

조선 전용 GIS와 안벽 시뮬레이터를 이용한 후행 중일정 최적화

유원선^{1,†} · 황호진² · 박창규³
충남대학교 선박해양공학과¹
선박해양플랜트 연구소²
전주비전대학교 조선해양과³

An Optimization of Process Planning around Quays based on the Yard Customized GIS and the Simulator

Won-Sun Ruy^{1,†} · Ho-Jin Hwang² · Chang-Kyu Park³
Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chungnam National University¹
Korea Research Institute Of Ships and Ocean Engineering(KRISO)²
Dept. of Ship & Ocean, VISION University, College of Jeonju³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper has focused on the middle term process planning around quays based on the prefixed long-term plan of the product mixed ships. Recently, the order rate of high add-value ships in domestic shipyards has been sharply increased and the spending time at quays is accordingly on an increasing trend. For proper and practical process planning related to quays, it has to be closely connected with a long-term plan and product calendar, erection network and result of ship allocation around quays. Moreover, it is also required to include the integrated consideration of the whole process of a yard, each ship, and each team respectively. The most distinguishing feature of this study is that it would run on the ship allocation simulator and GIS framework in order not to be limited to the specific one yard and the readers can figure out the optimization formulation containing the work load leveling and a different approach from PERT/CPM. The proposed approach reflected all requirements from the department of process planning and management in a shipyard, and the analysis of the results has explained its performance of the optimization result with the examples of total 43 ships under construction from 2008 to 2013.

Keywords : Middle level planning after erection(후행 중일정 계획), scheduling optimization(일정 계획 최적화), Quay simulation for ship allocation(안벽에서의 호선배치에 관한 시뮬레이션), Shipyard customized GIS(조선전용 GIS)

1. 서론

선박 생산을 위한 일정계획은 일반적으로 자체 계층관계와 공정자체의 흐름으로 각각 정의된다. 계층관계는 대일정(장기조업 계획), 중일정, 소일정 등을 지칭하며, 공정자체의 흐름은 도크(dock)를 기준삼아 선행공정, 탑재공정, 그리고 안벽공정으로 구분되기도 하고 때론 단순히 선행공정과 후행공정(탑재+안벽)으로 구분되기도 한다 (Ruy, et al., 2012).

대일정 계획에서는 해당 야드 기준으로, 동시에 수주된 혹은 기획하는 다수의 모든 선박을 대상으로 각 호선의 탑재 도크지정과 Fig. 1과 같이 키 이벤트(key event)를 포함하는 선평계획을

확정한다. 본 연구에서 사용된 안벽 중일정 계획은 대일정 계획에서 확정된 일정기준으로 생산달력 및 각종자원(resource, 설비, 자재, 인력)의 제한조건을 만족시키는 월 단위 혹은 분기단위의 일정계획을 안벽중심의 의장작업에 집중·계획 확정하는 단계이다. 이후 K/L(Keel Laying)과 L/C(Launching) 일정 사이에 탑재 일정계획을 먼저 수립하고 S/C(Steel Cutting)~K/L 사이의 선행공정은 Backward 방식으로 L/C~D/L(delivery)까지의 공정을 Forward 방식으로 결정한다 (Kim, 2012).

최근 조선소의 관심 선종은 고부가가치 선박이 대부분을 차지하고 있고, 생산 측면에서 해당 선박들의 특징 중 하나는 안벽공정의 생산 공기(工期)가 대폭적으로 증가 된다는 점이다. 따라서 안벽공정의 중요성이 확대되어 있지만, 이에 관한 연구는 극히

