

Apple 제조업 R&D 지원센터

11월 SME Week

물류최적화

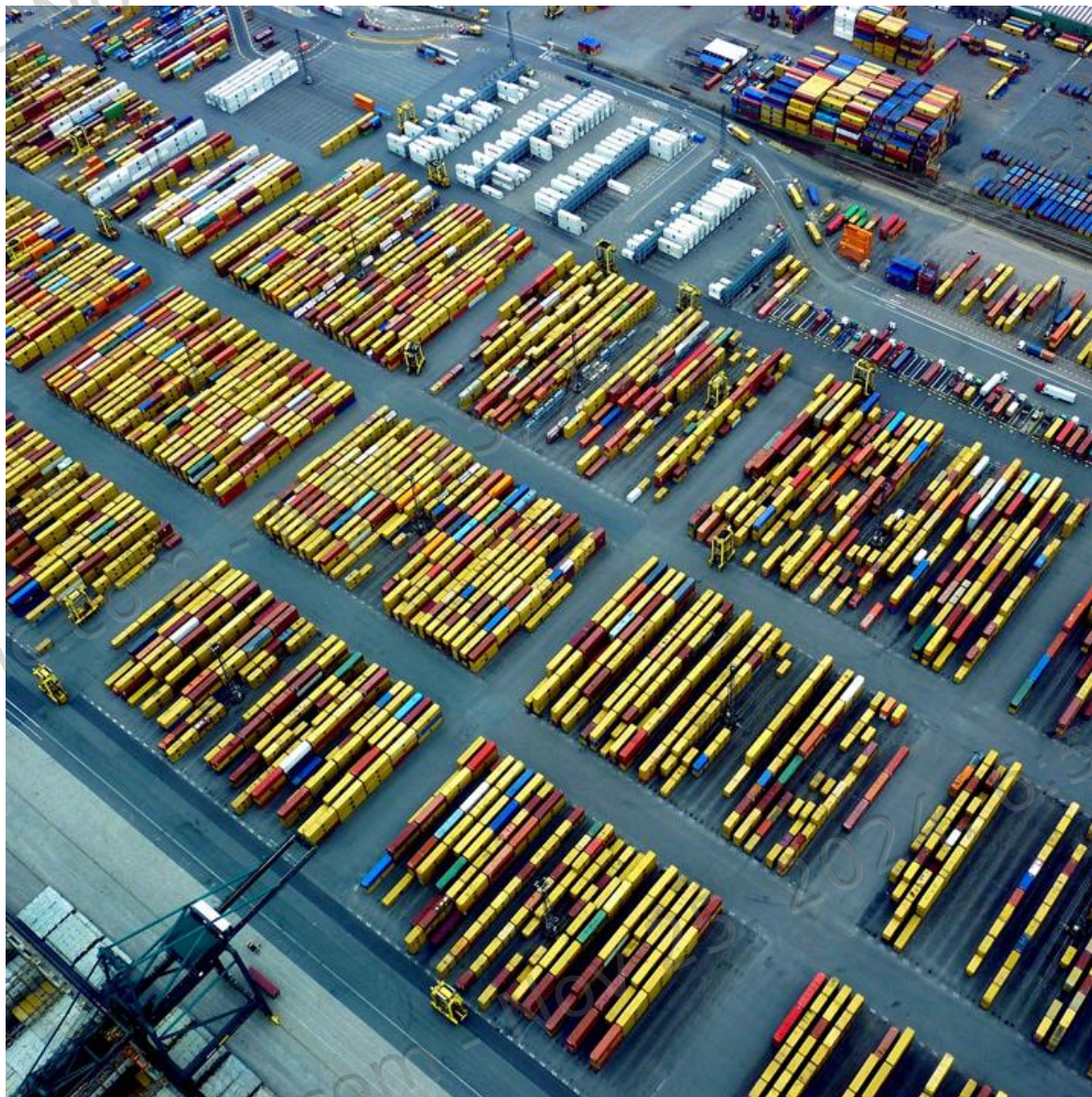
포항공과대학교
산업경영공학과
김병인 교수

<http://logistics.postech.ac.kr>

2024.11.26

순서

- 물류(物流)란?
- 최적화란?
- 물류최적화 사례



물류(物流)란?

물류 物流 logistics



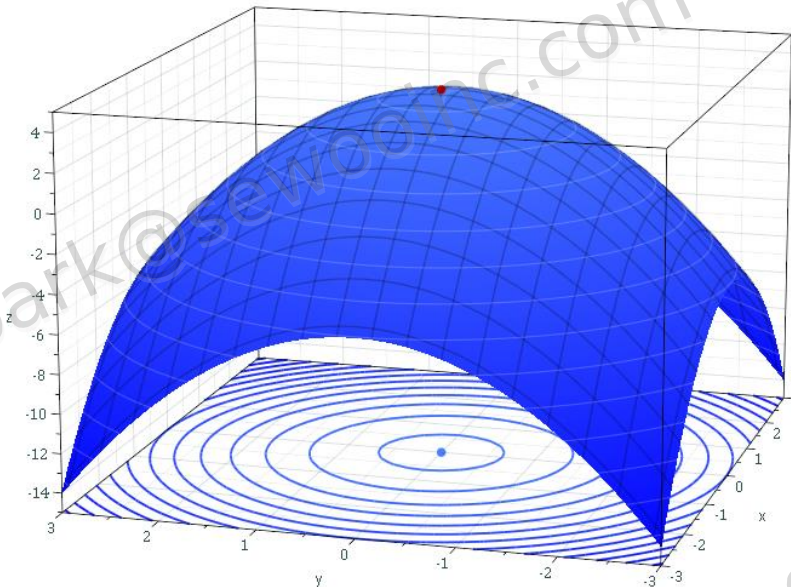
- 物流: 만물 물, 흐를 류
- 물류: **물자의 흐름**과 그것에 관련된 **정보를 계획하고 제어**하는 행위
- 물자: 원료, 부품, 제품, 상품
+ 자동차, 사람
- 물류의 목표: 최소한의 비용으로, 적절한 시점에, 필요한 물자를, 올바른 장소에, 올바른 수량으로 제공하는 것.
- The classic objective of logistics & SCM is to be able to have the **right products in the right quantities, at the right place and right time, and at minimal cost.**

최적화(Optimization)란?

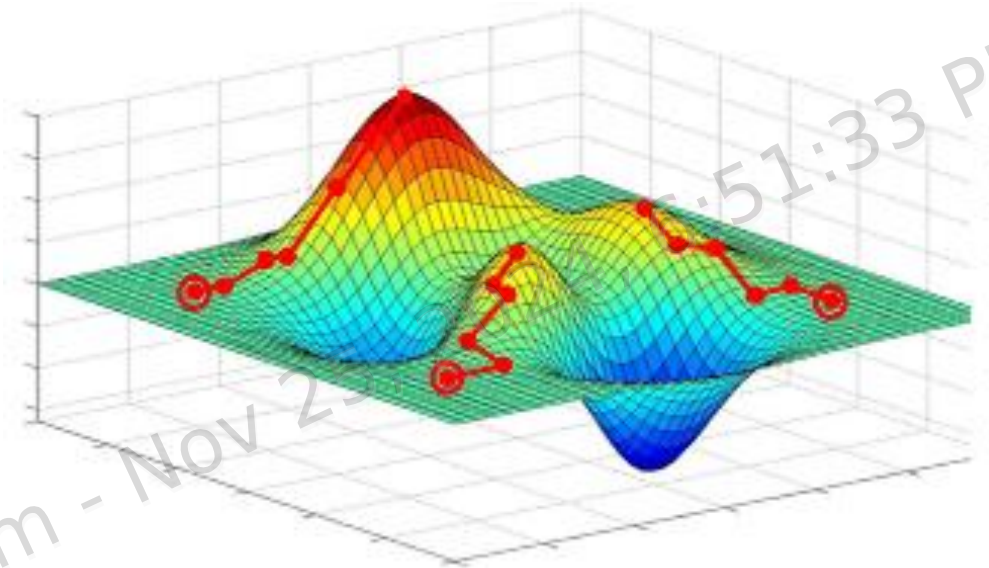
최적화(Optimization)

- 최적화: 어떤 기준에 따라 일련의 가능한 대안들 중에서 최상의 선택을 하는 것
- 운용과학/경영과학/의사결정과학(Operations Research, Management Science)
- 주어진 제약조건을 만족하면서 목적 함수의 최솟값 혹은 최댓값을 찾는 수학,공학 분야
- 이익, 성능, 수익 등 최대화 / 손실, 위험, 비용 등 최소화
- 수리모델링(Mathematical Programming: Cplex, Gurobi), 메타휴리스틱, 인공지능(강화학습) 등 기법

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=1}^n p_i x_i \\ & \text{s.t.} \\ & \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq W \\ & x_i \in \{0,1\} \end{aligned}$$



* source: https://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_optimization



배낭문제(Knapsack Problem)

- 배낭의 무게 제한은 15kg
- 후보 품목

품목	1	2	3	4	5	6	7	8
무게	1	3	4	3	3	10	5	1
가치	2	9	3	8	10	10	4	6

- 최적해는?



