



| LIBERTAS • JUSTITIA • VERITAS |

KOREA UNIVERSITY

물류센터의 최적 입·출하 도크 수 산출에 관한 연구

고려대학교
임현우, 조성원, 이철웅

- 최적의 물류센터 설계를 위해서는 병목이 발생하는 부분을 해결하는 것이 매우 중요하며, 특히 트럭 상·하차 프로세스의 최적화가 필요함.
- 따라서 본 연구에서는 물류센터의 처리량을 극대화할 수 있는 최적의 입·출하 도크 수를 산출함.
- 이를 위해 입하와 출하 트럭을 각각의 입·출하 도크에 할당하고 스케줄링하는 알고리즘을 도출함.
- Case study를 통해 일 평균 화물 처리량이 80만과 100만인 경우에 대해 최적 입·출하 도크 수를 산출함.

▪ Truck Dock Assignment

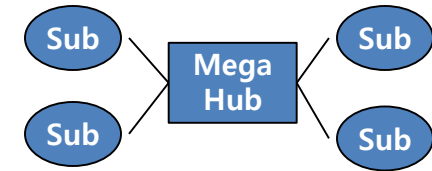
- Andrew Lim et al.(2006)은 트럭 수가 도크 수보다 많을 때, 시간과 용량 제약 하에서 트럭 도크 할당 문제를 연구함.
- Zhaowei Miao et al.(2009)은 트럭 수가 도크 수보다 많을 때, 운영시간 제약 하에서 트럭 도크 할당 문제를 연구함.

▪ Truck Scheduling

- Douglas L. McWilliams(2009)는 트럭 수가 도크 수보다 많을 때, 동적으로 물량 밸런싱을 유지하는 문제를 연구함.
- Nils Boysen et al.(2013)은 출하 스케줄이 결정되어 있을 때 전체 손실 이익을 최소화하는 입하 트럭 스케줄 문제를 연구함.

▪ Hub & Spoke 구조를 만족하기 위한 Mega Hub를 구축함.

- Sub에서 취합한 물량은 권역별 Hub를 거치지 않고 Mega Hub로 바로 운송함.
- Mega Hub에서 분류한 물량은 각각의 목적 Sub로 바로 운송함.
- 본 연구에서는 산간 도서 지역의 Sub를 고려대상에서 제외함.



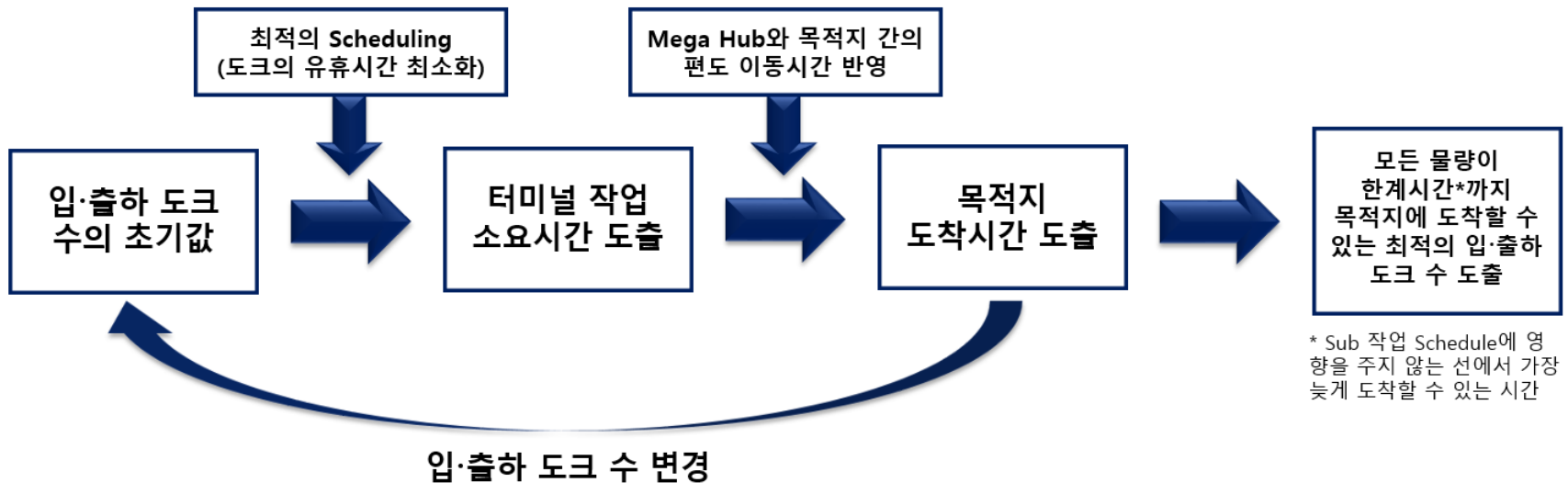
▪ Mega Hub는 수도권과 지방권, 지방권과 지방권 사이의 물량을 환적하는 기능을 함.

- 따라서 수도권에서 수도권으로 향하는 물량을 제외하고 나머지 물량 운송만을 고려함.
 - 1) 수도권 → 지방권
 - 2) 지방권 → 수도권
 - 3) 지방권 → 지방권



- 입하 트럭의 경우 거리가 가까운 터미널일수록 먼저 도착하고, 출하 트럭의 경우 거리가 먼 터미널일수록 먼저 출발하는 것으로 반영함.

