

의약품물류에서의 온도조절 특수차량의 주문 선택과 경로 및 일정계획 문제

Order acceptance and temperature-controlled vehicle routing and scheduling problem in pharma logistics

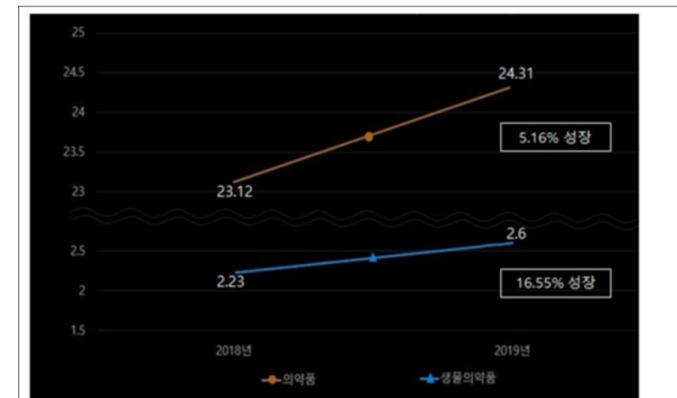
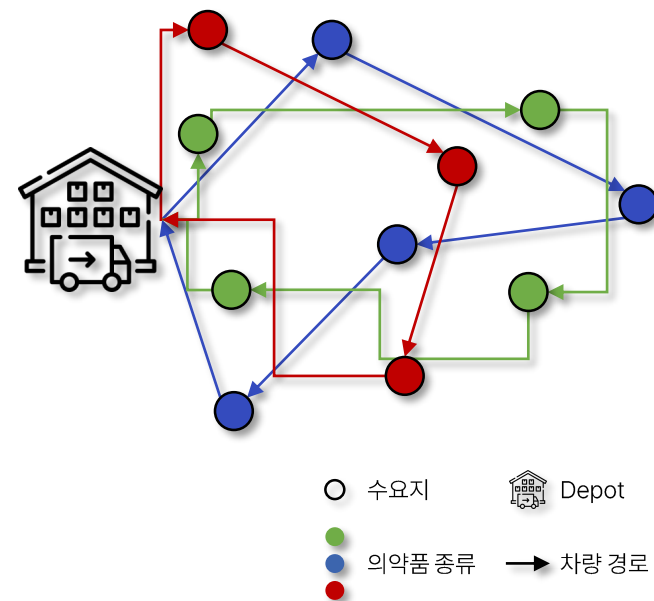
인천대학교 산업경영공학과
학석사 연계과정 이승재
부교수 김병수*

bskim@inu.ac.kr

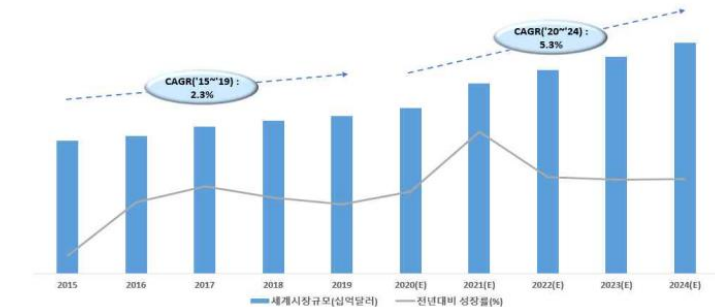
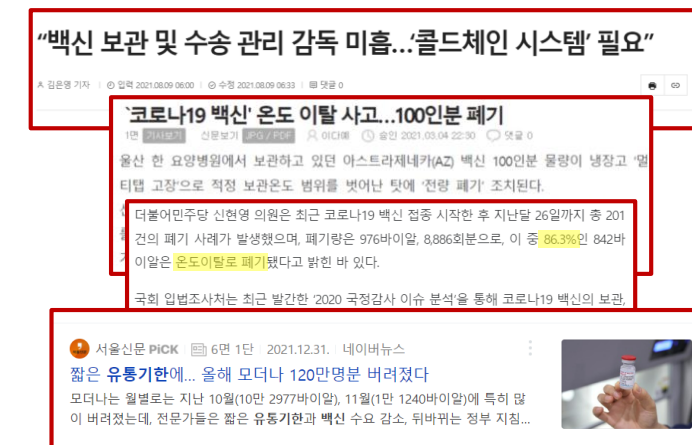
Table of Contents

01	02	03	04	05
Introduction	Literature Survey	Methodology	Experiment	Future Work

기존 의약품 콜드체인의 배송방식과 문제점



[그림 2] 2018~2019년, 우리나라 의약품 시장 규모 (단위: 조 원)
출처: 2020 제약바이오산업 DATABOOK 통계정보 (2020. 한국제약바이오협회)



[그림 2] 세계 의약품 시장규모 전망(2015~2024)

자료 : Fitchsolutions(2020)

■ 의약품별 개별물류 방식

- 과거 의약품 콜드체인의 유통방식은 **의약품별 개별물류 방식**
- 특정 온도 내 배송이 필요한 의약품들의 **다양한 보관가능온도를 유지**하기 위함
- 의약품 콜드체인의 수요가 많지 않아 의약품의 **유통기한 내 배송 가능**했음

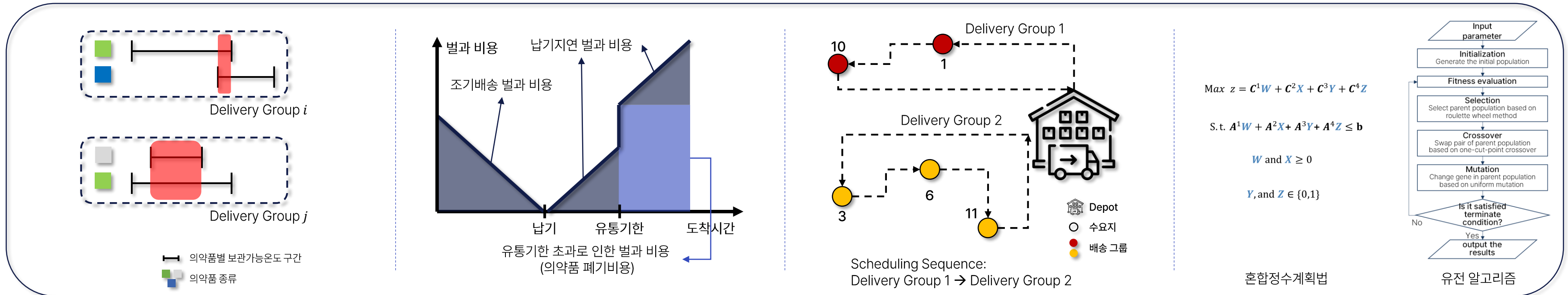
■ 의약품 콜드체인 시장의 급격한 성장과 문제점

- 최근 **COVID-19** 등으로 인한 급격한 성장 [1]
→ 이에 기업에선 **온도조절 특수차량**을 **개발 및 확보** 중 [2], [3]
- 의약품 시장의 수요에 비해 차량 공급이 많이 부족한 상황
→ COVID-19 백신 유통에서 **문제점**이 많이 드러남 [4]
→ ①백신의 **보관가능온도 유지** ②의약품의 **유통기한 내 배송**
- 이는 **기업의 이익**에도 **악영향**

■ 의약품 시장의 성장 전망

- 전 세계 의약품 시장은 **연평균 3~6% 성장**
2025년 **1조6000억 달러** 달성 예측 [5]
- 의약품 배송 방식의 대한 **대안 필요**
- 제한된 수의 온도조절 특수차량의 효율적인 배송을 통해 **기업의 이익**을 **최대화**

의약품 콜드체인의 공동배송 및 OA-TVRSP 제안



■ 배송 그룹 기반 공동배송

- 고유의 보관가능온도 구간이 겹치는 의약품들은 **배송 그룹 형성**
- 온도조절 특수차량은 배송 그룹을 단위로 **공동배송**을 수행
- 온도조절 특수차량은 **최대 적재 용량**이 존재

■ 새로운 벌과 비용 함수와 OA-TVRSP

- 수요지마다 납기가 존재하고 주문한 의약품마다 배송에 의한 이익과 유통기한이 존재
 - ①조기 배송 ②납기 지연 ③유통기한 초과에 의한 **3개의 벌과 비용** 존재
 - ④의약품 배송에 따른 **1개의 이익** 존재
 - 기업은 납기 및 유통기한을 고려하여 **주문 선택**이 가능
- VRSP* 형태의 새로운 OA-TVRSP**을 제안함