배낭문제(Knapsack Problem)

- 배낭의 무게 제한은 15kg
- 후보 품목

품목	1	2	3	4	5	6	7	8
무게	1	3	4	3	3	10	5	1
가치	2	9	3	8	10	10	4	6

- 수리 모델링 (방정식) ?

변수 $x_i=1$, 품목 i를 선택하면; 0, 선택하지 않으면

목적식 $\max 2x_1 + 9x_2 + 3x_3 + 8x_4 + 10x_5 + 10x_6 + 4x_7 + 6x_8$

제약조건 $1x_1 + 3x_2 + 4x_3 + 3x_4 + 3x_5 + 10x_6 + 5x_7 + 1x_8 \leq 15$
 $x_i = 0 \text{ or } 1$

- [Excel Solver](#), Cplex, Gurobi, Python Solvers, 알고리즘들

배낭문제(Knapsack Problem)

- 배낭의 무게 제한은 15kg
- 후보 품목

품목	1	2	3	4	5	6	7	8
무게	1	3	4	3	3	10	5	1
가치	2	9	3	8	10	10	4	6

- 최적해: 가치 합 =

배낭문제(Knapsack Problem)

- 응용분야?
 - ✓ 컨테이너, 트럭, 비행기
 - ✓ 투자 전략
 - ✓ 마트에서 장보기
 - ✓ 하루일과
 - ✓ 일생

할당문제(Assignment Problem)

- 학급에서 남학생 7명과 여학생 7명에 대해 짝을 맞추어 자리 배정을 하려고 한다. 서로 짝으로서의 호감 정도에 따라 다음과 같은 표를 얻었다. 전체에서 호감 정도의 합을 최대한으로 만드는 짝을 찾고자 한다. 어떻게 짝을 만들면 좋겠는가?

	1	2	3	4	5	6	7
1	5	6	7	1	2	3	4
2	4	3	2	1	7	6	5
3	2	3	4	5	6	7	1
4	7	6	5	1	2	3	4
5	3	4	5	6	7	1	2
6	7	6	5	4	3	2	1
7	5	6	7	2	3	4	1

할당문제(Assignment Problem)

- 수리 모델링?

변수 x_{ij} =1, 남 학생 i와 여학생 j가 짝을 이루면; 0, 그렇지 않으면

목적식 $max\ 5x_{11} + 6x_{12} + 7x_{13} + \dots + 3x_{75} + 4x_{76} + 1x_{77}$

제약조건

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} = 1$$

...

$$x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} + x_{77} = 1$$

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} + x_{51} + x_{61} + x_{71} = 1$$

...

$$x_{17} + x_{27} + x_{37} + x_{47} + x_{57} + x_{67} + x_{77} = 1$$

	1	2	3	4	5	6	7
1	5	6	7	1	2	3	4
2	4	3	2	1	7	6	5
3	2	3	4	5	6	7	1
4	7	6	5	1	2	3	4
5	3	4	5	6	7	1	2
6	7	6	5	4	3	2	1
7	5	6	7	2	3	4	1

할당문제(Assignment Problem)

- 학급에서 남학생 7명과 여학생 7명에 대해 짝을 맞추어 자리 배정을 하려고 한다. 서로 짝으로서의 호감 정도에 따라 다음과 같은 표를 얻었다. 전체에서 호감 정도의 합을 최대한으로 만드는 짝을 찾고자 한다. 어떻게 짝을 만들면 좋겠는가?
- 최적해

	1	2	3	4	5	6	7
1	5	6	7	1	2	3	4
2	4	3	2	1	7	6	5
3	2	3	4	5	6	7	1
4	7	6	5	1	2	3	4
5	3	4	5	6	7	1	2
6	7	6	5	4	3	2	1
7	5	6	7	2	3	4	1

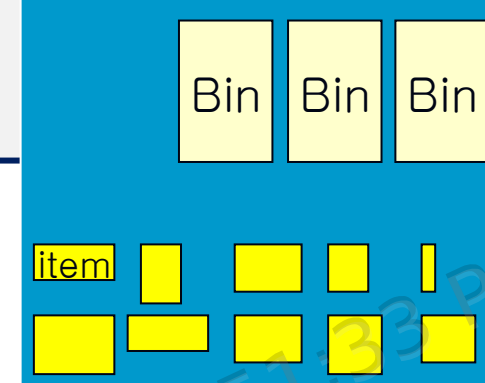
빈 팩킹 문제(Bin Packing Problem)

Bin Packing 문제

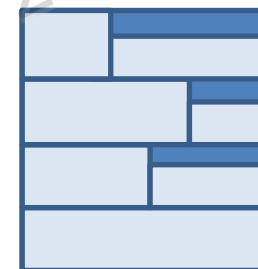
- ✓ 최소 개의 빈을 사용하여 모든 제품을 서로 겹치지 않게 하여 빈에 넣는 것.
- ✓ 유리, 철강, 제지 산업 등에서 활발히 적용됨

Bin Packing 문제의 종류

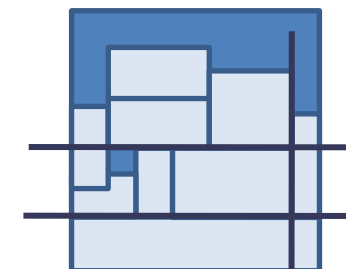
- ✓ 다루는 차원에 따라 :
 - 1차원 빈 패킹 / 2차원 빈 패킹 / 3차원 빈 패킹
- ✓ 제약 조건에 따라 :
 - 단칼 절단 가능(Guillotine cut) 여부
 - 제품회전 가능 여부
 - 빈 크기의 다양성
 - 제품 크기의 다양성



단칼 절단(Guillotine cut)

