

자동차 공장의 혼류생산을 고려한 AS/RS 내 트윈크레인 Handshake 작업영역 위치 결정에 관한 시물레이션 연구

박정태 · 김보성 · 이태훈 · 이승환 · 홍순도[†]

A Simulation Study on Handshake Location in an AS/RS with Twin Cranes for Mixed-model Production in an Automotive Plant

Jeongtae Park · Bosung Kim · Taehoon Lee · Seonghwan Lee · Soondo Hong[†]

ABSTRACT

This study analyzes the effect of a handshake location of an AS/RS with twin cranes for mixed-model production line at an automobile plant. Implementing a handshake operation has the advantage for preventing route interference between twin cranes that operate without crossing into each other's working areas. However the handshake operation requires additional unloading and loading processes to retrieve assembly parts beyond the handshake area. Therefore the decision regarding the handshake location is crucial to improve efficiency of storage and retrieval operations. Simulation results show that the handshake operation with the optimal handshake location reduces the average response time of storage requests to 87% compared to non-handshake operation.

Key words : Automotive plant, Mixed-Model production, Twin crane AS/RS, Simulation

요약

본 연구는 자동차 공장의 혼류생산을 위한 자동창고시스템에서 저장과 반출 작업을 수행하는 트윈크레인 간 협업 (Handshake) 위치 시물레이션 분석을 수행한다. Handshake 운영은 트윈크레인의 작업영역 구분을 통해 경로 간섭과 각 크레인의 이동 거리를 개선한다. 그러나 Handshake 위치로 구분된 작업영역 간 부품 이송을 위해 Handshake 위치에서 추가적인 부품 적재와 하역 작업이 발생한다. 그러므로 저장 및 반출 요청 응답시간을 개선하기 위한 효과적인 Handshake 위치 결정이 필요하다. 시물레이션 실험을 통해 최적 Handshake 위치를 결정하였으며 평균 입고 요청 응답시간이 87% 개선됨을 확인하였다.

주요어 : 자동차 공장, 혼류생산, 트윈크레인 AS/RS, 시물레이션

1. 서론

자동차 생산공장은 고객의 다양한 주문에 신속히 대응

* 이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (20214000000520, 자원순환(재제조)산업 고도화 인력양성). 그리고 한국연구재단의 국제협력사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다(2022K2A9A2A06035391).

Received: 24 July 2023, **Revised:** 8 October 2023,
Accepted: 11 October 2023

† Corresponding Author: Soondo Hong

E-mail: soondo.hong@pusan.ac.kr
Department of Industrial Engineering, Pusan National
University

하기 위해 다품종 소량 및 혼류생산 운영을 한다. 다품종 차량의 조립을 위해 조립공정(Automotive assembly line)에서는 다양한 부품의 적시 공급을 요청하며, 부품생산공정 (Part production line)은 이를 충족하여야 한다(Kim et al., 2023). Lot 단위 생산을 하는 부품생산공정과 주문 단위 생산을 하는 조립공정은 서로 다른 생산주기 및 작업자 근무 시간을 갖는다. 따라서 미리 생산한 부품 Lot을 임시로 보관하고 조립공정의 요청에 따라 적시에 출고하기 위한 자동창고시스템(Automated Storage and Retrieval System, AS/RS)이 필수적이다(Ok et al., 2012). Figure 1은 자동차 생산공장의 부품생산공정과 조립공정 및 공정 간 부품 입출고를 위한 AS/RS를 나타낸다.

