

창고에서의 이송장비 운영정책에 관한 연구

이후연* · 채준재*[†] · 이문수**

*한국항공대학교 항공교통물류학부

**한국기술교육대학교 산업경영학부

A Study of Vehicle Operation Policy in Warehouse

Hue-On Lee* · Jun-Jae Chae*[†] · Moon-Su Lee**

*School of Air Transport, Transportation, and Logistics, Korea Aerospace University

**School of Industrial Management, Korea University of Technology and Education

Controlling industrial vehicle operated by human in warehouse was not simple since the information transfer for controlling the vehicle was not easy. However, as the technology for the WMS (Warehouse Management System) has been advanced and the PDA (Personal Digital Assistant) has come into wide use in a workplace, the control of man-operated vehicle became less difficult as do to AGVS (Automated Guided Vehicle System). This study examines the ways to improve the efficiency of warehouse operation through introducing rule of task assignment for the vehicles, particularly forklift. This study, basically, refer to AGV operation policy because a great number of studies for AGV dispatching rule have been done and the mechanism for the controlling vehicles is very similar. The workers in field prefer to simple dispatching rules such as Shortest Retrieval Time First (SRTF), Shortest Travel Time First (STTF), and Longest Waiting Time First (LWTF). However, these rules have potential disadvantage. Thus, several rules made up by combining rules mentioned above are introduced and these new rules use threshold value or evaluation formula. The effectiveness of these new rules are tested by simulation and the results are compared. This study proposes favorable dispatching rules for forklift in warehouse for the efficiency of the vehicle operation and stability of service level.

Keywords : Vehicle, Dispatching Rule, Threshold Value, Evaluation Formula, Simulation

1. 서 론

지게차의 경우 AGV(Automated Guided Vehicle)와 달리 시스템 상에서의 작업제어가 쉽지 않았다. 그러나 창고관리시스템(Warehouse Management System, WMS)이 발전함에 따라 지게차에 대한 간접적인 작업제어가 용이해졌다. 지게차운전자가 장비하고 있는 단말기를 통하여 작업을 지시함으로써 지게차를 간접적으로 제어할 수 있다. 시스템 상에서의 작업제어는 인력에 의한 비효율을 감소시키고, 화물 흐름을 개선한다. 이러한 발

달은 기존에 AGV에 적용되는 작업할당규칙을 지게차 운영에 응용하는 것을 가능하게 한다.

본 연구에서는 창고에 효율적인 이송장비 운영정책을 도입함으로써 창고의 운영효율을 향상시키는 방안을 제시한다. 단, 연구 대상은 창고에서 가장 많이 사용되는 이송장비인 지게차로 한정하였다. 현재 AGV의 효율적인 운영을 위하여 많은 연구가 진행되어 있는 상황이기 때문에, 이를 최대한 참고한다.

지게차 작업할당 문제를 해결하기 위하여 지게차 이동시간과 화물 대기시간을 함께 고려한 작업할당규칙을

논문접수일 : 2010년 07월 19일 1차수정일 : 2010년 8월 17일 2차수정일 : 2011년 02월 28일 게재확정일 : 2011년 02월 28일

[†] 교신저자 jchae@kau.ac.kr

* 본 연구는 부분적으로 한국기술교육대학교 지역혁신센터(RIC)의 연구비 지원으로 수행되었음.

정의한다. 현장에서는 간단한 형태의 작업할당규칙이 선호되며, 따라서 작업효율만을 고려한 SRTF(Shortest Retrieval Time First), STTF(Shortest Travel Time First)와 대기시간만을 고려한 LWLF(Longest Waiting Load First) 작업할당규칙이 우선적으로 고려될 수 있다. 하지만 이러한 방식들은 적용에 있어서 문제점을 내포하고 있기 때문에, 개선이 요구된다. 따라서 경계값 혹은 평가식을 이용하여 이들 규칙을 혼합함으로써 좀 더 발전된, 다양한 방식의 작업할당규칙을 정의하고자 한다. 시뮬레이션 실험을 통하여 개선된 작업할당규칙들의 적용효과를 각각 비교하고, 시스템에 효율적으로 적용 가능한 작업할당규칙을 선택한다.

제 2장에서는 이송장비 운영정책에 관한 선행연구를 고찰하고, 제 3장에서는 선행연구를 바탕으로 개선된 지게차 운영정책 및 작업할당규칙을 제안한다. 제 4장에서는 시뮬레이션 Tool(AutoMod)을 이용하여 개발된 보세창고 모델을 정의하고, 제 5장에서는 각각의 작업할당규칙을 적용하여 산출된 시뮬레이션 결과값을 분석한다. 제 6장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

2. 선행연구

이송장비 운영정책에 관한 연구는 대부분 AGV를 대상으로 하고 있으며, 직접적으로 지게차와 관련된 연구는 거의 없다. 지게차의 경우 AGV와 달리 작업제어가 쉽지 않았기 때문에 연구의 대상에서 배제되었던 것으로 생각된다. 그러나 WMS의 발전에 힘입어 RF/PDA 단말기를 이용한 지게차에 대한 간접적인 작업제어가 가능하기에 AGV에 적용되는 작업할당 규칙을 지게차 운영에 응용하는 것은 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

AGV 배차규칙에 관한 연구는 제조물류시스템에 있어서 자동화와 함께 지속적으로 연구가 진행되어왔던 분야이다. 자동화기기의 첨단화와 더불어, 이것을 효과적으로 제어하기 위한 제어시스템에 관한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 자동물류시스템에서 운송차량의 역할은 커져가고 있으며, 효율적인 물류운송을 위하여 여러 개의 작업할당알고리즘이 연구되고, 활용되고 있다.

