□ 研 究 論 文 □

韓國國防經營分析學會誌
제 32 권, 제 2 호, 2006. 12. 31.

함정 설계 및 생산에서의 GT 응용에 관한 연구
-플랫폼 군 구성과 관련하여-
(A Study on the Application of Group Technology for Naval Ship Design and Manufacturing)

박 광 재(Gwang-Jae Park)*, 박 진 우(Jin-Woo Park)**

초 록

글로벌 시장 환경에서 대량생산을 통해 규모의 경제를 실현하는 동시에 고객들의 다양한 요구사항을 충족시키기 위해 대량맞춤화가 경영혁신의 새로운 패러다임으로 자리를 잡아가고 있다. 또한 이러한 대량맞춤화를 실현하기 위해 제품 플랫폼으로부터 다양한 제품들을 이끌어 낼 수 있는 제품개발 방법들이 사용되고 있다. 이 방법들의 핵심 개념은 제품 플랫폼으로서 이러한 방법은 다품종 소량의 시장 환경에서 더욱 효과적이다. 본 연구에서는 그룹기법 개념을 이용하여 해군 함정의 플랫폼 군을 구성하는 방법을 제시하고, 이것을 쉽게 사용할 수 있도록 매트릭스 형태로 제안하였다. 또한 플랫폼 방식으로 해군 함정을 도입 시 비용효과가 있는지 분석하였고, 적용 가능한 요구조건 범위를 제시하였다. 이 연구는 함정 획득과정에서 비용절감과 기간 단축 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

Recently mass customization has become a new paradigm in the global market to satisfy both the diversified demands of customers but also the efficiency of the mass production system. In this paper, mass customization is embodied by a new product development method with which various product families are produced from standard "product platform" developed from historical data. The product platform, the key concept of this proposed method, is significantly efficient as a solution to the customer demand of high variety and small quantity products. The proposed method is applied to build the platform family of naval ships, utilizing the concept of "Group Technology". In addition, cost effectiveness of the proposed method is analyzed and the applicable range of requirement conditions are presented. In conclusion, some remarkable effects such as reduction in production cost and development time are expected by employing this method to the procurement process of the naval ships.

KeyWords: 그룹기법(Group Technology), 플랫폼 군(Platform Family), 함정(Naval Ship)

* 방위사업청 함정사업부

** 서울대학교 산업공학과

1. 서 론

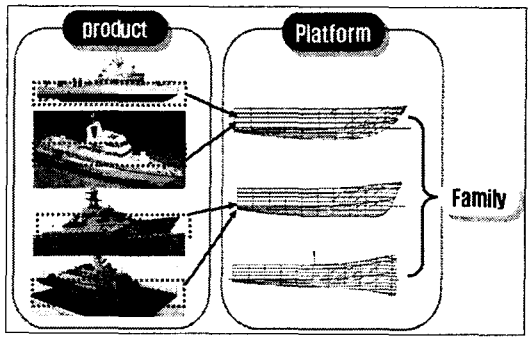
21세기 우리해군은 다양하고 급변하는 해양 안보 환경에 직면해 있다. 해양에서의 전통적인 임무 뿐 아니라 해양테러와 같은 비전통적인 위협과 주변국의 경쟁적인 해군력 증강 및 배타적 경제 수역의 설정에 따른 해양 영토분쟁 등에 대한 대비가 필요하며, 더 나아가 국제평화유지 활동의 확대 요구 등을 충족할 수 있는 해군력의 건설이 요구되고 있다.

이러한 안보환경은 다양한 임무를 수행할 수 있는 많은 함정들을 필요로 하나, 우리나라의 국방비는 주변국 대비 약 25% 수준으로 해양안보 환경을 고려한 최적의 해군력을 갖추기에는 턱없이 부족한 실정이므로, 해군력의 핵심 전력인 함정 무기체계는 다품종 소량으로 획득하고 있는 것이 현실이다.

이와 같은 안보 현실을 고려할 때 글로벌 기업들의 경영혁신, 산업공학의 시스템적인 사고방식 등과 같이 전체적인 관점에서의 변화와 개선이 필요하다.

글로벌 기업들은 대량생산을 통해 규모의 경제를 실현하는 동시에 고객들의 다양한 요구사항을 충족시키기 위한 대량맞춤화(Mass Customization)를 경영혁신의 새로운 패러다임으로 채택하고 있다[1]. 이것을 실현하기 위한 방법으로 제품 플랫폼(Product Platform) 이라는 제품개발 방법론과 그룹기법(Group Technology) 이라는 개념이 있다[2,3] 이 방법들은 제품의 설계 및 생산 시간을 줄이고, 비용을 절감하는 동시에 고객들의 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 장점이 있는데 이 제품개발 방법론과 개념은 함정과 같은 다품종 소량의 시장 환경에서 더욱 효과적이다.

본 연구는 아래<그림1>과 같이 서로 다른 종류의 함정들을 조사하여 선체 형상이 유사한 종류로 분류하여 신규 함정의 설계 및 생산에 활용할 수 있도록 플랫폼 군(Product Platform Family)을 구성하는 방법을 제시하고, 이를 실무에서 쉽게 활용할 수 있도록 매트릭스 형태로 제안하는 것이다.



<그림 1> 함정 선체에 대한 플랫폼 군 개념

이 연구는 크게 두 부분으로 구성하였다. 첫 번째 연구는 제품 플랫폼 군을 구성하는 연구로 종류가 서로 다른 함정들에 대해 선체부분을 동일하게 생산할 수 있는 함정 그룹으로 분류하는 방법에 관한 연구이다. 이 연구를 위해 세계 각국의 종류별 함정들을 조사하였고, 함정의 선체형상을 분류할 수 있는 5가지의 형상 유사성계수(Similarity Coefficient)를 도출하였다. 그리고 조사된 함정들을 5개의 유사성 계수를 사용하여 선체 형상이 유사한 그룹으로 분류하였고, 분류 결과를 기준으로 함정의 선체형상에 대한 플랫폼 군 매트릭스(Platform Family Matrix)를 제안하였다.

