

대일정 생산 계획에 따른 조선소 생산 용량의 초기 평가를 위한 이산사건 시뮬레이션

김광식¹ · 황호진² · 이장현^{1†}

¹인하대학교 조선해양공학과, ²한국해양연구원 대덕분원

Discrete Event Simulation for the Initial Capacity Estimation of Shipyard Based on the Master Production Schedule

Kwang Sik Kim¹, Ho Jin Hwang², and Jang Hyun Lee^{1†}

¹Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, INHA University, Incheon, Korea

²MOERI(Maritime and Ocean Engineering Research Institute), KORDI, Korea

Received 21 December 2011; received in revised form 2 March 2012; accepted 5 March 2012

ABSTRACT

Capacity planning plays an important role not only for master production plan but also for facility or layout design in shipbuilding. Product work breakdown structure, attributes of production resources, and production method or process data are associated in order to make the discrete event simulation model of shipyard layout plan. The production amount of each process and the process time is assumed to be stochastic. Based on the stochastic discrete event simulation model, the production capacity of each facility in shipyard is estimated. The stochastic model of product arrival time, process time and transferring time is introduced for each process. Also, the production capacity is estimated for the assumed master production schedule.

Key Words: MPS (Master Production Schedule), Production Capacity, Stochastic Discrete Event Simulation

1. 서 론

통상 자동차 및 가전제품은 신제품 개발 후에 공정 계획에 부합하는 생산자원계획 및 설비건설을 수행한다. 이와 달리 선박해양 구조물은 주어진 설비자원의 공법과 공정에 맞추어 생산된다. 따라서 선박해양구조물은 주어진 생산설비와 장비들을 변경하지 않는 ‘설비 고정형 전략’에 따라 설

계 및 생산이 수행되므로 제품 납기일 및 생산능력에 부합되도록 생산계획 및 설비활용계획을 수립해야 한다. 또한 신규 조선소의 설비계획을 수립하는 초기단계에서는 과거의 몇 년간 수주척수로부터 생성한 가상의 대일정 생산계획(선표계획)을 근거로 생산능력 및 설비배치계획을 평가하여야 한다.

그러나, 조선소 설비계획의 초기단계에는 생산량이 확정되지 않은 상태이기 때문에 생산성 및 설비부하의 적정성을 평가하기가 어렵다. 특히 가변적인 생산량을 기준으로 생산계획을 수립하기

[†]Corresponding Author, jh_lee@inha.ac.kr
©2012 Society of CAD/CAM Engineers

때문에 설비계획 또한 확정적이지 않은 특성을 지니고 있다. 따라서, 생산계획의 변화를 적절하게 반영하여 생산능력의 적정성을 파악하고, 생산물량 및 설비능력의 변화에 따른 생산성 예측이 중요한 의미를 갖는다.

현재 조선소의 설비계획은 생산계획 전문가의 경험 지식과 통계적인 자료를 근거로 장기간에 걸쳐서 설비 변경에 따른 생산성 변화를 확정적 방법으로 시행되고 있다. 특히, 신규 조선소의 경우 작업자의 업무미숙, 작업관리기준의 미흡, 공정 및 공법의 부정확, 생산 및 물류계획시스템 등의 불안정으로 인하여 계획했던 생산성이 달성되지 않고 생산활동에 많은 비용이 낭비되어 어려움을 겪는 경우가 빈번하다¹¹⁾. 또한 조선소에서 자재의 흐름은 비정형화된 송선(Routing)과 공법에 의존하고 있기 때문에 신규 조선소의 설비계획을 위해서는 전략선종에 따른 제품구조와 생산공법 및 설비 자원 등을 토대로 생산성 예측을 위한 체계적인 방법이 필요하다. 동시에 계획된 설비는 향후 변경이 어렵기 때문에 설비계획 초기단계에 적절한 설비계획을 선정하여야 한다¹²⁾.

생산능력의 적정성을 파악하기 위해서는 제품(Product) 정보, 공정(Process) 및 공법, 설비(Resource) 모델이 적절하게 모델링 되어야 한다. 그리고 여러 선평계획을 토대로 전략선종을 변화시켰을 경우에 조선소의 설비부하를 평가하고 그에 따른 설비 및 생산전략 변화를 평가할 수 있어야 한다. 따라서 생산량의 변화와 공정, 설비의 세 가지 요소를 복합적으로 고려한 시뮬레이션 모델을 이용한다면 효과적인 평가방법이 될 수 있다.

선박생산계획 및 일정계획에 따른 시뮬레이션은 이산 사건 시스템에 근거하여 수행한 연구로부터 사례¹³⁾를 찾아볼 수 있다. 이러한 연구들은 중일정 생산계획을 근거로 각 조선소 설비의 부하 및 생산량을 평가하기 위하여 이산 사건 시스템 시뮬레이션을 이용하였다. 다만, 이러한 연구는 각각 별개의 생산계획 시나리오에 따라서 확정적인 시뮬레이션 모델을 이용한 특징이 있다. 여기에 생산량과 생산계획의 불확실성을 감안하여 확률적 모델을 이용한 시뮬레이션 연구¹⁷⁾도 수행되었으나, 이 연구는 생산원가 중 인건비계산을 위한 목적으로 수행된 특징을 가지고 있다. 선박생산공정 중 선행의장 및 도장, 조립공정을 대상으로 중일정 생산 계획을 상세하게 평가한 연구^{14,8)}도 효과적

인 시뮬레이션 모델을 제시하였으나, 생산계획이 완벽하게 수립된 상태에서 평가할 수 있는 제약조건이 있다.

본 연구는 신규조선소의 설비계획단계에서 가변적인 대일정 생산계획을 적절히 반영하기 위한 방법으로 확률적인 모델을 이용한 이산 사건 시스템 시뮬레이션을 적용하고자 한다. 이를 통해 각 공정 별 처리물량에 따른 생산능력을 평가하고 적절한 설비계획 수립방안을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 선평 대일정 계획 평가를 위한 생산물량정보, 공정정보, 설비정보의 모델링 방법을 제시하였으며 이를 확률론적 이산사건 시뮬레이션 모델로 활용하기 위한 절차와 예제를 제시하고자 한다.