Maxwell and Muckstadt[13]는 AGV 시스템 구축과 관련하여 최적 layout 결정, AGV 차량수 결정, 작업할당규칙(dispatching rule)과 관련된 연구를 진행하였다. 이 연구에서 그들은 작업할당규칙의 목적을 운송차량의 작업시간을 균등하게 유지하는데 두고 있다. Egbelu and Tanchoco[8]는 job shop 기반의 제조물류시스템환경에서 AGV의 작업할당규칙을 연구하였으며, 이를 workstation-initiated-rule과 vehicle-initiated-rule로 분류하였다. Bartholdi III and Platzman[4]는 한 대의 운송차량이 운행되는 단일

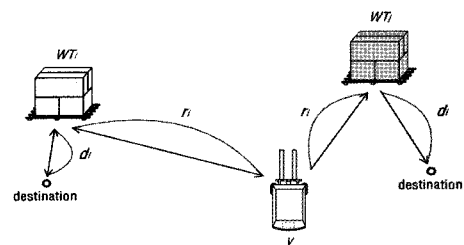
루프 AGV 시스템에서 FEFS(First Encounter First Served) 알고리즘의 우수성을 증명하였다. De Koster, Le-Anh and Meer[7]는 그들의 연구에서 물류센터, 생산공장, 화물터미널의 실제 레이아웃과 데이터를 이용하여 시뮬레이션 모델을 개발하고, 운반차량에 대한 실시간 작업할당규칙들을 적용하였다. Bozer and Yen[6]은 재할당을 허용한 MOD STTF(modified shortest travel time first)와 B2D2(bidding-based dynamic dispatching)라는 2개의 작업할당규칙을 제시하였으며, Kim etc[10]은 큰 규모의 OHT(Overhead hoist transport) 시스템에 재할당을 허용한 작업할당규칙을 적용하여, 이의 효율성을 검증하였다. Bilge and Tanchoco[5]와 Ozden[14]은 복수의 화물을 적재할 수 있는 차량의 작업할당규칙에 관해서 연구했다. 이 외에도 Kim and Tanchoco[11], Akturk and Yilmaz[3], Hwang and Kim[9], Koo and Jang[12] 등이 다양한 환경에서 적용되는 여러 가지 작업할당규칙에 대해서 연구를 진행하였다.

지게차의 작업할당규칙에 관해서는 송권섭 등[1]의 연구가 있는데, 최장대기우선규칙, 최단거리우선규칙, 혼합규칙을 지게차 작업할당에 적용하였으며, 시뮬레이션 실험을 통하여 이들의 적용효과를 비교 검증하였다.

3. 지게차 작업할당 규칙

3.1 Notation

작업할당규칙을 정의하기 위하여 사용되는 기호와 정의는 다음과 같다.



<그림 1> notation

- r_{ij} : 지게차 j 와 화물 i 의 출발지점(pick-up point) 사이의 거리, retrieval distance
- d_i : 화물 i 의 출발지점(pick-up point)과 도착지점(drop-off point) 사이의 거리, delivery distance
- WT_i : 화물 i 의 대기시간
- v_j : 지게차 j 의 이동속도
- θ_r : SRTF(Shortest Retrieval Time First) 규칙에 기반한 경계값(threshold value)

- θ_i : STTF(Shortest Travel Time First) 규칙에 기반한 경계값(threshold value)
- w_d : 지게차 이동거리에 대한 가중치
- w_t : 화물 대기시간에 대한 가중치
- w_θ : 경계값 결정 가중치

3.2 기본규칙

작업할당규칙에 있어서 기본적으로 유휴차량이 1대 이상 존재하는 경우에는 가장 가까운 곳에 위치한 유휴차량이 선택되는 NVF(Nearest Vehicle First) 규칙을 적용한다. 이후 설명하는 작업할당규칙은 유휴차량이 존재하지 않는 경우의 작업할당 규칙에 해당한다.

