

냉장물류센터 내 운반장비 운영계획에 관한 연구

황홍석[†] · 김호균 · 조규성

동의대학교 기계산업시스템공학부

Transporter Operation Planning for Refrigerated Warehouse Using Simulation Method

Heung-Suk Hwang · Ho-Gyun Kim · Gyu-Sung Cho

Division of Mechanical & Industrial System Engineering, Donggeui University, Busan, 614-714

This paper deals with planning of order-picking warehouse considering the batch order picking for transportation equipments to pick consumers' orders at a time among order-picking methods and a systematic approach method in order to analyze the order-picking warehouse which can perform optimal operation. To estimate an operating time of transportation equipments to carry out order-picking, this paper suggests three operations : first, to design the refrigerated warehouse using warehouse design parameters, second, to calculate the travel time of transporters considering four types of times with the probabilistic picking frequency, and third, to analyze an order-picking warehouse to construct a simulation model with the AutoMod as a simulation tool. We apply this model to a refrigerated warehouse company in Busan.

Keywords: transporter, travel time, AutoMod simulator, refrigerated warehouse

1. 서론

국내의 기업환경이 급변하고, 이로 인한 국내기업의 경쟁력이 어려워지고 있는 시점에서 이를 극복하기 위한 수단으로 물류비의 절감과 물류설비의 자동화에 따른 물류효율 향상 등의 개선을 위한 연구들이 진행되고 있다(Hwang, 2000). 또한 제품의 생산성 향상뿐만 아니라 생산된 제품에 효과적인 물류시스템 도입에 의한 물류비의 절감도 매우 중요하다. 재고관리분야에서도 물류흐름의 임시저장기능으로서 시간과 물류량을 조정할 수 있는 물류센터의 효과적인 설계 및 운영을 통해 기업의 물류비 절감노력을 수행하고 있다(Caron *et al.*, 2000a; Rouwenhorst *et al.*, 2000; van den Berg *et al.*, 1999).

그리고 최근의 전자상거래와 인터넷 등 정보 기술의 발전에 따라 소화물 운송이 급증하게 되었고, 이러한 소화물 운송

을 취급하는 물류센터에서도 급증하는 화물의 효율적인 운송에 관심을 가지게 되었다(Hwang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2000).

부산지역은 우리나라 항만·물류산업의 중심도시로 항만·물류시스템이 타 지역에 비해 지역경제 및 국가경제에 미치는 영향이 매우 크다. 부산항은 국내 최대 물류중심지(환적화물량: 99년 1,632,400 TEU (twenty-foot equivalent unit container), 2000년 2,389,900 TEU)로 전 세계 항구 도시 중 컨테이너 물동량 취급이 세계 3위인 항만도시로 발전하였고, 항만컨테이너 터미널의 통합물류시스템 구축을 위하여 꾸준히 노력하고 있다(KIHA, 1999-2000; MOMAF, 1999-2000).

부산은 항만컨테이너 터미널뿐만 아니라 국내 냉장·냉동 화물의 주요 수입 항구로서 중요한 역할을 담당하고 있다. 부산항을 통하여 반입되는 수입 축산물은 99년 기준으로 258,214 ton(전체의 44.6%), 수입 수산물은 1,273,448 ton(전체의 95%)으

이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-002-E00035).

[†] 연락저자: 황홍석 교수, 614-714 부산시 진구 가야동 산 24 동의대학교 기계산업시스템공학부, Fax: 051-890-1619, e-mail: hshwang@donggeui.ac.kr

2002년 9월 접수, 1회 수정 후 2002년 11월 게재 확정.

로 비중이 매우 크다. 2000년 6월말 현재 부산의 냉장시설 규모는 982,200 M/T (전체의 60%, M/T : metric ton)이며, 냉동시설 규모는 4,632 T/D (전체의 38.5%, T/D : ton per day)로 부산 지역에 냉장·냉동시설이 집중되어 분포되어 있다(KHIA, 1999-2000; MOMAF, 1999-2000).

수산물 가공공장이나 수산물 유통업의 부차적 보관역할에서 출발한 냉장·냉동물류센터는 최근의 국민소득수준의 향상에 따라 수입 수산물의 물동량이 급증하게 되어 냉장·냉장물류센터에 대한 효과적인 연구가 요구되고 있다. 냉장물류센터에 대한 기존의 주요 연구로는 수산물 냉장·냉동창고업에 대한 경쟁구조와 경영성과에 영향을 미치는 요인 규명에 관한 연구(Lee, 1993), 수산물 냉동창고의 물류합리화에 대한 문제점 파악을 통한 물류전략수립 및 정책수립에 관한 연구(Jang et al., 1999) 및 냉장자동창고의 경제적 설계에 관한 연구(Hwang et al., 1999) 등이 있다. 그러나 아직까지 냉장물류센터에 관한 기초조사 연구뿐만 아니라 물류기술 및 물류정보시스템에 관한 연구도 매우 미흡한 상태이다.

냉장물류센터에 관한 연구는 크게 물류센터 내에서의 효과적인 운반장비의 운영, 단위랙의 배치 설계 및 냉장물의 재고관리에 관한 연구 등으로 구분될 수 있다. 이 중에서 본 연구는 냉장물류센터를 조사·분석하여 물류센터 내의 운반장비 적정 운영 계획을 수립하고자 한다. 그리고 냉장물류센터가 냉동물류센터보다 취급하는 화물의 비중이 매우 높기 때문에 냉장물류센터에 관한 분석 연구에 초점을 맞추었다. 이를 위해 다음과 같은 3단계 접근방법을 제시하고, 각 단계별로 수행한다.

