## 부산 터미널의 환적물동량 유치를 위한, 실시간 컨테이너 배차 경량화 알고리즘 연구

이주원<sup>1</sup>, 오다은<sup>1</sup>, 이승모<sup>1</sup>, 임제연<sup>2</sup> <sup>1</sup>국립한국해양대학교 물류시스템공학과 <sup>2</sup>울산과학기술원 기술경영전문대학원

amy2300@g.kmou.ac.kr,dukc25@g.kmou.ac.kr, tmdah0923@g.kmou.ac.kr, finder@unist.ac.kr

# Lightweight Real-Time Container Allocation Algorithm to Attract Transshipment Throughput at Busan Container Terminals

Lee Joo-won<sup>1</sup>, Oh Da-eun<sup>1</sup>, Lee Sae-bom<sup>1</sup>, Lim Je-yeon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Logistics Systems Engineering, Korea Maritime and Ocean University

<sup>2</sup>Graduate School of Technology Management, UNIST, finder@unist.ac.kr

요 인

본 연구는 부산항의 환적물동량 증가에 대응하기 위해 실시간 컨테이너 배차를 최적화하는 경량화 알고리즘을 제안한다. DQN, 유전자 알고리즘, Greedy 알고리즘을 상황에 따라 선택 적용하여 효율성과 연산 속도를 개선하였다. 실험 결과, 각 알고리즘은 환경별로 상이한 강점을 보여 상황 맞춤형 배차 전략의 유효성을 입증하였다. 이는 부산항의 스마트 항만화 및 자동화 기반 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 1. 서론

2024년 기준, 부산항은 국내 환적물동량의 95.8%를 처리하며, 연간 1,350만 TEU의 환적 화물을 다루는 세계 3위 환적항만이다. 빠른 입출항, 고도화된 자동 화, 효율적 환적 능력을 바탕으로 글로벌 물류의 핵 심 거점 역할을 수행하고 있다.

그러나 최근 선박 대형화, 데이터 급증, 물동량 증가 등으로 실시간 최적화의 복잡도가 높아지고 있다. 이에 따라 밀리초 단위 의사결정을 지원하는 경량화 알고리즘의 도입이 요구되며, 본 연구는 부산항의 스마트 항만화를 위한 실시간 배차 최적화를위해, 변동성에 맞는 알고리즘을 선택적으로 적용하는 것을 제안하고자 한다.

### 2-1. 시스템 설계

본 연구는 부산항 환적물동량 처리 최적화를 위해 실시간 데이터 수집, 다목적 최적화, 경량화 배치, 시뮬레이션 및 검증의 네 가지 모듈로 구성된 시스 템을 제안한다.

데이터 수집 모듈은 선박 스케줄, 적재 정보, 장비가용성 등 실시간 데이터를 수집한다. 의사결정 모듈은 이 데이터를 바탕으로 DQN, 그리디 알고리즘, 유전자 알고리즘을 상황에 맞게 선택하여 최적화를

수행한다. 배치 모듈은 경량화 알고리즘을 적용하여 컨테이너를 효율적으로 배치하며, 검증 모듈은 시뮬 레이션을 통해 알고리즘의 실효성을 평가한다.

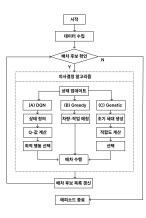
#### 2-2. 시스템 구현





<그림1, 2> 알고리즘을 활용한 산출물

칼림명	설명	1
자랑 변호	자랑을 식별하는 고유 번호	
작업 요청 시간	작업이 시스템에 접수된 시간	
예상 모작 시간	자랑이 작업 위치에 도착할 것으로 예상되는 시간	
작업 종료 시간	해당 작업이 완료될 것으로 예상되는 시간	
작업 유형	작업의 종류(예: 배송, 수리 용)	
작업 우선순위	작업이 우선적으로 배정되어야 하는 순서	
자랑 유형	자랑의 종류 (예: 대형, 소형, 냉장 탑자 등)	
작업 시간	자랑이 특정 작업을 완료하는 데 필요한 시간	
상태	작업의 현재 진행 상태 (예: 대기, 진행 중, 완료 등)	
	#배자 결과	
칼림명	설명	T
자랑 번호	바자된 자랑의 교유 변호	1     -
배차된 작업	해당 차량에 배정된 작업의 고유 번호 또는 설명	<b>1</b>
배차 시간	작업이 차량에 배정된 시간	(A) DQN
작업 완료 시간	배자된 작업이 최종적으로 완료된 시간	
상태	배자된 작업의 진행 상태 (예: 완료, 지연 등)	상태 정의
작업 유선순위	배차된 작업의 무선순위	Q-21/AL
차량 유형	배차된 자랑의 종류	7     🗀
	#배자 우선순위	최적 행동 선
칼림명	설명	
자랑 번호	유선순위가 부여된 차량의 고유 번호	7 II -
작업 요청 시간	유선순위 결정에 영향을 뿐 작업 요청 시간	1
우선순위	차량 배정 시 우선적으로 고려되어야 하는 순위 지표	1
	#배차 제약 조건	1 -
제약 조건	설명	
작업 시간	각 차량의 작업 가능 시간을 고려하여 배자	
작업 유선순위	우선순위가 높은 작업이 먼저 배자되도록 순서 지정	
자랑 유형	특정 작업 유형에 맞는 특정 자랑만 배자 가능하도록 설정	
작업 완료 시간	작업이 특정 시간까지 반드시 완료되어야 한다는 제약	
MAL = \$1 1175	TING ARM UNA CTA A OCCUR	7