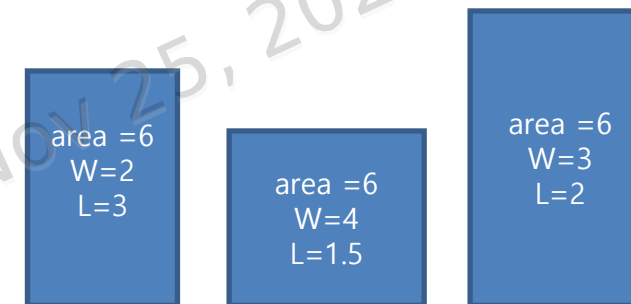


Guillotine cut



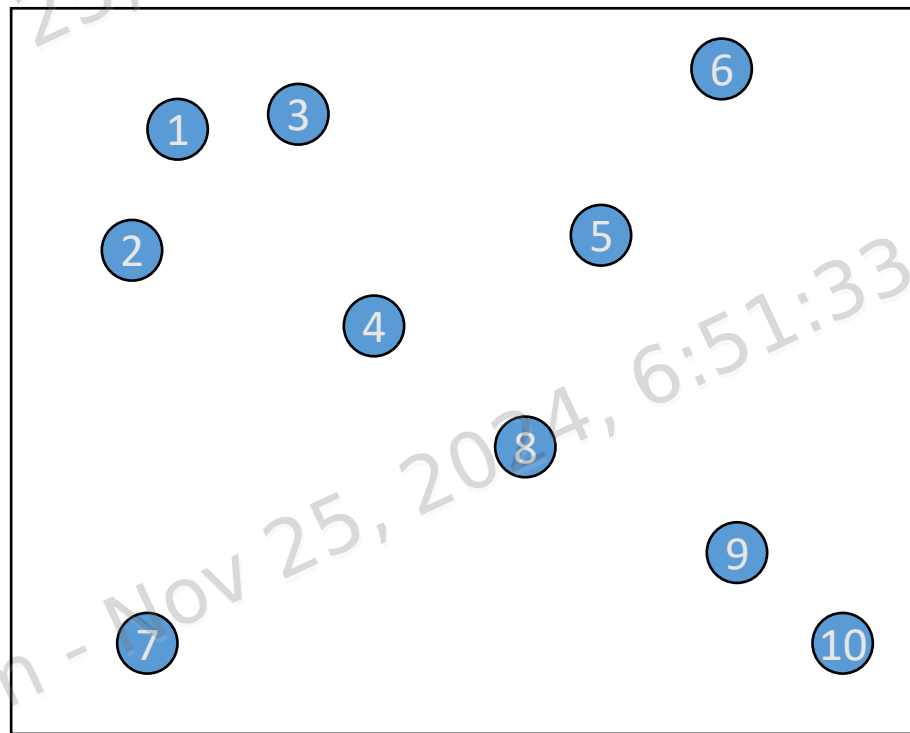
Non-Guillotine cut

빈 크기의 다양성



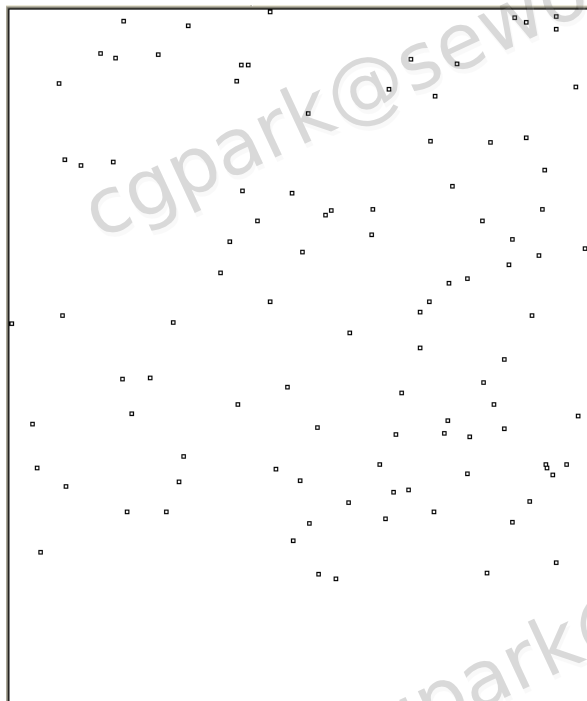
외판원 문제 (Traveling Salesman Problem: TSP)

- 외판원이 주어진 도시들을 최단시간에 한번씩 방문해야 하는 문제
- 물류수송(택배회사), 컴퓨터 PCB 조립 등 많은 응용분야
- 가능한 경우의 수: $5!$, $10!$, $100!$, $1000!$
- 120, 3628800, 9.3×10^{157}



외판원 문제 (Traveling Salesman Problem: TSP)

문제



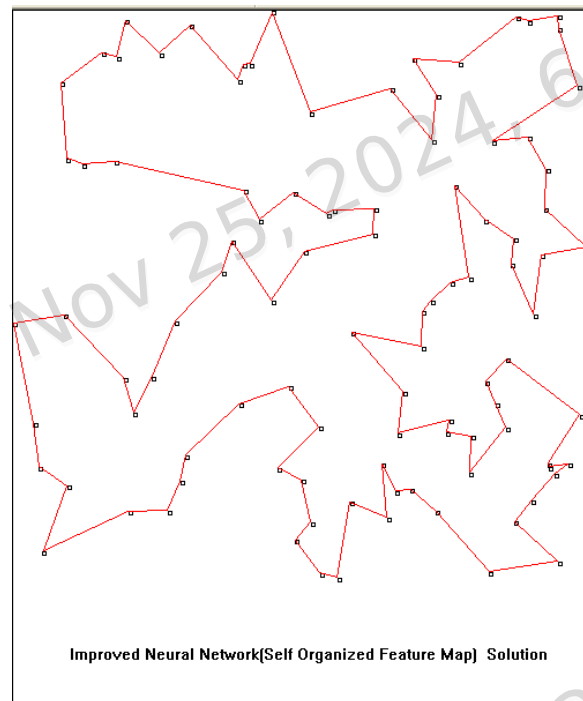
100 cities

해 #1



4,892 km
4,892 억원

해 #2



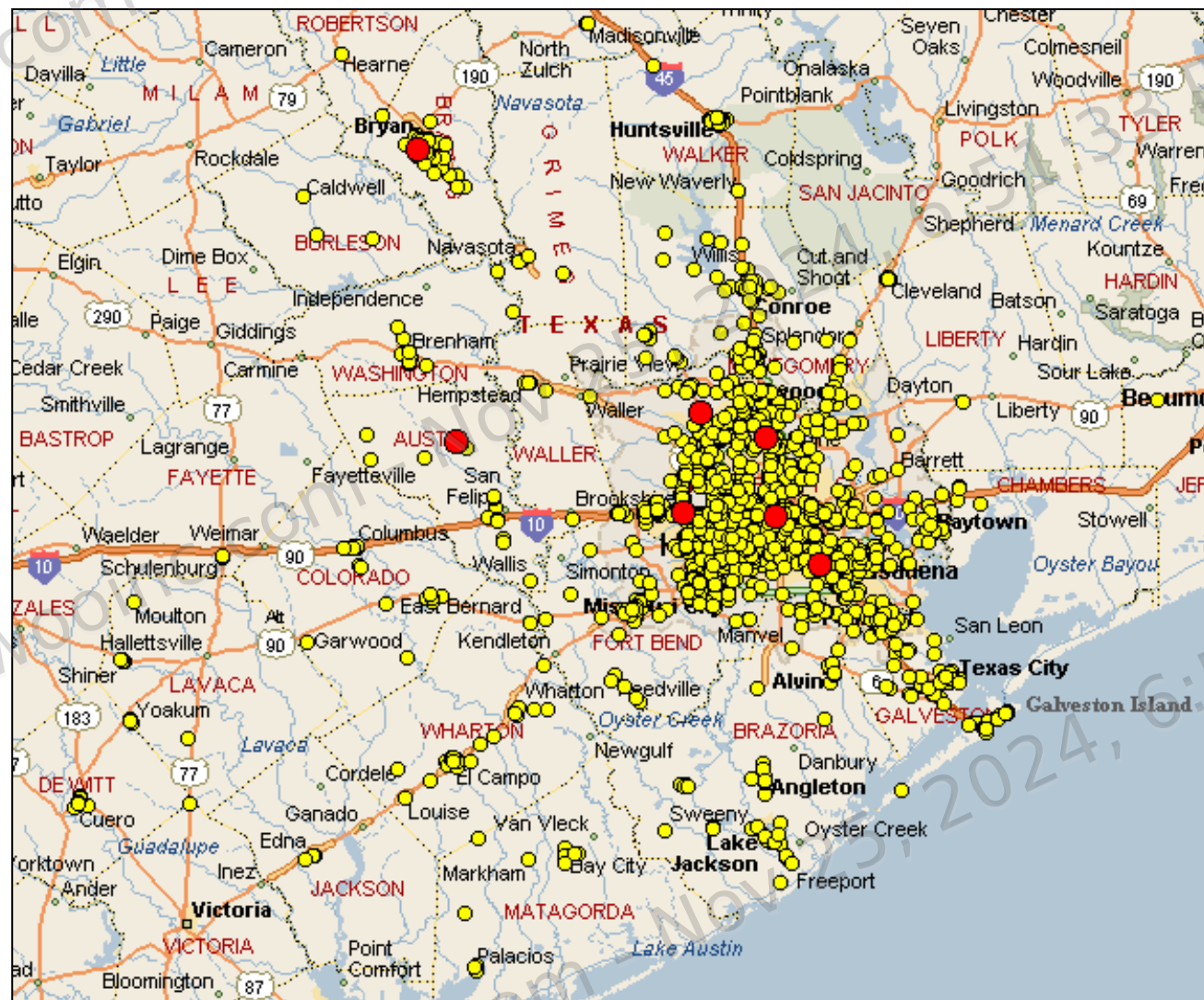
4,016 km
4,016 억원



물류최적화 사례

차량경로 계획 (Vehicle Routing Problem)