- 단계 1. 냉장물류센터의 설계 파라미터 중에서 총 저장면적과 단위랙의 면적이 주어질 경우, 이를 만족하는 냉장물류센터의 적정 통로 수와 단위랙의 길이를 산정한다.
- 단계 2. 냉장물류센터 내에서 운행되는 운반장비가 1회 운행 시 피킹할 수 있는 최대 화물 개수와 1회 운행시 최대 피킹개수를 피킹하는 운반장비의 1회 운행시간을 계산한다. 1회 운행시간은 운반장비의 단위화물 피킹시간, 운반장비의 냉장물류센터 내에서의 운행시간, I/O (input/output)지점의 화물하역시간 및 피킹을 위한 빈(bin)내 피킹준비시간으로 구분하고 각각을 수리모델로 정형화한다.
- 단계 3. 단계 1과 2에서 고려한 파라미터와 계산된 설계 파라미터를 AutoMod(Auto-Simulations, 2000) 시뮬레이터에 적용한 가상의 냉장물류센터를 구축하고, 운반장비의 대수에 따른 각 대안을 평가 분석한 후 적정운영대안을 수립한다.

이 과정을 정리하면 <그림 1>과 같다.

2. 냉장물류센터 설계

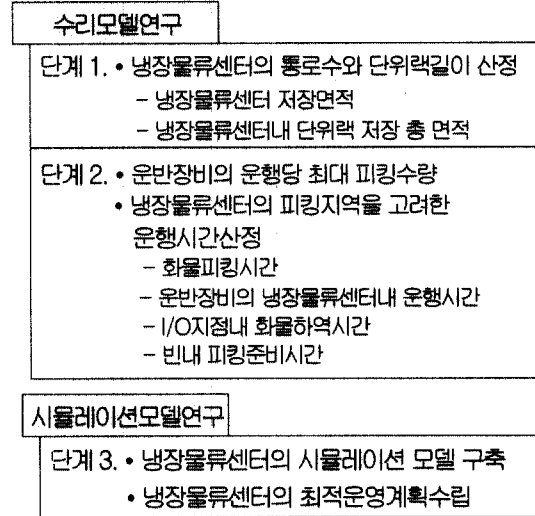


그림 1. 운반장비의 운행시간 산정 구성.

본 절에서는 냉장물류센터 내에서 운반장비의 최적 운영계획 수립을 위한 첫 번째 단계로서, 냉장물류센터설계시 요구되는 설계 파라미터 중 냉장물류센터 전체 가용 면적과 저장랙의 총 단면적을 고려하여 적정 통로 수 및 각 통로에 배치된 단위랙의 길이를 산정한다.

2.1 냉장물류센터의 특성

냉장물류센터는 10℃ 이하의 저온에서 신선도를 요하는 식료품이나 동결된 식료품 등을 보관하는 물류센터로서 냉장물은 10℃ 이하 -20℃ 이상에서 보관되고, 냉동물은 -20℃하에서 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.

냉장물류센터는 일반창고와 보세 장치장으로 구성된다. 일반창고는 일반 내국물품(국내에서 생산된 냉장화물)창고와 동어나 오징어 등을 동결시키는 동결창고로 나눈다. 보세 장치장은 일반수입 보세장치장과 검역시행장으로 나눈다. 그리고 보세장치장 내에는 원칙적으로 수입화물을 보관하지만 국내 생산물을 보관할 경우에는 보관량을 세관에 신고해야 한다.

냉장물류센터 내 보관방식은 임대방식과 수탁방식이 있다. 임대방식은 냉장물류센터 내 일부의 보관지역을 화주(보관할 냉장화물의 주인)에게 일정기간동안 임대하는 것이다. 수탁방식은 국외에서 수입된 화물 또는 국내에서 생산된 화물을 각 화주의 요청에 의해 일정기간동안 보관해 주는 것이다. 현재 대부분의 냉장물류센터는 냉장화물을 일정기간동안 보관해 주는 수탁방식을 사용하고 있다.

냉장물류센터에 입출고 되는 냉장 화물량은 계절별, 자연재

해(적조 등) 및 소비자의 소비 패턴 등에 따라 크게 달라진다. 냉장물류센터에서 취급하는 냉장화물 중 동결화물(영하 40도에서 20시간 정도 동결시킨 화물)량은 10월에서 다음해 2월 사이에 가장 많고, 동결 후 90%는 보관되고 5~10%정도는 바로 출고된다.

냉장물류센터는 냉장화물 중 수입농축산물도 취급하기 때문에 입고된 냉장화물은 검역을 실시한다. 그래서 검역결과가 나올 때까지 냉장화물의 출고는 불가능하고 만약 이상이 발견될 경우는 반송 또는 폐기 조치를 취한다.

냉장물류센터에 입고된 냉장화물은 박스단위로 구성된 팔레트단위가 각 빈(bin)에 저장된다. 하지만 화주의 출고요청이 있을 경우마다 출고되는 출고량은 화주별 입고량 중 일부만 각 빈에서 박스단위로 오더피킹된다. 오더피킹 후 냉장물류센터에서는 각 빈마다 남아있는 냉장화물량을 파악하여 각 빈마다 남아 있는 재고량이 적은 화물을 같은 종류의 화물이 저장된 다른 빈에 이고 시킨다. 이고는 운반장비를 이용해서 단위랙 내 한 곳의 빈에서 다른 곳의 빈으로 냉장화물을 운반하여 단위랙 내 빈의 유휴공간을 늘려 보다 많은 냉장화물을 보관하기 위한 운영방법이다.

냉장화물의 입출고시 사용되는 운반장비는 팔레트단위를 운반하는 지게차, 소량 화물을 운반하는 대차, 동결창고에 동결시킨 화물을 적재하는 동결 팔레트 및 컨테이너 또는 화물차 내의 원활한 화물이동을 위한 이동물러가 있다.

