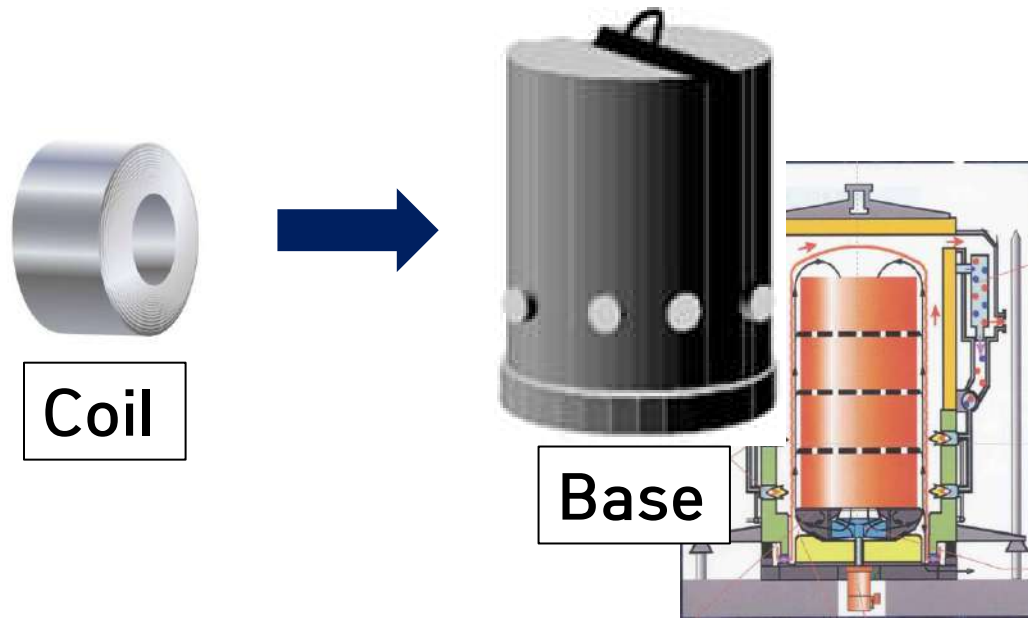


AI를 통한 소둔 공정 BASE 적재 시뮬레이션 및 적재 작업 지시

SME LAB (부경대학교)

동서융합 스마트기술 실전문제연구단

Introduction



- 소둔공정 (ANNEALING LINE : ANN)

다수의 코일을 베이스에 적재한 뒤 고온으로 가열하고 일정 시간동안 온도를 유지하여 코일의 재결정을 유발하는 공정

- 충전률(Filling rate)
베이스가 채워진 비율

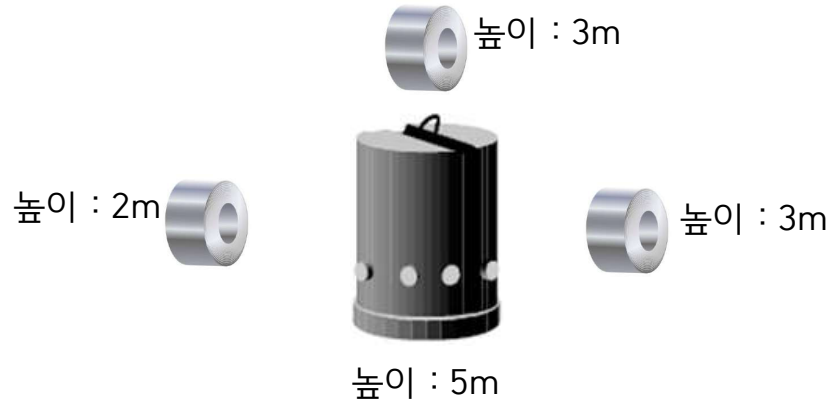


- Knapsack problem (배낭문제)

용량이 정해진 배낭과 각 무게와 가치가 주어진 아이템의 집합이 주어질 때, 배낭에 담은 아이템들의 가치의 합이 최대가 되도록 하는 아이템들의 부분집합을 찾는 문제

Maximize 충전률(Filling rate)

