한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회
2003년 5월 16일-17일 한동대학교(포항)

냉장창고설비의 픽킹 및 재 보충설비계획문제의 연구

A Study on Refrigerate Warehouse Facility Performance Planning for Picking and Replenishing Facility Using Simulation Method

황 흥 석, 조 규 성, 최 배 석
동의대학교 산업공학과
부산시 부산진구 가야동 산24
Tel : 051-890-1657, Fax : 051-890-1619
E-Mail : hshwang@dongeui.ac.kr

Abstract

Recent studies among various activities taking place in order picking warehouse system have shown various researches to reduce the order picking costs occupying more than half the total costs. One way of improving the warehouse system performance is to separate from a picking area and a reserve area in one unit rack. This study is concerned on the performance evaluation model for picking and replenishing facility of refrigerated warehouse using simulation method. In this study, we developed a mathematical model to compute the system performance solve this problem using simulation method. We demonstrate the system performance using AutoMod Simulator and verify the results to compare mathematical results of the system performance of warehouse system. A systematic approach proposed n this study for an optimal planning of order picking warehouse is known as an effective method for planning of order picking warehouse and a performance evaluation problem considering both picking and replenishment.

Key Words : Facility Design, System Performance Evaluation, Simulation, Order-Picking and Replenishing(PRP) System.

1. 개 요

본 연구에서는 냉장물류센터 내에 설치된 단위 랙을 피킹지역과 저장지역으로 구분하여 화주의 요청에 의해 운반장비가 냉장화물을 피킹하는 통로 내 오더피킹을 수행하는 운영형태이다. 이 경우 냉장물류센터에 설치된 모든 단위 랙은 그림 1과 같이 하단부분은 피킹지역으로 상단부분은 저장지역으로 구분한다. 피킹지역은 운반장비가 냉장화물을 피킹하는 지역이고, 저장지역은 대단위 벌크 또는 팔레트 단위의 저장품목을 보관하는 지역이다. 단위 랙을 피킹과 저장으로 고려한 냉장물류센터에서 운반장비는 피킹지역에 있는 냉장화물의 고갈시 저장지역에 있는 냉장화물을 피킹지역까지의 재 보충 운행, 피킹 지역에서 냉장화물 피킹 및 저장지역내 대단위 냉장화물을 저장하는 저장운행을 수행한다.

본 연구는 냉장물류센터 내에 설치된 단위 랙을 피킹 지역과 저장지역으로 구분 시에 적정 냉장물류센터 내에서 랙의 설계 및 운반장비의 통로 내 오더피킹을 수행하는 운반장비의 최적 운행계획에 관한 연구이다. 따라서 냉장물류센터의 통로 내 오더피킹 시 단위 랙을 피킹과 저장지역으로 구분하고 단위 랙 내에서 피킹 및 재 보충운행이 수행되므로 PRP(Picking and Replenishing Problem)라고 정의하여 사용한다. 이를 위해 다음과 같은 3가지 접근방법을 제시하고, 각 단계별로 수행한다.

단계 1. 냉장물류센터 설계 파라미터들 중에서 냉장물류센터의 총 저장면적과 단위랙 내 총 저장 단면적이 주어질 경우, 이를 만족하는 냉장물류센터의 통로 수와 단위 랙의 길이 및 높이를 계산한다.

단계 2. 냉장물류센터 내에서 운행되는 운반장비가 냉장화물의 피킹확률을 고려한 최대 피킹 냉장화물개수를 산정 한다. 그리고 PRP에서 운행되는 운반장비의 운행형태에 따른 수리적 모델을 제시하고, 각각의 운행시간을 산정 한다.

단계 3. 단계 1과 단계 2에서 구한 설계 파라미터를 AutoMod 시뮬레이터에 적용하여 냉장물류센터를 구축하고 운반장비별 각 대안에 따른 물류처리량, 냉장물류센터 내 운행시간 및 단위 시간당 피킹 개수 등을 산정 한다.

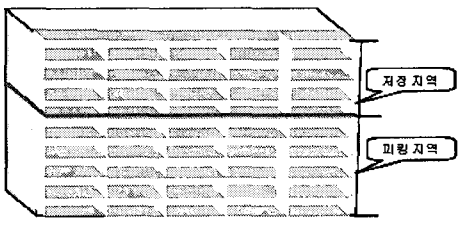

그림 1. 피킹과 저장지역이 존재하는 단위랙

2. 냉장물류센터 설계

2.1 냉장물류센터의 특성

냉장물류센터는 10°C 이하의 저온에서 신선도를 요하는 식료품이나 동결된 식료품 등을 보관하는 물류센터로서 냉장화물은 10°C이하 -20°C 이상에서 보관되고, 냉동화물은 -20°C이하에서 보관된다. 보관 가능 온도에 따라 냉동 어패류, 육류 등을 보관하는 F급과 야채, 과일 등 신선도를 요하는 식료품이나 저란 어류 및 냉동야채를 주로 보관하는 C급으로 나눈다. 냉장물류시스템 내 보관방식은 임대방식과 수탁방식이 있다. 임대방식은 냉장물류센터 내 일부의 보관지역을 화주에게 일정기간동안 임대하는 것이다. 수탁방식은 국외에서 수입된 화물 또는 국내에서 생산된 화물을 각 화주의 요청에 의해 일정기간동안 보관해 주는 것이다. 대부분의 냉장물류시스템은 일정기간 보관하는 수탁방식을 사용하고 있다. 수탁방식을 통해 냉장화물을 저장할 경우에도 각 화주별로 냉장화물을 구분하여 보관한다. 냉장물류시스템에 입출고 되는 냉장화물 량은 생산되는 계절별, 농수산물의 질병, 자연재해 및 소비자의 소비 패턴 등에 따라 크게 달라진다. 또한 일반적으로 하루 업무시간 중 특정시간대에 입출고 차량이 집중적으로 도착하기 때문에 시간별 입출고 화물 량도 크게 다르다. 계절별로 입출고 되는 냉장화물 중 동결화물의 물량은 10월에서 다음해 2월 사이에 가장 많고, 동결 후 90%는 보관하고 5~10%정도는 바로 출고된다.