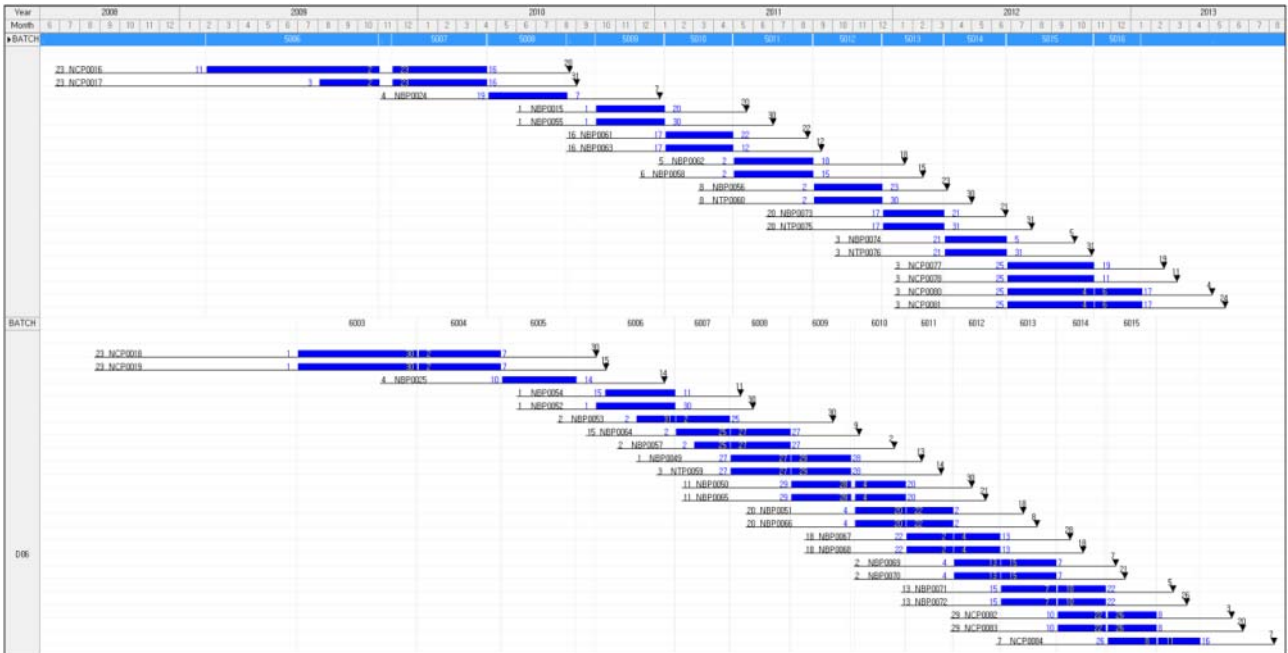


Fig. 1 A long-term plan used as an example

제한적이었고, 대부분 선행 공정 계획에만 치중되어 있음을 확인하였다. 우선 안벽중심 후행 중일정을 계획하기 위해서는 다음과 같은 요소들이 고려되어야 한다.

첫째, 중일정 계획은 대일정 계획에서 구축된 키 이벤트(key event)에 관한 구속조건을 무조건 만족시켜야 한다는 가정을 하였다. 또한 필요한 기자재와 인력의 공급이 안정적으로 이루어진다는 가정을 하였다. 둘째, 도크 선박 탑재 결과와 안벽 호선 배치상황을 고려하여 진행 되어야한다. 호선이 안벽에 계류되어 있지 않은 상황에서의 안벽 작업은 의미가 없기 때문이며, 안벽 배치 시뮬레이션의 결과를 확보하기 위해서는 각 도크 별 선호 안벽, 안벽 지형적 특성과 관련 설비정보, 이중 계류(double banking) 허용여부 및 작업홀(working hole)의 방향들을 고려해야 한다. 여기서 이중 계류는 조선소가 보유한 안벽들이 부족한 경우에 하나의 안벽에 2개 혹은 3개(triple banking)의 호선을 배치하는 경우이며, 작업홀은 도크와 안벽에서 선박 내부에 접근하기 위한 일종의 임시 맨홀에 해당한다. 셋째, 안벽 공정에 관한 표준 호선 정보를 활용할 때 제공되는 순수 작업일수(net-day)를 조선소 생산 달력을 고려한 작업일수(working-day)로 변환하여 활용할 수 있어야 한다. 넷째, 전체 야드, 호선 별 그리고 가장 중요하게는 실무팀 단위의 부하량을 고려한 일정계획이 이루어져야 한다. 다섯째, 각 후행 공정별 부하곡선을 정의하고 선후(leading or following) 공정관계 등을 감안해야 한다. 마지막으로 호선별 공정 간트(gantt)차트를 제공하고 해당 결과의 부하특성 및 예상 잔업 및 유휴일의 통계를 제시할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 특정 조선소만을 위한 시스템을 구축하기보다는 도크와 안벽의 모든 형상적/지형적 특성과 보유한 설비를 DB화하여, 수치지도(GIS numerical map)와 룰셋(rule set)만 업데이트가 된다면 바로 시스템의 활용이 가능하도록 하였다. 이를 가

능하게 하는 것이 조선전용 GIS 프레임워크이다. Lee, et al. (2008)은 선체블록 물류관리에 GPS를 활용한 위치 추적 시스템을 연구하였고, Choi, et al. (2011)는 선박 생산과정 시뮬레이션의 활용을 연구하였다.