3.2.1 Shortest Retrieval Time First(SRTF)

SRTF 규칙은 지게차가 현재 위치에서 화물을 Pick-up 하기 위하여 이동하는데 소요되는 Retrieval Time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 것이다. 화물대기시간에 대한 고려가 없기 때문에 LWLF 규칙에 비하여 작업효율측면(이동거리)에서 상대적으로 좋은 값을 가진다. 이 규칙을 식 (1)과 같이 표현한다.

$$\text{Min}_i (r_{ij}/v_j) \tag{1}$$

3.2.2 Shortest Travel Time First(STTF)

STTF 규칙은 Retrieval Time과 Delivery Time을 합한 지게차의 이동시간이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 것이다. 화물대기시간에 대한 고려가 없기 때문에 LWLF 규칙에 비하여 작업효율측면(이동거리)에서 상대적으로 좋은 값을 가진다. 이 규칙을 식 (2)와 같이 표현한다.

$$\text{Min}_i \left(\frac{r_{ij} + d_i}{v_j} \right) \tag{2}$$

3.2.3 Longest Waiting Time First(LWTF)

LWLF 규칙은 가장 대기시간이 긴 화물에 최우선순위를 부여하는 것이다. 차량이동시간에 대한 고려가 없기 때문에 작업효율측면(이동거리)만 놓고 보았을 때 가장 좋지 않은 규칙이라고 할 수 있다. 이 규칙을 아래의 식 (3)과 같이 표현한다.

$$\text{Max}_i WT_i \tag{3}$$

3.3 개선된 작업할당 규칙

앞서 밝혔듯이 본 연구는 기본규칙의 한계를 극복하기 위하여 운반작업시간과 화물대기시간을 함께 고려한 작업

할당 규칙을 제시하고자 한다. 송권섭 등(2009)의 연구에서는 유의한 거리 범위 내에서 최단거리화물을 우선하는 선택하고, 그 외에는 최장대기시간 화물을 우선적으로 처리하는 혼합규칙만을 적용하고 있다. 혼합규칙을 정의하는 다양한 방식이 존재하는 만큼 본 연구에서는 SRTF, STTF, LWLF 규칙을 조합하여 총 10개의 개선된 규칙을 정의한다.

각 규칙에는 1번부터 10번까지의 임시번호를 부여하였으며, 화물대기시간 고려방식(평가식, 경계값)과 거리요인(retrieval distance, travel distance)을 기준으로 이들을 구분한다.

3.3.1 평가식 기반 규칙

이 규칙은 화물의 작업우선순위를 결정하기 위해서 평가값을 산출하고 이를 이용한다. 평가식에 작업시간요인과 화물대기시간 요인을 포함함으로써 작업효율성과 서비스안정화정도를 동시에 고려한다. 또한 이동시간과 대기시간에 가중치를 부여하여, 작업효율 및 서비스안정화정도에 대한 이들의 상대적인 영향력을 고려한다. 가중치 값(w_d, w_t)은 시뮬레이션 연구를 통하여 가장 좋은 값을 나타내는 조합을 선택한다. 평가식 형태와 거리요인에 따라서 4개의 규칙으로 구분한다.

(1) 1번 작업할당규칙

1번 작업할당규칙은 retrieval distance를 거리요인으로 이용한다. retrieval time이 짧고, 화물대기시간이 길수록 작은 값을 가질 수 있도록 식 (4)와 같이 평가식을 구성한다. 평가식을 통하여 산출된 값이 가장 작은 화물에 최우선순위를 부여한다.

$$\text{Min}_i \left(\frac{w_d r_{ij}}{v_j} - w_t WT_i \right) \tag{4}$$

(2) 2번 작업할당규칙

2번 작업할당규칙은 travel distance를 거리요인으로 이용한다. travel time이 짧고, 화물대기시간이 길수록 작은 값을 가질 수 있도록 식 (5)와 같이 평가식을 구성한다. 평가값이 가장 작은 화물에 최우선순위를 부여한다.

$$\text{Min}_i \left(\frac{w_d (r_{ij} + d_i)}{v_j} - w_t WT_i \right) \tag{5}$$

(3) 3번 작업할당규칙

3번 작업할당규칙은 retrieval distance를 거리요인으로 이용한다. retrieval time이 짧고, 화물대기시간이 길수록 작은 값을 가질 수 있도록 식 (6)과 같이 평가식을 구성한다. 이동거리와 화물대기시간에 각각 가중치를 부여할 수 있지만, 평가식의 구조적 특징에 의하여 가중치 값이 의미를 갖지 않는다. 평가값이 가장 작은 화물에 최우선순위를 부여한다.

$$\text{Min}_i \left(\frac{r_{ij}/v_j}{WT_i} \right) \quad (6)$$

(4) 4번 작업할당규칙

4번 작업할당규칙은 거리요인으로서 travel distance를 이용한다. travel time이 짧고, 화물대기시간이 길수록 작은 값을 가질 수 있도록 식 (7)과 같이 평가식을 구성한다. 3번 작업할당규칙과 같이 평가식의 구조적 특징에 의하여 가중치 값이 의미를 갖지 않는다. 평가값이 가장 작은 화물에 최우선순위를 부여한다.

$$\text{Min}_i \left(\frac{(r_{ij} + d_i)/v_j}{WT_i} \right) \quad (7)$$

3.3.2 경계값 기반규칙

이 규칙은 경계값(threshold value) 개념을 이용한 것으로 화물이 일정시간 이상 대기하였을 경우 작업에 대한 우선순위를 부여하는 것으로, 본 연구에서는 De Koster, Le-Anh and Meer[7]에서 제시된 방법을 참고하였다. SRTF 혹은 STTF 규칙을 적용하는 경우의 화물평균대기시간 (Average waiting time, AWT_r , AWT_t)의 배수를 경계값 (threshold value, θ_r , θ_t)으로 설정하며, 배수(w_θ)는 시뮬레이션 결과가 가장 좋은 값으로 결정한다.

$$\begin{aligned} \theta_r &= w_\theta \times AWT_r \\ \theta_t &= w_\theta \times AWT_t \end{aligned}$$

경계값 기반 규칙은 1차 작업선택 기준값(이동거리) 및 2차 작업선택 기준값(이동거리, 대기시간)의 조합에 따라서 6개의 규칙으로 구분한다.