연구 절차



■ Notations

• Input

- ▶ I : 전체 입하 트럭 수, i : 각 입하 트럭에 지정된 index
- ▶ J : 전체 출하 트럭 수, j : 각 출하 트럭에 지정된 index
- ▶ M : 전체 입하 도크 수 (**D.V.**) , m : 각 입하 도크에 지정된 index
- ▶ N : 전체 출하 도크 수 (**D.V.**) , n : 각 출하 도크에 지정된 index

- ▶ UD : 1 box를 하차하는데 걸리는 평균 시간 (Sec/box)
- ▶ TT : 물량을 입하 도크에서 출하 도크까지 이송하는데 걸리는 평균 시간 (Sec)
- ▶ LD : 1 box를 상차하는데 걸리는 평균 시간 (Sec/box)
- ▶ t : 전체 작업 시간 (Sec)

- ▶ x_{ij} : i 번째 입하 트럭에서 j 번째 출하 트럭으로 이송되는 물량
- ▶ y_{ij} : x_{ij} 가 0보다 크면 1, 그렇지 않으면 0
- ▶ d_{jn} : j 번째 출하 트럭이 n 번째 출하 도크에 할당되면 1, 그렇지 않으면 0

▪ Notations

• Output

- ▶ ATI_i : i 번째 입하 트럭이 입하 도크에 들어온 시간
- ▶ ID_{im} : m 번째 입하 도크에 i 번째 입하 트럭이 연결되면 1, 그렇지 않으면 0
- ▶ UT_{ij} : i 번째 입하 트럭에서 j 번째 출하 트럭으로 이송되는 물량의 하차가 완료되는 시간
- ▶ FTI_m : m 번째 입하 도크에서 물량 하차가 종료되는 시간

- ▶ ATO_j : j 번째 출하 트럭이 출하 도크에 들어온 시간
- ▶ OD_{jn} : n 번째 출하 도크에 j 번째 출하 트럭이 연결되면 1, 그렇지 않으면 0
- ▶ LT_{ij} : i 번째 입하 트럭에서 j 번째 출하 트럭으로 이송되는 물량의 상차가 시작되는 시간
- ▶ FTO_n : n 번째 출하 도크에서 물량 상차가 종료되는 시간

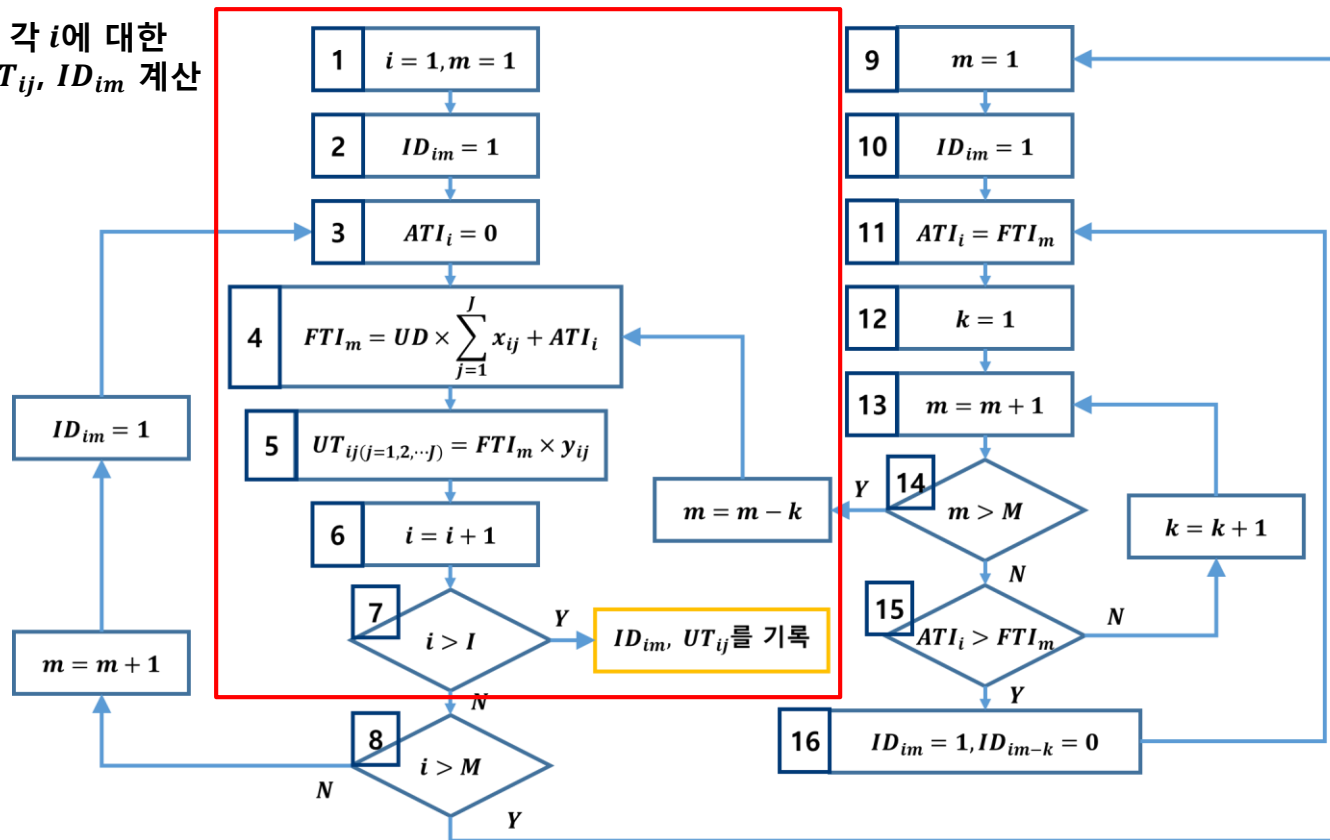
- **출하 도크(n)별로 목적지를 할당하고 출하 도크 수의 초기값을 설정함.**
 - 11ton 트럭을 기준으로 트럭당 1,200 Box를 실을 수 있음.
 - 각 출하 도크에서 트럭당 1,200 Box를 기준으로 t 시간(Sec) 동안 $1/LD$ 의 속도(Box/sec)로 작업한다면 최대 $N = \lfloor t \times 1/LD \div 1,200 \rfloor$ 대 까지 상차할 수 있으므로, 출하 트럭 수가 N 대 이상인 경우에 해당 출하 도크는 단일 목적지를 가짐.
 - 반면, 출하 트럭 수가 N 대 미만인 목적지들 간에는 출하 트럭 간의 Schedule이 균등하도록 목적지 그룹을 구성하여 출하 도크에 할당함.
 - 따라서 초기 출하 도크 수는 목적지별 출하 트럭 수에 따라 결정됨.