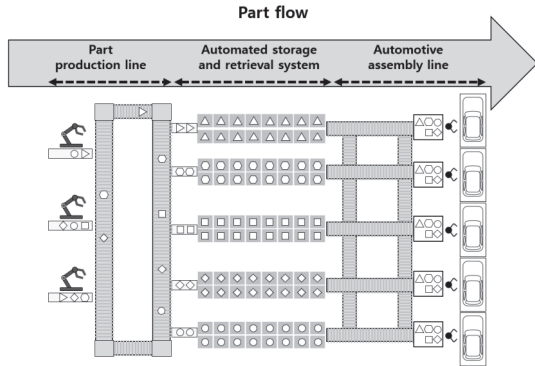


Fig. 1. Automated storage and retrieval system for automotive assembly line

AS/RS는 제조공장, 물류센터, 항만 등에서 활용되며 부품 혹은 물품의 신속하고 정확한 저장 및 반출을 수행하기 위한 시스템이다. 복수의 보관 선반 층과 열로 구성된 AS/RS 랙(Rack)에서 크레인은 수직 및 수평 방향으로 동시에 움직이며 입고 지점(In-depot)과 출고 지점(Out-depot) 사이에서 부품의 입출고 작업을 수행한다.

AS/RS를 활용하는 제조 및 물류시스템은 수요가 증가함에 따라 생산성 개선을 위해 2대의 크레인을 동시에 운영한다(Boysen et al., 2017). 트윈크레인 운영은 크레인 별 작업부하를 감소하므로 입출고 요청에 신속하게 응답한다. 그러나 트윈크레인은 동일한 경로를 공유하기 때문에 경로 간섭으로 인한 생산성 손실이 발생할 수 있다. 따라서 트윈크레인 간 경로 간섭을 고려한 협업(Handshake) 및 이를 고려한 의사결정은 필수적이다(Han et al., 2019, Kim et al., 2019). 트윈크레인 간 Handshake 운영은 선행 크레인이 Handshake 영역에 부품을 임시 보관하면 후속 크레인이 Handshake 영역에서 부품의 기존 목적지로 이송하는 절차를 따른다.

본 연구는 자동차 생산공정의 부품생산공정과 조립공정 사이의 부품의 입출고 작업을 수행하는 AS/RS의 트윈크레인 Handshake 위치에 따른 생산성 평가를 위한 시뮬레이션 분석을 수행한다. 또한 크레인 운영을 위한 여러 운영전략과의 생산성 비교를 수행하여 자동차 생산공장 AS/RS의 트윈크레인 Handshake 운영 효과성을 검증한다.

본 연구의 제 2장에서는 선행연구를 소개하고, 제3장에서는 문제정의를 소개한다. 제 4장에서는 시뮬레이션 평가 방법을 소개하고 제 5장은 시뮬레이션 실험 및 결과를 소개한다. 마지막으로 제 6장은 결론을 소개한다.

2. 선행연구

자동차 생산 방식은 흐름 생산이므로 부품생산공정은 완성차가 생산되는 조립공정을 기준으로 동기화되어 운영된다. AS/RS는 부품생산공정과 조립공정의 동기화 생산을 위한 중간 버퍼로서 주로 사용된다. 이러한 배경으로 학계에서 자동차 공장 내 AS/RS 생산성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Ok et al.(2012)는 자동차 공장의 여러 AS/RS의 통합 운영 방안을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 통합 운영이 라인의 상태에 따라 창고의 용량을 변화시키며 운영할 수 있어서 병목현상에 유연하게 대처할 수 있음을 확인하였다. Kim and Seo(2014)는 출고 옵션의 가치치 설정을 통한 통합 운영 방안을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 방법이 도장공정의 효율 향상과 조립공정의 옵션 평균회율 향상의 효과가 있음을 검증하였다. Kim et al.(2023)은 생산일정과 주기가 다른 부품생산공정과 조립공정 사이에 위치한 이형 랙 AS/RS에 대한 시뮬레이션을 통해 운영환경이 바쁠수록 중앙 측에 많은 부품을 보관해야 신속한 저장 작업 요청 수행이 가능함을 검증하였다. 선행연구를 통해 AS/RS의 유연한 운영의 중요성과 생산환경을 고려한 크레인 운영 연구의 필요성을 확인하였다.

