

# 판유리 운반 랙을 위한 랙 내 제품 적재 계획 및 차량 할당 모델 연구

Operations Analytics Laboratory  
Department of Industrial Engineering  
Pusan National University, Busan, KOREA



김지현<sup>1</sup>, 이정만<sup>1</sup>, Henokh Yernias Fibrianto<sup>1</sup> 김갑환<sup>1</sup>, 홍순도<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 산업공학과

Soondo.hong@pusan.ac.kr

# OUTLINE

---

- 연구배경
- 관련연구
- 문제정의
- 연구과정
- 연구결과
- 결론

# 연구배경

- 판유리 운반용 랙

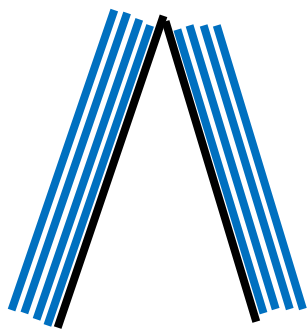
- 현재의 판유리 운반용 랙은 유리 적재 및 트럭에 랙을 적재할 시에 공간 활용률이 떨어짐

- 판유리 운반 전용 가변 랙

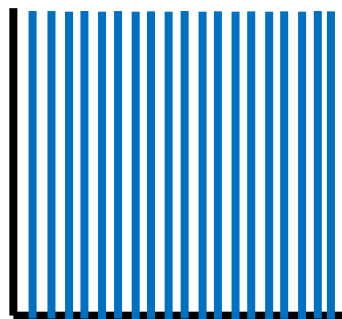
- 판유리 운반의 효율성을 높이기 위해 높은 공간 활용률을 가진 박스 형태의 랙을 설계
- 유리를 판유리 운반 전용 가변 랙에 적재할 시에 다양한 사이즈의 유리를 적재하면서 랙 내의 적재효율 또한 증가

- 차량 운반

- 유리를 운반할 때에 다양한 크기의 운반 차량 중 차량을 선택하여 운반



A type의 랙



box type의 랙

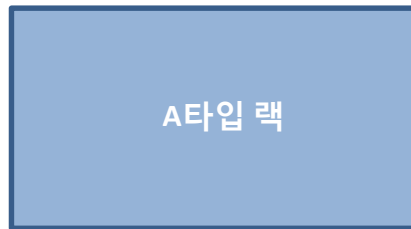
# 관련연구

- **GRASP(Greedy Randomized Adaptive Search Problem for set packing problems (Xavier et al. (2004))**
  - 적재 효율을 높이기 위한 적재 패턴을 제시하는 GRASP 알고리즘에 대해 연구
- **Maximal-Space Algorithm for the Container Loading Problem (Parreno et al. (2008))**
  - 공간의 모형을 고려하여 적재할 제품을 결정하는 휴리스틱 알고리즘을 제시
- **유리운반용 가변형 모바일 랙 활용이 물류에 미치는 영향**
  - 유리 가공공장을 대상으로 가공현장뿐만 아니라 물류현장에서 공용으로 사용할 수 있는 새로운 개념의 운송장비용 가변형 모바일 랙 개념 소개
  - 새로운 개념의 모바일 랙을 유리가공공장 및 물류현장에 도입했을 경우 물류에 미치는 영향뿐만 아니라 물류비 절감 효과를 분석하는 것