(1) 5번 작업할당규칙

5번 작업할당규칙을 적용하면 우선 경계값 θ_r 을 초과하는 화물의 존재여부를 확인한다. 만약 경계값을 초과하는 화물이 존재하지 않는 경우 retrieval time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 SRTF 규칙을 적용하고, 경계값을 초과하는 화물이 존재하는 경우 이들을 대상으로 retrieval time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 SRTF 규칙을 적용한다.

$$\begin{cases} \text{if } \forall i, WT_i < \theta_r \text{ than } \text{Min}_i (r_{ij}/v_j) \\ \text{else } \text{Min}_i (r_{ij}/v_j), i \in \{i | WT_i \geq \theta_r\} \end{cases} \quad (8)$$

(2) 6번 작업할당규칙

6번 작업할당규칙을 적용하면 우선 경계값 θ_r 을 초과하는 화물의 존재여부를 확인한다. 만약 경계값을 초과하는 화물이 존재하지 않는 경우 retrieval Time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 SRTF 규칙을 적용

하고, 경계값을 초과하는 화물이 존재하는 경우, 이들을 대상으로 travel time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 STTF 규칙을 적용한다.

$$\begin{cases} \text{if } \forall i, WT_i < \theta_r \text{ than } \text{Min}_i (r_{ij}/v_j) \\ \text{else } \text{Min}_i \left(\frac{r_{ij} + d_i}{v_j} \right), i \in \{i | WT_i \geq \theta_r\} \end{cases} \quad (9)$$

(3) 7번 작업할당규칙

7번 작업할당규칙을 적용하면 우선 경계값 θ_r 을 초과하는 화물의 존재여부를 확인한다. 만약 경계값을 초과하는 화물이 존재하지 않는 경우 retrieval time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 SRTF 규칙을 적용하고, 경계값을 초과하는 화물이 존재하는 경우, 이들을 대상으로 화물대기시간이 가장 긴 화물에 최우선순위를 부여하는 LWLF 규칙을 적용한다.

$$\begin{cases} \text{if } \forall i, WT_i < \theta_r \text{ than } \text{Min}_i (r_{ij}/v_j) \\ \text{else } \text{Max}_i WT_i, i \in \{i | WT_i \geq \theta_r\} \end{cases} \quad (10)$$

(4) 8번 작업할당규칙

8번 작업할당규칙을 적용하면 우선 경계값 θ_t 을 초과하는 화물의 존재여부를 확인한다. 만약 경계값을 초과하는 화물이 존재하지 않는 경우 travel time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 STTF 규칙을 적용하고, 경계값을 초과하는 화물이 존재하는 경우 이들을 대상으로 retrieval Time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 SRTF 규칙을 적용한다.

$$\begin{cases} \text{if } \forall i, WT_i < \theta_t \text{ than } \text{Min}_i \left(\frac{r_{ij} + d_i}{v_j} \right) \\ \text{else } \text{Min}_i (r_{ij}/v_j), i \in \{i | WT_i \geq \theta_t\} \end{cases} \quad (11)$$

(5) 9번 작업할당규칙

9번 작업할당규칙을 적용하면 우선 경계값 θ_t 을 초과하는 화물의 존재여부를 확인한다. 경계값을 초과하는 화물이 존재하지 않는 경우 travel time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 STTF 규칙을 적용하고, 경계값을 초과하는 화물이 존재하는 경우, 이들을 대상으로 travel time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 STTF 규칙을 적용한다.

$$\begin{cases} \text{if } \forall i, WT_i < \theta_t \text{ than } \text{Min}_i \left(\frac{r_{ij} + d_i}{v_j} \right) \\ \text{else } \text{Min}_i \left(\frac{r_{ij} + d_i}{v_j} \right), i \in \{i | WT_i \geq \theta_t\} \end{cases} \quad (12)$$

(6) 10번 작업할당규칙

10번 작업할당규칙을 적용하면 우선 경계값 θ_t 을 초과하는 화물의 존재여부를 확인한다. 만약 경계값을 초과하는 화물이 존재하지 않는 경우 travel time이 가장 짧은 화물에 최우선순위를 부여하는 STTF 규칙을 적용하고, 경계값을 초과하는 화물이 존재하는 경우 이들을 대상으로 화물대기시간이 가장 긴 화물에 최우선순위를 부여하는 LWLF 규칙을 적용한다.

