

1. 머리글

조선 이론, 조선 설계, 선박 건조에 관련한 책과 관련 자료는 쉽게 찾아 볼 수 있으나 조선소 설계를 위한 책자나 체계적인 Guide line이 제시된 것은 찾아보기 어려운 실정으로 통상 조선소 설계는 기존 조선소를 참고하여 그 크기를 키우거나 축소하여 설계를 하는 방법으로 수행되어 왔다고 본다.

한국해사기술(KOMAC)이 진행해 온 Venezuela의 Astialba (조선소 명칭)는 그간 발표된 자료들을 실제 조선소 설계에 적용할 수 있도록 체계화하고 수치화하여 합리성을 제고함으로써 고객의 요구 조건을 만족시키고 최고의 효율로 경쟁력을 가진 혁신적인 조선소의 설계를 목표로 진행하여 왔다.

조선소 설계는 Concept Design(개념설계), Basic Design(기본설계)과 Detail Design(상세설계) 단계를 거치면서 다음어서 최종 레이아웃에 이르게 된다.

- 이와 같이 작성된 레이아웃에 작업장별 소요장비의 기종, 정 및 용량과 수량을 결정하여 배치하고 Utility설계를 수행하여 전기, 용수, Gas, 통신, 소방 설비의 소요량에 맞추어 설비를 배치하고
- 소요장비의 구매사양 및 공급자 리스트를 작성하고 투자비 산정과 Customer의 구매를 지원하며
- 조선소 조직 및 인원계획을 수립하고
- 조선소 운영매뉴얼 및 생산기술매뉴얼을 제공하여 원만한 조선소 운영이 이루어지도록 함으로서

신생조선소 레이아웃 작성에서 부터 장비구매, 건조조언, 조선소의 원활한 운영을 위한 Total Service를 구현하였다.

본문에서 조선소 설계에 관한 모든 기술적 issue에 대하여 기본 특성을 정의하고 논하기에는 지면상의 제약이 있기에 이는 추후 기획 있을 시 다시 상세히 논하기로 하고 여기서는 현재까지 진행 하여 온 조선소 설계 과정을 간략히 설명 하고자 한다.

2. 조선소 개념 설계

조선소를 계획하고 용량을 결정하는 기준이 되는 것은 Site condition, 연간 건조량, Product mix, 진수 방법, 건조 방법, Block size 및 권상능력, 건조 Dock와 의장인벽, 작업시간 등이다.

Astialba의 입지조건은 Venezuela 북부 Araya반도에 위치하며 카리브 해를 접하고 있다. 부지 면적 1,720,000m²로 인근에 거주 지역, 전력공급시설, 항구 시설 등 인프라가 전혀 없는 지역이다. 방파제를 건설하여야 하고 전력 및 용수를 해결하여야 하는 실정이다.

Customer가 제시한 Product Mix에 따라 조선소의 건조능력은 두 개의 건조 도크를 활용해 연간 25만톤의 강재를 처리할 수 있도록 설계하였다. 연간 2척의 Aframax Tanker, 4척의 Suezmax Tanker, 2,4척의 VLCC 생산으로, 합계 연간 8.4척을 생산하는 규모이다.

Customer와 조선소 설계자가 협의하여 적어도 10 ~ 15년 이상에 걸쳐 연도별 건조 하고자 하는 선종과 척수를 결정한다. 이를 바탕으로 조선소 설계자는 도크 스케줄을 작성하고 도크별, 연도별 건조 물량과 진수, 안벽 계류 및 인도 척수 등을 산출한다. 아래 표는 Customer가 제시한 Product Mix이다.

Astialba는 수리선 사업도 병행하나 여기서는 지면상 논하지 않는다.