최근에는 부산지역에 냉장물류센터가 많이 건축되고 운영됨에 따라 업체 간 과당경쟁으로 효율인하 조정방법 등을 통해 냉장화물을 확보하므로 경영상에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 업체 간 경쟁관계로 인해서 냉장물류센터의 운영 및 취급되는 냉장화물 관련 데이터 획득이 매우 어렵기 때문에 냉장물류센터에 대한 기본적인 기초조사 연구도 힘든 상황이다.

오더피킹 활동은 처리능력 및 저장 정확성이 크게 요구되고 품질개선과 고객서비스가 새롭게 강조되면서, 냉장물류센터 관리자들은 제품훼손 최소화, 처리시간 단축 및 피킹의 정확도 개선 등을 위해 노력하고 있다. 따라서 본 연구에서도 냉장물류센터에서 운행되는 운반장비의 오더피킹활동을 개선시킨 운행시간을 통해서 효과적인 냉장물류센터 운영계획을 수립하고자 한다.

2.2 냉장물류센터 설비계획시 고려사항

냉장물류센터에서 오더피킹 시스템의 처리능력은 주로 피킹 방법, 기대운반시간 및 피킹 지체시간 등에 따라 좌우된다. 그리고 다중피킹시스템의 경우는 주로 최소 운반거리와 밀접한 관계가 있다. 따라서 운반장비의 운행시간을 산정하기 위해 다음과 같은 조건들을 가정한다.

- ① 각 통로의 규격은 모두 동일하다.
- ② 각 통로 좌우에 단위랙이 각각 놓여 있다.
- ③ 운반장비는 냉장물류센터 내 I/O 지점에서 시작하여 다시 이 지점으로 되돌아오는 경로를 수행한다.

- ④ 운반장비는 통로 내 오더피킹을 수행한다.
- ⑤ 운반장비는 냉장물류센터에서 다중오더피킹을 수행한다.
- ⑥ 운반장비의 피킹작업은 각 통로에서 균일하게 수행된다.
- ⑦ 냉장물류센터에는 충분한 화물이 저장되어 있다.
- ⑧ 운반장비별 화물 운반능력은 알려져 있다.
- ⑨ 냉장물류센터는 화물의 재보충을 고려하지 않는다.
- ⑩ 운반장비의 가감속은 고려하지 않는다.

2.3 냉장물류센터의 설계

본 연구에서 고려되는 설계파라미터들은 다음과 같이 정의하고 냉장물류센터 내 통로와 단위랙의 배치도를 표시하면 <그림 3>과 같다.

W_a : 단위 통로의 폭(m)

W_r : 단위랙의 폭(m)

L_r : 단위랙의 길이(m)

N_a : 냉장물류센터 내 통로 수

S_r : 단위랙 총 단면적(m^2)

S_t : 냉장물류센터 전체가용면적(m^2)

운반장비의 적정 운영계획을 수립하기 위한 첫 번째 단계로 냉장물류센터설계시 소요 비용의 최소화를 위해서 주어진 설계를 만족하는 각 단위랙의 길이 및 통로 수를 식(1)과 식(2)를 통해서 산정한다.

$$2 \times L_r \times W_r \times N_a = S_r \quad (1)$$

$$N_a \times (L_r \times (2 \times W_r + W_a) + 2 \times W_a \times (W_r + W_a)) = S_t \quad (2)$$

냉장물류센터 내 단위랙의 총 면적은 각 통로당 단위랙의 면적을 통로 수로 곱한 식(1)과 같다. 또한 냉장물류센터 내 전체가용면적은 단위랙의 단면적과 운반장비가 운행되는 통로 면적의 합으로 식(2)와 같다. 냉장물류센터 설계를 위해 고려되는 설계파라미터값이 $S_t = 350 m^2$, $S_r = 130 m^2$, $W_r = 1 m$, $W_a = 2.5 m$ 일 경우 식(1)과(2)에 의해 단위랙(L_r)의 길이는 21.8 m이고, 통로 수(N_a)는 3이 된다..

그림 2. 냉장물류센터 내 단위 랙의 구성.

운반장비가 선택될 확률이다.

이럴 경우 α 는 화주의 출고주문을 정시에 만족시켜 줄 수 있는 서비스율로 간주될 경우 α 의 서비스 수준을 갖는 1회 기대피킹개수는 식 (3)과 같이 표현될 수 있고, 식 (3)을 만족하는 최대 피킹개수 N_{max} 는 식 (4)를 통해서 계산된다.

$$P(X < N_{max}) = P\left[\frac{X - \mu}{\sigma} < \frac{N_{max} - \frac{n_i}{N_v}}{\sqrt{\frac{n_i}{N_v - 1}}}\right] = P\left[Z_\alpha < \frac{N_{max}N_v - n_i}{\sqrt{n_i - N_v}}\right] \quad (3)$$

$$Z_\alpha = \frac{N_{max}N_v - n_i}{\sqrt{n_i - N_v}}$$

그림 3. 냉장물류센터 내 운반장비의 운행 및 락 배치도.

3. 냉장물류센터 운영

본 절은 운반장비 적정 운영계획을 수립하기 위한 두 번째 단계로서, 냉장물류센터 내에서 운행되는 운반장비의 1회 운행시 고객의 서비스율을 고려한 최대 피킹개수 및 운행시간을 산정하고자 한다.

3.1 운반장비 최대 피킹개수 산정

냉장물류센터의 운영특성상 특정한 운영시간대에 화주들의 주문량이 집중되기 때문에 운반장비의 기대피킹개수 능력을 고려할 경우에는 화주가 요구하는 주문량을 정시에 피킹하기가 어렵다. 따라서 본 절에서는 냉장물류센터의 운영특성을 고려한 1회 운행시 최대 피킹개수를 산정하고자 한다. 운반장비의 최대 피킹개수를 산정하기 위해 다음과 같은 파라미터를 고려한다.

