경향, 일반배치 측면을 비교 분석하여 최적의 선형 특성치들을 선정한다. 특히 선형을 결정하는 중요 요소인 선형계수는 현재운용중인 각국의 유사 실적함의 선형 특성치를 참고하여 추정한다.

이 연구에서도 함정의 플랫폼 패밀리 구성을 위한 방법으로 현재 운용중인 함정들의 성능자료를 활용하는 방법을 사용하였다. 연구절차는 아래 [그림 3-1]와 같이 4단계에 나누어서 진행하였다.



[그림 3-1] 플랫폼 패밀리 구성에 관한 연구 절차



[그림 3-2] 함정 성능 자료 조사(Step 1.)

3.2 함정 성능 자료 수집

종류별 함정들에 대한 성능자료는 1980년대 이후 건조된 100톤에서 1,500톤급 범위에 있는 함정 중 특수한 함정은 제외하고 선형이 단동선(Monohull)인 함정만을 조사하였다. 자료 수집 결과 53개국 213 척의 함정이 조사되었다.

3.3 유사성계수(Similarity Coefficient) 도출

그룹기법 개념을 이용한 연구 중에는 형상이 유사한 부품들을 유사성계수(similarity coefficient)를 사용하여 분류하는 방법이 있다. 이 방법은 본 연구와 내용면에서 차이가 있지만 유사성계수를 사용하여 형상이 유사한 그룹으로 분류한다는 개념은 같다. 여기에서도 이 개념을 적용하여 선체형상이 유사한 함정 그룹으로 분류하기 위해 유사성계수(Similarity Coefficient)를 도출하였다.

앞에서 조사한 성능 6가지는 배수량(Displacement), 수선장(Length on the Waterline), 수선 폭(Breadth Waterline), 흘수(Draft), 마력(hp), 속력 (Knot)으로 함정의 선체형상을 나타내는 주요 항목들이다. 이 항목들 중에서 수선장(LOA)은 일정 비율(96%)을 곱하여 수선 간장(Length Between Perpendiculars) 값 으로 변환하여 사용하였다.

유사성계수를 도출하기 위해 선박 및 함정설계에 사용되는 선형 특성 요소들 중에서 앞에서 조사한 6가지의 성능 항목으로 표현 가능한 5가지의 유사성 계수를 아래[그림 3-3]와 도출하였다.



[그림 3-3] 유사성계수(similarity coefficient) 도출 결과

도출된 유사성계수 중에서 (1)길이 대 폭 비, (2) 폭 대 흘수비 및 (3)방형계수는 선박 및 함정의 주요 치수, 복원성, 내항성, 저항 및 소요마력 계산에 사용되는 중요한 요소이며, (4)마력계수는 초기 설계단계에서 개략적인 소요마력을 추정하는 C_{atm}

(Admiralty Coefficient)로 부터 도출한 계수로 함정 1톤이 1 Knot의 속력을 내는데 필요한 마력을 나타낸다. 동일한 배수량에서 마력계수가 크면 클수록 저항성이 좋지 않은 선체형상이라는 의미가 있다. (5)Fatness Ratio는 앞에서 언급한 4가지 계수와 중복되는 면이 있지만 선박 설계시보다 함정 설계시더 많이 고려되는 요소로 함정의 선체형상 분류시가중치를 부여하기 위하여 포함하였다.

3.3 분류 및 분석

분류작업은 조사된 데이터 중에서 오류를 제거하기 위한 1차 분류를 실시하였고 프로그램을 이용한 2 차 분류를 실시하였다. 1차 분류는 (3), (4), (5)번의 유사성계수를 만족하는 그룹으로 분류 후 마력계수 와 Fatness Ratio가 기준 범위를 만족하는지 확인하 는 방식으로 진행하였다. 1차 분류 결과 2종류 이 상의 함정으로 구성된 그룹은 33개였다. 약 213종 의 함정 중 150 종류가 이 33개의 그룹에 포함되었 고, 그룹에 포함되지 않은 함정들은 계수별 오차가 큰 것으로 러시아, 중국, 인도에서 운용중인 함정들 이 많았다. 또한 공기부양선(Air Cushion Ship), 수 중익선(Hydrofoil craft)과 같은 특수한 선형의 함정 들도 포함 되어 있었다. 그리고 그룹에 포함된 함 정중 배수량, 속력 등의 성능 요소와 개별 함정의 특수성을 고려하여 동일한 플랫폼으로 구성하기 어 려운 함정들은 각 그룹에서 제외시켰다.