조선 생산일정 계획에 관한 기존의 연구들을 살펴보면, Hong (2008)은 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 이용하여 일 단위로의 안벽 배치해법을 제시하고 비용최적화 측면에서 해를 도출하였다. Jeong (2012)은 안벽배치 해법과 더불어 PERT/CPM(Program Evaluation and Review Technique & Critical Path Method)과 연계하여 각 공정별 활동(activity)의 최종적인 일정을 부여하였다. Lee, et al. (2012)는 제한 이론인 TOC(Theory of Constraints)기법을 기반으로 한 CCPM(Critical Chain Project Management)을 중형 LNG선의 엔진 가동공사 일정 결정에 활용하여 불확실성에서 비롯한 일정 지연요소를 제거하였다. Javanshir and Seyedalizadeh-Ganji (2010)는 항만터미널에 컨테이너선의 정박을 위한 CBAP(Continuous Berth Allocation Problem)을 제안하기도 하였지만 이러한 연구들은 실용적인 안벽배치 및 공정 일정 결정조건을 일괄적으로 포함하지는 못하였다고 판단된다.

2. 안벽 공정 계획을 위한 조건

계획기간의 안벽 배치 상황은 안벽 공정계획을 위한 필수조건이다. L/C후에 호선은 Ruy, et al. (2012)와 Jeong (2012)가 제시하는 다양한 조건하에 안벽 배치가 수행되고 일반적으로는 시운전(S/T) 기간 동안 안벽을 떠나 재배치되는 각종 이벤트 과정을 거친다. 야드의 지형적인 조건에 따라 L/C 시 다른 안벽 배치 혹은 해상 크레인의 운영을 위해서 관련 안벽에서 호선이 잠시 동안 분리되는 조선소가 존재하기도 한다.



Fig. 2 Quay simulation for ship allocation

Fig. 2는 H사의 지형정보를 활용하여 GIS 프레임워크에 수치 지도(numerical map)를 탑재하고 계획 일정 하에서 한 호선이 3번 안벽에서 S/T 이벤트가 있을 때의 해당 날짜의 안벽 배치현황을 나타내었다. GIS DB에 포함된 각 안벽별 형상과 설비의 사양 등이 공정계획에 많은 영향을 끼친다는 것을 예상할 수 있다. 또한 안벽배치는 각 도크에서의 해당 호선 배치와 밀접한 관계를 가진다. 탑재 호선의 출신 도크에 따라서 선호안벽이 결정되고 도크에서 선내 작업을 위한 작업홀(working hole)의 위치에 따라서 안벽에서의 호선배치 방향이 결정된다. 또한 안벽의 길이는 보통 변하지 않고 호선의 길이는 가변적인 특징을 가지기 때문에 이를 고려한 안벽배치가 가능해야 하며, 안벽배치에는 묘박지 혹은 임시안벽 등과 같은 버퍼의 역할장소가 필수적이다.

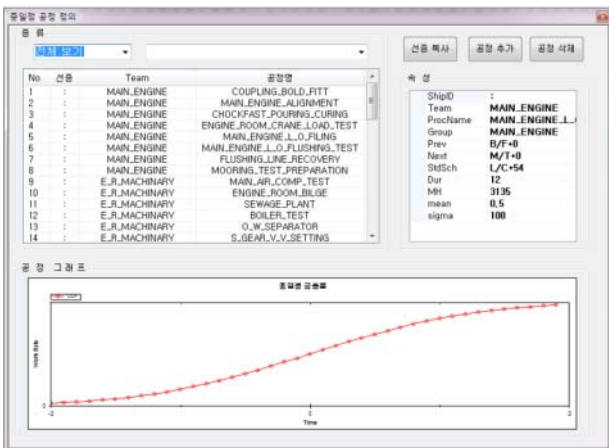


Fig. 3 A property of each process

Fig. 3에 나타난 바와 같이, 생산 계획된 모든 호선은 선종별 표준공정이 존재한다고 가정한다. 모든 공정들은 순수 작업일(net-day)의 공기와 생산시수 등이 기록되어 있으며 자세히는 공기동안의 작업추이를 정의하는 작업분포도(혹은 S형 분포도)까지도 제시된다. 공정이 시작할 때는 완만하게 진행되지만 도중에

급격한 경사를 보여 주고 마지막은 완만하게 되기 때문에 보통 S자형태가 된다. 본 시스템에서는 이를 반영하기 위해서 통계학에서 흔히 사용되는 Gauss error function(Erf(x))을 사용 하였으며, 평균값과 표준 편차를 조절하여 S형태를 공정마다 변경할 수 있게 하였다. 흔히 공정 일정 계획에 사용되는 수학적인 S형 분포는 “Sigmoid Function”이거나 이를 응용한 곡선인데 본 연구에서는 해당 공정의 작업 분포도를 2개의 파라미터로 직관적으로 정의하기 위해서 “Error Function”을 채택하였다.