두 번째 연구는 앞부분의 연구결과가 현실 문제에서 비용절감 효과가 있는지 검증하는 내용으로서 선체 플랫폼과 관련이 있는 설계비, 건조비 및 연료비등 함정의 수명주기 비용을 산출하여 플랫폼 적용이 가능한 배수량 및 속력의 요구조건 범위를 확인하였다.

2. 관련 연구

2.1 제품 플랫폼(Product Platforms)

대량맞춤화를 실현하기 위해 많은 기업들이 신제품을 개발할 때 제품군(Product Family)을 활용하고 있다. 성공적인 제품군의 핵심은 제품 플랫폼이다. 제품 플랫폼을 통해 여러 종류의 신제품을 개발하는 것이 개발기간과 비용측면에서 효과적이며, 성공 확률이 높은 것으로 조사되었다.

제품 플랫폼 설계방법은 하향식(Top-down), 상향식(Bottom up), 모듈식(Module-based), 축척식(Scale-based)이 있다.

하향식은 비즈니스 중심의 접근법으로, 기업들은 전략적으로 하나의 제품 플랫폼 또는 기준 제품에서 제품군으로 발전시킨다. 대표적인 경우는 소니의 workman이다.

상향식은 기술 중심의 접근법으로, 기존에 개발된 제품들의 부품을 표준화하거나 제품들을 재설계 또는 보강하여 제품의 종류를 줄임으로서 대량생산의 효과를 얻는 것이다. 대표적인 경우는 Black & Decker 공구 회사이다.

모듈식은 기능적으로 공통된 부분을 최적화하여 모듈 단위로 설계하는 방법이다. 이 방법은 다양한 관점에서 많은 연구들이 수행되었는데, 제품 플랫폼을 결정하기 위한 Conjoint Analysis 방법[4], 부품 조립과정에서의 공통점 관찰을 통해 여러 제품군으로 제품 플랫폼을 설계하는 방법[5], 비용 최소화에 기초한 제품 플랫폼 최적화 방법[6], 제품 플랫폼의 가치 평가 방법[7] 등이 주요한 연구들이다. 또한 매트릭스 기반의 설계 방법으로는 제품군에 QFD(Quality Function Development)를 사용하는 방법, QFD 기반의 플랫폼 개발 방법[8]들이 있다. 기술적인 속성 보다는 제품형상과 색상을 기반으로 한 다중 브랜드의 제품 플랫폼을 설계하는 방법 등도 연구되었다. 이러한 모듈식 방법들은 플랫폼에 대한 공통 모듈의 선택에 중점을 두고 있지만, 모듈들이 사전에 정의되었음을 가정해야 하는 문제점이 있다.

축척식은 하나의 제품으로부터 용량이나 크기를 변화시키면서 제품을 다양화 하여 제품군을 만드는 방법으로 롤스로이스 항공 엔진을 예로 들 수 있다. 이 분야의 주요 연구는 PPCEM(Product Platform Concept Exploration Method)이다.

제품 플랫폼 설계에 관한 많은 연구들이 공통성과 차별성 사이의 균형에 대하여 중점적으로 이루어지고 있다.

2.2 그룹기법(Group Technology)

그룹기법은 다품종 소량의 제품들을 생산할 때 대량생산과 같은 생산성과 원가를 절감할 수 있는 생산관리 방식의 필요에 따라 고안된 개념이다. 이 방법은 유사한 부품을 식별하고 그룹화 하여 설계 및 생산에서 유사성의 이점

을 얻고자 하는 제조에서의 철학이다. 유사한 부품은 부품 군으로 재분류되는데, 각각의 부품군은 유사한 설계 특성 또는 제조 특성을 가지고 있다[3]. 이는 제품 또는 부품을 생산함에 있어 이들이 갖는 기술적인 유사성에 따라 몇 개의 집단으로 나누어 생산함으로써 표준제품의 대량생산에서 기대되는 경제적 이점을 다품종 소량 생산체제에서 실현하려는 관리방식의 하나이다.

그룹기법에는 2가지 기본적인 방법론이 있다. 첫 번째는 서로 다른 부품들의 설계 특성을 기초로 부품 군으로 분류하는 방법이다. 이 방법에는 시각적인 방법과 코딩 방법이 있다. 시각적인 방법은 기하학적 형상의 유사성에 따라서 부품을 그룹화 하는 방법으로 부품의 수량이 적을 때 적용하는 것이 적합하지만, 분류하는 사람의 선호도에 따라 결과가 달라진다. 코딩 방법은 부품 또는 제품의 기하학적 형상, 복잡도, 가공 정밀도 등의 특성에 따라 해당 부분에 숫자 또는 알파벳 코드를 부여하여 분류하는 방법으로 Opitz 코딩체계가 대표적인 방법이다[3]. 이 코딩체계는 단조, 주조 등의 제조 방법별로 또는 기계 가공 방법 등에 따라 다양하게 발전되어 왔다.

두 번째는 클러스터 분석법으로 객체의 특성을 기초로 하여 동종의 클러스터들로 객체를 그룹화 하는데 사용된다. 이 방법은 제조 부품의 종류 및 수량 등에 따라 기계들의 셋업시간, 공구교체 등의 작업 소요를 최소화하기 위해 그룹화 하는 것으로 클러스터 분석을 통해 기계들과 작업장을 재배치하거나 제조부품의 빈번하게 변경되는 상황에서는 가상적인 재배치를 통해 다양한 효과를 얻을 수 있다. 기계와 부품을 클러스터링 하는 형식화 방법은 매트릭스, 수리적 프로그래밍, 그래프 방법이 있다. 이와 같이 매트릭스 형식화 문제의 해를 얻기 위해 다양한 방법들이 연구되고 있는데, 유사계수법, 분류기반 알고리즘, 클러스터 식별 알고리즘, 결합에너지 알고리즘, 비용기반 알고리즘 등이 있다.