<그림 3, 4> 테이블 화면 및 프로세스 설계도

본 시스템은 리스트 생성, 시간 계산, 자동 배차, 데이터 저장의 네 단계로 구성된다. 배차 후보 YT 리스트는 작업 요청 차량과 종료 임박 차량을 모두 포함해 자원 활용 효율을 높이며, 작업 간 거리 및도착 시간 기준으로 작업 적합성을 정밀하게 평가한다. 이 과정은 경량화된 알고리즘을 통해 연산을 가능하게 하여 실시간 배차 최적화가 이루어진다.

결과 데이터는 서버에 저장되어 알고리즘 학습 및 성능 개선에 활용된다. 본 구현은 기존 TOS 시스템 의 한계인 변동성 있는 변수에 취약한 문제를 보완 하고, 경량화 알고리즘을 통해 자동 배차를 수행하 여 생산성과 관리 효율을 동시에 향상시킨다.

### 3. 성능 분석

#### Algorithm Comparison Results (500 Vehicles)

	Algorithm	Shifting (Re-dispatches)	Completion Rate (%)	Computation Time (sec)
1	DQN	5	98	15.3
2	GE	2	95	8.7
3	Greedy	0	92	6.1

<표2> 모델 성능지표 비교

성능 분석 결과, DQN은 높은 작업 완료율(98%)을 보이며, 계산 시간은 15.3초로 다소 길지만, 변동성이 작은 환경에서 높은 성능을 발휘한다. GE (Genetic Algorithm)는 계산 시간(8.7초)과 작업 완료율(95%)의 균형이 잘 맞아 변동성이 중간~큰 환경에서 유리하다. Greedy는 계산 속도(6.1초)가 가장빠르고, 즉각적인 의사결정이 가능하지만, 작업 완료율(92%)은 상대적으로 낮다. 속도 우선 환경에서 유리하다.

이를 바탕으로 컨테이너 터미널 배차 시스템에서 DON 알고리즘은 높은 완성도를 제공하지만, 처리시간이 길어 급변하는 상황에서는 비효율적이다. 따라서 물동량이 많고 예측할 수 있는 상황에서 사용하기에 적합하다.

GE 알고리즘은 성능과 속도의 균형이 잘 맞아 실시간 대응에 유리하며, 급격한 상황 변화나 예기치 못한 선박 입출항 시간 변경 등 변동성이 큰 상황에서 효과적으로 활용될 수 있다.

Greedy 알고리즘은 빠르지만, 성능이 상대적으로 떨어져 복잡한 상황에서 최적화가 부족할 수 있다. 따라서 간단하고 빠른 배차가 필요한 상황에 적합하 며, 속도 우선의 환경에서 유용하게 적용될 수 있다. 이러한 결과, 컨테이너 터미널 배차 시스템에서는 상황에 맞는 적절한 알고리즘을 선택하여 적용해야 하며, 각 알고리즘의 특성을 고려한 맞춤형 접근이 필요하다. 특히, 빠른 의사결정이 요구되는 환경에서 경량화 알고리즘의 실용성을 뒷받침한다.

#### 4. 결론

본 연구는 부산항의 실시간 컨테이너 배치 최적화 를 위해 경량화 알고리즘을 적용하고, 성능 분석을 통해 알고리즘의 효율성을 검증하였다. DQN, GE (Genetic Algorithm), Greedy 알고리즘은 각기 다른 변동성 환경에서 효율적인 배차 최적화를 지원하였 다. DQN은 변동성이 작은 환경에서 높은 작업 완료 율을 보였고, GE는 변동성이 큰 환경에서 성능과 속도의 균형을 잘 맞추었으며, Greedv는 속도 우선 환경에서 빠른 의사결정을 가능하게 하였다. 이러한 결과는 상황에 맞는 알고리즘 선택이 중요하며, 각 알고리즘의 특성을 고려한 맞춤형 접근이 필요함을 보여준다. 특히, 빠른 의사결정이 요구되는 환경에서 는 경량화 알고리즘의 효율성과 실용성이 입증되었 으며, 이는 부산항의 스마트 항만화를 위한 중요한 기반이 될 것이다. 향후 연구에서는 기상 상황, 선박 지연 등의 외부 변수를 반영한 확률적 모델링과 5G/6G 기반 초 실시간 연산, 블록체인 연계를 통한 항만물류 정보 공유 체계의 통합적 고려가 필요하 다.

※ 본 논문은 해양수산부 스마트 해운물류 융합인 재 및 기업지원(스마트해운물류 x ICT멘토링)을 통 해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

#### 참고문헌

[1] Yifan Shen, Ning Zhao, Mengjue Xia, and Xueqiang Du, "A Deep Q-Learning Network for Ship Stowage Planning Problem," Polish Maritime Research, Vol.24, No.4, pp.217-224, 2017.

[2] 신재영, 류현승, "컨테이너 선박 마스터 적하계획을 위한 심층강화학습 모형" 한국신업융합학회 논문집, 제24권 제1호, pp.19-29, 2021.