트윈크레인 Handshake 운영은 항만 내 크레인을 대상으로 선행되었다. Han et al.(2019)은 컨테이너 터미널 내 트윈크레인의 총 완료시간을 최소화하는 혼합정수계획모델을 제안하였으며, 트윈크레인의 협업을 위한 Handshake 위치에 대한 영향을 분석하였다. Hu et al.(2022)는 컨테이너 터미널의 최적 Handshake 위치를 결정하는 혼합정수계획모델을 제안하였으며, 하한값을 설정하고 알고리즘 효과성 분석을 수행하였다. Zey et al.(2022)는 컨테이너 야드 내 트윈크레인의 작업영역 분할을 고려하며 자재의 저장 위치와 작업 스케줄링을 동시에 고려하는 알고리즘을 제안하였으며, Handshake 위치에 따른 민감도 분석을 수행하였다. Kim et al.(2019)는 항만 수요 불확실성을 고려하여 트윈크레인 작업부하 균형 최적화를 위한 Handshake 위치 결정 혼합정수계획모델을 제안하였으며, Kang et al.(2022)은 동일한 문제에서 시뮬레이션 최적화 연구를 수행하였다.

본 연구는 자동차 공장의 AS/RS 운영환경을 고려한 트윈크레인 Handshake 운영을 시뮬레이션 평가하여 최적 Handshake 위치 결정 및 운영 효과성을 분석한다.

3. 문제정의

자동차 생산공장 내 트윈크레인 AS/RS(AS/RS with separated I/O depots and twin crane, AS/RS-SDTC)는 두 대의 크레인이 협업하여 부품생산공정의 부품을 저장하고, 조립공정으로 저장된 부품을 반출한다(Figure 2). 트윈크레인 중 부품 입고 지점에 가까운 크레인(Crane 1)은 저장 작업을, 부품 출고 지점에 가까운 크레인(Crane 2)은 반출 작업을 수행한다. 각 크레인의 저장 및 반출 작업 흐름은 다음과 같다.

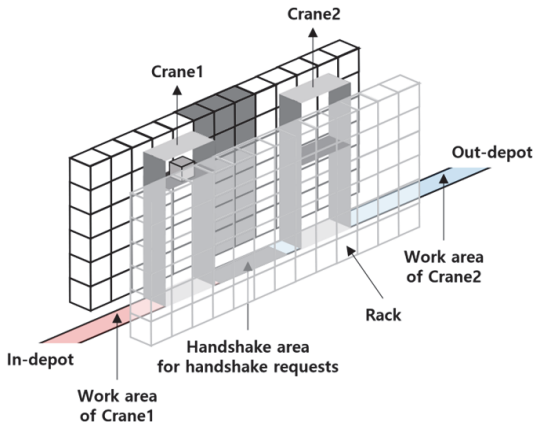


Fig. 2. Automated storage and retrieval system with separated I/O depots and twin crane

- 저장 작업: 부품 저장 요청 및 크레인 1 작업시작 → 입고 지점으로 공차이동 → Pick-up → 보관 위치로 이동 → Deposit 및 크레인 1 작업종료
- 반출 작업: 부품 반출 요청 및 크레인 2 작업시작 → 보관 위치로 공차이동 → Pick-up → 출고 지점으로 이동 → Deposit 및 크레인 2 작업종료

트윈크레인은 동일한 경로를 공유하기 때문에 저장 및 반출 작업의 위치에 따라 경로 간섭이 발생할 수 있다. 특히, 보관 위치가 입고 지점과 출고 지점에 가까운 경우에 크레인의 공차이동이 증가함과 동시에 경로 간섭 발생 확률이 증가한다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 Handshake 운영을 통해 해결하고자 한다. 트윈크레인의 저장 및 반출 작업의 Handshake 운영은 다음과 같은 절차를 따른다.