화물의 입출고 시 사용되는 운반장비는 팔레트단위를 운반하는 지게차, 소량 화물을 운반하는 대차, 동결창고에 동결시킬 화물을 적재하는 동결 팔레트 및 컨테이너 또는 화물차내의 원활한 화물이동을 위한 이동롤러가 있다. 냉장물류시스템에 입고되는 냉장화물은 팔레트단위로 물류시스템 내 저장지역에 저장되지만, 화물의 주문에 따른 출고 시에는 운반장비가 각 랙 내 빈에서 화주의 요청에 따라 각 팔레트단위를 구성하는 박스를 피킹하는 통로 내 오더피킹 작업 후 출고한다. 오더피킹 활동이 냉장물류시스템의 운영에 큰 비중을 차지하므로 오더피킹의 개선을 통한 비용의 절감 노력이 중요시된다. 최근 오더피킹 활동은 처리능력 및 저장정확성이 크게 요구되고 품질개선과 고객서비스가 새롭게 강조되면서, 냉장물류시스템 관리자들은 제품훼손 최소화, 처리시간 단축 및 피킹의 정확도 개선 등을 수행하고 있다. 따라서 본 연구에서도 냉장물류시스템에서 운행되는 운반장비의 오더피킹 활동을 개선시킨 운행시간을 통해서 효과적인 냉장물류시스템 운영계획을 수립하고자 한다.

2.2 냉장물류센터의 규모설계

본 절에서는 물류센터 내의 운반장비 최적 운영계획 수립을 위한 첫 번째 단계로서, 물류센터 설계 시 요구되는 설계 파라미터 중 냉장물류센터의 총 저장면적과 단위 랙의 총 저장 단면적을 고려하여 적정 통로 수 및 각 통로에 배치된 단위 랙의 높이와 길이를 산정 한다. 본 연구에서 고려되는 설계 파라미터들에 대한 정의는 다음과 같다.

W_a : 단위통로의 폭 (m), W_r : 단위랙의 폭 (m)

L_r : 단위랙의 길이 (m), L_h : 단위랙의 높이 (m)

L_b : 빈의 길이 (m), N_a : 물류센터 내 통로수

V_h : 운반장비의 수평운행속도 $(m/\min)$,

V_v : 운반장비의 수직운행속도 $(m/\min)$,

S_s : 단위 랙 총 저장 단면적 (m^2),

S_t : 물류센터 전체 가용면적 (m^2)

물류센터설계시 소요 비용의 최소화를 위해서 주어진 설계를 만족하는 각 단위 랙의 높이, 길이 및 통로 수를 식 1과 식 2를 통해서 산정 한다.

$$2 \times L_r \times L_h \times N_a - S_s \quad (1)$$

$$N_a \times [L_r \times (2 \times W_r + W_a) + 2 \times W_a \times (W_r + W_a)] - S_t \quad (2)$$

운반장비에 의한 통로 내 오더피킹을 수행할 수 있는 단위 랙의 길이와 높이의 설계는 운반장비의 수평 및 수직속도에 비례하여 고려될 수 있다. 이는 단위시간당 단위 랙의 수평과 수직운행거리의 비율을 동일하게 함으로써 단위 랙내 운반장비의 적정 수평 및 수직운행이 가능하기 때문이다. 이를 위해 단위시간당 단위 랙의 길이, 단위 랙의 높이, 운반장비의 단위 랙내 수평 및 수직이동속도를 고려한 비율은 $L_h/V_v - L_r/V_h$이 된다. 따라서, 단위 랙의 높이와 수평길이는 운반장비의 수평 및 수직속도와 식 1 및 식 2를 고려하면 (식 3)과 같이 표현할 수 있다.

$$L_h = \left(\frac{V_h}{V_v}\right) \cdot L_r \quad (3)$$

식 3을 식 1에 대입하면 단위 랙의 수평길이는 식 4와 같다.

$$L_r = \sqrt{\frac{S_s \cdot V_v}{2 \cdot V_h \cdot N_a}} \quad (4)$$

식 4를 식 3에 대입하면 식 5와 같이 단위 랙의 높이를 구할 수 있다.

$$L_h = \sqrt{\frac{S_s \cdot V_h}{2 \cdot V_v \cdot N_a}} \quad (5)$$

예를 들면, 냉장물류센터 설계를 위해 고려되는 파라미터 값이 $S_t = 350m^2$, $S_s = 539m^2$,
$W_a = 2.5m$, $W_r = 1m$, $V_h = 150m/\min$,
$V_v = 30m/\min$인 경우, $L_r = 21.8\,m$,
$L_h = 4.3m$ 및 $N_a = 3$이 된다.

3. 냉장물류센터의 운영

운반장비 최적 운영계획을 수립하기 위한 두 번째 단계로서, 피킹과 저장지역을 고려한 냉장물류센터 내에서 운반장비의 운행형태는 그림 2와 같이 3가지로 구분하여 각각의 수리적 모델을 제시한다.