- **입하 도크 수의 초기값을 설정함.**
 - 트럭당 1,200 Box를 기준으로 I 대의 입하 트럭을 입하 도크 별로 t 시간(Sec) 동안 $1/UD$ 의 속도(Box/sec)로 작업한다면, 초기 입하 도크 수는 최소 $M = \lceil (1,200 \times I) / (t \times 1/UD) \rceil$ 개가 필요함.

Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

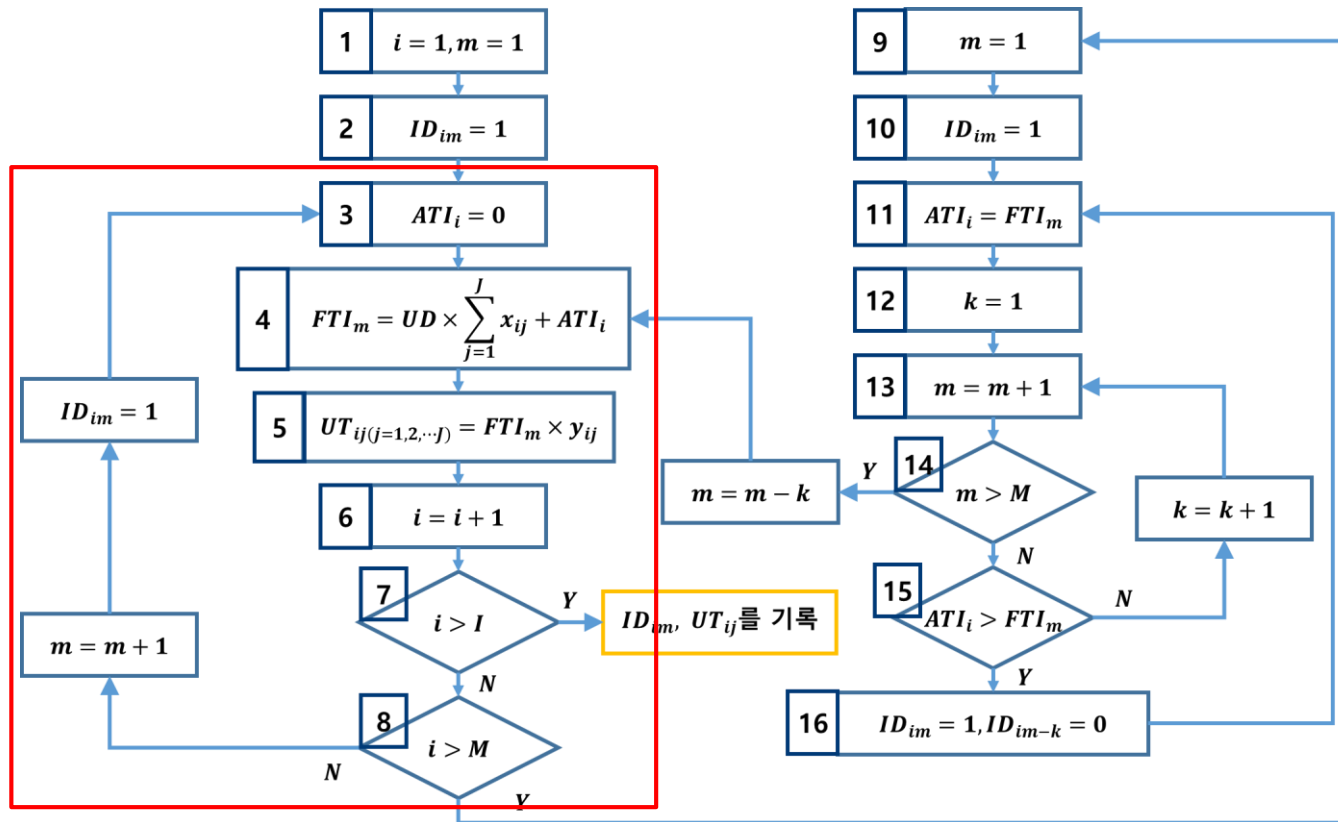
입하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling

각 i 에 대한
 UT_{ij} , ID_{im} 계산

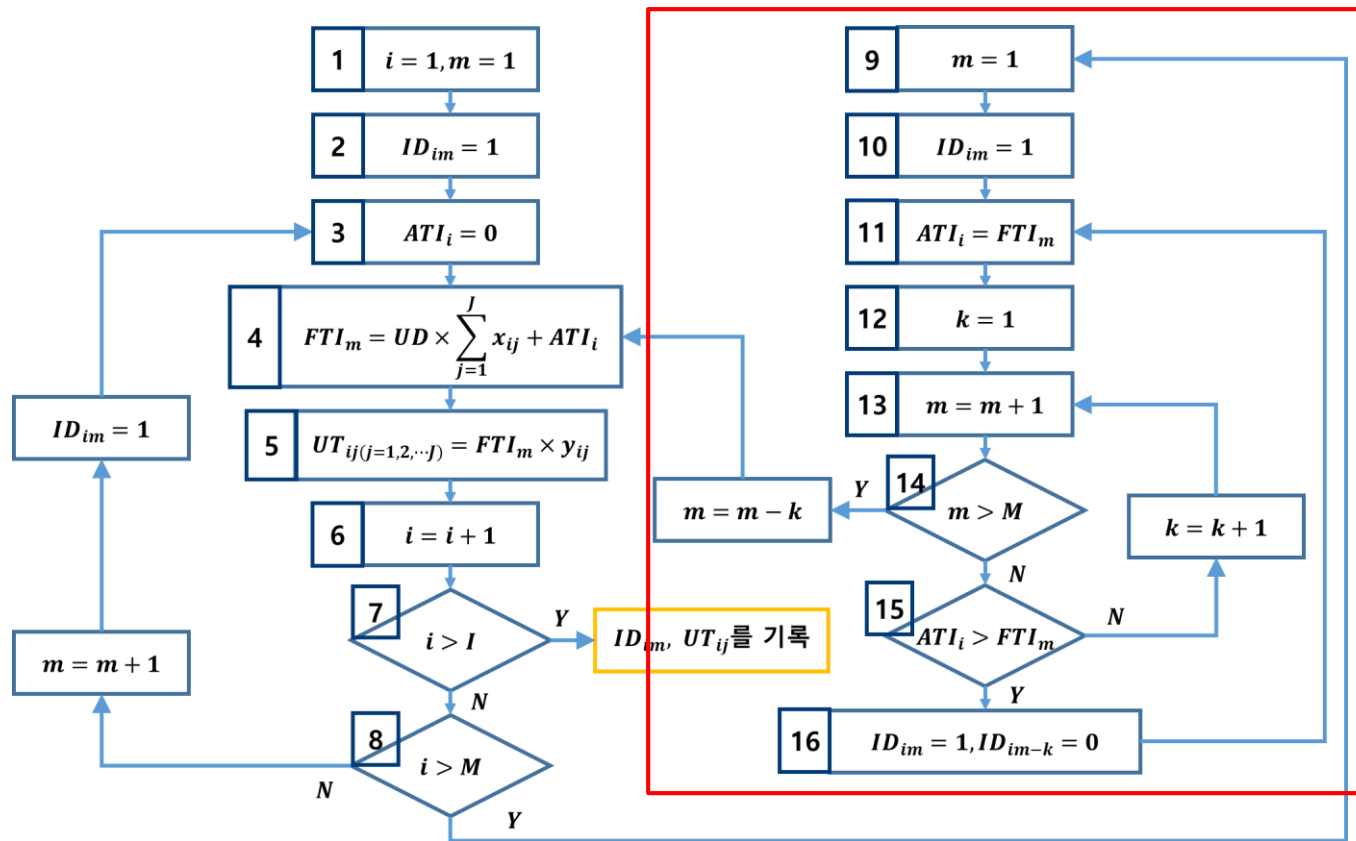


Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

입하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling



입하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling

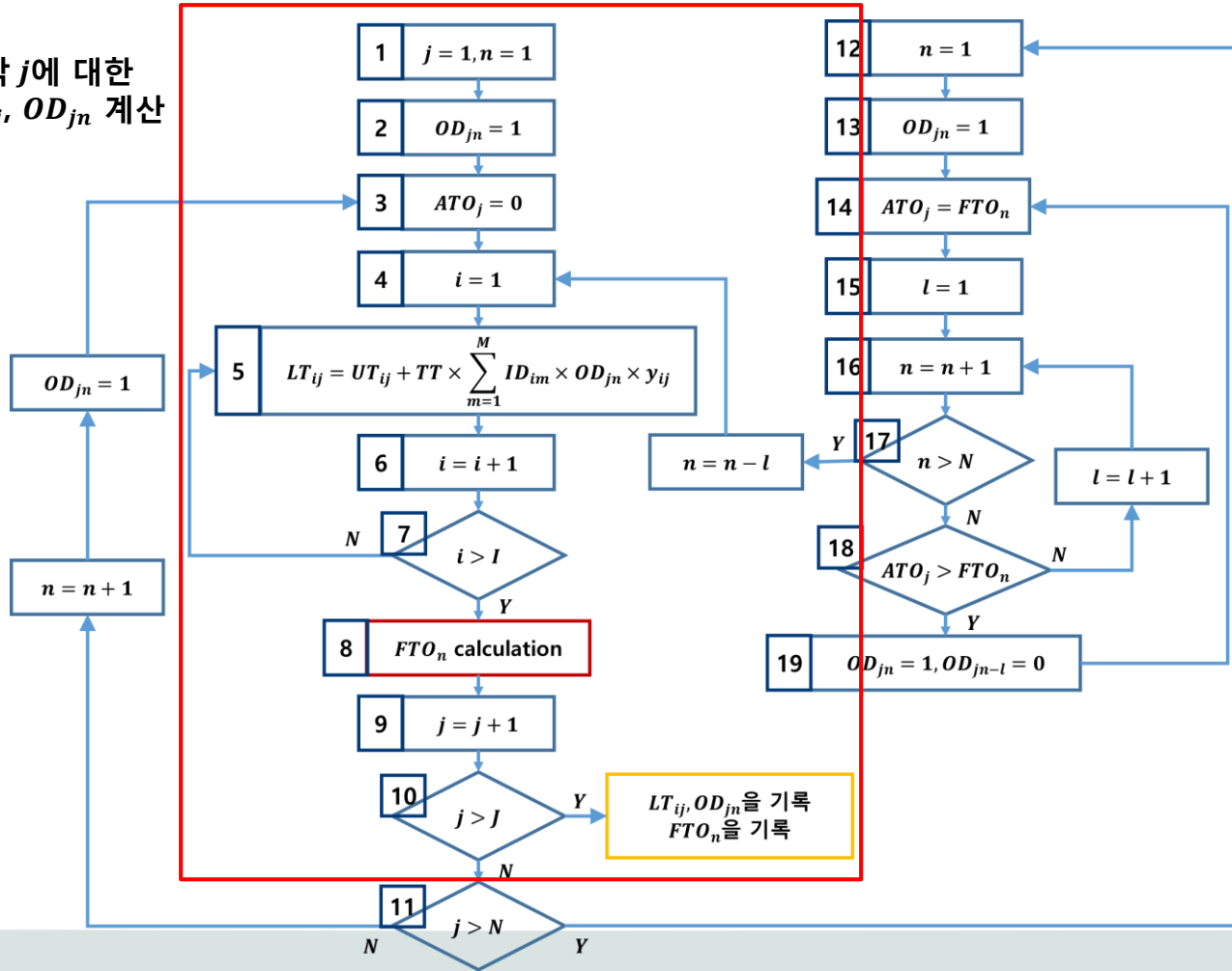


각 i 가 모든 m 에
1차로 할당된 이후,