- 미국 휴스턴 지역
- 음료 배달
- 2,095 방문지 수
- 7 물류센터
- 차량별 배송량 편차 최소화

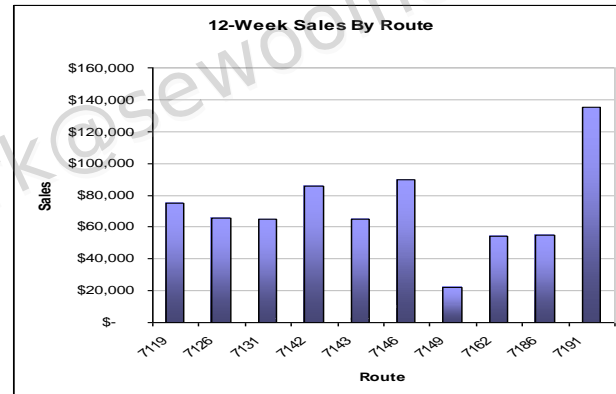
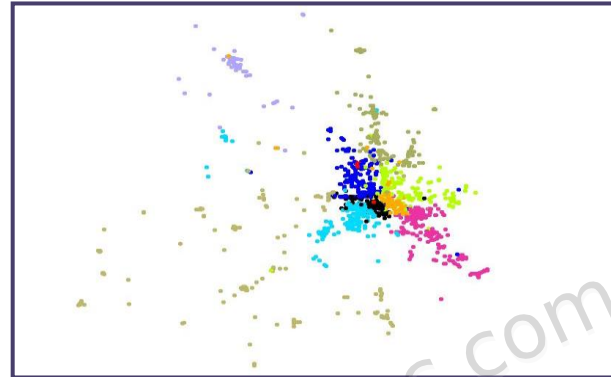


차량경로 계획 (Vehicle Routing Problem)

- 차량 수
- 겹침 방지
- 배송량 편차

기존

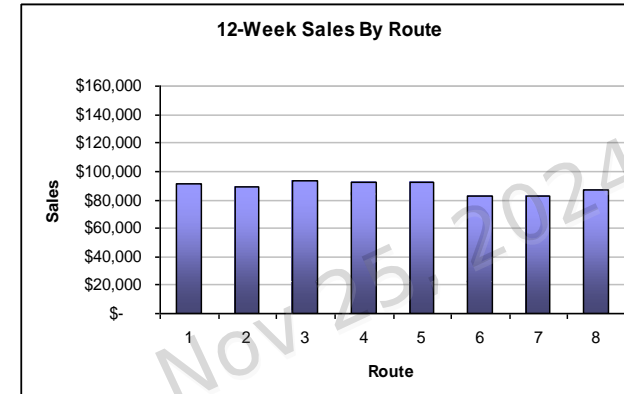
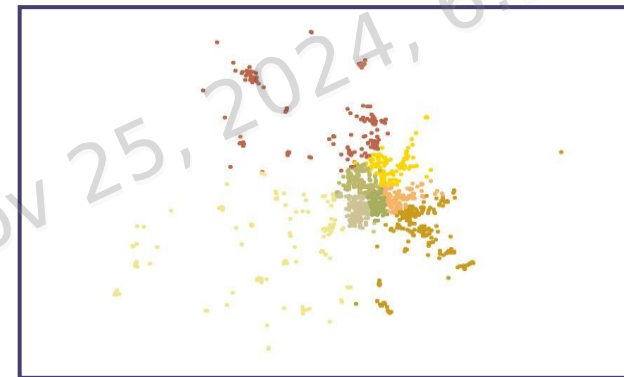
10개 라우트, 6 일



평균 차량 수입: \$71,178
차량 수입 편차: \$29,200

최적화 후

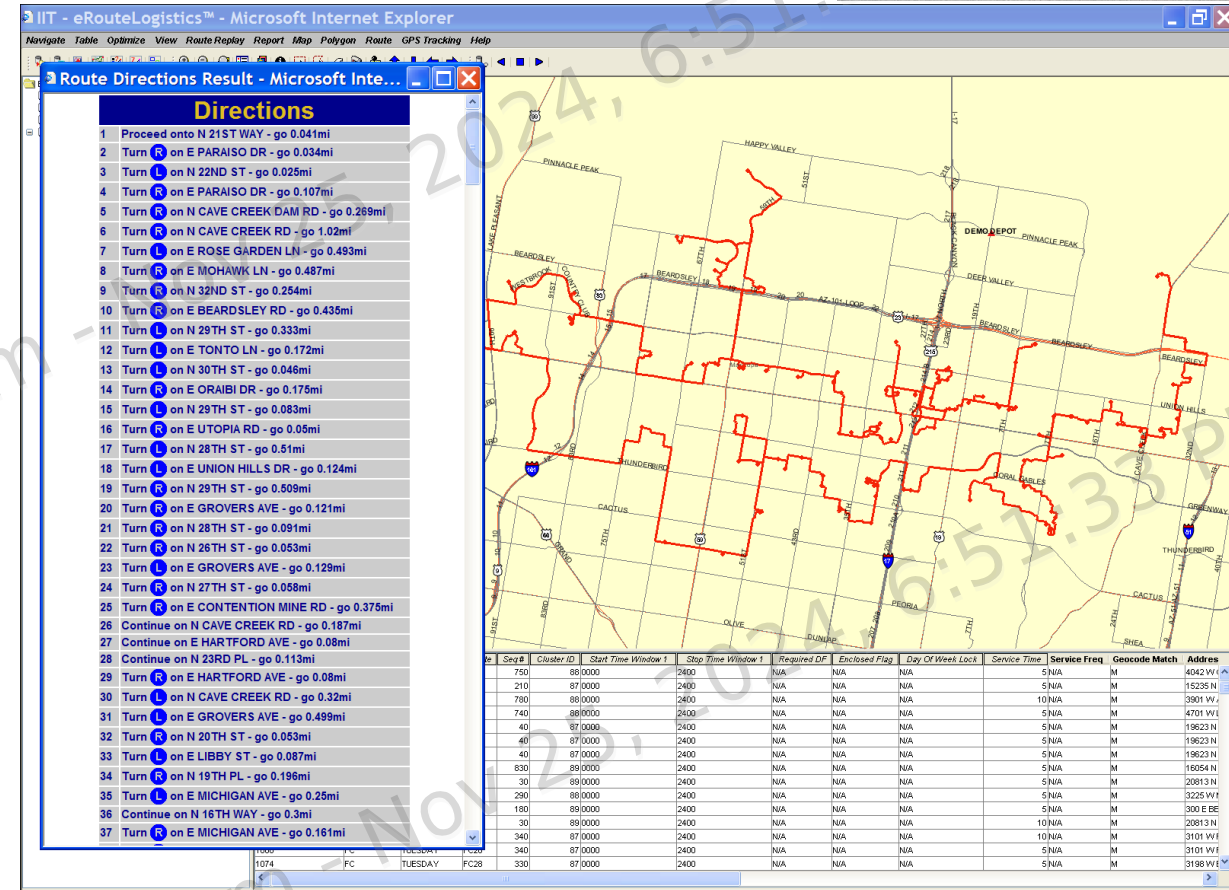
8개 라우트, 5 일 (33% +)



평균 차량 수입 : \$88,972
차량 수입 편차 : \$4,318

차량경로 계획 (Vehicle Routing Problem)

- 실제 사례: 미국 Waste Management 사
- 2000 대 이상 줄임



B. Kim, S. Kim and S. Sahoo, "Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows," Computers & Operations Research, 33(12), 3624-3642, 2006

S. Sahoo, S. Kim, B. Kim, B. Kraas, and A. Popov Jr., "Routing Optimization for Waste Management," Interfaces, 35(1), 24-36, 2005

무인자동차 배차

- 자동물류시스템
 - ✓ AGV (Automated Guided Vehicle)
 - ✓ OHT (Overhead Hoist Transport)
 - ✓ AMR (Autonomous Mobile Robots)

