



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

시뮬레이션을 활용한 강재적치장 운영  
효율화 방안에 관한 연구

Study on the operation efficiency of steel stock yard using simulation

지도교수 우 종 훈

2019년 8월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과

김 상 훈

본 논문을 김상훈의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장      박 주 용      (인)

위    원      남 중 호      (인)

위    원      우 중 훈      (인)

2019년 07월 01일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

<b>List of Tables</b> .....	iii
<b>List of Figures</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>1. 서 론</b> .....	1
1.1 연구배경 .....	1
1.2 관련 연구 동향 .....	3
1.3 연구 목적 .....	5
<b>2. 적용개념</b> .....	6
2.1 이산 사건 시뮬레이션 .....	6
2.1.1 Resource centric simulation .....	6
2.1.2 Process centric simulation .....	8
2.2 AnyLogic 솔루션 .....	9
2.3 경제성 분석 .....	11
<b>3. 강재적치장 분석</b> .....	14
3.1 조선소 강재 주문 프로세스 .....	14
3.2 조선소 강재 입고 및 불출 프로세스 .....	15
3.3 강재적치장 운영상의 문제점 .....	17
3.4 강재적치장 레이아웃 분석 .....	18
3.5 강재적치장 강재 정보 분석 .....	21

<b>4. 강제적치장 모델링</b> .....	23
4.1 강제적치장 시뮬레이션 플랫폼 .....	23
4.2 강제적치장 운영 프로세스 정의 .....	24
4.3 시뮬레이션 단위 모델 구현 .....	31
4.3.1 시뮬레이션 단위 모델 검증 .....	31
4.4 시뮬레이션 모델 구현 .....	33
4.4.1 객체(Agent) 정의 .....	33
4.4.2 시뮬레이션 변수 정의 .....	36
4.4.3 Collection 정의 .....	39
4.4.4 Statechart 정의 .....	41
4.5 강제적치장 시뮬레이션 모델 구축 .....	43
<b>5. 강제적치장 시뮬레이션 수행 및 결과 분석</b> .....	56
5.1 시뮬레이션 케이스 정의 .....	56
5.2 시뮬레이션 결과 지표 정의 .....	58
5.3 시뮬레이션 결과 분석 .....	59
5.4 TDABC 분석 .....	63
5.5 강제입고계획 수립 .....	76
<b>6. 결론</b> .....	78
6.1 연구 결론 .....	78
References .....	79

## List of Tables

<b>Table 1</b>	The information of steel stock yard .....	19
<b>Table 2</b>	The data of received steel plate .....	21
<b>Table 3</b>	The example data of received steel plate .....	22
<b>Table 4</b>	The table of the structure of agents .....	36
<b>Table 5</b>	The parameters using in simulation .....	38
<b>Table 6</b>	The kinds of structure of Collection function .....	39
<b>Table 7</b>	The major methods of declared in the Collection interface ....	40
<b>Table 8</b>	The Collection functions using in steel stock yard simulation	41
<b>Table 9</b>	The descriptions of crane statechart .....	43
<b>Table 10</b>	The description of functions .....	46
<b>Table 11</b>	The kinds of legends to describe crane work condition .....	52
<b>Table 12</b>	The cases using basic logics .....	57
<b>Table 13</b>	The cases using logics considering the deliver / release characteristics .....	57
<b>Table 14</b>	The index for case comparison .....	58
<b>Table 15</b>	The results of daily output & stock level(Pre selection start before release D-4) .....	60
<b>Table 16</b>	The results of daily output & stock level (The least / The least) .....	61
<b>Table 17</b>	The operation cost of steel stock yard .....	63
<b>Table 18</b>	The supplied cost per capacity of steel stock yard work .....	65
<b>Table 19</b>	The actual supplied cost related to labor costs .....	66
<b>Table 20</b>	The actual supplied cost except labor costs .....	67

<b>Table 21</b> The actual supplied cost per capacity of steel stock yard work .....	69
<b>Table 22</b> The number of work event during simulation(CASE30) .....	71
<b>Table 23</b> The variables of work input ratio for each type of work(CASE30) .....	72
<b>Table 24</b> The costs of 1 Bay deliver work for each work type .....	73
<b>Table 25</b> The comparison the cost among cases .....	75
<b>Table 26</b> The comparison the cost and move distance among cases ...	76
<b>Table 27</b> The repaired steel plate deliver planning .....	77

## List of Figures

<b>Fig. 1</b>	The framework of steel stock yard management system .....	5
<b>Fig. 2</b>	The example of resource centric simulation .....	7
<b>Fig. 3</b>	The example of process centric simulation .....	8
<b>Fig. 4</b>	Simulation tools market shares / mind shares in 2016 .....	9
<b>Fig. 5</b>	The kinds of agents .....	10
<b>Fig. 6</b>	The process of traditional cost analysis .....	11
<b>Fig. 7</b>	The process of ABC analysis .....	12
<b>Fig. 8</b>	The method that No.1 steel plate should be out from the stockyard .....	15
<b>Fig. 9</b>	The graph of development of container ship size .....	17
<b>Fig. 10-(a)</b>	The method of piling steel plate in middle/long stockyard .....	19
<b>Fig. 10-(b)</b>	The method of piling steel plate in short stockyard .....	19
<b>Fig. 11</b>	The layout of steel stock yard .....	20
<b>Fig. 12</b>	The simulation platform of steel stock yard simulation .....	24
<b>Fig. 13</b>	The flow-chart of the steel stock yard process .....	25
<b>Fig. 14</b>	The flow-chart of the crane process .....	26
<b>Fig. 15</b>	The flow-chart of the algorithm for choosing the steel plate to move .....	28
<b>Fig. 16</b>	The flow-chart of the algorithm for choosing where the steel plate should be moved .....	30
<b>Fig. 17</b>	The initial screen of the reduced model simulation .....	31
<b>Fig. 18</b>	The excel file saving the work order and work record .....	32
<b>Fig. 19</b>	The list of the work order and work record .....	32

<b>Fig. 20</b>	The list of agents of steel stock yard .....	34
<b>Fig. 21</b>	The structure of agents .....	35
<b>Fig. 22</b>	Statechart of crane .....	42
<b>Fig. 23</b>	The general configuration of screen of steel stock yard simulation .. .....	44
<b>Fig. 24</b>	The advanced configuration of screen of steel stock yard simulation .....	45
<b>Fig. 25</b>	The process model of steel stock yard .....	46
<b>Fig. 26</b>	The shape model of steel stock yard .....	48
<b>Fig. 27</b>	The method to reflect work schedule using schedule function	49
<b>Fig. 28</b>	The excel file saving the process logs .....	50
<b>Fig. 29</b>	The initial screen of steel stock yard simulation .....	51
<b>Fig. 30</b>	The screen of Crane Statistics .....	53
<b>Fig. 31</b>	The screen of Daily Output .....	55
<b>Fig. 32</b>	The graph of total move distance of cranes .....	62

# Study on the operation efficiency of steel stock yard using simulation

Kim, Sang Hun

Department of Naval Architecture and Ocean System Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

In shipbuilding industry, The steel plate is a representative material constituting the structural part of the hull such as outer panel, inner panel and reinforcing material, which corresponds to about 10% to 12% of the ship price. These steel plate that are produced in steelworks is come in the shipyard and sent to steel stock yard. Therefore, in order to prevent the delay of the process and to observe the delivery date, a management system is required to allow the stocked steel to be input to the pre-treatment process in a timely manner. However, the steel plate used in the shipyard varies in size and material, and the contracts are concluded for several steelworks, so that the variability of the day of arrival is large. Therefore, time and cost are wasted due to the relocation of the steel during the process of moving the steel plate during the stacking and dispensing operations. In order to solve these problems, this study constructed dispatching model by using discrete event simulation(DES). Through this, it is aimed to explore the best way to operate the steel stock yard efficiently while minimizing the movement fo the crane while maintaining the quality of the steel plates.

**KEY WORDS:** Shipyard 조선소; Steel stock yard 강재적치장; Discrete event simulation 이산 사건 시뮬레이션

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경

대한민국 조선업은 높은 기술력과 풍부한 선박 건조 경험을 바탕으로 세계 조선업 시장에서 높은 경쟁력을 보유하고 있다. 2011년 중국이 값싼 노동력과 정부의 전폭적인 지원을 바탕으로 조선업 분야에 투자를 본격적으로 시작하고 국제 유가의 하락이 지속되면서 국내 조선업 시장이 침체 되어왔었지만, 영국의 조선/해운 분석기관인 Clarkson research에 따르면 우리나라가 2018년 전 세계 선박 발주량 2860만 CGT 가운데 1263만 CGT(44.2%)를 수주해 34%인 중국을 제치고 7년 만에 선박 수주 실적 세계 1위를 탈환하였다. 하지만 현재까지도 중국에게 선가 경쟁력부분에서는 크게 떨어지는 상황이다. 따라서 국내 조선소는 선박 건조 과정에서 발생하는 낭비요소를 줄이고 공정의 운용 효율을 높임으로서 가격 경쟁력을 확보하는 것이 필수적인 요소라고 할 수 있다.

조선소는 강재적치장을 운용하는데 있어 강재 시장 상황, 생산계획의 진척상황은 강재적치장 내 강재보유량에 큰 영향을 준다. 강재 시장의 경우, 2018년 하반기 부터 철강업계가 조선소에 공급하던 후판 가격을 기존보다 톤 당 5~7만원 인상하기로 결정하였다. 선박 건조에서 후판은 두께 6mm 이상의 두꺼운 철판으로써 일반적으로 선박 건조 비용의 약 20% 가량을 차지한다. 한국조선해양플랜트협회에서는 약 5만원의 후판 가격의 인상은 약 3000억의 추가적인 비용 부담이 발생할 것이라 예측한 것으로 보아 강재의 물가가 선박 건조에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 조선소는 강재의 물가 변동 폭을 고려하여 강재를 미리 구매하기도 한다. 또한 조선소에서 취급되는 강재의 종류는 투입되는 블록과 용도에 따라 일반강, 고강도강, 탄소강 등으로 분류되고 있다. 여러 선박이 동시에 작업되는 조선소 특성 상 사용되는 강재의 수가 많고 종류가 다양하기 때문에 한 제철소에서 필요한 모든 강재를 조달하는 것은 한계가 있다. 따라서 여러 제철소로부터 강재를 조달하는 과정에서, 강재조달기간의 편차가 커지게 되고, 이로 인한 생산계획의 변동으로 인해 강재가 적치장에 머무는 기간에 영향을 주게 된다. 조선소 생산계획의 경우, 기계에 의한 자동화 보다는 현장의

작업환경이나 작업자의 숙련도에 따라 공정 시간이 단축/지연되는 조선소 특성상 잦은 계획 수정이 불가피하다. 따라서 강재의 구매를 담당하는 구매부서에서는 설계부서에서 취재(pre\_nesting)작업을 통해 파악된 강재의 크기와 양에 관한 정보를 바탕으로 강재적치장의 강재보유량과 생산계획의 진행상황 및 강재물가 등과 같은 요소들을 고려하여 강재를 안정적이고 경제적으로 확보하기 위해 국내 및 국외 제철소들과 협상을 한다. 국내 H조선소의 경우 일반적으로 S/C(steel cutting)일을 기준으로 수입 강재의 경우 약 120일 전, 국내 및 일본 강재의 경우 약 60일 전에 제철소와 계약을 체결한다(Park & Park, 2005). 계약된 강재들에 대해 제철소는 강재를 생산하기 시작하며 제철소에서는 조선소에 입고 예정인 강재들에 대한 목록을 입고 1~2주 전에 전달하고 있고, 조선소는 해당 목록을 바탕으로 강재의 베이 할당 및 적치 계획을 수립하고 있다. 따라서 조선소 내에서는 현재 보유하고 있는 강재를 실시간으로 파악하여 불필요한 강재의 주문을 지양하고 구입한 강재를 효과적으로 관리하고 필요한 강재만 적시에 공급될 수 있도록 할 필요가 있다.

강재적치장은 선박 건조 프로세스의 첫 단계로서 구매된 강재를 보관하고, 적정의 강재를 전처리 공정 또는 절단 공정으로 공급하기 위해 선별 작업이 이루어지는 곳이다. 여기서 선별 작업은 불출 날짜에 해당하는 강재를 신속하게 공급하기 위해, 불출 대상 강재를 독립적인 공간에 분류해 놓는 작업을 의미한다. 생산이 완료된 제철소에서 강재를 조선소의 강재적치장으로 바지선이나 차량을 통해 입고가 되면, 강재는 우선적으로 임시적치장에 적치가 된다. 적치된 강재들은 강재적치장을 관리하는 가공부에서 수립한 적치 계획에 따라 강재를 주적치장으로 이동 및 적치한다. 입고강재에 대한 적치작업을 수행하면서 현장 작업자의 판단에 의해 적치된 강재들은 절단공정의 작업계획에 따라 불출예정인 강재들에 대해 미리 불출장소인 컨베이어에 가까운 전처리 대기 적치장으로 이동 적치하는 선별 작업을 수행 후 최종적으로 불출날짜에 강재들을 불출하게 된다.

강재적치장은 위와 같이 입고, 적치, 선별, 불출의 일련의 프로세스로 작업을 수행하고 있지만, 강재를 적치하고 불출하면서 생기는 강재의 재배치로 인한 시간 및 비용의 낭비가 발생하고 있다. 따라서 조선소에서는 강재적치장을 대상으로 강재의 위치 및 속성정보를 실시간으로 파악하여 현장의 작업자들에게 빠른 의사결정을 지원할

수 있는 시스템 개발에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 하지만 시스템을 활용해 적치장의 현황을 파악 할 수 있음에도 불구하고 현장 작업자가 시스템에 대한 숙련도가 떨어지거나 작업자가 교체되는 경우 작업자의 의사결정에 직접적인 도움을 줄 수 있는 강재의 적치, 재배치 및 선별로직에 관한 연구는 부족한 상황이다.

## 1.2 관련 연구 동향

적치장을 대상으로 진행한 연구의 경우, 조선 산업의 강재적치장 뿐만 아니라 완제품을 만들기 위해 자재들을 관리하는 타 제조업, 유통산업에서 관리하는 물류창고 등 적치 작업이 필요한 모든 분야에서 연구가 이루어지고 있다. 하지만 고하중의 강재를 이동한다는 점과 강재를 이동하는 작업을 수행할 때 크레인을 활용한다는 점을 보았을 때, 항만 컨테이너 부두에서 컨테이너의 적치 및 불출과 관련된 작업이 조선소의 강재적치장의 상황과 유사하다는 것을 알 수 있다. 따라서 조선소의 강재적치장에서 강재의 관리에 관한 연구와 항만 컨테이너 부두의 컨테이너 관리에 관한 연구 사례 위주로 동향을 파악하였다.

Park & Park (2005)에서는 국내 H 조선소의 강재적치장을 대상으로 수행한 산학 협동 프로젝트(HYSSOP)를 소개하였다. 프로젝트에서는 강재적치장 내에서 안정적인 강재 공급 및 확보를 목표로 수행되었고, 이를 위해 강재적치장 운영을 위한 시뮬레이터를 개발하였다. 이를 통해 강재적치장 운영절차를 규정하고, 현 상황 및 문제점을 분석 하고자하였다. 해당 연구에서는 시뮬레이터 개발을 위해 조선소 내에서 강재적치장의 역할을 정의하고 강재적치장의 전반적인 프로세스를 상세히 파악하여 이로 인해 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 시뮬레이터를 구축했다는 점에서 의의가 있다.

Lee, et al. (2014)에서는 강재적치장의 강재를 통합 관리하기 위한 시스템을 개발하였다. 이를 위해 강재 입고 관리 프로그램, 신시간 크레인 추적 시스템, 실시간 강재 모니터링 프로그램, 강재 적치장 운영 프로그램으로 시스템을 구성하여 강재적치장 내의 강재 적치 관리 업무의 효율성을 향상 시켜보고자 하였다. 해당 연구를 통해 현업에서 현장작업자들의 숙련도를 바탕으로 강재의 위치를 파악하고 적치장의 상황을 파악하던 과거와는 달리 시스템을 구축하여 작업해야할 강재를

실시간으로 파악할 수 있게 되었고, 적치장의 부하를 실시간으로 파악하여 현장작업자들의 의사 결정에 도움을 주었다는 점에서 의의가 있다. 하지만 해당 시스템의 경우 강재의 이동에 대한 판단은 작업자에게 맡기고 있다는 점, 작업자의 판단 외에 강재적치장의 효율성을 높이기 위한 방법을 제안해주진 못한다는 점에서 한계가 있다.

Yang & Choi (2002)은 컨테이너 터미널의 계획을 지원하기 위한 컨테이너 터미널 설계용 시뮬레이션 모델링의 개발방향을 제안하였으며, 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 작성된 객체지향형 통합 계획 시뮬레이션 모델의 내용을 제시하였다. 해당 연구에서는 컨테이너터미널의 운영방식을 단계별로 정의하고 야드 운영 규칙 및 야드의 적치장 할당 방식을 규칙을 정의하여 규칙에 의해 시뮬레이션이 수행되도록 했고, 이를 통해 궁극적으로 강재적치장의 운영 최적화 및 자동화 가능성을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 하지만 시뮬레이션 대상이 컨테이너 터미널을 대상으로 했다는 점, 한 구역에 적치되는 개수가 조선소 강재적치장에 비해 적기 때문에 해당 연구에서 제시한 규칙을 적용하기 어려운 점의 한계가 있다.

Kim & Nam (1998)은 항만 컨테이너 부두에서 현장 작업자들에 의해 수행되던 컨테이너 적치 작업의 한계를 파악하고 개선 방안을 제시하여 실제 터미널 설계 및 운영 개선에 사용될 수 있는 시뮬레이션 시스템을 설계하였다. 해당 연구에서는 시스템 내의 컨테이너 터미널을 운영 프로세스를 Flow-chart를 활용하여 프로세스 마다 자세히 정의해 놓았고, 시뮬레이션 시에 고려되어야할 장비 종류별 소요 대수, 터미널 블록 수, 컨테이너 종류 비율, 컨테이너 장치 위치 결정 규칙 등 다양한 변수를 활용하여 시뮬레이션 결과를 비교했다는데 의의가 있다.

이와 같이 조선소 강재적치장과 컨테이너 부두를 대상으로 연구가 많이 수행되었다. 하지만 제품이 입고되었을 때 특정한 규칙에 의해 제품을 적치하고 분류하는 방법에 대한 연구는 컨테이너 부두를 대상으로는 많은 연구가 진행되었지만, 조선소의 경우 연구가 미흡한 실정이다.

### 1.3 연구 목적

본 연구에서는 상용 DES 소프트웨어인 Anylogic을 활용하여 시뮬레이션 모델을 구축하고 현장에서 작업을 수행하기 전 시뮬레이션을 통해 강재의 적치, 재배치 및 선별 작업 시 사전에 정의한 로직에 의해 옮겨야 하는 강재를 선택 및 이동해야 하는 적치장을 미리 선택해보고 그 결과를 확인해 봄으로서 현장 작업자들이 작업의 순서를 판단하는데 도움을 주고자하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있는 크레인 작업 상태 변화와 시뮬레이션 결과와 관련된 정보를 지표로 정의하여 보여주고 작업을 수행하는데 필요한 원가분석을 TDABC 분석을 통해 수행해 봄으로서 입력 데이터에 대해 가장 적합한 케이스를 선택할 수 있는 근거를 마련하고, 회사의 이익 측면에서 강재적치장을 얼마나 경제적으로 운용할 수 있는지를 알아보고자 하였다. 최종적으로 가장 적합한 케이스를 통해 구해진 시뮬레이션 결과를 바탕으로 강재가 적치되는 베이 내 저장 위치에 관한 정보와 강재별 이적 횟수를 강재 입고 계획에 추가적으로 제공함으로써 실제 작업 강재 입고 계획 수립 시 입고 날짜와 입고 베이만을 바탕으로 작업자 판단에 의해 최초 적치 구역을 판단하던 기존 방법에서 작업자의 개입을 최소화하여 최초적치 시 의사결정 시간을 줄임으로서 운영 효율을 높여보고자 하였다.