2차로 각 m 에 대한
 UT_{ij} , ID_{im} 계산

Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

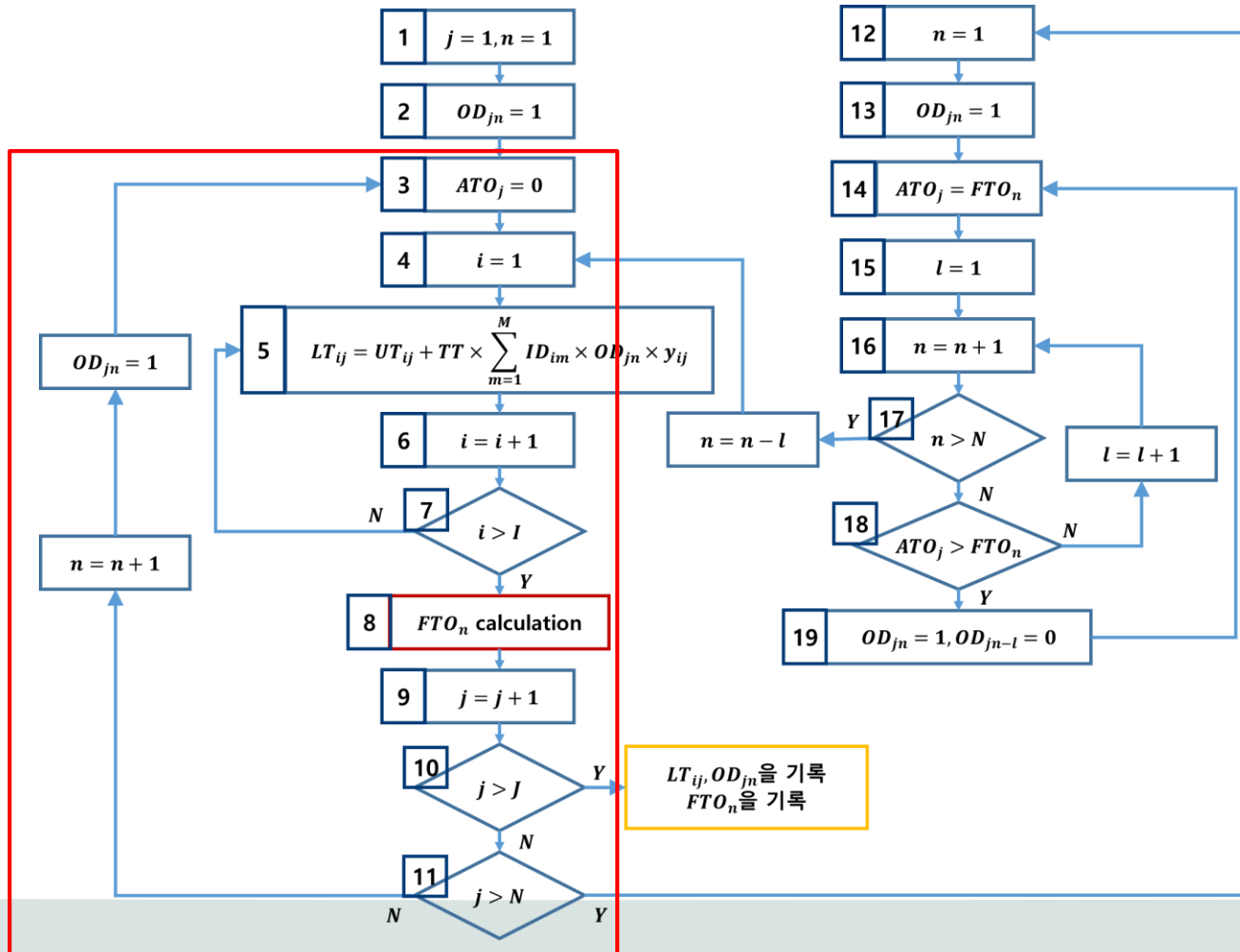
출하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling

각 j 에 대한
 LT_{ij} , OD_{jn} 계산



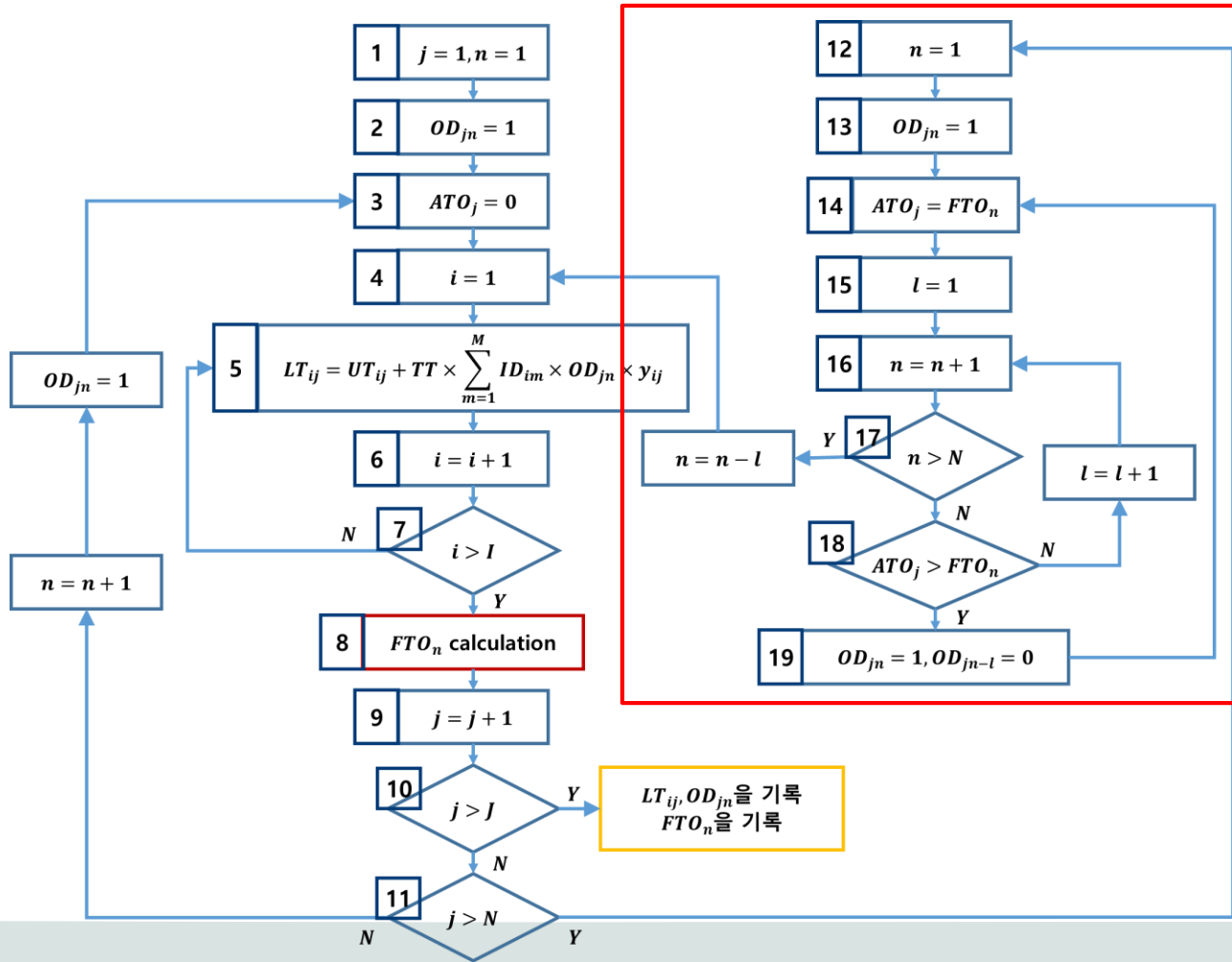
Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