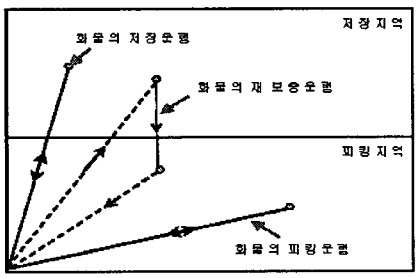

그림 2. 빈 내 운반장비의 운행도

3.1 운반장비 최대 피킹 능력산정

운반장비의 최대 피킹 개수산정에 관련된 설계 파라미터를 다음과 같이 정의한다.

M : 냉장물류시스템 내 저장된 화물 총 개수

p : 한 단위 화물을 피킹할 확률

n : 1회 운반 시 평균피킹 개수

N_P : 운반장비의 1회 최대 피킹가능 개수

운반장비의 최대 피킹개수 산정은[4]에 의해 사용된 방법으로서, 그들은 각 단위 피킹확률 p를 $1/M$로, 평균 피킹개수를 n으로 정의하고 이를 이항분포로 표현하였다. 또한 이항분포의 정규근사를 통해서 운반장비의 1회 최대 피킹 개수를 산정 하였다. 정규근사를 통해서 제시된 정규분포식은 식 6과 같으며, 평균 피킹개수와 피킹확률을 고려한 운반장비의 1회 최대 피킹 개수는 식 7과 같이 계산된다.

$$P(\Phi < N_P) = P\left[\frac{\Phi-\mu}{\sigma} < \frac{N_P-(n/M)}{\sqrt{(n/M)(1-(1/M))}}\right] \quad (6)$$

$$N_P = Z_\alpha\left(\sqrt{\frac{n}{M}\left(1-\frac{1}{M}\right)}+\frac{n}{M}\right) \quad (7)$$

여기서, Z_α는 최대 피킹 개수를 피킹할 수 있는 확률 α에 해당하는 Z값이다.

3.2 냉장화물 재 보충 운행

냉장화물 재 보충 운행은 피킹지역에 피킹할 냉장화물이 존재하지 않을 경우, 운반장비가 I/O지점에서 출발하여 저장지역에 저장된 대단위 냉장화물을 피킹지역으로 재 보충 후 다시 I/O지점으로 돌아오는 운행이다. 냉장화물 재보충운행시간은 I/O에서 피킹지역이 비어 있는 빈까지의 왕복운행시간, 빈 내 저장지역까지의 운행시간, 저장지역에서 피킹지역까지의 냉장화물 재 보충 운행시간 및 피킹지역과 저장지역내 냉장화물 적재 및 하역시간의 합이 된다. 냉장물류센터 내 운행시간에서 운반장비는 통로내 한 곳의 빈만 왕복운행하기 때문에 황흥석 외(2002)에서 $A-1$인 운반장비의 빈까지의 운행시간은 식 8이 된다.

$$T_R = \frac{[(L_r+W_a)+4W_r]}{V_h} \quad (8)$$

저장지역과 피킹지역내 냉장화물의 저장과 반출은 각각 한번씩 수행되므로 저장과 반출시간은 $2t_p$가 된다. 여기서, t_p는 피킹지역에서 냉장화물 피킹 또는 저장시간이다.

화물 재 보충 운행시간 산정을 위해 다음과 같은 파라미터를 정의한다.

a : 정규화 빈의 피킹지역 높이 $(0 \le a \le 1)$

X : 정규화 빈의 수평길이 $(0 \le X \le 1)$

z : 정규화 빈 내 피킹지역 운행거리

z' : 정규화 빈 내 저장지역 운행거리

t_{DP} : 피킹운행 시 왕복 운행시간 (초)

t_{DR} : 저장운행 시 왕복 운행시간 (초)

t_{PR} : 재 보충 시 운행시간 (초)

t_R : 재 보충 시 저장화물의 화물 피킹시간(초)

피킹과 저장지역으로 구성된 빈 내 피킹지역의 적정 높이를 산정하기 위해 빈을 정규화 빈으로 정형화한다. 정규화 빈은 단위 빈의 길이와 높이 중에서 빈의 높이를 '1'로 하고 나머지 부분의 길이는 '1'보다 작거나 같은 빈을 말한다. 정규화 빈은 그림 3과 같이 나타난다.

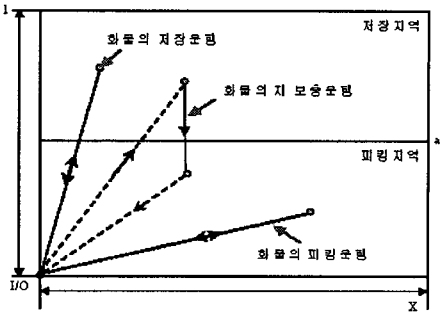

그림 3. 정규화 빈의 구성도

화물의 재 보충 운행시 빈 내에서 수행되는 운반장비의 운행거리는 다음과 같이 산정한다(Bozer et. al., 1984). 정규화 빈에서 피킹지역이 $(0 \le z \le a)$인 경우에 피킹지역 내 단방향 운행거리는,

$E[SP] = \int_0^a z\frac{z}{a}dz = \frac{a^2}{3}$이 되고, 저장지역이 $(0 \le z' \le 1-a)$인 경우에 저장지역 내 단방향 운행거리는 다음과 같다.