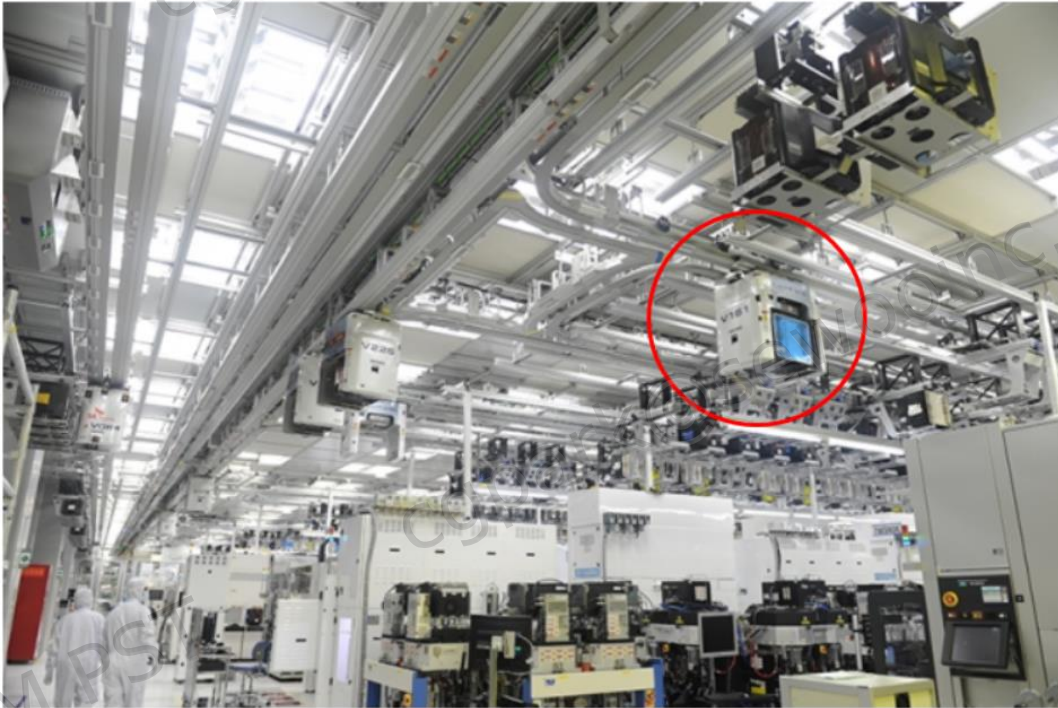
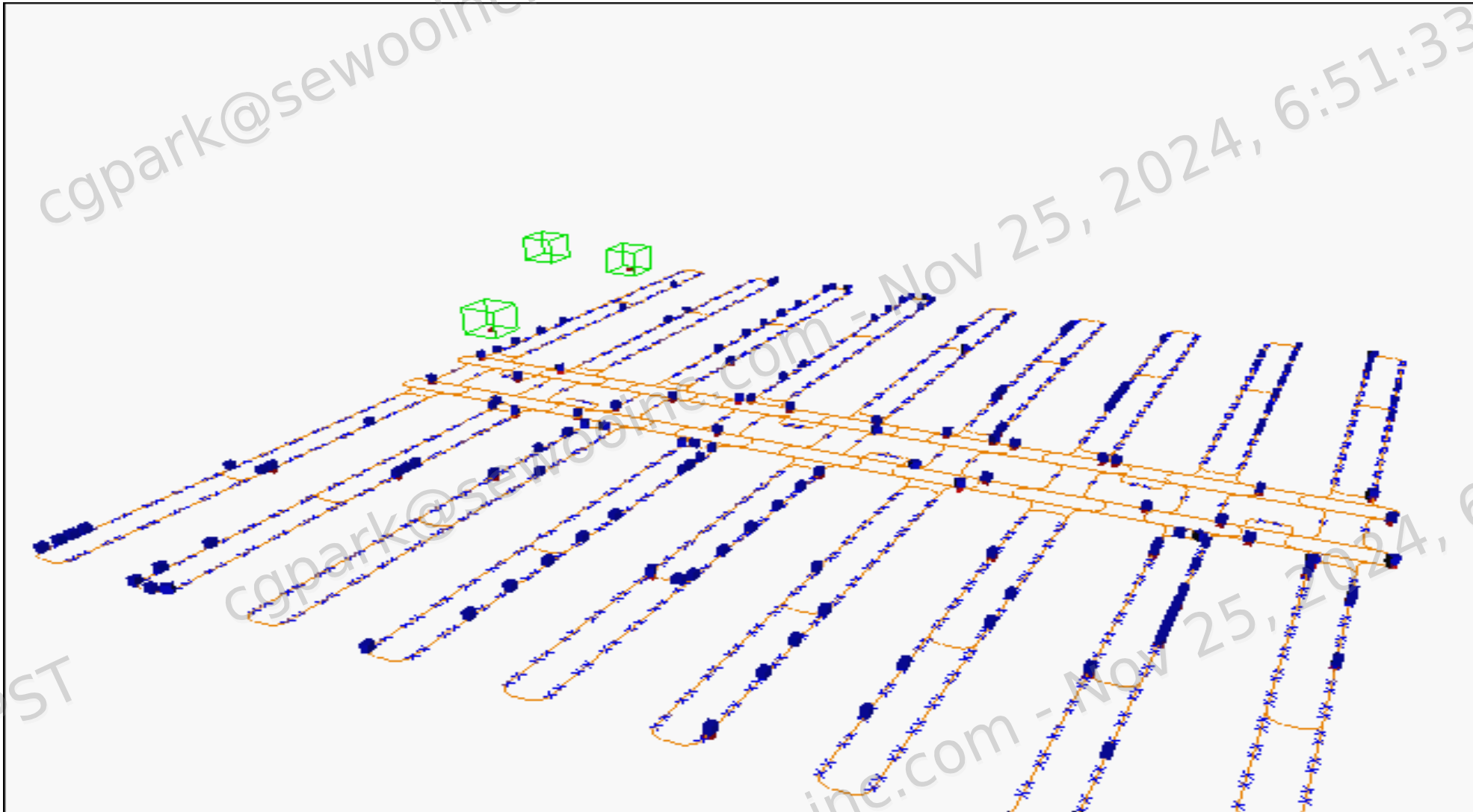


그림 source: https://m.blog.naver.com/puppywung/221896158487?view=img_1

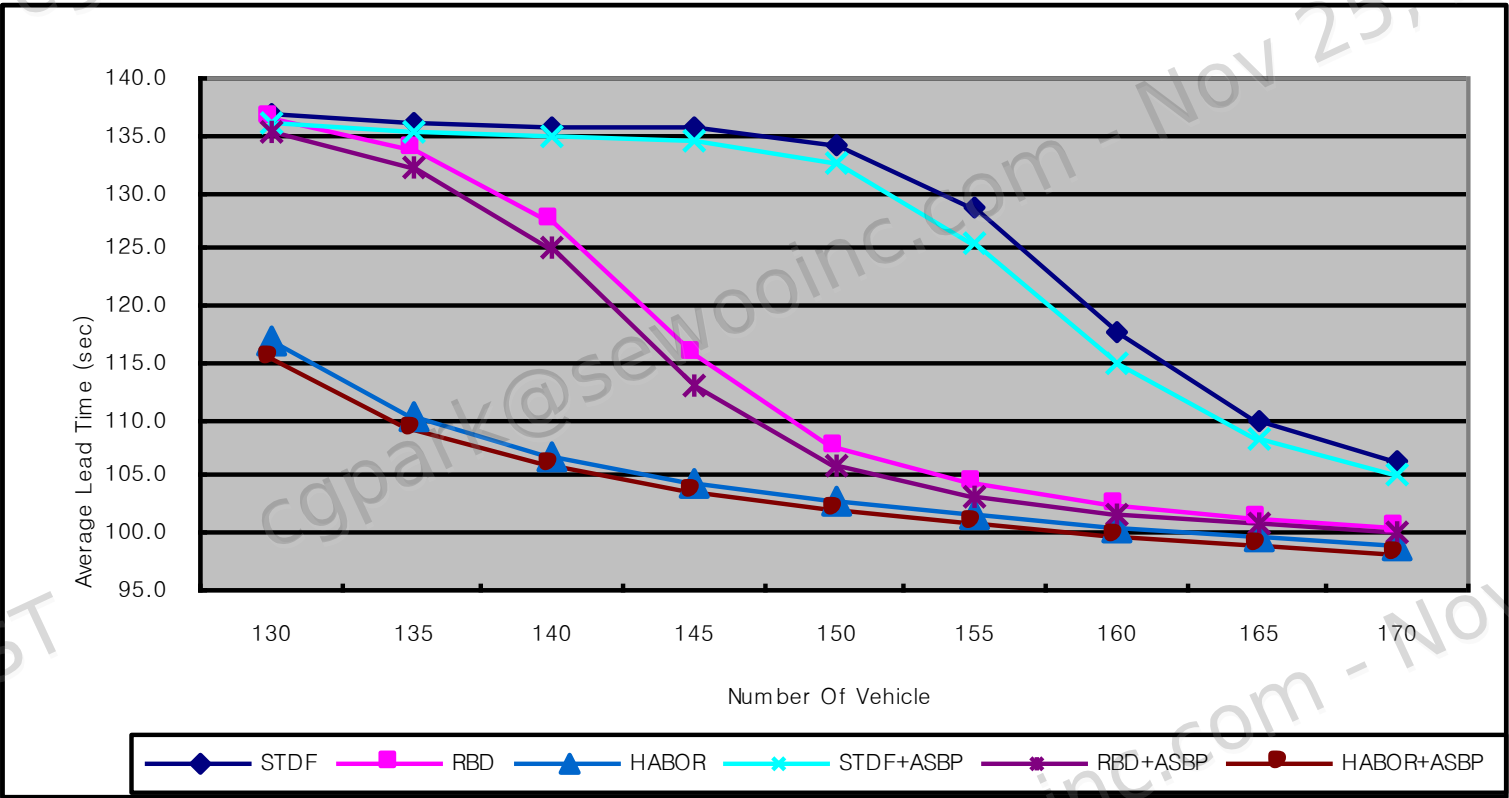
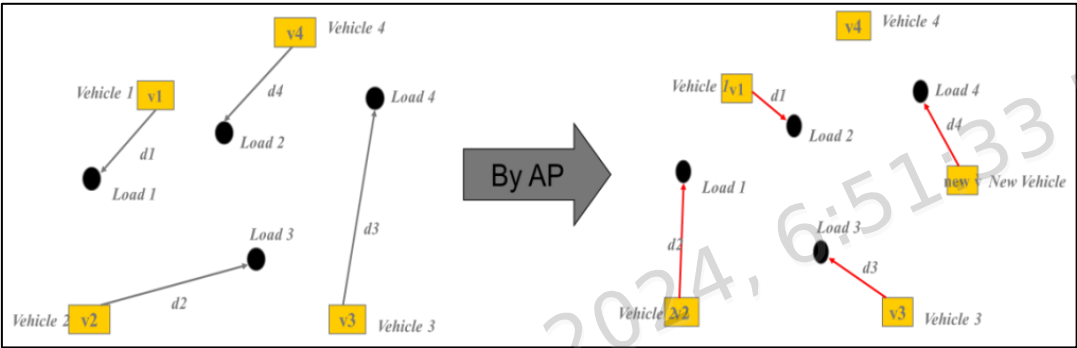
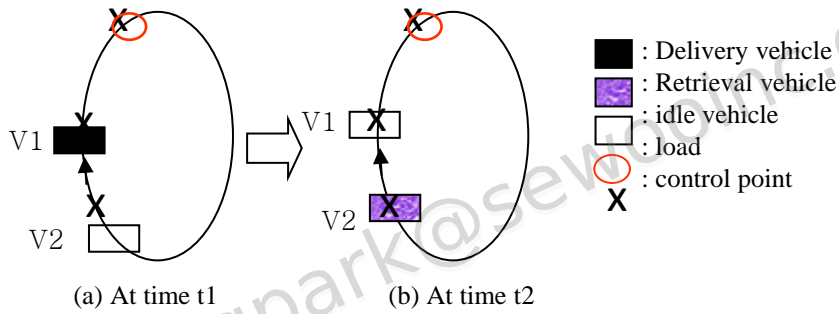
<https://www.bostonglobe.com/business/2012/03/19/amazon-buys-kiva-systems-for-million/28FZj4iwhEwkayDCpcTGBO/story.html>