- N_v : 운반장비수(대수)
- m_i : i 번째 운행시 피킹되는 화물 종류량(종류)
- n_i : i 번째 운행시 화물종류당 주문량(개)
- N_{max} : 최대 피킹개수(개)
- X : i 번째 운행시 기대피킹개수(개)

최대 피킹개수 산정은 Masek(1998)에 의해 제시된 방법으로 그는 운반장비가 i 번째 운행시 화물 종류량과 화물종류당 주문량을 고려하였다. 그러나 본 연구에서는 단일 종류의 화물 주문량만 고려하기 때문에, i 번째 운행시 1회 기대피킹개수는 $X \sim B(n_i, 1/N_v)$ 를 따르는 이항분포로 표시한다. 여기서, n_i 는 i 번째 운행시 총 주문량이고, $1/N_v$ 은 한 주문에 따른 특정

여기서, Z_α 는 i 번째 운행시 장비당 1회 기대피킹개수와 분산으로부터 상위 $\alpha\%$ 에 해당되는 Z 값이다.

$$N_{max} = Z_\alpha \sqrt{\frac{n_i}{N_v} - 1} + \frac{n_i}{N_v} \quad (4)$$

3.2 운반장비의 운행시간 산정

본 연구에서는 냉장물류센터 내에서 운행되는 운반장비의 1회 총 운행시간을 다음과 같이 4가지 형태로 구분한다.

- (1) 단위랙에서 각각의 화물 피킹시 소요되는 피킹시간(T_{pt})
- (2) 통로 내 운행시간(T_{tt})
- (3) I/O 지점에서 화물하역시간(T_{ut})
- (4) 피킹을 위해 각각의 단위화물(박스단위)이 저장되어 있는 빈에서의 피킹준비시간(T_{st})

따라서 운반장비의 1회 총 운행시간 T_{tps} 는 4가지 운행시간의 합으로 표시된다.

$$T_{tps} = T_{pt} + T_{tt} + T_{ut} + T_{st}$$

운반장비의 단위화물 피킹시간은 고객의 요구에 의해 피킹될 화물이 저장되어 있는 빈 내에서 화물피킹시 소요되는 시간을 말한다. 피킹시간은 반출시 소요되는 피킹화물의 수에 따라서 달라지고 단위랙 내에 저장된 화물의 적하를 각각 1회씩 수행하기 때문에 운반장비의 최대 피킹개수를 고려한 피킹시간은 식 (5)와 같이 표시된다.

$$T_{pt} = 2tN_{max} \quad (5)$$

여기서, t 는 운반장비의 단위화물 피킹 소요시간(sec)이다.

냉장물류센터 내 운행시간은 운반장비의 속도, 단위랙의 길이 및 냉장물류센터의 통로 수 등에 따라 달라진다. 따라서 운

행시간은 앞서 산정된 통로 수와 단위랙의 길이를 고려하여 산정한다. 운반장비가 냉장물류센터에서 통로 내 오더피킹을 수행할 경우 통로 내 운행거리와 각 랙 간의 운행거리의 총 합이 1회 운행시 총 운행거리가 되고, 운반장비의 운행속도를 고려하면 냉장물류센터 내 운행시간을 구할 수 있다. 냉장물류센터 내에서 운행되는 운반장비의 속도는 가감속을 고려하지 않고, 평균운행속도를 고려한다. 이를 위해 다음과 같이 파라미터들을 정의한다.

- D : 운반장비 운행거리(m)
- D_{IA} : 통로 내 운행거리(m)
- D_{CA} : 통로 간 운행거리(m)
- A : 운반장비가 피킹작업시 방문하는 통로 수 (운반장비의 피킹작업이 각 통로에서 균일하게 수행)
- V_k : 운반장비의 수평 이동속도(m/min)

운반장비가 통로 내에서 1회 피킹작업시 가장 먼 피킹 위치간의 거리는 통로 내 중앙지점들 간의 거리가 되므로 통로 내 평균 운행거리는 $(L_r + W_a)$ 이 된다. $(L_r + W_a)$ 값은 Caron *et al.* (2000b)의 시뮬레이션 방법에 의해서 검증된 결과 값이다. 따라서 통로 내 운행거리는 방문하는 통로 수와 단위랙 내 길이를 고려하면 식 (6)과 같다.

$$D_{IA} = (L_r + W_a)A \quad (6)$$

운반장비가 최대 피킹개수를 피킹할 때 방문하는 통로 수는 각 통로 내에서 피킹 가능한 확률을 고려하여 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$A = N_a \left[1 - \left(1 - \frac{1}{N_a} \right)^{N_{max}} \right]$$

여기서, $1/N_a$ 은 한 곳의 통로에서 1회 방문할 확률이다.

통로 간의 운행거리는 운반장비의 방문통로 수와 단위랙의 폭을 고려하면 식 (7)이 된다.

$$D_{CA} = 2(2W_r)A \quad (7)$$

식 (7)은 운반장비의 I/O 지점 간의 왕복운행, 방문 통로 수 및 랙의 간격 $2W_r$ 을 고려하여 통로 간의 운행거리를 계산한 것이다. 그러므로 1회 운행시 N_{max} 개를 피킹하는 운반장비의 운행 거리는 통로 내 운행거리(D_{IA})와 통로 간 운행거리(D_{CA})의 합으로 표현된다.

$$D = (L_r + W_a)A + 4W_rA$$

따라서 냉장물류센터 내 운행시간은 운반장비의 운행거리와 운반속도를 고려하면 식 (8)이 된다.

$$T_u = \frac{D}{V_h} = \frac{[(L_r + W_a)A + 4W_rA]}{V_h} \quad (8)$$

I/O 지점에서 소요되는 하역시간은 화물의 피킹개수와 각 화물의 하역시간을 고려하여 산출된다. 따라서 I/O 지점에서의 하역시간은 식 (9)와 같이 계산된다.

$$T_{ut} = t_u N_{max} \quad (9)$$

여기서, t_u 는 단위화물의 하역시간(sec)이다.