출하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling



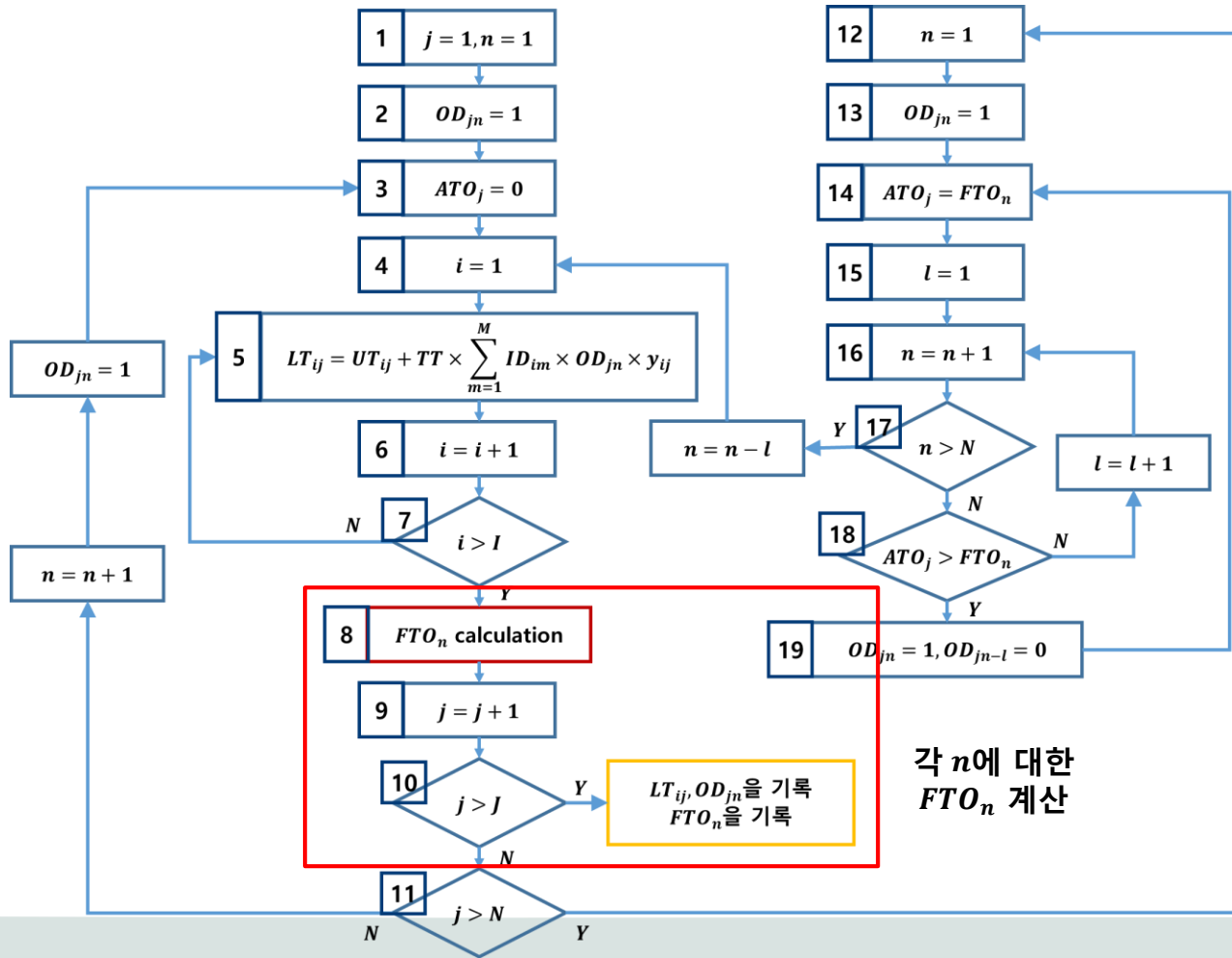
Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