2. 선평 계획에 따른 생산량 예측

선박 및 해양구조물의 공정 및 설비자원은 강제적치, 강제분류 및 이송, 강제 전처리, 판재 성형 가공, 형강재 절단 및 성형, 소조립, 곡블록 조립, 판별 블록조립, 선행의장, 선행도장, 선행탑재(PE: Pre-Erection), 탑재, 안벽의장 등으로 구성되어 있다. 따라서 선평계획에 따른 시뮬레이션을 위해서는 ① 공정(공법) 정보, ② 각 공정에 해당하는 하위제품의 생산량정보, ③ 각 공정 별 생산설비에 대한 정보가 필요하다. 본 장에서는 이러한 각 정보를 PPR(Product, Process, Resource)로 분류하여 활용하기 위한 방안을 제시하고자 한다.

2.1 선종 변화에 따른 물량 정보

선주의 요구사항을 토대로 계약이 이루어지고 설계가 시작되면 선평계획, 각 호선의 공정 별 생산정보를 표현하는 IHOP(Integrated Hull & Outfitting Painting Plan)를 바탕으로 대일정 생산계획과 각 공장 별 중일정 계획, 그리고 소일정 및 작업계획을 수립한다. 이중 선평계획은 2~3년간 선박생산의 척수계획을 예측한 것으로 상세한 공정 별 생산량 및 생산계획이 완성되지 않은 정보이다. 즉, 중일정, 소일정, 작업계획 등과 같은 엄밀한 생산계획정보는 초기 조선소 설계 시에는 주어지지 않기 때문에 선평계획만을 이용한 생산물량 추정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 선평계획에 포함된 전략선종의 변화에 따른 물량 예측모델을 이용하고, 생산성예측을 위해 필요한 제

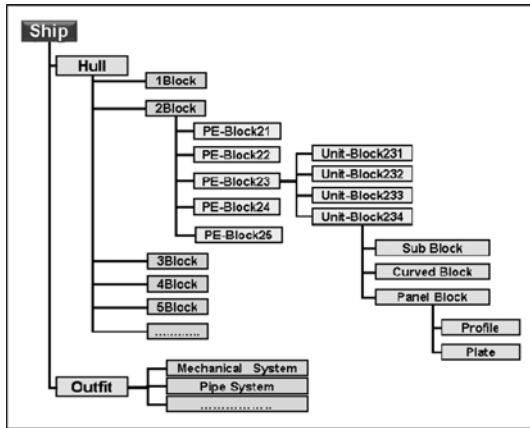


Fig. 1 Put figure caption here Put figure caption here

품생산량, 공정 및 설비 정보와 연관관계를 이용하여 설비계획의 평가과정을 제시하고자 한다.

2.2 제품, 공정, 설비 정보

2.2.1 제품(Product) 생산량 정보

공정 별 생산량정보를 파악하기 위해서는 선박의 WBS(Work Breakdown Structure)가 필요하다 (Fig. 1). 선박을 제품관점에서 분석해보면 크게 선체와 엔진이나 배관 등의 의장품으로 나눌 수 있다. 의장품은 선형의장 공법에 의하여 선체의 부품으로 간주되어 선체블록 조립계획에 반영되기 때문에, 본 연구에서는 선체블록 조립만을 고려한 WBS를 가정하였다. 선체의 기본단위는 블록(Block)으로 구성되며, 블록들은 각 생산공정 별로 선형 탑재블록, 중대형블록(Unit Block)과 이들을 구성하는 소블록(Sub Block)을 비롯하여 곡블록(Curved Block) 및 평블록(Panel Block), 그리고 최종적으로는 형강재(Profile) 및 판재(Plate)로 표현될 수 있다(Fig. 1). 한편, 선표단계의 생산량정보는 일반적으로 중량을 기준으로 표현할 수 있기 때문에 생산량의 단위를 중량(Ton)으로 가정하였다. 물론 이러한 생산량은 이를 처리할 각 공정과 설비를 지정함으로써 생산계획이 완성된다. 따라서 제품과 공정, 설비의 연관관계를 정의할 필요가 있다.

2.2.2 공정(Process) 정보

하나의 선박이 건조되는 동안 강재(Plate/Profile)는 강재적치에서부터 전처리, 절단 및 성형, 소조립, 중대조립, PE, DOCK, 안벽, 도장 등의 일련의 공정을 거친다. 선박의 의장품은 대부분 외부

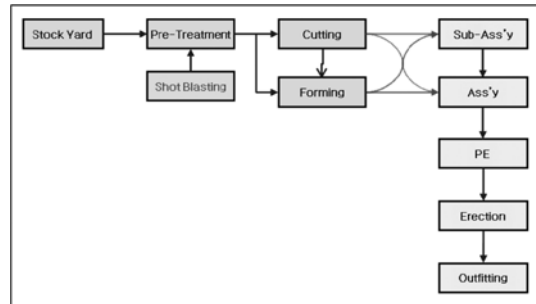


Fig. 2 Schematic process of hull block construction

에서 구매한 후 선형의장 작업을 거쳐서 설치되므로, 본 논문에서는 선체조립 공정만을 대상으로 적치공정에서 탑재공정까지 반영하였다. 그리고, 소조립을 기준으로 이전의 공정은 조립을 위한 각각의 부재(Part)들을 절단 및 성형하는 공정, 소조립을 포함한 이후의 공정은 제작된 소블록 부재들을 이용하여 블록을 조립하는 공정으로 구분하였다. 이는 선체조립의 생산부하단위가 톤(Ton)이고 강재적치, 전처리, 절단/성형공정은 선체의 원재료인 강판과 형강재가 소조립 이전에 각각 가공되고 이후에 서로 구분없이 조립되는 과정을 보이기 때문이다.