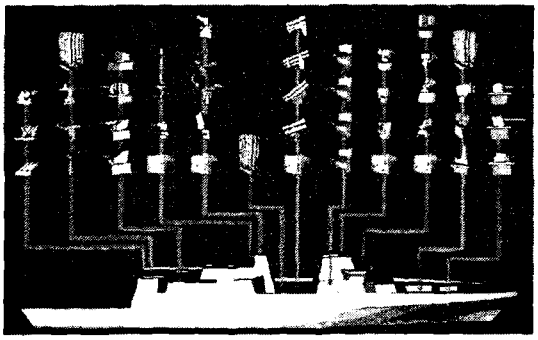
2.3 모듈식 함정 설계

세계의 선진해군은 예산을 절감하고, 급변하는 해양안보 환경에 능동적으로 대처하기 위해 단일 플랫폼을 기반으로 한 임무 중심의 모듈식 함정 설계(Modular Ship Design)방법을 개발하고 있다. 이 방법은 대형 함정 위주의 전통적인 해군력 개념과 상반되므로 미국에서는 그 필요성과 효용성에 대해 많은 논란이 야기되고 있다[9].

이 개념은 함정에 탑재되는 각종 장비 및 무기체계를 임무 중심으로 구분하여 모듈로 구성하고, 함정에 필요한 모듈만 탑재하는 방식으로 운용한다. 따라서 모든 무기체계와 장비를 탑재한 대형함정 보다 배수량을 줄일 수 있고, 변화하는 위협에 효과적으로 대처할 수 있는 장점이 있다.

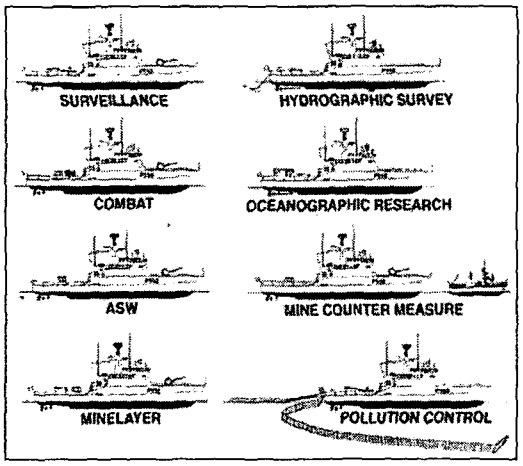
유럽에서는 이러한 방법들을 사용하여 함정을 개발하고 있는데, 대표적인 나라는 독일과 덴마크이다. 독일은 많은 나라에 표준화된 함정을 수출하고 있는데, 그 이유는 몇 종류의 표준함정에 고객이 원하는 다양한 무기체계를

탑재할 수 있도록 설계되었기 때문이다. 결국 다품종 소량이 특징인 함정 개발 및 건조분야에서 대량맞춤화를 실현한 경우라 할 수 있다.



<그림 2> 독일의 모듈식 함정 설계 방법

덴마크에서는 다음<그림 3>과 같이 하나의 선체 플랫폼에서 12종류의 다양한 함정들을 개발하였다. 본 연구에서는 다양한 종류의 함정들을 비교 및 분석하여 선체가 유사한 함정들을 그룹화 하여 함정 플랫폼 군을 정의하였고, 그 결과를 덴마크에서 개발한 12종류의 함정들과 비교하였다.



<그림 3> 덴마크 소형함정의 제품 플랫폼

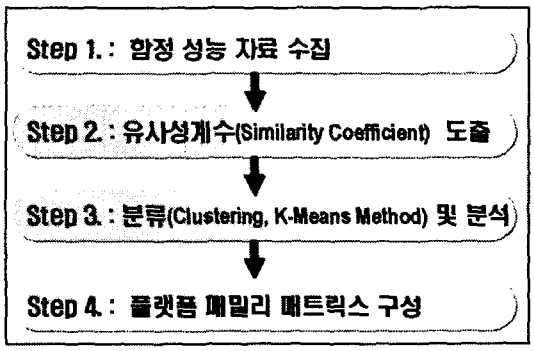
3. 함정 선체에 대한 플랫폼 군 연구

3.1 절차 및 범위

함정의 선체형상은 함정의 종류 및 배수량에 따라 많은 종류가 있다. 선체형상이 다르다는 것은 다른 제품을 의미한다. 따라서 설계 및 생산이 별도로 이루어지고 동일한 구성품의 사용이 어렵다. 그러나 종류가 다른 함정이라도 동일한 선체형상을 사용할 수 있다면 이는 선체형상 뿐 아니라 추진체계, 발전체계, 선체 구조 등에서 동일한 설계 및 건조가 가능하므로 함정의 선체형상에 대하여 플랫폼 군을 함정 획득에서 적용할 경우 획득 기간과 비용측면에서 많은 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

함정의 선체형상을 결정하는 주요 요소는 제원, 선체형상 계수, 수선면 형상계수 및 기타요소 등이 있다[10,11]. 이러한 요소들을 결정하기 위해 유체 동역학적 측면, 유사 함정들의 경향, 일반배치 측면을 비교 분석하여 최적의 선형 특성치들을 선정한다. 특히 선형을 결정하는 중요 요소인 선형계수는 현재 운용중인 각국의 유사 실적함의 선형 특성치를 참고하여 추정한다.