무인자동차 배차

- AGV/OHT 를 어떻게 배차시킬 것인가?



무인자동차 배차



선박 생산계획

- 선박생산계획(선표계획)은 도크에서 어떤 선박을 언제 생산할 지를 결정하는 것으로 생산성과 직결됨
- 선박생산계획 대상은 연간 40~50 척, 계획기간은 1~3년



Year	2022						2023												
Month	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Dock A	Ship 1		Ship 7					Ship 13		Ship 17				Ship 22					
	Ship 2		Ship 8					Ship 14		Ship 18				Ship 23					
		Ship 4			Ship 10			Ship 15				Ship 21				Ship 25			
		Ship 5			Ship 11			Ship 16									Ship 26		
Dock B	Ship 3		Ship 6		Ship 9		Ship 12			Ship 19		Ship 20		Ship 24					

선박 생산계획

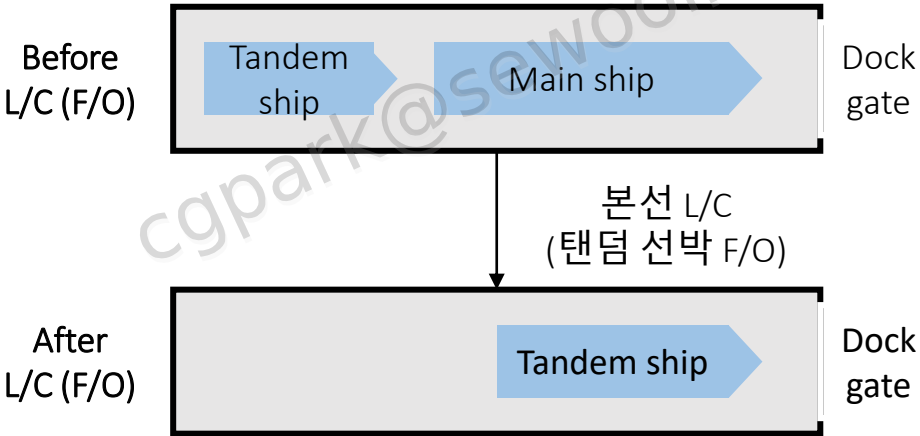
- 주요이벤트: 용골 배치(Key Laying) → (Floating) → 진수(Launching)



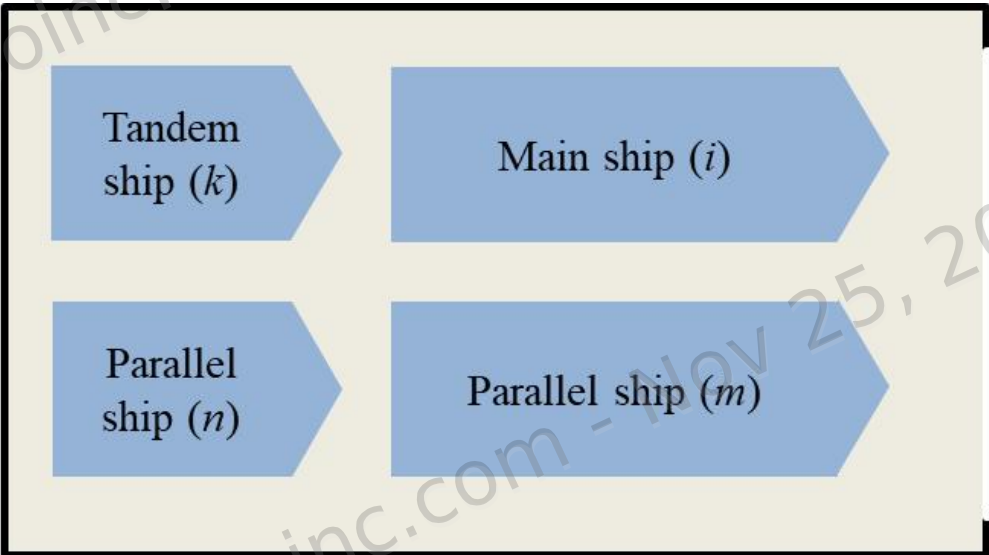
Year	2022						2023													
Month	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Dock A	Ship 1		Ship 7				Ship 13			Ship 17			Ship 22							
	Ship 2		Ship 8				Ship 14			Ship 18			Ship 23							
	Ship 4			Ship 10			Ship 15			Ship 21				Ship 25						
	Ship 5			Ship 11			Ship 16							Ship 26						
Dock B	Ship 3		Ship 6		Ship 9		Ship 12		Ship 19		Ship 20			Ship 24						

선박 생산계획

- 도크의 종류가 다양함: 연결건조 (Tandem), 병렬 건조(parallel) 가능 여부



Year	2022						2023											
Monthn	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dock A	Ship 1		Ship 7				Ship 13		Ship 17			Ship 22						
	Ship 2		Ship 8				Ship 14		Ship 18			Ship 23						
	Ship 4			Ship 10			Ship 15			Ship 21			Ship 25					
	Ship 5			Ship 11			Ship 16			Ship 26								
Dock B	Ship 3		Ship 6		Ship 9		Ship 12		Ship 19		Ship 20			Ship 24				



선박 생산계획

- Case 1: 64척, 1592일 계획
- Case 2: 74척, 1067일 계획
- 6개 도크에 호선을 배치
- 최적화 시스템 구현 및 적용