조립공정은 앞서 언급한 주요공정 별로 하위공정을 포함하고 있다. 예를 들면 부재절단 및 성형공정의 경우 하위공정으로 가스절단, 플라즈마(Plasma)절단, 프레스(Press) 성형가공, 선상가열(Flame Bending) 등의 설비에 따른 여러 종류의 하위공정으로 구성할 수 있다. Fig. 2는 선체조립공정의 개요를 나타낸 것이다.

2.2.3 설비(Resource) 정보

선체조립공정에 필요한 설비는 작업장(Area), 크레인(Crane), 운송장비, 용접장비, 절단 및 성형기기, 작업자 등 이다. 선체조립의 경우 주요공정만을 부하평가의 대상으로 가정한다면 작업장 및 세부설비는 공정과 동일한 것으로 간주할 수 있으며, 공정 간 물량의 이송은 각 공장 별 부하와 관련 있기 때문에 운송설비를 포함시켜 고려하여야 한다. 본 연구에서 작업장은 공정과 같은 의미로 정의하였고 작업자와 작업시간은 시뮬레이션 상에서 고정 값으로 가정하였기 때문에 물량 관점에서의 공정에 따른 설비는 해당 공정에서의 물량을 작업하고 운송하는 설비들로 제한하였다(Fig. 3).

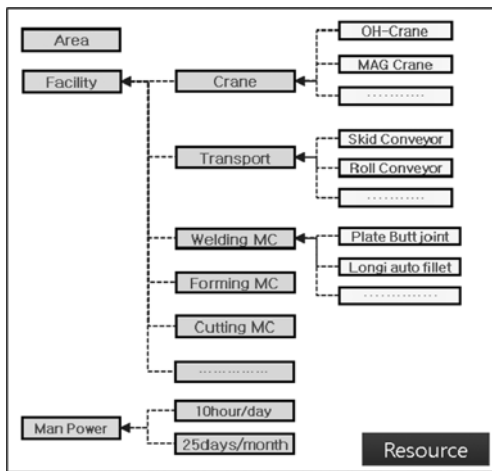


Fig. 3 Schematic process of hull block construction

Table 1 Working hours on simulation model

Working hours	10 hour/day
	25 days/month

Table 1은 본 시뮬레이션 모델에서 임의로 가정한 월간 및 1일 작업시간을 나타내고 있다.

예를 들어 초기 강재입고 후 전처리 공정을 거쳐 초기 가공단계인 절단/성형공정에서 물량을 가공하는데 관계된 설비는 크게 강재운반에 필요한 크레인 등의 운송장비와 절단/성형가공을 위한 기계장비류로 구분 지을 수 있다. Table 2는 절단/성형공장에 대한 운송설비 및 가공설비의 예를 보이고 있다.

또한 이 단계에서 Table 2의 설비자원을 정의하는데 있어 각각의 설비들이 가진 능력을 정의할 필요가 있다. 본 절에서의 각각의 설비용량을 정의하는 기준은 공정에서 해당설비들이 처리할 수

Table 2 Resources of cutting and forming process

Cutting	
Crane	Semi-Gantry, MAG-Crane, ETC
M/C	NC-Plasma cutting M/C
	NC-Gas cutting M/C
	Striping cutting M/C (Built-up, Flat bar)
	NC flame cutting M/C, NC flame planner, Flame profiler
	F. P(Skin)
	Semi auto cutting M/C, Edge grinding M/C
Line	Section auto cutting line, Section manual cutting line
ETC	Fume collector, Transfer car, Folk lift
Forming	
Crane	OH-Crane, Semi-Gantry crane, MAG-Crane
Equipment	Frame portal press (Bending of curved block plate)
	Plate press (Bending of bulkhead and large parts knuckle area)
	Roll press (Bending of flange and bracket knuckle area)
	Flange press (Bending of face flat)

있는 물량정보를 기준으로 각각의 설비용량을 정의하였다. Table 3은 Table 2의 가공공장에서 필요한 세부설비의 용량과 부하를 평가하기 위한 기준 척도를 비롯하여 해당되는 공정에서 처리하는 물량산정 기준을 위한 촌범(치수)의 예를 나타내고 있다. 이들 각각의 PPR(Product, Process, Resource) 정보들은 시뮬레이션 구현을 위하여 각 요소간의 연관성을 고려하여야 한다. 다시 말해, 선체조립

Table 3 Production capacity of cutting and forming shop

Cutting					
Plate/Profile	예상강재중량	Piece 당 중량	처리 Piece 수량	마킹속도	절단속도
기준촌범	Ton	Ton	pcs	mm/sec	mm/sec
Plate/Profile	Piece 당 처리시간	월간/일간 필요처리	필요 M/C 수	기기당 부하	버퍼용량
기준촌범	min	pcs	Pcs	%	m ² , pcs
Forming					
Plate/Profile	예상강재중량	Piece 당 중량	필요 M/C 수	Bending 용량	Piece당 처리시간
기준촌범	Ton	Ton	pcs	Ton	mm
Plate/Profile	월간/일간필요 처리Piece	처리 Piece수량		기기당 부하	버퍼용량
기준촌범	pcs	pcs		%	m ² , pcs

