

컨테이너항만 운영 효율 향상을 위한 장비 배차 최적화

홍동희^{1*}, 김귀정²

¹경기과학기술대학교 인문사회디자인학부, ²백석대학교 정보통신학부

Optimizing the Vehicle Dispatching for Enhancing Operation Efficiency of Container Terminal

Dong-Hee Hong^{1*}, Gui-Jung Kim²

¹Division of Social Science & Design, Gyeonggi College of Science and Technology

²Division of Information Communication, Baekseok University

요약 최근 컨테이너 항만에서는 점점 컨테이너선의 대형화에 따라 증가하는 물동량을 처리하기 위해, 하역장비들의 효율적인 배차 계획과 대기시간 최소화를 통해 작업 생산성을 높이는 다양한 방법들을 적용하고 있다. 본 연구에서는 생산성을 높이는 방법으로 기존 휴리스틱 방법론을 개선한 최적화 모형인 솔버(Solvers)를 적용하였다. 실험 계획은 6개의 샘플 문제를 통해 두 가지 목적함수인 공차주행시간 최소화과 지연시간 최소화의 수행 결과를 기존의 휴리스틱 방법론의 결과와 비교하는 것이다. 실험 결과 두 가지 목적함수 모두 6개의 샘플 문제 중에서 4개의 샘플 문제에서 최적화 모형이 휴리스틱 방법론보다 평균 5.3% 향상된 결과를 도출하였다.

• 주제어 : 융합, 최적화, 휴리스틱, 솔버, 컨테이너항만, 배차계획, 대기시간

Abstract Recently the cargo transportation is increasing according to larger containerships in the container terminal. Thus, the various ways(such as efficient vehicle scheduling and minimizing delay time) are applied to increase productivity to handle the increasing cargo transportation in the container terminal. In this paper, the optimized model(Solvers) is applied to improve the existing heuristic method as a way of increasing productivity. The experimental design is that the result of two objective functions(minimizing travel and delay time of the empty vehicle) is compared to the result of the existing heuristic method by six sample problems. As a result of the two objective function experiments, the optimized model draws 5.3% more improved performance than the heuristic method in four of six problem samples.

• Key Words : Convergence, Optimization, Heuristic, Solver, Container Port, Vehicle Scheduling, Delay Time

1. 서론

최근 점점 대형화되는 컨테이너선의 추세에 맞추어 컨테이너 항만에서도 증가되는 컨테이너 물량을 처리하기 위해 항만 내 하역장비들의 효율적인 배차계획과 대기시간 최소화를 통해 작업 생산성을 높이는 다양한 방

법들을 적용하고 있으며[1], 특히 기존에 주로 사용된 휴리스틱 방법론을 개선하기 위한 최적화 모형에 기반한 방법론 개발이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 [Fig. 1]에 나타낸 바와 같이 컨테이너항만의 작업 계획에 있어 최적화 모형 솔버

*Corresponding Author : 홍동희(sonbal2000@gtec.ac.kr)

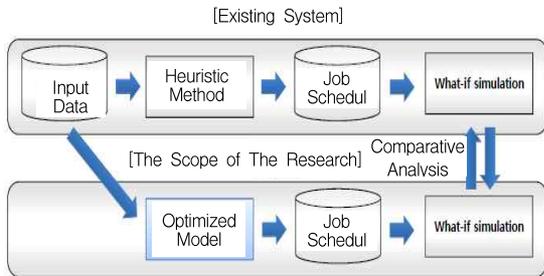
Received August 24, 2017

Accepted October 20, 2017

Revised September 27, 2017

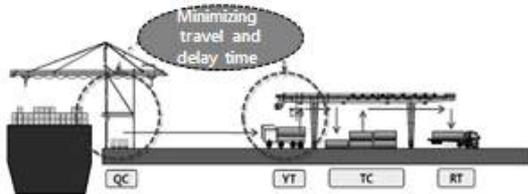
Published October 28, 2017

(Solvers)를 기반으로 하여 기존 휴리스틱 방법론을 개선하고자 한다.



[Fig. 1] The Scope of The Research

본 연구의 목표는 [Fig. 2]에 나타난 바와 같이 첫째, QC(Queue Crane) 작업 생산성 최대화로서 QC의 지연시간을 최소화하는 작업 실행 계획 및 YT(Yard Tractor) 자원 배정 계획 도출이며 둘째, YT 운영비용 최소화로서 YT의 공차주행시간을 최소화하는 작업 실행 계획 및 YT 자원 배정 계획 도출이다.



[Fig. 2] Purpose of Study

본 연구에서는 최적화 모형에 기반한 방법론 개발에 앞서 이를 통한 개선 가능성을 검증하기 위해 POC(Proof Of Concept)를 수행한다. 이 POC의 수행은 본 연구 진행 시 발생할 수 있는 문제점과 개선 가능성을 사전에 파악하고, 본 연구 진행의 효율성을 증대시킨다.

2. 관련 연구 분석 및 기능 정의

2.1 관련 연구 분석

김후림, 최이, 박태진, 류광렬, “자동차 컨테이너 터미널의 이송 차량의 주행 경로 레이아웃 동적 최적화”(2009)와 “자동화 컨테이너터미널의 AGV 교통흐름 동적 최적화”(2010)는 안벽 크레인의 위치 변화에 따라 주행 경로 레이아웃을 동적으로 최적화하는 방안을 시물

레이션 실험을 통해 검증하였다[2,3].