표 1 Product Mix

Type of Vessels	Years			Total
	2014 to 2021	2022 to 2030	2031 to 2035	
VLCC 316,000 DWT	15 Vessels	10 Vessels	3 Vessels	28 Vessels
SUEZMAX 156,000 DWT	21	9	3	33
AFRAMAX 115,000 DWT	30	18	6	54

건조 및 진수방법은 공장의 설비를 결정함에 있어서 매우 중요한 사항이다. Dock건조 방식, 육상건조 후 Load Out시키는 방법, Slip Way 등의 방법이 활용되고 있다. 육상건조는 과거 소형선에 적용되어 왔으나 근래에 와서 Load-out 진수 방법에 의한 진수 크기가 점차 커지고 있어서 입지조건, 조선소의 기술 수준에 따라서 어느 쪽을 택할 지 결정하여야 한다. 여기서는 Customer의 요청에 따라 건조 도크에서 건조하는 것으로 하였다.

시공방법은 Customer가 제시한 Product Mix를 건조하기

위해서 Semi-tandem 공법을 적용하였다. Semi-tandem 공법은 건조 도크에서 1척의 선박과 다른 1척의 선미 부분을 동시에 건조한다.

블록의 크기와 크레인의 용량 결정은 Assembly block의 크기와 중량 그리고 이를 PE(Pre-erection)하였을 때의 크기와 중량을 정함으로서 이를 제작할 공장의 규모, 장비의 용량과 크레인의 능력이 결정된다. 블록의 크기는 20m L x 20m B x 6m H, 150 tons이고 PE block 의 크기는 20m L x 40m B x 6m H, 300 tons으로 계획하였다. 이와 아울러 다루어야 할 강판 및 형강재의 최대, 최소 규격을 정하여 설계의 기준으로 삼는다.

또한 Dock에서 건조하는 선박의 강재 중량을 연도별로 합계하여 연간 처리할 강재량을 산출한다. 이 강재량을 기준으로 조선소 전체의 설비 규모 및 장비의 수량과 크기가 결정된다.

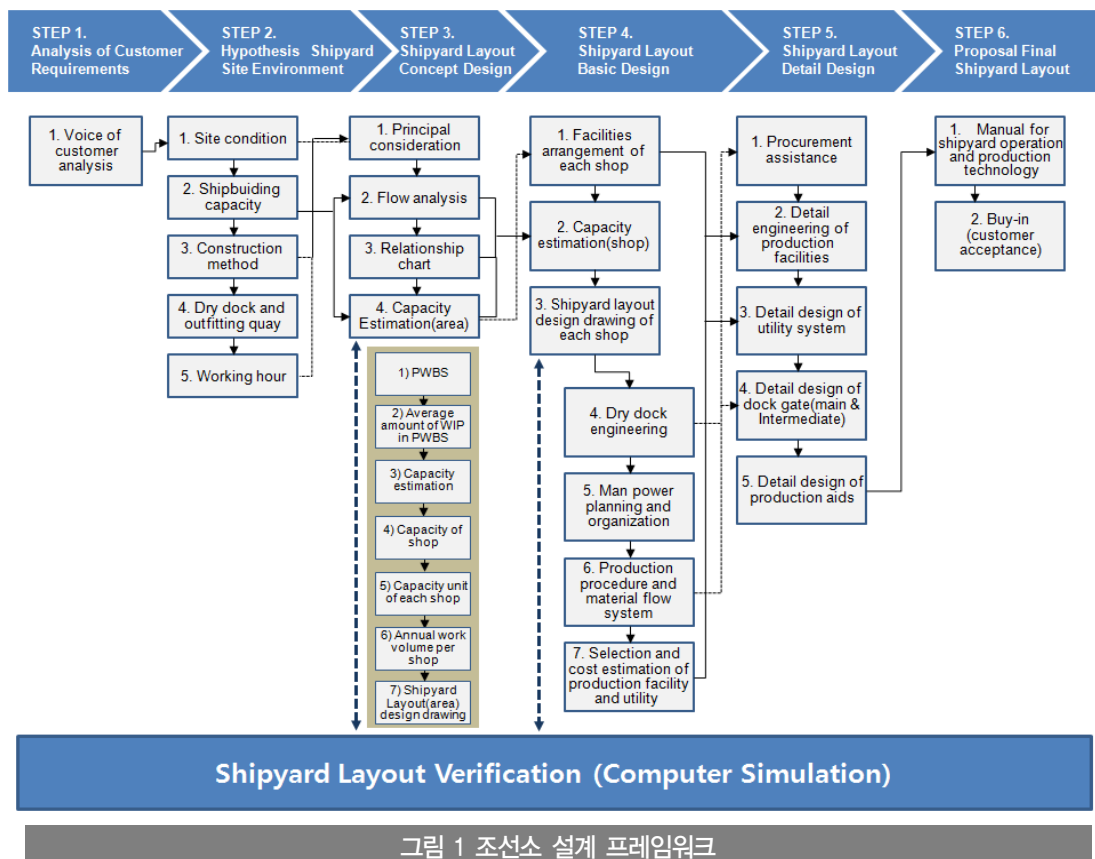
건조 도크의 크기는 배의 길이, 폭, 깊이를 고려하여 결정한다. 도크 스케줄에 따라서 Semi Tandem인 경우를 고려하여 최대선인 VLCC 간의 적절한 이격 거리를 두어 도크 길이를 정하고 폭 또한 최대선인 VLCC의 폭에 좌우 적절한 여유를 주어 결정하였다.