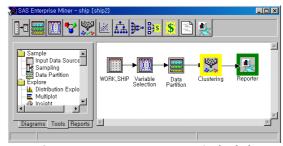
2차 분류는 1차 분류결과를 바탕으로 데이터마이닝 프로그램(Enterprise miner)에 자료를 입력 하여분류하였다. 프로그램에서 사용한 분류방법은 데이터마이닝에서 사용되는 일반적인 분류방법 중 잘알려진 K-Means Method를 사용하였다.

$$K-MeansMethod$$

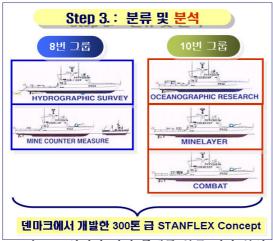
$$E=\sum_{i=1}^{k}\sum_{p\in C_{i}}|p-m_{i}|^{2}$$

E:모든 object들의 square- error의 합 p:주어진 object를 표현하는 공간에서의 점 m; Cluster C 의 평균

K값은 1차 분류작업을 통해 확인된 33개의 그룹을 바탕으로 25~35개의 범위에서 작업을 진행하였다. 프로그램을 이용한 2차 분류 결과 K값이 30일 때에 1차로 분류한 결과와 유사한 결과가 나왔고, 함정 설계시 사용되는 유사 실적함정 분류기준을 충족하였다. 그리고 프로그램에서 분류한 결과가 1차분류보다 더 좋은 결과를 보여 주었다.



[그림 3-4] SAS Enterprise Miner 수행 과정



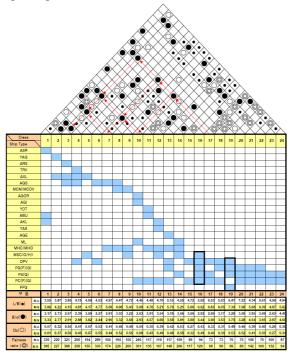
[그림 3-5] 함정의 선체 플랫폼 분류 결과 분석

2차 분류한 결과를 가지고 분류의 타당성을 확인하기 위해 덴마크에서 개발한 동일한 선체 플랫폼을 사용한 300톤급 함정들과 비교하였다[그림 3-5]. 비교 결과 덴마크의 함정들이 이 논문에서 분류한 그룹 중 8번과 10번 두 개의 그룹에 포함되었다. 8과 10번 그룹은 길이 대 폭 비가 동일한 그룹이며, 다른 유사성계수와 매우 가까운 범위 내에 있다. 결론적으로 각국의 개별적으로 건조된 함정들을 분류한 결과가 선체 플랫폼으로 건조된 함정들과 거의 일치하므로 이 분류는 상당히 타당한 결과라고볼 수 있다.

3.4 플랫폼 패밀리 매트릭스 구성

30개 그룹으로 분류된 2차 결과에 대하여 1종류의 의 함정으로 구성된 그룹들을 제외시키고 최종적으 로 24개 그룹을 함정 선체에 대한 플랫폼 패밀리로 확정하였다.

[표 3-2] 함정의 선체에 대한 플랫폼 패밀리 매트릭스



플랫폼 패밀리의 계열 번호는 속력이 낮은 순으로 번호를 붙였다. 번호가 낮은 계열 일수록 수선 간장 대 수선폭 비와 방형비척 계수가 작았고, 상 대적으로 마력계수와 Fatness Ratio는 높았다. 또한 연구 초기에도 예상하였지만 속력이 빠른 전투함정들이 번호가 높은 계열에 대부분 포함되었고, 군수지원이 목적인 속력이 낮은 함정들이 번호가 낮은 계열에 포함되었다.