SKU (stock keeping unit)는 한 장소에 저장되는 동일 종류의 저장품 집단으로 화물을 보관 및 관리하는 최소단위로 본 연구에서는 한 단위의 SKU를 한 단위의 빈으로 고려한다. 이는 냉장물류센터 내에 저장되어 있는 재고품을 효과적으로 관리할 수 있고, 운반장비에 의한 피킹시에도 원하는 화물의 피킹이 가능하기 때문이다.

냉장물류센터의 한 통로 내 빈의 수가 T 개이고, 운반장비가 한 지점의 빈에서 1회 또는 그 이상의 피킹을 수행할 경우, 1회 운행시 피킹하기 위해 도착하는 빈의 기대 수를 산정하면 운반장비의 빈에서 화물을 피킹하기 위한 총 피킹준비시간을 산정할 수 있다.

한 대의 운반장비가 방문할 빈 수가 $(T \times N_a)$ 이고, 한 곳의 빈에 도착할 확률이 $1/(T \times N_a)$ 인 경우, 운반장비가 1회 운행시 빈에서 화물을 피킹하지 못할 확률을 이항분포로 나타내면 식 (10)과 같다.

$$P[E_T = 0] = \left(\frac{1}{T \times N_a} \right)^0 \times \left(1 - \frac{1}{T \times N_a} \right)^{N_{max}} \quad (10)$$

여기서, E_T : 운반장비 운행시 도착할 빈의 개수이다.

따라서 운반장비의 운행에서 한 곳 이상의 빈에 도착할 확률은 식 (11)이다.

$$P[E_T > 0] = 1 - P[E_T = 0] \quad (11)$$

운반장비의 운행에서 한 곳 이상의 빈에 도착할 확률은 식 (12)가 되므로 1회 운행시 운반장비의 빈 내 총 피킹준비시간은 식 (13)이 된다.

$$E[E_T] = T \times N_a \left[1 - \text{elff} \left(1 - \frac{1}{T \times N_a} \right)^{N_{max}} \right] \quad (12)$$

$$T_{st} = E[E_T] \times t_{ust} \quad (13)$$

여기서, t_{ust} : 한 곳의 빈내 피킹준비 시간(sec)이다.

따라서, 1회 운반장비의 총 운행 시간은 위의 식 (5), 식 (8), 식 (9) 및 식 (13)의 합으로 표시된다.

4. 시뮬레이션을 이용한 냉장물류센터 성능산정

시뮬레이션방법은 수리모델로 표현하기 힘든 시스템 모형을 구축할 수 있고 시스템 모형에 사용되는 설계 파라미터값에

다른 다양한 시스템의 운영 및 분석이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 냉장물류센터의 운반장비 운행시간, 물류처리 능력 및 적정 운반장비 수를 산정하기 위해 AutoMod 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션 모델로 구축하고 분석한다. 본 연구에서는 냉장물류센터 내 운반장비의 성능분석을 위해 수리 모델에서 고려한 설계파라미터와 계산된 설계파라미터값들을 시뮬레이션 구현시 입력자료로 사용하여 부산지역에 위치한 K 냉장회사의 물류센터 평가에 적용한다.

냉장물류센터는 하루 업무시간 중 화주의 냉장화물 요구시간대가 다양하기 때문에 운반장비의 운행시간을 시간연구를 통해서 산정하기가 무척 어렵다. 또한 냉장물류센터에서 취급하는 냉장화물의 데이터는 업체 간 경쟁으로 인해 정확한 데이터 획득 및 분석이 매우 힘들다. 따라서 1회 운반시 피킹개수의 과거 자료를 분석하여 시뮬레이션을 구현하기가 매우 어렵다. 본 연구에서는 이런 어려움 때문에 냉장물류센터의 성능분석을 체계적으로 수행하기 위해서 <그림 1>에서 제시한 시스템적 접근 방법을 사용한다.

K 냉장회사에 보관된 냉동물은 오징어, 메가리, 풀치, 방어, 고등어, 전어, 시비 등이 있고, 냉장물은 닭고기, 돼지고기, 소고기, 오리고기, 칠면조고기 등이 있다. 보관물품의 종류는 수입물품이 60%, 국내생산품이 40%를 차지하며, 수입물품 중 농축산물의 비율은 축산물이 90%, 농·수산물이 10%이다. 특히 최근의 국내 연안 조업구역이 줄어들어 따라 생산되는 수산물의 양이 줄어들고 수입의존도가 증가하여 육류나 패스트푸드 식품이 증가되는 추세이다.

K 냉장회사는 총 8층 규모의 설비로 각 층은 상하차 (loading/unloading)장비와 엘리베이터를 이용하여 냉장화물을 층별로 이송하며, 각 층별로 1대의 운반장비가 운행되고 있다. 한 층에 저장된 화물의 주문 물량이 많을 경우, 다른 층에서 운행되는 운반장비를 임시 투입하여 냉장화물을 오더피킹한다. 한번에 입고되는 화물량은 수십 톤에 이르고 화주별로 입고되는 냉장화물 종류도 다양하다. 따라서 냉장화물은 냉장물류센터 내 특정 단위랙에 모두 저장하기가 매우 어렵다. 현재의 운영상 단위랙 내 빈이 비어 있는 곳에 먼저 입고된 냉장화물을 저장한다. 냉장물류센터 내 저장된 냉장화물은 화주별로 구분하여 보관되기 때문에 같은 화물종류인 경우에도 서로 다른 빈에 저장된다. 따라서 화주가 냉장화물의 출고를 요청할 경우 각 화주가 주문한 냉장화물이 전지역에 보관되는 경우가

표 1. 냉장물류센터 설계파라미터

파라미터	값
S_i	350m ²
S_r	130m ²
W_a	2.5m
W_r	1m
L_r	21.8m
V_h	150m/min
N_a	3
t	10 sec
t_u	10 sec

많기 때문에 복수의 운반장비를 운영할 경우에도 전지역을 피킹 운행한다. 일반적으로 한 화주의 요청에 의해 출고되는 냉장화물량은 20-25톤이다. 따라서 K 냉장물류센터의 운영특성을 고려하여 총 물류처리량이 시간당 180개 이상을 피킹할 수 있는 적정 운반장비의 운영이 요구된다.