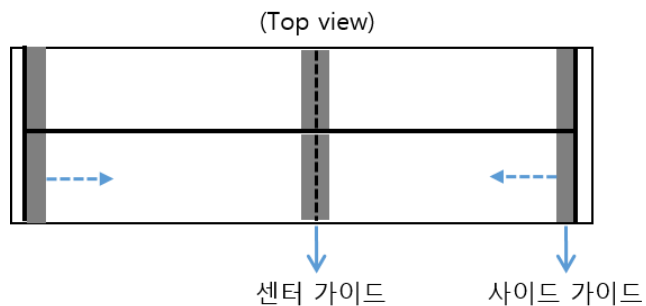
# 문제정의

- 판유리 운반 전용 가변 랙

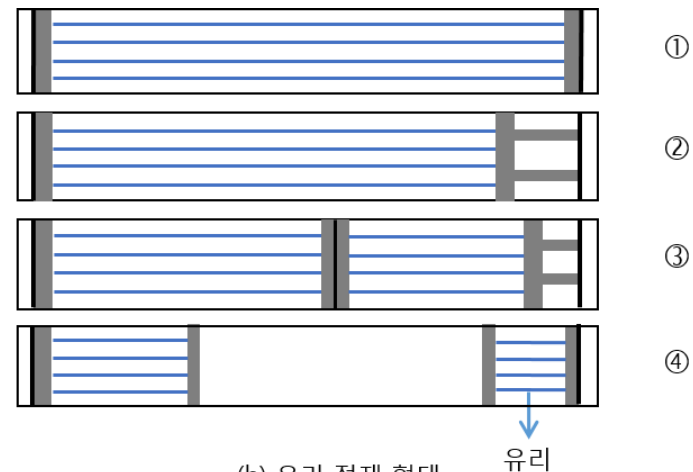
- 다양한 크기의 유리를 적재하기 위해 2가지 타입의 랙을 제작



- 랙 내 유리 적재 형태



(a) 유리 적재 전 랙 내부 형태



(b) 유리 적재 형태

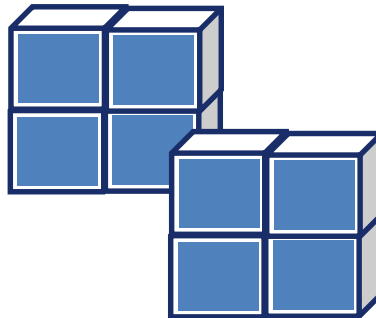
# 문제정의

## ■ 유리 운반 프로세스

- Glass to Rack algorithm : 랙의 개수를 최소화하도록 유리를 랙에 할당
- Rack to Truck algorithm : 주문에 따른 랙 개수 결정으로 인하여 다양한 운반차량 중 물류비용을 최소화할 수 있는 차량의 선택이 필요