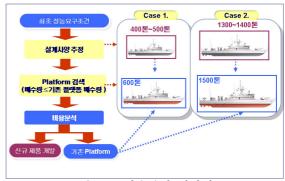
플랫폼 패밀리 구성된 함정들을 실무에서 쉽게 활용하기 위하여 매트릭스 형태로 제안하였다[표 3-1]. 이 매트릭스는 본 논문 핵심으로 같은 계열로 분류된 함정들을 식별이 용이하게 표시하여 유사한 선형을 가진 함정들을 쉽게 확인할 수 있도록 구성하였다. 또한 각 그룹별 유사성계수의 최소값 및 최대값을 표시하였고, 이 계수들에 대하여 그룹별로 상관관계를 비교할 수 있도록 QFD(House of Quality)에서 사용하는 방법을 이용하여 표시하였다.

4. 비용분석 및 기대효과

4.1 개요

함정을 획득하는 과정을 살펴보면 먼저 요구조건을 단계적으로 확정하기 과정이 있는데 최초 성능요구 조건이 있으면 이것을 근거로 하여 가능성 검토를 수행하고 개략적인 설계사양을 도출하게 된다. 도 출된 설계사양이 기존에 만들어진 플랫폼이 동일하 다면 당연히 기존의 플랫폼을 사용하면 된다. 그러 나 현실문제에서는 신규로 획득하고자 하는 함정들 대부분이 기존에 설계된 플랫폼과 차이가 있다. 함 정의 선체에서 가장 큰 차이점은 배수량과 속력이 다.

따라서 신규로 획득하고자 하는 함정의 개략적인 배수량 및 속력이 기존의 플랫폼과 차이가 있더라도 기존의 플랫폼을 사용한다면 비용적인 면에서효과가 있는지 분석하고자 한다. 비용분석은 아래[그림 4-1]과 같은 시나리오를 가지고 진행하였다.



[그림 4-1] 비용분석 시나리오

4.2 비용분석 대상 및 범위

비용분석은 현실적인 상황을 최대한 고려하여 2가지 경우에 대해 실시하였다. 첫 번째는 400~500톤 규모로 처음 설계하여 생산해야할 함정을 기존에이미 설계된 600톤급 함정과 동일한 선체를 가진 함정으로 생산할 경우에 대한 분석이다. 속력의 범위는 34~38노트를 가정하였다. 두 번째는1,300~1400톤 규모로 처음 설계하여 생산해야할 함정을 기존에 이미 설계된 1,500톤급 함정과 동일한 선체를가진 함정으로 생산할 경우에 대한 분석이다. 속력

의 범위는 28~32노트를 가정하였다.

여기에서 400~500톤급 함정과 1300~1400톤급 함정은 신규로 설계 및 생산하고자 하는 함정이고, 600톤급과 1500톤급 함정은 기존에 이미 설계 또는 만들어진 플랫폼이다. 비용분석의 정확성을 높이기위해 운용유지비(연료비) 계산에 필요한 대상 함정별 속력별 소요마력은 실적 함정의 소요마력을 참조하여 산출하였다[표 4-1].

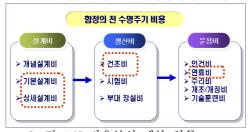
[표 4-1] 비용분석 대상함정 및 소요마력

Platform Class	함정명(Type)	배수량	속력 (Knot)	소요마력 (hp)	
16번			34	12,400	
	P400(PC)	400톤	36	14,700	
			38	17,300	
			34	14,400	
	New Ship(FSG)	500톤	36	17,100	
			38	20,100	
	Hsiung(PC)	600톤	34	16,300	
			36	19,300	
			38	22,700	
19번			28	15,200	
	Fatahillah(FFG)	1300톤	30	18,700	
			32	22,700	
			28	16,000	
	Niels(OPV)	1400톤	30	19,600	
			32	23,800	
			28	16,700	
	Meko(FFG)	1500톤	30	20,600	
			32	25,000	

4.3 비용요소 도출

함정의 수명주기 비용은 획득비와 운용유지비로 구분할 수 있다. 획득비용은 설계비, 건조비, 관리비로 구성되고 운용유지비는 연료비, 인건비, 수리비및 개조개장 비, 교육훈련비 등으로 구성된다. 이러한 비용 요소 중 함정의 배수량과 속력의 변화에따라 변화되는 중요 비용요소는 설계비, 건조비 그리고 연료비이다.

