



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](#)

經營學碩士 學位論文

블록/트랜스포터 비를 고려한  
최적 블록트랜스포터 운영계획

A Study on the Operational Planning of Block Transporters  
considering Block/Transporter Ratio



2017年 8月

韓國海洋大學教 大學院

海運經營學科

金 正 民

본 논문을 김정민의 경영학석사 학위논문으로 인준함.

위원장      장 명 희  
위 원      김 태 균  
위 원      김 시 화



2017년 6월 16일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	v

## 제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구의 목적 및 범위 .....	2

## 제 2 장 선행 연구

2.1 조선공정에서의 블록트랜스포터 운영계획 .....	4
2.2 블록트랜스포터 운영 관련 선행 연구 검토 .....	6
2.3 집합패킹모형 관련 선행 연구 검토 .....	8

## 제 3 장 블록트랜스포터의 최적일정계획 모형

3.1 블록 트랜스포터의 일정계획 문제의 개요 .....	10
3.2 집합패킹 모형을 이용한 블록트랜스포터의 일정계획 최적화 모형	12

## 제 4 장 계산 실험

4.1 계산실험 개요 .....	15
4.2 최적화 모형을 이용한 실험 - B/T Ratio 12의 경우 .....	17
4.2 최적화 모형을 이용한 실험 - B/T Ratio 10의 경우 .....	27
4.3 최적화 모형을 이용한 실험 - B/T Ratio 8의 경우 .....	33

제 5 장 결 론 및 향 후 과 제

5.1 연구 결론 ..... 40

5.2 향후 과제 ..... 41

감사의 글 ..... 43

참고문헌 ..... 44



## List of Tables

<b>Table 1</b> 블록 생산량의 중량 분포 .....	12
<b>Table 2</b> Waypoint of yard .....	16
<b>Table 3</b> A Set of Transporters for Examples .....	18
<b>Table 4</b> A Set of Blocks for Case Example 1 (B/T Ratio 12) .....	19
<b>Table 5</b> Distance Table between Plants .....	20
<b>Table 6</b> B/T Ratio 12을 고려한 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 ...	23
<b>Table 7</b> B/T Ratio 12 상 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 결과 .....	24
<b>Table 8</b> B/T Ratio 12 상 운송완료율 결과 및 비율(50회) .....	25
<b>Table 9</b> A Set of Blocks for Case Example 2 (B/T Ratio 10) .....	27
<b>Table 10</b> B/T Ratio 10을 고려한 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 ·	29
<b>Table 11</b> B/T Ratio 10 상 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 결과 ...	30
<b>Table 12</b> B/T Ratio 10 상 운송완료율 결과 및 비율(50회) .....	32
<b>Table 13</b> A Set of Blocks for Case Example 3 (B/T Ratio 8) .....	33
<b>Table 14</b> B/T Ratio 8을 고려한 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 ...	35
<b>Table 15</b> B/T Ratio 8 상 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 결과 .....	36
<b>Table 16</b> B/T Ratio 8 상 운송완료율 결과 및 비율(50회) .....	37
<b>Table 17</b> 블록트랜스포터의 운용비용 .....	39

## List of Figures

<b>Fig. 1</b> 선박의 건조 공정 과정 .....	4
<b>Fig. 2</b> 블록 조립 공정 과정 .....	5
<b>Fig. 3</b> Block and Block Transporter .....	5
<b>Fig. 4</b> 블록의 공정별 이동 흐름 .....	11
<b>Fig. 5</b> A Feasible Schedule of Transporter i .....	17
<b>Fig. 6</b> Block Transporter Data in MoDiSS Program .....	21
<b>Fig. 7</b> Block Data in MoDiSS Program considering B/T Ratio 12 .....	21
<b>Fig. 8</b> Distance Table Data in MoDiSS Program .....	22
<b>Fig. 9</b> 블록트랜스포터의 최적 운송일정계획을 보여주는 MoDiSS 화면(B/T Ratio 12) .....	22
<b>Fig. 10</b> B/T Ratio 12 상 운송완료율 비율 .....	26
<b>Fig. 11</b> 운송가능 일정 수와 소요시간(B/T Ratio 12) .....	26
<b>Fig. 12</b> Block Data in MoDiSS Program considering B/T Ratio 10 .....	28
<b>Fig. 13</b> 블록트랜스포터의 최적 운송일정계획을 보여주는 MoDiSS 화면(B/T Ratio 10) .....	29
<b>Fig. 14</b> B/T Ratio 10 상 운송완료율 비율 .....	32
<b>Fig. 15</b> 운송가능 일정 수와 소요시간(B/T Ratio 10) .....	32
<b>Fig. 16</b> Block Data in MoDiSS Program considering B/T Ratio 8 .....	34
<b>Fig. 17</b> B/T Ratio 8 상 운송완료율 비율 .....	37
<b>Fig. 18</b> 운송가능 일정 수와 소요시간(B/T Ratio 8) .....	38
<b>Fig. 19</b> 블록트랜스포터의 적정 대수(B/T Ratio 8 상에서) .....	38

# A Study on the Operational Planning of Block Transporters Considering Block/Transporter Ratio

KIM, Jeong Min

Department of Shipping Management  
*Graduate School of Korea Maritime and Ocean University*

## Abstract

Shipbuilding projects are usually completed through a lot of block assembly processes. As an individual block in process is moved to the plant for the next process, a block transporter is the main equipment for transporting a lot of blocks according to the process. The efficient operation of the block transporter, which the shipyard holds or leases, is a very important factor in the overall schedule for the completion of the planned shipbuilding project. This paper proposes a problem on the operational planning of block transporters based on the 0-1 integer programming model for transporter scheduling considering block/transporter ratio. The author reviews and reports the result of the computational experiments by applying case examples generated according to the block/transporter ratio. The results of this study might contribute to resolve the problem of efficient operation of the block transporter considering block/transporter ratio in the actual shipyard.

**KEY WORDS** : Block; Transporter; Block/Transporter Ratio; Optimization; Transporter Scheduling; 0-1 Integer Programming; Optimal Operation Scheduling

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경

조선 산업은 선박, 해양구조물 및 각종 조선 기자재의 설계와 생산 그리고 나아가 신 기술의 연구개발등을 위한 복합엔지니어링 산업이다. 또한 여러 가지 전후방산업들과 연관관계가 밀접한 고부가가치산업이기도 하다. 조선 산업은 생산성, 기술력 및 경제적인 경쟁력을 보유한 일부 국가나 기업이 세계 시장을 주도한다. 하지만 시장을 주도하는 국가나 기업 외에도 설계 및 생산 산업이 아닌 개조, 유지보수를 위한 조선 산업을 실시하려는 경향도 있어 세계 조선 산업의 경쟁은 한층 심화되고 있다.

조선 산업의 주도권은 연도별로 여러 국가들에 의해 주도권과 시장점유율의 변화가 있어왔다. 1950년대까지는 영국, 1960년대에 들어서서는 일본이 주도하였다. 하지만 1990년대 이후 한국이 조선 산업에 대한 시장점유율을 급격히 늘려가며 세계 조선 산업을 이끌어왔다. 그러나 2000년대 후반 들어서서는 중국이 가격 경쟁력과 자국 대형선사로부터 수주로 바탕으로 점유율을 높여가고 있다. 필리핀, 인도네시아, 말레이시아, 베트남과 같은 동남아시아 국가 역시 유지보수와 개조의 조선 산업부분에서 큰 우위를 보이고 있는 실정이다.

국내 조선 산업은 1970년대 정부의 중화학공업 육성정책에 의해 본격적으로 발전하기 시작했다. 1990년 후반기부터 시작해 세계조선 산업에서 1위의 위치로 자리 잡으며, 우수한 기술력을 바탕으로 한 경쟁력으로 국내 수출 경제에 있어 큰 역할을 하고 있다. 국내 주요 수출 품목 중 2011년 1위, 2012~2014년 6위, 2015년 4위를 달성하며 우리나라의 무역에 있어 큰 역할을 하였다.

그러나 세계경기 침체로 인해 조선 산업은 신조선 발주량과 발주액이 크게 감소하고 있는 추세이고, 국내 조선소들도 대형 조선사를 제외한 중형조선사들의 수주량도 상당히 감소하고 있다. 또한 중국 조선 산업이 가격 경쟁력을 바탕으로 한 점유율을 늘리는 환경에서 국내 조선 산업이 투자했던 고부가가치 제품(드릴쉽, FPSO 등)들이 유가 하락 및 전 세계 조선 산업의 침체 등으로 인해 인도물량이 감소 및 인도지연등으로 수출액도 감소하고 있는 실정이다.

그리고 중국을 비롯한 일본, 기타 여러 국가들과의 경쟁이 갈수록 치열해지면서 국내 조선 산업은 산업기반 강화의 필요성이 대두되고 있다. 중국과 일본의 조선 산업의 경우 적극적인 투자와 자국 선사들의 수주 등의 수요로 인해 지속적인 성장을 갖추고 있다. 하지만 국내의 경우 국내선사에서 생산되는 수요는 제한이 있기에 더더욱 최적화된 선박 공정계획수립과 더불어 기술의 발전 등 경쟁기반을 견고하게 정비하여 산업경쟁력을 키워야 할 필요가 있다.

과거 조선 산업은 생산 선박의 크기와 중량 등을 고려해 특정된 장소에서 생산하였다. 하지만 조선 산업의 기술 발전을 통해 현재 조선소에서의 선박 생산 공정은 선박을 블록화하여 여러 플랜트들에서 분할하여 생산하고 이를 조립하는 식의 생산 공법을 이용하고 있다. 서로 다른 장소에서 생산, 조립, 도장, 의장 및 PE공정을 수행해 이전에 비해 생산성 향상이 이루어졌다. 하지만 현재 생산 공정 계획단계에서 선박블록 운송 계획수립은 일간단위로만 진행되고, 또한 블록을 운송하는 블록트랜스포터의 일정을 탐색하여 선택하고 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 국내 조선 산업, 특히 선박을 블록화 하여 조립하는 현재 선박 건조공정 시스템에 있어서 필수적으로 사용되는 블록트랜스포터의 최적 일정계획 문제를 정식화함으로써 생산 비용 절감 및 효율적인 공정계획의 진행을 위한 방안을 제안해 보고자 한다.

## 1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구는 선박 건조공정에서 블록을 운송하는데 이용되는 블록트랜스포터의 최적 일정계획 수립을 대상 범위로 한다. 현재 블록트랜스포터의 일정 운영계

획들을 보면 블록트랜스포터의 공차율을 줄이기 위해 일정의 탐색만 시행하여 선택하고 있다. 그러나 본 논문에서 제시하는 최적 일정계획 수립이란, 단순한 블록트랜스포터 각각의 단순한 일정의 탐색이 아닌 집합패킹, 분할방법을 통한 0-1 정수변수를 이용한 선형계획법을 사용하여 일정에 대한 정식화 한 모형을 제안함으로써 가장 경제적이고 효율성 있는 블록트랜스포터의 최적 운송일정계획에 대해 다루게 될 것이다. 블록트랜스포터의 일정 계획을 최적화함으로써 경제적인 블록트랜스포터의 운용이 가능해지고, 각 블록이 공정에 따라 플랜트로 이동하는 시간과 일정이 최적화됨으로써 전체 조선공정에 있어 일정의 최적화라는 부분에 기여가 가능해진다.

논문의 구성은 서론을 포함하여 총 5개의 장으로 구성하고자 한다. 제 2장에서는 조선공정에서의 블록트랜스포터 운영계획에 대한 개요와 블록 트랜스포터 일정 계획에 대한 선행 연구들에 대한 검토를 할 것이다. 또한 블록 트랜스포터 최적 일정계획 모형에 도입한 집합패킹 모형에 대한 선행 연구들과 개괄적인 설명을 포함한다. 선행연구는 본 연구와 관련 있는 국내, 외 논문 및 단행본 등 관련 논문 및 보고서를 활용하였다. 제 3장에서는 [t-SPK 모형]로 표현되는 집합패킹 모형을 이용한 블록트랜스포터의 최적 일정계획 모형에 대해서 설명한다. [t-SPK 모형]에 대한 개요와 함께 정식화된 모형 설명이 포함되어 있다. 제 4장에서는 [t-SPK 모형]을 이용해 가상의 조선소에서 발생하는 블록운송요청에 대해 블록트랜스포터의 최적 일정계획에 대한 계산실험과 그 결과를 검토할 것이다. 단순히 블록 트랜스포터의 최적 일정계획에 대한 결과만 도출하는 것이 아닌 조선소에서 생산되는 블록 대비 블록트랜스포터의 비(B/T Ratio)를 고려하여 장기적인 블록트랜스포터의 운용계획에 대해서도 본 연구가 유의미하게 의사결정을 제시할 수 있음을 같이 검토한다. 마지막 제 5장에서는 본 연구 결과를 요약하고 현재 블록트랜스포터의 일정 계획수립에 시사 하는바와 향후 진행되어야 할 연구 분야에 대해 기술할 것이다.