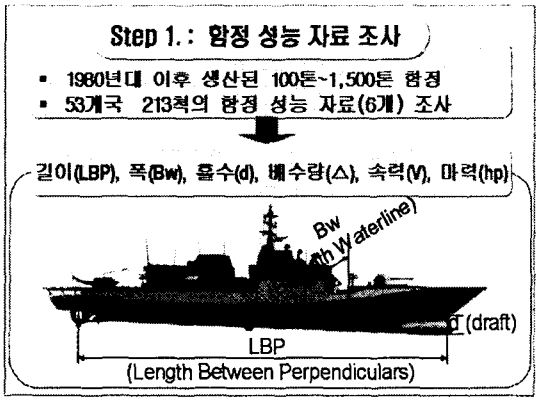
이 연구에서도 함정 선체의 플랫폼 군을 구성하기 위한 방법으로 현재 운용중인 함정들의 성능자료를 활용하는 방법을 사용하였다.



<그림 4> 플랫폼 군 구성에 관한 연구 절차

3.2 함정 성능 자료 수집

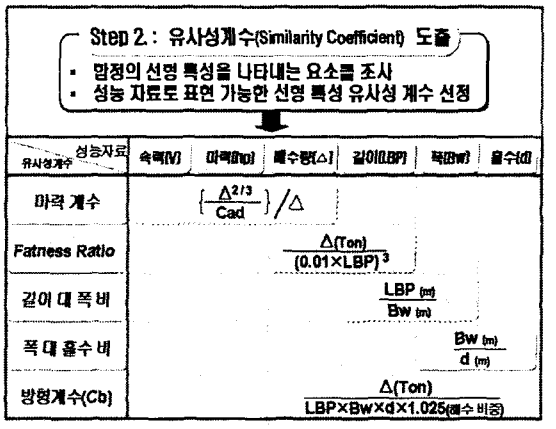
종류별 함정들에 대한 성능자료는 1980년대 이후 건조된 100톤에서 1,500톤급 범위에 있는 함정 중 특수한 함정은 제외하고 선형이 단동선(Monohull)인 함정만을 조사하였다[12]. 자료 수집 결과 53개국 213척의 함정이 조사되었다. 조사한 성능은 배수량, 수선장(Length on the Waterline), 수선 폭(Breadth Waterline), 흘수(Draft), 마력, 속력으로 함정의 선체형상을 나타내는 주요 항목들이다. 이 항목들 중에서 수선장은 일정 비율(96%)을 곱하여 수선 간장(Length Between Perpendiculars) 값으로 변환하여 사용하였다[13].



<그림 5> 함정 성능 자료 조사(Step 1.)

3.3 유사성계수(Similarity Coefficient) 도출

그룹기법 개념을 이용한 연구 중에는 형상이 유사한 부품들을 유사성계수를 사용하여 분류하는 방법이 있는데 본 연구에서도 이 개념을 적용하여 선체형상이 유사한 함정 그룹으로 분류하기 위해 유사성계수를 도출하였다. 유사성계수를 도출하기 위해 선박 및 함정 설계에 사용되는 선형 특성 요소들 중에서 앞에서 조사한 6가지의 성능 항목으로 표현이 가능한 5가지의 유사성 계수를 도출하였다.



<그림 6> 유사성계수 도출 결과

3.3 분류 및 분석

분류작업은 1단계에서 조사된 함정들에 대하여 선체형상이 유사한 그룹으로 분류하기 위하여 5개의 선체 유사성계수를 사용하여 일정한 그룹으로 분류하는 작업이다. 분류작업은 데이터마이닝 프로그램(Enterprise miner)을 사용하여 분류하였다. 분류방법은 데이터마이닝에서 사용되는 일반적인 분류방법 중 잘 알려진 K-Means Method를 사용하였다[14].

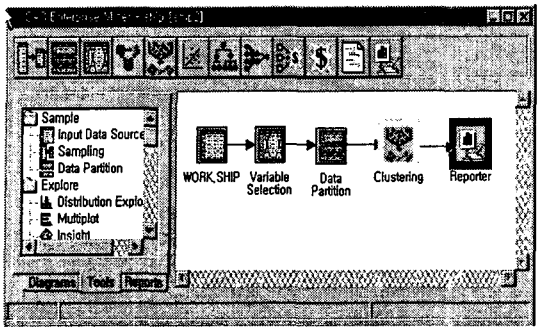
K− Means Method

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

E : 모든 *object*들의 $square-error$의 합

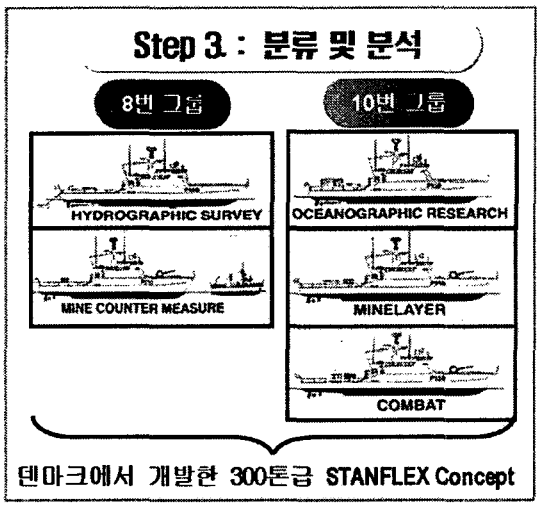
p : 주어진 *object*를 표현하는 공간에서의 점

m_i : *Cluster* C_i의 평균



<그림 7> SAS Enterprise Miner 수행 과정

분류한 결과를 가지고 분류의 타당성을 확인하기 위해 아래<그림 8>와 같이 덴마크에서 개발한 동일한 선체 플랫폼을 가지고 있는 300톤급 함정들과 비교하였다.