설계비는 개념설계비, 기본설계비 및 상세설계비로 구분된다. 만약 신규로 건조해야할 함정을 기존 플랫폼을 적용하게 된다면 설계비의 대부분의비용을 절감할 수 있는데, 선체가 차지하는 정확한비율을 계산할 수는 없지만 선체가 차지하는 도면비율, 면적비율 및 설계자의 경험을 고려할 경우80% 정도에 해당될 것으로 추정할 수 있다. 비용의규모가 작은 개념설계는 분석대상에서 제외하였다.



[그림 4-2] 비용분석 세부 항목

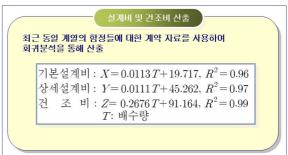
건조비의 경우 함정의 크기가 증가할 수 록 비용이 지속적으로 증가한다. 먼저 함크기가 증가함에 따라 선체, 엔진, 각종 보조 장비용량이 증가하고 재료비 및 노무비가 늘어나게 된다. 그리고 각종 간접비용 등이 추가적으로 증가하게 되어 전체적으로 많은 비용이 소요된다. 그러나 동일한 플랫폼으로 건조하게 되면 장점도 있다. 동일한 선박을 20척 건조할 때 노무공수가 지속적으로 50% 까지절감한다고 한다. 이러한 개념에서 학습율을 적용하는데 시제함을 건조한 이후 양산함정을 건조할때는 시제합정의 노무공수의 95%를 인정하는 경우

가 대부분이다. 그러나 이 비용은 600톤급 함정의 경우 건조비의 1% 이므로 함크기 증가에 따른 증 가 비용에 비해 미미하여 분석대상에서 제외하였 다.

운용유지비에는 많은 비용요소가 있지만 그 중에 인건비와 연료비가 가장 많은 비용을 차지한다. 다른 비용요소도 많이 있지만 함정 선체의 플랫폼설계와 관련하여 비용적인 측면에서 가장 영향이 큰 연료비만을 고려하였다. 연료비 산정 기간 및연간 운용시간은 함정 운용기준을 적용하여 30년 및 3,000시간으로 결정하였다. 속력별 운용비율은 12Knot 이하에서 75%, 18Knot이하에서 25% 그리고최대 마력 범위에서 5%를 운용하는 것으로 정하였다. 추진체계 구성은 소요마력이 서로 다른 함정용디젤엔진 3개 모델을 사용하여 대상함정별 소요마력을 충족하는 엔진을 조합하여 구성하였다 또한연료비의 정확한 산정을 위해 엔진 제작사의 공인시험을 거쳐 작성된 디젤엔진 연료소모율 자료를 사용하였다.

4.4 비용분석

비용요소 항목은 초기 획득 비용으로는 설계비, 건조비를 고려하였고, 운용유지비는 연료비를 고려하였다. 설계비 및 건조비의 산출은 최근 전투계열 함정의 계약금액을 사용하여 아래 [그림 4-3]와 같이 회규분석을 실시하여 산출하였다. 설계비의 경우 산출금액의 80%를 절감할 수 있는 것으로 가정하였다. 건조비의 경우 동일계열의 함정이라면 함크기 증가에 따라 선체 비용은 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 데이터의 수가 적어 R값이상당히 좋은 결과를 보여주었지만, 실무에서 설계비 및 건조비를 산출한 경험에 비추어 90%이상 정확한 결과라고 예상된다.



[그림 4-3] 설계비 및 건조비 산출 회귀분석

연료비는 톤수별/속력별 소요마력에 따라 엔진을 구성하고, 속력별 소요마력 및 엔진 구동 수량에 따라 연료비 산출 모델을 만들어 함정 1척당 30년간의 연료비를 산출하였다.

