

自動倉庫 設計를 위한 最適化 模型에 관한 研究
- A Study On the Optimization Model for the Design of
Automated Warehouses -

金 成泰*
金 在連**

Abstract

In this paper, We determine the expected travel time for several forks Storage/Retrieval machine which is allowed multiple stops in aisle. When throughput is increased, We propose adding to fork number of each S/R machine rather than adding to number of S/R machine, We also describe such a model which determines the optimal number of each several forks S/R machine subject to constraints on the hourly throughput and warehouse dimensions. Numerical example is presented to compare warehouse shapes against each single fork, twin forks, triple forks S/R machine for various throughput values.

1. 序 論

제조업체와 배송센터의 효율적인 운영을 위해서는 物資의 취급및 보관, 하역등의 物流시스템을 통한 物資의 원활한 흐름이 필수적이라 하겠다. 이러한 生産현장과 소비자를 연결하는 物資의 흐름을 生産物流과 판매物流라 할 수 있는데, 이들 物流의 원활화에 가장 중요한 부분중의 하나가 自動적재및 인출장치(Automated Storage/ Retrieval System ; AS/RS)를 포함하는 自動倉庫라 할 수 있다.

自動倉庫의 도입으로 얻어지는 효과중 가장 중요한 것은 倉庫면적을 크게 줄일 수 있는 것이며, 또한 정보시스템을 갖추므로 인해 통합生産체계(CIM) 구축의 환경을 제공하는 것이라 하겠다. 우리나라에서도 1980년대 후반 이후 地價의 상승과 컴퓨터기기의 발달로 이러한 自動倉庫의 인식이 점차 확산됨에 따라 대부분의 대기업체를 포함한 20여개 업체가 1992년에는 700 ~ 800억원규모인 自動倉庫 시장에 대거 참여하고 있으며, 그에 따른 기술도 급격히 향상되고 있다.[10]

自動倉庫 시스템은 그 투자비용이 상당히 클 뿐만 아니라, 한번 설치되면 그것을 다시 수정하기가 기술 특성상 큰 어려움을 갖고 있다. 따라서 시스템 設計과정에서 철저한 고려를 하는것이 필수적이라 할 수 있다. 自動倉庫의 성능을 판단하는 가장 중요한 기준은 역시 단위시간당 출력(Throughput)의 양이라 할 수 있다. 출력을 향상시키는 방법으로 Hardware적인 것과 Software적인 것으로 나누어 볼수 있다.

Software적인 것으로는 입,출력방법에 대한 순서(Sequence)를 효율화 하는방법, 倉庫의 적재방법, 倉庫 구역을 분할하여 사용빈도에 따른 할당방법등을 들 수 있다. Hardware적인 것으로는 Staker Crane 으로 대표되는 Storage/Retrieval Machine(이후 S/R기계)의 성능의 향상, S/R기계의 수를 증가시키는 것등이라 하겠다.

自動倉庫의 設計라 함은 倉庫의 높이와 길이를 결정하는 倉庫의 외형규모와 그러한 규모내에 설치할 S/R 기계의 수라 할 수 있는데, 이러한 設計의 기본이 되는 것은 적재와 입출력을 위한 S/R기계의 평균운행시간을 추정하는 것이다. 적재와 인출을 위한 S/R기계의 운행방법은 크게 두 가지로 나누어 研究되어 왔는데, Single Command(SC)와 Dual Command(DC)라 한다. Single Command(SC)란 최초 입

* 明知實業專門大學 工業經營科

** 漢陽大學校 産業工學科

접수 : 1993. 4. 26.

확정 : 1993. 5. 7.

출고지점(I/O Station)에 위치한 S/R 기계가 Rack으로 구성된 저장장소에 적재나 인출중 하나의 임무를 수행하고 입출고 지점으로 되돌아 오는 것을 말하며, Dual Command(DC)란 S/R 기계의 한번의 임무수행에 적재와 인출을 동시에 이루어 지는 방법을 말한다. SC와 DC에 대한 S/R기계의 평균 운행시간의 추정은 SIT(Square In Time ; 즉 倉庫의 길이와 높이로 S/R기계의 이동시간이 동일하다.) Rack에 대한 것은 Graves, Hausman and Schwartz[1,2,3]에 의해 발표되고 Bozer와 White[4]에 의해 SIT가 아닌 경우에도 적용되는 모델을 研究하였다. Foley와 Frazelle[5]은 DC의 운행시간에 대한 분포함수를 개발하였다.