출하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling



각 j 가 모든 n 에
1차로 할당된 이후,
2차로 각 n 에 대한
 LT_{ij}, OD_{jn} 계산

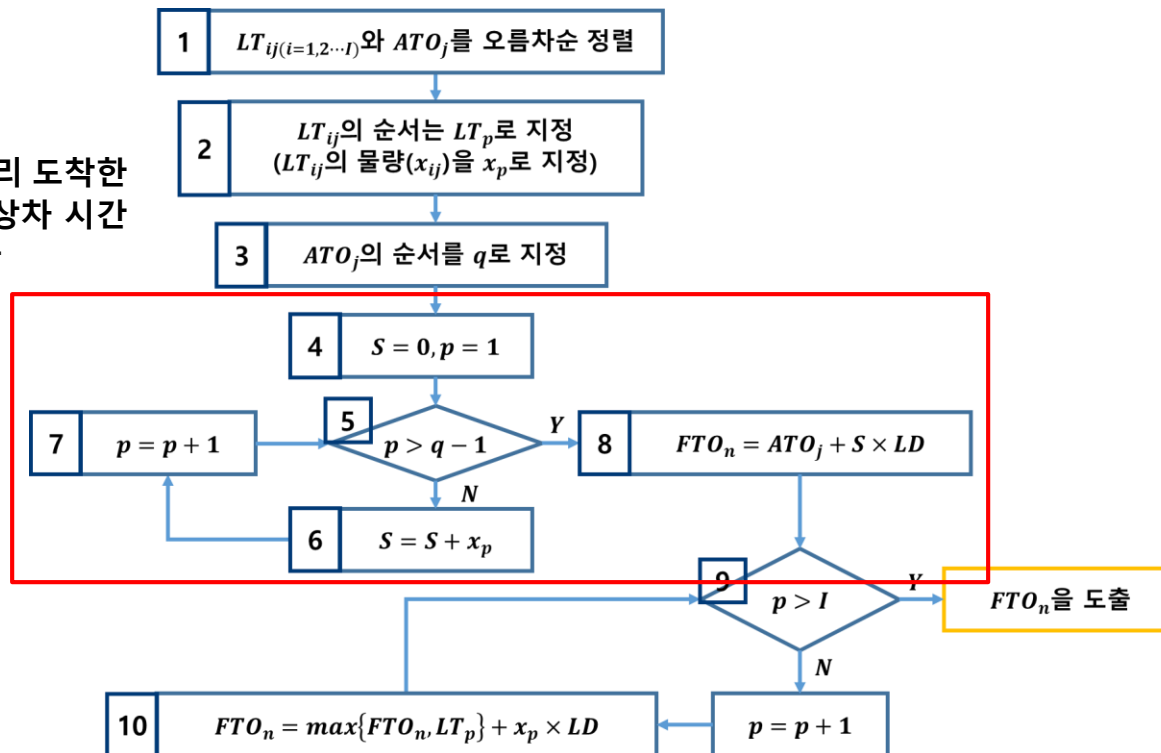
출하 단계에서의 Truck Dock Assignment & Scheduling



Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

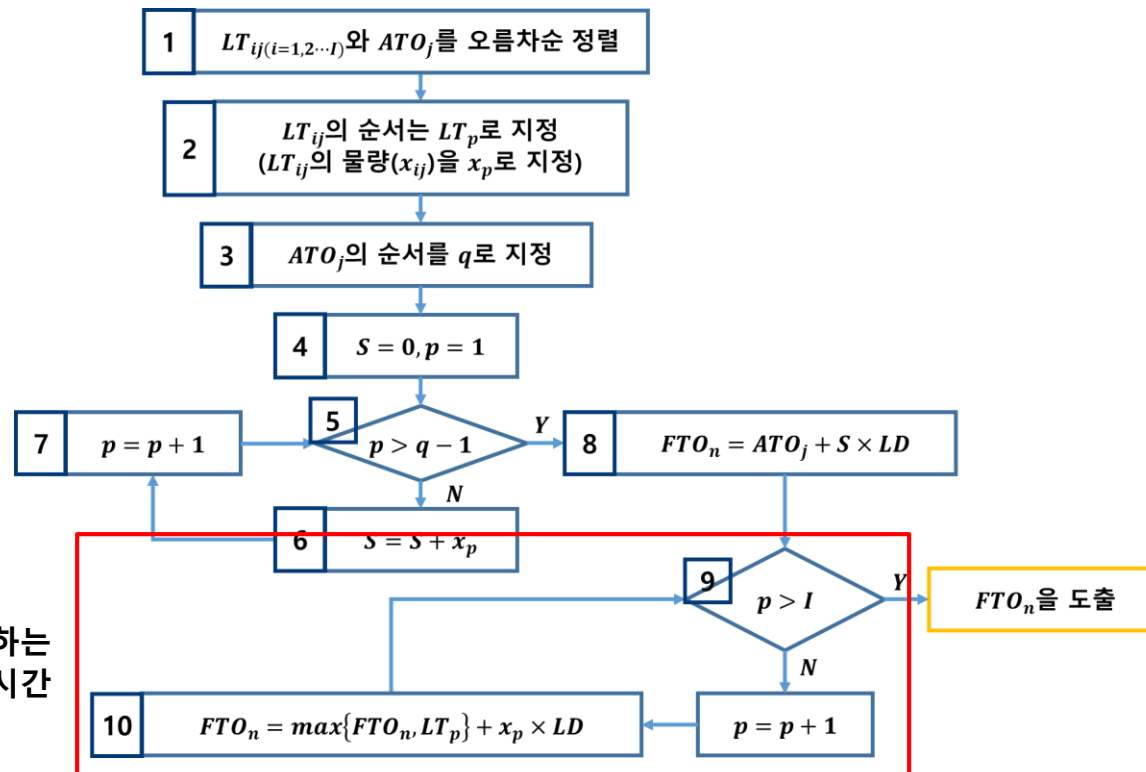
▪ FTO_n Calculation

ATO_j 보다 미리 도착한
 LT_{ij} 의 물량 상차 시간
가산



Truck Dock Assignment & Scheduling Algorithm

▪ FTO_n Calculation



■ 터미널 작업 소요시간 및 목적지 도착시간을 도출함.