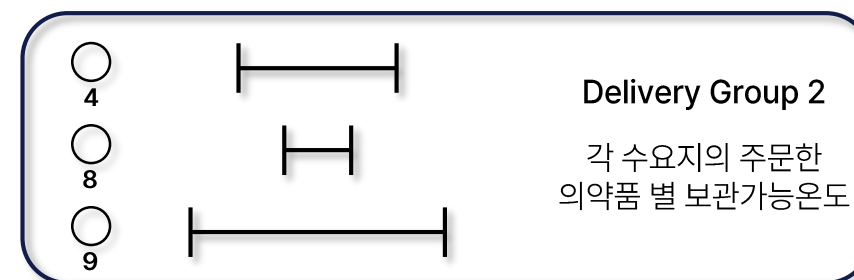
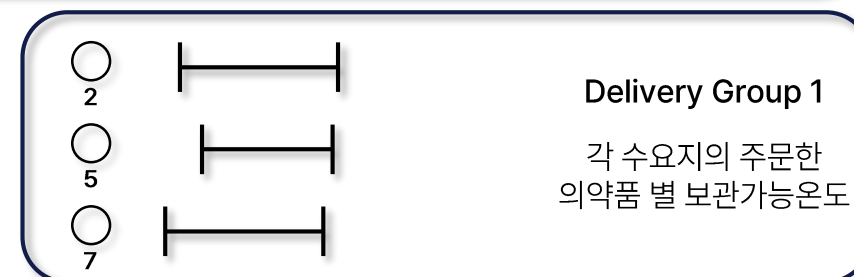
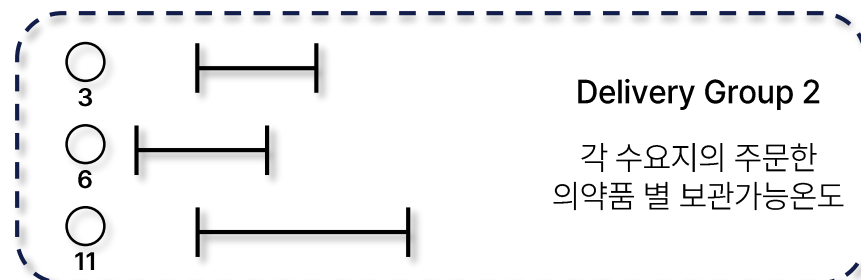
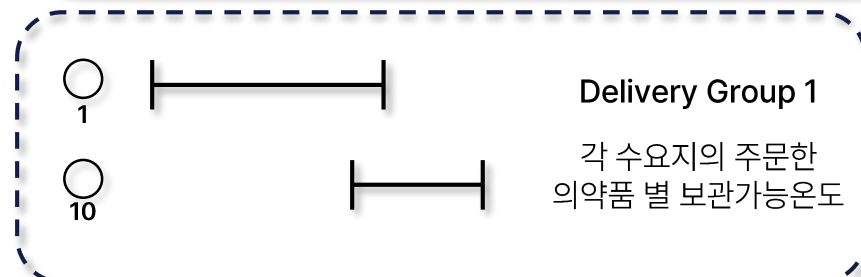
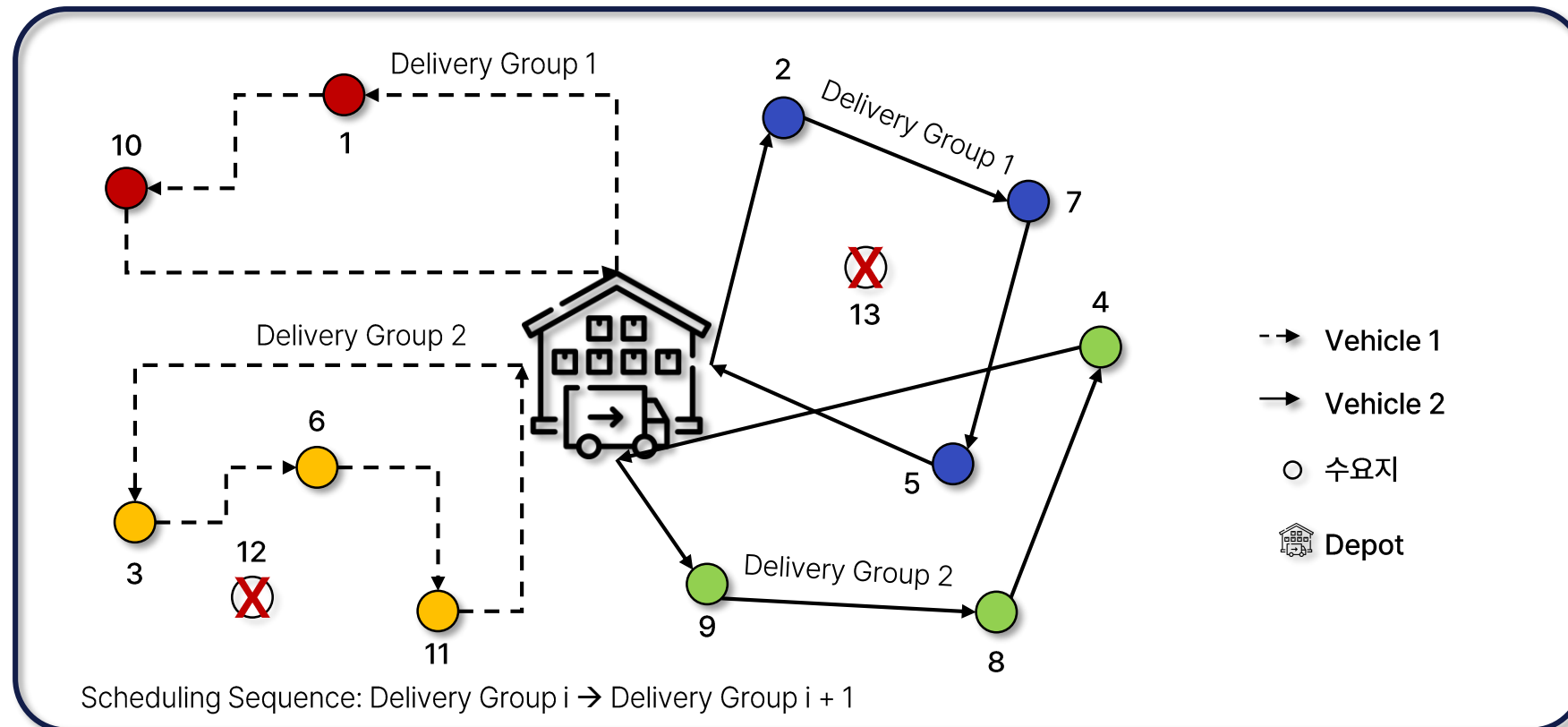
■ 문제해결을 위한 방법론

- 혼합 정수 선형 계획법을 통해 작은 크기 문제의 최적해 탐색
- 유전 알고리즘을 통해 현실적 크기 문제의 효율적인 근사 최적해 탐색

문헌 조사

구분	배송 품목		차량 Compartment		보관가능온도 구간 고려	Time window	시간		데드라인 (유통기한)	배송방식			목적함수
	Order acceptance	단일 품목	다품목	Single	Multi		납기			TSP	VRP	VRSP	
Chen et al. (2019)			✓		✓						✓		Min fixed, travel, driving, and waiting fuel-consumption cost
Liu et al. (2018)		✓		✓							✓		Min distribution and penalty cost
Wang et al. (2017)		✓		✓							✓		Min fixed, transportation, damage, refrigeration, penalty, shortage, and carbon emission cost
Yin et al. (2017)		✓		✓							✓		Min fixed, transportation, penalty, and damage cost
Kanon and Nara (2021)		✓		✓							✓		Min total distance
Chu et al. (2019)		✓		✓							✓		Min fixed, traveling, and cargo damage cost
Deng et al. (2021)			✓	✓							✓		Min fixed, transportation, damage, refrigeration, penalty, and shortage cost
Khan et al. (2020)			✓		✓						✓		Min fixed, transportation, penalty, monitoring, emission, and fuel consumption cost
This	✓		✓	✓		✓		✓	✓			✓	Max total profit Profit = revenue – penalty cost

문제정의



■ 목적함수

- 기업의 이익 최대화
- 이익 = $\sum \{\text{제품을 배달할 때의 수익} - (\text{조기배송} + \text{납기지연} + \text{유통기한 초과}) \text{ 벌과 비용}\}$