Glass to Rack  
algorithm

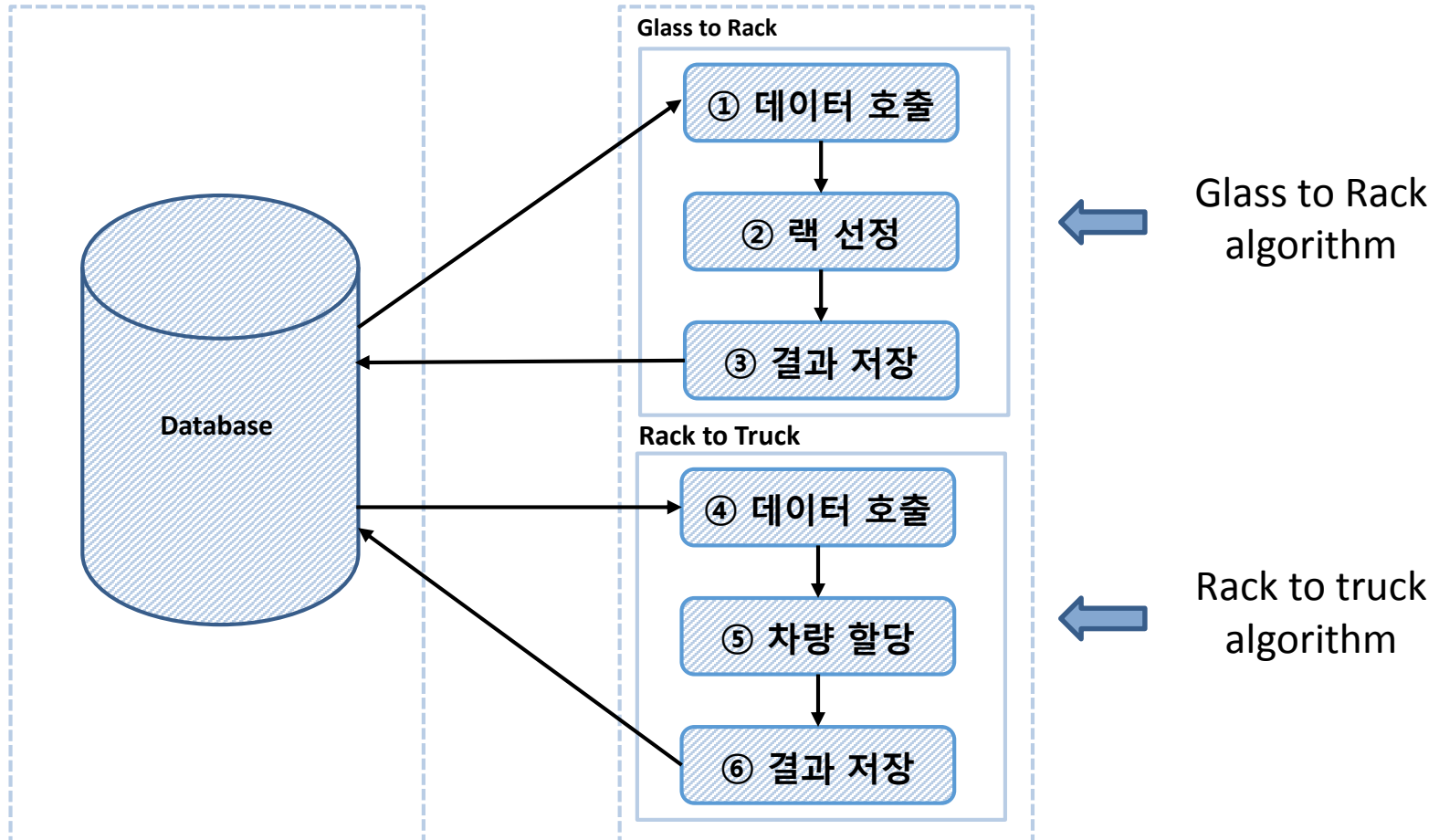


Rack to Truck  
algorithm



# 연구과정

- 구동 프로세스



# 연구과정

- MIP 모델 설계 (Glass to Rack algorithm)

## 문제 정의

사용된 섹션의 수를 최소화한다.

## Indices and sets

$nR$     랙의 집합

$GS$     주문된 유리의 집합

$nT$     특정한 너비를 가진 유리 Packet의 집합

$nP$     섹션의 집합

$r$     랙 타입을 나타내는 인덱스

$$r \in nR$$

$t$     특정한 너비를 가진 유리를 나타내는 인덱스,  
특정한 너비의 유리로 묶인 Packet을 나타내는 인덱스

$$t \in GS, t \in nT$$

$p$     섹션을 나타내는 인덱스

$$p \in nP$$



# 연구과정

- MIP 모델 설계 (Glass to Rack algorithm)

## Parameter

$SR$	랙 당 섹션의 최대 개수
$SC_r$	사용된 $r$ 타입 섹션의 비용
$RC_r$	사용된 $r$ 타입 랙의 비용
$RW_r$	$r$ 타입 랙의 너비
$SlackL$	센터 가이드의 너비

## Decision variable

$PtS_{p,t}$	1, $t$ 타입의 packe이 섹션 $p$ 에 할당된 경우 0, 그렇지 않은 경우	$p \in P, t \in T$
$SU_r$	사용된 $r$ 타입 랙의 섹션 수	$r \in R$
$RU_r$	사용된 $r$ 타입 랙이 수	$r \in R$
$SU_{r,p}$	1, packet $p$ 가 $r$ 타입의 랙에 할당된 경우 0, 그렇지 않은 경우	$r \in R, p \in P$

# 연구과정

- MIP 모델 설계 (Glass to Rack algorithm)

## Objective function

$$\text{Min} \sum_r^{nR} (RU_r \cdot RC_r) + (SU_r + SC_r)$$

## Subject to

$$\sum_{p=1}^{nP} PtS_{p,t} = Packet_t \quad \forall t \in nT \quad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{nT} PtS_{p,t} \leq 2 \quad \forall p \in nP \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^{nT} PtS_{p,t} \leq \sum_{r=1}^{nR} SU_{r,p} \quad \forall p \in nP \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^{nR} SU_{r,p} \leq 1 \quad \forall p \in nP \quad (4)$$

# 연구과정

- MIP 모델 설계 (Glass to Rack algorithm)

Subject to

$$\sum_{t=1}^{nT} (PtS_{p,t} \cdot GS_t) + \sum_{t=1}^{nT} ((PtS_{p,t} - 1) \cdot SlackL) \leq \sum_r^{nR} (SU_r \cdot RW_r) \quad \forall p \in nP \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^{nP} SU_{r,p} \leq RU_r \cdot SR \quad \forall r \in nR \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^{nP} SU_{r,p} = SU_r \quad \forall r \in nR \quad (7)$$

# 연구과정

## ■ MIP 모델 설계 (Rack to Truck algorithm)

### 문제 정의

사용되는 차량의 타입과 수에 따른 비용을 최소화 한다.