## 제 2 장 선행 연구

### 2.1 조선공정에서의 블록트랜스포터 운영계획

선박의 건조는 선주로부터 생산요청 주문을 받아 복잡한 생산 공정을 거쳐 생산하는 부분 조립 산업으로서 자동차나 전자제품과 달리 소비자의 기호를 예측하고 미리 생산하는 것이 아닌 주문설계생산(Engineer-To-Order : ETO) 또는 주문생산(Make-To-Order : MTO) 방식에 의해 건조된다. 선박의 건조공정을 살펴보면 견적을 제시할 때부터 선주에게 인도될 때까지로 상세 공정은 다음 Fig. 1과 같다.<sup>1)</sup>



Fig. 1 선박의 건조 공정 과정

1)

<http://www.kosic.or.kr>

조선소에서는 한 척의 배를 건조하기 위해 선박의 각 부분을 수백여 개 이상의 큰 구조물 조각(블록이라 칭한다)을 Yard 내 각각의 플랜트에서 먼저 생산한 후, Dock에서 조립하는 형태로 조선공정을 진행하며, 블록 조립공정은 Fig. 2와 같다(유현규, 2005).

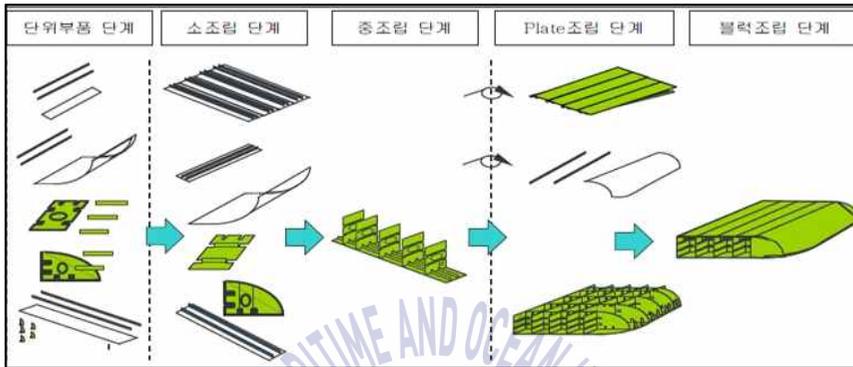


Fig. 2 블록 조립 공정 과정

이러한 블록은 조선 공정이 진행됨에 따라 작업이 진행 될 플랜트로 이동하여 절단, 조립, 도장, 의장, PE(Pre-Erection)과정을 거치게 된다. 이에 다수의 블록들은 조선 공정 작업 전까지 조선소 내의 여러 플랜트 내에서 분산되어 작업, 관리된다. 조선소에서는 이러한 블록들을 각 플랜트가 계획된 작업 시간에 공정작업을 실행하기 위해 블록 블록트랜스포터(Block-Transporter)라는 블록운송용 특수차량을 이용하여 이동시킨다(Fig. 3 참조).



Fig. 3 Block and Block Transporter

블록 운송 업무는 생산업무의 일환으로, 현재 생산 플랜트의 운송 요청에 대하여 해당 블록을 적시적소에 운송함으로써 생산 플랜트의 작업을 계획된 일정 내에 진행될 수 있도록 한다. 블록의 운송은 각 플랜트의 운반요청에 따라 실시되고, 조선소에서는 종류별로 여러 대의 블록트랜스포터를 보유하여 블록 운반 일정 계획을 수립하여 운영하고 있다. 만약 블록트랜스포터가 비효율적으로 운영 될 경우, 조선공정에 있어 생산 지연을 발생시키므로 블록트랜스포터의 최적화된 일정 계획은 조선프로젝트의 전체적인 일정 관리에 매우 중요한 문제이다.

## 2.2 블록트랜스포터 운영 관련 선행 연구 검토

지금까지 블록 블록트랜스포터 일정 계획 연구는 Multiple TSP with time constraint(m-TSPTC) 문제로 해석, 연구되어 왔다. TSP의 최적 해를 구하는 Branch-and-Bound 기법(분기 한정법)은 A.H.Land and A.G.Doig(1960)가 선형계획법을 풀기 위해 개발하였다. Branch-and-Bound 기법의 핵심은 탐색트리에서 작업을 최소화하기 위해 모든 후보 해를 체계적으로 진행시키며 최적화 할 수치의 상한선과 하한선을 추정해 그 범위를 넘어가는 해를 제거해 나가는 방법이다.

잘 알려져 있는 TSP 및 Multiple TSP, 일반적인 차량 경로 문제들은 Laporte and Osam(1995), Crainic and Laporte(1998) 그리고 Chao(2002)를 통해 조사되었다. 이는 일반적으로 네트워크 이론의 최단 경로문제의 해법에 기인하지만 경로가 복잡할수록 탐색시간이 길어진다. 조선 건조 공정에서 블록의 생산 및 블록트랜스포터 일정에 관련된 최근 연구들은 다음과 같다.

박명환 등(1995)이 조선 산업의 개요와 동 산업을 공학적인 관점에서의 응용 분야에 대해 논제를 제시하였다. 고시근 등(1999)은 유전자 알고리즘을 이용하여 조선소 내의 곡블록 조립공장에서의 조립 일정문제를 다뤘으며, 하태룡 등(1999)은 혼합 유전자 알고리즘을 통해 조선소 내에서 선각 평블록 조립공장에서의 효율적 일정계획을 다루었다.

유현규(2005)는 백트래킹 알고리즘을 이용하여 블록의 수송경로에 따른 최적

경로를 탐색하는 방법을 개발하였다. 단, 이 연구는 블록의 최적 운송순서 결정이 아닌 블록경로의 최적경로만을 다루었다.

Joo et al.(2006)는 정해진 계획기간 내 블록의 모든 요구량을 알 수 있는 정적 수송환경에서의 싱글타입 블록트랜스포터의 일정계획을 휴리스틱 알고리즘을 통해 개발하였다.

임선빈(2008)은 블록의 최단 운송거리 경로를 결정하기 위해 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 적용하고, 단일 종류의 블록트랜스포터 일정문제에 대해 개미군집 알고리즘(Ant Colony Algorithm)을 제시하여 블록트랜스포터별로 블록을 할당하고 순서를 결정할 수 있도록 접근하였다.

Yim et al.(2008)는 계획기간동안 블록 수송요구량, 블록트랜스포터의 고장 및 수리보수 등이 발생하는 동적인 수송환경을 고려하여 휴리스틱 알고리즘을 통해 문제를 접근하였다.

Roh and Cha(2011)는 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 통해 모든 블록간의 최단 운송거리와 최단 공주행거리를 고려하고, 다른 종류의 블록트랜스포터를 사용할 때 총 운송완료시간을 최소화하는 일정 계획문제를 다뤘다.

Cha et al.(2012), Heo et al.(2013)는 조선소의 모든 지점간의 최단경로 탐색이 아닌 블록 운송요구에 나온 출발지와 도착지간의 최단경로를 A\* 알고리즘을 통해 탐색하였다. 또한 운송 경로에 있어 손상 간선점이 발생하였을 때 대안 경로를 찾는 방법으로 A\* 알고리즘을 이용하였다.

Park and Soo(2013)는 GRASP 알고리즘을 이용한 싱글타입 블록트랜스포터의 일정계획을 개발하였다.

주철민(2013)은 정해진 계획기간 동안 각 플랜트별 일정을 고려하여 운송될 블록들의 모든 수량이 정해진 환경 하에 모든 블록을 운송하는데 필요한 적정 블록트랜스포터의 최소 대수를 결정하고, 동시에 운송시간의 최소화하는 블록트랜스포터별 블록 할당 및 운반 순서를 결정하는 모형을 유전 알고리즘을 통해 개발하였다.

Moon et al.(2016)은 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘, A\* 알고리즘과 Floyd 알고리즘을 사용, 비교하여 블록들의 최단 운송거리를 고려하고 전체적인 블록트랜스포터 운영계획에 있어 추가 블록 운송수요에 대한 문제에 대응할 방안을 제시했다.

### 2.3 집합패킹모형 관련 선행 연구 검토

집합 패킹(Set-Packing) 혹은 집합 분할(Set-Partitioning)모형은 부정기선 해사수송문제에 있어 진행된 연구 방식으로 Applegren(1969, 1971)에 의해 제시되었다. 이 모형은 의사결정 변수를 0-1 정수변수로 두고 수송을 담당할 주체의 제약식과 수송되어야 할 화물의 제약식을 포함해 수송에 관련된 모든 흐름 변수들에 대한 제약식들이 포함되어 있어, 이를 고려한 모든 운송가능일정(Feasible Schedule)의 집합을 정의하는 방법이다. 모든 운송가능일정을 제시하고 이를 0-1 변수를 이용하여 가장 경제적이고 효과적인 일정을 선택하게 하는 모형이므로, 이 Applegren의 집합분할, 집합패킹을 도입한 0-1 정수계획 최적화모형을 이용하여 다양한 연구들이 진행되기 시작하였다.

0-1 정수계획 최적화 모형 중 집합 문제들(Set Problems)은 구성이 비슷하고 응용범위가 매우 넓다고 할 수 있다. 대표적인 응용분야로는 Balas(1976)가 제시한대로 선박운항일정계획(Ship Scheduling) 뿐만 아니라 철도 및 항공기의 승무원 인사관리(Crew Scheduling), 비상 시설의 설치(Location of Emergency), 행정구역 분할(Political Districting), 트럭 배송(Truck Deliveries) 등 광범위한 영역에서 이용될 수 있다.

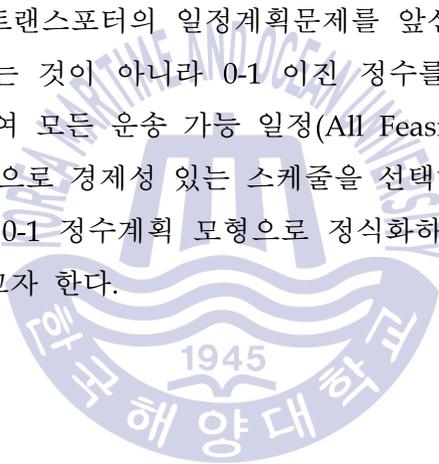
Brown et al.(1987)은 집합분할 모형을 이용하여 중동과 유럽, 북미사이의 석유 수송을 위한 경로와 일정을 구하는 문제를 정식화하였고, Fisher & Resenwein(1989)은 집합패킹 모형을 이용하여 살물선(Bulk Cargo Ship)의 운항 일정 계획문제를 정식화 하였다.

Kim(1999)은 부정기선 선박운항일정계획 문제를 일반화하고 최적화 모형을 집합패킹모형으로 제안한 최적화 기반 시스템인 MoDiSS(Model based

Decision Support System in Ship Scheduling, 선박운항일정 의사결정 지원시스템)를 개발하였다. 동 프로그램은 이동하여야 할 화물과 선박의 상세 및 각 항구간의 거리를 입력하면 최적 운항일정을 출력할 수 있다.

현재 조선소에서 발생하고 있는 생산 플랜트에서 나오는 블록 운송 요청은 전체 공정에 의거한 요청이라기보다는 해당 플랜트의 생산 일정에 따라 일방적으로 나오는 형태이다. 또한 현재 이러한 블록 운송에 대한 블록 블록트랜스포터의 일정 계획은 휴리스틱 알고리즘(Heuristic Algorithm)이나 메타 휴리스틱 알고리즘(Meta-Heuristic Algorithm), 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm) 등을 이용하여 단순히 최적 스케줄의 탐색만 시행하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 블록트랜스포터의 일정계획문제를 앞선 연구와 같이 최적 스케줄의 탐색만 실시하는 것이 아니라 0-1 이진 정수를 사용한 집합 패킹(Set Packing)모형을 이용하여 모든 운송 가능 일정(All Feasible Schedule)을 검색하고 그 중 가장 운용 적으로 경제성 있는 스케줄을 선택하게 함으로써 블록트랜스포터의 일정 계획을 0-1 정수계획 모형으로 정식화하여 최적 일정계획을 수립하는 방법을 제안하고자 한다.



## 제 3 장 블록트랜스포터의 최적일정계획 모형

### 3.1 블록 트랜스포터의 일정계획 문제의 개요

조선 공정에서 블록 운송 작업이란 블록트랜스포터를 이용하여 운송 요청된 플랜트에서 블록을 적재하여 다음 작업이 진행 될 지정된 플랜트로 이동하는 일련의 작업을 가리킨다. 따라서 일정계획 수립을 위한 핵심적인 요소 및 기본 정보는 블록 운송 요청 시간, 요청 플랜트, 도착해야 할 플랜트, 블록의 상/하차 시간, 플랜트 간 이동 거리, 블록트랜스포터의 제원, 블록트랜스포터의 초기 위치가 필요하다.

블록은 이전에서도 명시했듯이 선박 건조 공정에 있어서 기본단위로 사용되는 단위이다. 공정 및 생산 계획 수립 단계에서 각 블록별 무게 및 사이즈, 공정단계에서의 중요도들이 결정된다.