장양자, 장성용, 양창호, 박진우, “컨테이너터미널의 자원 할당계획에 관한 연구”(2002)와 하태영, 최용석, 김우선의 “시물레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 AGV 운영평가”(2004)는 1척의 선박이 접안할 수 있는 가상의 자동화컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인 수, AGV(Auto Guided Vehicle) 대수, 야드 크레인 수 등을 변화시켜가면서 터미널의 생산량을 추정할 수 있는 시물레이션 모델을 개발하기 위한 구상을 제시하였다[4][5]. 최용석, 김우선, 하태영, “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”(2004)은 QC와 YC 간의 대기네트워크를 고려하여 개발한 시물레이션 모델을 이용하여 YT의 요구 수량을 추정하였는데, 크레인 당 YT의 수를 결정하기 위하여 선석과 야드 간의 거리와 YT의 속도 등의 평가 척도를 사용하였다[6].

김한수, 박만곤, “다중사이클시스템을 위한 실시간 위치기반 컨테이너 야드 트랙터 최단거리 계산”(2010)은 컨테이너터미널의 양적하 작업 개선에 요구되는 최적 경로의 탐색과 최단 이동거리에 대한 계산 및 적용에 대해 연구로써 양적하 다중사이클 작업을 위한 알고리즘, YT 작업 최단거리 및 풀링(pooling) 알고리즘, 예상 이동거리 계산에 사용되는 알고리즘을 구현하고 시물레이션으로 검증하였다[7]. 김정민, 최이, 박태진, 류광렬, “자동화 컨테이너 터미널의 복수 규칙 기반 AGV 배차전략 최적화”(2011)는 복수 규칙기반 배차 전략을 제안한 것으로, 복수 휴리스틱 기반 배차 전략은 여러 규칙의 가중합으로 구성되며 규칙 사이의 가중치를 최적화하기 위해 다목적 진화 알고리즘을 적용하였다[8]. 홍동희, 정태충, “컨테이너터미널 운영을 위한 의사결정시스템 설계의 최적화에 관한 연구”(2003)는 컨테이너터미널의 운용 효율을 강화하기 위하여 의사결정시스템을 위한 설계에 영향을 주는 평가요소 즉, 야드장치장 배정, YC 배정, QC 당 YT 배정의 최적화 전략을 제안하였다[9].

원승환, 김갑환, “자동화 컨테이너 터미널에서 장치계획을 고려한 야드 크레인 배치 문제”(2009)는 컨테이너 터미널의 장치계획을 고려한 야드 크레인 배치 문제에 대한 수리모형을 개발하였고[10], 이명호, “자동배차 지원시스템의 휴리스틱 알고리즘 설계”에서는 차량별 좌표 중심으로 근거리 자동 배차하는 휴리스틱 알고리즘을 설계하였다[11]. 또한 김형수, 이성근, “유전자 알고리즘에 기반한 수산업 전력 수요 예측에 관한 연구”와 오세호,

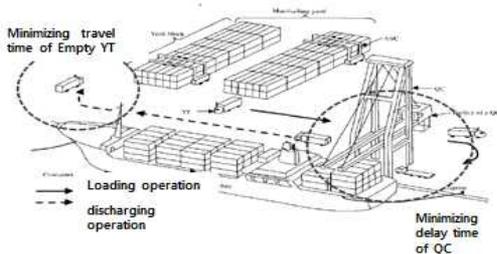
“퍼지 융합 등식 제약식을 갖는 퍼지 선형계획법 문제”에서는 최적의 동작을 위한 파라미터 검색과 등식 제약식의 소속 함수들을 대칭 선형 모형으로 바꾸는 방법에 대하여 연구하였다[12,13].

배종욱, 박영만, “자동화 컨테이너 터미널에서 이적작업을 위한 장치장 크레인 작업할당”(2012)은 혼합정수계획법을 활용하여 장치장 크레인의 작업할당 문제에 대한 최적화 수리모형을 개발하고 이의 예를 제시하였다[14]. 홍동희, 김창곤, “컨테이너터미널 내의 야드 트랙터 위치인식을 위한 적외선 통신시스템 개발”(2013)은 통신시스템을 활용하여 YT의 위치인식을 통한 작업경로 최적화 방안을 제시하였다[15].

본 연구와 관련된 연구들의 내용을 종합해 보면 주로 시뮬레이션 실험을 통해 QC 대기시간 최소화 및 YT 배차 최적화 등의 문제를 해결하려고 하였다.

김후립 외3은 시뮬레이션 실험을 통해 장비의 주행경로 레이아웃을 동적으로 최적화하는 방안을 제시하였으며, 장양자 외3과 하태영 외2는 터미널 생산량을 구하기 위한 시뮬레이션 모델 개발 방안을 제시하였다. 최용석 외2와 김한수 외1 및 김정민 외3의 경우 주로 YT의 배차대수 혹은 AGV 배차전략에 초점을 맞추었으며, 홍동희, 정태충의 경우는 터미널의 전반적인 운영에 관한 연구로써 YT 과업 할당에 따른 개별 효과에 대하여 파악이 어려웠으며, 홍동희, 김창곤의 경우는 통신시스템을 이용하여 YT 최적경로 문제를 해결하려 했다. 이에 김갑환 외1과 배종욱 외1에서 진행된 수리모형을 참고하여, 본 연구에 맞게 실험을 진행하였다. 원승환 외1과 이명호, 오세호, 그리고 배종욱 외1의 수리모형은 최적해 혹은 최적에 가까운 해를 도출하기 위한 최적화 모형이 요구된다.