自動倉庫의 設計에 대한 研究는 倉庫의 운영을 SC로 한다는 가정하에서 Karasawa *et al*[6]이 개발하였으며, DC로 운영한다는 조건하에서 Ashayeri *et al*[7]이 Micro Computer를 이용한 最適化 模型을 제시하였으나, DC에 대한 평균운행시간을 실제상황에서 모의실험을 통한 경험치로 계산하였다는 문제점을 안고있다.

지금까지 研究에서는 SC와 DC에 대한 것 뿐이었으나 倉庫의 출력을 향상시키기 위해서는 S/R기계의 형태를 지금의 Single Fork에서 Twin Fork 혹은 Triple Fork등으로 변화시킨다면, 한번의 S/R기계 Cycle에 두개 이상의 적재명령과 두개 이상의 인출명령을 동시에 수행하는 다중정지명령(Multiple Stop Command:MSC)을 수행 할 수 있다.

본 研究에서는 다중정지명령에 대한 평균기대시간을 추정하고 이를 이용한 自動倉庫의 규모와 S/R기계의 수를 결정하는 最適化 模型을 제시하고자 한다.

2. S/R 기계의 기대운행시간

S/R 기계의 기대운행시간을 구하기 위해서 다음과 같은 가정을 설정한다.

2-1. 가정 및 용어설명

- 1) S/R 기계의 Cycle은 직사각형으로 이루어진 Rack의 좌측하단, 좌표(0,0),에서 시작되고 끝난다.
- 2) S/R 기계의 Fork의 형태에 따라 Single Command, Dual Command, Multiple Stop Command 수행한다. MSC라 함은 Twin Fork인 경우 2개의 입고와 2개의 출고명령을 한번 Cycle에 임무를 수행함을 말한다.
- 3) S/R기계의 속도(수직,수평방향)와 Rack의 길이와 높이는 알고 있다.
- 4) S/R기계는 운행시 수직과 수평방향으로 동시에 움직인다.
- 5) 倉庫내의 저장방법은 임의장소선택 (Randomized Storage)을 따르며, 물건의 인출과 하치(Pick-Up and Deposit)시간은 일정하다고 한다.
- 6) Rack의 형태가 높이가 길이보다는 길지 않으며, 높이에 도달하는 시간이 최대한 길이에 도달하는 시간과 같다. 즉 길이도 긴 직사각형 Rack의 형태를 취한다.

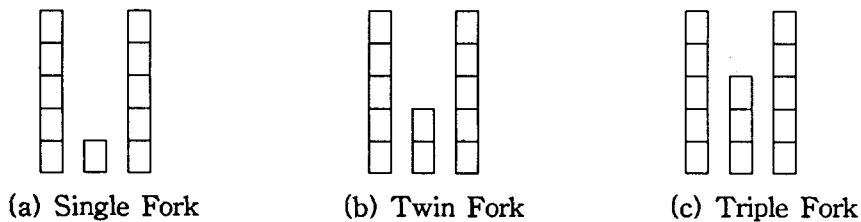


그림 1. Fork의 형태에 따른 S/R 기계

S_b : S/R 기계의 수평방향 운행속도 (m/sec)

S_v : S/R 기계의 수직방향 운행속도 (m/sec)

L : rack의 길이 (m)

H : rack의 높이 (m)

$t_h = \frac{L}{S_h}$: rack 의 끝에 도착까지 걸리는 시간 (sec)

$t_v = \frac{H}{S_v}$: rack 의 꼭대기에 도착까지 걸리는 시간(sec)

$T = \max(t_h, t_v)$, $b = \min(\frac{t_h}{T}, \frac{t_v}{T})$; $b=1$ 이면 Sit(Square in Time) rack.

가정6에 의하여 $T = t_h$, $b = \frac{t_v}{T}$ 이다.

2-2. Command 형태에 따른 기대운행시간.

Bozer와 White[4]는 인출방법이 FCFS방식을 따를때 표준시간화된 rack (normalize rack) 에서 임의의 두지점간의 거리에 대한 확률변수, Z, 에 대한 분포함수와 Single Command와 Dual Command의 기대운행시간을 구하였다.