구축된 시뮬레이션 시스템을 토대로 본 연구에서는 운반장비 대수를 1대, 2대 및 3대로 운영되는 대안을 고려하여 운반장비의 운행대수별 시스템 분석을 통한 각 대안별 능력을 분석하고 결과를 비교한다.

본 연구에서 고려중인 냉장물류센터를 구축하기 위해 사용된 파라미터값은 <표 1>과 같다. <표 2>는 대안별로 시뮬레이션을 수행하여 최대 피킹개수에 따른 운반장비의 운행시간을 나타내고 있다.

AutoMod를 이용하여 구축한 K 냉장물류센터의 시뮬레이션 모델은 한 층의 통로 수는 3이고 각 통로별로 좌우에 단위랙이 배치되어, 운반장비는 각 통로를 지나면서 냉장화물을 피킹한다. <그림 4>는 구축된 냉장물류센터 내에서 운반장비가 3대가 운행하는 모습이다.

K 냉장물류센터의 운영특성을 고려하기 때문에 시뮬레이션 모델 구현시 한 대 또는 복수대의 운반장비는 1회 운반시 전지역을 운행하면서 단위랙 내 모든 빈에서 균등하게 냉장화물을 피킹하도록 구현하였다.

그리고 시뮬레이션 모델을 구축하고 시뮬레이션을 수행시 운반장비의 운영계획을 위해 고객의 서비스율과 평균피킹개수를 고려하여 산정된 1회 운반시 최대 피킹개수에 따른 운반장비의 운영성능을 산정한다.

표 2. 대안별 운반장비의 운행시간

		N_{max}											
		1	5	10	15	20	25	30	35	40	70	100	130
운행시간 (second)	대안 1	44.4	162	313	462	614	763	913	1092	1212	2117	3000	3892
	대안 2	47.4	201	384	567	756	945	1134	1323	1512	2646	3780	4914
	대안 3	55.8	246	480	720	960	1185	1422	1659	1896	3318	4800	6240

운행되는 횟수가 증가되어 운반장비 간 미치는 혼잡도가 커지기 때문이다. 또한 혼잡도에 의해서 최대 피킹개수가 증가할수록 대안별 운행시간의 간격 차도 커진다.

산정된 운반장비의 운행시간을 토대로 <표 3>은 대안별 운행시간, 시간당 피킹개수, 1 트립(trip: 한 곳의 피킹지점에서 다른 한 곳의 피킹지점까지의 1회 운행)별 운행시간, 총 물류처리량 및 혼잡도를 나타낸다.

대안별 시간당 피킹개수는 1회 운반시 대안 1은 120개, 대안 2는 95개 및 대안 3은 75개에 근접함을 알 수 있다. 그 이유는 통로 내에서 운행되는 운반장비의 운행횟수가 증가됨에 따라 혼잡도가 증가하여 결국 운행시간이 증가하기 때문이다.

1 트립별 운행시간은 최대 피킹개수가 15개 이상일 때부터 대안 1은 30초, 대안 2는 38초, 대안 3은 48초로 근접한다. 그러나 트립당 운행시간은 피킹개수가 증가함에 따라 운반장비의 피킹지점 간의 거리가 가까워지기 때문에 운행시간은 감소한다.

대안별 총 물류처리량은 피킹개수가 증가함에 따라 대안 1은 120개, 대안 2는 190개 및 대안 3은 225개로서 증가하나 장비대수의 증가에 따라 비례하여 증가하지 않는다. 그 이유는 운반장비의 운행시간이 증가하기 때문에 장비 대수를 증가시켜도 총 물류처리량이 증가하지 않기 때문이다. 총 물류처리량은 1회 운반시 최대 피킹개수가 15개 이상부터 일정한 개수를 피킹함을 알 수 있다.

<그림 6>은 운반장비의 시간당 피킹개수의 추이를 나타내고 있다. 운반장비대수가 증가할수록 피킹개수는 증가한다. 그러나 최대 피킹개수가 15개 이상부터는 거의 일정한 피킹개수를 피킹한다. 시간당 피킹개수는 대안 1은 75개, 대안 2는 95개 및 대안 3은 120개에 근접함을 나타낸다. 그 이유는 운반대수가 증가하여도 1 트립별 운행시간이 15에서부터 일정한 간격을 유지하기 때문에 운반장비도 일정한 시간을 유지하기 때문이다.

그림 4. 3대의 운반장비에 의한 운행도.

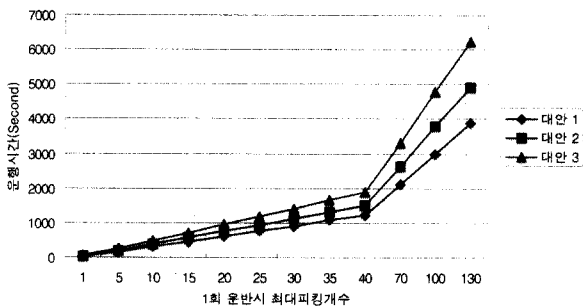


그림 5. 대안별 최대 피킹개수에 따른 운행시간.