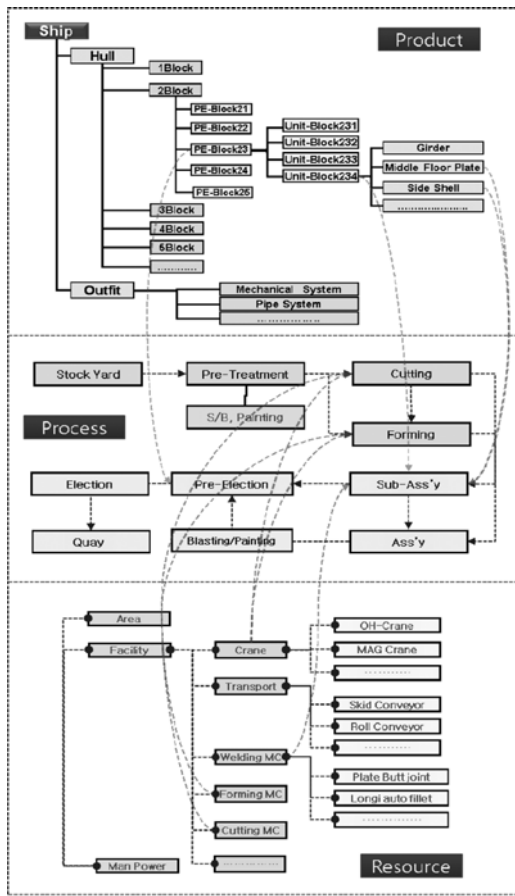


Fig. 4 Macro association of product, process and resource

에 있어 각 단계별 제품정보들이 어떠한 공정에서 어떠한 설비들에 의해 생산되는지에 대한 연관관계를 정의해야 한다. Fig. 4는 부품, 공정, 설비간의 관계를 개념적으로 표현한 것이며, Fig. 5는 절단/성형공정에 따른 갖춰진 설비를 비롯하여 세부설비의 용량과 부하를 평가하기 위한 기준 척도 및 해당공정에서 처리되는 생산물량의 산정을 위한 기준준법의 예를 나타내고 있다.

2.3 생산 물량 예측 모델

각 공정 별 생산계획량을 파악하기 위해서는 선종별 IHOP 정보가 생성되어야 하지만, 선표계획 단계에서는 얻을 수 없는 정보이다. 따라서 본 연구에서는 각 선종 별 강재중량은 선박의 주요요목 (L, B, D) 및 선종, 선종 별 강재 중량계수(C_{steel})^[9]를 이용하여 식 (1)과 같이 산정하였다. Table 4는 각 선종 별 강재중량계수이다.

$$W_{steel} = (L \times B \times D) \times C_{steel} \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 산정된 선종 별 생산중량을 각 공정 별 생산량으로 분류하기 위한 비율은 기존연구^[10]에서 제시한 것을 이용하여 계산하였다.

Fig. 6은 연간 Handy Max급 Chemical Tanker 17척을 대일정 생산계획으로 가정하고 각 공정 별 연간처리 물량(Ton)을 산출한 예시를 나타내고 있다. 그리고 각 공정 별 설비용량의 기준 준법에 따

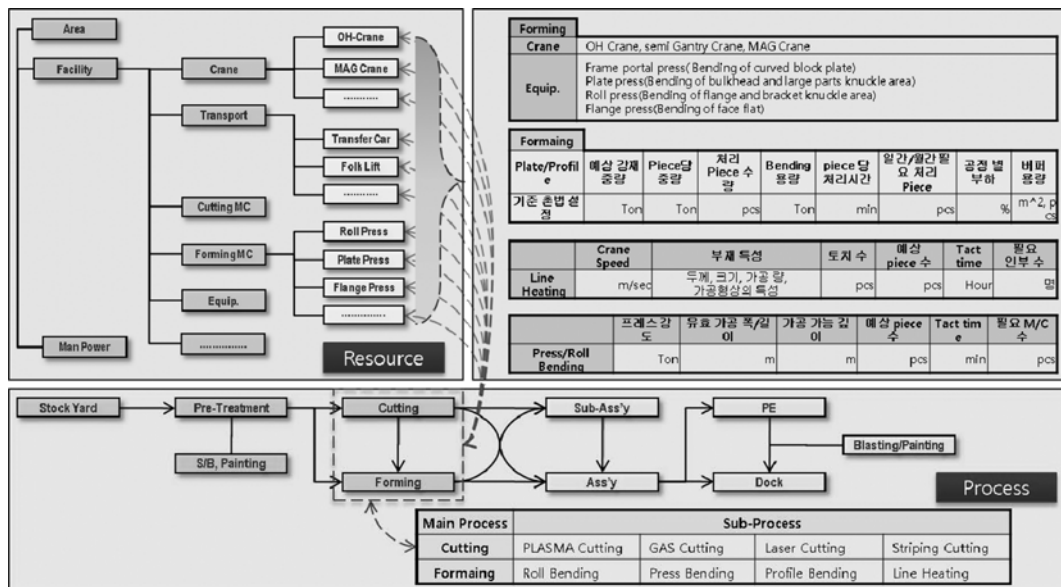


Fig. 5 Example of association of process and production capacity

Table 4 Weight coefficient according to ship type

Ship type	C_{steel}
Handy max	0.0671
Aframax	0.0602
Panamax	0.0603
Suez Max	0.0574
VLCC	0.0612
Container	0.0546

라 설비 당 연간 처리 물량을 정의하였다. Table 5는 Fig. 6의 공정 별 예상 처리물량에 대하여 전처리 공정의 설비 별 처리 물량을 정의한 예시이다.

3. 시뮬레이션 모델

3.1 확률 기반의 부하 평가

앞서 언급한 바와 같이 본 연구는 조선소 초기 설비 계획 및 생산능력 평가를 목표로 예상되는 대일정 생산 계획인 선평계획에 근거하여 대공정 별로 생산 물량을 예측하고 그에 따른 각 공정의 부하를 평가하는 과정으로 수행하였다. 평가에는 이산 사건 시스템(Discrete Event System) 시뮬레이션 방법을 이용하였으며, 실제로 각 공정 별 생산량은 확정적이라기 보다는 가변적이기 때문에 생산량 및 각 공정 별 소요시간은 확률모델로 가정하였다.