1) Single Command

$$E(sc) = 2 \int_{z=0}^1 zg(z)dz = \frac{1}{3} b^2 + 1$$

$$g(z) = \begin{cases} 2z/b & 0 \leq z \leq b \\ z & b \leq z \leq 1 \end{cases} \text{-----(1)}$$

$$G(z) = \begin{cases} z^2/b & 0 \leq z \leq b \\ z & b \leq z \leq 1 \end{cases} \text{-----(2)}$$

2) Dual Command

$$E(DC) = E(SC) + E(TB) \text{-----(3)}$$

$$E(TB) = \int_1^0 zf(z)dz = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} b^2 - \frac{1}{30} b^3 \text{-----(4)}$$

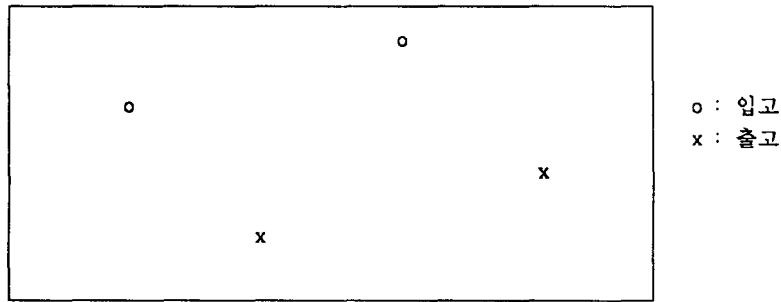
$$f(z) = \begin{cases} (2-2z)[\frac{2z}{b} - \frac{z^2}{b^2}] + (2z-z^2)[\frac{2}{b} - \frac{2z}{b^2}] & 0 \leq z \leq b \\ 2 - 2z & b \leq z \leq 1 \end{cases} \text{-----(5)}$$

$$f(z) = \begin{cases} (2z-z^2)[\frac{2z}{b} - \frac{z^2}{b^2}] & 0 \leq z \leq b \\ (2z - z^2) & b \leq z \leq 1 \end{cases} \text{-----(6)}$$

$$E(DC) = \frac{4}{3} + \frac{1}{2} b^2 - \frac{1}{30} b^3$$

3) Multiple stops Command.

Fork의 형태가 Single Fork일 경우는 Single Command나 Dual Command를 따르지만, Multiple Fork인 경우는 다중정지명령(Multiple stops Command ;MSC)으로 운행할수 있다. 만약 Twin Fork인 경우는 2개의 물건을 동시에 입고시키고 또한 2개의 물건을 동시에 시킬수도 있다.



(0, 0)

그림 2. Twin Fork의 Multiple stops Command 운행방법의 예

k개의 입의의 거리를 갖는 순서 통계량에 대해 그중 최소가 되는 통계량, Z_k , 의 확률밀도 함수는 [8] 식(7)(8)과 같다.

$$g(z_k) = k[1 - F(z_k)]^{k-1}f(z_k) \quad 0 \leq z_k \leq 1 \text{----- (7)}$$

$$E(z_k) = \int_0^1 zk[1 - F(z)]^{k-1}f(z)dz \text{----- (8)}$$

8)의 값은 (5)와(6)식에 의해 구할수 있으며, k값의 변화에 따른 수치값은 k=1,---,40인 경우 Han et al[9]에 의해 구해졌고, 표1 과 같다.

E(Z _k)					
k	b = .6	b = .7	b = .8	b = .9	b =1.0
1	.3861	.4036	.4229	.4440	.4667
2	.2703	.2877	.3052	.3226	.3397
3	.2188	.2343	.2494	.2639	.2781
4	.1883	.2021	.2154	.2281	.2403
5	.1675	.1801	.1920	.2034	.2143
6	.1522	.1638	.1747	.1851	.1951
7	.1404	.1511	.1613	.1709	.1801
8	.1309	.1410	.1505	.1594	.1680
9	.1231	.1326	.1415	.1500	.1580

표1. k개의 입의거리중 최소거리에 대한 기대값

다중정지명령을 수행하기 위해 인접 이웃(nearest neighbor) 탐색방법을 이용토록 한다. 그러나 다중정지명령인 경우 첫번째 명령은 항상 입고명령이어야 하고 두번째 명령은 입,출고 명령중 어느것이든 가능하며, 세번째 명령은 두번째 명령이 입고이면 출고이어야하고, 두번째 명령이 출고면 입고이어야한다. 네번째 명령은 항상 출고 명령이어야 한다.