이와 같이하여 결정된 건조 도크의 크기는 No.1 Dock : 380 m x 70m, No.2 Dock : 490 m x 70m, No.3 Dock : 400m x 70m(Repair Dock) 이며, 건조 도크 깊이 결정은 조수간만의 최저 수위 및 부상시 반목과의 여유를 고려하는 것 외에 파랑에 의한 Swell 등을 고려한 추가분을 토목기술자와 긴밀히 협조하여 결정하여야 한다. 이와 같이하여 산출된 최종 건조 도크의 깊이는 13.9m로 정하였다.

안벽은 도크 스케줄에 따라서 진수 이후 인도까지 안벽에 계류하는 선종과 기간 및 선박간의 이격 거리를 고려하여 의장 안벽의 길이를 결정하게 되는데 “항만 및 어항 설계 기준 (해양수산부 간행)을 참조하여 설계한다.

작업시간은 조선소 설계를 하는 기초 자료로서 공장 별 일일 작업시간, 연간 작업시간을 지정한다. 예를 들어 전처리공장, 절단공장, 성형공장과 Blasting/painting shop 은 8시간 2교대로 1일 16시간 그리고 기타 공장 및 외부 작업장은 일일 8시간 근무하되 일주 5일, 월 20일 연간 작업일을 240일로 정하여 계산을 수행하였다.

이는 공장 상황 및 해당 국가의 노동법에 따라 설정하여야 한다.



3. 조선소 설계 프레임워크

본 장에서는 Astialba 설계에 사용된 설계 프레임워크에 대해 간략히 설명한다.

Astialba 설계를 위한 프레임워크는 총 6개의 단계로 구성되어 있으며, 소단계는 24개의 단계로 구성된 프로세스이다. (그림 1 참조)

단계 1은 고객의 요구사항 분석이다. 설계 착수 이전에 조선소의 규모 및 기초 조건을 정하기 위해 고객의 설계 요구사항을 입수한다.

단계 2는 고객에게서 입수한 요구사항을 기초로 조선소 입지 조건 및 환경에 대한 검토를 실시하고 조선소의 규모, 건조방법, 도크 및 공장의 크기를 설정하되 작업시간은 해당국가의 노동법을 따른다.

단계 3은 단계 2에서 만들어진 결과를 가지고 조선소의 개념설계를 수행한다. 개념설계 단계에서는 기본적인 조선소 설립의 고려사항을 토대로 물류흐름을 분석하고, 각 공장별 면적에 대한 추정을 한다. 개념설계에서 중요한 항목은 PWBS(Product Work Breakdown Structure)를 정립하고 각 공장별 면적과 물류 흐름을 결정하는 것이다. 단계 3에서 결정된 개념설계를 활용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 각 공장별 면적과 물류 흐름의 타당성을 검증하여 물류흐름에 문제가 발생하는 공장은 공장의 위치 수정을 고려하고 공장의 면적에 문제가 발생하는 경우 면적의 수정을 고려하여 개념설계를 수정한다.