$$E[SR] = \int_0^1 {}^a\frac{z'}{1-a}z'dz' = \frac{(1-a)^2}{3}$$

정규화 빈에서 저장지역 내의 화물을 피킹시 운행거리는 다음과 같다.

$$E[DR] = 2\left[a+\frac{(1-a)^2}{3}\right]$$

따라서 단위 랙 내 저장지역과 피킹지역 간의 운반장비의 재 보충 운행거리는 식 10과 같다.

$$E[RPR] = 2L_h\left[\frac{1}{3}(a^2+a+1)\right] \quad (10)$$

산정된 운행거리에 운반장비의 수직운행속도를 고려하면 단위 빈 내 운행시간을 산정 할 수 있다. 피킹지역 내 운행시간은 $t_{DP} = 2a^2L_h/3V_v$이고, 저장지역 내 운행시간은

$t_{DR} = [2L_h(a^2+a+1)]/3V_v$가 된다. 따라서 재 보충 운행시간은 식 11이 된다.

$$t_{PR} = \frac{2L_h(a+1)}{3V_v} \quad (11)$$

위의 4가지 운행시간을 고려한 운반장비의 재 보충 운행시간은 식 12가 된다.

$$T_R = 2\left[\frac{[(L_r+W_a)+4L_r]}{V_h} + \frac{L_h(a^2+a+1)}{3V_v} + \frac{L_h(a+1)}{3V_v} + t_R\right] \quad (12)$$

3.3 저장지역 내 화물 저장운행

저장지역 내 화물 저장운행은 피킹지역 내에 화물을 재 보충하고 비어 있는 저장지역에 화물을 저장하는 운행이다. 저장지역 내 화물 저장은 운반장비가 1회 운행을 수행하여 N_p개를 피킹 할 경우에 특정 랙내 피킹지역에서 다수의 화물을 피킹 하거

나, 한 개의 화물만 피킹하는 경우에 따라 빈의 품절 발생 경우가 달라지므로 이를 고려한 저장지역 내 화물 저장운행의 계산은 복잡해진다. 따라서 N_p개의 화물 피킹 시 발생하는 빈 내 저장지역이 비어 있을 경우를 확률적으로 고려하여 비어 있는 저장지역의 수를 계산한다. 저장지역 내 화물 저장운행을 위해 다음과 같은 파라미터를 정의한다.

h : 비어있는 저장지역 수

p_j : j번째 저장지역에서의 피킹확률

각 저장지역에서의 피킹확률을 고려하여 운반장비가 N_p개의 화물을 피킹할 경우에 포함과 배제원리에 의해서 $1st$, $2nd$, $\cdots$, hth 랙 내 저장지역이 비어있을 확률은 식 13과 같다(Johnson et. al., 1977).

$$P_{1,2,\cdots,h} = \left[(1-\sum_{j=1}^{h} p_j)^{N_p} - \sum_{j\neq h+1}^{T} (1-p_j-\sum_{j=1}^{h} p_j)^{N_p} + \sum \sum_{j\neq h}^{T} (1-p_{j'}-p_{j''}-\sum_{j=1}^{h} p_j)^{N_p} - \cdots \right] \quad (13)$$

따라서 h곳의 저장지역내 화물이 비어있을 경우의 수는 $\binom{T}{h}$가 되므로 포함과 배제의 원리를 적용하여 비어 있을 경우 중 h개만 비어 있는 확률을 산정하면 식 14와 같다.

$a = \{a_1, \cdots, a_h\}$일 경우,

$$\Pr[X=h] = \sum_{a}^{(h)} P_{a_1 \cdots a_h} - \sum_{a}^{(h)} (1-\sum_{j=1}^{h} p_j)^{N_p} - \binom{h+1}{h} \sum_{a}^{(h+1)} (1-\sum_{j=1}^{h+1} p_j)^{N_p} + \binom{h+2}{h} \sum_{a}^{(h+2)} (1-\sum_{j=1}^{h+2} p_j)^{N_p} - \cdots + (-1)^{T-h} \binom{T}{h} \sum_{j=1}^{T} p_j^{N_p} \quad (14)$$

h개의 저장지역이 비어 있을 확률은 식 14이므로 T개의 빈에서 운반장비의 1회 피킹운행시 비어 있는 빈의 수는 $T \times \Pr[X=h]$가 된다. 따라서 피킹지역과 저장지역간의 운행시간은 $t_{prr} \times (T \times \Pr[X=h])$이므로 운반장비의 저장운행시간은 비어 있는 빈까지의 운행시간과 빈 내 저장지역의 왕복운행시간과 냉장화물의 저장시간의 합은 식 15가 된다.

$$T_{rst} = \frac{[(L_r + W_a) \times (T \times \Pr[x=h]) + 4W_r \times (T \times \Pr[x=h])]}{V_h} + \frac{2L_h(a^2+a+1)}{3V_v} + t_R \quad (15)$$

3.4 피킹지역 내 화물 피킹운행

피킹지역 내 화물 피킹운행은 단위랙 내 빈에 존재하는 피킹지역 내에서 화물을 피킹한 후 I/O지점까지 왕복운행을 수행한다. 따라서 N_p개를 운반장비가 피킹할 경우, 피킹지역 내 화물 피킹운행시간과 단위랙 내 피킹지역에서 화물의 오더피킹시간을 고려하면 된다. 따라서 1회 운반장비가 피킹지역에서 N_p번의 화물을 피킹할 경우의 운행시간은 식 16이 된다 (황홍석 등, 2002).