Twin Fork인 경우 첫번째 명령을 수행하기 위한 기대운행시간은 i/o point에서 인접한 이웃 3개의 점 중 하나로 갈수 있는 확률과 그때 각점에서의 기대운행시간의 곱로 표현할 수 있다. 각각의 기대운행시간은 $E(z_4)$, $E(z_3)$, $E(z_2)$ 이므로

$$E(\text{첫번째명령의운행시간}) = \frac{1}{3}E(z_4) + \frac{1}{3}E(z_3) + \frac{1}{3}E(z_2)$$

가 된다. 같은 방법으로

$$E(\text{두번째 명령의 운행시간}) = \frac{1}{2}E(z_3) + \frac{1}{2}E(z_2)$$

$$E(\text{세번째 명령의 운행시간}) = \frac{1}{2}E(z_2) + \frac{1}{2}E(z_1)$$

$$E(\text{네번째 명령의 운행시간}) = E(z_1)$$

$$E(\text{MCS}) = \frac{1}{3}E(z_4) + \frac{5}{6}E(z_3) + \frac{3}{2}E(z_2) + \frac{3}{2}E(z_1) + \int_0^1 zg(z)dz$$

b=1 인 경우 Twin Fork의 MCS의 기대운행시간은

$$\begin{aligned} E(\text{MCS}) &= \frac{1}{3}(0.2403) + \frac{5}{6}(0.2781) + \frac{3}{2}(0.3397) + \frac{3}{2}(0.4667) + 0.6667 \\ &= 2.1882 \end{aligned}$$

Triple Fork인 경우도 같은 방법으로 기대운행시간을

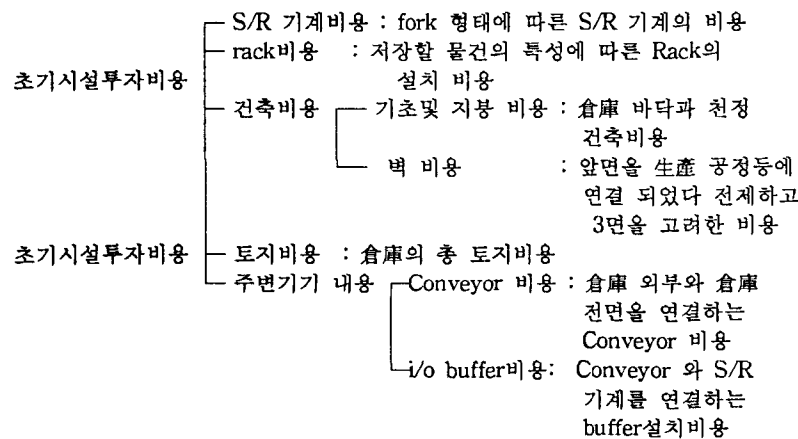
$$\begin{aligned} E(\text{MCS}) &= \frac{1}{4}E(z_6) + \frac{3}{4}E(z_5) + \frac{13}{12}E(z_4) + \frac{13}{12}E(z_3) \\ &\quad + \frac{3}{2}E(z_2) + \frac{3}{2}E(z_1) + \int_0^1 zg(z)dz \\ &= 2.6474 \end{aligned}$$

3. 다중정지명령을 고려한 自動 倉庫의 設計

自動倉庫와 관련된 비용으로는 크게 초기시설투자비와 시설운영비로 나눌수 있다. 본 研究에서는 Ashayeri *et al*[7]이 最適化 模型에 제시한 비용요소에 단위시간당 倉庫 운영비를 추가한 最適化 模型을 제시토록 한다.

3-1. 목적식

초기시설 투자 비용과 시설운영비용으로 대별되는 비용항목을 세분화하여 목적식을 구성한다.