### Indices and sets

$nT$	차량의 집합
$nY$	차량 타입의 집합
$nR$	랙의 집합
$t$	차량을 나타내는 인덱스 $t \in nT$
$y$	차량 타입을 나타내는 인덱스 $y \in nY$
$r$	랙을 지칭하는 인덱스 $r \in nR$

### Parameters

$RL_r$	랙 $r$ 의 길이
$RW_r$	랙 $r$ 의 무게
$CV_y$	타입 $y$ 인 차량의 길이 용량
$CW_y$	타입 $y$ 인 차량의 무게 용량
$TC_y$	타입 $y$ 인 차량의 비용
$CT_t$	차량 $t$ 의 비용

### Decision variables

$RtT_{t,r}$	1, 랙 $r$ 이 차량 $t$ 에 할당된 경우 0, 그렇지 않은 경우	$t \in nT, r \in nR$
$TT_{t,y}$	1, $y$ 타입의 차량 $t$ 가 사용되는 경우 0, 그렇지 않은 경우	$t \in nT, y \in nY$

# 연구과정

- MIP 모델 설계 (Rack to Truck algorithm)

## Objective function

$$\text{Min } \sum_t^{nT} CT_t$$

## Subject to

$$\sum_{t=1}^{nT} RtT_{t,r} = 1 \quad \forall r \in nR \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^{nR} (RtT_{t,r} \cdot RL_r) \leq \sum_{y=1}^{nY} (CV_y \cdot TT_{t,y}) \quad \forall t \in nT \quad (9)$$

$$\sum_{r=1}^{nR} (RtT_{t,r} \cdot RW_r) \leq \sum_{y=1}^{nY} (CW_y \cdot TT_{t,y}) \quad \forall t \in nT \quad (10)$$

$$\sum_{y=1}^{nY} TT_{t,y} \leq 1 \quad \forall t \in nT \quad (11)$$

$$\sum_{y=1}^{nY} (TT_{t,y} \cdot TC_y) = CT_t \quad \forall t \in nT \quad (12)$$

# 연구결과

## ■ 판유리 제품의 랙 적재 예시

- Glass to Rack algorithm을 상용소프트웨어(IBM CLPEX)을 이용하여 MIP 모델 수행
- 사용할 랙 종류는 두 종류로 한정(정육면체 형, 가로가 긴 직육면체 형)
- 판유리 수요는 실제 판유리 제품의 수요 데이터를 기반으로 200 장, 500 장, 800 장의 실험 크기 구성, 실험 당 10회 수행
- 운영체제 Window 10 Pro, 프로세서 Intel(R) Core(TM) i3-2100 메모리(RAM) 4.00GB

## ■ Glass to Rack algorithm 실험 결과

실험	판유리 수요	평균 계산 시간	랙 할당 결과		최적 여부
			긴 랙	짧은 랙	
실험 1	200 장	0.320 초	3 개	5 개	Optimal
실험 2	500 장	9.706 초	5 개	9 개	Optimal
실험 3	800 장	19.094 초	5 개	20 개	Optimal

# 연구결과

## ■ 판유리 운반 랙의 차량 할당 예시

- Glass to Rack algorithm이 수행된 후 유리가 할당된 랙을 차량에 할당
- Glass to Rack algorithm의 실험 결과를 입력 데이터로 활용
- 시뮬레이션 환경: 3가지 차량 고려( $CV_y$  동일 가정), 실험 당 10회 수행

## ■ Rack to Truck algorithm 실험 결과

실험	평균 계산 시간	차량 할당 결과			최적 여부
		차량 종류	긴 랙	짧은 랙	
실험 1	0.001 초	11 톤	3 개	5 개	Optimal
실험 2	0.020 초	11 톤	5 개	6 개	Optimal
		11 톤	0 개	3 개	Optimal
실험 3	0.090 초	11 톤	2 개	10 개	Optimal
		11 톤	3 개	10 개	Optimal

# 결론 및 향후 연구

---

## ■ 결론

- 주문에 따른 사용 랙 수 최소화를 위한 랙 내 제품 적재 계획 모델 제시
- 다양한 운반 차량 크기에 대하여 최적 적재 효율을 고려한 운반 차량 조합 알고리즘 제시
- MIP 모델링 및 CPLEX 결과 도출

## ■ 향후 연구

- 작업자가 사용할 수 있는 직관적인 휴리스틱 모델 개발



# THANK YOU

---

Jihyun Kim

Tel. : (+82) 51-510-1539  
Email : [alska433@naver.com](mailto:alska433@naver.com)

Soondo Hong

Tel. : (+82) 51-510-2331  
Email : [soondo.hong@pusan.ac.kr](mailto:soondo.hong@pusan.ac.kr)



Operation Analytics Laboratory  
Department of Industrial Engineering  
Pusan National University, Busan, Korea

Acknowledgments:

본 연구는 한국연구재단의 “이공분야기초연구사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임(2017R1A1A2A10000648)