$$T_{pu} = 2t\left[Z_a\sqrt{\frac{n}{M}(1-\frac{1}{M})} + \frac{n}{M}\right] + \frac{[(L_r+W_a)\times N_p \times A + 4W_r \times A]}{V_h} + t_u\left[Z_a\sqrt{\frac{n}{M}(1-\frac{1}{M})} + \frac{n}{M}\right] + t_{unl}\left(\frac{T\times N_u}{N_u}\left[1 - \left[1 - \frac{N_u}{T\times N_a}\right]\left[z_a\sqrt{\frac{n}{M}(1-\frac{1}{M})} + \frac{n}{M}\right]\right]\right) + \frac{2L_h a^2}{3V_v} \quad (16)$$

4. 피킹과/저장지역을 고려한 냉장물류센터 성능산정(사례:)

냉장물류센터 내 운반장비의 성능분석을 위해 수리 모델을 사용하여 산출한 파라미터 값들을 입력자료로 하여 AutoMod 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 부산지역에 위치한 K냉장물류센터 평가에 적용한다. K냉장물류센터는 총 8층 규모의 설비로 각 층은 상·하차 장비와 엘리베이터를 이용하여 층별 냉장화물을 이송하고, 각 층별로 1대의 운반장비가 운행되고 있다. 한 층에 저장된 냉장화물의 주문 물량이 많을 경우, 다른 층에서 운행되는 운반장비를 임시 투입하여 냉장화물을 처리한다. 따라서 고객의 요구 량에 적절하게 대처할 수 있는 적정 운반장비의 운영이 요구된다. 따라서 구축된 시뮬레이션 시스템을 토대로 본 연구에서는 운반장비의 수에 따라 운영되는 대안을 고려하여 시스템을 분석한다. 본 사례에서 냉장물류센터를 구축하기 위해 사용한 파러미터값은 다음과 같다.

S_t : 350 m^2, S_r : 130 m^2, S_s : 30 m^2,
W_a : 2.5 m, W_r : 1 m, L_r : 21.8 m,
L_h : 4.3 m, N_a : 3, V_h : 150 $m/\min$,
V_v : 30 $m/\min$, a : 2.15 m,

피킹과 저장지역을 고려한 냉장물류센터 최적계획을 위해 표 1과 같이 피킹 운반장비와 저장 및 재보충 수행 운반장비로 구성된 운영대안을 제시하고,

표 1. 운영대안별 운반장비 구성

운영 대안		타입별 구성장비 수
대안 1	대안 1A	A 1대
	대안 1B	B 1대
대안 2	대안 2A	A 2대
	대안 2B	B 1대
대안 3	대안 3A	A 1대
	대안 3B	B 2대
대안 4	대안 4A	A 2대
	대안 4B	B 2대
대안 5	대안 5A	A 3대
	대안 5B	B 1대
대안 6	대안 6A	A 3대
	대안 6B	B 2대

각 운영대안별 시스템을 분석하여 출력된 결과를 비교한다. 구축된 한 층의 통로 수는 3이고 각 통로별로 좌우에 단위 랙이 배치되며, 운반장비는 각 통로를 지나면서 냉장화물을 피킹한다. 각 랙에는

22개의 빈으로 구성되고 각각의 피킹지역 내 빈에는 21개의 냉장화물이 저장되어 있음을 가정한다. 그림 4 및 5는 피킹과 저장지역을 고려한 냉장물류센터 내 냉장화물의 배치를 나타내고 있다. 단위랙 내 피킹지역은 오더피킹할 박스 단위의 냉장화물이 저장되어 있고, 저장지역은 피킹지역에 재 보충 할 벌크 또는 대단위 냉장화물이 저장되어 있다. 취급되는 냉장화물의 크기가 다르기 때문에 피킹지역 오더피킹 운반장비와 저장지역내 재 보충 및 저장 운행은 서로 다른 운반장비(A 타입, B 타입)가 운행된다. 피킹운행 운반장비는 대안별로 1회 운행시 각각 N_p인 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36, 40, 70, 100, 130에 따른 시뮬레이션을 수행하였다.

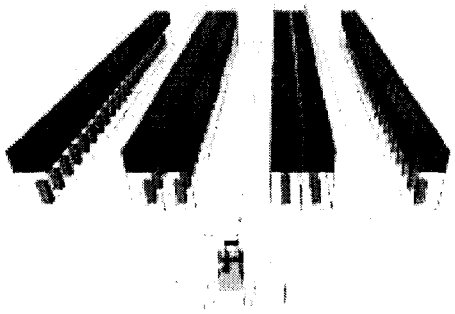

그림 4. PRP를 고려한 시스템 구현도

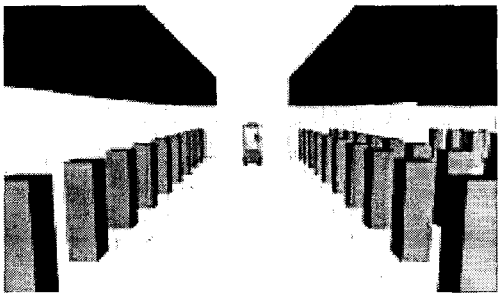

그림 5. 단위 랙이 피킹과 저장지역으로 구분된 냉장물류센터

표 2는 타입 A의 대안별 운반장비 피킹운행시간으로 N_p이 증가함에 따라 운반장비 당 피킹 운행시간도 증가한다. N_p이 130인 경우, 대안 1A나 3A는 6630초이나 대안 5A나 6A는 8424초와 7956초로서 대안별로 운행시간은 적게는 1326초 많게는 1749초의 차이가 발생한다.