■ 의사결정사항

- 수요지의 **주문 선택 유무**
- 주문한 의약품의 보관가능온도를 고려한 **배송 그룹 형성**
- 배송 그룹의 차량 할당**
- 벌과 비용을 최소화하는 배송 그룹내의 **수요지들의 라우팅 (Routing)**
- 벌과 비용을 최소화하는 차량 내의 **배송 그룹들의 일정계획 (Scheduling)**

■ 제약조건

- N개의 수요지에서 각 1개의 의약품 주문이 들어옴
- 기업은 수요지의 납기와 주문한 의약품의 유통기한을 고려하여 주문 선택이 가능함
- 주문한 의약품은 고유의 보관가능온도 구간을 갖고 있으며 용량은 10이라 가정
- 배송 그룹을 형성할 때, 단일 기종 차량의 용량을 초과해선 안되며 의약품들 중 하나라도 보관가능온도 구간이 겹치지 않는다면 배송 그룹을 형성할 수 없음
- 단일 기종 다수 차량은 배송 그룹을 단위로 투어 (Tour) 하고 여러 번 투어가 가능함

혼합 정수 선형 계획법 (MILP: Mixed Integer Linear Programming)

■ Set & Parameters

I	Set of customers
InD	Set of nodes consisting of customers and depot
B	Set of delivery groups
BnD	Set of jobs consisting of delivery groups and depot
V	Set of temperature-controlled vehicles
$T_{iLB,UB}$	Range of storage temperature of medicine ordered by customer $i \in I$
TT_{ij}	Delivery time between node $i \in InD$ and $j \in InD$
R_i	Revenue of medicine ordered by customer $i \in I$
D_i	Due-date of customer $i \in I$
W_i	Expiration-date of medicine ordered by customer $i \in I$
C	Capacity of the temperature-controlled vehicle
M	Large number

■ 의사결정변수

z_i^1	1, if medicine ordered by customer $i \in I$ is accepted; 0, otherwise
z_{ib}^2	1, if medicine ordered by customer $i \in I$ is assigned in delivery group $b \in B$; 0, otherwise
z_{bv}^3	1, if delivery group $b \in B$ is assigned in temperature-controlled vehicle $v \in V$; 0, otherwise
r_{bij}	1, if node $j \in InD$ is immediately visited after node $i \in InD$ in delivery group $b \in B$; 0, otherwise
u_{ib}^I	Routing sequence of node $i \in InD$ in delivery group $b \in B$
s_{vij}	1, if job $j \in BnD$ is immediately scheduled after job $i \in BnD$ in vehicle $v \in V$; 0, otherwise
u_{bv}^B	Scheduling sequence of job $b \in BnD$ in vehicle $v \in V$;
c_i^I	Arrival time of customer $i \in I$
s_b^B	Starting time of delivery group $b \in B$
c_b^B	Completion time of delivery group $b \in B$
w_i	1, if Arrival time of customer $i \in I$ beyond Expiration-date of medicine ordered by customer $i \in I$; 0, otherwise
e_i	Earliness in the delivery medicine ordered by customer $i \in I$
t_i	Tardiness in the delivery medicine ordered by customer $i \in I$

혼합 정수 선형 계획법 (MILP: Mixed Integer Linear Programming)

목적함수

$$\text{Maximize } \sum_{i \in I} (x_i R_i - w_i R_i - e_i - t_i)$$

주문 선택과 배송 그룹 및 차량할당 제약

$$\begin{aligned} (1) \quad & \sum_{b \in B} z_{ib}^2 = z_i^1 & \forall i \in I \\ (2) \quad & \sum_{i \in I} z_{ib}^2 \leq C & \forall b \in B \\ (3) \quad & T_{i1} - M(1 - z_{ib}^2) \leq c_b \leq T_{i2} + M(1 - z_{ib}^2) & \forall b \in B, i \in I \\ (4) \quad & \sum_{v \in V} z_{bv}^3 \leq \sum_{i \in I} z_{ib}^2 & \forall b \in B \\ (5) \quad & z_{ib}^2 \leq \sum_{v \in V} z_{bv}^3 & \forall b \in B, i \in I \\ (6) \quad & \sum_{v \in V} z_{bv}^3 \leq 1 & \forall b \in B \end{aligned}$$

배송 그룹내 차량 경로계획 제약

$$\begin{aligned} (7) \quad & r_{bii} = 0 & \forall b \in B, i \in I \\ (8) \quad & \sum_{j \in InD} r_{bij} \leq 1 & \forall b \in B, i \in InD: i \neq j \\ (9) \quad & \sum_{j \in InD} r_{bji} \leq 1 & \forall b \in B, i \in InD: i \neq j \\ (10) \quad & r_{boi} + \sum_{j \in I} r_{bji} \leq z_{ib}^2 & \forall b \in B, i \in I: i \neq j \\ (11) \quad & r_{bio} + \sum_{j \in I} r_{bij} \leq z_{ib}^2 & \forall b \in B, i \in I: i \neq j \\ (12) \quad & z_{ib}^2 \leq r_{boi} + \sum_{j \in I} r_{bji} & \forall b \in B, i \in I: i \neq j \\ (13) \quad & z_{ib}^2 \leq r_{bio} + \sum_{j \in I} r_{bij} & \forall b \in B, i \in I: i \neq j \\ (14) \quad & u_{ob}^I = 0 & \forall b \in B \\ (15) \quad & u_{ib}^I + r_{bij} \leq u_{jb}^I + M(1 - r_{bij}) & \forall b \in B, i \in InD, j \in I: i \neq j \\ (16) \quad & u_{ib}^I \leq M \sum_{j \in InD} r_{bij} & \forall b \in B, i \in I: i \neq j \\ (17) \quad & u_{ib}^I \leq \sum_{j \in I} z_{jb}^2 & \forall b \in B, i \in InD \end{aligned}$$