시설운영비용

- 단위시간당 S/R 기계운전비용 : 단위시간당 전력비용을 고려하여 주어진 출력량의 임무수행시 운전비용
- 감가 상각을 고려한 유지보수비용 ; 할인을 r로 system 수명 동안 할인하여 적용
 - 주문처리비용 : 고객주문 리스트에 따라 인출하는 것을 사람이 한다 할때 그사람의 연봉
 - 보전비용 : S/R 기계의 투자비의 P% 보전비용으로 계상

1) S/R 기계비용 : $C_k^1 \cdot N_k$

C_k^1 : k개의 fork를 갖는 S/R 기계의 대당 가격

N_k : k개의 fork를 갖는 S/R 기계의 댓수

2) 기초 및 지붕 비용 : $(C_2 + C_3)L \cdot X_1$

X_1 : 창고의 넓이

L : 창고의 길이

C_2 : m^2 당 바닥 기초비용

C_3 : m^2 당 지붕 건축비용

3) 벽 비용 : $C_4 H (X_1 + 2L)$

C_4 : m^2 벽의 건축비용

H : 창고의 높이

4) Rack 설치비용 : $C_5 V$

C_5 : 한 rack에 한 Pallet씩 저장한다 할때 한 Pallet당 rack의 설치비용

V : Pallet 수로 표시된 창고 전체면적

5) Conveyor 비용 : $2 C_6 X_1$

C_6 : m당 Conveyor 비용

6) 입,출력 buffer : $bC_7 N_k$

b : 출력(Throughput)의 5% 정도를 담당하는 buffer의 양
buffer는 입과와 출과의 각각에 필요하므로 $b/2$ 정도가
각 S/R 기계 앞에 Conveyor와 연결되어 있다.

C_7 : 한 buffer 당 비용

7) 기타 비용 : $(a_1 x_1 L + C_8^k + C_9^k a_2 x_1 + C_{11})$

a_1 : m^2 당 토지 비용

C_8^k : Fork형태에 따른 Computer System의 비용

C_9^k : S/R 기계 설치시 필요 여분 토지의 비용

C_{11} : 기타 소방 시설, 냉난방 시설 비용등 기타 비용

8) 시간당 S/R 기계 운전 비용 : $C_{10} * E(N_k) * (L/S_b) * TR / (2k * N_k)$

C_{10} : 단위 시간당 운전 비용 (BF/sec)

$E(N_k)$: k 개의 Fork를 갖는 S/R 기계의 1회 기대 운행 시간(초)

TR : 한 시간당 수행해야할 임무(입고 또는 출고)의 수

따라서 1일 작업 시간을 h라 하고 1개월 작업 일수를 m이라 하면 倉庫의 Lifetime T 동안 총 운전 비용은

$$T * h * m * 12 * C_{10} * E(N_k) * (L/S_b) * TR / (2k * N_k)$$

9) 감가 상각을 고려한 유지 보수 비용 : $\sum_{t=1}^T (PC_1^t N_k + S) / (1+r)^t$

P : S/R 기계의 투자비용의 P% 를 보전비용으로 쓴다고 하자.

r : 할인율

T : 自動倉庫 예상운영의 Life Time

따라서 목적식을 위의 1) - 9)까지의 비용의 합을 최소로 할 때이며, 이때 x_1 과 N_k 가 결정변수가 된다.

3-2. 제약식

1) 倉庫의 넓이

$$x_1 = (3a_2 + a_3) * N_k$$

a_2 : Pallet의 넓이 ; rack과 S/R 기계의 넓이는 Pallet의 넓이와 같다. 따라서 한개의 복도(aisle)에는 Pallet 3개분의 넓이와 약간의 여유분이 필요하다.

a_3 : S/R 기계와 양쪽 rack 사이의 여유분의 합.

2) 倉庫 부지 면적에 대한 제약

$$x_1 \leq a_4$$

a_4 : 倉庫 부지의 최대 넓이

3) 요구되는 단위당 출력량에 대한 최소한 S/R 기계 댓수에 대한 제약

$$N_k \geq \left\lceil \frac{TR \{ E(N_k) * (L/S_b) + 2(k+1)a_5 \}}{2k * 3600} \right\rceil / a$$