단계 4는 기본설계 단계로 개념설계보다 세부적으로 각 공장 내부 물류의 흐름과 공장의 생산량에 맞게 설비를 배치하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 각 공장 내부의 설비 배치와 내부물류 흐름에 대해 검증한다.

단계 5에서는 기본설계에서 배치한 각 공장의 설비의 상세 기술 사양, 구매조건, 구매일정, 도크의 상세일정계획, 생산보조기구의 설계로 구성된다.

단계 6은 단계 1 ~ 5에서 설계된 자료를 활용하여 조선소의 생산, 기술, 관리에 대한 매뉴얼을 작성한다.

3.1 레이아웃 계획

조선소의 레이아웃 계획은 조선소 입지의 토양조건, 환경문제 그리고 물류흐름을 고려하여 배치한다.

제안된 조선소의 레이아웃 계획에 두 가지 중요한 문제는 조선소 부지의 환경 문제와 토양 조건이었다. 수리 조선소로

부터의 분진 및 페인트 물질로 인한 환경오염을 최소화하고자 하였으며 견고한 암반을 얻기 쉬운 위치에 건조 도크를 위치하도록 하였다.

조선소 레이아웃은 생산 시설과 부두 시설의 효과적인 배치를 통해서 조선소 운영비용을 최소로 최대의 효과를 만들어내는 것이다. 레이아웃의 기본 개념은 전처리 및 조립분야, 건조 분야, 관리 및 서비스 분야의 세 가지 주요 영역에 설비를 집중 하는 것이다.



그림 2 Astialba 년산 250,000톤 조선소 레이아웃

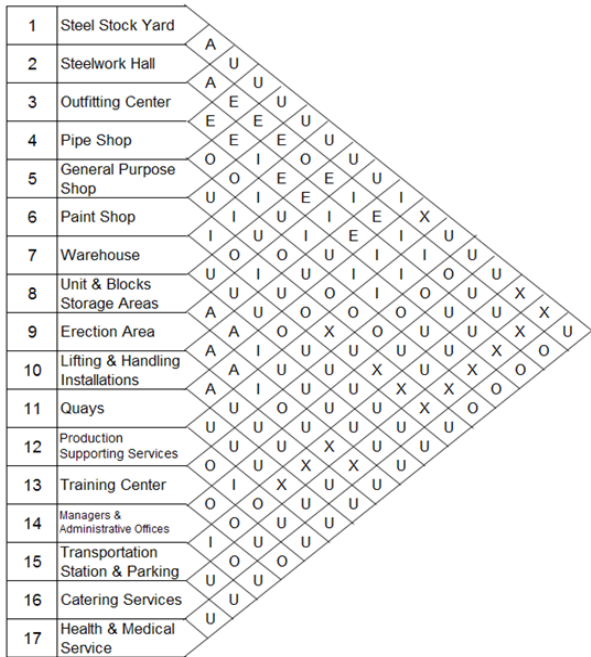
3.2 Flow analysis 및 Relationship chart

조선소의 생산 공정은 강재의 도착과 분배를 시작으로 Blasting, Painting 공정을 거쳐 최종 조립단계를 포함하여 여러 조립장을 지나는 단계를 거친다.

자재의 효율적인 흐름은 생산설비를 배치하는데 있어 가장 중요한 요소로서, 조선소 레이아웃 디자인의 뼈대는 조선소의 공정과 함께 철저하고 광범위한 자재의 흐름 분석에 기초를 두어야만 한다.

조선소 레이아웃의 가장 중요한 내부 관점은 토털 시스템으로서 조선소를 분석하고 자재와 중간제품의 흐름과 제작 과정을 완전히 이행하는 것이다. 흐름분석은 자재의 이동, 인력과 설비간의 정보 이동을 양적, 정성적으로 분석하는 것이다. 가장효율적인 제품공정을 위해 레이아웃이 최적화 되어야 하기 때문에 자재의 흐름이 강조되는 것이다.

각각의 시설설비들의 상호관계를 보여주는 Relationship chart는 건설하고자 하는 조선소의 생산설비를 계획하는데 있어 레이아웃의 참고 자료로서 사용되며 설비와 배치간의 등급을 규정한다.