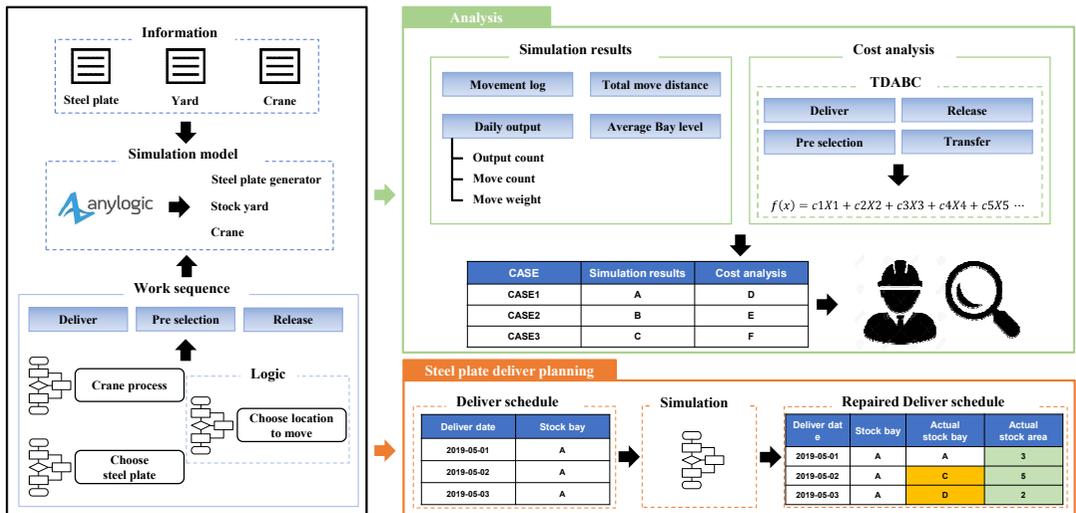


Fig. 1 The framework of steel stock yard management system

## 제 2 장 적용개념

### 2.1 이산 사건 시뮬레이션

이산 사건 시뮬레이션(discrete event simulation, DES)은 이산 사건 시스템을 기반으로 하는 시뮬레이션이다. 이산 사건 시스템은 기준이 되는 시간의 한 시점에서 시스템의 상태를 변화시키는 이벤트가 발생할 때 시스템의 상태가 바뀌는 원리로 구동된다. 예를 들어, 강재적치장을 이산 사건 시뮬레이션을 기반으로 구현한다고 가정하자. 시간  $t$ 에 따라 적치장 내부에 강재가 들어온다면 강재의 재고 수준을 나타내는 시스템  $X(t)$ 의 상태를 1로 변화시키고, 그 외에는 0으로 변화시킨다면  $X(t)$ 의 함수는 아래 (1)과 같다.

$$X(t) = \begin{cases} 1, & \text{if a steel plate arrives at time } t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

강재적치장에서 강재의 개수를 변화시키는 요인은 새로운 강재의 입고 혹은 불출해야 하는 경우가 있을 것이다. 따라서 시간  $t$ 를 기준으로 새로운 강재가 들어오는 이벤트가 발생한다면 시스템  $x(t)$ 의 상태는 1로 바뀔 것이고 강재를 불출해야하는 이벤트가 발생하면 시스템  $x(t)$ 의 상태는 0으로 바뀔 것이다. 이렇게 사건의 발생으로 인하여 시스템의 상태가 바뀌는 시스템을 이산 사건 시스템이라고 한다. 이산 사건 시뮬레이션은 정의된 이벤트가 발생하지 않으면 해당 시뮬레이션 모델은 계산을 수행하지 않고 대기 상태를 유지하게 된다. 따라서 시스템에서 불필요한 부하가 발생하지 않는다는 장점이 있다.

#### 2.2.1 Resource centric simulation

리소스 중심의 시뮬레이션이란 시뮬레이션 모델을 구성할 때 공정을 구성하는 기준이 리소스가 되며 이산 사건 시뮬레이션에서 이벤트 발생의 주요 요소는 리소스가 된다.

리소스 중심의 시뮬레이션은 모델링할 대상이 선정되면 정해진 레이아웃을 바탕으로 대상을 이루고 있는 리소스를 구현하게 된다. 배치된 리소스는 시뮬레이션을 진행하면서 정해진 흐름을 따라 작업을 수행하게 된다. 리소스 기반의 모델링 방법은 소품종 대량 생산 방식에 적합하며 리소스를 중심으로 제품이 흘러가기 때문에 리소스별 작업내역을 파악하기가 용이하며 공장단위의 생산 흐름을 파악하는데 용이하다. 하지만 리소스 중심으로 시뮬레이션이 구성되기 때문에 공정별로 흐름을 파악하기에는 어려운 점이 있다. 대표적인 리소스 중심 시뮬레이션으로는 컨베이어 라인을 따라 제품이 생산되는 자동차 산업을 그 예로 들 수 있다(Fig. 2).

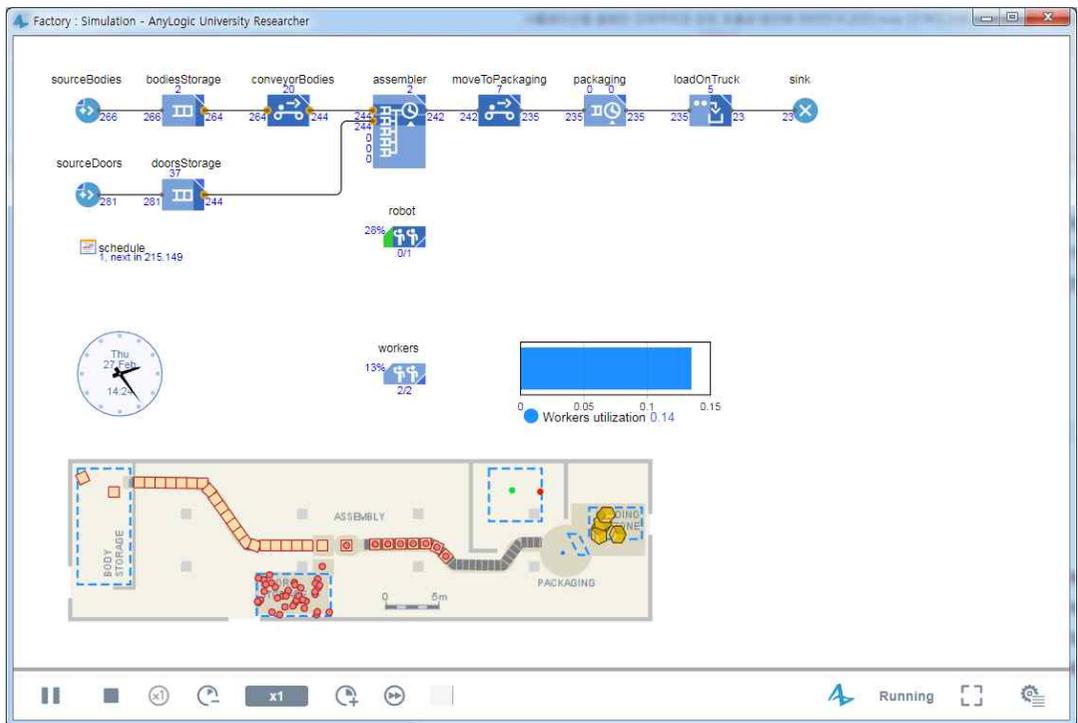


Fig. 2 The example of resource centric simulation

## 2.2.2 Process centric simulation

프로세스 중심 시뮬레이션은 시뮬레이션 모델이 구성되는 기준이 공정이 되며 이벤트 발생이 공정을 기준으로 발생하게 된다. 공정은 특정 공장에서 일정한 기준을 가지고 나누어진 작업의 묶음으로서 조선소의 경우 강판을 절단하는 절단공정, 강판의 도장 작업을 수행하는 도장 공정 등이 있다. 따라서 공정은 리소스처럼 실존하는 형상을 구현하는 것이 아니라 가상의 공정 개념을 모델링하는 것이라 할 수 있다. 프로세스 중심 시뮬레이션의 대표적인 예로는 조선소를 들 수 있다. 조선소의 경우 선박을 건조하는데 오랜 시간이 걸리고 다양한 선박을 생산하는 구조를 가진다. 따라서 건조해야하는 선박에 따라 공정별로 투입되는 작업자의 수나 설비의 수가 달라지기 때문에 프로세스를 중심으로 시뮬레이션을 구현하고 있다(Fig. 3). Lee (2013)의 경우, 조선소 생산계획을 기반으로 프로세스 중심의 시뮬레이션을 구현하여 선박 건조 프로세스에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 수행한 사례가 있다.

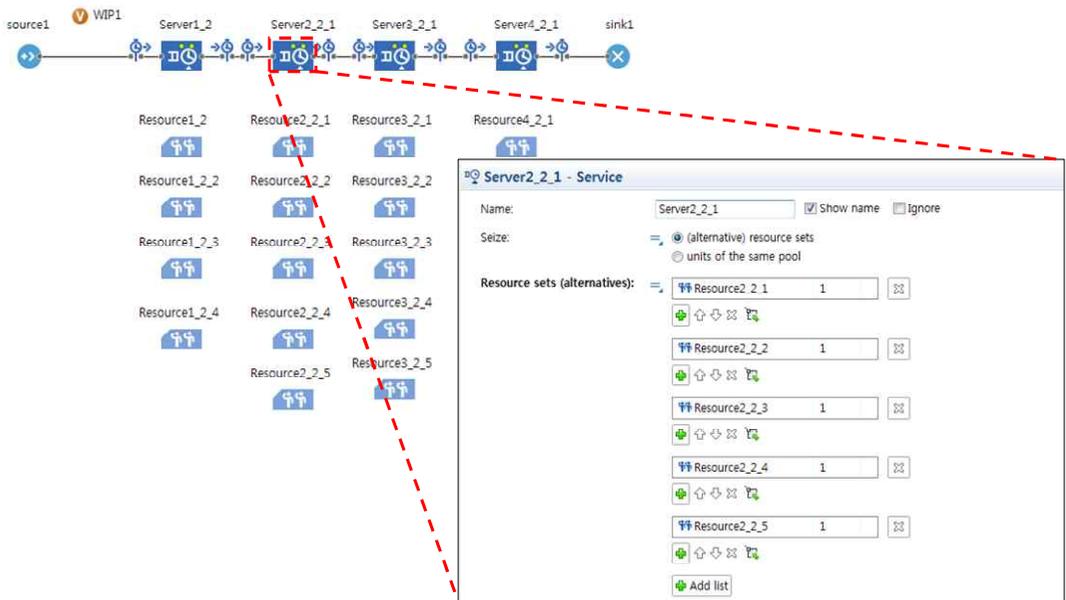


Fig. 3 The example of process centric simulation

## 2.2 AnyLogic 솔루션

AnyLogic은 AnyLogic Company에서 개발한 시뮬레이션 모델링 소프트웨어다. AnyLogic 소프트웨어는 이산 사건, 에이전트 기반 및 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 구현할 수 있는 플랫폼을 지원하고 최근에는 데이터 마이닝 기술까지 지원하고 있다. AnyLogic에서 발표한 2016 시뮬레이션 소프트웨어 시장 점유율에 따르면 AnyLogic과 Arena 시뮬레이션 소프트웨어가 전 세계 시뮬레이션 시장의 50% 이상을 점유하고 있다(Fig. 4).

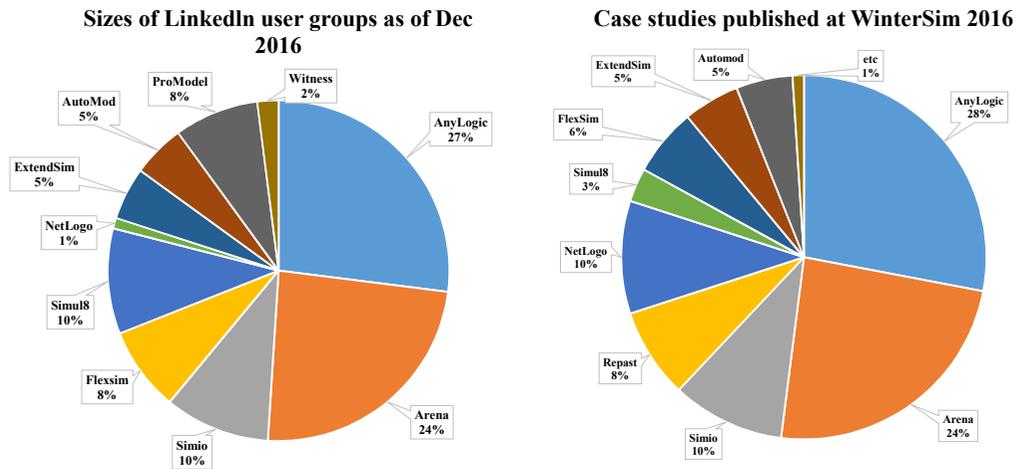


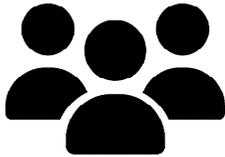
Fig. 4 Simulation tools market shares / mind shares in 2016

AnyLogic은 Java언어를 기반으로 구성되어 있으며, AnyLogic 시뮬레이션 소프트웨어의 가장 큰 장점은 에이전트(agent)를 기반으로 시뮬레이션을 구성한다는 것이다. AnyLogic에서 사용되는 에이전트 개념은 2000년대 초부터 시뮬레이션 분야에 등장하여 대중적으로 쓰이기 시작하였다. 에이전트의 가장 큰 장점은 자율성이다. C언어에서 에이전트는 하나의 클래스 개념으로 생각할 수 있으며, 사용자가 정의한 에이전트는 활용 목적에 따라 한명의 작업자가 되거나, 설비(크레인, 트랜스포터, 선박),

제품(강재, 배관재), 공정 등으로 자유롭게 사용될 수 있다(Fig. 5).

**People in different roles:**

Consumers, citizens, employees, patients, doctors, clients, soldiers ...



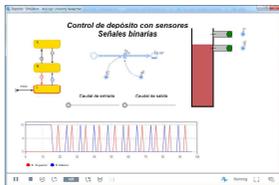
**Equipment, vehicles:**

Trucks, cars, cranes, aircrafts, rail cars, machines ...



**Non-material things:**

Projects, products, innovations, ideas, investments ...



**Organizations:**

Companies, political parties, countries ...



Fig. 5 The kinds of agents

따라서 에이전트의 높은 자유도를 바탕으로 다양한 공정 형태(공정 모델, 보행자 모델, 기차 모델, 교통 모델, 유체 모델, 시스템 다이내믹 모델)를 구현할 수 있으며 2.2.1절과 2.2.2절에서 설명한 Resource centric simulation과 Process centric simulation을 AnyLogic 하나로 문제없이 구현이 가능하다. 또한 사용자의 재량에 따라 시뮬레이션의 형상 모델을 2D나 3D로 표현가능하기 때문에, 시각적 효과를 극대화 할 수 있다는 장점도 있다. 또한 지리정보모델(.shp), 엑셀파일(.xls) 등을 활용한 GIS 모델 구축이나 엑셀파일 내의 데이터를 불러오거나 저장할 수 있다는 점에서 타 프로그램과의 원활한 호환이 가능하다.

### 2.3 경제성 분석

전통적으로 제조업에서 적용했던 원가계산법은 특정 기간 동안 해당 공정을 운영하기 위해 투자된 비용 대비 총 실적을 비교하여 단순하게 제품의 개수(EA) 당 얼마 정도의 원가가 투입되었는가를 간단하게 분석 하였다(Fig. 6). 이를 통해 공정의 총 원가를 매출 단가와 비교하여 간단하게 비교할 수 있지만, 이러한 방법은 제품을 만들기 위해 필요한 원가가 구체적으로 어디에서 얼마나 투입 되었는지는 알 수 없다는 점과 생산되는 제품이 다양한 경우, 제품에 따른 원가차이를 자세하게 알지 못한다는 단점이 있다. 이렇듯 공정 내에서 발생하는 작업은 작업의 난이도나 업무 시간에 따라 다를 수 있기 때문에 상세한 분석을 수행할 수 있는 방법이 필요하게 되었다.

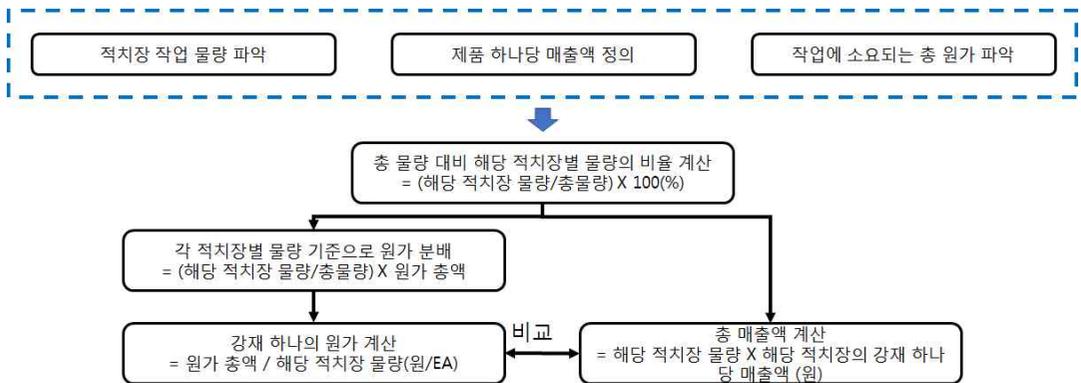


Fig. 6 The process of traditional cost analysis

전통적 원가계산법의 단점을 보완하기 위해서 ABC(activity based costing) 분석이 미국 GE사의 H.F Dicky에 의해 개발된 재고관리 기법으로서 경제학자 Pareto가 고안한 파레토곡선의 사고방식을 기본으로 한다. 공정 내에서 생산되는 주요 생산 제품을 규정하고, 이러한 제품을 생산하는데 투입 되는 주요 설비들에 대한 활동들의 투입 비율을 측정하여 각 제품별 원가를 산출하는 방식이다(Fig. 7). ABC분석의 장점은 제품의 정확한 원가계산뿐 아니라 가격결정 및 원가관리 통제에 관한 의사결정에 원가정보를 활용할 수 있다(Choi, 2012). 또한 전통적 원가계산법에서처럼 모든 제품의

원가가 동일하다고 가정하는 것이 아니라, 실제 각 제품을 생산하기 위하여 투입된 설비의 활동 비율을 바탕으로 원가의 차이를 분석할 수 있다. 그러나 ABC에 의한 원가 계산은 매우 복잡한 특성을 가지고 있다. 매년 투입된 설비의 활동과 생산된 제품의 종류를 새로 조사하여야 하는 불편함이 있으며, 이러한 조사가 상세하게 이루어지지 않을 경우 ABC분석 방법을 활용한 원가분석의 정확성이 많이 떨어지게 된다.

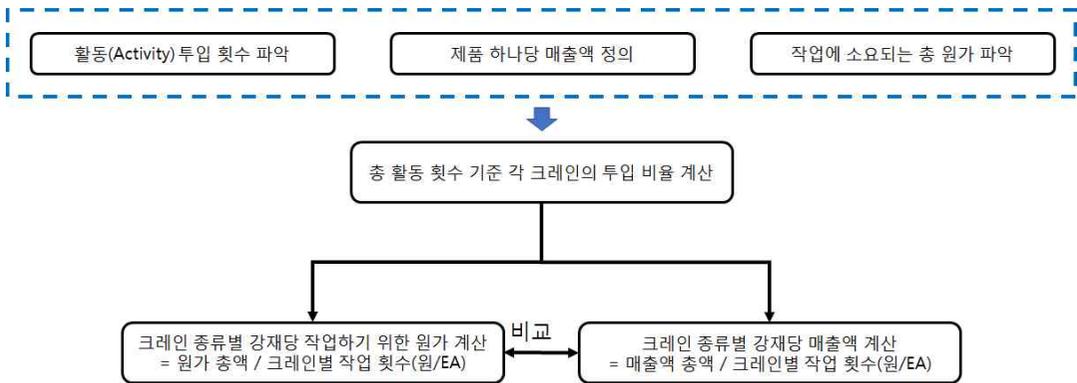


Fig. 7 The process of ABC analysis

최근에는 앞에서 설명한 ABC분석의 단점을 바탕으로 원가분석을 위해 개선된 TDABC(time-driven activity based costing)분석을 수행하고 있다. 원가 분석을 위해 공정에서 제품을 생산하기 위해 발생하는 활동을 정의하고 각 활동 당 투입되는 캐퍼시티의 원가율을 산출 한 후 각각의 제품을 생산하는데 투입되는 프로세스별 시간을 측정하여 시간동인을 기준으로 터미널의 서비스제품 원가를 산출한다. TDABC 원가 분석의 장점은 특정 기간 동안 소요된 총 자원에 대하여 서비스 제품 생산을 위해 투입된 자원의 비율을 산출할 수 있고, 이를 통해 전체 작업 기간 중 실제로 활동이 투입된 기간에 대한 작업도를 분석함으로써 실질적인 원가분석을 가능하게 되었다. 또한, 각 설비의 활동과 시간당 설비의 생산성은 시간이 경과함에 따라 큰 차이가 없으므로 한번 정의된 TDABC의 모델은 계속해서 사용될 수 있으며, 프로세스의 추가나 변경을 위한 수정이 용이하고 해당 기간을 세부 기간으로 나누어 실시간으로 생산에 투입되는 원가의 비율을 추적 관리할 수 있는 장점이 있다(Ryu, 2014).