배수량이 m이고,최대속력이 n인 함정의 Life Cycle Fuel Cost(FC) $FC_{mn} = \sum_{i} t_{mni} \left[\sum_{j \in C_{i}} e_{mnj} f_{mnij} \right] \cdot P \times Life Cycle(30년)$ i :운용속력, $j \in C_{i}$: i속력에서의 엔진조합 $h_{mni} : i$ 속력에서 연간운용시간 $e_{mnj} : j$ 엔진의 연료소모율 $f_{mnij} : i$ 속력에서 j엔진에 대한소요마력 P :고유황경유의 단가 상기의 연료비 산출 모델을 사용하여 400톤~600

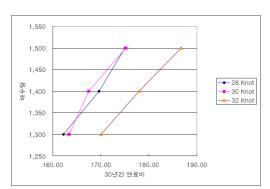
상기의 연료비 산출 모델을 사용하여 400톤~600 톤급의 연료비와 1,300~1,500톤급 함정의 연간 인료 비를 산출하였다. 아래[표4-2]는 1,300~1,500톤급 연료비 산출이다.

구 분		7 Knot	12 Knot	18 Knot	22 Knot	27 Knot	32 Knot	계	비고		
비율		20%	50%	25%	3%	1%	1%	100%			
시간		600	1500	750	90	30	30	3,000			
1300長	마력(HP)	238	1,197	4,039	3,687	6,816	7,564			
	엔진운용대수		1	1	1	2	2	3		B+B+B	
	연료소모을		0.194	0.179	0.163	0.163	0.167	0.168			
	운용비(억원)		0.14	1.61	2.47	0.54	0.34	0.57	5.67		
1400톤	마력(HP)		250	1,257	4,243	3,874	7,161	7,947		B+B+B	
	엔진운용대수		- 1	1	1	2	2	3			
	연료소모율		0.194	0.176	0.163	0.163	0.168	0.169			
	운용비(억원)		0.15	1.66	2.59	0.57	0.36	0.60	5.93		
	DEM(HP)	D/E(B)	261	1,316	4,443	4,056	7,498	7,498			

[표 4-2] 1,300톤~1,500톤의 연료비(32Knot)

연료비 분석결과 배수량이 400톤인 함정을 600톤급함정의 플랫폼을 적용하는 경우로 30년간 최대 41억의 연료비가 손실되는 것으로 계산되었다. 그런데 최대 속력이 34Knot 보다 36Knot에서 연료비가오히려 감소하였다. 이것은 엔진 모델별로 연료소모율이 다르기 때문인데, 엔진별 연료소모율이 동일하다고 가정한다면 함정의 톤수가 증가하고 속력이 증가할수록 연료비는 선형적으로 증가함을 알수 있다. 이 결과는 디젤엔진의 경우에 해당하고가스터빈이 탑재된 함정에서는 또 다른 경향이 나타날 수 있다.

속력별로 산출한 1300~1500톤급 함정의 연간 연료비에 30년간 운용기간을 고려 할 때 아래 [표 4-4]와 같은 결과를 얻을 수 있다. 1,300톤에서 1,500톤급 함정에 대한 연료비 분석 결과, 톤수가 증가함에 따라 연료비는 선형적으로 증가하였고, 속력별로는 큰 차이가 없었다. 그리고 28Knot보다 30Knot에서 오히려 비용의 손실이 적었는데, 이것은 앞에서의 결과와 같이 엔진 모델별 연료 소모율의 차이 때문이다.



[그림 4-4] 1,300~1,500톤 속력별 연료비 그래프

4.5 결과분석

1500Æ

400톤급으로 신규 건조할 함정을 600톤급의 기존 플랫폼을 사용하여 건조하면 초기 투자비는 31억원을 절감할 수 있으나, 전체적인 비용은 23억원 손실이 있었다. 500톤으로 신규 건조할 함정을 600톤급의 기존 플랫폼을 사용하여 건조하면 초기투자비는 47억원을 절감할 수 있고, 전체적인 비용은 14억원을 절감할 수 있다.