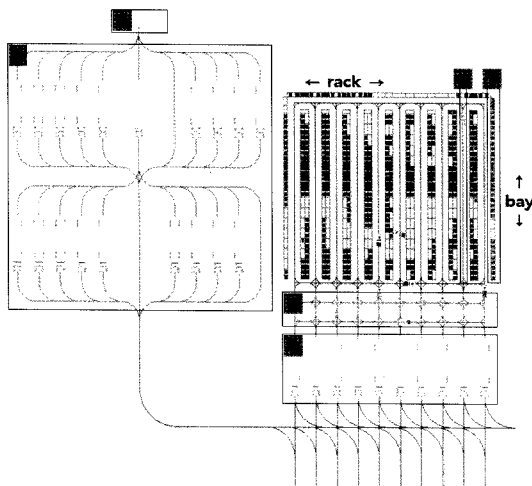
$$\begin{cases} \text{if } \forall i, WT_i < \theta_t \text{ than } \text{Min}_i \left(\frac{r_{ij} + d_i}{v_j} \right) \\ \text{else } \text{Max}_i WT_i, i \in \{i | WT_i \geq \theta_t\} \end{cases} \quad (13)$$

4. 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 시뮬레이션 분석을 위하여 일반적인 형태를 갖추고 있는 창고를 대상으로 모델을 개발하였다. 창고 내에서 화물 이동이 많지 않은 경우에는 작업할당규칙들의 적용 효과를 제대로 확인하기 어렵기 때문에 화물이동작업이 빈번한 피크타임을 대상으로 시뮬레이션 분석을 실시하였다. 하루 중 피크타임은 오전, 오후 2시간씩 4시간정도라고 가정하였다. 창고의 기본적인 형태는 이후인 등[2]의 연구에서 사용되었던 모델을 참고하였으며, 본 연구의 목적에 맞게 변형하였다.

4.1 창고

창고모델은 <그림 2>와 같이 창고 외부의 창고게이트(a), 대기장소(b), 도크(c)와 창고 내부의 하역장(d)과 통로(e), 보관 랙(f)으로 구성된다. 보세창고모델 사이즈는 <표 1>과 같다.



<그림 2> 창고모델

<표 1> 보세창고모델 사이즈

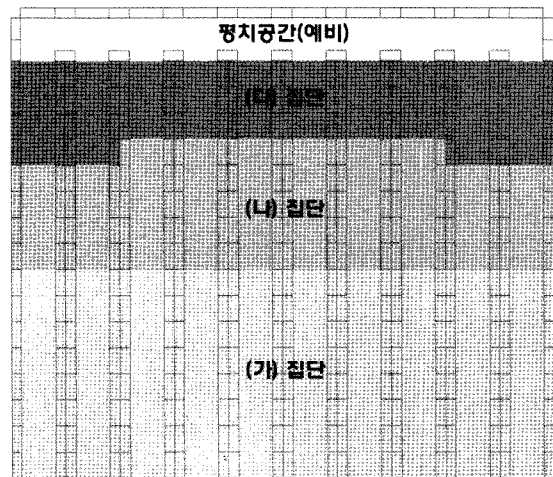
야드	최대 20대 주차
도크	10개
보관공간	2560cell(20rack×16bay×8cell)

본 연구에서는 구역할당방식을 적용하여 보관구역 위치를 할당한다. 보관기간에 따라 화물을 총 3개 집단으로 구분하고, <표 2>와 같이 특징을 정리하였다. 시뮬레이션에서는 피크타임 상황을 가정하며, 하루 중 피크타임의 비중을 고려하여 하루를 4시간으로 가정하였다.

<표 2> 화주집단특성

(가) 집단	보관기간	±4시간(1일÷6)
	물량	70%
(나) 집단	보관기간	±8시간(2일÷6)
	물량	20%
(다) 집단	보관기간	±12시간(3일÷6)
	물량	10%

화주집단의 보관기간과 물량을 고려하여 <표 3>과 같이 각 집단의 보관구역 수를 결정하고, 각 도크에서 보관위치까지의 거리를 고려하여 <그림 3>과 같이 각 집단의 보관구역 위치를 결정하였다.



<그림 3> 화주별 보관구역 위치

<표 3> 보관구역할당비율

보관기간 비율	1(가) : 2(나) : 3(다)
보관물량 비율	7(가) : 2(나) : 1(다)
보관구역 비율	7(가) : 4(나) : 3(다)
보관구역(bay) 수	160(가) : 92(나) : 68(다)

4.2 화물

입출고 차량은 6.00대/hour 비율로 발생하며, 화물차량이 발생하는 시간간격은 지수분포(exponential distribution)를 따른다. 화물차량은 40feet 컨테이너를 가정하고, 화물차량 한 대에는 8, 16, 24, 32, 40 ULD가 적재된다. 적재 화물량은 시뮬레이션의 편의를 위하여 하나의 bay에 장치되는 ULD수(8개)의 배수로 정의하였다. 화물 적재량은 균일분포(uniform distribution)를 따른다. 화물은 무게에 따라 3종(light, normal, heavy)으로 구분하였다.

4.3 지게차

시뮬레이션에서는 다수의 지게차가 다수의 화물차량을 공동으로 처리한다. 화물 종류에 따라서 지게차의 이동속도가 달라지며, 운행속도의 0.9배(light 화물), 0.85배(normal 화물), 0.75배(heavy 화물)로 정의하였다. 지게차의 보유현황 및 특성은 <표 4>와 같다.