중량은 수 톤에서 많게는 수백여 톤에 이르며 통상 블록의 길이는 평균 15~17m이지만 공정 순서에 따라 블록의 크기와 모양은 곡블록, 평블록 등 다양하다. 일반적으로 건조 공정 순서에 따라 운반 경로는 지정되게 되지만, 블록의 중량 및 크기는 여러 작업들을 진행됨에 따라 달라질 수 있으므로 운송에 이용되는 블록트랜스포터는 동일하게 지정할 수 없다. 특히 블록트랜스포터가 운송시킬 수 있는 블록의 중량에 따라 분류되고, 크기와 위치에 따라 상/하차 시간이 달라지기 때문에 블록은 매우 중요한 요소 중에 하나이다.

박창규(2005)에 따르면 조선 공정에서 생산되는 블록은 다음 Fig. 4와 같은 흐름을 가지고 이동하게 된다.

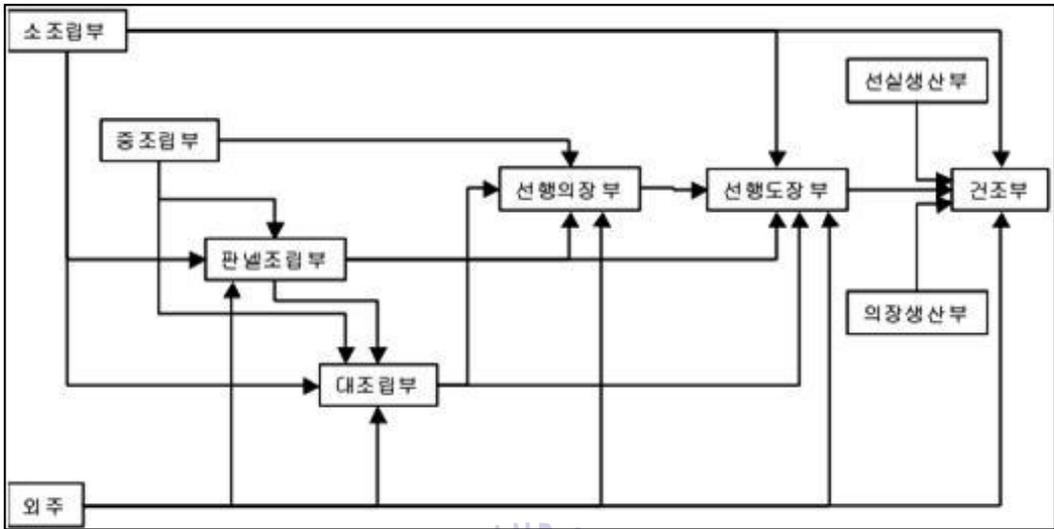


Fig. 4 블록의 공정별 이동 흐름

블록 운반을 담당하는 블록트랜스포터는 선적할 수 있는 블록 중량에 따라 100톤급부터 1000톤급까지 다양하게 나뉘며, 현재 국내 D 조선소에서는 100~500톤급의 블록트랜스포터가 28대 가동되고 있다. 블록트랜스포터는 적재할 수 있는 블록의 중량단위로 구분되는 바, 기본적으로 조선 건조계획에 따라 생산될 블록의 중량 분포에 따라서 톤수 별로 계획되어 가동되어야 한다.

정영수(2007)에 따르면, 조선 건조계획에 따른 블록에 대한 중량 분포는 다음 Table 1과 같다. 선박 건조 공정 계획에서 생산해야 할 블록 중 80%가 200톤 미만임을 알 수 있으며, 블록의 중량이 커지면 커질수록 운송될 블록의 수량 및 운송수요가 작아짐을 알 수 있다. 이를 통해 운송 빈도가 높은 200톤 미만의 소형 블록 트랜스포터들에 대한 일정계획에 대한 최적화가 전체 조선공정의 일정 계획에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

Table 1 블록 생산량의 중량 분포

운반분류	주간				야간			
	~200톤	~300톤	~500톤	~600톤	~200톤	~300톤	~500톤	~600톤
하역	13	3	0	0				
	1	2	1	0				
내업	12	6	0	0	8	0	0	0
	2	0	0	0	10	4	0	0
	1	0	0	0	9	3	0	0
	1	0	0	0	9	0	0	0
	4	0	0	0	5	0	0	0
	15	0	0	0	7	1	0	0
	4	0	0	0	5	0	0	0
	3	0	0	0	20	1	0	0
	21	7	0	0	17	2	1	0
	10	2	0	0	7	0	0	0
	4	0	0	0				
6	0	0	0					
외업	14	0	0	0	11	5	0	0
	19	6	0	0	24	9	0	0
	14	2	0	0	29	11	0	0
	1	2	0	0	24	2	0	1
	10	0	0	0	13	1	1	0
건조	31	4	0	1	17	4	0	0
	27	6	0	0	5	1	0	0
	15	1	0	0				
	14	3	0	0				
타사업부	10	0	0	0				
	3	1	1	1				
	255	45	2	2	220	44	2	1

### 3.2 집합패킹 모형을 이용한 블록트랜스포터의 일정계획 최적화 모형

본 논문에서는 이전의 블록트랜스포터 일정계획 연구와는 다르게 집합패킹(Set-Packing) 혹은 집합분할(Set-Partitioning)모형으로 블록트랜스포터의 최적화 일정모형을 제안하고자 한다. 블록트랜스포터의 운송가능한 모든 운송일정을 구하고, 운송일정의 선택 여부를 0-1 정수변수로 사용함으로써 문제를 해결하고자 한다. 사용가능한 블록트랜스포터의 집합과 운송해야하는 블록의 상세 데이

터, 그리고 플랜트 간 거리표를 이용하여 모든 가능한 일정(All Feasible Schedule)을 도출하여 이 중에서 가장 최적화 된 일정을 선택함으로써 최적의 블록트랜스포터 일정계획을 수립하게 된다.

사용 가능한 블록트랜스포터의 집합과 상차지로부터 하차지 까지 운송해야 할 블록의 집합이 주어졌을 때, 블록트랜스포터의 최적화 된 일정 계획을 정식화 한 모형은 다음과 같다.

[기호]

$i = 1, \dots, m$       a set of transporter

$k = 1, \dots, n$       a set of Block

$J = \text{Transporter } i$     후보 운항일정 집합

[자료]

$q_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{만일 Transporter } i \text{가 운송일정 } j \text{에 투입되어 Block } k \text{를 수송할 경우,} \\ 0, & \text{그 외의 경우,} \end{cases}$

$c_k = \text{Block } k \text{의 운송 시 예상되는 수익기여도 (수치화)}$

$h_j = \text{운송일정 } j \text{에 투입된 Transporter의 운행비용}$

[의사결정변수]

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만일 Transporter } i \text{가 운송일정 } j \text{에 투입될 경우,} \\ 0, & \text{그 외의 경우,} \end{cases}$

[모형]

$$\text{Maximize } Z = \sum_i \sum_j \left( \sum_k q_{ijk} c_k \right) x_{ij} - \sum_i \sum_{j \in J_i} h_j x_{ij} \quad (1)$$

.t.

$$x_{ij} \leq 1, \quad \text{은 transporter } i \text{에 대해} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} q_{ijk} x_{ij} \leq 1, \quad \text{모든 Block } k \text{에 대해} \quad (3)$$

$$x_{ij} = 0, 1\}, \quad j \in J_i, \quad \text{모든 Transporter } i \text{에 대해, } J = \bigcup_{i=1}^m J_i \quad (4)$$

목적함수 (1)이 의미하는 것은, 사용가능한 블록트랜스포터를 계획된 기간 동안 운행할 때, 중요도가 높은 블록을 운송함으로 나타나는 수익기여도(Revenue Index ; 선박 건조를 통해 생성될 수익에 대해 해당 블록 운송 시 기여하는 정도)에서 투입된 블록트랜스포터의 운행비용지수(Operation Cost Index)를 제하여 블록트랜스포터가 블록 운송 시 생성되는 수익기여도를 최대화된다는 것이다. 수익기여도는 블록트랜스포터의 운행비용보다는 당연히 크게 되는데, 만일 운행비용보다 기여도가 낮다면 조선소에서 블록트랜스포터를 운영하는 것 보다는 외주를 주는 방식이 더 큰 수익을 취하기 때문이다. 여기서 선박 건조 공정 계획에 따른 운송 우선순위에 의거한 블록의 중요도를 수익기여도로 수치화시켜 우선순위가 상대적으로 높은 블록은 높은 수익가치를 창출하고 우선순위가 상대적으로 낮은 블록은 낮은 수익가치를 창출하는 것으로 적용한다. 또한 이 수익기여도의 단위는 블록트랜스포터의 운행비용지수와 동일하다.

제약식 (2)는 각 블록트랜스포터는 블록운송에 투입되지 않거나, 블록운송을 한다면 정확히 하나의 일정에 따라 수송하는 조건을 의미한다. 제약식 (3)은 각 블록은 운송되지 않거나 정확히 하나의 블록트랜스포터 및 하나의 일정에 의해 수송되는 조건을 의미한다. 제약식 (4)는 의사결정변수가 0 또는 1인 이진변수(Binary Variables)로 나타나는 0-1 정수계획문제를 의미하며, 모든 일정은 일정 집합모형에 포함됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 위의 모형을 기본으로 하여 블록트랜스포터의 일정계획 최적화 모형을 도출하려고 한다. 편의상 간략하게 해당 모형을 [t-SPK 모형] 이라 칭한다.

## 제 4 장 계산 실험

### 4.1 계산실험 개요

이 장에서는 앞서 정리한 내용을 바탕으로 하여 조선소에서 블록트랜스포터를 이용하여 블록 운송을 하는 사례를 가정하여 실험을 실행한다. 블록트랜스포터의 최적 일정 계획 실험은 10대의 블록 트랜스포터를 보유하고 있는 조선소에서 하루에 운송되는 블록 대비 조선소에서 보유하고 있는 B/T Ratio(블록 트랜스포터의 비율)를 8, 10, 12일 때를 가정하여 진행하였다. 풀이는 부정기선 해상수송 집합패킹 문제에 사용되는 MoDiss 프로그램을 활용하여 가능하다. MoDiss 프로그램은 임의로 설정된 블록트랜스포터와 블록을 가지고 최대 수익을 창출할 수 있는 최적의 운송일정계획과 운송 가능한 일정 전체를 생성한다.

앞서 제 3장에서와 같이 정식화 된 [t-SPK 모형]을 계산하기 위해서 준비된 자료는 다음과 같다.

- Transporter Data : 실험에 적용된 트랜스포터는 200Ton 이하의 블록을 운송할 수 있는 타입이다. Fig.5에 의거하면 조선 공정과정 중 가장 운송비율이 많은 블록은 200Ton 미만의 소형 블록이고, 공정이 지날수록 블록의 크기는 커지지만 운송 수요가 적어지므로 가장 많은 운송 비율을 가진 타입으로 실험을 진행하였다. 모든 트랜스포터의 운항비용 및 소모비용은 동일한 타입으로 인해 같다고 가정하였다. 트랜스포터 데이터는 트랜스포터의 최대 적재 가능한 무게(Ton), 트랜스포터의 첫 출발위치(Initial Position)가 필요하게 된다.
- Block Data : 블록 데이터는 MS Office Excel의 난수함수를 통해 생성하였다. 블록은 50~200Ton 사이의 무게를 가지도록 생성하였으며, 블록 상,

하차 위치는 플랜트마다 동일한 비율로 발생하도록 설정하였다. 또한 공정 순서에 따른 블록의 중요도를 수치화 하여 수익으로 가정하였다(중요도가 높을수록 수익이 높다). 블록 데이터의 하차시간은 상차에 걸리는 시간, 하차에 걸리는 시간, 이동하는 시간을 모두 포함한 시간으로 설정한다.

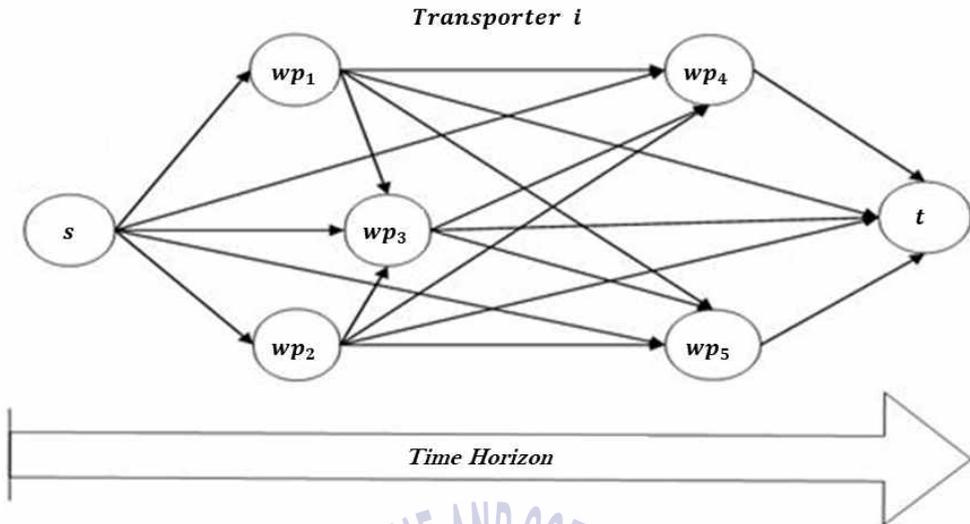
- Distance Table : 블록의 공정별 이동 흐름은 Fig. 4와 같이 일정한 흐름이 정해져 있다. 위 흐름도를 가정하여 각 플랜트를 지점으로 할당하여 Table 2와 같이 총 10개의 지점으로 구성하였다.