- Handshake 저장 작업: 부품 저장 요청 및 크레인 1 작업시작 → 입고 지점으로 공차이동 → Pick-up → Handshake 보관 위치로 이동 → Deposit 및 크

레인 1 작업종료 ... 크레인 2 작업시작 → Handshake 보관 위치로 공차이동 → Pick-up → 기존 보관 위치로 이동 → Deposit 및 크레인 2 작업종료

- Handshake 반출 작업: 부품 반출 요청 및 크레인 1 작업시작 → 기존 보관 공차이동 → Pick-up → Handshake 보관 위치로 이동 → Deposit 및 크레인 1 작업종료 ... 크레인 2 작업시작 → Handshake 보관 위치로 공차이동 → Pick-up → 출고 지점으로 이동 → Deposit 및 크레인 2 작업종료

Handshake 운영 시 트윈크레인은 협업을 수행하며 Handshake 위치에서 추가적인 Pick-up 및 Deposit 프로세스가 각각 1회 발생한다. 그리고 AS/RS 작업영역을 크레인 1은 입고 지점부터 Handshake 영역까지(In-depot to handshake area), 크레인 2는 Handshake 영역부터 출고 지점(Handshake area to Out-depot)으로 제한한다. 이는 각 크레인의 공차이동거리를 감소시키는 효과가 있다.

컨테이너 터미널, AS/RS의 트윈크레인 운영 최적화를 위한 목표함수에는 총 완료시간 최소화, 총 지연시간 최소화, 크레인 간 작업부하 균형 최적화가 있다(Boysen et al., 2017). Kim et al.(2022)는 컨테이너 터미널 트윈크레인 간 작업부하 균형을 최적화하여 트럭의 대기시간을 개선할 수 있음을 보였다. 따라서 본 연구에서는 트윈크레인 가동률 차이를 최소화하는 Handshake 위치를 결정하여 시스템의 생산성을 개선하고자 한다.

본 연구에서는 자동차 생산공장 운영환경을 모사한 AS/RS 시뮬레이션 실험을 통해 최적 Handshake 위치를 결정한다. 또한 Handshake를 허용하지 않는 운영전략과 트윈크레인 간 경로 간섭으로 인한 생산성 저하가 발생하지 않는 가상의 운영전략에서의 생산성 비교를 수행하였다.

4. 시뮬레이션 평가

4.1 AS/RS-SDTC 운영전략

본 장에서는 Handshake를 통한 트윈크레인 운영이 시스템 생산성에 미치는 영향을 분석하기 위해 트윈 크레인 운영을 위한 서로 다른 운영전략을 정의한다. Figure 3(a)-(b)는 Handshake 운영 여부에 따른 AS/RS-SDTC의 운영전략을 나타낸 것이다. Figure 3(a)는 Handshake를 허용한 With handshake 운영전략을 나타낸 것이다.

Figure 3(b)는 Handshake를 허용하지 않는 Without handshake 운영전략을 나타낸 것이다. Passing crane 운영전략은 두 크레인이 통과(Passing)가 가능하여 경로 간섭으로 인한 생산성 저하가 발생하지 않는 가상의 운영 전략이다. With handshake 운영전략의 효과성을 분석하기 위해 Passing crane 운영전략을 포함한 총 3가지 운영 전략에 대해 시스템 생산성을 분석한다.

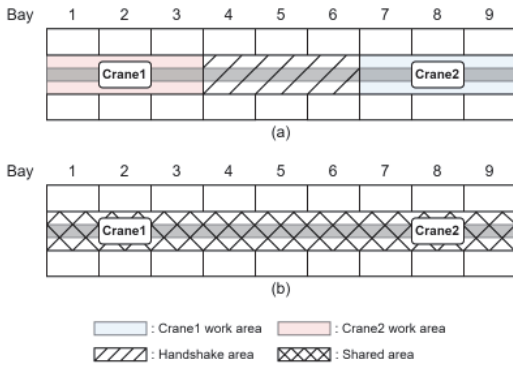


Fig. 3. AS/RS-SDTC operational strategies: (a) With handshake; (b) Without handshake