<표 4> 지게차 보유현황 및 특성

지게차 보유대수	4대
지게차 운행속도	2.5m/s(가속도 : 0.5m/s)
지게차 하역작업시간	13초
지게차 용량	1 ULD

5. 시뮬레이션 분석

본 연구는 AutoMod 12.1을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였고, 우선적으로 warm-up 분석을 통해 30시간을 전후로 한 창고운영의 안정화를 확인하였다. 따라서 본 실험에서는 warm-up 시간을 48시간(12영업일), sample-time을 480시간(120영업일)으로 설정하고, 알고리즘 별로 랜덤변수를 달리하는 20회 반복실험을 실시했다.

시뮬레이션 결과를 분석하기 위해서 도크 작업시간, 지게차 이용률, 최대 도크 작업시간 지표를 이용한다. 도크 작업시간은 본 연구에서 제시하는 작업할당 알고리즘의 개선정도를 판단하기 위해서 이용한다. 도크 작업시간은 차량 한 대를 처리하는데 소요되는 시간으로, 창고운영효율을 나타내는 대표적인 지표라 할 수 있다. 그러나 도크 작업시간 시간만을 기준으로 개선정도를 판단할 경우 문제가 발생할 수 있다. 특히 본 연구에서는 차량 한 대에 여러 대의 지게차가 할당되어 동시에 작업을 할 수 있으며, 이로 인하여 도크 작업시간이 줄어들 수 있다. 이러한 경우 도크 작업시간이 개선된다고 하더라도 지게차 이용률이 증가하는 문제가 발생한다. 또한 작업효율만을 우선

시 할 경우 대기시간이 과도하게 길어지는 차량들이 발생하는데, 이는 창고의 서비스 수준과 관련이 있으며, 화주의 불만을 증가시키는 원인이 된다. 이러한 것들은 창고운영에 부정적인 영향을 미치기 때문에 개선된 작업할당규칙을 선택하는데 있어서 도크작업시간 이외에도 지게차 이용률과 최대 도크 작업시간을 함께 고려한다.

5.1 기준집단 분석

• FCFS(First Come First Serve)

현재 창고에서 일반적으로 사용되고 있는 작업할당규칙은 FCFS(First Come First Served)이다. 단, 한 대의 지게차가 한 대의 화물차량을 전담하여 입출고 작업을 진행하는 것이 일반적이다. FCFS의 분석결과를 본 연구에서 제시하는 작업할당규칙의 개선정도를 판단하기 위한 기준값으로 이용하며, 그 값은 <표 5>와 같다.

<표 5> 시뮬레이션 결과 - FCFS

도크작업시간	2361.51	sec/대
지게차이용률	75.96	%
최대도크작업시간	6936.20	sec/대

5.2 기본규칙 분석

기본규칙의 시뮬레이션 결과는 <표 6>과 같으며 기본규칙의 장단점이 잘 나타나 있다. SRTF 규칙은 작업효율이 뛰어나지만 최대 도크 작업시간이 너무 길고, LWTF 규칙은 최대 도크 작업시간이 가장 짧지만 지게차 이용률이 너무 높다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하는 작업규칙은 한 대의 차량에 복수의 지게차가 동시에 작업 하는 것을 허용하기 때문에, 지게차 간의 간섭 문제가 발생할 수 있다. 따라서 한 대의 차량에 동시작업 가능한 지게차 대수를 몇 대로 제한하느냐가 중요한 결정사항이 된다. 시뮬레이션 실험의 편의를 위해서 기본규칙의 시뮬레이션 결과에 근거하여 지게차 제한 대수를 결정하였다. <표 6>에서 보면 동시작업 지게차를 2대로 제한할 때 도크 작업시간이 가장 짧으며, 따라서 이 때 작업효율이 가장 좋다고 할 수 있다. 지게차 이용률 측면에서 보면, 동시작업 지게차의 제한 대수가 증가할수록 지게차 이용률이 증가하지만, 이러한 증가율이 작업 효율에는 영향을 미치지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 지게차의 움직임이 증가할수록 지게차 간의 간섭 또한 증가하여, 지게차의 활동시간 중 실제 작업에 투입되지 못하고 손실되는 시간도 함께 증가하기 때문이다. 따라서 지게차 간의 간섭에 영향을 미치는 요인(창고 크기 및 내부 배치 등)에 의해서 가장 효율적인 동시작업 지게차 제한 대수가 달라질 수 있다.

<표 6> 시뮬레이션 결과-기본규칙(동시작업 지게차 대수 고려)

작업할당규칙	SRTF				STTF				LWTF				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
지게차대수제한	2320.81	1925.85	2260.91	2686.70	2455.60	2136.48	2799.50	4214.57	2430.92	2062.34	2979.54	4717.37	sec/대
도크작업시간	73.20	76.58	84.23	90.84	75.58	79.43	86.53	93.34	75.77	80.13	83.62	94.17	%
지게차이용률	13134	16849	20858	27992	33183	53498	132538	162396	6925	6267	7041	9056	sec/대
최대도크작업시간	1.49	5.12	11.03	16.12	1.58	4.86	11.23	16.41	1.59	5.29	11.85	17.32	%
작업능력손실률													