<그림 8> 함정의 선체 플랫폼 분류 결과 비교

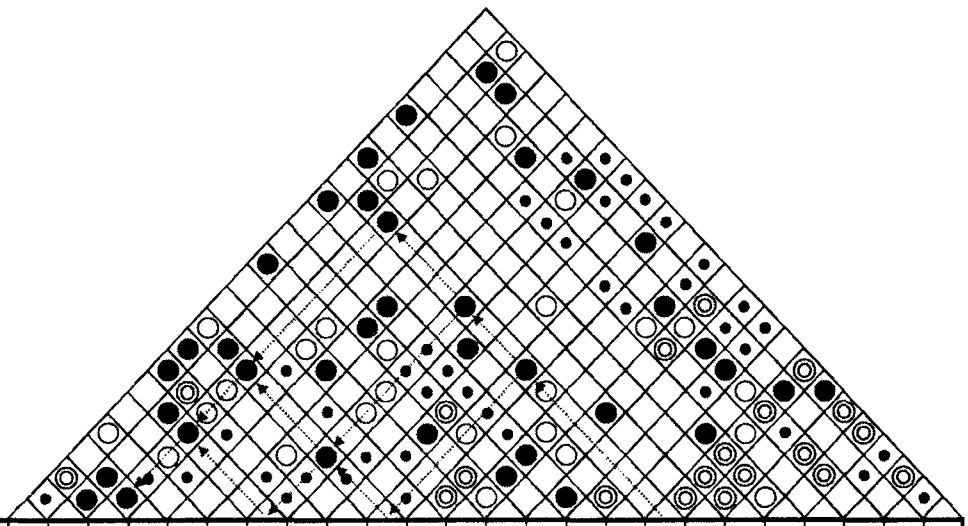
덴마크의 선체 플랫폼 방법으로 건조된 함정들은 이 논문에서 분류한 그룹 중 8번과 10번 두 개의 그룹과 동일한 종류의 함정이었다. 8과 10번 그룹은 길이 대 폭 비가 동일한 그룹이며, 다른 유사성계수와 매우 가까운 범위 내에 있다. 결론적으로 종류가 서로 다른 세계 각국의 함정들을 선체 형상별로 분류한 결과에 한 종류의 선체로 개발된 다종의 함정들이 특정한 일부 그룹에 포함되어 있으므로 선체 형상별로 분류한 결과에 대해서는 타당성이 있는 것으로 판단된다.

3.4 플랫폼 군 매트릭스 구성

1, 2차에 걸쳐 30개 그룹으로 분류된 결과에 대하여 한 종류의 함정으로만 구성된 그룹들은 제외시켜 최종적으로 24개 그룹을 함정 선체에 대한 플랫폼 군으로 확정하였다. 플랫폼 군의 계열 번호는 속력이 낮은 순으로 계열 번호를 붙였다. 번호가 낮은 계열 일수록 수선간장 대 수선폭 비와 방형비척 계수가 작았고, 상대적으로 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 군으로 분류된 종류별 함정들을 실무에서 쉽게 활용하기 위하여 매트릭스 형태로 제안하였다. 이 매트릭스는 본 논문 핵심으로 같은 계열로 분류된 함정들에 대해서는 식별이 용이하도록 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 QFD에서 사용하는 방법을 이용하여 표시하였다[15].

<표 1> 함정 선체 플랫폼 군 매트릭스



Class / Ship Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ASR																								
YAG																								
ARS																								
TRV																								
AXL																								
AGS																								
MCM/MCDV																								
AGOR																								
AGI																								
YDT																								
ABU																								
AKL																								
YAS																								
AGE																								
ML																								
MHC/MHO																								
MSC/O/H/I																								
OPV																								
PG(F)(G)																								
FS(G)																								
PC(F)(G)																								
FFG																								

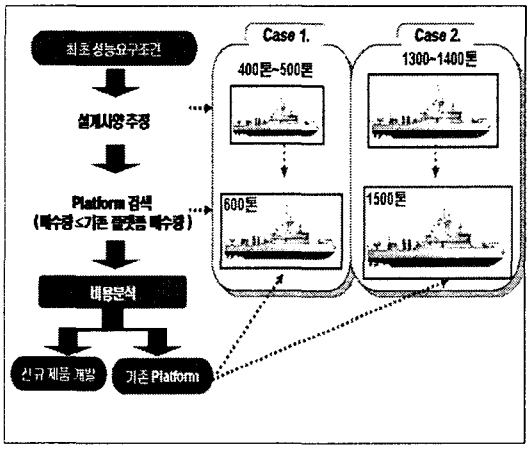
구 분		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L/B(●)	최소	3.55	3.87	3.85	4.15	4.06	4.53	4.97	4.47	4.72	4.45	4.40	4.70	5.15	4.55	4.72	5.65	6.53	5.63	6.41	7.23	4.34	5.61	4.50	4.94
	최대	3.96	4.22	4.15	4.81	4.17	4.77	5.08	4.98	5.43	5.09	4.76	5.21	5.76	5.21	5.00	6.62	6.83	6.05	7.36	7.68	5.08	6.39	4.97	5.02
B/d(●)	최소	3.17	2.73	2.67	2.39	3.59	2.27	2.81	3.03	3.22	2.63	3.91	3.54	3.19	3.56	3.56	2.92	2.65	3.17	3.28	3.00	3.95	3.69	2.63	4.40
	최대	3.33	2.77	2.91	2.88	3.82	2.44	2.96	3.32	3.68	2.93	4.57	4.00	3.58	3.81	3.80	3.44	3.00	3.53	3.76	3.28	4.54	3.95	2.97	4.60
Cb(○)	최소	0.57	0.32	0.50	0.41	0.57	0.53	0.41	0.48	0.49	0.54	0.35	0.39	0.42	0.53	0.27	0.43	0.33	0.31	0.49	0.46	0.39	0.40	0.26	0.30
	최대	0.61	0.37	0.56	0.46	0.67	0.55	0.44	0.52	0.56	0.60	0.43	0.48	0.48	0.56	0.32	0.49	0.40	0.36	0.53	0.52	0.41	0.50	0.27	0.34
Fatness ratio (◎)	최소	335	220	321	206	154	289	164	194	156	246	117	110	117	169	89	94	73	73	76	75	108	75	105	87
	최대	395	227	388	258	156	330	174	226	200	301	135	167	148	206	117	129	98	98	99	89	142	100	132	94