야드에서 건조하는 모든 선종에 속하는 후행 중일정을 상세하고 구체적으로 정의하고 각 팀들이 담당하는 모든 프로세스를 추가 등록하고 선후공정 혹은 키 이벤트(key event), 마일스톤 이벤트(milestone event), 공기, 시수 등 필요한 모든 속성을 등록한다. 중일정 계획에 이 모든 정보들이 포함되어야 하며, 야드가 가지는 생산달력을 탄력적으로 적용할 수 있도록 Net-Day를 실제 Working-Day로 환산하여 적용하였다.

3. 조선 전용 GIS와 안벽시뮬레이터

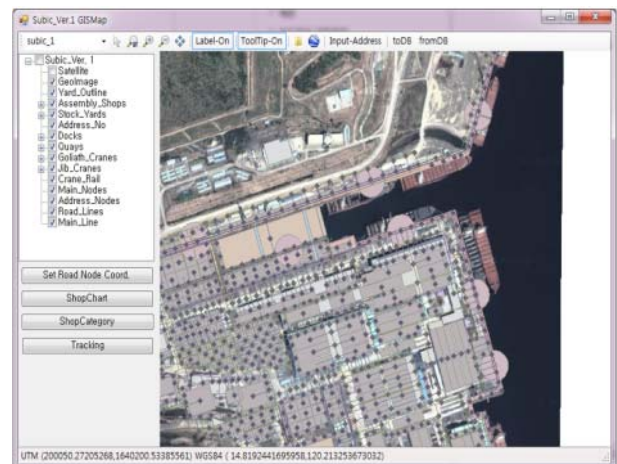


Fig. 4 The authoring tool of yard customized GIS

조선 전용 GIS는 조선소 중일정 시뮬레이션 및 일정계획에 다양하게 활용될 수 있다. GIS는 조선 야드의 모든 지형적 레이어(layer)들을 가지게 되는데 블록 물류 시뮬레이션을 위한 적치장, 지반, 트랜스포터 도로, 도크 및 안벽 시뮬레이션을 위한 크레인(crane), 레일(rail), 도크, 안벽 등으로 이루어진다. Fig. 4에 본 연구에서 개발된 조선 전용 GIS의 편집 프로그램을 나타내었다. 본 프로그램은 Esri사(<http://www.esri.com>)의 SHP 파일형식과 호환성을 가지며, 구축된 수치지도인 SHP에 모든 속성을 추가, 삭제, 및 편집할 수 있다. 또한 도크와 안벽간의 거리, 지면에 절점부여, 절점의 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표부여 등을 자동으로 할 수 있도록 개발하였다.

Fig. 5에는 조선 전용 GIS를 구축하기 위한 다양한 제반 정보들을 나타내었다. 도크, 안벽 및 호선 이동시뮬레이션의 활용은 물론, 다수 기획 선포에 관한 탑재 이후의 후행 공정에 관한 평가를 수행하는 과정을 나타내었다. 도크 배치와 호선이동 및 안

벽 배치를 위한 Rule-Set은 조선 야드마다 구축해야 한다 (Ruy, et al., 2012).