Table 2 Waypoint of yard

Index	Description	Index	Description
WP1	소조립부	WP6	선행도장부
WP2	중조립부	WP7	선실생산부
WP3	판넬조립부	WP8	의장생산부
WP4	대조립부	WP9	건조부
WP5	선행의장부	WP10	외주

- Period : 본 실험은 하루 동안의 블록트랜스포터 작업 시간을 오전, 오후, 야간1, 야간2로 4등분하여(오전 : 8시~12시, 오후 : 13시~17시, 야간1 : 20~24시, 야간2 : 01시~05시) 블록의 분포를 시간대에 맞추어 균등 분할시켰다.

[t-SPK 모형]을 프로그램으로 구축하기 위해서는 블록트랜스포터의 가능한 모든 운송일정을 찾아내는 일이 선행되어야 한다. 그래프이론(Graph Theory)를 이용하여 블록트랜스포터의 가능한 모든 운송일정을 생성할 수 있는 알고리즘을 서술할 수 있다. 이에 따르면 운송 가능한 그래프는 임의의 블록트랜스포터에 대해 블록트랜스포터의 모든 운송 가능한 일정을 표현할 수 있는 그래프로 정의되며, 블록트랜스포터는 초기 투입을 위해 그래프의 시작 마디에서 대기한다. 블록을 운송한 후 일정이 완료되는 것을 종료마디로 설정한다. 임의의 블록을 수송하게 될 경우 각 블록마디와 연결되어있는 방향성 가치를 통해 나타낼 수 있다. Fig. 5는 설명한 운송가능일정 그래프를 나타낸 것이다.



**Fig. 5** A Feasible Schedule of Transporter  $i$

각 Transporter  $i$ 에 대하여  $s$ 는 시작마디, WP는 블록마디 집합,  $t$ 는 종료마디이다. 시작마디  $s$ 부터 종료마디  $t$ 까지 깊이우선탐색(Depth First Search, DFS) 알고리즘을 통하여 그래프를 순회한다. 시작마디를 시작으로 각 마디를 방문하되 그 마디가 종료마디이면, 그 전까지 저장된 마디를 전부 나열하여 하나의 운송가능일정으로 저장한다. 모든 운송가능 일정을 찾아낼 때까지 순회는 계속된다.

#### 4.2 최적화 모형을 이용한 실험 - B/T Ratio 12의 경우

하기 200Ton급 블록트랜스포터들은 같은 종류로 가정하여 Size(블록트랜스포터가 최대 적재 가능한 무게, 200Ton급), Operation Cost(트랜스포터 유지 및 운행에 소요되는 비용)는 동일하며, 초기 블록트랜스포터의 위치(Initial Position)는 Table 1에 제시한 각 플랜트 부분에 고루 배치되어 있다고 Table 3과 같이 설정하였다. Block Type은 무게에 따라 구분하였으며 5는 0~100ton, 6은 100~200ton급 블록을 지칭하며 동 200Ton급 블록트랜스포터는 Type 5, 6 모두 수송이 가능하다.

Table 3 A Set of Transporters for Examples

ID	Size	Operation Cost	Index	Open Time	Initial Position	Block Type	Name
1	200	250		1	WP1	5 6	TP2-1
2	200	250		1	WP2	5 6	TP2-2
3	200	250		1	WP3	5 6	TP2-3
4	200	250		1	WP4	5 6	TP2-4
5	200	250		1	WP5	5 6	TP2-5
6	200	250		1	WP6	5 6	TP2-6
7	200	250		1	WP7	5 6	TP2-7
8	200	250		1	WP8	5 6	TP2-8
9	200	250		1	WP9	5 6	TP2-9
10	200	250		1	WP10	5 6	TP2-10

블록 데이터는 하기 Table 4와 같이 설정하였다. 블록들은 4시간 안에 운송 완료되어야 할 블록들이며 마지막 Loading Order Time은 운송완료 한 시간 전 까지(0~180) 지정되어 있어 가장 늦게 운송되는 블록도 4시간 안에 운송이 완료될 수 있도록 설정하였다. 수익기여도지수는 블록별로 중요도에 따라 각 블록의 운송 우선순위를 설정할 수 있는 요소이다. 제 3장에 기술한 [t-SPK 모형]을 보면, 블록 트랜스포터는 수익기여도가 높은 블록을 운송하는 것이 더 효율적인 일정 계획을 수립하는 것으로 정식화 되어 있다. 따라서 실질적으로 조선소에서 선박 공정계획을 수립할 시에는 공정계획에 의한 블록의 중요도를 바탕으로 정해야 한다. 일간, 주간 공정 계획에 따라 운송 우선순위가 높은 블록일수록 수익기여도를 높게 설정하면 해당 블록은 다른 블록에 비해 우선적으로 운송이 될 수 있다. 실험상에서는 수익기여도를 설정 할 때 블록의 무게에 비례하여 설정하여, 무겁고 큰 블록일수록 상위 공정에 해당하는 것으로 가정하여 운송이 우선 될 수 있도록 설정하였다. 상/하차지는 Fig. 4와 Table 2에 의거하여 확률적으로 지정되어 있다.

**Table 4** A Set of Blocks for Case Example 1 (B/T Ratio 12)

ID	Size	RI	Load Pos.	Disch. Pos.	Order Time ( )	Loading Interval (t)	Disch. Time ( )
1	120	425	WP2	WP4	70	20	120
2	190	425	WP3	WP6	55	20	110
3	110	425	WP2	WP5	40	20	100
4	190	425	WP3	WP5	35	20	90
5	170	425	WP3	WP4	10	20	60
6	150	425	WP3	WP4	75	20	125
7	90	400	WP1	WP6	75	15	115
8	160	425	WP3	WP6	150	20	205
9	130	425	WP2	WP4	20	20	70
10	80	400	WP1	WP3	140	15	185
11	80	400	WP1	WP6	30	15	70
12	110	425	WP2	WP4	155	20	205
13	80	400	WP1	WP9	95	15	135
14	130	425	WP2	WP4	15	20	65
15	90	400	WP1	WP4	115	15	155
16	180	425	WP3	WP4	80	20	130
17	190	425	WP3	WP5	75	20	130
18	70	400	WP1	WP3	105	15	150
19	130	425	WP2	WP5	5	20	65
20	150	425	WP3	WP6	95	20	150
21	140	425	WP2	WP5	155	20	215
22	140	425	WP2	WP4	15	20	65
23	180	425	WP3	WP5	95	20	150
24	120	425	WP2	WP5	160	20	220
25	200	450	WP4	WP6	70	20	125
26	60	400	WP1	WP6	125	15	165
27	60	400	WP1	WP4	75	15	115
28	70	400	WP1	WP3	180	15	225
29	190	425	WP3	WP4	75	20	125
30	130	425	WP2	WP5	85	20	145

Distance Table은 가상의 조선소 내부 플랜트 간 거리를 블록트랜스포터로 이동 시 예상되는 시간 값으로 작성되었다. 플랜트는 Table 2에 따라 10개 지점으로 구분하고 각 지점별 거리를 블록트랜스포터를 이용해 이동한 시간을 산출하여 Table 5와 같이 가정하였다.

**Table 5** Distance Table between Plants

From	To		From	To	$t_m$	From	To	$t_m$
WP1	WP2	10	WP2	WP9	15	WP5	WP6	10
WP1	WP3	15	WP2	WP10	20	WP5	WP7	10
WP1	WP4	10	WP3	WP4	10	WP5	WP8	15
WP1	WP5	15	WP3	WP5	15	WP5	WP9	20
WP1	WP6	10	WP3	WP6	15	WP5	WP10	15
WP1	WP7	10	WP3	WP7	10	WP6	WP7	10
WP1	WP8	15	WP3	WP8	20	WP6	WP8	10
WP1	WP9	10	WP3	WP9	15	WP6	WP9	10
WP1	WP10	20	WP3	WP10	15	WP6	WP10	20
WP2	WP3	15	WP4	WP5	10	WP7	WP8	10
WP2	WP4	10	WP4	WP6	15	WP7	WP9	15
WP2	WP5	20	WP4	WP7	15	WP7	WP10	20
WP2	WP6	15	WP4	WP8	15	WP8	WP9	20
WP2	WP7	10	WP4	WP9	10	WP8	WP10	25
WP2	WP8	10	WP4	WP10	10	WP9	WP10	20

그러므로 모든 요소를 고려한 블록 운송 전체 소요시간(Discharging Time, )은 다음 식 (5)와 같이 계산한다.

$$T = t_o + t_m + t \tag{5}$$

$T$ : 블록운송 전체소요시간

$t_o$ : 블록운송 작업착수시간

$t_m$ : 상/하차지 이동 시간

$t_I$ : 블록상/하차소요시간

위 데이터들을 이용해 MoDiSS 프로그램을 통해 블록트랜스포터의 최적 일정 계획을 구한다. MoDiSS는 그래프이론(Graph Theory)를 이용해 모든 가능한 운송일정을 구현한 후, 선형 0-1 정수계획모형인 [t-SPK 모형]로 최적화 된 운송 일정을 선택한다. 최적화 운송일정은 상용프로그램 LINDO optimizer를 이용하여 정수계획법의 해를 구한다.

Fig. 6은 위의 블록트랜스포터 데이터를, Fig. 7은 MS Office Excel의 난수 함수를 이용해 생성한 블록 데이터를 MoDiSS 프로그램의 입력 데이터 란에 넣은 화면이다. 그리고 Fig. 8은 주요 공정 플랜트 간 거리 데이터(블록트랜스포터를 이용해 이동한 시간)를 입력한 화면이다.

ID	Size	Utility	Start Time	InitPos	Type	Name	Description
1	1 200	250	1	WP1	5 6	TP2-1	
2	2 200	250	1	WP2	5 6	TP2-2	
3	3 200	250	1	WP3	5 6	TP2-3	
4	4 200	250	1	WP4	5 6	TP2-4	
5	5 200	250	1	WP5	5 6	TP2-5	
6	6 200	250	1	WP6	5 6	TP2-6	
7	7 200	250	1	WP7	5 6	TP2-7	
8	8 200	250	1	WP8	5 6	TP2-8	
9	9 200	250	1	WP9	5 6	TP2-9	
10	10 200	250	1	WP10	5 6	TP2-10	

Fig. 6 Block Transporter Data in MoDiSS Program

ID	SIZE	HI	LoadOrder	Time	LoadInterval	LoadPos	DischTime	DischPos	Type	Description
1	1 120	425.00		70	20	WP2	120	WP4	6	
2	2 190	425.00		55	20	WP3	110	WP6	6	
3	3 110	425.00		40	20	WP2	100	WP5	6	
4	4 190	425.00		35	20	WP3	90	WP5	6	
5	5 170	425.00		10	20	WP3	60	WP4	6	
6	6 150	425.00		75	20	WP3	125	WP4	6	
7	7 90	400.00		75	15	WP1	115	WP6	5	
8	8 160	425.00		150	20	WP3	205	WP6	6	
9	9 130	425.00		20	20	WP2	70	WP4	6	
10	10 80	400.00		140	15	WP1	185	WP3	5	
11	11 80	400.00		30	15	WP1	70	WP6	5	
12	12 110	425.00		155	20	WP2	205	WP4	6	
13	13 80	400.00		95	15	WP1	135	WP9	5	
14	14 130	425.00		15	20	WP2	65	WP4	6	
15	15 90	400.00		115	15	WP1	155	WP4	5	
16	16 180	425.00		80	20	WP3	130	WP4	6	
17	17 190	425.00		75	20	WP3	130	WP5	6	
18	18 70	400.00		105	15	WP1	150	WP3	5	
19	19 130	425.00		5	20	WP2	65	WP5	6	
20	20 150	425.00		95	20	WP3	150	WP6	6	
21	21 140	425.00		155	20	WP2	215	WP5	6	
22	22 140	425.00		15	20	WP2	65	WP4	6	
23	23 180	425.00		95	20	WP3	150	WP5	6	
24	24 120	425.00		160	20	WP2	220	WP5	6	
25	25 200	450.00		70	20	WP4	125	WP6	6	
26	26 60	400.00		125	15	WP1	165	WP6	5	
27	27 60	400.00		75	15	WP1	115	WP4	5	
28	28 70	400.00		180	15	WP1	225	WP3	5	
29	29 190	425.00		75	20	WP3	125	WP4	6	
30	30 130	425.00		85	20	WP2	145	WP5	6	

Fig. 7 Block Data in MoDiSS Program considering B/T Ratio 12

	LoadPos	DischPos	Time(Min.)
1	WP1	WP2	10.00
2	WP1	WP3	15.00
3	WP1	WP4	10.00
4	WP1	WP5	15.00
5	WP1	WP6	10.00
6	WP1	WP7	10.00
7	WP1	WP8	15.00
8	WP1	WP9	10.00
9	WP1	WP10	20.00
10	WP2	WP1	10.00
11	WP2	WP3	15.00
12	WP2	WP4	10.00
13	WP2	WP5	20.00
14	WP2	WP6	15.00

Fig. 8 Distance Table Data in MoDiSS Program

Fig. 9는 상기 블록트랜스포터, 블록, 거리 데이터를 바탕으로 도출된 최적 트랜스포터 일정 운송일정을 나타내는 MoDiSS 프로그램 화면이다. 각 블록트랜스포터별로 중요도와 운용비용을 고려한 최적 운송 일정 계획과 블록 운송 순서가 나타나 있다. 이를 바탕으로 주어진 B/T Ratio 12 상황에서 수립된 블록트랜스포터의 최적 운송일정계획은 Table 6과 같다.