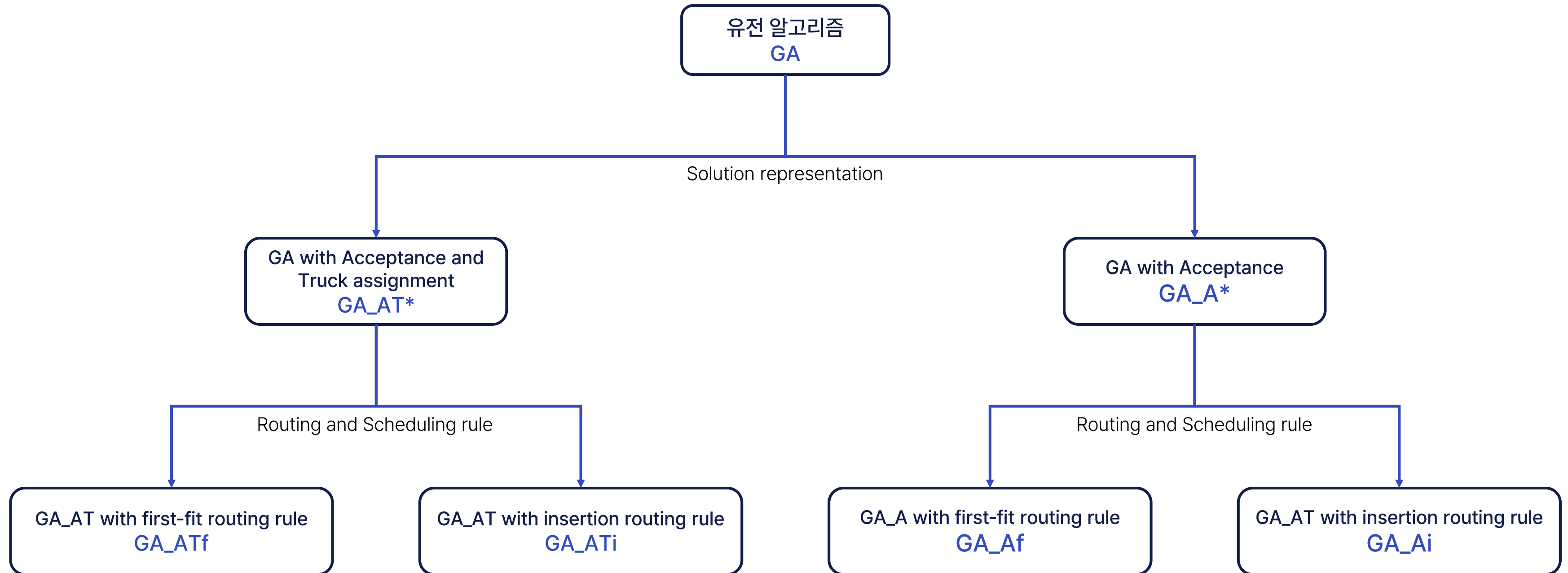
차량내 배송 그룹 일정계획 제약

$$\begin{aligned} (18) \quad & s_{vii} = 0 & \forall v \in V, i \in B \\ (19) \quad & \sum_{j \in BnD} s_{vij} \leq 1 & \forall v \in V, i \in BnD: i \neq j \\ (20) \quad & \sum_{j \in BnD} s_{vji} \leq 1 & \forall v \in V, i \in BnD: i \neq j \\ (21) \quad & s_{v oi} + \sum_{j \in B} s_{vji} \leq z_{iv}^3 & \forall v \in V, i \in B: i \neq j \\ (22) \quad & s_{vio} + \sum_{j \in B} s_{vij} \leq z_{iv}^3 & \forall v \in V, i \in B: i \neq j \\ (23) \quad & z_{iv}^3 \leq s_{v oi} + \sum_{j \in B} s_{vji} & \forall v \in V, i \in B: i \neq j \\ (24) \quad & z_{iv}^3 \leq s_{vio} + \sum_{j \in B} s_{vij} & \forall v \in V, i \in B: i \neq j \\ (25) \quad & u_{ov}^B = 0 & \forall v \in V \\ (26) \quad & u_{iv}^B + s_{vij} \leq u_{jv}^B + M(1 - s_{vij}) & \forall v \in V, i \in BnD, j \in B: i \neq j \\ (27) \quad & u_{iv}^B \leq M \sum_{j \in BnD} s_{vij} & \forall v \in V, i \in B: i \neq j \\ (28) \quad & u_{iv}^B \leq \sum_{j \in B} z_{jv}^3 & \forall v \in V, i \in BnD \end{aligned}$$

유통기한 초과, 조기배송, 납기지연 벌과 비용 제약

$$\begin{aligned} (29) \quad & c_i^B \leq s_j^B + M(1 - s_{vij}) & \forall v \in V, i, j \in B: i \neq j \\ (30) \quad & s_j^B \leq c_i^B + M(1 - s_{vij}) & \forall v \in V, i, j \in B: i \neq j \\ (31) \quad & s_i^B \leq 0 + M(1 - s_{v oi}) & \forall v \in V, i \in B \\ (32) \quad & 0 \leq s_i^B + M(1 - s_{v oi}) & \forall v \in V, i \in B \\ (33) \quad & c_i^I + TT_{ij} \leq c_j^I + M(1 - r_{bij}) & \forall b \in B, i, j \in I: i \neq j \\ (34) \quad & c_j^I \leq c_i^I + TT_{ij} + M(1 - r_{bij}) & \forall b \in B, i, j \in I: i \neq j \\ (35) \quad & s_b^B + TT_{oi} \leq c_i^I + M(1 - r_{boi}) & \forall b \in B, i \in I \\ (36) \quad & c_i^I \leq s_b^B + TT_{oi} + M(1 - r_{boi}) & \forall b \in B, i \in I \\ (37) \quad & c_b^I + TT_{io} \leq c_i^B + M(1 - r_{bio}) & \forall b \in B, i \in I \\ (38) \quad & c_i^B \leq c_b^I + TT_{io} + M(1 - r_{bio}) & \forall b \in B, i \in I \\ (39) \quad & c_i^I \leq Mz_i^1 & \forall i \in I \\ (40) \quad & c_i^I - W_i \leq Mw_i & \forall i \in I \\ (41) \quad & D_i - c_i^I - M(1 - z_i^1) \leq e_i & \forall i \in I \\ (42) \quad & c_i^I - D_i - M(1 - z_i^1) \leq t_i & \forall i \in I \end{aligned}$$

유전 알고리즘 (GA: Genetic Algorithm)



유전 알고리즘 (GA_AT*: Genetic Algorithm with Acceptance and Truck assignment)

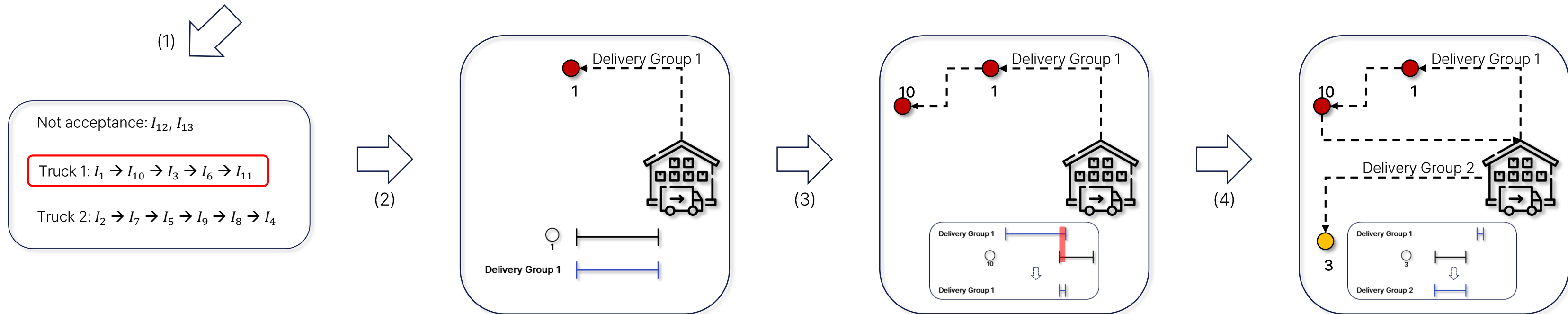
GA_AT*																																																																		
Solution representation	<div><table><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0.15</td><td>0.04</td><td>0.64</td><td>0.88</td><td>0.36</td><td>0.87</td><td>0.14</td><td>0.70</td><td>0.44</td><td>0.54</td><td>0.89</td><td>0.37</td><td>0.84</td></tr></table><div>Decoded solution</div><div>Accepted & Truck assignment Sequence</div><table><tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>2</td><td>7</td><td>1</td><td>5</td><td>12</td><td>9</td><td>10</td><td>3</td><td>8</td><td>13</td><td>6</td><td>4</td><td>11</td></tr></table><div>Encoded solution</div></div>														1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	0	0	0.15	0.04	0.64	0.88	0.36	0.87	0.14	0.70	0.44	0.54	0.89	0.37	0.84	2	2	1	2	0	2	1	1	2	0	1	2	1	2	7	1	5	12	9	10	3	8	13	6	4	11
1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	0	0																																																						
0.15	0.04	0.64	0.88	0.36	0.87	0.14	0.70	0.44	0.54	0.89	0.37	0.84																																																						
2	2	1	2	0	2	1	1	2	0	1	2	1																																																						
2	7	1	5	12	9	10	3	8	13	6	4	11																																																						
Initialize population	<ul style="list-style-type: none">Sized of encoded solution = $2 \times I$1 행 = String array, $\{0, \dots, V \}$2행 = Random-key array, $U(0, 1)$																																																																	
Crossover	<ul style="list-style-type: none">One cut-point crossover for each row																																																																	
Mutation	<ul style="list-style-type: none">Uniform mutation																																																																	
Selection	<ul style="list-style-type: none">Roulette wheel method																																																																	

GA_ATf의 Decoding rule

Acceptance & Truck assignment
Routing sequence

2	2	1	2	0	2	1	1	2	0	1	2	1
2	7	1	5	12	9	10	3	8	13	6	4	11

단, 차량은 2대이며 최대 적재용량은 3이다.