본 연구에서의 시뮬레이션 시나리오는 선평계획에 따라 결정된 각 공정 별로 제품개체(Entity)를 가정하고 해당 공정(Process)을 거쳐서 생산이 완료되는 순차적 과정이다. 앞서 언급한 바와 같이 각 공정 별 생산량 및 작업소요시간은 확률분포함수(Probability Distribution)로 가정하였다. 각 공정 별 생산량 및 소요시간에 대한 확률분포함수를 지정하는 절차는 ① 각 공정 별 사건 발생빈도를 히스토그램으로 표현한 다음에 ② 표현된 히스토그램에 해당하는 확률분포함수를 가정한다. 그리고 ③ 앞서 가정된 확률분포함수에 대한 적합도(Kolmogorov-Smirnov or χ^2)를 검증하는 절차를 거쳐 가정된 확률 분포함수에 대한 적절성을 분석하였다. 그리고 시뮬레이션 수행을 통해 제품개체가 공정을 거치는 과정에서 대기행렬(Queue)이나

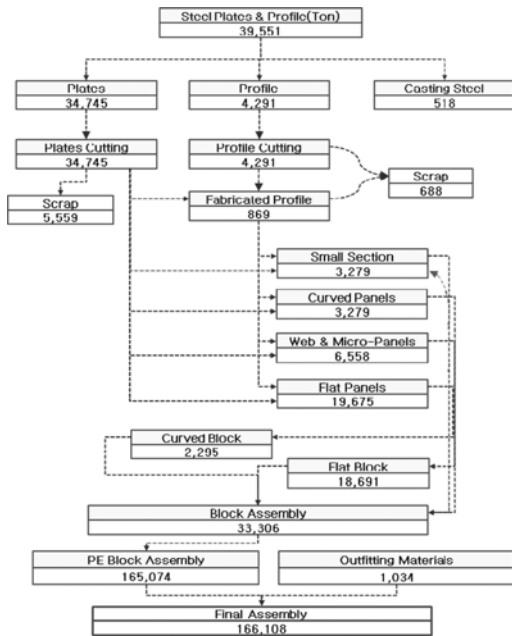


Fig. 6 Amount of production estimated based on the master production schedule

Table 5 Example of the amount of production for Pre-treatment process

PROCESS(Pre-Treat)	Gross Steel	
	Plate	Profile
전체 처리 중량 (Ton)	34,745	4,291
일간 처리 중량 (Ton)	115.82	14.30
일간 처리 부재 수 (No)	18	20
Conveyer Speed (m/min)	4.00	3.00
인입간격 (m)	1.00	1.00
부재 당 처리시간 (min)	4.75	6.33
시간당 처리 부재 (pcs)	12.63	28.42
일간 처리 가능 중량 (Ton)	1,617	213
라인 수	2	1
M/C Area (m^2)	750	750
Required Area (m^2)	750	750

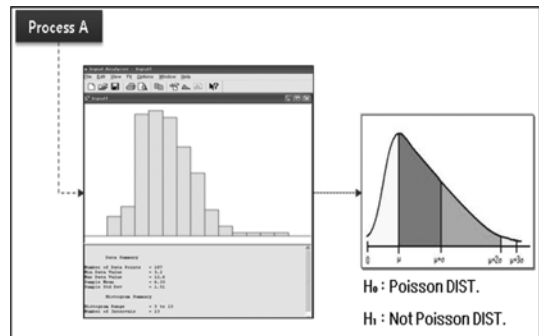


Fig. 7 Example of the calculation for probability distribution

시간 등을 파악하고, 대기행렬을 이용하여 해당공정의 설비에 대해 물량에 따른 부하를 평가하였다.

예를 들어 'A'라는 공정의 일간 처리물량이 시간에 따라 Fig. 7과 같이 예측되었다면, 예측된 히스토그램을 통해 확률분포함수를 Poisson분포로 가정한다. 그리고 귀무가설(H_0)은 'Poisson 분포이다', 대립가설(H_1)은 'Poisson 분포가 아니다'로 지정하였다. 그런 다음 식 (2)을 통해 적합도를 검증하게 되는데, 식 (2)에서 적용된 적합도 테스트 방법은 χ^2 적합도 검증방법을 이용하였다. 식 (2)을 통해 계산된 X_{cal} 값이 χ^2 분포표의 값보다 작을 경우 가정한 확률분포를 채택하게 된다(식 3). 여기서 f_o 는 구간별 사건 관측빈도, f_e 는 구간별 이론적인 사건 관측빈도를 의미한다.

$$X_{cal}^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (2)$$

$$X_{cal}^2 < X_{table}^2 \quad (3)$$

위에서 정의한 각 공정 별 생산량과 물량 처리 시간에 대한 확률분포 추출과정에 의거하여 각 공정 별 물량 도착과 공정시간의 확률분포함수를 Table 6과 Table 7에 정리하였다. 적치장의 강제입고 공정시간의 확률 분포는 지수분포로 가정하였으며, 절단 및 가공공정은 정규분포로 가정하였다. 소조립 공정은 Poisson분포로 가정하였으며,

평블록, 곡블록 및 대블록 조립은 삼각분포로 가정하였다. 다만, 적절한 확률분포함수는 현재 조선소 공정 별 실 계측정보로부터 파악할 필요는 있을 것으로 생각된다. 그리고 각 공정에서 공정으로 또는 각 설비에서 설비로의 물량이동에 대한 이동정보를 반영하여 상/하역에 따른 대기시간을 확률분포로 표현할 수 있다(Fig. 8). 본 연구에서는 갖춰진 설비에 대한 설비적정성을 평가하는데

Table 7 Probabilistic model of arrival time for each process

Stage of Process		Probability Distribution
Stock Yard		Exponential distribution
Pre-treatment		Continuous distribution
Cutting		Continuous distribution
Forming		Continuous distribution
Sub-Assembly	Small Section	Poisson distribution
	Web & Micro panel	Continuous distribution
	Curved panel	Continuous distribution
	Flat panel	Continuous distribution
Flat Block		Triangular distribution
Curved Block		Triangular distribution
Assembly		Triangular distribution
Dock		Poisson distribution
Pre-Erection		Continuous distribution
Painting		Continuous distribution

Table 6 Probabilistic model of process time

Stage of Process		Probability Distribution
Stock Yard		Uniform distribution
Pre-treatment		Uniform distribution
Cutting		Normal distribution
Forming		Normal distribution
Sub-Assembly	Small Section	Poisson distribution
	Web & Micro panel	Poisson distribution
	Curved panel	Poisson distribution
	Flat panel	Poisson distribution
Flat Block		Triangular distribution
Curved Block		Triangular distribution
Assembly		Triangular distribution
Dock		Poisson distribution
Pre-Erection		Continuous distribution
Painting		Continuous distribution