- 알고리즘 수행 결과 최종적으로 도출되는 $\max FTO_n$ 값이 전체 터미널 작업 소요시간을 의미함.
- 목적지별 FTO_n 값에 Mega Hub와 해당 목적지 간의 편도 이동시간을 더하여 목적지 도착시간을 도출함.
 - ▶ 만약 모든 물량이 한계시간*까지 목적지에 도착할 수 없다면, $\max FTO_n$ 값에 해당하는 목적지의 출하 도크 수를 1개 늘려 알고리즘을 반복 수행함.
 - ▶ 모든 물량이 한계시간까지 목적지에 도착할 수 있다면, 알고리즘을 종료함.
 - ▶ 따라서 초기 입하 도크 수에 대한 최적의 출하 도크 수를 도출함.

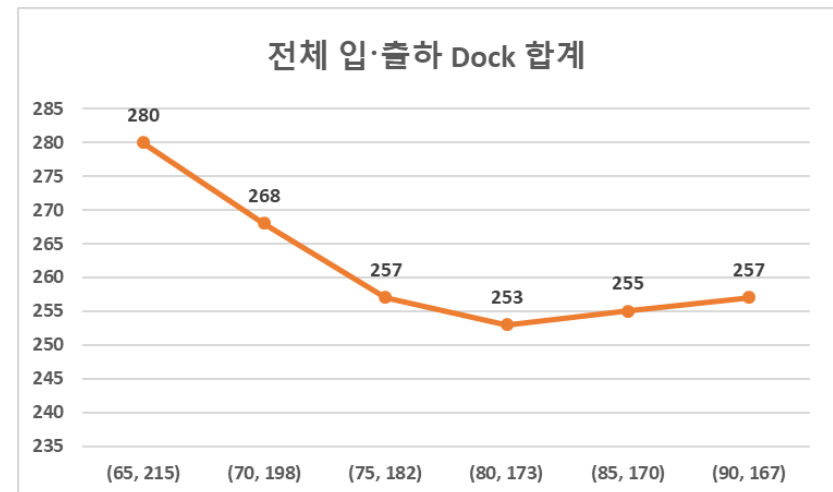
* 한계시간: Sub 작업 Schedule에 영향을 주지 않는 선에서 가장 늦게 도착할 수 있는 시간

■ 최적의 입·출하 도크 수를 결정함.

- 다음 단계로 입하 도크 수를 증가시켜 가면서 알고리즘을 반복 수행하여 각각의 최적 출하 도크 수를 산출함.
- 도크의 비용을 고려하여 전체 입·출하 도크 수가 최소가 되는 입·출하 도크 수 조합을 선택함.

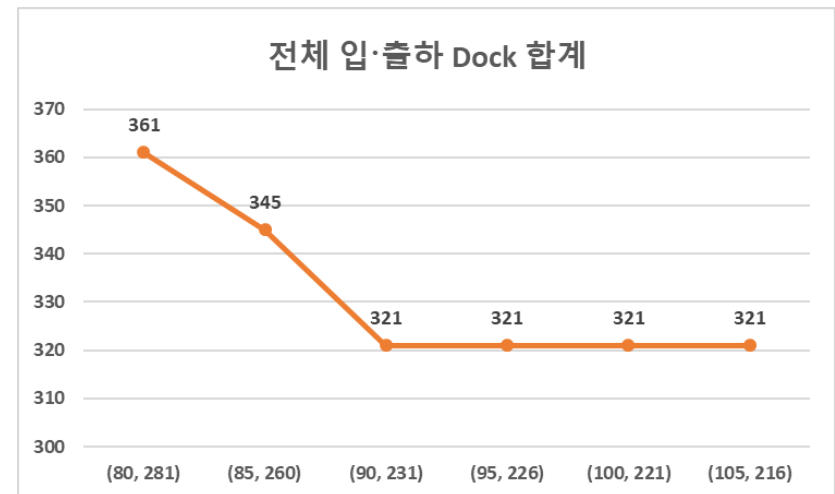
일 평균 화물 처리량 - 80만

입하 Dock 수	출하 Dock 수	전체 Dock 합계	입·출하 비율
65	215	280	1 : 3.31
70	198	268	1 : 2.83
75	182	257	1 : 2.43
80	173	253	1 : 2.16
85	170	255	1 : 2
90	167	257	1 : 1.86



일 평균 화물 처리량 - 100만

입하 Dock 수	출하 Dock 수	전체 Dock 합계	입·출하 비율
80	281	361	1 : 3.51
85	260	345	1 : 3.06
90	231	321	1 : 2.57
95	226	321	1 : 2.38
100	221	321	1 : 2.21
105	216	321	1 : 2.06



- **본 연구에서는 물류센터의 처리량을 극대화할 수 있는 최적의 입·출하 도크 수를 산출함.**
 - (Case 80만) 입하 : 80개, 출하 : 173개
 - (Case 100만) 입하 : 90개, 출하 : 231개

- **이를 위해 도크의 유희시간을 최소화하는 트럭 도크 할당 및 스케줄링 알고리즘을 도출함.**
 - Mega Hub와 목적지 간의 편도 이동시간을 반영하여 목적지 도착시간을 도출함.
 - 모든 물량이 한계시간까지 목적지에 도착할 수 있도록 함.

- **본 연구의 내용은 새로운 물류센터 설계를 위한 표준이 될 수 있을 것으로 기대함.**

1. Andrew Lim et al., "Truck dock assignment problem with time windows and capacity constraint in transshipment network through crossdocks." Computational science and its applications-ICCSA 2006 (2006) pp.688-697.
2. Zhaowei Miao et al., "Truck dock assignment problem with operational time constraint within crossdocks", European Journal of Operational Research, 192 (2009) pp.105-115.
3. Douglas L. McWilliams, "A dynamic load-balancing scheme for the parcel hub-scheduling problem", Computers & Industrial Engineering, 57 (2009) pp.958-962.
4. Nils Boysen et al., "Truck scheduling in cross-docking terminals with fixed outbound departures", OR Spectrum, 35 (2013) pp.479-504.
5. Yiyo Kuo, "Optimizing truck sequencing and truck dock assignment in a cross docking system", Expert Systems with Applications, 40 (2013) pp.5532-5541.