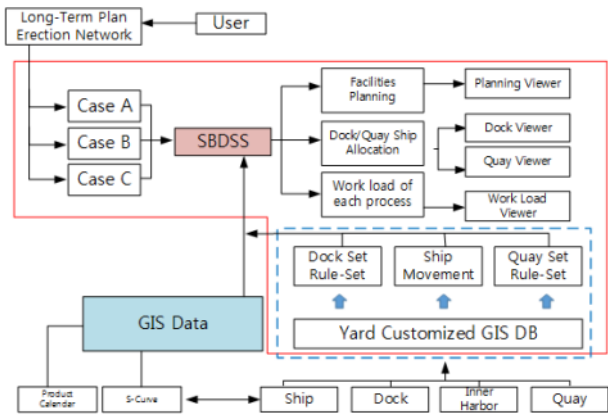


Fig. 5 Various roles of GIS DB

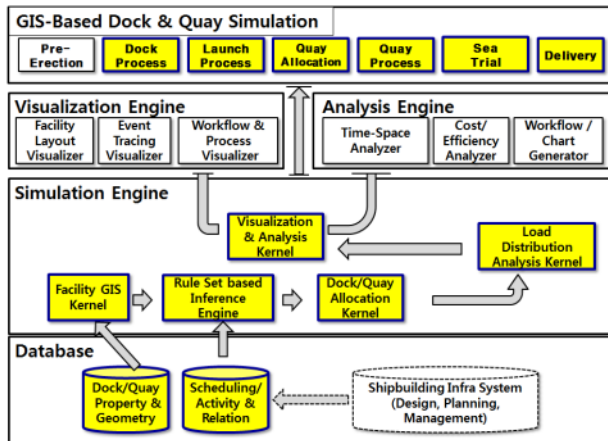


Fig. 6 Key kernels of GIS Framework

Fig. 6에는 조선 전용 GIS 프레임워크의 주요커널(kernel)들을 나타내었고, 크게 가시화엔진, 분석엔진 및 시뮬레이션엔진으로 구분되며 핵심적인 시뮬레이션엔진은 GIS DB와 연계하여 각종 Rule-Set 및 Rule간의 간섭체크 그리고 공정별 부하 분석모듈들이 탑재되어 있다. 본 연구에서 개발된 조선 전용 GIS의 핵심은 특정 조선소에 제한되지 않는 “Yard Independent” 특성을 가진다는 것이다. 즉, 수치지도와 도크, 안벽 주변의 Rule-Set과 옵션만 설정하면, 환경이 다른 조선소에서도 손쉽게 적용할 수 있는 특징을 가지고 있다. 또한 시뮬레이션이 진행되는 과정에서, 안벽의 추가, 변경, 폐쇄에도 유연하게 대처할 수 있는 큰 장점을 가지고 있기에 안벽부족 등에 의해서 미래의 보강계획을 평가해 볼 수 있는 예측 시뮬레이션이 가능하다.

4. 최적화를 통한 안벽 공정 계획

일반적으로 선종마다 다르겠지만 안벽 공정계획에는 적게는 7개 많게는 15개 정도의 부서가 참여한다. 각 부서마다 공정이 다수(5~10) 존재하며, 동시에 건조되는 호선들의 개수까지 고려하

면 안벽 공정계획에 결정해야 하는 설계변수의 개수(대략 적게는 50호선 × 7개 팀 × 5개 공정 = 1750, 많게는 5천개)는 상당할 수밖에 없다. 서론에서 언급한 PERT/CPM의 경우 Critical Path에 해당하는 공정만 우선 처리하고 이후에 CP에 참여안하는 공정을 차후 조정하는 방법에서 벗어나 본 연구에서는 전역적(global)인 공정 부하평가를 위해서 이를 모두 최적화에 참여시켰다. 이 방식의 문제점은 산업공학 분야에서 다루는 SIMPLEX와 같은 Linear Programing 문제를 풀아가는 방식으로 해를 결정하는 방식에서 탈피해야하며, 일정 이동에 따른 목적함수의 민감도 계산에 있어서 미분이 불가능한 영역이 존재하기 때문에 본 연구에서는 Simulated Annealing (Kirkpatrick, et al., 1983) 전역 최적화기법을 사용하였다. 또한 설계변수 개수의 감소를 위해서 구체적인 팀별 공정들을 모두 다른 변수로 취급하지 않고 팀 일정을 하나의 변수로 삼고 공정 부하율의 분산값을 목적함수로 삼아서 최적화에 적용하였다. 다양한 분야에서의 일정 부하 평준화를 위한 연구들이 사용한 목적함수는 크게 4가지로 구분된다 (Park, 2003). 첫째 시수 최대값의 최소화, 둘째 일정 시수 초과 일수의 최소화, 셋째 편차 합의 최소화, 마지막으로 편차 제곱 합 즉 분산값의 최소화이다. 본 연구에서는 초과근무와 더불어 유희일의 함에도 관심이 있고 일정 전반적인 부하 곡선의 평준화를 위해서 분산값을 목적함수로 선택하였다. 한편, 이후 팀의 일정이 정해지면 세부공정의 개별적인 결정은 팀에서 결정하는 방식이며 이러한 GUI를 제공하는 방안을 택하였다. 최적화 정식화에 사용된 수식은 다음과 같다.

Minimize of (1)

$$f(x_{ij}) = Var(x_{ij}) = \sum_i^l \sum_{k=start\ day}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{d}{dt} [Erf(x_{ij})]_k \right]^2 - E^2(x_{ij})$$

i = index of ships, j = index of teams

Subject to

$$g_{ij}^L(x_{ij}) \leq x_{ij} \leq g_{ij}^U(x_{ij}) \quad (2)$$

Where,

x_{ij} : i번째 호선의 j번째 팀의 공정 시작일, 설계변수 값은 -1과 1사이로 표준화 되어 사용됨

$Var(x_{ij})$: 지정된 기간 동안의 야드에 발생하는 모든 공정들의 분산값

l : 전체 호선 수

n : 고려대상 일수

m : 해당 호선의 팀 수

$$Erf(x_{ij}) = \frac{T_d \times Weight}{T_d - H_d} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{x_{ij}} e^{-\xi^2} d\xi$$