4. 비용분석 및 기대효과

4.1 개요

본 절에서는 앞에서 연구된 함정의 선체에 대한 플랫폼 군이 현실문제에서 비용효과가 있는지에 대하여 검증하는 연구이다.

먼저 신규로 획득하고자 하는 함정의 개략적인 배수량 및 속력이 기존에 개발된 함정과 차이가 있더라도 기존의 플랫폼을 적용할 경우 비용측면에서 절감 효과가 있는지 분석하고자 한다. 비용분석은 아래<그림 9>와 같은 시나리오를 가지고 진행하였다.



<그림 9> 비용분석 시나리오

4.2 비용분석 대상 및 범위

비용분석은 현실적인 상황을 최대한 고려하여 2가지 경우에 대하여 분석하였다. 첫 번째는 400~500톤급으로 신규 건조할 함정을 기 설계된 600톤급 함정으로 건조하는 경우이다. 속력의 범위는 34~38노트를 가정하였다. 두 번째는 1,300~1,400톤급으로 신규 건조할 함정을 기 설계된 1,500톤급 함정으로 건조하는 경우이다. 속력의 범위는 28~32노트를 가정하였다.

여기에서 400~500톤급 함정과 1,300~1,400톤급 함정은 신규로 설계 및 건조하고자 하는 함정이고, 600톤급과 1500톤급 함정은 기존에 이미 설계 또는 만들어진 플랫폼이다. 비용분석의 정확성을 높이기 위해 운용유지비(연료비) 계산에 필요한 대상 함정별 속력별 소요마력은 실제 함정의 소요마력을 참조하여 산출하였다.

<표 2> 비용분석 대상함정 및 소요마력

Platform Class	함정명(Type)	배수량	속력 (Knot)	소요마력 (hp)
16번	P400(PC)	400톤	34	12,400
			36	14,700
			38	17,300
	New Ship(FSG)	500톤	34	14,400
			36	17,100
			38	20,100
	Hslung(PC)	600톤	34	16,300
			36	19,300
			38	22,700
19번	Fatahillah(FFG)	1300톤	28	15,200
			30	18,700
			32	22,700
	Niels(OPV)	1400톤	28	16,000
			30	19,600
			32	23,800
	Meko(FFG)	1500톤	28	16,700
			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, 수리비 및 교육훈련비 등으로 구성된다. 이러한 비용 요소 중 함정의 배수량과 속력의 변화에 따라 변화되는 중요 비용요소는 설계비, 건조비 그리고 연료비이다.

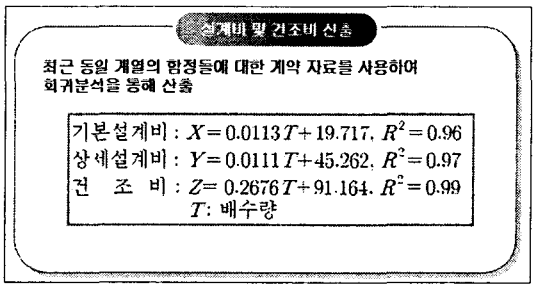
설계비는 개념설계비, 기본설계비 및 상세설

계비로 구분된다. 만약 신규로 건조하기로 계획된 함정에 기존의 플랫폼을 적용한다면 설계비의 많은 부분을 절감할 수 있는데, 선체가 차지하는 정확한 비율을 계산할 수는 없지만 선체가 차지하는 도면 비율, 면적비율 및 설계자의 경험을 고려할 경우 80% 정도에 해당될 것으로 추정할 수 있다[16]. 개념설계 비용은 규모가 작으므로 분석 대상에서 제외하였다.

운용유지비에는 함정 선체의 플랫폼 설계와 관련하여 비용적인 측면에서 가장 영향이 큰 연료비만을 고려하였다. 연료비 산정 기간 및 연간 운용시간은 함정 운용기준을 적용하여 30년 및 3,000시간으로 결정하였다. 속력별 운용비율은 12Knot 이하에서 75%, 18Knot이하에서 25% 그리고 최대 마력 범위에서 5%를 운용하는 것으로 정하였다[16]. 추진체계 구성은 소요마력이 서로 다른 함정용 디젤엔진 3개 모델을 사용하여 대상함정별 소요마력을 충족하는 엔진을 조합하여 구성하였다 또한 연료비의 정확한 산정을 위해 엔진 제작사의 공인시험을 거쳐 작성된 디젤엔진 연료소모율 자료를 사용하였다.

4.4 비용분석

비용요소 항목은 초기 획득 비용으로는 설계비 및 건조비를 고려하였고, 운용유지비는 연료비를 고려하였다. 설계비 및 건조비의 산출은 최근 전투계열 함정의 계약금액을 사용하여 아래 <그림 10>와 같이 회귀분석을 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 R^2값이 상당히 좋은 결과를 보여주었지만, 실무에서 설계비 및 건조비를 산출한 경험에 비추어 90%이상 정확한 결과라고 예상된다.