4.2 시뮬레이션 모델링 및 실험설계

시뮬레이션 실험을 위해 Tecnomatix Plant Simulation 2201을 사용하였으며 현장 데이터를 연구목적으로 재설계하여 AS/RS-SDTC 시뮬레이션 모델링을 수행하였다 (Figure 4). AS/RS-SDTC의 보관공간은 50개의 Bay와 6개의 Tier에 위치한 여러 개의 단일랙으로 구성하며 대상 부품 종류는 1개이다. 두 크레인은 1개의 통로(Aisle) 내 위치하며 수직-수평 방향(Chebyshev distance)으로 움직인다. 두 크레인의 속도는 동일하며 크레인의 크기를 고려하여 안전거리(Safety distance)는 3m 간격을 유지한다. 크레인의 부품 Pick-up과 Deposit은 각각 고정된 10초 동안 수행한다. 시뮬레이션 가정사항을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Specifications of AS/RS-SDTC

Factor	Value
Number of aisles	1
Number of bays	50
Number of tiers	6
Number of types of parts	1
Pick up/deposit time	10 (sec)
S/R crane speed	Length, Height : 0.4 (m/s)
Safety distance	3 (m)

트윈크레인은 부품을 무작위의 빈 랙에 저장하며 먼저 발생한 요청을 먼저 처리하는 선입선출 원칙에 따라 작업을 처리한다. 반송 요청과 저장용량은 무한 대기열을 가정한다. 또한, 두 크레인 간 간섭 발생 시, 조립공정의 생산 증진을 예방하기 위해 출고 담당인 크레인 2의 반송 작업을 우선 수행한다. 이 때, 입고 담당인 크레인 1은 크레인 2의 반송 완료 시까지 회피 및 대기하는 것으로 가정하였다.

부품생산공정과 조립공정의 다른 생산주기와 일정을 가정한다. 부품생산공정과 조립공정이 동시에 운영되며 입고 요청이 출고 요청보다 빈번하게 발생한다. 입고와 출고 부품 수량 간 균형을 이룬 운영환경으로 입고 요청은 평균 6분의 지수분포를 가정하였다. 출고 요청은 균등 분포를 가정하였으며 시간 간격은 최소 8분, 최대 10분으로 설정하였다.

시뮬레이션 예비 가동시간(Warm-up time) 및 With handshake의 Handshake 영역크기를 설정하기 위해 사전 실험을 수행하였다. 예비 가동시간은 실험기간 7일 중 AS/RS내 재고수준 안정화까지 걸리는 기간인 2일로 가정하였다. 상이한 Handshake 영역크기(2,3,4개)에 대한 사전 실험을 통해, Handshake 영역크기는 경로간섭이 가장 적게 발생한 4개로 가정하였다.

시뮬레이션 실험을 통한 Handshake 위치 결정을 위해 Handshake가 가능한 Bay의 범위를 5부터 46까지로 설

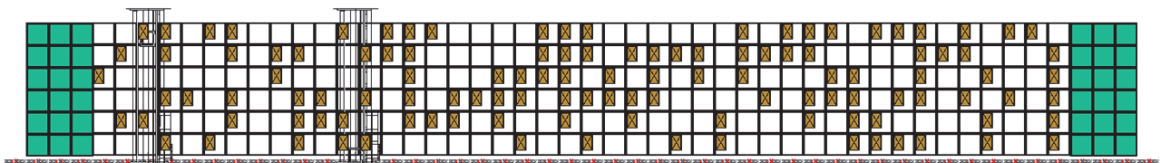


Fig. 4. AS/RS-SDTC simulation model

정하고 해당 범위 내에서 크기가 4인 Handshake 위치를 변경하며 최적 위치를 결정한다. 또한 AS/RS-SDTC의 3 가지 운영전략(4.4.1장 참조)의 생산성을 비교분석한다. 시뮬레이션 실험설계를 정리하면 Table 2와 같다. 시뮬레이션 실험은 통계적 유의성 확보를 위해 실험 당 30번의 반복 실험을 수행하여 평가지표를 분석하였다. 시뮬레이션 실험 실행환경은 Window 10 Education, Intel(R) Core(TM) i5-11600K @ 3.90GHz, 메모리(Ram) 32.00GB 이다.