2.2 POC 범위에 대한 기능 정의



[Fig. 3] Operation Concept in Container Port and POC Scope

[Fig. 3]은 컨테이너항만 운영 개념도 및 POC범위를 나타낸 것이다[16].

작업 실행 계획 및 YT 자원 배정 계획 도출에 기본이 되는 목적식 및 제약식은 <Table 1>에 나타난 바와 같은 기능을 구현한다.

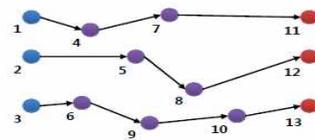
<Table 1> Function Definition

optimize LimitTime	<ul style="list-style-type: none"> Settings for the maximum performing time of the algorithm best value within the maximum performance time 	Representation of optimized Model
dispatchingLimit4 Dispatch Queue	<ul style="list-style-type: none"> Equipment allocation range /Dispatch Queue(min. & max) 	constraint (10)
dispatchingLimit4 YardCrane	<ul style="list-style-type: none"> Constraint of max. allocated equip. no./Yard Crane 	constraint (11)
dispatchingLimit4 BlockArea	<ul style="list-style-type: none"> Constraints of max. allocated equip. no./Block/Area 	constraint (12)
validation	<ul style="list-style-type: none"> Constraints on whether or not the action is acceptable 	constraint (4)
dualMatrix	<ul style="list-style-type: none"> Constraints of equipment assignment for Dual Operation 	constraint (9)
assign Balance	<ul style="list-style-type: none"> Scope of assignment for each equipment (minimum and maximum setting) Set to be assigned equally(future modifiable) 	constraint (7)

3. 수리모형

3.1 수리모형의 개념도

본 연구에서 제한한 수리모형의 개념을 살펴보면, 먼저 장비의 운행시작, 운행종료 및 작업을 노드로 하는 네트워크 구조는 [Fig. 4]와 같다.



[Fig. 4] network structure

- 3대 장비, 7개 작업
- 장비의 운행시작 노드: 1, 2, 3
- 장비의 운행종료 노드: 11, 12, 13
- 작업 노드: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
- 운행 결과

장비 1: 작업 4 → 작업 7

장비 2: 작업 5 → 작업 8

장비 3: 작업 6 → 작업 9 → 작업 10

3.2 수리모형의 결정변수

수리모형의 결정변수는 장비운영 스케줄로써 다음과 같다.

y_{ik} : 작업의 장비로의 할당 변수, 작업 i 가 장비 k 에 할당될 경우 1, 아닐 경우 0

x_{ij} : 작업순서 변수, 동일 장비가 작업 i 를 수행한 후에 작업 j 를 수행할 경우 1, 아닐 경우 0

g_{ij}^k : 장비의 작업할당 변수와 작업순서 변수 간의 관계형성을 위한 보조 변수

t_i : 작업의 시작시간 변수, 작업 i 의 시작시간

s_i^+ : 작업의 조기시간 변수, 작업 i 의 조기시간

s_i^- : 작업의 지연시간 변수, 작업 i 의 지연시간

여기에서 사용하는 상수(파라메타)는 다음과 같다.

N : 노드의 집합

N_s : 운행시작 노드의 집합

N_w : 작업 노드의 집합

N_e : 운행종료 노드의 집합

A : 노드 간 연결아크의 집합

V : 장비의 집합

F : 장비의 작업수행 불가능 집합

Q : Dispatch Queue의 집합

Y : Yard Crane의 집합

B : Block/Area의 집합

D : Dual Operation의 집합

P : 크레인 측면에서의 선행행 제약 집합

NQ_l : Dispatch Queue l 에 속하는 노드의 집합

NY_l : Yard Crane l 에 속하는 노드의 집합

NB_l : Block/Area l 에 속하는 노드의 집합

d_{ij} : 작업 i 수행 후 작업 j 수행 시 공차주행시간

lq_l, uq_l : Dispatch Queue l 의 장비배정 가능범위

ly_l, uy_l : Yard Crane l 의 장비배정 개수제한

lb_l, ub_l : Block/Area l 의 장비배정 개수제한

p_i : 작업 i 의 작업시간

u_{ij} : 작업 i, j 간 크레인 작업시간

r_i : 작업의 i 요구 시작시간

3.3 수리모형의 목적식

수리모형의 목적식은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i \in N_w} s_i^- \quad (1)$$

$$\text{Minimize } \sum_{(i,j) \in A} d_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