T_d : 주어진 기간 일 수

H_d : 주어진 기간 동안의 휴일 수

Table 1 Initial distributions of all processes ($\text{Var}(x)=7.52e12$)

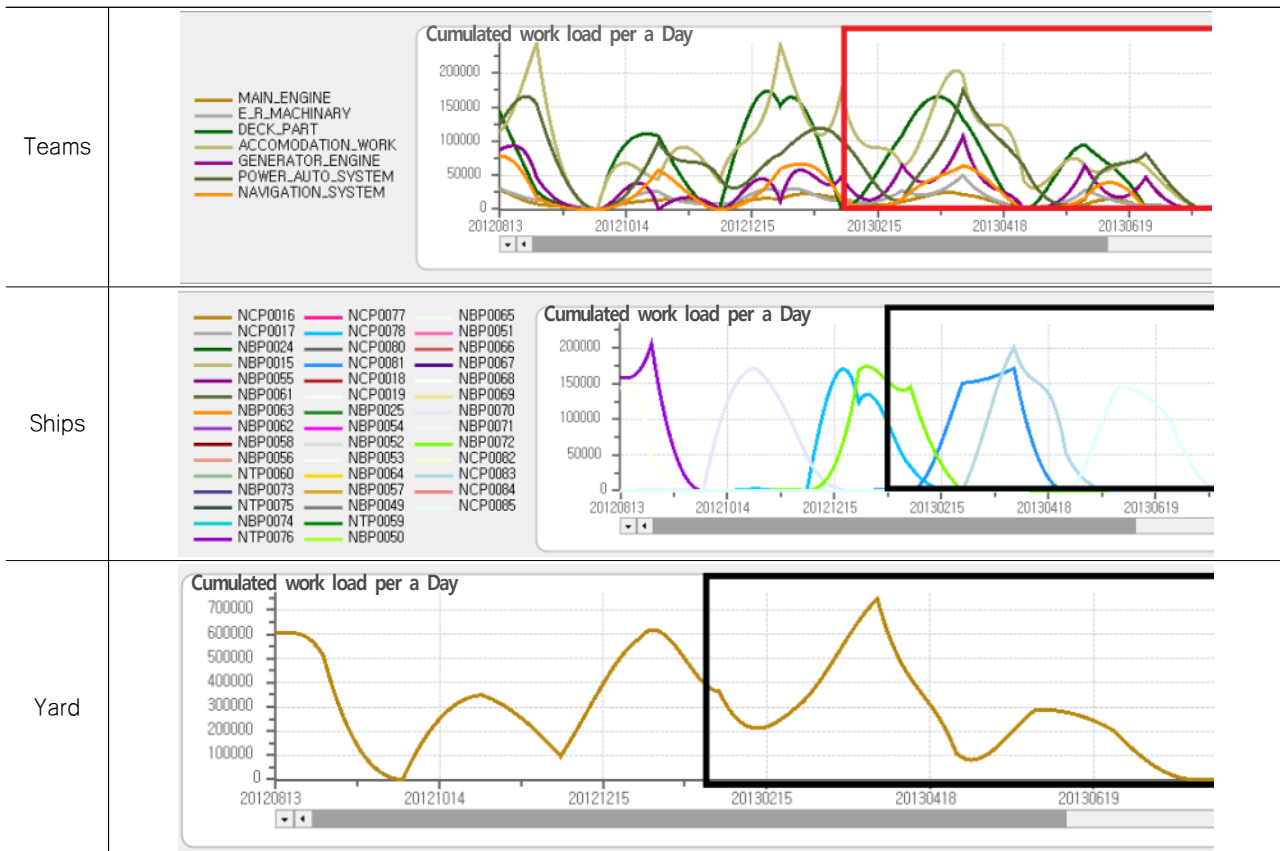
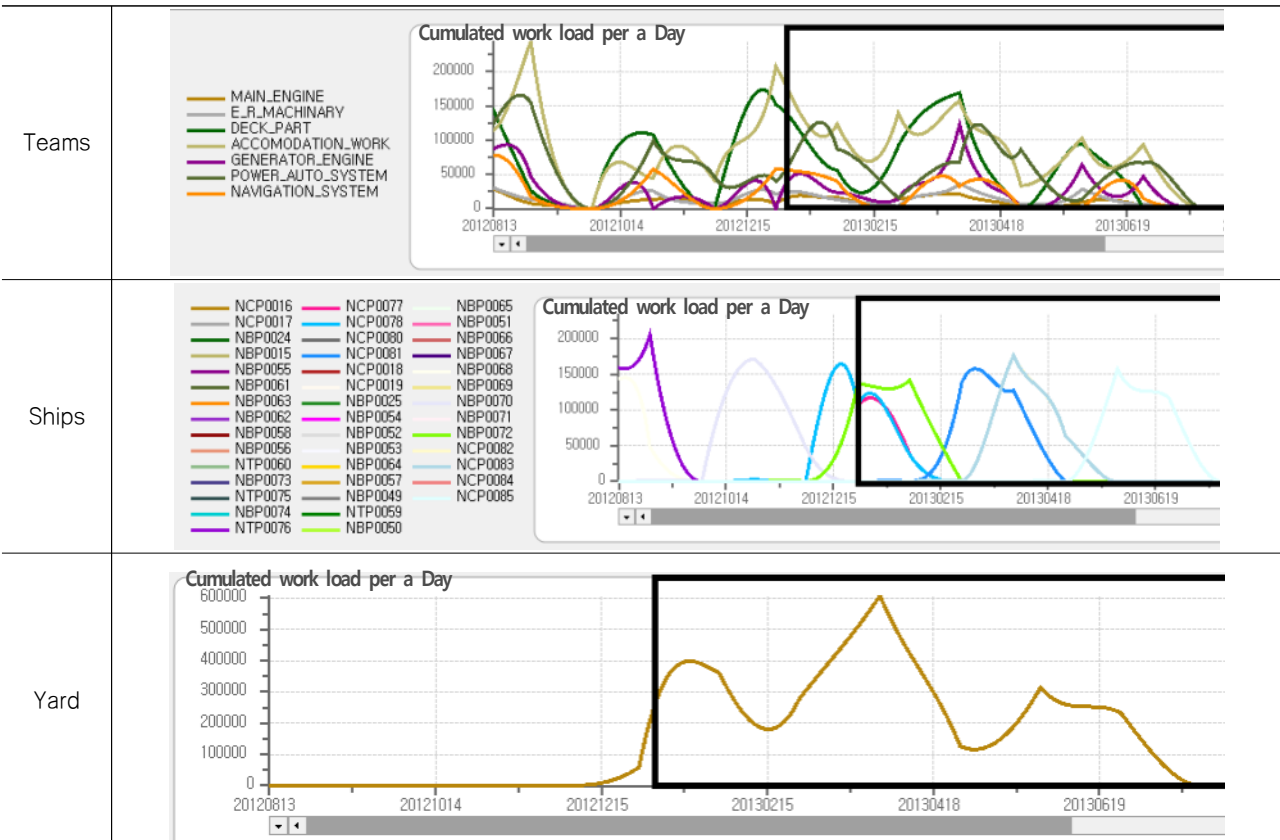