본 논문에서는 조선소의 강재적치장을 대상으로 TDABC 분석을 수행하였다. 하지만 강재적치장에 소요되는 간접비의 경우, 조선소의 실제 회계정보를 구하는데 무리가 있었다. 따라서 강재적치장과 유사한 프로세스를 가지는 항만 부두 컨테이너 터미널의 회계자료를 바탕으로 강재적치장의 규모를 기준으로 간접비의 스케일을 줄여 분석을 수행하는데 활용하였다.

## 제 3 장 강재적치장 분석

### 3.1 조선소 강재 주문 프로세스

조선소의 경우 강재확보 및 공급절차에 관한 일련의 과정은 판매 및 마케팅부서와 생산계획부서가 정해진 생산계획을 바탕으로 예측을 하여 강재를 주문하게 된다. 하지만 공급할 강재의 양을 정해주는 곳은 실질적으로 설계부서라고 할 수 있다. 설계 부서에서는 수주된 선박의 종류(일반상선, 특수선, 해양플랜트 등), 크기별(배수량) 등에 따라 초기 설계를 수행 하게 된다. 이를 바탕으로 상세 설계가 이루어짐과 더불어 선박을 건조하는데 필요한 강재의 양을 가능하게 된다. 조선소의 경우 한정된 부지에서 거대한 규모의 선박을 효율적으로 건조하기 위해 블록 단위로 나누어 생산을 하는 블록건조공법을 사용하고 있기 때문에, 필요한 강재의 양도 블록단위로 구획을 나누어 파악하고 있다. 따라서 설계부서에서는 블록구획계획(block division plan)을 바탕으로 취재(pre-nesting)계획을 준비한다. 하나의 블록 또한 여러 강재들이 용접되어 만들어 지기 때문에, 필요한 강재의 크기와 양을 계산하기 위해 블록을 이루고 있는 강재들을 2차원 강판 위에 펼쳐 놓게 된다. 취재계획을 통해 구매할 강재의 크기와 양이 정해지면 설계부서에서는 비교적 긴 조달기간을 가지는 수입 강재에 대해서는 S/C(steel cutting)일 기준으로 약 180일 전, 비교적 짧은 조달기간을 갖는 국내 및 일본 강재에 대해서는 S/C일 기준 약 70일 전에 구매 요구서(purchasing order request, POR)를 발급한다.

설계부서에서 발급한 구매 요구서를 바탕으로 구매부서에서는 선박의 건조 진행 상황, 필요로 하는 강재가 강재적치장에 존재 하는지 유무, 제철소의 강재 시세 등 다양한 변수들을 바탕으로 정해진 날짜에 강재를 공급받기 위해 제철소와 계약을 실시한다. 서론부에서 언급했다시피 철강업계에서 사들이는 강재의 가격이 상승하고 있고 이에 따라 원가 차이가 많이 발생하고 있다. 따라서 일반적으로는 강재적치장 내에 존재하는 강재를 파악하여 추가적으로 필요한 부분에 대한 강재를 추가적으로 주문하는 편이지만, 강재의 시장 상황에 따라서 나중에 주문해야할 강재를 미리 주문하여 재고를 확보하는 경우도 때때로 존재한다. 일반적으로 제철소와의 계약 또한

구매 요구서와 마찬가지로 수입 강재의 경우 S/C일 기준으로 약 120일 전, 국내 및 일본 강재에 대해서는 S/C일 기준 약 60일 전에 계약을 시작한다.

### 3.2 조선소 강재 입고 및 불출 프로세스

강재적치장의 적치 방법은 강재를 수직 방향으로 겹쳐 쌓는 형태의 구조를 이루고 있기 때문에, 적치장은 강재를 이동하거나 후행공정으로 불출할 때 후입선출법(last in first out, LIFO)을 따르고 있다. 따라서 적치 및 불출 작업 시 강재를 옮기는 과정에서 강재의 재배치 작업을 수행하게 된다. 강재를 재배치하는 수고를 덜기 위해서는 강재를 세워서 보관하는 방법을 생각할 수 있다. 하지만 강재적치장에 적치되는 강재는 대부분 무게가 5톤 이상의 고하중의 강재이다. 이러한 강재는 갠트리 크레인에 자석을 부착한 형태로 운반이 되어야 하는데, 강재가 무거운 만큼 자석의 크기도 상당하다. 따라서 강재에 자석을 붙이는 면적을 확보하기 위해 불가피하게 현재는 겹쳐 쌓는 방식을 채택하고 있다. 아래의 Fig. 8은 강재의 번호가 1인 강재가 불출되어야 할 경우의 강재의 이동 원리를 나타낸 그림이다.

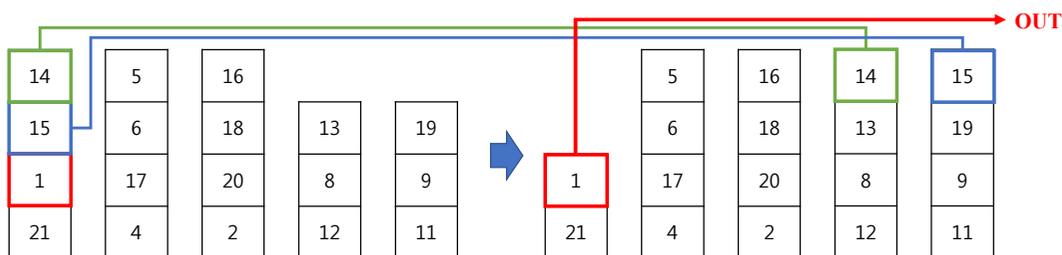


Fig. 8 The method that No.1 steel plate should be out from the stockyard

3.1절에서 통해 구매된 강재는 바지선이나 차량을 통해 강재적치장으로 입고된다. 입고되는 강재의 경우 강재가 투입될 호선, 블록, 재질에 따라서 강재의 ID가 지정된다. 가공부에서는 부여된 강재의 ID를 바탕으로 강재의 종류를 파악하고 있으며, 선별 및 불출 시에도 강재 ID를 바탕으로 강재의 특성을 파악하여 작업하게 된다. 하지만 강재적치장에 입고된 강재의 경우 강재의 ID가 고유의 키(key) 값의 역할을 하는 것은

아니다. 강재 ID의 경우 투입될 호선, 블록, 재질에 따라 부여된 것이기 때문에 ID가 동일한 강재가 여러 개 강재적치장에 존재하게 된다. 이렇듯 강재의 ID가 같을 수 있는 이유는 선박의 경우 좌현(port)과 우현(starboard)로 나누어지는 특성상 한 블록의 좌, 우현에 같은 종류와 크기를 가지는 강재가 동시에 존재하는 경우가 존재하기 때문이다. 따라서 현장에서 강재의 ID가 같은 것이 여러 개 있는 경우 일반적으로 가장 꺼내기 쉬운 강재를 우선적으로 찾아서 꺼내고 있다.

가공부는 약 2주전에 제철소로부터 입고 예정인 강재의 목록을 전달받게 되고, 전달받은 강재 목록을 바탕으로 선종, 블록, 강재의 길이에 따라 베이를 지정하는 입고 계획을 수립하게 된다. 하지만, 선종, 블록, 강재에 따라 베이를 지정하다 보니 특정 선종을 조선소에서 많이 건조하게 되면 특정 베이에 강재가 지나치게 몰리는 현상이 발생한다. 한쪽으로 지나치게 강재가 몰리는 상황이 발생하면 한정된 공간 안에 많은 강재가 쌓여있게 되고 이는 추후에 선별, 불출 작업을 수행할 때 크레인의 이동횟수 증가와 강재의 잦은 이동으로 인한 품질 저하를 초래하게 된다. 따라서 이러한 경우는 부득이 하게 현장 작업자의 판단에 따라 지정된 베이 외에 다른 베이를 선택하여 작업을 진행한다. 조선소 특성상 한정된 부지에서 강재를 관리하다보니 이러한 예외사항은 자주 일어나게 되며 결국 시간이 지났을 때 선종, 블록별로 관리를 하려던 강재적치장의 기존의 목적은 없어지고 강재가 무작위하게 섞이는 현상이 발생하게 된다. 따라서 가공부에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 불출일자가 다가오는 강재들에 대해서는 선별작업을 수행하게 된다.

선별작업의 경우 일반적으로 3단계에 걸쳐서 진행된다.

첫 째, 일주일을 기준으로 하여 요일별 불출 강재에 대해서 선별 작업을 실시한다.

둘 째, 호선, 블록별로 강재를 분류하기 위해서 선별적치장 내에서 재분류 선별 작업을 실시한다.

셋 째, 실제 불출날짜에 불출순서에 맞게 강재를 불출하기 위해서 불출순서 역순으로 강재를 재배치하는 선별작업을 실시한다.

위와 같이 3단계로 나누어진 선별작업 단계를 거친 강재들은 불출 일자에 맞추어 순차적으로 전처리 공정으로 강재가 투입이 된다.

### 3.3 강재적치장 운영상의 문제점

조선소에서 건조하는 선박의 크기가 지속적으로 커지고 대형화됨으로서 조선소에서 필요로 하는 강재의 양도 증가하고 있는 추세이다. 불과 10여 년 전까지만 해도 컨테이너선의 경우 약 12,500 TEU급의 크기를 가졌다(Kim, 2005). 하지만 해운업계의 물동량 감소로 인해 여러 대를 움직이기보다 한 번에 많이 실어 나르는 것을 선호하는 경향 때문에 컨테이너 선박이 지속적으로 커지고 있는 상황이다. 최근에는 10년 전에 비해 2배 가량 큰 20,000 TEU이상의 선박이 건조되고 있는 상황이다(Fig. 9).

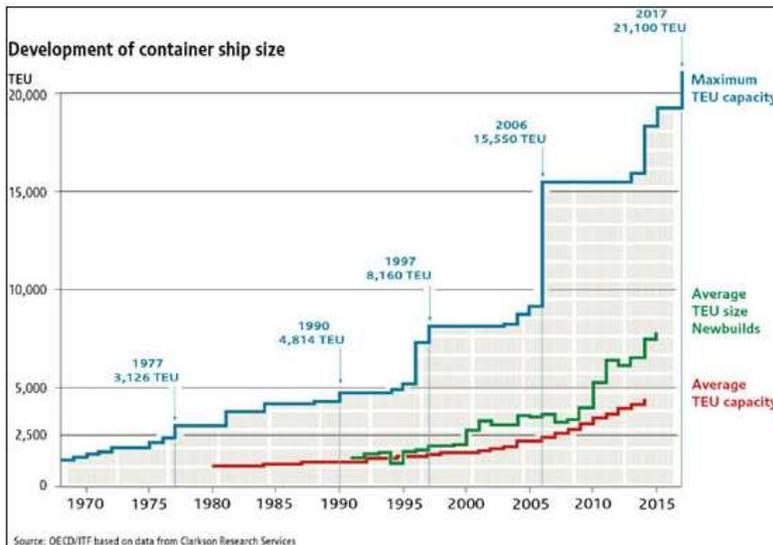


Fig. 9 The graph of development of container ship size

선박의 대형화 추세가 지속됨에 따라 조선소에서 필요로 하는 강재의 같은 추세로 증가하고 있다. 하지만 강재적치장의 공간은 한정된 상황에서 여러 문제점이 발생하고 있다.

첫 째, 강재의 장기체류로 인해 운영상의 어려움을 겪고 있다. 제철소와 계약을 통해

필요한 강재를 적절한 시점에 입고되도록 하고 있지만, 강재의 종류에 따라 한 제철소에서 모든 강재를 구입하기에는 한계가 있다. 따라서 생산계획에 맞게 원하는 강재를 조달 받기 위해 부득이하게 여러 제철소와의 계약을 하는 상황이 발생하고 있다. 하지만 여러 제철소에서 강재를 조달 받다 보니 조달 받을 수 있는 날짜가 모두 같을 수 없고, 조달 리드타임이 일정하지 못하고 불규칙한 특성을 가진다. 이러한 어려움이 존재하기 때문에 조선소는 2주가량의 작업 물량만을 적치장에 쌓아 놓길 원하지만 짧게는 한 달, 길게는 몇 달간 적치가 되는 상황이 발생하고 있다.

둘 째, 현장 작업자의 숙련도에 의존하는 작업 방식으로 인해 인적 오류(human error)와 불규칙적인 강재관리 능력을 가진다. 수많은 강재가 쌓여있는 강재적치장의 특성상, 숙련된 작업자라 할지라도 들어올 예정인 강재와 모든 베이에 존재하는 강재의 현황을 고려하여 작업을 수행하기에는 한계가 존재한다. 이로 인해 발생하는 인적 오류로 인해 불필요하게 이동되는 블록의 개수가 많아지게 되고, 작업의 진행을 지연시키고 작업하는데 필요한 비용이 상승하게 된다. 선박 건조 공정의 출발점이라 할 수 있는 강재의 불출에서 작업의 지연이 발생한다는 것은 채찍효과(bullwhip effect)를 초래하게 되고 결과적으로 후행공정으로 갈수록 더욱 큰 손실을 야기하게 된다.

### 3.4 강재적치장 레이아웃 분석

본 연구의 시뮬레이션 대상으로서 사용된 강재적치장의 구역은 크게 3곳으로 나누어져 있다. 강재의 길이에 따라 단축 적치장, 장축 적치장 두 곳으로 구역이 나누어져있고, 컨베이어 라인 옆에는 불출계획에 따라 강재를 선별할 수 있는 선별적치장으로 구성되어있다. 강재를 적치하는 베이는 총 1Bay - 4Bay 총 4 개로 구성되어 있으며 베이의 총 면적은 32,000  $m^2$ 이다. 또한 각각의 베이는 단축, 장축 적치장에 강재 이동을 위한 크레인 한 대와 강재를 불출할 수 있는 컨베이어가 하나씩 위치하고 있다. 장축 적치장에 적치되는 강재의 경우 길이가 긴 형태를 가지기 때문에 한 적치구역에 강재를 한 줄로 적치하고, 단축 적치장의 경우는 두 줄로 적치하는 형태를 가진다(Fig. 10).

SteelName	SteelName	SteelName
Stock area	Stock area	Stock area

Fig. 10-(a) The method of piling steel plate in middle/long stockyard

SteelName	SteelName	SteelName
Stock area	Stock area	Stock area
Stock area	Stock area	Stock area
SteelName	SteelName	SteelName

Fig. 10-(b) The method of piling steel plate in short stockyard

강재적치장의 크레인은 베이 당 2대씩 총 8대를 보유하고 있다. Table 1은 강재적치장의 크레인 보유 현황과 각 베이 별 적치장의 개수를 나타낸 표이다. Fig. 11은 적치장을 구역별로 구분 해놓은 레이아웃을 표시한 그림이다.

Table 1 The information of steel stock yard

Bay	Parameter	Stock	Capacity(EA)
1Bay~3Bay	Crane	Long	1
		Short	1
4Bay	The number of stock	Short	2
1Bay		Long	26
		Short	38
2Bay		Long	35
		Short	38
3Bay		Long	35
		Short	58
4Bay		Long	-
	Short	88	

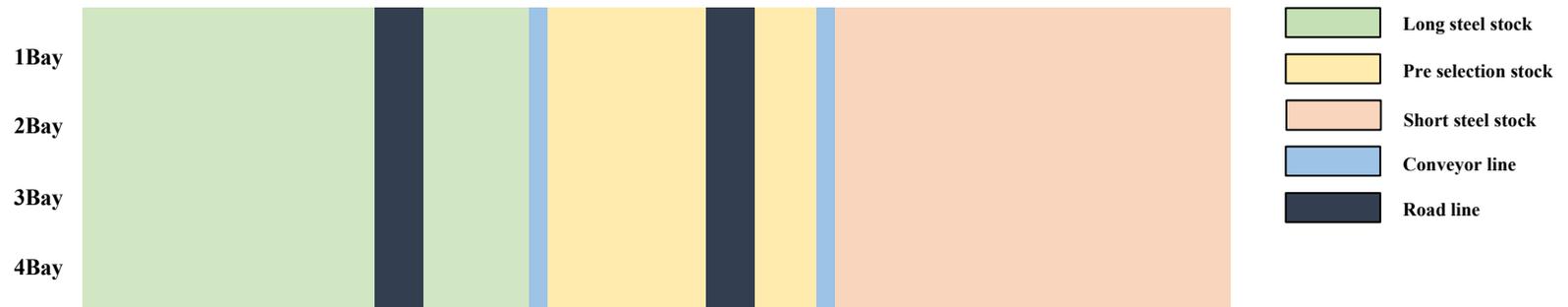


Fig. 11 The layout of steel stock yard

### 3.5 강재적치장 강재 정보 분석

강재적치장에서 강재가 최초로 입고될 때 저장되는 강재의 데이터는 강재적치장 시뮬레이션을 수행할 때 기본 정보로서 활용된다. 강재적치장에 강재가 입고되면 강재의 ID가 부여되고 이와 함께 해당 강재가 투입될 호선과 블록에 대한 호선번호, 강재코드, 블록번호, 조립코드 정보와 입고 시기와 위치에 대한 강재입고날짜, 입고될 적치장 베이 번호, 강재의 재질, 무게, 두께, 너비, 길이 정보가 저장된다. 또한 호선번호, 강재코드, 블록번호, 조립코드에 따라 강재이름이 정해지며 강재이름은 선별, 불출할 강재를 조회하는 기준이 된다. 강재가 가지고 있는 입력 데이터의 종류는 Table 2와 같고, 강재가 포함하고 있는 속성정보에 대한 예시는 Table 3과 같다.

Table 2 The data of received steel plate

Input data	Column name	Type	Description
강재 ID	ID	String	강재의 ID 정보
강재이름	Steel_Name	String	강재의 이름
호선번호	Ship_Num	String	강재가 투입될 호선의 번호
강재코드	Code	String	강재의 코드 번호
블록번호	Block_Num	String	강재가 투입될 블록의 번호
조립코드	Assembly_Code	String	강재의 용도와 절단 장비에 따라 분류되는 코드 번호
강재입고날짜	DeliveredDate	Date	강재가 입고된 날짜
적치베이	StockBay	String	강재가 투입될 베이번호
강재재질	MaterialGroup	String	강재의 재질
강재무게	Weight	Double	강재의 무게에 대한 정보(kg)
강재두께	Thickness	Double	강재의 두께에 대한 정보(mm)
강재너비	Width	Double	강재의 너비에 대한 정보(mm)
강재길이	Length	Double	강재의 길이에 대한 정보(mm)

**Table 3** The example data of received steel plate

<b>ID</b>	<b>Steel_Name</b>	<b>Ship_Num</b>	<b>Code</b>	<b>Block_Num</b>	<b>Assembly_Code</b>	<b>DeliveredDate</b>	<b>Stock Bay</b>	<b>Material Group</b>	<b>Weight</b>	<b>Thickness</b>	<b>Width</b>	<b>Length</b>
1	1001ABC001 DE001	1001	ABC	001	DE001	2019-04-17	1	STEEL	6000	25	2500	7800
2	1100FGH002 MK005	1100	FGH	002	MK005	2019-04-17	3	STEEL	5500	28	2000	13800
3	2010MNO003 VW010	2010	MNO	003	VW010	2019-04-17	2	STEEL	8000	30	2800	12000

## 제 4 장 강재적치장 모델링

### 4.1 강재적치장 시뮬레이션 플랫폼

강재적치장 시뮬레이션 플랫폼(platform)은 크게 강재 생성 모듈과 적치장 관리 모듈, 선별 및 불출 작업 목록 생성모듈, 리포트 모듈로 구성되어 있다.

강재 생성 모듈은 입고계획 데이터에 존재하는 강재 입고날짜를 바탕으로 강재를 정해진 시기에 생성하는 기능을 한다. 엑셀로 존재하는 강재 입고 계획 데이터를 시뮬레이션 내의 Database에 저장한 후, 강재의 입고 날짜 정보를 포함하고 있는 DeliveredDate의 값을 바탕으로 강재를 생성하게 된다.