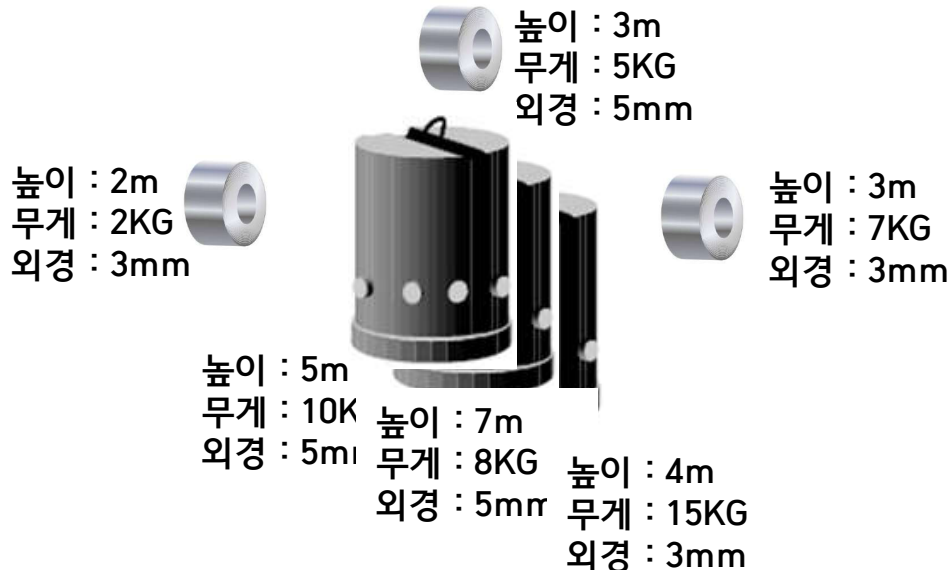
Problem definition : 1. Multiple knapsack problem