subject to

$$\sum_{k \in V} y_{ik} = 1, \forall i \in N \quad (3)$$

$$y_{ik} = 0, \forall (i, k) \in F \quad (4)$$

$$y_{ii} = 1, \forall i \in N_s \quad (5)$$

$$y_{ii-|N_s|-|N_w|} = 1, \forall i \in N_e \quad (6)$$

$$t \leq \sum_{i \in N} y_{ik} \leq t+1, \forall k \in V, \quad t = \lfloor |N| / |V| \rfloor \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_w \cup N_e} x_{ij} = 1, \forall i \in N_s \cup N_w, \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N_s \cup N_w} x_{ij} = 1, \forall j \in N_w \cup N_e \quad (8)$$

$$x_{ij} = 1, \forall (i, j) \in D \quad (9)$$

$$lq_l \leq \sum_{i \in N_s, j \in NQ_l} x_{ij} \leq uq_l, \forall l \in Q \quad (10)$$

$$ly_l \leq \sum_{i \in N_s, j \in NY_l} x_{ij} \leq uy_l, \forall l \in Y \quad (11)$$

$$lb_l \leq \sum_{i \in N_s, j \in NB_l} x_{ij} \leq ub_l, \forall l \in B \quad (12)$$

$$2x_{ij} \leq y_{ik} + y_{jk} + M(1 - g_{ij}^k), \forall (i, j) \in A, \forall k \in V, \quad (13)$$

$$\sum_{k \in V} g_{ij}^k = 1, \forall (i, j) \in A \quad (13)$$

$$t_j \geq t_i + p_i + d_{ij} + M(x_{ij} - 1), \forall (i, j) \in A \quad (14)$$

$$t_j \geq t_i + u_{ij}, \forall (i, j) \in P \quad (15)$$

$$t_i + s_i^+ - s_i^- = r_i, \forall i \in N_w \quad (16)$$

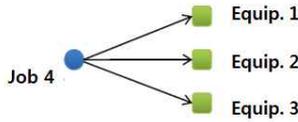
목적함수식 (1)은 지연시간 최소화이며 (2)는 공차주행 시간 최소화이다.

제약식(3)은 각 작업 장비로의 할당을 나타내는 식으로 Dispatch Queue 별 장비배정 가능범위, Yard Crane 별 장비배정 개수, Block/Area 별 장비배정 개수를 의미한다. 제약식(4)는 장비의 작업수행 가능을 나타내는 식이며, (5)는 운행시작 노드 고정, (6)은 운행종료 노드 고정, (7)은 작업할당 밸런싱을 나타내는 식이다. 제약식(8)은 작업순서를 결정하는 식이며, (9)는 Dual Operation을 (10)은 Dispatch Queue 별 장비 배정 가능범위, (11)은 Yard Crane 별 장비배정 개수, (12)는 Block/Area 별 장비배정 개수를 나타내며, (13)은 장비의 작업할당과 작업순서 변수 간의 관계형성을 나타내는 식이다. 그리고 제약식(14)

는 장비 측면 작업시작시간을, (15)는 크레인 측면 작업시작시간(operation 타임에 따라 변형)을, (16)은 지연시간을 나타내는 식이다.

위의 수리모형의 목적식과 제약식을 자세히 살펴보면 목적식(1)은 제약식(16)에 의해 계산된 작업 노드들에 대한 지연시간의 합이며, 목적식(2)는 작업 i 수행 후 j 작업 수행 시($x_{ij} = 1$) 해당 공차주행시간(d_{ij})을 합산한 것이다.

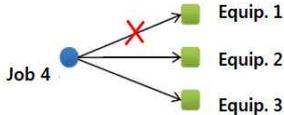
제약식(3)은 모든 작업들이 [Fig. 4]와 같이 하나의 장비에 할당된다.



[Fig. 4] constraints(3)

$\Rightarrow y_{41} + y_{42} + y_{43} = 1$ (세 개의 장비 중 하나만 선택)

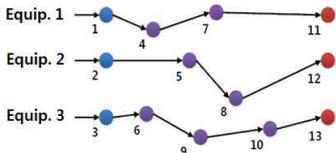
제약식(4)는 [Fig. 5]와 같이 특정 작업이 특정 장비로 할당이 불가능할 경우 할당변수를 0으로 고정한다.



[Fig. 5] constraints(4)

$\Rightarrow y_{41} = 0$ (장비 1은 선택하지 않음)

제약식(5)와 제약식(6)은 [Fig. 6]과 같이 먼저 고정된 장비에 할당한다.



[Fig. 6] constraints(5)(6)

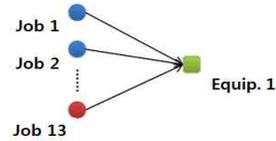
\Rightarrow 운행시작 노드 1, 2, 3

$y_{11} = 1, y_{22} = 1, y_{33} = 1$

\Rightarrow 운행종료 노드 11, 12, 13

$y_{11,1} = 1, y_{12,2} = 1, y_{13,3} = 1$

제약식(7)은 [Fig. 7]과 같이 작업할당의 밸런싱을 위해 장비 별 할당 가능한 작업의 최소값과 최대값을 설정하는데 우선 균일하게 할당되도록 설정(수정 가능)한다.

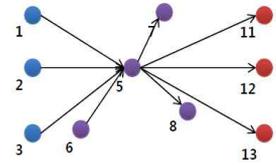


[Fig. 7] constraints(7)

$\Rightarrow t = \lfloor 13/3 \rfloor = 4, 4 \leq y_{11} + y_{21} + \dots + y_{13,1} \leq 5$

즉, 장비 1에 할당되는 노드 수는 4개 혹은 5개로 설정한다. 그러나 먼저 고정된(운행시작, 운행종료) 노드를 제외하면 장비 1에는 2개 혹은 3개의 작업이 할당된다.