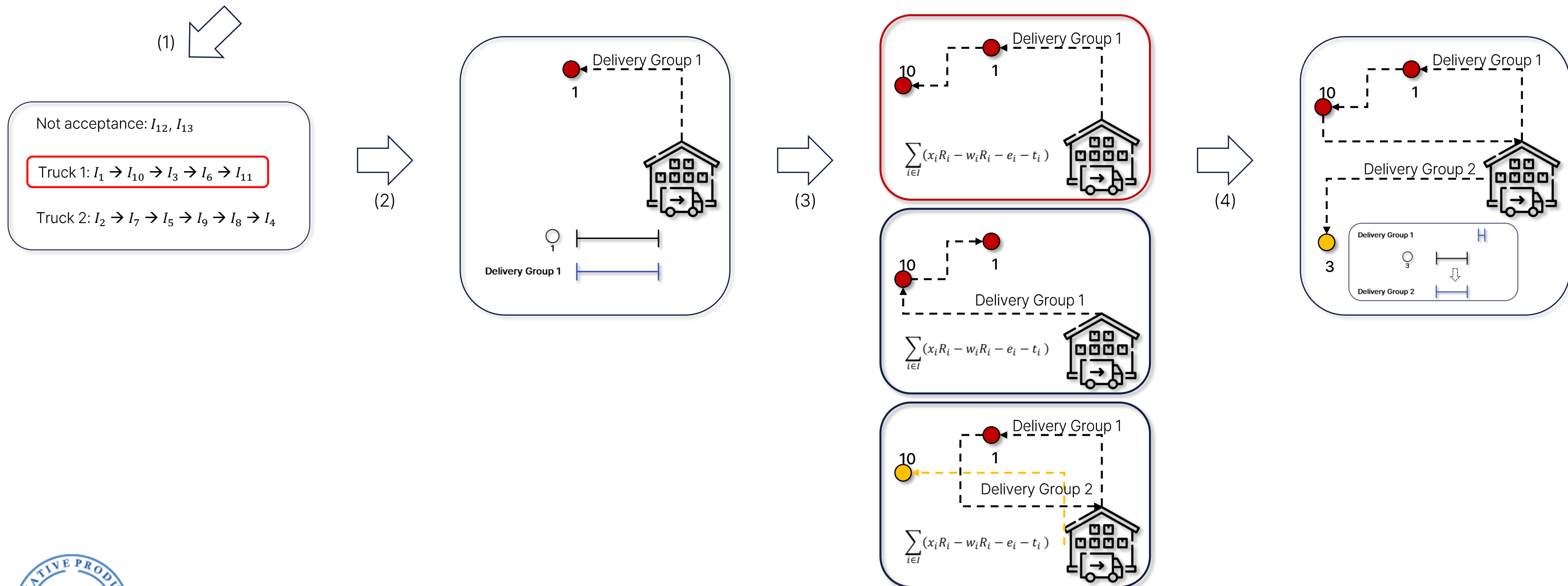
GA_ATi의 Decoding rule

Acceptance & Truck assignment

Routing sequence

2	2	1	2	0	2	1	1	2	0	1	2	1
2	7	1	5	12	9	10	3	8	13	6	4	11

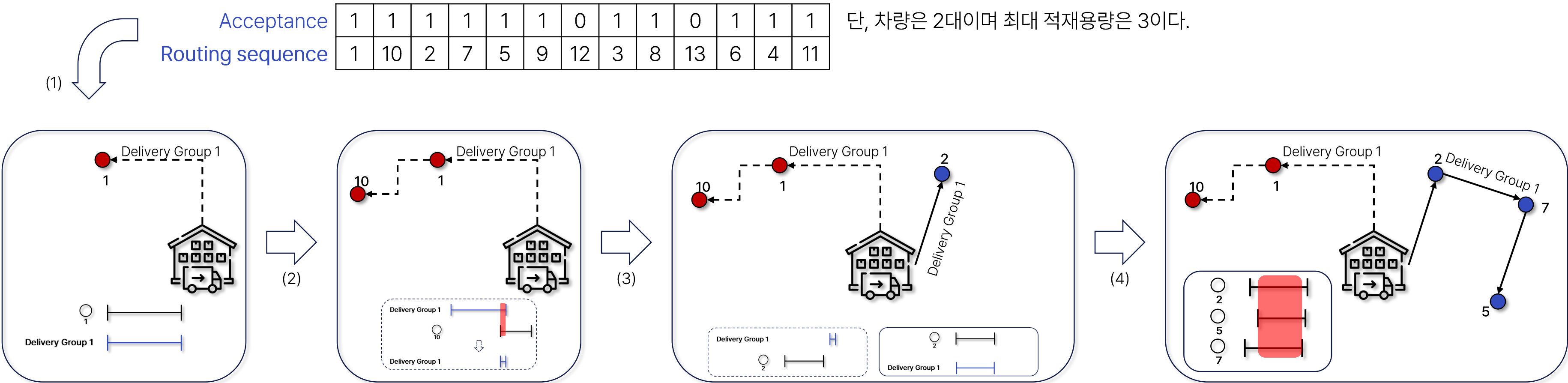
단, 차량은 2대이며 최대 적재용량은 3이다.



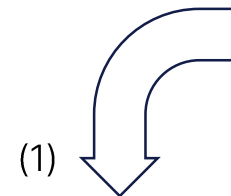
유전 알고리즘 (GA_A*: Genetic Algorithm with Acceptance)

GA_A*																																																																		
Solution representation	<div><table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0.04</td><td>0.15</td><td>0.64</td><td>0.88</td><td>0.37</td><td>0.87</td><td>0.36</td><td>0.70</td><td>0.44</td><td>0.14</td><td>0.89</td><td>0.54</td><td>0.84</td></tr></table><div>Decoded solution</div><div>Accepted Sequence</div><table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>10</td><td>2</td><td>7</td><td>5</td><td>9</td><td>12</td><td>3</td><td>8</td><td>13</td><td>6</td><td>4</td><td>11</td></tr></table><div>Encoded solution</div></div>														1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0.04	0.15	0.64	0.88	0.37	0.87	0.36	0.70	0.44	0.14	0.89	0.54	0.84	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	10	2	7	5	9	12	3	8	13	6	4	11
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0																																																					
	0.04	0.15	0.64	0.88	0.37	0.87	0.36	0.70	0.44	0.14	0.89	0.54	0.84																																																					
	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1																																																					
1	10	2	7	5	9	12	3	8	13	6	4	11																																																						
Initialize population	<ul style="list-style-type: none">Sized of encoded solution = $2 \times I$1 행 = Boolean array, $\{0, 1\}$2행 = Random-key array, $U(0, 1)$																																																																	
Crossover	<ul style="list-style-type: none">One cut-point crossover for each row																																																																	
Mutation	<ul style="list-style-type: none">Uniform mutation																																																																	
Selection	<ul style="list-style-type: none">Roulette wheel method																																																																	

GA_Af의 Decoding rule

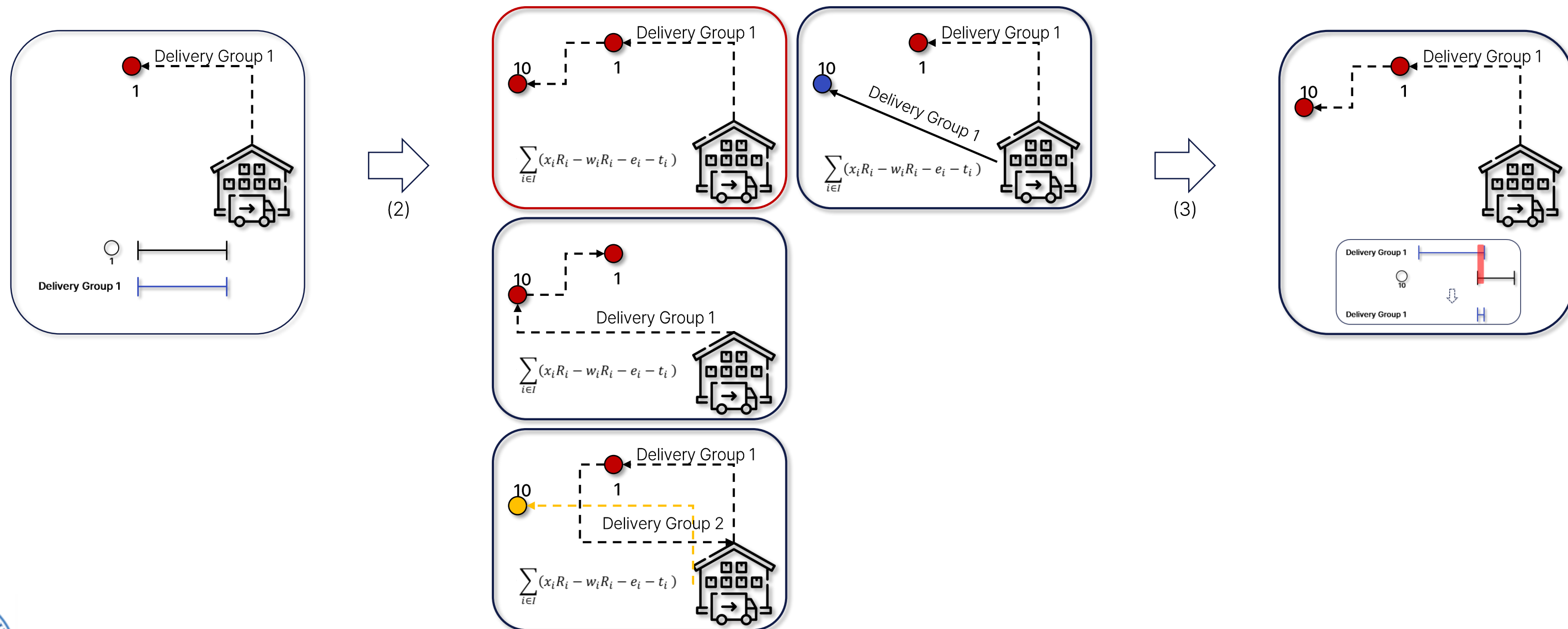


유전 알고리즘 GA_Ai의 Decoding rule

(1)  Acceptance Routing sequence

1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
1	10	2	7	5	9	12	3	8	13	6	4	11

단, 차량은 2대이며 최대 적재용량은 3이다.