- Knapsack
 - 무게 등 단일 제약만 존재
 - 베이스의 높이 제약만 지키면 됨

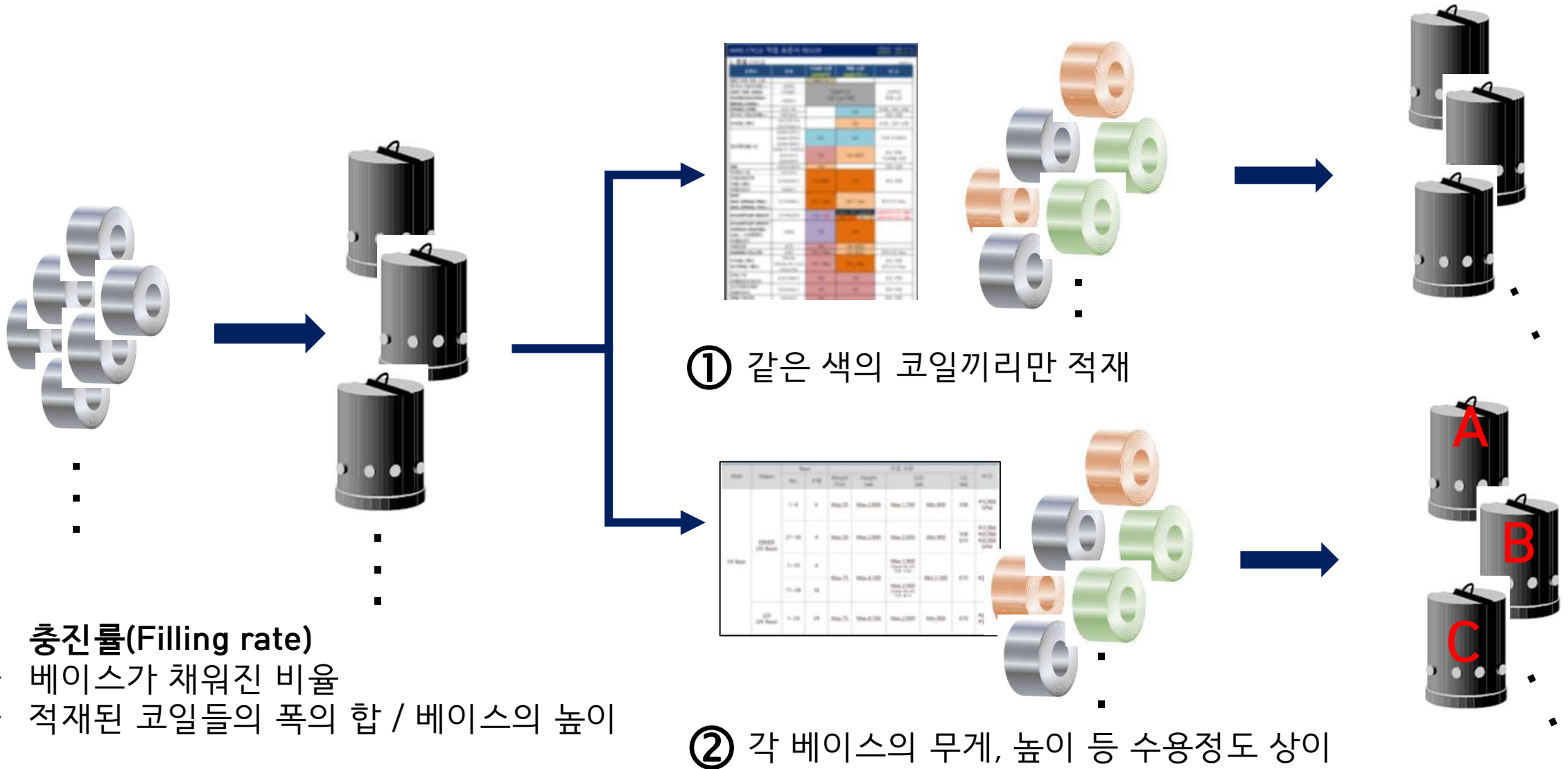


Multiple



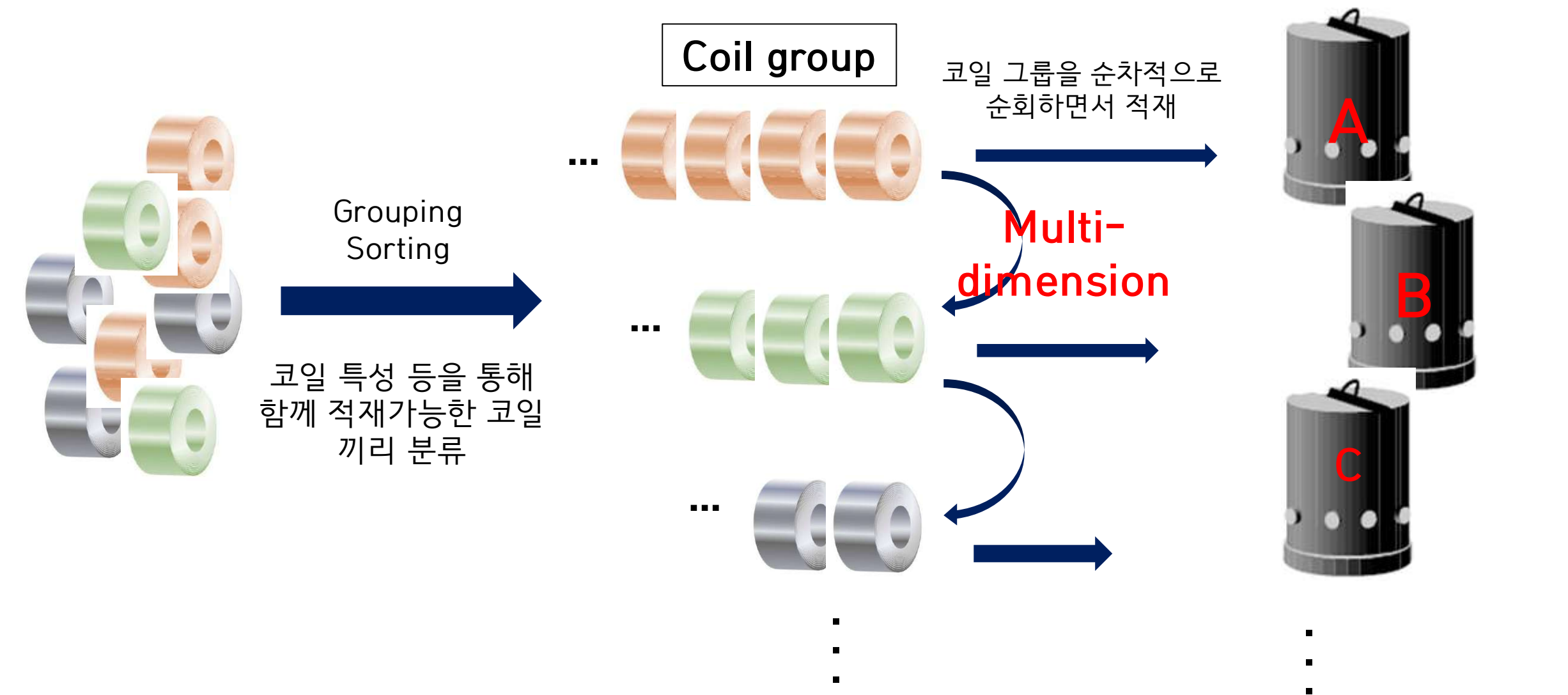
- Multiple (constraints) knapsack
 - 다수의 배낭(베이스)
 - 무게, 높이, 외경, 내경 등 다중 제약
 - 베이스의 허용 높이, 무게, 외경 등 여러가지 제약을 지켜야함