VALUE	RELATIONSHIP
A	Closeness absolutely necessary
E	Closeness especially important
I	Closeness important
O	Ordinary closeness OK
U	Closeness unimportant
X	Closeness not desirable

그림 3 Relationship Chart

3.3 작업장 면적 및 생산능력 예측

건조하고자 하는 선박의 강제 중량을 연도별로 산출한다. 연간 최대 강제량을 기준으로 조선소 전체의 설비 규모 및 장비의 수량과 크기를 결정한다. Astialba는 연간 250,000톤 강제처리가 목표이다.

다음에서는 PWBS 작성을 통해서 연간 250,000톤의 강재를 처리하기 위한 작업장 면적을 산출하는 방법에 대해 논한다.

3.4 PWBS(Product Work Breakdown Structure)

건조하고자 하는 선종의 PWBS를 작성하고 이를 이용하여 작업장 면적계산이 시작되는데 아래와 같은 순서로 작업이 이루어진다.

첫째, Product Mix에 따라서 건조하고자 하는 선종의 Block Division을 설계로부터 입수하여 Block의 수량, Total Weight, 최대 Block의 중량과 Dimension, Deckhouse Block

의 수량과 최대 Block의 중량 및 Dimension을 작성한다.

둘째, 설계로부터 해당 선종에 대한 Panel Line 및 Curved Block Assembly Shop에 투입되는 강판의 중량, Sub Assembly 및 T-bar 제작용 강재중량, Casting 중량, Deckhouse에 투입될 강재중량을 입수한다. 이들 물량 구분은 선종에 따라 달라지므로 그때그때 선종에 맞추어 제작 공정을 고려하여 구분하여야 한다.

셋째, 설계에서 입수한 강제 중량은 Net Weight이므로 실제 가공할 물량에는 적절한 Margin(여로서 15%)을 고려하여야 한다.

넷째, Curved Block Assembly에 소요 되는 성형물량은 선수부와 선미부로 나누어 물량을 구분한다. 이 물량은 Forming Machine의 종류, 용량과 수량을 결정하는데 필요한 자료이다.

다섯째, 이들 자료가 모이면 PWBS를 작성하게 되는데 이들 Block의 중량은 Block Division의 중량과 일치하여야 하고 Pre-erection의 합계는 최종 강제 탑재물량과 일치하여야 한다. 아래 그림 4는 예로서 연산 8.4척에 대한 PWBS를 보여 준다.

여섯째, 설계로부터 이러한 상세 자료를 입수할 수 없는 경우 유사선의 통계자료를 활용한다.

4. 조선소 기본설계

4.1 기술자료 검토

개념설계의 조선소 설계 프레임에서 적용한 각종 기술 자료를 재검토하여 기본설계 적용에 문제가 없을지 검토 한다.

4.2 작업장별 장비 배치

작업장별 소요장비의 기종 및 용량과 수량을 정하여 적절한 위치에 배치한다.

Crane, 전처리설비, 절단기, Press류, 용접기류, 의장안벽 및 도크의 계류설비를 적절히 배치하고 각종 Utility가 효율적으로 배치되도록 설계한다.

4.3 레이아웃의 최적화

개념설계와 기본설계의 면적을 비교하고 Dimension을 검토하여 적정성을 확인하고 Flow Analysis를 재검토하여 레이아웃의 최적화를 실시한다.

4.4 기본설계 기타 고려사항

인력계획 및 조직도를 작성하고 작업장별 생산순서 및 물류흐름을 수립한다.

각 작업장(Shop포함)에 소요되는 장비의 상세 사양과 공급자 list를 만들고 기술자료 및 견적을 입수하여 설계에 활용하고 Customer가 건설 자금 조달계획을 세우고 구매에 활용할 수 있도록 한다.