TR/2k : 시간당 S/R 기계 cycle 횟수

a_5 : 하차 및 적재시 S/R 기계 운전 시간

a : 주문량에 따른 S/R 기계 활용효율

4) S/R 기계 및 넓이의 양수 제약

$$x_1, N_k \geq 0 \quad N_k \text{ 는 정수}$$

3-3. 最適化 模型 및 해법

초기 투자 비용과 倉庫의 예정수명 T 동안의 운전비용을 고려한 목적식과 제약식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{목적식 : } \text{Min } & C_1^k N_k + (a_1 + C_2 + C_3)Lx_1 + C_4 Hx_1 + 2C_4 HL \\
 & + C_5 V + 2C_6 x_1 + bC_7 N_k + C_8^k + C_9 a_2 x_1 + C_{11} \\
 & + T * h * m * 12 * C_{10} * E(N_k) * (L/S_h) * TR / (2k * N_k) + \\
 & T \\
 & \sum_{t=1}^T (PC_1^k N_k + S) / (1+r)^t \quad \text{----- (1)}
 \end{aligned}$$

$$\text{제약식 : } \text{s.t. } x_1 = (3a_2 + a_3) * N_k \quad \text{----- (2)}$$

$$x_1 \leq a_4 \quad \text{----- (3)}$$

$$N_k \geq \left[\frac{TR}{2k} * \frac{\{ E(N_k) * (L/S_h) + 2(k+1) * a_5 \}}{3600} \right] / a \quad \text{--- (4)}$$

$$x_1 \geq 0 \quad \text{----- (5)}$$

$$N_k \geq 0 \text{ and 정수} \quad \text{----- (6)}$$

(2)식을 (1)식에 대입하여 목적식을 정리하면 목적식은 N_k 단일 변수에 대한 함수로 바뀐다.

$$\text{Min } AN_k + B/N_k + C \quad \text{----- (7)}$$

$$\begin{aligned}
 A = & C_1^k + (a_1 + C_2 + C_3)(3a_2 + a_3)L + C_4 H(3a_2 + a_3) \\
 & + 2C_6(3a_2 + a_3) + bC_7 + C_9^k a_2(3a_2 + a_3) + \sum_{t=1}^T PC_1 / (1+r)^t
 \end{aligned}$$

$$B = 12 * T * h * m * C_{10} * E(N_k) * (L/S_h) * TR / 2k$$

$$C = 2C_4 HL + C_5 V + C_8^k + C_{11} + \sum_{t=1}^T S / (1+r)^t$$

(7) 식은 EOQ의 모델이므로 fork의 형태가 k 개일 때

$$N_k^* = \sqrt{B/A}$$

(7) 식은 Convex 함수이므로 N_k^* 가 최적해가 되지만 제약식을 고려할 경우 제약식을 위배할 수도 있다. 따라서 N_k^* 가 양수이어야 하므로 N_k^* 값을 제약식을 만족할 때 값을 증가시킴으로써 최종의 최적해 N_k^{**} 값을 구할 수 있다.

4. 수치예

본 研究에서는 Ashayeri *et al* [7]의 最適化 模型과 fork형태에 따른 결정 변수의 변화를 비교하기 위해 각 비용을 그대로 인용하도록 한다. 그러나 fork형태에 따른 S/R 기계 비용과 Computer System비용은 현재 국내에서 제작시 성능 및 재원에 따라, 다양하지만 S/R 기계 제작 업체

자료를 분석한 결과, fork수의 증가에 따라 약 20%씩 비용이 증가되며, Computer System은 fork수에 따라 약50% 씩 증가된다고 가정하여 Belgian Franc (BF)단위로 정한다. (93년 5월 현재 1BF=24.50원)

표 2. 수치예제를 위한 비용항목

기 호	값	내용
C_1^1	7,900,000	single fork S/R 기계 비용
C_1^2	9,690,000	twin fork S/R 기계 비용
C_1^3	9,559,000	Triple fork S/R 기계 비용
C_2	450	바닥 기초 비용 (m^2 당)
C_3	65	지붕 비용 (m^2 당)
C_4	60	벽 설치 비용 (m^2 당)
C_5	300	Pallet 당 rack 설치 비용
C_6	10,000	conveyor 비용 (m 당)
C_7	20,000	buffer 비용
C_8^1	21,000,000	single fork computer 비용
C_8^2	32,520,000	Twin fork computer 비용
C_8^3	45,840,000	Triple fork computer 비용
C_9^1	1,000	Single fork S/R기계설치 여유토지비용
C_9^2	2,000	Twin fork S/R기계설치 여유토지비용
C_9^3	3,000	Triple fork S/R기계설치 여유토지비용
C_{10}	0.19	단위시간당 운전비용(BF/sec)
C_{11}	3,011,000	기타비용
T	20	창고 수명 년수
r	0.20	할인율
H	24	창고높이
V	11,000	총 Pallet의 수
a	0.85	S/R 기계운전효율
b	10	buffer의 길이
P	0.02	유지보수비용의 비율
S	2,500,000	년간 주문갖추기 비용
a_1	1,000	토지 비용(m^2)
a_2	1.2	Pallet의 넓이
a_3	0.45	한 복도당 여부분의 넓이의 합
a_4	35	창고 넓이의 최대허용길이
a_5	10	하치밋 적재시 S/R 기계운전시간
h	8	1 일 작업시간
m	25	1개월간 작업일수
S_v	0.5	수직이동속도
S_h	2.5	수평이동속도