The screenshot displays the MoDiSS program interface. The main window is titled 'REPORT' and shows a detailed schedule for 28 transport tasks. The columns are: TP NAME, UTIL, BLOCK, Profit, LOADING, L TIME, DISCHARGING, and D TIME. The tasks are listed as follows:

TP NAME	UTIL	BLOCK	Profit	LOADING	L TIME	DISCHARGING	D TIME
1	250	14	425	WP2	15	WP4	65
2	250	25	450	WP4	70	WP6	125
3	250	10	400	WP1	140	WP3	185
4	250	19	425	WP2	5	WP5	65
5	250	16	425	WP3	80	WP4	130
6	250	24	425	WP2	160	WP5	220
7	250	5	425	WP3	10	WP4	60
8	250	17	425	WP3	75	WP5	130
9	250	21	425	WP2	155	WP5	215
10	250	2	425	WP3	55	WP6	110
11	250	26	400	WP1	125	WP6	165
12	250	6	425	WP3	75	WP4	125
13	250	12	425	WP2	155	WP4	205
14	250	22	425	WP2	15	WP4	65
15	250	30	425	WP2	104	WP5	145
16	250	28	400	WP1	180	WP3	225
17	250	4	425	WP3	35	WP5	90
18	250	18	400	WP1	105	WP3	150
19	250	8	425	WP3	150	WP6	205
20	250	9	425	WP2	20	WP4	70
21	250	20	425	WP3	95	WP6	150
22	250	3	425	WP2	40	WP5	100
23	250	15	400	WP1	115	WP4	155
24	250	11	400	WP1	30	WP6	70
25	250	23	425	WP3	95	WP5	150
26	Max Value Z = 8000.00						
27	Elapsed Time : 0 m : 1 s						
28	Total Number of Variables 4604						

The 'Solution' window shows the following variable values:

Variable Name	Value
X259	1.00
X3889	1.00
X1216	1.00
X1566	1.00
X2126	1.00
X2761	1.00
X2885	1.00
X3637	1.00
X3975	1.00
X4462	1.00

The 'Candidate Schedule' window shows a Gantt-style chart of transport tasks over time, with columns for TP ID, ID, TYPE, and a grid of 0/1 values.

Fig. 9 블록트랜스포터의 최적 운송일정계획을 보여주는 MoDiSS 화면(B/T Ratio 12)

Table 6 B/T Ratio 12을 고려한 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획

TP NAME	Block ID	Load. Pos.	Load. Time	Disch. Pos.	Disch. Time
TP2-1	14	WP2	15	WP4	65
	25	WP4	70	WP6	125
	10	WP1	140	WP3	185
TP2-2	19	WP2	5	WP5	65
	16	WP3	80	WP4	130
	24	WP2	160	WP5	220
TP2-3	5	WP3	10	WP4	60
	17	WP3	75	WP5	130
	21	WP2	155	WP5	215
TP2-4	2	WP3	55	WP6	110
	26	WP1	125	WP6	165
TP2-5	6	WP3	75	WP4	125
	12	WP2	155	WP4	205
TP2-6	22	WP2	15	WP4	65
	30	WP2	104	WP5	145
	28	WP1	180	WP3	225
TP2-7	4	4	WP3	35	WP5
	18	18	WP1	105	WP3
	8	8	WP3	150	WP6
TP2-8	9	9	WP2	20	WP4
	20	20	WP3	95	WP6
TP2-9	3	3	WP2	40	WP5
	15	15	WP1	115	WP4
TP2-10	11	11	WP1	30	WP6
	23	23	WP3	95	WP50

\* 운송 완료 된 Block : 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20  
21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30

\* 모든 운송가능 일정의 수 : 4604개의 스케줄

\* 총 블록 운송요청 대비 운송 완료율 : 83.3%

위의 결과에서 보듯이 가상의 조선소가 보유한 10대의 블록트랜스포터로는 모두 운송 일정에 투입되더라도, 4시간동안 주어진 30개의 블록 운송수요 중

25개의 블록 운송수요 만이 처리할 수 있었다. 또한 모든 운송가능 일정은 4604개이다. B/T Ratio 12를 고려해서 4시간동안 30개의 블록 운송수요 10대의 블록트랜스포터만으로 모두 처리하기는 불가능하므로, 위 조선소는 남은 5개의 블록 운송수요를 처리하기 위해서는 추가 블록트랜스포터를 대여 혹은 구입하여야 한다. 50회의 실험을 통한 B/T Ratio 12의 상황에서의 10대의 블록트랜스포터를 이용한 블록 운송에 대한 실험 결과 비율은 다음 Table 7과 같다.

Table 7 B/T Ratio 12 상 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 결과

구분	TP 수	Block 수	운송가능 일정 수	운송완료율	Elapsed Time
1	10	30	4604	83.3%	0m 01s
2	10	30	4740	83.3%	0m 11s
3	10	30	4580	80.0%	0m 04s
4	10	30	4125	80.0%	0m 05s
5	10	30	6300	76.7%	0m 22s
6	10	30	5332	83.3%	0m 21s
7	10	30	4480	80.0%	0m 02s
8	10	30	5748	83.3%	0m 01s
9	10	30	5736	80.0%	0m 01s
10	10	30	8230	86.7%	1m 44s
11	10	30	8164	73.3%	1m 21s
12	10	30	4986	80.0%	0m 30s
13	10	30	5684	80.0%	0m 22s
14	10	30	5740	83.3%	0m 21s
15	10	30	5955	80.0%	0m 02s
16	10	30	8320	80.0%	0m 04s
17	10	30	6020	76.7%	0m 42s
18	10	30	6524	73.3%	0m 44s
19	10	30	6538	76.7%	0m 45s
20	10	30	6780	73.3%	0m 52s
21	10	30	5957	83.3%	0m 11s
22	10	30	7620	76.7%	1m 02s
23	10	30	7188	76.7%	1m 04s
24	10	30	7752	76.7%	1m 11s
25	10	30	4492	80.0%	0m 00s
26	10	30	5604	80.0%	0m 01s
27	10	30	6966	76.7%	0m 42s
28	10	30	5920	83.3%	0m 41s
29	10	30	5576	83.3%	0m 22s

구분	TP 수	Block 수	운송가능 일정 수	운송완료율	Elapsed Time
30	10	30	5824	83.3%	0m 19s
31	10	30	5140	80.0%	0m 32s
32	10	30	6265	80.0%	1m 23s
33	10	30	5782	80.0%	0m 34s
34	10	30	5359	83.3%	0m 18s
35	10	30	7350	76.7%	0m 24s
36	10	30	5420	83.3%	0m 01s
37	10	30	4886	80.0%	0m 01s
38	10	30	4922	80.0%	0m 02s
39	10	30	7560	76.7%	0m 55s
40	10	30	7488	73.3%	0m 34s
41	10	30	4750	76.7%	0m 00s
42	10	30	5938	83.3%	0m 21s
43	10	30	7060	76.7%	0m 29s
44	10	30	3840	70.0%	0m 00s
45	10	30	3736	76.7%	0m 00s
46	10	30	6794	73.3%	0m 01s
47	10	30	6382	76.7%	0m 01s
48	10	30	4852	83.3%	0m 46s
49	10	30	5892	80.0%	0m 34s
50	10	30	4846	76.7%	0m 42s

해당 50회 결과에 따라 운송 완료율 결과 및 비율과 운송가능 일정 수에 따른 계획수립에 걸리는 시간(Elapsed Time)을 정리하면 다음 Table 8, Fig. 10, Fig. 11과 같다.

Table 8 B/T Ratio 12 상 운송완료율 결과 및 비율(50회)

구분	운송완료율	결과 횟수	결과 비율
1	75% 미만	6	12%
2	76.7%	14	28%
3	80.0%	16	32%
4	83.3%	13	26%
5	86.7%	1	2%
6	90% 이상	0	0%
합계		50	100%

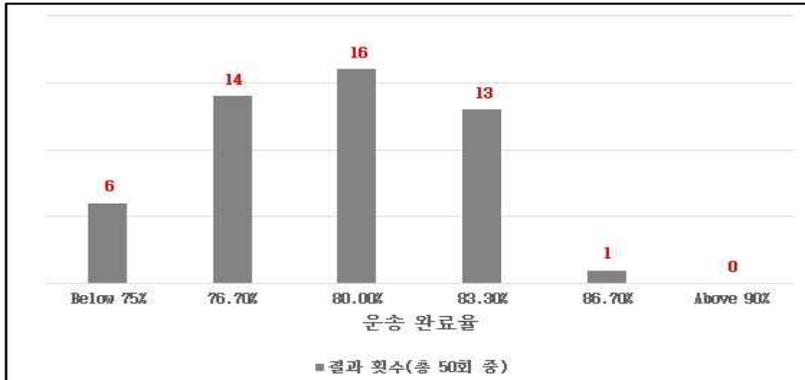


Fig. 10 B/T Ratio 12 상 운송완료율 비율

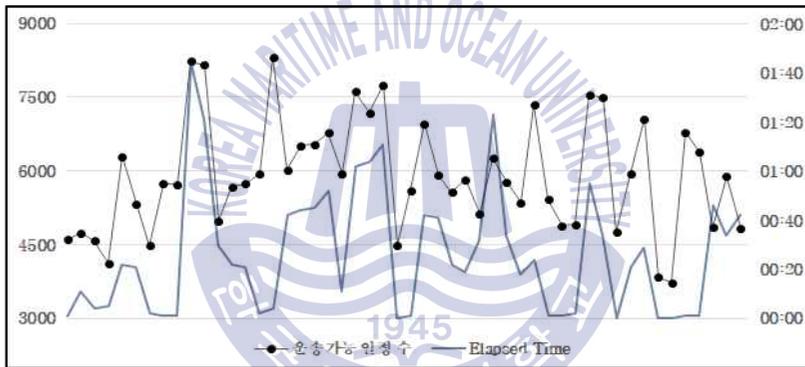


Fig. 11 운송가능 일정 수와 소요시간(B/T Ratio 12)

상기 Table 8, Fig. 10에 따르면 실제 조선소에서 B/T Ratio 12를 유지하고 조선 공정을 진행할 경우에는 운송할 수 있는 블록의 개수가 상당히 제한적이며, 장기적인 관점에서 블록의 운송 수요가 계속해서 유지되거나 많아진다면 보유한 블록트랜스포터 외에 구입 혹은 대여를 통해 블록트랜스포터 수를 늘려 B/T Ratio를 낮춰야 블록 운송수요를 모두 충족시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 B/T Ratio 12를 유지하는 경우 50회 실험 결과 운송가능 일정의 수는 Table 7, Fig. 11과 같이 3736개부터 8320개까지 나타났으며, 계산에 걸리는 소요시간은 운송가능 일정 수에 비례하며, 1초부터 최대 1분 44초가 걸림을 알 수 있다.

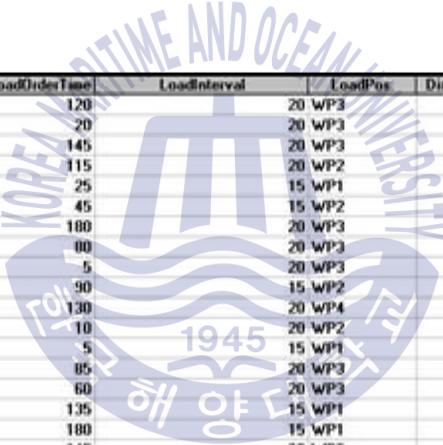
## 4.2 최적화 모형을 이용한 실험 - B/T Ratio 10의 경우

이번 실험에서는 이전 B/T Ratio 12의 실험과 동일한 블록트랜스포터 10대를 이용하여 가상의 조선소에서 B/T Ratio 10인 경우를 가정해 실험하였다. 블록 데이터는 하기 Table 9와 같이 설정하였다. 같은 계획기간 중에 블록 운송이 이루어지며, 상/하차시간의 계산은 이전의 실험과 동일하게 진행하였다. 블록 데이터는 MS Office Excel 난수함수를 통해 생성하였기에 상/하차지 및 무게 등은 제약 내에서 무작위 적으로 생성하였다.