적치장 관리 모듈은 강재적치장의 적치장 정보와 크레인 정보를 바탕으로 적치장을 운용하기 위한 로직들을 구현해놓은 모듈이다. 로직은 크게 강재가 최초로 입고되었을 때 적치장을 선택하는 로직과 강재의 선별을 위해 선별 작업을 수행하는 로직 그리고 불출 대상인 강재를 찾아서 불출하는 로직으로 구성되어있다. 본 논문의 경우, 다음과 같이 강재를 입고, 선별, 적치할 때 다양한 로직을 활용해 시뮬레이션을 수행하는 것이 주목적이므로 강재를 특정한 규칙에 따라 옮길 수 있도록 로직을 구현할 수 있어야 한다.

선별 및 불출 작업 목록 생성모듈은 불출계획데이터의 불출날짜를 기준으로 선별 작업 목록과 불출 작업 목록을 업데이트하는 모듈이다. 선별 작업 목록의 경우는 기본적으로 불출 작업 실시 일주일전 기준으로 선별 작업 목록을 업데이트하고 불출 작업 목록의 경우는 불출날짜를 기준으로 목록을 업데이트 하고 있다. Fig. 12는 시뮬레이션 플랫폼을 나타낸 그림이다.

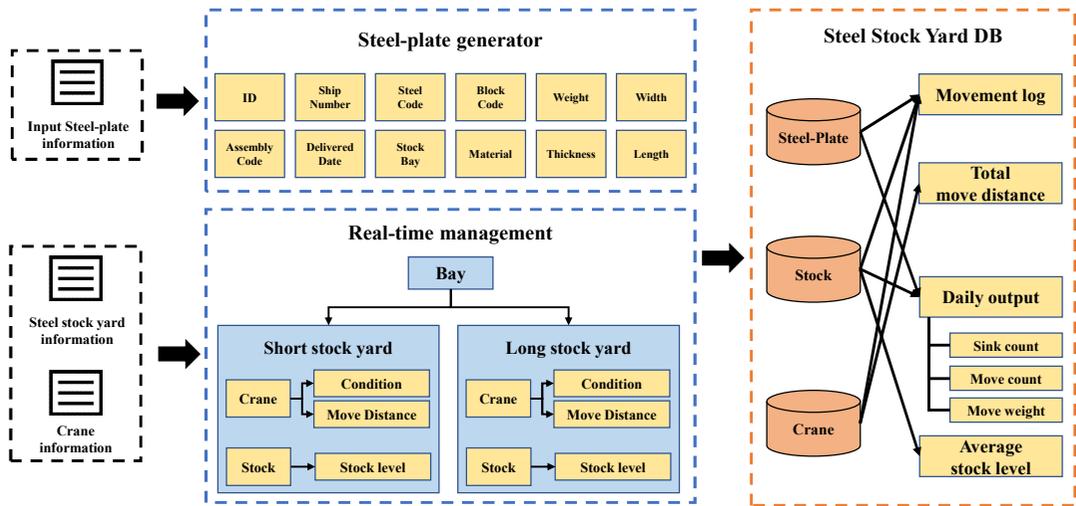


Fig. 12 The simulation platform of steel stock yard simulation

#### 4.2 강제적치장 운영 프로세스 정의

강제적치장의 운영 프로세스를 정의하기 위해 가장 우선적으로 강제적치장의 주요 공정 프로세스를 정의할 필요가 있다.

강제적치장의 주요 공정 프로세스는 강제 입고 낱자를 바탕으로 강재가 입고되면서 시작이 된다. 입고된 강재는 최초로 임시적치장에 적치되며 이후 주적치장 이동, 선별시작 낱자를 기준으로 강재들을 선별적치장 이동, 마지막으로 불출 계획에 의해 불출날짜가 다가오면 컨베이어를 통해 절단 공정으로 투입이 된다. 해당 프로세스의 Flow-chart는 아래와 같다(Fig. 13).

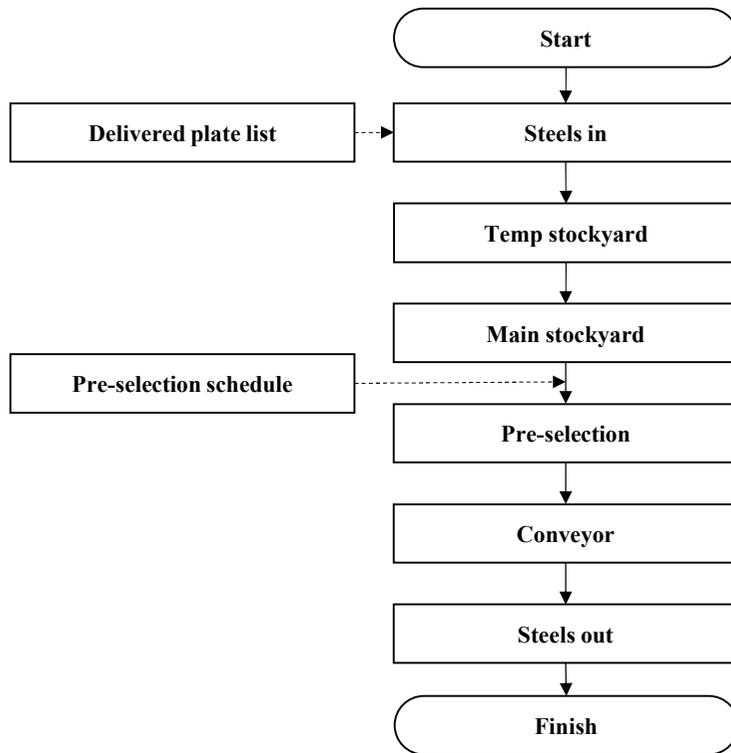


Fig. 13 The flow-chart of the steel stock yard process

다음으로 강재적치장 내에서 강재의 입고, 선별, 불출 작업을 수행하기 위해 사용되는 크레인의 운영 프로세스를 정의해 보고자 하였다. 크레인 운영 프로세스의 경우 가장 우선적으로 작업 강재 선택 로직에 의해 현재 강재적치장 내에 존재하는 강재 중 가장 우선적으로 작업해야하는 강재를 선택하게 된다. 작업해야하는 강재가 선택되면 해당 강재가 존재하는 위치로 크레인을 이동 시킨 후, 해당 구역의 가장 위에 존재하는 강재의 이름을 확인하게 된다. 3.2장에서 말했듯이 강재적치장은 강재를 수직으로 쌓아놓고 있기 때문에 옮겨야할 강재가 중간에 위치하는 경우 해당 강재 보다 위에 있는 강재들을 적치장 내 다른 구역으로 잠시 이동시켜 놓는 작업이 필요하다. 이러한 확인 작업을 거쳐 현재 크레인이 들어 올려야하는 강재를 확인하고 크레인에 의해 해당 강재를 들어 올린 후, 현재 들어 올린 강재가 입고 작업을 해야 하는지 선별 작업을 해야 하는지, 불출 작업을 해야 하는지를 판단한 뒤 현재 강재를 들어 올린 위치와

강재이름을 바탕으로 사전에 정의한 적치장 선택 로직을 바탕으로 상황에 맞는 적치장 구역으로 이동하여 해당 위치에 강재를 놓게 된다. 크레인 운영 프로세스의 Flow-chart는 아래의 Fig. 14와 같다.

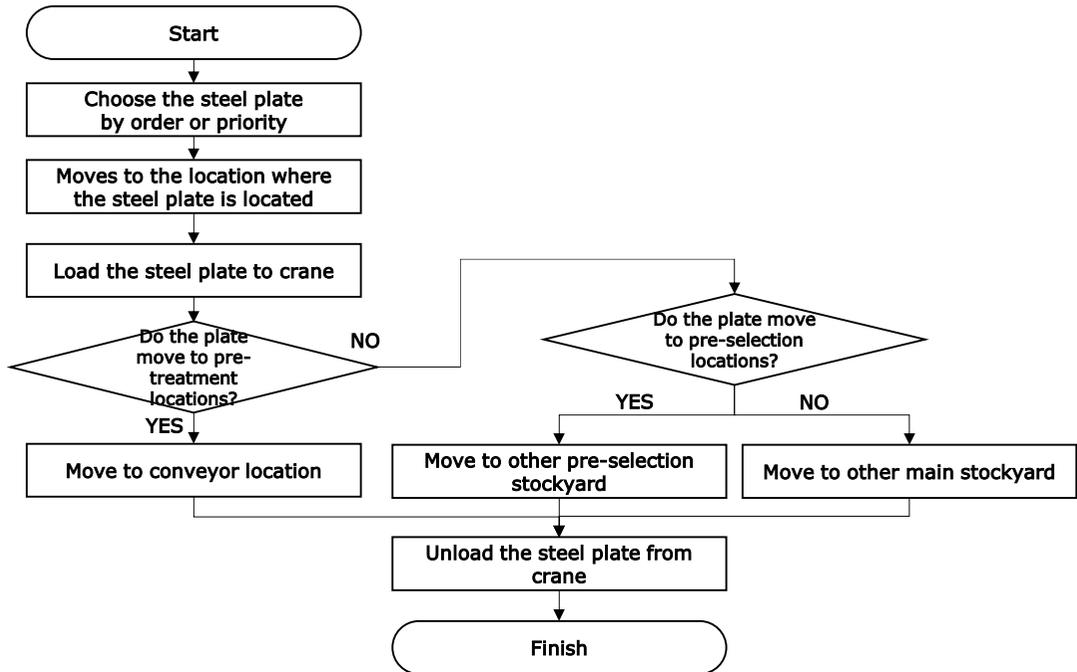


Fig. 14 The flow-chart of the crane process

크레인 운영 프로세스에서 사용되는 작업 강재 선택 로직은 시뮬레이션에서 크레인이 강재를 집었다가 내려놓은 상황에서, 사전에 정의한 작업 우선순위에 의해 현재 강재적치장 내에 존재하는 강재 중 가장 우선적으로 작업해야하는 강재를 선택하기 위한 로직이다. 본 연구에서는 기본적으로 강재 입고, 불출, 선별 작업을 각각 1~3순위로 정의하여 강재를 선택하도록 하였다. 또한 선별 작업을 제 때에 수행하지 못해 선별 적치장으로 이동하지 못하는 예외 상황이 발생하는 경우 선별 작업이 수행되지 않았더라도 불출 예정 날짜가 되면 해당 강재는 주적치장에서 불출이 되도록

하였다. 마지막으로 불출 예정 일자를 바탕으로 업데이트된 선별 작업 목록을 바탕으로 선별 대상인 강재를 작업 대상으로 정의되도록 하였고, 그 외에는 유희상태를 유지하도록 로직을 정의하였다. 해당 로직의 Flow-chart는 아래의 Fig. 15와 같다.

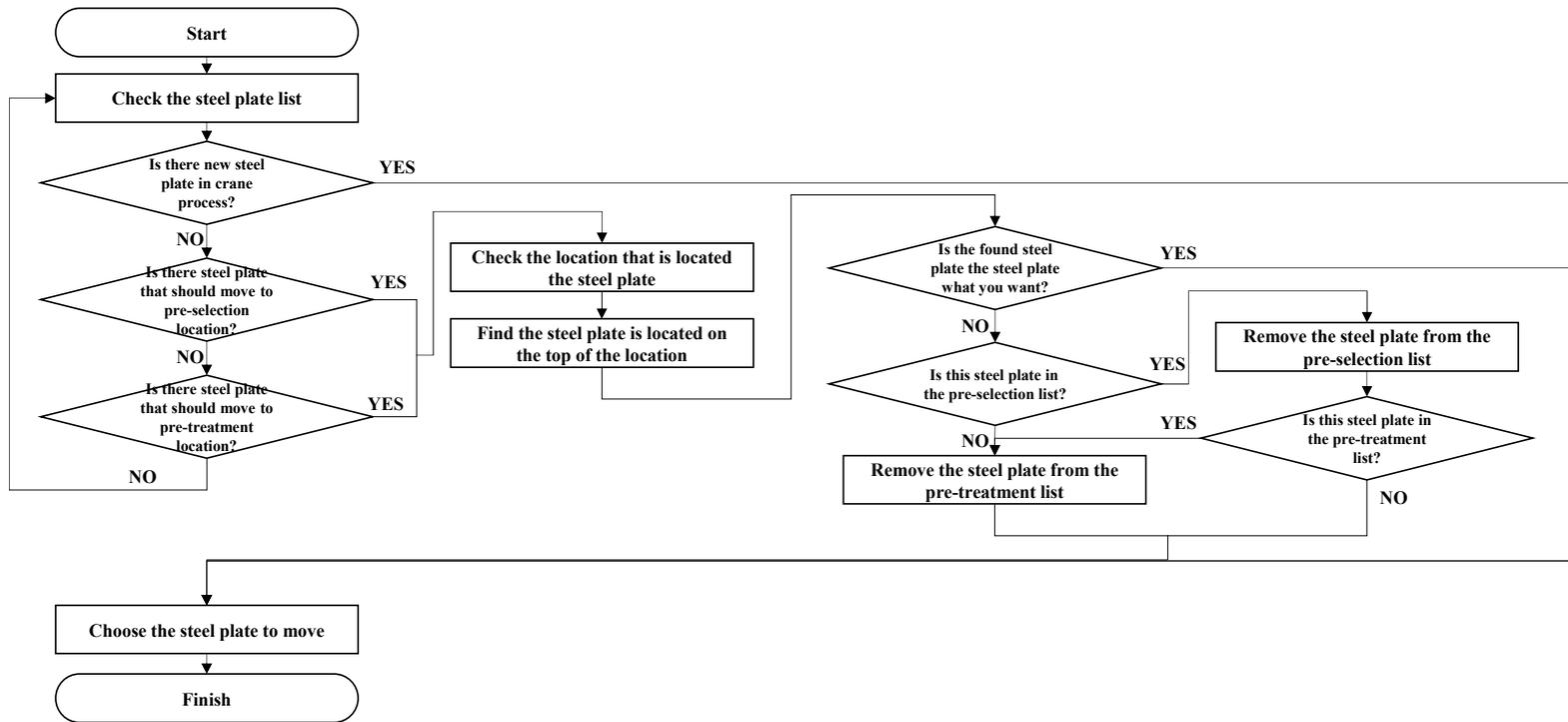


Fig. 15 The flow-chart of the algorithm for choosing the steel plate to move

적치장 선택 로직은 앞선 작업 강재 선택 로직에 의해 선택된 강재를 옮겨야할 위치를 정의해주는 로직이다. 본 연구에서는 강재 입고와 선별 작업을 수행할 때, 적치장 선택 로직을 다양하게 정의하여 시뮬레이션 기간 내에 입고되고 불출되는 강재에 대해 가장 적합한 로직 조합을 찾아보고자 하였다.

적치장 선택 로직도 마찬가지로 기본적으로 작업 우선순위를 강재 입고, 불출, 선별로 정의하여 옮겨야할 위치가 선정될 수 있도록 하였다. 따라서 선택된 작업 강재가 최초 입고에 해당되는 임시적치장에 존재하는 경우와 불출되어야하는 경우, 선별되어야하는 경우로 나누어 보았다. 하지만 강재적치장은 위로 쌓아올리는 파일 업 형태의 적치구조를 가지기 때문에 옮겨야할 강재가 있는 위치에서 가장 위에 존재하는 강재를 크레인의 자석에 부착시켰을 때, 해당 강재가 실제 작업 대상인지에 대한 추가적인 판단이 요구된다. 따라서 해당 로직에서는 입고, 불출, 선별 순으로 판단 우선순위를 두되, 각각의 작업에서 크레인에 부착된 강재가 실제 작업 대상인지 추가적으로 판단할 수 있도록 로직을 정의하였다. 해당 로직의 Flow-chart는 아래의 Fig. 16과 같다

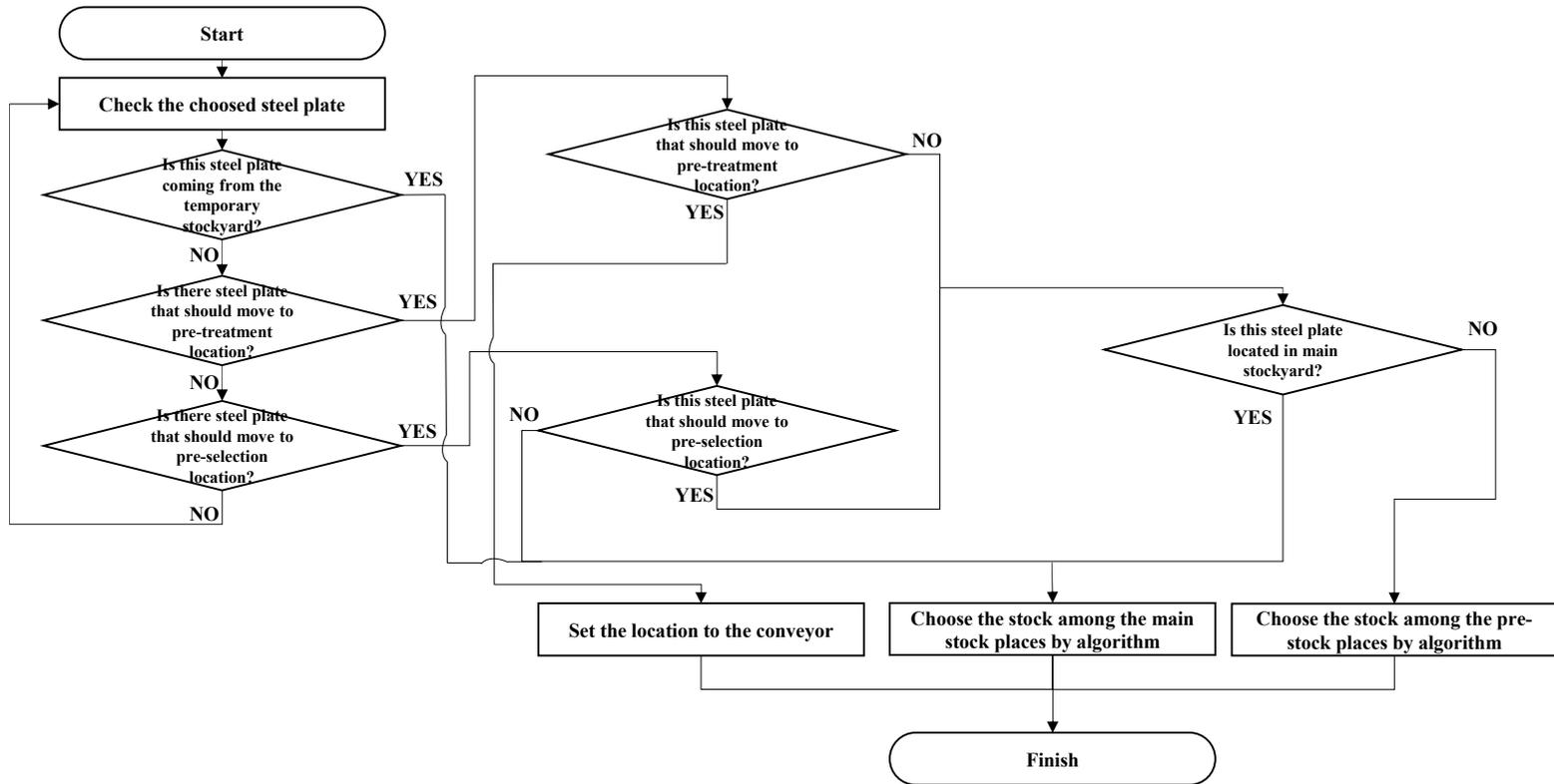


Fig. 16 The flow-chart of the algorithm for choosing where the steel plate should be moved

### 4.3 시뮬레이션 단위 모델 구현

4.2절에서 정의한 강제적치장 운영 알고리즘을 바탕으로 강제적치장의 입고와 불출 작업이 정상적으로 이루어지는지 확인하기 위해 단위 모델을 구현하여 검증해보고자 하였다. 기존 4Bay로 이루어진 적치장을 하나의 적치장을 대상으로 작업을 수행하도록 하였고, 강제 50개를 대상으로 입고 및 불출 작업에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 최초로 입고되는 강제는 적치장을 랜덤으로 선택하도록 정의하였고, 정해진 불출 순서에 따라 적치장에 존재하는 강제를 찾아서 불출하도록 시뮬레이션을 수행하였다. 아래의 Fig. 17은 단위모델을 구현한 시뮬레이션 구동 화면이다.