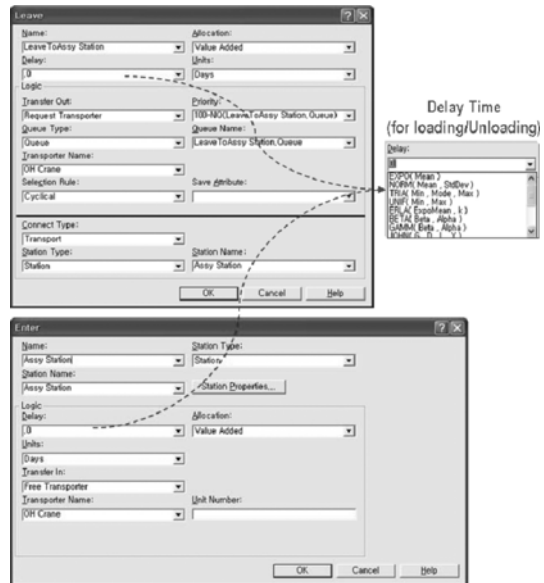


Fig. 8 Delay time for loading/unloading

초점을 맞추었으므로 물량 이동에 따른 대기시간은 없다고 가정하였다. 이는 향후 작업장(Yard)의 지리정보(GIS) 등을 이용하여 보완하여야 할 사항이다.

3.2 시뮬레이션 모델링

시뮬레이션 모델은 공정을 중심으로 해당공정에서의 처리물량과 물량처리를 위한 설비의 가동능력을 바탕으로 ARENA™를 이용하여 모델을 수립하였다. ARENA™는 갖춰진 설비에 대하여 시간에 따른 물량변화에 따라 가공설비의 물량처리능력의 부하 및 이용률, 공정 내 처리된 이산사건 분석 프로그램이다. 본 연구에서는 강제적치에서 탑재에 이르기까지 각각의 주요공정을 구분지어 해당 공정에서의 설비운용에 따른 세부공정은 개별적인 작업 스테이션(Station)으로 구현하였으며, 각 스테이션 별 구성 설비에 대한 물량처리 능력은 시간에 따른 가동률에 대하여 확률분포함수로 정의하였다. 또한 본 시뮬레이션 모델에서는 공정별 또는 설비 별 물량 이동에 따른 운송장비의 이동속도 및 이동거리 등의 간략한 정보를 정의하고 있다. 이들 정보는 작업장 내의 정확한 물류시스템을 표현하기 어려우므로, 향후 지리정보를 이용하여 물량이동에 따른 이동거리 및 경로 등에 대한 자세한 정보가 보강되어야 한다. 본 절에서는 앞서 정의한 각 공정 별 시뮬레이션모델 중에서 강판에 대한 간략한 몇 가지의 예제모델을 소개하고자 한다.

3.2.1 전처리 공정에 대한 시뮬레이션 모델

전처리 공정은 적치장에 생산에 필요한 강재가 입고된 후에 가공공정을 위해 거치는 공정으로, 전처리 공정에서 강재는 녹제거(Shot-blasting), 페인팅(Painting) 등의 몇 가지 공정을 통해 가공을 위한 강재로 만들어 진다. Table 8은 본 절의 시뮬레이션 모델에서 전처리 공정에 해당하는 세부 설비를 정의하고 있으며 Table 5의 물량정보를 이용하여 시뮬레이션 모델을 구성하였다.

본 시뮬레이션 모델에서의 강제이동은 지게차(Forklift) 및 컨베이어(Conveyor)를 통해 이동된다고 가정하였으며, 녹제거 및 페인팅공정을 가지는 전처리 공정라인(Line)은 2개로 가정하였다(Fig. 9).

Fig. 9는 전처리 공정에 대한 ARENA™상에서의 시뮬레이션 모델을 나타내고 있다. 앞서 언급

Table 8 Probabilistic model of arrival time for each process

Cutting	
Crane	Semi-Gantry, MAG-Crane(Plate & Profile)
M/C	Pre-heater
	Shot-blaster
	Primer painting, Reciprocator(Painting), Airless pump (Mixing Paint), Slat conveyor
	Dry tunnel, Dry chamber
	Dust collector
	Character marking conveyor
Conveyor	Roller conveyor, Trans conveyor
ETC	Transfer car, Folk lift

한 바와 같이 시뮬레이션 모델은 각 세부공정을 기준으로 스테이션을 구성하여 2개의 라인을 전처리 공정으로 정의하였으며, 전처리 공정으로의 강제입고 및 물량처리 능력은 Table 6와 Table 7에 언급한 확률분포함수를 이용하여 정의하였다. 시뮬레이션 모델의 시간기준은 1일별 작업시간을 기준으로 정했기 때문에 결과 값에서의 시간기준도 시간으로 산출된다.

본 전처리 공정에 대한 시뮬레이션 모델을 구동시켜 본 결과 전처리 공정으로 물량이 도착하고 세부공정으로 넘어가는 단계에서 대기행렬이 발생하는 것을 파악할 수 있었다(Fig. 9, Table 9). 이는 물량이 전처리 공정으로 도착하고 Line 1과 Line 2로 이동하는 단계 (LeaveToLine1, LeaveToLine2)에서 운송장비의 부족으로 대기행렬이 발생하는 것을 파악할 수 있다. 또한 운송장비의 부족으로 인해 원활하지 못한 물량공급으로 해당 공정에서의 설비이용률 또한 저하되는 것을 파악할 수 있었다(Table 10). 따라서 전처리 공정에서 대기행렬에 따른 대기시간 발생을 해결하기 위해 운송장비에 대한 증대가 필요한 것으로 파악할 수 있다.