제약식(8)은 [Fig. 8]과 같이 작업순서를 결정하는데 각 작업은 하나의 선행작업과 후행작업이 존재(운행시작 및 운행종료 노드 제외)한다.



[Fig. 8] constraints(8)

\Rightarrow 하나의 선행작업($x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{65} = 1$)

\Rightarrow 하나의 후행작업

$(x_{57} + x_{58} + x_{5,11} + x_{5,12} + x_{5,13} = 1)$

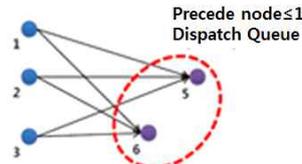
제약식(9)는 [Fig. 9]와 같이 특정 작업 후에 특정 작업이 후행되어야 할 경우 작업순서 변수를 1로 고정한다.



[Fig. 9] constraints(9)

\Rightarrow 작업 5 수행 후 작업 8 수행($x_{58} = 1$)

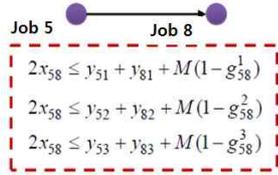
제약식(10)(11)(12)는 [Fig. 10]과 같이 Dispatch Queue 별, Yard Crane 별, Block/Area 별로 선행작업이 운행시작 노드인 작업의 개수를 제한한다.



[Fig. 10] constraints(10)(11)(12)

\Rightarrow 동일한 Dispatch Queue를 갖는 작업에 대하여 운행시작 노드를 선행 작업으로 갖는 작업 수를 최대 1로 제한한다. ($x_{15} + x_{25} + x_{35} + x_{16} + x_{26} + x_{36} \leq 1$)

제약식(13)은 [Fig. 10]과 같이 장비의 작업할당 변수와 작업순서 변수 간의 관계형성으로써 작업순서 변수는 해당 두 작업이 동일한 장비에 할당되었을 때 1로 할당이 가능하다.



[Fig. 10] constraints(13)

⇒ 세 개의 제약 중 한 개의 제약만을 선택한다.

$$(g_{58}^1 + g_{58}^2 + g_{58}^3 = 1)$$

작업순서 변수가 1로 할당되기 위해서는 세 개의 제약 중 적어도 하나는 우변의 할당변수의 합이 2가 되어야 한다.

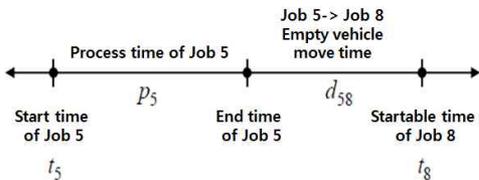
✓ 작업 5와 작업 8이 다른 장비에 할당

$$\begin{aligned} 2x_{58} &\leq 1 + 0 + M(1 - g_{58}^1) \\ 2x_{58} &\leq 0 + 1 + M(1 - g_{58}^2) \\ 2x_{58} &\leq 0 + 0 + M(1 - g_{58}^3) \\ \Rightarrow x_{58} &= 0 \end{aligned}$$

✓ 작업 5와 작업 8이 동일 장비에 할당

$$\begin{aligned} 2x_{58} &\leq 1 + 1 + M(1 - g_{58}^1) \\ 2x_{58} &\leq 0 + 0 + M(1 - g_{58}^2) \\ 2x_{58} &\leq 0 + 0 + M(1 - g_{58}^3) \\ \Rightarrow x_{58} &= 1 \Rightarrow x_{58} = 1 \end{aligned}$$

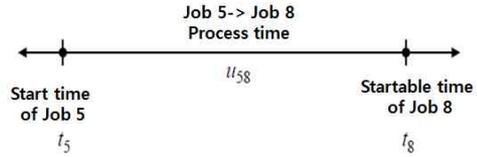
제약식(14)는 [Fig. 11]과 같이 작업순서가 변수 1로 할당될 경우 선행 작업의 모든 프로세스가 종료된 후 후행 작업의 시작이 가능함을 의미한다.



[Fig. 11] constraints(14)

$$\Rightarrow t_8 \geq t_5 + p_5 + d_{58}$$

제약식(15)는 [Fig. 12]와 같이 크레인 측면의 선행계획에 따라 선후행 관계가 설정된 작업의 경우 선행 작업의 모든 프로세스가 종료된 후 후행작업을 시작한다.

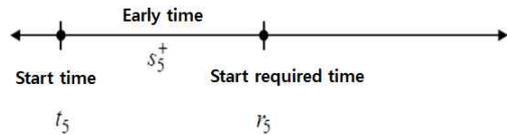


[Fig. 12] constraints(15)

$$\Rightarrow t_8 \geq t_5 + u_{58}$$

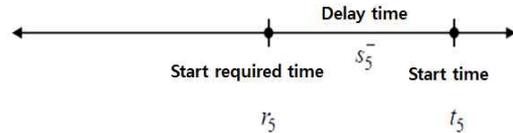
적합작업의 경우 크레인 작업이 마지막에 발생함으로 시간계산 시 작업의 작업시간을 고려한다.