표 3과 같이 타입 A의 대안별 시간당 피킹 개수는 운반장비 대수가 증가하여도 냉장물류센터내 정체가 발생하여 N_p이 130인 경우에 대안 1A(57.6개), 3A(57.6개)가 가장 많고, 6A(52.38개)는 가장 적다.

이는 표 2와 같이 대안별 운행시간의 증가로 인해 운반장비의 물류처리량이 감소했기 때문이다.

표 2. 타입 A의 대안별 운반장비 운행시간(초)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1A	66.0	327.6	580.8	835.2	1071.0	1326.0	1581.0	1836.0	2040	3570	5100	6630
대안 2A	67.8	349.2	613.8	902.4	1159.2	1419.6	1692.6	1965.6	2208	3864	5460	7176
대안 3A	66.0	327.6	580.8	835.2	1054.6	1326.0	1581.0	1836.0	2040	3570	5100	6630
대안 4A	67.8	342.0	613.8	883.2	1146.6	1419.6	1674.0	1944.0	2184	3738	5400	7098
대안 5A	74.4	403.2	726.0	1046.4	1348.2	1653.6	1960.2	2289.6	2544	4452	6420	8424
대안 6A	73.8	381.6	686.4	998.4	1285.2	1591.2	1897.2	2224.8	2448	4242	6120	7956

표 3. 타입 A의 대안별 시간당 피킹개수(개)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1A	54.9	57.8	57.8	57.7	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.7	57.6	57.6
대안 2A	55.86	55.2	54.84	54.72	54.72	54.72	54.66	54.78	54.6	54.6	54.72	54.6
대안 3A	54.84	57.8	57.72	57.66	57.66	57.66	57.66	57.6	57.66	57.6	57.6	57.6
대안 4A	55.86	54.9	54.84	54.78	54.72	54.72	54.72	54.72	54.72	54.72	54.72	54.06
대안 5A	53.94	52.62	52.38	52.44	52.32	52.32	52.2	52.32	52.02	52.2	52.32	52.5
대안 6A	53.88	52.68	52.38	52.32	52.14	52.2	52.44	52.38	52.26	52.32	52.32	52.38

표 4는 타입 A의 각 대안별 시간당 총 물류처리량을 나타낸다. N_p이 130인 경우에 대안 5A(157.5개)와 6A(157.2개)가 가장 물류처리량이 많으나, 운반장비 당 물류 처리비율을 비교해 보면 대안 1A(57.6개)와 3A(57.6개)를 '1'이라고 가정할 경우 대안 5A는 '0.91', 대안 6A는 '0.9'밖에 되지 않는다. 즉 운반장비가 증대 비율에 따라 총 물류처리량이 증가하지 않았다.

표 4. 타입 A의 대안별 총 물류처리량(시간당)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안1A	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6	57.6
대안2A	111.7	110.4	109.7	109.4	109.4	109.4	109.3	109.6	109.2	109.2	109.6	109.2
대안3A	54.8	57.8	57.72	57.66	57.66	57.66	57.66	57.6	57.66	57.6	57.6	57.6
대안4A	111.7	109.9	109.9	109.6	109.4	109.4	109.4	109.4	109.4	109.4	109.4	108.1
대안5A	161.8	157.9	157.1	157.3	157.0	157.0	156.6	157.0	156.1	156.6	157.1	157.5
대안6A	161.6	158.0	157.1	157.0	156.4	156.6	157.3	157.1	156.8	157.0	157.2	157.2

표 5는 타입 B의 저장과 재 보충 운행시간을 나타내고 있다. 운반장비가 1대인 경우는 대안 1B, 대안 2B 및 대안 5B와 같이 104초에서 105초 사이지만,

표 5. 타입 B의 대안별 저장과 재 보충 운행시간(초)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1B	103.8	103.8	103.8	103.8	103.8	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4
대안 2B	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4
대안 3B	154.8	154.8	154.8	153.0	153.0	154.8	154.2	154.8	153.0	154.8	154.2	154.8
대안 4B	154.8	151.8	151.2	151.8	151.8	151.2	149.4	151.2	148.2	150.6	151.8	148.8
대안 5B	104.4	104.4	104.4	104.4	104.4	105.0	104.4	105.0	105.0	105.0	104.4	105.0
대안 6B	150.6	146.4	147.0	142.2	142.8	142.8	143.4	144.0	141.0	145.2	142.8	146.4

2대인 경우는 146초에서 154초의 운행시간이 소요된다. 타입 B의 단위시간당 재 보충 횟수는 표 6과 같고, 평균적으로 대안 1B는 2.04회, 2B는 3.38회,

3B는 3.02회, 4B는 2.91회, 5B는 3.35회 및 6B는 2.81회를 수행한다.