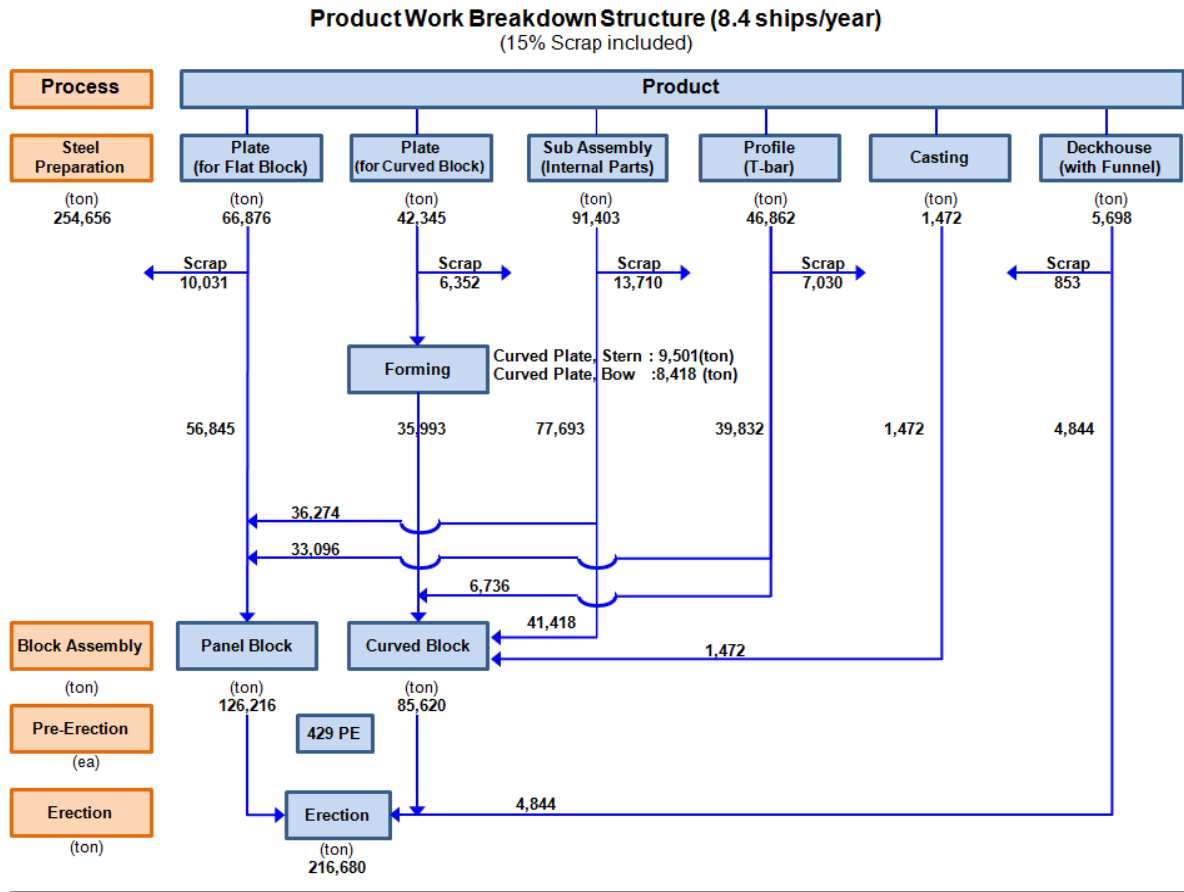


그림 4 PWBS(연산 8.4척)

5. 조선소 레이아웃 시뮬레이션

조선소 레이아웃 시뮬레이션 기법은 컴퓨터를 이용하여 조선소 레이아웃 설계의 적정성을 입증하는 방법으로 울산대 산업경영공학과와 협력하여 시뮬레이션을 수행 하였다.

컴퓨터 시뮬레이션의 단계는

첫째, 레이아웃 시뮬레이션 단계로 연간 투입되는 Plate의 양과 물류흐름 정보, 면적 정보를 활용하여 조선소 설계 면적의 타당성과 물류흐름에 대한 검증을 한다.

둘째, Plant 시뮬레이션 단계로 각 Plant별 공정흐름, 자재의 투입정보, 설비정보를 바탕으로 각 Plant의 설비 배치 적정성 및 공정흐름의 효율성에 대해 검증한다.