<그림 10> 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)

$$FC_{mn} = \sum_i t_{mni}\left[\sum_{j \in C_i} e_{mnj} f_{mnij}\right] \cdot P \times LC(30년)$$

i : 운용속력, $j \in C_i$: i속력에서의 엔진조합

t_{mni} : i속력에서 연간 운용시간

e_{mnj} : j엔진의 연료소모율

f_{mnij} : i속력에서 j엔진에 대한 소요마력

P : 고유황경유의 단가

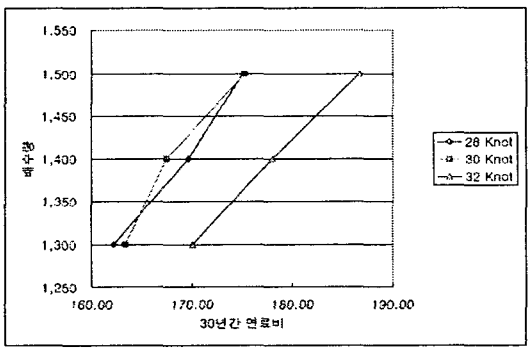
LC : *Life Cycle*

상기의 연료비 산출 모델을 사용하여 속력별 400~600톤급의 연료비와 1,300~1,500톤급 함정의 연간 연료비를 산출하였다.

<표 3> 1,300~1,500톤 연료비(32Knot)

구 분			7 Knot	12 Knot	18 Knot	23 Knot	27 Knot	32 Knot	계	비 고
비율			20%	60%	25%	3%	1%	1%	100%	
시간			600	1800	750	90	30	30	3,000	
1300톤	마력(HP)		238	1,197	4,039	3,687	6,815	7,564		B+B+B
	엔진운용대수		1	1	1	2	2	3		
	연료소모율		0.194	0.179	0.163	0.163	0.167	0.168		
	운용비(억원)		0.14	1.81	2.47	0.84	0.34	0.57	6.17	
1400톤	마력(HP)		280	1,257	4,243	3,874	7,161	7,947		B+B+B
	엔진운용대수		1	1	1	2	2	3		
	연료소모율		0.194	0.179	0.163	0.163	0.169	0.169		
	운용비(억원)		0.16	1.88	2.59	0.87	0.36	0.60	6.52	
1500톤	마력(HP)	D/E(B)	261	1,316	4,443	4,056	7,499	7,499		B+B+C
		D/E(C)						9,968		
	엔진 운용대수	D/E(B)	1	1	1	2	2	2		
		D/E(C)						1		
	연료소모율 (kg/hp-hr)	D/E(B)	0.194	0.179	0.164	0.163	0.168	0.168		
		D/E(C)						0.168		
	운용비(억원)		0.15	1.74	2.73	0.89	0.38	0.63	6.22	

연료비 분석결과 배수량이 400톤인 함정과 600톤급 함정의 연료비는 30년간 최대 41억의 차이가 있었다. 그런데 최대 속력이 34Knot 보다 36Knot에서 연료비의 차이가 적었는데 이것은 엔진 모델별로 연료소모율이 다르기 때문이다. 속력별로 1,300톤에서 1,500톤급 함정에 대한 연료비 분석 결과, 30년간 최대 연료비는 17억의 차이가 있었다. 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 11> 1,300~1,500톤 속력별 연료비 그래프

4.5 결과분석

400톤급으로 건조할 함정을 600톤급의 기존 플랫폼을 적용하면 초기 투자비는 31억을 절감할 수 있으나, 총비용은 23억 원 손실되는 것으로 산출되었다. 500톤으로 건조할 함정을 600톤급의 기존 플랫폼을 적용하면 초기 투자비는 47억 원, 총비용은 14억 원을 절감하는 것으로 계산 되었다. 비용측면에서 유리한 톤수 범위는 약 150톤 정도이다.

<표 4> 400~600톤의 비용 산출 결과

구분		기본설계비		상세설계비		함건조비	운영유지비 (30년)	계
		100%	80%	100%	80%			
400		24.17	19.33	49.70	39.76	203.14	82.56	359.57
500		25.31	20.25	50.81	40.65	230.33	96.16	402.61
600		26.45	21.16	51.92	41.54	257.52	110.43	446.32
400 → 600톤	절감비용		-19.33		-39.76			- 59.10
	증가비용					54.38	27.87	82.25
	계		-19.33		-39.76	54.38	27.87	23.15
500 → 600톤	절감비용		-20.25		-40.65			- 60.90
	증가비용					27.19	14.27	41.46
	계		-20.25		-40.65	27.19	14.27	- 19.44

1,300톤~1,500톤 범위의 함정에 대해서는 다른 산출 결과가 나왔다. 1,300톤급으로 건조할 함정을 1,500톤급의 기존 플랫폼을 적용하면 초기 투자비는 34억 원, 총비용은 7억 원을 절감하는 것으로 산출되었다. 1,400톤으로 건조할 함정을 1,500톤급의 기존 플랫폼을 적용하면 초기투자비는 70억 원, 총비용은 43억 원을 절감하는 것으로 산출되었다. 동일한 톤수 변화에 대해서 함 크기의 차이가 동일한 경우 요구 속력이 저속일수록 비용의 차이가 줄어든다는 것이다. 1,300~1,500톤급에 대한 비용측면에서 유리한 톤수 범위는 약 300톤 정도이다. 이것은 비용측면에서 함정에 요구되는 최대속력이 저속일수록 플랫폼을 적용할 수 있는 톤

수의 범위는 확대되고, 최대속력이 높을수록 톤수의 범위가 줄어들게 되는 결과가 나왔다.