선박 생산계획

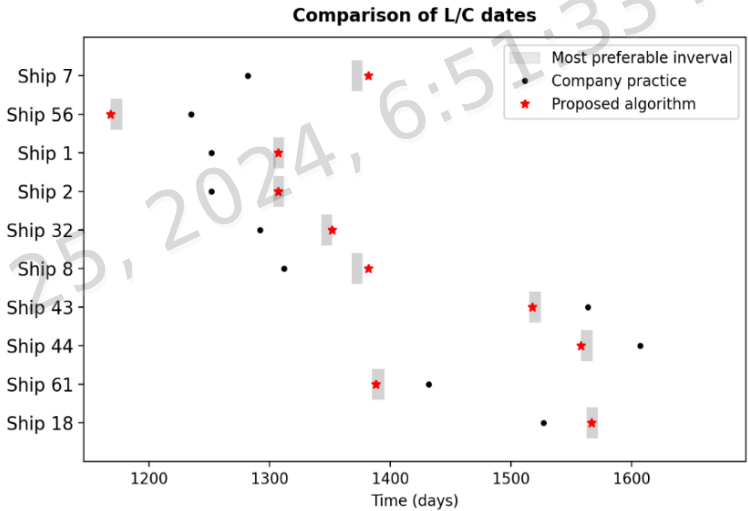
- 목적함수 기준 case 1: 13.5%, case 2: 10.7% 개선

Instance	Obj term	Company		제안된 방법론(MathLNS)			
		Value	Gap (%)	Value	Improvement (%)	CPU (s)	Gap (%)
Case 1	Obj	1281	19.4	1495	16.7	3600	5.9
	w ₁ ·SD	575		580	0.9		
	w ₂ ·DL	363		384	5.8		
	w ₃ ·SL	343		531	54.8		
Case 2	Obj	1399.5	19.1	1584	13.2	3600	8.4
	w ₁ ·SD	652		644	-1.2		
	w ₂ ·DL	420		432	2.9		
	w ₃ ·SL	327.5		508	55.1		

SD: Ship-dock preference

DL: Dock-L/C date (day) preference

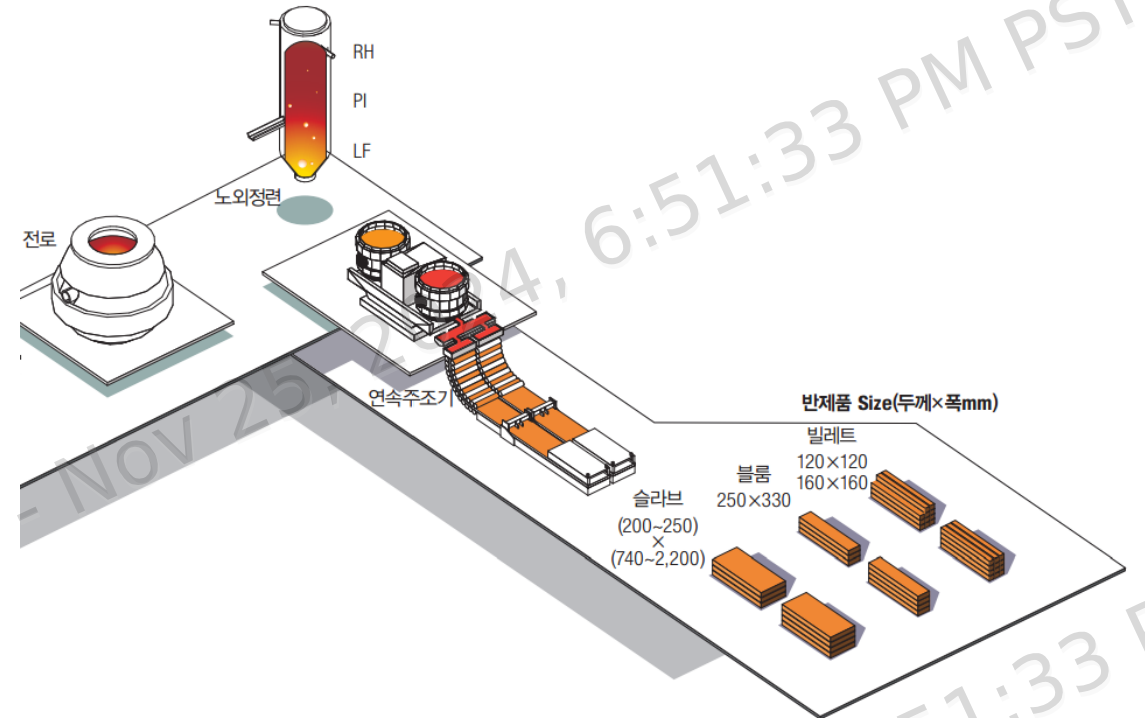
SL: Ship-L/C date preference



후판 재료설계 최적화 사례

▶ 후판 제조 프로세스

- 제선 → 제강/정련 → 연주 → 압연 → 절단
- 제강, 정련: 한 강종, 300 톤 charge 단위
- 연주: 여러 charge가 연결된 cast 단위, 2개의 strand
- 압연: 슬라브 단위 → 날판
- 절단: 날판에 1~20개의 후판 제품



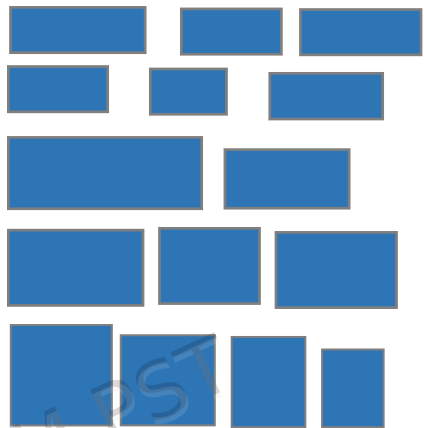
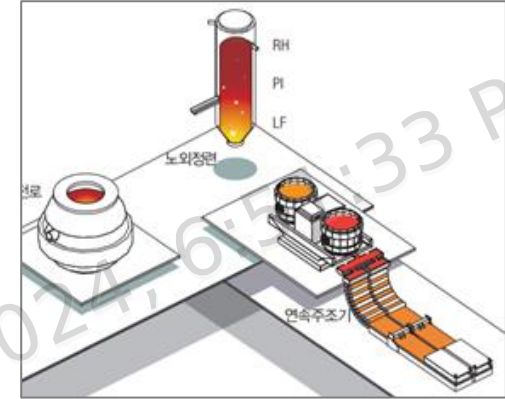
<https://youtu.be/EvBys9okEbQ>

* 그림 출처: www.posco.com

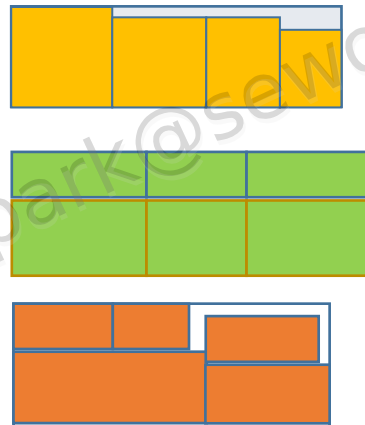
후판 재료설계 최적화 사례

▶ 후판 재료설계 프로세스

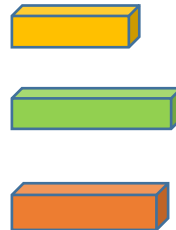
- 주문 → 날판설계 → 슬라브 → 주편 → charge → cast
- 슬라브: 후판공장 할당
- charge, case: 연주기 할당
- 총당: plate, 슬라브, 주편 여재에 주문 할당