제약식(16)은 조기시간([Fig. 13])이나 지연시간([Fig. 14])으로 작업의 요구 시작시간에 대한 오차를 계산한다.



[Fig. 13] constraints(16)-1

$$\Rightarrow s_5^+ = -t_5 + r_5$$



[Fig. 14] constraints(16)-2

$$\Rightarrow s_5^- = t_5 - r_5$$

4. 실험 및 분석

4.1 실험 계획

본 연구에서의 실험 계획은 6가지 샘플 문제를 통해 최적화 모형을 활용하여 두 가지 목적함수, 즉 공차주행 시간 최소화과 지연시간 최소화에 대하여 그 수행 결과를 기존의 휴리스틱 방법론의 결과와 비교하는 것이다. 다만 결과의 공정성을 위해 최적화 모형의 수행시간을 2시간으로 제한한다. 왜냐하면 수행시간의 제한이 없을 경우 최적화모형이 최적해를 도출함에 따라 휴리스틱 방법론 결과보다 항상 같거나 향상된 결과 제시할 수 있기 때문이다.

4.2 실험 분석

실험 분석은 두 가지 목적함수(공차주행시간 최소화 와 지연시간 최소화)에 대하여 다음과 같은 목적값을 비교한다. 첫째, 최적화 모형을 활용할 경우 휴리스틱 방법론 결과와 동일하거나 향상된 결과를 제시하는 시간 분석, 둘째, 최적화 모형의 최종 결과를 제시하는 시간 분석, 셋째, 최적화 모형 결과의 최적성 갭(Optimality gap) 분석(최적성 갭은 수행시간의 제한 없이 수행할 경우 나타날 수 있는 결과의 개선 가능성을 의미), 넷째, 휴리스틱 방법론 결과 대비 최적화 모형 결과의 개선을 분석 등이다.

4.3 실험 결과

4.3.1 공차주행시간 최소화

<Table 2>에서와 같이 6개의 샘플 문제 중 2개의 샘플 문제에서 휴리스틱 방법론 및 최적화 모형에서 최적해를 도출하였으며, 6개의 샘플 문제 중 4개의 샘플 문제에서 최적화 모형이 휴리스틱 방법론보다 향상된 결과를 도출하였다.

<Table 2> Comparison of minimum travel time for the empty vehicle

Sample	Sample		Heuristic		Optimized Solvers			Improvement rate (%)
	Equip. no.	Job No.	object value	object value	processing time(sec.) heuristic obj. val.*	Optimized obj. val.**	Optimized gap(%)	
E6	8	7	1014	1014	0	0	0.0	0.0
E5	8	13	1418	1382	13	1064	32.1	2.5
E4	8	19	1836	1827	46	1622	24.2	0.5
E1	12	10	1362	1362	6	6	0.0	0.0
E2	12	15	2008	1910	0	5544	41.5	4.9
E3	12	26	2656	2622	1199	1199	28.0	1.3
Average								1.5

* 최적화 모형을 활용할 경우 휴리스틱 방법론 결과와 동일하거나 향상된 결과를 제시하는 시간
** 최적화 모형의 최종 결과를 제시하는 시간

평균 1.5%의 개선을 보였는데, 휴리스틱 방법론이 최적해를 도출하는 문제를 제외할 경우에는 평균 2.3%의 개선을 보였다. 또한 6개의 샘플 문제 중 5개의 샘플 문제에서 60초 내에 최적화 모형이 휴리스틱 방법론 보다 개선된 결과를 제시하였으며, 작업 수가 장비 수보다 적은 경우에는 두 가지 방법론에서 모두 최적해를 도출함에 따라 이 경우에는 문제의 난이도가 낮은 것으로 예상된다.

4.3.2 지연시간 최소화

<Table 3>에서와 같이 6개의 샘플 문제 중 2개의 샘플 문제에서 휴리스틱 방법론 및 최적화 모형에서 최적해를 도출하였으며, 6개의 샘플 문제 중 4개의 샘플 문제에서 최적화 모형이 휴리스틱 방법론보다 향상된 결과를 도출하였다.

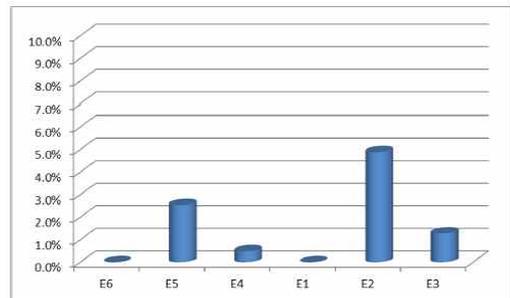
<Table 3> Comparison of minimum delay time

Sample	Sample		Heuristic		Optimized Solvers			Improvement rate (%)
	Equip. no.	Job no.	object value	object value	processing time(sec.)		Optimized gap(%)	
	heuristic obj. val.*	optimized obj. val.**	heuristic obj. val.*	optimized obj. val.**				
L6	8	7	1715	1715	0	0	0.0	0.0
L5	8	13	5001	4796	0	31	0.0	4.1
L4	8	19	8704	8513	32	4801	11.5	2.2
L1	12	10	2873	2873	0	0	0.0	0.0
L2	12	15	5223	4943	1	66	0.0	5.4
L3	12	26	13050	11780	141	7105	51.8	9.7
Average								3.6