Table 2. Experimental factors of simulation

Factors	Levels
AS/RS-SDTC operational strategy	With handshake, Without handshake, Passing crane
Available handshake area	{5,6,7,8}, {6,7,8,9}, ... ,{43,44,45,46}

4.3 시뮬레이션 평가지표

시뮬레이션 평가지표는 AS/RS-SDTC의 크레인 가동률(Crane utilization), 평균 입고 요청 응답시간(Average Response time of storage requests), 크레인 간 경로간섭 횟수(Number of interference)이다(Table 3).

본 연구에서 크레인의 가동률은 (총 작업시간-유휴시간)/(총 작업시간)×100으로 정의하며 최적 Handshake 위치결정을 위한 주요 평가지표이다. 총 작업시간은 크레인이 작업요청을 처리하기 위해 이동, Pick-up 및 Deposit 시간이며 유휴시간은 크레인이 작업요청이 없어 정지한 시간이다. 입고 요청 응답시간을 평가하는 이유는 크레인 간 경로간섭 발생 시 크레인 2가 우선적으로 작업하여 안정적인 출고를 보장하므로 이에 따른 입고 작업의 지연 정도를 파악하기 위함이다. 크레인 간 경로간섭 횟수를 평가하는 이유는 With handshake 운영전략에서 크레인 간 경로간섭에 따른 회피 및 대기시간 발생 빈도의 감소 효과를 분석하기 위함이다.

Table 3. Performance metrics

Response variables	Units
Crane utilization	%
Average response time of storage requests	sec
Number of interference	times

5. 시뮬레이션 실험 및 결과

5.1 Handshake 작업영역 위치결정

Table 4는 With handshake 운영전략에서 Handshake 위치결정을 위한 시뮬레이션 실험결과이다. Handshake area(bay)는 Handshake 영역으로 사용되는 Bay의 집합을 의미한다. Avg.Util1.(%)과 Avg.Util2.(%)는 Average utilization of crane 1,2로서 두 크레인의 평균 가동률을 의미한다. Gap.Util.(%)은 Gap of utilization으로서 두 크레인 간 가동률 차이의 절댓값을 의미한다(Gap.Util. =|Avg.Util1.-Avg.Util2.|).

실험결과를 통해 Handshake 위치가 입고지점에 인접할수록 크레인 1의 가동률이 증가하며, 출고지점에 인접할수록 크레인 2의 가동률이 증가하였다. 이는 Handshake 위치에 따라 크레인의 작업범위가 결정되며, 이에 따라 크레인의 Handshake 작업빈도가 영향을 받기 때문이다. 최적 Handshake 위치는 Gap.Util.(%)을 최소화한 {24, 25,26,27}이며 가능한 Handshake 위치 중 크레인 간 가동률을 가장 균등화하였다.

Table 4. Simulation results for different handshake area

Handshake area (bay)	Avg.Util1. (%)	Avg.Util2. (%)	Gap.Util. (%)
{20,21,22,23}	42.48	57.68	15.20
{21,22,23,24}	44.47	55.38	10.91
{22,23,24,25}	46.41	53.15	6.75
{23,24,25,26}	48.31	50.95	2.64
{24,25,26,27}	50.31	48.88	1.43
{25,26,27,28}	52.48	46.78	5.70
{26,27,28,29}	54.49	44.70	9.79
{27,28,29,30}	56.58	42.56	14.02
{28,29,30,31}	58.77	40.55	18.22
{29,30,31,32}	60.76	38.50	22.25

5.2 AS/RS-SDTC 운영전략별 생산성 비교분석

AS/RS-SDTC 운영전략별 생산성 비교분석을 위해 Handshake를 수행하는 With handshake(Best solution) 운영전략, Handshake를 수행하지 않는 Without handshake 운영전략, 크레인 간 간섭이 발생하지 않는 Passing crane 운영전략의 생산성을 비교한다. With handshake(Best solution) 운영전략의 Handshake 작업위치는 Table 4를 참고하여 트윈크레인 간 가동률 차이를 최소화한 {24,25,

26,27}이다.