Table 2 Final distributions of all processes ($\text{Var}(x)=6.32e12$)



$E(x_{ij})$: 평균값

$g_{ij}^L(x_{ij}) = \max(U_{\min}, Min_{ij})$: i번째 호선의 j팀 공정 시작일의 하한 값

$g_{ij}^U(x_{ij}) = \min(U_{\max}, Max_{ij})$: i번째 호선의 j팀 공정 시작일의 상한 값

U_{\min} : 전체적으로 정해진 각 공정 시작일의 경계 하한 일

U_{\max} : 전체적으로 정해진 각 공정 시작일의 경계 상한 일

Min_{ij} : 각 팀 공정 시작일의 경계 하한일($E_x, L/C+5$)

Max_{ij} : 각 팀 공정 시작일의 경계 상한일($E_x, S/T+5$)

5. 최적화결과 및 분석

2008년부터 2013년 기간 즉 총 6년 동안, 총 43척을 대상으로 삼았으며, 2013년 1월 1일 이전의 프로세스는 미리 정해졌다고 가정하고 이후 프로세스를 설계 영역으로 삼아 최적화를 SA를 통해 수행하였다. SA의 초기온도는 1.0도 그리고 최종온도는 $1.0e-15$ 도로 하였으며 $U_{\min} = -5$ 일, $U_{\max} = 5$ 일로 각각 설정하였다. 모든 공정의 초기조건은 H사가 제시하는 표준 공정을 따랐으며 생산달력은 Subic 현지의 정보를 활용하였고 토요일 이외의 모든 국경일과 공휴일 및 일요일은 휴일로 처리하였다. 해당 호선이 안벽에 배치되어 있지 않은 날도 휴일로 처리하여 공정배치에 계산되지 못하도록 처리하였다. 최적화를 수행한 결과 초기목적함수를 100%라 하였을 때 84.1%까지의 감소를 확인하였다. Table 1에서는 초기조건에 따라 팀별, 호선별, 전체 야드로 각각 표시하였고, Table 2에는 최적화 이후 분포를 도시하였다. Table 1과 2의 모든 그래프의 y 좌표 값은 해당 일의 축적된 공정 시수(cumulated work load per a day)이고 최적화 전후의 곡선 밑의 면적은 같지만 각 지역적 피크 값이 급격하게 변화된 것을 확인할 수 있다. 결국, 최적화 이후에 비교적 균일화되는 것을 확인할 수 있었고, 각 공정마다의 난이도를 나타내는 공정시수가 주어지는데 이를 부하를 결정할 때 표준화된 부하 곡선함수에 바로 곱하지 않고 4장에서 제시한 바와 같이 $\frac{T_d \times Weight}{T_d - H_d}$ 라는 factor를 부가하여 해당 공정이 되도록 휴일을 포함하지 않도록 하였다.