Table 9 A Set of Blocks for Case Example 2 (B/T Ratio 10)

ID	Size	RI	Load Pos.	Disch. Pos.		<i>t</i>	
1	160	425	WP3	WP6	120	20	175
2	180	425	WP3	WP5	20	20	75
3	170	425	WP3	WP4	145	20	195
4	110	425	WP2	WP3	115	20	170
5	60	400	WP1	WP4	25	15	65
6	100	425	WP2	WP4	45	15	85
7	170	425	WP3	WP6	180	20	235
8	170	425	WP3	WP6	80	20	135
9	150	425	WP3	WP4	5	20	55
10	100	425	WP2	WP3	90	15	135
11	200	450	WP4	WP6	130	20	185
12	110	425	WP2	WP5	10	20	70
13	80	400	WP1	WP4	5	15	45
14	160	425	WP3	WP6	85	20	140
15	150	425	WP3	WP4	60	20	110
16	80	400	WP1	WP3	135	15	180

ID	Size	RI	Load Pos.	Disch. Pos.		<i>t</i>	
17	90	400	WP1	WP4	180	15	220
18	150	425	WP3	WP5	145	20	200
19	200	450	WP4	WP6	30	20	85
20	80	400	WP1	WP3	180	15	225
21	60	400	WP1	WP4	90	15	130
22	140	425	WP2	WP5	135	20	195
23	80	400	WP1	WP4	105	15	145
24	190	425	WP3	WP5	170	20	225
25	130	425	WP2	WP5	170	20	230



	ID	SIZE	RI	LoadOrderTime	LoadInterval	LoadPos	DischTime	DischPos	Type
1	1	160	425.00	120		20 WP3	175 WP6		6
2	2	100	425.00	20		20 WP3	75 WP5		6
3	3	170	425.00	145		20 WP3	195 WP4		6
4	4	110	425.00	115		20 WP2	170 WP3		6
5	5	60	400.00	25		15 WP1	65 WP4		5
6	6	100	425.00	45		15 WP2	85 WP4		5
7	7	170	425.00	180		20 WP3	235 WP6		6
8	8	170	425.00	00		20 WP3	135 WP6		6
9	9	150	425.00	5		20 WP3	55 WP4		6
10	10	100	425.00	90		15 WP2	135 WP3		5
11	11	200	450.00	130		20 WP4	185 WP6		6
12	12	110	425.00	10		20 WP2	70 WP5		6
13	13	80	400.00	5		15 WP1	45 WP4		5
14	14	160	425.00	85		20 WP3	140 WP6		6
15	15	150	425.00	60		20 WP3	110 WP4		6
16	16	80	400.00	135		15 WP1	100 WP3		5
17	17	90	400.00	180		15 WP1	220 WP4		5
18	18	150	425.00	145		20 WP3	200 WP5		6
19	19	200	450.00	30		20 WP4	85 WP6		6
20	20	80	400.00	180		15 WP1	225 WP3		5
21	21	60	400.00	90		15 WP1	130 WP4		5
22	22	140	425.00	135		20 WP2	195 WP5		6
23	23	80	400.00	105		15 WP1	145 WP4		5
24	24	190	425.00	170		20 WP3	225 WP5		6
25	25	130	425.00	170		20 WP2	230 WP5		6

Fig. 12 Block Data in MoDiSS Program considering B/T Ratio 10

가상의 조선소는 B/T Ratio 10의 현 상황에서 앞 실험 조건인 B/T Ratio 12와는 다르게 10대의 블록트랜스포터를 이용해 계획기간동안 모든 블록을 계획에 차질 없이 운송할 수 있었다. 모든 운송가능 일정(All Feasible Schedule)은 4604개였으며, 이 가운데 MoDiSS를 이용한 가장 최적화 된 일정 계산결과는 Fig. 13과 같다.

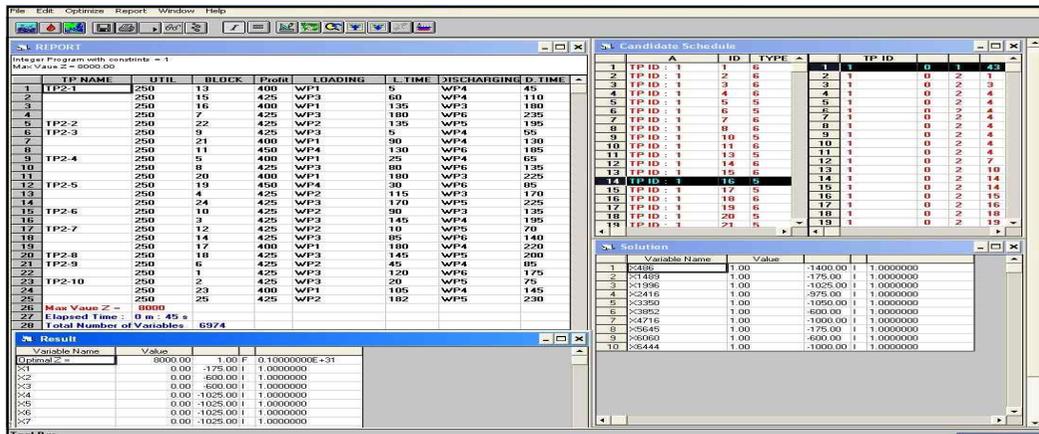


Fig. 13 블록트랜스포터의 최적 운송일정계획을 보여주는 MoDiSS 화면(B/T Ratio 10)

하기 Table 10은 상기 계산 결과를 표로 정리한 것이며, 이를 통해 동 조선소는 이를 토대로 최적의 블록트랜스포터 일정계획을 수립할 수 있을 것이다.

Table 10 B/T Ratio 10을 고려한 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획

TP NAME	Block ID	Load. Pos.	Load. Time	Disch. Pos	Disch. Time
TP2-1	13	WP1	5	WP4	45
	15	WP3	60	WP4	110
	16	WP1	135	WP3	180
TP2-2	7	WP3	180	WP6	235
	2	WP3	20	WP5	75
	21	WP1	90	WP4	130
TP2-3	11	WP4	130	WP6	185
	9	WP3	5	WP4	55
	23	WP1	105	WP4	145
TP2-4	25	WP2	182	WP5	230
	18	WP3	145	WP5	200
	19	WP4	30	WP6	85
TP2-5	4	WP2	115	WP3	170
	24	WP3	170	WP5	225

TP NAME	Block ID	Load. Pos.	Load. Time	Disch. Pos	Disch. Time
TP2-6	14	WP3	85	WP6	140
	17	WP1	180	WP4	220
TP2-7	12	WP2	10	WP5	70
	10	WP2	90	WP3	135
	3	WP3	145	WP4	195
TP2-8	6	WP2	45	WP4	85
	1	WP3	120	WP6	175
TP2-9	5	WP1	25	WP4	65
	8	WP3	80	WP6	135
	20	WP1	180	WP3	225
TP2-10	22	WP2	135	WP5	195

\* 운송 완료 된 Block : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25

\* 모든 운송가능 일정의 수 : **6974개**의 스케줄

\* 총 블록 운송요청 대비 운송 완료율 : **100%**

50회의 실험을 통한 B/T Ratio 10의 상황에서의 10대의 블록트랜스포터를 이용한 블록 운송에 대한 실험 결과는 다음 Table 11과 같다.

Table 11 B/T Ratio 10 상 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 결과

구분	TP 수	Block 수	운송가능 일정 수	운송완료율	Elapsed Time
1	10	25	6974	100%	0m 45s
2	10	25	7650	100%	0m 41s
3	10	25	6875	84%	0m 03s
4	10	25	5870	96%	0m 06s
5	10	25	4582	96%	0m 04s
6	10	25	3810	80%	0m 04s
7	10	25	2882	92%	0m 01s
8	10	25	2836	92%	0m 01s
9	10	25	5918	84%	0m 06s
10	10	25	7050	100%	0m 29s
11	10	25	2166	96%	0m 22s

구분	TP 수	Block 수	운송가능 일정 수	운송완료율	Elapsed Time
12	10	25	5052	80%	0m 42s
13	10	25	4880	88%	0m 15s
14	10	25	5942	100%	0m 19s
15	10	25	2228	88%	0m 22s
16	10	25	2612	88%	0m 26s
17	10	25	3675	96%	0m 27s
18	10	25	2359	84%	0m 02s
19	10	25	2483	84%	0m 06s
20	10	25	3204	96%	0m 09s
21	10	25	5812	100%	0m 14s
22	10	25	4602	92%	0m 17s
23	10	25	5254	100%	0m 18s
24	10	25	4706	92%	0m 25s
25	10	25	3645	92%	0m 11s
26	10	25	2584	96%	0m 20s
27	10	25	4155	96%	0m 41s
28	10	25	2560	92%	0m 01s
29	10	25	3891	96%	0m 01s
30	10	25	5616	92%	0m 11s
31	10	25	2006	84%	0m 01s
32	10	25	5070	92%	0m 36s
33	10	25	2438	96%	0m 01s
34	10	25	2322	88%	0m 28s
35	10	25	5995	100%	0m 33s
36	10	25	5487	92%	0m 06s
37	10	25	4988	92%	0m 01s
38	10	25	3746	96%	0m 14s
39	10	25	4879	96%	0m 12s
40	10	25	5381	92%	0m 09s
41	10	25	4970	100%	0m 06s
42	10	25	5874	88%	0m 41s
43	10	25	5680	92%	0m 42s
44	10	25	4786	96%	0m 39s
45	10	25	3522	100%	0m 16s
46	10	25	5236	96%	0m 07s
47	10	25	2160	100%	0m 01s
48	10	25	2640	100%	0m 01s
49	10	25	4034	92%	0m 33s
50	10	25	2438	100%	0m 17s

해당 50회 결과에 따라 운송 완료율 결과 및 비율과 운송가능 일정 수에 따른 계획수립에 걸리는 시간을 정리하면 다음 Table 12, Fig. 14, 15와 같다.

Table 12 B/T Ratio 10 상 운송완료율 결과 및 비율(50회)

구분	운송완료율	결과 횟수	결과 비율
1	80% 이하	2	4%
2	84%	5	10%
3	88%	5	10%
4	92%	13	26%
5	96%	13	26%
6	100%	12	24%
합계		50	100%

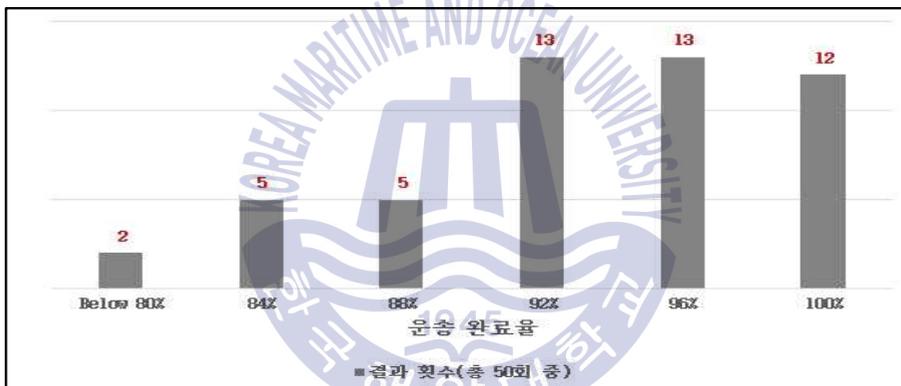


Fig. 14 B/T Ratio 10 상 운송완료율 비율

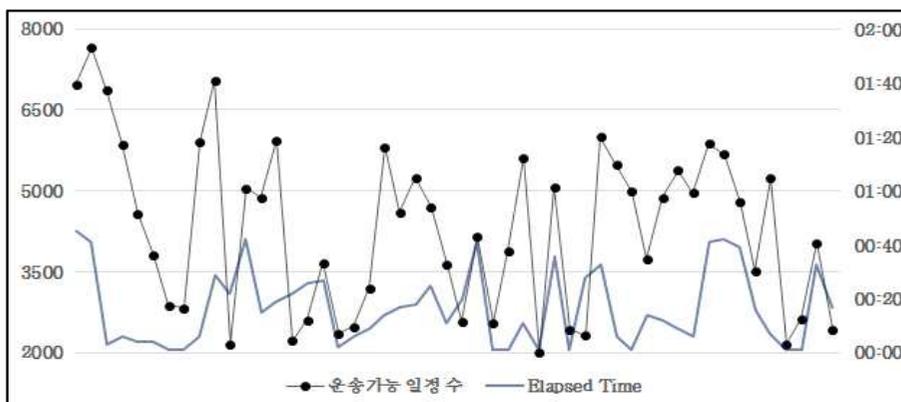


Fig. 15 운송가능 일정 수와 소요시간(B/T Ratio 10)

상기 Table 12, Fig. 14에서 알 수 있듯이, 조선소에서 B/T Ratio 10를 유지하고 조선 공정을 진행할 경우 약 24%의 확률로 모든 블록 운송수요를 충족시킬 수 있다는 결과가 도출되었다. 이는 블록의 상/하차 위치와 상차, 하차에 걸리는 시간 그리고 블록트랜스포터의 초기위치 등 특정된 상황 내에서만 모든 블록 운송수요를 충족시킬 수 있다는 것이다. 또한 B/T Ratio 10를 유지하는 경우 50회 실험 결과 운송가능 일정의 수는 Fig. 15와 같이 2006개부터 7650개까지 나타났으며, 계산에 걸리는 소요시간은 운송가능 일정 수의 추세와 유사하게 1초부터 최대 45초가 걸려 B/T Ratio 12에 비해 운송가능 일정의 수와 계산 소요시간도 줄어들었음을 알 수 있다.