Table 5는 AS/RS-SDTC의 3가지 운영전략의 평균 입고 요청 응답시간(Average response time of storage requests, Avg.Res.)과 평균 크레인 경로간섭 횟수(Average number of interference, Avg.Inf.)를 평가한다. With handshake 운영전략의 평균 입고 요청 응답시간은 Without handshake 운영전략과 비교하여 약 87.06% 개선된다. 또한 평균 크레인 경로간섭 횟수는 약 44.32% 감소한다. With handshake 운영전략에서 크레인 간 가동률 차이는 약 1.50%이고 Without handshake 운영전략에서는 4.42%이다. 이는 Handshake 운영 시 추가적인 Pick-up과 Deposit 작업이 발생하여도 경로간섭 횟수 감소와 가동률 균등화를 통해 입고 요청에 신속하게 대응할 수 있음을 보인다.

Passing crane 운영전략은 트윈크레인이 서로 경로간섭이 발생하지 않음을 가정한 운영전략이다. 따라서 Passing crane 운영전략에서의 평균 경로간섭 횟수는 0이다. 경로간섭으로 인한 생산성 손실이 발생하지 않음에 따라 평균 입고 요청 응답시간은 Without handshake 운영전략과 비교하여 약 90.76% 감소한다. 크레인 간 경로간섭이 발생하지 않는 이상적인 운영전략인 Passing crane 운영 전략은 With handshake 운영전략과 비교하여 평균 입고 요청 응답시간이 약 2.86% 감소한다.

3가지 운영전략 비교 시뮬레이션 실험을 통해 트윈크레인 Handshake 운영이 크레인 간 경로간섭으로 인한 생산성 손실을 효과적으로 개선함을 보였다. 또한 Passing crane 운영전략과 비교하여 With handshake 운영전략이 이상적인 운영환경에 근접한 생산성으로 향상할 수 있음을 보였다.

Table 5. Simulation results for AS/RS-SDTC operational strategies

AS/RS-SDTC operational strategies	Avg.Res. (sec)	Avg.Inf. (times)	Avg. Util1 (%)	Avg. Util2 (%)
With handshake (Best solution)	12.04	64.98	50.31	48.88
Without handshake	93.10	116.72	53.16	48.74
Passing crane	8.60	0.00	45.87	45.35

6. 결론

본 연구는 자동차 공장의 혼류생산 운영환경을 고려한 AS/RS-SDTC의 Handshake 위치결정 및 운영전략별 생산성 비교분석을 위한 시뮬레이션 연구를 수행하였다. AS/RS-SDTC 운영전략 중 With handshake 운영전략은 Handshake 작업영역을 기준으로 크레인의 작업영역이 분리되므로 운영환경을 고려한 Handshake 위치 결정이 중요하다.

시뮬레이션 연구를 통해 With handshake 운영전략에서 트윈크레인 간 가동률의 차이를 최소화하는 최적 Handshake 위치를 결정하였다. 또한 트윈크레인 Handshake 운영이 Handshake를 운영하지 않을 때 대비 평균 입고 요청 응답시간 및 경로간섭 횟수를 개선할 수 있었다. 이를 통해 AS/RS-SDTC의 With handshake 운영전략에서 운영환경을 고려한 Handshake 위치결정은 크레인 작업 부하 및 시스템 안정성 측면에서도 중요함을 확인하였다.

향후 연구로 저장정책을 고려한 AS/RS-SDTC의 Handshake 작업영역 위치 및 크기 결정과 다양한 종류의 부품 생산공정에 대한 AS/RS-SDTC의 운영전략에 대하여 수행하고자 한다.