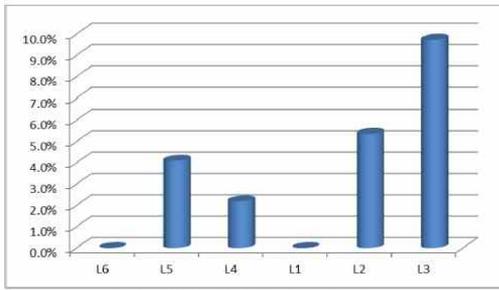
* 최적화 모형을 활용할 경우 휴리스틱 방법론 결과와 동일하거나 향상된 결과를 제시하는 시간
** 최적화 모형의 최종 결과를 제시하는 시간

평균 3.6%의 개선을 보였는데, 휴리스틱 방법론이 최적해를 도출하는 문제를 제외할 경우에는 평균 5.3%의 개선을 보였다. 또한 6개의 샘플 문제 중 5개의 샘플 문제에서 60초 내에 최적화 모형이 휴리스틱 방법론 보다 개선된 결과를 제시하였으며, 작업 수가 장비 수 보다 적은 경우에는 두 가지 방법론에서 모두 최적해를 도출함에 따라 이 경우에도 문제의 난이도가 낮은 것으로 예상된다.

결론적으로 [Fig. 15]와 [Fig. 16]에 나타난 바와 같이 6개 모든 샘플 문제에서 최적화 모형이 휴리스틱 방법론 보다 향상된 결과를 도출하였다.



[Fig. 15] Improvement rate for minimizing problem of the empty vehicle's travel time



[Fig. 16] Improvement rate for minimizing problem of delay time

이처럼 최적화 모형을 활용할 경우 지연시간 최소화 문제에서 기존 휴리스틱 방법론을 개선시킬 가능성이 크며, 문제의 목적함수에 따른 결과의 변동성을 감소시킬 수 있다. 또한 현재의 휴리스틱 방법론에서는 다양한 제약에 대해 사후처리가 필요하지만 최적화모형에서는 사후처리를 거치지 않고 만족하는 최적화된 결과를 도출할 수 있으며, 휴리스틱 방법론보다 적은 파라미터 사용으로 사용자 및 운영자의 사용 용의성이 증대될 수 있다.

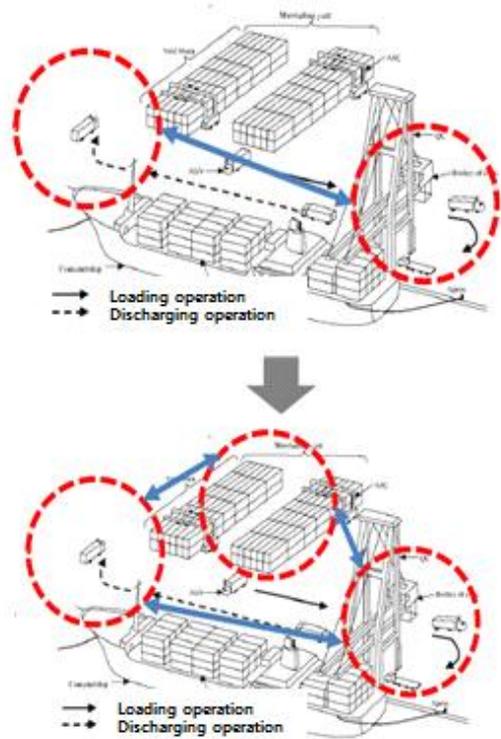
5. 결론

최적화모형을 활용할 경우 첫째, 문제의 범위를 확장시킬 수 있다. 예를 들면 [Fig. 17]에 나타낸 바와 같이 장비(YC)의 운영과 결합된 문제의 최적화를 수행할 경우, 장비 운영에 국한하지 않고 전사적인 효율화를 꾀할 수 있어 각각의 문제에 대한 최적화를 통해 나타날 수 있는 결과 간의 피리를 감소시킬 수 있다.

둘째, 공차주행시간 최소화와 지연시간 최소화 외에 예를 들면 지연시간이 발생하지 않는 최소의 장비 수를 산출하는 문제와 같이 다양한 문제의 목적함수를 고려할 수 있다.

그리고 마지막으로 최적화모형과 휴리스틱 방법론을 결합하는 것이다. 최적화 모형은 최적화 과정의 시작을 포함하여 주기적으로 (일반적인 수리모형에 대한) 휴리스틱 해를 탐색한다. 따라서 [Fig. 18]에 나타낸 바와 같이 특정 문제에 특화된 휴리스틱 방법론을 결합할 경우 최적화 과정의 효율성을 증대시킬 수 있다.

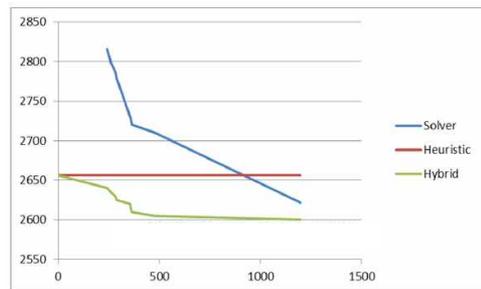
즉, 향상된 휴리스틱 방법론 결과를 활용함에 따라 최적화 모형의 결과가 향상되며 수행시간도 감소된다.