3.2.2 절단 공정에 대한 시뮬레이션 모델

앞 절의 전처리 공정 후에 강재는 첫 번째 가공공정인 절단공정에서 향후 성형(Forming), 소조립(Sub-assembly), 조립(Assembly), 탑재(Erection) 공정에 필요한 부재(Part)로 가공되게 된다. 본 시뮬레이션 모델에서의 절단공정은 NC-Cutting, Flat

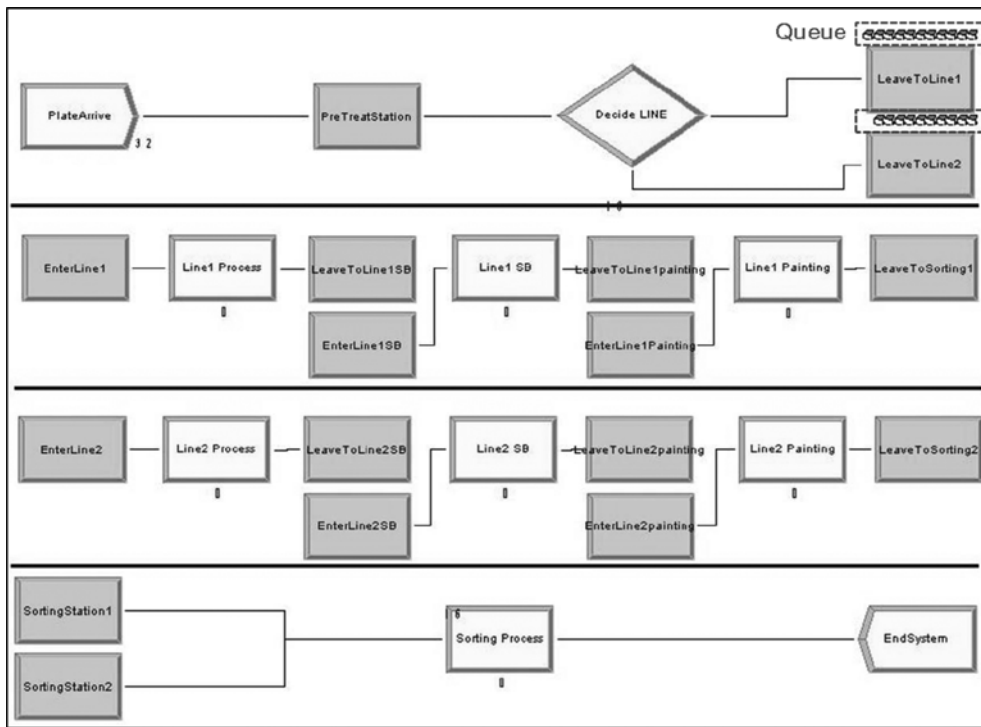


Fig. 9 Resource for pre-treatment process

Table 9 Queue of simulation model for pre-treatment process

Queue	Waiting Time (Hour)	
	Average	Maximum Value
LeaveToLine1. Queue	7.16	19.2
LeaveToLine2. Queue	10.67	15.74

Table 10 Resource utilization (for pre-treatment process)

Resource	Utilization
Line1 Process	0.044
Line1 Painting	0.034
Line1 SB(Shot-blasting)	0.047
Line2 Process	0.034
Line2 Painting	0.034
Line2 SB(Shot-blasting)	0.029
Sorting	0.066

bar, Built-up 등의 3가지 가공공정으로 정의하여 시뮬레이션 모델을 구성하였으며 각 하위공정에서의 설비는 1대씩 구성되었다고 가정하였다. 또한 가공 이후 성형 또는 소조립 공정으로 이동하

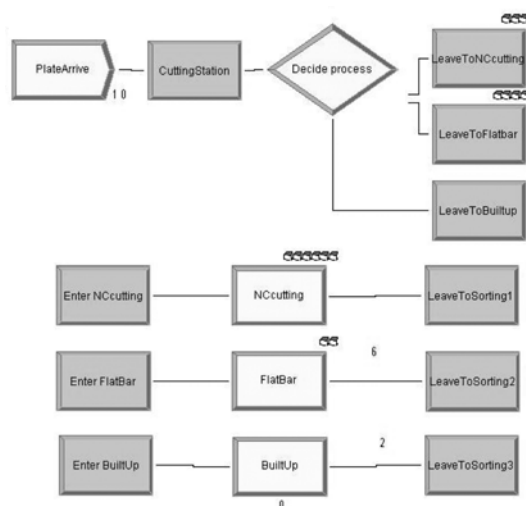


Fig. 10 Simulation model for cutting process

기 위하여 분류(Sorting)공정을 추가하여 시뮬레이션 모델을 구성하였다. Fig. 10은 ARENA™를 이용한 절단공정의 시뮬레이션 모델을 나타내고 있다.

본 절단공정에 대한 시뮬레이션 모델을 구동시켜 본 결과 절단공정으로 물량이 도착하고 세부공

Table 11 Queue of the simulation model for cutting process

Queue	Waiting Time (Hour)
	Average
LeaveToNCcutting. Queue	4.29
LeaveToFlatbar. Queue	2.37
LeaveToBuiltup. Queue	1.78

Table 12 Resource utilization (for cutting process)

Resource	Utilization
Built-up	0.405
Flat bar	0.349
NC-Cutting	0.389
Sorting	0.017

정으로 이동하는 과정을 비롯하여 해당공정에서 설비가 물량을 처리하는 과정에서 대기행렬이 발생하는 것을 파악할 수 있다(Fig. 10). 특히 전처리 공정과 마찬가지로 초기물량 도착 후 각 공정으로 이동하는 LeaveToNCcutting, LeaveToFlatbar 스테이지에서 운송설비의 부족으로 인하여 대기행렬이 발생하는 것을 파악할 수 있다(Table 11, Table 12). 따라서 절단공정에서 물량에 따른 운송설비의 증대가 필요함과 동시에 처리물량에 대한 각 하위공정에서의 설비효율을 높이기 위한 설비증대 및 감소여부를 판단할 수 있다.