#### 4.3 최적화 모형을 이용한 실험 - B/T Ratio 8의 경우

이번 실험에서는 동일한 블록트랜스포터 집합 군과 가상의 조선소에서 B/T Ratio 8인 경우를 가정하여 시험하였다. 블록 데이터는 하기 Table 13과 같이 설정하였다. 블록트랜스포터 데이터를 비롯한 블록 데이터의 설정 방법은 상기의 실험들과 동일한 조건으로 설정하였다.

Table 13 A Set of Blocks for Case Example 3 (B/T Ratio 8)

ID	Size	RI	Load Pos.	Disch. Pos.		<i>t</i>	
1	160	425	WP3	WP6	120	20	175
2	180	425	WP3	WP5	20	20	75
3	170	425	WP3	WP4	145	20	195
4	110	425	WP2	WP3	115	20	170
5	60	400	WP1	WP4	25	15	65
6	100	425	WP2	WP4	45	15	85
7	170	425	WP3	WP6	180	20	235
8	170	425	WP3	WP6	80	20	135
9	150	425	WP3	WP4	5	20	55
10	100	425	WP2	WP3	90	15	135

ID	Size	RI	Load Pos.	Disch. Pos.		<i>t</i>	
11	200	450	WP4	WP6	130	20	185
12	110	425	WP2	WP5	10	20	70
13	80	400	WP1	WP4	5	15	45
14	160	425	WP3	WP6	85	20	140
15	150	425	WP3	WP4	60	20	110
16	80	400	WP1	WP3	135	15	180
17	90	400	WP1	WP4	180	15	220
18	150	425	WP3	WP5	145	20	200
19	200	450	WP4	WP6	30	20	85
20	80	400	WP1	WP3	180	15	225

	ID	SIZE	RI	LoadDate	LoadInterval	LoadPort	DischDate	DischPort	Type
1	1	160	425.00	120		20 WP3	175 WP6		6
2	2	180	425.00	20		20 WP3	75 WP5		6
3	3	170	425.00	145		20 WP3	195 WP4		6
4	4	110	425.00	115		20 WP2	170 WP3		6
5	5	60	400.00	25		15 WP1	65 WP4		5
6	6	100	425.00	45		15 WP2	85 WP4		5
7	7	170	425.00	180		20 WP3	235 WP6		6
8	8	170	425.00	80		20 WP3	135 WP6		6
9	9	150	425.00	5		20 WP3	55 WP4		6
10	10	100	425.00	90		15 WP2	135 WP3		5
11	11	200	450.00	130		20 WP4	185 WP6		6
12	12	110	425.00	10		20 WP2	70 WP5		6
13	13	80	400.00	5		15 WP1	45 WP4		5
14	14	160	425.00	85		20 WP3	140 WP6		6
15	15	150	425.00	60		20 WP3	110 WP4		6
16	16	80	400.00	135		15 WP1	180 WP3		5
17	17	90	400.00	180		15 WP1	220 WP4		5
18	18	150	425.00	145		20 WP3	200 WP5		6
19	19	200	450.00	30		20 WP4	85 WP6		6
20	20	80	400.00	180		15 WP1	225 WP3		5

Fig. 16 Block Data in MoDiSS Program considering B/T Ratio 8

실험 결과를 정리한 Table 14를 보면 가상의 조선소는 B/T Ratio 8의 상황에서 모든 운송가능 일정은 4484개로 계획기간동안 모든 블록을 계획에 차질 없이 운송할 수 있었다. 또한 10대의 블록트랜스포터 중 8대의 블록트랜스포터만으로도 모든 운송작업에 대한 운송수요 처리가 가능한 것으로 분석 되었다. 이러한 경우 실제 10대 중 9대는 블록 운송에 투입하고, 남은 1대의 경우 대여 등 부가적인 활용을 통하여 블록트랜스포터의 활용도를 넓힐 수 있다.

Table 14 B/T Ratio 8을 고려한 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획

TP NAME	Block ID	Load. Pos.	Load. Time	Disch. Pos	Disch. Time
TP2-1	3	WP2	55	WP3	110
TP2-2	14	WP2	10	WP5	70
	18	WP1	85	WP6	125
	17	WP2	180	WP3	225
TP2-3	15	WP3	5	WP4	55
	6	WP3	70	WP5	125
	5	WP4	135	WP5	185
TP2-4	11	WP2	35	WP5	85
	1	WP3	115	WP5	170
TP2-5	2	WP2	35	WP3	90
	4	WP2	135	WP3	190
TP2-6	20	WP1	29	WP3	60
	8	WP3	60	WP5	115
	12	WP4	130	WP5	180
TP2-7	10	WP3	30	WP6	85
	19	WP1	100	WP6	140
	7	WP1	150	WP9	190
TP2-8	16	WP2	20	WP3	75
	9	WP3	95	WP4	145
TP2-9	13	WP1	60	WP3	105

- \* 운송 완료 된 Block : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20
- \* 모든 운송가능 일정의 수 : 4484개의 스케줄
- \* 총 블록 운송요청 대비 운송 완료율 : 100%

50회의 실험을 통한 B/T Ratio 8의 상황에서의 10대의 블록트랜스포터를 이용한 블록 운송에 대한 실험 결과는 다음 Table 15와 같다.

Table 15 B/T Ratio 8 상 블록트랜스포터의 최적 운송 일정계획 결과

구분	TP 수	Block 수	운송가능 일정 수	운송완료율	Elapsed Time
1	10	20	4484	100%	00m 28s
2	10	20	2692	100%	00m 14s
3	10	20	3401	100%	00m 11s
4	10	20	1857	100%	00m 01s
5	10	20	4772	100%	00m 02s
6	10	20	3149	100%	00m 03s
7	10	20	1865	100%	00m 04s
8	10	20	4138	100%	00m 02s
9	10	20	1755	100%	00m 01s
10	10	20	1944	100%	00m 02s
11	10	20	2729	100%	00m 14s
12	10	20	1872	100%	00m 13s
13	10	20	2102	100%	00m 01s
14	10	20	4950	100%	00m 02s
15	10	20	4998	100%	00m 05s
16	10	20	4120	100%	00m 05s
17	10	20	4664	100%	00m 11s
18	10	20	2416	100%	00m 02s
19	10	20	1965	100%	00m 01s
20	10	20	2350	100%	00m 01s
21	10	20	5137	100%	00m 42s
22	10	20	2028	100%	00m 33s
23	10	20	3672	100%	00m 02s
24	10	20	3363	100%	00m 01s
25	10	20	2940	100%	00m 08s
26	10	20	2723	100%	00m 07s
27	10	20	3967	100%	00m 06s
28	10	20	2016	100%	00m 14s
29	10	20	4236	100%	00m 05s
30	10	20	3364	100%	00m 04s
31	10	20	4520	100%	00m 06s
32	10	20	3319	100%	00m 02s
33	10	20	4511	100%	00m 02s
34	10	20	2206	100%	00m 06s
35	10	20	4983	100%	00m 01s
36	10	20	3702	100%	00m 06s
37	10	20	1730	100%	00m 07s
38	10	20	4668	100%	00m 02s
39	10	20	3359	100%	00m 05s
40	10	20	5112	100%	00m 06s

구분	TP 수	Block 수	운송가능 일정 수	운송완료율	Elapsed Time
41	10	20	4748	100%	00m 05s
42	10	20	3096	100%	00m 03s
43	10	20	4096	100%	00m 07s
44	10	20	3341	100%	00m 06s
45	10	20	4509	100%	00m 04s
46	10	20	4377	100%	00m 07s
47	10	20	1989	100%	00m 02s
48	10	20	4714	100%	00m 05s
49	10	20	1577	100%	00m 01s
50	10	20	2299	100%	00m 11s

해당 50회 결과에 따라 운송 완료율 결과 및 비율과 운송가능 일정 수에 따른 계획수립에 걸리는 시간을 정리하면 다음 Table 16, Fig. 17, 18과 같다.

Table 16 B/T Ratio 8 상 운송완료율 결과 및 비율(50회)

구분	운송완료율	결과 횟수	결과 비율
1	99% 미만	0	0%
2	100%	50	100%
합계		50	100%

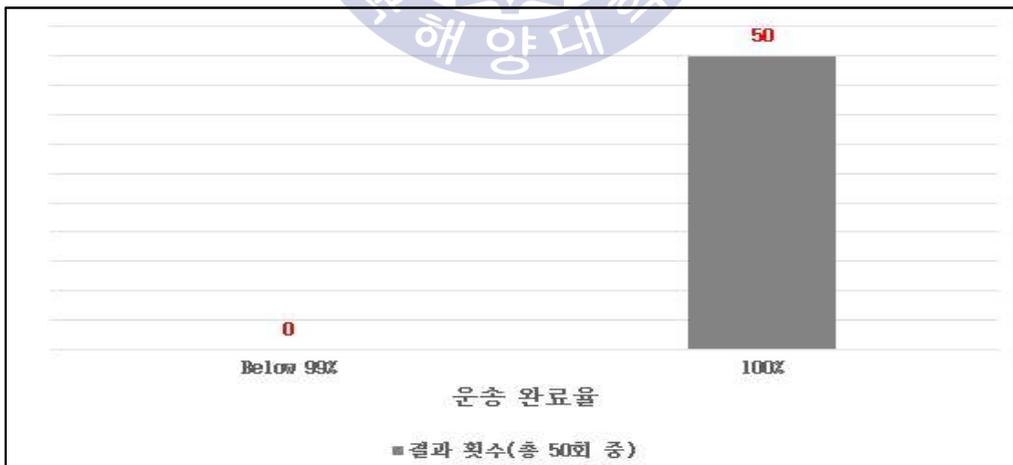


Fig. 17 B/T Ratio 8 상 운송완료율 비율

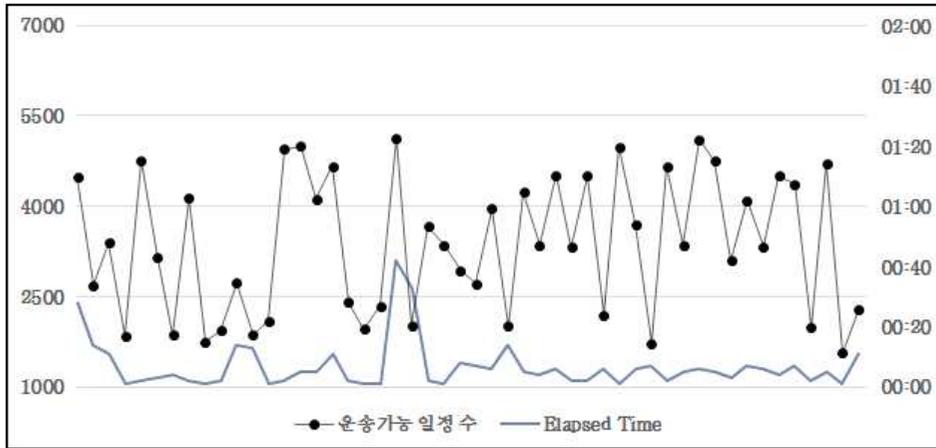


Fig. 18 운송가능 일정 수와 소요시간(B/T Ratio 8)

상기 Table 16, Fig. 17과 같이 조선소에서 B/T Ratio 8를 유지하고 조선 공정을 진행할 경우, 100%의 확률로 모든 블록 운송수요를 충족시킬 수 있다는 결과를 도출하였다. 또한 B/T Ratio 8를 유지하는 경우 50회 실험 결과 운송가능 일정의 수는 Table 15, Fig. 18과 같이 1577개부터 5137개까지 나타났으며, 계산에 걸리는 소요시간은 50번 중 3번을 제외하고는 모두 20초 미만에 처리가 되어 간편하게 계산할 수 있음을 알 수 있다.