단, 거리의 단위는 meter, 속도의 단위는 m/sec, 비용은 BF로 한다.
 Throughput의 양에 따른 총비용의 변화와 총비용을 최소로 하는 fork의 형태를 결정하기 위해 Throughput양을 100부터 1,000까지 50씩 증가 시키며 분석하였다.

표 3. 출력량 변화에 따른 최적S/R기계수와 총비용(단위:10만BF)

출력량		100	200	500	800	1000
fork 형태						
k=1	N_1^*	2.41	3.41	5.40	6.83	7.64
	N_1^{**}	3	6	14	23	28
	TC	867.1	1,168.8	1,987.5	2,887.2	3,395.6
k=2	N_2^*	1.80	2.55	4.04	5.11	5.71
	N_2^{**}	2	4	9	15	18
	TC	881.8	1,110.4	1,666.8	2,314.6	2,650.5
k=3	N_3^*	1.55	2.20	3.48	4.40	4.49
	N_3^{**}	2	3	8	12	15
	TC	999.6	1,165.5	1,749.0	2,236.5	2,593.2

5. 결론

출력의 양이 많아지면 가능한 한번의 S/R기계 운행시 많은 양을 가져오는 것이 효과적인 것이다. 지금까지 출력이 많아지면 S/R기계의 수를 증가시키는 방향에서 설계해 왔으나, 본 연구에서는 Fork의 형태를 달리함으로써 총비용이 감소됨을 보임으로 k형 Fork를 갖는 S/R기계의 효율을 증가시킬 수 있음을 보였다. 총비용 함수에 단위당 기계운전비용을 고려함으로써 S/R기계의 기대운행시간이 총비용에 영향을 주도록 하였다.

본 연구에서는 Twin이상의 Fork를 갖는 S/R기계일 경우 인접 이웃(Nearest Neighbor)을 가도록 하는 방법을 선택했으나 k형 Fork에 맞는 알고리즘을 개발하는 것이 필요하겠다.

參 考 文 獻

- Graves, S. C., W. H. Hausman, and L. B. Schwarz (1977). "Storage Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems," Management Science, Vol.23, No.9, pp.935-945.
- Hausman, W. H., L. B. Schwarz, and S. C. Graves (1976). "Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems," Management Science, Vol.22, No.6, pp.625-638.
- Schwarz, L. B., S. C. Graves, and W. H. Hausman (1977). "Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems: Simulation Results," AIIE Trans., Vol.10, No.3, pp.260-270.
- Bozer, Y. A., and J. A. White (1984). "Travel Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems," IIE Trans., Vol.16, No.4, pp.329-338.
- Foley, R. D., and E. H. Frazelle (1991). "Analytical Results for Miniloading Throughput and the Distribution of Dual Command Travel Time," IIE Trans., Vol.23, No.3, pp.273-281.
- Karasawa, Y., H. Nakayama, and S. Dohi (1980). "Trade-off analysis for optimal design of Automated Warehouses," Int. J. Systems Sci., Vol.11, No.5, pp.567-576.
- Ashayeri, J., L. Gelders, and L. Van Wassenhove (1985). "A microcomputer based optimisation model for the design of automated Warehouses," Int.J. Prod.Res., Vol.23, No.4, pp.825-839.
- 윤길중 (1977). 수리통계학, 박영사 pp.338-347.
- Han, M., L. F. McGinnis, J. S. Shieh, and J. A. White (1987). "On Sequencing Retrievals in an Automated Storage/Retrieval Systems," IIE Trans., Vol.19, No.1, pp.56-66.
- 物流시대 (1992). "自動倉庫를 잡아라.", No.2, pp.12-36.