Problem definition : 2. Multi-dimensional multiple knapsack problem



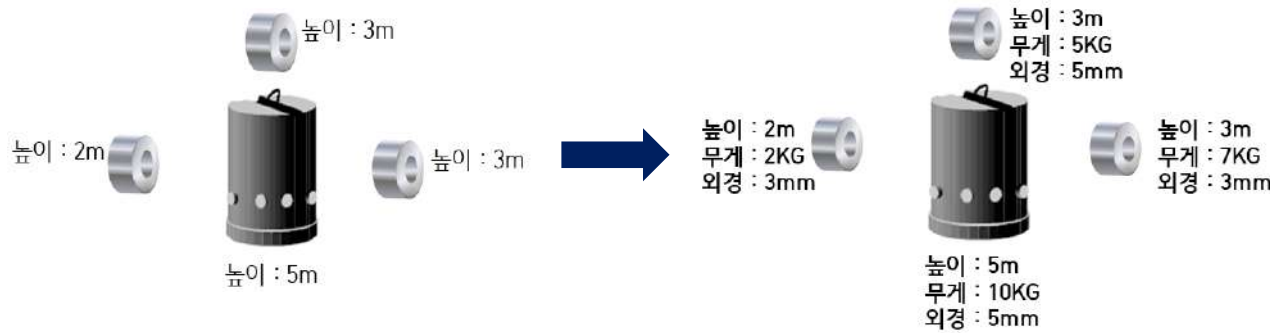
- 충전률(Filling rate)
 - 베이스가 채워진 비율
 - 적재된 코일들의 폭의 합 / 베이스의 높이