3.3 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 신규 조선소 설비배치계획 시 물량정보에 대한 설비용량의 적절성을 분석하기 위해 가상의 물량정보에 대하여 공정 별 시뮬레이션 모델을 통해 설비 및 운송장비의 적절성을 분석하였다. 앞서 언급한 전처리 공정과 절단공정 이외에도 소조립, 조립, 탑재 등의 공정에 대한 설비 적정성을 분석하였으며 물량이동 및 처리시간을 확률분포함수를 기반으로 모델링하였다. 그리고 각 공정 별 시뮬레이션 수행결과 각 공정에서 운송설비 및 가공설비의 부족 또는 과잉으로 인해 생산효율이 낮거나 설비의 이용률이 현저하게 떨어지는 것을 파악할 수 있었다. 따라서 본 연구의 시뮬레이션 절차 및 방법론을 이용하여 조선소 초기설비 배치 단계에서 설비용량을 결정하고 배치를 구성하는데 유용하게 적용될 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 조선소 설비계획의 초기단계에서 설비부하평가를 위한 확률모델기반의 이산 사건 시스템 시뮬레이션 절차를 소개하였다. 조선소의 초기설비계획 및 시뮬레이션에 필요한 제품, 공정, 설비 기반의 데이터 모델링 방법과 관계사상, 공정시간 등의 정보를 제시하였다. 본 연구에서의 시뮬레이션 모델에서는 선평 대일정 계획에 부여된 시나리오에 의거하여 생산물량을 가정하였으며, 시뮬레이션 모델을 구현하는데 있어서 강제도의착시간 및 공정 별 작업시간과 운송장비 가동시간을 확률분포로 가정하여 반영하였다. 특히 전처리 공정을 비롯하여 절단공정에 대한 시뮬레이션 모델을 예시로 언급하였으며, 시뮬레이션 모델을 통해, 주어진 물량이 해당공정에서 처리되는 동안 대기행렬 및 대기시간이 발생하는지를 비롯하여 해당설비에 대한 이용률 및 생산부하를 분석하였다. 또한 물류측면에서 발생하는 대기행렬과 그에 따른 시간의 흐름을 반영하였다. 그러나, 시뮬레이션을 위한 확률모델은 임의의 분포로 지정되었기 때문에 향후 연구에서는 실제 정보를 이용하여 보완할 필요가 있다. 또한, 실제 조선소의 설비계획을 위해서는 조선산업에 대한 복수의 단위공정 또는 전체공정에 대하여 실질적인 데이터를 기반으로 확률 모델을 구축하여야 할 것으로 생각되며, 이는 향후 보완해야 할 부분으로 생각된다. 다시 말해, 향후 연구에서는 실제데이터를 기반으로 각 공정의 세부설비에 대하여 용량을 구체적으로 평가하고 이를 시뮬레이션에 구현하여 재평가함과 동시에 복수의 단위공정 및 조선소 전체공정에 대한 설비배치 시뮬레이션 모델을 연구할 필요가 있다.

감사의 글

본 논문의 내용은 과학재단 특정기초연구(R01-2009-0080880, 지능형 Data Interaction 정보를 가진 확장형 선박 PLAM 시스템) 및 지식경제부 산업융합원천기술개발사업(10035331, 시뮬레이션 기반의 선박 및 해양플랜트 생산기술 개발)으로 지원된 연구 결과의 일부이며, 연구 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Song, Y. J., Lee, D. K., Choe, S. W., Woo, J. H. and Shin, J. G., 2009, A Simulation-Based Capacity Analysis of a Block-Assembly Process in Ship Production Planning, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(1), pp. 78-86.
2. Chabane, H., 2004, Design of a Small Shipyard Facility Layout Optimised for Production and Repair, *Symposium International: Qualite et Maintenance au Service de l'Enterprise QUALIMA01- Tlemecen*.
3. Shin, J. G., Lee, J. H. and Woo, J. H., 2001, Digital Shipbuilding, *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 38(1), pp. 54-61.
4. Woo, J. H., Oh, D. K., Lee, C. J., Choi, Y. R. and Shin, J. G., 2006, Simulation Modeling Methodology and Simulation System Architecture for Shipbuilding Processes, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 11(1), pp. 11-19.
5. Lee, C. J., Lee, J. H., Woo, J. H., Shin, J. G. and Ryu, C. H., 2007, A Study on Discrete Event Simulation of Shipyard Outdoor Block Movement, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(6), pp. 647-656.
6. Nedeß, C., Friedewald, A., Wanger, L. and Hubler, M., 2006, Simulation of material flow processes in the planning of production spaces on shipbuilding, *The 5th International Conference on Computer Applications*.
7. Dain, O. and Pardoe, I., 2006, Stochastic shipyard simulation with SIMYARD, *Proceeding of 2006 Winter Simulation Conference*, Monterey, CA, USA, pp. 1770-1778.
8. Yoon, T. H., Lee, H. Y. and Kang, Y. W., 2009, An application of Digital Virtual Factory and Process Simulation for Shipbuilding Assembly shop, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference*, PyeongChang, Korea, pp.475-481.
9. Park, J. H., 2006, *A Study on Shipyard Layout Arrangement by Estimation of Production Capacity*, Master Thesis, INHA University.
10. HHI(Hyundai Heavy Industry), 1991, *Manufacturing System of Shipbuilding – Automation System for Cutting, Forming and Assembly Process*, Ministry of Science and Technology, Korea.



김 광 식

2009년 인천대학교 산업경영공학과 학사
 2011년 인하대학교 조선해양공학과 석사
 2012년~현재 인하대학교 대학원 조선해양공학과 박사과정
 관심분야: 디지털 선박 생산 시스템(Digital Manufacturing), 함정 Modeling & Simulation, 함정 생존성(Survivability)



황 호 진

1997년 연세대학교 기계공학과 학사
 1999년 연세대학교 기계공학과 석사
 2003년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2003년~현재 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 선임연구원
 관심분야: Ship STEP, PLM, Modeling & Simulation, Simulation based Production



이 장 현

1993년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 1995년 서울대학교 대학원 조선해양공학과 석사
 1999년 서울대학교 대학원 조선해양공학과 박사
 1999년~2002년 서울대학교 공학연구소 연구원
 2002년~2005년 ㈜지노스 대표이사, PLM 컨설팅 사업본부장
 2005년~현재 인하대학교 조선해양공학과 부교수
 관심분야: PLM/PDM(제품생애주기관리), e-Manufacturing 시스템, 용접 및 선체 외관 곡면 가공, 함정 생존성 해석, LNG 슬로싱 해석 및 설계