1회 운반시 최대 피킹개수에 따라 계산된 대안별 운행시간은 <그림 5>와 같다. <그림 5>에서 최대 피킹개수가 증감함에 따라 대안별 운행시간은 선형으로 증가함을 알 수 있다.

그러나 40개 전후로 운행시간의 기울기는 급해진다. 이것은 피킹개수가 적을 경우에는 통로 내에 운행횟수가 적어 운반장비 간의 영향이 적으나 피킹개수가 증가할수록 통로 내에서

표 3. 대안별 시스템 성능분석표

운반장비대수		N_{max}	1	5	10	15	20	25	30	35	40	70	100	130
		시간당 피킹개수	대안 1	81.5	111.1	115	116.9	117.3	118	118.2	116	118.8	119	120
	대안 2	75.95	89.6	93.75	95.3	95.3	95.3	95.3	95.3	95.3	95.2	95.2	95.2	
	대안 3	63.96	73.2	75	75	75.1	75	76	76	76	76	75	75	
1 트립별 운행시간 (second)	대안 1	44.4	32.4	31.2	31.2	31.2	30	30	31.2	30	30	30	30	
	대안 2	47.4	40.2	38.4	37.8	38.4	37.8	38.4	37.8	38.4	37.8	38.4	37.8	
	대안 3	55.8	49.2	48	48	48	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	48	48	
총물류처리량 (hr)	대안 1	81.5	111.1	115	116.9	117.3	118	118.2	116	118.8	119	120	120.3	
	대안 2	151.9	179.2	187.5	190.6	190.6	190.6	190.6	190.6	190.6	190.5	190.4	190.4	
	대안 3	191.9	219.6	225	225	225.3	225	228	228	228	228	225	225	
혼잡도 (%)	대안 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	대안 2	7.2	4.3	5.2	5.5	5.6	6	6	5.8	5.8	5.8	5.8	6.4	
	대안 3	15.9	10.2	11.4	11.8	12.3	12.3	12.1	12.4	12.7	12.6	13.7	13.8	

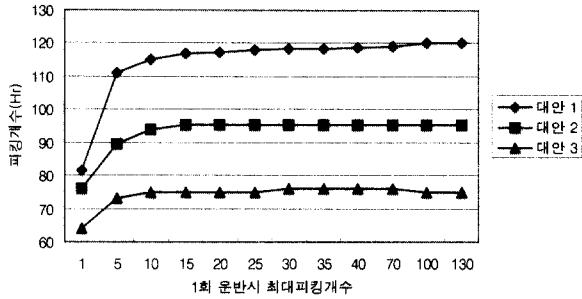


그림 6. 대안별 시간당 피킹개수.

물류센터에서 운행되는 운반장비 간 혼잡도로 인해 운반장비 대수가 증가하여도 운반장비의 성능은 비례적으로 향상되지 못했다. 운반장비가 증가함에 따라 혼잡도는 대안 2에서 6%, 대안 3에서 14%를 차지하였다. 혼잡도는 냉장물류센터에서 운행되는 운반장비 간에서 발생하는 정체시간비율이다.

혼잡도는 통로 내 오더피킹을 수행하는 다른 운반장비와의 운행간섭에 의한 정체 또는 I/O 지점에서 냉장화물의 적재 또는 적하를 위해 대기하는 운행장비들에서 발생한다. 따라서 혼잡도가 증가하면 운반장비의 작업정체시간이 증가하게 되어 결국 운행시간도 증가하게 된다. 따라서 운반장비의 혼잡도를 감소시키기 위한 방안 중 하나가 작업지역별로 운반장비를 할당하여 정체를 해결하는 것이다.

그러나 냉장물류센터의 특성을 고려한 운반장비는 전지역을 피킹하므로 각 지역(통로 내 운행, 빈내 피킹시, I/O 지점에서의 대기등)에서 발생하는 혼잡도의 유형이 매우 다양하다. 따라서 혼잡도를 줄이기 위해서는 K 냉장물류센터에서 요구되는 시간당 물류처리량과 최소 운행시간과 같은 운영조건을 만족하는 최소의 운반장비 대수를 산정하는 방안이 가장 적절하다.

운반장비의 최적 대수를 산정하기 위해 먼저 각 대안별 운행시간의 평균값과 표준편차를 <표 4>와 같이 산정하였다. 대안별 표준편차는 최대 피킹개수별로 산정된 운행시간을 계산하기 때문에 표준편차가 매우 크다.

운반장비의 운행시간은 냉장물류센터 내 운영계획에 큰 영향을 미친다. 그래서 K 냉장물류센터에서 운영되는 최적의 운반대수를 산정하기 위해 운행시간을 대응비교 (paired comparison)하였다. 대응비교를 위해 최대 피킹개수에 따른 각

표 4. 대안별 운반장비의 운행시간에 관한 통계값 (신뢰수준 : 95%)

구 분	대안 1	대안 2	대안 3
평균	1215	1517	1915
표준편차	1195	1511	1918
95%C.I.상한	1161.6	1463.7	1861.4
95%C.I.하한	1269.1	1571.2	1968.9

표 5. 대안별 대응비교표 (신뢰수준 : 95%)

구 분	대 안 2	대 안 3
대안 1	-3.31(0.007)**	-3.35(0.007)**
대안 2		-3.38(0.006)**

대안별 운행시간을 각각 쌍으로 선택하여 실험한다. <표 5>는 대안별 대응비교표로서 대안 1과 대안 2, 대안 1과 3 및 대안 2와 대안 3 모두가 운반장비의 평균운행시간이 매우 유의함을 나타낸다.