그리고 Fig. 19와 같이 10대의 블록트랜스포터를 모두 블록 운송에 투입하지 않고도 모든 블록 운송수요를 처리할 수 있는 경우도 도출되었다. 8대를 이용하는 경우는 14%, 9대를 이용하는 경우는 36%였다.

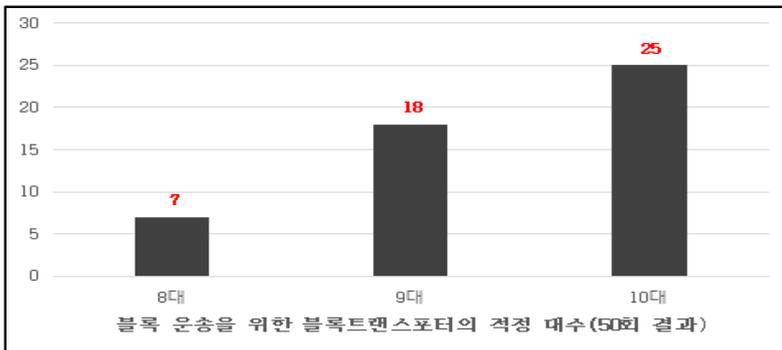


Fig. 19 블록트랜스포터의 적정 대수 (B/T Ratio 8 상에서)

이 경우 하기 Table 17을 참조해 블록트랜스포터의 대여 등의 활용을 통한다면 블록트랜스포터의 운용비의 절약과 대여 수익을 통한 조선 건조공정의 생산비를 절약 할 수 있다.

**Table 17** 블록트랜스포터의 운용비용

장비명	규격	구입가(대당/천원)	시간당 사용금액(원)
트랜스포터	500 Ton	923,226	301,000
	300 Ton	598,323	252,000
	230 Ton	479,530	171,000

**\* 시간당 사용금액 산출근거**

(감가상각비+간접비+직접인건비+지급이자+유류비+수선비+보험료+제세공과금  
+일반관리비) ÷ 20일(평일 업무 기준일수) ÷ 9(평일 운용 시간)



## 제 5 장 결론 및 향후과제

### 5.1 연구 결론

높은 수출의존도를 가진 우리나라 산업구조에서는 국가경제에 미치는 영향이 큰 핵심 산업인 조선 산업을 국가적으로 중요성을 인식하고 장기적인 계획을 토대로 지속적으로 육성해 나가야 한다. 현재 세계 조선 산업은 우리나라와 중국, 일본을 비롯한 극동 3개국이 세계 시장을 이끌고 있다. 상당기간 우리나라는 조선 산업 세계시장 점유율에서 선두권을 유지하였고 앞으로도 유지 할 수 있다. 그러나 자국 선사로부터 나오는 신조수요가 적은 우리나라 조선업계는 더 견고한 점유율 유지를 위해 생산성 향상을 통한 경쟁력 확보는 필수불가결한 요소이다. 이를 위해 현행되는 선박 공정에서의 블록단위를 운반하는 블록트랜스포터의 효율적인 일정 계획은 선박 전체공정의 일정 계획과 아주 밀접한 관련이 있다.

본 연구에서는 블록 블록트랜스포터 일정 문제 해결에 있어 기존에 사용하던 휴리스틱 알고리즘, 다익스트라 알고리즘 및 A\* 알고리즘이 아닌 이진변수를 이용한 0-1 정수계획법을 이용한 모형을 처음으로 제안하였다. 제안된 [t-SPK 모형]은 모든 운송 가능한 일정을 구현해서 기존의 휴리스틱 기법을 사용해 최적 일정에 가까운 일정을 구현하고 선택하는 것이 아닌 모든 운송 가능한 일정 중 가장 최적화 된 일정을 도출하고 선택할수 있다는 데에 그 의의가 있다.

그리고 B/T Ratio를 고려하여 150차례 실험한 결과, 조선소에서 적정하게 유지해야하는 B/T Ratio는 8임을 알아냈다. 하지만 현재 D 조선소에서 발생하는 B/T Ratio는 최대 15까지임을 비추어 볼 때, 생산되는 블록에 비해 현행 운용되는 블록트랜스포터의 수가 부족하다는 것을 알 수 있다. 또, 실험에서는 블록 데이터의 생성에 있어 블록의 생성되는 양과 플랜트의 위치를 확률분포에 의거

해 블록 데이터를 생성하였으나, 현실에서는 이와는 다르게 특정 시간에 운송 수요가 급격히 늘어나거나 줄어든다거나, 블록생산완료시간이 지연되는 등 다양한 변수가 생길 수 있다. 조선 건조계획기간 중 기간, 공정별 블록생산량을 분석, 예측하여 생성되고 운송될 블록의 양을 예상할 수 있다면 그에 맞춰 블록트랜스포터의 적정 수를 예측할 수 있게된다. 또한 그에 맞춰 블록트랜스포터의 구입 및 대여 등의 의사결정을 통해 블록의 운송을 지연되지 않은 채 최적의 일정으로 운송할 수 있고, 이는 나아가서 효율적인 조선 건조계획을 수립하는데 큰 도움이 될 것이다.

## 5.2 향후 과제

세계경기 침체로 인해 세계 조선 산업은 신조선 발주량과 발주액이 크게 감소하고 있는 추세이다. 이에 영향을 받아 국내 조선소들도 신조선 수주량이 크게 감소함에 따라 경제지표 및 산업 전반적으로 상당히 어려운 국면에 처해있다. 그리고 세계 여러 국가들간의 경쟁이 갈수록 치열해 짐에 따라 국내 조선 산업은 산업기반 및 생산성 향상의 필요성이 대두되고 있다. 이에 지속적인 조선산업의 성장을 위해 경쟁기반을 견고하게 정비하여 산업경쟁력을 키워야 할 것이다. 본 논문에서 다룬 국내 조선 산업, 특히 선박 건조공정에 있어서 사용되는 블록트랜스포터의 최적 일정계획 수립은 생산 비용 절감 및 효율적인 조선 공정계획의 진행을 위해 필수 불가결의 요소이다.

향후 연구에서는 전체 조선 건조계획 중에 발생하는 블록 생산량을 면밀히 분석할 필요가 있다. 이를 토대로 장기적인 블록트랜스포터의 운용계획을 세울 수 있게 된다. 두 번째로, 블록 트랜스포터의 일정 계산 실험을 실행하였을 때 가장 효과적인 B/T Ratio의 정도에 대한 실험, 연구가 추가적으로 더해져야한다. 최적화된 B/T Ratio를 구한다면, 전체적인 블록 생산량 추위에 따라 블록 트랜스포터의 운용을 통해 생산비용 절감 및 수익을 예상할 수 있기 때문이다. 세 번째로, 계산실험의 규모가 커졌을 때 운송 가능한 일정의 개수가 어느 정도인지, 그리고 일정계획을 도출하는데 걸리는 시간은 얼마나 걸리는지에 대한 연구 과제를 제안한다. 이는 도출되는 일정의 개수와 소요시간에 따라 해당 일

정 계획을 위한 하드웨어 설비의 기준도 제시할 수 있을 것이다. 마지막으로 본 논문에서는 상용화 프로그램인 LINDO Optimizer를 이용하여 모든 운송가능한 일정을 도출하였으나, 조선공정 실무에 적용하기 위해 더욱 빠르고 효율적으로 적용할 수 있는 적절한 프로그램의 개발 역시 필요하다.



## 감사의 글

먼저 건강히 논문을 완성하게 해주신 주님께 감사드립니다.

한국해양대학교 대학원 진학을 결정하고 본 논문을 완성하기 까지 도움을 주신 많은 분들에게 감사의 말씀을 드립니다. 모든 분들에게 감사인사를 드려야 마땅하지만 이렇게 글로 인사를 전하게 되어 죄송합니다.

먼저 지도교수로서 논문의 주제조차 정하지 못해 고생했던 본인에게 넓은 가르침으로 연구의 방향을 제시해주시고, 아낌없이 격려와 조언 해주신 김시화 교수님께 감사드립니다. 경영과학이란 학문을 처음 접하는 본인에게 끊임없이 조언해주시며 흥미를 가지게 해주셔서 감사드립니다. 그리고 논문의 아이디어와 조언을 해주신 이명호 교수님께 감사를 드립니다.

논문을 심사하시면서 부족한 점을 지적해주시고 논문의 틀을 맞출 수 있도록 격려해주신 장명희 교수님, 김태균 교수님께도 진심으로 감사를 드립니다. 또한 논문이 완성하기까지 동문수학하며 도움을 주신 MIEMS 연구실의 김창수 선배님, 오동건 선배님, 박민경 선배님, 박나래 선배님, 구지혜 후배님, 그리고 재학생들에게도 감사드립니다. 그리고 항상 연구에 대한 아이디어와 본 논문에 대한 조언 아끼지 않으셨던 임상섭 선배님에게도 지면을 통해 깊은 감사를 드립니다.

그리고 오랜 기간 항상 곁에서 믿음으로 지켜봐 준 사랑하는 박혜리 박사와 항상 격려를 아끼지 않으시고 기도해주셨던 아버지, 어머니, 장인어른, 장모님, 재은과 찬웅에게도 감사드리며 이 논문을 바칩니다.

마지막으로 모든 도움 주셨던 분들께 감사드리며, 항상 건강하시기를 소원합니다.

## 참 고 문 헌

- 고시근, 박주철, 최용선, 주철민, 1999. 고정정반 블록조립 작업장의 일정계획 시스템. 산업공학 12(4), pp.586-594.
- 김세현, 2008. 현대경영과학, 무역경영사.
- 김시화, 1999. 부정기선 해운의 해상수송 문제에 대한 최적화 기반 의사결정 지원 시스템. 산업공학과 박사 논문. 부산대학교.
- 문종현, 유원선, 차주환, 2016. 최적 경로 알고리즘들의 계산비용 비교 및 트랜스포터의 최적 블록 운송 계획 적용. 대한조선학회논문집 53(2), pp.115-126.
- 민재형, 2015. 스마트 경영과학, 생능출판사.
- 박명환, 이운식, 옥영석, 이태억, 1995. 국내 조선산업의 개요와 국내외 산업공학관련 연구. 산업공학 8(2), pp.5-20.
- 유현규, 2005. 조선 블록의 운반 경로 최적화 연구, 산업정보경영공학과 석사 논문. 울산대학교.
- 이운식, 임원일, 구평희, 2009. 동적 블록수송환경을 위한 네트워크 흐름모형 기반의 트랜스포터 일정계획. 산업공학 (IE interfaces), 22(1), pp.63-72.
- 이운식, 임원일, 구평희, 주철민, 2008. 동적 블록수송환경을 위한 트랜스포터 일정계획. 산업공학(IE interfaces), 21(3), pp.274-282.
- 임선빈, 2008. 복수 트랜스포터의 주행거리 및 간섭 최소화를 고려한 최적 블록 운반 계획. 조선해양공학과 석사 논문. 서울대학교.
- 하태룡, 1999. 선각 평블록 조립공장 일정계획을 위한 혼합 유전 알고리즘. 산업공학과 석사 논문. 울산대학교.

- Baker, E. K., 1983. *An Exact Algorithm for the Time-Constrained Traveling Salesman Problem*, Opns. Res. 31, pp.939-945.
- Crainic, T. G. and Laporte. G., 1998. *Fleet Management and Logistics*. Kluwer Academic Publishers.
- Cha, J. H., Cho, D. Y., Song, H. C. & Roh, M. I., 2012. *Development and application of optimal block transportation simulation system of transporters in shipyard*. Proceedings of the Society of CAD/CAM engineers.
- Chao, I. M., 2002. *A Tabu Search Method for Truck and Trailer Routing Problem*. Computers and O.R. 29, pp.33-51.
- Heo, Y. J., Cha, J. H., Cho, D. Y. & Song, H. C., 2013. *Optimal Block Transportation Path Planning of Transporters considering the Damaged Path*. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 50(5), pp.298-306.
- Joo, C. M. and Kim, B. S., 2012. *Parallel machine scheduling problem with ready times, due times and sequence-dependent setup times using meta-heuristic algorithms*. Engineering Optimization, 44(9), pp.1021-1034.
- Joo, C. M. and Kim, B. S., 2014. *Block transportation scheduling under delivery restriction in shipyard using meta-heuristic algorithms*. Expert System with Applications 41, pp.2851-2858.
- Joo, C. M., Lee, W. S., Koo, P. H. & Lee, K. B., 2006. *Transporter scheduling for block transportation in shipbuilding*. Journal of the Korea Management Engineers Society, 11(3), pp.169-179.
- Laporte. G. and Osman. H., 1995. *Routing Problems: a Bibliography*. Annal of OR. 61, pp.227-262.
- Roh, M. I. and Cha, J. H., 2011. *A Block Transportation Scheduling System considering a Minimisation of Travel Distance without Loading of and Interference between Multiple Transporters*. International Journal of Production research, 49(11), pp.3231-3250.