<표 5> 1,300~1,500톤의 비용 산출 결과

구분		기본설계비		상세설계비		함건조비	운영유지비 (30년)	계
		100%	80%	100%	80%			
1,300		34.43	34.43	59.69	47.75	447.85	165.23	707.20
1,400		35.57	35.57	60.80	48.64	475.04	171.70	743.11
1,500		36.71	36.71	61.91	49.53	502.23	178.98	779.83
1300 → 1500 톤	절감비용		-34.43		-47.75			- 82.18
	증가비용					54.38	13.75	68.13
	계		-34.43		-47.75	54.38	13.75	- 14.05
1400 → 1500 톤	절감비용		-35.57		-48.64			- 84.21
	증가비용					27.19	7.28	34.47
	계		-35.57		-48.64	27.19	7.28	- 49.74

5. 결론 및 추후연구과제

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

또한 이 연구가 현실 문제에서 효과가 있는지 확인하기 위하여 비용분석을 수행하여 배수량 및 속력의 요구조건이 다른 함정에 대해서도 비용측면에서 효과가 있음을 보여 주었고 활용 가능한 범위를 확인하였다.

이 연구를 통하여 함정을 획득하는 전 과정에서 다양한 기대효과가 나타날 것으로 예상된다. 설계측면에서는 플랫폼 방식을 적용시 3~4년의 설계기간을 줄일 수 있고, 함정 획득과 관련된 많은 업무를 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 생산 측면에서는 동일한 함정을 생산함에 따른 대량생산의 효과를 얻을 수 있는데, 먼저 노무공수를 절감할 수 있다. 관련 문헌에 따르면 동일한 선박을 20척 건조했을 때 노무공수는 최고 50%까지 절감되었다[11]. 또한 동일한 자재를 대량 구매할 수 있어 재료비를 절감할 수 있고, 품질의 수준을 높일 수 있다. 운용적인 측면에서는 서로 다른 함정이라도 동일한 모델의 장비를 운용하고 수리하게 관리하게 되므로 수리비, 교육훈련비 등의 비용을 절감할 수 있을 것이다.

이 연구에서는 함정 선체에 대해 다루었는데, 그 효과를 극대화하기 위해서는 임무 중심의 모듈식 설계 개념이 동시에 고려되어야 한다. 함정은 요구조건이 조금이라도 다르다면 함정의 배수량이 변화되므로 동일한 선체 플랫폼을 사용하는 것이 어려울 수 있다. 따라서 군의 요구조건을 충족하고 비용적인 측면에서 손실 없이 동일한 선체 플랫폼을 공유할 수 있는 건조하는 방법이 필요하다. 이 문제를 해결할 수 있는 설계방법이 배경연구에서 언급한 임무 중심의 모듈식 설계 방법이다. 이 설계방법은 지속적으로 증가하고 있는 함정의 배수량을 줄이면서 급격히 변화하고 있는 기술수준과 다양한 해상 위협들을 효과적으로 대처할 수 있는 신개념의 함정 설계 방법이다. 추후에 이 연구와 연계하여 임무 중심의 모듈식 설계 방법에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

[1] B. Joseph PineII, "Mass Customizing Products and Services", 1999

[2] Timothy W. Simpson, "Product Platform Design and Optimization", ASME Design Engineering Technical Conferences, 2003

[3] MikeIII P. Groover, "Automation Production Systems & Computer Integrated Manufacturing", Prentice Hall, pp. 420~427, 2001

[4] Moore, W. L. "Using conjoint analysis to help design product platforms", Journal of product innovation management. 16, pp. 27~39, 1999

[5] Siddique, Z., "Product family configuration reasoning using discrete design spaces", In Proc of ASME Design Engineering Technical Conferences, 2000

[6] Gonzalez-Zugasti, J. P., "Assessing value in platformed product value design", Research in engineering design. 13, pp. 30~41, 2001

[7] Gonzalez -Zugasti, J. P., "A method for architecting product platforms", Research in engineering design. 12, pp. 61~72, 2000

[8] Martin, M. V. & Ishii, K. "Design for Variety", Research in Engineering Design. Vol 13, pp. 213~235, 2002

[9] Robert O. Work, "Small Ships and the Future of the Navy", Science and Technology, pp. 66~69, 2004

[10] 한진중공업㈜, 설계보고서, 해군본부, 2005

[11] 황종흘 외, 선박설계, 서울대학교, 1992

[12] Kommodore Stepen Saunders RN, "Jane's Fighting Ship", 2002

[13] 박명규 외, 선박 기본 설계학, 서울대학교 1996

[15] John R. Houser, Don Clausing, "The House of Quality", Harvard Business Review, pp. 63~73, 1988

[16] Nato Naval Group 6 Specialist Team, "Nato/PfP working Paper on Small Ship Design", 2004

저 자 소 개

박 광 재 **(E-mail: gjpark7@hanmail.net)**

1996 금오공과대학교 기계공학과 졸업(학사)

2005 서울대학교 산업공학과 졸업(석사)

현재 방위사업청 함정사업부 근무

관심분야 제품개발, 시스템 엔진니어링, ERP, BPM 등

박 진 우 **(E-mail: autofact@snu.ac.kr)**

1974 서울대학교 산업공학과 졸업(학사)

1976 KAIST 산업공학과 졸업(석사)

1985 University of California, Berkeley(D.Eng. in Industrial Engineering)

현재 서울대학교 산업공학과 교수

관심분야 Manufacturing Systems Engineering, ERP/SCM, FMS/CIM 등

주요저서 / 논문

- Performance improvement study for MRP part explosion in ERP environment, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, in publish, 2006
- A new approach to job shop scheduling problems with due date constraints considering operation subcontracts, International Journal of Production Economics, Vol. 98, No. 2, pp.238-250, 2005
- Efficient work measurement system of manufacturing cells using speech recognition and digital image processing technology, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 29, No. 7, pp.772-785, 2005
- An algorithm for deadlock avoidance in an FMS, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 26, No. 5, pp.659-668, 2004