Fig. 17 The initial screen of the reduced model simulation

#### 4.3.1 시뮬레이션 단위 모델 검증

Fig. 18에서 구현한 단위 모델을 바탕으로 강제 불출 목록의 강제 ID와 실제로 강제가 불출될 때 강제의 제품 ID를 비교해보고자 하였다. 불출할 때의 강제 ID는 공정 모델 상에서 강제 에이전트가 Sink를 통해 빠져나갈 때 저장되도록 하였다. 또한 해당

단위 모델에서는 크레인으로 강재를 들어 올리고 내리는데 평균 10초의 작업시간이 소요된다고 가정하여, 지수분포 함수를 활용해 확률분포를 적용하였고, 불출 순서를 무작위로 바꾸어가면서 불출 순서에 변동성을 주었다. 최종적으로 변동성에 대한 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 시뮬레이션을 총 10회 반복 수행하였다. 아래 Fig. 18과 Fig. 19는 반복한 시뮬레이션 결과를 엑셀에 저장해 비교한 모습이다.

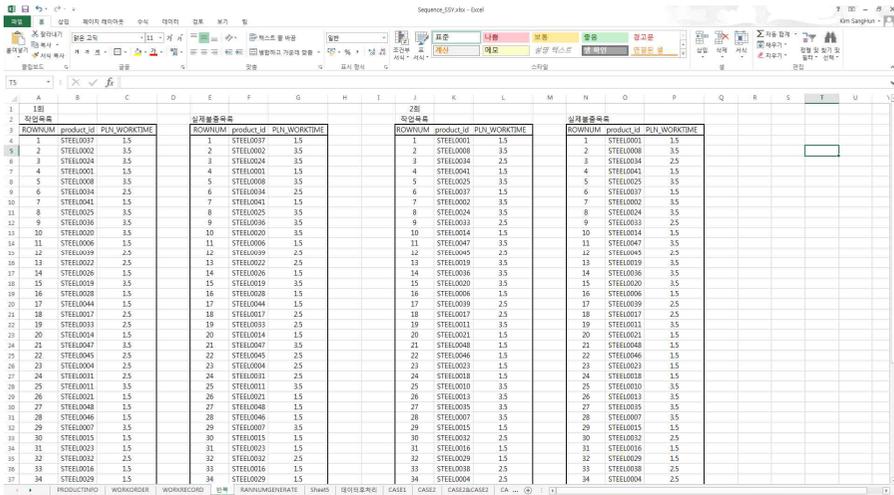


Fig. 18 The excel file saving the work order and work record

작업목록			실제 불출 목록		
ROWNUM	product_id	PLN_WORKTIME	ROWNUM	product_id	PLN_WORKTIME
1	STEEL0001	1.5	1	STEEL0001	1.5
2	STEEL0008	3.5	2	STEEL0008	3.5
3	STEEL0034	2.5	3	STEEL0034	2.5
4	STEEL0041	1.5	4	STEEL0041	1.5
5	STEEL0025	3.5	5	STEEL0025	3.5
6	STEEL0037	1.5	6	STEEL0037	1.5
7	STEEL0002	3.5	7	STEEL0002	3.5
8	STEEL0024	3.5	8	STEEL0024	3.5
9	STEEL0033	2.5	9	STEEL0033	2.5
10	STEEL0014	1.5	10	STEEL0014	1.5
⋮			⋮		
41	STEEL0044	1.5	41	STEEL0044	1.5
42	STEEL0009	0.5	42	STEEL0009	0.5
43	STEEL0027	3.5	43	STEEL0027	3.5
44	STEEL0030	3.5	44	STEEL0030	3.5
45	STEEL0040	3.5	45	STEEL0040	3.5
46	STEEL0012	3.5	46	STEEL0012	3.5
47	STEEL0049	1.5	47	STEEL0049	1.5
48	STEEL0005	1.5	48	STEEL0005	1.5
49	STEEL0022	2.5	49	STEEL0022	2.5
50	STEEL0026	1.5	50	STEEL0026	1.5

Fig. 19 The list of the work order and work record

## 4.4 시뮬레이션 모델 구현

### 4.4.1 객체(Agent) 정의

본 연구에서 활용한 DES 소프트웨어 AnyLogic은 객체 기반 시뮬레이션으로서 시뮬레이션 모델 구현을 위해서 객체를 정의하는 것이 가장 기본이 된다. AnyLogic에서는 새로운 모델 파일을 생성하면 기본적으로 Main 객체가 생성되어 모델링을 시작할 수 있는 공간을 제공한다. 따라서 본 시뮬레이션에서도 Main 객체를 기준으로 적치장과 크레인에 대한 객체를 정의하였다. 객체끼리는 연결 구조를 가질 수 있도록 구성되어 있으며 강재적치장 시뮬레이션에는 생성되는 강재의 속성정보를 저장하는 SteelPlate 객체를 제외한 나머지 객체에 대해 Main을 가장 높은 레벨(1st level)로 기준을 정하고 피라미드 형식으로 객체 간의 연결 관계를 정의하였다. 정의한 객체의 목록은 아래의 Fig. 20과 같다. 또한 연결 관계는 Fig. 21, Table 4와 같이 정의하였다. 가장 상위 계층은 Main agent로서 강재적치장의 공정 모델을 구현하였다. 그 아래에는 각 강재적치장의 Bay를 장축 적치장과 단축 적치장 구역으로 나누어 총 8개의 구역에 대한 agent를 정의하였고, 강재를 생성할 때 각 강재의 속성정보를 저장할 수 있는 Steelplate agent를 정의하였다. 각 적치장 구역의 agent 아래에는 해당 적치장에서 사용되는 크레인, 주적치장, 선별적치장의 형상 모델과 공정 모델을 구축하였다.



Fig. 20 The list of agents of steel stock yard

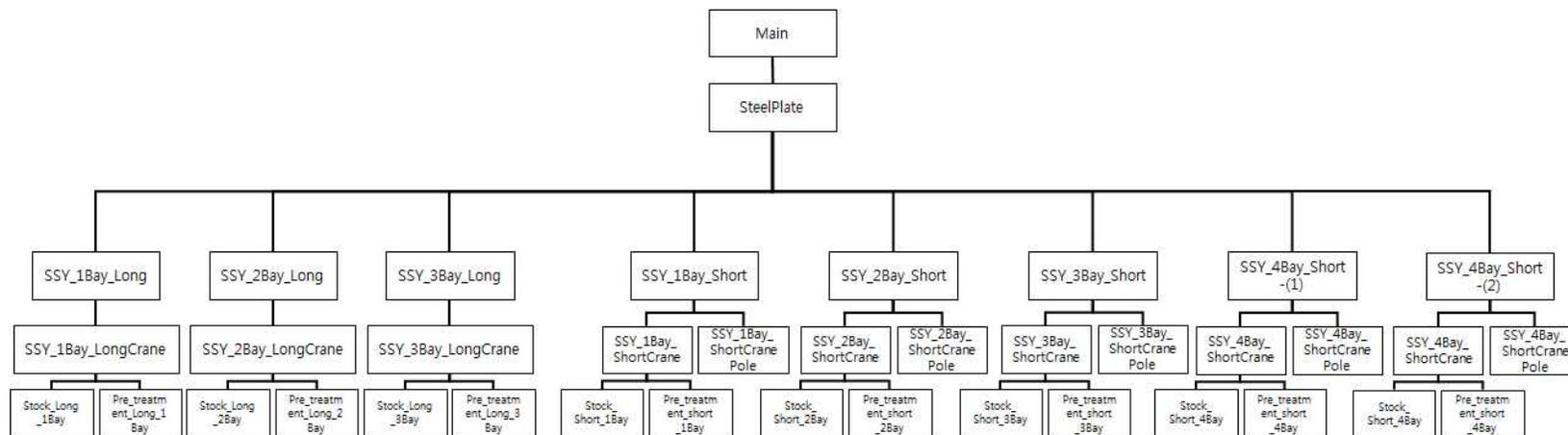


Fig. 21 The structure of agents

Table 4 The table of the structure of agents

1 <sup>st</sup> Agent	2 <sup>nd</sup> Agent	3 <sup>rd</sup> Agent
Main	SSY_1Bay_Long	SSY_1Bay_LongCrane / Stock_Long_1Bay / Pre_selection_Long_1Bay
	SSY_1Bay_Short	SSY_1Bay_ShortCrane / SSY_1Bay_ShortCranePole / Stock_Short_1Bay / Pre_selection_Short_1Bay
	SSY_2Bay_Long	SSY_2Bay_LongCrane / Stock_Long_2Bay / Pre_selection_Long_2Bay
	SSY_2Bay_Short	SSY_2Bay_ShortCrane / SSY_2Bay_ShortCranePole / Stock_Short_2Bay / Pre_selection_Short_2Bay
	SSY_3Bay_Long	SSY_3Bay_LongCrane / Stock_Long_3Bay / Pre_selection_Long_3Bay
	SSY_3Bay_Short	SSY_3Bay_ShortCrane / SSY_3Bay_ShortCranePole / Stock_Short_3Bay / Pre_selection_Short_3Bay
	SSY_4Bay_Long	SSY_4Bay_LongCrane / Stock_Long_4Bay / Pre_selection_Long_4Bay
	SSY_4Bay_Short	SSY_4Bay_ShortCrane / SSY_4Bay_ShortCranePole / Stock_Short_4Bay / Pre_selection_Short_4Bay
	SteelPlate	

#### 4.4.2 시뮬레이션 변수 정의

3장에서 강재적치장을 분석한 내용을 바탕으로 시뮬레이션에서 활용할 변수를 정의하였다. 본 시뮬레이션에서 정의한 시뮬레이션 변수는 Table 5와 같다.

StockIndex와 Pre\_stockIndex는 각각 주적치장과 선별적치장의 적치장 선택 로직을 정하기 위한 변수이다. 조선소마다 작업의 방식이 다르고 강재를 관리하는 기준이 다르기 때문에, 본 연구에서는 적치장 선택 로직을 번호로 매핑하여 화면에서 번호에 따라 적치장 로직을 선택할 수 있도록 정의하였다. 따라서 시뮬레이션 초기화면 상에서 정의된 번호대로 입력을 하면 해당 로직이 탑재된 시뮬레이션이 수행될 수 있도록 하였다.

Pre\_selection은 선별 작업을 수행할 날짜를 결정 해주는 변수이다. 선별 작업을 어느

시점에 수행하느냐에 따라서 주적치장과 선별적치장의 부하가 달라지고 이로 인해 크레인의 이동거리와 강제 불출 시기에 영향을 주게 되어 강제적치장의 운영 효율이 달라진다. 따라서 강제적치장에 적치되어있는 강재의 불출날짜를 파악하여 불출날짜 기준 선별 작업을 해당 변수 값만큼 전에 수행 될 수 있도록 하였다. 만약 변수의 값이 100이라면, 불출 날짜기준 10일 전부터 선별 작업 목록에 추가되어 선별 작업이 수행되는 구조로 이루어져 있다.

SteelPlateLength는 단/장축 강재 분류 기준 길이를 정의할 수 있는 변수이다. 해당 변수를 활용하여 적치장간 강재의 길이를 기준으로 분류작업을 수행할 경우, 해당 변수를 바탕으로 기준을 정하여 시뮬레이션에 활용할 수 있도록 하였다.

Area\_Saturation과 MaxSizeInTempyard는 적치장의 포화상태를 판단할 수 있는 변수로서 적치장 내의 한 구역 당 포화 개수와 베이별 임시적치장에 대기할 수 있는 강재의 최대 개수를 변수로 정의하여 적치장의 포화여부를 판단하고자 하였다. 강재가 입고되어 적치될 베이는 선종별로 나누어 사전에 정의되기 때문에, 실제 작업에서 조선소의 선박 건조 상황에 따라 한 쪽 베이로 적치해야할 강재가 쏠리는 현상이 발생할 수 있다. 이를 방지하고자 임시적치장에 대기할 수 있는 강재의 개수를 정의하여 기준이상의 강재가 들어오게 된다면 다른 베이로 강재의 적치장을 재설정하기 위해 변수로서 정의하여 활용하고자 하였다.

Rank\_1st, Rank\_2nd, Rank\_3rd는 강제적치장 내에서 수행되는 입고, 선별, 불출 작업에 대해 작업 우선순위를 매길 수 있도록 한 변수이다. 강재 계획 수립 시 강제적치장과 생산 계획에 따라 작업의 긴급도를 판단하여 작업 우선순위를 사용자가 정의하여 상황에 맞는 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다.

CraneSpeed와 ConveyorSpeed는 각각 크레인과 강재 불출 시 사용되는 컨베이어의 이동속도를 의미한다. 속도의 단위는 m/s로서 초당 이동거리(m)를 기준으로 변수를 정의하였다. CraneSpeed의 경우 크레인의 허용 중량이나 작업자에 따라 이동속도가 달라질 수 있으므로 변수로서 정의하여 활용하였다. MaxSizeInTempyard는 강재가 각 베이의 주적치장으로 이동하기 전 임시적치장에 대기할 수 있는 강재의 최대 개수를 의미하는 변수이다. 강재가 입고되어 적치될 베이는 선종별로 나누어 사전에 정의되기

때문에, 실제 작업에서 조선소의 선박 건조 상황에 따라 한 쪽 베이로 적치해야 할 강재가 쏠리는 현상이 발생할 수 있다. 이를 방지하고자 임시적치장에 대기할 수 있는 강재의 개수를 정의하여 기준이상의 강재가 들어오게 된다면 다른 베이로 강재의 적치장을 재설정하기 위해 변수로서 정의하여 활용하고자 하였다. StorageSize는 적치장 별로 존재하는 적치장의 구역 개수를 의미한다. 각 베이마다 적치장의 구역 개수가 다르고 적치장의 구역 개수에 따라 시뮬레이션 결과에 영향을 주므로 변수로서 정의하였다. LoadingTime은 강재를 크레인에 부착하는데 걸리는 시간으로서 베이마다 투입되는 크레인의 종류가 다를 수 있고, 크레인의 종류가 다르면 크레인이 한 번에 들 수 있는 허용중량도 다를 것이므로 변수로서 정의하여 활용하였다.

**Table 5** The parameters using in simulation

Parameter	Description	Type
StockIndex	주적치장 내 적치장 선택 로직 결정 변수	int
Pre_stockIndex	선별적치장 내 적치장 선택 로직 결정 변수	int
Pre_selection	선별 작업 수행시기 결정 변수	int
SteelPlateLength	단/장축 강재 분류 기준 길이 변수	int
Area_Saturation	적치장 포화 판단 변수	int
MaxSizeInTempyard	베이별 임시적치장에 존재할 수 있는 강재의 최대 개수	int
Rank_1st	1 순위 작업 종류 선택 변수	int
Rank_2nd	2 순위 작업 종류 선택 변수	int
Rank_3rd	3 순위 작업 종류 선택 변수	int
CraneSpeed	크레인의 이동속도	Speed
ConveyorSpeed	컨베이어의 이동속도	Speed
StorageSize	적치장 구역 개수	int
Craneloadtime	강재를 크레인에 부착하는데 걸리는 시간	double
Craneunloadtime	강재를 크레인에서 분리하는데 걸리는 시간	double

### 4.4.3 Collection 정의

Collection은 C#의 DTO(data transfer object)와 유사한 형태로서, 목록성 데이터를 처리하는 자료구조(data structure)를 의미한다. 자료구조란 어떤 정보를 담는 다는 것을 의미하며, 하나의 데이터가 아닌 여러 데이터를 담을 때 사용하는 것이다. Collection의 경우 용도에 따라 여러 가지 방법으로 활용될 수 있다는 장점이 있다. Java에서 지원하는 자료구조 유형은 아래 Table 6과 같다. 또한 Java에 선언되어 있는 Collection 인터페이스는 Table 7과 같은 주요 메소드를 지원한다.

Table 6 The kinds of structure of Collection function

Collection	Description
ArrayList	순서가 있는 목록인 List형
HashSet	순서가 중요하지 않은 목록인 Set형
PriorityQueue	먼저 들어온 것이 먼저 나가는 Queue형
LinkedHashMap	KEY-VALUE의 형태로 저장되는 Map형

**Table 7** The major methods of declared in the Collection interface

Method name	Return type	Description
add(E e)	boolean	요소를 추가한다
addAll(Collection)	boolean	매개 변수로 넘어온 컬렉션의 모든 요소를 추가한다
clear()	void	컬렉션에 있는 모든 요소 데이터를 지운다
contains(Object)	boolean	매개 변수로 넘어온 객체가 해당 컬렉션에 있는지 확인한다. 동일한 값이 있으면 true를 리턴한다
equals(Object)	boolean	매개 변수로 넘어온 객체와 같은 객체인지 확인한다
isEmpty()	boolean	컬렉션이 비어있는지 확인한다. 비어 있으면 true를 리턴한다
remove(Object)	boolean	매개 변수와 동일한 객체를 삭제한다
removeAll(Collection)	boolean	매개 변수로 넘어온 객체들을 해당 컬렉션에서 삭제한다
size()	Int	요소의 개수를 리턴한다
toArray()	Object[]	컬렉션에 있는 데이터들을 배열로 복사한다

강제적치장 시뮬레이션에서는 선별 및 불출 작업 목록과 적치장별 구역 목록과 적치장에 존재하는 강재들의 목록 등을 Collection을 활용하여 각각의 목록에 대한 CRUD(create, read, update, delete)를 관리하였다. Collection 기능을 활용한 객체와 변수명은 Table 8과 같다.

**Table 8** The Collection functions using in steel stock yard simulation

The name of the Collection function	Collection class	Elements class	Description
Pre_treatmentList	ArrayList	String	불출 강재 목록을 강재이름 형태로 저장
Pre_selectionList			선별 강재 목록을 강재이름 형태로 저장
ProcessLog	LinkedList	String	강재적치장의 작업현황을 Log로 관리
stateToText	LinkedHashMap	KEY - StateType VALUE - String	KEY - 크레인의 작업종류 VALUE - 크레인의 작업상태명의 형태로 크레인 작업 종류 저장
DelayedTasks	ArrayList	PointNode	장축 적치장에 입고되는 강재가 적치되는 구역의 Node 좌표를 저장
DelayedTasksKey	ArrayList	String	장축 적치장에 입고되는 재의 강재이름을 저장
StockSizeCheck	LinkedHashMap	KEY - PointNode VALUE - Int	KEY - 적치장 구역의 좌표 VALUE - 각각의 적치장 구역에 존재하는 강재의 개수 적치장 구역마다의 강재 개수 저장
PreStockSizeCheck			KEY - 선별적치장 구역의 좌표 VALUE - 각각의 적치장 구역에 존재하는 강재의 개수 선별적치장 구역마다의 강재 개수 저장

#### 4.4.4 Statechart 정의

Statechart는 사용자가 정의한 규칙에 의해 특정한 형상 모델을 움직일 수 있도록 이동 조건과 동적 이벤트를 구현할 수 있다. 본 연구에서는 강재의 입고, 선별, 불출 작업을 수행하는 크레인의 동적 활동을 정의하기 위해 해당 기능을 사용하였다. Fig. 22는 크레인의 운용 프로세스를 Statechart로 정의한 것이다. Table 9는 크레인의 Statechart에 사용된 State종류에 대해 설명해 놓은 표이다.