PERT/CPM가 구축조건을 만족하는 일정계획에 활용될 수 있는 반면, 본 연구의 접근방식은 모든 구축조건을 만족시키면서 조선 후행 중일정 부하 평준화까지 개선시킬 수 있는 하나의 방안이며, 조선 전용 GIS프레임워크와 이를 바탕으로 하는 안벽시뮬레이터와의 연계를 통해서 일정계획을 구체화하여 실용성을 극대화할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 조선 전용GIS 기반의 안벽 시뮬레이터를 이용한 안벽 중일정 공정계획에 각종 제한조건을 만족시키면서 공정

부하가 평균화 되도록 SA 최적화기법을 활용하였다. 조선 전용 GIS를 구축하여 다양한 조선소에서 해당시스템을 활용할 수 있는 방안을 제시하였고, 결과의 가시화를 통해 결정권자의 판단을 쉽게 유도할 수 있도록 구성하였다. 이와 같은 방법론과 개발시스템을 조선소 현장에 시험 적용하였고, 그 결과 안벽 중일정 계획의 최적화의 효과를 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 방법론 및 시스템은 서로 다른 생산 환경을 가지는 조선소들에게도 맞춤화(customizing)가 가능하도록 개발되어 있어 손쉽게 적용이 가능할 것으로 판단된다. 시뮬레이션 결과의 실용적인 활용을 위해서 도크 배치시스템과 안벽 시뮬레이터 그리고 H사의 표준 호선이 보유한 표준공정을 모두 활용하였으며 수작업이 수행되는 안벽 공정배치를 자동화하여 실무에 획기적인 개선에 도움이 될 것으로 기대한다.

후기

본 논문은 충남대학교 학술연구비와 지식경제부 산업 융합 원천기술 개발사업(10035331, 시뮬레이션 기반의 선박 및 해양플랜트 생산기술개발)으로 지원된 연구임.

References

- Choi, H.S. Ruy, W.S. & Ryu, C.H., 2011. Simulation based on GIS. *Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(4) pp.18-23.
- Hong, S.I., 2008. *Algorithm for the Quay Assignment Scheduling Problem in Shipbuilding Industry*. Thesis of Master. KAIST.
- Javanshir, H. & Seyedalizadeh-Ganji, S.R., 2010. Optimal Allocation of Ships to Quay Length in Container Ports. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 3(4), pp.275-290.
- Jeong, S.B., 2012, A Study on the Quay Planning in shipbuilding industry. *Proceedings of the Annual Korean Association of Industrial Business Administration*, Seoul, Republic of Korea, pp.248-259.
- Kim, O.S., 2012. *Shipbuilding Technology & Production System*. GS Intersivision Press: Seoul.
- Kirkpatrick, S. Gelatt, Jr.C.D. & Vecchi, M.P., 1983. Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220(4598), pp.671-680.
- Lee, G.H. Shin, S.C. & Kim, S.Y., 2012. A study on CCPM technology in shipbuilding industry. *Proceedings of the Annual Korean Association of Industrial Business Administration*, Seoul, Republic of Korea, pp.248-259.

- Lee, Y.H. Lee, G.C. Lee, G.J. & Son, Y.D., 2008. Study on the Positioning System for Logistics of Ship-block. *Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea*, pp.68-75.
- Park, K.S., 2003. *Heuristic Algorithms for Resource Leveling in Outfitting Scheduling of Shipbuilding*. Thesis of Master. Kangwon National University.
- Ruy, W.S. Choi, H.S. & Ryu, C.H., 2012. Optimization of Outdoor planning using Quay Simulator.

Proceedings of the Annual KAOST, Daegu, Republic of Korea, May, 2012, pp.442-445.