표 6. 타입 B의 대안별 시간당 재 보충 횟수(회)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1B	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
대안 2B	3.4	3.36	3.38	3.38	3.38	3.39	3.38	3.36	3.34	3.4	3.38	3.4
대안 3B	3.0	3.01	3.05	3.02	3.02	3.05	2.98	3.0	3.05	3.0	2.98	3.05
대안 4B	2.92	2.91	2.92	2.87	2.92	2.93	2.85	2.9	2.91	2.93	2.87	3.02
대안 5B	3.35	3.35	3.35	3.34	3.34	3.36	3.34	3.34	3.37	3.35	3.35	3.37
대안 6B	2.85	2.9	2.38	2.77	2.8	2.83	2.8	2.9	2.85	2.85	2.86	2.87

대안별 물류처리량은 표 7과 같고 N_p이 130인 경우에 대안 1B는 2.0개로 가장 적고, 대안 2B는 6.8개로 가장 많다. 운반장비 대수가 2대인 경우는 평균적으로 6개 정도이지만, 운반장비대수가 1대인 경우는 2-3개 정도만 처리한다. 따라서 타입 B의 총 물류처리량은 운반장비의 증대에 따라 비례하여 증가함을 나타낸다. 피킹 수행 운반장비의 성능은 운행되는 운반대수, 피킹 운행시간 및 물류처리량 등에 따라 달라진다. 따라서 표 8과 같이 대안 1A에서 6A로 갈수록 운반대수 및 피킹 운행시간 증가, 물류처리량의 감소로 운반장비의 성능은 감소한다. 표 8에 의하면 타입 A의 운반장비를 운행 시 운반장비의 성능이 가장 높다.

표 7. 타입 B의 대안별 총 물류처리량(시간당)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1B	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
대안 2B	3.4	3.36	3.38	3.38	3.38	3.39	3.38	3.36	3.34	3.4	3.38	3.4
대안 3B	6.0	6.02	6.1	6.04	6.04	6.1	5.96	6.0	6.1	6.0	5.96	6.1
대안 4B	5.84	5.82	5.84	5.74	5.84	5.86	5.9	5.8	5.8	5.86	5.74	6.04
대안 5B	3.35	3.35	3.35	3.34	3.34	3.36	3.34	3.34	3.37	3.35	3.35	3.37
대안 6B	5.7	5.8	5.66	5.54	5.6	5.66	5.6	5.8	5.7	5.7	5.72	5.74

표 8. 타입 A의 대안별 운반장비의 성능(%)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1A	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
대안 2A	87.4	74.3	70.6	71.1	70.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0	69.0
대안 3A	88.0	88.7	84.2	82.9	82.2	81.8	81.5	81.3	81.2	81.2	81.3	81.1
대안 4A	87.2	72.7	70.4	70.0	69.2	69.0	68.0	69.0	68.8	67.8	67.9	69.1
대안 5A	61.8	54.5	53.2	52.7	52.1	51.4	51.6	51.2	51.3	51.4	51.4	51.4
대안 6A	60.1	52.0	50.2	50.5	49.4	49.5	49.5	49.9	49.3	48.8	49.9	49.3

반면에 표 9와 같이 타입 B의 운반장비 성능은 단위시간당 운행횟수가 적으므로 운반장비가 증가할수록 성능은 향상되나 8%이상은 넘지 않는다.
표 1에서 제시된 운영대안 중 K냉장물류센터에서 운영되는 최적 운반장비대수를 산정하기 위해 타입 A와 타입 B별 대안들의 운행시간을 대응비교

표 9. 타입 B의 대안별 운반장비의 성능(%)

N_p / 대안	1	6	11	16	21	26	31	36	40	70	100	130
대안 1B	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
대안 2B	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.8	5.9	5.9	5.9
대안 3B	7.7	7.8	7.9	7.7	7.7	7.9	7.7	7.8	7.8	7.7	7.7	7.9
대안 4B	7.7	7.8	7.9	7.7	7.7	7.9	7.7	7.7	7.8	7.7	7.7	7.9
대안 5B	7.7	7.8	7.9	7.7	7.7	7.9	7.7	7.7	7.8	7.7	7.7	7.9
대안 6B	7.2	7.1	5.8	6.6	6.7	6.7	6.7	7.0	6.7	6.9	6.8	7.0

(paired comparison)하였다. 대응비교를 위해 N_p에 따른 각 대안별 운행시간을 각각 쌍으로 선택하여 실험하였다. 표 10은 타입 A의 대안별 대응비교표로서 대안 (1A, 2A), (1A, 4A), (1A, 6A),(2A, 3A), (2A, 6A), (3A, 4A), (3A, 6A) 및 (4A, 6A)은 두 운행시간의 유의수준을 나타낸다. 반면 대안 (1A, 3A), (2A, 5A), (4A, 5A) 및 (5A, 6A)은 두 운행시간의 차가 없음을 나타낸다.

표 10. 타입 A의 대안별 대응비교표(신뢰수준:95%)

구분	대안 1A	대안 2A	대안 3A	대안 4A	대안 5A	대안 6A
대안 1A		3.41 (0.006)**	1.00 (0.339)	3.34 (0.007)**	2.40 (0.035)*	3.54 (0.005)**
대안 2A			3.45 (0.005)**	2.75 (0.019)*	1.94 (0.078)	3.59 (0.004)**
대안 3A				3.39 (0.006)**	2.41 (0.035)*	3.55 (0.005)**
대안 4A					2.06 (0.064)	3.50 (0.004)**
대안 5A						0.29 (0.776)
대안 6A						

표 11. 타입 B의 대안별 대응비교표(신뢰수준:95%)

구분	대안 1B	대안 2B	대안 3B	대안 4B	대안 5B	대안 6B
대안 1B		2.80 (0.017)*	220.09 (0.0)**	84.23 (0.0)**	7.42 (0.0)**	49.66 (0.0)**
대안 2B			219.47 (0.0)**	94.03(0.0)**	2.80 (0.017)*	51.96 (0.0)**
대안 3B				6.37 (0.0)**	219.83 (0.0)**	15.08 (0.0)**
대안 4B					84.46 (0.0)**	9.91 (0.0)**
대안 5B						50.05 (0.0)**
대안 6B						