<표 2>의 운반장비 평균운행시간과 <표 5>의 대안별 대응비교표를 통해서 K 냉장물류센터의 운반장비 운영계획을 수립한다. 운반장비의 평균운행시간이 적을수록 물류처리량은 증대되고 냉장물류센터의 성능이 향상된다. 따라서 K 냉장물류센터의 최적대안순위는 대안 1 >> 대안 2 >> 대안 3이 된다. 그러나 대안 2가 총 물류처리량이 190개로 K 냉장물류센터에서 요구되는 총 물류처리량 180개를 만족한다. 따라서 대안 2가 K 냉장물류센터에서 가장 적절한 운영대안이 된다.

5. 결론

본 연구는 냉장물류센터 설비의 능력설계에 관한 기초연구로서, 냉장물류센터의 적정 규모와 적정설비계획을 위하여 운반장비의 운행시간을 수리모델로 정형화하고 설비계획 파라미터들을 산정하였다. 그리고 제시된 파라미터값들을 AutoMod 시뮬레이터에 적용하여 가상 냉장물류센터를 구축하고 적정설비 대안과 각 대안별 냉장물류센터의 능력을 산출하였다. 본 연구에서는 냉장물류센터에서 운영되는 운반장비의 운행시간을 4가지(운반장비의 단위화물 피킹시간, 운반장비의 냉장물류센터 내 운행시간, I/O 지점에서의 화물 하역시간 및 피킹을 위한 빈의 피킹준비시간)로 구분하고, 고객의 서비스를 고려한 운반장비의 최대 피킹개수에 따른 운행시간을 산정하였다.

본 연구에서는 수리모델을 통해 제시된 결과를 토대로 부산 지역 K 냉장회사의 시스템을 AutoMod 시뮬레이터를 응용하여 냉장물류센터의 적정운영대안을 구하였다. 본 시뮬레이션의 경우 운반 장비대수에 따라 3가지 대안을 제시하고 이 중에서 대안 2(운반장비 2대)가 가장 적정한 대안임을 보였다. 본 연구에서는 냉장물류센터에서 운영되는 운반장비의 적정 운행시간에 관한 연구를 수행하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 시스템 접근방법은 냉장시스템에 대한 성능분석 및 연구에 크게 도움이 되리라 생각된다.

본 연구에서는 운반장비의 운행시간만 고려하여 최적대안을 선정하였으나, 창고 내에서 대안선정에 중요한 기준인 인출요구의 대기시간과 같은 성능지표는 함께 고려하지 못했다.

따라서 인출요구의 대기시간과 같은 인자를 고려한 운반장비 대수를 산정연구를 추후 연구에 고려하여 수행할 것이다. 또한 냉장물류센터 내 냉장화물의 재고관리를 위해 수행되는 이고는 경험적 방법이 아닌 시스템적 접근 관점에서 분석뿐만 아니라 보관중인 냉장화물의 재고관리를 위한 정보시스템 구축 및 운영에 관련된 연구도 필요하다.

냉장물류센터는 단지 냉장화물을 보관하는 창고의 역할로만 인식되고 있다. 그렇기 때문에 냉장물류센터의 중요성과 운영에 대한 관심 부족과 기초조사 조차 부족한 상황으로 인해 비효율적인 냉장물류센터의 운영이 지속되고 있다. 따라서 냉장물류센터의 운영 및 보관방법에 관한 다양한 연구는 국민 보건 향상을 위한 식품의 보존과 품질보전, 적정가격의 유지, 선도유지 및 수산물의 수급조절 그리고 생산과 소비의 완충 역할을 통해 생산자의 경쟁력 증대와 소비자의 기호를 만족시켜 줄 수 있다.

참고문헌

- AutoSimulations (2000), *AutoMod User's Manual*.
- Caron, F., Marchet, G. and Perego, A. (2000), Layout Design in Manual Picking Systems: a Simulation Approach, *Integrated Manufacturing Systems*, 11(2), 94-104.
- Caron, F., Marchet, G. and Perego, A. (2000), Optimal Layout in Low-level Picker-to-part Systems, *International Journal of Product Research*, 38(1), 101-117.
- Hwang, H., Chang, I. H. and Moon, S. W. (1999), An Economic Design of Refrigerated Automated Storage and Retrieval Systems, *Engineering Optimization*, 32, 249-266.
- Hwang, H. S. (2000), A Stochastic Facility Location Model for Both Ameliorating and Deteriorating Items in Two-Echelon Supply-Chain Management, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 26(4), 384-391.
- Hwang, H. S. and Cho, G. S. (2001), Design of a GIS-Based Distribution System with Service Consideration, *Korean Management Science Review*, 18(2), 125-134.
- Jang, Y. S., Jang, S. H. and Jang, H. S. (1999), A Study on the Competition Structure and Effective Factors for Management Performance of the Fisheries Cold-Storage Warehouse Industry, *The Journal of Fisheries Business Administration*, 30(1), 119-145.
- KIIA (1999-2000), *Foreign Trade Yearbook*.
- Kim, S. H. and Lee, Y. H. (2000), Current Status and Future Research Directions in Supply Chain Management, *IE Interfaces*, The Korean Institute of Industrial Engineers, 13(3), 288-295.
- Lee, B. C. (1993), *A Study on the Rationalization of Logistics Management in Fisheries Freezing Storage Warehouse System*, Master Thesis, Yonsei University.
- Masel, D. T. (1998), *A Wave Generation Method to Increase Distribution Center Throughput for Picking and Sorting Operations*, Ph.D Thesis, the Pennsylvania State University.
- Ministry of Maritime Affairs & Fisheries (1999-2000), *Statistical Year Book of Maritime Affairs and Fisheries*.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J. and Zijm, W. H. M. (2000), Warehouse Design and Control: Framework and Literature Review, *European Journal of Operational Research*, 122, 515-533.
- van den Berg, J. P. and Zijm, W. H. M. (1999), Models for Warehouse Management: Classification and Examples, *International Journal of Production Economics*, 59, 519-528.