실험 계획 (Design of Experiment)

■ 기본 파라미터

- 수요지 수 $|I|$
- 온도조절 특수차량의 수 $|V|$
- 차량의 최대 적재 용량 C
- 배달 시간 TT_{ij}

■ 제시한 문제의 핵심 파라미터

- 의약품 보관가능온도 구간 $[T_{iLB}, T_{iUB}]$
- 납기와 주문한 의약품의 유통기한 시간 구간 $[D_i, W_i]$

	작은 크기 실험	현실적 크기의 실험
$ I $	{6, 7, 8}	{20, 30, 40}
$ V $	{2, 3}	{4, 5, 6}
C	{2, 3}	{5, 6}
TT_{ij}	$\{U(1, 5)\}$	$\{U(1, 5)\}$
$[T_{iLB}, T_{iUB}]$	$\{[U(5, 15), U(5, 15)]\}$	$\{[U(4, 16), U(4, 16)], [U(8, 12), U(8, 12)]\}$
D_i	$\{U(3, 12)\}$	$\{U(1, 30)\}$
W_i	$\{D_i + 3\}$	$\{D_i + 3, D_i + 6\}$
평가 척도	$APD(\%) = \frac{\text{Optimal solution} - \text{GA solution}}{\text{Optimal solution}} \times 100$ $RPD(\%) = \frac{\text{Best solution} - \text{GA solution}}{\text{Best solution}} \times 100$	
실험 환경	MILP는 IBM ILOG CPLEX 12.8.0 프로그램 사용 GA는 PYTHON 프로그램 사용 MILP와 GA는 모두 2.90GHz Intel Core i7-10700F CPU 사양에서 실험	

실험 결과 (Result of Experiment)