5.3 개선된 작업할당규칙 분석

기개선된 작업할당규칙의 개선정도는 도크 작업시간의 개선율을 우선으로 하여 판단하며, 지게차 이용률과 최대 도크 작업시간을 고려한다. 기본규칙 분석 결과에 따라서 동시작업 지게차는 2대로 제한하였다. 1, 2번 규칙의 경우 가중치 조합을 선택하기 위해서 시간가중치(w_t)를 1로 고정하고, 거리가중치(w_d)를 50부터 500까지, 50단위로 변화를 주어 10개의 가중치 조합을 실험하였다. 5~10번 규칙의 경우 경계값에 대한 가중치(w_θ)를 결정하기 위하여 1~10까지, 1단위로 변화를 주어 10개의 가중치를 실험하였다. 개선된 작업할당 규칙

들의 도크 작업시간, 지게차 이용률, 최대 도크 작업시간 개선율은 <표 7>과 같다. 기준값이 되는 FCFS의 시뮬레이션 결과값과 비교해보면 5번 작업할당규칙의 3번 경계값($w_\theta : 3$)이 20.56%로서 가장 좋은 개선율을 보인다. <표 8>에서 보면 작업효율의 개선정도에 비해서 지게차 이용률과 최대도크작업시간의 증가율(0.13%, 12.38%)도 그렇게 크지 않다. 작업효율이 최우선시 되는 상황이라고 하면 이 규칙이 최선의 선택이 될 것이다. 그렇지만 서비스 수준이 중요시 되는 경우에는 6번 작업할당규칙의 2번 경계값($w_\theta : 2$)이 더 좋은 대안이 될 수도 있다. 6번 규칙은 도크작업시간의 개선율(18.86%)이 5번 규칙보다 낮지만, 최대도크작업시간이 감소하는 장점이 있다.

<표 7> 시뮬레이션 결과-개선된 작업할당규칙(FCFS 대비 개선율)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1번	도크작업시간	16.95	16.95	17.96	16.95	15.13	17.96	18.48	16.95	17.91	15.13
	지게차이용률	-1.28	-1.28	-0.88	-1.28	-1.71	-0.88	-0.91	-1.28	-0.95	-1.71
	최대도크작업시간	-173.67	-173.67	-146.50	-173.67	-186.99	-146.50	-149.11	-173.67	-149.65	-186.99
2번	도크작업시간	11.19	11.19	12.01	11.19	12.26	12.01	11.10	11.19	7.60	12.26
	지게차이용률	-3.65	-3.65	-3.61	-3.65	-3.37	-3.61	-3.79	-3.65	-5.15	-3.37
	최대도크작업시간	-714.73	-714.73	-821.89	-714.73	-754.73	-821.89	-816.15	-714.73	-934.04	-754.73
3번	도크작업시간	12.67									
	지게차이용률	-5.49									
	최대도크작업시간	9.64									
4번	도크작업시간	6.61									
	지게차이용률	-8.38									
	최대도크작업시간	-169.02									
5번	도크작업시간	17.73	17.29	20.56	18.67	19.23	17.84	16.64	17.64	16.81	17.11
	지게차이용률	-2.44	-2.05	-0.13	-0.47	-0.47	-0.87	-1.11	-0.83	-0.99	-1.08
	최대도크작업시간	-22.11	6.17	-12.38	-39.31	-60.84	-87.21	-112.67	-131.81	-150.61	-159.42
6번	도크작업시간	15.16	18.86	19.72	18.17	17.53	17.92	16.62	17.37	16.12	17.29
	지게차이용률	-3.46	-0.97	-0.32	-1.12	-1.09	-1.04	-1.24	-1.09	-1.22	-1.00
	최대도크작업시간	-84.37	5.23	-13.49	-36.81	-62.02	-85.30	-112.52	-131.25	-150.57	-159.41
7번	도크작업시간	13.49	17.89	18.73	17.34	17.82	17.98	16.17	17.71	16.59	17.11
	지게차이용률	-4.03	-1.55	-1.00	-1.28	-0.96	-0.92	-1.38	-0.83	-1.13	-1.08
	최대도크작업시간	14.39	7.10	-15.68	-38.38	-60.55	-87.91	-112.02	-131.78	-150.74	-159.42
8번	도크작업시간	16.36	12.52	9.24	10.27	9.70	9.88	8.70	9.35	11.00	7.75
	지게차이용률	-3.20	-3.84	-4.62	-4.32	-4.67	-4.45	-4.82	-4.41	-4.15	-5.20
	최대도크작업시간	-19.86	-5.64	-32.15	-61.15	-91.62	-118.69	-151.35	-179.63	-207.57	-239.13
9번	도크작업시간	11.23	12.36	12.10	8.33	11.43	9.79	9.60	8.11	10.06	9.34
	지게차이용률	-4.82	-3.53	-3.70	-5.03	-3.92	-4.09	-4.40	-4.91	-4.17	-4.71
	최대도크작업시간	-60.19	-9.92	-33.04	-62.15	-88.65	-117.27	-150.22	-176.95	-206.72	-238.10
10번	도크작업시간	11.31	9.68	9.82	10.95	11.17	11.44	10.35	8.88	10.90	10.33
	지게차이용률	-4.96	-4.92	-4.16	-4.28	-3.83	-3.65	-4.29	-4.44	-3.77	-4.41
	최대도크작업시간	10.45	-5.17	-31.56	-59.31	-91.39	-117.87	-150.58	-179.72	-208.83	-239.68