400~600톤급에 대한 비용분석 결과 비용이 유리 [표 4-3] 1,300~1,500톤의 선체에 대한 수명주기 비용 산출 결과

							단위 : 억원	
구분		기본설계비		상세설계비		운영유지비	Я	
		80%	100%	80%	용신포에	(30년)	- 1	
1,300		34.43	59.69	47.75	447.85	165.23	707.20	
1,400		35.57	60.80	48.64	475.04	171.70	743.11	
1,500		36.71	61.91	49.53	502.23	178.98	779.83	
절감비용		- 34.43		- 47.75			- 82.18	
증가비용					54.38	13.75	68.13	
게		- 34.43		- 47.75	54.38	13.75	- 14.05	
절감비용		- 35.57		- 48.64			- 84.21	
증가비용					27.19	7.28	34.47	
게		- 35.57		- 48.64	27.19	7.28	- 49.74	
	절감비용 증가비용 제 절감비용 증가비용	변 100% 34.43 35.57 36.71 절감비용 7개 절감비용 6가비용	불 100% 80% 34.43 34.43 34.43 35.73 35.57 35.57 37.57 37.57 35.77 37.73	불 100% 80% 100% 34.43 34.43 59.69 35.57 36.71 60.80 36.71 38.71 61.91 절감비용 - 34.43 57.11 등 34.43 등가비용 - 34.43 등가비용 - 35.57 등가비용	불 100% 80% 100% 80% 34.43 59.69 47.75 35.57 80.80 48.64 36.71 36.71 61.91 49.53 절감비용 - 34.43 - 47.75 점감비용 - 34.43 - 47.75 점감비용 - 35.57 - 48.64 67.비용	불 100% 80% 100% 80% 100% 48.04 47.55 447.85 35.57 85.77 60.80 48.04 47.65 447.65 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47.04 47.05 47	불 100% 80% 100% 80% 124 (30년) 34.43 34.43 59.69 47.75 447.85 165.23 35.57 35.77 60.80 48.64 475.04 1717.70 36.71 36.71 61.91 49.53 502.23 178.98 절감비용 - 34.43 - 47.75 중가비용 - 34.43 - 47.75 절감비용 - 35.57 - 45.64 13.75 절감비용 - 35.57 - 45.64 27.19 7.28	

한 톤수 범위는 약 150톤 정도이다. 그러나 함정 의수량이 2척 이상일 경우에는 비용측면에서 불리 하므로 건조할 함정들의 배수량이 비슷한 경우에만 플랫폼 방법을 적용하는 것이 유리하다.

1,300톤~1,500톤 범위의 함정에 대해서는 다른 결과가 나왔다. 1300톤급으로 신규 건조할 함정을 1500톤급의 기존 플랫폼을 사용하여 건조하면 초기투자비는 34억 원, 전체비용은 7억 원을 절감하였다. 1400톤으로 신규 건조할 함정을 1500톤급의 기존 플랫폼을 사용하여 건조하면 초기투자비는 70억원, 전체비용은 43억 원을 절감할 수 있다. 이것은 동일한 톤수 변화에 대해서 함크기의 차이가 동일한 경우 요구 속력이 저속일수록 비용의 차이가 줄어든다는 것이다.

1300~1500톤급에 대한 비용분석 결과 비용이 유리한 톤수 범위는 약 300톤 정도이다. 그리고 1,400톤의 함정의 경우에 2척 까지는 기존 플랫폼을 사용하는 것이 비용 면에서 유리하였다.

결론적으로 신규로 건조할 함정의 크기가 기존의 함정과 다르더라고 일정 배수량 범위에서는 비용 측면에서 유리하므로 획득계획을 수립하는 초기에 비용분석을 실시하여 기존에 설계된 선체 플랫폼의 적용 여부를 판단하여 사업을 추진하는 것이필요하다.