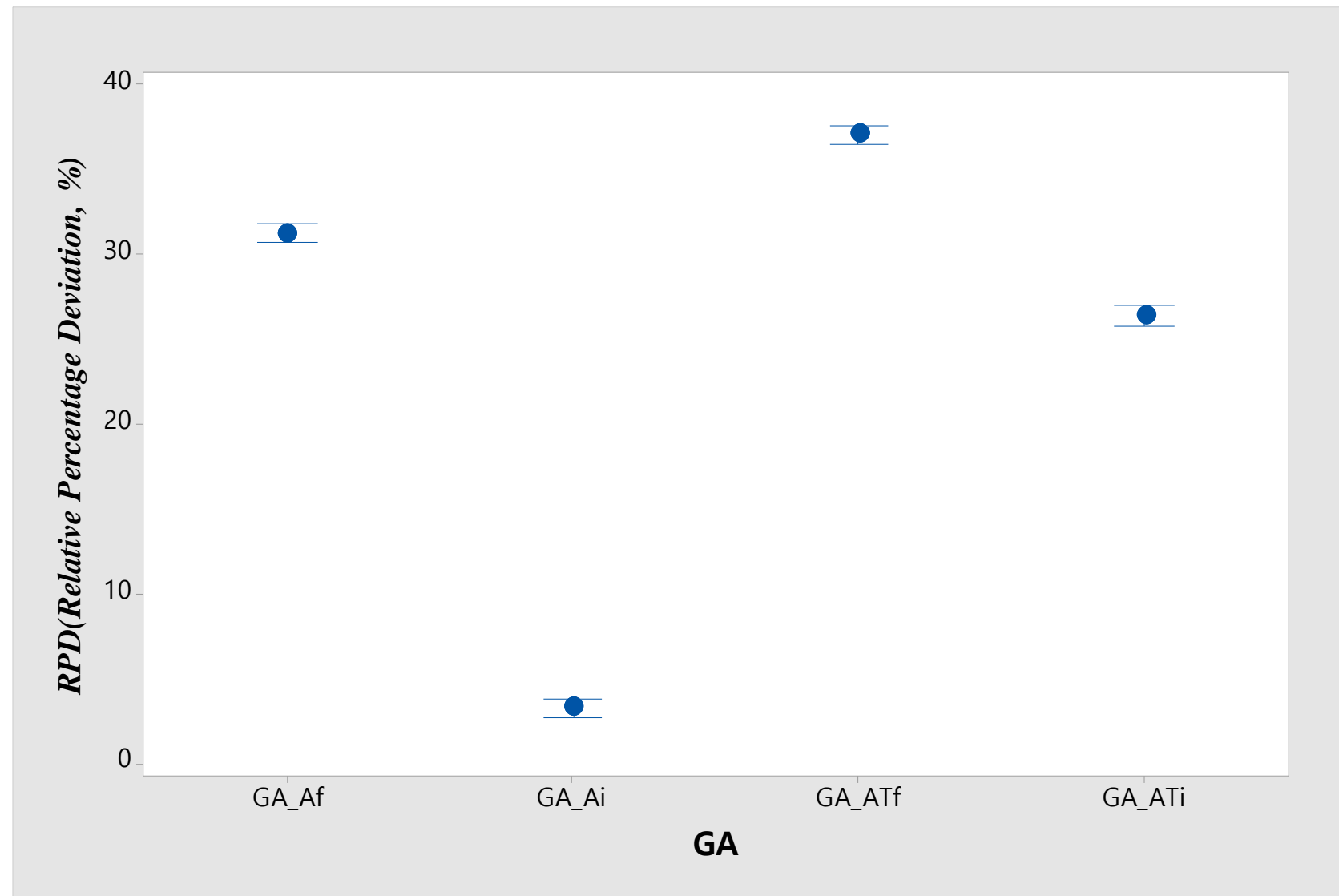
■ 작은 크기 문제의 대한 실험 결과

- Time limit = 3600 sec = 60 min = 1 hour

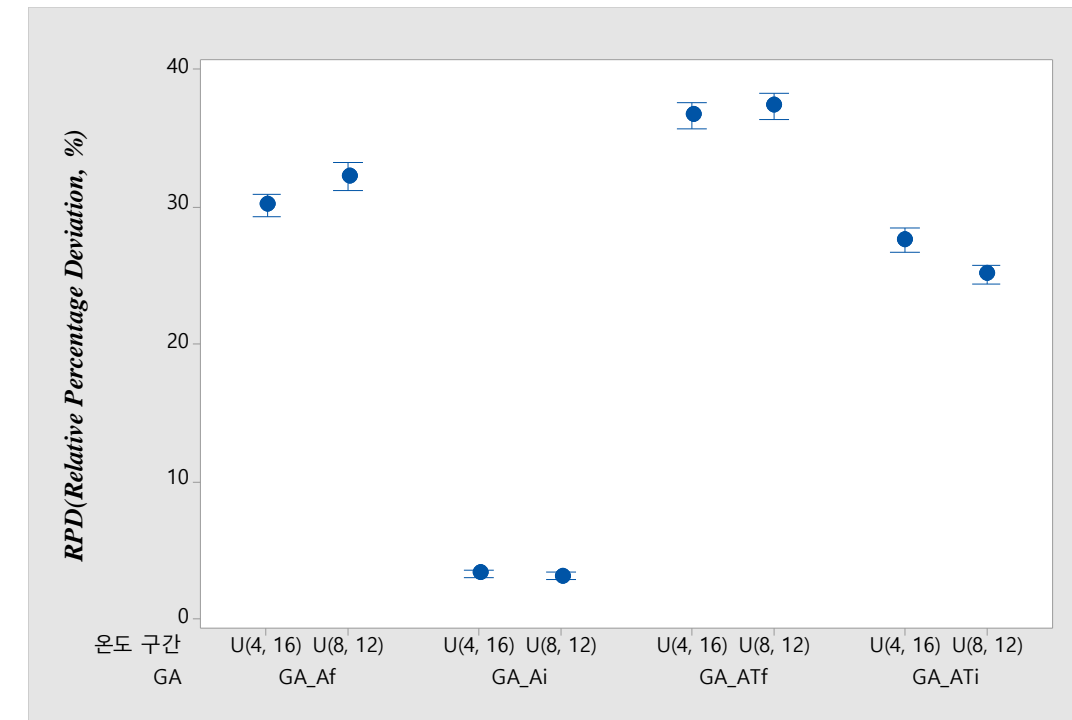
Instance	CPLEX		GA_ATfp		GA_ATbp		GA_Afp		GA_Abp	
	Optimal	CPU time	APD	CPU time	APD	CPU time	APD	CPU time	APD	CPU time
1	27	30.50	7.41	4.36	0.37	4.81	7.41	4.60	0.00	5.68
2	28	34.17	4.64	4.48	0.00	5.08	3.57	4.80	0.00	5.87
3	27	155.69	3.70	4.40	0.00	4.87	3.70	7.08	0.00	5.94
4	28	107.33	4.39	5.24	0.11	5.17	3.57	17.22	0.24	6.11
5	30	3255.49	11.44	13.98	1.00	15.24	13.33	16.41	0.00	20.49
6	32	855.34	8.02	22.09	0.83	8.39	6.25	6.25	0.00	14.07
7	N/A	3600++	-	-	-	-	-	-	-	-
8	N/A	3600++	-	-	-	-	-	-	-	-
9	N/A	3600++	-	-	-	-	-	-	-	-
10	N/A	3600++	-	-	-	-	-	-	-	-
11	N/A	3600++	-	-	-	-	-	-	-	-
12	N/A	3600++	-	-	-	-	-	-	-	-
Avg.	28.67	739.75	6.6	6.39	0.39	7.26	6.31	6.93	0.04	9.69

실험 결과 (Result of Experiment)