〈표 8〉 FCFS-개선된 알고리즘 비교

	FCFS	5번 규칙 3번 경계값		6번 규칙 2번 경계값		
		지표값	개선율(%)	지표값	개선율(%)	
도크작업시간	2361.51	1875.93	20.56	1916.33	18.86	sec/대
지게차이용률	75.96	76.06	-0.13	76.70	-0.97	%
최대도크작업시간	6936.20	7794.6	-12.38	6573.1	5.23	sec/대

6. 결론

본 연구에서는 창고에 효율적인 이송장비 운영정책을 도입함으로써 창고의 운영효율을 향상시키는 방안을 제시하였다. SRTF 작업할당규칙을 적용할 경우 작업효율을 향상시킬 수 있지만, 차량의 최대 도크 작업시간이 증가하는 단점이 존재한다. LWTF 작업할당규칙은 차량의 최대 도크 작업시간을 감소시킬 수 있지만, 지게차 이용률이 증가하는 단점이 있다. 각 규칙의 한계를 극복하고자 이들 작업할당규칙을 접목하여 다양한 방식의 작업할당규칙을 정의하였다. 평가식 형태, 가중치 및 경계값 활용 방식, 거리요인을 기준으로 하여 총 10개의 작업할당규칙으로 구분하였다. 이들 규칙을 현재 창고에서 주로 사용되고 있는 FCFS 규칙과 비교하여 개선정도를 확인하였다. 시뮬레이션 결과 도크작업시간을 상당한 수준으로 개선하면서, 지게차 이용률과 최대 도크 작업시간의 증가율이 허용할 수 있는 수준인 작업할당규칙들을 발견할 수 있었다.

전반적으로 retrieval time 및 경계값 기반 규칙이 더 나은 효율성을 가지고 있는 것으로 판단되며, 실제 창고운영에 적용하더라도 충분한 개선 효과를 보일 것으로 기대된다. 다만 개선 효과를 높이기 위해서는 경계값과 가중치를 결정하는 방식이 개선되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 송권섭, 이후연, 채준재; “항공화물 보세창고의 화물 저장법과 이송 장비 운영의 효율성 개선”, 산업경영시스템학회지, 32(1) : 44-51, 2009.
- [2] 이후연, 송권섭, 채준재; “보세창고에서의 체류시간 기반 트럭 도크 할당 알고리즘”, 로지스틱스연구, 18(1) : 2010.
- [3] Akturk, M. S. and Yilmaz, H.; “Scheduling of Automated Guided Vehicle in a Decision Making Hierarchy,” *International journal of Production Research*, 34(2) : 577-591, 1996.
- [4] Bartholdi, III, John, J. and Platzman, Loren, K.; “Decentralized Control of Automated Guided Vehicles on a Simple Loop,” *IIE Transactions*, 21(1) : 76-81, 1989.
- [5] Bilge, Ümit and Tanchoco, J. M. A.; “AGV Systems with Multi-load-carriers : Basic Issue and Potential Benefits,” *Journal of Manufacturing Systems*, 16(3) : 159-174, 1997.
- [6] Bozer, Yavuz, A. and Yen, Chihkuan; “Intelligent Dispatching Rules for Trip-based Material Handling System,” *Journal of Manufacturing Systems*, 15(4) : 226-239, 1996.
- [7] De Koster, Rene B. M., Tuan Le-Ahn, and Robert van der Meer; “Testing and classifying vehicle dispatching rules in three real-world settings,” *Journal of Operations Management*, 22 : 369-386, 2004.
- [8] Egbelu, Pius J. and Tanchoco, Jose M. A.; “Characterization of Automated Guided Vehicle Dispatching Rules,” *International journal of production research*, 22(3) : 359-374, 1984
- [9] Hwang, Hark and Kim, Sang Hwi; “Development of Dispatching Rules for Automated Guided Vehicle System,” *Journal of Manufacturing Systems*, 17(2) : 137-143, 1998.
- [10] Kim, B., Oh, S., Shin, J., Jung, M., Chae, J., and Lee, S.; “Effectiveness of vehicle reassignment in a large scale overhead hoist transport system,” *International journal of production research*, 45(4) : 789-802, 2007.
- [11] Kim, C. W. and Tanchoco, J. M. A.; “Conflict-free Shortest-time Bidirectional AGV Routing,” *International journal of Production Research*, 29(12) : 2377-2391, 1992.
- [12] Koo, yung-hoi and Jang, Jeajin; “Vehicle Travel Time Models for AGV Systems under Various Dispatching Rules,” *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14(3) : 249-261, 2002.
- [13] Maxwell, W. L. and Muckstadt, J. A.; “Design of Automatic Guided Vehicle Systems,” *IIE Transactions*, 14(2) : 114-124, 1982.
- [14] Ozden, M.; “A Simulation Study of Multiple-load-carrying Automated Guided Vehicle in a Flexible Manufacturing System,” *International journal of production research*, 26(8) : 1353-1366, 1988.