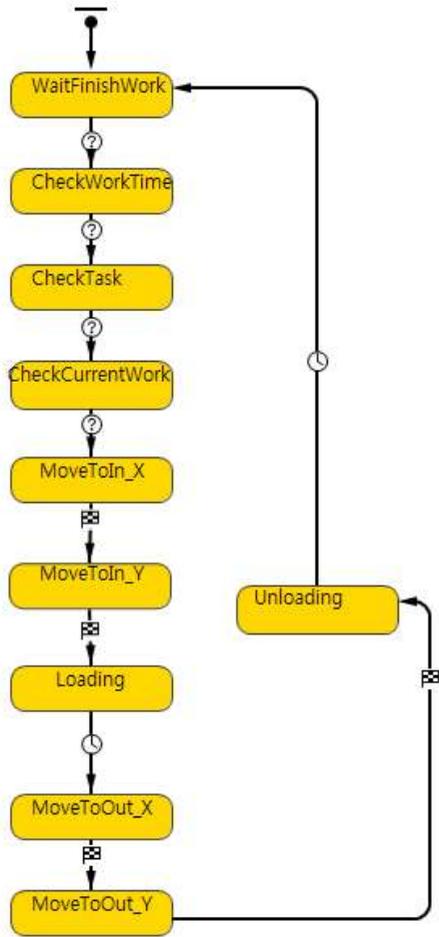


Fig. 22 Statechart of crane

Table 9 The descriptions of crane statechart

The name of states	Description
WaitFinishWork	새로운 작업 시작 전 이전 작업이 완료되었는지 확인하는 단계
CheckWorkTime	새로운 작업 시작 전 스케줄표에 근거하여 현재 작업 시간인지 판단하는 단계
CheckTask	해당 적치장 내에서 작업해야할 강재가 존재하는지 확인하는 단계
CheckCurrentWork	해당 적치장 내에서 강재를 입고, 선별, 불출해야할 대상이 있는지 확인 후 현재 작업해야할 강재로 정의하는 단계
MoveToIn_X	작업해야할 강재로 크레인을 횡방향으로 이동시키는 동적 이벤트를 수행하는 단계
MoveToIn_Y	작업해야할 강재로 크레인을 종방향으로 이동시키는 동적 이벤트를 수행하는 단계
Loading	크레인을 활용해 강재를 들어 올리는 동적 이벤트를 수행하는 단계
Unloading	크레인을 활용해 강재를 내려 놓는 동적 이벤트를 수행하는 단계
MoveToOut_X	강재를 내려 놓아야할 위치로 크레인을 횡방향으로 이동시키는 동적 이벤트를 수행하는 단계
MoveToOut_Y	강재를 내려 놓아야할 위치로 크레인을 종방향으로 이동시키는 동적 이벤트를 수행하는 단계

#### 4.5 강재적치장 시뮬레이션 모델 구축

정의한 객체 구조와 시뮬레이션 변수를 바탕으로 강재적치장 시뮬레이션 모델을 구축하였다. Fig. 23과 Fig. 24는 시뮬레이션 구동 전 초기화면을 나타낸 것이다. 초기화면은 기본 구성과 상세 설정 두 개의 창으로 구현하였으며, 그림의 상단에 있는 기본 구성과 상세 설정 텍스트를 클릭하면 해당 화면으로 전환 되도록 구성하였다. 기본 구성 화면에서는 강재적치장에서 강재 입고와 선별 작업을 수행하는 과정에서 적치장을 선택하는 방법을 선택할 수 있도록 하였다. 또한 강재 입고, 선별, 불출 작업 중 작업 우선순위를 설정할 수 있도록 하였고, 선별 작업 시작날짜 정의 및 적치장 분류 및 부하 판단 기준을 설정할 수 있도록 하였다. 상세 설정 화면에서는 강재적치장에 투입된 설비들의 능력과 적치장 내에 적치 구역의 개수를 변경할 수

있도록 함으로서 시뮬레이션 사용자가 강제적치장의 능력이나 레이아웃이 변경되는 다양한 상황에 대해 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.



Fig. 23 The general configuration of screen of steel stock yard simulation



Fig. 24 The advanced configuration of screen of steel stock yard simulation

Fig. 25는 강재적치장의 공정 모델을 구현한 것이고, Fig. 26은 강재적치장의 레이아웃을 구현한 그림이다. Table 10은 해당 공정 모델을 구현하는데 사용된 기능들의 용도를 정의한 것이다.

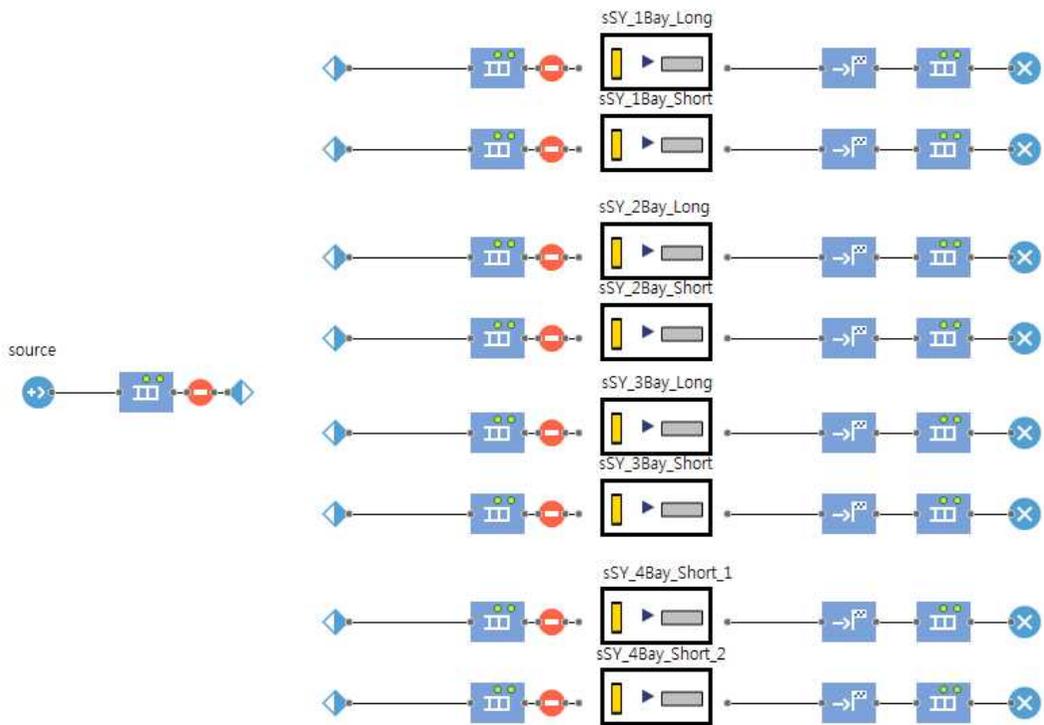


Fig. 25 The process model of steel stock yard

Table 10 The description of functions

Function	Description
Source	강재 입고 계획 엑셀 파일의 입고 날짜 정보를 바탕으로 강재를 생성하는 역할
Queue	후 공정에 강재를 전달하지 못하는 경우 강재들을 적치하는 적치공간의 역할을 수행
Hold	작업 시간이 아니거나 크레인이 강재 입고 작업을 못하는 경우 강재가 이동하지 못하게 막는 역할을 수행
MoveTo	강재를 선별적치장에서 주적치장으로 이동하거나 주적치장에서 컨베이어로 이동하는 작업을 수행
Sink	컨베이어를 통해 불출이 완료되면 해당 강재를 처리하는 역할 수행

Source에서 생성된 강재는 강재 입고 계획에 정의 되어있는 적치장 번호에 따라 각 베이의 크레인 프로세스 앞에 존재하는 Tempyard로 이동하게 된다. 이후 주적치장이 존재하는 크레인 공정에서 강재의 입고, 선별 작업을 수행하고 불출된 강재는 크레인 공정을 나와 MoveTo를 거쳐 Sink로 강재가 빠져나가게 된다.

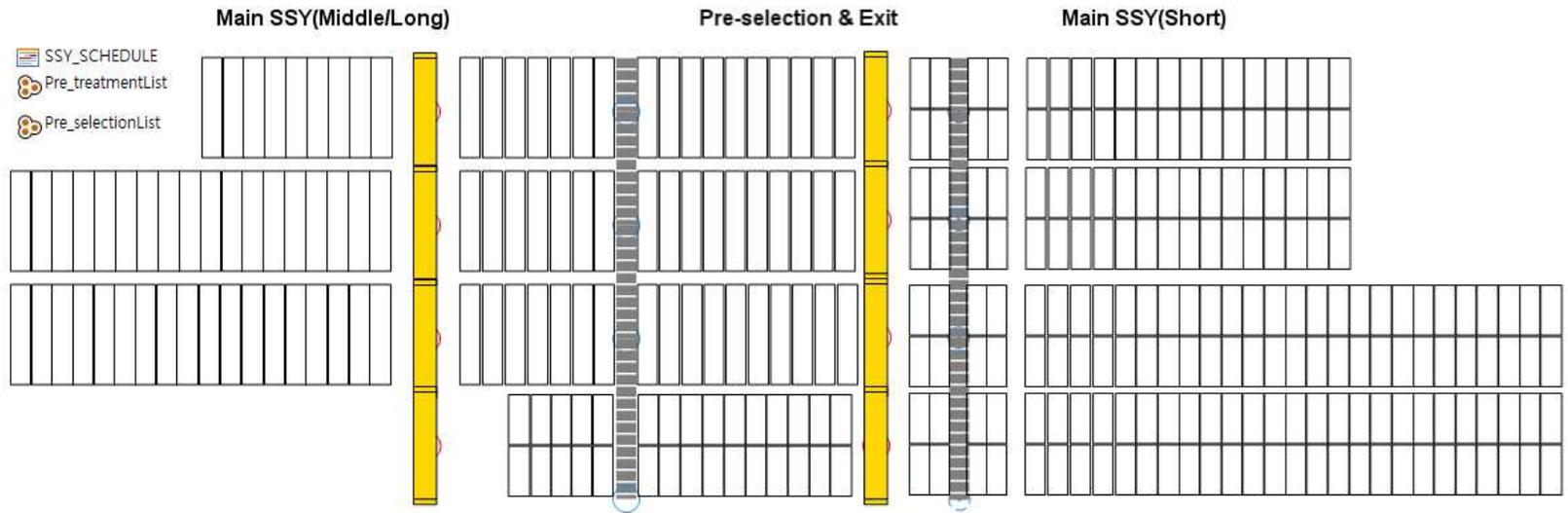


Fig. 26 The shape model of steel stock yard

Fig. 26의 좌측 상단의 SSY\_SHCEDULE은 강제적치장의 작업 시간을 반영할 수 있는 Scheduler 기능의 역할을 한다. Fig. 27은 Schedule에서 작업 시간을 반영하는 방법을 나타낸 그림이다. Repeat schedule weekly 내에서 주간 작업 기간과(start, end) 설비의 투입 Capacity(value)를 해당 시간에 투입할 것 인지를 정의하는 기능이다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 아래와 같이 오전 작업은 4시간으로서 월요일~토요일까지 수행하였고, 오후 작업은 5시간으로서 월요일~금요일까지 수행하였다. 강제적치장에 투입되는 인력은 각 크레인 당 기사 × 8 (명) + 단/장축 적치장 관리자 2 (명)로 총 10명의 작업자가 투입되는 것으로 정의하였다.

Type:

The schedule defines:  Intervals (Start, End)  Moments

Duration type:  Week  Days/Weeks  Custom (no calendar mapping)

Default value:

Repeat schedule weekly:

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Start	End	Value
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	오전 8:00	오후 12:00	10					
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	오후 12:00	오후 1:00	0				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	오후 1:00	오후 6:00	10				
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	오후 6:00	오전 8:00	0				

Fig. 27 The method to reflect work schedule using schedule function

Fig. 29는 강제적치장 시뮬레이션을 구현한 초기 화면이다. 화면의 상단에는 강제적치장 시뮬레이션 메인 화면과 크레인의 작업 상황을 확인할 수 있는 Crane Statistics, 강제적치장의 일일 산출량 정보를 확인할 수 있는 Daily Output으로 구성되어 있다. 각각의 텍스트는 버튼 클릭 이벤트로서 텍스트를 클릭하면 해당 화면으로 화면이 전환되도록 설정하였다. 그 아래엔 강제적치장의 형상 모델이 구현되어 있고, 왼쪽에는 작업일자에 따른 선별 및 불출 작업 목록을 확인할 수 있도록 선별 작업 목록의 Pre\_selectionList와 불출 작업 목록의 Pre\_treatmentList가 Collection형태로 구현되어있다. 해당 Collection을 클릭하면 앞으로 작업될 선별 및

불출 목록을 확인할 수 있도록 구성되어 있다. 화면의 오른쪽에는 현재 강제적치장의 작업 상황을 Log 형태로 파악할 수 있도록 하였다. 또한 작업을 하면서 저장되는 작업 Log 목록은 엑셀 파일에 저장하여 시뮬레이션이 끝난 후 지정된 저장 경로에 있는 엑셀 파일 내에서 확인할 수 있도록 하였다(Fig. 28).

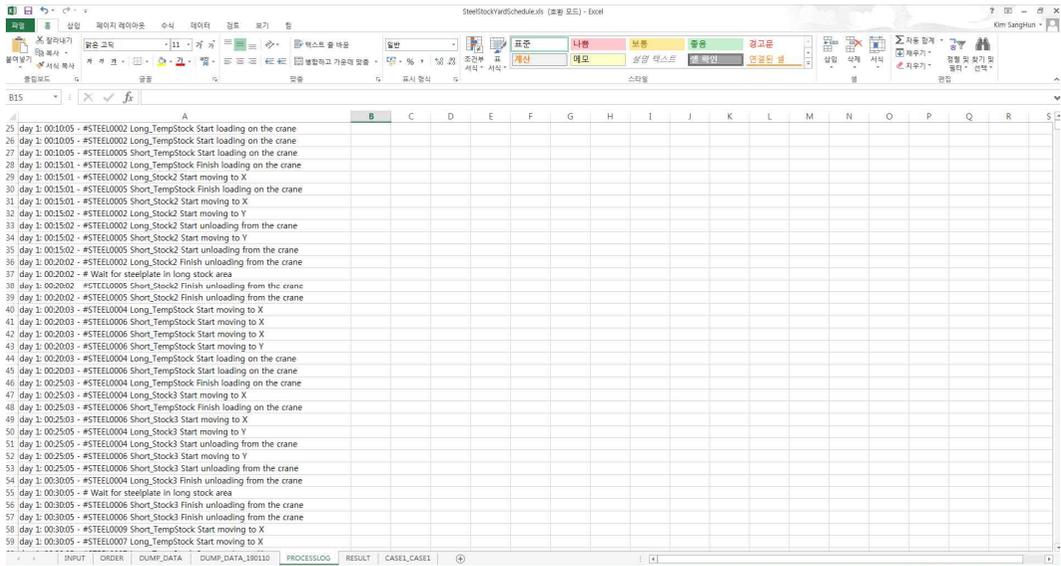


Fig. 28 The excel file saving the process logs

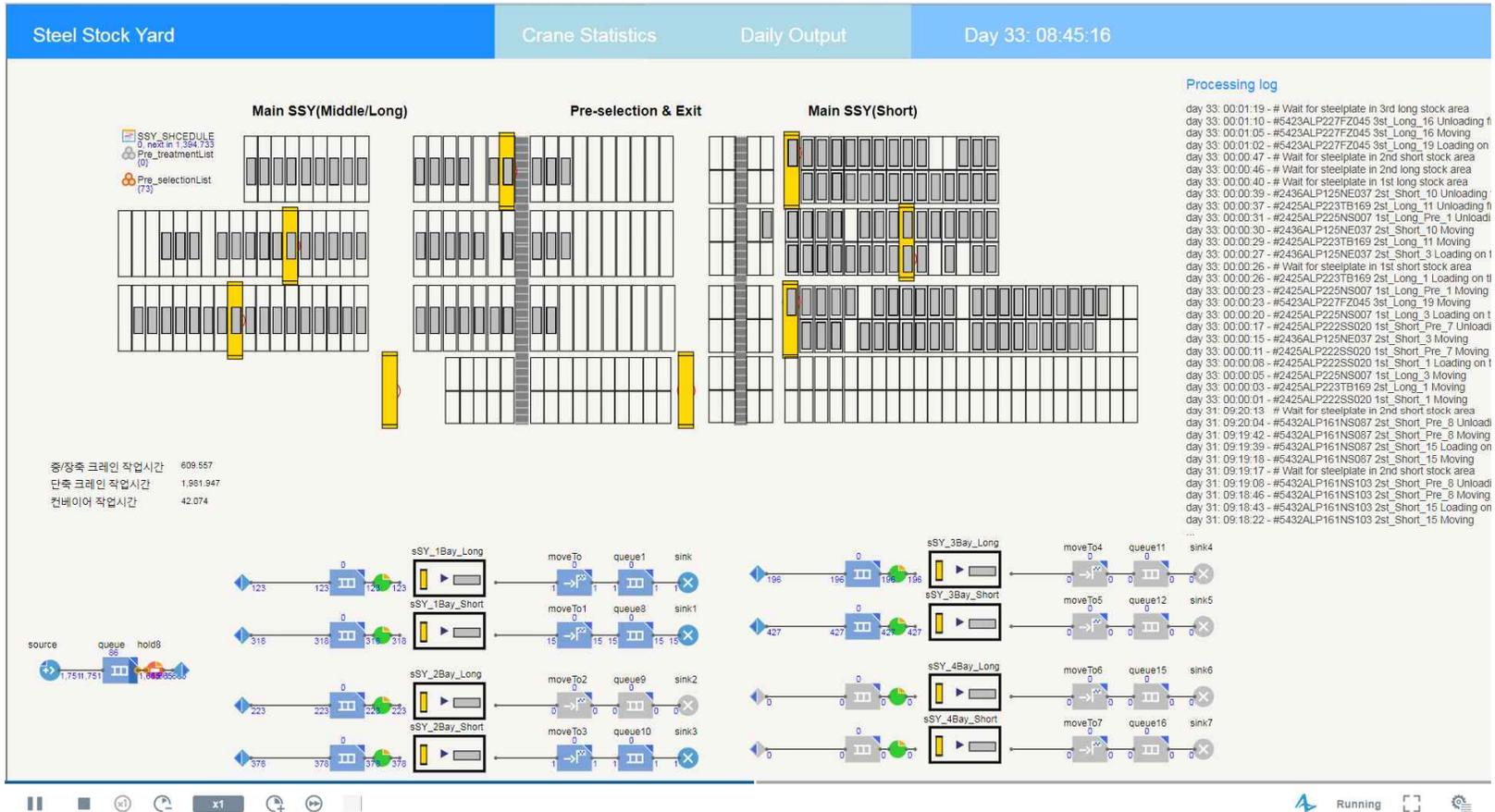


Fig. 29 The initial screen of steel stock yard simulation

Crane Statistics는 강재적치장 내에 존재하는 크레인의 작업 현황에 대한 분석을 수행할 수 있는 창이다(Fig. 30). Work Finish Percentage는 강재적치장 내에 존재하는 강재를 대상으로 시뮬레이션 기간 동안 불출해야 하는 총 강재의 개수 대비 현재 불출 완료한 개수를 백분율로 나타내어 작업의 진행속도를 보고자 하였다. Work condition & Move distance는 크레인이 강재를 이동시키기 위한 작업을 수행하면서 움직인 이동거리를 종방향과 횡방향 이동거리로 나누어 분석을 수행하였다. 이를 통해 총 이동거리를 집계하여 각 크레인별로 작업의 부하를 보고자 하였고, 작업시간 대비 크레인의 사용률을 백분율로 나타내어 작업의 정도를 직관적으로 파악하고자 하였다. 또한 시뮬레이션 시간에 따른 크레인의 작업 상황을 파악하기 위해 작업 상황을 Table 11과 같이 구분하였다.