4.6 기대효과

이 연구를 통하여 함정을 획득하는 전 과정에서 다 양한 기대효과가 나타날 것으로 예상되는데, 설계 적 측면, 생산적 측면 및 운용적 측면으로 구분할 수 있다. 설계적인 측면에서는 설계비 절감 및 설 계기간 단축의 기대효과를 얻을 수 있다. 함정 설 계는 개념설계, 기본설계, 상세설계 단계로 구분되 는데 각 단계마다 많은 기간이 소요된다. 개념설계 는 약 5개월, 기본설계는 함정의 종류에 따라 1~3 년의 시간이 소요된다. 상세설계는 함 건조와 동시 에 시작되는데 전투함정의 경우 통상적으로 상세설 계가 시작된 1년 이후가 되어야 본격적인 함 건조 가 진행된다. 따라서 기존 플랫폼을 활용할 경우 3~4년의 시간을 단축할 수 있다. 함정의 획득은 사 업 착수 5년 전부터 계획을 수립하고 진행하는데. 긴급한 소요의 경우는 예산이 확보 되어 있어도 설 계기간을 줄일 수 없기 때문에 원하는 시점에 획득 하기가 어렵다. 따라서 이 방법은 보다 정확한 획 득계획 수립 및 긴급한 함정 획득에도 도움을 줄 수 있다.

또한 비용적인 측면에서 많은 효과가 예상된다. 새로운 함정을 건조하기 위해서는 매번 새로운 설계를 실시한다. 그리고 건조하는 수량은 1척인 경우도 많다. 따라서 대량생산의 개념에 입각하여 선체형상이 유사한 함정들을 고려하여 동일한 선체플랫폼을 공유하도록 설계시에 반영한다면 비용적인 측면에서 큰 효과가 있다. 해당 함정의 건조계획이 없더라고 함정의 선체는 무기체계에 비해 기

술수준의 변화가 심하지 않으므로 기본설계까지는 선체 플랫폼을 고려하여 설계하는 효과적이다.

설계적 측면에서 부수적인 효과는 획득을 담당하는 인력의 업무량을 줄일 수 있다는 것이다. 함정의 설계에 따른 파생적인 업무는 상당히 많다. 먼저 개념설계가 대표적인 경우이다. 그리고 각종설계를 위한 예산집행 승인 업무, 각종 탑재장비시험평가 및 기종결정에 관한 업무, 각 획득 단계별 비용분석, 사전분석 등의 업무 등이 있다. 따라서 선체 플랫폼을 고려하여 사업을 추진한다면 함정 획득과 관련된 많은 업무를 줄일 수 있어 인력을 효율적 운영할 수 있을 것이다.

생산적인 측면에서는 양산품이 갖게 되는 효과를 얻을 수 있다. 시제함 건조이후에 양산함정을 건조하게 되면 동일한 생산 작업의 반복에 따라 노 무공수가 줄어들고 건조기간이 단축 된다. 양산함 의 수량이 늘어날수록 노무공수는 계속적으로 줄어 들게 되는데, 관련 문헌에 따르면 동일한 선박을 20척 건조했을 때 노무공수는 최고 50%까지 절감 되었다. 따라서 가능한 많은 종류의 함정을 동일한 선형으로 건조할수록 건조비를 절감하고 건조기간 을 단축할 수 있다. 부수적으로 동일한 재료를 사용함에 따른 대량구매의 효과도 얻을 수 있다.

양산함은 시제함에 비해 성능 및 품질이 우수하다. 함정의 건조과정에는 다양한 시험과 시운전이 있는데, 시제함에서 발생된 많은 기술적인 문제와운용자의 개선사항 등이 양산함에 모두 반영되기때문에 양산함정이 품질과 성능 면에서 우수하다고할 수 있다. 양산함정의 수량이 늘어날수록 더욱우수한 성능과 품질을 가진 함정이 건조된다.

운용적인 측면에서는 수리비, 교육훈련비 등의 비용을 절감할 수 있다. 동일 계열의 함정은 동일 한 장비를 탑재하고 있다. 동일한 장비가 많을 수 록 수리부속 확보 및 구매가 용이하다. 장비에 대 한 각종 정비교육 및 운용교육의 횟수도 줄어들게 되므로 교육훈련 비용을 절감하는 효과도 얻을 수 있다.

함정을 운용하는 요원들은 서로 다른 함정으로 이동하며 근무를 하게 되는 데 동일한 시스템과 장 비를 다루게 된다면 기술적인 숙련도가 높아지므로 함정을 효과적으로 운용할 수 있고 전투력 향상에 도 도움을 줄 수 있을 것이다.