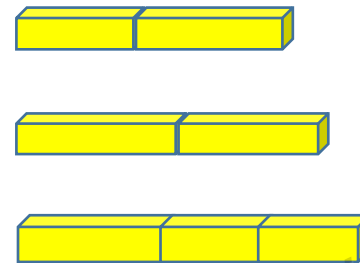
주문



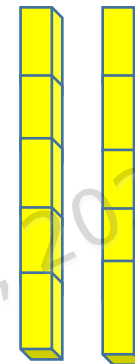
날판



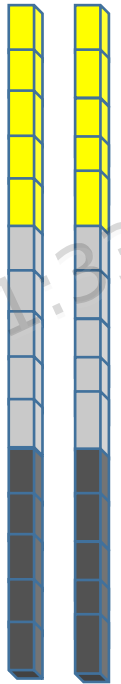
슬라브



주편



charge

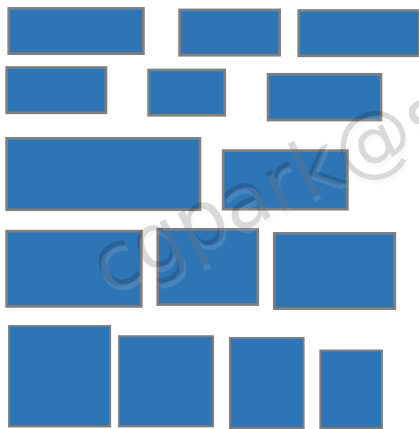


cast

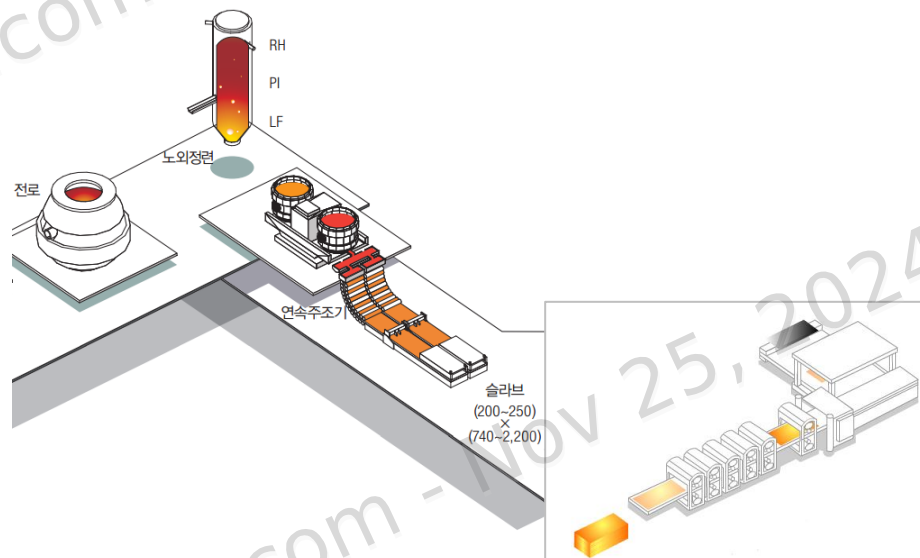
후판 재료설계 최적화 사례

Input

- 주문: Plate 강종, 크기(가로,세로,두께), 납기, 매수, 가능행선(전로→연주기→후판공장)
- 제강공장: 생산량 타겟, 최대, 최소 값, 가능 슬라브 크기
- 후판공장: 생산량 타겟, 최대, 최소 값, 가능 슬라브 크기



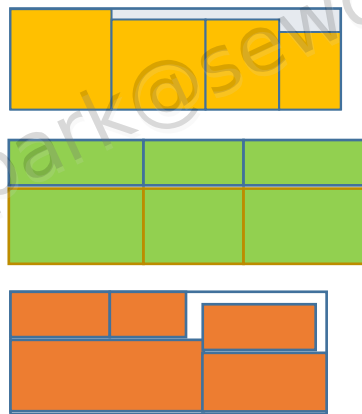
주문



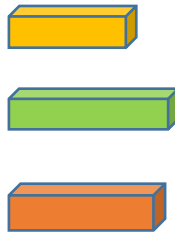
후판 재료설계 최적화 사례

Output

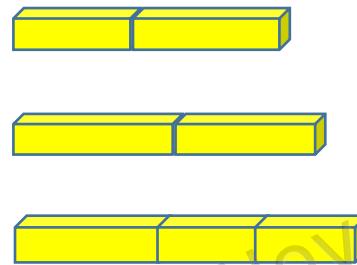
- 날판설계: Plate의 배치도
- 슬라브설계: 날판의 압연 전 크기 (폭, 두께, 강종)
- 주편설계: 슬라브 2~5개의 모음
- Charge 설계: 주편의 모음 (300톤), Half-charge 설계
- Cast 설계: Charge 의 모음
- 슬라브 – 후판공장 할당
- Charge, cast – 연주공장 할당



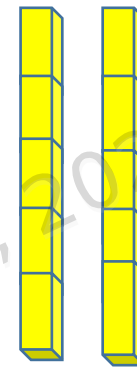
날판



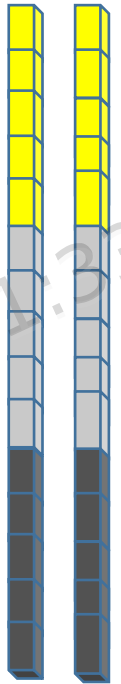
슬라브



주편



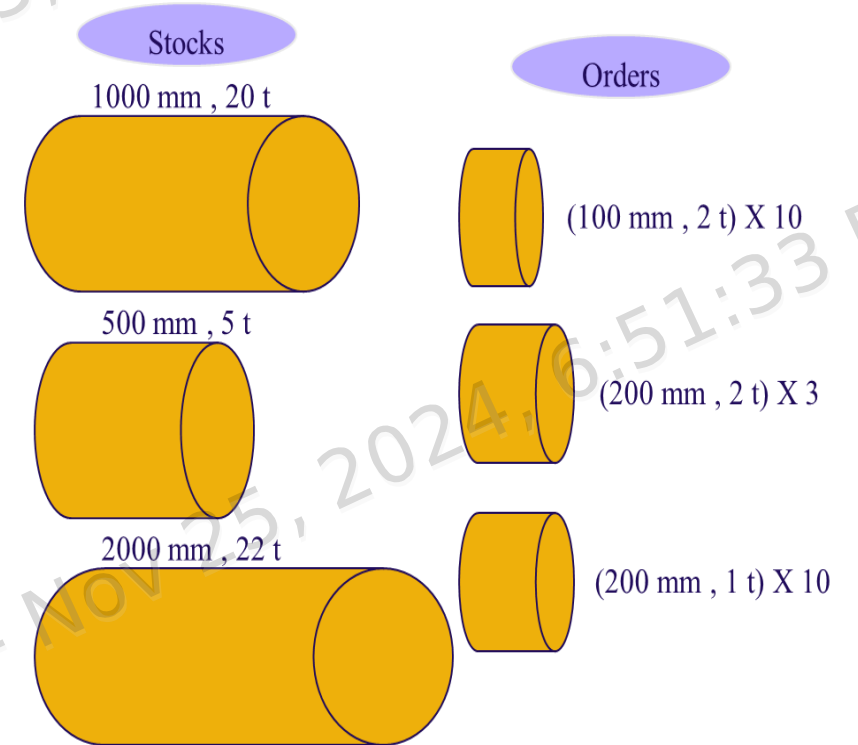
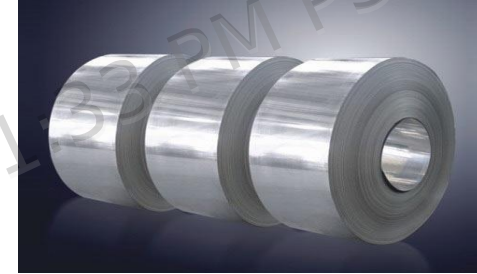
charge



cast

스테인레스 강판 원자재 설계 최적화

- 고광택 스테인레스 냉연 강판 전문 제조업체
- 월 3000~6000톤 생산
- 스테인레스강 제조 공정
주문, 영업부서의 계획재 생산 계획 → 코일 구매
→ (slitting) Skelp → 코일성형 → 냉간압연 → 광휘소둔
→ 형상교정 → 표면연마 → 전단 → 포장
- 코일 설계 및 구매 프로세스(제조 공정의 역순): 제품들을 모아서 압연폭 구성 → 압연폭을 모아서 코일 설계
- 효과적인 폭조합을 통해 주문을 원자재(재공재고, 재고)에 할당하고 필요한 원자재의 사양을 결정하는 문제



요약

- 물류(物流)란?
- 최적화란?
 - 배낭문제(Knapsack)
 - 할당문제(Assignment Problem)
 - 빈팩킹 문제
 - 외판원문제
- 물류최적화 사례
 - 차량경로
 - 무인자동차배차
 - 선박생산계획
 - 후판재료설계
 - 스테인레스 강판 원자재 설계 최적화





Thank You

<http://logistics.postech.ac.kr>

문제정의

- ▶ 비즈니스 현황: 문제의 크기 및 목적을 가늠할 수 있는 정보
- ▶ 가정(Assumption): 비용 계산 방식 등
- ▶ Input: 문제 해결을 위해 준비되어야 하는 정보
- ▶ Output: 문제 해결 결과 얻고자(결정하고자) 하는 정보
- ▶ 제약조건: 반드시 지켜야 할 제약조건과 바람직하지 않지만 어겨도 되는 제약조건 등
- ▶ 목적식: 문제의 해결을 통해 얻고자 하는 목적