**Table 11** The kinds of legends to describe crane work condition

Legend	Description
Waiting for next task	해당 적치장에 존재하는 강재 중 현재 작업할 대상이 없어서 기다리는 상태
Moving_X	크레인이 횡방향으로 움직이는 상태
Moving_Y	크레인이 종방향으로 움직이는 상태
Start loading	크레인이 강재를 들어 올리고 있는 상태
Finish loading	크레인이 강재를 들어 올리는 작업을 마친 상태
Start unloading	크레인이 강재를 내려놓고 있는 상태
Finish unloading	크레인이 강재를 내려놓는 작업을 마친 상태

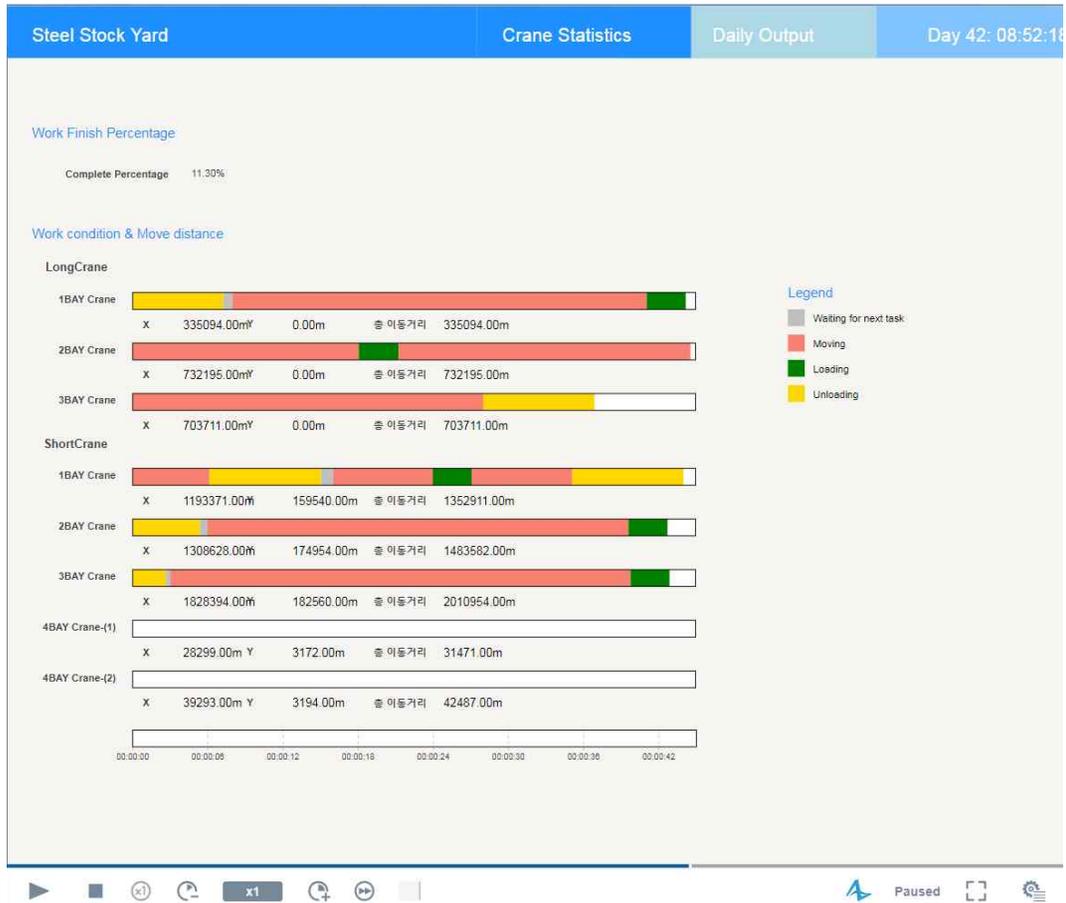


Fig. 30 The screen of Crane Statistics

Daily Output에서는 강제적치장의 산출량을 일일단위로 확인할 수 있도록 하였다(Fig 31). 상단부에는 강제적치장 내에서 강재의 일일 불출 개수, 일일 이동 강판 개수와 일일 이동 강판 무게를 확인할 수 있도록 그래프 형태로 나타내었다. 또한 일일 불출 개수, 이동 강판 개수와 무게의 최소, 최대, 평균값을 확인할 수 있도록 하였다. Daily Average Stock에서는 각 베이에 존재하는 적치장의 평균 강재 개수를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 화면의 하단에서는 경제성 평가를 위한 원가분석방법인 TDABC분석을 수행하기 위해 각 적치장에서 발생하는 강재 입고, 선별, 이적회수, 불출 작업 시 발생하는 작업횟수를 분석하였다.



## 제 5 장 강재적치장 시뮬레이션 수행 및 결과 분석

### 5.1 시뮬레이션 케이스 정의

강재적치장 시뮬레이션에서 수행한 케이스는 강재를 입고, 선별, 불출할 때 적치장 구역을 선택하는 방법을 기준으로 정의를 하였다. 본 연구에서는 기본적인 적치장 구역 선택 로직과 강재의 입고/불출 특성을 고려한 적치장 구역 선택 로직을 활용해 시뮬레이션 결과를 확인하고 최적의 케이스를 선정하고자 하였다. Logic의 종류는 총 4가지로서, 첫 째는 강재를 옮기기 위한 적치장을 선택할 때 각 적치장의 개수를 파악하여 가장 적은 강재가 적치된 곳으로 이동하도록 로직을 구현하였다. 둘째는 강재를 옮길 적치장을 특정한 규칙 없이 랜덤으로 선택하는 로직을 구현하였다. 남은 두 가지 로직은 강재적치장에서 강재가 입고 및 불출되는 경우, 같은 호선과 블록 번호끼리 묶어서 입고 및 불출작업이 이루어지고 있는 상황을 반영하여 동일 호선별 묶음 적치와 동일 블록번호별 묶음 적치로 케이스를 나누어 로직을 정의하였다. 또한 강재적치장에서 주적치장과 선별적치장의 부하와 운용 효율에 영향을 미치는 선별 작업 시작 날짜를 바꾸어가며 시뮬레이션 결과를 비교해 보고자 하였다. 일반적으로 선별 작업은 불출 일주일 전부터 수행되기 때문에, 7일을 기준으로 7일보다 선별 작업을 늦게 시작할 때의 결과를 보기 위해 불출 시작 4일 전 케이스를 추가하였다. 또한 일주일 보다 더 이른 이주일 전에 선별 작업을 수행하였을 때 결과 변화를 확인하기 위해 불출 15일 전 케이스를 기준으로 9일과 12일 전 케이스를 추가하여 변화를 분석해보고자 하였다. 시뮬레이션 기간의 경우, 시뮬레이션 초기에 강재적치장 내에 강재가 없는 것을 고려하여 강재 입고 계획에 따라 한 달간의 입고 작업을 거쳐 적당량의 재고를 보유하도록 구성하였다. 또한 강재적치장의 월간 계획을 수립한다고 가정하여 총 시뮬레이션 수행 기간을 약 2달(65일)로 정의하였으며 해당 기간 동안 입고되는 강재의 수는 6,597개 불출 강재 개수는 1,750개로 정의하였다. Table 12와 Table 13은 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 케이스를 표로 정리한 것이다.

**Table 12** The cases using basic logics

<b>Pre selection \ Deliver</b>	<b>The least number of stock area</b>	<b>Random</b>	<b>When to update pre selection work</b>
<b>The least number of stock area</b>	CASE1	CASE6	Release day - 4
	CASE2	CASE7	Release day - 7
	CASE3	CASE8	Release day - 9
	CASE4	CASE9	Release day - 12
	CASE5	CASE10	Release day - 15
<b>Random</b>	CASE11	CASE16	Release day - 4
	CASE12	CASE17	Release day - 7
	CASE13	CASE18	Release day - 9
	CASE14	CASE19	Release day - 12
	CASE15	CASE20	Release day - 15

**Table 13** The cases using logics considering the deliver / release characteristics

<b>Pre selection \ Deliver</b>	<b>Project number</b>	<b>Block number</b>	<b>When to update pre selection work</b>
<b>Project number</b>	CASE21	CASE26	Release day - 4
	CASE22	CASE27	Release day - 7
	CASE23	CASE28	Release day - 9
	CASE24	CASE29	Release day - 12
	CASE25	CASE30	Release day - 15
<b>Block number</b>	CASE31	CASE36	Release day - 4
	CASE32	CASE37	Release day - 7
	CASE33	CASE38	Release day - 9
	CASE34	CASE39	Release day - 12
	CASE35	CASE40	Release day - 15

## 5.2 시뮬레이션 결과 지표 정의

시뮬레이션 결과를 분석하기 위해 지표를 정의하여 객관적으로 비교를 수행해 보고자 하였다. 크게 일일산출량지표, 주적치장부하지표, 크레인지표로 나누어 결과를 확인하였다. 일일산출량지표에서는 하루에 평균적으로 불출되는 강재의 개수와 크레인에 의해 이동되는 강판의 이동 개수와 무게를 파악해 보고자 하였다. 적치장부하지표의 경우, 강재의 입고 및 출고 개수의 변화와 선별 작업 시작일의 변화에 따라 변경되는 주적치장의 부하를 파악하기 위해 선정한 지표이다. 마지막으로 크레인지표의 경우는 적치장선택로직과 선별 시작 일자의 변경에 따라 나타나는 크레인의 이동거리를 알아보려고 하였다. 강재적치장을 효율적으로 운용한다는 것은 결국 강재의 이동을 최소화하는 방법을 찾고 이를 통해 크레인의 이동을 최소화하는 것이라고 할 수 있다. 따라서 크레인의 이동거리는 강재적치장의 운용 효율을 판단하는 가장 중요한 지표라고 할 수 있다. Table 14는 정의한 지표의 계산식을 정리한 표이다.

Table 14 The index for case comparison

Parameter	Index	Description
일일산출량지표	일일 평균 불출 개수(EA/day)	실제 불출된 강재의 수 / 작업일수
	일일 평균 강판 이동 개수(EA/day)	강재적치장 내에서 강재가 이동한 횟수 / 작업일수
	일일 평균 이동 강판 무게(ton/day)	강재적치장 내에서 이동한 강재의 총 무게 / 작업일수
주적치장 부하지표	주적치장 평균 적치 수량(EA/day)	구역별 적치장 내의 강재 보유 수량 / 작업일수
크레인지표	크레인 이동거리(m)	각 구역에서 움직이는 크레인의 총 이동거리

### 5.3 시뮬레이션 결과 분석

5.1장에서 정의한 케이스를 바탕으로 총 40가지 케이스에 대한 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 확인하였다.

시뮬레이션을 수행한 결과 일일 평균 불출 개수의 경우 모든 케이스에서 기간 내 불출해야하는 강재를 모두 불출 완료하였고, 불출되는 강재의 개수가 동일했기 때문에 모든 케이스에서 동일한 평균 불출 개수가 나타났다. 일일 평균 강판 이동 개수와 일일 평균 이동 강판 무게는 크레인 이동거리의 변화와 증감의 경향이 동일하게 나타났다. 따라서 강재적치장의 운용 효율을 판단하기 위해 크레인의 이동거리 지표를 상세히 분석 해보기로 하였고, 해당 두 지표의 경우는 케이스 별 강재적치장의 실적을 파악하기 위한 지표로서 확인하였다. 주적치장 평균 적치 수량의 경우 적용한 로직이 다르고 선별 시작일자가 같은 경우 선별 작업을 위해 선별적치장으로 이동된 강재의 개수와 이동 시기가 동일하기 때문에 Table 15와 같이 주적치장 평균 적치 수량이 모두 유사한 것을 확인할 수 있다. 반대로 적용한 로직이 같고 선별 시작일자가 다른 경우 선별 작업을 빠르게 시작할수록 선별적치장으로 옮겨지는 강재의 개수가 증가하게 되었고 이는 주적치장의 적치 수량을 감소시키는 결과로 나타났다(Table 16).

**Table 15** The results of daily output & stock level(Pre selection start before release D-4)

Index		CASE1	CASE6	CASE1 1	CASE1 6	CASE2 1	CASE2 6	CASE3 1	CASE3 6
Deliver / Pre selection logic		The least / The least	Random / The least	The least / Random	Random / Random	Project number / Project number	Block number / Project number	Project number / Block number	Block number / Block number
Daily average number of release steel plate (EA/day)		22.78	27.7	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
Daily average number of moved steel plate (EA/day)		479.9	551.9	480.7	556.3	307.1	306.8	301.3	306.7
Daily average weight of moved steel plate (ton/day)		1,950.0	2,163.9	1,890.4	2,209.4	1,253.8	1,251.5	1,234.1	1,258.4
Average level of 1 Bay main stock(EA/day)	Long	204.7	204.7	204.8	204.7	204.7	204.7	204.7	204.7
	Short	305.3	305.5	305.2	305.4	305.2	305.2	305.2	305.2
Average level of 2 Bay main stock(EA/day)	Long	250.3	250.3	250.3	250.3	250.3	250.3	250.3	250.3
	Short	314.3	314.5	314.3	314.5	314.2	314.2	314.2	314.2
Average level of 3 Bay main stock(EA/day)	Long	229.9	229.9	229.9	229.9	229.9	229.9	229.9	229.9
	Short	442.8	443.4	442.8	443.5	442.5	442.5	442.5	442.5
Average level of 4 Bay main stock(EA/day)	Short (1)	172.9	174.1	173.8	174.5	174.1	173.4	173.4	173.4
	Short (2)	173.2	173.8	173.5	174.2	173.8	173.5	173.5	173.5

**Table 16** The results of daily output & stock level(The least / The least)

Index		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
Pre selection work start time(Release D-x)		Release D-4	Release D-7	Release D-9	Release D-12	Release D-15
Daily average number of release steel plate (EA/day)		22.78	27.7	27.3	27.3	27.3
Daily average number of moved steel plate (EA/day)		479.9	489.8	488.7	477.5	451.5
Daily average weight of moved steel plate (ton/day)		1,950.0	1,956.0	1,949.9	1,872.3	1,773.2
Average level of 1 Bay main stock(EA/day)	Long	204.7	198.1	193.0	187.3	180.5
	Short	305.3	299.1	297.6	294.3	284.2
Average level of 2 Bay main stock(EA/day)	Long	250.3	238.9	235.4	222.7	212.1
	Short	314.3	310.8	308.1	304.6	298.3
Average level of 3 Bay main stock(EA/day)	Long	229.9	219.9	212.9	203.4	194.0
	Short	442.8	432.9	425.8	401.4	382.3
Average level of 4 Bay main stock(EA/day)	Short(1)	172.9	154.1	145.2	131.1	120.8
	Short(2)	173.2	154.5	145.1	130.8	121.2

크레인 이동거리의 경우 수행한 케이스 중 선별시작일자가 빠를수록 이동거리가 감소하는 결과가 나타났다. 이는 강재의 부하가 주적치장과 선별적치장으로 분산됨으로서 강재 이적 작업을 수행하는데 필요한 불필요한 강재의 이동 작업이 감소한 것으로 보인다. 따라서 적치장 선택 로직의 조합에 따른 최적의 케이스를 선정하기 위해 총 40가지의 케이스 중 선별작업시작일자를 불출 15일 전으로 정의했던 케이스만을 추려서 자세히 분석해보고자 하였다. 해당 케이스는 총 8개로서 Fig. 32와 같다.

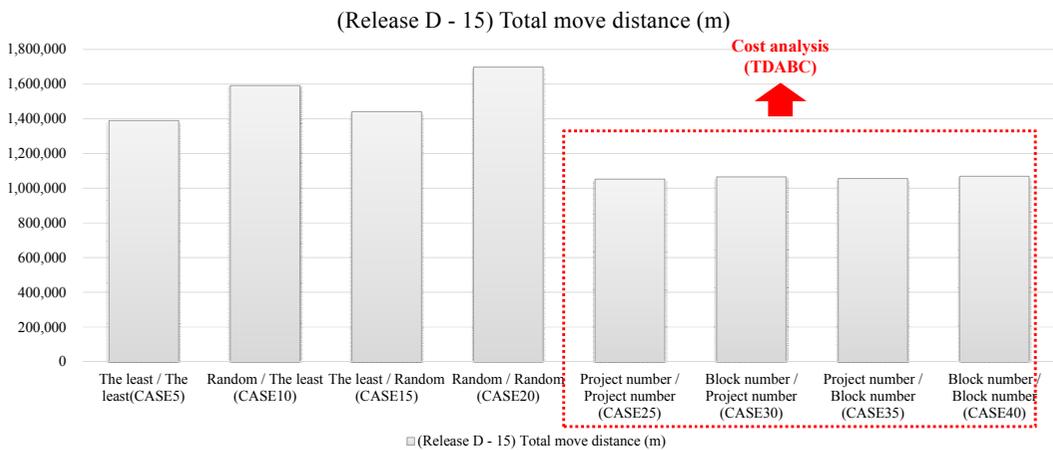


Fig. 32 The graph of total move distance of cranes

각 케이스의 이동거리를 그래프를 통해 비교해본 결과 CASE25, CASE30, CASE35, CASE40이 유사한 이동거리를 가지면서 다른 케이스에 비해 결과가 낮게 나타났다. 따라서 4개 케이스 중 실질적으로 가장 효율적인 케이스를 원가분석방법인 TDABC분석을 통해 선정 해보고자하였다.

## 5.4 TDABC 분석

2.3장에서 소개한 경제성 분석 방법을 통해 4개 케이스에 대한 원가총액을 구하여 결과를 비교해 보고자 하였다. 가장 우선적으로 항만 컨테이너 터미널의 운용비용에 관한 회계 자료를 바탕으로 강재적치장의 규모에 맞게 Table 17과 같이 정의하였다. 본 연구에서는 항만 컨테이너 터미널과 강재적치장에서 처리하는 물량을 바탕으로 1/100비율로 비용 규모를 축소하였다.

Table 17 The operation cost of steel stock yard

Parameter	Cost(million)	Percentage
Human resources	13.9	33.0%
Repair cost	1.47	3.5%
Power cost	1.61	3.8%
Depreciation cost	1.95	4.6%
Facility cost	12.59	29.8%
Interest expense	6.95	16.4%
Etc cost	3.73	8.8%
Total	42.2	100.0%

다음으로 작업 기간 내에 강재적치장에서 발생하는 작업 종류들에 대한 원가 분석을 수행하기 위해 강재적치장에서 강재를 이동시키는 작업이 발생했을 때 해당 작업을 수행하기 위해 투입되는 원가들의 종류와 종류별로 소요되는 원가의 비용을 각각 변수와 상수 값으로 정의하여 총 10가지 원가 종류에 대한 비용방정식을 아래와 같이 정의하였다.

$$\text{비용방정식(강재 이적서비스 원가)} = c1X1 + c2X2 + c3X3 + c4X4 + c5X5 + c6X6 + c7X7 + c8X8 + c9X9 + c10X10$$

$c1 \sim c10$  = 각 변수의 상수(강재 1개의 작업을 위해 투입되는 원가 종류별 비용)

$X1$  = 모든 부서의 사무직 및 업무 지원 인력

$X2$  = 단축 크레인 운용 부서

$X3$  = 장축 크레인 운용 부서

$X4$  = 컨베이어 운용 부서

$X5$  = 정비부서의 장비 수리 및 유지보수 부서

$X6$  = 강재적치장의 작업을 계획, 관리, 모니터링 및 지원하는 업무팀 부서

$X7$  = 크레인 신호수 등 적치장 업무를 지원하는 현업 부서

$X8$  = 단축 적치장 시설 이용료

$X9$  = 장축 적치장 시설 이용료

$X10$  = 기타 투입되는 간접 자원

본 연구에서는 강재적치장 내에서도 강재를 이동하기 위해 사용되는 크레인의 운용을 위해 필요한 원가들을 위주로 변수를 선정하였으며, 이 외에 투입되는 비용들에 대해서는  $X10$ 의 기타 비용으로 정의하여 투입되는 변수의 종류를 단순화 하였다.

다음으로 Table 17을 바탕으로  $X1 \sim X10$ 에 분배되는 원가를 Table 18과 같이 정의하였다. 이를 바탕으로 작업 기간 내에 실제 작업시간을 바탕으로 각 투입 변수별로 강재 1개 작업을 위해 각 변수에서 발생하는 비용을 분석하고자 하였다.

Table 18 The supplied cost per capacity of steel stock yard work

강제적치장	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	합계
	사무	단축 크레인	장축 크레인	컨베이어	M&R	연구직	현업직	장축 적치장	단축 적치장	기타 간접비	
인원	3	10	6	2	4	5	4				34
인건비	1.2	4.1	2.5	0.8	1.6	2.0	1.6				13.9
동력비		0.5	0.5	0.4						0.2	1.6
장비유지비		0.5	0.3	0.4						0.2	1.5
장비상각비		0.8	0.5	0.7							2.0
시설사용료								4.7	7.9		12.6
영업권/이자										7.0	7.0
기타비용										3.7	3.7
합 계 (백만원)	1.2	5.9	3.8	2.3	1.6	2.0	1.6	4.7	7.9	11.1	42.2

최종적으로 비용의 종류마다 실질적으로 투입되는 비용의 양을 분석하기 위해서 실제 작업시간을 바탕으로 Table 19와 같이 강재 1개 작업을 위해 투입되는 실질 비용을 분석하였다. 최대조업도는 작업 기간 내에 유휴시간 없이 최대로 작업 했을 때를 의미한다. 본 연구에서는 평일 9시간, 주말(토요일) 4시간 작업을 기준으로 65일 내에 존재하는 평일과 주말(토요일)의 횟수와 작업자 수를 곱하여 총 작업시간(분)을 산출하였다. 실제조업도는 X2 ~ X4의 경우 시뮬레이션 상에서 실제로 크레인과 컨베이어가 가동된 작업시간을 산출하여 반영하였다. 일회 조업 당 시간의 경우 실제조업도를 해당 작업 기간 내에 작업된 강재의 총 개수로 나누어 구하였다. 또한 인건비 조업도 단가의 경우 각 변수에 투입된 인건비를 실제조업도로 나누어 구하였다. 최종적으로 일회 조업 당 시간과 인건비 조업도 단가를 곱하여 강재 1개를 작업할 때 발생하는 원가인 조업도 원가를 각 변수별로 구하였다.