5. 결론

이 논문은 다품종 소량의 대표적인 품목인 함정의 설계 및 생산에 있어서 비용을 절감하고 기간을 단축하기 위하여 그룹기법 개념을 이용하여 함정 선체에 대한 플랫폼 패밀리를 구성하였고, 이것을 실무에서 쉽게 활용할 수 있도록 매트릭스 형태로 제안하였다.

또한 이 연구가 현실 문제에서 효과가 있는지 확인하기 위하여 이 연구에서 제안된 플랫폼 패밀리의 일부 계열 함정들에 대해 비용분석을 수행하여 배수량 및 속력 요구조건이 다른 함정에 대해서도 비용측면에서 많은 효과가 있음을 보여 주었다. 그리고 함정 플랫폼 패밀리 활용 가능 범위를확인하였다. 마지막으로 본 연구를 통해 기대할 수있는 효과들에 대해 설계적 측면, 생산적 측면 및경제적 측면에서 기술하였으며, 특히 초기투자비절감과 획득 기간을 획기적으로 단축할 수 있는 장

점이 있음을 확인하였다.

본 연구를 활용하여 유사 선형으로 분류된 함정들은 개념설계에서 타당성을 검토하고, 그 결과에 따라 동일한 시기에 설계 및 건조되도록 사업을 추진한다면 이 논문에서 제시하는 효과를 얻을 수 있을 것이다.

이 연구 주제는 배수량이 큰 함정들에 대해서 확장이 가능하며, 많은 함정들에 대한 자료 추가와 수정을 통해 함정 설계와 건조에 있어서 효과적인 플랫폼 설계 도구가 될 수 있을 것이다.

이 논문에서는 함정 선체에 대해 다루었는데, 그 효과를 극대화하기 위해서는 임무 중심의 모듈 설계 개념이 동시에 고려되어야 한다. 함정은 요구 조건이 조금이라도 다르다면 함정의 크기가 다르게 된다. 따라서 동일한 선체 플랫폼을 사용하는 것이 어려울 수 있다. 따라서 군의 요구조건을 충족하고 비용적인 측면에서 손실 없이 동일한 선체 플랫폼 을 공유할 수 있는 건조하는 방법이 필요하다. 이 문제를 해결할 수 있는 설계방법이 배경연구에서 언급한 임무 중심의 모듈 설계 방법이다. 이 설계 방법은 지속적으로 증가하고 있는 함정의 배수량을 줄이면서 급격히 변화하고 있는 기술수준과 다양한 위협들에 대해 효과적으로 대처하기 위한 해상 함정 설계의 새로운 추세이다. 추후에 이 연구와 연계하여 임무 중심의 모듈 설계 방법론에 대한 연 구가 필요할 것이다.

참고문헌

황종흘 외 (1992), 선박설계 박명규 외 (1996), 선박 기본 설계학 한진중공업㈜ (2005), 설계보고서

Fritz Jacobi (2003), Modular Ship Design, Naval Forces, 1, 36~44

Robert O. Work (2004), Small Ships and the Future of the Navy, Science and Technology, 66 69, Mark V. Martin, Kosuke Ishii (1996), Design for Variety: A Methodology for Understanding the Costs of Product Proliferation", Proceedings of The 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences Martin, M. V. & Ishii, K. (2002), Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures, Research in Engineering Design, 13,213 235

MikeIII P. Groover (2001), Automation Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Prentice Hall, 420 ~ 427

Jiawel Han, Micheline kamber, (2001), Data Mining: Concepts and Techniques, Morgon Kaufmann Publishers, 349 ~ 351

Nato Naval Group 6 Specialist Team (2004), Nato/PfP working Paper on Small Ship Design Kommodore Stepen Saunders RN (2002), Jane's Fighting Ship

B. Joseph PineII (1993), Mass Customizing Products and Services

John R. Houser, Don Clausing (1988), The House of Quality, Harvard Business Review, 63 73 Katja Holtta-otto (2005), Modular Product Platform Design, Helsinki University of Technology