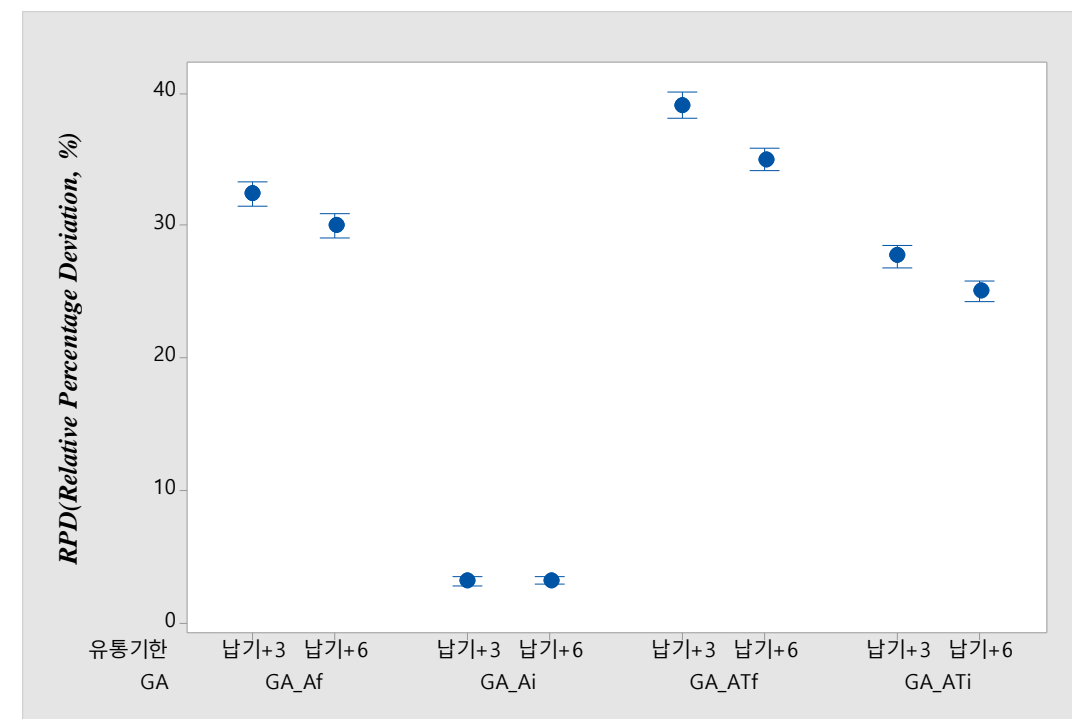
■ 현실적 크기 문제의 대한 실험 결과



RPD에 대한 Mean plot



온도구간에 대한 Mean plot

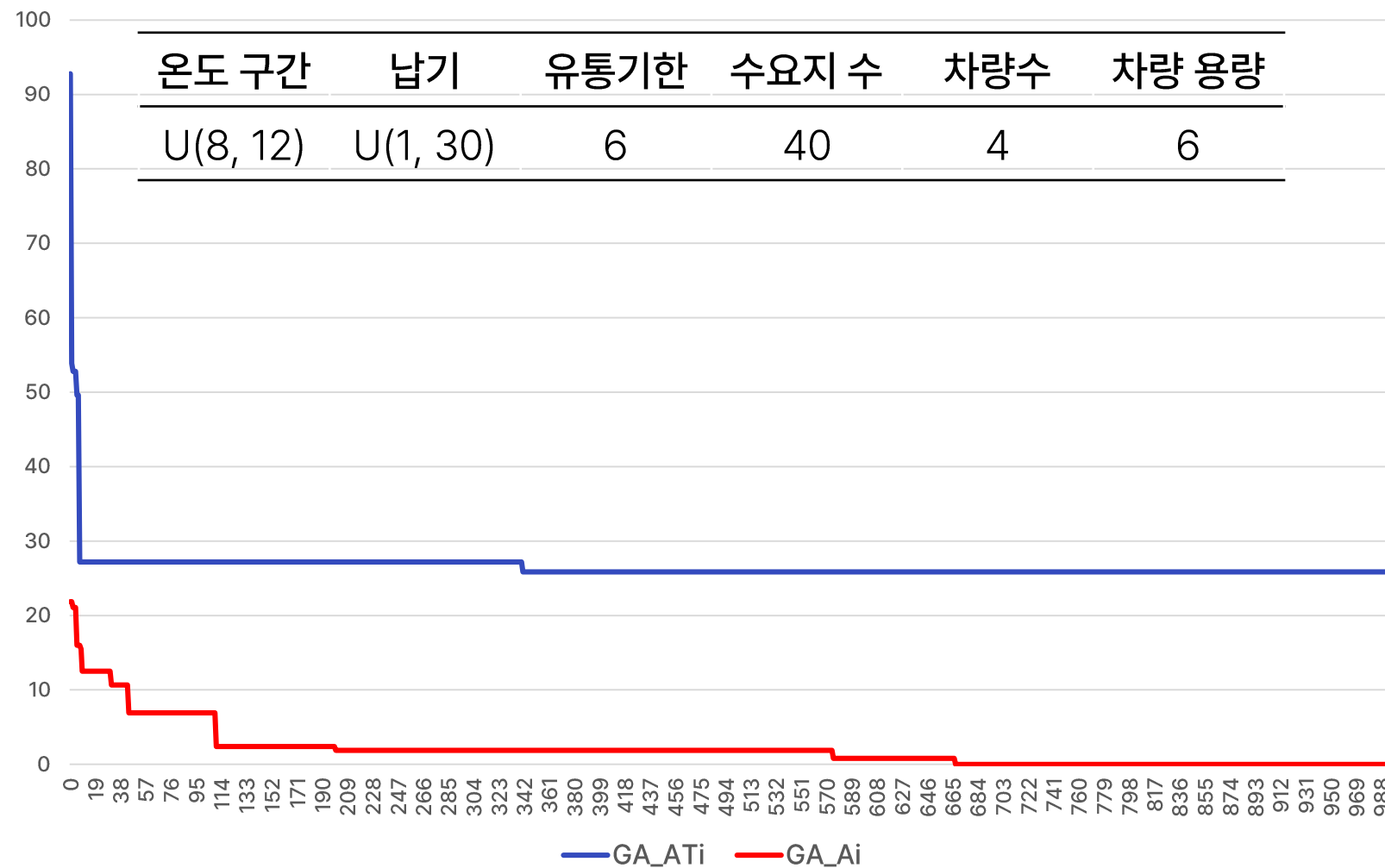


유통기한에 대한 Mean plot

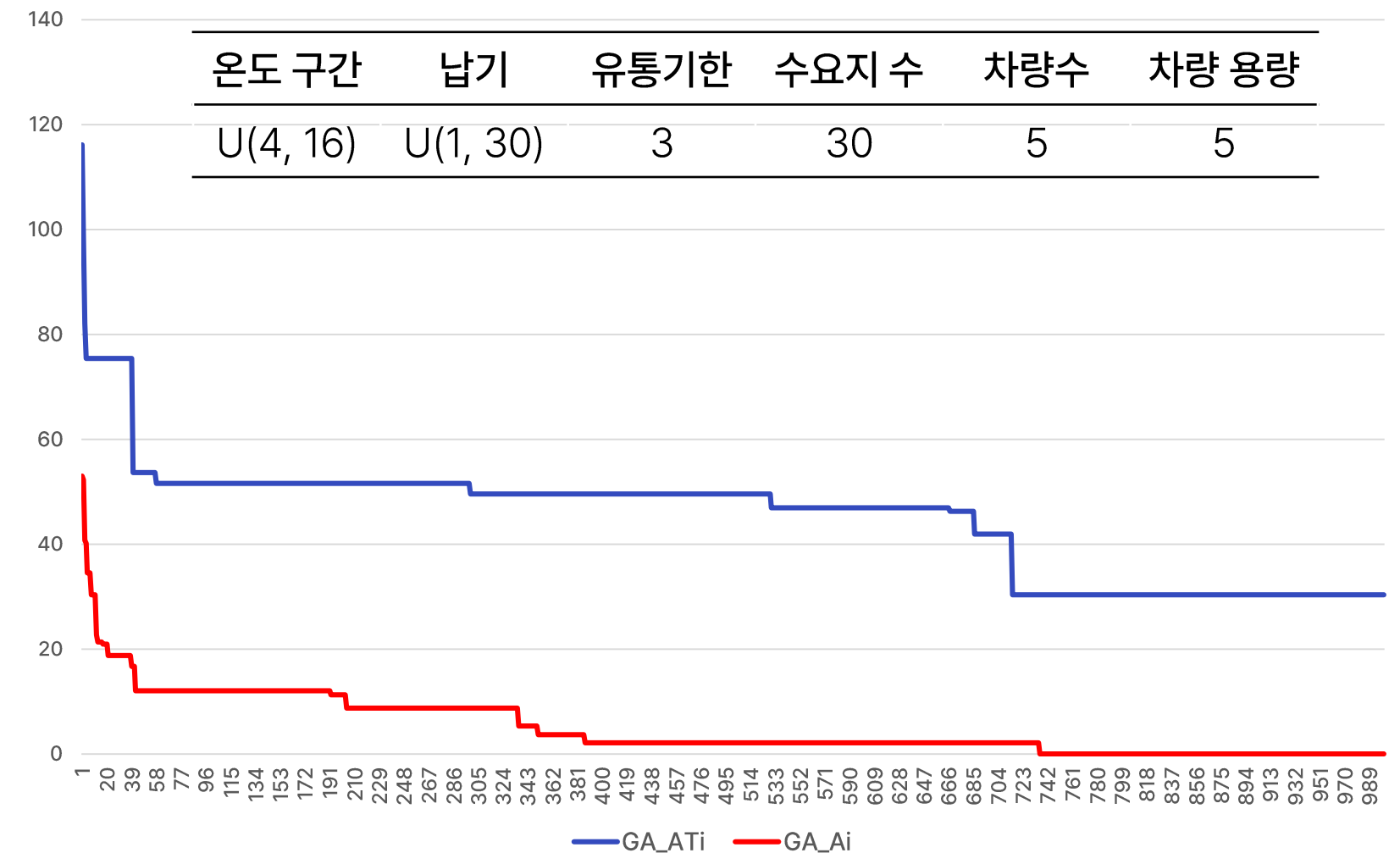
실험 결과 (Result of Experiment)

■ 현실적 크기 문제의 대한 실험 결과

수렴도 실험



수렴도 실험



연구 결론 및 향후 연구 계획

■ 연구 요약

- 주문 선택 여부 및 트럭 할당의 **GA** 적용여부와 경로 및 일정계획 규칙에 따른 **4가지 GA** 모형 제시
- 제시한 알고리즘의 성능을 평가하기위해 알고리즘들의 상대비교 실험 실시

■ 연구 결과

- 제시한 **MILP** 모형은 작은 크기 문제 실험에서 최적해 발견
- 작은 크기 문제 실험에서 **GA_ATi**와 **GA_Ai**가 우수한 성능을 보임
- 현실적 크기의 문제 실험에서는 **GA_Ai**가 통계적으로 유의미한 성능을 보임
- 수렴도 실험을 통해 **GA_Ai**가 빨리 수렴됨을 보여줌

■ 향후 연구 계획

- 현재는 모든 수요지는 하나의 의약품만 주문 가능하다는 제약이 있지만 이는 현실적이지 않음
- 이에 분할 배송 (Split Delivery) 개념 추가하고 각 수요지에서 주문한 의약품을 라벨링하여 한 수요지에서 보관가능온도 구간들이 다양한 의약품들을 주문에 대응할 계획
- 현재 GA_Ai 모형이 해의 성능은 좋지만 CPU time은 다른 GA 모형들 보다 많 좋은 상태임
- 이는 GA_Ai 모형의 경로 및 일정계획 규칙의 시간 복잡도 때문임, 이에 성능은 유지하고 탐색은 효율적으로 하도록 보완할 계획



논문

- (1) Lu Chen (2019), A multi-compartment vehicle routing problem in cold-chain distribution, *Computers & Operations Research*
- (2) Huaqiong Liu (2018), Optimization of cold chain logistics distribution network terminal, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*
- (3) Songyi Wang (2017), Optimization of Vehicle Routing Problem with Time Windows for Cold Chain Logistics Based on Carbon Tax, *Sustainability* 9, no. 5: 694
- (4) Xiao Yin (2017), Routing Optimization in Distribution of Cold Chain Logistics, 2017 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID)
- (5) Kanon Sujaree and Nara Samattapapong (2021), A Hybrid Chemical Based Metaheuristic Approach for a Vaccine Cold Chain Network, *Operations and Supply Chain Management*
- (6) HUAI Chu-xuan, SUN Guo-hua, QU Ran-ran, GAO Zhao, Zhang Ze-hao (2019), Vehicle Routing Problem with Multi-type Vehicles in the Cold Chain Logistics System, *Journal of Industrial Technological & Economics*,
- (7) HONGXING DENG, MENG WANG, YI HU, JINGZE OUYANG, AND BORAN LI (2021), An Improved Distribution Cost Model Considering Various Temperatures and Random Demands: A Case Study of Harbin Cold-Chain Logistics. *IEEE Access*, 9, 105521-105531.
- (8) Khan, A. S., Salah, B., Zimon, D., Ikram, M., Khan, R., & Pruncu, C. I. (2020). A sustainable distribution design for multi-quality multiple-cold-chain products: An integrated inspection strategies approach. *Energies*, 13(24), 6612.

기사

- [1] 콜드체인, 아직 시작에 불과하다
<http://www.hitnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=35548>
- [2] 성백진 (2021), 캐리어냉장, 코로나19 백신 안전 수송용 냉동·냉장 탑재 출시, 냉동공조저널
<http://www.hvacrj.co.kr/news/articleView.html?idxno=20412>
- [3] 강민영 (2021), CJ대한통운 “코로나 백신운송 콜드체인 준비 완료... 전담차량 200대 확보”, 뉴스핌
<https://www.newspim.com/news/view/20210120000404>
- [4] 신창균·이상문 (2021), 화성시, 직원 개인 차량으로 AZ백신 수송... 방역체계 허점 드러내, 중부일보
<http://www.joongboo.com/news/articleView.html?idxno=363481984>
- [5] 김자연 (2021), 세계 제약시장 2025년 1조6000억달러 전망, 의학신문
<http://www.bosa.co.kr/news/articleView.html?idxno=2149728>