[Fig. 17] Optimization of problems combined with equipment(YT) operation

Time	H Obj	S Obj
0	2656	
243	2656	2816
261	2656	2798
282	2656	2787
290	2656	2779
354	2656	2731
357	2656	2728
364	2656	2720
481	2656	2710
1199	2656	2622

H Obj: Object Value(Heuristic Method)
S Obj: Object Value(Optimized Model:Solvers)



[Fig. 18] Combination of Two Methods(Hybrid)

REFERENCES

- [1] S. H. Won, S. W. Cho, J. H. Lee, "Counter-strategies of Busan Port against Expansion of Container Vessel Sizer", *The Journal of Shipping & Logistics*, v.86, pp. 249-274, 2015.
- [2] H. R. Kim, R. Choi, T. J. Park, K. R. Ryu, "A Study on Dynamic Optimal Route Layout of AGV in Automated Container Terminal", *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, Oct. Conference, pp. 179-180, 2009.
- [3] H. R. Kim, R. Choi, T. J. Park, K. R. Ryu, "Dynamic Optimization of the Traffic Flow of AGVs in an Automated Container Terminal", *Journal of KIISE*, v.16, no.5, pp. 591-595, 2010.
- [4] Y. J. Jang, S.Y. Jang, C.H. Yang, J. W. Park, "Study on the Resource Allocation Planning of Container Terminal", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, v.28, no.1, pp. 14-24, 2002.
- [5] T. Y. Ha, Y. S. Choi, W. S. Kim, "Simulation-based Evaluation of AGV Operation at Automated Container Terminal", *Journal of Navigation and Port Research*, v.28, no.10, pp. 891-897, 2004.
- [6] Y. S. Choi, W. S. Kim, T. Y. Ha, "An Estimate of the Required Number of Yard Tractor in Container Terminal", *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, v.28, no.6, pp. 549-555, 2004.
- [7] H. S. Kim, M. G. Park, "Computation of Shortest Distance of Container Yard Tractor for Multi-Cycle Systems", *Journal of Korea Multimedia Society*, v.13, no.1, pp. 17-29, 2010.
- [8] J. M. Kim, R. Choi, T. J. Park, K. R. Ryu, "Optimizing dispatching strategy based on multicriteria heuristics for AGVs in automated container terminal", *Journal of Navigation and Port Research*, v.35, no.6, pp. 501-507, 2011.
- [9] D. H. Hong, T. C. Chung, "Computer System Application : A Study On Optimized Design of Decision Support Systems for Container Terminal Operations", *Journal of Information Processing Systems*, v.10, no.5, pp. 519-528, 2003.
- [10] S. H. Won, K. H. Kim, "Deployment of Yard Cranes Considering Storage Plans in Container Terminals", *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, v.33, no.1, pp.79-90, 2009.
- [11] M.H. Lee, "Design of Heuristic Algorithm of Automatic Vehicle Delivery Support System", *Journal of Digital Convergence*, v.11, no.13, pp. 181-187, 2013.
- [12] H.S. Kim, S.K. Lee, "Forecasting of Electricity Demand for Fishing Industry Based on Genetic Algorithm approach", *Journal of the Korea Convergence Society*, v.8, no.1, pp. 19-23, 2017.
- [13] S.H. Oh, "A Fuzzy Linear Programming Problem with Fuzzy Convergent Equality Constraints", *Journal of the Korea Convergence Society*, v.6, no.5, pp. 227-232, 2015.
- [14] J. W. Bae, Y. M. Park, "Yard Crane Dispatching for Remarshalling in an Automated Container Terminal", *Journal of Korean Navigation and Port Reserch*, v.36, no.8, pp. 665-671, 2012.
- [15] D. H. Hong, C. G. Kim, "Development of Infrared-Ray Communication System for Position Recognition of Yard Tractor in Container Terminal", *Journal of Digital Convergence*, v.11, no.1, pp. 211-223, 2013.
- [16] K. H. Kim, J. W. Bae, "A dispatching method for AGV to minimize delays of containership operations", *International Journal of Management Science*, v.5, no.1, pp. 1-25, 1999.

저자소개

홍 동 희(Dong-Hee Hong) [정회원]



- 1981년 2월 : 홍익대학교 전자계산학과(이학사)
- 1987년 2월 : 연세대학교 산업공학과(공학석사)
- 2004년 2월 : 경희대학교 전자계산공학과(공학박사)

- 2005년 5월 ~ 2011년 2월 : 한국중합물류연구원 부원장
- 2011년 3월 ~ 현재 : 경기과학기술대학교 경영과 교수
<관심분야> : 물류정보, 지능시스템, e-비즈니스, 물류경영

김 귀 정(Gui-Jung Kim) [정회원]



- 1994년 2월 : 한남대학교 전자계산공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 한남대학교 전자계산공학과(공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 전자계산공학과(공학박사)

- 2001년 9월~2017년 2월 : 건양대학교 의공학과 교수
- 2017년 3월~현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수
<관심분야> : 빅데이터, IoT, CRM