Problem definition : 2. Multi-dimensional multiple knapsack problem



Problem definition : 2. Multi-dimensional multiple knapsack problem

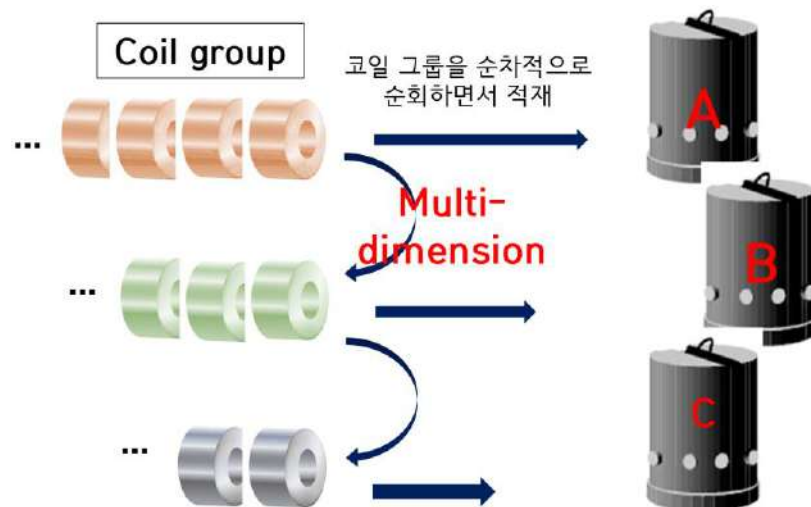
1. Multiple knapsack



• Multiple knapsack

- 무게, 높이, 외경, 내경 등 다중 제약
- 베이스의 허용 높이, 무게, 외경 등 여러 가지 제약을 지켜야함

2. Multi-dimensional multiple knapsack



• Multiple multi-dimensional knapsack

- 코일 특성에 맞게 그룹화 진행
- 여러 코일 그룹을 순차적으로 순환하며 해결
- 큰 규모의 Knapsack문제를 코일 그룹별로 작은 문제로 쪼개어 여러 번 문제를 풀

Solution approach

MIP Model

$$\text{Maximize } z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_i x_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} \leq 1, \forall i \in N$$

$$\sum_{i=1}^N W_i x_{ij} \leq W'_j, \forall j \in M$$

$$\sum_{i=1}^N H_i x_{ij} + S \left(\sum_{i=1}^N x_{ij} - 1 \right) \leq H'_j, \forall j \in M$$

$$O_i^{\prime \min } x_{ij} \leq O_i x_{ij} \leq O_i^{\prime \max } x_{ij}, \quad \forall i \in N, j \in M$$

$$ID_i \times x_{ij} = ID_j \times x_{ij}, \quad \forall j \in M, \forall i \in N$$

$$y_j \leq \sum_{i=1}^N x_{ij} \leq M y_j, \quad \forall j \in M$$

$$H'_j \times threshold \times y_j \leq \sum_{i=1}^N H_i x_{ij}, \quad \forall j \in M$$

- 목적식

Maximize 충진률

- **제약식**

- 코일의 적재유무
- 적재된 코일의 무게 합 \geq 베이스의 무게
- 적재된 코일의 높이 합 \geq 베이스의 높이
- 코일과 베이스간의 외경 호환
- 코일과 베이스간의 내경 호환
- 성능향상을 위한 threshold 조정

- 구글 OR-tools를 통해 MIP Model을 구현

[illegible]

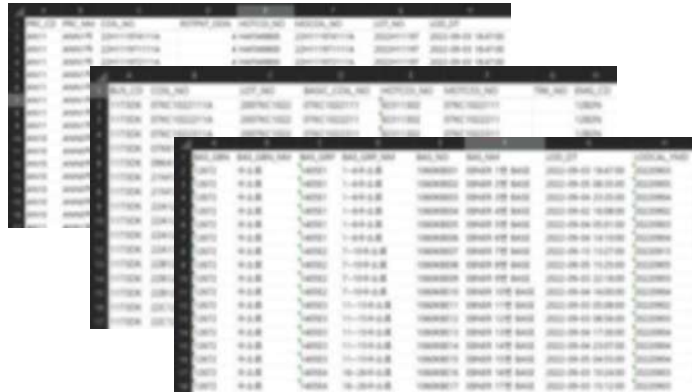
Experiment : Application to actual environment

① 적재할 코일그룹 추출

코일그룹 A : 80개

코일그룹 B : 60개

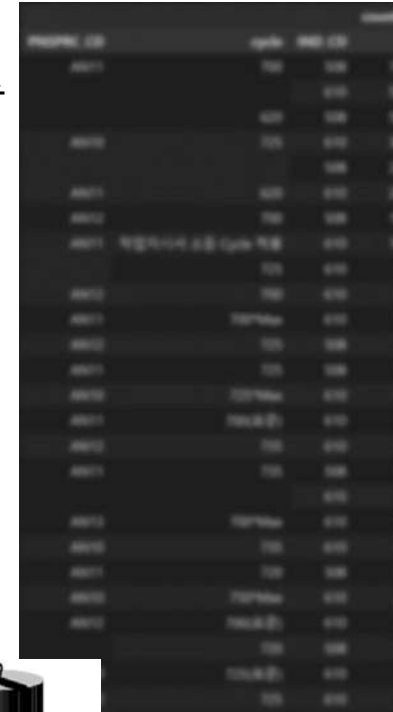
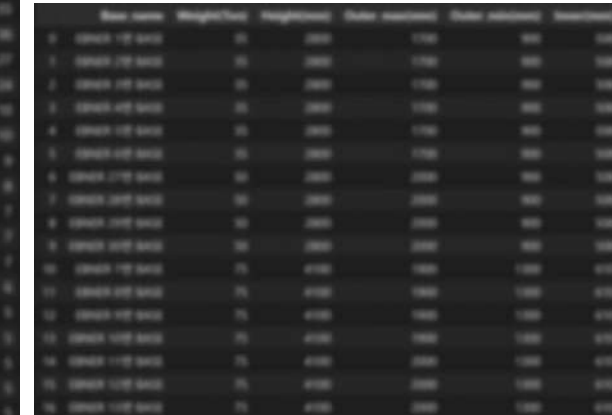
코일그룹 C : 40개