셋째, Logistics 시뮬레이션 단계로 각 공장간 Transporter

정보를 활용하여 물류 흐름에 대한 Transporter 적정성을 확인한다.

마지막으로 3단계에서 이루어진 각각의 시뮬레이션을 통합하여 조선소 전체에 대한 효율성 검증을 한다.

개념 설계단계에서 제시된 공장 배치 설계를 토대로 레이아웃 시뮬레이션을 통해 개념설계의 타당성을 검증하고 개선한 결과가 조선소의 설계 목표치인 년 8.4척보다 많은 년 8.67척을 생산할 수 있는 것을 확인 하였으며, 재공재고(각 공간간 중간재고) 1% 감소, 리드타임 1% 감소, 선 탑재 앞에 대기블록 6% 감소 효과가 있었다. 기본설계단계에서 제시된 공장배치를 통해서 Plant 시뮬레이션과 Logistic 시뮬레이션을 통해 검증하고 Integrated 시뮬레이션으로 통합하여 실험한 결과 개념설계단계의 시뮬레이션 결과 대비 재공재고는 46% 감소, 대기블록은 94% 감소 등의 획기적인 공간간 향상 효과를 확인하였다.



그림 5 Astialba 설계를 위한 시뮬레이션 모델링 구조

그림 1의 조선소 설계 프레임워크와 그림 5의 시뮬레이션 모델링 방법론을 활용하여 조선소 설계를 한 결과, 기존의 *SLP(Systematic Layout Planning) 설계 방법론 보다 시뮬레이션의 결과를 통해서 시간의 흐름에 따라 물동량을 확인함으로써 공장 배치와 각 공장의 설비 배치를 효율적으로 배치하였으며, 재공재고 감소, 리드타임 단축, 대기블록 감소 등의 결과를 얻었다.

*SLP는 전체 공장배치와 세부 배치계획을 위해 1973년에 R. Muther가 주창한 체계적 배치계획(Systematic Layout Planning or SLP)으로 상관관계와 빈도를 갖는 작업장을 가깝게 배치하여 공장의 물류흐름을 최적화하는 방법론이다.

6. 조선소 상세설계

상세설계에서는 앞에서 조선소 설계 프레임워크를 통해 설계된 개념설계와 기본설계의 기술 자료를 재검토하여 상세레이아웃을 작성하고 레이아웃에 작업장별, 공장별 장비설치 위치도를 작성하고 토목기초 도면을 작성할 수 있도록 한다. 정반의 상세설치, Pipe Jig 설치도, 용접기배치, 공구함 및 용접봉, 건조기의 배치도를 작성하고 최종 계산을 수행하며 Bill of Material을 작성하고 구매지원 업무를 수행하며 각종 생산보조기구 설계도를 작성한다.

또한 Dock Gate 상세 도면을 작성하고 생산기술매뉴얼 및 조선소 운영매뉴얼을 작성하여 Customer가 신생 조선소를 운영하는데 애로가 없도록 한다.

7. 맺음말

Concept Design을 거쳐, Basic Design까지 한국해사기술이 자체 수립한 "조선소 최적 설계 기법"을 기본으로 하여 체계적인 단계를 거쳐 계산이 뒷받침하는 효율적이고 경쟁력 있는 첨단 조선소를 설계하고자 노력하였다. Astialba 측은 설계 결과에 만족하고 있으며 Venezuela 현지에서는 조선소 부지의 토양 교체 작업이 진행 중이고 한국해사기술은 장비 구매 지원 및 조선소 건설을 위한 상세설계에 착수할 준비를 하고 있다.

참고 문헌

- Richard Muther(1973), Systematic Layout Planning
- Recommendation for Maritime Structure(ROM Program)(2002)
- 항만 및 어항설계기준(2005), 해양수산부



김응섭

- 1943년생
- 1966년 서울대학교 조선해양공학과 졸업
- 현 재 : (주)한국해사기술 부사장
- 관심분야 : 조선소 설계
- 연 락 처 : 02-549-3127, ***-****-****
- E - mail : egskm@hanmail.net, eskim@komac1.com