References

- Boysen, N., Briskorn, D., Meisel, F. (2017), "A generalized classification scheme for crane scheduling with interference", *European Journal of Operational Research*, 258(1) 343-357.
- Gharehgozli, A. H., Vernooij, F. G., Zaerpour, N. (2017), "A simulation study of the performance of twin automated stacking cranes at a seaport container terminal", *European Journal of Operational Research*, 261(1) 108-128.
- Han, X., Wang, Q., Huang, J. (2019), "Scheduling cooperative twin automated stacking cranes in automated container terminals", *Computers & Industrial Engineering*, 128, 553-558.
- Hu, Z.H., Tian, X.D., Yin, Y.Q., Wei, C. (2021), "Positioning a Handshake Bay for Twin Stacking Cranes in an Automated Container Terminal Yard Block", *Journal of Advanced Transportation*. 2022, 1-17.

- Kang, B., Kim, B., Hong, S. (2022), "Sequential Optimization of a Temporary Storage Location for Cooperative Twin Overhead Shuttles in a Rail-Based Automated Container Terminal. *Advances in Production Management Systems*", *Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action (APMS)*, Gyeongju, Korea, pp. 285-292.
- Kim, D., Seo, Y. (2014), "Integrated Storage System For Automobile Production Line", *Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 37(2), 1-8.
- Kim, B., Park, J., Hong, S. (2023), "A Simulation Evaluation of Aisle Design and Operation Policies for an Automated Storage and Retrieval System with Narrow-/Wide- Width Racks", *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering*, 46 (1), 68-75.
- Kim, B., Fibrianto, H.Y., Hong, S. (2019), "The effect on a handshake operation between twin overhead shuttle cranes under demand uncertainty", *49th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, Beijing, China, pp.1496-1505.
- Ok, C.H., Kim, D.S., Gong, J.S., Seo, Y. (2012), "Study on Integrated Storage Systems for Automobile Production", *Journal of the Korea Society for Simulation*, 21(2), 91-101.
- Tanaka, S., Araki, M., (2009), "Routing problem under the shared storage policy for unit-load automated storage and retrieval systems with separate input and output points", *International Journal of Production Research*, 47, 2391-2408.
- Zey, L., Briskorn, D., Boysen, N. (2021), "Twin-crane scheduling during seaside workload peaks with a dedicated handshake area", *Journal of Scheduling*, 25, 3-34.



박 정 태 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3612-3913> / pjt6441@pusan.ac.kr)

2020 가천대학교 산업경영공학과 학사
2022~ 현재 부산대학교 산업공학과 산업데이터공학융합전공 석사과정

관심분야 : 시설계획 및 물류시스템, 물류시스템 시뮬레이션, 메타휴리스틱



김 보 성 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-7649-5383> / ksung505@gmail.com)

2017 금오공과대학교 산업공학부 산업경영공학전공 학사
2019 부산대학교 산업공학과 석사
2019~ 현재 부산대학교 산업공학과 산업데이터공학융합전공 박사과정

관심분야 : 수학적 최적화, 물류시스템 시뮬레이션, 메타휴리스틱



이 태 훈 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2816-4579> / thlee4242@naver.com)

2017 금오공과대학교 산업공학부 산업경영공학전공 학사
2019 부산대학교 산업공학과 석사
2019~ 현재 부산대학교 산업공학과 산업데이터공학융합전공 박사과정

관심분야 : 수학적 최적화, 물류시스템 시뮬레이션



이 승 환 (ORCID : <https://orcid.org/0009-0000-2257-0264> / lseonghwan@daou21c.co.kr)

2019 인하대학교 신소재공학과 학사
2019 인하대학교 Global Entrepreneurship 학사
2020~ 현재 ㈜다우정밀 기술연구소 연구개발부 책임연구원

관심분야 : 빅데이터, 블록체인, ERP, 자동차산업



홍 순 도 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-7817-6776> / soondo.hong@pusan.ac.kr)

1994 포항공과대학교 산업공학과 학사
1996 포항공과대학교 산업공학과 석사
2010 Texas A&M University 박사
2014~ 부산대학교 산업공학과 교수

관심분야 : 제조물류, 자가조직 물류시스템, 시뮬레이션 최적화