표 11은 타입 B의 대안별 대응비교표로서 대안 (1B, 2B), (2B, 5B)는 두 운행시간이 유의하며, 그 이외의 대안들은 서로 매우 유의함을 나타낸다. 따라서 타입 A와 타입 B의 대안별 대응비교표와 각 대안별 평균값의 비교를 통해 타입별 최적 대안의 순위를 표 12와 같이 제시하였다. 타입 A의 대응 비교 시에는 3가지의 최적 대안 순위가 산정 되었다. 표 12를 통해 대안 1A와 대안 1B의 조합인 대안 1이 K냉장물류센터의 최적 대안이 된다. 즉 타입 A의 운반장비 1대와 타입 B의 운반장비 1대를 운영하는 것이 최적의 운영방안이 된다.

표 13. 타입별 최적 대안의 순위

	대안별 순위					
타입 A	1A	3A	4A	5A	2A	6A
	1A	3A	4A	2A	5A	6A
	1A	3A	4A	2A	6A	5A
타입 B	1B	2B	5B	6B	4B	3B

5. 결 론

본 연구는 피킹과 저장지역을 고려한 냉장물류센터의 최적 계획을 통한 픽업 및 재 보충설비의 성능을 산정한 연구이다. 픽업 및 재 보충설비의 성능을 산정하기 위해 냉장물류센터의 설계에서부터 최적운영에 이르는 시스템적 접근방법을 제시한다. 냉장물류센터의 최적계획을 위해 냉장물류센터 설계 파라미터들을 계산하고, 운반장비의 운행시간을 산정할 수 있는 수리모델을 정형화하였다. 정형화된 수리모델을 AutoMod 시뮬레이터에 적용하여 시뮬레이션 모델을 구현하고 운반장비 수에 따른 운영대안별로 냉장물류센터의 성능 분석을 수행하였다. 본 연구에서 냉장물류센터의 적정 규모와 적정설비 계획을 위하여 냉장물류센터에 설치된 단위 랙을 피킹과 저장지역으로 구성된 시스템을 고려한 시스템적 접근 분석방법 제공에 큰 의의가 있다. 냉장화물의 오더피킹과 보충 운행을 수행하는 냉장물류센터 내에서 운반장비가 1회 운행을 수행할 경우 냉장화물의 피킹확률을 고려한 냉장화물의 최대 피킹 개수를 산정하였다. 1회 운반장비의 운행시간은 피킹과 저장지역을 고려한 3가지 운행(피킹지역내 냉장화물 오더피킹, 냉장화물 재 보충 운행 및 저장지역내 냉장화물 저장 운행)으로 구분하여 계산하였다. 기존의 수리적 모델 연구의 한계인 실제 문제 접근 및 분석은 시뮬레이션을 통해 현실문제의 최적 대안을 제공할 수 있다. 본 연구에서는 K냉장물류센터의 최적계획을 위해 6가지 운영대안을 제시하고 각 대안별로 시뮬레이션을 수행한 분석 값을 비교 분석하였다. 따라서 각 대안별 성능을 통해 냉장물류센터의 경영자는 자사에 가장 적합한 대안을 선정할 수 있고, 선정된 대안은 냉장물류센터의 성능 향상을 위한 방안이 된다. 대부분의 냉장물류센터에서 운행되는 재래식 보관방법과 낙후된 운영은 국내 수산업의 개방화에 따라 더욱더 경쟁력을 잃어가고 있다. 따라서 IT(information technology)기반의 냉장화물의 재고관리시스템 구축, 냉장화물 운송차량계획 및 물류설비의 자동화를 연계한 냉장물류센터의 통합물류시스템 구축연구가 절실히 요구된다.

참 고 문 헌

1. AutoSimulations, *AutoMod User's Manual*, 2000.
2. Bozer, Y.A. · White, J.A., "Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems", *IIE Transactions*, Vol.16, No.4, 1984, pp. 329-338.
3. Caron, F. · Marchet, G. · Perego, A., "Optimal Layout in Low-level Picker-to-part Systems", *International Journal of Product Research*, Vol.38, No.1, pp.101-117, 2000.
4. Gray, A.E. · Uday, S.K. · Abraham, S., "Design and Operation of an Order-consolidation Warehouse: Models and Application", *European Journal of Operational Research*, Vol.58, 1992, pp. 14-36.
5. Hwang, H. · Chang, I.H. · Moon, S.W., "An Economic Design of Refrigerated Automated Storage and Retrieval Systems", *Engineering Optimization*, Vol.32, 1999, pp. 249-266.
6. Johnson, N.L. · Kotz, S., *Urn models and their application*, John Wiley & Sons, Inc, 1977.
7. Tompkins, J.A. · White, J.A. · Bozer, Y.A. · Frazelle, E.H. · Tanchoco, J.M.A. · Trevino, J., *Facilities Planning*, Second Edition, John Wiley& Sons, INC, 1996
8. 농수산물유통공사, 농산물 유통시설의 물류표준화실태, 1996.
9. 농수축산신문, 한국축산연감, 각 년도.
10. 황 홍석 · 김 호균 · 조 규성, "냉장물류센터 내 운반장비 운영계획에 관한 연구", IE Interfaces, 제15권, 제4호, 2002.
11. 해양수산부, 해양수산통계연보, 각 년도.