Table 19 The actual supplied cost related to labor costs

강재적치장	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
	사무	단축 크레인	장축 크레인	컨베이어	M&R	연구직	현업직
인원	3	10	6	2	4	5	4
인건비(백만원)	1.2	4.1	2.5	0.8	1.6	2.0	1.6
최대조업도(분)	82,620	275,400	165,240	55,080	110,160	137,700	110,160
실제조업도(분)	82,620	19,485	9,286	2,084	110,160	137,700	110,160
일회 조업 당 시간(분)/ EA	12.52	2.95	1.41	0.32	16.70	20.87	16.70
인건비 조업도 단가(원/분)	149	2,103	2,648	3,933	149	149	149
조업도 원가(1unit)	186.4	621.3	372.8	124.3	248.5	310.6	248.5

Table 20은 인건비를 제외한 비용에 대한 실질 비용을 분석한 것이다. 인건비를 제외할 경우 다른 비용은 시간동인으로 자원의 실질 투입율을 산출할 수 없기 때문에 각각의 비용을 실제 조업도로 나누어 단위당 원가를 산출하였다. 또한 단위당 원가가 결국 조업도 원가와 같은 의미를 가지므로 둘은 같은 값을 가진다.

**Table 20** The actual supplied cost except labor costs

강제적치장	X2	X3	X4	X8	X9	X10
	단축 크레인	장축 크레인	컨베이어	장축 적치장	단축 적치장	기타 간접비
<b>동력비</b>						
직접 비용(백만원)	0.5	0.5	0.4			
단위당 원가(원)	79.4	71.5	63.5			-
조업도 원가(1unit)	79.4	71.5	63.5			303
실제 조업도(EA)	6,597	6,597	6,597			6,597
가용 조업도(EA)	42,857	42,857	42,857			42,857
<b>장비유지비</b>						
직접 비용(백만원)	0.5	0.3	0.4			0.2
단위당 원가(원)	80.5	48.3	64.4			4.7
조업도 원가(1unit)	80.5	48.3	64.4			4.7
실제 조업도(EA)	6,597	6,597	6,597			6,597
가용 조업도(EA)	42,857	42,857	42,857			42,857
<b>장비투자 상각비</b>						
직접 비용(백만원)	0.8	0.5	0.7			
단위당 원가(원)	123.2	73.9	98.6			
조업도 원가(1unit)	123.2	73.9	98.6			
실제 조업도(EA)	6,597	6,597	6,597			
가용 조업도(EA)	42,857	42,857	42,857			
<b>시설사용료</b>						
직접 비용(백만원)				4.7	7.9	
단위당 원가(원)				715.9	1,193.1	

조업도 원가(1unit)				715.9	1,193.1	
실제 조업도(EA)				6,597	6,597	
가용 조업도(EA)				42,857	42,857	
<b>시설사용료</b>						
직접 비용(백만원)						7.0
단위당 원가(원)						1,053.7
조업도 원가(1unit)						1,053.7
실제 조업도(EA)						6,597
가용 조업도(EA)						42,857
<b>시설사용료</b>						
직접 비용(백만원)						3.7
단위당 원가(원)						565.9
조업도 원가(1unit)						565.9
실제 조업도(EA)						6,597
가용 조업도(EA)						42,857

상기 과정을 통해 분석된 비용별 실질 조업도 원가를 Table 21과 같이 정리하였다.  
이를 바탕으로 비용방정식을 아래와 같이 정의하였다.

$$\text{비용방정식(강재 이적서비스 원가)} = 186X1 + 905X2 + 567X3 + 351X4 + 248X5 + 310X6 + 248X7 + 715X8 + 1,193X9 + 1,654X10$$

Table 21 The actual supplied cost per capacity of steel stock yard work

강재적치장	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
	사무	단축 크레인	장축 크레인	컨베이어	M&R	연구직	현업직	장축 적치장	단축 적치장	기타 간접비
인원	3	10	6	2	4	5	4			
인건비	186.4	621.3	372.8	124.3	248.5	310.6	248.5			
동력비		79.4	71.5	63.5						30.3
장비유지비		80.5	48.3	64.4						4.7
장비상각비		123.2	73.9	98.6						
시설사용료								715.9	1,193.1	
영업권/이자										1,053.7
기타비용										565.9
합 계 (백만원)	186.7	905.4	567.1	351.0	248.5	310.6	248.5	715.9	1,193.1	1,654.6

TDABC 원가 분석의 마지막 단계는 비용방정식을 활용하여 작업 종류별로 소비되는 강재의 원가를 산출하는 과정이다. 이를 위해서는 앞에서 정의한 비용방정식 내에서 사용되는 10가지 변수에 대해, 각각의 케이스마다 작업 종류별로 강재를 이동하기 위해 투입되는 변수들의 비율을 분석할 필요가 있다.

강재적치장 내에서 강재를 작업하기 위해 발생하는 작업의 유형은 강재 입고, 선별, 불출 그리고 이외에 작업 대상인 강재를 빼내기 위해 해당 강재 위에 존재하는 강재들을 적치장내 다른 구역으로 이동시키는 단순 이동 작업이 있다. 해당 작업의 발생 횟수는 케이스마다 다르게 발생하고 있기 때문에 CASE30에 대해 시뮬레이션 시 해당 작업의 발생횟수를 파악하여 Table 22와 같이 정리하였다. 강재적치장 내의 총 4개 Bay에서 발생하는 작업 횟수를 확인하였으며, 작업 발생 시 단축크레인, 장축크레인, 컨베이어 중 어떠한 설비에 의해 작업이 발생되는지를 파악하였다. 또한 이를 바탕으로 Table 23에서는 시뮬레이션을 통해 구한 작업 발생 횟수를 바탕으로 CASE30의 X2, X3, X4, X8, X9의 투입 비율을 정의하였다.

Table 22 The number of work event during simulation(CASE30)

작업유형 \ 적치장 종류	1Bay			2Bay			3Bay			4Bay			합 계		
	단축	장축	컨베이어	단축	장축	컨베이어	단축	장축	컨베이어	단축	장축	컨베이어	단축	장축	컨베이어
입 고	941	651	0	1,012	755	0	1,305	717	0	608	608	0	4,474	2,123	0
이 동	1,983	695	0	2,632	1,265	0	2,558	985	0	0	0	0	7,173	2,945	0
선 별	696	252	0	1,086	619	0	1,385	401	0	0	0	0	3,167	1,272	0
불 출	332	134	466	403	237	640	444	200	644	0	0	0	1,179	571	1,750
합 계	3,952	1,732	466	5,133	2,876	640	5,692	2,303	644	608	608	0	15,993	6,911	1,750

Table 23 The variables of work input ratio for each type of work(CASE30)

강제적치장	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
	사무	단축 크레인	장축 크레인	컨베이어	M&R	연구직	현업직	장축 적치장	단축 적치장	기타 간접비
1 Bay 입고	1.00	1.00	0.69	0.00	1.00	1.00	1.00	0.69	1.00	1.00
2 Bay 입고	1.00	1.00	0.75	0.00	1.00	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00
3 Bay 입고	1.00	1.00	0.55	0.00	1.00	1.00	1.00	0.55	1.00	1.00
4 Bay 입고	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
1 Bay 이동	1.00	1.00	0.35	0.00	1.00	1.00	1.00	0.35	1.00	1.00
2 Bay 이동	1.00	1.00	0.48	0.00	1.00	1.00	1.00	0.48	1.00	1.00
3 Bay 이동	1.00	1.00	0.39	0.00	1.00	1.00	1.00	0.39	1.00	1.00
4 Bay 이동	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
1 Bay 선별	1.00	1.00	0.36	0.00	1.00	1.00	1.00	0.36	1.00	1.00
2 Bay 선별	1.00	1.00	0.57	0.00	1.00	1.00	1.00	0.57	1.00	1.00
3 Bay 선별	1.00	1.00	0.29	0.00	1.00	1.00	1.00	0.29	1.00	1.00
4 Bay 선별	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
1 Bay 불출	1.00	1.00	0.40	1.40	1.00	1.00	1.00	0.40	1.00	1.00
2 Bay 불출	1.00	1.00	0.59	1.59	1.00	1.00	1.00	0.59	1.00	1.00
3 Bay 불출	1.00	1.00	0.45	1.45	1.00	1.00	1.00	0.45	1.00	1.00
4 Bay 불출	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00

작업의 종류는 4개의 Bay에서 앞서 정의한 4가지 작업 유형이 발생하므로 총 16가지로 정의하였다. 1Bay 입고 작업을 예로 들어 설명하자면, Table 22에서 1Bay 입고 작업을 위해 단축 크레인 941회, 장축 크레인 651회, 컨베이어 0회가 사용된 것을 확인할 수 있다. 따라서 평균적으로 단축 크레인변수 X2가 1회 투입될 시 장축 크레인변수 X3은 0.69, X4는 0.00만큼의 비율로 투입이 되고 X8과 X9의 경우도 결국 크레인이 운용된 만큼 해당 적치장의 면적이 사용된 것이므로 X3과 X8, X2와 X9는 같은 투입 비율을 가진다고 할 수 있다. 이 외의 나머지 변수들의 투입 비율을 적치장에서 발생하는 작업의 종류와 상관없이 모두 투입비율을 1.00이라고 가정하고 원가 분석을 수행하였다. 최종적으로 강재 1개에 대해 1Bay에서 입고 작업이 수행될 경우, 해당 작업의 원가를 산출하는 식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{1Bay 입고 작업 원가} &= 186 \times 1 + 905 \times 1 + 567 \times 0.69 + 351 \times 0 + 248 \times 1 + \\
 &\quad 310 \times 1 + 248 \times 1 + 715 \times 0.69 + 1,193 \times 1 + 1,654 \times 1 \\
 &= 5,636\text{원}
 \end{aligned}$$

나머지 15 종류의 이벤트에 대해서도 동일한 방법으로 원가를 산출할 수 있으며 계산 결과는 Table 24와 같다.

**Table 24** The costs of 1 Bay deliver work for each work type

작업종류	1EA 당 원가	작업종류	1EA 당 원가
1 Bay 입고	5,636	1 Bay 선별	5,213
2 Bay 입고	5,705	2 Bay 선별	5,480
3 Bay 입고	5,453	3 Bay 선별	5,120
4 Bay 입고	4,748	4 Bay 선별	2,650
1 Bay 이동	5,198	1 Bay 불출	5,759
2 Bay 이동	5,365	2 Bay 불출	6,060
3 Bay 이동	5,242	3 Bay 불출	5,835
4 Bay 이동	2,650	4 Bay 불출	2,650

따라서 CASE25, CASE30, CASE35, CASE40에 대해 작업 종류 별로 강재 1개를 작업하는데 필요한 원가를 Table 24와 같이 산출하였고, 각 작업 종류에 대한 발생 횟수를 시뮬레이션 상에서 확인하여 둘의 값을 곱함으로써 각 케이스별 원가 총액을 구하였다. 지 15 종류의 이벤트에 대해서도 동일한 방법으로 원가를 산출할 수 있으며 계산 결과는 Table 25와 같다.

Table 25 The comparison the cost among cases

강제적치장	CASE 25( Project number / Project number)		CASE 30( Block number / Project number)		CASE 35( Project number / Block number)		CASE 40( Block number / Block number)	
	1개 당 원가	발생횟수	1개 당 원가	발생횟수	1개 당 원가	발생횟수	1개 당 원가	발생횟수
1 Bay 입고	5,123	1,592	5,636	1,592	5,636	1,592	5,636	1,592
2 Bay 입고	5,151	1,767	5,705	1,767	5,705	1,767	5,705	1,767
3 Bay 입고	5,064	2,022	5,453	2,022	5,453	2,022	5,453	2,022
4 Bay 입고	5,269	1216	4,748	1,216	4,748	1,216	4,748	1,216
1 Bay 이동	5,039	2683	5,200	2,669	5,178	2,692	5,198	2,678
2 Bay 이동	5,023	3756	5,339	3,632	5,444	4,041	5,365	3,897
3 Bay 이동	5,032	3726	5,273	3,496	5,191	3,772	5,242	3,543
4 Bay 이동	4,039	0	2,650	0	2,650	0	2,650	0
1 Bay 선별	4,985	939	5,219	939	5,213	948	5,213	948
2 Bay 선별	5,070	1420	5,443	1,420	5,480	1,705	5,480	1,705
3 Bay 선별	5,019	1738	5,171	1,739	5,118	1,784	5,120	1,786
4 Bay 선별	4,037	0	2,650	0	2,650	0	2,650	0
1 Bay 불출	5,856	466	6,283	466	6,283	466	6,283	466
2 Bay 불출	6,056	640	6,653	640	6,653	640	6,653	640
3 Bay 불출	5,907	644	6,377	644	6,377	644	6,377	644
4 Bay 불출	4,040	0	2,650	0	2,650	0	2,650	0
	Total	122,501,106	Total	120,075,037	Total	126,091,148	Total	123,986,075

Figure 33의 이동거리와 Table 25의 원가총액을 Table 26에서 비교해 보았다. 최종적으로 CASE 25에서 크레인의 총 이동거리가 가장 낮게 나타났지만, 원가 분석을 통해 분석한 원가 총액의 경우 CASE 30이 가장 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 이동거리 대비 투입원가를 분석했을 때 CASE 30이 가장 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었고, 총 40개의 케이스 중 CASE 30을 가장 적합한 적치장 선택 로직 조합으로 판단하였다.

Table 26 The comparison the cost and move distance among cases

	CASE 25( Project number / Project number)	CASE 30( Block number / Project number)	CASE 35( Project number / Block number)	CASE 40( Block number / Block number)
총 이동거리 (m)	1,052,311	1,065,359	1,056,505	1,068,697
원가 총액 (원)	122,501,106	120,075,037	126,091,148	123,986,075
이동거리 당 투입원가(원/m)	116.4	112.7	119.3	116.0

## 5.5 강재입고계획 수립

강재적치장 시뮬레이션 연구 결과를 바탕으로 기존의 강재입고계획을 좀 더 상세히 수립해보고자 하였다. 현재는 대부분의 조선소는 강재가 입고될 때 입고되는 강재의 이름과 입고 날짜, 강재의 종류에 따른 입고 베이가 할당되어 제공을 하고 있다. 하지만 강재적치장은 한정된 공간 내에서 많은 강재가 입고되기 때문에 경우에 따라 특정 베이의 부하가 높아지는 경우, 상황에 따라 실제로 입고되는 베이가 달라지는 경우가 발생한다. 또한 강재 입고 시에 적치장 내 강재를 하역할 구역을 판단하기 위한 의사결정을 할 때 불필요한 시수가 투입되고 있는 상황이다. 또한 강재의 잦은 이동으로 인한 품질 저하를 방지하고 강재의 이적횟수를 파악하기 위해 계획 기간 내 각각의 강재에 대한 이동 횟수에 관한 정보를 제공할 필요가 있다. 따라서 시뮬레이션

수행 시 입고 작업을 수행할 때, 베이의 부하를 고려하여 선택된 실제 적치 베이와 해당 베이 내에서 선택된 적치 구역에 관한 정보, 시뮬레이션 기간 내에 각각의 강재가 다른 위치로 이동되는 횟수를 파악하고 이를 기존 강재 입고 계획이 기록되어 있는 엑셀 파일에 Table 27과 같이 추가적으로 칼럼을 생성하여 저장하여 개선된 강재 입고 계획을 수립해보고자 하였다.

5.4장에서 최적의 케이스로 판단하였던 CASE 30의 경우 시뮬레이션 기간 동안 발생한 계획 변경 횟수는 총 1,580회로서 현장에서 1회 계획 변경 시 1분의 작업 지연이 발생한다고 가정하면 지연 시간은 총 26시간으로서 일일 9시간 작업 기준 대략 3일 가량의 작업지연을 방지할 수 있는 효과를 기대할 수 있다. 또한 이를 통해 강재적치장에서 실제로 작업을 수행할 때 작업자들의 숙련도를 바탕으로 이루어지는 작업요소를 최소화하고 만약 작업자가 변경되거나 최악의 경우 그만두는 상황이 발생하더라도 해당 강재 입고 계획을 바탕으로 강재적치장을 문제없이 효율적으로 운용할 수 있을 것이라고 판단하였다.

**Table 27** The repaired steel plate deliver planning

Steel name	Deliver date	Stock bay	Actual stock bay	Actual stock area	Move count
Steel plate_1	2016-11-30	A	B	1	4
Steel plate_2	2016-11-30	B	D	5	6
Steel plate_3	2016-11-30	B	D	8	2
Steel plate_4	2016-11-30	C	B	2	3
Steel plate_5	2016-11-30	D	C	6	5
Steel plate_6	2016-11-30	D	A	4	1

## 제 6 장 결론

### 6.1 연구 결론

본 논문에서는 크레인을 활용해 강재를 적치장 내에 하역하고자 할 때 적치장을 선택하는 로직을 다양하게 정의하고 이를 시뮬레이션을 통해 분석해 봄으로서 최적의 로직 조합을 찾고 강재 입고 계획을 기존보다 상세히 수립함으로써 강재적치장 내에 존재하는 강재를 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 제시해 보고자 하였다.

강재적치장 운영 효율화 방안에 관한 연구를 수행함으로써 아래와 같이 3가지 관점에서 의의가 있다.

첫 째, 강재적치장 시뮬레이션 모델을 구현하고 시뮬레이션 시작 시 작업방식이나 작업우선순위, 설비능력, 적치장 레이아웃을 수정할 수 있도록 함으로서 시뮬레이션 사용자가 강재적치장의 다양한 상황에 대해 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 플랫폼을 구축하였다.

둘 째, 시뮬레이션 결과 지표와 경제성 지표를 통해 정의한 적치장 선택 로직에 대한 결과를 분석하고 실질적으로 어떤 케이스가 가장 효율적인 방법인지를 선택할 수 있는 방법론을 제시하였다.

셋 째, 실제 작업을 수행하기 전 현장의 적치장 부하를 고려한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 기존의 강재 입고 계획을 상세히 정의함으로써 현장작업자의 숙련도에 의한 작업요소를 최소화하고 이를 통해 작업자가 변경되거나 그만 두는 상황에서도 강재적치장을 효율적으로 운용할 수 있도록 하였다.

본 연구를 기반으로 향후에는 시뮬레이션 결과와 실제 작업 실적과의 비교 분석을 통해 시뮬레이션 결과에 대한 검증과 정의한 적치장 선택 로직의 실질적인 효율을 분석하여 시뮬레이션 고도화와 운영 효율화에 관한 추가적인 연구가 수행될 수 있을 것이라 생각한다.

## References

- Park, C. & Park, J.C., 2005. A Case Study of Improving Operations Efficiency on the Steel Stockyard in Shipbuilding. *Journal of Korea Institute of Industrial Engineers*, 18(2), pp.167-177.
- Lee, S.H. et al., 2014. A Development of an Integrated Inventory Managing System for Steel-Plates. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(2), pp.130-137.
- Yang, C.H. & Choi, Y.S., 2002. A Study on the Simulation Modeling for the Container Terminal Planning. *Journal of Korea Maritime Institute of Ocean Policy Research*, 17(2), pp.67-110.
- Kim, W.S. & Nam, K.C., 1998. Design of Simulation Systems for the Evaluation of Container Terminal Operations. *1998 Autumn Proceedings of the Korean Institute of Navigation and Port Research*, Korea, pp.125-135.
- Lee, J.H., 2014. Data Quality Assessment and Construction of Neutral Data Structure for Simulation of Midterm Scheduling of Shipbuilding Process. Ph.D. Busan : The Korea Maritime and Ocean University.
- Choi, H.J. Kim, B.K. Kim, S.K. & Lee S.W., 2012. Case Study on Establishment and application of ABC in Banking Industry : Focused on A Bank. *Korean Journal of Business Administration*, 25(2), pp.627-653.
- Ryu, D.H. Ahn, K.M. & Hwang, S.G., 2014. A Study on the Usefulness and Cost Analysis of Busan Port Container Terminal by Time-Driven ABC. *Journal of Korea Port Economic Association*, 30(3), pp.89-120.
- Kim, J.H., 2005. Studies on the Larger Ship Being Built in the Current Container Shipping Market. *Journal of the Korea Port Economic Association*, 21(1), pp.3-20.