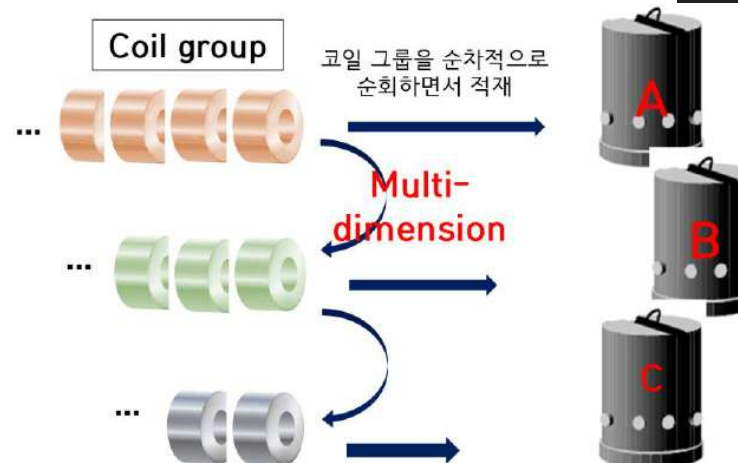
코일, 베이스 정보



...

② 실험 시점의 가용가능한 베이스 추출(A, B, C ...)



Experiment : Results and performance evaluation

Base	Base NO	충진율		Coil Group
		Past	Now	
EBNER	3	86.04%	85.71%	3
	4	81.57%	89.32%	
	5	84.79%	90.20%	
	27	77.54%	89.75%	
	30	72.86%	86.29%	
EBNER	9	78.00%	93.22%	4
	12	86.49%	95.93%	
	13	87.80%	88.73%	
	20	82.49%	98.32%	
LOI	13	82.22%	87.17%	
	14	74.56%	99.83%	
	17	72.17%	96.00%	
	20	69.61%	98.37%	
	23	74.68%	88.00%	

- **Past** : 기존 작업자들의 경험에 의존한 코일 적재 시 개별 베이스 충진률

- **Now** : 제안된 모델에 의한 코일 적재 시 개별 베이스 충진률

- 기존 평균 충진률 : 79% → 제안된 모델 충진률 : 91%

Coil Goup 3, 4 평균 충진율	
Past	Now
79.34%	91.92%

Conclusion

- 본 연구는 소둔공정의 특성에 따라 **충진률의 최대화**를 목표로 설정
- 과거엔 작업자들의 경험에만 의존하여 수행되었던 작업을 Multiple multi-dimensional knapsack문제의 형태로 정리하여 **과거 충진률 보다 향상된 성능을 확인**
- Knapsack problem은 철강업을 포함한 다수의 산업에서 흔히 보이는 문제유형
- 본 연구과제는 **더 복잡하고 다양한 제약**을 가진 Multiple multi-dimensional knapsack problem
- 따라서 본 연구의 결과물은 knapsack problem의 성격을 띄는 대부분의 문제에 **범용성있게 적용가능**

Future research

- 본 연구는 소둔공정에서 핵심지표인 충전률의 최대화 구현에 집중
- 추후 연구 및 고도화 방향은 모델이 적용될 산업 현장에 맞게 더 구체적인 조업환경 구현
 1. 이전공정과의 유기성 확인
 2. spacer의 존재유무에 따른 목적식의 변화
 3. Heating & cooling 커버의 개수 제약
 4. 코일의 강종을 기준으로 더 자세한 코일그룹 separate
 5. 가열, 유지, 냉각 시각에 대한 제약 구현

감사합니다